

核技术利用建设项目
合肥光源储存环束流提升及新增线站项目
环境影响报告书
(送审稿)

中国科学技术大学
二〇二四年七月

环境保护部监制

核技术利用建设项目
合肥光源储存环束流提升及新增线站项目
环境影响报告书
(送审稿)

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）：
通讯地址：合肥市蜀山区合作化南路 42 号
邮政编码：230022 联系人：何丽娟
电子邮箱：lijuanhe@ustc.edu.cn 联系电话：18255102850

目录

1 概述	- 1 -
1.1 项目名称、地点	- 1 -
1.2 项目概况	- 3 -
1.2.1 建设单位	- 3 -
1.2.2 项目背景和意义	- 4 -
1.2.3 建设规模	- 5 -
1.2.4 项目周边环境条件	- 10 -
1.2.5 产业政策相符性	- 10 -
1.2.6 现有核技术利用情况及辐射安全管理现状	- 10 -
1.3 编制依据	- 19 -
1.3.1 法律、法规	- 19 -
1.3.2 部门规章及规范性文件	- 20 -
1.3.3 技术规范和标准	- 21 -
1.3.4 项目相关文件	- 22 -
1.3.5 参考文献	- 22 -
1.4 评价标准	- 23 -
1.4.1 剂量限值和剂量约束值	- 23 -
1.4.2 放射性废水排放	- 25 -
1.4.3 放射性固废处置	- 26 -
1.4.4 非放射性环境评价标准	- 26 -
1.5 评价范围和保护目标	- 28 -
1.5.1 评价范围	- 28 -
1.5.2 保护目标	- 32 -
2 自然环境与社会环境状况	- 34 -
2.1 自然环境状况	- 34 -
2.1.1 地理位置	- 34 -
2.1.2 地形、地貌、地质	- 34 -
2.1.3 水文	- 37 -
2.1.4 气候与气象	- 41 -
2.1.5 生物多样性	- 41 -
2.2 社会环境状况	- 42 -
2.2.1 人口区划与人口分布	- 42 -
2.2.2 经济发展状况	- 42 -
2.2.3 交通	- 44 -
2.2.4 文物古迹及风景名胜	- 44 -
2.3 环境质量和辐射现状	- 44 -
2.3.1 监测内容	- 44 -
2.3.2 监测（分析）依据和监测设备	- 46 -
2.3.3 质量保证措施	- 49 -
2.3.4 监测结果	- 50 -
2.3.5 小结	- 54 -
2.4 场址适宜性评价	- 54 -
3 工程分析与源项	- 55 -
3.1 项目规模与基本参数	- 55 -

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

3.1.1 项目现状情况.....	55
3.1.2 现有主体建筑.....	58
3.1.3 本次改扩建项目建设内容及规模.....	61
3.2 工程设备与工艺分析.....	66
3.2.1 装置原理.....	66
3.2.2 装置组成及主要参数.....	66
3.2.3 工艺分析.....	75
3.2.4 工作负荷.....	78
3.3 污染源项.....	79
3.3.1 瞬发辐射.....	80
3.3.2 储存环的感生放射性.....	89
3.3.3 臭氧等有害气体的产生.....	97
3.4 废弃物.....	98
3.4.1 放射性废弃物.....	98
3.4.2 非放射性废弃物.....	100
4 辐射安全与防护设施.....	101
4.1 场所布局与分区.....	101
4.1.1 场所布局.....	101
4.1.2 辐射工作场所分区.....	101
4.2 辐射屏蔽.....	104
4.2.1 储存环屏蔽设计.....	104
4.2.2 辐射屏蔽计算.....	106
4.3 辐射安全与防护措施.....	108
4.3.1 人身安全联锁系统.....	108
4.3.2 模式、状态及运行流程.....	112
4.3.3 系统硬件.....	120
4.3.4 联锁控制分区情况.....	123
4.3.5 相关系统信号接口.....	123
4.3.6 辐射监测系统.....	125
4.3.7 环境监测.....	129
4.3.8 通风系统.....	131
4.3.9 电离辐射警告标志设置.....	131
4.3.10 辐射安全与防护设施小结.....	132
4.4 三废治理.....	134
4.4.1 放射性污染防治.....	134
4.4.2 非放射性污染防治.....	136
4.5 服务期满后的环境保护措施.....	137
5 环境影响分析.....	138
5.1 建设阶段环境影响分析.....	138
5.2 运行阶段环境影响分析.....	139
5.2.1 场所辐射水平.....	139
5.2.2 金华光束线站屏蔽计算.....	158
5.2.3 人员受照剂量估算.....	161
5.2.4 感生放射性废气所致公众附加剂量.....	166
5.2.5 合肥光源辐射工作人员个人剂量监测情况.....	166
5.3 事故工况下的环境影响.....	172
5.3.1 事故情景.....	173
5.3.2 事故后果分析及预防措施.....	173

6 辐射安全管理	- 175 -
6.1 机构与人员	- 175 -
6.1.1 机构	- 175 -
6.1.2 辐射工作人员的管理	- 176 -
6.2 辐射安全管理规章制度	- 186 -
6.3 生态环境部门检查情况	- 187 -
6.4 辐射监测	- 190 -
6.4.1 年度辐射监测监测情况	- 190 -
6.4.2 辐射环境监测计划	- 190 -
6.4.3 监测设备配置情况	- 191 -
6.4.4 个人剂量监测	- 192 -
6.4.5 竣工环保验收监测	- 192 -
6.5 辐射事故应急	- 194 -
6.6 从事辐射活动技术能力综合性评价	- 195 -
6.7 小结	- 196 -
7 利益-代价分析	- 197 -
7.1 利益分析	- 197 -
7.2 代价分析	- 198 -
7.2.1 社会代价	- 198 -
7.2.2 经济代价	- 198 -
7.2.3 环境代价	- 198 -
7.3 正当性分析	- 199 -
8 公众参与	- 200 -
8.1 公众参与方案	- 200 -
8.1.1 公众参与目的	- 200 -
8.1.2 主要调查内容	- 200 -
8.1.3 调查范围和对象	- 200 -
8.2 信息公开	- 201 -
8.2.1 发布建设项目环境影响公众参与调查公示	- 201 -
8.2.2 报纸媒体公示、张贴公告	- 203 -
8.2.3 公众意见调查	- 204 -
8.3 公众参与结果	- 204 -
9 结论与建议	- 204 -
9.1 项目工程概况	- 204 -
9.2 辐射安全与防护	- 205 -
9.3 环境影响分析	- 206 -
9.4 辐射安全管理	- 206 -
9.5 结论	- 207 -
9.6 建议和承诺	- 207 -
9.7“三同时”竣工环保验收一览表	- 209 -

附件：

附件1 委托书

附件2 项目立项相关文件

附件3-1 国家计划委员会文件关于建设国家同步辐射实验室的复函（计科【1983】470号）

附件3-2 国家同步辐射实验室工程竣工国家验收证书（1991年12月）

附件3-3 国家计委关于国家同步辐射实验室二期工程开工建设的批复（计投资【1999】416号）

附件3-4 国家计委关于国家同步辐射实验室二期工程开工建设的批复（计投资【1999】416号）

附件3-5 国家同步辐射实验室二期工程项目国家验收意见（2004年12月）

附件3-6 合肥光源重大维修改造项目环评批复（2012年）

附件3-7 合肥光源重大维修改造项目竣工环境保护验收意见（2018年4月）

附件4 中国科学技术大学辐射安全许可证

附件5 辐射安全与防护管理机构及管理制度

附件6 辐射工作人员台账、辐射安全与防护考核合格证、个人剂量报告、职业健康检查报告

附件7 HLS工作场所辐射防护年度监测报告

附件8 生态环境部华东核与辐射安全监督站现场检查笔录及整改报告

附件9 基础资料情况说明

附件10 环评现状监测报告

附件11 HLS相关竣工图纸

附表：

建设项目环境影响报告书审批基础信息表

1 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

建设性质：改扩建

建设单位：中国科学技术大学

建设地点：合肥市蜀山区合作化南路42号中国科学技术大学国家同步辐射实验室，项目地理位置图详见图1.1-1。

建设内容及规模：合肥光源是一台专用真空紫外和软 X 射线同步辐射光源，主要设备包括 800MeV 直线加速器注入器和一个 800MeV 电子储存环。目前，合肥光源储存环运行流强约 300mA，现有 10 条线站。为了向用户提供更好的实验条件，拟将储存环运行流强提升至 500mA，并新增 1 条光束线站。本次评价项目拟依托现有直线加速器注入器及电子储存环，不改变注入器系统的电荷量、最大能量、微波频率等指标，也不改变其屏蔽结构及设备设施，仅在储存环真空室外新增铅砖屏蔽及在已有预留线站处安装新线站设备。项目总投资 4000 万元人民币，其中环保投资：120 万元，占总投资的 3%。

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位

中国科学技术大学是中国科学院所属的一所以前沿科学和高新技术为主，兼有医学、特色管理和人文学科的理工科大学。学校现有32个学院，含8个科教融合学院；设有苏州高等研究院、上海研究院、北京研究院、先进技术研究院、国际金融研究院、附属第一医院（安徽省立医院），是国家首批实施“985工程”和“211工程”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 and 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2022年8月，共有教学与科研人员2810人，其中教授943人（含相当专业技术职务人员），副教授1043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计596人，占固定教师总数的40%。同时，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68%。

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，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。

2017~2020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。

在逾35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，中国工程院院士1人，博士生导师41人，10多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、信息技术部、光束线工程部、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项目背景和意义

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。

基于软X射线共振效应的散射方法是散射领域的新兴技术，它的实现将突破软物质结构难以研究的限制，不仅能推动软物质基础研究，而且可以促进软物质工业的发展。这项技术开发的最大难点在于，人们难以获得高效率的软X射线发生器。合肥光源作为应用支撑型科技基础设施，其优化能区正好位于真空紫外和软X射线能区，完美的解决了以上难题，为软X射线共振散射技术开发提供有力支持。基于此，学校与浙江光电子研究院合作共建一条软X射线共振散射线站——“金华线站”，聚焦于软X射线能区（240eV-700eV），克服传统硬X射线散射技术在软物质研究中对比度差的缺点，依托共振散射特有的化学分辨能力，实现对软物质材料的定量化构效关系研究，致力于推动生物医药、能源材料、光伏、新型显示等领域的快速发展。

同时，为了满足用户对更高的同步辐射光子通量的需求，学校计划将储存环束流流强从300mA提升至500mA，光子通量将提升67%，将提高光源积分亮度以及束流流强的稳定度，极大提升供光的品质以及用户连续实验的时间。2024年5月，合肥光源束流提升项目于经校长办公会审议同意立项（详见附件2）。

1.2.3建设规模

本次评价项目内容为拟将储存环运行流强提升至500mA，并新增1条光束线站。本项目在依托同步辐射实验室现有主体建筑、HLS主体装置的基础上，不改变注入器工作介质及其能量、流强，也不改变注入器屏蔽结构及设备设施，仅在储存环真空室外新增铅砖屏蔽及在已有预留线站处安装新线站设备。

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，本项目环境影响评价文件类别确定为编制环境影响报告书。因此，核工业二七〇研究所受建设单位的委托，负责本项目的环评工作（委托书见附件1）。

表 1.2-1 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		备注
合肥光源 (HLS)	注入器（电子直线加速器及输运线）	1 台	电子能量：800MeV；直线加速器长度：74.5m 单束团电荷量：1nC；脉冲宽度：1ns 脉冲重复频率：1Hz；微波频率：2856MHz		依托现有
	储存环	1 台	原有参数： 储存环能量：800MeV 流强：300mA 寿命：8h 发射度：40nm·rad 轨道稳定性：5μm（V）	改造后参数： 储存环能量：800MeV 流强：500mA 寿命：8h 发射度：40nm·rad 轨道稳定性：5μm（V）	束流提升
	光束线站	11 条	BL01B：红外谱学与显微成像实验站 （光子使用能量范围：1meV~1eV）		现有
			BL03U：燃烧线 （光子使用能量范围：5~24.5 eV）		现有
			BL04B：质谱实验站 （光子使用能量范围：7.5~16.5eV）		现有
			BL07W：软 X 射线成像 （光子使用能量范围：250 ~800eV）		现有
			BL08B：光谱辐射标准与计量实验站 （主线 25~1000eV、支线 6~31eV）		现有
			BL09U：原子与分子物理 （光子使用能量范围：7~124 eV）		现有
			BL10B：光电子能谱 （光子使用能量范围：100 eV~1000 eV）		现有
			BL11U：催化与表面科学线站 （光子使用能量范围：20~600eV）		现有
			BL12B：XMCD~a/XMCD~b		现有

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

			(光子使用能量范围: 50~1000eV)	
			BL13U: ARPES 实验站 (光子使用能量范围: 5~100eV)	现有
			金华光束线 (包含金华散射实验站 (240~700eV) 及 2 个 散射支线实验线站 (77~124eV))	新增



图1.2-1 中国科学技术大学西校区总平面布局图

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目



图 1.2-2 国家同步辐射实验室周边环境概况图

1.2.4项目周边环境条件

经现场勘查，国家同步辐射实验室南侧为太湖路；西侧为合作化南路，隔道路为自行车厂小区、合肥馨怡家园小区；北侧隔校内绿化带为校内道路（寰宇南路）及学校实验楼、国家火宅重点实验室等；东侧为专家楼、学生公寓区。项目周边5km范围内无风景旅游区、名胜古迹、自然保护区等环境敏感保护目标。

1.2.5产业政策相符性

本项目属于《产业结构调整指导目录》（2024年本）中“鼓励类”中第六条核能中第4项——“核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发，辐射防护技术开发与监测设备制造”的范畴。因此，本项目建设符合国家相关产业政策。

1.2.6现有核技术利用情况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（国环辐证[00308]，有效期至2029年3月31日，见附件4）。许可的种类和范围为：使用Ⅰ类、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。

目前中科大已获许可使用Ⅰ类放射源3枚，Ⅱ类放射源1枚，Ⅳ类放射源3枚，其余均为Ⅴ类源，总计81枚放射源；1个乙级非密封放射性物质工作场所，2个丙级场所；Ⅰ类射线装置2台（包含800MeV电子直线加速器、800MeV电子储能环），Ⅱ类射线装置3台，Ⅲ类射线装置35台，详见表1.2-2至表1.2-4。

表 1.2-2 中国科学技术大学已获许可使用的放射源明细

序号	核素	类别	活度 (Bq)	活动种类
1	Co-60	I	4.7E+14	使用
2	Co-60	I	4.7E+14	使用
3	Co-60	I	4.7E+14	使用
4	Sr-90	V	3.70E+7	使用
5	Na-22	IV	1.48E+9	使用
6	Na-22	V	1.85E+9	使用
7	Na-22	V	7.4E+8	使用
8	Fe-55	V	1.80E+8	使用
9	Fe-55	V	3.70E+8	使用
10	Fe-55	V	3.7E+9	使用
11	Cs-137	V	1.0E+7	使用
12	Cs-137	V	3.7E+8	使用
13	Cs-137	V	1.23E+4	使用
14	Am-241/Be	V	2.0E+8	使用
15	Am-241/Be	V	4.56E+10	使用
16	Am-241	V	1.85E+7	使用
17	Sr-90	V	7.5E+4	使用
18	Sr-90	V	7.25E+5	使用
19	Sr-90	V	5.55E+7	使用
20	Sr-90	V	5.55E+7	使用
21	Sr-90	V	5.55E+7	使用
22	Sr-90	V	5.55E+7	使用
23	Sr-90	V	5.55E+7	使用
24	Sr-90	V	5.55E+7	使用
25	Sr-90	V	5.55E+7	使用

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

26	Sr-90	V	5.55E+7	使用
27	Pu-239	V	7.5E+7	使用
28	Pu-238	V	1.48E+8	使用
29	Pu-238	IV	1.48E+9	使用
30	Fe-55	V	8.584E+7	使用
31	Eu-152	V	2.4E+6	使用
32	Cs-137	V	5.23E+6	使用
33	Cs-137	V	1.85E+8	使用
34	Cs-137	V	1.417E+5	使用
35	Cs-137	V	1.85E+5	使用
36	Co-60	V	2.6E+6	使用
37	Co-60	V	4.5E+6	使用
38	Co-60	V	2.3E+6	使用
39	Am-241	V	4.4E+6	使用
40	Am-241	V	5.3E+6	使用
41	Am-241	V	1.7E+6	使用
42	Am-241	V	3.6E+4	使用
43	Sr-90 (Y-90)	V	1.48E+9	使用
44	Sr-90 (Y-90)	V	1.48E+9	使用
45	Sr-90	V	3.3E+7	使用
46	Sr-90	V	3.7E+8	使用
47	Sr-90	V	7.4E+8	使用
48	Sr-90	V	3.7E+7	使用
49	Ra-226	V	3.1E+7	使用
50	kr-85	V	3.7E+8	使用
51	kr-85	V	7.4E+7	使用
52	Cs-137	V	5.55E+8	使用

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

53	Cs-137	V	5.55E+8	使用
54	Cs-137	V	1.2E+5	使用
55	Co-60	IV	6.9E+8	使用
56	Sr-90	V	1.69E+4	使用
57	Sr-90	V	3.02E+4	使用
58	Sr-90	V	5.67E+3	使用
59	Sr-90	V	1.76E+4	使用
60	Sr-90	V	1.6E+4	使用
61	Sr-90	V	1.2E+8	使用
62	Sr-90	V	1.41E+4	使用
63	Pu-239	V	4.8E+8	使用
64	Pu-239	V	4.8E+8	使用
65	Cs-137	V	3.7E+8	使用
66	Cs-137	V	3.7E+7	使用
67	Cs-137	V	6.59E+8	使用
68	Cs-137	II	4.44E+15	使用
69	Cs-137	V	7.4E+4	使用
70	Cs-137	V	7.4E+4	使用
71	Cs-137	V	5.9E+6	使用
72	Cs-137	V	7.4E+4	使用
73	Cs-137	V	7.4E+4	使用
74	Cs-137	V	1.1E+7	使用
75	Cs-137	V	7.4E+4	使用
76	Co-60	V	1.1E+5	使用
77	Am-241	V	5.55E+7	使用
78	Am-241	V	5.55E+7	使用
79	Am-241	V	5.55E+7	使用

80	Am-241	V	5.55E+7	使用
81	Am-241	V	5.55E+7	使用

表 1.2-3 已获许可使用的非密封放射性物质工作场所明细

序号	工作场所名称	场所等级	核素名称	日等效最大操作量/Bq	年最大用量/Bq	活动种类
1	同位素实验室	丙级	H-3	3.7E+5	3.7E+9	使用
2			S-35	1.85E+7	3.7E+9	使用
3			C-14	3.7E+5	1.85E+8	使用
4			Th-229	1.48E+7	1.48E+7	使用
5	同位素实验室	乙级	I-125	5.55E+8	1.11E+12	使用
6			Cr-51	5.55E+8	5.55E+12	使用
7			F-18	3.7E+8	1.85E+11	使用
8			Mo-99 (Tc-99m)	3.7E+7	7.4E+10	使用
9			P-32	3.7E+7	3.7E+10	使用
10	物理学院开放源室	丙级	Ac-227	3.33E+5	6.66E+8	使用
11			Ac-225	6.16E+5	1.54E+7	使用
12			Th-229	6.16E+4	1.54E+7	使用
13			Na-22	7.4E+5	7.4E+7	使用
14			Th-227	3.33E+6	6.66E+8	使用

表 1.2-4 中国科学技术大学已获许可使用的射线装置明细

序号	装置名称	规格型号	类别	使用场所	技术参数
1	反场箍缩装置	KTX	III	KTX 实验室	管电压 50V 管电流 1000000A
2	X 射线衍射仪	DX-Mo8*0.4-SSEI FERT	III	调试间	管电压 40kV 管电流 33.3mA

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

3	光电子能谱仪	VSW	III		管电压 10kV 管电流 10mA
4	光电子能谱仪	XR300	III		管电压 15kV 管电流 20mA
5	其他不能被豁免的 X 射线装置 (X 光机)	1 μ S-tube-E025	III		管电压 45kV 管电流 0.65mA
6		GeniX3DCu	III		管电压 50kV 管电流 0.55mA
7		TU-160-D06	III		管电压 160kV 管电流 22.5mA
8		SCIENTAMX650	III		管电压 15kV 管电流 30mA
9		XR-50	III		管电压 12.5kV 管电流 20mA
10	其他不能被豁免的 X 射线装置 (X 光机)	L9631	III	放射医学工程实验室	管电压 110kV 管电流 0.8mA
11		G242	III		管电压 125kV 管电流 100mA
12		G242	III		管电压 125kV 管电流 100mA
13		E-40RHFX22P	III		管电压 120kV 管电流 100mA
14		COMETMXR225	III		管电压 225kV 管电流 13.3mA
15	红外自由电子激光装置	IRFEL	II	光源大厅	粒子能量 60MeV
16	X 射线衍射仪	X'PertPRO	III	环资楼 104	管电压 60kV 管电流 50mA
17		SmartLab	III		管电压 45kV 管电流

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

					200mA
18		TTRAX III	III		管电压 60kV 管电流 300mA
19		SmartLab	III		管电压 40kV 管电流 75mA
20		MiniFlex600	III		管电压 40kV 管电流 15mA
21		Gemini S Ultra	III		管电压 50kV 管电流 40mA
22		X'PertPRO	III		管电压 40kV 管电流 40mA
23		SuperNova	III		管电压 50kV 管电流 1mA
24		SmartLab	III		管电压 45kV 管电流 200mA
25		TTR III	III		管电压 60kV 管电流 300mA
26	其他不能被豁免的 X 射线装置（微焦点 X 射线成像装置）	L12161-07	III		管电压 150kV 管电流 0.5mA
27	其他不能被豁免的 X 射线装置（锥形束 CT）	SS-X11508	III		管电压 115kV 管电流 8mA
28	牙片机	Focus（芬兰）	III		管电压 70kV 管电流 7mA
29	数字 X 光机	DR780	III		管电压 150kV 管电流 500mA

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

30	数字 X 光机	迈瑞移动 DR700	III		管电压 140kV 管电流 200mA
31	数字 X 摄影装置	DigiEye 680p	III		管电压 150kV 管电流 500mA
32	全身 CT	GE CT520	III		管电压 140kV 管电流 500mA
33	口腔 CT	Planmeca ProMax3D	III		管电压 84kV 管电流 16mA
34	X 射线荧光分析仪	ATLAS	III	一教 118 室	管电压 50kV 管电流 1mA
35	X 射线衍射仪	DX2700B	III		管电压 40kV 管电流 30mA
36	X 射线衍射仪	SmartLab	III		管电压 45kV 管电流 200mA
37	血管造影机	DSA	II	医学科 DSA 室	管电压 100kV 管电流 1A
38	中子发生器	MZS-7 (1.5E8n/s)	II	中子实验室	管电压 90kV 管电流 0.6A
39	电子直线加速器	自研	I	储存环大厅	粒子能量 800MeV
40	电子储存环	自研			

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 1.2-5。

表 1.2-5 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	国家计委复函/环评批复文号	环保验收文号	备注
1	合肥光源一期工程	计科【1983】470号	1984 年开工、1989 年 4 月建成、1991 年 12 月通过国家验收	
2	合肥光源二期工程	计投资【1999】416 号	1999 年建设，2004 年 12 月二期工程通过国家验收	
3	中子发生器	皖辐射报告表（2013）70 号	2018 年 9 月自主验收	/
4	血管造影机 DSA	皖辐射报告表（2013）70 号	2018 年 4 月自主验收	/
5	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 月自主验收	/
6	合肥光源重大维修改造项目	皖环函（2014）30 号	2018 年 4 月自主验收	/
7	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	皖环函（2017）1039 号	2022 年自主验收	/
8	中科院先导 C 科技专项《高精度电磁测量核心技术装备》示范工程西区新建洁净室项目	皖环函（2021）875 号	/	建设中

9	合肥先进光源项目	皖环函〔2023〕 111 号	/	建设中
10	合肥先进光源配套工程项目	皖环函[2023]846 号	/	建设中

1.3 编制依据

1.3.1 法律、法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》2015年1月1日起施行；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》2016年9月1日起施行；主席令第24号修订，2018年12月29日起施行；
- (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003年10月1日起施行；
- (4) 《中华人民共和国大气污染防治法》2016年1月1日起施行；主席令第16号修订，2018年10月26日起施行；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》2018年1月1日起施行；
- (6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》2022年6月5日起施行；
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》2005年4月1日起施行；主席令第43号修订，2020年4月29日起施行；
- (8) 《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）；
- (9) 《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；
- (10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院令第449号，2005年12月1日起施行；国务院令第653号修订，2014年7月29日起施行；国务院令第709号修订，2019年3月2日起施行；
- (11) 《放射性废物安全管理条例》国务院令第612号，2012年3月1

日起施行；

(12) 《安徽省环境保护条例》，安徽省第十二届人大常委会第四十一次会议审议通过，2018年1月1日施行。

1.3.2 部门规章及规范性文件

(1) 《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；

(2) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》国家环保总局令第31号，2006年3月1日起施行；环境保护部令第3号第一次修订，2008年12月4日起施行；环境保护部令第47号第二次修订，2017年12月20日起施行；2019年8月22日生态环境部令第7号第三次修订，2019年8月22日施行；生态环境部令第20号第四次修订，2021年1月4日施行；

(3) 《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日起施行；

(4) 《关于发布<射线装置分类>的公告》环境保护部和国家卫生和计划生育委员会公告，公告2017年第66号，2017年12月6日起施行；

(5) 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》国家环保总局，环发[2006]145号；

(6) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》环境保护部，环办辐射函[2016]430号；

(7) 《关于发布<注册核安全工程师执业资格关键岗位名录>（第一批）的通知》国家核安全局，国核安发[2010]25号；

(8) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》环境保护部、工业和信息化部、国防科工局，公告2017年第65号，2018年1月1日起施行；

(9) 《放射工作人员职业健康管理辦法》卫生部令第55号，2007年

11月1日起施行；

(10) 《产业结构调整指导目录(2024年本)》国家发改委令第7号，2024年2月1日起施行；

(11) 《环境影响评价公众参与办法》生态环境部令第4号，2019年1月1日起施行；

1.3.3 技术规范和标准

(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ2.1-2016)；

(2) 《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》(HJ10.1-2016)；

(3) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)；

(4) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ2.3-2018)；

(5) 《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021)；

(6) 《环境噪声与振动控制工程技术导则》(HJ2034-2013)；

(7) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；

(8) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；

(9) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；

(10) 《粒子加速器辐射防护规定》(GB5172-1985)；

(11) 《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》(GB11928-1989)；

(12) 《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB11743-2013)；

(13) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)；

(14) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)及其修改单；

(15) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》(GBZ2.1-2019)；

(16) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；

- (17) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- (18) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- (19) 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- (20) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- (21) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- (22) 《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）；
- (23) 《国家危险废物名录》（2021年版）；
- (24) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；
- (25) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）。

1.3.4项目相关文件

- (1) 建设项目环境影响评价委托书及设计文件；
- (2) 国家发展改革委关于“合肥光源线站项目”立项批复；
- (3) 合肥光源一期工程审批意见及验收意见；
- (4) 合肥光源二期工程审批意见及验收意见；
- (5) 合肥光源重大维修改造项目审批意见及验收意见；
- (6) 辐射安全许可证；2023年度辐射安全年度评估报告；
- (7) 辐射工作人员台账、辐射安全与防护考核合格证、个人剂量报告、职业健康检查报告；
- (8) 辐射安全与防护管理机构及管理制度；
- (9) 生态环境部华东核与辐射安全监督站现场检查笔录及整改情况汇报。

1.3.5参考文献

- (1) NCRP144号报告（Radiation Protection for Particle Accelerator

Facilities, NCRP Report No.144) ;

(2)IAEA19号报告(Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment) ;

(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 W.P, Thomas R.H. 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;

(4) 《辐射防护手册》第一、三分册, 原子能出版社, 李德平、潘自强主编;

(5) 《辐射防护导论》原子能出版社, 方杰主编;

(6) 《加速器保健物理》(H.W.帕特森, R.H.托马斯);

(7) 《实用辐射安全手册》原子能出版社, 丛慧玲主编;

(8) 《核设施正常工况气载放射性排出物后果评价推荐模式的参数》辐射防护2003年第23卷第1期, 李红等;

(9) 《2022年全国辐射环境质量报告》生态环境部, 2023年7月发布;

(10) 《2023年安徽省生态环境状况公报》安徽省生态环境厅, 2024年6月发布。

1.4 评价标准

1.4.1 剂量限值和剂量约束值

1.4.1.1 剂量限值

该项目正常运行期间对辐射工作人员和公众中任何个人造成的有效剂量的限值，执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定：“对任何辐射工作人员的职业照射的剂量限值由审管部门决定，连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）不超过20mSv，其中任何一年中的有效剂量不超过50mSv；公众照射剂量限值是公众中有关关键人群组的成员所受到的平均个人年有效剂量估计值不超过1mSv”。

1.4.1.2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。

1.4.1.3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1.4-1执行。

表 1.4-1 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	
			正常工况	事故工况
注入器隧道、储存 环隧道	四周屏蔽体、顶板及门外	居留因子 $T>1/2$	$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	$\leq 1\text{mSv/次}$
	30cm 等人员可达处	居留因子 $T\leq 1/2$	$\leq 10\mu\text{Sv/h}$	
	人员不可达处		$\leq 100\mu\text{Sv/h}$	
	屏蔽体与土壤交界处*		$\leq 5\text{mSv/h}$	
线站	线站工作场所		$\leq 2.5\mu\text{Sv/h}$	

*注：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。

1.4.2 放射性废水排放

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于10倍排放量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

1) 每月排放的总活度不得超过10ALImin（ALImin是相应于职业照射的食入和吸入ALI值中的较小者）；

2) 每一次排放的总活度不得超过1ALImin，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。

根据该项目活化冷却水废水主要放射性核素排放限值及豁免水平详见表1.4-2、表1.4-3。

表 1.4-2 活化冷却水主要放射性核素排放限值

核素名称	DL (mSv)	e _j (Sv/Bq ⁻¹)		ALI (Bq)		ALI _{min} (Bq)	月排放 限值 (Bq)	单次排 放限值 (Bq)
		吸入	食入	吸入	食入			
H-3	5		1.8×10 ⁻¹¹		2.77×10 ⁸	2.77×10 ⁸	2.77×10 ⁹	2.77×10 ⁸
Be-7	5	4.3×10 ⁻¹¹	2.8×10 ⁻¹¹	1.16×10 ⁸	1.78×10 ⁸	1.16×10 ⁸	1.16×10 ⁹	1.16×10 ⁸

表 1.4-3 活化冷却水中相关核素的豁免水平

核素名称	豁免活度浓度, Bq/g	豁免活度, Bq
H-3	1.0E+06	1.0E+09
Be-7	1.0E+03	1.0E+07

根据《污水综合排放标准》（GB8978-1996），总α放射性和总β放

射性属于第一类污染物，一律在车间或车间处理设施排放口采样，最高允许排放浓度必须达到表 1.4-4 的要求。

表 1.4-4 活化冷却水主要放射性核素排放限值

污染物	最高允许排放浓度
总 α 放射性	1Bq/L
总 β 放射性	10Bq/L

1.4.3 放射性固废处置

本项目运行期间产生的活化固体废物的清洁解控参照《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之和小于1时，方可给予豁免。

对于超出豁免水平的放射性固废执行《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）。

1.4.4 非放射性环境评价标准

（1）大气评价标准

根据项目所在区域的大气环境功能区划分，属二类区（即城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区），执行GB3095-2012《环境空气质量标准》中的二级标准，具体详见表1.4-5。

表 1.4-5 环境空气质量标准

项目	取值时间	标准值	标准来源
----	------	-----	------

		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
NO_2	年平均	40	GB3095-2012 及其修改单 中二级标准
	24 小时平均	80	
	1 小时平均	200	
O_3	日最大 8 小时平均	160	
	1 小时平均	200	

该项目室内（储存环隧道内）臭氧、氮氧化物执行《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；氮氧化物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表2的排放限值，具体标准值见表1.4-6。

表 1.4-6 O_3 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 GB16297-1996《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。

（2）噪声评价标准

根据《合肥市区声环境功能区(2020修订)划分方案》(详见图1.4-1)，本项目位于1类声功能区范围，执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中1类功能区标准；项目评价范围内声环境保护目标位于2类声功能区范围，执行GB3096-2008中2类功能区标准；项目西侧厂界为合作化南路（为城市主干道），南侧为太湖路（为城市次干道），执行GB3096-2008中4a类标准。

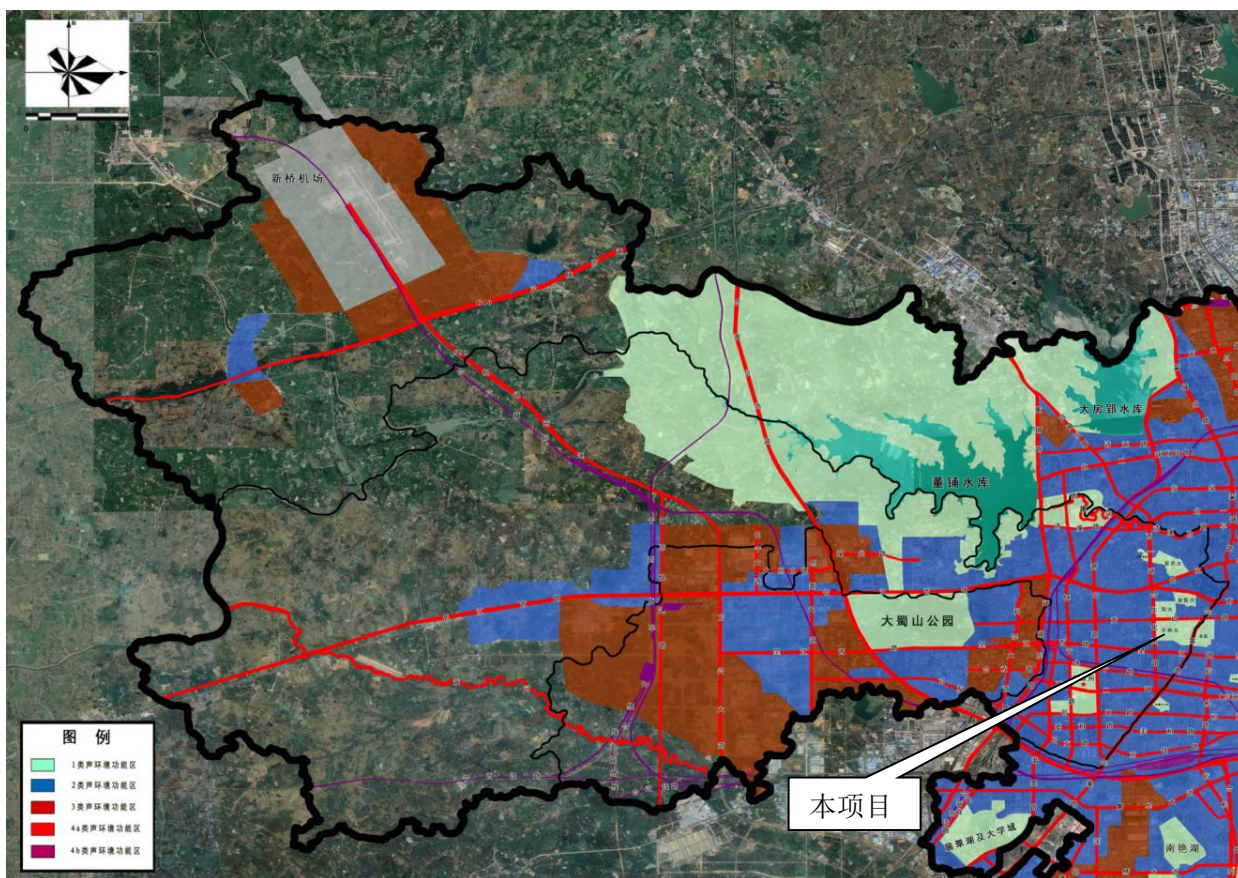


图1.4-1 蜀山区声环境功能区划（2020版）

（3）固废评价标准

一般固废临时贮存执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；危险废物贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则核技术应用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）中的相关规定“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”。

合肥光源储能环电子最大能量为800MeV，属I类射线装置，其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感生放射性气体对人员造成的照射。本次评价项目是将储能环束流强度从300mA提升至500mA，并新增一条光束线站。参照HJ10.1-2016的要求，该项目电离辐射环境影响评价范围确定为主体装置屏蔽体向外100m的范围，具体详图1.5-1。

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）的规定，该项目所处声环境功能区为GB3096中的1类功能区，确定该项目声环境影响评价等级为二级，评价范围为同步辐射实验室场界外200m范围，具体详图1.5-2。

由3.3.2章节及3.3.3章节的分析可知，该项目产生的感生放射性废气及臭氧、二氧化氮的饱和浓度均很低，对周围外环境影响很小，根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）的规定，确定该项目大气环境影响评价等级为三级。因此，不设定大气环境影响评价范围。



图1.5-1 本项目辐射环境影响评价范围图（注入器及储存环屏蔽体外100m）

1.5.2 保护目标

与污染源项相应的环境保护目标和评价因子情况详见表1.5-1。项目周围评价范围内环境敏感目标见表1.5-2、表1.5-3。

表1.5-1 项目环境保护目标和评价因子

源项类型	评价因子	保护目标	保护要求
贯穿辐射（储存环）	中子、X- γ 射线	辐射工作人员、用户单位科研人员、公众	辐射工作人员剂量不大于 5mSv/a，用户单位科研人员剂量不大于 0.5mSv/a，公众剂量不大于 0.1mSv/a
感生放射性	感生放射性气体	辐射工作人员、其他工作人员	防止活化空气泄漏到工作场所，同时尽量减少环境排放量
	活化的设备冷却水		单独贮存，经有关部门监测达标后排放
	活化束流管等设备部件		满足 GB11928-1989 要求，妥善处理
非放相关的有害气体	臭氧、氮氧化物	工作场所及周围环境空气	满足 GBZ2.1-2019 和 GB3095-2012 及其修改单中的相关要求
通风及空调系统	噪声	校内科研办公及周边居住人群	满足 GB3096-2008 中 1 类/2 类功能区标准要求

表1.5-2 辐射环境影响评价范围内保护目标分布情况

工作场所	方位	距离/m	周围环境	保护目标	人数/人
储存环隧道	周围	0~40m	环大厅线实验站	职业人员	约 20
				科研人员	约 40
	东南	40~100	2 号办公楼及学术报告厅	公众人员	约 100
	东	70~100	非机动车棚	公众人员	约 100
	南	40~100	内部道路、停车场、太湖路	公众人员	约 10
	上方	/	屋顶	/	/
	下方	/	土壤层	/	/

表1.5-3 声环境影响评价范围内保护目标分布情况

工作场所	方位	距离/m	周围环境	保护目标	人数/人
国家同步辐射实验室	北侧	50~200m	中科大校内教学楼、实验室等	公众人员	约 300
	西侧	60~200	自行车小区、上品佳苑小区、合肥馨怡家园小区	公众人员	约 500
	南侧	90~200	锦书苑、省一建宿舍	公众人员	约 200
	东侧	30~200	学术报告厅、办公楼、实验楼及专家楼	公众人员	约 200

2 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 地理位置

合肥市位于安徽省中部，北纬31度52分、东经117度17分。北与淮南市接壤，南与安庆市相连，东与滁州市、马鞍山市、芜湖市毗邻，西与六安市交界。

合肥光源（Hefei Light Source）位于合肥市蜀山区黄山路443号中国科学技术大学西校区内，系中国第一个国家级实验室，其一期工程于1984年破土动工建设，1999年二期工程建设，2010-2014年合肥光源进行重大升级改造。本次评价项目是在现有建设基础上束流提升及新增1条线站，为原址改扩建。本项目地理位置详见图1.1-1，周围环境概况见图1.1-2。

2.1.2 地形、地貌、地质

合肥地区属于下扬子海槽和淮阳古陆边缘地带。震旦纪前，该地为烟波浩淼的海浸区，吕梁造山运动，产生了淮阳高地与古大别山。白垩纪的燕山运动，江淮间出现皱褶，形成了江淮丘陵。第四纪的喜马拉雅运动，地壳升降、断裂、波折，出现西东走向的江淮分水岭，形成江淮分水格局。

合肥地区断层较为发育，除郯庐（山东省郯城至安徽省庐江）深断裂通过其东部外，境内断层纵横。

1) 肥中断裂（F1）：走向近 EW，压扭性，形成时期较早，是合肥纬向构造带的断裂之一。

2) 合肥一义城集断裂（F2）：走向 NNW，压扭性，东盘北移，西

盘南移，贯穿整个区域。

3) 合肥—东关断裂 (F3)：走向 NW，压扭性，形成较晚，切割区内的断裂构造。

4) 合肥—千人桥断裂 (F4)：走向 NNE，压性，贯穿整个区域。

5) 义城集—三河镇断裂 (F5)：走向 NNE，压性，贯穿整个区域，与 F4 均属于新华夏构造体系中的断裂。

6) 肥东—西山驿断裂 (F6)：走向 NW，压扭性，穿过肥东县城。

7) 六安—合肥断裂 (F7)：走向近 EW，压扭性。

项目区域位于江淮丘陵地带，地貌类型属河谷平原，地势基本上为西北高、东南低，地形起伏，岗冲相间，以耕地为主，多于旱地。该项目所在地地形平坦，略呈东高西低，海拔为 18.3~22.2 米；基岩为白垩纪第三系红砂岩，地表覆盖粘土层。

现将地层由老到新介绍如下：

(1) 侏罗系上统 (J3)

分布在本区的西南部。以紫红、灰紫色粗面岩、粗面斑岩、安山岩及其凝灰熔岩、凝灰岩为主。其次为粗面质和安山质角砾岩、集块岩，少量流纹质和石英质熔凝灰岩。局部见有珍珠岩和黑曜岩，部分地段夹红色细砂岩，底部为砾岩。厚度大于 1033m。

(2) 白垩系

1) 下统朱巷组 (K1z)

分布在区域的北部。主要为一套红色碎屑岩和粘土岩，局部夹碳酸盐岩，厚度 600~1843m。其岩性大体可分四段：

第一段 (K1z1)：棕红色含砾粗砂岩、细砂岩夹粉砂质泥岩和泥岩。厚度大于 513m。

第二段 (K1z2)：深棕褐色粉砂质泥岩夹粉砂岩及黄绿色页岩，含石膏。厚度 191.5~739m。

第三段 (K1z3)：棕红色砾岩、砂岩夹褐色粉砂质泥岩及黄绿色页岩。厚度 150.5~463.7m。

第四段 (K1z4)：棕褐色粉砂质泥岩和灰绿色页岩。厚度 121.5~1213.5m。

2) 上统张桥组 (K2z)

下部为红色砾岩，含砾中粗砂岩夹细砂岩，砾石成分以花岗片岩和大理岩为主，厚度 50m。上部为鲜红色薄层细砂岩、厚层含砾中粗砂岩、紫红色厚层铁质泥岩，含粉砂质泥岩和少量灰白色泥质粉砂岩，厚度大于 503.3m。

(3) 下第三系定远群 (Edn)

