

合肥先进光源注入器变更
环境影响报告书
(公示稿)

中国科学技术大学

2025 年 11 月

合肥先进光源注入器变更 环境影响报告书

建设单位名称：中国科学技术大学

建设单位法人代表（签名或签章）： 常进

通讯地址：安徽省合肥市蜀山区合作化南路 42 号国家同步辐射实验室

邮政编码：230029

联系人：何丽娟

电子邮箱：lijuanhe@ustc.edu.cn

联系电话：18255102850

前 言

合肥先进光源（Hefei Advanced Light Facility，英文缩写 HALF）位于安徽省合肥市，是一台低能量区基于衍射极限储存环的第四代同步辐射光源，属于国家重大科技基础设施。HALF 装置主体包括一台 2.2GeV 注入器（包含电子直线加速器及输运线）、一台 2.2GeV 电子储存环，可建设不少于 35 条光束线，首批拟建 12 条光束线站，建设内容主要包括注入器、储存环、光束线站、辅助系统等，建设周期 64 个月。合肥先进光源建成后，将成为国际最先进的低能量区同步辐射光源，助力合肥成为世界级的光子科学与应用中心，建成我国全能量区覆盖的先进光源体系，促进前沿科技发展、创新能力建设，战略性新兴产业变革和综合国力提升。

HALF 可行性研究报告于 2022 年 7 月 13 日取得国家发展和改革委员会的批复（发改高技[2022]1079 号），项目代码 2205-000000-04-01-877238。

2023 年 2 月，建设单位中国科学技术大学（以下简称“中国科大”）委托中国原子能科学研究院（以下简称“原子能院”）编制的《合肥先进光源项目环境影响报告书》取得《安徽省生态环境厅关于合肥先进光源项目环境影响报告书审批意见的函》（皖环函[2023]111 号）。

目前 HALF 工程进展顺利，按计划有序推进。其中注入器由于在工程建设过程中，直线加速器土建发生了部分变化，导致辐射安全与防护设施等发生了相应变化。对照生态环境部 2025 年 8 月 29 日发布的《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），变化内容属于重大变动，应重新报批项目的环境影响评价文件。因此，中国科大委托原子能院，在上阶段已取得批复的《合肥先进光源项目环境影响报告书》的基础上，编制了现阶段《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》（以下简称“注入器变更环评”）。注入器变更环评在保留上阶段已批复报告书内容的基础上，重点针对注入器相关调整变动的情况，进行了修改和分析评价。

目 录

前 言	I
目 录	I
1 概 述	1
1.1 项目名称、地点	1
1.2 项目概况	1
1.2.1 建设单位概况	1
1.2.2 项目背景、意义	2
1.2.3 建设规模	4
1.2.4 拟建项目选址合理性分析	9
1.2.5 周围环境概况	20
1.2.6 核技术利用及辐射安全管理现状	22
1.2.7 依托关系	25
1.3 编制依据	26
1.3.1 国家法律、法规和规章	26
1.3.2 地方法规及文件	28
1.3.3 技术导则、标准	30
1.3.4 其它文件、资料	32
1.4 评价标准	33
1.4.1 电离辐射评价标准	33
1.4.2 非放射性评价因子及评价标准	35
1.5 评价范围和保护目标	37
1.5.1 电离辐射评价范围和保护目标	37
1.5.2 非放评价工作等级、评价范围和保护目标	49
2 自然环境与社会环境状况	52
2.1 地理位置	52
2.2 自然环境状况	52
2.2.1 地形地貌	52
2.2.2 水文特征	53
2.2.3 气候特征	56
2.3 社会环境概况	56
2.4 辐射环境质量现状与评价	57
2.4.1 环境天然放射性水平	57
2.4.2 辐射环境现状监测	58
2.4.3 小结	64
2.5 非放环境质量现状调查与评价	64
2.5.1 水环境现状评价	64
2.5.2 大气环境现状评价	66
2.5.3 声环境现状评价	66
2.6 场址适宜性评价	67
3 工程分析与源项	68

3.1	项目规模与基本参数	68
3.1.1	总体情况	68
3.1.2	主体建筑	71
3.1.3	能源中心	74
3.1.4	技术安全楼	74
3.1.5	气瓶间	74
3.1.6	环境监测站	74
3.2	工程设备与工艺分析	75
3.2.1	装置原理及主要参数	75
3.2.2	装置组成	76
3.2.3	工艺流程及产污环节分析	83
3.2.4	工作负荷	93
3.3	污染源项分析	94
3.3.1	射线装置污染源项	94
3.3.2	非放射性污染源项	113
3.4	废弃物	115
3.4.1	放射性废弃物	115
3.4.2	非放射性废弃物	116
4	辐射安全与防护设施	118
4.1	辐射工作场所布局与分区	118
4.1.1	辐射工作场所布局	118
4.1.2	辐射工作场所分区	118
4.2	辐射屏蔽	123
4.2.1	辐射屏蔽设计方案	123
4.2.2	辐射屏蔽计算方法	129
4.3	人身安全联锁系统	138
4.3.1	系统概述	138
4.3.2	设计原则	138
4.3.3	基本结构及控制逻辑	138
4.3.4	模式、状态及运行流程	142
4.3.5	系统硬件设计	149
4.3.6	相关系统信号接口	157
4.4	辐射监测系统	159
4.4.1	HALF 装置辐射监测系统	159
4.4.2	工作场所监测	159
4.4.3	个人剂量监测	164
4.4.4	环境监测	165
4.4.5	流出物监测	166
4.4.6	监测设备数量及技术参数	167
4.5	通风系统	169
4.6	辐射安全与防护设施小结	172
4.7	三废治理	173
4.7.1	放射性三废治理	173

4.7.2	非放三废治理	179
4.8	服务期满后的环境保护措施	181
5	环境影响分析	182
5.1	非放射性环境影响分析	182
5.1.1	施工期环境影响分析	182
5.1.2	营运期环境影响分析	190
5.2	辐射环境影响分析	217
5.2.1	HALF 装置屏蔽体外剂量率计算	217
5.2.2	线站防护棚屋屏蔽体外剂量率计算	258
5.2.3	工作人员受照剂量估算	263
5.2.4	用户单位科研人员受照剂量	266
5.2.5	公众的受照剂量估算	267
5.3	事故工况下的环境影响	271
5.3.1	事故情景	271
5.3.2	事故后果分析	271
6	辐射安全管理	273
6.1	机构与人员	273
6.1.1	辐射安全与环境保护管理机构及职责	273
6.1.2	辐射工作人员管理	273
6.2	辐射安全管理规章制度	279
6.3	辐射监测	279
6.3.1	个人剂量监测	279
6.3.2	辐射工作场所监测	280
6.3.3	辐射环境监测	281
6.3.4	监测设备	281
6.3.5	竣工环保验收监测	281
6.4	辐射事故应急	284
6.5	申请者从事辐射工作能力评价	284
6.5.1	辐射安全与环境保护管理	285
6.5.2	辐射工作人员培训	285
6.5.3	工作场所的安全防护措施	286
6.5.4	个人防护用品及监测仪器	286
6.5.5	规章制度	287
6.5.6	辐射事故应急	287
6.5.7	放射性三废治理	287
6.6	环保投资一览表	288
6.7	竣工环保验收一览表	289
7	利益-代价分析	292
7.1	利益分析	292
7.2	代价分析	292
8	结论和建议	294
8.1	结论	294
8.1.1	项目工程概况	294

8.1.2	非放环境影响分析结论	294
8.1.3	实践的正当性	295
8.1.4	选址、布局合理性分析	295
8.1.5	辐射安全与防护措施	295
8.1.6	辐射环境影响分析	296
8.1.7	放射性三废排放和处理	296
8.1.8	辐射安全管理	297
8.1.9	公众参与	297
8.1.10	总结	297
8.2	建议	297

文中图目录

图 1-1 合肥先进光源鸟瞰图.....	7
图 1-2 合肥先进光源总平面图.....	8
图 1-3 项目所在区域规划图.....	10
图 1-4 项目位置与生态红线相互关系图.....	15
图 1-5 合肥先进光源项目地理位置图.....	21
图 1-6 合肥先进光源项目周边环境图.....	21
图 1-7 本项目电离辐射评价范围及环境保护目标分布示意图（地上部分）.....	41
图 1-8 本项目电离辐射评价范围及环境保护目标分布示意图（地下部分）.....	42
图 1-9 直线加速器隧道周围环境保护目标分布图（地下部分）.....	43
图 1-10 输运线隧道周围环境保护目标分布图（地下部分）.....	44
图 1-11 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（北侧）.....	45
图 1-12 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（东侧）.....	46
图 1-13 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（南侧）.....	47
图 1-14 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（西侧）.....	48
图 2-1 水源保护区区域图.....	54
图 2-2 地表水环境保护目标分布图.....	55
图 2-3 拟建场址内部外照射剂量率监测点位图.....	61
图 2-4 土壤、地下水及地表水取样点位图.....	61
图 2-5 噪声监测点位示意图.....	67
图 3-1 合肥先进光源总体布局示意图.....	68
图 3-2 直线坑道顶板屏蔽体示意图.....	71
图 3-3 HALF 装置总体布局示意图.....	75
图 3-4 注入器系统布局示意图.....	77
图 3-5 预注入器布局示意图.....	77
图 3-6 储存环一个周期设备布局图.....	78
图 3-7 HALF 装置工艺流程图.....	83
图 3-8 冷却塔换热工艺流程及产污环节图.....	84
图 3-9 零件超声清洗工艺（弱酸/弱碱清洗剂）流程及产污环节图.....	84
图 3-10 零件超声清洗工艺（乙醇/丙酮/石油醚）流程及产污环节图.....	85
图 3-11 低温制液氮工艺流程及产污环节图.....	86
图 3-12 低温实验工艺流程及产污环节图.....	87
图 3-13 更换机械泵油工艺流程及产污环节图.....	88
图 3-14 燃烧过程工艺流程及产污环节图.....	89
图 3-15 原位反应过程工艺流程及产污环节图.....	90
图 3-16 去离子水生产工艺流程图.....	92
图 4-1 HALF 主体建筑辐射工作场所分区图.....	120
图 4-2 BL01~BL06 光束线站工作场所分区图（局部放大）.....	121
图 4-3 BL07~BL10 及 2 条测试光束线站工作场所分区图（局部放大）.....	122
图 4-4 技术安全楼辐射工作场所分区图（上图：二层；下图：一层）.....	123
图 4-5 注入器隧道（含直线加速器及输运线）屏蔽尺寸示意图.....	127
图 4-6 储存环屏蔽尺寸示意图.....	128

图 4-7 加速器人身安全联锁子系统结构示意图.....	139
图 4-8 光束线站人身安全联锁子系统结构示意图.....	140
图 4-9 注入器人身安全联锁逻辑图.....	140
图 4-10 储存环人身安全联锁逻辑图.....	141
图 4-11 光束线站人身安全联锁子系统与加速器人身安全联锁子系统逻辑关系图.....	142
图 4-12 安全联锁系统状态迁移图.....	144
图 4-13 HALF 安全联锁运行流程图.....	145
图 4-14 储存环、注入器清场路线.....	146
图 4-15 控制室联锁卡置换装置示例图.....	146
图 4-16 HALF 联锁控制分区示意图.....	152
图 4-17 注入器隧道内检修门平面图.....	153
图 4-18 注入器隧道内检修门剖面图.....	154
图 4-19 HALF 注入器 PSS 设备布置示意图.....	155
图 4-20 HALF 储存环 PSS 设备布置示意图.....	156
图 4-21 HALF 联锁信号关系示意图.....	157
图 4-22 HALF 的辐射监测系统基本架构示意图.....	160
图 4-23 HALF 注入器工作场所监测点分布图.....	161
图 4-24 HALF 储存环一层工作场所监测点分布图.....	162
图 4-25 HALF 储存环二层工作场所监测点分布图.....	162
图 4-30 HALF 园区环境辐射剂量监测点分布图.....	166
图 4-31 注入器隧道排风位置示意图（图中洋红色区域）.....	170
图 4-32 储存环排风位置示意图（图中洋红色区域）.....	171
图 4-33 直线加速器隧道集水坑及室外事故排水暂存池位置示意图.....	175
图 4-34 储存环隧道事故排水暂存池位置示意图（黄色方块区域）.....	176
图 4-35 放射性固体废物暂存间位置示意图.....	178
图 4-36 技术安全楼位置示意图（绿色圆点区域）.....	178
图 4-37 园区排气筒位置示意图.....	179
图 4-38 园区给排水管网示意图.....	180
图 4-39 园区垃圾房及危险废弃物仓库位置示意图.....	181
图 4-40 园区主要噪声源位置示意图.....	181
图 5-1 废气管道区域划分图.....	191
图 5-2 项目废水处理工艺流程图.....	198
图 5-3 噪声源分布图.....	204
图 5-4 合肥市声环境功能区图.....	204
图 5-5 固体废物仓库位置图.....	213
图 5-6 直线隧道末端计算模型（俯视图）.....	218
图 5-7 直线末端废束站（废束站 1）的计算模型（俯视图）.....	219
图 5-8 能谱测试废束站（废束站 2）的计算模型（俯视图）.....	219
图 5-9 直线加速器隧道的建筑布局.....	220
图 5-10 输运线末端的计算模型（俯视图）.....	221
图 5-11 束流闸的计算模型（俯视图）.....	221
图 5-12 输运线隧道的建筑布局.....	222
图 5-13 储存环隧道的建筑布局.....	223

图 5-14 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（整体）（上图：立体图，下图：去掉顶屏蔽的平面图）	224
图 5-15 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（直线加速器）（上图：整体平面图，中图：起始段立体图，下图：末段立体图）	225
图 5-16 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（输运线）（上图：整体平面图，中图：中间段立体图，下图：末段立体图）	226
图 5-17 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（储存环）（上图：整体平面图，下图：注入区及其上下游立体图）	227
图 5-18 直线加速器沿途 2.2GeV-6nA 均匀束损+2.2GeV-10nA 打废束桶或能谱测试线时，束流水平面或垂直剖面的剂量率分布	230
图 5-19 直线加速器事故工况以 2.2GeV-1.6nC 单束团突然丢束在末端迷宫口时，束流水平面剂量率分布	231
图 5-20 输运线沿途 2.2GeV-0.5nA 均匀束损时，束流水平面或顶部的剂量率分布	234
图 5-21 束流闸以 2.2GeV-0.5nA 点损时，束流水平面或顶部的剂量率分布	235
图 5-22 束流闸以 2.2GeV-0.03nA 点损时，束流水平面或顶部的剂量率分布	236
图 5-23 输运线事故工况以 2.2GeV-1.0nC 单束团突然丢束在中间段迷宫口时，束流水平面剂量率分布	237
图 5-24 储存环 2.5GeV-500mA-1h 寿命的束流均匀损失，束流水平面、顶部、地面处、短墙外的剂量率分布（单位：mSv/h）	240
图 5-25 储存环以 0.95nC-10Hz 首次注入 168s 到 500mA 的累积剂量分布（单位：mSv/次）	243
图 5-26 储存环 500mA 恒流运行时，以 0.3nC-10Hz 小流强持续补充注入，总计 534s/h 的剂量率分布（单位：mSv/h）	245
图 5-27 储存环事故工况以 2.5GeV-500mA 全束团（5E12 个电子）突然丢在注入区下游迷宫口的剂量分布（单位：mSv/次）	246
图 5-28 直线起始段连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）	252
图 5-29 直线末端废束站和能谱测试线假设分别连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）	253
图 5-30 输运线末端束流闸以 0.5nA 连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）	255
图 5-31 储存环连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）	257
图 5-32 光学棚屋韧致辐射剂量分布俯视图，有色区域表示剂量率大于 0.5 μ Sv/h	258
图 5-33 光学棚屋韧致辐射剂量分布侧视图，有色区域表示剂量率大于 1.5 μ Sv/h	258
图 5-34 白光支线实验棚屋韧致辐射剂量分布俯视图，有色区域表示剂量率大于 0.5 μ Sv/h	259
图 5-35 白光支线实验棚屋韧致辐射剂量分布侧视图，有色区域表示剂量率大于 1.5 μ Sv/h	259
图 5-36 利用测试线设计参数，得到 2% 的电子损失在直线节上时，锯齿墙外侧的俯视剂量率分布，有色区域表示剂量率大于 2.5 μ Sv/h	260
图 5-37 2% 注入电子损失在直线节管壁上，管道外 15cm 处添加 4mm 的铅，彩色区域表示剂量率大于 2.5 μ Sv/h	260
图 5-38 2% 注入电子损失在直线节管壁上，管道外 15cm 处添加 10mm 的铁，彩色区域表示剂量率大于 2.5 μ Sv/h	261

图 5-39 FOE 侧墙和端墙外同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化	261
图 5-40 端墙与束流呈不同立体角度时同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化.....	262
图 5-41 屋顶处同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化.....	262
图 5-42 锯齿墙下游的管道外 10cm 处同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化.....	263
图 6-1 竣工环保验收工作流程.....	283

文中表目录

表 1-1 本项目建设内容一览表.....	5
表 1-2 本项目核技术利用建设内容一览表.....	6
表 1-3 与长丰县岗集镇总体规划环境影响报告书审查意见的符合性.....	12
表 1-4 “三线一单”符合性分析	13
表 1-5 与《安徽省饮用水水源环境保护条例》的符合性分析.....	16
表 1-6 与《长江经济带发展负面清单指南（试行，2022 版）》的符合性.....	16
表 1-7 与《合肥市打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案》符合性.....	17
表 1-8 与《中华人民共和国水污染防治法》《合肥市饮用水水源保护条例》符合性.....	18
表 1-9 与《中共安徽省委安徽省人民政府关于全面打造水清岸绿产业优美美丽长江（安徽）经济带的实施意见》（升级版）（皖发[2021]19 号文）符合性分析	19
表 1-10 与安徽省生态环境厅关于印发加强高耗能、高排放项目生态环境源头防控的实施意见的通知（皖环发〔2021〕28 号）符合性	20
表 1-11 中国科学技术大学近几年履行环保审批手续和环保竣工验收手续情况	22
表 1-12 本项目与中国科学技术大学原有核技术利用项目的依托关系.....	25
表 1-13 本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率/剂量控制水平	34
表 1-14 活化冷却水中相关核素的豁免水平	34
表 1-15 O ₃ 和 NO _x 排放限值和室内浓度限值	36
表 1-16 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中有机废气的限值要求	36
表 1-17 《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB37822-2019）中限值要求.....	36
表 1-18 废水排放执行标准（单位 mg/L，pH 无量纲）	37
表 1-19 噪声执行标准（单位：dB（A））	37
表 1-20 本项目辐射环境影响评价范围内环境保护目标情况.....	39
表 1-21 大气环境影响评价等级.....	49
表 1-22 地表水环境保护目标一览表.....	50
表 2-1 安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果（nGy/h）	57
表 2-2 安徽省土壤中天然放射性核素含量，Bq/kg	57
表 2-3 安徽省水体中天然放射性核素含量.....	58
表 2-4 监测对象和监测项目	59
表 2-5 仪器设备及型号	59
表 2-6 监测方法.....	60
表 2-7 本项目拟建场址及周边 γ 辐射剂量率和中子周围剂量当量率监测结果	62
表 2-8 土壤样品分析测量结果.....	63
表 2-9 地下水、地表水分析测量结果.....	64
表 2-10 地表水水质监测一览表.....	65
表 2-11 地表水水质评价指数一览表.....	65
表 2-12 合肥市大气环境质量现状评价表.....	66
表 2-13 厂界噪声监测结果汇总表 dB(A).....	66
表 3-1 一期项目建设内容及规模.....	69
表 3-2 本项目核技术利用建设内容.....	70
表 3-3 HALF 注入器主要设计参数	77
表 3-4 HALF 储存环主要技术参数	78

表 3-5 HALF 首批 12 条光束线站情况表	78
表 3-6 非放部分实验用原辅材料情况表.....	79
表 3-7 原辅材料理化性质	80
表 3-8 实验用仪器设备情况表.....	82
表 3-9 HALF 装置出束时间（调试期间）	93
表 3-10 HALF 装置出束时间（正常运行期间）	93
表 3-11 本项目辐射工作人员工作负荷情况表	94
表 3-12 HALF 装置维护维修期间工作人员的工作时间	94
表 3-13 天空反散射各计算参数取值	97
表 3-14 天空反散射计算结果（年剂量）	98
表 3-15 加速器空气中产生的半衰期大于 1 分钟的放射性核素及其相关参数	100
表 3-16 计算空气活化采用的通风系统参数	102
表 3-17 空气活化计算结果	102
表 3-18 冷却水活化计算结果	104
表 3-19 束流管的活化核素、活度及其与豁免值的比较	105
表 3-20 能谱测试线的 YAG 靶的活化核素、活度及其与豁免值的比较	107
表 3-21 束流闸的活化核素、活度及其与豁免值的比较	108
表 3-22 废束站的活化核素、活度及其与豁免值的比较	109
表 3-23 直线加速器混凝土地面的活化核素、活度及其与豁免值的比较	109
表 3-24 计算各隧道区域有害气体时采用的辐射源项和通风系统参数	111
表 3-25 各隧道区域的臭氧和二氧化氮的饱和浓度和排放速率	112
表 3-26 33-37, 431-434 机械行业系数表（摘录）	114
表 4-1 HALF 装置辐射屏蔽设计及周围环境分布情况	124
表 4-2 线站棚屋防护设计情况表	126
表 4-3 屏蔽计算时依据的屏蔽设计方案汇总	129
表 4-4 HALF 加速器调试与运行模式统计表	142
表 4-5 HALF 人身安全联锁系统联锁控制组件数量统计表	150
表 4-6 HALF 工作场所辐射监测点位统计表	163
表 4-7 主要监测设备名称及数量	168
表 4-9 场所和环境辐射探测器的技术参数指标	168
表 4-11 便携式伽马巡测仪的技术参数指标	168
表 4-12 光致发光和 CR-39 剂量计的技术参数指标	168
表 4-13 X、 γ 个人剂量计（EPD）的技术参数指标	169
表 4-14 HALF 通风系统设计参数表	170
表 4-15 HALF 加速器辐射控制区的安全与防护情况	172
表 4-16 光束线站控制区的防护与安全情况	173
表 5-1 施工期间主要设备的噪声源强	186
表 5-2 施工期间噪声水平预测值	187
表 5-3 非放废气产生及排放情况表	193
表 5-4 活性炭吸附装置设计控制参数一览表	194
表 5-5 非正常工况废气排放情况	194
表 5-6 废气污染物浓度估算模式计算结果	195
表 5-7 大气监测工作计划一览表	196

表 5-8 本项目非放废水产生及排放情况.....	196
表 5-9 废水类别、污染物及治理设施信息表.....	201
表 5-10 废水污染物排放执行标准表.....	201
表 5-11 废水污染物排放信息表.....	202
表 5-12 废水监测计划表.....	202
表 5-13 噪声源强一览表.....	203
表 5-14 本项目噪声预测结果, dB(A).....	206
表 5-15 噪声监测计划.....	206
表 5-16 建设项目副产物产生情况汇总表.....	209
表 5-17 营运期固体废物分析结果汇总表.....	210
表 5-18 项目固体废物利用处置方式.....	211
表 5-19 建设项目危险废物贮存场所(设施)基本情况表.....	212
表 5-20 固废区环境保护图形标志.....	215
表 5-21 屏蔽体外剂量率计算时考虑的各个工作模式对应的辐射源项.....	247
表 5-22 HALF 装置屏蔽体外关注点剂量率模拟结果	248
表 5-23 工作人员所在关注点的剂量率水平汇总	264
表 5-24 HALF 装置安装调试期间工作人员受照剂量计算结果	265
表 5-25 HALF 装置正常运行期间工作人员受照剂量计算结果	265
表 5-26 工作人员年工作负荷规划一览表.....	266
表 5-27 本项目辐射工作人员受照剂量汇总.....	266
表 5-28 加速器装置放射性排风口参数.....	268
表 5-29 各关注点处地面空气浓度计算结果, Bq/m ³	269
表 5-30 剂量转换因子.....	269
表 5-31 空气浸没外照射剂量计算结果, Sv/a.....	270
表 5-32 吸入内照射剂量计算结果, Sv/a.....	270
表 5-33 放射性气体排放所致关注点处公众总受照剂量计算结果, Sv/a.....	270
表 5-34 公众受照剂量汇总, mSv/a.....	271
表 6-1 本项目拟配辐射工作人员情况表.....	274
表 6-2 本项目计划配备的注册核安全工程师人员信息.....	278
表 6-3 辐射工作场所监测计划表.....	280
表 6-4 本项目环境监测计划.....	281
表 6-6 竣工环保验收监测方案.....	284
表 6-7 本项目非放环境保护设施投资一览表.....	288
表 6-8 本项目辐射环境保护措施及环保投资一览表.....	289
表 6-9 本项目非放部分“三同时”验收一览表	289
表 6-10 本项目辐射类竣工环保验收一览表.....	291

1 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：合肥先进光源

建设性质：新建

建设地点：安徽省合肥市大科学装置集中区

建设单位：中国科学技术大学

建设规模：合肥先进光源（Hefei Advanced Light Facility，英文缩写 HALF）是一台低能量区基于衍射极限储存环的第四代同步辐射光源。装置主体包括一台 2.2GeV 注入器（包含电子直线加速器及输运线）、一台 2.2GeV 电子储存环，可建设不少于 35 条光束线，首批拟建 12 条光束线站。项目规划用地面积约 43.8 万平方米，一期项目新建建筑面积 68307 平方米。其中主体建筑包括含直线坑道、输运线、速调管走廊及速调走廊耳房、储存环隧道、线站大厅等，还包括能源中心、技术安全楼、环境监测站等其它运行辅助设施。

项目投资：项目总投资约 27.78 亿元，其中环保投资约 1.33 亿元，占总投资的 4.79%。

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位概况

HALF 项目法人单位中国科学技术大学（事业单位法人证书见附件 1）是中国科学院所属的以前沿科学和高新技术为主的综合性全国重点大学，是国家首批实施“985 工程”和“211 工程”的大学之一。2017 年 9 月和 2022 年 2 月，学校两度入选全国世界一流大学和世界一流学科建设高校，共有 11 个学科入选世界一流学科建设名单。截至 2025 年 6 月共有教学与科研人员 3212 人，其中教授 1181 人（含相当专业技术职务人员），副教授 1149 人（含相当专业技术职务人员）。其中，两院院士等高层次人才不重复统计

共有 779 人，占固定教师总数的 45.3%。同时，人才队伍朝气蓬勃。45 岁及以下青年教师约占教师总数的 75%，45 岁及以下青年人才占高层次人才的 66.9%。

项目建设将由中国科学技术大学国家同步辐射实验室负责实施。国家同步辐射实验室是我国第一个国家级实验室，也是我国第一台专用同步辐射光源的发源地。1984-1991 年，国家同步辐射实验室完成国家七·五重点建设项目——“合肥同步辐射加速器及光束线实验站”，在国内率先建成专用同步辐射光源——合肥光源（HLS – Hefei Light Source），为我国同步辐射事业起步和发展做出了开创性贡献，1992 年荣获“中国科学院科技进步特等奖”、1995 年荣获“国家科学技术进步一等奖”。1998-2004 年，完成九·五期间国家首批启动的重大科学工程项目——“国家同步辐射实验室二期工程”，拓展合肥光源的应用领域并提高稳定性。2012-2014 年，完成中国科学院大科学装置重大维修改造项目——“合肥光源重大维修改造项目”，显著提升了合肥光源总体性能，达到国际同类装置先进水平。2017 年-2020 年，在中国科学院和安徽省共同支持下，实施“合肥先进光源预研”项目，开展第四代光源关键技术预制研究，并于 2020 年 12 月通过了预研项目工艺验收，所有技术指标均达到并部分优于验收指标。在多年的建设、开放运行过程中，国家同步辐射实验室为我国物理、化学、材料、能源、环境科学等领域研究发挥了重要的支撑作用，取得了一系列重要研究成果，用户成果获得国家自然科学一等奖、二等奖各一项；同时也积累了先进同步辐射光源建设所需的技术和装备优势。

国家同步辐射实验室现有全职职工 200 余人，其中中国科学院院士 1 人，博士生导师 44 人，20 多人次入选国家级人才专项或担任国家重点研发计划项目首席科学家。在合肥光源长期建设和运行过程中，逐步建立了加速器部、信息部、先进光子工程技术部、实验部、科研部以及通用技术部等专业技术部门，形成了一支结构合理的同步辐射装置领域高水平科技队伍，是合肥先进光源项目建设的核心力量。

1.2.2 项目背景、意义

中国科学技术大学的国家同步辐射实验室是我国第一个国家级实验室，有着我国第一台专用同步辐射光源——合肥光源。合肥光源，自 1983 年国家立项建设以来，经过一期、二期建设以及重大维修改造，建成了能量为 800MeV、流强 500mA 的电子储存环，以及光电子能谱、ARPES、软 X 射线成像、催化与表面科学、XMCD、红外谱学和

显微成像、燃烧、质谱、原子分子物理、计量、金华线站等光束线和实验站，在同步辐射建设关键技术方面，具有良好传承和基础。

合肥光源与上海光源和正在建设的北京高能光源形成低、中、高能区的有机互补，使我国成为国际上少有的同步辐射光源全能区覆盖的国家（或地区）。然而，历经两次升级改造后的合肥光源已经发挥其第二代光源的极限水平，但与目前国际发展的第四代同步辐射光源存在较大差距，远不能满足我国 2035 年和 2050 年发展目标对科技创新要求。因此，面向新时代国家发展目标，完善我国高、中、低同步辐射先进光源合理布局的历史任务，急需对低能区光源进行跨越式发展，建设第四代（衍射极限储存环）低能区同步辐射光源——合肥先进光源。它的建成将补齐我国光源建设整体布局中的短板，使我国同步辐射领域发展更为合理、均衡，整体达到国际先进水平，更有助于抢占第四代同步辐射科技前沿。

在中国科学院和安徽省的支持下，国家同步辐射实验室组织队伍从 2017 年底开始实施合肥先进光源预研工程，对第四代低能区衍射极限同步辐射光源涉及的关键技术进行了预制研究。2021 年 1 月，中国科学院条件保障与财务局、安徽省发展和改革委员会联合组织对“合肥先进光源预研项目”进行工艺测试和工艺验收。专家测试结果表明合肥先进光源预研项目 14 个系统的关键技术均达到了项目任务书规定的验收指标，部分指标优于验收指标。

《合肥先进光源可行性研究报告》于 2022 年 7 月通过国家发改委批复（发改高技[2022]1079 号，见附件 2），项目编号 2205-000000-04-01-877238。依据《合肥先进光源可行性研究报告》及批复文件意见，项目初步设计围绕以下科学目标：

（一）发挥低能区衍射极限同步辐射光源在亮度、相干性、能量和时空分辨等方面的优势，在空间、时间、能量等维度形成具有更高精度和灵敏度的新实验方法，实现对非均匀的复杂体系的电子、化学、自旋态的精确测量。

（二）近期目标为解决高分子膜等轻质材料、新一代电池技术、极紫外（EUV）光刻等关键技术，中长期目标为在能源存储转化关键材料、集成电路芯片无损检测、变革性量子材料、磁性自旋存储器件、航空航天关键轻元素材料等国家战略需求领域取得重大突破。

为实现上述科学目标，项目的工程目标为建设国际先进的低能区第四代同步辐射光源，储存环能量 2.2GeV，束流水平自然发射度 $86.3\text{pm}\cdot\text{rad}$ ，具有国际同类装置领先水平。在光子优化能区最高亮度达到每秒每平方毫米每平方毫弧度及千分之一带宽内光子数 1.15×10^{21} ，自然发射度下的相干光子比例在光子能量为 1keV 处达 30%。高性能光束线站容量不少于 35 个，首批建设 12 条光束线站，为空天科技、量子和功能材料、生命健康等前沿基础研究领域和新能源、新材料、集成电路等国家重大需求领域提供先进实验研究平台。

根据《射线装置分类》的规定：“粒子能量大于等于 100 兆电子伏的非医用加速器”属 I 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年）以及《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号，2021 年）的规定，HALF 环境影响评价文件类别确定为环境影响报告书。

2023 年 2 月，建设单位中国科学技术大学（以下简称“中国科大”）委托中国原子能科学研究院（以下简称“原子能院”）编制的《合肥先进光源项目环境影响报告书》取得《安徽省生态环境厅关于合肥先进光源项目环境影响报告书审批意见的函》（皖环函[2023]111 号）。

目前 HALF 工程进展顺利，按计划有序推进。其中注入器由于在工程建设过程中，直线加速器土建发生了部分变化，导致辐射安全与防护设施等发生了相应变化。对照生态环境部 2025 年 8 月 29 日发布的《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），变化内容属于重大变动，应重新报批项目的环境影响评价文件。因此，中国科大委托原子能院，在上阶段已取得批复的《合肥先进光源项目环境影响报告书》的基础上，编制了现阶段《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》（以下简称“注入器变更环评”），委托书见附件 3。

1.2.3 建设规模

本报告书的评价内容为国家发改委批复的合肥先进光源项目可行性研究报告的建设内容，主要包括主体建筑、能源中心（变电站不在本次评价范围内）、技术安全楼及环境监测站，详见表 1-1。

HALF 主体装置采取以储存环和满能量高品质直线加速器为注入器相结合的同步辐射光源方案，主要包括注入器、储存环、光束线站、辅助系统等。本项目核技术利用建设内容详见表 1-2，具体如下：

（1）注入器：

注入器主要包括直线加速器（含预注入器）、输运线。直线加速器部分长约 262.2m，输运线长约 107m。直线加速器电子能量 2.2GeV、单束团电荷量 1nC、重复频率 10Hz。直线加速器输出的满能量电子束经过输运线被传输到储存环。

（2）储存环：

储存环电子能量 2.2GeV、流强 350mA。储存环主要包括 20 个全同周期的 6—弯转磁铁消色散结构，周长约 480m，直线节数目 40 个，其中 35 个可安装插入件为用户供光。

（3）光束线站：

储存环周长 480 米，有 20 个长直线节和 20 个中直线节，可容纳 35 条光束线，首批拟建 12 条光束线站。

另外，本项目在技术安全楼设有放射性固体废物暂存间、源库、刻度室。放射性固体废物暂存间用于暂存本项目运行期间产生的放射性固体废物，源库用于暂存Ⅳ类、Ⅴ类放射源，刻度室会使用Ⅳ类、Ⅴ类放射源进行监测设备的刻度工作。（使用的Ⅳ类、Ⅴ类放射源核素和活度待定，确定后将通过建设项目环境影响登记表备案系统进行登记备案）。

表 1-1 本项目建设内容一览表

序号	建筑名称			面积, m ²
1	主体建筑	注入器	直线坑道	2906
			注入器洁净室	113
			速调管走廊	1622
			速调管走廊耳房	1415
			输运线坑道	712
	储存环		储存环隧道	4390
			储存环设备厅	5776

			天桥及各层过厅	1432
		实验部	线站大厅	20040
		周边裙房	线站准备间	5126
			中央控制室	803
			真空调试间	692
			实验部调试区	2290
			综合实验区	1801
		地下通道	下穿通道	506
			设备管廊	1186
			雨污水管廊	264
2	能源中心（冷冻及热工、低温中心、换热站及泵房等）			8520
3	技术安全楼			390
4	气瓶间			300
5	环境监测站			0
6	门卫			0
总建筑面积（地上建筑面积 62642 m ² +地下建筑面积 5665 m ² ）				68307

表 1-2 本项目核技术利用建设内容一览表

装置名称	建设内容	数量	主要技术指标
合肥先进光源 (HALF)	注入器（直线加速器及输运线）	1 台	电子能量 2.2GeV、单束团电荷量 1nC、重复频率 10Hz
	储存环	1 台	电子能量 2.2GeV、流强 350mA
	光束线站	首批 12 条	能源转换及天体化学光电离质谱线站（5-20eV）
			极紫外电子态表征及光刻工艺线站（6-135eV）
			微纳器件工况电子态表征线站（80-1000eV）
			高灵敏自旋时空分辨线站（250-2000eV）
			原位工况软 X 射线谱学与散射线站（180-2500eV）
			软 X 射线显微谱学相干成像线站（250-2500eV）
			多尺度时空分辨共振相干散射线站（250-4000eV）
			高通量原位工况中能谱学线站（2300-6500eV）
			中能显微谱学成像线站（2100-6500eV）
			测试光束线站（250-2000eV）
			束团波带片成像法截面测量线站（6.4keV）
			束团长度测量/束团针孔成像法截面测量线站（21.7~22.9keV）



图 1-1 合肥先进光源鸟瞰图

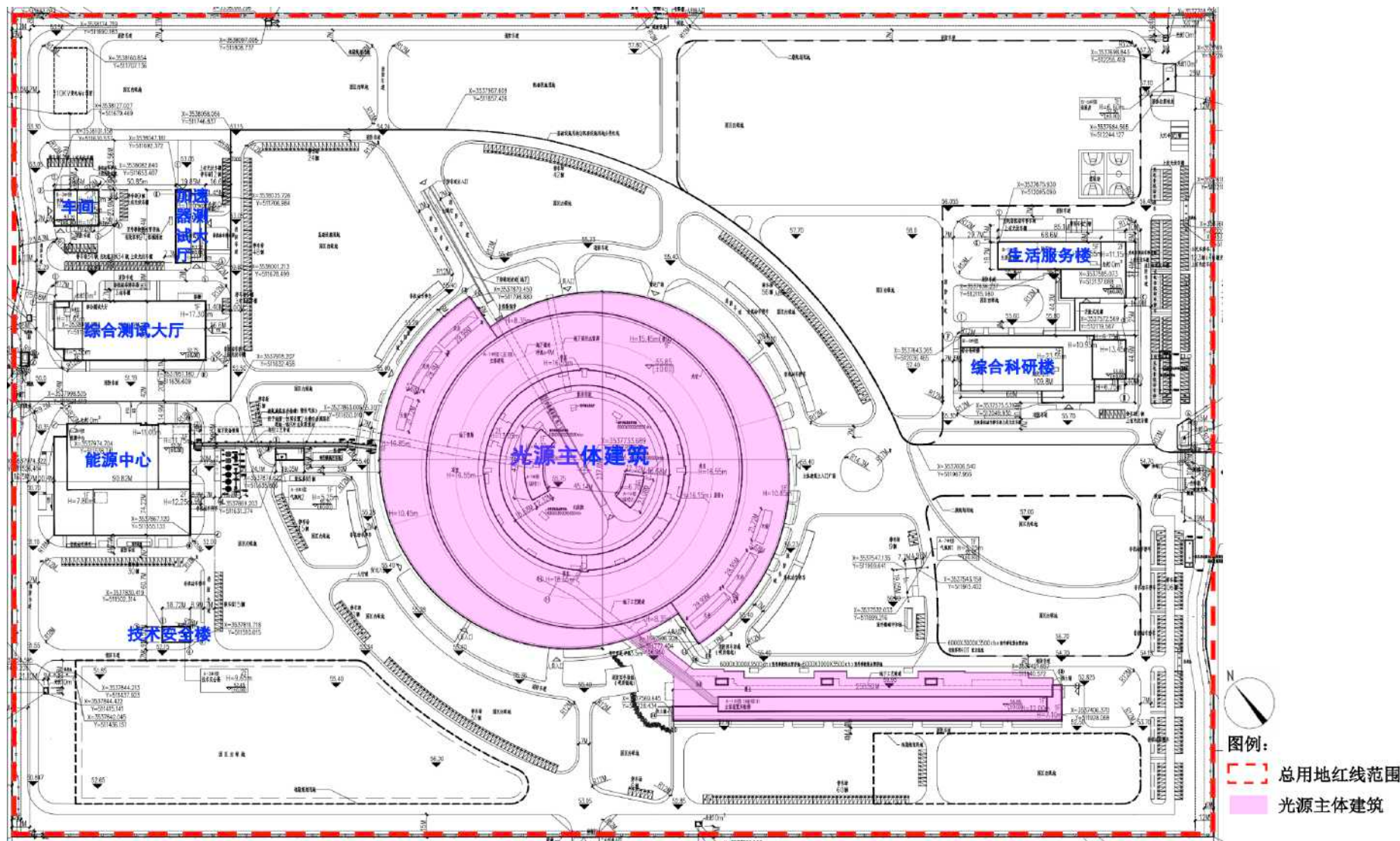


图 1-2 合肥先进光源总平面图

1.2.4 拟建项目选址合理性分析

1.2.4.1 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中**鼓励类**第六条第 4 项——“同位素、加速器及辐照应用技术开发”的范畴。因此，本项目建设符合国家相关产业政策。另外，根据安徽省节能减排及应对气候变化工作领导小组办公室关于《安徽省节能减排及应对气候变化工作领导小组办公室关于印发安徽省“两高”项目管理目录（试行）的通知》（皖节能【2022】2 号）可知，本项目不属于“两高”项目。

综上所述，项目符合国家产业政策和地方产业政策要求。

1.2.4.2 选址符合性分析

①用地规划符合性分析

根据《长丰县岗集镇总体规划（2016-2030）》（2021 年修改），项目所在地主要为科研用地等，现状为农田、池塘、道路等，见图 1-3。本项目已于 2022 年 9 月 26 日获得合肥市自然资源和规划局核发的《建设项目用地预审与选址意见书》（用字第 340100202212101 号，见附件 4）。意见书指出：本建设项目符合国土空间用途管制要求。该项目选址符合经批准的《长丰县岗集镇总体规划（2016-2030 年）》（岗政（2021）56 号）和《长丰县岗集镇谭岗路与胡庙路交口东北角 GJ03-C-05 街坊控制性详细规划》，不占用永久基本农田，长丰县人民政府承诺将该项目用地规模和布局纳入正在编制的规划期至 2035 年的国土空间规划。

因此，可认定本项目符合规划要求。

②环境相容性分析、四至关系相容性分析

经现场勘查，项目周边现状均为空地，规划为科研用地等。周围 500m 范围内无居民、学校等环境保护目标，故而项目建设与周边环境相容性较好。

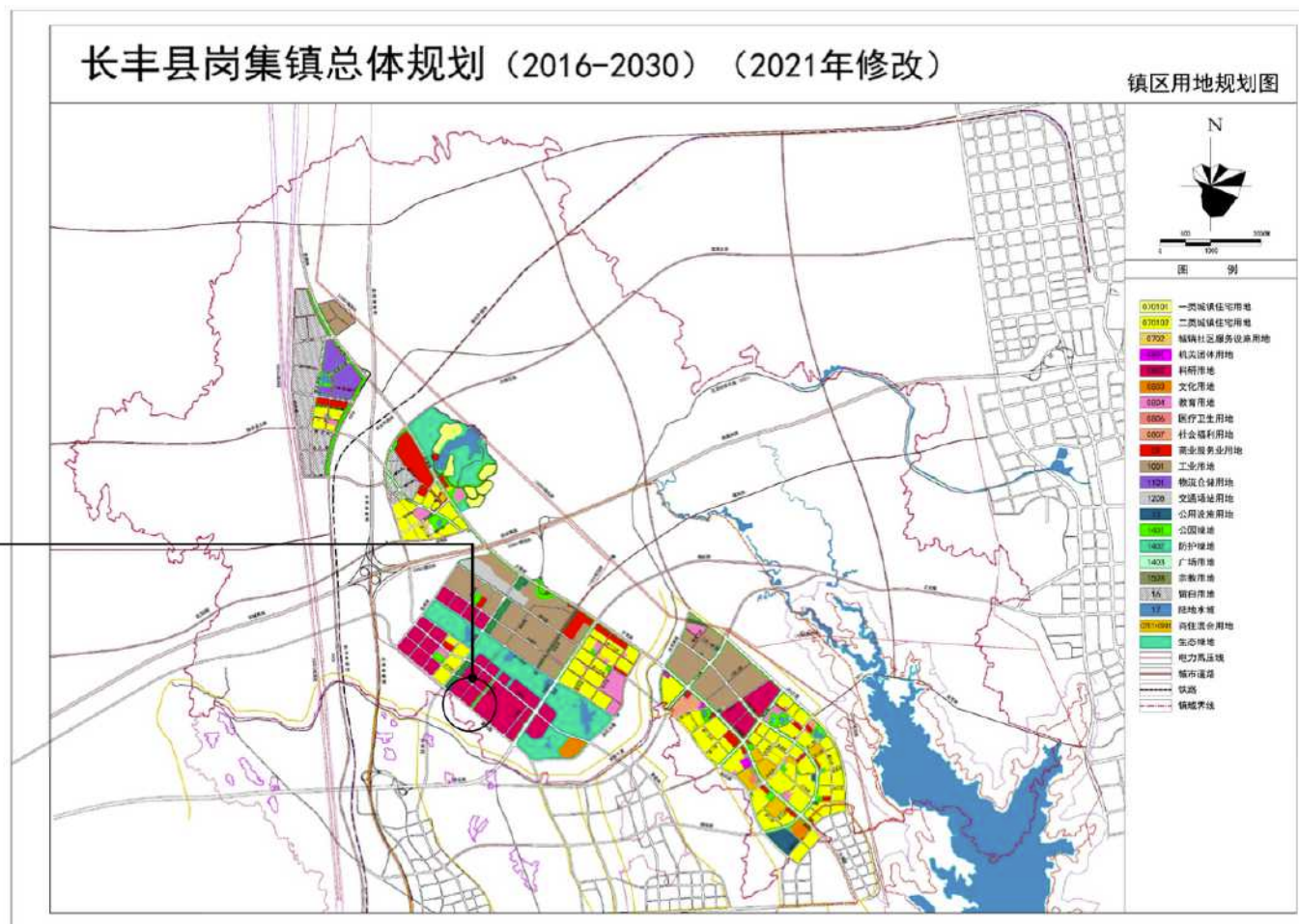


图 1-3 项目所在区域规划图

③本项目对董铺水库、大房郢水库的影响分析

根据合肥市董铺水库、大房郢水库水源保护区划分方案，本项目在董铺水库、大房郢水库一、二级保护区外，属于准保护区范围内，按照《中华人民共和国水污染防治法》第六十七条规定：“禁止在饮用水水源准保护区内新建、扩建对水体污染严重的建设项目；改建建设项目，不得增加排污量”。本项目生产废水经废水处理站处理后经市政污水管网接入望塘污水处理厂，生活污水经化粪池处理后经市政污水管网接入望塘污水处理厂。望塘污水处理厂服务范围主要包括合肥市黄山路以北、环城西路及亳州路以西的区域以及长丰县岗集镇镇区及工业园区、三十岗、大杨店、蜀山新产业园、城市森林公园、中科院合肥研究院的建设用地，规划服务面积 66km²，属于合肥市污水规划系统中的南淝河系统。项目所在区域属于望塘污水处理厂的收水范围，区域污水均纳入望塘污水处理厂。因此，本项目不会对董铺水库、大房郢水库产生影响。

1.2.4.3 与长丰县岗集镇总体规划符合性分析

根据《长丰县岗集镇总体规划（2010-2030 年）》可知，长丰县岗集镇位于安徽省合肥市长丰县西南部，东与本县双墩镇、双凤工业区相邻，北与本县吴山镇接壤，西与肥西县高刘镇相连，南与庐阳区三十岗乡、大杨镇毗邻，镇域总面积 161.07 平方公里。产业发展定位为：岗集镇老镇区及规划新城区集中发展汽车配件产业和物流业，其余部分建设生态农业、休闲旅游业、特色农业等，禁止化学制浆、造纸等高能耗高污染行业以及违反国家产业政策的建设项目入区。

本项目不属于化学纸浆、造纸等高能耗高污染行业以及违反国家产业政策的建设项目，与岗集镇总体规划产业定位不冲突。

1.2.4.4 与长丰县岗集镇总体规划环境影响报告书符合性分析

本项目与《关于长丰县岗集镇总体规划（2010-2030）环境影响报告书的审查意见》（环建审〔2013〕176 号）的内容符合性分析见表 1-3。

表 1-3 与长丰县岗集镇总体规划环境影响报告书审查意见的符合性

序号	相关要求	本项目情况	符合性
1	此次总体规划期限为 2010-2030 年，其中近期 2010-2015 年，远期 2016-2030 年。产业发展定位为：岗集老镇区及规划新城区集中发展汽车配件产业和物流业，其余部分建设生态农业、休闲旅游业、现代高效农业、特色农业。	本项目为同步辐射光源建设项目，符合国家产业政策，各污染因子均能做到达标排放，不属于主导产业和禁止产业。	符合
2	一级保护区内滁河干渠两侧禁止建设一切与供水设施和保护饮用水水源无关的项目；二级保护区内禁止新、扩、改建有污染的建设项目，可发展无污染、高效益的生态农业；老镇区及规划新城区位于饮用水源准保护区内，可发展不含表面处理工艺的汽车零部件制造业、不含危险品仓储运输的仓储物流业等。规划期内，不得增加镇域污染物排放总量。	本项目位于饮用水源准保护区内，项目营运过程中不涉及酸洗、磷化等禁止的表面处理的工艺，生活污水总量纳入望塘污水处理厂总量控制指标当中，项目建设不新增镇域废水污染物排放总量。	符合
3	老镇区及规划新区排水应全部实行雨污分流。应尽快建设望塘污水处理厂及污水管网工程。老镇区及规划新城区内工业废水和生活污水预处理达到城镇污水处理厂接管标准后，通过健全的污水管网进入望塘污水处理厂或卧龙山污水处理厂深度处理，出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准及主要污染物的提标标准后排放。	岗集镇老镇区及规划新城区目前基础设施已建成运行，雨污水管网已铺设完毕，项目产生的生活污水经化粪池处理后，达到望塘污水处理厂接管要求，由市政污水管网接入望塘污水处理厂作进一步处理后外排。	符合
4	禁止引进化工、造纸等高耗能高污染行业以及违反国家产业政策的建设项目，禁止引进污染重、清洁生产水平低下的企业，禁止高耗水以及对水体污染严重、废气排放量大的项目进入。同时严控镇域农业面源污染。	根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类，不属于限制类和淘汰类的范畴，符合国家法律、法规和政策规定，可视为允许类。同时本项目不属于高耗能、高污染项目，项目无非放废气产生，废水接入市政污水管网。	符合
5	所有建设项目必须严格执行国家《环评法》规定，履行环评审批手续，杜绝未批先建等环境违法行为。要求引进企业均建立健全环境管理机构，完善环境管理制度，实行清洁生产。限期搬迁或关闭区域内不符合产业定位的污染项目。	本项目为新建项目，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中划分要求编制此报告书，严格执行“三同时”制度，故不存在未批先建等违法行为。	符合

由上表可知，本项目的建设符合《长丰县岗集镇总体规划（2010-2030 年）环境影响报告书》及其审查意见相关要求。

1.2.4.5 “三线一单”符合性分析

根据原环境保护部“环评[2016]150 号”文《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》、《安徽省人民政府关于加快实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》（安徽省人民政府，2020 年 6 月 29 日）以及《合肥市“三线一单”编制文本》的要求，建设项目选址选线、规模、性质和工艺路线等应与“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单”（以下简称“三线一单”）进行对照，更好地发挥环评制度从源头防范环境污染和生态破坏的作用，加快推进改善环境质量。本项目与“三线一单”的符合性分析见表 1-4。

表 1-4 “三线一单”符合性分析

分析项目	分析过程	符合性
《长江经济带战略环境影响评价合肥市“三线一单”文本》	根据《长江经济带战略环境影响评价合肥市“三线一单”文本》，本项目位于合肥市水环境工业污染重点管控区、合肥市大气高排重点管控区、合肥市土壤一般防控区，项目整体位于合肥市重点管控单元范围之内。	/
生态红线	根据《安徽省生态保护红线》其中合肥市生态保护红线分布区域可知，项目不位于自然保护区、森林公园、风景名胜区、世界文化自然遗产、地质公园等保护区内，与生态红线相符，距离最近的生态红线滁河干渠约 0.42km；位于董铺水库、大房郢水库一、二级保护区外，属于准保护区范围内，本项目生活污水经化粪池处理后进入市政污水管网排入望塘污水处理厂处理，达标后排入南淝河，不会对董铺水库、大房郢水库产生影响。项目位置与生态红线相互关系图见图 1-4。	符合
环境质量底线	根据合肥市生态环境局 2022 年 1 月 7 日发布的“合肥市空气质量首次全面达标”中相关数据，评价区全年空气质量六项监测指标全面达标，合肥市属于环境空气质量达标区域。建设项目纳污水体为南淝河，执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中Ⅳ类标准。根据合肥市生态环境局发布的合肥市 2022 年 6 月水环境质量月报，南淝河共监测 6 个断面，含支流关镇河断面、长乐河（沙河）断	符合

		面，其中施口断面为国考断面。监测结果表明亳州路桥和支流关镇河断面 2 个断面均为IV类水质，属轻度污染。施口、长江东大街、合钢二厂下游和长乐河（沙河）断面 4 个断面均为V类水质，属中度污染。本项目生活污水经化粪池处理后进入市政污水管网排入望塘污水处理厂处理，达标后排入南淝河，不会对董铺水库、大房郢水库产生影响。建设项目实施后，“三废”处理达标后排放，对周边环境产生影响较小，不会改变周边环境功能区划要求，项目的建设不会突破当地环境质量底线	
	资源利用上限	建设项目用电量对当地电力供应基本无影响，项目用水主要依靠市政管网供应，项目用水量相对较小，对市政管网供应无影响	符合
	优先保护单元	该项目所在区域不在合肥市 51 个优先保护单元内，无建设条件限制	符合
准 入 清 单	《产业结构调整指导目录（2024 年本）》	该项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类项目	符合
	《限制用地项目目录（2012 年本）》、《禁止用地目录（2012 年本）》	本项目不在国家《限制用地项目目录（2012 年本）》、《禁止用地目录（2012 年本）》中	符合
	《巢湖流域禁止和限制的产业产品目录》	本项目不在《巢湖流域禁止和限制的产业产品目录》中	符合
	《长丰县岗集镇总体规划（2010-2030 年）环境影响报告书》	本项目不在《长丰县岗集镇总体规划（2010-2030 年）环境影响报告书》的准入清单中内容：“禁止引进化工、造纸等高能耗、高污染的行业以及违反国家产业政策的建设项目，禁止引入污染重、清洁生产低下的企业、禁止高耗水以及对水体污染严重、废气排放量大的企业进入”	符合

由上表可知，本项目的建设符合“三线一单”相关要求。

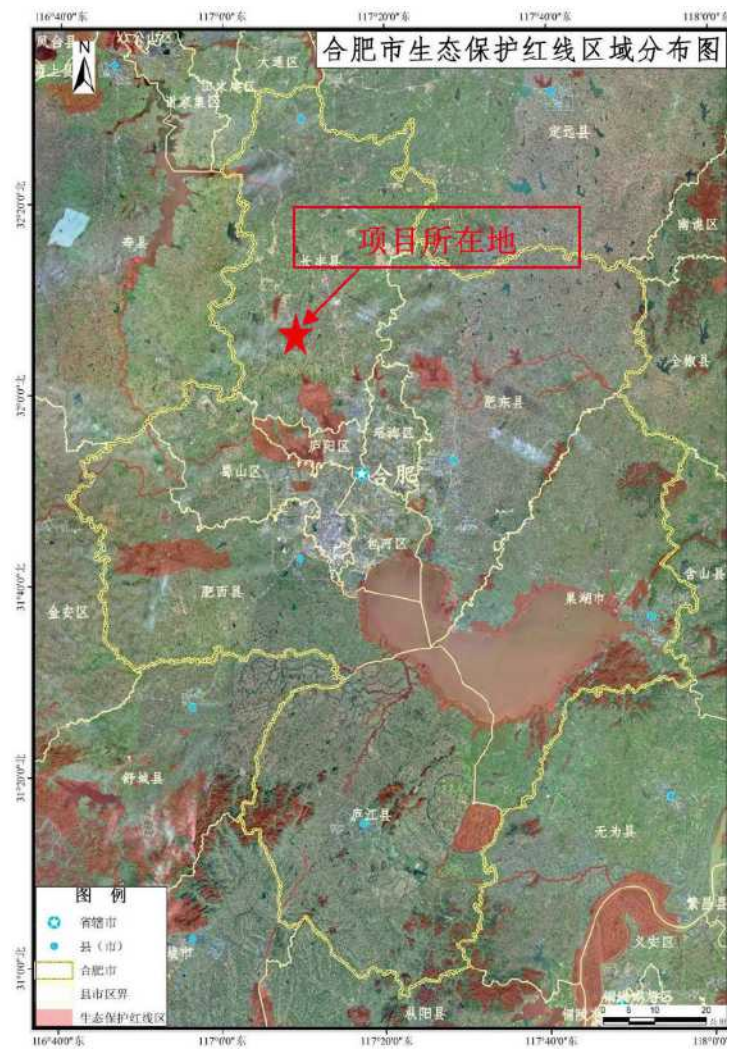


图 1-4 项目位置与生态红线相互关系图

1.2.4.6 与《安徽省饮用水水源环境保护条例》的符合性分析

表 1-5 与《安徽省饮用水水源环境保护条例》的符合性分析

相关要求	本项目情况	符合性
第十四条 在饮用水水源准保护区内，禁止下列行为：	不属于	符合
（一）新建扩建制药、化工、造纸、制革、印染、染料、炼焦、炼硫、炼砷、炼油、电镀、农药等对水体污染严重的建设项目；	不属于	符合
（二）改建增加排污量的建设项目；	不属于	符合
（三）设置易溶性、有毒有害废弃物暂存和转运站；	不涉及	符合
（四）施用高毒、高残留农药；	不涉及	符合
（五）毁林开荒；	不涉及	符合
（六）法律、法规禁止的其他行为。	不涉及	符合

由上表可知，本项目与《安徽省饮用水水源环境保护条例》相符。

1.2.4.7 与《长江经济带发展负面清单指南（试行，2022 版）》符合性分析

表 1-6 与《长江经济带发展负面清单指南（试行，2022 版）》的符合性

相关要求	本项目情况	符合性
1.禁止建设不符合全国和省级港口布局规划以及港口总体规划的码头项目，禁止建设不符合《长江干线过江通道布局规划》的过长江通道项目。	不属于	符合
2.禁止在自然保护区核心区、缓冲区的岸线和河段范围内投资建设旅游和生产经营项目。禁止在风景名胜区核心景区的岸线和河段范围内投资建设与风景名胜资源保护无关的项目。	不属于	符合
3.禁止在饮用水水源一级保护区的岸线和河段范围内新建、改建、扩建与供水设施和保护水源无关的项目，以及网箱养殖、畜禽养殖、旅游等可能污染饮用水水体的投资建设项目。禁止在饮用水水源二级保护区的岸线和河段范围内新建、改建、扩建排放污染物的投资建设项目。	不属于	符合
4.禁止在水产种质资源保护区的岸线和河段范围内新建围湖造田、围海造地或围填海等投资建设项目。禁止在国家湿地公园的岸线和河段范围内	不属于	符合

挖沙、采矿，以及任何不符合主体功能定位的投资建设项目。		
5.禁止违法利用、占用长江流域河湖岸线。禁止在《长江岸线保护和开发利用总体规划》划定的岸线保护区和保留区内投资建设除事关公共安全及公众利益的防洪护岸、河道治理、供水、生态环境保护、航道整治、国家重要基础设施以外的项目。禁止在《全国重要江河湖泊水功能区划》划定的河段及湖泊保护区、保留区内投资建设不利于水资源及自然生态保护的项目。	不属于	符合
6.禁止未经许可在长江干支流及湖泊新设、改设或扩大排污口。	不属于	符合
7.禁止在“一江一口两湖七河”和 322 个水生生物保护区开展生产性捕捞。	不属于	符合
8.禁止在长江干支流、重要湖泊岸线一公里范围内新建、扩建化工园区和化工项目。禁止在长江干流岸线三公里范围内和重要支流岸线一公里范围内新建、改建、扩建尾矿库、冶炼渣库和磷石膏库，以提升安全、生态环境保护水平为目的的改建除外。	不属于	符合
9.禁止在合规区外新建、扩建钢铁、石化、化工、焦化、建材、有色、制浆造纸等高污染项目。	不属于	符合
10.禁止新建、扩建不符合国家石化、现代煤化工等产业布局规划的项目。	不属于	符合
11.禁止新建、扩建法律法规和相关政策明令禁止的落后产能项目。禁止新建、扩建不符合国家产能置换要求的严重过剩产能行业的项目。禁止新建、扩建不符合要求的高耗能高排放项目。	不属于	符合

由上表可知，本项目的建设不属于《长江经济带发展负面清单指南（试行，2022 版）》中的禁止项目，符合相关要求。

1.2.4.8 与《合肥市打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案》符合性分析

表 1-7 与《合肥市打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案》符合性

相关要求	本项目情况	符合性
（五）强化“散乱污”企业综合整治。全面开展“散乱污”企业及集群综合整治行动。根据国家规定及省要求，细化“散乱污”企业及集群整治标准。实行拉网式排查，建立管理台账。按照“先停后治”的原则，实施分类处置。列入关停取缔类的，基本做到“两断三清”（切断工业用水、用电，清除原料、产品、生产设备）；列入整合搬迁类的，要按照产业发展规模化、现代化的原则，搬迁至合规工业园区并实施升级改造；列入升级改造类的，对标先进企业实施深度治	本项目不属于“散乱污”企业，符合当地的产业政策。	符合

理。2019年6月底前完成已排查“散乱污”企业综合整治工作。2019年底前建立“散乱污”企业动态管理机制，坚决杜绝“散乱污”企业项目建设和已取缔的“散乱污”企业异地转移、死灰复燃。		
推进重点行业污染治理升级改造。二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物（VOCs）全面执行大气污染物特别排放限值。推动实施钢铁、热电等行业超低排放改造。提升工业废气收集处理效率，强化工业企业无组织排放管控。开展钢铁、建材、有色、火电、铸造等重点行业及燃煤锅炉无组织排放排查，建立管理台账，对物料（含废渣）运输、装卸、储存、转移和工艺过程等无组织排放实施深度治理，2019年底前完成治理任务。鼓励已达标企业按照国内外先进水平升级改造。	本项目无非放废气；无工业废水，生活污水经化粪池处理后接入市政污水管网，经望塘污水处理厂处理达标后排入南淝河。	符合

由上表可知，本项目的建设符合《合肥市打赢蓝天保卫战三年行动计划实施方案》相关要求。

1.2.4.9 与《中华人民共和国水污染防治法》《合肥市饮用水水源保护条例》符合性分析

表 1-8 与《中华人民共和国水污染防治法》《合肥市饮用水水源保护条例》符合性

相关要求	本项目情况	符合性
《中华人民共和国水污染防治法》中第六十七条禁止在饮用水水源准保护区新建、扩建对水体污染严重的建设项目；改建建设项目，不得增加排污量。	本项目无生产废水，仅少量办公生活污水通过化粪池处理经市政污水管网进入望塘污水处理站处理后再排入南淝河。	符合
《合肥市饮用水水源保护条例》中第十六条 禁止在饮用水水源准保护区新建、扩建对水体污染严重的建设项目；改建建设项目，不得增加排污量。	本项目无生产废水，仅少量办公生活污水通过化粪池处理经市政污水管网进入望塘污水处理站处理后再排入南淝河。	符合

由上表可知，本项目的建设符合《中华人民共和国水污染防治法》《合肥市饮用水水源保护条例》的相关要求。

1.2.4.10 与《中共安徽省委安徽省人民政府关于全面打造水清岸绿产业优美美丽长江（安徽）经济带的实施意见》（升级版）（皖发[2021]19号文）符合性分析

表 1-9 与《中共安徽省委安徽省人民政府关于全面打造水清岸绿产业优美丽长江（安徽）经济带的实施意见》（升级版）（皖发[2021]19 号文）符合性分析

相关要求	本项目情况	符合性
严控 5 公里范围内新建项目。长江干流岸线 5 公里范围内，全面落实长江岸线功能定位要求，实施严格的化工项目市场准入制度，除提升安全、环保、节能水平，以及质量升级、结构调整的改扩建项目外，严格控制新建煤化工和石油化工等重污染、重化工项目。严禁新建布局重化工园区。合规化工园区内，严禁新批环境基础设施不完善或长期不能稳定运行的企业新建和扩建化工项目。	本项目不在长江干流岸线 5km 范围内。本项目办公生活污水通过化粪池处理经市政污水管网进入望塘污水处理站处理后再排入南淝河。污染物能够达标排放。	符合
全面治理“散乱污”企业。	本项目不属于“散乱污”企业	
依法依规推动落后产能退出。以钢铁、煤炭、水泥、平板玻璃等行业为重点，严把能耗、环保、质量、安全、技术等标准，严格常态化执法，促使一批达不到标准和生产不合格产品或淘汰类产能的企业，依法依规关停退出。	本项目不属于落后产能项目	符合
严格控制污染物排放。加快构建市场导向的绿色技术创新体系，采用节能低碳环保技术改造传统产业，推进冶金、化工、印染、有色、建材、电镀、造纸、农副食品加工等行业清洁生产改造，从源头上建设高浓度难降解有机废水、挥发性和持久性有机污染物、重金属等排放量及固体废物产生量。监督土壤污染重点监管单位全面落实土壤污染防治义务，督促关闭搬迁企业落实设备设施拆除及腾退地块土壤污染防治措施，防范土壤污染风险。	本项目无非放废气产生；生活污水通过化粪池处理经市政污水管网进入望塘污水处理站处理后再排入南淝河。	符合
园区企业污水处理全覆盖。园区工业污水和生活污水全部纳入统一污水管网，实行统一处理、不留死角。企业工业废水在排入园区污水处理厂之前，必须经过预处理且达到园区污水处理厂纳管标准。园区污水集中处理设施和管网全部建成运行。鼓励有条件的园区实施化工企业“一企一管、明管输送、实时监测”，确保化工污水全收集、全处理。	本项目生活污水通过化粪池处理经市政污水管网进入望塘污水处理站处理后再排入南淝河。	符合

由上表可知，本项目的建设符合《中共安徽省委安徽省人民政府关于全面打造水清岸绿产业优美丽长江（安徽）经济带的实施意见》（升级版）（皖发〔2021〕19 号文）的相关要求。

1.2.4.11 与《安徽省节能减排及应对气候变化工作领导小组办公室关于印发安徽省“两高”项目管理目录（试行）的通知》皖节能【2022】2号文件符合性分析

根据安徽省节能减排及应对气候变化工作领导小组办公室关于《安徽省节能减排及应对气候变化工作领导小组办公室关于印发安徽省“两高”项目管理目录（试行）的通知》皖节能【2022】2号文件可知，本项目不属于“两高”项目。

1.2.4.12 与《安徽省生态环境厅关于印发加强高耗能、高排放项目生态环境源头防控的实施意见的通知》（皖环发〔2021〕28号）符合性

表 1-10 与安徽省生态环境厅关于印发加强高耗能、高排放项目生态环境源头防控的实施意见的通知（皖环发〔2021〕28号）符合性

相关要求	本项目情况	符合性
三、严格环境准入。各地不得受理钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃、铸造等产能严重过剩行业新增产能项目的环境评价文件；对国家明令淘汰、禁止建设、不符合国家产业政策的项目环评文件，一律不批；沿江各市应按国家推长办《长江经济带发展负面清单指南（试行）》及我省实施细则要求，对合规园区外新建、扩建钢铁、石化、化工、焦化、建材、有色等“两高”项目的环境评价文件一律不批。新增主要污染物排放量的“两高”项目应按照生态环境部办公厅《关于加强重点行业建设项目区域削减措施监督管理的通知》（环办环评〔2020〕36号）要求，依据区域环境质量改善目标，制定配套区域污染物削减方案，采取有效的污染物区域削减措施，相应的减排措施应在项目投产前完成。	本项目选址安徽省合肥市长丰县岗集镇，根据长丰县岗集镇总体规划，项目用地属性地类为工业用地；根据皖节能办〔2022〕2号文，本项目不属于“两高”项目。	符合

由上表可知，本项目的建设符合《安徽省生态环境厅关于印发加强高耗能、高排放项目生态环境源头防控的实施意见的通知》（皖环发〔2021〕28号）的相关要求。

综上所述，本项目的建设符合相关政策和规划的要求。

1.2.5 周围环境概况

合肥先进光源项目位于长丰县岗集镇，西至胡庙路，东至规划支路，南至谭岗路，北至科学岛北路，项目用地周围环境基本为农田、池塘、道路等。项目地理位置见图 1-5，周边环境图见图 1-6。



图 1-5 合肥先进光源项目地理位置图



图 1-6 合肥先进光源项目周边环境图

1.2.6 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.6.1 核技术利用现状

中国科学技术大学持有生态环境部核发的辐射安全许可证，编号为国环辐证[00308]，有效期至2029年3月31日。许可的种类和范围为：使用Ⅱ类、Ⅳ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。已许可使用的放射源、非密封放射性物质、射线装置明细详见附件6。

1.2.6.2 环评审批和环保验收情况

中国科学技术大学根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，在许可的种类和范围内从事放射源、射线装置和非密封放射性物质使用等工作。严格执行辐射安全管理的各项规章制度，于每年01月31日前向生态环境主管部门提交上一年度评估报告，到目前无辐射安全事故发生。

中国科学技术大学近几年履行环保审批和环保竣工验收手续情况见表1-11。

表 1-11 中国科学技术大学近几年履行环保审批手续和环保竣工验收手续情况

序号	项目名称	环评批复文号	环保验收情况	备注
1	中子发生器	皖辐射报告表（2013）70号	2018年9月自行验收	/
2	血管造影机 DSA	皖辐射报告表（2013）70号	2018年4月自行验收	/
3	丙级非密封放射性物质工作场所	皖辐射报告表（2013）70号	2018年9月自行验收	/
4	安徽省环保厅关于合肥光源重大维修改造项目环境影响报告书的审批意见的函	皖环函（2014）30号	2018年4月自行验收	/
5	安徽省环保厅关于中国科学技术大学基于可调谐红外激光的能源化学研究大型实验装置项目环境影响报告表审批意见的函	皖环函（2017）1039号	2022年自行验收	/
6	安徽省生态环境厅关于中科院先导C科技专项《高精度电磁测量核心技术装备》示范	皖环函（2021）875号	/	建设中

	工程西区新建洁净室项目环境影响报告表 审批意见的函			
7	合肥光源储存环束流提升及新增线站项目	/	2025 年 3 月 2 日取 证，2025 年 7 月 23 日 自行验收	/

1.2.6.3 辐射安全管理现状

1.2.6.3.1 辐射安全管理机构

为进一步加强辐射安全与环境保护管理工作，中国科学技术大学设立了核与辐射安全管理委员会，人员组成如下：

主 任：包信和

副主任：王晓平

成 员：王 兵 刘华荣 刘明侯 刘 斌 闫立峰 李良彬 张宪锋 陈卫东

陈向军 金长江 赵 钢 徐允河 黄 方 蒋诗平 褚建勋 魏海明

核与辐射安全管理委员会下设实验室安全办公室，具体负责学校辐射安全与环境保护管理工作，包括负责建立健全学校实验室安全管理制度，开展实验室安全评估、检查和整改督导，组织和监督各学院、重点科研机构开展实验室安全管理、教育培训等。

1.2.6.3.2 辐射安全管理规章制度

为了加强学校放射性同位素和射线装置的安全和防护管理，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性废物安全管理条例》等，并结合学校实际，中国科学技术大学制定了《中国科学技术大学放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》，内容涵盖了辐射安全和防护管理的组织机构、场所的安全与防护措施、放射性同位素和射线装置使用管理、废旧放射性源与放射性废物的管理、辐射工作人员安全与防护管理、辐射事故管理等内容。

1.2.6.3.3 辐射工作人员

目前中国科学技术大学全校共有 270 名辐射工作人员，已全部获得辐射安全与防护培训/考核合格证书。本项目拟配辐射工作人员总计 112 名。

学校规定新上岗辐射工作人员和现持有辐射安全考核合格证书到期的人员，必须通过生态环境部认可的辐射安全与防护考核且考核合格后，方可从事辐射工作。此外，学校对辐射工作人员进行职业健康体检，体检合格者需获得生态环境部门认可的电离辐射安全与防护合格证书后方可上岗。现有辐射工作人员在现有考核证书过期前参与考核，考核不合格的人员，不得从事辐射工作。同时为辐射工作人员建立健康监护档案，辐射工作人员在岗期间，每 2 年参加一次健康复检。

1.2.6.3.4 个人剂量监测

中国科学技术大学要求在岗的所有辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人剂量计每 3 个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。2024 年中国科学技术大学委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司进行辐射工作人员个人剂量检测，检测报告见附件 7。由检测报告可以看出，2024 年学校辐射工作人员个人剂量检测结果均未超过中国科学技术大学辐射工作人员年剂量约束值。

1.2.6.3.5 工作场所及环境监测

中国科学技术大学每年委托有资质单位对工作场所及周围环境辐射水平进行监测，监测频次为 1 次/年，监测数据记录存档。2024 年中国科学技术大学委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司对中国科学技术大学主要环境和工作场所的 X- γ 辐射剂量率和 α 、 β 表面污染水平进行检测，检测报告见附件 7。由检测报告可以看出，中国科学技术大学主要环境和工作场所环境辐射水平满足相关标准要求。

1.2.6.3.6 辐射事故应急管理情况

中国科学技术大学依据《中华人民共和国突发事件应对法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置

安全和防护管理办法》等相关法律法规制定了关于全校辐射项目的《中国科学技术大学辐射事故应急预案》，内容涵盖了辐射事故风险分析、应急指挥机构及职责、处置程序、应急保障、预案的修订与实施、应急联系方式、应急物资清单等，一旦发生辐射事故能快速响应，采取有效措施保护辐射工作人员、公众的健康和安全。

发生辐射事故时，应立即启动辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。同时，需进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并做好详细的监测记录。

中国科学技术大学每年在校内进行辐射事故应急演练，近几年未发生辐射事故（事件）。上一年辐射事故应急演练的时间是 2024 年 11 月 13 日，由中国科大实验室安全办公室、国家同步辐射实验室组织开展辐射事故应急演练。演练以国家同步辐射实验室储存环棚屋和大厅被困人员受到误照为背景，采取现场实战的方式进行。该次辐射事故应急演练进一步强化了各部门对辐射安全事故及其应急处理流程的认识，提升了工作人员应对突发辐射事故的处置能力。

1.2.6.4 生态环境主管部门监督检查意见及学校整改情况

生态环境部华东核与辐射安全监督站（以下简称“华东站”）定期对学校各核技术利用项目的辐射安全与防护设施及日常运行管理情况进行全面检查。学校积极配合检查并对提出的问题及时整改，详见附件 5。

1.2.7 依托关系

本项目与中国科学技术大学原有核技术利用项目的依托关系见表 1-12。

表 1-12 本项目与中国科学技术大学原有核技术利用项目的依托关系

序号	项目	本项目与原有核技术利用项目依托关系
1	辐射安全与环境保护管理机构	本项目依托原有辐射安全与环境保护管理机构
2	辐射事故应急领导小组	本项目依托原有辐射事故应急领导小组
3	辐射事故应急预案	本项目依托原有辐射事故应急预案并进行完善
4	放射性废物处理	本项目放射性废物处理设施均为新建

序号	项目	本项目与原有核技术利用项目依托关系
5	辐射工作人员	本项目辐射工作人员均为现有辐射工作人员调配，本项目建成后将专职从事本项目工作；若需要临时参与原先从事的辐射工作，则需控制其年受照剂量不超过职业剂量约束值 5mSv。
6	辐射监测	本项目将根据项目特点制定专门的辐射监测方案，辐射监测仪器均为新购。

1.3 编制依据

1.3.1 国家法律、法规和规章

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日施行)；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(全国人民代表大会常务委员会，2018 年 12 月 29 日施行)；
- (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日)；
- (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》(国家主席[2015]31 号令，2018 年 10 月 26 日修订通过)；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》(2017 年 6 月 27 日修订，2018 年 1 月 1 日实施)；
- (6) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020 年 4 月 29 日修订)；
- (7) 《中华人民共和国土壤污染防治法》(2018 年 8 月 31 日审议通过，2019 年 1 月 1 日起施行)；
- (8) 《中华人民共和国噪声污染防治法》(2022 年 6 月 5 日起施行)；
- (9) 《中华人民共和国水法》(2002 年 10 月 1 日施行，2016 年 7 月 2 日修订)；
- (10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 709 号，2019 年 3 月 22 日修正版)；

- (11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(生态环境部令第 20 号, 2021 年 1 月 4 日修订版);
- (12) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(环境保护部令 第 18 号, 2011 年 5 月 1 日施行);
- (13) 《关于发布<射线装置分类>的公告》(环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号, 2017 年 12 月 5 日);
- (14) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行);
- (15) 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》(生态环境部令 第 16 号, 2021 年 1 月 1 日起施行);
- (16) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》(国家发展和改革委员会令第 7 号, 2023 年 12 月 27 日发布, 2024 年 2 月 1 日起施行);
- (17) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第 9 号, 2019 年 11 月 1 日);
- (18) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》(生态环境部公告 2019 年第 57 号, 2019 年 12 月 23 日);
- (19) 《发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》(国环规环评[2017]4 号, 2017 年 11 月 22 日起施行);
- (20) 《部分工业行业淘汰落后生产工艺装备和产品指导目录(2010 年本)》(国家工业和信息化部, 工产业[2010]第 122 号);
- (21) 《关于发布实施〈限制用地项目目录(2012 年本)〉和〈禁止用地项目目录(2012 年本)〉的通知》(国土资发[2012]98 号);
- (22) 《危险化学品安全管理条例》(国务院第 591 号令, 2011 年 12 月 1 日);
- (23) 《关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知》(环发[2012]98 号);
- (24) 《环境影响评价公众参与办法》(生态环境部部令第 4 号, 2019 年 1 月 1 日)

起执行)；

- (25) 《关于发布<环境影响评价公众参与办法>配套文件的公告》(公告 2018 年第 48 号, 生态环境部, 2019 年 1 月 1 日起执行)；
- (26) 《关于印发<建设项目环境影响评价政府信息公开指南(试行)>的通知》(环办[2013]103 号)；
- (27) 《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》(国发[2013]37 号)；
- (28) 《关于认真学习领会贯彻落实〈大气污染防治行动计划〉的通知》(环发[2013]103 号)；
- (29) 《关于印发环境保护部落实〈大气污染防治行动计划〉实施方案的通知》(环办[2013]118 号)；
- (30) 《关于落实大气污染防治行动计划严格环境影响评价准入的通知》(环办[2014]30 号)；
- (31) 《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》(国发[2015]17 号)；
- (32) 《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知》(国发[2016]31 号)；
- (33) 《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》(环环评[2016]150 号)；
- (34) 《排污许可管理办法(试行)》(生态环境部令第 48 号)；
- (35) 《市场准入负面清单》(2022 年版)；
- (36) 《核技术利用建设项目重大变动清单(试行)》(环办辐射函〔2025〕313 号, 2025 年 8 月 29 日)。

1.3.2 地方法规及文件

- (1) 《安徽省环境保护条例》(2010 年 11 月 1 日起施行, 2024 年 11 月 22 日修正)；

- (2) 《安徽省饮用水水源环境保护条例》(2016 年 12 月 1 日起施行);
- (3) 《安徽省城镇生活饮用水水源环境保护条例》(2001 年 7 月 28 日);
- (4) 《合肥市区声环境功能区(2020 修订)划分方案》;
- (5) 《安徽省实施<中华人民共和国固体废物污染环境防治法>办法》(2021 年 9 月 1 日起施行);
- (6) 《安徽省实施<中华人民共和国土地管理法>办法》(2022 年 5 月 27 日修订, 2022 年 12 月 1 日起施行);
- (7) 《安徽省人民政府贯彻国务院关于落实科学发展观加强环境保护决定的实施意见》(皖政〔2006〕71 号, 2006 年 9 月);
- (8) 《安徽省实施<中华人民共和国水土保持法>办法》(2015 年 1 月 1 日起施行);
- (9) 《中共安徽省委安徽省人民政府关于全面打造水清岸绿产业优美丽长江(安徽)经济带的实施意见(升级版)》(皖发[2021]19 号);
- (10) 《安徽省人民政府关于发布安徽省生态保护红线的通知》(皖政秘〔2018〕120 号);
- (11) 《安徽省建设项目环境监理试点工作实施办法》(环建函[2012]329 号, 2012 年 4 月);
- (12) 《安徽省环保厅关于加强建设项目环境影响评价及环保竣工验收公众参与工作的通知》(皖环发[2013]91 号, 2013 年 10 月);
- (13) 《安徽省生态功能区划》(2003 年 11 月);
- (14) 《安徽省主体功能区规划》(皖政〔2013〕82 号, 2013 年 12 月 4 日);
- (15) 《安徽省环保厅关于在全省范围内开展建设项目环境监理试点工作的通知》, (2014 年 1 月);
- (16) 《安徽省人民政府关于印发安徽省水污染防治工作方案的通知》(皖政

- (2015) 131 号, 2015 年 12 月 29 日);
- (17) 《安徽省污染源排放口规范化整治管理办法》(安徽省环境保护厅环法函[2005]114 号);
- (18) 《安徽省环保厅关于进一步加强建设项目新增大气主要污染物总量指标管理工作的通知》(皖环发〔2017〕19 号);
- (19) 《合肥市大气污染防治条例》(2019 年 1 月 1 日);
- (20) 合肥市城乡建设委员会关于印发《合肥市建设工程扬尘污染防治暂行规定》的通知(合建【2015】33 号, 2015 年 3 月 30 日);
- (21) 《关于印发落实全面打造水清岸绿产业优美丽长江(安徽)经济带河(湖)长制工作方案的通知》(皖河长办〔2018〕45 号)。

1.3.3 技术导则、标准

- (1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016);
- (2) 《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016);
- (3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002);
- (4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);
- (5) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021);
- (6) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB 5172-1985);
- (7) 《电离辐射工作场所监测的一般规定》(EJ 381-1989);
- (8) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ 128-2019);
- (9) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ 2.1-2019);
- (10) 《放射性废物管理规定》(GB 14500-2002);
- (11) 《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014);

- (12) 《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996);
- (13) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996);
- (14) 《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ 2.2-2018);
- (15) 《环境影响评价技术导则地表水环境》(HJ 2.3-2018);
- (16) 《环境影响评价技术导则声环境》(HJ 2.4-2021);
- (17) 《环境影响评价技术导则生态影响》(HJ 19-2022);
- (18) 《环境影响评价技术导则地下水环境》(HJ 610-2016);
- (19) 《环境影响评价技术导则土壤环境 (试行)》(HJ 964-2018);
- (20) 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018);
- (21) 《国家危险废物名录》(2025 年版);
- (22) 《环境保护综合名录 (2017 年版)》;
- (23) 《有毒有害大气污染物名录 (2018 年)》;
- (24) 《有毒有害水污染物名录 (第一批)》(生态环境部国家卫生健康委员会公告 2019 年第 28 号);
- (25) 《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2018);
- (26) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599- 2020);
- (27) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023);
- (28) 《危险废物鉴别技术规范》(HJ 298-2019);
- (29) 《固体废物鉴别标准通则》(GB 34330—2017);
- (30) 《危险废物鉴别标准通则》(GB 5085.7-2019);
- (31) 《危险废物识别标志设置技术规范》(HJ 1276-2022);
- (32) 《建设项目危险废物环境影响评价指南》(环保部公告 2017 年第 43 号);

- (33) 《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017);
- (34) 《排污单位自行监测技术指南总则》(HJ819-2017);
- (35) 《固定污染源排污许可分类管理名录》(2019 年版);
- (36) 《排污单位环境管理台账及排污许可证执行报告技术规范总则 (试行)》
(HJ944-2018);
- (37) 《污染源源强核算技术指南准则》(HJ884-2018);
- (38) 《关于发布计算污染物排放量的排污系数和物料衡算方法的公告》(环境保护部公告 2017 年第 81 号, 2017 年 12 月 28 日);
- (39) 《核技术利用单位自行监测技术规范》(DB34/T 4571-2023)。

1.3.4 其它文件、资料

- (1) NCRP. Report NO.144. Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities. NCRP,2005;
- (2) IAEA. Safety Reports Series NO.19. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. IAEA,2001;
- (3) Thomas RH, Stevenson GR. Radiological safety aspects of the operation of proton accelerators. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency Technical Report No. 283; 1988.) ;
- (4) Swanson WP, Thomas RH. Dosimetry for radiological protection at high energy particle accelerators. In: Kase KR, Bjärngard BE, Attix FH, eds. The dosimetry of ionizing radiation, Volume III. New York, NY: Academic Press; 1990: 1-161.
- (5) (美) 帕特森 (H.W.Patterson), (美) 托马斯 (R.H.Thomas) 著; 刁会昌等译. 加速器保健物理[M].北京, 原子能出版社.1983;
- (6) 合肥先进光源可行性研究报告及其批复;
- (7) 合肥先进光源环境影响报告书及其批复;

(8) 建设单位提供的其它相关资料。

1.4 评价标准

1.4.1 电离辐射评价标准

1.4.1.1 剂量限值和剂量约束值

1.4.1.1.1 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)规定,工作人员的
职业照射和公众照射的剂量限值如下:

(1) 职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制,使之不超过下述限值:

- 1) 审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均), 20mSv;
- 2) 任何一年中的有效剂量, 50mSv。

(2) 公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

- 1) 年有效剂量, 1mSv;
- 2) 特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

1.4.1.1.2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 参考同类型项目,
本次评价以 5mSv/a 作为本项目的职业人员剂量约束值(针对本项目), 以 0.5mSv/a 作
为用户单位科研人员剂量约束值; 以 0.1mSv/a 作为公众人员剂量约束值。

1.4.1.2 辐射工作场所屏蔽体外剂量率/剂量控制水平

本项目射线装置辐射工作场所屏蔽体外剂量率/剂量控制水平应按照表 1-13 执行。

表 1-13 本项目辐射工作场所屏蔽体外剂量率/剂量控制水平

工作场所	位置		剂量率/剂量控制水平 ^{b)}	
			正常工况	事故工况
HALF 注入器隧道、储存环隧道	四周屏蔽体、顶板 及门外 30cm 等人员可达处	居留因子 T>1/2	≤2.5μSv/h	≤1mSv/次
		居留因子 T≤1/2	≤10μSv/h	
	人员不可达处		≤100μSv/h	
	屏蔽体与土壤交界处 ^{a)}		≤5mSv/h	
线站防护棚屋	线站防护棚屋的四周及顶板外		≤2.5μSv/h	

备注：a) 参考日本 J-PARC 以及中国散裂中子源的辐射防护设计，当混凝土与土壤边界处瞬发辐射剂量率低于 5.5mSv/h 时，可忽略土壤和地下水的感生放射性。因此，本次评价以“5mSv/h”作为各辐射工作场所底板与土壤交界处的剂量率控制水平。

b) 对于束流时间占装置总运行时间比例较少的工况，如储存环的“首次注入”工况，将按照单次累积剂量限值 14μSv/次作为该工况的剂量控制要求。计算过程如下：“首次注入”模式下，储存环没有束流，为了快速使储存环达到 500mA 的供束流强，以 0.95nC-10Hz、50%注入效率进行大流强注入，需要的注入时间为 168s；根据同类型装置的运行经验，平均无故障时间为 100 小时左右，即运行 100 小时丢束一次，需要从 0 到 500mA 重新大流强注入一次。从辐射防护最优化的角度考虑，由于首次注入模式占总运行时间较少，保守假设 HALF 每年运行 7200 小时，则保守估计全年大流强注入的总次数为 72 次，按全年 72 次、1mSv/年，导出单次剂量限值为 1mSv/年÷72 次/年=0.014mSv/次，即 14μSv/次。

1.4.1.3 放射性废物管理要求

1.4.1.3.1 活化冷却水

本项目可能产生的放射性废液主要包括加速器的一次活化冷却水。活化冷却水暂存一定时间后，排放前需进行取样监测。监测结果满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关规定，方可作为一般废液排放。

活化冷却水中主要核素 ^3H 和 ^7Be 的豁免水平列于表 1-14。

表 1-14 活化冷却水中相关核素的豁免水平

核素	豁免活度浓度, Bq/g	豁免活度, Bq
^3H	$1.0\text{E}+06$	$1.0\text{E}+09$
^7Be	$1.0\text{E}+03$	$1.0\text{E}+07$

1.4.1.3.2 放射性固体废物

本项目运行期间可能产生的放射性固体废物主要包括加速器活化部件如废束流管等。本项目运行期间产生的活化固体废物的清洁解控根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 A 中 A2.1 的规定“任何时间段内在进行实践的场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表 A-1 所给出的或审管部门所规定的豁免水平”。对于存在一种以上放射性核素的情况,仅当各放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比的和小于 1 时,方可给予豁免。

1.4.2 非放射性评价因子及评价标准

1.4.2.1 评价因子

(1) 现状评价因子

①环境空气: SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$;

②噪声: 连续等效 A 声级;

③水环境: 水温、pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群。

(2) 预测评价因子

①环境空气: 非甲烷总烃、 O_3 、 NO_2 ;

②噪声: 厂界噪声(连续等效 A 声级);

③水环境: pH 值、COD、 BOD_5 、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、动植物油、LAS、石油类;

④固废: 生活垃圾、一般工业固废、危险废物。

1.4.2.2 评价标准

1.4.2.2.1 废气

本项目 NO_x 排放限值执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 表 2 中的相关要求；室内 O₃ 和 NO_x 执行《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ2.1-2019) 中工作场所空气中化学物质容许浓度限值。具体标准值见表 1-15。

表 1-15 O₃ 和 NO_x 排放限值和室内浓度限值

大气污染物	排放限值		室内浓度限值	
	最高允许排放浓度, mg/m ³	最高允许排放速率, kg/h	最高容许浓度, mg/m ³	时间加权平均容许浓度, mg/m ³
NO _x	240	0.77*	——	5
O ₃	——	——	0.3	——

*备注：取自 GB 16297-1996《大气污染物综合排放标准》表 2 中排气筒高度 15m、二级的数据。

本项目运营期非放废气主要为超声波清洗、原位反应等产生的有机废气（以非甲烷总烃计），废气的排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 表 2 新污染源大气污染物排放限值，具体标准见表 1-16。

表 1-16 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中有机废气的限值要求

污染物项目	最高允许排放浓度 mg/m ³	最高允许排放速率 kg/h	无组织浓度限值 mg/m ³
非甲烷总烃	120	10	4.0

厂区内 NMHC 无组织排放监控点浓度执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB37822-2019) 中表 A.1 规定的限值要求，具体见表 1-17。

表 1-17 《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB37822-2019) 中限值要求

污染物项目	特别排放限值(mg/m ³)	限值含义	无组织排放监控位置
非甲烷总烃	6	监控点处 1h 平均浓度值	在厂房外设置监控点
	20	监控点处任意一次浓度值	

1.4.2.2.2 废水

项目运营期废水主要为工作人员产生的生活污水，污染因子为 pH 值、COD、BOD₅、SS、NH₃-N、动植物油，经厂区内化粪池处理后接入市政污水管网；生产废水主要为超声波清洗、原位反应预处理工序产生的废水，污染因子为 pH 值、COD、SS、LAS、石油类、NH₃-N，经厂内废水处理站处理后接入市政污水管网。废水排放执行望塘污水处

理厂接管标准，望塘污水处理厂（I类）出水执行《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》（DB34/2710-2016），见表 1-18。

表 1-18 废水排放执行标准（单位 mg/L，pH 无量纲）

排放口名称	执行标准	污染物指标	单位	标准限值
园区生活污水排口	望塘污水处理厂接管标准	pH	无量纲	6~9
		COD	mg/L	380
		BOD ₅		180
		SS		200
		NH ₃ -N		30
		LAS		20
		石油类		20
望塘污水处理厂排口	《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）标一级标准中 A 标准	pH	无量纲	6-9
		BOD ₅	mg/L	10
		SS		10
		石油类		1
	《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》（DB34/2710-2016）表 2 标准	COD		40
		LAS		/
		NH ₃ -N		2.0（3.0）

注：括号外数值为水温>12℃时的控制指标，括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

1.4.2.2.3 噪声

本项目施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），运营期项目厂界噪声执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准，见表 1-19。

表 1-19 噪声执行标准（单位：dB（A））

阶段	标准	昼间	夜间
施工期	《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）	70	55
运营期	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类	60	50

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 电离辐射评价范围和保护目标

1.5.1.1 电离辐射评价范围

HALF 装置电子最大能量为 2.2GeV，属 I 类射线装置。本项目主要的辐射环境影响途径为瞬发辐射外照射以及运行期间排入环境的感生放射性气体对人员造成的辐射影响。另外，本项目在技术安全楼设有放射性固体废物暂存间和源库。放射性固体废物暂存间用于暂存本项目运行期间产生的放射性固体废物，源库用于暂存IV类、V类放射源，刻度室会使用IV类、V类放射源进行监测设备的刻度工作。

《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）“1.5 节评价范围和保护目标”中规定“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽边界外 50m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100m 的范围），对于I类放射源或I类射线装置的项目可根据环境影响的范围适当扩大”。参照 HJ 10.1-2016 的要求，本项目 I 类射线装置的电离辐射环境影响评价范围取主体装置四周屏蔽体向外 100m 的范围；技术安全楼的放射性固体废物暂存间、源库、刻度室评价范围取屏蔽体向外 50m 的范围。

1.5.1.2 电离辐射环境保护目标

本项目辐射环境影响评价范围基本均位于合肥先进光源园区内部，不涉及自然保护区、风景名胜和文物古迹等需要特殊保护的环境敏感对象。保护目标以本项目相关的辐射工作人员、场所周围活动的其它非辐射工作人员以及公众为主，详见表 1-20。

表 1-20 本项目辐射环境影响评价范围内环境保护目标情况

工作场所	方位		距离/m	周围环境	保护目标	人数/人
注入器隧道 (地下一层)	东	地下	0~10	设备入口及前室	职业	5
			10~100	土层	/	/
		地上	0~100	绿化、车道、停车场等	公众	100
	南	地下	0~12	速调管走廊、洁净室、楼梯、水冷泵房、空调机房、准备间、电源间、真空间、束测间、控制间、报警阀间、排水泵间、变电所、辐射防护检测间、卫生间、走廊等	职业	50
			12~100	土层	/	/
		地上	0~100	绿化、车道、停车场等	公众	100
	西	地下	0~100	土层	/	/
		地上	0~100	绿化、车道等	公众	100
	北	地下	0~100	土层	/	/
		地上	0~100	绿化、车道、楼梯及楼梯间等	公众	50
	上方		/	覆土	/	/
下方		/	土层	/	/	
储存环隧道及 线站防护棚屋 (地上一层)	东	0~55	实验用房、实验准备间、空调机房、走廊、卫生间、真空调试大厅、展厅、出入口等	职业	100	
		55~100	内部道路、停车场、绿化用地、气瓶间等	公众	100	
	南	0~55	实验用房、实验准备间、变电所、空调机房、走廊、卫生间、物业管理、出入口等	职业	100	
		55~100	内部道路、停车场、绿化用地等	公众	100	
	西	0~55	控制室、实验用房、实验准备间、空调机房、走廊、卫生间、出入口等	职业	100	
		55~100	内部道路、停车场、气瓶间等	公众	100	
	北	0~55	实验用房、实验准备间、空调机房、走廊、卫生间、出入口等	职业	100	
		55~100	内部道路、绿化用地等	公众	100	
	上方		/	控制间、电源厅、高频站、空调机房、管线间、走廊、人行天桥等	职业	100
	下方		/	下穿车道、地下设备管沟、输运线坑道、土层	/	/
技术安全楼的 放射性废物暂	东	0~5	楼梯间、门厅	职业	10	
		5~50	消防车道、绿化	公众	20	

存间、源库、 刻度室	南	0~50	消防车道、绿化	公众	20
	西	0~50	室外空地	公众	20
	北	0~50	室外空地、停车位	公众	20
	上方	/	检测室、排烟空调机房	职业	2
	下方	/	土层	/	/

