

非密

核技术利用建设项目
中国环流三号实验研究项目
环境影响报告书
(公示本)



生态环境部监制

核技术利用建设项目

中国环流三号实验研究项目

环境影响报告书



建设单位名称：核工业西南物理研究院

建设单位法人代表（签名或签章）：



通讯地址：四川省成都市双流区西航港街道黄荆路5号

邮政编码：610225

联系人：李继宏

电子邮箱：lijihong@swip.ac.cn

联系电话：028-82850403

编制单位和编制人员情况表

项目编号	lfrd3j		
建设项目名称	中国环流三号实验研究项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告书		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	核工业西南物理研究院		
统一社会信用代码	12100000450717252A		
法定代表人 (签章)	刘叶		
主要负责人 (签字)	刘叶		
直接负责的主管人员 (签字)	李继宏		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	中国核动力研究设计院		
统一社会信用代码	12100000450716858P		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
刘爱华	2016035510352014510112000330	BH020778	刘爱华
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
黄丹	第四章	BH021562	黄丹
沈海波	第一章	BH017717	沈海波
黄娟	第一章、第三章	BH021566	黄娟
钟静怡	第二章	BH059410	钟静怡

刘爱华	第五章	BH020778	刘爱华
舒瀚东	第三章、第六章	BH064781	舒瀚东
周虎	第三章	BH051130	周虎
胡伟	第七章、第八章	BH022345	胡伟



目 录

第一章 概 述	1
1.1 项目名称、地点	1
1.2 项目概况	1
1.2.1 建设单位概况	1
1.2.2 项目背景、意义	2
1.2.3 建设内容与规模	3
1.2.4 区域规划与产业政策符合性	5
1.2.5 项目所在地周边环境情况	19
1.2.6 建设单位核技术利用现状	20
1.2.7 与本项目相关的原有工程情况	22
1.3 编制依据	30
1.3.1 国家相关法律	30
1.3.2 国家相关行政法规、地方性法规	30
1.3.3 部门规章、规范性文件	31
1.3.4 技术规范 and 标准	32
1.3.5 与项目有关的文件、资料	33
1.4 评价标准	34
1.4.1 辐射评价标准	34
1.4.2 电磁环境评价标准	36
1.4.3 非放射性评价标准	36
1.5 评价范围和保护目标	39
1.5.1 辐射环境影响评价范围	39
1.5.2 非放射性环境影响评价等级和评价范围	39
1.5.3 环境保护目标	40
第二章 自然环境与社会环境状况	41
2.1 自然环境状况	41
2.1.1 地形地貌	41

2.1.2 气象	43
2.1.3 土地与水体利用	48
2.1.4 生态和资源开发利用	50
2.2 社会经济状况	50
2.2.1 人口及行政区划	50
2.3 环境质量和辐射现状	50
2.3.1 非放射性环境质量现状	50
2.3.2 电离辐射环境质量现状	53
2.3.3 电磁辐射环境质量现状	57
2.4 场址适宜性评价	58
第三章 工程分析与源项	60
3.1 概述	60
3.1.1 建设内容及规模	60
3.1.2 劳动定员和工作制度	73
3.2 工程设备与工艺分析	73
3.2.1 工程设备及主要原辅料消耗	73
3.2.2 工艺分析	76
3.2.3 人流、物流路径规划	101
3.3 污染源项	101
3.3.1 施工期污染源项	101
3.3.2 运行期污染源项	103
3.4 废弃物	112
3.4.1 放射性废弃物	112
3.4.2 非放射性废弃物	113
3.5 初步退役计划	114
3.5.1 退役原则	114
3.5.2 退役经费	114
第四章 辐射安全与防护	115
4.1 场所布局与屏蔽	115

4.1.1 场所布局	115
4.1.2 辐射工作场所分区及非密封放射性物质包容	116
4.1.3 辐射屏蔽设计	123
4.2 辐射安全与防护措施	125
4.2.1 场所设施	125
4.2.2 辐射安全联锁系统	126
4.2.3 监测设备	128
4.2.4 其他辐射安全与防护措施	132
4.2.5 辐射安全防护措施符合性分析	133
4.2.6 其他安全与防护措施	133
4.3 三废治理	138
4.3.1 放射性污染物治理措施	138
4.3.2 非放射性污染物治理措施	140
第五章 环境影响分析	143
5.1 建设阶段对环境的影响	143
5.1.1 施工期废气环境影响分析	143
5.1.2 施工期废水及其环境影响分析	144
5.1.3 施工期噪声及其环境影响分析	145
5.1.4 施工期固体废物及其环境影响分析	146
5.1.5 施工期生态环境影响分析	147
5.2 运行阶段对环境的影响	147
5.2.1 电离辐射环境影响分析	147
5.2.2 电磁辐射环境影响分析	158
5.2.3 项目运营期非放射性环境影响分析	160
5.3 事故影响分析	162
5.3.1 辐射事故影响分析	162
5.3.2 非放射性事故影响分析	169
第六章 辐射安全管理	174
6.1 机构与人员	174

6.1.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置及职能	174
6.1.2 辐射工作人员配备计划	174
6.2 辐射安全管理规章制度	175
6.3 辐射监测	176
6.3.1 工作场所监测	176
6.3.2 个人剂量监测	179
6.3.3 流出物监测	180
6.3.4 环境监测	181
6.4 辐射事故应急	183
6.4.1 应急响应机构	184
6.4.2 应急响应	186
6.4.3 应急设备与设施	187
6.4.4 应急培训与演练	188
第七章 利益-代价简要分析	189
7.1 利益分析	189
7.1.1 项目建设的重要性	189
7.1.2 项目建设的必要性	189
7.2 代价分析	191
7.3 正当性分析	192
第八章 结论与建议	193
8.1 项目工程概况	193
8.2 辐射安全与防护	193
8.3 环境影响分析	193
8.4 辐射安全管理	195
8.5 公众参与	195
8.6 结论	195
8.7 承诺	196
8.8 项目竣工验收检查内容及要求	196

第一章 概 述

1.1 项目名称、地点

项目名称：中国环流三号实验研究项目

项目性质：改扩建

建设单位：核工业西南物理研究院

建设地点：四川省成都市双流区西航港街道黄荆路 5 号

1.2 项目概况

1.2.1 建设单位概况

核工业西南物理研究院（以下简称“西物院”）建于 1965 年，是隶属于中国核工业集团公司的全民所有制事业单位，是从事聚变能源开发利用的专业研究机构，是我国参与 ITER 计划的主要支撑单位。注册地为四川省成都市天府新区湖畔路北段 715 号，统一社会信用代码为 12100000450717252A。

西物院现有从业人员 1800 余人，其中科技人员近 1000 余人；国家级高层次人才 13 人（含杰青 1 人、优青 1 人），国家级创新团队 1 个，省部级创新团队 2 个，百千万人才工程国家级人选 2 人；省部级各类高层次人才 17 人；中核集团首席专家 2 人、科技带头人 3 人、青年英才 11 人、“钱三强科技奖”3 人，享受政府特殊津贴人员 10 人。西物院是国家创新人才培养示范基地和国际科技合作基地，建成多个省部级重点研发中心，设有核能科学与技术一级学科博士点、核能科学与技术一级学科硕士点和电力电子与电力传动二级学科硕士点。同时经全国博士后管委会批准，1999 年成立了第一个博士后流动站。

西物院设有成都基地和乐山基地，主体位于四川省成都市，成都市现有白家、黄甲和天府新区三个院区，其中，白家院区位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路 5 号，是本项目拟改造的中国环流三号装置（以下简称“HL-3 装置”）所在地，主要开展聚变相关的科研实验工作；黄甲院区位于四川省成都市双流区黄甲街道西航港大道中四段 219 号，主要开展等离子体科学与技术的前沿开发、聚变关键配套系统工程转化；天府新区工作区位于成都市天府新区成都科学城中路东段，作为具

有国际先进水平的磁约束聚变能研发基地，主要开展聚变材料研发和关键设备试验、研制等，打造世界一流的聚变原创技术策源地。

1.2.2 项目背景、意义

聚变能具有资源丰富、环境友好、固有安全等突出优势，是解决国家能源需求、促进能源新体系构建和保障国家能源安全的关键科技变量，是最终解决人类能源问题的根本途径之一，将有力带动等离子体物理、诊断、核技术应用、先进材料、制造等相关技术领域快速发展，对我国经济发展、国防工业建设具有特殊战略意义。

当前国际政治经济环境日趋复杂，全球能源格局、体系发生深刻变革，不稳定性、不确定性明显增加，能源供应链体系受到严重冲击，国际能源领域新一轮科技革命和产业变革已进入重大突破关口，新的发展制高点争夺空前激烈。面临如此严峻的能源形势，为保障能源安全、维护国家稳定、实现中华民族的伟大复兴，党和国家历代领导人都高度重视可控聚变能源的开发。

以习近平同志为核心的党中央高度关心可控聚变能源发展，多次做出重要指示批示。国资委深入贯彻落实习近平总书记重要批示精神，将可控聚变能源列为未来能源重点发展方向。中核集团党组坚守“国之大事”，高度重视可控聚变能开发，多次召开可控聚变专题研讨和部署会，明确提出“走好聚变关键第一步”的战略部署。

1983 年，国家“核能发展技术政策论证会”首次提出我国核能“热堆-快堆-聚变堆”的三步走发展战略，当前，可控聚变正逐渐由科学研究迈向工程化发展阶段。中核集团经科学论证决策，布局 DT 聚变实验平台、聚变先导工程实验堆及示范堆的可控聚变实施路径。自主开展 DT 聚变实验是落实这一实施路径的关键一步，也是建设聚变先导工程实验堆，解决聚变堆的设计、建造、运行等关键工程技术，开展规模化、系统性的聚变工程实验验证的必由之路。本项目将为先导工程实验堆的自主设计、建造及运行提供物理和工程技术支撑。

通过本项目，完成燃烧等离子体物理实验，获取聚变燃烧等离子体物理与工程实验数据。通过技术研发与单项实验的积累，将优化并逐步完成聚变先导工程实验堆的集成设计，包括概念设计、初步设计、工程设计等工作；同时，深入研究聚变堆核安全特性，与国家管理部门沟通尽早建立适用的核安全体系，完成聚变先导工程实验堆的安全设计、安全分析和场址评估。依托本项目，获得对燃烧等离子体的物理认知，验证运行关键技术，为我国自主设计、建造先导工程实验堆释放技术风

险和提供技术支撑，是加速我国聚变能开发进程的最佳战略选择。

2024 年 4 月，中核集团批准西物院中国环流三号实验研究项目（以下简称“本项目”）项目立项，2024 年 7 月获得《四川省固定资产投资项目备案表》。2025 年 6 月，本项目建设内容纳入国家发改委“两重”项目支持并获得可研批复。

本项目位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路 5 号西物院白家园区内，不新征用地，对现有 HL-3 装置及配套设施进行能力提升和改造，建设内容包括关键工艺系统能力提升建设及配套辅助条件的建设，拆除建筑面积共计 5942.10 m²，新建建筑面积 14486.6m²，改造建筑面积 15981.33m²，新增和改造相关工艺设备。升级改造后的中国环流三号装置将成为我国首个 DT 聚变实验平台，将 HL-3 装置聚变三乘积提升至 10²¹ m³·keV·s 级，实现 10MW 聚变功率输出。

HL-3 装置现状工作介质为氢气和氘气，按Ⅲ类射线装置管理。本项目改造后的 HL-3 装置，工作介质为氘气和氚气，最大中子产生率约为 3.55×10¹⁸n/s，年最大中子产额约为 3.55×10¹⁹n/a。根据“关于聚变装置辐射安全管理有关事项的通知”（环办辐射函〔2025〕128 号）中的聚变装置分类表，本项目属于 DT 聚变实验装置，按照“射线装置+”模式进行监管，应编制环境影响报告书，环评文件由生态环境部审批。

西物院委托中国核动力研究设计院承担本项目的环境影响报告书编制工作，中国核动力研究设计院接受委托后，立即组织有关技术人员进行了现场踏勘、资料收集等基础工作，并按照有关法律法规和导则标准规范等技术规范的要求，结合项目特点和区域环境特征，进行了建设项目工程分析、环境影响预测与环保措施论证等，编制了《中国环流三号实验研究项目环境影响报告书》。

1.2.3 建设内容与规模

本项目建设内容包括关键工艺系统能力提升建设及配套辅助条件的建设，其中新增（改造）工艺设备 531 台（套）；拆除建筑面积共计 5942.10m²，新建建筑面积 14486.6m²，改造建筑面积 15981.33m²，环保投资约 3522.5 万元。

1.2.3.1 关键工艺系统能力提升建设

关键工艺系统能力提升建设主要依托现有的 HL-3 装置，围绕七大系统进行能力提升建设，包括：主机系统、辅助加热系统、诊断系统、供电系统、控制运行系统、燃料循环与安全包容系统、辐射防护与监测系统，新增和改造工艺设备 531 台（套）。

根据运行与实验安排，HL-3 装置改造完成后，运行包括 DD 放电运行、带氚调试、DT 放电运行、处理阶段、设备维护等阶段。

本项目 DT 运行时，聚变功率 $\leq 10\text{MW}$ ，运行参数及 DT 放电次数严格遵守年度、小时中子产额限值，即中子产生率不超过 $3.55 \times 10^{18}\text{n/s}$ （每小时不超过 1 次，单次 DT 反应时间不超过 1 秒），年累积中子产额不超过 $3.55 \times 10^{19}\text{n/a}$ （含 DD 放电实验和 DT 放电实验）。

人员配置：西物院对人力与设备资源进行集中管理，拟组建约 390 人的队伍开展 HL-3 装置实验研究任务，涉及工程、实验及运行，均从西物院现有工作人员中调配，不新增劳动定员。其中配备的辐射工作人员主要为 HL-3 装置日常运行与维护人员共计 34 人，其中新增 10 名辐射工作人员，其余 24 人从西物院现有辐射工作人员中调配，调配后不再从事原有辐射工作，各辐射工作人员岗位之间不存在交叉。辐射工作人员岗位设置、工作内容及工作时长见表 1.2-1。

工作制度：一般工作人员工作制度为年工作日 250 天，平均每天 8h。

表 1.2-1 辐射工作人员配置明细表

序号	岗位名称	工作内容	工作地点	人数	工作时长
1	HL-3 装置 主机运维	主机内部 部件维护	HL-3 主机真空室内 （控制 II 区）	10	8h/人/年
2		真空系统运维	HL-3 主机包容屏蔽 室内（控制 II 区）	5	40h/人/年
3		诊断系统运维	HL-3 主机包容屏蔽 室内（控制 II 区）	5	40h/人/年
4		其他辅助系统 运维	HL-3 主机包容屏蔽 室内（控制 II 区）	5	40h/人/年
5	燃料循环与安全 包容系统运维	涉氚操作	氚循环工艺间 （控制 I 区）	5	100h/人/年
6	辐射防护	辐射监测、辐射 安全管理	主机大厅包容屏蔽 室/氚循环工艺间以 外区域	2	200h/人/年
7	实验巡检	巡检	主机包容屏蔽室、 氚循环工艺间、主 机大厅其他区域	2	1h/人/年
合计				34	/

1.2.3.2 配套辅助条件建设

为满足工艺运行需要，配套辅助条件建设主要包括拆除院区内现有建筑物以及建筑物内的设备，包括食堂、材料实验室，科研办公楼以及主机线圈绕制厂房、变配电站，拆除建筑面积共计 5942.10m²；对院区现有的主机大厅、工程实验控制中心楼、动力厂房、电机厅、整流厅、科技信息楼、大门及门卫进行改造，共改造建筑面积 15981.33m²；新建加热辅助车间（含变配电）、材料库、预装车间和科研保障综合楼（含食堂），共新增建筑面积 14486.6m²，新建实物保护系统以及院区内的室外工程等。

本项目新增装置和设备均外购或委托第三方进行研制，新增装置和设备仅在现场进行部件组装、测试或调试，在项目现场不涉及机加工和生产制造等活动。主机大厅内的中国环流器二号 A（HL-2A）装置已拆除并搬离至其他场所暂存，已履行环评程序，不再纳入本次环评。

1.2.4 区域规划与产业政策符合性

1.2.4.1 产业政策符合性

根据中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类第六项“核能”第 4 条：“同位素、加速器及辐照应用技术开发”；以及第三十一项“科技服务业”第 10 条“科技创新平台建设：国家级工程（技术）研究中心、国家产业创新中心、国家农业高新技术产业示范区、国家农业科技园区、国家认定的企业技术中心、国家实验室、全国重点实验室、国家重大科技基础设施、科技企业孵化器、众创空间、绿色技术创新基地平台、新产品开发设计中心、科教基础设施、产业集群综合公共服务平台、中试基地、实验基地、国家技术创新中心建设”中所列项目，符合国家产业政策。

2024 年 4 月，中核集团批准本项目立项。2025 年 6 月，本项目建设内容纳入国家发改委“两重”项目支持并获得可研批复（发改高技〔2025〕812 号）。

1.2.4.2 规划符合性分析

（1）与国家相关规划的符合性

我国核能发展“热堆-快堆-聚变堆”三步走战略中，将聚变能作为解决能源问题的终极目标，开发聚变能不仅是解决我国能源战略需求的途径，也是实施创新驱动

发展战略的重要举措，对我国未来能源与国民经济的可持续发展，以及国防建设的需要等方面都具有重大战略意义。

加速开发聚变能是我国核能发展战略的重要举措，我国历来重视和关注聚变研究事业的发展。党的十八大以来，在“十二五”科技创新成就展、阿斯塔纳世博会和庆祝改革开放 40 周年大型展览期间，习近平总书记都亲临聚变科技创新展位视察。2020 年 7 月 28 日，为庆祝 ITER 计划迈入装配阶段，习近平总书记专门致贺信，指出：“国际热核聚变实验堆计划承载着人类和平利用聚变能的美好愿望。中方愿继续同各方加强科研交流合作，合力突破重大关键科学和技术，推进全球科技创新”。2021 年 5 月 28 日，习近平总书记在两院院士大会上指出：新一代“人造太阳”首次放电是我国重大基础研究和原始创新取得的重要进展。

我国政府在上世纪就制定了“热堆、快堆、聚变堆”三步走的核能发展战略；2006 年我国政府颁布实施了《国家中长期科技发展规划纲要》，其中明确表示支持以托卡马克装置为研究途径的磁约束聚变能发展；中国国防科学技术工业委员会也制定了《国防科技工业中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020)》，进一步明确了聚变能发展纲领；2016 年 7 月，国务院发布了《“十三五”国家科技创新规划》，文件中明确将“磁约束聚变能发展”列入了战略性前瞻性重大科学问题，拟通过聚变堆关键科学技术的创新和突破，抢占世界聚变能发展制高点。

开展中国环流三号 DT 实验能力建设，提升装置运行能力，实现高参数高品质等离子体放电和运行，开展 DT 燃烧等离子体物理实验研究是我国可控聚变能开发的重要组成部分，该项目的立项实施符合国家有关行业规划及政策，是落实国家核能发展总战略的需要。

西物院进行本项目建设，既可以支撑成渝双城经济圈建设，又可以联合国内外聚变研究资源，前瞻性的布局我国聚变核技术开发和聚变能研发体系，对于加快实现聚变高质量发展具有重要战略意义。

因此，本项目建设是符合国家和中核集团聚变能发展战略和规划的。

（2）与西南航空港组团区域环境影响报告书及其批复的符合性分析

西南航空港组团地处成都市中心城的西南边缘、双流区北部片区，紧邻全国四大航空港之一的成都双流国际机场。西南航空港组团主要由西南航空港经济技术开发区、双流工业集中发展区和它们之间的过渡区三个部分组成。

西南航空港组团是依托西南航空港经济技术开发区、双流工业集中发展区而来。

其中西南航空港经济开发区于 1992 年 8 月成立，1996 年 6 月，四川省原计划委员会以“川计〔1996〕计综 682 号”文补办双流建立西南航空港经济开发区审批手续的批复，其范围为东以双流县白家镇和石羊乡交界处为界，南至双（流）中（兴）路，西至川齿路，北与机场路外环路临界，规划面积 7.86km²。随后西南航空港经济开发区进行总体规划，1997 年 5 月成都市原建设管理委员会以“成建委发〔1997〕137 号文”对《西南航空港经济开发区总体规划》进行批复，总规划面积 7km²。定位为以经济技术开发为主，适当发展高新技术产业的综合性城市新区。

工业集中发展区是成都市人民政府〔2005〕52 号文批准的，规划面积为 6.00km²，其产业定位主要是生物制药、食品、机械制造、新材料。

过渡区属于原白家、文星镇所辖区域，主要是城镇、农业用地、房地产开发以及零星分布企业，原来并没有纳入规划，在东升分区 2007 年 1 月最新规划中明确划入西南航空港组团，主要用地功能分为科研片区、居住片区和物流片区及远景用地，并经成都市规划委员会主任会议原则同意。

2007 年，为促进经济、人口、资源和环境协调发展，西南航空港经济开发区、双流工业集中发展区和它们之间过渡区三个部分范围开展区域环评，原四川省环境保护局出具《关于对西南航空港组团区域环境影响报告书的批复》（川环建函〔2007〕378 号）：组团总面积 38.875km²，四至范围为东至成雅高速公路，南至规划成环路，西至双流机场、北至外环路，由综合片区、科研片区、居住片区、物流片区、工业集中发展区以及规划远景用地等组成，是以商业、金融、科教、房地产开发及高新技术产业为主的综合性经济区。

本项目位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路 5 号西物院白家园区内，由西南航空港组团功能分区可知，本项目位于西南航空港组团过渡区，属于科研片区，本项目 HL-3 装置为 DT 聚变实验装置，改造完成后，将成为我国首个 DT 聚变实验平台，实现 10MW 级聚变功率输出，为可控聚变能源的开发提供了重要的实验平台，与区域环评和批复的符合性分析如下：

表 1.2-2 本项目与西南航空港组团区域环评报告书及其环评批复的符合分析

类别	要求	本项目情况	符合性
产业符合性分析	西南航空港组团以商业、金融、科教、房地产开发及高新技术产业为主的综合性经济区。	本项目 HL-3 装置属于 DT 聚变实验装置，是科研设施，符合区域的产业定位。	符合

类别	要求	本项目情况	符合性
功能分区	工业集中发展区、综合片区、居住片区、科研片区、物流片区、远景发展区。	本项目位于科研片区，项目用地性质为科研用地，项目改造前后，实验装置均为研究可控聚变能源的科学研究装置，符合功能分区。	符合
环境准入条件的符合性分析	根据环境影响评价有关法律法规，进入航空港组团的建设项目必须按照相关规定进行环境影响评价工作。在环评过程中应注意以下几点： (1)建设项目必须符合航空港组团土地利用规划，不得与区域功能分区相矛盾；对于与规划不符的现有企业原则上应进行搬迁，使其符合规划布局要求；对于不符规划但又无法搬迁的企业，应限制其发展； (2)真实反映建设项目生产规模、产污情况，并结合排污标准，落实合理性的与环境经济相适应的污染物治理方案； (3)建设项目污染物总量控制指标必须与航空港组团对污染物总量控制指标相容； (4)结合相关行业清洁生产标准，从生产工艺与装备要求、资源能源利用指标、产品指标、污染物产生指标（末端处理前）、废物回收利用指标和环境管理要求六个方面对建设项目进行清洁生产评价，对于未达到国内一般水平要求的应进行整改； (5)在项目环评通过审批后，建设项目必须严格按照环评要求进行相关环保措施的建设，并通过竣工验收后方可投入生产； (6)对涉及环境风险的企业，入园前必须通过安全生产预评价及环境风险评价，落实相关责任，并严格按照安评、环评要求进行安全生产，建立应急体系，严防污染事故发生。	(1) 本项目为改扩建项目，不新征用地，项目用地性质为科研用地，位于科研片区，符合规划布局要求。 (2) 本项目产生污染及治理情况在本报告第三章工程分析与源项中重点进行分析。 (3) 本项目运行过程中不产生TSP、SO₂等组团需要控制的大气污染物总量控制指标，项目运行过程中产生的废水主要为生活污水，纳入市政污水管网处理达标后排放，生产废水中不涉及NH₃-N、COD等水污染物总量控制指标。 (4) 本项目为实验装置，不涉及生产。 (5) 本项目在环评报告通过评审后，将严格按环评提出的相关环保措施开展建设和建设，严格落实“三同时”制度。 (6) 本项目为改扩建项目，建成后不改变现有环境风险结论。	符合

根据上述分析，本项目符合西南航空港组团区域环评及批复的要求。

1.2.4.3 与土地利用规划的符合性

本项目位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路5号，西物院白家园区内。西物院白家园区为已建厂区，已取得国有土地使用证，土地使用性质为科研用地。本项目的建设符合用地规划。

1.2.4.4 “三线一单”符合性分析

根据《四川省生态环境厅办公室关于印发<产业园区规划环评“三线一单”符合性分析技术要点（试行）>和<项目环评“三线一单”符合性分析技术要点（试行）>的通知》（川环办函〔2021〕469号）、《成都市生态环境局关于印发<成都市生态环境准入清单（2024年版）>的通知》（成环规〔2024〕3号），本项目与区域“三线一单”符合性分析如下：

本项目位于成都市双流区西航港街道黄荆路5号，根据四川省政务服务网—四川省生态环境厅“三线一单”应用平台线上查询，查询结果如下：



图 1.2-1 项目三线一单符合性分析查询结果图

经查询本项目位于双流区环境综合管控单元要素重点管控单元（管控单元名称：双流区要素重点管控单元，管控单元编号：ZH51011620008）。项目与管控单元相对位置如下图所示：（图中▼表示项目位置）



图 1.2-2 项目与管控单元相对位置图（线上查询结果，图中▼表示项目位置）

根据《成都市生态环境准入清单（2024年版）》（成环规〔2024〕3号），成都市生态环境准入清单体系为“1+4+N”结构，包括“1”个全市总体生态环境准入清单，“4”大区域生态环境准入清单以及“N”（215）个环境管控单元的生态环境准入清单。全市总体生态环境准入清单适用于全市的准入要求；全市层面划定优先保护单元、重点管控单元（包括城镇重点管控单元、工业重点管控单元和要素重点管控单元）和一般管控单元，对相同类型的管控单元，制定适用于该类管控单元的总体生态环境准入清单，提出普适性管控要求；4大区域生态环境准入清单分别适用于都市功能核心区、生态涵养发展区、城市东翼拓展区、重点联防联控区的准入要求；215个环境管控单元生态环境准入清单适用于具体管控单元的准入要求。

（1）与成都市全市总体生态环境准入清单符合性分析

根据《成都市生态环境准入清单（2024年版）》，本项目与成都市全市总体生态环境管控要求符合性分析如下。

表 1.2-3 本项目与成都市全市总体生态环境总体的管控要求的符合分析表

区域	总体管控要求	本项目	是否符合
	一、坚持生态优先、绿色发展，全面建设践行新发展理念	1、本项目HL-3装	符合

区域	总体管控要求	本项目	是否符合
成都市	的公园城市示范区。坚持绿色发展，针对突出生态环境问题，以健全蓝绿交织公园体系、保护修复自然生态系统、深入打好污染防治攻坚战、完善现代环境治理体系等为抓手，着力构建绿色生态空间，推进公园城市理论实践创新。大力优化调整产业结构，实施严格的环境准入要求，鼓励发展节能环保产业；优化水资源、水生态、水环境“三水”统筹，实行最严格水资源管理制度，严控引入水资源消耗大和水污染排放大的产业；严格落实《成都市空气质量达标规划（2018-2027 年）》中各项大气污染防治措施，确保区域大气环境质量限期达标；完善全过程污染土壤环境管理体系，严格执行 建设用地再开发利用场地调查评估、风险管控和修复制度，完善建设用地管理、准入、退出等监管流程。 二、坚持减污降碳、协同增效，促进经济社会发展全面绿色转型。以实现碳达峰、碳中和目标为引领，加快绿色低碳转型，统筹推进空间、产业、交通、能源四大结构优化调整；提升产业升级，工业企业单位工业增加值能耗持续降低，工业园区污染能耗物耗水耗指标对应满足国家级、省级生态工业园或更好要求；坚决遏制‘两高一低’项目盲目发展，对重点发展的电子信息、航空航天、轨道交通、汽车制造、生物医药、绿色食品等产业执行最严格的资源环境绩效要求；加快构建绿色低碳的现代产业体系和绿色交通体系，持续提高非化石能源消费占比，促进城市绿色低碳发展。 三、强化区域联动、共建共享，推动成德眉资同城化发展。发挥成都市辐射带动作用，全域执行大气污染物特别排放限值，全域落实挥发性有机物无组织排放控制标准中的特别控制要求；加强邻接地区管控，增强区域协调性，对西部龙门山脉、邛崃山脉、中部龙泉山脉实施一脉相承的优先保护，共建生态安全廊道；加强区域生态共筑、产业协同、污染联防联控联治和政策协商合力，强化重污染天气区域应急联动机制，深化区域重污染天气联合应对；深化成德眉资四地环评联动，建立邻近区域新引入污染物排放量大、环境风险高、涉邻避问题类项目的联合会商机制，共守区域绿水青山“第一道防线”。	置属于聚变实验装置，是科研设施，不属于“两高”项目； 2、本项目生产用水主要为冷却用水，循环使用，可有效降低水资源的消耗； 3、本项目运行产生的电离辐射通过工艺系统和建筑物有效屏蔽；少量放射性固体废物收集暂存；极少量放射性废气通过工程措施可以得到控制。 4、本项目装置运行过程中不产生和排放颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物等大气污染物。	

由上表分析，本项目符合成都市全市总体生态环境管控要求。

（2）项目所在环境管控单元

根据《成都市生态环境准入清单（2024 年版）》中“全市环境管控单元查询索引表”，本项目位于成都市双流区环境综合管控单元要素重点管控单元（管控单元名称：双流区要素重点管控单元，管控单元编号：ZH51011620008）。

成都市环境管控单元分布图



图 1.2-3 成都市环境管控单元分布图

同时，本项目评价范围内不涉及风景名胜区、饮用水水源保护区、自然保护区等生态敏感目标，与成都市生态保护红线分布位置关系见下图，本项目不在成都市已划定的生态保护红线范围内。

成都市生态保护红线分布图

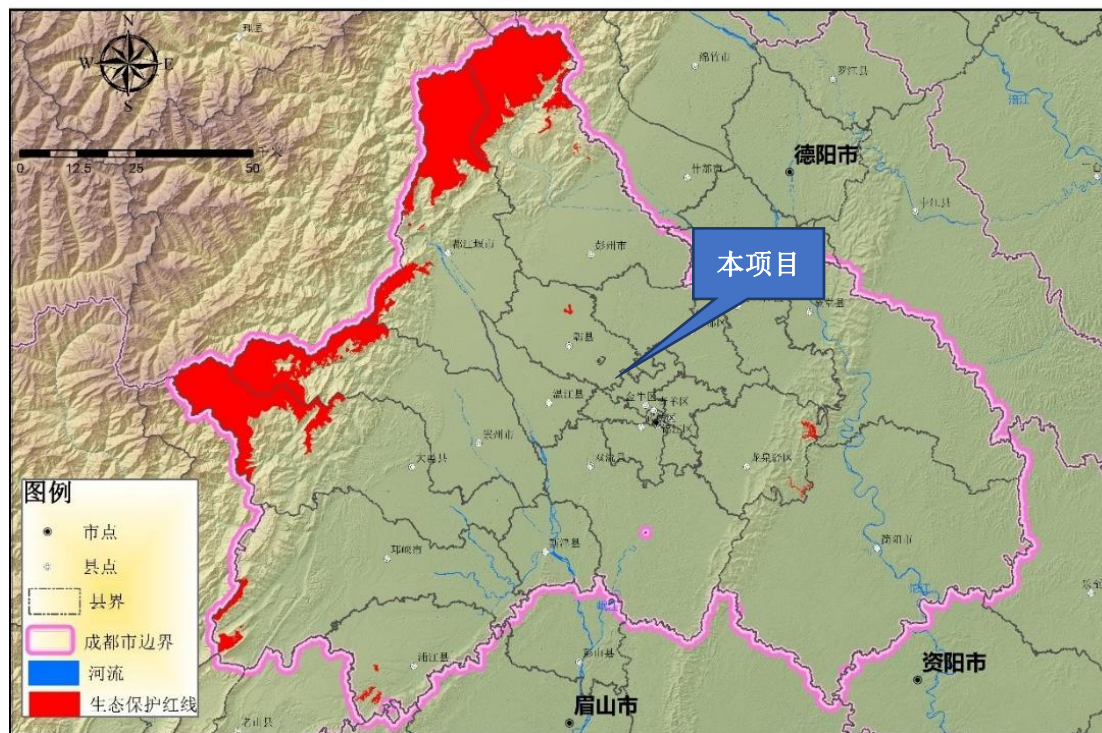


图 1.2-4 本项目与成都市生态保护红线分布位置关系

(3) 与成都市要素重点管控单元总体生态环境准入清单符合性分析

本项目与成都市要素重点管控单元总体生态环境准入清单的符合性分析如下。

表 1.2-4 本项目与成都市要素重点管控单元总体生态环境管控要求的符合分析表

管控类型		普适性管控要求	本项目	符合性
维度	清单编制要求			
空间布局约束	禁止开发建设活动的要求	(1) 新建工业项目应在二级工业区块控制线（或经认定近期可以保留的零散工业用地）范围内建设且符合国土空间规划管控要求，不宜引入环境影响程度较大、环境风险较高的工业项目，原则上废水须纳入集中式污水处理设施，严格控制环境风险。 (2) 涉及基本农田的区域，执行优先保护单元中“永久基本农田”管控要求。 (3) 全面停止小型水电项目开发，已建成的中小型水电站不再扩容。 (4) 禁止在本市规划已确定的通风廊道区域内新建、改建、扩建排放大气污染物的工业项目。 (5) 严控协调管控区内主要大气污染物排放强度和总量，建设项目主要大气污染物总量替代来源原则上优先考虑通风廊道内排污单位。 (6) 禁止违法将污染环境、破坏生态的产业、企业向农村转移。禁止违法将城镇垃圾、工业固体废物、未经达标处理的城镇污水等向农业农村转移。 (7) 严格环境准入，优化涉重金属产业结构和布局，推进位于环境敏感区和城市建成区环境风险高的大中型重点行业企业搬迁改造。	1、本项目为改扩建项目，在原有场地上进行建设，为科研用地性质，不涉及基本农田区域； 2、本项目装置属于DT 聚变实验装置，不属于生产性、工业类项目、不涉及重金属； 3、本项目运行过程中不产生和排放颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物等大气污染物； 4、项目位于城市建成区，有完善的市政基础设施，运行期间产生的工业固体废物、生活垃圾及生活污水等能够依托市政基础设施得到有效处理。	符合
	限制开发建设活动的要求	(1) 位于二级工业区块控制线范围内的现有工业企业，实施改、扩建项目新增主要大气污染物排放总量原则上在所在管控单元内调剂解决，严格控制环境风险； (2) 位于一级、二级工业区块控制线范围外的现有工业企业，经认定近期可保留的，实施改、扩建项目（经市级相关部门认定为成都市重大民生保障项目的除外）不得新增污染物种类及排放总量，环境风险水平只降不增，引导企业尽早搬迁入园； (3) 大气环境布局敏感重点管控区、大气环境弱扩散重点管控区：应谨慎布局垃圾发电、危废焚烧等以大气污染为主的企业。	本项目为改扩建项目，在原有场地上进行建设，为科研用地性质，项目运行过程中不产生和排放颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物等大气污染物。	符合

	不符合空间布局要求活动的退出要求	(1) 依法关闭或搬迁禁养区内的畜禽养殖场，畜禽养殖项目选址满足《畜禽规模养殖污染防治条例》、《畜禽养殖业污染防治技术规范》等相关要求。 (2) 针对现有水泥企业，强化污染治理和污染物减排，依法依规整治。	本项目不涉及。	符合
污 染 物 排 放 管 控	现有源提标升级改造	(1) 岷、沱江流域现有处理规模大于1000吨/日的城镇生活污水处理厂，以及存栏量≥300头猪、粪污经处理后向环境排放的畜禽养殖场，应执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51/2311-2016)相关要求。 (2) 推进钢铁、水泥、玻璃、砖瓦等重点行业企业超低排放改造和深度治理。推进燃煤锅炉超低排放改造和燃气锅炉低氮燃烧改造。 (3) 砖瓦行业实施脱硫、除尘升级改造，污染物排放达到《砖瓦工业大气污染物排放标准》相关要求。 (4) 持续推进在用锅炉提标改造，执行《成都市锅炉大气污染物排放标准》(DB51/2672-2020)要求。 (5) 大气环境布局敏感重点管控区、大气环境弱扩散重点管控区:加快推进重点企业VOCs深度治理，加快重点行业企业环保绩效等级提升，现有实施改、扩建应编制环境影响报告书(表)的涉气重点行业工业项目，在项目环评时鼓励满足《重污染天气应急减排措施制定技术指南(2020修订版)》中绩效分级A级(B级)或引领性企业对原辅材料、污染物排放水平、污染治理技术等方面的要求。	本项目不涉及。	符合
	新增源等量或倍量替代	(1) 上一年度水环境质量未完成目标的，相关污染物应按照建设项目所需替代的主要污染物排放总量指标2倍削减替代；上一年度空气质量年平均浓度不达标的，主要污染物应按照建设项目所需替代的主要污染物排放总量指标2倍削减替代(燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值的除外)。地方有更严格倍量替代要求的，按照相关规定执行。 (2) 到2025年，全市涉重金属重点行业重点重金属污染物排放量比2020年下降5.5%。新、改、扩建重点行业建设项目应遵循重点重金属污染物排放遵循“等量替代”原则。按国家规定，建设单位在提交环境影响评价文件时应明确重点重金属污染物排放总量及来源，无明确具体总量来源的，各级生态环境部门不得批准相关环境影响评价文件。	本项目不涉及。	符合

	新增源 排放标准 限值	(1) 岷江、沱江流域新建处理规模大于1000吨/日的城镇生活污水处理厂，以及存栏量≥300头猪、粪污经处理后向环境排放的畜禽养殖场，应执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51/2311-2016)相关要求；其他城镇结合生活污水主要污染物排放量和受纳水体环境容量等实际情况，合理确定排放标准。处理规模在500m³/d（不含）以下的农村生活污水处理设施，按《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》(DB51/2626-2019)执行。 (2) 从严标准执行。全域执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51/2311-2016)及《成都市锅炉大气污染物排放标准》(DB51/2672-2020)；全域执行大气污染物特别排放限值；全域落实挥发性有机物无组织排放控制标准中的特别控制要求。 (3) 水环境农业污染重点管控区：推进养殖业畜禽粪污资源化利用，到2025年，畜禽粪污综合利用率达到90%以上，规模养殖场粪污处理设施装备配套率稳定在97%以上，规模养殖场畜禽粪污资源化利用台账覆盖率达到100%。畜禽粪污处理应满足《关于进一步明确畜禽粪污还田利用要求强化养殖污染监管的通知》(农办牧[2022]23号)相关要求。 (4) 水环境农业污染重点管控区：持续深化农业面源污染治理，持续推进化肥减量增效，化肥农药使用量保持零增长，提高农业资源、投入品利用效率和废弃物回收利用水平。2025年，化肥、农药使用量持续保持零增长，化肥利用率达到43%以上，废旧农膜回收率达到85%以上，水产健康养殖示范比重达到68%以上，主要农作物测土配方施肥技术覆盖率稳定在90%以上，主要农作物绿色防控覆盖率达到55%以上。 (5) 大气环境布局敏感重点管控区、大气环境弱扩散重点管控区：强化挥发性有机物整治。扎实推进现有机械设备制造、家具制造等重点行业挥发性有机物治理，大力推进低（无）VOCs含量原辅材料替代，确保全面达标；全面推广汽修行业使用低挥发性涂料，采用高效涂装工艺，完善有机废气收集和处理系统，取缔露天和敞开式汽修喷涂作业。 (6) 大气环境布局敏感重点管控区、大气环境弱扩散重点管控区：严格执行《关于实施第六阶段机动车排放标准的通告》及《四川省机动车和非道路移动机械排气污染防治办法》。全面实施重型柴油车国六排放标准。加强油品的监督管理，按照国家、省要求全面供应国六标准的车用汽柴油，严厉打击生	本项目不涉及。	符合
--	-------------------	--	---------	----

环境 风险 管控	企业环境 风险防 控要求	水环境农业污染重点管控区：严格污染地块准入管理，按《四川省污染地块土壤环境管理办法》要求对污染地块、疑似污染地块，依法开展建设用地土壤污染状况调查和风险评估，禁止未达到土壤污染风险管控、修复目标的地块开工建设任何与风险管控、修复无关的项目。	本项目不涉及。	符合
	用地环境 风险防 控要求	（1）水环境农业污染重点管控区：严禁将城镇生活垃圾、污泥、工业废物直接用作肥料，鼓励将处理达标后的污泥用于园林绿化；禁止在农用地排放、倾倒、使用污泥、清淤底泥、尾矿（渣）等可能对土壤造成污染的固体废物。 （2）农用地优先保护区：排放污染物的企业事业单位和其他生产经营者应当采取有效措施，确保废水、废气排放和固体废物处理、处置符合国家有关规定要求，强化土壤环境污染治理及风险和其他生产经营者应当采取有效措施，确保废水、废气排放和固体废物处理、处置符合国家有关规定要求，强化土壤环境污染治理及风险管控，防止对周边农用地土壤造成污染。	本项目不涉及。	符合
资源 利用 效率	水资源 利用要求	水环境农业污染重点管控区：到2025 年，灌溉水有效利用系数达到0.57；到2035年，灌溉水有效利用系数达到0.6。	本项目不涉及。	符合
	能源利 用效率 要求	禁止新建、改建（已有锅炉配套治理设施升级改造除外）、扩建燃煤、生物质锅炉（含成型生物质锅炉）。	本项目使用电能和天然气，不销售、燃用高污染燃料，不涉及燃用高污染设备。	符合
	禁燃区 要求	在禁燃区内，禁止销售、燃用高污染燃料；禁止新建、扩建燃用高污染燃料的设施，已建成的，应当在城市人民政府规定的期限内改用天然气、页岩气、液化石油气、电或其他清洁能源。		符合

由上表分析，本项目建设符合成都市要素重点管控单元总体生态环境管控要求。

（4）与区域生态环境准入清单的符合性分析

本项目位于双流区，属于4大区域中的“重点联防联控区”（重点联防联控区范围为：包括四川天府新区直管区、龙泉驿区、双流区、新津区、青白江区、新都区、金堂县（除淮州新城外））。本项目与“重点联防联控区”的总体的管控要求符合性分析如下。

表 1.2-5 本项目与重点联防联控区区域总体生态环境管控要求符合性分析表

区域	管控要求	本项目	符合性
重点 联防	1.以整改提升、优化产业结构为主基调，现代物流业以铁路运输为主，逐步降低公路运	1、本项目是 DT 聚变实验装置，属于《产业结构调整指	符合

区域	管控要求	本项目	符合性
联控区	输比例；传统低附加值的小型金属加工业实行“腾笼换鸟”或转型升级。 2.限制污染重、耗能高、技术落后的产业，限制不符合产业定位、达不到环境要求、土地利用低效的项目；建立低端低效产业限期退出机制，严格限制高污染产业、高耗能耗水产业等引入。 3.大力推进低（无）挥发性有机物（VOCs）含量原辅材料替代，推广使用低（无）挥发性有机物含量的原辅材料。限制新、改、扩建高挥发性有机物（VOCs）含量有机溶剂型涂料、油墨和胶粘剂的生产项目。 4.加强与四川天府新区内眉山青龙、视高的区域协调，强化在轨道交通、节能环保装备、新材料等方面的产业协作。统筹交界地区用地布局，防止城镇粘连发展。 5.持续优化交通运输结构，加快发展多式联运，加大适铁货物“公转铁”运输比例，大宗货物年运量150万吨以上的大型工矿企业、新建物流园区铁路专用线接入比例力争达到85%。 6.先期推动工业涂装、制药、建材（水泥、陶瓷、玻璃和砖瓦窑）、包装印刷、家具制造等行业编制环境影响报告书（表）的工业项目率先试点，在项目环评时鼓励满足《重污染天气应急减排措施制定技术指南（2020修订版）》中绩效分级A级（B级）或引领性企业对原辅材料、污染物排放水平、污染治理技术等方面的要求，并逐步扩大实施行业范围。 7.以龙泉山和沱江为生态骨架，保护并修复河湖水网，构建渗透全域的生态绿楔和网络化生态廊道。涉及龙泉山城市森林公园严格按照《成都市龙泉山城市森林公园保护条例》要求进行保护、管理，城市森林公园的生态核心保护区、生态缓冲区执行优先保护单元管控要求。定期开展长安垃圾填埋场及其产业联防联控区域土壤和地下水跟踪监测，切实推进土壤和地下水环境修复工作。	导目录（2024年本）》，鼓励类第三十一项“科技服务业”第10条中所列项目，不属于污染重、高能耗、技术落后产业，不属于不符合产业定位，达不到环境要求、土地利用低效的项目； 2、本项目运行过程中不产生和排放挥发性有机物等大气污染物。	

由上表分析，本项目建设符合成都市“重点联防联控区”区域生态环境管控要求。

（5）与具体管控单元生态环境准入清单的符合性分析

根据《成都市生态环境准入清单（2024年版）》，本项目属于双流区环境综合管控单元要素重点管控单元，本项目与该环境管控单元的生态环境准入清单的符合性分析如下。

表 1.2-6 本项目与双流区环境综合管控单元要素重点管控单元管控要求符合性分析表

类别	对应管控要求		本项目	符合性
双流区	总体准入要求： （1）位于重点联防联控区，执行重点联防联控区总体管控要求。 （2）推动产业转型升级，淘汰落后产能，加快建设绿色工厂，打造绿色供应链，实现生产低碳化、循环化和集约化发展。 （3）控车减油，构建绿色交通运输体系。重点区域内施工工地全面应用全封闭渣土转运箱、定点专用卸载设备或采用车顶金属封顶的全密闭运渣车，严禁带泥上路。 （4）推广使用低（无）VOCs含量的原辅材料、生产工艺、生产设备；推进电子信息、智能制造等重点行业，以及制鞋、家具、广告印刷等等现有企业VOCs的深度治理。 （5）全力抓好水污染防治。实施严格水资源管理、保证生态用水。 （6）完善土壤风险管控体系。建立土壤污染防治联席会议制度，推进协同治理，探索实施“互联网+”危险废物收集新模式 （7）2025 年大气污染物允许排放量为：SO ₂ 1382 吨、NO _x 8964 吨、VOCs14087 吨、PM _{2.5} 3461 吨。		1、本项目位于重点联防联控区，根据表 1.2-5 分析，符合重点联防联控区的区域的生态环境管控要求； 2、本项目 HL-3 装置属于 DT 聚变实验装置，是科研设备，符合国家的相关产业政策； 3、在施工场地出口放置防尘垫，对运输车辆现场设置洗车场，用水清洗车体和轮胎；自卸车、垃圾运输车等出场时必须封闭；在施工建设中做到规范管理，文明施工，全面落实建设工地现场管理“十必须”、“十不准”执行情况。 4、项目区已建有市政管网，项目非放废水可进入市政污水管网，实现达标排放。 5、本项目正常运行时不涉及 SO ₂ 、NO _x 、VOCs 和 PM _{2.5} 等大气污染物的排放。	符合
双流区要素重点管控单元 (ZH51011620008)	空间布局约束	禁止开发建设活动的要求： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。 限制开发建设活动的要求： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。 不符合空间布局要求活动的退出要求： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。	项目单位不属于建设用地污染风险重点监管企业、风险管控与修复地块企业，同时根据表 1.2-4 的分析，本项目符合要素重点管控单元普适性管控要求。	符合
	污染物排放管控	新增源排放标准限值： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。 新增源等量或倍量替代： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。 现有源提标升级改造： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。 污染物排放绩效水平准入要求：		

类别	对应管控要求		本项目	符合性
		执行要素重点管控单元普适性管控要求。		
	环境风险防控	企业风险防控要求： 1、建设用地污染风险重点监管企业、风险管控与修复地块企业应严格执行《中华人民共和国土壤污染防治法》《<土壤污染防治行动计划>四川省工作方案》《工矿用地土壤环境管理办法（试行）》《四川省污染地块土壤环境管理办法》《关于加强涉重金属行业污染防控的意见》等要求； 2、执行要素重点管控单元普适性管控要求。		
		用地环境风险防控要求： 执行城镇重点管控单元普适性管控要求。		
	资源开发利用效率	水资源利用效率要求： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。		
		能源利用效率要求： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。		
		禁燃区要求： 执行要素重点管控单元普适性管控要求。		

由上表分析，本项目的建设符合成都市双流区环境综合管控单元要素重点管控单元的生态环境管控要求。

综上所述，本项目符合《成都市人民政府关于落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线制定环境准入清单实施生态环境分区管控的通知》（成府发〔2021〕8号）及《成都市生态环境准入清单（2024年版）》中相关要求。

1.2.5 项目所在地周边环境情况

本项目在西物院现有白家院区内进行建设，西物院白家院区位于成都市双流区西航港街道黄荆路5号。厂址周边现状为城市环境，北面临24m宽黄荆路，南面为核聚家苑以及和贵馨城，西面为四川省教育科学研究所及家属区，东面为成都曙光汽车销售服务有限公司、四川中鹏汽车销售服务有限公司以及成都云克药业。

项目所在地具有良好的交通优势，包括机场路、成乐大件路、成雅高速公路等

主要公路干道及成昆铁路干线，还有西南地区最大的国际航空港—双流机场。西物院白家院区距成都市中心 12km，距成都火车东站 14km，距双流机场 8km。西物院北临黄荆路，路宽 24m，交通条件极为便利，可满足本项目的大件设备运输条件。同时，项目所在地已具有完善的给水、排水及通信配套设施。

1.2.6 建设单位核技术利用现状

1.2.6.1 辐射安全许可证的许可种类和范围

西物院持有生态环境部颁发的辐射安全许可证，许可证编号为国环辐证[00472]，有效期至2028年6月30日。许可种类和范围：使用 II、III类射线装置。

西物院已许可使用的 II、III类射线装置共5台（套），见表 1.2-7。

表 1.2-7 许可使用的射线装置

序号	装置名称	型号	类别	装置数量	活动种类	场所	工作区
1	托卡马克主机 2M (即 HL-3)	HL-2M (即 HL-3)	III 类	1	使用	聚变科学所 主机大厅内	白家 院区
2	托卡马克主机	HL-2A	III 类	1	使用		
3	射频四极场加速器 (低能粒子加速器)	自研	II 类	1	使用	RFQ 实验室	
4	EMS-60 电子束材料 试验平台	EMS-60	III 类	1	使用	电子束热负 荷实验室	
5	EMS-400 电子束材料 试验平台	EMS-400	III 类	1	使用	成都双流区 西航港大道 中四段 219 号 ITER 第一 壁车间	黄甲 院区

1.2.6.2 辐射安全许可管理回顾分析

根据《核工业西南物理研究院放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告（2023年度）》，西物院射线装置的辐射安全管理情况如下：

（1）辐射安全许可证有效性

西物院现持有的辐射安全许可证，有效期至2028年6月3日；2023年，西物院 HL-2M装置、EMS-400电子束材料试验平台、EMS-60电子束材料试验平台、射频四极场加速器装置运行并开展了实验，与许可证种类和范围一致。

（2）辐射管理机构

西物院成立放射性同位素与射线装置安全管理领导小组，明确了领导小组成员

构成以及放射性同位素与射线装置安全管理办公室人员构成。西物院放射性同位素与射线装置安全管理办公室设在院安全质量部。

（3）人员及培训

西物院建立有辐射工作人员辐射安全培训档案，目前有24名辐射工作人员，其中22名辐射工作人员在2021年1月21日至22日参加了生态环境部核与辐射安全中心组织的辐射安全培训，并取得了培训证书，计划在2026年1月前参加复训；剩余2名辐射工作人员分别在2022年11月17日至18日、2023年1月7日至8日进行了辐射安全培训，并取得了培训证书，分别计划在2027年11月前、2028年1月前参加复训。

（4）射线装置台账

西物院建立有射线装置台账，当射线装置发生变动时，及时更新台账。

（5）辐射防护设施及监测设备

西物院在各核技术利用项目工作场所均按相关的技术规范设置了辐射安全和防护措施，并运行良好。使用的辐射监测仪器定期送检，互锁、监控设备在设备运行期间进行检修，故障后及时停机维修。

（6）辐射安全规章制度

西物院已建立有辐射安全规章制度，针对每一项核技术应用活动，均制定了操作规程和岗位职责等。2023 年度对《核工业西南物理研究院建设项目安全、环保、职业卫生“三同时”管理办法》、《核工业西南物理研究院环境保护管理办法》、《核工业西南物理研究院化学品管理办法》进行了修订；《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》、《辐射事故应急响应程序》等相关制度，在各个辐射工作场所均已上墙。

（7）个人剂量管理

西物院建立有辐射工作人员个人剂量档案，个人剂量每季度检测一次，检测结果存入个人剂量档案。根据西物院外委中国辐射防护研究院放射诊疗质控与防护检测中心的检查结果，2023 年第三季度辐射工作人员的个人剂量检测值多为未检出，其中 2 人检出结果分别为 0.02mSv 和 0.03mSv，满足国家标准及管理限值要求。

（8）辐射工作场所及周围环境辐射监测

西物院每年委托有资质单位对辐射工作场所和周围环境开展年度监测一次。2023 年，仅 HL-2M 装置及配套系统运行时，辐射工作场所及周围环境各监测点位 X-γ辐射剂量率为 0.11~0.19μSv/h；仅 EMS-60 电子束材料试验平台正常运行时，辐

射工作场所及周围环境各监测点位 X- γ 辐射剂量率为 0.16~0.23 μ Sv/h; 仅射频四极场加速器正常运行时, 辐射工作场所及周围环境各监测点位 X- γ 辐射剂量率为 0.11~0.13 μ Sv/h; 仅 EMS-400 电子束材料试验平台正常运行时, 辐射工作场所及周围环境各监测点位 X- γ 辐射剂量率为 0.092~0.147 μ Sv/h。结果均满足国家标准要求。

西物院于 2024 年 1 月 31 日向生态环境部提交了《核工业西南物理研究院放射性同位素与射线装置安全和防护状况评估报告(2023 年度)》。

(9) 辐射事故

西物院建立了辐射事故应急组织机构, 任命专兼职辐射应急救援人员, 制定并发布《核工业西南物理研究院辐射事故专项应急预案》和辐射工作场所现场处置方案, 年初发布本年度应急演练计划和培训计划, 制定应急演练方案, 每年至少开展 2 次辐射应急演练。近年辐射事故应急演练评估显示, 应急组织机构体系、应急预案体系对现有装置运行是适用的、有效的。

1.2.7 与本项目相关的原有工程情况

1.2.7.1 环评、建设及验收情况

中国环流器二号 A (HL-2A) 实验装置建设项目是由原国家计委批准立项的国家大科学工程, 1996 年, 中国核动力研究设计院编制了《中国环流器二号 A (HL-2A) 实验装置环境影响报告书(可行性研究阶段)》, 该报告书于 1997 年 6 月经原国家环保总局(现为生态环境部)以“环监〔1997〕362 号”行文批复; HL-2A 装置于 1999 年 4 月开工建设, 于 2002 年 11 月完成所有系统的安装和调试, 开始实验, 并于 2002 年 11 月通过了原国家环保总局(现为生态环境部)组织的竣工环境保护验收。

2009 年, 西物院中国环流器二号 A (HL-2A) 装置改造与升级建设项目在国防科工局立项, 2009 年 11 月, 西物院委托中国工程物理研究院编制了《中国环流器二号 A (HL-2A) 装置改造与升级建设项目环境影响报告书》, 该报告书于 2009 年 12 月经原四川省环境保护局(现为四川省生态环境厅)以“川环审批〔2009〕777 号”行文批复。由于项目在实施过程中部分内容调整, 由原方案中的改造 HL-2A 装置环向场线圈变更为新建中国环流器二号 M 装置(简称 HL-2M 装置), HL-2M 装置主机基础位置由原有主机大厅自东向西平移 18m, 配套的系统也相应平移, 对中性束加热、中性粒子诊断、电子回旋共振加热等系统的设备进行了调整。针对调整建设内容, 2012 年 2 月, 西物院委托四川同汇行科技有限公司编制了《HL-2A 装置改造与升

级项目主机基础平移补充环评分析报告》，2012年3月，四川省环境保护厅以“川环建函〔2012〕43号”对中国环流器二号A（HL-2A）装置改造与升级项目部分内容调整进行批复；2020年12月，建设单位对该项目进行了竣工环境保护验收。

2023年9月，根据《关于规范中国环流三号装置中英文名称的通知》（西物办发〔2023〕8号），“中国环流器二号M”更名为“中国环流三号”，原英文简写 HL-2M 变更为 HL-3。

表 1.2-8 现有工程环评及验收情况一览表

序号	项目名称	审批单位	批准文号	验收情况及文号
1	中国环流器二号 A（HL-2A）实验装置建设项目	原国家环保总局（现为生态环境部）	环监〔1997〕362 号	已验收
2	中国环流器二号 A（HL-2A）装置改造与升级建设项目	四川省环境保护局（现四川省生态环境厅）	川环审批〔2009〕777 号	已验收
3	HL-2A 装置改造与升级项目主机基础平移	四川省环境保护厅	川环建函〔2012〕43 号	