分布于区内的东部和东南部。为一套红色含膏、盐的碎屑岩、粘土岩沉积，与下伏张桥组连续过渡，总厚 753.5~3290.8m。岩性可分四段：

第一段 (Edn1)：棕、棕褐、紫红色夹青灰色粉砂质泥岩，泥质粉砂岩，细砂岩，底部有时为含砾细砂岩。厚度 144~390m。

第二段 (Edn2)：紫红、棕、青灰、黄绿色泥质粉砂质砂岩，泥质粉砂岩，粉砂质泥岩夹粉砂岩。厚度 119.9~161.1m。

第三段 (Edn3)：紫红、棕红、浅棕青灰色泥岩，粉砂质泥岩夹粉砂岩，细砂岩含石膏。厚度 139.6~160.6m。

第四段 (Edn4)：灰红、棕红、褐黄色粉砂岩、细砂岩，粉砂质泥岩，底部为含砾粉砂岩。厚度 76.6m。

(4) 第四系

区内第四系主要分布有第四系上更新统和全新统。

上更新统（Q3）：广泛分布于整个区域内的河间地区，主要是河流冲积物。岩性稳定单一，主要为棕黄、褐黄、青黄杂色亚粘土，结构紧密，柱状节理发育，可碎裂成块状或蒜瓣状，含铁锰质和钙质结核，底部较富集，钙质结核粒径一般在 10~20cm。下部可见亚砂土或薄层砂层透镜体。厚度一般在 2~20m。

全新统（Q4）：主要分布在河谷地带，一般具有二元结构。下部主要为青灰、黄褐、灰白、灰绿色中细砂层，含砾砂层或砂砾石层，一般 1~10m 不等，结构松散，分选性较好，砂颗粒成分主要为石英、长石等。上部多为青灰、黄褐、灰黑色淤泥质亚粘土或粉土质亚粘土，局部亚砂土，含少量的铁锰质结核，厚度一般在 3~20m。

2.1.3 水文

2.1.3.1 地表水

合肥地表水系较为发达，以江淮分水岭为界，岭北为淮河水系，岭南为长江水系，淮河水系主要有东淝河、沛河、池河等，长江水系主要有南淝河、派河、丰乐河、杭埠河、滁河、裕溪河、兆河、柘皋河、白石天河、西河等。

境内巢湖是中国五大淡水湖之一，东西长 54.5 公里，南北宽 21 公里，水域面积 770 平方公里，号称“八百里巢湖”，湖底海拔 5 米，湖水容量随水位高程的不同而不同，当水位高程达 14 米时，湖水容量为 63.7 亿立方米。

2.1.3.2 地下水

该区地下水类型属上层滞水（分布在杂、素填土中）和下部轻亚粘土及砂层中的潜水，主要补给来源为大气降水。

一、地下水类型及富水特征

根据地下水的赋存条件、水力性质及地层岩性组合特征，区域的含水岩组可划分为松散岩类孔隙水含水岩组和碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组。

1、第四系松散岩类孔隙水含水岩组

1) 第四系全新统 (Q4) 冲积孔隙含水岩组：主要分布在河流的河漫滩平原。含水岩组岩性主要为粉细砂、中细砂、含砾中粗砂和砂砾石层。上覆比较稳定的亚粘土层，顶板埋深一般在 8~18m，1~4 层。水位埋深一般在 1~3m，具有承压性，含水层厚度一般 3~7m。含水层粒度从上游到下游、由河床向两侧、自上而下均具有颗粒由粗变细的分选特征。含水砂层孔隙度大，连通性好，导水性强。单井涌水量一般在 100~500m³/d，局部含水砂层厚度大，含水颗粒粗的地方，大于 500m³/d。水化学类型主要为 HCO₃-Ca、HCO₃-Ca·Na 和 HCO₃-Na·Ca 型，矿化度一般小于 1000mg/L。

2) 第四系上更新统 (Q3) 冲洪积层孔隙裂隙含水岩组：主要分布在河间一级阶地和山间的波状平原。岩性主要为粘性土，含水岩组岩性主要为粘性土中的孔隙、柱状裂隙。上更新统粘性土多不整合在下伏的基岩之上，其厚度变化受古地貌的控制，即下伏基岩埋深大，则厚度相应就大，反之厚度相应较小。本区厚度有一般在 20~40m。地下水水位埋深一般 5~7m，季节性变化较大，年变幅一般不小于 5m，干旱季节水位埋藏很深，甚至无水，以潜水或上层滞水的形式存在。单井涌水量一般在 2~10m³/d，仅在局部，有良好的补给和储存条件下，水量可以达到 30~50m³/d。水化学类型以 HCO₃-Ca、HCO₃-Ca·Na 型为主，矿化度一般小于 1000mg/L。

2、碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组

区域广泛分布由中、新生界一套红色内陆湖湘沉积的侏罗系、白垩系、下第三系的砂砾岩、中粗砂岩、粉细砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩及泥岩等碎屑岩组成的含水岩组，部分岩组在不同程度上含可溶盐和易溶盐成分，如方解石、石膏、芒硝、钙芒硝等，常以柱状、晶族状、团块状、条带状、似层状或以胶结物形式分布，充填于岩层及碎屑物中。地层产状平缓，倾向 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。区内被第四系全部覆盖。

区内含水岩组由下第三系定远群(Edn1)和白垩系上统张桥组(K2z)的中细砂岩、中粗砂岩、含砾砂岩组成。其中定远群第一段岩层中富含碳酸盐成分或未泥钙质、钙质胶结，结构较疏松，裂隙发育。在富钙层位中，由于水的交替作用，钙质体经溶蚀形成小溶孔、溶洞，类似碳酸盐岩中的“岩溶”。水的交替作用扩大了岩层中原有的裂隙孔隙，构成蜂窝状的储水空间，张桥组岩层一般松散，无异于第四系松散砂层，其透水性和连通性良好，有利于地下水的运移和富集。上述富钙和松散的粗屑岩层，其补给条件优越，为富水性较强的含水层。水位埋深一般小于 20m，具承压性质，在有利的地质构造和补给条件下，可以自留。

二、地下水补径排及动态特征

1、第四系松散岩类孔隙水含水岩组

1) 第四系全新统(Q4)冲积孔隙含水岩组

该含水岩组主要分布在河漫滩地带，地形平坦，组成地层岩性为全新统冲积粉土质亚粘土、亚砂土及砂砾石层，结构松散，孔隙性大，连通性好。地下水的主要补给来源是：大气降水的入渗补给、河谷两侧及上游阶地地表径流渗入补给和山前基岩裂隙水的侧向径流补给。受地形的控制，通过河床和漫滩松散堆积物孔隙从上游至下游径流，水力坡度较小，一般 $1/1000\sim 2/1000$ ，径流迟缓，径流量不大。径流排泄、向河

流排泄和开采排泄是其主要排泄方式。地下水的动态受降水影响十分明显，雨季补给充足，地下水水位上升，旱季补给减少，地下水水位明显下降，一般年变幅在 3~5m。

2) 第四系上更新统 (Q3) 冲洪积层孔隙裂隙含水岩组

该含水岩组主要分布在河间一级阶地和山间的波状平原。岩性主要为粘性土，其柱状裂隙发育，地下水的主要补给来源是大气降水入渗补给，部分有山前地表径流渗入补给。由于岩性不含水，降水或地表径流沿粘性土的柱状裂隙渗入，形成包气带中的上层滞水，当包气带被地下水饱和后才有可能在重力的作用下补给下伏含水层。同时垂直裂隙组成了水平方向上的隔水边界，基本不产生水平方向上的地下水径流，从而构成了渗入—蒸发型为特征的循环方式。蒸发排泄和开采排泄是其主要排泄途径。根据长期观测资料，地下水的动态主要受降水影响，其变化规律与降水是相符合的，一般年变幅在 5~7m。

2、碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组

由侏罗系、白垩系、下第三系的砂砾岩、中粗砂岩、粉细砂岩、泥质砂岩、砂质泥岩及泥岩等碎屑岩组成的含水岩组，被第四系覆盖。其地下水循环方式一般不受气象因素的直接控制和影响，与上覆含水层在无构造作用或其它条件造成相互连通的情况下，两者地下水的动态变化在时间上也不具有同一性。

地下水的补给来源比较复杂：大气降水在山前补给区或其它出露区的直接渗入补给；通过导水断裂引入地表径流或从被切穿的相邻含水层中获得补给；上覆第四系松散层补给以及人为补给等等。径流方式：沿含水层底板由山前补给区向远山方向径流，穿越含水层径流以及沿导水断裂通道径流等。排泄途径：各种的径流排泄和人工开采是其主要排泄

途径。

2.1.4气候与气象

合肥市位于江淮之间，属于暖温带向亚热带的过度带气候型，为亚热带湿润季风气候，季风明显、四季分明、气候温和、雨量适中、春温多变、秋高气爽、梅雨显著、夏雨集中。年平均气温 15.7 摄氏度，降雨量 1019mm，蒸发量 1471mm，日照 2100 多个小时。

年平均气温：15.7℃

极端最高气温：40℃

极端最低气温：-20℃

采暖室外计算温度：-3℃

年主导风向：东北偏东（ENE）

夏季主导风向：南风（S）

冬季主导风向：东风（E）、东北风（NE）

夏季平均风速：2.6m/s

年最大降雨量：1541.9mm

年平均降雨量：1067.2mm

年均相对湿度：76%

最大冻土深度：400mm

最大积雪厚度：450mm

2.1.5生物多样性

合肥市属北亚热带季风气候，雨量适中，光照充足。农作物主要有水稻、油菜、花生、小麦、大豆、山芋等。区域环境内无自然状态下的森林，无珍稀或濒临物种，植被以人工植被为主，野生动物稀少，仅有鸟类、蛇类。近郊家禽主要为猪、牛、鸡、鸭、鹅等，天然鱼类资源很

少，主要是人工养殖的经济鱼类，为鲢、草、青、鲫等。

2.2 社会环境状况

2.2.1 人口区划与人口分布

蜀山区位于合肥市区西南部，是全市四个中心城区之一，也是西部城市组团核心城区和门户城区。区属 2 个镇、8 个街道、1 个国家级开发区，辖 62 个城市社区，17 个行政村，实际管辖面积约 220 平方公里。

蜀山区是合肥市的主要城区之一，人口密度较高。根据最新的统计数据，截至 2020 年底，蜀山区总人口约为 110 万人，其中常住人口约为 90 万人。人口分布主要集中在蜀山区的市中心和城区周边的新城区，其中高新技术产业园区和科学城等地区人口增长较快。

中国科学技术大学西校区位于安徽省合肥市蜀山区长江西路街道，占地面积约为 1100 亩，是中国科学技术大学的一个重要分校区。该校区建立于 20 世纪 80 年代初期，主要用于教学、科研和学生住宿，教职工及全日制在校生约 1 万余人。

该项目辐射评价范围，除南侧覆盖太湖路、西侧覆盖合作化南路外，基本在校区范围内，评价范围内无居民聚集区。

2.2.2 经济发展状况

根据蜀山区人民政府发布的数据，2022 年蜀山区实现 GDP1303.1 亿元、增长 4.2%，2023 年上半年实现 GDP 增速 7.1%，位居赛迪投资竞争力百强区全省第 1、全国第 23 位。

（一）中心城区，市府要地。蜀山区是市委、市政府所在地，是全市政治、文化中心，大城大乡、城乡交融。全市四城区唯一的安徽自贸区合肥片区蜀山区块 2020 年挂牌。高速、地铁交汇衔接，高铁、机场四通八达，建设中的江淮运河贯通南北。天鹅湖文化商务区、运河新城

等重点片区基础设施完备、功能配套完善，是产业聚集的“高地”、投资兴业的“热土”。

（二）科教名区，人才高地。聚集全市 70%的科教资源，拥有以中国科学技术大学为代表的高等院校 29 所，以中科院合肥物质科学研究院为代表的科研院所 162 个，以国家同步辐射实验室为标志的国家大科学工程、重点实验室、工程（技术）研究中心等省级以上研发平台 178 个。汇集 10 万多名科教人才和高校学生，占总人口比例为全省最高。以全省第一、全国第 27 位入围赛迪创新百强区(2022)榜单。

（三）人居美区，生态佳地。辖区内董铺水库、大蜀山湖光山色交相辉映，合肥植物园、四季花海等众多美景引人入胜，城区绿化覆盖率、林木绿化率、人均绿地面积均居全市首位。万科、绿城、绿地、华润、保利、中海等高端地产企业在全省首个项目均落户蜀山，是名符其实的山水生态宜居区。

（四）商务大区，金融领地。服务业增加值占比超过 80%，规上服务业营业收入居四城区首位，天鹅湖文化商务区荣登省级服务业集聚区、三里庵商圈荣批省级服务业集聚示范园区。中国（合肥）跨境电子商务综合试验区通关运营。各类金融机构已超过 260 家，汇丰银行、南洋商业银行、平安银行、科农商行、国元证券等省级总部均坐落于蜀山。普华永道、德勤、戴德梁行等国际行所，以及中国人寿、中国邮政、携程网等国字号知名企业落户蜀山。

近年来，蜀山区各级党组织团结带领蜀山人民坚决贯彻中央和省、市委部署，紧扣“魅力蜀山、首创之区”建设目标，先后荣获“全国科技进步先进城区”“全国社区建设示范区”“国家文化出口基地”等 20 余项国家级桂冠，蜀山经济开发区成功晋升为国家级，所辖两镇全部入

选全国百强镇。入选最受投资机构欢迎的区县政府 LP 第 11 名，蝉联全国综合实力、科技创新、绿色发展、投资潜力和新型城镇化质量 5 个“百强区”，战新产业发展和土地集约节约利用获国务院通报表彰，连续两年获评全省县域经济高质量发展考核评价 D 类第一名，荣登全省制造业发展综合 10 强和增速 10 快，成为“科创安徽”首批试点城区。

2.2.3 交通

蜀山区区位优势突出。作为合肥市的一个主要行政区域，蜀山区具有得天独厚的交通区位优势。首先，该区紧邻合肥市中心，距离合肥火车站、合肥南站等主要交通枢纽仅需 10-20 分钟的车程。其次，蜀山区蜀山区拥有合宁、合徐、合安、合铜、合芜、合六、合淮阜等近十条高速公路，312 国道、206 国道穿区而过，使得该区与周边城市的交通联系更加便捷。此外，区内长江西路、黄山路、望江路、潜山路、一环路、二环路等 8 条主干道纵横蜀山区，与全国公路网连通；多条公交线路和地铁线路贯穿其中，为当地居民提供了高效便捷的公共交通服务。另外，蜀山区还拥有多个重要的物流园区和物流企业，为物流行业的发展提供了良好的基础设施和服务支持。这些交通和物流优势，为蜀山区吸引了大量的投资和企业，促进了当地经济的发展。

2.2.4 文物古迹及风景名胜

该项目评价范围内无文物古迹及风景名胜等各级各类保护区。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 监测内容

该项目主要辐射污染因子为瞬发辐射和感生放射性，主要的环境影响因素为空气、地表水、地下水和土壤。同时为了解项目场界声环境质量现状，对同步辐射实验室场界四周及评价范围内声环境保护目标处噪

声进行了监测。环境现状监测对象和监测项目见表 2.3-1。

800MeV 电子加速器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环境地表 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 ；因项目区无地下水井，且根据项目 30 余年运行经验，合肥光源未发生循环冷却水泄露事故，项目区周围地表水及土壤均未明显活化，故本次监测未采集地下水样；地表水活化的主要核素考虑 ^3H 、 ^7Be 、 ^{22}Na 。因此本次辐射环境现状调查中，对项目所在地土壤、地表水中相关核素的活度浓度进行了分析。此外，考虑到总 α 、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地表水及循环冷却水中总 α 、总 β 的活度浓度也进行了分析。

因本项目为原址改扩建项目，项目已运行多年，故对循环冷却水活化水平进行采样检测；项目无暂存的放射性固体废物，故未采样检测。具体如下表所列。

表2.3-1 监测对象和项目

序号	监测对象	监测项目
1	贯穿辐射	环境地表 γ 辐射剂量率
		中子剂量当量率
2	空气	氢-3
3	气溶胶	铍-7、钠-22
4	土壤	铍-7、钠-22
5	地表水	总 α 、总 β 、氢-3、铍-7、钠-22
6	循环冷却水	总 α 、总 β 、氢-3、铍-7、钠-22
7	噪声	等效连续A声级

2.3.2监测（分析）依据和监测设备

为了解掌握该项目所在区域的环境质量现状，经中国科学技术大学申请，安徽省辐射环境监督站于 2024 年 6 月对项目拟建场址周围进行了空气、土壤、地表水、循环冷却水中核素的活度浓度进行了监测。

2024 年 6 月 28 日，核工业二七 0 研究所于对项目环境地表 γ 辐射剂量率、中子剂量当量率及噪声进行了现状监测。

此次监测使用的仪器设备详见表 2.3-2。监测、分析时监测仪器设备均处于检定（校准）有效期内，各项指标均满足国家标准且能满足该项目的监测需求。

表2.3-2监测仪器设备及性能指标

仪器名称	仪器型号	主要技术指标
便携式X、 γ 剂量率仪	主机：FH40G 探头：FHZ672E-10 (030981+11603)	测量范围：10nSv/h~1Sv/h 能量响应：30keV~4.4MeV 检定单位：中国计量科学研究院 证书编号：DLj12024-04933 有效期：2024.4.29~2025.4.28
中子剂量当量仪	主机：FH40G 探头：FHT762 (030981+10623)	测量范围：0.01 μ Sv/h~100mSv/h 能量响应：0.025keV~5GeV 检定单位：中国计量科学研究院 证书编号：DLjs2024-01320 有效期：2024.5.16~2025.5.15
多功能声级计	AWA6228+ (00323169)	频率范围：10Hz~20kHz 测量范围：低量程20~132dB（A） 高量程30~142dB（A） 检定单位：深圳市计量质量检测研究院 证书编号：JL2404806061

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

		有效期：2024.4.7~2025.4.6
声校准器	AWA6021A (1013093)	标称声压级：94dB、114dB 频率：1000Hz+5Hz 校准单位：深圳市计量质量检测研究院 证书编号：J2024032006449-0014 校准日期：2024.4.1
低本底 α/β 测量仪	MPC-9604 (18108499)	探测效率： α 源：241Am $\geq 65\%(2\pi)$ β 源：90Sr-90Y $\geq 65\%(2\pi)$ 有效日期：2023.4.4-2025.4.3 证书编号：2023H21-20449492400101
HPGe谱仪	BE5030 (8692)	能量范围：40keV-2MeV 分辨率：1.76keV(FWHM,1332keV60Co) 有效日期：2024.03.19-2026.03.18 证书编号：GFJGJL1005240002615
HPGe谱仪	BE5030 (13377)	能量范围：40keV-2MeV 分辨率：1.80keV(FWHM,1332keV60Co) 有效日期：2024.3.27-2026.3.26 证书编号：GFJGJL1005240002616
HPGe谱仪	GCW5021 (1619)	能量范围：40keV-2MeV 分辨率：2.10keV(FWHM,1332keV60Co) 有效日期：2023.3.15-2025.3.14 证书编号：GFJGJL1005230001397
超低本底液体闪烁谱仪	Quantulus1200-3 (DG04117775)	测量范围： $\geq 2.0\text{Bq/L}$ 探测效率：53.2% 有效日期：2023.4.4-2025.4.3 证书编号：2023H21-10-4494919001

表2.3-3监测方法和布点原则

序号	监测对象	监测方法	标准依据
1	贯穿辐射	在项目场址、环境敏感点、厂界等关注点处布设贯穿辐射剂量率监测点位，共计15个监测点位。采用便携式监测仪表，以定点测量方式进行。每个监测点位测量10次，每次间隔5秒钟，监测结果取平均值	《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射防护仪器中子周围剂量当量(率)仪》（GB/T 14318-2019）
2	噪声	在厂界外1m、高度1.2m以上、距任一反射面距离不小于1m的位置，共设4个监测点位，分别在昼间、夜间两个时段测量1min的等效声级	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）、《声环境质量标准》（GB3096-2008）
3	土壤	在国家同步辐射实验室四周采用梅花形布点采样法，共采取了4个土壤样。土壤样送实验室预处理后，采用高纯锗 γ 谱仪测量 γ 核素活度浓度	《核能核燃料循环技术废物液闪法测量废物中氡活度》（NF 翻译的中文NF-M60-325-2005）、《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T11743-2013）、《水中放射性核素的 γ 能谱分析方法》（GB/T16140-2018）、《水中氡的分析方法》（HJ1126-2020）、《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ 899-2017）、《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》（HJ 898-2017）、《气载放射性物质取样一般规定》
4	水样	取国家同步辐射实验室北侧池塘水样及循环冷却水样各1个，水样状态：澄清透明；送实验室预处理后采用低本底 α 、 β 测量仪测量总 α 、总 β 活度浓度，采用高纯锗 γ 谱仪和液闪谱仪测量 γ 核素的活度浓度	

5	大气	在国家同步辐射实验室楼顶设1个采样点，空气样送实验室预处理后采用高纯锗 γ 谱仪测量 γ 核素活度浓度	(HJ/T22-1998)、《空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(WS/T184-2017)、《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》(GB/T11713-2015)
---	----	---	---

2.3.3 质量保证措施

(1) 监测单位取得了《检验检测机构资质认定证书》(安徽省辐射环境监督站，证书编号240012052524；核工业二七〇研究所证书编号171421180789)，现场监测时间在其证书有效期内。监测项目均在《检验检测机构资质认定证书附表》里批准的检验检测能力范围内。

(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) 针对各类样品的采集，监测单位制定了操作规程，要求参加采样人员在实施采样前充分了解，并在采样过程中严格执行。

(4) 采样器符合国家技术标准的规定，使用前须检验并确认其性能良好后方可采样，保证采样器和样品容器的清洁，防止交叉污染。

(5) 采样后按规定方法进行暂存或预处理，并尽快送往实验室，做好样品交接工作。

(6) 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。

(7) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用，且在检定有效期内。

(8) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

(9) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

(10) 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。

2.3.4 监测结果

2.3.4.1 贯穿辐射

项目场址及周围环境贯穿辐射剂量率监测结果见表2.3-4。

表 2.3-4 项目场址及周围环境贯穿辐射剂量率监测结果

序号	监测位置描述	环境地表 γ 辐射剂量率 (nSv/h)	中子周围剂量当量率 (nSv/h)	备注
1	国家同步辐射实验室西侧入口处	103	0	室外
2	西侧门卫室内	102	0	室内
3	国家同步辐射实验室西侧场界处	106	0	室外
4	国家同步辐射实验室北侧场界处	109	0	室外
5	国家同步辐射实验室东侧场界处	107	0	室外
6	国家同步辐射实验室屋顶	99	0	室外
7	2 号楼北侧	101	0	室外
8	3 号楼北侧	103	0	室外
9	合肥光源环大厅入口处	105	0	室外
10	合肥光源中央控制室内	107	0	室内
11	加速器西门外 30cm 处	112	0	室内
12	加速器南侧调速管走廊	113	0	室内
13	加速器北侧绿化带处	109	0	室外
14	实验线站工作区	112	0	室内
15	实验线站工作区	109	0	室内

注：1、监测时加速器电子能量800MeV，正常运行；2、监测结果未扣除宇宙射线响应值；3、中子周围剂量当量仪的探测下限LLDn：0.01 μ Sv/h。

由监测结果可知，该项目场址及周围环境地表 γ 辐射剂量率（含宇

宇宙射线贡献值) 为99~113nGy/h。该项目场址及周围环境地表 γ 辐射剂量率水平与2023年安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果基本相当(平均值为97.0nGy/h, 范围为59~129nGy/h)。

该项目场址及周围环境中的中子辐射剂量率均低于仪器检出限。

2.3.4.2 大气环境

项目场址及周围环境空气中氡活度浓度监测结果见表 2.3-5。

表 2.3-5 项目场址及周围环境空气中氡监测结果

序号	环境介质	监测位置描述	监测项目	活度浓度 (mBq/m ³)
1	空气	国家同步辐射实验 室楼顶	氢-3	90.17
			铍-7	4.83
			钠-22	$\leq 5.56 \times 10^{-3}^*$
2	气溶胶	国家同步辐射实验 室楼顶	铍-7	4.83
			钠-22	$\leq 5.56 \times 10^{-3}^*$

注：“*”号标注数值为探测限，不确定度 k=2。未检测出其他人工放射性核素。

由监测结果可知，国家同步辐射实验室楼顶周围环境空气中氢-3的活度浓度为90.17mBq/m³，铍-7的活度浓度为4.83mBq/m³，钠-22的活度浓度低于检出限；气溶胶中铍-7的活度浓度为4.83mBq/m³，钠-22的活度浓度低于检出限。

对照生态环境部发布的《2021全国辐射环境质量报告》：全国空气中氢-3（气）活度浓度为7.4~34mBq/m³，气溶胶中铍-7活度浓度为0.96~8.4mBq/m³。

该项目区域空气氡活度浓度略高于全国空气氡活度浓度，气溶胶中铍-7活度浓度均处于全国空气氡活度浓度的正常范围内，未见明显异常。

2.3.4.3 土壤

项目场址及周围土壤中放射性核素活度浓度监测结果见表2.3-6。

表 2.3-6 项目场址及周围土壤中放射性核素活度浓度监测结果

序号	监测位置描述	监测项目	活度浓度
1	国家同步辐射实验室南侧 土样	铍-7 (Bq/kg.干)	22.5
		钠-22 (Bq/kg.干)	<0.76*
2	国家同步辐射实验室西侧 土样	铍-7 (Bq/kg.干)	26.1
		钠-22 (Bq/kg.干)	<0.73*
3	国家同步辐射实验室北侧 土样	铍-7 (Bq/kg.干)	39.7
		钠-22 (Bq/kg.干)	<0.73*
4	国家同步辐射实验室东侧 土样	铍-7 (Bq/kg.干)	59.1
		钠-22 (Bq/kg.干)	<0.80*

注：“*”号标注数值为探测限，不确定度 $k=2$ 。未检测出其他人工放射性核素。

由监测结果可知，项目场址周围土壤中放射性核素铍-7活度浓度在22.5~59.1Bq/kg.干、钠-22活度浓度低于仪器探测限。

2.3.4.4 水样

项目场址周围地表水中放射性核素活度浓度监测结果见表2.3-7。

表 2.3-7 项目场址周围地表水中放射性核素活度浓度监测结果

序号	监测位置描述	监测项目	活度浓度
1	国家同步辐射实验室周边 池塘水样	总 α (Bq/L)	$\leq$ LLD
		总 β (Bq/L)	0.159 $\pm$ 0.009
		铍-7 (mBq/L)	$\leq$ 0.22*
		钠-22 (mBq/L)	$\leq 2.32 \times 10^{-2}$ *
2	加速器循环冷却水样	总 α (Bq/L)	$\leq$ LLD
		总 β (Bq/L)	0.017 $\pm$ 0.002

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

		铍-7 (mBq/L)	$\leq 0.20^*$
		钠-22 (mBq/L)	$\leq 2.12 \times 10^{-2}^*$

注：1、总 α 的探测限 LLD 为 4.3×10^{-2} Bq/L；2、“*”号标注数值为探测限，不确定度 $k=2$ 。
未检测出其他人工放射性核素。

由监测结果可知，项目场址周围地表水中总 α 活度浓度未检出，总 β 活度浓度 0.159 Bq/L，放射性核素铍-7、钠-22 活度浓度均低于相应的探测限。加速器设备循环冷却水中总 α 活度浓度未检出，总 β 活度浓度 0.017 Bq/L，放射性核素铍-7、钠-22 活度浓度均低于相应的探测限。

对照《2021 全国辐射环境质量报告》中全国主要江河流域中总 α 活度浓度范围为 0.01~0.34 Bq/L，总 β 活度浓度范围为 0.02~2.0 Bq/L。说明该项目周围地表水中的总 α 、总 β 活度浓度处于正常范围。

2.3.4.5 声环境

项目场址周围声环境监测结果见表 2.3-8。

表 2.3-8 项目场址周围声环境监测结果

序号	监测位置描述	等效连续 A 声级 (dB (A))	
		昼间	夜间
1	国家同步辐射实验室北侧场界外 1m 处	51	42
2	国家同步辐射实验室西侧场界外 1m 处	52	44
3	国家同步辐射实验室南侧场界外 1m 处	50	42
4	国家同步辐射实验室东侧场界外 1m 处	49	43
5	2 号办公楼	50	42
6	专家楼	48	41
7	五里华庭小区	53	45
8	锦书苑小区	52	44

9	省一建宿舍	52	43
10	合肥馨怡家园小区	55	45
11	自行车小区	55	46

由监测结果可知，同步辐射实验室西侧和南侧场界噪声满足《工业企业厂界噪声排放标准》（GB12348-2008）中4类标准要求，北侧和东侧场界及校内专家楼、办公楼昼间噪声满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中1类功能区标准要求。校外声环境保护目标处昼间噪声在52~55dB（A）范围内，夜间43~46dB（A）范围内，满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）2类功能区标准要求。

2.3.5 小结

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

2.4 场址适宜性评价

国家同步辐射实验室是国家计委批准建设的我国第一个国家级实验室。实验室拥有的同步辐射光源——合肥光源（HLS）是目前国内高校中唯一一台大科学装置和国家级实验研究平台，自1991年通过国家验收正式运行以来，未发生辐射安全事件或事故。

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，本项目场址及周围辐射环境质量良好，环境电离辐水平均处于当地天然本底波动范围内。

综上所述，本项目场址适宜性良好。

3 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

3.1.1 项目现状情况

合肥光源座落在安徽省合肥市南郊，中国科学技术大学西区校园内，占地约10公顷。1989年4月建成出光，是我国第一台专用真空紫外-软X射线同步辐射光源。合肥光源一期、二期工程及重大维修改造项目的环境影响评价均通过了专家评审和环保验收，批复文件见附件3。

合肥光源已许可的核技术应用内容详见下表3.1-1所示。



图3.1-1国家同步辐射实验室总体布局图

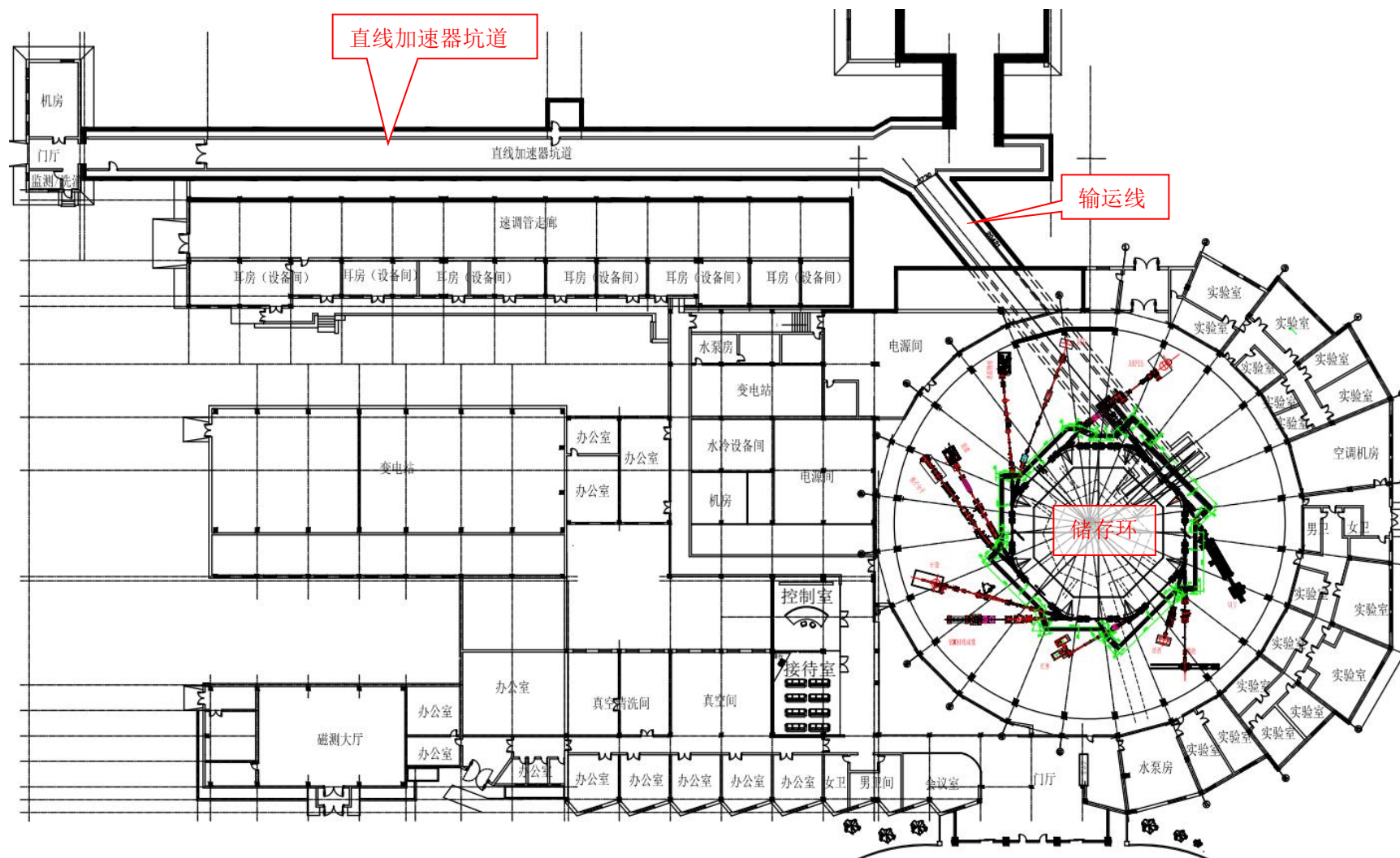


图3.1-2 HLS装置总体布局示意图

表 3.1-1 合肥光源已许可的核技术应用内容

装置名称	建设内容	数量	主要技术指标	备注
合肥光源 (HLS)	注入器（电子直线加速器及输运线）	1 台	电子能量 800MeV、单束团电荷量 1nC、重复频率 1Hz	I 类射线装置
	电子储存环	1 台	电子能量 800MeV、流强 300mA	
	光束线站	10 条	BL01B: 红外谱学与显微成像实验站 (1meV~1eV)	——
			BL03U: 燃烧线 (5~24.5 eV)	
			BL04B: 质谱实验站 (7.5-16.5eV)	
			BL07W: 软 X 射线成像 (250 -800eV)	
			BL08B: 光谱辐射标准与计量实验站 (主线 25-1000eV、支线 6-31eV)	
			BL09U: 原子与分子物理 (7-124 eV)	
			BL10B: 光电子能谱 (100 eV -1000 eV)	
			BL11U: 催化与表面科学线站 (20~600eV)	
			BL12B: XMCD-a/XMCD-b (50 eV- 1000 eV(弯铁光源))	
			BL13U: ARPES 实验站 (5-100eV)	

3.1.2 现有主体建筑

国家同步辐射实验室总体布局以射线装置主体建筑为中心，其余建筑围绕主体建筑四周布置。合肥光源项目占地面积约31500m²，总建筑面积20287m²，主要由注入器坑道和储存环大厅组成。其中，注入器坑道为一条半地下的隧道，800MeV直线加速器建于其中；储存环大厅中主要建有800MeV储存环和实验线站装置。辐射工作场所平面布局如图3-1所示。

主体建筑由4个功能区组成：注入器（包括直线坑道、速调管走廊、速调管走廊耳房、输运线坑道、束流垃圾桶五个部分）、储存环（包括储存环隧道、储存环设备厅等）、实验部（线站大厅）、周边裙房（线站准备间/实验室、中央控制室、真空调试间、办公区等）。主体建筑图纸详见附图2。

（一）注入器

（1）直线坑道净宽3.5m，净高3.5m，室内标高-3.0m，建筑长度114.15m。直线坑道北侧有一处4.4m×3.4m的凸出坑道，为泵房，设检修爬梯。坑道墙均为双套夹层，内墙为240mm厚砖墙，外墙为400mm厚抗渗混凝土墙体。顶部为120mm厚预制板+300mm厚架空层+120mm厚预制板+400mm厚抗渗混凝土板。直线坑道的速调管侧墙体内预埋内径310壁厚7.5长500的双层钢管。

（2）输运线坑道标高为-3.0m，坑道净宽2.7m，净高2.5m，长度约55m。输运线坑道与直线坑道段51度角相连通，另一端延伸至主体建筑储存环之下，储存环内光束线下穿至地下坑道，坑道内设有通至地面的检修孔。输运线坑道墙均为双套夹层，内墙为240mm砖墙，外墙为0.4m

抗渗混凝土墙体，顶板为厚度0.4m混凝土。

(3) 速调管走廊位于直线加速器坑道南侧上方，室内标高-1.2m，建筑长度78m，走廊净宽7.1m，层高9.5m。

(4) 速调管走廊耳房部分层高9.67m、部分层高14.10m，主要功能为控制室、准备间、直流高压、配电室、调制器高压、滤浊机房、排风机房等辅助设备间。

(5) 束流垃圾桶的设计：合肥光源束流垃圾桶位于注入器隧道末端，为厚5mm铜板制的圆柱体，直径1m，长1.8m，内部充满水。束流平面距地面1.2m，距隧道顶2.3m，距离束流方向屏蔽墙2m，距两侧墙分别为1.2m和2.3m。

表3.1-2 合肥光源注入器隧道屏蔽

名称	屏蔽设计	
加速器隧道和输运线隧道	方向	屏蔽厚度
	顶部	120mm厚预制板+300mm厚架空层+120mm厚预制板+400mm厚抗渗混凝土板+3.5m土层
	侧墙	坑道墙均为双套夹层，内墙为240mm厚砖墙，外墙为400mm厚抗渗混凝土墙体+3.5m土层
	束流正向墙壁	坑道墙均为双套夹层，内墙为240mm厚砖墙，外墙为400mm厚抗渗混凝土墙体+6m土层
屏蔽门	10号门：注入器直线加速器隧道西门	半注铅，门厚5cm，两面0.5mm钢板，内夹3cm石蜡和1mm铅板，铅板高度为门高度一半

(二) 储存环系统

储存环大厅为混凝土墙，房顶结构为12cm钢筋混凝土+3mm铅板+8cm保温材料（岩棉）。

(1) 储存环隧道位于线站大厅中央，室内标高0.00m，内环廊半径

23m，大厅外缘半径25m，将圆分为24等份，每份为15度夹角24条放射线，各条放射线以不同半径确定大厅周围实验室位置。储存环安装于储存环棚屋内。棚屋净宽3.5m，净高3.0m，为双层3mm钢板中间夹保温层。棚屋外为全封闭30cm预制钢筋混凝土结构防护墙，棚屋内紧靠储存环真空室安装5cm厚铅砖屏蔽墙、高度25cm，引出光束线处（非注入区锯齿墙长墙）的墙厚50cm，其他部位墙厚30cm。

（2）环大厅和环中心之间的过环隧道，离注入点较近，因此，为有效屏蔽可能从通道处散射出来的粒子，在隧道底部环大厅一侧装有一个注铅门（12号门）：门高2.65m、两层5mm厚钢板、中间夹2cm厚铅板和3cm厚石蜡。

（三）光束线站

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12.5m。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。合肥光源有6个弯铁光束线和6个插入件光束线，共12条光束线，已建10条光束线。10条光束线的布局见图3-2。

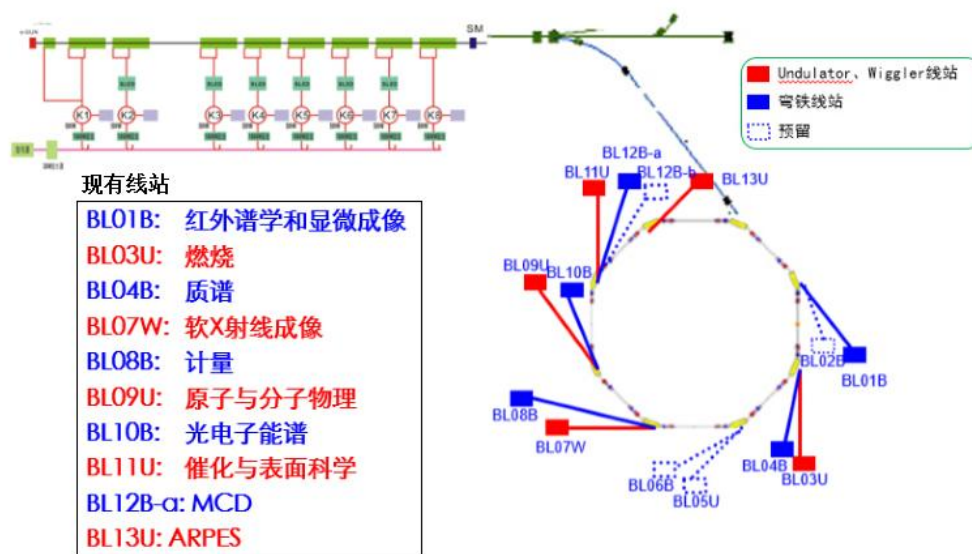


图 3.1-3 光束线站总体布局

（四）周边裙房

（1）辅助设备间：主要包括线站准备间、变电站、水泵房、空调机房等，位于线站大厅外圈布置。

（2）中央控制室：位于主体建筑西侧，参观人员由南侧门厅进入。

（3）真空调试间：位于主体建筑西侧，主要为真空调试大厅、真空调试间。

（4）实验部办公区：位于主体建筑南侧，主要功能为值班室、办公室、会议室等。

3.1.3 本次改扩建项目建设内容及规模

鉴于本次评价项目依托现有直线加速器注入器，不改变注入器工作介质及其能量、流强，也不改变注入器屏蔽结构及设备设施，因此，后续不再对注入器部分的辐射影响进行深入的分析和预测。

本次评价重点在储存环束流提升后屏蔽体外的辐射剂量率及其对周围环境及人群的影响。关于光束线站的辐射影响与评价，因储存环束

流提升后，储存环产生的同步辐射光引出至现有线站的光亮度均会增加。各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给实验站，但所有线站的屏蔽措施与本次新增的金华光束线站基本相同，实验站相对储存环隧道的距离也基本相同，因此，以金华线站为代表，评价全部线站的辐射水平及估算个人附加剂量。

表 3.1-3 本次评价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		备注
合肥光源 (HLS)	注入器（电子直线加速器及输运线）	1 台	电子能量：800MeV；直线加速器长度：74.5m 单束团电荷量：1nC；脉冲宽度：1ns 脉冲重复频率：1Hz；微波频率：2856MHz		依托现有
	储存环	1 台	原有参数： 储存环能量：800MeV 流强：300mA 寿命：8h 发射度：40nm·rad 轨道稳定性：5 μ m（V）	改造后参数： 储存环能量：800MeV 流强：500mA 寿命：8h 发射度：40nm·rad 轨道稳定性：5 μ m（V）	束流提升
	光束线站	1 条	金华光束线 （包含金华散射实验站（240~700eV）及 2 个 散射支线实验线站（77~124eV））		新增

表 3.1-4 储存环屏蔽措施对照一览表

储存环屏蔽体位置	屏蔽材料及厚度（cm）	
	改造前	改造后
环内侧屏蔽及顶屏蔽	双层 3mm 钢板中间夹保温层	不变
锯齿长墙	双层 3mm 钢板中间夹保温层+30cm 厚混凝土防护墙（高度 2.5m）	不变
锯齿短墙	双层 3mm 钢板中间夹保温层+50cm 厚混凝土防	不变

	护墙（高度 2.5m）	
棚屋内紧靠储存环束流管外侧	厚 5cm、高 25cm 铅砖*	-40cm~-12.5cm 处新增 5cm 厚铅砖， -12.5cm~12.5cm 处为现有 5cm 铅砖， 12.5cm~30cm 处新增 3cm 厚铅砖
地面	20cm 厚混凝土防护墙	不变