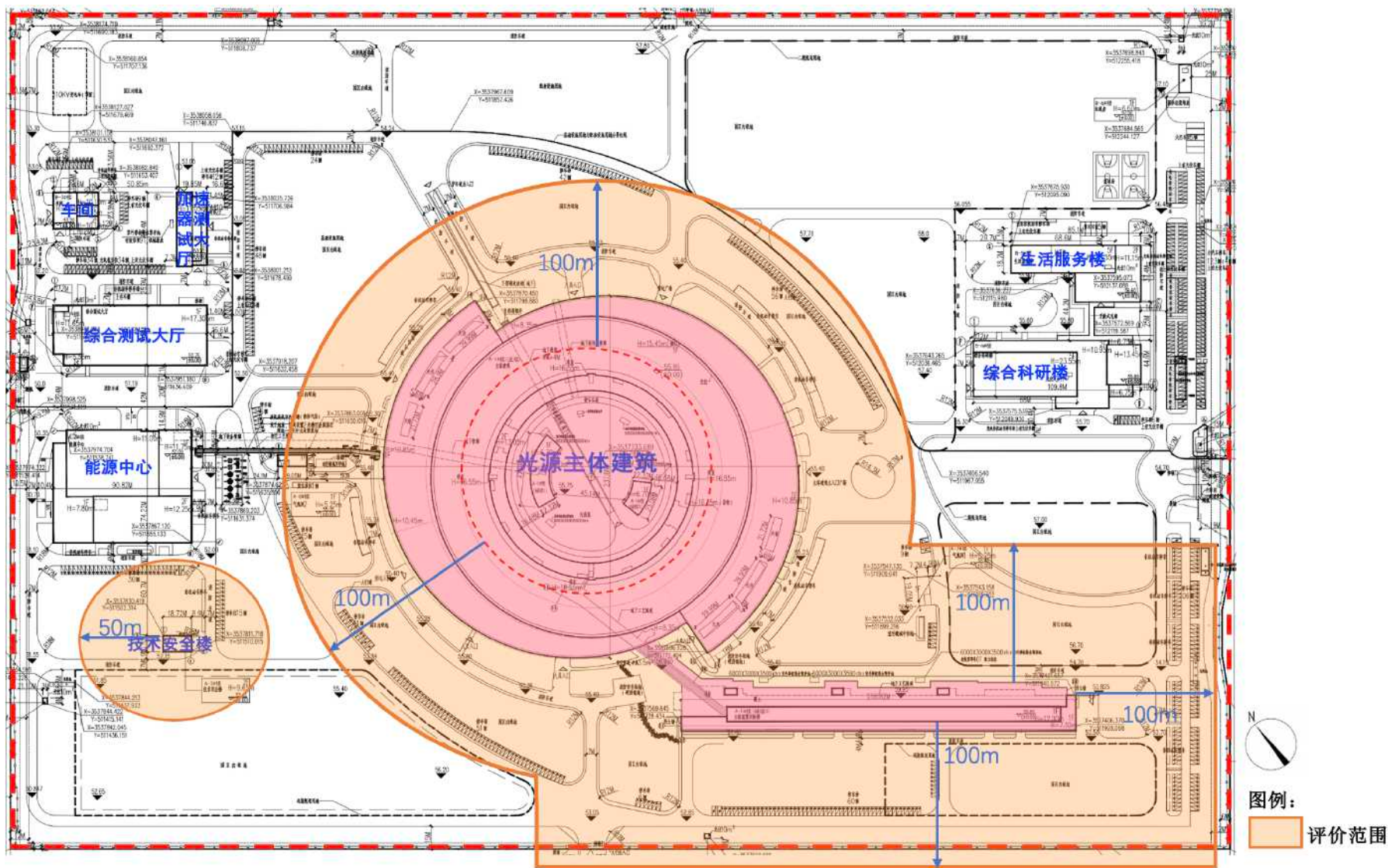


图 1-7 本项目电离辐射评价范围及环境保护目标分布示意图（地上部分）

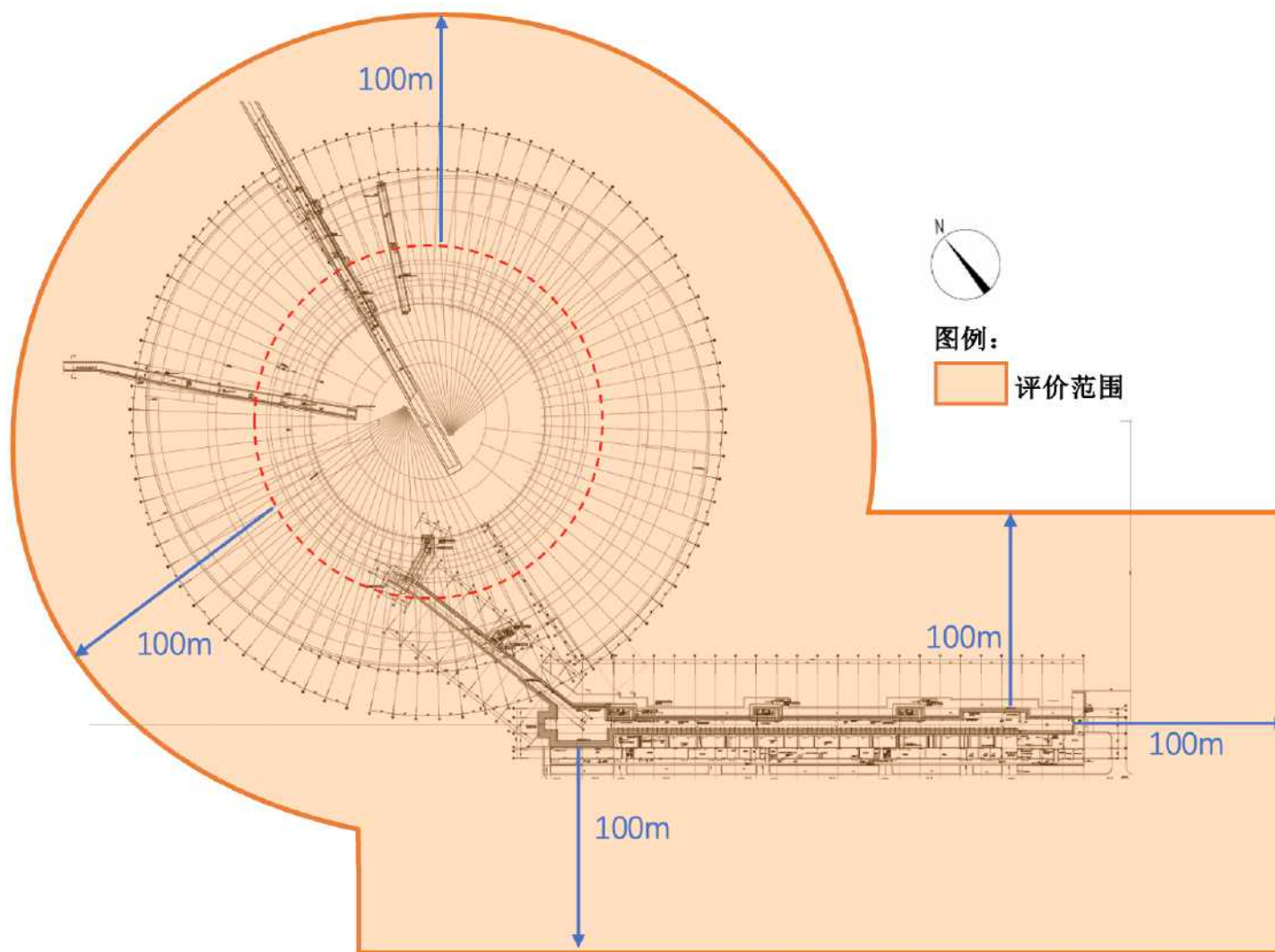


图 1-8 本项目电离辐射评价范围及环境保护目标分布示意图（地下部分）

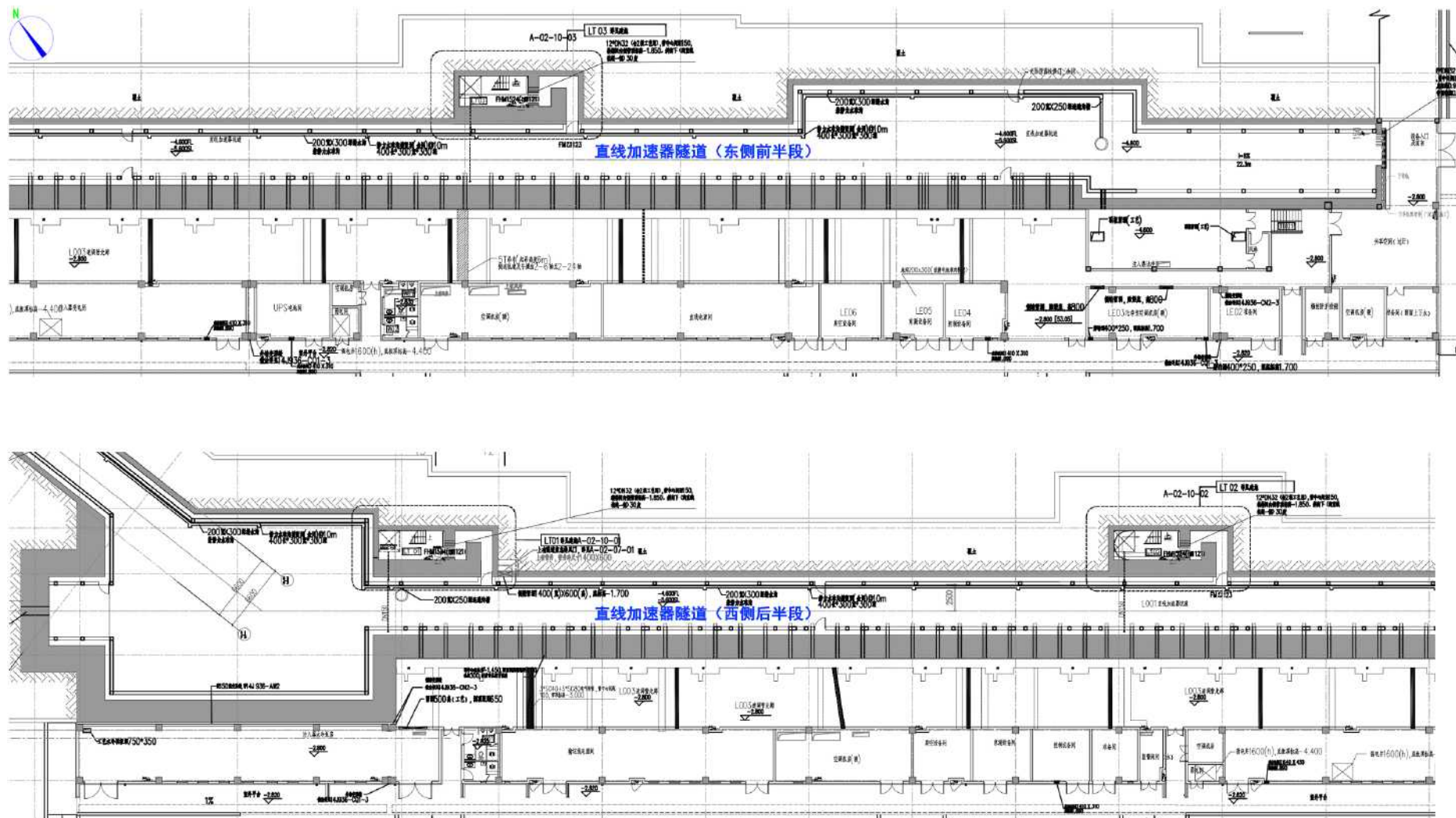


图 1-9 直线加速器隧道周围环境保护目标分布图（地下部分）

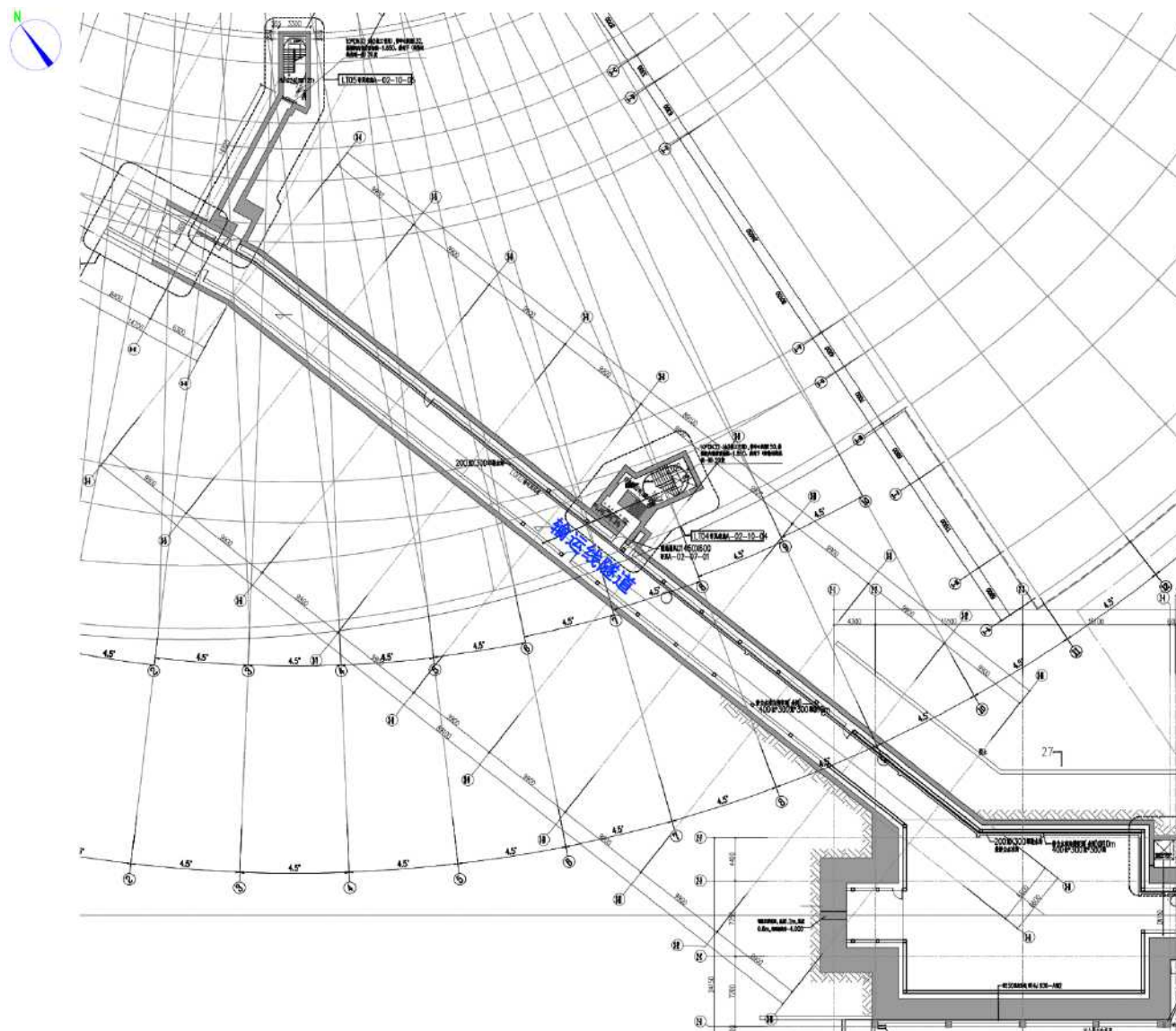


图 1-10 输运线隧道周围环境保护目标分布图（地下部分）

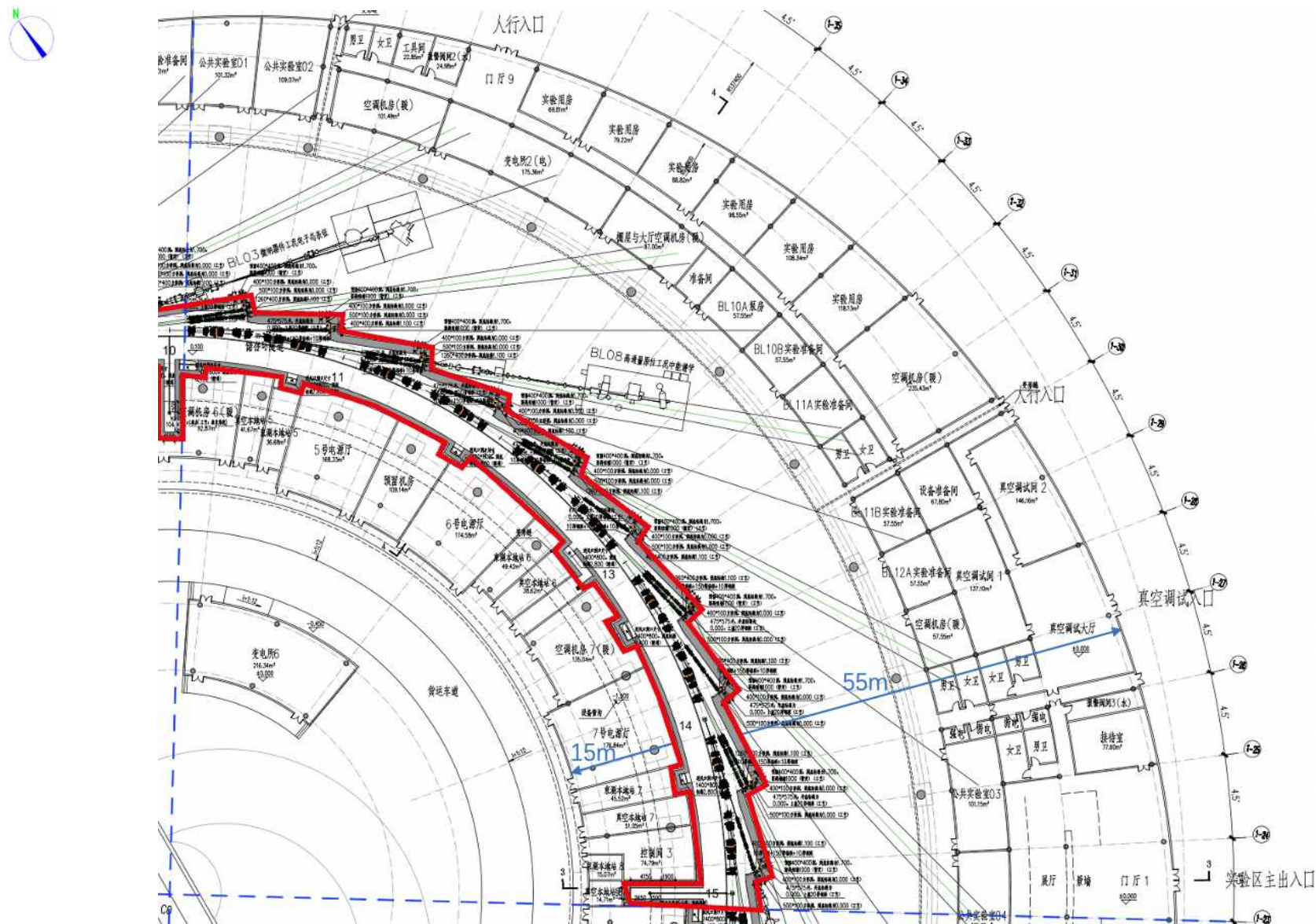


图 1-12 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（东侧）

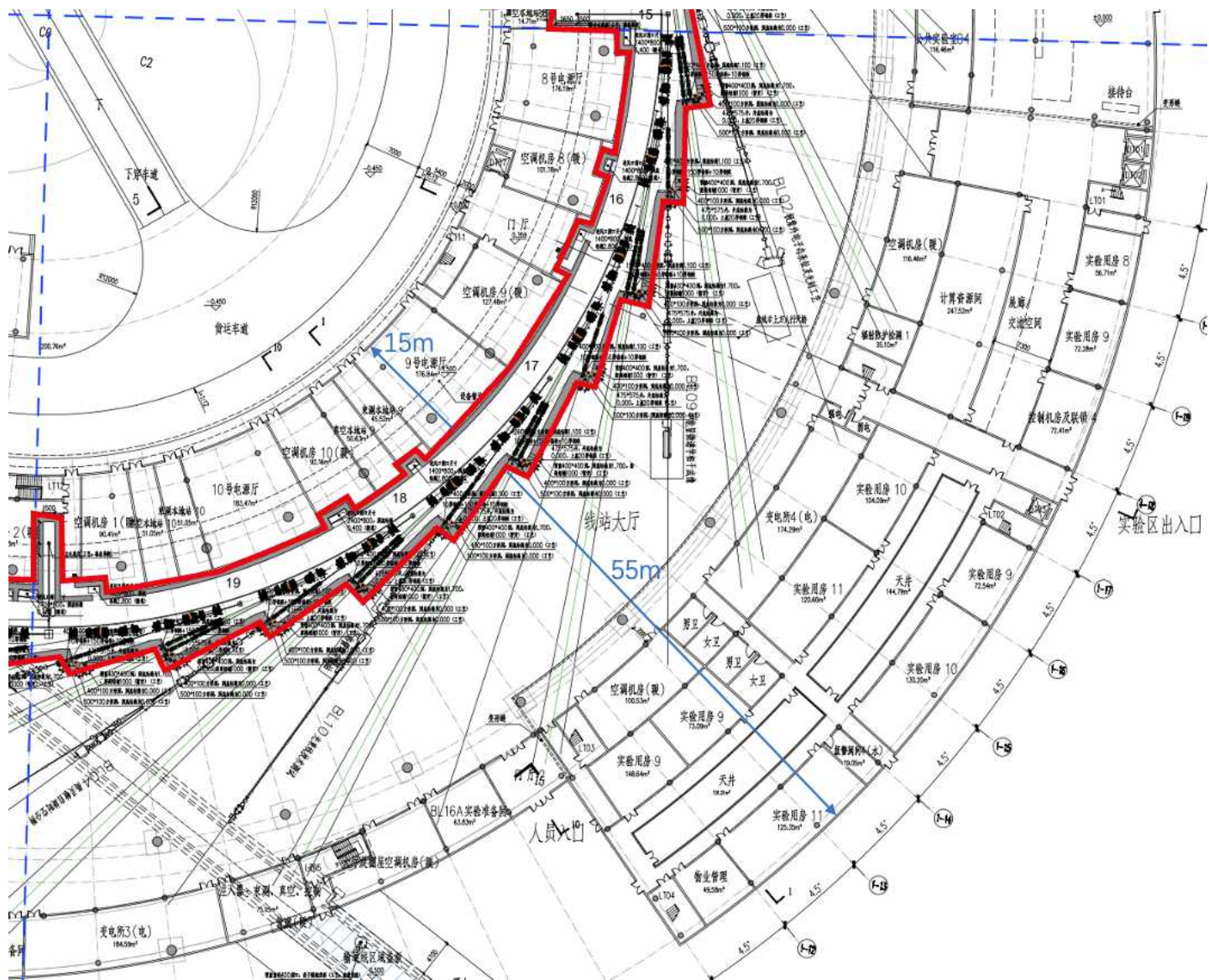


图 1-13 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（南侧）

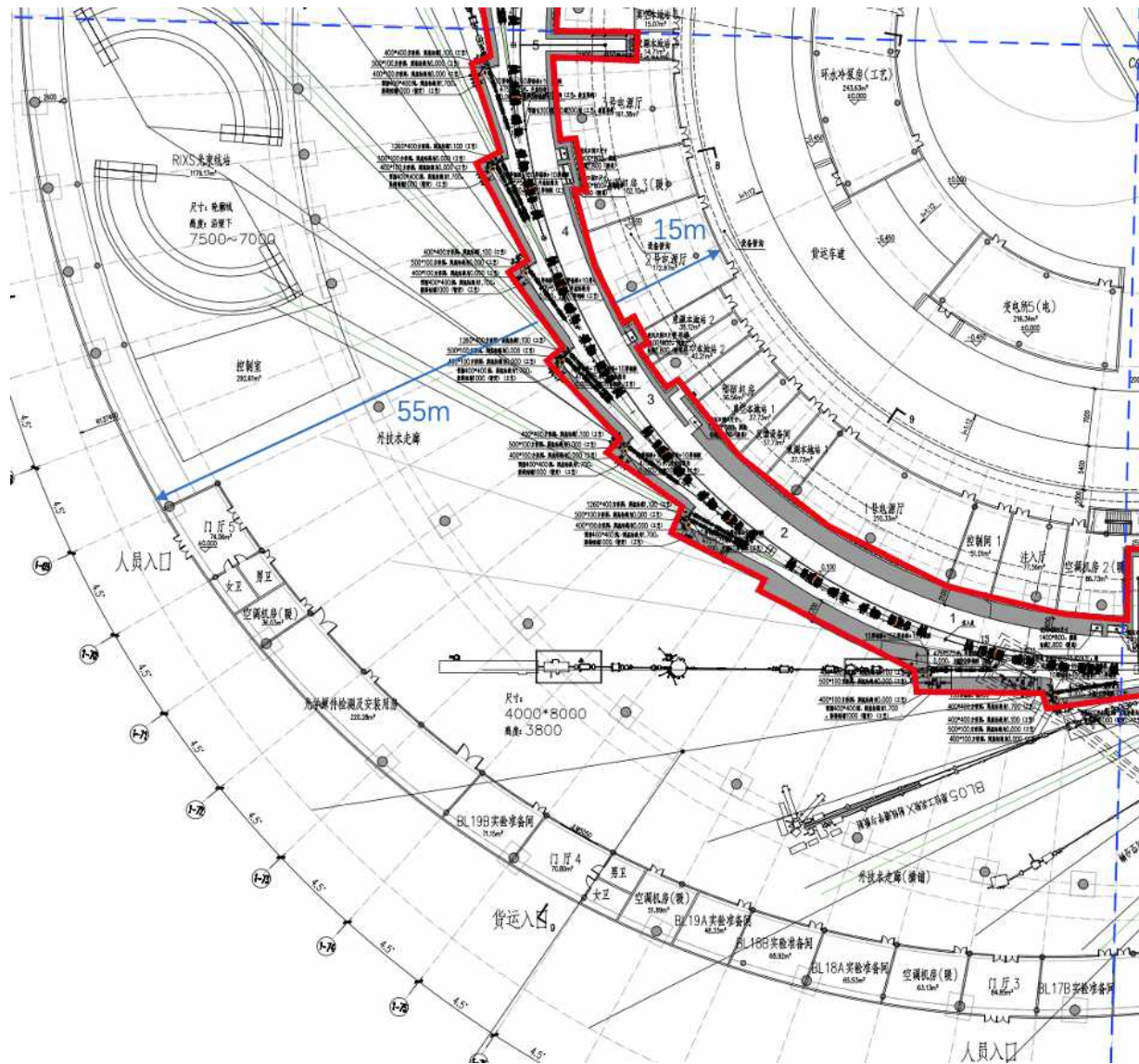


图 1-14 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（西侧）

1.5.2 非放评价工作等级、评价范围和保护目标

1.5.2.1 评价工作等级

(1) 大气环境影响评价工作等级

根据《环境影响评价技术导则—大气环境》(HJ 2.2-2018)要求,大气环境影响评价工作等级判别依据见表 1-21。

表 1-21 大气环境影响评价等级

评价工作等级	评价工作分级判据
一级	$P_{\max} \geq 10\%$
二级	$1\% \leq P_{\max} < 10\%$
三级	$P_{\max} < 1\%$

本项目主要大气污染物来自超声波清洗、原位反应过程中产生的非甲烷总烃废气,经估算非甲烷总烃最大落地浓度占标率 $P_{\max} \approx 0\%$,因此,本次大气环境影响评价工作进行三级评价。

(2) 水环境影响评价工作等级

项目建成后,运行时有少量生活污水产生。由于生活污水产生的量较少,水质较简单,经化粪池处理后接入市政污水管网;生产废水(COD、SS、LAS、石油类、 $\text{NH}_3\text{-N}$)经厂内废水处理站处理后接入市政污水管网,废水均通过合肥市长丰县岗集镇市政污水管网排入望塘污水处理厂,处理达标后排入南淝河。项目产生生活废水量 3600t/a(12t/d),生产废水量 2500t/a(8.3t/d)。根据《环境影响评价技术导则—地表水环境》(HJ 2.3-2018)的表 1 相关要求,本项目污水的排放方式属于间接排放,评价等级为三级 B,仅进行依托污水处理设施环境可行性分析。

(3) 声环境影响评价工作等级

该项目建成后的噪声源主要来源于能源中心(热工及冷冻站、低温中心、换热站及泵房等)运行产生的噪声,所产生的噪声经建筑物隔离和距离衰减后对周围声环境的改变不明显。本项目所处的声环境功能区为《声环境质量标准》(GB3096-2008)规定的 2 类,根据《环境影响评价技术导则—声环境》(HJ 2.4-2021)要求,本次声环境评价工

作等级为二级，对厂界声环境开展达标分析。

1.5.2.2 评价范围

(1) 大气环境

主要考虑施工期的大气环境影响，评价范围为施工厂界以及厂址附近的大气环境保护目标。

(2) 水环境

本项目地表水评价等级为三级 B，根据《环境影响评价技术导则—地表水环境》(HJ 2.3-2018)，无评价范围要求。

(3) 声环境

声环境影响的评价范围为厂界外 200m。

1.5.2.3 环境保护目标

(1) 大气环境

本项目位于安徽省合肥市长丰县岗集镇，根据现场勘查，项目厂界外 500m 范围内无自然保护区、风景名胜区、居住区和农村地区中人群较集中的区域，本项目厂界外 500m 范围内无大气环境保护目标。

(2) 水环境

本项目厂界外 500 米范围内无地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源。项目纳污河道为南淝河，本项目具体地表水环境保护目标见表 1-22。

表 1-22 地表水环境保护目标一览表

名称	坐标/km		保护对象	环境功能区	相对厂址方位	相对厂界距离
	X	Y				
地表水环境	6.0	-8.7	南淝河	《地表水环境质量标准》 (GB3838-2002) IV类标准	东南	≥10.8km
	1.2	-5.0	董铺水库		东南	≥5.2km

	5.8	0	大房郢水库	《地表水环境质量标准》 (GB3838-2002) II类标准	东	≥5.8km
	-0.59	-0.23	滁河干渠		西南	≥420m

项目周边最近的地表水环境保护目标为滁河干渠，不涉及环境风险事故废水排放，施工期需做好滁河干渠的保护，禁止施工废水等进入滁河干渠，造成水污染。

(3) 声环境

依据《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)，运营期噪声排放评价范围为厂界外 1m 处噪声，依据《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)，施工期噪声排放评价范围为场址边界，依据《环境影响评价技术导则声环境》(HJ2.4-2021)，本项目 200m 范围内无声环境保护目标。

2 自然环境与社会环境状况

2.1 地理位置

本项目所在的岗集镇地处长丰县南部，是合肥北大门，东与双墩镇毗邻，南与庐阳区相连，西与吴山镇和肥西县接壤，北与双墩镇和吴山镇交界，行政区域面积 157.6 平方千米。

合肥先进光源项目用地位于合肥市长丰县岗集镇，合肥大科学装置集中区北侧，地理位置图见图 1-5。

2.2 自然环境状况

2.2.1 地形地貌

岗集镇处于古老的江淮丘陵，地貌岗冲起伏，宏观地形西北高、东南低、呈现较缓的波状平原状态，地面标高一般在 12~45 米之间，合肥市区高程大致在 10.4~43.4 米，少许沿河低洼地区在 8.4~10.4 米。

区域内地形为岗冲起伏的丘陵，地貌单元属江淮丘陵的一部分。总体地势西北高东南低。规划建设用地位于江淮分水岭洪水位以上，不受洪水侵扰。地面高程（吴淞零点）在 29~50 米之间，局部起伏较大。高程的地势和较好的地质条件适宜开发建设。本区地貌单元为江淮丘陵岗地及坳沟，场地基岩起伏较大，上层第四纪土层以残积物为主。岩土分布自上而下为：素填土、粉质粘土、粘土、泥质砂岩强风化。土壤类型主要为浅肝田和马肝田土。区内地质为第三纪红砂岩，上覆粘土层较厚，地基承载力大于 170KN/M²。规划区属中等地震活动区，位于郊庐深大断裂带主要有东西向的蜀山断裂（F1）。在地质发展过程中经历了多次构造运动，有着复杂的地质构造格局，自公元 294 年至今，对合肥有影响的地震记录 3 次。国家地震总局 1977 年颁发的《全国地震烈度区划图》，划定合肥市的地震基本裂度为 7 度，工程抗震设计为 7 度设防。项目区域地质情况良好，土壤由耕植土、杂填土层、粉质粘土层、粘土等组成，表层为上更新冲积洪粘土，地基岩为第三纪红砂岩。地下水主要为孔隙水或承压水，水位埋深 1.6-2.80m，对混凝土无

侵蚀性。地震：地震设防烈度 7 度（50 年超越概率 10%）。区域内大部分地区为下蜀系黄土和第四纪堆积物发育的黄棕壤、水稻土，约占全部土地的 85%，其次为石灰岩（土）、砂黑土、紫色土。

区域土地利用类型：区域土地类型主要为科研用地等。

植被覆盖情况：2007 年-2017 年合肥市的植被覆盖空间分布特征是以主城区为中心，城区植被覆盖率低，外围植被覆盖率高。合肥市的植被覆盖度良好，植被覆盖度较高的地区占据合肥市大部分地区，区域中有一个显著的高植被覆盖区是位于西南部的大蜀山森林公园，这些都与实地的情况一致。2007-2017 年植被覆盖度变化分析可知，合肥市的植被覆盖度分布发生明显变化，植被覆盖度显著减少的区域主要分布在合肥市高新区、政务区、湖滨新区等经济发展活跃的区域，由于近几年建设力度较大，城市扩张，大量农田转为建设用地，导致该地区植被覆盖度显著减少。植被覆盖度增加区域明显少于减少区域，显著增加区域主要是由于水塘转化为农田绿地。合肥市多个区域植被覆盖度均有轻微改善，其中改善集中分布在合肥市的北部和南部，包括长丰县、肥西县和庐江县区域。

农业种植情况：岗集镇工商业发达，以机械、铸造等重工业为主。农业以蔺草、蔬菜、饲料草等经济作物为主。其中蔺草深加工后产品“榻榻米”远销日本、东南亚及台湾等国家和地区，是合肥地区的蔺草主产地，全省闻名的“蔺草之乡”。

2.2.2 水文特征

长丰县地处丘陵地带，属淮河流域。项目所在地附近水体为南淝河和巢湖。

南淝河是巢湖一级支流，发源于合肥中部的将军岭，毕子店一带，全长 7 公里，其间有四里河、板桥河、廿里河汇入，在施口处流入巢湖，流域面积 1700 平方公里，上游建有董铺、泗水、大官塘等大、中型水库，由于滁河干集的切割及董铺水库的蓄水，自董铺水库到施口 27.8km 河段已无主水源，径流来自降水补给和接纳合肥市 90% 的工业废液和生活污水，基本属渠化河道。市区河段水质自上而下污染逐渐加重。

巢湖是我国五大淡水湖泊之一，属长江下游左岸水系，距合肥市约 15km。巢湖流域面积 13350km²，其中巢湖闸以上 9130km²，多年平均水位为 8.31m，平均水深 3.06m，

水位变化幅度平均为 2.5m，水位为 7.5~7.8m 时湖泊水域面积约 760km²。

巢湖沿岸入湖河流有店埠河、南泥河、派河、十五里河、丰乐河、杭埠河、兆河等 33 条水系，主要通过裕溪河与长江进行水交流，因建巢湖闸和裕溪河闸，巢湖由原来的过水性河流性湖泊变成了受人工控制的半封闭、封闭式湖泊，其水域的水基本上不与长江水交流。



图 2-1 水源保护区域图

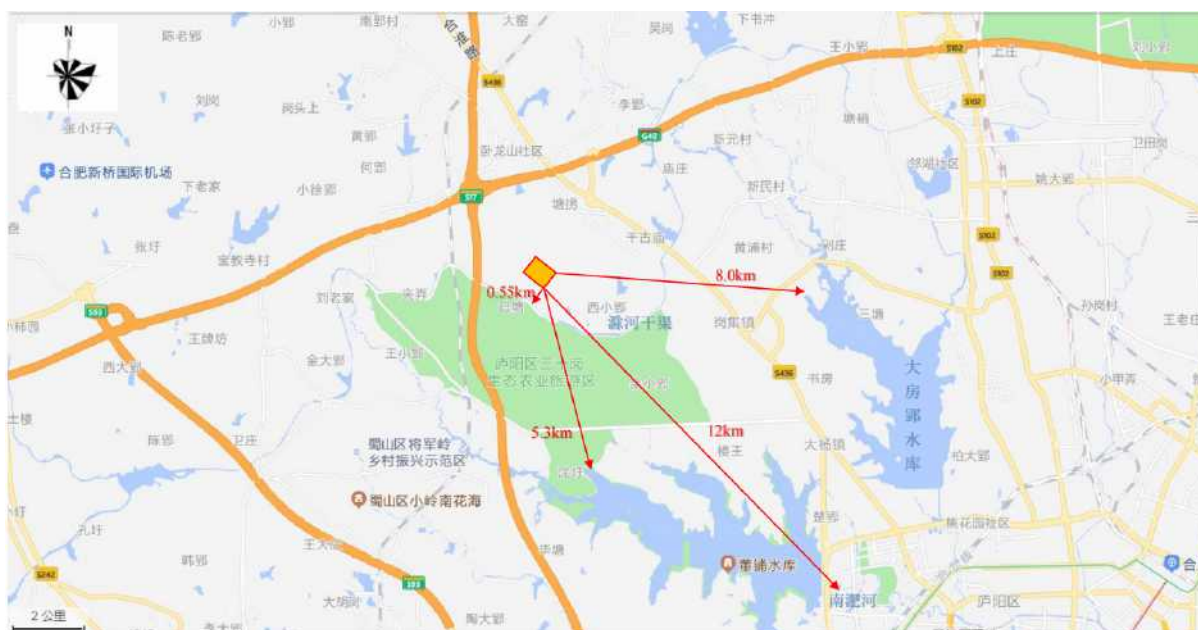


图 2-2 地表水环境保护目标分布图

地表水环境保护目标基本情况：

（1）滁河干渠：滁河干渠是集农业灌溉、城市防洪、城市供水、旅游观光于一体的大型水利工程。她沟通江淮两水系，横跨合肥市中部全境，西起肥西县新民坝，劈将军岭穿越江淮分水岭，沿分水岭南绕肥西县、长丰县、庐阳区、瑶海区、肥东县曲折东流，经滁河注入长江，全长 100.61 km（比南淝河还长 40 km）。

（2）董铺水库：董铺水库位于安徽省合肥市西北近郊，距市中心仅 7 公里，巢湖支流南淝河上游，大坝坐落在二环路旁，是一座以合肥城市防洪为主，结合城市供水、郊区农菜灌溉及发展水产养殖等综合利用的大型水库。

董铺水库集水面积 207.5 平方公里。1956 年建库时，设计总库容 1.73 亿立方米。1978 年加高加固后，提高到 2.42 亿立方米

（3）南淝河（纳污水体）：南淝河，古称施水，长江流域巢湖的支流。发源于合肥市西北部江淮分水岭东南侧，跨蜀山区、长丰县两地交界处高刘镇岗北村何老家村民组西北侧的红石桥。经鸡鸣山，向东南流入董铺水库，穿合肥城区，再转向东南流经合肥市包河区和肥东县边界，于施口注入巢湖。南淝河全长 70 公里，流域面积 1700 平方公里。

南淝河上游的董铺等水库是合肥市的水源地。合肥市围绕南淝河治理，推进岸线改

造、设施修补美化、生态修复，提升了沿岸生态环境。

(4) 大房郢水库：大房郢水库位于安徽省合肥市庐阳区杏花村街道境内，在南淝河支流四里河上，是庐阳区标志性民生工程。

2001 年 12 月 29 日开始动工修建，2002 年 10 月实现河道截流，2003 年底通过阶段验收并下闸蓄水，2004 年大房郢水库与董铺水库实现连通，是以防洪为主，结合城市供水的大型水库。

2.2.3 气候特征

本地区地处北亚热带北缘，属亚热带季风湿润区，主要气候特征是四季分明，气候温和，季风明显，雨量适中，光照充足，热量丰富，无霜期长。主要气候特征如下：年平均气温 16.0℃、极端最高气温 41.4℃、极端最低气温-20.6℃、年平均气压 1012.5hPa、年平均降雨量 998.4mm、年最大降雨量 1541.9mm、年平均蒸发量 1514mm、无霜期 230 天、降雨量年际与年内分配不均匀，年内 6、7、8 三个月的降雨量占全年降雨量的约 42%。全年平均风速为 2.82m/s，最大风速 18m/s，全年主要风向为东风，年静风频率为 3.68%。

2.3 社会环境概况

据长丰县人民政府资料，岗集镇位于合肥主城区西北角，距市区 5 公里、新桥机场 15 公里，合六叶高速、江汽大道横贯东西，合淮路、地铁 S1 线纵跨南北，镇域面积 162 平方公里，人口逾 20 万人。

2020 年，岗集镇完成财政收入 8.5 亿元；完成固定资产投资 50 亿元，其中工业投资 6.5 亿元；完成规模以上企业工业产值 65 亿元。位列 2019 年全国综合实力“千强镇”第 335 位、中部百强镇第 33 位。

镇内有 4A 级风景区中国非物质文化遗产园、鹭山湖风景区、青峰岭田园综合体。现为合肥综合性国家科学中心建设项目实施区、全国千强镇、中部百强镇，先后被批准为“全国发展改革试点镇”“安徽省产业集群专业镇”“安徽省新型工业化产业示范基地”“全国群众体育工作先进乡镇”“安徽省文明乡镇”“安徽森林城镇”“安徽省卫生先进

单位”“安徽省汽车零部件产业集群（基地）”。

当前，岗集镇聚力发展科创、汽配、现代物流、文旅四大产业：一是聚焦合肥综合性国家科学中心建设，以中国科大先进光源项目为平台，引优做强科技创新项目，孵育科创小镇；二是依托合肥（岗集）江淮汽车配件产业园，5年内培育产值破两百亿的汽配特色小镇；三是依托国家交通运输部第三批多式联运示范工程线下基地，中国南山·合肥岗集综合交通物流港，打造5G高端物流产业链集聚区、智慧供应链服务平台和物流特色小镇；四是依托4A级旅游景区中国非物质文化遗产园、青峰岭田园综合体，打造“一带一轴四核”岭上乡村振兴示范区和全国特色文旅小镇。

2.4 辐射环境质量现状与评价

2.4.1 环境天然放射性水平

2.4.1.1 天然贯穿辐射水平

根据《2021年全国辐射环境质量报告》（生态环境部，2022年11月），全国及安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果列于表2-1。

表 2-1 安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果（nGy/h）

区域	自动站数	年均值范围
全国	251	49.3~195.2
安徽	7	66.4~79.5
备注：自动测量结果包含仪器宇宙射线响应。		

2.4.1.2 土壤中天然放射性水平

根据《安徽省土壤中天然放射性核素含量调查》（朱锦秋等,辐射防护,1991,11(4):291-294），将安徽省土壤中天然放射性核素含量列于表2-2。

表 2-2 安徽省土壤中天然放射性核素含量，Bq/kg

监测项目	范围	按网格点平均值
------	----	---------

^{238}U	8.6~127.1	41.4
^{232}Th	10.1~118.1	53.1
^{226}Ra	6.1~99.1	41.3
^{40}K	175.7~1841.2	553.4

2.4.1.3 水体中天然放射性水平

根据《安徽省水体中天然放射性核素浓度调查》(陈淑萍等,辐射防护,1991,11(4):295-300),将安徽省水体中天然放射性核素含量列于表 2-3。

表 2-3 安徽省水体中天然放射性核素含量

水体类型	U, $\mu\text{g/L}$		Th, $\mu\text{g/L}$		^{226}Ra , mBq/L		^{40}K , mBq/L	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
江河	0.08~3.30	0.63	<0.03~0.37	0.13	1.9~11.4	4.9	18.9~212	67.6
湖泊	0.05~2.97	0.27	<0.03~0.27	0.14	1.8~18.7	3.3	8.9~192	41.2
水库	<0.02~0.39	0.06	<0.03~0.32	0.05	1.5~6.1	3.7	18.2~246	35.9
泉水	<0.02~1.88	0.76	<0.03~0.22	0.04	1.7~267	26.8	7.0~358	92.3
农村井水	0.03~14.6	2.62	<0.03~0.20	0.05	<0.6~16.6	4.7	8.9~1845	184
自来水	0.03~1.29	0.27	<0.03~0.09	0.07	<0.6~4.6	2.7	21.3~88.6	48.3

2.4.2 辐射环境现状监测

评价单位委托中国建材检验认证集团安徽有限公司(CMA: 210021289291)对项目拟建场址及周围环境进行了辐射环境本底检测,并委托中国原子能科学研究院(CMA: 170012184003)对项目拟建场址及周围环境的土壤、地下水及地表水进行了检测。相关检测报告见附件 9。

2.4.2.1 监测内容

参照《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021),根据本项目主要辐射污染因子的类别和特征,本次辐射环境现状调查选取的监测对象为贯穿辐射、土壤、地下水和地表水。本次辐射环境现状监测对象和监测项目见表 2-4。

本项目射线装置运行期间的辐射场为中子和 γ 辐射混合场,因此贯穿辐射监测内容包括 γ 辐射剂量率和中子剂量当量率。

本项目射线装置运行期间,贯穿射线装置底板屏蔽体的次级辐射可能会引起底板周

围土壤及地下水的活化，土壤活化的主要核素考虑 ^7Be 、 ^{22}Na ，地下水活化的主要核素考虑 ^3H 、 ^7Be 。因此本次辐射环境现状调查中，对项目所在地土壤、地下水及地表水中相关核素的活度浓度进行了分析。此外，考虑到总 β 能够反应某区域的总放射性水平，因此本次现状调查对土壤、地下水及地表水中总 β 的活度浓度也进行了分析。

表 2-4 监测对象和监测项目

序号	监测对象	监测项目
1	贯穿辐射	环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率
		中子剂量当量率
2	土壤	^7Be 、 ^{22}Na 、总 β 活度浓度
3	地下水	^3H 、 ^7Be 、总 β 活度浓度
4	地表水	^3H 、 ^7Be 、总 β 活度浓度

2.4.2.2 监测设备

本次监测使用的仪器设备详见表 2-5，仪器均在检定有效期内。

表 2-5 仪器设备及型号

仪器名称	型号	仪器编号	设备检定信息和技术指标
环境级 X- γ 剂量率仪	FH40G-L10+FHZ672 E-10	ACTC-SB-219	不确定度：6.5% (k=2) 检定单位：华东国家计量测试中心 证书编号：2021H21-20-3438489001 有效期限：2021.07.29-2022.07.28 能量响应范围：40keV-4.4MeV
中子周围剂量当量仪	FH40G-X+FHT 762 Wendi-2	ACTC-SB-229	不确定度：4.7% (k=1) 检定单位：中国计量科学研究院 证书编号：DLjs2021-11254 有效期限：2021.07.29-2022.07.28 能量响应范围：0.025eV-5GeV
低本底 α/β 测量仪	LB-4	038	本底计数率： $\alpha \leq 0.017 \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ， $\beta \leq 0.5 \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 效率： $\alpha \geq 65\%$ ， $\beta \geq 35\%$ 重复性： $\alpha \leq 2.5\%$ ， $\beta \leq 3.5\%$ 串道比： $\alpha \leq 3\%$ ， $\beta \leq 1\%$ 检定单位：中国计量科学研究院 证书编号：DLhd2021-12199 有效期限：2021.05.30 -2023.05.29
高纯锗 γ 能谱仪	BE3830P	13490	分辨力： $\leq 2.5 \text{keV}$ 短期稳定性： $\leq 0.05\%$ 活度： $\leq 7.5\%$ (k=3)

			检定单位：国防科技工业电离辐射一级计量站 证书编号：GFJGJL1005210002635 有效期限：2021.05.27 -2024.04.15
超低本底液 闪谱仪	Quantulus 1220	2200266	重复性：0.4% 短期稳定性：0.1% 活度测量相对误差：±10% 检定单位：国防科技工业电离辐射一级计量站 证书编号：JZ-A14-201106A501 有效期限：2020.11.06 -2022.06.21

2.4.2.3 监测方法

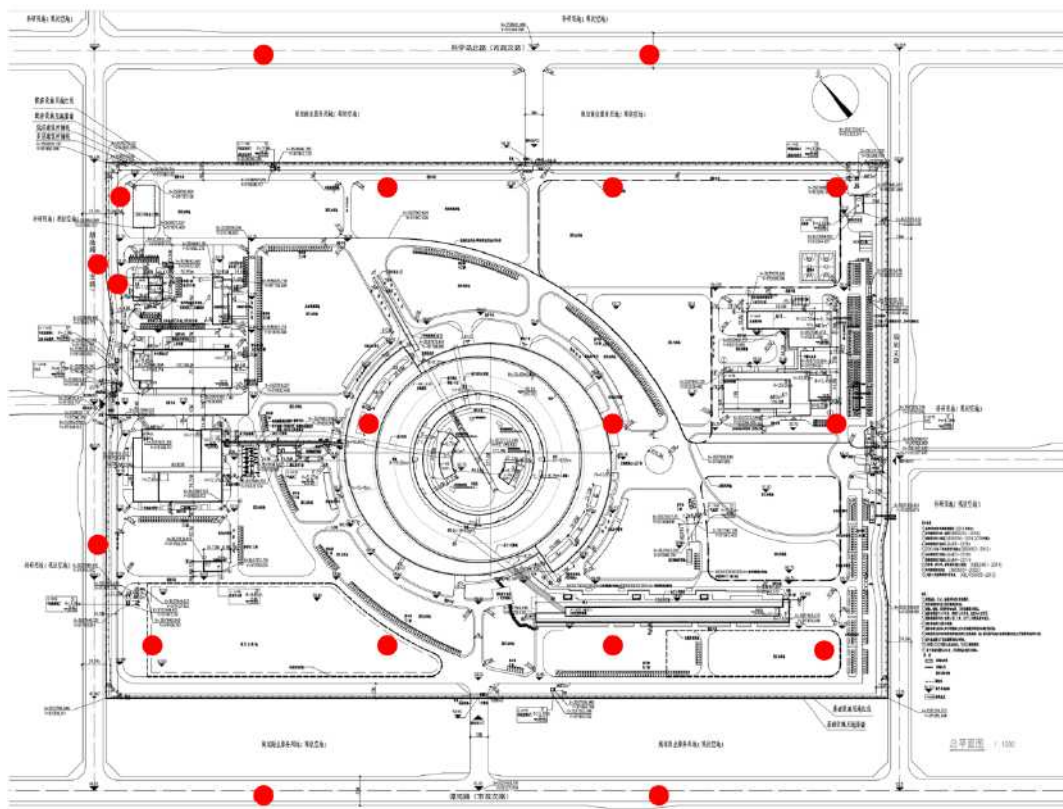
监测方法见表 2-6。

表 2-6 监测方法

序号	监测对象	监测方法	标准依据
1	γ 辐射剂量率、中子周围剂量当量率	采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。监测时，每点测量 10 次，取平均值。	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）
2	土壤	分别在指定的点位采集地表土，除去石块、草根等杂物，将采集到的样品现场混合后取 1kg。地表土样品送实验室预处理后采用高纯锗 γ 能谱仪及低本底 α 、 β 测量仪进行测量。	《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》（GB/T11713-2015）
3	水样	在项目所在地取水样，在实验室处理后，采用低本底 α 、 β 测量仪进行总 β 活度浓度测量， ^7Be 等核素采用高纯锗 γ 能谱仪进行活度浓度测量。 ^3H 采用 8ml 样品+12ml 闪烁液直接测量。	HJ 1126-2020 《水中氚的分析方法》； HJ 899-2017《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》； GB/T 16140-2018 《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》； GB/T 11713-2015 《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》。

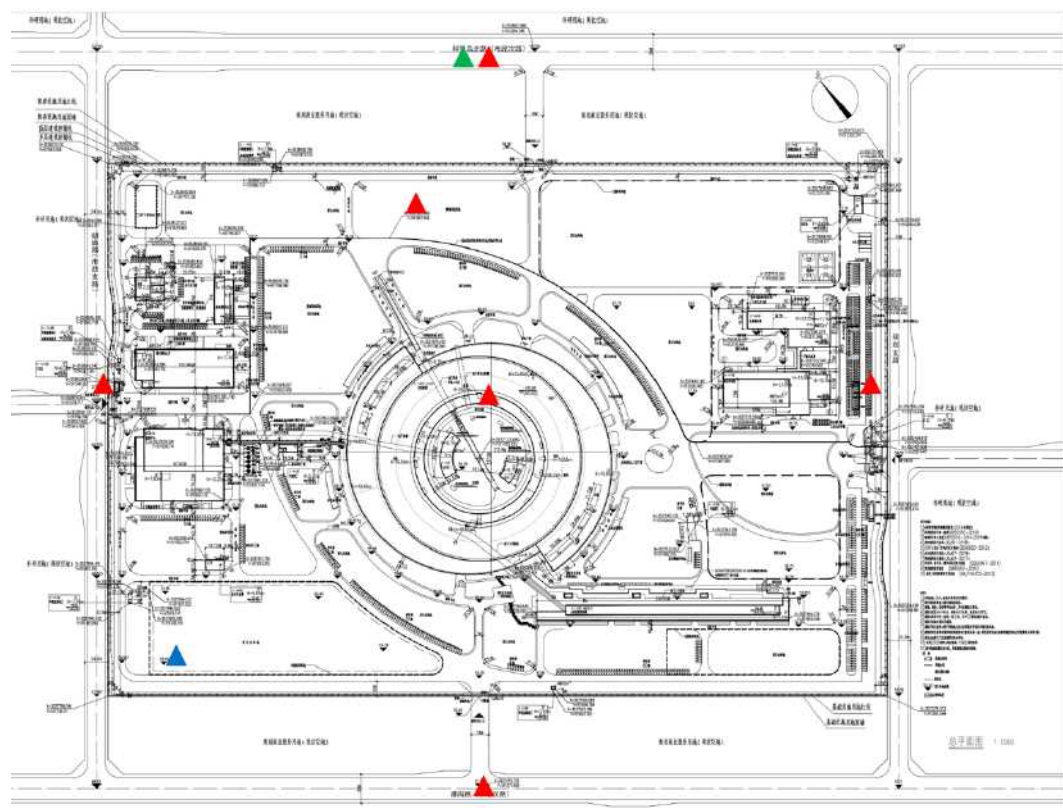
2.4.2.4 监测点位

经现场实地考察，在拟建场址及周围环境选取了若干监测取样点位，见图 2-3、图 2-4。



图例：
● γ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量当量率监测点位

图 2-3 拟建场址内部外照射剂量率监测点位图



图例：
▲ 土壤取样点位 ▲ 地下水取样点位 ▲ 地表水取样点位

图 2-4 土壤、地下水及地表水取样点位图

2.4.2.5 质量保证措施

- (1) 监测单位具备所监测项目的资质；
- (2) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- (3) 监测方法采用国家相关标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗；
- (4) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (5) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- (6) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；
- (7) 监测报告严格实行三级审核制度，经过校验、审核，最后由技术总负责审定。

2.4.2.6 监测结果与评价

2.4.2.6.1 外照射剂量率

本项目拟建场址及周围环境 γ 辐射剂量率和中子周围剂量当量率监测结果见表 2-7。

表 2-7 本项目拟建场址及周边 γ 辐射剂量率和中子周围剂量当量率监测结果

监测 点位	点位描述（各监测点位均位于室外）	γ 辐射剂量率 (nGy/h)	中子周围剂量当量率 (nSv/h)
1	项目北侧 1 号点位距地 1m 处	92.8 ± 2.2	$<LLD_n$
2	项目北侧 2 号点位距地 1m 处	89.4 ± 1.6	$<LLD_n$
3	项目北侧 3 号点位距地 1m 处	88.2 ± 1.0	$<LLD_n$
4	项目北侧 4 号点位距地 1m 处	80.8 ± 0.7	$<LLD_n$
5	项目东侧 5 号点位距地 1m 处	86.4 ± 1.2	$<LLD_n$
6	项目中间 6 号点位距地 1m 处	90.0 ± 1.3	$<LLD_n$
7	项目中间 7 号点位距地 1m 处	90.2 ± 1.6	$<LLD_n$
8	项目西侧 8 号点位距地 1m 处	89.1 ± 1.1	$<LLD_n$
9	项目南侧 9 号点位距地 1m 处	94.3 ± 0.9	$<LLD_n$
10	项目南侧 10 号点位距地 1m 处	87.8 ± 1.1	$<LLD_n$
11	项目南侧 11 号点位距地 1m 处	88.4 ± 1.9	$<LLD_n$
12	项目南侧 12 号点位距地 1m 处	93.2 ± 1.4	$<LLD_n$
13	谭岗路东侧 14 号点位距地 1m 处	91.3 ± 0.6	$<LLD_n$

14	谭岗路西侧 15 号点位距地 1m 处	92.2±0.4	<LLD _n
15	胡庙路南侧 16 号点位距地 1m 处	86.5±1.5	<LLD _n
16	胡庙路北侧 16 号点位距地 1m 处	87.3±1.4	<LLD _n
17	科学岛北路西侧 17 号点位距地 1m 处	91.3±0.9	<LLD _n
18	科学岛北路东侧 18 号点位距地 1m 处	89.4±0.8	<LLD _n

注：1.测量值未扣除宇宙射线影响。2. 中子周围剂量当量仪的探测下限 LLD_n：0.01μSv/h。

由上表可知，本项目拟建场址及周围环境 γ 辐射剂量率的范围为(80.8~94.3)nGy/h，中子周围剂量当量率均小于仪表探测下限。

对照表 2-1，本项目拟建场址及周围环境 γ 剂量率水平略高于 2021 年安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果，但仍处于全国环境 γ 辐射剂量率自动监测结果范围内，属于环境正常水平。

2.4.2.6.2 土壤

拟建场址土壤样品分析测量结果见表 2-8。由结果可知，项目建设地点的土样中，未检出 ⁷Be、²²Na。

表 2-8 土壤样品分析测量结果

样品名称	检测项目	结果（注：LD 为仪器探测限）
2022008-20220101-1 号土样	总 β	(6.21±0.27)E+02 Bq/kg
	⁷ Be	≤LD=2.4 Bq/kg
	²² Na	≤LD=5.2E-01 Bq/kg
2022008-20220101-2 号土样	总 β	(6.82±0.25)E+02 Bq/kg
	⁷ Be	≤LD=3.3 Bq/kg
	²² Na	≤LD=8.2E-01 Bq/kg
2022008-20220101-3 号土样	总 β	(5.56±0.23)E+02 Bq/kg
	⁷ Be	≤LD=1.8 Bq/kg
	²² Na	≤LD=5.1E-01 Bq/kg
2022008-20220101-4 号土样	总 β	(6.36±0.25)E+02 Bq/kg
	⁷ Be	≤LD=2.2 Bq/kg
	²² Na	≤LD=5.4E-01 Bq/kg
2022008-20220101-5 号土样	总 β	(5.70±0.18)E+02 Bq/kg
	⁷ Be	≤LD=3.2 Bq/kg
	²² Na	≤LD=7.3E-01 Bq/kg
2022008-20220101-6 号土样	总 β	(6.66±0.19)E+02 Bq/kg
	⁷ Be	≤LD=2.2 Bq/kg
	²² Na	≤LD=5.1E-01 Bq/kg

2.4.2.6.3 地下水、地表水

地下水、地表水的分析测量结果见表 2-9。由结果可知，项目建设地点的地下水、地表水中，均未检出 ^3H 、 ^7Be 。

表 2-9 地下水、地表水分析测量结果

样品名称	检测项目	结果（注：LD 为仪器探测限）
地下水	^3H	$\leq \text{LD}=2.5 \text{ Bq/L}$
	总 β	$(4.02\pm 0.88)\text{E-}02 \text{ Bq/L}$
	^7Be	$\leq \text{LD}=1.2\text{E-}01 \text{ Bq/L}$
地表水	^3H	$\leq \text{LD}=2.5 \text{ Bq/L}$
	总 β	$(2.10\pm 0.10)\text{E-}01 \text{ Bq/L}$
	^7Be	$\leq \text{LD}=1.2\text{E-}01 \text{ Bq/L}$

2.4.3 小结

对本项目拟建场址及周围环境辐射环境质量现状的调查结果表明，拟建场址及周围环境的辐射环境现状水平未见异常。

2.5 非放环境质量现状调查与评价

2.5.1 水环境现状评价

建设项目纳污水体为南淝河，执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）中IV类标准。为了解该项目所在区域地表水环境质量状况，本项目引用《合肥市 2022 年 6 月环境质量月报》内容：

本月对合肥市辖的南淝河、丰乐河、二十埠河、板桥河、塘西河、四里河、杭埠河、店埠河、长临河、兆河、拓皋河、裕溪河、十五里河、派河、白石天河、双桥河、董铺水库、大房郢水库、巢湖等主要河流、湖库的监测断面水质进行了监测，河流监测为《地表水环境质量标准》表 1 的基本项目（24 项），以及流量、电导率。湖库增测透明度、总氮、叶绿素 a 和水位等指标。评价指标为 GB3838-2002《地表水环境质量标准》表 1 中除水温、总氮、粪大肠菌群以外的 21 项指标。

南淝河：南淝河共监测 6 个断面，含支流关镇河断面、长乐河（沙河）断面，其中

施口断面为国考断面。监测结果表明亳州路桥和支流关镇河断面 2 个断面均为IV类水质，属轻度污染。施口、长江东大街、合钢二厂下游和长乐河（沙河）断面 4 个断面均为V类水质，属中度污染。

由上可知，项目区域内南淝河的水质达不到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中IV类标准要求。

改进措施：目前合肥市通过了《南淝河、十五里河、派河、双桥河水体达标方案》，其中南淝河方案列出重点工程 22 项，拟通过外源截污、底泥清淤、水生生态修复、旁路人工湿地净化、生态补水，加强周边企业监管，严格环境执法、完善排污许可制度和总量控制等措施，确保南淝河水质持续改善。

引用《长丰县岗集镇环境影响区域评估报告》中监测数据。其为安徽海峰分析测试科技有限公司于 2021 年 5 月 24~25 日的监测数据，其监测断面布置和监测项目见表 2-10 所示。

表 2-10 地表水水质监测一览表

河流	断面编号	断面位置	备注	监测项目
南淝河	W1	望塘污水处理厂排污口如南淝河上游 500m	对照断面	pH 值、COD、BOD ₅ 、SS、氨氮、DO、总磷、总氮、石油类、阴离子表面活性剂
	W2	望塘污水处理厂排污口如南淝河下游 500m	混合断面	
	W3	望塘污水处理厂排污口如南淝河下游 2500m	削减断面	

其监测结果见表 2-11 所示。

表 2-11 地表水水质评价指数一览表

采用 点位	采用 日期	检测项目									
		溶解氧	pH 值	化学需氧量	氨氮	总磷	总氮	五日生化需氧量	悬浮物	石油类	阴离子表面活性剂
W1	5.24	0.92	0.08	0.40	0.25	0.325	3.185	0.35	/	0.01	0.083
		0.91	0.12	0.50	0.24	0.300	3.71	0.44	/	0.01	0.083
	5.25	0.91	0.17	0.38	0.26	0.325	2.91	0.36	/	0.01	0.083
		0.89	0.1	0.43	0.25	0.325	2.9	0.41	/	0.01	0.083
W2	5.24	0.91	0.03	0.53	0.14	0.250	2.615	0.46	/	0.02	0.083
		0.90	0.06	0.68	0.16	0.250	2.66	0.59	/	0.02	0.083
	5.25	0.92	0.04	0.35	0.20	0.275	2.8	0.34	/	0.02	0.083
		0.88	0.08	0.40	0.20	0.275	2.75	0.38	/	0.02	0.083
W3	5.24	0.94	0.18	0.43	0.15	0.43	0.15	0.275	/	0.01	0.083
		0.92	0.14	0.48	0.14	0.48	0.14	0.300	/	0.01	0.083

	5.25	0.97	0.11	0.55	0.11	0.55	0.19	0.275	/	0.01	0.083
		0.92	0.16	0.50	0.16	0.50	0.20	0.275	/	0.01	0.083

2.5.2 大气环境现状评价

建设项目位于安徽省合肥市岗集镇，项目所在区域环境空气质量为二类功能区，根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018），基本污染物环境质量现状数据采用评价范围内国家或地方环境空气质量监测网中评价基准年连续 1 年的监测数据，或采用生态环境主管部门公开发布的环境空气质量现状数据。

根据合肥市生态环境局 2022 年 6 月 6 日发布数据（网址：<https://zwgk.hefei.gov.cn/public/5851/107752653.html>）显示，合肥市 2021 年区域空气质量现状如表 2-12 所示。

表 2-12 合肥市大气环境质量现状评价表

污染物	评价指标	现状浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	标准值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率%	达标情况
SO ₂	年平均质量浓度	7	60	12	达标
NO ₂	年平均质量浓度	36	40	90	达标
CO	第 95 百日平均浓度分位数	1000	4000	25	达标
O ₃	日最大 8 小时平均值第 90 百分位数	143	160	89	达标
PM ₁₀	年平均质量浓度	63	70	90	达标
PM _{2.5}	年平均质量浓度	32	35	93	达标

由上表可知，常规指标的监测结果能满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准。项目所在区域属于达标区。

2.5.3 声环境现状评价

本项目委托中国建材检验认证集团安徽有限公司对项目地的声环境现状进行监测，监测时间为 2022 年 12 月 10 日~11 日。监测报告编号：HJ20221208，监测结果统计见表 2-13，具体监测报告见附件 9。

表 2-13 厂界噪声监测结果汇总表 dB(A)

监测时间	编号	相对方位	执行标准	昼间监测值	夜间监测值
2022 年 12 月 10 日	1	项目东侧先进路距地 1.7m 处	2 类	50	43
	2	项目北侧科学岛北路距地 1.7m 处	2 类	45	44

2022 年 12 月 11 日	3	项目西侧禾冲路距地 1.7m 处	2 类	46	44
	4	项目南侧谭岗路距地 1.7m 处	2 类	51	45
	1	项目东侧先进路距地 1.7m 处	2 类	49	44
	2	项目北侧科学岛北路距地 1.7m 处	2 类	45	43
	3	项目西侧禾冲路距地 1.7m 处	2 类	46	45
	4	项目南侧谭岗路距地 1.7m 处	2 类	50	45
	2 类标准值			60	50

由上述监测数据可见，项目各边界测点声环境均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准，项目区域声环境质量良好。

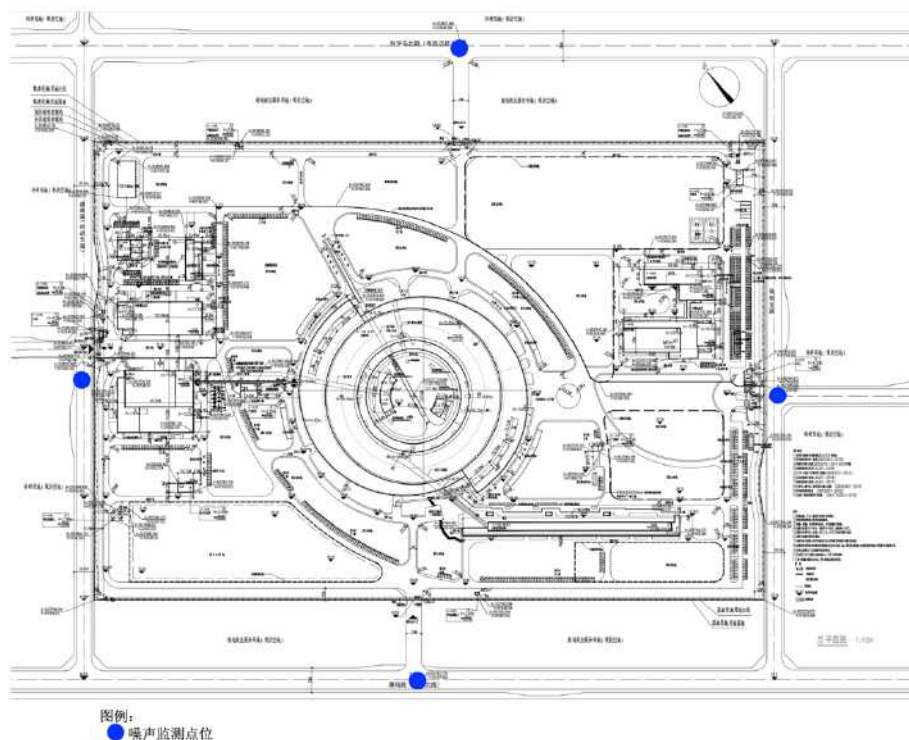


图 2-5 噪声监测点位示意图

2.6 场址适宜性评价

本项目所在区域地质条件良好，没有影响射线装置安全稳定运行的颠覆性因素。

结合本项目特征辐射污染因子和电离辐射环境影响评价范围，区域周边社会环境相对简单，条件较好。

环境质量和辐射现状调查结果表明，项目区域的辐射环境质量良好，环境电离辐射水平均处于当地天然本底波动范围内。

综上所述，本项目选址适宜开展所申请的核技术利用活动。

3 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

3.1.1 总体情况

HALF 园区总体布局以主体建筑为中心，其余建筑围绕主体建筑四周布置，详见附图 1 及图 3-1。涉及核技术利用建设内容的储存环及线站大厅位于园区中心区，注入器（含直线加速器和输运线）位于园区东南侧。本项目具体建设内容及规模见表 3-1 所示。核技术利用建设内容的情况如表 3-2 所示。

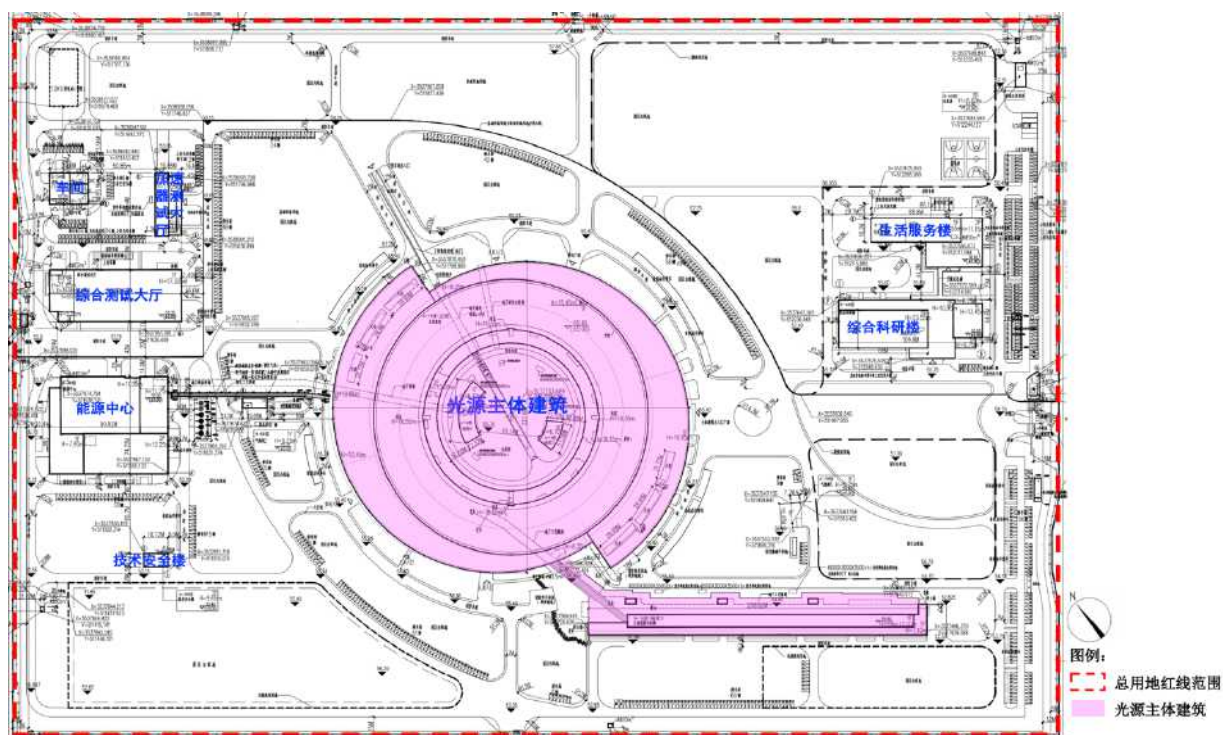


图 3-1 合肥先进光源总体布局示意图

表 3-1 一期项目建设内容及规模

序号	建筑名称			房间名称	园区位置	建筑层数	建筑层高，m	建筑面积，m²
1	主体建筑	注入器	直线坑道	直线加速器坑道	东南	B1F	4.9	2906
			注入器洁净室	注入器洁净室	东南	MF	5	113
			速调管走廊	速调管走廊	东南	1F	10.7	1622
			速调管走廊耳房	电源间、控制室、准备间等	东南	1F	5.8	1415
			输运线坑道	输运线坑道	东南	B1F	5.1	712
		储存环	储存环隧道	储存环隧道	中部	1F	4.3/5.9	4390
			储存环设备厅	高频站、电源间、束测间、排烟机房、设备夹层区等	中部	2F	11.9	5776
			天桥及各层过厅	天桥及各层过厅	中部	2F	11.9	1432
		实验部	线站大厅	线站大厅	中部	1F	15.7	20040
		周边裙房	线站准备间	线站准备间、变电所、空调机房	中部	1F	11.59	5126
			中央控制室	控制机房、控制室、辐射防护检测等	中部	2F	6	803
			真空调试间	真空调试间、空调机房、真空调试门厅等	中部	1F	11.4	692
			门厅/展厅	展厅、接待室等	中部	1F	11.59	1363
			实验部调试区	实验用房、研究生机房、空调机房、变电所等	中部	2F	6	2290
			综合实验区	实验用房、会议	中部	2F	6	1801
		地下通道	下穿通道	下穿隧道	中部	B1	6.3	506
			设备管廊	设备管廊	中部	B1	5.9	1186
			雨污水管廊	雨污水管廊	中部	B1	4.5	264
2	能源中心（冷冻及热工、低温中心、换热站及泵房等）			低温中心、消防水泵房、冷冻机房与工艺冷却水机房、变电所、空压站等	中西	局部2F	12.1	8520

3	技术安全楼	放射性固体废物暂存间、刻度室、检测室、源库等	中西	2F	8.6	390
4	气瓶间	气瓶间	中部	1F	/	300
5	环境监测站	环境监测站	边界	1F	/	0
6	门卫	门卫	中东	1F	/	0
地上建筑面积						62642
地下建筑面积						5665
总建筑面积						68307

表 3-2 本项目核技术利用建设内容

装置名称	建设内容	数量	主要技术指标	备注
合肥先进光源 (HALF)	注入器（直线加速器及输运线）	1 台	电子能量 2.2GeV、单束团电荷量 1nC、重复频率 10Hz	I 类 射线装置
	储存环	1 台	电子能量 2.2GeV、流强 350mA	
	光束线站	首批 12 条	能源转换及天体化学光电质谱线站（5-20eV）	——
			极紫外电子态表征及光刻工艺线站（6-135eV）	
			微纳器件工况电子态表征线站（80-1000eV）	
			高灵敏自旋时空分辨线站（250-2000eV）	
			原位工况软 X 射线谱学与散射线站（180-2500eV）	
			软 X 射线显微谱学相干成像线站（250-2500eV）	
			多尺度时空分辨共振相干散射线站（250-4000eV）	
			高通量原位工况中能谱学线站（2300-6500eV）	
			中能显微谱学成像线站（2100-6500eV）	
			测试光束线站（250-2000eV）	
			束团波带片成像法截面测量线站（6.4keV）	
			束团长度测量/束团针孔成像法截面测量线站（21.7~22.9keV）	

3.1.2 主体建筑

主体建筑由 5 个功能区组成：注入器（包括直线坑道、注入器洁净室、速调管走廊、速调管走廊耳房、输运线坑道五个部分）、储存环（包括储存环隧道、储存环设备厅、排烟机房）、实验部（线站大厅）、周边裙房（线站准备间、中央控制室、真空调试间、实验部调试区、综合实验区）、地下通道（包括下穿通道、设备管廊、雨污水管廊）。主体建筑图纸详见附图 2。

3.1.2.1 注入器

（1）直线坑道净宽约 4m，净高约 3.5m，室内标高-4.6m，建筑长度约 262.2m，面积为 2906m²。直线坑道东侧有一处 7.6×30.4m 的凸出坑道，地面设车道经前室下坡进入直线坑道内，坑道外墙均为双套夹层，内墙为砖墙，外墙为抗渗混凝土墙体。直线坑道及输运线坑道砖墙上设有 12 个检修门，检修门宽 1m、高 2.1m。直线坑道南墙墙厚 2.2m，其中东侧区域（坡道）墙体长 27.5 米，墙厚 1.0 m；北墙墙厚 0.5m 混凝土（密度 2.35g/cm³）+4.7m 夯土（压实度 0.8，密度 1.44g/cm³）+0.4m 混凝土（密度 2.1g/cm³）挡土墙；顶板厚度 0.8m 混凝土（密度 2.35g/cm³）+0.2m 内衬顶板（密度 2.35g/cm³）+0.2m 细石混凝土（密度 2.1g/cm³）+3.6m 夯土（压实度 0.8，密度 1.44g/cm³），详见下图。

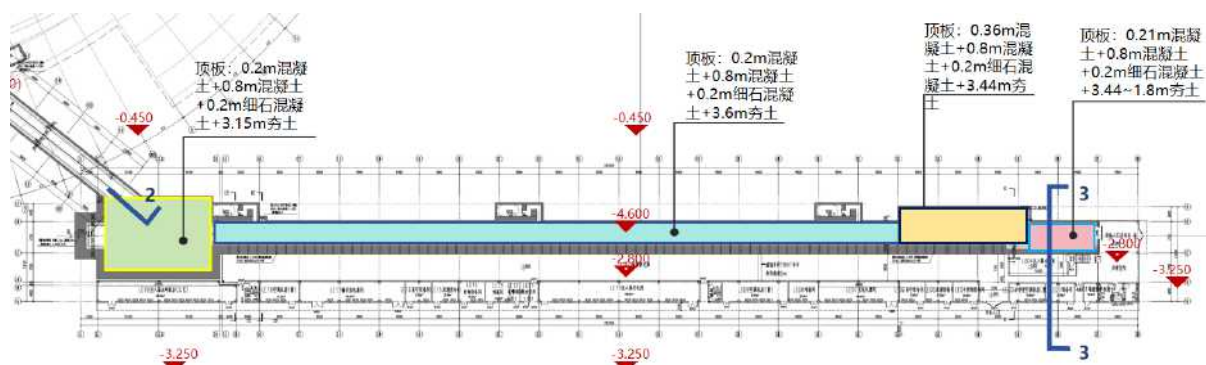


图 3-2 直线坑道顶板屏蔽体示意图

废束桶位于直线坑道末端，废束桶嵌入 2.7m 厚的混凝土墙体内，预留洞尺寸 0.8m（宽）×1.2m（高），中心标高-3.4m。直线坑道废束桶区域南北两侧墙厚度 2.6m，顶板厚度 2.5m+0.2m。输运线隧道置于地下，两侧侧墙墙厚 0.5 m；室外部分顶板为 0.2m 混

凝土（密度 2.35g/cm^3 ）+1.7m 混凝土（密度 2.35g/cm^3 ）；两侧飞边 $3.0\text{m}\times 0.5\text{m}$ 混凝土。线站大厅区域输运线顶板厚度 1.6m 混凝土（密度 2.45g/cm^3 ）+0.2m 混凝土（密度 2.0g/cm^3 ）。储存环隧道区域输运线顶板厚度为 1.8m 混凝土（密度 2.45g/cm^3 ）+0.1m 混凝土（密度 2.0g/cm^3 ）。直线坑道及输运线坑道顶板预留 3 个准直控制点透视孔，分别位于直线坑道起始点后 0.5m 处、直线坑道与输运线坑道交叉处、输运线中段，透视孔直径 0.41m，运行期间透视孔为封闭状态。

覆土区域为 0.2m 厚细石混凝土和 1.8~3.6m 厚覆土。

直线坑道南侧墙体 84 个预留洞，预留洞直径 0.31m，洞中心距标高-1.45m，直线坑道侧洞口的下端处均设置长 $0.3\text{m}\times$ 宽 $0.3\text{m}\times$ 高 0.3m 的牛腿。注入器洁净室处预留 2 个直径 100 mm 洞口，洞中心标高-3.4 m。

(2) 输运线坑道标高为-4.6m，坑道净宽约 4m，其中 90m 长度的坑道净高约 2.8m，14m 长度的坑道净高约 3.5m。输运线坑道与直线坑道相连通，另一端延伸至主体建筑储存环隧道之下。输运线坑道外墙均为双套夹层，内墙为砖墙，外墙为抗渗混凝土墙体。

(3) 注入器洁净室位于速调管走廊东侧。

(4) 速调管走廊位于直线加速器坑道南侧，室内标高-2.8m，建筑长度约 217m，层高约 10.7m，净宽约 6.6m；设一部载重 5 吨的单梁行车，吊钩下距地 6m，行车跨度 5.9m。

(5) 速调管走廊耳房层高约 5.8m，主要功能为电源间、变电所、准备间、水冷泵房等。

3.1.2.2 储存环

(1) 储存环隧道位于线站大厅中央，工艺周长为 480m，净高 3.5m，储存环隧道由内外墙及顶板均为混凝土墙体，其中非注入区锯齿墙长墙厚 1m，短墙厚 $1\text{m}+15\text{cm Pb}$ ，内墙厚 0.6m，顶板厚 0.8m；注入区（注入点上游长墙厚 1.9m，弧形墙厚 2.7m，弧形墙下游长墙厚 1.8m，内墙厚 2.1m，顶板厚 2.4m。顶盖设为可开启式以便设备安装和后期维护。储存环隧道锯齿墙短边预留长 $0.4\text{m}\times$ 宽 0.4m 洞或长 $1.26\text{m}\times$ 宽 0.4m 洞，洞口中心距储存环隧道地面 1.2m；预留长 $0.5\text{m}\times$ 宽 0.1m 洞，洞口底标高 0.00。储存环隧道

锯齿墙长墙(每个锯齿墙长墙)间隔预留 $0.4\text{m} \times 0.4\text{m}$ 准直透视孔,洞中心距地高度 1.7m , 储存环隧道锯齿墙长墙(每个锯齿墙长墙)预留长 $0.4\text{m} \times$ 宽 0.1m 洞,洞口底标高 0.00 。

(2) 储存环设备厅位于线站大厅内圈,首层为两个货厅、设备区及内技术走廊,面积为 7274m^2 ,层高 11.59m 。功能包含排烟机房、设备夹层区工艺设备用房和配套建安设备用房。

3.1.2.3 线站大厅

线站大厅位于主体建筑中心圆环区内。线站大厅为单层,层高 18.4m ,面积为 18976m^2 。大厅内设有二部跨度约 35m 、起重量 20 吨的环形双梁吊车,吊车梁下距地高度 9m 。大厅内将有光束线沿切线方向从储存环隧道的锯齿墙引出,并在光束线的延长方向搭建实验用束线站。

大厅上空设人行天桥将储存环设备厅连接至实验部调试区及综合实验区二层。天桥在设备厅区域设两部垂直电梯。

线站大厅在南北两侧分别设置的人员入口和货运入口,且每个入口均设有门厅。

3.1.2.4 周边裙房

(1) 线站准备间位于线站大厅外圈布置,面积为 6253m^2 ,通过走廊连通所有线站准备间,形成环状通道。线站准备间内设置 3 个公共实验室,分别位于北侧线站准备间、西南侧线站准备间,有弱酸碱性废水排放,经集中收集处理后排放至污水管。

(2) 中央控制室位于主体建筑西侧,共两层。参观人员由首层参观一层展示厅,再通过两部客梯到二层的中央控制室,参观后可再从人行天桥到达储存环设备厅顶部。或出中央控制室后通过北侧客梯返回至一层,整个参观路径动线明确、不交叉。

(3) 真空调试间位于主体建筑东北侧,面积为 685m^2 ,层高 5.4m ,主要为真空调试大厅、真空调试间。

(4) 实验部调试区位于主体建筑西北侧,共两层,面积为 4980m^2 ,一层主要功能为实验用房,中间设有内庭院,层高 5.4m ;二层主要功能为实验用房、研究生机房,层高 5.6m ,设两部垂直电梯。

(5) 综合实验区位于主体建筑东南侧，共两层，面积为 3909m²，一层主要功能为展示交流区、实验用房，中间设有内庭院，层高 5.4m；二层主要功能为实验用房、研究生机房，层高 5.6m，设三部垂直电梯。

(6) 门厅/展厅位于主体建筑东侧，面积为 1414 m²，主要功能为展厅、接待室等。

3.1.2.5 地下通道

地下通道由三部分组成，北侧下穿车行消防通道，净宽 4m，面积为 361 m²；西侧通向能源中心的设备管廊，净宽为 3.5m，净高 3.9m，面积为 1354 m²。北侧雨污水管廊，主要功能雨水及污水排水管的穿越主体建筑筏板的通道，面积 232 m²。

3.1.3 能源中心

地上两层（局部地下一层）。地下设置管线转换间，面积 91m²，一层层高 9.8m，面积 6566m²，主要功能为低温大厅、热交换机房、冷冻机房及工艺冷却水用房等。二层层高 4.2m，面积 1775m²，地上地下总建筑面积 8432m²。地下设置管线转换间连通设备管沟连至主体建筑。能源中心图纸详见附图 3。

3.1.4 技术安全楼

技术安全楼共两层。一层层高 5 米，建筑面积为 195m²，主要有放射性固体废物暂存间、源库、刻度室；二层层高 3.5 米，建筑面积为 195m²，主要有检测室和空调、排烟机房等。技术安全楼图纸详见附图 4。

3.1.5 气瓶间

气瓶间共两个，一层，设置在主体建筑东、西两侧。

3.1.6 环境监测站

本次建设内容含环境监测站两个，一层，设置在园区西、南位置，采用钢结构岗亭式监测站。

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 装置原理及主要参数

HALF 装置主体主要由注入器、储存环、光束线站组成，整体布局如图 3-3 所示。HALF 的加速器总体建设采取以储存环和满能量高品质直线加速器为注入器相结合的同步辐射光源方案。其中，设计的储存环电子能量为 2.2 GeV，束流自然发射度约为 $86 \text{ pm} \cdot \text{rad}$ ，设计运行流强为 350 mA；在采用小孔径真空波荡器，在光子优化能区($\sim 1 \text{ keV}$)可获得高于 $1 \times 10^{21} \text{ phs/mm}^2/\text{mrad}^2/0.1\% \text{ BW/s}$ 的亮度和约 30% 的相干性。HALF 首批将建设 12 条光束线和实验站，提供谱学、成像、散射等多种先进实验技术，可实现电子态与化学态的百 nm 量级空间分辨、nm 量级空间成像分辨、meV 量级能量分辨、ns 量级时间分辨能力。

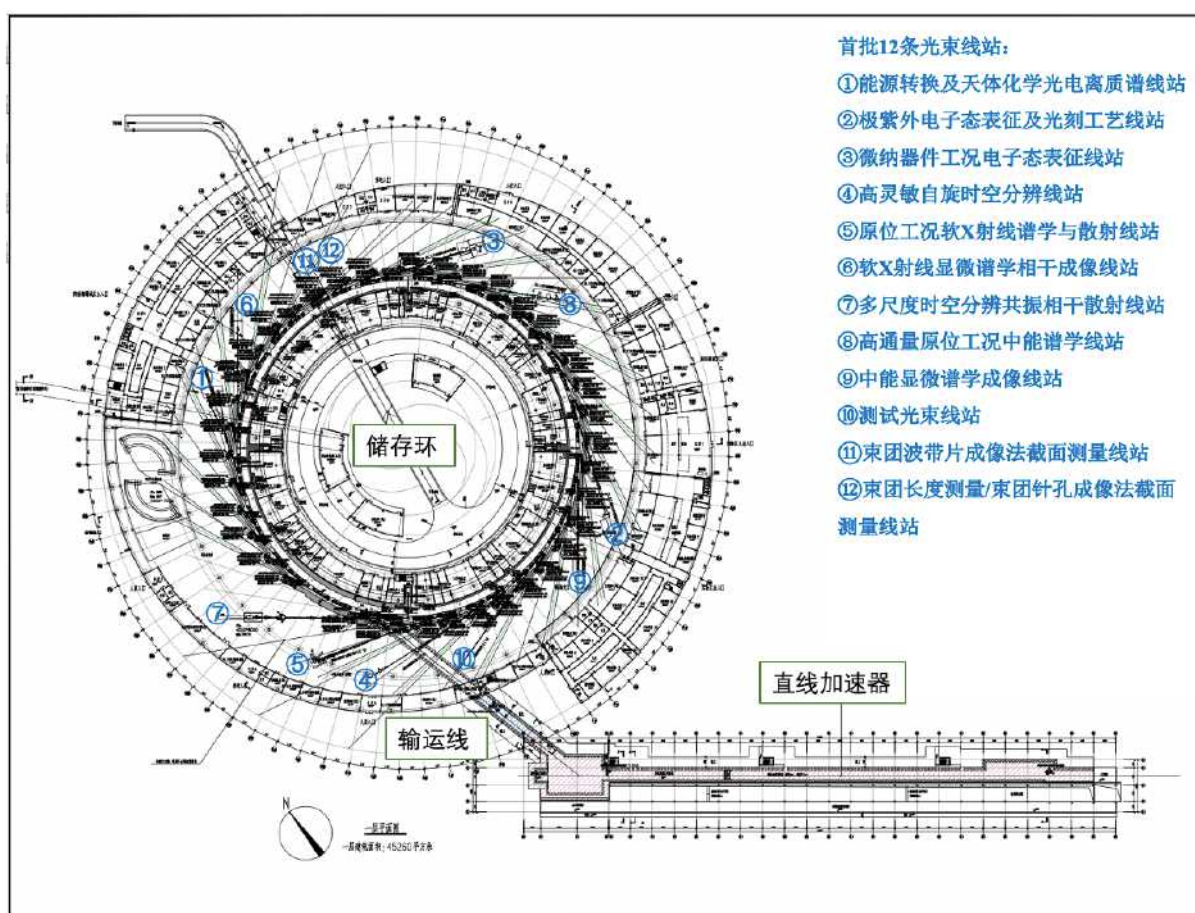


图 3-3 HALF 装置总体布局示意图

3.2.2 装置组成

HALF 装置主要由注入器、储存环和光束线站组成。各部分具体情况如下：

3.2.2.1 注入器

注入器负责为储存环提供高品质的注入束流。由于储存环运行在恒流模式，注入器提供的束流能量为 2.2 GeV，可以实现储存环的满能量注入。合肥先进光源储存环采用局部凸轨注入的方式实现离轴累积式注入。合肥先进光源储存环设计流强为 350 mA，电荷量为 560 nC。注入器布局如图 3-4 所示。

注入器包括直线加速器（含预注入器）和输运线等部分。注入器的微波主频率为 2856 MHz。根据储存环注入的要求，电子枪产生长度约 1 ns、电荷量不超过 1.6 nC 的束流脉冲，脉冲在预注入器经过加速后进入到直线加速器中加速。直线加速器由 40 个 3 米等梯度加速段构成。每个 3 米等梯度加速段的平均加速梯度约为 20 MV/m。电子经过加速后，能量最高可以达到 2.2 GeV 以上。工作时，38 个 3 米加速段对电子进行加速，2 个 3 米加速段用于热备份，既可以保证实现满能量注入，又可以提高系统运行的稳定性，有利于储存环的长期稳定运行。直线加速器中加速到满能量的电子经过输运线被传输到储存环。输运线的优化目标是高效、稳定的束流传输。

在水平和垂直方向，直线加速器与输运线利用四极磁铁进行聚焦。

直线加速器部分长约 262.2m，输运线长约 107m。直线加速器安装在半地下的坑道内。直线加速器轴线至储存环中心的水平距离为 147 米，它的束流位置低于储存环束流轨道平面 4.7 米。储存环注入用长直线节与直线加速器轴线夹角为 180°。直线加速器所需的微波功率源、聚焦电源、束测和控制等电器设备安放于与坑道平行布局的速调管走廊及其准备间内。输运线则将直线加速器的束流按环的注入要求加以处理并送至环注入点。

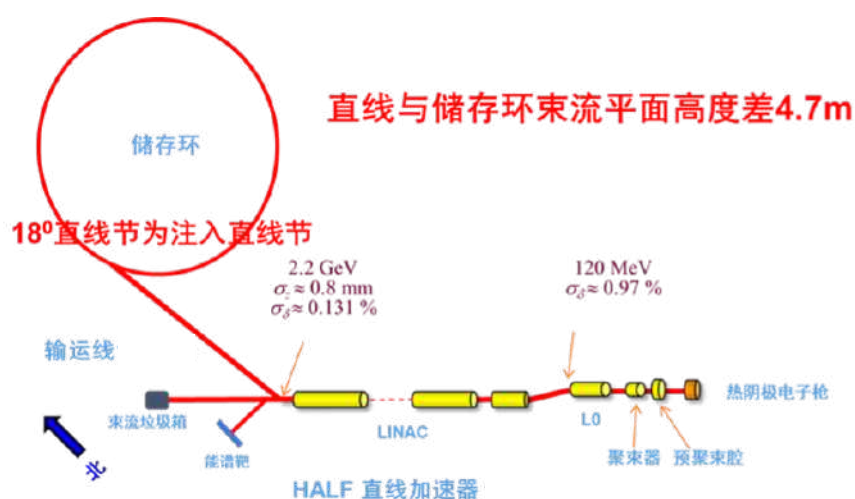


图 3-4 注入器系统布局示意图

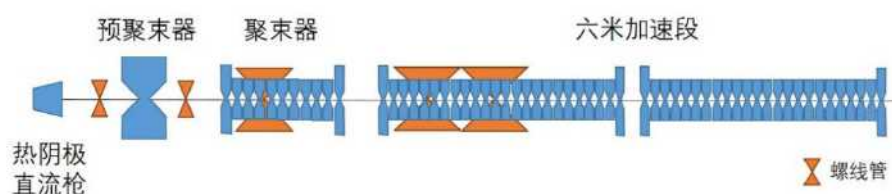


图 3-5 预注入器布局示意图

表 3-3 HALF 注入器主要设计参数

参数	数值
电子能量 (GeV)	2.2
电荷量 (pC)	300
能散 (rms)	0.2%
能量稳定性 (rms)	0.1%
束流几何发射度 (rms)	12 nm·rad

3.2.2.2 储存环

相比于目前主流的第三代同步辐射光源，基于衍射极限储存环的第四代同步辐射光源的性能得到了大幅度提升。HALF 储存环光源的先进性能主要体现在以下几个方面：

- 1) 在 1-2 keV 能区将获得超高平均亮度，高于 10^{21} photons/s/mm²/mrad²/0.1% B.W.；
- 2) 较好的空间相干性，光子能量 1.0 keV 以下可获得高于 30% 的空间相干；
- 3) 高度稳定性，轨道稳定性在百 nm 量级（10% 束流尺寸），通过恒流运行模式可以获得高流强稳定性。

表 3-4 HALF 储存环主要技术参数

参数	数值
电子能量 (GeV)	2.2
流强 (mA)	350
束流自然发射度 (pm·rad)	86
直线节数目	40 (20 长+20 中)
直线节长度 (m)	长直线节: 5.3; 中直线节: 2.2

HALF 采用了一种 modified hybrid 6BA Lattice 结构，储存环周长约为 480 m，自然发射度 86 pm·rad，最高储存流强 350 mA。储存环高频系统采用 500 MHz 超导高频腔，另外使用超导高次谐波腔拉长束团增加束流托歇克寿命同时抑制纵向耦合束团不稳定性并减弱束内散射效应(IBS)。为了获得低发射度，设计方案使用了纵向梯度二极磁铁、高场梯度四极磁铁、六极磁铁以及二四极组合功能磁铁，每个周期弯段各有 6 块电磁纵向梯度二极磁铁，16 块四极磁铁、8 块六极磁铁，4 块反向偏转二四组合功能磁铁，2 块八极磁铁和 4 块轨道快速校正磁铁。一个周期内的设备布局图如图所示。全环共 20 个长直线节和 20 个中直线节，其中两个长直线节分别安装注入系统和超导高频腔，至少 35 个直线节可用于安装插入元件。

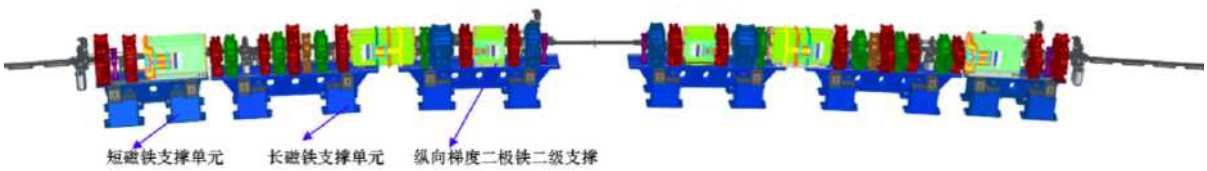


图 3-6 储存环一个周期设备布局图

3.2.2.3 光束线站

HALF 可建设不少于 35 条光束线，首批拟建设 12 条光束线站（9 条用户光束线站和 3 条测试线站），详见表 3-5，布局见图 3-3。

表 3-5 HALF 首批 12 条光束线站情况表

线站名称	能区, eV	实验方法	主要科学目标	衍射极限环优势
能源转换及天体化学光电离质谱线站	5-20	PIMS	燃烧、催化等能源转换过程中的化学反应机理研究	高亮度

极紫外电子态表征及光刻工艺线站	6-135	VUV-ARPES	新型量子材料的精细电子结构研究	高亮度、高能量分辨
微纳器件工况电子态表征线站	80-1000	Nano-ARPES, SX-ARPES	量子材料与原型器件的多自由度电子特性研究	高亮度、高相干性、微聚焦
高灵敏自旋时空分辨线站	250-2000	XMCD、XFMR、PEEM、XMLD、XAS、XLD	能源存储与转化材料的机理和产业应用研究	高亮度、微聚焦
原位工况软 X 射线谱学与散射线站	180-2500	NAP-XPS, In-situ /Operando RIXS	能源/生命/轻质材料的时空与化学分辨研究	高亮度、高相干性、微聚焦
软 X 射线显微谱学相干成像线站	250-2500	STXM, Ptychography	量子材料和自旋电子学器件的磁性和电子特性研究	高亮度、高相干性、高能量分辨
多尺度时空分辨共振相干散射线站	250-4000	RSoXS, TReXS, XPCS, Resonant XPCS, QM-REXS	能源与催化体系的原位和工况应用研究	高亮度
高通量原位工况中能谱学线站	2300-6500	AP-XPS, XAS, XES, TXPS	能源/器件/轻质材料的时空与化学分辨研究	高亮度, 高相干性
中能显微谱学成像线站	2100-6500	Ptychography, TXM	工况下能源/生物物质交叉体系化学分辨成像	高亮度, 高相干性
测试光束线站	250-2000	/	衍射极限光源中光束线新技术研究	高亮度, 高相干性
束团波带片成像法截面测量线站	6400	/	束团波带片成像法截面测量	高亮度, 高相干性
束团长度测量/束团针孔成像法截面测量线站	2170~2290	/	束团长度测量/束团针孔成像法截面测量	高亮度, 高相干性

3.2.2.4 非放部分实验用原辅材料及仪器设备

非放部分实验用原辅材料情况见表 3-6。

表 3-6 非放部分实验用原辅材料情况表

序号	名称	重要组分、规格	年耗量	厂内存储方式	来源及运输
1	清洗剂 (弱碱性)	表面活性剂+弱碱, 25L/桶	3 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车
2	清洗剂 (弱酸性)	表面活性剂+弱酸, 25L/桶	2 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车
3	乙醇	乙醇, 分析纯, 500mL/瓶	0.8 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车

4	丙酮	丙酮, 分析纯, 500mL/瓶	0.1 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车
5	异丙醇	异丙醇, 分析纯, 500mL/ 瓶	0.05 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车
6	乙二醇	乙二醇, 分析纯, 500mL/ 瓶	0.01 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车
7	石油醚	石油醚, 分析纯, 500mL/ 瓶	0.05 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车
8	机械泵油	P3 机械泵油, 1L/桶	0.02 吨	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 普通运输
9	液氮	液氮	700 吨	液氮储罐	气体供应商, 危化品运输车
10	氦气	氦气, 99.999%, 40L 钢瓶	700 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
11	氩气	氩气, 99.999%, 40L 钢瓶	150 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
12	氮气	氮气, 99.999%, 40L 钢瓶	100 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
13	氧气	氧气, 99.999%, 40L 钢瓶	10 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
14	二氧化碳	二氧化碳, 99.999%, 40L 钢瓶	5 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
15	一氧化碳	一氧化碳, 99.999%, 40L 钢瓶	2 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
16	甲烷	甲烷, 99.99%, 40L 钢瓶	1 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
17	乙烯	甲烷, 99.99%, 40L 钢瓶	2 瓶	气瓶间存放	气体供应商, 危化品运输车
18	样品/催化剂	各种样品/催化剂	1 千克	实验室化学品 专用试剂柜	试剂供应商, 危化品运输车
19	水	/	202500 吨	/	市政管道

