

核技术利用建设项目
合肥先进光源项目储存环及线站变更
环境影响报告书
(公示稿)

中国科学技术大学

二〇二六年五月

环境保护部监制

合肥先进光源项目储存环及线站变更

目录

前言.....	I
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.....	- 6 -
1.2.4 本次变更内容.....	- 10 -
1.2.5 选址符合性分析.....	- 43 -
1.2.6 产业政策相符性.....	- 43 -
1.2.7 与规划符合性分析.....	- 44 -
1.2.8 现有核技术利用情况及辐射安全管理现状.....	- 45 -
1.3 编制依据.....	- 56 -
1.3.1 法律法规.....	- 56 -
1.3.2 部门规章及规范性文件.....	- 57 -
1.3.3 技术规范和标准.....	- 58 -
1.3.4 项目相关文件.....	- 59 -
1.3.5 参考文献.....	- 59 -
1.4 评价重点.....	- 60 -
1.5 评价标准.....	- 60 -
1.5.1 剂量限值和剂量约束值.....	- 60 -
1.5.2 放射性废水排放.....	- 61 -
1.5.3 放射性固废处置.....	- 62 -
1.5.4 非放射性环境评价标准.....	- 63 -
1.6 评价范围和保护目标.....	- 63 -
1.6.1 评价范围.....	- 63 -
1.6.2 保护目标.....	- 71 -
2 自然环境与社会环境状况.....	- 73 -
2.1 自然环境状况.....	- 73 -
2.1.1 地理位置.....	- 73 -
2.1.2 地形、地貌、地质.....	- 73 -
2.1.3 水文.....	- 74 -
2.1.4 气候与气象.....	- 76 -
2.1.5 生物多样性.....	- 76 -
2.2 社会环境状况.....	- 76 -
2.2.1 人口分布与经济发展.....	- 76 -
2.2.2 文物古迹及风景名胜.....	- 77 -
2.3 环境质量和辐射现状.....	- 77 -
2.3.1 环境天然放射性水平.....	- 77 -
2.3.2 辐射环境现状监测.....	- 78 -
2.3.3 小结.....	- 85 -
2.4 场址适宜性评价.....	- 85 -
3 工程分析与源项.....	- 86 -

合肥先进光源项目储存环及线站变更

3.1 项目规模与基本参数	- 86 -
3.1.1 项目概况	- 86 -
3.1.2 主体建筑结构	- 91 -
3.1.3 本次评价内容	- 91 -
3.2 工程设备与工艺分析	- 93 -
3.2.1 装置原理与主要参数	- 93 -
3.2.2 工艺流程及产污环节分析	- 96 -
3.2.3 工作负荷	- 97 -
3.3 污染源项	- 98 -
3.3.1 瞬发辐射场	- 99 -
3.3.2 天空反散射	- 100 -
3.3.3 感生放射性	- 101 -
3.3.4 非放射性有害气体	- 114 -
3.3.5 电磁辐射	- 117 -
3.4 废弃物	- 117 -
3.4.1 放射性废弃物	- 117 -
3.4.2 非放射性废弃物	- 118 -
4 辐射安全与防护设施	- 119 -
4.1 场所布局与分区	- 119 -
4.1.1 场所布局	- 119 -
4.1.2 辐射工作场所分区	- 119 -
4.2 辐射屏蔽	- 126 -
4.3 人身安全联锁系统	- 134 -
4.3.1 系统概述	- 134 -
4.3.2 设计原则	- 134 -
4.3.3 基本结构及控制逻辑	- 134 -
4.3.4 模式、状态及运行流程	- 137 -
4.3.5 系统硬件设计	- 142 -
4.3.6 相关系统信号接口	- 147 -
4.4 辐射监测系统	- 148 -
4.4.1 辐射监测系统概述	- 148 -
4.4.2 工作场所监测	- 148 -
4.4.3 个人剂量监测	- 152 -
4.4.4 环境监测	- 153 -
4.4.5 流出物监测	- 154 -
4.4.6 监测设备数量及技术参数	- 155 -
4.5 通风系统	- 156 -
4.6 辐射安全与防护设施小结	- 157 -
4.7 三废治理	- 159 -
4.7.1 放射性废气及处理措施	- 159 -
4.7.2 放射性废水及处理措施	- 159 -
4.7.3 放射性固体废物及其处理措施	- 161 -
4.8 服务期满后的环境保护措施	- 164 -
5 环境影响分析	- 165 -
5.1 正常工况下环境影响分析	- 165 -
5.1.1 辐射源项	- 165 -
5.1.2 建模仿真预测模型	- 167 -

合肥先进光源项目储存环及线站变更

5.1.3 储存环模拟计算结果.....	171
5.1.4 光束线站模拟计算结果.....	194
5.1.5 辐射工作人员受照剂量估算.....	- 244 -
5.1.6 公众成员受照剂量估算.....	- 258 -
5.2 事故工况下的环境影响.....	- 261 -
5.2.1 事故情景.....	- 261 -
5.2.2 事故后果分析及预防措施.....	- 262 -
6 辐射安全管理.....	- 264 -
6.1 机构与人员.....	- 264 -
6.1.1 机构.....	- 264 -
6.1.2 辐射工作人员的管理.....	- 264 -
6.2 辐射安全管理规章制度.....	- 271 -
6.3 生态环境部门检查情况.....	- 271 -
6.4 辐射监测.....	- 273 -
6.4.1 年度辐射监测情况.....	- 273 -
6.4.2 辐射工作场所监测计划.....	- 273 -
6.4.3 辐射环境监测.....	- 274 -
6.4.4 监测设备配置情况.....	- 274 -
6.4.5 竣工环保验收监测.....	- 274 -
6.5 辐射事故应急.....	- 277 -
6.6 从事辐射活动技术能力综合性评价.....	- 278 -
6.7 小结.....	- 279 -
7 利益-代价分析.....	- 280 -
7.1 利益分析.....	- 280 -
7.2 代价分析.....	- 280 -
7.3 正当性分析.....	- 281 -
8 结论与建议.....	- 282 -
8.1 项目工程概况.....	- 282 -
8.2 辐射安全与防护.....	- 282 -
8.3 环境影响分析.....	- 283 -
8.4 辐射安全管理.....	- 283 -
8.5 结论.....	- 283 -
8.6 建议.....	- 283 -
8.7“三同时”竣工环保验收一览表.....	- 284 -

合肥先进光源项目储存环及线站变更

附件：

附件1 委托书

附件2-1 合肥先进光源项目环评批复（2023年2月）

附件2-2 合肥先进光源注入器变更环评批复（2026年2月）

附件3 中国科学技术大学辐射安全许可证

附件4-1 辐射安全与防护管理机构及管理制度

附件4-2 国家同步辐射实验室应急处置方案

附件5-1 个人剂量检测报告

附件5-2 职业健康检查报告

附件5-3 注册核安全工程师证书及辐射安全考核证书（部分）

附件6 2025年度辐射安全评估报告上传截图

附件7 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8 环评现状监测报告

附件9 合肥先进光源项目储存环及线站变更源项确认

附表：

建设项目环境影响报告书审批基础信息表

合肥先进光源项目储存环及线站变更

前言

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

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

2023 年 2 月，建设单位中国科学技术大学(以下简称“中国科大”)委托中国原子能科学研究院编制的《合肥先进光源项目环境影响报告书》取得了安徽省生态环境厅的批复（皖环函[2023]111 号，其批文见附件 2-1）。

随着 HALF 工程的有序推进，注入器由于在工程建设过程中，直线加速器土建发生了部分变化，导致辐射安全与防护措施等发生了相应变化。对照生态环境部 2025 年 8 月 29 日发布的《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号），变化内容属于重大变动，应重新报批项目的环境影响评价文件。中国科大根据项目分阶段申请辐射安全许可证的进度安排，于 2025 年 7 月委托中国原子能科学研究院重新编制了《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》（以下简称“注入器变更环评”）。该项目环境影响报告书于 2026 年 2 月 4 日取得安徽省环保厅批复（皖环函【2026】93 号），其批文见附件 2-2。注入器变更环评重点针对注入器相关调整变动的情况进行了分析评价，不涉及储存环及光束线站。

目前，储存环及线站相关物理源项逐步明确，主体建筑（储存环）与辐射防护相关洞口、预埋管的需求以及线站棚屋尺寸及屏蔽设计方案也发生了变更（具体变更情况见下表 1.2-3 和表 1.2-4）。对照环办辐射函〔2025〕313 号，变化内容属于重大变动，应重新报批项目的环境影响评价文件。因此，中国科大根据项目

合肥先进光源项目储存环及线站变更

的实际需求，委托安徽祥安环保有限公司编制了《合肥先进光源项目储存环及线站变更环境影响报告书》（以下简称“储存环及线站变更环评”），重点针对储存环及线站相关的变动内容开展环境影响评价。

1 概述

1.1 项目名称、地点

项目名称：合肥先进光源项目储存环及线站变更

建设性质：新建

建设单位：中国科学技术大学

建设地点：安徽省合肥市大科学装置集中区，项目地理位置图详见图1.1-1。

建设内容及规模：合肥先进光源(Hefei Advanced Light Facility, 英文缩写 HALF) 是一台低能量区基于衍射极限储存环的第四代同步辐射光源。装置主体包括一台 2.2GeV 注入器（包含电子直线加速器及输运线）、一台 2.2GeV 电子储存环，可建设不少于 35 条光束线，首批拟建 12 条光束线站。合肥先进光源项目原环评获得批复后，由于储存环与辐射防护相关洞口、预埋管的需求以及线站棚屋尺寸及屏蔽设计方案发生了重大变动，因此，本报告针对储存环及线站变更开展评价，重新报批。

项目投资：合肥先进光源项目总投资 27.78 亿元人民币，其中本项目环保投资 5900.66 万元，占总投资的 2.12%。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

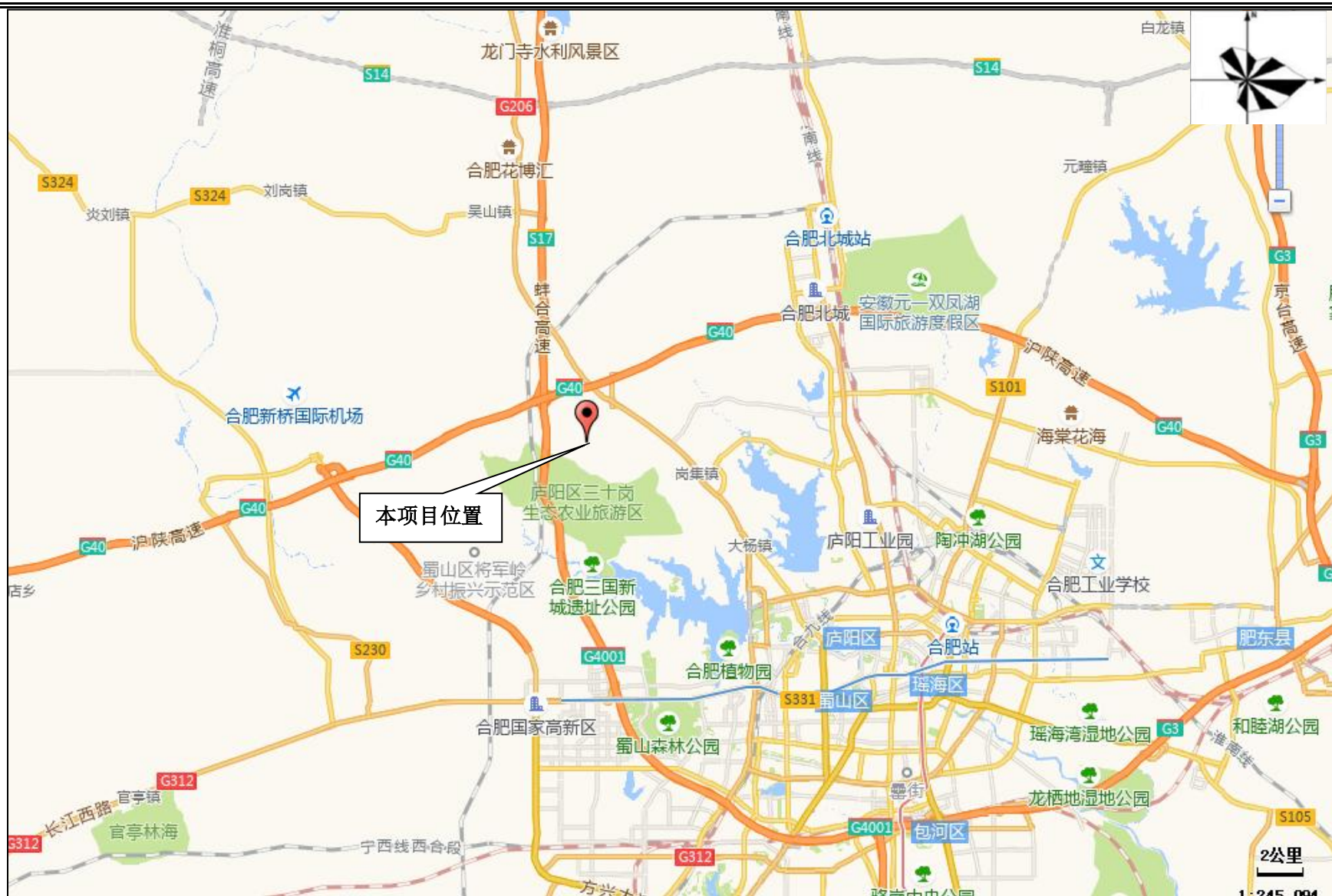


图 1.1-1 建设项目地理位置图

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位

HALF项目法人单位中国科学技术大学（以下简称“中国科大”）是中国科学院所属的一所以前沿科学和高新技术为主、兼有医学和特色文科的综合性全国重点大学。2017年9月和2022年2月，学校两度入选全国世界一流大学和世界一流学科建设高校，共有11个学科入选世界一流学科建设名单。学校现有31个学院（学部），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）。

截至2025年6月，学校现有教学与科研人员3212人，其中教授1181人（含相当专业技术职务人员），副教授1149人（含相当专业技术职务人员）。其中，两院院士等高层次人才不重复统计共有779人，占固定教师总数的45.3%。同时，人才队伍朝气蓬勃。45岁及以下青年教师约占教师总数的75%，45岁及以下青年人才占高层次人才66.9%。

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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

要研究成果，用户成果获得国家自然科学一等奖、二等奖各一项；同时也积累了先进同步辐射光源建设所需的技术和装备优势。

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

1.2.2项目背景和意义

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500mA的电子储存环，以及光电子能谱、ARPES、软X射线成像、催化与表面科学、XMCD、红外谱学和显微成像、燃烧、质谱、原子分子物理、计量、金华线站等光束线和实验站，在同步辐射建设关键技术方面，具有良好传承和基础。

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

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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

收指标，部分指标优于验收指标。

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

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

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

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

2023年2月，中国科大委托中国原子能科学研究院编制的《合肥先进光源项目环境影响报告书》取得《安徽省生态环境厅关于合肥先进光源项目环境影响报告书审批意见的函》（皖环函[2023]111号）。

注入器由于在工程建设过程中，直线加速器土建发生了部分变化，导致辐射安全与防护设施等发生了相应变化。2025年7月，中国科大委托原子能院编制了《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》，并于2026年1月取得了环评批复（皖环函[2026]1号）。

目前，随着HALF工程的有序推进，储存环相关物理源项逐步明确，主体建筑（储存环）与辐射防护相关洞口、预埋管的需求以及线站棚屋尺寸及屏蔽设计方案也发生了变更。因此，中国科大根据项目的实际需求，委托委托安徽祥安环保有限

合肥先进光源项目储存环及线站变更

公司编制了《合肥先进光源项目储存环及线站变更环境影响报告书》(以下简称“储存环及线站变更环评”),重点针对储存环及线站相关的变动内容开展环境影响评价。

1.2.3建设规模

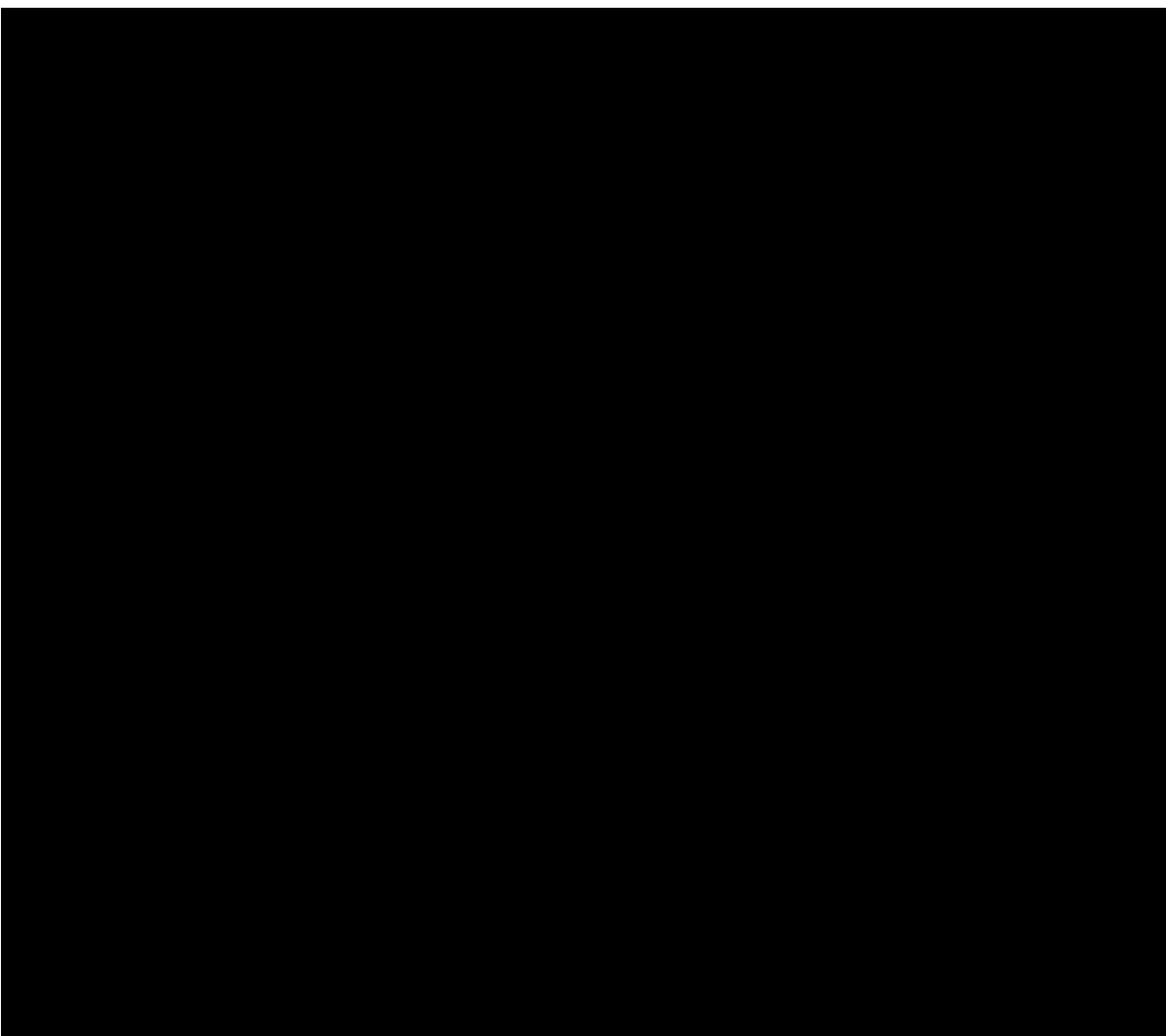
根据国家发改委批复的可行性研究报告及生态环境厅批复的环评文件,合肥先进光源项目建设规模主要包括新建主体建筑包括注入器(包含直线加速器及输运线)、储存环、实验部(线站大厅)、能源中心、技术安全楼、环境监测站和其它运行辅助设施,详见表1.2-1。装置主体包括一台2.2GeV注入器(包含电子直线加速器及输运线)、一台2.2GeV电子储存环和12条光束线站,详见表1.2-2。

表1.2-1 原环评建设内容一览表

序号	建筑名称		面积, m ²	
1	主体建筑	注入器	直线坑道	2906
			注入器洁净室	113
			速调管走廊	1622
			速调管走廊耳房	1415
			输运线坑道	712
		储存环	储存环隧道	4390
			储存环设备厅	5776
			天桥及各层过厅	1432
		实验部	线站大厅	20040
		周边裙房	线站准备间	5126
			中央控制室	803
			真空调试间	692
			实验部调试区	2290
			综合实验区	1801
		地下通道	下穿通道	506
设备管廊	1186			
雨污水管廊	264			
2	能源中心(冷冻及热工、低温中心、换热站及泵房等)		8520	
3	技术安全楼		390	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

4	气瓶间	300
5	环境监测站	0
6	门卫	0
总建筑面积（地上建筑面积 62642 m ² +地下建筑面积 5665 m ² ）		68307



合肥先进光源项目储存环及线站变更



图 1.2-2 合肥先进光源总用地红线周边环境概况图

合肥先进光源项目储存环及线站变更

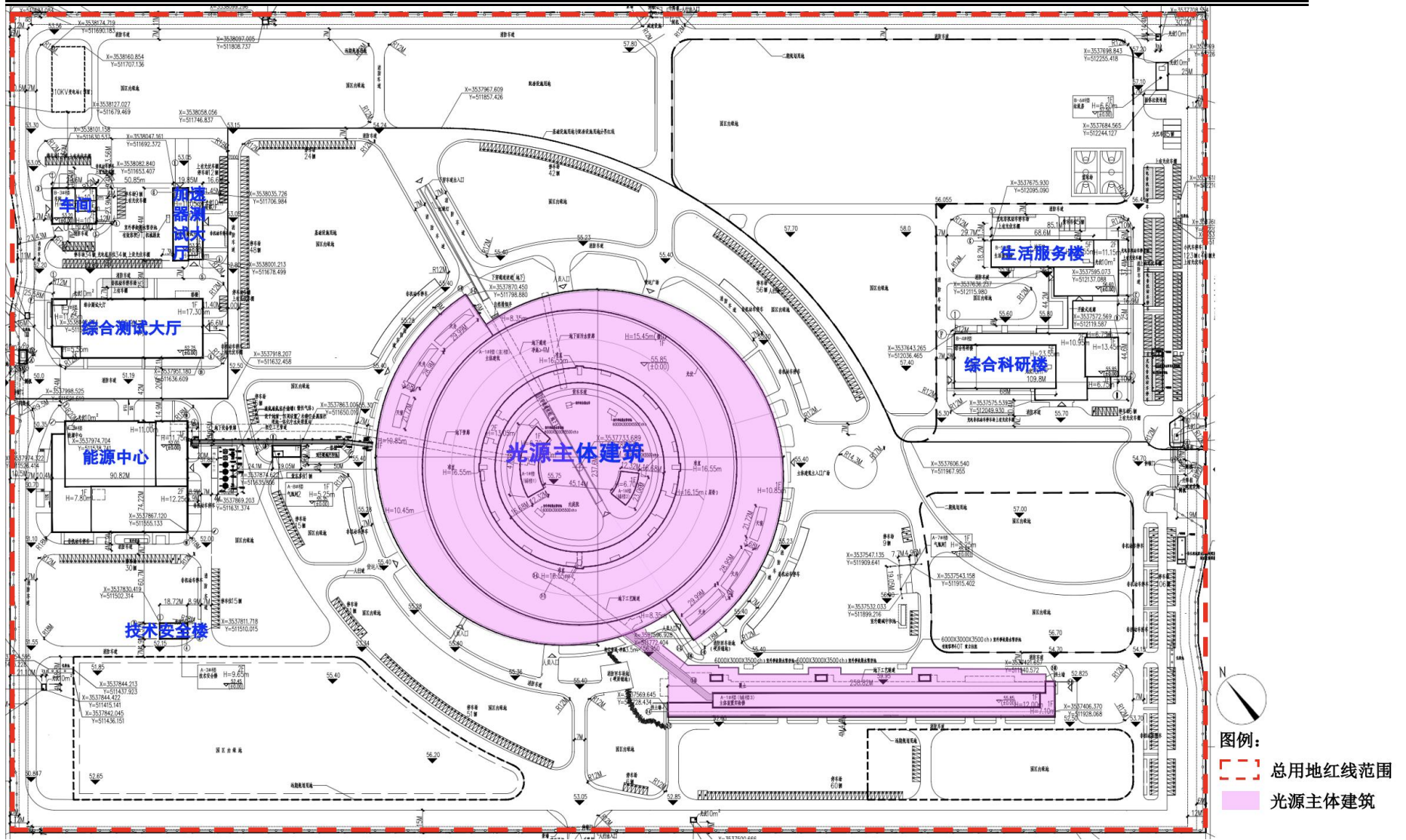
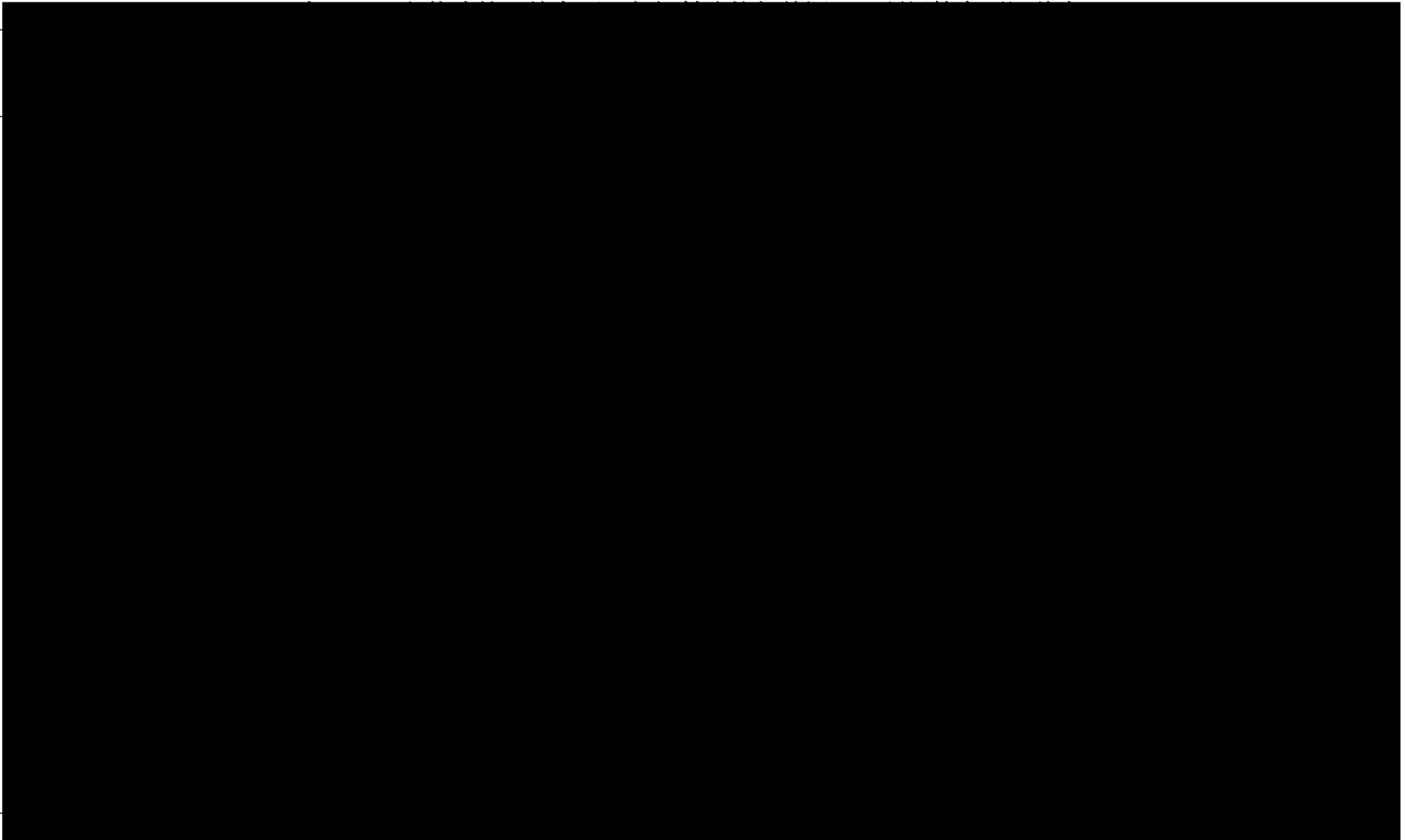
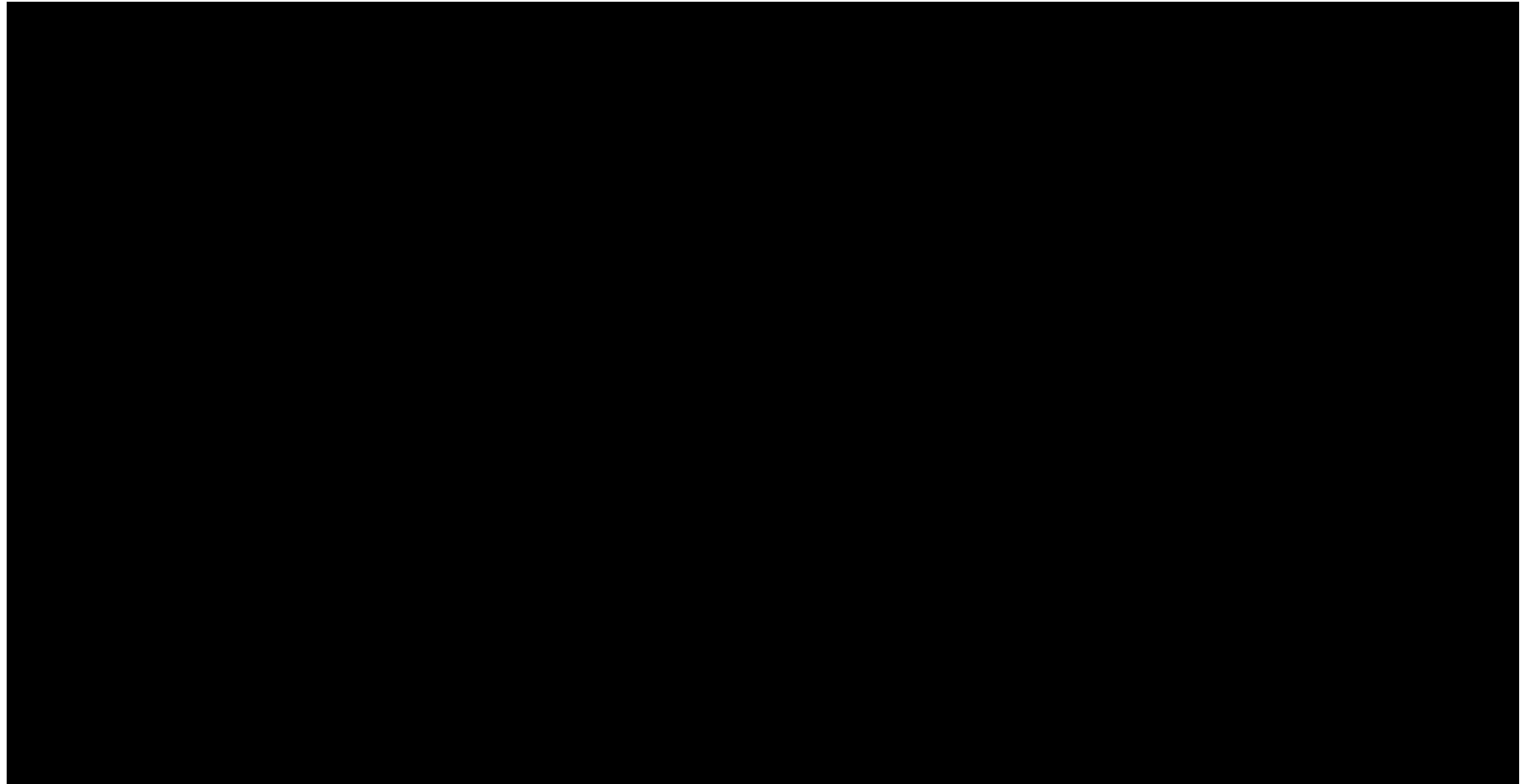