*注：现有铅砖中心为束流平面高度，定义为水平线 0，则现有铅砖高度范围 -12.5cm~12.5cm。

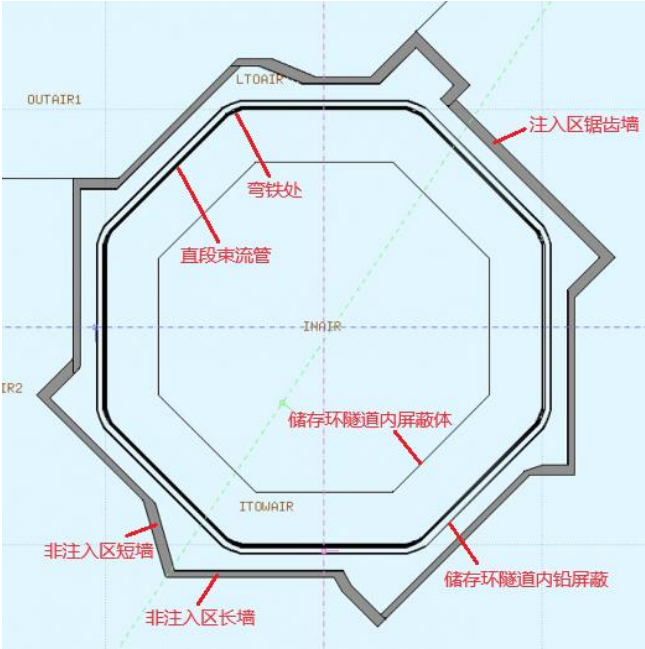


图 3.1-4 储存环屏蔽位置示意图

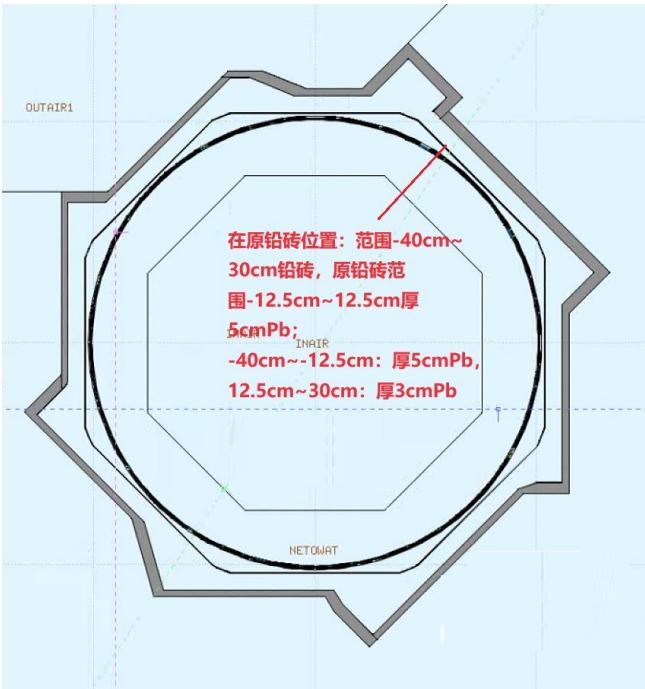


表 3.1-5 储存环本次新增屏蔽位置示意图

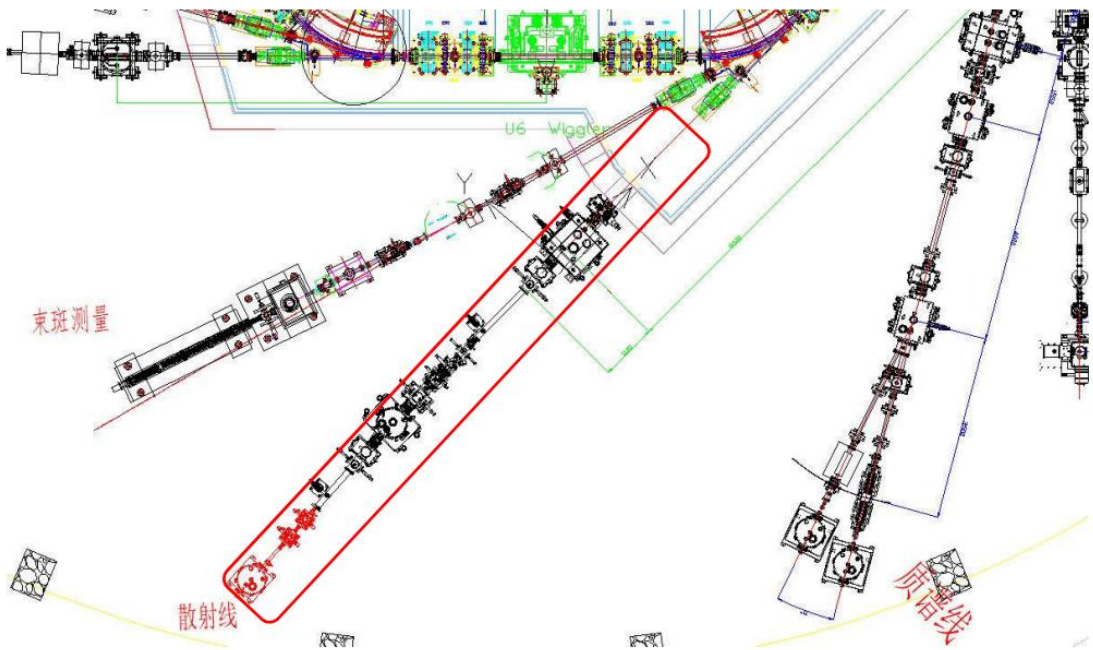


图 18.束线在环内的安装位置

图 3.1-6 金华光束线在环内安装位置

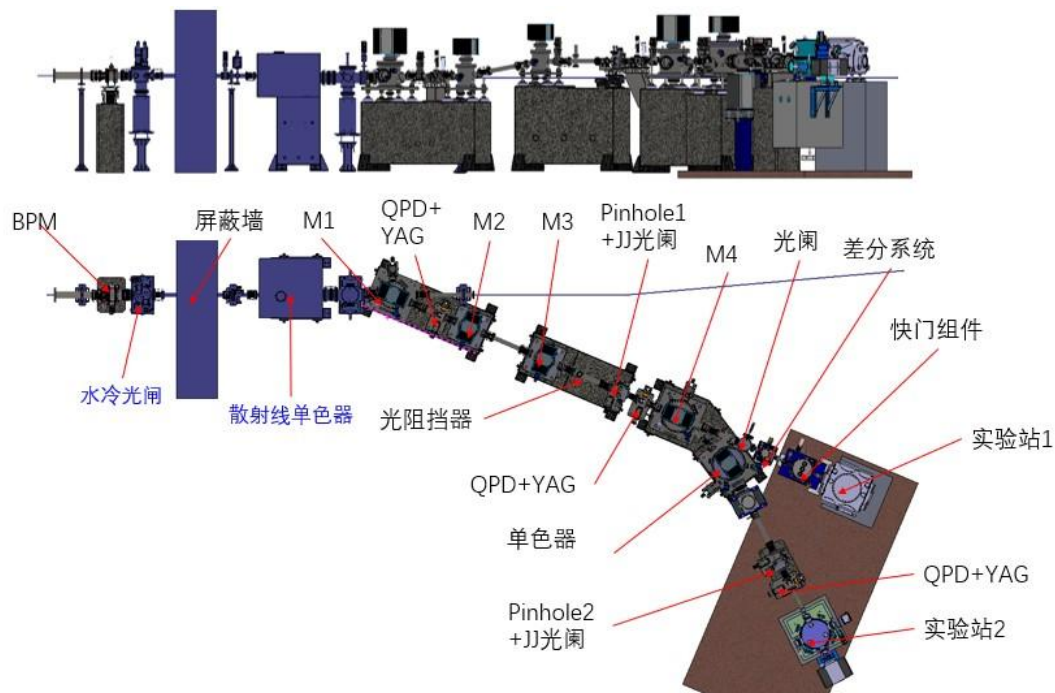


图 3.1-7 金华光束线散射线及支线示意图

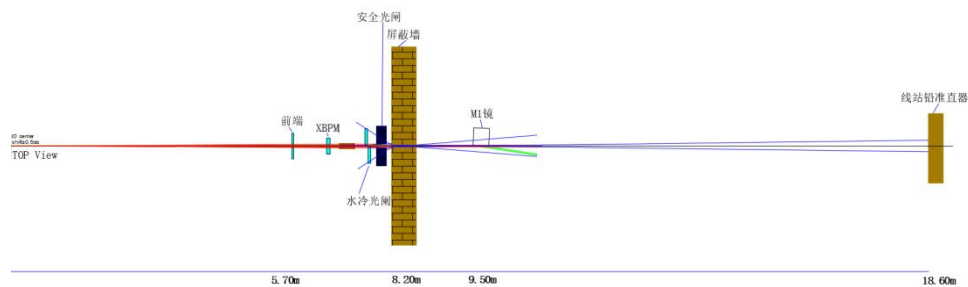


图 3.1-8 金华光束线引出光路及屏蔽措施示意图

表 3.1-5 金华线站屏蔽措施

序号	位置	屏蔽措施	距离直线节末端距离
1	M1 镜处镜箱	不锈钢，两个侧面 1cm，上/下/前/后均为 0.5cm	9.5m
2	末端铅吸收器	6cmPb，高 50cm，宽 50cm	18.6m

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 装置原理

同步辐射光源是一种强度大、亮度高、频谱连续、方向性及偏振性好、有脉冲时间结构和洁净真空环境的优异的新型光源，可应用于物理、化学、材料科学、生命科学、信息科学、力学、地学、医学、药学、农学、环境保护、计量科学、光刻和超微细加工等众多基础研究和应用研究领域。

合肥光源（HLS）目前拥有椭圆极化波荡器、准周期波荡器、永磁扭摆器、永磁波荡器、准周期型波荡器5台插入元件产生高品质同步辐射光，弯转磁铁同步辐射波长覆盖红外到软X射线波段，特征波长为 $24\text{\AA}$ 。主要设备包括800MeV直线加速器注入器和一个800 MeV电子储存环。直线加速器总长74.5米，由电子枪、予聚焦器、聚束器和8个六米加速段组成。直线加速器输出的高品质电子束团经88米长输运线传输到储存环注入点。储存环周长66.13米，由磁铁系统、注入系统、高频系统、超高真空系统、束测系统、插入元件系统组成，电子束流进入储存环后长时间储存，为同步辐射实验提供高品质同步辐射光。

HLS拥有10条光束线及实验站，包括5条插入元件线站，分别为燃烧、软X射线成像、催化与表面科学、角分辨光电子能谱和原子与分子物理光束线和实验站；以及5条弯铁线站，分别为红外谱学和显微成像、质谱、计量、光电子能谱、软X射线磁性圆二色及软X射线原位谱学光束线和实验站。

3.2.2 装置组成及主要参数

HLS装置主要由合肥光源工程由注入器系统、储存环、光束线及实验站组成。注入器及储存环主要技术参数如下表3.2-1所示。

表3.2-1 HLS注入器及储存环主要技术参数

主要参数	原有参数	升级后参数
注入器系统 (直线、输运 线)	电子能量: 800MeV	电子能量: 800MeV
	直线加速器长度: 74.5m	直线加速器长度: 74.5m
	电荷量: 1nC	电荷量: 1nC
	脉冲宽度: 1ns	脉冲宽度: 1ns
	脉冲频率: 1Hz	脉冲频率: 1Hz
	微波频率: 2856MHz	微波频率: 2856MHz
储存环系统	储存环能量: 800MeV	储存环能量: 800MeV
	流强: 300mA	流强: 500mA
	寿命: 8h	寿命: 8h
	发射度: 40nm·rad	发射度: 40nm·rad
	轨道稳定性: 5 μ m (V)	轨道稳定性: 5 μ m (V)

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800MeV，可实现储存环的满能量注入。

注入器系统布局如图3-3所示。包括预注入器、直线加速器和输运线等部分。直线加速器安装在半地下的坑道内，储存环注入用长直线节与直线加速器轴线夹角为45°。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。速调管走廊与坑道之间用4m厚的防护墙相隔，坑道上覆盖3.5m厚的土层以确保环境辐射安全。直线加速器中加速到满能量的电子经过束流输运线送至储存环注入点。从电子枪到开关铁长约74.5m，输运线长约55m。

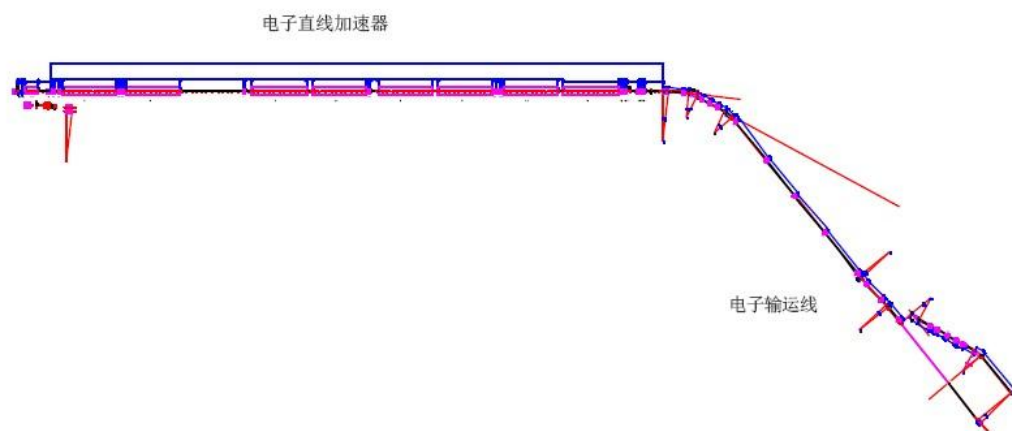


图3.2-1 注入器系统布局示意图

注入器系统的微波主频率为2856MHz。根据储存环注入的要求，电子枪产生长度1ns、电荷量2.2nC的束流宏脉冲，宏脉冲经过预聚束器与聚束器后，超过50%的电子纵向上被聚束到不超过20度的相位内。然后进入到直线加速器中加速。直线加速器由9个6米等梯度加速段构成。每个6米等梯度加速段的平均加速梯度约为20MV/m。工作时，8个6m加速段对电子进行加速，1个6m等梯度加速段用于热备份。电子经过加速后，能量可以达到960MeV。这样，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。注入器系统的性能指标见表3.2-1。

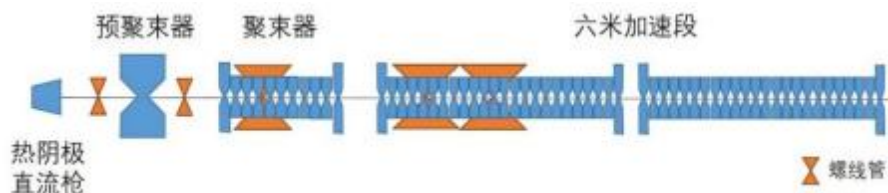


图3.2-2 预注入器布局示意图

3.2.2.2 储存环

合肥同步辐射光源储存环束流发射度小于 $40\text{nm}\cdot\text{rad}$ ，储存环直线节8个，其中2个用于安装加速器系统的高频子系统和注入子系统，其余6个可用于安装波荡器。

储存环磁铁布局见图3-8。储存环周长66.13m，由四个聚焦单元组成，单元长度16.5325m。全环总计8块弯转磁铁，其有效长度1.7m，偏转角度 45° ，运行能量（800MeV）下磁场强度12327.8Gauss，轨道曲率半径2.16451m；总计32块四极磁铁，每单元8块四极磁铁，4块磁铁位于色散段，组成消色散单元，直线节上有4块磁铁用于调节储存环工作点和直线节中点 β 函数，磁铁间距满足安装其它必要元件的需求；总计32块多功能六极磁铁，在进行色品校正和谐波补偿的同时，其辅助绕组产生微弱二极磁场用于束流轨道畸变校正和斜四极磁场用于调节横向耦合；全环安装32个BPM测量束流轨道畸变，并与32个双向轨道校正线圈组成束流轨道校正与反馈系统；储存环采用分散式布局注入系统，改善低发射度聚焦参数束流的注入和积累；采用横向和纵向的逐束团反馈系统抑制耦合束团不稳定性，全环安装若干直流清洗电极克服离子俘获效应；增加高次谐波腔以改善束流寿命；改造时序系统实现储存环逐束团填充。

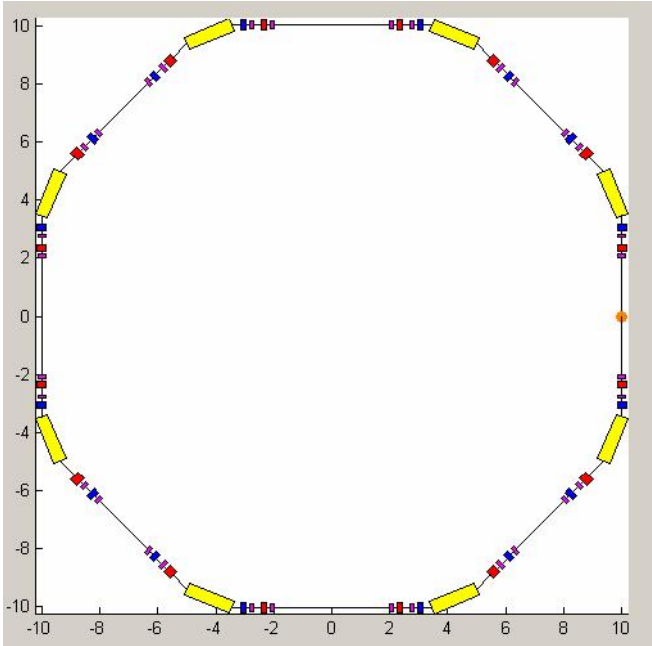


图3.2-3 储存环磁铁布局示意图

储存环的总体性能与参数指标见表3.2-2。

表3.2-2 储存环的性能指标

名 称	数 值
运行能量	800MeV
起始运行流强	500mA
自然发射度	<40nm·rad（标准模式）
耦合度	1~5%
直线节数目	8
束流1/e寿命	>5hrs
运行中轨道慢漂	<10% $\sigma_{x,y}$ （5~10 μ m）
年故障率	<7%
机器调整时间	<6%

3.2.2.3 光束线站

电子经直线加速器被加速到800MeV，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，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给实验站。

光束线只在实验运行状态下接收从储存环发出的光辐射，其他状态下，所有来自储存环的光辐射都被安装在储存环前段出口的水冷光屏（水冷光屏是用于阻挡同步光进入光束线的铜制金属块部件，金属块内有冷却水路）完全吸收，转变成热量，被冷却水带走。

合肥光源储存环电子能量为800MeV，其辐射出的光谱范围是从软X射线—真空紫外—远红外。其中，对人体有害的软X射线及真空紫外波段的光谱辐射可被各种材料强烈吸收，包括大气。所以这一波段的所有实验都要在高真空环境下进行，也就是说，所有的光路调整以及样品测试都是在密闭的真空室内完成。并且这一波段的光由于样品本身、或是真空室金属壁的强烈吸收，将不可能穿透光束线及实验站的真空管壁，从而不会泄露到周围环境中，也不会对环境产生辐射危害。

金华散射光束线站是基于软X射线共振效应的散射方法是散射领域的新兴技术，它的实现将突破软物质结构难以研究的限制，不仅能推动软物质基础研究，而且可以促进软物质工业的发展。这项技术开发的最大难点在于，人们难以获得高效率的软X射线发生器。合肥光源作为应用支撑型科技基础设施，其优化能区正好位于真空紫外和软X射线能区，完美的解决了以上难题，为软X射线共振散射技术开发提供有力支持。金华散射线站聚焦于软X射线能区（240eV~700eV），克服传统硬X射线

散射技术在软物质研究中对比度差的缺点，依托共振散射特有的化学分辨能力，实现对软物质材料的定量化构效关系研究。

光束线站总体情况见表3.2-3。

表3.2-3 HLS现有10条光束线站及新增金华光束线站情况表一览表

线站名称	能区, eV	实验方法	主要面向领域
红外线站	能量范围: 20-8000cm ⁻¹ (光谱), 700-8000cm ⁻¹ (显微) 显微空间分辨率: 衍射限制 (波长依赖: ~10μm@1000cm ⁻¹) 谱学分辨率: 0.2cm ⁻¹ 变温: 5-300K(透射/反射谱学), 5-500K(显微), 300-800K(漫反射) 高压: >100GPa(中红外波段)	红外光谱及显微成像	新型显示、先进光伏、新型储能、氢(氨)能、生物制药、高端医疗器械、节能环保、新材料
燃烧线站	能量范围: 5~24.5eV higher harmonic free 能量分辨: 3900@7.9eV; 4200@14.6eV 光子通量: 1.6x10 ¹³ photons/s@10eV, 0.025%BW(400mA) 样品处光斑大小: 1000(h)x600(v)μm ²	同步辐射光电离技术, 超声分子束取样技术, 高温热解氧化燃烧, 高温催化	氢(氨)能、高端成套设备、节能环保
质谱线站	能量范围: 5~24.5eV (5~11.8eV higher harmonic free) 分辨率: 575@16eV 光子通量: 1.2x10 ¹² phs/s@10eV, 0.2%BW(400mA) 样品点光斑: 600(h)x600(v)μm ²	质谱成像, 同步辐射光电离质谱	生物制药、高端成套设备、新材料
软 X 射线成像	能量范围: 250-800eV 能量分辨: 500@520eV	三维结构及元素分布成像、冷	新型显示、先进光伏、新型储能、

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

站	光子通量: 2×10^{10} phs/s 成像空间分辨率: 30nm 视场大小: 12 μ m 样品环境: 粉末、块状、液体真空: 10-4Pa 样品温度: 室温或 120K	冻三维成像	氢（氨）能、生物制药、节能环保、新材料
计量站	能量范围: 1.2-200nm 能量分辨(E/ Δ E): >1000 光通量: 1×10^{11} phs/s (13.5nm, 1200 分辨) 光斑尺寸(HxV): 3x0.6mm ² (主线); 光斑尺寸(HxV): 4x2mm ² (支线) 实验站真空: 1×10^{-4} Pa	反射率、探测器 标定	集成电路、高端成套设备
原子与分子物理	光子能量范围: 7-124eV 能量分辨率: 3000@15eV 光通量: 1×10^{13} phs/s 样品处光斑大小: 0.5x0.8mm ² 质谱分辨率: 5000@m/z=100	同步辐射光电 离质谱, 阈值光 电子谱	集成电路、氢（氨）能、生物制药、节能环保、新材料
光电子能谱站	能量范围: 100eV-1000eV 束线能量分辨率: 4800@244eV(E/ Δ E) 样品点光斑: 0.87mm x 1mm 光通量: 5×10^{10} phs/s@244eV 变温: 100K-1200K 真空: 优于 1×10^{-9} mbar	软 X 射线吸收谱、光电子能谱、同步辐射紫外光电子能谱	先进光伏、新型储能、氢（氨）能、新材料
催化与表面科学站	能量范围: 20-600eV 光斑大小: 0.2 x 0.1mm ² 能量分辨率(E/ Δ E): 15000@29eV 样品处光通量(phs/s): $>5 \times 10^{10}$ phs/s 实验站分辨率(meV): 6.1 ± 2.0	同步辐射光电 子能谱、软 X 射线吸收谱	先进光伏、新型储能、氢（氨）能、生物制药、新材料

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

MCD	XMCD-a: 能量范围: 50eV-1000eV(弯铁光源) 束线能量分辨率: 1000@244eV(E/ΔE) 光通量: 2x10 ⁹ phs/s(@244eV, 300mA) (水平线偏振) 4x10 ⁸ phs/s(@244eV, 300mA) (圆偏振) 真空: 8x10 ⁻⁸ Pa; 样品点光斑: 1mm x 0.5mm 变温: 10-300K, 磁场: 0-0.5T	吸收谱, 圆/线 二色技术	新材料
	XMCD-b: 能量范围: 50eV-1000eV(弯铁光源) 束线能量分辨率: 2000@244eV(E/ΔE) 光通量: 5x10 ⁹ phs/s(@244eV, 300mA) 真空: 5x10 ⁻⁸ Pa(通用谱学站), 5x10 ⁻⁶ Pa(原位实验站); 温度范围 90K-300K(通用吸收谱学站)" 样品点光斑: 1mmx0.5mm	X 射线吸收谱学, 气体原位池, 液体电化学原位池	先进光伏、新型储能、氢(氨)能、新材料
ARPES	能量范围: 5-100eV 偏振: 水平、垂直、左旋、右旋 能量分辨: (E/ΔE)10000@14.6eV 光通量: >10 ¹¹ phs/s@300mA 光斑尺寸: (H×V)0.3mm×0.3mm 变温范围: 7-400K	同步辐射真空紫外光角度分辨电子能谱, 自旋分辨光电子能谱	先进光伏、新型储能、新材料
金华光束线站	金华散射实验站: 能量范围: 240eV~700eV 分辨本领: E/ΔE>1500@244.4eV 光子通量: Flux>1×10 ¹¹ phs/s (@244.4eV, 360mA, @光束线末端)	软 X 射线共振散射	软物质基础研究、软物质工业

	焦点处光斑尺寸：小于 $0.7 \times 0.25(H \times V) \text{mm}^2$		
	2 个散射支线实验线站：		
	能量范围：77~124eV		

3.2.2.4 非放部分实验用原辅材料

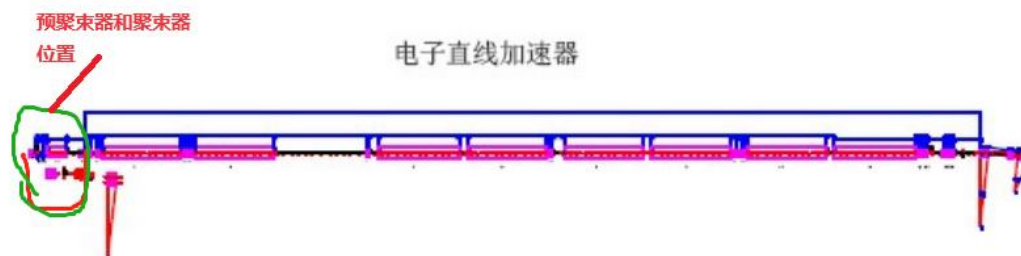
新增线站实验室会使用少量无水乙醇及有机溶剂，预计年消耗量分别为 100L、50L。

3.2.3 工艺分析

HLS 装置的直线加速器产生最高能量为 800MeV 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。

① 注入器系统

注入器以 1Hz 的重复频率产生电子束流用于储存环注入。电子枪产生能量为 100keV 的电子束流，电荷量为 1.5nC，经过预聚束器与聚束器后，束流能量提高到约 15MeV，电子存活率接近 70%，此时电子束团电荷量约为 1.05nC。近似看作均匀损失，可以理解为“在 15MeV 以下时损失 0.45nC，后面不损失，在束流垃圾桶和 BEAM-STOP 处就按照损失 1.05nC。”



经过 8 段 6m 加速段加速后，束流能量提高到 800MeV。在直线加速器调试期间，电子束团直接引入束流垃圾箱，全部丢弃。在注入开始初期，电子束团被传输到能谱分析靶用于测量束流能量，全部损失。正常运行期间，电子束流将被传输到储存环注入点，传输效率大于 95%，即有电荷量约 1nC 电子束团用于储存环注入。在注入器正常运行期间，电子损失率约为 0.05nC/s。

②储存环

储存环正常运行期间，储存束流 500mA，电荷量 110.38nC，能量为 800MeV。正常注入状态下，注入器总的输出束流脉冲电荷量为 $Q=1\text{nC}$ ，脉宽为 $t=1\text{ns}$ ，储存环注入效率为 95%，即每次存储在储存环中的电荷量为 $Q_i=0.95\text{nC}$ 。电子在储存环中的回旋频率为 $f_r=4.53\text{MHz}$ ，回旋周期 $T=1/f_r$ ，存储束流的平均流强 $I_b=Q_i/T=Q_i \cdot f_r=0.95 \times 10^{-9}\text{C} \times 4.53 \times 10^6\text{s}^{-1} \approx 4.3\text{mA}$ 。由于注入过程是每秒一次，所以储存环的积累效率约为 4.3mA/s。束流初次积累期间，束流损失率约为 0.05nC/s，大约 116s 积累到运行流强。储存环有如下两种运行模式：

1) 衰减模式

在此模式运行期间，注入器停止产生束流。储存环中束流运行 8 小时左右，衰减到约 184mA (500/e) 时主动踢掉束流，然后重新注入束流至 500mA，运行期间储存束流共损失 316mA，电子束流损失率平均约为

39.5mA/h。

2) 恒流运行模式

此模式运行期间，储存束流每降低 1%，即储存流强为 495mA 时注入一次，每次注入 5mA，1.1nC 的电子束流，注入束流损失约为 0.055nC；每次间隔约 6 分钟，两次注入间隔期间储存束流损失约 5mA。可以看作均匀损失约六分钟注入一次，每次 5mA，注入效率 80%，电子束流损失率平均约为 62.5mA/h。

③光束线

光束线只在实验运行状态下接收从储存环发出的光辐射，其他状态下，所有来自储存环的光辐射都被安装在储存环前段出口的水冷光屏（水冷光屏是用于阻挡同步光进入光束线的铜制金属块部件，金属块内有冷却水路）完全吸收，转变成热量，被冷却水带走。合肥光源储存环电子能量为 800MeV，其辐射出的光谱范围是从软 X 射线—真空紫外—远红外。其中，对人体有害的软 X 射线及真空紫外波段的光谱辐射可被各种材料强烈吸收，包括大气。所以这一波段的所有实验都要在高真空环境下进行，也就是说，所有的光路调整以及样品测试都是在密闭的真空室内完成。并且这一波段的光由于样品本身、或是真空室金属壁的强烈吸收，将不可能穿透光束线及实验站的真空管壁，从而不会泄露到周围环境中，也不会对环境产生辐射危害。

HLS 装置的工艺流程及产污环节详见图 3.2-4。

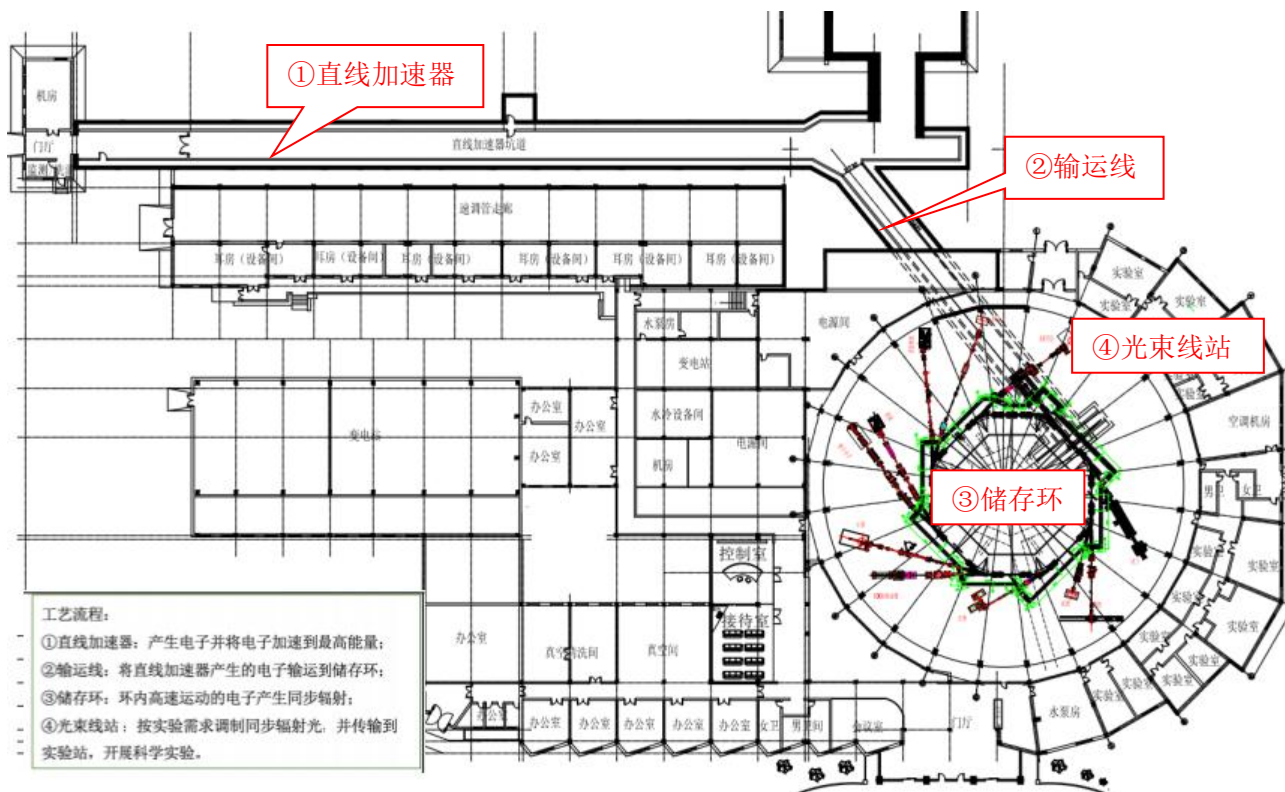


图3.2-4 HLS装置工艺流程图

3.2.3.2非放产污环节分析

新增线站实验室产生的废乙醇、有机溶剂统一回收于有机溶剂废液桶中，再由实验室定期统一进行废液处置。

3.2.4工作负荷

3.2.4.1HLS 装置出束时间

HLS 装置整体年运行时间 7200h，年停机检修时间 360h。本次储存环束流提升调试期按 30 天，金华光束线站调试期按 30 天。

表 3.2-6 调试期间装置出束时间

名称	调试工况束流参数	调试天数，天	每天出束时间，h
注入器	800MeV、1.05nC、1Hz	30	10

储存环	800MeV、500mA	30	24
光束线站	800MeV、500mA	30	24

表 3.2-7 HLS 装置正常运行期间出束时间

名称	年出束时间, h
注入器	720
储存环	7200
光束线站	7200

3.2.4.2 工作人员工作负荷

HLS 现有辐射工作人员 169 人, 工作制度为三班制, 维护维修期间工作人员的工作时间见表 3.2-8。11 条线站全部开放后, 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 3.2-8 HLS 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

HLS装置为800MeV高能电子加速器和800MeV储存环构成, 电子直线加速器主要作为注入器使用, 建于半地下的隧道内以一定的仰角向地面上的储存环注入电子。它周围的辐射场是由能谱很宽的韧致辐射和中子组成的混合场, 与一般稳恒场不同, 辐射剂量水平随装置的不同运行状态呈现很大变化, 属瞬发辐射场。

正常工况下，本项目的主要污染源包括瞬时辐射源、感生放射性和其他非放污染源。其中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3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HLS运行时需考虑的环境影响问题。

3.3.1瞬发辐射

3.3.1.1直线加速器辐射场

3.3.1.1.1辐射场的特点

合肥光源的 800MeV 直线加速器作为注入器，在加速电子的过程中造成部分电子损失，这部分电子轰击在加速器真空室壁或其他部件上，造成电磁级联簇射效应，即电子与光子经与物质相互作用后，交互产生，降低能量。产生的光子能量高于 10MeV 左右时，超过一些材料的核反

应阈值，发生一定概率的光核反应产生中子。根据产生中子的不同能量又可分为巨共振中子、中能中子和高能中子。合肥光源 800MeV 产生的中子主要是平均能量为 1MeV 的光中子（巨共振中子）和高能中子。

由于电子直线加速器运行于脉冲工作状态，脉冲宽度 1ns，电荷量 1nC，脉冲重复频率 1Hz，它运行时隧道内是一个占空因子极小（ 5×10^{-5} ）而剂量水平却极高的瞬发辐射场，具有特定时间结构。空间上的差异是由于电子直线加速器不同位置上的束流功率损失差异引起的。该辐射场的能谱范围很广，它是一个韧致辐射和中子的混合辐射场。对 100MeV 以下的电子加速器，其辐射场主要是韧致辐射光子，中子只占有一小部分。电子能量超过几百 MeV，经一定厚度屏蔽后，剂量率的贡献主要来自于中子。

引用《合肥光源重大维修改造项目环境影响报告书》（2013 年 11 月）中预测分析结论：合肥光源停机后，注入器和输运线部分部件有一定感生放射性。束流垃圾桶表面虽然水平较高（10 μ Sv/h 左右），但停机时不会有人靠近。注入器隧道外为本底水平。

表 3.3-1 隧道内停机后各点感生放射性辐射剂量率（ μ Sv/h）

位置	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
5 分钟后	0.42	0.65	0.52	1.42	0.82	0.47	0.21	0.27	2.24	5.24	14.68
10 小时后	0.16	0.33	0.26	0.54	0.50	0.38	0.17	0.18	0.75	2.19	12.91

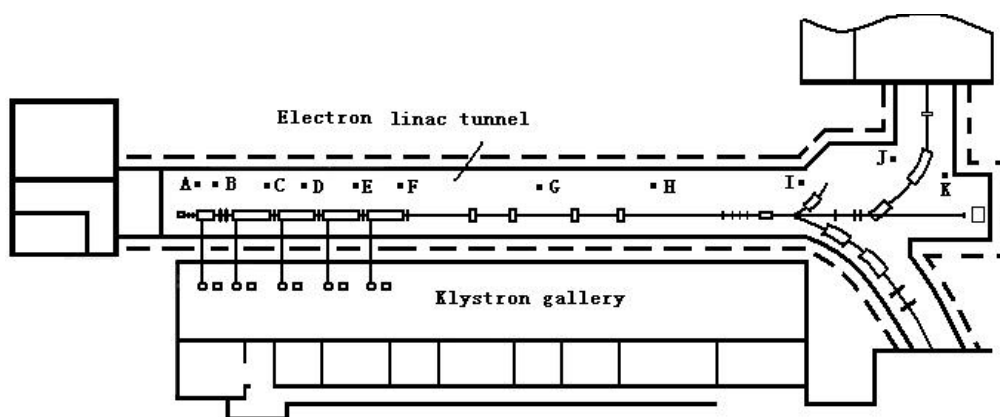


图 3.3-1 测量点在隧道内的分布示意图

3.3.1.1.2 注入器隧道外辐射现状监测结果

根据现有运行数据，直线加速器运行时（800MeV），注入器隧道南侧调速管走廊内固定监测点位处（M3、M4、M5） γ 剂量率在 102~146nSv/h、中子剂量率在 0.18~102nSv/h，基本为本底水平，没有可测量到的明显升高。周围环境监测点位（M1、M2） γ 剂量率在 134~136nSv/h、中子剂量率在 3.89~4.68nSv/h，均未见明显异常。

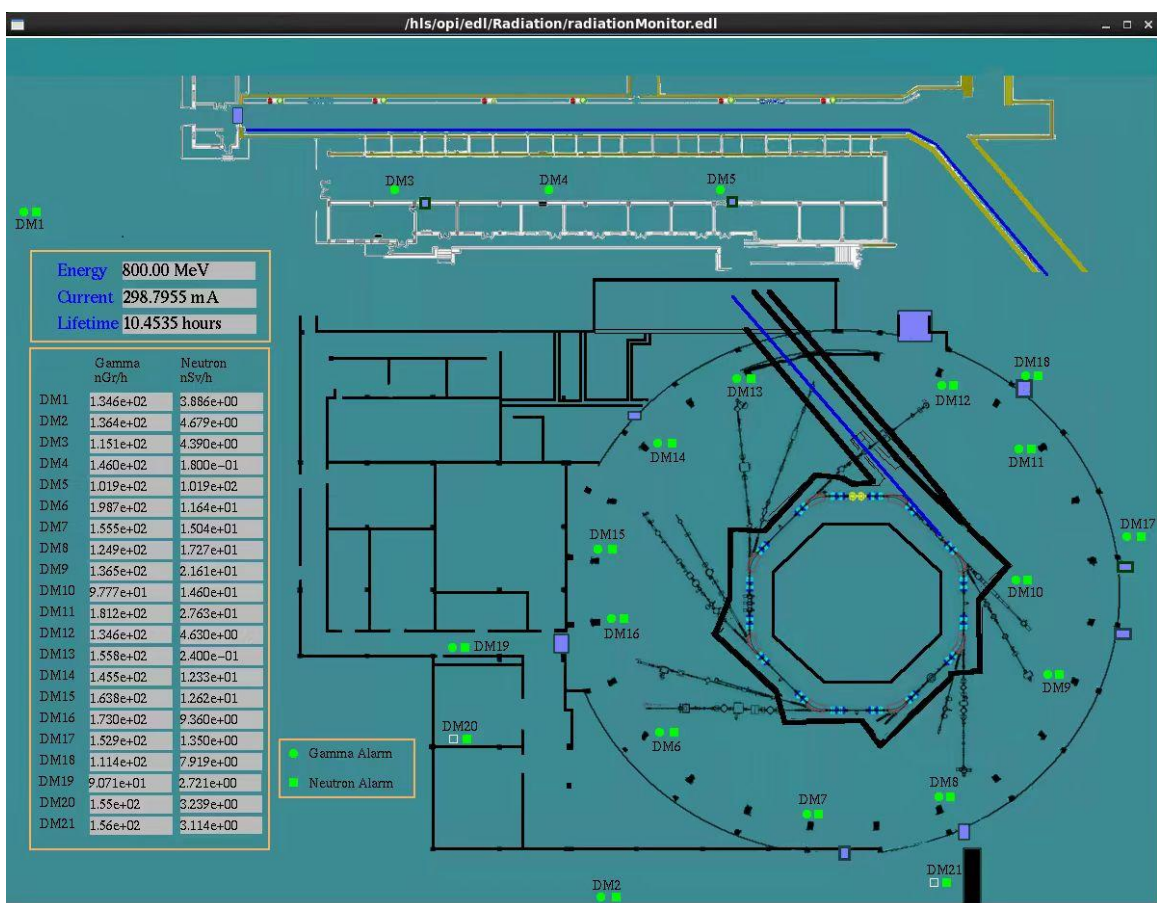


图 3.3-2 现状辐射监测点位示意图及监测结果

3.3.1.2 储存环辐射场

3.3.1.2.1 辐射场的特点

电子储存环大厅的辐射场是一个以能谱很宽的韧致辐射为主并夹杂中子的混合辐射场。韧致辐射和中子是相生相伴的，中子场是韧致辐射光子中共振光子引起物质光核反应，反应核放出中子所生成，由图 3-17 可以看出，它所造成的剂量一般要比韧致辐射水平低一到两个量级。在储存环每个运行循环内的五个不同阶段，大厅内的辐射场与机器运行状态保持同步变化。

注入阶段是一个瞬发辐射场（占空因子 10^{-7} ），韧致辐射主要由注

入时丢失的电子与真空室壁发生直接碰撞产生，注入结束辐射水平急剧下降。运行期间则是一个准恒稳场，除一些不确定因素造成束流的一次性丢失，引起局部韧致辐射外，韧致辐射场主要来自两个方面：一是环内电子在残余气体的原子核上的韧致辐射，二是束流电子的丢失打在真空室内壁造成的韧致辐射。由于高能电子束在运行过程中碰撞束流管线的真空室壁，造成与打靶时形成的电磁级联簇射相同的效应，所生成的韧致辐射射束具有很强的方向性，因此储存环大厅的辐射场具有一定的方向性。

根据现有运行经验，储存环、光束线站运行时设备外放射性水平与本底水平在同一数量级，各设备略有不同。储存环大厅及周围各房间外均为本底水平。

3.3.1.2.2束流损失分析

储存环正常运行期间，储存束流 500mA，电荷量 110.38nC，能量为 800MeV。正常注入状态下，注入器总的输出束流脉冲电荷量为 $Q=1\text{nC}$ ，脉宽为 $t=1\text{ns}$ 。注入器产生的电子束团，经过注入系统注入到储存环中。由于注入束流具有一定的能量分布和横向相空间分布，以及储存环注入系统等有制造和安装公差，部分电子进入储存环后无法长时间储存，会在短时间内丢失（数十微秒内）。在储存环设计方案中，综合考虑各种非理想因素，经过大量模拟计算预期有 5%左右的注入电子无法存活，即注入束团电荷量为 1nC，能够成功进入储存环并长期存储的只有 0.95nC，有 0.05nC 电子丢失在储存环不同位置。储存环注入效率为 95%。