原辅材料理化性质见表 3-7。

表 3-7 原辅材料理化性质

名称	主要成分及理化性质	燃烧爆炸性	毒性毒理
清洗剂 (弱碱性)	表面活性剂+弱碱	/	/
清洗剂 (弱酸性)	表面活性剂+弱酸	/	/
乙醇	无水乙醇, 90-100%	易燃	/
丙酮	丙酮≤100%, 无色澄清液体, 刺鼻的, 有淡香味	易燃	LD50 经口-大鼠-雌性-5,800mg/kg 备注: (ECHA)

			LC50 吸入-大鼠-4h-76 mg/l-蒸气
异丙醇	2-丙醇≤100%，无色酒精味液体，熔点/熔点范围: -89.5 °C - lit.，蒸气密度 2.07，20°C可溶于水	自燃温度 42 °C，爆炸上限:13.4 % (V)；爆炸下限: 2 % (V)	LD50 经口 - 大鼠 - 5,840 mg/kg (OECD 测试导则 401) LC50 吸入 - 大鼠 - 雄性和雌性 - 4 h - 37.5 mg/l (OECD 测试导则 403) LD50 经皮 - 家兔 - 12,800 mg/kg 备注: (RTECS)
乙二醇	乙二醇≤100%，无色无臭液体，熔点: -13 °C 在 1,013 百帕，初沸点和沸程 197.4 °C 在 1,013 百帕	爆炸上限:15.3 % (V)；爆炸下限:3.2 % (V)	LD50 经口 - 500.1 mg/kg 经口: (第 1272/2008 号欧共体 (EC)规章 附录 VI)； LC50 吸入 - 大鼠 - 雄性和雌性 - 6 h - > 2.5 mg/l - 气溶胶； 备注: (ECHA) LD50 经皮 - 小鼠 - 雄性和雌性 - > 3,500 mg/kg 备注: (ECHA)
石油醚	石油醚≤100%，无色液体，熔点/熔点范围: < -60 °C - (ECHA)，初沸点和沸程 30 - 60 °C - lit.	爆炸上限: ≤ 7.6 % (V)；爆炸下限: ≥ 1.4 % (V)	LD50 经口 - 大鼠 - 雄性和雌性 - > 5,000 mg/kg (OECD 测试导则 401) LC50 吸入 - 大鼠 - 雄性和雌性 - 4 h - > 5.61 mg/l - 蒸气 (OECD 测试导则 403) LD50 经皮 - 家兔 - 雄性和雌性 - > 2,000 mg/kg (OECD 测试导则 402)
机械泵油	润滑油，浅褐色液体，轻微、烃类气味，凝固点: (OECD 测试导则 403) LD50 经皮-家兔-雄性和雌性 - > 2,000 mg/kg (OECD 测试导则 402)	可燃，爆炸上限 (LEL): 1vol%；爆炸下限 (LEL): 10vol%；	LD50 经口-大鼠> 5,000 mg/kg 体重估计； LD50 经皮-兔子 > 2,000 mg/kg 体重估计
液氮	液氮≥99.5%，熔点: -209.8°C，沸点: -195.6°C	/	/
氦气	氦 100%，无色无味的惰性气体，沸点: -268.93°C，临界温度: -268°C，微溶于水	不燃	/
氩气	氩 100%，无色无味的惰性气体，临界温度: -122°C，水中溶解度: 61mg/L，微溶于水	不燃	/
氮气	氮 100%，熔点: -210°C，沸	不燃	/

	点: -196℃, 临界温度: -147℃, 微溶于水, 乙醇, 溶于液氨		
氧气	氧 100%, 无色、无味、强氧化性、助燃气体, 溶于水、乙醇	/	无毒
二氧化碳	二氧化碳 100%, 无色无味的惰性气体, 熔点: -56.6℃, 沸点: -78.5℃, 溶于水, 溶于烃类等多数有机溶剂	不燃	LCLo: 657190ppm (大鼠吸入, 15min) 人吸入 LCLo: 10% (1min), 9% (5min)
一氧化碳	一氧化碳 100%, 无色无味气体, 分子量 28, 熔点: -205℃, 沸点: -192℃	自燃温度 620℃, 爆炸下限: 10.9% 爆炸上限: 74%	大鼠吸入 LC50: 1880ppm/4 小时; 与红细胞结合, 造成血溶性中毒
甲烷	甲烷 100%, 无色无味的气体, 熔点: -182℃, 沸点: -161℃, 微溶于水, 溶于醇、乙醚	爆炸上限 %(V/V): 15; 爆炸下限 %(V/V): 5	LC50: 50% (小鼠吸入)
乙烯	乙烯 100%, 无色气体, 略具有烃类特有的臭味, 熔点: -169.4℃, 沸点: -104℃, 不溶于水, 微溶于乙醇, 溶于乙醚、丙酮、苯	爆炸上限 %(V/V): 36; 爆炸下限 %(V/V): 2.7	LC50: 95ppm (小鼠吸入, 2h)

实验仪器设备情况见表 3-8。

表 3-8 实验用仪器设备情况表

序号	设备名称	规格型号或用途	数量 (台)	对应实验类型/产品
1	冷却塔	定制, 冷却工艺水和空调水	8	冷却塔, 水蒸气
2	超声波槽式清洗机	槽长宽高: 600×600×1000 mm ³ 槽长宽高: 300×240×150 mm ³	3	超声清洗, 产生弱酸弱碱性废水
3	液氮制冷机系统	500W@4.5K, 制造液氮	1	低温, 产品为液氮
4	液氮气化器	1m ³ /h, 气化液氮	2	低温, 产品为氮气
5	液氮循环冷却机组	FMB cryocooler XV	3	制冷机, 产生低温氮气
6	探测器	非标自研, 探测信号	1	探测器, 产生氮气、乙二醇水溶液废液
7	机械泵	SV100B	6	机械泵, 产生废机械泵油

8	燃烧反应器	非标自研，用于产生层流火焰，研究火焰中间产物	1	反应器，产生水蒸汽、一氧化碳、二氧化碳、气相小分子碳氢化合物等
9	原位反应器	非标自研，用于模拟反应真实环境，研究反应过程	8	反应器，产生水蒸汽、一氧化碳、二氧化碳、气相小分子碳氢化合物等

3.2.3 工艺流程及产污环节分析

3.2.3.1 主体装置工艺流程及产污环节分析

HALF 装置的直线加速器产生最高能量为 2.2GeV 的电子束，经输运线注入到储存环，储存环产生的同步光经光束线引出至光束线站。在光束线站里照射样品，开展同步辐射实验。光束线站处于实验状态时，安全光闸打开，允许同步光传输至光束线站；其它状态下（如工作人员进入放置样品等），安全光闸落下，阻挡同步光和韧致辐射进入实验站。用户在实验准备间内准备样品，样品准备好后送至光束线站进行科学实验。

HALF 装置的工艺流程及产污环节详见图 3-7。

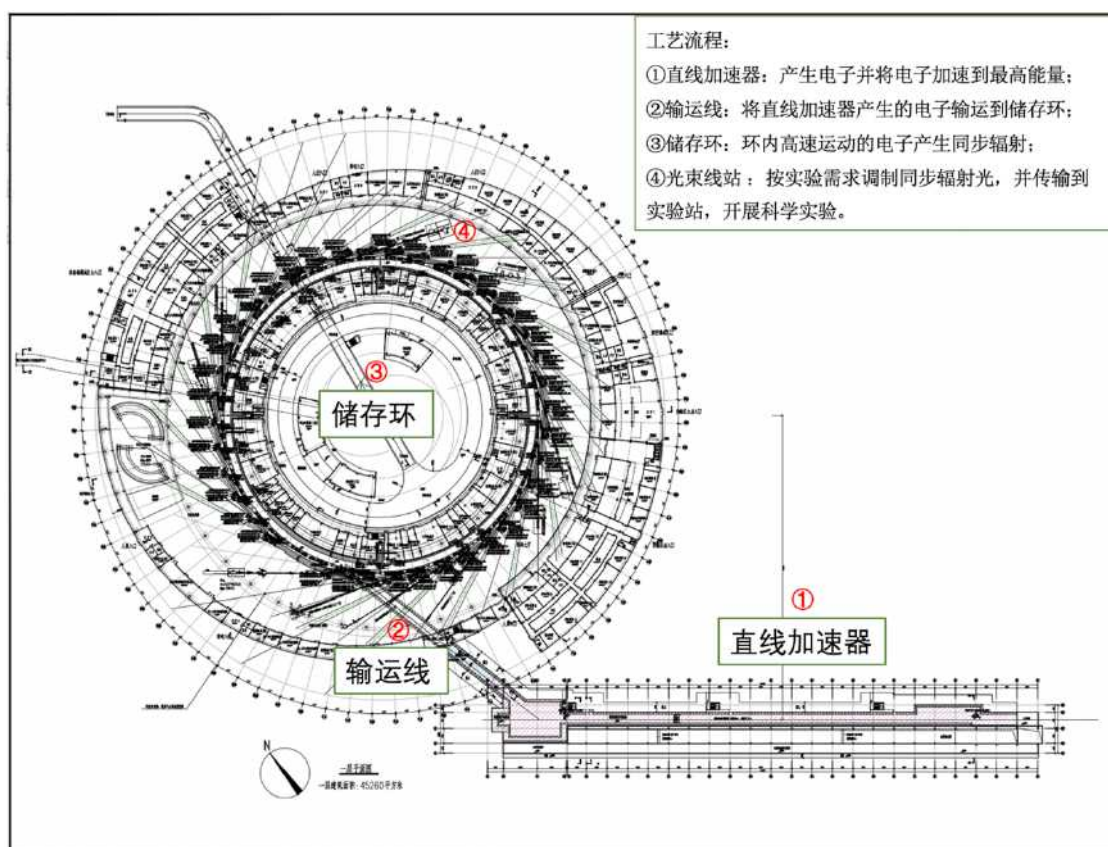


图 3-7 HALF 装置工艺流程图

3.2.3.2 非放工艺流程及产污环节分析

(1) 冷却塔换热工艺

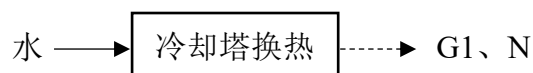


图 3-8 冷却塔换热工艺流程及产污环节图

工艺简述:

水喷淋到冷却塔中与工艺冷却水和空调冷却水管道进行热交换，蒸发带走热量。每天消耗水约 500~600 吨，年消耗约 20 万吨。

产排污分析:

废气：该工序产生的水蒸气（G1）无污染，后文不再赘述；

废水：无；

固体废物：无；

噪声：冷却塔运行过程中会产生噪声（N）。

(2) 零件超声清洗工艺（弱酸/弱碱清洗剂）

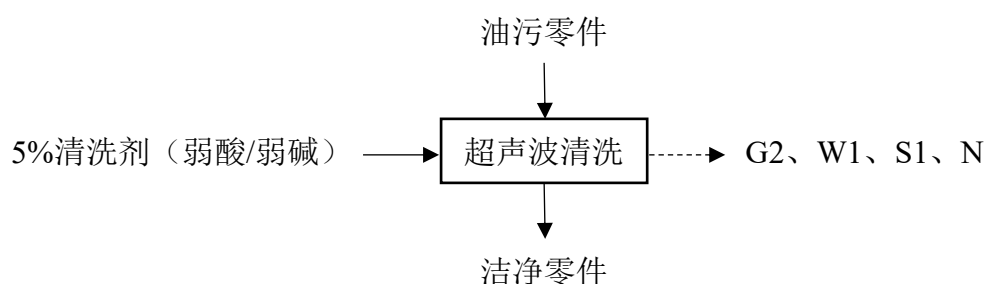


图 3-9 零件超声清洗工艺（弱酸/弱碱清洗剂）流程及产污环节图

工艺简述:

清洗剂（弱酸/弱碱）按照 5%的比例与水在超声波槽式清洗机（350L）内混合溶解，溶解后在超声波槽式清洗机进行清洗。

产排污分析：

废气：该工段会产生非甲烷总烃废气（G2），采用集气罩收集后经二级活性炭吸附后经 15 米排气筒排放；

废水：该工序超声波清洗废水（W1），污染因子为：COD、SS、LAS、石油类，废水产生量为 100t/a，经废水处理站处理后接入市政污水管网；

固体废物：该工序会产生废清洗剂包装桶（S1），属于危险废物，代码为 HW49，900-041-49，产生量为 0.1t/a，收集后暂存于危险废物仓库，委托有资质单位处理；

噪声：超声波设备运行过程中会产生噪声（N）。

（3）零件超声清洗工艺（乙醇/丙酮/石油醚）

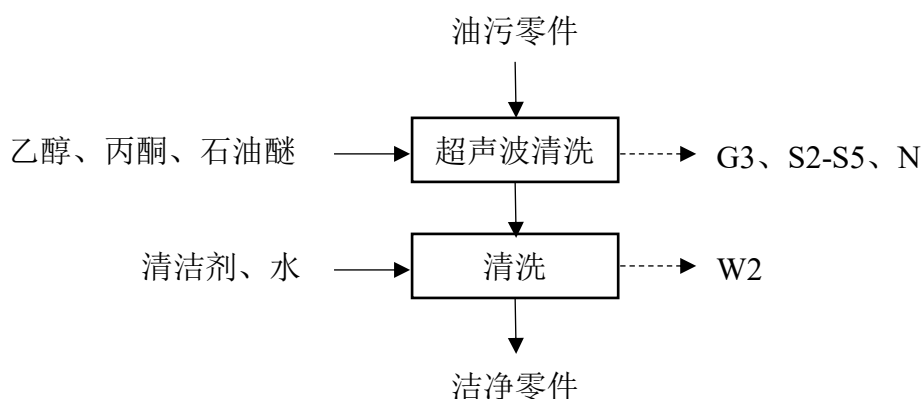


图 3-10 零件超声清洗工艺（乙醇/丙酮/石油醚）流程及产污环节图

工艺简述：

超声：根据零件表面污染物选择合适得清洗剂（乙醇、丙酮、石油醚，或混合溶液），将油污零件放入超声波槽式清洗机（10L）内，再倒入清洗剂进行超声清洗；

清洗：超声后的零件以及容器使用洗洁精等清洁剂和水清洗后得到洁净的零件。

产排污分析：

废气：超声工序会产生非甲烷总烃废气（G3），采用集气罩收集后经及二级活性炭吸附装置处理后经 15 米排气筒排放；

废水：清洗工序含乙醇、丙酮、石油醚溶液的废水（W2），废水主要污染物为：COD、SS、LAS、石油类，产生量为 2000t/a，经废水处理站处理后接入市政污水管网；

固体废物：超声工序会产生 S2 乙醇废液 0.35t/a、S3 丙酮废液 0.025t/a、S4 石油醚废液 0.025t/a，属于危险废物，废物代码为 HW49，900-047-49，有机废液桶收集后暂存于危险废物仓库，委托有资质单位处理；会产生乙醇、丙酮、石油醚废包装瓶（S5），属于危险废物，代码为 HW49，900-041-49，产生量为 0.1t/a，收集后暂存于危险废物仓库，委托有资质单位处理。

噪声：超声波设备运行会产生噪声（N）。

（4）低温制液氮工艺

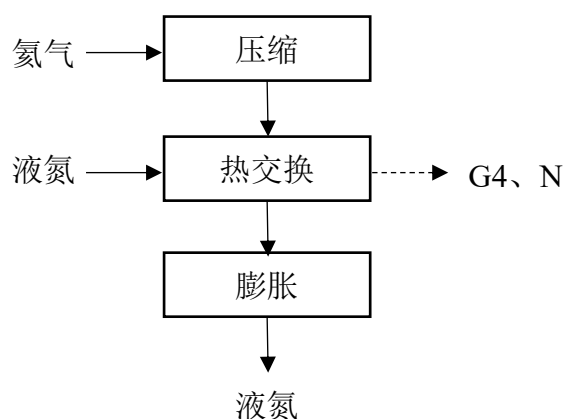


图 3-11 低温制液氮工艺流程及产污环节图

工艺简述：

液氮制冷机系统包括氮气压缩机、冷箱等主要设备。氮气经氮气压缩机压缩后进入冷箱，液氮流入冷箱与压缩氮气进行热交换，产生氮气；液氮每小时消耗 35L，年消耗约 250 吨。低温氮气在冷箱中膨胀液化产生液氮。

产排污分析：

废气：压缩工艺会产生氮气（G4），无色无味无毒，后文不再赘述；

废水：无；

固体废物：无；

噪声：压缩机、冷箱等设备运行会产生噪声（N）。

（5）低温实验工艺

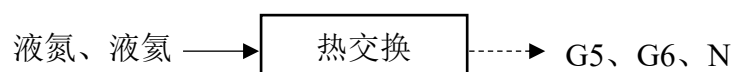


图 3-12 低温实验工艺流程及产污环节图

工艺简述：

液氮、液氦充入低温实验装置（液氮循环冷却机组、探测器等）中，用于冷却探测器、光学元件或样品等，同时产生氮气及氦气；液氮每小时消耗 65L，年消耗约 450 吨，产生氦气可直接排放；液氦产生氦气，通过氦气回收管道闭环使用不排放。

产排污分析：

废气：该工序产生的氮气（G5）、氦气（G6）全部回收，不排放；

废水：无；

固体废物：无；

噪声：液氮循环冷却机组运行会产生噪声（N）。

（6）更换机械泵油工艺

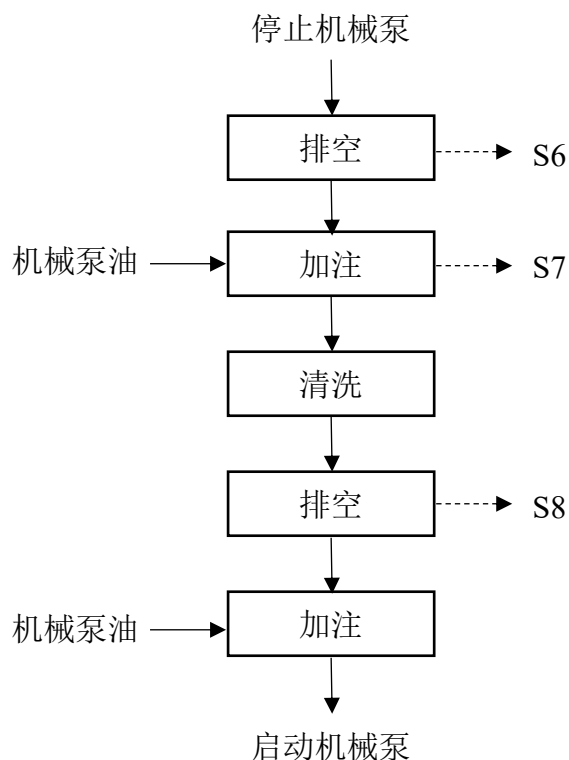


图 3-13 更换机械泵油工艺流程及产污环节图

工艺简述：

- ①排空：先停止机械泵（SV100B），将泵内机械泵油排出；
- ②加注：将新机械泵油加注到机械泵中；
- ③清洗：启动机械泵，利用新机械泵油清洗泵腔残留旧泵油；
- ④排空：停止机械泵，再次将泵内残留机械泵油排出；
- ⑤加注：将新机械泵油加注到机械泵中，即完成更换机械泵油作业，启动机械泵。

产排污分析：

废气：无；

废水：无；

固体废物：排空工序会产生废机械泵油（S6、S7），属于危险废物，代码为

HW08, 900-249-08, 产生量为 0.02t/a, 加注工序会产生废机械泵油包装桶, 属于危险废物, 代码为 HW49, 900-041-49, 产生量为 0.01t/a, 收集后暂存于危险废物仓库, 委托有资质单位处理;

噪声: 无。

(7) 燃烧过程工艺

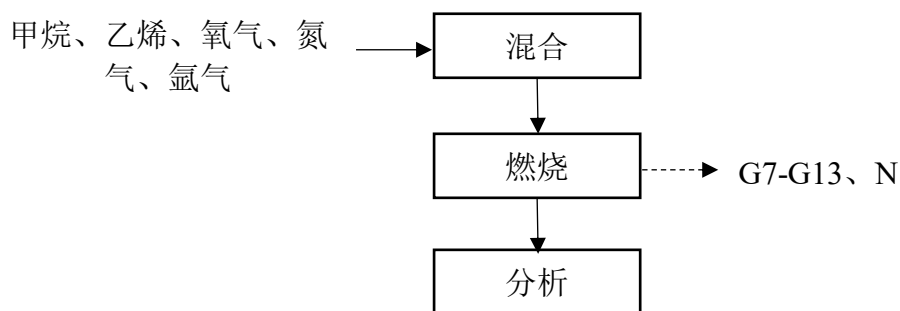


图 3-14 燃烧过程工艺流程及产污环节图

工艺简述:

①混合: 将反应原料(甲烷、乙烯、氧气、氮气、氩气等)按照实验条件比例预混通入燃烧反应器;

②燃烧: 在燃烧反应器中点燃预混气。

产排污分析:

废气: 该工序产生少量的产生无污染的水蒸气(G7)、一氧化碳(G8)、二氧化碳(G9)、气相小分子碳氢化合物(G10)等产物, 以及剩余的氧气(G11)、不参与反应的氮气(G12)、氩气(G13)等, 氮气、氩气为无色无味无毒惰性气体, 氧气无污染, 后文不做赘述;

废水: 无;

固体废物: 无;

噪声: 燃烧反应器运行过程会产生噪声(N)。

(8) 原位反应过程工艺

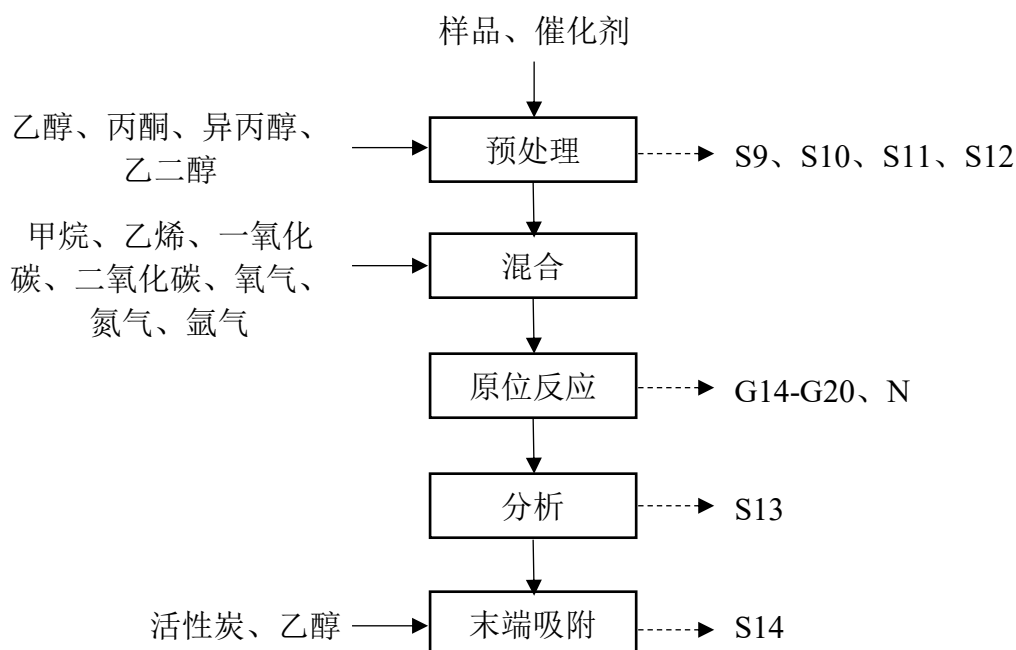


图 3-15 原位反应过程工艺流程及产污环节图

工艺简述：

①预处理：使用少量的乙醇、丙酮、石油醚、异丙醇、乙二醇等有机试剂预处理样品或催化剂，使其达到原位反应的要求，放入原位反应器样品托中。乙醇、丙酮、石油醚、异丙醇或乙二醇等有机试剂的最大一次使用量约为 100mL；

②清洗：预处理后的容器需要使用洗洁精等清洁剂和水进行清洗。

③混合：将反应原料（甲烷、乙烯、氧气、一氧化碳、二氧化碳、氮气、氩气等）按照实验条件比例预混通入原位反应器；

④原位反应：原位反应器加压加热，发生化学反应；典型原位化学反应例举 2 种：

- i. 合成气制烯烃： $\text{CO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n}$ ；
- ii. 甲烷氧化偶联： $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n} + \text{CO}$ ；

⑤分析：检测仪器取样分析催化产物。

⑥末端吸附：反应生成的水蒸气、一氧化碳、二氧化碳、气相小分子碳氢化合物等产物，在实验装置末端充填活性炭和乙醇的末端吸附设备中进行第一次吸附；

⑦二次吸附：经第一次吸附后微量的水蒸气、一氧化碳、二氧化碳、气相小分子碳氢化合物等产物，再经屋顶活性炭吸附塔二次吸附后达标排放。

产排污分析：

废气：该工序会产生氮气（G14）、氩气（G15）、水蒸气（G16）、一氧化碳（G17）、二氧化碳（G18）、氧气（G19），无污染，后文不做赘述，气相小分子碳氢化合物（G20，以非甲烷总烃计），采用集气罩（每个原位反应器设置 1 个集气罩）收集后活性炭吸附后经 15 米排气筒排放；

废水：含微量乙醇、丙酮、异丙醇、乙二醇以及清洁剂的废水（400t/a）经废水处理站处理后接入市政污水管网；

固体废物：剩余的少量的废液（S9 乙醇 0.05t/a、S10 丙酮 0.025t/a、S11 异丙醇 0.025t/a、S12 乙二醇 0.005t/a）属于危险废物，代码为 HW49，900-047-49，收集后暂存于危险废物仓库，委托有资质单位处理。

噪声：原位反应器运行会产生噪声（N）。

（9）去离子水生产工艺

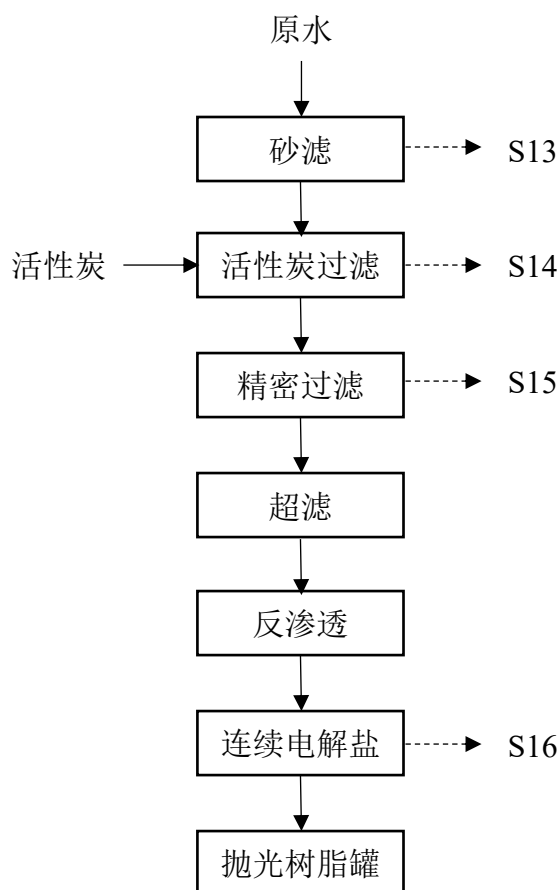


图 3-16 去离子水生产工艺流程图

工艺简述：

- a) 砂滤：使用天然石英砂通常还有锰砂和无烟煤作为滤料，主要作用是截留水中的大分子固体颗粒和胶体，使水澄清；
- b) 活性炭过滤：使用活性炭，用于水处理中的脱色、脱臭、脱氯、去除有机物及重金属、去除合成洗涤剂、细菌、病毒及放射性等污染物质。
- c) 精密过滤：在滤网表面预涂硅藻土、珍珠岩、纤维素或细粉末状离子交换树脂，去除水中通常沙滤所不能去除的微细悬浮物或胶体粒子；
- d) 超滤：在一定的压力下，采用中空纤维过滤新技术，配合三级预处理过滤清除自来水中杂质；
- e) 反渗透：用于除去水中的微粒、有机物质、胶体物等；
- f) 连续电除盐：使用普通的离子交换树脂连续地从水中除去离子，并运用电流对树脂进行连续的再生。

产排污分析：

废气：无；

废水：无；

固体废物：砂滤产生废石英砂（S13），活性炭过滤会产生废活性炭（S14），精密过滤会产生废滤网（S15），属于一般固废，产生量合计为 0.5t/a；连续电解盐会产生废树脂（S16），产生量为 500L/a，属于危险废物，代码为 HW49，900-041-49，收集后暂存于危废仓库，委托有资质单位处理。

噪声：设备运行过程中会产生噪声（N）。

3.2.4 工作负荷

3.2.4.1 HALF 装置出束时间

HALF 装置在调试期间及正常运行期间的出束时间见表 3-9、表 3-10。

表 3-9 HALF 装置出束时间（调试期间）

名称	调试工况束流参数	调试天数，天	每天出束时间，h
直线加速器	2.2GeV、 $\leq 1.0\text{nC}$ 、1Hz	150	10
输运线	2.2GeV、 $\leq 0.7\text{nC}$ 、0.5Hz 注入器调试参数 300pC、0.1Hz	60	10
储存环	2.2GeV、175mA	240	24
光束线站	2.2GeV、175mA	200	24

表 3-10 HALF 装置出束时间（正常运行期间）

名称	年出束时间，h
直线加速器	720
输运线	720
储存环	7200
光束线站	5600

3.2.4.2 工作人员工作负荷

本项目辐射工作人员的工作负荷见表 3-11。维护维修期间工作人员的工作时间见表 3-12。另外，预计 HALF 建成后首批用户 300 人次；一期 12 条线站全部建成开放后，每年预计接待用户 2000 人次，每人每次实验在光源实验大厅停留约 48 小时，最长不会超过 84 小时。

表 3-11 本项目辐射工作人员工作负荷情况表

岗位名称	工作地点	工作内容	人数	专/兼职
加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	加速器安装调试	36	专职
加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	加速器运行	11	专职
加速器维护维修	注入器隧道、储存环隧道、储存环设备间、注入器设备间	加速器维护维修	9	专职
光束线安装调试与维护	实验大厅	光束线安装调试与维护	43	专职
线站联锁控制与数据处理	实验大厅	线站联锁控制与数据处理	12	专职
辐射安全管理	办公室	辐射安全管理	1	专职
备注：工作人员的倒班模式为两班倒。				

表 3-12 HALF 装置维护维修期间工作人员的工作时间

名称	进入该区域单次维护维修的时间, h	每年的维护维修次数, 次
直线加速器	1	15
输运线	0.5	5
储存环	1	20

3.3 污染源项分析

3.3.1 射线装置污染源项

HALF 装置为高能电子加速器，其辐射源项包括瞬发辐射和感生放射性两大部分。瞬发辐射来源主要有：（1）束流包络周边粒子沿途随机损失在管壁（可视为均匀损失）；（2）整个束团突然丢失（束团 100%损失）；（3）注入器和储存环的点损失，以及调束打到废束站的点损失；（4）电子在储存环中绕环运动发出的同步辐射光。除同步辐射光能量较低（ $<1\text{ MeV}$ ），不会引起感生放射性外，上述 4 种途径产生的瞬发辐射能量可以达到入射电子能量，还会同时产生感生放射性。

瞬发辐射场特点是能量高、辐射强，但会随着装置的停机而完全消失。同时，装置结构部件、设备冷却水、隧道内空气等被电子或次级粒子轰击产生的活化产物，会产生感生放射性，感生放射性在加速器停机后依然存在。

瞬发辐射中子和 γ 皆具有很强的穿透能力，穿过屏蔽层的中子和 γ 将对人引起直接的辐射剂量，以及穿过屋顶进入天空的中子由于散射（称为天空反散射）而对周围地面

上的人引起辐射剂量，以上是 HALF 运行时需考虑的环境影响问题。

瞬发辐射会引起加速器部件的活化，特别是束流损失较大处的部件，从而使检修人员受到辐射照射和产生一定量的活化固体废物，还会引起束流传输隧道中空气的活化（主要活化产物是 Ar-41、C-11、N-13、O-15、Be-7、H-3 等），以及设备冷却水的活化（主要活化产物是 O-15、C-11、Be-7 和 H-3 等），这些气态和液态放射性物质的排放会对环境造成一定的影响。此外穿过设备底层屏蔽而进入土壤的中子还会引起土壤和地下水的活化，也有可能对环境造成影响。不过对于 HALF 来说这些影响都很小，详见其后章节的分析。

γ 射线会引起加速器房间及束流传输隧道空气中分子原子的电离产生自由基，自由基的结合会产生有害物质（主要是 O_3 、 NO_x 和 HNO_3 ），这些物质的排放也会对环境带来一定的影响。

根据 HALF 运行时对环境的影响特征，对以上各种污染源项的定量分析将在以下各节中分别论述。

3.3.1.1 瞬发辐射场

HALF 在运行过程中所产生的瞬发辐射场根据加速器区域、加速器运行状态、加速器部件等的不同而变化。电子经直线加速器被加速到 2.2GeV，通过输运线注入到储存环，储存环中的电子绕环运动经过弯铁或特制的插入件，放出能量较低的同步辐射（约几百 eV~几百 keV），光束线站用不同的光学元件、光束阀等部件引出不同波长的光提供供给实验站。

电子在加速和运输的过程中，与周围介质发生相互作用，其部分或全部能量转化成各种形式的辐射，如韧致辐射、中子、同步辐射、 π 介子等。

当电子能量较低时，通过电离损失将能量传递给靶原子使其电离或激发；当电子能量大于介质的临界能量时，主要通过韧致辐射损失能量。韧致辐射与靶原子作用主要产生高能正负电子对，从而发生电磁级联效应。常用的屏蔽材料如铁、铝、铜、铅、混凝土的临界能量在几 MeV~几十 MeV 的范围，且原子序数大的材料临界能低（如铅的临界能不到 10MeV），原子序数小的材料临界能高（如铝和混凝土的临界能约 50 MeV），

即高能电子在高原子序数材料中有更深的电磁级联簇射深度。

当韧致辐射光子能量较高，达到或超过了光核反应的阈能，还会发生一定概率的光核反应产生中子，不同能量的光子发生的光核反应不一样、产生的中子能量也不一样。当光子能量低于 30 MeV 时，光致蜕变在“巨共振”区域内占主导地位，中子的产生主要来源于“巨光核共振”过程，巨共振中子的能量大约为几个 MeV。当光子能量高于 30 MeV，超过巨共振区域时，发生伪氘核反应，产生伪氘核中子；当光子能量高于 140 MeV 时，光介子生成的通道打开，发生反应产生高能中子。对于较薄的屏蔽体，韧致辐射光子和巨共振中子在对屏蔽体外的剂量率贡献中占主导作用；对于较厚的屏蔽体，巨共振中子和高能中子在对屏蔽体外的剂量率贡献中占主导作用。

高能电子由于磁场的作用改变方向时，产生同步辐射，这是储存环中电子损失能量的主要形式。

因此，高能电子与加速器不同区域的周围介质发生相互作用会产生能量、方向各异的中子、光子、 π 介子等次级粒子，最高能量可达初始电子能量，形成瞬发的杂散辐射场，且以光子辐射占主导地位，需对加速器各区域分情况考虑。

3.3.1.2 天空反散射

穿过屋顶进入天空的中子和 γ 射线由于大气的反散射作用，在其周围地面附近会形成一定的辐射场。因此，在这种情况下需要把大气的反散射辐射限制在允许的水平。本项目对天空反散射的计算情况如下：

(1) 天空反散射计算参考 NCRP-144 号报告的相关内容和 Stapleton 公式进行计算，即采用下面的公式 (3.3.1.2-1) ~ (3.3.1.2-3) 进行计算。

$$H(r) = \frac{a \cdot e^{-r/\lambda(E_c)}}{(b+r)^2} Q \quad (3.3.1.2-1)$$

$$Q = \frac{d^2}{g} \cdot H(d, t) \cdot \Omega \quad (3.3.1.2-2)$$

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\theta) \quad (3.3.1.2-3)$$

式中，各物理量含义如下：

$H(r)$: 与源水平距离为 r 的计算点的剂量率 (Sv/h); a : 系数 ($= 2 \times 10^{-15} m^2 \cdot Sv$);
 b : 系数 ($= 40m$); r : 源到计算点的水平距离 (m); $\lambda(E_c)$: 与中子截止能量对应的空气的中子有效吸收长度 (m); E_c : 截止能量 (MeV); Q : 穿透顶屏蔽的中子数目 (n/h);
 d : 源到顶屏蔽外表面的距离 (m); g : 单位中子通量的当量剂量 ($Sv \cdot m^2$); $H(d,t)$:
顶屏蔽外表面处的剂量率 (Sv/h); t : 顶屏蔽厚度 (m); Ω : 源从顶屏蔽辐射出的立体角 (Sr); θ : 源从顶屏蔽辐射出的最大极角 ($^\circ$ 或 rad)。

(2) 由 NCRP-144 号 P322 及 Fig.6.1 的表述, 高能加速器 (无论电子还是质子) 的天空反散射取决于中子的天空反散射, 光子的天空反散射相对于中子可以忽略。本次计算中采用 FLUKA 计算的顶屏蔽的总剂量率 (中子与光子剂量率之和) 来保守估计中子穿透顶屏蔽的数目。

本项目计算中, 从保守和简化角度出发, 均假设各隧道区域的源为点源 (因为没有线性和环形的天空反散射公式), 顶部立体角由损失点距顶部的距离和顶部的横向宽度进行估算为: 储存环顶屏蔽保守采用非注入区 80cm 厚混凝土的数据, d 为 3.2m, θ 为 43.2° ; 输运线隧道顶屏蔽采用混凝土屏蔽, d 为 4.0m, θ 为 35.7° ; 直线加速器隧道顶部保守按最薄处取 d 为 7.05m, θ 为 21.7° 。直线加速器隧道和输运线隧道的 E_c 取最大能量 2200MeV, $\lambda(E_c)$ 取 625.2m, g 取 $1.44E-14 Sv \cdot m^2 Sv \cdot m^2$; 储存环隧道的 E_c 取最大能量 2500MeV, $\lambda(E_c)$ 取 630m, g 取 $1.45E-14 Sv \cdot m^2 Sv \cdot m^2$ 。 $H(d,t)$ 采用 FLUKA 程序按实际结构模拟得到的顶屏蔽外表面关注点在正常运行工况下的最大值, 即 5.2.1.4 节表 5-22 中关注点剂量率最大值, 模拟时采用的辐射源项在 5.2.1.1 节有详细描述。计算参数取值见表 3-13。

保守假设 HALF 每年运行 7200 小时 (300 天), 计算得到的结果见表 3-13。可见, 天空反散射造成的年剂量很小, 即便在距离 20m 处, 最大也仅有 $8.91E-04 mSv/a$, 比公众管理目标值 $0.1 mSv/a$ 小 2 个量级以上, 可以忽略。

表 3-13 天空反散射各计算参数取值

源项	系数 $a(m^2 \cdot Sv)$	系数 b (m)	$\lambda(E_c)$ (m)	$E_c(MeV)$	d (m)	$g(Sv \cdot m^2)$	$H(d,t)(Sv/h)$	$\theta (^\circ)$	$\Omega(Sr)$	$Q(n/h)$
储存环	2E-15	40	630	2.50E+03	3.2	1.45E-14	1.91E-07	4.32E+01	1.70E+00	2.30E+08
束流传输线	2E-15	40	625.2	2.20E+03	3.4	1.44E-14	4.71E-08	3.95E+01	1.43E+00	4.22E+07
直线加速器	2E-15	40	625.2	2.20E+03	7.05	1.44E-14	3.98E-10	2.17E+01	4.44E-01	6.09E+05

表 3-14 天空反散射计算结果（年剂量）

源项	r(m)	20	50	100	200	500	1000
储存环	H(r) (mSv/a)	8.91E-04	3.78E-04	1.44E-04	4.19E-05	5.14E-06	6.26E-07
输运线		1.63E-04	6.92E-05	2.64E-05	7.65E-06	9.36E-07	1.13E-07
直线加速器		2.36E-06	9.99E-07	3.81E-07	1.11E-07	1.35E-08	1.64E-09

3.3.1.3 感生放射性

加速器运行时束流损失在部件、真空管壁、靶等部位，产生瞬发辐射过程中，初始和次级粒子与周围设备、屏蔽体和空气、水等材料发生的核反应，会使材料内稳定的核素转变成具有放射性的核素，使其产生感生放射性，即发生材料活化。在加速器停机后，由束流损失产生的瞬发辐射立即消失，但感生放射性依然存在，产生的放射性核素会按照衰变规律，放出 γ 、 β 等射线。

主要活化产物包括：

加速器结构部件活化（Cu、Fe、不锈钢、Al 和 Al 合金）： ^{54}Mn 、 $^{52\text{m}}\text{Mn}$ 、 ^{56}Mn 、 ^{58}V 、 ^{51}Cr 、 ^{60}Co 、 ^{57}Co 、 ^{58}Co ；

加速器厅室内的混凝土屏蔽墙活化： ^{22}Na 、 ^{24}Na 、 ^{54}Mn ；

加速器厅室内的空气活化： ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{41}Ar ；

加速器冷却水活化： ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^7Be 、 ^3H ；

地表层土壤和地下水活化： ^7Be 、 ^3H 、 ^{22}Na 。

感生放射性采用蒙特卡罗程序 FLUKA 精确计算，结合活化公式估算和验证。

3.3.1.3.1 感生放射性计算方法及模型

对 HALF 的感生放射性计算，使用蒙特卡罗程序 FLUKA，在计算屏蔽和瞬发辐射时，通过建立详细的几何模型计算，同时参照其它装置和文献的结果，结合活化公式估算和验证。感生放射性核素模拟计算时的源强参数与报告第五章屏蔽体外瞬发辐射剂量率模拟计算时考虑的源强参数一致。在 5.2.1.1 节、5.2.1.2 节分别进行了辐射源项和计算模型的详细描述。

3.3.1.3.2 空气的感生放射性计算

3.3.1.3.2.1 静态空气中感生放射性核素的产生

加速器空气产生的感生放射性主要有三个来源：（1）初始或次级粒子与空气分子的直接核反应；（2）空气中的灰尘或气溶胶；（3）冷却水等蒸发到空气中。Thomas 和 Stevenson 在 1988 年，Swanson 和 Thomas 在 1990 年对空气活化产生的感生放射性问题作了深入讨论，结果表明，由第一种方式产生的感生放射性占主导，后两种方式产生的感生放射性要小得多。其主要来源为第一种。将一般活化方程扩展，可以直接得到密闭的活化空气的总比活度 S （一般以 $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-3}$ 为单位）：

$$S = C \sum_{ijk} N_j \int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}} \sigma_{ijk}(E) \phi_k(E) dE (1 - e^{-\lambda_i T}) e^{-\lambda_i t} \quad (3.3.1.3.2.1-1)$$

式中， C 为由单位确定的常数， i 代表第 i 种放射性核素， j 代表第 j 种靶核， k 代表相互作用的粒子 γ, p, n 等。 N_j 为单位体积空气中第 j 种靶核的数目。 $\sigma_{ijk}(E)$ 为能量为 E 的第 k 种粒子从第 j 种靶核上产生第 i 种放射性核素的截面； $\phi_k(E)$ 为能量在 E 到 $E + dE$ 之间的第 k 种粒子的通量密度。 E_{ijk} 为由第 k 种粒子引起的 $j \rightarrow i$ 反应的阈值， E_{kmax} 为第 k 种粒子的最大能量； λ_i 为第 i 种放射性核素的衰变常数， T 为照射时间， t 为冷却时间。

方程（3.3.1.3.2.1-1）可以按以下方式进行简化：

（1）只考虑由下面三种方式产生的核素：热中子俘获反应、高能粒子散裂反应、 γ, n 反应，可以分别用下标 $k = th, HE, \gamma$ 表示这三种反应；

（2）将方程中的积分用通量和平均截面来代替：

$$\overline{\sigma_{ijk}} = \frac{\int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}} \sigma_{ijk}(E) \phi_k(E) dE}{\int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}} \phi_k(E) dE} \quad (3.3.1.3.2.1-2)$$

$$\phi_k = \int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}} \phi_k(E) dE \quad (3.3.1.3.2.1-3)$$

从而方程（3.3.1.3.2.1-1）简化为：

$$S = C \sum_i [\sum_j N_j \overline{\sigma_{ijth}} \phi_{th} + \sum_j N_j \overline{\sigma_{ijHE}} \phi_{HE} + \sum_j N_j \overline{\sigma_{ij\gamma}} \phi_{\gamma}] \times (1 - e^{-\lambda_i T}) e^{-\lambda_i t} \quad (3.3.1.3.2.1-4)$$

式中， $N_j \overline{\sigma_{ijth}} \phi_{th}$ 、 $N_j \overline{\sigma_{ijHE}} \phi_{HE}$ 、 $N_j \overline{\sigma_{ij\gamma}} \phi_{\gamma}$ 分别表示了由热中子俘获反应、高能粒子散裂反应、 γ, n 反应这三种反应引起的对第 i 种放射性核素饱和活度的部分。

表 3-15 为文献（3）、（4）中给出的加速器空气中产生的半衰期大于 1 分钟的放射性核素的高能截面、母核、衰变类型、半衰期。注意表中截面最大的 1640mb 和 660mb 分别是产生 ^{14}C 、 ^{41}Ar 的热中子(n,p)、(n, γ)俘获反应的截面；其它的都是对应于在几十 MeV 以上截面达到最大值的高能饱和截面；其中 γ 引起的反应几乎是在所有的加速器和能量下都存在，其截面相应地与能量有关，尤其是在能量刚刚超过阈能的情况下更是如此。由表 3-15 可见，主要核素有： ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{41}Ar ； ^{14}C 虽然截面最大，但由于半衰期太长，由活化公式可知，在装置服役期（假设不通风连续运行 30 年）饱和度也仅 0.4%，仅相当于 6mb 的核素的饱和度，因此，并非主要核素。

表 3-15 加速器空气中产生的半衰期大于 1 分钟的放射性核素及其相关参数

放射性核素	半衰期	衰变类型	母核	产生机制	高能截面 (mb)
^3H	12.32 y	β^-	N	散裂	30
^7Be	53.22 d	γ , 电子俘获	O	散裂	30
			N	散裂	10
			O	散裂	5
			Ar	散裂	0.6
^{11}C	20.33 min	β^+	N	散裂	10
			O	散裂	0.7
			Ar	散裂	0.7
^{14}C	5700 y	β^-	N	(n 热中子,p)	1640
^{13}N	9.96 min	β^+	N	散裂	10
			N	(γ ,n)	10
			O	散裂	9
			Ar	散裂	0.8
^{14}O	1.18 min	β^+ , γ	O	散裂	1
			Ar	散裂	0.06
^{15}O	2.04 min	β^+	O	散裂	40
			O	(γ ,n)	10
			Ar	散裂	*
^{18}F	1.83 h	β^+	Ar	散裂	6
^{24}Ne	3.38 min	β^- , γ	Ar	散裂	0.12
^{22}Na	2.603 y	β^+ , γ	Ar	散裂	10
^{24}Na	14.95 h	β^-	Ar	散裂	7
^{27}Mg	9.46 min	β^- , γ	Ar	散裂	2.5
^{28}Mg	20.92 h	β^- , γ	Ar	散裂	0.4
^{28}Al	2.24 min	β^- , γ	Ar	散裂	13
^{29}Al	6.56 min	β^- , γ	Ar	散裂	4
^{31}Si	2.62 h	β^- , γ	Ar	散裂	6
^{30}P	2.50 min	β^+ , γ	Ar	散裂	4.4
^{32}P	14.26 d	β^-	Ar	散裂	25
^{33}P	25.34 d	β^-	Ar	散裂	9

³⁵ S	87.51 d	β ⁻	Ar	散裂	23
^{34m} Cl	32.0 min	β ⁻ , γ	Ar	散裂	0.7
³⁸ Cl	37.24 min	β ⁻ , γ	Ar	(γ,pn)	4
³⁹ Cl	55.6 min	β ⁻ , γ	Ar	(γ,p)	7
⁴¹ Ar	1.83 h	β ⁻ , γ	Ar	(n _{热中子} ,γ)	660
说明：数据取自 1.3.4 小节的文献（3）、（4）。*表示原表未给出该反应截面。					

3.3.1.3.2.2 向环境排风状态下空气的感生放射性

为避免活化空气从隧道里沿缝隙泄漏到工作场所对工作人员造成辐射，需要保持加速器隧道内空气对工作场所有一定的负压，也就是需要将隧道内的活化空气抽走，通过排风口排放到环境中。对加速器运行、停机时刻加速器内静态空气产生的某种放射性核素的活度随时间变化关系可以分别用下面两式表示：

$$S_{t_i} = S_{sat}(1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (3.3.1.3.2.2-1)$$

$$S_{t_c} = S_{sat}(1 - e^{-\lambda t_i})e^{-\lambda t_c} \quad (3.3.1.3.2.2-2)$$

式中， S_{t_i} 、 S_{t_c} 分别是加速器运行和停机时的活度， t_i 、 t_c 分别是照射时间和冷却时间， λ 是该放射性核素的物理衰变常数。 S_{sat} 表示饱和活度：

$$S_{sat} = N\sigma\phi \quad (3.3.1.3.2.2-3)$$

在加速器通风状态下，设加速器运行和冷却时的通风速率分别为 R_i 和 R_c （单位： cm^3/s ）， V 为隧道空气体积（ cm^3 ）。则对隧道空气而言，需要引入类似衰变常数的丢失常数 λ_{lossi} 和 λ_{lossc} （ S^{-1} ），以确定有效衰变常数 λ_{effi} 和 λ_{effc} （ S^{-1} ）：

$$\lambda_{effi} = \lambda_{dec} + \lambda_{lossi} = \lambda_{dec} + \frac{R_i}{V} \quad (3.3.1.3.2.2-4)$$

$$\lambda_{effc} = \lambda_{dec} + \lambda_{lossc} = \lambda_{dec} + \frac{R_c}{V} \quad (3.3.1.3.2.2-5)$$

经过推导可得到，对应的饱和放射性活度浓度由静态时的 S_{sat} 减少为 $S_{(reduced)}$ ：

$$S_{(reduced)} = S_{sat} \frac{\lambda_{dec}}{\lambda_{effi}} \quad (3.3.1.3.2.2-6)$$

$$S_{t_i} = S_{(reduced)}(1 - e^{-\lambda_{effi} t_i}) \quad (3.3.1.3.2.2-7a)$$

$$S_{t_c} = S_{(reduced)}(1 - e^{-\lambda_{effi} t_i})e^{-\lambda_{effc} t_c} \quad (3.3.1.3.2.2-7b)$$

运行时和停机后向周围排放的总活度可以由下列两式计算：

$$Q_i = \int_0^{t_i} S_{t_i} R_i dt = S_{\text{sat}} \frac{\lambda_{\text{dec}}}{\lambda_{\text{effi}}} R_i \left(t_i - \frac{1}{\lambda_{\text{effi}}} (1 - e^{-\lambda_{\text{effi}} t_i}) \right) \quad (3.3.1.3.2.2-8a)$$

$$Q_c = \int_0^{t_c} S_{t_c} R_c dt = S_{\text{sat}} \frac{\lambda_{\text{dec}}}{\lambda_{\text{effi}}} R_c (1 - e^{-\lambda_{\text{effi}} t_i}) \frac{(1 - e^{-\lambda_{\text{effc}} t_c})}{\lambda_{\text{effc}}} \quad (3.3.1.3.2.2-8b)$$

在对 HALF 的空气活化进行计算时，采用 FLUKA 程序，计算出了空气活化各核素的静态饱和活度浓度，并用上述公式计算了每次运行和停机时分别排放的核素活度。其中，加速器运行时，直线隧道和输运线隧道不通风，储存环隧道以 0.6 次/h 的频率通风；因故障停机后，加速器各隧道都以 8 次/h 的频率进行快通风。为便于计算，按类似装置经验，保守假设年运行时间为 7200h，平均无故障供束时间为 100h，年故障（及需要进行运行-停机）的次数为 72 次/年，每次故障停机的平均时间为 21.7h。计算中采用的通风系统参数如表 3-16 所示，计算结果如表 3-17 所示。

可以看出，HALF 空气活化程度比较轻微，核素的最大活度浓度在 100 Bq/m³ 量级，年排放量为 1.52E+10Bq。

表 3-16 计算空气活化采用的通风系统参数

隧道区域	体积 V (cm ³)	运行时通风频率 (次/h)	运行时通风速率 Ri (cm ³ /s)	停机后通风频率 (次/h)	停机后通风速率 Rc (cm ³ /s)	年运行时间 (h/年)	每次无故障运行时间 ti (h)	年故障次数 (次/年)	每次故障停机时间 tc (h)
直线	7.31E+09	0.0	0.00E+00	8	1.62E+07	7200	100	72	21.7
输运线	1.75E+09	0.0	0.00E+00	8	3.90E+06	7200	100	72	21.7
储存环	1.15E+10	0.6	1.92E+06	8	2.57E+07	7200	100	72	21.7

表 3-17 空气活化计算结果

隧道区域	核素	T _{1/2} (s)	动态饱和活度浓度 S _(reduced) , Bq/cm ³	年运行时排放量 Q _{itotal} , Bq	年停机后排放量 Q _{ctotal} , Bq	年总排放量 Q _{total} , Bq
直线	³ H	3.89E+08	2.49E-04	0.00E+00	8.42E+04	8.42E+04
	⁷ Be	4.60E+06	4.17E-05	0.00E+00	1.16E+06	1.16E+06
	¹¹ C	1.22E+03	2.05E-04	0.00E+00	8.60E+07	8.60E+07
	¹³ N	5.98E+02	2.81E-04	0.00E+00	9.72E+07	9.72E+07
	¹⁵ O	1.22E+02	3.23E-04	0.00E+00	4.78E+07	4.78E+07
	³⁵ S	7.56E+06	2.90E-06	0.00E+00	4.95E+04	4.95E+04

隧道 区域	核素	T _{1/2} (s)	动态饱和活度浓度 S _(reduced) , Bq/cm ³	年运行时排放 量 Q _{itotal} , Bq	年停机后排放 量 Q _{ctotal} , Bq	年总排放量 Q _{total} , Bq
	³⁷ Ar	3.03E+06	1.52E-06	0.00E+00	6.35E+04	6.35E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	2.39E-06	0.00E+00	1.11E+06	1.11E+06
	³⁹ Cl	3.34E+03	2.42E-06	0.00E+00	1.17E+06	1.17E+06
	⁴¹ Ar	6.56E+03	9.82E-06	0.00E+00	4.94E+06	4.94E+06
	总计	——	——	0.00E+00	2.40E+08	2.40E+08
输运 线	³ H	3.89E+08	2.03E-04	0.00E+00	2.37E+04	2.37E+04
	⁷ Be	4.60E+06	3.79E-05	0.00E+00	3.60E+05	3.60E+05
	¹¹ C	1.22E+03	1.62E-04	0.00E+00	1.63E+07	1.63E+07
	¹³ N	5.98E+02	2.05E-04	0.00E+00	1.70E+07	1.70E+07
	¹⁴ O	7.06E+01	1.04E-06	0.00E+00	2.42E+04	2.42E+04
	¹⁵ O	1.22E+02	2.36E-04	0.00E+00	8.38E+06	8.38E+06
	³⁵ S	7.56E+06	2.16E-06	0.00E+00	1.27E+04	1.27E+04
	³⁷ Ar	3.03E+06	1.09E-06	0.00E+00	1.55E+04	1.55E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	1.85E-06	0.00E+00	2.05E+05	2.05E+05
	³⁹ Cl	3.34E+03	1.75E-06	0.00E+00	2.01E+05	2.01E+05
	⁴¹ Ar	6.56E+03	1.11E-05	0.00E+00	1.34E+06	1.34E+06
	总计	——	——	0.00E+00	4.38E+07	4.38E+07
储存 环 (线 损)	³ H	3.89E+08	2.35E-10	1.15E+04	1.96E+02	1.17E+04
	⁷ Be	4.60E+06	3.34E-09	1.64E+05	2.77E+03	1.67E+05
	¹¹ C	1.22E+03	9.76E-06	4.86E+08	6.47E+06	4.92E+08
	¹³ N	5.98E+02	1.44E-05	7.15E+08	7.84E+06	7.23E+08
	¹⁴ O	7.06E+01	8.04E-08	4.01E+06	1.23E+04	4.02E+06
	¹⁵ O	1.22E+02	1.76E-05	8.80E+08	4.13E+06	8.84E+08
	³⁵ S	7.56E+06	1.29E-10	6.35E+03	1.08E+02	6.46E+03
	³⁷ Ar	3.03E+06	2.69E-10	1.32E+04	2.24E+02	1.34E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	1.01E-07	5.01E+06	7.36E+04	5.08E+06
	³⁹ Cl	3.34E+03	9.32E-08	4.62E+06	7.09E+04	4.69E+06
	⁴¹ Ar	6.56E+03	1.20E-06	5.96E+07	9.56E+05	6.05E+07
	总计	——	——	2.15E+09	1.95E+07	2.17E+09
储存 环 (注 入点 损)	³ H	3.89E+08	1.40E-09	6.88E+04	1.17E+03	6.99E+04
	⁷ Be	4.60E+06	1.96E-08	9.62E+05	1.63E+04	9.78E+05
	¹¹ C	1.22E+03	5.72E-05	2.85E+09	3.79E+07	2.88E+09
	¹³ N	5.98E+02	8.61E-05	4.29E+09	4.70E+07	4.33E+09
	¹⁴ O	7.06E+01	4.60E-07	2.29E+07	7.06E+04	2.30E+07
	¹⁵ O	1.22E+02	1.06E-04	5.26E+09	2.47E+07	5.29E+09
	³⁵ S	7.56E+06	7.51E-10	3.68E+04	6.24E+02	3.75E+04
	³⁷ Ar	3.03E+06	1.32E-09	6.48E+04	1.10E+03	6.59E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	5.81E-07	2.88E+07	4.24E+05	2.93E+07
	³⁹ Cl	3.34E+03	5.73E-07	2.84E+07	4.36E+05	2.89E+07
	⁴¹ Ar	6.56E+03	3.67E-06	1.82E+08	2.91E+06	1.84E+08

隧道区域	核素	T _{1/2} (s)	动态饱和活度浓度 S _(reduced) , Bq/cm ³	年运行时排放量 Q _{itotal} , Bq	年停机后排放量 Q _{ctotal} , Bq	年总排放量 Q _{total} , Bq
	总计	——	——	1.27E+10	1.13E+08	1.28E+10
所有隧道	³ H	3.89E+08	——	8.03E+04	1.09E+05	1.90E+05
	⁷ Be	4.60E+06	——	1.13E+06	1.54E+06	2.66E+06
	¹¹ C	1.22E+03	——	3.33E+09	1.47E+08	3.48E+09
	¹³ N	5.98E+02	——	5.00E+09	1.69E+08	5.17E+09
	¹⁴ O	7.06E+01	——	2.69E+07	1.07E+05	2.71E+07
	¹⁵ O	1.22E+02	——	6.14E+09	8.50E+07	6.23E+09
	³⁵ S	7.56E+06	——	4.32E+04	6.29E+04	1.06E+05
	³⁷ Ar	3.03E+06	——	7.80E+04	8.03E+04	1.58E+05
	³⁸ Cl	2.23E+03	——	3.39E+07	1.81E+06	3.57E+07
	³⁹ Cl	3.34E+03	——	3.30E+07	1.87E+06	3.49E+07
	⁴¹ Ar	6.56E+03	——	2.41E+08	1.01E+07	2.51E+08
	总计	——	——	1.48E+10	4.17E+08	1.52E+10

3.3.1.3.3 冷却水的感生放射性计算

冷却水的感生放射性采用 FLUKA 程序模拟计算。为了计算冷却水的感生放射性，在束流管的上方，距束流管轴线 10cm 处，设置了一根和束流管一样大小的冷却水管，沿束流管相同走向。计算得到的静态饱和活度浓度如表 3-18 所示。由表 3-18 可以看出，HALF 冷却水的活化程度较低，最大饱和活度浓度在 10 Bq/L 量级，所有核素与豁免活度浓度的比值总和最大为 1.05E-03，比豁免要求（总和小于 1）小约 3 个量级。

表 3-18 冷却水活化计算结果

冷却水区域	核素	饱和活度浓度 S _{sat} , Bq/cm ³	豁免活度浓度, Bq/g	活度浓度与豁免活度浓度之比
直线冷却水	³ H	7.25E-02	1.00E+06	7.25E-08
	⁷ Be	1.78E-02	1.00E+03	1.78E-05
	¹⁰ C	1.79E-03	——	——
	¹¹ C	2.97E-02	——	——
	¹³ N	5.85E-03	——	——
	¹⁴ O	9.83E-04	——	——
	¹⁵ O	6.23E-02	1.00E+02	6.23E-04
	总计	1.91E-01	——	6.40E-04
运输线冷却水	³ H	1.63E-01	1.00E+06	1.63E-07
	⁷ Be	2.73E-02	1.00E+03	2.73E-05
	¹⁰ C	3.11E-03	——	——
	¹¹ C	5.86E-02	——	——
	¹³ N	1.16E-02	——	——

冷却水区域	核素	饱和活度浓度 S_{sat} , Bq/cm ³	豁免活度浓度, Bq/g	活度浓度与豁免活度浓度之比
	¹⁴ O	2.84E-03	——	——
	¹⁵ O	1.21E-01	1.00E+02	1.21E-03
	¹⁸ F	3.87E-01	1.00E+01	1.24E-03
	总计	1.63E-01	——	1.63E-07
储存环冷却水 (均匀束损)	³ H	1.81E-02	1.00E+06	1.81E-08
	⁷ Be	3.73E-03	1.00E+03	3.73E-06
	¹⁰ C	3.72E-04	——	——
	¹¹ C	7.10E-03	——	——
	¹³ N	1.28E-03	——	——
	¹⁴ O	3.55E-04	——	——
	¹⁵ O	1.44E-02	1.00E+02	1.44E-04
	总计	4.54E-02	——	1.48E-04
储存环冷却水 (注入点损)	³ H	1.24E-01	1.00E+06	1.24E-07
	⁷ Be	2.14E-02	1.00E+03	2.14E-05
	¹⁰ C	2.08E-03	——	——
	¹¹ C	4.70E-02	——	——
	¹³ N	1.05E-02	——	——
	¹⁴ O	2.59E-03	——	——
	¹⁵ O	9.87E-02	1.00E+02	9.87E-04
	¹⁸ F	3.75E-04	1.00E+01	3.75E-05
	总计	3.06E-01	——	1.05E-03

备注：豁免活度浓度为 0 表示 GB18871-2002 中没有列出该核素的豁免值。

3.3.1.3.4 结构部件、废束站、混凝土墙的感生放射性计算

结构部件（束流管、能谱测试线 YAG 靶、束流闸）、废束站、混凝土墙的感生放射性，采用 FLUKA 程序进行计算。计算结果如表 3-19~表 3-23 所示。

表 3-19 束流管的活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度浓度(Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与豁免活度浓度之比	活度与豁免活度之比
直线加速器束流管 均匀线损 (316L 不锈钢)	³⁷ Ar	4.37E-01	1.61E+05	1.00E+06	1.00E+08	4.37E-07	1.61E-03
	⁴³ Sc	5.32E-01	1.96E+05	——	——	——	——
	⁴⁴ Sc	1.92E+00	7.06E+05	——	——	——	——
	⁴⁵ Ti	1.42E+00	5.23E+05	——	——	——	——
	⁴⁶ Sc	1.36E+00	5.02E+05	1.00E+01	1.00E+06	1.36E-01	5.02E-01
	⁴⁷ Sc	5.81E-01	2.14E+05	1.00E+02	1.00E+06	5.81E-03	2.14E-01
	⁴⁷ V	1.05E+00	3.86E+05	0.00E+00	——	——	——

活化部件	核素	饱和活度 浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度 浓度(Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与 豁免活度浓 度之比	活度与 豁免活 度之比
	^{48}V	6.71E+00	2.47E+06	1.00E+01	1.00E+05	6.71E-01	2.47E+01
	^{49}V	1.91E+01	7.01E+06	——	——	——	——
	^{49}Cr	5.24E+00	1.93E+06	——	——	——	——
	^{51}Cr	1.45E+02	5.34E+07	1.00E+03	1.00E+07	1.45E-01	5.34E+00
	^{51}Mn	1.48E+00	5.43E+05	1.00E+01	1.00E+05	1.48E-01	5.43E+00
	^{52}V	1.06E+00	3.91E+05	——	——	——	——
	^{52}Mn	4.52E+00	1.66E+06	1.00E+01	1.00E+05	4.52E-01	1.66E+01
	^{53}Fe	1.28E+01	4.69E+06	——	——	——	——
	^{54}Mn	4.10E+01	1.51E+07	1.00E+01	1.00E+06	4.10E+00	1.51E+01
	^{55}Fe	4.09E+02	1.50E+08	1.00E+04	1.00E+06	4.09E-02	1.50E+02
	^{55}Co	5.63E-01	2.07E+05	1.00E+01	1.00E+06	5.63E-02	2.07E-01
	^{56}Mn	9.80E-01	3.60E+05	1.00E+01	1.00E+05	9.80E-02	3.60E+00
	^{56}Co	7.70E+00	2.83E+06	1.00E+01	1.00E+05	7.70E-01	2.83E+01
	^{57}Co	7.87E+01	2.89E+07	1.00E+02	1.00E+06	7.87E-01	2.89E+01
	^{57}Ni	8.96E+00	3.30E+06	——	——	——	——
	^{58}Co	4.27E+00	1.57E+06	1.00E+01	1.00E+06	4.27E-01	1.57E+00
	^{89}Zr	3.14E-01	1.15E+05	——	——	——	——
	^{90}Nb	5.50E-01	2.02E+05	——	——	——	——
	^{91}Mo	1.75E+00	6.43E+05	——	——	——	——
	^{99}Mo	1.98E+00	7.29E+05	——	——	——	——
	$^{44\text{m}}\text{Sc}$	9.62E-01	3.54E+05	——	——	——	——
	$^{52\text{m}}\text{Mn}$	4.07E+00	1.50E+06	1.00E+01	1.00E+05	4.07E-01	1.50E+01
	$^{53\text{m}}\text{Fe}$	6.15E+00	2.26E+06	——	——	——	——
	$^{58\text{m}}\text{Co}$	2.14E+00	7.86E+05	1.00E+04	1.00E+07	2.14E-04	7.86E-02
	$^{89\text{m}}\text{Y}$	4.18E+00	1.54E+06	——	——	——	——
	$^{91\text{m}}\text{Nb}$	1.55E+00	5.71E+05	——	——	——	——
	$^{91\text{m}}\text{Mo}$	1.15E+00	4.23E+05	——	——	——	——
	$^{93\text{m}}\text{Mo}$	1.81E+00	6.65E+05	——	——	——	——
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	1.74E+00	6.40E+05	1.00E+02	1.00E+07	1.74E-02	6.40E-02
	总计	7.83E+02	2.88E+08	——	——	8.26E+00	2.96E+02
储存环束 流管均匀 线损 (316L 不锈钢)	^{32}P	9.30E-02	4.80E+04	1.00E+03	1.00E+05	9.30E-05	4.80E-01
	^{37}Ar	1.69E-01	8.73E+04	1.00E+06	1.00E+08	1.69E-07	8.73E-04
	^{42}K	9.25E-02	4.77E+04	1.00E+02	1.00E+06	9.25E-04	4.77E-02
	^{43}Sc	1.98E-01	1.02E+05	——	——	——	——
	^{44}Sc	7.21E-01	3.72E+05	——	——	——	——
	^{45}Ti	5.19E-01	2.68E+05	——	——	——	——
	^{46}Sc	4.84E-01	2.50E+05	1.00E+01	1.00E+06	4.84E-02	2.50E-01
	^{47}Sc	2.09E-01	1.08E+05	1.00E+02	1.00E+06	2.09E-03	1.08E-01
	^{47}V	3.84E-01	1.98E+05	——	——	——	——

活化部件	核素	饱和活度 浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度 浓度(Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与 豁免活度浓 度之比	活度与 豁免活 度之比
	^{48}V	2.33E+00	1.20E+06	1.00E+01	1.00E+05	2.33E-01	1.20E+01
	^{49}V	6.08E+00	3.14E+06	—	—	—	—
	^{49}Cr	1.63E+00	8.42E+05	—	—	—	—
	^{51}Cr	4.20E+01	2.17E+07	1.00E+03	1.00E+07	4.20E-02	2.17E+00
	^{51}Mn	5.19E-01	2.68E+05	1.00E+01	1.00E+05	5.19E-02	2.68E+00
	^{52}V	3.17E-01	1.64E+05	—	—	—	—
	^{52}Mn	1.49E+00	7.66E+05	1.00E+01	1.00E+05	1.49E-01	7.66E+00
	^{53}Fe	3.76E+00	1.94E+06	—	—	—	—
	^{54}Mn	1.25E+01	6.44E+06	1.00E+01	1.00E+06	1.25E+00	6.44E+00
	^{55}Fe	1.16E+02	6.01E+07	1.00E+04	1.00E+06	1.16E-02	6.01E+01
	^{55}Co	1.88E-01	9.69E+04	1.00E+01	1.00E+06	1.88E-02	9.69E-02
	^{56}Mn	2.87E-01	1.48E+05	1.00E+01	1.00E+05	2.87E-02	1.48E+00
	^{56}Co	2.36E+00	1.22E+06	1.00E+01	1.00E+05	2.36E-01	1.22E+01
	^{57}Co	2.24E+01	1.16E+07	1.00E+02	1.00E+06	2.24E-01	1.16E+01
	^{57}Ni	2.61E+00	1.35E+06	—	—	—	—
	^{58}Co	1.21E+00	6.27E+05	1.00E+01	1.00E+06	1.21E-01	6.27E-01
	^{89}Zr	1.05E-01	5.44E+04	—	—	—	—
	^{90}Nb	1.74E-01	8.97E+04	—	—	—	—
	^{91}Mo	5.03E-01	2.60E+05	—	—	—	—
	^{99}Mo	5.53E-01	2.85E+05	—	—	—	—
	$^{44\text{m}}\text{Sc}$	3.62E-01	1.87E+05	—	—	—	—
	$^{52\text{m}}\text{Mn}$	1.34E+00	6.91E+05	1.00E+01	1.00E+05	1.34E-01	6.91E+00
	$^{53\text{m}}\text{Fe}$	1.81E+00	9.35E+05	—	—	—	—
	$^{58\text{m}}\text{Co}$	6.08E-01	3.14E+05	1.00E+04	1.00E+07	6.08E-05	3.14E-02
	$^{89\text{m}}\text{Y}$	1.41E+00	7.26E+05	—	—	—	—
	$^{91\text{m}}\text{Nb}$	4.36E-01	2.25E+05	—	—	—	—
	$^{91\text{m}}\text{Mo}$	3.31E-01	1.71E+05	—	—	—	—
	$^{93\text{m}}\text{Mo}$	5.40E-01	2.78E+05	—	—	—	—
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	4.85E-01	2.50E+05	1.00E+02	1.00E+07	4.85E-03	2.50E-02
	总计	2.28E+02	1.17E+08	—	—	2.56E+00	1.25E+02

备注：豁免活度浓度为 0 表示 GB18871-2002 中没有列出该核素的豁免值。

表 3-20 能谱测试线的 YAG 靶的活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度 浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度 浓度 (Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与 豁免活度浓 度之比	活度与豁 免活度之 比
能谱测试线 YAG 靶 (玻璃)	^3H	3.12E+02	4.70E+02	1.00E+06	1.00E+09	3.12E-04	4.70E-07
	^7Be	4.17E+01	6.29E+01	1.00E+03	1.00E+07	4.17E-02	6.29E-06
	^{11}C	1.56E+02	2.36E+02	—	—	—	—

活化部件	核素	饱和活度 浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度 浓度 (Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与 豁免活度浓 度之比	活度与豁 免活度之 比
	^{13}N	1.22E+01	1.84E+01	——	——	——	——
	^{15}O	2.20E+02	3.31E+02	1.00E+02	1.00E+09	2.20E+00	3.31E-07
	^{17}F	2.01E+01	3.03E+01	——	——	——	——
	^{18}F	5.45E+01	8.22E+01	1.00E+01	1.00E+06	5.45E+00	8.22E-05
	^{20}F	8.76E+01	1.32E+02	——	——	——	——
	^{22}Na	2.27E+02	3.43E+02	1.00E+01	1.00E+06	2.27E+01	3.43E-04
	^{23}Ne	5.01E+01	7.56E+01	——	——	——	——
	^{24}Na	2.49E+02	3.76E+02	1.00E+01	1.00E+05	2.49E+01	3.76E-03
	^{28}Al	5.96E+02	8.99E+02	——	——	——	——
	^{29}Al	4.56E+01	6.88E+01	——	——	——	——
	^{31}Si	6.60E+01	9.95E+01	1.00E+03	1.00E+06	6.60E-02	9.95E-05
	^{32}P	3.14E+01	4.73E+01	1.00E+03	1.00E+05	3.14E-02	4.73E-04
	^{33}P	3.34E+01	5.04E+01	1.00E+05	1.00E+08	3.34E-04	5.04E-07
	^{37}Ar	2.76E+02	4.16E+02	1.00E+06	1.00E+08	2.76E-04	4.16E-06
	^{38}K	3.66E+01	5.53E+01	——	——	——	——
	总计	2.52E+03	3.79E+03	——	——	5.54E+01	4.77E-03

备注：豁免活度浓度为 0 表示 GB18871-2002 中没有列出该核素的豁免值。

表 3-21 束流闸的活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度 浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度浓 度(Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与 豁免活度浓 度之比	活度与豁 免活度之 比
束流闸 (铜)	^{51}Cr	8.48E+01	1.14E+06	1.00E+03	1.00E+07	8.48E-02	1.14E-01
	^{57}Co	3.66E+02	4.91E+06	1.00E+02	1.00E+06	3.66E+00	4.91E+00
	^{58}Co	9.35E+02	1.26E+07	1.00E+01	1.00E+06	9.35E+01	1.26E+01
	^{60}Cu	7.38E+01	9.92E+05	——	——	——	——
	^{61}Co	1.56E+02	2.09E+06	1.00E+02	1.00E+06	1.56E+00	2.09E+00
	^{61}Cu	2.55E+03	3.43E+07	——	——	——	——
	^{62}Cu	4.33E+04	5.82E+08	——	——	——	——
	^{64}Cu	2.19E+04	2.94E+08	1.00E+02	1.00E+06	2.19E+02	2.94E+02
	^{66}Cu	1.45E+02	1.94E+06	——	——	——	——
	$^{58\text{m}}\text{Co}$	4.68E+02	6.29E+06	1.00E+04	1.00E+07	4.68E-02	6.29E-01
	$^{60\text{m}}\text{Co}$	1.02E+02	1.38E+06	1.00E+03	1.00E+06	1.02E-01	1.38E+00
	总计	7.01E+04	9.42E+08	——	——	3.18E+02	3.16E+02

备注：豁免活度浓度为 0 表示 GB18871-2002 中没有列出该核素的豁免值。

表 3-22 废束站的活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度浓度(Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与 豁免活度浓度之比	活度与豁免活度之比
直线末端废束站（石墨靶）	^3H	3.14E+04	4.70E+07	1.00E+06	1.00E+09	3.14E-02	4.70E-02
	^7Be	1.32E+04	1.97E+07	1.00E+03	1.00E+07	1.32E+01	1.97E+00
	^{10}C	1.27E+03	1.91E+06	——	——	——	——
	^{11}C	7.25E+04	1.09E+08	——	——	——	——
	总计	1.18E+05	1.77E+08	——	——	1.32E+01	2.02E+00

备注：豁免活度浓度为 0 表示 GB18871-2002 中没有列出该核素的豁免值。

表 3-23 直线加速器混凝土地面的活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度浓度 (Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与 豁免活度浓度之比	活度与豁免活度之比
直线加速器 290cm 厚混凝土地面	^3Be	3.40E-05	7.25E+05	1.00E+03	1.00E+07	3.40E-08	7.25E-02
	^7C	1.06E-04	2.25E+06	——	——	——	——
	^{11}N	1.08E-04	2.30E+06	——	——	——	——
	^{13}O	1.17E-03	2.50E+07	1.00E+02	1.00E+09	1.17E-05	2.50E-02
	^{14}F	1.55E-05	3.31E+05	1.00E+01	1.00E+06	1.55E-06	3.31E-01
	^{15}Na	1.02E-04	2.17E+06	1.00E+01	1.00E+06	1.02E-05	2.17E+00
	^{18}Na	7.49E-04	1.60E+07	1.00E+01	1.00E+05	7.49E-05	1.60E+02
	^{22}Mg	9.85E-06	2.10E+05	——	——	——	——
	^{24}Al	7.76E-04	1.65E+07	——	——	——	——
	^{25}Al	1.19E-05	2.53E+05	——	——	——	——
	^{27}Si	9.29E-05	1.98E+06	1.00E+03	1.00E+06	9.29E-08	1.98E+00
	^{28}Ar	7.25E-05	1.55E+06	1.00E+06	1.00E+08	7.25E-11	1.55E-02
	^{29}K	1.85E-05	3.95E+05	——	——	——	——
	^{30}K	6.62E-05	1.41E+06	1.00E+02	1.00E+06	6.62E-07	1.41E+00
	^{31}Ca	4.16E-05	8.87E+05	1.00E+04	1.00E+07	4.16E-09	8.87E-02
	^{32}Ca	4.51E-06	9.62E+04	——	——	——	——
	^{33}Sc	4.57E-06	9.74E+04	——	——	——	——
	^{34}Fe	4.75E-06	1.01E+05	——	——	——	——
	^{35}Fe	2.43E-04	5.17E+06	1.00E+04	1.00E+06	2.43E-08	5.17E+00
	$^{37\text{m}}\text{Cl}$	3.53E-06	7.52E+04	——	——	——	——
	总计	3.63E-03	7.75E+07	——	——	9.91E-05	1.71E+02

备注：豁免活度浓度为 0 表示 GB18871-2002 中没有列出该核素的豁免值。

3.3.1.3.5 土壤和地下水的感生放射性分析

根据第一章 1.4.1.2 小节，混凝土屏蔽体与土壤交界处的瞬发剂量率控制水平为

5mSv/h。根据第五章瞬发辐射的计算结果及剂量率分布图可以看出，混凝土屏蔽体与土壤交界处的剂量率都满足该限值要求，且普遍在 10μSv/h 以下，因此，本节不再对其感生放射性核素进行分析。

3.3.1.4 非放射性有害气体

在加速器辐射区，空气中的氧气、二氧化氮（NO₂）和氮气（N₂）均可吸收 γ 射线的辐射能量，发生辐射分解，形成氧原子（O）和一氧化氮（NO）。反应方程如下：



其中产生的氧原子（O）与空气中的氧气（O₂）结合生成臭氧（O₃）；产生的一氧化氮（NO）通过与氧气（O₂）或臭氧（O₃）反应生成二氧化氮（NO₂），二氧化氮（NO₂）与空气中的水分子反应生成硝酸（HNO₃）。反应方程式如下：



其中，产生出的臭氧对人体健康有害，产生出的硝酸可腐蚀加速器设备。参照 NCRP-144 号报告，照射期间，臭氧的浓度满足下面的平衡方程：

$$\frac{dN}{dt} = gI - \alpha N - \kappa IN - \frac{QN}{V} \quad (3.3.1.4-9)$$

式中，各物理量含义如下：

dN/dt : 单位体积单位时间臭氧形成（或分解）的速率（ $\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ）；

N : 辐照时间 t 后单位体积的臭氧数目；

I : 空气中单位体积单位时间的光子能量沉积（ $\text{eV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ）；

g : 空气中单位光子能量沉积形成的臭氧分子数目（ eV^{-1} ）；

α : 臭氧分子的化学分解速率（ s^{-1} ）；

κ : 单位光子能量沉积的臭氧分子的辐照离解速率 ($\text{eV}^{-1} \cdot \text{m}^3$) ;

Q : 通风速率 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ;

V : 被辐照空气的体积 (m^3) 。

该方程的解为下式:

$$N(t) = \frac{gI}{\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}} \left[1 - e^{-\left(\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}\right)t} \right] \quad (3.3.1.4-10)$$

在长时间照射条件下, 即上式 $t \rightarrow \infty$, 得到臭氧的饱和浓度为:

$$N_{\text{sat}} = \frac{gI}{\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}} \quad (3.3.1.4-11)$$

计算中, 各物理量参照 NCRP-144 号报告, 取值如下:

(1) g 值在高剂量率 ($> 5 \times 10^8 \text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$) 下取 0.103eV^{-1} , 低剂量率下取值 0.074eV^{-1} , 本装置属低剂量率情形, 取后者;

(2) α 和 κ 分别取值 $2.3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 和 $1.4 \times 10^{-16} \text{eV}^{-1} \cdot \text{m}^3$;

(3) 通风频率 Q/V 取值为: 运行时, 直线、输运线隧道为 0 次/h, 储存环为 0.6 次/h; 停机后, 直线、输运线、储存环隧道均为 8 次/h;

(4) I 由 FLUKA 程序直接模拟得到, 见表 3-24。

长时间照射条件下, NO_2 的饱和浓度 N'_{sat} 可由计算得到的臭氧的饱和浓度 N_{sat} 、 NO_2 和臭氧的 g 值比换算得到:

$$N'_{\text{sat}} = \frac{g'}{g} \cdot N_{\text{sat}} \quad (3.3.1.4-12)$$

式中, NO_2 的 g' 取值参照 NCRP-144 号报告, 低剂量率下取值为 0.84eV^{-1} 。

表 3-24 计算各隧道区域有害气体时采用的辐射源项和通风系统参数

区域	束流损失 (pri/s)	运行时 Q/V (次/h)	停机后 Q/V (次/h)	空气体积 V (m^3)	空气中单位体积单位 时间的光子能量沉积 I ($\text{eV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)
直线隧道	6.5625E+10	0	8	7.31E+03	4.35E+13
输运线隧道	3.1250E+09	0	8	1.75E+03	9.42E+13
储存环(线损)	1.3907E+09	0.6	8	1.15E+04	1.05E+13
储存环(注入点损)	9.3750E+09	0.6	8	1.15E+04	6.57E+13
储存环(线损+注入点损)	1.0766E+10	0.6	8	1.15E+04	7.62E+13

表 3-25 各隧道区域的臭氧和二氧化氮的饱和浓度和排放速率

隧道区域	空气体积 V, m ³	O ₃ 饱和 浓度, mg/m ³	运行时 O ₃ 排 放 速 率, kg/h	停机后 O ₃ 排放速 率, kg/h	NO ₂ 饱 和浓度, mg/m ³	运 行 时 NO ₂ 排 放 速率, kg/h	停 机 后 NO ₂ 排 放 速率, kg/h
直线	7.31E+03	4.06E-05	0.00E+00	2.38E-06	2.52E-05	0.00E+00	1.48E-06
输运线	1.75E+03	4.14E-05	0.00E+00	5.81E-07	2.57E-05	0.00E+00	3.61E-07
储存环（线损 +注入点损）	1.15E+04	7.36E-05	5.10E-07	6.80E-06	4.58E-05	3.17E-07	4.23E-06
合计	2.06E+04	1.56E-04	5.10E-07	9.76E-06	9.68E-05	3.17E-07	6.06E-06

表 3-24 给出了计算时,采用的辐射源项和通风系统参数,其中通风系统参数一致;列出的 2 个辐射源项参数(每秒的束流损失和空气单位体积单位时间的光子能量沉积 I),来源于计算瞬发辐射时得到的结果,在 5.2.1.1 节进行了详细描述。

表 3-24 给出了按上述公式和参数计算得到的臭氧和二氧化氮的饱和浓度和排放速率。由表 3-25 的计算结果,结合国家标准分析如下:

(1) 各隧道区域中,有害气体浓度最大的是储存环,其臭氧和二氧化氮的饱和浓度比《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中的二级浓度限值 0.16 mg/m³ 和 0.04 mg/m³ 低 2 个量级以上。因此,臭氧对检修人员的危害可以忽略。

(2) 有害气体排放到环境中后受到大气的稀释,显然该排放造成周围空气中的环境空气浓度更是大大低于上述限值。

(3) NO₂ 的排放浓度比《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)中规定的排放浓度最高限值 240 mg/m³ 低 7 个量级以上,比规定的无组织排放监控浓度限值 0.12 mg/m³ 低 4 个量级以上,排放速率比国标 GB 16297-1996 中规定的排放速率二级标准限值 0.77 kg/h 低 5 个量级以上。

综上可知臭氧及氮氧化物等的产生和排放对工作场所和环境的影响是很微小的,其饱和浓度、排放速率及在环境空气中造成的浓度皆大大低于控制目标值。

3.3.1.5 电磁辐射

HALF 注入器微波系统频率为 2856MHz,主要用于提供稳定可调的微波电场幅度和相位,将束流能量加速至 2.2 GeV,微波系统在工作时会产生电磁辐射。为了保证电

场幅度、相位等闭环的工作稳定性，以及减小辐射源对外界的干扰，在微波系统功率源的结构与工艺设计中采用金属屏蔽腔：内置独立屏蔽腔体结构，外部配置金属机柜；高频功率源整机系统中高频放大链和低频控制电路、外围电路在结构上分腔设计，降低电磁辐射对控制电路及外界的干扰。经过以上措施后，可以使周围环境的电磁辐射造成的功率密度小于国家规定的管理目标限值。电磁辐射对工作人员的影响较小，对环境的影响也较小。

3.3.2 非放射性污染源项

3.3.2.1 施工期的源项分析

拟建项目施工阶段主要内容为基础工程（围挡、挖方、地基建设、场地的填土和夯实等）、主体工程（钻孔灌注，现浇钢砼柱、梁，砖墙砌筑等）、装饰工程、设备安装等，施工阶段污染源主要为施工扬尘、废水、各种施工设备和运输车辆的噪声及施工过程中产生的建筑垃圾、生活垃圾等。

3.3.2.2 运营期的源项分析

（1）废气

本项目非放废气主要为：

①超声波清洗、原位反应等产生的有机废气（以非甲烷总烃计），采用集气罩收集后经 1 套二级活性炭吸附装置处理后经 15 米排气筒排放。

②辐射区会产生臭氧（ O_3 ）、氮氧化物（主要以 NO_2 为主）等非放射性废气，根据表 3-25 及分析结果可知，臭氧及氮氧化物等的产生和排放对工作场所和环境的影响是很微小的，其饱和浓度、排放速率及在环境空气中造成的浓度皆大大低于控制目标值，因此可忽略其影响，后文不再赘述。

（2）废水

根据《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中《33-37，431-434 机械行业系数手册》，超声清洗及原位反应预处理废水中各项污染物产污系数见表 3-26。

表 3-26 33-37, 431-434 机械行业系数表（摘录）

原料名称	产品名称	工艺名称	污染物指标		单位	产污系数	治理技术名称	末端治理技术平均去除效率
清洗液	清洗件	加工件清洗	废水	COD	kg/t-原料	58.5	化学混凝法+生物接触氧化法	82
				石油类		19.5		85

因《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中《33-37, 431-434 机械行业系数手册》中无清洗废水 SS、LAS 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的产污系数, 本次环评 SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 参考《安徽赢嘉天晟环保新材料有限公司瓶片回收清洗生产项目》(环建审〔2022〕3070 号, 2022 年 6 月 29 日) 中清洗废水 SS 产生浓度为 60mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 产生浓度为 4.038mg/L。LAS 产生浓度需根据清洗剂的表面活性剂成分进行计算。

运营期生产废水主要为:

①超声清洗废水

超声清洗过程中会产生清洗废水, 超声清洗(弱酸/弱碱)工艺清洗液用量为 105t/a, 超声清洗(乙醇、丙酮、石油醚)工艺清洗液(乙醇、丙酮、石油醚)用量为 0.8t/a, 因此本项目清洗液用量为 105.8t/a, 根据表 3-26 计算, COD 产生量为 $105.8 \times 58.5 / 1000 = 6.19\text{t/a}$, 废水产生量为 2100t/a, 则 COD 产生浓度为 $6.19 \times 10^6 / 2100 = 2947.62\text{mg/L}$; 石油类产生量为 $105.8 \times 19.5 / 1000 = 2.06\text{t/a}$, 则石油类产生浓度为 $2.06 \times 10^6 / 2100 = 980.95\text{mg/L}$; 根据清洗剂成分: 弱酸性清洗剂中 LAS 含量约占 24%, 年用量 3t, 则 LAS 产生量为 0.72t/a, 弱碱性清洗剂中 LAS 含磷约占 13%, 年用量 2t。则 LAS 产生量为 0.26t/a, 合计 LAS 产生量为 0.98t/a, LAS 产生浓度为 466.67mg/L; SS 产生浓度为 60mg/L, 产生量为 0.126t/a; $\text{NH}_3\text{-N}$ 产生浓度为 4.038mg/L, 产生量为 0.008t/a。

②原位反应清洗废水

原位反应清洗过程会产生清洗废水, 乙醇、丙酮、异丙醇、乙二醇原料合计用量为 0.96t/a, 废水量约为 400t/a, 根据表 3-26 计算, COD 产生量为 $0.96 \times 58.5 / 1000 = 0.05616\text{t/a}$, 则产生浓度 $0.05616 \times 10^6 / 400 = 140.4\text{mg/L}$, SS 产生浓度为 60mg/L, 产生量为 0.024t/a; $\text{NH}_3\text{-N}$ 产生浓度为 4.038mg/L, 产生量为 0.0016t/a。

上述废水经混合后进入废水处理站处理，混合后废水量为 2500t/a，COD 产生浓度为 2498mg/L，石油类产生浓度为 824mg/L，SS 产生浓度为 60mg/L，LAS 产生浓度为 392mg/L，NH₃-N 产生浓度为 4.038mg/L。废水站处理工艺为“中和沉淀+气浮+A/O 氧化”，设计处理规模为 15m³/d，经处理达标后排入市政污水管网。

③运营期工作人员会产生一定量的生活污水，产生量为 3600t/a，主要污染物为 pH、COD、BOD₅、SS、NH₃-N，经化粪池处理后接入市政污水管网。

(3) 噪声

项目投入运营后，主要的噪声源为能源中心（含热工及冷冻站、空压站、低温中心、换热站及泵房、空调冷冻站、风机、实验设备、储存环水冷泵房、注入器水冷泵房等）运行产生的噪声，各设备均选用低噪声设备，设有减震弹簧和橡皮垫等减振降噪措施，同时机房内部设置吸声措施。评价范围内无学校、居民等环境敏感目标，对周围声环境影响较小。

(4) 固体废物

本项目产生的非放固体废物主要来自于工作人员产生的生活垃圾，设置若干个垃圾桶收集后，交由环卫部门统一处理，不会对环境造成明显影响。本项目产生的一般工业固废主要为废包装材料，收集后外售处置；危险废物主要为废清洗剂包装桶、乙醇废液、丙酮废液、石油醚废液、废机械泵油、废机械泵油包装桶、异丙醇废液、乙二醇废液、废树脂、废石英砂、废活性炭、废滤网、废抹布、残留固态样品和催化剂、废气处理活性炭，暂存于危废仓库，定期交由有资质单位处理。

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废弃物

3.4.1.1 放射性废气

HALF 运行期间在注入器隧道及储存环隧道区域可能产生感生放射性气体，其主要放射性核素为 ¹¹C($T_{1/2}[^{11}\text{C}]=20.39\text{min}$)、¹³N($T_{1/2}[^{13}\text{N}]=9.965\text{min}$)、¹⁵O($T_{1/2}[^{15}\text{O}]=2.037\text{min}$)

和 ^{41}Ar ($T_{1/2}[^{41}\text{Ar}]=1.8\text{h}$)。根据第三章的计算结果, HALF 空气活化程度比较轻微, 核素的最大活度浓度在 100 Bq/m^3 量级, 年排放量为 $1.52\text{E}+10\text{Bq}$ 。

3.4.1.2 放射性废液

本项目产生的放射性废液主要是活化冷却水。加速器所用冷却水为去离子水, 去离子水在使用过程中, 由于 ^{16}O 散裂反应可能形成的放射性核素除 ^3H 、 ^7Be 外, 其余核素的半衰期都很短, 放置一段时间就基本可以衰变。根据第三章的计算结果, HALF 冷却水的活化程度较低, 最大饱和活度浓度在 10Bq/L 量级。

3.4.1.3 放射性固体废物

HALF 可能产生的放射性固体废物主要为装置的活化部件, 主要为废束流管, 其主要材料为不锈钢, 感生放射性模拟结果列于表 3-19。由表 3-19 可知, 废束流管的活化水平不高, 直线束流管、储存环束流管所有核素的饱和活度浓度分别为 $1.01\text{E}+03\text{Bq/g}$ 、 $2.28\text{E}+02\text{Bq/g}$, 属于低放废物。计划 HALF 正常运行后五年需拆除的加速管总量为: 8 根 4.5m 段, 16 根 2.5m 段。经估算, 可能产生的活化固体废物总量约 206kg 。

3.4.1.4 O_3 、 NO_2 等有害气体

O_3 、 NO_2 等有害气体来源于电子束流损失产生的次级 γ 射线引起空气中氧的分解生成自由基, 再经过化学反应而形成。饱和浓度及排放速率已在第 3.3.1.4 节中给出。这些有害气体将通过通风系统排向大气环境。

3.4.2 非放射性废弃物

3.4.2.1 施工期的废弃物

拟建项目在施工阶段的污染源主要为废气: 施工扬尘和粉尘、车辆尾气; 废水: 施工生产废水、生活污水; 固体废弃物: 建筑垃圾、生活垃圾; 噪声: 各种施工设备和运输车辆的噪声等。

3.4.2.2 运营期的废弃物

(1) 废气

本项目废气主要为超声波清洗、原位反应等产生的有机废气（以非甲烷总烃计），经集气罩收集后采用活性炭吸附处理后经排气筒排放（排气口距地 15m）。

(2) 废水

本项目运营期废水主要为工作人员产生的生活污水和生产废水，项目工作人员共计 150 人，年工作 300 天，以每天每人用水 100L 计算，80%用水成为非放射性生活污水排出计算，污水产生量为 12m³/d。因此，本项目产生的生活污水共计 3600 m³/d。主要污染物为 pH 值、COD、BOD₅、SS、NH₃-N。

本项目生产废水主要为零件超声波清洗（弱酸/弱碱清洗剂）废水 100t/a、零件超声清洗工艺（乙醇/丙酮/石油醚）2000t/a，原位反应废水 400t/a，合计 2500t/a，主要污染物为 pH 值、COD、SS、LAS、石油类、NH₃-N，经废水处理站处理后接入市政污水管网。

(3) 固体废物

本项目产生的固体废物主要为工作人员产生的生活垃圾、一般工业固废及危险废物，按人均产生生活垃圾 0.5kg/d 计，项目定员 150 人，年工作 300 天，则生活垃圾产生量为 22.5t/a，收集后委托环卫部门处理；一般工业固废主要为废包装材料 10t/a，废滤材（废石英砂、废活性炭、废滤网）0.5t/a，收集后外售处置；危险废物主要为废清洗剂包装桶、乙醇废液、丙酮废液、石油醚废液、废机械泵油、废机械泵油包装桶、异丙醇废液、乙二醇废液、废树脂，暂存于危废仓库内，定期由中国科学技术大学定期收集转至专业三废处理企业处置，学校每年和三废处理企业签订处理合同。

4 辐射安全与防护设施

4.1 辐射工作场所布局与分区

4.1.1 辐射工作场所布局

本项目的辐射工作场所位于主体建筑和技术安全楼内。

(1) 主体建筑辐射工作场所布局

主体建筑的辐射工作场所包括注入器隧道、储存环隧道及线站大厅。注入器隧道(含直线加速器及输运线)位于储存环隧道的东南侧。线站大厅位于主体建筑中心圆环区内。储存环隧道位于线站大厅中央,储存环设备厅位于储存环隧道内圈。线站大厅有光束线沿切线方向从储存环隧道的锯齿墙(短墙)引出,并在光束线的延长方向搭建实验用束线站(部分区域位于线站防护棚屋内)。线站防护棚屋包含在线站大厅的区域内。

(2) 技术安全楼辐射工作场所布局

技术安全楼位于主体建筑西侧。技术安全楼一楼西侧设有 1 间放射性固体废物暂存间、1 间源库、刻度室。放射性固体废物暂存间位于源库北侧;放射性固体废物暂存间、源库的东侧为刻度室、楼梯、门厅,上方为检测室、空调排烟机房等。

4.1.2 辐射工作场所分区

为便于辐射防护管理和职业照射控制,根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定,应将辐射工作场所分为控制区和监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域;监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施,但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。

本项目辐射工作场所分区如图 4-1~图 4-4 所示。具体分区如下:

(1) 控制区:主体建筑内的注入器隧道、储存环隧道、线站防护棚屋,技术安全楼内的放射性固体废物暂存间、源库、刻度室。

(2) 监督区：控制区外部的工作场所。包括：注入器隧道控制区外的设备入口及前室、洁净室、速调管走廊、控制间、准备间等；储存环隧道控制区外的线站大厅（含线站防护棚屋之外的部分）、控制室、电源厅、空调机房、变电所、实验准备间、水冷泵房等；技术安全楼内与放射性固体废物暂存间、源库、刻度室相邻的检测室等。

HALF 园区内物流、人流分离，设有专门的设备通道、人员通道。对辐射工作场所严格实行分区管理。在主体建筑的控制区进出口等主要位置设置明显的电离辐射警告标志、警示说明、管制状态指示和语音提示器，运行期间禁止进入，装置停机后经授权并解除联锁后才能进入，进入时必须佩戴具有报警功能的 EPD 电子个人剂量计。在放射性固体废物暂存间、源库、刻度室的门口设置明显的电离辐射警告标志，经授权方可进入，进入时必须佩戴具有报警功能的 EPD 电子个人剂量计。