图 1.2-3 本项目在合肥先进光源总平面中的相对位置

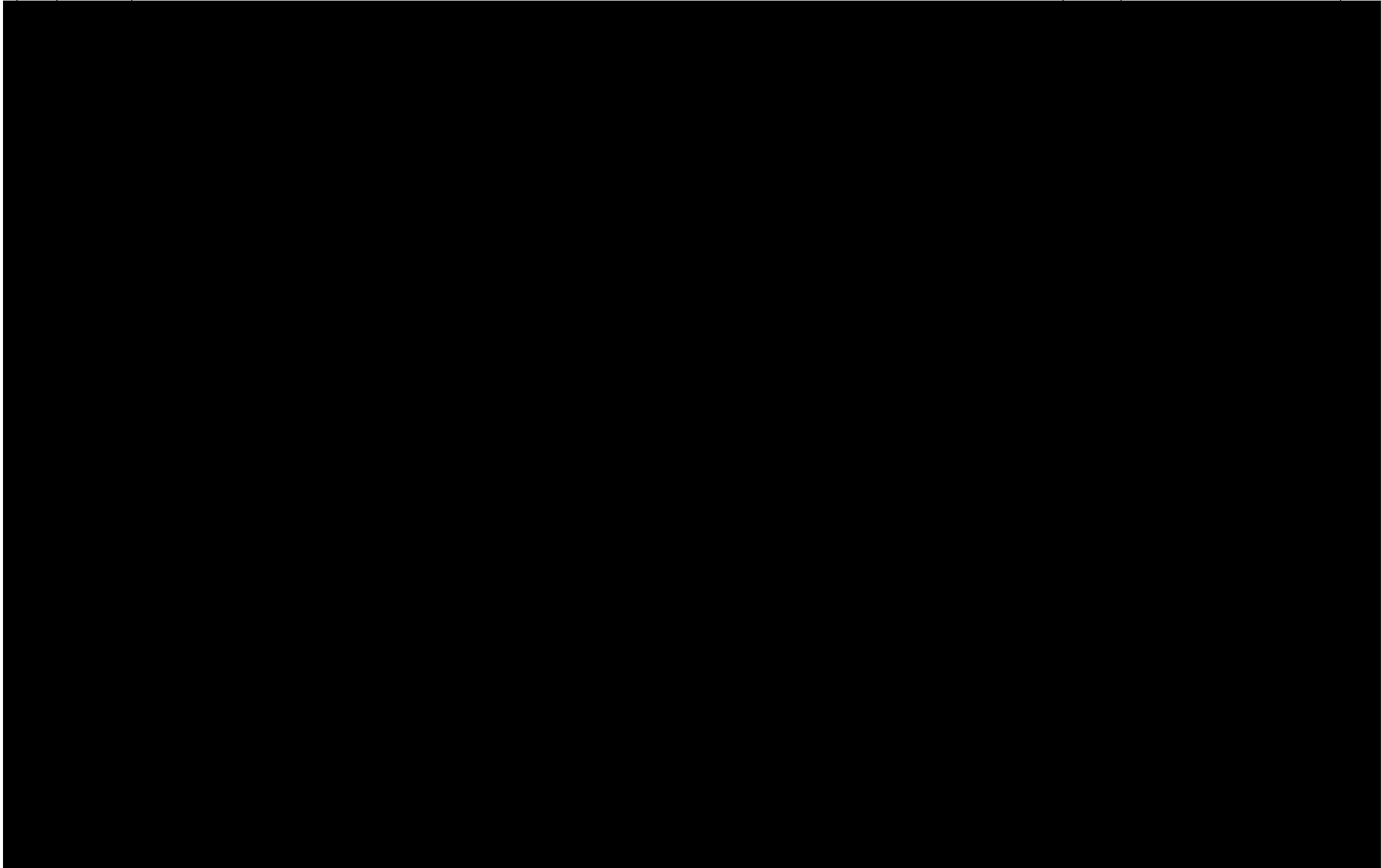
1.2.4本次变更内容



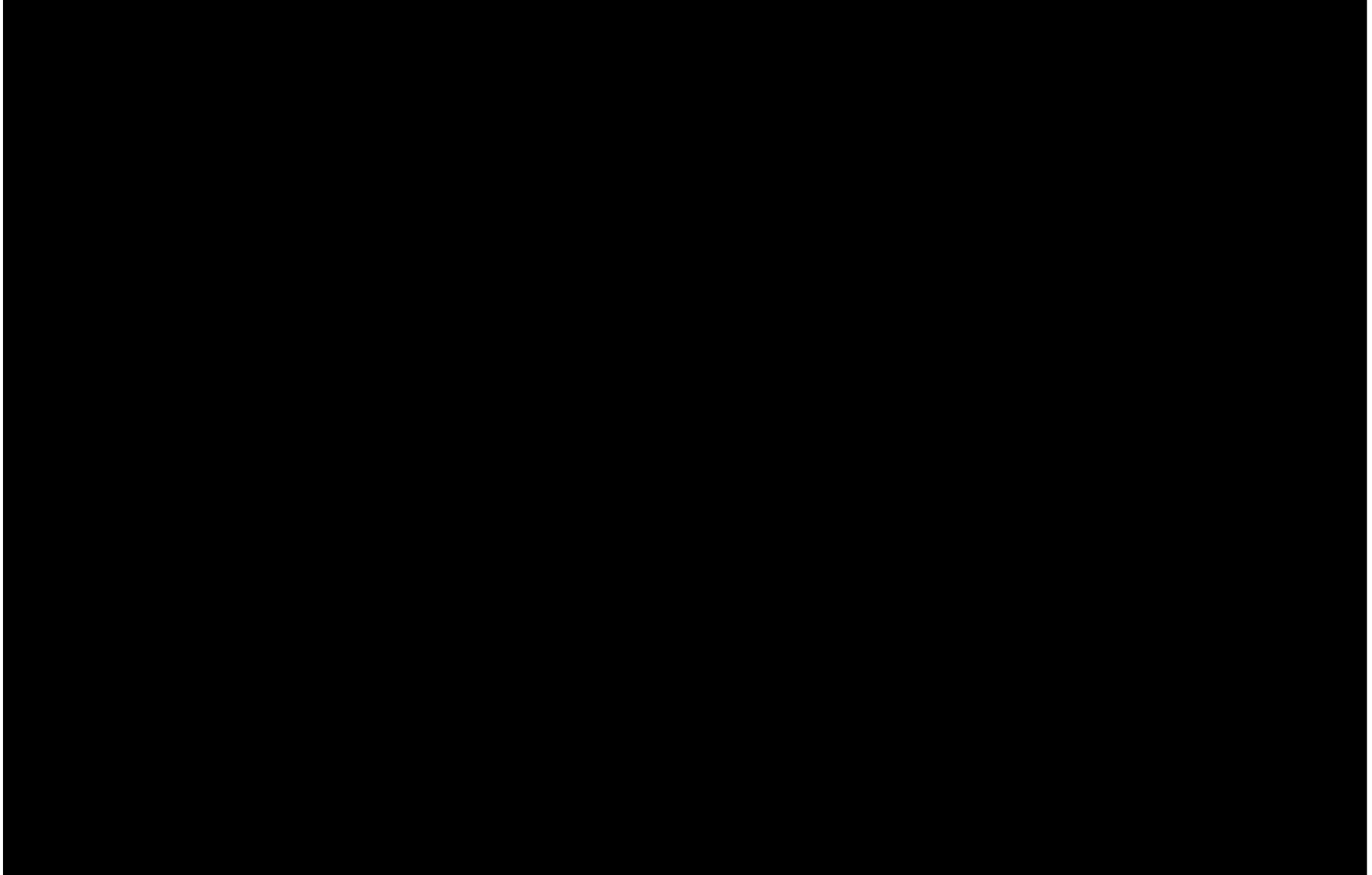
合肥先进光源项目储存环及线站变更



合肥先进光源项目储存环及线站变更



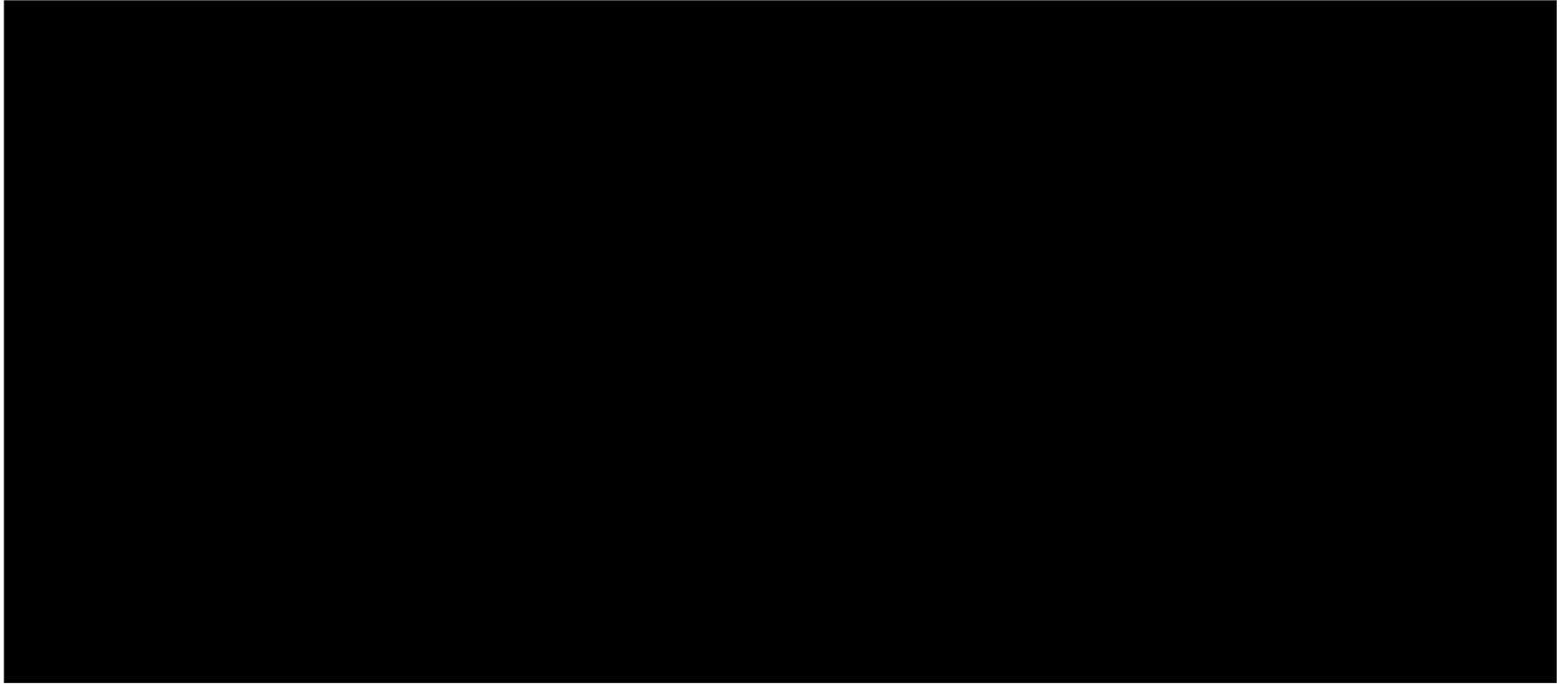
合肥先进光源项目储存环及线站变更

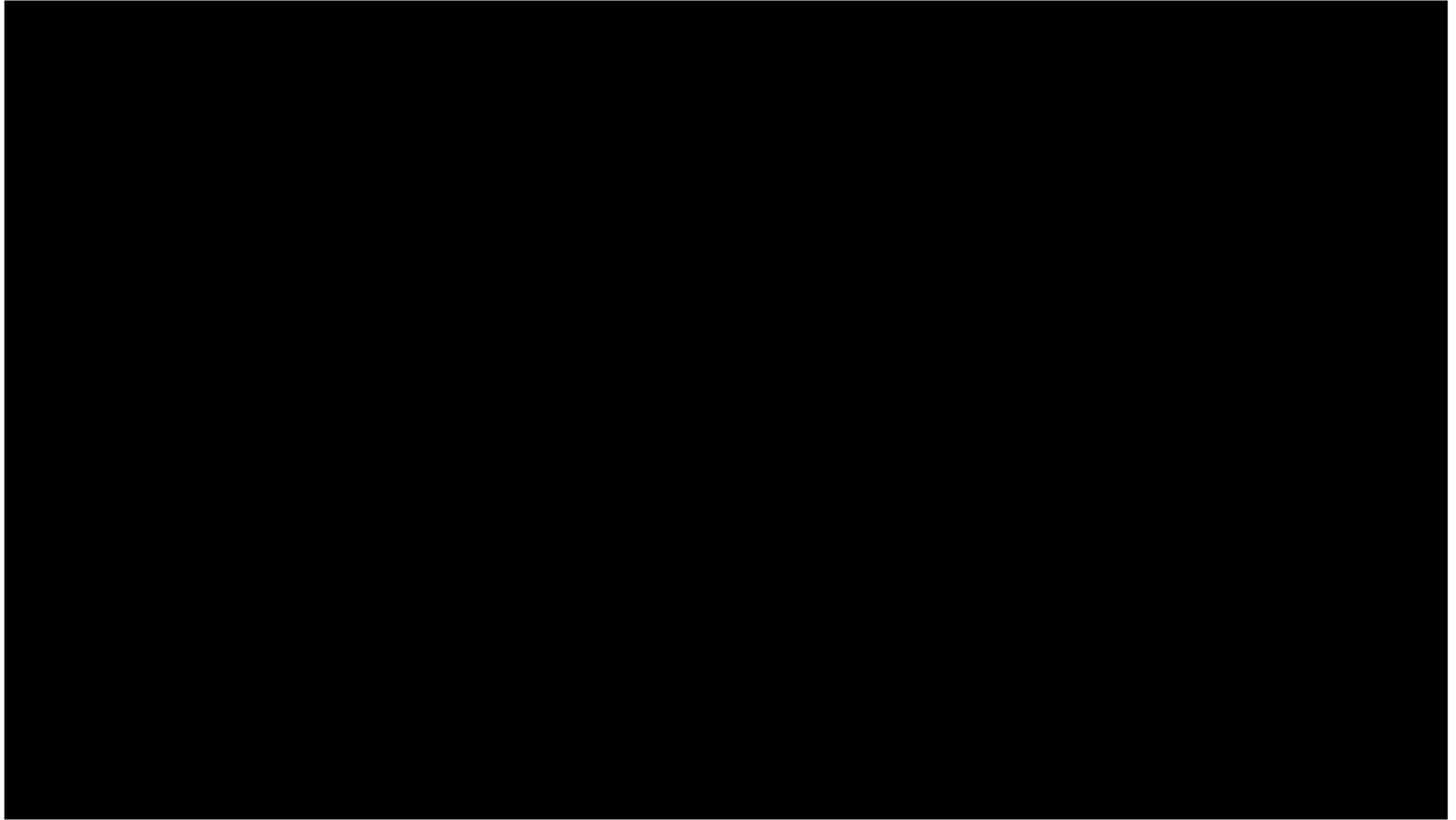


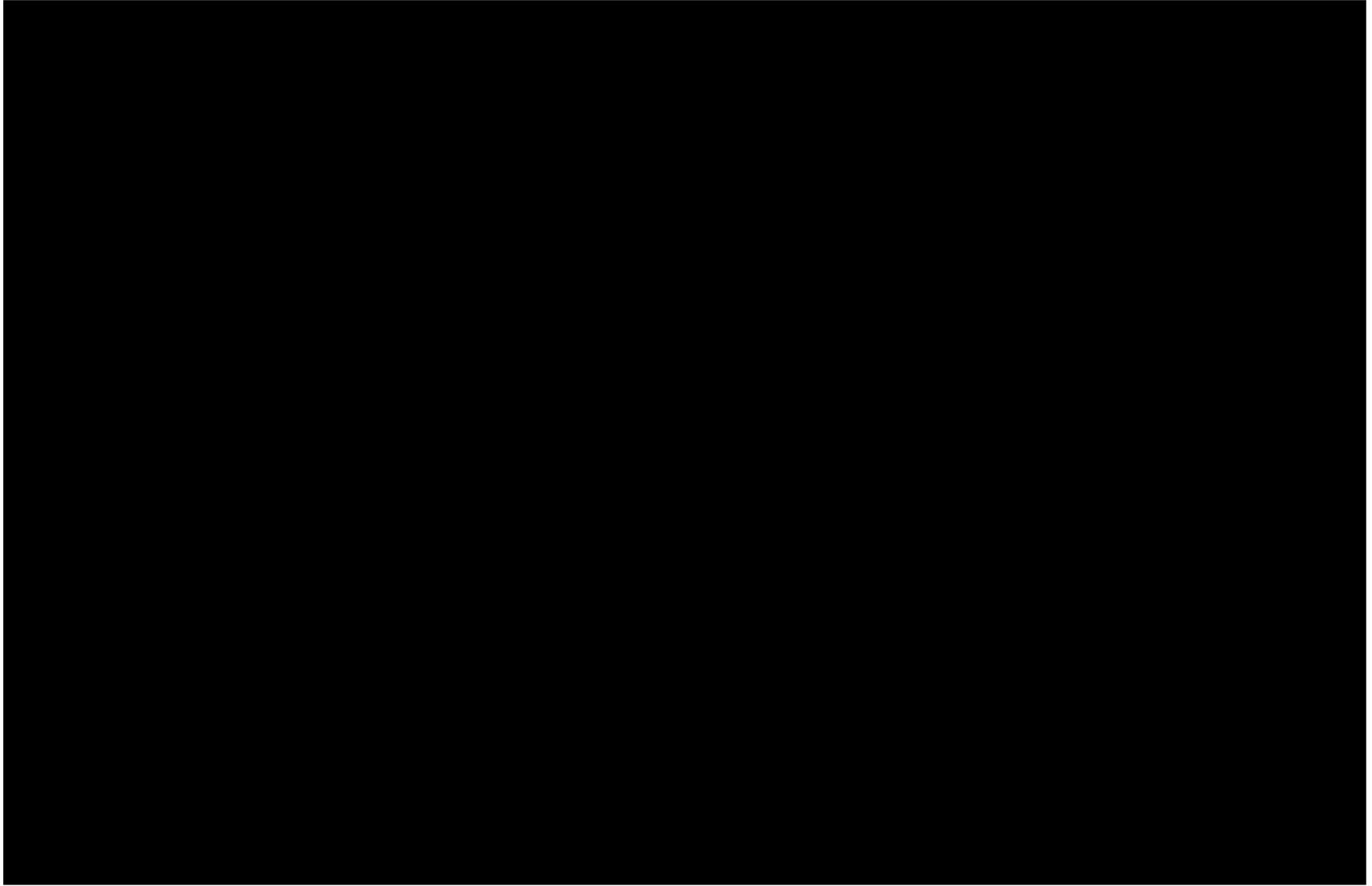
合肥先进光源项目储存环及线站变更



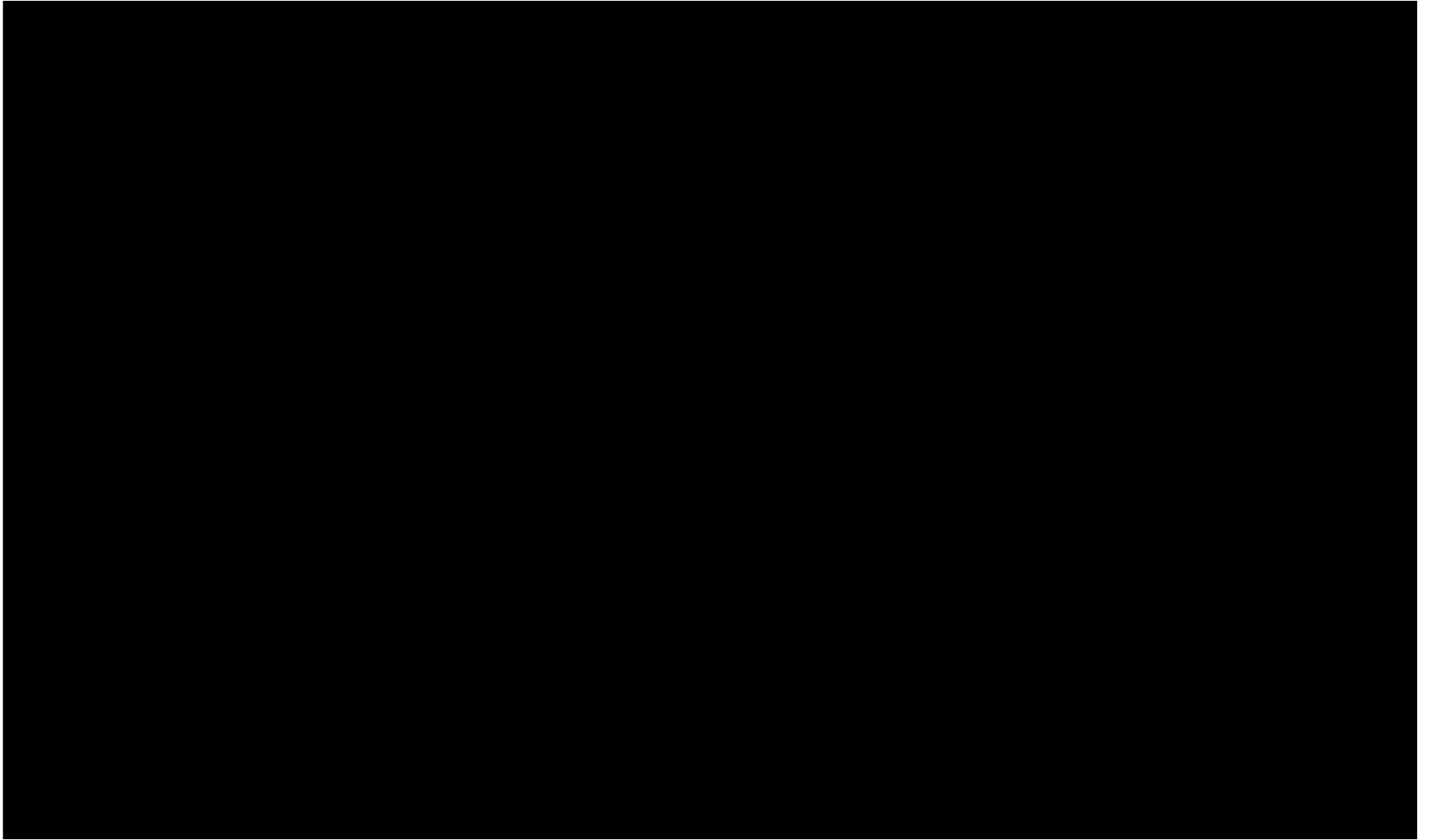
合肥先进光源项目储存环及线站变更



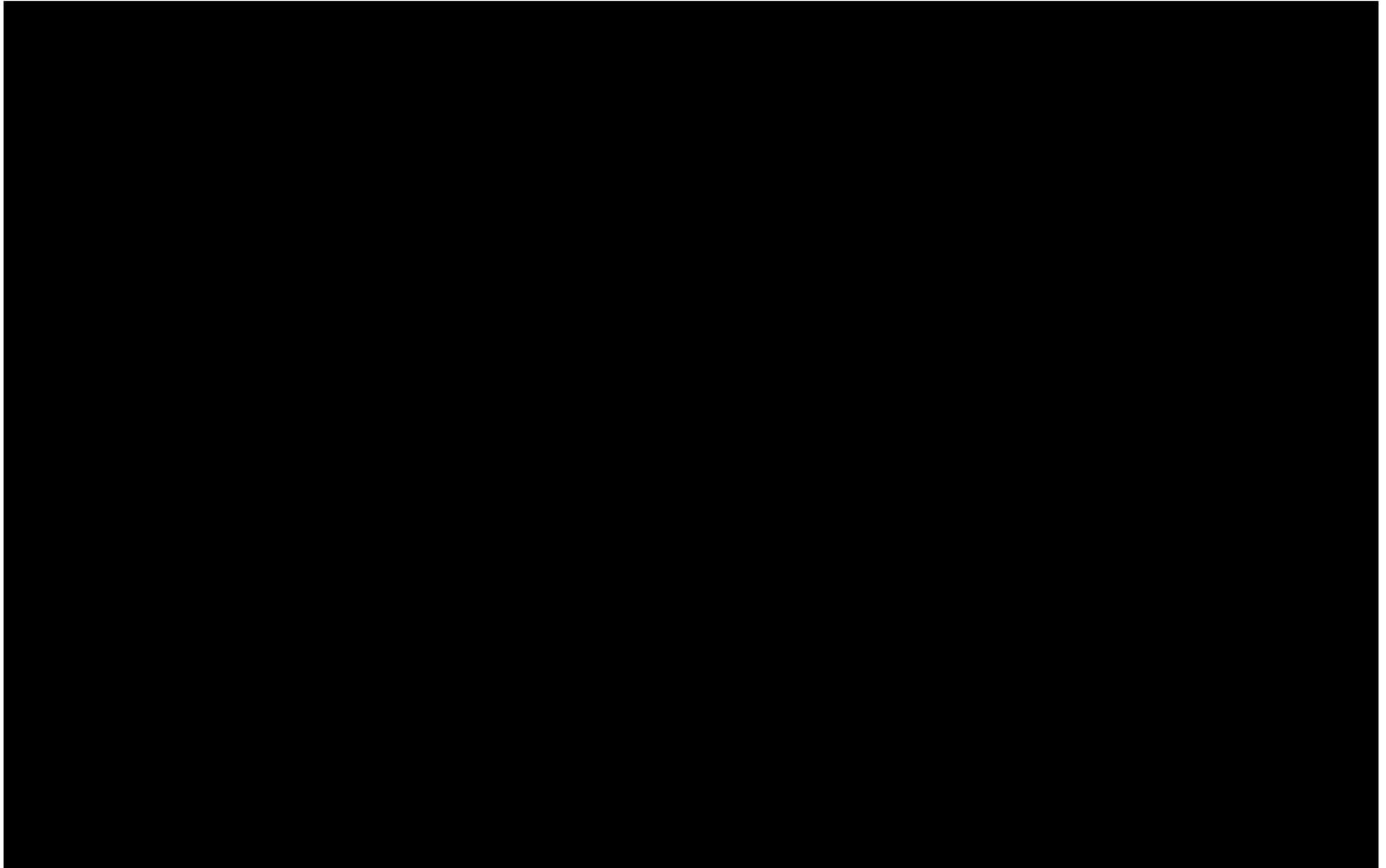




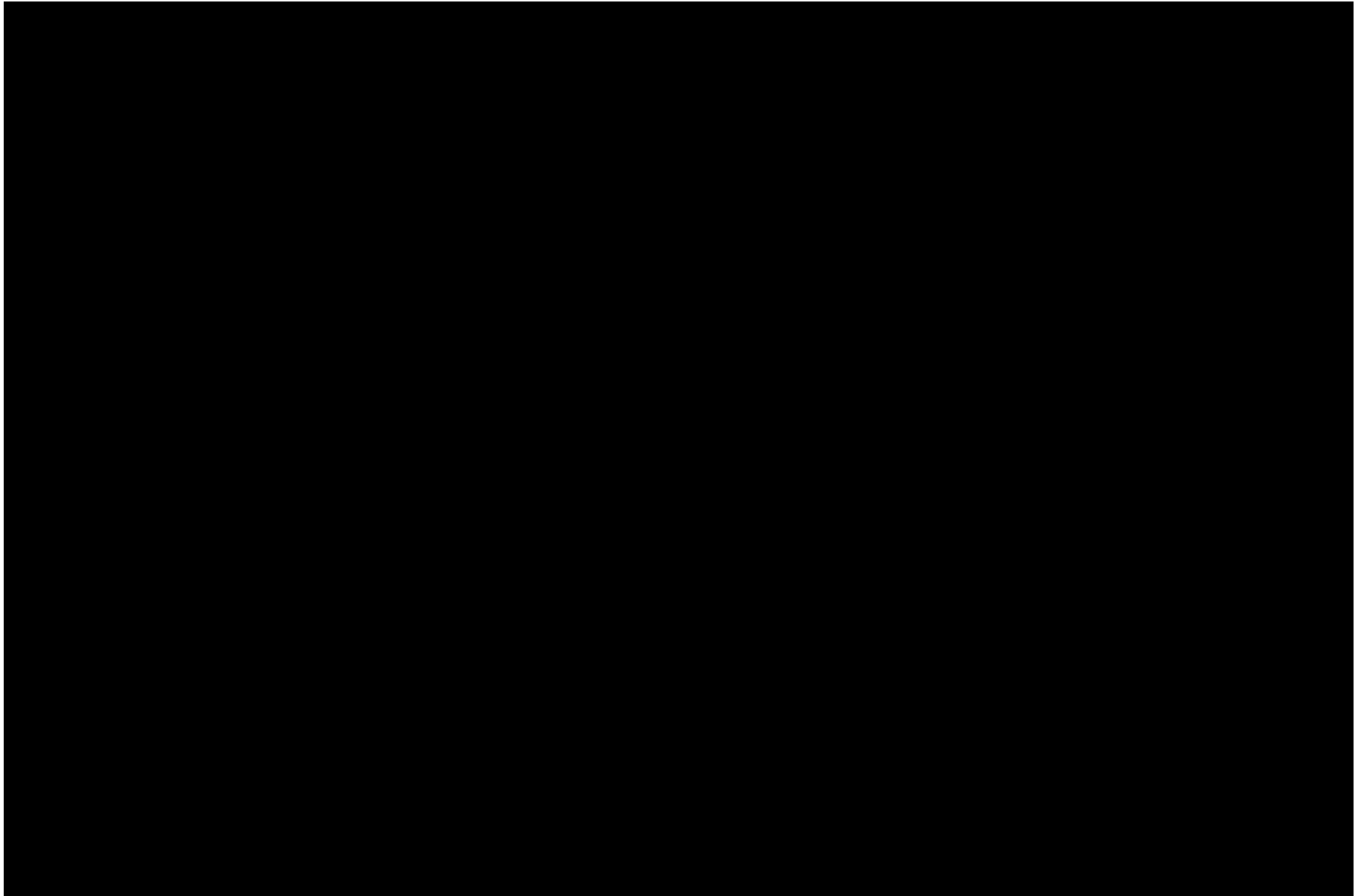
合肥先进光源项目储存环及线站变更



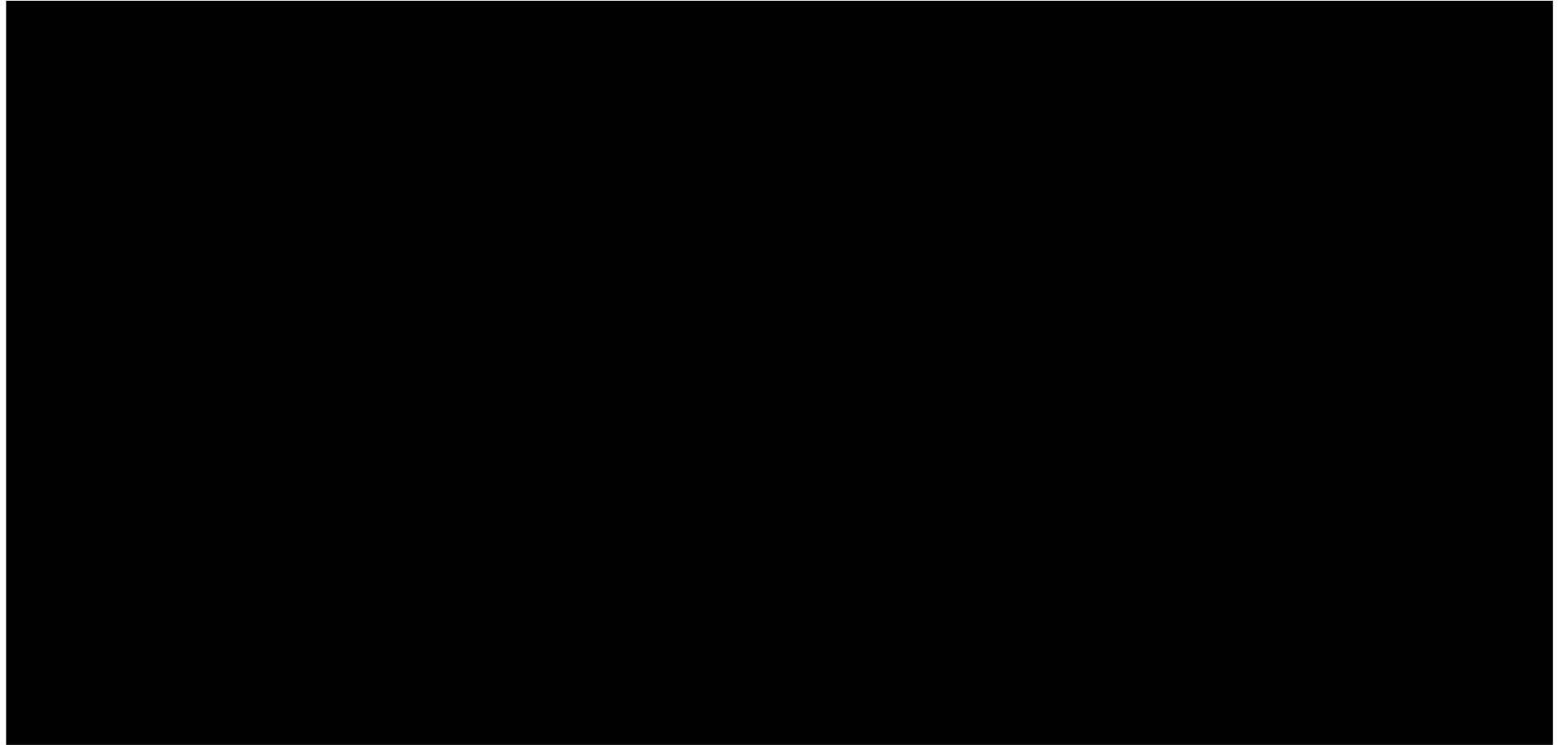
合肥先进光源项目储存环及线站变更

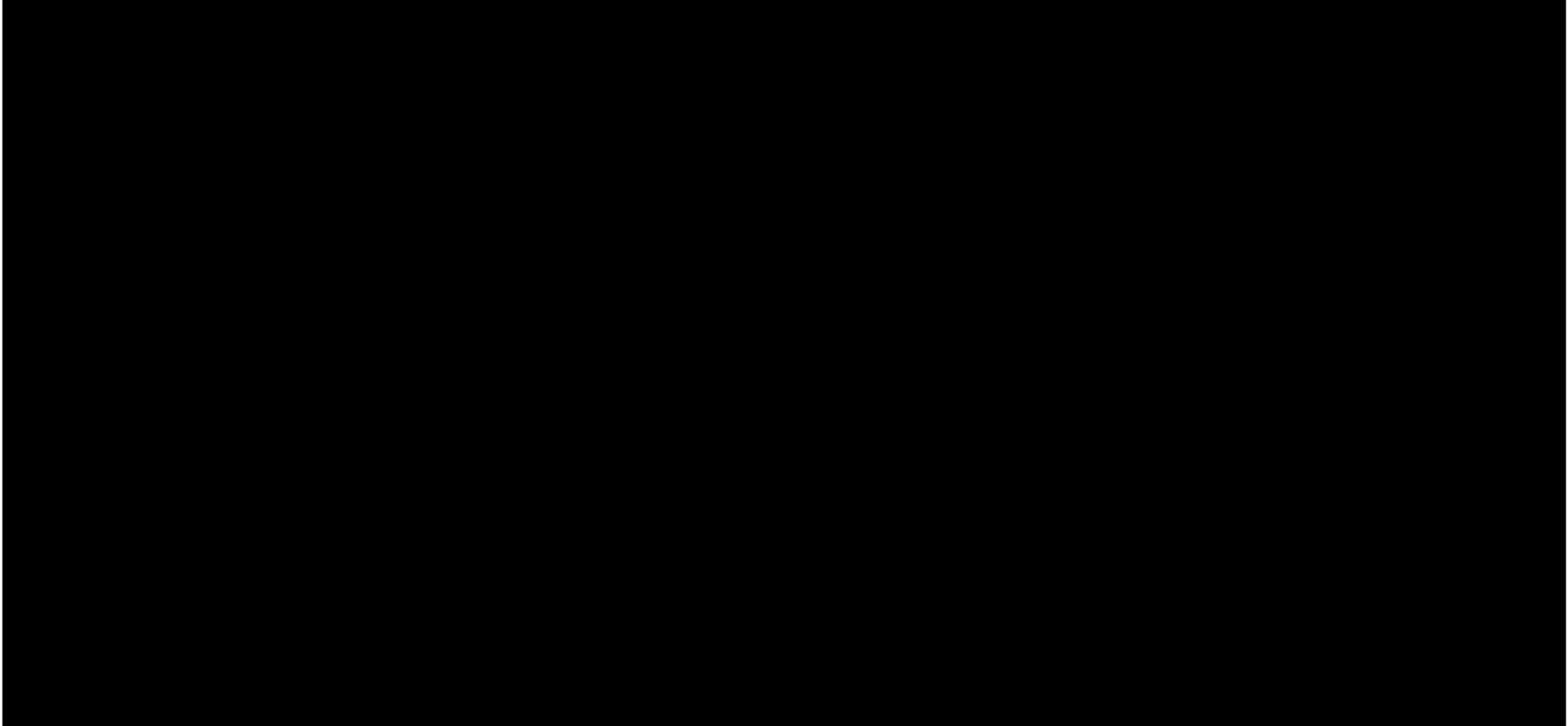


合肥先进光源项目储存环及线站变更

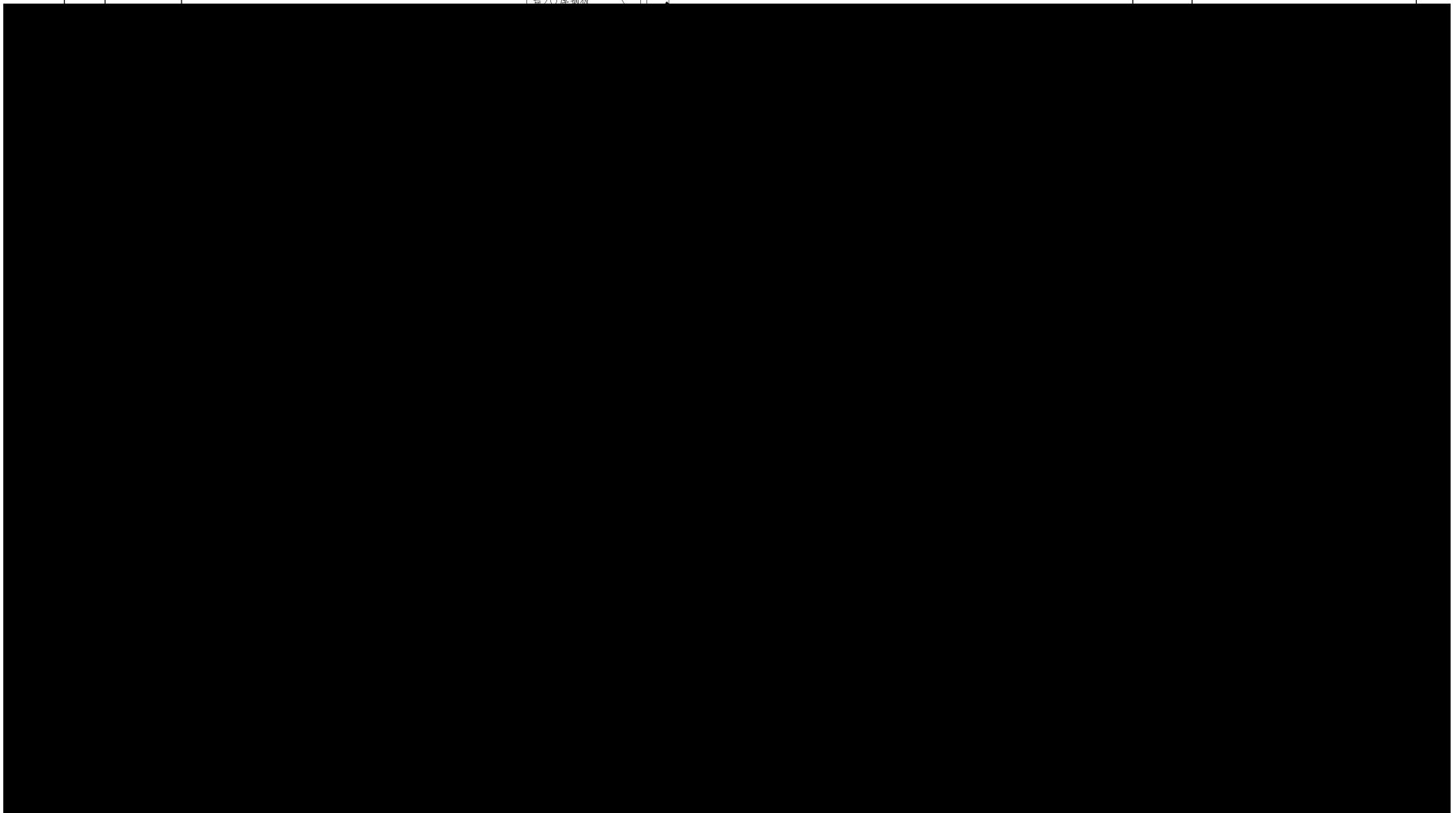


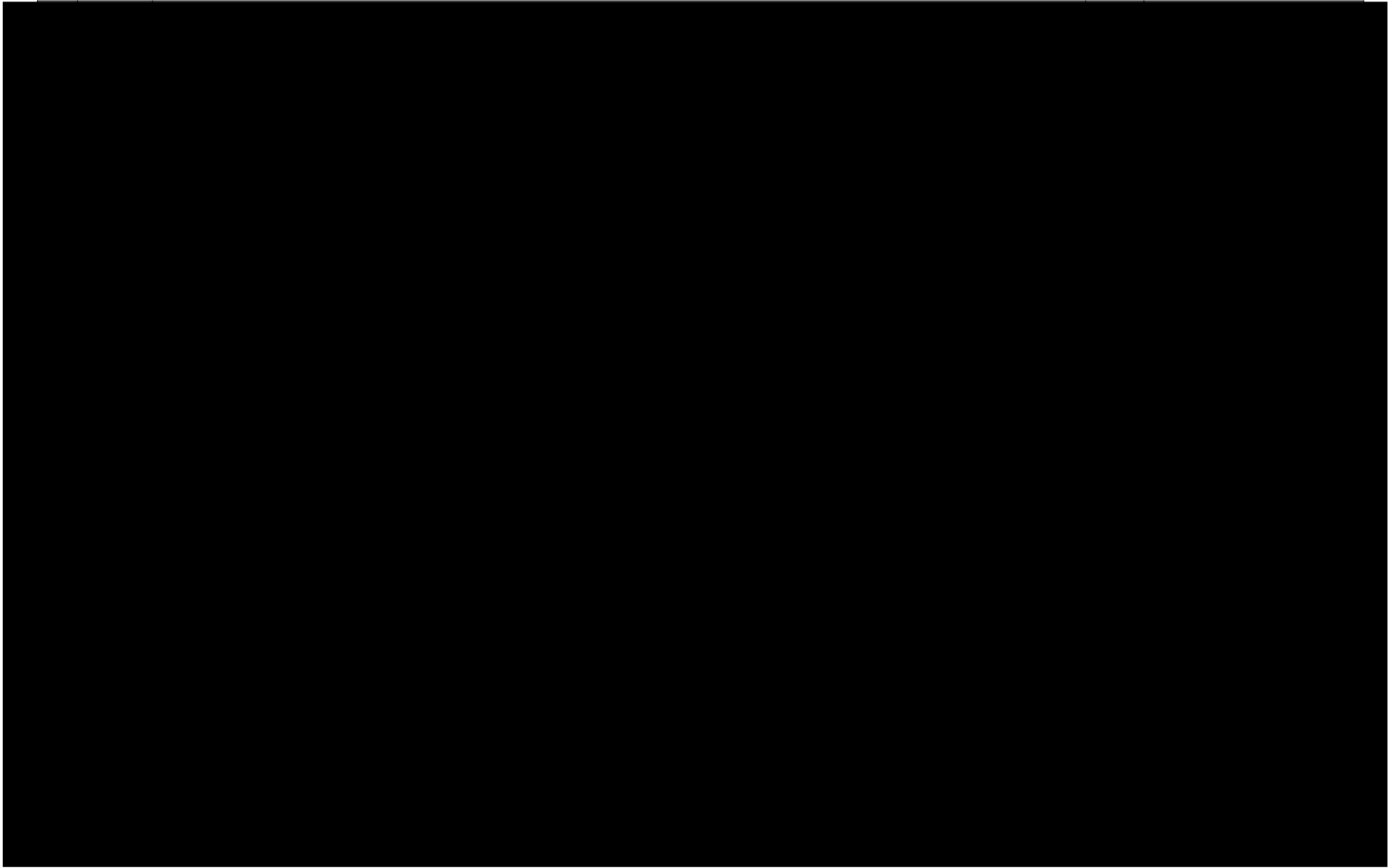
合肥先进光源项目储存环及线站变更



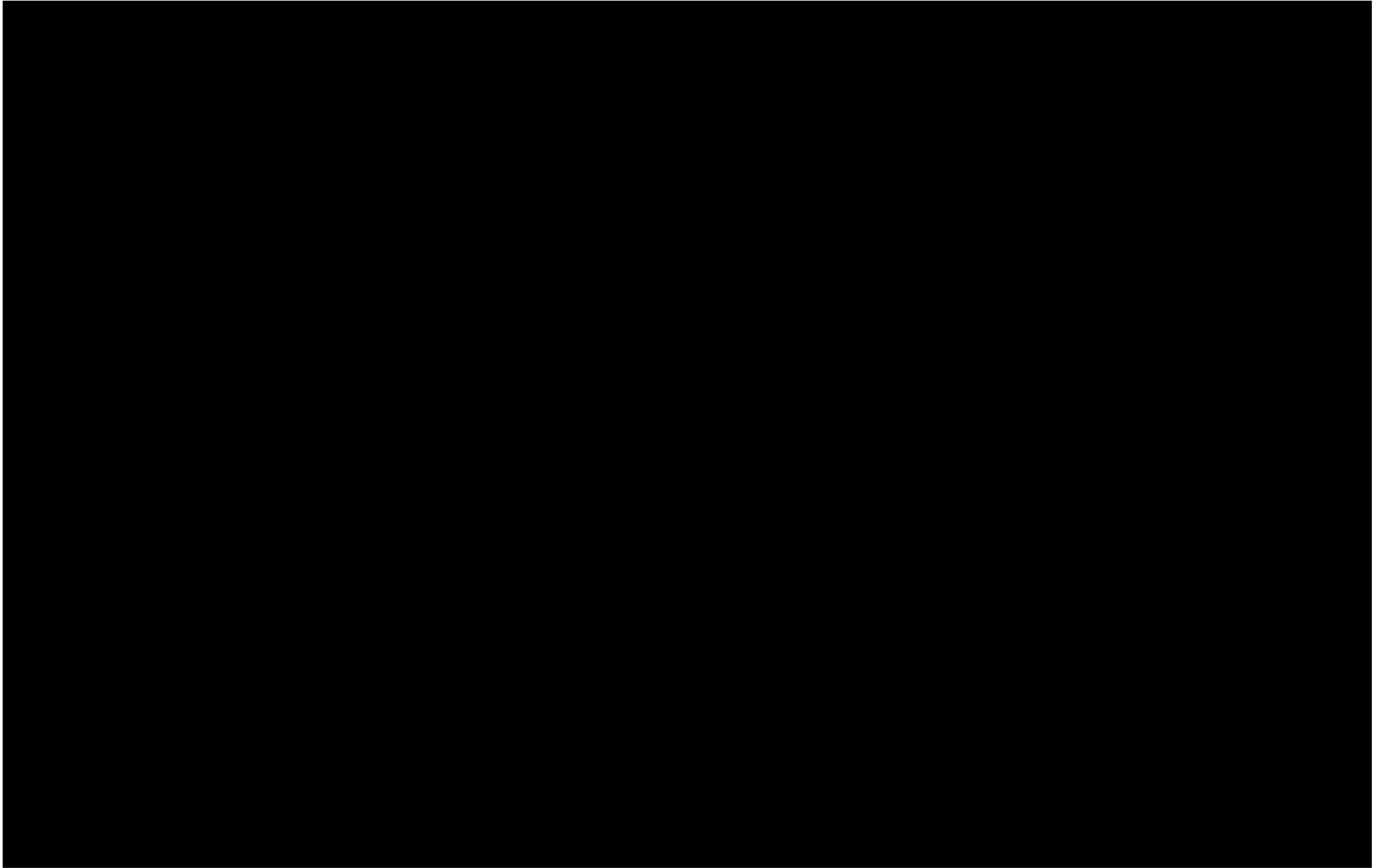


合肥先进光源项目储存环及线站变更

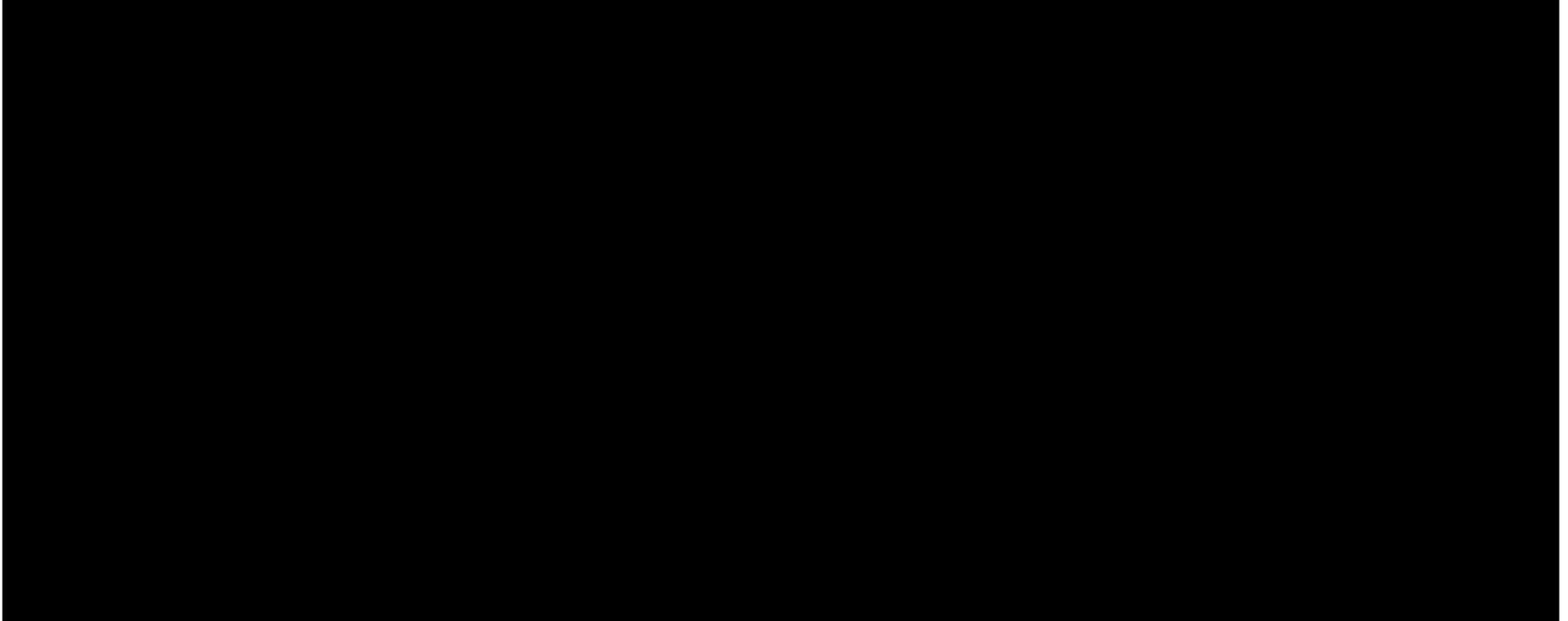


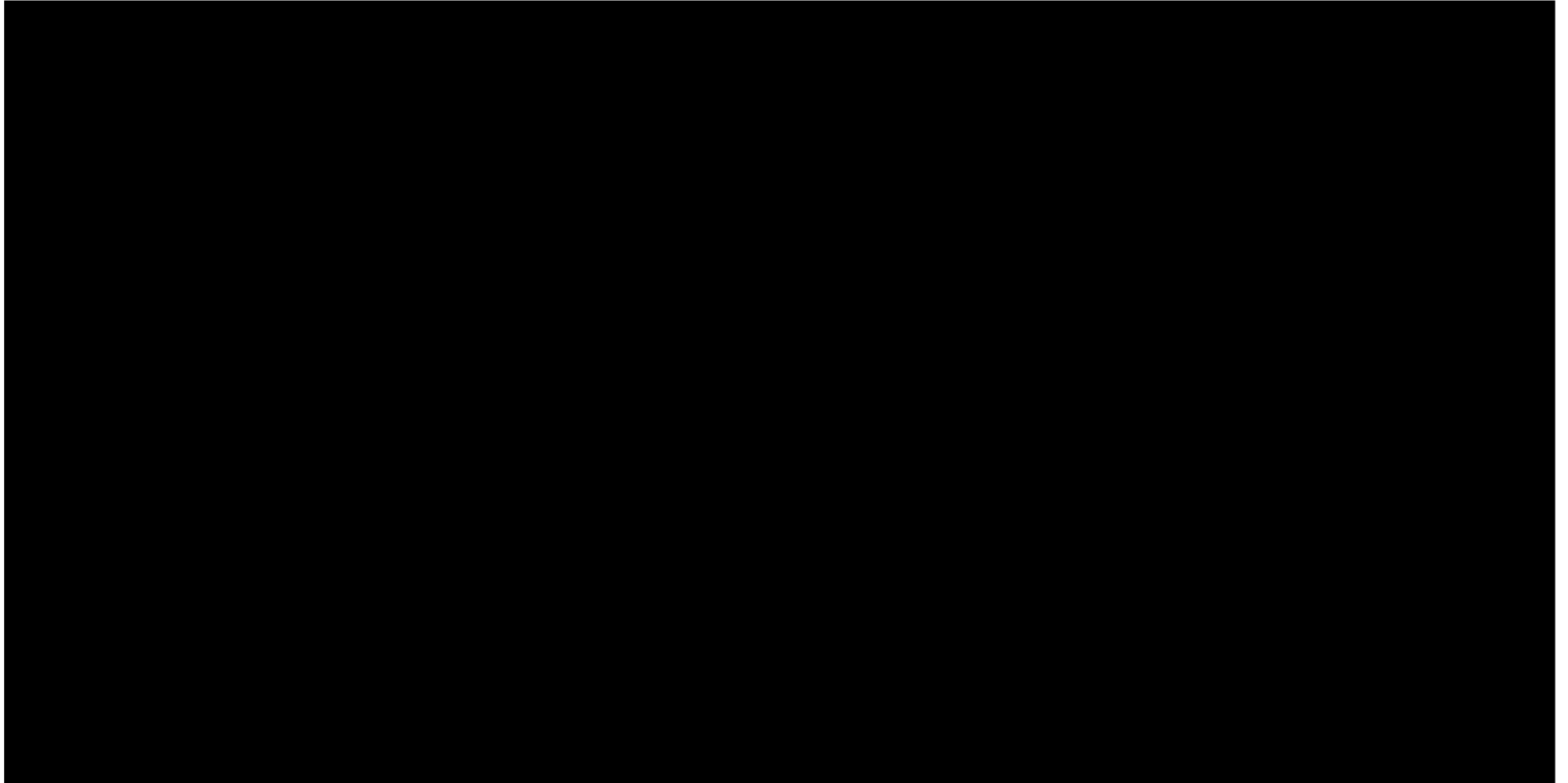


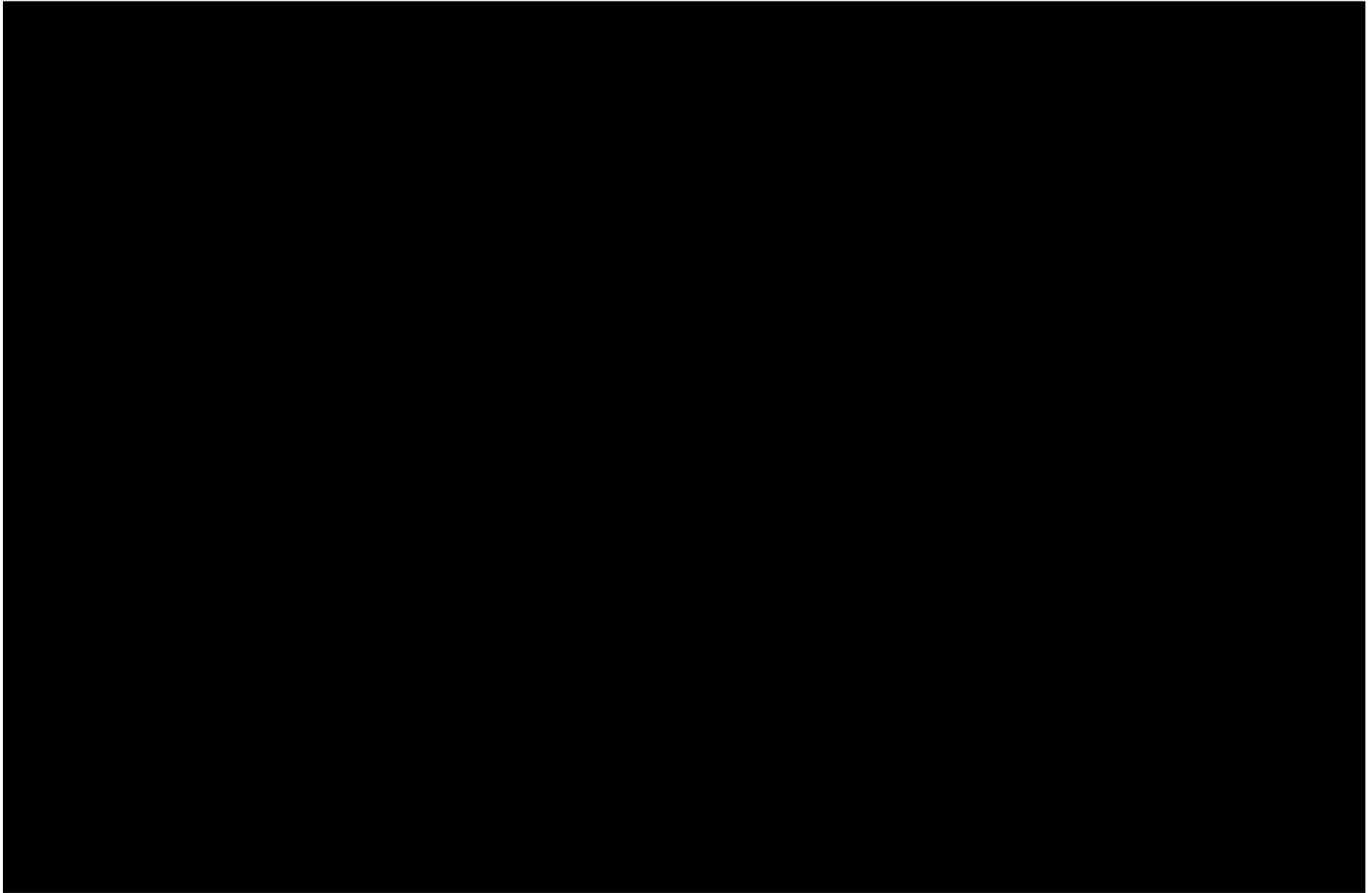
合肥先进光源项目储存环及线站变更



合肥先进光源项目储存环及线站变更



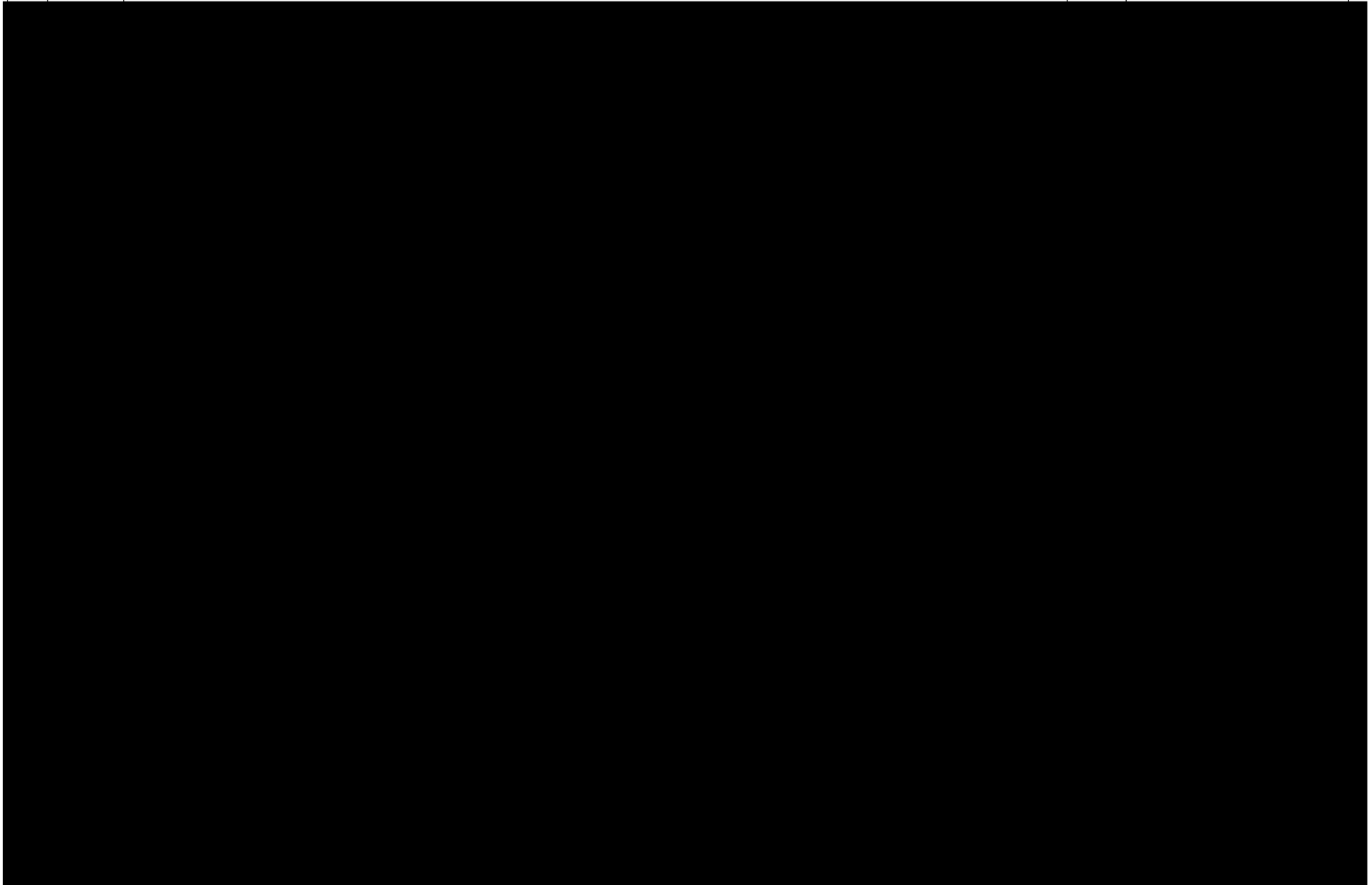




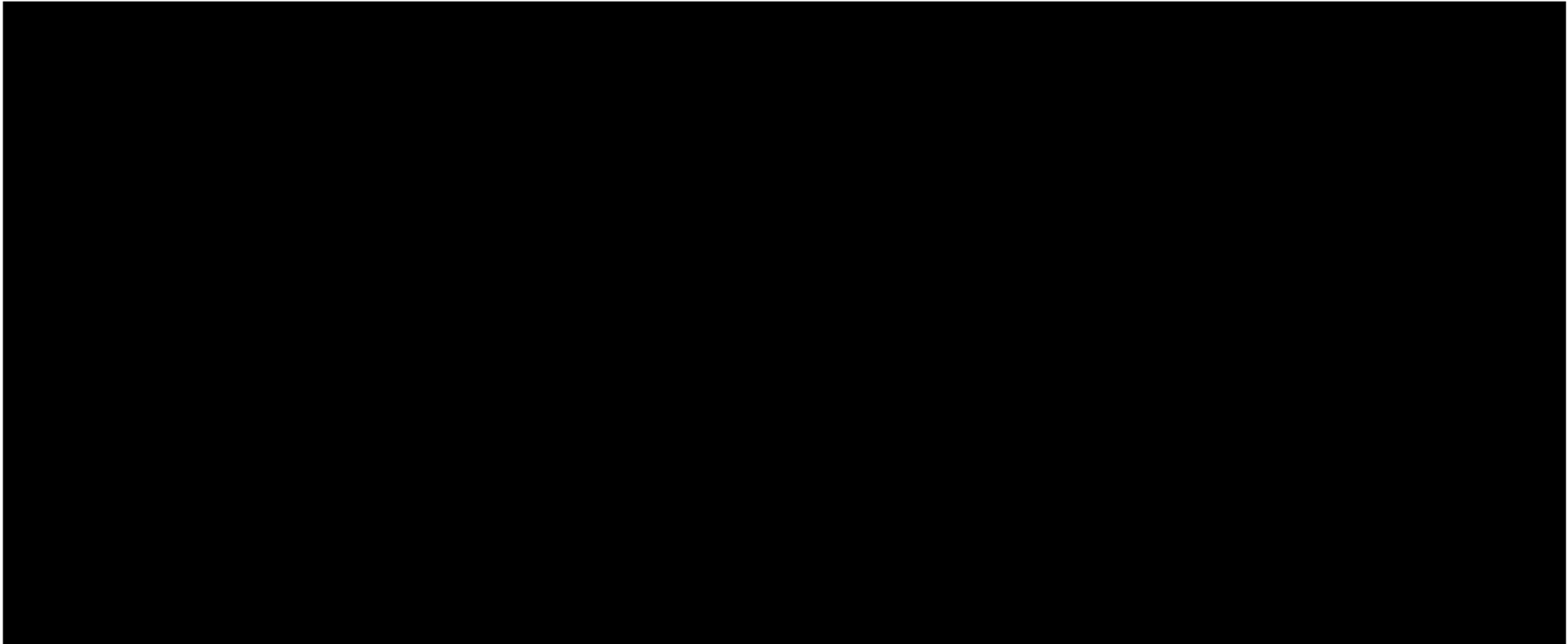
合肥先进光源项目储存环及线站变更

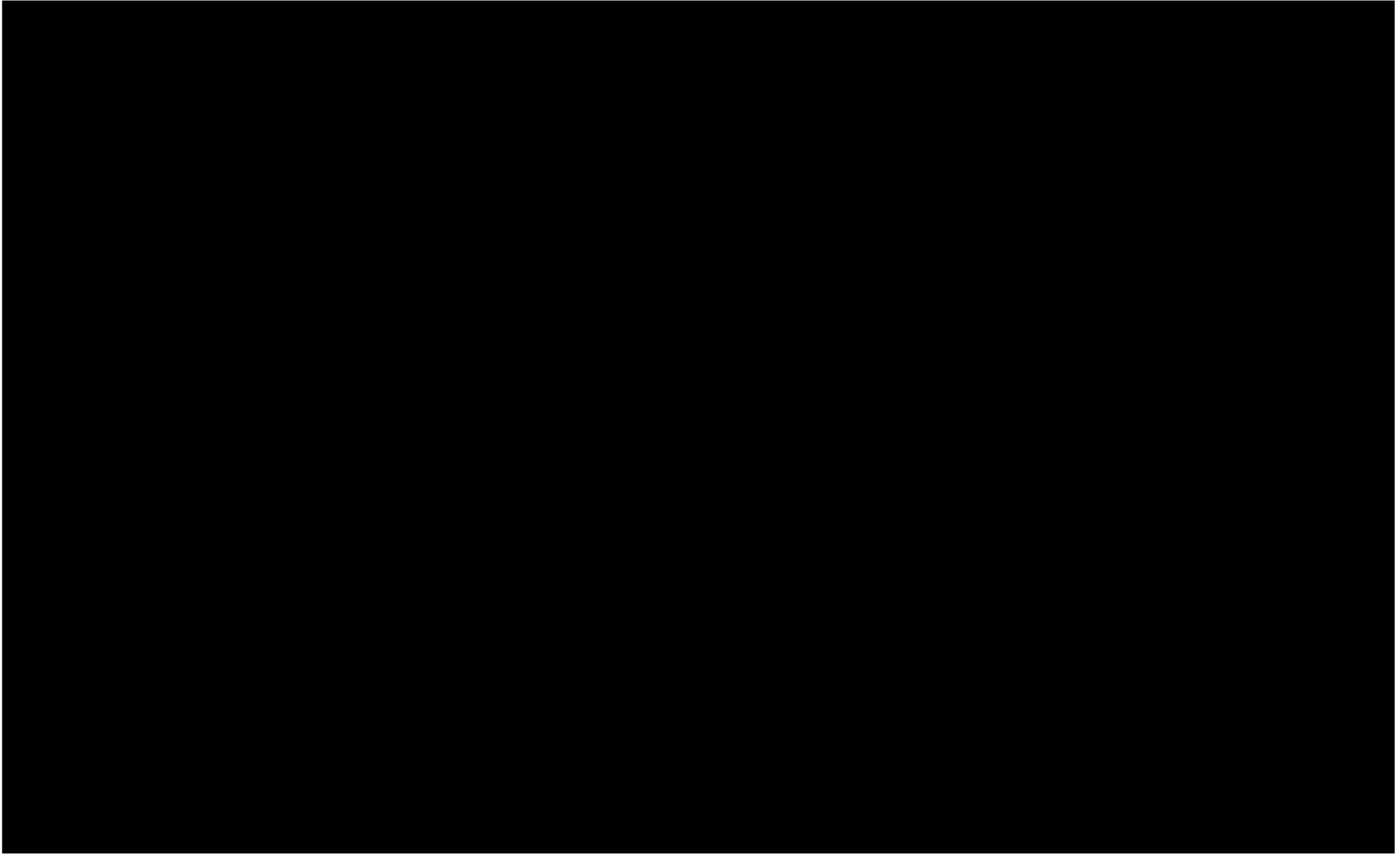


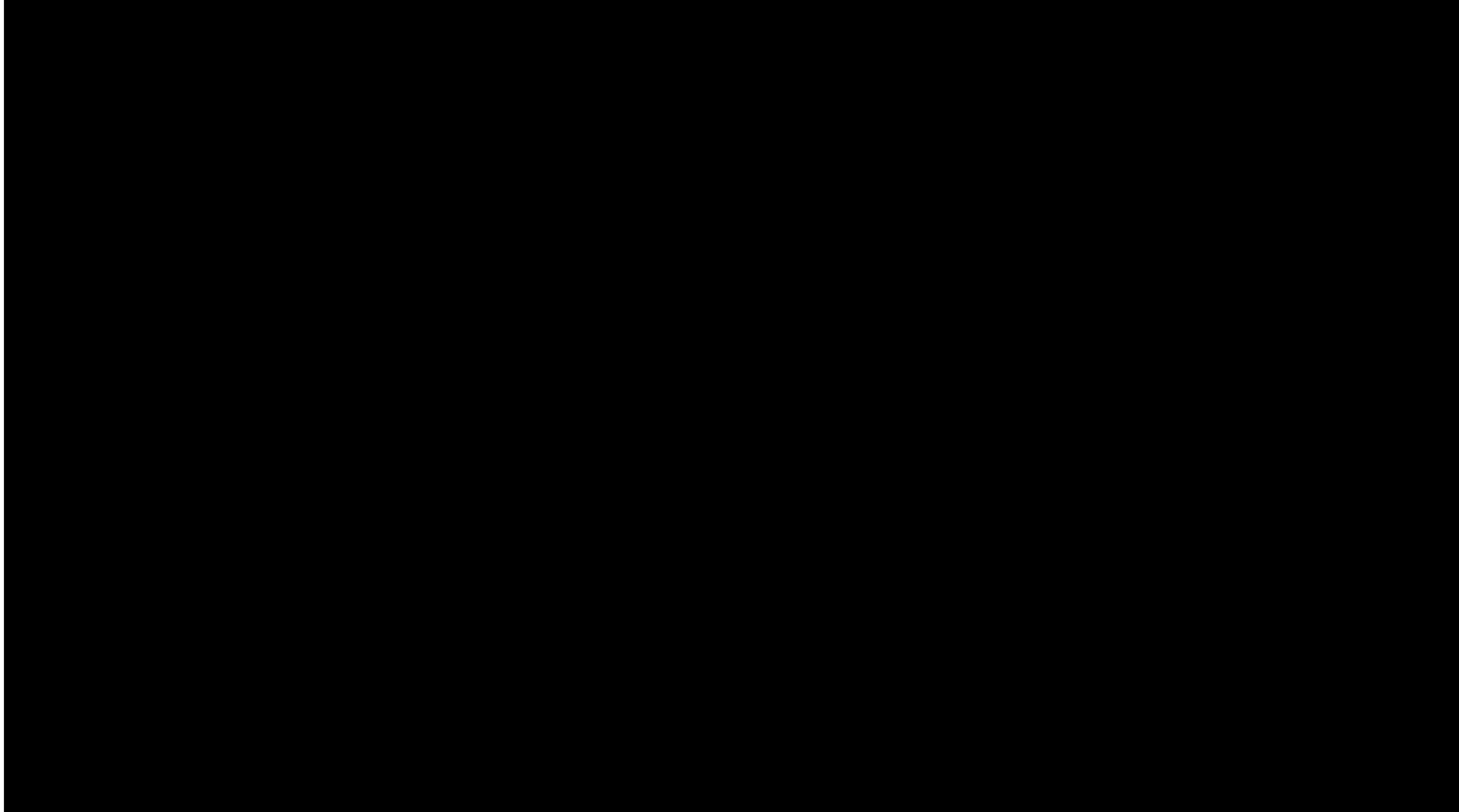
合肥先进光源项目储存环及线站变更

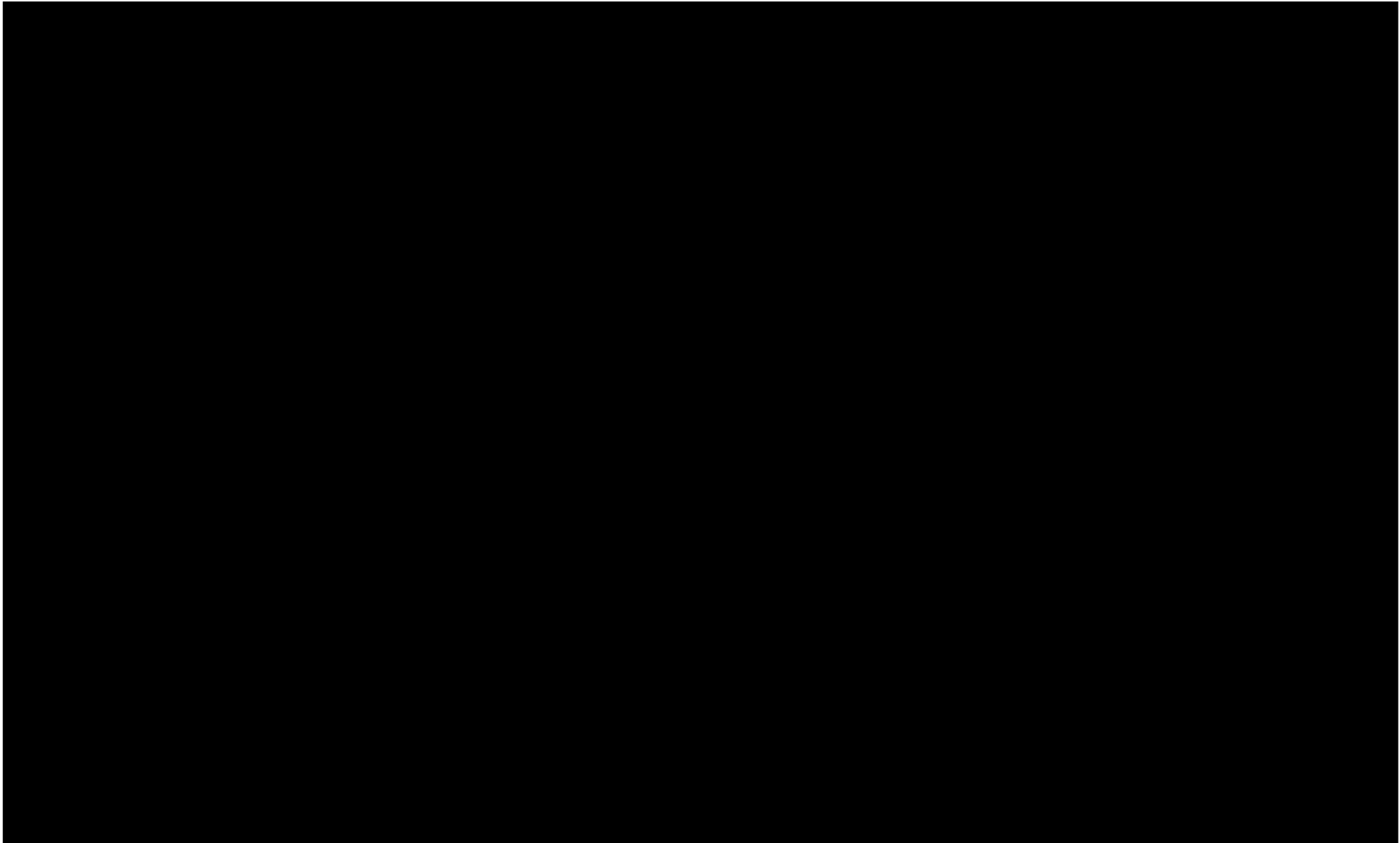


合肥先进光源项目储存环及线站变更

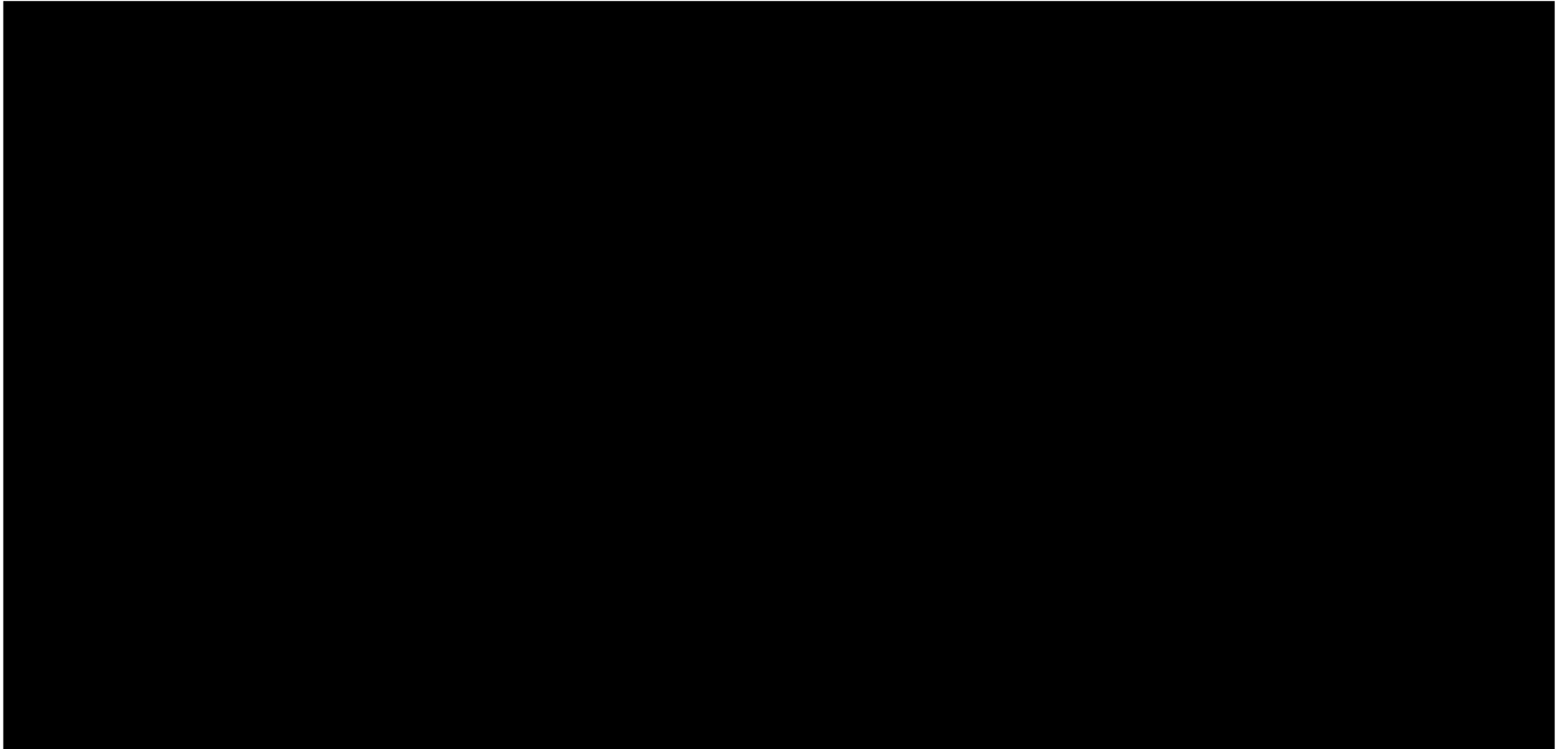


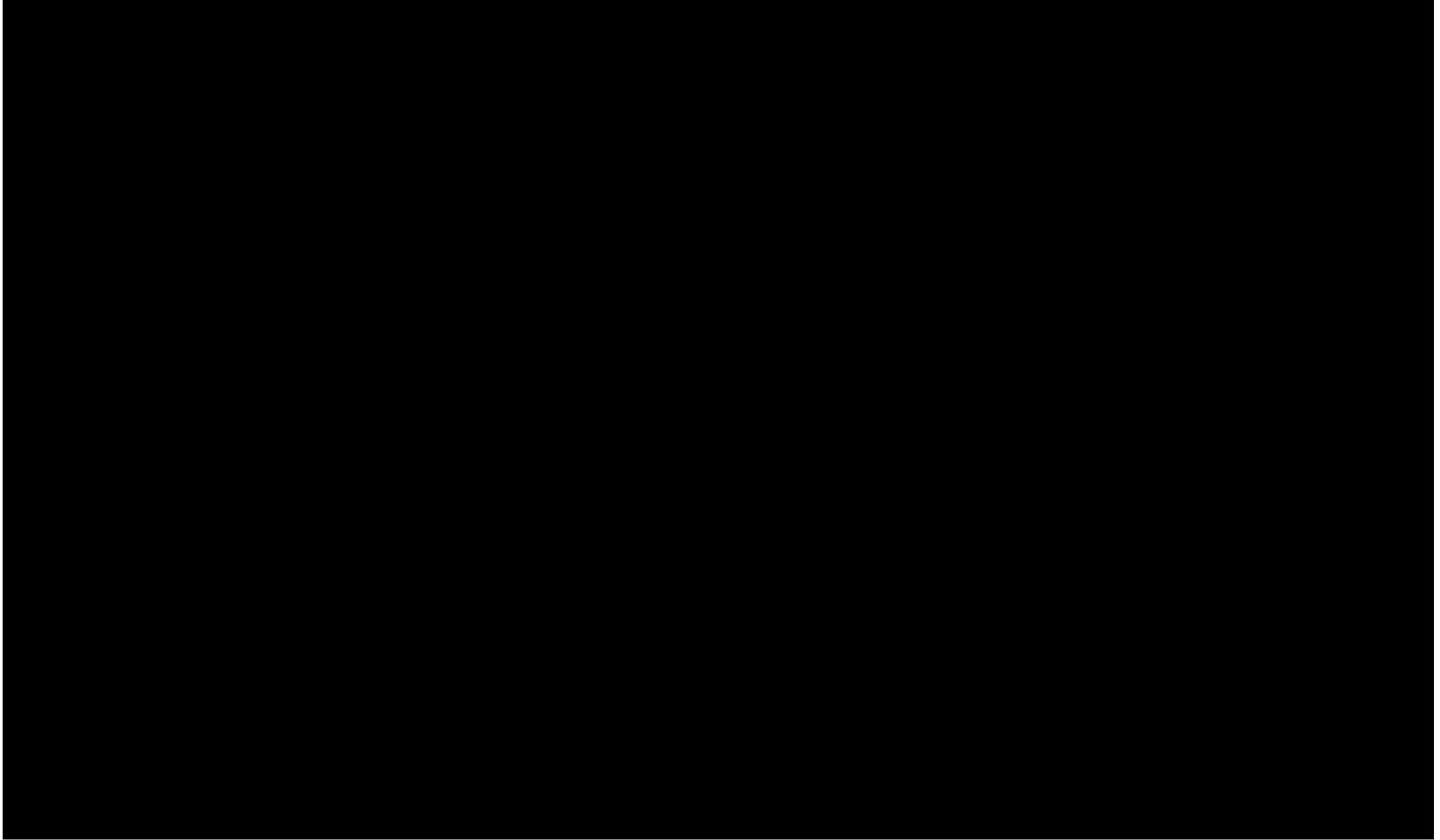


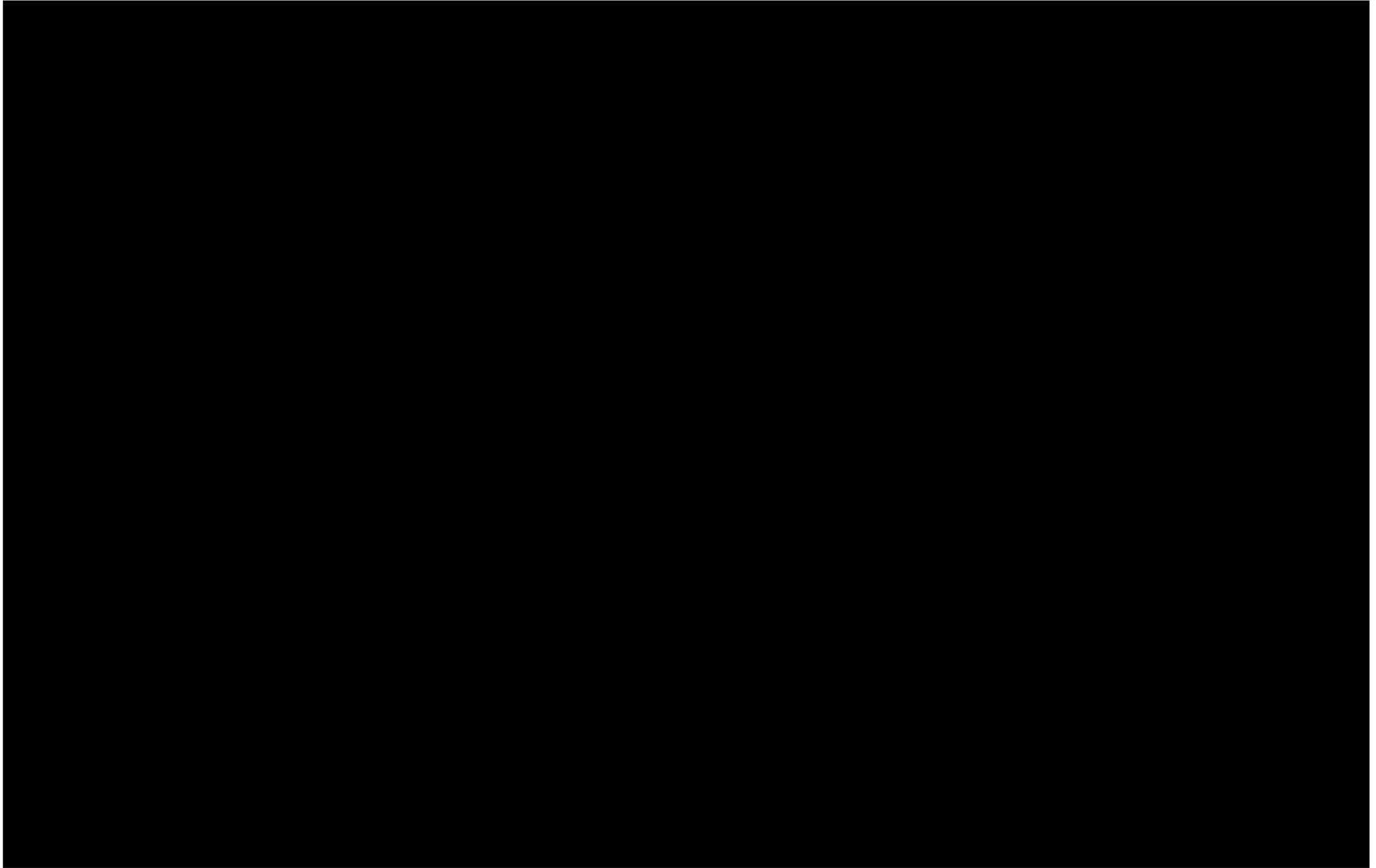




合肥先进光源项目储存环及线站变更

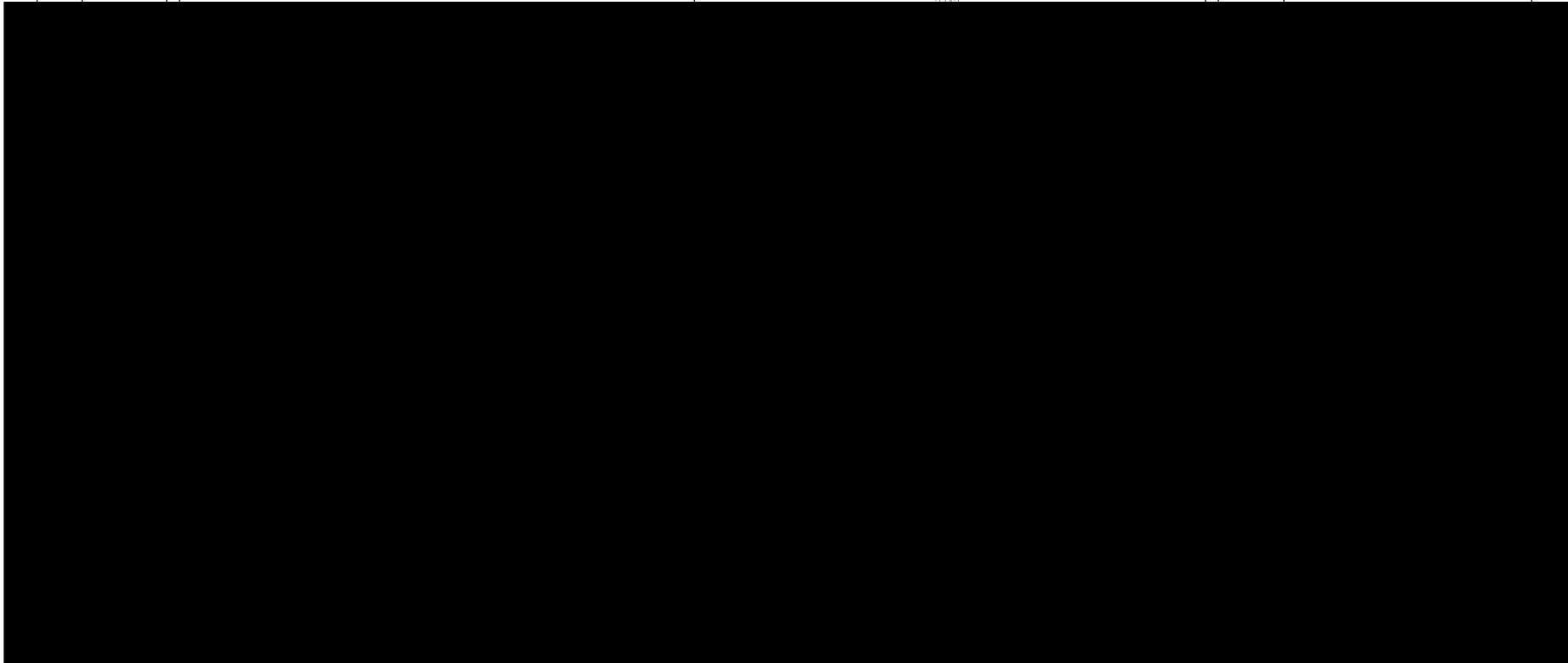








合肥先进光源项目储存环及线站变更



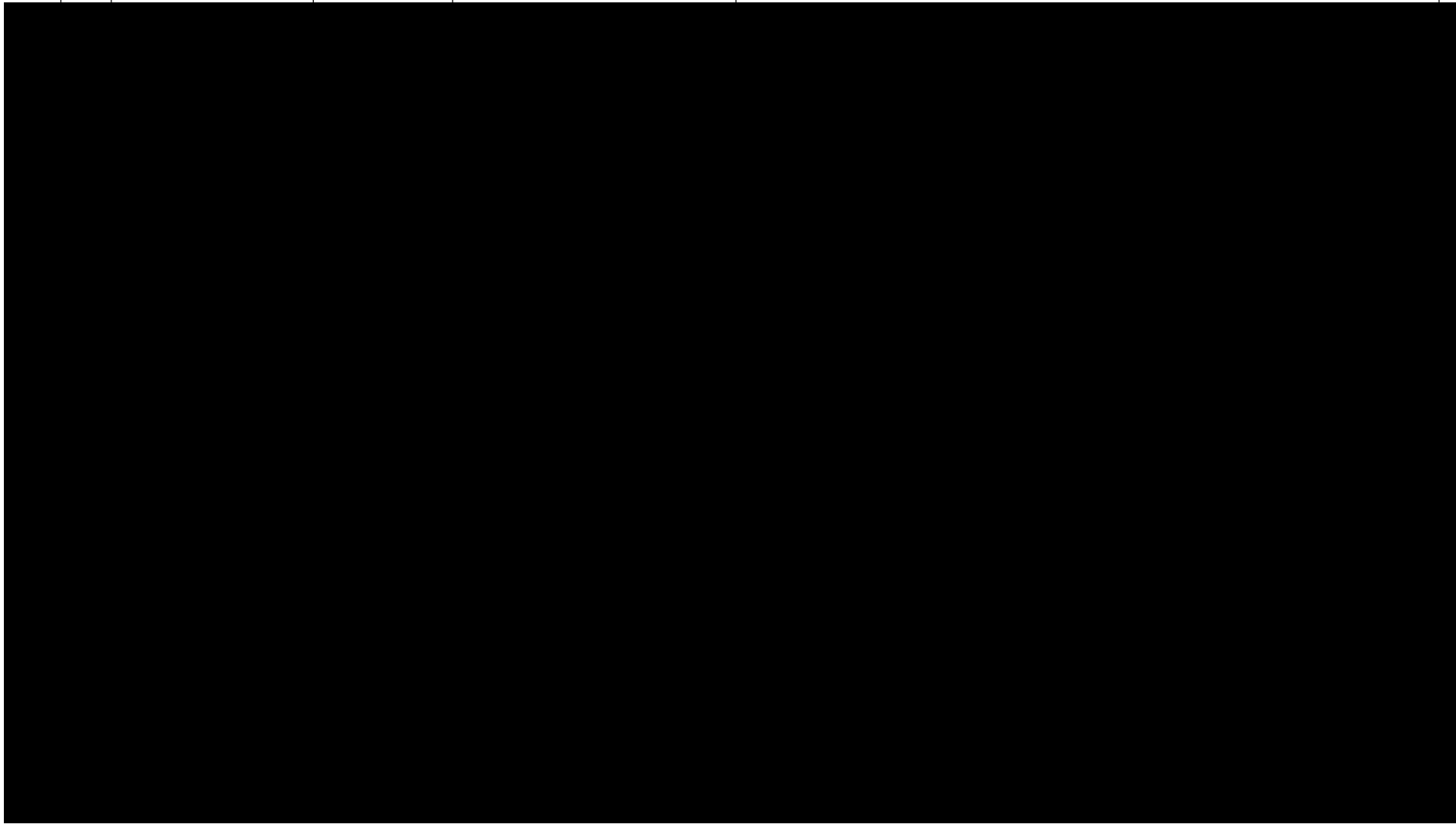
补充说明:

1. 含硼聚乙烯: 含硼量 $\geq 5\%$ 。
2. 铁砂参数: 粒径 0.5-1mm, 含铁量 $\geq 95\%$, 每袋重量 $1.5\text{kg} \pm 0.03\text{kg}$, 外包装应确保铁砂不外漏, 较柔软且易进行封堵操作, 铁砂堆积密度 $\geq 4.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。

表 1.2-4 棚屋尺寸及设计方案变更情况



合肥先进光源项目储存环及线站变更



合肥先进光源项目储存环及线站变更

从表2.1-3和表2.1-4可知,《合肥先进光源项目环境影响报告书》批复后,针对该报告书中储存环主体建筑与辐射防护相关洞口、预埋管进行了变更,光束线站棚屋尺寸及辐射防护设计方案也进行了变更,其对外环境的辐射影响需要重新评价。因此,本次评价主要针对调整后的储存环和光束线站棚屋屏蔽设计进行复核计算,评价调整后的储存环和光束线站的辐射环境影响情况。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

1.2.5 选址符合性分析

① 用地规划符合性分析

根据《长丰县岗集镇总体规划（2016-2030）》（2021年修改），项目所在地主要为科研用地。本项目所在的整个园区已于2022年9月26日获得合肥市自然资源和规划局核发的《建设项目用地预审与选址意见书》（用字第340100202212101号）。意见书指出：本建设项目符合国土空间用途管制要求。项目选址符合经批准的《长丰县岗集镇总体规划（2016—2030年）》（岗政〔2021〕56号）和《长丰县岗集镇谭岗路与胡庙路交口东北角GJ03-C-05街坊控制性详细规划》，不占用永久基本农田，地块用地规模和布局已纳入《长丰县国土空间总体规划（2021—2035年）》。因此，本项目符合规划要求。

② 环境相容性分析、四至关系相容性分析

经现场勘查，合肥先进光源园区周边现状均为空地，规划为科研用地等。周围500m范围内无居民、学校等环境保护目标，因此项目建设与周边环境相容性较好。

③ 本项目对董铺水库、大房郢水库的影响分析

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

1.2.6 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”及第三十一条、科技服务业中第10项——“科技创新平台建设：

合肥先进光源项目储存环及线站变更

国家重大科技基础设施”的范畴，符合国家相关产业政策。

1.2.7与规划符合性分析

①与长丰县岗集镇总体规划符合性分析

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

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

②与长丰县岗集镇总体规划环境影响报告书符合性分析

本项目与《关于长丰县岗集镇总体规划（2010-2030）环境影响报告书的审查意见》（环建审〔2013〕176号）的内容符合性分析见表1.2-5。

表 1.2-5 与长丰县岗集镇总体规划环评报告书审查意见的符合性

序号	相关要求	本项目情况	符合性
1	此次总体规划期限为2010—2030年，其中近期2010—2015年，远期2016—2030年。产业发展定位为：岗集老镇区及规划新城集中发展汽车配件产业和物流业，其余部分建设生态农业、休闲旅游业、现代高效农业、特色农业。	本项目为同步辐射光源建设项目，符合国家产业政策，各污染因子均能做到达标排放，不属于主导产业和禁止产业。	符合
2	一级保护区内滁河干渠两侧禁止建设一切与供水设施和保护饮用水水源无关的项目；二级保护区内禁止新、扩、改建有污染的建设项目，可发展无污染、高效益的生态农业；老镇区及规划新城位于饮用水源准保护区内，可发展不含表面处理工艺的汽车零部件制造业、不含危险品仓储运输的仓储物流业等。规划期内，不得增加镇域污染物排放总量。	本项目位于饮用水源准保护区内，项目运行过程中不涉及酸洗、磷化等禁止的表面处理的工艺，生活污水总量纳入望塘污水处理厂总量控制指标当中，项目建设不新增镇域废水污染物排放总量。	符合

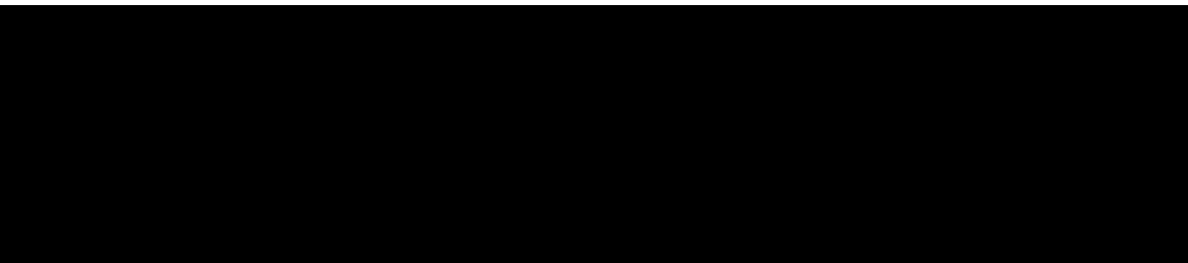
合肥先进光源项目储存环及线站变更

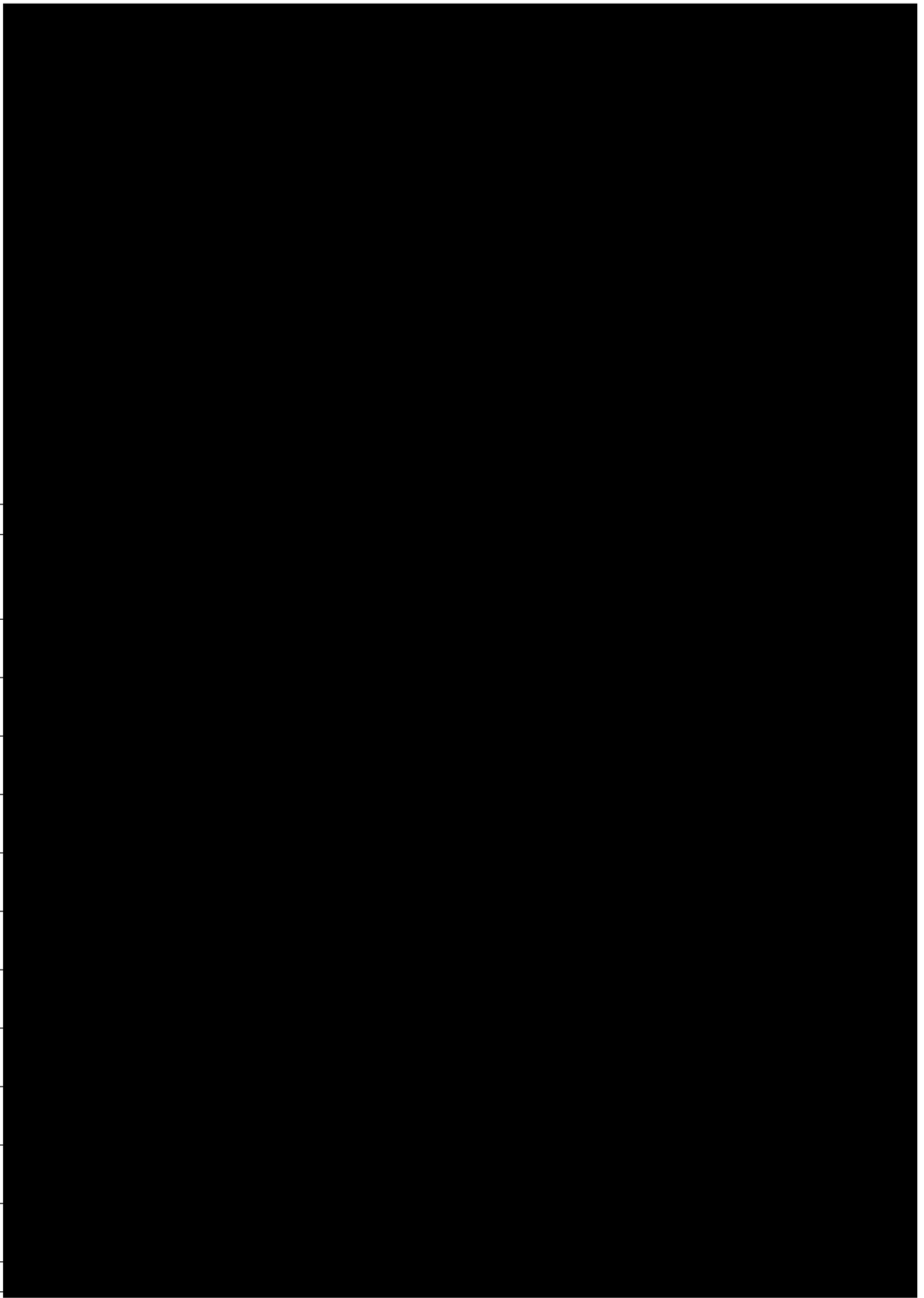
3	<p>老镇区及规划新区排水应全部实行雨污分流。应尽快建设望塘污水处理厂及污水管网工程。老镇区及规划新城区内工业废水和生活污水预处理达到城镇污水处理厂接管标准后，通过健全的污水管网进入望塘污水处理厂或卧龙山污水处理厂深度处理，出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准及主要污染物的提标标准后排放。</p>	<p>岗集镇老镇区及规划新城区目前基础设施已建成运行，雨污水管网已铺设完毕，项目产生的生活污水经化粪池处理后，达到望塘污水处理厂接管要求，由市政污水管网接入望塘污水处理厂进一步处理后外排。</p>	符合
4	<p>禁止引进化工、造纸等高耗能高污染行业以及违反国家产业政策的建设项目，禁止引进污染重、清洁生产水平低下的企业，禁止高耗水以及对水体污染严重、废气排放量大的项目进入。同时严控镇域农业面源污染。</p>	<p>根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类，不属于限制类和淘汰类的范畴，符合国家法律法规和政策规定。同时本项目不属于高耗能、高污染项目，项目非放射性废气排放量少，废水接入市政污水管网，对水体污染较小。</p>	符合
5	<p>所有建设项目必须严格执行国家《环评法》规定，履行环评审批手续，杜绝未批先建等环境违法行为。要求引进企业均建立健全环境管理机构，完善环境管理制度，实行清洁生产。限期搬迁或关闭区域内不符合产业定位的污染项目。</p>	<p>本项目为新建项目，依据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）中划分要求编制此报告书，不存在未批先建等违法行为。</p>	符合

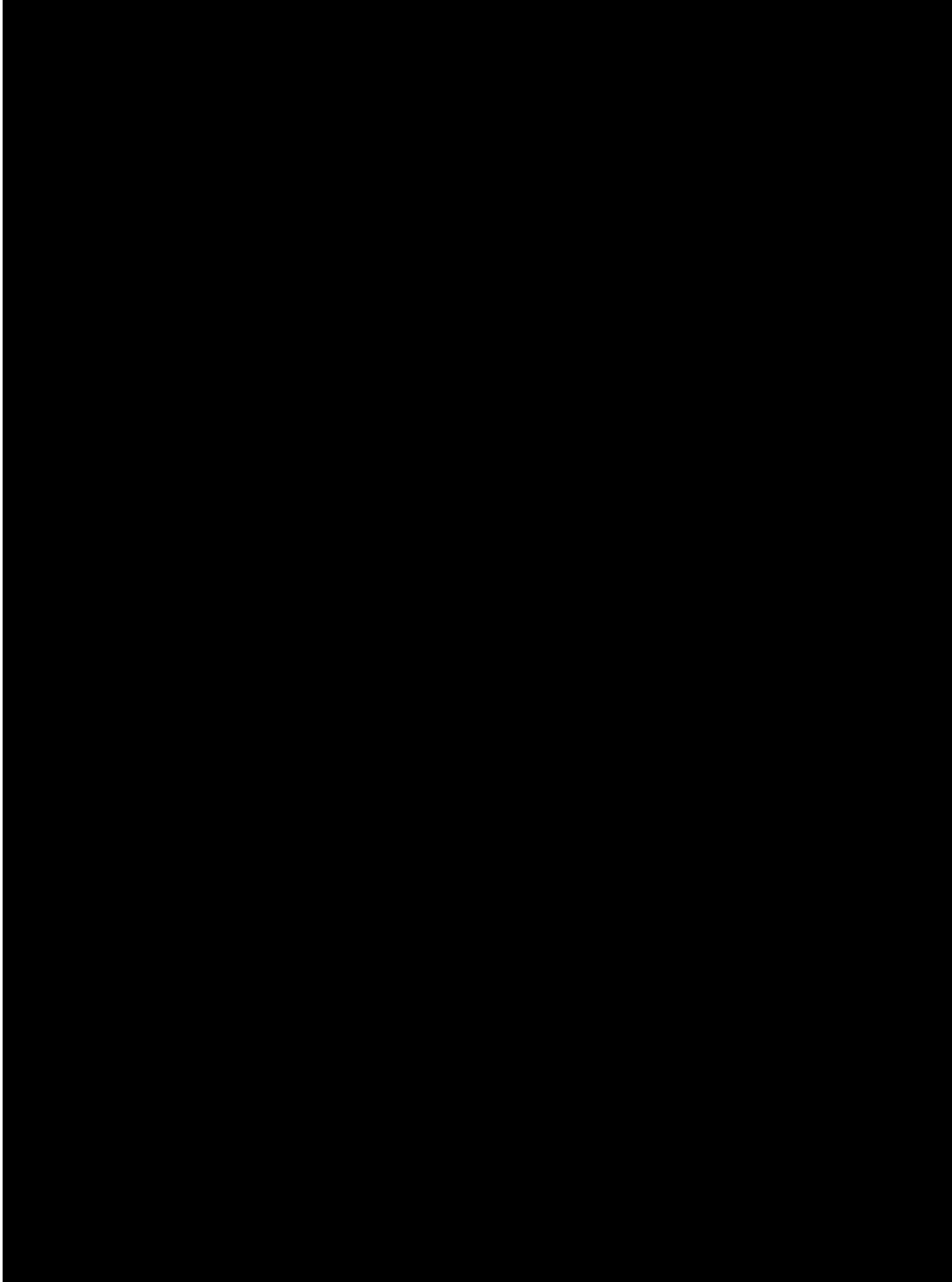
由上表可知，本项目的建设符合《长丰县岗集镇总体规划（2010—2030年）环境影响报告书》及其审查意见相关要求。

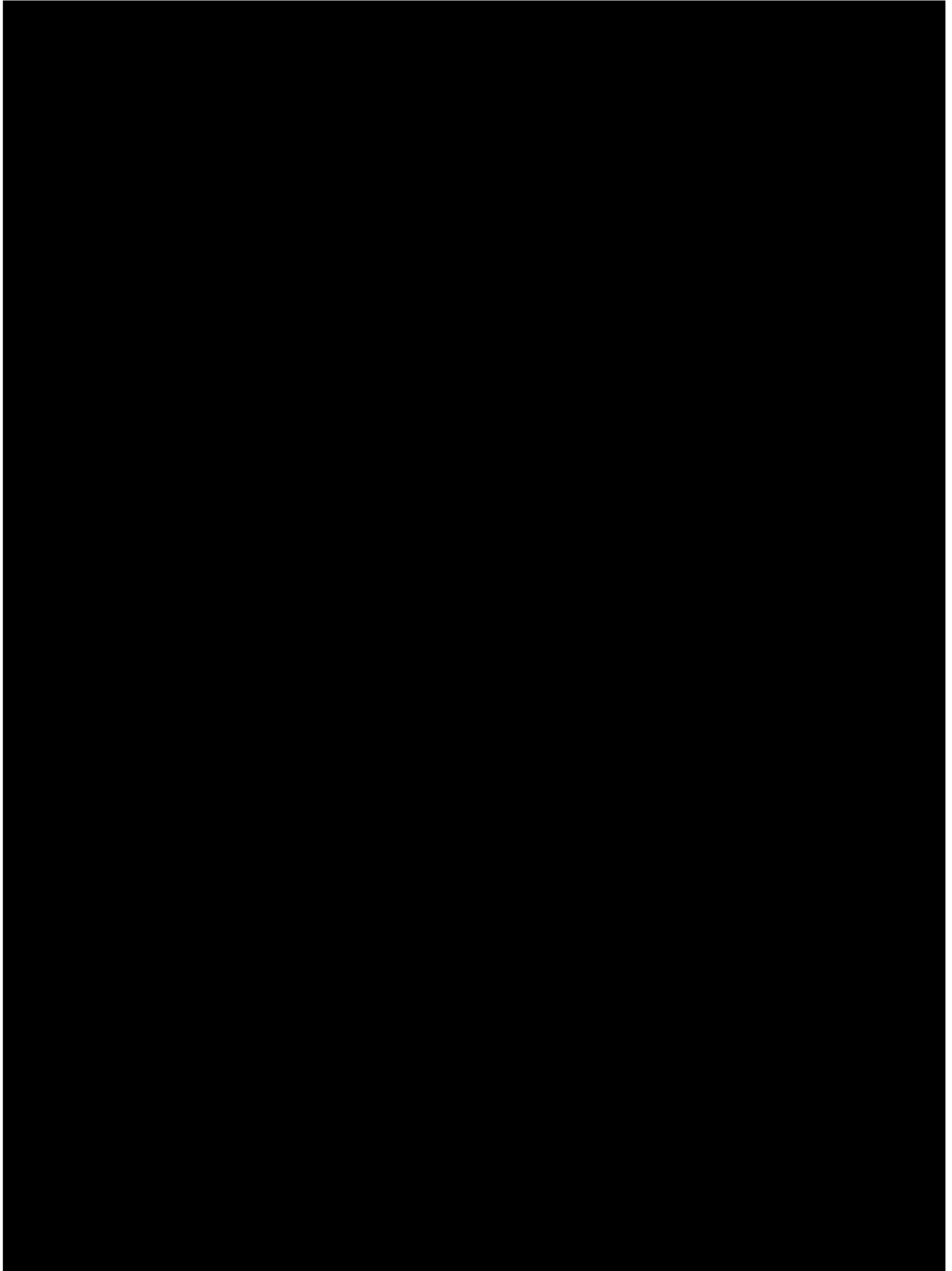
1.2.8 现有核技术利用情况及辐射安全管理现状

1.2.8.1 核技术利用现状



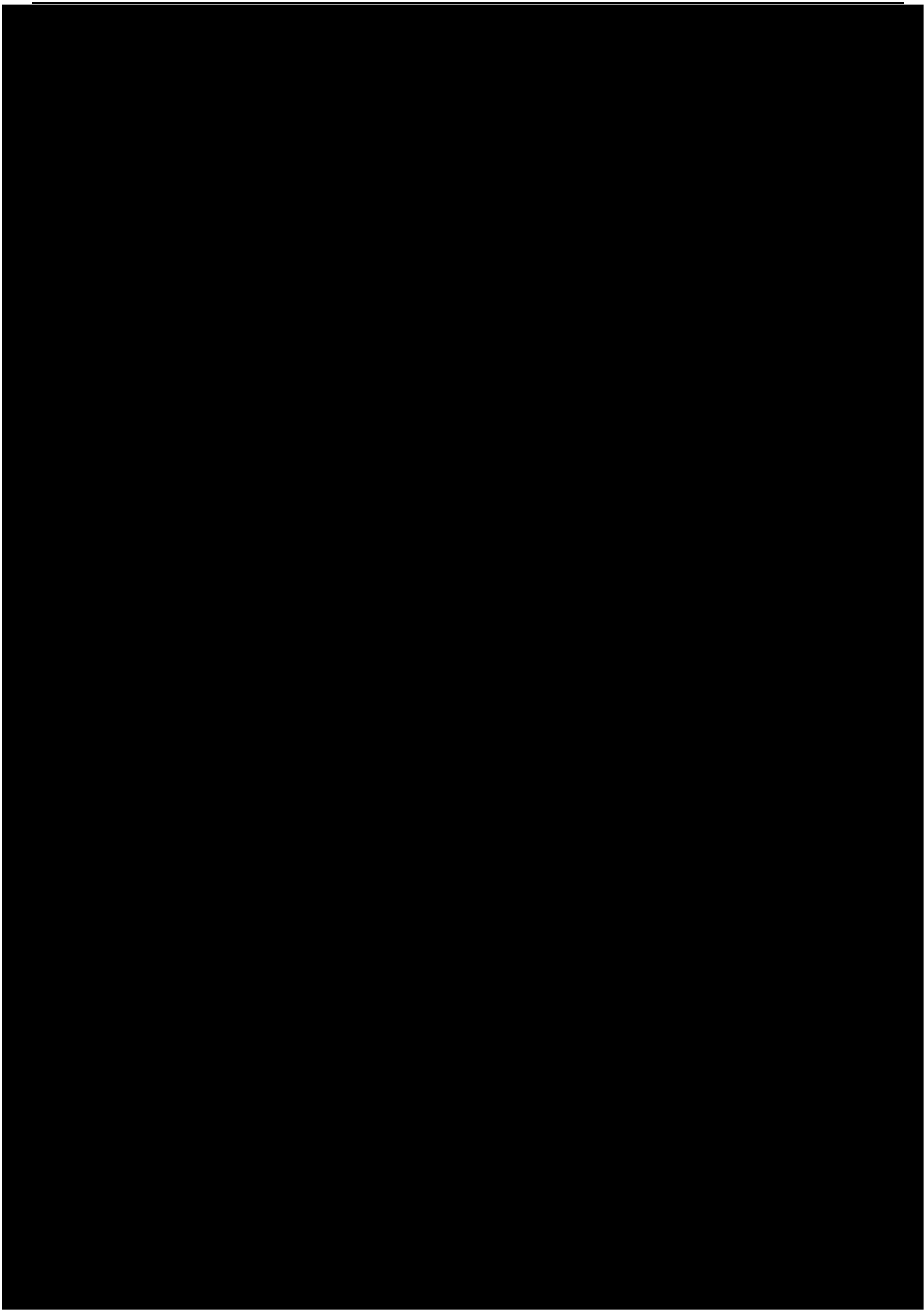


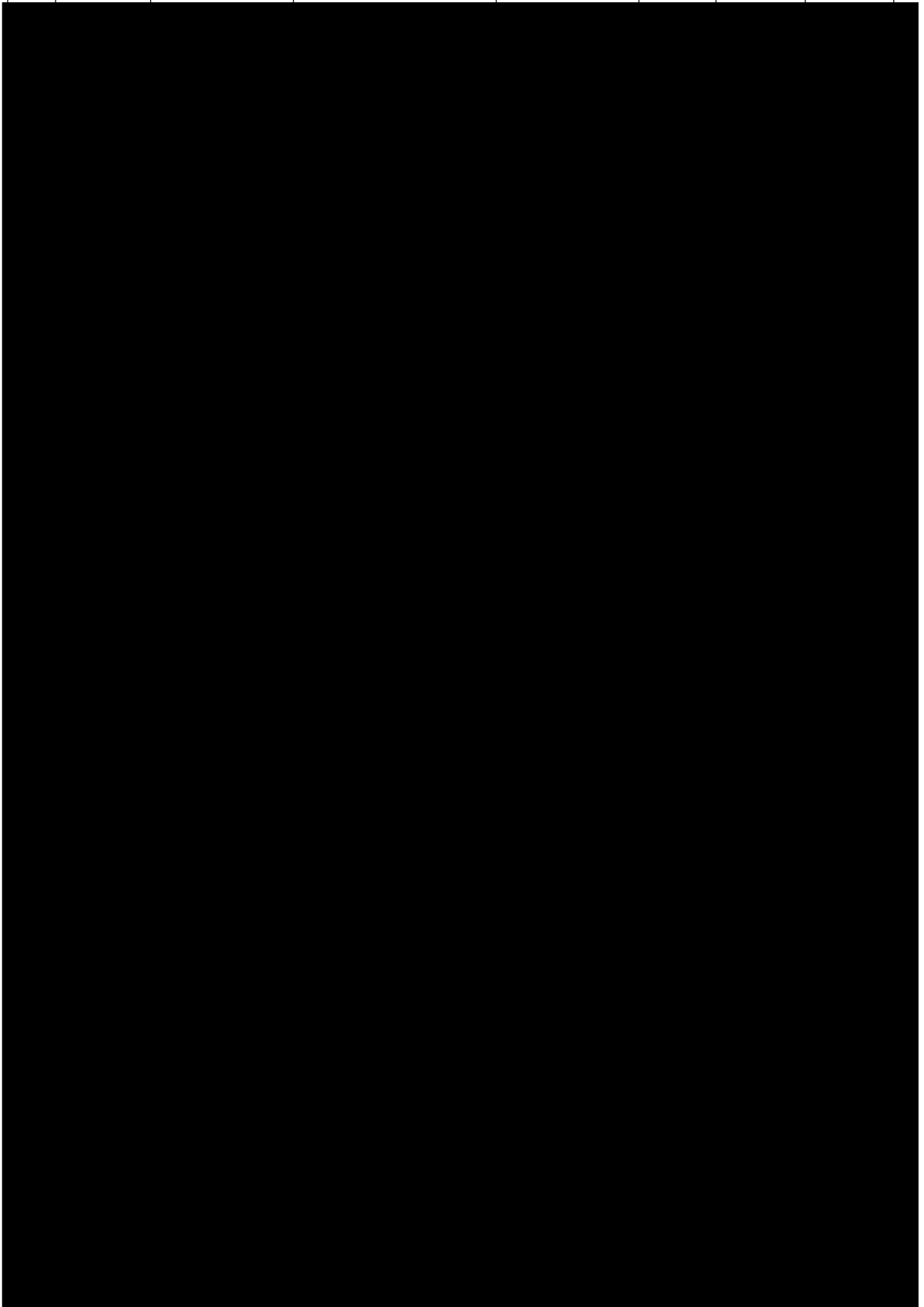


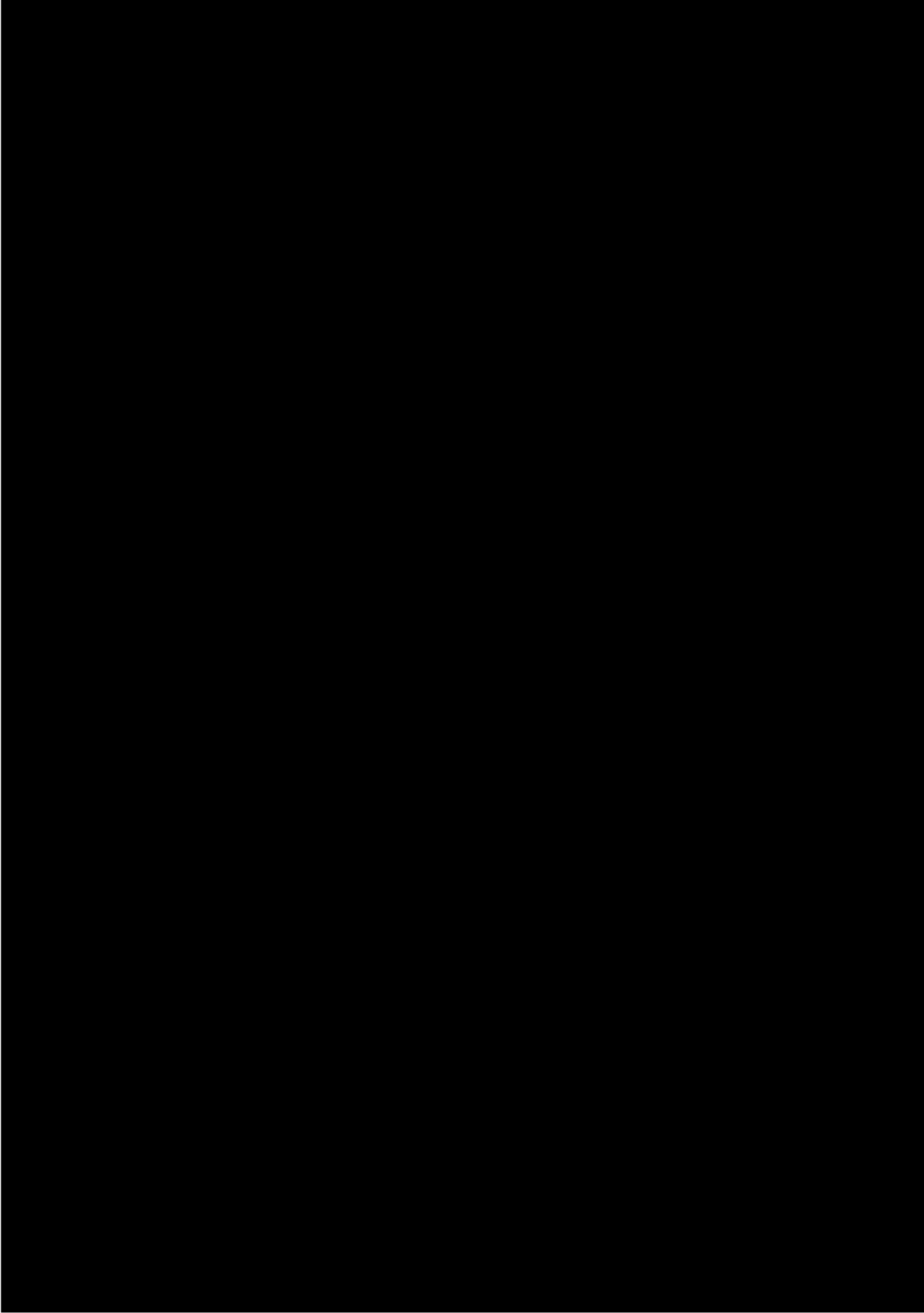


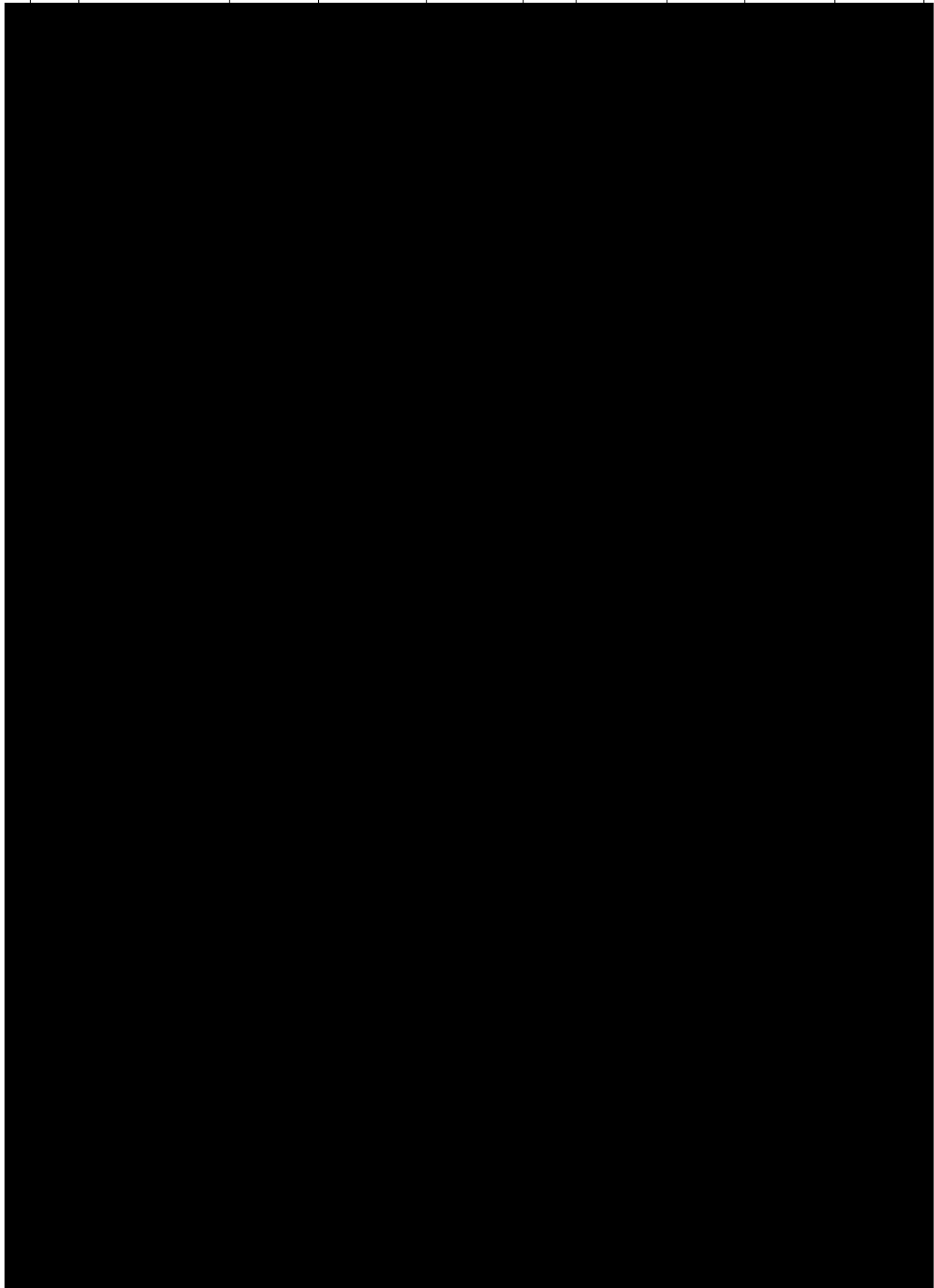
合肥先进光源项目储存环及线站变更

			0601		472145					应里

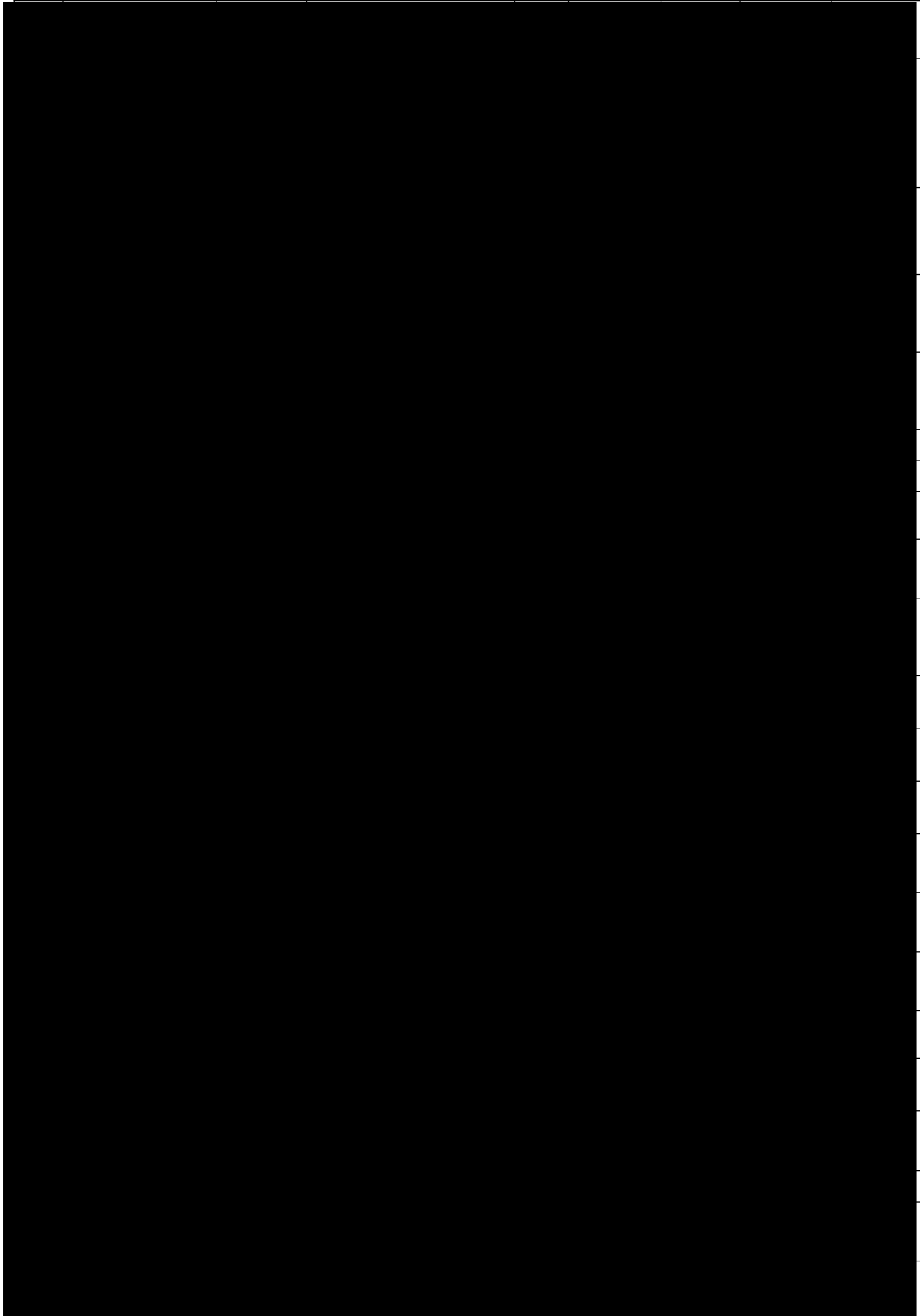








合肥先进光源项目储存环及线站变更



合肥先进光源项目储存环及线站变更

综上可知，中国科学技术大学现有核技术利用项目均完成了环境影响评价、辐射安全许可证的重新申领工作，学校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。

1.2.8.2 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1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 1.2-7。

表 1.2-7 中国科学技术大学历年来重点项目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	环保验收时间及文号	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	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	/
4	合肥光源储存环束流提升	皖环函（2024）	2025年7月完成了自主验收	/

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	及新增线站项目	790号		
5	合肥先进光源项目	皖环函〔2023〕 111号	/	建设中
6	合肥先进光源配套工程项目	皖环函〔2023〕 846号	原计划于加速器测试大厅开展预注入器安装及束流调试工作，但最终取消了120MeV电子直线加速器的实施，仅保留加速器测试大厅内的加速管老炼平台（老炼的加速管加速电子最大能量为60MeV）	加速管老炼平台已取证、于2026年1月通过了自主验收，于2026年3月经检测无污染后完成退役
7	合肥先进光源注入器变更	皖环函〔2026〕 93号		注入器变更环评
8	超级陶璨装置关键技术攻关项目束流测试平台（STCF-BTP）	皖环函〔2026〕 130号		利用合肥先进光源配套工程已建加速器测试大厅，项目目前正在建设中

1.3 编制依据

1.3.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国生态环境法典》2026年8月15日施行；
- (2) 《中华人民共和国环境保护法》2015年1月1日起施行；
- (3) 《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；
- (4) 《中华人民共和国原子能法》2026年1月15日实施；
- (5) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003年10月1日起施行；

合肥先进光源项目储存环及线站变更

(6) 《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；

(7) 《中华人民共和国水污染防治法》2018年1月1日起施行；

(8) 《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；

(9) 《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）；

(10) 《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；

(11) 《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；

(12) 《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；

(13) 《生态环境监测条例》（国务院令第820号，2026年1月1日起施行）；

(14) 《安徽省环境保护条例》，2024年11月22日安徽省第十四届人民代表大会常务委员会第十二次会议修正；

(15) 安徽省生态环境厅关于印发《安徽省生态环境分区管控管理实施细则》的通知，安徽省生态环境厅文件，皖环发[2026]1号。

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) 《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313号，2025年8月29日）；

(3) 《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号第四次修订，2021年1月4日施行；

(4) 《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；

(5) 《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；

合肥先进光源项目储存环及线站变更

(6) 《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；

(7) 《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；

(8) 《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；

(9) 《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）；

(10) 《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；

(11) 《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；

(12) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》国家发展改革委令第7号，2024年2月1日起施行；

(13) 《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) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；

(5) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；

(6) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；

(7) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-2025）；

(8) 《电离辐射工作场所监测的一般规定》（EJ 381-1989）；

(9) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；

(10) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ 128-2019）；

合肥先进光源项目储存环及线站变更

- (11) 《职业性内照射个人监测规范》（GBZ 129-2016）；
- (12) 《环境空气质量标准》（GB3095-2026）；
- (13) 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）；
- (14) 《放射性废物管理规定》（GB 14500-2002）；
- (15) 《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）；
- (16) 《核技术利用单位自行监测技术规范》（DB34/T 4571-2023）。

1.3.4项目相关文件

- (1) 建设项目环境影响评价委托书及建设单位提供的项目相关基础资料；
- (2) 《合肥先进光源项目环境影响报告书》及批复（编制单位：中国原子能科学研究院，2023年2月，皖环函〔2023〕111号）；
- (3) 《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》及批复（编制单位：中国原子能科学研究院，2026年2月，皖环函〔2026〕93号）；
- (4) 辐射安全许可证；
- (5) 2025年度辐射安全年度评估报告；
- (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；
- (7) 辐射安全与防护管理机构及管理制度；
- (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情况汇报。

1.3.5参考文献

- (1) NCRP Report No.144. 《Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities》；
- (2) IAEA No.19.《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;

- (5) 《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；
- (6) 《辐射防护导论》原子能出版社，方杰主编；
- (7) 《加速器保健物理》（H.W.帕特森，R.H.托马斯）；
- (8) 《实用辐射安全手册》原子能出版社，丛慧玲主编；
- (9) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB5172-1985）；
- (10) 《外照射放射防护剂量转换系数标准》（WS/T 830-2024）；
- (11) 《2024中国生态环境状况公报》生态环境部，2025年6月发布
- (12) 《2024年安徽省生态环境状况公报》安徽省生态环境厅，2025年6月发布。

1.4 评价重点

本次评价是在已批复的《合肥先进光源项目环境影响报告书》基础上针对储存环及线站的变更环评，因此，此次评价重点为HALF储存环及光束线站的辐射安全与防护措施评价，以及感生放射性的影响，辐射工作人员和公众所受附加剂量评价。

由于项目基础结构等的建设已基本完成，故不再进行建设期环境影响评价；非放射性影响已在原报告书中进行了详细分析、预测和评价，本次变更不改变非放射性污染源项，故本次评价不再对噪声、废气、废水及一般固废进行评价及预测，仅关注辐射区产生的臭氧、氮氧化物产生量及其处置措施。

1.5 评价标准

1.5.1 剂量限值和剂量约束值

根据《合肥先进光源项目环境影响报告书》及《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》，本次评价不改变原项目执行的剂量限值和剂量约束值：

① 剂量限值

(1) 职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：1) 审管部门决定连续5年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；2) 任何一年中的有效剂量，50mSv。

(2) 公众照射

合肥先进光源项目储存环及线站变更

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：1) 年有效剂量，1mSv；2) 特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv。

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。

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/剂量控制水平按照表1.5-1执行。

表 1.5-1 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 ^{b)}	
			正常工况	事故工况
HALF 注入器隧道、储存环隧道	四周屏蔽体、顶板 及门外 30cm 等人员 可达处	居留因子 T>1/2	≤2.5μSv/h	≤1mSv/次
		居留因子 T≤1/2	≤10μSv/h	
	人员不可达处		≤100μSv/h	
	屏蔽体与土壤交界处 ^{a)}		≤5mSv/h	
线站防护棚屋	线站防护棚屋的四周外		≤2.5μSv/h	
	线站防护棚屋顶板外		≤10μSv/h	

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

b) 对于出束时间占装置总运行时间比例较少的工况，如储存环的“首次注入”工况，将按照单次累积剂量限值 14μSv/次作为该工况的剂量控制要求。计算过程如下：“首次注入”模式下，储存环没有束流，为了快速使储存环达到 350mA 的供束流强，以 0.95nC-10Hz、50%注入效率进行大流强注入，需要的注入时间为 118s；根据同类型装置的运行经验，平均无故障时间为 100 小时左右，即运行 100 小时丢束一次，需要从 0 到 350mA 重新大流强注入一次。从辐射防护最优化的角度考虑，由于首次注入模式占总运行时间较少，保守假设 HALF 每年运行 7200 小时，则保守估计全年大流强注入的总次数为 72 次，按全年 72 次、1mSv/年，导出单次剂量限值为 1mSv/年÷72 次/年=0.014mSv/次，即 14μSv/次。

1.5.2 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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

入流量大于10倍排放量的普通下水道，并应对每次排放做好记录：

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。

根据后文的工程分析及计算，本项目活化冷却水废水主要放射性核素排放限值详见表1.5-2。

表 1.5-2 活化冷却水主要放射性核素排放限值

核素名称	DL (mSv)	ej(Sv/Bq-1)		ALI(Bq)		ALImin (Bq)	单次排放限值 (Bq)	月排放限值 (Bq)
		吸入	食入	吸入	食入			
H-3	20	—	1.8E-11	—	1.11E+09	1.11E+09	1.11E+09	1.11E+10
Be-7	20	5.2E-11	2.8E-11	3.85E+08	7.14E+08	3.85E+08	3.85E+08	3.85E+09

注：1、高能中子与冷却水中的氧发生散裂反应，产生³H、⁷Be、¹¹C、¹³N、¹⁵O等放射性核素，上述放射性核素中，¹¹C、¹³N、¹⁵O的半衰期很短，装置停机后，这些核素将迅速衰变，浓度也会很快降低，因此，冷却水中的感生放射性核素主要考虑半衰期较长的³H、⁷Be；

2、根据GB18871-2002中B1.3.4款规定，DL为相应的职业人员的有效剂量的年剂量限值，DL取20mSv；ej的取值来自附录B3（其中Be-7吸入保守取各肺吸收类别中的最大值），ALI=DL/e_j。

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1.5-3的要求。

表 1.5-3 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

1.5.3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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

场所存在的给定核素的总活度或在实践中使用的给定核素的活度浓度不超过表A-1所给出的或审管部门所规定的豁免水平”。对于存在一种以上放射性核素的情况，仅当各放射性核素的活度或活度浓度与其相应的豁免活度或豁免活度浓度之比的小于1时，方可清洁解控。

对于超出清洁解控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）。对于放射性废物收贮、贮存间的管理，可参照《核技术利用放射性废物库运行管理技术规范》（HJ1417-2025）执行。

1.5.4非放射性环境评价标准

根据《合肥先进光源项目环境影响报告书》及《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》：本项目NO_x排放限值执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表2中的相关要求；室内臭氧、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。具体标准值见表1.5-4。

表 1.5-4 O₃和 NO_x 排放限值和室内浓度限值

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

*备注：取自 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。

1.6 评价范围和保护目标

1.6.1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”。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

HALF储存环电子最大能量为2.2GeV，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辐射影响。参照HJ10.1-2016的要求，本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，具体详见图1.6-1、图1.6-2。

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。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

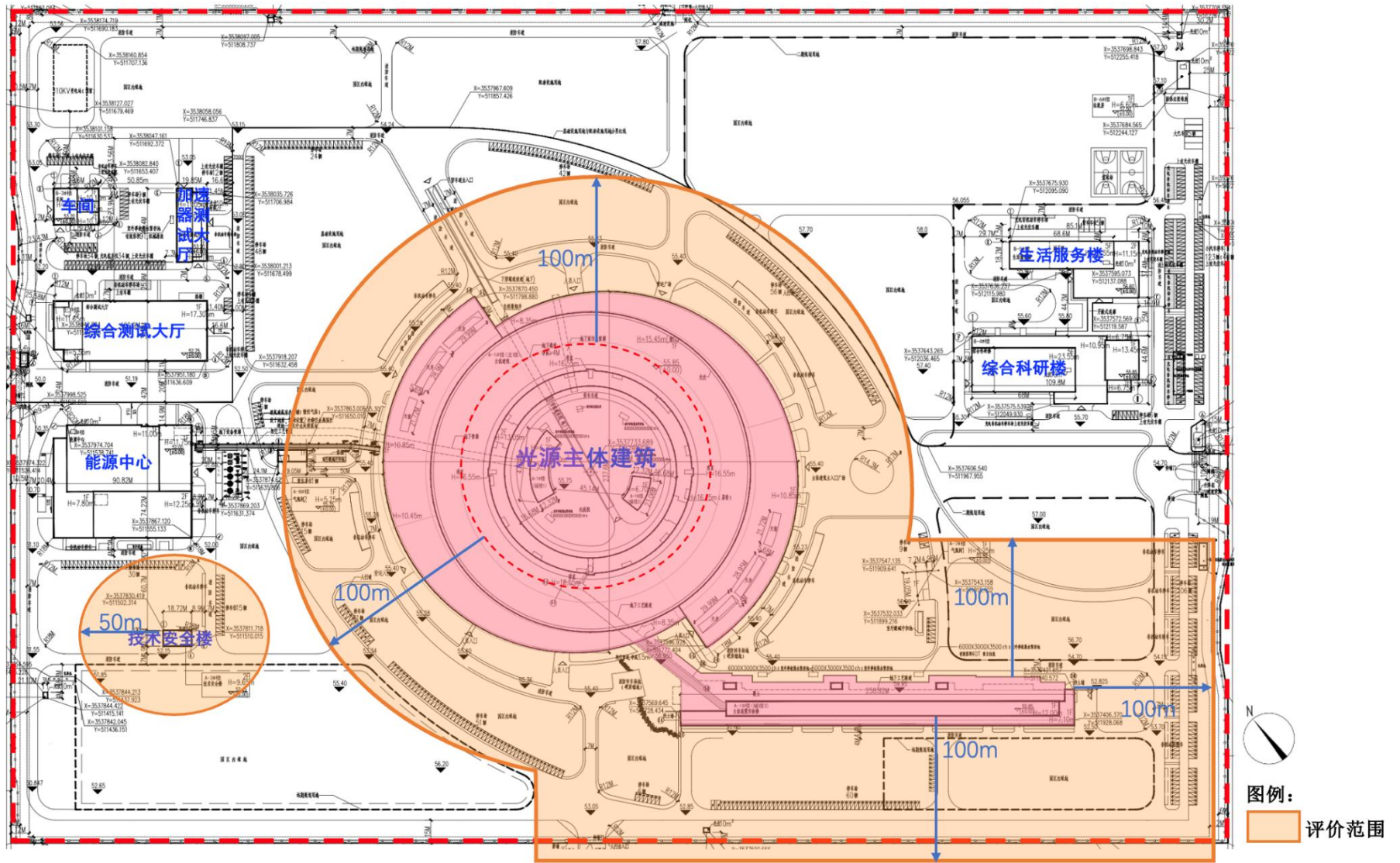


图1.6-1 HALF装置辐射环境影响评价范围及环境保护目标分布示意图（地上部分）

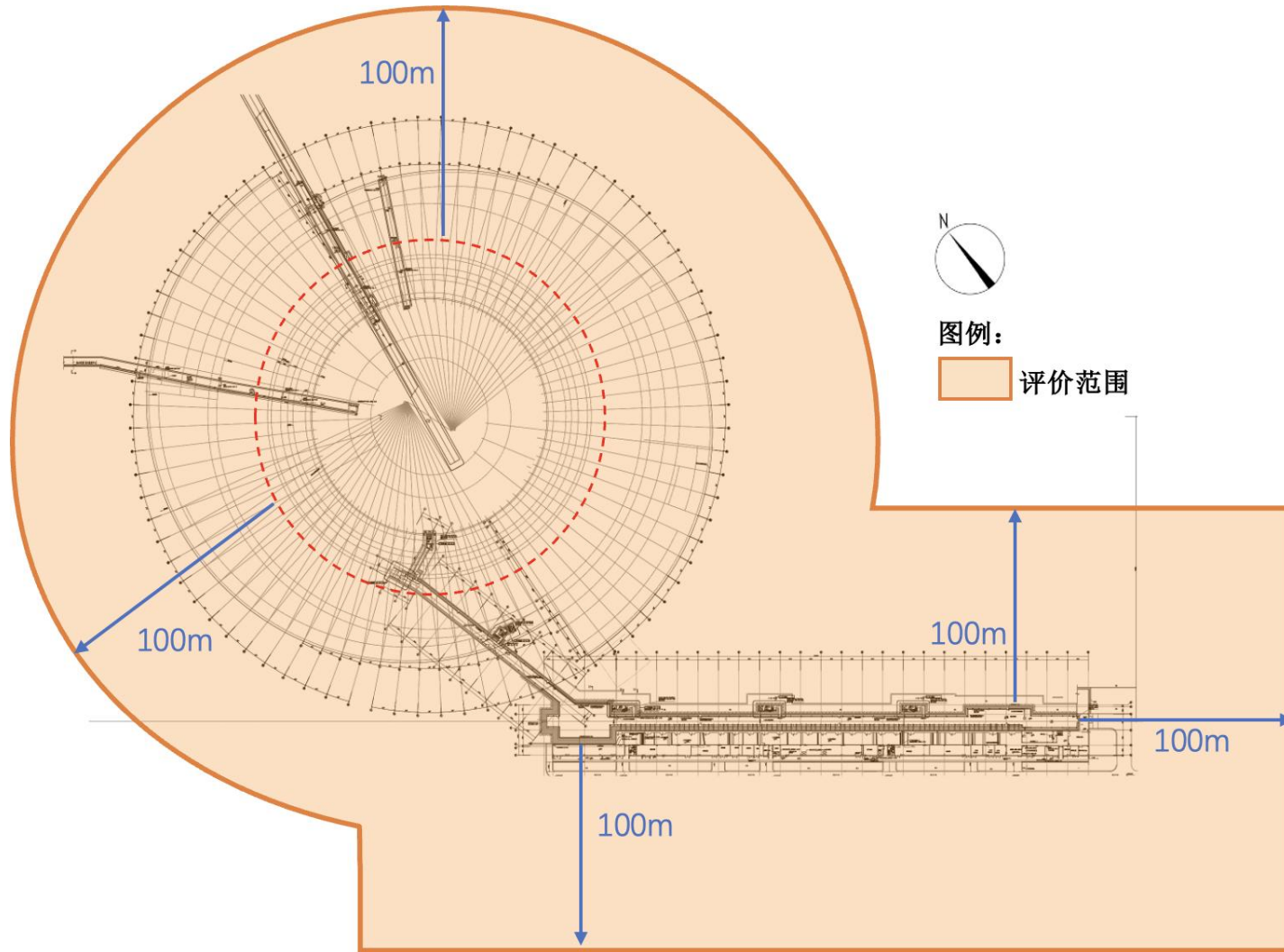


图 1.6-2 HALF 装置辐射环境影响评价范围及环境保护目标分布示意图（地下部分）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

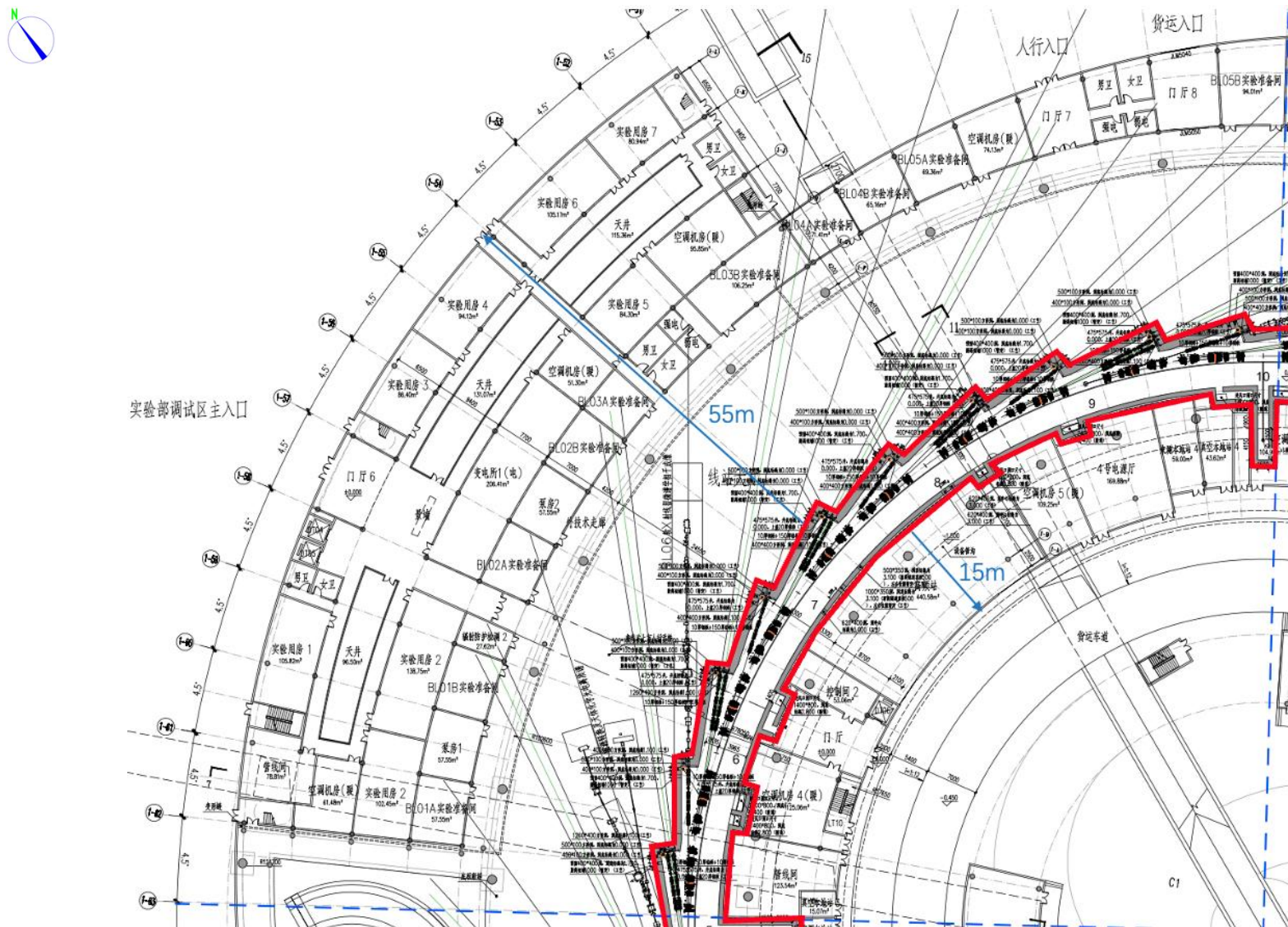


图 1.6-3 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（北侧）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

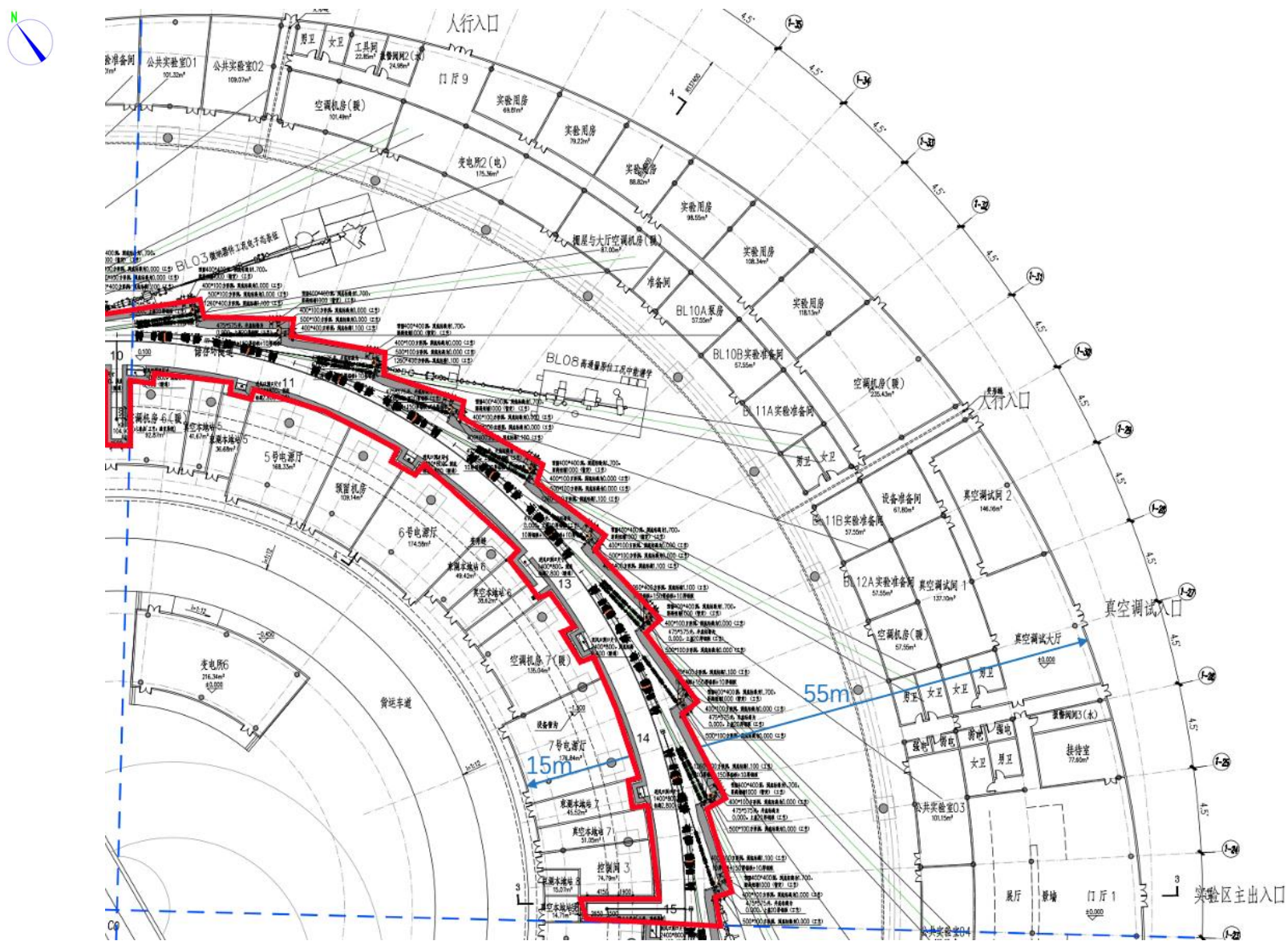


图 1.6-4 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（东侧）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

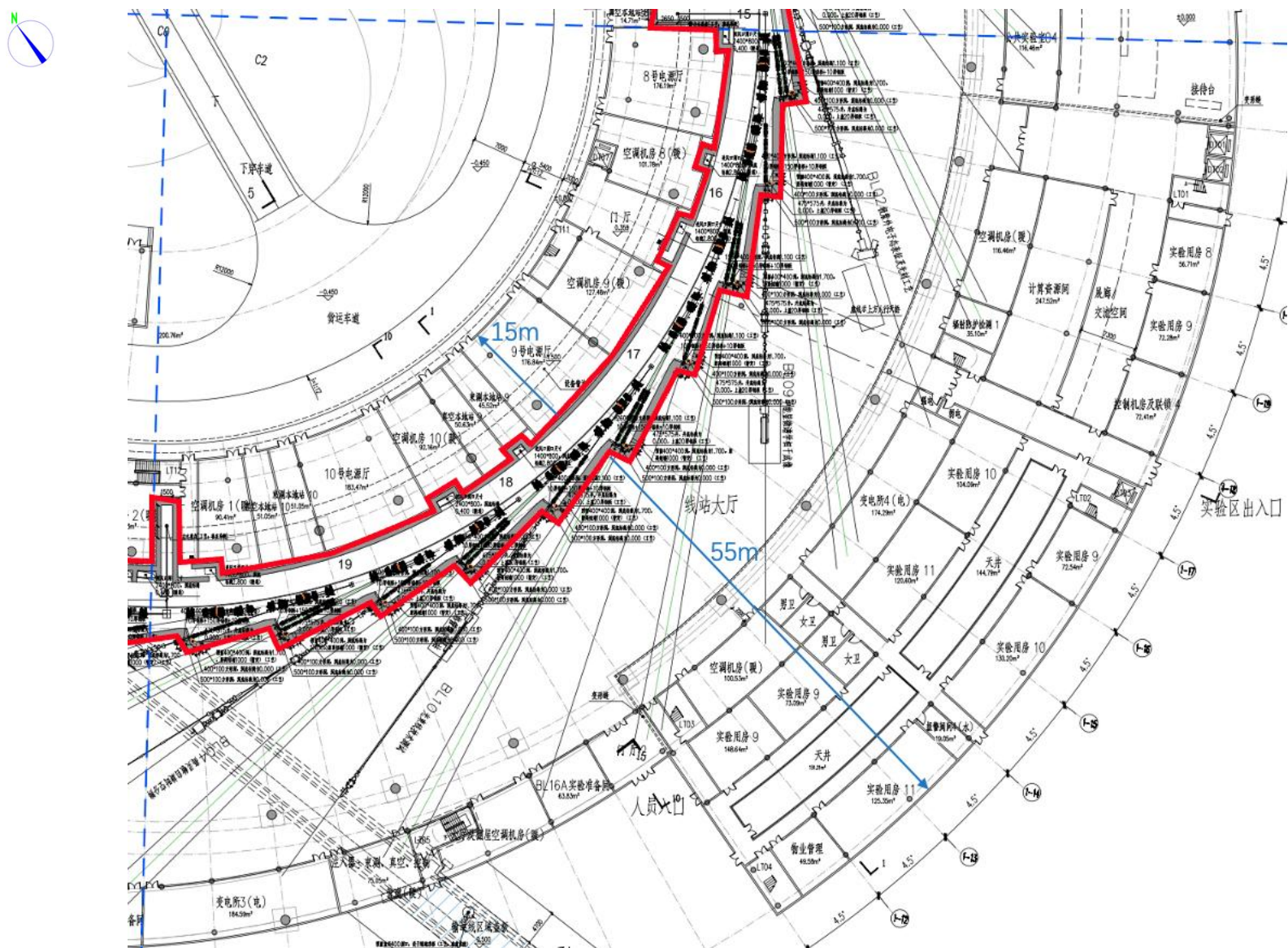


图 1.6-5 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（南侧）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

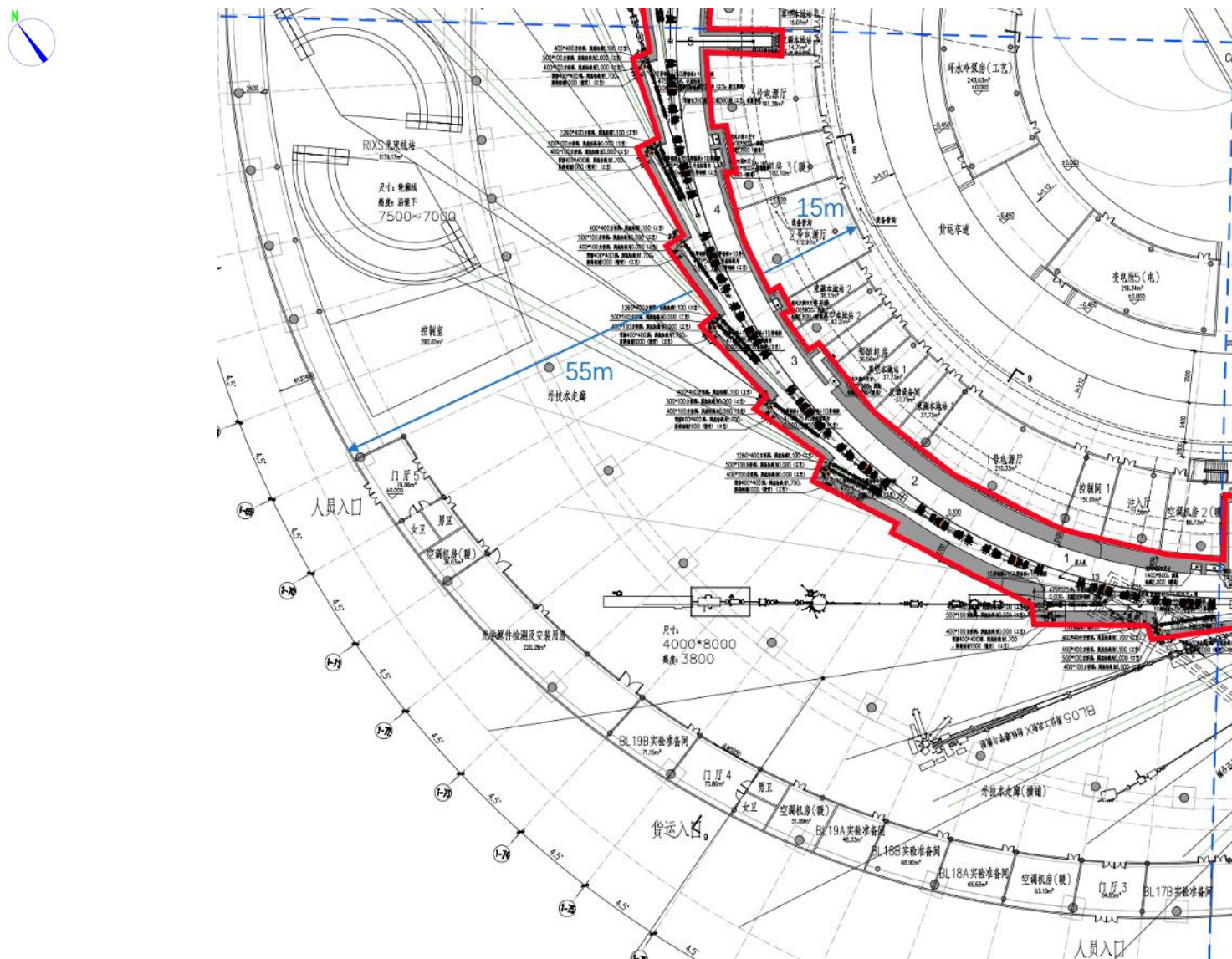


图 1.6-6 主体建筑内储存环周围环境保护目标分布图（西侧）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

1.6.2 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1.6-1。

表1.6-1 项目环境保护目标和评价因子

源项类型	评价因子	保护目标位置	保护目标性质	保护要求
贯穿辐射	中子、X-γ射线	HALF 储存环外围工作区及周围建筑物	辐射工作人员、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	储存环隧道内	辐射工作人员	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			贮存衰变, 经监测达标后排放
	活化束流管等设备部件			满足 GB11928-1989 要求, 妥善处置
非放射性废气	臭氧、氮氧化物	工作场所周围	职业人员	满足 GBZ2.1-2019 和 GB 16297-1996 表 2 中的相关要求

本项目辐射环境影响评价范围均位于合肥先进光源园区内部。保护目标以本项目辐射工作人员、用户科研人员、场所周围其他职业人员以及公众为主。

表1.6-2 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
储存环隧道及线站防护棚屋 (地上一层)	东	0~55	实验用房、实验准备间、空调机房、走廊、卫生间、真空调试大厅、展厅、出入口等	辐射工作人员、科研人员	100
		55~100	内部道路、停车场、绿化用地、气瓶间等	公众	100
	南	0~55	实验用房、实验准备间、变电所、空调机房、走廊、卫生间、物业管理、出入口等	辐射工作人员、科研人员	100
		55~100	内部道路、停车场、绿化用地等	公众	100
	西	0~55	控制室、实验用房、实验准备间、空调机房、走廊、卫生间、出入口等	辐射工作人员、科研人员	100
		55~100	内部道路、停车场、气瓶间等	公众	100

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	北	0~55	实验用房、实验准备间、空调机房、走廊、卫生间、出入口等	辐射工作人员、科研人员	100
		55~100	内部道路、绿化用地等	公众	100
	上方	/	控制间、电源厅、高频站、空调机房、管线间、走廊、人行天桥等	辐射工作人员	100
	下方	/	下穿车道、地下设备管沟、输运线坑道、土层	/	/

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。

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

合肥先进光源位于合肥市未来大科学城（长丰县岗集镇），距离新桥机场约17公里，距离中国科学技术大学西区国家同步辐射实验室约24公里，毗邻超导托卡马克、稳态强磁场实验装置、聚变堆主机关键系统等大科学装置。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，该地为烟波浩渺的海浸区，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，除郟庐（山东省郟城至安徽省庐江）深断裂通过其东部外，境内断层纵横。

岗集镇处于古老的江淮丘陵，地貌岗冲起伏，宏观地形西北高、东南低、呈现较缓的波状平原状态，地面标高一般在12~45米之间，合肥市区高程大致在10.4~43.4米，少许沿河低洼地区在8.4~10.4米。项目区域地质情况良好，土壤由耕植土、杂填土层、粉质粘土层、粘土等组成，表层为上更新冲积洪粘土，基岩为白垩纪第三系红砂岩。

区域土地利用类型：区域土地类型主要为科研用地等。

2.1.3 水文

2.1.3.1 地表水

长丰县地处丘陵地带，属淮河流域。项目所在地附近水体为南淝河和巢湖。

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

巢湖是我国五大淡水湖泊之一，属长江下游左岸水系，距合肥市约 15 平方公里。巢湖流域面积 13350 平方公里，其中巢湖闸以上 9130 平方公里，多年平均水位为 8.31m，平均水深 3.06m，水位变化幅度平均为 2.5m，水位为 7.5~7.8m 时湖泊水域面积约 760 平方公里。

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

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 $100\sim 500\text{m}^3/\text{d}$ ，局部含水砂层厚度大，含水颗粒粗的地方，大于 $500\text{m}^3/\text{d}$ 。水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 和 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 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。本区厚度一般在 $20\sim 40\text{m}$ 。地下水水位埋深一般 $5\sim 7\text{m}$ ，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 $2\sim 10\text{m}^3/\text{d}$ ，仅在局部，有良好的补给和储存条件下，水量可以达到 $30\sim 50\text{m}^3/\text{d}$ 。水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Na}$ 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相沉积的侏罗系、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、晶簇状、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 ，具有承压性质，在有利的地质构造和补给条件下，可以自流。

二、地下水补径排及动态特征

地下水的补给来源比较复杂：大气降水在山前补给区或其他出露区的直接渗入

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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渡带气候型，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。

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，无珍稀或濒危物种，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人口分布与经济发展

据长丰县人民政府资料，长丰县岗集镇位于县域最南端，与合肥主城区接壤，是安徽省经济发达镇、安徽省汽车零部件产业集群基地，也是合肥未来大科学城项目所在地。镇域面积 157 平方公里，人口 12 万人（其中户籍人口 6.8 万人），辖 13 个社区和 6 个行政村，耕地面积 8.2 万亩。

镇区距市区 5 公里、新桥机场 15 公里、高铁站 7 公里，合六叶高速、魏武路横贯东西，合淮路、地铁 S1 线纵跨南北。

镇内有 4A 级风景区中国非物质文化遗产园、鹭山湖风景区、乡村振兴岭上示范园青峰岭。区位优势、交通便捷、资源丰富、风景秀丽。

镇内现有规上企业 119 家（其中规上工业企业 72 家、规上服务业企业 9 家），国家高新技术企业 96 家。2024 年完成财政收入 10.59 亿元、规模以上工业产值 89.5

合肥先进光源项目储存环及线站变更

亿元、固定资产投资 51.41 亿元、高新技术企业产值 67.91 亿元。综合实力被评为中部百强镇、全国千强镇。

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

2.2.2 文物古迹及风景名胜

本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

HALF 项目原环评取得批复后开工建设至今，仍未完全建成，装置未出束；HALF 配套工程射线装置也未安装、出束，仅在加速器测试大厅开展了加速管老炼。因此，HALF 项目场址辐射环境质量一般不会产生明显变化，故本次评价引用原环评调查及监测结果。

2.3.1 环境天然放射性水平

2.3.1.1 天然贯穿辐射水平

根据《2021 年全国辐射环境质量报告》（生态环境部，2022 年 11 月），全国及安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果列于表 2.3-1。

表2.3-1 安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果（nGy/h）

区域	自动站数	年均值范围
全国	251	49.3~195.2
安徽	7	66.4~79.5

备注：自动测量结果包含仪器宇宙射线响应。

2.3.1.2 土壤中天然放射性水平

根据《安徽省土壤中天然放射性核素含量调查》（朱锦秋等,辐射防

合肥先进光源项目储存环及线站变更

护,1991,11(4):291-294)，将安徽省土壤中天然放射性核素含量列于表 2.3-2。

表2.3-2 安徽省土壤中天然放射性核素含量, Bq/kg

监测项目	范围	按网格点平均值
²³⁸ U	8.6~127.1	41.4
²³² Th	10.1~118.1	53.1
²²⁶ Ra	6.1~99.1	41.3
⁴⁰ K	175.7~1841.2	553.4