1.2.7.2 现有工程组成

目前，西物院白家院区总用地面积 59277.3m²，总建筑面积 56195.55m²，工作区以院区主干道为分界分为东侧为科研区、西侧为辅助办公区。科研区已建工程实验控制中心楼、主机大厅、动力厂房、电机厅、整流厅、变配电站、水泵房、主机线圈绕制厂房等；辅助办公区已建科技信息中心楼、聚变工程技术研发楼、食堂、库房、科研办公楼等。主机大厅内设置有 HL-3 磁约束聚变实验装置。白家院区现有建筑、现有装置组成分别见表 1.2-9、表 1.2-10。

表 1.2-9 白家院区工作区现有建筑物一览表

序号	名称	占地面积（m ² ）	建筑面积（m ² ）	层数
1	主机大厅（1A）	1919.7	3350	1 层(局部钢平台)
2	工程实验控制中心楼（1B）	1560.5	6731.76	5 层
3	动力厂房（1C）	1123.88	2813.6	2 层（局部 3 层）
4	电机厅（1D）	1439.3	3680.4	2 层
5	整流厅（1E）	1318.2	2866.55	2 层
6	变配电站	858.7	858.7	1 层
7	水泵房及扩建	350	216	1 层（地下 1 层）
8	食堂（现为材料实验室）	576	978.27	1 层
9	库房（现为食堂）	1212	1348	1 层

序号	名称	占地面积 (m ²)	建筑面积 (m ²)	层数
10	科研办公楼	334.8	902.62	3 层
11	聚变工程关键技术研发实验楼	1575.6	5592.1	4 层
12	科技信息楼	1747.23	6559.11	4 层, 局部 5 层
13	门卫及值班警卫室	182.94	182.94	1 层
14	主机线圈绕制厂房	1404.5	1404.5	1 层
15	职工家属楼	2673	18711	7 层
合计		18276.35	56195.55	

表 1.2-10 现有项目装置组成 (HL-3)

类别	名称			规模
主体工程	装置主机	磁体系统	环向场（TF）线圈	20 饼 D 形线圈
			极向场（PF）线圈	PF1-8 线圈 ， 共 16 组
			中心螺线管(CS) 线圈	1 组
			磁体引线	19 组
		支撑系统		1 套（重力支撑结构、环向场线圈防倾覆支撑结构、极向场线圈支撑结构（含真空室支撑））
		真空室		双层 Inconel 625 真空室+保温层（无碱玻璃纤维复合材料）
		真空抽气系统		4 台低温泵+8 台分子泵+6 台旋片泵
		偏滤器系统		下偏滤器（CFC+Inconel625+铜合金）
		第一壁系统		石墨+316L
		低温泵		真空室内环形低温泵
		加料系统		超声分子束送气系统 6 路、普通送气系统 10 路、弹丸系统 1 路
		壁处理系统		辉光电极（高压）及辉光送气（氖气、氦气、氢气、氖硅烷）（2 路）
	诊断系统			光、磁、微波、机械诊断等诊断系统
	控制系统			放电管理、中控逻辑控制、数据采集、时序控制及 PCS 系统等
	辅助加热系统	中性束注入系统		5MW（1 套， 80 keV）
		电子回旋共振加热系统		5MW（1 套， 105GHz）
		低杂波电流驱动系统		2MW（1 套， 3.7GHz）
	辅助系统	供电系统	储能系统	三套交流脉冲发电机组（1#、2#，储能各 80MVA；4#机 300MVA 储能， 额定释放 2000MJ）
			磁体电源	1 套 TF 电源、1 套 CS 电源、16 套 PF 电源、1 套快控电源
			高压电源	4 套中性束高压电源： 电压等级 80kV

类别	名称			规模
				5 套电子回旋高压电源：电压等级 80kV 2 套低杂波高压电源：1 套电压等级 80kV、1 套电压等级 70kV
		水冷系统		线圈水冷系统、真空室水冷系统、下偏滤器水冷系统，辅助加热系统水冷系统，去离子制备系统（5m³/h）等
		低温系统		650W/4.5K 氦低温制冷系统和 500L 液氮杜瓦
		烘烤系统		热氮气烘烤系统
公用工程	供水	由市政管网接入。		
	供电	由市政电网引入供给。		
办公生活	科技信息中心、食堂、值班室等。			
环保设施	生活垃圾暂存、若干垃圾桶。			
	电磁防护措施	装置主机、电源系统、加热系统等接地；设备自身的金属屏蔽；使用强屏蔽作用的波导管等。		
	电离辐射防护设施	工作状态指示灯、紧急开门按钮、紧急停机按钮和声光报警装置、清场巡查按钮等；安全连锁；视频监控系统、门禁系统、广播系统；监测设备。		

1.2.7.3 装置运行工况

主机大厅原有 HL-2A 和 HL-3 装置，两台装置不同时运行，运行方式有两种，分别是充氢运行和充氘氢运行，年运行时间为 70d，每天工作 8h，每天放电 40 次，年计放电 2800 次。充氢运行占总运行次数 85%，充氘氢运行占总运行次数的 15%。

1.2.7.4 装置工艺流程

实验流程主要包括真空运行流程、电气运行流程、循环水流程和等离子体放电流程等四个流程，具体如下：

（1）真空运行流程

真空运行时间是数月（HL-3装置一般真空的运行时每轮实验2-3月，1年开展1-2轮物理实验），贯穿每轮实验的始终，每轮实验的时间内真空泵组不间断的运行。目的是通过涡轮分子泵配前级机械泵，将真空室里的中性气体抽出，其主真空室的中性粒子压强达到 10^{-5} ~ 10^{-6} Pa的量级，提供等离子体运行的洁净环境。

在开展下一步以前，需要实施真空检漏，托卡马克真空室是一个超高真空的大型真空容器，要达到所需真空条件，必须保证与真空室以及真空室相连接的部件的真空密封性能，所以实施真空检漏。如果有泄漏，则需要进行处理，甚至停止真空运行直到问题得到解决。

真空抽气设备并不能有效排除真空室内壁上驻留的中性气体，例如水，所以需要真空室实施烘烤。在开展每一轮实验前，真空度基本达到 $10^{-5}\sim 10^{-6}\text{Pa}$ 的要求后，对真空室实施加热。在HL-3装置上是在不锈钢的真空壁上焊接不锈钢管道，不锈钢管道通以 120°C 的热水，通过热传导烘烤真空室。真空烘烤每轮实验只开展一次，每年1-2次。

即使使用上述两种措施，也还要对真空室和真空室内部件实施辉光放电清洗。其原理是在真空室内稳态送入纯净的氦气、氢气或这两种气体的混合气体，使中性粒子压强一般为 $10^{-1}\sim 10^{-3}\text{Pa}$ ，这时使用伸入真空室内的电极施加1000V的电压击穿气体，装置的真空室作为另一电极，产生稳定辉光，电极间的电压和电流之积产生电功率，在HL-3装置上一般稳定运行的功率约 $500\text{V}\times 2\text{A}$ 左右。电功率作为清洗功率，达到清洗真空室内杂质的目的。辉光放电清洗是常规措施，根据装置等离子体放电中所测量得到的杂质情况，每天开展大约2小时的辉光放电清洗，可以1次或者多次。

（2）电气运行流程

托卡马克装置等离子体放电的电功率需求非常大，而等离子体放电是脉冲式的，这样大的电能需求不可能从电网获取，所以国际托卡马克装置都采用交流脉冲发电机组，将电能较缓慢存储在电动机的转子上成为机械能，然后在等离子体放电时通过发电机将转子上的机械能转化为电能输出，改造升级前的HL-3装置3台交流脉冲发电机组一次能量释放最大可以达到1.2GJ。

所以在每轮实验期间，每天上班开始启动电机，等到转速达到额定值，即满足实验条件。每次等离子体放电结束后，由于机械能转化为电能，电动机的转子的转速降低，通过拖动电机再将飞轮的转速提高到额定值，然后转速停留在额定转速上，等待下次放电。飞轮的转速从低速加速到高速，一般大约需要10min，这是限制等离子体放电频率的因素之一。

（3）循环水流程

在装置真空室烘烤时，使用过热水对真空室进行烘烤，实际上为防止热应力过大、膨胀速率过快，需要杜绝温升过快的情况发生，在加热过程中逐渐提高循环水的温度，这个过程需要3天时间，然后水温维持在 120°C 大约1周时间，然后再缓慢降低水的温度到室温，也需要大约3天时间。

等离子体放电结束后，由于放电过程中线圈电流密度较大，产生较大焦耳热，使线圈的温升较大，这时逐渐在线圈的循环冷却回路中加入常温水，达到冷却线圈

的目的，这个过程要求的时间较长，成为限制等离子体放电频率的主要原因之一。为防止水中杂质在水回路的沉淀，堵塞回路造成装置部件的损坏，专门配置纯净水制备设备，产生纯净水（去离子水）。烘烤和冷却均使用纯净水。

（4）等离子体放电流程

等离子体放电，就是产生等离子体、加热等离子、控制等离子体的过程。

1.2.7.5 污染物治理及排放

1.2.7.5.1 电离辐射

（1）X 射线产生及治理情况

真空室内高纯度的氢气（或氘气）在高温下电离成电子和氢核（或氘核），形成等离子体。实验过程中，等离子体中逃逸出来的电子或氢核（或氘核）与管壁靶物质发生碰撞（或轰击），产生X射线，X射线最大能量为1MeV。

防护措施主要包括：

- ① 主机大厅屏蔽措施：主机大厅四面墙体为80cm厚的混凝土墙，HL-3大厅主机屋顶为12cm厚混凝土+35cm厚木质屋面，HL-2A主机大厅屋面为50cm厚的混凝土板，设有3道屏蔽门，屏蔽门均为3×60mm铁+2×100mm聚乙烯。
- ② 凡与主机大厅相通的人行道、电缆沟、通风管孔道、冷却水管孔道等，皆采用迷宫通过形式，并在人行道进口加设包铅皮的门，门上设置联锁装置、人员进口的打卡机和开机前的示警铃等辅助安全措施；
- ③ 主机周围设置可移动式铅屏风，铅皮厚度为1cm；
- ④ 设置了多重的保护联锁、声光示警和安全制动及逃离按钮等设施；
- ⑤ 管理措施：必须按照事先制订的实验计划进行运行，年累积中子产额应不超过 10^{15}n/a ；可能超过剂量管理限值的实验须提出申请，经主管部门批准后方可投入运行。

（2）验收监测

根据四川省科学城环境安全职业卫生检测与评价中心于2020年12月编制的《中国环流器二号A（HL-2A）装置改造升级建设项目竣工环境保护验收监测报告》，HL-2M装置开机放电期间，对工作场所和环境进行了X- γ 辐射剂量率、中子剂量率进行了监测，监测结果及分析评价如下：

① X- γ 辐射剂量率

验收监测结果显示, 2020-10-19日至2020-11-25日, HL-2M装置累积放炮674次, 主机及其周边相关点位累积剂量在0.085~0.160mSv之间, 与伴随本底的累积剂量监测结果0.135mSv无显著差异, 处于本底水平。

HL-2M装置未开机运行期间, 主机大厅外的工作场所各监测点位的X- γ 辐射剂量率在62.1~86.6nSv/h之间, 开机运行时各监测点位的X- γ 辐射剂量率在67.4~111.7nSv/h之间。装置运行与未运行状态下, 各监测点X- γ 辐射剂量水平无显著差异。

② 中子剂量率

验收监测结果显示, HL-2M装置开机运行前后, 主机大厅内、外各监测点位的中子剂量率均未检出, 低于检出限。该装置运行状态下, 各监测点位中子辐射剂量水平处于环境本底水平范围。

1.2.7.5.2 电磁辐射

(1) 电磁辐射的产生、治理及排放情况

实验过程中电子回旋共振加热系统、低杂波电流驱动系统等辅助加热系统设备、脉冲发电机组等高压电源设备和励磁系统设备运行过程中将产生电磁辐射。

对电磁辐射防护措施主要如下:

- ① 充分利用设备自身的屏蔽作用;
- ② 设备安装后, 严格检查了部件接口处有无泄漏现象, 直至到无泄漏为止;
- ③ 在设备部件接口可能发生电磁波泄漏处增加有一段金属套管或金属网;
- ④ 产生电磁波的主要设备均安装在主机大厅内, 使电磁辐射受到混凝土墙体的屏蔽。同时, 为防止电磁辐射对环境的影响, 使用强屏蔽作用的波导管和在大厅设置移动式金属丝网屏风;

⑤ 电子回旋共振加热系统回旋管只有一个输出窗口, 微波从回旋管产生后经过输出窗口进入传输线。回旋管与传输线之间采用无缝连接, 没有微波泄漏;

⑥ 对微波频段的防护: 微波辐射方向性强, 电磁辐射强度随距离增大衰减很快, 同时, 微波在波导管内传输, 泄漏仅发生在波导管的接口处。安装时对接口的密封性进行严格检查, 保证无泄漏现象, 并有波导管保证屏蔽所有电磁辐射不会影响周围环境。

(2) 监测结果

根据四川省科学城环境安全职业卫生检测与评价中心于2020年12月编制的《中国环流器二号A（HL-2A）装置改造升级建设项目竣工环境保护验收监测报告》，HL-2M装置开机放电期间，厂区及周围环境各监测点位电场强度在0.43~2.53V/m之间，磁场强度在0.001~0.006A/m之间，功率密度在0.0004~0.0153W/m²之间。满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中限值要求。

1.2.7.5.3 非放射性污染物治理及排放

（1）大气污染物

装置运行过程中不产生非放射性废气，工作厂区产生的非放射性污染物主要为食堂产生的油烟废气，食堂油烟废气经采用油烟净化器处理达到《饮食业油烟排放标准（试行）》（GB18483-2001）最高允许排放浓度限值要求，经专用排烟道引至楼顶排放。

（2）废水

去离子制备系统产生的浓水和冷却系统少量循环冷却水排水直接排入市政污水管网，经市政污水管网排入双流区航空港污水处理厂处理达标后排入江安河。

工作区食堂产生的餐饮废水经隔油池隔油处理，各办公场所产生的生活污水经化粪池处理后，排入市政污水管网，经市政污水管网排入双流区航空港污水处理厂处理达到标后排入江安河。

（3）噪声

装置运行过程中交流脉冲发电机、离心通风机、压缩机、通风机和离心泵等设备运行时将产生噪声。采取的噪声防治措施主要如下：

设备安装底座减震器；交流脉冲发电机设备基础与主体建筑完成脱离，设备基础为大型钢筋砼整体浇注基础，基础埋深为-4.5m，基础顶面高度为5.4m。电机厅采用370mm厚砖围护墙内附吸声材料，里面尽量不开窗，门采用隔声门；设备工作场所设置局部隔声罩，吸声顶棚和吸声墙体；适当减少门窗面积，并采用双层结构；厂区多植高大乔木树。

根据四川省辐射环境管理监测中心站于2024年10月对项目周边进行的噪声现状监测，本项目所在区域厂界四周及敏感点的昼间噪声值在46~58dB(A)，夜间噪声值在43~54dB(A)，满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）和《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的噪声标准要求。

(4) 危险废物

装置运行过程中产生的固体废物主要来自电机产生的废润滑油、废油及废油桶集中存放于电机大厅固定位置，并由专人管理。定期交由四川省中明环境治理有限公司处理。

各办公场所产生的生活垃圾经收集后由市政环卫部门统一清运。

1.2.7.5.4 现存的主要环境问题

根据已批复的环评报告、验收监测和例行监测结果，西物院白家工作区现有的装置产生的各类污染物均得到了有效治理和处置，各类污染物排放符合相关标准和管理限值要求。装置试运行和通过验收正式投产至今为止尚未受到任何相关的环境问题投诉。

1.3 编制依据

1.3.1 国家相关法律

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日施行；
- (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行；
- (4) 《中华人民共和国核安全法》，2018 年 1 月 1 日施行；
- (5) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日施行；
- (6) 《中华人民共和国水污染防治法》，2018 年 1 月 1 日施行；
- (7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2022 年 6 月 5 日施行；
- (8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行；
- (9) 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2019 年 1 月 1 日施行。

1.3.2 国家相关行政法规、地方性法规

- (1) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订），国务院令 第 449 号，2019 年 3 月 2 日施行；
- (2) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行；
- (3) 《放射性废物安全管理条例》，国务院令 第 612 号，2012 年 3 月 1 日施行；

- (4) 《危险化学品安全管理条例》，国务院令第 645 号，2013 年 12 月 7 日施行；
- (5) 《四川省环境保护条例》，2018 年 1 月 1 日施行；
- (6) 《四川省辐射污染防治条例》，2016 年 6 月 1 日施行；
- (7) 《四川省固体废物污染环境防治条例》，2022 年 9 月 1 日施行；
- (8) 《四川省土壤污染防治条例》，2023 年 7 月 1 日施行；
- (9) 《成都市大气污染防治条例》，2021 年 10 月 1 日施行；
- (10) 《成都市建设工程施工现场管理条例》，2020 年 7 月 31 日施行。

1.3.3 部门规章、规范性文件

- (1) 《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 日实施；
- (2) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订），环境保护部令第 31 号，2021 年 1 月 4 日实施；
- (3) 《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》，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日；
- (4) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），中华人民共和国生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日；
- (5) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展和改革委员会第 7 号令，2024 年 2 月 1 日施行；
- (6) 关于发布《放射性废物分类》的公告，公告 2017 年第 65 号，2018 年 1 月 1 日起施行；
- (7) 《国家危险废物名录》（2025 年版），部令第 36 号，2025 年 1 月 1 日施行；
- (8) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 23 日；
- (9) 《关于聚变装置辐射安全管理有关事项的通知》，环办辐射函〔2025〕128 号，2025 年 4 月 2 日；
- (10) 《四川省打赢蓝天保卫战实施方案》，川府发〔2019〕4 号，2019 年 1 月 17 日；
- (11) 《四川省噪声污染防治行动计划实施方案（2023~2025 年）》，川环发

〔2023〕9号，2023年5月6日施行；

(12) 《四川省危险废物“点对点”定向利用豁免管理试点实施方案》，2022年10月5日施行；

(13) 《深入打好土壤污染整治攻坚战实施方案》，川环发〔2023〕12号，2023年6月9日施行。

1.3.4 技术规范和标准

(1) 《辐射环境保护管理导则·核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；

(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；

(3) 《开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范》（EJ380-1989）；

(4) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；

(5) 《辐射环境保护管理导则 电磁辐射环境影响评价方法与标准》（HJ/T10.3-1996）；

(6) 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；

(7) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；

(8) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；

(9) 《生态环境部—磁约束聚变实验装置监督检查技术程序》；

(10) 《生态环境部—甲级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》；

(11) 《建设项目环境影响评价技术导则·总纲》（HJ2.1-2016）；

(12) 《环境影响评价技术导则·大气环境》（HJ2.2-2018）；

(13) 《环境影响评价技术导则·地表水环境》（HJ2.3-2018）；

(14) 《环境影响评价技术导则·声环境》（HJ2.4-2021）；

(15) 《环境影响评价技术导则·土壤环境（试行）》（HJ964-2018）；

(16) 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）；

(17) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；

(18) 《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）；

(19) 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；

(20) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；

(21) 《饮食业油烟排放标准（试行）》（GB18483-2001）；

- (22) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；
- (23) 《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962-2015）；
- (24) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- (25) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- (26) 《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；
- (27) 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）；
- (28) 《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》（川环函〔2016〕）；
- (29) 《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）。

1.3.5 与项目有关的文件、资料

(1) 中国核工业集团有限公司《关于批准“中国环流三号实验研究”项目立项的通知》，中国核工业集团有限公司，中核科发〔2024〕161号，2024年4月；

(2) 四川省固定资产投资项目备案表（川投资备〔2407-510122-04-01-93372〕FGQB-0416号）；

(3) 《中国环流三号实验研究项目建议书》，核工业西南物理研究院、中核第四研究设计工程有限公司，2023年12月；

(4) 《核工业西南物理研究院火炬工程可行性研究报告》，中国核电工程有限公司，2024年1月；

(5) 《火炬工程300MVA/3000MJ超容脉冲供电项目可行性研究报告》，中核第七研究设计院有限公司，2024年12月；

(6) 《火炬工程科研保障综合楼、预装车间及加热辅助车间项目可行性研究报告》，中核第四研究设计工程有限公司，2024年12月；

(7) 《中国环流器二号A(HL-2A)装置改造与升级建设项目环境影响报告书》，核工业西南物理研究院，2009年12月；

(8) 《HL-2A装置改造与升级项目主机基础平移补充环评分析报告》，四川同汇科技有限公司，2012年2月；

(9) 《中国环流器二号A(HL-2A)装置改造与升级建设项目竣工环境保护验收监测报告》，四川省科学城环境安全职业卫生检测与评价中心，2020年12月；

(10) 四川省环境保护局《关于核工业西南物理研究院中国环流器二号A(HL-2A)装置改造与升级建设项目环境影响报告书的批复》，四川省环境保护局，

川环审批〔2009〕777号，2009年12月；

(11) 四川省环境保护厅《关于核工业西南物理研究院中国环流器二号A(HL-2A)装置改造与升级项目部分内容调整的批复》，四川省环境保护厅，川环建函〔2012〕43号，2012年3月；

(12) 中国环流器二号A(HL-2A)装置改造与升级建设项目竣工环境保护验收意见，2020年12月；

(13) 《核工业西南物理研究院放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》（2023年度），核工业西南物理研究院，2023年1月；

(14) 环评委托书。

1.4 评价标准

1.4.1 辐射评价标准

1.4.1.1 剂量限值和剂量约束值

(1) 正常工况

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，并结合项目的实际情况，提出了严于国家标准的职业照射和公众照射剂量约束值，本项目正常运行期间对职业人员和公众中任何个人造成的有效剂量的约束值见表 1.4-1。

表 1.4-1 本项目剂量限值和剂量约束值 单位：mSv/a

分类	GB18871-2002 基本限值标准	剂量约束值
职业照射	20	5
公众照射	1	0.1

(2) 事故工况

① 事故工况下的剂量控制值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，结合本项目的实际情况和同类型项目情况，确定本项目事故工况下的剂量控制值为：单次事故工况下，公众的受照剂量控制在 1mSv 以下。

② 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019年修订）第四十条：“根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故

分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。

重大辐射事故，是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故，是指 III 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故，是指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

1.4.1.2 辐射工作场所的放射性表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B 中的工作场所放射性表面污染控制水平，确定本项目工作人员体表、内衣、工作服以及工作场所的设备和地面等的放射性表面污染控制水平，详见表 1.4-2。

表 1.4-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 单位：Bq/cm²

表面类型		涉氟工作场所 β放射性物质
工作台、设备、 墙壁、地面	控制区	4×10^2
	监督区	4×10
工作服、手套、工作鞋	控制区和监督区	4×10
手、皮肤、内衣、工作袜		4

注：根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）氟和氟化水的表面污染控制水平，可为表 B11 中所列数值的 10 倍。

1.4.1.3 辐射工作场所的辐射水平控制值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），结合本项目的特点，正常工况下，HL-3 装置主机 DT 放电期间，主机大厅（1A）和周围的工程试验大楼（1B）、动力厂房（1C）、整流大厅（1E）禁止人员进入。确定本项目 DT 放电期间，辐射工作场所的辐射水平控制值如下：1A 西侧墙体外 30cm 处、1B 北侧墙体外 30cm 处、1C 南侧墙体外 30cm 处、1E 东侧墙体外 30cm 处剂量当量率

不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 。

正常工况下，HL-3 装置主机 DD 放电期间，主机大厅（1A）禁止人员进入。确定本项目 DD 放电期间，辐射工作场所的辐射水平控制值如下：主机大厅（1A）四侧墙体外 30cm 处剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

1.4.1.4 流出物排放限值

（1）气态流出物

本项目主要产生含氙的废气，含氙废气的设计排放量为 7.4TBq/a ，本项目取含氙废气设计排放量作为本项目的气态流出物排放量控制值。

（2）液态流出物

本项目不外排液态流出物，不设置液态流出物控制值。

1.4.2 电磁环境影响评价标准

本项目电磁环境标准执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）表 1 中公众曝露控制限值。

1.4.3 非放射性评价标准

1.4.3.1 环境质量标准

（1）环境空气质量标准

执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

（2）地表水环境质量标准

执行《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III 类标准。

（3）声环境质量标准

本项目厂界临路一侧声环境质量执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 4a 类功能区标准，其余执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类功能区标准，声环境质量标准限值见表 1.4-3。

表 1.4-3 声环境质量标准 单位：dB（A）

声环境功能区类别	等效声级	
	昼间	夜间
2 类	60	50

4a 类	70	55
------	----	----

1.4.3.2 污染物排放标准

(1) 大气污染物排放标准

项目施工期扬尘排放执行《四川省施工场地扬尘排放标准》(DB51/2682-2020)表1中针对成都市的排放限值,见表 1.4-4。

表 1.4-4 四川省施工场地扬尘排放标准

监测项目	区域	施工阶段	监测点排放限值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	监测时间
总悬浮颗粒物(TSP)	成都市	拆除工程/土方工程/土方回填阶段	600	自监测起持续 15 分钟
		其他工程阶段	250	

项目运营期除排放食堂油烟外,不排放其他非放射性废气。食堂油烟排放执行《饮食业油烟排放标准(试行)》(GB18483-2001)中规定的排放浓度限值,见表 1.4-5。

表 1.4-5 饮食业单位的油烟最高允许排放浓度和油烟净化设施最低去除效率

规模	小型	中型	大型
最高允许排放浓度(mg/m^3)	2.0		
净化设施最低去除效率(%)	60	75	85

(2) 水污染物排放标准

本项目运营期产生的非放射性生产、生活污水经预处理池,食堂餐饮废水经隔油池处理后,通过工作区污水管网排入市政污水管网,再经市政污水管网排入双流区航空港污水处理厂,处理达标后排入江安河。本项目运营期非放射性废水不直接排入地表水体,排入市政污水管网时,废水中污染物执行《污水综合排放标准》(GB8978-1996)表 4 中的三级标准和《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T31962-2015)表 1 中 B 等级标准,各污染物排放浓度限值见表 1.4-6。

表 1.4-6 废水污染物排放标准 单位: mg/L , pH 无量纲

污染物名称	标准限值	标准来源
pH	6~9	《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中的三级排放标准
COD	500	
BOD ₅	300	

污染物名称	标准限值	标准来源
SS	400	《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T31962-2015) B 等级标准
动植物油	100	
总磷	8	
NH ₃ -N	45	
总氮	70	

(3) 环境噪声排放标准

① 施工期

项目建设施工期噪声排放执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)规定的排放限值,具体指标见表 1.4-7。

表 1.4-7 建筑施工场界环境噪声排放限值 单位: dB (A)

昼间	夜间
70	55

② 运营期

项目运营期临路侧厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)4类功能区标准,其余厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)2类功能区标准,具体指标见表 1.4-8。

表 1.4-8 厂界环境噪声排放限值 单位: dB (A)

厂界外声环境功能区类别	厂界环境噪声排放限值	
	昼间	夜间
2 类	60	50
4 类	70	55

(4) 固体废弃物

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

1.5 评价范围和保护目标

1.5.1 辐射环境影响评价范围

(1) 电离辐射

本项目装置属于DT聚变实验装置，按照“射线装置+”模式进行监管。根据《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)的要求，“放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，甲级取半径500m的范围”，“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”。

本项目涉及放射性气载流出物，在上述规定的情况下适当扩大电离辐射评价范围，以主机大厅实体屏蔽墙边界外3km范围作为本项目的辐射评价范围。

(2) 电磁辐射

根据《辐射环境保护管理导则·电磁辐射环境影响评价方法与标准》(HJ/T10.3-1996)的要求，工业、科学研究、医疗电磁辐射设备，评价范围为设备中心的 250m 范围内。

本项目 HL-3 装置属于科学研究设备，确定本次电磁辐射环境影响评价范围以 HL-3 装置为中心的 250m 范围。

1.5.2 非放射性环境影响评价等级和评价范围

(1) 大气环境

本项目建成后运行期间无工艺性非放废气产生，不进行大气环境影响评价等级判定，不设置大气环境影响评价范围。

(2) 地表水环境

本项目运营期非放射性生产、生活污水经预处理后，食堂餐饮废水经隔油池处理后，一并排入市政污水管网，进入双流区航空港污水处理厂处理达标后排入江安河。项目为间接排放，根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》(HJ2.3-2018)，本项目地表水环境影响评价等级为三级 B，可不进行地表水环境影响预测，仅对项目废水纳管可行性进行分析。

(3) 声环境

本项目评价区域为《声环境质量标准》（GB3096-2008）规定的 2 类声环境功能区，按照《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）中有关规定，本项目声环境评价等级为二级。声环境影响评价范围为项目厂界周围 200m 范围。

（4）生态环境

本项目为核技术利用类项目，不新增占地，在现有厂区内进行改扩建，不涉及生态敏感区，根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022），本项目可不确定评价等级，直接进行生态影响简单分析。

1.5.3 环境保护目标

根据现场调查，本项目厂址周边现状为城市环境，评价范围内不涉及风景名胜區、饮用水水源保护区、自然保护区等生态敏感目标。

根据本项目确定的评价范围，各环境要素的保护目标如下：

（1）电离辐射环境保护目标

本项目电离辐射环境保护目标为评价范围内（3km）的居民集中居住区、学校、医院、企事业单位等。

（2）电磁辐射环境保护目标

本项目电磁辐射环境保护目标为设备中心 250m 范围内的居民集中居住区、学校、医院、企事业单位等。

（3）非放环境保护目标

本项目声环境保护目标为厂界周围 200m 范围内的医院、学校、机关、科研单位、住宅等。

第二章 自然环境与社会环境状况

2.1 自然环境状况

2.1.1 地形地貌

2.1.1.1 地理位置

成都市位于四川省中部，四川盆地西部，东北与德阳市、东南与内江市毗邻，西南与雅安市、西北与阿坝藏族自治州接壤，南边与乐山市相连，地处东经 102°54′至 104°53′、北纬 30°05′至 31°26′之间，属内陆地带。双流区位于成都市中心城区西南部，地理位置介于东经 103°47′~104°15′，北纬 30°13′~30°40′之间。东与成都市龙泉驿区和简阳市接壤，南同眉山市仁寿县、彭山区相邻，西与新津县、崇州市毗邻，北同温江区、青羊区、武侯区和锦江区相连。

本项目厂址位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路 5 号，成雅高速公路西侧、大件南路东侧，北临黄荆路。厂址西侧为四川省教育科学研究所及家属区、丹秋美亚高级中学以及和航家园南园，厂址南侧为核聚家苑以及和贵馨城，厂址东侧为成都曙光汽车销售服务有限公司、四川中鹏汽车销售服务有限公司以及成都云克药业。

2.1.1.2 地形地貌

项目所在地双流区低山、丘陵、平原、台地等多种地貌兼备，西高东低，地势由东北向西南倾斜。低山丘陵分布锦江以东，面积 629.6km²，占区域总面积的 57.03%，地势较为陡峻，地形切割剧烈；台地分布于黄甲、胜利、公兴、永安、黄龙溪等地区，面积 198.83km²，占总面积的 18.03%，缓丘起伏、微地貌富于变化；平原面积 318.26km²，占 28.86%，分布于区域西部、西北部及江安河、锦江河谷两侧，地势平坦、人口密集、河渠纵横、良田广布。

区域主要山脉有牧马山和龙泉山。前者以牧马山台地为主体，全长 35km，宽约 11km，南延伸入新津县；后者为龙泉山脉之中段，经县境内太平、合江、大林等地，于青岗乡入仁寿境，境内长 30km。该山山势起伏大，地势较为险峻，次生植被保存较好。

2.1.1.3 土壤

双流区的土壤分为水稻土、冲积土、黄壤土、紫色土共 4 个土系（水稻土、紫色土、黄壤、潮土），六个亚系（冲积性水稻土、紫色性水稻土、黄壤性水稻土、紫色土、黄壤土、潮土），21 个土属，44 个土种，123 个变种。其中以水稻土为主，占总耕地面积的 78.62%，分布于全县各乡镇，pH 值在 5.5~8.5 的变幅内，大于 8.5 的微咸性土壤仅占 1.89%，基本适宜水稻、小麦、油菜等作物的生长要求。

2.1.1.4 地质地震

（1）地层岩性

根据《中国环流器二号 A 工程白家基地一期岩土工程勘察报告》（1998 年 4 月），场地位于成都市双流县白家镇土桥村（现双流区西航港街道黄荆路 5 号），场地地形平坦，自然地面北高南低，坡度较小。地貌单元属岷江一级阶地，地貌单一，场地地基土主要由第四系全新统冲积层（ Q_4^{al} ）构成，下覆白垩系（ k_{2g} ）紫红色砂质泥岩，地基土层分布基本均匀。场地土层分布及工程地质特征分述如下：

1）素填土（ Q_4^{ml} ）：灰黄~灰黑色，松散。主要由粘土组成，表面有 0.3~0.5m 的耕土层。该层在场地内普遍分布。层厚 0.30~1.20m。

2）粉质粘土（ Q_4^{al} ）：褐黄色，可塑状态。含少量铁锰质氧化物等，压缩模量 E_s 为 5.0MPa。层厚 0.30~1.60m。地基承载力标准值 $f_k=150kPa$ 。

3）细砂（ Q_4^{al} ）：灰黄~褐黄色，松散，饱和。局部含少量粘性土，压缩模量 E_s 为 5.0MPa。该层呈透镜体分布于卵石层顶板之上。层厚 0.30~0.60m。地基承载力标准值 $f_k=100kPa$ 。

4）中砂（ Q_4^{al} ）：灰~灰黄色，稍密，饱和。主要成份为石英、长石及云母片，含个别卵石。压缩模量 E_s 为 10.0MPa。该层呈透镜体分布于卵石层中，层厚 0.30~2.40m。地基承载力标准值 $f_k=140kPa$ 。

5）圆砾（ Q_4^{al} ）：灰~灰黄色，稍密，饱和。主要由中粗砂及砾石组成，含 20% 的卵石颗粒。压缩模量 E_s 为 15.0MPa。该层呈透镜体状夹于卵石层中，层厚 0.50~2.90m。地基承载力标准值 $f_k=200kPa$ 。

6）卵石（ Q_4^{al} ）：灰黄~杂色，饱和；主要成分为火成岩，粒径一般 3~10cm，最大达 20cm，含约 15~25% 的中粗砂及砾石等。卵石层埋深为 0.90~2.70m。根据 N_{120} 动力触探试验成果，将卵石层按密实度分为三个亚层：

① 卵石 6—1: $N_{120}=3\sim6$ 击, 稍密卵石, 压缩模量 E_s 为 20.0MPa。地基承载力标准值 $f_k=320\text{kPa}$;

② 卵石 6—2: $N_{120}=6\sim10$ 击, 中密卵石, 压缩模量 E_s 为 36.0MPa。地基承载力标准值 $f_k=500\text{kPa}$;

③ 卵石 6—3: $N_{120}\geq 10$ 击以上, 密实卵石, 压缩模量 E_s 为 50.0MPa。地基承载力标准值 $f_k=750\text{kPa}$ 。

7) 砂质泥岩 (k_{2g}): 紫红色, 水平层理, 中厚层状, 由泥岩及砂质泥岩互层组成。按风化程度划分为强风化、中风化及微风化。

① 强风化泥岩 7—1: 厚度 1.00~2.50m, 压缩模量 E_s 为 15.0MPa。地基承载力标准值 $f_k=300\text{kPa}$;

② 中风化泥岩 7—2: 厚度 1.50~2.20m, 地基承载力标准值 $f_k=700\text{kPa}$;

③ 微风化泥岩 7—3: 地基承载力标准值 $f_k=1200\text{kPa}$ 。

(2) 地震

根据《中国环流器二号 A 工程白家基地一期岩土工程勘察报告》(1998 年 4 月), 场地土属中硬场地土, II 类建筑场地, 场地卓越周期为 0.21s。场地内无不良地质现象, 场地稳定性良好, 适宜建筑。抗震设防烈度 7 度, 设计基本地震加速度值 0.10g, 设计地震分组第三组。

2.1.2 气象

本项目采用双流气象站(56288)资料, 地理坐标为东经 103.9022 度, 北纬 30.5886 度, 海拔高度 494.6 米。气象站始建于 1959 年, 1959 年正式进行气象观测。双流气象站距项目 10.93km, 是距项目最近的国家气象站, 拥有长期的气象观测资料。

2.1.2.1 当地历年气象条件

以下资料根据双流气象站 2004-2023 年气象数据统计分析。

(1) 月平均温度与极值

双流气象站近 20 年来 7 月气温最高 (26.2°C), 1 月气温最低 (6.4°C), 近 20 年极端最高气温出现在 2022-08-21 (40.2°C), 近 20 年极端最低气温出现在 2005-01-02 (-4.6°C)。双流气象站累年月平均温度见图 2.1-1。

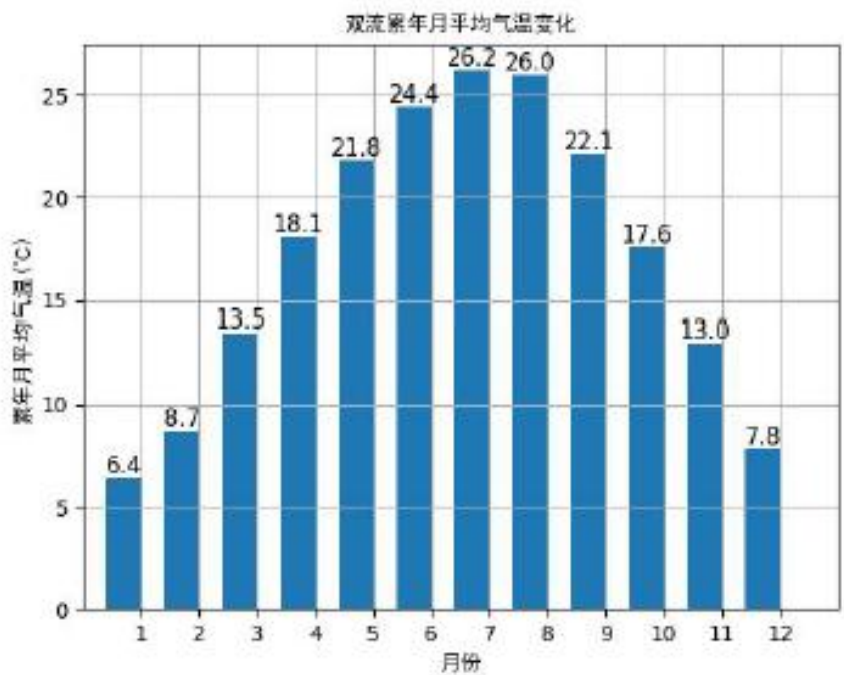


图 2.1-1 双流月平均气温（单位：℃）

(2) 风速与风向

1) 月平均风速

双流气象站月平均风速见表 2.1-1，5 月平均风速最大（1.3m/s），11 月平均风速最小（1.0m/s）。

表 2.1-1 双流气象站月平均风速统计（单位 m/s）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均风速	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0

2) 风向特征

近 20 年资料分析的风向玫瑰图如图 2.1-2 所示，年风向频率统计如表 2.1-2 所示。双流气象站主要风向为 NNE 和 N、SSW，占 32.3%，其中以 NNE 为主风向，占到全年 13.9%左右。

表 2.1-2 双流气象站年风向频率统计（单位%）

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	C
频率	10.5	13.9	6.5	2.8	2.3	1.6	2.1	3.9	12.8
风向	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
频率	6.8	7.9	6.9	4.7	3.9	4.0	4.1	5.2	

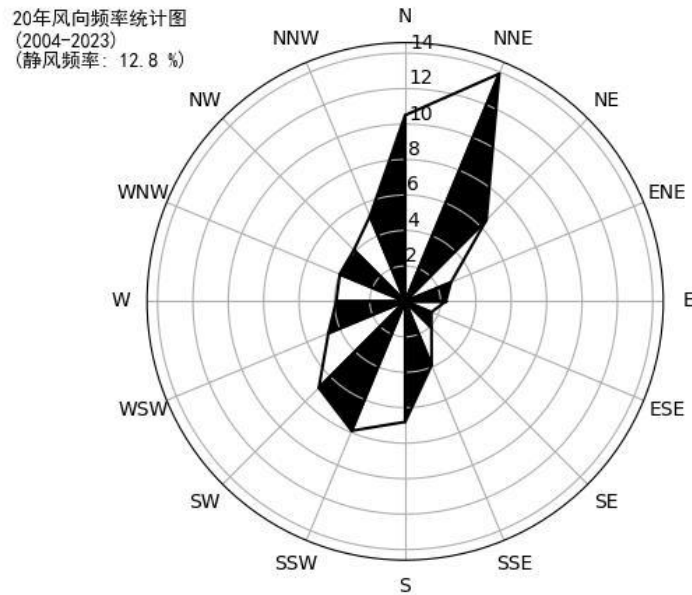


图 2.1-2 双流风向玫瑰图（静风频率 12.8 %，图中数字单位为%）

2) 风速年际变化特征

根据近 20 年资料分析，双流气象站风速呈现下降趋势，每年下降 0.02%，2009 年年平均风速最大（1.4 m/s），2023 年年平均风速最小（0.9 m/s），无明显周期。

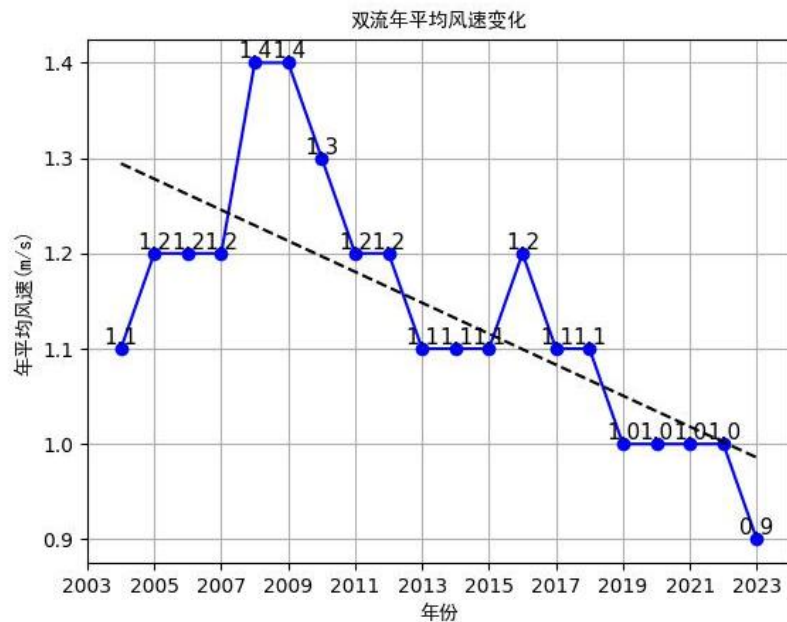


图 2.1-3 双流（2004-2023）年平均风速（单位：m/s，虚线为趋势线）

(3) 降水

1) 月平均降水与极端降水

双流气象站7月降水量最大（250.2毫米），12月降水量最小（7.3毫米），近20年极端最大日降水出现在2014-07-09（225.2毫米）。

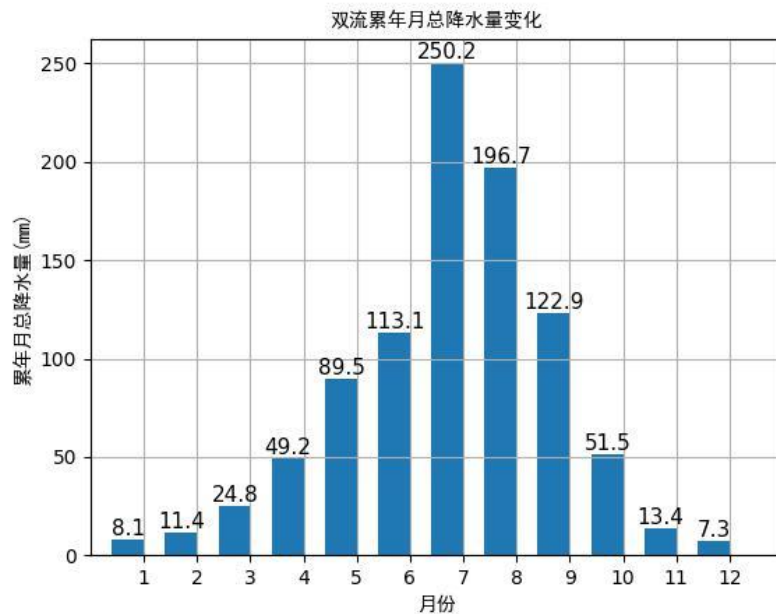


图 2.1-4 双流月平均降水量（单位：毫米）

2) 降水年际变化趋势与周期分析

双流气象站近20年年降水总量无明显变化趋势，2013年年总降水量最大（1275.9毫米），2012年年总降水量最小（687.1毫米），周期为2-3年。

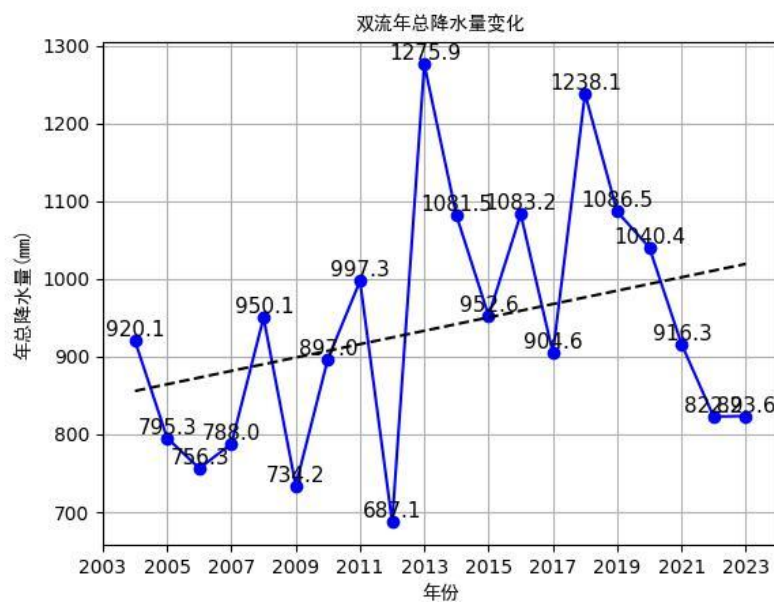


图 2.1-5 双流（2004-2023）年总降水量（单位：毫米，虚线为趋势线）

(4) 湿度

根据近 20 年资料分析，双流气象站多年平均气温 17.2℃，多年平均相对湿度 78.4%，多年平均绝对湿度 11.72g/m³。

2.1.2.2 近 1 年逐时气象条件

1) 月平均风速

根据 2023 年双流气象站逐时气象数据统计分析，2023 年双流区月平均风速如表 2.1-3，其中 4 月平均风速最大（1.18m/s），10 月平均风速最小（0.77m/s）。

表 2.1-3 双流气象站月平均风速统计（单位 m/s）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均风速	0.8	0.8	0.97	1.18	1.02	1.12	1.10	0.96	0.87	0.77	0.85	0.90

2) 风向特征

2023 年气象资料分析的风向玫瑰图如图 2.1-6 所示，年风向频率统计如表 2.1-4 所示。双流气象站主要风向为 N、NNE、W 和 NNW，占 35.6%，其中以 N 为主风向，占到全年 10.5%左右。

表 2.1-4 2023 年双流气象站年风向频率统计（单位%）

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	C
频率	10.5	8.7	4.8	2.2	2.1	1.7	2.4	3.9	11.1
风向	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
频率	6.3	6.0	5.6	6.1	8.6	7.0	5.2	7.8	

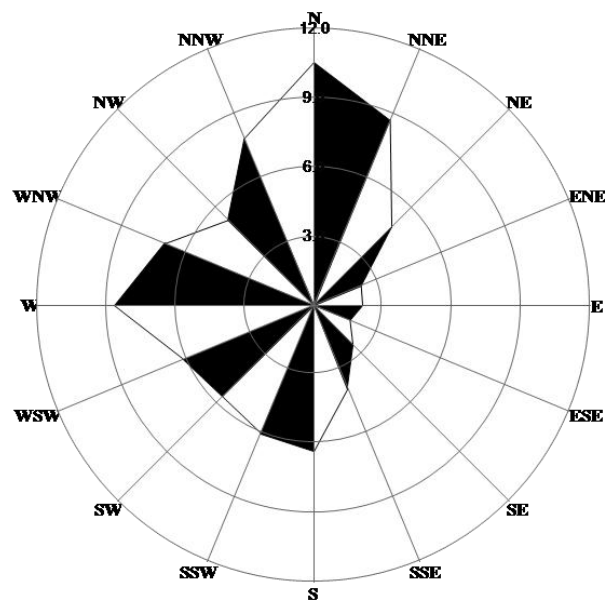


图 2.1-6 2023 年双流风向玫瑰图（静风频率 11.1 %，图中数字单位为%）

2.1.3 土地与水体利用

2.1.3.1 土地利用

厂址半径3km范围涉及成都市武侯区金花桥街道、华兴街道，双流区西航港街道，高新区石羊街道、桂溪街道。根据《成都市国土空间规划近期实施方案》（有效期限从四川省人民政府批准之日起，至《成都市国土空间总体规划（2019-2035 年）》正式获批实施止），本项目厂址半径3km范围的土地利用主要为城镇建设用地。

2.1.3.2 地表水

2.1.3.2.1 水系概况

双流区境内水利资源丰富。流经双流的河流有金马河、锦江、江安河、杨柳河、清水河、白河和鹿溪河，属岷江水系。

2.1.3.2.2 河流概况

（1）锦江

锦江又名府河，源于郫县石堤堰水利枢纽锦江闸，其水源来自都江堰内江水系的柏条河与走马河。柏条河与走马河的分支徐堰河相汇后流至石堤堰枢纽分为南、北二支：北支为毗河，流经新都、青白江区，在金堂县赵镇汇入沱江；南支叫锦江，在彭山县江口镇注入岷江。

锦江干流全长 115km。其中：郫县段 23km、成都市和平乡至琉璃乡段 29km、双流区段 49km、彭山县段 14km。全河流平均纵坡为 1.4‰，流域总面积为 2090km²。

锦江的主要支流有四条：沱江河、清水河、江安河、鹿溪河。前三条均为平原河道，来水于都江堰内江水系，从锦江右岸汇入锦江。锦江左岸有两大引出水干渠：沙河及东风渠。

（2）江安河

江安河又名新开河，是都江堰内江主要干渠之一。江安河起于走江闸，东南流向，流经都江堰市、郫都区、温江区、双流区，最后于二江寺注入府河。江安河自走江闸至二江寺，共长 95.76 公里，流域面积 390 平方公里，进水口年均流量 34.1 立方米/秒，年径流量 9.65 亿立方米。

（3）金马河

金马河是长江支流岷江干流成都市段，属干流局部河段，具体为都江堰外江闸至新津区岷江大桥的河段，即都江堰鱼嘴分水后的外江。河段长 81 公里，河宽

300~500 米，最宽处广滩达 1200 米，平均比降 3.5‰。岷江过江节制闸后称金马河，左分大朗堰后，即于江家渡入双流区，全长 13.95 公里。河床平均宽度 525 米，最宽处 717 米，最窄处 293 米，平均比降为 0.27‰。

（4）鹿溪河

又名芦溪河，黄龙溪，为天然山溪河流，属都江堰水系府河（即锦江）左岸支流。发源于成都市龙泉驿区长松山西坡王家湾。北流经清音溪至宝狮口，折向西南经柏鹤寺入双流县境。过白沙坡、煎茶溪、石滚河，于籍田镇左纳来自东面龙泉山的赤水河（一称柴桑河，长 28km，流域面积 117.8km²）及来自东南二峨马鞍山的龙眼河（一称倒流水，长 34km，流域面积 191.8km²）。折向西流，至黄龙溪，汇入锦江。鹿溪河河长 77.9km，流域面积 675km²。

本项目外排废水最终都排入成都市双流区航空港污水处理厂，经处理达标后排放至江安河，项目评价范围内无集中饮用水源地、特殊地下水资源保护区及分散式居民饮用水水源等环境敏感区。

2.1.3.2.3 地下水

成都市地下水属松散堆积孔隙潜水，基础为下陷盆地构造。主要含水层为第四系全新统和上更新统冰山堆积层叠加组成的混合含水层，水量较丰沛，开采方便，增补迅速，水温适宜，水质良好。水化学类型以重碳酸盐钙型为主。

项目区的地下水主要有三种类型：一是赋存于填土层的上层滞水，二是第四系砂卵石层的孔隙水，三是基岩裂隙水。其中上层滞水呈透镜体状分布于地表，赋存于地表填土层，大气降水和附近居民的生活用水排水为其主要补给源，水量变化大，且不稳定；拟建场地上部覆盖粉质黏土，其间赋存有少量的孔隙水，水量、水位较稳定，大气降水和区域地表水为其主要补给源。拟建场地基岩裂隙较发育，地下水的流动，将所含石膏溶蚀，并顺溶蚀孔或裂隙形成网络状的风化带溶蚀孔和溶隙，为地下水的补给、储集、径流创造了良好的通道和空间，形成风化带含水层。但由于泥岩质软，裂隙多为微张或闭合状，且溶孔溶隙的发育深度受地下水动力条件的限制，当深度较大时，溶蚀孔洞减少，溶隙也减少，含水量下降。该含水层地下水富集规律性较差，在一定条件下，某些地方可形成富水块段。根据相关水文地质资料，渗透系数 K 一般为 0.027~2.01m/d，平均为 0.44m/d，与上部卵石含水层相比，属于弱透水层或不透水的隔水层，可视为相对隔水底板。

2.1.4 生态和资源开发利用

经调查，本项目所在地不涉及风景名胜区、饮用水水源保护区、自然保护区等生态敏感目标，不在成都市已划定的生态保护红线范围内。本项目所在区域人类活动较频繁，区域内植被多以景观植被为主，评价区域内无重点保护的珍稀、濒危动植物及古、珍树木，无已探明的矿床资源。

2.2 社会经济状况

2.2.1 人口及行政区划

成都市辖 20 个县级行政区划单位（市辖区 12，县级市 5，县 3），261 个乡镇行政区划单位（街道 161，镇 100），面积 14335 平方千米。

截至 2023 年末，常住人口 2140.3 万人，比上年末增加 13.5 万人，增长 0.6%。其中，城镇常住人口 1722.94 万人，常住人口城镇化率 80.5%，比上年末提高 0.6 个百分点。年末户籍人口 1598.24 万人，比上年末增加 26.64 万人。

2.2.1.1 厂址半径 3km 范围的人口分布现状

本项目所在厂址半径 3km 范围内为城市地区，行政区划属于西航港街道、桂溪街道、石羊街道、华兴街道和金花桥街道 5 个街道，其最基层的管理单位为社区，厂址半径 3km 范围内共 24 个社区。

厂址半径 3km 范围内的常住人口为 336452 人，平均人口密度为 11905 人/km²。

2.2.1.2 厂址半径 3km 范围内的公共设施

厂址半径 3km 范围内有中、小学及幼儿园校 47 所，大学 1 所，学校教职员工共计 32669 人，有学生 72306 人。

厂址半径 3km 范围内有卫生设施共计 5 所，医务人员 966 人，病床 680 张。

2.3 环境质量和辐射现状

2.3.1 非放射性环境质量现状

2.3.1.1 环境空气质量

根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018），项目所在区域达标情况判定优先采用国家或地方生态环境主管部门公开发布的环境质量公告或环境质量报告中的数据或结论。故本次评价引用成都市生态环境局发布的《2023 成都生态环

境质量公报》中环境空气质量数据及结论。

根据《2023成都生态环境质量公报》，2023年成都市空气质量优良天数285天，同比增加3天；优良天数比例为78.1%，同比上升0.8个百分点。

其中，SO₂年均浓度为3微克/立方米，同比下降25%；NO₂年均浓度为28微克/立方米，同比下降6.7%；O₃日最大8小时平均第90百分位浓度值为168微克/立方米，同比下降7.2%；PM_{2.5}年均浓度为39微克/立方米，同比持平；PM₁₀年均浓度为60微克/立方米，同比上升3.4%；CO日均值第95百分位浓度值为1.0毫克/立方米，同比上升11.1%。SO₂、NO₂、PM₁₀、CO浓度达到《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。

根据《2023成都生态环境质量公报》，2023年成都市22个区（市）县污染物SO₂、NO₂、CO、PM₁₀浓度均达标，O₃、PM_{2.5}浓度部分区（市）县达标，其中龙泉驿区、简阳市、都江堰市、蒲江县4个区（市）县实现六项污染物浓度达到《环境空气质量标准》（GB 3095—2012）二级标准要求。本项目位于成都市双流区，项目所在区域属于不达标区。

根据《成都市空气质量达标规划（2018~2027年）》（成府函〔2018〕120号），该规划的范围为成都市行政区域，包括锦江区、青羊区、金牛区、武侯区、成华区、龙泉驿区、青白江区、新都区、温江区、双流区、简阳市、都江堰市、彭州市、邛崃市、崇州市、金堂县、郫都区、大邑县、蒲江县、新津县，以及成都高新区和天府新区成都直管区。规划基准年为2015年，规划期分为2018年-2020年、2021年-2027年两个阶段。