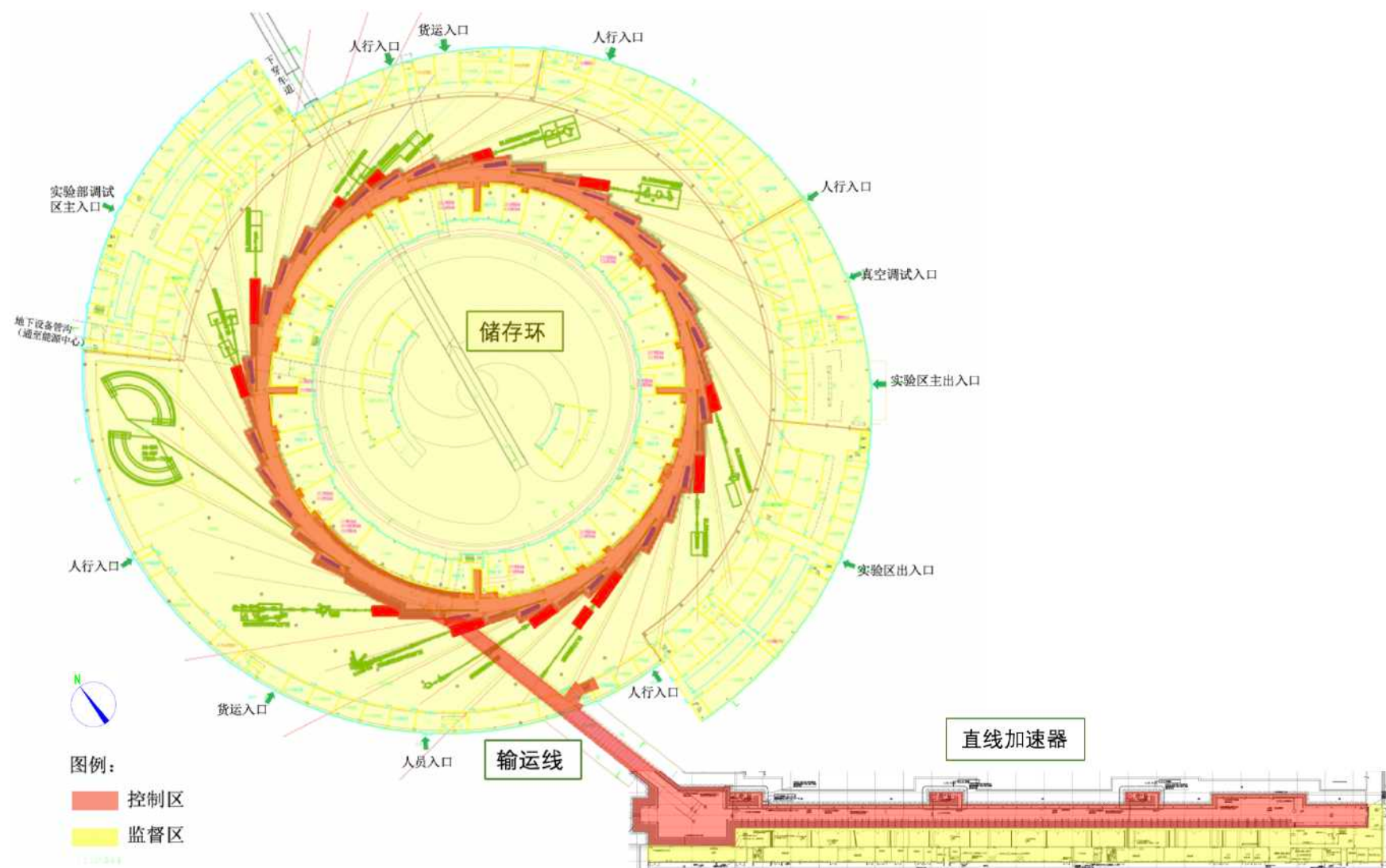
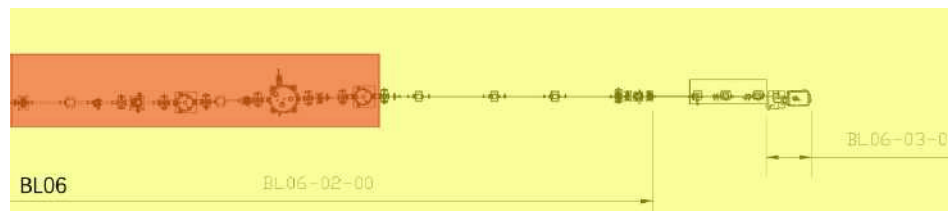
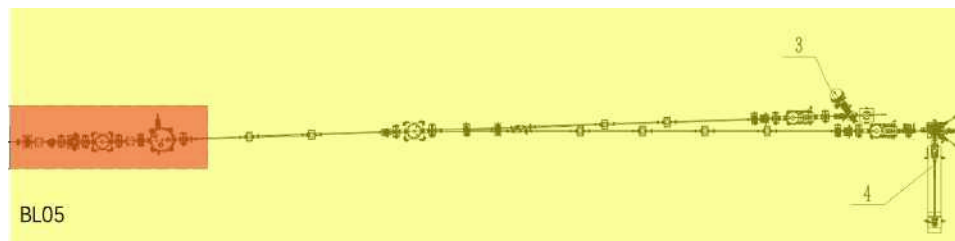
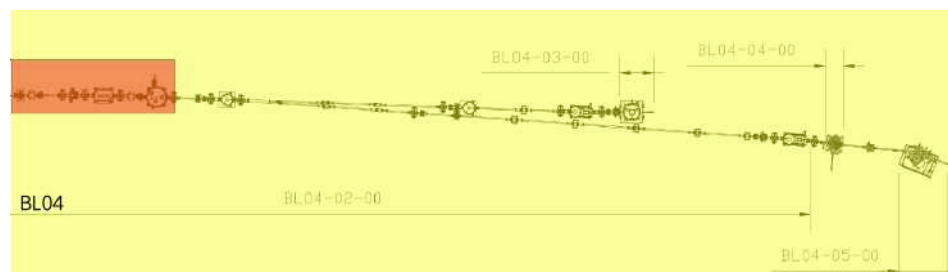
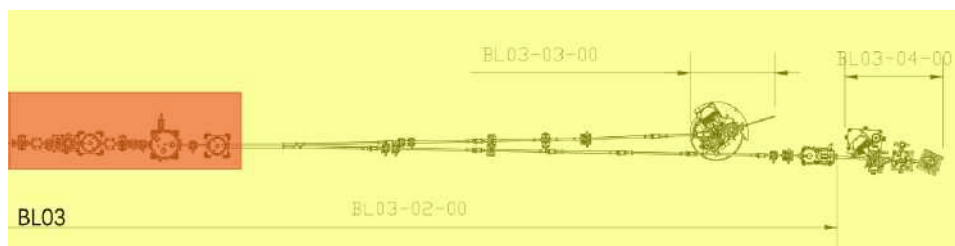
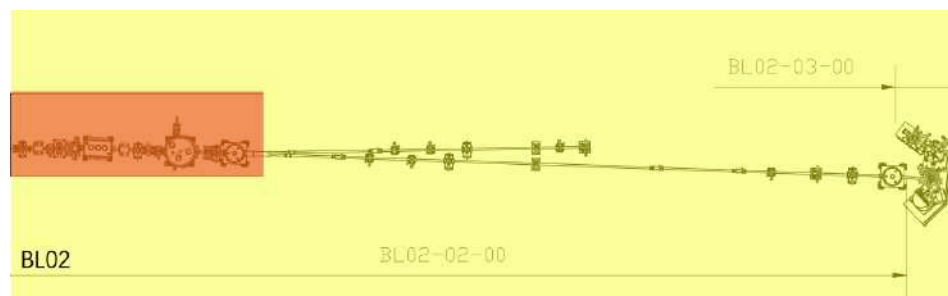
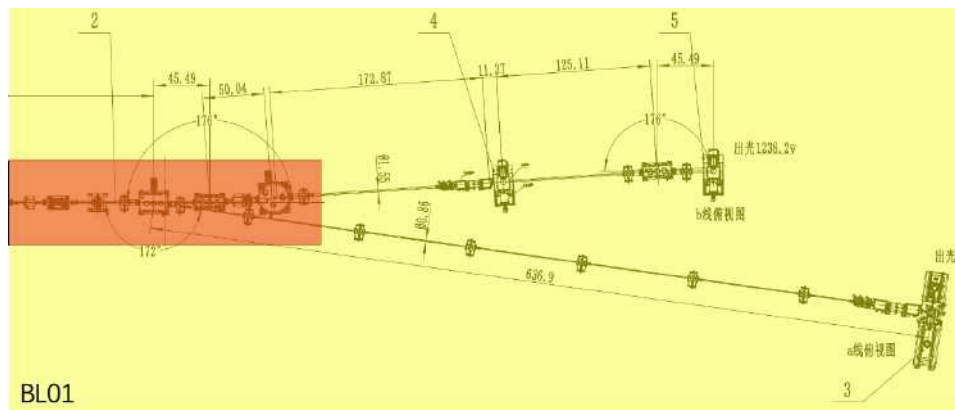


图 4-1 HALF 主体建筑辐射工作场所分区图



图例:

- 控制区
- 监督区

图 4-2 BL01~BL06 光束线站工作场所分区图（局部放大）

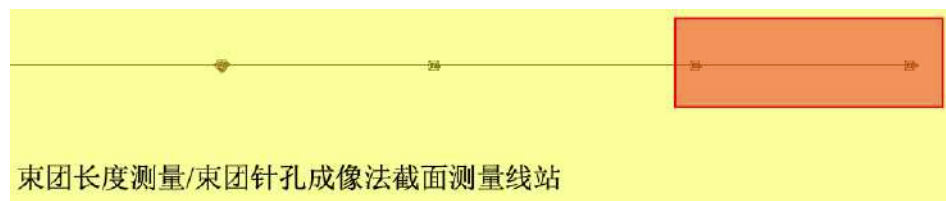
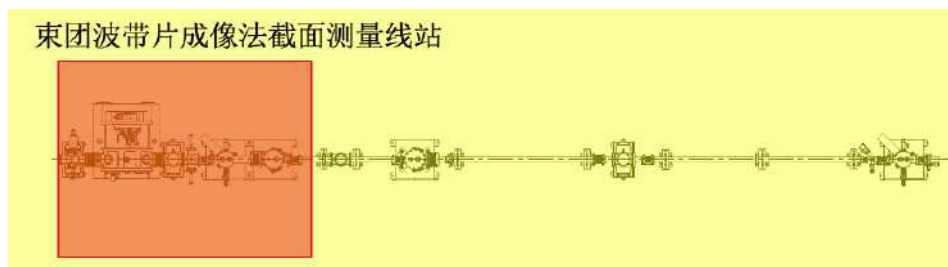
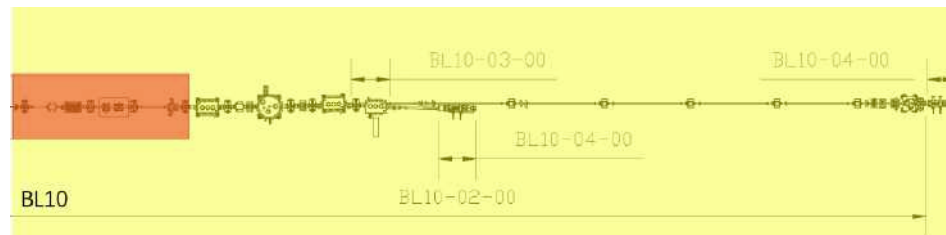
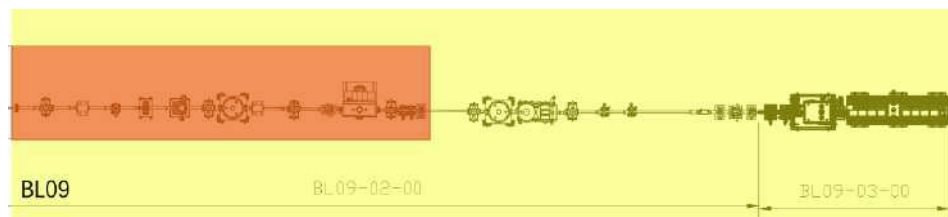
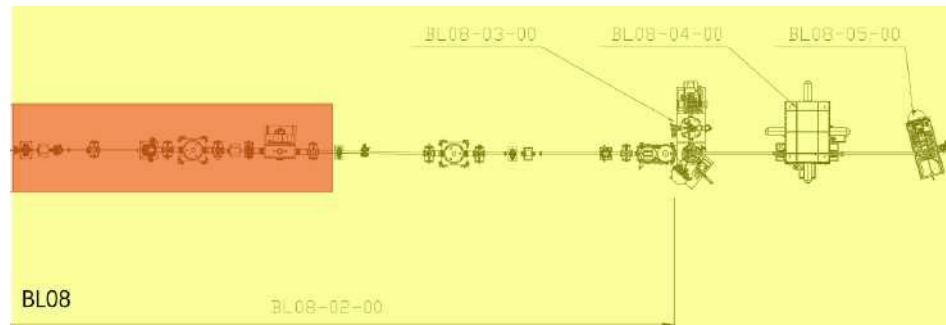
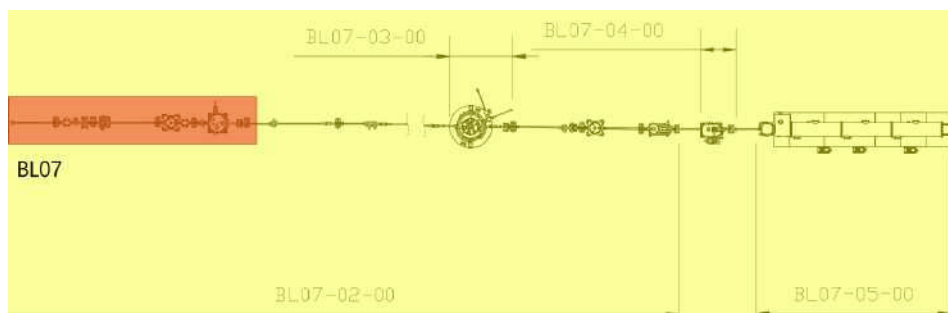


图 4-3 BL07~BL10 及 2 条测试光束线站工作场所分区图（局部放大）

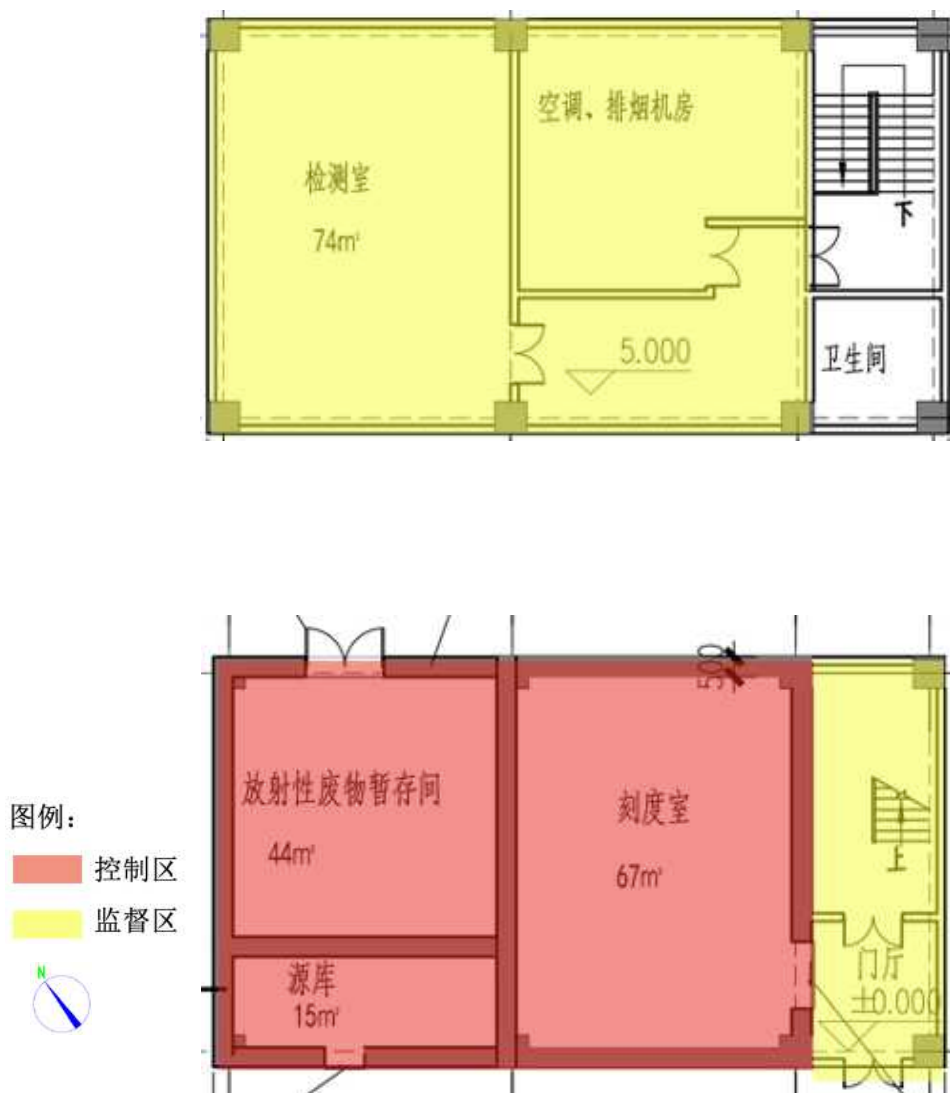


图 4-4 技术安全楼辐射工作场所分区图（上图：二层；下图：一层）

4.2 辐射屏蔽

4.2.1 辐射屏蔽设计方案

HALF 装置辐射屏蔽设计方案如表 4-1 及图 4-5、图 4-6 所示。主体建筑平面、剖面图详见附图 2。线站棚屋防护设计情况如表 4-2 所示，线站棚屋设计情况详见附图 5。

表 4-1 HALF 装置辐射屏蔽设计及周围环境分布情况

位置	屏蔽体		混凝土厚度	周围环境
直线加速器隧道： 净宽 4m、 净高 3.5m	东墙	墙体	0.5m	设备入口及前室
	南墙	东部	1.0m	洁净室、楼梯、走廊
		中西部	2.2m	速调管走廊
	北墙	3 处迷宫	1.6m	楼梯间
		其余墙体	0.5m	土层
	西侧束流终端	南墙	2.2m	水泵机房
		西墙束流前向	2.7m	土层
		西墙束流侧向	2.6m	土层
		北墙	1.4m	土层
		顶板	0.21m 夹层板+0.39m（夹层空间）+2.5m 顶板	覆土
	顶板		（1）2-4~2-22 轴区域：0.2m 混凝土（密度 2.35g/cm ³ ）+0.4m（夹层空间）+0.8m 混凝土（密度 2.35 g/cm ³ ）+0.2m 细石混凝土（密度 2.1 g/cm ³ ）+3.6m 夯土（压实度 0.8，密度 1.44 g/cm ³ ）。 （2）2-22~2-25 轴区域：0.36m 混凝土（密度 2.35 g/cm ³ ）+0.4m（夹层空间）+0.8m 混凝土（密度 2.35 g/cm ³ ）+0.2m 细石混凝土（密度 2.1 g/cm ³ ）+3.44m 夯土（压实度 0.8，密度 1.44 g/cm ³ ）。 （3）2-25~2-27 轴区域：0.21m 混凝土（密度 2.35 g/cm ³ ）+0.39m（夹层空间）+0.8m 混凝土（密度 2.35 g/cm ³ ）+0.2m 细石混凝土（密度 2.1 g/cm ³ ）+3.44~1.8m 夯土（压实度 0.8，密度 1.44 g/cm ³ ）。	覆土
	底板		0.2m 夹层板+0.6m（夹层空间）+1.5m 筏板	土层
输运线隧道：	东墙	2 处迷宫	1.6m	楼梯间

位置	屏蔽体		混凝土厚度	周围环境
净宽 4m、 净高 2.8m		其余墙体	0.5m	土层
	西墙		0.5m	土层
	顶板	水平传输段	(1) 室外部分: 0.2m 混凝土 (密度 2.35 g/cm ³) +0.4m (夹层空间)+1.7m 混凝土 (密度 2.35 g/cm ³) +0.2m 细石混凝土 (密度 2.1 g/cm ³) +0.4m 夯土 (压实度 0.8, 密度 1.44 g/cm ³) ; 两侧飞边 3.0m ×0.5m 混凝土。 (2) 室内部分: 储存环隧道外 (线站大厅区域) 为 1.6m 混凝土 (密度 2.45 g/cm ³) +0.2m 混凝土 (密度 2.0 g/cm ³) ; (3) 室内部分: 储存环隧道内为 1.8m 混凝土 (密度 2.45 g/cm ³) +0.1m 混凝土 (密度 2.0 g/cm ³) 。	线站大厅、外技术走廊、实验用房、覆土
		爬坡段	最薄处 1.6m	线站大厅
	底板	水平传输段	1.5m	土层
		爬坡段	最薄处 0.2m 夹层板+0.6m (夹层空间) +1.5m 筏板	土层
储存环隧道	注入区	内墙	2.1m	1 号电源厅
		外墙	长墙: 1.8~2.7m, 短墙: 1.28~1.48m, 局部增加钢板、铅板, 详见图纸	线站大厅
		顶板	2.4 m	吊车区、人行天桥
		底板	2 m	土层
	非注入区	内墙	0.6m	束测本地站、门厅、真空本地站、电源厅、高频间、管线间、空调机房等
		外墙	长墙: 1 m; 短墙: 0.98m, 局部增加 1cm 钢板 +15cm 铅板+1cm 钢板 (高 3.3m) , 详见图纸	线站大厅

位置	屏蔽体	混凝土厚度	周围环境
	顶板	0.8 m 混凝土	吊车区、人行天桥、管线区
	底板	1.5m 筏板	土层

表 4-2 线站棚屋防护设计情况表

序号	名称	棚屋内部尺寸, m	辐射防护设计方案
1	BL01 能源转换及天体化学光电质谱光束线	10.5×3.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+4+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+3+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+55+5mm
2	BL02 极紫外电子态表征及光刻工艺光束线	9.0×3.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+6+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+2+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+45+5mm
3	BL03 微纳器件工况电子态表征光束线	7.0×4.6×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+6+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+2+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+55+5mm
4	BL04 高灵敏自旋时空分辨光束线	9.2×3.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+7+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+2+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+30+5mm
5	BL05 原位工况软 X 射线谱学与散射光束线	11.2×3.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+7+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+2+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+30+5mm
6	BL06 软 X 射线显微谱学相干成像光束线	15.5×4.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+8+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+2+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+35+5mm
7	BL07 多尺度时空分辨共振相干散射光束线	13.0×3.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+6+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+2+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+35+5mm
8	BL08 高通量原位工况中能谱学光束线	10.0×3.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+4+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+1+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+40+5mm
9	BL09 中能显微谱学相干成像光束线	12.0×4.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+8+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+3+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+70+5mm
10	BL10 光束线技术测试光束线	13.0×4.0×3.0	侧墙 Fe+Pb+Fe: 5+8+5mm; 顶板 Fe+Pb+Fe: 5+3+5mm; 后端墙 Fe+Pb+Fe: 5+55+5mm
	BL10 光束线技术测试实验站	7.0×4.0×3.0	侧墙 Pb: 1mm; 顶板 Pb: 1mm; 后端墙 Pb: 30mm
11	束团波带片成像法截面测量线站	3.0×3.0×3.0	侧墙 Pb: 1mm; 顶板 Pb: 1mm; 后端墙 Pb: 2mm
12	束团长度测量/束团针孔成像法截面测量线站	6.0×3.5×3.0	侧墙 Pb: 1mm; 顶板 Pb: 1mm; 后端墙 Pb: 1mm

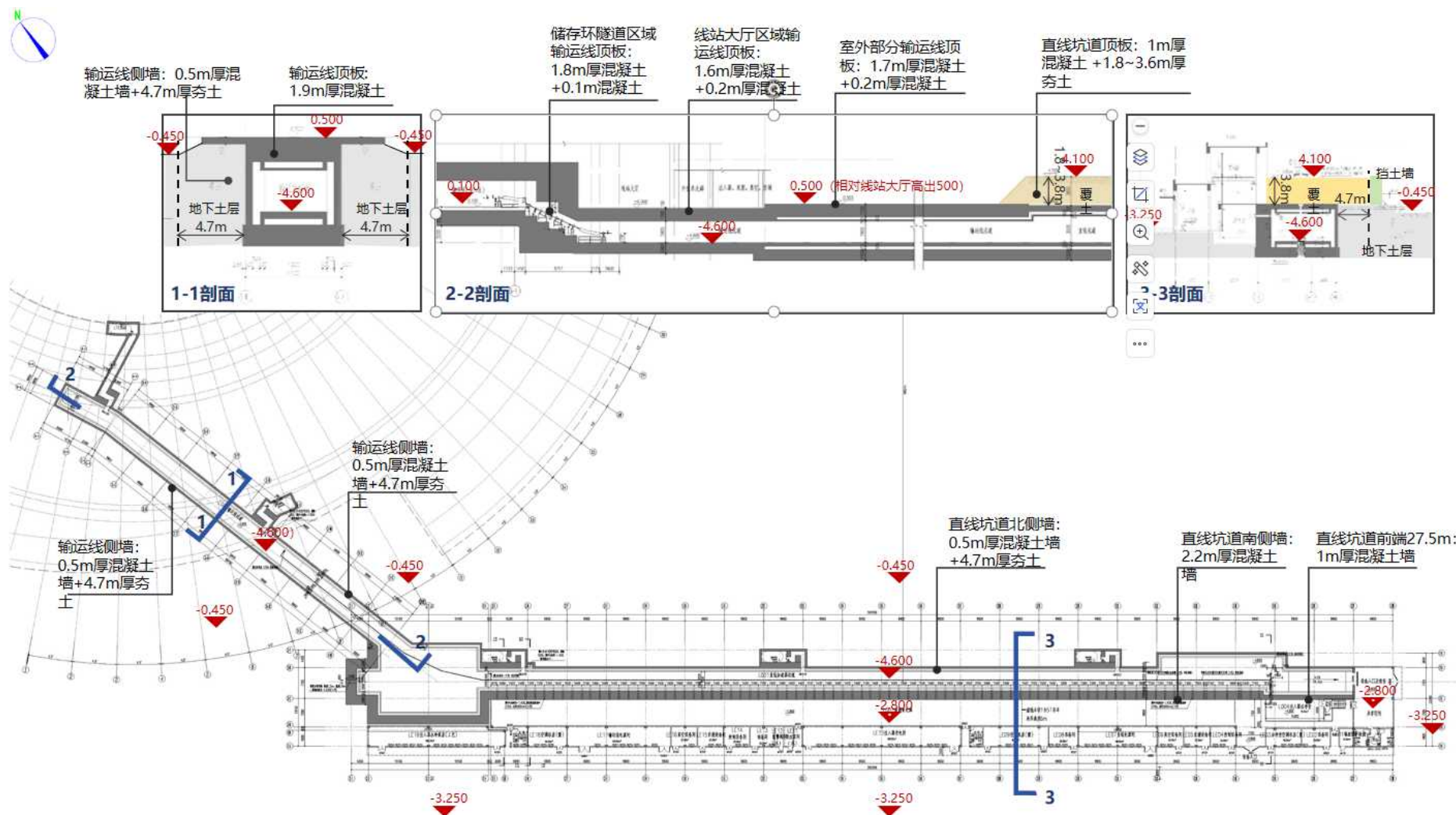
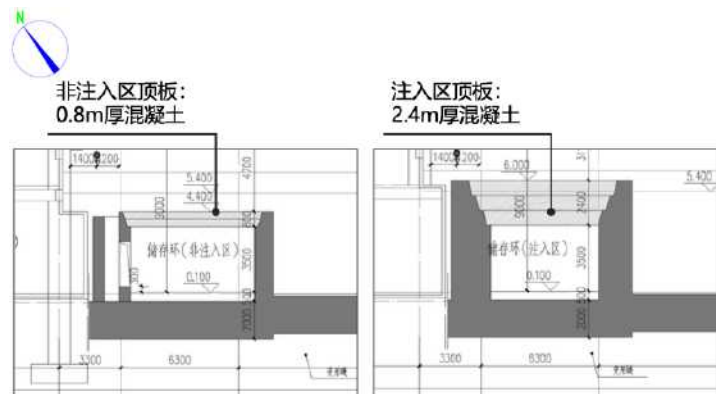


图 4-5 注入器隧道（含直线加速器及运输线）屏蔽尺寸示意图



辐射区域	屏蔽墙	普通混凝土厚度 (cm)
非注入区	外墙长墙	100
	外墙短墙	100砼+15铅
	内墙	60
	顶墙	80
	迷宫墙	60
注入区	注入点上游长墙	190
	弧形墙	270
	弧形墙下游长墙	180
	内墙	210
	顶墙	240

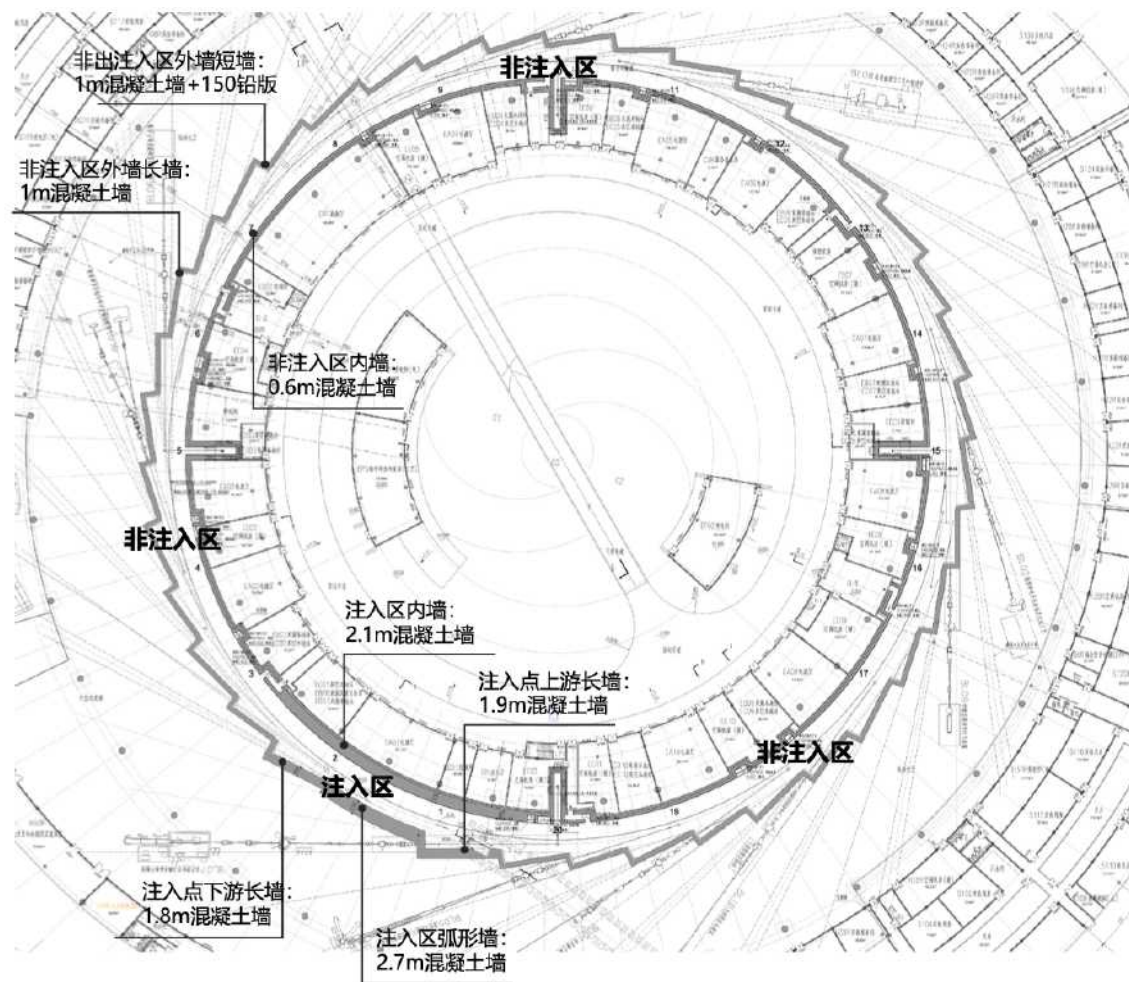


图 4-6 储存环屏蔽尺寸示意图

4.2.2 辐射屏蔽计算方法

4.2.2.1 屏蔽计算方法

对 HALF 的屏蔽计算，主要采用蒙特卡罗程序 FLUKA 进行详细模拟计算。其详细的几何模型和计算结果见 5.2.1 节。

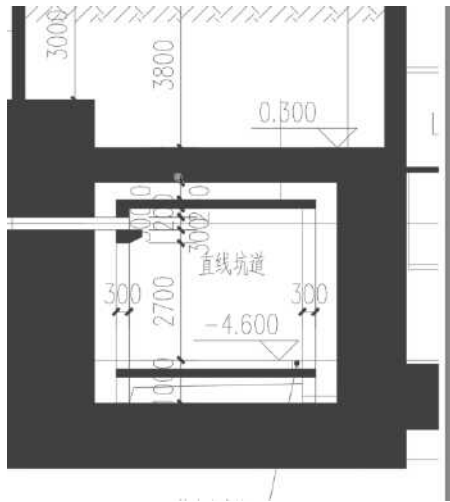
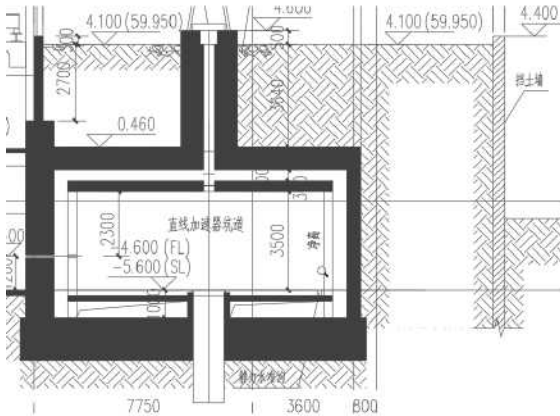
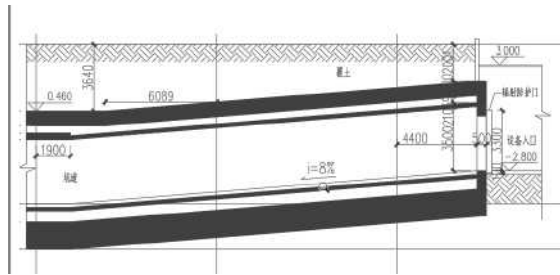
从计算方法看，采用蒙卡程序 FLUKA，建立详细可靠的几何模拟进行模拟计算，计算中每次模拟都充分采用了区域重要性、分布输运等多种减方差技巧，利用计算集群进行不少于 $1\text{E}+09$ 个粒子的模拟计算，使得剂量率分布图在厚屏蔽和迷宫外都有足够的粒子分布，保证了屏蔽外各关注点的剂量率读取时统计误差都小于 10%，确保了计算结果的可靠性；同时，在模拟时，除束流管和关键热点（废束站、束流闸等）考虑了实际自屏蔽结构外，对其他部件（如磁铁等）都从简化保守的角度，没有加入自屏蔽结构，对沿途各束流损失都按最高能量、最高流强进行模拟，确保计算结果是保守安全的。

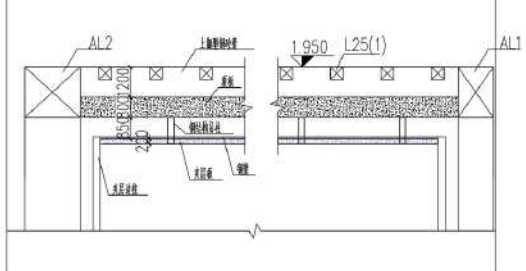
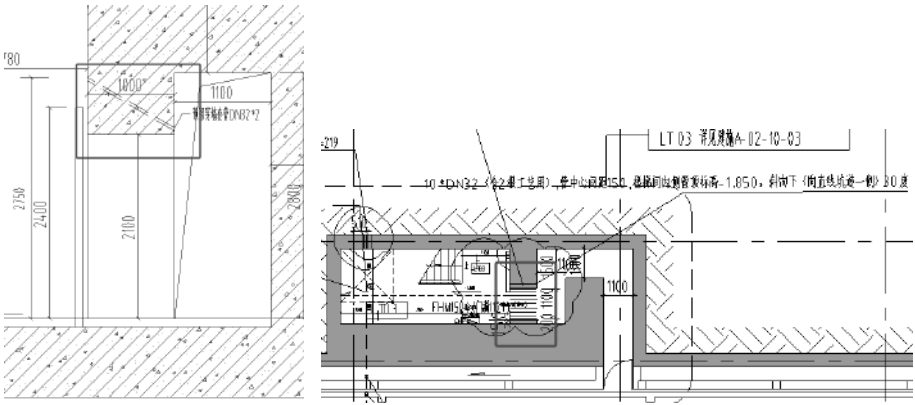
4.2.2.2 屏蔽计算时依据的屏蔽设计方案

屏蔽计算时依据的屏蔽设计方案汇总如表 4-3 所示，计算结果见第五章 5.2.1 节。

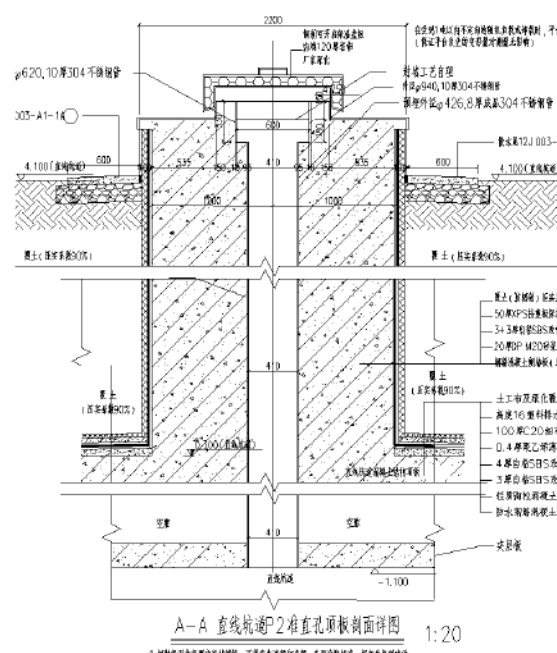
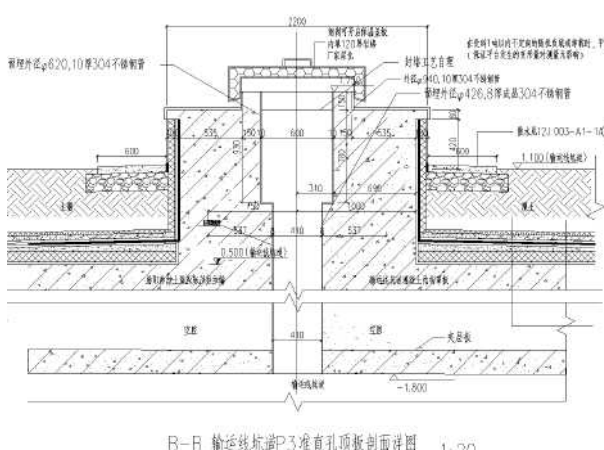
表 4-3 屏蔽计算时依据的屏蔽设计方案汇总

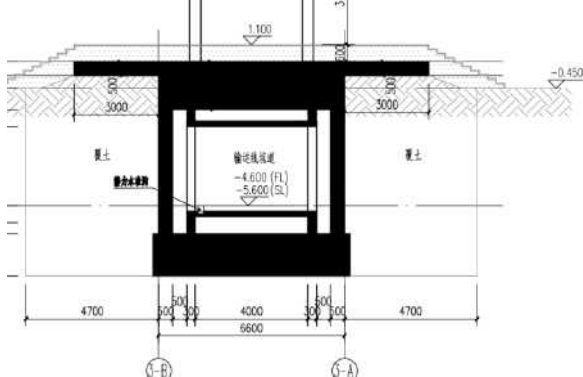
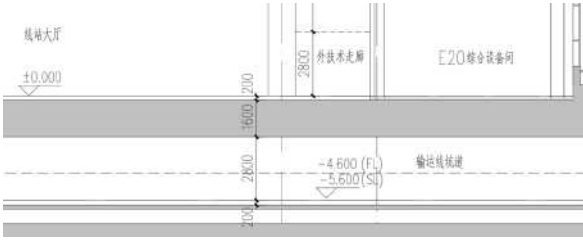
区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
直线加速器隧道	东北墙	墙厚 30cm 砖墙（密度 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ ）+墙厚 0.5m 混凝土（密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）+4.7m 夯土（压实度 0.8，密度 $1.44\text{g}/\text{cm}^3$ ）+0.4m 混凝土（密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ ）挡土墙
	西南墙	墙厚 30cm 砖墙（密度 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ ）+直线段速调管侧墙厚 2.2m（直线坑道开头 25 米南侧墙体厚度 1.0 m 混凝土）
	南墙波导孔	直径 31cm，孔中心标高-1.45m，比速调管走廊建筑地面高 1.35m（共 84 个）；直径 10cm，孔中心标高-3.4m，比注入器洁净室地面高 1.2m（共 2 个），波导孔空隙部分两端用袋装铅砂封堵，封堵长度，两端各 8cm；波导截面为长方形，外尺寸：82mm*44mm
	顶板	（1）2-4~2-22 轴区域：0.2m 混凝土（密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）+0.4m（空间）+0.8m 混凝土（密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ ）+0.2m 细石混凝土（密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$ ）+3.6m 夯土（压实度 0.8，密度 $1.44\text{g}/\text{cm}^3$ ）；

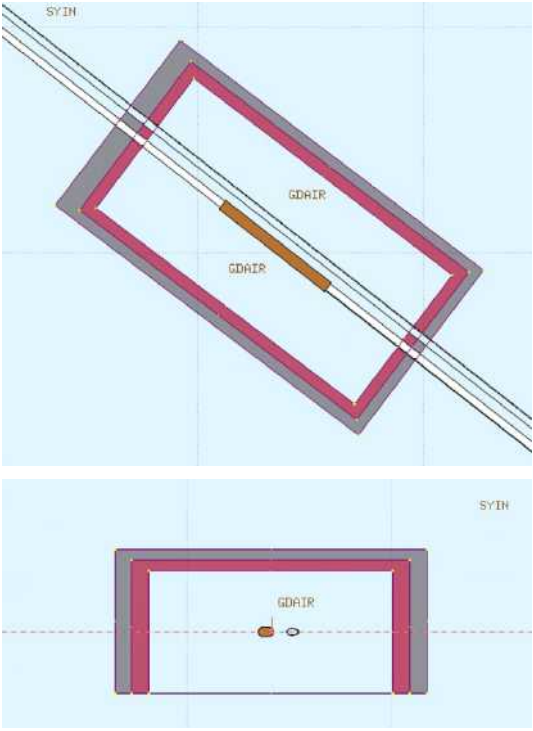
区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
		 (2) 2-22~2-25 轴区域: 0.36m 混凝土 (密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.4m (空间) + 0.8m 混凝土 (密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.2m 细石混凝土 (密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$) + 3.44m 夯土 (压实度 0.8, 密度 $1.44\text{g}/\text{cm}^3$) ;  (3) 2-25~2-27 轴区域: 0.21m 混凝土 (FLUKA 模型标高-120~-99cm, 密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.39m (FLUKA 模型标高-99~-60cm, 空间) + 0.8m 混凝土 (FLUKA 模型标高-60~-20cm, 密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.2m 细石混凝土 (密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$) + 3.44~1.8m 夯土 (压实度 0.8, 密度 $1.44\text{g}/\text{cm}^3$) 。  (4) 转换区: 为 200mm 混凝土 (密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 850mm 空间 + 800mm 混凝土 (密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 200mm 细石混凝土 (密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$) + 3.15m 夯土 (压实度 0.8, 密度 $1.44\text{g}/\text{cm}^3$)

区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
		
起始段迷宫		第 1、2 阶屏蔽墙厚度分别为 1.4m、1m，过道宽度为 1.1m，屏蔽门为
中间段迷宫		1cmPb+1cm 聚乙烯+1cmPb 的组合屏蔽，隧道到迷宫外的隔墙厚 1.6m。增加楼梯间门头预埋管 (LT01~LT05)：在机电及工艺深化过程中，LT01~LT03 三处楼梯间门头设置 12×DN32 预埋管 (含 2 根工艺用)，LT04~LT05 两处楼梯间门头设置 10×DN32 预埋管 (含 2 根工艺用)；管中心间距 150mm (其中 LT05 楼梯间门头管中心间距 132mm)；楼梯间内管顶标高-1.85m，斜向下 (坑道一侧) 30° (其中，LT04 为 20°)。
末端迷宫		增加坑道内排水管和排水地漏、楼梯间内集水坑：在注入器直线段的 3 个楼梯间 (LT01~LT03) 下方各设置一处集水坑 (集水坑尺寸长×宽：2000×2000mm，坑底标高为-7.9m)，对应坑道内设置地漏 (地漏分别设置在准直沟内和两侧夹墙空间内)，通过排水管接入集水坑：排水管水平管径 DN150 (管底标高-6.0m)，竖向管径 DN100。
末端强排风口		顶板留洞 1450×600mm，洞高 60cm，洞中心标高-1.4m，洞周边有 50cm 厚混凝土屏蔽
设备入口及前室与隧道之间		混凝土隔墙厚 50cm，屏蔽门采用 1cm 钢+10cmPb+1cm 钢。增加设备入口及前室穿墙孔：在机电及工艺深化过程中，设置 8×DN32 (含 2 根工艺用)，管中心间距 150mm，前室内管底标高 0.9m，直线坑道内管顶标高 0.7m。
直线末端废束站		废束桶区域屏蔽墙预留穿墙洞，尺寸 0.8 m×1.2 m (宽×高)，洞底标高-4.0 m (FLUKA 模型标高-410cm)，洞中心距侧砖墙 2.5 m。预留洞靠外墙侧采用铅、含硼聚乙烯进行封堵。

区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
		废束桶：圆柱形结构，束流中心高度（即废束桶中心高度）为地面以上 1.2m，束流管道外直径 65mm，插入废束桶深度 100mm。
能谱测试线 废束站		废束桶半径 400mm，长 1000mm；石墨芯 D=120 mm，H=150 mm；石墨芯外侧是不锈钢屏蔽层，外直径 400mm，长 700mm；外包一层含硼聚乙烯，含硼聚乙烯（含硼量不低于 5%）夹层厚 50mm，外直径 500mm，长 750mm；最外层由不锈钢层包裹，外直径 800mm，长 1000mm，剖面图和具体尺寸如下图所示，整体公差小于±5mm。废束桶开孔尺寸：D=120 mm，L=125 mm；封堵不锈钢盖板：d=75 mm，D=160 mm，厚度 25mm（后期须与束流真空管匹配安装，盖板为对开形式）。

区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
		 A-A 直线坑道P2准直孔顶板剖面详图 1:20 1. 材料参数表见附表1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.
		(3) 输运线准直孔 P3 (输运线第一迷宫处): 45cmPb+35cm 含硼聚乙烯 +43cmPb, 由隧道内向外   B-B 输运线坑道P3准直孔顶板剖面详图 1:20
	西墙	墙厚 30cm 砖墙 (密度 1.2g/cm ³) +混凝土 50cm+土层 470cm
	东墙	墙厚 30cm 砖墙 (密度 1.2g/cm ³) +混凝土 50cm+土层 470cm

区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
输运线隧道	顶板	(1) 输运线室外顶屏蔽: 0.2m 混凝土 (密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.4m (空间) + 1.7m 混凝土 (密度 $2.35\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.2m 细石混凝土 (密度 $2.1\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.4m 夯土 (压实度 0.8, 密度 $1.44\text{g}/\text{cm}^3$) ; 两侧飞边 $3.0\text{m} \times 0.5\text{m}$ 混凝土。  (2) 输运线室内部分 (线站大厅和综合设备间) 顶屏蔽: 1.6m 混凝土 (密度 $2.45\text{g}/\text{cm}^3$) + 0.2m 混凝土 (密度 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$) 。 
	中间段迷宫	第 1、2 阶屏蔽墙厚度均为 1.6m, 过道宽度约 1.1m, 屏蔽门为 1cmPb+2cm 聚乙烯+2cmPb 的组合屏蔽
	中间段强排风口	顶板留洞 $1450\text{mm} \times 600\text{mm}$, 洞高 60cm, 洞中心标高-1.4m, 洞周边有 50cm 厚混凝土屏蔽+土层 100cm
	末端迷宫	第 1、2 阶屏蔽墙厚度均为 1.6m, 过道宽度为 1.4m~1.6m, 最后一阶迷宫过道宽 1.6m, 两侧混凝土墙厚 50cm, 无屏蔽门。
	束流闸	(1) 在束流闸周围增加局部屏蔽: 沿束流方向, 前向为 5cm 含硼聚乙烯+10cmPb, 后向为 5cm 含硼聚乙烯+5cmPb, 侧向为 5cm 含硼聚乙烯+5cmPb, 上方为 5cm 含硼聚乙烯+5cmPb, 屏蔽体内部尺寸为 $72\text{cm} \times 144\text{cm} \times 60\text{cm}$;

区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
		 (2) 在注入器爬坡段出口处增加局部屏蔽: 1cm 厚不锈钢钢板, 搭接 15cm, 四周设置围栏, 防止人员误入。
储存 环隧 道	注入区内墙	混凝土 210cm
	注入区外墙 长墙	混凝土 190cm
	注入区外墙 短墙	混凝土 148cm, 墙内侧插入厚度为 1cm 钢+15cmPb+1cm 钢、高为 350cm、两边分别齐平下游长墙内表面和插入上游长墙内表面 10cm 的局部铅板屏蔽
	注入区外墙 弧形长墙	上、下游两端弧形长墙混凝土分别厚 2.7m、1.8m
	注入区外墙 弧形长墙的 短墙	混凝土 128cm, 墙内侧插入厚度为 1cm 钢+15cmPb+1cm 钢、高为 350cm、两边分别齐平下游长墙内表面和插入上游长墙内表面 10cm 的局部铅板屏蔽
	非注入区内 墙	混凝土 60cm
	非注入区外 墙长墙	混凝土 100cm
	非注入区外 墙短墙	混凝土 98cm, 墙内侧插入厚度为 1cm 钢+15cmPb+1cm 钢、高为 350cm、两边分别齐平下游长墙内表面和插入上游长墙内表面 10cm 的局部铅板屏蔽
	注入区顶板	混凝土 2.4m

区域	屏蔽体	屏蔽计算时依据的屏蔽材料及厚度
	非注入区顶板	混凝土 80cm
	储存环迷宫	第 1、2 阶迷宫墙厚度均为 0.6m, 过道宽度为 1.0m~1.1m, 屏蔽门为 2mmPb。
	注入区短墙地面电缆孔洞	50cm*10cm 的方形孔洞, 洞底标高 0m, 洞外采用前向 10cmPb+15cm 聚乙烯、侧向/底部/顶部均为 3cmPb 的局部屏蔽, 顶部开可通过电缆的半径 5cm 的圆形孔洞; 洞内填充等效密度不小于 0.65g/cm ³ 的沙袋 (即 50%填充、1.3g/cm ³ 的沙袋)
	注入区短墙光束线孔洞	40cm*40cm 的方形孔洞, 洞底标高 1.1m, 中间插入直径 3.8cm、壁厚 1.5mm 的光束线管, 洞内采用 20cmPb+混凝土+10cmPb 或等效材料进行封堵, 确保没有直通缝和削弱屏蔽效果。
	注入区长墙地面电缆孔洞	40cm*10cm 的方形孔洞, 洞底标高 0m, 洞外采用前向 5cmPb+10cm 聚乙烯、侧向/底部/顶部均为 3cmPb 的局部屏蔽, 顶部开可通过电缆的半径 5cm 的圆形孔洞; 洞内填充等效密度不小于 0.65g/cm ³ 的沙袋 (即 50%填充、1.3g/cm ³ 的沙袋 (SiO ₂))
	注入区长墙束流高度电缆孔洞	40cm*40cm 的方形孔洞, 洞底标高 1.7m, 洞外采用前向 5cmPb+10cm 聚乙烯、侧向/底部/顶部均为 3cmPb 的局部屏蔽, 顶部开可通过电缆的半径 5cm 的圆形孔洞; 洞内填充等效密度不小于 0.65g/cm ³ 的沙袋 (即 50%填充、1.3g/cm ³ 的沙袋 (SiO ₂))
	非注入区短墙地面电缆孔洞	50cm*10cm 的方形孔洞, 洞底标高 0m, 洞外采用前向 10cmPb+15cm 聚乙烯、侧向/底部/顶部均为 3cmPb 的局部屏蔽, 顶部开可通过电缆的半径 5cm 的圆形孔洞。
	非注入区长墙地面电缆孔洞	40cm*10cm 的方形孔洞, 洞底标高 0m, 洞外采用前向 5cmPb+10cm 聚乙烯、侧向/底部/顶部均为 3cmPb 的局部屏蔽, 顶部开可通过电缆的半径 5cm 的圆形孔洞; 洞内填充等效密度不小于 0.65g/cm ³ 的沙袋 (即 50%填充、1.3g/cm ³ 的沙袋 (SiO ₂))
	非注入区短墙光束线孔洞	40cm*40cm 的方形孔洞, 洞底标高 1.1m, 中间插入直径 3.8cm、壁厚 1.5mm 的光束线管, 洞内采用 35cmPb+混凝土+10cmPb 或等效材料进行封堵, 确保没有直通缝和削弱屏蔽效果。
	注入区长墙地面三角孔洞	三角形两直角边采用 15cm 厚、90cm 高的铅屏蔽
	回风口	洞口尺寸 240cm*80cm, 洞底标高 0.4m, 洞周边有 60cm 厚混凝土屏蔽, 风口出隧道处标高 4.15m
	进风口	洞口尺寸 140cm*80cm, 洞底标高 2.8m, 洞周边有 60cm 厚混凝土屏蔽, 风口出隧道处标高 4.15m

4.3 人身安全联锁系统

4.3.1 系统概述

HALF 人身安全联锁系统（PSS）是在合肥光源 PSS 的设计和运行经验基础上，同时借鉴国内外粒子加速器 PSS 的优秀实践设计而成。HALF 的 PSS 以可编程逻辑控制器（PLC）硬件联锁控制为主、门禁软件管理为辅，结合使用联锁钥匙，以确保系统的高可靠性和高稳定性，同时实现系统监测控制的数字化、网络化和管理的平台化、人性化。

4.3.2 设计原则

HALF 人身安全联锁系统的设计遵循以下原则：

①简单可靠：系统需要在简洁的基础上保证运行的可靠性及稳定性；系统关键联锁信号尽量由硬件设备给出，最大限度的保证系统的高可靠性。

②失效安全：系统关键设备出现故障或失效时可以避免出现失控性后果，必须自动导向预定的安全状态。

③纵深防御：充分考虑并合理设置联锁装置和设施，实现对人身辐射安全的多重冗余保护，且各重保护措施之间具有相互独立性。

④最优切断：该原则包含两层含义。第一层含义是系统联锁逻辑在加速器控制系统中具有最高的优先级切断束流；第二层含义是联锁系统发生意外解联锁时，应切断最能保证彻底消除辐射源的关键设备。

⑤以人为本：该原则包含两个方面：系统是在保障人员人身辐射安全的基础上兼顾加速器的机器运行安全；系统要具备人性化的特点，如联锁逻辑简洁合理、操作简单、维护方便、人机交互性好等。

4.3.3 基本结构及控制逻辑

4.3.3.1 联锁系统基本结构

HALF 人身安全联锁系统由加速器人身安全联锁子系统和光束线站人身安全联锁子系统组成。

(1) 加速器人身安全联锁子系统基本结构

加速器人身安全联锁子系统的控制层基于冗余 PLC 设计，安全联锁逻辑以及门禁系统控制完全在 PLC 中实现。采用硬冗余的方式实现主、从 PLC 的自动切换，保证系统的不间断工作。通过同步模块以及同步光纤，冗余 PLC 对之间能够实时地同步程序以及过程数据。设备层是控制系统的最底层，通过分布式 IO 站读写所有与安全联锁系统、门禁系统相关的现场信号（包括巡查按钮、巡查指示灯、登记按钮、登记指示灯、急停按钮、声光报警、读卡器和门磁信号等）。IO 站通过背板总线实现接口模块与 IO 模块的数据交换与控制，并与冗余 PLC 实时通信。线站联锁接入和剂量联锁接入也是通过对应的 IO 站接入联锁主干网。加速器人身安全联锁子系统结构如图 4-7 所示。

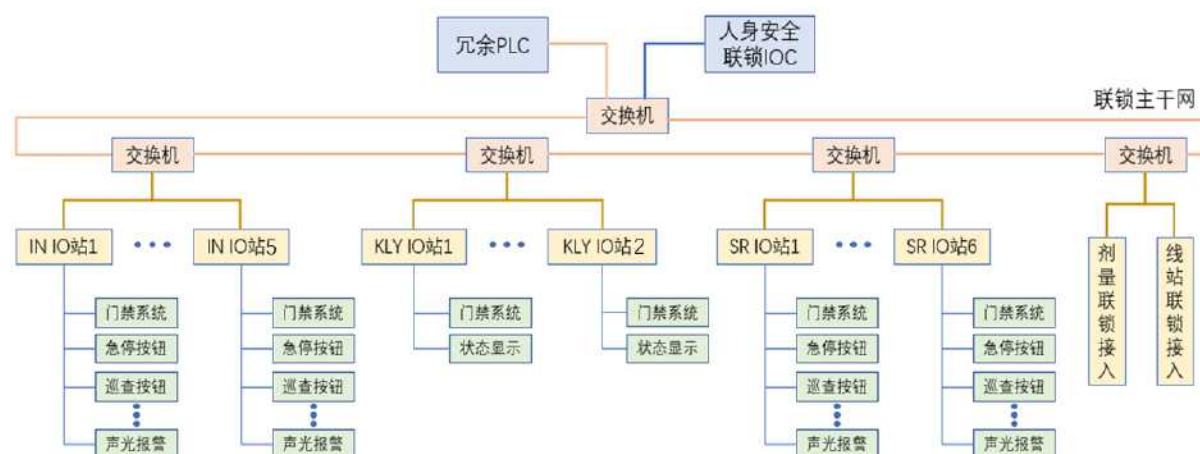


图 4-7 加速器人身安全联锁子系统结构示意图

(2) 光束线站人身安全联锁子系统基本结构

光束线站人身安全联锁子系统在每个棚屋附近放置一个人身安全联锁控制柜或控制箱，在光学棚屋机柜中布置冗余 PLC、IO 站点、本控触摸屏 HMI、交换机等，在实验棚屋机箱中布置分布式 IO 站及本控触摸屏 HMI 等。冗余 PLC 与 IO 站之间通过连接的交换机相互通信。光束线站人身安全联锁子系统结构如图 4-8 所示。所有线站中任意一条出现问题（如光闸位置未到位、棚屋急停按钮被触发等引起的报警信号等）就会给

出光束线站前端状态（RhBS）联锁信号。

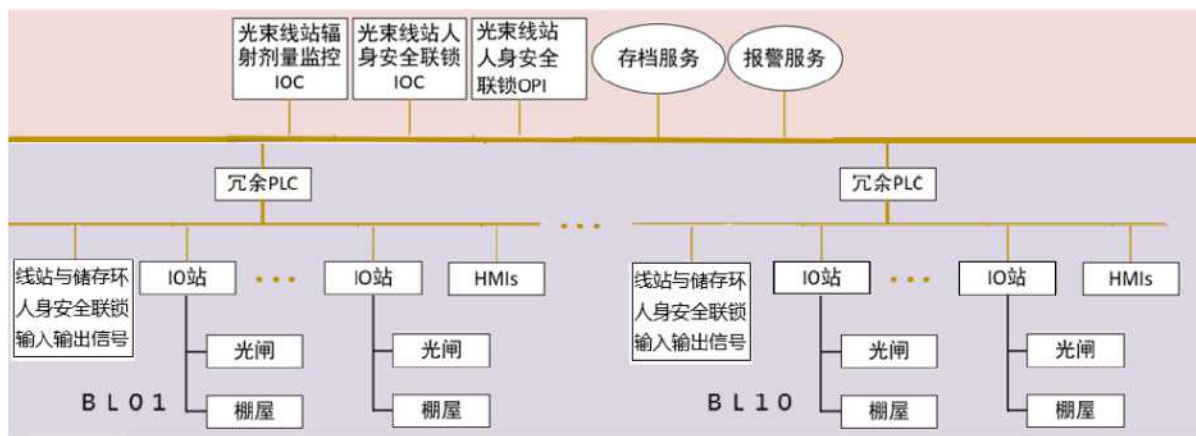


图 4-8 光束线站人身安全联锁子系统结构示意图

4.3.3.2 联锁系统控制逻辑

(1) 加速器人身安全联锁子系统控制逻辑

加速器人身安全联锁子系统中，注入器区域和储存环区域的安全联锁逻辑分别独立但又互有牵涉。加速器人身安全联锁子系统通过监测注入器和储存环运行状态判断进出加速器区是否安全，注入器安全联锁逻辑如图 4-9 所示，储存环安全联锁逻辑如图 4-10 所示。

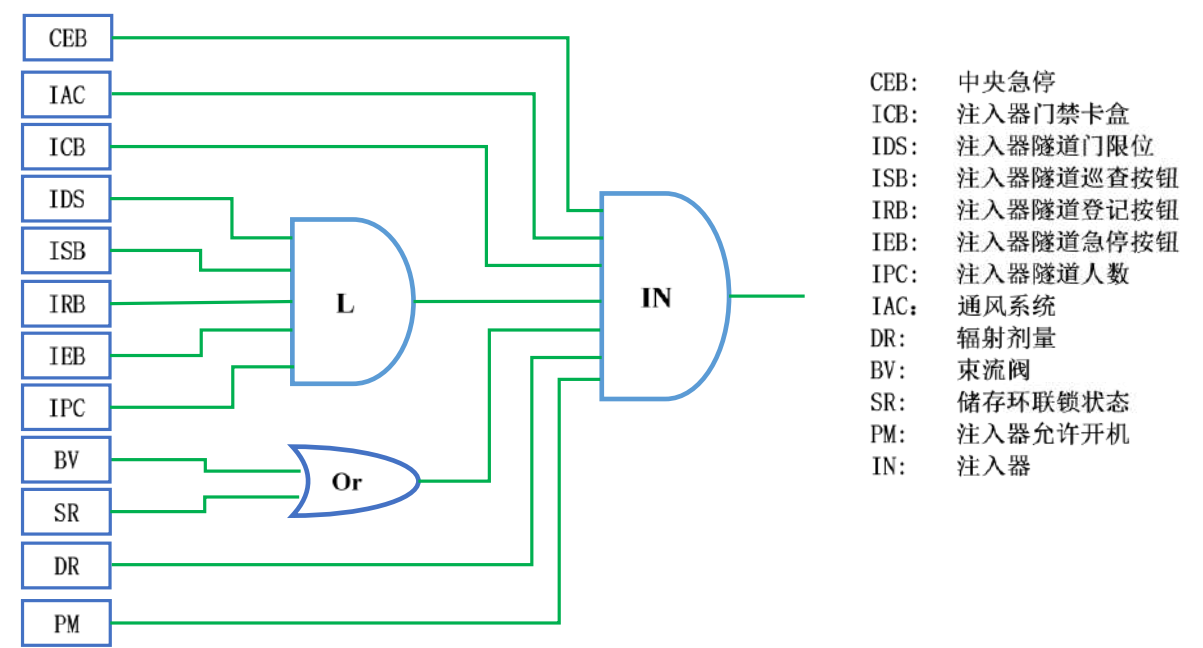


图 4-9 注入器人身安全联锁逻辑图

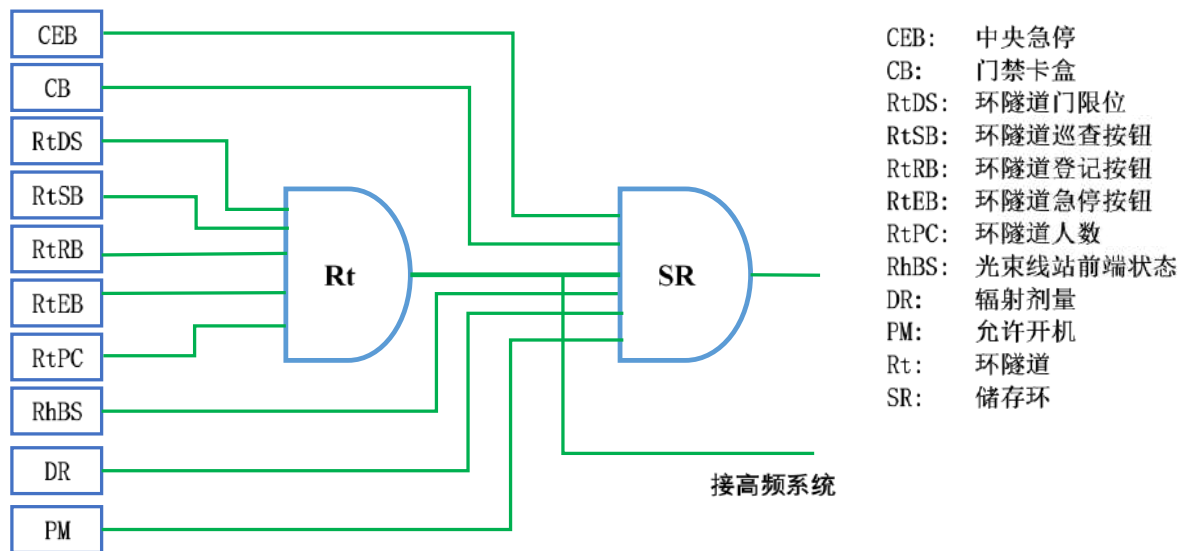


图 4-10 储存环人身安全联锁逻辑图

（2）光束线站人身安全联锁子系统控制逻辑

为了确保测试线站的人身安全，线站人身安全联锁系统设置下列功能和操作程序：

①设置搜索功能，要求在关闭棚屋门之前进行规定时间内、规定路径的巡视检查并确认的操作程序；

②设置急停按钮，用于紧急情况下关闭安全光闸，防止束流进入防护棚屋，确保人员不会受到辐射伤害；

③防护门与安全光闸的开关控制，执行不关闭安全光闸不能开门，不关好防护门不能打开光闸的操作程序。

④警示提醒，为了更好地实现光束线站的人身安全联锁，控制系统还将给出状态显示和声光提醒。

⑤安全光闸用于阻挡同步辐射和气体韧致辐射进入防护棚屋，保证储存环束流注入或运行期间，防护棚屋内工作人员的人身安全。当其压缩空气故障和控制信号掉电时，由于自重安全光闸也会落下处于关闭状态。

⑥当安全光闸处于开启状态时，按下急停按钮将启动破坏联锁状态，踢掉储存环束流并同时关闭安全光闸。

（3）两个子系统的逻辑关系

光束线站人身安全联锁子系统与加速器人身安全联锁子系统逻辑关系见图 4-11。

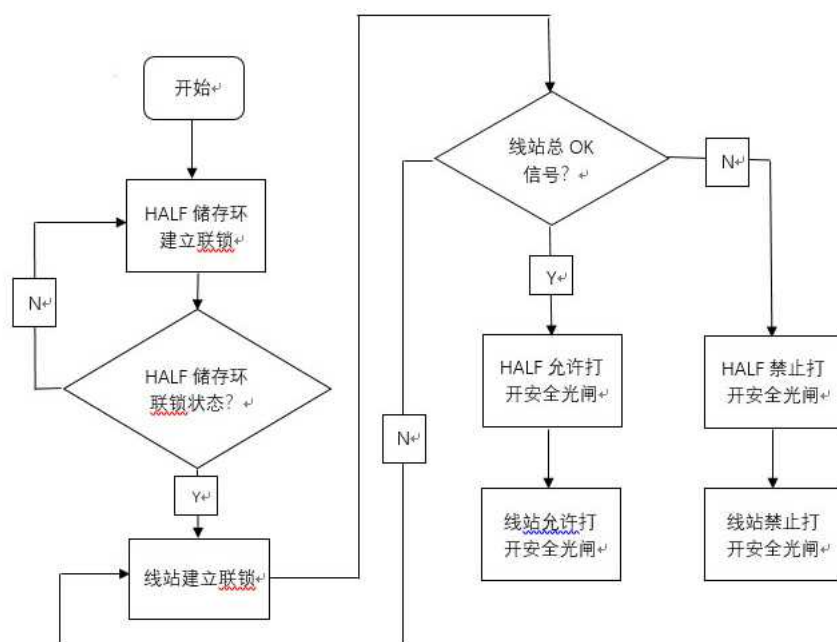


图 4-11 光束线站人身安全联锁子系统与加速器人身安全联锁子系统逻辑关系图

4.3.4 模式、状态及运行流程

4.3.4.1 联锁系统的调试、运行模式

HALF 在安装调试及运行过程中，注入器、储存环和光束线站都可能出现单独调试的情况。光束线站独立调试时，保证在光束线站未就绪时，光闸不能打开即可。因此，对于 HALF 的 PSS 来说，加速器的调试、运行模式可分为 4 种，如表 4-4 所示。

表 4-4 HALF 加速器调试与运行模式统计表

模式	注入器	储存环
HALF 总调试、运行	ON	ON
注入器调试、运行	ON	OFF
储存环调试、运行	OFF	ON
HALF 解锁	OFF	OFF

HALF 处于不同调试、运行模式，人身安全联锁系统会要求不同的控制区处于联锁状态。联锁系统将注入器和储存环控制区域设计了 3 种状态。

4.3.4.2 联锁系统的 3 种状态

注入器、储存环安全联锁系统具有 3 种运行状态：解锁（Unlocked）状态，清场

（Searching）状态和联锁（Locked）状态。3 种联锁状态的具体描述如下所示。

（1）解锁状态——控制人员进入

当安全联锁系统上电复位后，或其它解锁条件被触发时，安全联锁系统进入解锁状态。在解锁状态下，联锁逻辑解锁，巡查按钮、登记按钮自动复位，所有按钮指示灯熄灭。在解锁状态下人员通过刷卡进入控制区域。

（2）清场状态——限制人员进入

在解锁状态下，当操作员在控制界面上按下清场按钮时，系统进入清场状态。此时，系统首先在各个区域发出声光报警，提示所有的人员离开现场。在清场状态下，安全门和屏蔽门外的刷卡器只接受管理卡的刷卡进入，其它类型的门禁卡刷卡进入都会被禁止，所有门的内刷卡器都可正常刷卡出门，方便人员离开控制区。

清场工作人员进入控制区后按固定次序，依次巡查现场。在确认现场没有人员滞留、所有硬件设备无异常情况，清场工作人员依次按下各个巡查按钮以及登记按钮，并复位所有被按下的急停按钮。清场完成且清场人员离开后，所有安全门关闭。

（3）联锁状态——禁止人员进入

在清场完成后，当操作员在控制界面上按下允许开机按钮，且其它联锁条件满足要求时，系统进入联锁状态。在联锁状态下，所有安全门和屏蔽门的门外刷卡器禁止所有卡刷卡进入控制区。

在联锁状态下，操作员可以进行束流注入等操作。在束流注入完成后操作员可以通过控制界面对 HALF 的运行模式进行选择，运行模式分为恒流运行（Top-Off）模式和衰减运行（Decay）模式。当联锁条件被破坏时，安全联锁系统会立即触发联锁动作，如切断电子枪和高频，去除束流，系统进入解锁状态。

解锁、清场和联锁 3 种运行状态之间的转换如图 4-12 所示。

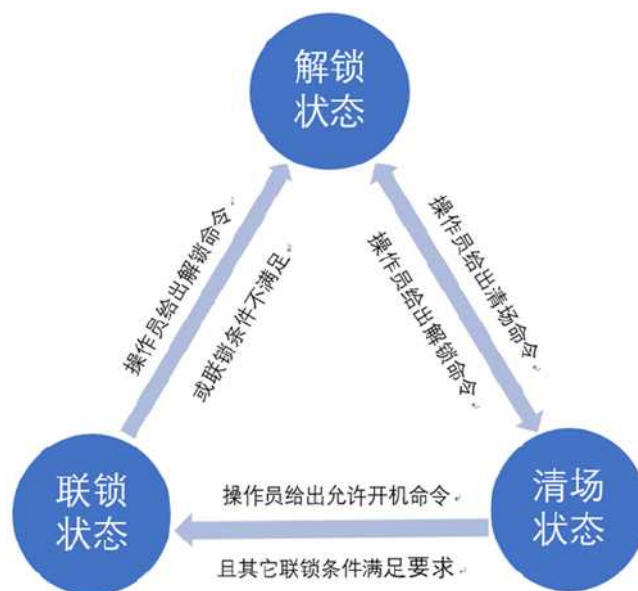


图 4-12 安全联锁系统状态迁移图

4.3.4.3 正常运行期间联锁系统运行流程

HALF 正常运行期间人身安全联锁系统的基本工作流程如图 4-13 所示。

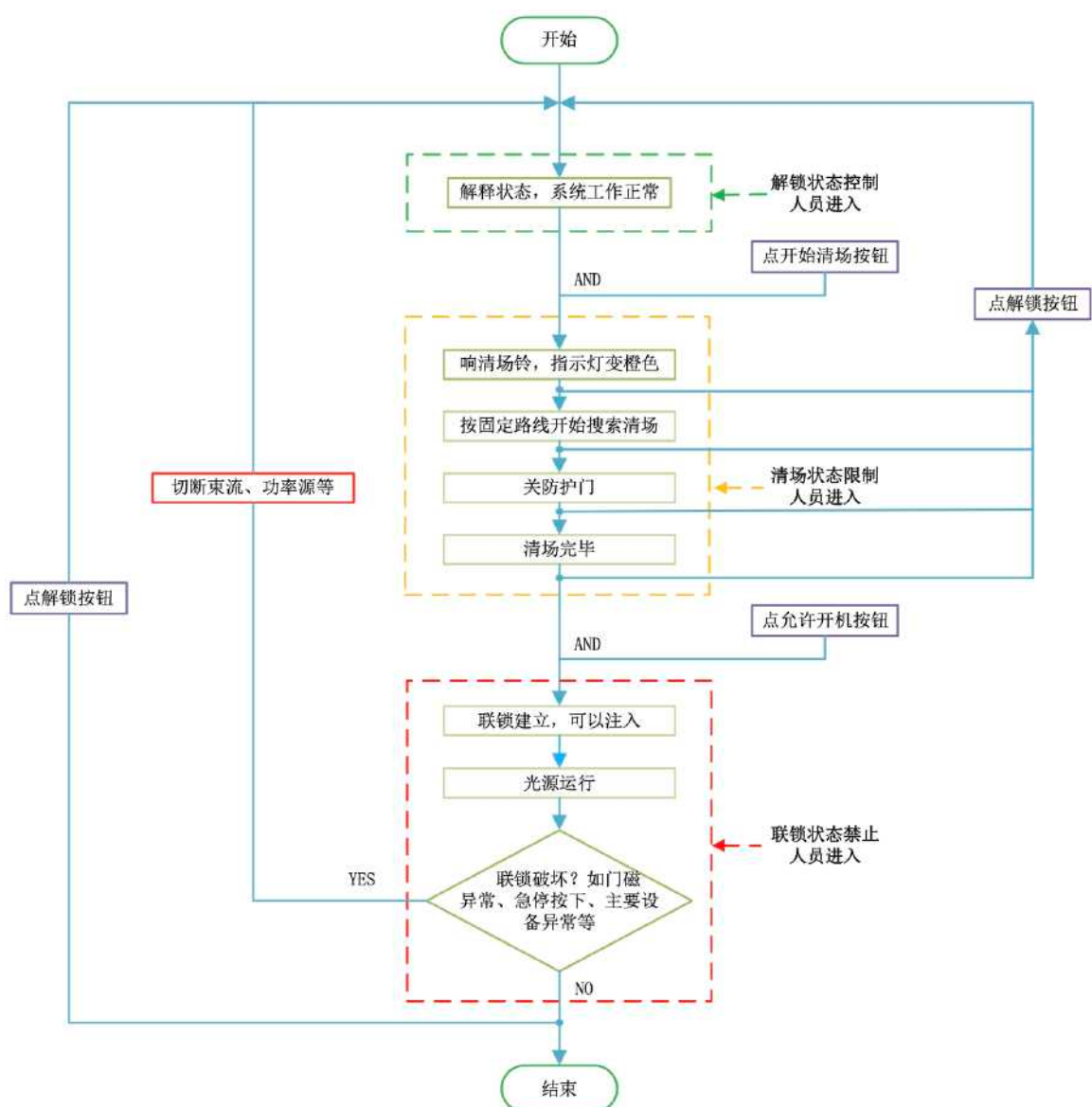


图 4-13 HALF 安全联锁运行流程图

安全联锁运行流程具体如下：

①在其它系统均就绪后，值班人员启动清场按钮，广播通知人员离开联锁控制区域，现场指示灯由解锁状态的绿色变成橙色；所有安全门外刷卡器除清场专用联锁门禁卡能够刷卡开门外，其它联锁门禁卡都不能刷卡开门，同时，清场人员按照设定的路线进行控制区清场巡查，清空滞留人员，如图 4-14 所示。对于储存环的清场，清场至少需要 2 人同时从 2 号门（图 4-14 储存环的北侧门）进去，分顺时针和逆时针两个方向同时开始清场最后统一从对应的 5 号门（图 4-14 储存环的南侧门）出来，而且清场期间除清场人员的管理卡外控制区门不能从外面刷卡打开，保证清场期间没有人员再进入控制区。

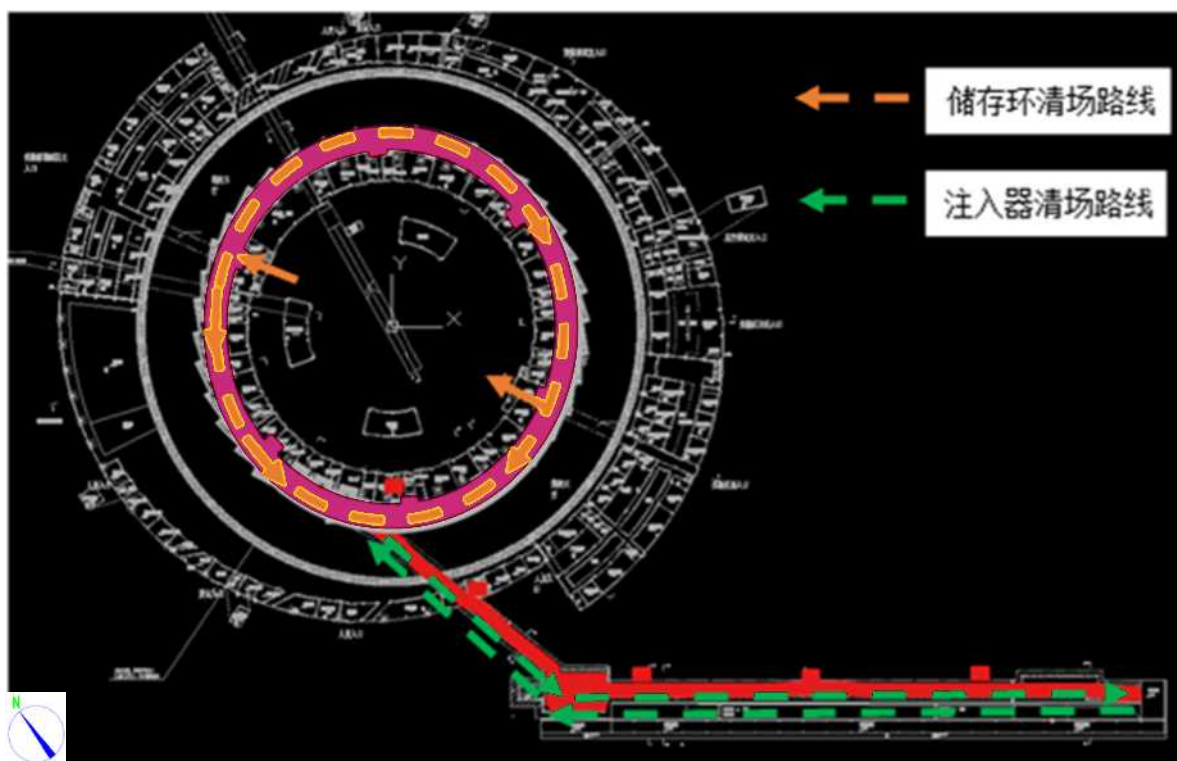


图 4-14 储存环、注入器清场路线



图 4-15 控制室联锁卡置换装置示例图

②巡查清场结束后关闭联锁门，并将管理卡就位；

③加速器控制系统给出“允许”信号，在 2 分钟的“准备”过程中，联锁区域内进行 2 分钟的声光报警，提醒误留控制区人员操作紧急停机设备阻止加速器开机；

④“准备”过程结束后，人身安全联锁系统允许加速器进入运行状态；

⑤加速器“运行”后，控制区域指示灯显示红色，人身安全联锁系统建立切束联锁，同时，“禁止进入”状态启动，任何联锁门禁卡包括清场专用联锁卡都不能在门外刷卡进入控制区；

⑥正常情况下，停机后，如果有进入控制区需求，必须等待剂量衰减后，“禁止进入”联锁状态解除，人员可刷卡进入；紧急停机状态下，可击碎玻璃破碎按钮，打开联锁门进入控制区；

⑦工作结束后，离开联锁控制区时必须刷卡，以消除控制区滞留记录。

出现异常情况时，可通过紧急停机按钮等设备触发紧急停机动作，系统将快速切断电子枪、微波和束流以保障人员安全。并通知辐射防护值班员，待异常情况解除后，由辐射防护值班员重新复位开机。

控制区域联锁建立后，控制门旁的“开门按钮”启动，当发生人员被困在控制区内而联锁门已经关闭时，被困人员可快速来到控制门前按下“出门按钮”打开控制门，利用门磁信号异常中断或阻止加速器开机，并快速离开；或马上按下急停按钮，中断加速器开机，再通过刷卡或击碎玻璃按钮离开控制区。

4.3.4.4 调试期间的联锁系统运行流程

HALF 调试期间人身安全联锁系统的基本工作流程如下：

1) 调试运行前确保安全联锁系统、辐射监测系统、通风系统以及入口工作状态警示灯等工作正常。

2) 开机前，必须进行隧道内清场，确认控制区内无人员滞留，确认迷宫防护门安全关闭，人身联锁系统、机器保护系统联锁就位后允许开机。

3) 辐射防护组依据实际情况，在 HALF 调试期间设立若干临时监测点，无实体屏蔽的控制区拉警戒线，禁止人员进入。

4) 辐射工作人员工作时必须按规范佩戴个人剂量计，进入隧道还须同时携带个人剂量报警仪。

5) 进入加速器隧道前应通知当日值班长，得到许可后方可进入。

6) 如需临时进入隧道，则应停束后通风，遵循人身安全联锁操作规程。

7) 停止供束，如需进入控制区，应由辐射防护人员进行监测，遵从辐射防护人员的指导。

对于各个区域的调试，具体工作流程及安全措施如下：

（一）注入器调试

调试人员在注入器调试工作前，须严格巡检各分系统，包括离子源系统、真空系统、功率源系统、微波系统、束测系统、辐射防护系统等，确保设备安全，不得带病运行，记录设备运行情况，严格执行交接班制度。

1) 直线加速器调束期间，注入器隧道需要封闭，且人身安全联锁系统、机器保护系统具备必要条件。束流闸信号接入人身安全联锁系统，当束流闸放下时，调试联锁才能建立，直线加速器允许开机进行调试；束流闸一旦提起，调试联锁解锁，立即停机。

2) 输运线调束期间，注入器隧道需要封闭，且人身安全联锁系统、机器保护系统具备必要条件。当储存环人身安全联锁没建立时，束流闸必须放下，束流才允许偏向输运线，进行输运线束流阀前的部分输运线调试；束流闸一旦提起，调试联锁解锁，立即停机。当储存环人身安全联锁、设备联锁建立时，且储存环给出允许注入信号，束流闸提起，可进行整个输运线调试；储存环人身安全联锁、设备联锁一旦解锁，立即停机并落束流阀。

3) 速调管走廊内，功率源及调制器 1m 范围内拉警戒线并张贴电离辐射警告标识。

4) 除相关系统负责人员或授权人员外，其他人不得操作设备本地控制界面。

5) 控制室内的调束软件及束流状态调整，仅限当班调束人员操作，若其他人员查看及调整束流参数，需要当班调束人员陪同或许可。

- 6) 每天调束人员应对调束内容作详实记录。
- 7) 若进入注入器隧道内，需要保证速调管无功率输出。

（二）储存环调试

调试人员开始储存环调试工作前，须严格巡检各分系统，确保设备安全，不得带病运行，记录设备运行情况，严格执行交接班制度。

1) 储存环调束期间，注入器隧道、储存还隧道先需要封闭，且人身安全联锁系统、机器保护系统具备必要条件。人身安全联锁系统调试联锁建立后，允许开机进行调试；调试联锁一旦解锁，立即停机。

2) 除相关系统负责人员或授权人员外，其他人不得操作设备本地控制界面。

3) 控制室内的调束软件及束流状态调整，仅限当班调束人员操作，若其他人员查看及调整束流参数，需要当班调束人员陪同或许可。

4) 每天调束人员应对调束内容作详实记录。

5) 若需进入注入器隧道及储存环隧道内，需要保证速调管无功率输出。

（三）线站调试

1) 线站开始用光调试前，必须完成线站辐射防护系统的严格测试，确保该系统功能完备、性能可靠，各项指标达到设计水平；

2) 调试期间，辐射防护组必须加强线站区域巡测和辐射安全监督，及时发现并纠正线站调试人员的违规操作和影响辐射安全的错误行为；

3) 辐射防护组每天记录并分析各线站辐射防护系统运行情况，不断完善辐射安全管理措施。

4.3.5 系统硬件设计

4.3.5.1 联锁控制组件配置情况

人身安全联锁系统是通过设置在控制站的联锁控制器 PLC 来处理和交换信号，通过分布在控制区内的现场设备来采集信号和执行动作。主要现场设备有：门禁与安全门锁、联锁卡置换装置、登记按钮及指示灯、巡查按钮及指示灯、急停按钮、声光报警、状态显示 OPI、束流阀门及光闸等，设备数量统计如表 4-5 所示。

表 4-5 HALF 人身安全联锁系统联锁控制组件数量统计表

联锁控制组件	注入器	储存环	线站	总计
门禁与安全门锁	6+0	6+0	0+22	12+22
联锁卡置换装置、联锁门禁卡和清场专用联锁卡	1+30+5	3+30+5	0	4+60+10
登记按钮及指示灯	5+5	6+6	22+22	34+34
巡查按钮及指示灯	39+39	57+57	33+33	129+129
急停按钮	40	57	22	119
声光报警	24	57	22	103
状态显示 OPI	5	6	22	33
束流阀门及光闸	1+0	0+0	0+23	1+23
联锁输出	1	1	11	13

4.3.5.2 各联锁控制组件详情

4.3.5.2.1 联锁门

联锁门的联锁要求是：控制区内部存在束流时联锁门无法打开；控制区联锁门被打开时加速器无法出束。

加速器控制区有 12 套联锁门（注入器 6 套+储存环 6 套），光束线站有 22 套联锁门，均配置标准联锁设备（配置联锁信号控制箱、门禁控制箱、显示屏、内外刷卡器、玻璃破碎按钮）。

联锁门的要求具体如下：联锁门应配有门框，门体与门框应满足搭接要求，安装稳固，不易变形，自动门应安装自动门机和控制装置，并配有安全防夹装置。

4.3.5.2.2 联锁门禁卡

辐射工作人员进入辐射工作场所控制区时，要求每人必须携带一张人身安全联锁门禁卡，以保障自身的安全。联锁门禁卡是一种联锁交换装置，工作人员在中控室利用自己的身份卡从联锁卡置换装置上换取专用联锁门禁卡，通过专用的联锁门禁卡出入控制

区域，专用联锁门禁卡不归位，无法建立联锁，实现有人员滞留控制区域时无法开启加速器，保障人员的人身安全。

在清场时，联锁门外刷卡器除管理卡外，其它联锁门禁卡都不能刷卡开门。限制人员在清场期间再进入控制区。

在加速中控室配置 1 台联锁卡置换装置（如图 4-15 所示），用于联锁门禁卡管理。每张管理卡和门禁联锁卡在联锁卡置换装置上都有对应的卡槽，所有管理卡和门禁联锁卡必须全部插入对应的卡槽（也称门禁卡归位），才能建立联锁。

4.3.5.2.3 紧急停机装置

辐射工作场所控制区内部要设置紧急停机装置（简称急停按钮），在紧急情况下，工作人员按下急停按钮可立刻切断加速器电子枪和束流。急停按钮要求有明确的操作指示和位置标识，操作急停按钮的导致的停机必须由运行人员在本地复位后才能再次开机。

在 HALF 在注入器控制区设置 40 组急停按钮，在储存环控制区设置 57 组急停按钮。紧急停机按钮被按下后，必须通知辐射防护值班员在按钮触发地点复位，之后去控制室进行确认复位操作。急停按钮在安装在控制区人行道一侧的内壁上。

4.3.5.2.4 巡查登记按钮

在加速器开机之前，未经搜索清场程序的辐射工作场所控制区必须进行搜索清场。搜索清场过程中，搜索人员按照预定路线依次经过搜索点，检查清空控制区人员，按下巡查登记按钮，实现搜索清场。

注入器控制区设置 39 组巡查登记按钮；清场时，按规定路线依次按下巡查按钮，如遇到安全门，门已经关上，则按下门旁边的登记按钮。储存环控制区设置 57 组搜索清场按钮，清场方式与注入器控制区类似。

4.3.5.2.5 警示装置

警示装置包括控制区入口处的显示屏，控制区内部的指示灯、警铃等。控制区入口的显示屏是方便工作人员了解控制区管制状态，并按照操作系统的提示进行操作。控制

区内部的指示灯、警铃和语音提示器，是用于控制区搜索清场时和加速器准备开机时的声光报警。HALF 的控制区入口均设置显示屏，具体位置参见图 4-19、图 4-20。

4.3.5.2.6 控制机柜

HALF 人身安全联锁系统在每个门附近设置一个联锁 IO 站，输入信号包括门禁系统、巡查按钮、登记按钮、急停按钮，输出则为声光报警、按钮状态指示灯、联锁状态显示和联锁输出。这些输入输出信号接入到分布式 I/O 站，分布式 I/O 站安装在安全门附近，并与安装在控制机房的冗余 PLC 通信，联锁逻辑在 PLC 中完成。HALF 人身安全联锁系统设 2 个控制站，分别为注入器和储存环控制站，每个控制站配备两套控制机柜（PLC 联锁控制柜和门禁监测机柜）。

4.3.5.3 联锁控制分区情况

根据 HALF 空间分布，将加速器段划分为二个联锁控制区域：注入器联锁控制区和储存环联锁控制区，如图 4-16 所示。

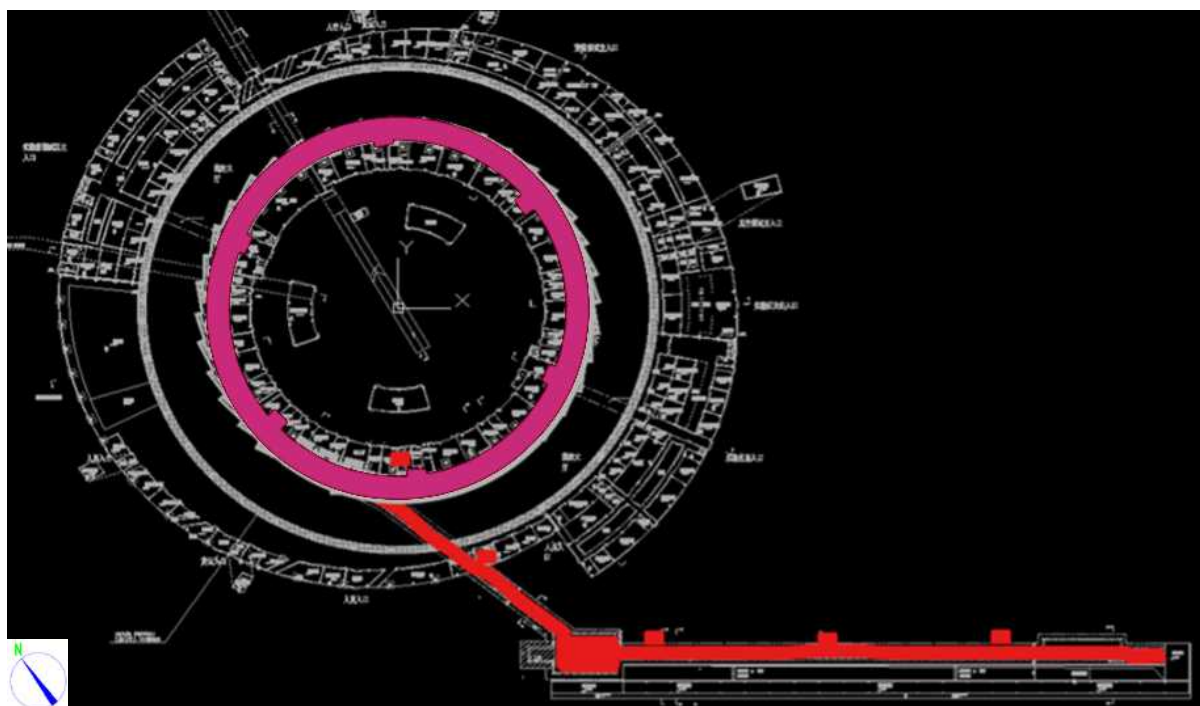


图 4-16 HALF 联锁控制分区示意图

注入器控制区（上图红色区域）全长约 440 米，宽 4 米，有 6 个人员出入口设置联

锁门；储存环控制区（上图紫色区域）为环形，长约 480 米（内径），宽 5.8-7.8 米，有 6 个人出入口设置联锁门。通过不同控制区域联锁组合实现 HALF 不同的运行模式。

4.3.5.3.1 注入器控制区

注入器控制区有 6 套联锁门，注入器坑道入口处联锁门，是大型设备入口处，平时锁门，有专用钥匙，所以这个联锁门没有配内外刷卡器，其它每套联锁门都需配置显示屏、联锁信号控制箱、门禁控制箱，门外配制读卡器和碎玻按钮，门内配置读卡器和紧急开门按钮；在注入器联锁控制室处配置联锁卡置换装置。在控制区内墙人行道一侧，间隔 10 米设置 1 组（共 34 组）紧急停机按钮和清场按钮，考虑到每个联锁门出入口楼梯对直线输运线隧道来说是视野盲区，因此在楼梯转角处（整个楼梯范围内都能看到）应各设 1 组，共 5 组，共 39 组，紧急停机按钮在束流末端位多设置一组，即紧急停机按钮共 40 组。并配套相应的声光警报装置（每 20 米一个，加上每个联锁门出入楼梯转角处各一个，共 24 个）。具体布置如图 4-19 所示。

注入器隧道内，砖墙和混凝土墙之间存在 500mm 间隙空间，并在砖墙上安装了 12 道检修门，以供检修，如下图所示。

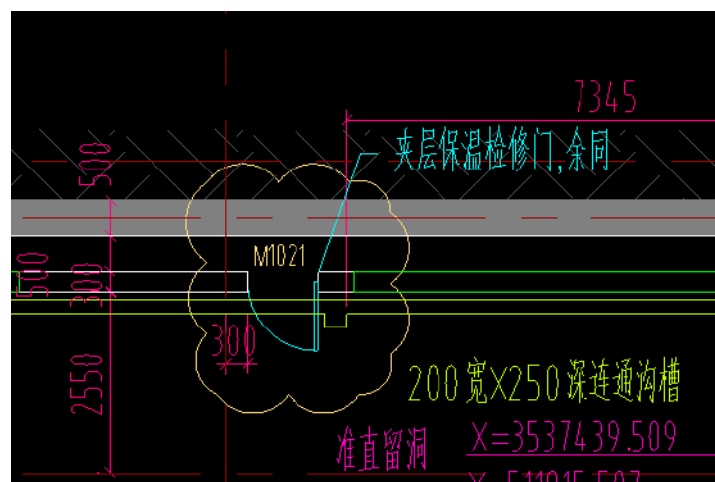


图 4-17 注入器隧道内检修门平面图

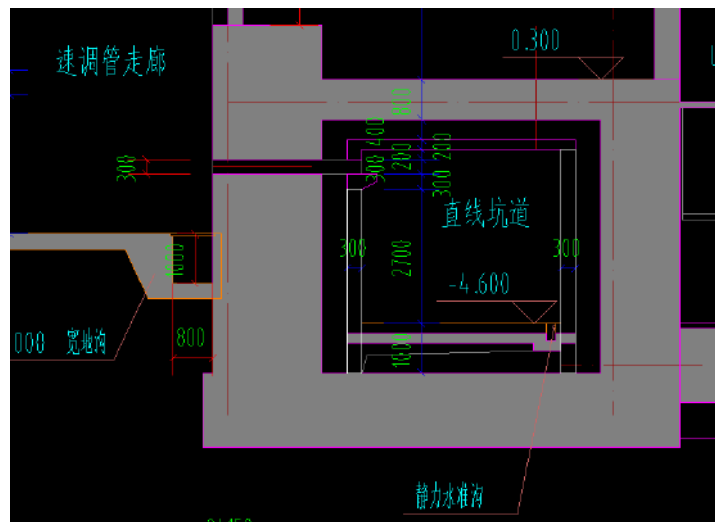


图 4-18 注入器隧道内检修门剖面图

为增强辐射防护、保障人身安全，针对上述检修门设计如下联锁方案（“钥匙箱+门状态检测传感器”双重手段）：

（1）每个检修门的门锁，配备专门的钥匙，并且将 12 把钥匙集中放置在中控室的钥匙箱中；此钥匙箱输出一路信号到加速器人身安全联锁控制器，只有当所有钥匙全部在钥匙箱中时，这路信号才为 Ready 状态。人员需要开检修门时，需要先到中控室取下钥匙，再去隧道打开检修门，任何一把钥匙被取下，钥匙箱信号变为 Blocked 状态，这时不允许注入器人身安全联锁建立；检修完后，锁好门，再将钥匙归还回钥匙箱，钥匙箱这路信号才恢复到 Ready 状态。

（2）每个检修门安装一个门状态检测传感器，可检测门的打开、关闭状态。只有 12 个检修门都处于关闭状态时，注入器人身安全联锁才能建立；如果注入器人身安全联锁建立时，联锁系统检测到任一检修门处于打开状态，则注入器人身安全联锁解锁、不允许注入器出束流。