本项目保守假设储存环束流注入时，束流集中损失在注入器系统与储存环连接处，束流损失率为 5%。

3.3.1.3 光束线试验站辐射场

光束线引出后，光束线实验站在做实验时（实验状态）接收的是从储存环发出的光辐射，不做实验时（其他状态），所有来自储存环的光辐射都被安装在储存环前段出口的水冷光屏完全吸收，转变成热量，被冷却水带走。实验时软 X 射线及真空紫外波段的光谱辐射可被各种材料强烈吸收，将不可能穿透光束线及实验站的真空管壁，从而不会泄露到周围环境中，也不会对环境产生辐射危害。

另外，由于对引出端采取合适的屏蔽措施：1.屏蔽墙以内安装安全光闸；2.在光束线穿过屏蔽墙的短节部分两端安装法兰，起到迷宫的作用，防止辐射直接照射；3.从直线段引出的与束流平面等高的实验站酌情决定在光束线末端局部安装铅屏蔽吸收辐射。采取了这些措施后，储存环大厅内实验线站周围工作区域的辐射水平会与本底在同一量级范围内。

3.3.1.4 天空反散射

穿过屏蔽墙射向天空的各种辐射，由于空气的散射作用，将有部分又回到地面。天空散射几乎完全由中子引起。透过屏蔽墙的快中子以及少量残存的高能中子在空气中不能被有效地阻止，在空气中发生一次次散射，低能中子被散射回地面。这些中子就是天空散射辐射的来源。天空散射随加速器开机产生，加速器停机便立刻消失。其对公众的剂量贡献取决于屏蔽体的厚度。

本项目的天空散射主要有两种：一是透过加速器屏蔽体的天空散射；二是储存环在注入期间由于电子损失而造成的天空散射。由于储存

环是薄屏蔽，所以这种辐射必须考虑。

直线加速器作为储存环的注入器，全年运行时间很短。它安装在半地下的隧道内，运行时隧道内是一个强瞬发辐射场，禁止人员进入。隧道上方和正前方分别有3.5m和6m的土层屏蔽，合肥光源建成30余年来的监测数据表明，直线加速器的运行对外环境和工作人员没有影响。根据天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司出具的辐射工作场所监测报告（报告编号：1820230603HB02，检测时间2023年12月1日），同步辐射大厅加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率在0.14~0.15μSv/h，远低于2.5μSv/h的剂量率限值。因此本次评价只考虑电子注入储存环期间的天空散射。

本次评价对天空反散射的计算情况如下：

（1）根据 NCRP 144 号中第 P322 及 Fig.6.1 的表述可知，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。

（2）本次计算参考NCRP-144 号报告的相关内容和Stapleton 公式：

保守的假定注入时损失的电子与真空室壁作用产生的全部中子均向天空发射，则天空散射的注量率可由式3-1计算得出：

$$Q = kNe^{-\mu d} \quad (3.3-1)$$

式中， Q 为透过屏蔽墙的中子强度，n/h；

k 为中子产生率，n/e；

根据 NCRP NO.144，当 $E_0 > 100\text{MeV}$ 时，光中子源强是靶材料原子序数的函数，可用式 3.3-2 计算：

$$Y_{\text{光中子}} = 8 \times 10^{-6} (Z^{1/2} + 0.12Z^{3/2} - 0.001Z^{5/2}) \text{ n e}^{-1} \text{ MeV}^{-1} \quad (3.3-2)$$

储存环注入时损失的电子与真空室壁发生作用，真空室壁的材料的主要成分为 Fe，则光中子产生率 $k_1 = Y_{\text{光中子}} \times 800\text{MeV} = 1.1\text{E-}01\text{n/e}$

中能中子和高能中子的产量是产生角度的函数，分别可用式 3-3 进行计算：

$$Y_{\text{中能}} = \frac{3.1 \times 10^{-3}}{(1-0.75 \cos \theta)^2} \text{ n sr}^{-1} \text{ GeV}^{-1} \text{ e}^{-1}$$

$$Y_{\text{高能}} = \frac{1.5 \times 10^{-4}}{(1-0.72 \cos \theta)^2} \text{ n sr}^{-1} \text{ GeV}^{-1} \text{ e}^{-1} \quad (3.3-3)$$

储存环注入时电子入射角度与束流方向垂直， $\theta=90^\circ$ ，计算得，

中能中子产生率 $k_2=Y_{\text{中能}} \times 0.8 \text{ GeV} = 3.1 \text{E-}02 \text{ n/e}$;

高能中子产生率 $k_3=Y_{\text{高能}} \times 0.8 \text{ GeV} = 1.5 \text{E-}03 \text{ n/e}$

因此，中子产生率 $k=k_1+k_2+k_3=0.15 \text{ n/e}$ 。

N 为单位时间损失电子数， e/h ;

合肥光源储存环中电流为 500mA，电子能量 800MeV，寿命 8 小时，采用 top-off 模式，每 6 分钟注入一次，注入电流 6.25mA，注入效率 80%，平均每小时损失 $8.61 \text{E}+10$ 个电子。Top-off 注入时约有 20% 注入粒子损失，单次注入时间小于 1 分钟，考虑注入时的一分钟，将损失 1.25mA，即 $1.71875 \text{E}+9$ 个电子每分钟，相当于每小时 $1.03 \text{E}+11$ 个电子。则 $N=1.03 \text{E}+11 \text{ e/h}$ 。

μ 为中子在屏蔽体中的线性衰减系数， m^{-1} ， $\mu_{\text{混凝土}}=2 \text{ m}^{-1}$ ， $\mu_{\text{铅}}=5.7 \text{ m}^{-1}$

（取值来自文献“APS-LS-141 Revised, Advanced Photon Source: Radiological Design Considerations, 1991”）；

d 为储存环大厅的顶墙厚度，m，合肥光源储存环大厅为混凝土墙，房顶结构为 12cm 钢筋混凝土+3mm 铝板+8cm 保温材料（岩棉），则 $d_{\text{混凝土}}=0.12 \text{ m}$ ， $d_{\text{铅}}=0.003 \text{ m}$ 。

由中子产生率 k 和单位时间损失电子数 N 可计算得到储存环大厅顶墙泄漏的中子量为 $1.19 \times 10^{10} \text{ n/h}$ 。根据 NCRP Report NO.144 报告建议的计算方法，由式 3.3-4 可计算得到每个中子经天空散射后在距离源点 r 处产生的剂量值。

$$H(r) = \frac{\kappa'}{(h+r)^2} e^{-r/\lambda} \quad (3.3-4)$$

式中,

$\kappa' = 2 \times 10^{-15} \text{ Sv m}^2/\text{n}$, 是 Stapleton 等人在考虑了注量和剂量转换等各项因素后给出的拟合修正值;

$H(r)$ 为单位中子经天空散射后在距离源点 r 处产生的剂量, Sv/n 。

h 为拟合修正高度, 取 40m;

r 参考点到源的水平距离, m;

λ 为空气中中子的有效吸收长度, m;

根据 NCRP Report NO.144, 假设中子截断能量的上限是电子束流能量, 则 λ 的取值是中子截断能量的函数, 见图 3-18。合肥光源储存环电子能量为 800MeV, 因此, λ 取值 800m。

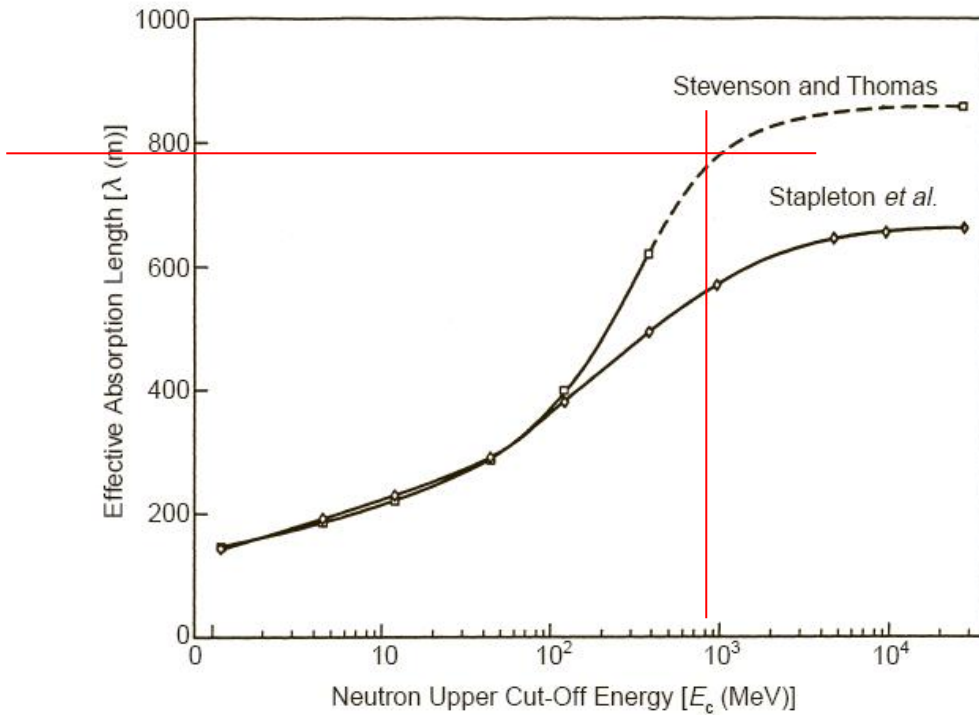


图 3.3-3 空气中中子的有效吸收长度与中子截断能量关系图

合肥光源储存环大厅地面距离房顶 12m, 束流平面距离地面 1.4m。

r 取值 20m 到 1000m，可计算得到不同距离处的天空散射剂量率值，见表 3-7。

表 3.3-2 与源不同距离处的剂量率

到源点距离 r (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	到源点距离 r (m)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
20	6.47E-03	200	3.23E-04
40	3.55E-03	300	1.42E-04
50	2.77E-03	400	7.49E-05
60	2.22E-03	500	4.39E-05
70	1.81E-03	600	2.76E-05
80	1.50E-03	700	1.82E-05
90	1.26E-03	800	1.25E-05
100	1.08E-03	1000	6.33E-06

保守假设储存环每年运行 7200 小时（300 天），即便在距离 20m 处（剂量率取 $6.47\text{E-}3\mu\text{Sv/h}$ ），天空反散射造成的年剂量也仅有 $6.47\text{E-}3 \times 7200 / 1000 = 4.66\text{E-}02\text{mSv/a}$ 。

3.3.2 储存环的感生放射性

HLS 储存环束流提升感生放射性的感生放射性计算，使用蒙特卡罗程序 FLUKA 通过建立详细的几何模型计算。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。

3.3.2.1 空气活化

高能加速器运行期间产生的次级中子与空气中的 N、O、H 等通过热中子俘获、 (γ, n) 反应和散裂反应等产生 ^3H 、 ^7Be 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 等放射性核素。根据 NCRP.144 号报告（P339），对于长半衰期核素 ^3H 和 ^7Be ，其产生率较低，可不必考虑。则空气感生放射性计算中主要考

虑 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{11}C 和 ^{41}Ar 。

由 FLUKA 模拟可得，静态情况下，储存环隧道内空气中产生的感生放射性核素饱和浓度及总活度见表 3.3-8。

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。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_r 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_{lossr} 和 λ_{lossc} （/s），以确定有效衰变常数 λ_{effr} 和 λ_{effc} （/s）：

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{effr}} &= \lambda_{\text{dec}} + \lambda_{\text{lossr}} = \lambda_{\text{dec}} + \frac{R_r}{V} \\ \lambda_{\text{effc}} &= \lambda_{\text{dec}} + \lambda_{\text{lossc}} = \lambda_{\text{dec}} + \frac{R_c}{V}\end{aligned}\quad (3.3-5)$$

则对应的饱和放射性活度则由静态时的 S_{sat} 减少为 S_{reduced} ：

$$S_{\text{reduced}} = S_{\text{sat}} \frac{\lambda_{\text{dec}}}{\lambda_{\text{effr}}}\quad (3.3-6)$$

假设储存环隧道通风量为 $R_r=0.3$ 次/h，即每小时通风体积为 $0.3V$ ，则 $R_r/V=4.13\text{E-}10$ 。

储存环隧道内空气活化结果见表 3.3-3。

表 3.3-3 储存环空气活化感生放射性结果

核素	$T_{1/2}$ (s)	静态饱和活度 浓度 (Bq/cm^3)	动态饱和活度 浓度 (Bq/cm^3) S_{reduced}	导出空气浓度 DAC (Bq/cm^3)
^{11}C	1.22E+3	9.81E-08	4.05E-17	1E+07

^{13}N	5.98E+2	2.14E-07	8.84E-17	7E+04
^{15}O	1.22E+2	2.16E-07	8.92E-17	7E+04
^{41}Ar	6.56E+3	3.72E-08	1.54E-17	2E+06

注：DAC 为放射性核素的导出空气浓度，是放射性核素在空气中的浓度限值。其值取自《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）附录 C 中表 C3，表 C4，表 C5 和表 C10。

由上表可知，保守按照合肥光源装置储存环连续运行 365 天，排放的主要核素为 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 这四种短寿命核素，其动态饱和浓度均低于对应的导出剂量限值。

3.3.2.2 冷却水活化

合肥光源共设有多个闭路循环的水冷系统。储存环设备冷却水中的放射性核素主要来自于高能中子引起水中 O-16 的散裂反应而产生的核素。冷却水活化结果见下表。

表 3.3-4 储存环长期运行冷却水感生放射性结果

核素	$T_{1/2}$ (s)	静态饱和活度浓度 (Bq/cm^3)
^3H	3.89E+8	1.21E-05
^7Be	4.60E+6	4.72E-05
^{11}C	1.22E+3	1.14E-04
^{14}C	1.81E+11	1.38E-08
^{13}N	5.98E+2	5.57E-05
^{16}N	7.13	1.26E-04
^{15}O	1.22E+2	8.05E-04
总活度浓度 (Bq/cm^3)		1.16E-03

从上表可以看出，除 ^7Be 、 ^3H 和 ^{14}C 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。本项目的冷却水为去离子水，正常运行

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。

3.3.2.3 结构部件及周围固体介质的活化

合肥光源的放射性固体废物主要为装置的活化部件、活化的屏蔽体材料，采用 FLUKA 程序计算，得出 500mA 流强在正常束流损失、连续运行达到饱和后，储存环束流管（不锈钢）、冷却水管（无氧铜）、屏蔽体材料（不锈钢及铅砖）产生的感生放射性核素种类及饱和活度浓度，结果见表 3.3-5~表 3.3-7。

表 3.3-5 储存环束流管道（不锈钢）感生放射性计算结果

序号	核素	T _{1/2} (s)	饱和活度浓度 (Bq/g)
1	³ H	389E+8	109E-03
2	³⁷ Ar	3501d	207E-03
3	⁴² K	460E+6	141E-03
4	⁴⁵ Ca	16264d	102E-03
5	⁴³ Sc	140E+04	299E-03
6	⁴⁴ Sc	141E+04	116E-02
7	⁴⁶ Sc	724E+6	89E-03
8	⁴⁷ Sc	335d	43E-03
9	⁴⁵ Ti	111E+4	876E-03
10	⁴⁷ V	196E+3	695E-03
11	⁴⁸ V	138E+6	505E-02
12	⁴⁹ V	292E+7	917E-02
13	⁴⁸ Cr	828E+4	141E-03
14	⁴⁹ Cr	254E+3	493E-02
15	⁵¹ Cr	239E+6	16E+00
16	⁵¹ Mn	277E+3	108E-02
17	⁵² Mn	483E+5	394E-02

18	^{54}Mn	270E+7	219E-01
19	^{56}Mn	928E+3	161E-02
20	^{52}Fe	298E+4	143E-03
21	^{53}Fe	511E+2	145E-01
22	^{55}Fe	861E+7	119E+00
23	^{55}Co	668E+6	314E-03
24	^{56}Co	235E+7	493E-02
25	^{57}Co	612E+6	373E-01
26	^{58}Co	166E+08	418E-02
	^{57}Ni	128E+05	676E-02
合计		/	40E+00

表 3.3-6 储存环冷却水管道（无氧铜）感生放射性计算结果

序号	核素	$T_{1/2}$ (s)	饱和活度浓度 (Bq/g)
1	^3H	389E+8	886E-06
2	^{49}V	292E+7	183E-05
3	^{51}Cr	239E+6	721E-05
4	^{52}Mn	483E+5	190E-05
5	^{54}Mn	270E+7	107E-04
6	^{56}Mn	928E+3	616E-05
7	^{57}Mn		211E-05
8	^{55}Fe	861E+7	744E-05
9	^{59}Fe	44495d	302E-05
10	^{56}Co	235E+7	129E-04
11	^{57}Co	612E+6	368E-04
12	^{58}Co	166E+08	124E-03
13	^{60}Co	192504d	980E-05
14	^{61}Co	5940	290E-04
15	^{62}Co		287E-05
16	^{63}Ni	1012a	467E-05

17	⁶⁵ Ni	9072	197E-04
18	⁶⁰ Cu	1393	119E-04
19	⁶¹ Cu	12276	296E-03
20	⁶² Cu		614E-02
21	⁶⁴ Cu	1270h	183E-01
22	⁶⁶ Cu		329E-02
	⁶³ Zn	128E+05	248E-05
合计		/	284E-01

表 3.3-7 储存环屏蔽体材料（不锈钢）感生放射性计算结果

序号	核素	T _{1/2} (s)	饱和活度浓度 (Bq/g)
1	³ H	389E+8	928E-07
2	⁴⁸ V	138E+6	645E-05
3	⁴⁹ V	292E+7	187E-04
4	⁵² V		505E-05
5	⁴⁹ Cr	254E+3	106E-04
6	⁵¹ Cr	239E+6	723E-03
7	⁵⁵ Cr		450E-05
8	⁵² Mn	483E+5	602E-05
9	⁵⁴ Mn	270E+7	329E-10
10	⁵⁶ Mn	928E+3	577E-04
11	⁵³ Fe	511E+2	380E-04
12	⁵⁵ Fe	861E+7	405E-03
13	⁵⁹ Fe	44495d	672E-05
14	⁵⁶ Co	235E+7	101E-04
15	⁵⁷ Co	612E+6	110E-03
16	⁵⁸ Co	166E+08	383E-04
17	⁵⁷ Ni	128E+05	186E-04
18	⁵⁹ Ni	76E+4a	547E-08

19	^{63}Ni	1012a	720E-06
20	^{65}Ni	9072	271E-05
合计		/	148E-02

表 3.3-8 储存环屏蔽铅砖感生放射性计算结果

序号	核素	$T_{1/2}$ (h)	饱和活度浓度 (Bq/g)
1	^{203}Pb	51.93	1.05E-02
2	^{201}Tl	72.91	1.23E-03
合计		/	1.17E-02

由上述结果可知，储存环束流管道、冷却水管的活化水平不高，总比活度分别约为 4.0 Bq/g、2.84E-01 Bq/g，属于低放废物。因此，合肥光源部件的活化均属低放废物。

3.3.2.4 土壤和地下水活化

对于土壤和地下水的感生放射性而言，重点考虑 ^3H 和 ^{22}Na ，由于其半衰期较长，且可溶于地下水，可能会通过地下水迁移至公众水源的区域。采用 FLUKA 程序进行模拟计算，得到储存环大厅地面 50cm 混凝土之下的 20cm 土壤以及 20cm 地下水的感生放射性核素饱和活度浓度，见表 3.3-9、表 3.3-10。

表 3.3-9 储存环混凝土之下 20 cm 土壤感生放射性结果

序号	核素	$T_{1/2}$ (s)	饱和活度浓度 (Bq/g)
1	^3H	389E+8	384E-08
2	^8Li	838E-1	185E-08
3	^7Be	460E+6	154E-07
4	^8Be	671E-17	216E-08
5	^{11}C	122E+3	418E-07
6	^{13}N	598E+2	906E-08

7	¹⁶ N	713	275E-07
8	¹⁵ O	122E+2	146E-06
9	¹⁸ F	659E+3	385E-08
10	²² Na	821E+7	507E-08
11	²⁴ Na	539E+4	442E-06
12	²³ Mg	113E+1	376E-08
13	²⁷ Mg	568E+2	233E-07
14	²⁵ Al	718	390E-08
15	²⁸ Al	135E+2	272E-05
16	²⁹ Al	394E+2	931E-08
17	²⁷ Si	416	444E-07
18	³¹ Si	933E+3	191E-06
19	³⁷ Ar	303E+6	281E-07
20	⁴² K	445E+4	219E-06
21	⁴⁵ Ca	142E+7	303E-07
22	⁴⁷ Sc	285E+05	321E-08
23	⁴⁹ V	292E+7	187E-08
24	⁵¹ Cr	239E+6	885E-08
25	⁵⁴ Mn	270E+7	188E-07
26	⁵⁶ Mn	928E+3	215E-05
27	⁵³ Fe	511E+2	474E-08
28	⁵⁵ Fe	861E+7	226E-06
29	⁵⁹ Fe	385E+6	206E-07
合计		所有 T _{1/2}	639E-05

表 3.3-10 储存环混凝土之下 20 cm 地下水感生放射性结果

序号	核素	T _{1/2} (s)	饱和活度浓度 (Bq/g)
1	³ H	389E+8	173E-08
2	⁶ He	807E-1	593E-09
3	⁸ Li	838E-1	103E-08

4	⁷ Be	460E+6	851E-08
5	⁸ Be	671E-17	122E-08
6	¹¹ C	122E+3	228E-07
7	¹³ N	598E+2	380E-08
8	¹⁶ N	713	114E-07
	¹⁵ O	122E+2	635E-07
合计		所有 T _{1/2}	115E-06

由上述两表可知，土壤和地下水的感生放射性核素的总饱和浓度分别为 6.39E-05 Bq/g、1.15E-06 Bq/g，活化很轻微，可以忽略。由于电子产生的韧致辐射的角分布主要是向前的，并被加速器部件吸收。由（ γ ，n）反应产生的巨共振中子和高能中子近似看成各向同性，穿过屏蔽后进入土壤可引起土壤的活化。因而对合肥光源来说，土壤和地下水的活化可忽略不计。

3.3.3 臭氧等有害气体的产生

当光子能量低于（ γ ，n）反应的阈能时，光子对空气的辐照主要引起 O₃ 和 NO₂ 的产生。

根据 NCRP NO.144 报告，光子与空气中的氧气作用形成的 O₃ 和 NO₂ 的量可用式 3.3-7 计算：

$$C(t) = \frac{gI}{(\alpha + \kappa I + Q/V)} \left[1 - e^{-(\alpha + \kappa I + Q/V)t} \right] \times \frac{M * 1000}{N_A} \quad (3.3-7)$$

对于较长时间的辐照，t 趋于无穷、忽略 κI 项，则上式可简化为下式（3.3-8）：

$$C_0 = \frac{gI}{(\alpha + Q/V)} \times \frac{M * 1000}{N_A} \quad (3.3-8)$$

计算参数见表 3.3-11，计算结果见表 3.3-12。

表 3.3-11 O₃ 和 NO₂ 的浓度计算参数

参数	物理意义	取值/计算结果	单位
$C(t)$	T 时刻浓度	/	mg/m ³
C_0	饱和浓度	/	mg/m ³
g	气体分子产生率	$g[\text{O}_3]=0.103$, $g[\text{NO}_2]=0.048$	1/eV
I	空气沉积能量	$I=6.25 \times 10^{18} \times W_{fx} / \lambda / V$, 1.58×10^{12}	eV/m ³ ·s
α	气体分子沉积速率	2.31×10^{-4}	s ⁻¹
κ	气体辐照离解常数	1.4×10^{-16}	s ⁻¹ eV ⁻¹
Q	通风速率	本项目储存环隧道运行时不排风, Q 取值为 0; 停机后环大厅强制通风, 设计排风量为 $10580 \times 2 = 21160 \text{ m}^3/\text{h}$, 换算后为 $5.88 \text{ m}^3/\text{s}$	m ³ /s
V	辐照体积	1800	m ³
P	空气沉积能量	$P=6.25 \times 10^{18} \times W_{fx} / \lambda$	eV/m ³ ·s
M	气体质量数	$M[\text{O}_3]=48$, $M[\text{NO}_2]=46$	g/mol
		1000 为单位换算系数	
N_A	阿伏伽德罗常数	$6.022 \text{ E}+23$	1/mol

表 3.3-12 O₃ 和 NO₂ 的浓度计算结果

单位体积内气体分子数N		饱和浓度C (mg/m ³)	
O ₃	NO ₂	O ₃	NO ₂
4.65E+13	2.17E+13	3.71E-06	1.66E-06

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废弃物

3.4.1.1 放射性废气

运行期间在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 ($T_{1/2}=20.39\text{min}$)、 ^{13}N ($T_{1/2}=9.965\text{min}$)、 ^{15}O ($T_{1/2}=2.037\text{min}$) 和 ^{41}Ar ($T_{1/2}=1.8\text{h}$)。

根据第3.3节的计算结果，HLS储存环隧道内空气中产生的感生放射性核素的最大饱和浓度在 10^{-7}Bq/m^3 量级，均远低于对应的导出剂量限值。

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3.3节的计算结果，储存环系统冷却水活化核素总活度浓度 10^{-3} 量级。

3.4.1.3放射性固体废物

HLS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/无氧铜，合肥光源运行以来暂未产生放射性固体废物。如需更换拆除的加速器束流管时，预计产生的活化固体废物总量约300kg。

根据前述计算结果，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 $4.19\text{E}+2\text{Bq/g}$ 、 4.0Bq/g ，属于低放废物。

3.4.2 非放射性废弃物

3.4.2.1 O₃、NO₂等有害气体

O₃、NO₂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，其饱和浓度已在第 3.3.3 节中给出。这些有害气体将通过通风系统排向大气环境。

3.4.2.2 废水

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目无工艺废水产生，本项目不新增工作人员，实验站用户为学校师生，采用预约制进入实验室，人员基本在中科大校区师生定员范围内，故不再重复核算人员产生的生活污水量。上述产生的生活污水接入市政污水管网。

3.4.2.3 固废

工作人员产生的生活垃圾分类收集后委托环卫部门处理；危险废物主要为乙醇废液、废有机溶剂等，由实验室统一收集后暂存于危废仓库内，定期由中国科学技术大学定期收集转至有资质单位处理企业处置，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 场所布局与分区

4.1.1 场所布局

本项目的辐射工作场所位于主体建筑内。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）位于储存环隧道的北侧。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。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。

合肥光源拟在直线速调管走廊耳房南侧新设 1 间放射性固体废物暂存间。

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。

辐射工作场所分区详见图 4.1-1，具体分区如下：

（1）控制区：主体建筑内的注入器隧道、储存环隧道棚屋（包括储存环棚屋和储存环内区域），及放射性固体废物暂存间。输运线隧道与储存环钢结构棚屋之间以穿孔直接相通，二者皆为控制区，之间未设监督区。

控制区管理要求：控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志，钥匙联锁列入安全联锁系统。加速器带束调试期间禁止进入，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；放射性固体废物贮存库设置双人双锁，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。

（2）监督区：包括速调管走廊、储存环大厅内屏蔽墙外区域。

监督区管理要求：监督区入口处设标牌表明监督区，监督区地面设置黄色警示线，辅助机房设置门禁，进入监督区的辐射工作人员必须佩戴个人剂量计。

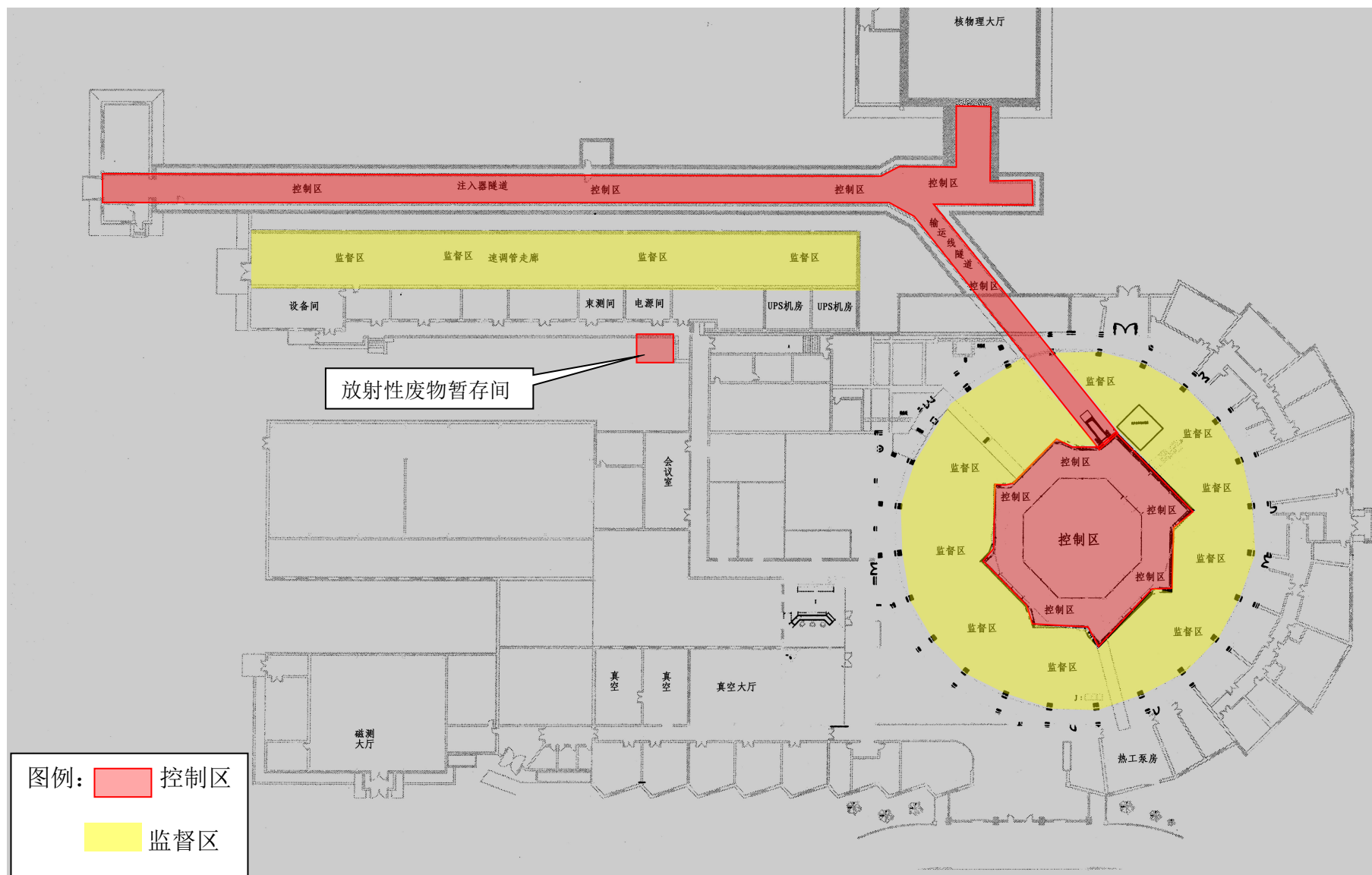


图 4.1-1 合肥光源辐射工作场所分区图

4.2 辐射屏蔽

4.2.1 储存环屏蔽设计

储存环大厅为混凝土墙，房顶结构为 12cm 钢筋混凝土+3mm 铝板+8cm 保温材料（岩棉）。

储存环安装于储存环棚屋内，束流平面距储存环棚屋地面 1.4m，紧靠储存环真空室安装铅砖屏蔽（束流平面下方 40cm 为 5cm 厚铅砖、束流平面上方 12.5cm 为 5cm 厚铅砖，再向上 17.5cm 为 3cm 厚铅砖）。铅砖外为棚屋，棚屋净宽 3.5m，净高 3.0m，采用钢结构系统：为双层 3mm 钢板中间夹保温层。屏蔽设计图见图 4.2-1。棚屋外建造全封闭 30cm 混凝土防护墙，墙体高度 2.5m，长墙墙厚 30cm，短墙墙厚 50cm，采用预制钢筋混凝土结构，见图 4.2-2。根据辐射防护要求预制混凝土为企口状，能够保证储存环运行阶段实验人员的辐射安全。

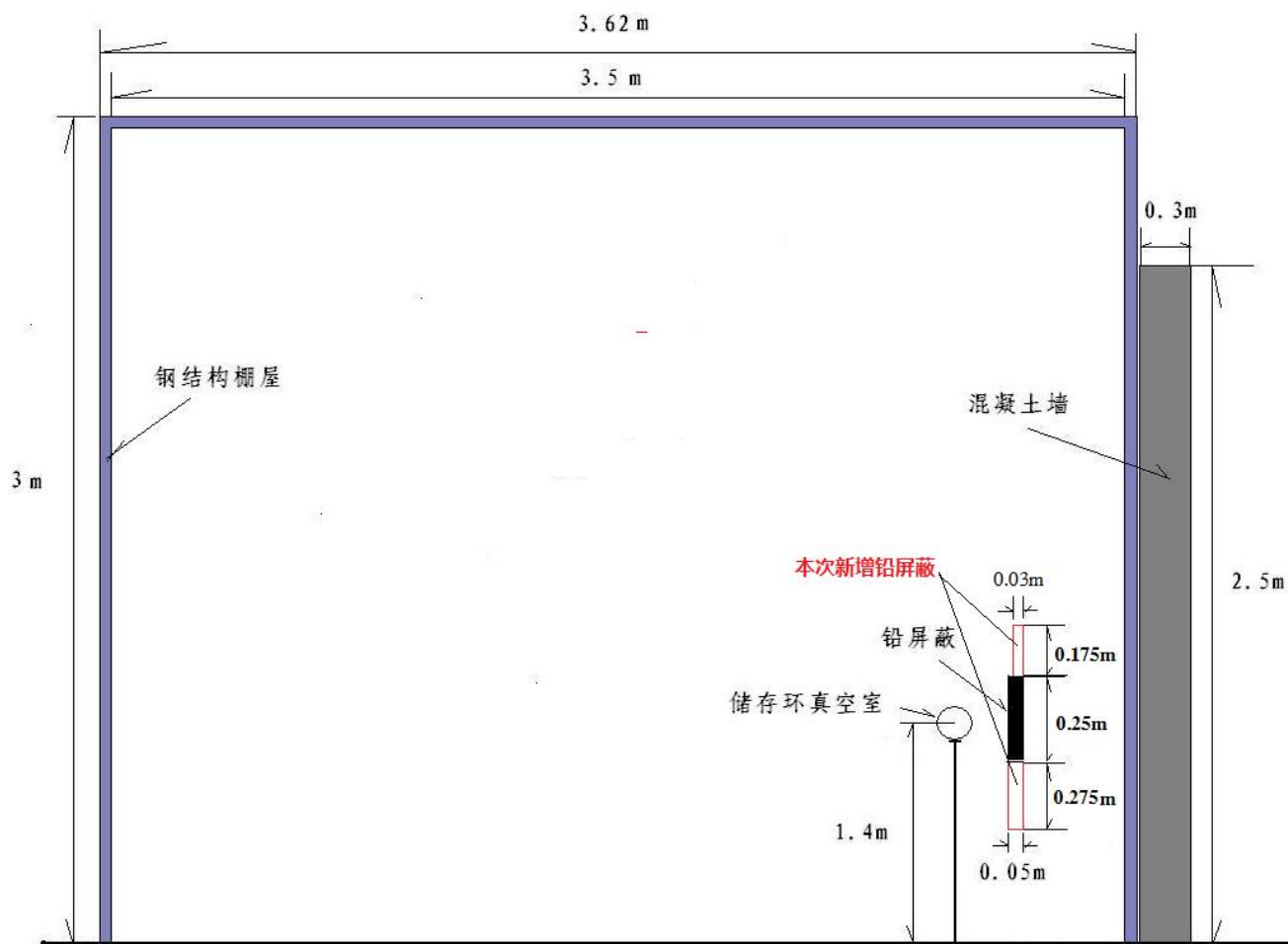


图 4.2-1 储存环屏蔽设计图（铅砖采用支架支撑）

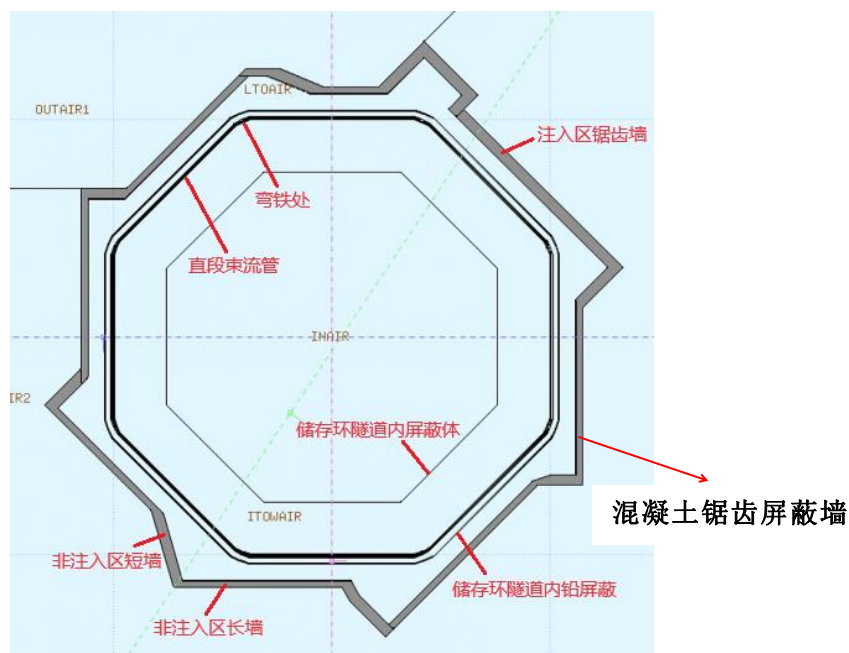


图 4.2-2 储存环混凝土锯齿屏蔽墙示意图（长墙厚度 30cm，短墙厚度 50cm，高 2.5m）

输运线末端与储存环注入口连接处和地面之间开 $2.5 \times 1 \times 0.5\text{m}$ 长方孔，长方孔上部有三角形斜面。该斜面两侧为斜三角钢筋混凝土结构，上部为两层 3cm 钢板中间夹 6cm 铅。

4.2.2 辐射屏蔽计算

4.2.2.1 屏蔽计算方法

因本次评价项目拟依托现有直线加速器注入器及电子储存环，不改变注入器屏蔽结构及设备设施，也不改变注入器工作介质的最大能量及流强。因此，本报告仅对束流提升后的储存环及新增光束站进行屏蔽计算，计算主要采用蒙特卡罗程序 FLUKA 进行详细模拟。其详细的几何模型和计算结果见 5.2.1 节。

从计算方法看，采用蒙特卡罗程序 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(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

储存环屏蔽计算时依据的屏蔽设计方案汇总如表 4.2-3 所示,计算结果见第五章 5.2.1 节。

表 4.2-3 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	备注
储存环隧道	混凝土防护墙短墙	50cm 厚混凝土、高 2.5m	与实际建设方案一致
	混凝土防护墙长墙	30cm 厚混凝土、高 2.5m	与实际建设方案一致
	储存环棚屋	双层 3mm 钢板中间夹保温层	与实际建设方案一致
	储存环真空室铅砖	束流平面下方 40cm 为 5cm 厚铅砖、束流平面上方 12.5cm 为 5cm 厚铅砖,再向上 17.5cm 为 3cm 厚铅砖	与设计方案一致
	输运线末端与储存环注入口连接处	2.5×1×0.5m 长方孔,长方孔上部有三角形斜面,该斜面两侧为斜三角钢筋混凝土结构,上部为两层 3cm 钢板中间夹 6cm 铅。	与实际建设方案一致
	隧道底部环大厅一	门高 2.65m、两层 5mm 厚钢板、中间夹	与实际建设方案一致

	侧防护门（12 号门）	2cm 厚铅板和 3cm 厚石蜡。	
--	-------------	-------------------	--

4.3 辐射安全与防护措施

4.3.1 人身安全联锁系统

合肥光源（HLS）的人身安全联锁系统（PSS）是借鉴国内外粒子加速器PSS的优秀实践设计而成，已有多年的运行经验。HLS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，结合使用联锁门禁卡，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。

（一）设计准则

HLS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。

（二）联锁系统基本结构

合肥光源辐射安全联锁系统采用分布式控制系统架构设计，其硬件结构如图 4.3-1 所示，分为 EPICS 层（IOC 和 OPI）、控制层（冗余 PLC）和设备层（分布式 PROFINET IO 站及 IO 信号），EPICS 层和控制层之间是以太网，控制层和设备层之间是 PROFINET 工业以太网。

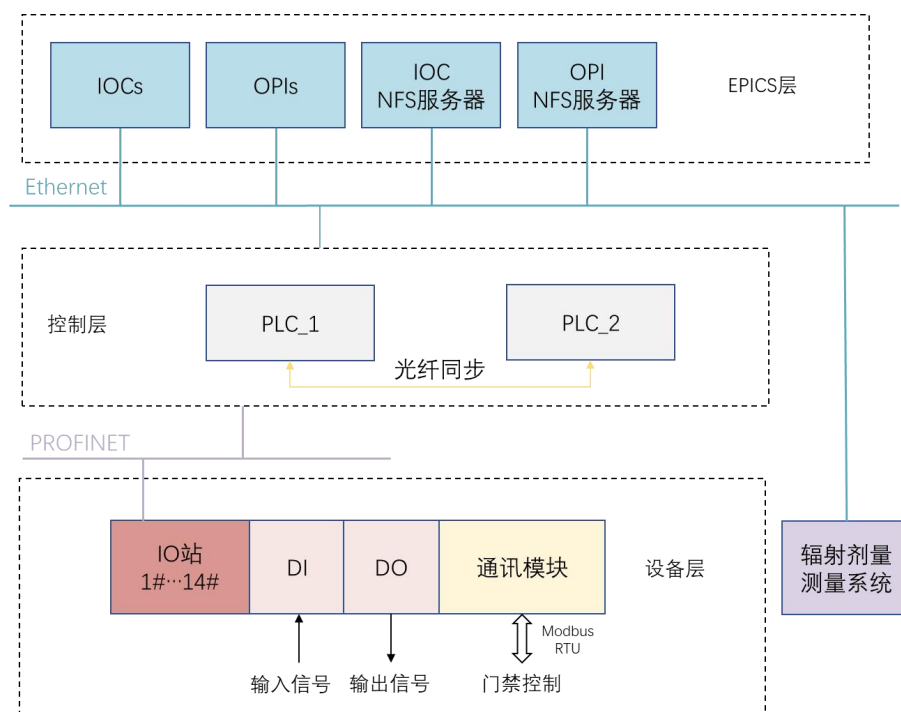


图 4.3-1 合肥光源辐射安全联锁系统硬件结构图

EPICS层是系统的最上层，包括 EPICS IOC和OPI。IOC与冗余 PLC通信，给冗余PLC发送相关参数和控制命令，并监测联锁逻辑和刷卡情况。OPI 用于人身安全系统的状态显示，分为1台用于中央控制室的OPI和6台用于安全门旁边的OPI。中央控制的OPI将显示联锁逻辑状态、辐射区域的人员计数情况、故障状态等信息；安全门旁边的OPI将显示相关辐射区域的前端设备分布情况、人员计数、安全联锁系统的状态和安全门的刷卡信息，并给出声音提示信息。