成都市大气环境质量达标总体战略以未达标、健康危害大的PM_{2.5}为重点控制因子，协同控制臭氧污染，实施空气质量全面达标战略。一是通过升级产业结构、优化空间布局、调整能源结构、推行清洁生产、引导绿色生活，加强大气污染源头控制；二是以工业源、移动源、扬尘源等为重点控制对象，推进多污染源综合防治；三是针对SO₂、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、VOCs等大气污染物，开展多污染物协同控制，推进大气氮的排放控制。到2020年，环境空气质量明显改善，PM_{2.5}年均浓度下降到49微克/立方米，O₃浓度升高趋势基本得到遏制。到2027年，全市环境空气质量全面改善，主要大气污染物浓度稳定达到国家环境空气质量二级标准，全面消除重污染天气。

2.3.1.2 地表水环境质量

根据《2023成都生态环境质量公报》中水环境质量现状，2023年，岷、沱江水系成都段地表水水质总体呈优，114个地表水断面中，I~III类水质断面114个，占100%（I类水质断面4个，占比3.6%；II类水质断面90个，占比78.9%；III类水质断面20个，占比17.5%）；无VI~V类、劣V类水质断面。

岷江水系成都段水质总体呈优，监测的79个断面中，I~III类水质断面占100%。

沱江水系成都段水质总体呈优，监测的35个断面中，I~III类水质断面占100%。

本项目受纳水体为江安河，江安河起于走江闸，最终注入府河，府河为长江支流岷江都江堰分水河道、支流，据《2023成都生态环境质量公报》，岷江水系成都段水质总体呈优，I~III类水质断面占100%，表明江安河水质也能满足III类水质要求。

2.3.1.3 声环境质量

为了解项目所在区域的声环境质量现状，四川省辐射环境管理监测中心站于2024年10月12日和2024年10月24日对项目所在地声环境质量现状进行了监测。

（1）监测点位：本项目沿厂区边界布设4个噪声监测点，周围居民敏感点布设4个噪声监测点；

（2）监测项目：等效连续A声级；

（3）监测频次：昼间、夜间各监测1次；

（4）监测方法：按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）进行监测。

（5）监测使用仪器情况见表2.3-1。

表 2.3-1 噪声监测使用仪器情况

监测项目	仪器名称及型号	技术指标	检定/校准情况
噪声	AWA6228+ 出厂编号：10335862	测量下限： 20dB(A)	检定单位：中国测试技术研究院 有效期：2024.09.13~2025.9.01 检定字第 202409100149
	AWA6223+ 出厂编号：07745	总声压级：93.8 dB(A)	检定单位：中国测试技术研究院 有效期：2024.03.18~2025.3.13 检定字第 202403003363

（6）监测结果及评价

本项目厂界临路一侧各监测点均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的4a类标准，其余监测点均满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的2类标

准，无超标点位。

2.3.2 电离辐射环境质量现状

为了解项目所在区域的辐射环境质量现状，四川省辐射环境管理监测中心站对于2024年10月9日至2024年10月17日对项目所在地及周围环境 γ 辐射剂量率、中子剂量当量率、土壤、空气、气溶胶、降水、地表水进行了现状采样监测，于2025年1月21日对项目所在地及周围的地下水、饮用水、生物进行了现状采样监测。

2.3.2.1 环境 γ 辐射水平

- (1) 监测内容：环境 γ 辐射剂量率；
- (2) 监测方法来源：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；
- (3) 监测使用仪器情况见表 2.3-2。

表 2.3-2 环境 γ 辐射剂量率监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
X- γ 辐射剂量率	FH40G 多功能辐射测量仪 (ZY2015000079)	能量响应：60keV~3MeV 测量范围：1nSv/h~100 μ Sv/h	校准单位：中国测试技术研究院 校准日期：2023.10.30

- (4) 监测结果及评价

项目所在区域 γ 辐射剂量率范围为 73.0 nGy/h ~84.6nGy/h，与《2023 成都生态环境质量公报》中成都市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67.0~119）nGy/h 基本一致，属于当地正常天然本底辐射水平。

2.3.2.2 环境中子辐射水平

- (1) 监测内容：中子剂量当量率；
- (2) 监测方法来源：四川省辐射环境管理监测中心站《中子剂量当量率监测实施细则》（编号：REMS-ZY-XZ61-2022，参考 HJ 1157-2021、GB/T 14318-2019）；
- (3) 监测使用仪器情况见表 2.3-3。

表 2.3-3 中子剂量当量率监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
中子剂	FH40G+FH762-G 中子辐射测量仪	能响范围：	测试单位：中国测试

量当量率	(ZY2022000056)	0.025eV~5GeV 测量范围: 1nSv/h~100mSv/h	技术研究院 测试日期:2023.10.26
------	----------------	--	--------------------------

(4) 监测结果及评价

项目所在区域各监测点位中子剂量当量率监测结果均低于探测限值 1nSv/h。

2.3.2.3 土壤

(1) 监测内容：总 α 、总 β ；

(2) 监测方法来源：四川省辐射环境管理监测中心站《固体样品总 α 、总 β 监测实施细则》（编号：REMS-ZY-XZ24-2023，参考 EJ/T 1075-1998、EJ/T900-94）；

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-4。

表 2.3-4 土壤监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
土壤中总 α 、总 β	低本底 α 、 β 测量仪 MPC9604 (TY2019000024)	α 本底 (cpm) <0.070 β 本底 (cpm) <0.700 α 效率 (^{241}Am) $\geq 42\%$ β 效率 (^{90}Sr - ^{90}Y) $\geq 55\%$	仪器检定：合格 检定单位：中国计量 科学研究院 检定有效期： 2024.02.01-2026.01.31

(4) 监测结果及评价

各监测点位的土壤中总 α 监测结果为 614.2 Bq/kg ~734.2Bq/kg，总 β 监测结果为 589.4 Bq/kg ~716.3Bq/kg。

2.3.2.4 空气

(1) 监测内容： ^3H 、 ^{14}C ；

(2) 监测方法来源：《空气中 ^{14}C 的取样与测定方法》（EJ/T1008-1996）和四川省辐射环境管理监测中心站《空气中 H-3（HTO）监测实施细则》（编号：REMS-ZY-XZ33-2022，参考 HJ1126-2020）；

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-5。

表 2.3-5 空气监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
空气中 ^3H 、 ^{14}C	Quantulus1220 液闪超低本底 液体闪烁分析仪 (TY2014000168)	^3H 探测效率 52.3% (无猝灭源) ^{14}C 探测效率 $\geq 83.6\%$ (无猝灭源)	校准单位：中国计量 科学研究院 校准时间：2023.02.15

(4) 监测结果及评价

各监测点位的空气中氡的监测结果均低于探测限值 24.4 mBq/m³，¹⁴C 的监测结果为 0.244 Bq/g·C ~0.251 Bq/g·C。

2.3.2.5 气溶胶

(1) 监测内容：总β；

(2) 监测方法来源：四川省辐射环境管理监测中心站《气溶胶中总α、总β监测实施细则》（编号：REMS-ZY-XZ18-2023，参考 EJ/T 1075-1998、EJ/T900-94）；

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-6。

表 2.3-6 气溶胶监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
气溶胶中总β	低本底α、β测量仪 MPC9604 (TY2019000024)	α本底 (cpm) <0.070 β本底 (cpm) <0.700 α效率 (241Am) ≥42% β效率 (90Sr-90Y) ≥55%	仪器检定：合格 检定单位：中国计量科学研究院 检定有效期： 2024.02.01-2026.01.31

(4) 监测结果及评价

各监测点位的气溶胶中总β测量结果为 1.83 mBq/m³~2.63 mBq/m³。

2.3.2.6 降水

(1) 监测内容：³H；

(2) 监测方法来源：《水中氚的分析方法》（EJ1126-2020）；

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-7。

表 2.3-7 降水中³H 监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
降水中 ³ H	Quantulus1220 液闪超低本底 液体闪烁分析仪 (TY2014000168)	³ H 探测效率 52.3% (无猝灭源) ¹⁴ C 探测效率≥83.6% (无猝灭源)	校准单位：中国计量科学研究院 校准时间：2023.02.15

(4) 监测结果及评价

各监测点位的降水中³H 的测量结果低于探测限值 1.51Bq/L。

2.3.2.7 地表水

(1) 监测内容： ^3H 、 ^{14}C 、总 α 、总 β ；

(2) 监测方法来源：《水中氚的分析方法》（EJ1126-2020）《水质 总 α 放射性的测定 厚源法》（HJ898-2017）《水质 总 β 放射性的测定 厚源法》（HJ899-2017）以及四川省辐射环境管理监测中心站《水中 ^{14}C 监测实施细则》（编号：REMS-ZY-XZ45-2022，参考 EJ/T1008-96）；

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-8。

表 2.3-8 地表水监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
水中 ^3H 、 ^{14}C	Quantulus1220 液闪超低本底 液体闪烁分析仪 (TY2014000168)	^3H 探测效率 52.3% (无猝灭源) ^{14}C 探测效率 $\geq 83.6\%$ (无猝灭源)	校准单位：中国计量科学 研究院 校准时间：2023.02.15
水中总 α 、总 β	低本底 α 、 β 测量仪 MPC9604 (TY2019000024)	α 本底 (cpm) < 0.070 β 本底 (cpm) < 0.700 α 效率 (^{241}Am) $\geq 42\%$ β 效率 (^{90}Sr - ^{90}Y) $\geq 55\%$	仪器检定：合格 检定单位：中国计量科学 研究院 检定有效期： 2024.02.01-2026.01.31

(4) 监测结果及评价

各监测点位的地表水中总 α 测量结果为 $1.06 \times 10^{-2} \text{Bq/L} \sim 2.03 \times 10^{-2} \text{Bq/L}$ ，总 β 测量结果为 $2.44 \times 10^{-1} \text{Bq/L} \sim 3.79 \times 10^{-1} \text{Bq/L}$ ， ^3H 测量结果均低于探测限值 1.51Bq/L ， ^{14}C 测量结果为 $5.25 \text{mBq/L} \sim 5.80 \text{mBq/L}$ 。

2.3.2.8 地下水、饮用水

(1) 监测内容： ^3H ；

(2) 监测方法来源：《水中氚的分析方法》（EJ1126-2020）；

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-9。

表 2.3-9 地表水、饮用水监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
水中 ^3H	Quantulus1220 超低本底液体闪烁分析仪 编号：TY2005000100	^3H 探测效率 52.3% (无猝灭源) ^{14}C 探测效率 $\geq 83.6\%$ (无猝灭源))	校准单位：中国计量科学研究院 校准时间：2024.02.01

(4) 监测结果及评价

各监测点位的地下水、饮用水中 ^3H 测量结果均低于探测限值 1.64Bq/L。

2.3.2.9 生物

(1) 监测内容： ^3H 、总 α 、总 β ；

(2)监测方法来源:《生物中氚和碳-14的分析方法 管式燃烧法》(HJ1324-2023)以及四川省辐射环境管理监测中心站《生物样品总 α 、总 β 监测实施细则》（编号：REMS-ZY-XZ57-2023，参考 EJ/T 1075-1998、EJ/T 900-94）；

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-10。

表 2.3-10 生物监测使用仪器情况

监测项目	监测设备		
	名称及编号	技术指标	检定/校准情况
生物中氚	Quantulus1220 超低本底液体闪烁分析仪 编号：TY2005000100	^3H 探测效率 52.3% （无猝灭源） ^{14}C 探测效率 $\geq 83.6\%$ （无猝灭源）	校准单位：中国计量科学研究院 校准时间：2024.02.01
生物中总 α 、总 β	低本底 α 、 β 测量仪 MPC9604 编号：TY2019000024	α 本底（cpm） <0.070 β 本底（cpm） <0.700 α 效率（ ^{241}Am ） $\geq 42\%$ β 效率（ ^{90}Sr - ^{90}Y ） $\geq 55\%$	仪器检定：合格 检定单位：中国计量科学研究院 检定有效期： 2024.02.01-2026.01.31

(4) 监测结果及评价

生物样中总 α 测量结果为 8.16Bq/kg，总 β 测量结果为 208.75Bq/kg， ^3H 测量结果为 0.73Bq/kg·鲜。

2.3.3 电磁辐射环境质量现状

为了解项目所在区域的电磁辐射环境质量现状，四川省辐射环境管理监测中心站于 2025 年 3 月 7 日对场址所在地进行了电磁辐射环境监测。

(1) 监测内容：电场强度、磁场强度（频率范围为 5kHz、20~40MHz、3.7GHz）；

(2) 监测方法来源：《辐射环境保护管理导则 电磁辐射监测仪器和方法》（HJ/T10.2-1996）。

(3) 监测使用仪器情况见表 2.3-11。

表 2.3-11 电磁辐射监测使用仪器情况

监测项目	监测设备				校准单位
	名称及编号	技术指标	校准情况	有效期	

监测项目	监测设备				校准单位
	名称及编号	技术指标	校准情况	有效期	
射频电磁场	NBM550/EHP50F 出厂编号: 100WY70218	测量范围: 1Hz~400kHz 检出限: 电场: 5mV/m 磁场: 0.3nT	校准字第 电场: 202410104497 磁场: 202410107021	2024.11.06 ~2025.10.21	中国测试技术研究院
	DZER-100/DZER-100.1A 出厂编号: EA1002201087	测量范围: 30MHz~6GHz 检出限: 电场: 0.5mV/m	检定字第 电场: 202410108940	2024.12.17 ~2025.10.29	
	DZER-100/DZER-100.2M 出厂编号: EM1002302025	测量范围: 9kHz~30MHz 检出限: 电场: 0.02V/m	检定字第 电场: 202410104470	2024.11.06 ~2025.10.21	

(4) 监测结果及评价

各监测点位在 5kHz 频率下的电场强度测量结果为 0.009 V/m、磁场强度测量结果为 0.0006A/m；在 20MHz~30MHz 频率下的电场强度测量结果为 0.266 V/m、磁场强度测量结果为 0.706mA/m；在 30MHz~40MHz 频率下的电场强度测量结果为 15.21m V/m、磁场强度测量结果为 0.04mA/m；在 20MHz~40MHz 频率下的电场强度测量结果为 0.266 V/m、磁场强度测量结果为 0.706mA/m；在 3.7GHz 频率下的电场强度测量结果为 1.78mV/m、磁场强度测量结果为 4.72μA/m，满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）规定的公众曝露控制限值。

2.4 场址适宜性评价

本项目位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路5号，经对项目所在区域自然环境状况分析可知，项目评价范围内无不良地质现象，地震条件良好，没有影响中国环流三号装置安全稳定运行的颠覆性因素。评价范围内无地表水或地下水集中式饮用水源，无矿产资源存储。评价范围内受人类活动影响深远，多以城市绿化乔灌木等人工植被为主，无天然林，无重点保护的珍稀、濒危动植物及古、珍树木。评价范围内无明显制约项目建设的自然环境因素。

经对项目所在区域社会环境状况分析可知，项目厂址周边主要已建的企业，无重污染企业，无易燃、易爆物品的生产和贮存区，项目所在地的环境适合项目的建设。项目厂址北侧为黄荆路，周围有机场路、成乐大件路、成雅高速公路等主要公路干道及成昆铁路干线，距离双流机场8km，距离成都火车东站14km，项目周边交通极为便利。本项目位于西物院白家院区，院区内已建有较完善的给排水、供

配电、通讯等配套基础设施，双流区航空港污水处理厂已建成投运。本项目可充分依托院内已建成的配套基础设施，所在区域的基础设施及环境适合项目建设。

根据辐射环境监测结果，项目厂址环境 γ 辐射空气吸收剂量率与中子剂量当量率处于四川省天然本底涨落范围内；所在区域大气、水体、土壤等环境介质中与本项目活动相关的放射性核素活度浓度、总 α 和总 β 活度浓度监测值未见异常。

建设项目所在地所属的环境管控单元管控类别为城镇重点管控单元，半径3km范围的土地利用主要为城镇建设用地，不涉及风景名胜区、饮用水水源保护区、自然保护区等生态敏感目标，不在成都市已划定的生态保护红线范围内。本项目不属于“两高”项目，项目运行过程中产生的污染通过相应的工程措施可以得到有效治理，符合成都市总体生态环境准入清单。

综上所述，项目评价范围内无明显环境制约因素，项目的建设及周边环境相容，区域内环境质量良好，辐射环境水平属于区域辐射本底水平，建设项目满足“三线一单”及相关生态环境保护法律法规政策、生态环境保护规划的要求。因此，从环境保护和辐射安全角度分析，项目选址较合理。

第三章 工程分析与源项

3.1 概述

本项目不新征用地，对现有 HL-3 装置及配套设施进行能力提升和改造，建设内容包括关键工艺系统能力提升建设及配套辅助条件的建设，项目拆除建筑面积共计 5942.10m²，新建建筑面积 14486.6m²，改造建筑面积 15981.33m²，新增和改造工艺设备 531 台（套）。

3.1.1 建设内容及规模

3.1.1.1 关键工艺系统能力提升建设

（1）建设内容

本项目对现有 HL-3 装置关键工艺系统能力提升，包括主机系统、辅助加热系统、诊断系统、供电系统、控制运行系统、燃料循环与安全包容系统、辐射防护与监测系统七个方面，本项目关键工艺系统能力提升建设内容见表 3.1-1。

表 3.1-1 本项目关键工艺系统能力提升建设内容

序号	项目组成	主要建设内容	新增主要工艺设备 (台/套)
1	主机系统	(1) 主机磁体系统及支撑结构 (2) 主机综合监测与安全运行系统 (3) 偏滤器系统 (4) 真空系统 (5) 壁处理系统 (6) 加料系统 (7) 水冷与烘烤系统 (8) 低温系统	95
2	辅助加热系统	(1) 中性束注入系统 (2) 电子回旋共振加热系统 (3) 低杂波电流驱动系统 (4) 离子回旋共振加热系统	222
3	诊断系统	(1) DT 聚变反应产物监测相关诊断系统 (2) 基本参数测量相关诊断系统 (3) 运行安全监测相关诊断系统	94
4	供电系统	(1) 储能系统 (2) 磁体电源 (3) 高压电源	35
5	控制运行系统	(1) 全域集成的控制运行系统 (2) 数据、算力、实验公共支撑平台	75

序号	项目组成	主要建设内容	新增主要工艺设备 (台/套)
		(3) 中央安全联锁保护系统 (4) 仪控和采集时序系统	
6	燃料循环与安全包容系统	(1) 氦燃料循环系统 (2) 氦安全包容系统 (3) 氦储存系统	5
7	辐射防护与监测系统	(1) 辐射监测系统 (2) 辐射安全与防护系统	5
合计			531

(2) HL-3 装置主要参数

本项目建成前后 HL-3 装置主要参数见表 3.1-2。

表 3.1-2 本项目建成前后装置主要参数

指标项目	现有(HL-3)	本项目建成后 (HL-3)
等离子体大半径 R (m)	1.78	1.78
等离子体小半径 a (m)	0.65	0.65
等离子体体积 (m^3)	20	20
芯部电子温度/芯部离子温度 T_{e0} / T_{i0} (keV)	4.5 / 2.5	16.7 / 20.5
等离子体平均密度 (m^{-3})	4×10^{19}	1.5×10^{20}
等离子体电流 I_p (MA)	1.6	≤ 3
环向磁场 B_t (T)	2.2	≤ 3
能量增益因子 (Q)	< 1	< 1
辅助加热方式/辅助加热功率 (MW)	中性束加热、射频波加热/加热 总功率 12	中性束加热、射频波加热/加热 总功率 41
最大中子产生率 (n/s)	1.3×10^{11}	3.55×10^{18}
年中子产额 (n/a)	3.9×10^{13}	3.55×10^{19}
H-3 年燃烧量 (mg/a)	不涉及	0.2
聚变功率 (MW)	不涉及	≤ 10

(3) 非密封放射性物质工作场所分级判定

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录 C, 非密封放射性物质工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。其中, 放射性核素日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。与操作方式有关的修正因子和核素毒性组别修正因子根据 GB18871-2002 附录 C、附录 D 确定。

根据本项目工艺需求, 涉及氦使用和储存的场所包括主机大厅和材料库。主机

大厅和材料库分别为独立的建筑物，相距约 75m，因此，将两个工作场所分别作为单独场所进行日等效最大操作量核算。

主机大厅和材料库放射性核素日等效最大操作量均大于 $4 \times 10^9 \text{Bq}$ ，均为甲级非密封放射性物质工作场所。

3.1.1.2 配套辅助条件的建设

本项目配套辅助条件建设主要包括拆除工程、改造和新建构筑物、新建实物保护系统以及院区内的室外工程等。

(1) 拆除工程

本项目拟拆除院内现有建筑物以及建筑物内的设备，包括食堂、材料实验室、科研办公楼、主机线圈绕制厂房以及变配电站，拆除建筑面积共计 5942.10m^2 。

(2) 改造建筑

为满足本项目实验的需求，对院区现有的主机大厅、工程实验控制中心楼、动力厂房、电机厅、整流厅、科技信息楼、大门及门卫进行改造，共改造建筑面积 15981.33m^2 。

① 主机大厅（1A）改造

主机大厅长 60m，宽 30m，高 24m。本次改造主机大厅主体结构保持不变，仅对主机厅内现有 HL-2A 装置及相关设备进行拆除；在大厅内新建主机包容屏蔽室、氚循环工艺间，设置放射性废物暂存间，并对主机大厅内墙面、屋面及屏蔽门进行辐射防护改造，改造建筑面积 2193.2m^2 。

a、主机大厅墙面、屋面及屏蔽门辐射防护改造

主机大厅隔墙：在主机大厅内 6 轴附近增加一道隔墙，隔墙为 50cm 厚重混凝土，将主机大厅分为主机大厅西区 and 主机大厅东区。

主机大厅墙面：在主机大厅西区，保持原主机大厅 80cm 厚墙体不变，在西侧墙体内侧新增 60cm 厚重混凝土，北侧、南侧墙体内侧新增 50cm 厚重混凝土；主机大厅东区保持原主机大厅 80cm 厚墙体不变。

主机大厅屋面：在主机大厅西区，保持屋面原 12cm 厚混凝土不变，拆除上层原 35cm 厚木质屋面，并由下到上新增 10cm 厚重混凝土、35cm 厚含硼聚乙烯、5cm 厚混凝土；主机大厅东区保持原屋面 50cm 厚混凝土不变。

屏蔽门：拆除主机大厅北侧原标高+5.80m 处的防护门，并采用 80cm 厚的混凝土

土进行封堵。拆除主机大厅西侧和北侧原标高 0.00m 处的屏蔽门，并分别在原址处新建屏蔽门。主机大厅西侧门设为物流出入口，门洞大小 5.5m×7m，新建屏蔽门尺寸为 6.0m×7.5m，采用 30cm 不锈钢（铁）+110cm 水+2cm 不锈钢（铁）进行屏蔽；主机大厅北侧门设为人员出入口，门洞大小 3.5m×5.0m，屏蔽门尺寸为 4.0m×5.5m，采用屏蔽门+迷宫形式屏蔽，屏蔽门厚度为 15cm 不锈钢（铁）+55cm 含硼聚乙烯。为满足物流和人员出入主机大厅东区和西区，在主机大厅隔墙上开设门洞，门洞大小为 1.5m×2m，屏蔽门尺寸约 2.0m×2.5m，屏蔽门采用 15cm 不锈钢（铁）+15cm 含硼聚乙烯进行屏蔽。

b、主机包容屏蔽室

在主机大厅西区新建主机包容屏蔽室，包容屏蔽室还包含窥视窗、检修密封门、检修屏蔽门、照明灯具、贯穿件等附件。包容屏蔽室内部尺寸为 22000mm（长）×19000mm（宽）×13000mm（高），采用不锈钢+含硼聚乙烯多层复合结构，从内到外分四层，依次为内箱体、型钢框架、屏蔽和补充屏蔽、装饰板。内箱体是由 3mm 厚不锈钢焊接制作的密封体，通过保持箱室内负压，可以防止气溶胶向外扩散。内箱体焊接在 H 型钢框架上，型钢为内箱体提供强度和刚度支撑。屏蔽层采用碳钢+含硼聚乙烯结构，含硼聚乙烯板厚度约 450mm，碳钢屏蔽板厚 25mm。外层装饰板为 2mm 厚不锈钢。含硼聚乙烯镶嵌在 H 型钢框架单元格内，并根据单元格尺寸进行模块化设计，含硼聚乙烯板与型钢框架采用螺栓连接方式。含硼聚乙烯板与型钢之间会存在一定间隙，为弥补这部分间隙的屏蔽缺失，在型钢外侧增加宽度 300mm 的长条状含硼聚乙烯补充屏蔽层。屏蔽层和补充屏蔽可以有效阻止中子和 γ 射线向外穿透，保证周围人员和环境安全。

为满足工艺观察和参观需求，在主机包容屏蔽室上设置 3 组窥视窗，窥视窗由内窥视窗和外窥视窗组成，内外窥视窗相互独立以便于检维修。主要由 PC 玻璃、有机玻璃、铅玻璃等材料组成。

为了满足后续设备安装与检维修需求，在主机包容屏蔽室西侧设检修密封门和检修屏蔽门。检修密封门净尺寸约为 2000×3000mm，检修屏蔽门净尺寸约为 2450×3450mm，两者均采用铰链式平开门结构。屏蔽门门板采用含硼聚乙烯加不锈钢板组合结构，屏蔽性能与主机包容屏蔽室墙体的屏蔽性能一致。

c、氚循环工艺间

在主机大厅东区新建氚循环工艺间，氚循环工艺间长 13.8m，宽 15.4m，高 12m，

共 2 层，每层层高 6m。采用框架-剪力墙结构，局部设有框架梁柱。一层设泵房和三级包容及处理间；二层设氙工艺间和分析间等。

d、放射性废物暂存间

本项目在主机大厅东区南侧设置放射性废物暂存间，暂存间长 6m，宽 3.3m，用于收集暂存本项目运行期间产生的放射性固体废物。

e、钢平台

本项目在主机包容屏蔽室北侧设置抽气电源平台，平面尺寸为 7.5m×4.0m；在新增隔墙东侧设置诊断平台，平面尺寸为 21.0m×5.0m；二者均采用钢平台，平台顶标高为 4.500m。

② 工程实验控制中心楼（1B）改造

工程实验控制中心楼长 106.9m，宽 18.8m，高 22.65m（室外地坪至女儿墙顶），占地面积 1560.5m²，建筑面积 6731.76 m²，地上五层，各层层高均为 4.2m。本次主要对厂房内部及外立面进行改造，并调整房间功能，改造建筑面积 6731.76 m²。改造方案如下：

将±0.000m 层 6~8 轴/A~B 轴区域改造为卫生出入口，1~2 轴/B~C 轴房间改为 UPS 间；将 8.400m 层 6~7 轴/A 轴处改造为仪控设备间，1~3 轴/A~B 轴房间改为消防设备间，并将相应门改为乙级防火门；三层、五层局部增加空调机房和排烟机房，局部新增或拆除内隔墙；整楼消防改造；通风、空调管道改造；建筑内装饰及外立面改造。

改造后一层主要布置有 UPS 区、检测室、TS 激光室、机柜室、激光干涉室、人员卫生出入口、RM 等房间；二层设置布置有气瓶存放区、设备维护间、光谱室、诊断采集、高性能计算中心、工程测量室、测控室、工程控制、仪控设备间、消防设备间等功能房间；三层设置实验室、诊断采集、诊断室、系统室、下调室、资料室等功能房间；四层主要设置实验室、设计室等功能房间。五层主要设置实验室、高压电源等功能房间。

③ 动力厂房（1C）改造

动力厂房长 18.5m，宽 60.65m，建筑高度 20.1m（室外地坪至女儿墙顶），占地面积 1123.88m²，地上二层。本次主要对厂房内部进行改造，并调整房间功能，在屋面新增局部三层，改造建筑面积 2964.45m²。改造方案如下：

±0.000 m 层现有水系统的地坑上部做重载楼盖板封闭，原建筑内烘烤控制间、

空压机房的墙体拆除；5.700m 层 C2-C3 轴交 CA-CC 轴、C9-C11 轴交 CA-CC 轴的原有空调机房取消，空调机房内部的墙体拆除，原 2 台单梁吊车各（向东）加长 12m；5.700m 层顶面（标高 12.600m）C1-C3 轴与 1/CA-CC 区域的楼板拆除； ± 0.000 m、5.700m 层原有的窗户均进行封堵。

改造后一层主要功能为中性束加热系统，原有烘烤系统、原有配电间、变压器室等功能维持现状；二层的主要功能为离子回旋系统、低杂波系统、电子回旋系统、第Ⅳ段波加热用房；三层主要功能为循环水泵房和 1A 主机大厅送、排风机房。

④ 电机厅（1D）改造

电机厅长 96.1m，宽 20.3m，高度 19.25m，建筑面积 3680.4m²，地上二层。本次改造拆除电机厅内的 1#、2#脉冲发电机组系统；将原二层楼板拆除，新建采用钢筋混凝土的楼面和梁柱；对原建筑的框架柱、梁和地基进行加固。改造墙面面积约 3568.98m²。

改造后一层布置电抗设备区、电池舱区、YC 设备区；二层平面布置电池舱区、电阻区、EC 设备区。

⑤ 整流厅（1E）改造

整流厅长 15m，宽 84m，高 12.5m，建筑面积 2866.55 m²，地上二层。功能为电流整备。本次改造仅对整流厅外立面（南立面、东立面）翻新改造，改造墙面面积约 1445m²。外立面采用保温装饰一体板。外窗采用断桥铝合金双层中空玻璃。

⑥ 科技信息中心楼改造

科技信息中心楼高 17.45m，建筑面积 6559.11 m²，地上四层（局部 5 层）。功能为科研人员办公场所。本次改造仅对首层消防/安防控制室改造及各层卫生间改造，改造建筑面积约 340m²。拆除原有地面、墙面、吊顶、卫生洁具，重新装修。

⑦ 大门及门卫改造

本项目对位于院区北侧黄荆路侧的大门及门卫室进行改造，改造建筑面积 182.94m²，地上一层。改造方案为：将建筑内部地面、墙面、吊顶原面层剔除重新设计施工；地面均采用防滑地砖地面；外窗采用断桥铝合金双层中空玻璃，外门采用铝合金框安全玻璃门；吊顶采用耐火纸面石膏板吊顶。拆除原有屋面保温及防水及外墙面层重新施工。

（3）新建建筑

为满足本项目实验的需求，在院区内新建加热辅助车间（含变配电）、材料库，

预装车间和科研保障综合楼（含食堂），共新增建筑面积 14486.6m²。

① 加热辅助车间（1F）

在原动力厂房南侧新建加热辅助车间，并与动力厂房联通，长 51.55m，宽 60.85m，建筑总高度 20.65m（室外地面至女儿墙顶），占地面积 3736.81m²，建筑面积 7397m²，地上三层。其中一层层高 7.0m，布置有低温平台工艺设备（低温系统）、水冷平台工艺设备（加热冷冻水系统、真空冷冻水系统、去离子水制备系统、压空及制氮系统及设备）、配电室、高压配电室、变压器室等；二层层高 6.0m，局部层高 11.50m，布置中性束与离子回旋的高压电源变压器、空调机房、集中控制室、配电间、开水间、卫生间、工具间等用房；三层层高 5.5m，布置实验室、卫生间等。

② 材料库

在原变电站位置处新建材料库。

③ 预装车间

在新建科研保障综合楼南侧新建预装车间，长 36.25m，宽 28.3m，建筑总高度 24.05m（室外地面至女儿墙顶），占地面积 1036.08m²，建筑面积 1023m²，地上一层。厂房内设置 20t 吊车，该车间主要用于工艺设备中转、存储以及组装等。

④ 科研保障综合楼

在原食堂位置处新建科研保障综合楼，长 54.7m，宽 28.0m，建筑总高度 24.05m（室外地面至女儿墙顶），占地面积 1546.63m²，建筑面积 5794m²，地上四层，局部地下 1 层。其中负一层层高 5.5m，设置消防水泵房和消防水池等；一层层高 6.0m，设参观厅、厨房和餐厅等；二层层高 5.0m，布置厨房、特色餐厅、会议区（包含机房）、卫生间等；三层层高 5.0m，布置控制中心 1 区及其控制室、会议室、卫生间、空调机房等；四层层高 5.9m，为控制中心 1 区上空间及控制中心 2 区；机房层包含电梯机房、空调机房、消防水箱间等。

（4）实物保护系统

改造控制区周界及出入口、新建保护区周界及出入口，新建实物保护系统。

（5）室外工程

室外工程主要包括院区道路、景观绿化以及综合管网等。

3.1.1.3 公用工程

3.1.1.3.1 供配电系统

(1) 厂区供电现状

院区南侧已有一座 10 kV 配电站，共有四路 10 kV 电源进线（均为专线）分别为牧核 1#线、牧核 2#线、牧核 3#线和临核线。

牧核 1#线专供一台 10 kV/6 kV、5000 kVA 变压器，带脉冲发电机组（1#-3#机组，3#机组已拆除）。

牧核 2#线主要为办公及实验设备，电压等级为 220/380V，总共配置 4 台变压器，分别为一台 10 kV/0.4 kV-3150 kVA、一台 10 kV/0.4 kV-1600 kVA、一台 10 kV/0.4 kV-1250 kVA、一台 10 kV/0.4 kV-800 kVA。其中 3150 kVA 变压器配电间在动力厂房现有配电间，主要负载为 HL-3 及 HL-2A 的主要低压实验设备，包括烘烤、低温、真空、水系统等。1600 kVA 变压器也在动力厂房现有配电间，10 kV 侧、低压侧均未接入配电系统。1250 kVA 变压器配电间位于变电站，主要给核聚家苑居民楼供电。800 kVA 变压器配电间位于工程实验控制中心楼低配间，主要负载为工程实验控制中心楼的照明用电、动力用电及电机系统和电源系统的低压用电设备。

牧核 3#的负载主要为办公及实验设备，总共带了 3 台变压器，分别为一台 10 kV/0.4 kV 3150 kVA、两台 10 kV/0.4 kV-1600 kVA。主要给主机低压负载及食堂、科研楼动力用电。

临核线专供 10 kV/6 kV，8000 kVA 一台变压器，带脉冲发电机组（4#机组）。

(2) 本项目方案

本项目拟新敷设两条 10kV 铜芯电力电缆，牧核 1#线由牧马山至院区长度约 6km、牧核 2#线由桂花堰站至院区长度约 6km；拆除原变配电站，在加热辅助车间内新建配电系统，为全院区供电。

① 新建 10kV 变配电站及供电方案

本项目在加热辅助车间内设置新的变配电站采用四回 10kV 线路供电。其中牧核 1#线和临核线为专线专供；牧核 2#线和牧核 3#线两路为互为备用，当一路失电后，另一路能满足本项目的二级及以上负荷的用电。

牧核 1#线专供一台 10kV/10kV-5000kVA 隔离变压器，带超级电容储能。

临核线专供 10kV/6kV，8000kVA 一台变压器，带 4#脉冲发电机组。

牧核 2#线共设 5 台变压器，分别为 1 台 3150kVA、1 台 1600kVA、1 台 2500kVA、

1 台 1250kVA、1 台 2000kVA 的变压器，共计 10.5MVA。除 1250kVA 安装在工程实验控制中心楼（1B）外，其余变压器均安装在加热辅助车间内。

牧核 3#线共设 4 台变压器，分别为 1 台 3150kVA、1 台 1600kVA、1 台 2500kVA、1 台 2000kVA 的变压器，共计 9.25MVA。变压器均安装在加热辅助车间内。

② 备用电源及应急电源

拆除 1B 工程实验控制中心楼一台 150kW 的柴油发电机组，在 1B 建筑外东侧新增一台 300kW 的户外静音型柴油发电机，以满足应急状态下主机大厅和实物保护系统的用电需求；在工程实验控制中心楼设一台工业级 UPS 电源系统，UPS 容量为 30kVA，备用时间 0.5h，以满足自控和辐防专业的不间断电源需求；在实物保护中心设一台工业级 UPS 电源系统，UPS 容量为 40kVA，备用时间 1h，以满足实保不间断电源需求。

③ 光伏发电系统

在新建建筑科研保障综合楼、预装车间、加热辅助车间等屋面安装太阳能光伏发电系统，光伏组件 3°敷设于光伏支架上，朝向沿建筑方向。年发电量约为 43200kWh，自发自用。

3.1.1.3.2 给排水工程

（1）给水系统

① 水源

本项目水源为市政自来水，已从黄荆路引入 DN200 给水管，供水压力为 0.20MPa。市政用水经供水泵房中的生产、生活泵二次加压后，供给院区各建筑物。泵房现有水泵 $Q=50.4\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=40\text{m}$ ， $N=11\text{kW}$ ，2 用 1 备。水量、水压满足院区改造后用水需求。

② 给水系统改造

本项目对院区供水管网进行改造，根据各子项生产、生活用水情况及消防需求，自院区供水管网引至各自建筑供水。同时对新建加热辅助车间、科研保障综合楼、预装车间地下供水管网拆除改造；室外给水系统改造成环；室外消防栓环网更换管径；开挖破坏区域道路下的老旧管材更换。

③ 用水量

院区生活用水主要包括食堂生活用水、办公区生活用水；生产用水主要为去离

子水制备用水、循环冷却用水、二次冷却循环水补水等。

(2) 排水系统

① 现状排水系统

本项目院区已有污、废水管网及雨水管网。厂区北侧黄荆路侧已设 1 个污水排放口。院区污水经化粪池处理后，排至污水泵站；厨房废水经隔油池隔油后排入院区排水管网，再排入污水泵站；废水排至院区管网后直接排至污水泵站。污、废水经污水泵站增压后统一排至市政污水管网。院区现有污水泵 3 台，主要参数为 $Q=120\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=17$ ，两用一备。

雨水采用有组织排水，利用已有雨水口、雨水管道收集后排至院区雨水管网，最终排至雨水泵站，经雨水泵站加压后排至市政污水管网。现有雨水泵 3 台，主要参数为 $Q=800\text{ m}^3/\text{h}$ ， $H=15\text{m}$ 。

泵站处理能力满足本项目污、废水及雨水排水需要，最终均排至市政污水管网。

② 排水系统改造

本项目对院区排水管网进行改造，主要包括新建加热辅助车间、科研保障综合楼、预装车间地下污、废水管网拆除改造；1E 与 1D 之间新建电缆井导致的排水管道改造；水泵房周边给排水管网改造。1E 与 1D 之间新增电缆沟内设集水坑，及时将电缆沟内积水排至室外管网。

③ 排水量

项目外排废水主要为生活污水和非放的生产废水。

④ 排水方案

排水方案保持不变，院区各单体污水排入室外污水管网，废水排入室外废水管网，厨房废水排至隔油池（新建 2 座，1 座位于科研保障综合楼南侧，有效容积 4.5m^3 ；1 座位于科研保障综合楼西侧，有效容积 1.5m^3 ）处理后排至室外污水管网。室外污水管网经化粪池（利旧，位于院区北侧绿化带下，有效容积 40m^3 ）处理后排至院区提升泵房，室外废水管网直接排至院区提升泵房，而后统一排至市政污水管网。雨水采用有组织排水，利用已有雨水口、雨水管道收集，最终排至市政雨水管网。

3.1.1.3.3 通风与空调系统

本项目新建加热辅助车间、材料库、预装车间以及科研保障综合楼等新建厂房和现有主机大厅的通风与空调系统；对于其他改造厂房主要依托厂房现有的通风与空调系统进行局部改造。本项目涉及大气污染物排放的厂房主要包括主机大厅、储存库以及科研保障综合楼中的食堂，其通风与空调系统设计如下：

(1) 主机大厅

① 空调系统

本次改造拆除主机大厅原有空调送风系统，在主机大厅重新设计 2 个空调送风系统 K-1、K-2，布置在动力厂房三层送风机房。

K-1、K-2 系统分别为主机包容屏蔽室、氟循环工艺间和主机厅服务，系统送风量分别取对应区域排风量的 85%和 90%。K-1 系统计算风量为 $34745\text{m}^3/\text{h}$ ，冷/热负荷为 $450\text{kW}/350\text{kW}$ ；K-2 系统计算风量为 $57016\text{m}^3/\text{h}$ ，冷/热负荷为 $720\text{kW}/576\text{kW}$ 。K-1、K-2 均为直流送风系统，夏季送冷风，冬季送热风，各选择 1 台组合式空调机组，放置在动力厂房三层新增送风机房。室外新风经空气处理机组进风段、初、中效过滤段、表冷（加热）段、再热段（电加热、仅 K-1 系统设置）消声段、出风段，最终经风管系统送至空调区域。K-1~K-2 系统冷热源（夏季供/回水温度 $7^\circ\text{C}/12^\circ\text{C}$ 、冬季供/回水温度 $45^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}$ ）由设置在动力厂房屋面的 2 台风冷螺杆式热泵机组提供。K-1 和 K-2 系统的设置均可满足工艺和人员舒适度对温湿度的要求。

② 通风

本次改造拆除原主机大厅排风系统，全部新建。新建 3 个全面排风系统和 1 个局部排风系统，风机布置在动力厂房三层排风机房。

主机大厅共设 3 个全面排风系统 P-1~P-3。其中 P-1 排风系统服务范围为主机包容屏蔽室，换气次数 5 次/h，排风量为 $27170\text{m}^3/\text{h}$ ；P-2 系统为氟循环工艺间的三级包容及处理间、氟工艺间、分析间、泵房等房间服务，氟循环工艺间换气次数 5 次/h，放射性废物暂存间换气次数 3 次/h，总排风量为 $13706\text{m}^3/\text{h}$ ；P-3 系统为主机大厅其他区域服务，主机大厅换气次数 2 次/h，总排风量为 $63350\text{m}^3/\text{h}$ 。P-1~P-3 全面排风系统的离心风机设在动力厂房三层排风机房内，P-1 系统设置 2 台钢制离心风机，1 用 1 备，其余排风系统风机均设置 1 台离心风机。P-1~P-3 全面排风系统排风通过 24.5m 排气筒排入大气环境。

JP-1 局部排风系统为氟循环工艺间氟气供应系统(WJ)、储存与供给系统(SDS)、

排灰气处理系统（TEP）、手套箱除氟系统（GDS）、空气除氟系统（ADS）等手套箱和设备接口服务，计算排风量为 $2410\text{m}^3/\text{h}$ 。JP-1 局部排风系统离心风机设在动力厂房三层排风机房内，设置 2 台离心风机，1 用 1 备，排风通过 24.5m 排气筒排入大气环境。

③控制与运行

JP-1、P-1~P-3、K-1~K-2 系统均设就地及控制室远程启动控制，上述系统风机、阀门运行状态应能在控制中心显示。

整体启停顺序：先开启局部排风风机 JP-1，再开启全面排风系统风机 P-1~P-3，最后开启送风系统 K-1~K-2。停止相反。

（2）工程实验控制中心楼

① 空调、送风系统

工程实验控制中心楼原设计空调形式采用风机盘管，卫生通过间部分无新风系统。本次改造新增 1 个新风系统 X-1，为卫生通过间服务，计算风量分别为 $1750\text{m}^3/\text{h}$ ，选用 1 台全新风热泵型吊顶式空调机组，新风处理到室内等焓状态点后送入房间，室外机置于屋面。

② 通风

本次改造共新增 1 个全面排风系统 P-1。P-1 系统为男、女家常间、男、女淋浴间、过渡间等服务，换气次数为 3~6 次/h，计算风量 $1200\text{m}^3/\text{h}$ ，排风中主要为污浊空气，由吊装在室内的混流风机直接排至室外。

男、女卫生间换气次数均为 10 次/h，计算风量分别为 $252\text{m}^3/\text{h}$ 、 $180\text{m}^3/\text{h}$ ，各设置 1 台天花板用管道式换气扇，共 2 台，排风直接排至室外。

（3）材料库

① 空调系统

材料库共设计 6 个空调系统 K-1~K-6 和 1 个新风换气系统。K-1 系统为材料库、量热间及量热控制间服务，计算总排风量 $2250\text{m}^3/\text{h}$ ，冷/热负荷为 $27\text{kW}/18\text{kW}$ ，该系统为直流送风系统，夏季送冷风，冬季送热风，选择 1 台整体式屋顶空调机组，放置在室外地面。室外新风经空气处理机组进风段、初、中效过滤段、表冷（加热）段、消声段、出风段，最终经风管系统送至空调区域。K-2 系统为登记间服务，计算冷/热负荷均为 $1.6\text{kW}/1.3\text{kW}$ ，设置 1 台壁挂式分体空调机，室外机放置在室外地面。K-3 系统为监控大厅服务，计算冷/热负荷均为 $8.9\text{kW}/7.8\text{kW}$ ，设置 2 台壁挂式

分体空调机，室外机安装于外墙。K-4 系统为设备间服务，计算冷/热负荷均为 3.5kW/2.7kW，设置 1 台壁挂式分体空调机，室外机安装于外墙。K-5 系统为量热间服务，选用恒温恒湿空调机组，计算冷/热负荷 5.5kW/3.6kW，室内机放置在设备间内，室外机放置在屋面。K-6 为 UPS 间服务，计算冷/热负荷均为 3.9kW/2.7kW，设置 1 台壁挂式分体空调机，室外机安装于外墙。为满足室内人员对新风的要求（每人不小于 30m³/h），监控大厅设置 1 个新风换气系统 XH-1，设置 1 台热回收式新风换气机，吊装于监控大厅。

② 通风系统

材料库共设计 2 个全面排风系统 P-1 和 P-2。

P-1 系统为材料库、量热间及量热控制间服务，换气次数均为 6 次/h，计算总排风量 2500m³/h，接入主机大厅 JP-1 局部排风系统，通过动力厂房屋顶 24.5m 排气筒排放。

P-2 系统为 UPS 间服务，换气次数≥12 次/h，计算风量为 950m³/h，主要排除房间内余热。

卫生间换气次数为 10 次/h，计算风量为 280m³/h、设置 1 台百叶窗式换气扇，排风直接排至室外。

（4）科研保障综合楼（食堂）

食堂设置在科研保障综合楼一层和二层，厨房设置全面排风系统、局部排风系统、事故排风系统。局部排油烟通风系统由设置在屋顶的排油烟风机及油烟净化器处理达标后排放。

3.1.1.4 项目综合技术经济指标

本项目综合技术经济指标见表 3.1-3。

3.1-3 本项目综合技术经济指标

序号	内容		指标	单位
1	规划建筑净用地面积		59277.3	m²
2	总建筑面积		57673.38	m²
	其中	原有建筑建筑面积	43186.78	m²
		本项目新建建筑面积	14486.6	m²
3	建筑基底面积		19957.26	m²
4	绿化面积		22322.73	m²

序号	内容	指标	单位
5	新增道路、广场停车场面积	11965.07	m ²
6	改造围墙	1050	m ²
7	建筑密度	33.66	%
8	绿地率	37.16	%

3.1.2 劳动定员和工作制度

人员配置：西物院对人力与设备资源进行集中管理，拟组建约 390 人的队伍开展 HL-3 装置实验研究任务，涉及工程、实验及运行，均从西物院现有工作人员中调配，不新增劳动定员。其中配备的辐射工作人员主要为 HL-3 装置日常运行与维护人员共计 34 人，其中新增 10 名辐射工作人员，其余 24 人从西物院现有辐射工作人员中调配，调配后不再从事原有辐射工作，各辐射工作人员岗位之间不存在交叉。本项目辐射工作人员岗位设置、工作内容及工作时长见表 1.2-1。

工作制度：年工作日 250 天，平均每天 8h。

3.2 工程设备与工艺分析

3.2.1 工程设备及主要原辅料消耗

3.2.1.1 主要设备

本项目新增和改造工艺设备共计 531 台（套），新增和改造的主要设备见下表。

表 3.2-1 本项目主要新增和改造设备表

序号	设备名称	单位	数量
一	主机系统	台/套	95
1	上偏滤器	套	1
2	磁体系统及其支撑结构	台/套	3
3	低温系统	台/套	12
4	抽气系统	台/套	26
5	壁处理	台/套	2
6	第一壁局部结构升级	套	1
7	冷却及烘烤系统	台/套	14
8	加料系统	台/套	5
9	主机监测与安全运行系统	台/套	31
二	加热系统	台/套	222
1	中性束注入系统	台/套	116
2	电子回旋共振加热系统	套	32

序号	设备名称	单位	数量
3	离子回旋共振加热系统	套	22
4	低杂波电流驱动系统	套	52
三	诊断系统	台/套	94
1	激光干涉系统	套	1
2	偏滤器靶板探针	套	12
3	快规系统	套	10
4	束辅助诊断系统	套	4
5	可见光成像诊断系统	套	1
6	可见光光谱系统	套	1
7	气氖氙探测系统	套	3
8	磁测量系统	台	1
9	共振磁扰线圈系统	套	1
10	电子回旋辐射系统	台	1
11	微波反射计	台	1
12	汤姆逊散射系统	套	1
13	紫外光谱系统	台/套	3
14	红外检测系统	套	5
15	弯晶谱仪	套	1
16	中子通量 NFM	套	2
17	中子能谱 NS	套	5
18	中子剖面 NC	套	2
19	中子活化 NAS	套	2
20	伽马射线诊断	套	10
21	α 粒子诊断法拉第筒	套	15
22	CTS 系统	套	1
23	低压电离室阵列	套	6
24	逃逸电子诊断	套	5
四	供电系统	台/套	35
1	储能系统	套	1
2	磁体电源系统	套	3
3	高压电源系统	套	31
五	控制运行系统	台/套	75
1	全域集成控制系统	台/套	41
2	存储与网络系统	台/套	17
3	中央安全联锁保护系统	台/套	8
4	仪控和采集时序系统	台/套	9
六	燃料循环及安全包容系统	台/套	5
1	存储与配送系统 (SDS)	套	1

序号	设备名称	单位	数量
2	排灰气处理系统 (TEP)	套	1
3	手套箱除氚系统 (GDS)	套	1
4	空气除氚系统 (ADS)	套	1
5	氚储存系统	套	1
七	辐射防护与监测系统	台/套	5
1	工作场所监测系统	套	1
2	流出物监测和辐射环境监测系统	套	1
3	个人辐射剂量监测系统	套	1
4	辐射监测网络系统	套	1
5	辐射安全联锁系统	套	1

3.2.1.2 主要原辅材料消耗及能耗

(1) 原辅材料

本项目运行涉及使用的原辅材料见下表。

表 3.2-2 本项目原辅材料表

序号	名称	重要组分、规格	年消耗量	包装方式	存储位置	来源
1	氘气	D ₂ (99.999%)	5000L	钢瓶	工程实验控制中心楼配气站	外购
2	氦气	He (99.999%)	216000L	钢瓶	工程实验控制中心楼配气站	
3	氘硅烷	SiD ₄ (99.999%)	1000L	钢瓶	工程实验控制中心楼配气站	
4	液氮	N ₂ (99.999%)	500t	钢瓶	动力厂房 1 楼	
5	液氦	He (99.999%)	1500m ³	液氦存储罐	动力厂房 1 楼	
6	润滑油	\	100L	油桶	电机厅存储间	
7	变压器油	\	200t	油桶	电机厅存储间	

(2) 能源动力消耗

本项目用水及动力消耗见下表。

表 3.2-3 本项目能源及动力消耗

序号	名称	用量	单位	来源
1	柴油	200	L/a	外购
2	自来水	14062	m ³ /a	市政供给
3	电	4110	万度/a	市政供给

3.2.2 工艺分析

3.2.2.1 装置组成及各系统工作原理

HL-3 装置主机总高约 9m，直径约 8m，本项目建成后，HL-3 装置包括主机系统、诊断系统、控制运行系统、辅助加热系统、燃料循环与安全包容系统、辐射监测系统及辅助系统。各系统的组成、功能和工作原理分述如下。

3.2.2.1.1 主机系统

HL-3 装置主机系统主要包括主机磁体系统、主机支撑、真空室、真空抽气系统、偏滤器、第一壁、内置低温泵、加料系统和壁处理系统等，主机系统位于主机大厅厂房西侧的包容屏蔽室内。

(1) 主机磁体系统

HL-3 装置主机磁体系统由 20 饼可拆卸的环向场（TF）线圈、1 组中心螺线管（CS）线圈、16 饼极向场（PF）线圈以及 19 条磁体引线构成，整体位于真空室外部。TF 线圈用铜合金板材制造，PF 线圈用外方内圆铜管绕制，磁体绝缘主要由浸胶玻璃毡布和环氧玻璃坯布叠加而成。由于 PF 线圈、真空室位于 TF 的内部，因此，TF 采用三段式设计。在 TF 上弧段与 TF 内直段间采用 LC1750 铜钴钼合金棒形成电连接和结构连接。磁体引线主要结构为铜管，外包裹绝缘材料，穿过主机屏蔽后同磁体电源转接柜连接。

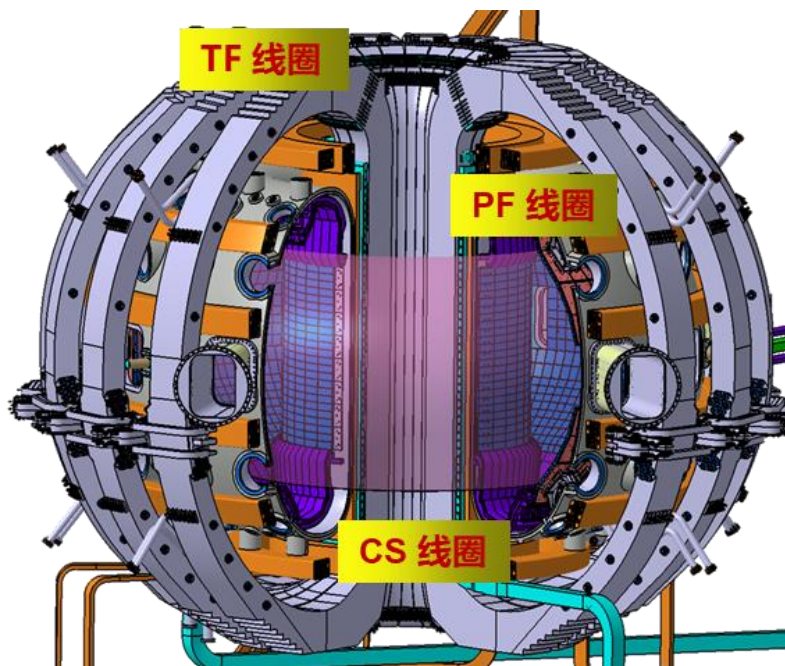


图 3.2-1 磁体系统

本项目主机磁体系统全部利旧，磁体引线根据包容屏蔽间结构适应性改造。线圈通电后，可在真空室内形成不高于 3T 的磁场。

(2) 主机支撑结构

主机支撑结构的功能为支撑装置部件的重力、环向场线圈的倾覆力矩、极向场线圈的垂直电磁力、真空室的重力以及在运行过程中的电磁力等，此外支撑结构还提供了环向场线圈外弧段的径向预紧力。HL-3 装置主机支撑结构根据功能分为重力支撑结构、环向场线圈防倾覆支撑结构、极向场线圈及真空室支撑结构，如图 3.2-2 所示。装置的支撑结构首先要将装置的重量稳定地传递到装置的承重基础上，同时应满足装置在运行过程中的受力、运动、位移和变形等要求，保证装置各部件安全可靠。由于线圈系统运行中具有大电流、高工作电压等特点，在电磁相互作用条件下，线圈承受较大的垂直和水平电磁力，TF 线圈承受较大的平面内力和侧向力等，极向场线圈支撑结构为框架式结构，承受线圈垂直电磁力的同时，还要满足线圈径向膨胀的位移需求，保证线圈引线及接头的安全。线圈通电运行中采用水冷方式实施冷却，因此存在大量的水冷管引进引出。同时，支撑结构需方便加热窗口、诊断窗口和真空抽气窗口的使用，特别要考虑真空室较大切向窗口的需求，并且为诸多辅助系统和诊断系统提供辅助支撑点。

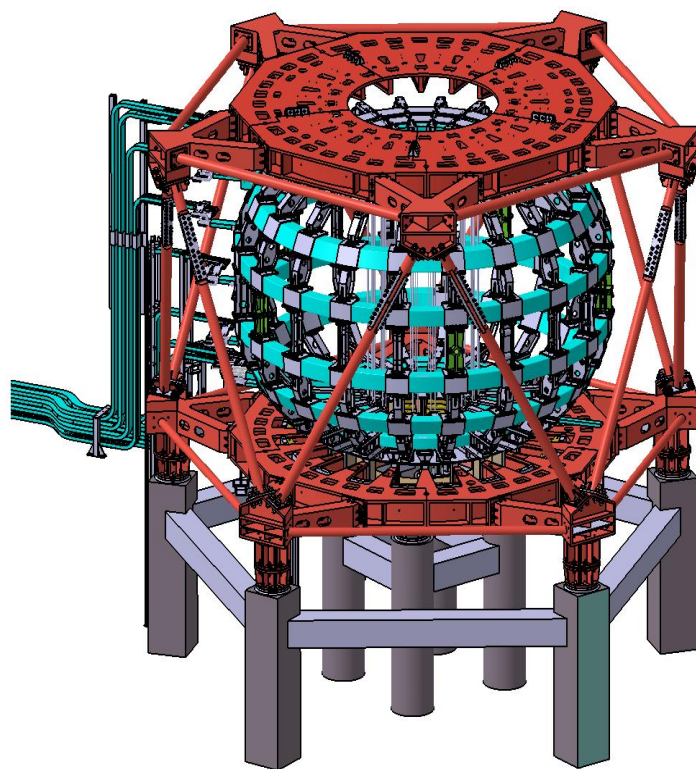


图 3.2-2 主机支撑结构

本项目主要对支撑结构局部进行加强，共新增 3 套设备，其它全部利旧。其中①新增 1 套自动化液压预紧系统，适应 DT 放电实验的远程控制要求并提升一定液压预紧系统的预紧力裕度，可实现在高参数放电实验运行条件下环向场线圈预紧力远程自动调整并反馈载荷变化；②新增 1 套磁体及支撑外围附属系统，用于提升磁体线圈的支撑稳定性和承载能力；③新增 1 套紧固系统和测量监控系统，用于提高支撑结构的可靠性，实现主机核心磁体系统的安全运行。