2.3.1.3 水体中天然放射性水平

根据《安徽省水体中天然放射性核素浓度调查》（陈淑萍等,辐射防护,1991,11(4):295-300），将安徽省水体中天然放射性核素含量列于表 2.3-3。

表2.3-3 安徽省水体中天然放射性核素含量

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

2.3.2 辐射环境现状监测

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

2.3.2.1 监测内容

参照《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021），根据本项目主要辐射污染因子的类别和特征，本次辐射环境现状调查选取的监测对象为贯穿辐射、土壤、地下

合肥先进光源项目储存环及线站变更

水和地表水。本次辐射环境现状监测对象和监测项目见表 2.3-4。

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

本项目射线装置运行期间，贯穿射线装置底板屏蔽体的次级辐射可能会引起底板周围土壤及地下水的活化，土壤活化的主要核素考虑 ^7Be 、 ^{22}Na ，地下水活化的主要核素考虑 ^3H 、 ^7Be 。因此本次辐射环境现状调查中，对项目所在地土壤、地下水及地表水中相关核素的活度浓度进行了分析。此外，考虑到总 β 能够反应某区域的总放射性水平，因此本次现状调查对土壤、地下水及地表水中总 β 的活度浓度也进行了分析。

表2.3-4 监测对象和监测项目

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

2.3.2.2 监测设备

表2.3-5 仪器设备及型号

仪器名称	型号	仪器编号	设备检定信息及技术指标
环境级 X- γ 剂量率仪	FH40G-L10+ FHZ672E-10	ACTC-SB -219	不确定度：6.5% (k=2) 检定单位：华东国家计量测试中心 证书编号：2021H21-20-3438489001 有效期限：2021.07.29-2022.07.28 能量响应范围：40keV-4.4MeV
中子周围剂量当量仪	FH40G-X+F HT 762 Wendi-2	ACTC-SB -229	不确定度：4.7% (k=1) 检定单位：中国计量科学研究院 证书编号：DLjs2021-11254 有效期限：2021.07.29-2022.07.28 能量响应范围：0.025eV-5GeV

合肥先进光源项目储存环及线站变更

低本底 α/β 测量仪	LB-4	038	<p>本底计数率: $\alpha \leq 0.017 \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$, $\beta \leq 0.5 \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$</p> <p>效率: $\alpha \geq 65\%$, $\beta \geq 35\%$</p> <p>重复性: $\alpha \leq 2.5\%$, $\beta \leq 3.5\%$</p> <p>串道比: $\alpha \leq 3\%$, $\beta \leq 1\%$</p> <p>检定单位: 中国计量科学研究院</p> <p>证书编号: DLhd2021-12199</p> <p>有效期限: 2021.05.30 -2023.05.29</p>
高纯锗 γ 能谱仪	BE3830P	13490	<p>分辨力: $\leq 2.5 \text{keV}$</p> <p>短期稳定性: $\leq 0.05\%$</p> <p>活度: $\leq 7.5\%$ ($k=3$)</p> <p>检定单位: 国防科技工业电离辐射一级计量站</p> <p>证书编号: GFJGJL1005210002635</p> <p>有效期限: 2021.05.27 -2024.04.15</p>
超低本底液闪谱仪	Quantulus 1220	2200266	<p>重复性: 0.4%</p> <p>短期稳定性: 0.1%</p> <p>活度测量相对误差: $\pm 10\%$</p> <p>检定单位: 国防科技工业电离辐射一级计量站</p> <p>证书编号: JZ-A14-201106A501</p> <p>有效期限: 2020.11.06 -2022.06.21</p>

2.3.2.3 监测方法

表 2.3-6 监测方法

序号	监测对象	监测方法	标准依据
1	γ 辐射剂量率、中子周围剂量当量率	采用便携式监测仪表, 以定点的测量方式进行。监测时, 每点测量 10 次, 取平均值。	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021)
2	土壤	分别在指定的点位采集地表土, 除去石块、草根等杂物, 将采集到的样品现场混合后取 1kg。地表土样品送实验室预处理后采用高纯锗 γ 能谱仪及低本底 α 、 β 测量仪进行测量。	《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》(GB/T11713-2015)
3	水样	在项目所在地取水样, 在实验室处理	HJ 1126-2020 《水中氚的分析方

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	<p>后，采用低本底α、β测量仪进行总β活度浓度测量，^7Be等核素采用高纯锗γ能谱仪进行活度浓度测量。^3H采用8ml样品+12ml闪烁液直接测量。</p>	<p>法》； HJ 899-2017《水质 总β放射性的测定 厚源法》； GB/T 16140-2018《水中放射性核素的γ能谱分析方法》； GB/T 11713-2015《高纯锗γ能谱分析通用方法》。</p>
--	---	--

2.3.2.4 监测点位

监测取样点位详见图 2.3-1、图 2.3-2。

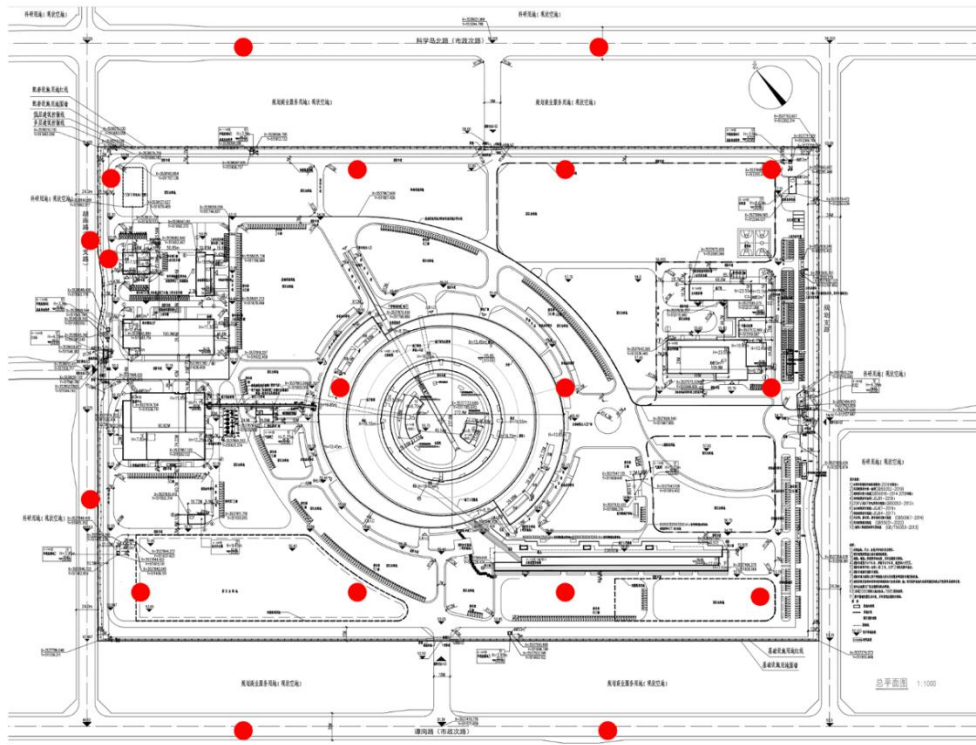


图2.3-1 拟建场址内部外照射剂量率监测点位图

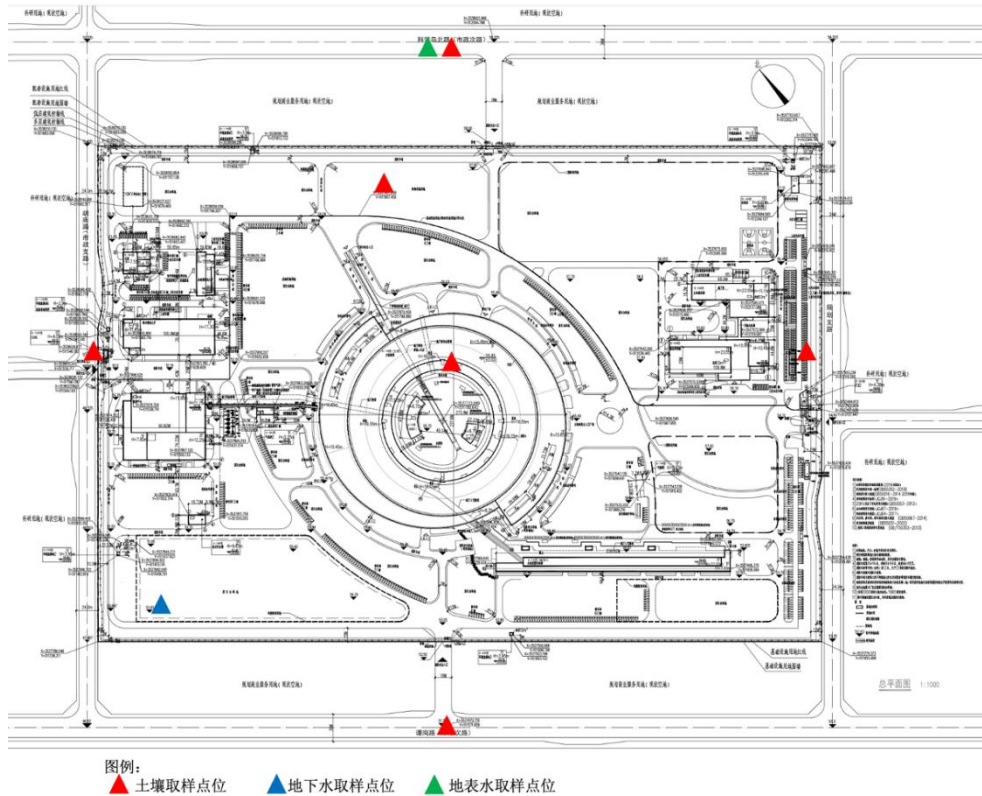


图2.3-2 土壤、地下水及地表水取样点位图

2.3.2.5 质量保证措施

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

2.3.2.6 监测结果与评价

(1) 外照射剂量率

本项目拟建场址及周围环境 γ 辐射剂量率和中子周围剂量当量率监测结果见表2.3-7。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

表2.3-7 本项目拟建场址及周边 γ 辐射剂量率和中子周围剂量当量率监测结果

监测点位	点位描述（各监测点位均位于室外）	γ 辐射剂量率 (nGy/h)	中子周围剂量当 量率 (nSv/h)
1	项目北侧 1 号点位距地 1m 处	92.8±2.2	<LLD _n
2	项目北侧 2 号点位距地 1m 处	89.4±1.6	<LLD _n
3	项目北侧 3 号点位距地 1m 处	88.2±1.0	<LLD _n
4	项目北侧 4 号点位距地 1m 处	80.8±0.7	<LLD _n
5	项目东侧 5 号点位距地 1m 处	86.4±1.2	<LLD _n
6	项目中间 6 号点位距地 1m 处	90.0±1.3	<LLD _n
7	项目中间 7 号点位距地 1m 处	90.2±1.6	<LLD _n
8	项目西侧 8 号点位距地 1m 处	89.1±1.1	<LLD _n
9	项目南侧 9 号点位距地 1m 处	94.3±0.9	<LLD _n
10	项目南侧 10 号点位距地 1m 处	87.8±1.1	<LLD _n
11	项目南侧 11 号点位距地 1m 处	88.4±1.9	<LLD _n
12	项目南侧 12 号点位距地 1m 处	93.2±1.4	<LLD _n
13	谭岗路东侧 14 号点位距地 1m 处	91.3±0.6	<LLD _n
14	谭岗路西侧 15 号点位距地 1m 处	92.2±0.4	<LLD _n
15	胡庙路南侧 16 号点位距地 1m 处	86.5±1.5	<LLD _n
16	胡庙路北侧 16 号点位距地 1m 处	87.3±1.4	<LLD _n
17	科学岛北路西侧 17 号点位距地 1m 处	91.3±0.9	<LLD _n
18	科学岛北路东侧 18 号点位距地 1m 处	89.4±0.8	<LLD _n

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

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

对照表 2.3-1，本项目拟建场址及周围环境 γ 剂量率水平略高于 2021 年安徽省环境 γ 辐射剂量率自动监测结果，但仍处于全国环境 γ 辐射剂量率自动监测结果范围内，属于环境正常水平。

（2）土壤

拟建场址土壤样品分析测量结果见表 2.3-8。由结果可知，项目建设地点的土样中，未检出 ^7Be 、 ^{22}Na 。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

表2.3-8 土壤样品分析测量结果

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

(3) 地下水、地表水

地下水、地表水的分析测量结果见表 2.3-9。由结果可知，项目建设地点的地下水、地表水中，均未检出 ³H、⁷Be。

表2.3-9 地下水、地表水分析测量结果

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

2.3.3 小结

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

2.4 场址适宜性评价

本项目所在区域地质条件良好，没有影响射线装置安全稳定运行的颠覆性因素。结合本项目特征辐射污染因子和电离辐射环境影响评价范围，区域周边社会环境相对简单，条件较好。

环境质量和辐射现状调查结果表明，本项目场址及周围辐射环境质量良好，环境电离辐射水平均处于当地天然本底波动范围内。

综上所述，本项目场址适宜性良好。

3 工程分析与源项

3.1 项目规模与基本参数

3.1.1 项目概况

HALF园区占地面积约657亩（含主体光源基础设施及配套工程），其中主体光源项目占地约433.59亩，总建筑面积约6.8万平方米；配套工程项目占地约223亩，总建筑面积约3.1万平方米。总体布局以主体建筑为中心，其余建筑围绕主体建筑四周布置；配套工程位于园区内西北侧及东北侧，主要布置3栋工艺实验用房及综合科研楼和生活服务楼，其他地块为预留发展用地。

HALF涉及核技术利用建设内容的储存环及线站大厅位于园区中心区，注入器（含直线加速器和输运线）位于园区东南侧。

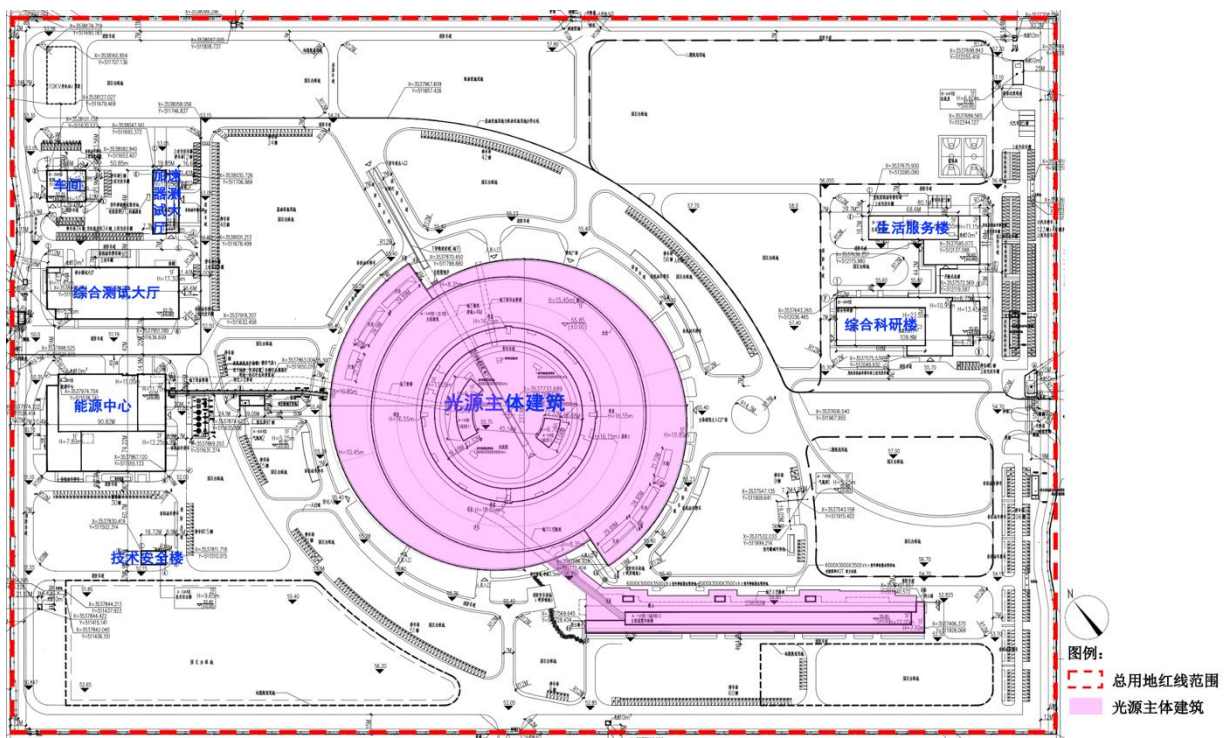


图3.1-1 合肥先进光源总体布局示意图

2023年2月1日，《合肥先进光源项目环境影响报告书》取得了安徽省生态环境厅批复（皖环函（2023）111号），项目建设规模为：拟建主体建筑包括注入器（包含直线加速器及输运线）、储存环、实验部（线站大厅）、能源中心、技术安全楼、

合肥先进光源项目储存环及线站变更

环境监测站和其他运行辅助设施。装置主体包括一台2.2GeV注入器（包含电子直线加速器及输运线）、一台2.2GeV电子储存环和12条光束线站。

2023年8月8日，《合肥先进光源配套工程项目环境影响报告书》取得了安徽省生态环境厅批复（皖环函〔2023〕846号），建设内容主要为2层综合测试大厅（B-1#）、2层加速器测试大厅（即前述B-2#加速器测试大厅）、2层车间（B-3#）、5层综合科研楼、5层生活服务楼各1栋和10kV/0.4V 变配电工程、直线加速器加速管研发平台等工艺设备平台及其他配套工程。

2026年2月4日，《合肥先进光源注入器变更环境影响报告书》取得了安徽省生态环境厅批复（皖环函〔2026〕93号），该项目主要针对注入器的辐射安全与防护措施变动重新开展评价。

合肥先进光源项目承建单位为合肥未来大科学城建设投资有限公司，建成后由中国科学技术大学使用。目前合肥先进光源主体正在建设中，尚未投入运行。

合肥先进光源项目原环评已批复的一期建设内容及规模详见下表3.1-1，其中核技术应用内容详见下表3.1-1所示。注入器变更环评未改变下表中有关注入器（直线加速器及输运线）的建筑规模及主要技术参数。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

表 3.1-1 合肥先进光源项目一期建设内容及规模

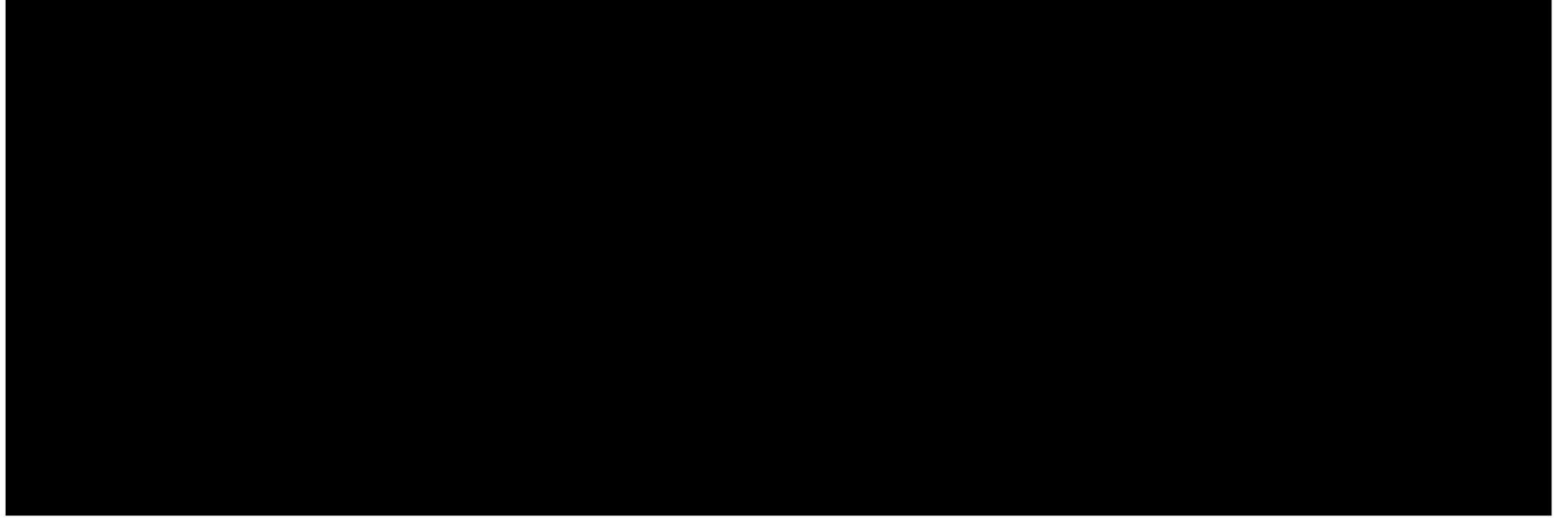
序号	建筑名称		房间名称	园区位置	建筑层数	建筑层高, m	建筑面积, m ²	
1	主体建筑	注入器	直线坑道	直线加速器坑道	东南	B1F	4.9	2906
			注入器洁净室	注入器洁净室	东南	MF	5	113
			速调管走廊	速调管走廊	东南	1F	10.7	1622
			速调管走廊耳房	电源间、控制室、准备间等	东南	1F	5.8	1415
			输运线坑道	输运线坑道	东南	B1F	5.1	712
		储存环	储存环隧道	储存环隧道	中部	1F	4.3/5.9	4390
			储存环设备厅	高频站、电源间、束测间、排烟机房、设备夹层区等	中部	2F	11.9	5776
			天桥及各层过厅	天桥及各层过厅	中部	2F	11.9	1432
		实验部	线站大厅	线站大厅	中部	1F	15.7	20040
		周边裙房	线站准备间	线站准备间、变电所、空调机房	中部	1F	11.59	5126
			中央控制室	控制机房、控制室、辐射防护检测等	中部	2F	6	803
			真空调试间	真空调试间、空调机房、真空调试门厅等	中部	1F	11.4	692
			门厅/展厅	展厅、接待室等	中部	1F	11.59	1363
			实验部调试区	实验用房、研究生机房、空调机房、变电所等	中部	2F	6	2290

合肥先进光源项目储存环及线站变更

		综合实验区	实验用房、会议	中部	2F	6	1801
	地下通道	下穿通道	下穿隧道	中部	B1	6.3	506
		设备管廊	设备管廊	中部	B1	5.9	1186
		雨污水管廊	雨污水管廊	中部	B1	4.5	264
2	能源中心（冷冻及热工、低温中心、换热站及泵房等）		低温中心、消防水泵房、冷冻机房与工艺冷却水机房、变电所、空压站等	中西	局部 2F	12.1	8520
3	技术安全楼		放射性固体废物暂存间、刻度室、检测室、源库等	中西	2F	8.6	390
4	气瓶间		气瓶间	中部	1F	/	300
5	环境监测站		环境监测站	边界	1F	/	0
6	门卫		门卫	中东	1F	/	0
地上建筑面积							62642
地下建筑面积							5665
总建筑面积							68307

表 2-1-2 合肥先进光源项目总气的站址及占地面积

合肥先进光源项目储存环及线站变更



合肥先进光源项目储存环及线站变更

3.1.2 主体建筑结构

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

3.1.2.1 储存环

(1) 储存环隧道位于线站大厅中央，工艺周长为480m，净高3.5m，储存环隧道内外墙及顶板均为混凝土墙体，其中非注入区锯齿墙长墙厚1m，短墙厚0.98m+1cm钢板+15cm Pb+1cm钢板，内墙厚0.6m，顶板厚0.8m；注入区注入点上游长墙厚1.9m，弧形墙厚2.7m，弧形墙下游长墙厚1.8m，内墙厚2.1m，顶板厚2.4m。顶盖设为可开启式以便设备安装和后期维护。

(2) 储存环设备厅位于线站大厅内圈，首层为两个货厅、设备区及内技术走廊，面积为7274 m²，层高11.59m。功能包含排烟机房、设备夹层区工艺设备用房和配套建安设备用房。

3.1.2.2 线站大厅

线站大厅位于主体建筑中心圆环区内。线站大厅为单层，层高18.4m，面积为18976m²。大厅内设有二部跨度约35m、起重量20吨的环形双梁吊车，吊车梁下距地高度9m。大厅内将有光束线沿切线方向从储存环隧道的锯齿墙引出，并在光束线的延长方向搭建实验用束线站。

大厅上空设人行天桥将储存环设备厅连接至实验部调试区及综合实验区二层。天桥在设备厅区域设两部垂直电梯。线站大厅在南北两侧分别设置人员入口和货运入口，每个入口均设有门厅。

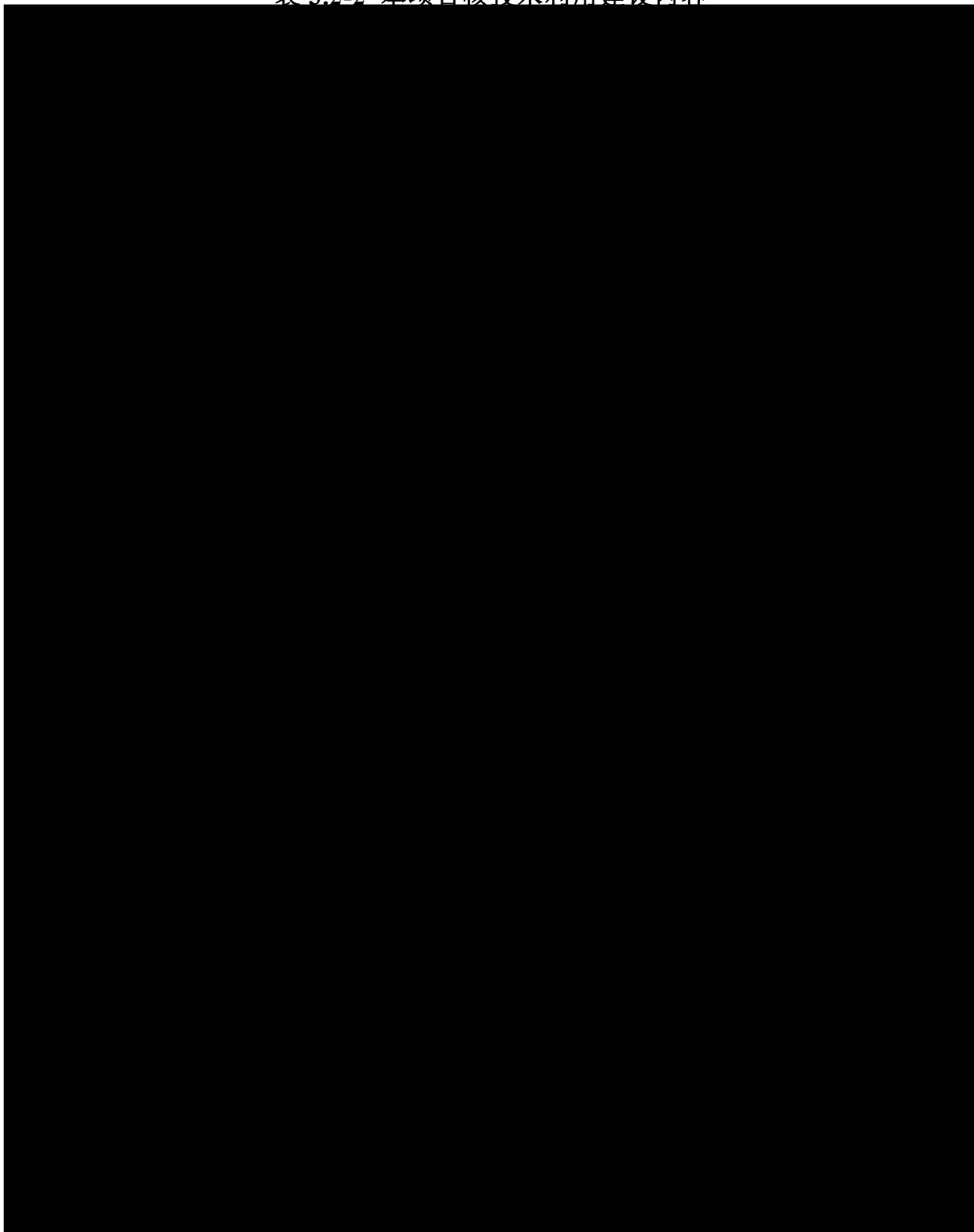
3.1.3 本次评价内容

本次环评主要针对主体建筑（储存环）与辐射防护相关洞口、预埋管的变更以及线站棚屋尺寸及屏蔽设计方案的变更（变更情况详见表 1.2-3 和表 1.2-4），重新评估储存环及光束线站的辐射影响。本次评价所涉储存环及线站，其主要技术指标

合肥先进光源项目储存环及线站变更

如表 3.2-1 所示。非辐射区域的设计布局均与原环评一致，因此，后续不再赘述与之相关的非放影响。

表 3.2-2 本项目核技术利用建设内容



3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 装置原理与主要参数

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

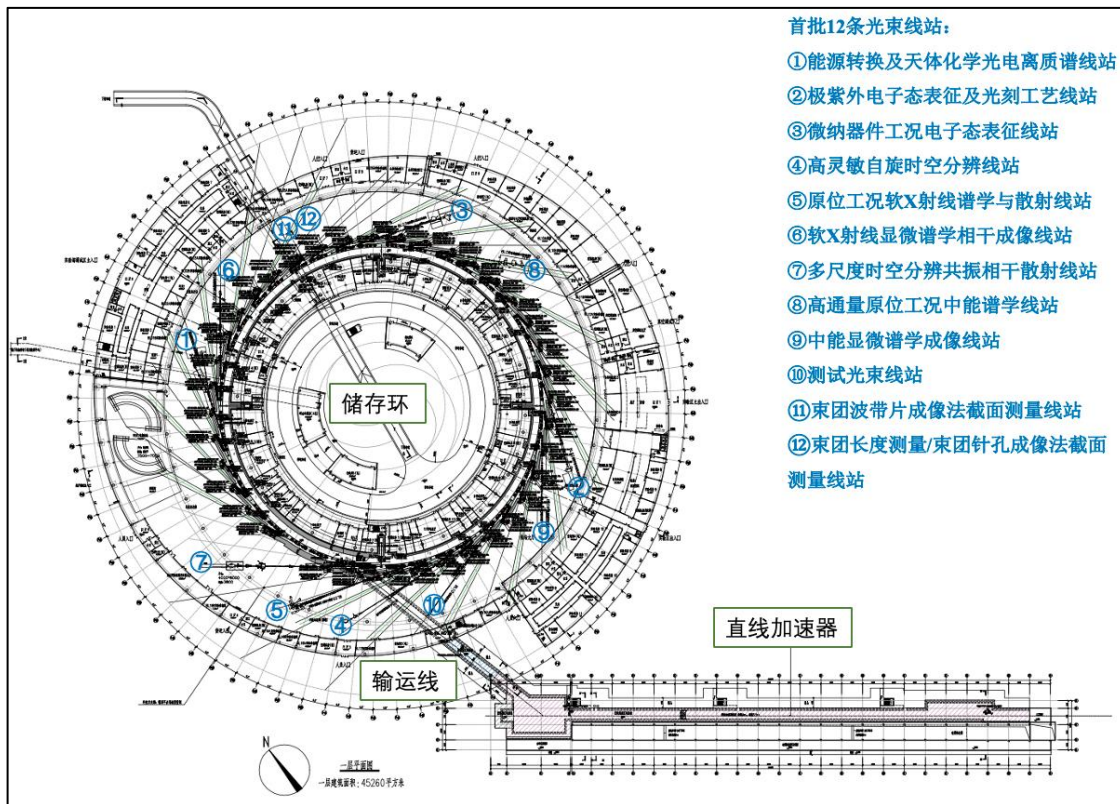


图 3.2-1 HALF 装置总体布局示意图

3.2.1.1 储存环

HALF 采用了一种 modified hybrid 6BA Lattice 结构，储存环周长约为 480m，自然发射度 $86 \text{ pm} \cdot \text{rad}$ ，最高储存流强 350mA。储存环高频系统采用 500MHz 超导高

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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

表 3.2-1 HALF 储存环主要技术参数

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

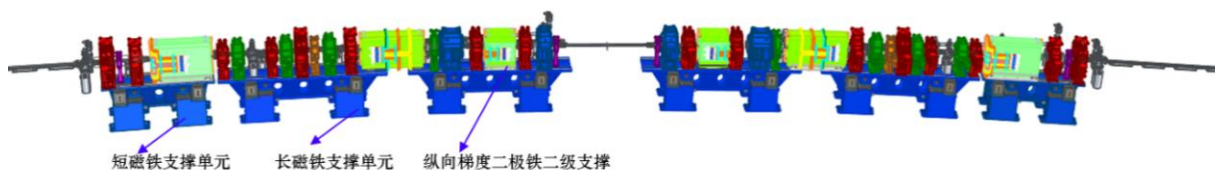


图 3.2-2 储存环一个周期设备布局图

3.2.1.2 光束线站

HALF 可建设不少于 35 条光束线，首批拟建设 12 条光束线站（9 条用户光束线站和 3 条测试线站），详见表 3.2-2。

表 3.2-2 HALF 首批 12 条光束线站情况表

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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	质谱线站			学反应机理研究	
2	极紫外电子态表征及光刻工艺线站	6-135	VUV-ARPES	新型量子材料的精细电子结构研究	高亮度、高能量分辨
3	微纳器件工况电子态表征线站	80-1000	Nano-ARPES, SX-ARPES	量子材料与原型器件的多自由度电子特性研究	高亮度、高相干性、微聚焦
4	高灵敏自旋时空分辨线站	250-2000	XMCD、XFMR、PEEM、XMLD、XAS、XLD	能源存储与转化材料的机理和产业应用研究	高亮度、微聚焦
5	原位工况软 X 射线谱学与散射射线站	180-2500	NAP-XPS, In-situ /Operando RIXS	能源/生命/轻质材料的时空与化学分辨研究	高亮度、高相干性、微聚焦
6	软 X 射线显微谱学相干成像线站	250-2500	STXM, Ptychography	量子材料和自旋电子学器件的磁性和电子特性研究	高亮度、高相干性、高能量分辨
7	多尺度时空分辨共振相干散射射线站	250-4000	RSoXS, TReXS, XPCS, Resonant XPCS, QM-REXS	能源与催化体系的原位和工况应用研究	高亮度
8	高通量原位工况中能谱学线站	2300-6500	AP-XPS, XAS, XES, TXPS	能源/器件/轻质材料的时空与化学分辨研究	高亮度, 高相干性
9	中能显微谱学成像线站	2100-6500	Ptychography, TXM	工况下能源/生物物质交叉体系化学分辨成像	高亮度, 高相干性
10	测试光束线站	250-2000	/	衍射极限光源中光束线新技术研究	高亮度, 高相干性
11	束团波带片成像法截面测量	5400-7400	FZP Imaging	高分辨率探测束流截面	高亮度, 高相干性

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	线站				
12	束团针孔成像 法截面测量线 站	10520-15000	Pinhole Imaging	测量束流截面	高亮度, 高相 干性
	束团长度测量 线站	1.6-3.3	Streak camera Imaging	测量束团长度	高亮度, 高相 干性

3.2.2 工艺流程及产污环节分析

HALF 装置的直线加速器产生最高能量为 2.2GeV 的电子束, 经运输线注入到储存环, 储存环产生的同步光经光束线引出至光束线站。在光束线站里照射样品, 开展同步辐射实验。光束线站处于实验状态时, 安全光闸打开, 允许同步光传输至光束线站; 其它状态下 (如工作人员进入放置样品等), 安全光闸落下, 阻挡同步光和韧致辐射进入实验站。用户在实验准备间内准备样品, 样品准备好后送至光束线站进行科学实验。HALF 装置的工艺流程及产污环节详见图 3.2-3。

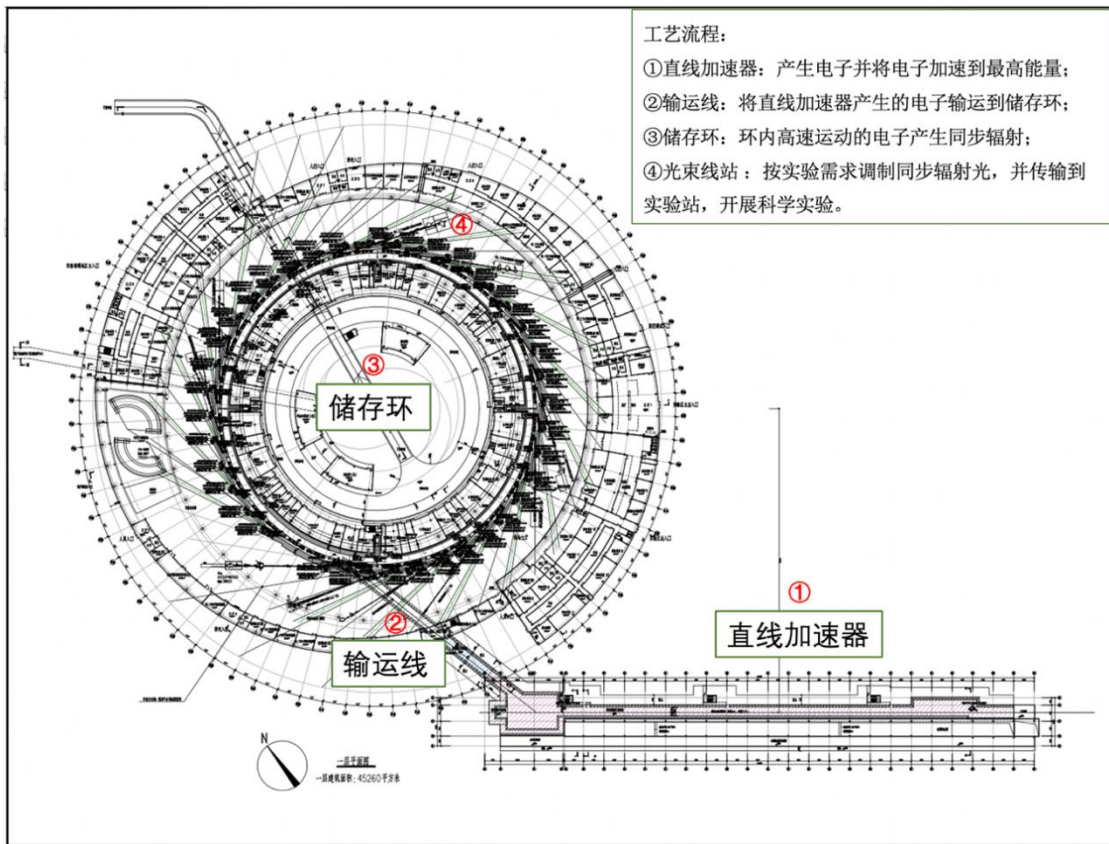


图 3.2-3 HALF 装置工艺流程图

合肥先进光源项目储存环及线站变更

3.2.3 工作负荷

(1) HALF装置出束时间

HALF 装置在调试期间及正常运行期间的出束时间详见表 3.2-3 和表 3.2-4。

表 3.2-3 HALF 装置出束时间（调试期间）

名称	调试天数，天	每天出束时间，h
直线加速器	150	10
输运线	60	10
储存环	240	24
光束线站	200	24

表 3.2-4 HALF 装置出束时间（正常运行期间）

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

(2) 工作人员工作负荷

本项目辐射工作人员的工作负荷见表 3.2-5。维护维修期间工作人员的工作时间见表 3.2-6。另外，预计 HALF 建成后首批用户 300 人次；一期 12 条线站全部建成开放后，每年预计接待用户 2000 人次，每人每次实验在光源实验大厅停留约 48 小时，最长不会超过 84 小时。

表 3.2-5 本项目辐射工作人员工作负荷情况表

岗位名称	工作地点	工作内容	人数	专/兼职
加速器安装调试	注入器隧道、储存环隧道	加速器安装调试	36	专职
加速器运行	注入器隧道、储存环隧道、中控室	加速器运行	11	专职
加速器维护维修	注入器隧道、储存环隧道、储存环设备间、注入器设备间	加速器维护维修	9	专职

合肥先进光源项目储存环及线站变更

光束线安装调试 与维护	实验大厅	光束线安装调试 与维护	43	专职
线站联锁控制与 数据处理	实验大厅	线站联锁控制与 数据处理	12	专职
辐射安全管理	办公室	辐射安全管理	1	专职
备注：工作人员的倒班模式为两班倒。				

表 3.2-6 HALF 装置维护维修期间工作人员的工作时间

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

3.3 污染源项

正常工况下，本项目的污染源包括瞬时辐射源、感生放射性污染源。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）；托歇克（Touschek效应）造成的在水平准直器和垂直准直器上的束流损失；
- (2) 整个束团突然丢失（束团100%损失）；
- (3) 储存环的点损失；
- (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（ $<1\text{keV}$ ）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 HALF 运行时需考虑的环境影响问题。

瞬发辐射会引起加速器部件的活化，还会引起束流传输隧道中空气、设备冷却

水的活化。这些气态、液态和固态放射性物质的排放会对环境的影响已在《合肥先进光源项目环境影响报告书》中进行了充分的分析和阐述，本次评价的储存环及线站变更不改变储存环电子能量及束流强度，因此，关于感生放射性的影响，不会改变原报告书结论。

γ 射线会引起加速器房间及束流传输隧道空气中分子原子的电离产生自由基，自由基的结合会产生有害物质（主要是 O_3 、 NO_x 和 HNO_3 ），《合肥先进光源项目环境影响报告书》对此也进行了详细的计算分析，本次评价的储存环及线站变更也不会改变相关源项和前述污染物的排放，不会改变原报告书结论。

因此，本次评价重点关注因储存环隧道相关洞口、预埋管的变更及线站棚屋屏蔽措施的变更导致的瞬发辐射场的影响。

3.3.1 瞬发辐射场

电子经直线加速器被加速到 2.2GeV，通过输运线注入到储存环，储存环中的电子绕环运动经过弯铁或特制的插入件，放出能量较低的同步辐射（约几百 eV~几百 keV），光束线站用不同的光学元件、光束阀等部件引出不同波长的光提供给实验站。高能电子由于磁场的作用改变方向时，产生同步辐射，这是储存环中电子损失能量的主要形式。

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。在储存环每个运行循环内的各个不同阶段，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^{-4} ），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。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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，通过对引出端采取一定的屏蔽措施，比如 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) 在光束线末端局部安装铅屏蔽吸收辐射；在采取这些措施后，光束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。

3.3.2 天空反散射

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

(1) 天空反散射计算参考NCRP-144号报告的相关内容和Stapleton公式进行计算，即采用下面的公式 (3.3-1) ~ (3.3-2) 进行计算。

$$H(r) = \frac{k'}{(h+r)^2} e^{-r/\lambda} \times Q \quad (3.3-1)$$

$$Q = \frac{d^2}{g} \cdot H(d, t) \cdot \Omega \quad (3.3-2)$$

按圆锥模型考虑，半顶角与立体角的换算公式如下： $\Omega = 2\pi(1 - \cos\theta)$

$$(3.3-3)$$

式中，各物理量含义如下：

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

$k' = 2 \times 10^{-15}$ Sv·m²/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 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； Q 为透过屏蔽墙的中子强度，n/h； d 为源到顶屏蔽外表面的距离（m）； g 为单位中子注量的剂量当量（Sv·m²）； $H(d, t)$ 为顶屏蔽外表面处的剂量率（Sv/h）；

Ω 为源从顶屏蔽辐射出的立体角，Sr； θ ：源从顶屏蔽辐射出的最大极角（°或 rad）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

(2) 由 NCRP-144 号 P322 及 Fig.6.1 的表述，高能加速器（无论电子还是质子）的天空反散射取决于中子的天空反散射，光子的天空反散射相对于中子可以忽略。

本次计算中，从保守和简化角度出发，假设储存环隧道区域的源为点源（因为没有线性和环形的天空反散射公式），顶部立体角由损失点距顶部的距离和顶部的横向宽度进行估算：储存环顶屏蔽保守采用非注入区 80cm 厚混凝土的数据，d 为 3.2m， θ 为 43.2°；输运线隧道顶屏蔽采用混凝土屏蔽，d 为 4.0m， θ 为 35.7°；储存环隧道的 E_c 取最大能量 2200MeV， $\lambda(E_c)$ 取 625.2m，g 取 $1.44E-14Sv \cdot m^2Sv \cdot m^2$ 。 $H(d,t)$ 采用 FLUKA 程序按实际结构模拟得到的顶屏蔽外表面关注点在正常运行工况下的最大值。

表 3.3-1 天空反散射各计算参数取值

源项	系数 a(m ² ·Sv)	系数 b (m)	$\lambda(E_c)$ (m)	E_c (MeV)	d (m)	g(Sv·m ²)	H(d,t)(Sv/h)	$\theta(^{\circ})$	Ω (Sr)	Q(n/h)
储存环	2E-15	40	625.2	2.20E+03	3.2	1.44E-14	1.3E-08	4.32E+01	1.70E+00	1.57E+07

计算点至源的距离 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，详见下表。保守假设 HALF 每年运行 7200 小时（300 天），即便在距离 20m 处，最大也仅有 $6.09E-05$ mSv/a，比公众管理目标值 0.1 mSv/a 小 2 个量级以上。由此可见，天空反散射造成的年剂量很小，可以忽略。

表 3.3-2 天空反散射计算结果

到源点距离 r (m)	H (r) 剂量率 (μ Sv/h)	年剂量 (mSv/a)
20	8.46E-06	6.09E-05
50	3.58E-06	2.58E-05
100	1.37E-06	9.84E-06
200	3.96E-07	2.85E-06
500	4.84E-08	3.49E-07
1000	5.87E-09	4.23E-08

3.3.3 感生放射性

加速器运行时束流损失在部件、束流管壁、屏蔽体材料等部位，产生瞬发辐射过程中，初始和次级粒子与周围设备、屏蔽体和空气、水等材料发生的核反应，会使材料内

稳定的核素转变成具有放射性的核素，使其产生感生放射性，即发生材料活化。在加速器停机后，由束流损失产生的瞬发辐射立即消失，但感生放射性依然存在，产生的放射性核素会按照衰变规律，放出 γ 、 β 等射线。

关于感生放射性的计算已在《合肥先进光源项目环境影响报告书》中采用蒙特卡罗程序 FLUKA 精确计算并结合活化公式估算和验证。本次储存环及线站变更，不改变装置的主要技术参数，也未改变束流损失的部位及材质，主要变更内容是主体建筑（储存环）与辐射防护相关洞口、预埋管的变更，因此不会改变原报告中关于感生放射性的结论，以下引用原报告书中的内容。

3.3.3.1 空气的感生放射性计算

3.3.3.1.1 静态空气中感生放射性核素的产生

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

$$S=C\sum_{ijk}N_j\int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}}\sigma_{ijk}(E)\phi_k(E)dE(1-e^{-\lambda_i T})e^{-\lambda_i t} \quad (3.3-4)$$

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

方程（3.3-4）可以按以下方式进行简化：

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

（2）将方程中的积分用通量和平均截面来代替：

合肥先进光源项目储存环及线站变更

$$\bar{\sigma}_{ijk} = \frac{\int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}} \sigma_{ijk}(E) \phi_k(E) dE}{\int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}} \phi_k(E) dE} \quad (3.3-4)$$

$$\phi_k = \int_{E_{ijk}}^{E_{kmax}} \phi_k(E) dE \quad (3.3-5)$$

从而方程 (3.3-4) 简化为:

$$S = C \sum_i \left[\sum_j N_j \bar{\sigma}_{ijth} \phi_{th} + \sum_j N_j \bar{\sigma}_{ijHE} \phi_{HE} + \sum_j N_j \bar{\sigma}_{ij\gamma} \phi_{\gamma} \right] \times (1 - e^{-\lambda_i T}) e^{-\lambda_i t} \quad (3.3-6)$$

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

表 3.3-3 为文献 (3)、(4) 中给出的加速器空气中产生的半衰期大于 1 分钟的放射性核素的高能截面、母核、衰变类型、半衰期。注意表中截面最大的 1640mb 和 660mb 分别是产生 ^{14}C 、 ^{41}Ar 的热中子(n,p)、(n, γ)俘获反应的截面; 其它的都是对应于在几十 MeV 以上截面达到最大值的高能饱和截面; 其中 γ 引起的反应几乎是在所有的加速器和能量下都存在, 其截面相应地与能量有关, 尤其是在能量刚刚超过阈能的情况下更是如此。由表 3.3-3 可见, 主要核素有: ^3H 、 ^7Be 、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{41}Ar ; ^{14}C 虽然截面最大, 但由于半衰期太长, 由活化公式可知, 在装置服役期 (假设不通风连续运行 30 年) 饱和度也仅 0.4%, 仅相当于 6mb 的核素的饱和度, 因此, 并非主要核素。

表 3.3-3 加速器空气中产生的 $T_{1/2} > 1\text{min}$ 的放射性核素及其相关参数

放射性核素	半衰期	衰变类型	母核	产生机制	高能截面 (mb)
^3H	12.32 y	β^-	N	散裂	30
			O	散裂	30
^7Be	53.22 d	γ , 电子俘获	N	散裂	10
			O	散裂	5
			Ar	散裂	0.6
^{11}C	20.33 min	β^+	N	散裂	10
			O	散裂	0.7
			Ar	散裂	0.7
^{14}C	5700 y	β^-	N	(n _{热中子} ,p)	1640
^{13}N	9.96 min	β^+	N	散裂	10
			N	(γ, n)	10
			O	散裂	9
			Ar	散裂	0.8
^{14}O	1.18 min	β^+ , γ	O	散裂	1
			Ar	散裂	0.06

合肥先进光源项目储存环及线站变更

¹⁵ O	2.04 min	β ⁺	O	散裂	40
			O	(γ,n)	10
			Ar	散裂	*
¹⁸ F	1.83 h	β ⁺	Ar	散裂	6
²⁴ Ne	3.38 min	β ⁻ , γ	Ar	散裂	0.12
²² Na	2.603 y	β ⁺ , γ	Ar	散裂	10
²⁴ Na	14.95 h	β ⁻	Ar	散裂	7
²⁷ Mg	9.46 min	β ⁻ , γ	Ar	散裂	2.5
²⁸ Mg	20.92 h	β ⁻ , γ	Ar	散裂	0.4
²⁸ Al	2.24 min	β ⁻ , γ	Ar	散裂	13
²⁹ Al	6.56 min	β ⁻ , γ	Ar	散裂	4
³¹ Si	2.62 h	β ⁻ , γ	Ar	散裂	6
³⁰ P	2.50 min	β ⁺ , γ	Ar	散裂	4.4
³² P	14.26 d	β ⁻	Ar	散裂	25
³³ P	25.34 d	β ⁻	Ar	散裂	9
³⁵ S	87.51 d	β ⁻	Ar	散裂	23
^{34m} Cl	32.0 min	β ⁻ , γ	Ar	散裂	0.7
³⁸ Cl	37.24 min	β ⁻ , γ	Ar	(γ,pn)	4
³⁹ Cl	55.6 min	β ⁻ , γ	Ar	(γ,p)	7
⁴¹ Ar	1.83 h	β ⁻ , γ	Ar	(n _{热中子} ,γ)	660

说明：数据取自 1.3.4 小节的文献（3）、（4）。*表示原表未给出该反应截面。

3.3.3.1.2 向环境排风状态下空气的感生放射性

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

$$S_{t_i} = S_{\text{sat}}(1 - e^{-\lambda t_i}) \quad (3.3-7)$$

$$S_{t_c} = S_{\text{sat}}(1 - e^{-\lambda t_i})e^{-\lambda t_c} \quad (3.3-8)$$

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

$$S_{\text{sat}} = N\sigma\phi \quad (3.3-9)$$

在加速器通风状态下，设加速器运行和冷却时的通风速率分别为 R_i 和 R_c （单位： cm^3/s ）， V 为隧道空气体积（ cm^3 ）。则对隧道空气而言，需要引入类似衰变常数

合肥先进光源项目储存环及线站变更

的丢失常数 λ_{lossi} 和 λ_{lossc} (S^{-1})，以确定有效衰变常数 λ_{effi} 和 λ_{effc} (S^{-1})：

$$\lambda_{effi} = \lambda_{dec} + \lambda_{lossi} = \lambda_{dec} + \frac{R_i}{V} \quad (3.3-10)$$

$$\lambda_{effc} = \lambda_{dec} + \lambda_{lossc} = \lambda_{dec} + \frac{R_c}{V} \quad (3.3-11)$$

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

$$S_{(reduced)} = S_{sat} \frac{\lambda_{dec}}{\lambda_{effi}} \quad (3.3-12)$$

$$S_{t_i} = S_{(reduced)} (1 - e^{-\lambda_{effi} t_i}) \quad (3.3-13)$$

$$S_{t_c} = S_{(reduced)} (1 - e^{-\lambda_{effi} t_i}) e^{-\lambda_{effc} t_c} \quad (3.3-14)$$

运行时和停机后向周围排放的总活度可以由下列两式计算：

$$Q_i = \int_0^{t_i} S_{t_i} R_i dt = S_{sat} \frac{\lambda_{dec}}{\lambda_{effi}} R_i \left(t_i - \frac{1}{\lambda_{effi}} (1 - e^{-\lambda_{effi} t_i}) \right) \quad (3.3-15)$$

$$Q_c = \int_0^{t_c} S_{t_c} R_c dt = S_{sat} \frac{\lambda_{dec}}{\lambda_{effi}} R_c (1 - e^{-\lambda_{effi} t_i}) \frac{(1 - e^{-\lambda_{effc} t_c})}{\lambda_{effc}} \quad (3.3-16)$$

在对 HALF 的空气活化进行计算时，采用 FLUKA 程序，计算出了空气活化各核素的静态饱和活度浓度，并用上述公式计算了每次运行和停机时分别排放的核素活度。其中，加速器运行时，直线隧道和输运线隧道不通风，储存环隧道以 0.6 次/h 的频率通风；因故障停机后，加速器各隧道都以 8 次/h 的频率进行快通风。为便于计算，按类似装置经验，保守假设年运行时间为 7200h，平均无故障供束时间为 100h，年故障（及需要进行运行-停机）的次数为 72 次/年，每次故障停机的平均时间为 21.7h。计算中采用的通风系统参数如表 3.3-4 所示，计算结果如表 3.3-5 所示。

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

表 3.3-4 计算空气活化采用的通风系统参数

隧道区域	体积 V (cm ³)	运行时通风频率 (次/h)	运行时通风速率 Ri (cm ³ /s)	停机后通风频率 (次/h)	停机后通风速率 Rc (cm ³ /s)	年运行时间 (h/年)	每次无故障运行时间 t _i (h)	年故障次数 (次/年)	每次故障停机时间 t _c (h)
直线	7.31E+09	0.0	0.00E+00	8	1.62E+07	7200	100	72	21.7

合肥先进光源项目储存环及线站变更

运输线	1.75E+09	0.0	0.00E+00	8	3.90E+06	7200	100	72	21.7
储存环	1.15E+10	0.6	1.92E+06	8	2.57E+07	7200	100	72	21.7

表 3.3-5 空气活化计算结果

隧道区域	核素	T _{1/2} (s)	动态饱和活度浓度 S _(reduced) , Bq/cm ³	年运行时排放量 Q _{itotal} , Bq	年停机后排放量 Q _{ctotal} , Bq	年总排放量 Q _{total} , Bq
直线	³ H	3.89E+08	2.49E-04	0.00E+00	8.42E+04	8.42E+04
	⁷ Be	4.60E+06	4.17E-05	0.00E+00	1.16E+06	1.16E+06
	¹¹ C	1.22E+03	2.05E-04	0.00E+00	8.60E+07	8.60E+07
	¹³ N	5.98E+02	2.81E-04	0.00E+00	9.72E+07	9.72E+07
	¹⁵ O	1.22E+02	3.23E-04	0.00E+00	4.78E+07	4.78E+07
	³⁵ S	7.56E+06	2.90E-06	0.00E+00	4.95E+04	4.95E+04
	³⁷ Ar	3.03E+06	1.52E-06	0.00E+00	6.35E+04	6.35E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	2.39E-06	0.00E+00	1.11E+06	1.11E+06
	³⁹ Cl	3.34E+03	2.42E-06	0.00E+00	1.17E+06	1.17E+06
	⁴¹ Ar	6.56E+03	9.82E-06	0.00E+00	4.94E+06	4.94E+06
	总计	——	——	0.00E+00	2.40E+08	2.40E+08
运输线	³ H	3.89E+08	2.03E-04	0.00E+00	2.37E+04	2.37E+04
	⁷ Be	4.60E+06	3.79E-05	0.00E+00	3.60E+05	3.60E+05
	¹¹ C	1.22E+03	1.62E-04	0.00E+00	1.63E+07	1.63E+07
	¹³ N	5.98E+02	2.05E-04	0.00E+00	1.70E+07	1.70E+07
	¹⁴ O	7.06E+01	1.04E-06	0.00E+00	2.42E+04	2.42E+04
	¹⁵ O	1.22E+02	2.36E-04	0.00E+00	8.38E+06	8.38E+06
	³⁵ S	7.56E+06	2.16E-06	0.00E+00	1.27E+04	1.27E+04
	³⁷ Ar	3.03E+06	1.09E-06	0.00E+00	1.55E+04	1.55E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	1.85E-06	0.00E+00	2.05E+05	2.05E+05
	³⁹ Cl	3.34E+03	1.75E-06	0.00E+00	2.01E+05	2.01E+05
	⁴¹ Ar	6.56E+03	1.11E-05	0.00E+00	1.34E+06	1.34E+06
总计	——	——	0.00E+00	4.38E+07	4.38E+07	
储存	³ H	3.89E+08	2.35E-10	1.15E+04	1.96E+02	1.17E+04
	⁷ Be	4.60E+06	3.34E-09	1.64E+05	2.77E+03	1.67E+05

合肥先进光源项目储存环及线站变更

隧道区域	核素	T _{1/2} (s)	动态饱和活度浓度 S _(reduced) , Bq/cm ³	年运行时排放量 Q _{total} , Bq	年停机后排放量 Q _{total} , Bq	年总排放量 Q _{total} , Bq
环 (线 损)	¹¹ C	1.22E+03	9.76E-06	4.86E+08	6.47E+06	4.92E+08
	¹³ N	5.98E+02	1.44E-05	7.15E+08	7.84E+06	7.23E+08
	¹⁴ O	7.06E+01	8.04E-08	4.01E+06	1.23E+04	4.02E+06
	¹⁵ O	1.22E+02	1.76E-05	8.80E+08	4.13E+06	8.84E+08
	³⁵ S	7.56E+06	1.29E-10	6.35E+03	1.08E+02	6.46E+03
	³⁷ Ar	3.03E+06	2.69E-10	1.32E+04	2.24E+02	1.34E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	1.01E-07	5.01E+06	7.36E+04	5.08E+06
	³⁹ Cl	3.34E+03	9.32E-08	4.62E+06	7.09E+04	4.69E+06
	⁴¹ Ar	6.56E+03	1.20E-06	5.96E+07	9.56E+05	6.05E+07
总计	—	—	2.15E+09	1.95E+07	2.17E+09	
储存 环 (注 入点 损)	³ H	3.89E+08	1.40E-09	6.88E+04	1.17E+03	6.99E+04
	⁷ Be	4.60E+06	1.96E-08	9.62E+05	1.63E+04	9.78E+05
	¹¹ C	1.22E+03	5.72E-05	2.85E+09	3.79E+07	2.88E+09
	¹³ N	5.98E+02	8.61E-05	4.29E+09	4.70E+07	4.33E+09
	¹⁴ O	7.06E+01	4.60E-07	2.29E+07	7.06E+04	2.30E+07
	¹⁵ O	1.22E+02	1.06E-04	5.26E+09	2.47E+07	5.29E+09
	³⁵ S	7.56E+06	7.51E-10	3.68E+04	6.24E+02	3.75E+04
	³⁷ Ar	3.03E+06	1.32E-09	6.48E+04	1.10E+03	6.59E+04
	³⁸ Cl	2.23E+03	5.81E-07	2.88E+07	4.24E+05	2.93E+07
	³⁹ Cl	3.34E+03	5.73E-07	2.84E+07	4.36E+05	2.89E+07
	⁴¹ Ar	6.56E+03	3.67E-06	1.82E+08	2.91E+06	1.84E+08
总计	—	—	1.27E+10	1.13E+08	1.28E+10	
所有 隧道	³ H	3.89E+08	—	8.03E+04	1.09E+05	1.90E+05
	⁷ Be	4.60E+06	—	1.13E+06	1.54E+06	2.66E+06
	¹¹ C	1.22E+03	—	3.33E+09	1.47E+08	3.48E+09
	¹³ N	5.98E+02	—	5.00E+09	1.69E+08	5.17E+09
	¹⁴ O	7.06E+01	—	2.69E+07	1.07E+05	2.71E+07
	¹⁵ O	1.22E+02	—	6.14E+09	8.50E+07	6.23E+09
	³⁵ S	7.56E+06	—	4.32E+04	6.29E+04	1.06E+05
	³⁷ Ar	3.03E+06	—	7.80E+04	8.03E+04	1.58E+05
³⁸ Cl	2.23E+03	—	3.39E+07	1.81E+06	3.57E+07	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

隧道区域	核素	T _{1/2} (s)	动态饱和活度浓度 S _(reduced) , Bq/cm ³	年运行时排放量 Q _{total} , Bq	年停机后排放量 Q _{total} , Bq	年总排放量 Q _{total} , Bq
	³⁹ Cl	3.34E+03	—	3.30E+07	1.87E+06	3.49E+07
	⁴¹ Ar	6.56E+03	—	2.41E+08	1.01E+07	2.51E+08
	总计	—	—	1.48E+10	4.17E+08	1.52E+10

3.3.3.2 冷却水的感生放射性计算

冷却水的感生放射性采用FLUKA程序模拟计算。为了计算冷却水的感生放射性，在束流管的上方，距束流管轴线10cm处，设置了一根和束流管一样大小的冷却水管，沿束流管相同走向。计算得到的静态饱和活度浓度如表3.3-6所示。由表3.3-6可以看出，HALF冷却水的活化程度较低，最大饱和活度浓度在10 Bq/L量级，所有核素与豁免活度浓度的比值总和最大为1.05E-03，比豁免要求（总和小于1）小约3个量级。

表 3.3-6 冷却水活化计算结果

冷却水区域	核素	饱和活度浓度 S _{sat} , Bq/cm ³	豁免活度浓度, Bq/g	活度浓度与豁免活度浓度之比
直线冷却水	³ H	7.25E-02	1.00E+06	7.25E-08
	⁷ Be	1.78E-02	1.00E+03	1.78E-05
	¹⁰ C	1.79E-03	—	—
	¹¹ C	2.97E-02	—	—
	¹³ N	5.85E-03	—	—
	¹⁴ O	9.83E-04	—	—
	¹⁵ O	6.23E-02	1.00E+02	6.23E-04
	总计	1.91E-01	—	6.40E-04
运输线冷却水	³ H	1.63E-01	1.00E+06	1.63E-07
	⁷ Be	2.73E-02	1.00E+03	2.73E-05
	¹⁰ C	3.11E-03	—	—
	¹¹ C	5.86E-02	—	—
	¹³ N	1.16E-02	—	—
	¹⁴ O	2.84E-03	—	—
	¹⁵ O	1.21E-01	1.00E+02	1.21E-03
	¹⁸ F	3.87E-01	1.00E+01	1.24E-03

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	总计	1.63E-01	—	1.63E-07
储存环冷却水 (均匀束损)	³ H	1.81E-02	1.00E+06	1.81E-08
	⁷ Be	3.73E-03	1.00E+03	3.73E-06
	¹⁰ C	3.72E-04	—	—
	¹¹ C	7.10E-03	—	—
	¹³ N	1.28E-03	—	—
	¹⁴ O	3.55E-04	—	—
	¹⁵ O	1.44E-02	1.00E+02	1.44E-04
	总计	4.54E-02	—	1.48E-04
储存环冷却水 (注入点损)	³ H	1.24E-01	1.00E+06	1.24E-07
	⁷ Be	2.14E-02	1.00E+03	2.14E-05
	¹⁰ C	2.08E-03	—	—
	¹¹ C	4.70E-02	—	—
	¹³ N	1.05E-02	—	—
	¹⁴ O	2.59E-03	—	—
	¹⁵ O	9.87E-02	1.00E+02	9.87E-04
	¹⁸ F	3.75E-04	1.00E+01	3.75E-05
	总计	3.06E-01	—	1.05E-03

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

3.3.3.3 构部件、废束站、混凝土墙的感生放射性计算

结构部件（束流管、能谱测试线 YAG 靶、束流闸）、废束站、混凝土墙的感生放射性，采用 FLUKA 程序进行计算。计算结果如表 3.3-7~表 3.3-11 所示。

表 3.3-7 束流管的活化核素、活度及其与豁免值的比较

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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	⁴⁸ V	6.71E+00	2.47E+06	1.00E+01	1.00E+05	6.71E-01	2.47E+01
	⁴⁹ V	1.91E+01	7.01E+06	—	—	—	—
	⁴⁹ Cr	5.24E+00	1.93E+06	—	—	—	—
	⁵¹ Cr	1.45E+02	5.34E+07	1.00E+03	1.00E+07	1.45E-01	5.34E+00
	⁵¹ Mn	1.48E+00	5.43E+05	1.00E+01	1.00E+05	1.48E-01	5.43E+00
	⁵² V	1.06E+00	3.91E+05	—	—	—	—
	⁵² Mn	4.52E+00	1.66E+06	1.00E+01	1.00E+05	4.52E-01	1.66E+01
	⁵³ Fe	1.28E+01	4.69E+06	—	—	—	—
	⁵⁴ Mn	4.10E+01	1.51E+07	1.00E+01	1.00E+06	4.10E+00	1.51E+01
	⁵⁵ Fe	4.09E+02	1.50E+08	1.00E+04	1.00E+06	4.09E-02	1.50E+02
	⁵⁵ Co	5.63E-01	2.07E+05	1.00E+01	1.00E+06	5.63E-02	2.07E-01
	⁵⁶ Mn	9.80E-01	3.60E+05	1.00E+01	1.00E+05	9.80E-02	3.60E+00
	⁵⁶ Co	7.70E+00	2.83E+06	1.00E+01	1.00E+05	7.70E-01	2.83E+01
	⁵⁷ Co	7.87E+01	2.89E+07	1.00E+02	1.00E+06	7.87E-01	2.89E+01
	⁵⁷ Ni	8.96E+00	3.30E+06	—	—	—	—
	⁵⁸ Co	4.27E+00	1.57E+06	1.00E+01	1.00E+06	4.27E-01	1.57E+00
	⁸⁹ Zr	3.14E-01	1.15E+05	—	—	—	—
	⁹⁰ Nb	5.50E-01	2.02E+05	—	—	—	—
	⁹¹ Mo	1.75E+00	6.43E+05	—	—	—	—
	⁹⁹ Mo	1.98E+00	7.29E+05	—	—	—	—
	^{44m} Sc	9.62E-01	3.54E+05	—	—	—	—
	^{52m} Mn	4.07E+00	1.50E+06	1.00E+01	1.00E+05	4.07E-01	1.50E+01
	^{53m} Fe	6.15E+00	2.26E+06	—	—	—	—
	^{58m} Co	2.14E+00	7.86E+05	1.00E+04	1.00E+07	2.14E-04	7.86E-02
	^{89m} Y	4.18E+00	1.54E+06	—	—	—	—
	^{91m} Nb	1.55E+00	5.71E+05	—	—	—	—
	^{91m} Mo	1.15E+00	4.23E+05	—	—	—	—
	^{93m} Mo	1.81E+00	6.65E+05	—	—	—	—
	^{99m} Tc	1.74E+00	6.40E+05	1.00E+02	1.00E+07	1.74E-02	6.40E-02
	总计	7.83E+02	2.88E+08	—	—	8.26E+00	2.96E+02
储存环束 流管均匀 线损	³² P	9.30E-02	4.80E+04	1.00E+03	1.00E+05	9.30E-05	4.80E-01
	³⁷ Ar	1.69E-01	8.73E+04	1.00E+06	1.00E+08	1.69E-07	8.73E-04
	⁴² K	9.25E-02	4.77E+04	1.00E+02	1.00E+06	9.25E-04	4.77E-02
	⁴³ Sc	1.98E-01	1.02E+05	—	—	—	—

合肥先进光源项目储存环及线站变更

(316L 不锈钢)	⁴⁴ Sc	7.21E-01	3.72E+05	—	—	—	—
	⁴⁵ Ti	5.19E-01	2.68E+05	—	—	—	—
	⁴⁶ Sc	4.84E-01	2.50E+05	1.00E+01	1.00E+06	4.84E-02	2.50E-01
	⁴⁷ Sc	2.09E-01	1.08E+05	1.00E+02	1.00E+06	2.09E-03	1.08E-01
	⁴⁷ V	3.84E-01	1.98E+05	—	—	—	—
	⁴⁸ V	2.33E+00	1.20E+06	1.00E+01	1.00E+05	2.33E-01	1.20E+01
	⁴⁹ V	6.08E+00	3.14E+06	—	—	—	—
	⁴⁹ Cr	1.63E+00	8.42E+05	—	—	—	—
	⁵¹ Cr	4.20E+01	2.17E+07	1.00E+03	1.00E+07	4.20E-02	2.17E+00
	⁵¹ Mn	5.19E-01	2.68E+05	1.00E+01	1.00E+05	5.19E-02	2.68E+00
	⁵² V	3.17E-01	1.64E+05	—	—	—	—
	⁵² Mn	1.49E+00	7.66E+05	1.00E+01	1.00E+05	1.49E-01	7.66E+00
	⁵³ Fe	3.76E+00	1.94E+06	—	—	—	—
	⁵⁴ Mn	1.25E+01	6.44E+06	1.00E+01	1.00E+06	1.25E+00	6.44E+00
	⁵⁵ Fe	1.16E+02	6.01E+07	1.00E+04	1.00E+06	1.16E-02	6.01E+01
	⁵⁵ Co	1.88E-01	9.69E+04	1.00E+01	1.00E+06	1.88E-02	9.69E-02
	⁵⁶ Mn	2.87E-01	1.48E+05	1.00E+01	1.00E+05	2.87E-02	1.48E+00
	⁵⁶ Co	2.36E+00	1.22E+06	1.00E+01	1.00E+05	2.36E-01	1.22E+01
	⁵⁷ Co	2.24E+01	1.16E+07	1.00E+02	1.00E+06	2.24E-01	1.16E+01
	⁵⁷ Ni	2.61E+00	1.35E+06	—	—	—	—
	⁵⁸ Co	1.21E+00	6.27E+05	1.00E+01	1.00E+06	1.21E-01	6.27E-01
	⁸⁹ Zr	1.05E-01	5.44E+04	—	—	—	—
	⁹⁰ Nb	1.74E-01	8.97E+04	—	—	—	—
	⁹¹ Mo	5.03E-01	2.60E+05	—	—	—	—
	⁹⁹ Mo	5.53E-01	2.85E+05	—	—	—	—
	^{44m} Sc	3.62E-01	1.87E+05	—	—	—	—
	^{52m} Mn	1.34E+00	6.91E+05	1.00E+01	1.00E+05	1.34E-01	6.91E+00
	^{53m} Fe	1.81E+00	9.35E+05	—	—	—	—
	^{58m} Co	6.08E-01	3.14E+05	1.00E+04	1.00E+07	6.08E-05	3.14E-02
	^{89m} Y	1.41E+00	7.26E+05	—	—	—	—
^{91m} Nb	4.36E-01	2.25E+05	—	—	—	—	
^{91m} Mo	3.31E-01	1.71E+05	—	—	—	—	
^{93m} Mo	5.40E-01	2.78E+05	—	—	—	—	
^{99m} Tc	4.85E-01	2.50E+05	1.00E+02	1.00E+07	4.85E-03	2.50E-02	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	总计	2.28E+02	1.17E+08	—	—	2.56E+00	1.25E+02
--	----	----------	----------	---	---	----------	----------

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

表 3.3-8 能谱测试线的 YAG 靶的活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度 浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度 浓度 (Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度 与豁免活 度浓度之 比	活度与豁 免活度之 比
能谱测试 线 YAG 靶 (玻璃)	³ H	3.12E+02	4.70E+02	1.00E+06	1.00E+09	3.12E-04	4.70E-07
	⁷ Be	4.17E+01	6.29E+01	1.00E+03	1.00E+07	4.17E-02	6.29E-06
	¹¹ C	1.56E+02	2.36E+02	—	—	—	—
	¹³ N	1.22E+01	1.84E+01	—	—	—	—
	¹⁵ O	2.20E+02	3.31E+02	1.00E+02	1.00E+09	2.20E+00	3.31E-07
	¹⁷ F	2.01E+01	3.03E+01	—	—	—	—
	¹⁸ F	5.45E+01	8.22E+01	1.00E+01	1.00E+06	5.45E+00	8.22E-05
	²⁰ F	8.76E+01	1.32E+02	—	—	—	—
	²² Na	2.27E+02	3.43E+02	1.00E+01	1.00E+06	2.27E+01	3.43E-04
	²³ Ne	5.01E+01	7.56E+01	—	—	—	—
	²⁴ Na	2.49E+02	3.76E+02	1.00E+01	1.00E+05	2.49E+01	3.76E-03
	²⁸ Al	5.96E+02	8.99E+02	—	—	—	—
	²⁹ Al	4.56E+01	6.88E+01	—	—	—	—
	³¹ Si	6.60E+01	9.95E+01	1.00E+03	1.00E+06	6.60E-02	9.95E-05
	³² P	3.14E+01	4.73E+01	1.00E+03	1.00E+05	3.14E-02	4.73E-04
	³³ P	3.34E+01	5.04E+01	1.00E+05	1.00E+08	3.34E-04	5.04E-07
	³⁷ Ar	2.76E+02	4.16E+02	1.00E+06	1.00E+08	2.76E-04	4.16E-06
	³⁸ K	3.66E+01	5.53E+01	—	—	—	—
总计		2.52E+03	3.79E+03	—	—	5.54E+01	4.77E-03

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

表 3.3-9 束流闸的活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度 浓度 S_{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度 浓度(Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度 与豁免活 度浓度之 比	活度与豁 免活度之 比
束流闸	⁵¹ Cr	8.48E+01	1.14E+06	1.00E+03	1.00E+07	8.48E-02	1.14E-01

合肥先进光源项目储存环及线站变更

(铜)	⁵⁷ Co	3.66E+02	4.91E+06	1.00E+02	1.00E+06	3.66E+00	4.91E+00
	⁵⁸ Co	9.35E+02	1.26E+07	1.00E+01	1.00E+06	9.35E+01	1.26E+01
	⁶⁰ Cu	7.38E+01	9.92E+05	—	—	—	—
	⁶¹ Co	1.56E+02	2.09E+06	1.00E+02	1.00E+06	1.56E+00	2.09E+00
	⁶¹ Cu	2.55E+03	3.43E+07	—	—	—	—
	⁶² Cu	4.33E+04	5.82E+08	—	—	—	—
	⁶⁴ Cu	2.19E+04	2.94E+08	1.00E+02	1.00E+06	2.19E+02	2.94E+02
	⁶⁶ Cu	1.45E+02	1.94E+06	—	—	—	—
	^{58m} Co	4.68E+02	6.29E+06	1.00E+04	1.00E+07	4.68E-02	6.29E-01
	^{60m} Co	1.02E+02	1.38E+06	1.00E+03	1.00E+06	1.02E-01	1.38E+00
	总计	7.01E+04	9.42E+08	—	—	3.18E+02	3.16E+02

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

表 3.3-10 废束站的活化核素、活度及其与豁免值的比较

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

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

表 3.3-11 直线加速器混凝土地面活化核素、活度及其与豁免值的比较

活化部件	核素	饱和活度浓度 S _{sat} (Bq/g)	饱和活度 (Bq)	豁免活度浓度 (Bq/g)	豁免活度 (Bq)	活度浓度与豁免活度浓度之比	活度与豁免活度之比
直线加速器 290cm 厚混凝土地面	³ Be	3.40E-05	7.25E+05	1.00E+03	1.00E+07	3.40E-08	7.25E-02
	⁷ C	1.06E-04	2.25E+06	—	—	—	—
	¹¹ N	1.08E-04	2.30E+06	—	—	—	—
	¹³ O	1.17E-03	2.50E+07	1.00E+02	1.00E+09	1.17E-05	2.50E-02
	¹⁴ F	1.55E-05	3.31E+05	1.00E+01	1.00E+06	1.55E-06	3.31E-01

合肥先进光源项目储存环及线站变更

¹⁵ Na	1.02E-04	2.17E+06	1.00E+01	1.00E+06	1.02E-05	2.17E+00
¹⁸ Na	7.49E-04	1.60E+07	1.00E+01	1.00E+05	7.49E-05	1.60E+02
²² Mg	9.85E-06	2.10E+05	——	——	——	——
²⁴ Al	7.76E-04	1.65E+07	——	——	——	——
²⁵ Al	1.19E-05	2.53E+05	——	——	——	——
²⁷ Si	9.29E-05	1.98E+06	1.00E+03	1.00E+06	9.29E-08	1.98E+00
²⁸ Ar	7.25E-05	1.55E+06	1.00E+06	1.00E+08	7.25E-11	1.55E-02
²⁹ K	1.85E-05	3.95E+05	——	——	——	——
³⁰ K	6.62E-05	1.41E+06	1.00E+02	1.00E+06	6.62E-07	1.41E+00
³¹ Ca	4.16E-05	8.87E+05	1.00E+04	1.00E+07	4.16E-09	8.87E-02
³² Ca	4.51E-06	9.62E+04	——	——	——	——
³³ Sc	4.57E-06	9.74E+04	——	——	——	——
³⁴ Fe	4.75E-06	1.01E+05	——	——	——	——
³⁵ Fe	2.43E-04	5.17E+06	1.00E+04	1.00E+06	2.43E-08	5.17E+00
^{37m} Cl	3.53E-06	7.52E+04	——	——	——	——
总计	3.63E-03	7.75E+07	——	——	9.91E-05	1.71E+02

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

3.3.3.4 土壤和地下水活化

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

3.3.4 非放射性有害气体

同前述 3.3.3 节，关于 O₃ 和 NO₂ 的计算已在《合肥先进光源项目环境影响报告书》中进行了计算，本次储存环及线站变更不会改变原报告书的相关源项及计算结果，以下引用原报告书的内容。

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

参照 NCRP-144 号报告，照射期间，臭氧的浓度满足下面平衡方程：

$$\frac{dN}{dt} = gI - \alpha N - \kappa IN - \frac{QN}{V} \quad (3.3-17)$$

合肥先进光源项目储存环及线站变更

式中，各物理量含义如下：

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

N ：辐照时间 t 后单位体积的臭氧数目；

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

g ：空气中单位光子能量沉积形成的臭氧分子数目（ eV^{-1} ）；

α ：臭氧分子的化学分解速率（ s^{-1} ）；

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

Q ：通风速率（ $m^3\cdot s^{-1}$ ）；

V ：被辐照空气的体积（ m^3 ）。

该方程的解为下式：

$$N(t) = \frac{gI}{\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}} \left[1 - e^{-\left(\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}\right)t} \right] \quad (3.3-18)$$

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

$$N_{sat} = \frac{gI}{\alpha + \kappa I + \frac{Q}{V}} \quad (3.3-19)$$

计算中，各物理量参照 NCRP-144 号报告，取值如下：

- (1) g 值在高剂量率 ($>5 \times 10^8 Gy\cdot s^{-1}$) 下取 $0.103 eV^{-1}$ ，低剂量率下取值 $0.074 eV^{-1}$ ，本装置属低剂量率情形，取后者；
- (2) α 和 κ 分别取值 $2.3 \times 10^{-4} s^{-1}$ 和 $1.4 \times 10^{-16} eV^{-1}\cdot m^3$ ；
- (3) 通风频率 Q/V 取值为：运行时，直线、输运线隧道为 0 次/h，储存环为 0.6 次/h；停机后，直线、输运线、储存环隧道均为 8 次/h；
- (4) I 由 FLUKA 程序直接模拟得到，见表 3.3-12。

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

$$N'_{sat} = \frac{g'}{g} \cdot N_{sat} \quad (3.3-20)$$

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

表 3.3-12 计算各隧道区域有害气体时采用的辐射源项和通风系统参数

区域	束流损失 (pri/s)	运行时 Q/V(次)	停机后 Q/V(次)	空气体积 V (m ³)	空气中单位体 积单位时间的

合肥先进光源项目储存环及线站变更

					光子能量沉积 I ($eV \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$)
直线隧道	6.5625E+10	0	8	7.31E+03	4.35E+13
输运线隧道	3.1250E+09	0	8	1.75E+03	9.42E+13
储存环（线损）	1.3907E+09	0.6	8	1.15E+04	1.05E+13
储存环（注入点损）	9.3750E+09	0.6	8	1.15E+04	6.57E+13
储存环（线损+注入点损）	1.0766E+10	0.6	8	1.15E+04	7.62E+13

表 3.3-13 各隧道区域的臭氧和二氧化氮的饱和浓度和排放速率

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

表 3.3-12 给出了计算时，采用的辐射源项和通风系统参数，其中通风系统参数一致；列出的 2 个辐射源项参数（每秒的束流损失和空气单位体积单位时间的光子能量沉积 I），来源于计算瞬发辐射时得到的结果，在 5.2.1.1 节进行了详细描述。

表 3.3-13 给出了按上述公式和参数计算得到的臭氧和二氧化氮的饱和浓度和排放速率。由表 3.3-13 的计算结果，结合国家标准分析如下：

(1) 各隧道区域中，有害气体浓度最大的是储存环，其臭氧和二氧化氮的饱和浓度比《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）中的二级浓度限值低 2 个量级以上。因此，臭氧对检修人员的危害可以忽略。

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

(3) NO₂ 的排放浓度比《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中规定的排放浓度最高限值 240 mg/m^3 低 7 个量级以上，比规定的无组织排放监控浓度

合肥先进光源项目储存环及线站变更

限值 0.12 mg/m^3 低 4 个量级以上，排放速率比国标 GB 16297-1996 中规定的排放速率二级标准限值 0.77 kg/h 低 5 个量级以上。

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

3.3.5 电磁辐射

HALF 注入器微波系统频率为 2856MHz，主要用于提供稳定可调的微波电场幅度和相位，将束流能量加速至 2.2 GeV，微波系统在工作时会产生电磁辐射。为了保证电场幅度、相位等闭环的工作稳定性，以及减小辐射源对外界的干扰，厂家出厂前已在微波系统功率源的结构与工艺设计中采用金属屏蔽腔：内置独立屏蔽腔体结构，外部配置金属机柜；高频功率源整机系统中高频放大链和低频控制电路、外围电路在结构上分腔设计，降低电磁辐射对控制电路及外界的干扰。经过以上措施后，可以使周围环境的电磁辐射造成的功率密度小于国家规定的管理目标限值。电磁辐射对工作人员的影响较小，对环境的影响也较小。

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废弃物

HALF 运行期间，会产生放射性废气、放射性废水和放射性固体废物，各种放射性废弃物的来源、种类、活度浓度或比活度、总量、处理或排放方式详见表 3.4-1。

表 3.4-1 放射性废弃物一览表

废弃物类型	来源	产生浓度或产生量	废弃物分类	处理或排放方式
气态流出物	注入器隧道及储存环隧道区域	年排放量为 $1.52\text{E}+10\text{Bq}$	/	经通风系统直接排入外环境
放射性废水	活化冷却水	10Bq/L	/	收集贮存定期监测，达标后经主管部门许可后外排
放射性固体废物	被活化的结构部件，主要为废束流管	约 206kg	豁免或低放废物	贮存于放射性固体废物暂存间，最终达不到清洁解控水平的将委托城市废物库或有资质单位处置

合肥先进光源项目储存环及线站变更

合肥先进光源园区在技术安全楼一层设置的放射性固体废物暂存间（建筑面积44m²、容积约120m³），放射性废物收贮、贮存间的管理按照《低、中放水平放射性固体废物暂时贮存规定》（GB11928-1989）并参照《核技术利用放射性废物库运行管理技术规范》（HJ1417-2025）执行。

3.4.2非放射性废弃物

电子束流损失产生的次级 γ 射线电离空气产生的臭氧和氮氧化物，其饱和浓度已在第3.3.4节中给出，废气将通过通风系统排入外环境。

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和技术安全楼内。

(1) 主体建筑辐射工作场所布局

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

(2) 技术安全楼辐射工作场所布局

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

4.1.2 辐射工作场所分区

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

本次储存环及线站变更不改变原环评报告中划定的分区。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、线站防护棚屋，技术安全楼内的放射性固体废物暂存间、源库、刻度室。

(2) 监督区：控制区外部的工作场所。包括：注入器隧道控制区外的设备入口及前室、洁净室、速调管走廊、控制间、准备间等；储存环隧道控制区外的线站大厅（含线站防护棚屋之外的部分）、控制室、电源厅、空调机房、变电所、实验准

合肥先进光源项目储存环及线站变更

备间、水冷泵房等；技术安全楼内与放射性固体废物暂存间、源库、刻度室相邻的检测室等。

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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

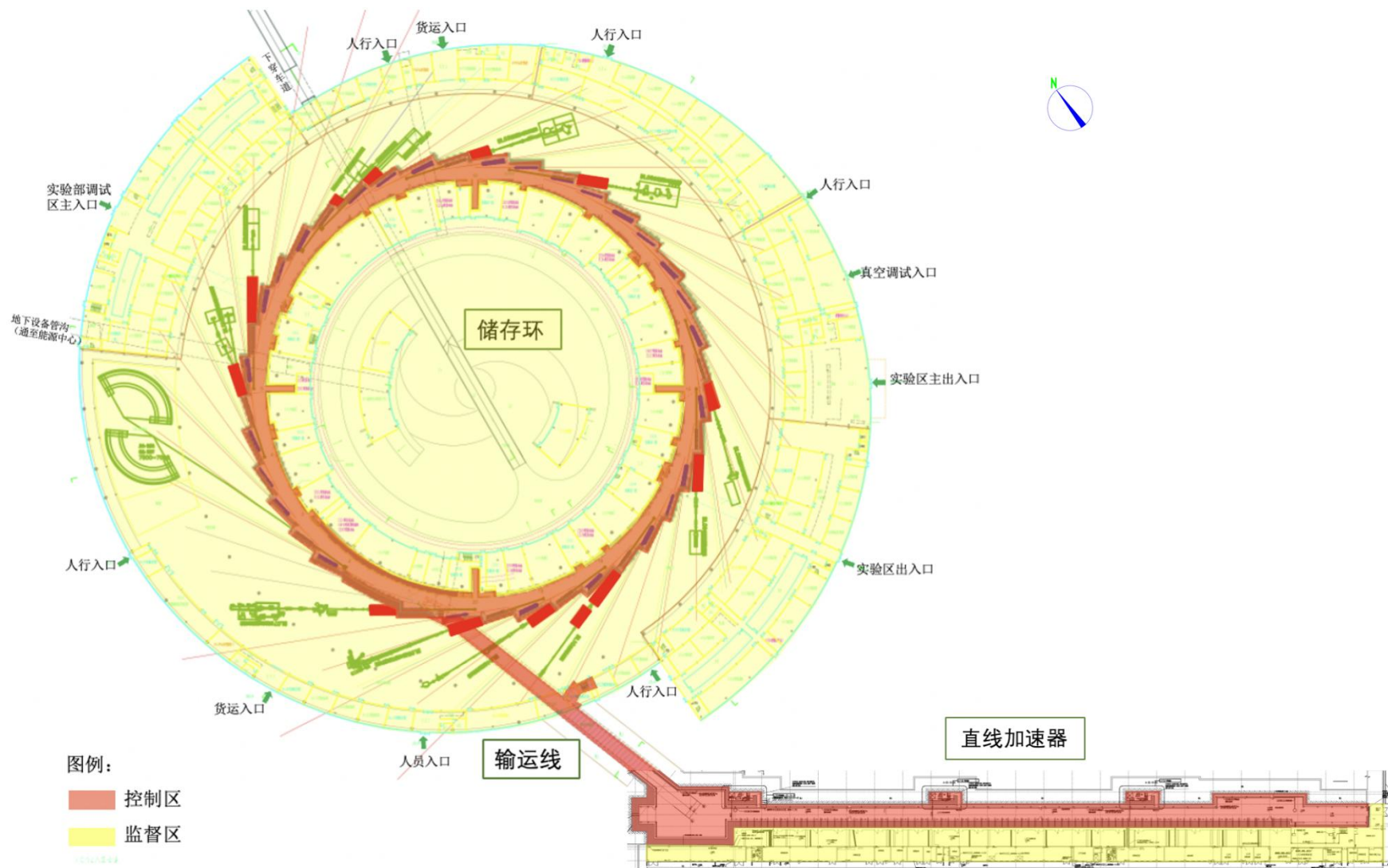


图 4.1-1 HALF 主体建筑辐射工作场所分区分区图

合肥先进光源项目储存环及线站变更

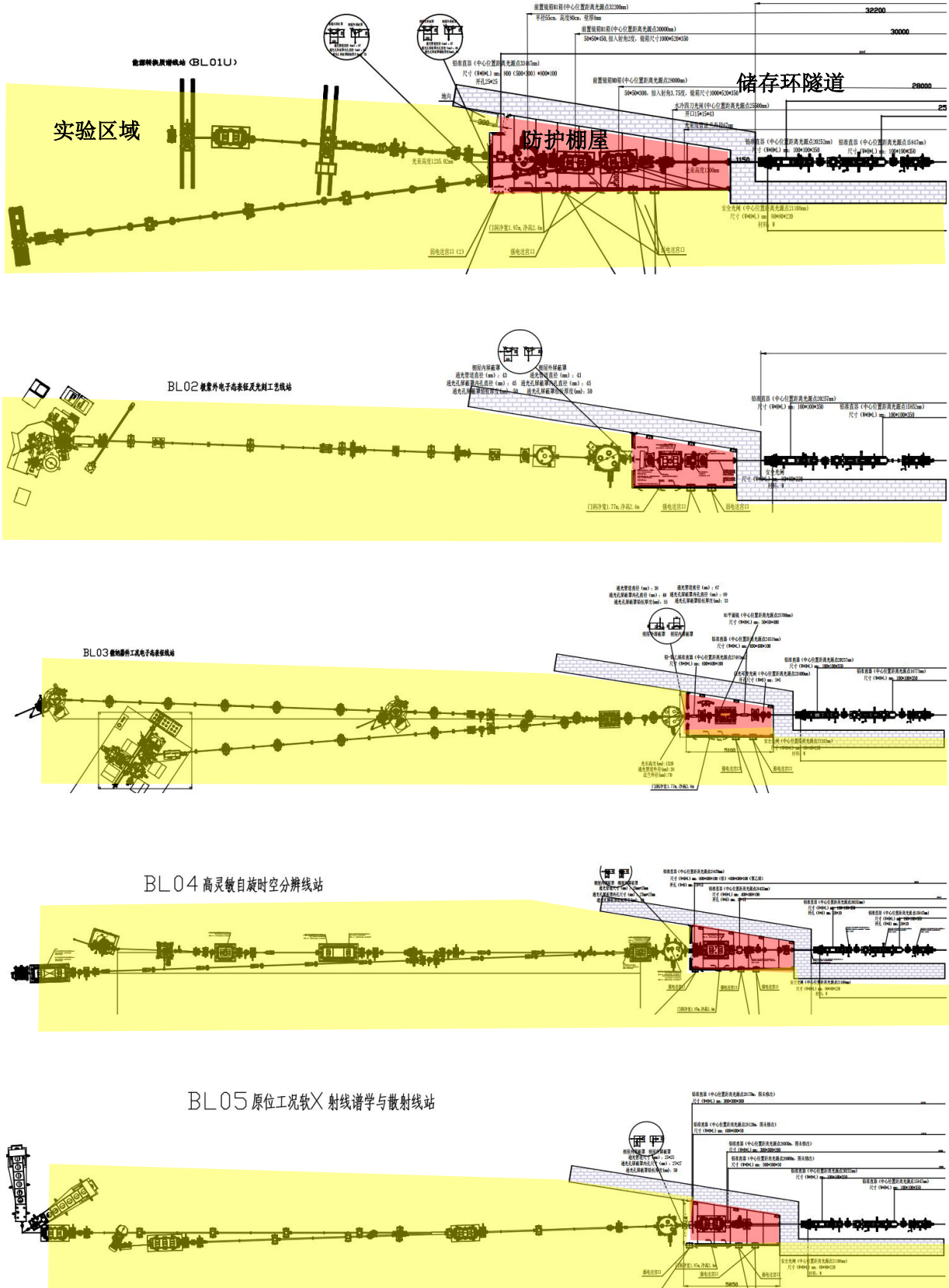


图 4.1-2 (a) BL01-BL05 光束线站工作场所分区示意图

合肥先进光源项目储存环及线站变更

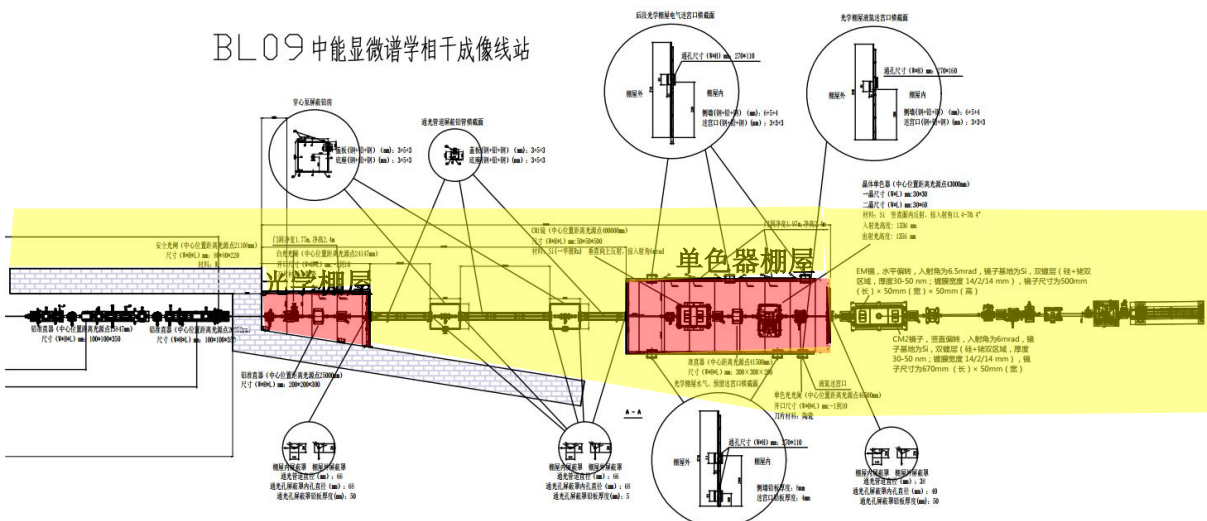
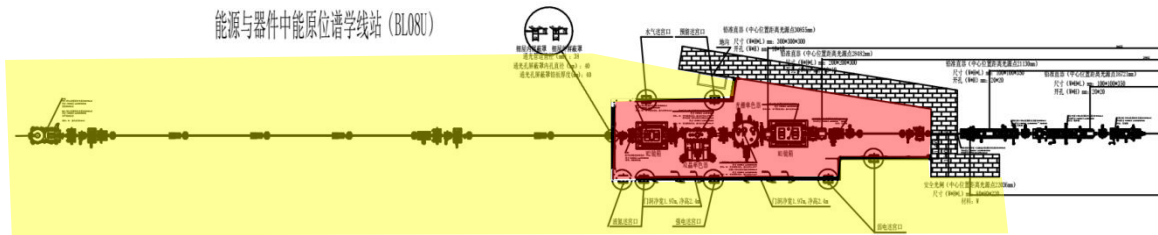
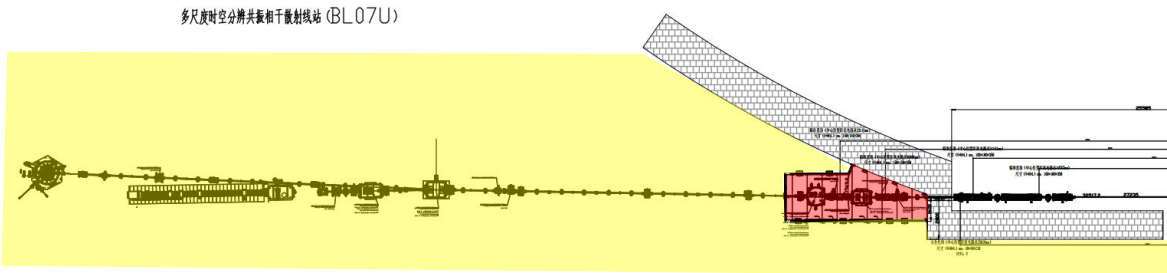
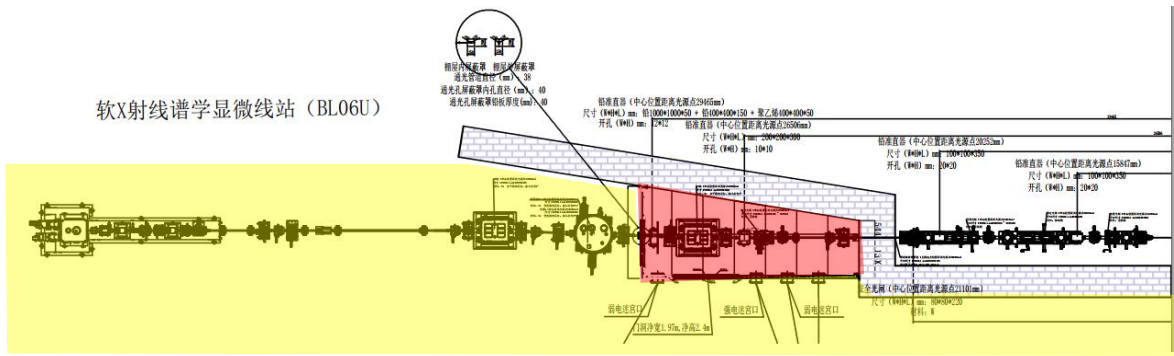
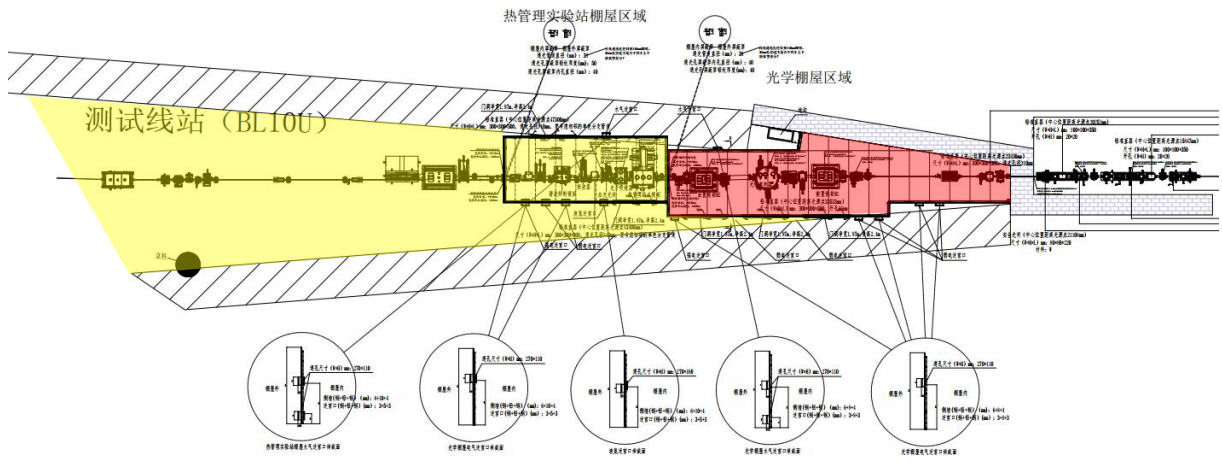
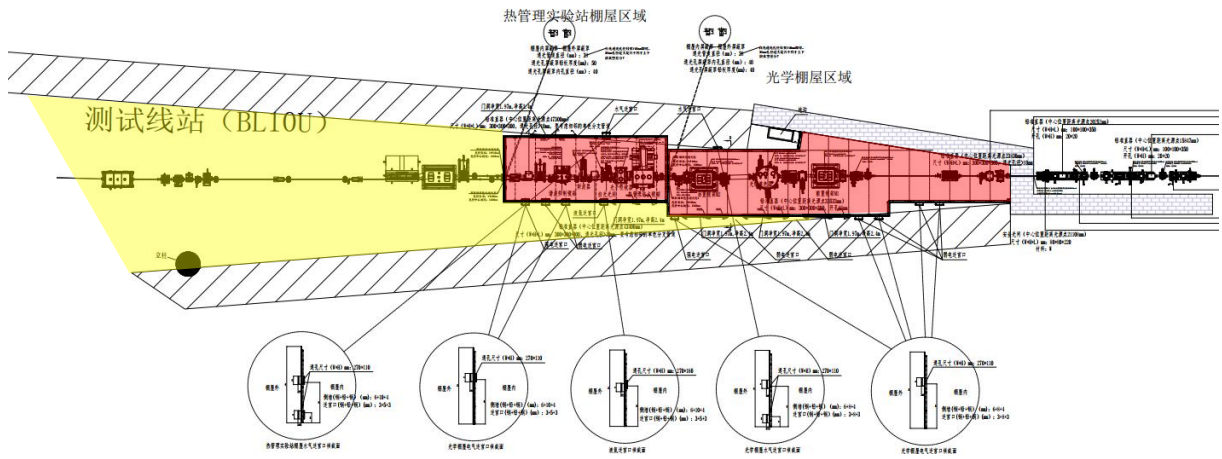


图 4.1-2 (b) BL06-BL09 光束线站工作场所分区示意图

合肥先进光源项目储存环及线站变更



(BL10-单色光模式)



(BL10-白光直通模式和热负载模式)