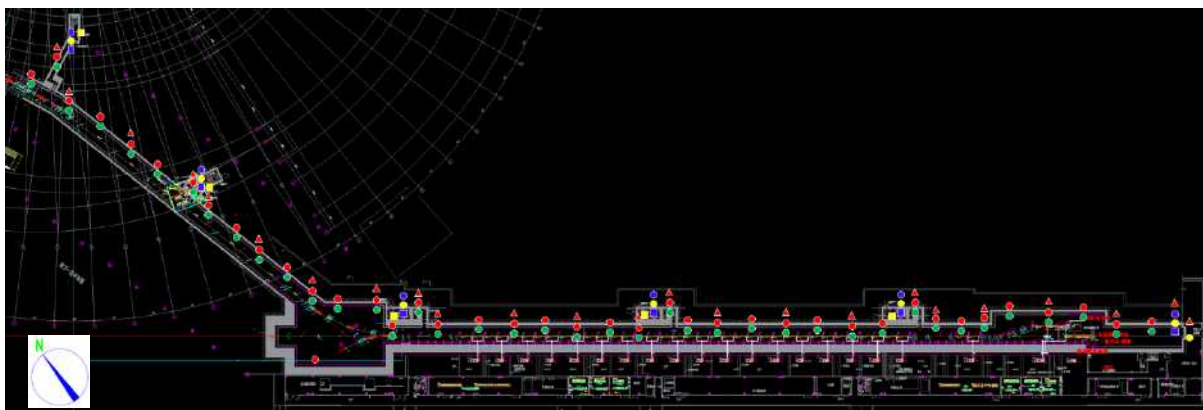


图 4-19 HALF 注入器 PSS 设备布置示意图

注入器区的 PSS 设备布置详情如下：

- ①急停按钮：每 10 米一个，直线控制区每个联锁门出入口转角处各一个，红色圆圈表示；
- ②巡查按钮：每 10 米一个，直线控制区每个联锁门出入口转角处各一个，绿色圆圈表示；
- ③碎玻按钮：每个门内外各一个，用一个黄色圆圈表示；
- ④登记按钮：除直线坑道入口处大联锁门外，每个门内外各一个，用一个蓝色圆圈表示；
- ⑤读卡器：除直线坑道入口处大联锁门外，每个门内外各一个，用一个蓝色方块表示；
- ⑥显示屏：除直线坑道入口处大联锁门外，每个门外各一个，黄色方块表示；
- ⑦声光报警器：直线输运线每 20 米一个，直线控制区每个联锁门出入口楼梯转角处各一个，红色三角形表示。

4.3.5.3.2 储存环控制区

储存环控制区有 6 套联锁门，每套联锁门都需配置显示屏，联锁信号控制箱，门禁控制箱，门外配置读卡器和紧急开门按钮，门内配置读卡器和紧急开门按钮；在中控室配置联锁卡置换装置。在控制区内墙人行道一侧，间隔 10 米设置 1 组（47 组）紧急停

机按钮和巡查按钮，考虑到每个连锁门出入口迷宫处对环棚屋来说，是视野盲区，所以每个连锁门出入口迷宫转角处（整个迷宫内都能看到）应各设 1 组，这样就有 53 组，再加 4 组位于储存环静力水准点位处，共 57 组；并配套相应的声光警报装置 57 组。具体配置见图 4-20。

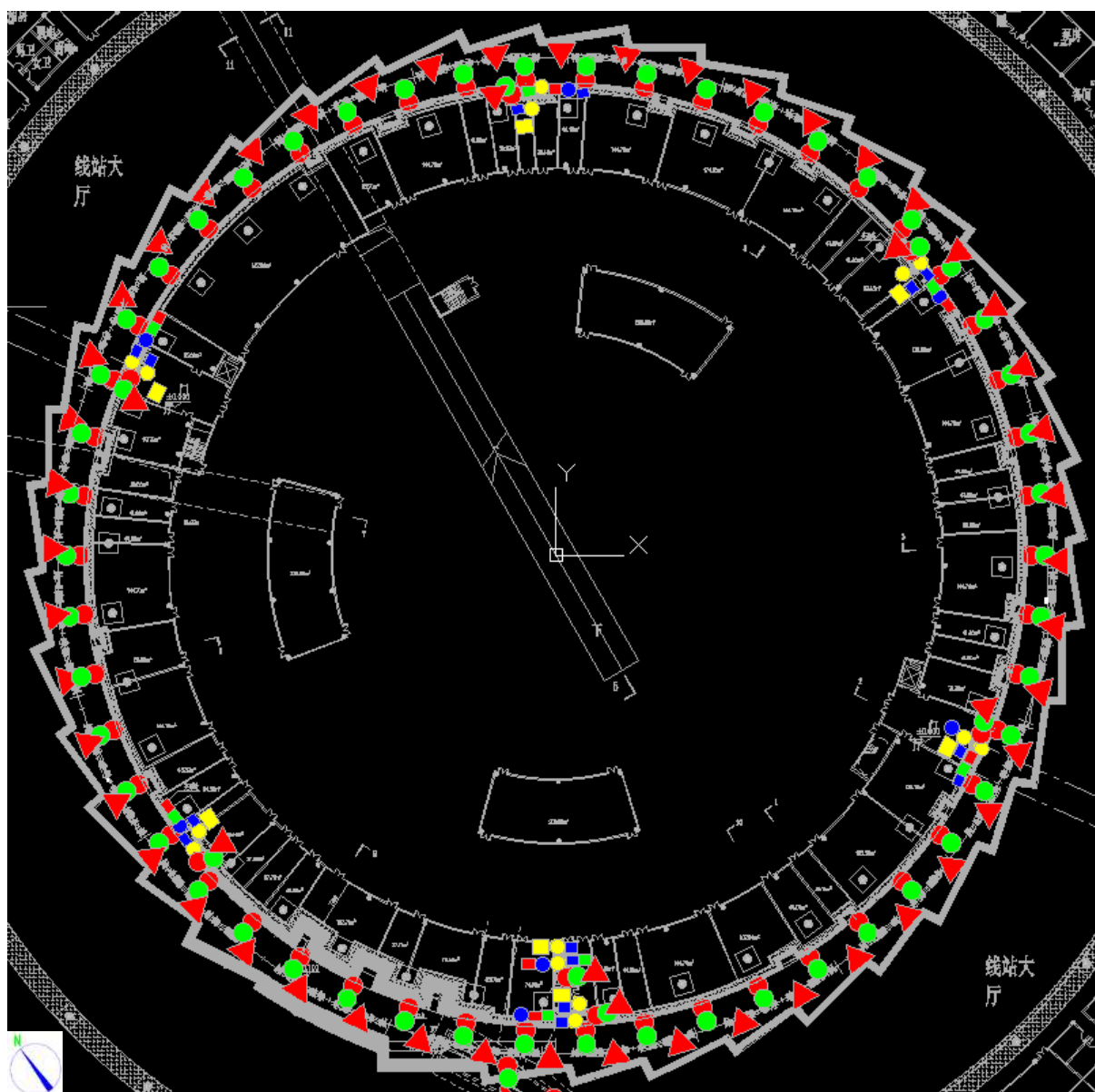


图 4-20 HALF 储存环 PSS 设备布置示意图

储存环的 PSS 设备布置详情如下：

- ①急停按钮：每 10 米一个，储存环连锁门迷宫转角处各一个，红色圆圈表示；
- ②巡查按钮：每 10 米一个，储存环连锁门迷宫转角处各一个，绿色圆圈表示；

- ③碎玻按钮：每个门内外各一个，黄色圆圈表示；
- ④登记按钮：每个门一个，蓝色圆圈表示；
- ⑤读卡器：每个门内外各一个，蓝色方块表示；
- ⑥联锁控制箱：每个门一个，红色方块表示；
- ⑦门禁控制箱：每个门一个，绿色方块表示；
- ⑧显示屏：每个门门外各一个，黄色方块表示；
- ⑨声光报警器：储存环控制区每 10 米一个，储存环联锁门迷宫转角处各一个，红色三角形表示。

4.3.6 相关系统信号接口

与 HALF 加速器人身安全联锁系统有信号交互的相关系统主要包括加速器控制系统、各类高频高压危险源、通风系统和线站光闸控制系统，见图 4-21。

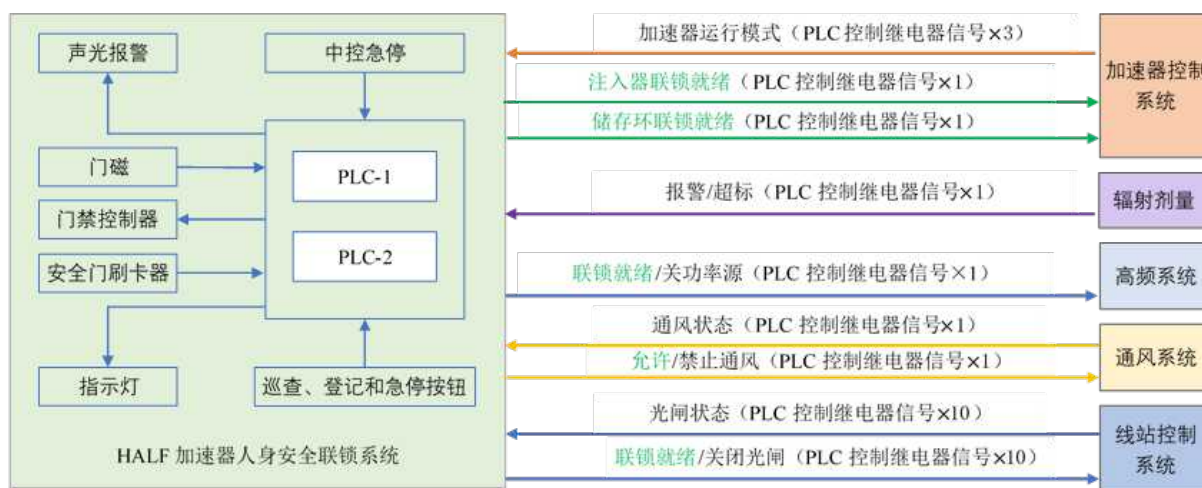


图 4-21 HALF 联锁信号关系示意图

4.3.6.1 加速器控制系统交互信号

控制区安全联锁就绪信号（包括注入器联锁建立信号、储存环联锁建立信号）：此信号由人身安全联锁系统发送给加速器机器保护系统，为 PLC 控制的继电器信号，继

电器闭合、断开分别代表控制区安全联锁就绪和控制区安全联锁未就绪。

加速器运行模式信号：此信号由加速器控制系统发送给人身安全联锁系统，共三路信号：加速器准备信号，为 PLC 控制的继电器信号，继电器闭合、断开分别代表加速器处于准备开机和未处于开机状态；加速器运行信号，为 PLC 控制的继电器信号，继电器闭合、断开分别代表加速器处于 Top-Off 和加速器处于 Decay；加速器停机信号，为 PLC 控制的继电器信号，继电器闭合、断开分别代表加速器处于开机和停机状态。

4.3.6.2 加速器高频高压设备联锁信号

联锁就绪/高压信号信号：此信号由人身安全联锁系统发送给高频高压设备系统，为 PLC 控制的继电器信号，继电器闭合、断开分别代表允许加高压（联锁就绪）和禁止设备加高压。

高频系统正常运行期间，进入储存环隧道的人员可能会受到微波辐射。为了避免这种情况，则要求储存环隧道必须清场完成，环隧道内无人员逗留，所有储存环控制门关上，登记按钮按下，储存环隧道联锁建立，给高频系统输出的联锁信号“闭合”，高频系统才能正常开机运行；如储存环隧道联锁没有建立，则给高频系统的输出联锁信号“断开”，这时高频系统不能正常开机运行。

4.3.6.3 通风系统交互信号

（1）通风状态信号

此信号由通风系统发送给人身安全联锁系统，为 PLC 控制的继电器信号。继电器闭合、断开分别代表控制区处于通风状态和未处于通风状态。

（2）允许/禁止通风信号

此信号由人身安全联锁系统发送给通风系统，为 PLC 控制的继电器信号，继电器闭合代表控制区处于通风状态，继电器断开代表未处于通风状态或通风系统故障。

4.3.6.4 光闸控制系统交互信号

(1) 光闸状态信号

此信号由线站光闸控制系统发送给人身安全联锁系统,为PLC控制的继电器信号。继电器闭合、断开分别代表控制区处于打开状态和关闭状态。多线站的光闸状态信号通过专用IO站接入加速器人身安全联锁系统。

(2) 联锁就绪/关闭光闸信号

此信号由人身安全联锁系统发送给线站光闸控制系统,为PLC控制的继电器信号,继电器闭合、断开分别代表允许联锁就绪(允许打开光闸)和关闭光闸(禁止打开光闸)。加速器人身安全联锁系统通过专用IO站将信号传送给对应的线站联锁。

4.3.6.5 剂量测量系统交互信号

报警/超标信号:此信号由辐射剂量测量系统发送给人身安全联锁系统,为PLC控制的继电器信号,继电器闭合代表剂量率不超标,继电器断开代表辐射剂量测量系统故障或剂量率超标。

4.4 辐射监测系统

4.4.1 HALF 装置辐射监测系统

HALF 设有辐射监测系统,主要包括工作场所监测、个人剂量监测、流出物和环境监测。工作场所监测采用在线剂量率监测、离线累积剂量监测和便携式剂量率巡测相结合的方式;个人剂量监测采取累积式个人剂量监测计监测为主,个人剂量报警仪为辅的方式进行;环境监测包括采用固定式在线剂量率监测和环境介质取样分析两种方式;流出物监测主要包括活化冷却水以及活化固体废物的监测。

4.4.2 工作场所监测

工作场所监测的主要目的是检查场所外照射控制的效能、估算工作人员所受辐射水平、鉴定操作程序的合理性、控制工作人员在场所内的活动空间与时间。工作场所监测包括在线剂量率监测系统、离线累积剂量监测、便携式剂量率巡测。

根据对隧道内剩余放射性热点区域的分析,暂将控制区内工作点位的剂量率限值设为 $100\mu\text{Sv/h}$ 。对于剩余剂量率高于 $100\mu\text{Sv/h}$ 的区域,将用警戒带划定该区域范围,并张贴电离辐射警示标志及相关文字说明,禁止工作人员进入。后续将根据装置实际运行情况进行调整优化。

4.4.2.1 在线剂量率监测系统

HALF 在线剂量监测系统基本架构如图 4-22 所示。最底层的设备层是辐射探测器探头和主机,探测器探头通过 RS485 线与主机连接,主机就近接入 HALF 设备局域网络,负责数据的初步采集预处理和上传。基于 EPICS 系统的 IOC 读取各个探测器的数据并进行上传至 OPI 和数据库。最上层的 EPICS 层主要包含远程状态显示 OPI 以及数据储存。该监测系统实现多监测点的辐射监测数据的采集记录、数据传输、数据分析等集成管理。

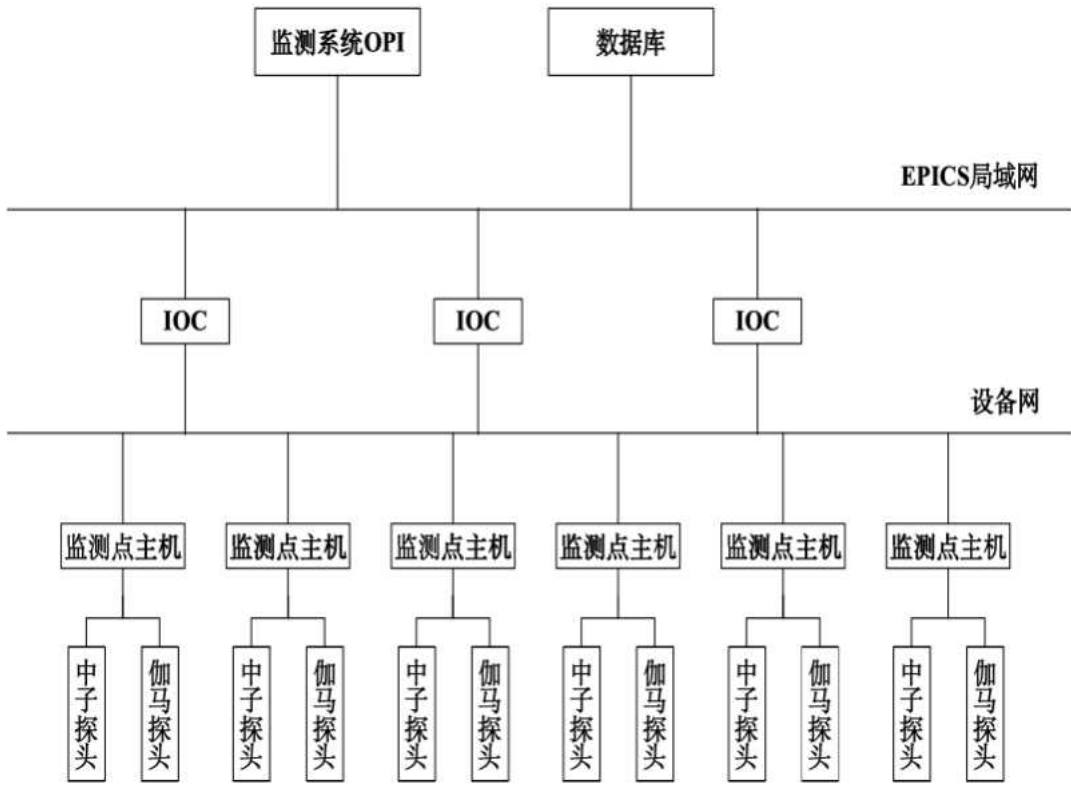


图 4-22 HALF 的辐射监测系统基本架构示意图

4.4.2.1.1 场所固定剂量监测点位

监测点设置原则：根据辐射工作场所分区、工作人员的活动特点以及对 HALF 区域辐射水平的预估，确定监测点的分布。其中几类位置是重点监测对象：一类是高辐射水平场所的出入口，这类位置的监测点可以让工作人员在进入辐射控制区域之前先了解场所内的辐射场强度，避免加速器开机或者刚关机时可能误入造成的过量照射；一类是临近高辐射水平场所；一类是人员活动密集或工作时间长的位置，需要实时监测辐射剂量率，确保工作环境安全。HALF 监测点分布情况具体如下：

- a. 注入器区，共设 12 个监测点，主要分布于控制区隧道出入口和速调管走廊。
- b. 储存环区，共设 57 个监测点，主要分布于储存环隧道出入口、储存环锯齿墙、线站区域、走廊立柱、注入区、高频厅、门卫和中控室等地方。具体如图 4-24、图 4-25 所示。

综上，HALF 场所辐射监测点总共 69 个，如表 4-6 所示。

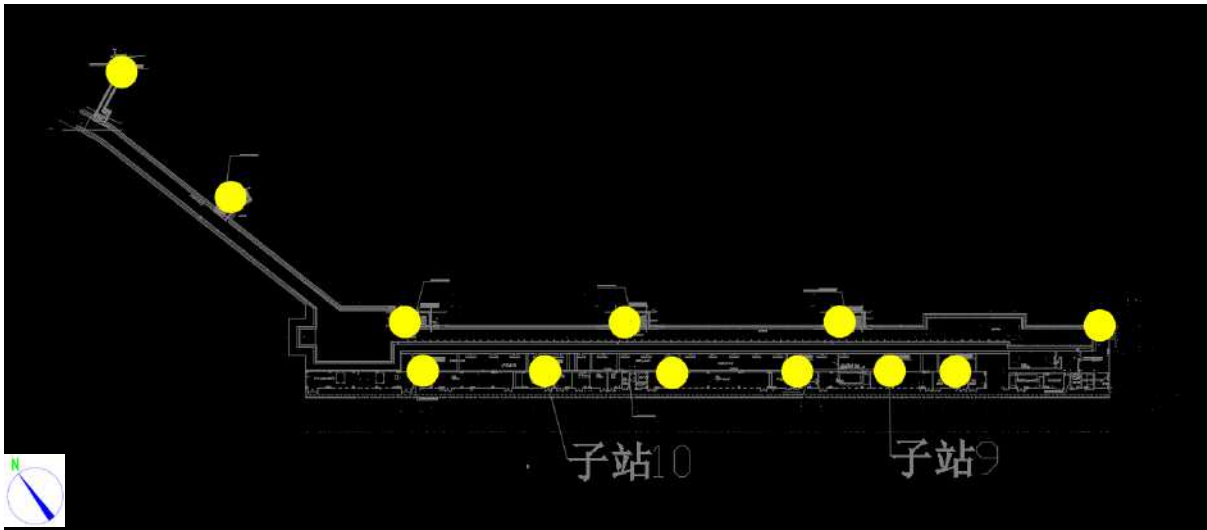


图 4-23 HALF 注入器工作场所监测点分布图

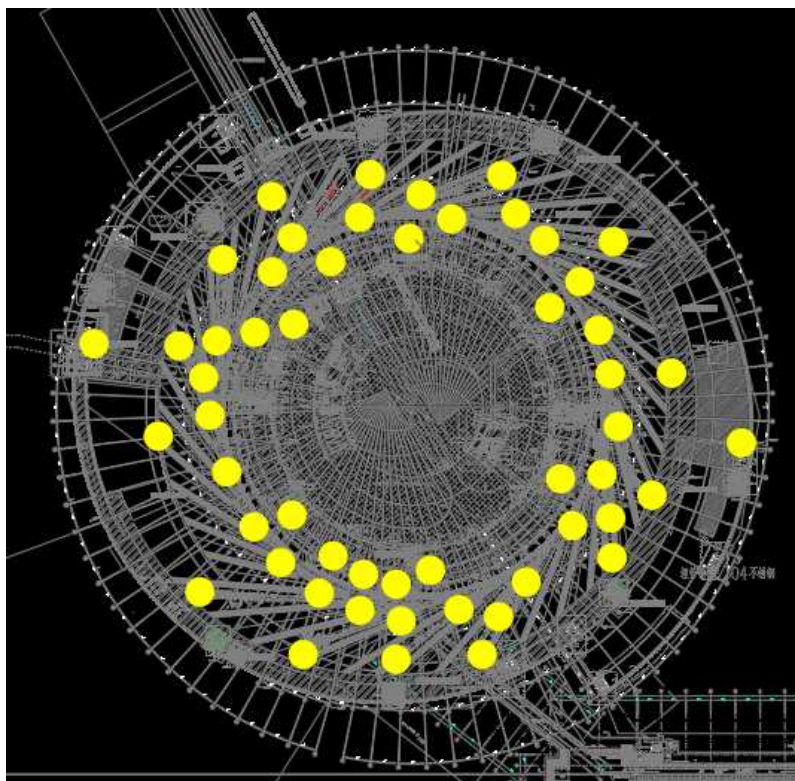


图 4-24 HALF 储存环一层工作场所监测点分布图

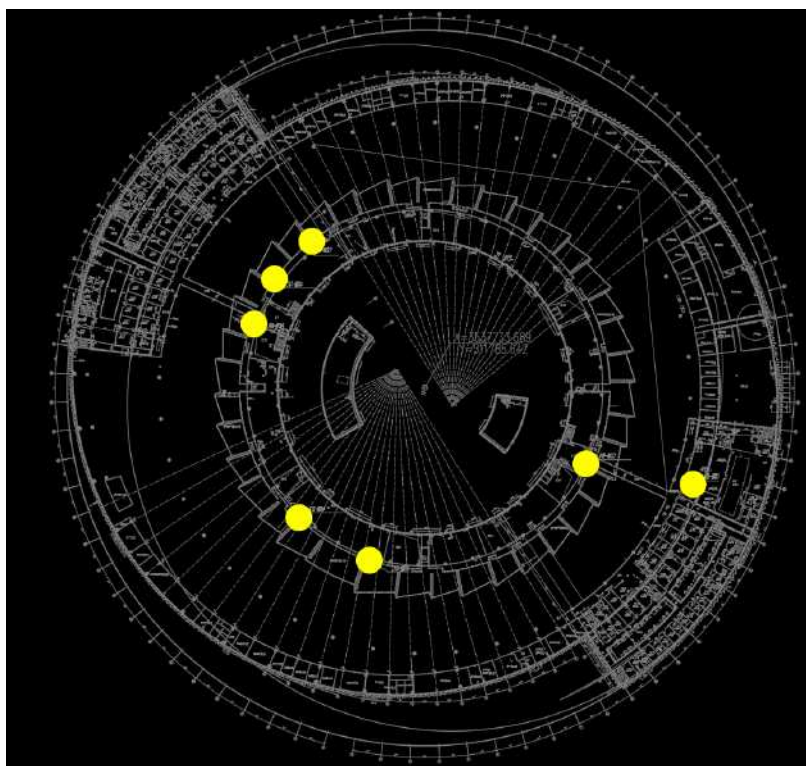


图 4-25 HALF 储存环二层工作场所监测点分布图



表 4-6 HALF 工作场所辐射监测点位统计表

序号	区域	监测点	数量	合计
1	注入器区	注入器隧道出入口	6	12
		速调管走廊	6	
2	储存环区	储存环隧道出入口	6	57
		锯齿墙、实验线站、走廊立柱	40	
		中央控制室	1	
		门卫	2	
		储存环高频站	2	
		高频腔和谐波腔顶部	2	
		注入区	2	
		注入区顶部	2	
合 计	——	——	——	69

4.4.2.1.2 剂量联锁报警

为保障 HALF 工作人员的辐射安全，HALF 辐射监测系统设计了剂量报警阈值并与人身安全联锁系统联锁。超阈值报警系统分为两类，一类是瞬时剂量率超阈值报警，另一类是累积剂量超阈值报警。瞬时剂量率超阈值报警设置两档报警。一档为橙色预警，阈值设置为 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ （屏蔽体外表面剂量率限值为 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ）。此档报警不会触发安全联锁，但是会提醒值班人员关注，并排查超阈值原因。另一档为红色报警，阈值设置为 100 $\mu\text{Sv/h}$ （具体数值可调，将根据实际调试和运行结果进行调整）。当此报警信号持续一段时间后，将会触发人身安全联锁系统，具体的报警时长会根据实际运行情况设置。另外，由于场所内的中子和伽马在主体屏蔽墙外的剂量贡献权重不一致，监测系统将会根据运行或者调试后的实际测量结果，按照中子和伽马的贡献权重对报警阈值进行调整。累积剂量联锁的阈值设置为 4 小时累积剂量达到 10 μSv （具体数值和时间可调，将根据实际调试和运行结果进行调整），超过此阈值将会触发人身安全联锁系统。

4.4.2.1.3 探测器的选择

依据 HALF 辐射场的特点，将在监测区域（场所监测区和环境监测区）同时监测伽马（ γ ）射线和中子的实时剂量率情况，并在不同区域内采用合理有效的探测器。

①对于固定监测点的辐射探测器而言，应当具备高灵敏度、运行稳定、易于维护等优点。因此，本项目固定监测点的 γ 探测器选用高压电离室，其稳定性高于G-M计数管，且球形的高压电离室的角响应和能量响应都优于G-M计数管；中子探测器选用包有慢化体正比计数管，能对入射的脉冲中子进行慢化，使中子脉冲宽度展宽。

②除了固定式探测器外，还采用巡测仪进行监测。巡测仪是手提式的辐射检测设备，主要以轻便易操作为目的，计划配备一定数量的 $\gamma(X)$ 射线和中子辐射巡测仪。

4.4.2.2 离线累积剂量监测

场所累积剂量监测采用被动式剂量计进行测量。使用光致发光剂量计进行场所离线累积剂量测量。将光致发光剂量计放入透明自封袋后放置在需要进行累积剂量监测的位置，进行被动式连续剂量测量。另外，将会使用CR-39固体核径迹测量法进行储存环、注入器以及输运线隧道内进行中子辐射场的测量。

4.4.2.3 便携式剂量率巡测

由于感生放射性的存在，即使是在加速器停机后，注入器以及储存环隧道内仍然存在一定的辐射。因此，在实验人员或者维护人员进入到注入器以及储存环隧道内进行设备检修和系统维护前，辐射安全人员需要对该场所内的辐射剂量率进行测量，以保障进入该场所的人员的人身安全。在此情况下，辐射安全人员采用便携式辐射巡测仪对场所内各个位置进行实时剂量率检测。不仅如此，在加速器运行或者调试过程中，辐射安全人员会对储存环实验大厅、各实验线站、端墙以及光束线引出口等地方进行不定期剂量率巡测，如发现辐射剂量率偏高的区域会采用和与固定监测点的探测器功能参数一致的可移动式探测器进行短期连续监测，以确定是否在此处增加固定监测点。

4.4.2.4 表面污染监测

本项目将配备便携式表面污染监测设备、防护衣具等用具。

4.4.3 个人剂量监测

4.4.3.1 个人外照射监测

本项目辐射工作人员的个人剂量监测采取累积式个人剂量监测计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。

中国科学技术大学要求在岗的所有辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人剂量计每 3 个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。

另外，根据国内外高能电子加速器辐射防护运行的经验，在工作中，特别是要求到加速器隧道内工作的人员佩戴电子个人剂量计（EPD）是十分必要的。EPD 也可以给出 γ 辐射剂量累计值，这对评价工作人员所受到的辐射剂量非常重要。

因此，根据佩戴人员的工作性质，用于个人剂量监测的个人剂量计安排如下：

①长期在 HALF 工作但并不会进入控制区内的辐射工作人员以及用户：使用累积式个人剂量计进行个人剂量监测。

②不会进入控制区的短期实验人员、用户以及访问人员：使用 EPD 进行个人剂量监测。因为只是短时间进入到辐射工作区域，使用累计式、被动式的剂量计并不合适。EPD 可以实时显示所受的辐射量以及所受累积剂量，当剂量值超过阈值时发出报警，提示相关人员已进入高辐射区域，避免相关人员受到过量照射。

③可能进入到辐射控制区域以及其他可能存在高辐射场的工作人员或用户：累积式个人剂量计和 EPD 联合使用。EPD 和累积式个人剂量计配合使用，不仅能准确评价工作人员所受辐射情况，更重要的是可以预先估计工作人员受到的照射水平，及时采取措施，以达到保护工作人员的目的。

4.4.4 环境监测

HALF 属于高能电子加速器，除产生瞬发辐射外，初始和次级粒子还可能使加速器隧道里的束流管等设备，以及冷却水、空气等发生活化，这些放射性废物的流出可能对周围环境产生辐射影响。根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021），应用中高能电

子加速器的环境监测对象包括外照射、循环冷却水、固体废物外表面等。

本项目环境监测项目包括： γ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量当量率和环境介质。

4.4.4.1 辐射水平监测

环境辐射水平监测包括 γ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量当量率监测，为实时剂量率连续监测。环境监测点共 5 个，分布于园区的边界，如图 4-26 所示。同时，环境监测点的监测数据将会接入到辐射监测系统中，并设置阈值报警功能。



图 4-26 HALF 园区环境辐射剂量监测点分布图

4.4.4.2 环境介质监测

环境介质监测项目包括循环冷却水中的总 β 放射性比活度、感生放射性核素、 γ 能谱，活化固体废物外表面的 γ 辐射空气吸收剂量率、感生放射性核素、 γ 能谱。

4.4.5 流出物监测

4.4.5.1 活化冷却水监测

HALF 可能产生的放射性废液主要来自活化冷却水。冷却水为去离子水，去离子水在运行期间循环使用不排放。如果由于设备维修等原因需要向外排放时，在排放前必须进行取样测量，满足国家相关规定的排放标准经审管部门批准后，才能排放。

去离子水在使用过程中，可能形成的放射性核素的半衰期多数都很短，放置一段时间就基本可以衰变。装置水冷系统排出的活化冷却水妥善收集并暂存于集水坑和暂存池中，排放前取样监测，达标后方可排放。因此，HALF 在正常运行时，活化冷却水对环境的影响很小，可以忽略。

4.4.5.2 活化固体废物监测

HALF 可能产生的活化固体废物主要有：①活化部件。加速器运行到一定阶段，一些部件由于质量下降或损坏被更换下来，这些部件往往具有一定的感生放射性。②其他废物。这类废物主要包括去污用过的防护服、手套、棉纱等。

HALF 园区设有一个面积 44m²、容积 120m³ 的放射性固体废物暂存间，位于技术安全楼一层，用于暂存活化部件等放射性固体废物。换下来的活化部件根据其污染水平，分类存放于放射性固体废物暂存间中。暂存一定时间后，满足解控要求的经审管部门解控后按一般废物处理，不满足解控要求的作为放射性废物统一处理。

4.4.6 监测设备数量及技术参数

根据前文所述，场所监测点共计 69 处，因此需要 69 套固定式中子和 γ 探测器，每套含 1 个中子探测器、1 个 γ 探测器。另外，需要 1 套辐射探测器放置于调试间用于调试阶段的辐射监测，需要 2 套用于可移动式场所监测器，需要 3 套用于监测刻度室、源库以及放射性固体废物暂存间。因此，需要分别配置场所中子探测器、 γ 探测器各 75 个。

5 个环境监测点需要 5 套环境级辐射中子探测器和 γ 探测器。

场所累积剂量监测所用探测器为光致发光剂量计及自动化测量及退火装置、CR-39 剂量片以及蚀刻及自动化测读装置、80 个电子个人剂量计（具有报警功能）。

考虑到便携式巡测仪的使用场景，拟配置 3 台便携式 γ 巡测仪和 2 台便携式中子巡测仪。对于表面污染，拟配备便携式表面污染监测仪 2 个。

本项目主要监测设备名称及数量如表 4-7 所示。

表 4-7 主要监测设备名称及数量

序号	设备名称	数量, 个/台
1	场所中子探测器	75
2	场所 γ 探测器	75
3	环境中子探测器	5
4	环境 γ 探测器	5
5	便携式 γ 巡测仪	3
6	便携式中子巡测仪	2
7	便携式表面污染仪	2
8	光致发光剂量计	200
9	CR-39 剂量片	200
10	γ 电子个人剂量计 (EPD, 具有报警功能)	80
备注: 1、200 个 OSL 个人剂量计配 OSLR 全自动一体型读数仪 1 台; 2、200 个 CR-39 剂量计配 CR-39 个人剂量计读出显微镜及图形转换电脑 1 台、CR-39 蚀刻设备 1 台。		

本项目拟配备的监测设备的主要技术参数如下:

表 4-8 场所和环境辐射探测器的技术参数指标

参数	指标要求	
	探测器类型	
	γ -场所	中子-场所
探测器种类	高气压电离室	正比计数管
能量范围	60 keV~7 MeV	0.025 eV~5GeV
剂量率范围	10nGy/h~1Gy/h	10nSv/h~100 mSv/h
相对误差	$\leq 15\%$	
工作温度	$-20\sim 50^{\circ}\text{C}$	

表 4-9 便携式伽马巡测仪的技术参数指标

参数	指标要求		
探测器型号	巡检仪 1 (AUTOMESS 6150AD-B)	巡检仪 2 (FH 40 G FHZ672E-10)	巡检仪 3 (AT1123)
能量范围	20 keV~7 MeV	50keV-3MeV	20keV-10MeV
剂量率范围	0.01 $\mu\text{Gy/h}$ ~100 $\mu\text{Gy/h}$	0.01 $\mu\text{Gy/h}$ ~100 $\mu\text{Gy/h}$	0.1 $\mu\text{Gy/h}$ ~100mGy/h
相对误差	$\leq 15\%$		
工作温度	$-20\sim 50^{\circ}\text{C}$		

表 4-10 光致发光和 CR-39 剂量计的技术参数指标

参数	指标要求	
	光致发光剂量计	CR-39 剂量片
射线类别	X、 γ 、 β	中子

能量范围	16keV 到 5MeV	中子: 200keV ~ 14 MeV
剂量范围	0.05mGy~10Gy	0.1mSv - 600 mSv
读数仪器及相关设备	自动化测量及退火装置	CR-39 剂量片蚀刻及自动化测读装置

表 4-11 X、 γ 个人剂量计（EPD）的技术参数指标

参数	指标要求
射线类别	X、 γ
能量范围	30 keV~1.5 MeV
剂量测量范围	1.0 μ Sv 至 10Sv
剂量率测量范围	0.1 μ Sv/h~10mSv/h
其他相关	具有剂量和剂量率报警功能，报警阈值连续可调，声、光、震动三种报警模式，USB 通讯，配套计算机软件方便进行个人剂量管理

4.5通风系统

HALF 注入器隧道（直线加速器隧道与输运线隧道）及储存环隧道均设有通风系统，通风系统设计参数列于表 4-12。

直线加速器隧道与输运线隧道内部区域连通，平时正常运行时，由于隧道内产生的活化气体、臭氧等有害气体很少，且人员不会进入隧道，因此不排风；当停机后工作人员需要进入该区域或发生紧急情况时，则开启强排风，强排风的换气次数为 8 次/h。直线加速器隧道的强排风口位于靠近直线隧道末端（即直线隧道西端）的楼梯间顶部，排风口高度距地面约 8 米，输运线隧道的强排风口位于输运线隧道中部的楼梯间顶部，排风口高度距地面约 8 米，详见图 4-27。

储存环隧道平时正常运行时，为防止隧道内的有害气体泄露到周围工作场所中，需维持低风量排风状态，使隧道内保持微负压，平时换气次数为 0.6 次/h；当停机后工作人员需要进入该区域或发生紧急情况时，则开启强排风，强排风的换气次数为 8 次/h。储存环隧道共有 4 个排风口，每个排风口兼平时排风与强排风功能，位于储存环隧道屋面上方，排风口高度距地面约 8 米，详见图 4-28。

表 4-12 HALF 通风系统设计参数表

序号	区域	建筑面积, m ²	层高, m	排风机风量				换气次数, 次/h	
				平时		强排		平时	强排
				单台风量, m ³ /h	台数	单台风量, m ³ /h	台数		
1	储存环隧道	3290	3.5	2200	4	25000	4	0.6	8
2	直线加速器隧道	1340	3.5	无平时排风		29000	1	无平时排风	8
3	输运线隧道	420	3.5	无平时排风		29000	1	无平时排风	8

备注：直线加速器隧道与输运线隧道内部区域连通。

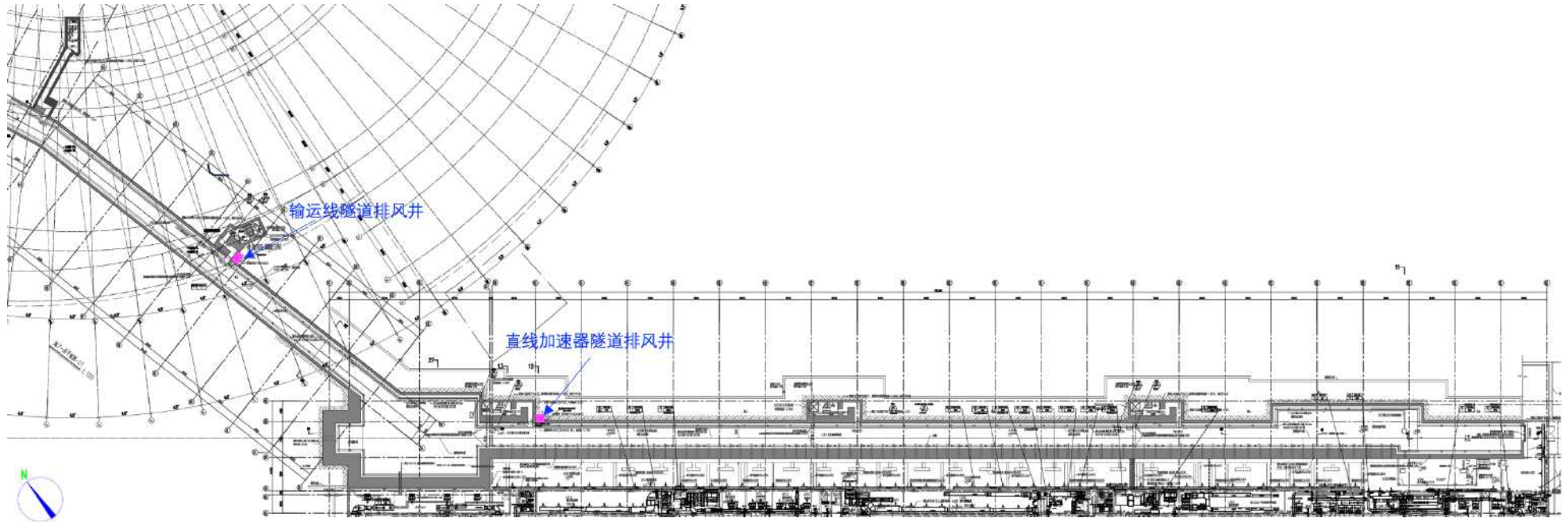


图 4-27 注入器隧道排风位置示意图（图中洋红色区域）

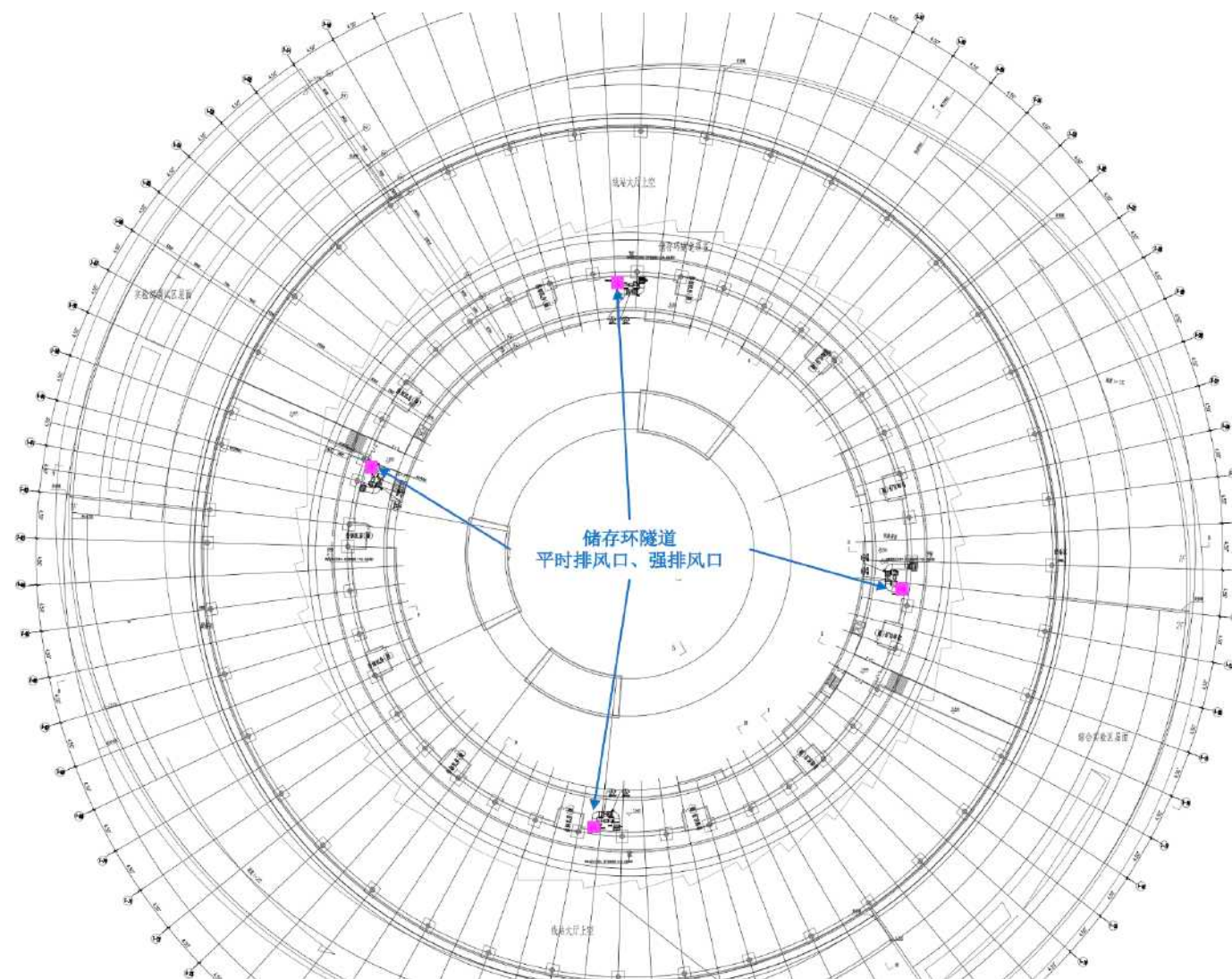


图 4-28 储存环排风位置示意图（图中洋红色区域）

4.6 辐射安全与防护设施小结

参照生态环境部非医用中高能加速器监督检查技术程序，HALF 的辐射安全与防护设施情况如表 4-13 所示。

表 4-13 HALF 加速器辐射控制区的安全与防护情况

序号	项目		是否符合	
1*	A 场所 设施	电离辐射警示标志	√	
2*		声光报警装置	√	
3		计算机记录系统	√	
4		视频监控系统	√	
5*		紧急出口指示	√	
6*		门内紧急开门按钮	√	
7		对讲机或电话通讯设备	√	
8		出束前确认开关	√	
9*	B 安全 联锁	加速器工作状态显示		√
10*		身份控制 系统	开门钥匙开关 门禁系统 刷卡出入 读卡记录进入人员编码、总数	√
11		防跟随措施		√
12*		清场巡更系统		√
13		人员离开确认装置		√
14*		门与束流联锁		√
15*		联锁设计为至少双重联锁		√
16*		通风延迟开门联锁		/
17*		人员总数清零与出束联锁		√
18*		联锁触动停机后须人工复位才能重启加速器		√
19*		有足够数量的紧急停机按钮		√
20*	C 监测 设备	个人剂量报警仪		√
21*		固定式辐射剂量监测系统		√
22*		γ 和中子个人剂量计		√
23*		便携式 γ 和中子剂量测量仪		√
24		便携式表面沾污仪		√
25		气溶胶监测仪或装置		/
26*	D 感生 放射性	强活化部件表面标有电离辐射警告标志		√
27*		更换下来的强活化部件有专设的存放地点及相应标志		√
28		加速器大厅部件活化较高剂量率区的电离辐射标志及提示		√
29*	E	冷却水排放存储池		√
30		用过的去离子树脂专设存放地点		√

序号	项目		是否符合
	冷却水		
31	F	控制区通风系统	√
32*	通风	停机后，控制区通风	√
33	G	个人防护用品	√
34	其它	应急物资	√
备注：/表示本项目不适用。			

表 4-14 光束线站控制区的防护与安全情况

序号	项目		是否符合
1*	A 警告标志	电离辐射标志	√
2		视频监控系统	√
3		声光报警系统	√
4*	B 安全联锁	实验棚屋（站）及出入口加速器运行状态显示	√
5*		门与束流联锁	√
6*		联锁触动停机后须人工复位才能重启加速器	√
7*		实验棚屋（站）内有足够数量的紧急停机按钮	√
8*	C 监测设备	实验棚屋（站）内固定式辐射剂量监测仪器	√
9*		个人剂量报警仪	√
10*		γ 和中子个人剂量计	√
11		便携式 γ 和中子剂量测量仪	√
12*	D 感生放射性	强活化部件贮存容器有电离辐射标志	√
13*		更换下来的强活化部件有专设的存放地点及相应标志	√
14		实验棚屋（站）部件活化较高剂量率区的电离辐射标志及提示	√
15	F 通风	实验棚屋（站）通风系统	√

4.7 三废治理

4.7.1 放射性三废治理

4.7.1.1 放射性废气及其处理措施

（1）来源

HALF 运行期间在注入器隧道及储存环隧道区域可能产生感生放射性气体，其主要放射性核素为 ^{11}C ($T_{1/2}[^{11}\text{C}]=20.39\text{min}$)、 ^{13}N ($T_{1/2}[^{13}\text{N}]=9.965\text{min}$)、 ^{15}O ($T_{1/2}[^{15}\text{O}]=2.037\text{min}$)

和 ^{41}Ar ($T_{1/2}[^{41}\text{Ar}]=1.8\text{h}$)。根据第三章的计算结果, HALF 空气活化程度比较轻微, 核素的最大活度浓度在 100 Bq/m^3 量级, 年排放量为 $1.52\text{E}+10\text{ Bq}$ 。

(2) 处理措施

HALF 运行期间可能产生的气态感生放射性核素主要为短半衰期核素, 经过一段时间后可自行衰变至较低水平。注入器隧道及储存环隧道均设有排风系统, 排风系统设计参数见表 4-12。装置运行过程中可能产生的感生放射性气体经排风管引至室外排放, 排风口高度约 8 米, 注入器隧道及储存环隧道的排风口位置见图 4-27 与图 4-28。考虑到废气中感生放射性核素的半衰期很短, 且排入大气后经过扩散和稀释, 结合第五章的计算结果, 其对环境的影响是可以接受的。

4.7.1.2 放射性废液及其处理措施

(1) 来源

本项目产生的放射性废液主要是活化冷却水。加速器所用冷却水为去离子水, 去离子水在使用过程中, 由于 ^{16}O 散裂反应可能形成的放射性核素除 ^3H 、 ^7Be 外, 其余核素的半衰期都很短, 放置一段时间就基本可以衰变。根据第三章的计算结果, HALF 冷却水的活化程度较低, 最大饱和活度浓度在 10 Bq/L 量级。

(2) 处理措施

正常运行情况下, 设备冷却水闭路循环不排放, 只是在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才需要排放。根据合肥光源的运行经验, 冷却水每年的排放次数不会超过 1 次, 且每次的排放量很少, 不超过冷却水总量的 10%; 只有在多年才可能有一次的大检修期间, 有可能全部排放, 总量 378m^3 。

注入器隧道及储存环隧道均设有专用于暂存活化冷却水的集水坑或暂存池。

注入器隧道在直线加速器段设有四个集水坑, 分别位于直线加速器隧道北侧的楼梯间底部, 用于暂存排放或泄漏的活化冷却水。直线隧道内部的地面设有地漏, 地漏通过排水管道与集水坑相连, 排水管道设有一定倾斜角度, 冷却水可通过重力作用自流至集水坑内暂存。每个集水坑的尺寸为 $2\text{m}\times 2\text{m}$ (长 $\times$ 宽), 坑底标高为 -7.9m , 有效容积 6m^3 ,

坑底位于地下 7.9 米。集水坑与室外事故排水暂存池相连，隧道集水坑中暂存的废液可通过水泵提升至室外事故排水暂存池。室外事故排水暂存池的尺寸为 $6\text{m} \times 3\text{m} \times 3.5\text{m}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高），有效容积 40m^3 ，用于暂存事故工况下排出的冷却水。直线加速器隧道 4 个集水坑与 3 个室外事故排水暂存池的位置详见图 4-29。

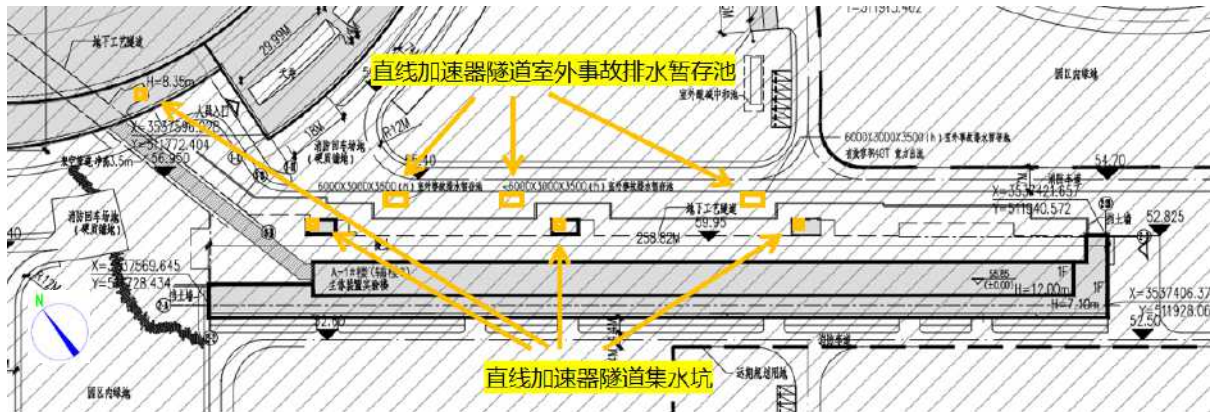


图 4-29 直线加速器隧道集水坑及室外事故排水暂存池位置示意图

储存环隧道设有四个事故排水暂存池，均位于储存环内侧，用于暂存排放或泄漏的活化冷却水。储存环隧道内部的地面设有地漏，地漏通过排水管道与暂存池相连，排水管道设有一定倾斜角度，冷却水可通过重力作用自流至暂存池内暂存。每个暂存池的尺寸为 $6\text{m} \times 3\text{m} \times 5.5\text{m}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高），有效容积 70m^3 。储存环隧道四个事故排水暂存池的位置详见图 4-30。

直线加速器隧道的 3 个集水坑（单个有效容积 6m^3 ）、3 个室外事故排水暂存池（单个有效容积 40m^3 ），加上储存环隧道的 4 个事故排水暂存池（单个有效容积 70m^3 ），总计可暂存冷却水的体积为： $6\text{m}^3 \times 3 + 40\text{m}^3 \times 3 + 70\text{m}^3 \times 4 = 418\text{m}^3$ ，大于冷却水系统内的冷却水总量 378m^3 ，能够满足冷却水暂存需求。

冷却水在排放前必须进行取样测量，满足活化冷却水排放标准，方可排放。

综上所述，HALF 正常运行时不会产生放射性废液，检修或发生泄漏的情况下可能排放的冷却水活度远低于排放限值，且采取了有效的冷却水收集和暂存措施。因此，活化冷却水对环境的影响很小。

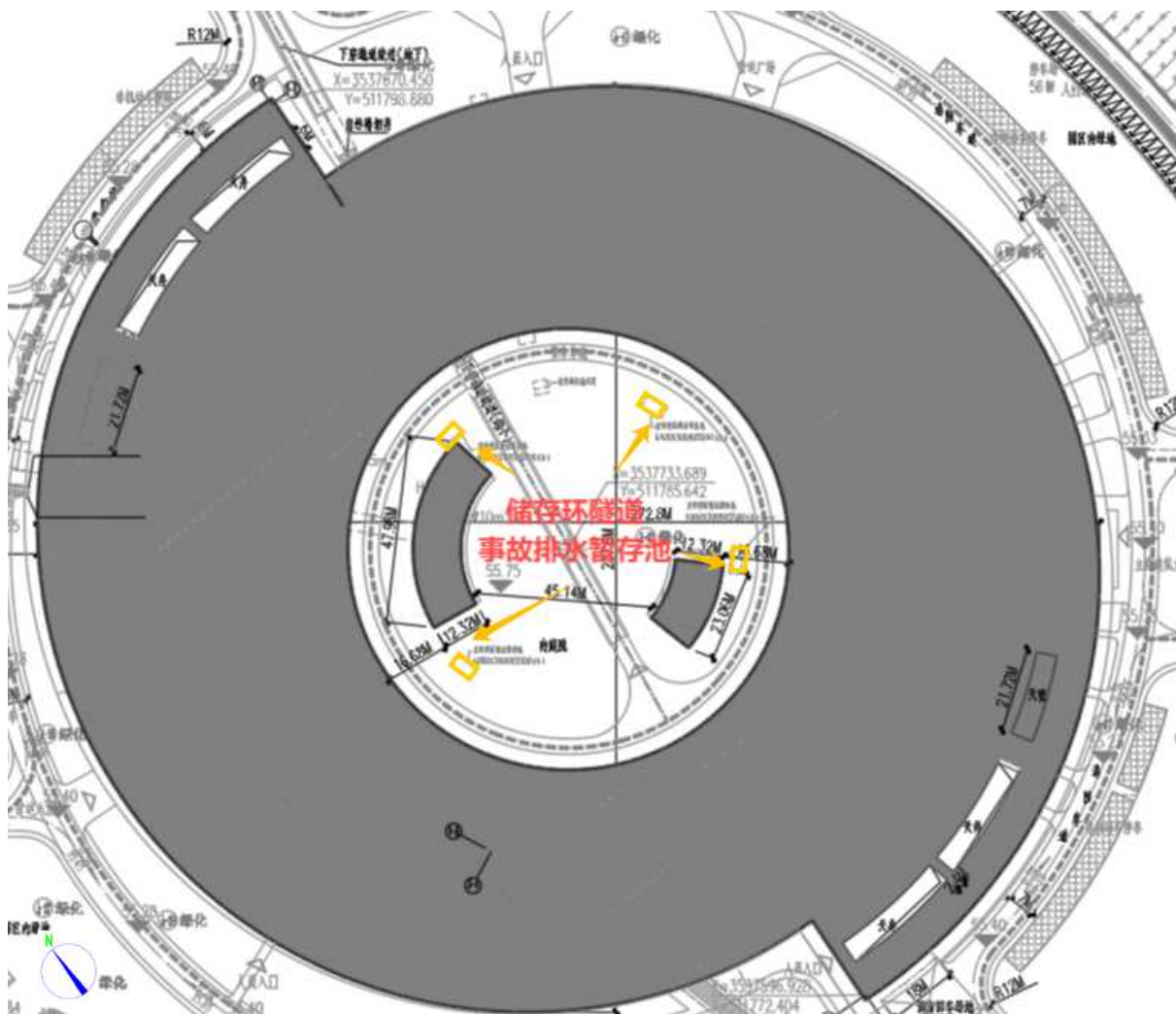


图 4-30 储存环隧道事故排水暂存池位置示意图（黄色方块区域）

4.7.1.3 放射性固体废物及其处理措施

(1) 来源

HALF 可能产生的放射性固体废物主要为装置的活化部件，主要为束流管，其主要材料为 316L 不锈钢（主要含 Fe、Cr、Ni、Mo），感生放射性模拟结果列于表 3-19。由表 3-19 可知，废束流管的活化水平不高，直线束流管、储存环束流管所有核素的饱和活度浓度分别为 $1.01\text{E}+03\text{Bq/g}$ 、 $2.28\text{E}+02\text{Bq/g}$ ，属于低放废物。计划 HALF 正常运行后五年需拆除的加速管总量为：8 根 4.5m 段，16 根 2.5m 段。经估算，可能产生的活化固体废物总量约 206kg。

(2) 处理措施

HALF 运行产生的活化固体废物暂存于技术安全楼一层的放射性固体废物暂存间，见图 4-31。技术安全楼位于储存环西南侧，见图 4-32。

放射性固废从控制区转运到固废暂存间过程中的具体管理措施如下：

① 对于拟拆除部件，首先由辐射防护组工作人员进行表面剂量率测量，当低于 $100\mu\text{Sv/h}$ 时，允许维修工作人员对其进行拆除，拆除期间均由辐射防护组工作人员全程陪同，以防具有感生放射性的部件遗失；

② 对于已拆除部件，进行测量并进行相关信息登记：拆除部件名称、数量、拆除时间、剂量率测量值、拆除人员等，并放入事先准备好的放射性废物屏蔽容器内，容器表面标记放射性固废相应信息；

③ 由辐射防护组工作人员运至园区技术安全楼放射性废物暂存间内，并进行入库登记，将此次放废按照剂量率不同等级归置于相应区域。

放射性固体废物暂存间面积 44m^3 、容积 120m^3 ，足够暂存装置运行期间产生的放射性固体废物。其辐射防护设计方案如下：四周墙体 50cm 普通混凝土，顶板 50cm 普通混凝土，防护门为 0.5cm 钢板+30*50 方管框架+3mm 钢板+1cmPb+3cm 铸铁+1cmPb+0.8cm 钢板。HALF 作为一台电子加速器，其产生的感生放射性很小，保守按放射性固体废物外表面剂量率为 $100\mu\text{Sv/h}$ 考虑，经过暂存间墙体、顶板及门的屏蔽作用和距离衰减作用，可以推知固废间墙体外周围 30cm 处剂量率将远低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，存放在放射性固体废物暂存间内的活化固体废物对周围环境的辐射影响较小。

建设单位应在活化固体废物暂存前，监测并记录其表面 30cm 处的剂量率，并定期组织对活化固体废物进行集中测量分析：

(1) 对于满足清洁解控标准的：

①可回收利用的部件，回收后复用。

②不能回收利用的部件，经审管部门认可后，解控后按一般废物处理。

(2) 对于不满足清洁解控标准的，送交当地城市放射性废物库。

建设单位需对每次活化固体废物的处理情况进行记录并存档，具体记录内容包括每

次处理的固体废物名称种类、废物量、剂量率监测结果以及最终去向等。

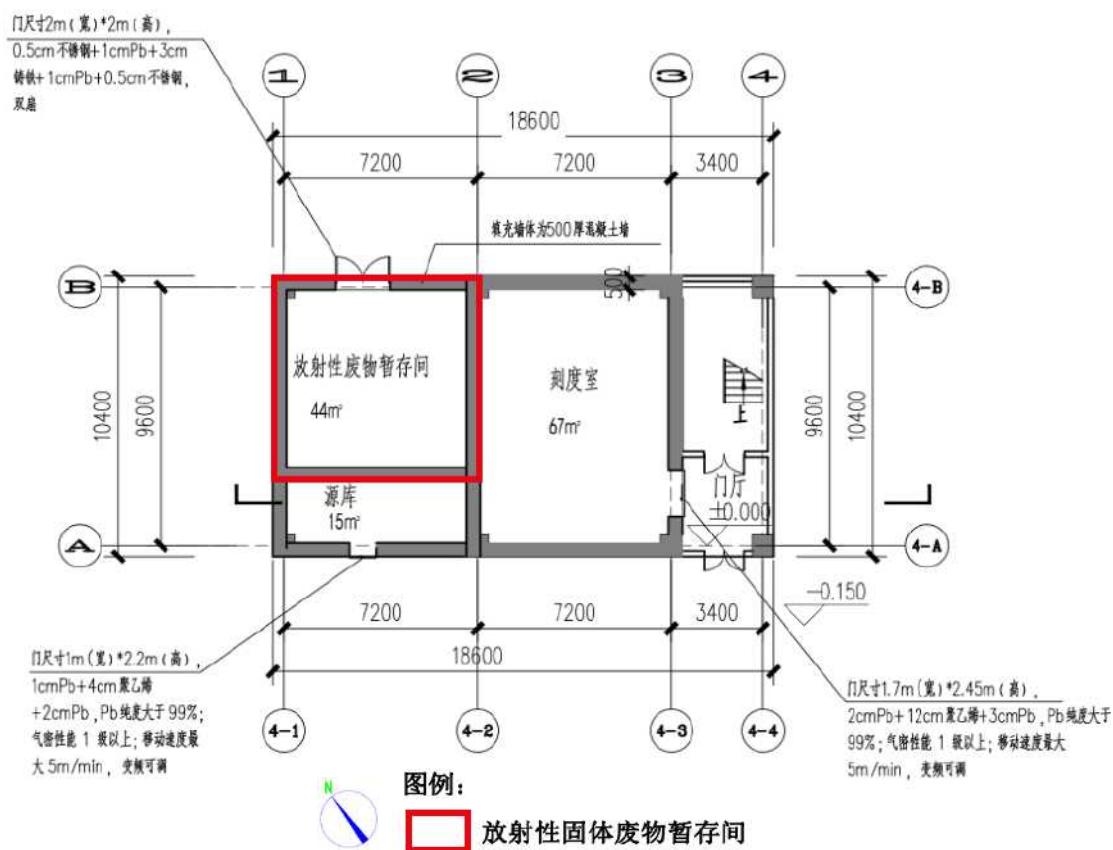


图 4-31 放射性固体废物暂存间位置示意图

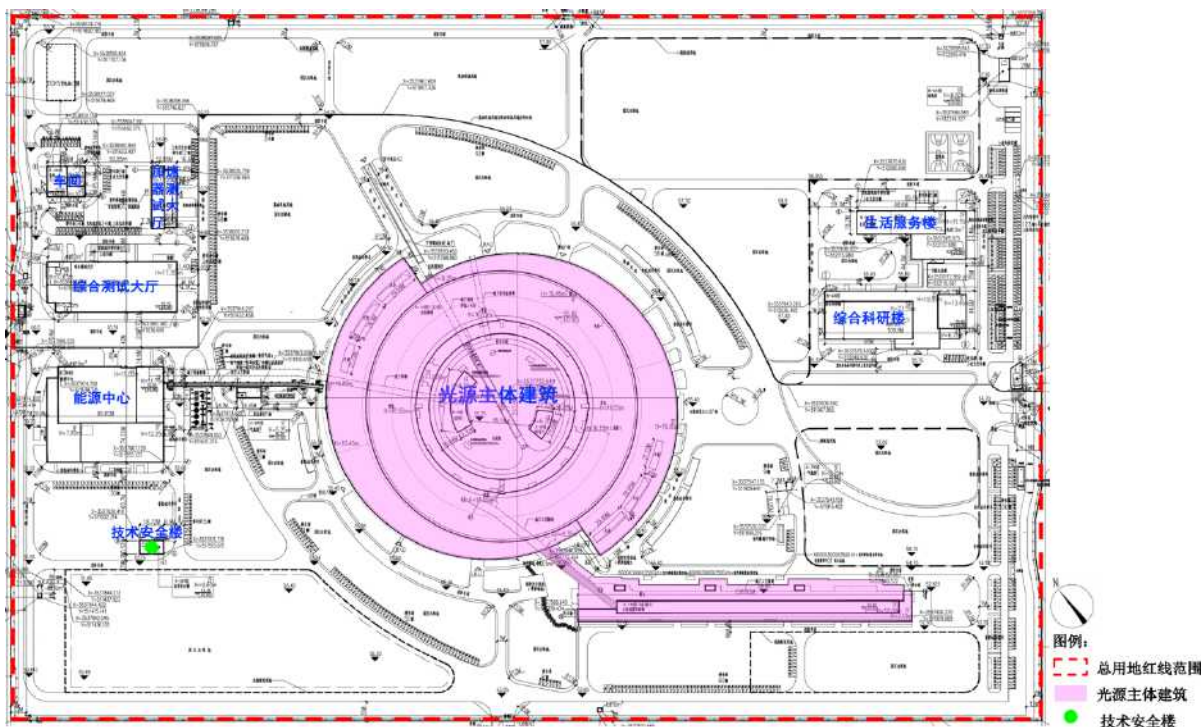


图 4-32 技术安全楼位置示意图 (绿色圆点区域)

4.7.2 非放三废治理

4.7.2.1 非放废气

本项目非放废气经集气罩收集后由活性炭吸附装置处理后经 15m 高排气筒排放。

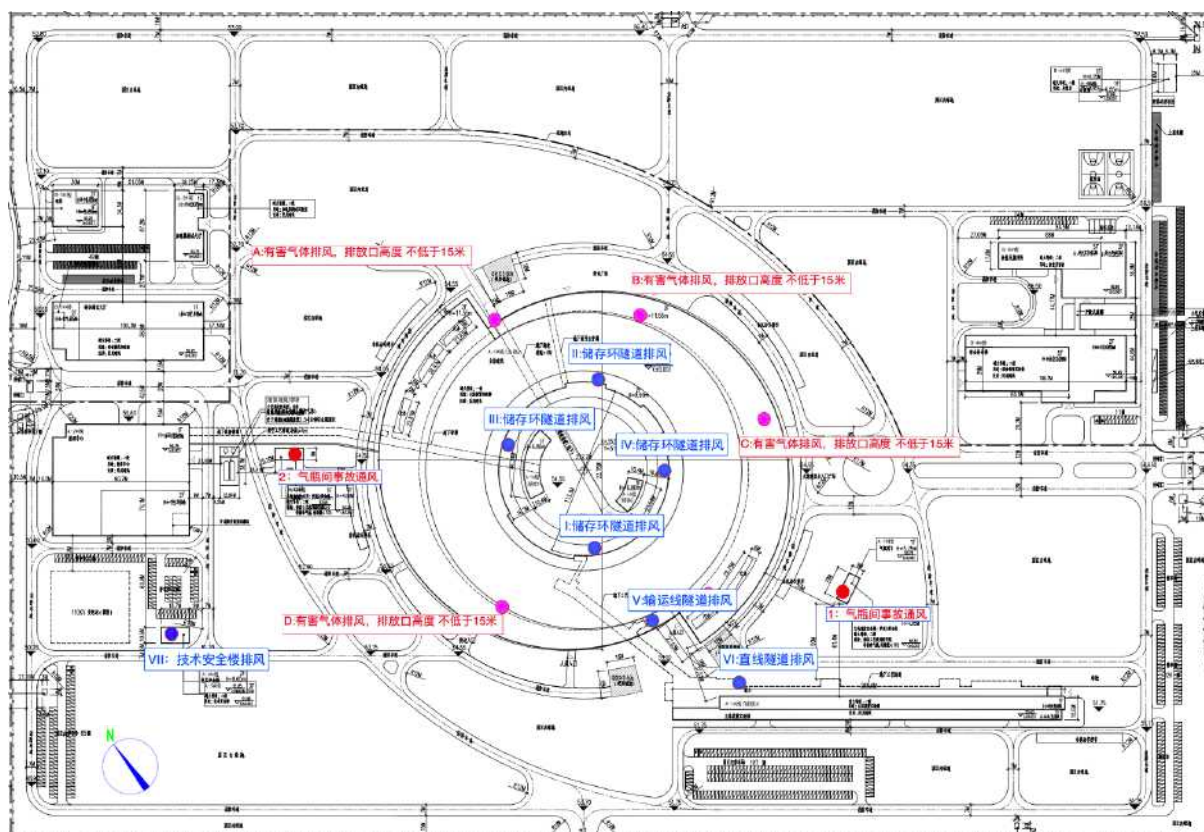


图 4-33 园区排气筒位置示意图

4.7.2.2 废水

本项目正常运行过程中，产生的生活污水为非放射性废水，产生量为 12m³/d，主要污染物为 pH、COD、BOD₅、SS、NH₃-N 等，收集后经化粪池处理后排入市政污水管网。

运营过程中会产生生产废水，产生量为 2500t/a，主要污染因子为 COD、SS、LAS、石油类、NH₃-N，收集后经厂内废水处理站处理后接入市政污水管网。

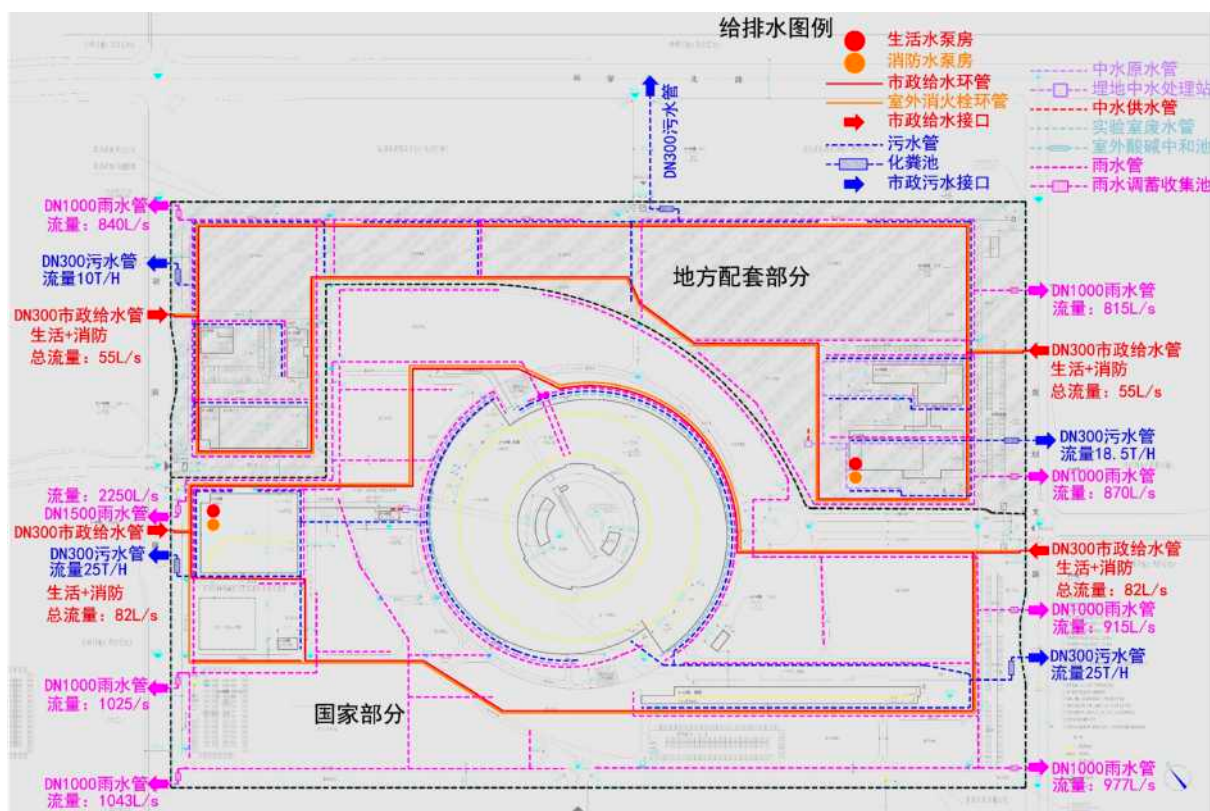


图 4-34 园区给排水管网示意图

4.7.2.3 固体废物

本项目产生的非放固体废物主要为工作人员产生的生活垃圾，产生量为 22.5t/a，生活垃圾设置若干个垃圾桶集中收集，交由环卫部门统一处理。一般工业固废主要为废包装材料，产生量为 10t/a，废滤材（废石英砂、废活性炭、废滤网）0.5t/a，收集后外售处置。危险废物主要为废清洗剂包装桶 0.1t/a、乙醇废液 0.4t/a、丙酮废液 0.05t/a、石油醚废液 0.025t/a、废机械泵油 0.02t/a、废机械泵油包装桶 0.01t/a、异丙醇废液 0.025t/a、乙二醇废液 0.005t/a、废树脂 500L/a，暂存于危废仓库定期由中国科学技术大学定期收集（一月一次）转至专业三废处理企业处置，学校每年和三废处理企业签订处理合同。园区垃圾房及危险废弃物仓库位置见图 4-35。

4.7.2.4 噪声

本项目尽可能选用低噪声的设备，噪声相对较大的设备主要为能源中心（含热工及冷冻站、低温中心、换热站及泵房等）。园区主要噪声源位置见图 4-36。通过墙体隔声、

基础减振等措施,再经过距离衰减,厂界噪声可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中2类标准限值要求。

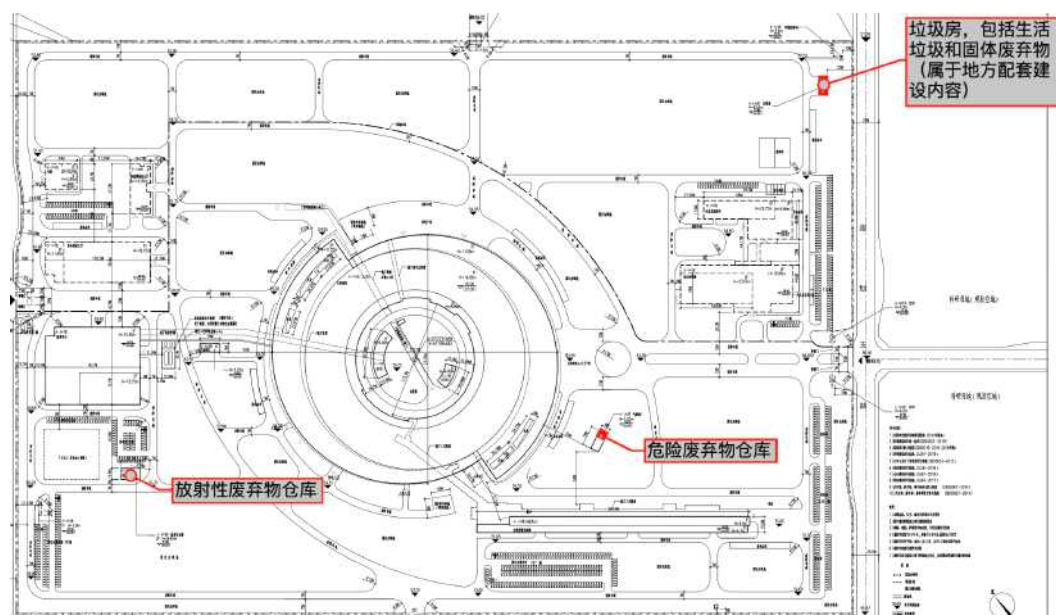


图 4-35 园区垃圾房及危险废弃物仓库位置示意图

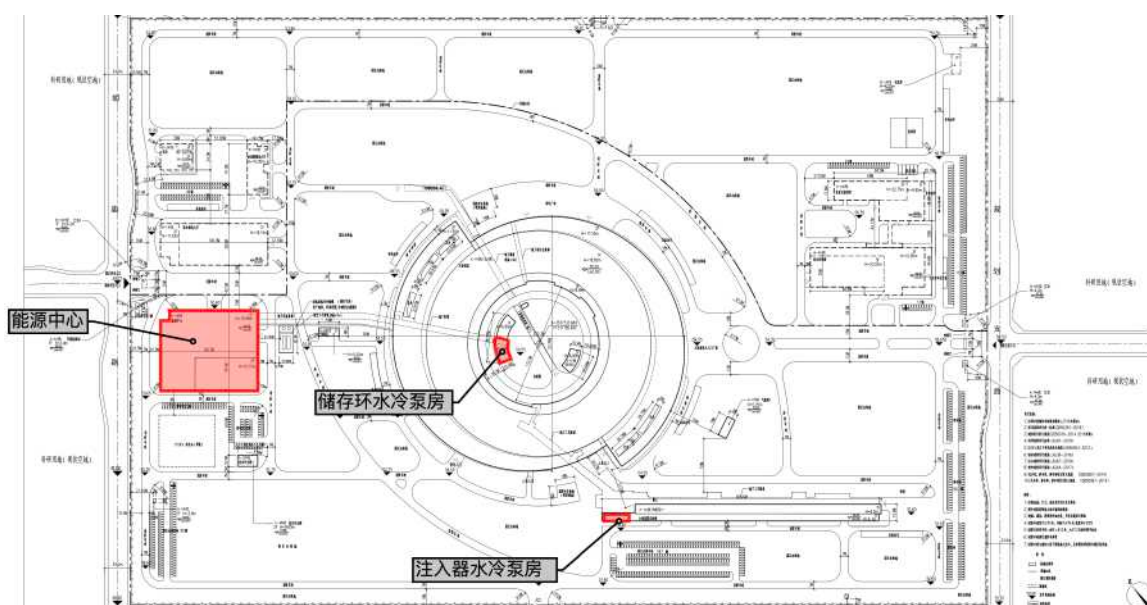


图 4-36 园区主要噪声源位置示意图

4.8 服务期满后的环境保护措施

本装置终止运行后可能产生放射性污染,因搬迁等原因不再使用时,应编制相应的退役方案、制定退役目标,确保放射性废物得到安全、妥善处理,并按照相关法规规定完善退役环保手续。

5 环境影响分析

5.1 非放射性环境影响分析

5.1.1 施工期环境影响分析

5.1.1.1 废气

(1) 车辆尾气施工过程中废气主要来源于施工机械驱动设备（如柴油机等）和运输及施工车辆所排放的废气，排放的主要污染物为 NO_2 、 CO 、烃类物等。

(2) 粉尘和扬尘

施工期使用的混凝土均为外购商品混凝土，依托混凝土公司水泥罐车运输，可直接使用，项目区域内不设搅拌站等装置。在建设过程中，粉尘污染主要来源于：①管道施工中的土方运输产生的粉尘；②建筑材料如白灰、砂子以及土方等在其装卸、运输、堆放等过程中，因风力作用而产生的扬尘污染；③搅拌车辆及运输车辆往来造成地面扬尘；④施工垃圾及清运过程中产生扬尘。上述施工过程中产生的废气、粉尘及扬尘将会造成周围大气环境污染，其中又以粉尘的危害较为严重。施工期间产生的粉尘（扬尘）污染主要取决于施工作业方式、材料的堆放及风力因素，其中受风力因素的影响最大。随着风速的增大，施工扬尘产生的污染程度和超标范围也将随之增强和扩大。结合《安徽省建筑工程施工和预拌混凝土生产扬尘污染防治标准（试行）》等文件要求，建筑工程施工现场扬尘污染防治应做到施工范围全覆盖。工地周边围挡、物料堆放覆盖、路面硬化、土方开挖湿法作业、出入车辆清洗、渣土车辆密闭运输“六个百分之百”。具体防治对策和措施如下：

(1) 防治扬尘污染的费用应当列入工程建设成本。建设单位在招标文件中应当要求投标人在投标文件中，制定施工现场扬尘污染防治措施，并列入技术标评标内容。中标人与建设单位签订的合同中应当包括招标文件中的施工现场扬尘污染防治措施，并明确扬尘污染防治责任。

(2) 施工现场应实行封闭围挡, 围挡底边应当设置防溢基础, 不得有泥浆外漏; 围挡应安全可靠; 围挡高度不应低于 1.8m; 围挡上部宜设置朝向场内区域的喷雾装置, 每组间隔不宜大于 4m; 围挡立面应保持干净、整洁, 宜定时清理; 围挡应保证施工作业人员和周边行人的安全, 且牢固、美观、环保、无破损。

(3) 施工现场临时设施、临时道路的设置应科学合理, 并应符合安全、消防、节能、环保等有关规定。施工区、材料加工及存放区应与办公区、生活区划分清楚, 并采取相应的隔离措施; 施工现场出入口、主要道路必须采用硬化处理措施, 尽量做到“永临结合”。宜设置循环通道或贯通的施工道路, 其宽度和承载力应满足车辆通行和消防要求; 沿施工道路两侧宜通长布设标准化的道路喷淋系统; 施工现场辅助临时道路、加工区、施工用材料堆放场、临时停车场地等应采取铺砌块(砖)、焦渣、碎石铺装等固化措施; 生活区、办公区地面应进行硬化或绿化, 优先使用能重复利用的预制砖、铺砌块等材料; 长期存在的废弃物堆场, 应当设置高于废弃物堆的围墙、防尘网或者在废弃物堆场表面植被绿化; 施工场区内裸露场地和堆放的土方必须采用防尘网覆盖、绿化或固化等扬尘污染防治措施; 施工现场地表水和地下管沟应排水畅通, 场地无积水。严禁将污水直接排入雨水管网, 污水宜沉淀后重复使用; 建设单位负责对待建场地裸露地面应进行覆盖, 超过三个月的, 应当进行临时绿化或者透水铺装。

(4) 施工现场出入口大门内侧场内主道路应按有关规定固定设置车辆自动冲洗设施, 包括冲洗平台、冲洗设备、排水沟、沉淀池等。特殊情况及拆除工程施工现场, 可采用满足现场冲洗要求的移动式冲洗设备; 车辆冲洗应有专人负责并填写台账。确保车辆外部、底盘、轮胎处不得粘有污物和泥土, 施工工地大门外车辆出口路面上不应有明显的泥印和泥浆水, 以及砂石、灰土等易扬尘材料; 车辆冲洗宜采用循环用水, 设置分级沉淀池, 沉淀池应做防渗处理, 污水不得直接排入市政管网, 沉淀池、排水沟中积存的污泥应定期清理; 洗装置应从工程开工之日起设置, 并保留至工程竣工, 对损坏的设备要及时进行维修, 保证正常使用。

(5) 砂石等散体材料应设置围挡, 集中、分类堆放, 并采取防尘网覆盖或其他防尘措施; 水泥、粉煤灰、灰土等易产生扬尘的细颗粒建筑材料应进行密闭存放或设置围挡进行封闭、覆盖, 使用过程中应采取有效抑尘措施; 现场搅拌机、砂浆罐必须设置防

尘降噪棚，棚体需封闭，棚内应采取有效抑尘措施；严禁在施工现场围挡外堆放建筑材料和建筑垃圾；场内装卸、搬运易扬尘材料应遮盖、封闭或洒水；施工现场土方堆放时，应采取覆盖防尘网、绿化等防尘措施，并定时洒水，还应做到土方堆放高度不宜超过相邻围挡、使用土方时禁止将所有遮盖的防尘网全部打开、雨季时应采取措施防止随雨水冲刷进入水体或市政雨水管道。

（6）建筑垃圾处置实行减量化、资源化、无害化和“谁产生、谁处置”的原则；施工单位应当合理利用资源，防止浪费，减少渣与建筑垃圾的产出量；施工现场建筑垃圾应集中、分类堆放，严密遮盖，必要时建立密闭式垃圾站；楼层内清理施工垃圾，应采取先洒水降尘后清扫的作业方法，并使用密闭式专用垃圾通道（管道）或袋装清运；施工现场内严禁随意丢弃和焚烧各类废弃物，严禁高空抛洒建筑垃圾；施工过程中产生的弃土、弃料及其他建筑垃圾，应及时清运。若在工地内堆置超过 48 小时的，则应在施工工地内设置临时堆放场，并采取下列措施：

1）覆盖防尘布、防尘网；

2）定期喷洒抑尘剂；

3）定期洒水压尘；

4）其他有效的防尘措施建筑垃圾和土方运输车辆运输中必须采取密闭措施，切实做到无外露、无遗撒、无高尖、无扬尘的要求，按规定的时间、地点、线路运输和装卸；外运泥浆应使用具有吸排性能的密封罐车。

（7）防尘措施

为减轻扬尘对区域环境空气质量的不利影响，根据《合肥市场尘污染防治管理办法》（合肥市人民政府令第 172 号）和《安徽省建筑工程施工扬尘污染防治规定》中的相关要求，建筑工地应当遵守下列规定，采取有效措施防治粉尘的污染：

1）建筑工地自基础施工阶段起，落实好出入口道路硬化和冲洗等防尘措施。

2）围挡、围栏及防溢座的设置。施工期间，设置 1.8 米以上围挡，围挡低端应设置防溢座，围挡之间以及围挡与防溢座之间无缝隙。

3) 施工过程在使用水泥、石灰、砂石、涂料、铺装材料等易产生扬尘的建筑材料，应密闭存储。若工地内堆放，应当采用防尘布苫盖，或采取其他有效的防尘措施。

4) 施工期间，应在物料、渣土、垃圾运输车辆的出口内侧设置洗车平台，车辆驶离工地前，应在洗车平台清洗轮胎及车身，不得带泥上路。工地出口处铺装道路上可见粘带泥土不得超过 10 米，并应及时清扫冲洗。

5) 物料、渣土、垃圾运输车辆，应尽可能采用密闭车斗，并保证物料不遗洒外漏。若无密闭车斗，物料、垃圾、渣土的装载高度不得超过车辆槽帮上沿，车斗应有毡布覆盖严实。毡布边缘至少要遮住槽帮上沿以下 15cm，保证物料、渣土、垃圾等不露出。

6) 施工工地内，从建筑上层将具有粉尘逸散性的物料、渣土或废弃物输送至地面或地下楼层时，可从电梯孔道、建筑内部管道或密闭输送管道输送，或者打包装框搬运，不得凌空抛撒。

7) 施工期间，应在工地建筑结构脚手架外侧设置防尘布。应当对保洁责任区周围环境进行保洁，保洁责任区范围，一般设在工地周围 20 米内。

8) 施工工地内及工地出口至铺装道路间的车行道路应铺设钢板、混凝土、细石等材料，并辅以洒水、喷洒抑尘剂等措施。施工工地道路可采用吸尘或水冲洗的方法清洁施工工地道路积尘，不得在未实施洒水等抑尘措施情况下进行直接清扫。

9) 开挖时，对作业面适当喷水，使其保持一定的湿度，以减少扬尘，建筑垃圾及时运走。

10) 在对弃土和废渣外运方面，采用密闭化运输车辆运输，杜绝施工废渣沿途抛洒。临时堆场尽量设置在敏感点的下风向，且尽量远离敏感点，减少对周围敏感点的影响。

11) 闲置 3 个月以上的施工工地，建设单位应当对其裸露泥地进行临时绿化或者铺装。

12) 开挖、运输和填筑土方等工程施工中，对干燥、易起尘的土方工程，应辅以洒水压尘，尽量缩短起尘操作时间。遇到四级或四级以上大风天气，应停止土方作业，并在作业处覆盖防尘布。

13) 建筑垃圾、工程渣土等应当及时清运。在 48 小时内未能清运完毕的, 应当在施工工地内设置临时堆放场内临时堆放, 临时堆放场应当采取围挡、遮盖等有效防尘措施。

14) 需使用混凝土时, 应使用预拌商品混凝土。应尽量采用石材、木制等成品或半成品, 实施装配式施工, 减少因石材、木制品切割所造成的扬尘污染。

15) 施工工地周边 100%围挡、出入车辆 100%冲洗、拆迁工地 100%湿法作业、渣土车辆 100%密闭运输、施工现场地面 100%硬化、物料堆放 100%覆盖。

5.1.1.2 废水

本项目施工期间产生的废水主要为施工人员生活污水、车辆冲洗水、建筑施工用水等, 该类废水主要污染物为 COD、BOD₅、SS、NH₃-N 等。

该项目建设周期较短, 施工期间产生的污水主要集中在施工工地。

施工初期生活污水采用移动厕所, 收集后由环卫所定期清运。待厂区内管网建成后, 生活污水经厂内污水管网收集后排到市政污水管网, 经市政污水管网排至望塘污水处理厂, 项目在望塘污水处理厂收水范围内, 管网已铺设至项目区域, 主要工艺为氧化沟+V 型滤池工艺, 具有可行性。

施工泥水经沉淀后回用或用于道路洒水。施工期间产生废水涉及范围较小, 对区域水环境无影响。

5.1.1.3 噪声

施工场地的噪声源主要为挖掘机、推土机、振动夯锤、装载车等, 大多为不连续性噪声。主要设备的噪声源见表 5-1。

表 5-1 施工期间主要设备的噪声源强

施工阶段	设备名称	源强 dB (A)	备注
基础土方施工	液压挖掘机	78~86	距声源 1m 处
	推土机	80~85	距声源 1m 处
	振动夯锤	86~94	距声源 1m 处

	重型运输车	78~86	距声源 1m 处
构筑物建设 及装修	商砼搅拌车	82~84	距声源 1m 处
	混凝土振捣器	84~90	距声源 1m 处
	木工刨床	80~85	距声源 1m 处
	电锯	85~90	距声源 1m 处
	钢筋切断机	70~75	距声源 1m 处

将施工期的噪声源作为点源，按点源衰减模式计算各种机械设备在不同距离处的噪声水平列于表 5-2。

表 5-2 施工期间噪声水平预测值

序号	设备名称	不同距离处的噪声水平 dB(A)				
		10m	20m	30m	40m	50m
1	液压挖掘机	66.0	60.0	56.5	54.0	52.0
2	推土机	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0
3	振动夯锤	74.0	68.0	64.5	62.0	60.0
4	重型运输车	66.0	60.0	56.5	54.0	52.0
5	商砼搅拌车	64.0	58.0	54.5	52.0	50.0
6	混凝土振捣器	70.0	64.0	60.5	58.0	56.0
7	木工刨床	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0
8	电锯	70.0	64.0	60.5	58.0	56.0
9	钢筋切断机	55.0	49.0	45.5	43.0	41.0

施工过程中，通过采取从声源上控制、距离防护、合理安排施工时间等措施，施工噪声可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523—2011)标准(昼间 70dB(A)，夜间 55dB(A))的要求。另外，本项目位于已规划的岗集镇内。目前，项目所在地及周边主要为科研用地，距居民区较远，施工噪声对环境的影响是可以接受的。

5.1.1.4 固体废物

(1) 固体废物来源分析

1) 施工垃圾

①基坑开挖弃土：根据土石方平衡可知，建设过程中挖方量为 65.55 万 m³，回填量为 41.51 万 m³，则弃方量为 20.83 万 m³。项目开挖产生的弃土，临时堆放过程中设置挡拦设施，定期委托专业的渣土运输公司/长丰县市容部门进行运输。在运输过程中，运输车辆必须加盖，且要加盖处理，防治产生扬尘。

②建筑废料：其种类比较多，包括施工中砖、水泥、木材、钢材、装修中产生的废料，根据类比资料，产生量一般在 $0.02\text{t}/\text{m}^2$ 左右。整个工程固废最大产量约 13661.4t ，可以重复使用的尽量回收利用，弃用建筑垃圾向市容环境卫生主管部门申请，运至指定地点。建筑垃圾运输车辆应当采取密闭措施，不得超载运输，不得车轮带泥，不得遗撒、泄漏，各类建筑垃圾的处理和处置全过程必须遵守《建筑垃圾和工程渣土处置管理规定》。

2) 生活垃圾

因施工人员集中将产生一定量的生活垃圾，平均每人每天约产生 1.0kg 左右的生活垃圾，高峰期生活垃圾量产生为 $150\text{kg}/\text{d}$ 。

(2) 固体废弃物的处置

本项目产生的土石主要来自于厂区场地的平整、室内地坪填土及地下建构筑物挖土、道路基础挖土、地表腐殖土以及挖方松土量等。

在土石方和建筑垃圾运输过程中应该注意：

- 1) 对施工过程中产生和各类建筑垃圾应当及时清理，保持施工现场整洁；
- 2) 工程施工现场出入口的道路应当硬化，配置相应的冲洗设施，车辆冲洗干净后，方可驶离工地；
- 3) 按照市容环境卫生行政主管部门核定的时间、路线、地点运输和倾倒建筑垃圾，禁止偷倒、乱倒；
- 4) 建筑垃圾运输车辆应当采取密闭措施，不得超载运输，不得车轮带泥，不得遗撒、泄漏，各类建筑垃圾的处理和处置全过程必须遵守合肥市关于建筑垃圾和工程渣土处置的相关规定；
- 5) 建筑垃圾运输作业时，建设单位应当督促运输单位在清运时间内组织人力、物力或委托专业市容环境卫生服务单位做好沿途的污染清理工作；清运过程中造成交通安全设施损坏的，应予以赔偿；
- 6) 由于建筑垃圾是土建工程中不可避免的，因此建设单位和施工单位必须做好施工垃圾管理，避免对周围环境造成影响；

7) 生活垃圾应袋装，集中后交环卫部门统一处理。

5.1.1.5 生态环境

根据工程建设的基本工序，工程开工建设阶段，在施工厂区平整的基础上，采用大开挖的施工工艺，挖掘厂房等主要设施的基础。根据类似工程的建设经验，在工程建设阶段，施工活动对厂址地区环境生态的不利影响在生物多样性、植被覆盖率、土地利用、水土流失等多个方面，但主要体现在植被的破坏、水土流失加剧。由于拟建工程主要占地是杂草地和池塘；因此，施工活动主要影响为水土流失。

施工期地表土壤遭到破坏，地基开挖出的土石方在临时堆放过程中都可能造成水土流失。临时堆放在建筑物四周的松散土壤，遇到降雨时尤其是降雨强度较大时极易形成水力侵蚀，造成大量水土流失；松散土壤干燥后，遇到大风时易产生风力侵蚀，土壤颗粒被带走，造成水土的流失。挖土在运输途中容易散落，经过反复碾压，形成厚厚的粉尘层，遇风则尘土飞扬，造成严重的空气污染，影响施工人员正常的生产与生活。施工期所在区域有池塘 30 个，面积约为 67000m²，水深约 1m，淤泥厚度约 0.5m~1.2m，清出的淤泥由长丰县市容部门统一调运处理，清淤的过程中可能会造成水土流失。

为了尽量减少水土流失，施工时应采取以下防治措施：

(1) 路基开挖填筑前应建好两侧的排水措施和拦挡措施，应分段施工，路基土石方施工完成一段，应立即采取护坡措施，尽量缩短坡面裸露时间。雨季施工应采取临时排水、临时覆盖措施。

(2) 对于施工场地的防护，要求在工程实施期间做好临时用地范围内的排水措施以及表土堆置区的防护措施。

(3) 进场道路修建前应建好排水、拦挡工程，对需要护坡的地段，在修建好以后应立即采取护坡措施。

(4) 因施工结束后需要大量的表土用于裸露地表的恢复，施工过程中应尽量保留施工开挖中剥离的表土，妥善集中堆置并做好临时防护工作。

综上，拟建工程的建设施工活动对项目所在地的生态环境可能造成一定程度的破坏，在施工过程中由于采取临时防护措施、植物措施，对恢复改善工程占压、挖损、扰动破坏的土地及植被，起到良好作用，后期对周边和工程运行影响降低到最小。

5.1.2 营运期环境影响分析

5.1.2.1 非放废气

(1) 废气源强估算

项目营运期废气主要为超声波清洗、原位反应过程中产生有机废气（以非甲烷总烃计）。

一期项目设置 12 个实验站、46 个实验准备间以及 3 个公共实验室，其中：

12 个实验站中 7 个用于原位实验，1 个用于燃烧实验，剩余 4 个用于其他实验（无产污环节），共设置 8 个万向节集气罩。46 个准备间（用于超声清洗及原位反应预处理）各设置 1 个万向节集气罩，3 个公共实验室各设置 1 个通风橱和 1 个万向节集气罩，项目共设置 49 个万向节集气罩和 3 个通风橱。集气罩罩口直径为 375mm，管径为 200mm，风速为 20m/s，因此单个风管风量约为 2300m³/h。

项目共分 2 个区域（详见图 5-1），1#区域包含 35 个准备间，2 个公共实验室，4 个试验站，共设置 41 个集气罩及 2 个通风橱，考虑到风量损耗等因素，配备有两台风机，每台风机风量定为 10000m³/h，此部分废气收集后经活性炭吸附装置处理后经 15 米高的排气筒排放（DA001）；2#区域包含 11 个准备间，1 个公共实验室，4 个试验站，共设置 16 个集气罩及 1 个通风橱，考虑到风量损耗，配备有两台风机，每台风机风量定为 10000m³/h，此部分废气收集后经活性炭吸附装置处理后经 15 米高排气筒排放（DA002）。