（3）主机真空系统

主机真空室是主要的等离子体包容边界，也是氚及活化产物的包容边界。主机真空室主要材料为 Inconel 625，极限真空压强小于 $3 \times 10^{-6} \text{Pa}$ 。采用了 D 形截面的双层-薄壁-全焊接式-环状结构，其内环直径为 2m，外环直径为 5.22m，环高 3.02m，主要由内壳、外壳、加强筋板以及各种形式的窗口组成；整个真空室由 20 个扇形段焊接而成，每个扇形段中心角为 18° 。真空室结构如图 3.2-3 所示。

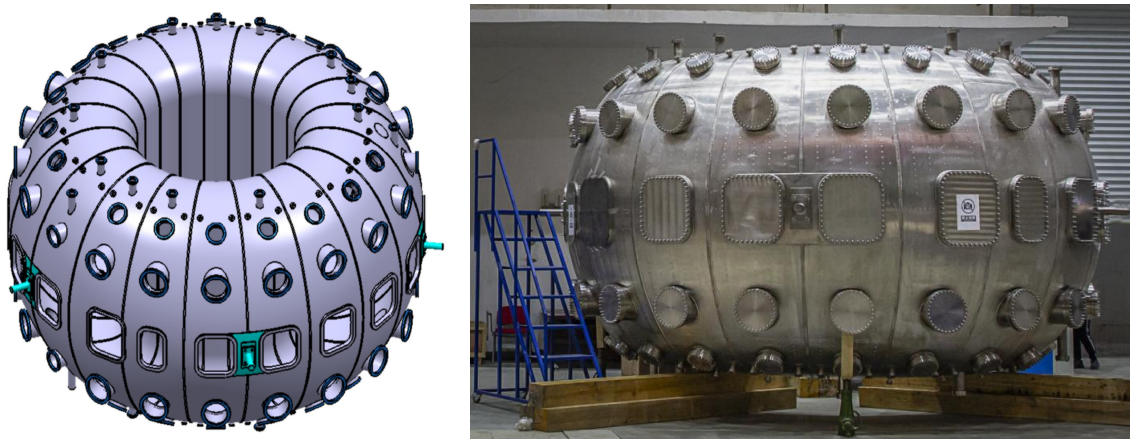


图 3.2-3 主机真空室结构



图 3.2-4 真空室保温层结构

内、外壳体壁厚均为 5mm，真空室每个扇形段都包含沿极向分布的夹层加强筋

板，夹层加强筋不仅可以增加薄壁真空室的机械强度，同时形成热氮气烘烤回路。

由于真空室需要经过高温烘烤，在真空室外设有保温层结构如图 3.2-4 所示。保温层位于真空室外侧，紧贴真空室，主要为无碱玻璃纤维复合材料。

本项目真空室及其保温层全部利旧，不涉及改造或新增设备。

(4) 真空抽气系统

真空抽气系统主要功能是利用真空室窗口作为主抽气口在真空室烘烤、壁处理和实验阶段将空气、杂质气体和实验工作气体安全无泄漏地运输到指定系统进行再处理，并为等离子体物理实验与工程实验提供所需的超高真空本底环境。

本次改造，对主真空抽气系统进行重新设计改造，项目主要新增 8 台磁悬浮分子泵、12 台低温泵、4 台罗茨泵、1 套全金属真空阀门和 1 套真空测量系统与控制系统等。改造后的真空抽气系统由粗抽气机组、分子泵主抽气机组、低温泵主抽气机组、检漏维持泵抽气机组、供气系统、冷却水系统及测量与控制系统组成。系统建成后能提供 16000 L/S 的主有效抽速。系统极限真空达到 10^{-6} Pa。

(5) 高热负荷偏滤器系统

高热负荷偏滤器系统位于真空室内部，其主要功能包括：减少等离子体与壁相互作用，进而降低进入主等离子体的杂质；通过减少中性粒子流从而减少芯部电荷交换的能量损失；将在刮离层中电离的杂质排入偏滤器，提高聚变氦灰的排除效率；降低第一壁材料表面的峰值热负荷等。

偏滤器为模块式结构，分上、下两部分。HL-3 现有下偏滤器由 60 个模块组成，单个偏滤器模块主要含碳纤维复合（CFC）材料、铜合金、inconel625 材料，包含：靶板、靶板水管、cassette、冷却水管、C 型连接块、紧固楔块、连接紧固件等结构。靶板由 CFC 瓦片、热沉板采用热等静压焊接而成。内外侧支撑结构类似，都包括支撑定位环、柔性支撑、调整垫块、焊接永久支撑块等，其结构如图 3.2-5 所示。

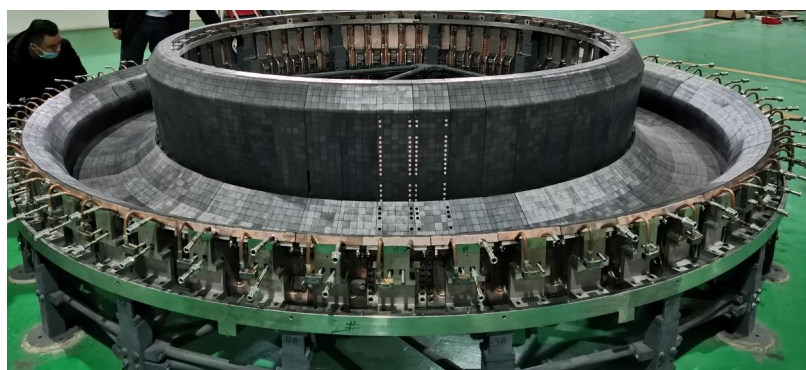


图 3.2-5 下偏滤器结构

随着辅助加热能力的持续提升，偏滤器将承受的热负荷大小也随之急剧上升。此外，随着等离子体电流的进一步提升，需进一步提升拉长比，采用双零偏滤器位形运行，因此必须将上第一壁升级为上偏滤器，本项目新增 1 套上偏滤器，上偏滤器靶板承受热负荷能力 $\geq 10\text{MW/m}^2$ ，持续时间 5s。上偏滤器结构与下偏滤器结构类似，同样为模块化设计，通过真空室内集水管与偏滤器烘烤及水冷系统进行连接。

（6）第一壁系统

第一壁是面向等离子体的非密封边界，结构整体包裹在真空室内。其主要功能为保护真空室及其他内部件避免受到高温而损坏。第一壁系统采用模块化设计，单个模块以石墨作为面向等离子体材料，以 SS316L 作为石墨支撑材料。模块通过焊接螺柱或者焊接支撑连接固定在真空室上。在 DT 运行阶段，将顶部第一壁拆除，新建上偏滤器系统用于提升等离子体排灰性能和除热能力。强/弱场侧第一壁结构如图 3.2-6 所示。

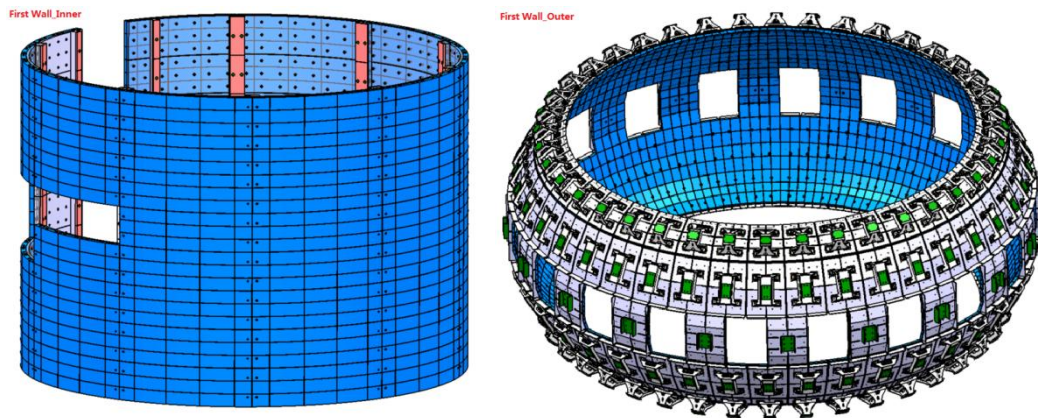


图 3.2-6 强/弱场侧第一壁结构示意图

本次改造主要是针对第一壁热壁运行方案进行改造和中性束 2#束线与 3#束线穿透等离子体轰击至第一壁的模块改造。其中热壁条件下，除 NBI 束透区外的所有第一壁模块均拟采用电加热方式提高壁温度至 200°C ，与外界不通过气体或者液体进行交互。而对于 NBI 束透区第一壁模块将采用 0.3MPa 下的高温热氮气进行烘烤至 200°C 。

（7）内置低温泵

内置低温泵环体，位于真空室内上下偏滤器区域，由一系列的圆管弯成一个环体组成。从内到外分别是扰流管、液氮管、内层液氮屏、两根小液氮管、外层液氮屏、防热辐射屏，如图 3.2-7 所示。内置低温泵材料主要采用 SS316L 及部分镍基合

金，与低温系统通过 DN200 进行连接，与低温系统交互液氮及冷氦气。通过冷氦气制冷产生泵吸原理对真空室的杂质气体进行吸附。通过冷氦气的温度调节实现内置低温泵杂质气体的吸附与释放。本次不进行改造，全部利旧。

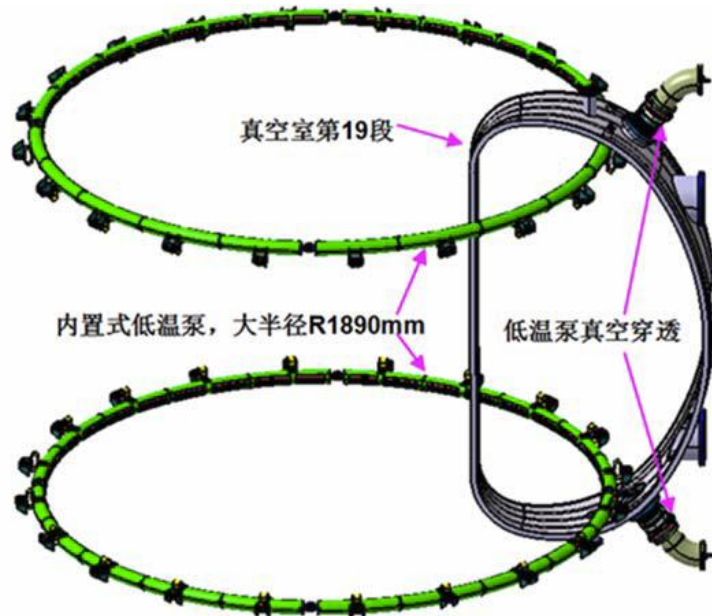


图 3.2-7 内置低温泵

(8) 加料系统

HL-3 装置加料系统注入方式是以预送气或反馈的控制方式通过安装在与真空室相连的气管阀门单点/多点喷气注入工作气体/杂质气体至真空室内，在主真空室内建立起初始等离子体击穿放电所需的气压环境和有效控制等离子体密度，同时实现在等离子体运行期间进行燃料或杂质的注入和添加。HL-3 装置主要采用普通送气及 SMBI 两种送气方式实现系统加料，弹丸系统在实验中作为深度加料需求下的加料补充和物理控制手段。HL-3 现有超声分子束送气系统 6 路，包括偏滤器送气系统 3 路，强场侧送气系统 1 路，反馈送气系统 1 路，以及主动送气系统 1 路；普通送气 10 路，包括 6 路偏滤器送气、2 路密度反馈送气及 2 路补充和本底送气；弹丸系统现有 1 路散裂弹丸。

在本次升级改造中，采用统一配气系统对多种加料系统进行供气，并适应性新增普通送气及弹丸注入系统。重点增加超声分子束氦注入系统，该系统由氦循环系统供气，并考虑设置一个 250mL 氦储气罐，气压最高为 5 bar，近装置段采用多路送气阀门（含一路常闭的普通送气阀门，用于备用及可能所需的对比测试），实现冗余设计，提高容错率。

(9) 壁处理系统

壁处理系统主要用于对真空室内的器壁进行清洗，以达到去除器壁上滞留的燃料粒子和杂质粒子。

壁处理系统采取辉光放电清洗工艺，清洗时将真空室接地作为负极，向真空室窗口接入金属电极作为正极。同时向真空室注入气体（氦气、氖气或氢气），调整电源电压直至产生辉光放电使部分气体电离，并轰击真空室内壁、真空室内其它构件，由于杂质与真空室器壁材料的吸附强度远小于材料本身的表面结合能，因此可以轻松溅射出杂质以达到去除真空室器壁材料中的杂质和燃料粒子的目的。

装置现有壁处理系统由送气系统、真空系统、辉光电源以及控制系统构成。有三路送气直通真空室，分别位于 10#扇段、7#扇段和 18#扇段的下 300 法兰上，使用 CF35 送气穿透法兰，每种气体使用一个单独的稳压罐，并连接两条独立送气管路。真空室中平面上布有 4 个环向均匀分布的电极。 H_2/D_2 和 He 作为 HL-3 直流辉光放电清洗的工作气体；氦代硅烷（ SiD_4 ）作为 HL-3 壁处理表面涂覆的工作气体。

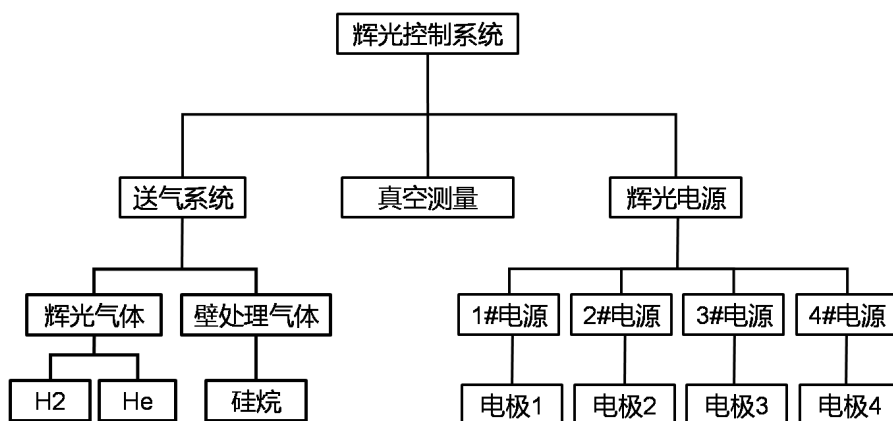


图 3.2-8 HL-3 原壁处理系统图

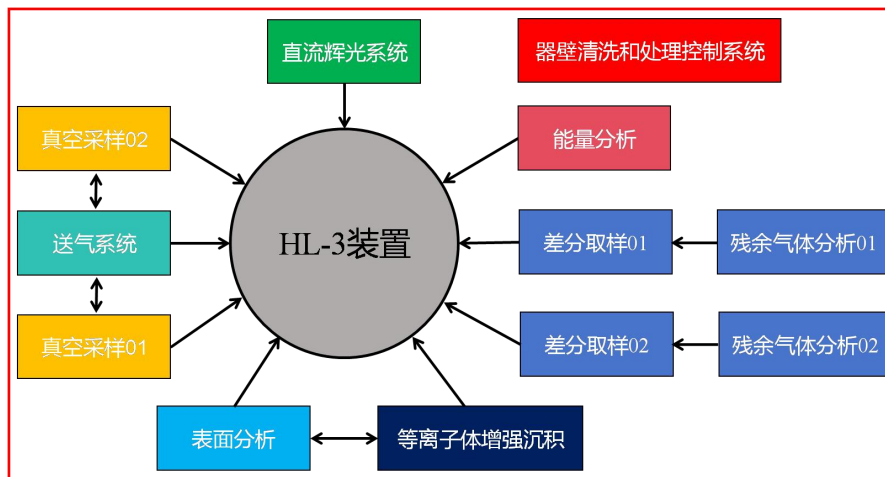


图 3.2-9 HL-3 壁处理改造后的系统图

在本次改造中，主要是加强辉光电源的输出能力，即提升辉光电流，同时对整个辉光和壁处理的工作气体回路进行改造，改造后系统图见图 3.2-9。本次改造后，HL-3 壁处理系统由涉氚壁处理控制系统、直流辉光清洗系统（GDC）、表面涂覆壁处理系统（Si-WC）和壁处理过程监测系统组成。

其中，涉氚壁处理控制系统，作为整个系统的核心控制部分，对壁处理系统的各子系统进行远程控制及数据采集，同时也承担与中控系统和主机安全控制系统的上级控制系统之间的通讯和数据交互等功能。

直流辉光清洗系统（GDC），作为常规器壁处理手段，主要承担装置日常的直流辉光放电清洗。本次改造从提升辉光电流和辉光远程自动化出发，对辉光电源进行升级，并进行辉光工作气体（He/D₂）的送气自动化改造。

表面涂覆壁处理系统（Si-WC），作为 HL-3 最重要的器壁处理方法，主要在装置高参数运行前进行硅膜沉积，降低杂质和再循环。本次改造主要是新建稳压电源，保证硅化壁处理过程的稳定性和装置效率，并对硅烷送气系统进行改造，提高硅化壁处理过程的安全性。

壁处理过程监测系统用于常规的真空压力监测以及壁清洗、壁处理前、中、后真空室内杂质以及壁表面状态监测，用以评估壁清洗、壁处理效果，为 WC 运行固化工艺参数以及装置运行决策提供必要的的数据支撑。

3.2.2.1.2 诊断系统

等离子体诊断系统是托卡马克装置的不可或缺的部分，该系统的功能是为研究人员提供等离子体参数从而优化等离子体控制，降低等离子体输运系数，改善约束，为获得经济、稳定的聚变能源提供基本保证，也是开展评估等离子体性能的基础。诊断系统的工作原理是捕获来自等离子体的电磁辐射、粒子等，然后利用某种（些）物理效应，如电磁辐射的频移、展宽、强度等，以及粒子的能量、速度或者能谱等，从而掌握等离子体参数。

为了在 HL-3 装置上开展等离子体物理实验，现已经发展了 40 多套等离子体诊断系统，包括光、磁、微波、机械诊断等，是 HL-3 等离子体放电调试及物理实验最重要参数测量工具。

为了使诊断系统能适应 DT 聚变的环境，需要对现有诊断进行升级改造，同时发展新的诊断手段。本次主要涉及 DT 聚变反应产物监测诊断、基本参数测量相关

诊断以及运行安全监测三类共 24 种诊断，共新增诊断相关设备 94 台（套）。

3.2.2.1.3 控制运行系统

控制运行系统是托卡马克装置运行的“中枢神经”和“控制大脑”，旨在实现装置全域控制、数据、通讯等集成统一管理。一是面向装置全局提供基础设施服务，包括连续数据采集、定时同步和触发、数据存储与网络服务，联锁保护与安全控制、公共 IT 平台等；二是面向等离子体运行，依托先进的等离子体控制技术，实现最优输出参数匹配，逐步提升等离子体综合性能，满足堆芯等离子体高性能运行，因此控制运行系统是中国环流三号 DT 实验的核心系统之一。

HL-3 现有控制运行系统包括放电管理、中控逻辑控制、数据采集、时序控制及 PCS 系统，位于主机大厅北侧的工程试验大楼内。本次改造升级为全域集成的控制运行系统，对中控大厅、存储和网络升级改造，建设中央联锁保护系统，仪控和采集时序系统，并全部设置在新建的控制中心内，共新增设备共计 75 台（套）。

HL-3 开展燃烧等离子体实验过程中，具有数量繁多的子系统、设备，参与实验运行的人员极多，存在着大量跨学科、跨团队合作的需求。因此，基于一个统一的控制运行交互平台，使用统一的数据通信协议、操作系统底座、软硬件设计架构进行协同运行至关重要。全域集成控制运行系统的建设便是为了解决这一问题，它为不同类型的控制运行子系统提供统一兼容的软件运行平台、实时数据采集与传输方式、控制系统和人机交互界面，保证控制运行必备子系统的正常运转，并为不同子系统的协同控制提供平台底座支撑，同时也保证一定的可拓展性以搭载实验研发需求的新型子系统。该系统中需实现两大部分的功能：一是中央控制运行集成操作系统框架软硬件平台，二是控制运行子系统的软硬件系统和中央系统的对接。

中央控制运行集成操作系统对应图 3.2-10 中的 CODIS CORE 和人员职能集成的部分，以及部分的系统功能集成接口，是一个大型系统，功能包括但不限于：CODIS 公共部分、实时控制、实验运行、数据访问、数据库、人工智能、API 接口、人机界面和子系统对接等部分。整个系统上层将采用 WEB 界面，中层采用 Java 语言底层，底层采用 C++ 语言，全部基于 Linux 系统和全自主硬件，运行在一套实时和非实时的集群上，共同构成一套平台。

控制运行子系统包括但不限于：破裂预测与防护、实时平衡位形重建、等磁通位形控制、光学边界识别、垂直不稳定性控制、安全因子剖面控制、台基区参数集

成控制、逆磁测量、误差场补偿控制、MHD 实时反馈控制、脱靶反馈控制等，上述控制功能的实现强烈依赖于诊断系统和对应的执行机构，诊断系统包括但不限于磁测量、密度、温度、饱和粒子流、MSE 等，执行机构包括但不限于 NBI、ECRH、LHCD、电源、电机、加料、RMP 等，涉及执行机构的实时反馈控制等，界面需求按后续约定的界面详单执行。

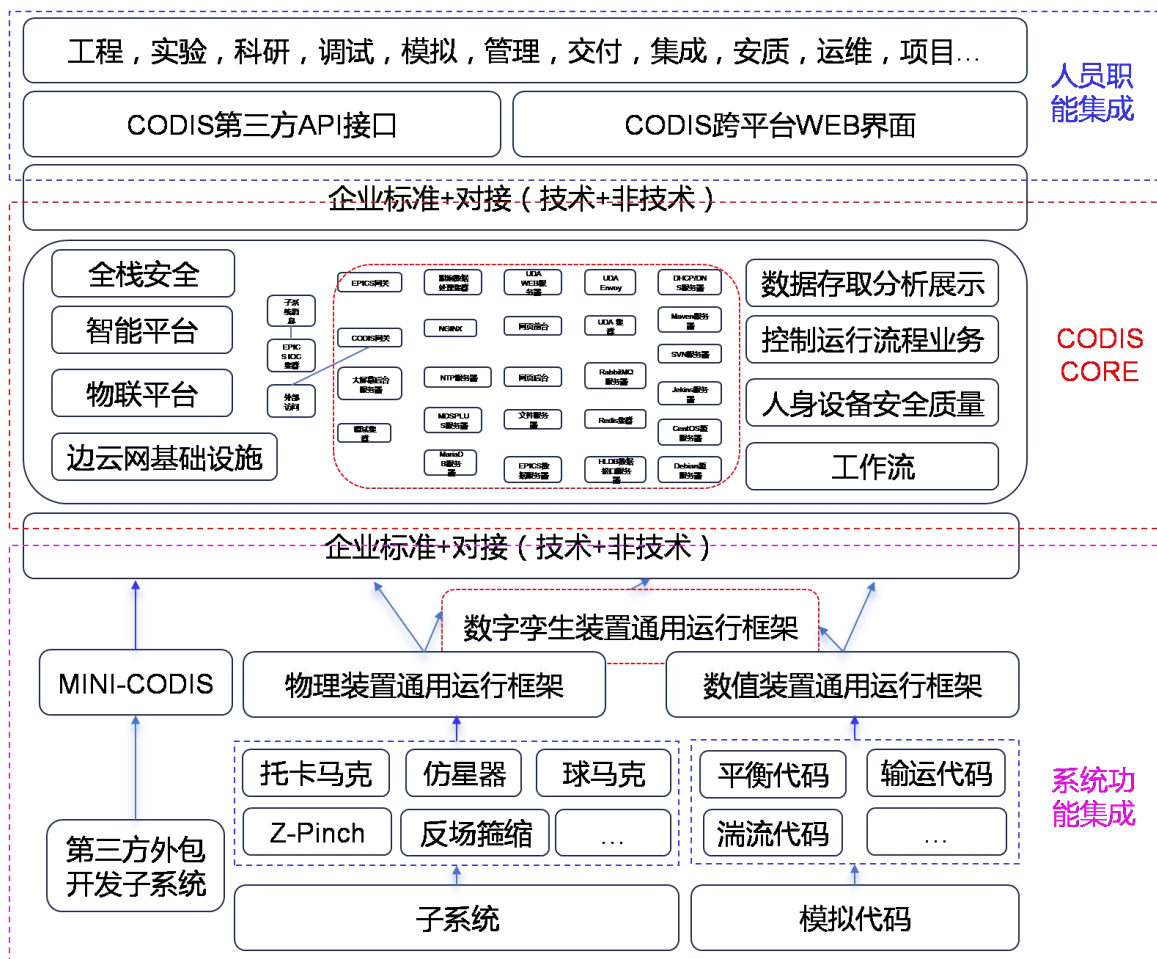


图 3.2-10 改造后的控制运行系统组成结构的示意图

3.2.2.1.4 辅助加热系统

为了使堆芯级等离子体达到燃烧所需要的温度并维持等离子体稳定运行，高功率加热是等离子体加热不可缺少的基本手段。等离子体加热主要包括中性束加热及射频波加热，其中射频波加热由于运行频率不同而分为电子回旋共振加热、低杂波电流驱动和离子回旋共振加热三种。

HL-3 装置现有加热系统能力共计 12MW，包括 5MW 的中性束注入系统 1 套、5MW 的电子回旋共振加热系统 1 套及 2MW 的低杂波电流驱动系统 1 套。

本项目主要拟对现有 5MW 的中性束注入系统升级为 6MW，新增 7MW 的中性

束注入系统 2 套，新增 4MW 的电子回旋共振加热系统 1 套，新增 2MW 的低杂波电流驱动系统 1 套，新增 6MW 的离子回旋共振加热系统 1 套。

（1）中性束注入系统（NBI 系统）

中性束注入加热具有直接加热离子、加热效率高、适用的等离子体参数范围宽等特征，是磁约束聚变实验装置必不可少的加热系统。本项目建成后，HL-3 装置将形成 3 条中性束注入系统，分别为 7MW 中性束注入系统（三号束线）、7MW 中性束注入系统（二号束线）、6MW 中性束注入系统（一号束线），两条同向注入，一条反向注入，总注入加热功率将达到 20MW，HL-3 装置中性束加热系统布局如图 3.2-11 所示。

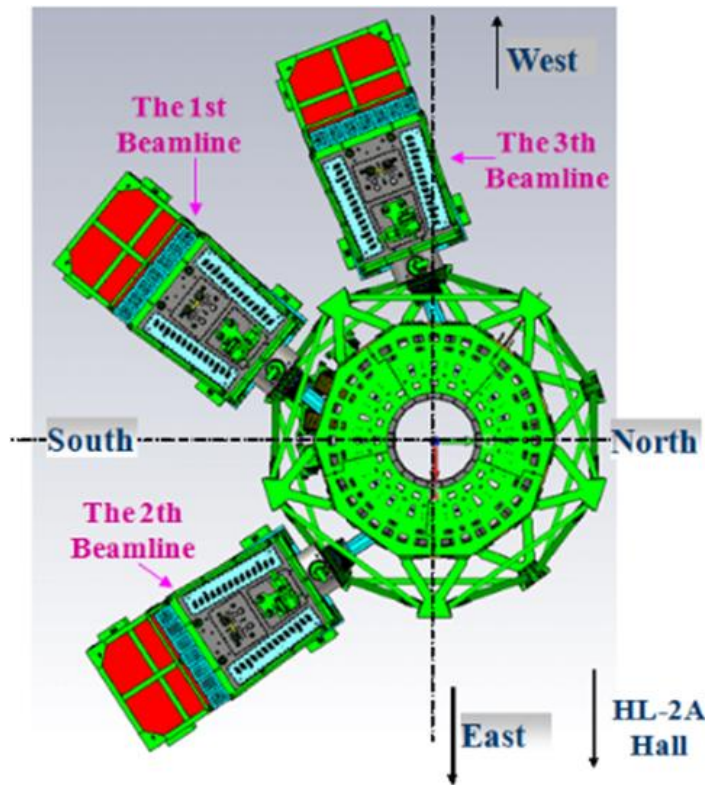


图 3.2-11 中性束注入系统布局图

单条中性束加热系统的主要的核心部件包括：注入器（含离子源、主真空室、偏转磁体、量热靶、真空抽气系统等）和配套系统（高压电源、辅助电源、测控系统、水冷系统、液氮低温系统等）。其中离子源由放电室和加速器两部分组成，用于产生具有一定束能量的离子束。主真空室前段为连接离子源的汇聚法兰及中性化室；末段为与磁约束聚变装置连接的漂移管道；中段用于安装偏转磁体、量热靶、低温泵等，为离子束汇聚、离子束传输、离子束中性化、未中性化离子偏转，以及

离子束吞噬等提供必须的真空环境。偏转磁体位于主真空室内，用于将未被中性化的粒子在磁场作用下发生偏转，打在吞噬器上。

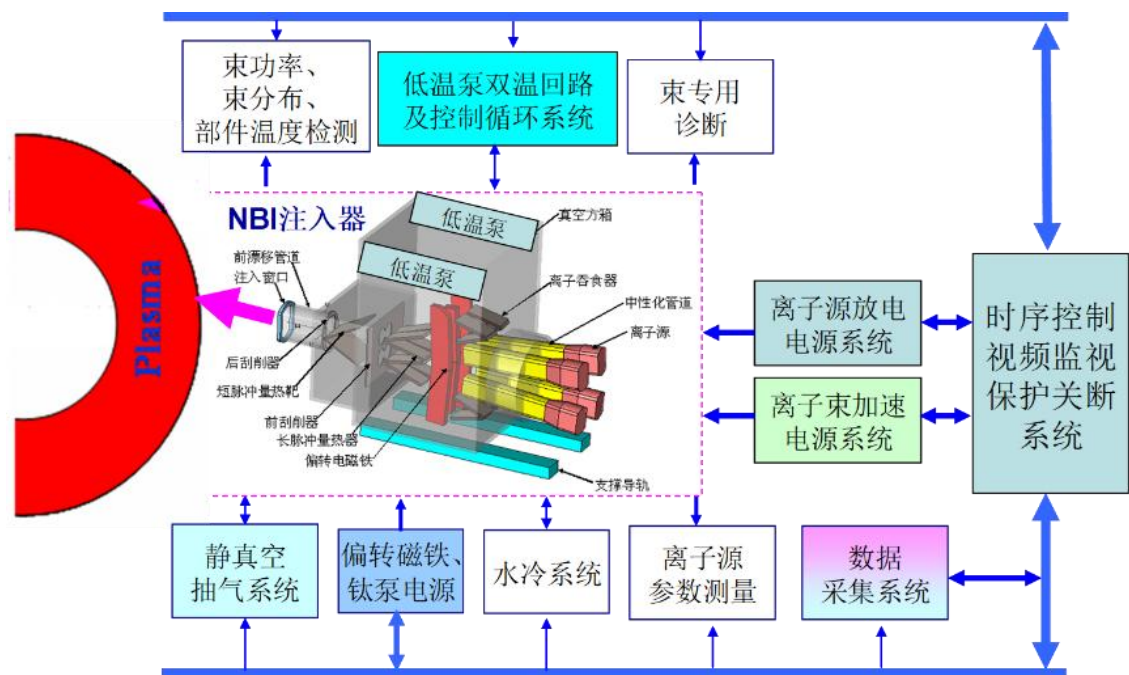


图 3.2-12 单条中性束系统的结构构成图

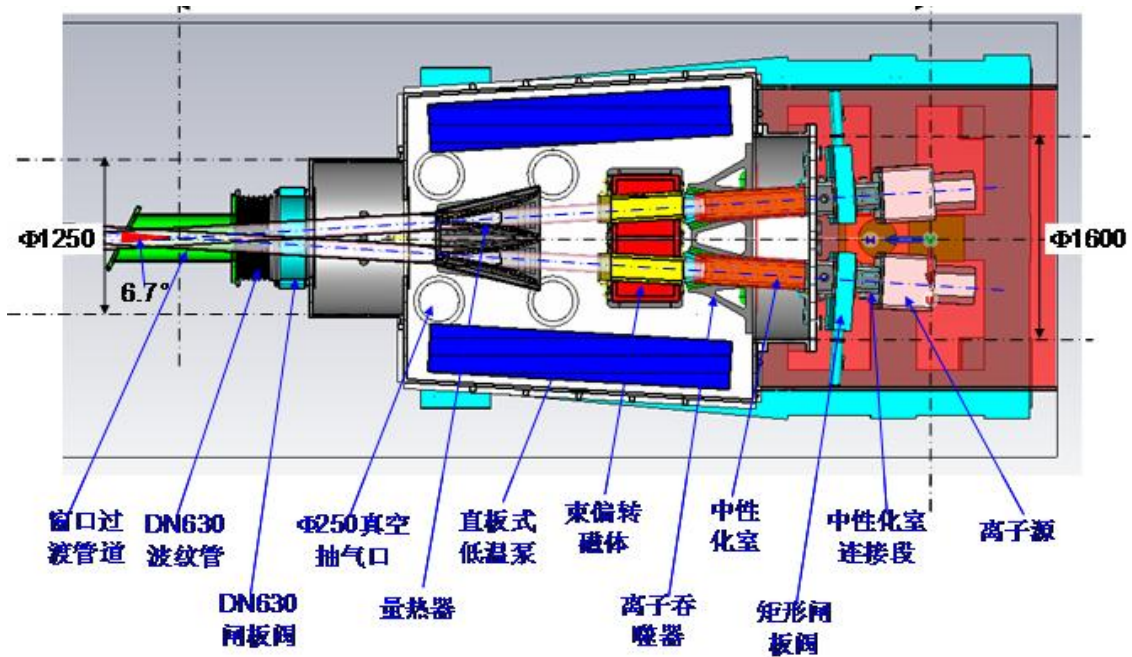


图 3.2-13 注入器结构示意图

工作气体主要为氙气，氙气在离子源经电离和加速，获得较高能量离子束，高能离子束与中性化室的工作气体发生碰撞及电荷交换后，形成高能的原子离子混合束，离子被偏转磁体过滤后，剩余的中性束通过束通道被输送到 HL-3 装置真空室

内。高能中性束与等离子体发生碰撞、电离和电荷交换等作用，将自身携带的大部分能量传递给等离子体，从而实现加热和驱动等离子体的目的。在实验运行过程中，通过与真空室相连接的气动插板阀的开启，中性束向真空室内注入高能量的中性化粒子。

表 3.2-4 中性束注入系统主要设计参数

束线	束能量	束功率	束脉冲宽度
一号束线	100keV	6MW	5s
二号束线	120keV	7MW	5s
三号束线	120keV	7MW	5s

(2) 电子回旋共振加热系统（ECRH 系统）

在射频波加热中，电子回旋波由于具有良好的定域性、沉积宽度窄、可实时控制沉积位置、波的耦合不受等离子体边界条件限制等优点，被公认为是等离子体控制的最佳手段。在 HL-3 装置等离子体放电中，通过改变电子回旋波沉积位置控制等离子体剖面、抑制新经典撕裂模以及研究芯部杂质输运，对于 HL-3 装置等离子体安全稳定运行至关重要。本项目建成后，HL-3 装置将形成 11MW 电子回旋共振加热系统，包括一套 4MW、一套 2MW 及一套 5MW 子系统，其中 4MW 子系统为新建，其余两套子系统为利旧改建，如表 3.2-5 所示。

表 3.2-5 电子回旋共振加热系统参数及扩展后能力

子系统	设计功率	束脉冲宽度	新建或利旧
ECRH-1	4MW	10s	新建
ECRH-2	5MW	3s	利旧改建
ECRH-3	2MW	3s	利旧改建
合计	11MW	3s	

电子回旋共振加热系统包括微波源系统、传输系统、发射天线系统以及高压电源、辅助运行电源、控制保护测量、监控、冷却、真空等附属设施，系统组成架构及总体布局如图 3.2-14、图 3.2-15 所示。微波源回旋管产生的高功率微波，经由真空度优于 10^{-2}Pa 过模波纹波导传输线传输后，通过可控制微波极向与环向注入角度的集束式发射天线注入等离子体，通过改变注入频率、注入角度、装置纵场、等离

子体密度、等离子体位形等参数实现与等离子体的有效耦合，达到辅助启动等离子体、等离子体加热、等离子体电流驱动、控制剖面及抑制不稳定性的目的。

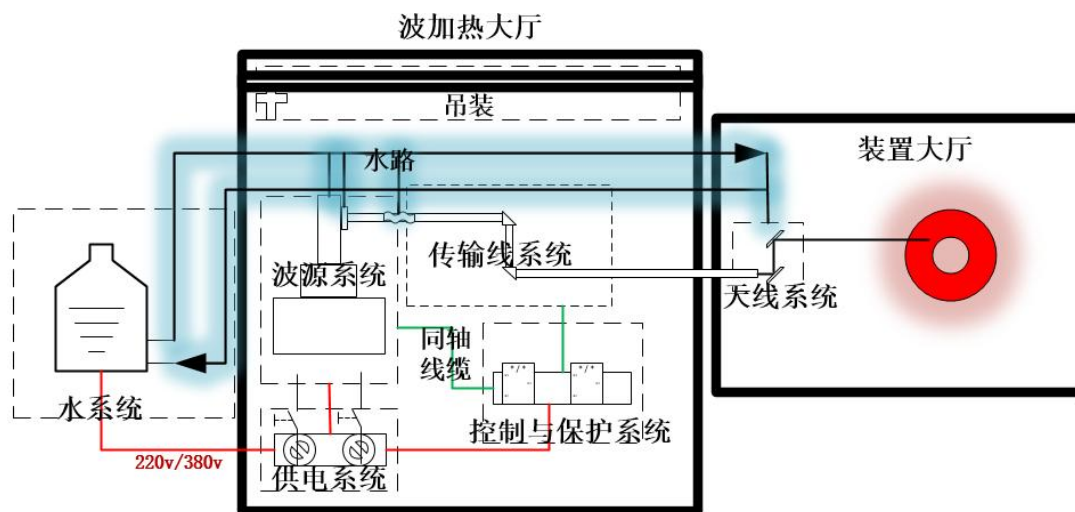


图 3.2-14 电子回旋加热系统构成框图

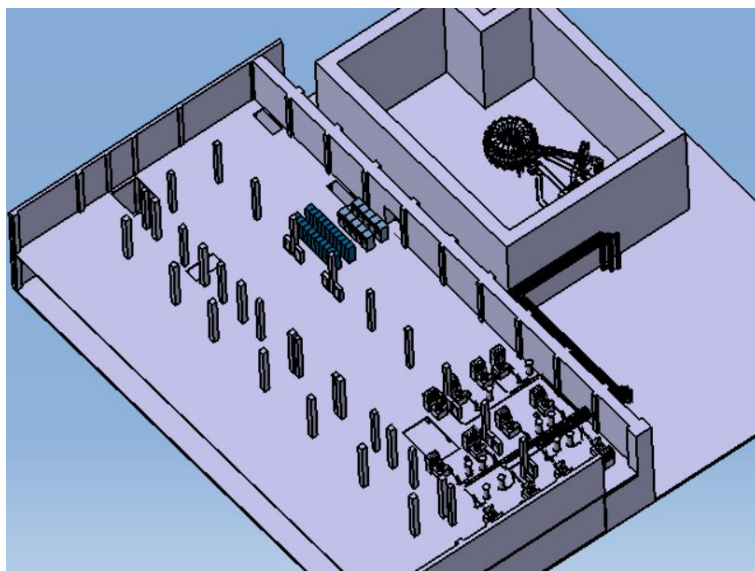


图 3.2-15 电子回旋共振加热系统总体布局图

（3）离子回旋共振加热系统（ICRH 系统）

离子回旋共振加热可以向等离子体中提供高频电磁波能量，从而使等离子体中的离子增加动能，提高等离子体的温度，具有能够穿透等离子体边界的优势，能够提供更广泛的加热范围和更高的功率密度。本项目新建 1 套 6MW 的离子回旋加热系统，本项目建成后 HL-3 装置将形成 6MW 的离子回旋共振加热系统。

离子回旋共振加热系统核心主体包括高频机、传输线和发射天线，以及高压电源、测控、水冷、天线解耦、3dB 功率合成/分配器、测试假负载、阻抗匹配等配套

单元，其主体构成及整体布局如下两图所示。微波源高频机产生高功率微波，经由同轴波导传输线传输后，通过电流带发射天线注入等离子体，通过阻抗匹配实现微波与等离子体的有效耦合。ICRH 通过在托卡马克中引入一个匹配高频电磁场的天线，在高频电磁场作用下，在等离子体中激励起快波，托卡马克的磁场使离子在垂直于磁力线的方向作回旋运动，当离子的运动频率与高频电磁场频率相等时，离子会与高频电磁场发生相互作用，吸收电磁能量，从而使等离子体的温度增加。

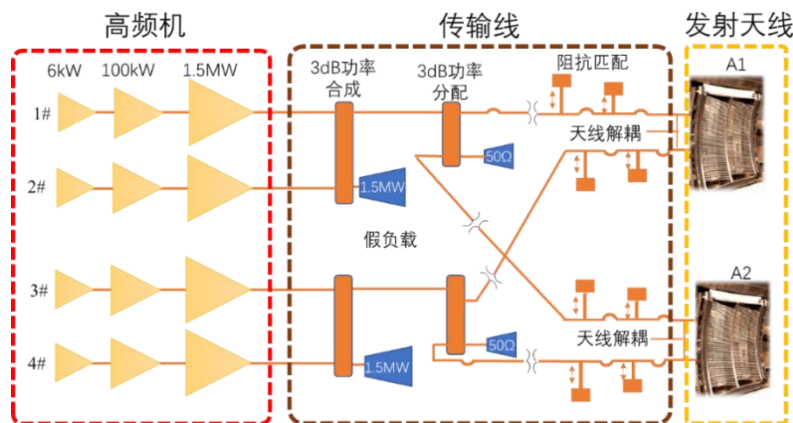


图 3.2-16 离子回旋共振加热系统构成图

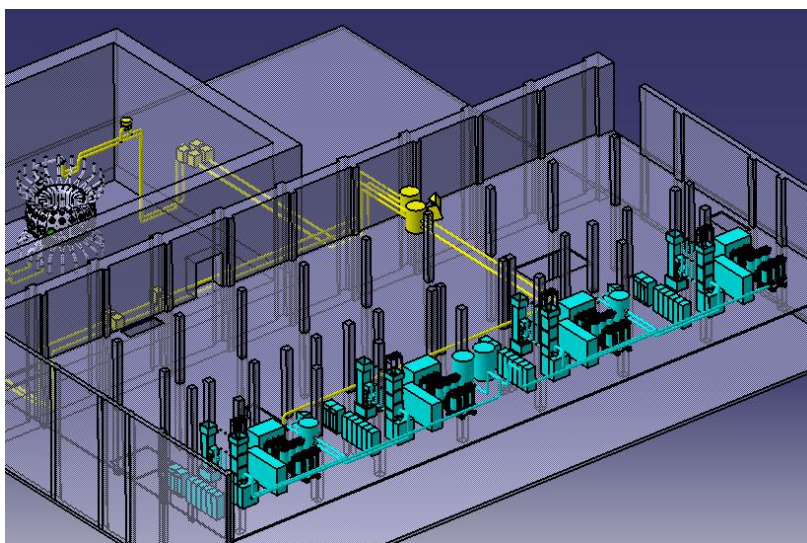


图 3.2-17 离子回旋共振加热系统总体布局图

（4）低杂波电流驱动系统（LHCD）

在射频波加热系统中，低杂波电流驱动系统因其具有优异的电流驱动效率而被广泛应用。HL-3 装置中 LHCD 主要用于无感驱动维持等离子体电流、改善电流剖面提升等离子体品质。本项目建成后，HL-3 装置将形成 4MW 的低杂波电流驱动系统，包括一套 2MW 新建子系统，及一套 2MW 利旧改建子系统。

低杂波电流驱动系统主要包括：微波源系统、微波传输线、天线系统、支撑和保障上述系统运行的监测控制系统、水冷系统以及其他附属设备，系统构成如图 3.2-18 所示。微波源速调管产生的高功率微波，经由充以氮气的标准方波导或圆波导传输后，通过有源无源阵列天线或全有源阵列天线注入等离子体，通过天线波谱控制、天线的移动、天线口送气、等离子体位形控制实现与等离子体的有效耦合。

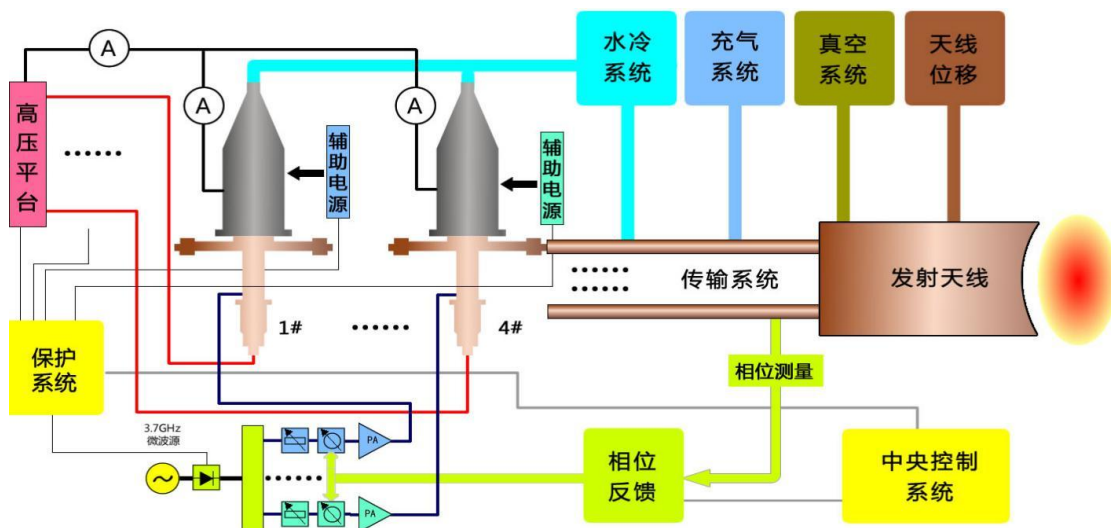


图 3.2-18 低杂波电流驱动系统构成图

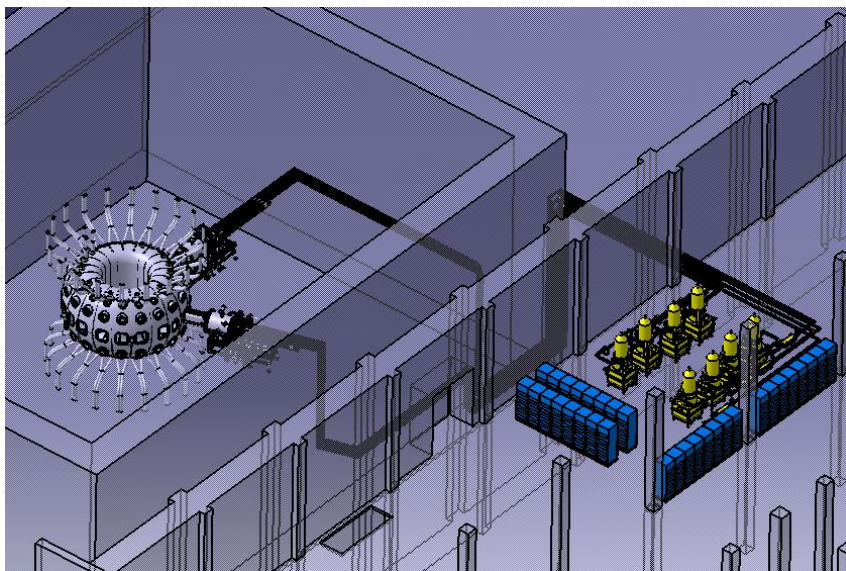


图 3.2-19 低杂波电流驱动系统总体布局图

3.2.2.1.5 燃料循环与安全包容系统

根据本项目 DT 实验的需求，本项目新建燃料循环与安全包容系统，实现氦燃料循环利用和涉氦厂房及系统的安全包容、氦监测与衡算管理等功能，保障 HL-3 装置 DT 聚变实验的氦安全高效利用。

燃料循环与安全包容系统主要由燃料循环系统、安全包容系统、氚储存系统和控制系统组成。其中，燃料循环系统包括储存与供给系统（SDS）、排灰气处理系统（TEP）；安全包容系统包括手套箱除氚系统（GDS）和空气除氚系统（ADS）；氚储存系统包括计量分析系统和备用氚及过程氚储存系统。

燃料循环系统和安全包容系统布置在主机大厅东区的氚循环工艺房间内，氚循环工艺房间分为两层，其中 GDS 和 ADS 布置在氚循环工艺房间一层的三级包容及处理间；SDS 和 TEP 布置在二层的氚工艺间，并预留氢同位素分离系统（ISS）空间备用，同时，二层设置分析间用于放置分析装置等。氚储存系统设置在本项目新建的材料库一层的氚储存库，氚储存库包括登记室、材料库和量热间等功能房间，其中材料库内布置备用氚和过程氚的储存系统、氚储存库 GDS 系统；量热间布置计量分析系统。

总体工艺流程：外部氚源到达院区后先运输在氚储存库登记、计量储存；开展实验前，从氚储存库取氚并运输至主机大厅氚工艺间接入 SDS 进行接收储存，在 DT 放电前，SDS 向加料系统 SMBI 提供符合要求的 DT 气体，每日 DT 放电结束后，SDS 回收 SMBI 和连接管道剩余氚气；带氚调试阶段和 DT 放电阶段产生的等离子体排灰气、辉光放电清洗产生含氚尾气大部分通过抽真空系统抽出，少部分经 NBI 系统真空系统抽出，进入排灰气处理系统（TEP）经除杂、催化氧化和水汽吸附等净化处理后，分离出的高纯氢同位素中间产品气体进入 SDS 进行存储，尾气排入 GDS 进行进一步处理；在 GDS 中经催化氧化和水汽吸附等净化处理后，经动力厂房屋顶烟囱排放，同时 GDS 对手套箱进行周期性净化处理，处理工艺与 TEP 尾气净化处理工艺相同；ADS 用于主机维修期间包容屏蔽室内的空气除氚，主机包容屏蔽室内的空气经催化氧化和水汽吸附等净化处理后，经动力厂房屋顶烟囱排放。

同时，GDS 兼顾用于二级包容事故及 TEP 异常事故工况下的应急除氚；ADS 兼顾用于应急工况下主机包容屏蔽室、氚循环工艺间以及 GDS 通风柜的空气除氚；真空室破裂或其它失去真空事故工况下，真空室内含氚废气的净化处理。

3.2.2.1.6 辅助系统

辅助系统主要包括供电系统、水冷系统、低温制冷系统、烘烤系统等。

（1）供电系统

HL-3 装置供电系统包括储能系统、磁体线圈电源和辅助加热系统的高压电源三

部分组成。供电系统主要将电网交流电储存在储能系统中，再将储能系统中的电供给磁体线圈电源和辅助加热系统的高压电源，最终供给主机磁体和辅助加热系统，装置主机的其它用电设备则通过电网和配电系统直接供给。

储能系统主要功能为将电网交流电储存，并将其供给磁体线圈电源和加热系统的高压电源。本次升级改造主要为拆除 1#、2#号机，新建额定容量 300MVA、额定释能 3000MJ 的超级电容储能系统，为磁体电源供电。项目建成后，HL-3 装置将形成额定容量 600MVA、额定释能 4000MJ 的储能系统。

磁体电源系统主要用于将储能/脉冲发电机组提供的交流转化为装置线圈负载所需的直流电流，用于产生磁场实现等离子体的击穿、维持和先进位形控制。主要包括 TF 电源、CS 电源和 PF 电源。每套磁体电源主要包括以下几大部分：交流开关及保护系统；整流变压器；变流器；直流开关及传输线；以及上述系统运行的测量、控制、保护系统及其附属设备。本项目对现有的 TF 电源进行改造，新增 1 套 TF 升压电源，用于实现中国环流三号装置环向场线圈（TF）供电能力的提升，提升输出功率和能量，使装置能够产生稳定的 7s 的平顶环向磁场，实现高约束纵场输出。该套电源直流输出 $\pm 700\text{ V}$ ，直流输出电流 $\pm 40\text{ kA}$ 。新增 1 套 $\pm 4\sim 5\text{ kV}/\pm 10\text{ kA}/5\text{ kHz}$ 快控电源，满足高参数等离子体运行工况下的，等离子体垂直不稳定性控制需求。

高压电源主要功能为通过储能系统获得电能，再为辅助加热系统提供直流高压和功率。包括中性束高压电源系统、电子回旋高压电源系统、离子回旋高压电源系统、低杂波高压电源系统。本项目将改造和新增高压电源，改造现有的 2 套 80kV/200A(PSM2 及 PSM3)电源为 4 套 30kV/150A 为离子回旋末极系统供电，改造现有 8 套 80kV/50A(PSM1 及 PSM5)电源为低杂波电流驱动系统供电，改造现有 1 套 70kV/100A(PSM4)电源为低杂波电流驱动系统备用电源。新建包括用于中性束注入系统的 14 套 140kV 高压电源（12 套实验使用+2 套备用），用于电子回旋的 12 套 60kV 高压电源，用于离子回旋中间极的 4 套 16kV/20A 高压电源及用于离子回旋共振加热系统调试用的 1 套 30kV/150A 三电平高压电源

（2）水冷系统

HL-3 装置的一些部件和设备在实验过程中将产生较大的热量，需要进行冷却。水冷系统用于对 HL-3 装置主机（线圈、真空室和偏滤器）、辅助加热系统（中性束、电子回旋、离子回旋、低杂波）进行冷却，系统由主机水冷系统、辅助加热系统水冷系统及辅助系统三部分组成，其中辅助系统包括去离子水制备系统和压缩空气系

统，主机水冷和辅助加热水冷的工艺流程如图 3.2-20 所示，辅助系统的工艺如图 3.2-21 所示。水冷系统一回路为闭式循环，改造后的总流量为 3300m³/h，介质是去离子水，其正常供水温度 20~35℃，pH 值为 6.5-7.0，电阻率≥1MΩ·cm@25℃，冷却水通过循环将负载的耗散热传递到换热器，再通过换热器传递至二回路后通过冷却塔扩散至环境，二回路为开路循环，改造后的总流量为 3600 m³/h，介质是市政供水。

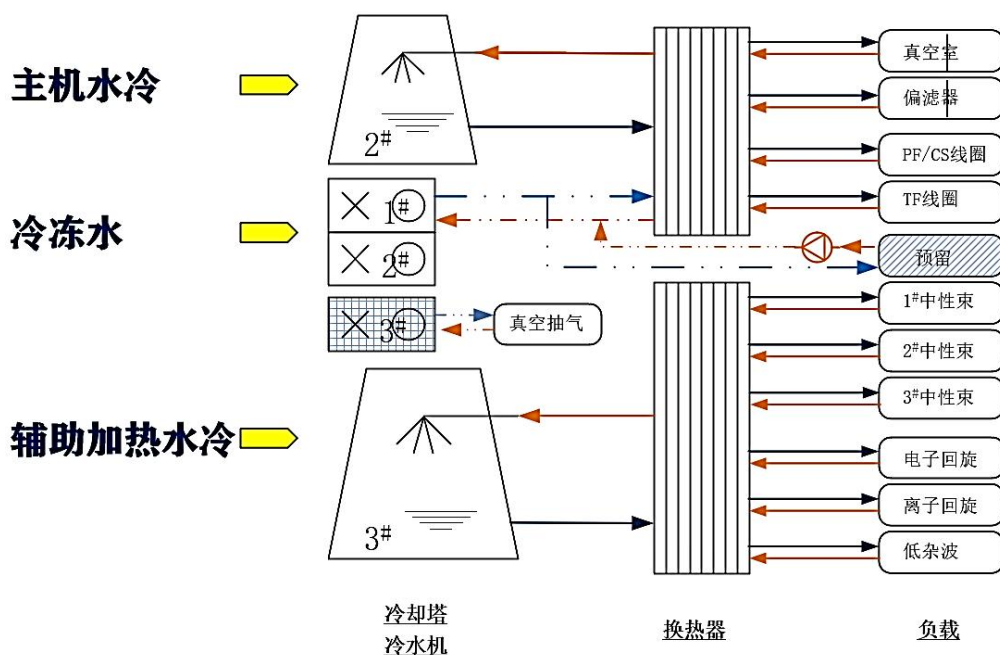


图 3.2-20 主机水冷与辅助加热水冷工艺流程图

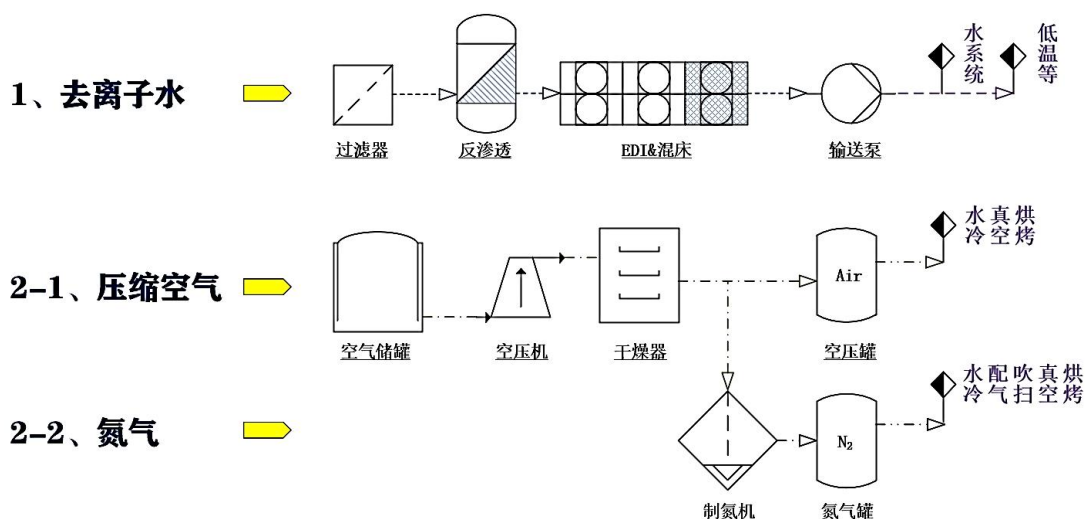


图 3.2-21 辅助系统工艺流程图

HL-3 装置现有主机水冷系统由四个子系统组成，分别是 TF 线圈水冷、TF+CS 线圈水冷、真空室水冷及下偏滤器水冷。本次将对主机水冷系统进行改造和扩容，

四个子系统的设备在新建的设备厂房重新布置,新增加三台冷水机组为 TF 线圈水冷二回路和真空抽气系统提供冷冻水,其中布置在厂房屋顶的两台为 TF 线圈提供冷冻水,每台冷水机组流量 $200\text{m}^3/\text{h}$, 散热功率为 1MW , 布置在厂房设备间的一台为真空抽气系统提供冷冻水, 流量 $50\text{m}^3/\text{h}$, 散热功率为 0.5MW 。