图 4.1-2 (c) BL10 线站工作场所分区示意图

合肥先进光源项目储存环及线站变更

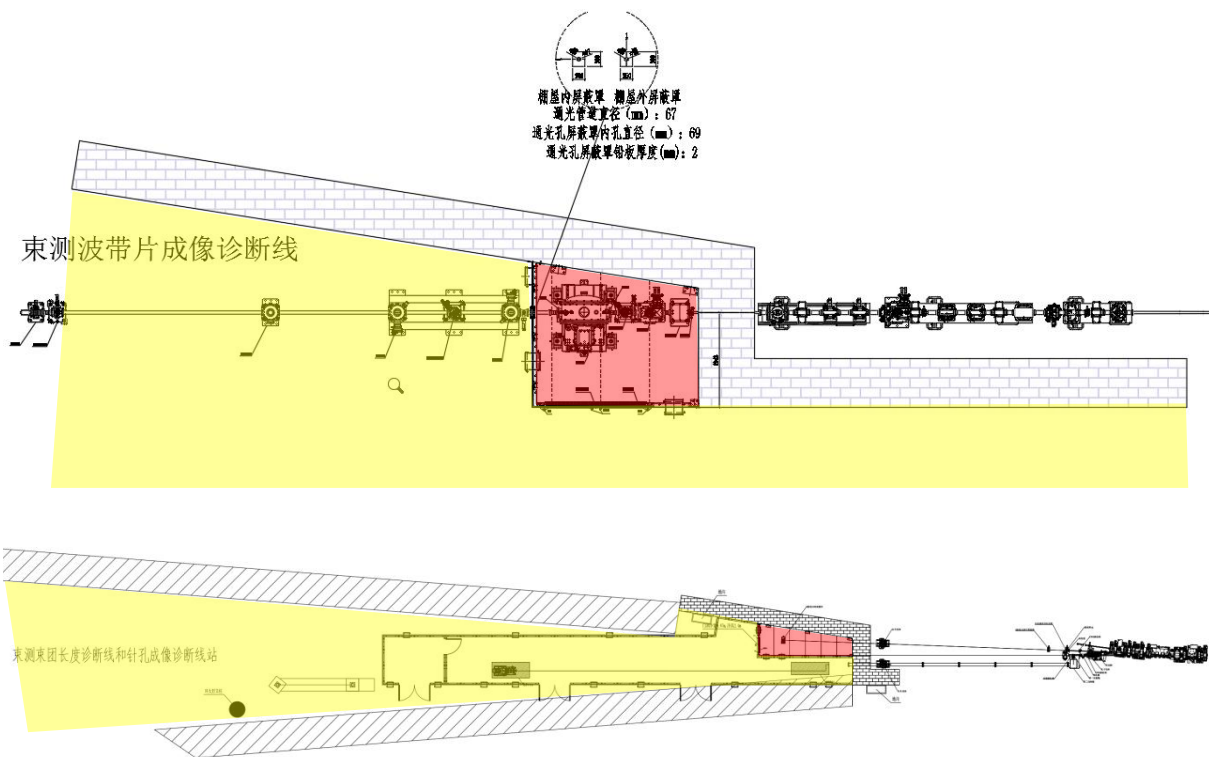


图 4.1-2 (d) 两条束测诊断线站工作场所分区示意图

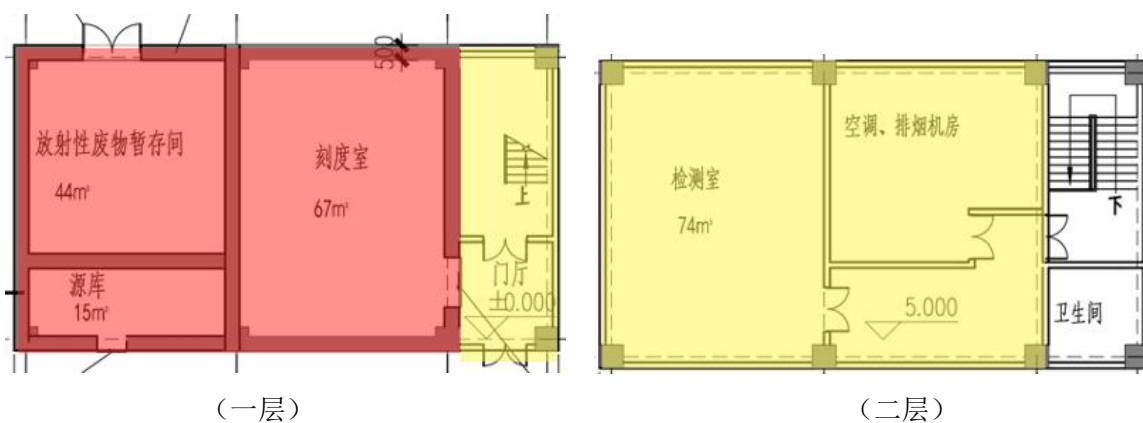


图 4.1-3 技术安全楼辐射工作场所分区图

图例:

- 控制区
- 监督区

合肥先进光源项目储存环及线站变更

4.2 辐射屏蔽

变更后的储存环屏蔽设计及其周围环境见表 4.2-1，线站棚屋尺寸及防护设计方案见表 4.2-2。

根据 HALF 装置定位图，储存环隧道内束流线距地 1.2m（标高 0.1m），线站大厅（光学棚屋）光束中心线距地 1.3m（标高 0.0m）。

表 4.2-1 变更后的储存环屏蔽设计及其周围环境情况

位置	屏蔽体		混凝土厚度	周围环境
储存环 隧道	注入区	内墙	2.1m	空调机房、注入厅、束测反馈设备间、控制间、磁铁电源厅
		外墙	注入点上游长墙厚 1.9m，弧形墙厚 2.7m，弧形墙下游长墙厚 1.8m；20#锯齿短墙厚 1.48m+1cm 钢板+15cm Pb+1cm 钢板，1.5#锯齿短墙厚 1.28m+1cm 钢板+15cm Pb+1cm 钢板；详见图纸	线站大厅
		顶板	2.4 m	吊车区、人行天桥
		底板	2 m	土层
	非注入区	内墙	0.6m	束测本地站、门厅、真空本地站、电源厅、高频间、管线间、空调机房等
		外墙	锯齿墙长墙厚 1m，短墙厚 0.98m+1cm 钢板+15cm Pb+1cm 钢板，详见图纸	线站大厅
		顶板	0.8 m 混凝土	吊车区、人行天桥、管线区
		底板	1.5m 筏板	土层

合肥先进光源项目储存环及线站变更

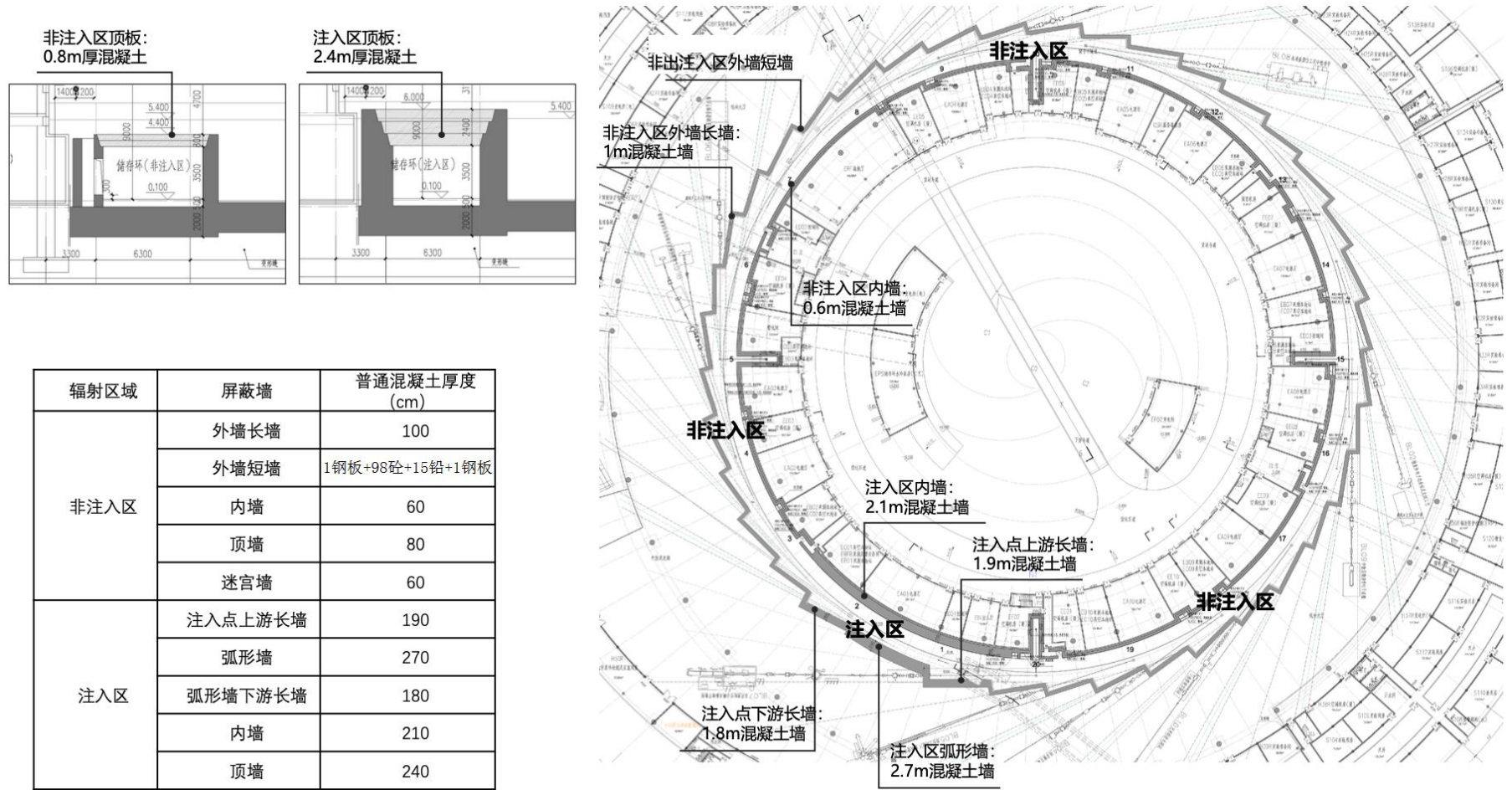


图 4.2-1 储存环屏蔽尺寸示意图

合肥先进光源项目储存环及线站变更

托歇克散射（Touschek 效应）是指在环形加速器或储存环中，束团内部电子之间发生弹性散射，导致电子的纵向动量发生变化，从而使电子越出相稳定区而丢失的过程。在同步辐射光源中，托歇克效应是影响束流寿命的重要因素之一。

托歇克散射引起的束流损失几乎是均匀的、持续发生的。HALF 在安装两台水平和一台垂直准直器后，在托歇克损失的电子中，最高约 90% 的比例会丢失在这三台准直器上。在屏蔽计算时，保守考虑，可认为托歇克散射引起的电子损失，100% 的电子都会损失在准直器上。其中某一台水平准直器最高能接收约 70% 的束流损失；垂直准直器最高能接收约 30% 的束流损失。

两个水平准直器分别位于第 1 周期和第 11 周期的 BPM10 与 SD1B 之间。垂直准直器位于第 6 周期的 BPM10 与 SD1B 之间，其设置位置详见图 4.2-2。

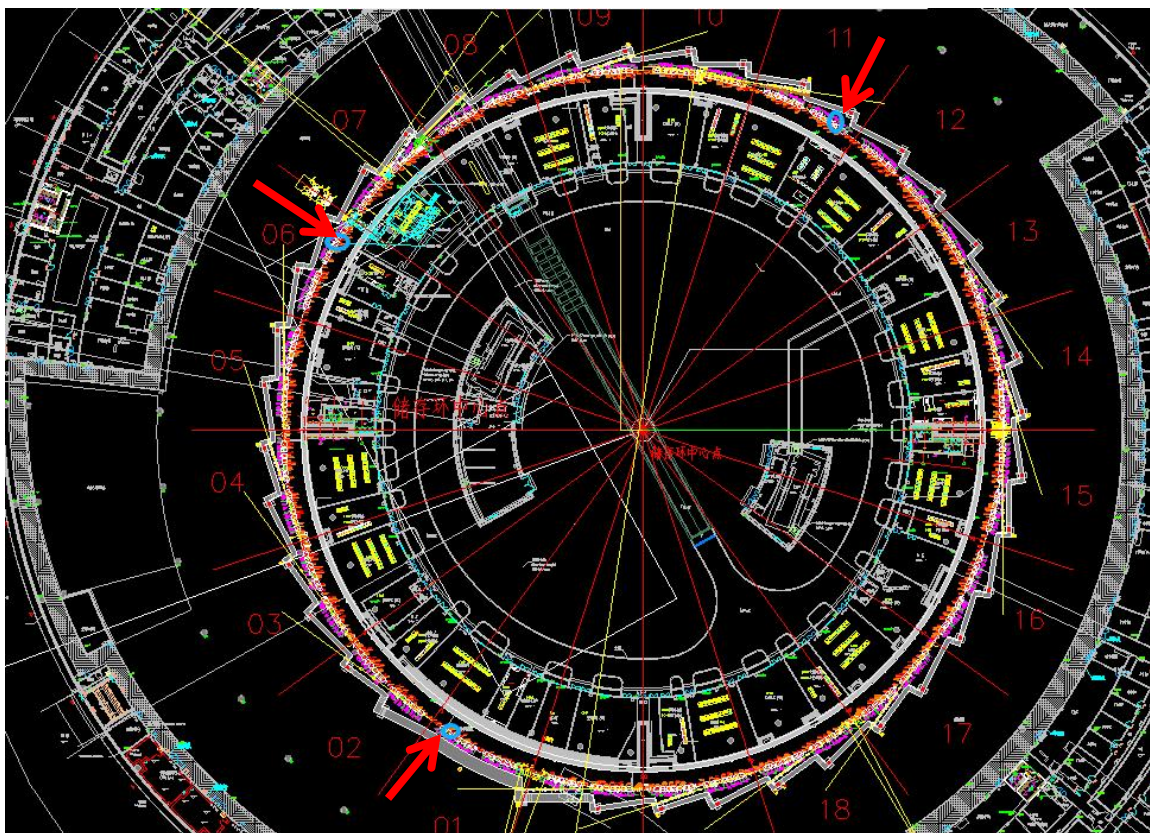
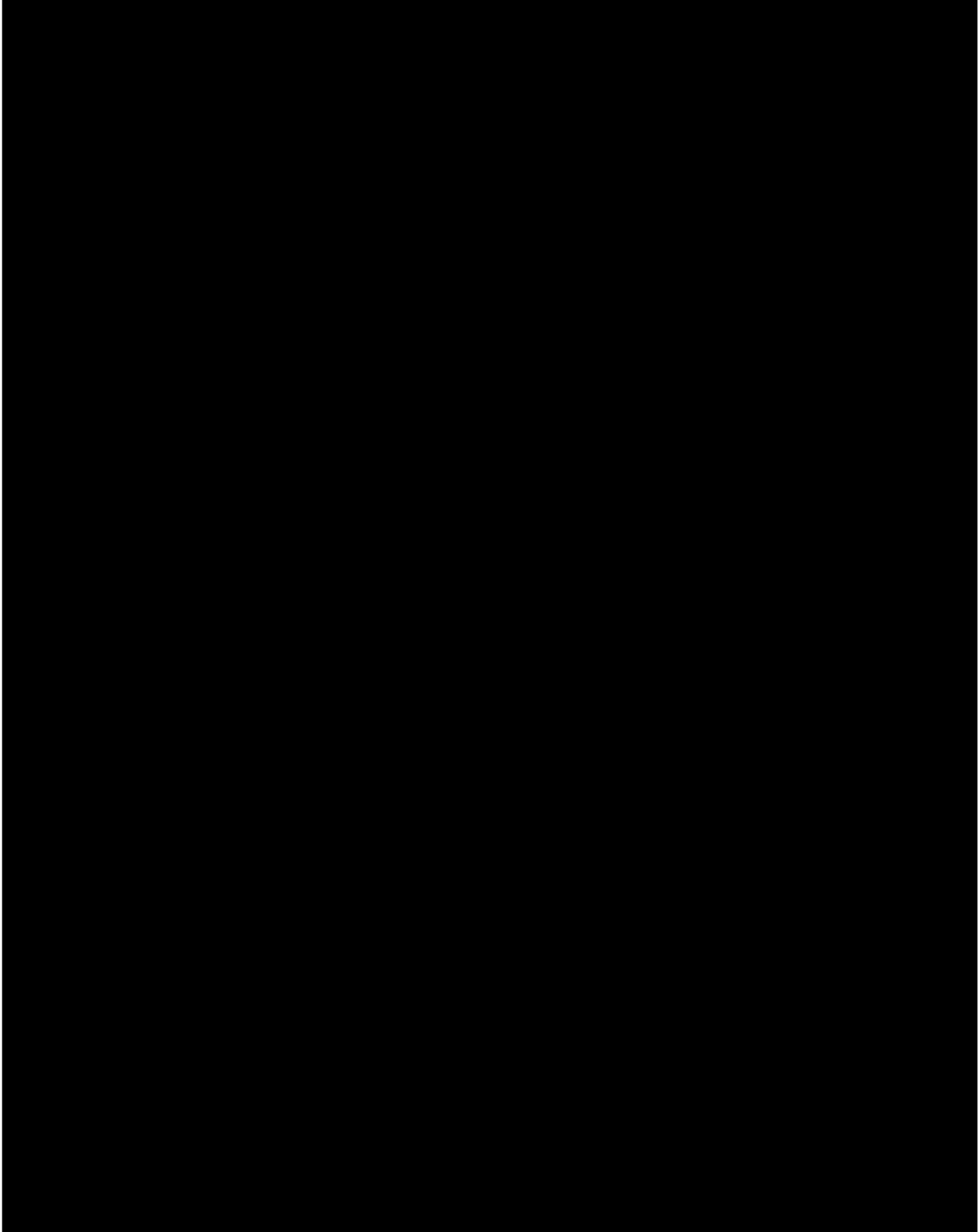
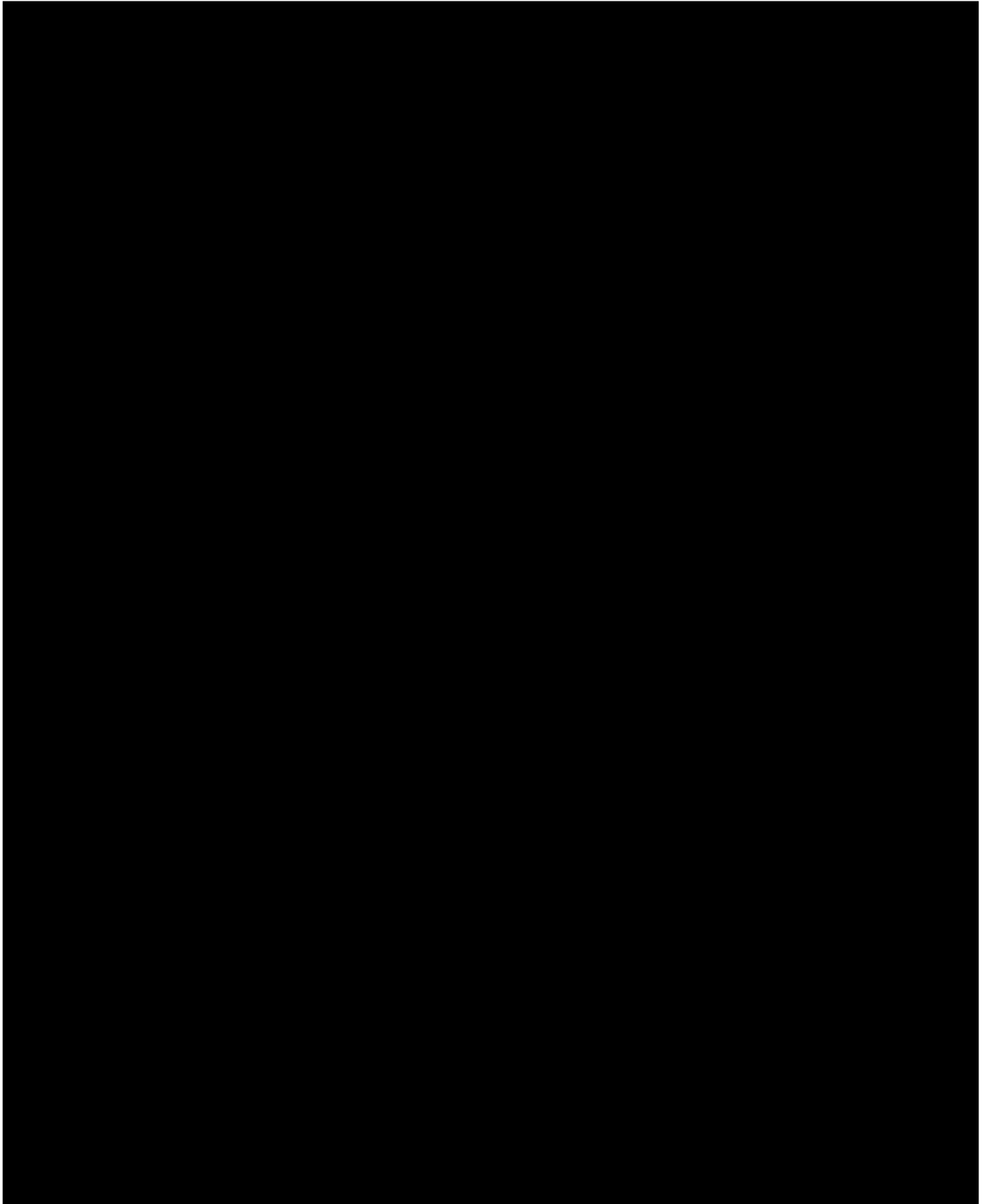
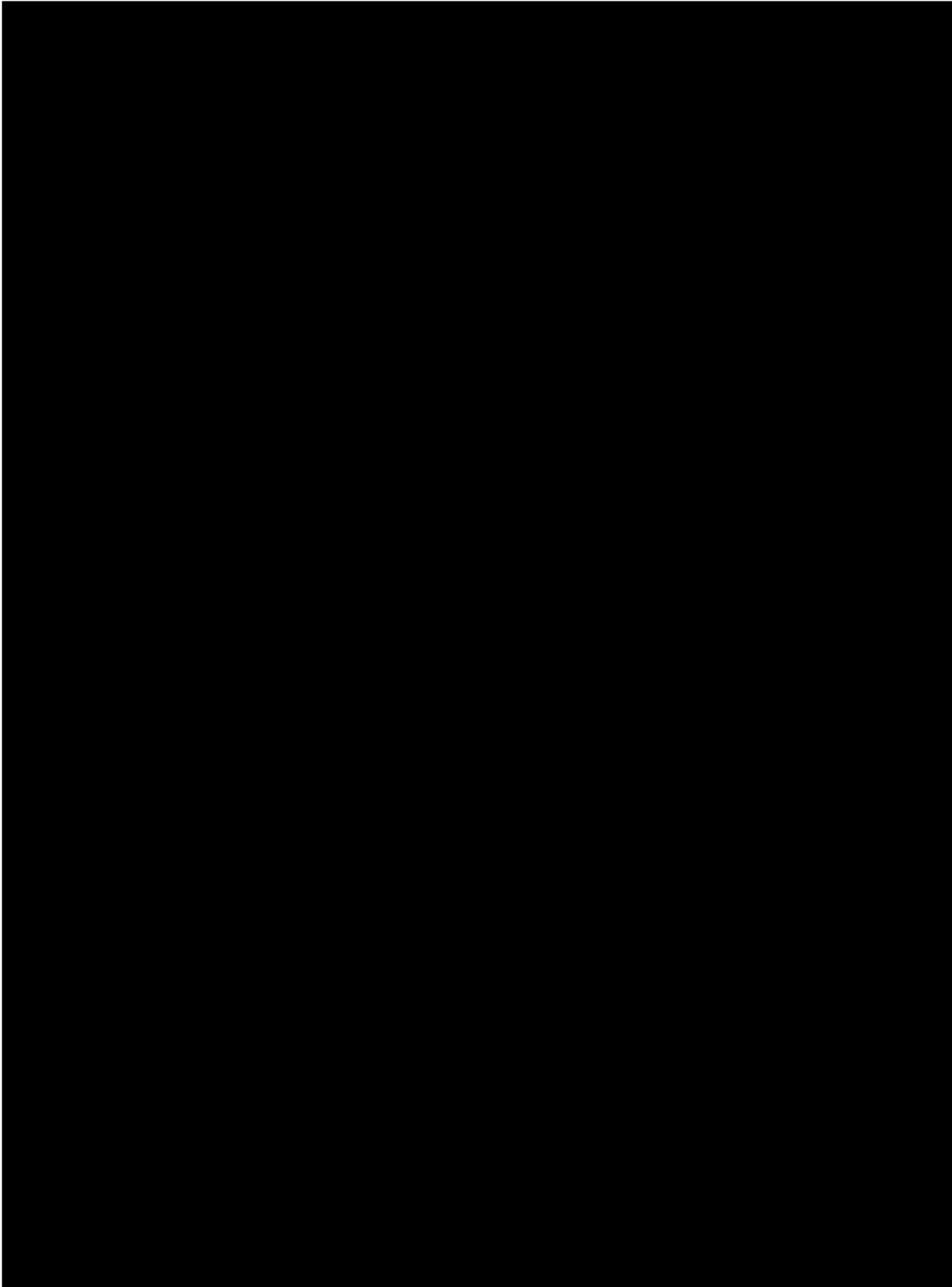
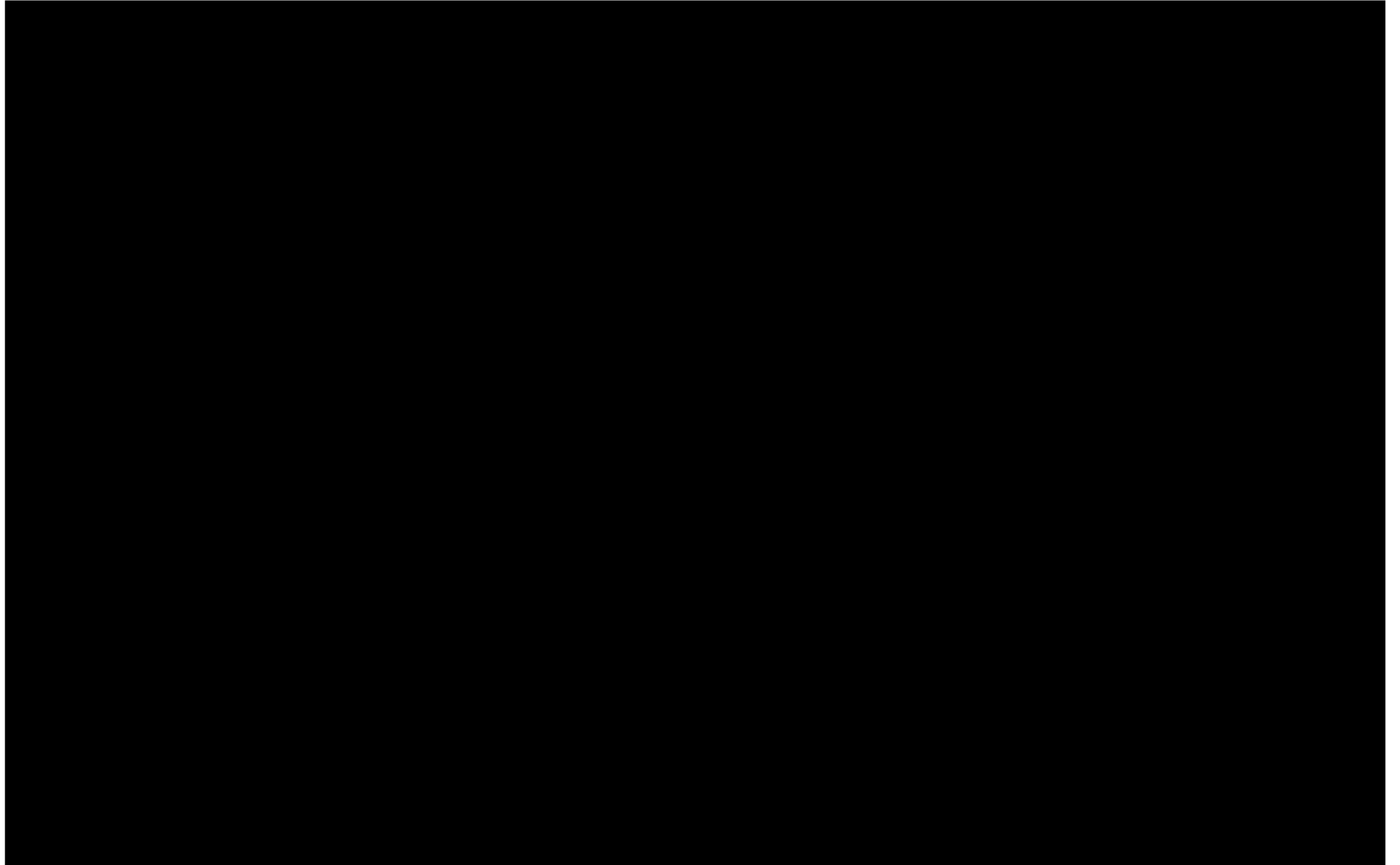


图 4.2-2 水平/垂直准直器位置示意图（图中蓝色圆圈所示）

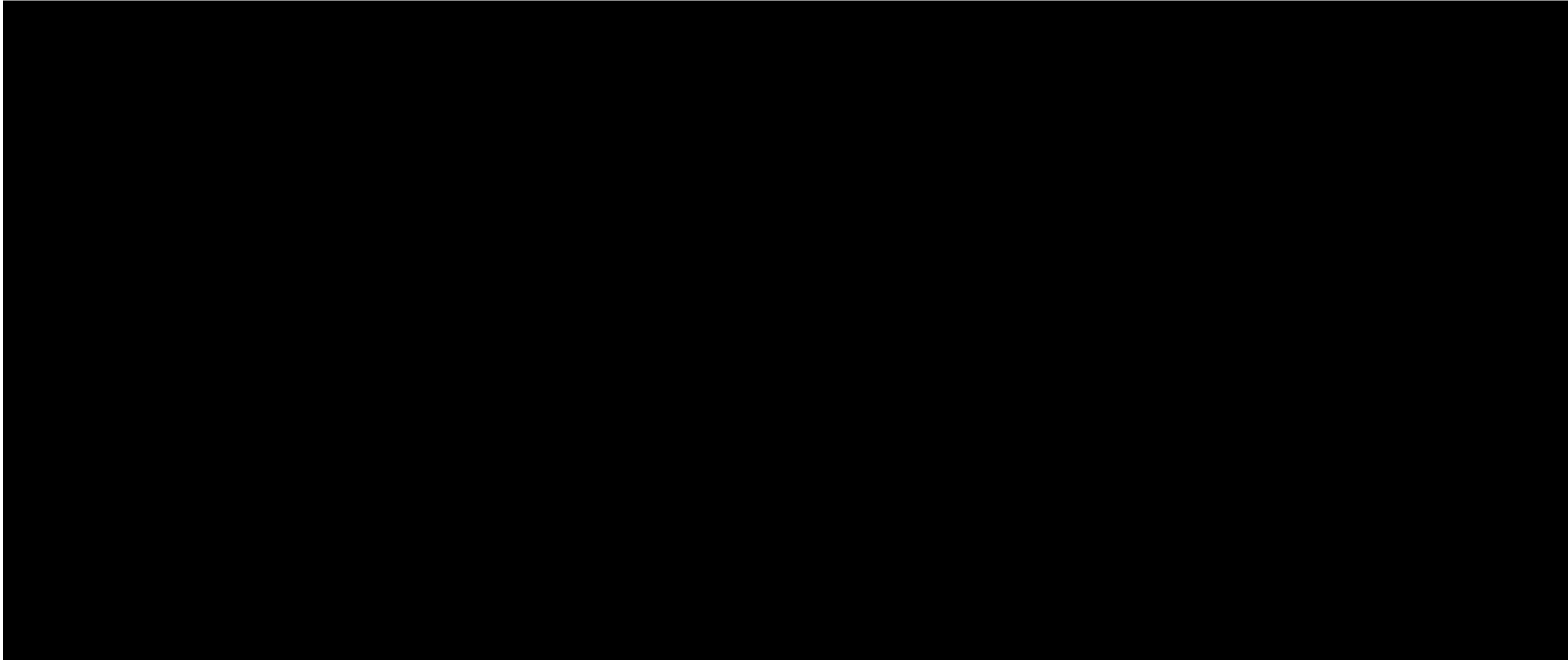








合肥先进光源项目储存环及线站变更



4.3 人身安全联锁系统

4.3.1 系统概述

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

4.3.2 设计原则

HALF人身安全联锁系统的设计遵循以下原则:

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

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

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

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

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

4.3.3 基本结构及控制逻辑

4.3.3.1 联锁系统基本结构

HALF人身安全联锁系统由注入器人身安全联锁子系统和光束线站人身安全联锁子系统组成。

(1) 加速器人身安全联锁子系统基本结构

加速器人身安全联锁子系统的控制层基于冗余PLC设计,安全联锁逻辑以及门

合肥先进光源项目储存环及线站变更

禁系统控制完全在PLC中实现。采用硬冗余的方式实现主、从PLC的自动切换，保证系统的不断工作。通过同步模块以及同步光纤，冗余PLC对之间能够实时地同步程序以及过程数据。设备层是控制系统的最底层，通过分布式IO站读写所有与安全联锁系统、门禁系统相关的现场信号（包括巡查按钮、巡查指示灯、登记按钮、登记指示灯、急停按钮、声光报警、读卡器和门磁信号等）。IO站通过背板总线实现接口模块与IO模块的数据交换与控制，通过PROFINET RT协议与冗余PLC实时通信。线站联锁接入和剂量联锁接入也是通过对应的IO站接入联锁主干网。加速器人身安全联锁子系统结构如图4.3-1所示。

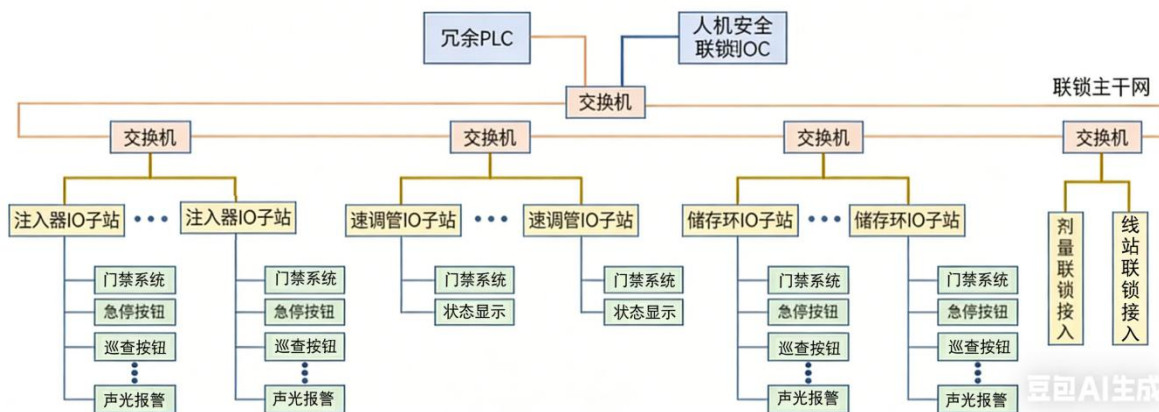


图 4.3-1 加速器人身安全联锁子系统结构示意图

(2) 光束线站人身安全联锁子系统基本结构

光束线站人身安全联锁子系统在每个棚屋附近放置一个人身安全联锁控制柜或控制箱，在光学棚屋机柜中布置冗余PLC、IO站点、本控触摸屏HMI、交换机等，在实验棚屋机箱中布置分布式IO站及本控触摸屏HMI等。冗余PLC与IO站之间通过连接的交换机相互通信。光束线站人身安全联锁子系统结构如图4.3-2所示。所有线站中任意一条出现问题（如光闸位置未到位、棚屋急停按钮被触发等引起的报警信号等）就会给出光束线站前端状态（RhBS）联锁信号。

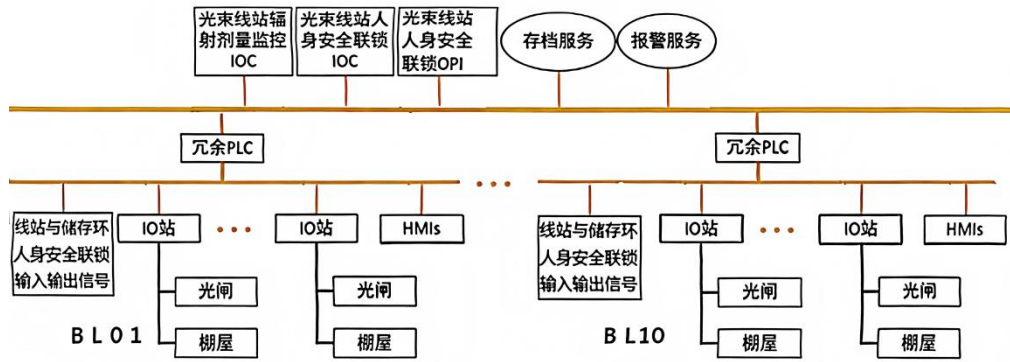


图 4.3-2 光束线站人身安全联锁子系统结构示意图

4.3.3.2 联锁系统控制逻辑

(1) 储存环安全联锁逻辑

加速器人身安全联锁子系统中，储存环区域和注入器区域的安全联锁逻辑虽互有牵涉但分别独立。

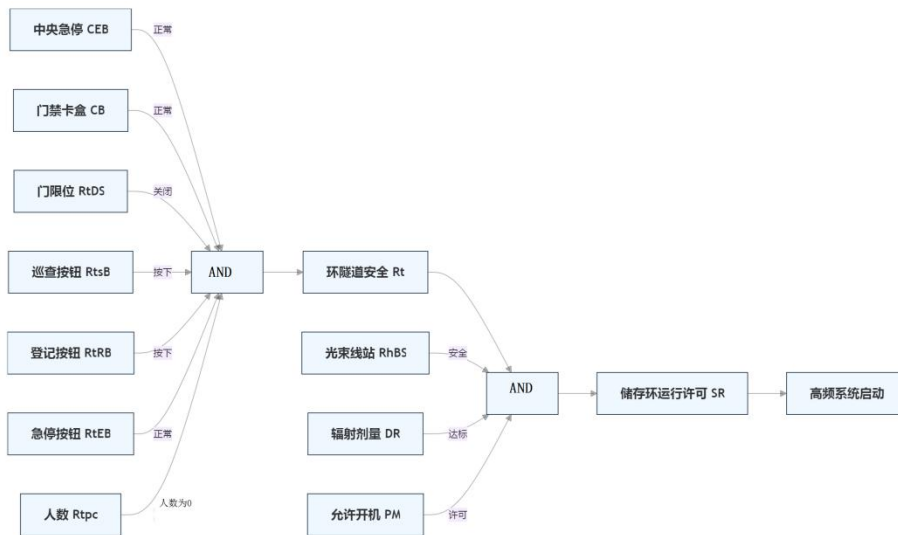


图 4.3-3 储存环人身安全联锁逻辑图

(2) 光束线站人身安全联锁子系统控制逻辑

为了确保测试线站的人身安全，线站人身安全联锁系统设置下列功能和操作程序：

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

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

③防护门与安全光闸的开关控制，执行不关闭安全光闸不能开门，不关好防护门不

能打开光闸的操作程序。

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

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

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

(3) 两个子系统的逻辑关系

光束线站人身安全联锁子系统与储存环人身安全联锁子系统逻辑关系见图4.3-4。

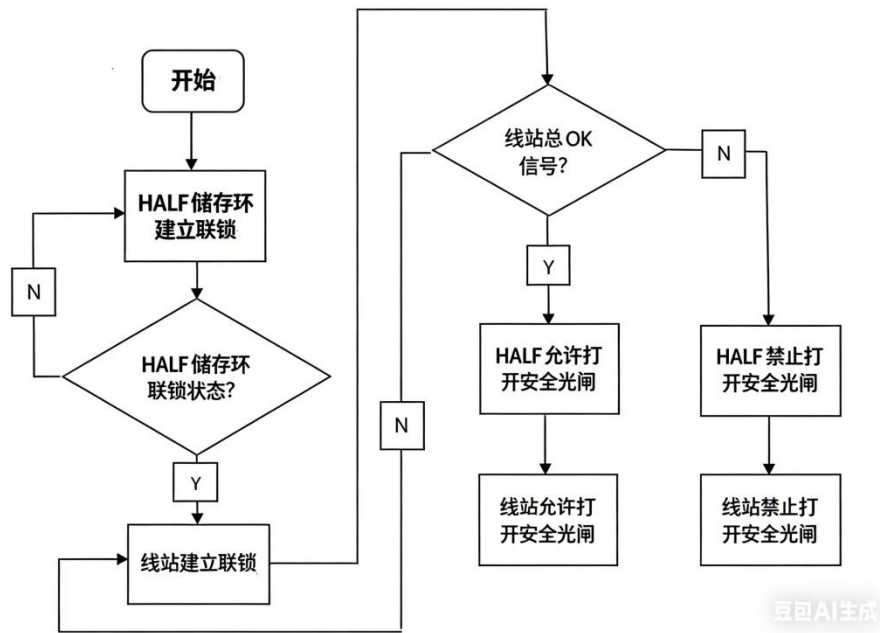


图4.3-4 光束线站与储存环人身安全联锁子系统之间的逻辑关系

4.3.4 模式、状态及运行流程

4.3.4.1 联锁系统的调试、运行模式

HALF在安装调试及运行过程中，注入器、储存环和光束线站都可能出现单独调试的情况。

表4.3-1 HALF的调试/运行模式统计表

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

储存环的状态可分为调试、运行、停机三种模式。当储存环处于不同调试、运行模式，储存环的人身安全联锁系统会要求储存环的控制区处于联锁状态。

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。

4.3.4.2 联锁系统的 3 种状态

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，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。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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

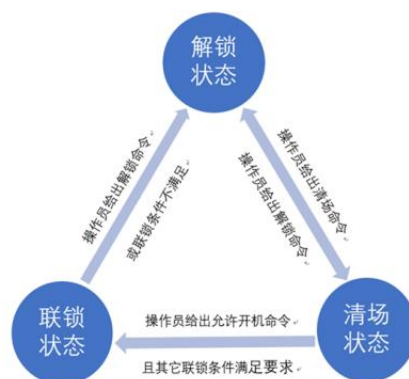


图4.3-5安全联锁系统状态迁移图

4.3.4.3 正常运行期间储存环人身安全联锁系统运行流程

储存环安全联锁运行流程具体如下：

①在其它系统均就绪后，值班人员启动清场按钮，广播通知人员离开联锁控制区域，现场指示灯由解锁状态的绿色变成橙色；所有安全门外刷卡器除清场专用联锁门禁卡能够刷卡开门外，其它联锁门禁卡都不能刷卡开门，同时，清场人员按照设定的路线进行控制区清场巡查，清空滞留人员，如图4.3-7所示。对于储存环的清场，清场至少需要2人同时从2号门（图4.3-7 储存环的北侧门）进去，分顺时针和逆时针两个方向同时开始清场最后统一从对应的5号门（图4.3-7储存环的南侧门）出来，而且清场期间除清场人员的管理卡外控制区门不能从外面刷卡打开，保证清场期间没有人员再进入控制区。

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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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来踢掉储存环束流，并快速离开；或马上按下急停按钮，踢掉束流，再通过刷卡或击碎玻璃按钮离开控制区。

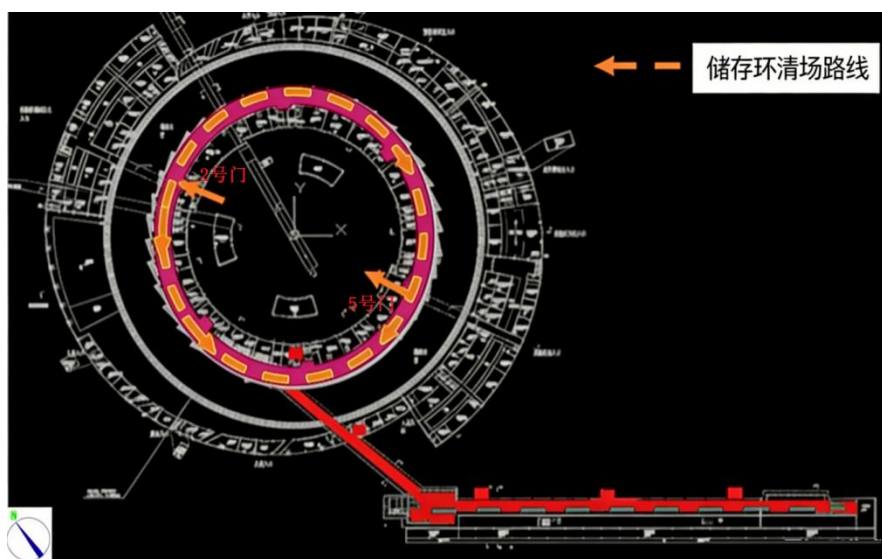


图4.3-7 储存环清场路线

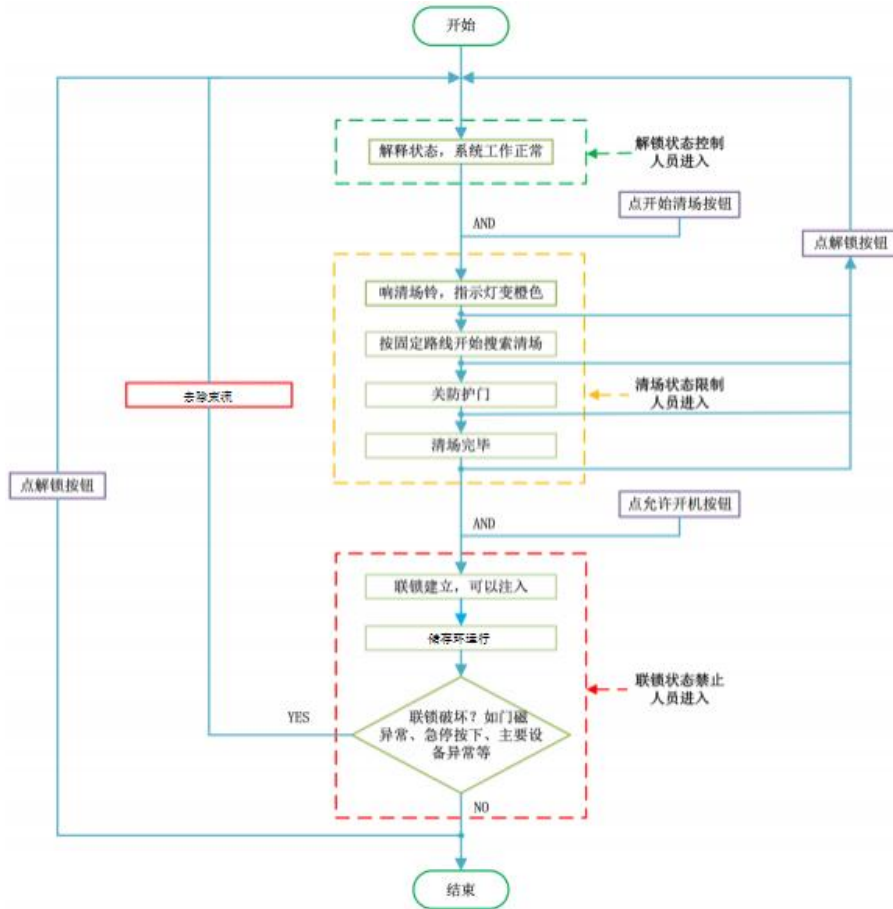


图4.3-6 HALF安全联锁运行流程图

4.3.4.4 调试期间人身安全联锁系统运行流程

(1) 储存环调试期间人身安全联锁系统运行流程

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

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

2) 除相关系统负责人员或授权人员外，其他人不得操作设备本地控制界面。

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

4) 每天调束人员应对调束内容作详实记录。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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。

(2) 线站调试期间联锁系统运行流程

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

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

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

4.3.5 系统硬件设计

4.3.5.1 联锁控制组件配置情况

人身安全联锁系统是通过设置在控制站的联锁控制器PLC来处理和交换信号，通过分布在控制区内的现场设备来采集信号和执行动作。主要现场设备有：门禁与安全门锁、联锁卡盒、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。

HALF储存环及线站联锁系统的主要设备统计如下表4.3-2所示。

表 4.3-2 储存环及线站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	储存环	线站
门禁与安全门锁	6+0	0+12 (原为 0+22)
联锁卡置换装置 (原为门禁卡盒)、联锁门禁卡和清场专用联锁卡	1+30+5	0
登记按钮及指示灯	6+6	12+12 (原为 22+22)
巡查按钮及指示灯	57+57	12+12 (原为 33+33)
急停按钮	57	22
声光报警	56	12 (原为 22)
状态显示 OPI	6	12 (原为 22)
束流阀门及光闸	0+0	0+24 (原为 0+23)

合肥先进光源项目储存环及线站变更

联锁输出	1	12（原为 11）
------	---	-----------

4.3.5.2 各联锁组件详情

(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供束；在储存环运行时，如果联锁门被打开，联锁系统将立即去除束流。

储存环控制区有6套联锁门，光束线站有12套联锁门。屏蔽门配置标准联锁设备（配置联锁信号控制箱、门禁控制箱、内外刷卡器、玻璃破碎按钮），检修门配备门锁与门状态检测器。

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，以保障自身的安全。联锁门禁卡是一种联锁交换装置，工作人员在中控室利用自己的身份卡从联锁卡置换装置上换取专用联锁门禁卡，通过专用的联锁门禁卡出入控制区域，专用联锁门禁卡不归位，无法建立联锁，实现有人员滞留控制区域时无法开启储存环，保障人员的人身安全。

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

在中控室配置1台联锁卡置换装置，用于联锁门禁卡管理。每张管理卡和门禁联锁卡在联锁卡置换装置上都有对应的卡槽，所有管理卡和门禁联锁卡必须全部归还至联锁卡置换装置（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去除束流。急停按钮要求有明确的操作指示和位置标识，操作急停按钮导致的停机必须由运行人员在本地复位后才能再次开机。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

HALF在储存环控制区设置57组急停按钮，在线站控制区设置22组紧急停机按钮。紧急停机按钮被按下后，必须通知辐射防护值班员在按钮触发地点复位，之后去控制室进行确认复位操作。急停按钮在安装在控制区人行道一侧的内壁上。

(4) 巡查登记按钮

在储存环开机之前，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。

储存环控制区设置57组搜索清场按钮；清场时，按规定路线依次按下巡查按钮，如遇到屏蔽门且门已经关上，则按下门旁边的登记按钮。在线站棚屋设置12组搜索清场按钮，清场方式与注入器控制区类似。

(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。警示装置具体位置参见图4.3-9。

(6) 控制机柜

HALF储存环及线站人身安全联锁系统在每个门附近设置一个联锁IO站，输入信号来自读卡器、巡查按钮、登记按钮、急停按钮，输出则为声光报警、按钮状态指示灯、联锁状态显示和联锁输出。这些输入输出信号接入到分布式I/O站，分布式I/O站安装在安全门附近，并与安装在设备间的冗余PLC通信，联锁逻辑在冗余PLC中完成。

4.3.5.3 联锁控制分区情况

储存环控制区为环形（下图橙红色区域），长约480m（内径），宽5.8-7.8m，有6个人员出入口设置联锁门。储存环内墙内部为监督区，主要功能为空调机房、电源厅、真空本地站/束测本地站、服务器机房以及变电所、泵房、货运车道等。

线站防护棚屋为控制区（下图中红色方块区域），棚屋外围线站工作区均为监督区。

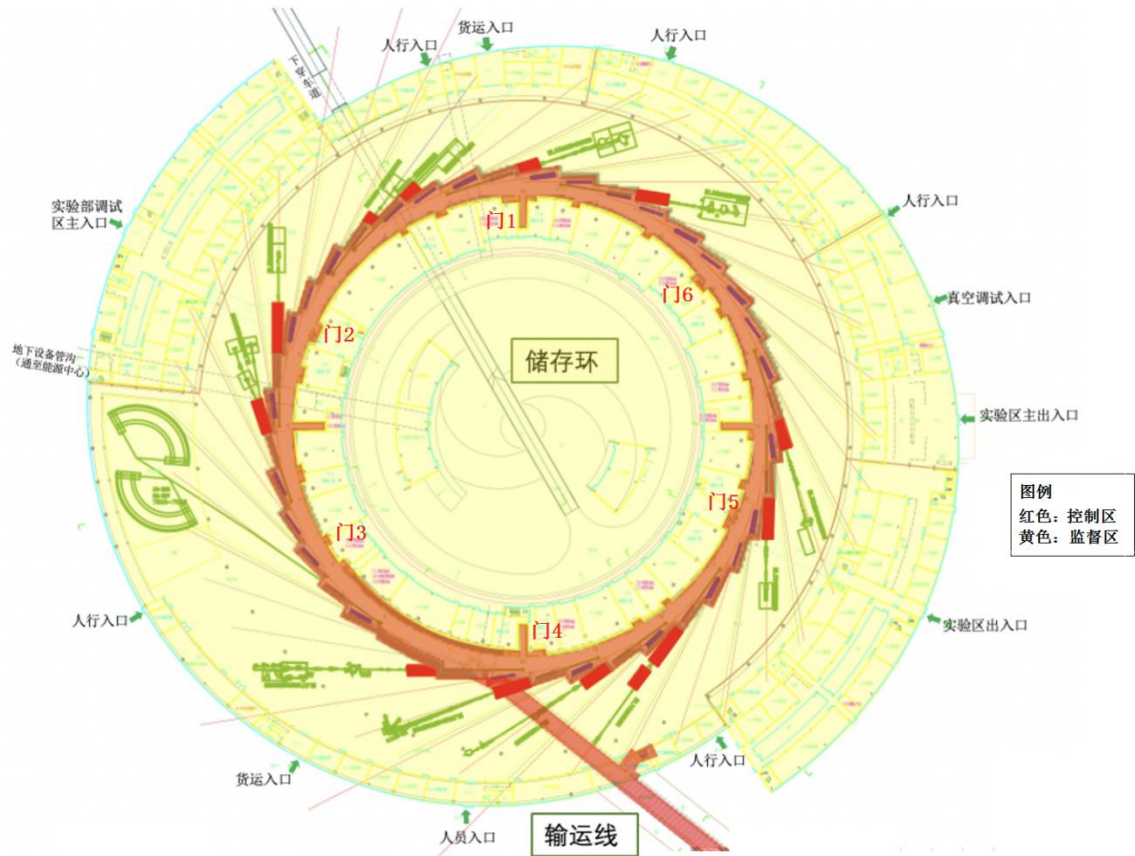


图 4.3-8 储存环联锁控制分区示意图

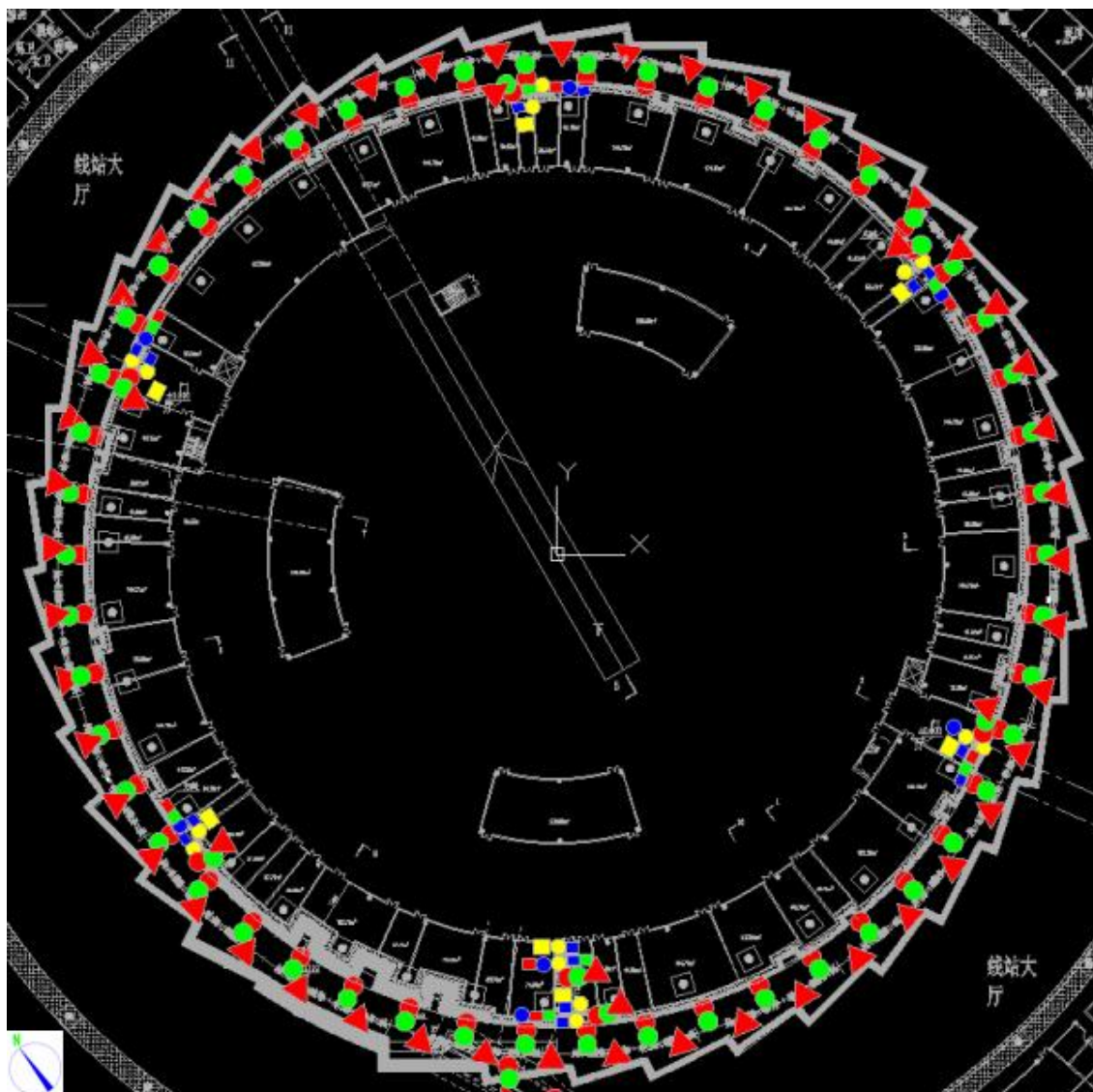


图 4.3-9 HALF 储存环人身安全联锁组件布置示意图

储存环区域的 PSS 设备布置详情如下：

①急停按钮、巡查按钮和声光报警器：每 10 米一个（48 组），考虑到每个联锁门出入口迷宫处对环棚屋来说，是视野盲区，所以每个联锁门出入口迷宫转角处（整个迷宫内都能看到）应各设 1 组，加 3 组富余量，共 57 组。其中红色圆圈表示急停按钮，绿色圆圈表示巡查按钮，红色三角形表示声光报警器；

②碎玻按钮：每个门内外各一个，用黄色圆圈表示；

③登记按钮：每个门一个，用蓝色圆圈表示；

- ④读卡器：每个门内外各一个，用蓝色方块表示；
- ⑤联锁控制箱：每个门一个，用红色方块表示；
- ⑥显示屏：每个门门外一个，用黄色方块表示。

4.3.6 相关系统信号接口

HALF储存环人身安全联锁系统有信号交互的相关系统主要包括储存环控制系统、辐射剂量监测、通风系统、线站控制系统等。

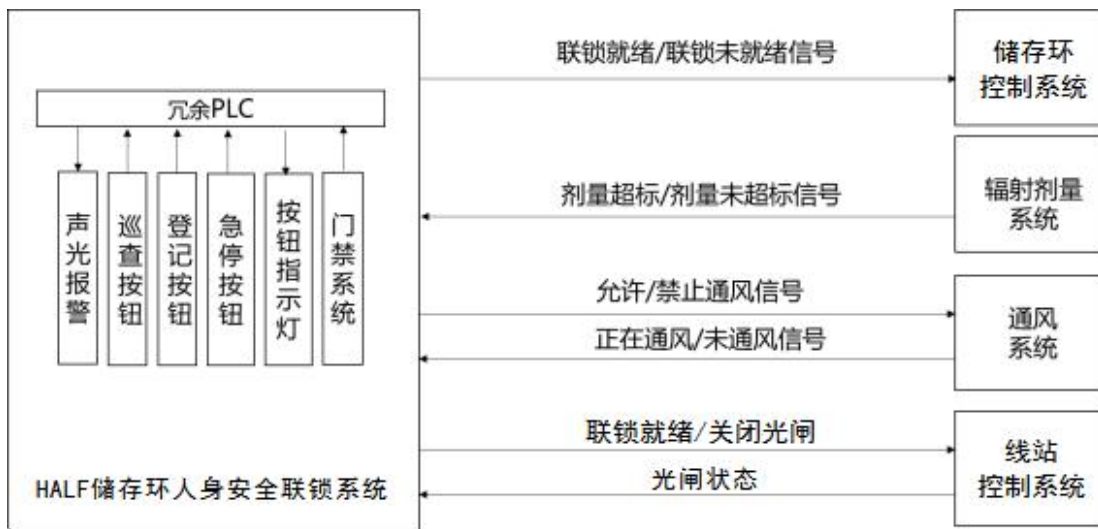


图 4.3-10 系统信号交互关系示意图

(1) 储存环控制系统交互信号

安全联锁就绪信号：此信号由安全联锁系统发送给储存环控制系统，为PLC控制的继电器信号，继电器闭合、断开分别代表控制区安全联锁就绪和安全联锁未就绪。

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

(2) 辐射监测系统交互信号

剂量超标信号：此信号由辐射监测系统发送给安全联锁系统，为PLC控制的继电器信号，继电器闭合代表剂量不超标，继电器断开代表辐射监测系统故障或剂量超标。

(3) 通风系统交互信号

允许/禁止通风信号：此信号由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、断开分别代表允许和禁止控制区通风。

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) 光闸控制系统交互信号

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

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

4.4 辐射监测系统

4.4.1 辐射监测系统概述

HALF的辐射监测系统主要组成如下：

- ①工作场所监测。包括外照射监测、表面污染监测。其中外照射又分为在线剂量率监测、离线累积剂量监测、便携式剂量率巡测。
- ②个人剂量监测。包括外照射监测、表面污染监测。
- ③环境监测。包括周围环境的辐射水平监测、环境介质监测。
- ④流出物监测。包括活化冷却水以及活化固体废物的监测。

4.4.2 工作场所监测

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

根据对隧道内剩余放射性热点区域的分析，暂将控制区内工作点位的剂量率限

值设为 $100\mu\text{Sv/h}$ 。对于剩余剂量率高于 $100\mu\text{Sv/h}$ 的区域，将用警戒带划定该区域范围，并张贴电离辐射警示标志及相关文字说明，禁止工作人员进入。后续将根据装置实际运行情况进行调整优化。

1) 在线剂量率监测系统

HALF 在线剂量监测系统基本架构如图 4.4-1 所示。最底层的设备层是辐射探测器探头和主机，探测器探头通过 RS485 线与主机连接，主机就近接入 HALF 设备局域网，负责数据的初步采集预处理和上传。基于 EPICS 系统的 IOC 读取各个探测器的数据并进行上传至 OPI 和数据库。最上层的 EPICS 层主要包含远程状态显示 OPI 以及数据储存。该监测系统实现多监测点的辐射监测数据的采集记录、数据传输、数据分析等集成管理。

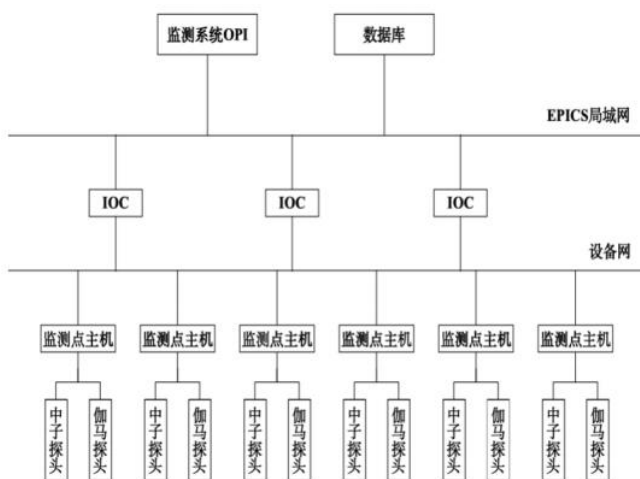


图 4.4-1 HALF 辐射监测系统基本架构示意图

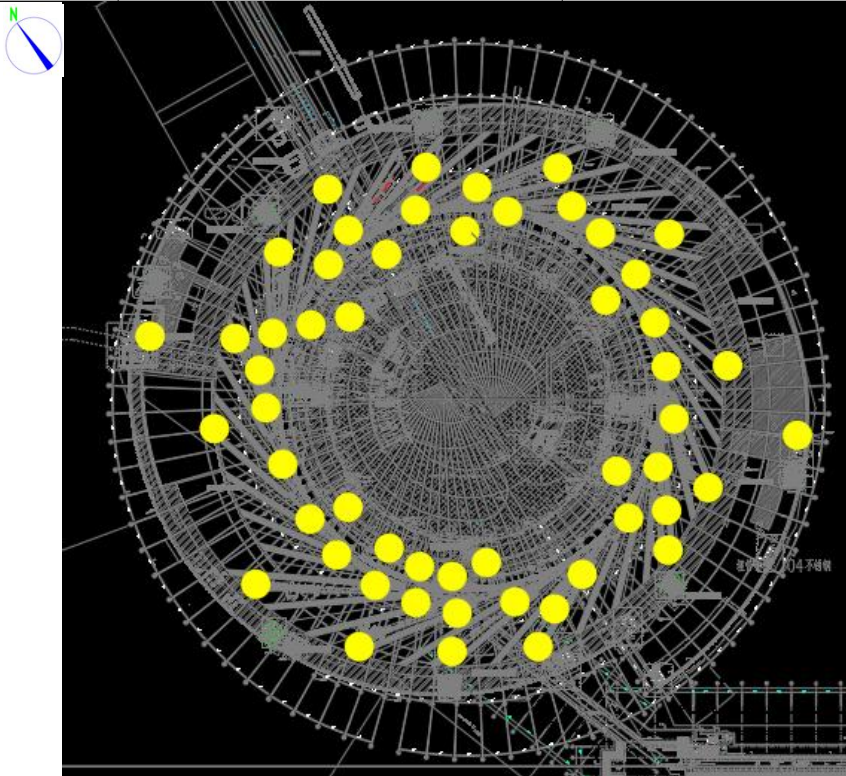
场所固定剂量监测点位

HALF 储存环及线站区域主要在控制区隧道出入口、线站大厅（锯齿墙外、实验线站、走廊立柱）、中央控制室、门卫室、储存环高频站、高频腔和谐波腔顶部及注入区、注入区顶部等处设置监测点位。其中，储存环隧道的每个出入口处设置 1 个监测点位（共 6 个），线站大厅设置 40 个监测点位（较原环评增加 1 个），中央控制室 1 个、门卫室 2 个（较原环评增加 1 个）、存环高频站 2 个、高频腔和谐波腔顶部 2 个、注入区 2 个、注入区顶部 2 个，共计 57 个监测点，具体如图 4.4-2。

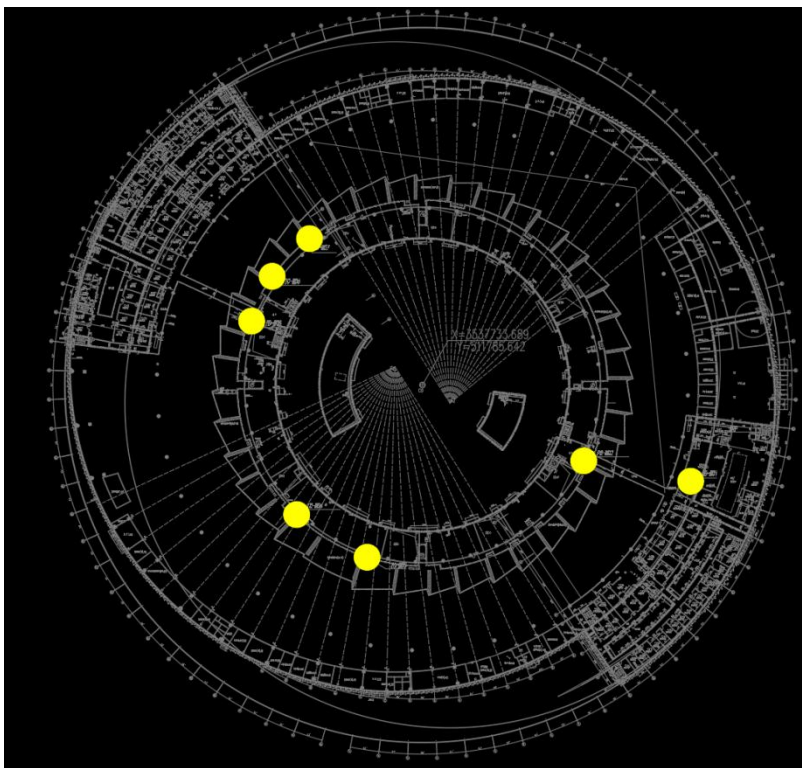
合肥先进光源项目储存环及线站变更

表 4.4-1 HALF 储存环及环大厅固定辐射监测点

区域	监测点	数量	合计
储存环及环大厅	储存环隧道出入口	6	57 (原环评 55 个)
	锯齿墙、实验线站、走廊立柱	40 (原环评 39)	
	中央控制室	1	
	门卫	2 (原环评 1 个)	
	储存环高频站	2	
	高频腔和谐波腔顶部	2	
	注入区	2	
	注入区顶部	2	



(一层)



(二层)

图 4.4-2 储存环及线站大厅监测点分布图

剂量联锁

为保障 HALF 工作人员的辐射安全，HALF 辐射监测系统设计了剂量报警阈值并与人身安全联锁系统联锁。超阈值报警系统分为两类，一类是瞬时剂量率超阈值



，另一类是累积剂量超阈值报警。瞬时剂量率超阈值报警设置两档报警。一档为橙色预警，伽马和中子叠加剂量率阈值设置为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。此档报警不会触发安全联锁，但是会提醒值班人员关注，并排查超阈值原因。另一档为红色报警，阈值设置为 $100\mu\text{Sv/h}$ 。探测器测量值持续超过阈值 25s 后，输出报警信号，并触发人身安全联锁系统。

累积剂量联锁的阈值设置为 4 小时累积剂量达到 $10\mu\text{Sv}$ ，超过此阈值将会触发人身安全联锁系统。

探测器的选择

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

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

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

2) 离线累积剂量监测

场所累积剂量监测采用被动式剂量计进行测量。使用光致发光 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。另外，将会使用 CR-39 固体核径迹测量法进行储存环、注入器以及输运线隧道内中子辐射场的测量。

3) 便携式剂量率巡测

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

4) 表面污染监测

本项目将配备便携式表面污染监测设备、洗手池、防护衣具等设施 and 用具。

4.4.3 个人剂量监测

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

中国科学技术大学要求在岗的所有辐射工作人员须正确佩戴个人剂量计，个人

合肥先进光源项目储存环及线站变更

剂量计每3个月（一个监测周期）更换一次，由学校统一组织换发，委托有检测资质的单位进行检测。另外，根据国内外高能电子加速器辐射防护运行的经验，在工作中，特别是要求到加速器隧道内工作的人员佩戴个人剂量报警仪是十分必要的。

因此，根据佩戴人员的工作性质，用于个人剂量监测的个人剂量计安排如下：

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

②不会进入控制区的短期实验人员、用户以及访问人员：使用个人剂量报警仪进行个人剂量监测。个人剂量报警仪可以实时显示所受的辐射量以及所受累积剂量，当剂量值超过阈值时发出报警，提示相关人员已进入高辐射区域，避免相关人员受到过量照射。

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

4.4.4 环境监测

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

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。HALF园区辐射环境监测点共设5个，分布于园区的边界，如图4.4-3所示。上述辐射环境监测点的监测数据将会接入到辐射监测系统中，并设置阈值报警功能。



图 4.4-3 HALF 园区环境辐射剂量监测点分布图

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

4.4.5 流出物监测

1) 活化冷却水

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

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

2) 活化固体废物

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

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

合肥先进光源项目储存环及线站变更

解控后按一般废物处理，不满足解控要求的作为放射性废物统一处理。

4.4.6 监测设备数量及技术参数

根据前文所述，储存环及环大厅场所监测点共计57处，因此需要57套固定式中子和 γ 探测器，每套含1个中子探测器、1个 γ 探测器。

另外，需要1套辐射探测器放置于调试间用于调试阶段的辐射监测，需要2套用于可移动式场所监测器。刻度室、源库以及放射性固体废物暂存间需设置监测点位；其中，刻度室以及源库分别配备中子和伽马探测器，放射性固体废物暂存间配备伽马探测器。

5个环境监测点需要5套环境级辐射中子探测器和 γ 探测器。

30支个人剂量报警仪用于个人剂量监测。

考虑到便携式巡测仪的使用场景，拟配置1台便携式 γ 巡测仪和1台便携式中子巡测仪。对于表面污染，拟配备便携式表面污染监测仪1个。

主要监测设备名称及数量如表4.4-2所示。

表 4.4-2 主要监测设备名称及数量

序号	设备名称	数量, 个/台
1	场所中子探测器	57+5
2	场所 γ 探测器	57+6
3	环境中子探测器	5
4	环境 γ 探测器	5
5	便携式 γ 巡测仪	1
6	便携式中子巡测仪	1
7	便携式表面污染仪	1
8	个人剂量报警仪	30

拟配备的监测设备的主要技术参数如下：

表 4.4-3 场所和环境辐射探测器的技术参数指标

参数	指标要求	
	探测器类型	
	γ	中子
探测器种类	高压电离室	正比计数器
能量范围	60 keV~7 MeV	0.025 eV~5GeV
剂量率范围	10nGy/h~1Gy/h	10nSv/h~100 mSv/h
相对误差	≤ 15%	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

工作温度	-20~50℃
------	---------

表 4.4-4 便携式伽马巡测仪的技术参数指标

参数	指标要求
探测器型号	AT1123
能量范围	20keV-10MeV
剂量率范围	0.1μGy/h~100mGy/h
相对误差	≤ 15 %
工作温度	-20~50℃

表 4.4-5 便携式中子巡测仪的技术参数指标

参数	指标要求
探测器型号	AUTOMESS 6150AD-B
能量范围	0.025 eV~14 MeV
剂量率范围	0.01 μSv/h -100mSv/h
相对误差	≤ 15 %
工作温度	-20~50℃

表 4.4-6 个人剂量报警仪的技术参数指标

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

4.5 通风系统

HALF储存环隧道设有通风系统，通风系统设计参数列于表4.4-1。

储存环隧道平时正常运行时，为防止隧道内的有害气体泄露到周围工作场所中，需维持低风量排风状态，使隧道内保持微负压，平时换气次数为0.6次/h；当停机后工作人员需要进入该区域或发生紧急情况时，则开启强排风，强排风的换气次数为8次/h。储存环隧道共有4个排风口，每个排风口兼平时排风与强排风功能，位于储存环隧道屋面上方，排风口距地面高度约8m，详见图4.5-1。

表 4.5-1 HALF 储存环隧道通风系统设计参数表

	排风机风量	换气次数，次/h
--	-------	----------

合肥先进光源项目储存环及线站变更

区域	平时		强排		平时	强排
	单台风量, m ³ /h	台数	单台风量, m ³ /h	台数		
储存环隧道	2200	4	25000	4	0.6	8

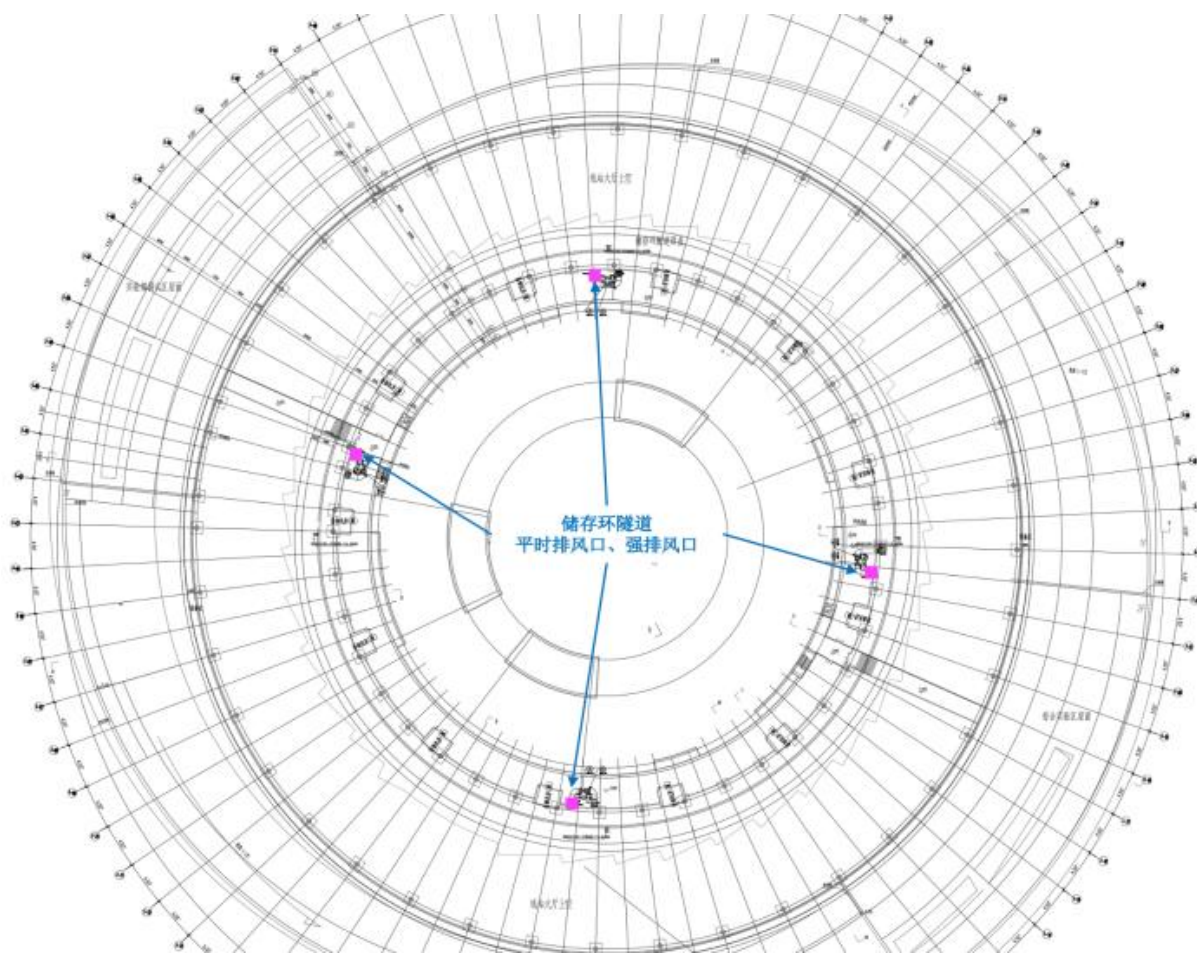


图 4.5-1 HALF 储存环排风口位置示意图（图中洋红色区域）

4.6 辐射安全与防护设施小结

参照生态环境部非医用中高能加速器监督检查技术程序，HALF 的辐射安全与防护设施情况如下表 4.6-1 和 4.6-2 所示。

表 4.6-1 HALF 储存环辐射控制区的安全与防护情况

序号	项目	是否符合
1*	电离辐射警示标志	√
2*	声光报警装置	√
3	计算机记录系统	√

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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

备注: /表示本项目不适用。

表 4.6-2 光束线站控制区的防护与安全情况

序号	项目	是否符合
----	----	------

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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

4.7 三废治理

4.7.1 放射性废气及处理措施

(1) 来源

HALF 运行期间在注入器隧道及储存环隧道区域可能产生感生放射性气体，其主要放射性核素为 ^{11}C ($T_{1/2}[^{11}\text{C}]=20.39\text{min}$)、 ^{13}N ($T_{1/2}[^{13}\text{N}]=9.965\text{min}$)、 ^{15}O ($T_{1/2}[^{15}\text{O}]=2.037\text{min}$) 和 ^{41}Ar ($T_{1/2}[^{41}\text{Ar}]=1.8\text{h}$)。根据第三章的计算结果，HALF 空气活化程度比较轻微，核素的最大活度浓度在 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ 量级，年排放量为 $1.52\text{E}+10\text{Bq}$ 。

(2) 处理措施

HALF 运行期间可能产生的气态感生放射性核素主要为短半衰期核素，经过一段时间后可自行衰变至较低水平。储存环设有排风系统，排风系统设计参数见表 4.5-1。装置运行过程中可能产生的感生放射性气体经排风管引至室外排放，排风口高度约 8m。考虑到废气中感生放射性核素的半衰期很短，且排入大气后经过扩散和稀释，结合第五章的计算结果，其对环境的影响是可以接受的。

4.7.2 放射性废水及处理措施

(1) 来源

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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

(2) 处理措施

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

注入器隧道和储存环隧道均设有专用于暂存活化冷却水的集水坑、暂存池。

储存环隧道设有四个事故排水暂存池，均位于储存环内侧，用于暂存排放或泄漏的活化冷却水。储存环隧道内部的地面设有地漏，地漏通过排水管道与暂存池相连，排水管道设有一定倾斜角度，冷却水可通过重力作用自流至暂存池内暂存。每个暂存池的尺寸为 $6\text{m}\times 3\text{m}\times 5.5\text{m}$ （长 \times 宽 \times 高），有效容积 70m^3 。储存环隧道四个事故排水暂存池的位置详见图4.7-1。

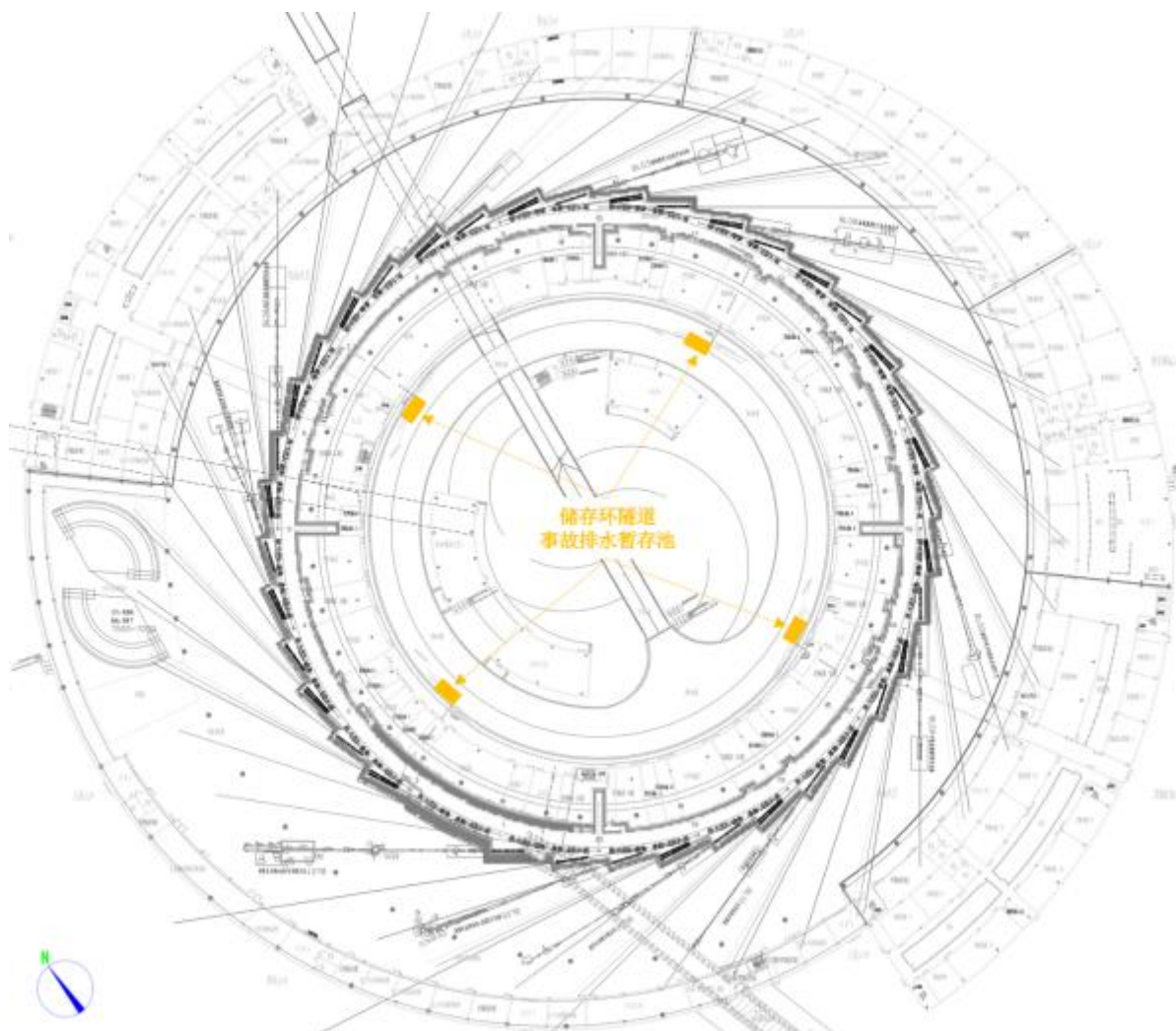


图 4.7-1 储存环隧道事故排水暂存池位置示意图（黄色方块区域）

直线加速器隧道设 4 个集水坑（单个有效容积 6m^3 ）、3 个室外事故排水暂存池（单个有效容积 40m^3 ），加上储存环隧道的 4 个事故排水暂存池（单个有效容积 70m^3 ），总计可暂存冷却水的体积为 424m^3 ，大于 HALF 冷却水系统内的冷却水总量 378m^3 ，能够满足冷却水暂存需求。

冷却水在排放前必须取样测量，满足活化冷却水排放标准，方可排放。

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

4.7.3 放射性固体废物及其处理措施

(1) 来源

合肥先进光源项目储存环及线站变更

HALF 可能产生的放射性固体废物主要为装置的活化部件，主要为束流管，其主要材料为 316L 不锈钢（主要含 Fe、Cr、Ni、Mo），感生放射性模拟结果列于第三章。由前述计算结果可知，废束流管的活化水平不高，储存环束流管所有核素的饱和活度浓度为 $2.28E+02\text{Bq/g}$ ，属于低放废物。计划 HALF 正常运行后五年需拆除的加速管总量为：8 根 4.5m 段，16 根 2.5m 段。经估算，可能产生的活化固体废物总量约 206kg。

（2）处理措施

HALF 运行产生的活化固体废物暂存于技术安全楼一层的放射性固体废物暂存间，见图 4.7-2。技术安全楼位于储存环西南侧，见图 4.7-3。

放射性固废从控制区转运到固废暂存间过程中具体管理措施如下：

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

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

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

放射性固体废物暂存间面积 44m^3 、容积 120m^3 ，足够暂存 HALF 及配套工程项目运行期间产生的放射性固体废物。其辐射防护设计方案如下：四周墙体 50cm 普通混凝土，顶板 50cm 普通混凝土，防护门 0.5cm 不锈钢+5cm 铸铁+0.5cm 不锈钢。本项目项目产生的感生放射性很小，经过暂存间墙体、顶板及门的屏蔽作用和距离衰减作用，对周围环境的辐射影响较小。

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

（1）对于满足清洁解控标准的：

①可回收利用的部件，回收后复用。

②不能回收利用的部件，经监管部门认可后，解控后按一般废物处理。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

(2) 对于不满足清洁解控标准的，送交当地城市放射性废物库。

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，方可清洁解控。

建设单位需对每次活化固体废物的处理情况进行记录并存档，具体记录内容包括每次处理的固体废物名称种类、废物量、剂量率监测结果以及最终去向等。

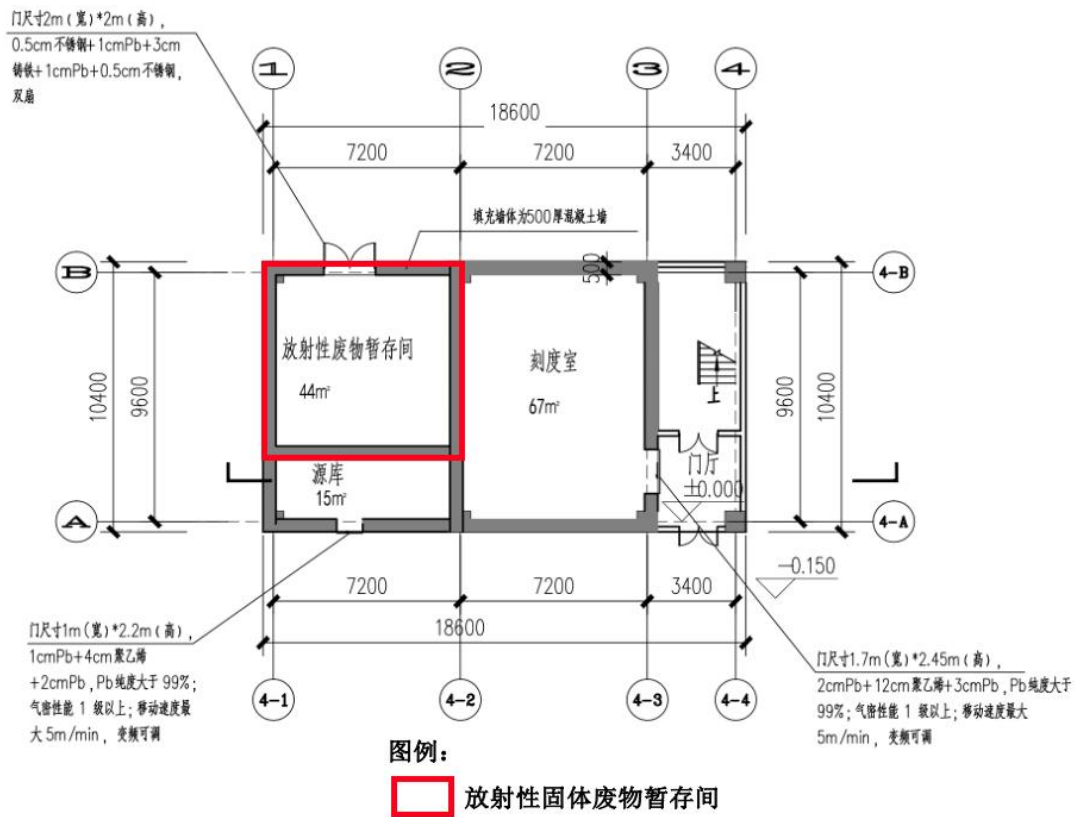


图 4.7-2 放射性固体废物暂存间位置示意图

合肥先进光源项目储存环及线站变更

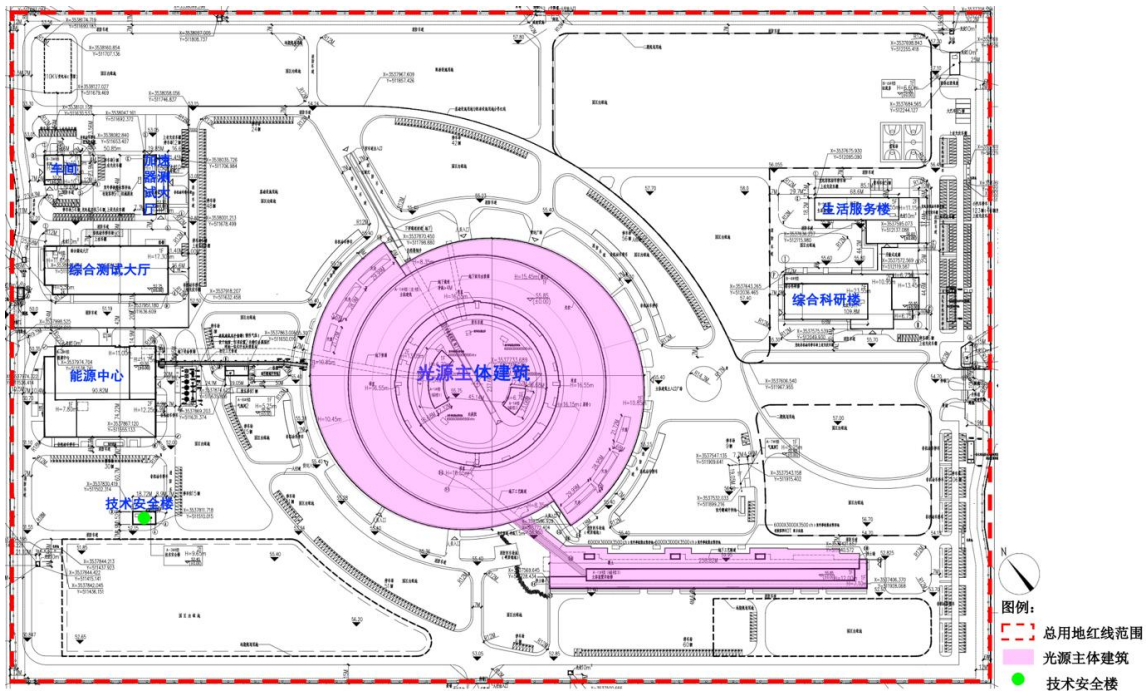


图 4.7-3 技术安全楼位置示意图（绿色圆点区域）

4.8 服务期满后的环境保护措施

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

5 环境影响分析

5.1 正常工况下环境影响分析

5.1.1 辐射源项

5.1.1.1 储存环

在屏蔽计算时，储存环的电子最高能量 2.2GeV、正常供束时最大流强 350mA、电荷量 560nC，需要考虑的辐射源项有：

①**工作模式 1（正常运行（非注入），考虑沿途束损）**：束流在储存环绕环时在全环沿途 2.2GeV-350mA-1h 寿命的束流均匀损失(线损)，防护按 2.2GeV-9.72E+8 (e/s) -2.02546E+6 (e/m/s) 考虑；从简化、保守角度考虑，忽略了沿途部件的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 2.2GeV-9.72E+8 (e/s) 的电子，从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上，以偏离切向很小的角度 (1mrad) 分别打在束流管壁上；束流管材料为 316L 不锈钢，因为 FLUKA 没有圆环几何，采用四个同心垂直方向的圆柱面（半径分别为 7623.70cm、7623.60cm、7626.40cm、7626.30cm）、与四个水平面（垂直方向坐标分别为 121.40cm、121.30cm、118.70cm、118.60cm），通过布尔运算构成束流管，束流管的水平方向管壁为 2 个圆柱壳，垂直方向管壁为 2 个圆环壳，壳的壁厚均为实际束流管的壁厚，即为 0.1cm。

准直器源项：假设托歇克寿命 1h，储存环束流 350mA 对应的所有电子个数是 $3.5e+12$ 个。则每秒损失的流强约为 0.0972mA/s，损失率即 9.72E+8e/s。安装两台水平和一台垂直准直器后，在托歇克损失的电子中，其中某一台水平准直器最高能接收约 70%的束流损失，垂直准直器最高能接收约 30%的束流损失。即 70%水平准直器 6.8×10^8 个/s，30%垂直准直器 2.92×10^8 个/s。

②**工作模式 2（首次注入）**：这种注入模式下，储存环没有束流，为了快速使储存环达到 350mA 的供束流强，注入器以 0.95nC-10Hz（脉冲宽度为 1ns）、50%注入效率进行大流强注入，需要的注入时间为 118s；同步辐射光源的平均无故障时间为 100 小时左右，即运行 100 小时丢束一次，需要从 0 到 350mA 重新大流强注入一次。保守假设 HALF 每年运行 7200 小时，则保守估计全年大流强注入的总次数为 72 次。防护需要考虑大流强注入的屏蔽体外单次累积剂量和全年的累积剂量满足

合肥先进光源项目储存环及线站变更

对应的限值要求。从简化、保守角度考虑，忽略了注入点的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 2.2GeV-4.75nA ($0.95\text{nC} \cdot 10\text{Hz} \cdot 50\% = 4.75\text{nA}$) 的电子，从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上，以偏离切向很小的角度 (1mrad) 分别打在束流管壁上。

③**工作模式 3 (小流强补充注入)**：这种注入模式下，储存环已有 350mA 流强在供束，为了维持恒流运行模式，在 1h 寿命内，需持续以 0.3nC-10Hz, 50%注入效率补充注入多次，1h 补充注入的总时间为 374s (按储存环束流每小时平均降低 10%，注入束流 112nC，注入束流损失 50%，平均每秒注入 1 次)。保守假设 HALF 每年运行 7200 小时，则全年小流强补充注入的总时间为 $7200\text{h} \cdot 373\text{s} = 746.7\text{h}$ 。

从简化、保守角度考虑，忽略了注入点的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 2.2GeV-1.5nA ($0.3\text{nC} \cdot 10\text{Hz} \cdot 50\% = 1.5\text{nA}$) 的电子，从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上，以偏离切向很小的角度 (1mrad) 分别打在束流管壁上。

④**工作模式 4 (事故工况全束团丢失)**：事故工况下时，突然全束团丢失，防护按全环所有储存的电子全部丢失在同一最严重考虑，即按 $3.5\text{E}+12$ (e/次) 考虑，要求屏蔽外剂量不超过 1mSv/次。从简化、保守角度考虑，忽略了注入点的自屏蔽结构，认为束流损失时，就是 2.2GeV- $3.5\text{E}+12$ (e/次) 的电子，从束流管与过束流轴线的水平面相交的两个圆周上的内、外 2 个点，以偏离切向很小的角度 (1mrad) 分别打在束流管壁上。

表 5.1.1-1 计算时考虑的各个工作模式对应的辐射源项

隧道名称	序号	工作模式	辐射源项
储存环	1	正常运行 (非注入)	350mA-1h 寿命沿途均匀线损 ($9.72\text{E}+8$ (e/s)) 准直器源项：假设托歇克寿命 1h，储存环束流 350 mA (电子损失率 $9.72\text{E}+8\text{e/s}$)，在托歇克损失的电子中，其中某一台水平准直器最高能接收约 70%的束流损失，垂直准直器最高能接收约 30%的束流损失。
	2	首次注入	350mA 首次注入：0.95nC-10Hz, 50%注入效率，注入 118s
	3	补充注入	350mA 补充注入：0.3nC-10Hz, 50%注入效率，注入 374s

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	4	事故工况	储存环全环 350mA 束流事故工况下损失在注入区下游迷宫口
--	---	------	--------------------------------

5.1.1.2 光束线站

同步辐射装置正常运行时，光束线站附近的辐射来源可分为真空相关散射（气体韧致辐射）、托歇克效应引起的固体韧致辐射以及同步辐射。

真空相关散射指束流与储存环管道内残余气体发生的弹性或非弹性散射过程，其结果可能导致电子直接在散射中损失并撞击管壁，或通过产生韧致辐射形成辐射泄漏，从而进入实验大厅。电子束与真空腔中残余气体碰撞产生的气体韧致辐射长期被看作是光束线站的最主要的辐射源。气体韧致辐射能谱范围广且方向高度集中，模拟中可忽略束流轨道的横向变化，气体韧致辐射表现出尖锐前冲的特点。

托歇克效应指束团内部粒子之间大角度库伦散射从而导致电子越出相稳定区的现象，是束流的主要损失方式。单束团带电粒子密度越大，托歇克效应越强。

同步辐射是电子在插入件磁场偏转时，沿运动轨迹切线方向发射的电磁辐射，具有高度准直性和特征能谱分布，将沿光束线管道穿过前端区和屏蔽墙到达棚屋区域。

本次评价包含 12 条光束线站，其中 BL01/02/03/04/05/06/07/10 按照 1.5%的束流损失率计算；BL08/09 按照 3%的束流损失率计算。