控制层基于西门子S7-412-5H 冗余PLC设计，注入器和储存环的安全联锁逻辑以及门禁系统控制完全在PLC中实现。

设备层是控制系统的最底层，通过14台西门子分布式IO站ET 200SP读写所有与安全联锁系统、门禁系统相关的现场信号。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、声光报警及门禁系统，而门禁系统则包括门禁卡读卡器和门磁信号。

（三）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4-2所示，储存环安全联锁逻辑如图4.3-3所示。

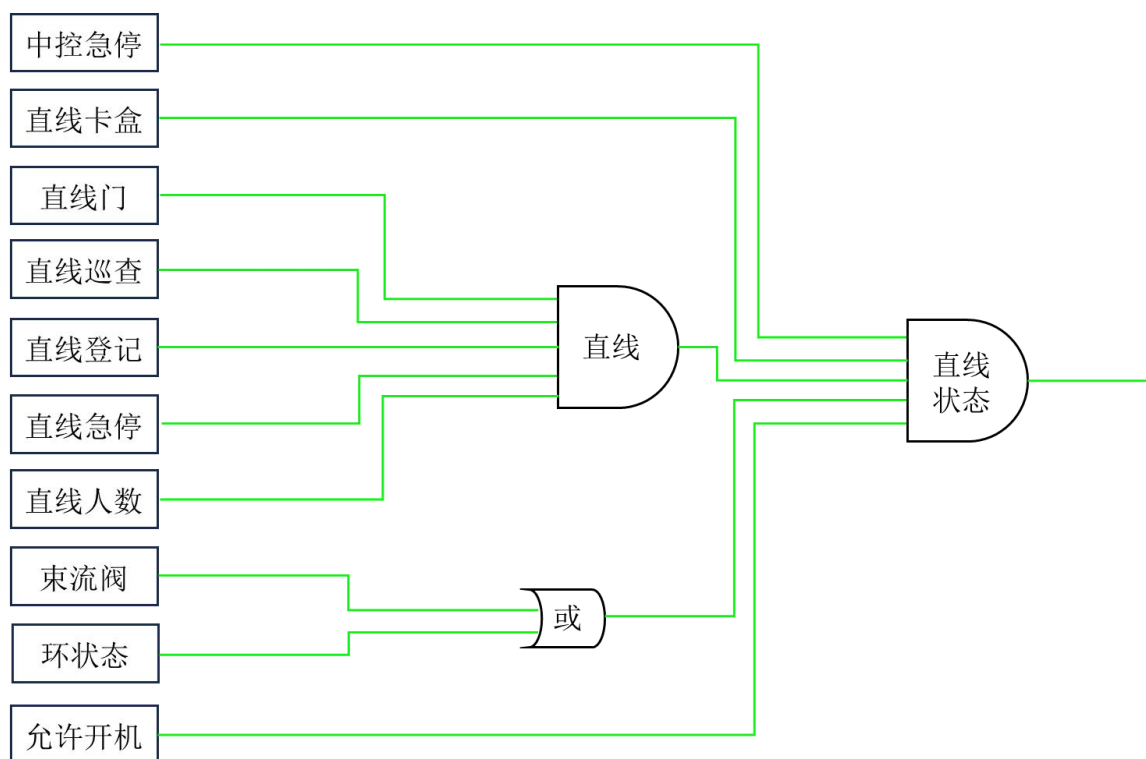


图 4.3-2 注入器人身安全联锁子系统逻辑图

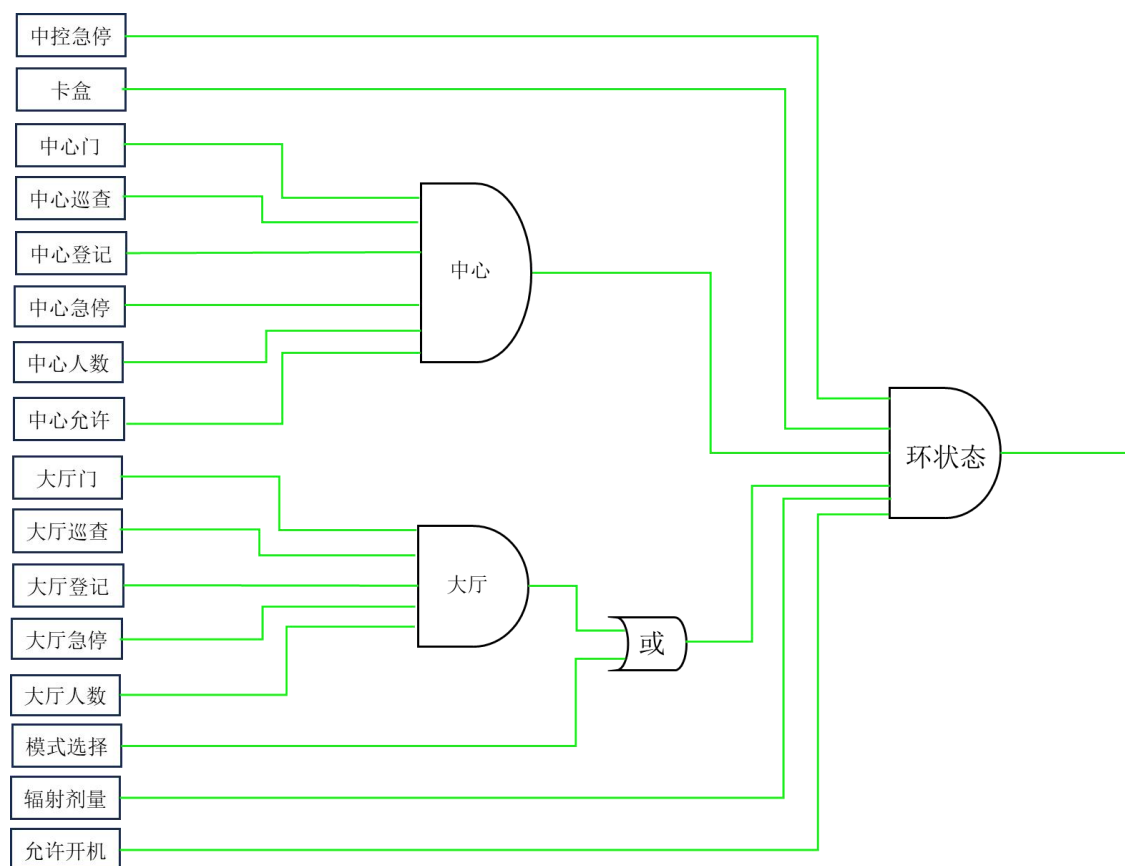


图 4.3-3 储存环人身安全联锁子系统逻辑图

(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4.3-4。

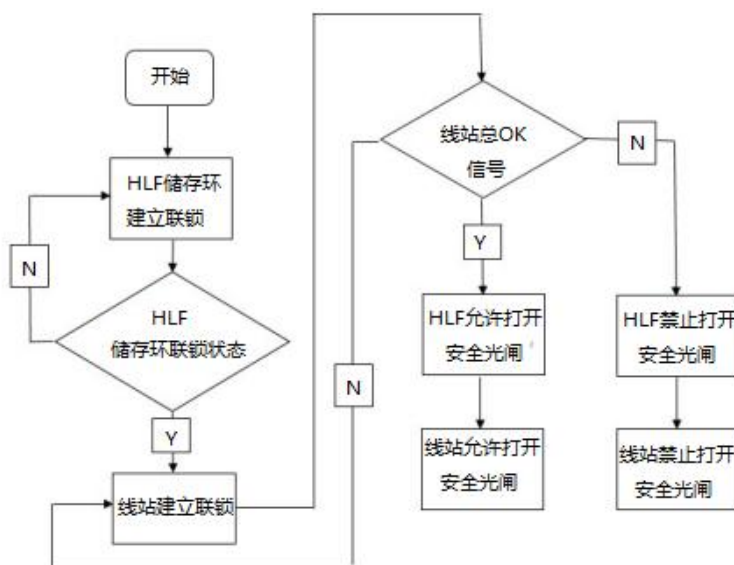


图4.3-4 光束站人身安全联锁子系统逻辑关系图

4.3.2 模式、状态及运行流程

4.3.2.1 联锁系统的调试、运行模式

HLS在调试及运行过程中，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HLS的PSS来说，加速器的调试、运行模式可分为4种，

如表4.3-1所示。

表 4.3-1 HLS 加速器调试与运行模式统计表

模式	注入器	储存环
HLS 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
HLS 解锁	OFF	OFF

HLS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。

4.3.2.2联锁系统的三种状态

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出控制区域。

（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后，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HLS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4.3-5所示。



图 4.3-5 安全联锁系统状态迁移图

4.3.2.3 正常运行期间联锁系统运行流程

HLS 正常运行期间人身安全联锁系统的基本工作流程如图 4.3-6 所示。

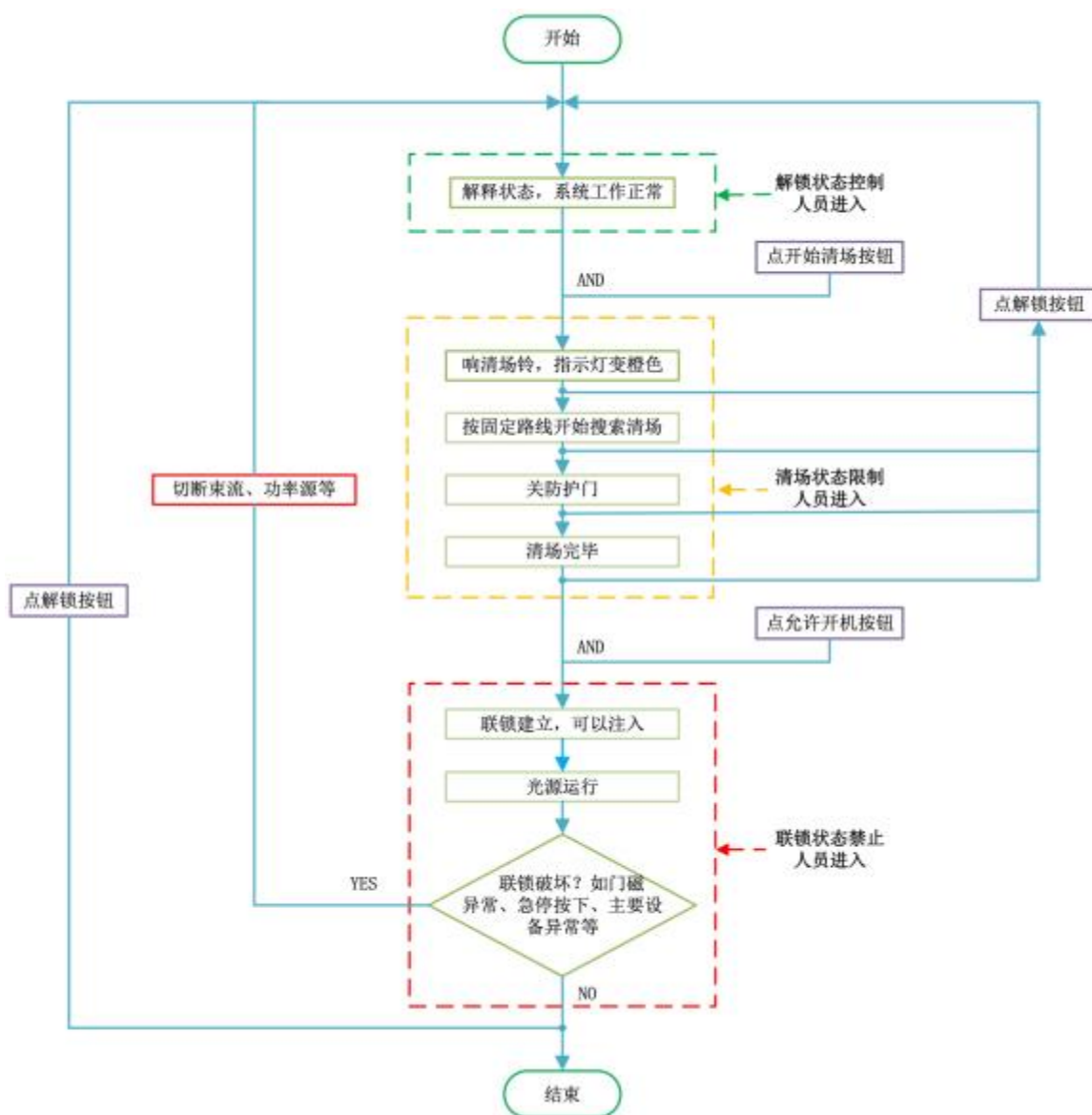
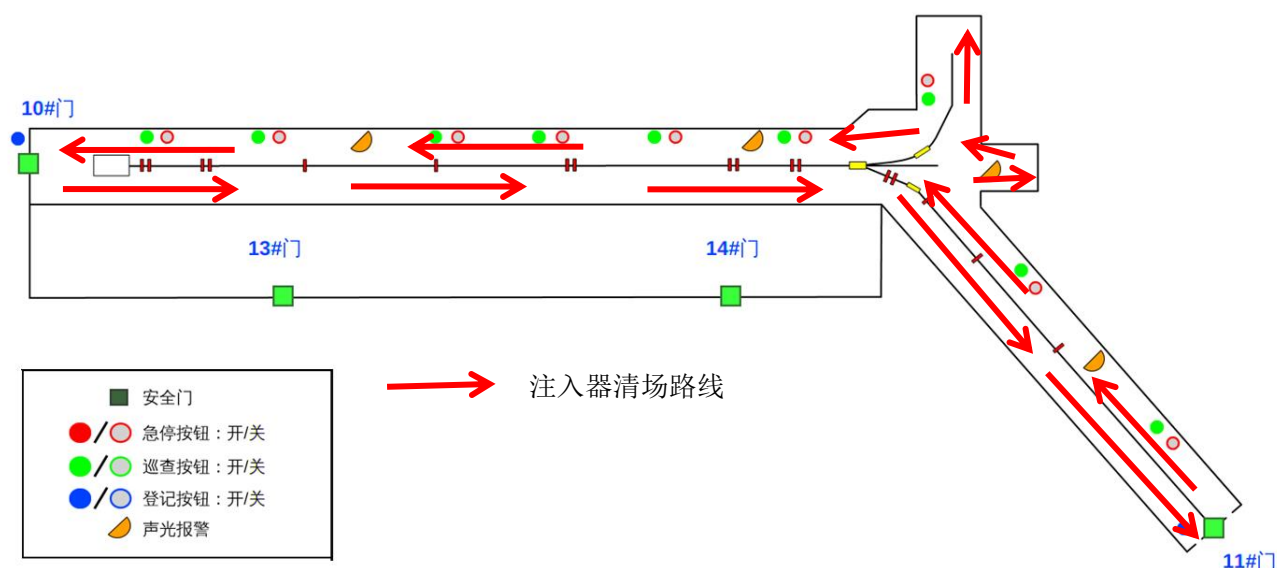


图 4.3-6 HLS 安全联锁运行流程图

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4.3-9所示。对于储存环的清场，按照环中心——储存环棚屋的顺序清场，清场工作至少需要2人同时从9号门进去，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8号门出环中心，继续分顺时针和逆时针两个方向同时开始而且清场储存环棚屋，最后统一从12号门出棚屋。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。



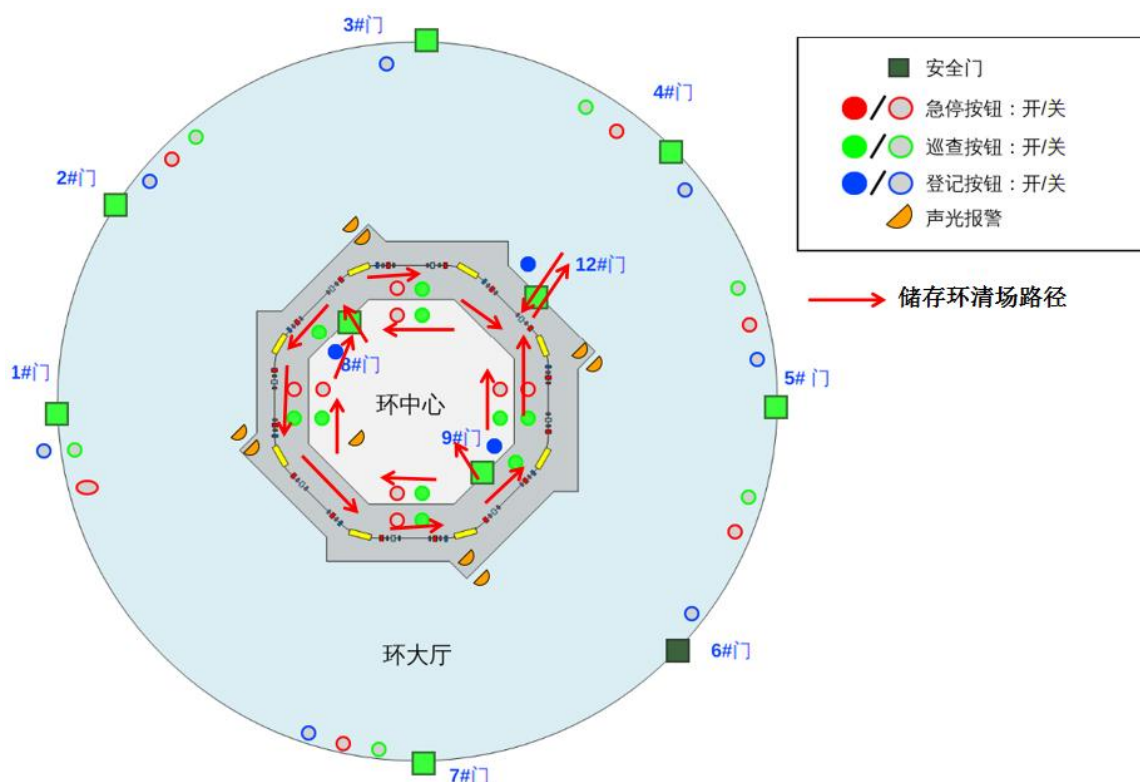


图 4.3-7 注入器、储存环清场路线

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，再通过刷卡或击碎碎玻按钮离开控制区。

4.3.2.4 调试期间联锁系统运行流程

HLS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HLS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)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。

3)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。

4)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。

5)每天调束人员应对调束内容作详实记录。

6)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、储存环隧道先需要封闭，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。

4.3.3 系统硬件

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、联锁卡盒、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，HLS设备数量统计如表4.3-2所示。

表 4.3-2 HLS 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
安全门	2+2	3	7	14
门禁联锁组件	2+2	3	7	14
登记按钮及指示灯	2	3	7	12
巡查按钮及指示灯	9	10	6	25

急停按钮	9	10	6	25
声光报警	4	4	4	12
紧急开门按钮	2	3	4	9
监视器	10	4+8	7	29
监视器显示屏	3	/	3	6

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。

注入器2套+调速管走廊2套+储存环3套，光束线站有7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。

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，以刷卡开门。

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2门禁卡盒，用于联锁门禁卡管理卡管理。每张管理卡在卡盒上都有对应的卡槽，所有管理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。

3) 紧急停机装置：辐射工作场所的控制区内部必须设置急停按钮。在紧急情况下，控制区、控制室、监督区的人员按下急停按钮可立刻切断加速器的运行状态。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HLS在注入器控制区设置19组急停按钮，在线站区设置6组急停按钮；另外，在控制室各设置1组紧急停机按钮；在控制站机柜内设置紧急停机确认复位按钮。紧急停机按钮被按下后，必须通知辐射防护值班员用钥匙在按钮触发地点复位，之后去控制站机柜处进行确认复位操作。急停按钮在安装在控制区人行道一侧的内壁上。

4）清场巡查登记按钮：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。

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。

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。

6）控制机柜：HLS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，通过PROFINET与安装在控制机房的冗余PLC通信，联锁逻辑在PLC中完成。

HLS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）。

4.3.4联锁控制分区情况

根据HLS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4.3-8所示。

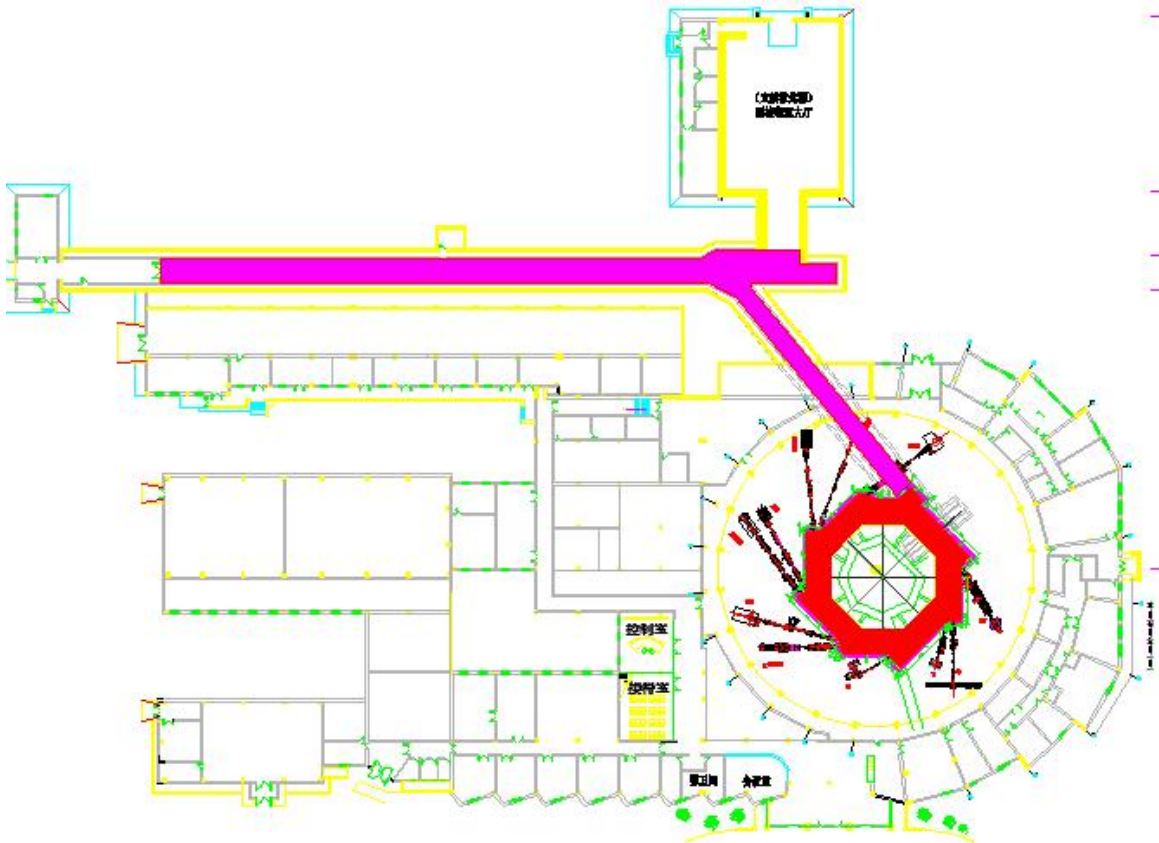


图 4.3-8 HLS 联锁控制分区示意图

注入器控制区（上图紫红色区域）全长约120米，净宽3.5米，有2个人员出入口设置联锁门；储存环控制区（上图红色区域）为环形，净宽约3.5米，有3个人员出入口设置联锁门。通过不同控制区域联锁组合实现HLS不同的运行模式。

4.3.5相关系统信号接口

与 HLS 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，见图 4.3-9。

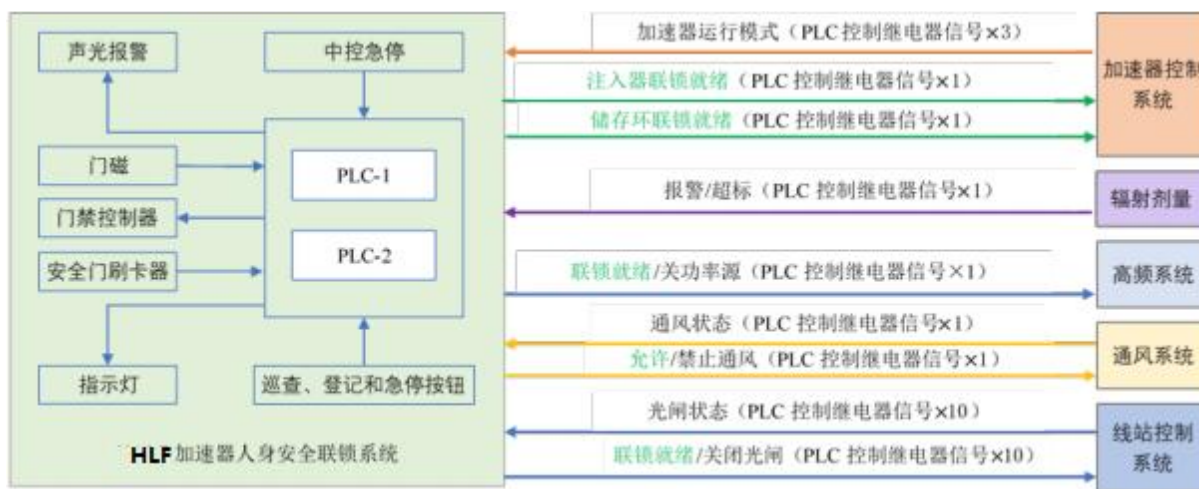


图 4.3-9 HLS 联锁信号关系示意图

4.3.5.1 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。

4.3.5.2 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。

4.3.5.3 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。

4.3.5.4 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。

4.3.6 辐射监测系统

合肥光源辐射监测系统包含两部分功能:环境剂量监测和区域剂量监测。探测器的监测数据在虚拟网段内通过局域网向位于控制室内的主机传输数据,更新控制室内的记录显示系统,实现在控制室读取、记录、显示全部监测点的实时和历史剂量水平数据与有关图形。具体见图 4.3-10。

现有两个环境监测站分别位于实验室南围墙和西围墙边,其位置合理,站内使用现有的环境 γ 探测器和环境中子探测器各一台,探测器的监测数据在虚拟网段内通过局域网向位于控制室内的主机传输数据。

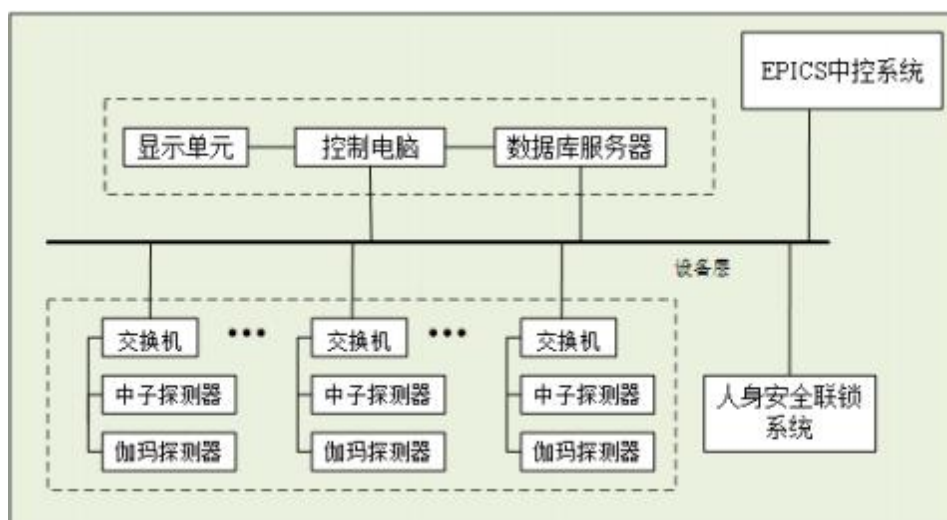


图4.3-10 HLS辐射监测系统基本架构示意图

4.3.6.1 场所固定剂量监测点位

HLS场所固定剂量监测点的设置情况详见图4.3-11：

- a. 环境检测点：2个，M1、M2点，分别位于实验室西围墙和南围墙边。
- b. 注入器区，3个监测点，分别为M3~M5，位于速调管走廊。由于速调管走廊与注入器隧道之间的屏蔽墙开孔较多，虽然是监督区域，但是仍然需要重点监测。
- c. 储存环区及线站区，共设11个监测点，分别为M6~M16，位于注入区短墙和走廊立柱。注入区是需要重点监测的区域，走廊立柱位于光束线站末端，人员活动较密集。
- d. 其他人员活动密集区域，环厅4号门和5号门外，中央控制室及北侧走廊，门卫处，设5个监测点。

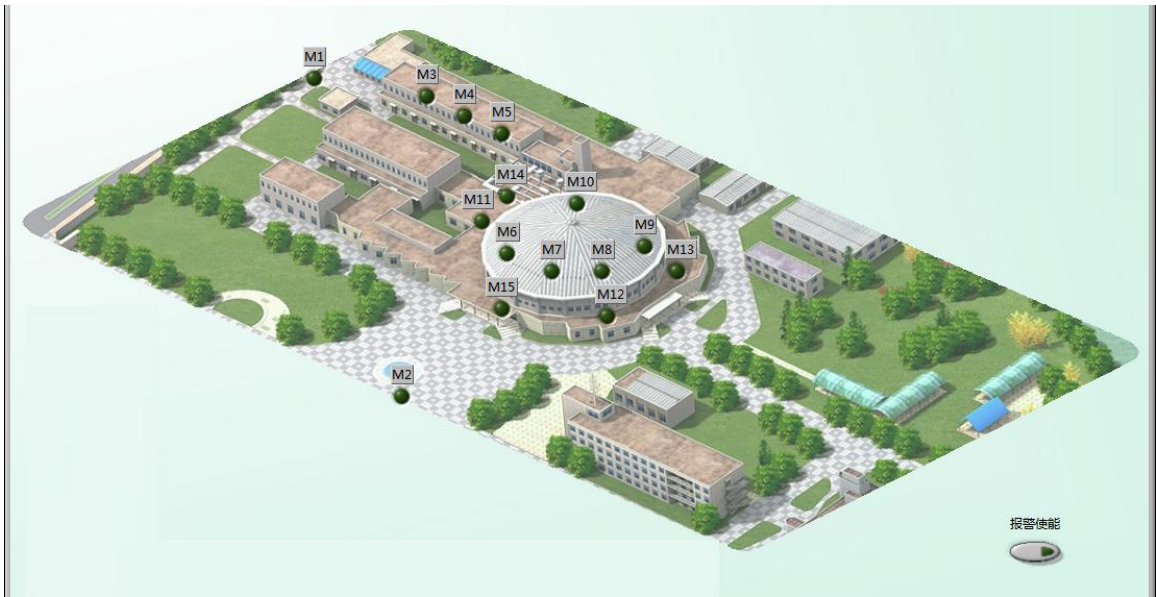


图4.3-11 (a) HLS辐射监测系统 (M1、M2为环境监测点)

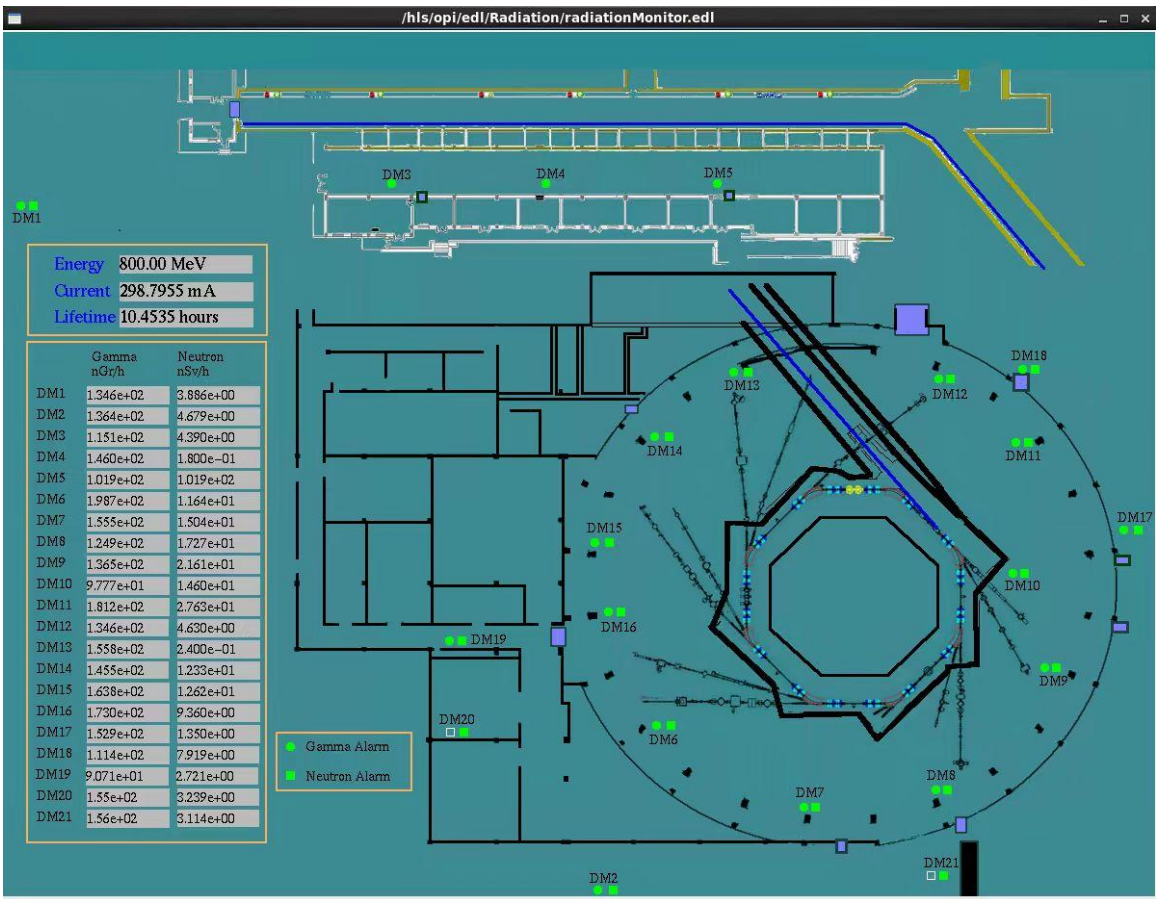


图4.3-12 (b) HLS辐射监测系统 (M3~M21为场所监测点)

4.3.6.2 剂量联锁

当任何一个探测器的瞬时剂量值超过 $20\mu\text{Sv/h}$ 时，会触发联锁事件，将辐射安全联锁对应的继电器信号置为0，触发辐射安全联锁系统，切断电子枪和注入系统。

4.3.6.3 探测器的选择

依据HLS辐射场的特点，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。

表4.3-3 伽玛和中子监测探头的性能要求

序号	参数项	伽玛探测器	中子探测器
1	设备类型	高压电离室	带慢化体的正比计数管
2	测量参数	周围当量剂量率， $\mu\text{Sv/h}$	周围当量剂量率， $\mu\text{Sv/h}$
3	测量范围	$100\text{nSv/h} \sim 10\text{Sv/h}$	$100\text{nSv/h} \sim 10\text{Sv/h}$
4	相对固有误差	$<\pm 15\%$	$<20\%$
5	能量范围	$60\text{keV} \sim 3\text{MeV}$	$0.025\text{eV} \sim 14\text{MeV}$

4.3.6.4 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OSL剂量计进行场所离线累积剂量测量。将OSL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。

4.3.6.5 便携式剂量率巡测

合肥光源已配备一定数量的 $\gamma(\text{X})$ 射线和中子辐射巡测仪，详见下表4.3-4。

4.3.6.6 表面污染监测

按辐射防护ALARA原则，在束流损失较大的场所维修作业前，有必

要进行表面放射性污染检测。

表 4.3-4 同步辐射实验室现有辐射监测仪表清单

序号	仪器名称	型号	数量
1	低本底高纯锗 γ 谱仪	ORTEC	1
2	便携式 Gamma 巡测仪 SIM-MAX	ADC-3	1
3	中子巡测仪	FHT762	1
4	个人报警剂量仪	/	20
5	表面沾染仪	/	1
6	γ 监测仪	AGM	14
7	γ 监测仪	YP201	7
8	γ 监测仪	EGM-5	6
9	中子监测仪	ANM	20
10	中子监测仪	NG204	3
11	中子监测仪	HANM	3

4.3.6.7 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。

4.3.7 环境监测

HLS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》（HJ61-2021），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。

4.3.7.1 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2个（位于场所南围墙及西围墙处），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。

4.3.7.2 流出物监测

1) 活化冷却水

HLS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。事故情况装置水冷系统排出的活化冷却水须妥善收集并暂存于密封加厚不锈钢水箱，并转移至放射性废物暂存间内，排放前取样监测，达标后方可排放。因此，HLS在正常运行时，活化冷却水对环境的影响很小，可以忽略。

2) 活化固体废物

HLS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。

HLS目前无暂存的放射性固体废物，拟新设一处放射性固体废物暂存间，位于直线速调管走廊耳房南侧，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。

4.3.8通风系统

（1）注入器隧道

合肥光源注入器隧道设强制排风系统。根据建设单位提供的合肥光源装置排风竣工图（详见附件 12），p-1 排风系统负责直线加速器坑道有害气体的过滤和排放，同时也负责坑道负压排风。其中紧急排风风机风量为 $10580\text{m}^3/\text{h}$ ，平常运行时保持坑道负压风机风量为 $2930\text{m}^3/\text{h}$ 。停机维修时会开启紧急风机并在停机 45min 后打开隧道门进行自然排风 2h 后，人员方可进入。

（2）储存环隧道

注入器隧道体积约为 1800m^3 ，隧道无强制通风设施，储存环大厅设 2 台风机强制排风，排风量均为 $10580\text{m}^3/\text{h}$ 。隧道内空气对外围线站工作场所有一定的负压，正常运行时隧道内活化空气不会进入外环境。储存环停机检修时，停机 45min 后打开隧道门依托环大厅的强制排风系统进行排风 2h，此期间环大厅门（1~7#门）保持联锁，无人员进入。

因此，合肥光源通风的设计、运行能够满足相关标准的要求。

4.3.9电离辐射警告标志设置

在本项目辐射工作场所控制区的进出口设置如下图所示警告标志；在监督区的入口处的适当位置设置表明监督区的标牌。

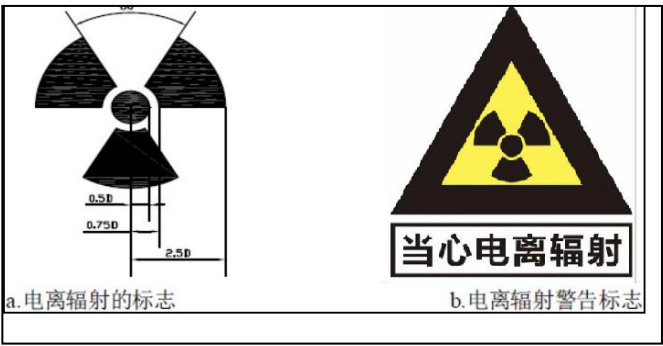


图4.3-13 警告标志示意图

4.3.10 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，HLS的辐射安全与防护设施情况如表4.3-5所示。

表 4.3-5 HLS 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		√

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

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	冷却水贮存箱	√
30		专设存放地点	√
31	F 通风	控制区通风系统	√
32		停机后，控制区通风	
33	G 其它	个人防护用品	√
34		应急物资	√

表 4.3-6 储存环大厅控制区的防护与安全情况

序号	项目		是否符合
1	A 警告标	电离辐射标志	√

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

2	志	视频监控系统	√
3		声光报警系统	√
4	B 安全联锁	实验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		实验站内有足够数量的紧急停机按钮	√
8	C 监测设备	实验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	实验站通风系统	√

4.4 三废治理

4.4.1 放射性污染防治

（一）放射性废气及处理措施

根据第三章的分析可知，合肥光源储存环束流提升后，运行期间所产生的放射性气体的主要核素为 ^{11}C （半衰期 20.39min）、 ^{13}N （半衰期 9.965min）、 ^{15}O （半衰期 2.037min）、和 ^{41}Ar （半衰期 1.8h）。由表 3.3-3 可以看出，保守按照合肥光源装置储存环连续运行 365 天，排放的主要核素为 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{41}Ar 这四种短寿命核素，其动态饱和浓度均低于对应的导出剂量限值。

（二）放射性废液及处理措施

本项目可能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。由前述分析可知，正常运行情况下，设备冷却水闭路循环不排放，放射性废液对环境的影响很小可以忽略。

在设备检修或发生冷却水泄漏事故时才需将冷却水收集处置。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，总量约 378m^3 。

建设单位拟在放射性废物暂存间内设置加厚密封不锈钢储水箱，用于活化冷却水的贮存，并定期对衰变池中冷却水进行采样，分析监测其中 ^3H 和 ^7Be 的浓度，在浓度达标并经生态环境主管部门同意后，方可排入市政污水管网。

综上所述，HLS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浓度属于低放废液，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。

（三）放射性固体废物及其处理措施

合肥光源的放射性固体废物主要为装置的活化部件、活化的屏蔽体材料。由前述3.3节预测结果可知，储存环束流管道、冷却水管的活化水平不高，总比活度分别约为 4.0 Bq/g 、 $2.84\text{E-}01\text{ Bq/g}$ ，属于低放废物。

合肥光源拟新设一处放射性固体废物暂存库（位于调速管走廊耳房南侧），换下来的活化部件根据其污染水平，分类存放于此。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。

放射性固废从控制区转运到放射性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。

放射性固废暂存库门上贴有电离辐射警告标志，按规定实行双人双锁管控。拆除的活化结构部件若存在比活度超过豁免限值的，应集中存放在暂存间内，最终委托项目所在地城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

环评要求：项目建设单位应按照《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）相关要求，产生的放射性固体废物经分类收集、包装后，装入带有分类标记的专用口袋或容器，送入放射性固体废物暂存间暂存。放射性固体废物暂存量超过暂存间50%容积后应及时送交城市放射性固废处置中心或其他有资质单位处理。

4.4.2非放射性污染防治

（一）废气治理措施

本项目运行期废气污染源主要为储存环隧道内空气经辐照产生的臭氧及氮氧化物。根据前述3.3.3节计算，臭氧及氮氧化物（以 NO_2 计算）的饱和浓度分别在 10^{-5} 和 10^{-6}mg/m^3 ，对周围环境的影响非常小。

（二）废水治理措施

本次评价项目为储存环束流提升及新增线站项目，根据与建设单位核实，此次评价项目不新增辐射工作人员。因此，不新增生活污水排放量，目前校区生活污水经预处理后排入市政污水管网，对周边地表水影响很小。此次不再进一步展开分析。

（三）噪声治理措施

项目运行过程中的噪声源主要为现有水泵、通排风设备系统、空调系统运行噪声，本项目不新增噪声源。根据现状监测，同步辐射实验室场界及校内代表性声环境保护目标处噪声能够满足《声环境质量标准》（GB3095-2008）中 1 类标准限值要求。本次储存环束流提升及新增线站项目不会改变周边声环境现状。

（四）固体废物治理措施

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及新增少量废乙醇及废有机溶剂。

此次评价项目不新增辐射工作人员，因此，不新增生活垃圾量。目前，项目区域已设置若干个垃圾桶，生活垃圾集中分类收集，交由环卫部门统一处理。

线站实验室新增少量废乙醇及废有机溶剂，属于危险废物（HW06废有机溶剂与含有机溶剂废物，废物代码：841-004-01），年产生量不超过 0.01t，采用专用回收桶收集后由实验室定期统一进行废液处理。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。