HL-3 装置现有辅助加热水冷系统由二个子系统组成,分别是 1#中性束水冷和电子回旋水冷。本次将对辅助加热水冷系统现有的两个子系统进行改造和扩容,新增 2#中性束水冷、3#中性束水冷、离子回旋水冷及低杂波水冷四个子系统,其中在 1#中性束水冷、2#中性束水冷、3#中性束水冷及电子回旋水冷四个子系统的一回路中增设用于提高冷却水电阻率的水处理回路,新增一台用于辅助加热系统水冷系统散热的冷却塔,其流量 $2400\text{m}^3/\text{h}$, 散热功率 40MW 。

HL-3 装置需要的去离子水均由辅助系统中的去离子水制备系统供给,去离子水制备系统现有产水量为 $5\text{m}^3/\text{h}$,本项目新建一套去离子水制备系统,产水量为 $10\text{m}^3/\text{h}$,原水利用率 $\geq 50\%$ 。水处理工艺为:自来水 $\rightarrow$ 原水箱 $\rightarrow$ 原水泵 $\rightarrow$ 多介质过滤器 $\rightarrow$ 活性炭过滤器 $\rightarrow$ 保安过滤器 $\rightarrow$ 一级高压泵 $\rightarrow$ 一级 RO 装置 $\rightarrow$ 一级 RO 水箱 $\rightarrow$ 二级 RO 增压泵 $\rightarrow$ 二级高压泵 $\rightarrow$ 二级 RO 装置 $\rightarrow$ 二级 RO 水箱 $\rightarrow$ EDI 增压泵 $\rightarrow$ EDI 装置 $\rightarrow$ 氮封水箱 $\rightarrow$ 抛光增压泵 $\rightarrow$ 紫外线装置 $\rightarrow$ 抛光混床 $\rightarrow$ 用水端。

HL-3 装置需要的压缩空气系统现有供气流量为 $3.5\text{ m}^3/\text{min}$, 供气压力位 $0.6\text{-}0.8\text{MPa}$ 。本项目新建一套空气压缩系统,含两台无油空气压缩机组,采用一用一备的工作模式,压缩空气的供气流量为 $7\text{m}^3/\text{min}$, 供气压力为 $0.6\text{-}0.8\text{MPa}$, 同时压缩空气系统将集成一套制氮系统,制氮系统的气源是压缩空气,主要设备是两台制氮机组,氮气的供气压力为 0.6MPa , 纯度为 99.999% 。

(3) 低温制冷系统

低温制冷系统主要用于向 HL-3 装置低温部件提供 4.5 K 、 80 K 以及 300 K 主要温区的冷却,并维持这些部件工作所需的温度,同时可以经受等离子体放电时引起的大量动态热负荷。低温用户主要包括真空室内的偏滤器抽气低温泵、中性束注入低温泵。

目前置已有一套 $860\text{W}@4.5\text{K}$ 氦低温制冷系统和 5000 L 液氮杜瓦,主要为偏滤器抽气低温泵和第一条、第二束线 NBI 低温泵提供冷量需求。为了匹配 DT 运行参数,改造现有 1 套低温制冷系统为第三束线 NBI 低温泵制冷;新建 1 套 $800\text{W}@4.5\text{ K}$ 氦低温制冷系统为偏滤器抽气低温泵提供冷量需求;新建 1 套 $1200\text{W}@4.5\text{ K}$ 氦低

温制冷系统为第一条 NBI 束线及第二条 NBI 束线的低温泵提供冷量需求。

低温制冷系统包括氦制冷液化系统、低温分配系统、回收纯化、低温控制测量系统及其他辅助系统。氦制冷液化系统中制冷机可实现制冷模式、液化模式、超临界氦模式，并满足低温泵的再生模式，可以为低温部件提供 4.5 K、80 K 以及 300 K 三个主要温区的冷却。氦制冷机设备位于低温大厅内，包括压缩机房、冷箱厅、气体控制面板、缓冲罐区、液氮杜瓦和基础设施区。低温分配系统主要由主阀箱、分配阀箱及多通道管线构成，通过多通道管线在要求的低温温区完成氦制冷液化系统不同设备间，以及氦制冷液化系统到低温分配系统阀箱和 HL-3 各用户部件的冷量分配及氦或氮的回收。回收纯化系统主要由氮气化器、液氮系统、氦纯化器、氦压缩机、纯度分析仪、空气储罐、中高压氦气储罐以及管线等构成。其中氦纯化器用于将原料氦气的纯度由 98%提升至 99.9995%；氦压缩机用于将原料氦气压缩至 30bar；液氮系统通过气化器生产的氮气用于纯化系统的吹扫再生、以及系统开机前的氮气吹扫。此外，该系统传输的液氮作为系统预冷，满足所有氦制冷机的需求；管线用于满足回收纯化系统设备间连接，完成在环境温度下供应和回收氦气或氮气。低温控制系统的主要功能是监测与控制低温系统中的低温流体与低温机械的运行状态，包括液氮、液氦、氦气等的温度、压力、流量、液位等物理参数，常温压缩机、透平膨胀机、氦循环泵、冷压缩机、真空泵等旋转机械的转速、频率等状态，实现低温系统在降温、液化、回温等不同运行模式下的自动控制与安全联锁保护，以满足不同用户的低温环境需求。

（4）烘烤系统

烘烤系统主要功能是为真空室、上偏滤器、下偏滤器等提供温度最高为 360℃ 的热气流（N₂），用于去除以上设备器壁上的杂质。系统运行基本流程是：以气体为介质，正向回热循环，将风机和电加热器产生的热能通过对流方式传递到真空室及上下偏滤器。

目前 HL-3 现有的烘烤系统位于动力厂房一层设备间，主要为真空室及下偏滤器烘烤提供热氮气循环。烘烤系统总流量为 2.5 kg/s。烘烤的基本原理是以氮气为媒介，利用能量转换，辅以回热循环，将介质升至高温，完成对真空室及偏滤器等部件的热量传递。系统主要包括低压储气罐，中压储气罐，入口带压循环风机，立式离心水泵，后置冷却器，过滤器，电加热器，前置换热器，非标分气器，非标集气器，阀门以及若干仪表等。

为了满足本项目烘烤需求,对现有烘烤系统进行升级扩容,真空室和下偏滤器烘烤回路利旧做适应性改造,新增上偏滤器烘烤回路,新建系统主回路。升级扩容后的烘烤系统总流量达到 3 kg/s。

将现动力厂房一层设备间与风机房南墙室外走廊联通,拓展为新设备间。系统区域占地约 21m×12m。新系统烘烤负载为真空室和上、下偏滤器,二者具有不同的烘烤需求。利用两个加热器回路,通过系统分流,二级加热来满足真空室 2.0 kg/s、偏滤器 0.5 kg/s 及调节 0.5 kg/s 的流量需求。两个回路的加热器单独工作,进行独立的温度控制。新系统主要设备包括低压储气罐,中压储气罐,汽化器,入口带压循环风机,立式离心水泵,后置冷却器,过滤器,一、二级电加热器,前置换热器,混合器、非标分气器,非标集气器,阀门以及若干仪表等。

其主要工艺流程为:在烘烤运行期间,主回路循环风机向真空室和上、下偏滤器输出热气流,经后置冷却器预冷满足初始温度要求后通过回热器冷侧进行预加热,预热后的氮气经过电加热器按程序升温,升温后的热气流进行流量分配,分别经真空室烘烤回路和上、下偏滤器烘烤回路输送到负载进行换热,换热后的氮气流在混合器混合均匀后再返回至回热器热侧,经前置冷却器降温后进入主回路低压罐进而进入循环风机吸入侧完成一次基于回热的气体循环。系统设计流量为 3.0 kg/s,设计压力为 0.5 MPa (G)。主回路通过隔离阀与真空室和偏滤器的冷却回路断开,每次的烘烤运行都包含升温、恒温以及降温三个阶段。升、降温有序进行,梯度 $\leq 10^{\circ}\text{C/h}$ 。

3.2.2.2 运行工况

(1) 运行方式

HL-3 装置属于脉冲运行方式,DD 放电实验每次平均间隔 8~10 分钟,单次脉冲有效宽度 1~5 秒钟;DT 放电实验每小时最多进行 1 次,单次脉冲有效宽度~1 秒钟。

(2) 注入燃料

装置运行包含了 DD 等离子体和 DT 等离子体运行。

(3) 运行参数

最大等离子体电流 3MA,最高磁场强度 3T,聚变功率 $\leq 10\text{MW}$ 。

3.2.2.3 实验内容和计划

中国环流三号 DT 实验总体目标为实现堆芯级等离子体,获得 10MW 聚变功率,掌握托卡马克堆芯级运行模式实现和维持方法,掌握托卡马克 DT 运行关键技术,

深化对聚变堆阿尔法粒子行为机理和同位素效应等 DT 等离子体关键前沿科学问题的理解，验证面向聚变堆的先进偏滤器排热排灰技术，为 ITER 和聚变先导工程实验堆储备技术和培养人才。

实验运行关键技术指标：①装置等离子体电流 3MA，磁场 3T；②等离子体离子温度 1 亿度；③DT 聚变功率 10 MW 级；④聚变三乘积 $10^{21} \text{ m}^3 \cdot \text{keV} \cdot \text{s}$ 级。

为实现上述目标，需开展三个方向的物理研究，包括：堆芯级参数优化研究、先进运行控制物理研究、DT 聚变关键机理研究。总体实验研究任务及计划如下：

(1) 以加热与电流驱动技术、供电技术的研发支撑 2025 年实现离子温度 1 亿度运行，开展堆芯级参数优化研究；

(2) 以主机关键技术、先进控制技术研发支撑 2026 年实现聚变三乘积 $> 10^{20} \text{ m}^3 \cdot \text{keV} \cdot \text{s}$ ，开展先进运行控制研究；

(3) 以氚循环技术、先进诊断技术及辐射防护与监测技术研发支撑 2027 年实现 DT 实验，开展 DT 聚变关键机理研究；

(4) 以阿尔法粒子自加热行为、同位素效应、高能粒子行为机理研究，支撑 2029 年 12 月实现聚变三乘积达 $10^{21} \text{ m}^3 \cdot \text{keV} \cdot \text{s}$ 级，实现 10MW 级聚变功率输出；

(5) 以国内首个 DT 实验研究平台在后续开展先导堆关键物理研究、先导堆诊断技术研发与测试及先导堆氚循环技术的验证。

3.2.2.4 工艺流程及产污环节

HL-3 装置一轮实验过程包括准备阶段、DD 运行阶段、带氚调试阶段（示踪氚与微量氚阶段）、DT 运行阶段、处理阶段、设备维护阶段等 6 个阶段。

3.2.2.4.1 准备阶段

准备阶段主要开展设备检查、文件检查、系统保护值设定以及主机装置真空系统、电气设备以及低温与水冷系统开启运行等。准备阶段各系统运行不产生电离辐射以及放射性三废，主要产生的污染为设备运行产生的噪声。

3.2.2.4.2 DD 运行阶段

DD 运行阶段，装置主机各系统运行与 DT 运行阶段一致，工作介质（仅为氘气）和运行参数略有不同，且氚工艺系统不运行。

DD 运行阶段，向真空室注入氘气，主要产生的污染为 DD 放电过程中产生的中

子、 γ 射线和 X 射线，以及设备运行产生的噪声和电磁辐射。

3.2.2.4.3 带氙调试阶段

带氙调试阶段，装置主机系统、氙工艺系统、加料系统等涉氙系统运行做微量氙示踪活动，该阶段产生的污染为微量含氙废气，以及设备运行产生的噪声。

3.2.2.4.4 DT 运行阶段

(1) 工艺流程

首先利用真空抽气系统、烘烤系统、辉光清洗系统，使真空室达到超高真空（真空度 $10^{-5}\sim 10^{-6}\text{Pa}$ ）；同时完成供电系统的储能，完成燃料循环系统、加热系统及加料系统的准备工作。而后由中央控制系统发出相应指令，各系统（供电、加料、加热、诊断）等按时序投入产生 DT 等离子体。在等离子体形成并被约束后，相应诊断系统对真空室内等离子体进行测量，并将诊断系统测量的数据储存、预处理和显示。整个过程中，启动必要的冷却、安全联锁与烘烤运行。

(2) 工作流程

本项目在开展实验时，运维人员工作流程如下：

- ① 每天在科研保障综合楼举行班前会，总结前日实验、存在问题，并发布当日工作计划；
 - ② 发布计划后，各系统开始进行实验准备，准备就绪后完成实验签单；
 - ③ 签单完毕后，中央控制系统向子系统下达控制指令，各系统听到“各系统准备好给回令”广播，给出对应的回令信号；
 - ④ 辐射安全联锁等全部具备实验条件后，进入实验准备阶段；
 - ⑤ 运行人员配置低参数放电波形，准备就位后启动每天第一炮放电，并点击“放电启动”按钮；
 - ⑥ 运行人员根据第一炮低参数通过对各个测量系统标定；
 - ⑦ 标定炮确认数据无误后，即可将进入每日正常等离子体放电实验；
 - ⑧ 每炮运行人员根据当日实验目标配置放电运行参数，包括磁体电源、辅助加热等控制参数；
 - ⑨ 如果当日放电情况不佳，会根据真空质谱和杂质情况启动辉光放电清洗；
 - ⑩ 每日实验结束后，举行班后会，对当日实验进行总结，讨论明日工作计划。
- DT 运行阶段主要的污染为 DT 放电过程中产生的中子、 γ 射线、X 射线、含氙

废气，以及设备运行产生的噪声和电磁辐射。

3.2.2.4.5 处理阶段

处理阶段持续时间约 1~6 个月，装置主机不进行正式放电，大处理阶段主要对真空室内部件进行辉光放电清洗以及停机衰变冷却。

辉光放电清洗工艺及产污：在辉光清洗过程中，主要充入 He、D₂ 或者 H₂ 进行清洗，去除沉积在真空室内的氚燃料。真空室辉光放电清洗产生含氚废气，排入氚工艺系统进行处理。

停机衰变冷却：停机衰变冷却阶段不进行操作，等待各辐射工作场所辐射剂量率衰减至设定的限值以下。此阶段不产生放射性三废，仅通过感生放射性核素衰变产生γ射线。

3.2.2.4.6 维护阶段

维护阶段持续时间约 2~3 个月，装置主机不进行放电，主要对主机系统及主机真空室内部件、真空系统、诊断系统、其它辅助系统以及氚工艺系统进行维护。

工艺流程及产污：按辐射防护要求，在 DT 运行阶段之后分时段对位于辐射工作场所内的设备开展设备检修及维护。

HL-3 主机系统及真空室内部件维护：在 DT 运行阶段结束 3~6 个月后，开展主机系统及真空室内部件维护与更换。包括：1) 第一壁性能检查；2) 更换辉光电极；3) 连接部件的检查及维护（包括电极引线法兰、送气阀门、螺栓等）。主要产生的污染为器壁处理系统部件维护期间更换的辉光电极、电极引线法兰、送气阀门、螺栓，以及第一壁更换的 CFC 瓦片、支撑结构等。

HL-3 主机真空系统运维：在 DT 运行阶段结束 1~6 个月后，开展泵组的检查及维修，主要产生的污染为更换的真空密封件。

HL-3 诊断系统运维：在 DT 运行阶段结束 1 个月后，开展主机包容屏蔽室内诊断系统的运维。主要产生的污染为诊断系统维护期间更换的部分设备。

其他辅助系统运维：在 DT 运行阶段结束 1 个月后，开展主机包容屏蔽室内辅助系统的运维，包括中性束注入系统、加料系统、电流驱动系统。主要产生的污染包括中性束注入系统维护期间更换的部件（阀门、仪器仪表、离子源等），加料系统更换的部分设备（脉冲阀等），以及电流驱动系统间更换的部件（磁探针、静电探针等）。

主机磁体系统及支撑系统运维：在 DT 运行阶段结束 1 个月后，开展磁体的绝缘、直流电阻检查，开展支撑结构螺栓紧固检查，开展磁体接地电阻检查等，不产生相关废物。

燃料循环及安全包容系统维护：在 DT 运行阶段结束 1~6 个月后，开展燃料循环及安全包容系统维护，主要产生的污染包括手套箱密封手套、过滤器、分子筛、催化氧化剂、催化裂解材料、钯膜扩散器等。

3.2.3 人流、物流路径规划

（1）人流路径

工作人员经主机厅北侧屏蔽门进入卫生出入口，之后依次通过计量间、家庭服间、工作服间、监测去污间后进入主机厅控制 I 区，然后经控制 I 区进入主机包容屏蔽间和氚循环工艺间。工作人员离开控制区后进入监测去污间进行污染监测，如无沾污则经工作服间、家庭服间返回，如监测有污染则就地去污至监测合格后按上述路径离开主机厅。

（2）物流路径

物流经主机厅西侧屏蔽门进入缓冲间，关闭屏蔽门后经缓冲间卷帘门进入主机厅，物流按上述相反路线运出主机厅。

本项目人流、物流分开设置，不会交叉影响，从平面布局来说，人流、物流设置合理。

3.3 污染源项

3.3.1 施工期污染源项

本项目不新征用地。本项目在核工业西南物理研究院白家园区内施工，拆除部分不涉及放射性的建筑，新增、改造、扩建部分建筑物，改造或搬迁部分现有不涉及放射性的工艺设备和辅助设备，安装本项目新增设备。施工环节主要包括：拆除工程和基础工程、主体工程、装饰工程、设备安装和调试，以及工程验收等，施工期主要产生噪声、扬尘、废气、建筑垃圾、固体废弃物、废水等污染物，其排放量随工期和施工强度不同而有所变化。

（1）废气

项目在施工期大气污染源主要来自于以下方面：

① 混凝土浇筑及运输车辆装卸材料和行驶时产生的扬尘；建筑材料（商品混凝土、砖等）的现场搬运及堆放扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；人来车往造成的现场道路扬尘。

② 装饰工程施工如漆、涂、磨、刨、钻、砂等装饰作业以及使用某些装饰材料如油漆、人造板、某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等污染物）的涂料等形成扬尘和有机废气污染物。

③ 施工机械设备排放的少量无组织废气等。

（2）废水

① 施工生产废水

主要来源于机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。该部分废水中的主要污染物为SS、石油类，其中污水中SS浓度值最高约1000mg/L。根据项目特点，经类比分析，预计施工废水产生量为50m³/d。

② 施工人员生活污水

施工人员以100人计，生活用水按0.05m³/人·d计算，日产生生活污水约5m³/d，以排放系数0.8计，排放量约为4.0m³/d。施工人员生活污水中主要含COD_{cr}、BOD₅、NH₃-N、SS等。

（3）噪声

施工期主要分为机械噪声、施工作业噪声和施工车辆噪声。本项目机械噪声主要由施工机械所造成，如挖土机、打桩机等，多为点声源；施工作业噪声主要是一些零星敲打声、车辆装卸的撞击声等；施工车辆噪声属于交通噪声。在上述施工噪声中，对环境影响最大的是施工机械噪声。

（4）固体废物

施工期固体废物主要包括建筑垃圾（拆除垃圾、工程垃圾、装修垃圾、弃土）和施工人员生活垃圾。

项目施工过程中，材料实验室和现有食堂、科研办公楼、主机线圈绕制厂房、变配电站拆除产生建筑垃圾，拆除面积按照5942.10m²，以0.8t/m²计，则产生的拆除垃圾共4753.68t；工程垃圾按新增建筑面积14486.6m²，以3t/100m²计，则产生的工程垃圾共434.60t；装修垃圾按新增建筑面积14486.6m²，改造建筑面积15981.33m²，以1.3t/100m²计，则产生的装修垃圾共约396.08t；项目场平不产生弃土；施工期施工人

员约100人，生活垃圾按0.5kg/人·日计，则生活垃圾产生量约为50kg/d。

3.3.2 运行期污染源项

3.3.2.1 电离辐射污染源项

(1) 射线

DT 放电实验：中国环流三号装置在 DT 运行阶段进行 DT 放电实验时，DD 和 DT 反应均会产生大量快中子，能量分别为 2.45 MeV 和 14.06 MeV。同时，主机真空室会产生硬 X 射线和伽马射线。硬 X 射线主要由等离子体中的逃逸电子撞击真空室器壁发生轫致辐射产生，具有连续的能谱分布，能谱上限等于逃逸电子的能量，最大能量可达 10MeV，强度大小取决于逃逸电子的多少。伽马射线主要来自 DD 和 DT 反应产生的中子与装置周围的其他材料发生的 (n, γ) 反应，能量可达几个 MeV。

DD 放电实验：根据项目计划，在 DD 运行阶段、DT 运行阶段，本项目将进行 DD 放电实验。在 DD 实验运行时，主机真空室等离子体内的氘原子核之间会发生反应，DD 反应会产生能量为 2.45 MeV 的快中子，同时产生硬 X 射线和伽马射线。硬 X 射线主要由等离子体中的逃逸电子撞击真空室器壁发生轫致辐射产生，伽马射线主要来自 DD 反应产生的中子与装置周围的其他材料发生的 (n, γ) 反应。

辅助加热系统：中性束注入加热系统、电子回旋共振加热系统、低杂波电流驱动系统运行过程中产生的高能电子。

(2) 放射性源项

中国环流三号装置在 DT 实验运行时，需引入 β 衰变核素氚，氚的存在形式包括气态氚、液态氚和固体材料中滞留的氚等。正常工况下，由于氚渗透、泄漏等因素引起少量的分子氚透过一级包容，造成氚燃料循环系统手套箱、主机包容屏蔽室等气空间含氚。维修或事故工况下，也可能会有部分氚泄漏进入主机包容屏蔽室以及主机大厅气空间。

同时，DT 实验运行时，聚变产生的中子会活化主机部件（包括偏滤器、第一壁、中心螺线管、纵场线圈、极向场线圈、窗口、支撑、真空室、中性束注入系统）、主机厅建筑物以及主机厅内的空气，产生放射性核素，这些放射性核素衰变会发射伽马射线，在 DD、DT 实验运行停机后会对周围造成一定强度的辐射剂量率。

根据上述特点，本项目运行期的辐射源项主要有两类：一类直接通过贯穿辐射对人体造成辐射剂量，如 DD 和 DT 反应产生的聚变中子、DD 和 DT 反应产生的中

子与装置周围的其他材料发生 (n, γ) 反应产生的 γ 射线、装置活化部件中放射性核素衰变产生的 γ 射线、等离子体中逃逸电子撞击真空室器壁发生轫致辐射产生的硬 X 射线，此类源项主要在本小节描述；另一类主要通过浸没外照射或吸入内照射对人体造成辐射剂量，如泄漏至主机厅气空间的氚和主机厅气空间空气被活化后产生的其他放射性核素，以及放射性固体废物、废液，此类源项在 3.3.2.2 节描述。

本节分 DT 实验时、DD 实验时、运行停机后三种工况描述上述第一类源项的来源、源强和分布特性。

3.3.2.1.1 DT 实验时的电离辐射污染源项

(1) 聚变中子

本项目 DT 实验放电运行产生的聚变中子主要来源于 DD 和 DT 反应产生的快中子。其中，DD 等离子体的聚变反应截面远低于 DT 反应截面，以 DT 反应产生的中子占主导。

DT 反应产生的聚变中子的能量为 14.06 MeV，在最大聚变功率为 10MW 时，DT 实验的中子产生率为 $3.55 \times 10^{18} \text{ n/s}$ 。本项目升级改造完成后，将严格控制 DT 放电实验的运行参数及放电次数，确保中子产生率不超过 $3.55 \times 10^{18} \text{ n/s}$ ，累积中子产额不超过 $3.38 \times 10^{19} \text{ n/a}$ 。

采用蒙特卡罗粒子输运程序进行计算模拟，得到 HL-3 装置主机及厂房建筑的中子通量分布。计算结果显示：最大中子通量位于等离子体中心，约为 $6.06 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 。

(2) γ 射线

γ 射线是由聚变中子与装置周围的其他材料发生 (n, γ) 反应产生，模拟计算得到 HL-3 装置 DT 放电实验时主机厅内光子通量分布。计算结果显示：最大光子通量位于真空室，约为 $1.515 \times 10^{13} \text{ p/cm}^2/\text{s}$ 。

(3) X射线

单次 DT 放电实验逃逸电子产生的硬 X 射线强度为 $2.93 \times 10^{15} \text{ p/s}$ 。

(4) 辅助加热系统的高能电子

1)中性束注入加热系统主要包括核心部件注入器（含离子源、主真空室、偏转磁体、量热靶、真空抽气系统等），以及高压电源、辅助电源、测控系统、水冷系统、液氮低温系统等必要的配套系统。其产生的电子主要来自三部分：第一部分为离子源。离子源由放电室和加速器组成，中性束注入系统采用热阴极离子源，加热

其灯丝激发电子，该电子与气靶相互作用产生等离子体。等离子体中的离子通过加速器加速，其中电子与放电室器壁相互作用，该部分电子能量较低 $<10\text{eV}$ 。第二部分为加速后的离子束在中性化室与中性气体相互作用，捕获中性气体中的电子形成高能的中性气体。第三部分为高能中性气体进入主真空室与等离子体相互作用，加热其中的离子与电子，该部分电子被磁场约束。未被约束的电子逃逸后同壁相互作用，产生 X 射线，该部分被主机屏蔽体屏蔽。详见由于逃逸电子产生的 X 射线。

2) 电子回旋共振加热系统主要包括微波源系统、传输系统、发射天线系统以及高压电源、辅助运行电源、控制保护测量、监控、冷却、真空等附属设施。微波源回旋管产生的 140GHz 、 105GHz 或 175GHz 高功率微波，经由真空度优于 10^{-2}Pa 过模波纹波导传输线传输后，通过可控制微波极向与环向注入角度的集束式发射天线注入等离子体。因此，电子回旋共振加热系统产生的高能电子主要来自两部分：第一部分为产生微波的电子回旋管。电子枪发射的电子注经磁场绝热压缩而获得足够大的横向动能，然后进入互作用腔与高频横向电场（TE 波导模式）互作用，并在相空间发生角向群聚，当电子落入减速相位时高频场吸收电子注能量而辐射电磁波。失去能量的电子注进入散焦区，并被收集极截获，电子剩余动能转换为收集极上的热能。电子腔发射的电子被绝热压缩，阴极高压电源加速，获得最大电子能量为 60keV 。该部分电子通过减速相位时高频场吸收能量而辐射电磁波，转化效率大于 45% 。失去能量后的电子被阳极高压电源减速并将被收集极收集。在收集过程中， 99% 的能量转化为热能， 1% 的能量转化为 X 射线。因此，X 射线的能量约为 0.33keV 。该 X 射线主要通过电子回旋管的铅层进行屏蔽。第二部分为传输的微波注入主真空室与等离子体相互作用，共振加热其中的电子，该部分电子被磁场约束。未被约束的电子逃逸后同壁相互作用，产生 X 射线，该部分被主机屏蔽体屏蔽。详见由于逃逸电子产生的 X 射线。

3) 低杂波电流驱动系统主要包括微波源系统、微波传输线、天线系统、支撑和保障上述系统运行的监测控制系统、水冷系统以及其他附属设备。微波源速调管产生的 3.7GHz 微波，经由传输线传输后，通过天线注入等离子体。因此，低杂波电流驱动系统产生的高能电子主要来自两部分：第一部分为产生微波的速调管。速调管由阴极、谐振腔、模式变换段、窗口和收集极组成。其主要工作原理为：阴极产生电子，在高压作用下经过谐振腔，在磁场作用下产生速度群聚效应，与激励信号相互作用，将其动能转化为微波能量；经过模式变换，在氧化铍窗口处形成 TE₁₀ 主

模传输形式输出；未转化能量由电子携带，进入收集极，转化为热能，由冷却水带走。速调管电子枪发生电子通过高压电源加速获得最大能量为 70keV，其中 40% 转化为微波能量，剩余 60% 由电子携带，进入收集极。在收集过程中，99% 的能量转化为热能，1% 的能量转化为 X 射线。因此，X 射线的能量约为 0.42keV。该 X 射线主要通过速调管的铅层进行屏蔽。第二部分为传输的微波注入主真空室与等离子体相互作用，与等离子体中的电子相互作用，该部分电子被磁场约束。未被约束的电子逃逸后同壁相互作用，产生 X 射线，该部分被主机屏蔽体屏蔽。详见由于逃逸电子产生的 X 射线。

3.3.2.1.2 DD 实验时的电离辐射污染源项

DD 实验放电运行时的电离辐射污染源项包括放电运行时的聚变中子、聚变中子与装置周围的其他材料发生 (n, γ) 反应产生的 γ 射线、等离子体中逃逸电子撞击真空室器壁发生轫致辐射产生的硬 X 射线。

(1) 聚变中子

本项目 DD 实验放电运行产生的聚变中子主要来源于 DD 反应产生的快中子，能量为 2.45MeV。根据项目实验计划，本项目升级改造后 DD 实验的最大中子产生率为 $1.8 \times 10^{16} \text{ n/s}$ ，单次放电实验脉冲长度为 1.5s，该工况的 DD 实验每年开展约 50 次，其它工况的 DD 实验中子产额较低。

使用蒙特卡罗粒子输运程序进行中子输运计算，DD 放电实验时主机厅内最大中子通量约为 $3.278 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 。

(2) γ 射线

中国环流三号装置 DD 实验时，装置主机包容屏蔽室内最大光子通量约为 $2.630 \times 10^{10} \text{ p/cm}^2/\text{s}$ 。

(3) X 射线

单次 DD 放电实验产生的硬 X 射线强度为 $3.51 \times 10^{15} \text{ p/s}$ 。

(4) 辅助加热系统的高能电子

DD 实验时辅助加热系统的高能电子同 DT 实验。

3.3.2.1.3 停机后的电离辐射污染源项

停机后的电离辐射污染源项主要考虑 HL-3 运行产生的中子在输运扩散过程中，导致主机装置结构部件、空气、混凝土墙等材料被活化，产生的感生放射性。

刚停机时，空气、建筑、主机部件的总放射性活度分别为 $1.46 \times 10^1 \text{TBq}$ 、 $4.0 \times 10^3 \text{TBq}$ 、 $2.8 \times 10^3 \text{TBq}$ 。停机一个月后，总放射性活度分别降至 $8.20 \times 10^{-6} \text{TBq}$ 、 $3.71 \times 10^{-2} \text{TBq}$ 、 $2.33 \times 10^{-1} \text{TBq}$ 。停机一年后，总放射性活度进一步降至 $7.10 \times 10^{-6} \text{TBq}$ 、 $3.39 \times 10^{-2} \text{TBq}$ 、 $3.68 \times 10^{-2} \text{TBq}$ 。

3.3.2.2 放射性污染源项

3.3.2.2.1 放射性废气

(1) 含氚废气的产生、处理与排放

本项目正常运行期间含氚废气来源包括真空室渗透泄漏、燃料循环与安全包容系统渗透泄漏及尾气排放。

正常运行工况下，本项目排放至环境的总氚量为 6.07TBq/a ，考虑涉氚设备维修等不确定因素，本项目氚排放量为 7.4TBq/a 。

(2) 活化空气的产生、处理与排放

本项目活化空气年排放总量为 $9.07 \times 10^{-2} \text{TBq/a}$ 。

3.3.2.2.2 放射性废液

本项目正常运行工况下不产生放射性废液。

3.3.2.2.3 放射性固体废物

本工程运行过程中产生的放射性固体废物主要包括：主机及辅助系统更换部件产生的氚污染和中子活化废物、氚工艺系统产生的氚污染废物以及维护和检测过程中产生的劳保废物等。

1) HL-3 装置在 DT 运行期间，包容屏蔽室内的主机及辅助系统部件受到中子辐照会产生中子活化废物，同时主机及辅助系统部件会被污染产生氚污染废物。其中，第一壁、真空室、线圈等主机部件在运行期间不需要更换，需要维护及更换的主机部件主要是偏滤器，保守估计约 $0.1 \text{m}^3/\text{a}$ ，为低放废物；需要维护及更换的辅助系统部件包括中性束注入系统部件（阀门、仪器仪表、离子源等）、主机真空室内部件（辉光电极、电极引线法兰、送气阀门、螺栓等）、加料系统部件（脉冲阀等）、诊断系统部分设备、主机真空系统的真空密封件、电流驱动系统部件（磁探针、静电探针等）等，保守估计约 $4.9 \text{m}^3/\text{a}$ ，为低放废物。

2) 氚燃料循环等工艺系统在运行过程中会产生氚污染废物，主要包括手套箱密

封手套、过滤器、分子筛、催化氧化剂、催化裂解材料、钯膜扩散器等，每年保守估计约 $1\text{m}^3/\text{a}$ ，为低放废物。

3) 维护及检测过程中会产生手套、纸张、无纺布、口罩、扳手、防护服等劳保废物，与工作人员人数及每人每轮实验的工作天数近似成正比。根据相关运行经验，保守估计约 $1.0\text{m}^3/\text{a}$ 。

本项目主机及辅助系统、氚工艺系统检维修时产生的放射性废物为含氚废物，含氚废物袋封后使用不锈钢废物桶桶装（废物桶满足 EJ1042-2014 中规定的 LID-II b 型的制造要求），卫生出入口产生的劳保废物暂存于卫生出入口的废物桶中。废物桶收集装满后，转移到废物暂存间暂存。放射性固体废物后续根据需要，定期送有资质的单位处理。

3.3.2.3 电磁辐射源项

本项目改、扩建前后装置运行均伴随有电磁辐射的产生，产生电磁辐射的主要装置有主机磁体系统、加热系统和供电系统。

本项目改、扩建新增的电磁辐射源主要为辅助加热系统和供电系统。辅助加热系统新增的电磁辐射源包括新建的 1 套 4MW 电子回旋共振加热系统、1 套 2MW 低杂波电流驱动系统、1 套 6MW 离子回旋共振加热系统，供电系统新增的电磁辐射源包括新建的 1 套额定容量 300MVA、额定释能 3000MJ 的超级电容储能系统，一套 TF 升压电源，以及基于超级电容储能的为新增的辅助加热系统供电的高压电源。

(1) 电子回旋共振加热系统

电子回旋共振加热（ECRH）系统产生电磁辐射的系统为波源系统，波源系统位于中国环流三号辅助加热大厅，由采用可实现高频调制的高功率回旋管和回旋管运行所必需的制冷机型超导磁体、低温以及各类辅助电源等属设备组成。本项目建成后，HL-3 装置将形成 11MW 电子回旋共振加热系统，包括一套 4MW、一套 2MW 及一套 5MW 三套子系统，其中 4MW 子系统为新建，其余两套子系统为利旧改建。微波能量由封闭的波导传输线传输至与装置真空室相连的发射天线，由发射天线发射至真空室目标等离子体区域。ECRH 系统工作时微波能量在封闭的传输通道内传输，各波导接口采用专用的金属密封和连接部件进行真空密封，同时由于工作波长不足 2 毫米，微波功率在自由空间剧烈衰减，几乎无法从传输通道接口位置泄漏。因此 ECRH 系统产生的电磁辐射源项小。

（2）低杂波电流驱动系统

低杂波电流驱动系统(LHCD) 产生电磁辐射的设备为微波源系统, 微波源系统包括速调管及其配套磁体、激励源、控保、水系统以及各类辅助电源等附属设备。微波源系统通过速调管放大器将高压电源的电能转化为微波能, 项目利旧 4 支速调管, 新增 4 支速调管, 单管额定输出功率 0.5 兆瓦 (MW), 脉冲宽度 3s。速调管输出的微波能量通过传输线低损耗馈送至发射天线, 进而输送至真空室。速调管周边采用金属材料进行屏蔽, 并且输出窗通过密封垫片连接微波传输线, 传输线整体金属密封, 确保微波不泄漏。因此 LHCD 系统产生的电磁辐射源项小。

（3）离子回旋共振加热系统

离子回旋共振加热系统 (ICRH) 产生电磁辐射的设备为发射机, 本项目新增共 4 支, 位于辅助加热大厅。发射机工作输出功率 1.5MW, 脉冲宽度 5s。离子回旋共振加热系统利用高频机产生高频电磁波对真空室内工作气体进行加热, 微波由传输系统进入真空室。发射机腔体的腔板设计成双层的簧片结构, 并且传输线的接口法兰与主机真空室连接, 能够避免射频波的泄漏, 同时射频波沿着传输线的内导传输, 不会向外辐射。因此 ICRH 系统产生的电磁辐射源项小。

（4）供电系统

超级电容储能系统的工作电压 10kV, 频率 50~70Hz。新增的中性束注入系统的高压电源工作电压为 140kV, 频率为 70Hz-100Hz; 电子回旋加热系统的高压电源工作电压为 60kV, 频率为 70Hz-100Hz; 离子回旋加热系统的高压电源工作电压为 30kV, 频率为 70Hz-100Hz; 低杂波电流驱动加热的高压电源工作电压为 80kV, 频率为 70Hz-100Hz。供电系统属于高压设备, 工作频率均不高, 产生的电磁辐射源项很小。

3.3.2.4 非放射性污染源项

3.3.2.4.1 非放射性废气

本项目非放射性废气主要为食堂油烟废气和柴油发电机运行产生的燃油废气。

（1）油烟废气

本次升级改造涉及食堂的改造内容为拆除现有食堂, 并同址建设新食堂。食堂每天用餐人数为 390 人, 采用天然气为能源, 没有燃煤锅炉。食堂油烟经过低空直排油烟净化机组处理后排放 (油烟净化效率 95%), 排放浓度低于《饮食业油烟排放标准 (试行)》(GB18483-2001) 中浓度限值 $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 柴油发电机燃油废气

本次升级改造将拆除现有150kW的柴油发电机组，并在工程实验控制中心楼建筑外东侧新增一台300kW的户外静音型柴油发电机，以满足应急状态下主机大厅和实物保护系统的用电需求。柴油发电机运行时产生燃烧废气，项目柴油发电机采用0号柴油作为燃料，其燃烧产生的CO、THC、NO₂污染物等极少，经自带的消烟除尘装置处理后排放。

3.3.2.4.2 非放射性废水

本项目产生的废水主要包括清净下水和生活污水。其中清净下水包括水冷系统以及冷却塔循环冷却水排水，去离子水制备系统浓水。

(1) 清净下水

① 循环冷却水排水

HL-3装置的部分设备在实验过程中将产生较大的热量，需要通过水冷系统进行冷却。水冷系统一回路为闭式循环，改造后的总流量为3300m³/h，介质是去离子水，其正常供水温度20~35℃，pH值为6.5~7.0，电阻率≥1MΩ·cm@25℃，冷却水通过循环将负载的耗散热传递到换热器，再通过换热器传递至二回路后通过冷却塔扩散至环境，二回路为开路循环，改造后的总流量为3600 m³/h，介质是市政供水。

水冷系统由主机水冷系统、辅助加热系统水冷系统及辅助系统三部分组成，其中辅助系统包括去离子水制备系统和压缩空气系统。

主机水冷系统：HL-3装置现有主机水冷系统由四个子系统及冷却塔组成，四个子系统分别是TF线圈水冷、PF+CS线圈水冷、真空室水冷及偏滤器水冷。本次将对主机水冷系统进行改造和扩容，新增加三台冷水机组，其中两台为TF线圈水冷二回路提供冷冻水，另一台为真空抽气系统提供冷冻水。

改造完成后主机水冷系统的一回路总水量为32m³，二回路总水量为54m³，根据本项目冷却回路的运行方式，主机水冷系统回路内的冷却循环水会进行周期性更换，则本项目冷却系统排水量为408m³/a（其中新增设备产生废水16 m³/a，利旧设备产生废水392m³/a）。

辅助加热水冷系统：HL-3装置现有辅助加热水冷系统由二个子系统组成，分别是1#中性束水冷和电子回旋水冷。本次将对辅助加热水冷系统现有的两个子系统进行改造和扩容，新增2#中性束水冷、3#中性束水冷、离子回旋水冷、低杂波水冷四

个子系统，新增一台用于辅助加热水冷系统散热的冷却塔（2#冷却塔）。

改造完后辅助加热水冷系统一回路总水量 69m^3 ，二回路总水量 135m^3 ，根据本项目冷却回路运行方式，回路内冷却循环水会进行周期性更换，则本项目冷却系统排水量为 $822\text{m}^3/\text{a}$ （其中新增水冷系统产生废水 $586\text{m}^3/\text{a}$ ，利旧系统产生废水 $236\text{m}^3/\text{a}$ ）。

另外，本项目烘烤系统、供电系统及低温系统使用循环水进行冷却。烘烤系统、供电系统以及低温系统的水冷系统回路总水量为 562m^3 ，根据本项目冷却回路的运行方式，回路内的冷却循环水会进行周期性更换，则本项目冷却系统排水量为 $884\text{m}^3/\text{a}$ 。

本项目循环冷却排水量为 $2114\text{m}^3/\text{a}$ ，循环冷却水排水主要为去离子水和自来水，因此水中污染物少，主要污染物为COD、SS。

② 去离子水制备系统浓水

本次升级改造将拆除现有 5t/h 的去离子水制备系统，新建一套去离子水制备系统，产水量为 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，原水利用率 $\geq 50\%$ 。去离子水制备工艺流程为：自来水→原水箱→原水泵→多介质过滤器→活性炭过滤器→保安过滤器→一级高压泵→一级RO装置→一级RO水箱→二级RO增压泵→二级高压泵→二级RO装置→二级RO水箱→EDI增压泵→EDI装置→氮封水箱→抛光增压泵→紫外线装置→抛光混床→用水端。

根据水冷系统一回路换水量及低温系统水冷回路补水量，经计算本项目去离子水年用水量共计 $823\text{m}^3/\text{a}$ ，则浓水产生量约为 $823\text{m}^3/\text{a}$ （原水利用率取 50% ），浓水主要含有盐分和少量SS。

综上，本项目清净下水共计 $2937\text{m}^3/\text{a}$ ，其中去离子水系统浓水 $823\text{m}^3/\text{a}$ （新增浓水 $411.5\text{m}^3/\text{a}$ ），循环冷却排水 $2114\text{m}^3/\text{a}$ （新增循环冷却排水 $602\text{m}^3/\text{a}$ ）。

（2）生活污水

本项目生活污水主要为工作人员日常办公产生的废水，以及食堂废水。本项目涉及的工程、实验及运行的人员为390余人（不新增人员），人均用水量按 $50\text{L}/\text{d}$ 考虑，则日常办公产生的废水为 $19.5\text{m}^3/\text{d}$ 。食堂用水按照每天1000人次，人均用水量按 $25\text{L}/\text{人次}\cdot\text{d}$ 考虑，则食堂产生的废水为 $25\text{m}^3/\text{d}$ 。项目生活污水产生系数按0.9考虑，则生活污水排放量为 $40.05\text{m}^3/\text{d}$ （ $10012.5\text{m}^3/\text{a}$ ）。废水中的主要污染物为pH、COD、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、总磷等。

3.3.2.4.3 噪声

本项目运行期间主要噪声源为水冷系统泵类设备、冷却塔、冷水机、空气压缩

机、螺杆压缩机等动力设备，噪声值约 65~90dB（A）。

3.3.2.4.4 非放射性固废

本项目产生的固体废物主要包括危险废物、一般工业固体废物和生活垃圾。

（1）危险废物

本项目运行和检修期间，低温系统压缩机每年维护产生1050L废液压油（其中现有设备产生150L，新增设备产生900L）；供电系统每10年维修维护共产生约200t变压器油（其中现有设备产生100t，新增设备产生100t）。本项目在后续运营期间增设集装箱式危险废物暂存间，上述运行和检修期间产生的废物经收集暂存后送有资质的单位处理。

本项目低温系统、供电系统、自控与辐射监测系统、实物保护中心配置UPS电源，均使用铅酸电池。其中，低温系统新增铅酸电池72只，每只约10kg，总重约720kg；供电系统现有铅酸电池6t；自控与辐射监测系统新增铅酸电池32只，每只约30.5kg，总重约915kg；实物保护中心新增铅酸电池32只，每只约35.5kg，总重约1136kg；UPS电源约十年换一次，属于危险废物，经收集暂存后送有相应资质的单位回收处理。

（2）一般工业固体废物

本项目供电系统检修和维护过程中会产生废电缆，约2t/a（其中现有设备产生1t/a，新增设备产生1t/a）；去离子水制备系统每年产生150kg过滤器芯、600kg离子交换树脂、250kg反渗透膜；低温系统纯化器维护期间，每年产生吸附剂50kg。以上固体废物均为一般工业固体废物，由相应生产、维护厂家或废品回收站回收处理。

（3）生活垃圾

生活垃圾主要由工作人员产生，本项目涉及的工程、实验及运行的人员为390余人（不新增人员），生活垃圾产生量按0.5kg/人·d计，则生活垃圾产生总量为195kg/d，各产生点袋装收集后转入项目区设置的垃圾收集点，再由环卫部门清运至生活垃圾场卫生填埋。

3.4 废弃物

3.4.1 放射性废弃物

详见 3.3.2.2 节。

3.4.2 非放射性废弃物

经核算，本项目非放射性“三废”种类、来源、产生量及排放量统计表见下表。

表 3.4-1 本项目非放射性“三废”产生量、排放量统计表

类别	排放源	污染物名称		产生量	处理措施	排放量
废气	食堂	油烟		少量	集气罩收集油烟净化装置处理后通过专用烟道楼顶排放	少量
	柴油发电机	燃油废气		少量	经设备自带的消烟除尘装置处理后排放	少量
废水	清净下水	去离子水系统排水	水量	823m ³ /a	经市政污水管网排入双流区航空港污水处理厂	823m ³ /a
			CODcr	0.041t/a		0.041t/a
			BOD ₅	0.012 t/a		0.012 t/a
			SS	0.165 t/a		0.165 t/a
			NH ₃ -N	0.00082 t/a		0.00082 t/a
		循环冷却排水	水量	2114m ³ /a		2114m ³ /a
			CODcr	0.107 t/a		0.107 t/a
			BOD ₅	0.034 t/a		0.034 t/a
			SS	0.427 t/a		0.427 t/a
			NH ₃ -N	0.002 t/a		0.002 t/a
	办公生活	生活污水	水量	10012.5m ³ /a		10012.5m ³ /a
			pH	——		——
			CODcr	3.50 t/a		3.50 t/a
			BOD ₅	1.60 t/a		1.60 t/a
			SS	2.00 t/a		2.00 t/a
			NH ₃ -N	0.30 t/a		0.30 t/a
			TP	0.02 t/a		0.02 t/a
固体废物	危险废物	废铅酸电池		约 8.77t/10a	经收集后送有资质的单位处理。	0
		废液压油		约 1050 L/a	经收集后送有资质的单位处理。	0
		废变压器油		约 200t/10a		0
	一般工业固体废物	废部件及废电缆		约 2t/a	由相应生产、维修厂家或废品回收站回收处理	0
		吸附剂		约 50 kg/a		0
		废过滤器芯		约 150kg/a		0
		废反渗透膜		约 250kg/a		0
		废树脂		约 600kg/a		0
	办公生活	生活垃圾		约 195kg/d	环卫清运	0

3.5 初步退役计划

3.5.1 退役原则

本工程现阶段的退役目标暂定为：将场址范围内所有设施设备全部拆除，退役过程中产生的所有放射性废物和危险废物得到安全妥善的处理处置，场址清理至无限制开放水平。

3.5.2 退役经费

根据退役策略与技术方案，详细估算各阶段所需费用，包括人力、物资、技术研发、环境监测等。明确经费来源，包括政府拨款、设施运营基金、国际合作资金等。实施严格的财务管理，定期审计，确保资金有效利用。

第四章 辐射安全与防护

4.1 场所布局与屏蔽

4.1.1 场所布局

4.1.1.1 厂区平面布局及合理性分析

西物院白家工作区位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路5号，工作区北侧为已建的市政道路黄荆路，黄荆路以北为空地，工作区西侧、南侧和东侧厂界外分别为教科院家属区、和贵馨城等居民住宅小区。

西物院白家工作区用地为规则梯形，东西长约240m，南北宽约260m。总用地面积59277.3m²，工作厂区现状自北向南分为科研区、辅助区和生活区。科研区位于北侧东部，辅助区位于北侧西部，南侧生活区与科研区、辅助区采用围墙栏杆隔离开。科研区已建工程实验控制中心楼、主机厅、动力厂房、电机厅、整流厅、变配电站、水泵房等；辅助区主要包含科技信息楼、聚变工程关键技术研发实验楼、食堂、材料实验室、科研办公楼。

本项目拆除食堂、材料实验室、科研办公楼以及主机线圈绕制厂房、变配电站，新建科研保障综合楼、加热辅助车间、预装车间、材料库。新建科研保障综合楼位于聚变工程技术研发实验楼南侧；预装车间位于科研保障综合楼南侧；加热辅助车间位于动力厂房南侧，材料库位于加热辅助车间南侧，其西侧为预装车间，东侧为电机厅，南侧为院区生活区。

本项目建成后科研区包括工程实验控制中心楼、主机厅、动力厂房、电机厅、整流厅、水泵房、材料库；辅助区包括科技信息楼、聚变工程关键技术研发实验楼、科研保障综合楼、预装车间。

白家工作区共设置出入口两个，均位于北侧与黄荆路相连。靠近西部的出入口为西物院核聚家园家属区的出入口；位于中部的为工作厂区出入口，入口设有人行出入口和车辆出入口。

本项目在西物院白家工作区内进行改扩建，厂区北侧靠近东部增加常闭消防出入口一处。项目建成后，不改变功能分区，科研工作区主要布置在厂区北侧东部，尽可能的远离厂界周边的居住小区；同时，原位于工程实验控制中心楼内的控制中心

调至辅助区新建的科研保障综合楼控制中心，届时工作人员主要集中在工作区内主干道的西侧，装置主机及辅助系统主要集中在工作区内主干道的东侧，放射性工作场所相对集中且科研工作区与办公区之间留有一定的防护距离，从平面布置来看，整个厂区分区明晰，各区域之间互不干扰，厂区人流物流出入口分别设置，不交叉。从辐射防护的角度而言，本项目的平面布置是合理可行的。

4.1.1.2 主机大厅平面布局及合理性分析

主机大厅 6 轴附近新增一道隔墙，将主机大厅分为 HL-3 东区和西区，西区为 HL-3 主机装置区，东区为氙系统区。设置氙循环工艺间，氙系统区南侧设置放射性废物暂存间。

主机大厅西区新建主机包容屏蔽室，包容屏蔽室内放置 HL-3 主机装置。主机大厅东区设置氙循环工艺间，氙循环工艺间一层设泵房和三级包容及处理间；二层设氙工艺间和分析间等。在氙循环工艺间南侧设废物暂存间用于暂存本项目产生的放射性固体废物。

4.1.2 辐射工作场所分区及非密封放射性物质包容

4.1.2.1 辐射工作场所分区

(1) 辐射工作场所分区原则

根据 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》的规定，辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。本项目辐射工作场所分区综合考虑区域的辐射水平、放射性污染水平及潜在辐射风险，结合装置系统布置、工艺特点以及人流、物流通道，以及所需要的防护手段与安全措施的性质和范围等因素。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。

监督区：通常情况下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。

根据本项目的特点，放电实验持续时间很短，设施绝大多数时间为停机维护期。此外，影响辐射工作场所分区的放射性物料（活化产物）是在放电实验时产生，并在停机维护期间持续存在，因此本项目根据停机维护时的放射性物料分布和辐射剂量率水平划分辐射工作场所分区，并采取相应的控制措施。

根据各区域辐射工作人员实际年工作时间和年剂量设计目标值 5mSv/a，综合确定各区域外照射剂量率和控制污染浓度限值，以保证工作人员年总剂量不超过设计目标值。将本项目辐射工作场所分为三区管理，分别为监督区、控制 I 区、控制 II 区。

（2）辐射工作场所分区设计

① 停机维护期间

基于以上辐射工作场所分区原则，结合屏蔽计算结果，停机维护期间，辐射防护分区如下：

监督区：1B 卫生出入口家常服间、过渡间、淋浴间；

控制 I 区：1B 卫生出入口工作服间、去污间、检测间、卫生间、走道、辐射监测设备间；1A 主机大厅包容屏蔽室外区域（含放废暂存间）；材料库、量热间；

控制 II 区：1A 主机大厅包容屏蔽室内区域。

根据屏蔽计算结果，停机维护期间，1A 厂房外外照射剂量率小于 $0.5\mu\text{Sv/h}$ ，符合非限制区剂量率要求，因此，紧邻 1A 主机大厅的 1B 厂房其它区域、1C、1E 厂房均作为非辐射工作场所。

② 放电实验期间

由于本项目放电实验持续时间很短，本项目放电期间和停机维护期间辐射工作场所分区相同。放电期间，1A 控制区禁止人员驻留。另外考虑到 DT 实验期间，外照射水平较高，因此，DT 放电期间，将 1B、1C、1E 作为临时管控区，禁止人员驻留。临时管控区措施包括：在放电实验前，广播通知人员撤离相应区域；巡检过程中广播不间断报警；对 1A、1B、1C、1E 厂房进行巡更检查；同时，通过 1A 大厅内无死角监控系统防止控制区人员滞留。

③ 控制室

本项目控制室位于科研保障楼的控制中心内，与主机大厅不在同一建筑，也未设置在主机大厅紧邻的建筑，距离主机装置中心约 85m。因此，控制中心作为非辐射工作场所，不纳入辐射防护分区范围。控制中心采取的人防措施包括：实验期间工作人员值守，禁止非项目工作人员进入，实验结束后工作人员离开时及时锁闭控制室。采取的技防措施包括：控制室设置门禁系统；门窗增加保护栅栏等防护措施；控制室内外设置视频监控措施。

（3）控制措施

控制区与监督区的控制措施如下：

① 控制区的防护手段与安全措施

a. DD、DT 放电实验期间，1A 厂房禁止人员进入、驻留。DT 放电实验期间及实验结束后 24 小时内，1B、1C、1E 厂房为管控区域，严禁人员进入、驻留。

b. 采用实体隔离将监督区与控制 I 区、控制 II 区隔开。

c. 在厂房辐射工作场所的出入口设置电离辐射标志，在厂房内划为控制区的场所设置电离辐射警告标志。

d. 设置卫生出入口，工作人员通过卫生出口进入控制区，卫生出入口配置工作服、手套、口罩、个人剂量计等个人防护措施，并配置手脚表面污染监测、去污间等表面污染控制和去污措施。

e. 合理组织气流，使厂房内的气流流向为：低污染区→高污染区。不同区域的气流组织主要是通过不同区域间的实体隔离和负压来实现有组织流动。

f. 设置氡连续监测装置、氡取样装置、便携式氡监测仪，监测工作场所中氡浓度，评价工作条件。

g. 设置便携式气溶胶取样装置，监测工作场所放射性活化产物气溶胶浓度。

h. 设置区域中子/γ监测系统，监测关注区域的辐射剂量率水平。

② 监督区的防护手段与安全措施

a. 采用适当的手段划出监督区的边界。

b. 在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌。

4.1.2.2 非密封放射性物质包容

4.1.2.2.1 分区原则

为优化通风与净化系统，根据放射性物质扩散对各个独立区域的污染程度，考虑表面污染程度和空气污染，将辐射工作场所分为不同的污染区域。

本项目将辐射工作场所分为 C1、C2、C3 三个区域，并将 C2 区进一步细化为 C2-1、C2-2 两个区域。C2-1 区域内氡浓度控制限值为 0.3 DAC，正常工况下氡浓度实际控制值为 0.1 DAC。不同包容区域，应采取实体隔离、密封门或过渡间隔开，以防止污染扩散。各污染区域控制要求见表 4.1-1。