5.1.2 建模仿真预测模型

采用 FLUKA 程序，利用三维建模软件 SimpleGeo，对 HALF 主体建筑结构进行详细建模计算，建模情况如下图所示。

束流线距储存环隧道地面 1.2m（标高 0.1m），光束中心线距线站大厅地面 1.3m（标高 0.0m）。

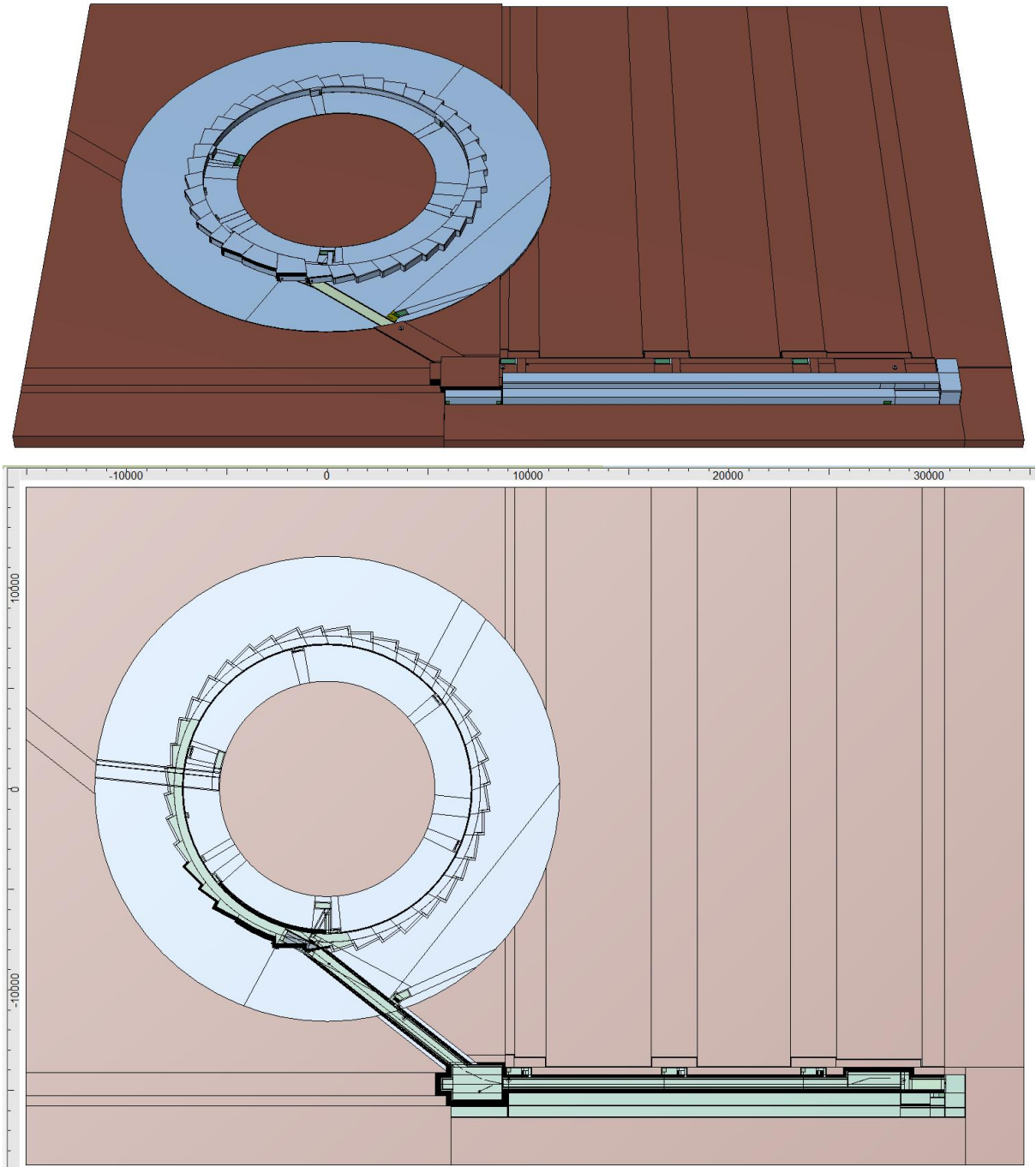


图 5.1.2-1 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（整体）

（上图：立体图，下图：去掉顶屏蔽的平面图）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

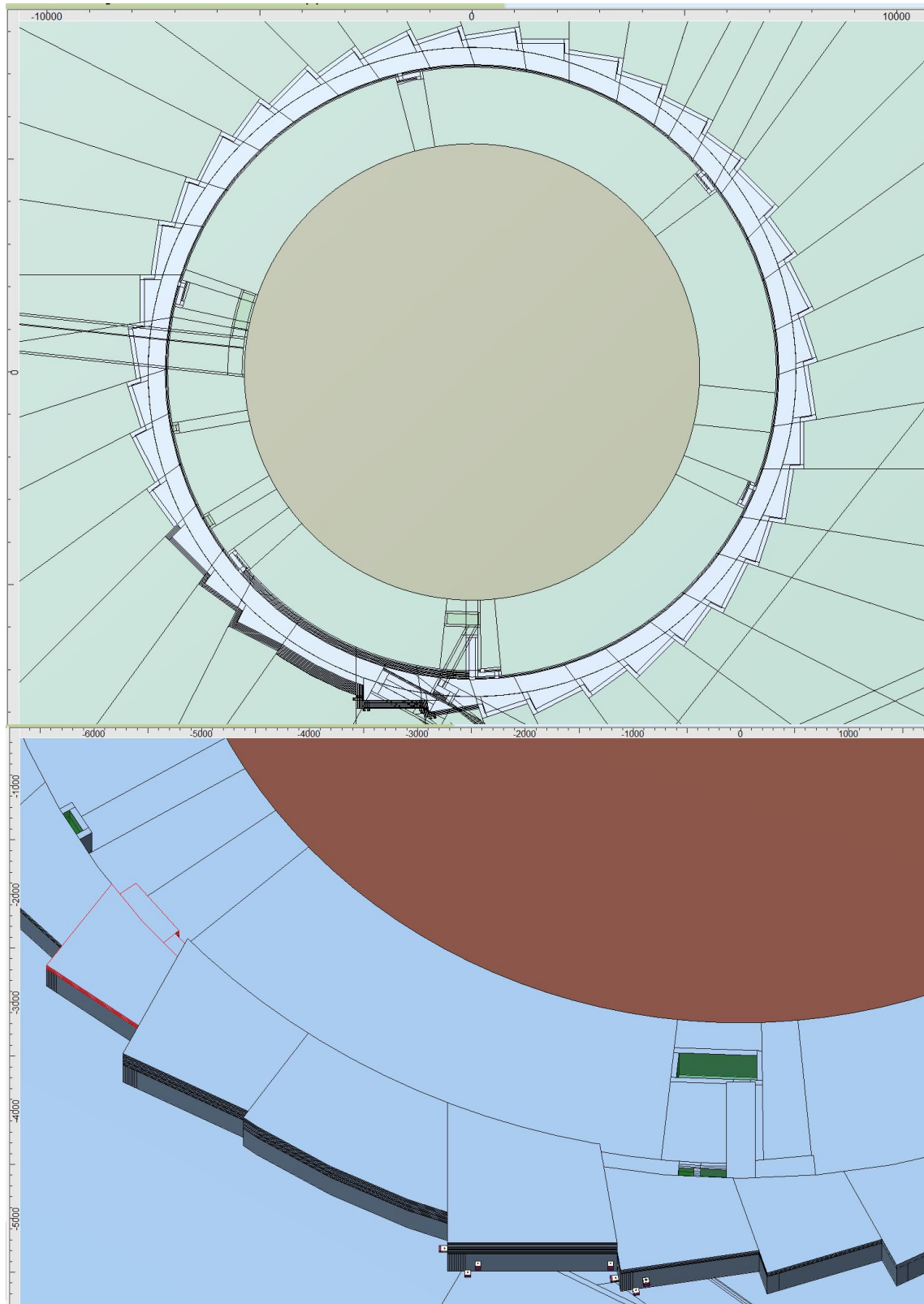


图 5.1.2-2 计算 HALF 屏蔽的 FLUKA 几何模型（储存环）
（上图：整体平面图，下图：注入区及其上下游立体图）

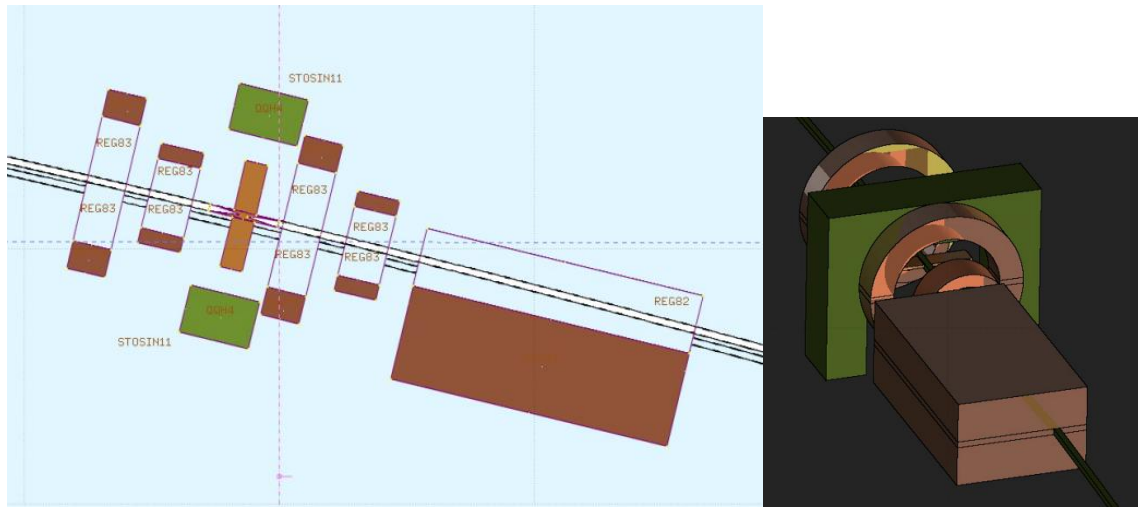


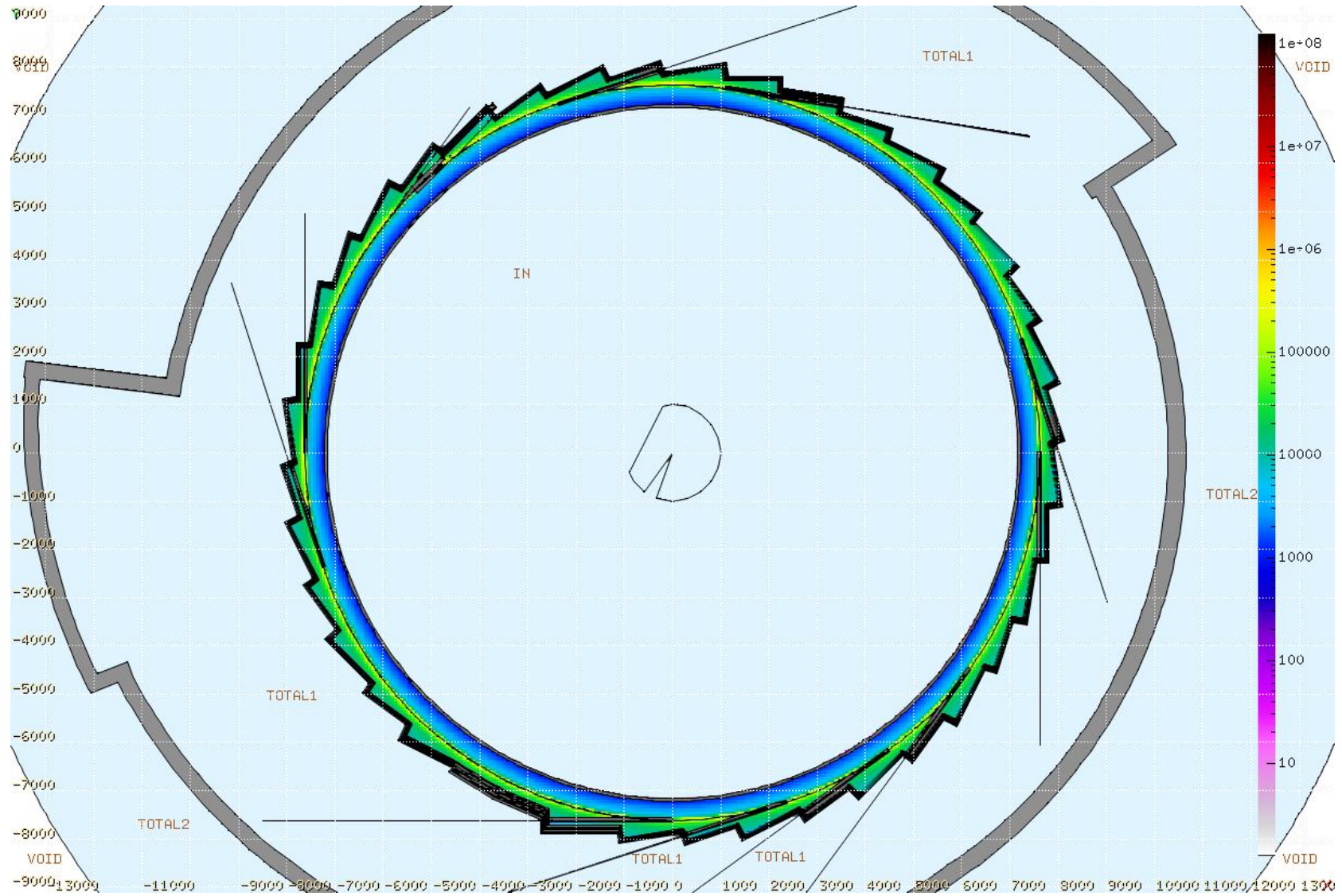
图 5.1.2-3 HALF 储存环准直器局部屏蔽简化模型

5.1.3 储存环隧道

5.1.3.1 储存环隧道模拟计算结果

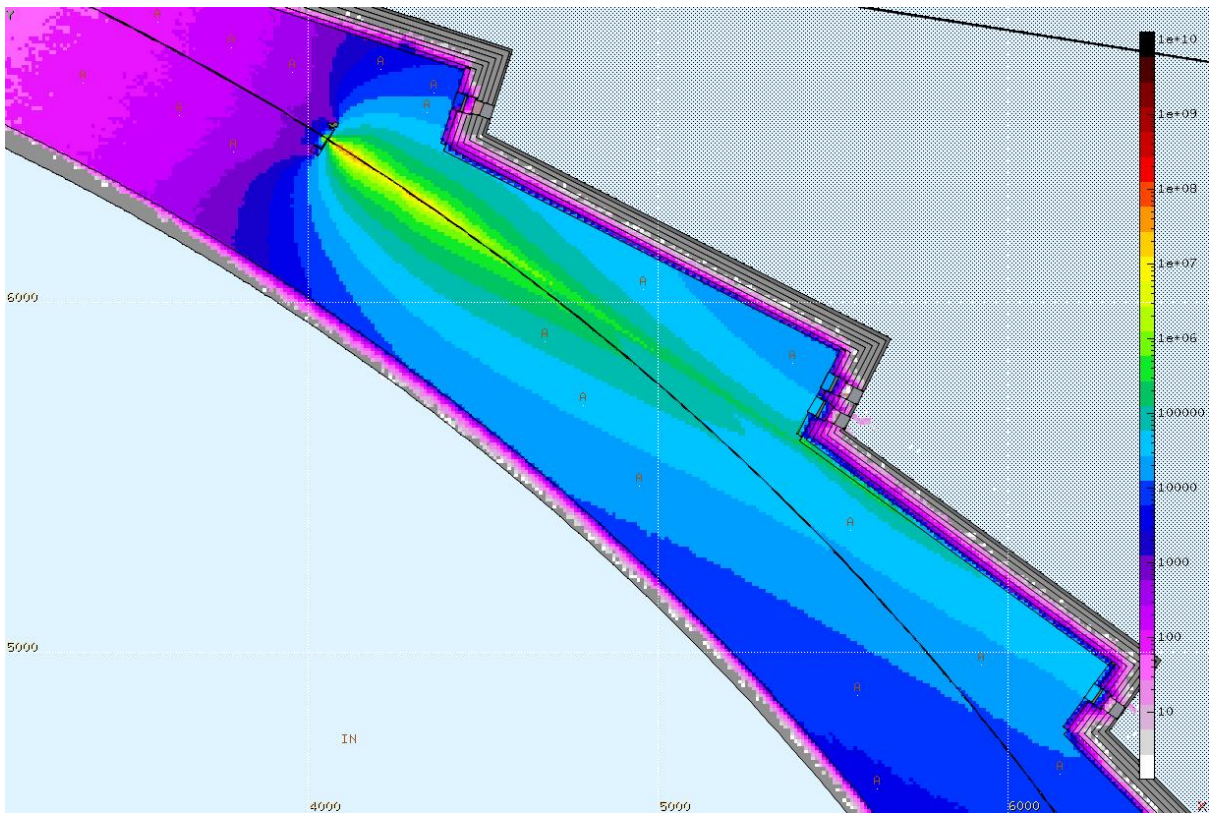
下面各图给出了储存环在各种辐射源项下的模拟计算结果（关注点编号标于图中）。从计算结果可以看出：关注点的剂量率都小于剂量率限值较多，满足防护要求。储存环以 350mA 全束团突然丢束情况下，假设最严重的情形丢在注入区下游迷宫口，其单次累积剂量很小，比 1mSv/次的限值小 20 倍以上。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

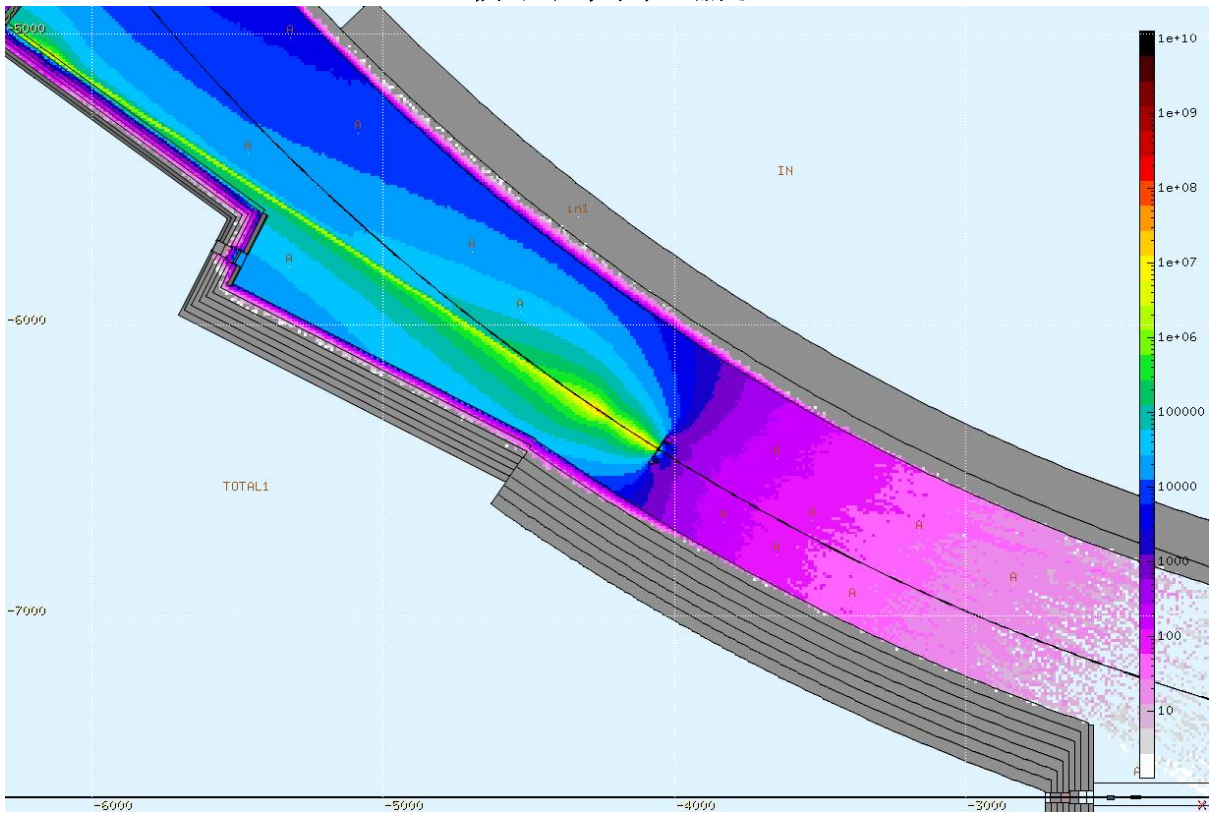


(整个储存环束流均匀损失的剂量率分布)

合肥先进光源项目储存环及线站变更



(非注入区水平准直器处)



(注入区水平准直器处)

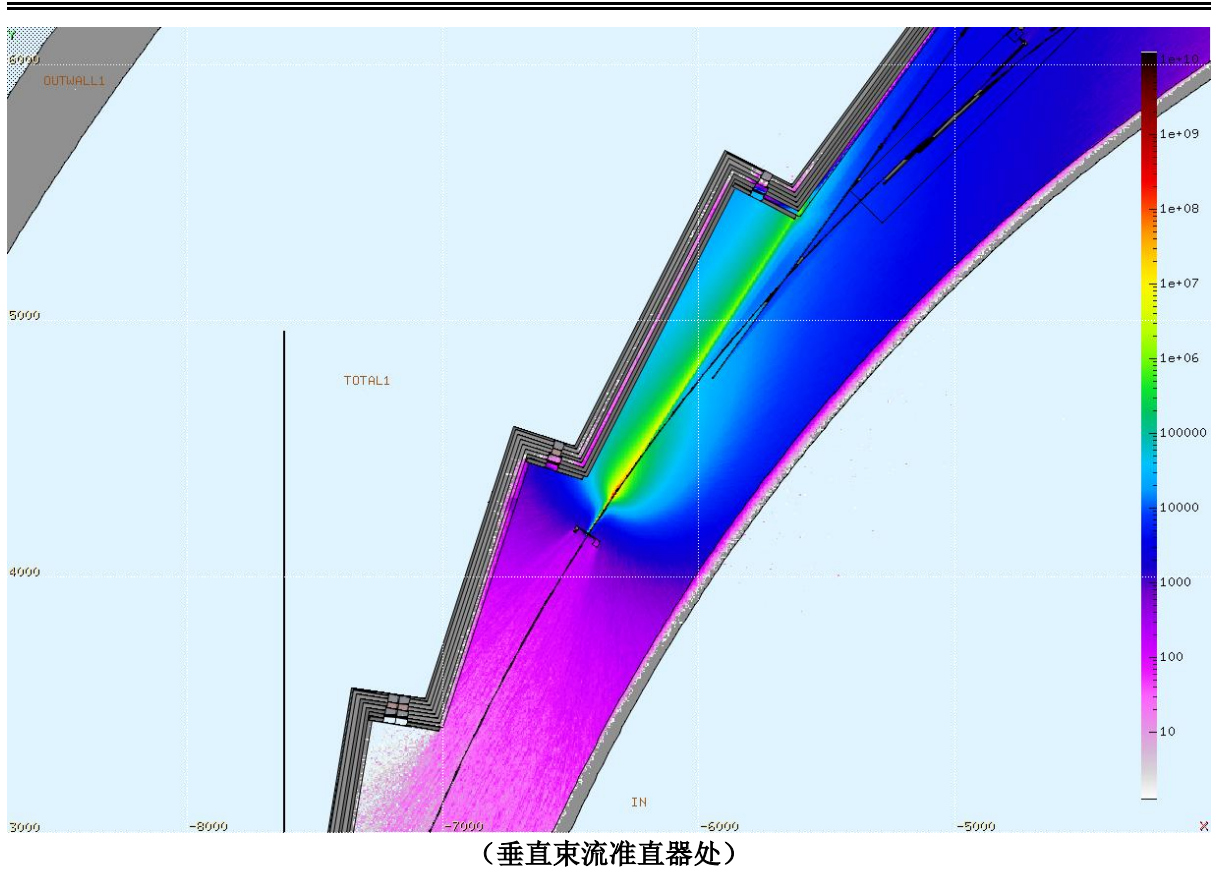
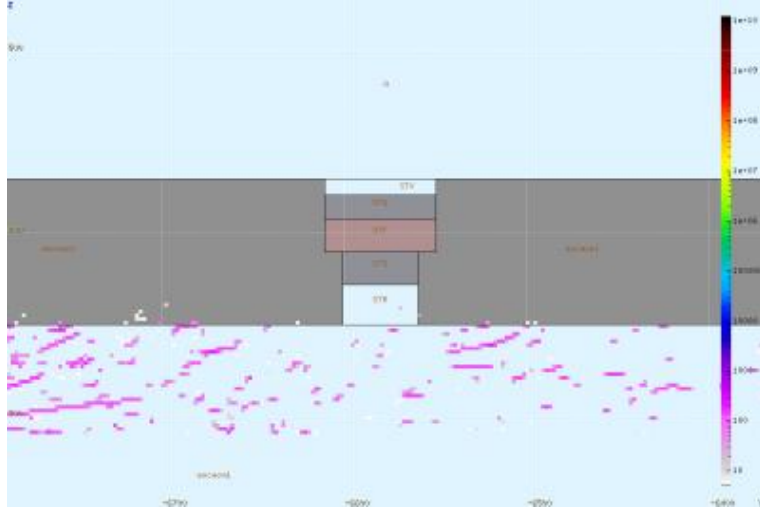


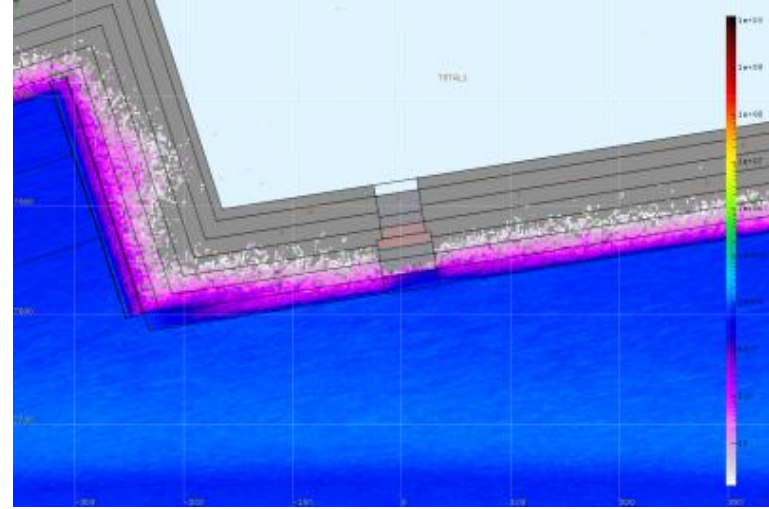
图 5.1.3-1(a) 储存环 2.2GeV-350mA-1h 寿命的束流均匀损失，束流水平面剂量率分布（单位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

合肥先进光源项目储存环及线站变更

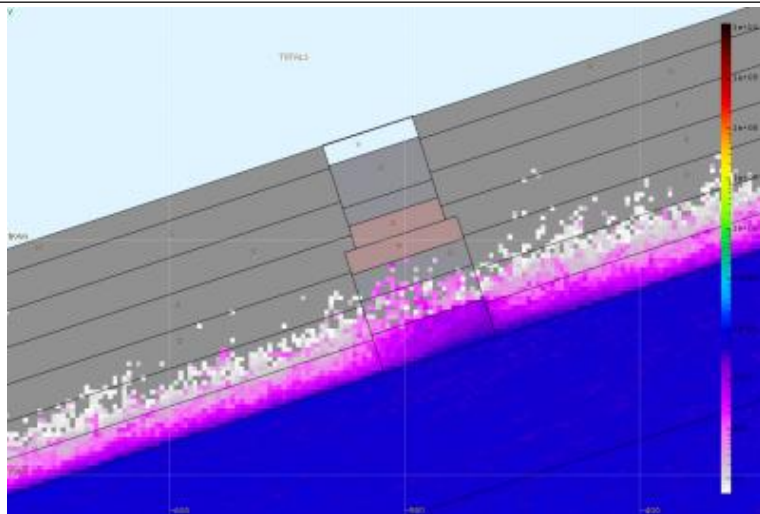
储存环相关孔洞剂量率云图



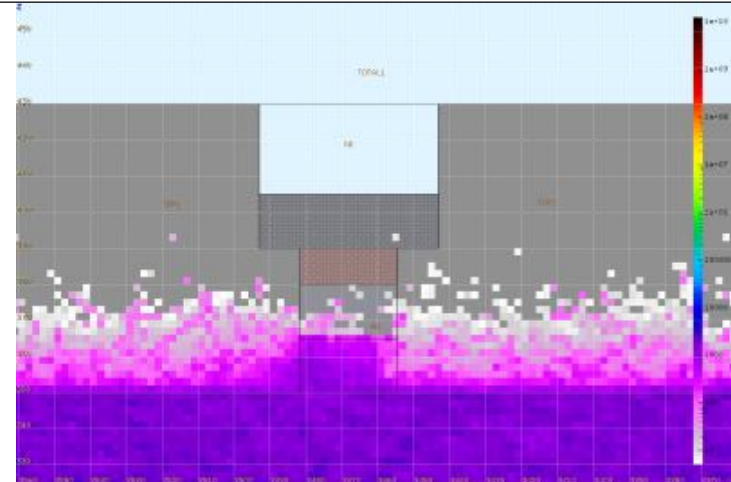
准直一级控制点



锯齿墙长墙预留准直透视孔（四个方位孔）

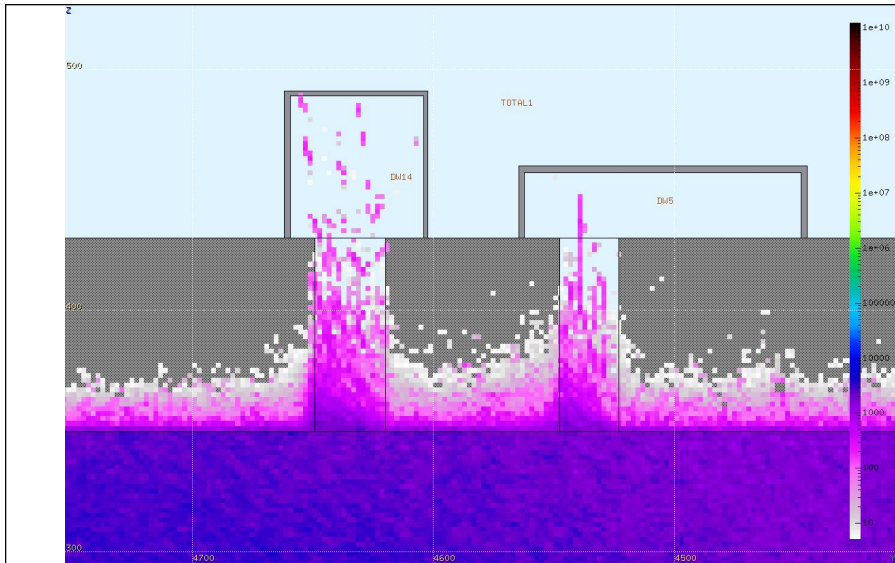


锯齿墙长墙预留准直透视孔（其余孔）

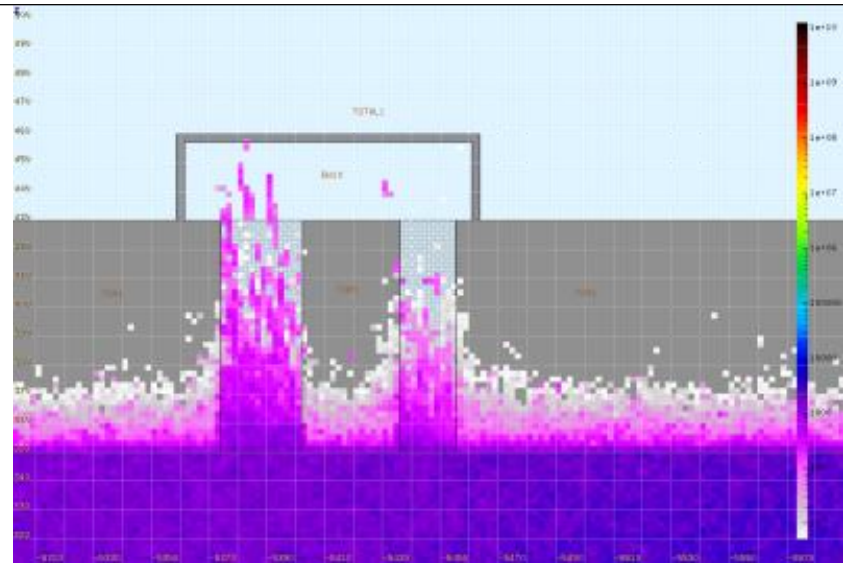


低温储存环隧道顶板洞（直线节 6#、6.5#、10#、16.5#、17.5#正上方顶板以及 5.5#、15.5#下游 2037.5mm 处的顶板）

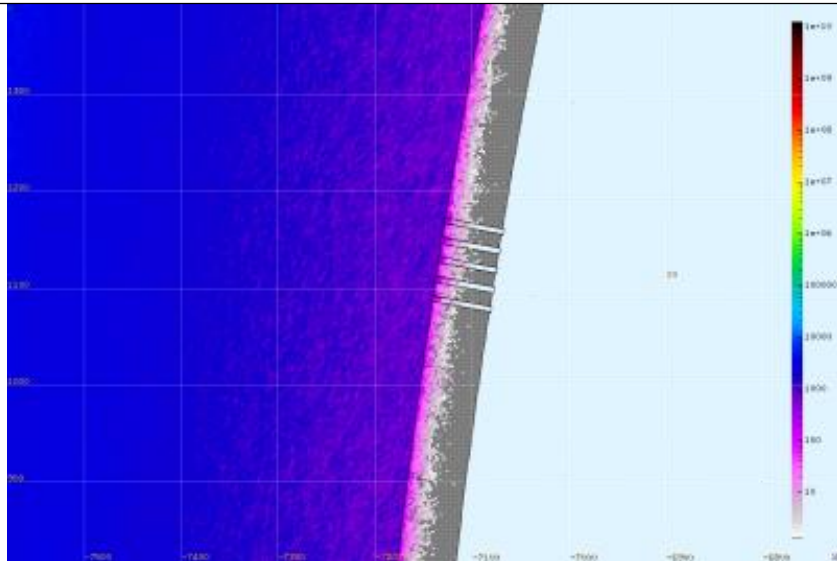
合肥先进光源项目储存环及线站变更



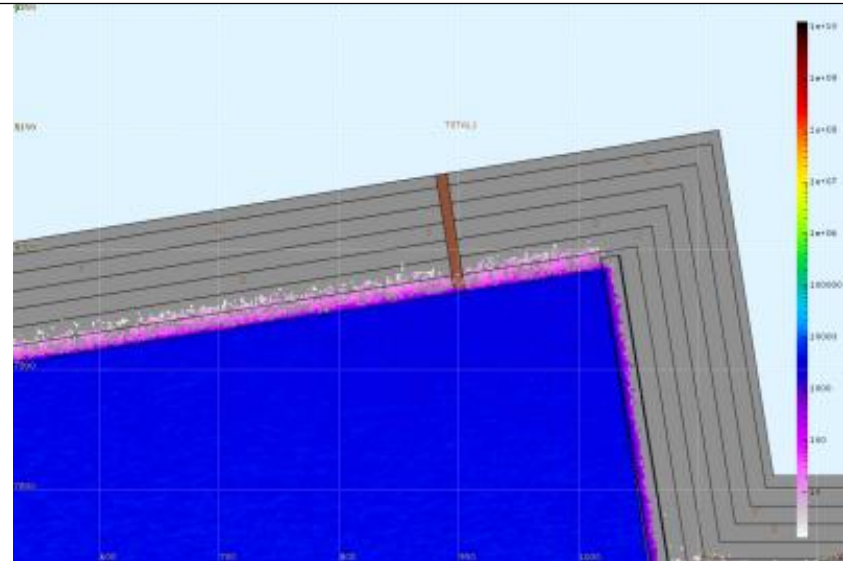
低温储存环隧道顶板洞（高频厅处，7号直线节上方）



低温储存环隧道顶板洞（高频厅处，7.5号直线节上方）

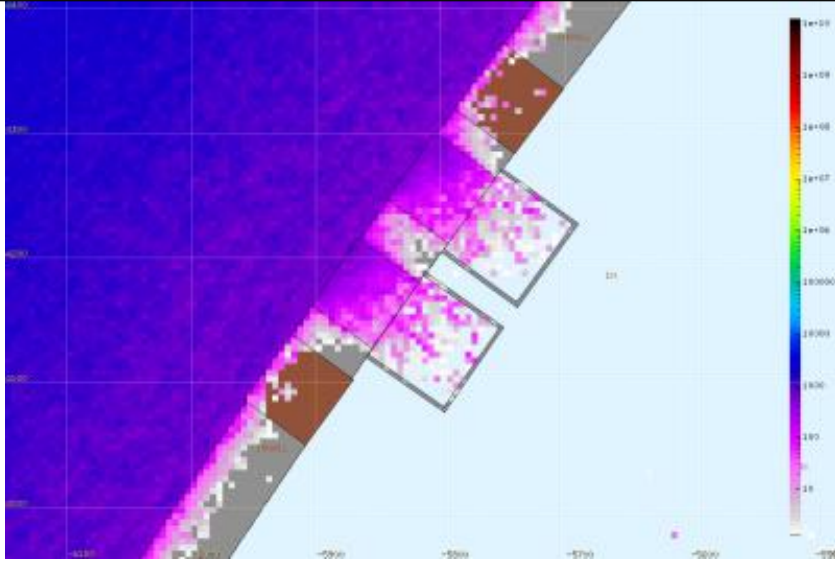


低温储存环内墙预留洞（5.5#和15.5#直线节对应的内弧墙）

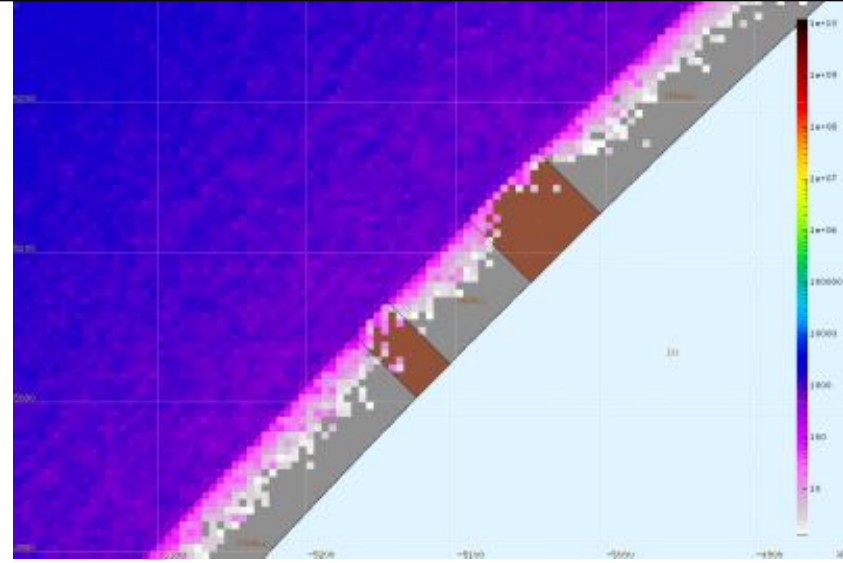


低温储存环锯齿墙长墙预留洞（直线节5.5、6、6.5、10、15.5、16.5、17.5#）

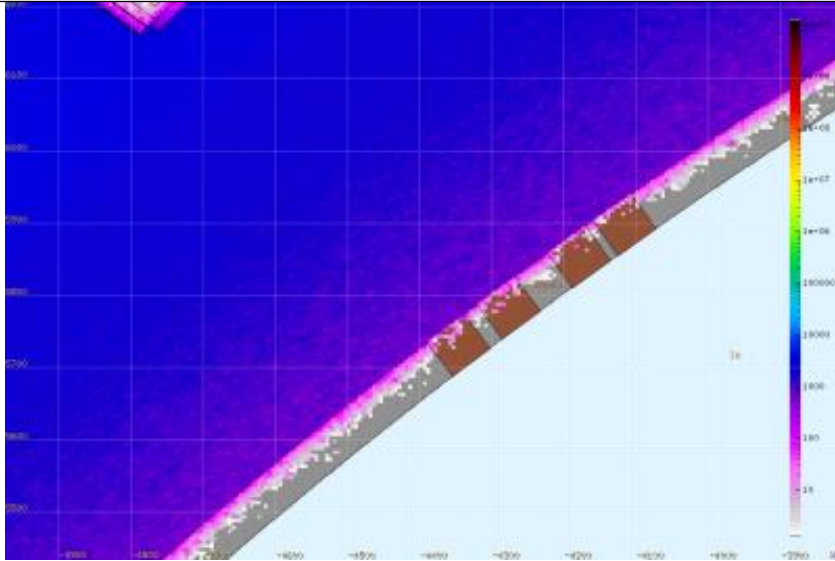
合肥先进光源项目储存环及线站变更



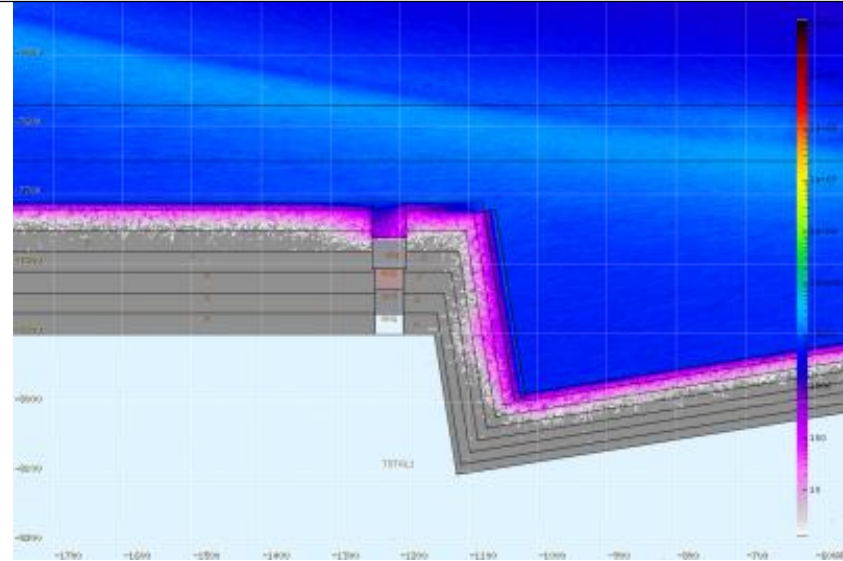
储存环内墙预留洞（高频厅处，7#长直线节）



储存环内墙预留洞（高频厅处，7.5#中直线节）

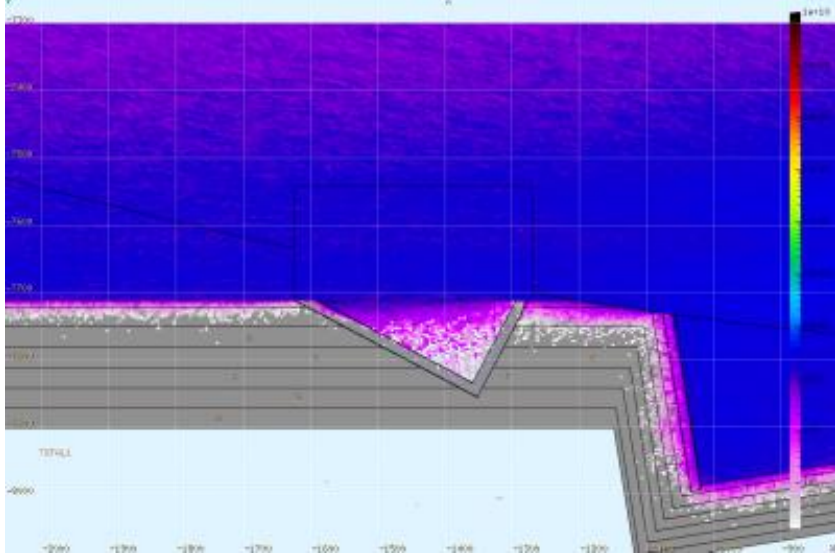


储存环内墙预留洞（高频厅处，8#长直线节）

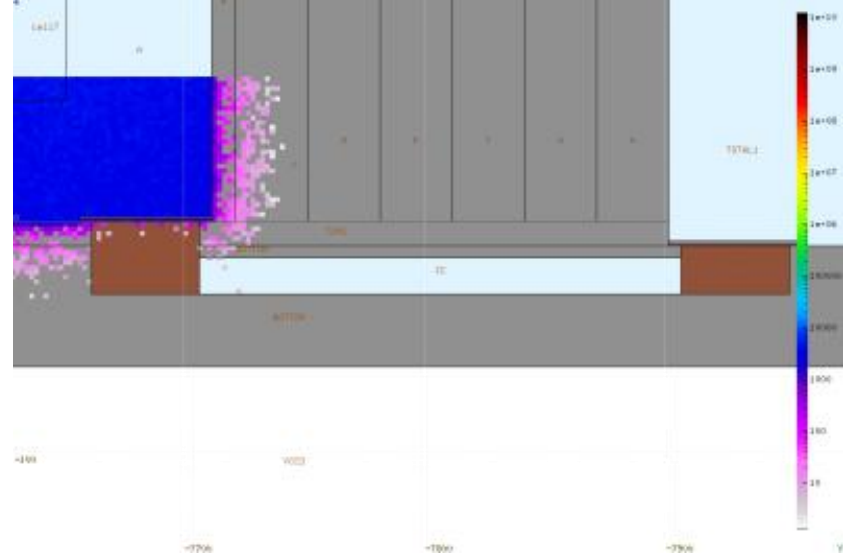


储存环锯齿墙预留洞 C19.5b

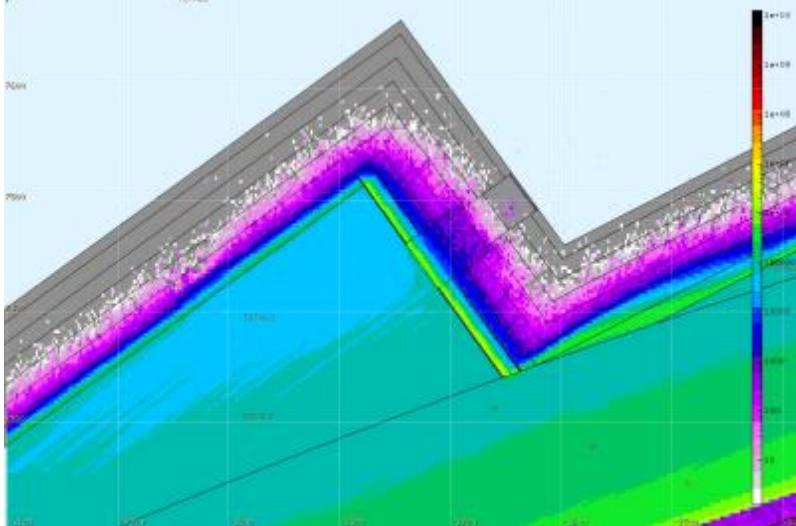
合肥先进光源项目储存环及线站变更



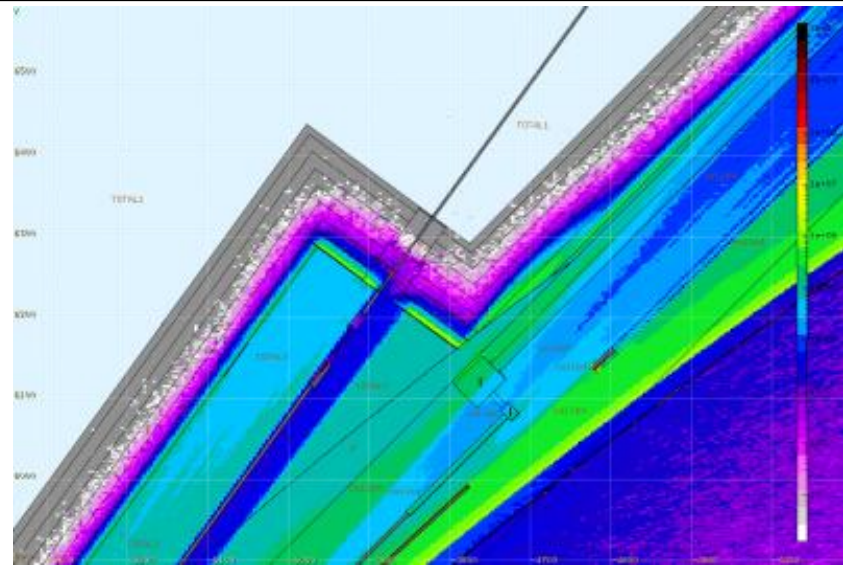
储存环隧道注入区（爬坡段储存环隧道墙体底部预留洞）



储存环隧道地面锯齿墙长墙预留洞

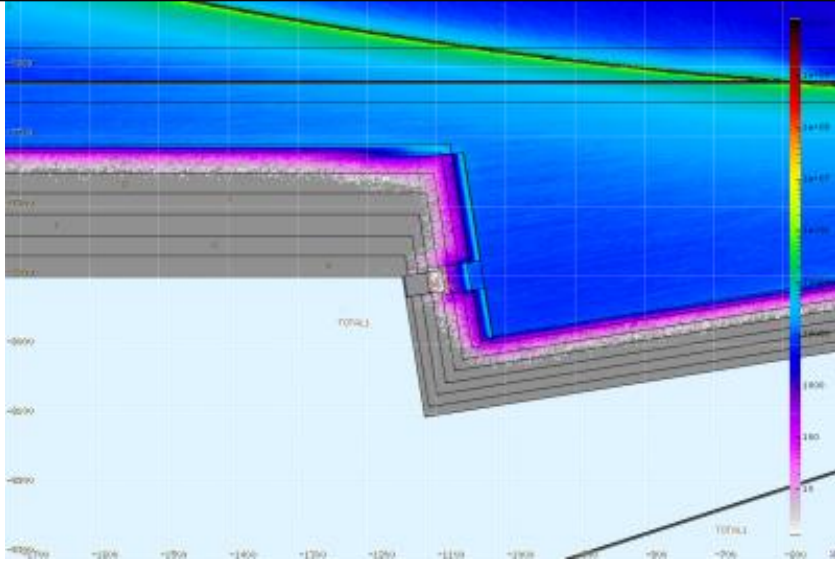


储存环隧道端墙预留出光口（2#、3#、4#、5#、6#、8#、9#、10#、11#、12#、13#、14#、15#、16#、17#、18#、19#锯齿墙）

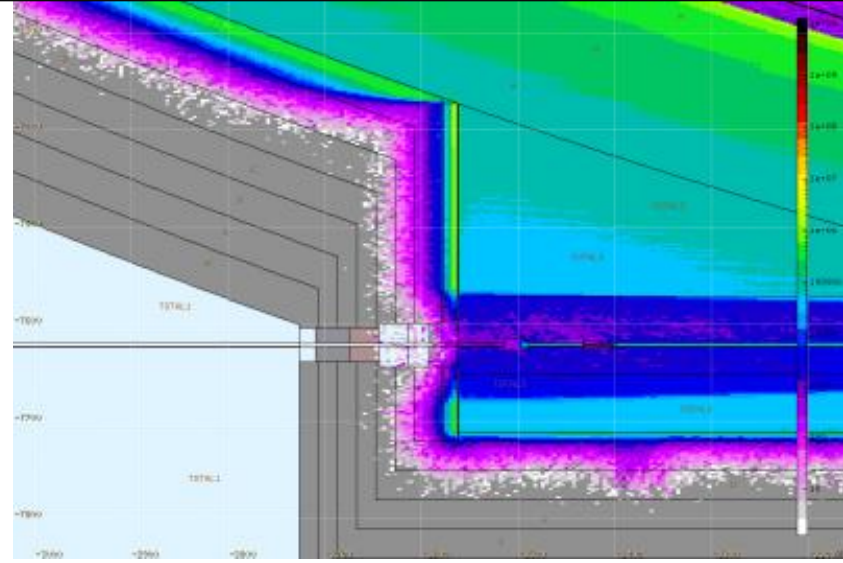


储存环隧道端墙预留出光口（7#锯齿墙）

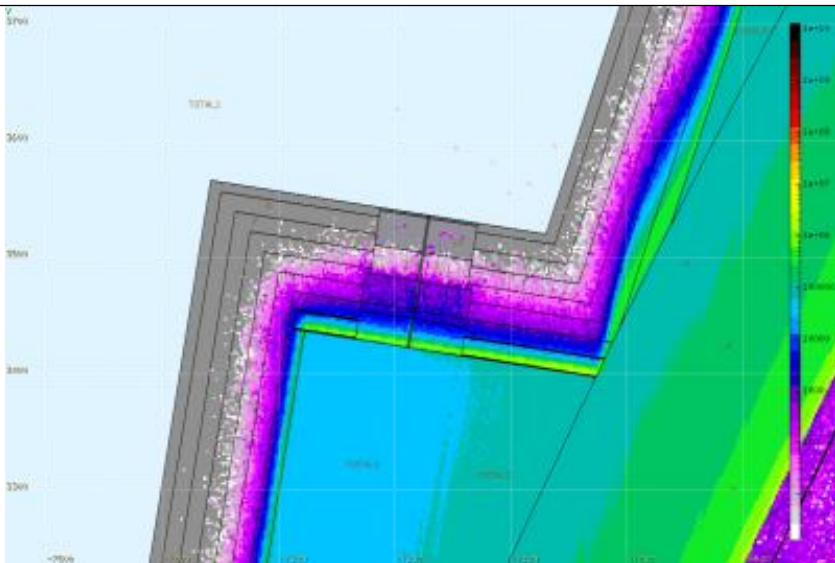
合肥先进光源项目储存环及线站变更



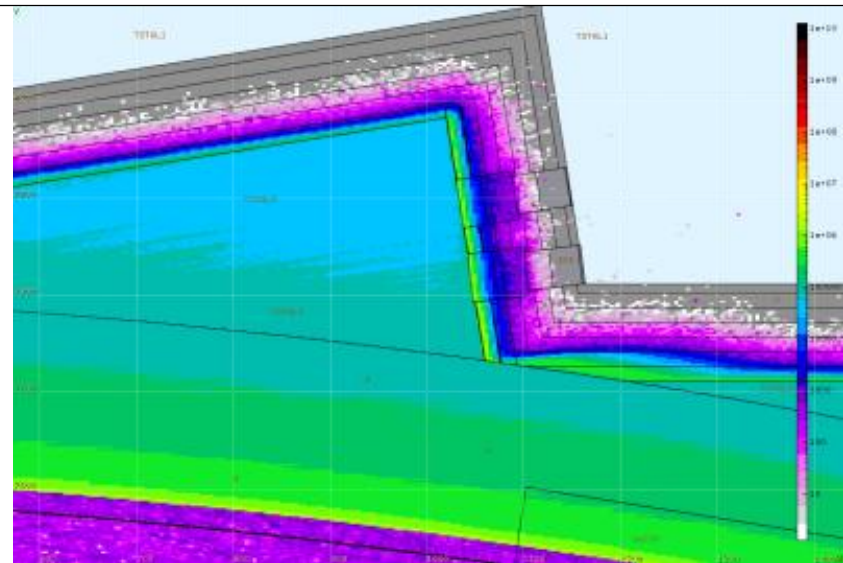
储存环隧道端墙预留出光口（19.5#锯齿墙）



储存环隧道端墙预留出光口（20#锯齿墙）

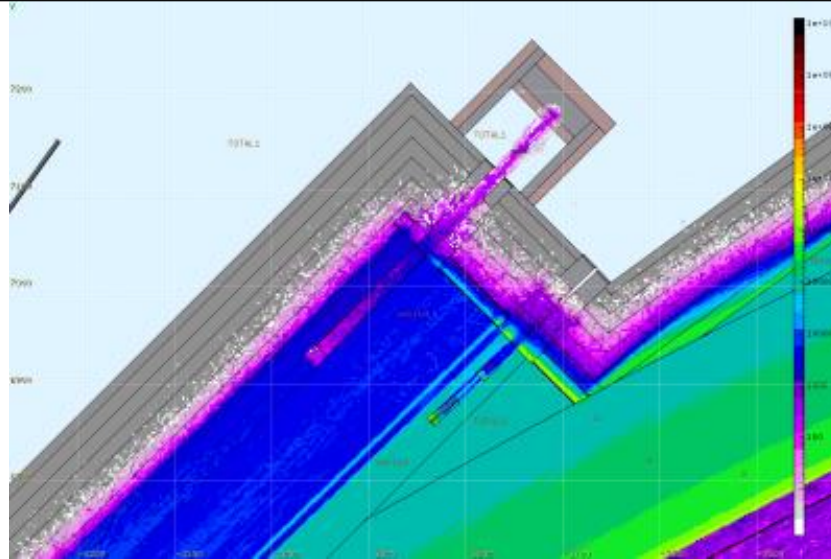


储存环隧道端墙预留出光口（合并孔）

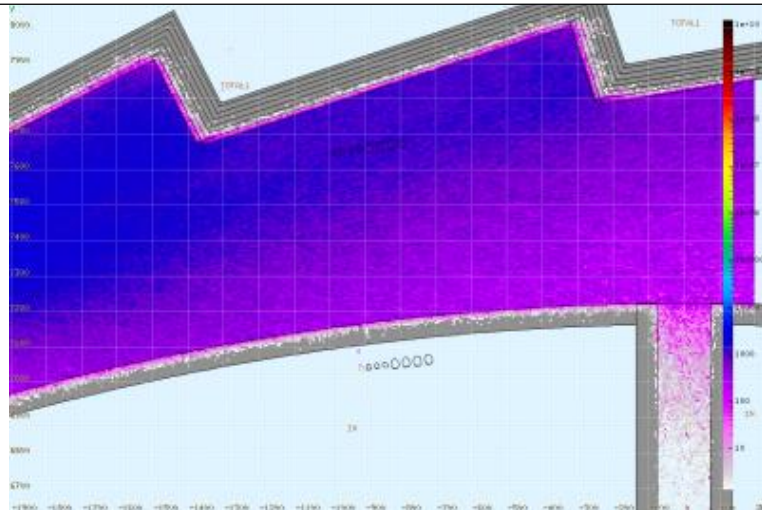


储存环隧道端墙预留出光口（双孔）

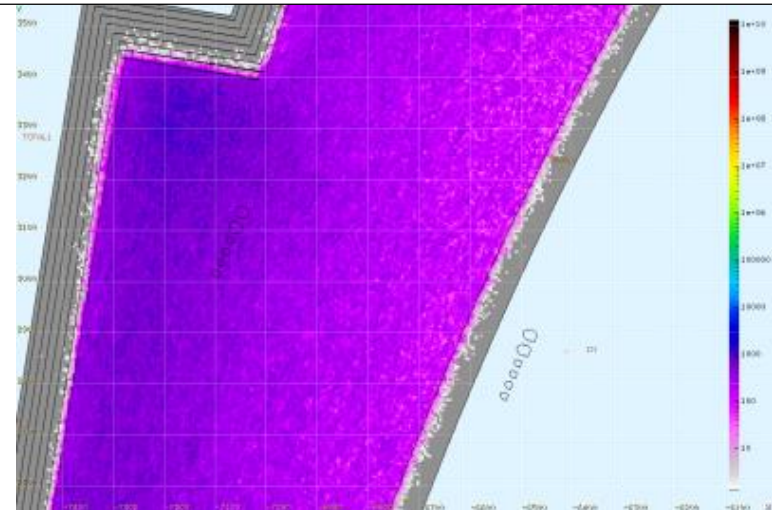
合肥先进光源项目储存环及线站变更



7.5#锯齿墙预留2个穿墙洞
储存环隧道内屏蔽墙工艺不锈钢埋管:

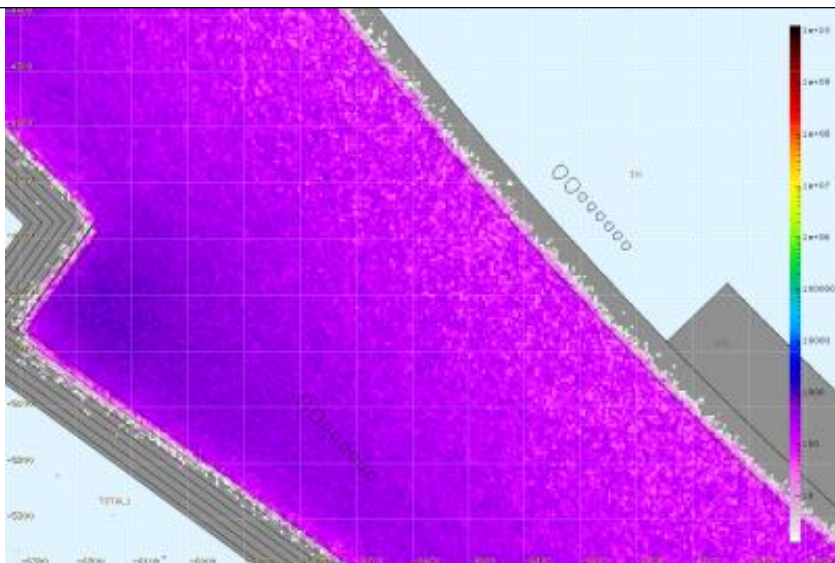


(真空束测本站站 1/4/10, , 分别设置 4×DN200+4×DN125 不锈钢埋管)

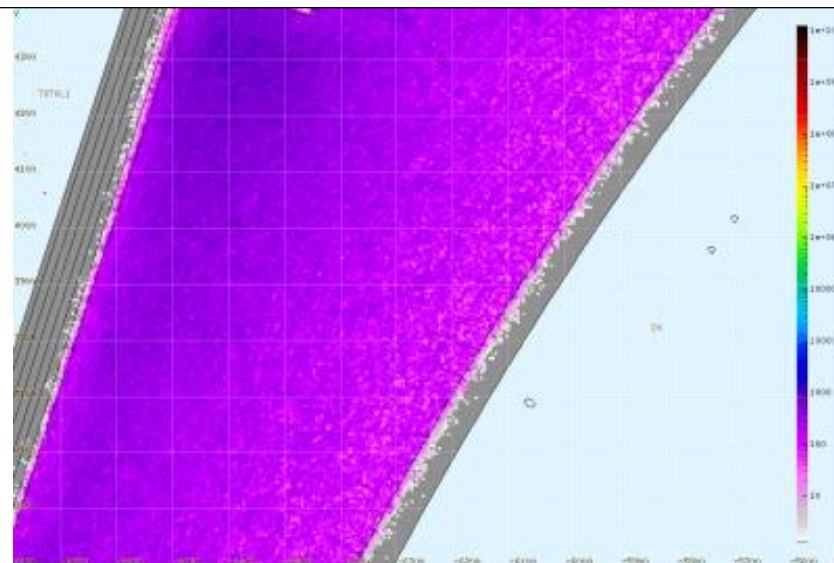


(真空束测本站站 3/5/6/7/8/9, 分别设置 2×DN200+4×DN125 不锈钢埋管)

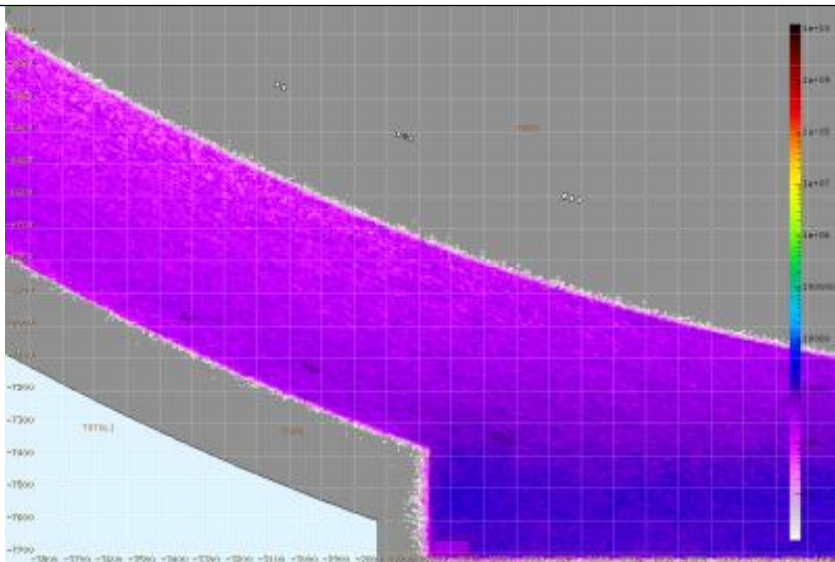
合肥先进光源项目储存环及线站变更



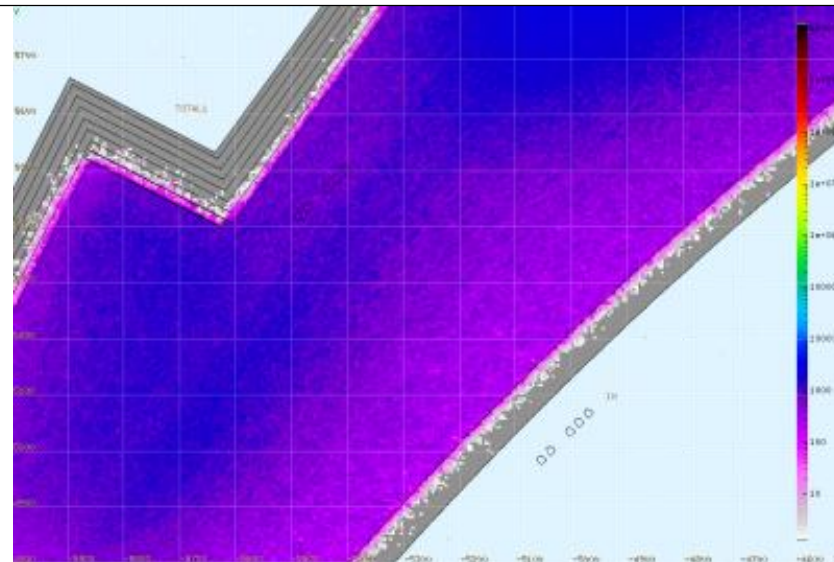
(真空束测本站 2, 设置 2×DN200+6×DN125 不锈钢埋管)



(控制间 2/3 和服务器机房 CSR 分别设置 1×DN125 不锈钢埋管)

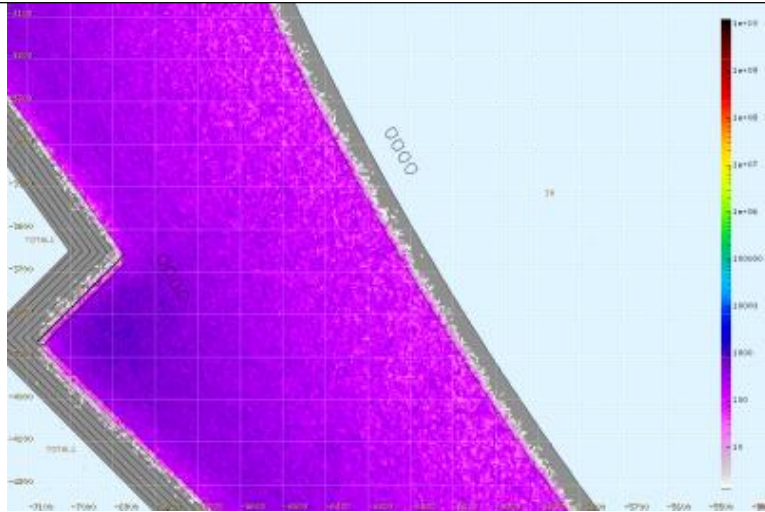


(束测反馈设备间, 3×DN100 不锈钢埋管)

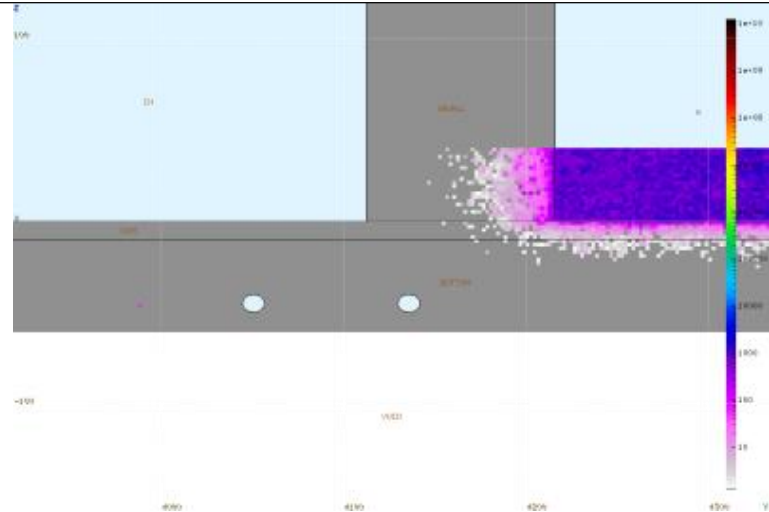


(高频厅, 5×DN125 不锈钢埋管)

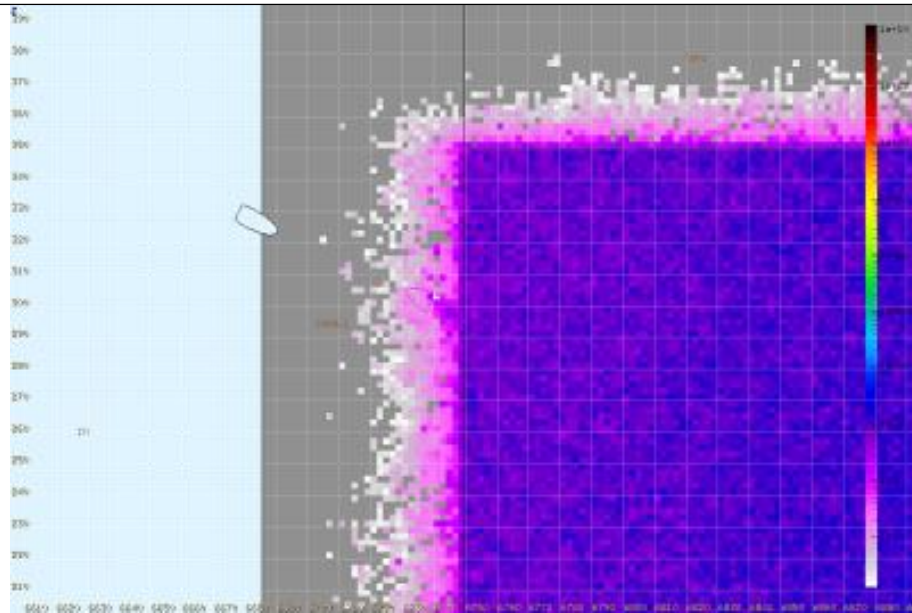
合肥先进光源项目储存环及线站变更



(空调机房与电源厅, 4×DN200 不锈钢埋管)

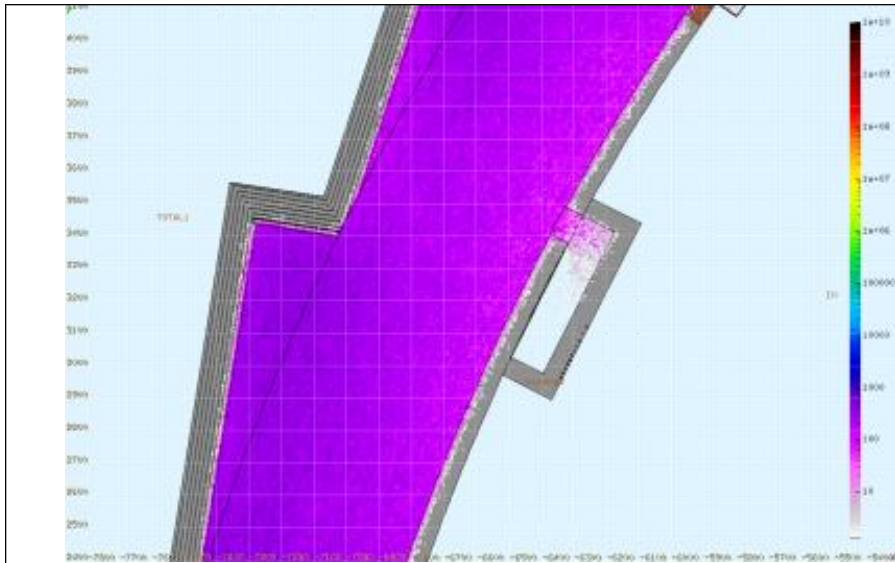


7号、8号直线节隧道内屏蔽墙不锈钢风冷埋管(斜穿)

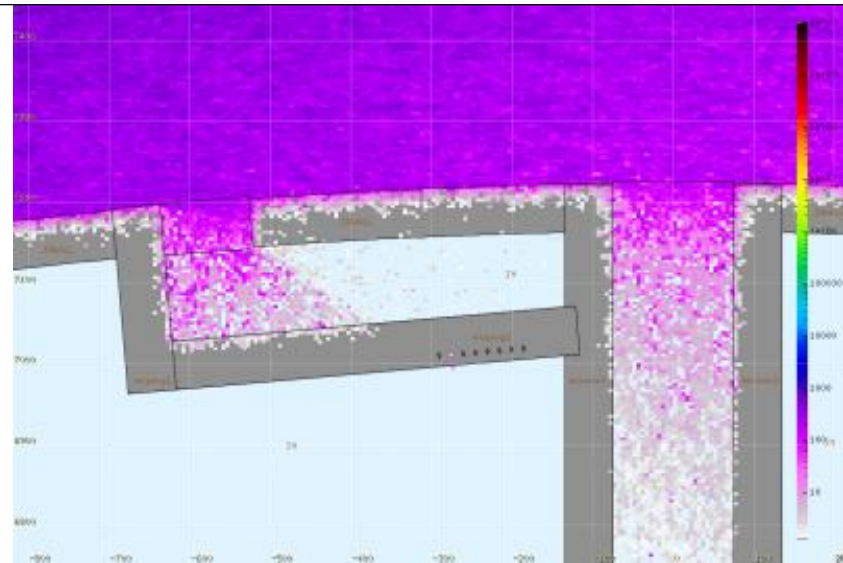


内屏蔽墙电气斜穿预埋管(斜穿)

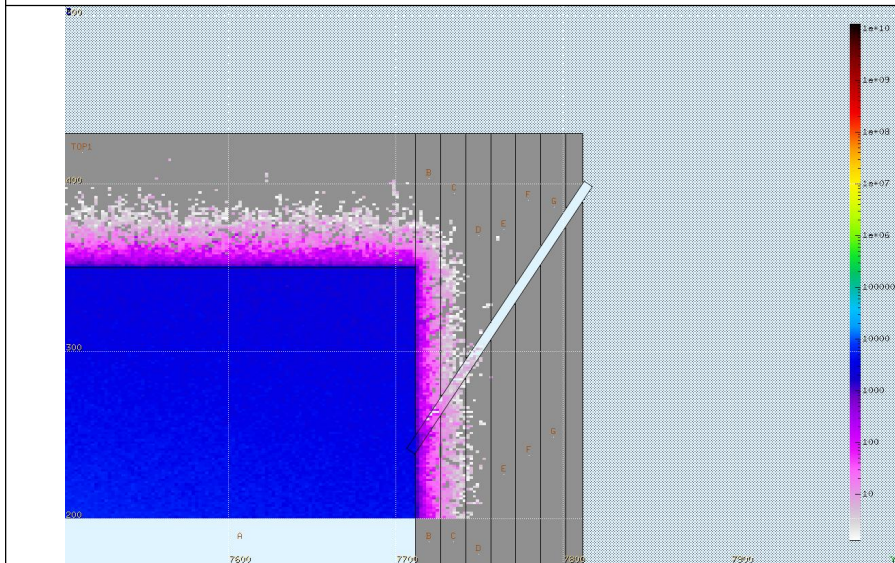
合肥先进光源项目储存环及线站变更



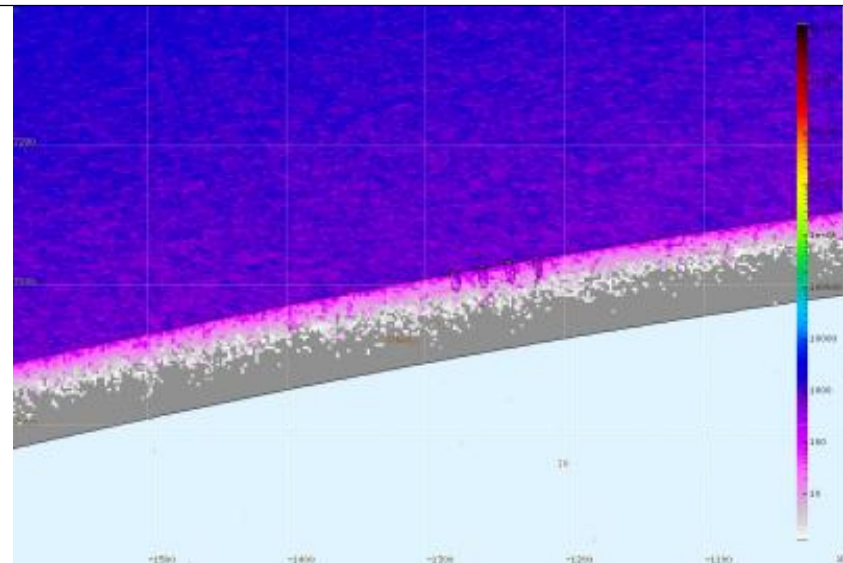
内设备厅迷宫门头穿墙管 (11×DN32)



内设备厅迷宫门头穿墙管 (8×DN32)

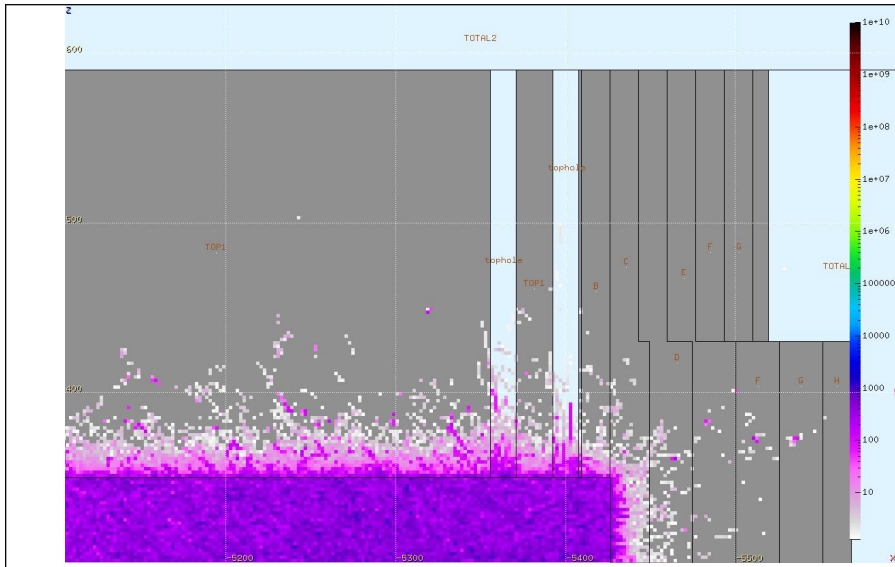


外锯齿墙长墙工艺斜穿预埋管 (斜穿)

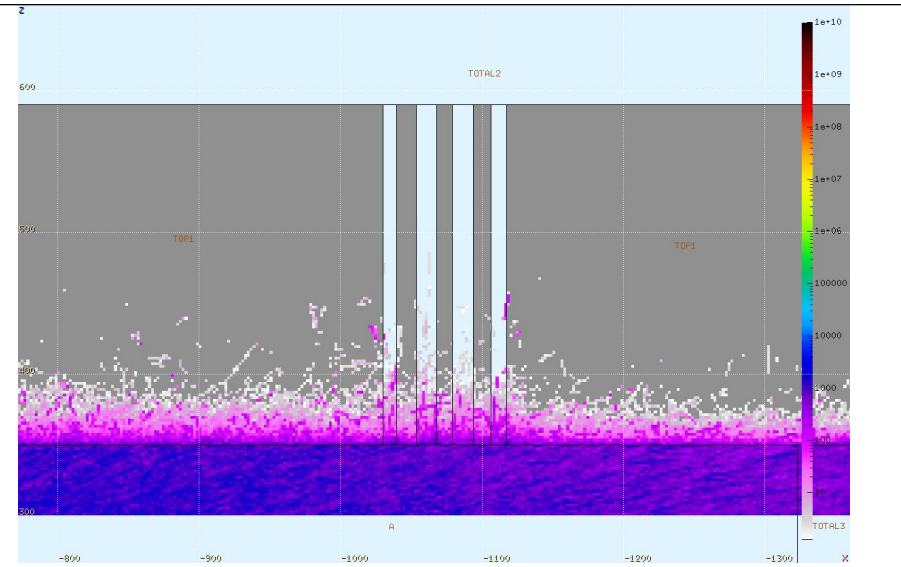


内屏蔽墙工艺线缆预留预埋管 (斜穿)

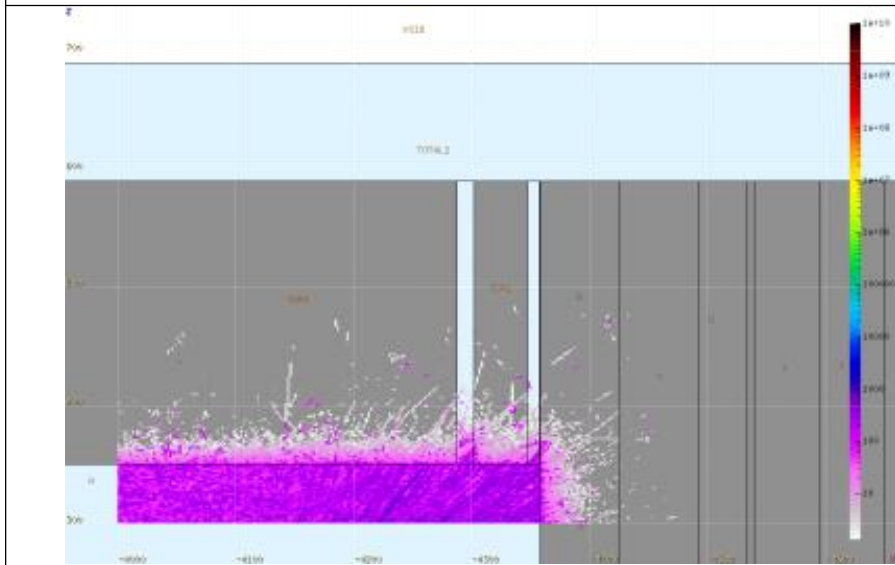
合肥先进光源项目储存环及线站变更



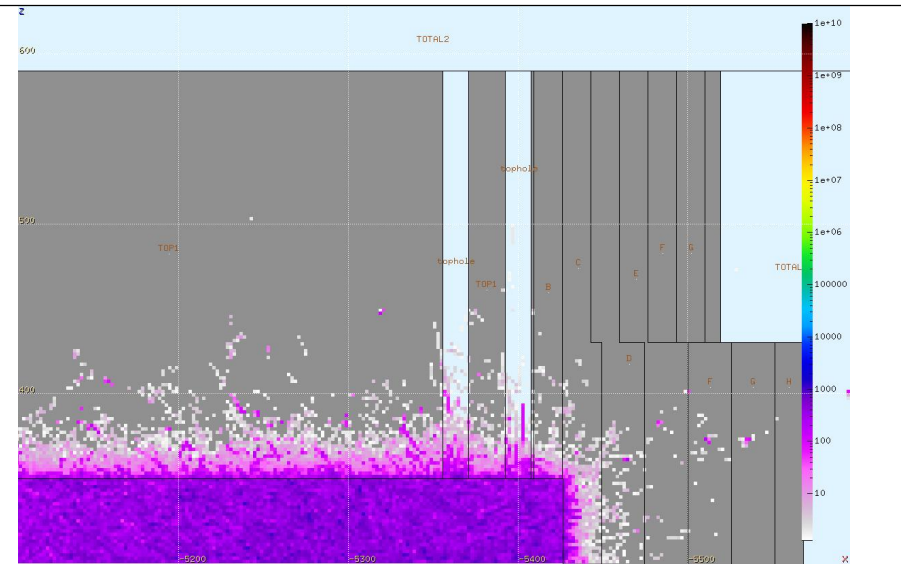
非注入区中直线节顶盖埋管



非注入区长直线节顶盖埋管

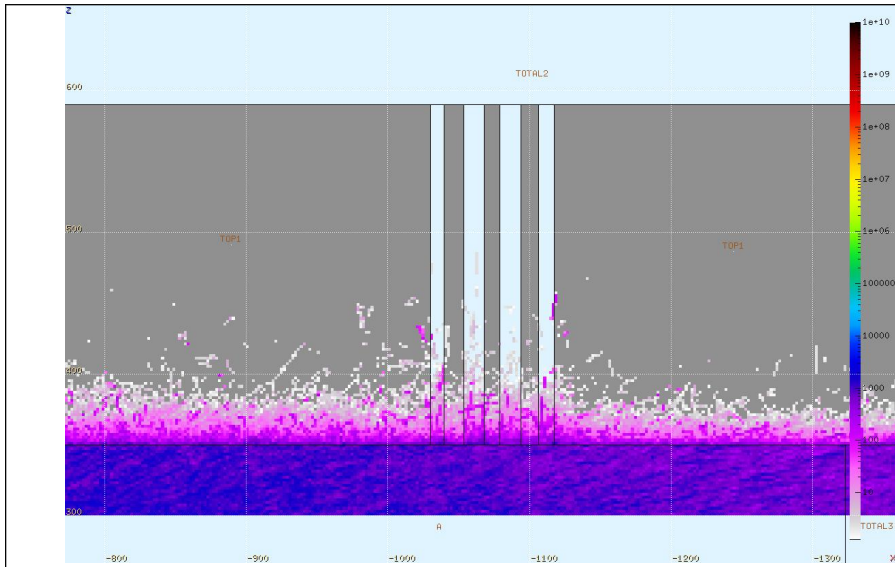


注入区顶盖预埋管方式 1 (76/78/79 轴)

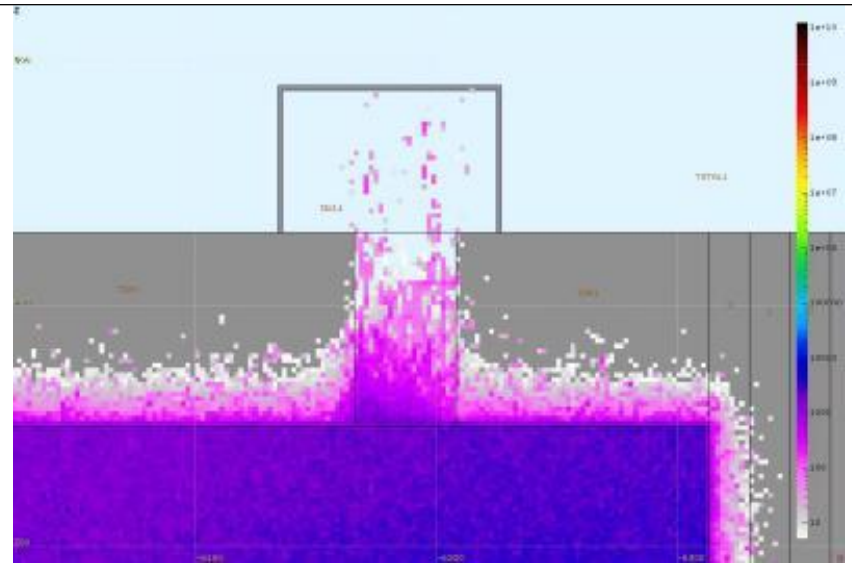


注入区顶盖预埋管方式 2 (74 轴)

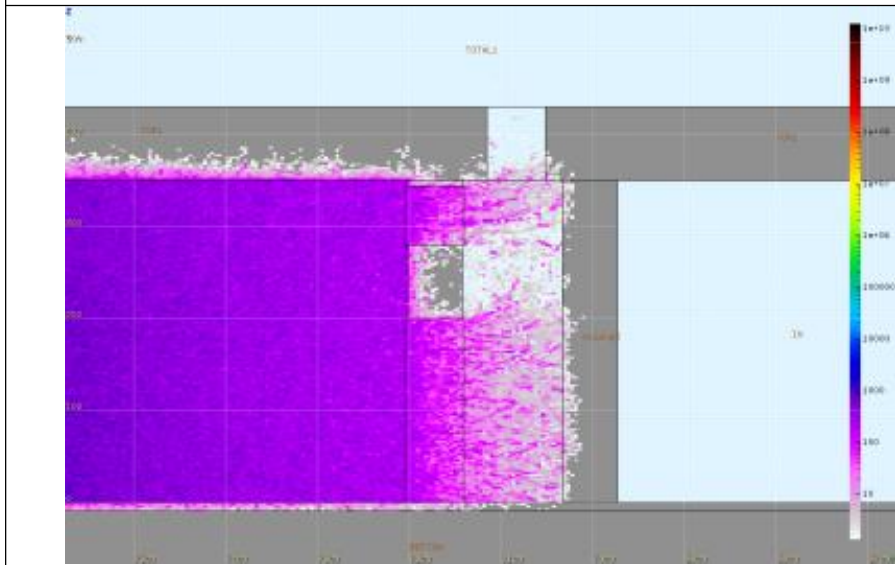
合肥先进光源项目储存环及线站变更



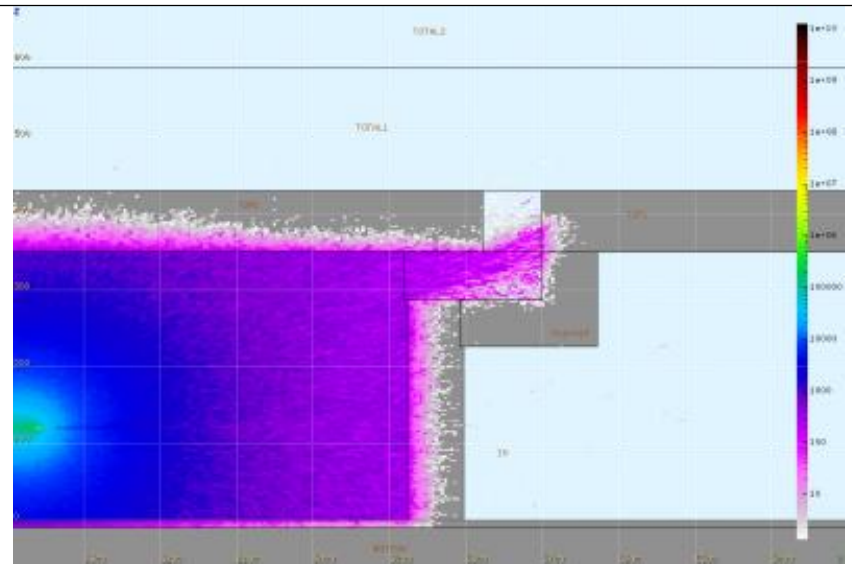
注入区顶盖预埋管方式3（2轴）



顶盖工艺水冷预埋管（7#、8#直线节上方）



储存环隧道人行迷宫顶部预留4处送风洞口



储存环隧道侧面预留12处送风洞口

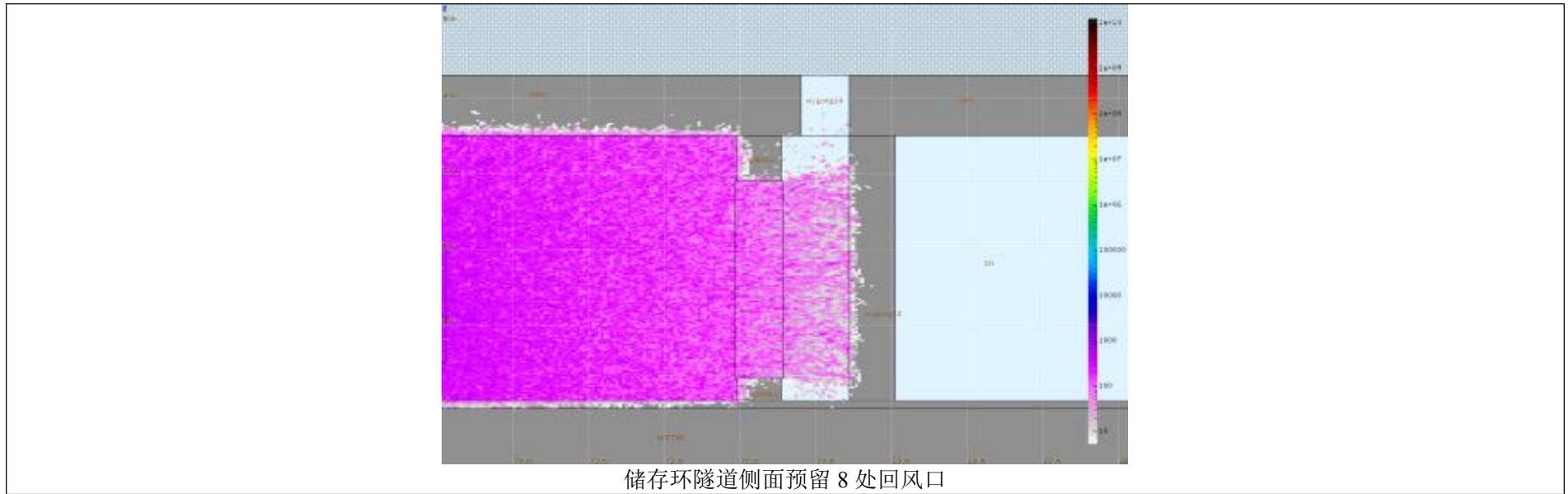
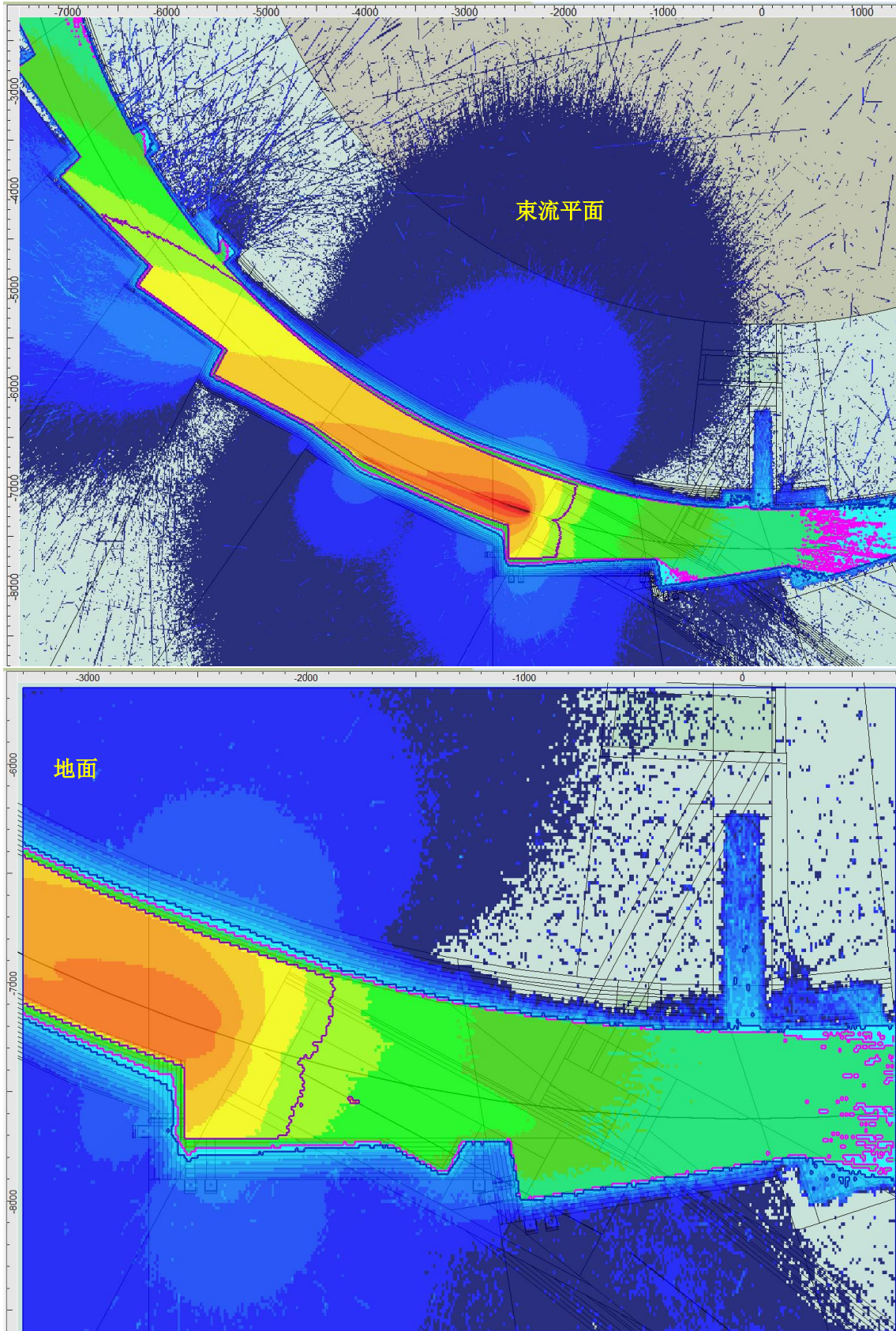
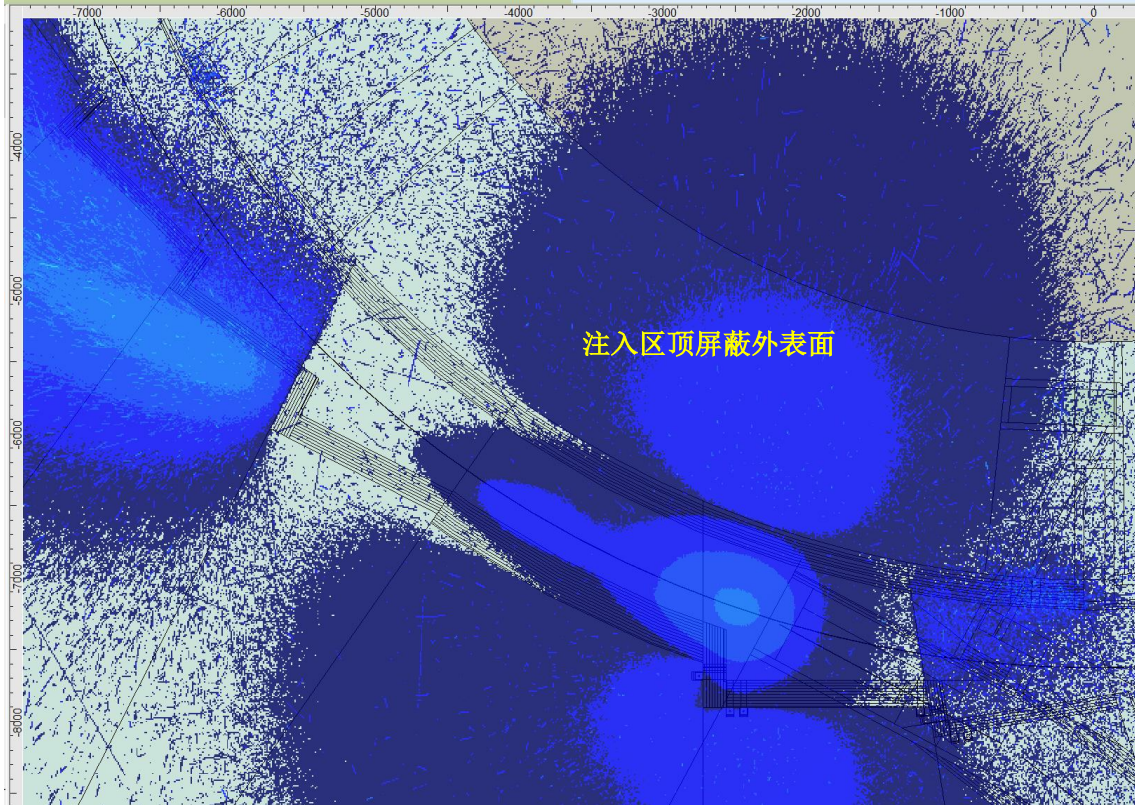
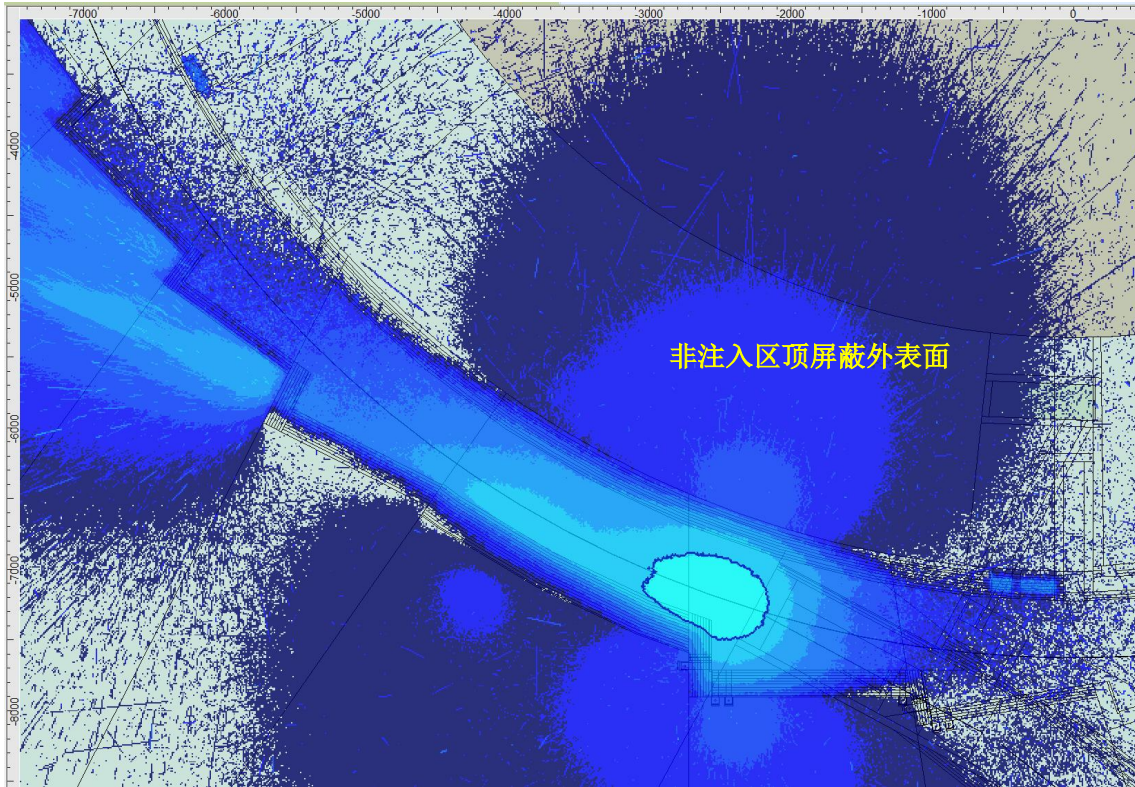


图 5.1.3-1(b) 储存环 2.2GeV-350mA-1h 寿命的束流均匀损失，相关孔洞口处剂量率分布（单位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