4.5 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 建设阶段环境影响分析

本次评价项目建设阶段不涉及土石方开挖等基础工程及现浇钢砼柱主体工程的建设，仅包括在储能环真空室外新增铅砖屏蔽及在已有预留线站处安装设备。

施工阶段工程量非常少，污染源主要为各种施工设备和运输车辆的噪声及施工过程中产生的少量工业固体废物、生活垃圾、生活污水等。

施工期的噪声主要来自构件装卸噪声，主要为狭带冲击声，多为低频噪声，具有阶段性、临时性和不固定性的特点。只要合理安排施工作业时间，即可减轻施工噪声对周围环境的影响；对于施工期间的材料运输等噪声源，要求施工车辆减速慢行、文明作业、加强管理以缓解其影响。

施工期产生的固体废物主要为构件边角料、废塑料、废金属等工业固体废物及生活垃圾；对于工业固体废物应分类堆放，回收部分和不可回收部分分开，及时清运；生活垃圾，应采取定点收集的方式，由环卫部门统一进行清运。

施工期不产生施工废水，仅涉及施工人员的生活污水，这部分污水依托学校现有化粪池预处理后，排入市政污水管网进入王小郢污水处理厂处理达标排放。

5.2 运行阶段环境影响分析

5.2.1 场所辐射水平

5.2.1.1 辐射照射途径分析

在屏蔽计算时，按电子最高能量800MeV、最大流强500mA进行计算。

(1) 注入器（直线加速器及输运线）：

合肥光源为在运行项目，根据天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司出具的辐射工作场所监测报告（报告编号:1820230603HB02，检测时间2023年12月1日），同步辐射大厅加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率在0.14~0.15μSv/h，远低于2.5μSv/h的剂量率限值。检测结果详见下表5.2-1，检测报告详见附件7。

表 5.2-1 同步辐射大厅加速器机房屏蔽体外周围剂量当量率

报告编号	1820230603HF85	检测内容	电子直线加速器机房屏蔽防护			
额定参数	800MeV	检测项目	中高能加速器放射防护			
检测日期	2023 年 12 月 01 日	检测地点	西校区同步辐射大厅加速器机房			
电子直线加速器机房屏蔽防护检测结果						
检测条件	能量：800 MeV。					
检测点编号	检测点位置		周围剂量当量率(μSv/h)			控制水平(μSv/h)
1	机房门上侧外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5	
		n	0.007			
	机房门下侧外 30cm 处	X	0.13	0.14		
		n	0.006			
	机房门左侧外 30cm 处	X	0.14	0.15		
		n	0.012			
	机房门右侧外 30cm 处	X	0.13	0.14		
		n	0.007			
机房门中部外 30cm 处	X	0.13	0.14			

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

		n	0.007		
2	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.012		
3	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.006		
4	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.008		
5	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.007		
6	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.008		
7	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.010		
8	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.006		
9	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.006		
10	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.007		
11	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.007		
12	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.006		
13	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.007		
14	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.006		
15	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.010		
16	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.006		
17	屏蔽体外 30cm 处	X	0.13	0.14	2.5
		n	0.006		

备注	1.表内检测结果均未扣除本底; 2.AT123 仪器本底平均值: 0.14μSv/h;本底范围: 0.13~0.14μSv/h; 3.LB123 仪器本底平均值: 0.004μSv/h;本底范围: 0.003~0.006μSv/h。
检测点布局示意图	

(2) 储存环:

合肥光源储存环周长 66.13m, 安装在直径约 50m 的储存环大厅中, 全环总计 8 块弯转磁铁, 其有效长度 1.7m, 偏转角度 45° , 运行能量(800MeV) 下磁场强度 12327.8Gauss, 轨道曲率半径 2.16451m。其建筑布局如图 5.2-1 所示。

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 HLS 储存环建筑结构进行详细建模计算，建模情况如下图所示。

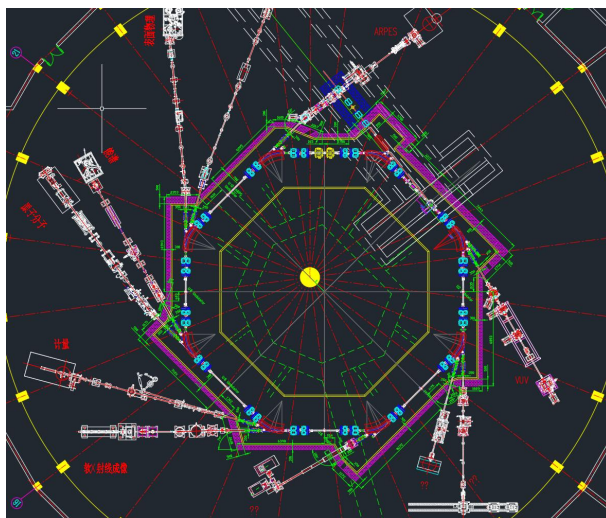


图 5.2-2 HLS 储存环 CAD 图

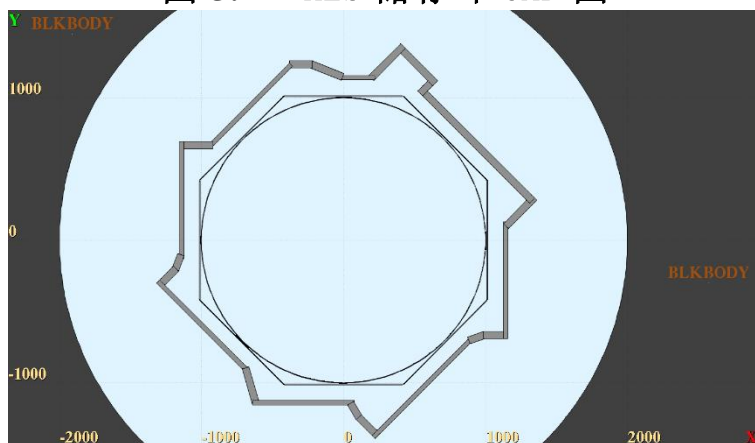


图 5.2-3 HLS 屏蔽计算的 FLUKA 几何模型

5.2.1.3 储存环隧道模拟计算结果

储存环的能量为 800MeV，束流提升后，储存环正常运行期间，储存束流 500mA，电荷量 110.38nC。正常注入状态下，注入器总的输出束流脉冲电荷量为 $Q=1\text{nC}$ ，脉宽为 $t=1\text{ns}$ ，储存环注入效率为 95%，即每次存储在储存环中的电荷量为 $Q_i=0.95\text{nC}$ 。需要考虑的辐射源项如下表所列：

表 5.2-2 计算时考虑的各个工作模式对应的辐射源项

名称	序号	工作模式	辐射源项
储存环隧道	1	Top-off 注入	Top-off 注入时约有 20%注入粒子损失, 单次注入时间小于 1 分钟, 考虑注入时的一分钟, 将损失 1.25mA, 即 1.71875×10^9 个电子每分钟, 相当于每小时 1.03×10^{11} 个电子。
	2	Top-off 运行	500mA-8h 寿命, 每 6 分钟注入一次, 注入电流 6.25mA, 注入效率 80%, 平均每小时损失 8.61×10^{10} 个电子
	3	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某一点, 即一次损失 6.875×10^{11} 个电子。

注: 衰减运行 (Decay) 模式的工作状况是束流在储存环绕环时在全环沿途 800MeV-500mA-8h 寿命的束流均匀损失 (线损), 在此模式运行期间, 注入器停止产生束流, 储存环中束流运行 8 小时左右, 衰减到 184mA (500/e) 时, 主动踢掉束流 (束流损失在储存环中某一点), 然后加速器重新注入束流至 500mA。计划主动踢掉束流前, 线站大厅进行清场, 至重新注入束流至 500mA 期间, 与环大厅线站门建立联锁, 期间无人员进入线站大厅。从上述工作模式可以看出, Decay 模式运行期间工况不会超过 Top-off 模式, 而主动踢掉束流时的束流损失是低于事故全部丢束, 且从主动踢束注重新注入期间线站大厅清场无人员进入, 故未进行 Decay 模式的模拟计算。

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。可以看出: 关注点的剂量率均远低于剂量限值, 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某一点, 其单次累积剂量很小, 远低于 1mSv/次的限值。

工况 1 (Top-off 注入时): 储存环中电流为 500mA, 电子能量 800MeV, 寿命 8 小时, 采用 top-off 模式, 每 6 分钟注入一次, 注入电流 6.25mA, 注入效率 80%, 平均每小时损失 8.61×10^{10} 个电子。

Top-off 注入时约有 20%注入粒子损失，单次注入时间小于 1 分钟，考虑注入时的一分钟，将损失 1.25mA，即 $1.71875\text{E}+9$ 个电子每分钟，相当于每小时 $1.03\text{E}+11$ 个电子。

计算结果：模拟计算结果表明，注入时锯齿墙外的区域剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，部分区域大于 $1.25\mu\text{Sv/h}$ ；高度 2.5 米以上，剂量率小于 $10\mu\text{Sv/h}$ ，部分区域大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。

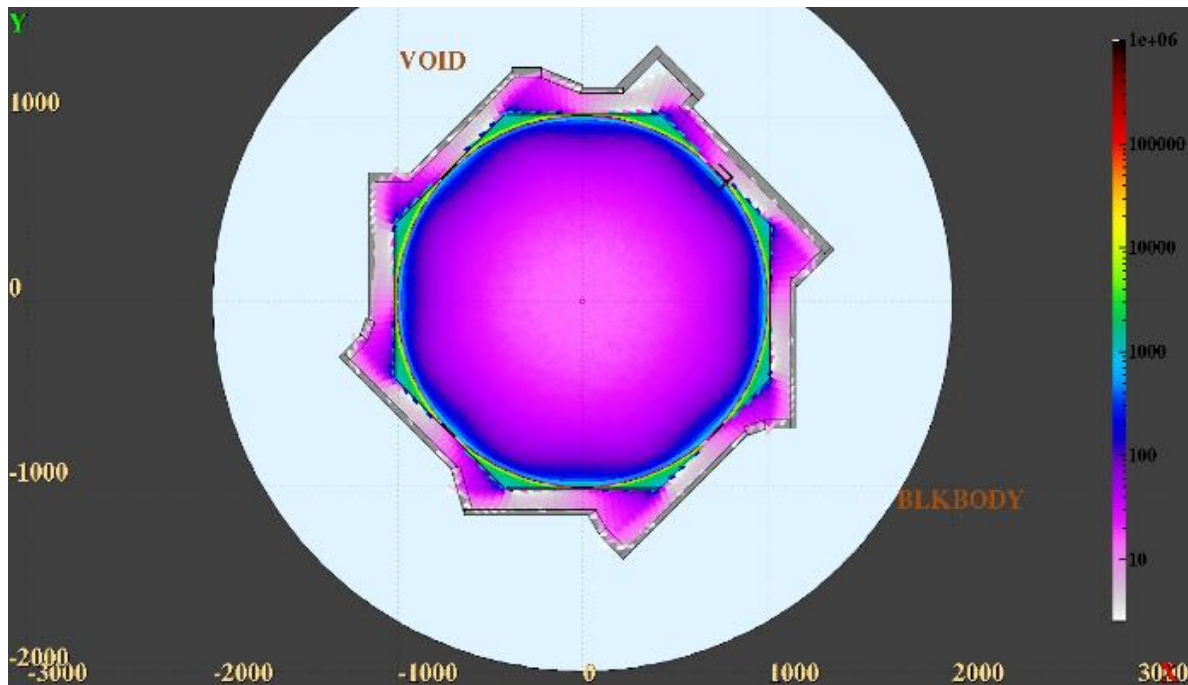


图 5.2-4 束流平面，彩色区域表示剂量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$

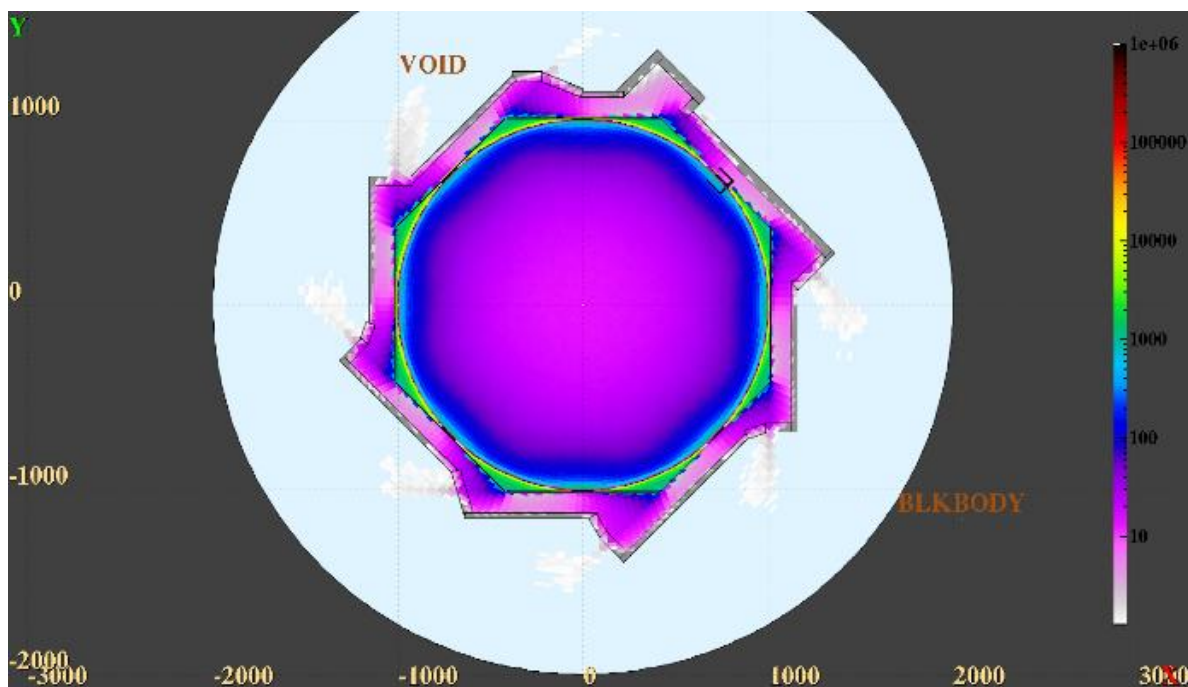


图 5.2-5 束流平面，彩色区域表示剂量率大于 1.25uSv/h

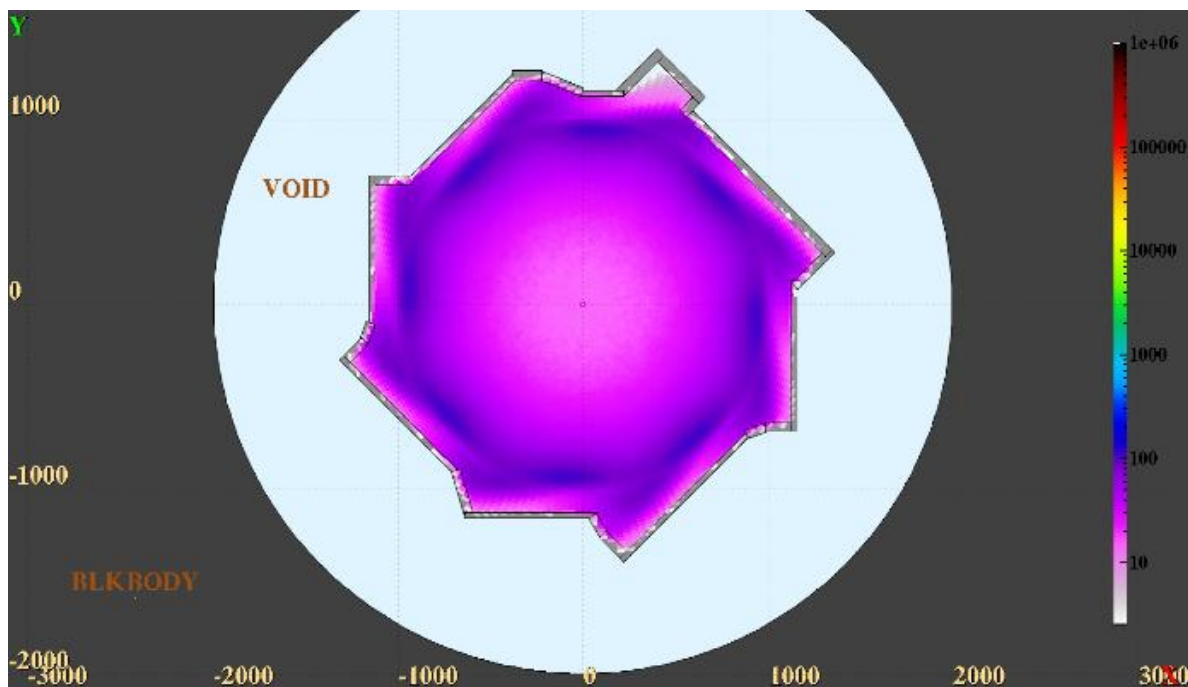


图 5.2-6 距离地面 30cm，彩色区域表示剂量率大于 2.5uSv/h

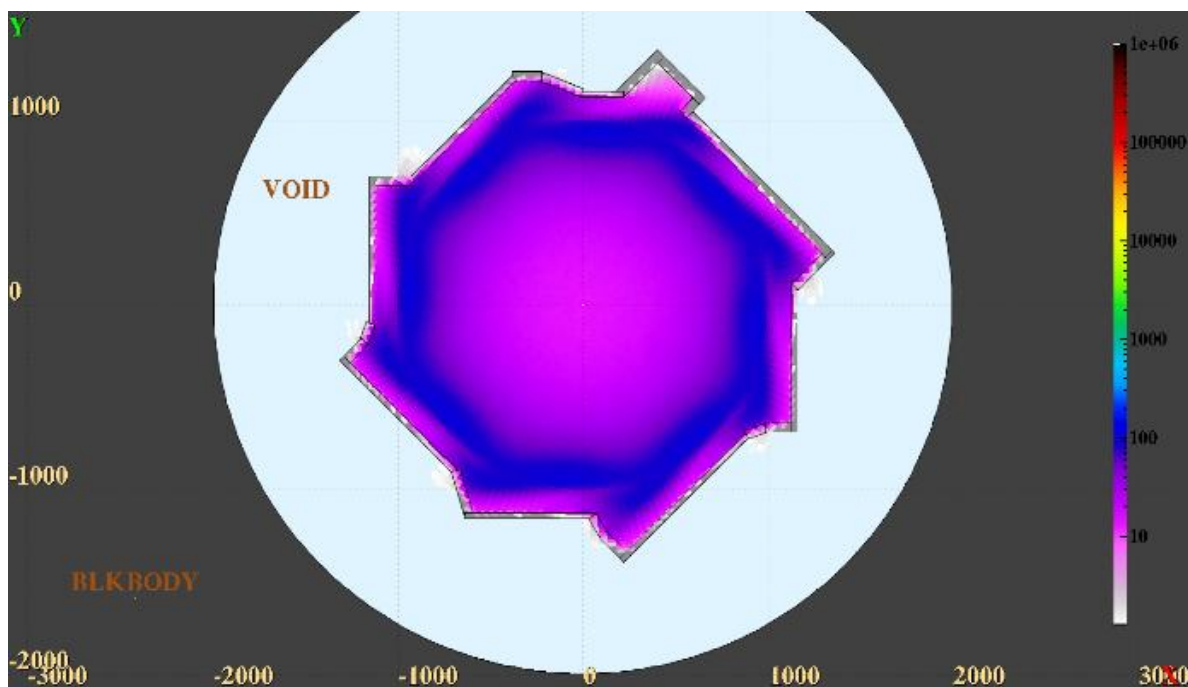


图 5.2-7 距离地面 30cm, 彩色区域表示剂量率大于 1.25uSv/h

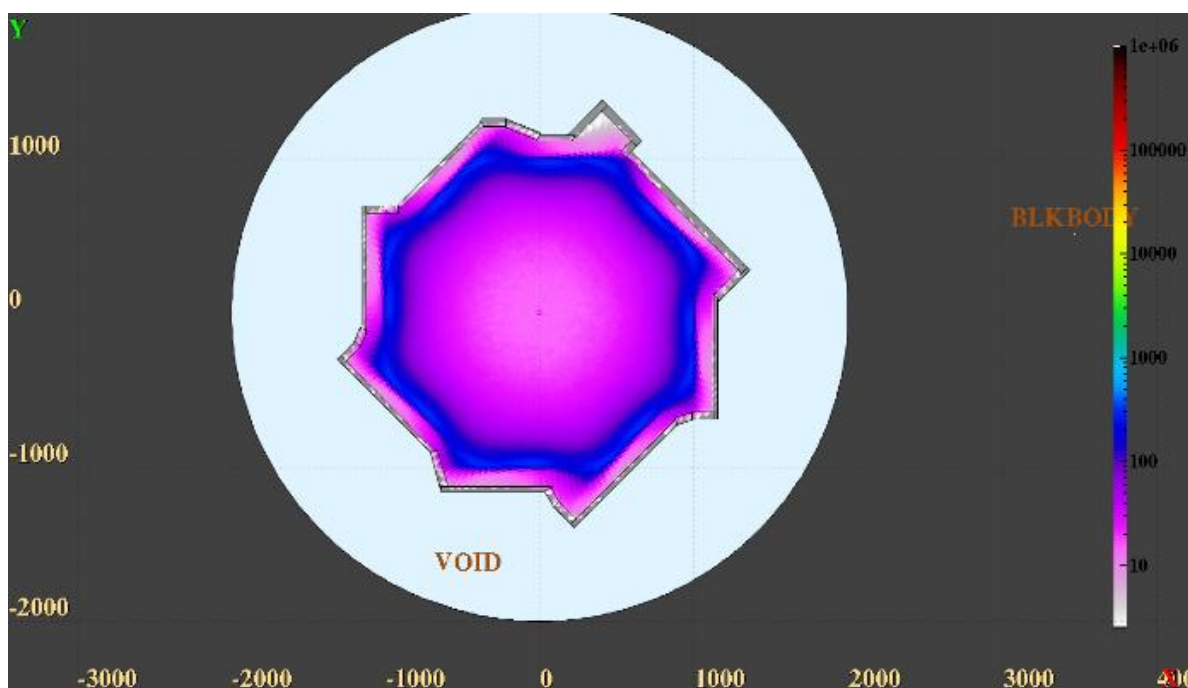


图 5.2-8 距离地面 180cm, 彩色区域表示剂量率大于 2.5uSv/h

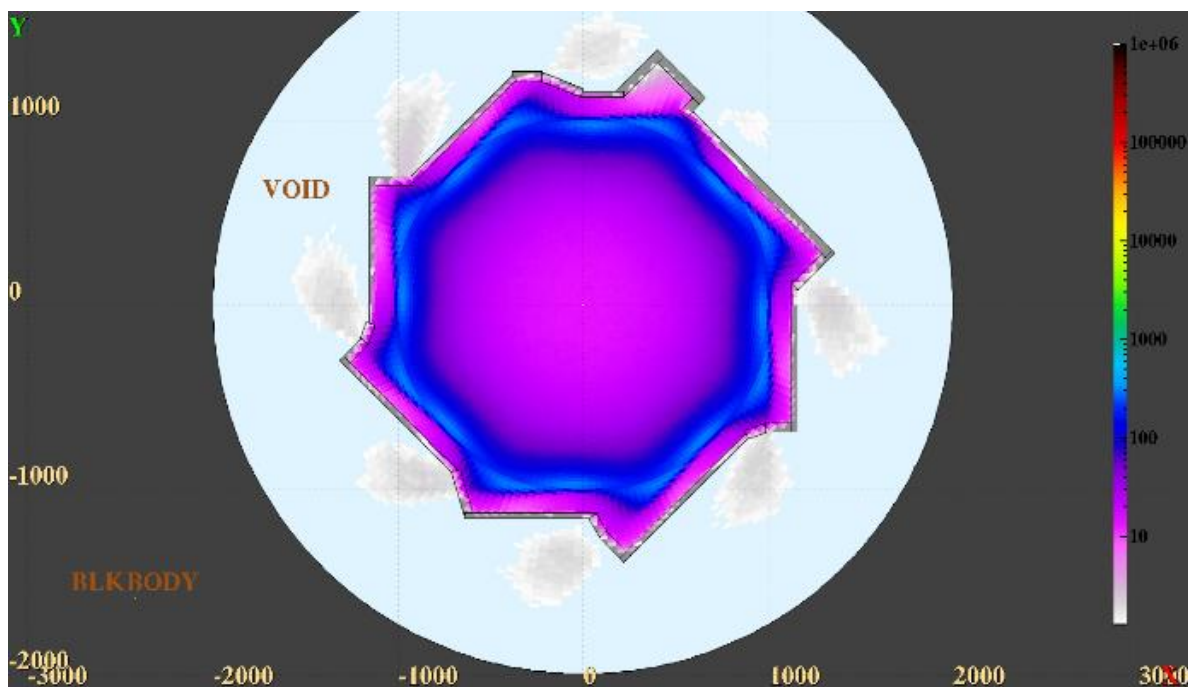


图 5.2-9 距离地面 180cm，彩色区域表示剂量率大于 1.25uSv/h

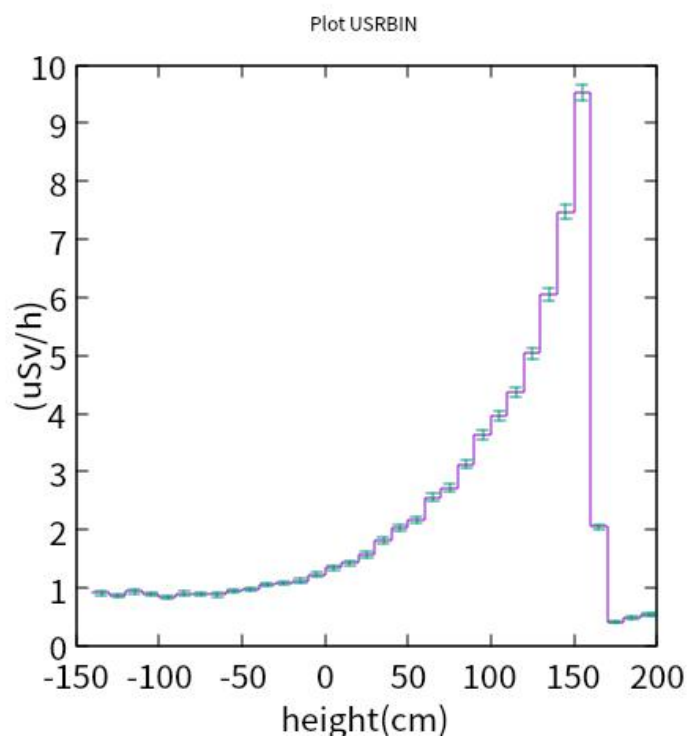


图 5.2-10 以束流平面为原点，短墙外剂量率随高度变化

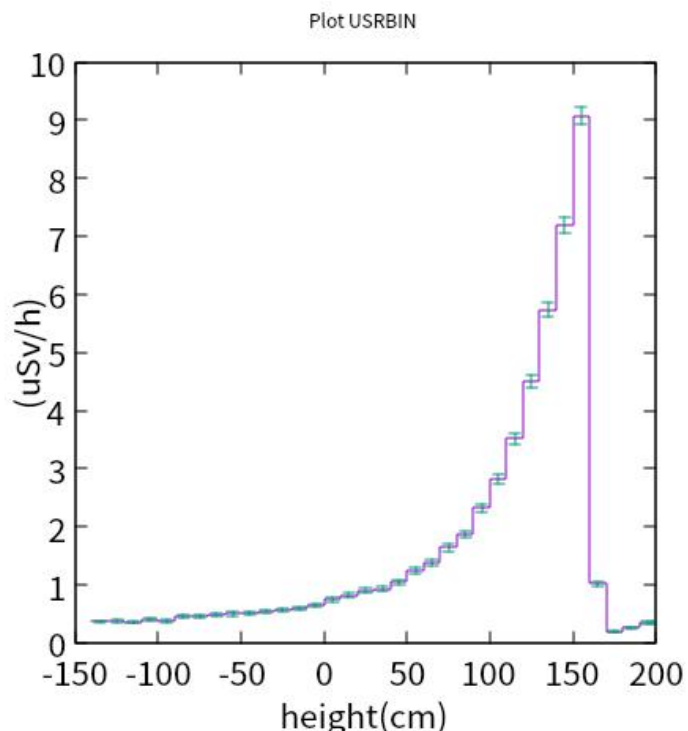


图 5.2-11 以束流平面为原点，长墙外剂量率随高度变化

工况 2（Top-off 运行）：储存环中电流为 500mA，电子能量 800MeV，寿命 8 小时，采用 top-off 模式，每 6 分钟注入一次，注入电流 6.25mA，注入效率 80%，平均每小时损失 $8.61\text{E}+10$ 个电子。

计算结果：在 top-off 运行模式下，粒子在储存环管道均匀损失，辐射场如图 5.2-12~图 5.2-14 所示，东南方向短墙外和长墙外剂量率随高度变化如图 5.2-15 和图 5.2-16 所示。模拟计算结果表明，储存环锯齿墙外部的辐射小于 $1.25\mu\text{Sv/h}$ ，顶上的辐射小于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。

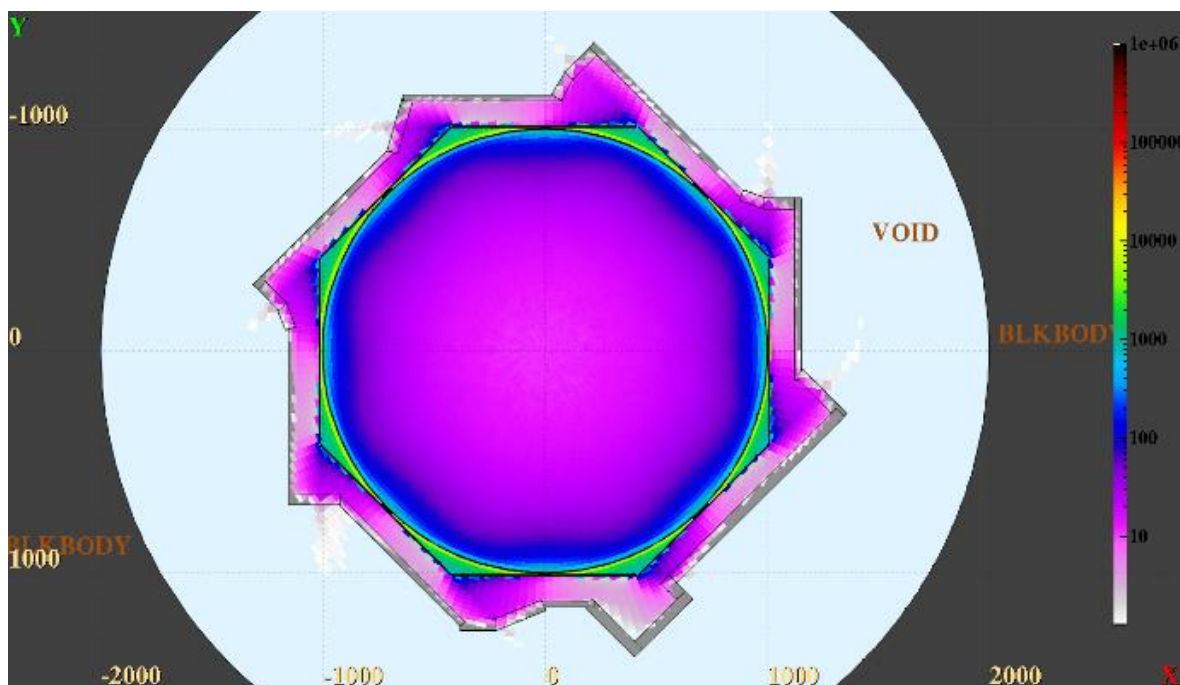


图 5.2-12 top-off 模式，束流平面，彩色区域表示剂量率大于 $1.25\mu\text{Sv/h}$

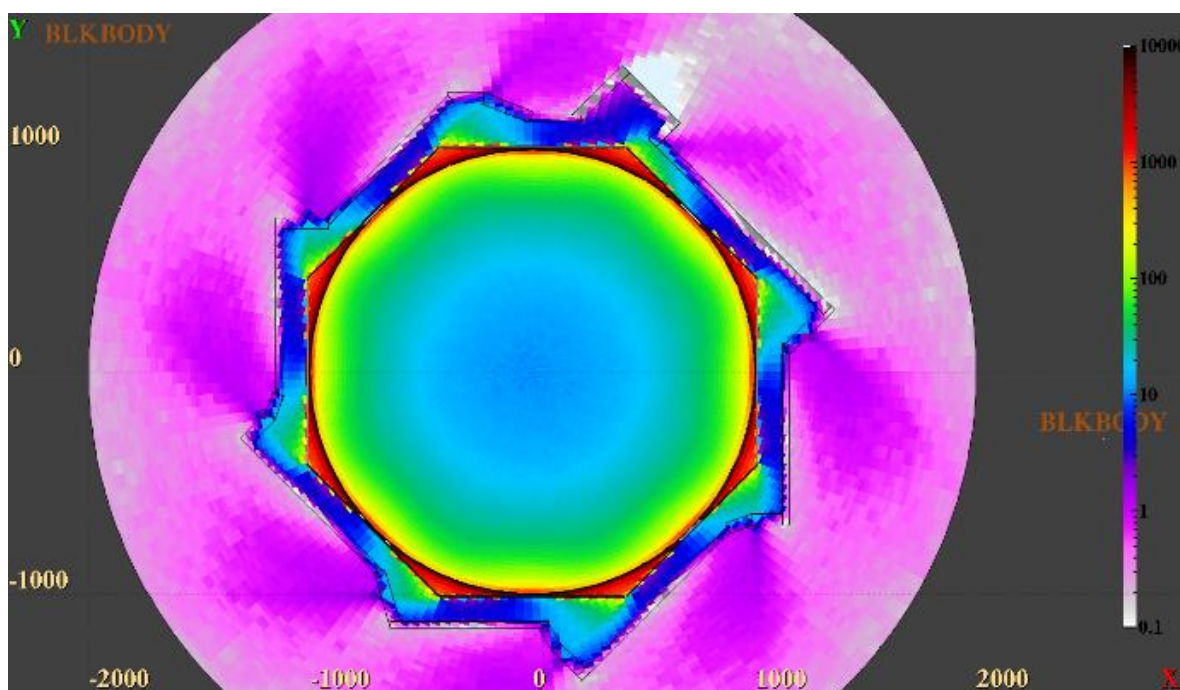


图 5.2-13 top-off 模式，束流平面，彩色区域表示剂量率大于 $0.1\mu\text{Sv/h}$

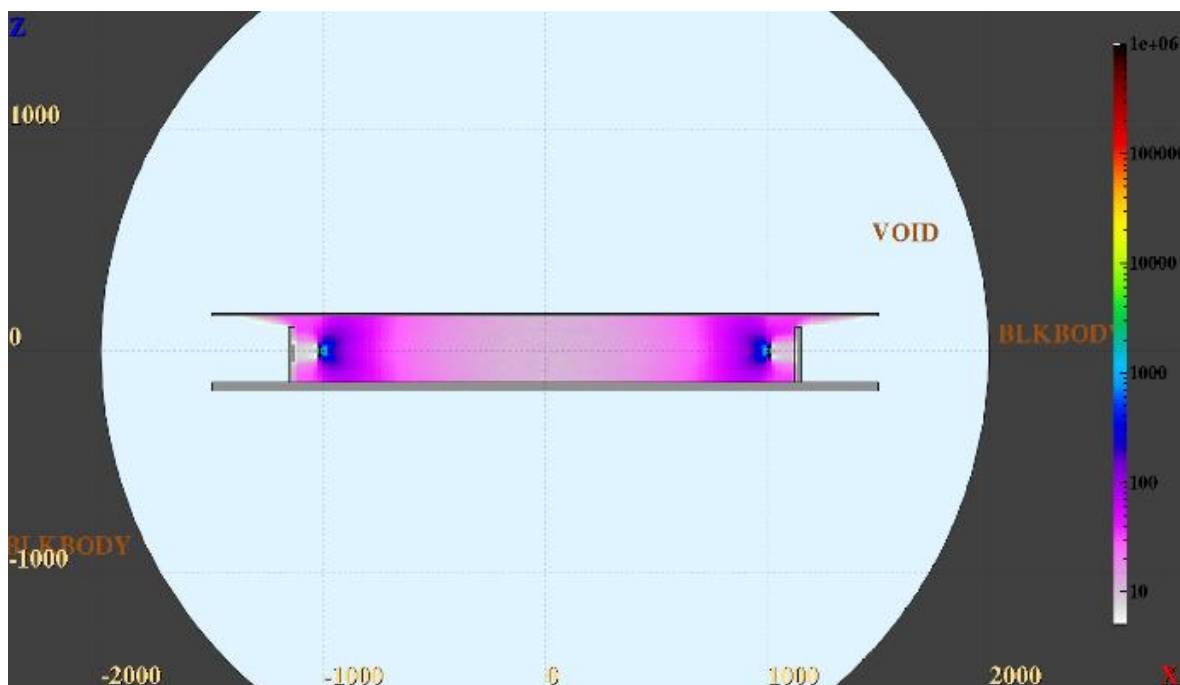


图 5.2-14 top-off 模式，正视图，彩色区域表示剂量率大于 $5 \mu\text{Sv/h}$

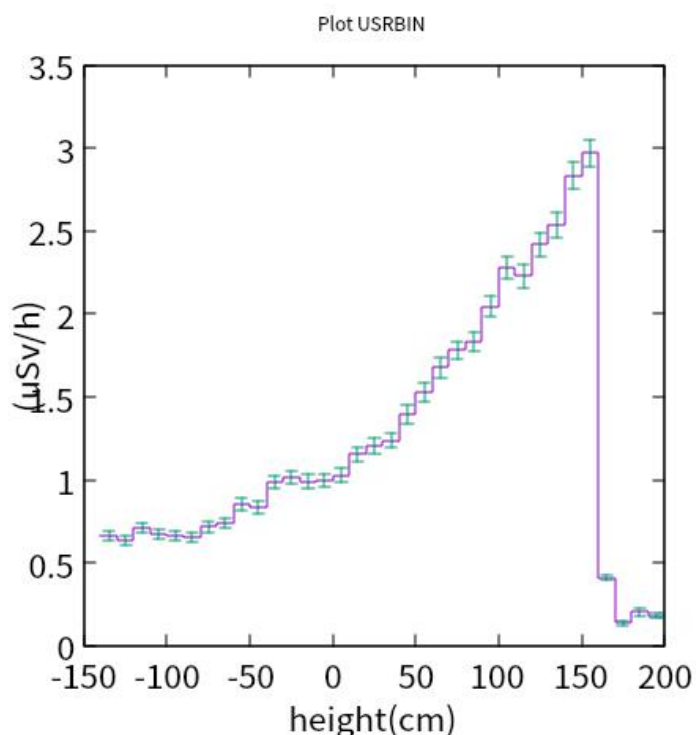


图 5.2-15 以束流平面为原点，短墙外 30CM 处剂量率随高度变化

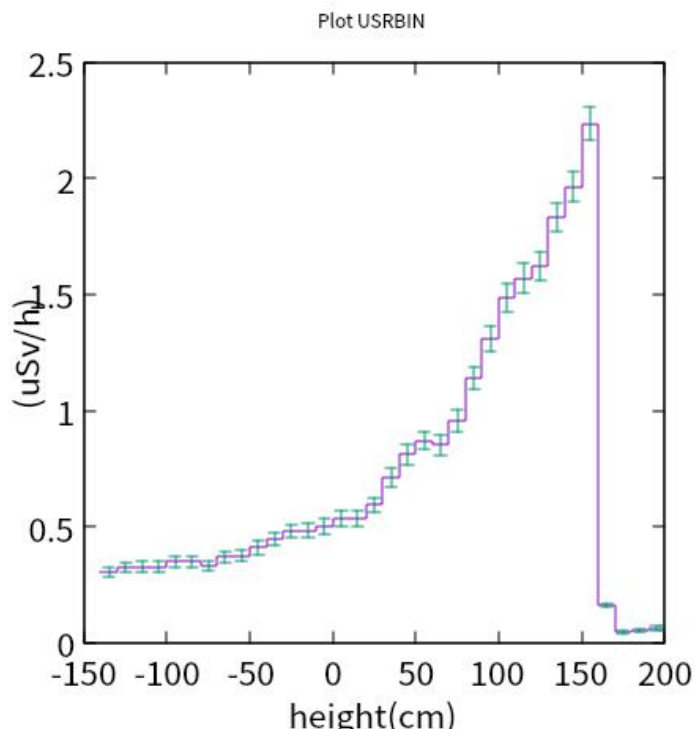


图 5.2-16 以束流平面为原点，长墙外 30CM 处剂量率随高度变化

工况 3（储存环束流突然全部丢失）：储存环中电流为 500mA，电子能量 800MeV，丢束工况下，束流可能全部丢失在一点，即一次损失 $6.875\text{E}+11$ 个电子。

计算结果：考虑束流损失在注入区和非注入区两种情况，辐射场如图 5.2-17-图 5.2-22 所示，粒子将辐射主要损失在下游的短墙，当粒子损失在注入区时，短墙外 30cm 处剂量约为 0.25mSv/次，当粒子损失在非注入区时，短墙外 30cm 处剂量约为 0.45mSv/次。