4.1.2.2.2 分区设计

根据上述分区原则，本项目涉及氡工作场所的密封包容分区见表 4.1-2。

表 4.1-1 密封区域控制要求

区域类别	表面污染程度 Bq/cm ²	空气污染控制值 DAC*
C1 区	按合理可实际达到尽量低原则，不超过 C2 区水平。	不受污染
C2-1、C2-2 区	≤400	≤0.3
C3 区	≤400	<1

注：*根据《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002），氟化水吸入待积有效剂量为 $1.8 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq}$ ，则空气污染浓度控制值 $\text{DAC} = 0.02 \text{Sv} / (1.8 \times 10^{-11} \text{Sv/Bq} * 1.2 \text{m}^3/\text{h} * 2000 \text{h}) = 4.63 \times 10^5 \text{Bq/m}^3$ 。

表 4.1-2 密封包容分区设计

分区名称	分区范围
C1 区	1B 卫生出入口家常服间、淋浴间、过渡间、工作服间、去污间、卫生间、辐防设备间。
C2 区	C2-1 区 1A 主机厅包容屏蔽室/氟工艺区以外区域（含放射性废物暂存间）。
	C2-2 区 1A 主机厅氟工艺区房间（三级包容及处理间、泵房、氟工艺间、分析间）。
C3 区	1A 主机大厅包容屏蔽室内区域。

4.1.2.2.3 控制措施

本项目在操作放射性物质过程中，主要采取实体隔离、屏蔽以及合理的工作场所气流组织等辐射安全与防护措施。

（1）三级包容

本项目涉及氟的使用和贮存，采取三级包容措施。

① 第一级包容

本项目氟的第一级包容包括：燃料循环及安全包容系统的工艺管道、容器及阀门等；HL-3 装置的真空室、真空系统泵组及抽气管线、SMBI 注入系统管线等。其控制措施如下：

a、管道采用优质钢、采用低漏率阀门控制等措施降低泄漏量。相关设备进行漏率出厂检测，运维过程中通过氦检等措施进行检漏。

b、主机真空室密封性要求是工艺运行的主要特点，能够有效防止真空室内氟的泄漏。主机真空室为双层结构，内、外壳体均为壁厚 5mm 的 Inconel 625 薄壁，本底真空优于 $3 \times 10^{-6} \text{Pa}$ 。

c、SDS 系统连接 SMBI 注入系统的管道，采用双层包容（优质钢，厚度 > 2mm），减少通过第一道密封屏蔽释放到工作场所的氟量。

d、燃料循环系统中涉及高浓度氙的 SDS、TEP 系统集中布置，并靠近主机真空室，尽量缩短工艺管道，减少通过第一道密封屏蔽释放到工作场所的氙量。

e、工艺尾气采用净化装置处理，最大限度地减少有害物质释放。

② 第二级包容

本项目燃料循环系统中涉及高浓度氙的 SDS、TEP、WJ 系统的第二级包容为手套箱；主机的第二级包容为主机包容屏蔽室；主机真空抽气泵组、SMBI 注入系统的第二级包容为包容腔体。其控制措施如下：

a、手套箱、包容腔体负压（相对负压约 200Pa）运行，防止外漏。

b、主机包容屏蔽室负压运行（100Pa~200Pa/包容屏蔽室外），包容屏蔽室检修门采用气密门（8 级）防止外漏。

c、在手套箱、主机包容屏蔽室内设置氙连续监测仪，用于实时监测空气中氙浓度，及时发出报警信号。

d、在正常运行工况下，通过 GDS 系统对手套箱进行周期性除氙，以保证手套箱气氛中氙浓度低于排放设定值。当手套箱内工艺管道异常泄漏导致手套箱气氛中氙浓度达到 GDS 除氙设定值时，立即将发生泄漏的密闭手套箱与其他手套箱隔离，启动 GDS 进行循环除氙。

③ 第三级包容

本项目燃料循环系统的第三级包容为氙循环工艺间，主机的第三级包容为主机大厅厂房。其控制措施如下：

a、氙循环工艺间和主机厂房为密闭厂房，不设窗户，负压运行（氙循环工艺间负压 30Pa~50Pa/室外；主机大厅内，包容屏蔽室、氙循环工艺间以外区域负压 10Pa~30Pa/室外）。为防止外漏，主机大厅西侧物流出入口采用气密门（4 级），氙工艺间、三级包容及处理间采用气密门（6 级），主机大厅与卫生出入口之间设置过渡间，过渡间采用气密门（4 级）。

b、通过不同区域的实体隔离和负压来实现气流由低污染区域流向高污染区域。

c、主机大厅作为放射性工作厂房只设一个总的人员出入口，即卫生通过间，卫生通过间设卫生淋浴设施，并配置监测仪器，以防止污染扩散。

d、在主机大厅内、氙循环工艺间内设置氙连续监测仪，用于实时监测空气中氙浓度，及时发出报警信号。

(2) 气流组织

项目放射性区域内通风系统根据建筑物的包容分区进行设计，各区设有相对独立的通风系统，在分区布置的建筑物中，合理组织气流，保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区。各不同分区之间维持一定负压，C1 区相对室外为微负压，C2-1 区相对室外负压 10~30Pa，C2-2 区相对室外负压 30~50Pa，C3 区相对包容屏蔽室外负压 100~200Pa，手套箱负压 200Pa。

本项目主机大厅共设置 3 个全面排风系统 P-1~P-3 和 1 个局部排风系统 JP-1。其中 P-1 排风系统服务范围为主机包容屏蔽室，P-2 系统为氟循环工艺间的三级包容及处理间、氟工艺间、分析间、泵房、地坑、放射性废物暂存间等服务，P-3 系统为主机大厅其他区域服务，JP-1 系统排风范围为氟工艺房间的手套箱、手套箱除氟系统（GDS）和空气除氟系统（ADS）。放射性区域排风通过各排风系统从动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境。

材料库一层材料库、量热间及量热控制间，设置 1 个全面排风系统 P-1，接入主机大厅 JP-1 局部排风系统，通过动力厂房屋顶 24.5m 排气筒排放。

（3）其他措施

① 加料系统（SMBI）

布局：SMBI 主要接收来自 SDS 的氟气，而后进行 DT 混合气配气，再向主机真空室送入燃料，因此该系统布置于邻近主机真空室及 SDS 区域。此空间规划策略既有利于工艺流程化管理，又可缩短连接管路长度，降低因冗余管路长度引发的氟渗透损耗风险。

管道、阀门、整体设计：工艺管道、容器、阀门为 SMBI 一级包容，管道尽量采用焊接，以减少泄漏风险。

材料：尽可能避免使用含卤化材料、硫和磷以及涉及使用这些材料的工艺过程，尽可能避免使用含氢材料（如聚合物、碳氢化合物），降低氟的渗透。

氟监测：SMBI 出入口对工艺气体成分及含氟量进行在线监测，确保加料气体中氟含量的准确性。

二级包容：SMBI 放置在密封等级为二级的二级包容中，尽量减少通过第一道密封屏蔽释放到工作场所的氟量。二级包容中设置有氟浓度监测仪对二级包容气氛实施监测，若二级包容中氟浓度高于除氟设定值则启动手套箱除氟系统（GDS）进行除氟处理。

三级包容：SMBI 部署于主机屏蔽间内，该密闭空间采用全密闭式厂房结构，

防止放射性物质向环境不可控的释放。屏蔽间集成空气除氙系统（ADS），当监测到氙活度浓度超过除氙设定值时，自动触发 ADS 除氙作业程序。

其它：建立超温超压保护连锁及报警，降低氙渗透与泄漏的可能性。

② 中性束注入系统（NBI）

布局：NBI 主要对真空室中等离子体进行辅助加热，系统中氙主要来自主机真空室中气体反抽进入 NBI 小真空室，因此该系统位于主机真空室附近，有利于工艺流线化管理，又可缩短连接管路长度，降低因冗余管路长度引发的氙渗透损耗风险。

管道、阀门、整体设计：工艺管道、容器、阀门为 NBI 一级包容，管道尽量采用焊接，以减少泄漏风险。

材料：尽可能避免使用含卤化材料、硫和磷以及涉及使用这些材料的工艺过程，尽可能避免使用含氢材料（如聚合物、碳氢化合物），降低氙的渗透。

氙监测：对 NBI 真空抽气管路抽出气体进行成分及含氙量进行在线监测，确保氙衡算的可靠性。

二级包容：NBI 抽气泵组等放置在密封等级为二级的二级包容中，尽量减少通过第一道密封屏蔽释放到工作场所的氙量。二级包容中设置有氙浓度监测仪对二级包容气氛实施监测，若二级包容中氙浓度高于除氙设定值则启动手套箱除氙系统（GDS）进行除氙处理。

三级包容：NBI 于主机屏蔽间内，该密闭空间采用全密闭式厂房结构，防止放射性物质向环境不可控的释放。屏蔽间集成空气除氙系统（ADS），当监测到氙活度浓度超过除氙设定值时，自动触发 ADS 除氙作业程序。

其它：建立超温超压保护连锁及报警，降低氙渗透与泄漏的可能性。

③ 真空抽气系统

布局：真空抽气系统主要对真空室进行抽真空处理，并接收来自 NBI 的工艺气体，因此该系统位于主机真空室及 NBI 附近，有利于工艺流线化管理，又可缩短连接管路长度，降低因冗余管路长度引发的氙渗透损耗风险。

管道、阀门、整体设计：工艺管道、容器、阀门为抽真空系统一级包容，管道尽量采用焊接，以减少泄漏风险。

部件设计：真空抽气系统所有需要更换或日常维护的部件（主要为泵），采用气密可拆卸连接，进出口处设置至少 2 个阀门，在维护、更换过程中可确保管道及设备密封性良好，避免其中氙释放到一级包容之外。

材料：尽可能避免使用含卤化材料、硫和磷以及涉及使用这些材料的工艺过程，尽可能避免使用含氢材料（如聚合物、碳氢化合物），降低氚的渗透。

氚监测：需对真空抽气系统抽出气体进行成分及含氚量进行在线监测，确保氚衡算的可靠性，确保气体进入对应储罐，保障后续进入正确的氚处理工艺流程。

二级包容：真空抽气系统正压部分、泵组件放置在密封等级为二级的二级包容中，尽量减少通过第一道密封屏蔽释放到工作场所的氚量。二级包容中设置有氚浓度监测仪对二级包容气氛实施监测，若二级包容中氚浓度高于除氚设定值则启动手套箱除氚系统（GDS）进行除氚处理。

三级包容：抽真空系统部署于主机屏蔽间内，该密闭空间采用全密闭式厂房结构，防止放射性物质向环境不可控的释放。屏蔽间集成空气除氚系统（ADS），当监测到氚活度浓度超过除氚设定值时，自动触发 ADS 除氚作业程序。

其它：建立超温超压保护连锁及报警，降低氚渗透与泄漏的可能性。

4.1.3 辐射屏蔽设计

本项目 HL-3 装置在运行过程中会产生多种电离辐射，主要包括：DD 与 DT 聚变反应产生的中子、 (n, γ) 反应产生的 γ 射线、等离子体逃逸电子产生的 X 射线等。为有效屏蔽上述辐射，保障人员与环境安全，本项目对 HL-3 装置主机采用了“包容屏蔽室+厂房屏蔽”的屏蔽设计。

4.1.3.1 建筑物屏蔽（厂房屏蔽）

现有主机大厅分为西侧的 HL-3 大厅和东侧的 HL-2A 大厅，主机大厅四侧墙体为 80cm（密度为 2.3g/cm^3 ）厚混凝土，HL-3 大厅屋顶为 12cm 厚混凝土+35cm 厚木质屋面，HL-2A 大厅屋面为 50cm 厚的混凝土板，设有 3 道屏蔽门，屏蔽门均为厚 $3\times 60\text{mm}$ 铁+ $2\times 100\text{mm}$ 聚乙烯。

本项目对现有主机大厅厂房进行改造，在主机大厅内 6 轴附近增加一道 50cm 重混凝土隔墙，将主机大厅分东区和西区，主机大厅西区主要布置 HL-3 装置主机，主机大厅东区主要布置氚工艺系统和放射性固废废物暂存间等。为满足物流和人员出入主机大厅西区和东区，在隔墙上开设门洞，门洞大小为 $1.5\text{m}\times 2\text{m}$ ，屏蔽门尺寸约 $2.0\text{m}\times 2.5\text{m}$ ，屏蔽门采用 15cm 不锈钢（铁）+15cm 含硼聚乙烯进行屏蔽。

（1）主机大厅西区（原 HL-3 大厅）屏蔽方案如下：

北侧墙体：原北侧 80cm 厚混凝土保持不变，在内侧增加 50cm 厚重混凝土，对

原标高+5.80m 处的防护门进行拆除，采用与北侧墙体相同厚度的混凝土进行封堵；

南侧墙体：原南侧 80cm 厚混凝土保持不变，在内侧增加 50cm 厚重混凝土；

西侧墙体：原西侧 80cm 厚混凝土保持不变，在内侧增加 60cm 厚重混凝土；并拆除原西侧墙体的防护门，新建 1 处防护门，尺寸为 6.0m（宽）×7.5m（高），防护门屏蔽层由水墙+物流门组成，由内至外为“80cm 水墙+30cm 铁+30cm 水+2cm 铁”的组合，其中“80cm 水墙”嵌入物流门门洞内，剩余屏蔽体位于门洞外。作为主机大厅物料、废物的出入口。

东侧墙体：即为新建的 50cm 重混凝土隔墙；

屋顶：原屋顶 12cm 厚的混凝土保持不变，拆除 35cm 厚木质屋面，并由下到上新建 10cm 重混凝土、35cm 含硼聚乙烯、5cm 混凝土。

（2）主机大厅东区（原 HL-2A 大厅）屏蔽方案如下：

主机大厅东区厂房保持现有方案不变，仅将北侧标高±0.00m 的防护门拆除重建：

① 北侧墙体：原北侧 80cm 厚混凝土保持不变，拆除原±0.00m 的防护门，原处新建 1 处防护门，新建防护门尺寸为 4.0m（宽）×5.5m（高），采用屏蔽门加迷宫屏蔽，屏蔽门厚度为“15cm 铁+55cm 含硼聚乙烯”，作为主机大厅的人员出入口。

② 南侧墙体：原南侧 80cm 厚混凝土保持不变；

③ 西侧墙体：即为新建的 50cm 重混凝土隔墙；

④ 东侧墙体：原东侧 80cm 厚混凝土保持不变。

⑤ 屋顶：原屋顶 50cm 厚的混凝土保持不变。

4.1.3.2 主机包容屏蔽室

在主机厂房内 HL-3 装置周围新建主机包容屏蔽室，包容屏蔽室内部长 22m，宽 19m，高 13m，共一层。包容屏蔽室四侧和顶部由内至外为 0.3cm 铁、45cm 含硼聚乙烯、2.7cm 铁。为了满足后续设备安装与检维修需求，包容屏蔽室西侧墙设检修门，检修门由检修密封门和检修屏蔽门组成，检修密封门净尺寸约为 2000×3000mm，采用铰链式平开门结构。检修屏蔽门净尺寸约为 2450×3450mm，同样采用铰链式平开门结构，屏蔽厚度为 3cm 铁+45cm 含硼聚乙烯。

4.1.3.3 贯穿屏蔽设计

本工程结构复杂、管线较多，采用“地沟为主，直穿为辅”的总体方针。

4.1.3.3.1 地沟贯穿屏蔽设计

设置地下屏蔽管沟用于满足新增大量管线布置的需求。地下管沟需求较大(>13条管沟)，若均采用管沟形式对厂房和包容屏蔽室的结构存在较大影响，因此部分地下管沟在地基区域采用套管形式，预留管线套孔，以减小对厂房和包容屏蔽室的结构影响。穿过屏蔽厂房和包容屏蔽室的地沟均采用 U 型结构设计，减少辐射泄漏。

4.1.3.3.2 贯穿孔屏蔽设计

设置少数墙体贯穿孔满足诊断、真空抽气、线圈引线、氙系统管道的需求穿墙孔，包括诊断及真空抽气系统 50mm 贯穿孔 11 个、100mm 贯穿孔 8 个、150 mm 贯穿孔 1 个，线圈引线填充孔 3 个。

针对小管、线缆墙体贯穿，优先采用斜贯穿的方式，尽量避免直通穿过，保证屏蔽的有效性。其中对于管类，采用与内层钢覆面焊接形式保证密封；对于线缆，采用预埋套管形式，线缆穿越后，填充浇筑密封硅酮等以保证密封。对于必需的墙体直贯穿，设置贯穿孔径小，且贯穿位置远离辐射源中心布置。

4.2 辐射安全与防护措施

4.2.1 场所设施

4.2.1.1 卫生通过间

本项目在主机大厅北侧 1B 一层 A6~A8 轴区域设置卫生通过间，与主机大厅北侧屏蔽门相连，用于控制人员出入主机大厅。卫生通过间设置了家常服间、淋浴间、过渡间、工作服间、去污间、检测间、辐防设备间。工作人员通过卫生通过间进出主机大厅的流程如下：

(1) 进入主机大厅：工作人员在家常服间脱家常服，经过渡间进入工作服间，穿工作服，佩带个人剂量监测用品，经走道、过渡间进入主机大厅；

(2) 离开主机大厅：工作人员经迷宫、走道进入工作服间，交个人剂量监测用品，进行手脚污染检测，若检测合格，脱工作服，经过渡间、进入淋浴间进行身体淋浴，而后进入家常服间，穿家常服，离开工作场所；若手脚污染检测不合格，则进入去污间，脱工作服，进行去污淋浴，淋浴完毕后重新进行手脚污染检测，直至检测合格，经工作服间、过渡间进入家常服间，穿家常服，离开工作场所。

4.2.1.2 入口警告标志及装置工作状态显示

本项目在进出主机大厅的屏蔽防护门入口处均设置明显的电离辐射警告标志，警示人员注意安全。

在主机大厅屏蔽防护门上方设置工作状态指示灯，直观、明显地显示装置的工作状态，当 HL-3 装置处于运行状态时，指示灯开启，提示相关人员不要误入，防止人员受到不必要的照射。

4.2.1.3 紧急开门按钮

本项目在 1A 主机大厅物流和人流屏蔽防护门内附近设置紧急开门按钮，在紧急情况下，按下紧急开门按钮，防护门打开，HL-3 装置立即停止放电运行，可保障人员快速撤离。在按钮下方有醒目的“紧急开门按钮”标识以及非紧急情况下禁止使用等相关说明。

4.2.2 辐射安全联锁系统

本项目辐射安全联锁系统根据 HL-3 运行和维护的特点，并结合辐射工作场所分区实体边界，以及辐射剂量监测系统运行和测量经验进行设计。辐射安全联锁状态信号接入 HL-3 运行总控系统，可对等离子体辐射源的启停状态进行实时操控。

HL-3 辐射安全联锁系统通过分布在控制区内的现场设备采集信号和执行动作。

HL-3 辐射安全联锁系统主要包括门禁联锁、巡更联锁、紧急停止联锁、停机辐射剂量联锁以及声光报警装置。

4.2.2.1 控制台的安全联锁

本项目控制中心控制台设有密码保护功能，工作人员输入密码后，方能启动辐射安全联锁系统，未启动辐射安全联锁系统，装置各系统无法开机运行。

本项目在 HL-3 总控系统的上位机软件界面也设有紧急停止按钮，点击按钮，可实现装置立即停止运行。

控制台设置 1 个复位按钮，任何联锁触动装置停机后，都需人工按下复位键，装置才可重新启动。

4.2.2.2 门禁联锁

主机大厅物流出入口屏蔽门、人流出入口屏蔽门开闭状态需接入主机控制系统，只有所有屏蔽门均关闭时，主机控制系统才能开启试验。

4.2.2.3 巡更联锁

本项目在 1A 主机大厅内主要墙面和出入口墙面处、主机包容屏蔽室内和氦循环工艺间不同楼层处以及抽气电源平台、诊断平台设置巡更按钮共计 16 个，在 1B、1C、1E 出入口各设置 1 个巡更按钮，巡更按钮有醒目的“巡更按钮”标识。

DT 放电实验期间，1A 为控制区，1B、1C、1E 厂房均为管控区，均禁止人员滞留。在开展 DT 实验前，开启广播系统不间断广播报警，提醒工作人员撤离。巡检人员按照巡更路线首先对 1A 主机大厅进行巡更检查，并按下相应区域巡更按钮；再对紧邻的 1B、1C、1E 厂房进行巡更检查，并按下厂房出入口的巡更按钮，只有当所有联锁管控区域内的巡更按钮均按压闭合后，HL-3 才能够开展 DT 放电实验。

DD 放电实验期间，1A 为控制区，禁止人员滞留。巡检人员按照巡更路线对 1A 主机大厅进行巡更检查，并按下相应区域巡更按钮，HL-3 才能够开展 DD 放电实验。

4.2.2.4 紧急停止联锁

本项目在 1A 主机大厅内主要墙面和出入口墙面处、主机包容屏蔽室内和氦循环工艺间不同楼层处等人员方便迅速到达触及的地方设置紧急停机按钮共计 5 个，在控制中心设 1 个。紧急停机按钮有醒目的“紧急停机按钮”标识，以及非紧急情况下禁止使用等相关说明。

在维护检修人员因极端原因，屏蔽门已关闭状态仍滞留在高辐射区域，或者控制中心工作人员发现有人员滞留在主机大厅内，通过按下附近的紧急停机按钮，可以通过 HL-3 总控系统快速停止励磁进程，放电将无法开始或快速停止。紧急停机按钮断开操作无需授权，松开按钮后具备自锁功能，其闭合复位需要授权人员现场进行操作。只有全部的紧急停止按钮都闭合复位后，才能正常放电运行。

本项目紧急停机按钮与声光报警装置联锁，紧急停机按钮按下，触动声光报警，紧急停机信号传输给辐射安全联锁系统，装置立即停止运行。

4.2.2.5 停机辐射剂量联锁

主机厅内布置有多个中子/ γ 探头，实时监测主机厅内各位置辐射水平，监测信号与主机厅物流出入口屏蔽门（联锁仪表：N-1、G1-1）、人流出入口屏蔽门（联锁仪表：N-2、G2-1）联锁。停机后，当辐射水平降低到控制值（ $5\mu\text{Sv/h}$ ）以下时，屏蔽门方可打开。

4.2.2.6 配套设备

与辐射安全联锁系统配套建设的设备，还包括声光报警和视频监控。在装置放电运行时，声光报警可以告知区域内辐射的存在（或即将存在），使得区域内的人员远离辐射源。视频监控可以发现控制区域内的人员异常滞留或闯入，并及时采取干预措施。

4.2.2.7 辐射安全联锁系统运行流程

（1）准备实验运行的运行流程

在开始等离子体放电运行（及 NBI 系统运行测试）前，由大厅安保人员或维护检修作业负责人检查并按压闭合巡更联锁。现场人员完成撤离后，门禁联锁闭合。放电实验开始前，工作人员通过主机控制系统向辐射监测控制系统发出信号，关闭停机剂量联锁系统；放电实验结束后，主机控制系统自动向辐射监测控制系统发出信号，打开停机剂量联锁系统。

（2）停机进行维护的运行流程

等离子体放电停止后，辐射安保专业人员操作停机辐射剂量联锁闭合。在相应控制区域内的辐射剂量率衰减至设定的限值以下后，维修作业人员获得进入许可授权。授权人员通过核验，方可进入控制区域现场进行检修作业。

4.2.3 监测设备

为保证本项目运行过程中的安全，控制和评价辐射危害，建设单位设置了相应的辐射监测系统，包括工作场所的监测系统、流出物监测系统、环境监测系统以及个人剂量的监测设备。

4.2.3.1 工作场所的监测系统

本项目工作场所监测主要包括场所污染监测系统、辐射水平监测系统、表面污染监测系统和工艺辐射监测系统，各系统设置情况分述如下：

（1）场所污染监测系统

场所污染监测系统主要用于测量主机大厅内空气污染程度，分为氡污染监测和气溶胶污染监测。

① 氡污染监测

本项目共配置 5 台氡在线监测装置，统一布置在辐防设备间，通过取样管道对

各测量点进行监测，用于实时监测场所空气中氙浓度，及时发出报警信号。配置 2 台便携式氙监测仪，用于主机厅内氙污染巡测或检修前的氙污染检测。配置 3 台氙取样装置，用于检测空气中氙浓度。

② 场所气溶胶污染监测

主机放电瞬间产生的高能中子穿过主机材料、屏蔽材料，发生活化反应，产生放射性活化产物，造成空气中放射性气溶胶污染，因此，本项目配置 3 台气溶胶取样装置，对工作人员经常出入的场所进行气溶胶取样及监测。

主机活化产生的活化粉尘主要分布在包容屏蔽室内，本项目配置 1 台移动式气溶胶在线监测装置，用于包容屏蔽室内检维修时，评价气溶胶污染水平。

③ 场所其它监测设备

本项目配备低本底 α 、 β 测量仪、低本底液闪谱仪、高纯锗 γ 谱仪、手持式核素识别仪、制样系统各 1 套。其中，低本底 α 、 β 测量仪用于表面污染取样样品检测，低本底液闪谱仪用于氙取样样品检测，高纯锗伽马谱仪、制样系统用于场所环境取样制样、样品检测，手持式核素识别仪用于环境剂量监测和辐射源识别。

（2）辐射水平监测系统

本项目新增区域中子剂量监测系统和区域 γ 剂量率监测系统各 1 套。区域中子、伽马探测主机集中布置在辐防设备间，探头布置在现场，其中区域中子剂量监测系统中子探头共计 13 个，4 个高量程，9 低量程，用于测量主机放电瞬间相应区域的辐射水平；区域 γ 剂量率监测系统 γ 探头共计 28 个，4 个高量程，24 个低量程，用于测量主机放电瞬间相应区域的辐射水平以及装置停机维护期间相应区域的辐射水平。

根据主机大厅内部的建筑物结构及功能分区，对中子、伽马实时监测系统探测器进行优化布置。这些点位尽可能布置于具有代表性、可参考对比，且检修维护人员居留概率较高的位置。在一些更关注停机检修期间残余伽马辐射的位置，仅布置了伽马剂量率探测器。

本项目在主机包容屏蔽体内北、西、东 3 个方向，主机包容屏蔽体外西侧 1 个方向，分别布置 1 个区域中子探头（高量程），用于测量主机放电瞬间的辐射水平。在主机包容屏蔽体外北侧、检修门附近处，主机大厅内诊断钢平台、东侧的屏蔽门以及氙工艺间附近，1A 西侧墙外、1B 北侧墙外、1C 南侧墙外、1E 东侧墙外，分别布置 1 个区域中子探头（低量程），用于测量主机放电期间，相应区域的辐射水平。

本项目在主机包容屏蔽体内北、西、东 3 个方向，主机包容体外西侧 1 个方向，

分别布置 1 个区域 γ 探头（高量程），用于测量主机放电瞬间的辐射水平。在主机包容屏蔽体外北、西、南 3 个方向、检修门附近处，主机大厅内诊断钢平台、北、西、南、东区域，1A 西侧墙外、1B 北侧墙外、1C 南侧墙外、1E 东侧墙外，分别布置 1 个区域 γ 探头（低量程），用于测量主机放电期间和停机维护期间，相应区域的辐射水平。在装置停机维护和大修改造期间，控制区内外的辐射监测获得的停机伽马剂量率，将作为人员可否接近检修作业的重要依据，因此在主机大厅内氙循环工艺间以及紧邻的 1B、1C、1E 人员居留概率较高的位置增设了布点。

③便携式监测设备

本项目配置 4 台便携式中子剂量率仪和 4 台便携式 γ 剂量率仪，用于工作场所辐射水平巡测以及检修期间检修区域辐射水平的测量。

（3）表面污染监测系统

本项目配置 4 台表面污染监测仪，用于：转出厂房的物品、废物表面污染监测；工作场所地面及墙面、设备表面、手套箱表面污染水平及污染范围定期测量；检维修前后及发生放射性事故/事件时使用。在正常运行工况下，监测频率为 1 次/（2 周~1 月），在上一次监测数据超标时，监测频率增加至 1 次（1 班~1 天），直至连续监测 3 个频次无异常。

本项目配置 2 台手脚污染监测仪，分别放置在男女工作服间。工作人员离开主机厅时，先后经过手脚污染监测仪，及时发现工作人员表面污染。

本项目配置 1 台小物品监测仪，放置在卫生出入口迷宫墙边。工作人员离开主机厅时，携带小物品应经过小物品监测仪监测，及时发现小物品表面污染。

（4）工艺辐射监测系统

① 手套箱气氛监测仪：氙工艺手套箱设置气氛监测仪（3 台），包括 TEP 手套箱、SDS 手套箱、WJ 手套箱，实时监测手套箱内氙浓度，检测到氙浓度异常升高（氙泄漏）及时报警，并连锁启动手套箱除氙系统。

② 管道流出物氙监测仪（2 台）：用于监测真空尾气中氙浓度，若监测结果超标，真空尾气需经气氛除氙系统处理。

4.2.3.2 流出物监测系统

本项目配置 1 台气态流出物氙在线监测仪、1 套气态流出物氙取样系统、1 套放射性气溶胶取样装置，分别在 1C 大厅排气筒上引取样管道接到相应监测设备。气态

流出物氙在线监测仪用于实时测量气态流出物中的氙（氙气、氙化水）浓度，及时发出报警信号；气态流出物氙取样系统用于气态流出物中氙浓度的精确测量；放射性气溶胶取样装置用于测量气态流出物中的放射性气溶胶浓度。

本项目配置 1 套烟气参数监测装置，可实时测量排风筒的排风量，结合氙监测仪，可得到排风筒的氙排放量。

4.2.3.3 辐射环境监测设备

本项目新增 X- γ 剂量率仪 2 台，用于厂区及周围环境 γ 辐射剂量率测量；新增空气、水源、土壤取样系统、环境样品制样系统、环境样品分析系统各 1 台，用于厂区周围环境的样品取样、制备和分析。

4.2.3.4 个人剂量监测

（1）热释光个人剂量监测系统（外委）

本项目配置热释光个人剂量监测系统，工作人员进入主机大厅时，应在卫生出入口配戴热释光剂量片，用于测量工作人员的累积外照射剂量。

（2）电子式个人剂量计、个人剂量计读出装置

本项目配置 30 个电子式个人剂量计（中子、 γ ），检维修人员进入主机大厅时，应在卫生出入口配戴电子式个人剂量计，用于实时显示人员所在位置的外照射剂量率。本工程配置 1 套个人剂量计读出装置，用于读取电子式个人剂量计每次使用的累积剂量。

（3）内照射剂量监测（外委）

辐射工作人员每季度组织一次内照射检测（尿样），评价工作人员内照射水平。

4.2.3.5 辐射监测网络系统

本项目设置辐射监测网络系统，其功能如下：

（1）集成场所污染监测系统、辐射水平监测系统、表面污染监测系统、个人剂量监测系统、流出物监测系统、工艺辐射监测系统监测数据，设备远程启停、运行信息，报警信号等数据；

（2）与主机控制系统互联，实现辐射安全联锁功能。

本项目包括辐射监测和联锁控制两部分。辐射监测在等离子运行过程中和停机维护阶段将始终运行。辐射监测的数据由辐防联锁系统采集，并通过网络传输给中

央控制系统并实时显示。各连锁中的输入信号由辐防连锁控制采集，并由辐防连锁控制器处理进行逻辑判断，输出控制信号，并发送给中央连锁系统，作为等离子实验运行、紧急停机、维护人员准入的条件之一。此外根据需要，辐射安全连锁中重要设备的状态如屏蔽门的开关状态也实时向中央连锁系统发送并实时显示。本辐射安全连锁控制系统拟基于 PLC（可编程控制器）进行搭建。

4.2.4 其他辐射安全与防护措施

4.2.4.1 个人辐射防护用品

本项目为辐射工作人员配备了个人防护用品，包括：口罩、手套、工作服、鞋套、个人剂量计等。

在正常运行时，卫生出入口为工作人员配备的防护用品主要有口罩、手套、工作服、鞋、热释光个人剂量计等。

在检修或事故时，除常规防护用品外，根据不同情况，工作人员还必须配备的防护用品主要有电子式个人剂量计等。

在检修设备时，首先进行除氚程序，并对设备进行擦洗降低表面污染，使用气溶胶取样装置和氚取样装置对检修场所空气进行取样。

4.2.4.2 维护检修过程中的辐射安全防护措施

（1）包容屏蔽室外检维修

① 工艺系统和设备进行维修前，首先将氚料排空，通过手套箱除氚系统或空气除氚系统除去检修部位的氚，并进行表面去污，通过便携式表面污染监测仪检测表面污染水平。

② 在检修设备现场铺上塑料布，现场检修时，防止表面污染扩散。

③ 使用便携式氚监测仪对检修场所的氚浓度进行实时监测。

④ 检维修人员在检修非密封源工艺系统和设备时，要特别注意内照射的防护，根据维修设备的不同，穿戴防护用品，如特种防尘口罩、工作服、鞋、袜、裤、帽、手套等，佩戴电子式个人剂量计，进行个人剂量监测，并记录在案。

（2）包容屏蔽室检维修

包容屏蔽室内检维修的辐射防护措施，除了执行上述“（1）包容屏蔽室外检维修”的要求外，还应执行以下措施：

① 包容屏蔽室内检维修应搭设气帐，防止污染扩散。

② 使用便携式氡监测仪、便携式气溶胶在线监测装置对检修场所的氡浓度、放射性活化产物浓度进行实时监测。

4.2.4.3 去污措施

在本项目实验过程中，产生放射性表面污染的场所主要是在操作区、设备检修和废物处理过程中以及主机大厅的墙体表面。

制定表面污染监测程序，定期对地面、设备或墙壁污染进行测量，对监测发现不符合控制值要求需进行去污处理，去污后，再进行污染监测复核。采用擦拭去污、机械去污等方法对污染设备、区域进行去污处理，去污产生的擦拭、防护等固体废物进行分类收集。

清洗去污根据《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《核设施的钢铁、铝、镍和铜再循环、再利用的清洁解控水平》（GB/T 17567-2009）规定的限值和要求，以及清洗物件的用途和去向，采取不同的去污措施。继续使用的物件，一般清洗到固定污染为止；转为普通物件使用的物件要清洗到 GB18871-2002 中附录 B 表 B11 所列设备类控制区数值的 1/50 以下。

常用的去污措施有如下两种：

（1）擦拭法去污

定期对工作场所的地面、设备或墙壁进行清洗去污，以保持工作场所的清洁。

（2）机械去污

经表面擦洗达不到规定限值，再用机械器具如铲、刨、刮、刀、锉铲去沉积物，有时用刷子沾一些酸或其它去污剂刷洗，有时用刮去表面的油漆的方法而达到去污目的。该方法通常在实施退役操作时采用。

4.2.5 辐射安全防护措施符合性分析

本项目拟采取的辐射安全与防护措施与《磁约束聚变实验装置监督检查技术程序》和《甲级非密封放射性物质操作场所监督检查程序》对照后，本项目辐射安全防护设施符合相关规定要求。

4.2.6 其他安全与防护措施

4.2.6.1 消防

（1）工艺

本工程主机包容屏蔽室和 HL-3 辅助系统涉及氢气（氘和氚）的使用，主要存在于 HL-3 设备和管道中。氢气（氘和氚）使用量较少，运行过程密封于 HL-3 设备和管道中，假设在事故情况下完全泄漏在主机包容屏蔽室内，屏蔽间体积为 4810.7m³，换气次数为 5 次/h，无法形成爆炸混合气体。同时设置有除氚系统，监测到有气体泄漏的启动除氚系统回收氚气。

组成工艺系统的设备、管路、线缆等尽可能采用不燃、难燃的材料，如不锈钢、碳钢、含硼聚乙烯、玻璃、铜、钨等，经火荷载密度分析，火灾持续时间不足以突破墙体、钢板等边界。边界孔洞采用不燃的高密度硅酮材料或者发泡硅酮材料，具有良好的密封和阻燃性能。

（2）建筑

主机大厅的建筑物火灾危险性类别为丁类，建筑耐火等级一级，厂房建筑整体为一个防火分区，防火分区面积满足规范要求；本次改造不改变工程实验控制中心楼原有建筑的火灾危险性、耐火等级、防火分区等，为多层公共建筑，耐火等级二级；材料库为新建公共建筑，耐火等级一级，建筑整体为一个防火分区，防火分区面积满足规范要求。

各子项防火分区安全出口不少于两个，相邻两个安全出口间水平距离大于 5m。防火分区的面积、安全出口数量、疏散距离满足规范要求。

建筑防火墙均直接设在建筑物的基础或承重结构梁上，防火墙墙体材料满足耐火极限 3 小时的要求，防火墙上开门采用甲级防火门。内隔墙均砌筑至梁或楼板底并堵塞严实。楼梯间、送排风机房等隔墙采用防火隔墙，墙体材料满足耐火极限 2 小时的要求，防火隔墙上门采用防火门。防火门设自动闭门器，双扇防火门增设顺序器。墙体留洞待管道设备安装完毕后，用防火材料封堵严实；防火墙上穿洞处均应设置防火阀或加设不燃材料的套管，待管道安装后用相当楼板或防火墙的耐火极限的防火材料密封填实；内、外装修材料选用燃烧性能等级不低于 B1 级装修材料。

（3）给排水

主机大厅、卫生通过间及材料库的室外消防用水量为 15L/s，室内消防用水量为 10L/s，火灾延续时间 2h，一次灭火用水量 180m³（本项目消防水池有效容积 756m³，满足灭火用水量需求）。

主机大厅、工程实验控制中心楼等厂房为内部改造，原有室内消防设施满足要求；材料库厂房火灾危险性为丁类及临界要求，不设置室内消火栓系统，在厂房配

置足够数量相应级别的手提式磷酸铵盐干粉灭火器和手提式二氧化碳灭火器。

由于主机大厅内工艺设备的特殊性和重要性，对其主机厅、氚工艺区域、地沟、及抽气平台区域设置高压氟化酮灭火系统。设计灭火浓度为 5.2%，喷放时间为 10min，共分 6 个分区，5 个分区采用全淹没应用系统、1 个分区采用局部淹没应用系统对各个防护区保护，系统最不利点工作压力 $\geq 10\text{MPa}$ ，可以与火灾报警系统联动工作，或通过手动方式应急启动。

（4）暖通

风管在以下位置设置 70℃防火阀：穿越防火分区处；穿越通风、空调机房隔墙和楼板处；穿越防火分隔处的变形缝两侧；竖向风管与每层水平风管交接处的水平管段上。

所有通风、空调系统的设备、风管等均采用不燃材料制作，保温材料、消声材料等均采用不燃或难燃材料制作；通风和空气调节系统的管道穿越需要封闭的防火隔墙、楼板和防火墙处，设置厚度不小于 1.6mm 的钢制防护套管，风管与防护套管之间采用不燃柔性材料封堵严密；风管穿过防火隔墙、楼板和防火墙时，穿越处风管上的防火阀、排烟防火阀两侧各 2.0m 范围内的风管采用耐火风管或风管外壁采取防火保护措施，且耐火极限不应低于该防火分隔体的耐火极限。

（5）电气

本工程主要消防负荷为给排水高压氟化酮系统、消防应急照明系统等，按照一级负荷进行供配电设计，采用就地双电源切换箱为消防负荷供电。

在工程实验控制中心楼的 UPS 间、消防设备间、仪控设备间以及材料库的监控大厅设置备用照明；在主机大厅和材料库设疏散照明，保证火灾发生时人员的安全疏散；合理设置建筑防雷接地系统，采取防直击雷、防闪电感应、防闪电电涌侵入等措施。

电气设备选用可靠的绝缘等级及安全型开关设备，根据使用场合和负荷等级，采用低烟无卤耐火或阻燃型以及矿物绝缘型电力电缆、照明导线；电气电缆线路的选型满足短路、过载、防火、受力以及特殊环境条件要求；电气安装全部完工后，墙上所有洞口及穿线管均用防火材料封堵。

（6）自控

自控设备接地采用联合接地方式，电气专业在工程实验控制中心楼三层设备间设两块接地汇总板，分别为工作地和保护地。自控设备通过各自接地线汇至这两块

接地汇总板，两块接地汇总板经各自接地干线接至总接地板，氟工艺房间触控一体机的工作地和保护地通过各自接地线汇至接地环网。

(7) 通信

本工程设置火灾自动报警系统，在建筑物内设置火灾探测器连续进行自动监测，一旦发生火灾，探测器立即发出火灾报警信号，本工程的火灾自动报警系统是厂区火灾自动报警系统的一部分，应能够与厂区内原有的火灾自动报警设备保持兼容。

主机大厅火灾自动报警系统由火灾报警接线箱、火灾显示盘、感烟探测器、线型光束感烟探测器、感温探测器、火焰探测器、线型缆式感温探测器、手动火灾报警按钮（带消防电话插孔）、火灾声光警报器、消防专用电话分机、输入模块、输入输出模块、短路隔离器、直流电源箱及模块箱组成；工程实验控制中心楼和动力厂房火灾自动报警系统由感烟探测器、手动火灾报警按钮（带消防电话插孔）、火灾声光警报器、消防专用电话分机、输入模块、输入输出模块、短路隔离器及模块箱组成；材料库火灾自动报警系统由感烟探测器、手动火灾报警按钮（带消防电话插孔）、火灾声光警报器、输入模块、输入输出模块、短路隔离器及模块箱组成。

火灾自动报警系统的传输线路和 50V 以下供电的控制线路，采用电压等级不低于交流 300V/500V 的铜芯绝缘导线或铜芯电缆，其燃烧性能不低于 B2 级；火灾自动报警系统线缆穿金属管保护敷设。

(8) 总图

院区内既有道路建设比较完善，能够与院区外部道路连接，满足院区内的交通运输需求，新建材料库北侧已有道路宽度 4m，道路交叉口转弯半径不小于 9m，道路净高不小于 5.0m，道路坡度不大于 5%，满足道路运输以及消防的要求。本工程各建构筑物之间距离及与厂区已建建构筑物距离均满足防火间距要求。

4.2.6.2 压力容器、管道物理爆炸及防范措施

(1) 压力容器及管道物理爆炸分析

本项目涉及的危险化学品氢气为气体，使用缓冲罐等承压设备，并通过管道输送，爆炸可能性分析如下：

a.缓冲罐等压力容器在气体输送过程中由于压力过高、人员操作失误、设备本身缺陷等因素，在运行过程有可能发生超压爆炸事故；b.钢瓶选材规格和制造质量不符合规范要求，达不到高腐蚀的气体承受条件，有可能发生爆炸；c.使用过程超

规格充装气体，导致钢瓶内部压力过大，也可能发生超压爆炸事故；d.钢瓶本体及其相关安全附件未定期进行检验，维护不及时，当钢瓶由于高温天气或者其他原因造成储罐超压，而泄压附件失灵，易发生超压爆炸事故。

（2）防范措施

① 压力容器在设备布置设计时，充分考虑布置周围的影响。布置时远离热源进行布置，同时具备相关的安全附件以避免各种事故。气体输送采用符合压力等级要求的金属管道，按照规范要求进行接头处牢固压紧连接。各压力容器设计完善的压力表及相关报警装置，避免承压设备、管道使用过程压力过大发生爆炸。

② 气瓶由合格供应商供货，其相应的技术资料、安全附件齐全，按照相关规定进行定期检维护。

4.2.6.3 电磁辐射防护措施

本项目针对辅助加热系统采取的防电磁辐射和管理措施如下：

（1）电子回旋共振加热（ECRH）系统

设备安装区域铺设接地绝缘设施；微波产生、传输和发射链路完全封闭，ECRH系统工作时微波能量在封闭的传输通道内，各波导接口采用专用的金属密封和连接部件进行真空密封，可确保运行过程中基本无微波泄漏。由于工作波长不足 2 毫米，微波功率在自由空间剧烈衰减，几乎无法从传输通道接口位置泄漏；同时，微波设施周围设置安全围栏，并在醒目位置设置警示标识、系统工作状态指示灯和声音提示装置。

（2）离子回旋加热系统

对于波源大厅发射机放大器产生的高频电磁辐射，发射机腔体的腔板设计成双层的簧片结构，能有效的屏蔽射频信号，从而防止射频波的泄漏。射频波沿着传输线的内导传输，外导体有铝管包裹，不会向外辐射，而且传输线的接口法兰处有铝箔缠绕，然后用导电铝箔胶带粘接，可以避免射频波的泄漏。即使射频波有些微泄漏，也会随着距离很快衰减。

（3）低杂波系统

低杂波系统产生高频电磁辐射的设备主要为速调管和微波传输线。速调管周边采用金属材料进行屏蔽，输出窗通过密封垫片与微波传输线连接，确保电接触并防止微波泄漏。同样，微波传输线的器件之间也使用密封垫片连接，以实现优良的电

接触，避免微波泄漏。

4.3 三废治理

4.3.1 放射性污染物治理措施

4.3.1.1 放射性废气处理措施

本项目放射性区域内通风系统根据建筑物的包容分区进行设计，各区设有相对独立的通风系统，在分区布置的建筑物中，合理组织气流，保证气流方向从“净区”到“脏区”、从低污染区流向高污染区。不同分区之间维持一定负压，C1 区相对室外为微负压，C2-1 区相对室外负压 10~30Pa，C2-2 区相对室外负压 30~50Pa，C3 区相对包容屏蔽室外负压 100~200Pa，手套箱负压 200Pa。

本项目主机大厅共设置 3 个全面排风系统 P-1~P-3 和 1 个局部排风系统 JP-1。其中 P-1 排风系统服务范围为主机包容屏蔽室，换气次数 5 次/h，排风量为 27170m³/h；P-2 系统为氚循环工艺间的三级包容及处理间、氚工艺间、分析间、泵房等房间服务，氚循环工艺间换气次数 5 次/h，放射性废物暂存间换气次数 3 次/h，总排风量为 13706m³/h；P-3 系统为主机大厅其他区域服务，主机大厅换气次数 2 次/h，总排风量为 63350m³/h。P-1~P-3 全面排风系统的离心风机设在动力厂房三层排风机房内，P-1 系统设置 2 台钢制离心风机，1 用 1 备，其余排风系统风机均设置 1 台离心风机。P-1~P-3 全面排风系统排风通过 24.5m 排气筒排入大气环境。JP-1 局部排风系统为氚循环工艺间氚气供应系统（WJ）、储存与供给系统（SDS）、排灰气处理系统（TEP）、手套箱除氚系统（GDS）、空气除氚系统（ADS）等手套箱和设备接口服务，计算排风量为 2410m³/h。JP-1 局部排风系统离心风机设在动力厂房三层排风机房内，设置 2 台离心风机，1 用 1 备，排风通过 24.5m 排气筒排入大气环境。

材料库一层材料库、量热间及量热控制间，共设置 1 个全面排风系统 P-1，换气次数为 6 次/h，计算总排风量 2500m³/h，接入主机大厅 JP-1 局部排风系统，通过动力厂房屋顶 24.5m 排气筒排放。

（1）含氚废气的来源与处理措施

HL-3 运行过程中含氚废气的来源包括：

- 1) HL-3 主机真空室工艺尾气；
- 2) 手套箱及包容腔体维持负压排气；
- 3) 正常工况下，主机包容屏蔽室、氚循环工艺间、主机大厅其他区域等场所的

排风；

4) 主机维修期间，主机包容屏蔽室、临时通风棚的排风；

5) 事故工况下，主机包容屏蔽室、氚循环工艺间、GDS 通风柜等场所气氛中氚浓度超出除氚设定值时，通过空气除氚系统 ADS 处理后的尾气；

6) 手套箱及包容腔体气氛中氚浓度超出除氚设定值时，由手套箱 GDS 处理后的尾气。

真空室工艺尾气包括带氚调试实验、DT 放电实验结束后的排灰气，以及主机辉光放电清洗产生的含氚废气。真空室工艺尾气经 TEP 催化裂解-分离后，其中大部分氚（包括碳氢化合物气体中的氚）以氢同位素气体形式送入 SDS 储氚床吸储。TEP 处理后的含氚尾气排入手套箱气氛除氚系统（GDS）进行催化氧化-吸附处理，其中氚气转化为 HTO 吸附在 GDS 水汽干燥床中。干燥后的尾气经氚浓度在线检测后，若氚浓度高于排放设定值则返回 GDS，继续循环除氚。若处理后尾气氚浓度低于排放设定值，则通过局部排风系统 JP-1 从动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境。

本项目手套箱包括 TEP 手套箱、SDS 手套箱、WJ 手套箱，包容腔体包括 SMBI 包容腔体、NBI 包容腔体、真空抽气系统包容腔体。正常运行工况下，手套箱和包容腔体为空气气氛，不与局排系统进行气氛交换，其负压由自身密闭性保证。当手套箱和包容腔体维持负压通风时，对手套箱内氚浓度进行检测，若氚浓度低于排放设定值则通过局部排风系统 JP-1 从动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境；若浓度高于排放设定值则将手套箱内气体接入 GDS 进行循环除氚处理，处理达到排放标准后通过 JP-1 从动力厂房屋顶烟囱排放至大气环境。

正常工况下，主机包容屏蔽室、氚循环工艺间、废物暂存间、主机大厅其他区域等场所的氚浓度低于排放设定值，由各全面排风系统从动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境。

在维护阶段，将打开主机真空室，含氚气体会从主机真空室释放进入主机包容屏蔽室。通过在主机包容屏蔽室外设置临时通风棚，对从真空室释放的含氚气体进行包容，通风棚及主机包容屏蔽室的排风通过空气除氚系统（ADS）除氚处理后，由局部排风系统 JP-1 从动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境。

氚泄漏事故情况下，当主机包容屏蔽室、氚循环工艺间、GDS 通风柜等场所氚浓度超出除氚设定值时，关闭排风隔离阀，启动 ADS 除氚系统进行除氚处理，经过 ADS 处理后的气氛由各全排系统送往动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境。

二级包容事故及 TEP 异常事故工况下，当手套箱和包容腔体内的气氛中氙浓度限值超过除氙设定值时，将该手套箱接入 GDS 进行循环除氙处理，经过 GDS 处理后的气氛通过局排系统 JP-1 送往动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境。

材料库设置 2 个全面通风系统，其中 P-1 系统为材料库、量热间及量热控制间服务，接入主机大厅 JP-1 局部排风系统，通过动力厂房屋顶 24.5m 排气筒排放。当材料库或氙床保存柜出现异常氙浓度升高，相应的气体通过氙储存库 GDS 系统进行循环除氙处理，处理后的尾气接入主机大厅局排系统 JP-1 通过动力厂房屋顶 24.5m 排气筒排放。

(2) 活化空气的来源与处理措施

活化空气由 HL-3 运行产生的中子在输运扩散过程中，导致各场所气空间中空气被活化，活化空气由各场所的全面排风系统送往动力厂房屋顶 24.5m 烟囱排放至大气环境。

4.3.1.2 放射性废液处理措施

正常运行工况下，本项目不产生放射性废液。

4.3.1.3 放射性固体废物处理措施

本工程运行过程中产生的放射性固体废物主要包括：主机及辅助系统更换部件产生的氙污染和中子活化废物、氙工艺系统产生的氙污染废物以及维护和检测过程中产生的劳保废物等。详见报告书 3.3.2.2.3 节。

本项目在主机大厅东区南侧设置放射性废物暂存间，暂存间长 6m，宽 3.3m，可容纳 36 个废物桶，用于收集暂存本项目运行期间产生的放射性固体废物。放射性固体废物后续根据需要，定期送有资质的单位处理。

4.3.2 非放射性污染物治理措施

4.3.2.1 非放射性废气处理措施

(1) 油烟废气

本次升级改造涉及食堂的改造内容为拆除现有食堂，并同址建设新食堂。食堂每天用餐人数为 390 人，采用天然气为能源，没有燃煤锅炉。食堂油烟经过低空直排油烟净化机组处理后排放（油烟净化效率 95%）。

(2) 柴油发电机燃油废气

本次升级改造将拆除现有150kW的柴油发电机组，并在工程实验控制中心楼建筑外东侧新增一台300kW的户外静音型柴油发电机，以满足应急状态下主机大厅和实物保护系统的用电需求。柴油发电机运行时产生燃烧废气，项目柴油发电机采用0号柴油作为燃料，其燃油产生的污染物CO、THC、NO₂等极少。发电机燃油废气经自带的消烟除尘装置处理后排放。

4.3.2.2 非放射性废水处理措施

本项目产生的非放射性废水主要包括清净下水和生活污水。其中清净下水包括水冷系统以及冷却塔循环冷却水排水，去离子水制备系统浓水。

(1) 清净下水

清净下水包括循环冷却水排水和去离子水制备系统浓水。其中，循环冷却水排水量为2114m³/a，循环冷却水排水主要为去离子水和自来水，水中污染物少，主要污染物为COD、SS。去离子水制备系统浓水排水量为823m³/a，浓水主要含有盐分和少量SS。清净下水排入市政污水管网，经成都市双流区航空港污水处理厂处理达标后排入江安河。

(2) 生活污水

本项目生活污水主要为工作人员日常办公产生的生活污水，以及食堂污水。本项目涉及的工程、实验及运行的人员为390余人（不新增人员），人均用水量按50L/d考虑，则日常办公产生的废水为19.5m³/d。食堂用水按照每天1000人次，人均用水量按25L/人次·d考虑，则食堂产生的废水为25m³/d。项目生活污水产生系数按0.9考虑，则生活污水排放量为40.05m³/d（10012.5m³/a）。废水中的主要污染物为pH、COD、BOD₅、NH₃-N、总磷等。食堂废水经隔油池隔油处理，日常办公产生的生活污水经化粪池处理后，排入市政污水管网，经市政污水管网排入双流区航空港污水处理厂处理达到标后排入江安河。

4.3.2.3 噪声治理措施

本项目运行期间主要噪声源为水冷系统泵类设备、冷却塔、冷水机、空气压缩机、螺杆压缩机、风机等动力设备，噪声值约65~90dB（A）。本工程在设计中采取以下噪声控制措施：

(1) 严格遵守《工业企业噪声控制设计规范》（GB/T50087-2013）的规定，对泵、风机的选择考虑防噪声的要求，选择低噪声的设备；

(2) 选择运行噪声低的产噪设备，对高噪声设备如空压机的吸气口安装消声过滤器；

(3) 高噪声设备如空压机、水泵尽量设置在地下或建筑物内。利用建筑物的墙体、门窗等隔声降噪；

(4) 设备工作场所设置局部隔声罩，吸声顶棚和吸声墙体。

4.3.2.4 非放射性固体废物处理措施

一般工业固体废物：本项目产生的废电缆、过滤器芯、离子交换树脂、反渗透膜、吸附剂等一般工业固体废物，由相应生产、维护厂家或废品回收站回收处理。

生活垃圾：生活垃圾袋装收集后转入项目区设置的垃圾收集点，由环卫部门统一收运处置。

危险废物：本项目运营期间产生的UPS、废液压油、废变压器油等危险废物经收集后暂存在危险废物暂存间，后续送有资质的单位处理。本项目在运营期将增设集装箱式危险废物暂存间，危险废物暂存间应满足以下要求：

① 严格按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）中规定的要求，采取“防渗、防雨、防流失”等措施。具体防渗要求有：危废暂存间为可密闭房间，具有防雨措施，所采取的防渗设施的渗透系数要求不高于 $1.0 \times 10^{-10} \text{cm/s}$ ，比如可采用防渗混凝土+HDPE 膜（2.0mm 厚、渗透系数不高于 $1.0 \times 10^{-10} \text{cm/s}$ 的HDPE 膜作为防渗层）防渗，暂存间设置围堰，防止危废流失。

② 危险废物贮存设施应按环境保护图形标志要求设置警示标志。

③ 危险废物转移应按照《危险废物转移联单管理办法》的有关要求规定填写五联单。同时，要求建设单位加强危险废物的管理，严禁随意露天堆放、随意倾倒和将危险固废混入一般固废中，以避免污染周边环境和防止发生泄漏污染地下水。

第五章 环境影响分析

5.1 建设阶段对环境的影响

施工期排放的污染物主要包括大气污染物、水污染物、噪声及固体废物，这些污染物排放是暂时性的，只存在于建设施工阶段，因此其对环境的影响也是短期的。

5.1.1 施工期废气环境影响分析

5.1.1.1 施工期废气来源

施工期产生的最主要的大气污染物是扬尘，此外还有少量的其它废气，如施工机械设备燃料燃烧排放的废气，装饰装修使用的油漆、人造板、含某些有害物质（如苯系物、甲醛、酚等）的涂料等产生的有机废气。

5.1.1.2 施工期大气环境影响

项目的施工将会对项目所在地环境空气质量造成一定的影响，主要影响因子是施工扬尘。这些影响是短期的，随着施工期的结束也会结束。在项目施工阶段将采取有针对性的大气污染控制措施，因此，对项目所在地环境空气质量的影响较小。

5.1.1.3 施工期扬尘控制措施

为降低扬尘产生量、保护大气环境，施工单位将严格按照《四川省打赢蓝天保卫战实施方案》《成都市建设施工现场管理条例》中的相关要求加强施工场地扬尘的控制，为尽量减少施工期对环境保护目标的影响，在施工时主要采取以下措施来降低扬尘的产生：