合肥先进光源项目储存环及线站变更



合肥先进光源项目储存环及线站变更



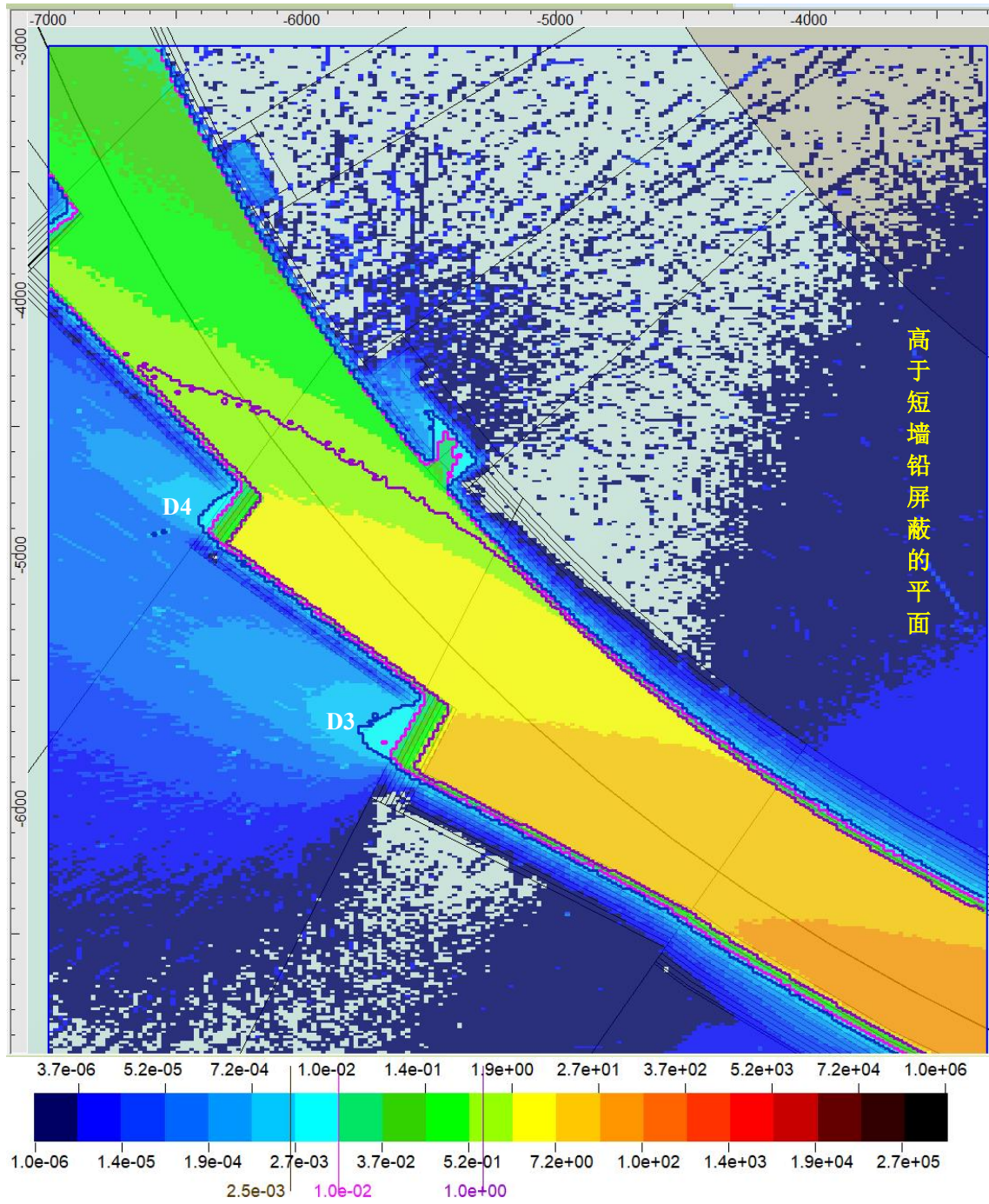
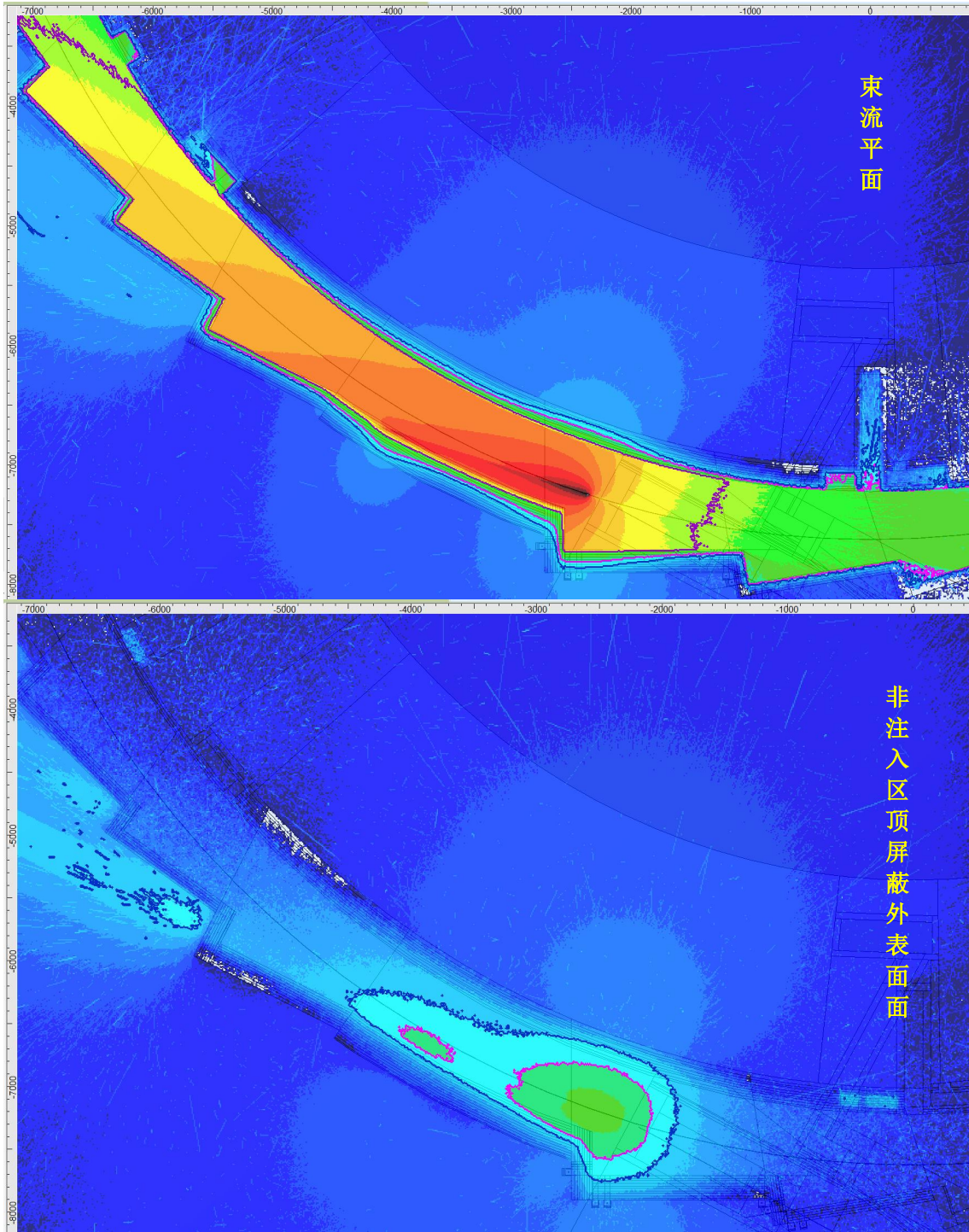


图 5.1.3-2 储存环以 0.95nC-10Hz 首次注入 118s 到 350mA 的累积剂量分布(单位: mSv/次)

合肥先进光源项目储存环及线站变更



合肥先进光源项目储存环及线站变更

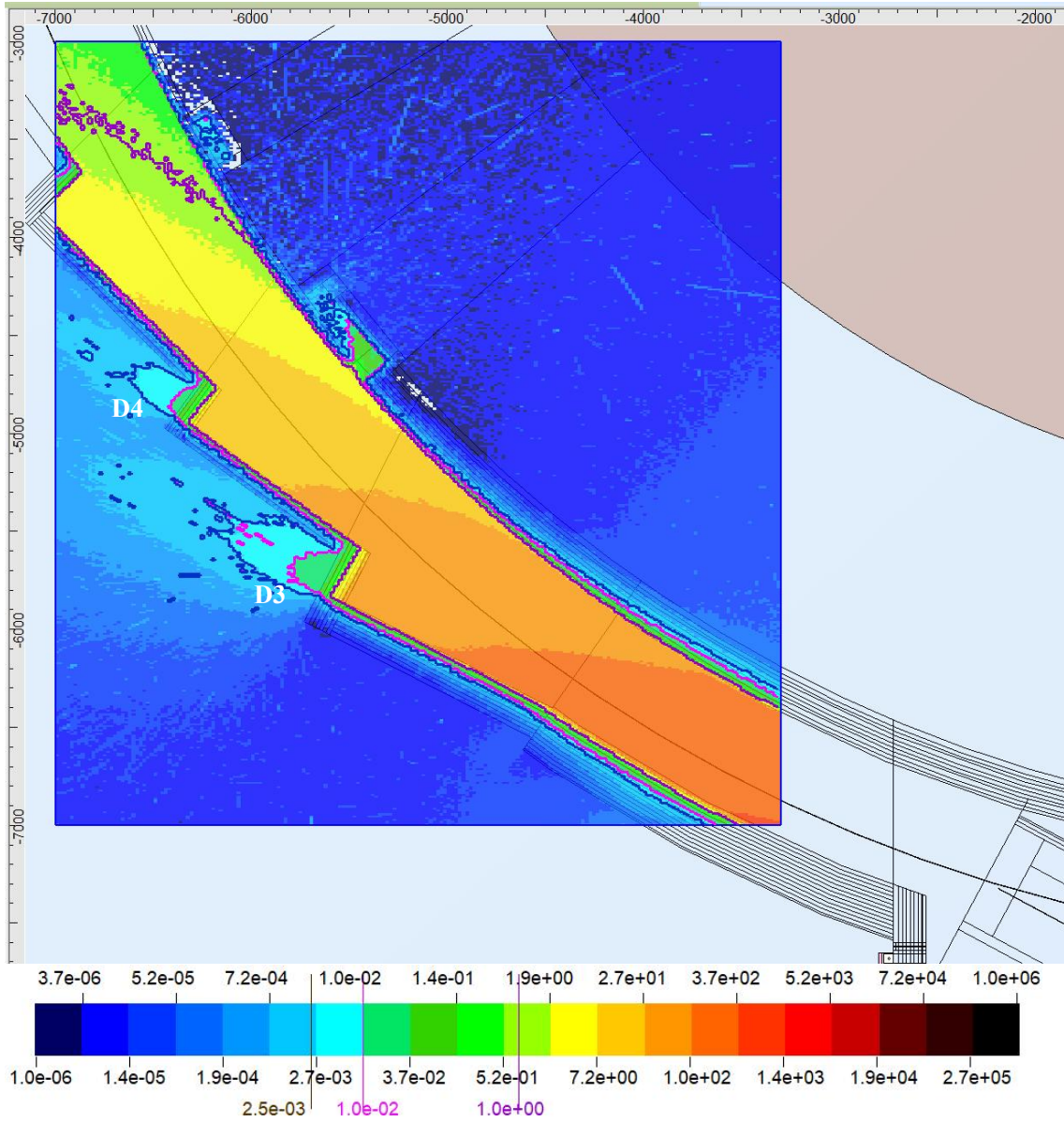


图 5.1.3-3 储存环 350mA 恒流运行，以 0.3nC-10Hz 小流强持续补充 374s/h 的剂量率分布（单位：mSv/h）

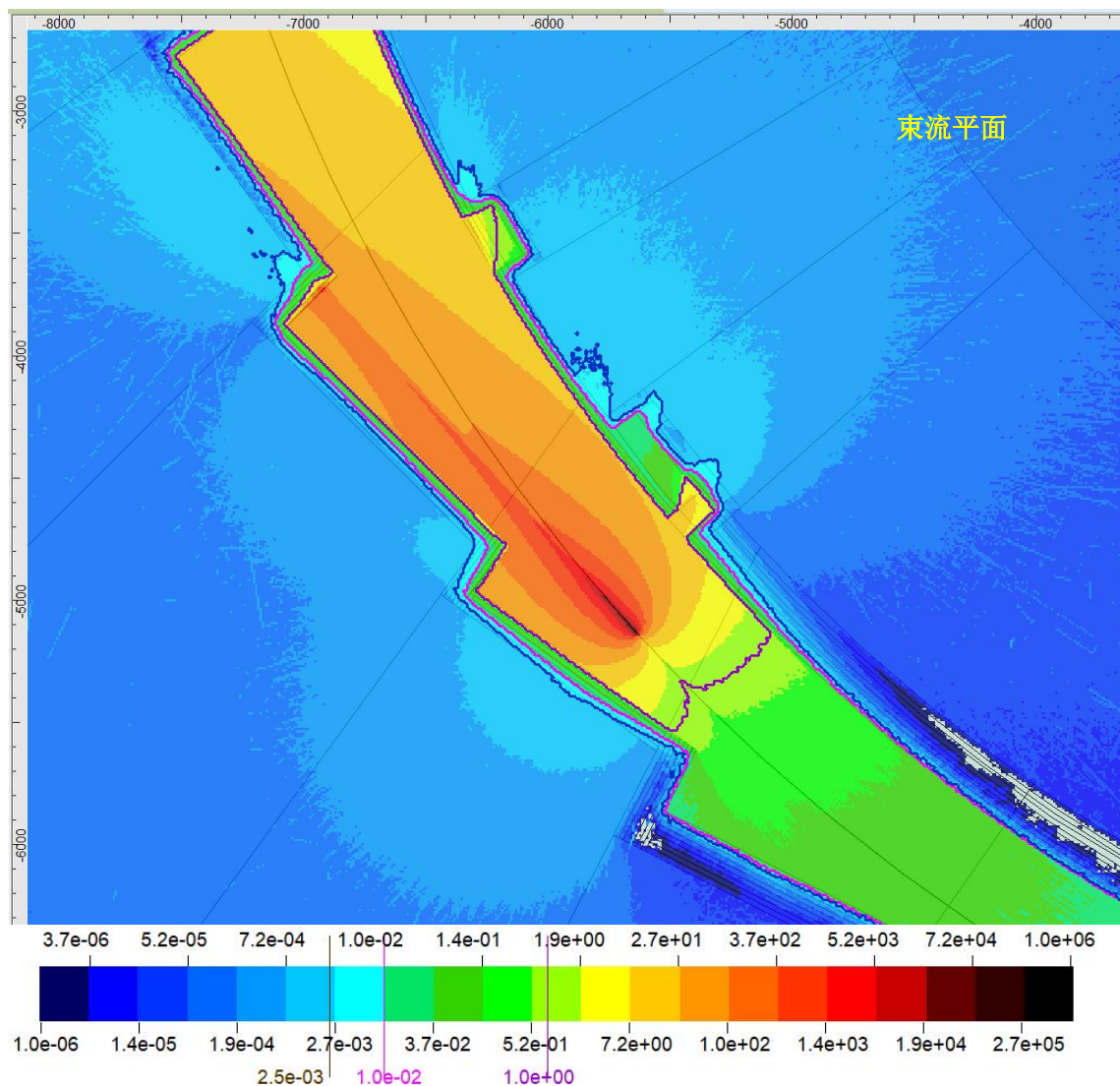


图 5.1.3-4 储存环全环 350mA 束流事故工况下全束团损失在注入区下游迷宫口的剂量率分布（单位：mSv/次）

5.1.3.2 关注点剂量率

HALF 储存环屏蔽体外关注点具体位置详见上一小节的剂量率分布云图，计算时考虑的各个工作模式对应的辐射源项见表 5.1.1-1，关注点剂量率模拟结果见表 5.1.3-1。从表 5.1.3-1 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。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

表 5.1.3-1 储存环屏蔽体外关注点剂量率模拟结果

隧道名称	关注点编号及名称		工作模式							
			正常运行（非注入）		首次注入		补充注入		事故工况	
			剂量率， μSv/h	限值， μSv/h	剂量，μSv/ 次	限值 ^{a)} ，μSv/ 次	剂量率， μSv/h	限值， μSv/h	剂量，μSv/ 次	限值，μSv/ 次
储存环	A1	注入区内墙外	3.60E-02	2.5	4.74E-02	14	3.21E-01	2.5	/	/
	A2	非注入区内墙外	1.60E-01	2.5	3.85E-03	14	2.60E-02	2.5	2.59E+01	1000
	A3	注入区上游迷宫外	1.39E-01	2.5	5.39E-03	14	3.65E-02	2.5	/	/
	A4	注入区下游迷宫外	9.10E-02	2.5	1.45E-02	14	9.80E-02	2.5	2.11E+00	1000
	A5	注入区上游回风口侧屏蔽外	5.18E-02	2.5	9.73E-04	14	6.59E-03	2.5	/	/
	A6	注入区下游回风口侧屏蔽外	5.95E-01	2.5	1.58E-03	14	1.06E-02	2.5	/	/
	B1	注入区短墙外	7.00E-02	2.5	4.97E-03	14	3.36E-02	2.5	/	/
	B2	注入区短墙外	2.40E-01	2.5	2.80E-02	14	1.90E-01	2.5	/	/
	B3	注入区短墙外	7.49E-02	2.5	5.62E-02	14	3.80E-01	2.5	/	/
	B4	非注入区短墙外	8.00E-01	2.5	5.88E-02	14	3.98E-01	2.5	3.43E+00	1000
	B5	注入区长墙外	1.60E-01	2.5	9.59E-02	14	6.49E-01	2.5	/	/
	B6	注入区弧形长墙外	4.50E-04	2.5	2.65E-02	14	1.79E-01	2.5	/	/
	B7	非注入区长墙外	3.00E-01	2.5	4.66E-02	14	3.15E-01	2.5	1.81E+00	1000
C1	注入区短墙地面电缆孔洞	6.30E-01	2.5	1.65E-02	14	1.11E-01	2.5	/	/	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

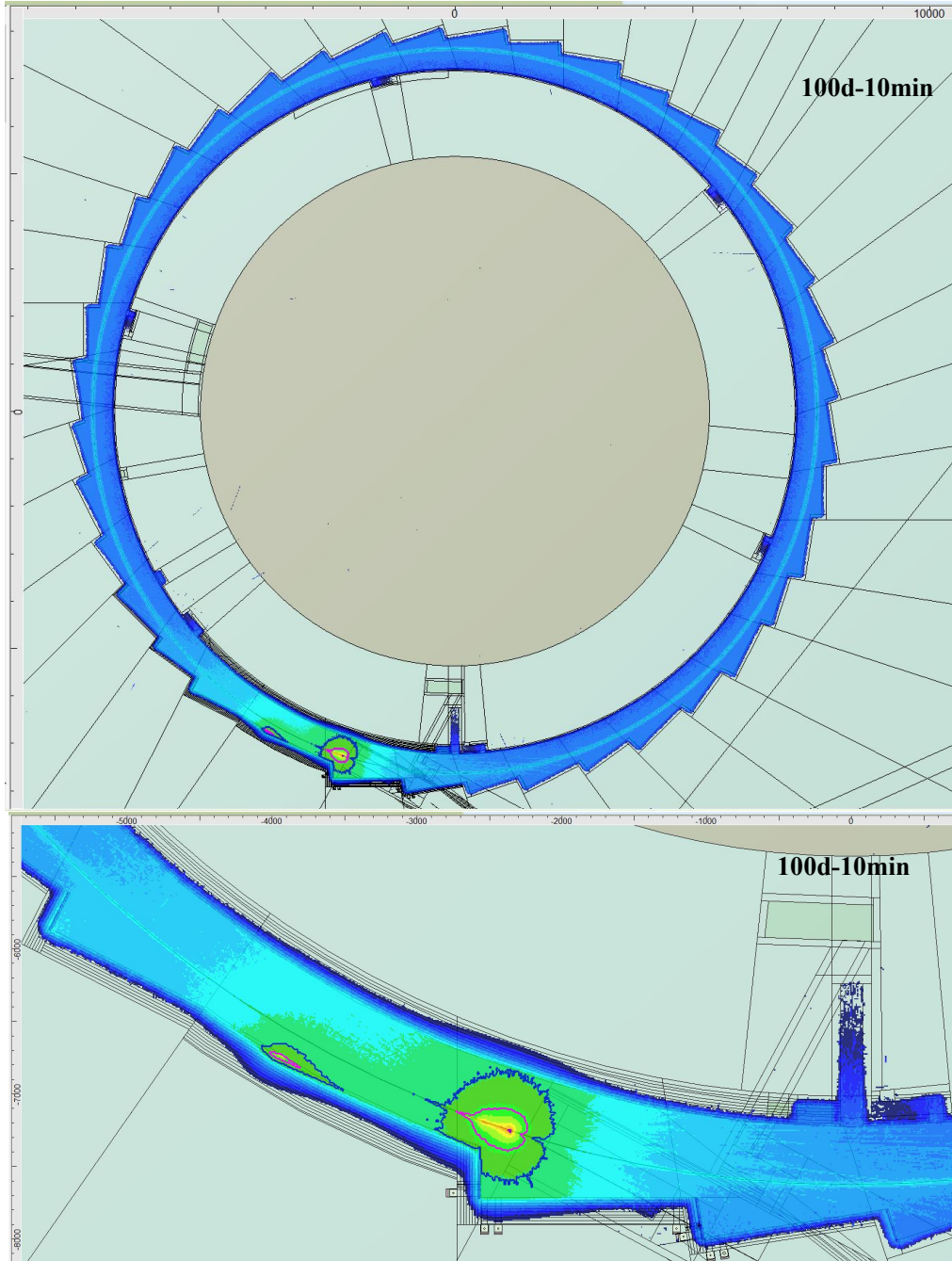
C2	注入区长墙地面电缆孔洞	4.97E-03	2.5	5.07E-02	14	3.43E-01	2.5	/	/
C3	非注入区短墙地面电缆孔洞	7.91E-01	2.5	5.40E-02	14	3.65E-01	2.5	/	/
C4	非注入区长墙地面电缆孔洞	1.54E-02	2.5	1.88E-03	14	1.27E-02	2.5	/	/
C5	注入区长墙地面三角孔洞	5.46E-02	2.5	7.42E-02	14	5.02E-01	2.5	/	/
D1	注入区顶屏蔽外	6.00E-03	10	4.55E-02	14	3.08E-01	10	/	/
D2	非注入区顶屏蔽外	1.30E-02	10	2.52E-03	14	1.71E-02	10	5.01E+00	1000
D3	注入区短墙外高于铅屏蔽处 ^{b)}	2.44E-01	100	3.21E+00	14	2.17E+01	100	2.37E+00	1000
D4	非注入区短墙外高于铅屏蔽处 ^{b)}	2.75E+00	100	1.86E+00	14	1.26E+01	100	5.60E+00	1000
D5	注入区上游回风口	1.37E+00	10	7.49E-02	14	5.07E-01	10	/	/
D6	注入区上游进风口	2.94E+00	10	6.51E-02	14	4.40E-01	10	/	/
D7	注入区下游回风口	1.08E+00	10	1.33E-02	14	9.03E-02	10	/	/
D8	注入区下游进风口	3.69E+00	10	1.32E-04	14	8.96E-04	10	/	/
D9	注入区混凝土和土层界面	/	/	/	/	4.58E+01	5000	/	/

注：a) “首次注入”模式下，储存环没有束流，为了快速使储存环达到 350mA 的束流强，以 0.95nC-10Hz、50%注入效率进行大流强注入，需要的注入时间为 118s；根据同类型装置的运行经验，平均无故障时间为 100 小时左右，即运行 100 小时束流一次，需要从 0 到 350mA 重新大流强注入一次。从辐射防护最优化的角度考虑，由于首次注入模式占总运行时间较少，保守假设 HALF 每年运行 7200 小时，则保守估计全年大流强注入的总次数为 72 次，按全年 72 次、1mSv/年，导出单次剂量限值为 1mSv/年÷72 次/年=0.014mSv/次，即 14μSv/次。

b) 该位置人员不可达。

5.1.3.3 剩余剂量率

剩余剂量率采用 FLUKA 程序进行计算。下面各图，给出了用 FLUKA 程序模拟得到的储存环隧道或部件在持续运行 100 天、停机不同时间的剩余剂量率分布。



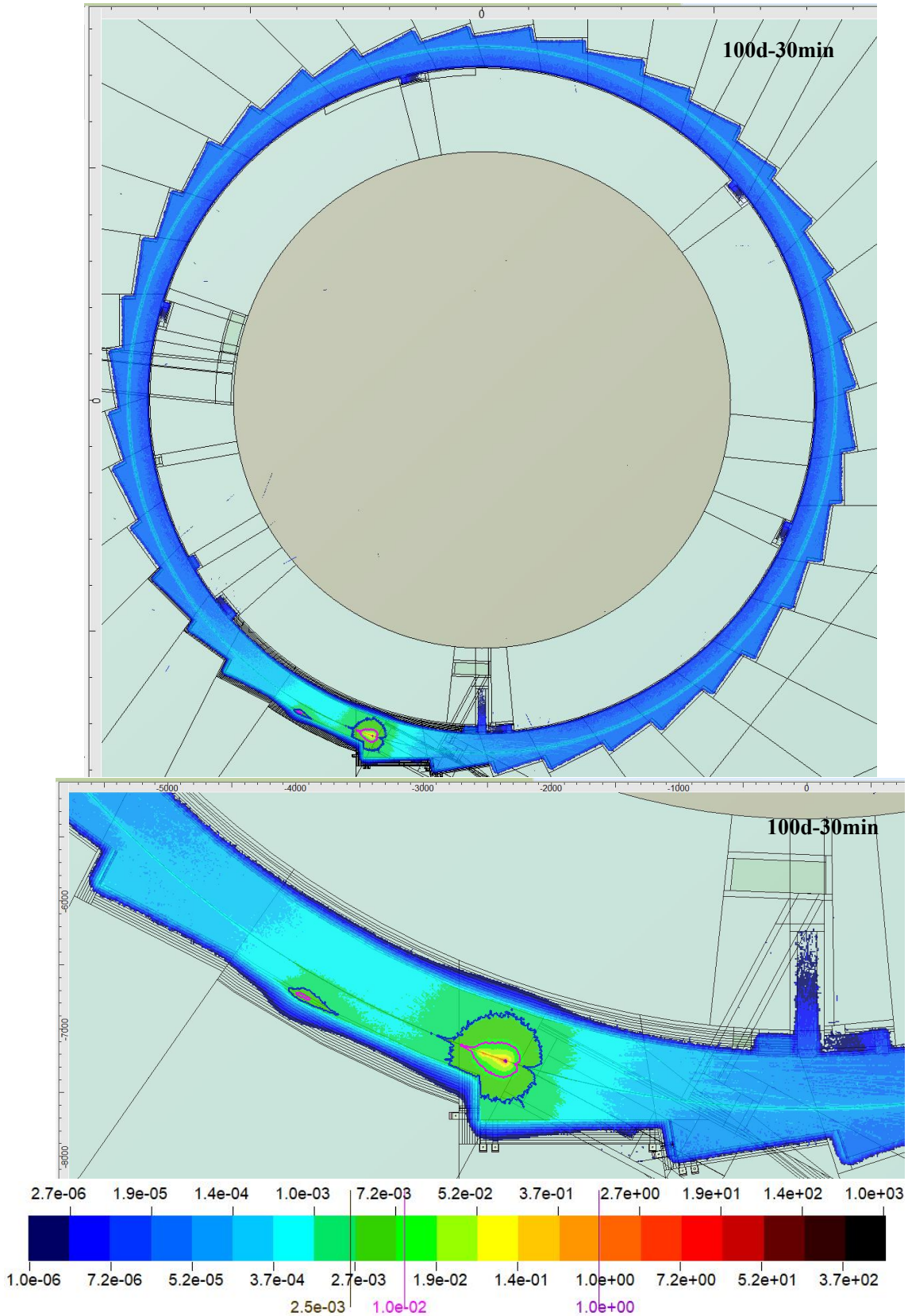


图 5.1.3-5 储存环连续运行 100 天、停机 10 分钟或 30 分钟的剩余剂量率分布 (单位: mSv/h)

由上图可以看出,注入点的剩余剂量率最大约 3.4mSv/h,距注入点表面 30cm 处约 150 μ Sv/h,距束流闸 2m 范围内剂量率>10 μ Sv/h,距束流闸 5m 范围内剂量率>2.5 μ Sv/h。

5.1.4 光束线站模拟计算结果

本项目模拟建立了光束线站的详细几何模型，考虑了铅准直器、水冷光阑、安全光阑等关键部件。计算时，光源为储存环引出的同步辐射光，关注可能产生的次级辐射（如中子、光子）在屏蔽体外的剂量率。

模拟结果表明，首批 12 条光束线站拟采取的辐射屏蔽措施是充分且安全的。Touschek 效应引起的固体韧致辐射和真空相关散射是光束线站的主要辐射源，同步辐射导致的棚屋外剂量率可忽略不计。

5.1.4.1 BL01 能源转换及天体化学光电离质谱线站

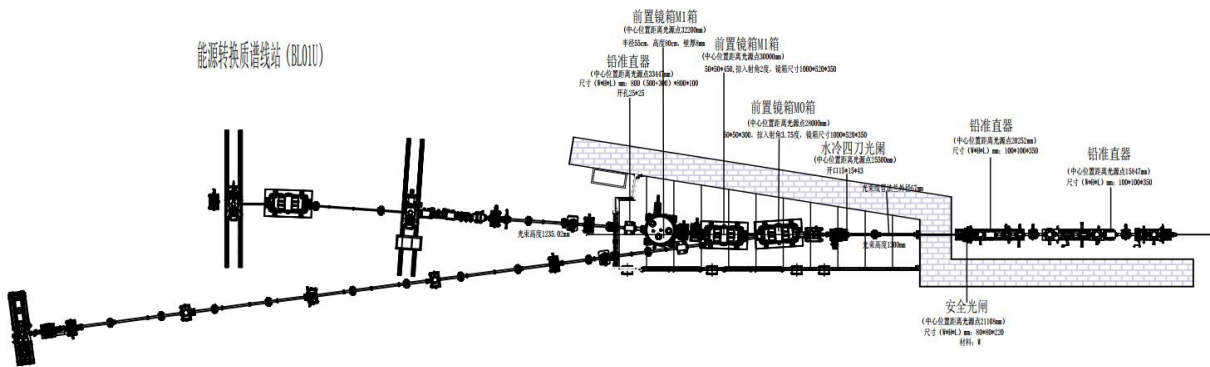
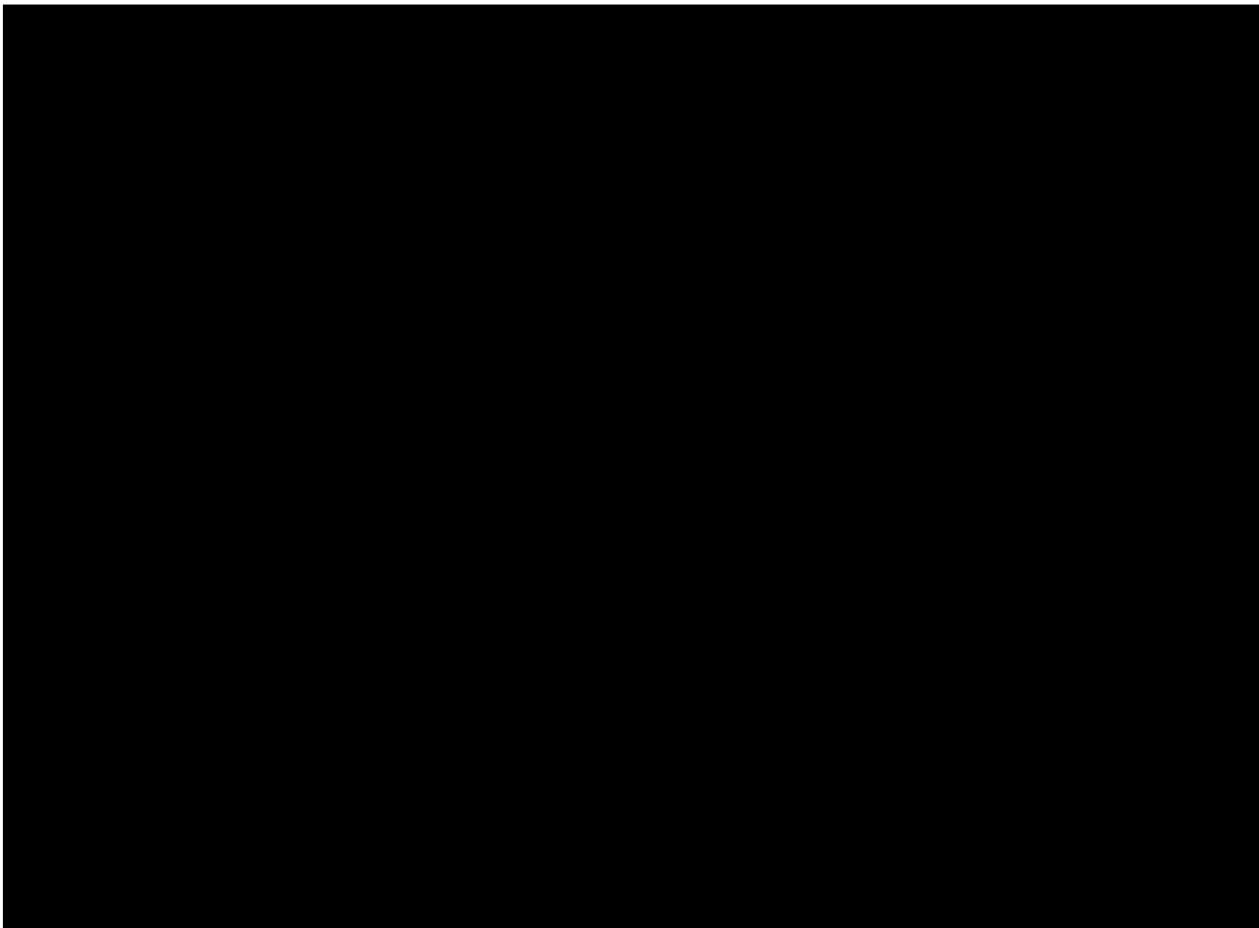
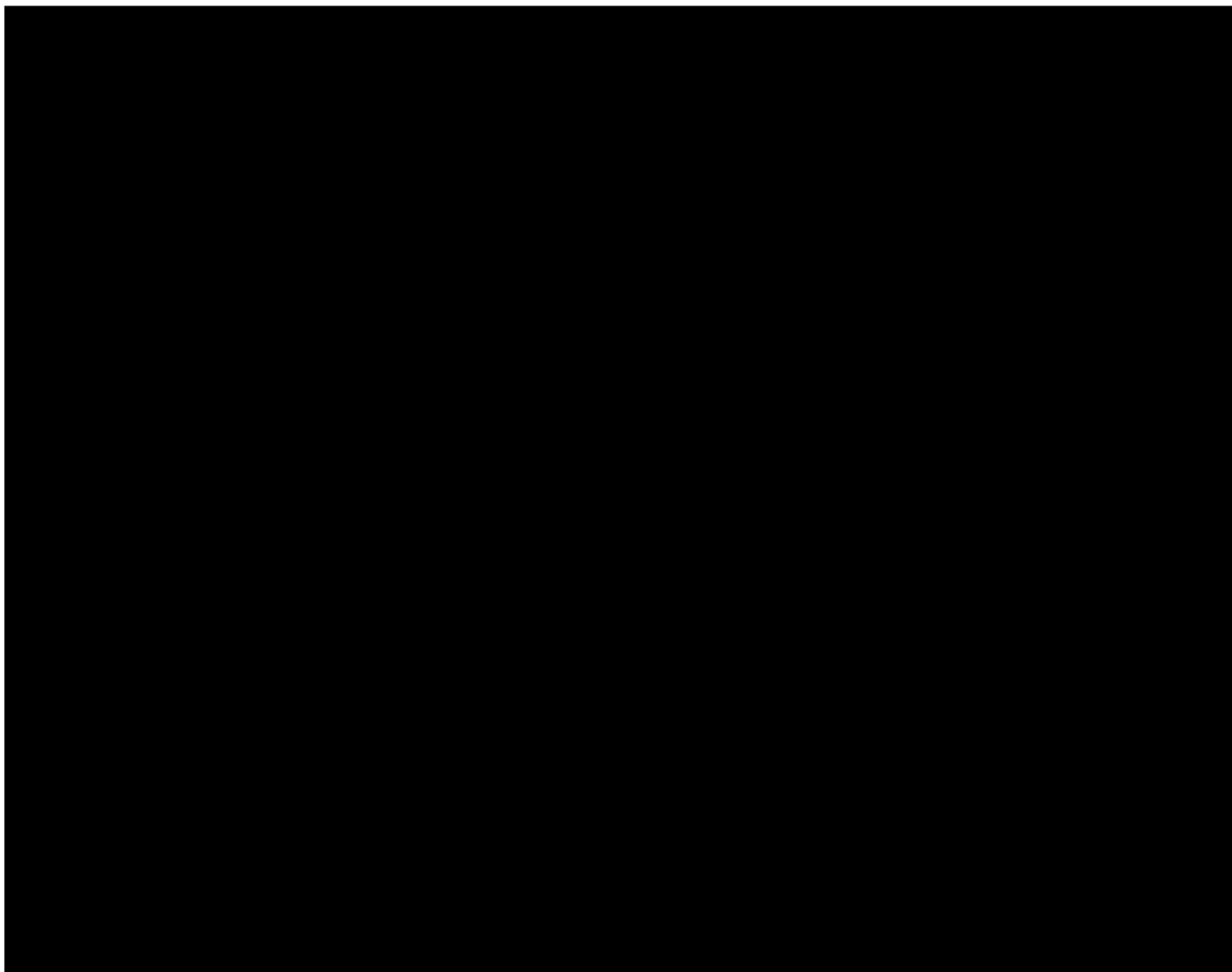


图 5.1.4-1(a) BL01 光束线站布局图





BL01 线站模拟计算以 M0、M1 分别在光路中为两大核心工况，各工况下又分设光阑闭合和光阑开口最大两种子工况。

M0 在光路中

(1) 光阑闭合

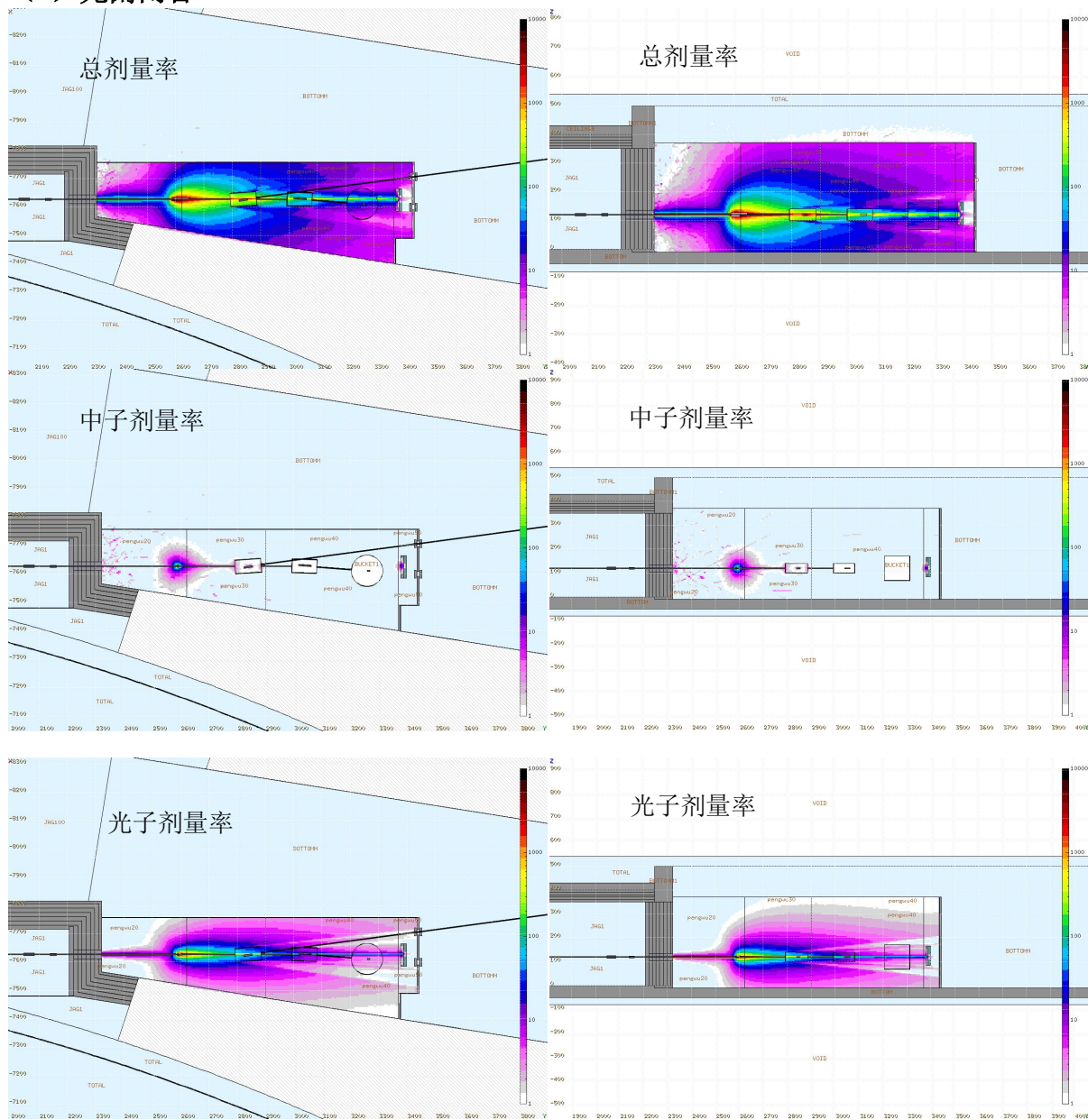


图 5.1.4-1(b) BL01 棚屋处 (M0 在光路中光阑闭合) 剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下, 使用 STAC08 计算同步辐射导致棚屋外剂量率分别为: 远离锯齿墙侧墙 $1.79\text{E}-12\mu\text{Sv/h}$ 、顶墙 $0.00124\mu\text{Sv/h}$ 、端墙外忽略不计。

(2) 光阑开口最大

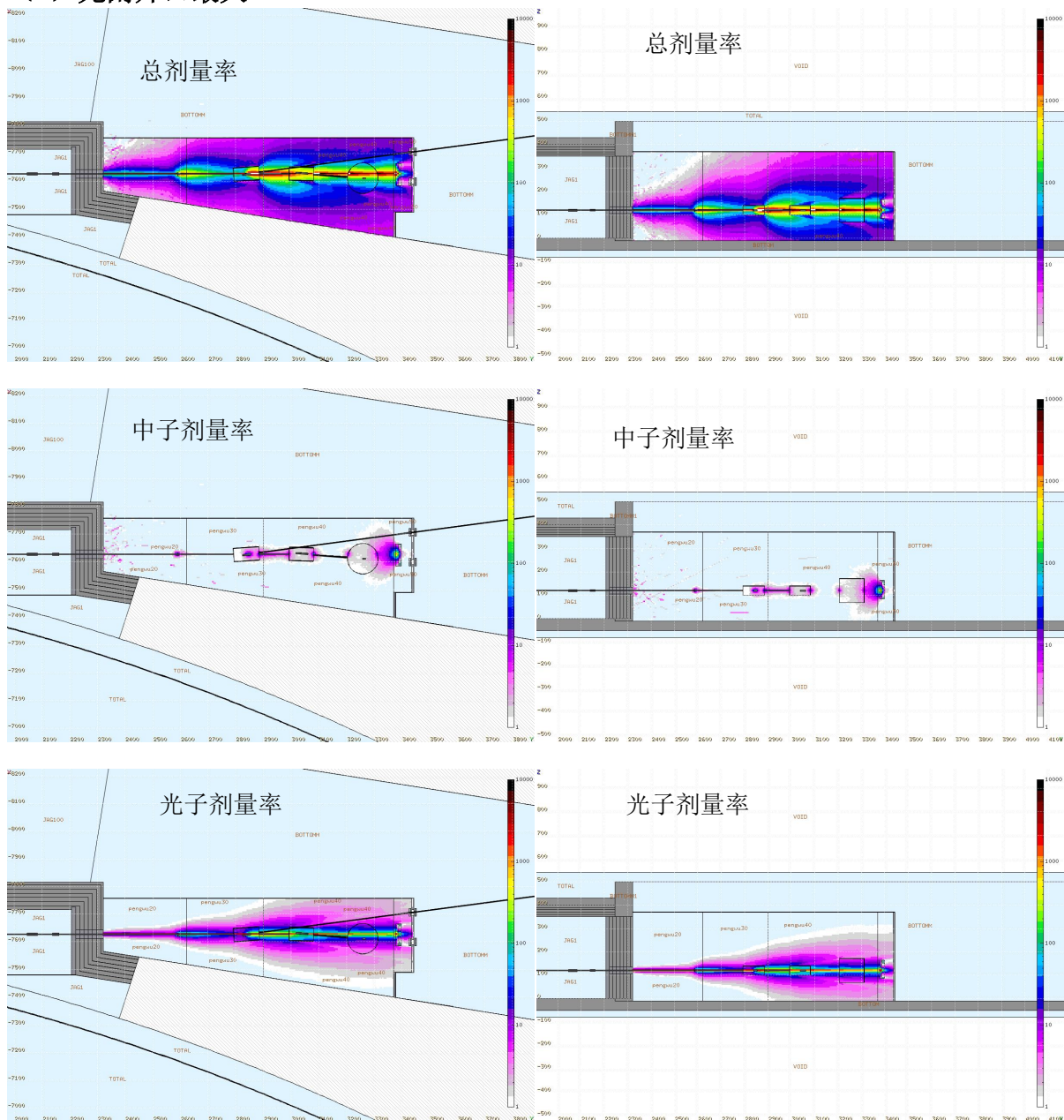


图 5.1.4-1(c) BL01 棚屋处 (M0 在光路中光阑开口最大) 光子剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下, 使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为: 远离锯齿墙侧墙: $1.58\text{E-}21\mu\text{Sv/h}$; 顶墙: $1.51\text{E-}9\mu\text{Sv/h}$; 端墙: 忽略不计。

M1 在光路中

(1) 光阑闭合

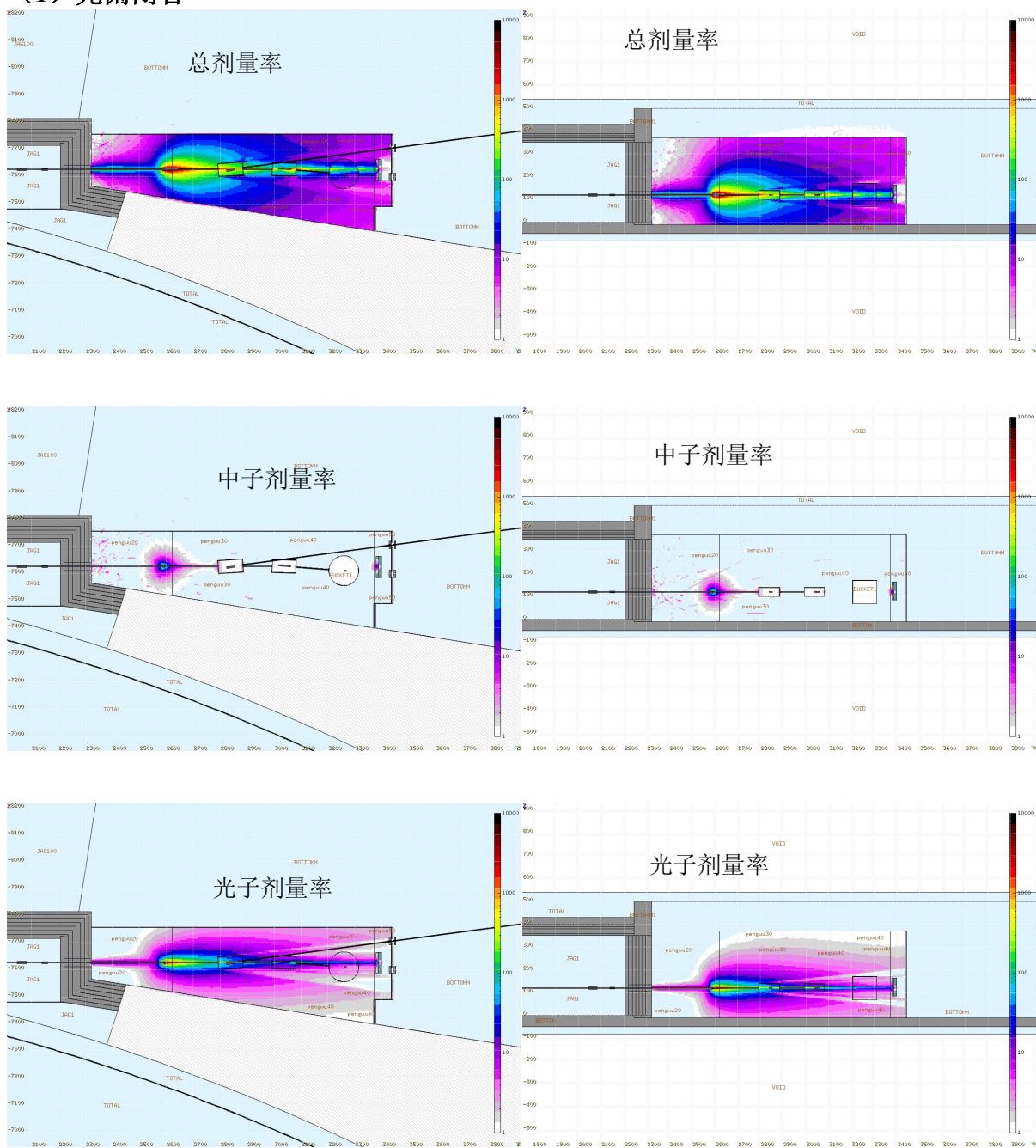


图 5.1.4-1(d) BL01 棚屋处 (M1 在光路中光阑闭合) 剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下, 使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为: 远离锯齿墙侧墙: $1.79\text{E-}12\mu\text{Sv/h}$; 顶墙: $0.00124\mu\text{Sv/h}$; 端墙: 忽略不计。

(2) 光阑开口最大

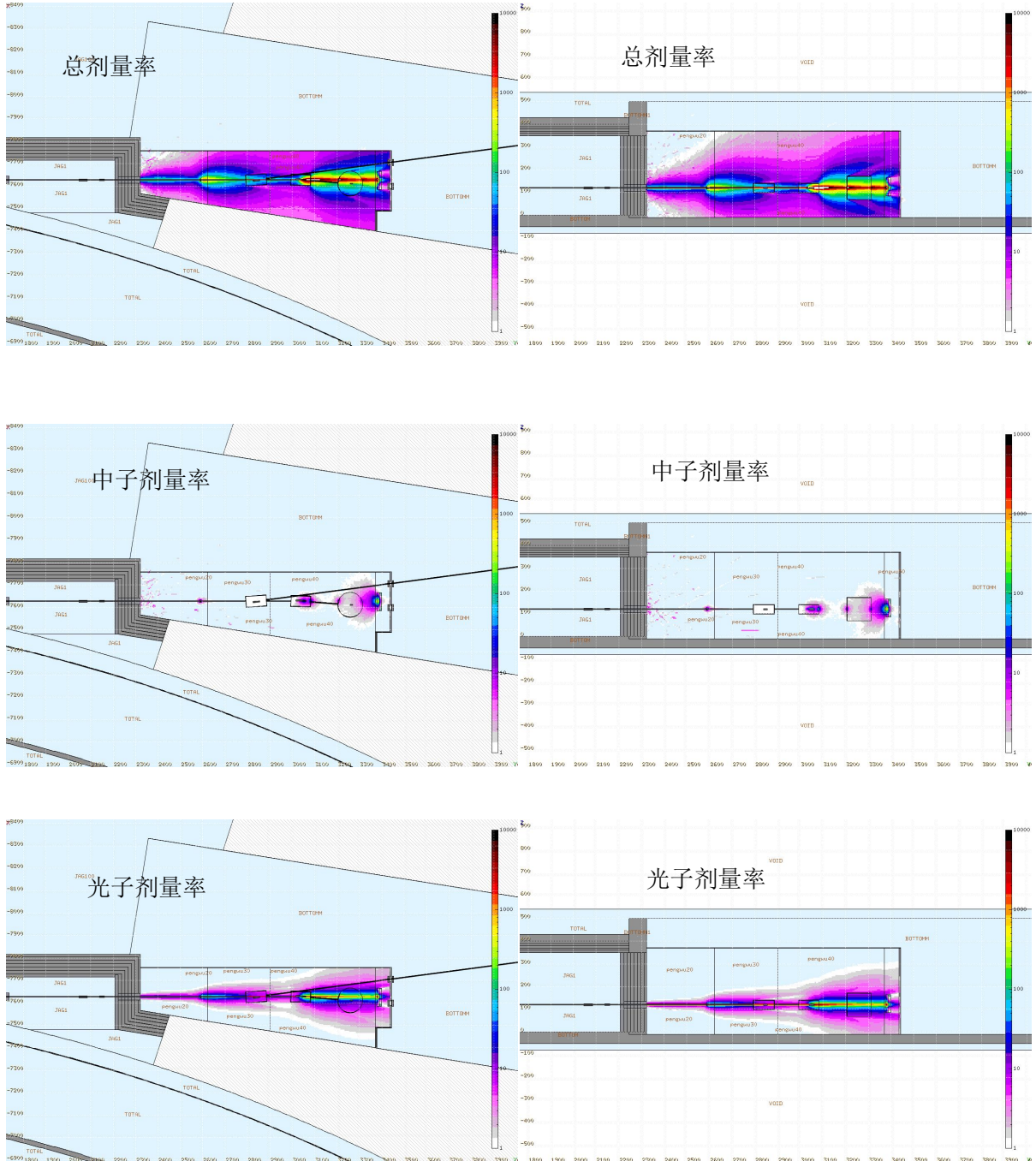


图 5.1.4-1(e) BL01 棚屋处 (M1 在光路中光阑开口最大) 剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：远离锯齿墙侧墙： $1.64\text{E}-21\mu\text{Sv/h}$ ；顶墙： $1.56\text{E}-9\mu\text{Sv/h}$ ；端墙：忽略不计。

5.1.4.2 BL02 极紫外电子态表征及光刻工艺线站

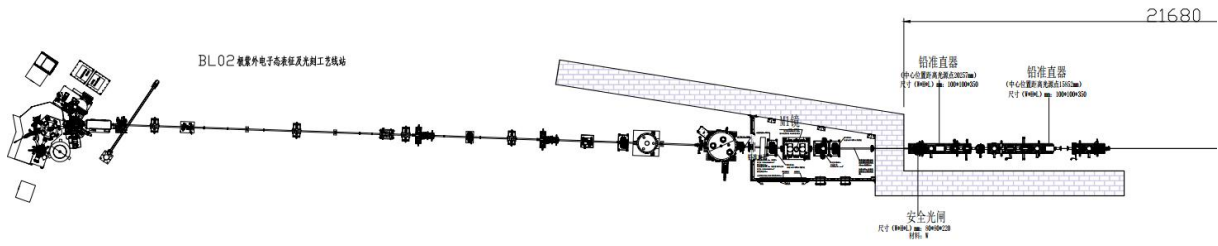
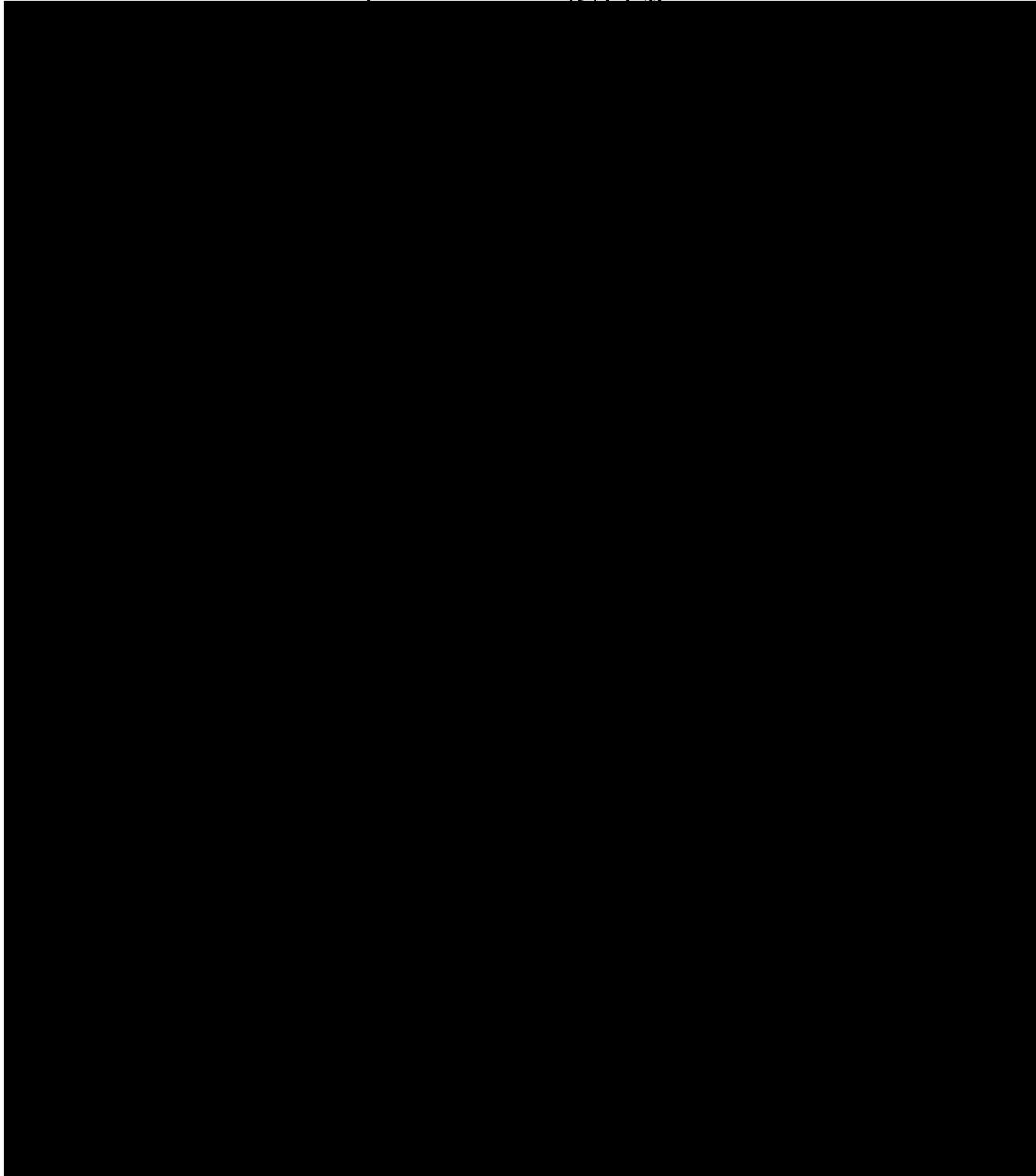
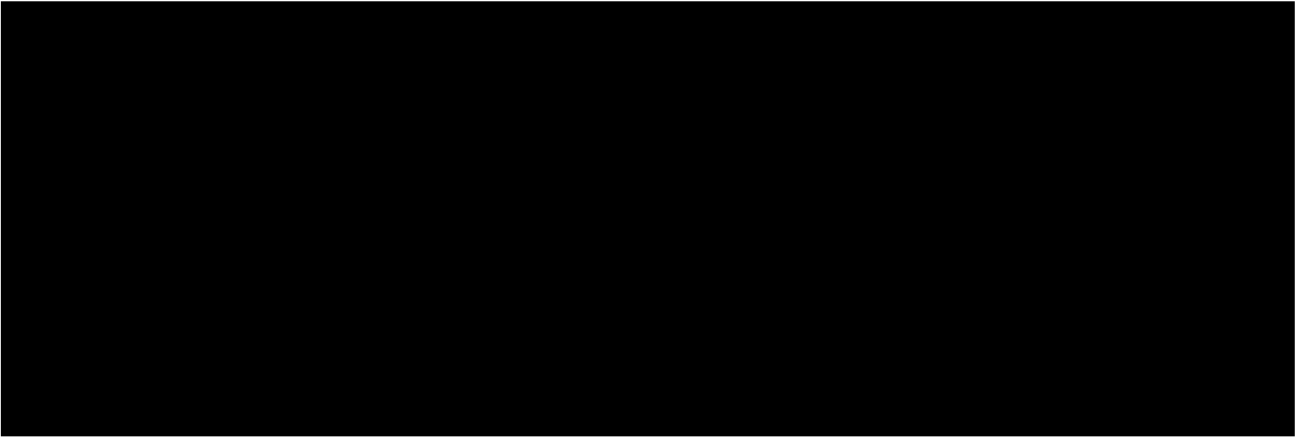


图 5.1.4-2(a) BL02 光束线站布局图





本次 BL02 线站模拟计算了不同光阑状态（闭合/光阑开口最大）两种工况下。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

(1) 光阑闭合

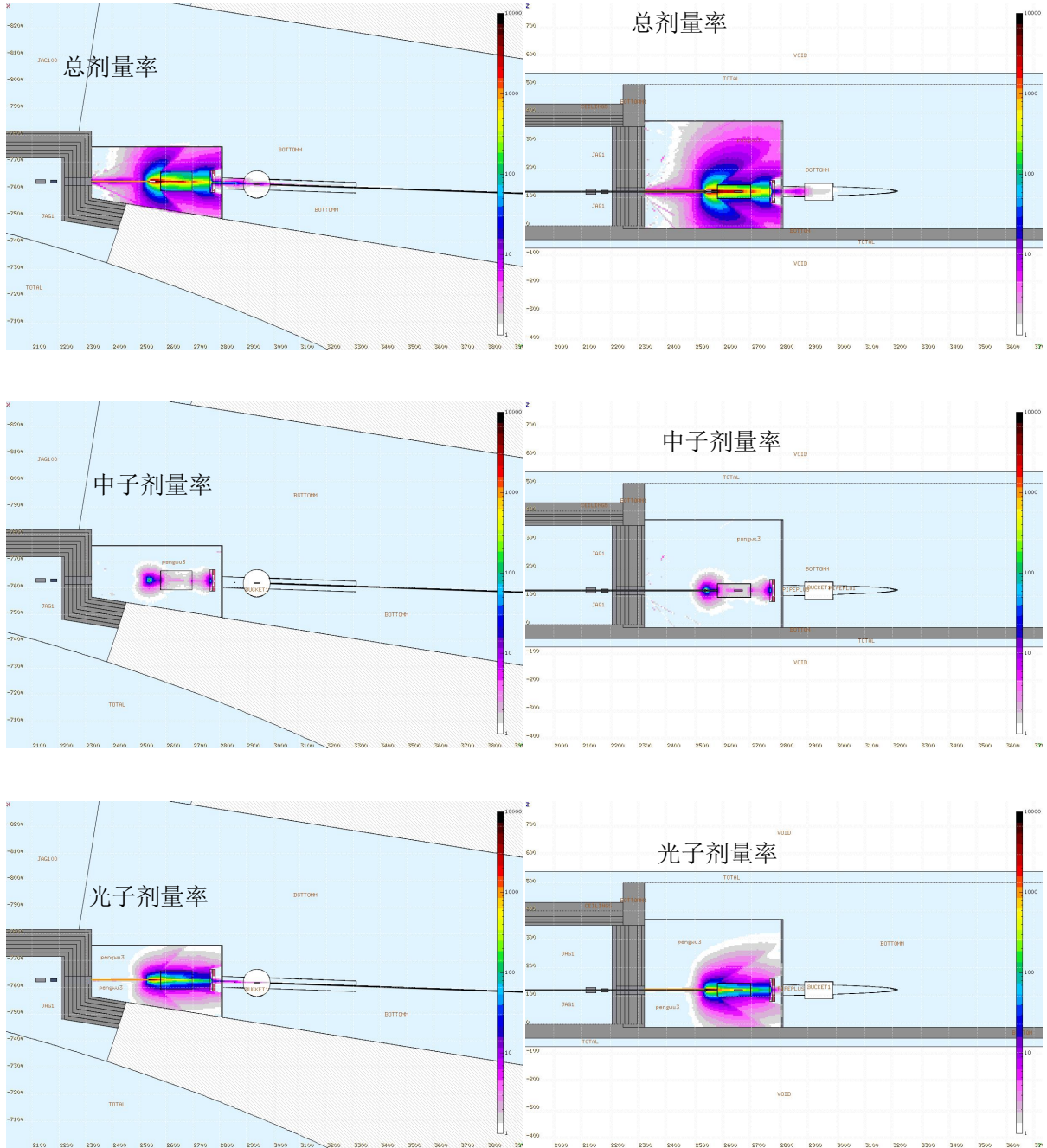


图 5.1.4-2(b) BL02 棚屋处（光阑闭合）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $8.91\text{E}-20\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $0.29\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 光阑开口最大

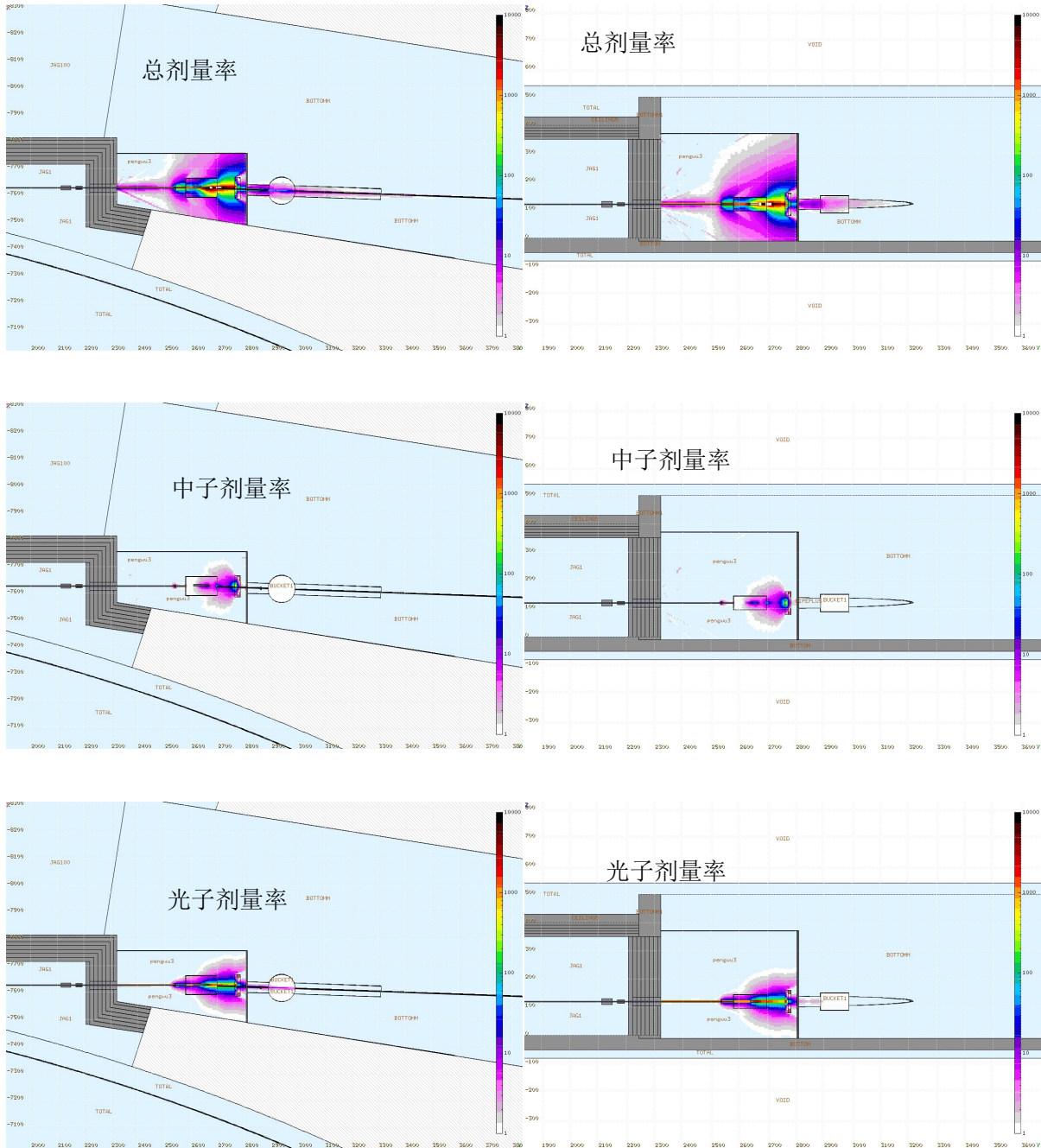


图 5.1.4-2(c) BL02 棚屋处（光阑开口最大）棚屋处光子剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $2.91\text{E-}12\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $0.354\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.3 BL03 微纳器件工况电子态表征线站

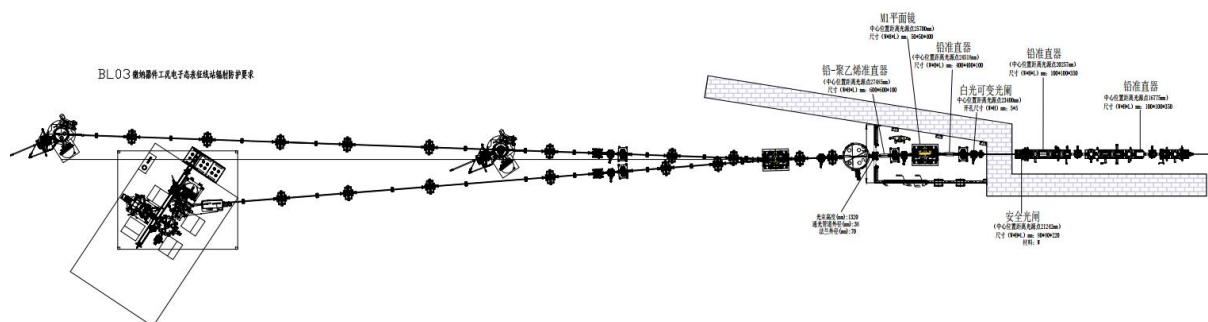
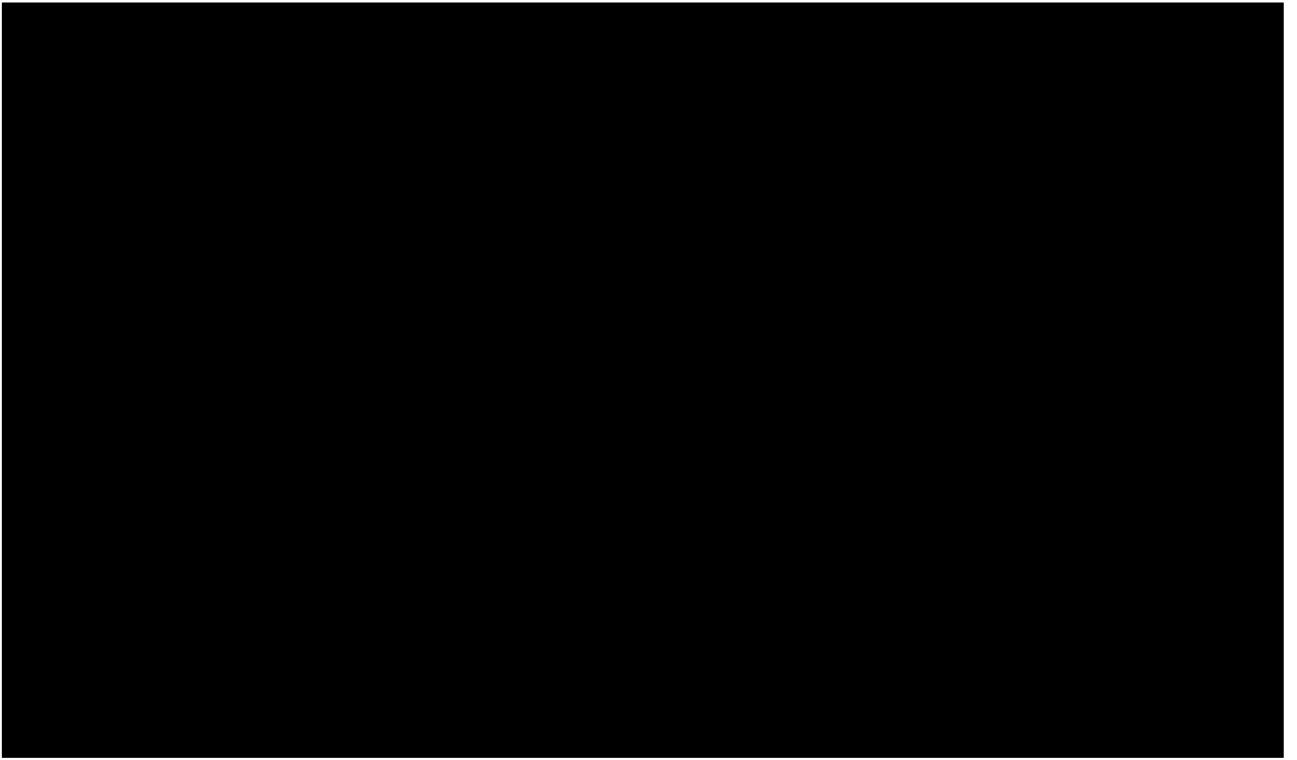


图 5.1.4-3(a) BL03 光束线站布局图



(1) 光阑闭合

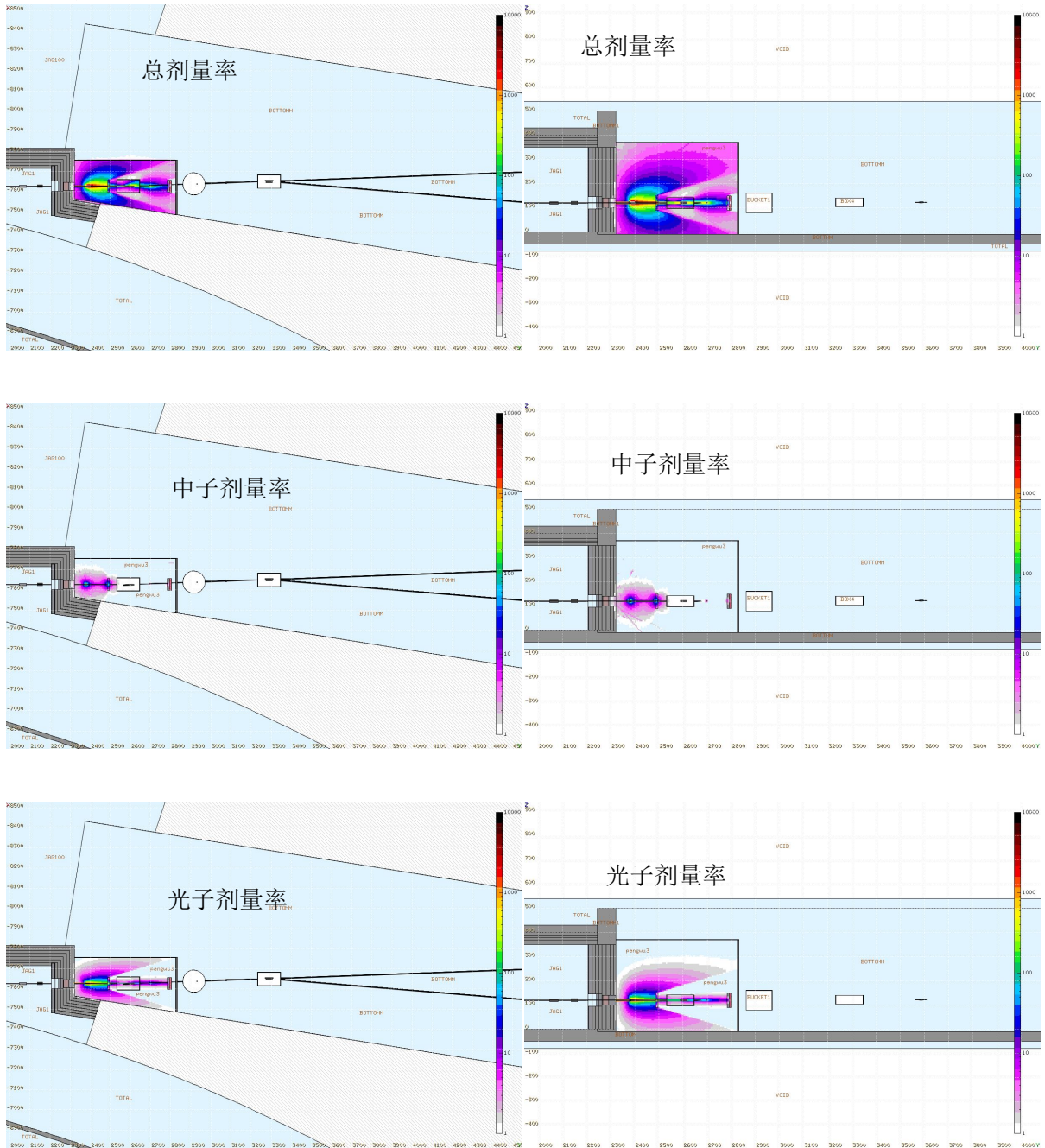


图 5.1.4-3(b) BL03 棚屋处（光阑闭合）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $9.04\text{E-}12\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $1.9\text{E-}7\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 光阑开口最大

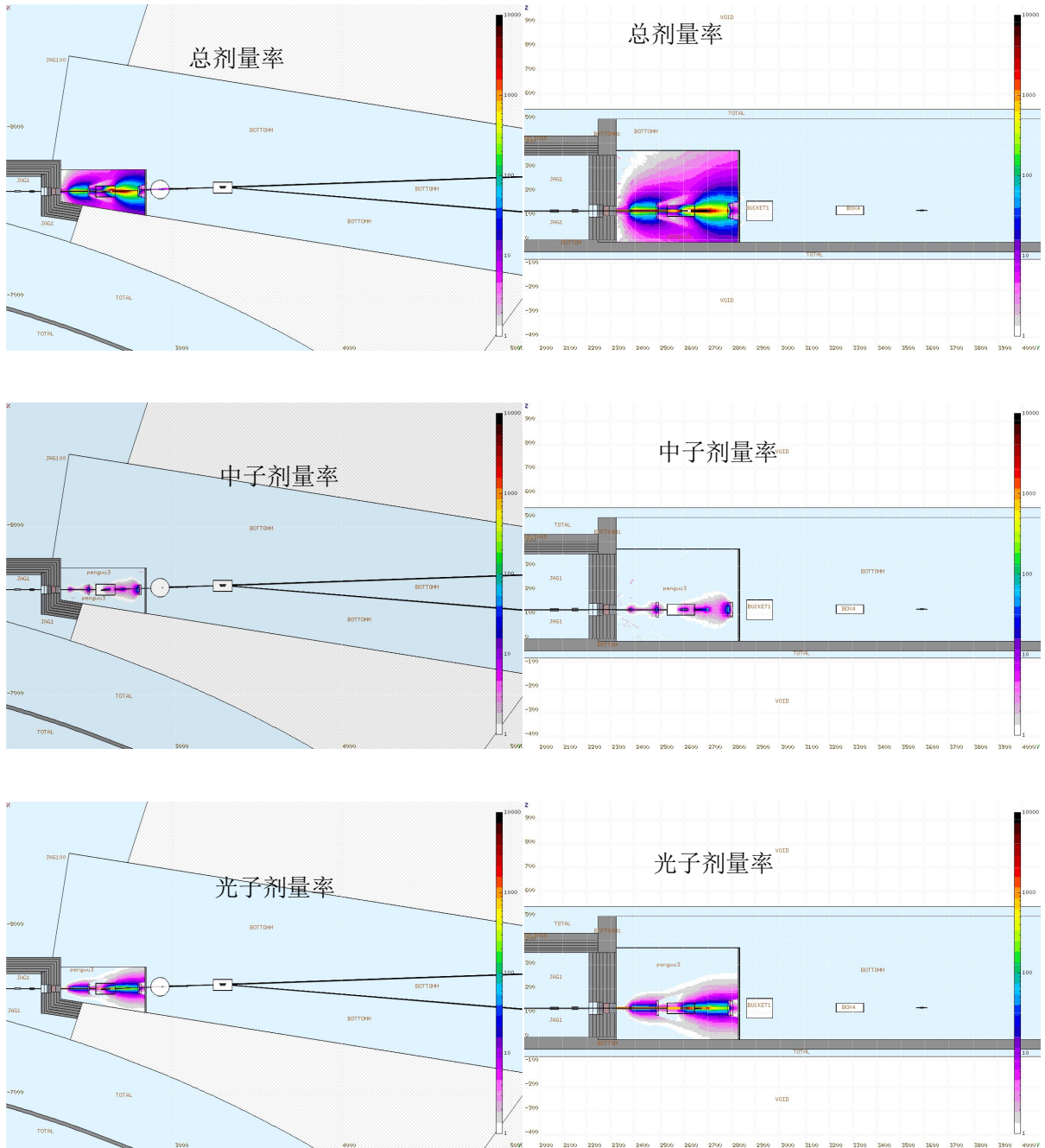


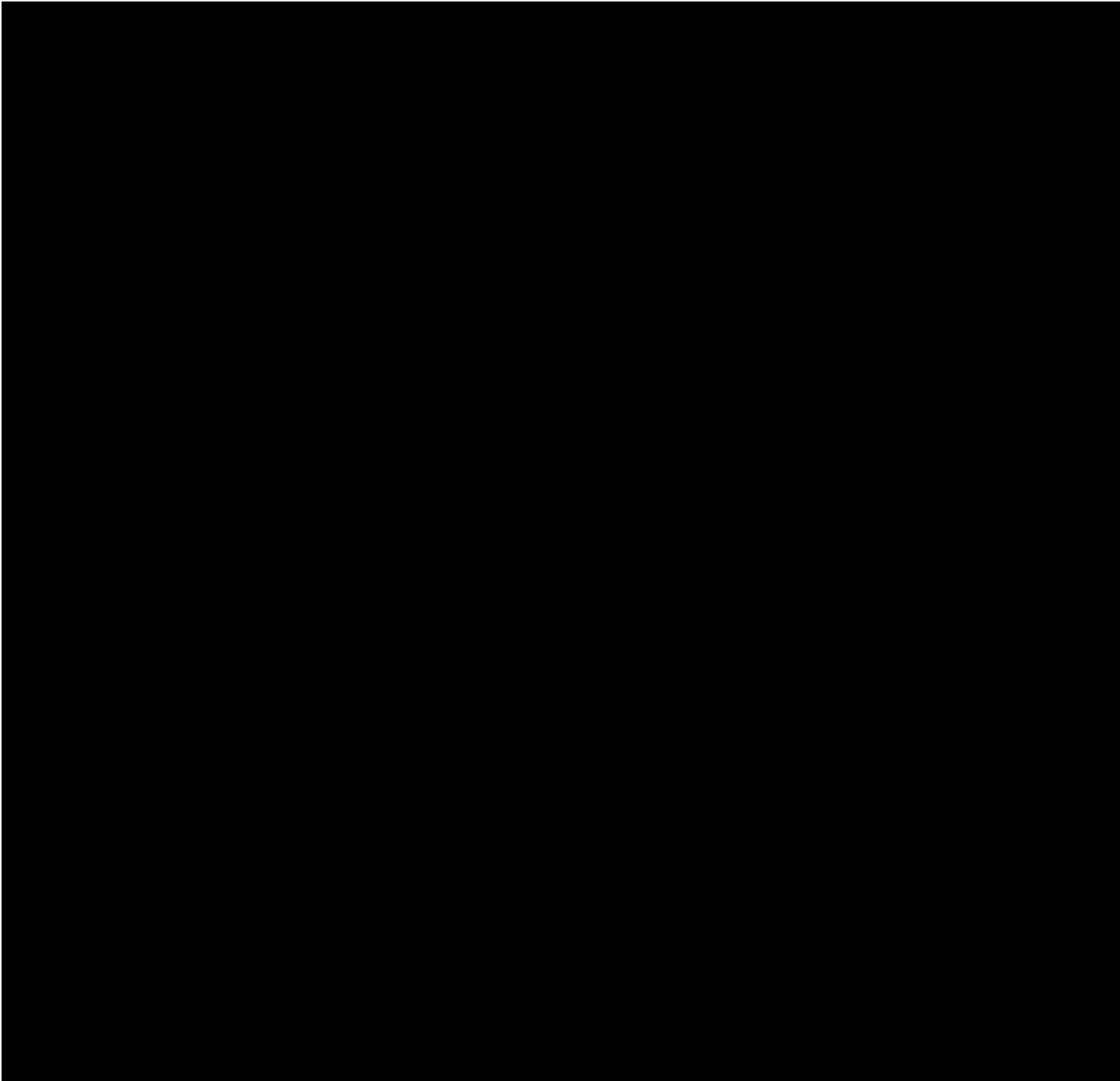
图 5.1.4-3(c) BL03 棚屋处(光阑开口最大)剂量率分布的俯视图和侧视图(颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $1.42\text{E}-11\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $2.32\text{E}-7\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.4 BL04 高灵敏自旋时空分辨线站



图 5.1.4-4(a) BL04 光束线站布局图



(1) 光阑闭合

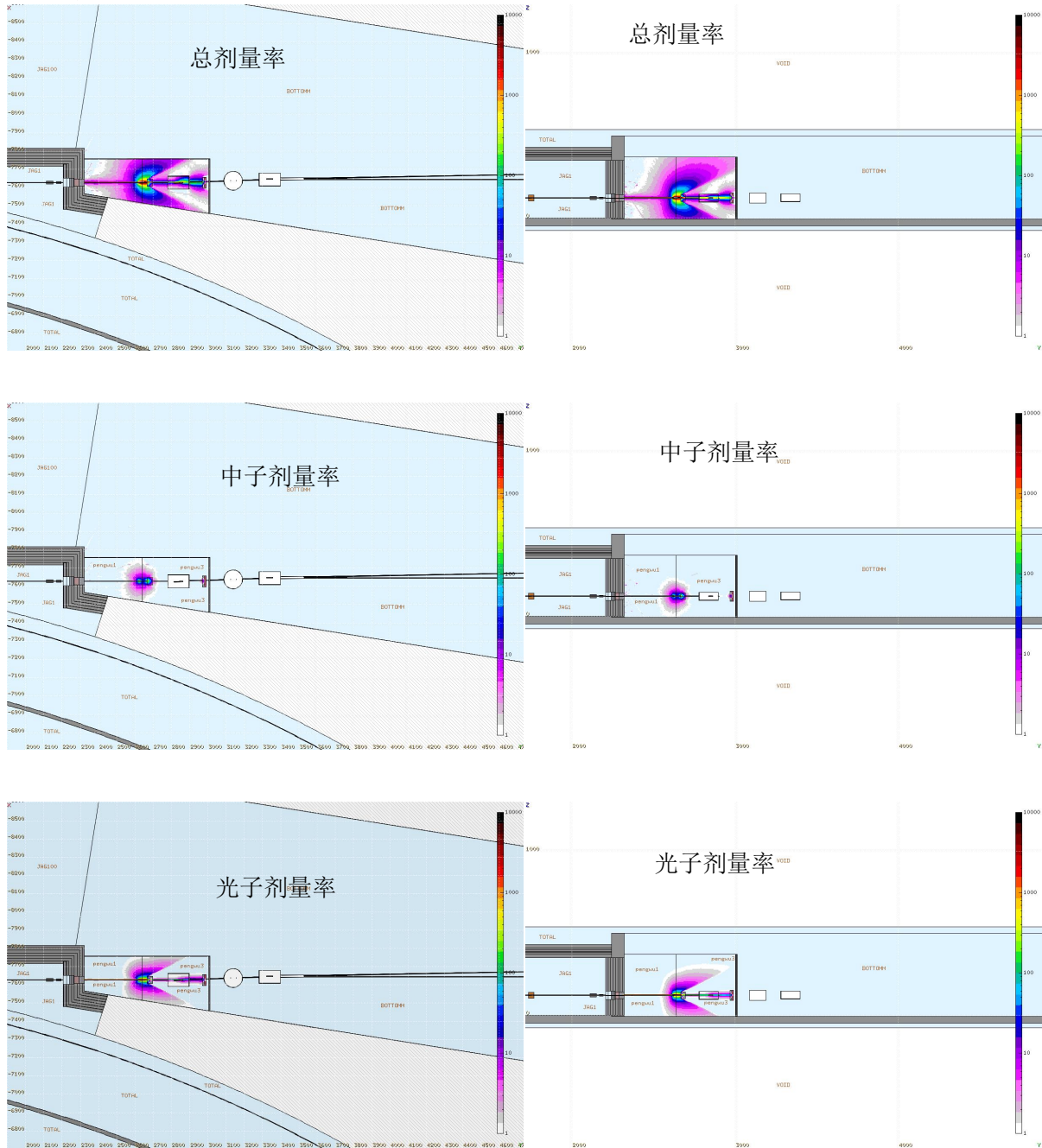


图 5.1.4-4(b) BL04 棚屋处（光阑闭合）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $3.03\text{E-}19\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $8.85\text{E-}11\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

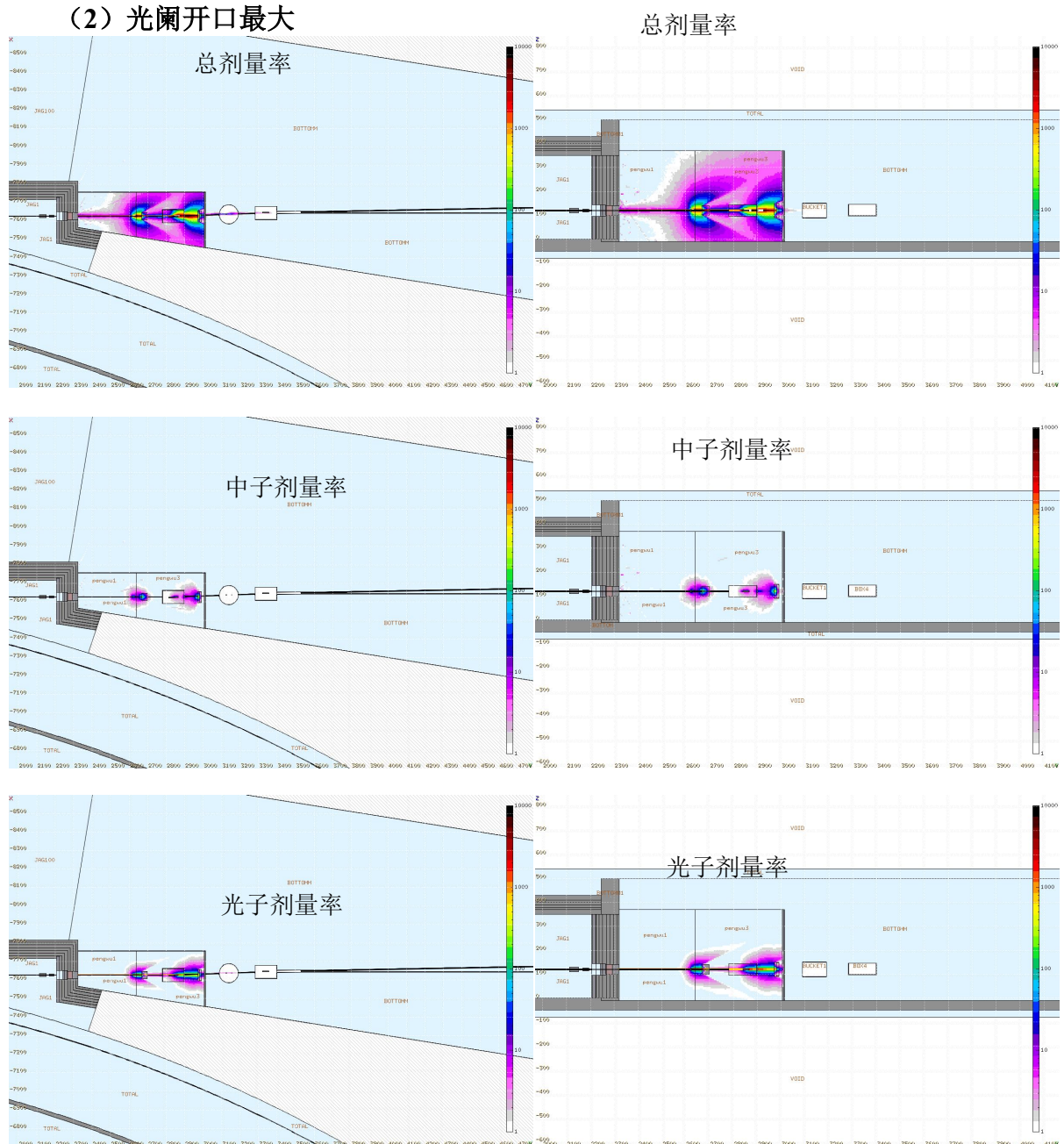


图 5.1.4-4(c) BL04 棚屋处(光阑开口最大)剂量率分布的俯视图和侧视图(颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $8.22\text{E-}19\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $1.14\text{E-}10\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.5 BL05 原位工况软 X 射线谱学与散射线站

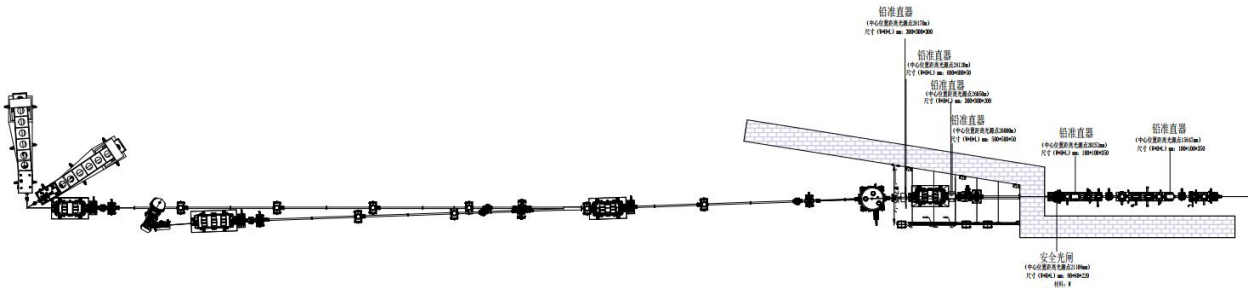
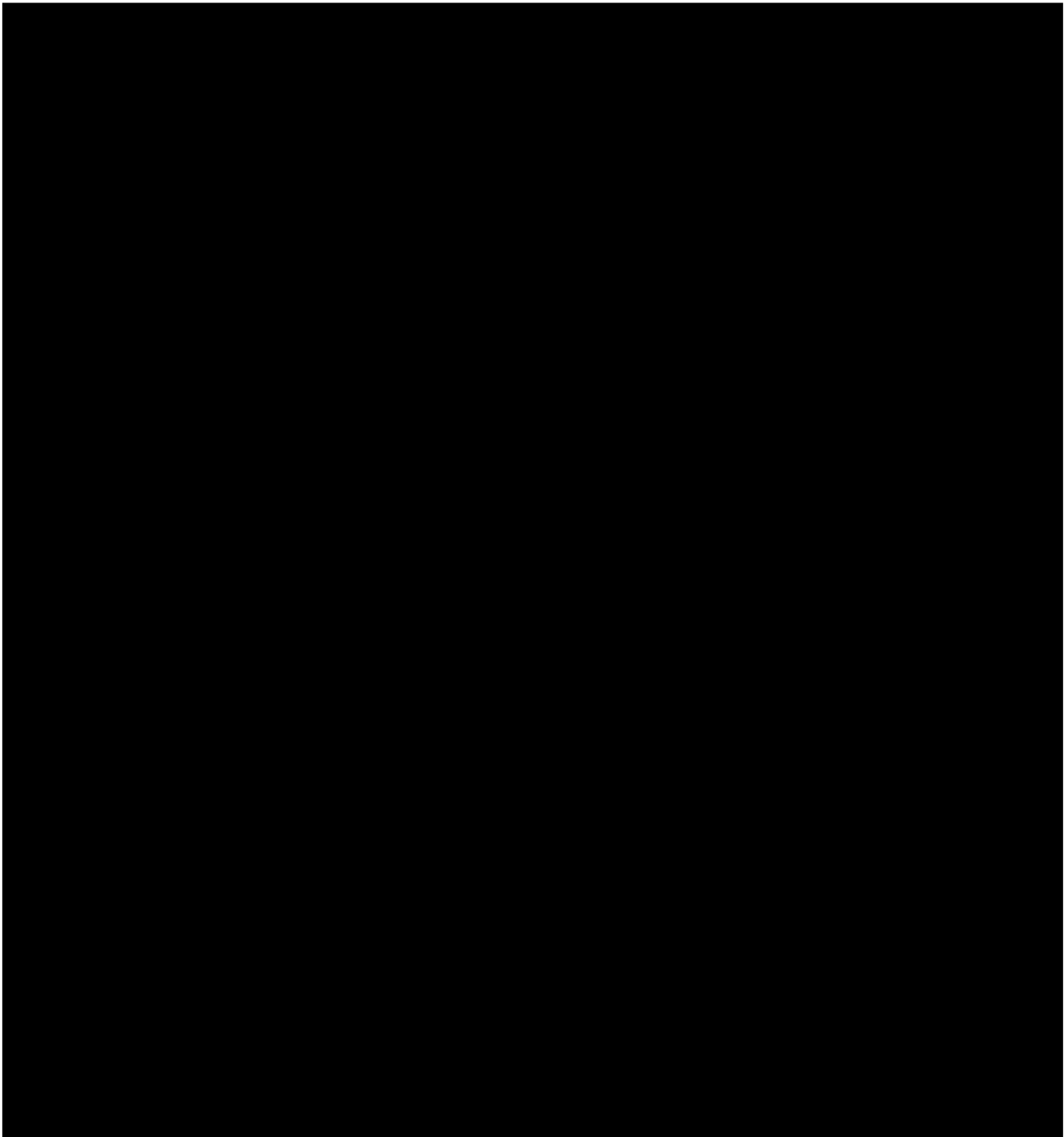
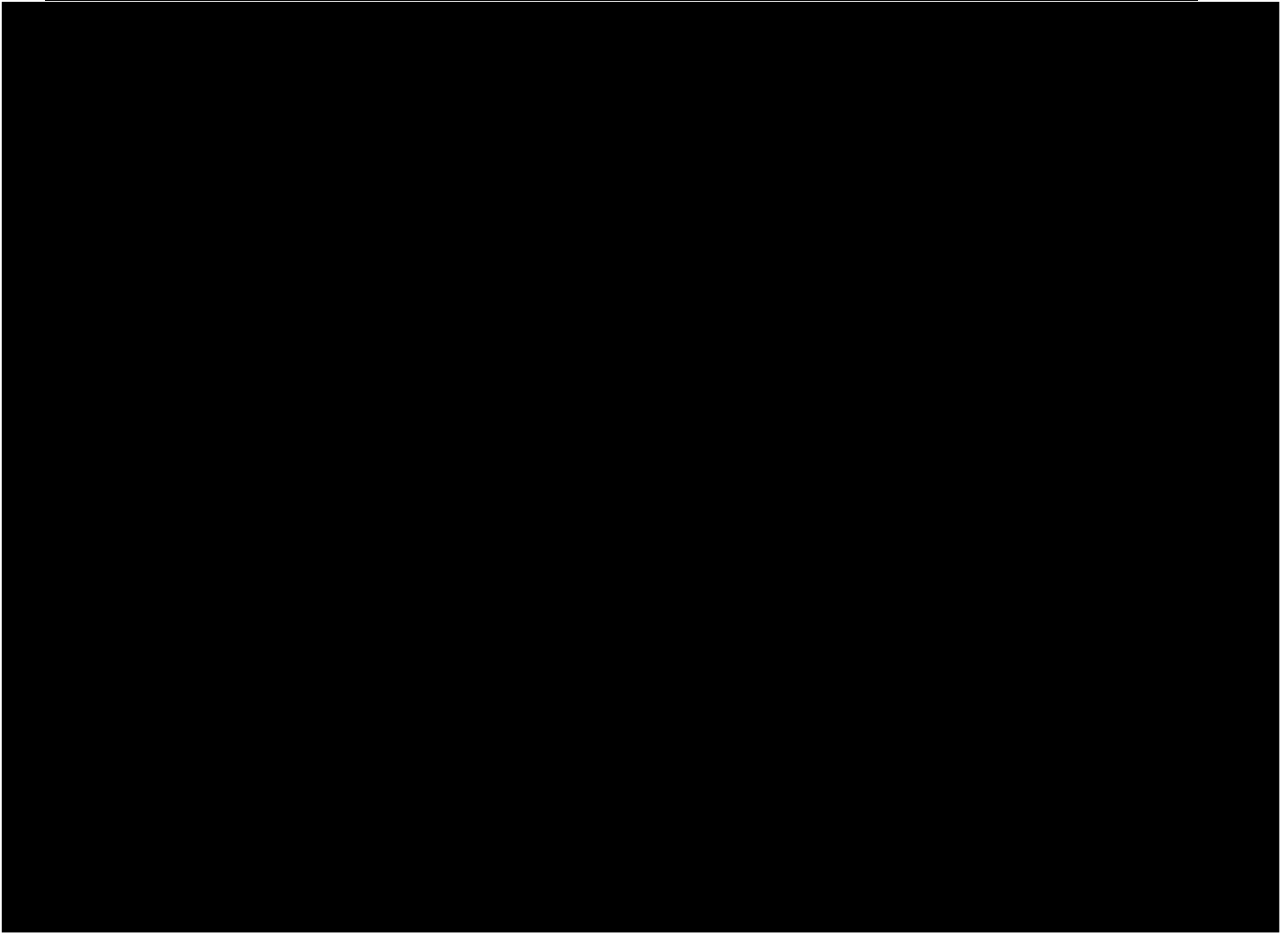