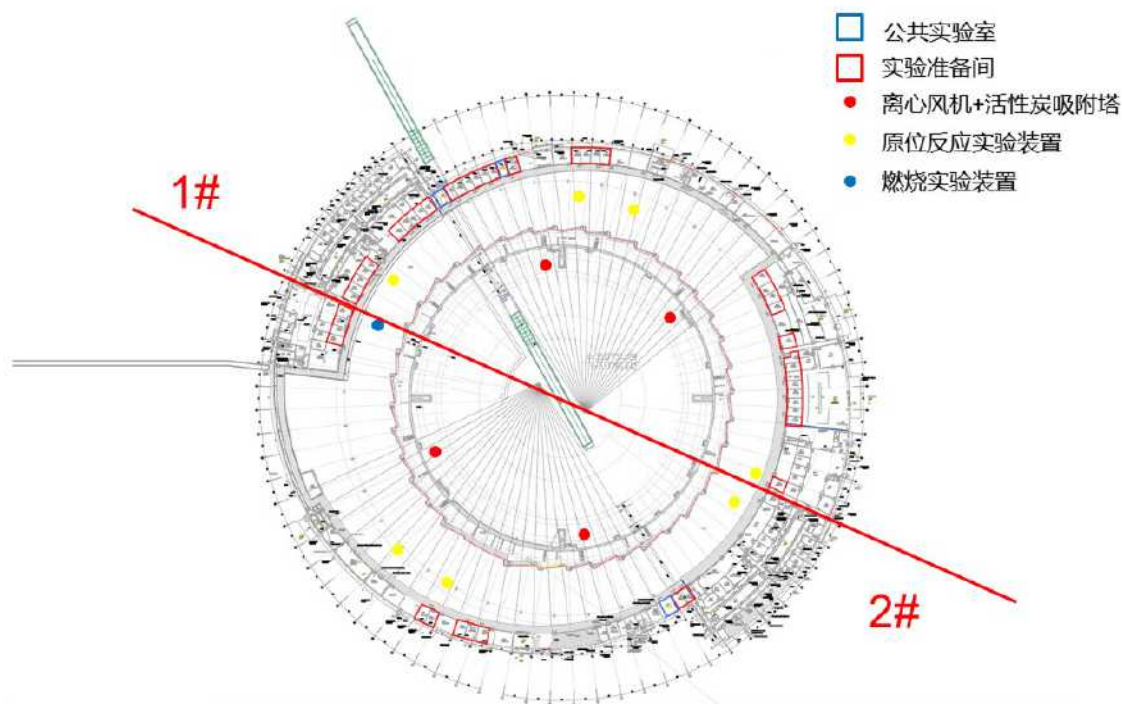


图 5-1 废气管道区域划分图

由于每个区域都会进行超声波清洗、原位反应等实验，因此各排气筒污染物种类和排放量基本相同，具体计算过程如下。

①超声波清洗（弱酸清洗剂清洗）废气（非甲烷总烃）

本项目弱酸性清洗剂使用量为 2t/a，根据实际经验，废气产生量按照清洗剂使用量 10%计，则非甲烷总烃产生量为 0.2t/a，清洗过程为全封闭式，经集气罩收集后由活性炭吸附装置处理后经排风高度 15m 的排气筒排放，风机风量为 10000m³/h，废气收集效率 100%，处理效率 90%，年工作 7200h，则有组织废气产生量为 0.2t/a，产生速率为 0.028kg/h，产生浓度为 2.78mg/m³，有组织废气排放量为 0.02t/a，排放速率为 0.0028kg/h，排放浓度为 0.28mg/m³。

②超声波清洗（弱碱清洗剂清洗）废气（非甲烷总烃）

本项目弱碱性清洗剂使用量为 3t/a，根据实际经验，废气产生量按照清洗剂使用量 10%计，则非甲烷总烃产生量为 0.3t/a，清洗过程为全封闭式，经集气罩收集后由活性炭吸附装置处理后经 15m 排气筒排放，风机风量为 10000m³/h，废气收集效率 100%，处理效率 90%，年工作 7200h，则有组织废气产生量为 0.3t/a，产生速率为 0.042kg/h，

产生浓度为 $4.17\text{mg}/\text{m}^3$ ，有组织废气排放量为 $0.03\text{t}/\text{a}$ ，排放速率为 $0.0042\text{kg}/\text{h}$ ，排放浓度为 $0.42\text{mg}/\text{m}^3$ 。

③超声波清洗（乙醇/丙酮/石油醚）废气（非甲烷总烃）

本项目乙醇用量为 $0.7\text{t}/\text{a}$ 、丙酮用量为 $0.05\text{t}/\text{a}$ ，石油醚用量为 $0.05\text{t}/\text{a}$ ，根据 MSDS 报告（附件 10）及企业实际情况，废气的产生量按照溶剂用量的 50% 计算（剩余 50% 进入废液，作为危废处理），溶剂总用量为 $0.8\text{t}/\text{a}$ ，则废气产生量为 $0.4\text{t}/\text{a}$ ，经集气罩收集后由活性炭吸附装置处理后经 15m 排气筒排放，风机风量为 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，废气收集效率 90%，处理效率 90%，年工作 7200h ，则有组织废气产生量为 $0.36\text{t}/\text{a}$ ，产生速率为 $0.05\text{kg}/\text{h}$ ，产生浓度为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ；有组织废气排放量为 $0.036\text{t}/\text{a}$ ，排放速率为 $0.005\text{kg}/\text{h}$ ，排放浓度为 $0.50\text{mg}/\text{m}^3$ ；无组织非甲烷总烃产生（排放）量为 $0.04\text{t}/\text{a}$ ，产生（排放）速率为 $0.0056\text{kg}/\text{h}$ 。

④原位反应废气（非甲烷总烃）

原位反应预处理工序使用到乙醇 $0.1\text{t}/\text{a}$ 、丙酮 $0.05\text{t}/\text{a}$ 、异丙醇 $0.05\text{t}/\text{a}$ 、乙二醇 $0.01\text{t}/\text{a}$ ，根据 MSDS 报告及企业实际情况，废气的产生量按照溶剂用量的 50% 计算，溶剂总用量为 $0.21\text{t}/\text{a}$ ，则废气产生量为 $0.105\text{t}/\text{a}$ ，经集气罩收集后由活性炭吸附装置处理后经 15m 排气筒排放，风机风量为 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，废气收集效率 90%，处理效率 90%，年工作 7200h ，则有组织废气产生量为 $0.095\text{t}/\text{a}$ ，产生速率为 $0.013\text{kg}/\text{h}$ ，产生浓度为 $1.32\text{mg}/\text{m}^3$ ；有组织废气排放量为 $0.0095\text{t}/\text{a}$ ，排放速率为 $0.0013\text{kg}/\text{h}$ ，排放浓度为 $0.13\text{mg}/\text{m}^3$ ；无组织非甲烷总烃产生（排放）量为 $0.0105\text{t}/\text{a}$ ，产生（排放）速率为 $0.0015\text{kg}/\text{h}$ 。

表 5-3 非放废气产生及排放情况表

排放方式	污染源	主要污染物	风量 m³/h	产生情况			治理措施	排放去向	排放情况		
				浓度 mg/m³	速率 kg/h	产生量 t/a			浓度 mg/m³	速率 kg/h	排放量 t/a
有组织	超声波清洗（弱酸清洗）	非甲烷总烃	10000	2.78	0.028	0.2	活性炭吸附箱+经排气筒排放（排气口距地15m）	高空大气环境	0.28	0.0028	0.02
	超声波清洗（弱碱清洗剂清洗）	非甲烷总烃	10000	4.17	0.042	0.3		高空大气环境	0.42	0.0042	0.03
	超声波清洗（乙醇/丙酮/石油醚）	非甲烷总烃	10000	5.00	0.050	0.36		高空大气环境	0.50	0.0050	0.036
	原位反应	非甲烷总烃	10000	1.32	0.013	0.095		高空大气环境	0.13	0.0013	0.0095
无组织	超声波清洗（乙醇/丙酮/石油醚）	非甲烷总烃	/	/	0.0056	0.04	加强通风	大气环境	/	0.0056	0.04
	原位反应	非甲烷总烃	/	/	0.0015	0.0105	加强通风	大气环境	/	0.0015	0.0105

(2) 正常工况废气达标分析

①废气治理设施可行性分析

本项目废气采用活性炭吸附处理，废气通过活性炭吸附层时，大部分的吸附质被吸附在吸附层内，随着吸附时间的延续，活性炭的吸附能力将下降，其有效部分将越来越薄，当活性炭全部达到饱和时，活性炭被穿透。为确保装置处理效率，需定期对活性炭进行更替。

活性炭吸附装置需满足《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ2026-2013)。

表 5-4 活性炭吸附装置设计控制参数一览表

废气温度	风量	通过速率	材质	碘值
<40℃	10000m ³ /h	<1.2m/s	蜂窝活性炭	≥800mg/g

根据《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 2026-2013)，吸附装置的净化效率不得低于 90%，该系统废气收集效率 90%，有机废气去除效率为 90%。

本项目产生的废气污染物在采取上述处理措施后可以实现达标排放，对周围环境影响较小。

(3) 非正常工况下大气环境影响分析

本项目非正常排放主要是设备检修，或环保设施达不到设计规定指标运行时的排污。本次评价考虑短时间内（以 1h 计）废气治理设备故障，净化效率为 50%的非正常排放（考虑最不利情况）。

表 5-5 非正常工况废气排放情况

污染源	污染物名称	浓度 (mg/m ³)	速率 (kg/h)	产生量 t/a	频次及持续时间	应对措施
DA001	非甲烷总烃	1.67	0.017	0.12	1 次/a, 1h/次	停止产污设施运营，待环保设施恢复正常后方可同步恢复运行
DA002	非甲烷总烃	1.67	0.017	0.12	1 次/a, 1h/次	停止产污设施运营，待环保设施恢复正常后方可同步恢复运行

为防止生产废气非正常工况排放，企业必须加强废气处理设施的管理，定期检修，确保废气处理设施正常运行，在废气处理设备停止运行或出现故障时，产生废气的各工序也必须相应停止生产。为杜绝废气非正常排放，应采取以下措施确保废气达标排放：

①安排专人负责环保设备的日常维护和管理，每个固定时间检查、汇报情况，及时发现废处理设备的隐患，确保废气处理系统正常运行；

②定期更换活性炭，活性炭一年更换三次；

③建立健全的环保管理机构，对环保管理人员和技术人员进行岗位培训，委托具有专业资质的环境检测单位对项目排放的各类污染物进行定期检测；

④应定期维护、检修废气净化装置，以保持废气处理装置的净化能力和净化容量。

（4）环境空气影响分析

依据《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）中 5.3 节工作等级的确定方法，结合项目工程分析结果，选择正常排放的主要污染物及排放参数，采用附录 A 推荐模型中的 AERSCREEN 模式计算项目污染源的最大环境影响，然后按评价工作分级判据进行分级。

本项目所有污染源的正常排放的污染物的 $P_{\max}$ 和 D10%预测结果如下：

表 5-6 废气污染物浓度估算模式计算结果

污染物名称	污染物	项目	最大落地浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	最大落地浓度距离, m	占标率 $P_{\max}$, %	D10%, m	推荐评价等级
DA001	非甲烷总烃	有组织	3.0298	39	0	/	III
DA002	非甲烷总烃	有组织	3.0298	39	0	/	III

结果表明：本项目点源排放的污染物下风向最大浓度占标率为 0%，正常工况下，排放的大气污染物贡献值较小，最大占标率为 $0\% < 1\%$ ，属三级评价范围。且根据评价区的环境质量现状监测结果可知，区域大气环境质量较好。因此，项目正常情况排放的大气污染物对大气环境影响可接受，项目大气污染物排放方案可行，对周围大气环境影响很小。

综上所述，本项目对周围大气环境不会产生明显不利影响，周边大气环境基本可维持现状。

（5）大气污染源监测计划

建设单位应按照《排污单位自行监测技术指南 总则》（HJ819-2017）相关要求，开展大气污染源监测，大气污染源监测计划见下表。

表 5-7 大气监测工作计划一览表

污染源类别	监测点位	监测因子	监测频次	执行排放标准
废气	DA001 排气筒	非甲烷总烃	1 次/半年	《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996)
	DA002 排气筒	非甲烷总烃		
	周界外浓度最高点 (下风向)	非甲烷总烃		

(6) 结论

本项目废气经治理后，各污染物排放能够满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）相应限值要求，对周围大气环境影响较小。

5.1.2.2 废水

(1) 废水产生量

本项目采取雨、污分流制，雨水排入市政雨水管网，生活污水经化粪池处理后接入市政污水管网。生产废水经废水处理站处理后接入市政污水管网。

营运期工作人员约为 150 人，生活用水量按每人 100L/d 计，年工作 300 天，则生活用水量为 15t/d（4500t/a），排水量以耗水量的 80%计，则废水排放量为 12t/d（3600t/a），主要污染物为：COD 380mg/L、BOD₅ 180mg/L、SS 200mg/L、NH₃-N 30mg/L。

营运期生产废水量为 2500t/a，主要污染物为：COD 2498mg/L、SS 60 mg/L、LAS 392 mg/L、石油类 824 mg/L、NH₃-N 4.038 mg/L，经厂内废水处理站处理达标后接入市政污水管网。

项目非放废水产生及排放情况见下表。

表 5-8 本项目非放废水产生及排放情况

污染源	污水量，t/a	污染物	产生量，t/a		治理措施			排放量，t/a		排放去向
			浓度，mg/L	产生量，t/a	工艺	效率，%	可行技术	浓度，mg/L	排放量，t/a	
生活污水	3600	COD	380	1.368	化粪池	15	是	285	1.026	市政污水管网
		BOD ₅	180	0.648		10		162	0.583	
		SS	200	0.720		50		100	0.036	
		NH ₃ -N	30	0.108		3		29.1	0.105	

生产 废水	2500	COD	2498	6.245	中和沉 淀+气 浮 +A/O 氧化	97	是	74.94	0.187	市 政 污 水 管 网
		SS	60	0.15		80		1.2	0.003	
		LAS	395	0.988		95		19.75	0.049	
		石油类	824	2.06		98		16.48	0.041	
		NH ₃ -N	4.038	0.01		80		0.81	0.002	

（2）废水处理工艺

为了使厂区废水总排口的废水水质达到望塘污水处理有限公司接管标准，本项目设一座厂区废水处理站处理废水，厂区废水处理站采用“中和沉淀+气浮+A/O 氧化”工艺，设计处理规模为 15m³/d，具体处理工艺流程图见图 5-2。

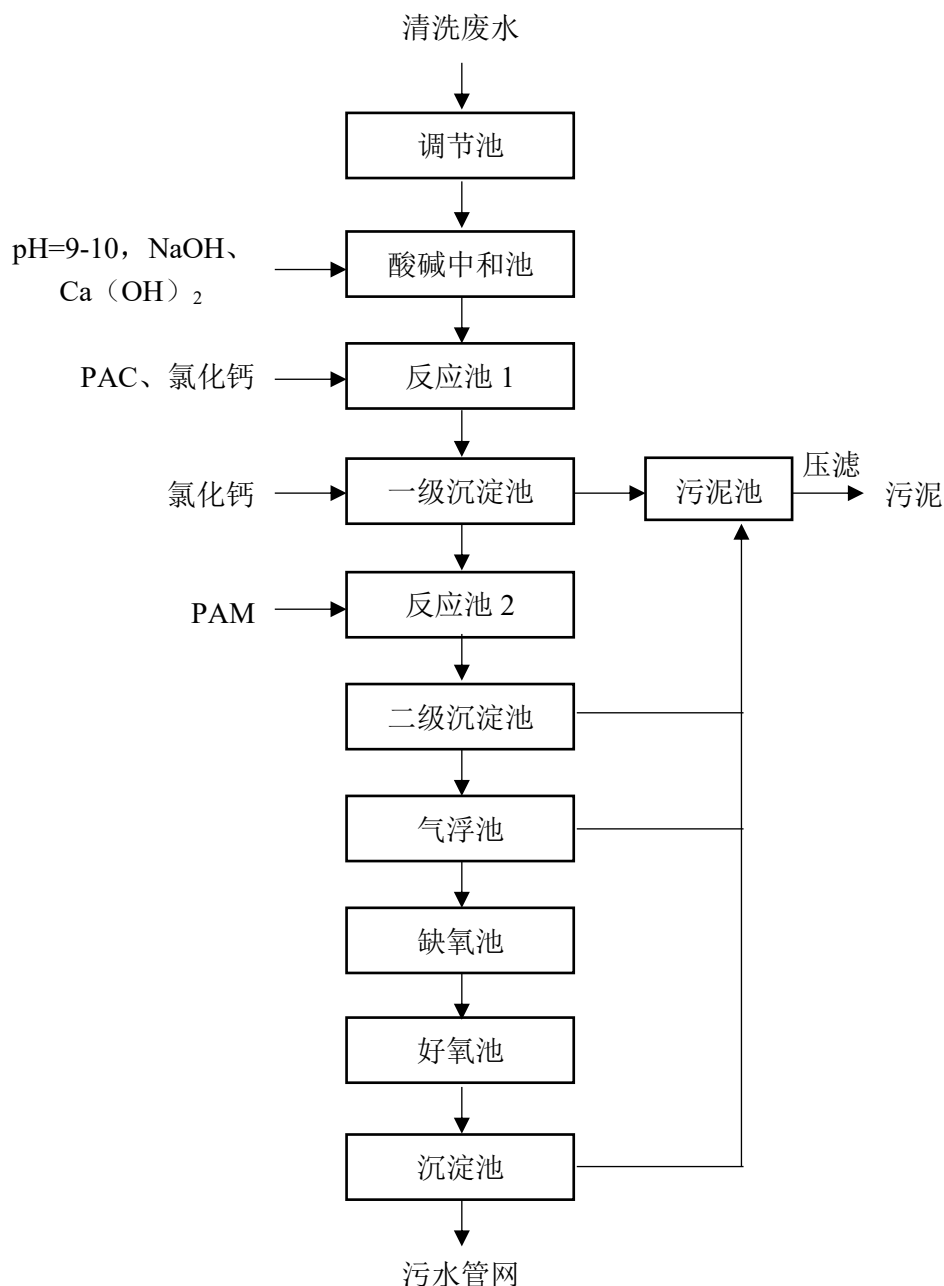


图 5-2 项目废水处理工艺流程图

废水处理站主要工艺单元介绍如下：

①调节池

考虑到项目废水排放具有间断性和多变性的特点，而污水处理工艺是按照一定的水质和水量标准设计的，要求进水水质要均匀，因此项目污水处理工艺设置有一个调节池，废水首先汇总排入污水处理站的前端废水池，然后进入调节池内，调节池底部设置空气搅拌系统，废水在这里充分达到均质均量的效果，保证后续处理的

连续性稳定性。

②酸碱中和池

项目废水经调节池处理后进入中和池内，通过向反应池内投加碱石灰等药剂，并加入片碱调节 pH 值到 9~10。

③反应池 1

本项目废水中含有石油类物质。由于石油类物质的乳化作用导致其表面吸附了许多磷酸盐，而单纯靠絮凝沉淀而不进行破乳，处理效果不够理想。加入 CaCl_2 进行破乳后，废水中绝大部分磷酸盐能独立地存在于废水中，使得 CaCl_2 的沉淀效果能发挥出来，使石油类物质和磷酸盐的去除有一个较好的环境。

④一级沉淀池

经反应池处理后的废水，其 COD、SS 等不能立即沉降下来，需要有足够的沉淀时间或快速沉降斜管才能达到最佳效果。为增加絮凝能力，加入少量 CaCl_2 ，进水方式采用穿孔整流布水，出水方式采用多槽出水，在池面上增设几条平行的出水堰和集水槽，以改善出水水质。

⑤反应池

加入絮凝剂 PAM，通过混凝作用去除部分 COD，使大颗粒悬浮物形成絮体矾花。通过加入絮凝剂，使废水中胶体等污染物凝聚成较大的絮凝体，便于沉淀。

⑥二级沉淀池

废水中絮凝体在沉淀池中沉淀浓缩。

⑦气浮池

压力溶气气浮机，最大瞬时处理水量 $5\text{m}^3/\text{h}$ ，进一步去除废水中的油污、有机溶剂和悬浮物。

⑧A/O 氧化池

通过微生物的作用进一步去除废水中 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，将缺氧段置于系统前端，其发生反硝化反应产生的碱度能够少量补充硝化反应之需。另外，缺氧池中反硝化反应利用原废水中的有机物为碳源可以减少补充碳源的投加甚至不加。通过内循环将硝化反应产生的硝态氮转移到缺氧池进行反硝化反应，硝态氮中氧作为电子受体，供给反硝化菌的呼吸作用和生命活动，并完成脱氮工序。通过重力沉淀作用，将生化污泥沉

降至泥斗，重力排至污泥池。

沉淀池出水进入总排口达标排放。

（3）废水接管可行性分析

根据《环境影响评价技术导则-地表水环境》，本项目水污染物属于间接排放，评价等级判定为三级 B，其依托污水处理设施环境可行性分析如下：

望塘污水处理厂服务范围主要包括合肥市黄山路以北、环城西路及亳州路以西的区域以及长丰县岗集镇镇区及工业园区、三十岗、大杨店、蜀山新产业园、城市森林公园、中科院合肥研究院的建设用地，规划服务面积 66km²，属于合肥市污水规划系统中的南淝河系统。项目所在区域属于望塘污水处理厂的收水范围。

望塘污水处理厂已建工程位于潜山路、清溪路、青阳路、高刘路及金牛路围合的街区里，现总占地 16.61ha，由一期（设计规模 8 万 m³/d）和二期工程（设计规模 10 万 m³/d）组成。望塘污水处理厂一期工程已经于 2004 年投入使用、二期工程于 2009 年投产。

项目所在地属于望塘污水处理厂的收水范围；本项目废水量为 20.3m³/d，约占望塘污水处理厂工程规模的 0.0113%；本项目废水为工作人员生活污水，水质简单，经厂区化粪池预处理后接入市政污水管网，生产废水经废水处理站处理后接入市政污水管网，满足望塘污水处理厂接管标准要求。

本项目排放废水主要为生活污水及生产废水，生活污水经厂区化粪池处理后，生产废水经厂内废水处理站处理后的排放浓度能达到望塘污水处理厂接管标准，通过市政污水管网进入望塘污水处理厂处理，处理后达到《巢湖流域城镇污水处理厂和工业行业主要水污染物排放限值》（DB34/2710-2016）中表 2 相关标准以及《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级标准 A 标准，最终排入南淝河。因此，采取以上治理措施后，本项目废水可以达标排放。

综上所述，项目废水接入望塘污水处理厂是可行的，经上述处理措施后，项目废水能做到达标排放，对南淝河水环境影响较小，不会降低南淝河水环境现有功能。

（4）废水污染物排放信息

表 5-9 废水类别、污染物及治理设施信息表

序号	废水类别	污染物种类	排放规律	污染治理设施			排放口编号	排放口设置是否符合要求	排放口类型
				污染治理设施编号	污染治理设施名称	污染治理设施工艺			
1	生活污水	COD BOD ₅ SS NH ₃ -N	间断排放，排放期间流量不稳定且无规律，但不属于冲击型排放	TW001	化粪池	沉淀+厌氧发酵	DW001	是 ☒ 否 ☐	☒ 企业排口 ☐ 雨水排放 ☐ 清净下水排放 ☐ 温排水排放 ☐ 车间或车间处理设施排放口
2	生产废水	COD SS LAS 石油类 NH ₃ -N	间断排放，排放期间流量稳定	TW002	废水处理站	中和沉淀+气浮+A/O氧化	DW002	是 ☒ 否 ☐	☒ 企业排口 ☐ 雨水排放 ☐ 清净下水排放 ☐ 温排水排放 ☐ 车间或车间处理设施排放口

表 5-10 废水污染物排放执行标准表

序号	排放口编号	污染物种类	国家或地方污染物排放标准及其他按规定商定的排放协议	
			名称	浓度限值/(mg/L)
1	DW001	COD	望塘污水处理厂接管标准	380
		BOD ₅		180
		SS		200
		NH ₃ -N		30
2	DW002	COD	望塘污水处理厂接管标准	380
		SS		200
		LAS		20
		石油类		20
		NH ₃ -N		30

表 5-11 废水污染物排放信息表

序号	排放口编号	污染物种类	排放浓度 (mg/L)	日排放量 (t/d)	年排放量 (t/a)
1	DW001	COD	285	0.00342	1.026
2		BOD ₅	162	0.0019	0.583
3		SS	100	0.00012	0.036
4		NH ₃ -N	29.1	0.00035	0.105
5	DW002	COD	74.94	0.00062	0.187
6		SS	1.2	0.00001	0.003
7		LAS	19.75	0.00016	0.049
8		石油类	16.48	0.00014	0.041
9		NH ₃ -N	0.81	0.00001	0.002
全厂排放口合计		COD			1.213
		BOD ₅			0.583
		SS			0.039
		NH ₃ -N			0.107
		LAS			0.049
		石油类			0.041

综上，项目废水接入市政污水管网，排入望塘污水处理厂处理是可行的。

(4) 监测计划

根据《排污单位自行监测技术指南总则》（HJ819-2017）相关要求，开展水污染源监测，废水污染源监测计划见下表。

表 5-12 废水监测计划表

类别	监测点位	监测指标	监测频次	执行标准
废水	DW001	pH、COD、BOD ₅ 、SS、NH ₃ -N	1 次/年	望塘污水处理厂接管标准
	DW002	pH、COD、SS、LAS、石油类、NH ₃ -N	1 次/年	望塘污水处理厂接管标准

5.1.2.3 噪声

(1) 噪声源强及特性

本项目噪声主要来自能源中心（含热工及冷冻站、低温中心、换热站及泵房等）运行产生的噪声，各设备均采取了隔声减振的措施，主要噪声源强见下表。

表 5-13 噪声源强一览表

噪声源		设备数量, 台	产生强度 dB, A	降噪措施	降噪后 排放强度	厂界距离, m			
						东	南	西	北
能源中心	热工及冷冻站	1	90	各设备均选用低噪声设备, 设有减震弹簧和橡皮垫等减振降噪措施, 同时机房内部设置吸声措施。	60	725.60	236.10	74.40	311.75
	低温中心	1	90		60	725.60	236.10	74.40	311.75
	换热站及泵房	2	90		60	725.60	236.10	74.40	311.75
	风机	1	90		60	725.60	236.10	74.40	311.75
实验室	冷却塔	8	90		60	400	273.93	400	273.93
	超声波清洗设备	3	85		60	400	273.93	400	273.93
	液氮制冷机组	1	85		60	400	273.93	400	273.93
	液氮循环冷却机组	3	85		60	400	273.93	400	273.93
	燃烧反应器	1	85		60	400	273.93	400	273.93
	原位反应器	8	85		60	400	273.93	400	273.93
	去离子设备	1	85		60	400	273.93	400	273.93
	储存环水泵房	1	85		60	420	273.93	380	273.93
注入器水泵房		1	85		60	360	80.25	440	467.6

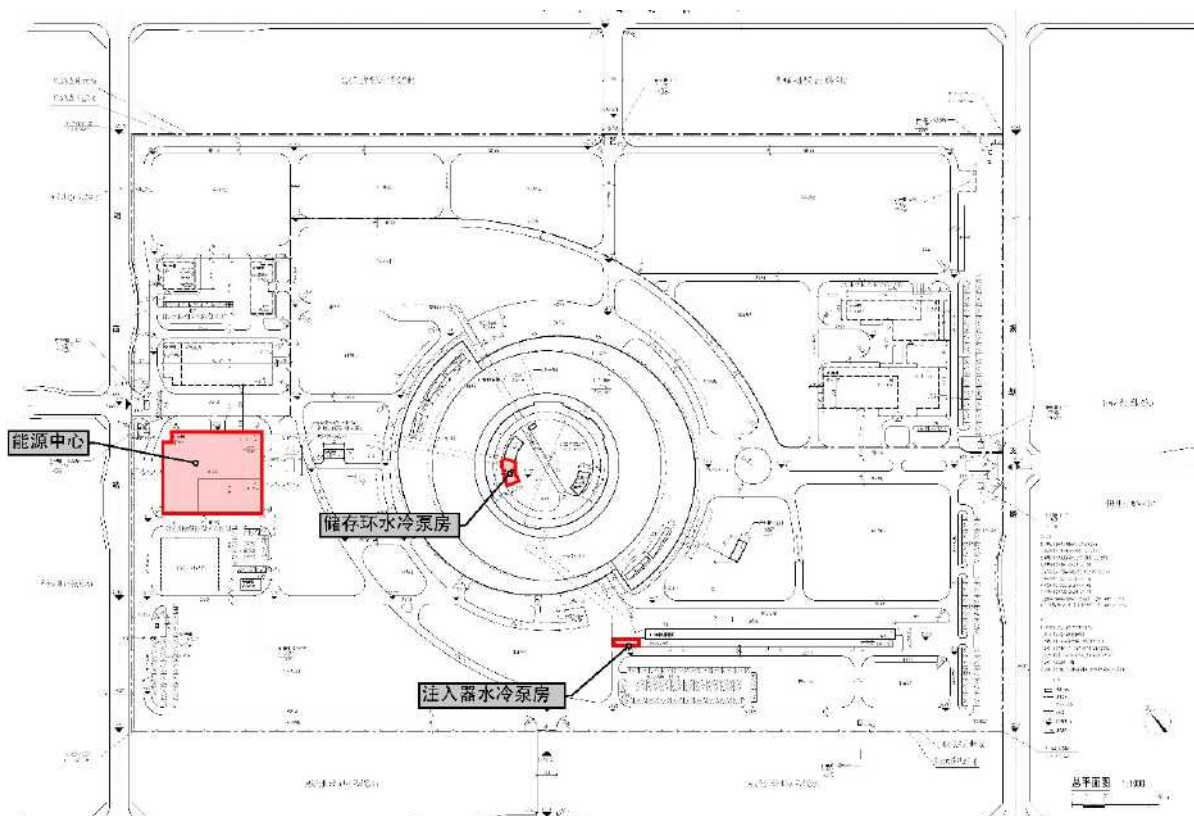


图 5-3 噪声源分布图

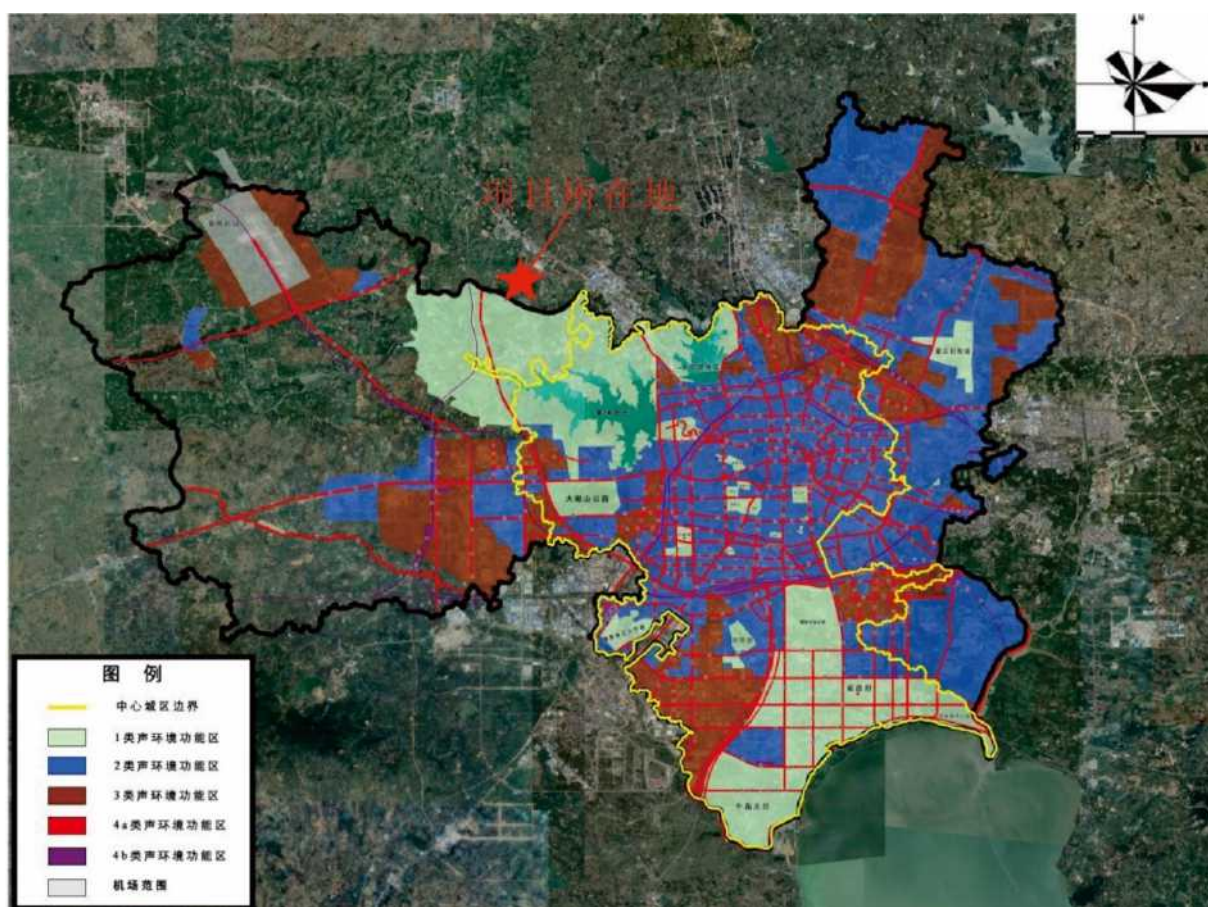


图 5-4 合肥市声环境功能区图

(2) 噪声治理设施

①项目方选择低噪声设备；②对设备加装减振基础；③合理布局车间内设备；④车间隔声；⑤噪声随距离衰减。

(3) 声环境影响预测：

本次环评声环境影响预测方法采用《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2021）中噪声预测计算模式。预测模式如下：

①室内声源等效室外声源声功率级计算方法

某一室内声源靠近围护结构处产生的倍频带声压级：

$$L_{p2} = L_{p1} - (TL + 6)$$

$$L_{p1} = L_W + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

$$L_W = L_{p2}(T) + 10 \lg s$$

倍频带声压级合成 A 声级计算公式：

$$L_A = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{pi} - \Delta L_i)} \right]$$

②单个室外的点声源在预测点产生的声级计算基本公式

$$L_A(r) = L_{AW} - D_C - A$$

A 可选择对 A 声级影响最大的倍频带计算，一般可选中心频率为 500Hz 的倍频带作估算。

③点声源几何发散衰减

项目声源处于半自由声场，距离声源 r 处的 A 声级为：

$$L_A(r) = L_{AW} - 20 \lg(r) - 8$$

在预测时还需考虑相关建筑物的屏障衰减和厂房衰减。衰减量的计算方法为导则（HJ2.4-2021）的 8.3.3~8.3.6 节。

④预测点的噪声叠加如下式：

$$L_{eqg} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_i t_i 10^{0.1 L_{Ai}} \right)$$

以上式中符号意义见 HJ2.4-2021 的相关内容及其附件。

表 5-14 本项目噪声预测结果, dB(A)

预测点位	东边界	南边界	西边界	北边界
贡献值	11.27	20.97	31.06	18.57
昼间标准值	60	60	60	60
夜间标准值	50	50	50	50

由上表可见, 本项目主要噪声设备经距离衰减和厂房隔声后, 到厂界贡献较小, 满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准。

(4) 预测结果评价

预测结果表明, 项目投产后四面厂界噪声贡献值满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 中的 2 类标准要求, 项目周围 200m 范围内没有敏感保护目标存在。因此, 该项目产生的噪声对周围环境影响较小。

(5) 自行监测计划

根据《排污单位自行监测技术指南总则》, 本项目噪声监测计划如下:

表 5-15 噪声监测计划

监测点位	监测因子	监测频次	排放执行标准
厂界	噪声	每季度至少一次	GB12348-2008

5.1.2.4 固体废物

5.1.2.4.1 固体废物产生量分析

本项目产生的非放固体废物主要来自于工作人员产生的生活垃圾, 设置若干个垃圾桶收集后, 交由环卫部门统一处理, 不会对环境造成明显影响。本项目产生的一般工业固废主要为废包装材料, 收集后外售处置; 危险废物主要为废清洗剂包装桶、乙醇废液、丙酮废液、石油醚废液、废机械泵油、废机械泵油包装桶、异丙醇废液、乙二醇废液、废树脂、废石英砂、废活性炭、废滤网、废抹布、残留固态样品和催化剂、废气处理活性炭, 暂存于危废仓库, 定期交由有资质单位处理。

①生活垃圾

生活垃圾主要来源于工作人员，项目定员 150 人，按人均产生生活垃圾 0.5kg/d 计，年工作 300 天，则生活垃圾产生量为 22.5t/a。

②一般固废（废包装材料）

运营期会各种原辅料会产生一些废弃的包装纸箱等废包装物，产生量约为 10t/a，属于一般固体废物，废物类别 99，废物代码为 900-999-99。

③危险废物

i. 废滤材（废石英砂、废活性炭、废滤网）

建设项目去离子水生产过程中会产生废石英砂、废活性炭、废滤网等废滤材，根据公司提供资料，产生量约为 0.2t/a，属于危险废物，危废类别为 HW49，危废代码为 900-041-49。

ii. 废清洗剂包装桶

建设项目超声清洗过程中使用的清洗剂，会产生废清洗剂包装桶，根据公司提供资料，产生量约为 0.1t/a，属于危险废物，危废类别为 HW49，危废代码为 900-041-49。

iii. 乙醇废液、丙酮废液、石油醚废液

超声波清洗工序使用到乙醇、丙酮、石油醚作为清洗剂进行清洗，根据公司提供资料，乙醇废液产生量为 0.4t/a，丙酮废液产生量为 0.05t/a，石油醚废液产生量为 0.025t/a，根据《国家危险废物名录（2025 版）》均属于危险废物，危废类别为 HW06，危废代码为 900-402-06。

iv. 废机械泵油

项目更换机械泵油工艺会产生废机械泵油，根据公司提供资料，废机械泵油产生量为 0.02t/a，根据《国家危险废物名录（2025 版）》属于危险废物，危废类别为 HW49，危废代码为 900-047-49。

v. 废机械泵油包装桶

项目更换机械泵油工艺会产生废机械泵油包装桶，根据公司提供资料，废机械泵油包装桶产生量为 0.01t/a，根据《国家危险废物名录（2025 版）》属于危险废物，危废类别为 HW49，900-041-49。

vi. 异丙醇废液、乙二醇废液

项目原位反应工艺使用异丙醇、乙二醇，根据公司提供资料，异丙醇废液产生量为 0.025t/a，乙二醇废液产生量为 0.005t/a，根据《国家危险废物名录（2025 版）》属于危险废物，危废类别为 HW06，危废代码为 900-402-06。

vii. 废离子交换树脂

项目连续电解盐过程中会产生废离子交换树脂，根据公司提供资料，产生量为 500L，根据《国家危险废物名录（2025 版）》属于危险废物，危废类别为 HW13，危废代码为 900-015-13。

viii. 废抹布

项目擦拭器皿或吸附泵油等产生废抹布，根据公司提供资料，产生量为 1t/a，根据《国家危险废物名录（2025 版）》属于危险废物，危废类别为 HW49，危废代码为 900-041-49。

ix. 残留固态样品和催化剂

项目原位反应剩余少量残留固态样品和催化剂，根据公司提供资料，产生量为 1kg/a，根据《国家危险废物名录（2025 版）》属于危险废物，危废代码为 HW49，危废代码为 900-041-49。

x. 废活性炭

项目建设 4 套活性炭吸附装置对有机废气进行处理，正常生产情况下，活性炭有效吸附效率为 0.15kg 废气/kg 活性炭，废气处理量 0.955t/a，则本项目活性炭理论用量约为 6.37t/a。为保障废气吸附效果，每个活性炭箱一次填充量为 1t，平均半年更换一次，活性炭吸附有机废气的量为 $0.955 \times 90\% \times 90\% = 0.78\text{t}$ ，则废活性炭量约为 $8 + 0.78 = 8.78\text{t/a}$ 。

根据《国家危险废物名录（2025 版）》属于危险废物，危废类别为 HW49，代码 900-039-49，收集后委托有资质单位处置。

（1）建设项目副产物产生情况判定见下表。

表 5-16 建设项目副产物产生情况汇总表

序号	副产物名称	产生工序	形态	主要成分	预测产生量（t/a）	种类判断		
						固体废物	副产品	判定依据
1	生活垃圾	职工生活	固	生活垃圾	2.25	√	/	固体废物鉴别标准通则
2	废包装材料	包装	固	包装物	10	√	/	
3	废滤材	去离子水	固	废石英砂、废活性炭、废滤网	0.2	√	/	
4	废清洗剂包装桶	超声波清洗	固	废桶	0.1	√	/	
5	乙醇废液	超声波清洗	液	废乙醇	0.4	√	/	
6	丙酮废液	超声波清洗	液	废丙酮	0.05	√	/	
7	石油醚废液	超声波清洗	液	废石油醚	0.025	√	/	
8	废机械泵油	更换机械泵油	液	废机械泵油	0.02	√	/	
9	废机械泵油包装桶	更换机械泵油	固	废机械泵油	0.01	√	/	
10	异丙醇废液	原位反应预处理	液	废异丙醇	0.025	√	/	
11	乙二醇废液	原位反应预处理	液	废乙二醇	0.005	√	/	
12	废离子交换树脂	连续电解盐	液	废离子交换树脂	500L	√	/	
13	废抹布	擦拭	固	废抹布	1	√	/	
14	残留固态样品和催化剂	原位反应	固	残留固态样品和催化剂	1kg	√	/	
15	废活性炭	废气处理	固	废活性炭	8.78	√	/	

（2）根据《国家危险废物名录（2025 年）》以及危险废物鉴别标准通则，判定本项目产生固废是否属于危险废物，具体判定结果见下表。

表 5-17 营运期固体废物分析结果汇总表

序号	固废名称	属性（危险废物、一般工业固体废物或待鉴别）	产生工序	形态	主要成分	危险特性鉴别方法	危险特性	废物类别	废物代码	估算产生量，t/a
1	生活垃圾	生活垃圾	职工生活	固	生活垃圾	《国家危险废物名录》（2025版）	/	99	900-999-99	2.25
2	废包装材料	一般固废	包装	固	包装材料		/	99	99-999-99	10
3	废滤材	一般固废	去离子水	固	废石英砂、废活性炭、废滤网		T/In	HW49	900-041-49	0.2
4	废清洗剂包装桶	危险废物	超声波清洗	固	废桶		T/In	HW49	900-041-49	0.1
5	乙醇废液	危险废物	超声波清洗	液	废乙醇		T, I, R	HW06	900-402-06	0.4
6	丙酮废液	危险废物	超声波清洗	液	废丙酮		T, I, R	HW06	900-402-06	0.05
7	石油醚废液	危险废物	超声波清洗	液	废石油醚		T, I, R	HW06	900-402-06	0.025
8	废机械泵油	危险废物	更换机械泵油	液	废机械泵油		T/C/I/R	HW49	900-047-49	0.02
9	废机械泵油包装桶	危险废物	更换机械泵油	固	废机械泵油		T/In	HW49	900-041-49	0.01
10	异丙醇废液	危险废物	原位反应预处理	液	废异丙醇		T, I, R	HW06	900-402-06	0.025
11	乙二醇废液	危险废物	原位反应预处理	液	废乙二醇		T, I, R	HW06	900-402-06	0.005
12	废离子交换树脂	危险废物	连续电解盐	液	废离子交换树脂		T	HW13	900-015-13	500L
13	废抹布	危险废物	擦拭	固	废抹布		T/In	HW49	900-041-49	1
14	残留固态样品和催化剂	危险废物	原位反应	固	残留固态样品和催化剂		T/In	HW49	900-041-49	1kg
15	废活性炭	危险废物	废气处理	固	废活性炭		T	HW49	900-039-49	8.78

(3) 项目固体废物利用处置方式见下表。

表 5-18 项目固体废物利用处置方式

序号	名称	属性	废物类别	危险特性	产生量(t/a)	利用或处置量(t/a)	利用处置方式	利用处置单位
1	生活垃圾	生活垃圾	99	/	22.5	22.5	环卫清运	环卫部门
2	废包装材料	一般固废	99	/	10	10	外售处理	物资回收单位
3	废滤材	危险废物	HW49	T/In	0.2	0.2	委托有资质单位处理	有资质单位
4	废清洗剂包装桶	危险废物	HW49	T/In	0.1	0.1	委托有资质单位处理	有资质单位
5	乙醇废液	危险废物	HW06	T, I, R	0.4	0.4	委托有资质单位处理	有资质单位
6	丙酮废液	危险废物	HW06	T, I, R	0.05	0.05	委托有资质单位处理	有资质单位
7	石油醚废液	危险废物	HW06	T, I, R	0.025	0.025	委托有资质单位处理	有资质单位
8	废机械泵油	危险废物	HW49	T/C/I/R	0.02	0.02	委托有资质单位处理	有资质单位
9	废机械泵油包装桶	危险废物	HW49	T/In	0.01	0.01	委托有资质单位处理	有资质单位
10	异丙醇废液	危险废物	HW06	T, I, R	0.025	0.025	委托有资质单位处理	有资质单位
11	乙二醇废液	危险废物	HW06	T, I, R	0.005	0.005	委托有资质单位处理	有资质单位
12	废离子交换树脂	危险废物	HW13	T	500L	500L	委托有资质单位处理	有资质单位
13	废抹布	危险废物	HW49	T/In	1	1	委托有资质单位处理	有资质单位
14	残留固态样品和催化剂	危险废物	HW49	T/In	1kg	1kg	委托有资质单位处理	有资质单位
15	废活性炭	危险废物	HW49	T	8.78	8.78	委托有资质单位处理	有资质单位

综上，本项目产生的非放固体废物，主要为生活垃圾，产生量为 22.5t/a，废物类别为 99，废物代码为 900-999-99，针对生活垃圾设置若干个垃圾桶收集后由环卫部门统一清运，一般固废外售处理，危险废物委托有资质单位处理，项目固废均得到妥善

安全处理处置，不会产生二次污染，对厂内外环境基本无影响。

5.1.2.4.2 固体废物污染防治措施

本项目危险废物暂存场所建设在 A-7#楼（见图 5-5），危废库建环氧树脂地坪进行防渗，并设置相应的警示标示；危废暂存场所面积约 50 平方米，本项目危险废物年产量最大值在 0.021t 以内，主要采用袋装及桶装，且危废暂存场所位于车间区域内，满足“四防”（防风、防雨、防晒、防渗漏）要求。项目危废平均清运周期为一年，该场地建设可满足要求。项目危险废物贮存场所基本情况见表 5-19。

表 5-19 建设项目危险废物贮存场所（设施）基本情况表

序号	贮存场所 (设施) 名称	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	位置	占地面积	贮存方式	贮存能力	贮存周期
1	危险废物 暂存场所	废滤材	HW49	900-041-49	见图 5-5	50 平方米	袋装	50 吨	1 年
2		废清洗剂包装桶	HW49	900-041-49			堆放		1 年
3		乙醇废液	HW06	900-402-06			桶装		1 年
4		丙酮废液	HW06	900-402-06			桶装		1 年
5		石油醚废液	HW06	900-402-06			桶装		1 年
6		废机械泵油	HW49	900-047-49			堆放		1 年
7		废机械泵油包装桶	HW49	900-041-49			堆放		1 年
8		异丙醇废液	HW06	900-402-06			桶装		1 年
9		乙二醇废液	HW06	900-402-06			桶装		1 年
10		废离子交换树脂	HW13	900-015-13			桶装		1 年
11		废抹布	HW49	900-041-49			袋装		1 年
12		残留固态样品和催化剂	HW49	900-041-49			袋装		1 年
13		废活性炭	HW49	900-039-49			袋装		1 年

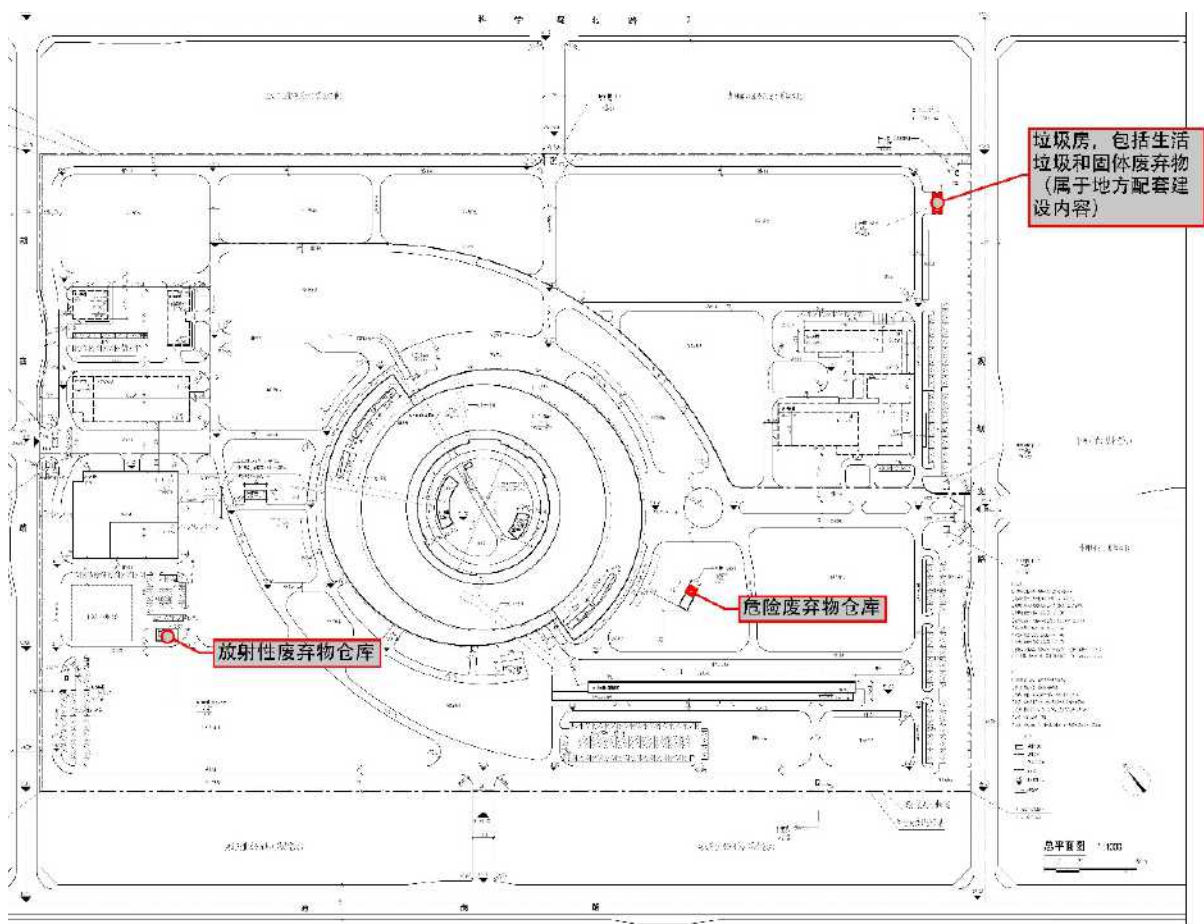


图 5-5 固体废物仓库位置图

5.1.2.4.3 环境管理要求

(1) 固体废物暂存场所建设要求

建设项目一般工业固废的暂存场所需按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）《环境保护图形标志—固体废物贮存（处置场）》

（GB15562.2-1995）的要求建设，具体要求如下：

①贮存、处置场的建设类型，必须与将要堆放的一般工业固体废物的类别相一致。

②一般工业固体废物贮存、处置场，禁止危险废物和生活垃圾混入。

③贮存、处置场的使用单位，应建立档案制度。应将入场的一般工业固体废物的种类和数量以及下列资料，详细记录在案，长期保存，供随时查阅。

本项目危险废物的收集、暂存应按《危险废物收集、贮存、运输技术规范》（HJ2025-2012）、《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）要求设置，具体要求如下：

- ①地面与裙脚要用坚固、防渗的材料建造，建筑材料必须与危险废物相容；
- ②设施内要有安全照明设施和观望窗口；
- ③不相容的危险废物必须分开存放，并设有隔离间隔断。

同时应对危险废物存放设施实施严格管理：

一般规定：

①贮存设施应根据危险废物的形态、物理化学性质、包装形式和污染物迁移途径，采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐以及其他环境污染防治措施，不应露天堆放危险废物。

②贮存设施应根据危险废物的类别、数量、形态、物理化学性质和污染防治等要求设置必要的贮存分区，避免不相容的危险废物接触、混合。

③贮存设施或贮存分区内地面、墙面裙脚、堵截泄漏的围堰、接触危险废物的隔板和墙体等应采用坚固的材料建造，表面无裂缝。

④贮存设施地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。贮存危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层(渗透系数不大于 10cm/s)，或至少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料(渗透系数不大于 10⁻¹⁰cm/s)，或其他防渗性能等效的材料。

⑤同一贮存设施宜采用相同的防渗、防腐工艺(包括防渗、防腐结构或材料)，防渗、防腐材料应覆盖所有可能与废物及其渗滤液、泄漏液等接触的构筑物表面；采用不同防渗、防腐工艺应分别建设贮存分区。

⑥贮存设施应采取技术和管理措施防止无关人员进入。

贮存库要求：

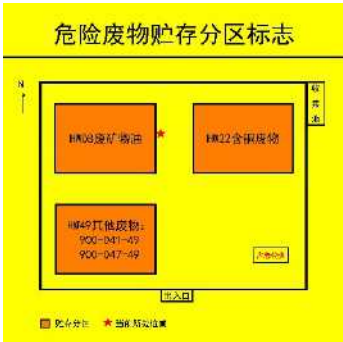
①贮存库内不同贮存分区之间应采取隔离措施。隔离措施可根据危险废物特性采用过道、隔板或隔墙等方式。

②在贮存库内或通过贮存分区方式贮存液态危险废物的，应具有液体泄漏堵截设施，堵截设施最小容积不应低于对应贮存区域最大液态废物容器容积或液态废物总储量 1/10(二者取较大者);用于贮存可能产生渗滤液的危险废物的贮存库或贮存分区应设计渗滤液收集设施，收集设施容积应满足渗滤液的收集要求。

③贮存易产生粉尘、VOCs、酸雾、有毒有害大气污染物和刺激性气味气体的危险废物贮存库，应设置气体收集装置和气体净化设施:气体净化设施的排气筒高度应符合 GB 16297 要求。

根据《危险废物识别标志设置技术规范（HJ 1276-2022）》（2023 年 7 月 1 日实施），设置固体废物堆放场的环境保护图形标志如下：

表 5-20 固废区环境保护图形标志

序号	排放口名称	图形标志	形状	背景颜色	图形颜色	提示图形符号
1	一般固废暂存点	提示标志	正方形边框	绿色	白色	
2	危险废物贮存分区标志	警示标志	正方形边框	黄色	橙黄色	
3	危险废物贮存设施标志	警示标志	长方形边框	黄色	黑色	  横板

						竖版
--	--	--	--	--	--	-----------

(2) 危险废物运输要求

- ① 危险废物的运输车辆须经主管单位检查，并持有有关单位签发的许可证，负责运输的司机应通过培训，持有证明文件。
- ② 承载危险废物的车辆须有明显的标志或适当的危险符号，以引起注意。
- ③ 载有危险废物的车辆在公路上行驶时，需持有运输许可证，其上应注明废物来源、性质和运往地点。
- ④ 组织危险废物的运输单位，在事先需作出周密的运输计划和行驶路线，其中包括有效的废物泄漏情况下的应急措施。

(3) 危险废物转移及申报登记

公司危险废物需委托相应资质单位处理处置。

安徽省危险废物经营许可证持证单位详见：

<https://sthjt.ah.gov.cn/public/21691/119327601.html>。

建设单位须加强安全生产及防止污染的意识，将危险废物的实际产生、贮存、利用、处置等情况纳入生产记录，建立危险废物管理台账和企业内部产生和收集、贮存、转移等部门危险废物交接制度。当危废需要委托有资质单位进行转移时，联系当地生态环境部门通过“安徽省危险废物动态管理信息系统”进行危险废物申报登记。

5.1.2.4.4 固体废物处理处置环境影响评价

综上，废包装材料、废滤材（废石英砂、废活性炭、废滤网）经收集后外售处理；生活垃圾由环卫部门统一清运；废清洗剂包装桶、乙醇废液、丙酮废液、石油醚废液、废机械泵油、废机械泵油包装桶、异丙醇废液、乙二醇废液、废树脂委托有资

质单位处置。项目固废均得到妥善安全处理处置，不会产生二次污染，对厂内外环境基本无影响。

5.2 辐射环境影响分析

5.2.1 HALF 装置屏蔽体外剂量率计算

5.2.1.1 辐射源项分析

在屏蔽计算时，出于保守考虑，按电子最高能量 2.2GeV、最大流强 500mA 进行计算。

(1) 直线加速器：

直线加速器需要考虑的辐射源项有：

①源项 1（沿途束损）：束流从起始端到末端的源项，分为三段：

i) 源项 1a(聚束器)：热阴极电子枪产生 100 keV 电子，加速到聚束器能量达 15MeV，沿途产生束流损失。防护保守按 15MeV-0.5nC/10Hz (5nA)，全部损失在聚束器处计算（点损）；从简化、保守角度考虑，忽略了聚束器的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 15MeV-5nA 的电子，从距束流管内表面 0.05cm 处的圆周上，沿束流轴线打聚束器处的束流管；束流管材料为 316L 不锈钢，内、外半径分别为 1.5cm、1.7cm。

ii) 源项 1b (ES1)：过聚束器之后的 15MeV 电子继续加速到 120MeV，沿途先后经过能量狭缝 ES1、ES2，发生束流损失。防护保守按 120MeV-0.5nC/10Hz (5nA)，全部损失在 ES1 处计算（点损）；从简化、保守角度考虑，忽略了 ES1、ES2 的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 120MeV-5nA 的电子，从距束流管内表面 0.05cm 处的圆周上，沿束流轴线打 ES1 处的束流管；束流管材料为 316L 不锈钢，内、外半径分别为 1.5cm、1.7cm。

iii) 源项 1c (沿途 5%束损)：过能量狭缝 ES2 之后的 120MeV 继续加速到末端 2.2GeV，沿途发生 5%的束流损失。防护保守按 2.2GeV-5%@1.0nC/10Hz (0.5nA)（均匀线损）计算；从简化、保守角度考虑，除 ES2 下游转弯处的二极铁外，忽略了沿途部

件的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 $2.2\text{GeV}-0.5\text{nA}$ 的电子，从距束流管内表面 0.05cm 处的圆柱面上，沿束流轴线打沿途处的束流管；束流管材料为 316L 不锈钢，内、外半径分别为 1.5cm 、 1.7cm 。

②源项 2（废束站）：直线调试时，打末端废束站，防护保守按 $2.2\text{GeV}-1.0\text{nC}/10\text{Hz}$ （ 10nA ）（点损）计算；直线末端废束站（废束站 1）位于 2.7m 厚的混凝土墙体内，墙体预留 $1.2\text{m}\times 1.2\text{m}$ 的孔洞用来插入废束桶，洞底标高 -4.0m ，洞中心距侧砖墙 2.5m 。预留洞靠外墙由外向内依次采用 50cm 铅+ 40cm 含硼聚乙烯+ 30cm 铅进行封堵，如图 5-7 所示。废束站 1 为圆柱形结构，束流中心高度（即废束桶中心高度）为地面以上 1.2m ，束流管道外直径 65mm ，插入废束桶深度 100mm 。从简化、保守角度考虑，忽略了束流打靶前的截面形状，认为束流损失时，就是 $2.2\text{GeV}-10\text{nA}$ 的电子，从距石墨靶上游 10cm 处的轴线出发，沿束流轴线打石墨靶。

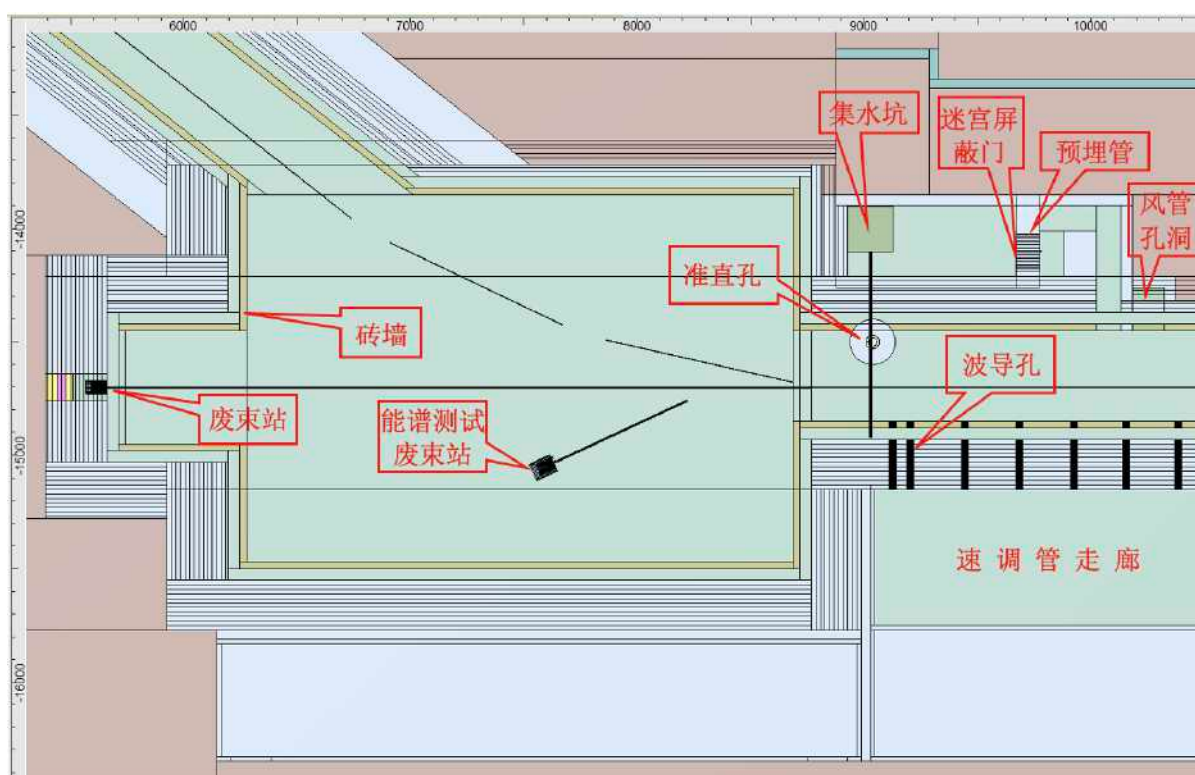


图 5-6 直线隧道末端计算模型（俯视图）

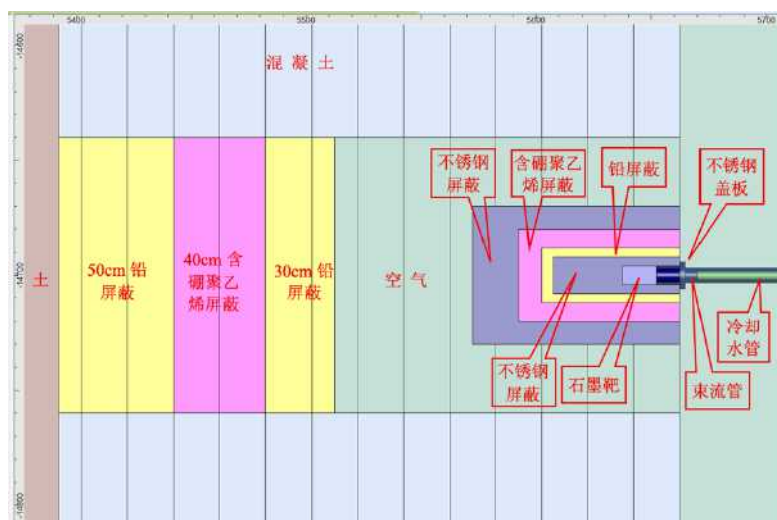


图 5-7 直线末端废束站（废束站 1）的计算模型（俯视图）

③源项 3（能谱测试线）：直线调试期间，进行能谱测量时，束流偏转到末端的能谱测试线。防护保守按和打废束站一样的束流损失计算，即保守按 $2.2\text{GeV}-1.0\text{nC}/10\text{Hz}$ （ 10nA ）（点损）计算；能谱测试采用镀 YAG（或 Al）膜的玻璃，厚 2mm ，后面布置一个能谱测试废束站（废束站 2）：废束站 2 为圆柱形，半径 400mm ，长 1000mm ；石墨靶 $D=120\text{mm}$ ， $H=150\text{mm}$ ；石墨靶外侧是不锈钢屏蔽层，外直径 400mm ，长 700mm ；外包一层含硼聚乙烯，含硼聚乙烯（含硼量不低于 5% ）夹层厚 50mm ，外直径 500mm ，长 750mm ；最外层由不锈钢层包裹，外直径 800mm ，长 1000mm ，如图 5-8 所示。废束桶开孔尺寸： $D=120\text{mm}$ ， $L=125\text{mm}$ ；封堵不锈钢盖板： $d=75\text{mm}$ ， $D=160\text{mm}$ ，厚度 25mm （后期与束流真空管匹配安装，盖板为对开形式）。

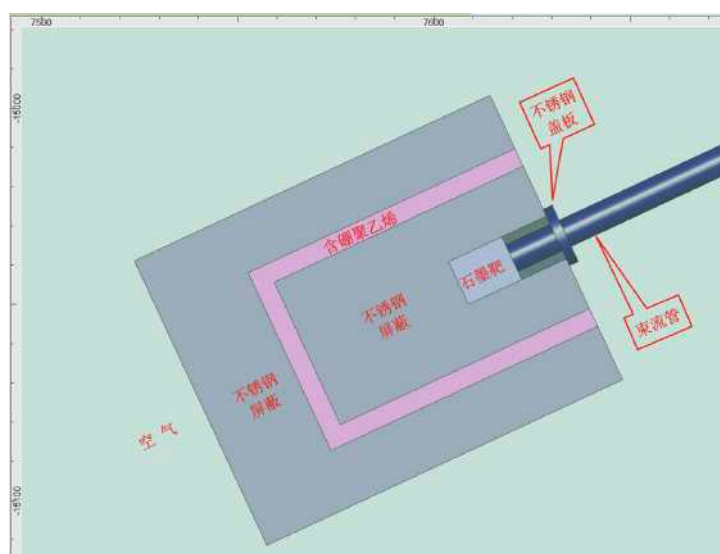


图 5-8 能谱测试废束站（废束站 2）的计算模型（俯视图）

④源项 4（事故工况单束团丢失）：直线加速器事故工况时，突然全束团丢失（点损），防护按单束团 1/次考虑，单束团电荷最大为 1.6nC ，即按 $1.0\text{E}+10$ （e/次）计算。要求屏蔽外剂量不超过 1mSv/次 ；从简化、保守角度考虑，认为束流损失时，就是 $2.2\text{GeV}-1.6\text{nC}$ 的电子，从距束流管内表面 0.05cm 处的圆周上某点，沿束流轴线打束流管。

其建筑布局如图 5-9 所示：

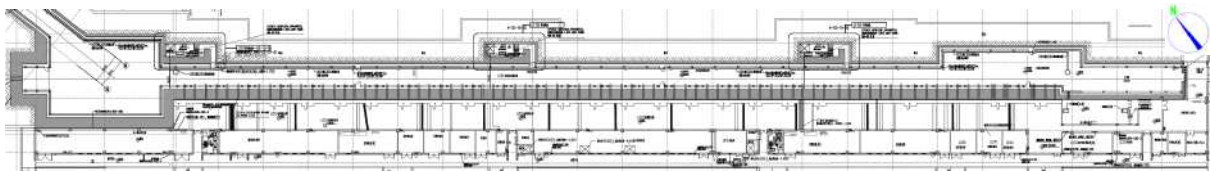


图 5-9 直线加速器隧道的建筑布局

（2） 输运线：

输运线的能量为 2.2GeV ，需要考虑的辐射源项有：

①源项 1（沿途束损）：束流从三岔口输运到注入点的沿途发生 5%的束流损失。防护保守按按 $2.2\text{GeV}-5\% @ 1.0\text{nC}/10\text{Hz}$ （ 0.5nA ）计算（均匀线损）；从简化、保守角度考虑，除束流闸外，忽略了沿途部件的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 $2.2\text{GeV}-0.5\text{nA}$ 的电子，从距束流管内表面 0.05cm 处的圆柱面上，沿束流轴线打沿途处的束流管；束流管材料为 316L 不锈钢，内、外半径分别为 1.0cm 、 1.1cm 。

②源项 2（束流闸）：束流闸位于输运线爬坡段起始点上游 8 米处，使用时，起截止束流注入储存环的作用。防护保守按 $2.2\text{GeV}-0.5\text{nA}$ 打靶考虑（点损）。束流闸的靶为 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 60\text{cm}$ 的纯铜，其中束流方向为 60cm ；从简化、保守角度考虑，忽略了束流打靶前的截面形状，认为束流损失时，就是 $2.2\text{GeV}-0.5\text{nA}$ 的电子（正常供束时的束流闸束损）或 $2.2\text{GeV}-0.03\text{nA}$ 的电子（调试阶段的束流闸束损， $300\text{pC}/0.1\text{Hz}$ ），从距 Cu 靶上游 10cm 处的轴线出发，沿束流轴线打 Cu 靶。

为减少束流闸的辐射，并保证注入器调束和储存环的安装维护能同时进行，将采取以下 2 种防护措施：（1）在束流闸周围增加局部屏蔽：沿束流方向，前向为 5cm 含硼聚乙烯+ 10cmPb ，后向为 5cm 含硼聚乙烯+ 5cmPb ，侧向为 5cm 含硼聚乙烯+ 5cmPb ，上方为 5cm 含硼聚乙烯+ 5cmPb ，屏蔽体内部尺寸为 $72\text{cm} \times 144\text{cm} \times 60\text{cm}$ ；（2）在注入器

爬坡段出口处增加局部屏蔽：1cm 厚不锈钢钢板，搭接 15cm，四周设置围栏，防止人员误入。

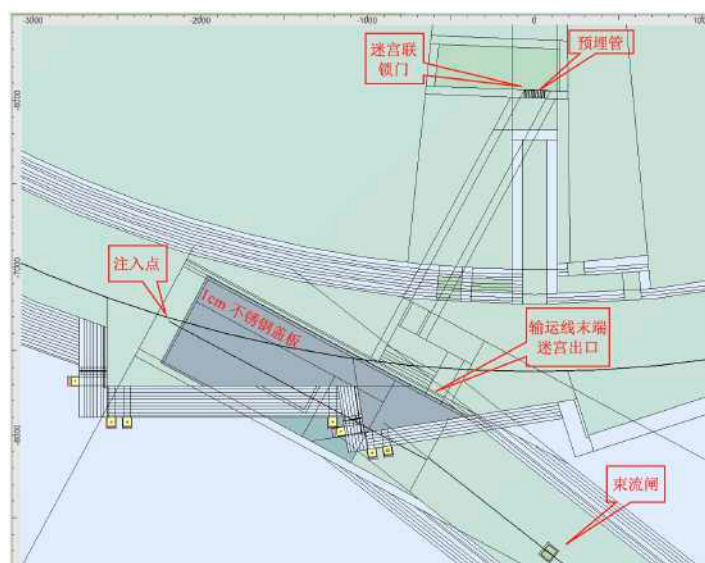


图 5-10 运输线末端的计算模型（俯视图）

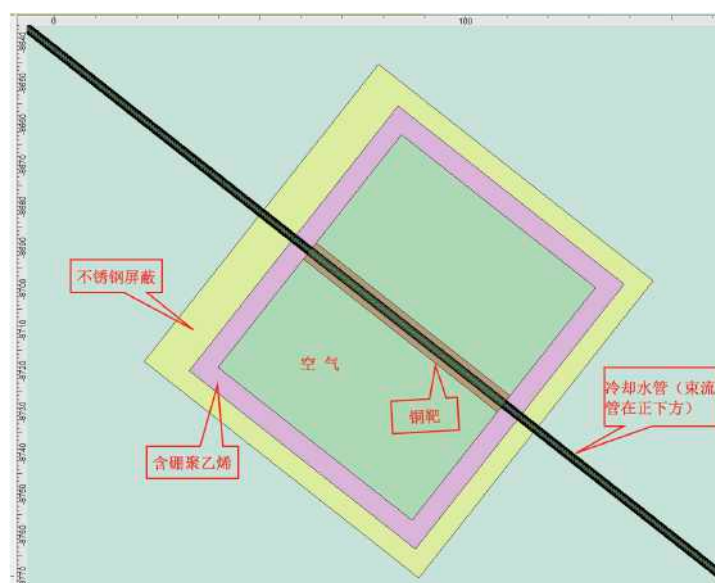


图 5-11 束流管的计算模型（俯视图）

③源项 3（事故工况全束团丢失）：束流事故工况时，突然全束团丢失（点损），防护按单束团/次考虑，单束团电荷最大为 1.0nC，即按 6.25×10^9 (e/次) 计算，要求屏蔽外剂量不超过 1mSv/次；从简化、保守角度考虑，认为束流损失时，就是 2.2GeV-1.0nC 的电子，从距束流管内表面 0.05cm 处的圆周上某点，沿束流轴线打束流管。

其建筑布局如图 5-12 所示：

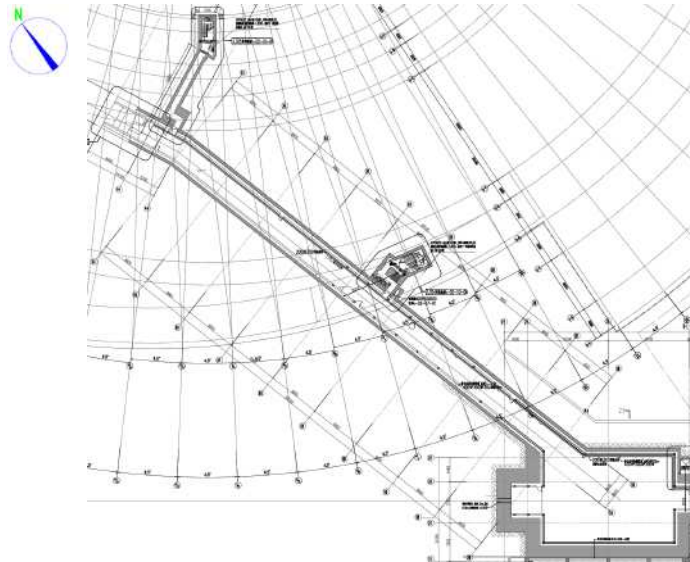


图 5-12 输运线隧道的建筑布局

(3) 储存环:

储存环的能量为 2.5GeV, 正常供束的时候流强为 500mA, 需要考虑的辐射源项有:

①源项 1 (沿途束损): 束流在储存环绕环时在全环沿途 2.5GeV-500mA-1h 寿命的束流均匀损失 (线损), 防护按 2.5GeV- $1.39\text{E}+9$ (e/s) - $2.8935\text{E}+6$ (e/m/s) 考虑; 从简化、保守角度考虑, 忽略了沿途部件的自屏蔽结构, 认为束流损失时, 就是 2.5GeV- $1.39\text{E}+9$ (e/s) 的电子, 从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上, 以偏离切向很小的角度 (1mrad) 分别打在束流管壁上; 束流管材料为 316L 不锈钢, 因为 FLUKA 没有圆环几何, 采用四个同心竖直方向的圆柱面 (半径分别为 7623.70cm、7623.60cm、7626.40cm、7626.30cm)、与四个水平面 (竖直方向坐标分别为 121.40cm、121.30cm、118.70cm、118.60cm), 通过布尔运算构成束流管, 束流管的水平方向管壁为 2 个圆柱壳, 竖直方向管壁为 2 个圆环壳, 壳的壁厚均为实际束流管的壁厚, 即为 0.1cm。

②源项 2 (注入束损): 这里有 2 种注入束损源项:

i) 源项 2a (小流强补充注入): 这种注入模式下, 储存环已有 500mA 流强在供束, 为了维持恒流运行模式, 在 1h 寿命内, 需持续以 0.3nC-10Hz, 50%注入效率补充注入多次, 1h 补充注入的总时间为 534s。保守假设 HALF 每年运行 7200 小时, 则全年小流强补充注入的总时间为 $7200 \times 534\text{s} = 1068\text{h}$, 接近 2000h 的工作人员工作时间, 防护从保守角度考虑, 假设小流强补充注入的总时间和全年运行时间相等, 需要考虑小流强注入

的屏蔽外剂量率满足剂量率的限值要求。从简化、保守角度考虑，忽略了注入点的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 $2.5\text{GeV}-1.5\text{nA}$ 的电子，从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上，以偏离切向很小的角度（ 1mrad ）分别打在束流管壁上。

ii) **源项 2b（大流强首次注入）**：这种注入模式下，储存环没有束流，为了快速使储存环达到 500mA 的束流强，以 $0.95\text{nC}-10\text{Hz}$ ， 50% 注入效率进行大流强注入，需要的注入时间为 168s ；同步辐射光源的平均无故障时间为 100 小时左右，即运行 100 小时丢束一次，需要从 0 到 500mA 重新大流强注入一次。保守假设 HALF 每年运行 7200 小时，则保守估计全年大流强注入的总次数为 72 次。防护需要考虑大流强注入的屏蔽外单次累积剂量和全年的累积剂量满足对应的限值要求。从简化、保守角度考虑，忽略了注入点的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 $2.5\text{GeV}-4.75\text{nA}$ 的电子，从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上，以偏离切向很小的角度（ 1mrad ）分别打在束流管壁上。

③**源项 3（事故工况全束团丢失）**：事故工况下时，突然全束团丢失，防护按全环所有储存的电子全部丢失在同一最严重考虑，即按 $5\text{E}+12$ （ $\text{e}/\text{次}$ ）考虑，要求屏蔽外剂量不超过 $1\text{mSv}/\text{次}$ 。从简化、保守角度考虑，忽略了注入点的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 $2.5\text{GeV}-5\text{E}+12$ （ $\text{e}/\text{次}$ ）的电子，从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上的内、外 2 个点，以偏离切向很小的角度（ 1mrad ）分别打在束流管壁上。

其建筑布局如图 5-13 所示：

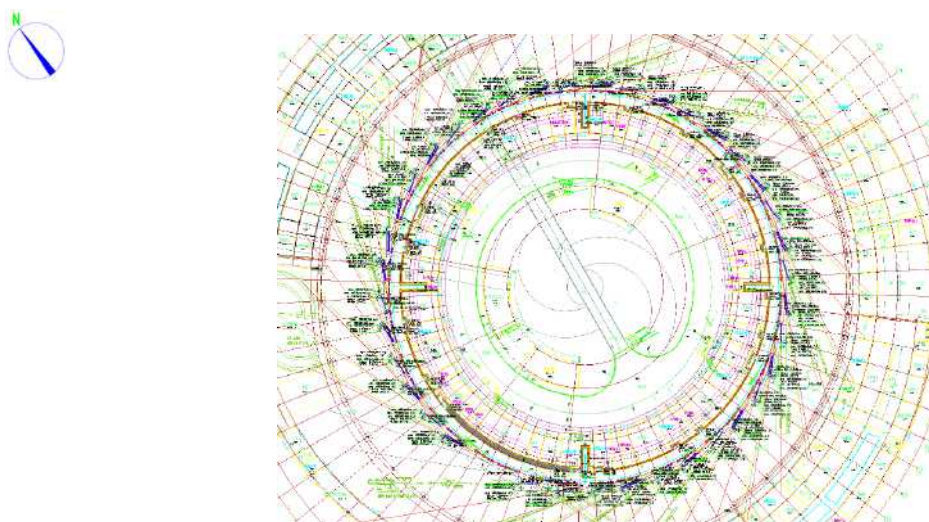


图 5-13 储存环隧道的建筑布局

5.2.1.2 模拟计算模型

采用 FLUKA 程序，利用三维建模软件 SimpleGeo，对 HALF 主体建筑结构进行详细建模计算，建模情况如图 5-14~图 5-17 所示。

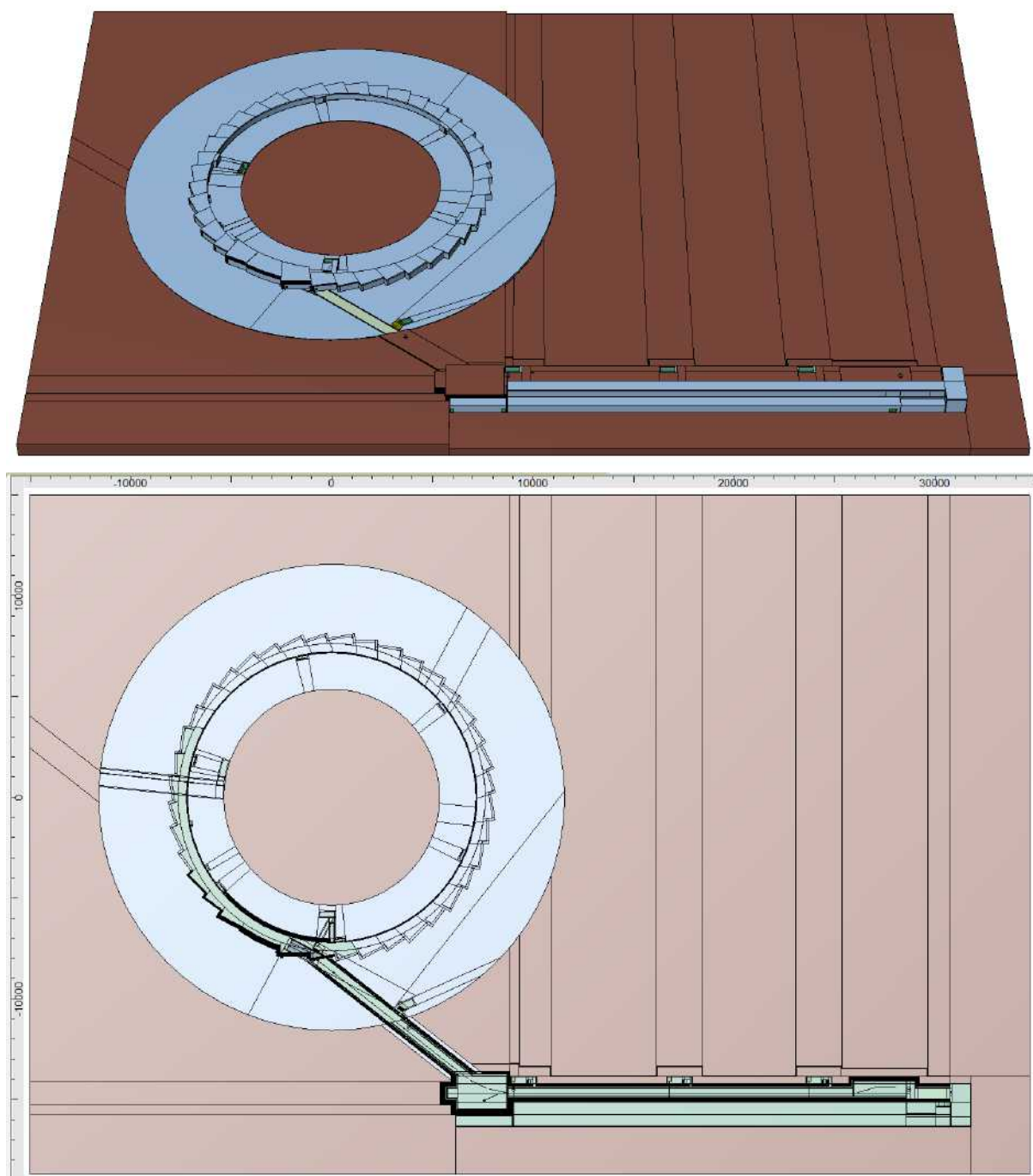


图 5-14 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（整体）（上图：立体图，下图：去掉顶屏蔽的平面图）

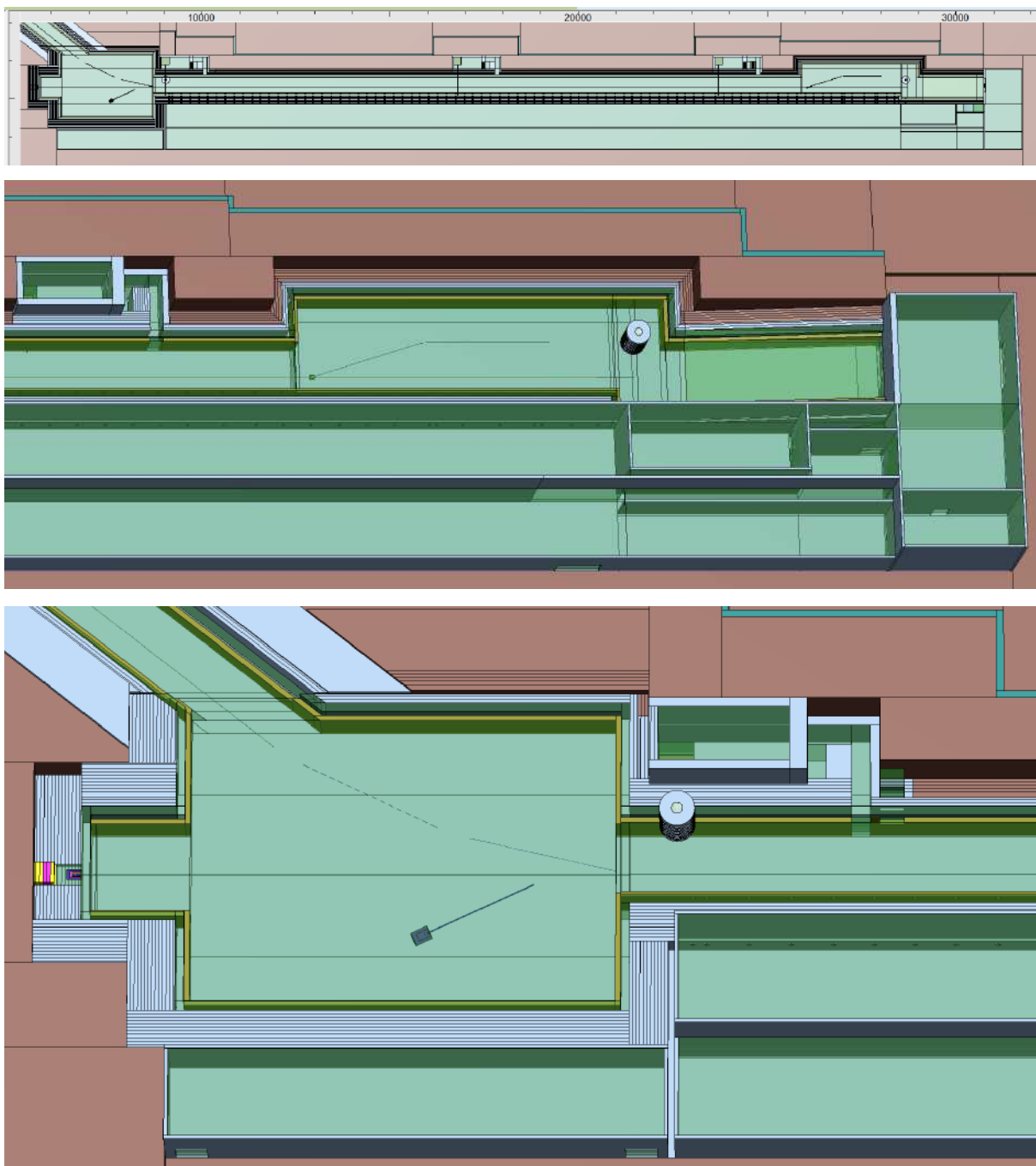


图 5-15 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（直线加速器）（上图：整体平面图，中图：起始段立体图，下图：末段立体图）

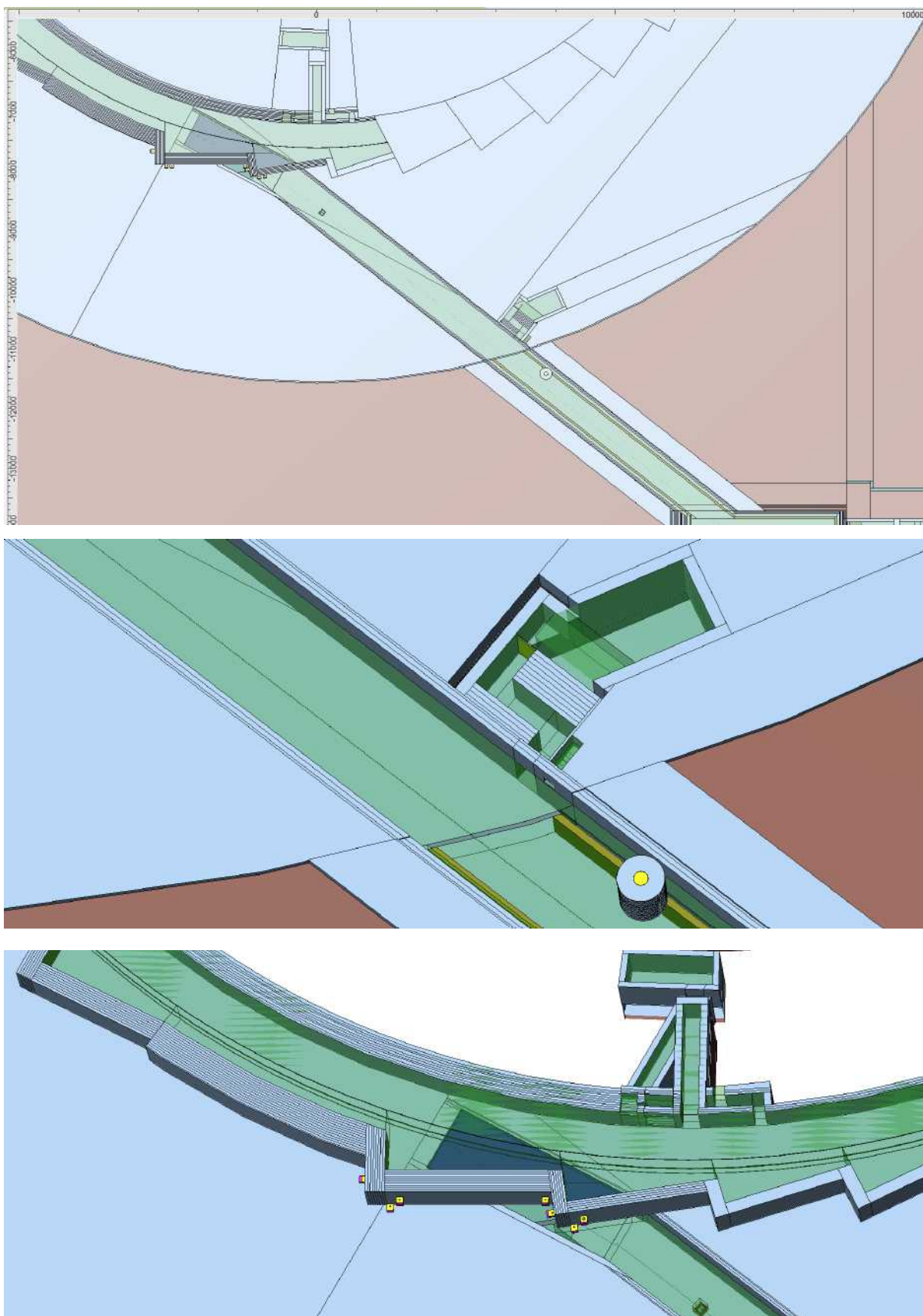


图 5-16 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（输运线）（上图：整体平面图，中图：中间段立体图，下图：末段立体图）

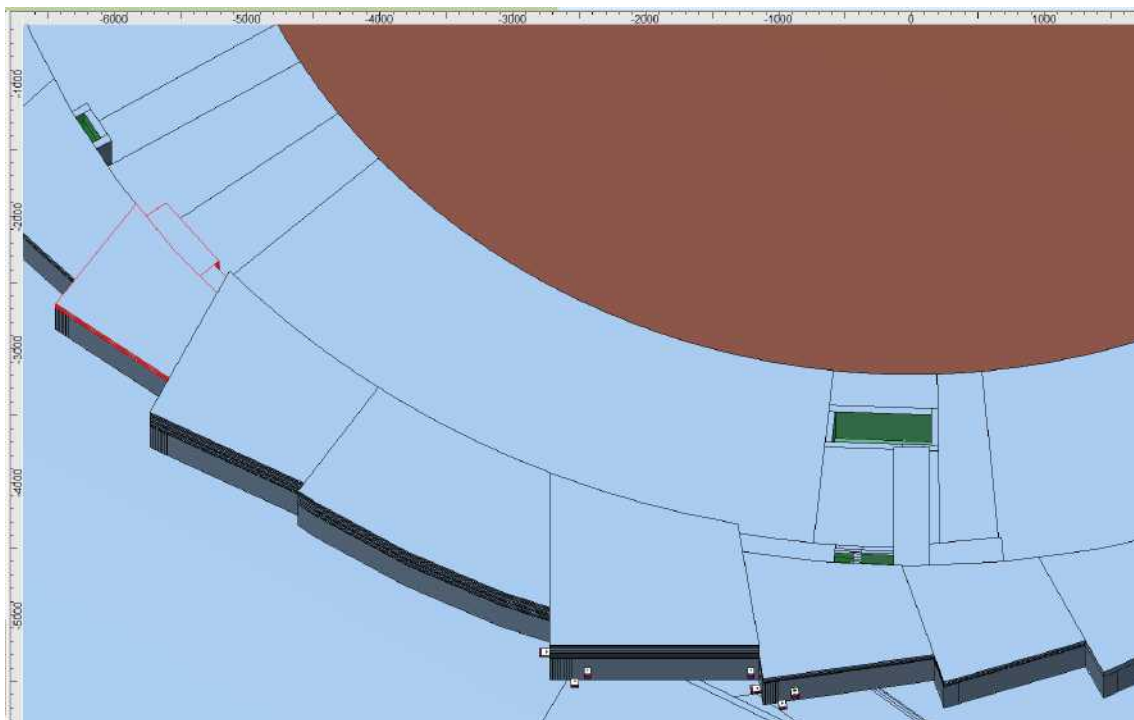
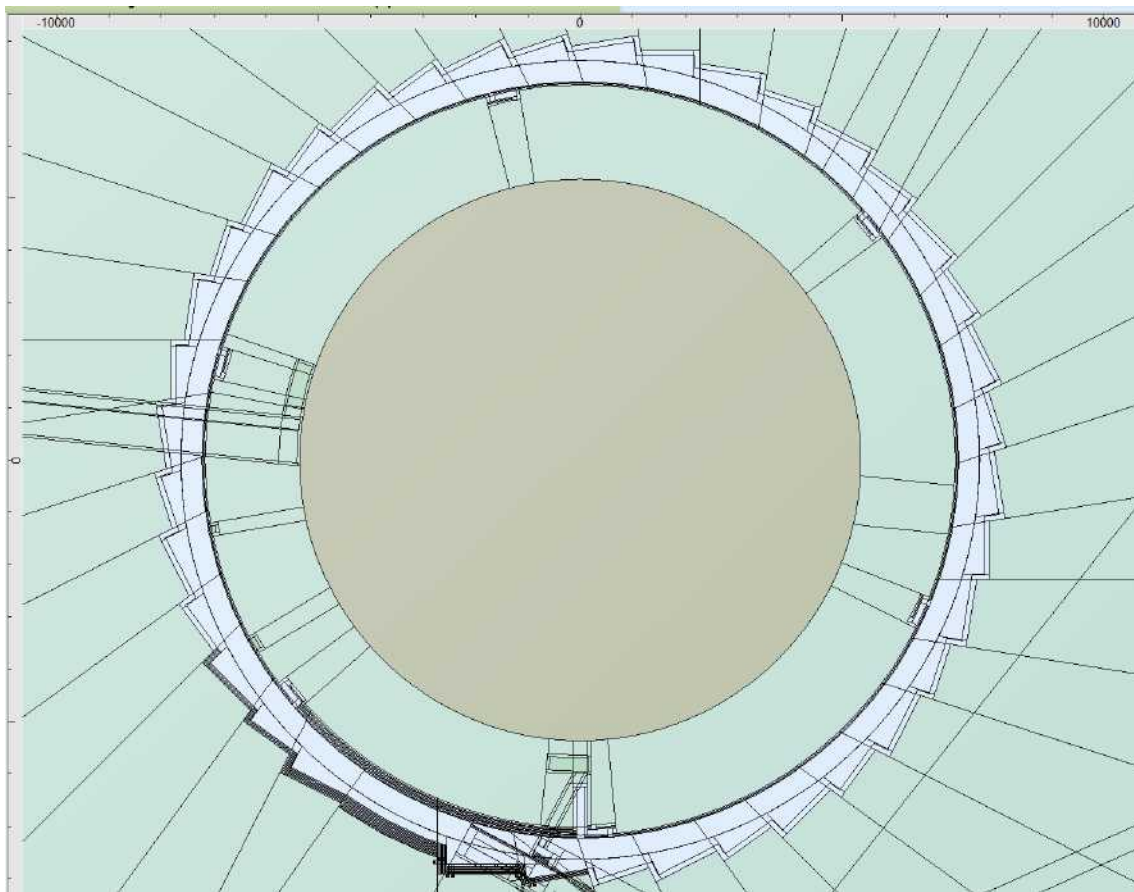


图 5-17 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（储存环）（上图：整体平面图，下图：注入区及其上下游立体图）