① 使用商品混凝土，禁止现场搅拌。

② 施工现场设置施工围挡，封闭施工现场，采用密目安全网，以减少结构和装修过程中的粉尘飞扬现象，减少粉尘向大气的排放；拆除脚手架前，先将脚手板上的垃圾清理干净，清理时应避免扬尘。

③ 施工单位文明施工，定期对地面洒水，并对撒落在路面的渣土及时清除，清理阶段做到先洒水后清扫，避免产生扬尘对周边住户正常生活造成影响。

④ 由于道路和扬尘量与车辆的行驶速度有关，速度越快，扬尘量越大，因此，

在施工场地对施工车辆必须实施限速行驶，同时施工现场主要运输道路尽量采用硬化路面并进行洒水抑尘；在施工现场出入口设置喷淋、冲洗等防尘降尘设施，对驶离车辆实施冲洗，避免车身、车轮带泥上路行驶；自卸车、垃圾运输车等运输车辆不允许超载，选择对周围环境影响较小的运输路线，定时对运输路线进行清扫，运输车辆出场时必须封闭，避免在运输过程中的抛洒现象。

⑤ 禁止在有风天气进行渣土堆放作业，建材堆放地点要相对集中，开挖出的土石方及时回填和外运。裸置场地和临时堆放的建筑垃圾、土石方等，采用密闭式防尘网进行遮盖或实施绿化进行覆盖。

⑥ 在施工建设中做到规范管理，文明施工，全面督查建设工地现场管理“十必须”、“十不准”执行情况，即：

十必须：必须规范打围，保持干净整洁。必须设置出场车辆高压冲洗设施。必须硬化主要施工道路、出入口。必须湿法作业。必须及时清运建筑垃圾。必须使用800目密目网覆盖裸土、建渣。必须分类有序堆码施工材料。必须规范张贴非道路移动机械环保标识。必须安装扬尘在线监测设备。必须安装高清视频监控设备。

十不准：不准车辆带泥出门。不准运渣车辆冒顶装载。不准使用名录外运渣车。不准现场搅拌混凝土、砂浆。不准露天切割。不准高处抛洒建筑垃圾。不准场地积水、积泥、积尘。不准焚烧废弃物。不准干扰扬尘监测设备运行。不准干扰视频监控设备。

在项目施工期，对扬尘严格采取上述防治措施后，确保施工扬尘达到《四川省施工场地扬尘排放标准》（DB51/2682-2020）排放限值要求。

5.1.2 施工期废水及其环境影响分析

5.1.2.1 施工期废水来源及产生量

施工期产生的废水主要包括施工生产废水和施工人员生活污水。

（1）施工生产废水。

施工期的生产废水主要来源于施工机械的冲刷、楼地及墙面的冲洗、构件与建筑材料的保潮、墙体的浸润、材料的洗刷以及桩基础施工中排出的泥浆等。根据项目建设工程量，经类比分析，预计本项目施工生产废水的最大产生量约为50m³/d。

（2）施工人员生活污水

本项目建设施工高峰期施工人员预计可达100人，生活用水按0.05m³/人·d计

算，日用水量约 $5\text{m}^3/\text{d}$ ，以产生系数 0.8 计，生活污水产生量为 $4\text{m}^3/\text{d}$ 。

5.1.2.2 施工期废水对地表水环境的影响

施工废水若不经处理或处理不当，将影响地表水水质，短期内使地表水水质超标，危害环境。因此，施工期废水不应任意排放。施工期间，在排污工程不健全的情况下，应尽量减少物料流失、散落和溢流现象。分别针对施工废水和施工生活污水采取有针对性的控制措施后，项目施工期废水对周围地表水环境影响甚微。

5.1.2.3 施工期水污染物控制措施

施工时严禁将施工生产废水及施工生活污水直接排入地表水。设置沉淀池对施工生产废水简易沉淀后重复利用，不外排；本项目施工生活污水依托市政污水管网，进入双流区航空港污水处理厂。

5.1.3 施工期噪声及其环境影响分析

5.1.3.1 施工期主要噪声源及源强

建设施工期主要噪声源为各种施工机械及运输车辆。施工机械作业时的噪声源强经验值约为 $75\sim 96\text{dB}(\text{A})$ ，运输车辆作业时的噪声源强经验值约为 $75\sim 89\text{dB}(\text{A})$ 。

5.1.3.2 施工期噪声影响预测与评价

(1) 预测模式

引起声波衰减的因素有距离、空气吸收、围墙阻隔等。保守估算，预测只考虑距离衰减。施工场地的施工机械可近似视为点声源处理，预测模式采用《环境影响评价技术导则—声环境》（HJ 2.4-2021）无指向性点声源几何发散衰减公式。

(2) 施工期噪声影响评价

施工期间产生的噪声昼间在大于 20m 处可以达到《建筑施工场界噪声限值》（GB12523-2011）要求，夜间在大于 150m 处能够达标。

5.1.3.3 施工期噪声的控制措施分析

对于噪声的控制，通常可通过对噪声源、噪声传播路线和噪声受体三个方面采取措施。首先考虑对噪声源和传播路线的控制，其次，如有必要才采取对噪声受体的控制措施。

为降低施工噪声对声环境的影响，应采取如下噪声控制措施：

- ① 选用低噪设备，并采取有效的隔声减振措施。
- ② 合理设计施工总平面图，将主要高噪声的作业点置于施工场地中部区域，尽量远离厂界。
- ③ 合理安排施工工序，尽量缩短施工周期。
- ④ 合理安排施工时间，将强噪声作业安排在白天进行，严禁夜间强噪声施工。
- ⑤ 文明施工，装卸、搬运钢管、模板等严禁抛掷。
- ⑥ 施工前必须先修围挡。

5.1.4 施工期固体废物及其环境影响分析

5.1.4.1 施工期固体废物的来源

(1) 建筑垃圾

项目建设施工过程中产生的建筑垃圾主要包括多余土石方、混凝土废料、铁质弃料、木材弃料以及含砖、石、砂的杂土等。

(2) 施工人员生活垃圾

施工人员生活垃圾包括就餐垃圾、塑料餐具、杯、袋及其它生活日用品废弃物。

5.1.4.2 施工期固体废物的环境影响

施工过程中产生的建筑垃圾要及时清运、加以利用；生活垃圾如不及时清运处理，则会腐烂变质，滋生蚊虫苍蝇，产生恶臭，传染疾病，从而对周围环境和作业人员的健康带来不利影响，因此应及时清运并进行处置。

针对项目施工期产生的固体废物采取处理处置措施，使建筑垃圾和生活垃圾得到清洁处理和处置，减小施工期产生的固体废物对周围环境的影响。

5.1.4.3 施工期固体废物的控制措施

(1) 建筑垃圾处理

在施工现场设置建筑废弃物临时堆场（树立标示牌）并进行密闭处理。施工生产废料应首先考虑回收利用，对钢筋、钢板、木材等下角料分类回收，交废物收购站处理；对不能回收的建筑垃圾，如混凝土废料以及含砖、石、砂的杂土等应集中堆放，定时清运到指定的建筑垃圾场，以免影响环境质量。

(2) 生活垃圾处理

施工人员生活垃圾将依托现有垃圾暂存点统一收集，由环卫部门清运至垃圾处

理场集中处理。

5.1.5 施工期生态环境影响分析

本项目所在地用地性质为科研用地，项目场地现状为城市区域，项目施工过程中的土石方开挖、土方的堆存可能导致一定程度的水土流失。

为尽量减轻本项目对所在区域生态环境的影响，项目在施工期拟采取的生态环境保护措施主要为：

(1) 施工期应尽量避免雨天；

(2) 主体工程基础开挖时应采取基坑边坡支护和基坑内降水等措施；

(3) 工程施工中做好土石方平衡工作，开挖的土方尽量作为施工场地平整回填之用；

(4) 工程施工分区进行，开挖的裸露面要有防治措施，尽量缩短暴露时间，减少水土流失；

(5) 项目建成后，种植树木绿化，丰富植物种类，强化绿化功能。

采取上述措施，可有效减少水土流失，本项目施工对周围生态环境影响较小。

5.2 运行阶段对环境的影响

5.2.1 电离辐射环境影响分析

5.2.1.1 场所辐射水平

本项目主机大厅原有 HL-2A、HL-3（原名 HL-2M）两套托卡马克主机，本次对 HL-3 装置进行改造升级，HL-2A 已搬迁至其他项目区，因此不再考虑 HL-2A 项目对环境影响的叠加效果。

5.2.1.1.1 改、扩建前场所辐射水平

受核工业西南物理研究院委托，成都中辐环境监测测控技术有限公司于 2023 年 5 月 11 日，对位于四川省成都市西南航空港黄荆路 5 号内，在用 II、III 类射线装置周围环境及敏感区域进行辐射剂量率现状监测。

现场监测结果表明，仅托卡马克主机 HL-3（原 HL-2M）及配套系统正常运行时，职业人员活动场所监测点位的 X- γ 辐射剂量率为 0.12~0.19 μ Sv/h，公众活动场所监测点位的 X- γ 辐射剂量率为 0.11~0.16 μ Sv/h。与《2023 成都生态环境质量公报》中成都市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67.0~119）nGy/h 基本一致，

属于当地正常天然本底辐射水平，托卡马克主机 HL-3（原 HL-2M）及配套系统正常运行活动对环境辐射水平影响甚微。

5.2.1.1.2 运行期间的场所辐射水平

5.2.1.1.2.1 DT 实验时的场所辐射水平

（1）计算关注点

DT 放电实验期间，1A 控制区禁止人员驻留，1B、1C、1E 作为临时管控区，禁止人员驻留。选取距离 1A 厂房西侧墙外、1A 厂房屋顶、1C 厂房南侧墙外、1E 厂房东侧墙外、1B 厂房北侧墙外表面 30cm 处和 1A 厂房西侧防护门外 30cm 处人员可能受照射剂量最大的位置作为关注点（剂量率水平控制点）。另外，在进行 DT 放电实验时工作人员的工作场所包括科技信息楼、电机厅、材料库、科研保障综合楼，将上述有工作人员居留的场所以及厂址周边几处居民点作为预测关注点。

（2）计算结果及评价

单次 DT 放电实验持续时间极短，DT 放电实验结束后不再产生聚变中子以及 γ 射线。本项目 1 小时内最多进行一次 DT 放电实验，并且不进行其他实验，所以场所辐射水平由单次 DT 放电实验所致辐射剂量得到。按照 HL-3 装置 DT 实验在 10MW 功率下运行，中子产生率为 $3.55 \times 10^{18} \text{n/s}$ ，主机厅内光子瞬时剂量当量率分布、中子瞬时剂量当量率分布、总瞬时剂量当量率分布见图 5.2-1、图 5.2-2、图 5.2-3。

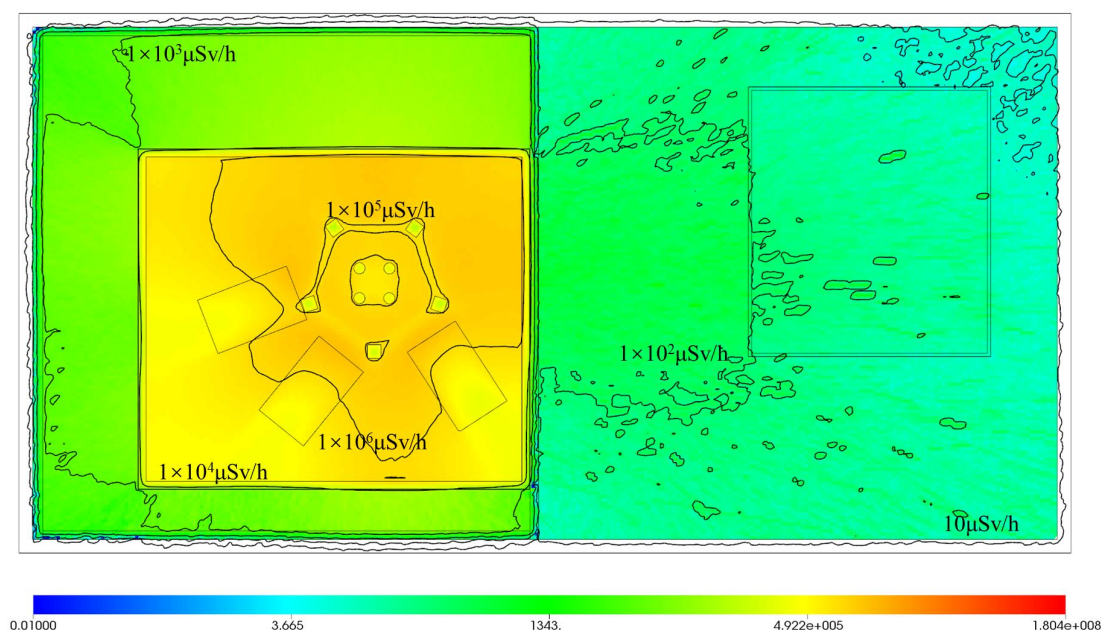


图 5.2-1 HL-3 装置 DT 实验时主机厅内光子瞬时剂量当量率分布（pz=-430）

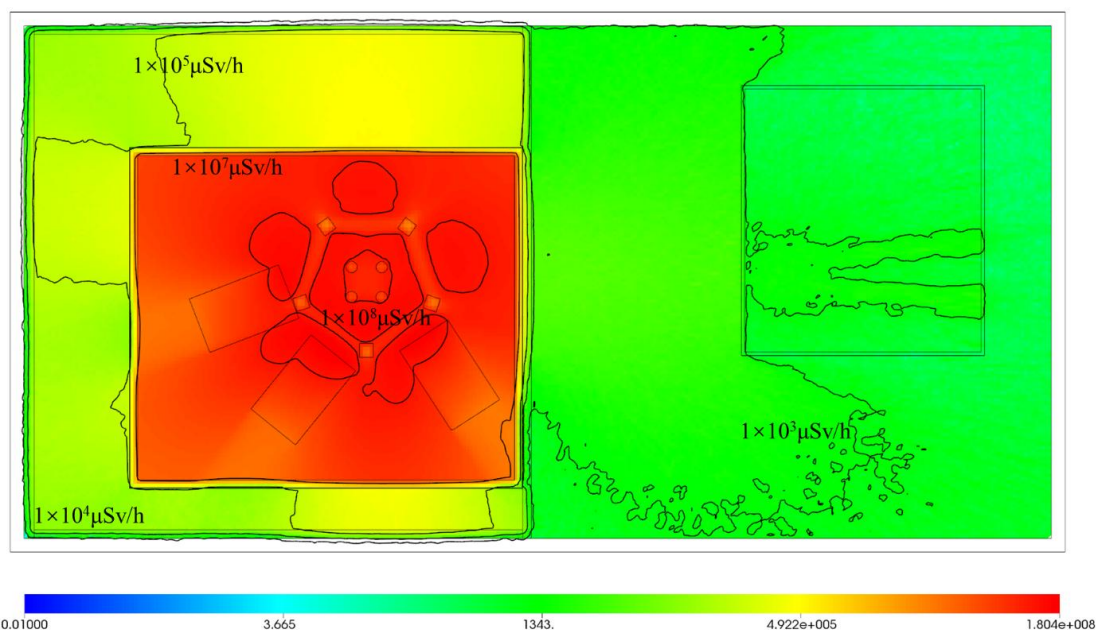


图 5.2-2 HL-3 装置 DT 实验时主机厅内中子瞬时剂量当量率分布 ($p_z=-430$)

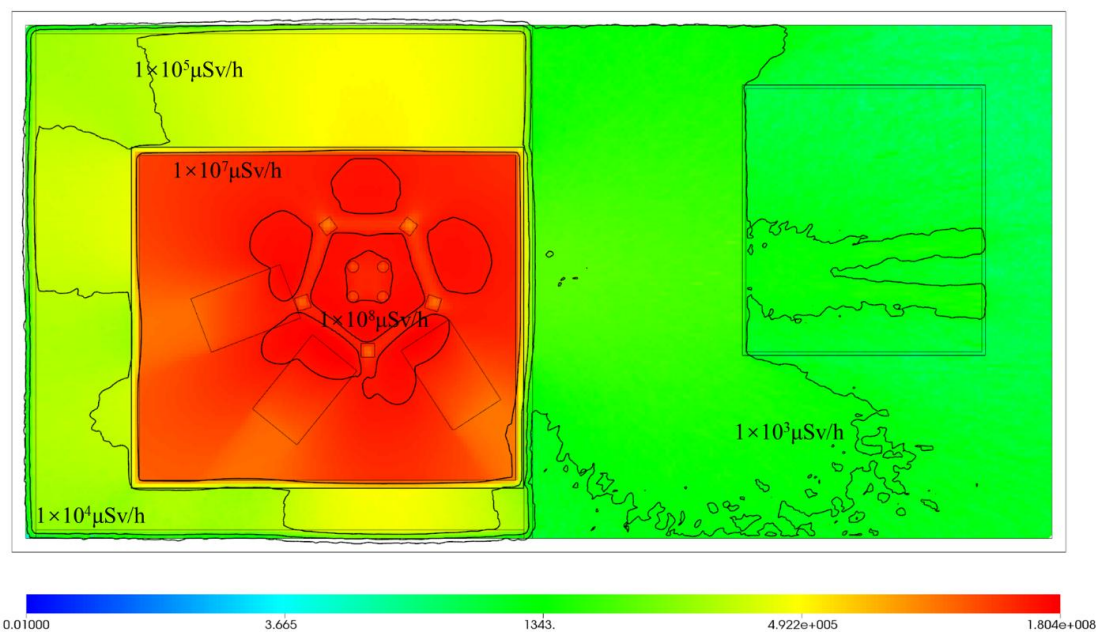


图 5.2-3 HL-3 装置 DT 实验时主机厅内总瞬时剂量当量率分布 ($p_z=-430$)

计算结果显示 ($p_z=-430$)：最大中子剂量当量率位于包容屏蔽室内，为 $1.785 \times 10^5 \text{ mSv/h}$ ；最大光子剂量当量率位于包容屏蔽室内，为 $1.921 \times 10^3 \text{ mSv/h}$ ；最大总剂量当量率为 $1.804 \times 10^5 \text{ mSv/h}$ 。

同时，计算结果显示 ($p_z=0$)：控制 II 区最大中子剂量当量率位于等离子体中心，为 $2.004 \times 10^7 \text{ mSv/h}$ ；最大光子剂量当量率位于真空室，为 $6.84 \times 10^4 \text{ mSv/h}$ ；最大总剂量当量率为 $2.006 \times 10^7 \text{ mSv/h}$ 。控制 I 区最大中子剂量当量率位于包容屏蔽体北侧外表面，为 $3.05 \times 10^3 \text{ mSv/h}$ ；最大光子剂量当量率同样位于包容屏蔽体北侧外

表面，为 $2.41 \times 10^2 \text{ mSv/h}$ ；最大总剂量当量率为 $3.29 \times 10^3 \text{ mSv/h}$ 。

主机厅外光子瞬时剂量当量率、中子瞬时剂量当量率、总瞬时剂量当量率分布分别如图 5.2-4、图 5.2-5、图 5.2-6 所示。

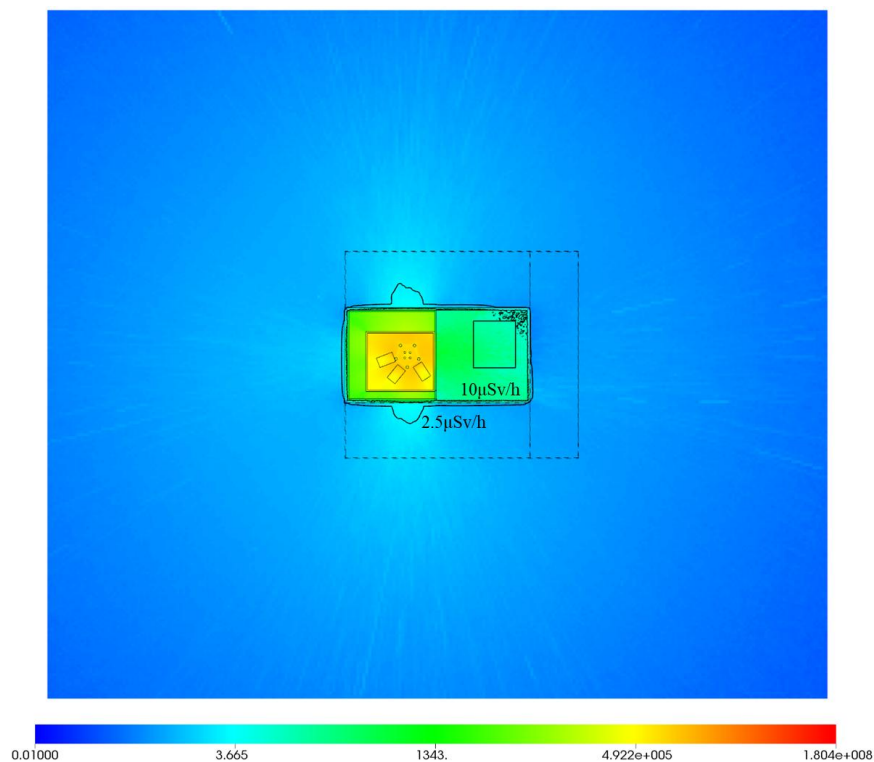


图 5.2-4 DT 实验时厂房外光子瞬时剂量当量率分布 ($pz=-430$)

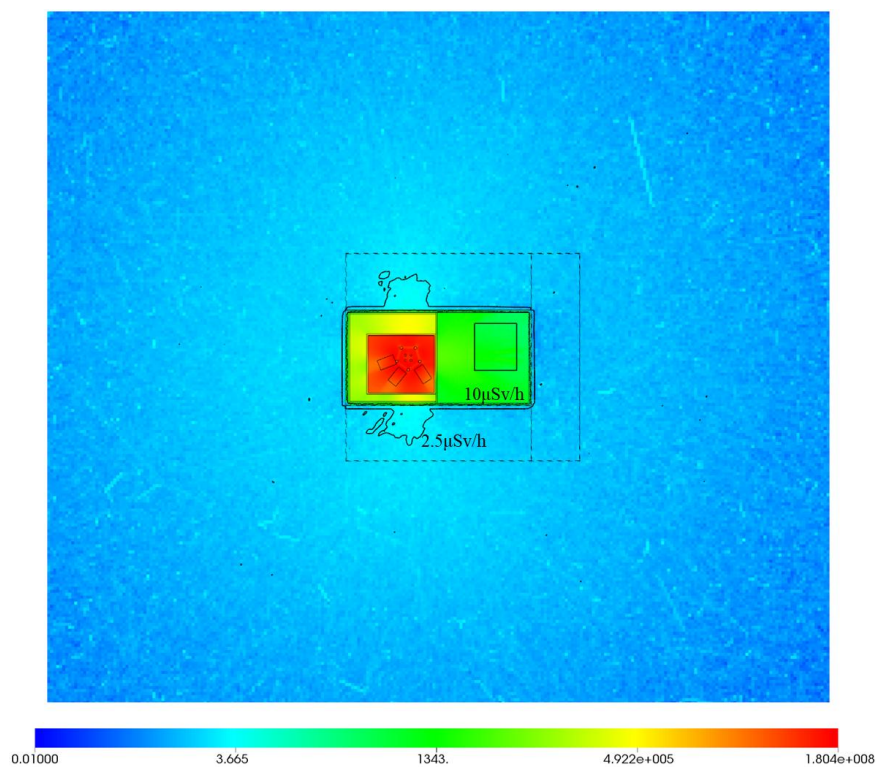


图 5.2-5 DT 实验时厂房外中子瞬时剂量当量率分布 ($pz=-430$)

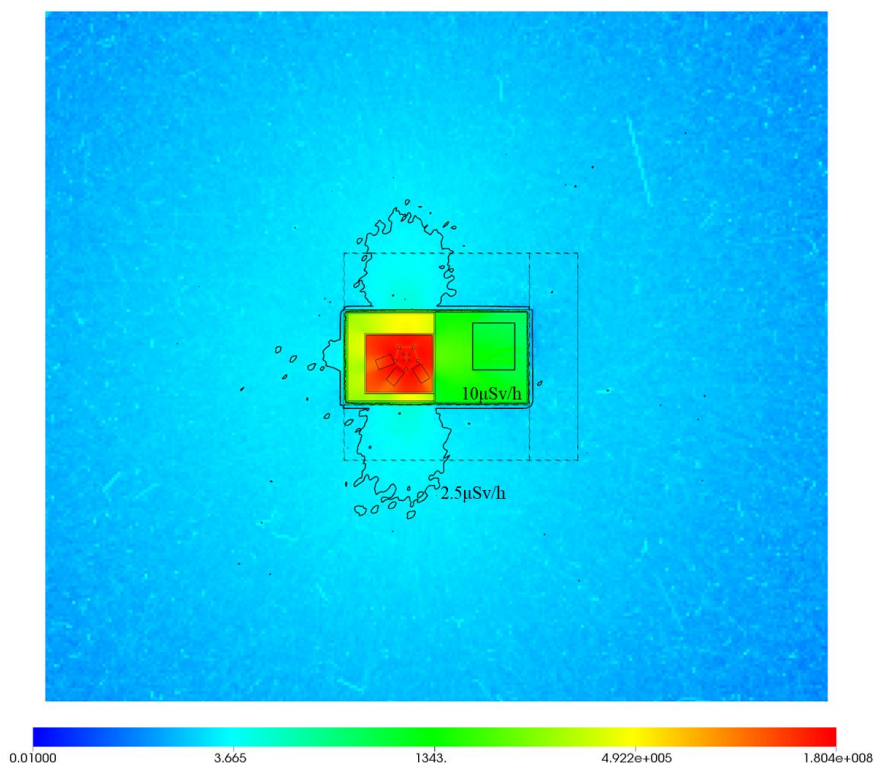


图 5.2-6 DT 实验时厂房外总瞬时剂量当量率分布 ($p_z=-430$)

本项目 HL-3 装置 DT 放电运行时，主机大厅（1A）西侧墙体外 30cm 处、工程试验控制中心楼（1B）北侧墙体外 30cm 处、动力厂房（1C）南侧墙体外 30cm 处、整流大厅（1E）东侧墙体外 30cm 处的最大剂量当量率出现在动力厂房（1C）南侧屏蔽墙体外 30cm 处，为 $3.42\mu\text{Sv/h}$ ，满足本次评价确定的 DT 放电期间 1A 西侧墙体外 30cm 处、1B 北侧墙体外 30cm 处、1C 南侧墙体外 30cm 处、1E 东侧墙体外 30cm 处剂量当量率不大于 $10\mu\text{Sv/h}$ 的控制要求。

5.2.1.1.2.2 DD 实验时的场所辐射水平

（1）计算关注点

选取距主机大厅屏蔽墙体外表面 30cm 处和 1A 西侧屏蔽门外 30cm 处人员可能受照射剂量最大的位置作为关注点（剂量率水平控制点）。另外，HL-3 装置 DD 实验期间工作人员在邻近 HL-3 大厅的工作区包括：工程实验控制中心楼（1B）一层 TS 激光室、激光干涉室，二层光谱室、微波室，三层系统室、诊断室；动力厂房（1C）一层低温系统间、中性束辅助系统间，二层 ICRH 系统间、低杂波系统间；其他区域，包括科技信息楼、电机厅、材料库、科研保障综合楼。本次将上述有工作人员居留的场所以及厂址周边临近的几处居民点作为 DD 放电实验期间的预测关注点。

（2）计算结果及评价

HL-3 主机装置 DD 放电实验时，主机厅内中子瞬时剂量当量率、光子瞬时剂量当量率、总瞬时剂量当量率分布如图 5.2-7、图 5.2-8、图 5.2-9 所示。

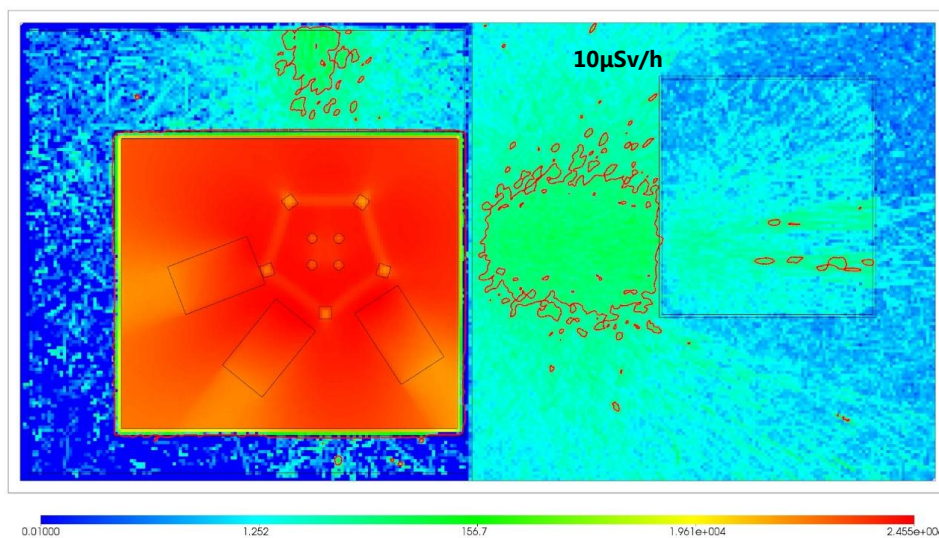


图 5.2-7 HL-3 装置 DD 实验时主机厅内中子瞬时剂量当量率分布图 ($p_z = -430$)

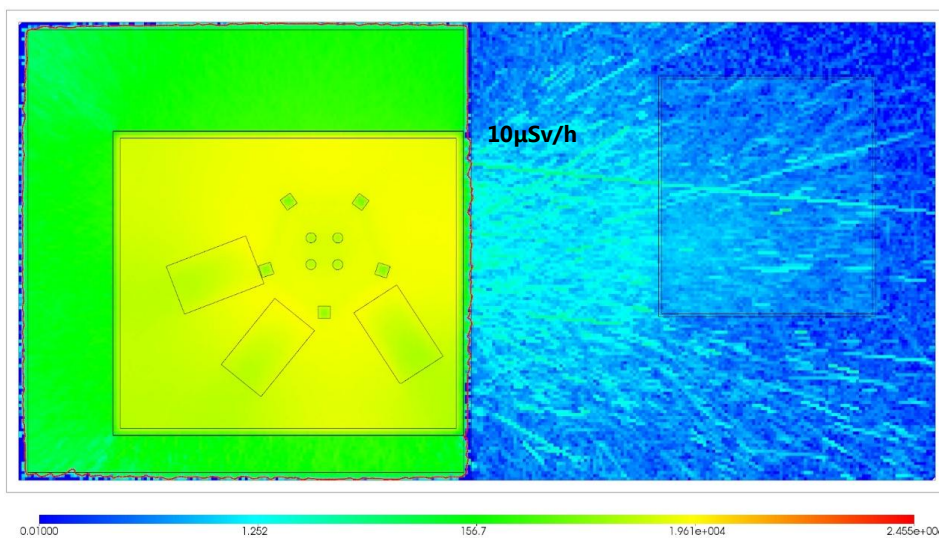


图 5.2-8 HL-3 装置 DD 实验时主机厅内光子瞬时剂量当量率分布图 ($p_z = -430$)

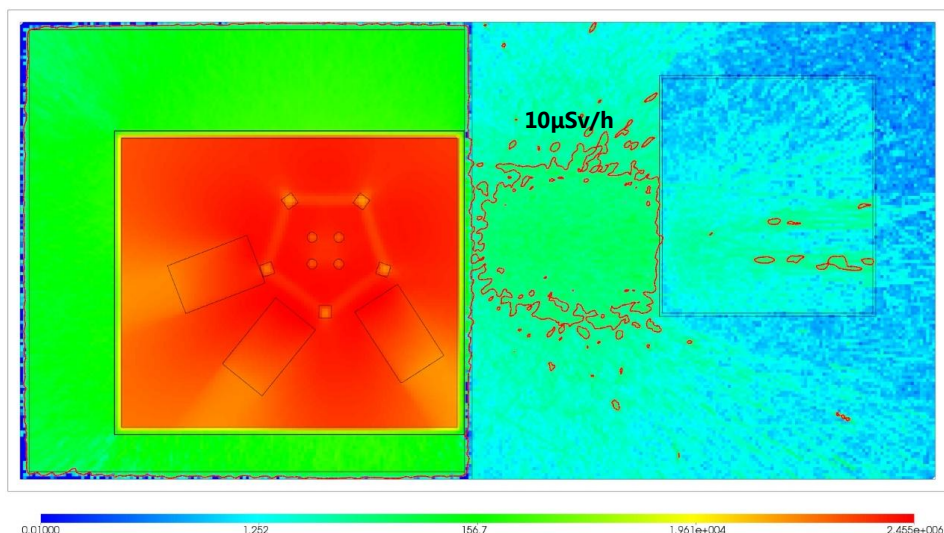


图 5.2-9 HL-3 装置 DD 实验时主机厅内瞬时剂量率分布图 (pz=-430)

计算结果显示 (pz=-430)：最大中子剂量当量率位于包容屏蔽室内，为 $2.438 \times 10^3 \text{mSv/h}$ ；最大光子剂量当量率位于包容屏蔽室内，为 17.86mSv/h ；最大总剂量当量率为 $2.455 \times 10^3 \text{mSv/h}$ 。

同时，计算结果显示 (pz=0)：主机包容屏蔽室内最大中子剂量当量率位于等离子体中心，为 $2.80 \times 10^5 \text{mSv/h}$ ；最大光子剂量当量率位于真空室，为 $2.965 \times 10^2 \text{mSv/h}$ 。

相比于 DT 实验，DD 聚变中子能量较低 (2.45MeV)，并且中子产额低，很难穿过主机厅墙体。

本项目 HL-3 装置 DD 放电运行时主机大厅四侧墙体外 30cm 处的最大剂量当量率出现在主机大厅南侧屏蔽墙体外，为 $1.20 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足本次评价确定的 DD 放电期间主机大厅四侧墙体外 30cm 处剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的控制要求。

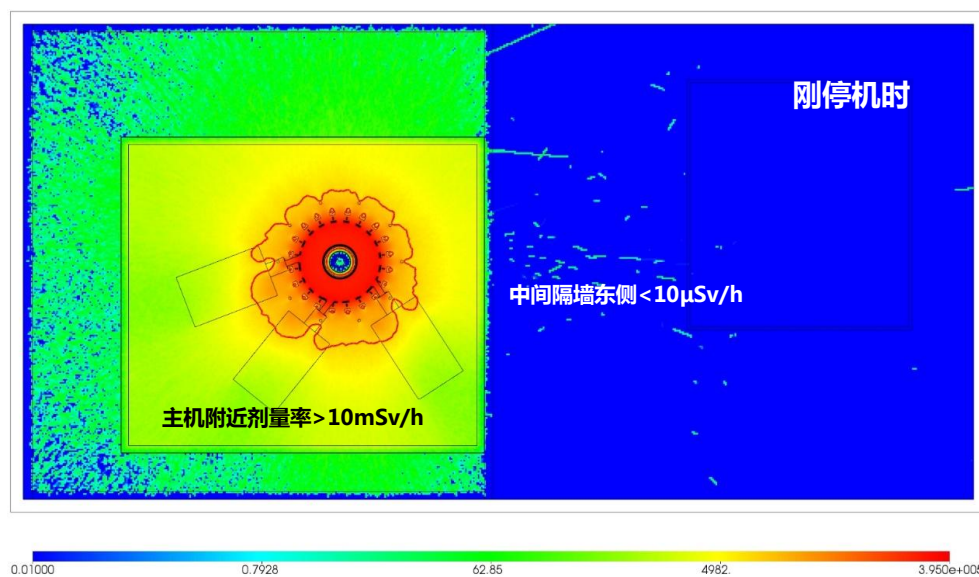
5.2.1.1.2.3 停机后的场所辐射水平

(1) 计算关注点

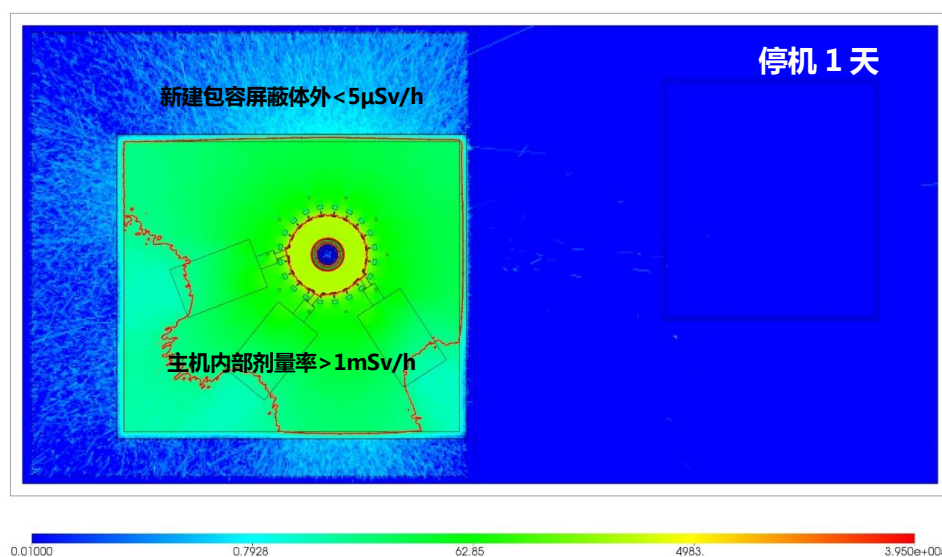
DT 聚变实验停机后，由于感生放射性核素衰变产生的伽马射线很难穿过主机大厅屏蔽墙体，所以选取主机大厅西区、主机包容屏蔽室、主机真空室、氦循环工艺间作为停机后的关注点。

(2) 计算结果及评价

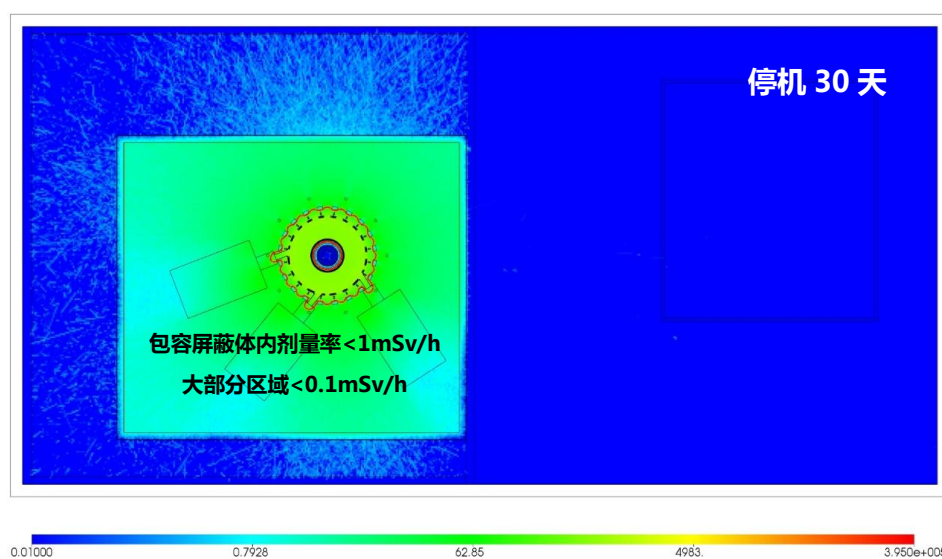
最后一次 DT 放电实验停机后，主机大厅内剂量率随时间的变化情况如图 5.2-10 所示。



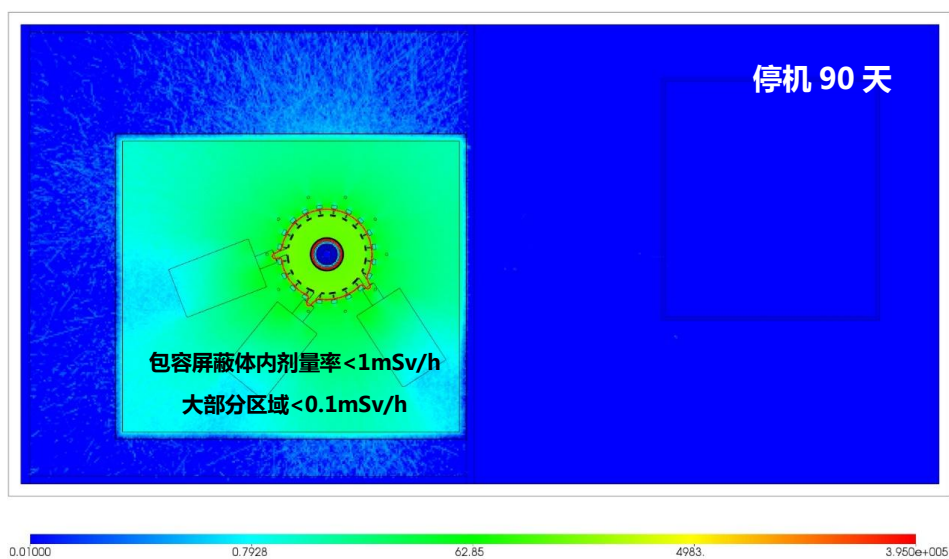
(a) 刚停机时活化产物造成的剂量当量率分布



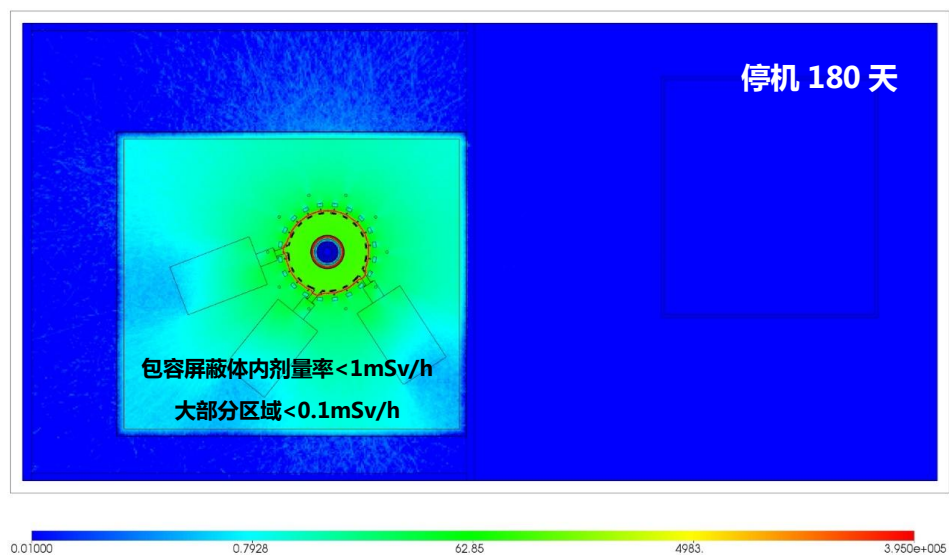
(b) 停机 1 天时活化产物造成的剂量当量率分布



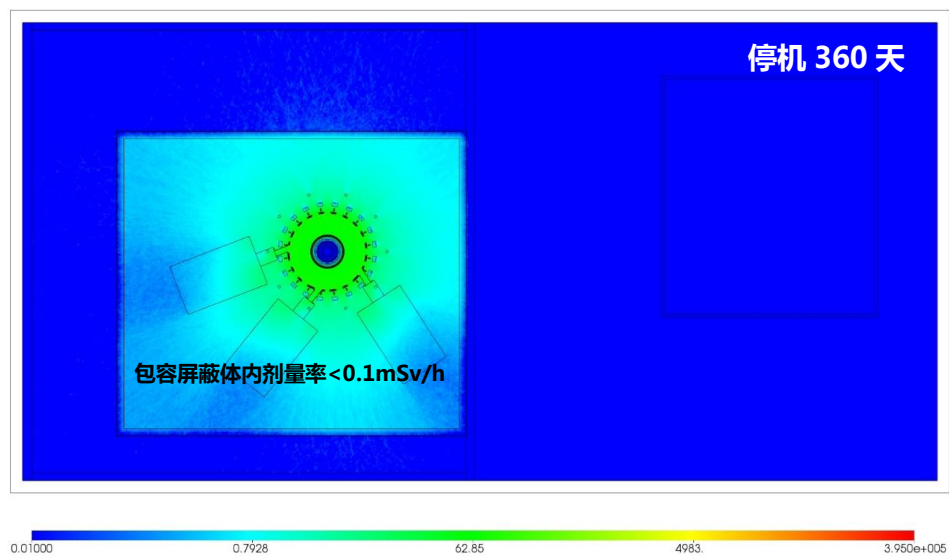
(c) 停机 30 天时活化产物造成的剂量当量率分布



(d) 停机 90 天时活化产物造成的剂量当量率分布



(e) 停机 180 天时活化产物造成的剂量当量率分布



(f) 停机 360 天时活化产物造成的剂量当量率分布**图 5.2-10 HL-3 装置停机后剂量当量率分布图 (PZ=-430)**

HL-3 主机装置刚停机时, 主机附近部分区域剂量当量率 $>10\text{mSv/h}$; 停机一天后, 主机内部剂量当量率 $>1\text{mSv/h}$, 主机包容屏蔽室外剂量当量率 $<5\mu\text{Sv/h}$; 停机一个月后, 主机包容屏蔽室内剂量当量率 $<1\text{mSv/h}$, 大部分区域剂量当量率 $<0.1\text{mSv/h}$; 停机一个月之后到停机半年的时间内, 停机剂量率随衰变逐渐降低, 停机一年后, 主机包容屏蔽室内停机剂量率 $<0.1\text{mSv/h}$ 。根据分析结果, 停机 1 天后工作人员可进入控制 I 区进行维护, 停机 1 个月后工作人员可进入控制 II 区进行维护。

5.2.1.2 人员受照剂量**5.2.1.2.1 工作人员受照剂量**

工作人员职业照射考虑的照射途径主要分为直接外照射、吸入内照射、空气浸没外照射。

本项目 HL-3 装置运行所致工作人员职业照射剂量最大值为 4.47mSv/a , 低于本次评价确定的 5mSv/a 的职业照射剂量约束值, 满足评价标准要求。

5.2.1.2.2 公众受照剂量

根据对本项目的辐射污染源项及相应的照射途径分析, 本项目对公众的电离辐射影响途径包括装置运行期间产生的贯穿辐射对公众的直接外照射和气态流出物排放所致的照射。本次评价对公众照射剂量估算主要考虑贯穿辐射直接外照射所致剂量以及气态流出物排放所致剂量。

5.2.1.2.2.1 贯穿辐射直接外照射影响**(1) DD 放电实验期间**

DD 放电实验期间公众居留场所的辐射剂量率远低于当地正常天然本底辐射水平, 所以 DD 放电实验所致公众的贯穿辐射直接外照射影响可以忽略不计。

(2) DT 放电实验期间

DT 放电实验期间, 在计算本项目院区内的公众 (其他科研人员) 及院区外公众受贯穿辐射直接外照射所致剂量时, 照射次数取 10, 居留因子保守取 1, 计算得到区内公众的有效剂量最大值为 $10\mu\text{Sv/a}$, 院区外公众的有效剂量最大值为 $5.7\mu\text{Sv/a}$ 。

（3）主机停机期间

本项目在完成 DD、DT 放电实验后，公众所处位置（主机大厅屏蔽墙体外）的辐射水平远低于天然本底涨落范围，所以不考虑主机停机期间的公众受照剂量。

5.2.1.2.2.2 气态流出物排放影响

本项目在1C动力厂房屋顶设置1个排气筒，主机包容屏蔽室、氦循环工艺间、主机大厅其他区域、GDS系统、ADS系统产生的气态流出物均通过该排气筒排放，排放高度为24.5m。

本次采用《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）附录A推荐模型中的AERMOD模式，计算项目正常运行24.5m烟囱排放核素造成的地面空气浓度。采用剂量估算模式计算气态流出物排放造成的公众剂量，并对流出物排放的辐射影响进行评价。

（1）地面空气浓度预测

本次评价选用三捷环境 BREEZE AERMOD（版本号：2.1.0.23）计算项目正常运行时各核素地面空气浓度。

AERMOD 模型由美国国家环保局联合美国气象学会组建法规模式改善委员会（AERMIC）开发，是《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）附录 A 推荐的进一步预测模型。AERMOD 模型由 AERMET 气象前处理模块、AERMAP 地形前处理模块和 AERMOD 扩散模块三个模块构成。AERMET 气象前处理模块主要对气象数据进行处理，得到 AERMOD 扩散模型所需的各种气象要素以及相对应的气象数据格式；AERMAP 地形前处理模块对预测范围内的地形数据进行处理，得到 AERMOD 扩散模型所需地形数据格式；然后将上述数据输入 AERMOD 扩散模块，输入排放源强和排放参数，进行扩散计算，计算出污染物浓度。

（2）放射性气体排放造成的辐射剂量

本次评价考虑的气态流出物对公众造成辐射影响的途径包括：烟云浸没外照射；吸入空气造成的内照射。

基于剂量转换因子的不同，将公众分为四个年龄组，即成人组（>17 岁）、少年组（7~17 岁）、儿童组（1~7 岁）、婴儿组（<1 岁），分别对厂址 3km 范围内各方位各距离所在子区的上述年龄组的个人年有效剂量进行估算。

本项目正常工况下气态流出物排放所致厂址 3km 范围内公众个人有效剂量最

大值为 $1.54 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。

5.2.1.2.2.3 公众受照剂量汇总

结合本工程贯穿辐射直接外照射所致剂量和气态流出物排放所致剂量计算结果，本工程运行期间公众个人有效剂量最大值为 $2.09 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，低于本次评价确定的 0.1mSv/a 的公众照射剂量约束值。本项目对公众的辐射影响可接受。

5.2.2 电磁辐射环境影响分析

本项目 HL-3 装置运行伴随有电磁辐射产生，产生电磁辐射的主要装置有主机磁体系统、辅助加热系统和电源系统。

(1) 主机磁体系统

本项目主机磁体系统的升级改造主要为环向场线圈预紧技术由手动预紧方式升级为自动化调节，以及提升磁体线圈支撑系统的支撑稳定性和承载能力，主机线圈系统不变，改造后主机电磁辐射源强变化不大，并且主机真空室密封度高，不允许电磁波泄漏，因此主机磁体系统升级改造后产生的电磁辐射利用原有屏蔽防护措施可使电磁辐射得到有效治理，对环境的影响小。

(2) 辅助加热系统

① 电子回旋共振加热系统

本项目建成后，HL-3装置将形成11MW电子回旋共振加热系统，包括4MW、2MW及5MW三套子系统，其中4MW子系统为新建，其余两套子系统为利旧改建。新建系统产生电磁辐射的波源回旋管的加热功率以及脉冲宽度不变，频率由105/140GHz双频点提升为175GHz。采取的电磁辐射防护和管理措施如下：

a、设备安装区域铺设接地绝缘设施；

b、微波产生、传输和发射链路完全封闭，ECRH系统工作时微波能量在封闭的传输通道内，各波导接口采用专用的金属密封，可确保运行过程中基本无微波泄漏。同时由于工作波长不足2毫米，微波功率在自由空间剧烈衰减，几乎无法从传输通道接口位置泄漏；

c、波设施周围设置安全围栏，并在醒目位置设置警示标识、系统工作状态指示灯和声音提示装置。

电子回旋共振加热系统产生的微波通过波导传输线传输至真空室，用于加热等离子体，密封波导传输线确保传输过程中微波不会泄漏。通过采取以上措施，电子

回旋共振加热系统升级改造后产生的电磁辐射得到有效治理，对环境的影响很小。

② 离子回旋共振加热系统

本项目新建6MW加热能力的离子回旋共振加热系统，离子回旋系统产生高频电磁辐射的设备主要是发射机，位于辅助加热大厅。发射机输出功率1.5MW。对于发射机产生的高频电磁辐射，主要采取的电磁辐射防护措施如下：

a、发射机腔体的腔板设计成双层的簧片结构，有效屏蔽射频信号，从而防止射频波的泄漏；

b、传输线的接口法兰与主机真空室连接，避免射频波的泄漏，同时射频波沿着传输线的内导传输，不会向外辐射；

c、设置安全围栏，并在醒目位置设置警示标识、系统工作状态指示灯和声音提示装置，即使射频波有些微泄漏，也会随着距离很快衰减，减小对人体的伤害。

通过采取以上措施，离子回旋共振加热系统运行时产生的电磁辐射可以得到有效治理，对环境的影响很小。

③ 低杂波电流驱动系统

本项目在原有2MW加热能力的低杂波电流驱动系统的基础上，新建2MW低杂波电流驱动系统，形成4MW的低杂波电流驱动系统。产生电磁辐射的调速管的频率、加热功率以及脉冲宽度相较升级改造前不变，且速调管自身周边都是金属材料，输出窗通过密封垫片连接微波传输线，能够保证良好的电接触，确保微波不泄漏。此外，速调管产生的微波通过传输线传输至发射天线，传输线整体金属密封，确保微波不泄漏。因此低杂波电流驱动技术系统升级改造后产生的电磁辐射利用以上屏蔽防护措施可使电磁辐射得到有效治理，对环境的影响小。

（3）供电系统

超级电容储能系统的工作电压为10kV，频率为50~70Hz。新增的中性束注入系统的高压电源工作电压为140kV，频率为70Hz-100Hz；电子回旋加热系统的高压电源工作电压为60kV，频率为70Hz-100Hz；离子回旋加热系统的高压电源工作电压为30kV，频率为70Hz-100Hz；低杂波电流驱动加热的高压电源工作电压为80kV，频率为70Hz-100Hz。供电系统属于高压设备，工作频率均不高，产生的电磁辐射源项很小，对环境的影响很小。

根据对场址所在地进行的电磁辐射环境监测，监测结果均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）规定的公众曝露控制限值。本项目升级改造完成后，新增

设备产生的电磁辐射利用原有屏蔽防护措施可使电磁辐射得到有效治理，对环境的影响很小。综上，本项目运行阶段的电磁辐射环境影响可以接受。

5.2.3 项目运营期非放射性环境影响分析

5.2.3.1 大气环境影响分析

（1）食堂油烟废气

本项目食堂油烟经过油烟净化机组处理后排放浓度低于《饮食业油烟排放标准（试行）》（GB18483-2001）规定的浓度限值 $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ ，本项目运营期排放的油烟废气不会对大气环境质量造成明显不良影响。

（2）发电机燃料废气

本项目新增1台300kW的室外静音柴油发电机，满足应急状态下主机大厅和实物保护系统的用电需求。发电机采用0#柴油作为燃料，燃烧废气经自带的消烟除尘装置处理后排放。项目位于成都市双流区，周围供电系统完善，电力供应有保障，发电机使用频率极低，工作时间短，采取上述措施处理后对大气环境影响小。

5.2.3.2 地表水环境影响分析

本项目产生的废水主要包括清净下水和生活污水，预处理后经市政污水管网排入成都市双流区航空港污水处理厂，处理达标后排入江安河。项目废水为间接排放，根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3-2018），本项目地表水环境影响评价等级为三级 B，应对依托的污水处理设施进行可行性分析。

（1）纳管范围分析

本项目位于四川成都市双流区，位于成都市双流区航空港污水处理厂的收水范围，项目场地目前已敷设污水管网，因此项目废水可以进入成都市双流区航空港污水处理厂处理。

（2）进水指标可达性分析

结合工程分析，与改扩建前进行比较，清净下水排放量增加；生活污水排放量不增加，水质无变化。本项目废水总排口处的排放浓度可达到处理厂进水水质的要求，可纳入处理厂处理。

（3）污水处理厂处理能力

成都市双流区航空港污水处理厂（一期）目前已建成并投入运营，处理规模为

50000m³/d。项目投产后营运期全厂废水排放量为 12949.5m³/a，远低于污水处理厂处理规模。因此，污水处理厂完全有能力接纳本项目产生的废水。

综上所述，本项目生产、生活污水可排入污水处理厂进行处理，依托的污水处理设施满足本项目需求。

5.2.3.3 地下水及土壤环境影响

污染物进入地下水的途径主要是由降雨或废水排放等通过渗透进入包气带，进入包气带的污染物在物理、化学和生物作用下经吸附、转化、迁移和分解后进入地下水。根据工程所处区域地质情况，本项目用水采用市政给水管网，排水通过市政污水管网排入成都市双流区航空港污水处理厂，最终排入江安河。本项目给、排水均不会与地下水直接发生联系，故本项目的建设不会对地下水水位造成明显影响。可能对地下水、土壤造成污染的途径主要为物料泄漏对地下水和土壤造成污染。

项目可能存在的潜在地下水及土壤污染途径，主要为厂区“跑、冒、滴、漏”造成污染。为防止地下水污染发生，本项目厂区除绿化用地外，均进行了地面硬化。

综上所述，正常工况下本项目的建设对区域地下水及土壤影响较小。

5.2.3.4 噪声环境影响

本项目运行期间新增噪声源主要为真空系统真空泵、水冷系统水泵和冷却塔、压缩机、风机、冷水机、柴油发电机等动力设备，噪声值约 65~90dB(A)，选择先进可靠的低噪声设备，根据各噪声源的特性，采取减振、隔声等降噪措施。

本项目位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路 5 号，北侧紧邻黄荆路，临路侧厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的 4 类功能区标准，其余厂界噪声排放执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的 2 类功能区标准。临路侧敏感点噪声执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 4a 类功能区标准，其余敏感点噪声执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的 2 类功能区标准。