图 5.1.4-5(a) BL05 光束线站布局图





(1) 光阑闭合

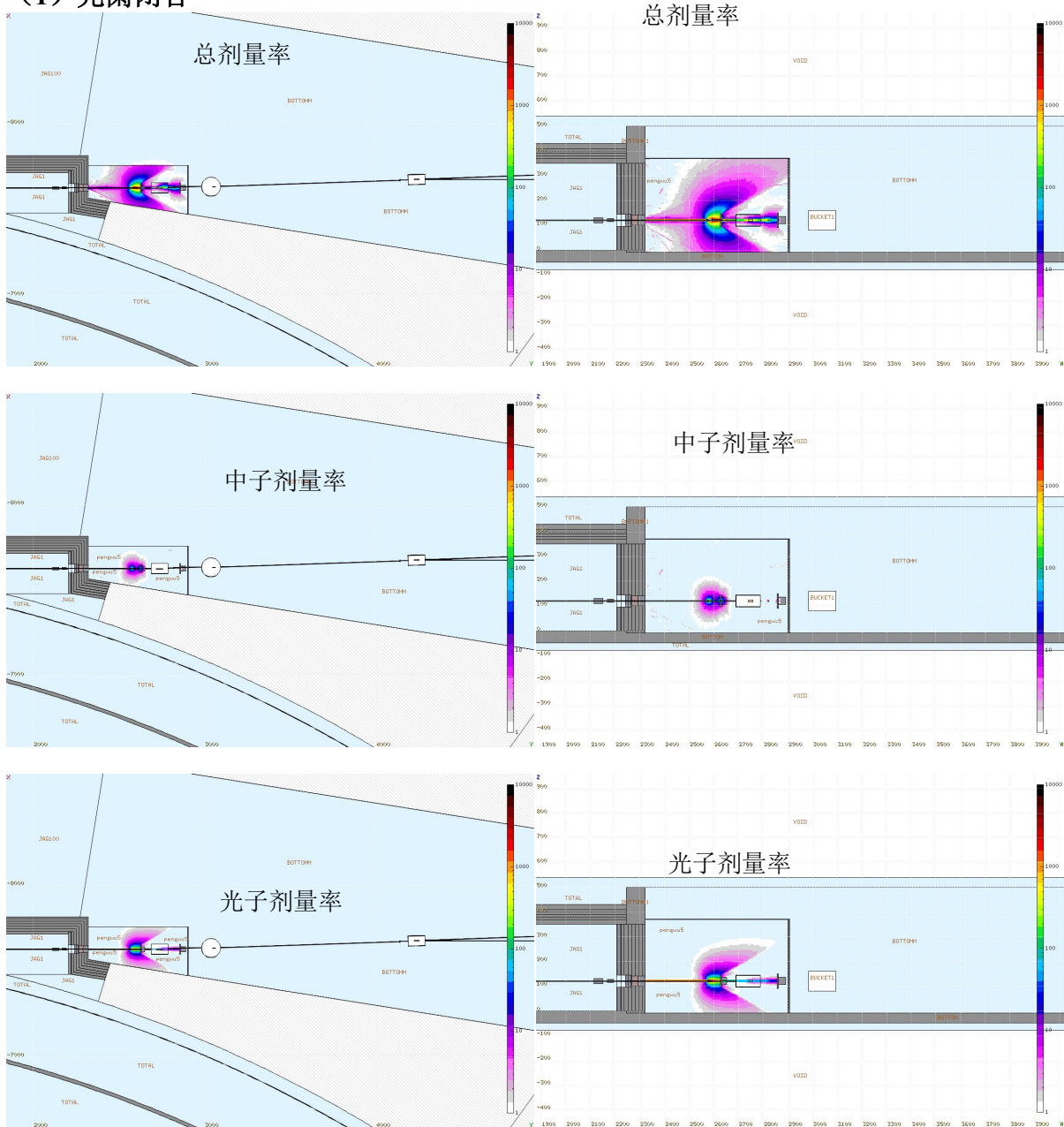


图 5.1.4-5(b) BL05 棚屋处（光阑闭合）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $7.69\text{E}-10\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $1.43\text{E}-7\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.6 BL06 软 X 射线显微谱学相干成像线站

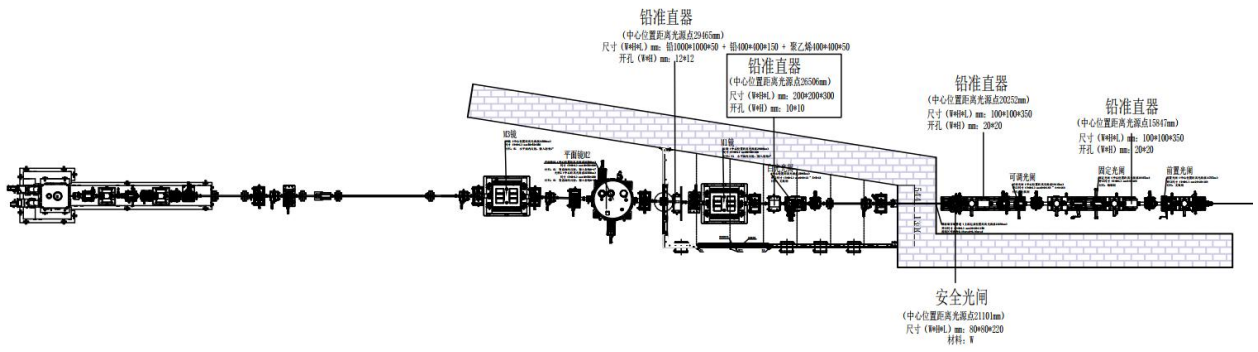
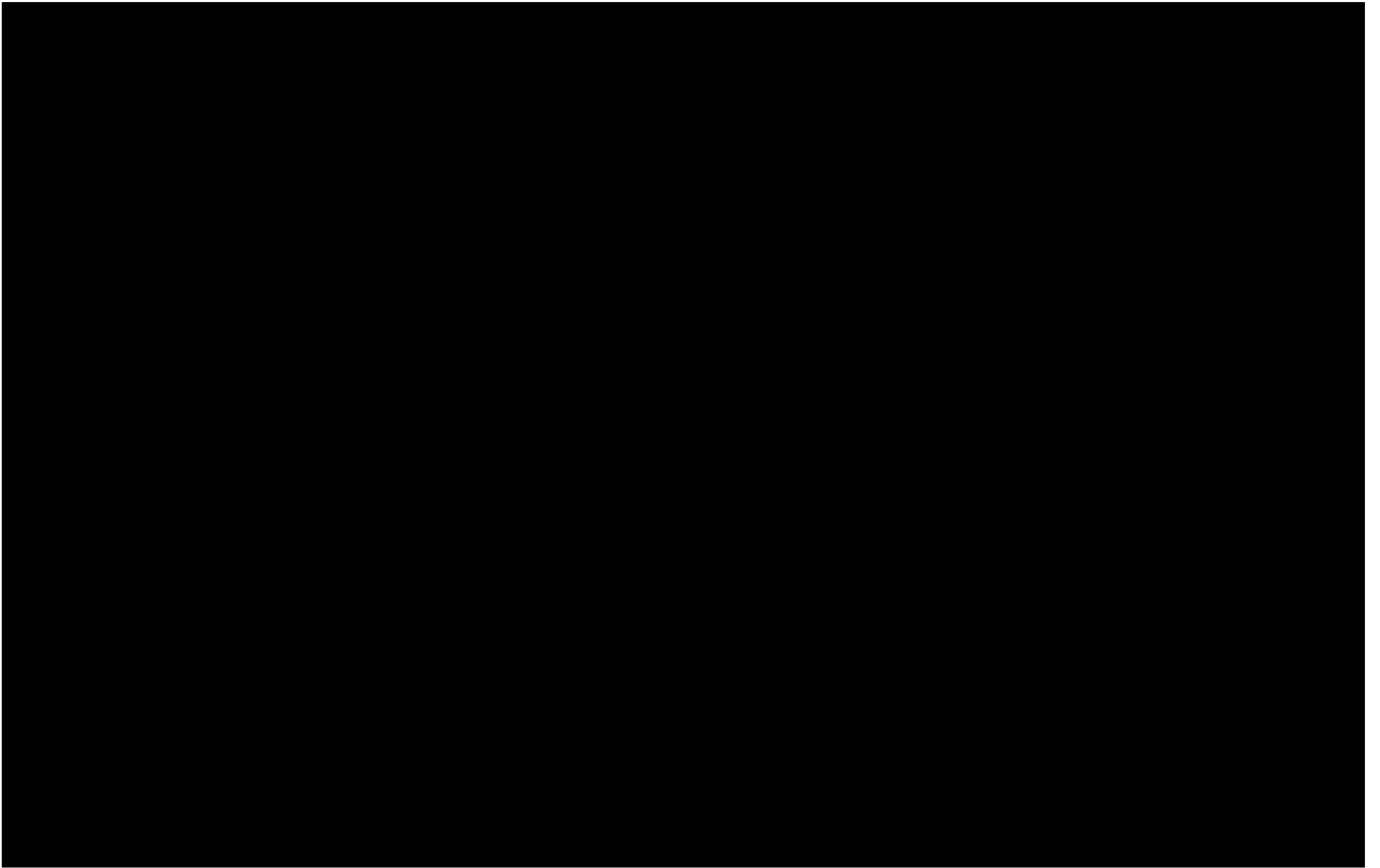


图 5.1.4-6(a) BL06 光束线站布局图



(1) 光阑闭合

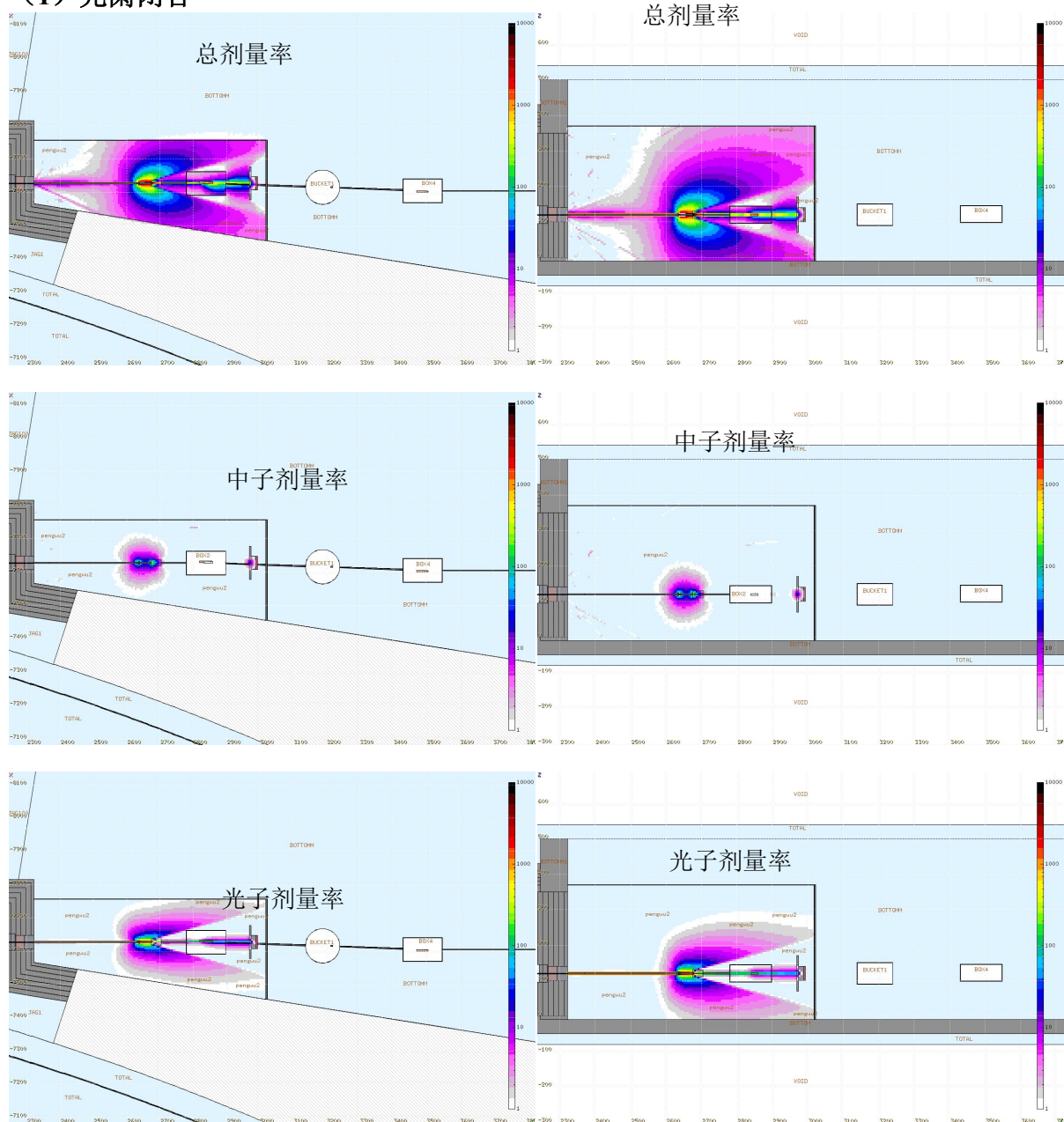


图 5.1.4-6(b) BL06 棚屋处（光阑闭合）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $3.11\text{E-}22\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $8.28\text{E-}10\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 光阑开口最大

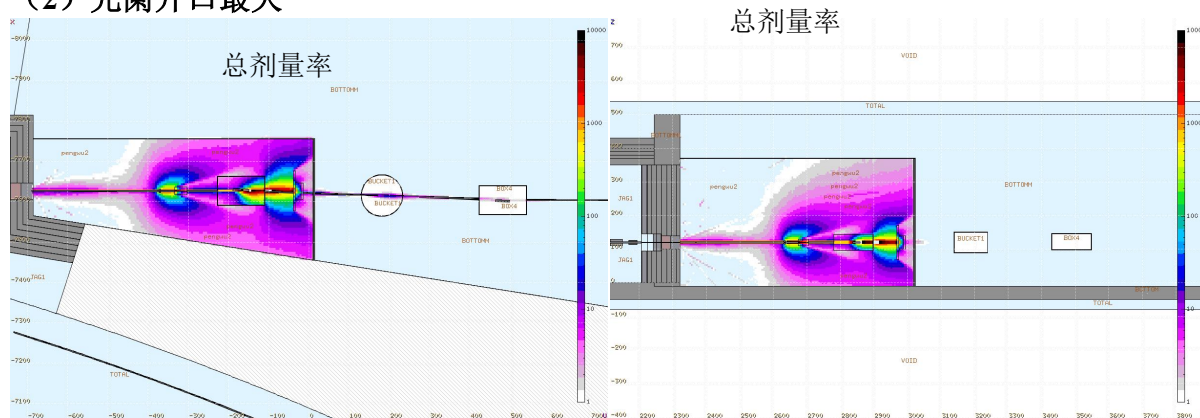


图 5.1.4-58 棚屋处气体韧致辐射与束流损失总剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

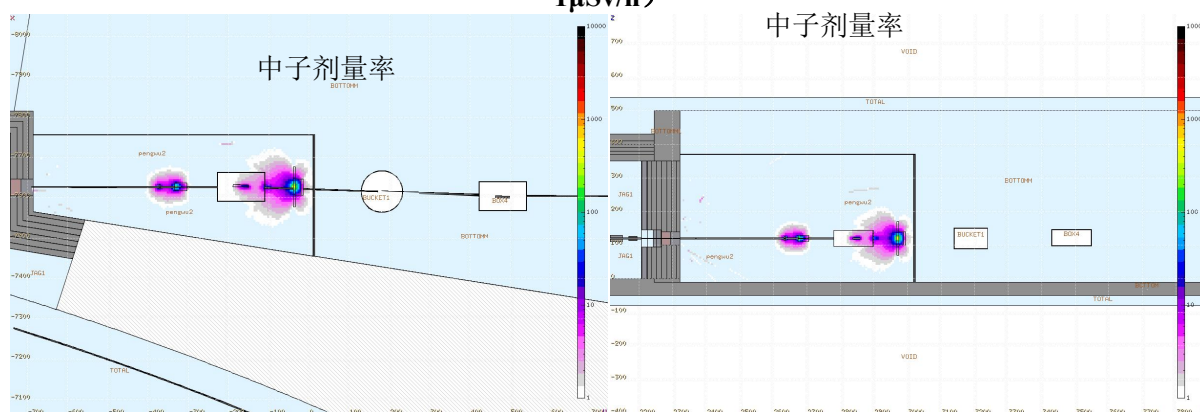


图 5.1.4-59 棚屋处中子剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

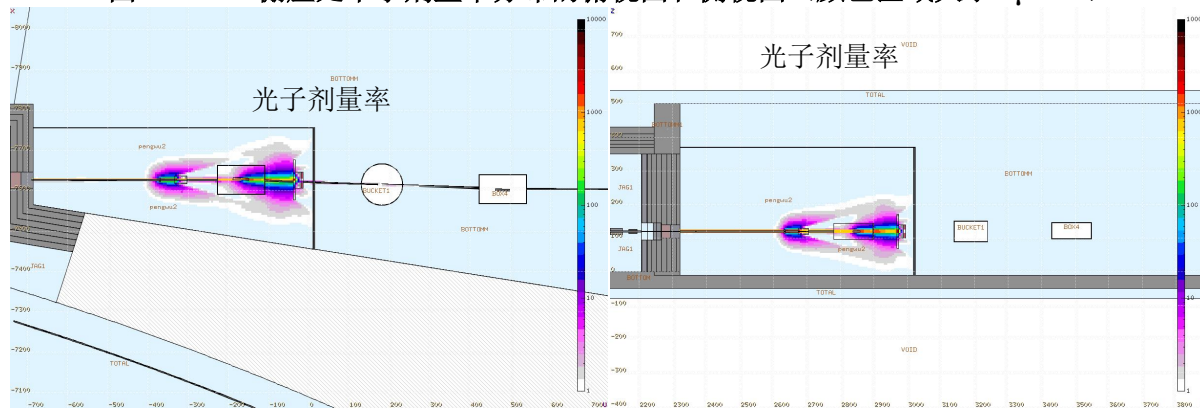


图 5.1.4-6(c) BL06 棚屋处(光阑开口最大)剂量率分布的俯视图和侧视图(颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $3.4\text{E}-13\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $1.06\text{E}-9\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.7 BL07 多尺度时空分辨共振相干散射线站

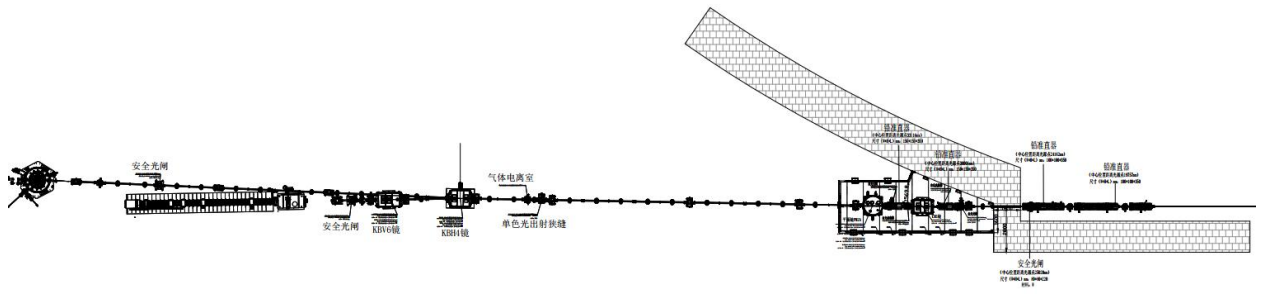
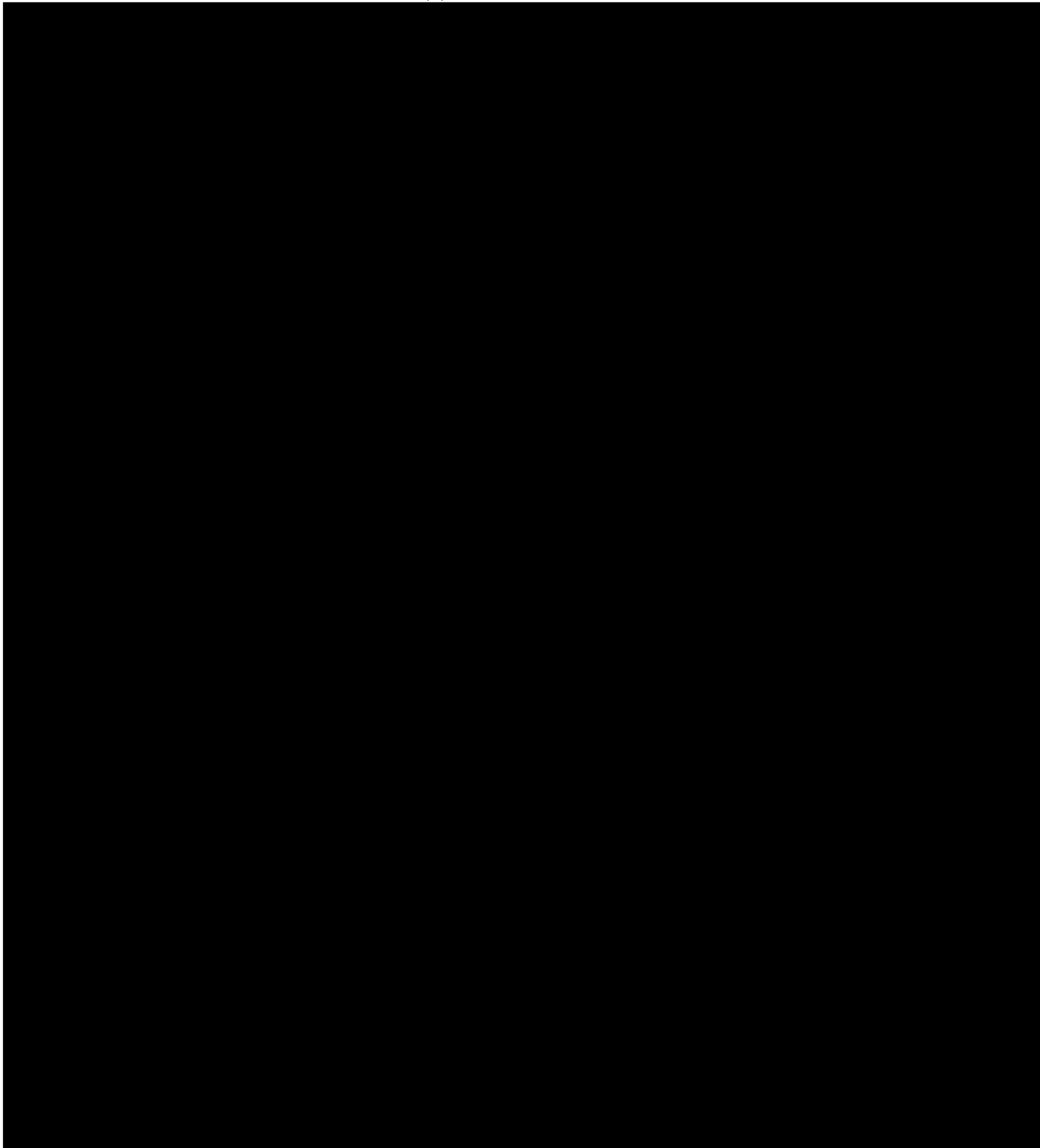
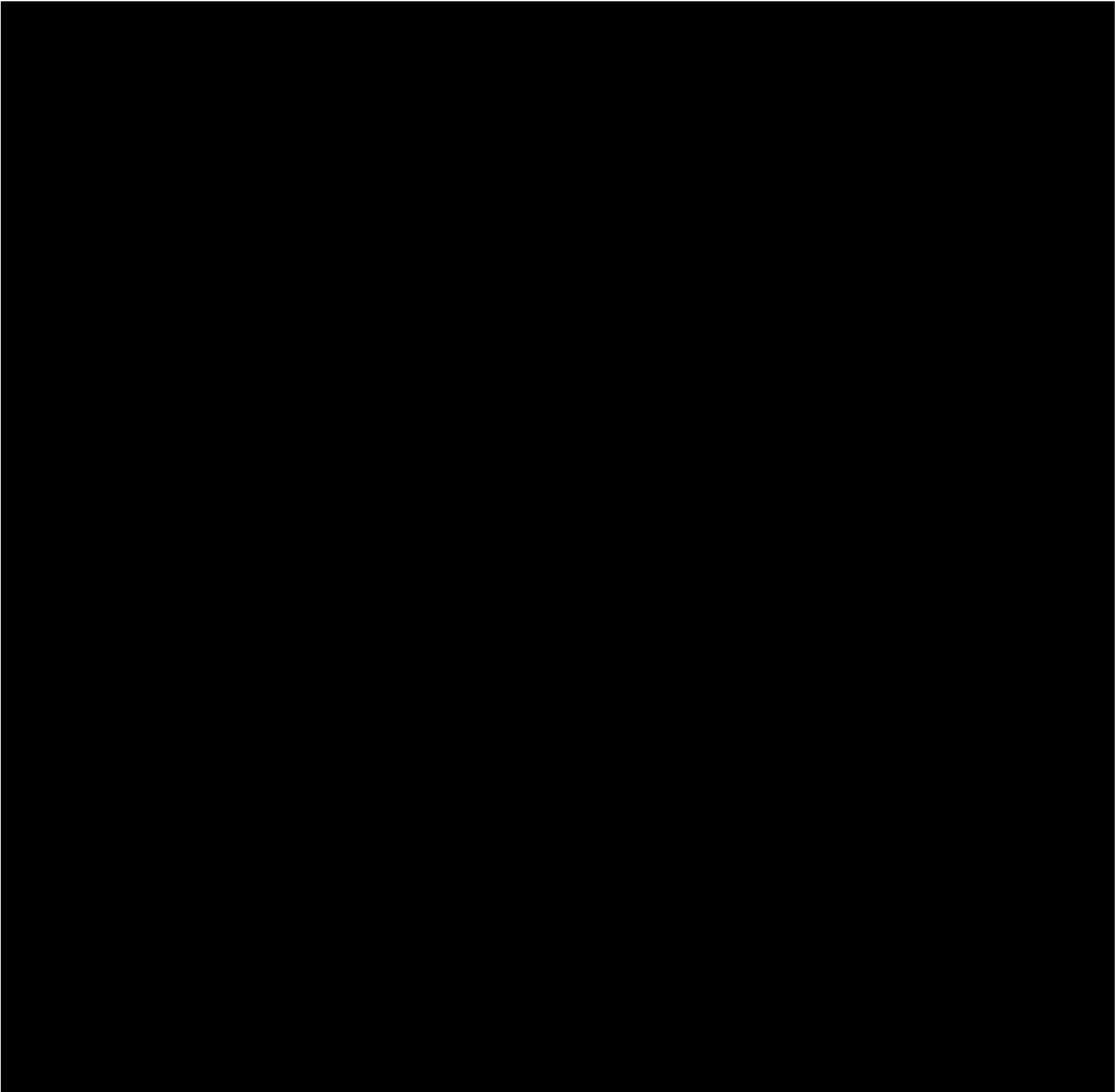


图 5.1.4-7(a) BL07 光束线站布局图





(1) 光阑闭合

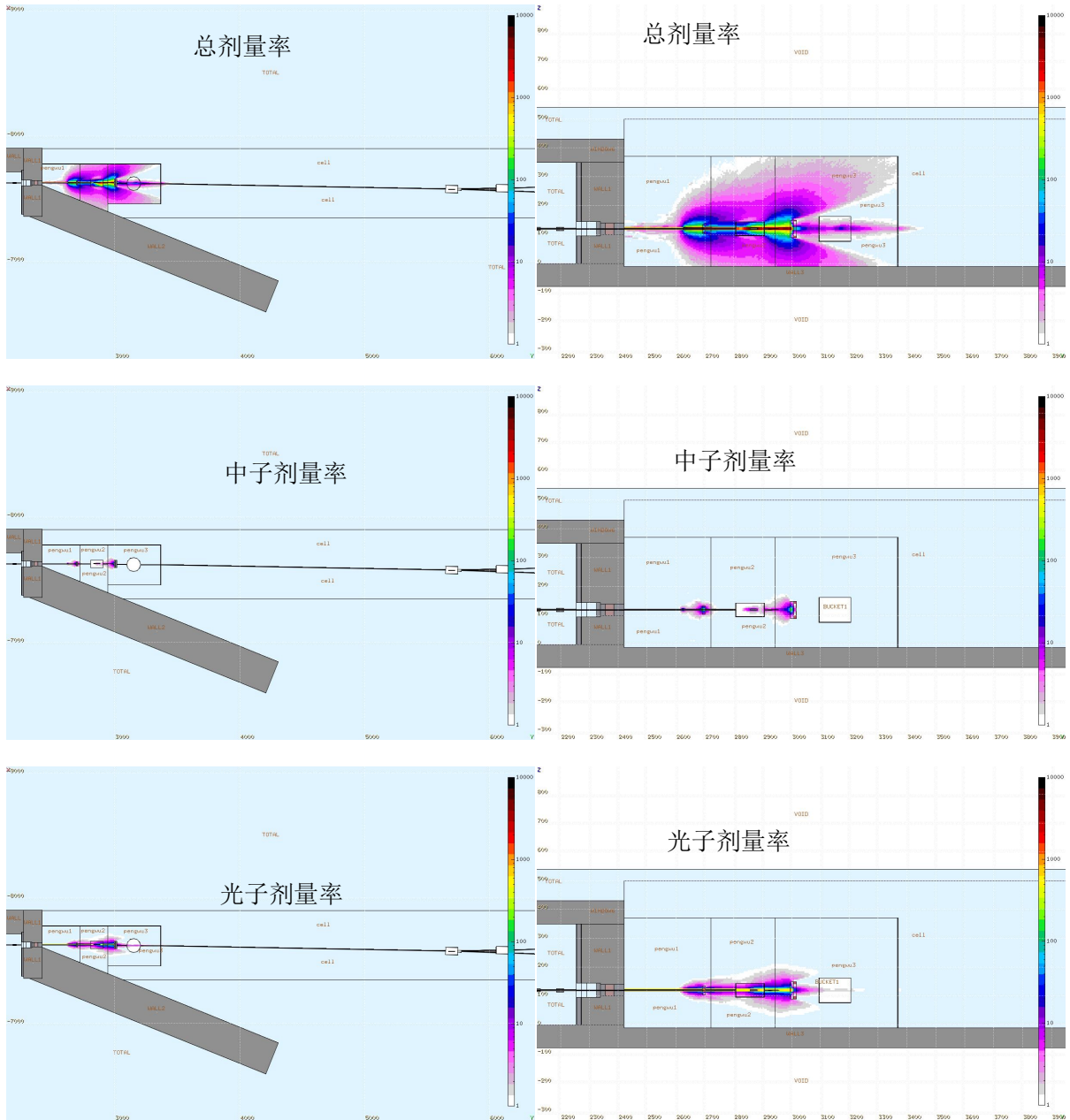


图 5.1.4-7(b) BL07 棚屋处（光阑闭合）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $1.06\text{E}-21\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $8.39\text{E}-11\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 光阑开口最大

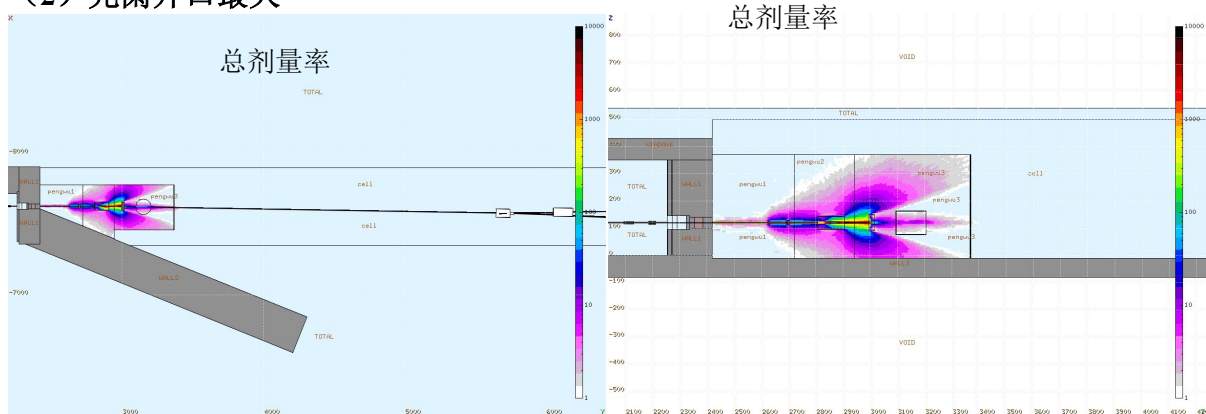


图 5.1.4-67 棚屋处气体韧致辐射与束流损失总剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

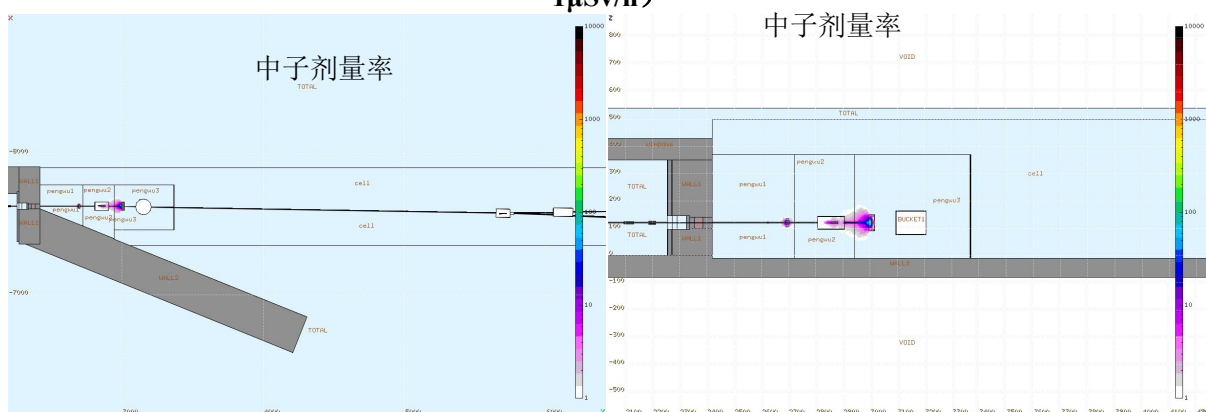


图 5.1.4-68 棚屋处中子剂量率分布的俯视图和侧视图 (颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

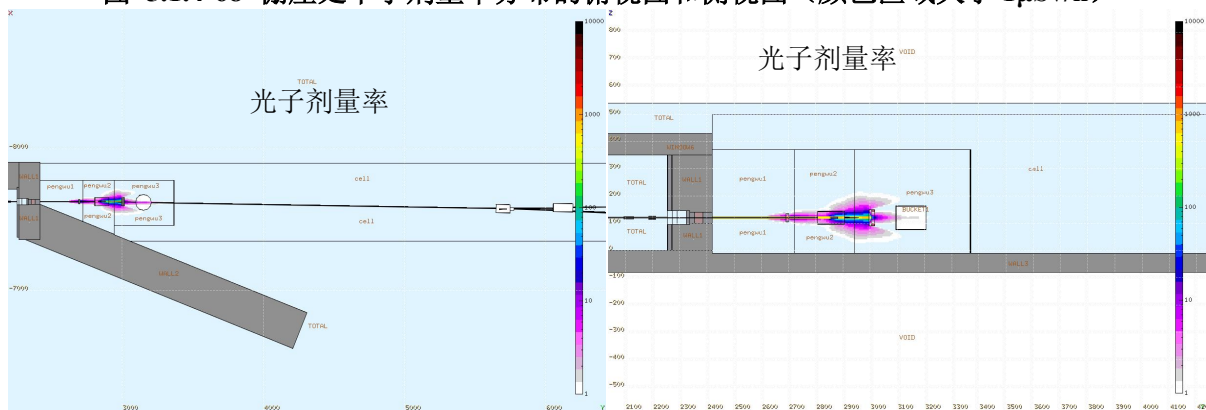


图 5.1.4-7(c) BL07 棚屋处(光阑开口最大)剂量率分布的俯视图和侧视图(颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $6.78\text{E-}17\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $1.09\text{E-}10\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.8 BL08 高通量原位工况中能谱学线站

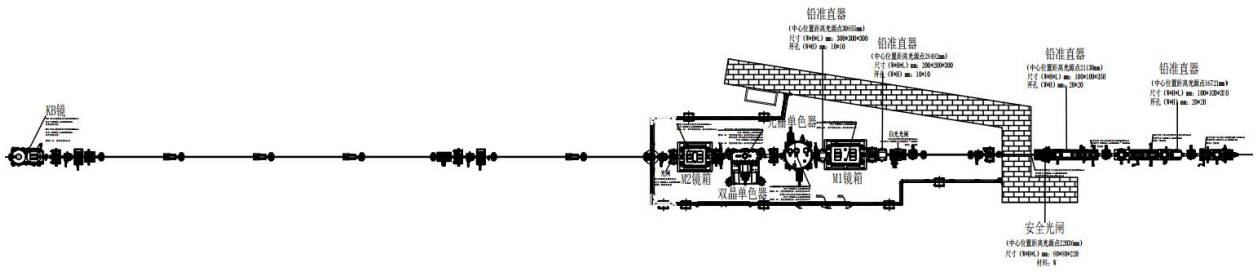
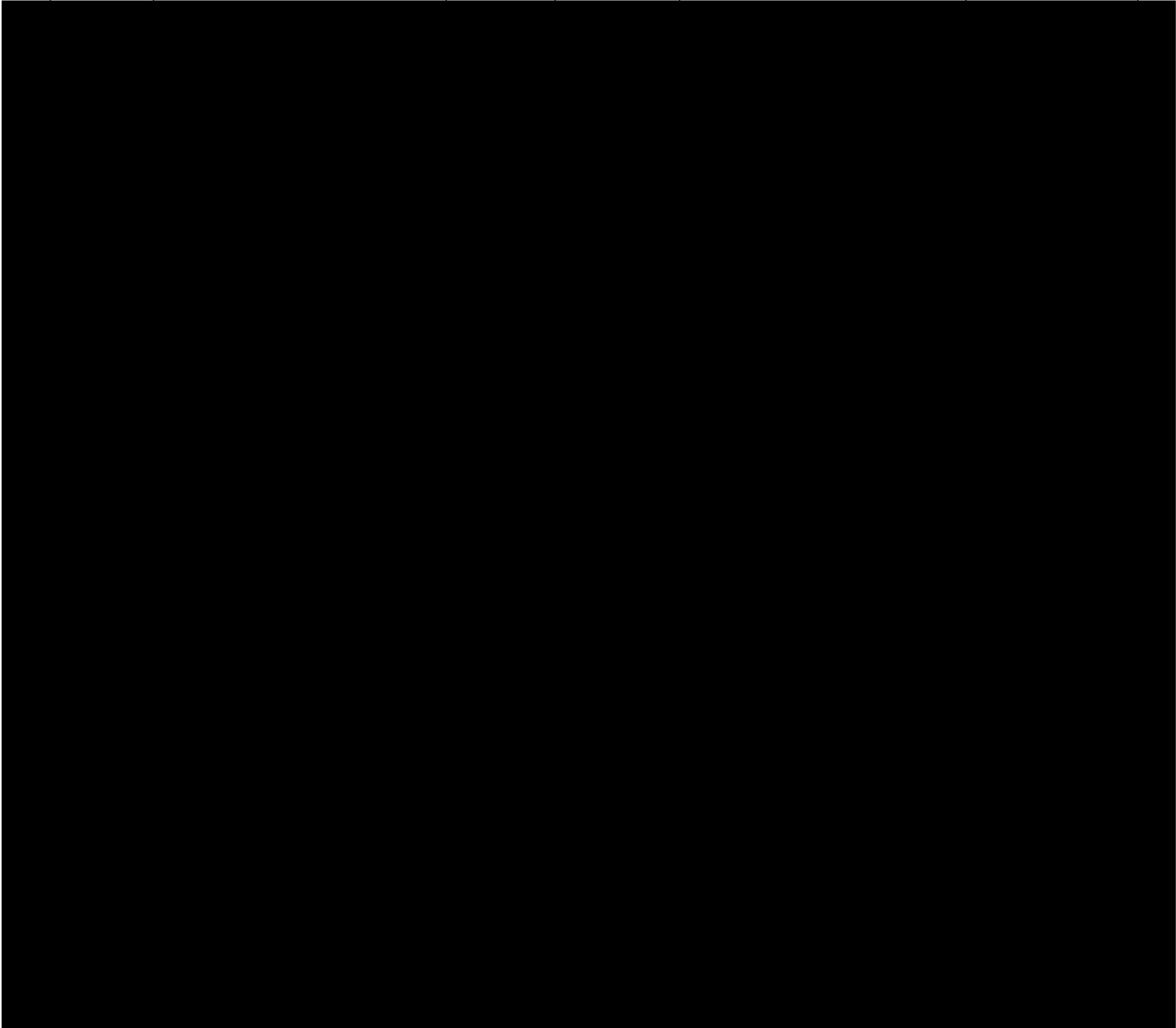


图 5.1.4-71 BL08 光束线站布局图



(1) 光阑闭合

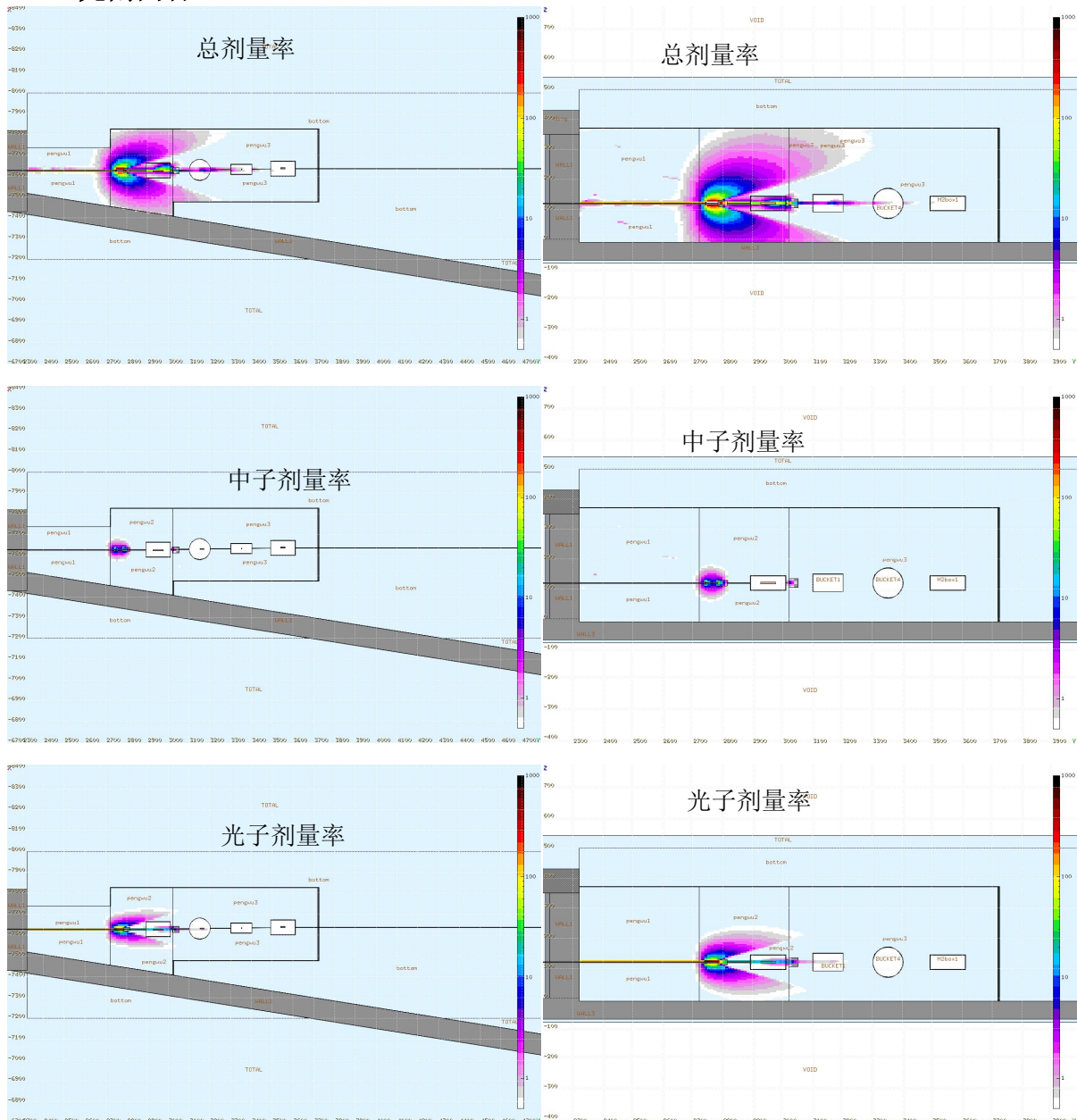


图 5.1.4-8(b) BL08 棚屋处(光阑闭合)剂量率分布的俯视图和侧视图(颜色区域大于 $0.5\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $6.255\text{E-}14\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $4.13\text{E-}8\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 光阑开口最大

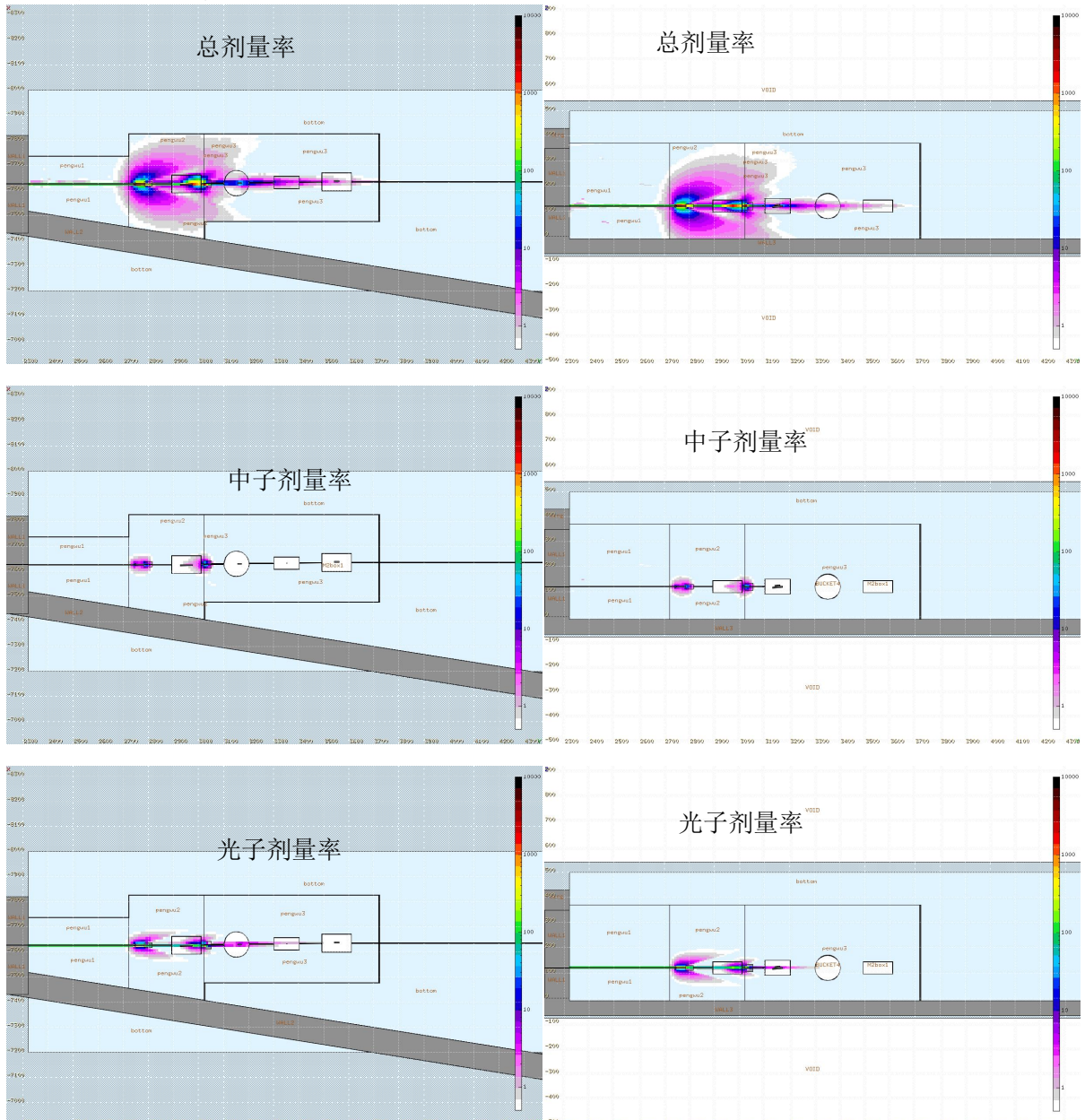


图 5.1.4-8(c) BL08 棚屋处（光阑开口最大）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：侧墙： $6.67\text{E-}11\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $4.09\text{E-}8\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.9 BL09 中能显微谱学成像线站

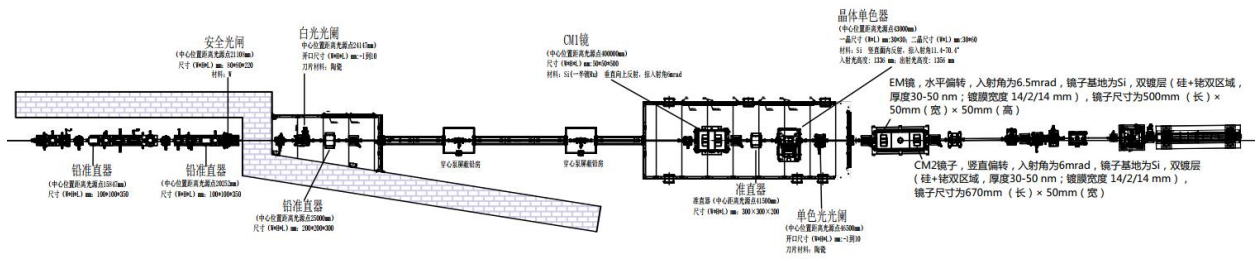
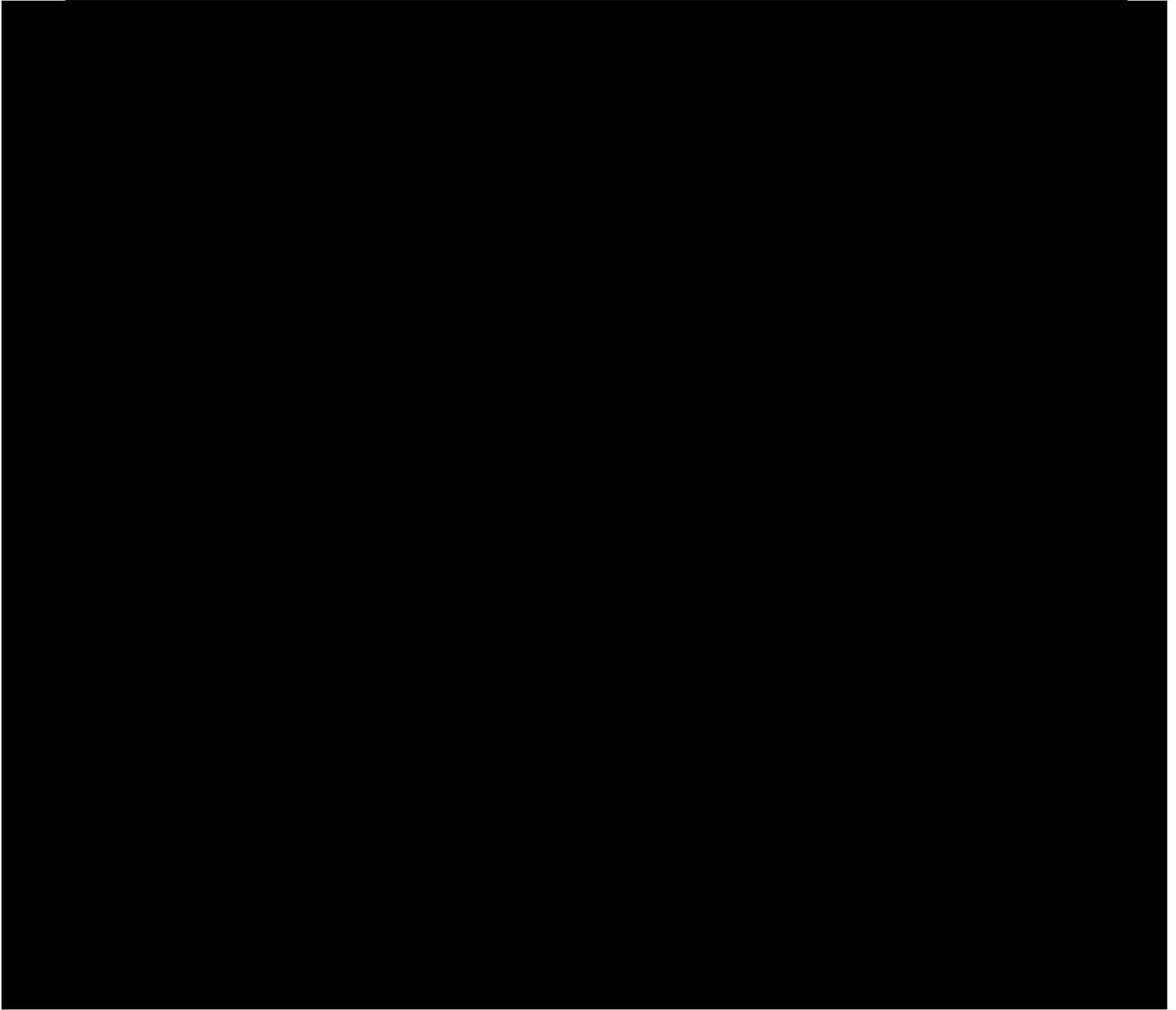


图 5.1.4-80 BL09 光束线站布局图



(1) 光阑闭合
气体韧致辐射

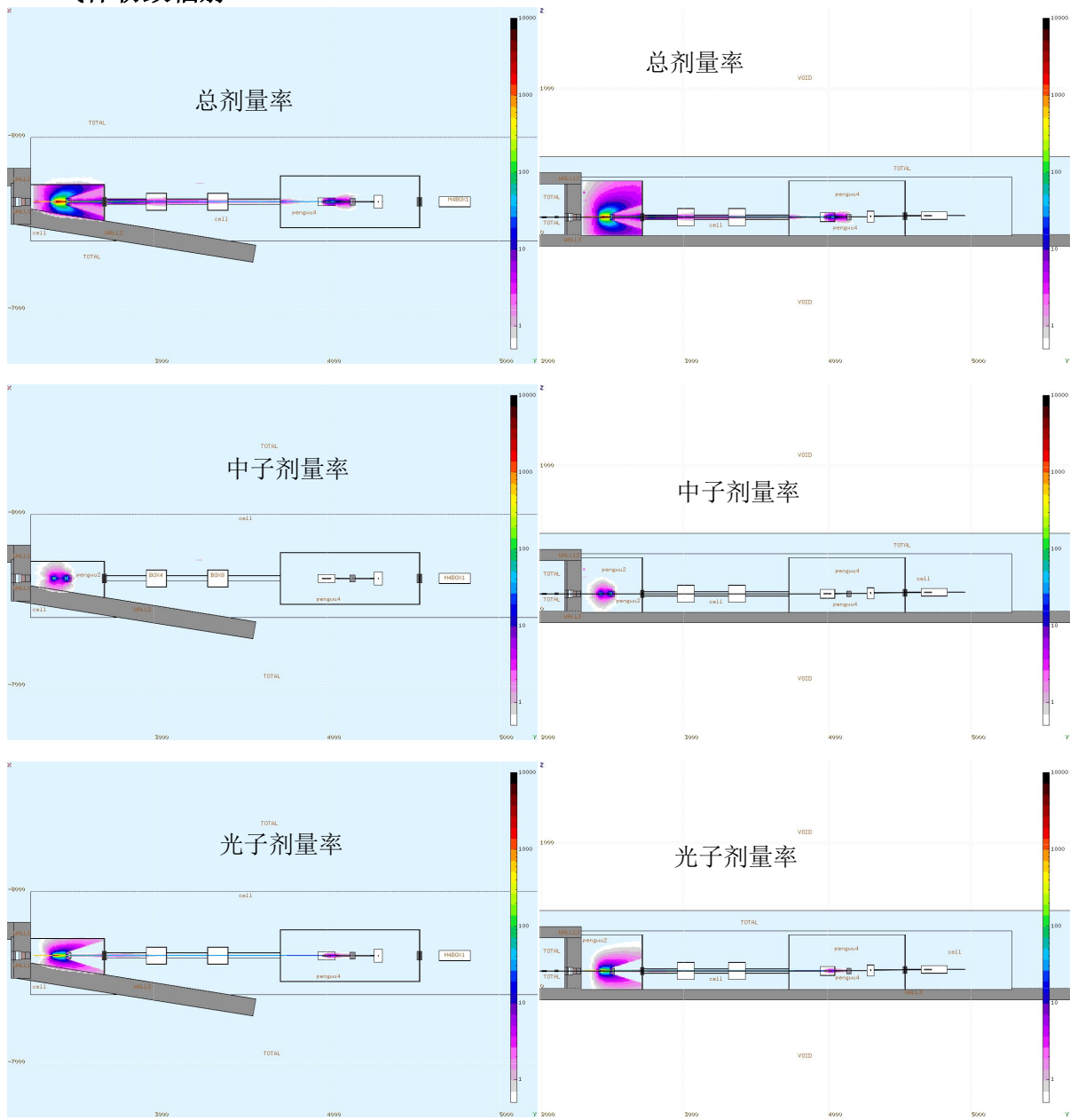


图 5.1.4-9(b) BL09 棚屋处（光阑闭合）气体韧致辐射剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ）

束流损失

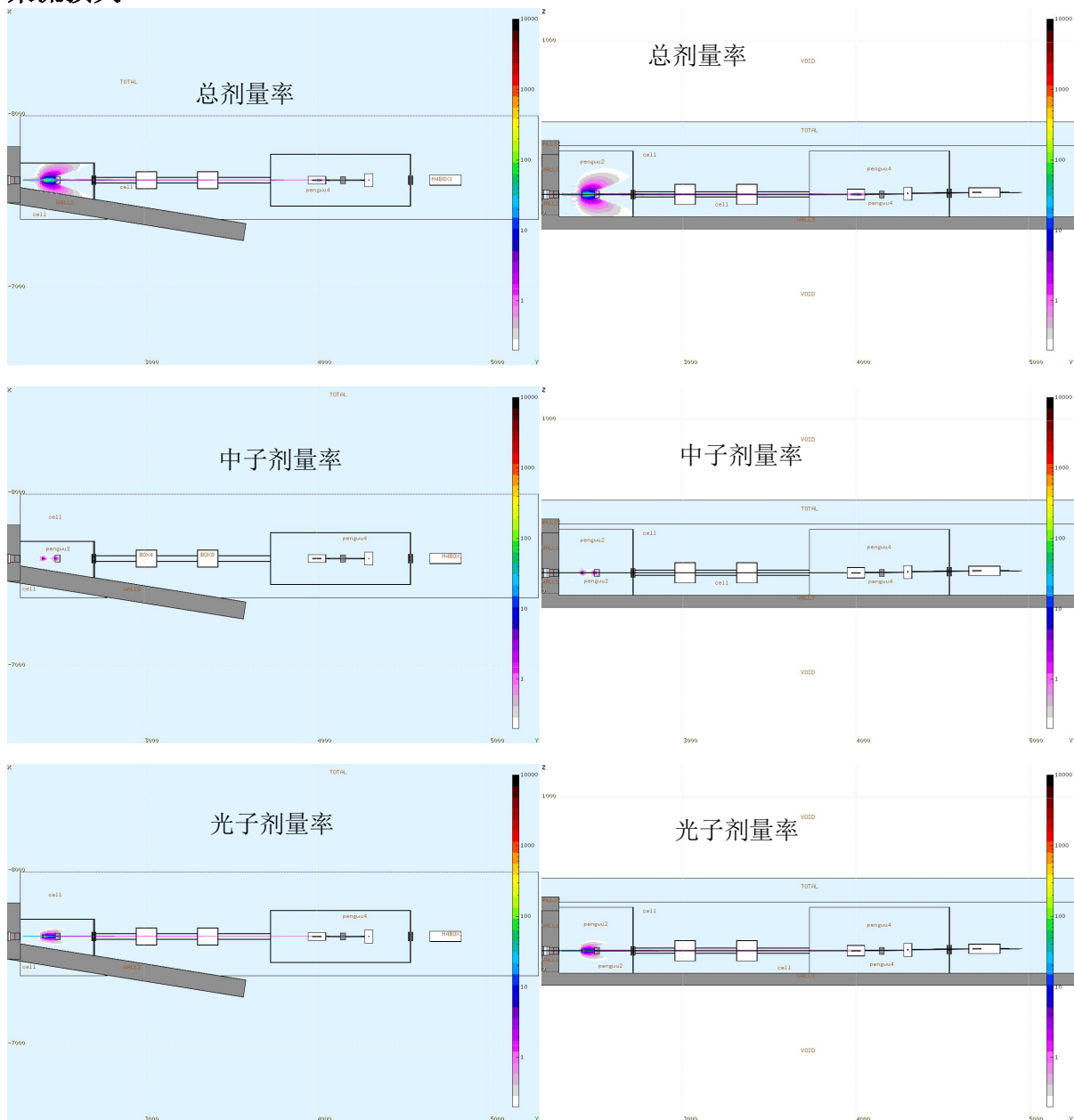


图 5.1.4-9(c) BL09 棚屋处（光阑闭合）束流损失剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $0.2\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的光学棚屋外剂量率分别为：侧墙： $6.23\text{E-}13\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $3.5\text{E-}9\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 光阑开口最大
气体韧致辐射

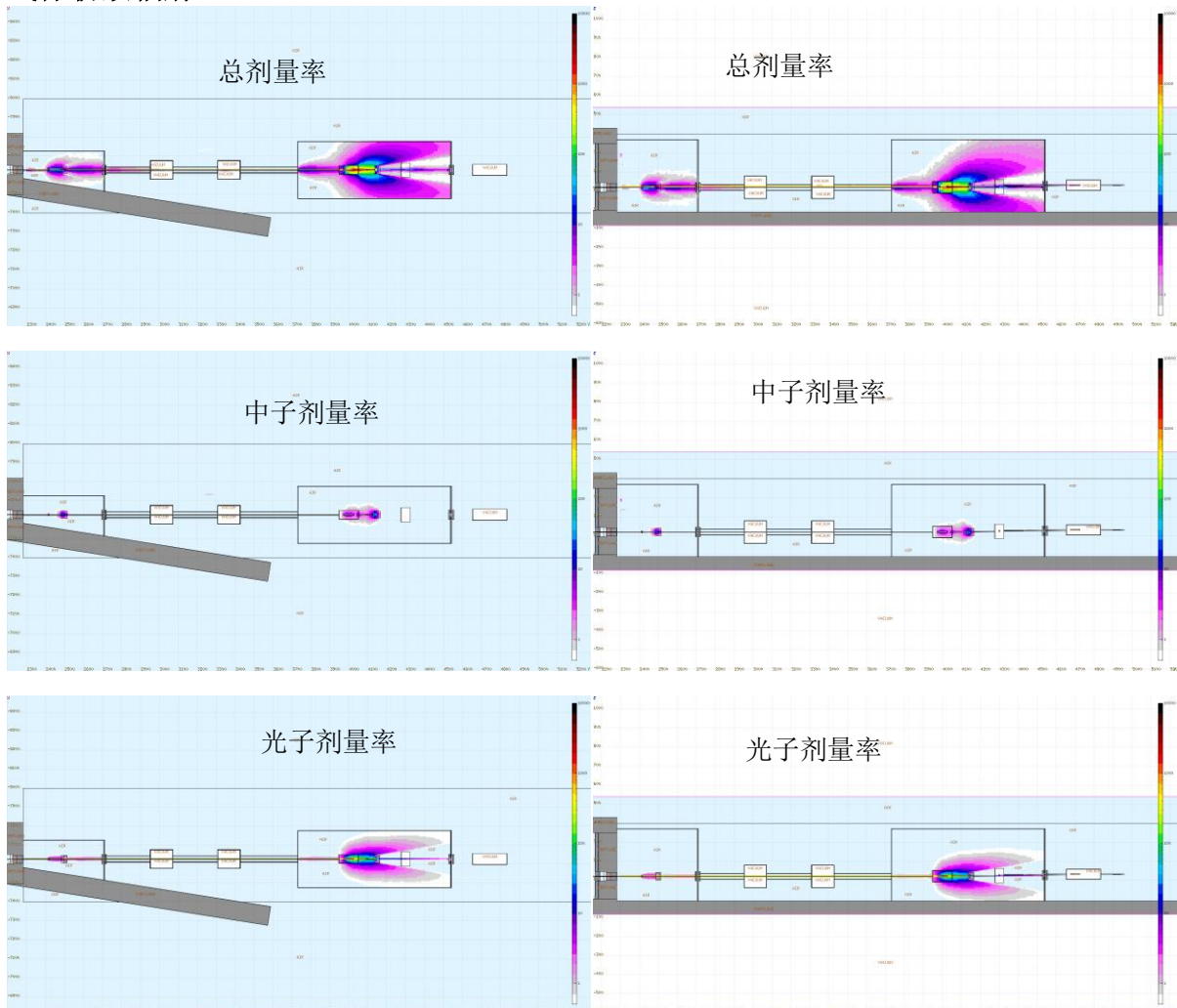


图 5.1.4-9(d) BL09 棚屋处（光阑开口最大）气体韧致辐射剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ）

束流损失

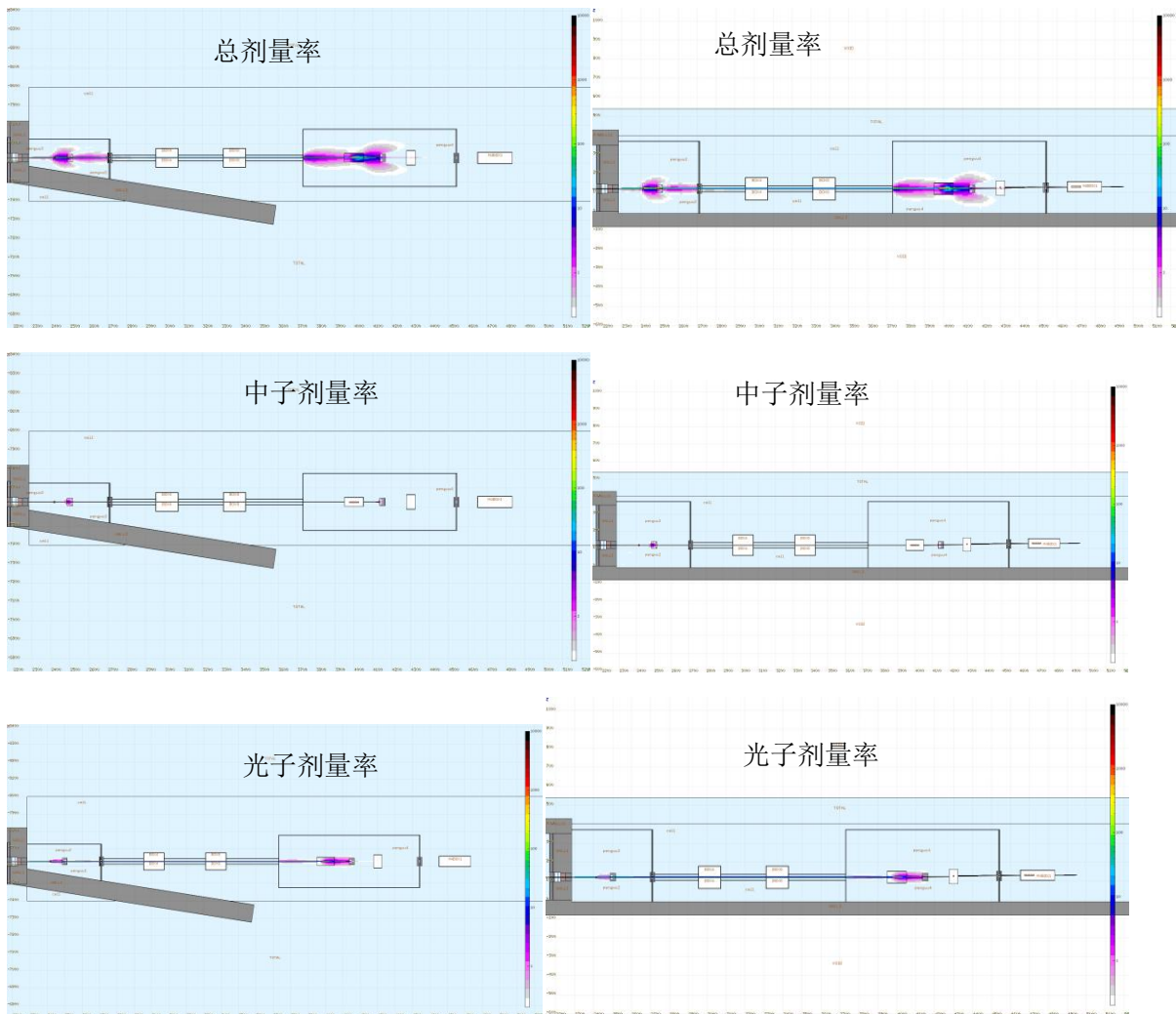


图 5.1.4-9(e) BL09 棚屋处（光阑开口最大）束流损失剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $0.2\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的光学棚屋外剂量率分别为：远离锯齿墙侧墙： $2.03\text{E-}12\mu\text{Sv/h}$ ，靠近锯齿墙侧墙： $2.03\text{E-}12\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $4.49\text{E-}9\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

5.1.4.10 BL10 测试光束线

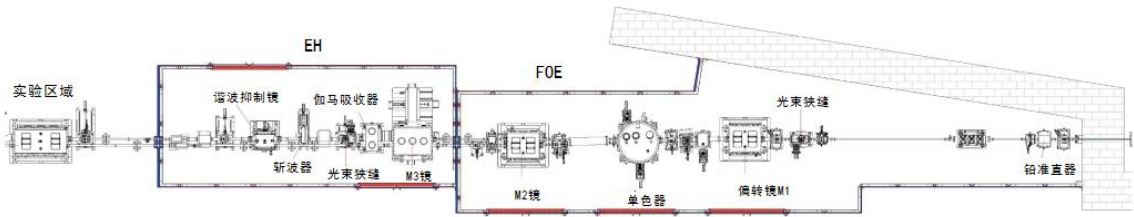
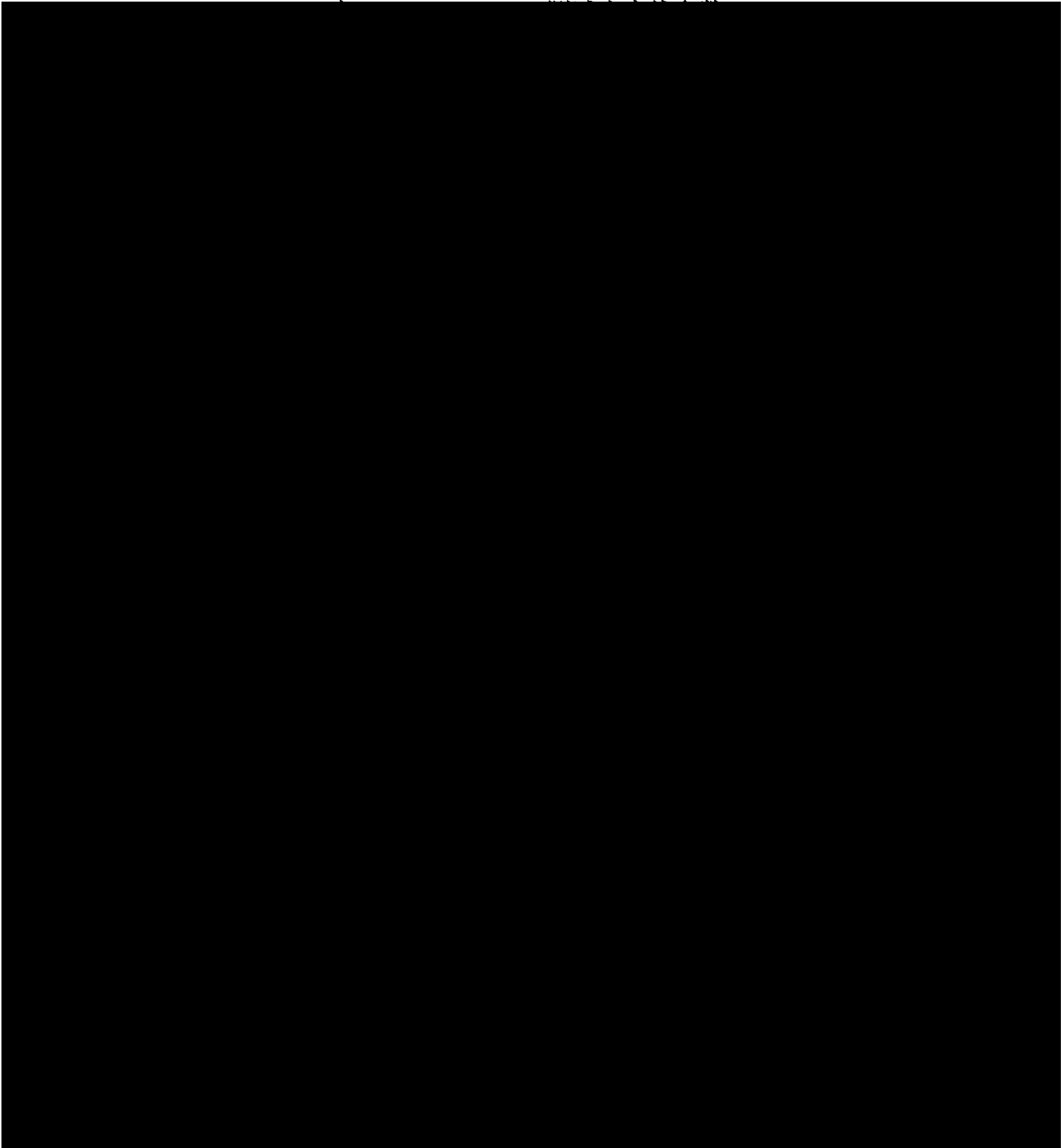
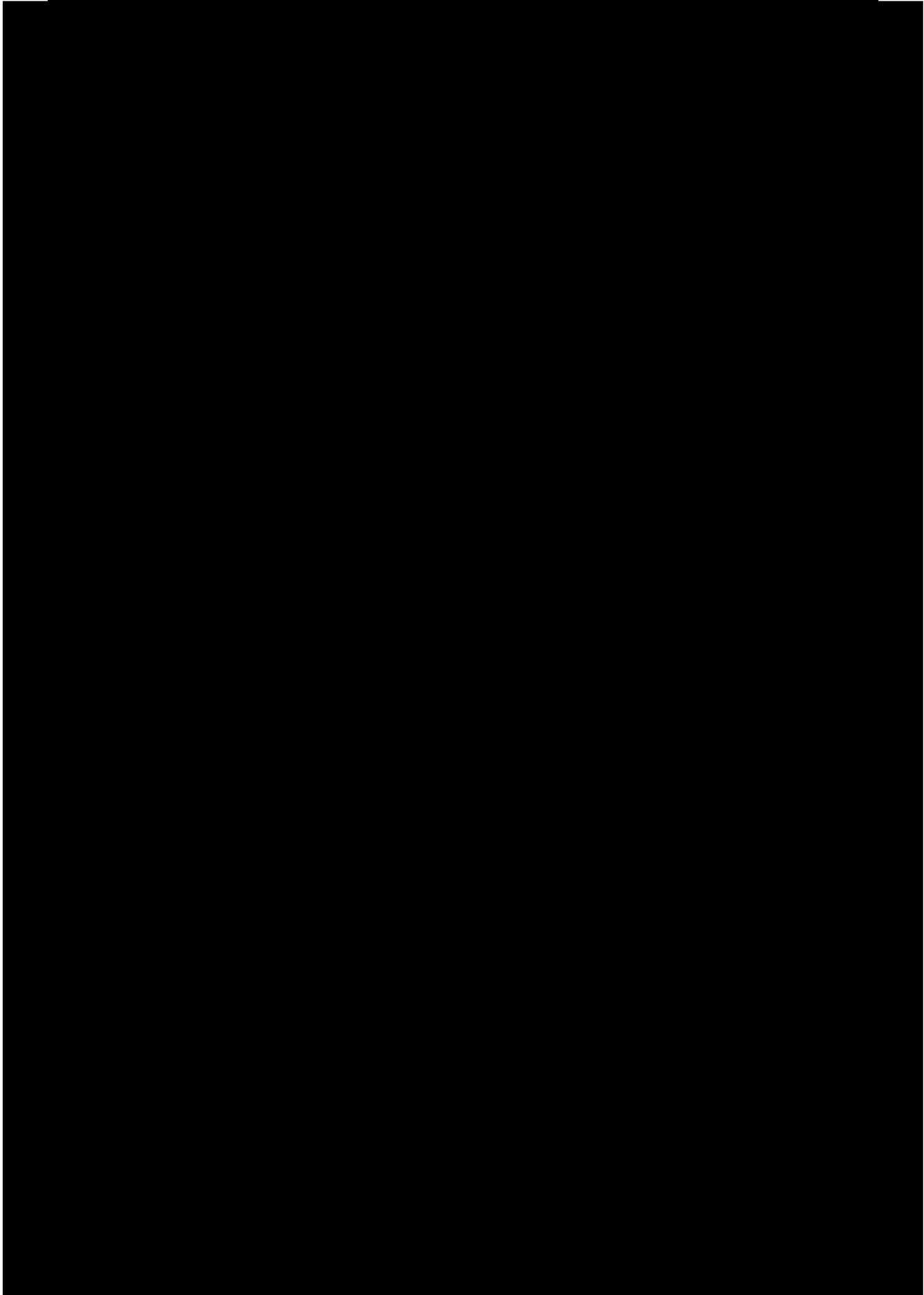


图 5.1.4-10(a) BL10 光束线站布局图



合肥先进光源项目储存环及线站变更



BL10 由两个棚屋构成，分别为白光棚屋（FOE）和实验棚屋（EH）。BL10 支持三种运行模式：白光棚屋内为单色光模式，实验棚屋内为热负载模式和白光粉光模式。当单色光模式运行时，位于白光棚屋内热负载模式和白光粉光模式管道的安全光闸放下，实验棚屋内的剂量率在限值内，人员可以进入。

单色光模式：同步辐射首先与偏转镜 M1 相互作用并发生偏转，经单色器进行能量选择后，光束路径整体抬升 20 mm。随后光束与后置偏转镜 M2 相互作用并发生偏转，最终穿过 EH 进入下游的实验区域。在该模式下，EH 被划分为辐射监督区，允许人员进入。

白光模式：同步辐射穿过 FOE 进入 EH，经谐波抑制镜反射后，光束路径整体抬升 20mm 并继续传输，最终进入下游的实验区域。在该模式下，EH 被划分为辐射控制区，禁止人员进入。

热负载模式：同步辐射穿过 FOE 进入 EH，经热管理站内的偏转镜反射后进入热功率计进行功率测量，或继续传输至下游并终止于闭合的白光光闸。在该模式下，EH 被划分为辐射控制区，禁止人员进入。

单色光模式
(1) 光阑闭合

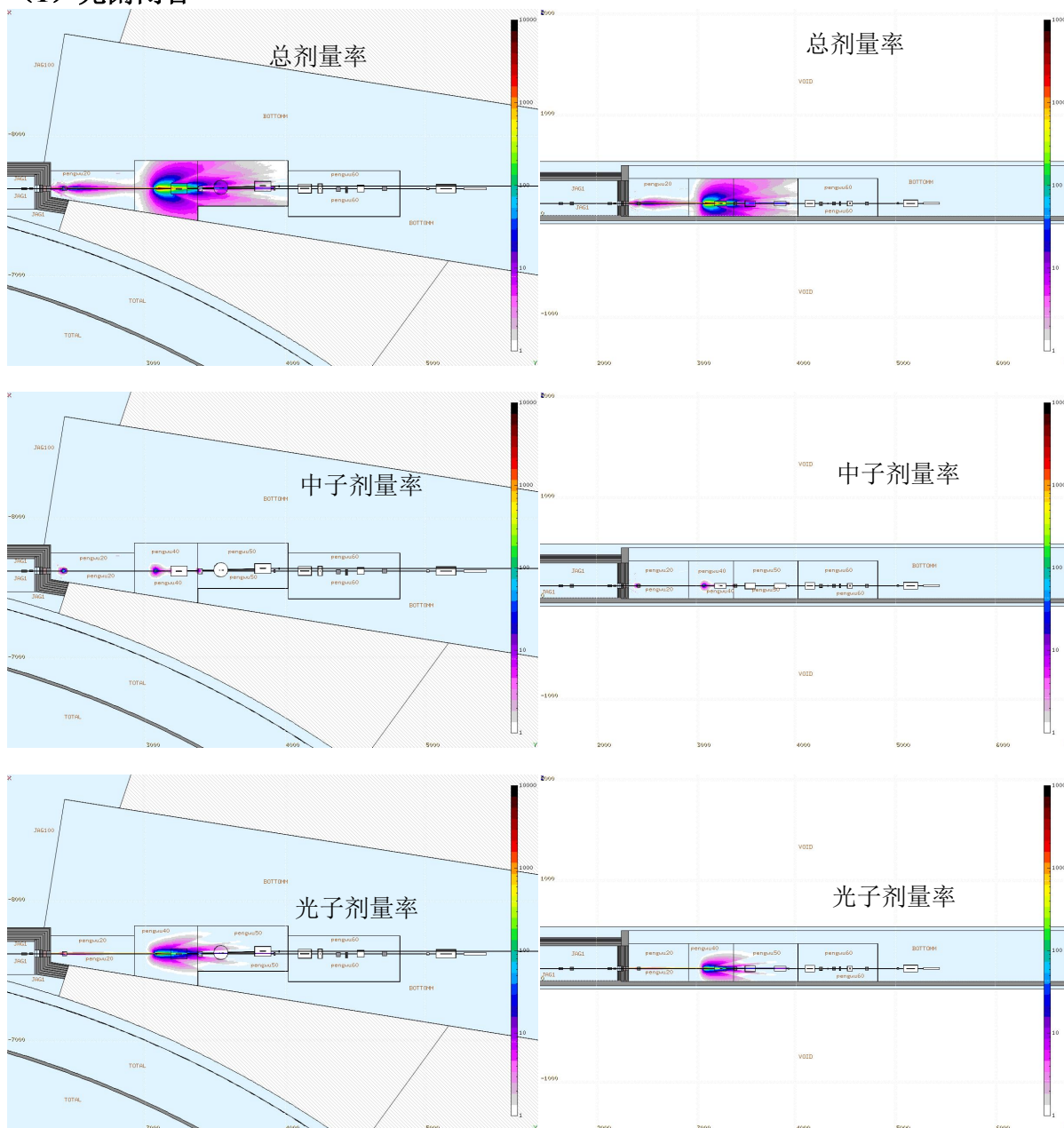


图 5.1.4-10(b) BL10 棚屋处（单色光模式，光阑闭合）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：远离侧墙： $8.346\text{E-}16\mu\text{Sv/h}$ ，靠近侧墙： $2.020\text{E-}15\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $3.970\text{E-}11\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 光阑开口最大

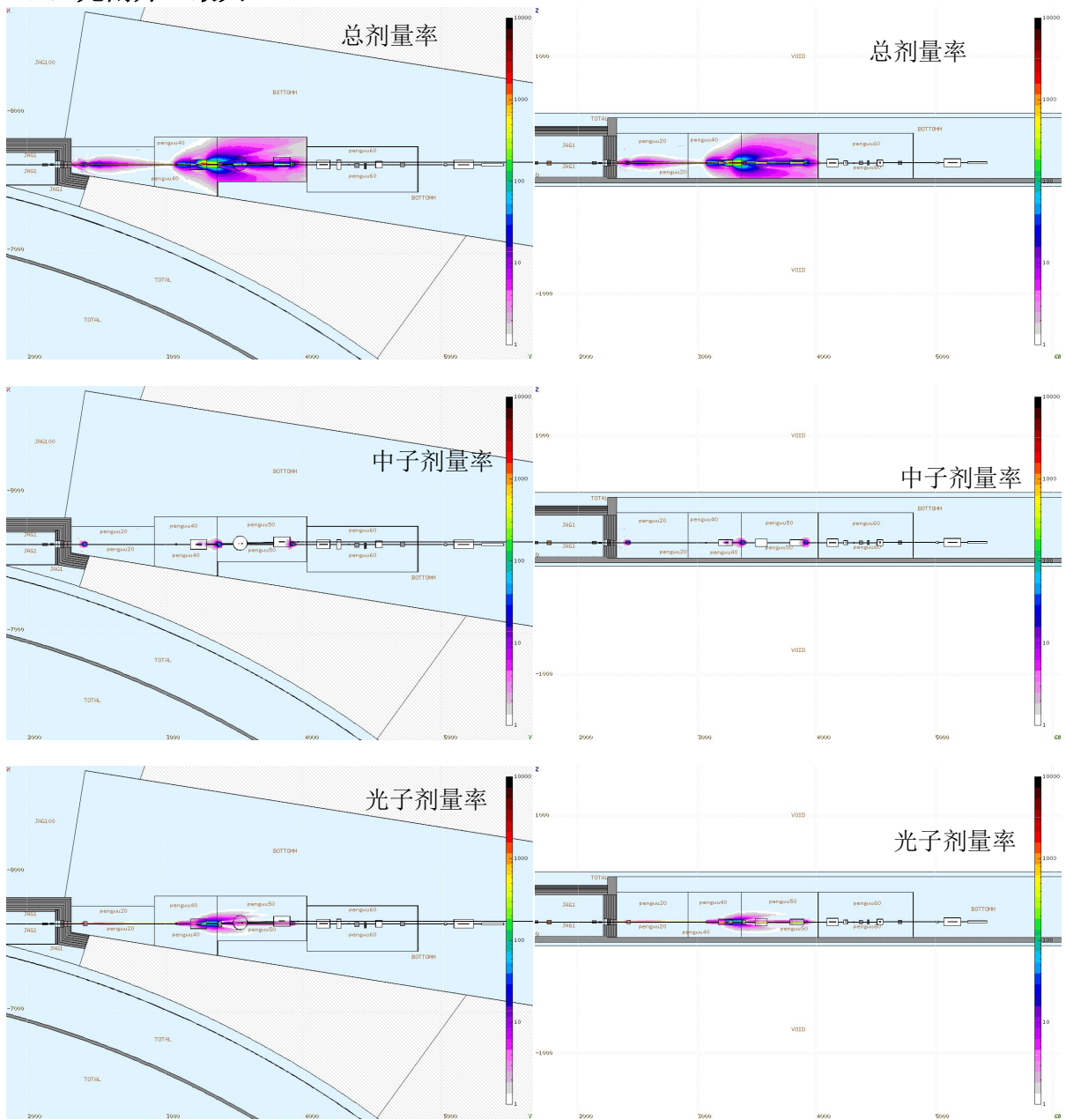


图 5.1.4-10(c) BL10 棚屋处单（色光模式，光阑开口最大）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：远离锯齿墙侧墙： $1.327\text{E}-15\mu\text{Sv/h}$ ，靠近锯齿墙侧墙： $3.799\text{E}-16\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $4.857\text{E}-11\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

白光模式

(1) 斩波器不在

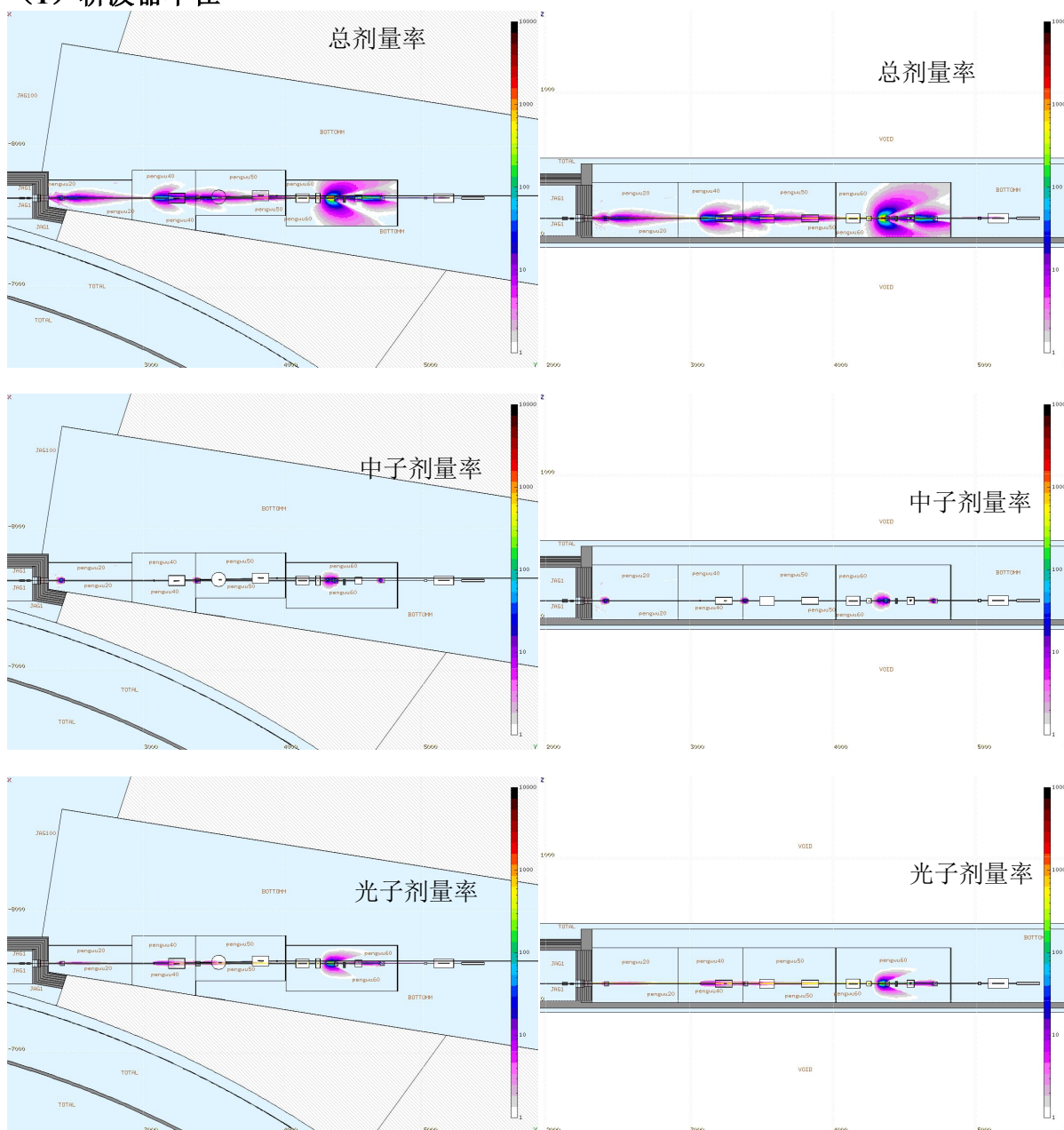


图 5.1.4-10(d) BL10 棚屋处（白光模式，斩波器不在）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：远离锯齿墙侧墙： $2.989\text{E-}15\mu\text{Sv/h}$ ，靠近锯齿墙侧墙： $4.355\text{E-}16\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $4.386\text{E-}11\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

(2) 斩波器在

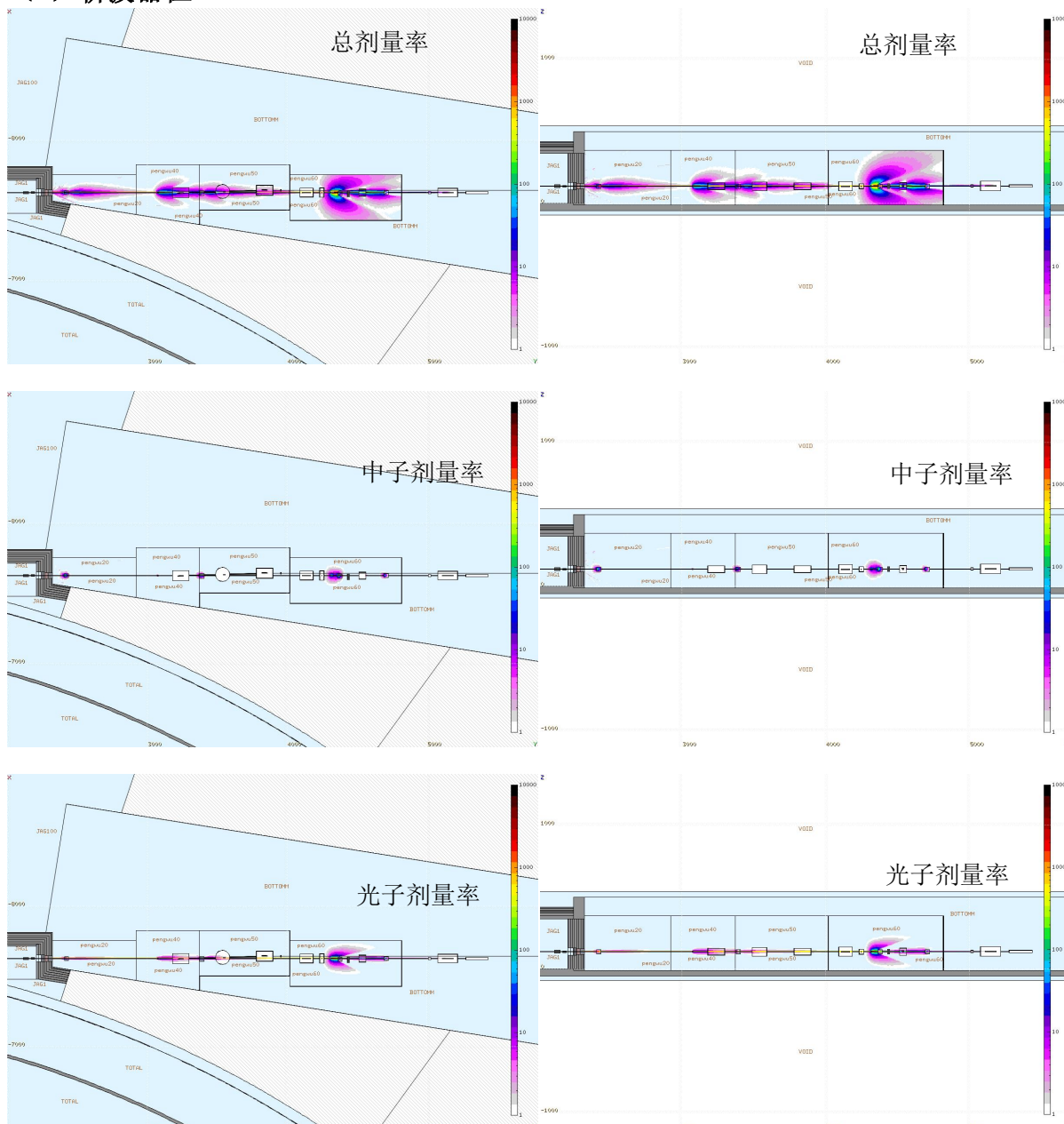


图 5.1.4-10(e) BL10 棚屋处（白光模式，斩波器在）剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为：远离锯齿墙侧墙： $1.978\text{E-}15\mu\text{Sv/h}$ ，靠近锯齿墙侧墙： $8.160\text{E-}16\mu\text{Sv/h}$ ，顶墙： $3.955\text{E-}11\mu\text{Sv/h}$ ，端墙：忽略不计。

热负载模式

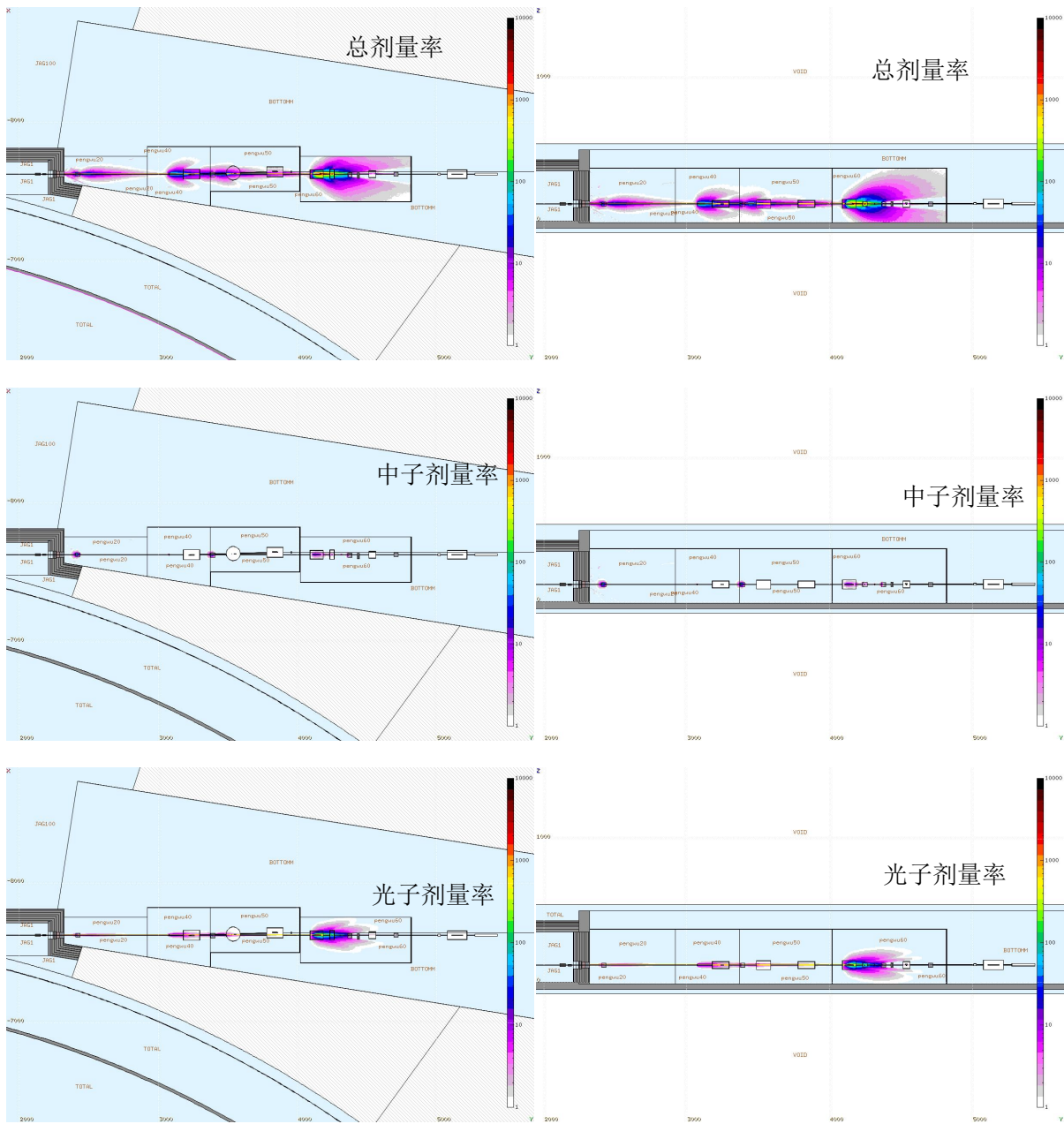


图 5.1.4-10(f) BL10 棚屋处(热负载模式)剂量率分布的俯视图和侧视图(颜色区域大于 $1\mu\text{Sv/h}$)

在该屏蔽方案下,使用 STAC08 计算同步辐射导致的棚屋外剂量率分别为: 远离锯齿墙侧墙: $8.856\text{E-}16\mu\text{Sv/h}$, 靠近锯齿墙侧墙: $2.961\text{E-}15\mu\text{Sv/h}$, 顶墙: $4.848\text{E-}11\mu\text{Sv/h}$, 端墙: 忽略不计。