结论：丢失工况下，束流可能全部丢失在一点，即一次损失 $6.875\text{E}+11$ 个电子，锯齿墙外剂量小于 1mSv/次。

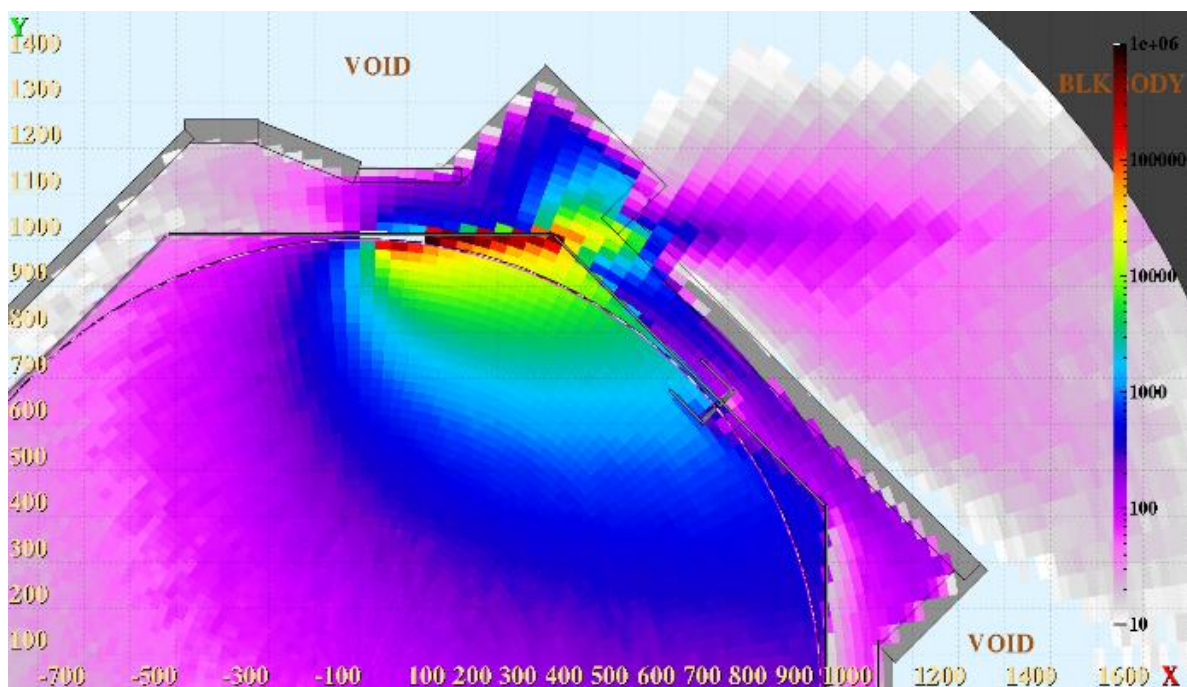


图 5.2-17 粒子损失在注入区，束流平面，彩色区域表示剂量率大于 $10\mu\text{Sv/h}$

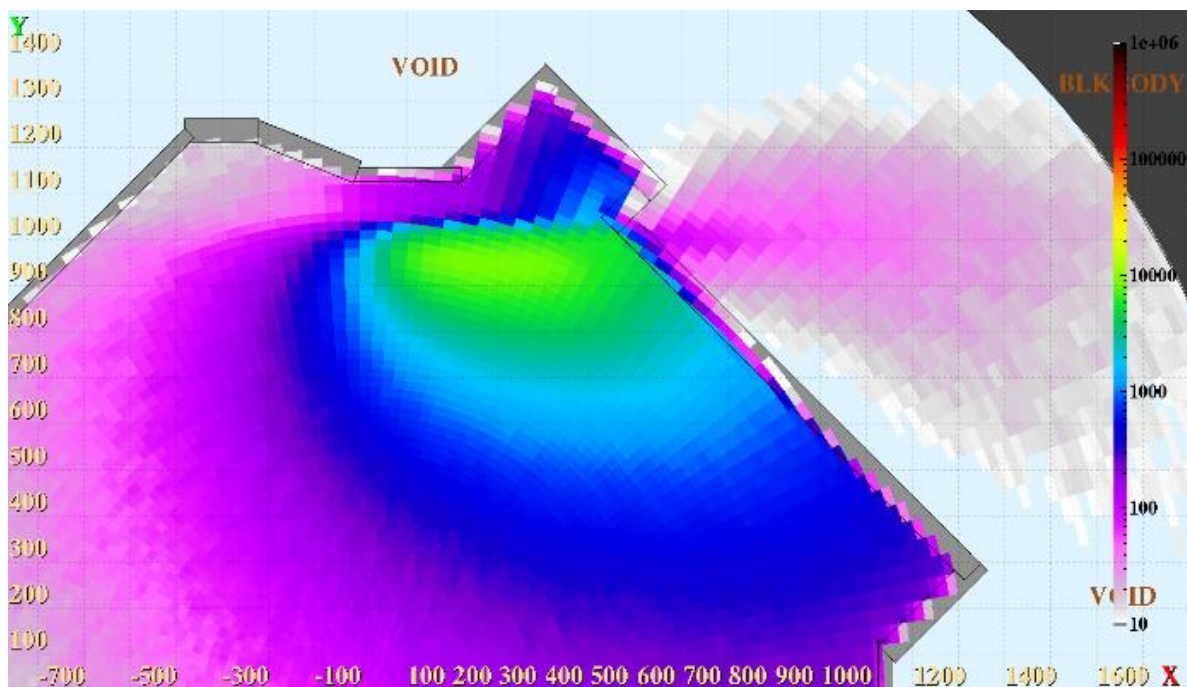


图 5.2-18 粒子损失在注入区，距离地面 30cm，彩色区域表示剂量率大于 $10\mu\text{Sv/h}$

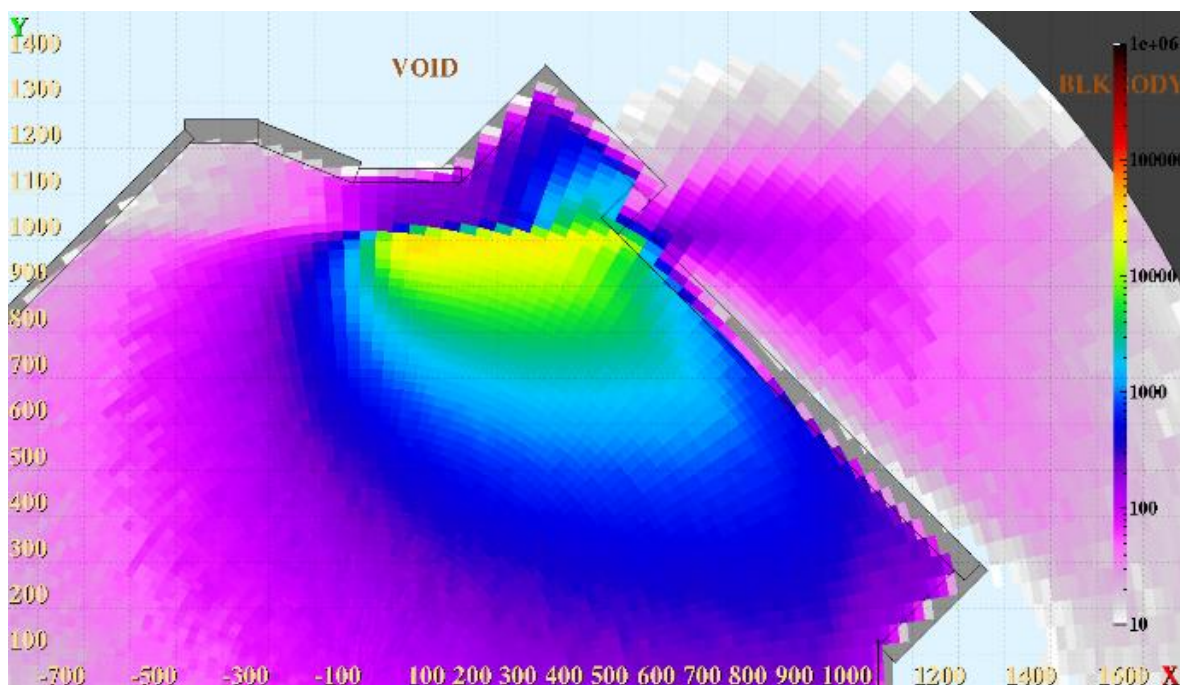


图 5.2-19 粒子损失在注入区，距离地面 180cm，彩色区域表示剂量率大于 $10\mu\text{Sv/h}$

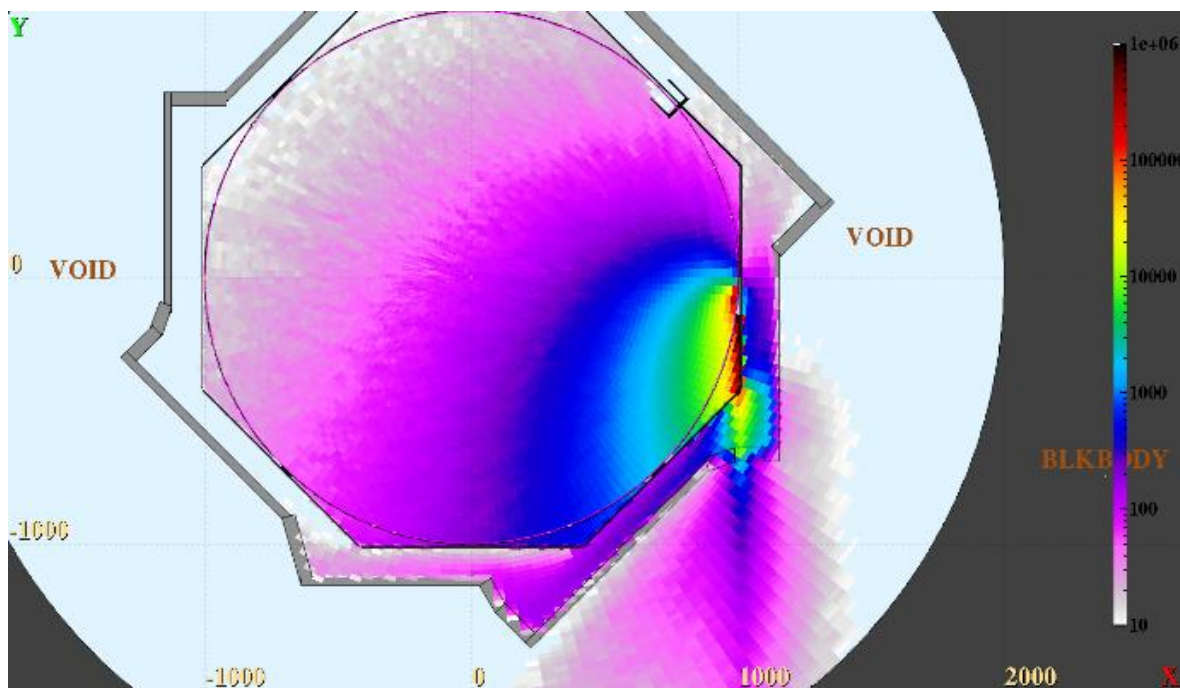


图 5.2-20 粒子损失在非注入区，束流平面，彩色区域表示剂量率大于 $10\mu\text{Sv/h}$

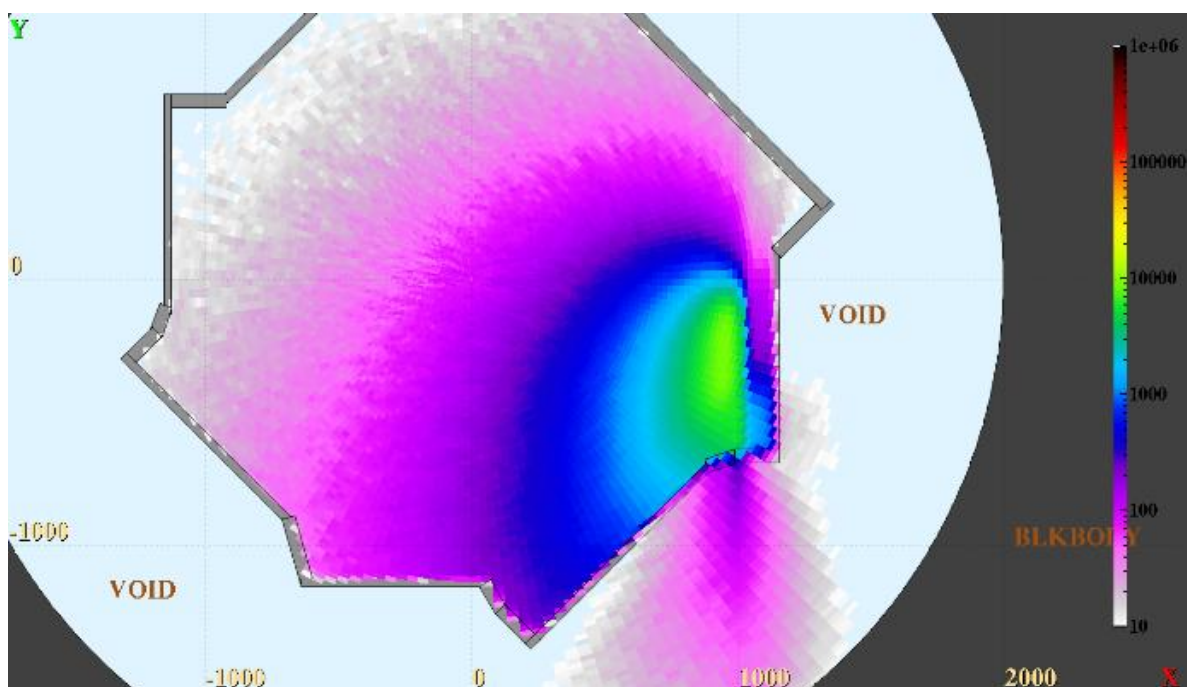


图 5.2-21 粒子丢失在非注入区，距离地面 30cm，彩色区域表示剂量率大于 $10\mu\text{Sv/h}$

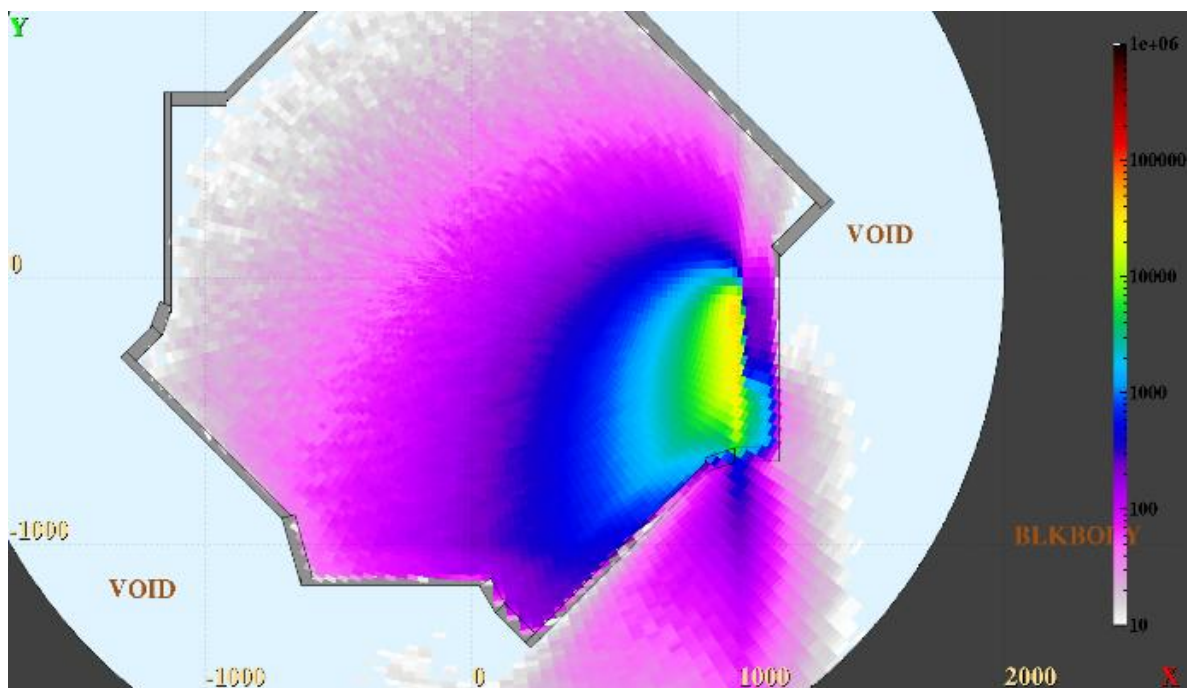


图 5.2-22 粒子丢失在非注入区，距离地面 180cm，彩色区域表示剂量率大于 $10\mu\text{Sv/h}$

5.2.1.4 关注点剂量率

储存环屏蔽体外剂量率分布图详见上一小节，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 5.2-2。从表可以看出，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 5.2-2 HLS 储存环屏蔽体外关注点剂量（率）模拟结果

场所	关注点		工作模式					
			Top-off 运行（非注入）		Top-off 注入		丢束工况	
			最大剂量率， $\mu\text{Sv/h}$	限值， $\mu\text{Sv/h}$	最大剂量率， $\mu\text{Sv/h}$	限值， $\mu\text{Sv/h}$	最大剂量， $\mu\text{Sv/次}$	限值， $\mu\text{Sv/次}$
储存环	注入区短墙外 30cm 处	高度 0-2.5m	0.2	2.5	0.24	2.5	250	1000
		高度>2.5m	3.4	10	4.08	10	787	1000
	注入区长墙外 30cm 处	高度 0-2.5m	1.2 (2 米内为 0.9)	2.5	1.44 (2 米内为 1.08)	2.5	124	1000
		高度>2.5m	2.4	10	2.88	10	130	1000
	非注入区短墙外 30cm 处	高度 0-2.5m	1.8 (2 米内为 1.0)	2.5	2.16 (2 米内为 1.2)	2.5	450	1000
		高度>2.5m	3.0	10	3.6	10	600	1000
	非注入区长墙外 30cm 处	高度 0-2.5m	1.2 (2 米内为 1.0)	2.5	1.44 (2 米内为 1.2)	2.5	230	1000
		高度>2.5m	2.3	10	2.76	10	926	1000
	注入区顶屏蔽外 30cm 处		2.0	10	2.4	10	185	1000
	非注入区顶屏蔽外 30cm 处		2.0	10	2.4	10	185	1000

注：束流平面距地面 1.4m。

5.2.2 金华光束线站屏蔽计算

金华光束线包含 3 个支线，分别为金华散射实验站（ 2.55° 掠入射 M1 镜）及 2 个散射支线实验线站（ 10.5° 掠入射 M1 镜）。其工作模式为同步辐射光源每次只能供给一个线站使用。

金华线站辐射屏蔽措施如下表所列。

表 5.2-3 金华散射线站计算时采用的屏蔽措施

序号	位置	屏蔽措施	距离直线节末端距离
1	M1 镜处镜箱	不锈钢，两个侧面 1cm，上/下/前/后均为 0.5cm	9.5m
2	末端铅吸收器	6cmPb，高 50cm，宽 50cm	18.6m

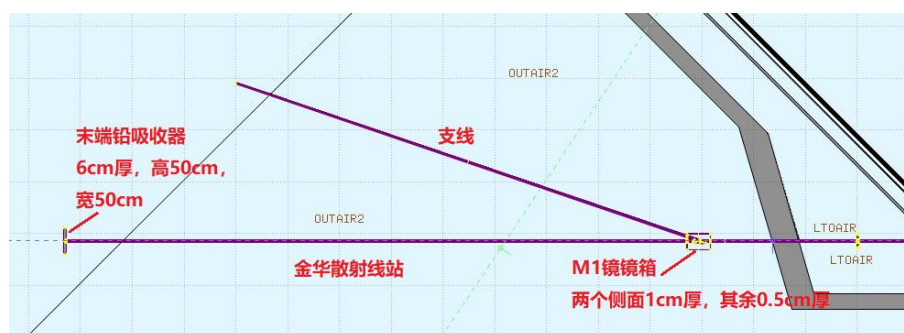


图 5.2-23 金华光束线屏蔽位置示意图

5.2.2.1 气体韧致辐射计算

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。采用 FLUKA 计算气体韧致辐射，初始源项的电子能量：0.8GeV 电子，金华光束线气体韧致辐射计算结果如下图所示。可以看出，线站处的气体韧致辐射剂量率小于 $1.0\mu\text{Sv/h}$ 。

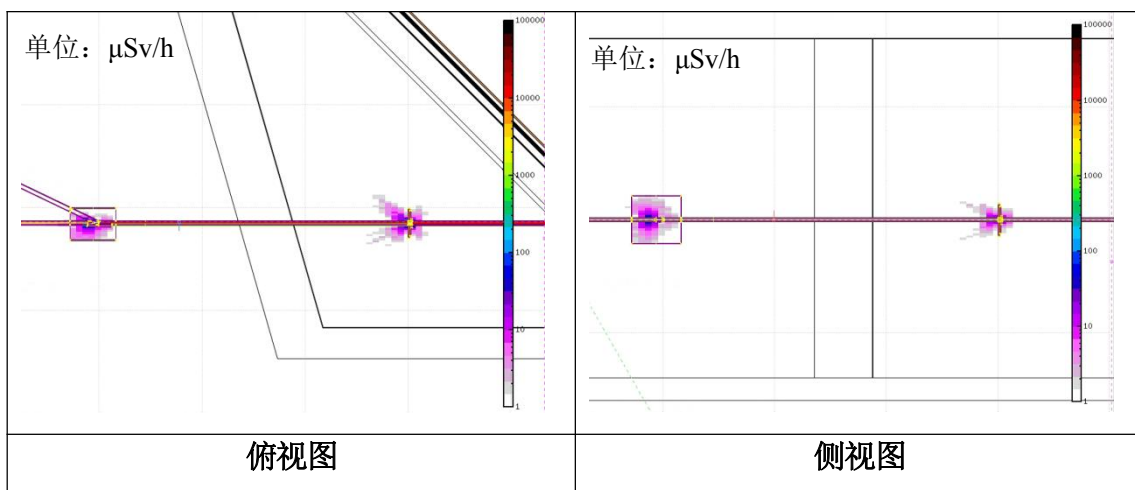


图 5.2-24 金华散射线站气体轫致辐射计算结果

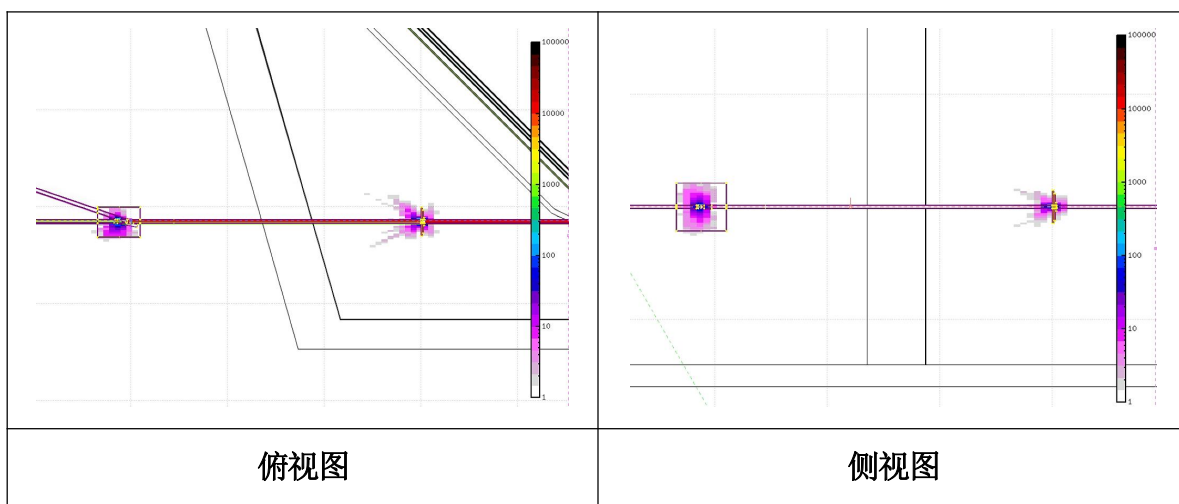


图 5.2-25 支线气体轫致辐射计算结果

5.2.2.2 同步辐射屏蔽计算

用 STAC08 软件对线站 M1 镜箱的侧、端/后同步辐射最大剂量率进行计算，作出同步辐射最大剂量率随着不锈钢厚度的衰减图。侧向距离束流中心 5cm，端/后与靶点距离 5cm。所作衰减图如下：

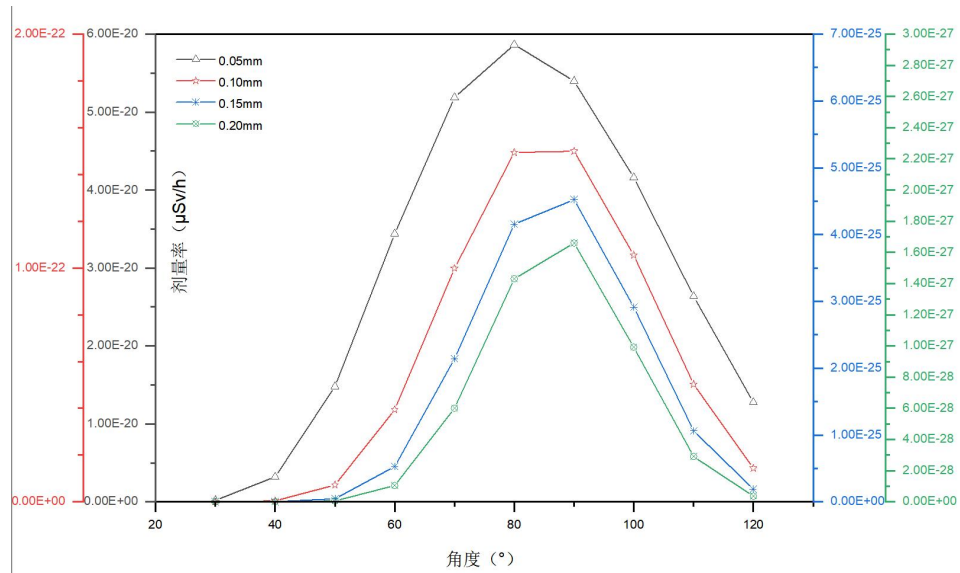


图 5.2-26 金华散射线站 M1 镜箱侧向同步辐射剂量率结果

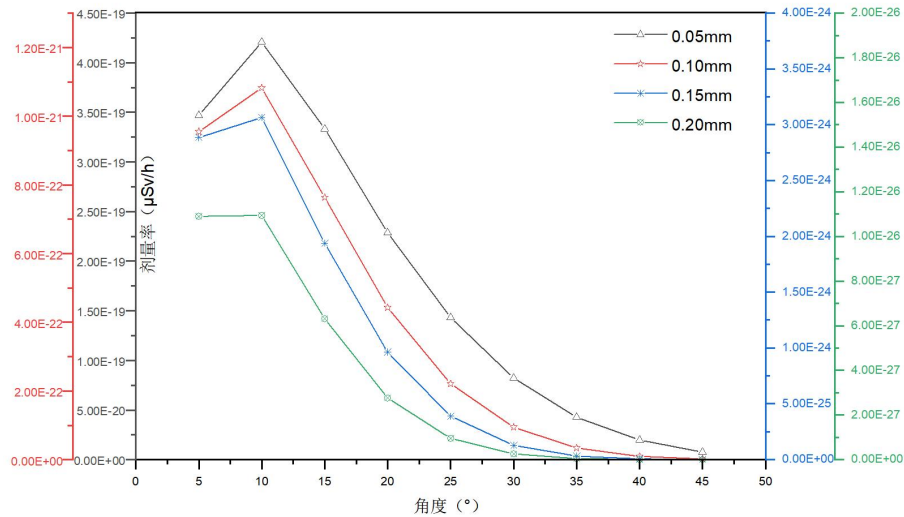


图 5.2-27 金华散射线站 M1 镜箱端/后同步辐射剂量率结果

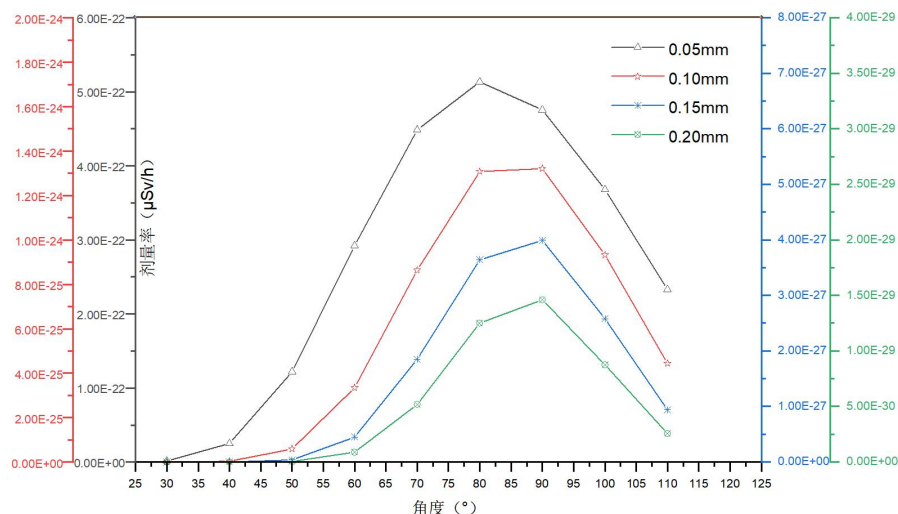


图 5.2-28 金华支线 M1 镜箱侧向同步辐射剂量率结果

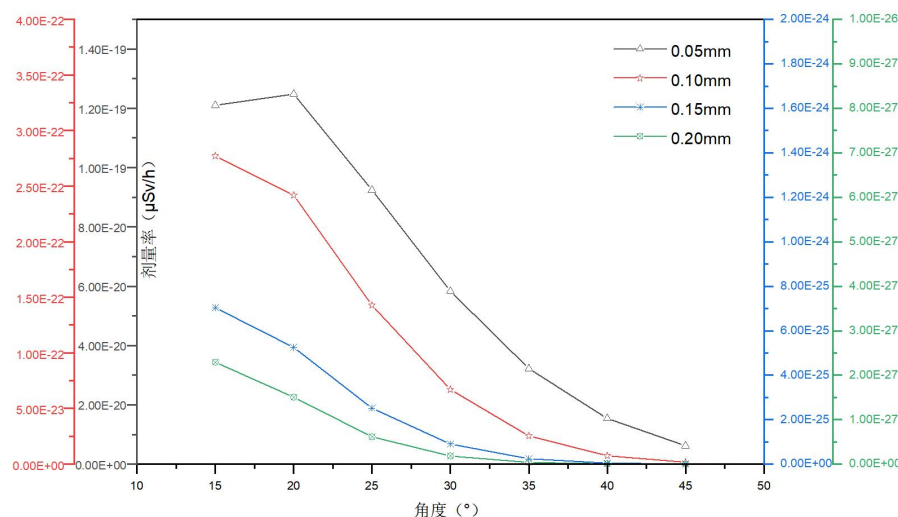


图 5.2-29 金华支线 M1 镜箱端/后同步辐射剂量率结果

由结果可知，对于 HLS 金华散射线站及支线而言，M1 镜镜箱壁厚 0.05mm 不锈钢即可满足同步辐射的屏蔽要求。侧向剂量率最大值不大于 $6.0\text{E-}20\mu\text{Sv/h}$ ，端/后剂量率限值不大于 $4.5\text{E-}19\mu\text{Sv/h}$ 。

综合以上，光束线站在采取前述表 5.2-1 辐射屏蔽措施后其辐射剂量率能满足要求。

5.2.3 人员受照剂量估算

5.2.3.1 注入器隧道

因本次改扩建项目不涉及注入器（直线加速器、输运线）工作介质能量、流强的改变及屏蔽措施的改变。由于储存环储存电子束流从 300mA 提升至 500mA，仅意味着注入器至储存环电子注入口的束流闸开放时间线性延长 5/3 倍，即直线加速器年运行时间较原来提升至 5/3 倍。

在《合肥光源重大维修改造项目环境影响报告书》中，关于注入器向储存环注入束流的时间具体为：储存环的积累效率约为 4.3mA/s，束流初次积累期间，大约 70s 积累到运行流强；储存环运行模式又分为衰减模式（运行 8h 后储存环中束流衰减至 110mA 后补充注入 190mA，注入时间大约需要 26s）和恒流运行模式（每隔 6min 补充注入 3mA，每小时注入 10 次）。

《报告》中对于辐射工作人员的年有效剂量估算：1）对于设备运行操作人员，主要在中央控制室内，定时去速调管走廊、储存环大厅等区域作巡回检查以及设备的维修工作，运行人员在速调管走廊等区域进行巡回检查年最大作业时间按 1000 小时，停机维修时间按 10h/人，剂量率均取可能的最大剂量率，并考虑两者剂量率的叠加，具体为：加速器隧道屏蔽墙外最大剂量率 $1.88\text{E-}01\text{nSv/h}$ ，检修时按束流垃圾桶表面的剂量率 $9.12\mu\text{Sv/h}$ 计算，则运行人员可能受到的年剂量为 $1.88\text{E-}01\text{nSv/h} \times 1000\text{h} / 10^6 + 9.12\mu\text{Sv/h} \times 10\text{h} / 10^3 = 0.09\text{mSv/a}$ 。2）对于注入器周围公众人员，本项目对公众造成的剂量，同时考虑加速器瞬时辐射（ $7.52\text{E-}05\text{nSv/h}$ ）和储存环注入时（ $1.11\text{E-}02\mu\text{Sv/h}$ ）的天空散射两种途径，居留公众居留因子取 1，年运行时间 7000 小时，则该处公众由于加速器瞬时辐射和储存环注入时的天空散射所受的年剂量之和为 0.08mSv/a 。

《报告》中关于注入器年运行时间（7000h）、工作人员年最大作业时间及公众人员的居留因子取值均是保守的，且注入器在本次储存环束流提升前后工况无变化，即上述关于注入器瞬时辐射和向储存环注入时的天空

散射剂量均无改变，注入时间的延长不会超过《报告》中保守估计的 7000h，因此，关于注入器对运行工作人员及周围公众的年附加剂量引用上述报告中的结果是可行的。故在本次评价中不再重复计算。

5.2.3.2 储存环

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。

(1) 正常运行期间工作人员受照剂量估算

储存环正常运行期间对周围工作人员的影响主要集中在储存环大厅内光束线站联锁控制与数据处理工作人员。

表 5.2-4 工作人员所在关注点的剂量率水平汇总

关注点位置		最大剂量率，μSv/h
储存环隧道	注入区短墙外 30cm 处	0.2
	注入区长墙外 30cm 处	1.2
	非注入区短墙外 30cm 处	1.8
	非注入区长墙外 30cm 处	1.2
金华光束线站	金华散射线站及支线	1.0

注：1、储存环屏蔽墙外 30cm 处最大剂量率取 Top-off 运行模式下、高度 0-2.5m 范围内最大值，详见表 5.2-2；2、金华光束线站主要考虑气体韧致辐射剂量率，按 1.0μSv/h

考虑。

合肥光源正常运行时，储存环隧道墙外 30cm 的剂量率取最大值 $1.8\mu\text{Sv/h}$ 。在储存环大厅内，束流中心线距混凝土屏蔽内墙距离约 1.1m，工作人员的工作区域距离储存环屏蔽体外的最近距离为 5m，则考虑距离衰减后此处剂量率为 $1.8 * ((1.1+0.3+0.3) / (1.7+5))^2 = 0.116\mu\text{Sv/h}$ 。

工作人员在此区域居留因子可取 1，年工作时间按最大 $8*250=2000$ 小时计算，因此，工作人员可能受到的最大年剂量为 0.23mSv/a 。

(2) 调试期间工作人员受照剂量估算

储存环束流调试期间，调试工作人员主要受到储存环屏蔽体外瞬发辐射和停机后进入储存环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气体韧致辐射及同步辐射光引出到光束线站的瞬发辐射影响。

HLS 束流提升调试期间，储存环的出束时间最多为 720h；金华光束线调试期间出束时间最多为 720h。

储存环和线站区域的调试工作人员，按两班组人员设置，每天两班倒，工作人员的受照剂量计算结果见表 5-24。

表 5.2-5 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
储存环束流提升调试工作人员	瞬发辐射	储存环	1.8	720/2	0.648	0.723
	感生放射性	隧道内部	2.5	30	0.075	
光束线站安装调试工作人员	瞬发辐射	光束线站	1.0	720/2	0.36	0.36

备注：工作人员进入储存环隧道内会受到感生放射性的影响，进入时必须佩戴个人剂量报警仪，隧道内靠近束线处剂量率低于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 方可进入，保守取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。调试期间，保

守假设工作人员每天在隧道内的调试时间按 1h 计，预计总调试时间不超过 30 天。

(3) 维护维修期间工作人员受照剂量估算

储存环维护维修期间装置不出束，维修工作人员主要受到隧道内感生放射性的影响，工作人员的受照剂量计算结果见下表。

表 5.2-6 工作人员年工作负荷规划一览表

工作人员	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
储存环维护维修 工作 人 员	2.5	1	10	0.025

(4) 用户单位科研人员受照剂量

根据国家同步辐射实验室既有的运行经验，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。

根据上表 5.2-4，保守取用户单位科研人员工作位的剂量率为光束线站关注点剂量率的最大值 $1.0\mu\text{Sv/h}$ ，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 0.084mSv/次 。按每年实验 3 次估计，用户单位科研人员年受照剂量为 0.252mSv/a ，低于用户单位科研人员剂量约束值 0.5mSv/a 。

(5) 公众人员受照剂量

根据前述表 5.2-4，正常运行期间，HLS 储存环屏蔽体外剂量率最大为 $1.8\mu\text{Sv/h}$ （非注入区短墙外），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 $1.8 * ((1.7) / (1.7+20+40))^2 = 0.0014\mu\text{Sv/h}$ 。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 $6.15\text{E-}04\text{mSv}$ 。

5.2.3.3 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 5.2-7。因本项目辐射工作人员不单独从事储存环束流提升或线站运维中某一项工作，因此，保守考虑下表中序号 1-5 的叠加，则 HLS 运行维护工作人员的受照剂量最大为 1.437mSv/a，仍低于辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a。

表 5.2-7 本项目辐射工作人员及公众受照剂量汇总

序号	工作人员类型	受照剂量, mSv/a	剂量约束值, mSv/a
1	加速器运行及设备维修维护工作人员	0.09* ¹	5
2	光束线站联锁控制与数据处理工作人员	0.23	
3	储存环束流提升调试工作人员	0.723	
4	金华线光束线站安装调试工作人员	0.36	
5	储存环维修维护工作人员	0.025	
6	用户单位科研人员	0.252	0.5
7	储存环周围公众人员	$4.66\text{E-}2^{*2}+6.15\text{E-}04$ $=4.72\text{E-}2$	0.1
	注入器周围公众人员	0.08* ¹	0.1

注：*1、注入器工作人员及周围公众年附加剂量引自《合肥光源重大维修改造项目环境影响报告书》中的预测值；

*2、此处叠加了储存环天空反散射造成的公众附加剂量。

5.2.4 感生放射性废气所致公众附加剂量

从前述 3.3.2 节储存环的感生放射性计算可知，储存环隧道内空气活化程度很低，不考虑储存环感生放射性废气排放所致周围公众附加剂量。

5.2.5 合肥光源辐射工作人员个人剂量监测情况

同步辐射实验室现有辐射工作人员 169 名。学校委托天津瑞丹辐射

检测评估有限责任公司进行了个人剂量定期检测。从个人剂量检测报告结果来看，2023 年 1 月～2023 年 12 月，4 个季度辐射工作人员所受光子辐射剂量当量总计在 0.005～0.36mSv 范围内，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求（连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，任何一年的有效剂量不超过 50mSv），也满足学校设定的目标管理限值要求（辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv）。个人剂量统计结果见下表 5.2-8，检测报告详见附件 6。

从送检结果可以看出，辐射工作人员各季度个人剂量基本均在本底值范围，未见明显异常，更远低于个人剂量约束值。实测结果表明合肥光源实体屏蔽效能良好，单位严格落实了辐射安全管理各项规章制度。

根据前述预测评价，本次储能环束流提升不会显著改变合肥光源屏蔽体外剂量率，也不会对辐射工作人员年附加剂量产生较大影响。

表 5.2-8 辐射工作人员个人剂量统计表（2023.1-2023.12）

序号	姓名	个人剂量检测结果（mSv）				合计 （mSv）
		2023.01- 2023.03	2023.04- 2023.06	2023.07- 2023.09	2023.10- 2023.12	
1	许鸣皋	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
2	鲍循	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
3	曹书礼	0.005	0.005	0.010	0.005	0.025
4	车建新	0.050	0.005	0.040	0.020	0.115
5	陈亮	0.080	0.050	0.010	0.005	0.145
6	单晓斌	0.005	0.005	0.030	0.005	0.045
7	董步伦	0.005	0.005	0.030	0.005	0.045
8	杜学维	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
9	范乐	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
10	关勇	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
11	何晓业	0.220	0.040	0.060	0.030	0.350
12	何志刚	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

13	贺博	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
14	洪远志	0.030	0.005	0.005	0.005	0.045
15	胡传圣	0.060	0.005	0.005	0.005	0.075
16	霍同林	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
17	贾大春	0.005	0.005	0.010	0.005	0.025
18	蒋诗平	0.080	0.005	0.020	0.020	0.125
19	蒋思远	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
20	李承祥	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
21	李川	0.020	0.005	0.005	0.005	0.035
22	李和廷	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
23	刘刚	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
24	刘功发	0.080	0.005	0.005	0.005	0.095
25	刘良宝	0.010	0.005	0.005	0.005	0.025
26	刘毅	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
27	卢平	0.030	0.005	0.005	0.005	0.045
28	陆业明	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
29	罗箐	0.070	0.005	0.010	0.005	0.090
30	潘海斌	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
31	潘洋	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
32	裴香涛	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
33	戚泽明	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
34	尚风雷	0.120	0.005	0.005	0.005	0.135
35	尚雷	0.080	0.010	0.005	0.005	0.100
36	邵杰	0.110	0.005	0.050	0.005	0.170
37	赵周宇	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
38	史顺林	0.110	0.010	0.030	0.005	0.155
39	孙万超	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
40	孙喆	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
41	田扬超	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
42	汪啸	0.090	0.005	0.010	0.005	0.110
43	王琳	0.050	0.005	0.050	0.005	0.110
44	吴璨	0.050	0.005	0.005	0.005	0.065

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

45	吴丛凤	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
46	吴利徽	0.020	0.005	0.005	0.005	0.035
47	谢治	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
48	熊瑛	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
49	徐宏亮	0.005	0.030	0.005	0.005	0.045
50	徐倩	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
51	徐卫	0.070	0.005	0.005	0.005	0.085
52	许保宗	0.080	0.020	0.030	0.020	0.150
53	宣科	0.070	0.060	0.005	0.005	0.140
54	闫文盛	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
55	杨光	0.110	0.100	0.090	0.030	0.330
56	杨玖重	0.020	0.180	0.060	0.005	0.265
57	殷明	0.110	0.005	0.030	0.050	0.195
58	张国斌	0.050	0.005	0.005	0.005	0.065
59	张海燕	0.150	0.030	0.070	0.010	0.260
60	张鹏宇	0.030	0.005	0.005	0.005	0.045
61	张善才	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
62	张文华	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
63	赵飞云	0.060	0.005	0.005	0.005	0.075
64	赵枫	0.050	0.005	0.005	0.005	0.065
65	郑兴志	0.090	0.120	0.100	0.050	0.360
66	周洪军	0.050	0.005	0.005	0.005	0.065
67	周跃华	0.005	0.030	0.100	0.010	0.145
68	周泽然	0.090	0.005	0.020	0.005	0.120
69	朱俊发	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
70	李伟伟	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
71	黄瑞萱	0.005	0.150	0.080	0.005	0.240
72	王思慧	0.005	0.005	0.020	0.005	0.035
73	周天雨	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
74	唐雷雷	0.060	0.005	0.100	0.010	0.175
75	王巍	0.005	0.005	0.020	0.010	0.040
76	刘刚文	0.005	0.005	0.030	0.005	0.045

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

77	方勇	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
78	汪泰玉	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
79	崔胜涛	0.050	0.005	0.005	0.005	0.065
80	何天龙	0.005	0.005	0.030	0.005	0.045
81	胡保进	0.005	0.005	0.020	0.005	0.035
82	孔安博	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
83	刘小龙	0.090	0.005	0.050	0.005	0.150
84	王成宏	0.020	0.005	0.020	0.005	0.050
85	张炳顺	0.030	0.005	0.005	0.005	0.045
86	高攀云	0.050	0.005	0.005	0.005	0.065
87	胡凤春	0.040	0.005	0.005	0.005	0.055
88	胡俊	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
89	刘恒劫	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
90	刘群	0.005	0.005	0.010	0.005	0.025
91	庞健	0.005	0.005	0.020	0.005	0.035
92	陈双明	0.060	0.005	0.005	0.005	0.075
93	储旺盛	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
94	高昆	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
95	胡方	0.010	0.005	0.005	0.005	0.025
96	江芳	0.005	0.040	0.050	0.010	0.105
97	罗震林	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
98	潘志云	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
99	王占东	0.020	0.005	0.010	0.005	0.040
100	魏坤	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
101	徐法强	0.005	0.005	0.030	0.005	0.045
102	姚秋洋	0.020	0.005	0.010	0.005	0.040
103	赵龙	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
104	周保军	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
105	焦学琛	0.005	0.005	0.005	0.070	0.085
106	李倩	0.020	0.005	0.005	0.005	0.035
107	叶逸凡	0.080	0.005	0.005	0.005	0.095
108	何群	0.020	0.005	0.005	0.005	0.035