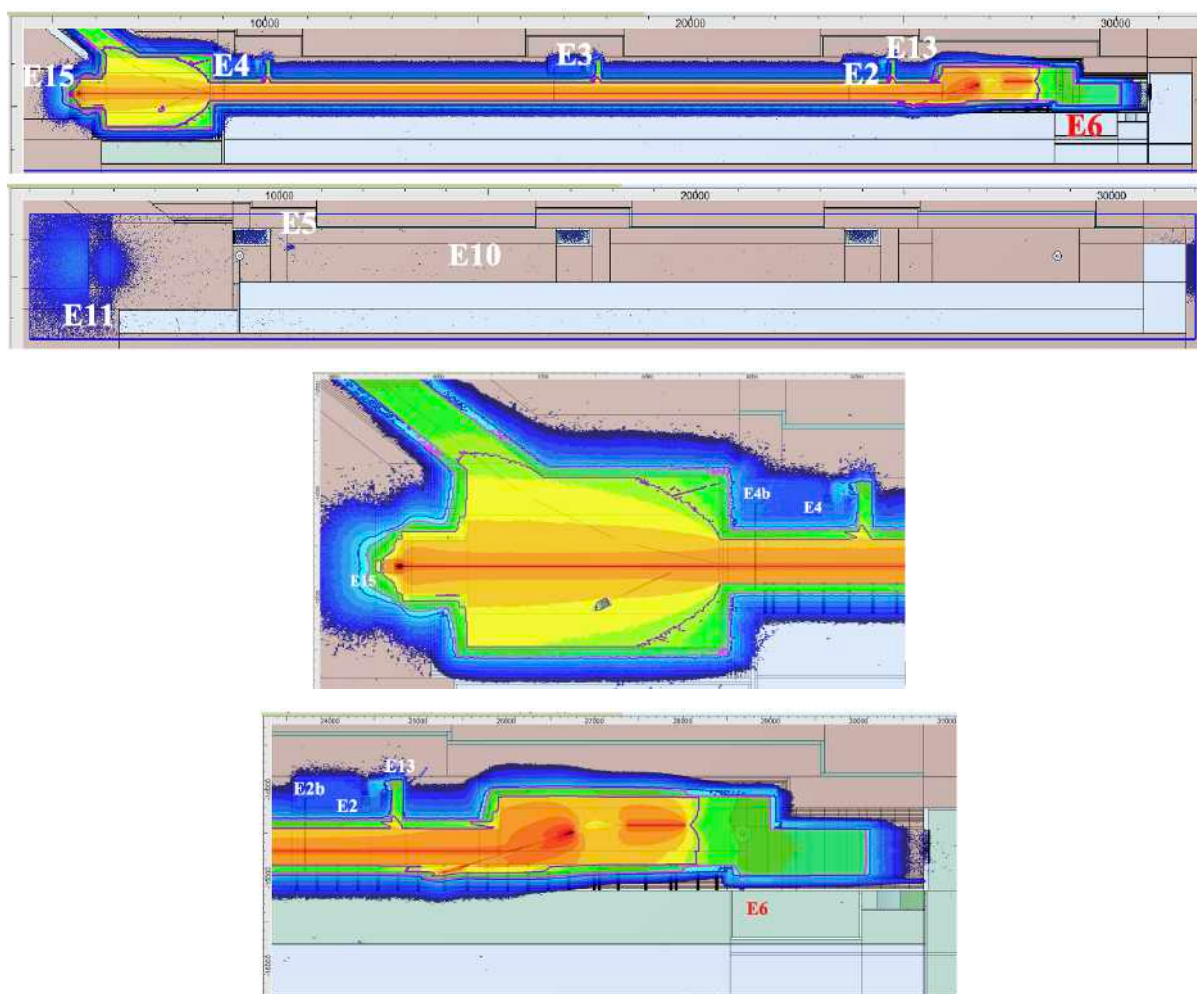
5.2.1.3 模拟计算结果

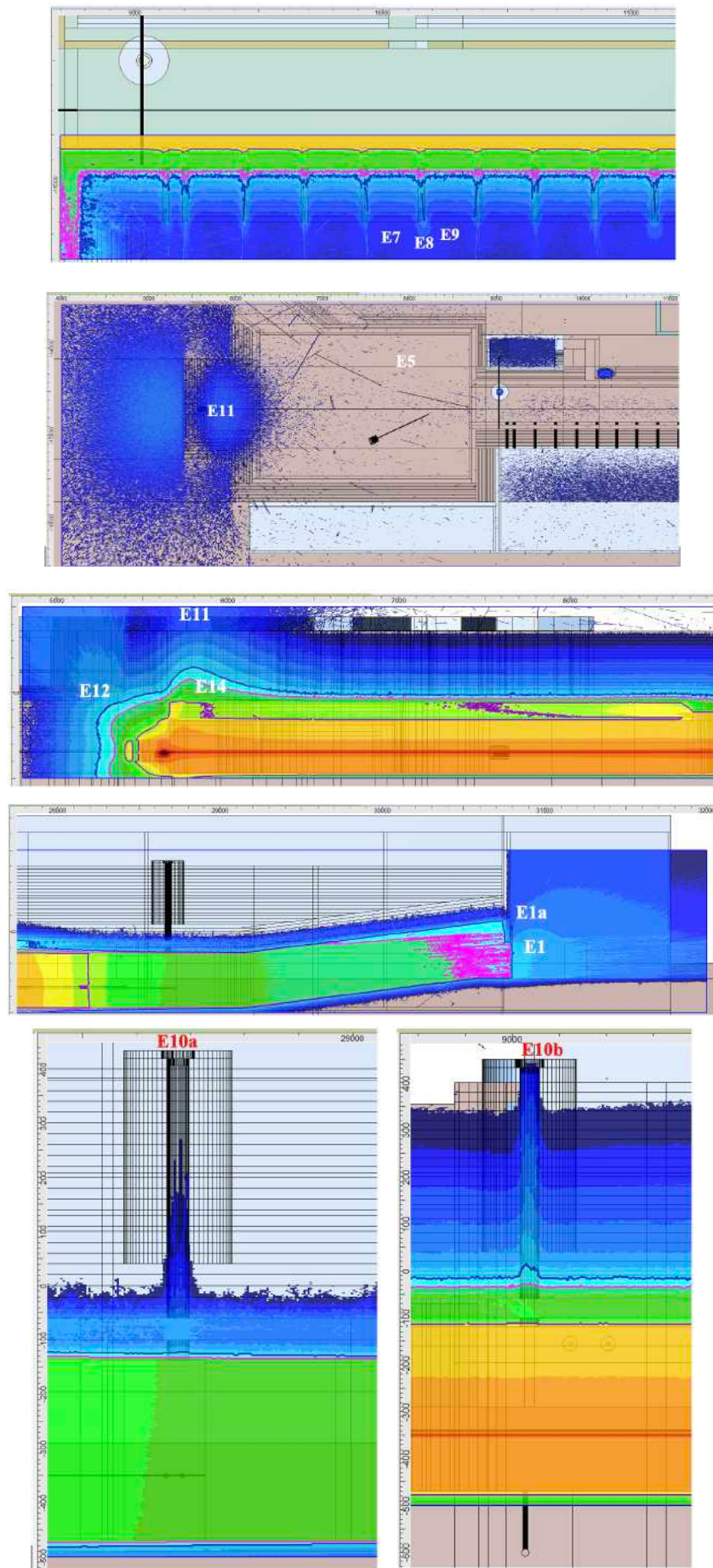
5.2.1.3.1 直线加速器隧道

下面各图给出了直线加速器在各种辐射源项下的模拟计算结果(关注点编号标于图中)。计算中,速调管走廊波导孔洞直径为 30cm,波导孔空隙部分两端用袋装铅砂封堵,封堵长度,两端各 8cm,波导截面为长方形,外尺寸为 82mm*44mm;3 个迷宫采用相同的结构,第 1、2 阶屏蔽墙厚度分别为 1.4m、1m,过道宽度为 1.1m,屏蔽门为 1cmPb+1cm 聚乙烯+1cmPb 的组合屏蔽,隧道到迷宫外的隔墙厚 1.6m;设备入口及前室到隧道间的混凝土隔墙厚 50cm,屏蔽门采用 1cm 钢+10cmPb+1cm 钢。

可见,直线各关注点的剂量率都小于剂量率限值,满足防护要求。

直线 1.6nC 单束团突然丢束情况下,假设最严重的情形丢在末端迷宫口,其在迷宫口的单次累积剂量很小,比 1mSv/次的限值小 4 个量级以上。





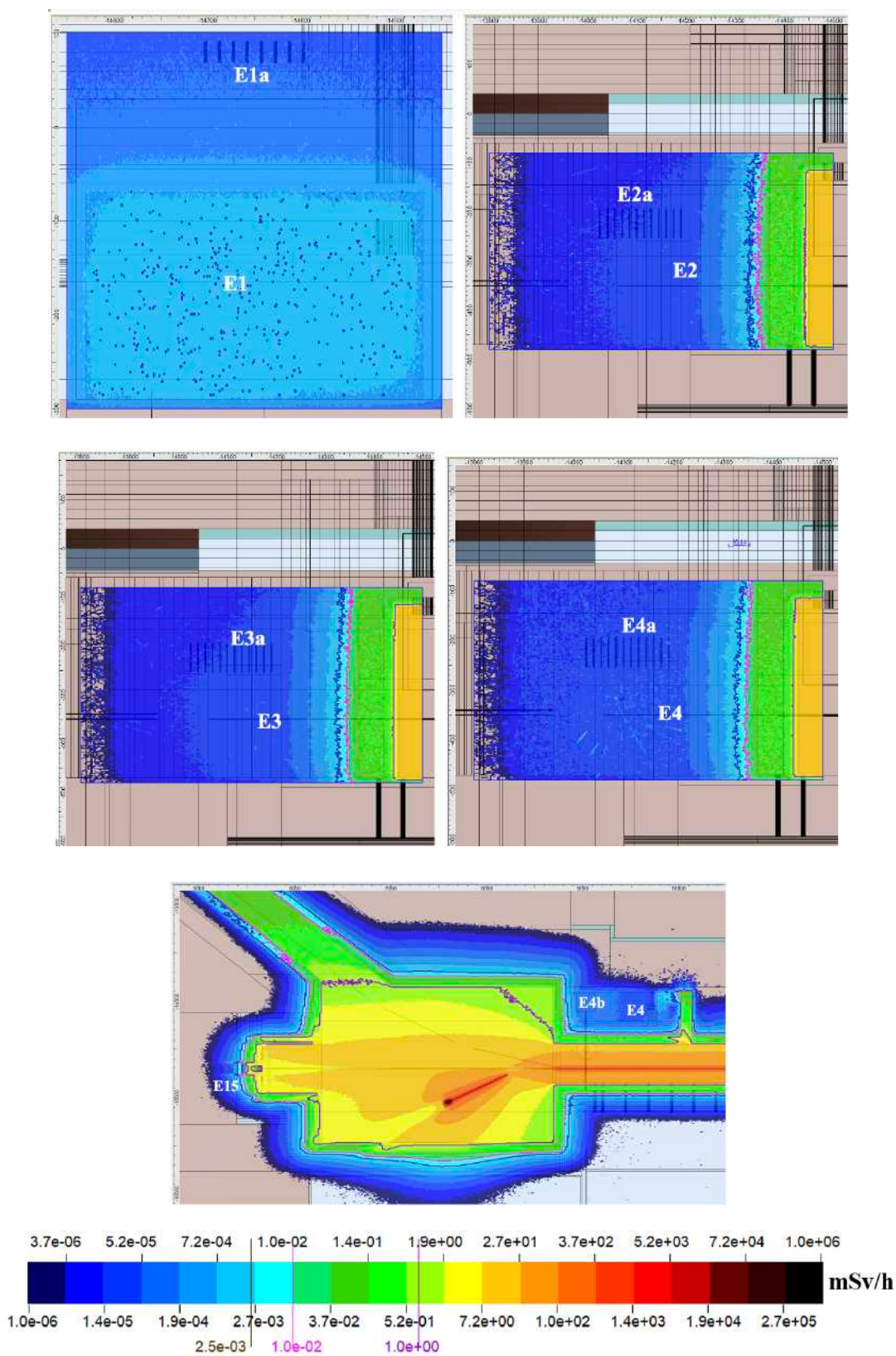


图 5-18 直线加速器沿途 2.2GeV-6nA 均匀束损+2.2GeV-10nA 打废束桶或能谱测试线时，束流水平面或垂直剖面的剂量率分布

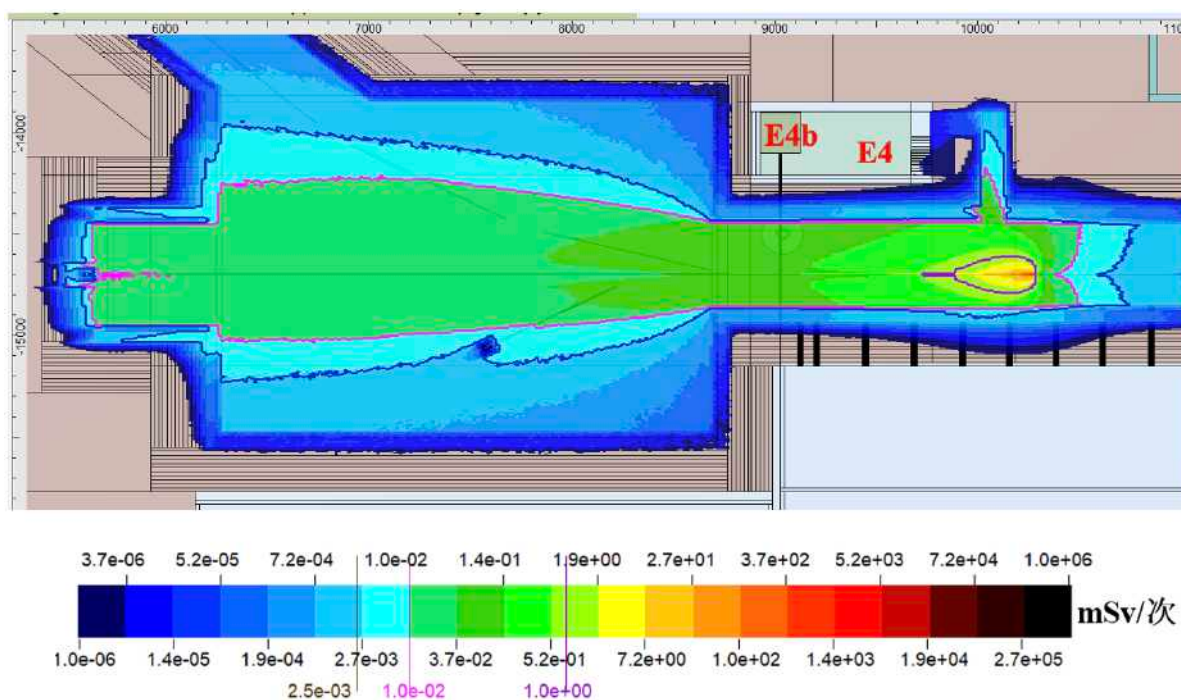


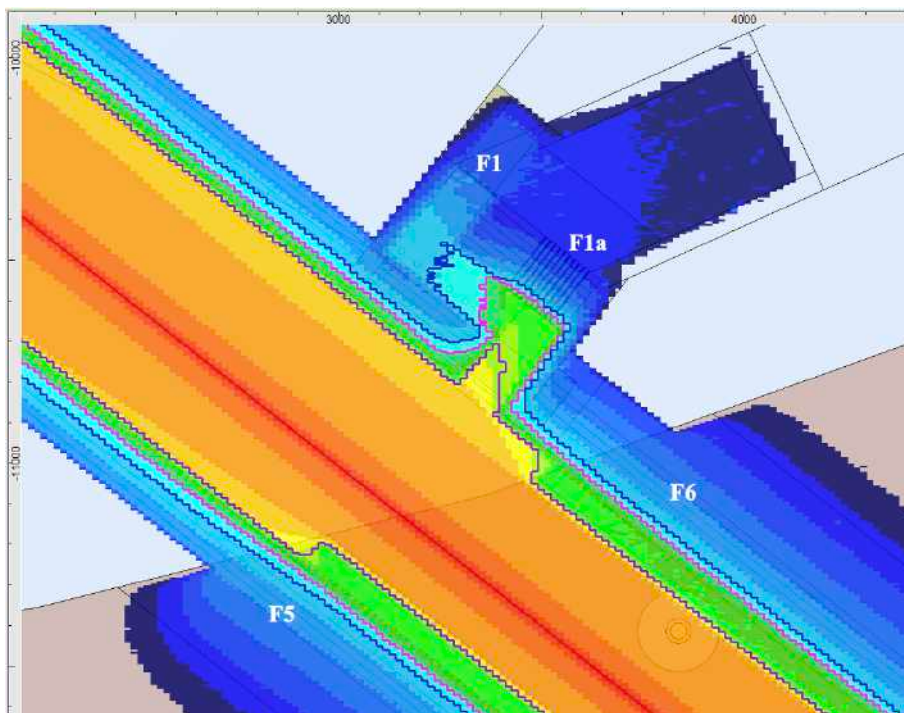
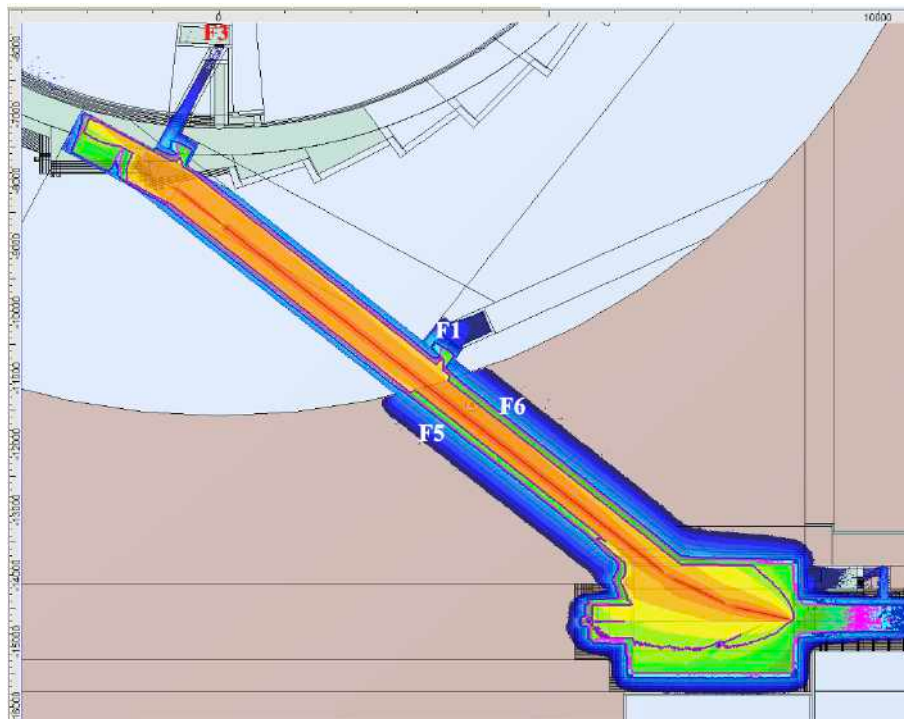
图 5-19 直线加速器事故工况以 2.2GeV-1.6nC 单束团突然丢束在末端迷宫口时，束流水平面剂量率分布

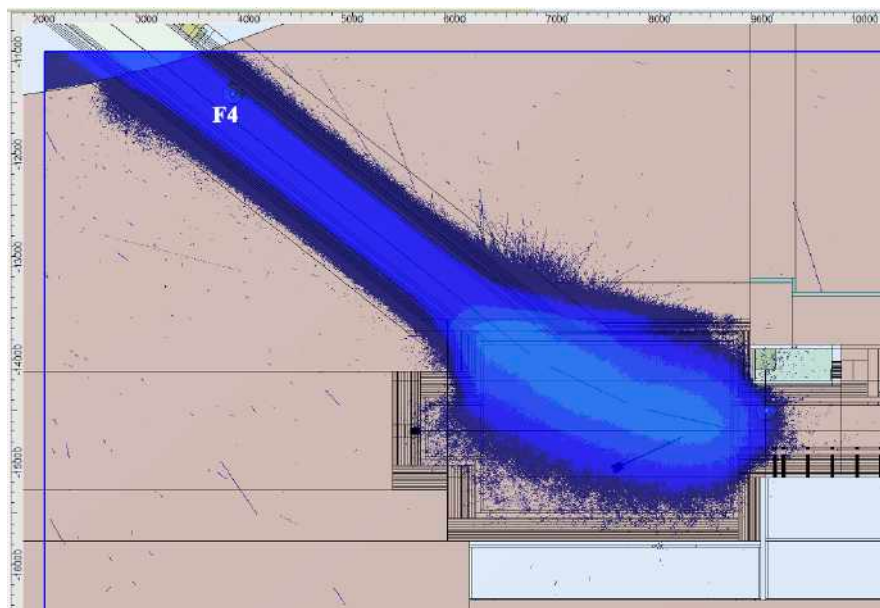
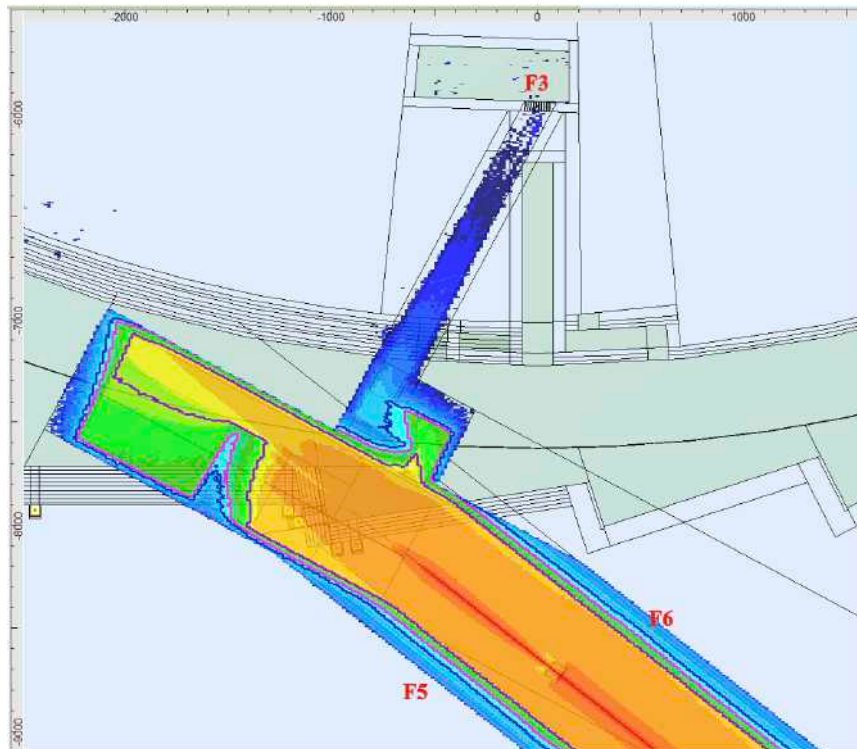
5.2.1.3.2 输运线隧道

下面各图给出了输运线在各种辐射源项下的模拟计算结果。计算中，束流闸为 5cm*5cm*60cm 的长方体 Cu 靶；中间段迷宫的迷宫内部侧墙及隧道内墙均为 1.6m 混凝土，过道宽为 1.1m，屏蔽门为 1cmPb+2cm 聚乙烯+2cmPb；末端迷宫过道宽 1.1m，迷宫内部侧墙及隧道内墙均为 1.6m 混凝土，在迷宫最外面设联锁门，不设屏蔽门。可以看出：

束流闸以 2.2GeV-0.5nA 点损时，顶部屏蔽剂量率为 4.71E-01 μ Sv/h，约为剂量率限值 2.5 μ Sv/h 的 1/5。其它关注点的剂量率都小于剂量率限值较多，满足防护要求。

输运线以 1.0nC 单束团突然丢束情况下，假设最严重的情形丢在中间段迷宫口，其单次累积剂量很小，比 1mSv/次的限值小 6 个量级以上。





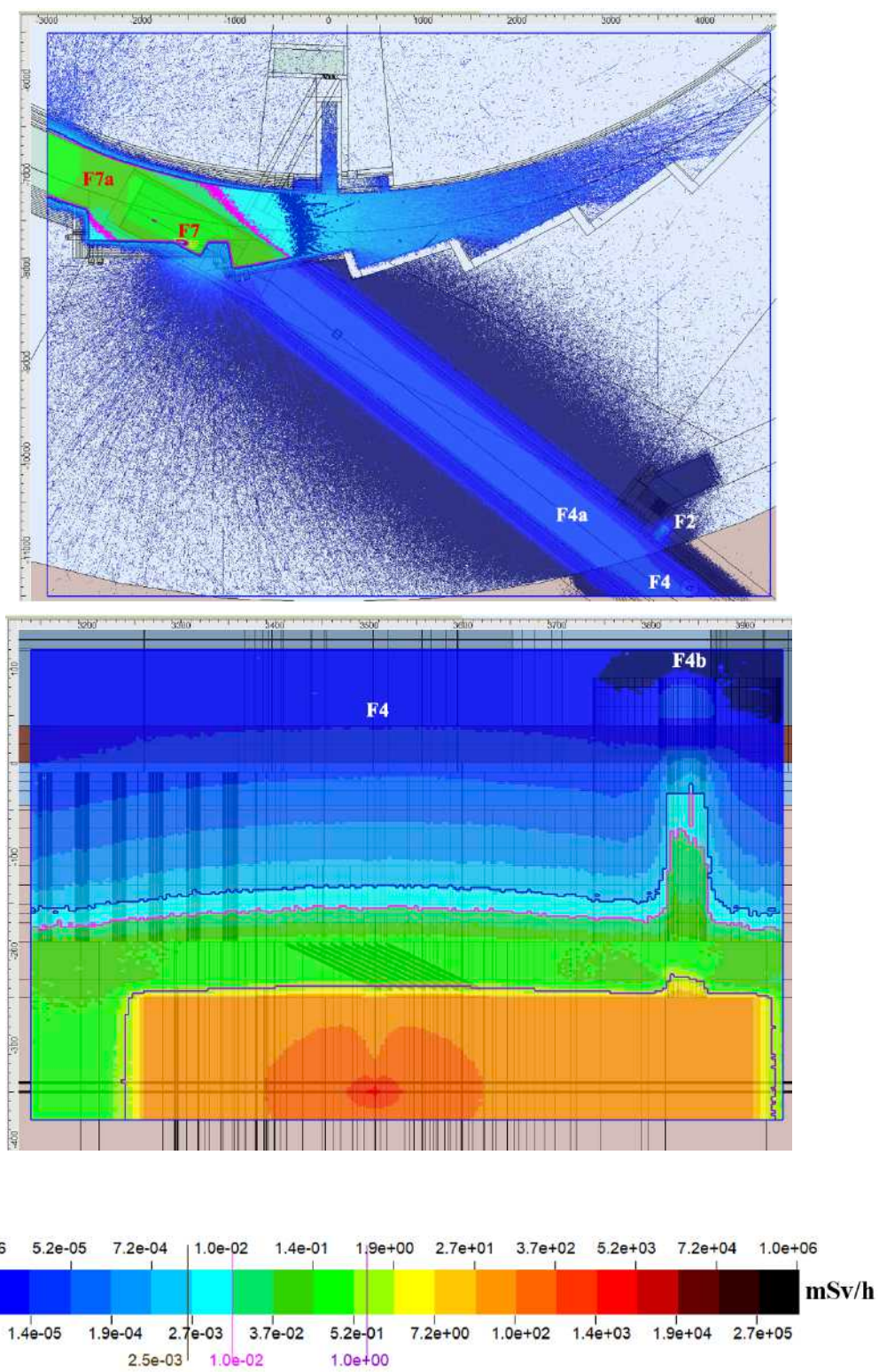


图 5-20 输运线沿途 2.2GeV-0.5nA 均匀束损时，束流水平面或顶部的剂量率分布

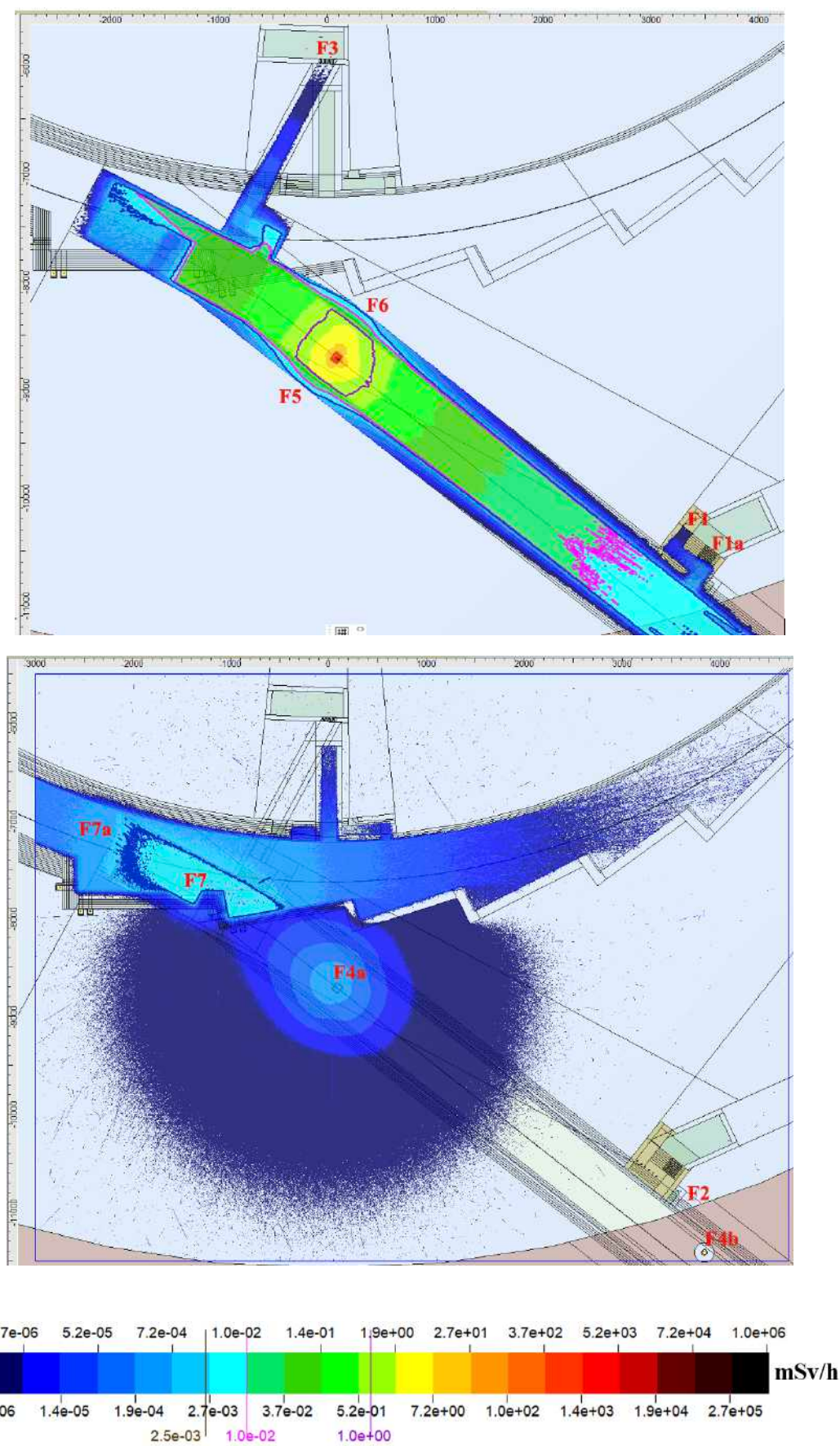


图 5-21 束流闸以 2.2GeV-0.5nA 点损时，束流水平面或顶部的剂量率分布

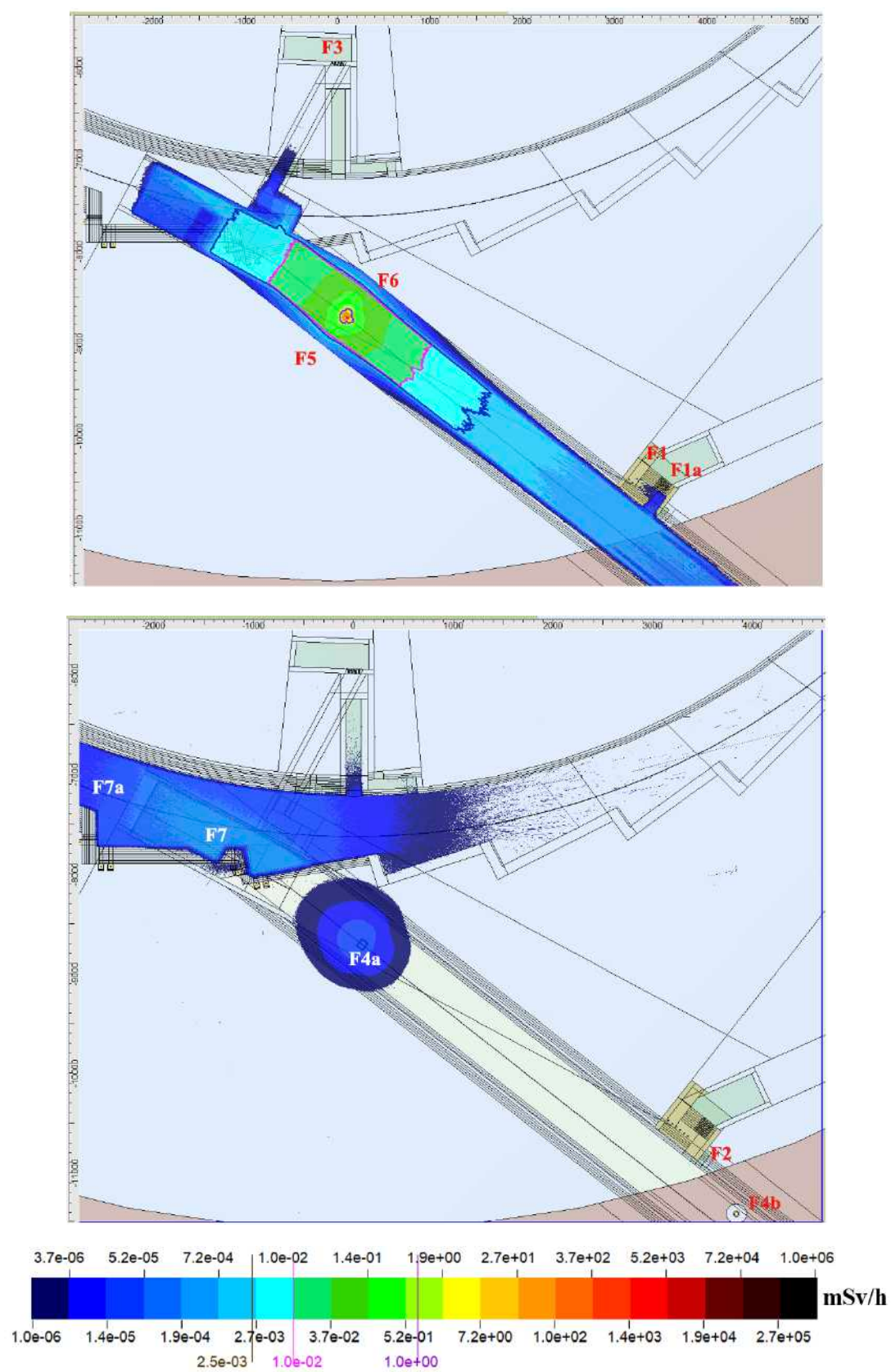


图 5-22 束流闸以 2.2GeV-0.03nA 点损时，束流水平面或顶部的剂量率分布

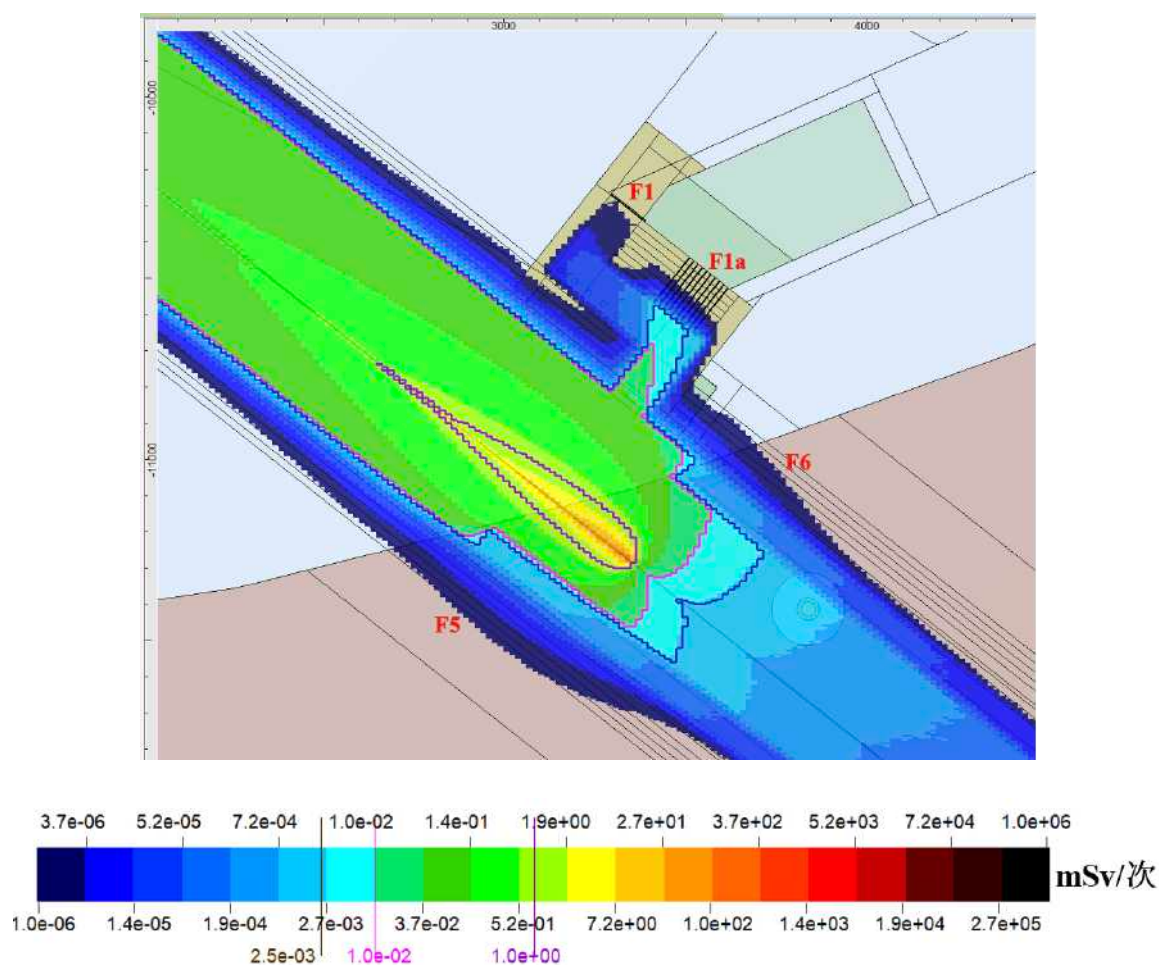


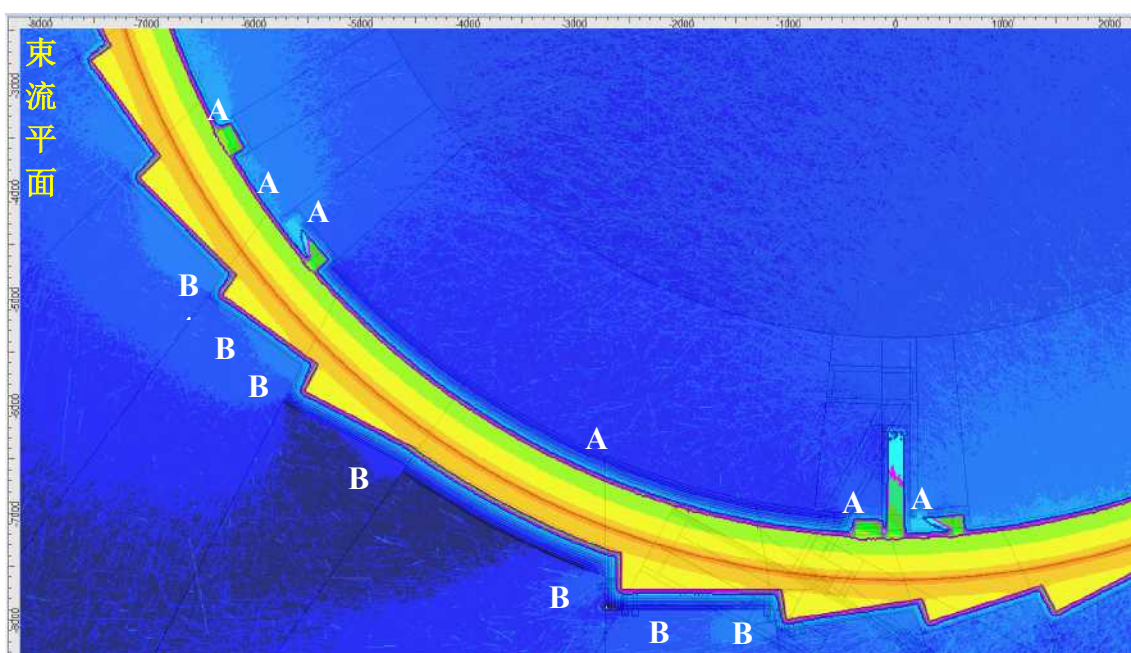
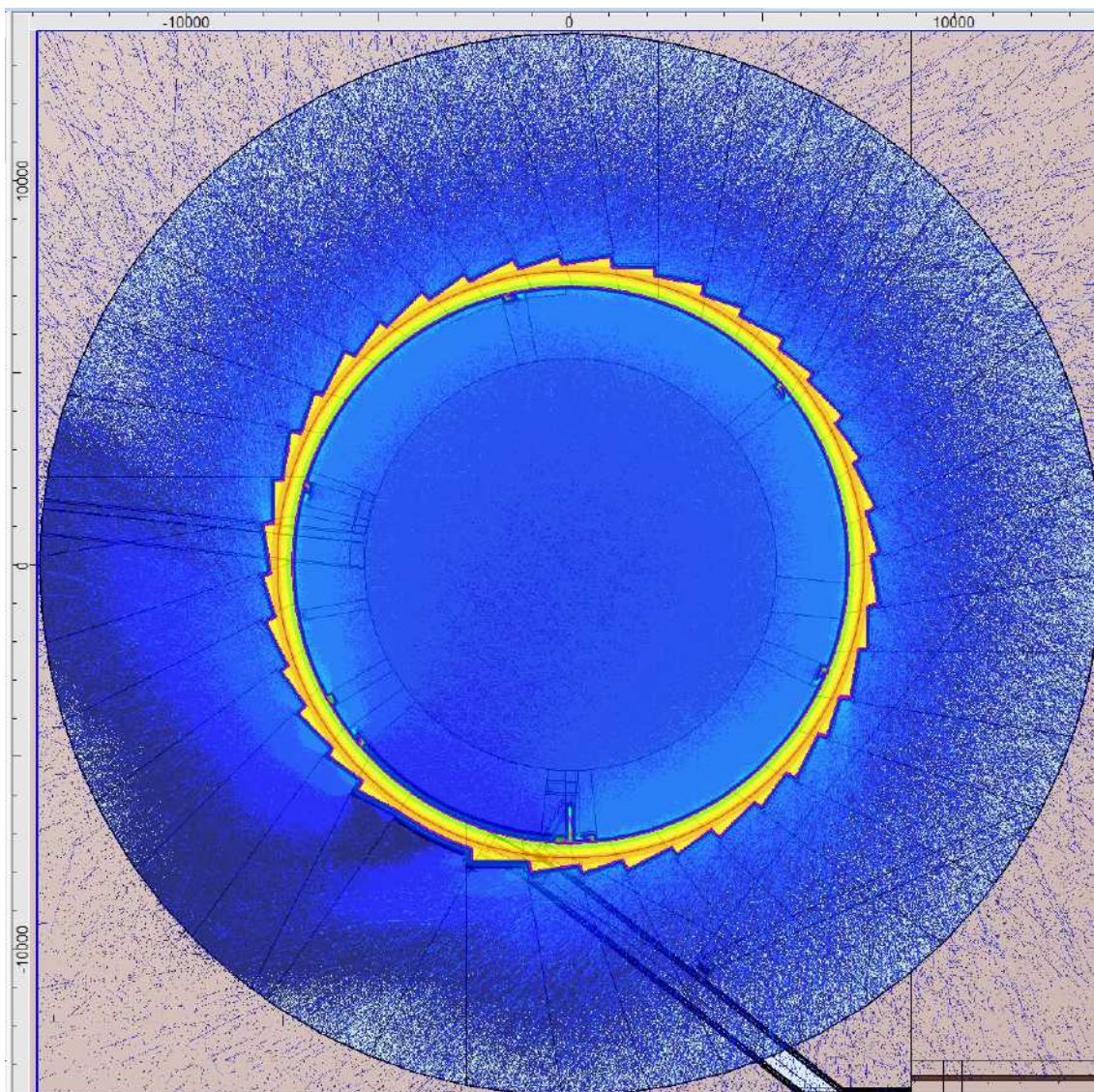
图 5-23 输运线事故工况以 2.2GeV-1.0nC 单束团突然丢束在中间段迷宫口时，束流水平面剂量率分布

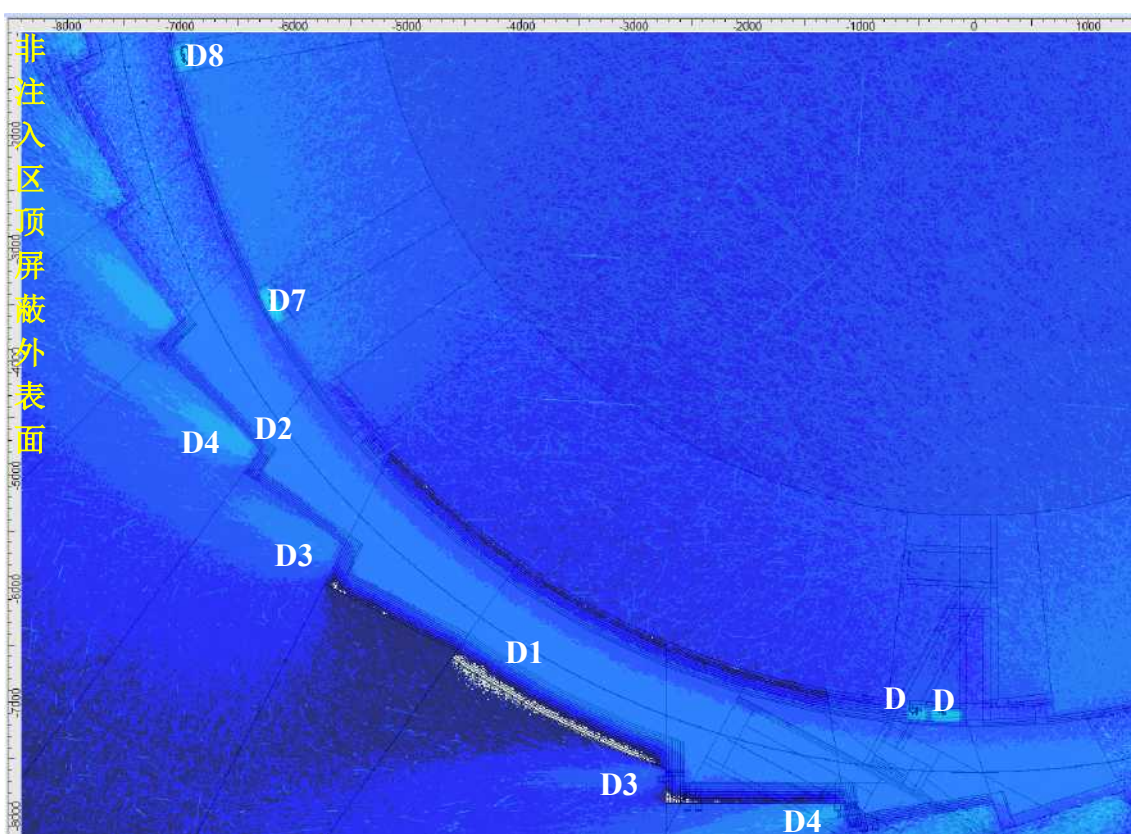
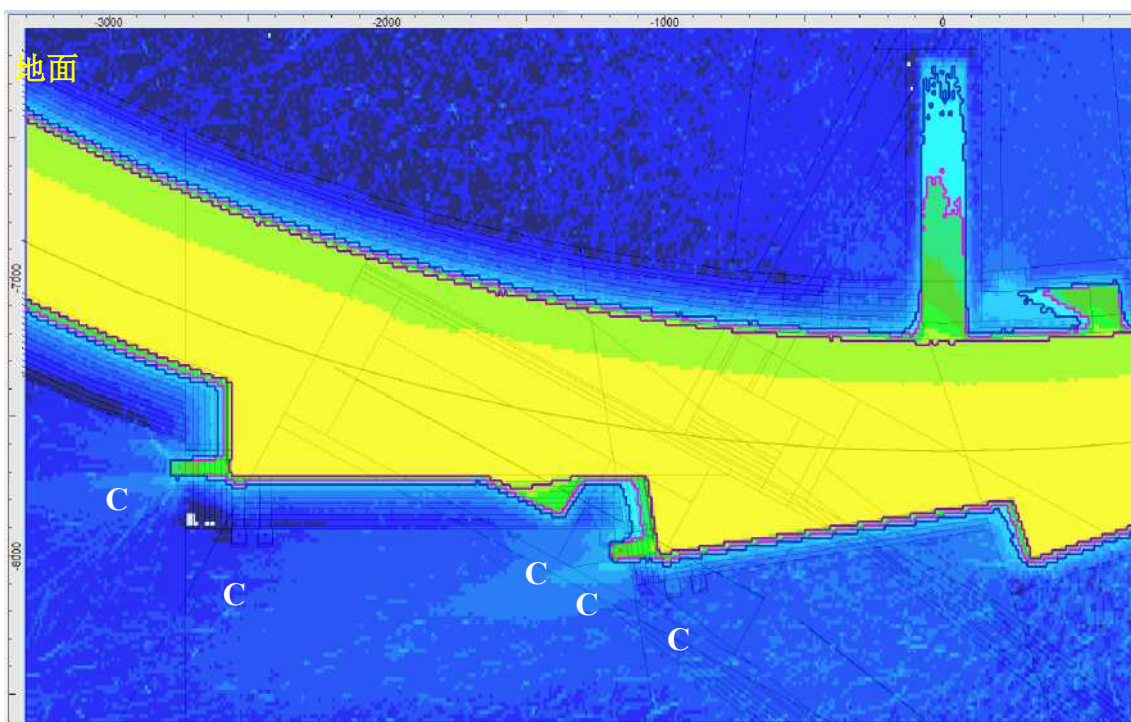
5.2.1.3.3 储存环隧道

下面各图给出了储存环在各种辐射源项下的模拟计算结果(关注点编号标于图中)。计算中，除注入区上游迷宫屏蔽门假设为 2mmPb 外，其他迷宫和通风口均假设没有屏蔽门或盖板。可以看出：

关注点的剂量率都小于剂量率限值较多，满足防护要求。

储存环以 500mA 全束团突然丢束情况下，假设最严重的情形丢在注入区下游迷宫口，其单次累积剂量很小，比 1mSv/次的限值小 20 倍以上。





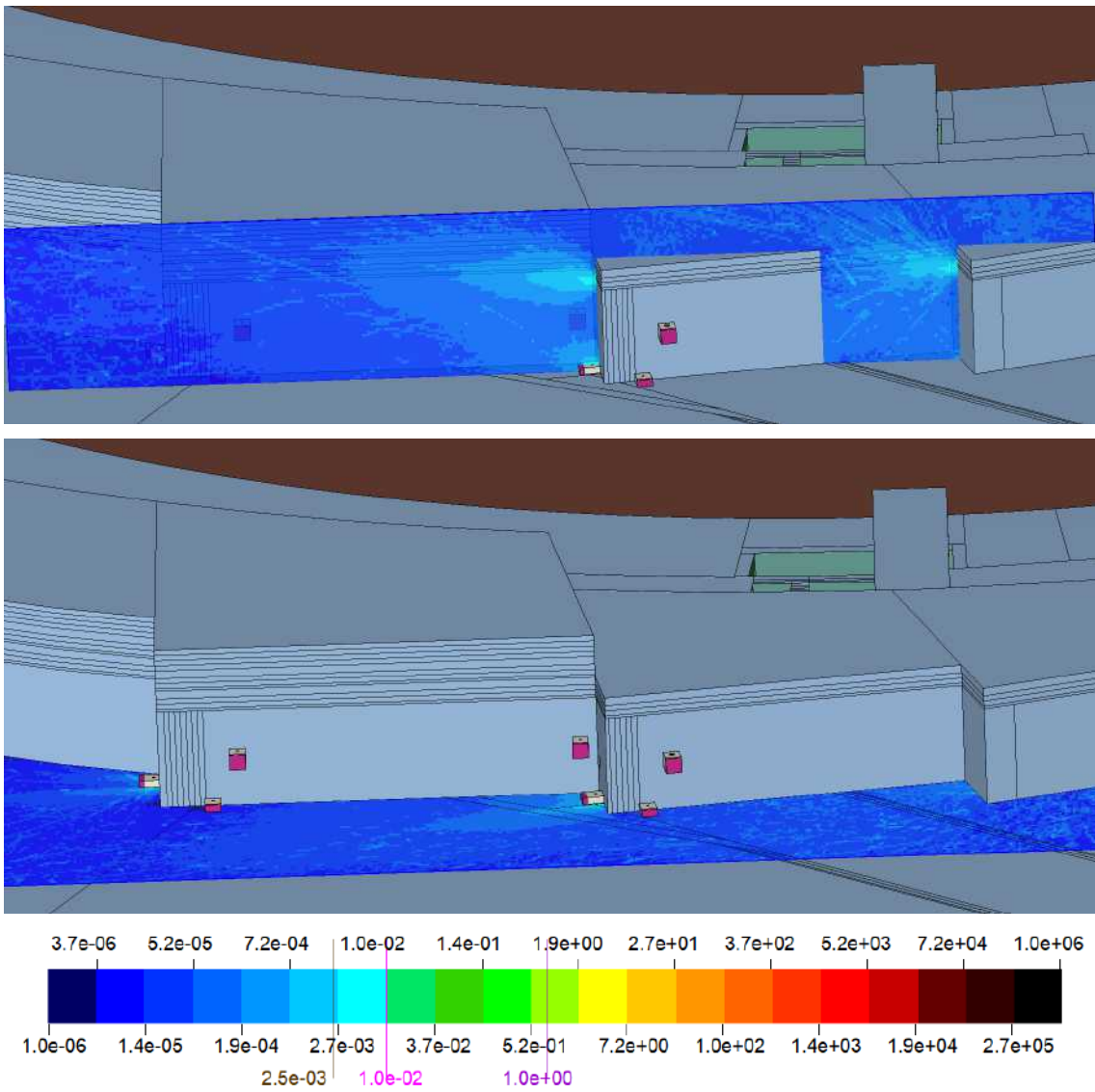
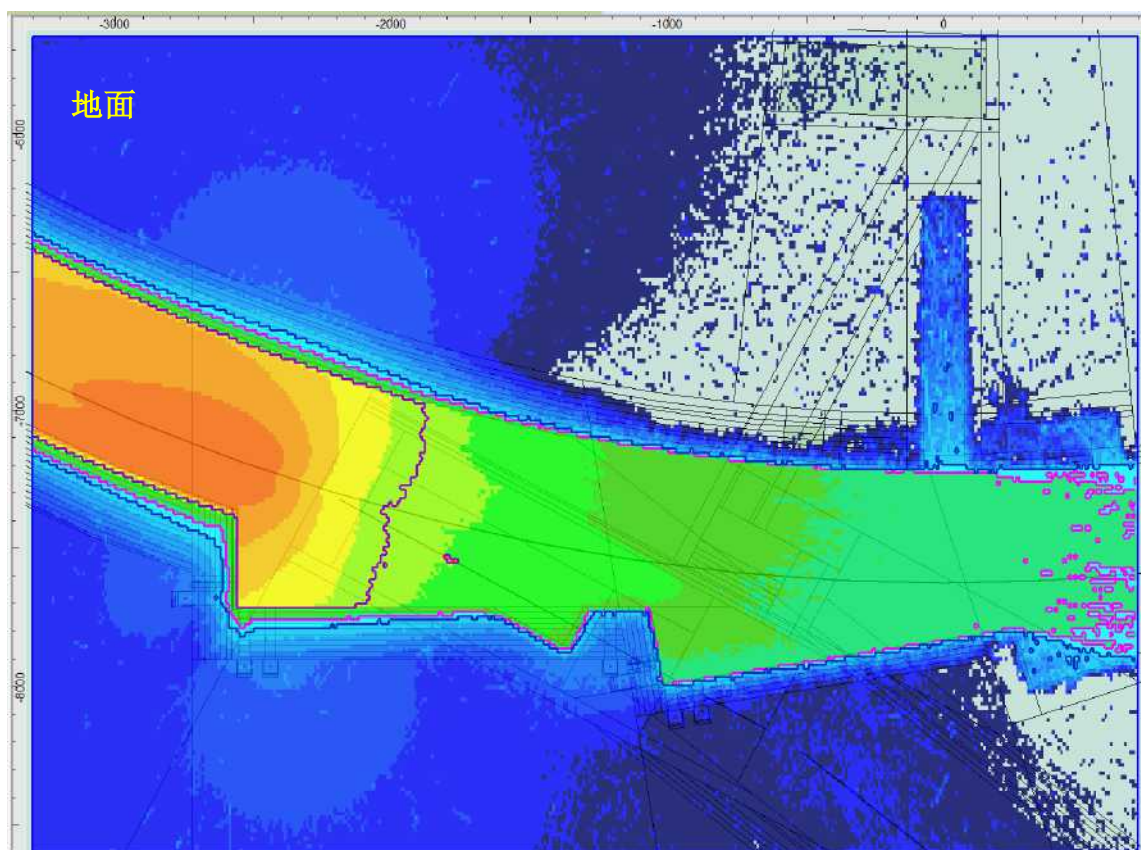
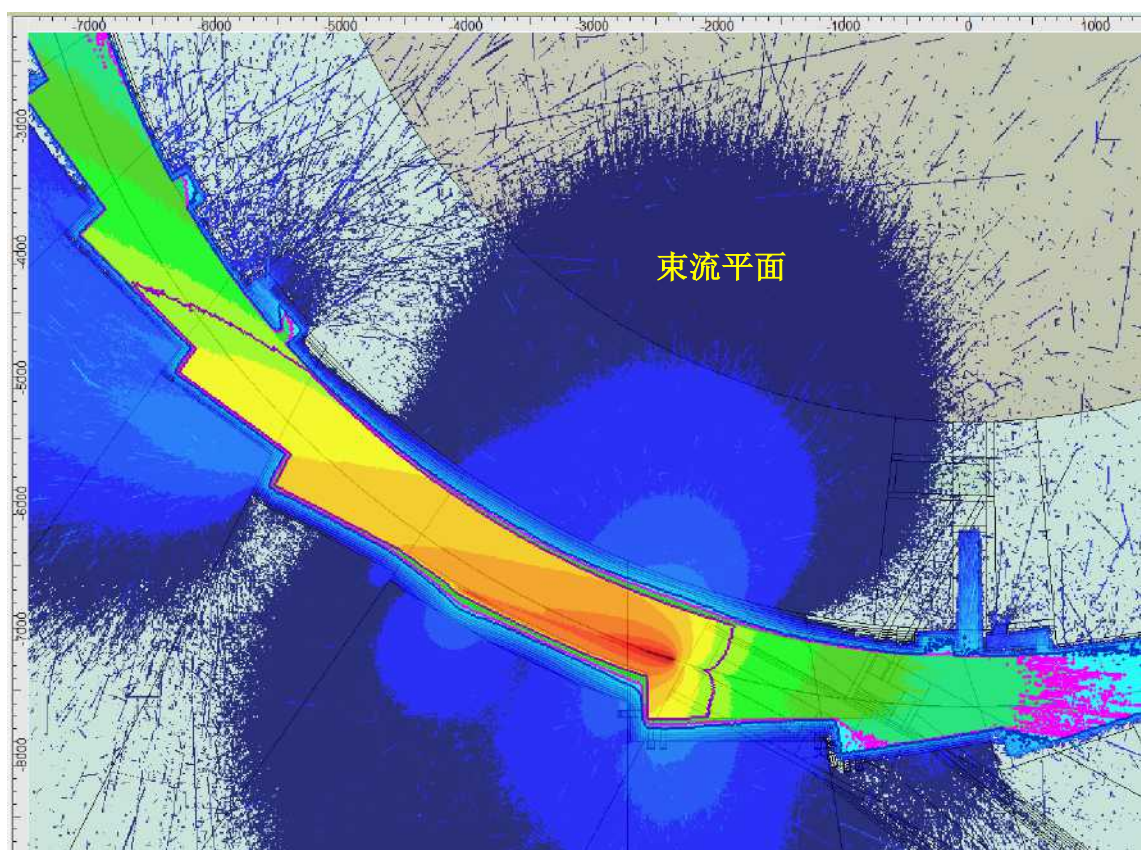
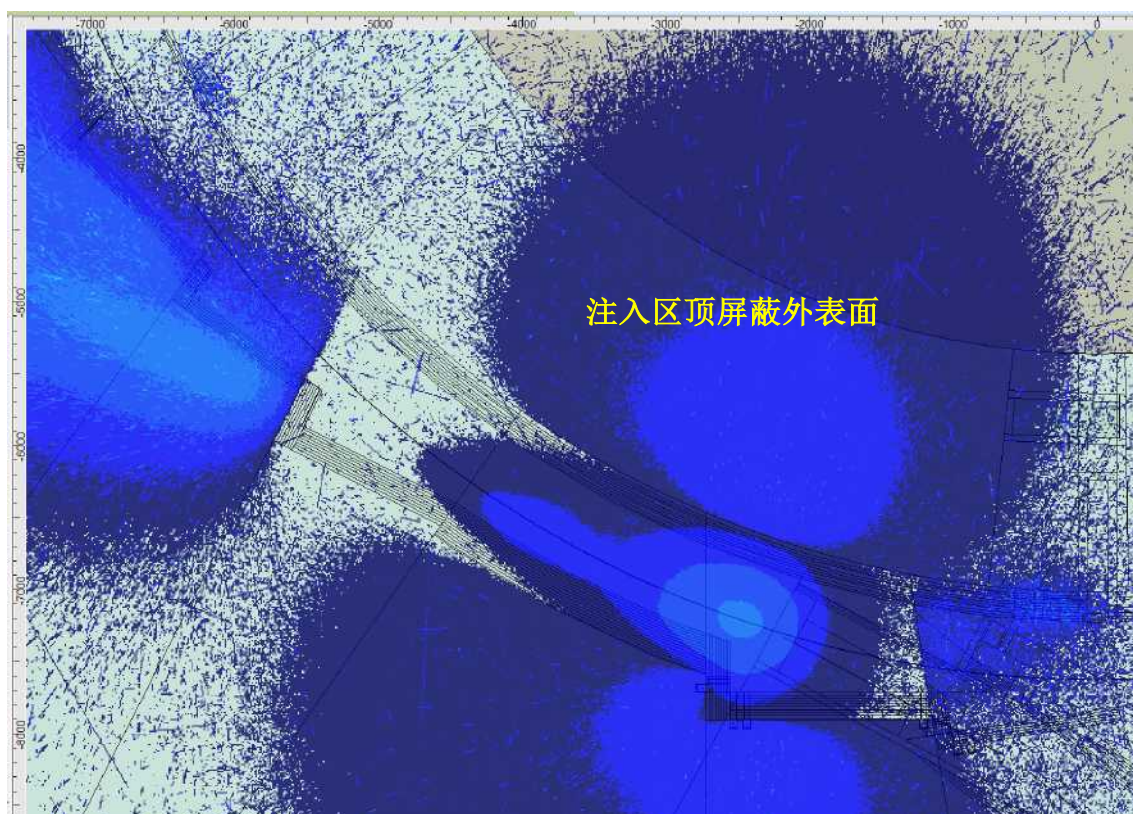
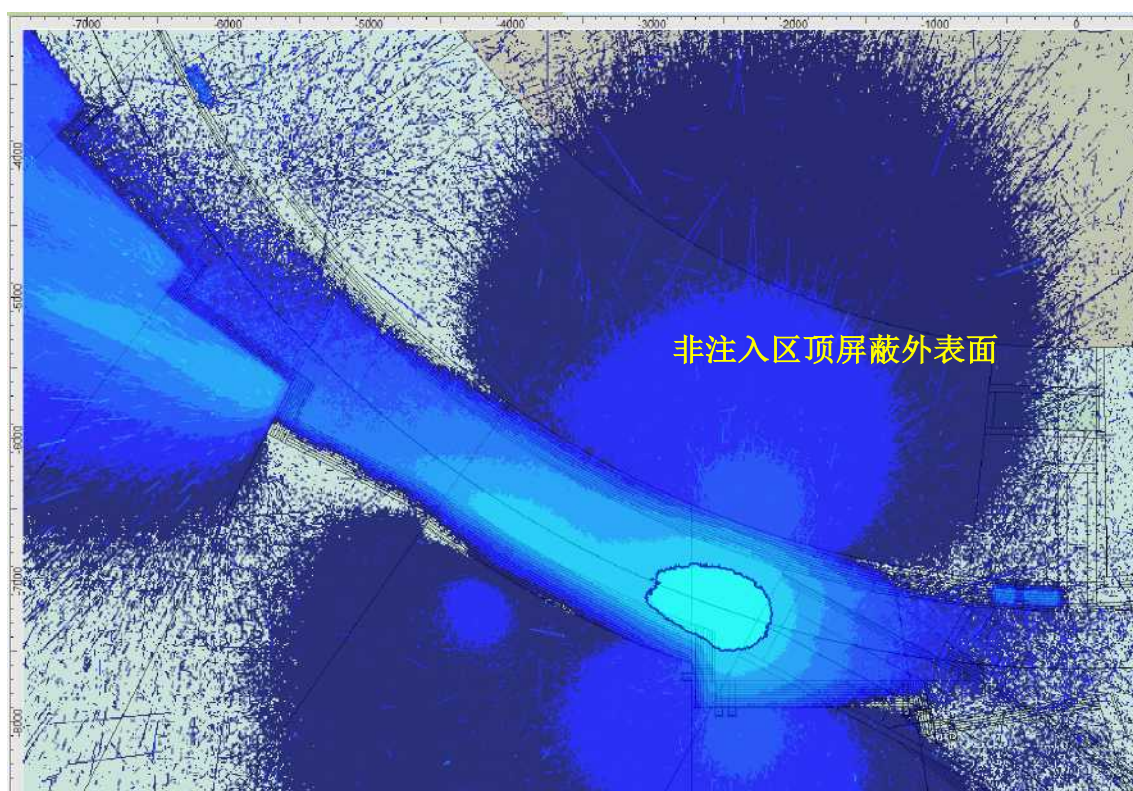


图 5-24 储存环 2.5GeV-500mA-1h 寿命的束流均匀损失，束流水平面、顶部、地面处、短墙外的剂量率分布（单位：mSv/h）





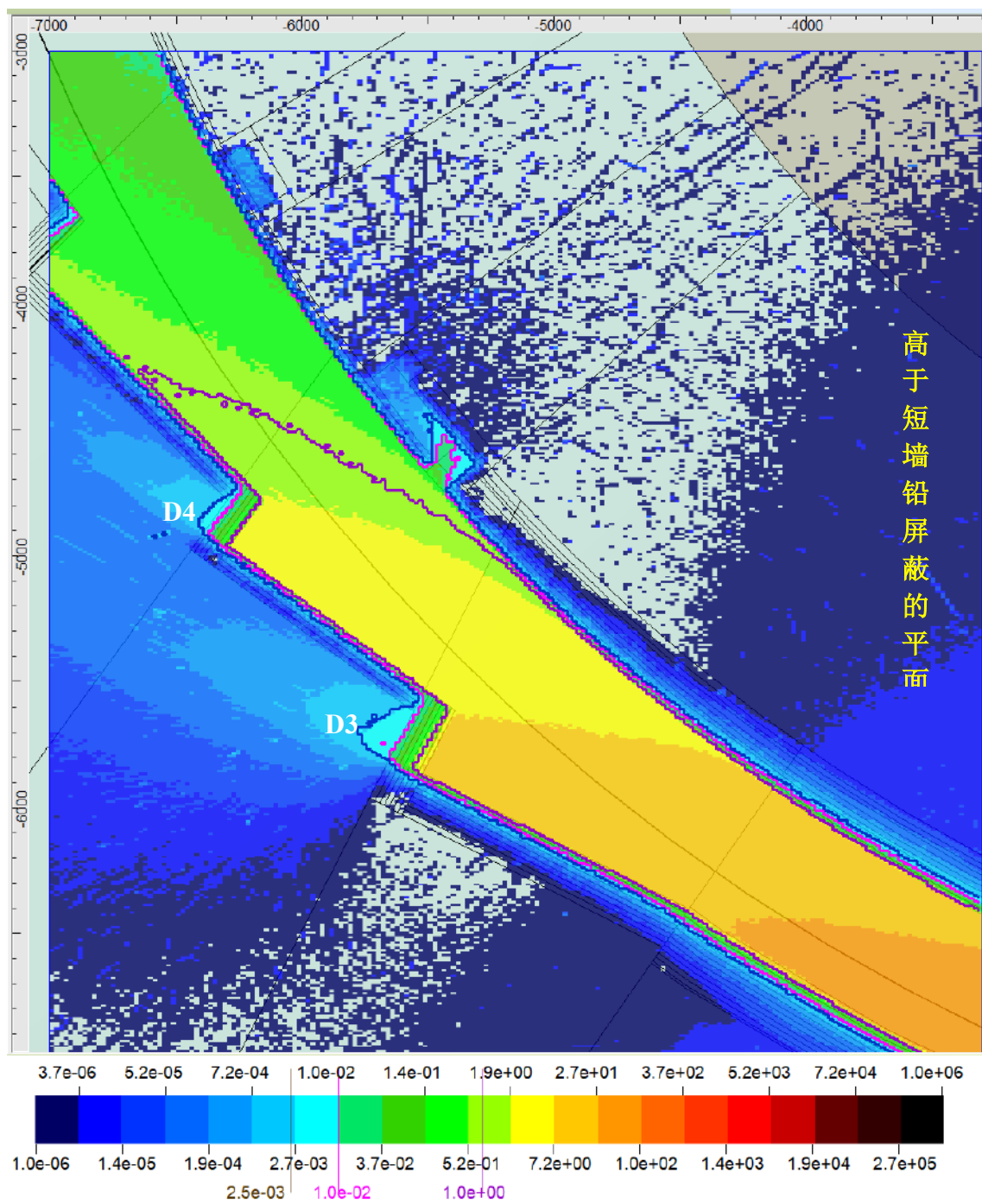
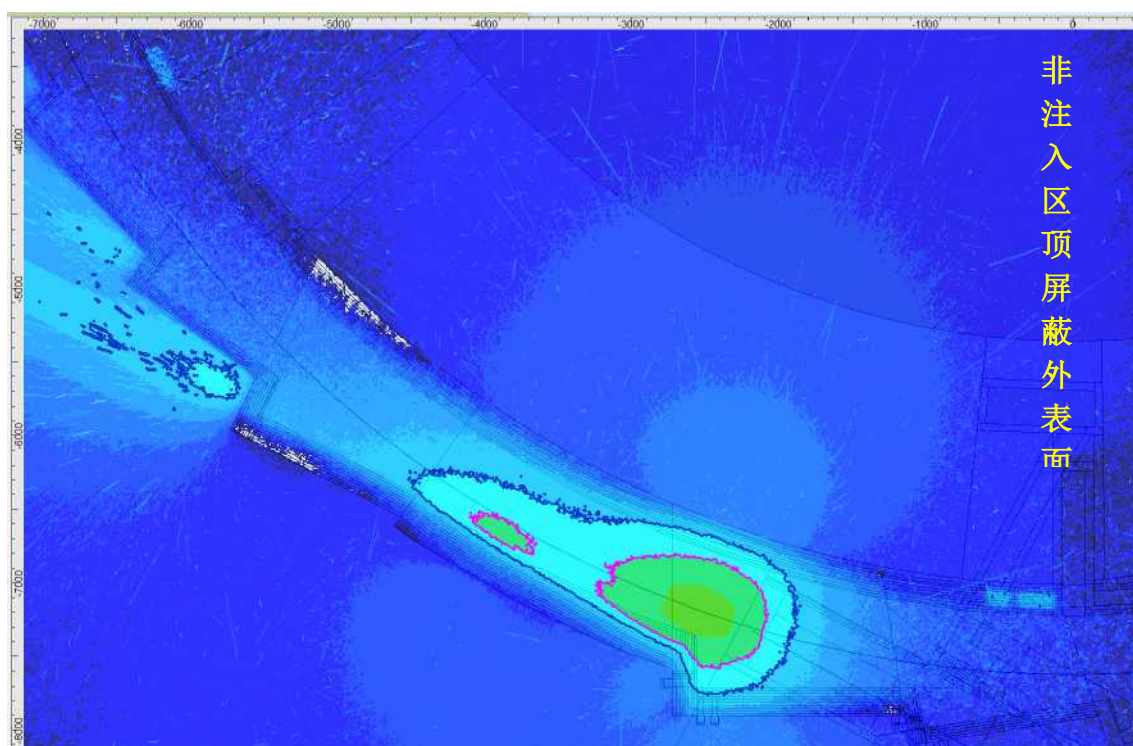
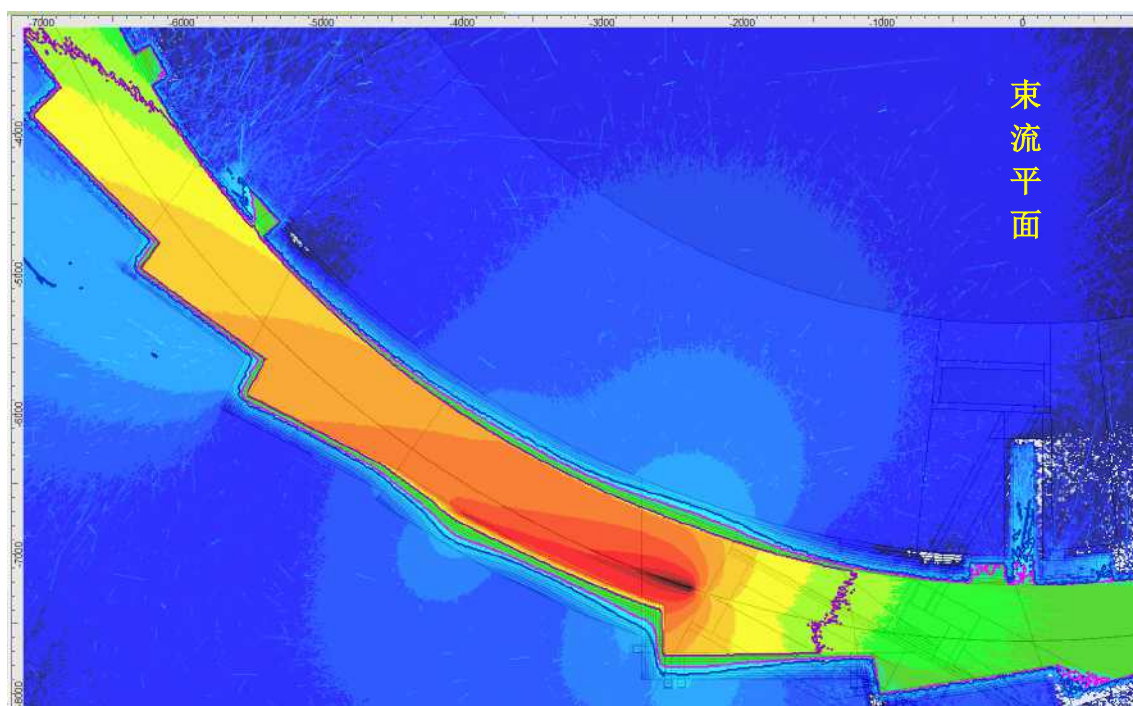


图 5-25 储存环以 0.95nC-10Hz 首次注入 168s 到 500mA 的累积剂量分布（单位：mSv/次）



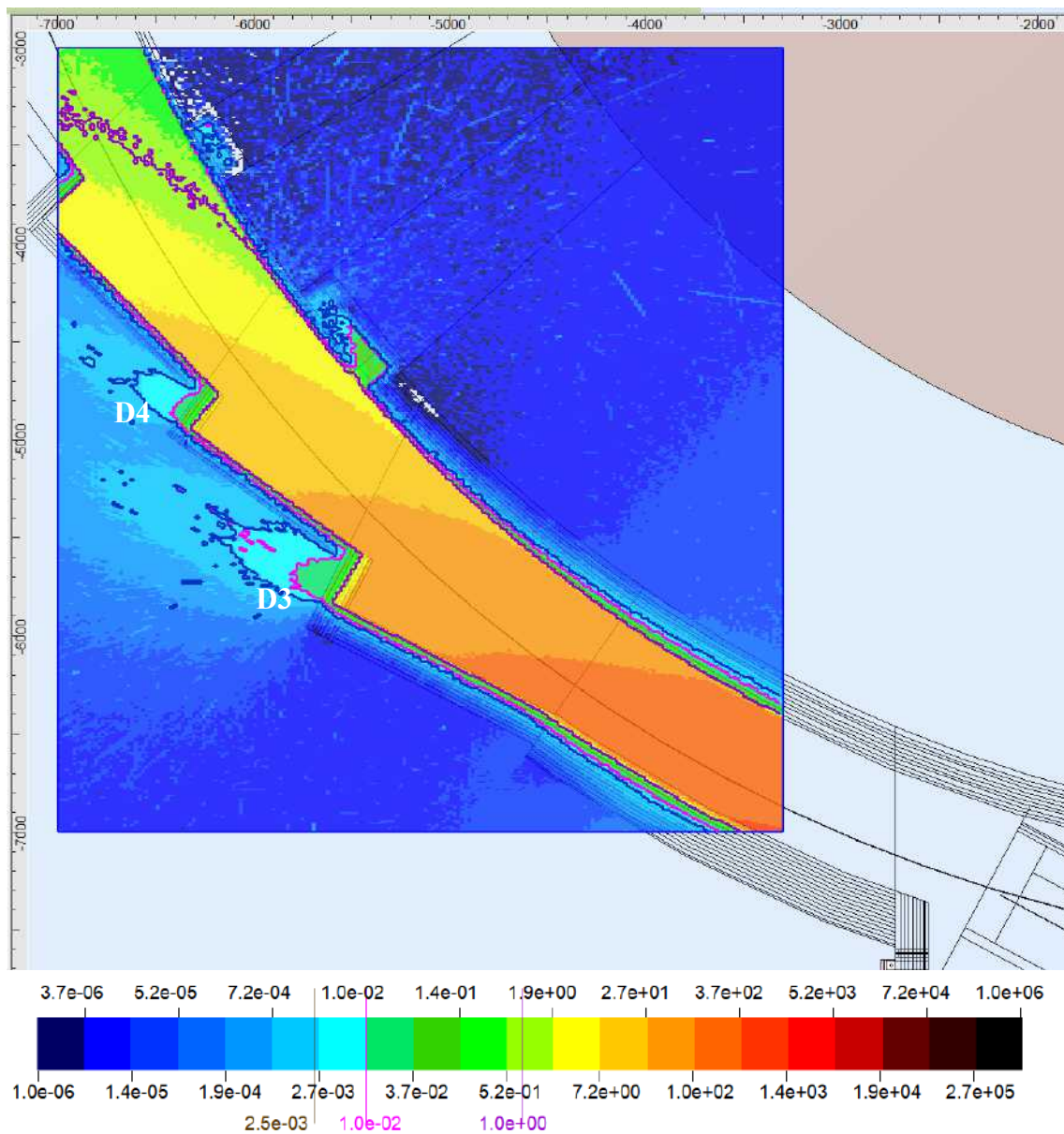


图 5-26 储存环 500mA 恒流运行时，以 0.3nC-10Hz 小流强持续补充注入，总计 534s/h 的剂量率分布（单位：mSv/h）

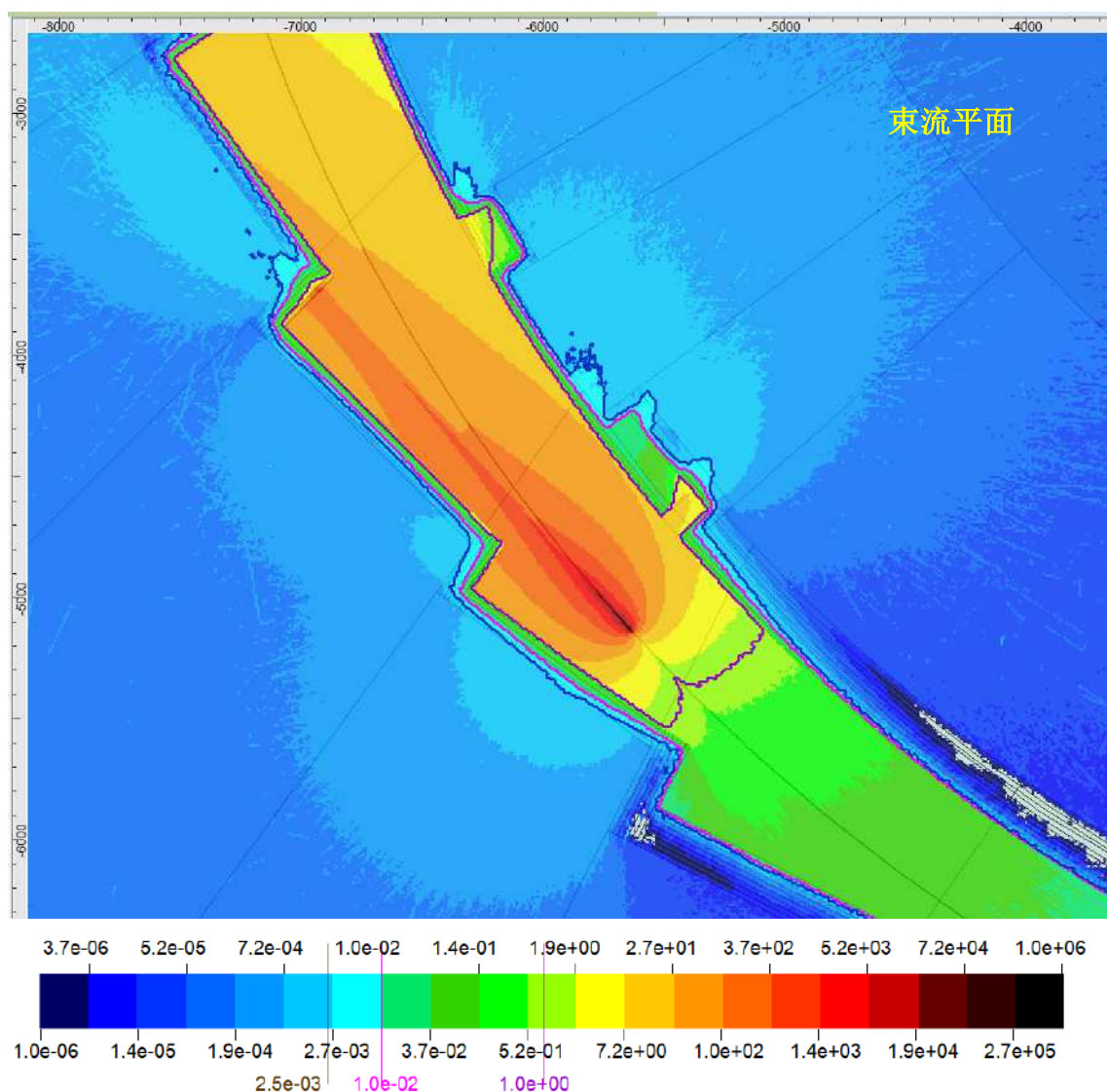


图 5-27 储存环事故工况以 2.5GeV-500mA 全束团（ $5E12$ 个电子）突然丢在注入区下游迷宫口的剂量分布（单位：mSv/次）

5.2.1.4 关注点剂量率

HALF 装置屏蔽体外关注点具体位置详见上一小节的剂量率分布图，计算时考虑的各个工作模式对应的辐射源项见表 5-21，关注点剂量率模拟结果见表 5-22。从表 5-22 可以看出，各关注点剂量率均低于其剂量率控制水平，屏蔽设计满足要求。

表 5-21 屏蔽体外剂量率计算时考虑的各个工作模式对应的辐射源项

隧道名称	序号	工作模式	辐射源项
直线加速器	1	废束站调束模式	沿途 15MeV-5nA-120MeV-5nA-2.2GeV-0.5nA 均匀线损+废束站 2.2GeV-10nA 点损
	2	能谱测量模式	沿途 5MeV-5nA-120MeV-5nA-2.2GeV-0.5nA 均匀线损+能谱测试线 2.2GeV-10nA 点损
	3	束流传输模式	沿途 5MeV-5nA-120MeV-5nA-2.2GeV-0.5nA 均匀线损
	4	事故工况	2.2GeV-1.6nC 单束团丢失在末端迷宫口
输运线	1	注入模式	沿途 2.2GeV-0.5nA 均匀线损
	2	束流闸模式	束流闸 2.2GeV-0.5nA 点损（正常供束时的束流闸束损） 或 2.2GeV-0.03nA 的电子（调试阶段的束流闸束损，300pC/0.1Hz）
	3	事故工况	2.2GeV-1.0nC 单束团丢失在中间段迷宫口
储存环	1	正常运行（非注入）	500mA-1h 寿命沿途均匀线损（ $1.3907E9$ （e/s））
	2	首次注入	500mA 首次注入：0.95nC-10Hz，50%注入效率，注入 168s
	3	补充注入	500mA 补充注入：0.3nC-10Hz，50%注入效率，注入 534s
	4	事故工况	储存环全环 500mA 束流事故工况下损失在注入区下游迷宫口

表 5-22 HALF 装置屏蔽体外关注点剂量率模拟结果

隧道名称	关注点编号及名称		工作模式							
			废束站调束模式		能谱测量模式		束流传输模式		事故工况	
			剂量率, μSv/h	限值, μSv/h	剂量率, μSv/h	限值, μSv/h	剂量率, μSv/h	限值, μSv/h	剂量率, μSv/次	限值, μSv/ 次
直线加速器	E1	设备入口及前室	1.31E+00	2.5	1.31E+00	2.5	1.31E+00	2.5	/	/
	E1a	设备入口及前室预留孔	3.77E-02	2.5	3.77E-02	2.5	3.77E-02	2.5	/	/
	E2	始端迷宫门外	2.94E-02	2.5	2.94E-02	2.5	2.94E-02	2.5	/	/
	E2a	始端迷宫预留孔	1.62E-02	2.5	1.62E-02	2.5	1.62E-02	2.5	/	/
	E2b	始端迷宫集水坑	1.39E-02	2.5	1.39E-02	2.5	1.39E-02	2.5	/	/
	E3	中间段迷宫门外	3.06E-02	2.5	3.06E-02	2.5	3.06E-02	2.5	/	/
	E3a	中间段迷宫预留孔	1.77E-02	2.5	1.77E-02	2.5	1.77E-02	2.5	/	/
	E3b	中间段迷宫集水坑	1.45E-02	2.5	1.45E-02	2.5	1.45E-02	2.5	/	/
	E4	末端迷宫门外	4.28E-02	2.5	4.85E-02	2.5	4.28E-02	2.5	2.28E-04	1000
	E4a	末端迷宫预留孔	2.79E-02	2.5	2.79E-02	2.5	2.79E-02	2.5	/	/
	E4b	末端迷宫集水坑	5.63E-02	2.5	5.63E-02	2.5	5.63E-02	2.5	/	/
	E5	末端强排风口（标高 400cm）	5.85E-03	2.5	5.85E-03	2.5	5.85E-03	2.5	2.48E-04	1000
	E6	注入器洁净室	7.53E-04	2.5	7.53E-04	2.5	7.53E-04	2.5	/	/
	E7	速调管走廊	4.64E-03	2.5	4.64E-03	2.5	4.64E-03	2.5	7.88E-05	1000
	E8	速调管走廊孔洞前向 30cm	3.70E-02	2.5	3.70E-02	2.5	3.70E-02	2.5	4.27E-04	1000
	E9	速调管走廊孔洞侧向 30cm	9.62E-03	2.5	9.62E-03	2.5	9.62E-03	2.5	1.30E-04	1000
	E10	直线加速器顶部地面（标高 400cm）	3.98E-04	2.5	3.98E-04	2.5	3.98E-04	2.5	6.06E-06	1000

	E10a	直线加速器顶部始端准直孔 P1 屏蔽外	6.92E-06	2.5	6.92E-06	2.5	6.92E-06	2.5	/	/
	E10b	直线加速器顶部末端准直孔 P2 屏蔽外	3.75E-04	2.5	3.75E-04	2.5	3.75E-04	2.5	/	/
	E11	废束站顶部地面（标高 355cm）	9.81E-02	2.5	2.45E-02	2.5	/	/	/	/
	E12	废束站下游地面（标高-45cm）	1.16E+00	2.5	6.58E-03	2.5	/	/	/	/
	E13	东北墙与土层交界面	2.00E-01	5000	2.00E-01	5000	1.20E+01	5000	/	/
	E14	顶板与土层交界面	2.08E+01	5000	4.65E+00	5000	8.30E+00	5000	/	/
	E15	废束站下游与土层交界面	6.38E+02	5000	1.38E+00	5000	8.10E-01	5000	/	/
隧道名称	关注点编号及名称		工作模式							
			注入模式		束流闸模式 （正常供束 0.5nA）		束流闸模式 （调试阶段 0.03nA）		事故工况	
			剂量率， μSv/h	限值， μSv/h	剂量率， μSv/h	限值， μSv/h	剂量率， μSv/h	限值， μSv/次	剂量率， μSv/次	限值，μSv/ 次
输运线	F1	中间段迷宫门外	3.43E-02	2.5	1.59E-04	2.5	9.54E-06	2.5	1.97E-04	1000
	F1a	中间段迷宫预留孔	8.86E-03	2.5	/	/	/	/	/	/
	F2	中间段强排风口	9.44E-02	2.5	/	/	/	/	4.79E-04	1000
	F3	末端迷宫门外	5.95E-04	2.5	7.13E-04	2.5	4.28E-05	2.5	/	/
	F4	束流输运线室外顶部地面（标高 50cm）	1.02E-02	2.5	/	/	/	/	1.15E-04	1000
	F4a	束流输运线室内顶部地面（标高 0cm）	3.67E-02	2.5	4.71E-01	2.5	2.82E-02	2.5	2.49E-04	1000
	F4b	束流输运线顶部中间段准直孔 P3 屏蔽外	3.49E-03	2.5	/	/	/	/	/	/
	F5	西墙与土层交界面	2.06E-01	5000	4.15E+00	5000	2.49E-01	5000	/	/

	F6	东墙与土层交界面	1.04E-01	5000	2.38E+00	5000	1.43E-01	5000	/	/
	F7	爬坡段出口不锈钢盖板上方	1.09E+03	无	4.66E+00	无	2.80E-01	无	/	/
	F7a	爬坡段出口围栏外	3.28E+02	无	1.54E+00	5000	9.25E-02	5000	/	/
隧道名称	关注点编号及名称		工作模式							
			正常运行（非注入）		首次注入		补充注入		事故工况	
			剂量率， μSv/h	限值， μSv/h	剂量，μSv/ 次	限值 ^{a)} ， μSv/次	剂量率， μSv/h	限值， μSv/h	剂量，μSv/ 次	限值，μSv/ 次
储存环	A1	注入区内墙外	6.60E-03	2.5	6.77E-02	14	4.58E-01	2.5	/	/
	A2	非注入区内墙外	1.98E-01	2.5	5.50E-03	14	3.72E-02	2.5	3.70E+01	1000
	A3	注入区上游迷宫外	1.99E-01	2.5	7.70E-03	14	5.21E-02	2.5	/	/
	A4	注入区下游迷宫外	1.30E-01	2.5	2.07E-02	14	1.40E-01	2.5	3.01E+00	1000
	A5	注入区上游回风口侧屏蔽外	7.40E-02	2.5	1.39E-03	14	9.41E-03	2.5	/	/
	A6	注入区下游回风口侧屏蔽外	8.50E-01	2.5	2.25E-03	14	1.52E-02	2.5	/	/
	B1	注入区短墙外	2.23E-01	2.5	7.10E-03	14	4.80E-02	2.5	/	/
	B2	注入区短墙外	3.50E-02	2.5	4.00E-02	14	2.71E-01	2.5	/	/
	B3	注入区短墙外	1.07E-01	2.5	8.03E-02	14	5.43E-01	2.5	/	/
	B4	非注入区短墙外	1.74E-01	2.5	8.40E-02	14	5.68E-01	2.5	4.90E+00	1000
	B5	注入区长墙外	2.86E-02	2.5	1.37E-01	14	9.27E-01	2.5	/	/
	B6	注入区弧形长墙外	7.93E-03	2.5	3.79E-02	14	2.56E-01	2.5	/	/
	B7	非注入区长墙外	7.91E-02	2.5	6.65E-02	14	4.50E-01	2.5	2.59E+00	1000
	C1	注入区短墙地面电缆孔洞	9.00E-01	2.5	2.35E-02	14	1.59E-01	2.5	/	/
	C2	注入区长墙地面电缆孔洞	7.10E-03	2.5	7.24E-02	14	4.90E-01	2.5	/	/
	C3	非注入区短墙地面电缆孔洞	1.13E+00	2.5	7.72E-02	14	5.22E-01	2.5	/	/

C4	非注入区长墙地面电缆孔洞	2.20E-02	2.5	2.68E-03	14	1.81E-02	2.5	/	/
C5	注入区长墙地面三角孔洞	7.80E-02	2.5	1.06E-01	14	7.17E-01	2.5	/	/
D1	注入区顶屏蔽外	3.72E-03	10	6.50E-02	14	4.40E-01	10	/	/
D2	非注入区顶屏蔽外	1.91E-01 ^{c)}	10	3.60E-03	14	2.44E-02	10	7.15E+00	1000
D3	注入区短墙外高于铅屏蔽处 ^{b)}	3.48E-01	100	4.58E+00	14	3.10E+01	100	3.38E+00	/
D4	非注入区短墙外高于铅屏蔽处 ^{b)}	3.93E+00	100	2.66E+00	14	1.80E+01	100	8.00E+00	1000
D5	注入区上游回风口	1.95E+00	10	1.07E-01	14	7.24E-01	10	/	/
D6	注入区上游进风口	4.20E+00	10	9.30E-02	14	6.29E-01	10	/	/
D7	注入区下游回风口	1.54E+00	10	1.90E-02	14	1.29E-01	10	/	/
D8	注入区下游进风口	5.27E+00	10	1.89E-04	14	1.28E-03	10	/	/
D9	注入区混凝土和土层交界面	/	/	/	/	6.54E+01	5000	/	/

备注：a) “首次注入”模式下，储存环没有束流，为了快速使储存环达到 500mA 的供束流强，以 0.95nC-10Hz、50%注入效率进行大流强注入，需要的注入时间为 168s；根据同类型装置的运行经验，平均无故障时间为 100 小时左右，即运行 100 小时束流一次，需要从 0 到 500mA 重新大流强注入一次。从辐射防护最优化的角度考虑，由于首次注入模式占总运行时间较少，保守假设 HALF 每年运行 7200 小时，则保守估计全年大流强注入的总次数为 72 次，按全年 72 次、1mSv/年，导出单次剂量限值为 1mSv/年÷72 次/年=0.014mSv/次，即 14μSv/次。

b) 该位置人员不可达。

c) 该值为计算天空反散射时，表 3-13 采用的 H(d,t)的值。

5.2.1.5 剩余剂量率计算

剩余剂量率采用 FLUKA 程序进行计算。下面各图，给出了用 FLUKA 程序，模拟得到的各部分隧道或部件在持续运行 100 天、停机不同时间的剩余剂量率分布。

可以看出：HALF 作为一台电子加速器，其产生的感生放射性很小，只要停机 10 分钟，靠近束线处，约为 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ；停机 30 分钟、停机 4 小时的剩余剂量率，分别衰减为停机 10 分钟的 0.8、0.6 倍左右，衰减很慢，说明活化产生的主要短寿命核素，在 10 分钟里已经基本衰减完。

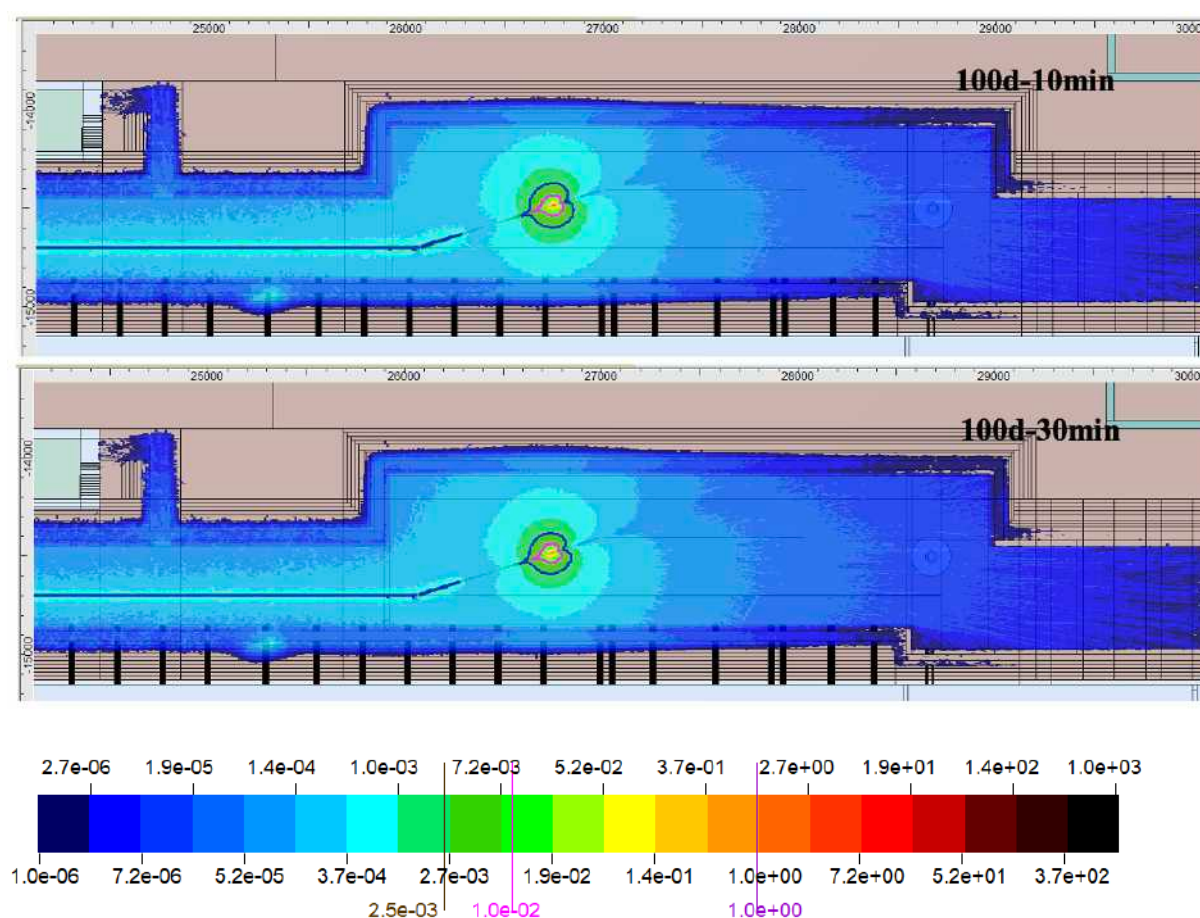


图 5-28 直线起始段连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）

由上图可以看出：直线起始段主要活化部件为能量狭缝 ES1，因其束流损失的能量高（120MeV）、流强大（5nA），聚束器虽然束流损失流强和 ES1 一样大，但其能量低（只有 15MeV），基本没有产生感生放射性。