5.1.4.11 束团波带片成像法截面测量线站

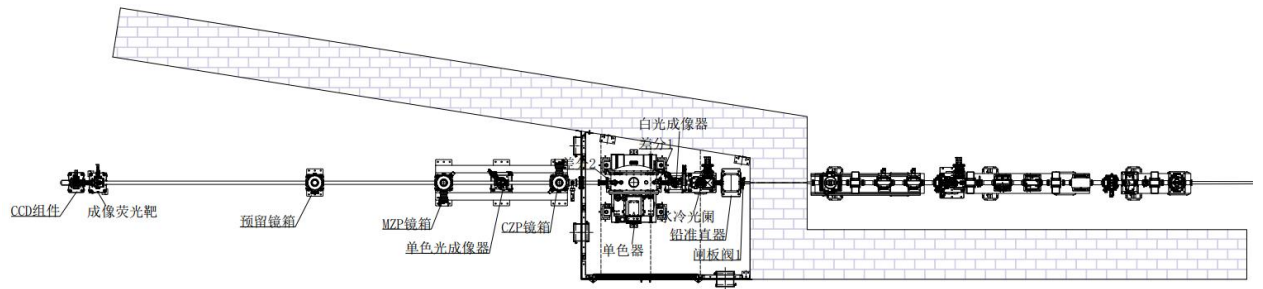


图 5.1.4-11(a) 束团波带片成像法截面测量线站布局图



(1) 光阑闭合
气体韧致辐射

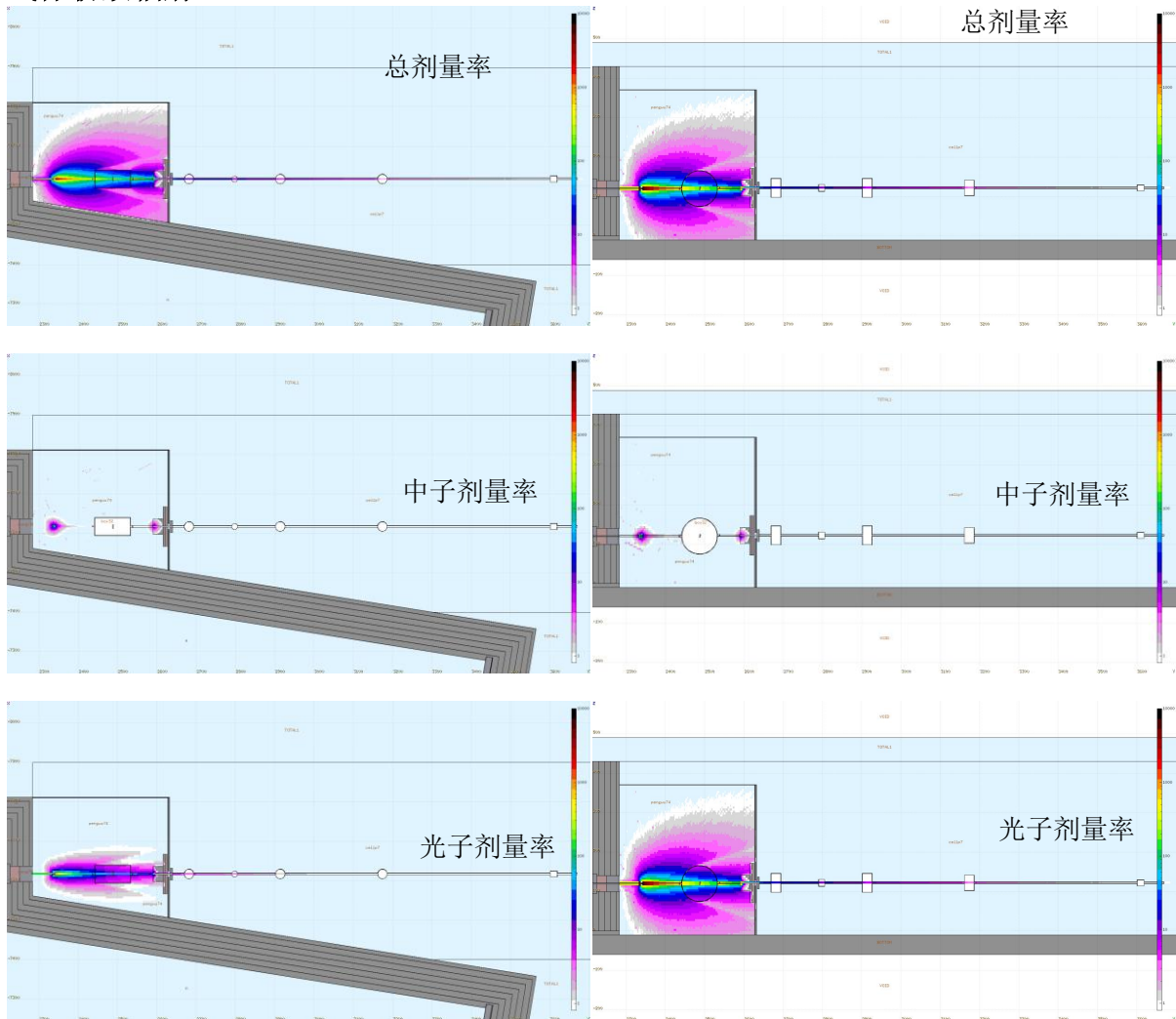


图 5.1.4-11(b) 束团波带片成像法截面测量线站棚屋处（光阑闭合）气体韧致辐射剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ）

(2) 光阑最大

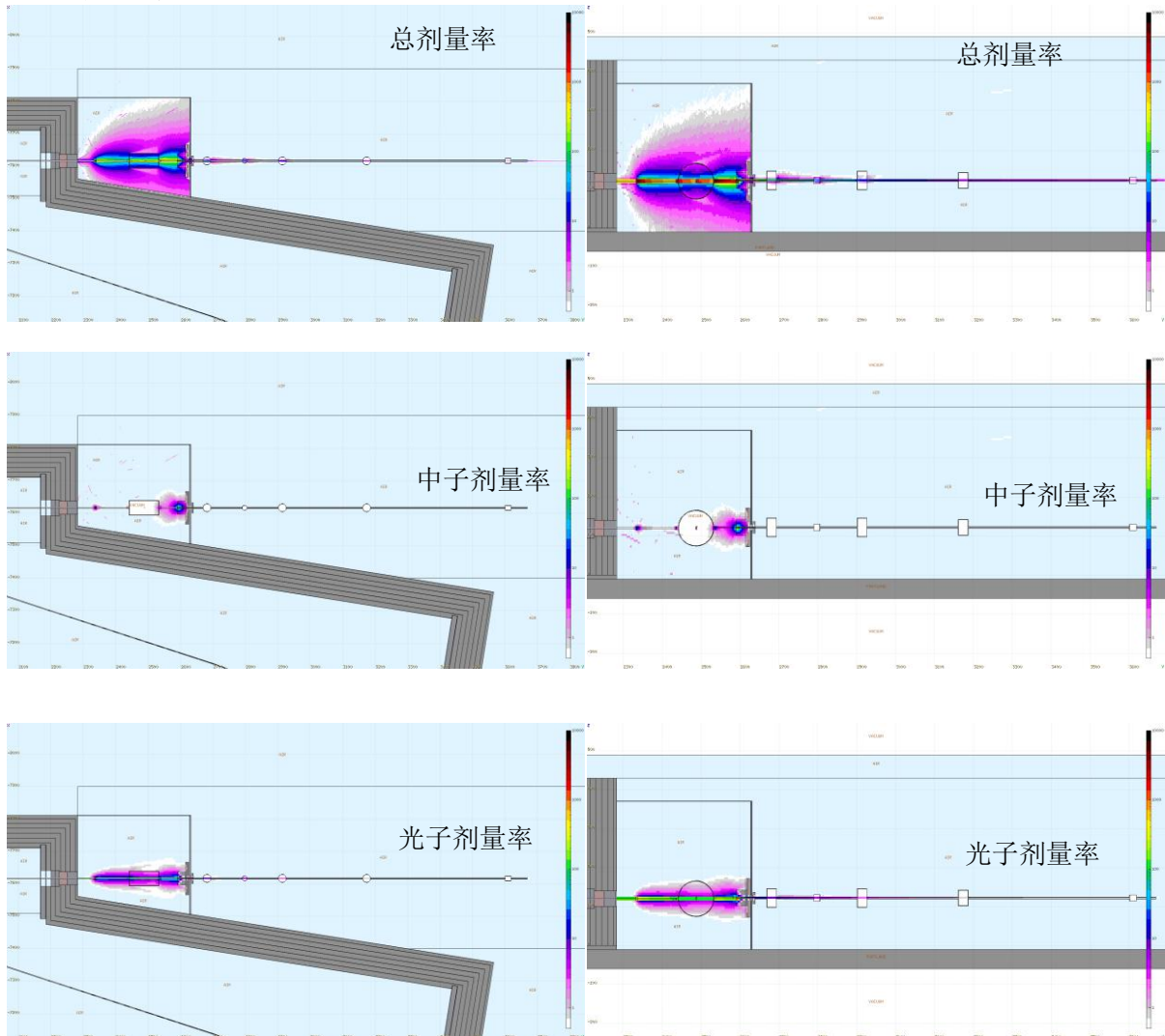


图 5.1.4-11(c) 束团波带片成像法截面测量线站棚屋处（光阑最大）气体韧致辐射剂量率分布的俯视图和侧视图（颜色区域大于 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ）

束流损失

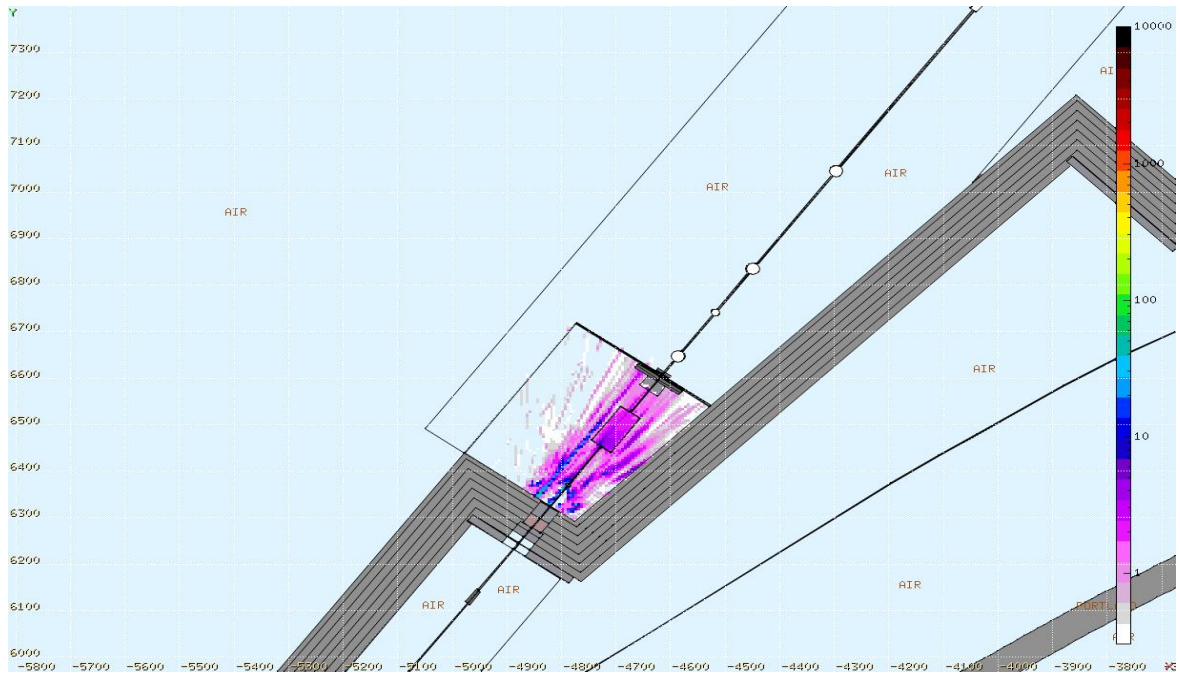


图 5.1.4-11(d) 束团波带片成像法截面测量线站棚屋处（光阑闭合）束流损失剂量率分布（颜色区域大于 $0.3 \mu\text{Sv/h}$ ）

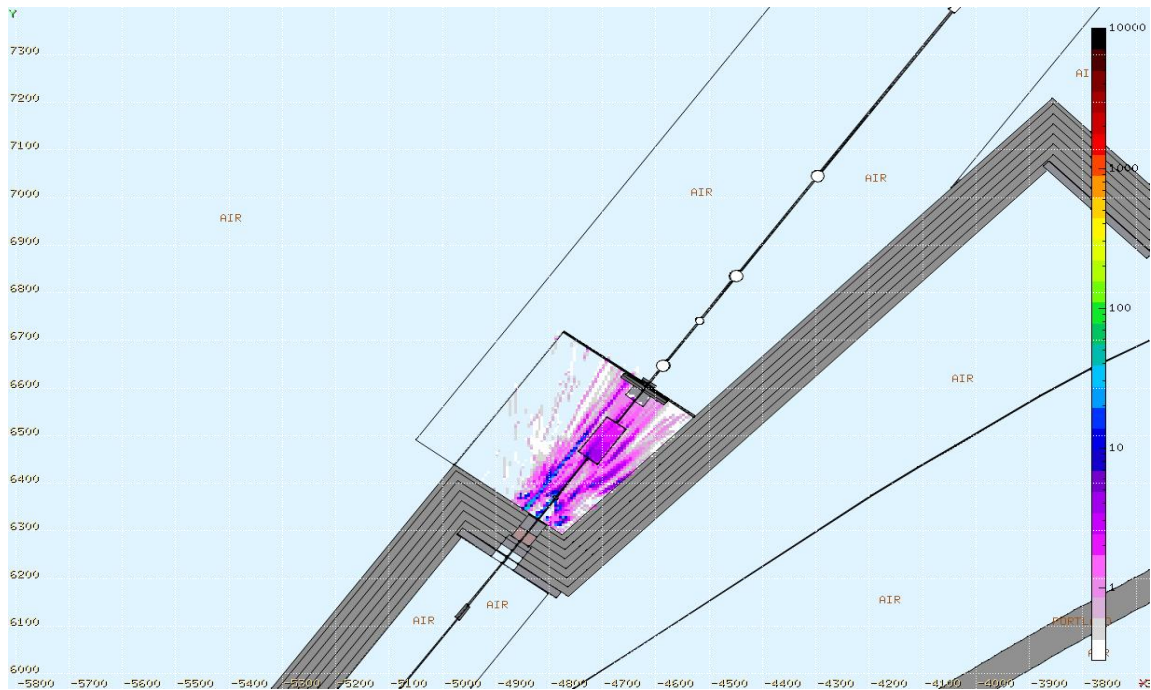


图 5.1.4-11(e) 束团波带片成像法截面测量线站棚屋处（光阑最大）束流损失剂量率分布（颜色区域大于 $0.3 \mu\text{Sv/h}$ ）

在该屏蔽方案下，侧墙、顶墙和端墙的同步辐射忽略不计。

5.1.4.12 束团长度测量线站/束团针孔成像法截面测量线站

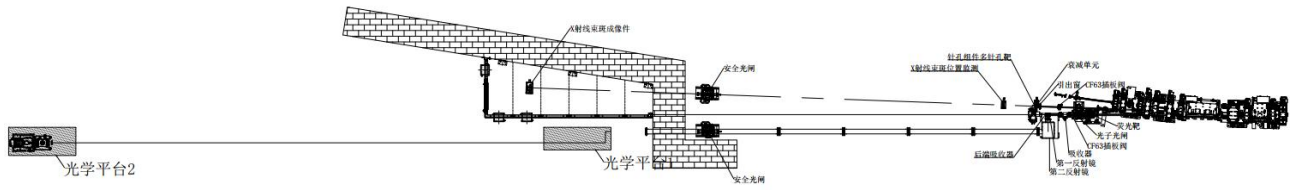
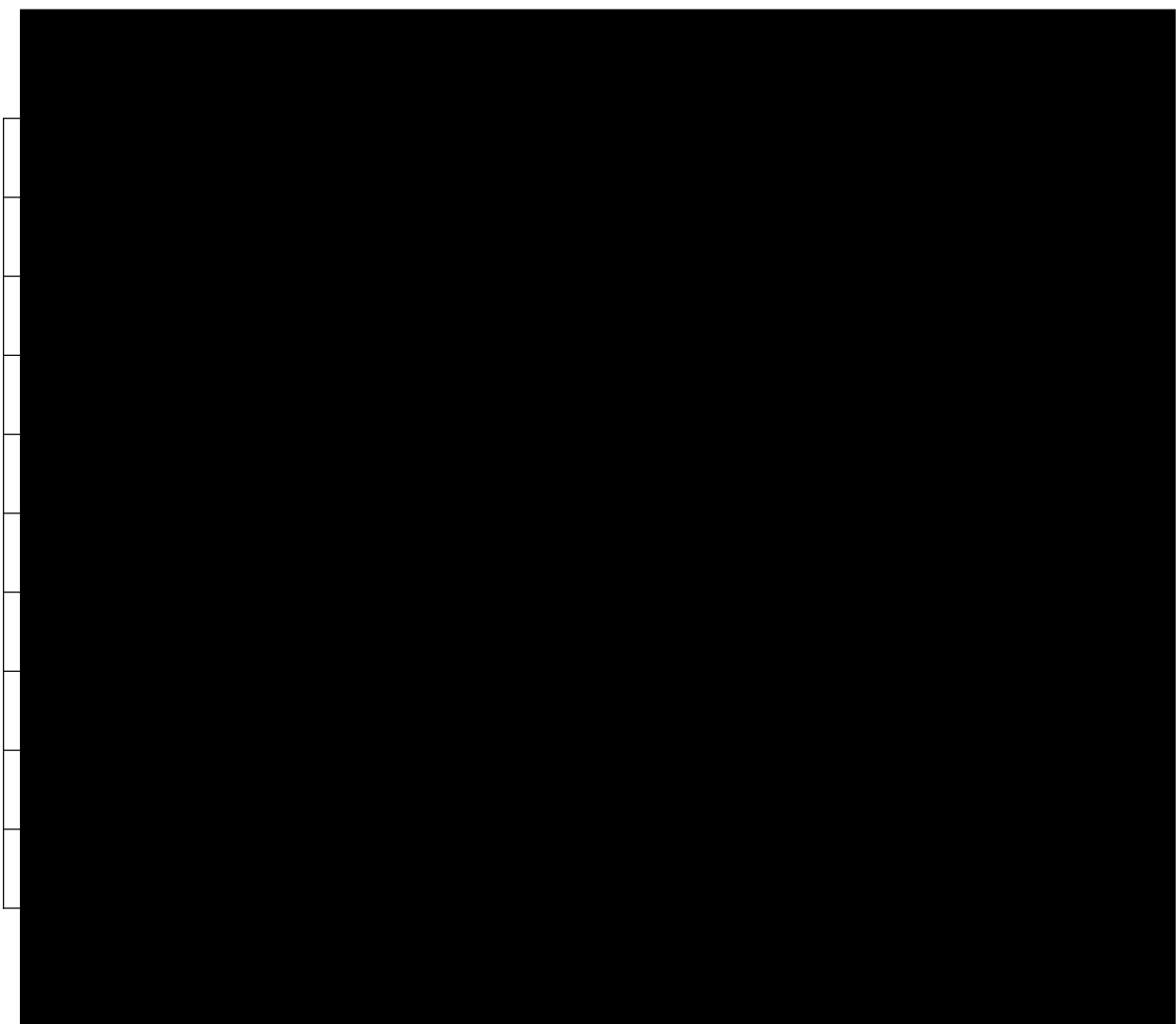


图 5.1.4-12(a) 束团长度测量线站/束团针孔成像法截面测量线站布局图



束流损失

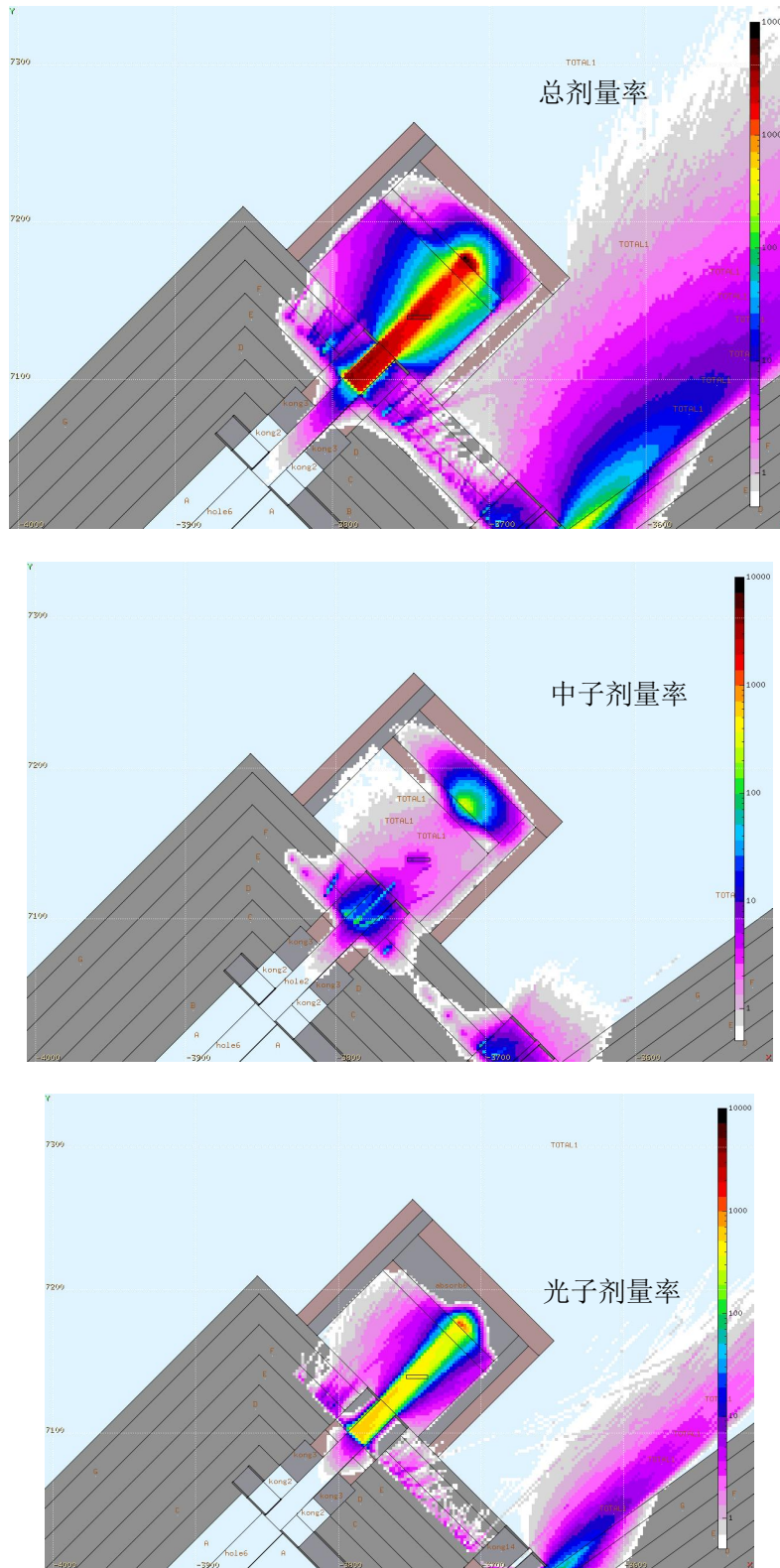


图 5.1.4-12(b) 束团长度测量线站束流损失剂量率分布的俯视图 (颜色区域大于 $0.5\mu\text{Sv/h}$)

气体韧致辐射

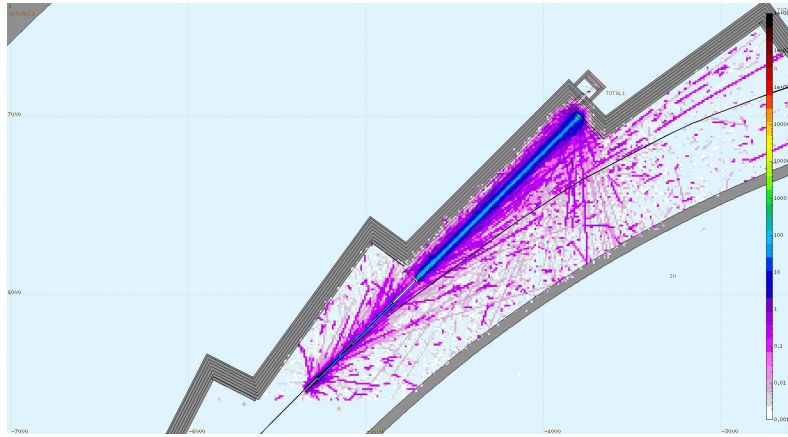
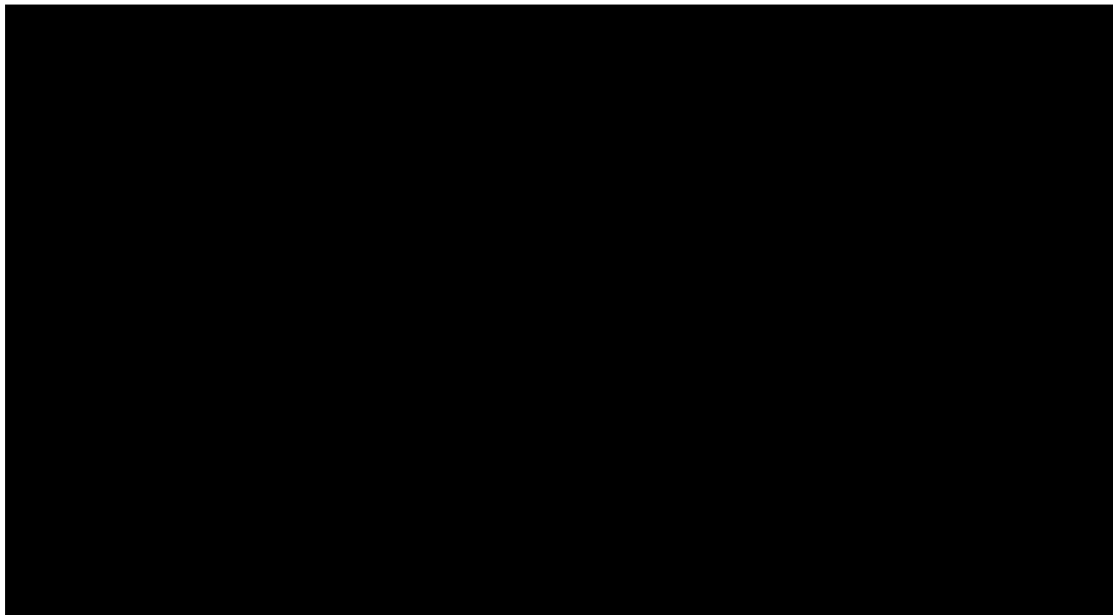


图 5.1.4-12(c) 束团长度测量线站气体韧致辐射总剂量率分布的俯视图（颜色区域大于 0.001 μ Sv/h）

在该屏蔽方案下，侧墙、顶墙和端墙的同步辐射忽略不计。

(2) 束团针孔成像法截面测量线站



合肥先进光源项目储存环及线站变更

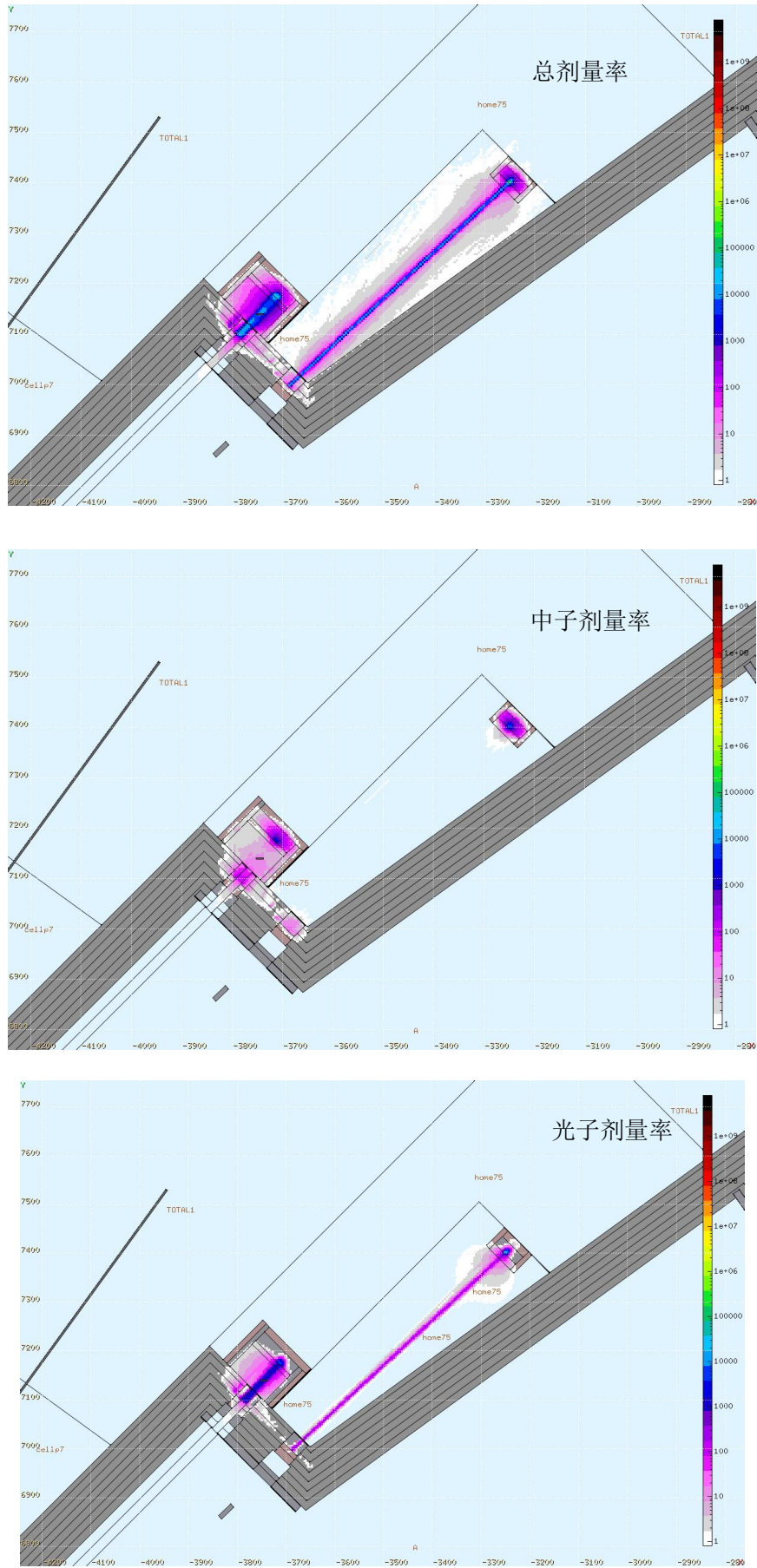


图 5.1.4-12(c) 束团针孔成像法截面测量线站束流损失剂量率分布图 (颜色区域大于 $0.8 \mu\text{Sv/h}$)

合肥先进光源项目储存环及线站变更

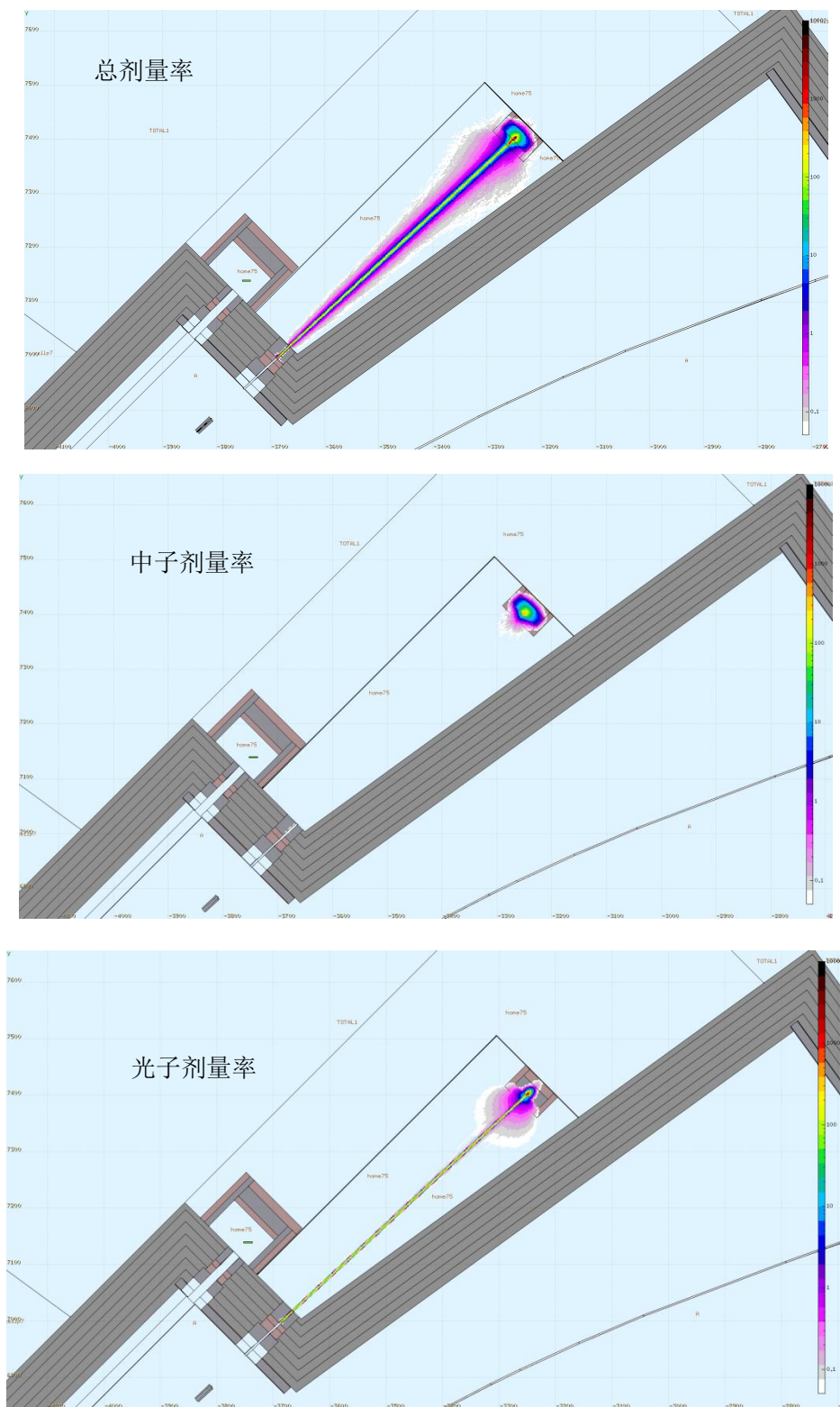


图 5.1.4-12(d) 束团针孔成像法截面测量线站气体韧致辐射光子剂量率（颜色区域大于 $0.05\mu\text{Sv/h}$ ）
该屏蔽方案下同步辐射忽略不计。

5.1.5 辐射工作人员受照剂量估算

HALF 装置在安装调试期间、正常运行期间的出束时间如表 3.2-3、表 3.2-4 所示，辐射工作人员的工作负荷如表 3.2-5 所示。维护维修期间的单次工作及每年维护维修次数如表 3.2-6 所示。

工作人员受到的外照射剂量可由下式进行计算：

$$H=D \times T \times t \quad (5.1-1)$$

式中，

H 为工作人员年受照剂量，mSv/a；

D 为工作人员所在区域剂量率，mSv/h；

T 为工作人员的居留因子；

t 为工作人员年受照时间，h/a。

5.1.5.1 工作人员所在关注点的剂量率水平汇总

由于加速器工作人员在同一年内不仅负责注入器的调试，还可能负责储存环的调试，因此工作人员年受照剂量按整套装置总体考虑。

装置屏蔽体外工作人员所在关注点的剂量率水平汇总如表 5.1-20 所示，表中储存环、线站屏蔽体外关注点剂量率水平为表 5.1-19 关注点剂量率模拟结果中各个工作模式下最大值。

表 5.1-20 HALF 装置屏蔽体外工作人员所在关注点剂量率水平汇总

关注点序号及名称			剂量率水平，μSv/h
直线加速器隧道*1	E1	设备入口及前室	1.31E+00
	E2	始端迷宫门外	2.94E-02
	E3	中间段迷宫门外	3.06E-02
	E4	末端迷宫门外	4.85E-02
	E6	注入器洁净室	7.53E-04
输运线隧道*1	E7	速调管走廊	4.64E-03
	F1	中间段迷宫门外	3.43E-02
储存环隧道	A1	注入区内墙外	3.60E-02
	A2	非注入区内墙外	1.60E-01
	A3	注入区上游迷宫外	1.39E-01
	A4	注入区下游迷宫外	9.10E-02
	B1	注入区短墙外	7.00E-02
	B2	注入区短墙外	2.40E-01

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	B3	注入区短墙外	7.49E-02
	B4	非注入区短墙外	8.00E-01
	B5	注入区长墙外	1.60E-01
	B6	注入区弧形长墙外	4.50E-04
	B7	非注入区长墙外	3.00E-01
	D1	注入区顶屏蔽外	6.00E-03
	D2	非注入区顶屏蔽外	1.30E-02
光束线站*2	棚屋屏蔽外		1.0

*注：其直线加速器隧道、输运线隧道外关注点剂量率水平来自《注入器变更环评》，光束线站取各线站棚屋屏蔽体外人员可达处的最大值。

5.1.5.2 安装调试期间工作人员受照剂量估算

安装调试期间，调试工作人员主要受到装置屏蔽体外瞬发辐射和停机后进入隧道的感生放射性影响；光束线站安装调试工作人员主要受到固体韧致辐射、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。

根据表 3.2-3，HALF 装置安装调试期间，直线加速器的出束时间最多为 1500h，输运线的出束时间最多为 600h，储存环的出束时间最多为 5760h，光束线站的出束时间最多为 4800h。加速器/储存环安装调试工作人员共计 36 人，光束线站安装调试工作人员共计 43 人，按各区域的工作人员每天两班倒考虑，工作人员的受照剂量计算结果见表 5.1-21。

表 5.1-21 HALF 装置安装调试期间工作人员受照剂量计算结果

工作人员	辐射来源	工作地点	剂量率水平, $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	受照时间, h	受照剂量, mSv	最大值, mSv	
加速器安装调试工作人员	瞬发辐射	直线加速器	设备入口及前室	1.31E+00	1/8	1500	2.46E-01	1.15E+00
			始端迷宫门外	2.94E-02	1/8	1500	5.51E-03	
			中间段迷宫门外	3.06E-02	1/8	1500	5.74E-03	
			末端迷宫门外	4.85E-02	1/8	1500	9.09E-03	
			注入器洁净室	7.53E-04	1/16	1500	7.06E-05	
			速调管走廊	4.64E-03	1/16	1500	4.35E-04	
		输运线	中间段迷宫门外	3.43E-02	1/8	600	2.57E-03	
			末端迷宫门外	5.95E-04	1/8	600	4.46E-05	
		储存环	注入区内墙外	3.60E-02	1/4	5760	5.18E-02	
			非注入区内墙外	1.60E-01	1/4	5760	2.30E-01	
			注入区上游迷宫外	1.39E-01	1/8	5760	1.00E-01	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

			注入区下游迷宫外	9.10E-02	1/8	5760	6.55E-02	
			注入区短墙外	7.00E-02	1/4	5760	1.01E-01	
			非注入区短墙外	8.00E-01	1/4	5760	1.15E+00	
			注入区长墙外	1.60E-01	1/4	5760	2.30E-01	
			非注入区长墙外	3.00E-01	1/4	5760	4.32E-01	
感生放射性	隧道内部	隧道内靠近束线处	5.00E-01	1/2	1000	2.50E-01	2.50E-01	
光束线站安装调试工作人员	瞬发辐射	光束线站	棚屋外操作区	1.00E+00	1/2	4800	2.40E+00	2.4

备注：（1）居留因子参考HJ1198-2021 附录A 取值，门外取 1/8，部分居留取 1/4，偶然居留取 1/16；
 （2）隧道内的感生放射性水平，根据前文 5.1.1.5 小节的计算结果，停机 10 分钟，靠近束线处约为 0.5 μ Sv/h。调试期间，保守假设工作人员每年在隧道内的调试时间按 1000h 计；
 （3）各区域的工作人员每天两班倒，则隧道内部、光束线站居留因子取 1/2。

5.1.5.3 正常运行期间工作人员受照剂量估算

HALF 正常运行期间，加速器运行工作人员主要受到加速器/储存环开机时的瞬发辐射和停机后进入隧道的感生放射性影响；光束线站联锁控制与数据处理工作人员主要受到同步辐射光引出到光束线站的瞬发辐射影响。根据表 3.2-4，HALF 装置正常运行期间，直线加速器和输运线的年出束时间最多为 720h，储存环的年出束时间最多为 7200h，光束线站的年出束时间最多为 5600h。加速器运行工作人员共计 11 人，光束线站联锁控制与数据处理工作人员共计 12 人，工作人员的受照剂量计算结果见表 5.1-22。

表 5.1-22 HALF 装置正常运行期间工作人员受照剂量计算结果

工作人员	辐射来源	工作地点	剂量率水平, μ Sv/h	居留因子	受照时间, h	总受照剂量, mSv	最大值, mSv	
加速器运行工作人员	瞬发辐射	直线加速器	设备入口及前室	1.31E+00	1/8	720	1.18E-01	1.44E+00
			始端迷宫门外	2.94E-02	1/8	720	2.65E-03	
			中间段迷宫门外	3.06E-02	1/8	720	2.75E-03	
			末端迷宫门外	4.85E-02	1/8	720	4.37E-03	
			注入器洁净室	7.53E-04	1/16	720	3.39E-05	
			速调管走廊	4.64E-03	1/16	720	2.09E-04	
		输运线	中间段迷宫门外	3.43E-02	1/8	720	3.09E-03	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

		储存环	末端迷宫门外	5.95E-04	1/8	720	5.36E-05	
			注入区内墙外	3.60E-02	1/4	7200	6.48E-02	
			非注入区内墙外	1.60E-01	1/4	7200	2.88E-01	
			注入区上游迷宫外	1.39E-01	1/8	7200	1.25E-01	
			注入区下游迷宫外	9.10E-02	1/8	7200	8.19E-02	
			注入区短墙外	7.00E-02	1/4	7200	1.26E-01	
			非注入区短墙外	8.00E-01	1/4	7200	1.44E+00	
			注入区长墙外	1.60E-01	1/4	7200	2.88E-01	
			非注入区长墙外	3.00E-01	1/4	7200	5.40E-01	
			首次注入	9.59E-02 μ Sv/次		72次	6.90E-03	
感生放射性	隧道内部	靠近束线处	5.00E-01	1/2	200	5.00E-02	5.00E-02	
光束线站联锁控制与数据处理工作人员	瞬发辐射	光束线站	棚屋外	1.00E+00	1/2	5600	2.80E+00	2.80E+00

备注：1.加速器运行工作人员还需考虑储存环“首次注入”工况造成的剂量。根据前文，储存环“首次注入”在人员可达处造成的剂量最大值为 9.59E-01 μ Sv/次（B5 点：注入区长墙外），保守估计每年“首次注入”工况的总次数为 72 次，则加速器运行工作人员因“首次注入”工况造成的剂量最大为 9.86E-03mSv/a。

2.隧道内的感生放射性水平，根据 5.1.1.6 节的计算结果，停机 10 分钟，靠近束线处约为 0.5 μ Sv/h。正常运行期间，保守假设工作人员每年在隧道内的工作时间按 200h 计。

(3) 各区域的工作人员安排两班，则隧道内部、光束线站居留因子取 1/2。

5.1.5.4 维修维护期间工作人员受照剂量估算

维护维修期间装置不出束，加速器维护维修工作人员主要受到隧道内感生放射性的影响。进入各区域维护维修期间的单次工作时间及每年维护维修次数如表 3.2-6 所示。加速器维护维修工作人员共计 9 人，工作人员的受照剂量计算结果见表 5.1-23。

表 5.1-23 维修维护工作人员年受照剂量

工作人员	工作地点	剂量率水平, μ Sv/h	进入该区域单次维护维修的时间, h	每年的维护维修次数, 次	受照剂量, mSv	总计, mSv
加速器维护维修工作	直线加速器	100	1	15	1.5	3.75
	输运线	100	0.5	5	0.25	

合肥先进光源项目储存环及线站变更

人员	储存环	100	1	20	2	
----	-----	-----	---	----	---	--

备注：根据4.4.2 小节，控制区内维护维修工作点位的剂量率保守取限值为 100μSv/h 进行计算。

5.1.5.5 辐射工作人员内照射剂量估算

根据国家同步辐射实验室规章制度，辐射工作人员在工作期间不允许在工作场所进食，故辐射工作人员内照射仅考虑吸入途径，不考虑食入途径。吸入内照射剂量可由下式计算：

$$H_{h,i} = T \cdot C_{a,i} \cdot u \cdot g_{h,i}$$

式中：

$H_{h,i}$ 为年吸入内照射待积有效剂量，Sv/a；

T 为受照时间，h/a；

u 为个人正常情况下的呼吸率，m³/h，成人取 1.2m³/h；

$C_{a,i}$ 为评价点的核素的地面空气浓度，Bq/m³；取值来自前文表表 3.3-5 空气活化计算结果，保守考虑取各隧道内最大值。

$g_{h,i}$ 为吸入放射性核素 i 产生的待积有效剂量转换因子，Sv/Bq。

计算结果

表 5.1-24 辐射工作人员吸入内照射剂量计算结果

保护目标	核素	Cai(Bq/m ³)	T(h/a)	u(m ³ /h)	g _{h,i} (Sv/Bq)	H _{hi} (mSv)
加速器安装调试工作人员	¹¹ C	2.05E+02	1000*1/2	1.2	1.80E-11	2.21E-03
加速器运行工作人员	¹¹ C	2.05E+02	200*1/2	1.2	1.80E-11	4.43E-04
维修维护工作人员	¹¹ C	2.05E+02	(15+2.5+20)	1.2	1.80E-11	1.66E-04

注：在内照射评价中，N-13/O-15/Ar-41为惰性气体，吸入后通常不会与人体组织发生化学反应而长期滞留，因此不考虑其贡献。

5.1.5.6 辐射工作人员受照剂量汇总

HALF 装置辐射工作人员受照剂量汇总见表 5.1-25，从计算结果可知，本项目辐射工作人员最大年受照剂量均低于辐射工作人员剂量约束值 5mSv/a。

表 5.1-25 辐射工作人员受照剂量汇总

序号	工作人员类型	受照剂量, mSv/a
1	加速器/储存环安装调试工作人员	$1.15+0.25+2.21E-03=1.40$
2	光束线站安装调试工作人员	2.40
3	加速器/储存环运行工作人员	$1.44+0.05+4.43E-04=1.49$
4	光束线站联锁控制与数据处理工作人员	2.80
5	维护维修工作人员	$3.75+1.66E-04=3.75$

5.1.6 公众成员受照剂量估算

本项目各装置正常运行期间,对公众的辐射影响主要来自加速器开机出束期间产生的瞬发辐射直接外照射以及感生放射性气体的排放。

5.1.6.1 瞬发辐射照射

瞬发辐射主要影响对象为 HALF 装置屏蔽体外周围近距离范围内的公众,本项目主要考虑的公众关注点主要位于主体建筑外部,其所受瞬发辐射照射剂量按 5.1.5 节中式 5.1-1 进行计算。

根据前节表 5.1-19 所列,正常运行期间,HALF 屏蔽体外剂量率最大为 $8.00E-01\mu\text{Sv/h}$ (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,束流中心线距混凝土屏蔽外墙约 4.1m,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 $8.00E-01 * (4.1 / (4.1+40))^2 = 6.91E-03\mu\text{Sv/h}$ 。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 $3.11E-03\text{mSv}$ 。

5.1.6.2 放射性废气所致公众附加剂量

本次评价使用 IAEA No.19 报告《Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment》中推荐的简单稀释模式,估算加速器正常运行工况下放射性气态流出物的影响,放射性气体对公众的照射途径主要考虑空气浸没外照射和吸入内照射。

表 5.1-26 加速器装置放射性排风口参数

排风高度, m	最靠近关注点的建筑物的最大截面积 A_b, m^2	临近最高建筑物高度 H_b, m
8	120	15.15

5.1.6.2.1 空气浸没外照射

(1) 与排风口近距离范围内的公众, $X \leq 2.5A_b^{0.5}$ (即 $X \leq 27\text{m}$)

合肥先进光源项目储存环及线站变更

根据 IAEA NO.19 号报告，当 $\leq 2.5A_b^{0.5}$ (即 $X \leq 27m$)，且接收点不在释放点所在建筑物表面时，则地面空气浓度可由式 (5.1-2) 计算：

$$C_{a,j} = \frac{P_p Q_i}{\pi u_a H_b K} \quad (5.1-2)$$

式中： $C_{a,i}$ 为下风向 X (m) 距离处的核素 i 的地面空气浓度， Bq/m^3 ；

P_p 为一年中风吹向接收点所在扇形方位 p 的时间份额，查阅合肥地区的风向玫瑰图（详见附图中的风向玫瑰图），合肥地区主导风向为东风，其频率取 0.25 是相对保守的；

Q_i 为放射性核素 i 的年均排放率， Bq/s ；由表 3.3-5 计算得到。

u_a 为释放高度上年平均风速， m/s ，取值 $2m/s$ ；

H_b 为邻近最高建筑物高度，单位为 m ；

K 为经验系数，单位为 m ，取 $K=1m$ 。

(2) 与排风口距离 $X > 2.5A_b^{0.5}$ (即 $X > 27m$) 时，关注点处地面空气浓度可由式 5.1-3 计算：

$$c_{a,i} = \frac{P_p B Q_i}{u_a} \quad (5.1-3)$$

式中：

B 为在下风距离 x 处的高斯扩散因子， $1/m^2$ ；由下式计算：

σ_z 为垂直扩散参数， m ，

$$B = \frac{16}{\sqrt{2\pi^3}} \frac{1}{x \sum z}, \quad \sum z = (\sigma_z^2 + A_b / \pi)^{0.5}, \quad \sigma_z = \frac{0.06x}{\sqrt{1 + 0.0015x}}$$

各关注点处地面空气浓度计算结果列于表 5.1-27。

表 5.1-27 各关注点处地面空气浓度计算结果， Bq/m^3

关注点	最近距离/m	^{11}C	^{13}N	^{15}O	^{41}Ar
主体建筑外距离注入区长墙	70	6.91E-03	1.03E-02	1.24E-02	4.98E-04
最近的公众					
园区边界外的公众	100	4.27E-03	6.34E-03	7.64E-03	3.08E-04

空气浸没外照射剂量可由式 (5.1-4) 计算，吸入内照射剂量可由式 (5.1-5) 计算：

$$H_A = t \cdot S_f \cdot C_{a,i} \cdot G_A \cdot T \quad (5.1-4)$$

式中：

H_A 为空气浸没照射所致年受照剂量，Sv/a；

t 为年受照时间，s/a；取值 $3.15E+07$ s/a；

S_f 为建筑物屏蔽因子，本次评价取 1；

C_{ai} 为评价点的核素的地面空气浓度，Bq/m³；

G_A 为各放射性核素的空气浸没外照射剂量转换因子，取值来自 IAEA No.19；

T 为居留因子。

表 5.1-28 剂量转换因子

放射性核素	剂量转换因子	
	G_A 空气浸没 (Sv/s) / (Bq/m ³)	g_{hi} 食入 (Sv/ Bq)
¹¹ C	4.89E-14	1.80E-11
¹³ N	4.90E-14	/
¹⁵ O	4.91E-14	/
⁴¹ Ar	6.50E-14	/

空气浸没外照射剂量计算结果详见表 5.1-29。

表 5.1-29 空气浸没外照射剂量计算结果，Sv/a

关注点	距离, m	¹¹ C	¹³ N	¹⁵ O	⁴¹ Ar	总计
主体建筑外距离注入区长墙最近的公众	70	1.07E-08	1.59E-08	1.92E-08	1.02E-09	4.67E-08
园区边界外的公众	100	6.58E-09	9.80E-09	1.18E-08	6.31E-10	2.88E-08

5.1.6.2.2 吸入内照射

吸入内照射剂量可由式 (5.1-5) 计算：

$$H_{h,i} = t \cdot C_{aj} \cdot U \cdot g_{h,i} \cdot T \quad (5.1-5)$$

式中：

$H_{h,i}$ 为年吸入内照射待积有效剂量，Sv/a；

C_{ai} 为评价点的核素的地面空气浓度，Bq/m³；

u 为公众个人正常情况下的呼吸率，m³/h，成人取 1.2m³/h；

$g_{h,i}$ 为吸入放射性核素 i 产生的待积有效剂量转换因子，Sv/Bq。

表 5.1-30 吸入内照射剂量计算结果, Sv/a

关注点	距离, m	^{11}C	^{13}N	^{15}O	^{41}Ar	总计
主体建筑外距离注入区长墙最近的公众	70	1.31E-09	/	/	/	1.31E-09
园区边界外的公众	100	8.08E-10	/	/	/	8.08E-10

5.1.6.2.3 总受照剂量

放射性气体排放所致评价范围内各环境保护目标处公众总受照剂量计算结果列于表5.1-31。

表 5.1-31 放射性气体排放所致公众总受照剂量计算结果, Sv/a

保护目标	^{11}C	^{13}N	^{15}O	^{41}Ar	总计
主体建筑外距离 HALF 屏蔽体外最近的公众	1.20E-08	1.59E-08	1.92E-08	1.02E-09	4.80E-08
园区边界外的公众	7.39E-09	9.80E-09	1.18E-08	6.31E-10	2.97E-08

5.1.6.3 公众受照剂量汇总

公众受照剂量计算结果汇总见表5.1-32。由表5.1-32可看出项目运行期间对公众所致的最大个人剂量为6.96E-03mSv/a, 低于公众剂量约束值 0.1mSv/a。

表 5.2-32 公众受照剂量汇总

序号	关注点	瞬发辐射 (mSv/a)	放射性气体排放 (mSv/a)	总计 (mSv/a)
1	主体建筑外距离 HALF 屏蔽体外最近的公众	6.91E-03	4.80E-05	6.96E-03
2	园区边界外的公众	6.91E-03	2.97E-05	6.94E-03

5.2 事故工况下的环境影响

5.2.1 事故情景

加速器的核心是加速器, 其辐射场是瞬发性的, 装置一旦停机, 能造成环境影响的辐射源立即消失, 且不会再引起周边介质的活化。

本项目运行期间可能发生的事故主要有:

(1) 误照射事故: 安全联锁系统失效、人员误入加速器隧道和线站控制区内部造成的误照射事故; 工作人员在加速器隧道和线站控制区内部工作期间, 加速器出束造成的误照射事故。

(2) 源库放射源丢失：本项目在技术安全楼的刻度室使用IV、V类放射源进行监测设备的刻度工作，在使用放射源的过程中，可能会出现放射源丢失的情况。

5.2.2 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连锁系统，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) 为防止各项安全连锁硬件设施失效，应定期检查并确认安全连锁设施的有效性。

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滞留，就近按下急停按钮。工作人员进入控制区内部工作时应随身佩戴有效的剂量报警仪，以便随时了解控制区内的辐射水平并在辐射水平超出阈值时发出报警信号。

3) 辐射工作人员需加强专业知识学习，加强辐射安全与防护培训，严格遵守操作规程和规章制度。管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

4) 做好设备稳定性检测和状态检测，使设备始终保持在最佳状态下工作。

(2) 源库放射源丢失后果分析

本项目使用的放射源为IV、V类放射源。放射源贮存地点为技术安全楼一层的源库，使用地点为技术安全楼一层的刻度室，两间房间相邻，放射源工作转运路线较短，发生丢失源事故的概率很低。为避免此类事故的发生，要切实加强对放射源的登记、使用、贮存的管理工作，定期检查源库安防措施，提高工作人员的事故防范意识。

中国科学技术大学制定了较为完备的《辐射事故应急预案》，主要针对发生在校内的辐射事故应急处置。国家同步辐射实验室也制定了相关的应急处置方案（详见附件4-2），应急处置方案针对国家同步辐射实验室管理的合肥光源、红外自由电子激光装置、合肥先进光源配套工程加速器装置区域及光源厅、可能涉及的辐射安全的突发事件事故制定了相应的应急处理方案及对策，处置流程较为完善，一旦发生辐射事故应能快

合肥先进光源项目储存环及线站变更

速响应，及时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。

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

中国科学技术大学现有 270 名辐射工作人员，已全部获得辐射安全与防护培训/考核合格证书。本项目计划配备 112 名辐射工作人员，详见表 6.1-1。中国科学技术大学将严格按照要求，承诺今后新增辐射工作人员时，在上岗前参加生态环境部门认可的电离辐射安全与防护考核，考核合格者方可上岗，在成绩有效期过期前再次考核，现有辐射工作人员在现有培训证书过期前参与考核，考核不合格的人员，不得从事辐射工作。

根据国家核安全局文件《关于规范核技术利用领域辐射安全关键岗位从业人员管理的通知》（国核安发[2015]40号）的规定，“销售（含建造）、使用 I 类射线装置的单位，辐射安全关键岗位一个，为辐射防护负责人，新申领辐射安全许可证单位的辐射安全关键岗位在取证前由注册核安全工程师担任。”本项目计划配备 1 名注册核安全工程

师作为辐射防护负责人，负责辐射安全监督与防护管理工作，详见表 6-2。

(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，其中国家同步辐射实验室辐射工作人员配备了 OSL 和 CR-39 个人剂量计用于光子和中子受照剂量监测，其余辐射工作场所的辐射工作人员配备了 OSL 个人剂量计用于光子受照剂量监测。

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。根据学校规章制度，辐射工作人员进入辐射工作场所必须正确佩戴个人剂量计，并定期送检，发现监测结果异常的，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。

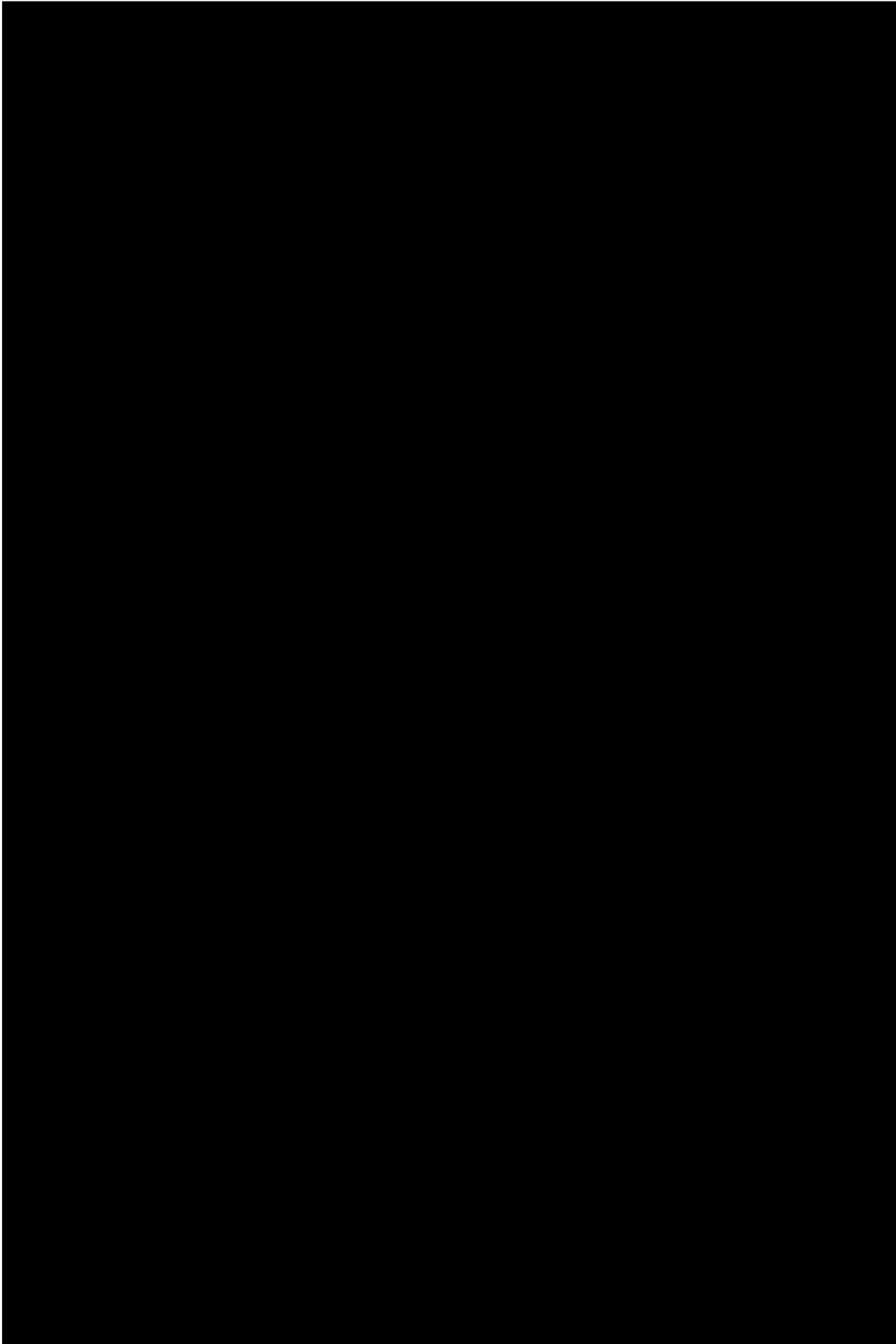
中国科学技术大学安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终身保存。

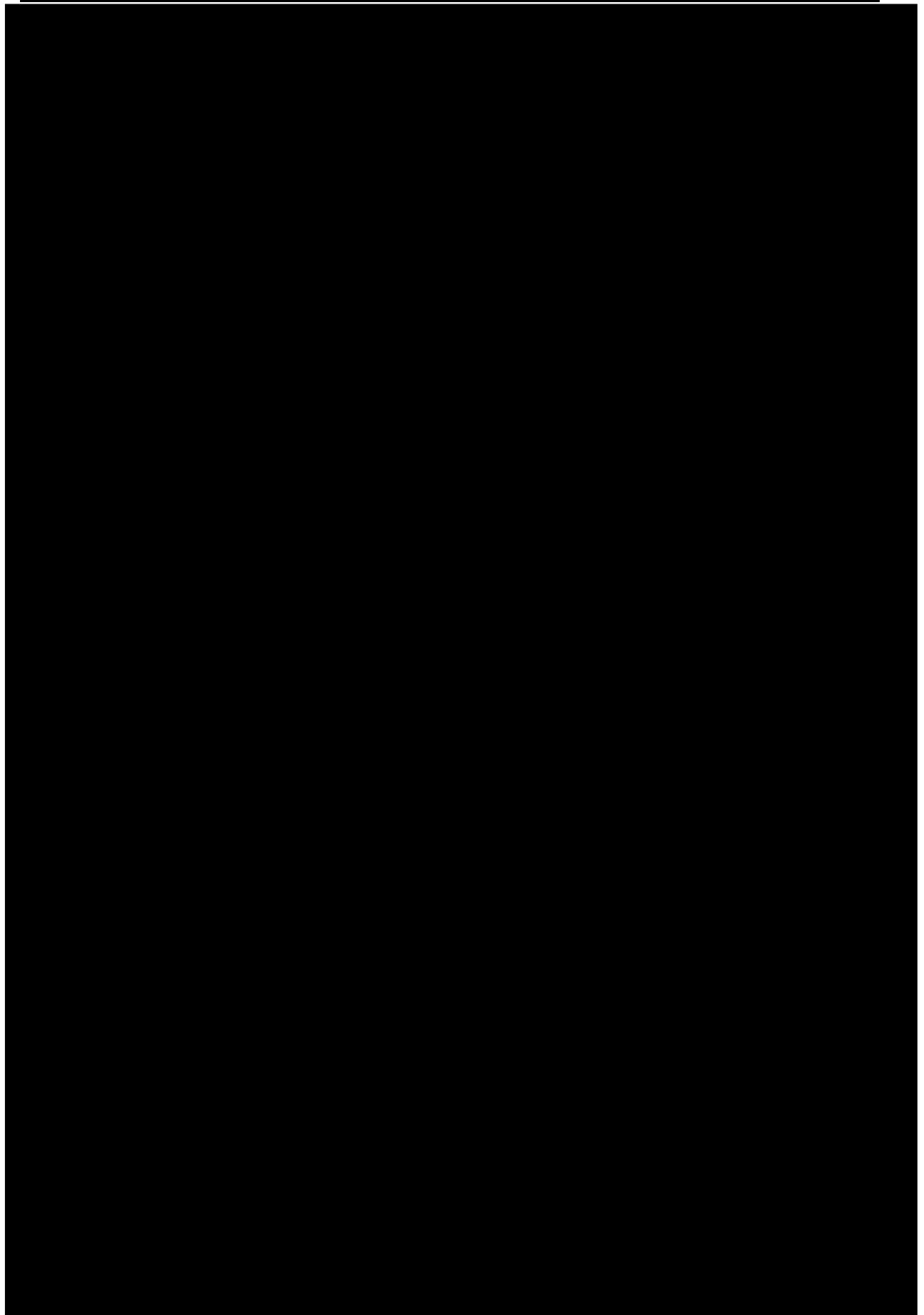
(3) 职业健康体检

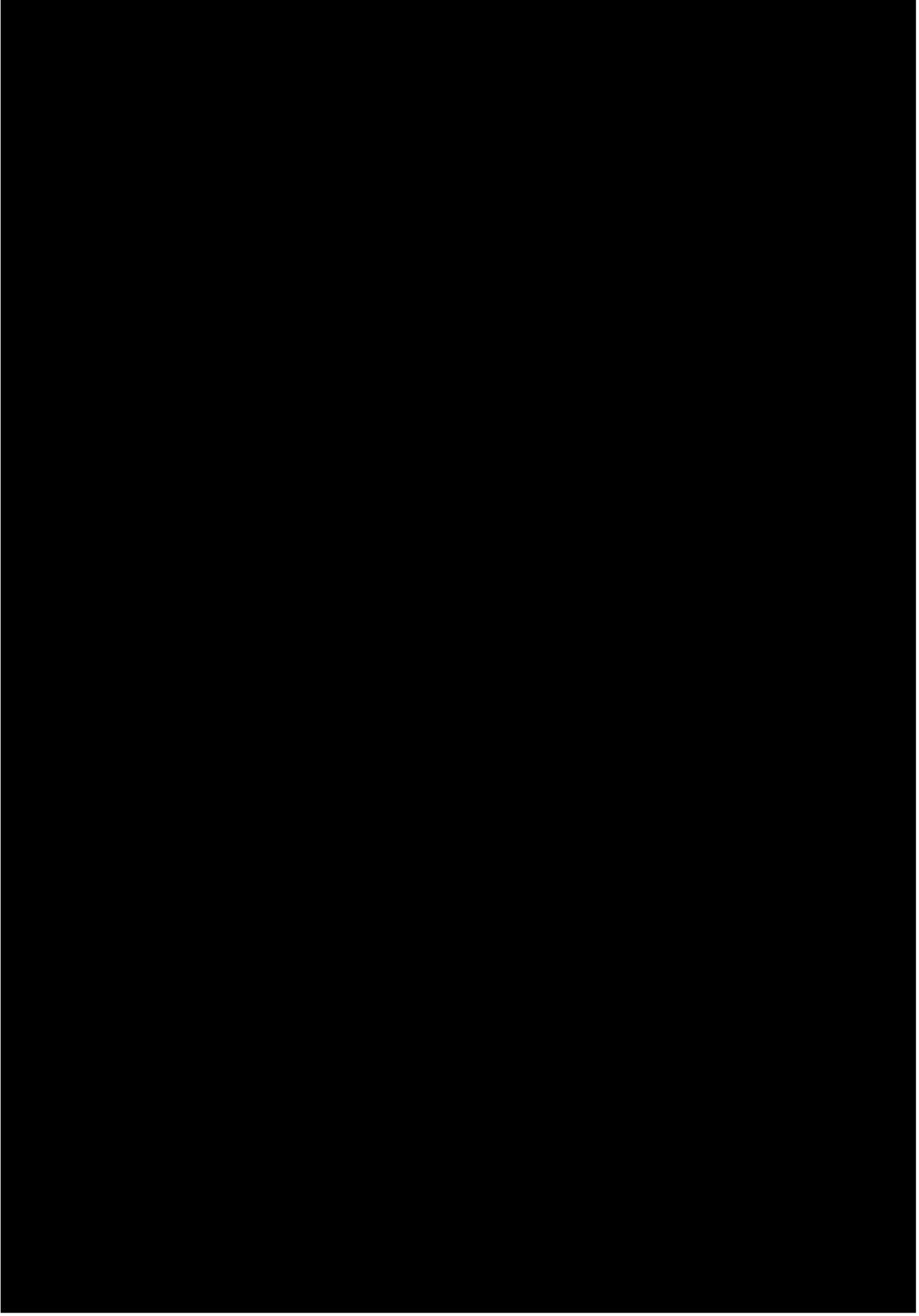
根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日起施行）和《放射工作人员职业健康管理辦法》（卫生部第 55 号令）的要求，规定对辐射工作人员定期进行职业健康检查，建立职业健康体检档案。

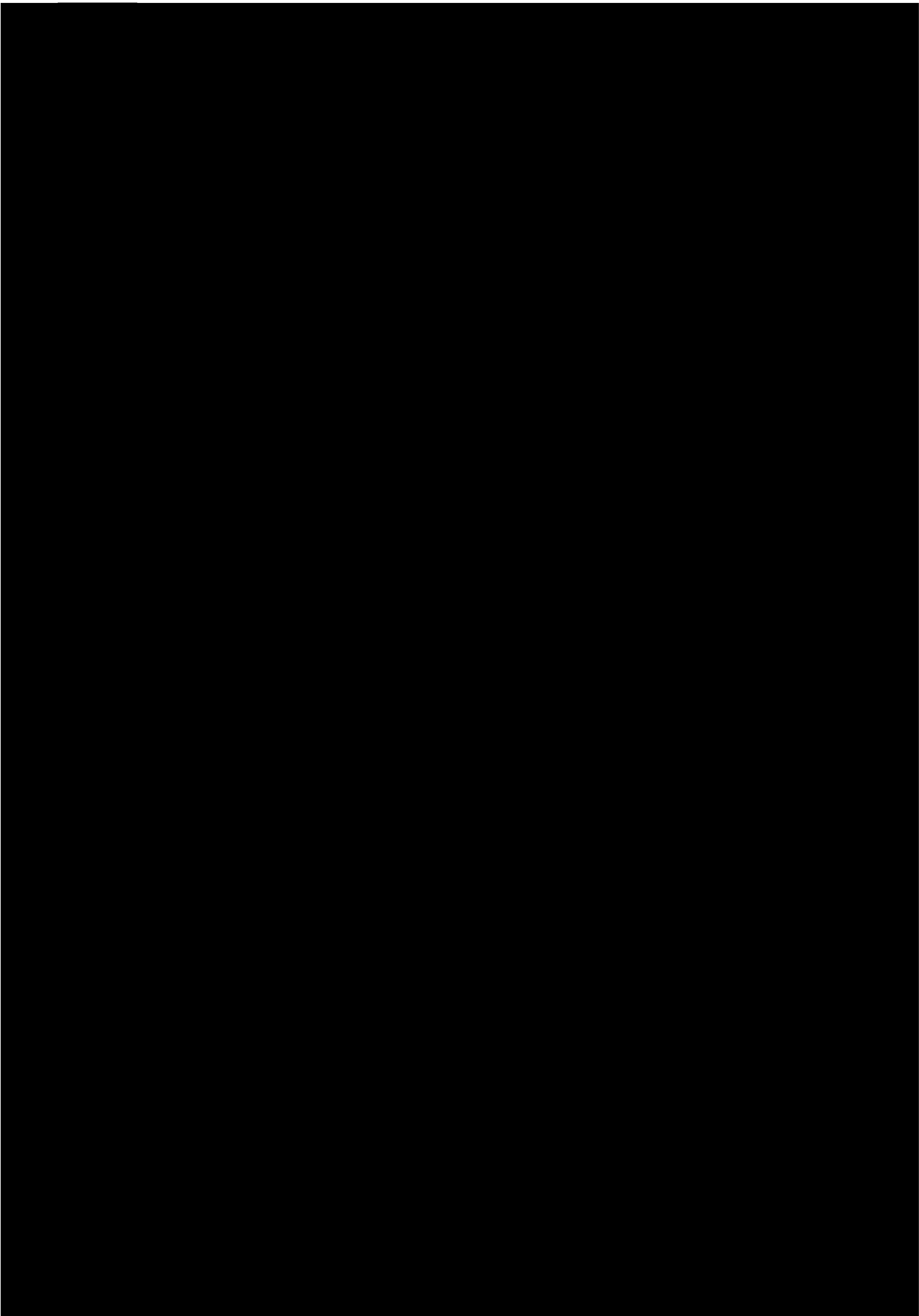
中国科学技术大学于 2024 年 4 月-9 月组织全校辐射工作人员开展了职业健康检查，体检结果未发现职业异常。学校建立了个人健康档案，档案中详细记录历次体检报告结果及其评价处理意见，并妥善长期保存。体检报告详见附件 5。

表 6.1-1 本项目拟配置辐射工作人员情况表









合肥先进光源项目储存环及线站变更

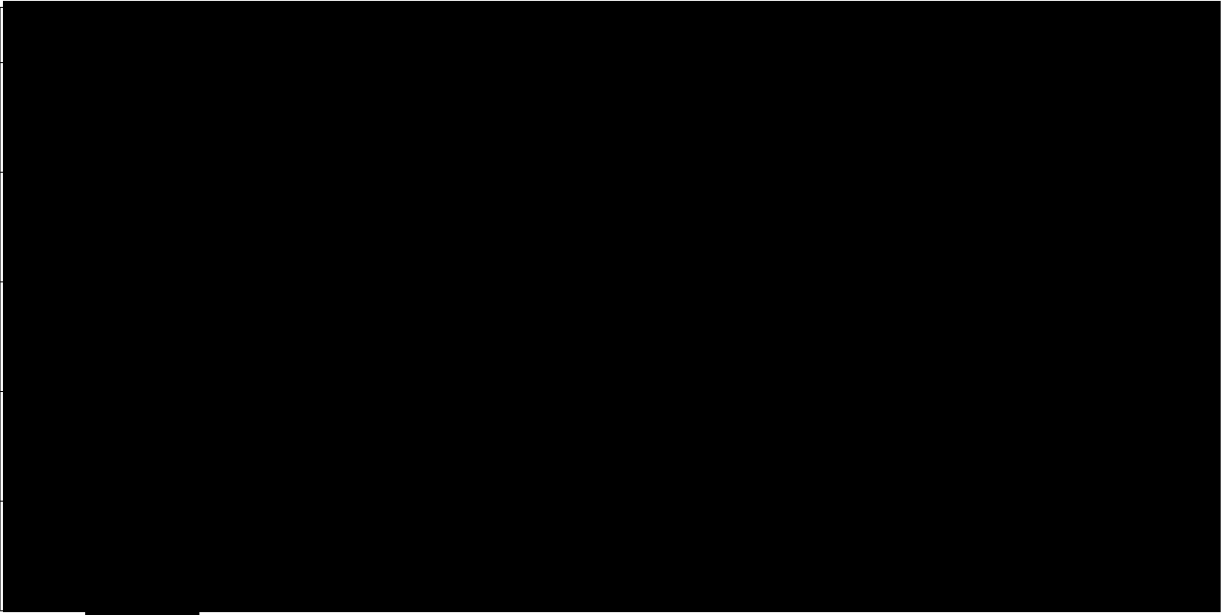
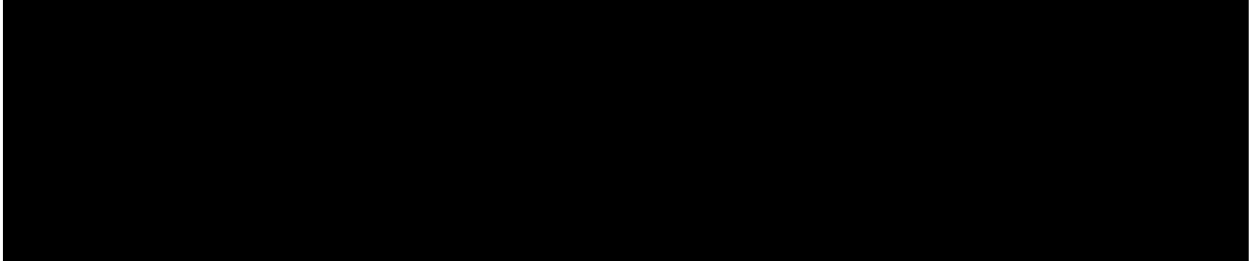


表 6.1-2 本项目计划配备的注册核安全工程师人员信息

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
----	----	----	----	------	----	---------------



6.2 辐射安全管理规章制度

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

为了加强装置调试期间的辐射安全管理，中国科大制定了《合肥先进光源（HALF）调试期间辐射安全管理制度》，内容涵盖了管理制度的适用范围、调试期间对人员的培训考核要求、调试工作期间的操作规程、辐射防护安全要求等内容，可确保装置调试期间的辐射安全。

对于用户单位科研人员等外来人员，中国科学技术大学已制定有相应的管理制度《实验人员及来访者辐射安全守则》，根据本项目实际特点完善后，可以确保用户单位科研人员等外来人员在本项目运行过程中的辐射安全。

中国科学技术大学应根据本项目建设内容和特点，在本项目建成运行前，制定或完善操作规程、设备检修维护、放射性废物处理、辐射监测、应急预案等规章制度，确保本项目运行过程中的辐射安全。

6.3 生态环境部门检查情况

2025年3月11日，生态环境部华东核与辐射安全监督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6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，整改工作完成后将隐患整改情况报送生态环境部华东核与辐射安全监督站（详见附件8），具体如下表6.3-1所列。

表 6.3-1 辐射安全监督检查提出的整改要求及整改落实情况

序号	检查发现的问题	整改落实情况
1	上次检查问题完成整改。	/
2	微观磁共振重点实验室电子辐照加速器照明线路故障，不满足《电子加速器辐照装置辐射安全与防护》（HJ979-2018）第7.1条“辐照装置营运单位必须制定辐照装置的维护检修制度，定期巡视检查（检验）每台加速器的	针对安全检查中发现问题，相关单位进行了认真总结，实验室第一时间排查加速器区域线路，更换烧坏的灯泡，完善落实电子辐照加速器维护检修制度，加强设备停用期间的安全管理：做好常规日检

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	<p>主要安全设备，保持辐照装置主要安全设备的有效性和稳定性。”要求。你单位应在长时间未使用的情况下加强定期检查工作，并梳理辐射安全连锁逻辑，确保其有效。</p>	<p>查、定期月检查及半年检查，建立专项档案，记录巡检、维护、测试数据，并重新梳理连锁逻辑（门禁-急停-剂量监测联动）。目前已完成整改。</p>
3	<p>部分场所辐射监测报告中，存在监测项目不完善、部分监测设备校准有效期有误、较多错字漏字等不规范的情况。</p>	<p>学校将安排质量监督人员，专职负责监测全流程合规性审查，增设检测报告复核环节，并要求第三方检测机构在今后检测前应全面核查设备校准状态，提供监测项目清单，优化监测点位布局，确保覆盖辐射工作场所、周边敏感区域及设备运行关键节点；同时要求第三方检测机构重点核查数据逻辑性、文字准确性及格式统一性。目前已完成整改。</p>
4	<p>物理学院放射源暂存库存放杂物，不满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第三十五条“放射性同位素应当单独存放”要求。</p>	<p>加强安全教育，强调辐射安全的重要性，提高放射性物品管理的安全意识；清理整顿，及时清理物理学院放射源暂存库中杂物，确保放射性物品单独存放；加强管理，明确岗位的辐射安全责任，避免因存放杂物引起的安全隐患。目前已完成整改。</p>
5	<p>国家核技术利用辐射安全管理系统上部部分辐射工作人员2024年个人剂量未及时登记，不满足《国家核技术利用辐射安全管理系统管理规定》第二十一条“监管数据应当符合真实、准确、及时、完整的要求。”要求。</p>	<p>针对2024年部分辐射工作人员个人剂量未及时登记问题，学校高度重视，立即开展数据补录与核验工作。目前，已完成全部辐射工作人员2024年度个人剂量数据补录工作，并建立双人复核机制，确保录入数据与实际数据完全一致。同时修订辐射工作人员管理制度，要求管理人员在每季度初10日前完成上季度剂量数据上传。目前已完成整改。</p>
6	<p>提醒事项：3枚 I 类源计划于近期转移，你单位应落实相应的辐射安全管理要求，确保放射源转移的辐射安全，并做好场所的退役工作。</p>	<p>学校已于2025年3月14日将辐照室剩余的三枚Co-60放射源转让至安徽联合辐化有限公司，并将Cs-137校准源送贮至安徽省城市放射性废物收贮单位。目前该场所已无放射源和放射性废物遗留。</p>

合肥先进光源项目储存环及线站变更

		<p>3月21日, 学校委托第三方检测大学对贮源井水、井底淤泥、离子交换树脂、辐照室各处表面及周围环境的γ辐射剂量率、β表面污染进行了检测, 检测结果表明辐射剂量处于本底水平, 满足无限制开放的要求。下一步, 我校将向安徽省生态环境厅申请贮源井水排放及辐照装置清洁解控。待通过后, 我校将向生态环境部提交辐射安全许可证部分注销申请。</p>
--	--	---

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。2025 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, 执行了相应的监测制度。根据监测结果, 相关辐射工作场所未出现超标等异常情况。

6.4.2 辐射工作场所监测计划

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。

表 6.4-1 辐射工作场所监测计划

监测类别	监测项目	监测方式	监测点位	监测频次
自行监测	γ 辐射剂量率、中子剂量当量率	固定式仪表监测	如图 4-18 所示。	实时
		便携式仪表监测	屏蔽墙外、防护门外、监督区边界、控制室、办公室等人员长居留场所	1 次/月
	放射性固体废物	便携式仪表监测	放射性固废外表面	放射性固体废物暂存间
委托监测	γ 辐射剂量率、中子	便携式仪表监测	同自行监测点位	1 次/年

合肥先进光源项目储存环及线站变更

测	剂量当量率	测	
---	-------	---	--

6.4.3 辐射环境监测

本项目辐射环境监测包括自行监测和委托有资质单位监测两种类型，监测数据记录存档，具体环境监测计划列于表6.4-2。

在园区四周设5个固定式环境监测点位，如图4.4-3所示。该监测点设固定式中子、X/γ探测器各1个，用于对环境 neutron、X/γ辐射水平进行实时监测。监测数据通过有线或无线通讯设备实时传输至终端数据处理中心。

表 6.4-2 本项目环境监测计划

监测类别	监测内容	监测项目	监测方式	监测点位	监测频次
自行监测	贯穿辐射	γ辐射剂量率、中子剂量当量率	固定式仪表监测	共 5 个点，如图 4.4-3 所示	实时
			便携式仪表监测	园区内外环境敏感点处	1 次/月
委托监测	贯穿辐射	γ辐射剂量率、中子剂量当量率	便携式仪表巡测	同自行监测点位	1 次/年
	循环冷却水	³ H、 ⁷ Be、总β活度浓度	取样分析	活化冷却水集水坑和暂存池	1 次/年
	土壤	⁷ Be、 ²² Na、总β活度浓度	取样分析	园区东、南、西、北四侧的土壤	1 次/年

6.4.4 监测设备配置情况

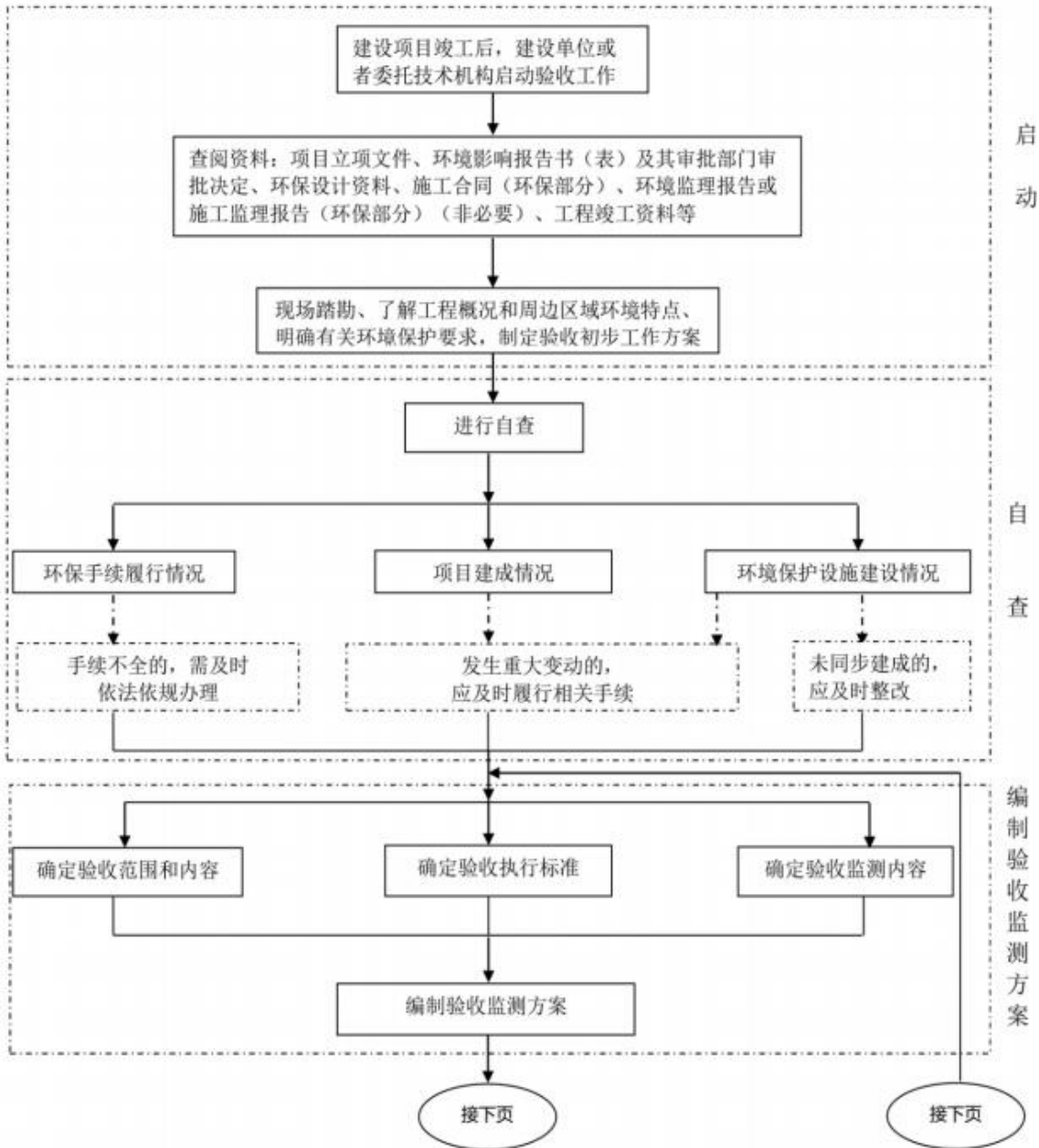
本项目拟配备的主要辐射监测设备包括：固定式γ探测器、固定式中子探测器、便携式γ巡检仪、便携式中子巡检仪、便携式表面污染仪、个人剂量计和个人剂量报警仪等，具体见表4.4-2。

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。

6.4.5.1 工作流程

建设单位承诺将在射线装置调试阶段委托有资质的检测机构对周围环境开展竣工环保验收监测。参照《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》，本项目竣工环保验收监测的工作流程如图6.4-1。



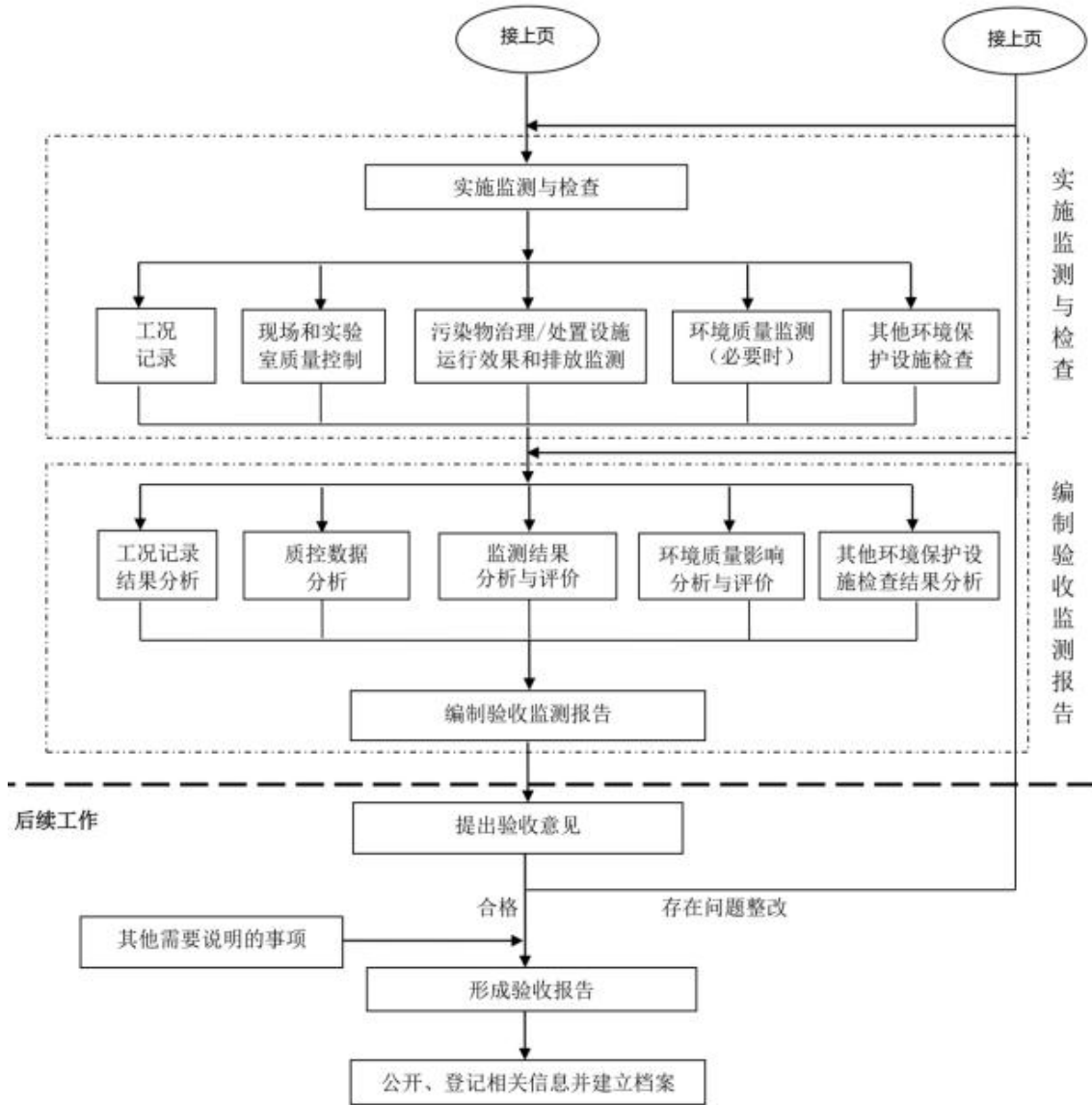


图6.4-1 竣工环保验收工作流程

6.4.5.2 验收监测方案

结合项目运行期间的污染源特点、辐射环境质量现状调查因子等，制定了本项目竣工环保验收监测方案，具体见表6.4-3。

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。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

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、办公室等人员长期居留场所。	1.射线装置开机运行；2.射线装置停机。
园区内部环境辐射水平	γ 辐射剂量率、中子剂量率	主体建筑外部均匀布点	
园区外部环境辐射水平	γ 辐射剂量率、中子剂量率	园区外部周边环境敏感点处	
循环冷却水(若有)	^3H 、 ^7Be 、总 β 活度浓度	循环冷却水集水坑和暂存池	调试、运行期间若有冷却水排放，取样并委托有资质单位监测。
土壤	^7Be 、 ^{22}Na 、总 β 活度浓度	A-1 号楼周围东、南、西、北四侧的土壤	装置完成调试可正常出束使用一次后。

6.5 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。

国家同步辐射实验室也制定了应急处置方案（详见附件4-2），应急处置方案针对国家同步辐射实验室管理的合肥光源、红外自由电子激光装置、合肥先进光源配套工程加速器装置区域及光源厅、可能涉及的辐射安全的突发事件事故制定了相应的应急处理方案及对策，处置流程较为完善，一旦发生辐射事故应能快速响应，及时采取有效措施保护辐射工作人员、公众的健康和安全。

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	本项目拟配备 1 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	本项目辐射工作的人员均通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，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	合肥先进光源园区已在技术安全楼一层设置了放射性固体废物暂存间
4	辐射工作场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施	经预测分析评价，各辐射工作场所的辐射屏蔽设计能确保屏蔽体外剂量率水平满足国家相关标准的要求。项目设计了完备、冗余的安全联锁系统，通过门-机联锁、清场搜索、紧急停机、声光报警、视频监控等安全设施防止人员误操作、防止工作人员和公众意外照射。
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、	在按要求全部制定并严格落实的基础上能满足要求

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等	
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	注入器隧道与储存环隧道均设置了独立的排风系统；设置了冷却水集水坑与暂存池，可确保冷却水在排放前安全暂存；HALF 装置运行期间产生的活化结构部件，暂存于技术安全楼的放射性固体废物暂存间内，暂存一段时间后，满足解控标准的，解控后按一般固体废物处理或由回收利用，不满足解控标准的委托有资质单位处理；上述处置措施均满足要求
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，拟采取的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，建成了能量为800MeV、流强500mA的电子储存环，以及光电子能谱、ARPES、软X射线成像、催化与表面科学、XMCD、红外谱学和显微成像、燃烧、质谱、原子分子物理、计量、金华等光束线和实验站，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北京高能光源形成低、中、高能区的有机互补，使我国成为国际上少有的同步辐射光源全能区覆盖的国家（或地区）。然而，历经两次升级改造后的合肥光源已经发挥其第二代光源的极限水平，但与目前国际发展的第四代同步辐射光源存在较大差距，远不能满足我国2035年和2050年发展目标对科技创新要求。因此，面向新时代国家发展目标，完善我国高、中、低同步辐射先进光源合理布局的历史任务，急需对低能区光源进行跨越式发展，建设第四代（衍射极限储存环）低能区同步辐射光源——合肥先进光源。本项目的建成将补齐我国光源建设整体布局中的短板，使我国同步辐射领域发展更为合理、均衡，整体达到国际先进水平，更有助于抢占第四代同步辐射科技前沿。

综上所述，本项目的建设具有良好的社会效益和经济性效益。

7.2 代价分析

（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，本项目位于安徽省合肥市长丰县岗集镇，HALF规划用地面积约43.8万平方米，合肥先进光源拟建主体建筑包括注入器（包含直线加速器及输运线）、储存环、实验部（线站大厅）等，还拟建能源中心、技术安全楼、环境监测站等其它运行辅助设施。

能源方面，项目运行期间需要消耗水、电等能源。

（2）经济代价

经济代价主要包括建筑工程成本、设备投资成本和环保投资等方面的成本。

(3) 环境代价

本项目的环境代价主要为：少量的瞬发辐射穿过屏蔽体进入周围环境，工作人员和周围公众受到少量的辐射照射；少量的放射性气体进入大气环境；每年将有少量的放射性固体废物产生等。根据前面章节的分析，项目运行期间对环境的影响均低于国家标准中规定的限值。

综上所述，本项目建设带来的利益远高于付出的代价，其建设将造福于国家、造福于广大人民。因此，本项目的实施是正当的。

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（HLF）为我国同步辐射事业起步和发展做出了开创性贡献，在近40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。

合肥先进光源（HALF）的核心定位是全球领先的低能区第四代同步辐射光源，旨在填补国内低能区高亮度软X射线光源空白，支撑国家“科技自立自强”与长三角一体化战略。重点聚焦量子材料、集成电路等12个前沿领域，解决科研与产业“卡脖子”问题，引领国际光子科学前沿；依托中科大40年技术积累和4年预研，突破核心技术，实现关键设备国产化，路径清晰可控；支撑重大原创科研成果，带动千亿产业集群，完善合肥科创中心集群效应，培养顶尖人才。

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 结论与建议

8.1 项目工程概况

合肥先进光源（Hefei Advanced Light Facility，英文缩写HALF）是一台低能量区基于衍射极限储存环的第四代同步辐射光源。装置主体包括一台2.2GeV注入器（包含电子直线加速器及输运线）、一台2.2GeV电子储存环，可建设不少于35条光束线，首批拟建12条光束线站。项目规划用地面积约43.8万平方米，合肥先进光源项目新建建筑面积68307平方米。其中主体建筑包括含直线坑道、输运线、速调管走廊及速调走廊耳房、储存环隧道、线站大厅等，还包括能源中心、技术安全楼、环境监测站等其它运行辅助设施。合肥先进光源项目原环评于2023年2月取得批复后，由于储存环隧道与辐射防护相关洞口、预埋管的需求发生变更，线站棚屋尺寸及屏蔽设计方案也发生了变更，变化内容属于重大变动，因此本报告对储存环及线站发生的变动开展评价，重新报批。

合肥先进光源项目总投资 27.78 亿元人民币，其中本项目环保投资 5900.66 万元，占总投资的 2.12%。

本项目位于安徽省合肥市大科学装置集中区，项目运行期间的辐射污染源主要是使用射线装置时产生的“瞬发辐射”和装置停机后依然存在的“感生放射性”，以及运行期间产生的放射性三废。

8.2 辐射安全与防护

（1）辐射工作场所分区：本项目拟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）辐射安全连锁系统：HALF拟建立安全、冗余的辐射安全连锁系统，包括门禁控制、门机连锁、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：经蒙卡模拟计算，储存环隧道及线站棚屋的屏蔽设计能确保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：储存环隧道设计了通风系统，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：储存环及线站设有固定式辐射监测仪表，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。

8.3 环境影响分析

经过理论预测，本项目调试、运行期间所致辐射工作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（分别为职业人员5mSv/a、公众0.1mSv/a）。

储存环隧道设计了排风系统，分为平时排风和停机后强排风，隧道内空气对线站大厅工作场所有一定的负压，能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；运行期间产生的放射性气体经排风管道引至室外排放，排放高度约为8m，所排放的活化气体对公众影响极其轻微。

储存环隧道设有4个事故排水暂存池，活化冷却水经管道排入其中，确保其在得到处置前能够安全暂存。经取样监测后满足排放要求的排入单位污水管网。

HALF园区在技术安全楼一层设置的放射性固体废物暂存间。经暂存一定时间后满足解控条件的可清洁解控，不满足解控要求的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。

8.4 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；已制定的辐射环境监测方案能够满足该项目运行要求。

8.5 结论

综上所述，中国科学技术大学拟开展的合肥先进光源项目在严格按照环评中的要求进行建设后，项目调试、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。

项目建设单位在落实此报告书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。

8.6 建议

1、建设单位在本项目施工过程中必须加强监督，保证建筑材料和施工质量，混凝土施工时要确认成型密度、均匀、表观密度符合设计要求。

合肥先进光源项目储存环及线站变更

2、落实环评中提出的管理措施和辐射防护措施要求，在实践中建立和不断完善各项辐射管理规章制度和事故应急预案，并采取切实措施保证各种规章制度的有效执行。

8.7“三同时”竣工环保验收一览表

表 9.7-1 储存环及线站“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;设置辐射安全关键岗位,配备注册核安全工程师至少 1 名
	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
储存环隧道屏蔽措施	混凝土浇筑而成		储存环及线站辐射工作场所四周屏蔽墙外、门外、顶板上各关注点处的剂量率水平不高于报告书中所列剂量率控制水平
	注入区	内墙: 2.1m 厚	
		外墙: 注入点上游长墙厚 1.9m, 弧形墙厚 2.7m, 弧形墙下游长墙厚 1.8m; 20#锯齿短墙厚 1.48m+1cm 钢板+15cm Pb+1cm 钢板, 1.5#锯齿短墙厚 1.28m+1cm 钢板+15cm Pb+1cm 钢板;	
		顶板: 2.4 m	
		底板: 2 m	
	非注入区	内墙: 0.6m 厚	
		外墙: 锯齿墙长墙厚 1m, 短墙厚 0.98m+1cm 钢板+15cm Pb+1cm 钢板	
		顶板: 0.8 m	
底板: 1.5m 筏板			
辐射防护与安全措施	辐射工作场所分区(储存环隧道、线站防护棚屋设置为控制区,相邻工作场所设置为监督区),并设置明显分区标识,设置电离辐射警示标志和中文警示说明		按要求落实
	设置人身安全连锁系统,连锁门禁组件、连锁卡置换装置、紧急停		按要求落实

合肥先进光源项目储存环及线站变更

	机按钮、巡查登记按钮、警示装置和控制机柜等组成，且所有安全设备均能正常投入使用，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（储存环及线站大厅共布设 57 个固定监测点位，布置伽玛和中子剂量率监测探头）；	按要求落实
	储存环隧道设置排风系统（平时排风和停机后强排风），通风换气次数不低于表 4.5-1 中所列，排风口高度约 8m	按要求落实
	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
放射性三废处理设施	废气：隧道设置排风系统，排风高度约为 8m，废气排入外环境	按要求落实
	废液：储存环隧道设置 4 个暂存池（单池有效容积 70m ³ ），确保冷却水在排放前安全暂存	
	固体废物：暂存于技术安全楼的放射性固体废物暂存间内（建筑面积 40m ² 、容积 120m ³ ），暂存一段时间后，满足解控标准的，解控后按一般固体废物处理或由回收利用，不满足解控标准的委托有资质单位处理。	
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
	HALF 项目拟配置便携式γ巡检仪 1 台、便携式中子巡检仪 1 台、表面污染仪 1 台，配置 30 支直读式个人剂量报警仪	按要求送检

合肥先进光源项目储存环及线站变更

表 9.7-2 储存环及线站环保投资一览表

序号	项目	环境保护（辐射防护）措施	投资金额（万元）	备注
1	辐射防护 设施工程	辐射屏蔽设施	4196.99	/
		安全联锁系统	350	/
		通风系统	379.8	/
		放射性废液暂存设施	131.36	/
		放射性固废暂存设施	/	依托注入器变更环评，不重复列入本项目环保投资
2	辐射监测 仪器和防 护用品	固定式区域 γ 探测器、固定式区域中子探测器、固定式环境 γ 探测器、固定式环境中子探测器、	757	/
		便携式X- γ 辐射巡测仪、便携式中子辐射巡测仪、便携式表面污染仪、个人剂量计、个人剂量报警仪等监测设备	/	已列入注入器变更环评，不重复列入本项目环保投资
		工作服、手套等个人防护用品	/	
3		环境影响评价、辐射安全许可证办理、竣工环保验收手续办理	85.51	/
辐射环境保护措施及环保投资合计			5900.66	/