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

109	刘成园	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
110	徐远方	0.040	0.005	0.020	0.005	0.070
111	朱晓娣	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
112	彭旻	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
113	杨蒙	0.005	0.005	0.030	0.005	0.045
114	宋礼	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
115	余海山	0.005	0.005	0.010	0.005	0.025
116	杜百廷	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
117	丁红鹤	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
118	张恺	0.080	0.005	0.020	0.005	0.110
119	刘正坤	0.080	0.010	0.020	0.005	0.115
120	韦业龙	0.005	0.005	0.050	0.005	0.065
121	张大地	0.060	0.005	0.005	0.005	0.075
122	陈留国	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
123	邵建华	0.080	0.005	0.040	0.005	0.130
124	谢飞	0.040	0.005	0.005	0.010	0.060
125	宋文彬	0.005	0.005	0.030	0.020	0.060
126	杨鹏辉	0.005	0.005	0.020	0.005	0.035
127	钱云峰	0.020	0.005	0.005	0.005	0.035
128	李瑜波	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
129	崔雷	0.060	0.005	0.005	0.005	0.075
130	孙晓康	0.090	0.005	0.005	0.005	0.105
131	程晋龙	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
132	沈宇捷	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
133	孙治湖		0.005	0.005	0.005	0.015
134	王季刚	0.010	0.005	0.020	0.005	0.040
135	吴朝	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
136	童东灵	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
137	王峰	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
138	何丽娟	0.005	0.005	0.050	0.005	0.065
139	朱自安	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
140	郭航	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

141	李娜	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
142	吴芳芳	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
143	徐秀清	0.070	0.010	0.040	0.005	0.125
144	张浩然	0.030	0.005	0.020	0.030	0.085
145	杨晓辉	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
146	陈杰	0.005	0.005	0.005	0.005	0.020
147	葛晓琴	0.005	0.005	0.040	0.040	0.090
148	王安鑫	0.200	0.005	0.005	0.005	0.215
149	甘艳芳	/	0.005	0.005	0.005	0.015
150	姜政	/	0.005	0.005	0.005	0.015
151	熊睿	/	0.050	0.005	0.005	0.060
152	唐运盖	/	0.020	0.005	0.005	0.030
153	毕力昌	/	0.005	0.005	0.005	0.015
154	丁涛	/	0.005	0.050	0.005	0.060
155	王洁	/	/	0.005	0.005	0.010
156	李芳	/	/	0.005	0.005	0.010
157	王梓萌	/	/	0.005	0.005	0.010
158	胡晓芳	/	/	0.020	0.005	0.025
159	董永齐	/	/	0.005	0.005	0.010
160	沈国强	/	/	0.020	0.005	0.025
161	贾文红	/	/	/	0.005	0.005
162	孔军	/	/	/	0.005	0.005
163	梁钰	/	/	/	0.005	0.005
164	汤伟	/	/	/	0.005	0.005
165	苏昌勤	/	/	/	0.005	0.005
166	徐文杰	/	/	0.005	0.005	0.010
167	李标斌	/	/	0.005	0.005	0.010
168	徐蒋林	/	/	0.005	0.005	0.010
169	白正贺	/	/	/	0.005	0.005

注：“/”表示此期间未参与辐射工作。

5.3 事故工况下的环境影响

5.3.1 事故情景

表 5.3-1 项目运行期间潜在事故（事件）一览表

序号	事故（事件）描述	可能原因	后果
1	人员误入加速器隧道和 储存环隧道控制区内部 造成的误照射事故	①分区管理失效； ②安全联锁装置失效； ③工作人员误操作。	误入人员受到超过年剂量 照射，导致急性放射病或 死亡发生（重大事故）
2	工作人员在控制区检修 期间误出束	①安全联锁装置失效； ②工作人员误操作。	工作人员受到超过年剂量 照射，导致急性放射病或 死亡发生（重大事故）
3	冷却水泄漏事故	①设备老化破损； ②自然灾害（地震）； ③工作人员误操作导致 破坏。	增加工作人员和公众 照射（一般事故）

5.3.2 事故后果分析及预防措施

（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。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) 冷却水泄漏事故后果分析

本项目设备冷却水循环使用不外排, 为防止管道破损导致冷却水泄露事故的发生, 可采取以下措施加强防范:

- ①加强检查和监测;
- ②定期对冷却水系统、地面排水系统进行检查;
- ③加强管理和培训。

6 辐射安全管理

6.1 机构与人员

6.1.1 机构

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，辐射工作单位应当设置专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少安排1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。同时，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），结合该项目申请的核技术应用类型（使用I类射线装置），辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，最少在岗人数1名。辐射安全关键岗位由注册核安全工程师担任。

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 辐射工作人员的管理

(1) 辐射安全与防护考核

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号）、《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号修订，2021年1月4日起施行）及生态环境部发布的《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》（公告2019年第57号），申请者应组织从事辐射工作的人员进行辐射安全与防护知识的学习并通过考核，考核不合格的不得上岗。

核技术利用系统显示，中国科学技术大学现有辐射工作人员205人，证书过期人员31人。经核实，已离职6人(含不在从事辐射相关研究人员)，通过学校自主考核8人，注册核安全工程师2人，证书过期未通过考核人员15人。中国科大每月按时督促辐射工作人员关注安徽省辐射安全与防护考核动态，及时组织证书过期人员参加学习和考核。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。

合肥光源（同步辐射实验室）现有169名辐射工作人员，详见表6。

1-1。本次储存环束流提升及新增线站项目不新增辐射工作人员。

合肥光源共配备了3名注册核安全工程师，详见表6.1-2。

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

表 6.1-1 合肥光源辐射工作人员情况表

序号	姓名	性别	岗位	工作地点	考核合格证书编号
1	范乐	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300153
2	何晓业	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300209
3	何志刚	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300156
4	李川	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300120
5	李和廷	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300123
6	裴香涛	女	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300183
7	尚风雷	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300151
8	尚雷	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300170
9	史顺林	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300166
10	孙万超	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	暂未通过考核
11	王琳	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300180
12	张善才	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300196
13	宣科	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300114
14	张海燕	女	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300128
15	李伟伟	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300118
16	黄瑞萱	女	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS20AH1000108
17	王思慧	女	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300132
18	唐雷雷	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300135
19	王巍	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300201
20	刘刚文	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300115
21	何天龙	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	暂未通过考核
22	陆业明	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300202

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

23	罗箐	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300162
24	鲍循	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300149
25	洪远志	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300198
26	贾大春	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300241
27	卢平	男	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	FS21AH2300164
28	杜学维	男	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300204
29	刘良宝	男	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300181
30	田扬超	男	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300205
31	熊瑛	女	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300186
32	许鸣皋	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS20AH1000005
33	曹书礼	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300207
34	车建新	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300188
35	陈亮	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300172
36	单晓斌	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300142
37	关勇	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300161
38	霍同林	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300173
39	刘刚	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300185
40	刘毅	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300169
41	潘海斌	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300208
42	潘洋	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300130
43	戚泽明	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300171
44	孙喆	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300119
45	吴利徽	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300158
46	徐倩	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300200

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

47	闫文盛	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300127
48	杨玖重	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300139
49	殷明	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300160
50	张国斌	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300197
51	张文华	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300187
52	朱俊发	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300225
53	崔胜涛	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	暂未通过考核
54	胡凤春	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS20AH1000037
55	贺博	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300116
56	刘功发	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300220
57	汪啸	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300159
58	孔安博	女	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS24AH2300013
59	刘小龙	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS24AH2300122
60	刘群	女	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS20AH1000004
61	邵杰	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300212
62	谢治	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300145
63	许保宗	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300235
64	杨光	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300226
65	张鹏宇	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300147
66	赵飞云	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300193
67	郑兴志	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	暂未通过考核
68	周洪军	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300146
69	方勇	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300179
70	汪泰玉	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300182
71	胡俊	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS20AH1000124

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

72	刘恒劼	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS20AH1000011
73	储旺盛	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300215
74	胡方	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300222
75	江芳	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300206
76	潘志云	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300152
77	周保军	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300136
78	何群	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300143
79	朱晓娣	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300150
80	宋礼	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300216
81	邵建华	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300211
82	钱云峰	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300112
83	程晋龙	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300040
84	沈宇捷	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300048
85	孙治湖	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300049
86	董步伦	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300194
87	胡传圣	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300125
88	蒋思远	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300131
89	李承祥	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300217
90	郭航	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	暂未通过考核
91	李娜	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300173
92	徐秀清	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300189
93	张浩然	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300130
94	杨晓辉	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300113
95	陈杰	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300136
96	葛晓琴	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300185

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

97	王安鑫	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21GD2300513
98	姜政	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS20BJ1001763
99	熊睿	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300037
100	唐运盖	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300072
101	毕力昌	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300074
102	丁涛	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300073
103	王洁	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300156
104	李芳	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300134
105	王梓萌	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300141
106	胡晓芳	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300137
107	董永齐	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300095
108	沈国强	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23GS2300616
109	贾文红	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS20BJ1000415
110	孔军	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300215
111	梁钰	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300109
112	汤伟	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300238
113	苏昌勤	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300184
114	徐文杰	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300250
115	李标斌	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21GD2300530
116	徐蒋林	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS23AH2300108
117	童东灵	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300052
118	王峰	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300246
119	陈双明	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300140
120	张大地	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300236
121	余海山	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300233

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

122	崔雷	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300232
123	孙晓康	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300213
124	甘艳芳	女	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS24AH2300011
125	白正贺	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300134
126	赵龙	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300199
127	陈留国	男	线站联锁控制与数据处理	实验大厅	FS21AH2300221
128	王占东	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300228
129	杨蒙	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300121
130	刘成园	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300129
131	焦学琛	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300223
132	李倩	女	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300168
133	谢飞	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300178
134	丁红鹤	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300138
135	何丽娟	女	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	FS21AH2300082
136	吴朝	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS22AH2300046
137	吴芳芳	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS22AH2300129
138	朱自安	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21BJ2300951
139	彭旸	男	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300167
140	王季刚	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS22AH2300047
141	刘正坤	男	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300239
142	宋文彬	男	加速器维护维修	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300175
143	叶逸凡	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300124
144	李瑜波	女	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300237
145	罗震林	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300245

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

146	徐法强	男	实验站安装调试与运行	实验大厅	FS21AH2300240
147	魏坤	男	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300203
148	张恺	男	加速器维护维修	储存环隧道、储存环设备间	FS21AH2300243
149	杨鹏辉	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300126
150	高昆	男	光束线安装调试与维护	实验大厅	FS21AH2300137
151	韦业龙	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300238
152	赵周宇	男	加速器安装调试	储存环隧道、实验大厅	FS23AH2300307
153	杜百廷	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300214
154	高攀云	男	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	FS20AH1000161
155	徐远方	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS21AH2300117
156	姚秋洋	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300229
157	周跃华	男	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	FS21AH2300154
158	周泽然	男	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	FS21AH2300210
159	赵枫	男	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	FS21AH2300133
160	周天雨	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道	FS22AH2300127
161	胡保进	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS24AH2300111
162	吴璨	男	加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	FS21AH2300174
163	徐宏亮	男	加速器安装调试	储存环隧道	FS21AH2300195
164	吴从凤	女	加速器安装调试	储存环隧道	FS21AH2300242
165	庞健	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS23AH2300239
166	徐卫	男	加速器安装调试	储存环隧道、实验大厅	FS21AH2300111
167	王成宏	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	FS24AH2300188

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

168	张炳顺	男	加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	暂未通过考核
169	蒋诗平	男	辐射安全监督与防护	实验大厅、注入器隧道、储存环隧道	HA00003636

表 6.1-2 合肥光源配备的注册核安全工程师人员信息

序号	姓名	性别	专业	毕业院校	学历	注册证书编号/资格证书编号
1	蒋诗平	男	核科学技术	中国科学技术大学	研究生	HA00003636
2	张宪锋	男	核科学技术	中国科学技术大学	研究生	ZHZA202301010
3	何丽娟	女	核科学技术	中国科学技术大学	研究生	ZHZC202402012

(2) 个人剂量检测

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，中国科学技术大学委托了天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司进行个人剂量定期检测。合肥光源项目辐射工作人员配备了监测 X- γ 的 OSL 个人剂量计，未配备监测中子的 CR-39 个人剂量计。

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。

从个人剂量检测报告送检结果来看，2023 年 1 月~2023 年 12 月，全校辐射工作人员所受光子辐射个人剂量当量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的剂量限值要求（连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv，任何一年的有效剂量不超过 50mSv），也满足学校设定的目标管理限值要求（辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv）。

(3) 职业健康体检

根据《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号修订，2021年1月4日起施行）和《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部第55号令）的要求，规定对辐射工作人员定期进行职业健康检查，建立职业健康体检档案。

中国科学技术大学分别于2022年和2024年组织全校辐射工作人员开展了职业健康检查，体检结果未发现职业异常，两次体检的时间间隔不超过2年。建立了个人健康档案，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。职业健康体检报告详见附件6。

6.2 辐射安全管理规章制度

2023年，中科大根据《放射性同位素与射线装置安全防护管理办法》《实验室安全管理办法》《中国科学技术大学重点监管物品备案管理办法》，落实了放射源/射线装置等重点物品的入口管理，并对各核技术利用项目依法开展日常管理工作。中科大对全校的安全制度建设进行了阶段性梳理和总结，编制了《中国科学技术大学安全管理规章制度》汇编，涉及辐射安全与防护方面的规章制度如下：《中国科学技术大学安全责任书》、《中国科学技术大学重点监管物品备案管理办法》、《中国科学技术大学实验室安全管理办法》、《中国科学技术大学放射性同位素与射线装置安全防护管理办法》、《中国科学技术大学辐射安全与防护管理办法》、《辐射事故应急预案》、《辐射工作场所监测方案》、《辐射工作人员个人剂量监测方案》、《辐射工作人员培训方案》、《放射性三废处理方案》等。

国家同步辐射实验室(NSRL)有相对完善的辐射安全管理制度和较为严格的管理措施，现有的规章制度如下：《NSRL辐射安全与防护管

理组织机构及岗位职责》、《NSRL辐射安全暂行管理制度》、《NSRL辐射安全应急预案》、《NSRL辐射工作场所辐射监测制度》、《红外自由电子激光辐射安全制度》、《NSRL放射工作人员佩戴个人剂量计的规定》、《合肥光源储存环实验大厅安全管理规定》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《放射工作人员放射防护培训制度》、《放射工作人员个人剂量监测制度》、《合肥光源安全设备检维修制度》、《合肥光源人身安全联锁系统操作规程》、《合肥光源中央控制室安全守则》、《NSRL放射源库安全管理规定》等，内容涵盖了管理制度的适用范围、人员的培训考核要求、工作期间的操作规程、辐射防护安全要求等内容，合肥光源自运行严格落实各项规章制度，未发生辐射事件或事故。

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《NSRL实验和来访人员辐射安全守则》，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。

针对本次评价项目，中国科学技术大学应完善束流提升调试期间各项操作规程、设备检修维护、辐射监测、应急预案等规章制度，同时在完善现有辐射安全相关管理制度。在此基础上，项目单位的各项操作规程与管理制度是满足要求的。

6.3 生态环境部门检查情况

2023年4月24日，生态环境部华东核与辐射安全监督站（以下简称“华东站”）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了全面检查，共提出检查意见5条。学校积极组织相关涉源单位对相关安全隐患进行了整改，整改工作基本完成后，已将隐患整改情况报送华东站，详见附件8。

表 6.3-1 检查发现问题及整改情况

序号	检查发现的问题	整改情况
问题 1	检查发现钴源辐照装置水处理间循环水系统有渗漏现象；开门联锁检查中发现无通风延时功能，降源后在未通风情况下可立即开门；辐照室未配备必要的应急物资。	1、钴源辐照装置水处理间循环水系统有渗漏现象，经检查发现水处理间循环水系统有渗漏的原因为水循环处理系统设备材料部分老化导致性能失效。发现问题后，化学辐照室立即联系原生产厂家（江苏无锡市威博环保科技有限公司）派技术人员前来检查鉴定，确认该套系统中某些材料确实老化现象严重，经厂家技术人员建议，决定对水处理间进行改造，保留能用的纯水箱、酸碱箱及支架，更新精密过滤器阳离子交换柱、阴离子交换柱、阴阳离子混合柱、三只电机及所有阀件。目前已完成整改。 2、开门联锁检查中发现无通风延时功能，降源后在未通风情况下可立即开门。化学辐照室已对设备加装了延时继电器，保证其降源后通风延时 5 分钟才能开门； 3、辐照室未配备必要的应急物资。化学辐照室已根据《γ辐照装置的辐射防护与安全规范》(GB10252-2009)12.5 节内容要求购置了应急物资，并放置于专用的橱柜里。橱柜上附有应急物资清单。要求负责人定期核查或使用后立即核查并记录，保证所有仪器存在而且功能正常等
问题 2	物质科研楼 C306 室放射源暂存库台账记录不完整缺少个别放射源信息。	针对物质科研楼 C306 室放射源暂存库台账记录不完整问题，相关责任人经核对放射源出入库台账，发现缺少信息的放射源是从同步辐射实验室转入的，已在库但未登记。 现已由相关责任人补办登记手续，台账已完整。
问题 3	中子物理实验室防护门	1、针对中子物理实验室防护门电机失灵问题，经检查确认，中子物理实验室内部的平移铁门电机损坏需要更换，

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

	电机失灵，现场操作人员对安全联锁操作不熟悉。	面板控制器由于所处环境较为潮湿导致按键接触点氧化也需要更换。现已与相关设备提供商及安装工程师联系，已更换完成。 2、针对现场操作人员对安全联锁操作不熟悉的情况，经了解，中子物理实验室的安全联锁是基于硬件的联锁装置，中子管工作时需要先加高压才会产生中子，因此加高压前需要预先把工作高压装置旁边的开关按下，此时中子物理实验大厅的铁门就会上电关闭。中子物理实验室建造时间较早，在进行安全改造时根据实验室条件增加了这种基于硬件的门机安全联锁装置，因此与常见的在网络上配置的安全联锁装置有所不同。原中子物理实验室安全员已离职，我校已要求原安全员对现场操作人员进行了培训，确认了中子实验室控制厅的高压联锁装置即安全检查时所要求的门机联锁，功能正常，工况完好，并已进行多次操作，熟悉其使用方法。
问题 4	同步辐射光源实验室辐射安全管理制度不够健全现场辐射安全工作人员对自身职责不清晰。	针对同步辐射光源实验室辐射安全管理制度不够健全的问题，现场辐射安全工作人员对自身职责不清晰的问题我校已要求同步辐射实验室已对管理制度等进行重新修编，细化了辐射安全工作人员责任分工，对相关人员进行宣贯，对原有上墙的辐射安全管理制度进行更换。
问题 5	你单位辐射事故应急预案中事故源项不全	针对辐射事故应急预案中事故源项不全的问题，实验室安全办公室对中国科大辐射事故应急预案进行了修订，补充了辐射照射事故类型及应急处理流程，细化了应急事故发生后的处置程序等内容。

6.4 辐射监测

6.4.1 年度辐射监测情况

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。2023 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（CMA：180220340060）对中国科学技术大学主要环境和辐射工作场所的 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，中国科学技术大学现有辐射工作场所辐射水平满足相关标准要求。

6.4.2 辐射环境监测计划

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 6.4-1。

学校已配备中子巡检仪和 γ 剂量巡检仪，定期对周围环境进行巡测。

合肥光源（HLS）已在如图 4.3-14 的位置设置了固定监测点位，布置中子剂量率和伽玛剂量率监测探头，用于对环境中的中子、 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 6.4-1 项目环境监测计划

监测方式	检测对象		检测项目	监测点位	监测频次
自行监测	贯穿辐射	便携式仪表巡测	γ 辐射剂量率和中子剂量率	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
		固定式仪表监测		如图 4-22、图 4-23 所示	实时

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

委托监测	贯穿辐射		γ 辐射剂量率和中子剂量率	辐射工作场所周围及敏感点处	1次/年
	环境介质	大气	感生放射性气体	排风通道口	1次/年
		冷却水	^3H 、 ^7Be 、总 β 活度浓度	活化冷却水贮存水箱	排放前
		土壤	总 α 、总 β	同步辐射实验室内、外（东、南、西、北四侧）的土壤	1次/年

6.4.3 监测设备配置情况

本项目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 γ 巡检仪、便携式中子巡检仪、个人剂量计和直读式个人剂量报警仪，具体见下表。

表 6.4-2 已配备的防护用品和监测仪器

仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量
低本底高纯锗 γ 谱仪	ORTEC	20170522	正常	1
便携式 Gamma 巡测仪 SIM-MAX	ADC-3	20170522	正常	1
中子巡测仪	FHT762	20191229	正常	1
个人剂量计	/	20191229	正常	210
个人剂量报警仪		20191229	正常	20
表面沾染仪		20191229	正常	1
γ 监测仪	AGM		正常	14
γ 监测仪	YP201		正常	7
γ 监测仪	EGM-5		正常	6
中子监测仪	ANM	20190828	正常	20
中子监测仪	NG204	20190828	正常	3
中子监测仪	HANM	20190828	正常	3

已配备的辐射监测仪表应能适应脉冲辐射剂量场测量；中子及 γ 射线检测仪表的能量响应适合合肥光源的中子及 γ 射线的辐射场；且相关仪表能够测量辐射剂量率和累积剂量，对中子及 γ 射线响应低；相关仪表均按要求定期进行剂量鉴定，保证在鉴定有效期内使用。

上述监测设备满足本项目运行的要求。

6.4.4 个人剂量监测

(1) 个人剂量计

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。2023 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（CMA：180220340060）进行辐射工作人员个人剂量检测，检测报告见附件 6。

同步辐射实验室工作人员上岗时均佩戴个人剂量计。

(2) 个人剂量报警仪

在工作中或停机后，要求到控制区内进行工作的人员必须佩戴可监测中子和伽玛剂量率的辐射剂量报警设备。当瞬时辐射剂量率水平至超出设定阈值时报警提示工作人员迅速撤离现场。对评价工作人员在控制区内工作所受到的辐射剂量非常重要。个人剂量报警仪和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，更主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，以达到保护辐射工作人员的目的。

6.4.5 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，建设单位应及时向生态环境部重新申领辐射安全许可证，并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。

建设单位承诺将在储存环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。

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6.4-3。

表6.4-3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。
同步辐射实验室内环境辐射水平	γ 辐射剂量率、中子剂量率	主体建筑外部均匀布点	
同步辐射实验室外部环境辐射水平	γ 辐射剂量率、中子剂量率	同步辐射实验室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	同步辐射实验室周围东、南、西、北四侧的土壤	装置完成调试可正常出束使用一次后。
----	--	-----------------------	-------------------

6.5 辐射事故应急

根据GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》、环保部令第3号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和环保部令第18号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》相关规定，中国科学技术大学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》，内容涵盖了各类辐射事故源项风险分析、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。

2023年中科大没有发生任何辐射事故。中科大通过定期组织各单位辐射安全员开展培训、赴各重点学院开展安全培训等形式学习应急预案。2023年，中科大修订了辐射事故应急预案，补充了辐射照射事故类型及应急处理流程，细化了应急事故发生后的处置程序等内容。

学校各单位对剂量报警装置实行定期检查，学校实行半年检查，确保其工作正常。检查了同步辐射实验室的应急断电流程；通过与操作人员交流确保应急断电流程的有效性。检查了各用源单位的放射源使用及

储存情况，对所有场所普及了保险柜、防盗门窗，重点部位加装视频监控。各核技术利用相关实验室制订了辐射事故应急预案，配备了相应的剂量报警仪、表面污染仪、高灵敏剂量率报警仪、高灵敏辐射巡检、个人剂量计，辐照室、同步辐射实验室、同位素实验室、DSA、校医院等场所配备了铅衣、铅帽、铅手套、铅围裙、铅眼镜、铅屏风、铅围脖、中子防护服等辐射防护用品。

通过应急演练，中科大获得了较完整的应急处置经验。

6.6 从事辐射活动技术能力综合性评价

对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）第二章第十六条之规定，针对中国科学技术大学从事申请活动种类的能力进行综合分析评价，结果见下表。

表 6.6-1 辐射安全工作条件与项目评价结果对照一览表

序号	环境保护部令第3号要求	评价结果
1	使用Ⅰ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作	项目单位已按要求成立了辐射安全与环境保护管理机构，配备了相应资质的专业技术人员，满足要求
	依据辐射安全关键岗位名录，应当设立辐射安全关键岗位的，该岗位应当由注册核安全工程师担任	项目单位已配备3名注册核安全工程师，满足要求
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核	项目单位拟从事辐射工作的人员需通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，方可满足要求
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	满足要求
4	辐射工作场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	满足要求

5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器	满足要求
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等	满足要求
7	有完善的辐射事故应急措施	满足要求
8	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案	满足要求
9	使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有 1 名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作	不开展诊断治疗

6.7 小结

依据本章分析，通过完善环评要求的各项措施后，中国科学技术大学具备从事使用I类射线装置的能力，辐射安全和防护措施有效可行。

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，储存环束流发散度显著降低，光源稳定性明显改善，接近三代同步辐射光源水平，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）。

合肥光源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，满足用户对更高的同步辐射光子通量的需求，本项目拟将合肥光源储存环束流流强从300mA提升到500mA，光子通量将提升67%；2023年1月，中科大与金华市人民政府、浙江师范大学共建“金华线站”，围绕软物质体系和聚焦工业应用建设一条软X射线共振散射线站，可用于生物医药、能源材料、光伏、新型显示等领域的研究。

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，助力前沿科技的发展。

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

7.2.1 社会代价

社会代价主要考虑两个方面，一是资源，二是能源。

资源方面，本项目是对已建的合肥光源进行技术改造，并新增一条线站。建设期仅需消耗少量的铅砖及不锈钢板材。

能源方面，项目运行期间需要消耗水、电等能源。

7.2.2 经济代价

经济代价主要包括以下两个方面的成本：建筑安装工程费用、设备投资费用及其他费用，预计总投资4000万元，其中环保投资约120万元，占总投资额的3%，主要包含场所新增屏蔽、环保设施、环境管理、环境监测、环境影响评价及事故防范措施等费用。

7.2.3 环境代价

该项目建成之后，主要的环境代价有：极少量的辐射穿过屏蔽层进入周围环境，对工作人员和周围公众受到少量的辐射照射；少量的放射性物质和有害气体进入大气环境和水环境；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，给环境带来的这些影响均低于国家标准中规定的限值，其影响都是可以接受的。此外，项目运营期间产生的放射性固体废物交由有资质单位处理，不外排进入环境，不会对项目所在区域环境造成影响，但最终的永久处理会付出一定的经济代价，消耗一定的土地资源。

综上所述，该项目有很好的经济效益和社会效益，扣除一定的环境负面影响成本后，项目综合效益为正。因此，该项目的实施在效益上是

可行的。

7.3 正当性分析

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，合肥光源为我国同步辐射事业起步和发展做出了开创性贡献，在逾35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。

本项目拟将合肥光源储存环束流流强从300mA提升到500mA，并与金华市人民政府、浙江师范大学共建“金华线站”，围绕软物质体系和聚焦工业应用建设一条软X射线共振散射线站，可用于生物医药、能源材料、光伏、新型显示等领域的研究。经分析评价，该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，该项目对社会所带来的社会效益是大于可能引起的辐射危害的。因此，该项目的实施是正当的。

8 公众参与

8.1 公众参与方案

8.1.1 公众参与目的

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号，自2019年1月1日起施行）的有关规定：依法应当编制环境影响报告书的建设项目应进行环境影响评价公众参与；环境影响评价公众参与遵循依法、有序、公开、便利的原则；建设单位应当依法听取环境影响评价范围内的公民、法人和其他组织的意见，鼓励建设单位听取环境影响评价范围之外的公民、法人和其他组织的意见；建设单位负责组织环境影响报告书编制过程的公众参与，对公众参与的真实性和结果负责。

通过在项目环境影响过程中开展公众参与调查，以收集相关区域公众对项目建设的认识、态度和要求，从而在环境影响评价中能够全面综合考虑公众的意见，吸收有益的建议，使项目的规划设计更趋完善与合理，制定的环保措施更符合环境保护和经济协调发展的要求，提高项目的环境效益和社会效益，从而达到可持续发展的目的。

8.1.2 主要调查内容

调查该项目建设对环境的主要有利影响和不利影响，以及附近居民及企事业单位对建设项目的意见和建议。调查内容主要包括：

- 1) 调查对象对建设项目的态度、所关心或者担心的问题。
- 2) 对建设项目可能引起的环境问题的看法。
- 3) 对建设项目建设与环境管理的建议等。

8.1.3 调查范围和对象

根据该项目所在的地理位置和环境影响特点，确定调查范围和调查

对象为建设项目评价范围内的居民、职工和企事业单位。

8.2 信息公开

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号），建设单位采取在项目场址附近张贴公示、网上发布环境影响公众参与调查公告等方式向公众公开建设项目的环境影响评价信息，并公开征求有关建设项目的环境影响方面的意见和建议。

8.2.1 发布建设项目环境影响公众参与调查公示

①建设单位在确定项目环评单位后，在国家同步辐射实验室网站（<https://www.nsl.ustc.edu.cn/2024/0627/c10985a645210/page.htm>）上进行了第一次公示，公布有关内容，相关图片见图8-1，公众可以在该网站上查看信息公告，并通过电话、传真、电子邮件与建设单位或环评单位取得联系，发表意见，公示时间为2024年6月27日至2024年7月10日。

②在项目环境影响报告书初稿编制完成后，建设单位在国家同步辐射实验室网站（ ）上进行了第二次全文公示，公布了环评报告书的主要内容、对环境可能造成的影响、预防和减缓不良影响的措施要点以及环境影响报告提出的环境影响评价结论的要点。相关图片见图8-2。公示时间：2024年7月11日至2024年7月24日。

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

NSRL

中国科学技术大学
国家同步辐射实验室
NATIONAL SYNCHROTRON RADIATION LABORATORY

内网门户 | 制度文档 | 邮箱登录 | 校首页 | ENGLISH VERSION

首页 NSRL概况 大科学装置 用户开放 科学研究 师资队伍 招生培养 人才招聘 党建工作 历史文化 联系我们

首页 - 新闻信息 - 公告通知 - 内容

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目环境影响评价信息公示

发布时间：2024-06-27



(一) 建设项目名称及概要

项目名称：合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

建设性质：改扩建

建设地点：合肥市蜀山区合作化南路42号中国科学技术大学国家同步辐射实验室

项目概况：中国科学技术大学国家同步辐射实验室的合肥光源设计建造于二十世纪八十年代，1991年正式对用户开放，1999年至2004年进行二期工程建设，新建8条光束线站，更新了加速器系统部分设备以改善光源稳定性。2013年国家同步辐射实验室编制《合肥光源重大维修改造项目环境影响报告书》并取得了生态环境主管部门的批复文件，并于2016年通过了验收。该项目对储存环的磁铁系统、真空与机械系统、注入系统、光束线站以及公共设施部分进行了改造。

建设内容：合肥光源是一台专用真空紫外和软X射线同步辐射光源，主要设备包括800MeV直线加速器注入器和一个800MeV电子储存环。目前，合肥光源储存环运行流强约300mA，现有10条线站。为了向用户提供更好的实验条件，拟将储存环运行流强提升至500mA，并新增1条光束线站。本次评价项目拟依托现有直线加速器注入器及电子储存环，不改变注入器屏蔽结构及设备设施，仅在储存环真空室外新增铅砖屏蔽及在已有预留线站处安装新线站设备。

(二) 建设单位名称和联系方式

建设单位：中国科学技术大学

单位地址：合肥市蜀山区合作化南路42号

联系人：何老师

联系电话：18255102850

电子邮箱：lijuanhe@ustc.edu.cn

(三) 环境影响报告书编制单位名称和联系方式

环评单位：核工业二七〇研究所

联系人：冯工

联系电话：0791-85996398

联系地址：江西省南昌市莲塘镇莲西路508号

(四) 环境影响评价工作程序

- ①建设单位委托有资质的环评机构
- ②建设单位进行第一次公众公告（即本公告）
- ③环评机构编制环境影响报告书
- ④建设单位进行征求意见稿公示
- ⑤建设单位向环保主管部门报批环境影响评价文件

(五) 主要工作内容

通过对项目所在区域环境现状监测与评价，查明该区域内的环境质量现状。通过对项目进行详细工程分析，明确工程所产生污染物的种类、数量和排放特征。运用合理的评价方法全面评价项目建设对建设地区可能产生的影响，充分征求公众的意见，论证项目的可行性，分析工程环保措施的可行性和可靠性，提出将不利影响减缓到合理可行的最低程度而必须采取的综合防治措施。从环保角度给出工程是否可行的结论，为建设项目的监督管理和环保设施的设计提供科学依据。

(六) 征求意见的公众范围

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

本项目环境影响评价范围内的公民、法人和组织，鼓励环境影响评价范围之外的公民、法人和其他组织参与。

(七) 公众意见表的网络链接

http://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk01/201810/t20181024_665329.html。

(八) 提交公众意见表的方式和途径

公众可以通过信函或电子邮件等方式，在规定时间内将填写的公众意见表等提交建设单位，反映与建设项目环境影响有关的意见和建议。公众提交意见时，应当提供有效的联系方式。

(九) 公众提出意见的起止时间

公示之日起10个工作日内。

建设单位：中国科学技术大学
2024年6月27日



图8-1 第一次网上公示截图

图8-2第二次（征求意见稿）网上公示截图

8.2.2报纸媒体公示、张贴公告

建设单位在项目所在地附近公开张贴《合肥光源储存环束流提升及新增线站项目环境影响报告书》第二次公示。公示张贴现场照片详见图8-3。

图8-3公示张贴现场照片

在征求意见的10个工作日内，建设单位分别于2024年7月13日和2024年7月14日在安徽主流纸质媒体《安徽日报》上2次公开项目有关信息，报纸公示照片详见图8-4。

图8-4（a）征求意见稿首次登报公示照片

图8-4 (b) 征求意见稿二次登报公示照片

8.2.3 公众意见调查

建设单位在国家同步辐射实验室网站 (<https://www.nsrl.ustc.edu.cn/main.htm>) 上进行第一次公示及第二次公示时,同步给出了公众意见表的网络链接及提交公众意见的方式、途径,公众意见表内容见下表。

8.3 公众参与结果

从公示及公告发布至公众提出意见的截止日期,均未收到公众以电话、信件或电子邮件等任何形式发回的反馈意见。

9 结论与建议

9.1 项目工程概况

中国科学技术大学国家同步辐射实验室的合肥光源设计建造于二十世纪八十年代,1991年正式对用户开放,1999年至2004年进行二期工程建设,新建8条光束线站,更新了加速器系统部分设备以改善光源稳定性。2013年国家同步辐射实验室编制《合肥光源重大维修改造项目环境影响报告书》并取得了生态环境主管部门的批复文件,并于2016年通过了验收。该项目对储存环的磁铁系统、真空与机械系统、注入系统、光束线站以及公共设施部分进行了改造。

合肥光源是一台专用真空紫外和软X射线同步辐射光源,主要设备包括800MeV直线加速器注入器和一个800MeV电子储存环。目前,合肥光源储存环运行流强约300mA,现有10条线站。为了向用户提供更好的实验条件,本次拟将储存环运行流强提升至500mA,并新增1条光束线站。本次评价项目拟依托现有直线加速器注入器及电子储存环,不改变

注入器屏蔽结构及设备设施，仅在储存环真空室外新增铅砖屏蔽及在已有预留线站处安装新线站设备。

项目预计总投资约为约4000万元人民币，其中环保投资约120万元，占总投资的3%。

该项目建成后主要用于开展科研活动，为相关领域的创新和发展作出更大贡献。

项目调试及运行期产生的瞬发辐射和感生放射性为该项目主要的污染源。

9.2 辐射安全与防护

(1) 辐射工作场所分区：合肥光源已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：合肥光源已建立了安全、冗余的辐射安全联锁系统，包括钥匙控制、清场搜索、急停按钮、声光报警器，以及状态指示信号、视频监控以及放射性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，本次拟在储存环真空室外新增铅砖屏蔽，经计算储存环束流提升后，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：注入器隧道及储存环大厅设有通风系统，其排风量、换气次数等的设计均能确保排入环境中的放射性废气对环境及公众的影响满足相关标准要求。

(5) 工作场所辐射监测系统：注入器及储存环外重点关注点均设有固定式辐射监测仪，对场所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。

9.3 环境影响分析

该项目建设期工程量非常小，产生废水、噪声、固体废物经妥善处置后对外环境的影响是可接受的。

经过理论预测，合肥光源储存环束流提升后，该项目正常运行所致辐射工作人员、科研人员及公众年受照剂量均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的20mSv/a的职业照射有效剂量基本限值和1mSv/a的公众照射有效剂量基本限值，也低于此次评价确定的剂量约束值（分别为5mSv/a、0.5mSv/a、0.1mSv/a）。本次改扩建项目拟采取的屏蔽措施符合国家标准规范的要求。

经过理论预测，该项目所排放的活化气体对公众影响极其轻微。

该项目产生的放射性固体废物主要为加速器活化部件等，拟新设一处放射性固体废物暂存间暂存。拆除的活化结构部件若存在比活度超过豁免限值的，应集中存放在暂存间内，最终委托项目所在地城市放射性固废处置中心或其他有资质的单位处置。

臭氧和二氧化氮的室内浓度及排放浓度均满足标准限值要求；生活废水排入市政污水管网，不会直接排入当地水体；该项目不新增噪声源，根据现状监测结果，项目场界声环境能达到1类功能区的要求。项目产生的一般工业固体废物由物资公司回收利用，生活垃圾由环卫部门收集处置，实验过程中产生的危险废物委托有资质的单位处置。非放射性污染物均得到了有效治理与处置，对环境的影响轻微。

9.4 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与防护管理委员会，并建立了一系列辐射安全管理制度，内容涵盖人员岗位职责、辐射防护、

设备检修、人员培训、辐射监测等；制定了辐射工作人员培训制度，确保辐射工作人员在上岗前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能够满足该项目运行要求。

9.5 结论

综上所述，合肥光源储存环束流提升及新增线站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周围环境的辐射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。

建设单位在落实此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，该项目的建设是可行的。

9.6 建议和承诺

(1) 建议

①严格落实分区管理制度；完善束流提升调试期间各项操作规程，完善现有辐射安全相关管理制度。

②应确保注入器隧道及储存环大厅通风措施有效，降低空气中放射性物质浓度。

③按要求配备密封加厚不锈钢水箱，如发生设备循环冷却水泄露或检修排放时，应妥善收集并转移至放射性废物暂存间；放射性固体废物贮存库应设置双人双锁，门口张贴明显的电离辐射警告标志，并建立出入口台账制度。

④辐射事故应急要求：项目建设单位应根据可能发生的辐射事故风险，制订完善的辐射事故应急预案，并定期演练。

⑤项目建成后，如因科研需求，调整或扩大建设区域的情况，应按照国家法规制度，根据项目变动情况，开展环境影响后评价或重新进行

环境影响评价。

(2) 承诺

为了保证人员和环境安全，学校做出如下承诺：

①严格遵守国家相关规定，在取得《辐射安全许可证》后方开展储存环束流提升及相关线站的测试工作。

②按照《低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定》(GB11928-1989)的要求，做好放射性固体废物的分类收集、包装和暂存工作。

③按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）第四十二条之规定编写放射性同位素安全与防护状况年度评估报告，于每年1月31日前报送辐射安全许可证发证机关。

9.7“三同时”竣工环保验收一览表

表 9.7-1“三同时”验收一览表

项目		“三同时”验收内容		验收要求
管理措施	管理机构	成立辐射安全管理领导小组，辐射安全负责人通过核技术应用辐射安全与防护知识考核。本项目申请的核技术应用类型（使用 I 类射线装置），辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，最少在岗人数 1 名，辐射安全关键岗位应由注册核安全工程师担任		辐射安全负责人须学习辐射安全与防护知识并通过考核，并执有注册核安全工程师证书
	管理措施	应有健全的设备操作规程、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、工作人员个人剂量监测与管理、工作场所辐射监测方案及辐射事故应急预案等		根据要求修订完善
储存环屏蔽措施		混凝土防护墙短墙	50cm 厚混凝土、高 2.5m	居留因子 $T > 1/2$ ，瞬时剂量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 居留因子 $T \leq 1/2$ ，瞬时剂量率不超过 $10\mu\text{Sv/h}$
		混凝土防护墙长墙	30cm 厚混凝土、高 2.5m	
		储存环棚屋	双层 3mm 钢板中间夹保温层	
		储存环真空室铅砖	束流平面下方 40cm 为 5cm 厚铅砖、束流平面上方 12.5cm 为 5cm 厚铅砖，再向上 17.5cm 为 3cm 厚铅砖	
		输运线末端与储存环注入口连接处	2.5×1×0.5m 长方孔，长方孔上部有三角形斜面，该斜面两侧为斜三角钢筋混凝土结构，上部为两层 3cm 钢板中间夹 6cm 铅。	
		隧道底部环大厅一侧防护门（12	门高 2.65m、两层 5mm 厚钢板、中间夹 2cm 厚铅	

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

	号门)	板和 3cm 厚石蜡。	
金华光束 线站屏蔽 措施	M1 镜处镜箱	不锈钢，两个侧面 1cm，上/下/前/后均为 0.5cm	
	末端铅吸收器	6cmPb，高 50cm，宽 50cm	
安全措施	设置人员安全联锁系统（包含清场功能、急停功能、使能功能、报警功能），安全联锁设备设置位置及数量详见表 4.3-2 及图 4.3-9； 设置场所辐射监测系统（共布设 21 个固定监测点位，布置伽玛和中子剂量率监测探头）；设置视频监控、双向对讲系统，设置通风系统		均依托现有
	控制区入口处明显位置张贴电离辐射警告标志，监督区地面设置黄色警示线； 防护门外应有电离辐射警告标志；门上方应有醒目的工作指示灯		均依托现有
	岗位职责和操作规程等工作制度在合适张贴上墙		按要求张贴
个人防护	辐射工作人员上岗前应学习辐射安全与防护知识并通过考核		按要求落实
	辐射工作人员均佩戴个人剂量计，开展个人剂量监测 送检周期不大于 3 个月		按要求佩戴、送检
	辐射工作人员开展岗前体检、岗中（周期不大于 2 年/次）及离岗职业健康体检		按要求落实
	已配置便携式γ巡检仪 1 台、便携式中子巡检仪 1 台、表面污染仪 1 台、直读式个人剂量报警仪 20 支，已配置的确保仪表可正常使用		按要求送检

合肥光源储存环束流提升及新增线站项目

表 9.7-2 环保投资一览表

项目	污染物及其防治（辐射防护）措施		投资（万元）	备注
废水治理	非放射性废水	工作人员生活污水，预处理后排入市政污水管网	/	依托已建化粪池及污水管网
	放射性液态流出物	感生放射性冷却水收集于密封加厚不锈钢水箱，并暂存于放射性废物暂存间内，经时间衰变，监测达标后，经有关监管部门同意方可外排。	10	新增密封加厚不锈钢水箱
废气治理	非放射性废气	通过辐射工作场所通风系统，外排大气环境	/	依托现有设施
	放射性气态流出物			
噪声治理	噪声	基础减震、建筑墙体隔声和距离衰减	/	依托现有设施
固体废物处置	非放射性固体废物	工业固体废物收集后由物资公司回收利用；危险废物由学校统一委托有资质单位处置；生活垃圾由环卫部门统一集中收集后处理	/	依托现有收储运体系
	放射性固体废物	分类包装后暂存于放射性固废暂存间，定期送交有资质单位处置	10	新增放射性废物暂存间一处
辐射防护措施	储存环新增铅屏蔽、新建线站屏蔽措施，严格按照设计要求的厚度进行建设		70	新增
安全设施	安全联锁系统、监测系统、监控系统		/	依托现有
环境影响评价及环保验收			30	/
合计	/		120	/