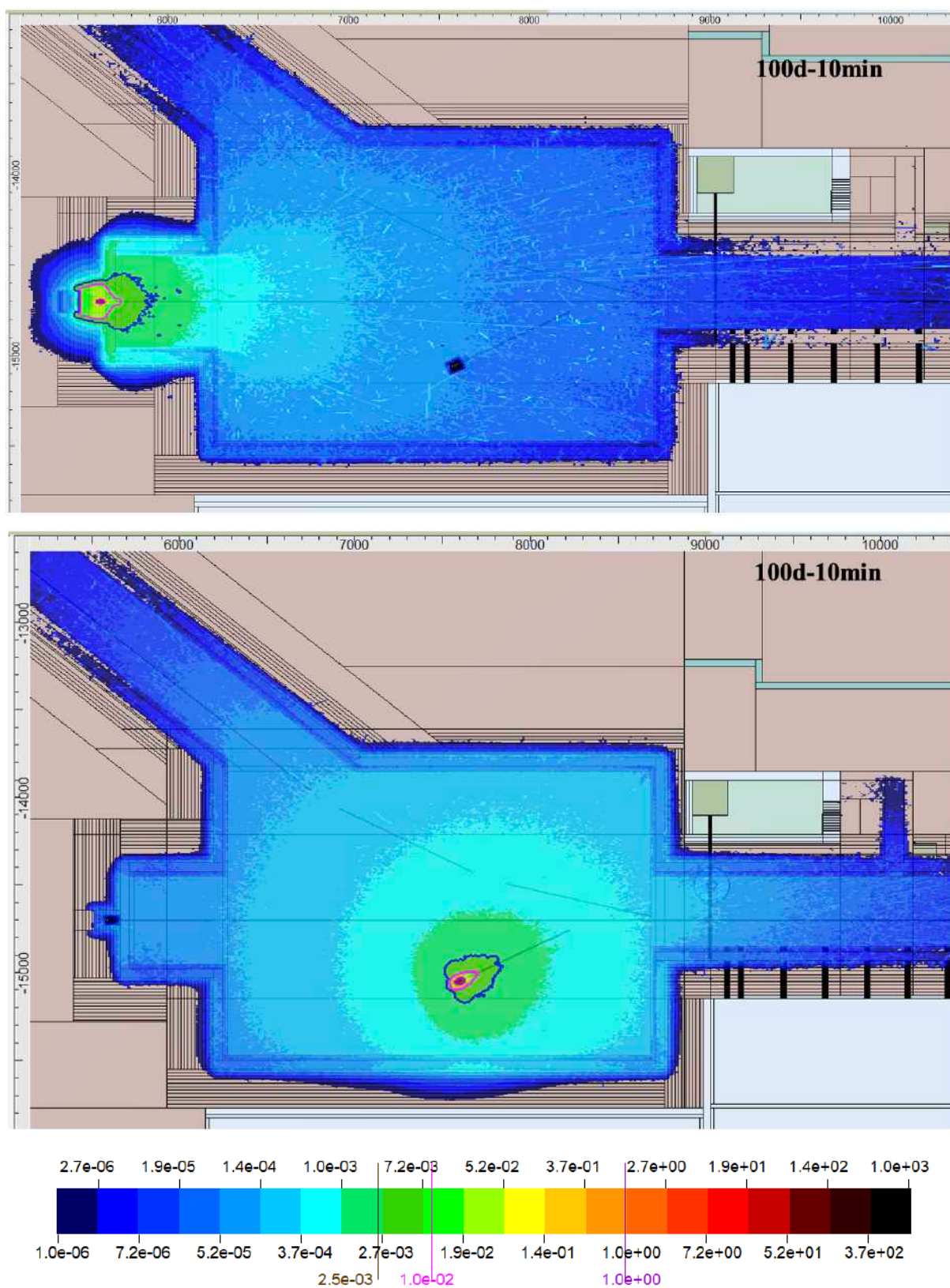
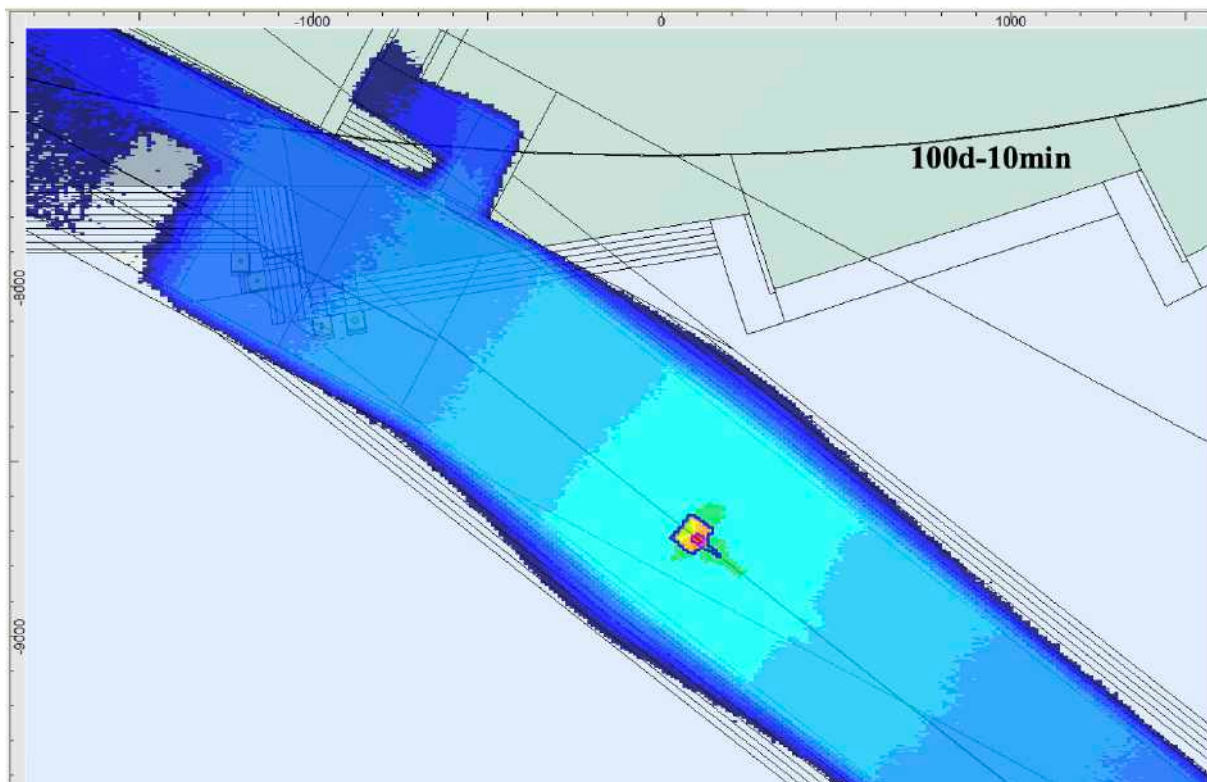


图 5-29 直线末端废束站和能谱测试线假设分别连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）

由上图可以看出：直线末端主要活化部件为两个废束站，其内部靶心的剩余剂量率最大约 115mSv/h，被废束站自屏蔽后，废束站外表面最大剂量率约 100 μ Sv/h，表面 30cm 处约 10 μ Sv/h；能谱测试线的 YAG 靶因为厚度很薄，产生的剩余剂量远小于其后端的废束站；受周围侧墙的影响，直线末端废束站的剂量要稍高于能谱测试线的废束站的剂量——实际上，能谱测试线使用的时间远小于直线末端废束站，实际运行时，这种差异应更为明显；整个直线末端的大部分区域在在 0.37~2.5 μ Sv/h 之间，与直线沿途距束线 30cm 处仅 0.7 μ Sv/h 相比，是一个辐射热点区域。



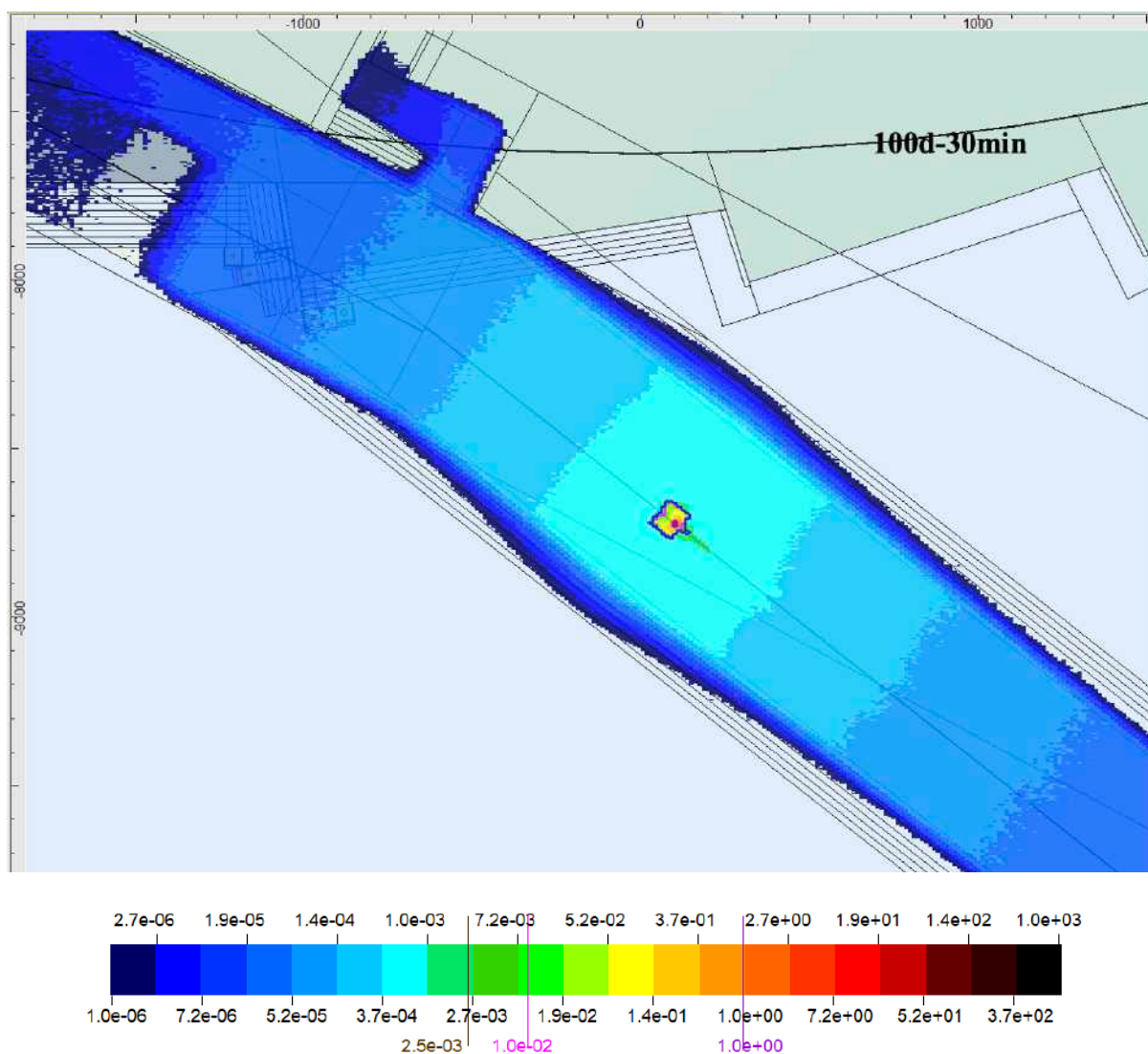
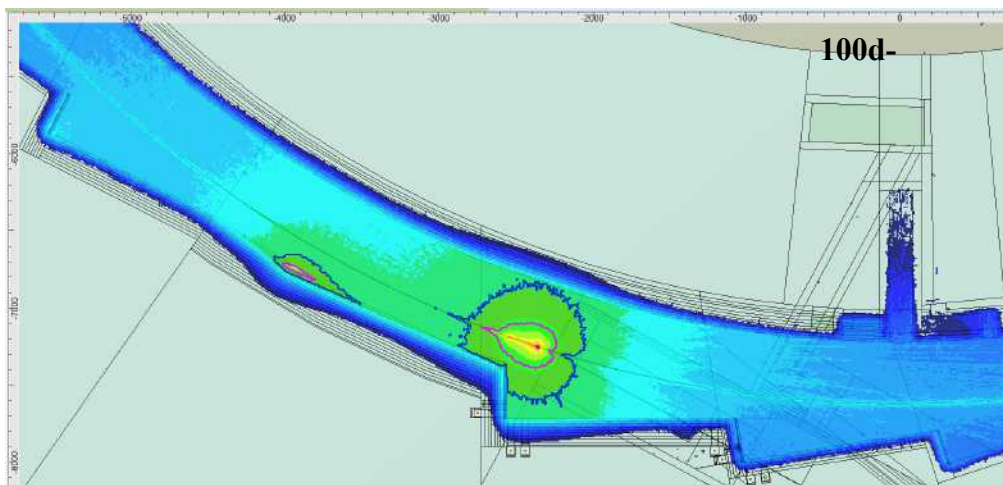
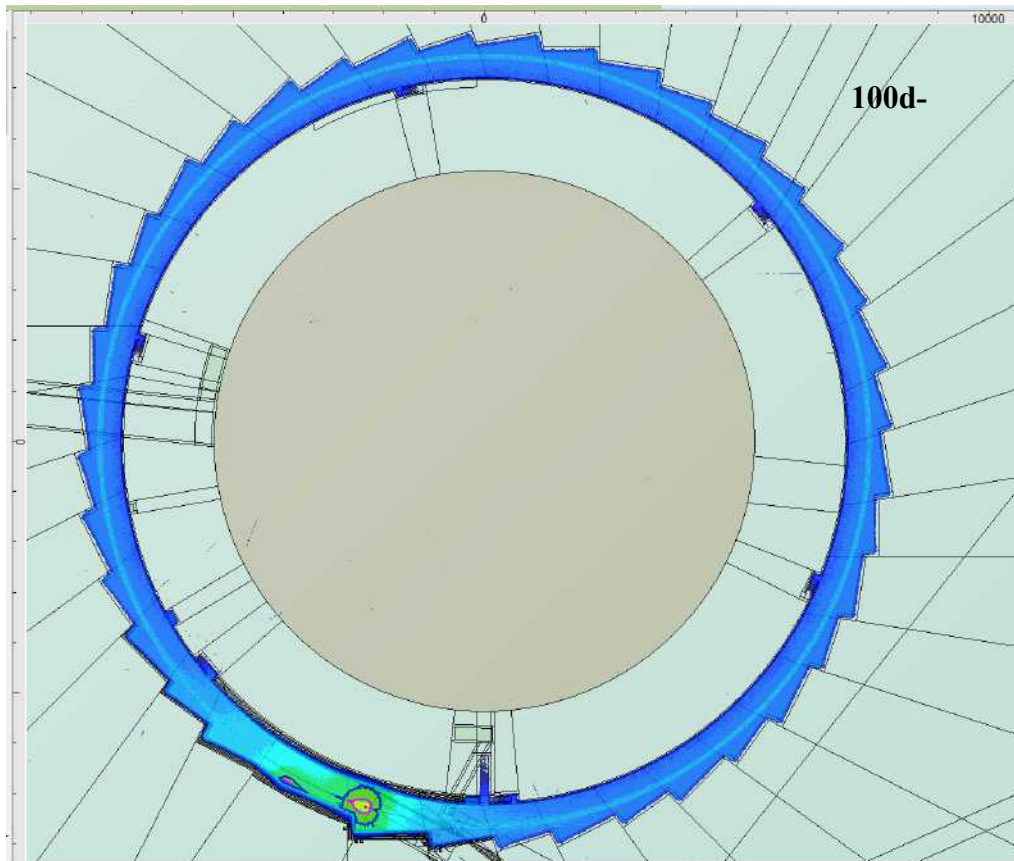


图 5-30 输运线末端束流闸以 0.5nA 连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）

由上图可以看出：束流闸靶心的剩余剂量率最大约 15mSv/h，被束流闸自屏蔽后，束流闸外表面最大剂量率约 1.6mSv/h，进一步被束流闸外包的屏蔽体屏蔽后，表面 30cm 处小于 2.5 μ Sv/h，距束流闸 2m 范围内剂量率>10 μ Sv/h，距束流闸 5m 范围内剂量率>2.5 μ Sv/h。束流闸的主要放射性核素为 Cu-64(半衰期 12.7h)、Cu-61(半衰期 3.33h)，停机 10 分钟后的活度浓度分别为 1.95E+05Bq/cm³ 和 2.2E+04Bq/cm³，均主要放出 511keV 伽马射线。



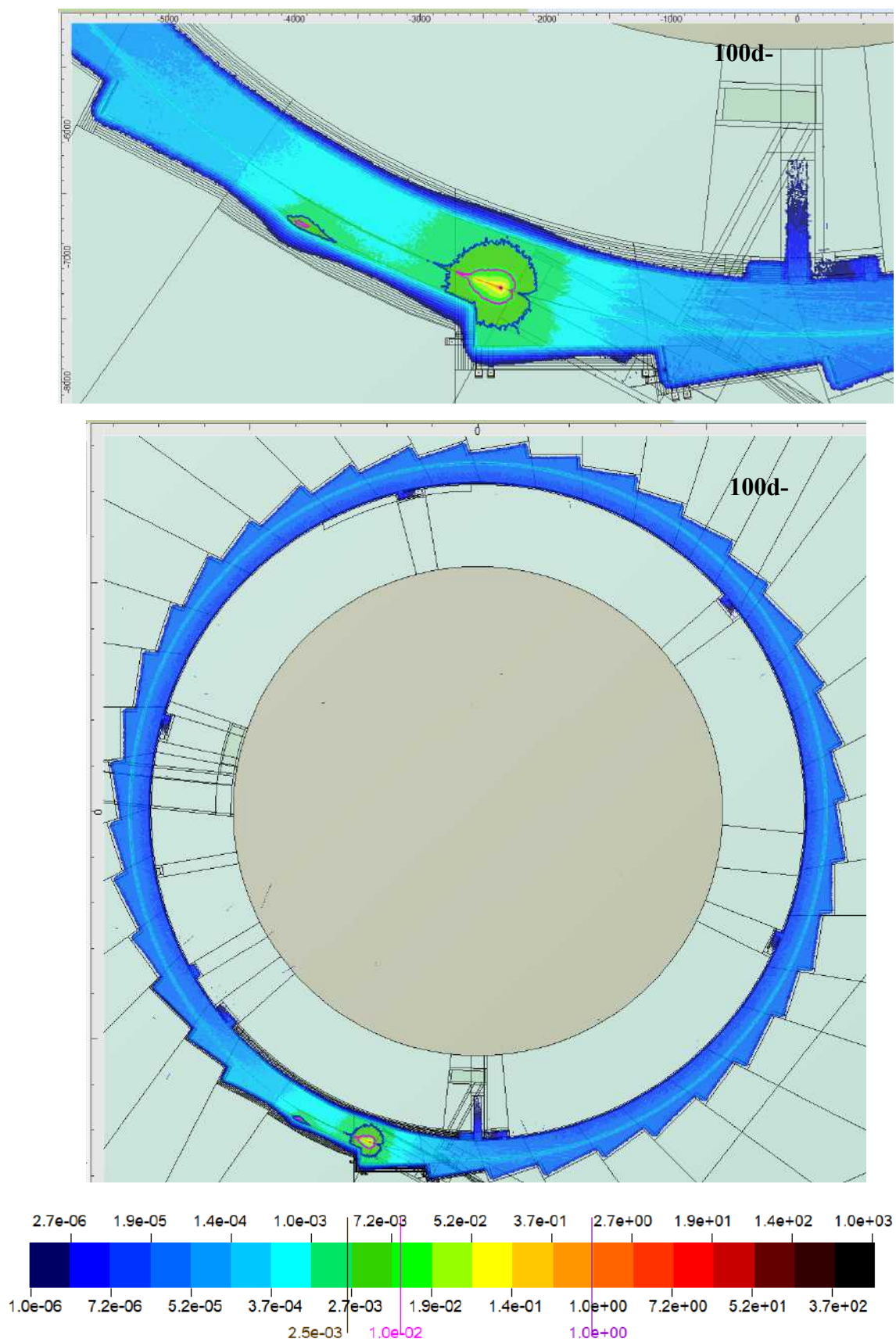


图 5-31 储存环连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布（单位：mSv/h）

由上图可以看出：注入点的剩余剂量率最大约 3.4mSv/h ，距注入点表面 30cm 处约 $150\mu\text{Sv/h}$ ，距束流闸 2m 范围内剂量率 $>10\mu\text{Sv/h}$ ，距束流闸 5m 范围内剂量率 $>2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

5.2.2 线站防护棚屋屏蔽体外剂量率计算

5.2.2.1 光学棚屋屏蔽计算

光学棚屋距离光源 29.56m ，长 6.5m ，宽 2m ，高 2.2m ，顶板厚 3mm ，侧壁厚 8mm ，端墙厚 55mm 。利用蒙特卡罗方法，计算得到侧墙、顶棚、下游端墙外侧的剂量率，如图 5-30、图 5-31 所示。可以看出，棚屋外的侧墙的剂量率均小于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的剂量率均小于 $1.5\mu\text{Sv/h}$ 。

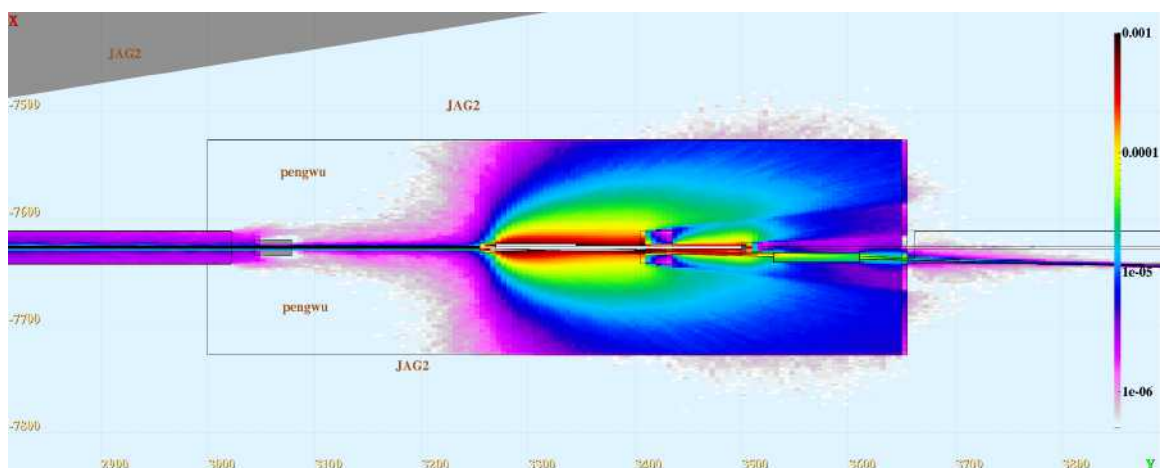


图 5-32 光学棚屋韧致辐射剂量分布俯视图，有色区域表示剂量率大于 $0.5\mu\text{Sv/h}$

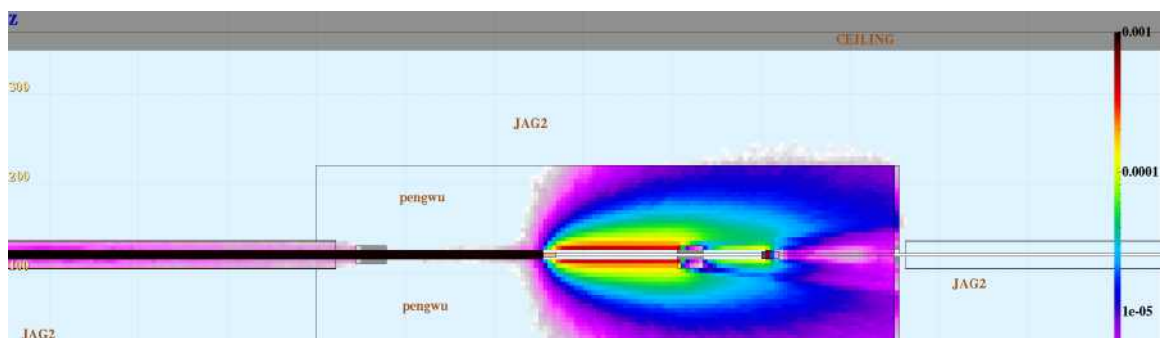


图 5-33 光学棚屋韧致辐射剂量分布侧视图，有色区域表示剂量率大于 $1.5\mu\text{Sv/h}$

5.2.2.2 白光支线实验棚屋屏蔽计算

棚屋距离光源 39.5m，长 3m，宽 3m，高 2.2m，侧墙 1mm，顶板 1mm，端墙 30mm。利用蒙特卡罗方法，计算得到侧墙、顶棚、下游端墙外侧的剂量率，如图 5-34、图 5-35 所示。可以看出，棚屋外的侧墙的剂量率均小于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ，顶部的剂量率均小于 $1.5\mu\text{Sv/h}$ 。

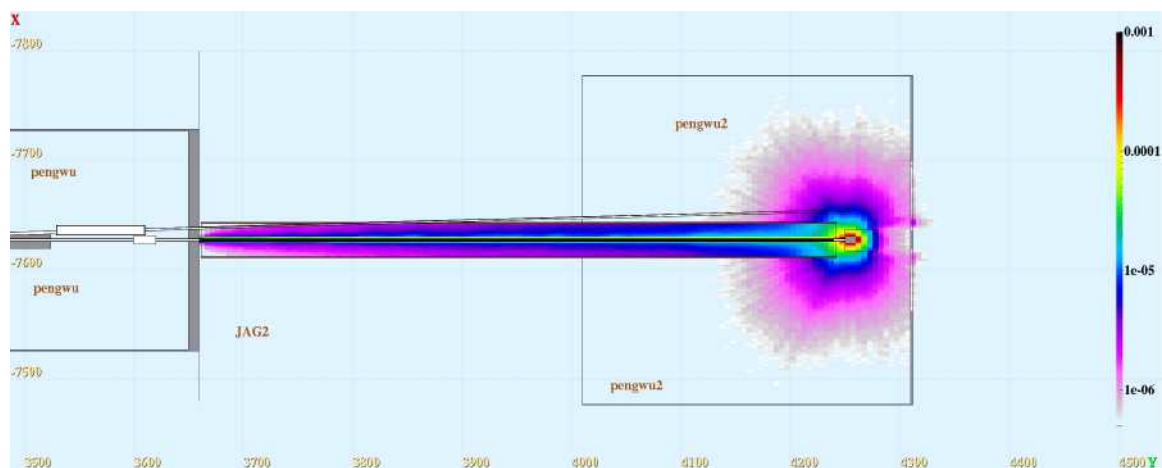


图 5-34 白光支线实验棚屋韧致辐射剂量分布俯视图，有色区域表示剂量率大于 $0.5\mu\text{Sv/h}$

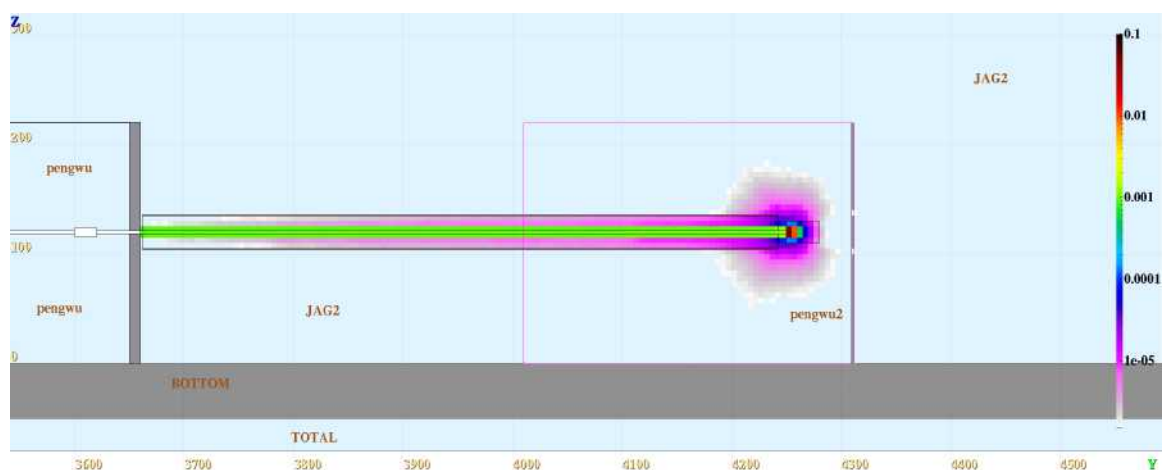


图 5-35 白光支线实验棚屋韧致辐射剂量分布侧视图，有色区域表示剂量率大于 $1.5\mu\text{Sv/h}$

5.2.2.3 束损辐射屏蔽计算

电子在注入时，可能会存在部分注入粒子直接损失在直线节上，引起韧致辐射通过

光束线真空管道直接泄漏到下游。按注入时有 2% 的电子损失在测试线的直线节上考虑，计算棚屋外的剂量率，结果如图 5-36 所示。可以看出，棚屋外的剂量率基本小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，可以认为不需要额外添加屏蔽。

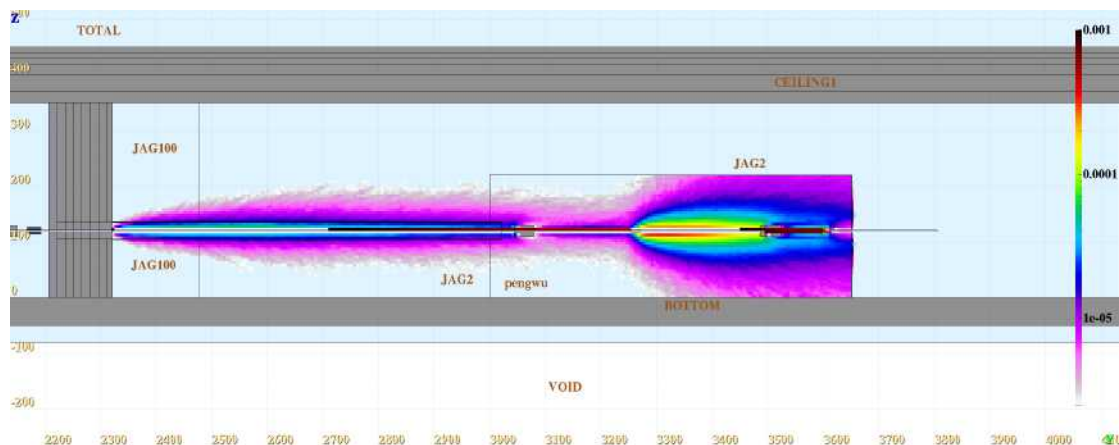


图 5-36 利用测试线设计参数，得到 2% 的电子损失在直线节上时，锯齿墙外侧的俯视剂量率分布，有色区域表示剂量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$

但对于管道中的辐射，在管道附近 80cm 内，剂量率将大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，应当考虑对管道添加额外屏蔽，如上图所示。经过计算可以在管道外 15cm 添加 4mm 的铅或 10mm 的铁，使管道外 10cm 处剂量率将小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，如图 5-37 所示。

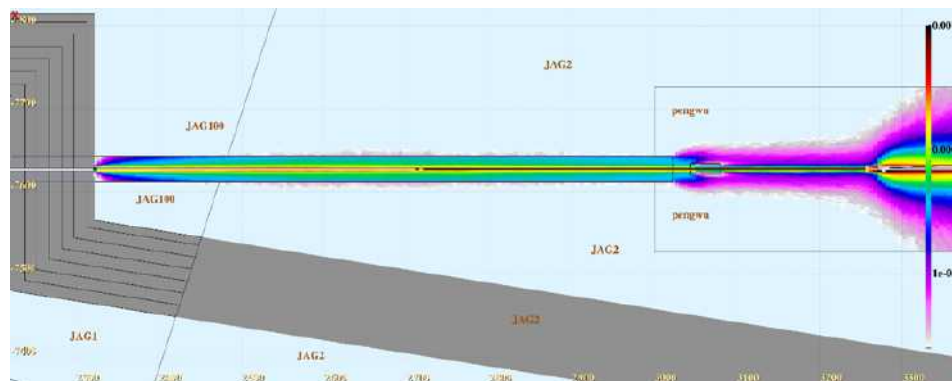


图 5-37 2% 注入电子损失在直线节管壁上，管道外 15cm 处添加 4mm 的铅，彩色区域表示剂量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$



图 5-38 2%注入电子损失在直线节管壁上，管道外 15cm 处添加 10mm 的铁，彩色区域表示剂量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$

5.2.2.4 同步辐射屏蔽计算

用 STAC08 软件对线站光学棚屋的侧墙、端墙、屋顶与锯齿墙下游管道所需屏蔽厚度进行了计算，侧墙一侧距离束流中心 1m，端墙与靶点距离 1m，屋顶距离束流中心 1m。

在侧墙与端墙处同步辐射最大剂量率随着 Pb 厚度的衰减如图 5-39 所示。LPU40 同步白光所需侧墙屏蔽厚度约 1mm Pb，所需端墙屏蔽厚度约 2mm Pb，此时侧墙处同步辐射剂量率为 $0.132\mu\text{Sv/h}$ ，端墙处的同步辐射剂量率为 $0.043\mu\text{Sv/h}$ 。

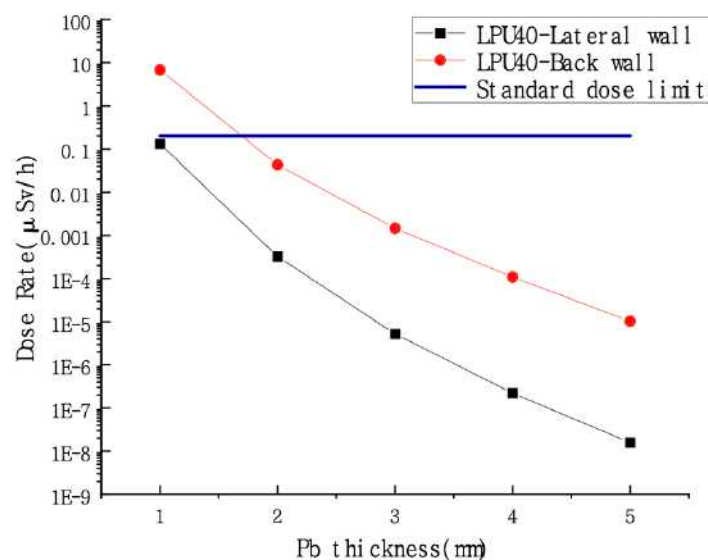


图 5-39 FOE 侧墙和端墙外同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化

LPU40 同步白光在端墙与束流呈不同立体角度所需的 Pb 屏蔽厚度为 2mm。LPU40

同步白光所需屋顶屏蔽厚度约 1mm Pb，此时屋顶处同步辐射剂量率为 0.132 μ Sv/h。

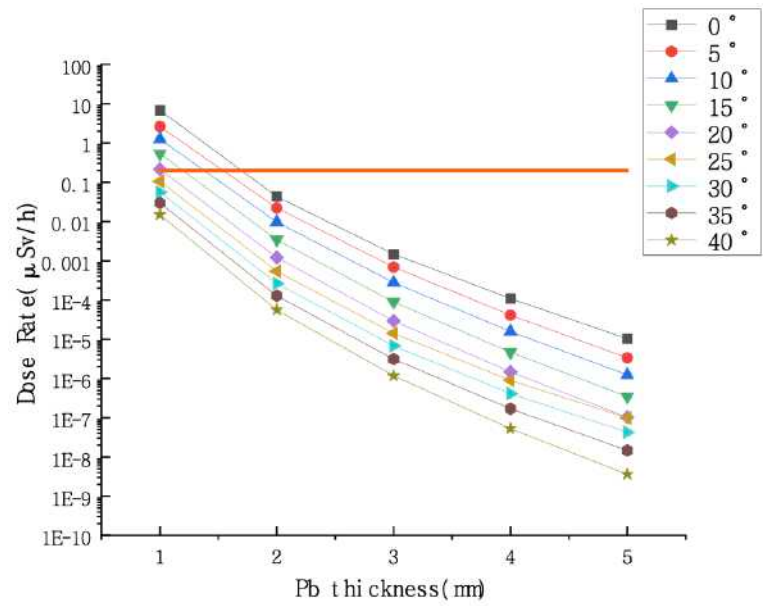


图 5-40 端墙与束流呈不同立体角度时同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化

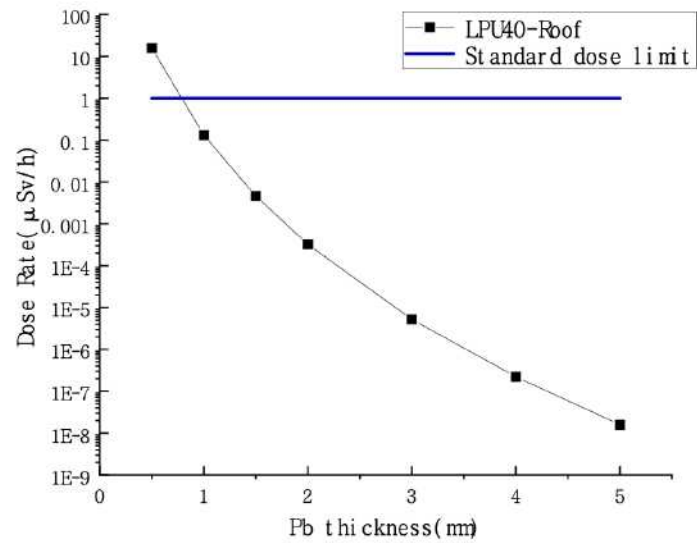


图 5-41 屋顶处同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化

在锯齿墙下游的管道外 10cm 处同步辐射最大剂量率随着 Pb 厚度的衰减如图 5-42 所示。LPU40 同步白光所需添加管道的铅壁壁厚为 1.5mm，此时管道外 10cm 处同步辐射剂量率为 0.00626 μ Sv/h。

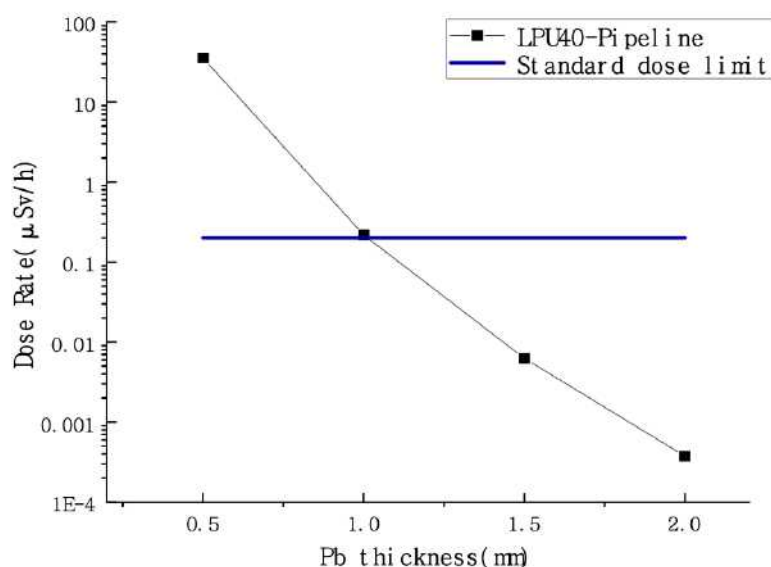


图 5-42 锯齿墙下游的管道外 10cm 处同步辐射剂量率随 Pb 厚度的变化

5.2.3 工作人员受照剂量估算

HALF 装置在安装调试期间、正常运行期间的出束时间如表 3-9、表 3-10 所示，维护维修期间的单次工作时间及每年维护维修次数如表 3-12 所示。辐射工作人员的工作负荷如表 3-11 所示。

工作人员受到的外照射剂量可由下式 5-1 进行计算：

$$H=D \times T \times t \quad (5-1)$$

式中，

H 为工作人员年受照剂量，mSv/a；

D 为工作人员所在区域剂量率，mSv/h；

T 为工作人员的居留因子；

t 为工作人员年受照时间，h/a。

5.2.3.1 工作人员所在关注点的剂量率水平汇总

本项目工作人员所在关注点的剂量率水平汇总如表 5-23 所示，表中直线加速器隧

道、输运线隧道、储存环隧道外关注点剂量率水平为表 5-22 关注点剂量率模拟结果中各个工作模式下的最大值。

表 5-23 工作人员所在关注点的剂量率水平汇总

关注点序号及名称			剂量率水平, $\mu\text{Sv/h}$
直线加速器隧道	E1	设备入口及前室	1.31E+00
	E2	始端迷宫门外	2.94E-02
	E3	中间段迷宫门外	3.06E-02
	E4	末端迷宫门外	4.28E-02
	E6	注入器洁净室	7.53E-04
	E7	速调管走廊	4.64E-03
输运线隧道	F1	中间段迷宫门外	3.43E-02
	F3	末端迷宫门外	5.95E-04
储存环隧道	A1	注入区内墙外	4.58E-01
	A2	非注入区内墙外	1.98E-01
	A3	注入区上游迷宫外	1.99E-01
	A4	注入区下游迷宫外	1.40E-01
	B1	注入区短墙外	2.23E-01
	B2	注入区短墙外	2.71E-01
	B3	注入区短墙外	5.43E-01
	B4	非注入区短墙外	5.68E-01
	B5	注入区长墙外	9.27E-01
	B6	注入区弧形长墙外	2.56E-01
	B7	非注入区长墙外	4.50E-01
	D1	注入区顶屏蔽外	4.40E-01
	D2	非注入区顶屏蔽外	1.91E-01
光束线站	光学棚屋屏蔽外		5.00E-01
	白光支线实验棚屋屏蔽外		5.00E-01
	FOE 墙外		1.32E-01

5.2.3.2 安装调试期间工作人员受照剂量估算

安装调试期间, 加速器安装调试工作人员主要受到加速器开机时的瞬发辐射和停机后进入隧道的感生放射性影响; 光束线站安装调试工作人员主要受到同步辐射光引出到光束线站的瞬发辐射影响。根据表 3-9, HALF 装置安装调试期间, 直线加速器的出束时间最多为 900h, 输运线的出束时间最多为 300h, 储存环的出束时间最多为 4800h, 光束线站的出束时间最多为 7920h。加速器安装调试工作人员共计 36 人, 光束线站安装调试工作人员共计 43 人, 按各区域的工作人员每天两班倒考虑, 工作人员的受照剂

量计算结果见表 5-24。

表 5-24 HALF 装置安装调试期间工作人员受照剂量计算结果

工作人员	辐射来源		剂量率水平, $\mu\text{Sv/h}$	受照时间, h	受照剂量, mSv	总计, mSv
加速器安装调试工作人员	瞬发辐射	直线加速器	1.31E+00	450	5.90E-01	3.32
		输运线	3.43E-02	150	5.15E-03	
		储存环	9.27E-01	2400	2.22E+00	
	感生放射性	隧道内部	5.00E-01	1000	5.00E-01	
光束线站安装调试工作人员	瞬发辐射	光束线站	5.00E-01	3960	1.98E+00	1.98
备注：隧道内的感生放射性水平，根据 5.2.1.5 节的计算结果，停机 10 分钟，靠近束线处约为 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。调试期间，保守假设工作人员每年在隧道内的调试时间按 1000h 计。						

5.2.3.3 正常运行期间工作人员受照剂量估算

正常运行期间，加速器运行工作人员主要受到加速器开机时的瞬发辐射和停机后进入隧道的感生放射性影响；光束线站联锁控制与数据处理工作人员主要受到同步辐射光引出到光束线站的瞬发辐射影响。根据表 3-10，HALF 装置正常运行期间，直线加速器的年出束时间最多为 720h，输运线的年出束时间最多为 720h，储存环的年出束时间最多为 7200h，光束线站的年出束时间最多为 5600h。加速器运行工作人员共计 11 人，光束线站联锁控制与数据处理工作人员共计 12 人，按各区域的工作人员每天两班倒考虑，工作人员的受照剂量计算结果见表 5-25。

表 5-25 HALF 装置正常运行期间工作人员受照剂量计算结果

工作人员	辐射来源		剂量率水平, $\mu\text{Sv/h}$	受照时间, h	受照剂量, mSv	总计, mSv
加速器运行工作人员	瞬发辐射	直线加速器	1.31E+00	360	4.72E-01	3.93
		输运线	3.43E-02	360	1.23E-02	
		储存环非首次注入	9.27E-01	3600	3.34E+00	
		储存环首次注入	1.37E-01 $\mu\text{Sv/次}$	72 次	9.86E-03	
	感生放射性	隧道内部	5.00E-01	200	1.00E-01	
光束线站联锁控制与数据处理工作人员	瞬发辐射	光束线站	5.00E-01	2800	1.40E+00	1.40
备注：1. 加速器运行工作人员还需考虑储存环“首次注入”工况造成的剂量。根据表 5-22，储存环“首次注入”在人员可达处造成的剂量最大值为 1.37E-01 $\mu\text{Sv/次}$ （B5 点：注入区长墙外），保守						

估计每年“首次注入”工况的总次数为 72 次，则加速器运行工作人员因“首次注入”工况造成的剂量最大为 9.86E-03mSv/a。

2. 隧道内的感生放射性水平，根据 5.2.1.5 节的计算结果，停机 10 分钟，靠近束线处约为 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ 。正常运行期间，保守假设工作人员每年在隧道内的工作时间按 200h 计。

5.2.3.4 维护维修期间工作人员受照剂量估算

维护维修期间装置不出束，加速器维护维修工作人员主要受到隧道内感生放射性的影响。进入各区域维护维修期间的单次工作时间及每年维护维修次数如表 3-12 所示。加速器维护维修工作人员共计 9 人，工作人员的受照剂量计算结果见表 5-26。

表 5-26 工作人员年工作负荷规划一览表

工作人员	工作地点	剂量率水平, $\mu\text{Sv/h}$	进入该区域单次维护维修的时间, h	每年的维护维修次数, 次	受照剂量, mSv	总计, mSv
加速器维护维修工作人员	直线加速器	100	1	15	1.5	3.75
	输运线	100	0.5	5	0.25	
	储存环	100	1	20	2	

备注：根据 4.4.2.1 小节，保守按控制区内维护维修工作点位的剂量率限值为 100 $\mu\text{Sv/h}$ 进行计算。

5.2.3.5 工作人员受照剂量汇总

本项目辐射工作人员受照剂量汇总见表 5-27。本项目辐射工作人员中加速器运行工作人员的受照剂量最大，为 3.93mSv/a，低于辐射工作人员剂量约束值 5 mSv/a。

表 5-27 本项目辐射工作人员受照剂量汇总

序号	工作人员类型	受照剂量, mSv/a
1	加速器安装调试工作人员	3.32
2	光束线站安装调试工作人员	1.98
3	加速器运行工作人员	3.93
4	光束线站联锁控制与数据处理工作人员	1.40
5	加速器维护维修工作人员	3.75

5.2.4 用户单位科研人员受照剂量

预计 HALF 建成后，用户单位科研人员每人每次实验在光源实验大厅停留约 48 小时，最长不会超过 84 小时。根据表 5-23，保守取用户单位科研人员工作位的剂量率为表 5-23 中光束线站关注点剂量率的最大值 0.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，每次工作时间取 84h，计算得到

用户单位科研人员每次实验的受照剂量为 0.042 mSv/次。按每年实验 4 次估计，用户单位科研人员年受照剂量为 0.168 mSv/a，低于用户单位科研人员剂量约束值 0.5 mSv/a。

5.2.5 公众的受照剂量估算

本项目各装置正常运行期间，对公众的辐射影响主要来自加速器开机出束期间产生的瞬发辐射直接外照射以及感生放射性气体的排放。

5.2.5.1 瞬发辐射照射

瞬发辐射主要影响对象为加速器屏蔽体外周围近距离范围内的公众，本项目主要考虑的公众关注点主要位于主体建筑外部，其所受瞬发辐射照射剂量由下式 5-2 计算。

$$H = D \times t \times T \times 1 \quad (5-2)$$

H 为公众的年受照剂量，mSv/a；

D 为公众所在区域剂量率，mSv/h；

t 为公众年受照时间，h/a；

T 为居留因子。

根据表 5-23，正常运行期间，HALF 屏蔽体外公众可达处剂量率最大为 $9.27\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （注入区长墙外），距离主体建筑外部公众的最近距离约 40 米，考虑到剂量率与距离平方成反比，则该公众处的剂量率约为 $1.14\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ 。按照储存环每年运行 7200h 计算，居留因子取 1/16，计算得到该处公众外照射的年受照剂量约为 $5.13\text{E-}03\text{mSv}$ 。

5.2.5.2 放射性气体排放造成的辐射剂量

本次评价使用 IAEA NO.19 报告《Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment》中推荐的简单稀释模式，估算加速器正常运行工况下放射性气态流出物的影响，放射性气体对公众的照射途径主要考虑空气浸没外照射和吸入内照射。计算时主要关注排风口近距离范围内公众的受照剂量。

表 5-28 加速器装置放射性排风口参数

排风高度, m	最靠近关注点的建筑物的最大截面积 A_b, m^2	临近最高建筑物高度 H_b, m
8	120	15.15

5.2.5.2.1 空气浸没外照射

(1) 与排风口近距离范围内的公众, $x \leq 2.5 \sqrt{A_b}$ ($x \leq 27m$)

根据 IAEA NO.19 号报告, 当 $x \leq 2.5 \sqrt{A_b}$ 时, 关注点处地面空气浓度可由式 5-3 计算:

$$c_{a,i} = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_b K} \quad (5-3)$$

式中,

$C_{a,i}$ 为距离排风口 x 米处核素 i 的地面空气浓度, Bq/m^3 ;

Q_i 为放射性核素 i 的年均排放率, Bq/s ; 由表 3-17 计算得到。

P_p 为一年中风吹向接收点所在扇形方位 p 的时间份额, 保守的取为 0.25;

u_a 为释放高度上年平均风速, m/s , 取值 $2m/s$;

K 为经验常数, m , 取值 $K=1m$;

(2) 与排风口距离 $x > 2.5 \sqrt{A_b}$ ($x > 27m$)

根据 IAEA NO.19 号报告, 当 $x > 2.5 \sqrt{A_b}$ 时, 关注点处地面空气浓度可由式 5-4 计算:

$$c_{a,i} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad (5-4)$$

式中:

B 为在下风距离 x 处的高斯扩散因子， $1/m^2$ ；由下式 5-5 计算。

σ_z 为垂直扩散参数，m，

$$B = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x \sum z}, \quad \sum z = \sigma_z^2 + A_b / \pi^{0.5}, \quad \sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0015x}} \quad (5-5)$$

各关注点处地面空气浓度计算结果列于表 5-29。

表 5-29 各关注点处地面空气浓度计算结果，Bq/m³

关注点	最近距离/m	¹¹ C	¹³ N	¹⁵ O	⁴¹ Ar
主体建筑外距离注入区长墙最近的公众	70	6.91E-03	1.03E-02	1.24E-02	4.98E-04
园区边界外的公众	100	4.27E-03	6.34E-03	7.64E-03	3.08E-04

空气浸没外照射剂量可由下式 5-6 计算：

$$H_A = t \cdot S_f \cdot C_{a,i} \cdot G_A \cdot T \quad (5-6)$$

式中： H_A 为空气浸没照射所致年受照剂量，Sv/a；

t 为年受照时间，s/a；取值 $3.15E+07s$ ；

S_f 为建筑物屏蔽因子，本次评价取 1；

G 为各放射性核素的空气浸没外照射剂量转换因子，见表 5-30，取值来自 IAEA NO.19；

T 为居留因子。

表 5-30 剂量转换因子

核素	剂量转换因子	
	空气浸没，(Sv/s)/(Bq/m ³)	吸入，Sv/ Bq
¹¹ C	4.89E-14	1.80E-11
¹³ N	4.90E-14	/
¹⁵ O	4.91E-14	/
⁴¹ Ar	6.50E-14	/

空气浸没外照射剂量计算结果见表 5-31。

表 5-31 空气浸没外照射剂量计算结果，Sv/a

关注点	距离，m	¹¹ C	¹³ N	¹⁵ O	⁴¹ Ar	总计
主体建筑外距离注入区长墙最近的公众	70	1.07E-08	1.59E-08	1.92E-08	1.02E-09	4.67E-08
园区边界外的公众	100	6.58E-09	9.80E-09	1.18E-08	6.31E-10	2.88E-08

5.2.5.2.2 吸入内照射

吸入内照射剂量可由式 5-7 计算：

$$H_{h-i} = t \cdot C_{a,i} \cdot u \cdot g_{h,i} \cdot T \quad (5-7)$$

式中：

H_{h-i} 为年吸入内照射待积有效剂量，Sv/a；

u 为公众个人正常情况下的呼吸率，m³/h，成人：1.2m³/h；

g_{h-i} 为吸入放射性核素 i 产生的待积有效剂量转换因子，Sv/Bq；

吸入内照射剂量计算结果见表 5-32。

表 5-32 吸入内照射剂量计算结果，Sv/a

关注点	距离，m	¹¹ C	¹³ N	¹⁵ O	⁴¹ Ar	总计
主体建筑外距离注入区长墙最近的公众	70	1.31E-09	/	/	/	1.31E-09
园区边界外的公众	100	8.08E-10	/	/	/	8.08E-10

5.2.5.2.3 总受照剂量

放射性气体排放所致关注点处公众总受照剂量计算结果列于表 5-33。

表 5-33 放射性气体排放所致关注点处公众总受照剂量计算结果，Sv/a

关注点	¹¹ C	¹³ N	¹⁵ O	⁴¹ Ar	总计
主体建筑外距离注入区长墙最近的公众	1.20E-08	1.59E-08	1.92E-08	1.02E-09	4.80E-08
园区边界外的公众	7.39E-09	9.80E-09	1.18E-08	6.31E-10	2.97E-08

5.2.5.3 公众受照剂量汇总

公众受照剂量计算结果汇总见表 5-34。由表 5-34 可看出项目运行期间对公众所致的最大个人剂量为 $5.18\text{E-}03\text{mSv/a}$ ，低于公众剂量约束值 0.1mSv/a 。

表 5-34 公众受照剂量汇总， mSv/a

序号	关注点	受照途径		总计， mSv/a
		瞬发辐射	放射性气体	
1	主体建筑外距离注入区长墙最近的公众	$5.13\text{E-}03$	$4.80\text{E-}05$	$5.18\text{E-}03$
2	园区边界外的公众	$5.13\text{E-}03$	$2.97\text{E-}05$	$5.16\text{E-}03$

5.3 事故工况下的环境影响

5.3.1 事故情景

加速器的核心是加速器，其辐射场是瞬发性的，装置一旦停机，能造成环境影响的辐射源立即消失，且不会再引起周边介质的活化。

本项目运行期间可能发生的事故主要有：

(1) 误照射事故：安全联锁系统失效、人员误入加速器隧道和线站控制区内部造成的误照射事故；工作人员在加速器隧道和线站控制区内部工作期间，加速器出束造成的误照射事故。

(2) 源库放射源丢失：本项目在技术安全楼的刻度室使用Ⅳ、Ⅴ类放射源进行监测设备的刻度工作，在使用放射源的过程中，可能会出现放射源丢失的情况。

5.3.2 事故后果分析

(1) 误照射事故后果分析

加速器设计有功能齐全、安全冗余的高安全等级的安全联锁系统，设有分区控制、清场搜索、紧急停机、声光报警器等安全设备和措施。通过搜索清场功能保障了人员在束流开启前及时离开控制区，防止人员被困在高辐射水平的控制区内；通过急停按钮、紧急开门等功能保障万一发生人员被困或误入正在出束的控制区内、或设备异常等情况时可以紧急关闭辐射源；声光报警和状态指示功能使工作人员了解工作情况，提示

人员远离高辐射水平的区域。通过这些措施能够有效防止误入事故的发生。因此，人员误照射事故发生的概率非常小。此外，为防止人员误照射事故的发生，可采取以下措施加强防范：

1) 为防止各项安全联锁硬件设施失效，应定期检查并确认安全联锁设施的有效性。

2) 开机出束前，撤离加速器控制区时应清点人数，必须按照既定的清场搜索路线和顺序对各区域进行清场。出束期间一旦发现有人员滞留，就近按下急停按钮。工作人员进入控制区内部工作时应随身佩戴有效的剂量报警仪，以便随时了解控制区内的辐射水平并在辐射水平超出阈值时发出报警信号。

3) 辐射工作人员需加强专业知识学习，加强辐射安全与防护培训，严格遵守操作规程和规章制度。管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

4) 做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

(2) 源库放射源丢失后果分析

本项目使用的放射源为IV、V类放射源。放射源贮存地点为技术安全楼一层的源库，使用地点为技术安全楼一层的刻度室，两间房间相邻，放射源工作转运路线较短，发生丢源事故的概率很低。为避免此类事故的发生，要切实加强放射源的登记、使用、贮存的管理工作，定期检查源库安防措施，提高工作人员的事故防范意识。

6 辐射安全管理

6.1 机构与人员

6.1.1 辐射安全与环境保护管理机构及职责

为进一步加强辐射安全与环境保护管理工作，中国科学技术大学设立了核与辐射安全管理委员会，人员组成如下：

主 任：包信和

副主任：王晓平

成 员：王 兵 刘华荣 刘明侯 刘 斌 闫立峰 李良彬 张宪锋 陈卫东

陈向军 金长江 赵 钢 徐允河 黄 方 蒋诗平 褚建勋 魏海明

核与辐射安全管理委员会下设实验室安全办公室，具体负责学校辐射安全与环境保护管理工作，包括负责建立健全学校实验室安全管理制度，开展实验室安全评估、检查和整改督导，组织和监督各学院、重点科研机构开展实验室安全管理、教育培训等。

6.1.2 辐射工作人员管理

中国科学技术大学现有 270 名辐射工作人员，已全部获得辐射安全与防护培训/考核合格证书。本项目计划配备 112 名辐射工作人员，详见表 6-1。中国科学技术大学将严格按照要求，承诺今后新增辐射工作人员时，在上岗前参加生态环境部门认可的电离辐射安全与防护考核，考核合格者方可上岗，在成绩有效期过期前再次考核，现有辐射工作人员在现有培训证书过期前参与考核，考核不合格的人员，不得从事辐射工作。

根据国家核安全局文件《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发[2015]40 号）的规定，“销售（含建造）、使用Ⅰ类射线装置的单位，辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，新申领辐射安全许可证单位的辐射安全关键岗位在取证前由注册核安全工程师担任。”本项目计划配备 1 名注册核安全工程师作为辐射防护负责人，负责辐射安全监督与防护管理工作，详见表 6-2。

[illegible]

№	Наименование	Содержание	Ссылка
1	1.1	1.1.1	1.1.1.1
2	2.1	2.1.1	2.1.1.1
3	3.1	3.1.1	3.1.1.1
4	4.1	4.1.1	4.1.1.1
5	5.1	5.1.1	5.1.1.1
6	6.1	6.1.1	6.1.1.1
7	7.1	7.1.1	7.1.1.1
8	8.1	8.1.1	8.1.1.1
9	9.1	9.1.1	9.1.1.1
10	10.1	10.1.1	10.1.1.1
11	11.1	11.1.1	11.1.1.1
12	12.1	12.1.1	12.1.1.1
13	13.1	13.1.1	13.1.1.1
14	14.1	14.1.1	14.1.1.1
15	15.1	15.1.1	15.1.1.1
16	16.1	16.1.1	16.1.1.1
17	17.1	17.1.1	17.1.1.1
18	18.1	18.1.1	18.1.1.1
19	19.1	19.1.1	19.1.1.1
20	20.1	20.1.1	20.1.1.1
21	21.1	21.1.1	21.1.1.1
22	22.1	22.1.1	22.1.1.1
23	23.1	23.1.1	23.1.1.1
24	24.1	24.1.1	24.1.1.1
25	25.1	25.1.1	25.1.1.1
26	26.1	26.1.1	26.1.1.1
27	27.1	27.1.1	27.1.1.1
28	28.1	28.1.1	28.1.1.1
29	29.1	29.1.1	29.1.1.1
30	30.1	30.1.1	30.1.1.1
31	31.1	31.1.1	31.1.1.1
32	32.1	32.1.1	32.1.1.1
33	33.1	33.1.1	33.1.1.1
34	34.1	34.1.1	34.1.1.1
35	35.1	35.1.1	35.1.1.1
36	36.1	36.1.1	36.1.1.1
37	37.1	37.1.1	37.1.1.1
38	38.1	38.1.1	38.1.1.1
39	39.1	39.1.1	39.1.1.1
40	40.1	40.1.1	40.1.1.1
41	41.1	41.1.1	41.1.1.1
42	42.1	42.1.1	42.1.1.1
43	43.1	43.1.1	43.1.1.1
44	44.1	44.1.1	44.1.1.1
45	45.1	45.1.1	45.1.1.1
46	46.1	46.1.1	46.1.1.1
47	47.1	47.1.1	47.1.1.1
48	48.1	48.1.1	48.1.1.1
49	49.1	49.1.1	49.1.1.1
50	50.1	50.1.1	50.1.1.1
51	51.1	51.1.1	51.1.1.1
52	52.1	52.1.1	52.1.1.1
53	53.1	53.1.1	53.1.1.1
54	54.1	54.1.1	54.1.1.1
55	55.1	55.1.1	55.1.1.1
56	56.1	56.1.1	56.1.1.1
57	57.1	57.1.1	57.1.1.1
58	58.1	58.1.1	58.1.1.1
59	59.1	59.1.1	59.1.1.1
60	60.1	60.1.1	60.1.1.1
61	61.1	61.1.1	61.1.1.1
62	62.1	62.1.1	62.1.1.1
63	63.1	63.1.1	63.1.1.1
64	64.1	64.1.1	64.1.1.1
65	65.1	65.1.1	65.1.1.1
66	66.1	66.1.1	66.1.1.1
67	67.1	67.1.1	67.1.1.1
68	68.1	68.1.1	68.1.1.1
69	69.1	69.1.1	69.1.1.1
70	70.1	70.1.1	70.1.1.1
71	71.1	71.1.1	71.1.1.1
72	72.1	72.1.1	72.1.1.1
73	73.1	73.1.1	73.1.1.1
74	74.1	74.1.1	74.1.1.1
75	75.1	75.1.1	75.1.1.1
76	76.1	76.1.1	76.1.1.1
77	77.1	77.1.1	77.1.1.1
78	78.1	78.1.1	78.1.1.1
79	79.1	79.1.1	79.1.1.1
80	80.1	80.1.1	80.1.1.1
81	81.1	81.1.1	81.1.1.1
82	82.1	82.1.1	82.1.1.1
83	83.1	83.1.1	83.1.1.1
84	84.1	84.1.1	84.1.1.1
85	85.1	85.1.1	85.1.1.1
86	86.1	86.1.1	86.1.1.1
87	87.1	87.1.1	87.1.1.1
88	88.1	88.1.1	88.1.1.1
89	89.1	89.1.1	89.1.1.1
90	90.1	90.1.1	90.1.1.1
91	91.1	91.1.1	91.1.1.1

[illegible]

6.2 辐射安全管理规章制度

为了加强学校放射性同位素和射线装置的安全和防护管理，根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性废物安全管理条例》等，并结合学校实际，中国科学技术大学制定了《中国科学技术大学放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》，内容涵盖了辐射安全和防护管理的组织机构、场所的安全与防护措施、放射性同位素和射线装置使用管理、废旧放射性源与放射性废物的管理、辐射工作人员安全与防护管理、辐射事故管理等内容。

为了加强装置调试期间的辐射安全管理，中国科大制定了《合肥先进光源（HALF）调试期间辐射安全管理制度》，内容涵盖了管理制度的适用范围、调试期间对人员的培训考核要求、调试工作期间的操作规程、辐射防护安全要求等内容，可确保装置调试期间的辐射安全。

对于用户单位科研人员等外来人员，中国科学技术大学已制定有相应的管理制度《实验人员及来访者辐射安全守则》，根据本项目实际特点完善后，可以确保用户单位科研人员等外来人员在本项目运行过程中的辐射安全。

中国科学技术大学应根据本项目建设内容和特点，在本项目建成运行前，制定或完善操作规程、设备检修维护、放射性废物处理、辐射监测、应急预案等规章制度，确保本项目运行过程中的辐射安全。

6.3 辐射监测

本项目辐射监测总体包括个人剂量监测、工作场所监测和环境监测。

6.3.1 个人剂量监测

本项目辐射工作人员个人剂量监测采取累积式个人剂量计监测为主，个人剂量报警仪为辅的方式进行。本项目配备的个人剂量计和个人剂量报警仪均需具有监测 X- γ 和中子的功能。

个人剂量计用于对辐射工作人员的常规个人剂量监测。中国科学技术大学要求在岗的所有辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人剂量计每 3 个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。本项目辐射工作人员均已配备个人剂量计，进入辐射工作场所必须正确佩戴，定期进行个人剂量监测。发现个人剂量监测结果异常的，应立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。

个人剂量报警仪用于辐射工作人员在控制区内部工作时使用，报警仪能够实时显示工作人员该次工作的受照剂量和场所的剂量率水平，能够进行实施剂量预警。

中国科学技术大学安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终生保存。

此外，中国科学技术大学对辐射工作人员进行健康体检，两次体检的时间间隔不超过 2 年。建立个人健康档案，档案中详细记录历次体检报告结果及其评价处理意见，并妥善长期保存。

6.3.2 辐射工作场所监测

本项目工作场所监测包括自行监测和委托有资质单位监测两种类型，自行监测采用安装固定式监测仪表和便携式监测仪表相结合的方式，监测数据记录存档。具体辐射工作场所监测计划列于表 6-3。

表 6-3 辐射工作场所监测计划表

监测类别	监测内容	监测项目	监测方式	监测点位	监测频次
自行监测	贯穿辐射	γ 辐射剂量率、中子剂量当量率	固定式仪表监测	如图 4-23、图 4-24、图 4-25 所示。	实时
			便携式仪表巡测	屏蔽墙外、防护门外、监督区边界、控制室、办公室等人员长居留场所	1 次/月
委托监测	贯穿辐射	γ 辐射剂量率、中子剂量当量率	便携式仪表巡测	同自行监测点位	1 次/年

6.3.3 辐射环境监测

本项目辐射环境监测包括自行监测和委托有资质单位监测两种类型，监测数据记录存档，具体环境监测计划列于表 6-4。

在园区四周设 5 个固定式环境监测点位，如图 4-26 所示。该监测点设固定式中子、X/γ 探测器各 1 个，用于对环境 neutron、X/γ 辐射水平进行实时监测。监测数据通过有线或无线通讯设备实时传输至终端数据处理中心。

表 6-4 本项目环境监测计划

监测类别	监测内容	监测项目	监测方式	监测点位	监测频次
自行监测	贯穿辐射	γ 辐射剂量率、中子剂量当量率	固定式仪表监测	共 5 个点，如图 4-26 所示	实时
			便携式仪表监测	园区内外环境敏感点处	1 次/月
	固体废物外表面	γ 辐射剂量率	便携式仪表监测	放射性固体废物暂存间	收集及送贮时
委托监测	贯穿辐射	γ 辐射剂量率、中子剂量当量率	便携式仪表监测	同自行监测点位	1 次/年
	循环冷却水	^3H 、 ^7Be 、总 β 活度浓度	取样分析	活化冷却水集水坑和暂存池	1 次/年
	土壤	^7Be 、 ^{22}Na 、总 β 活度浓度	取样分析	园区东、南、西、北四侧的土壤	1 次/年

6.3.4 监测设备

本项目拟配备的主要监测设备包括：固定式 γ 探测器、固定式中子探测器、便携式中子巡测仪、便携式 γ 巡测仪、便携式表面污染仪、个人剂量计和个人剂量报警仪等，具体见表 4-7。

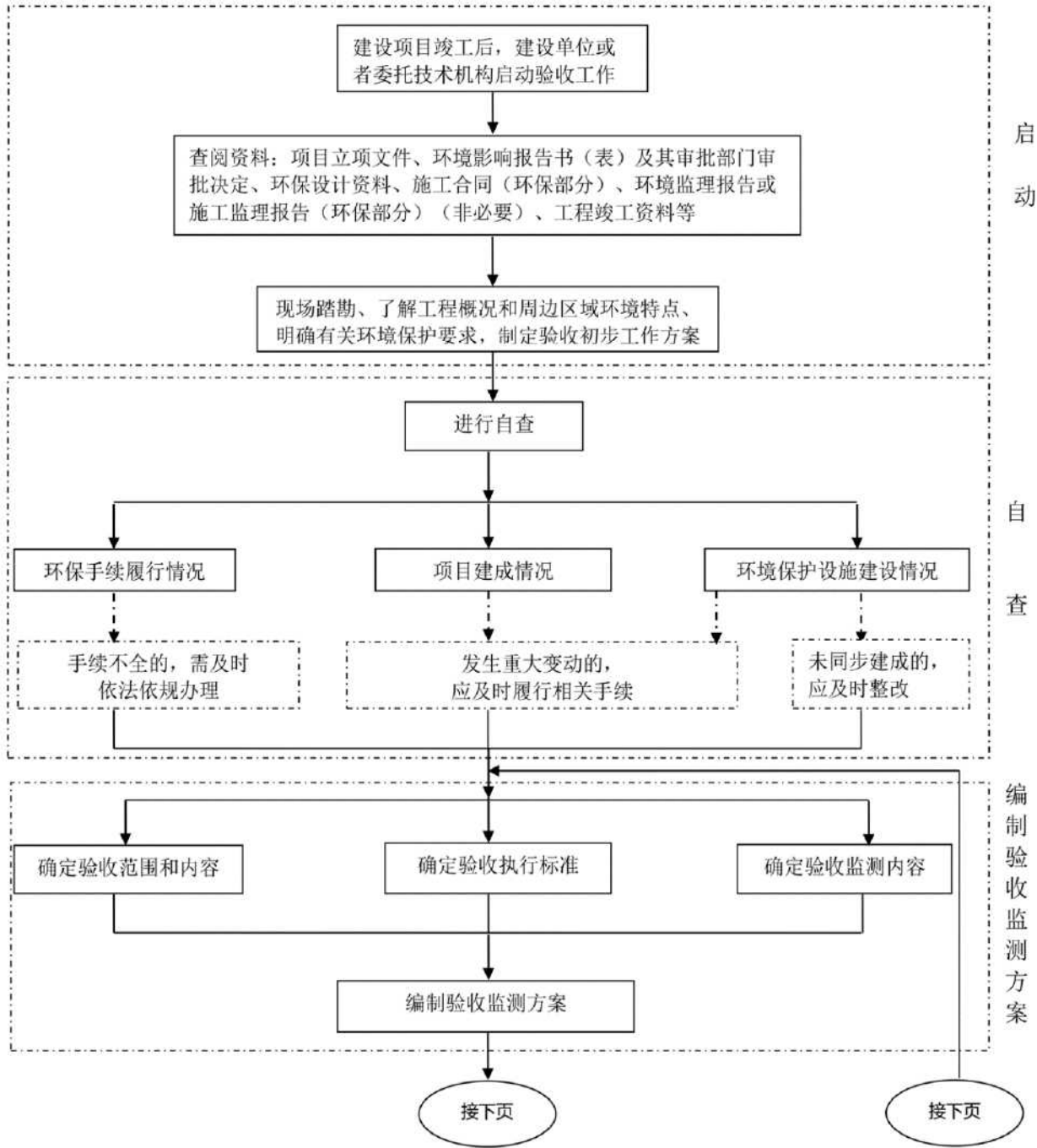
6.3.5 竣工环保验收监测

为有效落实环境保护“三同时”要求，确保环保设施的有效性，根据《建设项目环境保护管理条例》、《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》等法规的要求，本项目竣工后，建设单位应自主开展竣工环保验收工作，对本项目相关环境保护设施的建设、调试、管

理及其效果和污染物排放情况开展查验和监测工作，编制验收监测报告。

6.3.5.1 工作流程

建设单位承诺将在射线装置调试阶段委托有资质的检测机构对周围环境开展竣工环保验收监测。参照《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》，本项目竣工环保验收监测的工作流程如图 6-1 所示。



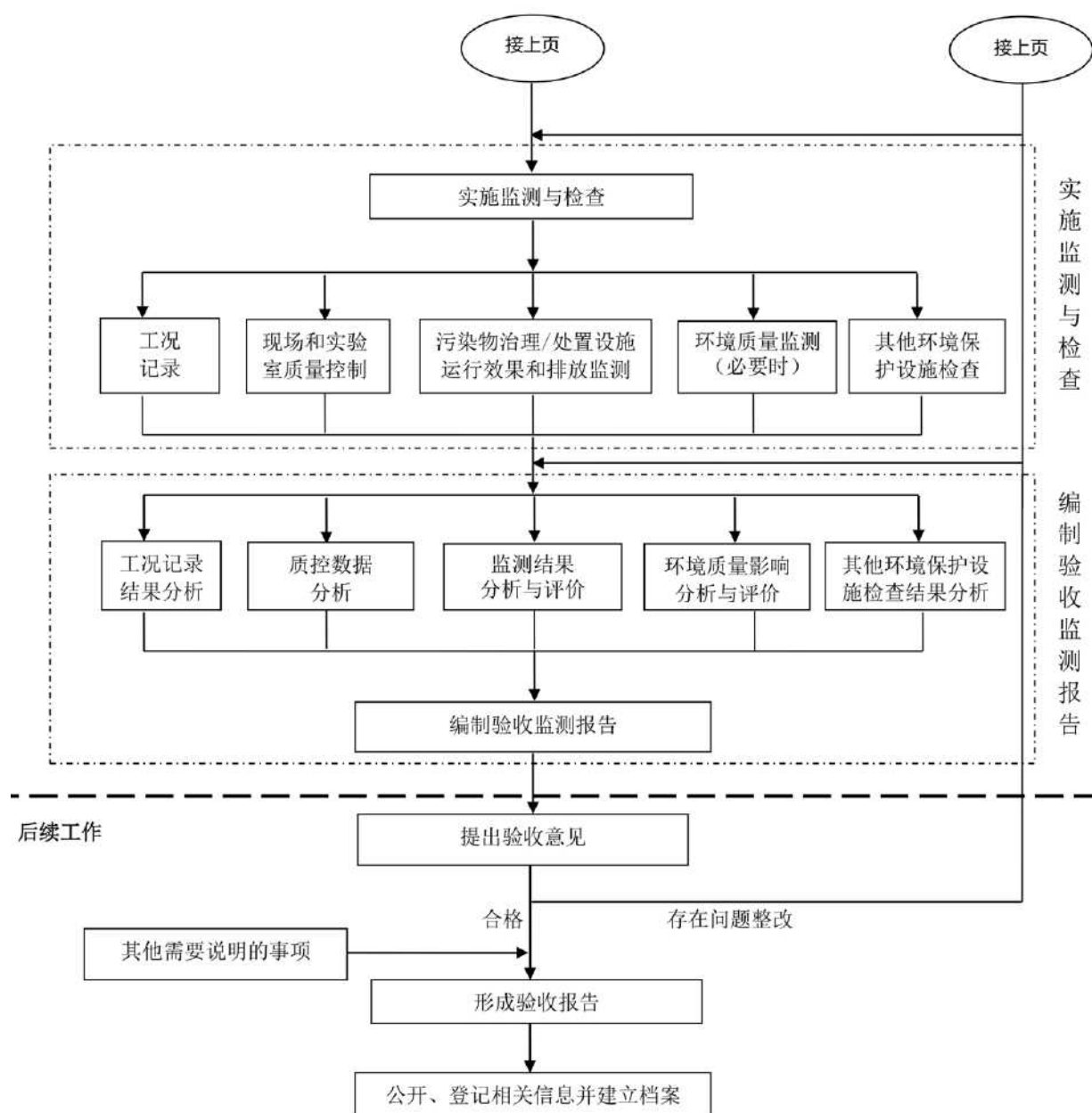


图 6-1 竣工环保验收工作流程

6.3.5.2 验收监测方案

结合项目运行期间的污染源特点、辐射环境质量现状调查因子等，制定了本项目竣工环保验收监测方案，具体见表 6-5。

表 6-5 竣工环保验收监测方案

监测对象	监测项目	监测点位	监测工况
控制区 内部辐射水平	γ 辐射剂量率、 中子剂量率	迷宫口、束流管、废束站、 束流闸、注入区等区域	射线装置连续运行一 段时间，停机 1 天后。
控制区 外部辐射水平	γ 辐射剂量率、 中子剂量率	控制区外部四周和屋顶屏蔽 墙体外、防护门外、监督区 边界、控制室、实验室、办 公室等人员长居留场所。	1.射线装置开机运行： 2.射线装置停机。
园区内部环 境辐射水平	γ 辐射剂量率、 中子剂量率	主体建筑外部均匀布点	
园区外部环 境辐射水平	γ 辐射剂量率、 中子剂量率	园区外部周边环境敏感点处	
循环冷却水 （若有）	^3H 、 ^7Be 、总 β 活度浓度	循环冷却水集水坑和暂存池	调试、运行期间若有冷 却水排放，取样并委托 有资质单位监测。
土壤	^7Be 、 ^{22}Na 、总 β 活度浓度	A-1 号楼周围东、南、西、 北四侧的土壤	装置完成调试可正常 出束使用一次后。

6.4 辐射事故应急

中国科学技术大学依据《中华人民共和国突发事件应对法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关法律法规制定了关于全校辐射项目的《中国科学技术大学辐射事故应急预案》，内容涵盖了辐射事故风险分析、应急指挥机构及职责、处置程序、应急保障、预案的修订与实施、应急联系方式、应急物资清单等，一旦发生辐射事故能快速响应，采取有效措施保护辐射工作人员、公众的健康和安全。

发生辐射事故时，应立即启动辐射事故应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。同时，需进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并做好详细的监测记录。

中国科学技术大学应结合本项目建设内容和特点，对应急预案进行补充完善。

6.5 申请者从事辐射工作能力评价

6.5.1 辐射安全与环境保护管理

中国科学技术大学辐射安全与防护管理工作具体如下：

为进一步加强辐射安全与环境保护管理工作，中国科学技术大学设立了核与辐射安全管理委员会。核与辐射安全管理委员会下设实验室安全办公室，具体负责学校辐射安全与环境保护管理工作，包括负责建立健全学校实验室安全管理制度，开展实验室安全评估、检查和整改督导，组织和监督各学院、重点科研机构开展实验室安全管理、教育培训等。

根据国家核安全局文件《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发[2015]40 号）的规定，“销售（含建造）、使用I类射线装置的单位，辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，新申领辐射安全许可证单位的辐射安全关键岗位在取证前由注册核安全工程师担任。”本项目计划配备 1 名注册核安全工程师作为辐射防护负责人，负责辐射安全监督与防护管理工作。

由上可知，中国科学技术大学的辐射安全与环境保护管理工作可满足相关要求。

6.5.2 辐射工作人员培训

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），新从事放射性同位素与射线装置生产、销售、使用等辐射活动的人员以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应通过生态环境部培训平台报名并参加考核。

中国科学技术大学现有的辐射工作人员均已参加了辐射安全与防护培训，并通过考核取得合格证书。学校制定了辐射工作人员培训计划，规定新从事辐射活动人员以及原持有的辐射安全考核合格证书到期的人员，必须通过生态环境部有关平台报名参加辐射安全与防护考核，考核合格后，方可上岗。

中国科学技术大学严格落实人员培训考核计划，待考核证书过期的辐射工作人员重新考核合格后，辐射工作人员的能力能够满足相关要求。

6.5.3 工作场所的安全防护措施

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，申请者射线装置使用场所满足防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全要求。

本项目使用射线装置用于科学研究，经预测分析评价，各辐射工作场所的辐射屏蔽设计能确保屏蔽体外剂量率水平满足国家相关标准的要求。项目设计了完备、冗余的安全联锁系统，通过门-机联锁、清场搜索、紧急停机、声光报警、视频监控等安全设施防止人员误操作、防止工作人员和公众意外照射。本项目的辐射防护设计方案满足辐射防护与安全的要求。

中国科学技术大学应按照辐射防护设计方案进行施工建设，并确保经验收合格后投入使用。在此基础上，各辐射工作场所能满足防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全要求。

6.5.4 个人防护用品及监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，申请者应配备必要的防护用品和监测仪器。

本项目为每名辐射工作人员配备个人剂量计，进入辐射工作场所必须正确佩戴个人剂量计，并委托有资质单位监测，监测周期不超过三个月。建立辐射工作人员个人剂量档案，长期进行信息跟踪、监控。配备个人剂量报警仪，用于工作人员在加速器控制区内部工作时使用，报警仪能够实时显示工作人员该次工作的受照剂量和场所的剂量率水平，能够进行实施剂量预警。

本项目在工作场所和周围环境设置固定式监测仪表，能够对工作场所和周围环境的辐射水平进行实时在线监测，并设定了报警阈值。此外，拟配备便携式中子辐射巡测仪、便携式 X- γ 辐射巡测仪等监测仪器，定期对工作场所和环境的辐射水平进行巡测。

中国科学技术大学按设计方案建成/配备相应的防护用品及监测仪器后，方能满足相关要求。

6.5.5 规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，申请者应有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台账管理制度、培训计划和监测方案。

中国科学技术大学目前已制定了《中国科学技术大学放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》，其中涵盖了中国科学技术大学辐射安全和防护管理的组织机构、场所的安全与防护措施、放射性同位素和射线装置使用管理、废旧放射性源与放射性废物的管理、辐射工作人员安全与防护管理、辐射事故管理等内容。

中国科学技术大学应根据本项目建设内容和特点，在本项目建成运行前，制定或完善操作规程、设备检修维护、放射性废物处理、辐射监测、应急预案等规章制度，确保本项目运行过程中的辐射安全。

在按要求全部制定完成并严格落实的基础上，本项目的各项操作规程和管理制度能够满足相关要求。

6.5.6 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，申请者应有辐射事故应急措施。

中国科学技术大学目前已制定了《中国科学技术大学辐射事故应急预案》，内容涵盖了辐射事故风险分析、应急指挥机构及职责、处置程序、应急保障、预案的修订与实施、应急联系方式、应急物资清单等，一旦发生辐射事故能快速响应，采取有效措施保护辐射工作人员、公众的健康和安全。

中国科学技术大学还应根据本项目的建设内容及特点对辐射事故应急预案进行更新完善。在按要求全部制定完成并严格落实的基础上，本项目的辐射事故应急预案能够满足相关要求。

6.5.7 放射性三废治理

本项目运行期间产生的放射性三废主要来自 HALF 装置的运行。

放射性废气主要为 HALF 装置运行期间产生的感生放射性气体，注入器隧道与储存环隧道均设置了独立的排风系统，感生放射性气体经排风管道排入环境，排风高度约为 8m。

可能产生的放射性废液为活化冷却水，本项目设置了冷却水集水坑与暂存池，可确保冷却水在排放前安全暂存。暂存一定时间后，再排放前进行取样监测，满足解控标准后排入园区污水管网。

可能产生的放射性固体废物主要为 HALF 装置运行期间产生的活化结构部件，暂存于技术安全楼的放射性固体废物暂存间内。暂存一段时间后，满足解控标准的，解控后按一般固体废物处理或由回收利用，不满足解控标准的委托有资质单位处理。

6.6 环保投资一览表

本项目总环保投资为 1.33 亿元，其中非放环境保护设施投资详见表 6-6，辐射环境保护措施及环保投资详见表 6-7。

表 6-6 本项目非放环境保护设施投资一览表

类型	污染类型	治理项目	主要设备	预期治理效果	投资估算 (万元)
施工期	废气	车辆尾气、扬尘等	封闭围挡、道路隔离措施、车辆自动冲洗设施等等	减少环境风险	70
	废水	生活污水	污水管网	减少污水对区域水环境的影响	30
	噪声	噪声	从声源上控制、距离防护、合理安排施工时间等措施	减少噪声污染	20
	固废	装修垃圾等	清运车辆、人工	固废零排放	80
	生态	表土、清淤/植被修复	清运车辆、人工	生态无影响	50
运营期	废水	生活污水	污水管网及化粪池	雨污分流，生活污水预处理	30
		生产废水	废水处理站（中和沉淀+气浮+A/O 氧化）	废水达标排放	50

		雨水	雨水管网	雨污分流	20
	废气	有机废气	2套活性炭吸附装置+2根15米排气筒	废气达标排放	30
	固废	生活垃圾	若干个垃圾桶	固废零排放	5
		一般固废	一般固废暂存场所	固废零排放	15
		危险废物	危险废物暂存点 50m ²	固废零排放	50
	环境监测站	环境监测	检测仪器等	污染物监测，确保达标排放	100
非放环境保护设施投资合计					550

表 6-7 本项目辐射环境保护措施及环保投资一览表

序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	投资金额（万元）
1	辐射安全管理	辐射安全管理机构：成立辐射安全防护领导小组	——
		辐射安全管理制度：制定操作规程，岗位职责，辐射防护和安全保卫制度，设备检修维护制度，人员培训计划，监测方案，辐射事故应急预案等	——
2	人员考核	辐射工作人员参加辐射安全与防护考核	——
3	监测仪器和防护用品	固定式区域 γ 监测仪、固定式区域中子监测仪、固定式环境 γ 监测仪、固定式环境中子监测仪、便携式 X- γ 辐射巡测仪、便携式中子辐射巡测仪、便携式表面污染仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等监测仪器仪表	1600
		工作服、手套等防护用品	
4	辐射防护设施工程（主要是辐射屏蔽、安全连锁、通风系统、三废治理设施等）		11000
5	环境影响评价、辐射安全许可证办理、竣工环保验收		150
辐射环境保护措施及环保投资合计			12750

6.7 竣工环保验收一览表

本项目建成后，建设单位应按规定组织自主验收，编制验收监测报告。本项目的竣工环保验收内容及要求列于表 6-9、表 6-9。

表 6-8 本项目非放部分“三同时”验收一览表

项目	污染源	环保设施	处理效果	验收标准
废气	实验室（超声波清洗、原位反应）	2套活性炭吸附装置+2根15米排气筒	达标排放	《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）

项目	污染源	环保设施	处理效果	验收标准
废水	生活污水	化粪池	COD≤380mg/L BOD ₅ ≤180mg/L SS≤200mg/L NH ₃ -N≤30mg/L	望塘污水处理厂接管标准
	生产废水	废水处理站（中和沉淀+气浮+A/O 氧化）	COD≤380mg/L SS≤200mg/L LAS≤20mg/L 石油类≤20mg/L NH ₃ -N≤30mg/L	望塘污水处理厂接管标准
固废	生活垃圾	垃圾桶集中收集，交由环卫部门统一处理	满足环保要求	零排放
	一般固废	收集后外售处理	满足环保要求	零排放
	危险废物	收集后委托有资质单位处理	满足环保要求	零排放
噪声	能源中心	选用低噪声设备、厂房封闭、减振等	2 类：昼间：60dB（A） 夜间：50dB（A）	GB12348-2008 中 2 类标准

表 6-9 本项目辐射类竣工环保验收一览表

序号	验收内容	验收要求	
1	环保资料	本项目审批后的环境影响报告书、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等。	
2	辐射安全管理	建立辐射安全管理机构、确定了相应的安全责任、制定了相应的规章制度等。	
3	人员要求	1. 设置辐射安全关键岗位，配备注册核安全工程师至少 1 名； 2. 辐射工作人员参加辐射安全与防护考核，考核合格后上岗。	
4	屏蔽体外剂量率	辐射工作场所四周屏蔽墙外、入口防护门外、顶板上方各关注点处的剂量率水平不高于环评报告书中所列剂量率控制水平。	
5	辐射防护与安全措施	1.辐射工作场所分区（控制区、监督区），并设置明显分区标识，设置放射性标志和中文警示说明； 2.安全联锁系统：由联锁门禁组件、联锁卡置换装置、紧急停机按钮、巡查登记按钮、警示装置和控制机柜等组成，且所有安全设备均能正常投入使用； 3.通风系统：注入器隧道与储存环隧道均设置了独立的排风系统，排风高度约为 8m； 4.场所辐射监测系统：工作场所及周围环境设置固定式辐射监测点，每个点位设一台 γ 探测器和 1 台中子探测器。	
6	放射性三废处理设施	废气	注入器隧道与储存环隧道均设置独立的排风系统，排风高度约为 8m。
		废液	设置冷却水集水坑与暂存池，确保冷却水在排放前安全暂存。
		固体废物	暂存于放射性固体废物暂存间内。暂存一段时间后，满足解控标准的，解控后按一般固体废物处理或由回收利用，不满足解控标准的委托有资质单位处理。
7	辐射监测	环境监测	包括自行监测和委托监测。
		个人剂量监测	辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人剂量计每 3 个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。
		监测设备	在工作场所和周围环境设置固定式监测仪表，对工作场所和周围环境的辐射水平进行实时在线监测，并设定报警阈值。此外，配备便携式中子辐射巡测仪、便携式 X- γ 辐射巡测仪等监测仪器，定期对工作场所和环境的辐射水平进行巡测。

7 利益-代价分析

7.1 利益分析

中国科学技术大学的国家同步辐射实验室是我国第一个国家级实验室，有着我国第一台专用同步辐射光源——合肥光源。合肥光源，自 1983 年国家立项建设以来，经过一期、二期建设以及重大维修改造，建成了能量为 800MeV、流强 300mA 的电子储存环，以及光电子能谱、ARPES、软 X 射线成像、催化与表面科学、XMCD、红外谱学和显微成像、燃烧、质谱、原子分子物理、计量等光束线和实验站，在同步辐射建设关键技术方面，具有良好传承和基础。

合肥光源与上海光源和正在建设的北京高能光源形成低、中、高能区的有机互补，使我国成为国际上少有的同步辐射光源全能区覆盖的国家（或地区）。然而，历经两次升级改造后的合肥光源已经发挥其第二代光源的极限水平，但与目前国际发展的第四代同步辐射光源存在较大差距，远不能满足我国 2035 年和 2050 年发展目标对科技创新要求。因此，面向新时代国家发展目标，完善我国高、中、低同步辐射先进光源合理布局的历史任务，急需对低能区光源进行跨越式发展，建设第四代（衍射极限储存环）低能区同步辐射光源——合肥先进光源。本项目的建成将补齐我国光源建设整体布局中的短板，使我国同步辐射领域发展更为合理、均衡，整体达到国际先进水平，更有助于抢占第四代同步辐射科技前沿。

综上所述，本项目的建设具有良好的社会性效益和经济性效益。

7.2 代价分析

（1）社会代价

本项目的社会代价主要考虑两个方面：资源和能源。

资源方面，本项目规划用地面积约 43.8 万平方米，一期拟建主体建筑包括注入器（包含直线加速器及输运线）、储存环、实验部（线站大厅）等，还拟建能源中心、技术安全楼、环境监测站等其它运行辅助设施。

能源方面，项目运行期间需用水、电等能源。

（2）经济代价

本项目的经济代价主要包括建筑场地成本、设备投资成本和环保投资等方面的成本。

（3）环境代价

本项目的环境代价主要为：少量的瞬发辐射穿过屏蔽体进入周围环境，工作人员和周围公众受到少量的辐射照射；少量的放射性气体进入大气环境；每年将有少量的放射性固体废物产生等。根据前面章节的分析，项目运行期间对环境的影响均低于国家标准中规定的限值。

综上所述，本项目建设带来的利益远高于付出的代价，其建设将造福于国家、造福于广大人民。因此，本项目的实施是正当的。

8 结论和建议

8.1 结论

8.1.1 项目工程概况

合肥先进光源（Hefei Advanced Light Facility，英文缩写 HALF）是一台低能量区基于衍射极限储存环的第四代同步辐射光源。装置主体包括一台 2.2GeV 注入器（包含电子直线加速器及输运线）、一台 2.2GeV 电子储存环，可建设不少于 35 条光束线，首批拟建 12 条光束线站。项目规划用地面积约 43.8 万平方米，一期项目新建建筑面积 68307 平方米。其中主体建筑包括含直线坑道、输运线、速调管走廊及速调走廊耳房、储存环隧道、线站大厅等，还包括能源中心、技术安全楼、环境监测站等其它运行辅助设施。项目总投资约为 27.78 亿元，其中环保投资约 1.33 亿元，占总投资的 4.79%。

8.1.2 非放环境影响分析结论

1) 施工期环境影响分析结论

对施工过程产生的扬尘、建筑垃圾、施工噪声、施工污水等产生的影响进行了分析，在施工期采取有效的环境保护措施和做好施工管理前提下，项目施工期对环境的影响是可以接受的。

2) 运营期环境影响分析结论

①废气

本项目非放废气经 4 套活性炭吸附装置处理后达标排放，对环境的影响较小。

②废水

生活污水产生量较小，主要污染物为 pH、COD、BOD₅、SS、NH₃-N，经化粪池处理达望塘污水处理厂接管标准后经市政污水管网排至望塘污水处理厂处理。生产废水经废水处理站（中和沉淀+气浮+A/O 氧化）处理后达望塘污水处理厂接管标准后经市政污水管网排至望塘污水处理厂处理，对周围水环境影响较小。

③固体废物

项目运行过程中产生的非放射性生活垃圾设垃圾桶集中收集后，交由环卫部门统一处理。一般固废收集后外售处置。危险废物收集后委托有资质单位处理。各项固体废物均得到了有效的处置，不会对环境产生影响。

④噪声

本项目噪声源强较小，单台设备的噪声 $\leq 75\text{dB(A)}$ ，经采取降噪措施后，叠加厂区原有项目设备噪声后，厂界噪声贡献值符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 2 类标准限值要求。项目声环境评价范围内无声环境敏感保护目标，项目噪声对区域声环境影响轻微。

综上所述，运营期的环境影响是可以接受的。

8.1.3 实践的正当性

项目运行期间的辐射污染源主要是使用射线装置时产生的“瞬发辐射”和装置停机后依然存在的“感生放射性”，以及运行期间产生的放射性三废。

本项目 HALF 装置的设计采取了安全、冗余的辐射安全与防护措施，以尽可能降低对工作人员和公众的辐射影响。经分析评价，本项目对工作人员和公众的辐射影响满足国家相关标准要求。本项目对国家和社会所带来的利益大于可能引起的辐射危害。因此，本项目核技术利用实践活动是正当的。

8.1.4 选址、布局合理性分析

本项目拟建于安徽省合肥市大科学装置集中区，与周围环境敏感点距离较远，设置了相对独立的实验区，并设置物理隔离及人员和物流通道，有利于辐射安全防护；项目布局考虑了实验场所功能需要，便于辐射工作场所的辐射防护和安全管理。从辐射防护与环境保护的角度，项目的选址可行，平面布局合理。

8.1.5 辐射安全与防护措施

(1) 辐射工作场所分区：按照控制区和监督区对辐射工作场所进行划分，采取安全控制措施严防人员进入控制区内。

(2) 辐射安全联锁系统：HALF 装置的辐射工作场所设计了安全、冗余的辐射安全联锁系统，包括门禁控制、门机联锁、清场搜索、急停按钮、声光报警器、工作状态指示灯、视频监控以及电离辐射警告标志和中文警示说明，可有效防止工作人员和公众受到意外照射。

(3) 辐射屏蔽：根据我国法规标准要求确定各辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平，采用混凝土作为主屏蔽体，经计算各辐射工作场所屏蔽体外瞬时剂量率均低于其剂量率控制水平。

(4) 通风系统：HALF 装置的辐射工作场所设有独立的通风系统，其排风量、换气次数、进排风方式、排风高度等的设计能够确保排入环境的放射性废气对环境的影响满足相关标准的要求。

(5) 工作场所辐射监测系统：本项目工作场所和周围环境均设有固定式辐射监测仪表，对场所内剂量率水平进行实时监测和显示，确保工作人员和公众的安全。

8.1.6 辐射环境影响分析

通过理论预测，本项目正常运行期间，工作人员的年最大有效剂量低于本次评价确定的 5mSv/a 的职业照射剂量约束值；用户单位科研人员的年最大有效剂量低于本次评价确定的 0.5mSv/a 的用户单位科研人员剂量约束值；公众所受年最大有效剂量低于本次评价确定的 0.1mSv/a 的公众照射剂量约束值。

8.1.7 放射性三废排放和处理

本项目运行期间，主要的放射性三废主要来自 HALF 装置的运行。

HALF 设置了独立的排风系统，其运行期间产生的放射性气体经排风管道引至室外排放，排放高度约为 8m 。

本项目设有冷却水集水坑和暂存池，活化冷却水经管道排入其中，确保其在得到处置前能够安全暂存。经取样监测后满足排放要求的排入建设单位污水管网。

HALF 园区内设有放射性固体废物暂存间，确保放射性固体废物在得到处置前能够安全暂存。暂存一定时间后，满足解控标准的，解控后按一般固体废物处理或回收利用，不满足解控标准的委托有资质单位处理。

8.1.8 辐射安全管理

中国科学技术大学已成立了专门的辐射安全防护领导小组；已基于人员岗位职责、辐射防护、设备检修、废物管理、人员培训、辐射监测等方面内容建立了一系列的辐射安全管理制度并拟根据本项目的建设内容进行补充完善；制定了辐射工作人员培训制度，确保辐射工作人员在参加辐射安全与防护考核，并考核合格后方可上岗；目前制定的辐射环境监测方案、辐射工作场所监测方案能够满足本项目运行的要求。

8.1.9 公众参与

本项目根据《环境影响评价公众参与办法》的要求，主要通过网络公示、报纸媒体公示、现场张贴公告等方式进行了公众参与，公示期间未收到其他社会公众、国家机关、社会团体、企事业单位以及其他组织的反馈意见。本项目公众参与的开展情况详见《合肥先进光源注入器变更环境影响评价公众参与说明》。

8.1.10 总结

综上所述，中国科学技术大学拟开展的合肥先进光源项目在严格按照环评中的要求进行建设后，项目运行期间对工作人员和环境的影响符合环境保护的要求，该项目对环境的影响是可以接受的。中国科学技术大学在落实本报告书中的各项污染防治措施和管理措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护能力，故从辐射防护和环境保护的角度考虑，本项目的建设是可行的。

8.2 建议

(1) 建设单位在本项目施工过程中必须加强监督，保证建筑材料和施工质量，混凝土施工时要确认成型密度、均匀、表观密度符合设计要求。

(2) 落实环评中提出的管理措施和辐射防护措施要求，在实践中建立和不断完善各项辐射管理规章制度和事故应急预案，并采取切实措施保证各种规章制度的有效执行。