预测结果表明，项目噪声源对各预测点的噪声贡献值在 33.3~42.4dB(A)之间，叠加本底值后，北厂界满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的 4 类功能区标准要求，其余厂界满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中的 2 类功能区标准要求；临路敏感目标处满足《声环境质量标

准》（GB3096-2008）中 4a 类功能区标准要求，其余敏感目标处满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类功能区标准要求。综上所述，本项目运行阶段厂内设备噪声影响较小。

5.2.3.5 固体废物环境影响

（1）危险废物

本项目运行和检修期间，低温系统压缩机每年维护产生1050L废液压油（其中现有设备产生150L，新增设备产生900L）；供电系统每10年维修维护共产生约200t变压器油（其中现有设备产生100t，新增设备产生100t）。上述运行和检修期间产生的废物经收集暂存后送有资质的单位处理。

本项目低温系统、供电系统、自控与辐射监测系统、实物保护中心配置UPS电源，均使用铅酸电池。其中，低温系统新增铅酸电池总重约720kg，供电系统现有铅酸电池6t，自控与辐射监测系统新增铅酸总重约915kg，实物保护中心新增铅酸电池总重约1136kg。UPS电源约十年换一次，属于危险废物，经收集暂存后送有相应资质的单位回收处理。

（2）一般工业固体废物

本项目供电系统检修和维护过程中会产生废电缆，约2t/a（其中现有设备产生1t/a，新增设备产生1t/a）；去离子水制备系统每年产生150kg过滤器芯、600kg离子交换树脂、250kg反渗透膜；低温系统纯化器维护期间，每年产生吸附剂50kg。以上固体废物均为一般工业固体废物，由相应生产、维护厂家或废品回收站回收处理。

（3）生活垃圾

工作人员产生的生活垃圾总量为19.5kg/d。生活垃圾属一般固废，各产生点袋装收集后转入项目区设置的垃圾收集点，再由环卫部门清运至生活垃圾场卫生填埋。

项目各类非放射性固废均得到了妥善的处置，不会造成二次污染。

5.3 事故影响分析

5.3.1 辐射事故影响分析

5.3.1.1 装置安全性分析

聚变实验装置具有固有安全特性，相对于现在裂变核电厂和核设施，聚变装置的潜在安全风险小很多。

首先，聚变反应不产生乏燃料，没有大量乏燃料需要储存、运输和处理的安全风险。DT 聚变反应的产物只有氦和一个中子，没有高放射性和长寿命的反应产物，对环境不构成大的威胁。聚变反应中用到的氚具有放射性，但是其半衰期只有 12.6 年，不会对环境造成长久污染。

其次，聚变实验装置没有潜在的大量放射性物质释放风险。HL-3 一次 DT 聚变实验只持续 1 秒，整个运行周期内聚变实验装置中只存在少量放射性物质。如前所述，聚变反应不产生放射性核素，发生聚变反应的真空室内只存在发生聚变反应所需的少量氚、一些吸附在真空室内构件上的氚。由于氚是宝贵的聚变反应燃料，燃料系统会持续收集真空室中未参与反应的氚。所以聚变实验装置中含有放射性的物质不会大量积累，这大大降低了聚变实验装置在发生事故时对环境可能造成的危害。

第三，聚变实验装置一次运行持续时间很短，停止运行后的余热很小，所有系统和设备不需要考虑余热导出问题。聚变装置停止运行后的余热主要来自于被活化的托卡马克主机部件（主要是真空室内部件，如第一壁和偏滤器等）产生的衰变热，但是其功率只有满功率的约 1%，并且随着冷却时间快速地衰减（10 秒后降为约 0.5%）。HL-3 装置 DT 实验的最高功率仅为 10MW，停机时真空室内部件的总余热为 0.1MW，且会快速降低，因此本装置不需要考虑余热导出的安全隐患。

第四，聚变反应没有临界问题，不需要反应性控制，没有反应性事故的安全隐患。为了维持聚变反应需要极高的温度，同时还需要高密度和长约束时间，只有三者的乘积达到一定的值，聚变反应才能发生并维持，即劳逊判据。要维持聚变反应十分困难，任何一个条件不满足就会立即停止反应。因此，本项目停机极其简单，只要停止向真空室中提供 DT 燃料或向真空室中注入杂质气体，则聚变反应会立即停止，且不存在由于外部环境的影响重新开始聚变反应的安全问题。

虽然聚变装置易于停机、不会产生裂变产物和锕系元素、停机余热很低，但是聚变装置内同样有放射性物质和高能中子，而且聚变反应温度极高，所以需要重视放射性包容、辐射屏蔽和热屏蔽的安全性。此外，聚变反应在真空室中被等离子体约束，一旦等离子体破裂会产生很高的热负荷，对真空室内部件产生较大的热冲击。

综上所述，聚变实验装置的主要安全特点体现在：①聚变实验装置不产生乏燃料，装置内放射性物质始终维持在少量水平，没有潜在的大量放射性物质释放风险；②聚变实验装置的聚变反应发生在真空室中并被等离子体约束，一旦条件不满足立即停机；③聚变实验装置不需要反应性控制；④聚变实验装置停止运行后余热低（约

为满功率的 1%，10 秒后降为 0.5%），不需要考虑余热导出问题；⑤聚变实验装置真空室内和部分系统中存在放射性物质，需要进行放射性包容。聚变实验装置内的放射性物质主要有氚和活化产物；⑥聚变实验装置开展 DT 聚变反应过程中需要使用氚作为燃料，由于氚容易泄漏必须做好多重放射性包容控制；⑦聚变实验装置发生 DT 聚变反应会产生高能中子，需要做好辐射防护设计与措施。

5.3.1.2 事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订）第四十条：根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级，详见表 5.3-1。

表 5.3-1 辐射事故等级划分表

事故等级	事故情形
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素失控导致3人以上（含3人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致2人以下（含2人）急性死亡或者10人以上（含10人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素失控导致9人以下（9人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或放射性同位素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

本次评价选取最大潜在事故（失真空事故（LOVA）叠加真空室抽气阀门开启失效与 ADS 隔离阀关闭失效）、部分潜在后果较大的设计基准事故（真空室小破口事故（LOVA）、加料管道破裂事故、材料库火灾事故）和人员误入（或滞留）主机大厅事故，进行事故后果的预测与分析评价。

5.3.1.3 事故后果辐射影响分析

5.3.1.3.1 最大潜在事故后果辐射影响分析

（1）事故描述

事故假设真空室贯穿件或管道发生破裂，导致包容屏蔽室内空气大量进入真空室内，事故发生后真空室压力上升，真空室压力监测系统监测到真空室压力升高，启动 ADS 系统，真空室内的氚被抽入 ADS 系统，进行净化处理后，通过排风系统排

放至外环境。

上述事故工况下，真空室一级包容失效，主机包容屏蔽室二级包容完好，空气除氙系统（ADS）按设计要求正常启动和运行，因包容屏蔽室与厂房均保持负压，所以事故后通过厂房泄漏或渗透进入环境中的放射性物质质量很小。

根据相关事故分析原则，最大潜在事故分析应考虑多种事故工况叠加，因此，保守考虑事故工况为 LOVA 叠加真空室抽气阀门开启失效与 ADS 隔离阀关闭失效，主机包容屏蔽室空气中的氙无法通过应急排风系统循环净化，直接由排气筒排入外环境中。

最大潜在事故的具体情形如下：LOVA 事故发生后，包容屏蔽室内的空气通过破口进入真空室，真空室内的压力升高，真空室超压报警系统监测到真空室超压，应启动真空室抽气系统，保证真空室中的氙不会泄漏到房间中。但真空抽气系统开启失败，导致氙、粉尘等倒流进入大厅。大厅内氙浓度达到限值时，应关闭全面排风系统，启用空气除氙系统进行除氙处理。但由于空气除氙系统的外排阀门隔离失效，真空室中的氙未通过空气除氙系统处理，直接排放到环境中。在自动隔离失效后，操作员发现排放浓度超标可手动隔离排放阀门，阻止放射性物质持续向环境排放，同时将排风送入空气除氙系统，经空气除氙系统连续除氙后将整个厂房空气活度浓度降低至允许排放值以下。

（2）事故源项

事故源项由两部分组成，一是注入真空室的氙燃料，二是壁面附着氙的脱落部分。本工程以单次实验注入氙量以及所附着氙的 10% 作为事故分析氙源项。

（3）事故后果

1) 事故短期大气弥散因子

采用美国核管委导则 RG1.4《评价压水堆失水事故潜在辐射后果所采用的计算假定》中的确定论方法计算事故短期大气弥散因子。

2) 事故个人剂量估算模式

本次评价考虑的事故工况下，公众及工作人员辐射影响途径包括烟云浸没外照射、吸入空气造成的内照射。

3) 计算结果

在发生 LOVA 事故并叠加应急除氙系统排放隔离阀关闭失效时，公众最大受照射剂量为 0.911mSv，不超过本项目确定的事故工况下 1mSv 的公众受照剂量控制值。

在发生 LOVA 事故并叠加应急除氙系统排放隔离阀关闭失效时，工作人员的最大受照射剂量为 2.88mSv，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv 的剂量限值，不属于《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订）中规定的辐射事故，属于辐射事件。

5.3.1.3.2 设计基准事故后果辐射影响分析

5.3.1.3.2.1 真空室小破口事故（LOVA）

（1）事故描述

真空室内外壁面发生小破裂，导致屏蔽间内空气进入真空室内，真空室压力上升。在极小破裂情况下，真空室压力上升幅度很小，可能低于空气除氙系统（ADS）系统工作压力最低限值，因此考虑通过真空系统将真空室内混合气体输送至排灰气处理系统（TEP）进行相应处理，之后输送至手套箱除氙处理系统（GDS）进行除氙等处理。

（2）事故源项

事故工况中的可移动氙由两部分组成，一是注入真空室的氙燃料，二是壁面附着氙的脱落部分。本工程以单次实验注入氙量以及所附着氙的 10%作为事故分析氙源项。同时，考虑 99%的除氙效率。

（3）事故后果

采用与最大潜在事故相同的事故影响分析方式，在发生真空室小破口事故（LOVA）时，公众最大受照射剂量为 1.05×10^{-2} mSv，不超过本项目确定的事故工况下 1mSv 的公众受照剂量控制值。

在发生真空室小破口事故（LOVA）时，工作人员的最大受照射剂量为 3.33×10^{-2} mSv，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv 的剂量限值，不属于《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订）中规定的辐射事故，属于辐射事件。

5.3.1.3.2.2 加料管道破裂事故

（1）事故描述

加料时加料管道发生破裂，DT 混合气体进入套管，并由抽气系统带入手套箱除氙系统内进行除氙处理。

（2）事故源项

发生加料管道破裂事故时，加料系统的氟由抽气系统带入手套箱除氟系统，经手套箱除氟系统（除氟效率 99%）处理后通过排气筒向外排出。

（3）事故后果

采用与最大潜在事故相同的事故影响分析方式，在发生加料管道破裂事故时，公众最大受照射剂量为 $4.56 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，不超过本项目确定的事故工况下 1mSv 的公众受照剂量控制值。

在发生加料管道破裂事故时，工作人员的最大受照射剂量为 $1.44 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv 的剂量限值，不属于《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订）中规定的辐射事故，属于辐射事件。

5.3.1.3.2.3 材料库火灾事故

（1）事故描述

材料库的氟储存柜内部发生火灾，储存床被加热升温，导致被吸附的氟全部释放至储存柜内。同时，由于储存柜密封结构为有机结构，在发生火灾时密封将被烧毁，导致储存柜与储存间连通，氟气将全部释放至储存间内。该事故下，储存间消防系统将介入以缓解事故后果，消防系统采用氟化酮灭火，不会产生氟化水。储存间为密封体，并配置有一流量为 $18 \text{m}^3/\text{h}$ 的小型手套箱除氟系统，该手套箱除氟系统由外部供电，能够在该事故下保持运行能力。由于储存间能够保持密封，除氟系统运行将主导内部气流流向，缓慢地将内部气体输送至除氟系统进行除氟，再经由烟囱排放至外部环境。

（2）事故源项

保守假设储存柜内存放有 10 个储存床，氟储存柜内部发生火灾时，储存床内吸附的氟全部释放至储存柜内，同时储存柜的密封有机结构被烧毁，氟气将全部释放至储存间内，经手套箱除氟系统处理后排放至外环境（除氟效率 99%）。

（3）事故后果

采用与最大潜在事故相同的事故影响分析方式，在发生火灾事故时，公众最大受照射剂量为 $3.23 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，不超过本项目确定的事故工况下 1mSv 的公众受照剂量控制值。

在发生火灾事故时，工作人员的最大受照射剂量为 $8.33 \times 10^{-1} \text{mSv}$ ，小于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中 20mSv 的剂量限值，不属于《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2019 年修订）中规定的辐射事故，属于辐射事件。

5.3.1.3.3 工作人员误入（或滞留）主机大厅

（1）事故情景假设及事故源项

当工作人员在 HL-3 装置 DT 放电运行期间误入（或滞留）主机大厅内，运行产生的中子、光子以及韧致辐射 X 射线，对误入（或滞留）人员产生误照射。HL-3 装置 DT 放电运行工况按最大聚变功率 10MW 考虑，根据 DT 实验时的场所辐射水平，单次 DT 放电运行所致主机大厅包容屏蔽室外最大剂量率位于主机大厅西区包容屏蔽室北侧外表面，约为 $3.29 \times 10^3 \text{mSv/次}$ 。

（2）事故后果

事故情况下工作人员误照射频率按照 1 次考虑，则误入（或滞留）人员受照剂量约为 $3.29 \times 10^3 \text{mSv}$ 。根据《实用辐射安全手册》（从慧玲，北京：原子能出版社）中的急性放射病的发生率、死亡率与工作人员受照剂量的关系，并结合表 5.3-1 可知，可能造成重大辐射事故。

5.3.1.3.4 小结

综上，本项目对公众造成辐射影响最大的事故为失真空事故（LOVA）叠加真空室抽气阀门开启失效与 ADS 隔离阀关闭失效事故，发生该事故时公众最大受照射剂量为 0.911mSv ，不超过本项目确定的事故工况下 1mSv 的公众受照剂量控制值；对工作人员造成辐射影响最大的事故为工作人员误入（或滞留）主机大厅，发生该事故时工作人员的最大受照射剂量为 $3.29 \times 10^3 \text{mSv}$ ，可能造成重大辐射事故。

5.3.1.4 事故防范措施

针对上述本项目可能发生的事故，拟采取以下事故预防措施。

（1）失真空事故（LOVA）叠加真空室抽气阀门开启失效与 ADS 隔离阀关闭失效、真空室小破口事故（LOVA）以及加料管道破裂事故

1）主机大厅采用多级包容。一级包容：工艺设备、管路及阀门的选择上选用市面上成熟的产品；二级包容：主机包容屏蔽室、手套箱负压运行，防止外漏；三

级包容：氙循环工艺间为密闭厂房，负压运行，防止外漏。

2) 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中“6.4 辐射工作场所分区”规定，对辐射工作场所分区，并制定严格的分区进入措施；

3) 设置良好的通排风，确保厂房内空气流动方向由非污染区到污染区、由低污染区到高污染区；

4) 设置氙浓度在线监测装置及报警系统；

5) 定期对主机系统、氙燃料循环及安全包容系统进行维护，对不合格部件进行更换；

6) 加强人员培训和管理。

(2) 火灾事故

供电设计留有足够的安全裕量；加强易燃易爆物品的管理；现场备足灭火器材；加强供电电缆和用电设备的检查；加强安全教育。

(3) 工作人员误入（或滞留）主机大厅

1) 制定严格的清场程序，在开展实验前，开启广播系统不间断广播报警，提醒工作人员撤离。

2) 实验前巡检人员严格按照巡更路线进行巡更检查，并按下相应区域巡更按钮，当所有联锁管控区域内的巡更按钮均按压闭合后，HL-3 才能够开展放电实验。

3) 在主机大厅、控制中心设置紧急停机按钮，当工作人员误入（或滞留）主机大厅时通过按下紧急停机按钮，使 HL-3 放电无法开始或快速停止。

4) 1A 主机大厅内设置无死角监控系统，防止人员滞留。

5) 加强人员培训和管理。

5.3.2 非放射性事故影响分析

5.3.2.1 风险调查

(1) 危险物质情况

本项目运行过程中使用少量氙气、油类物质以及氙硅烷。根据建设单位提供的资料和《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)附录 B，本项目危险物质使用和储存情况见表 5.3-7。

表 5.3-7 项目主要危险物质情况

名称	CAS号	形态	包装方式	年用量		临界量 $Q_n(t)$	储存场所
氖气	1333-74-0	气态	钢瓶	5000L(atm)		5	工程实验控制中心楼配气站
油类物质 (润滑油、柴油、变压器油)	/	液态	油桶	泵油	100L	2500	电机厅存储间
				变压器油	200t		
				柴油	200L		
氖硅烷	7803-62-5	气态	钢瓶	1000L(atm)		2.5	工程实验控制中心楼配气站

5.3.2.2 环境风险潜势初判

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)附录 C, 危险物质数量与临界量的比值 $Q = q_1/Q_1 + q_2/Q_2 + \dots + q_n/Q_n = 0.0801 < 1$, 风险潜势为 I, 本项目环境风险仅进行简单分析。

5.3.2.3 环境敏感目标概况

本工程周边 500m 范围内人口总数大于 1000 人, 根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)附录 D, 本工大气环境敏感程度分级为 E1 级, 属环境高度敏感区。

5.3.2.4 环境风险识别

本项目涉及到需要重点关注的危险物质包括氖气、氖硅烷以及油类物质等, 其主要特性见表 5.3-8。各重点关注的危险物质分布情况及环境风险类别见表 5.3-9。

表 5.3-8 项目主要危险物质理化性质及毒性

物质名称	分子式	物理性质	毒性	危险性
氖气	D ₂	外观性状: 无色无味气体。 物化常数: 熔点 -254.4℃, 沸点 -249.5℃; 气体相对密度: 1atm 和 21.1℃时(空气=1)0.139; 溶解性: 不溶于水, 不溶于乙醇、乙醚。	/	危险特性: 易燃气体, 与空气混合能形成爆炸性混合物, 遇热或明火即会发生爆炸。气体比空气轻, 在室内使用和储存时, 漏气上升滞留屋顶不易排出, 遇火星会引起爆炸。与氟、氯、溴等卤素会剧烈反应。
柴油	/	由烷烃、烯烃、环烷烃、芳香烃、多环芳烃与少量硫 (2~60g/kg)、氮 (<1g/kg) 及添加剂组成; 稍有粘性的棕色液体。熔点 < -18℃, 沸点 282~338℃, 闪点 38℃; 相对密度 (空气=1): 4, 相对密度 (水=1): 0.87~0.9; 不溶于水。	LD50>5000mg/kg (大鼠经口)	危险特性: 易燃, 引燃温度: 257℃, 蒸气与空气混合物可燃限: 0.7~5.0%。

物质名称	分子式	物理性质	毒性	危险性
氘硅烷	SiD ₄	外观形状：无色气体。 物化常数：熔点-185℃，沸点-112℃， 相对密度（气体，空气=1，20℃， 101.325kPa）1.1。 溶解性：不溶于水，能溶于有机溶剂， 如乙醇、苯、二硫化碳等。	LC50： 9600ppm，4小时（大鼠吸入）	危险特性：易燃易爆，强还原性，有毒。硅烷会与空气中的水分反应生成二氧化硅和氢气，空气中硅烷气体浓度超过1.8%时有爆炸或着火风险。

表 5.3-9 本工程环境风险识别情况表

序号	危险单元	主要危险物质	环境风险类别
1	工程实验控制中心楼配气站	氘气	易燃易爆气态物质
2	工程实验控制中心楼配气站	氘硅烷	易燃易爆有毒气态物质
3	电机厅存储间	油类物质	易燃易爆液态物质

5.3.2.5 环境风险分析

根据有毒有害物质放散起因，环境风险类型分为泄漏、火灾和爆炸三种类型。

（1）泄漏

本项目涉及原辅材料在储运、转运、使用过程中可能存在一定的环境风险，导致危险化学品泄漏，其有毒有害成分挥发进入空气、或通过地面下渗至地下水、土壤环境，造成一定的环境风险和污染。但本项目使用的危险化学品使用量和储存量少，破损泄漏造成的事故影响小。

（2）火灾、爆炸

本项目原辅材料中的柴油、氢气、氘硅烷等易燃易爆，由于操作不当、原料泄漏等原因可能导致发生火灾爆炸事故，并引发伴生/次生反应，对环境空气、地表水、地下水和土壤等造成污染。

5.3.2.6 风险防范措施

（1）危险化学品储存和运输的风险防范措施

① 危险化学品的储存和运输应严格按《危险化学品安全管理条例》(国务院令 第 645 号)执行；

② 贮存化学危险品的建筑须安装通风设备，并注意设备的防护措施，对储存区域的安全设施、设备定期进行检测、检验；

③ 加强化学品贮存设施的腐蚀监控，定期检查，发现腐蚀减薄及时处理，避免破裂泄漏事故的发生。

（2）火灾爆炸事故风险防范措施

① 消除和控制明火源：在主机大厅内、配气站、油类物质储存间等区域设置醒目的严禁烟火标志，严禁动火吸烟；

② 根据消防工作的需要，应准备足够的各类消防用具（消防栓、灭火器等）。各类消防用具必须固定存放在适当地方，并定期进行检查，如有损坏或失效时，需立即进行修理和更换补充。严格禁止把消防用具移作他用；

③ 设置火灾自动报警系统（含消防应急广播），系统用于监控火情，以实现火灾的早期报警。火灾报警系统由不间断电源供电。

（3）环境风险管理措施

① 建设单位须建立完善的安全管理体系。应按职业安全管理体系的需要，设置必要的安全管理机构，配备相应的专（兼）职管理、检查、安全教育、检测人员。建设单位须建立健全各种安全管理制度和规程，建立各种安全管理台账和记录；

② 本项目建成投运后，建设单位应严格要求操作和管理人员的技术水平，职工上岗前必须参加培训，落实三级安全教育制度；

③ 加强对工作人员的安全生产和环境保护教育，必须进行安全技术培训，经考核合格后，持证上岗；

④ 主要实验人员应定期学习有关安全生产知识。对从业人员要进行选择，要选拔具有一定文化程度、身体健康、心理素质好的人员从事相关工作，并定期进行考察、考核、调整。

（4）事故应急预案

建设单位应按照国家、地方和相关部门要求，制定项目突发环境污染事件应急预案，报环境保护主管部门备案。预案内容包括适用范围、环境事件分类与分级、组织机构与职责、监控和预警、应急响应、应急保障、善后处置、预案管理与演练等内容。突发环境事件应急预案应体现分级响应、区域联动的原则，与地方政府突发环境事件应急预案相衔接，明确分级响应程序。

5.3.2.7 风险结论

综上所述，本项目不存在重大危险源。项目发生风险的类型和几率都很小，通过加强管理、采取有效措施，加强对全体员工防范事故风险能力的培训，制定事故应急预案等，可有效降低风险发生的几率和造成的影响。项目风险管理措施有效、

可靠，环境风险可接受。

第六章 辐射安全管理

6.1 机构与人员

6.1.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置及职能

核工业西南物理研究院为了加强对中国环流三号装置的辐射安全与环境保护管理，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许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等法律法规、部门规章的要求，结合实际情况，建立了辐射安全与环境保护管理机构——西物院放射性同位素与射线装置安全管理领导小组，小组下设院放射性同位素与射线装置安全管理办公室，负责中国环流三号装置的辐射实践活动的辐射安全与环境保护工作。

西物院放射性同位素与射线装置安全管理办公室设在西物院安全质量部，安全质量部是院环境保护工作的归口管理部门，主要职责是：

- （1）贯彻落实国家、地方政府和集团公司环境保护方针政策和法律法规要求，负责编制院环境保护规章制度和工作计划等；
- （2）负责对各单位环境保护工作的监督检查，组织对重大环境安全隐患进行评估，督促各单位对重大环境安全隐患进行整改；
- （3）负责或参与各单位环境事件的调查、处理，负责院环境事件的统计上报；
- （4）监督执行各单位或落实院建设项目环境保护“三同时”制度；
- （5）负责院环境保护风险管控和培训工作，监督检查各单位环境保护投入的落实情况；
- （6）组织上报院环境统计报表和年度环境质量评价报告，监督其他各法人单位及时编制并上报环境统计报表和年度环境质量评价报告。

6.1.2 辐射工作人员配备计划

本项目拟配备辐射工作人员 34 名。按照《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）的要求配置辐射安全关键岗位在岗人数，辐射安全关键岗位需由注册核安全工程师担任。同时，根据环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的相关要求，

生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。本项目辐射工作人员应当接受中级或高级辐射安全培训。

西物院应制定辐射工作人员的培训与考试计划，在严格落实人员培训考试计划后，辐射工作人员的能力能够满足相关要求。

6.2 辐射安全管理规章制度

为保障项目运行辐射安全，保护工作人员、公众和环境，根据项目特点，建设单位参照《生态环境部磁约束聚变实验装置监督检查技术程序》和《四川省核技术利用辐射安全检查大纲（2016）》的相关规定需制定以下的辐射安全管理制度。

其中，《辐射工作场所安全管理要求》、《辐射工作人员岗位职责》、《辐射工作设备操作规程》和《辐射事故应急响应程序》悬挂于辐射工作场所，要求内容应字体醒目，简单清楚，尺寸大小不小于 400mm×600mm。

建设单位应组织工作人员学习和掌握各项规章制度，对违反规章制度的现象应予以查处、确保规章制度落得实处。为有效落实各项防护管理制度，建设项目运行前建设单位应将相关管理制度张贴在相应工作场所。

表 6.2-1 建设单位需制定的规章制度

	规定的管理制度	建设情况	适宜性	来源
A 综合	辐射安全管理规定	已制定	需修订	磁约束聚变实验装置监督检查技术程序
	全员安全生产责任制管理办法	已制定	需修订	
B 场所	场所分区管理规定	已制定	需修订	
	装置运行安全操作规程	已制定	需修订	
	安全防护设施的维护与维修制度	已制定	需修订	
C 监测	监测方案	已制定	需修订	
	监测仪表使用与校验管理制度	已制定	需修订	
D 人员	辐射工作人员培训制度	已制定	适宜	
	辐射工作人员个人剂量管理制度	已制定	适宜	
E 应急	辐射事故/事件应急预案	已制定	需修订	
F 三废	放射性“三废”管理规定	未制定	拟制定	
G 核材	核材料管制办法	已制定	适宜	/

规定的管理制度		建设情况	适宜性	来源
料管制	实物保护管理办法	已制定	适宜	
	核材料衡算与控制管理办法	已制定	适宜	
其他	辐射安全与环境保护管理机构文件	已制定	适宜	四川省核技术利用 辐射安全检查大纲 (2016)
	辐射工作人员岗位职责	已制定	适宜	
	射线装置台账管理制度	已制定	适宜	

6.3 辐射监测

为了保证本项目运行过程的安全、控制和评价辐射危害，建设单位应当对辐射工作场所放射防护进行定期自主或者委托监测，以使工作人员和公众所受照射尽可能低。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）中的相关规定，本项目监测内容包括：工作场所监测、辐射工作人员个人剂量监测、流出物监测、环境监测。

6.3.1 工作场所监测

本项目工作场所监测主要包括场所污染监测系统、辐射水平监测系统、表面污染监测系统和工艺辐射监测系统，各系统设置情况分述如下：

6.3.1.1 场所污染监测

场所污染监测系统主要用于测量主机大厅内空气污染程度，分为氡污染监测和气溶胶污染监测。

① 氡污染监测

本项目共配置 5 台氡在线监测装置，统一布置在辐防设备间，通过取样管道对各测量点进行监测，用于实时监测场所空气中氡浓度。配置 2 台便携式氡监测仪，用于主机厅内氡污染巡测或检修前的氡污染检测。配置 3 台氡取样装置，用于检测空气中氡浓度。

② 场所气溶胶污染监测

主机放电瞬间产生的高能中子穿过主机材料、屏蔽材料，发生活化反应，产生放射性活化产物，造成空气中放射性气溶胶污染，因此，本项目配置 3 台气溶胶取样装置，对工作人员经常出入的场所进行气溶胶取样及监测。

主机活化产生的活化粉尘主要分布在包容屏蔽室内，本项目配置 1 台移动式气溶胶在线监测装置，用于包容屏蔽室内检维修时，评价气溶胶污染水平。

③ 场所其它监测设备

本项目配备低本底 α 、 β 测量仪、低本底液闪谱仪、高纯锗 γ 谱仪、手持式核素识别仪、制样系统各 1 套。其中，低本底 α 、 β 测量仪用于表面污染取样样品检测，低本底液闪谱仪用于氚取样样品检测，高纯锗伽马谱仪、制样系统用于场所环境取样制样、样品检测，手持式核素识别仪用于环境剂量监测和辐射源识别。

6.3.1.2 场所辐射水平监测

本项目新增区域中子剂量监测系统和区域 γ 剂量率监测系统各 1 套。区域中子、伽马探测主机集中布置在辐防设备间，探头布置在现场，其中区域中子剂量监测系统中子探头共 13 个，4 个高量程，9 低量程，用于测量主机放电瞬间相应区域的辐射水平；区域 γ 剂量率监测系统 γ 探头共计 28 个，4 个高量程，24 个低量程，用于测量主机放电瞬间相应区域的辐射水平以及装置停机维护期间相应区域的辐射水平。

根据主机大厅内部的建筑物结构及功能分区，对中子、伽马实时监测系统探测器进行优化布置。这些点位尽可能布置于具有代表性、可参考性，且检修维护人员居留概率较高的位置。在一些更关注停机检修期间残余伽马辐射的位置，仅布置了伽马剂量率探测器。

本项目在主机包容屏蔽体内北、西、东 3 个方向，主机包容屏蔽体外西侧 1 个方向，分别布置 1 个区域中子探头（高量程），用于测量主机放电瞬间的辐射水平。在主机包容屏蔽体外北侧、检修门附近，主机大厅内诊断钢平台、东侧的屏蔽门以及氚工艺间附近，1A 西侧墙外、1B 北侧墙外、1C 南侧墙外、1E 东侧墙外，分别布置 1 个区域中子探头（低量程），用于测量主机放电期间相应区域的辐射水平。

本项目在主机包容屏蔽体内北、西、东 3 个方向，主机包容屏蔽体外西侧 1 个方向，分别布置 1 个区域 γ 探头（高量程），用于测量主机放电瞬间的辐射水平。在主机包容屏蔽体外北、西、南 3 个方向、检修门附近处，主机大厅内诊断钢平台、北、西、南、东区域，1A 西侧墙外、1B 北侧墙外、1C 南侧墙外、1E 东侧墙外，分别布置 1 个区域 γ 探头（低量程），用于测量主机放电期间和停机维护期间，相应区域的辐射水平。在装置停机维护和大修改造期间，控制区内外的辐射监测获得的停机伽马剂量率，将作为人员可否接近检修作业的重要依据，因此在主机大厅内氚

循环工艺间以及紧邻的 1B、1C、1E 人员居留概率较高的位置增设了布点。

③ 便携式监测设备

本项目配置 4 台便携式中子剂量率仪和 4 台便携式 γ 剂量率仪,用于工作场所辐射水平巡测以及检修期间检修区域辐射水平的测量。

6.3.1.3 表面污染监测系统

本项目配置 4 台表面污染监测仪,用于转出厂房物品、废物表面污染监测;工作场所地面及墙面、设备表面、手套箱表面污染水平及污染范围定期测量;检维修前后及发生放射性事故/事件时使用。在正常运行工况下,监测频率为 1 次/(2 周~1 月),在上一次监测数据超标时,监测频率增加至 1 次(1 班~1 天),直至连续监测 3 个频次无异常。

本项目配置 2 台手脚污染监测仪,分别放置在男女工作服间。工作人员离开主机厅时,经过手脚污染监测仪,及时发现工作人员表面污染。

本项目配置 1 台小物品监测仪,放置在卫生出入口迷宫墙边。工作人员离开主机厅时,携带小物品应经过小物品监测仪监测,及时发现小物品表面污染。

6.3.1.4 工艺辐射监测系统

① 手套箱气氛监测仪:氚工艺手套箱设置气氛监测仪(3 台),包括 TEP 手套箱、SDS 手套箱、WJ 手套箱,实时监测手套箱内氚浓度,检测到氚浓度异常升高(氚泄漏)及时报警,并连锁启动手套箱除氚系统。

② 管道流出物氚监测仪(2 台):用于监测真空尾气中氚浓度,若监测结果超标,真空尾气需经气氛除氚系统处理。

6.3.1.5 现有装置辐射监测开展情况

2023 年 5 月 11 日,核工业西南物理研究院委托成都中辐环境监测测控技术有限公司,对位于四川省成都市西南航空港黄荆路 5 号内在用 II、III 类射线装置周围环境及敏感区域进行辐射剂量率现状监测,监测结果见表 6.3-1。

表 6.3-1 托卡马克主机实验室周围环境 X- γ 辐射剂量率监测结果 单位: $\mu\text{Sv/h}$

编号	监测位置	X- γ 辐射剂量率		备注
		测量值	标准差	
1	环境背景值	0.10	0.002	/

编号	监测位置	X- γ 辐射剂量率		备注
		测量值	标准差	
2	主控室墙面左侧（距墙面 30cm）	0.17	0.001	仅 HL-3 及 配套系统 正常运行
3	主控室墙面中侧（距墙面 30cm）	0.16	0.002	
4	主控室墙面右侧（距墙面 30cm）	0.14	0.001	
5	主控室联接门左缝（距缝 30cm）	0.19	0.002	
6	主控室联接门右缝（距缝 30cm）	0.19	0.002	
7	主控室联接门中缝（距缝 30cm）	0.19	0.002	
8	加热控制室联接门左缝（距缝 30cm）	0.17	0.001	
9	加热控制室联接门右缝（距缝 30cm）	0.18	0.001	
10	加热控制室联接门中缝（距缝 30cm）	0.18	0.001	
11	防护门左缝（距缝 30cm）	0.11	0.002	
12	防护门右缝（距缝 30cm）	0.11	0.002	
13	主机室东南侧墙面（距墙面 30cm）	0.12	0.002	
14	1F 诊断大厅（距墙面 30cm）	0.12	0.002	
15	加热控制室墙面（距墙面 30cm）	0.16	0.002	

现场监测结果表明，在现有监测条件下，仅 HL-3 及配套系统正常工作时，职业人员活动场所监测点位的 X- γ 辐射剂量率在 0.12~0.19 μ Sv/h 之间，公众活动场所监测点位的 X- γ 辐射剂量率在 0.11~0.16 μ Sv/h 之间，与《2023 成都生态环境质量公报》中成都市环境 γ 辐射剂量率连续自动监测年均值范围（67.0~119nGy/h）处于同一水平，属于当地正常天然本底辐射水平，托卡马克主机 HL-3 及配套系统正常运行活动对环境辐射水平影响甚微。

6.3.2 个人剂量监测

（1）热释光个人剂量监测系统（外委）

本项目配置热释光个人剂量监测系统，工作人员进入主机大厅时，应在卫生出入口配戴热释光剂量片，用于测量工作人员的累积外照射剂量。

（2）电子式个人剂量计、个人剂量计读出装置

本项目配置 30 个电子式个人剂量计（中子、 γ ），检维修人员进入主机大厅时，应在卫生出入口配戴电子式个人剂量计，用于实时显示人员所在位置的外照射剂量率。本工程配置 1 套个人剂量计读出装置，用于读取电子式个人剂量计每次使用的

累积剂量。

（3）内照射剂量监测（外委）

辐射工作人员每季度组织一次内照射检测（尿样），用于评价工作人员的内照射水平。

（4）现有项目个人剂量监测

根据 2023 年度原有 24 名辐射工作人员个人剂量监测结果，2023 年建设单位未出现个人剂量超标情况，建设单位承诺对于本项目新增辐射工作人员也将配备个人剂量计，并按要求正确佩戴个人剂量计。

在后续运营过程中建设单位将持续按《四川省环境保护厅关于印发<四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）>的通知》（川环函〔2016〕1400 号）的要求做好个人剂量管理工作。

①应为每位辐射工作人员建立个人剂量档案，并终生保存。②对于某一季度个人剂量检测数据超过 1.25mSv 的辐射工作人员，要进一步开展调查，查明原因，撰写调查报告并由当事人在情况调查报告上签字确认。对于全年累计检测数值超过 5mSv 的，要查明原因，采取暂停开展放射性工作等进一步干预手段，并撰写调查报告，经本人签字确认后，上报辐射安全许可证发证机关；③当单年个人剂量超过 50mSv 时，需调查超标原因，上报辐射安全许可证发证机关，确认是否启动辐射事故应急预案。④在每年的 1 月 31 日前上报的辐射安全和防护状况自查评估报告中，应包含辐射工作人员剂量监测数据及安全评估的内容。

6.3.3 流出物监测

6.3.3.1 气态流出物监测

① 监测对象

参考《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）对气态流出物放射性物质排放的管控要求，结合本项目产生核素及存在形式的特征特点，本项目运行期间的监测对象包括气溶胶、氡。

② 监测系统描述

本工程配置 1 台气态流出物氡在线监测仪、1 套气态流出物氡取样系统、1 套放射性气溶胶取样装置，分别在 1C 动力厂房屋顶排气筒上引取样管道接到相应监测设备。气态流出物氡在线监测仪用于实时测量气态流出物中的氡浓度；气态流出

物氙取样系统用于气态流出物中氙浓度的精确测量；放射性气溶胶取样装置用于测量气态流出物中的放射性物质浓度。

本工程配置 1 套烟气参数监测装置，可实时测量排风筒的排风量，结合氙监测仪，可得到排风筒的氙排放量。

③ 监测方法

氙：采用连续监测和取样监测结合的方式，测得向外环境排出的氙的放射性物质的量。其中连续监测长期连续工作，采用气态流出物氙在线监测仪测量排气中的氙浓度；取样监测通过连续取样获取氙样品，取样位置设在排气筒高 21.5m，距轴心 520mm 处，取样流量为 0~1L/min（可调），流出物氙取样装置设置多个氙取样瓶（一般为 4 个），取样方式为催化氧化+鼓泡收集，每个取样瓶取样时间为 6 小时（可调）。取样瓶完成取样后从取样装置上取下送检，取样装置将取样样品继续收集至下一个取样瓶中，送检取样瓶完成检测后装回取样装置，实现连续取样。

气溶胶：采用取样监测的方式，按照监测计划进行连续取样获取气溶胶样品，气溶胶样品进行检测后，得到向外环境排出的气溶胶的活度浓度及排放量。

6.3.3.2 非放射性污染物排放监测

建设单位拟委托有资质单位进行噪声、非放射性废水、非放射性废气排放监测，每年进行一次，监测数据记录存档。

6.3.4 环境监测

6.3.4.1 监测项目及布点

本项目环境监测计划严格按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）标准中的辐射环境监测要求及本项目实际情况制定，辐射环境监测项目包括 γ 辐射空气吸收剂量率、中子剂量当量率、空气（H-3）、气溶胶（总 β ）、土壤（总 α 、总 β ）、地表水（H-3、总 α 、总 β ）、饮用水（H-3）、生物（H-3、总 α 、总 β ）等。

各监测项目或介质的布点原则、采样点设置，以及监测频度见下文。

（1） γ 辐射空气吸收剂量率

① 布点原则

- a. 1A、1B、1C、1E 墙体外 30cm；
- b. 500m 范围内的敏感点。

② 采样点及监测频度

连续监测点位：1B 北侧墙外、1A 西侧墙外、1C 南侧墙外、1E 东侧墙外，共计 4 个点，连续监测；

定期监测点位：项目周边 500m 范围内共计 7 个点。监测频度 1 次/年。

(2) 中子剂量当量率

① 布点原则

- a. 1A、1B、1C、1E 墙体外 30cm；
- b. 500m 范围内的敏感点。

② 采样点及监测频度

连续监测点位：1B 北侧墙外、1A 西侧墙外、1C 南侧墙外、1E 东侧墙外，共计 4 个点，连续监测；

定期监测点位：项目周边 500m 范围内共计 7 个点，监测频度 1 次/年。

(3) 空气

① 布点原则

- a. 排放口附近；
- b. 500m 范围内的敏感点。

② 采样点及监测频度

空气监测取样点：主机厅西侧墙体外空地和项目周边 500m 范围内 5 个点，共计 6 个点。监测项目为空气中的 H-3，监测频度为 2 次/年。

(4) 气溶胶

① 布点原则

- a. 排放口附近；
- b. 500m 范围内的敏感点。

② 采样点及监测频度

气溶胶监测取样点：主机厅西侧墙体外空地和项目周边 500m 范围内 5 个点，共计 6 个点。监测项目为总 β ，监测频度为 2 次/年。

(5) 土壤

① 布点原则

- a. 厂界四周；
- b. 500m 范围内的敏感点。

② 采样点及监测频度

土壤监测取样点：厂区北周界外、厂区东周界外和项目周边 500m 范围内 5 个点，共计 7 个点。监测项目为总 α 、总 β ，监测频度为 2 次/年。

（6）地表水

① 布点原则

预计受影响地表水；

② 采样点、频度及监测项目

地表水采样点：项目周边地表水体 2 个点，监测项目为 H-3、总 α 、总 β ，监测频度为 2 次/年。

（7）固体废物外表面

① 布点原则

固体废物存放处；

② 采样点、频度及监测项目

固体废物采样点：放射性固体废物暂存间。监测项目为 γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染，监测频度为收集及送贮时。

（8）饮用水

① 布点原则

预计受影响地；

② 采样点、频度及监测项目

饮用水采样点：项目周边 500m 范围内 1 个点。

共计 1 个点，监测项目为 H-3，监测频度为 2 次/年。

（9）生物

① 布点原则

预计受影响地；

② 采样点、频度及监测项目

生物采样点：项目周边 500m 范围内 1 个点。

共计 1 个点，监测项目为 H-3、总 α 、总 β ，监测频度为 2 次/年。

6.4 辐射事故应急

根据原环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第六章第四十三条的规定，使用射线装置的单位，应当根据可能发生的辐射事故的

风险，制定本单位的应急方案，做好应急准备。应急预案应包括应急机构和职责分工；应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；辐射事故分级与应急响应措施；辐射事故的调查、报告和处理程序；辐射事故信息公开、公众宣传方案。辐射事故应急预案还应当包括可能引发辐射事故的运行故障的应急响应措施及其调查、报告和处理程序。

6.4.1 应急响应机构

6.4.1.1 应急组织机构

本项目辐射事故应急处理组织机构图见图 6.4-1。

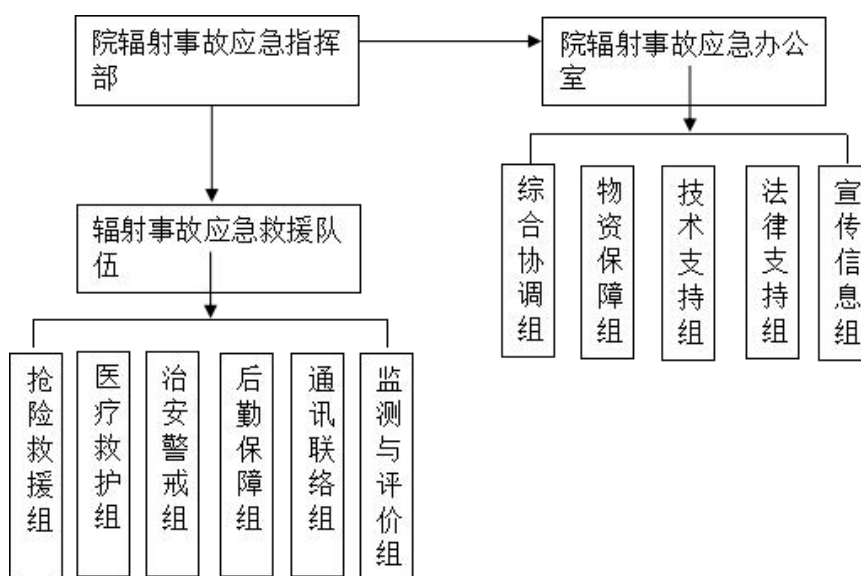


图 6.4-1 辐射事故处理组织机构图

6.4.1.2 应急组织机构职责

(1) 辐射事故应急指挥部：总指挥由院党委书记担任，统一指挥应急响应行动，宣布应急状态，启动应急组织，决策应急中止，为应急能力保持提供必要条件。

(2) 辐射事故应急办公室：设在安全质量部，协调各级、各专业力量实施应急救援行动，向上级主管部门报告事故，组织事故原因调查和经验反馈。

(3) 综合协调组：负责承办应急指挥部会议，督促落实应急指挥部和专项应急办工作安排；跟踪应急处置情况，协调院本部各部门应急联动；根据应急职责分工落实指令；负责应急状态下的值班统筹工作；负责上级有关应急工作措施、政策落实的收集、宣传和解读工作，组织提出院级落实方案和建议；负责院本部事故状态下的综合协调与事故救援。

(4) 物资保障组：负责应急物资的采购、调配、协调和日常管理；保证应急过程中通信和网络的畅通；负责应急过程中的交通、食宿、医疗、保卫、维稳等工作；落实应急资金、补偿、保险理赔等工作；负责院本部事故状态下的交通、食宿、医疗、保卫、维稳等工作。

(5) 技术支持组：负责对应急技术、评价信息的汇总，并报送辐射事故应急办公室；负责起草向政府有关部门的报告；按照应急指挥部的要求，起草向事故单位的应急救援要求；负责起草应急指挥部要求的其他文件资料；负责院本部事故状态下的抢险救援工作。

(6) 法律支持组：负责为突发事件引起的合同执行纠纷提供法律咨询和支持；负责为院应急响应恢复、重建和善后，以及对外捐赠工作提供法律支持；负责参与应急处置中有关各方赔偿或补偿标准的支持和协调工作；负责拟实施措施以及拟发布文件的法律审核工作，规避、降低法律风险；负责院本部事故状态下的法律支持工作。

(7) 宣传信息组：负责内外宣传以及先进事迹、先进人物报道工作；负责落实上级各项政策措施，开展应急工作的重要会议、重大活动宣传报道；负责应急相关的舆情应对策划、组织与实施；负责各类汇报材料、工作材料的上报；负责院内部应急信息的收集、汇总，统一对外口径，并按要求编写和报送日报等；负责院本部事故状态下的通讯联络、信息报送。

(8) 辐射事故应急救援队伍：根据实际需要建立辐射事故应急救援队伍，包括：抢险救援组、医疗救护组、治安警戒组、后勤保障组、通讯联络组、监测与评价组。

(9) 抢险救援组：负责事故的抢险和抢修工作，担负人员救护、洗消等任务；接到通知后，迅速集合队伍奔赴现场救援，根据事故情形佩戴相应的个人防护用品，切断事故源；根据指挥部下达的命令，迅速救援受伤、被困人员，控制事故，防止扩大；现场消除危险物品；视现场状况及时向指挥部汇报，必要时请求支援力量；接受上级主管部门的应急指挥。

(10) 治安警戒组：引导人员疏散安全区域；协同班组长统计各班组成员人数，上报指挥部；事故发生后，迅速至事故现场拉起警戒线，负责现场秩序管理；负责引导外来救援力量进入事故区域，严禁无关人员进入厂区。

(11) 后勤保障组：事故发生后，迅速做好后勤保障工作，快速提供应急装备

和物资；根据受伤人员的状况，及时采取急救措施或送医院抢救；接受上级主管部门的应急指挥。

（12）通讯联络组：负责向上级有关部门报告事故情况，做好厂内和周边单位人员的疏散信息发布工作；负责保证事故状态下各应急小组之间通讯的畅通，各种应急指令快速传递；经总指挥的审批，获得授权后，对外界发布事故相关信息。

（13）监测与评价组：事故状态下进行辐射监测，并将监测结果与处置建议上报指挥部。

（14）医疗救护组：主要负责抢救受伤人员、保护抢险人员等；由小组组长统一指挥施救队伍；确定受伤人员专业治疗与救护定点医院；视现场伤员情况，组建抢险和现场救治医疗队伍；向定点医院通报急需的医疗器材和药品；组织指挥现场抢险救灾、伤员救治及转送工作；配合协助专业医务人员进行现场施救；承办指挥部负责人交办的其它工作。

6.4.2 应急响应

（1）接警与报告

单位发生辐射事故后，应按照辐射事故应急预案，采取有效的处置措施，控制事态进一步发展，并按规定立即报告院辐射事故应急办公室，由院报告集团公司辐射事故应急办公室，并按国家有关规定报告生态环境主管部门和当地政府相关部门。

（2）应急响应行动

根据辐射事故后果的严重性、影响范围和控制事态的能力，本辐射事故专项应急预案适用于IV级或V级响应。

1）IV级响应：发生一般辐射事故时，事故单位开展先期处置，院辐射事故应急指挥部启动本应急预案，辐射事故应急办公室组织应急指挥部应急会，部署救援要求。

① 发生辐射事故时，操作人员应立即关闭装置电源，迅速撤离辐照场工作人员。同时应由现场负责人立即报告院应急办公室；

② 各专业组根据职责要求开展应急保障工作，并赴现场参与救援与指导；

③ 各应急救援组组长负责立即召集本组成员到指定地点集合，按相应处置措施进行救援；

④ 保持与事故单位应急组织的密切联系，根据需要上报最新救援情况。

2) V级响应：事故单位实施应急处置，院辐射事故应急指挥部全体人员到位，协调事故单位进行应急处置，加强应急值班。

(3) 不同辐射事故的响应措施

针对本项目可能发生的辐射事故进行梳理，总结出具有包络性的辐射事故并制定事故响应措施，能够满足相关要求。

(4) 应急终止

1) 应急终止需满足以下条件：

- ① 辐射污染源的泄漏或释放已降至规定限值以内；
- ② 事故所造成的危害已经被彻底消除或可控；
- ③ 事故现场各种专业应急处置行动已无继续的必要。

接到事故单位辐射事故应急响应终止报告后，院辐射事故应急办公室主任立即报告应急总指挥和副总指挥，院应急指挥部经分析研究后，决定终止辐射事故应急响应。

2) 应急状态终止后的恢复行动

应急状态终止后，院在集团公司的指导和帮助下组织制定恢复计划，事故单位按计划做好落实。

院组织事故单位对事故和应急响应做好分析和总结，总结报告上报集团公司辐射事故应急办公室。总结的内容应当包括事故的过程、原因、污染情况和人员受照情况，应急响应行动、事故处理经验及教训等。必要时，可请求集团公司领导和专家赴现场协助指导，处理善后工作。

在应急状态终止后，院根据需要组织信息发布，发布事故调查结果、善后处理的安排和预防改进措施。根据要求，院辐射事故应急办公室向生态环境主管部门和集团公司上报应急工作总结。

6.4.3 应急设备与设施

本着平战结合、积极兼容的原则，各单位应建立必需的应急设施、配备应急设备和准备应急物资，并应定期检查和维护应急设施和设备，保证其完好有效，适时更新和补充应急物资。常用的应急设施与设备主要有：应急手电，警戒带，医疗箱，绝缘鞋，绝缘手套，绝缘杆，X-γ射线检测仪，消防沙箱，对讲机。

6.4.4 应急培训与演练

6.4.4.1 培训

在应急准备和响应中承担各种任务的各级各类人员（包括应急指挥人员）都必须参加与其职责有关的培训和再培训。

培训的主要内容应包括核科学技术的基础知识、辐射防护基础知识、环境保护基础知识、职业安全健康基础知识、应急预案和处置程序、应急响应的基础知识和技巧、国家和行业的有关法规等。

6.4.4.2 演练

演练分为现场处置方案演练与专项应急预案演练。现场处置方案演练的规模较小，是对某单项响应或响应技巧进行演练，主要针对V级响应；专项应急演练可有多多个应急组织参加，主要针对IV级响应。各单位应根据国家法规确定的演练频度，开展现场处置方案演练与专项应急预案演练。

各有关单位每年应制定演练计划，每次演练之前应设计演练情景，演练之后应开展总结，并对演练发现的问题进行整改。总结的内容应包括演练的时间、地点、种类、参加人员、各类人员的表现、发现的问题、对应急预案和执行程序可能的修改建议和改进应急准备工作的意见。演练过程资料应当存档。

院辐射事故应急办公室负责对各单位的应急演练进行检查和指导。

第七章 利益-代价简要分析

7.1 利益分析

本项目的建设实施是为提高我国在聚变领域的科研水平，其意义主要体现在具有重大科技价值，此外还具有极大的经济价值和社会影响力。

7.1.1 项目建设的重要性

随着社会的发展，人类对能源的需求越来越大。传统的煤、石油、天然气等化石能源，以及水能、风能、太阳能等可再生能源都有其局限性，难以支撑或会限制人类社会高速的可持续发展。为此，必须发展安全且储量丰富的清洁能源。受控聚变能正是这样一种能源，它被认为是解决人类能源危机的最佳途径。

一直以来磁约束装置被认为是最有可能率先实现稳态运行的受控聚变途径之一，而中国目前尚无 DT 实验装置，相关方面的科研水平落后国际先进水平。如果再不立即建造装置开展研究，将难以追赶上国际聚变能研究的发展步伐，无法消化吸收国际上前沿物理的研究成果，更无法保障我国在磁约束聚变研究尤其是 DT 实验研究领域的地位，从而影响我国磁约束聚变研究的进程。HL-3 担负着实现我国在前述领域原创性零的突破，是我国磁约束聚变能源开发中的重要环节。

HL-3 装置将是我国磁约束聚变能源开发史上的一个里程碑，必将对我国磁约束聚变能源开发做出重要贡献。

7.1.2 项目建设的必要性

(1) 开展 DT 实验研究是落实国家聚变能发展总体战略的关键一环

聚变能具有资源丰富、环境友好、固有安全等突出优势，是人类理想的未来能源，是目前认识到的解决人类社会能源与环境问题的重要途径之一，对我国经济社会发展、国防工业建设具有重要战略意义。可控聚变作为前沿颠覆性技术，是我国核能发展“热堆-快堆-聚变堆”三步走战略的重要组成部分，有助于“双碳”目标的实现，保障未来能源安全。推动可控聚变技术攻关，已纳入《中共中央、国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》。

实验堆-示范堆-商用堆的聚变堆工程发展路径，是核能走向商用的客观的规律，是我国核工业取得成功的宝贵经验。ITER 计划是我国参与的全球规模最大、影响最深远的国际大科学工程，旨在验证聚变能源利用的科学和技术可行性。在参与 ITER 计划的同时，我国也在积极部署聚变先导工程实验堆自主研发。而 DT 实验则是实验堆前的必要一环，有助于提升燃烧等离子体科学认知，积累托卡马克相关工程技术经验，对释放实验堆设计建造，支撑实验堆安全稳定运行至关重要。

开展 DT 实验，夯实实验堆的科学和工程技术基础，是国家聚变能发展总体战略的关键一环，有助于我国在聚变研发领域争取更多国际话语权，提高 ITER 中的 DT 实验及相关工程技术参与深度、主导权，促进 ITER 实验成果高效消化吸收，对我国自主设计建造运行聚变先导工程实验堆，走稳走好聚变堆工程发展路径第一步具有重大意义。

（2）开展 DT 实验研究是我国加快掌握聚变相关技术的必经之路

美欧等国已经走过了大装置堆芯级等离子体运行阶段，并逐步由 DT 燃烧实验进入到实验堆阶段。美欧依托 TFTR、JET 等大型托卡马克装置 DT 实验，先后实现了超 10MW 聚变功率输出，验证了托卡马克 DT 聚变科学可行性，一定程度上深化了 DT 燃烧等离子体关键物理认知，积累了相关工程技术经验，在支撑 ITER 设计和后续运行方面发挥了重要作用，并为相关国家自主发展可控聚变技术奠定了基础。

自加入 ITER 计划以来，我国磁约束聚变研究取得了长足的进步，技术水平逐渐由跟跑到并跑、局部领先。但大装置 DT 实验至今仍为空白，且难以获取欧美 DT 实验数据，国内对 DT 等离子体认知长期停留在“理论计算应该是怎样，国外实验说是怎样”的状态。托卡马克涉氦运行系列技术是难以共享的关键核心技术，涉及氦循环与包容系统、安全监测、聚变中子防护、聚变产物诊断等多项关键技术。这些严重制约了我国科学家在 ITER 实验中的参与深度和话语权，不利于我国下一步自主设计建造聚变先导工程实验堆。

聚变相关技术“要不来、买不来、讨不来”。通过自主开展 DT 实验，深化托卡马克燃烧等离子体的物理认知，整体提升国内聚变领域原始创新能力，积累托卡马克 DT 运行关键技术经验，是我国加快掌握聚变相关技术的必经之路。有助于补强国内长期研究短板，夯实实验堆科学和工程技术基础，是我国聚变研发走向自立自强的重要一步。

（3）开展 DT 实验研究是我国把握聚变能研发战略机遇期的重大举措

近年来,随着能源安全形势加剧,以及“双碳”目标牵引,世界聚变研究强国纷纷加快聚变能源商业化步伐。尤其是随着 ITER 计划已进入工程装配关键阶段,并计划几年后投入运行,聚变能源研发已由科学研究迈向工程化阶段,正进入宝贵战略机遇期。美欧等国抓紧制定聚变能发展计划,在欧洲联合环重启 DT 实验,抢占托卡马克 DT 运行技术战略制高点,同步推进本国下一代聚变堆研发,力争在 2040 年前后实现聚变能发电,抢占未来能源开发利用主动权。

随着近年来国际形势日益复杂,美欧等国在可控聚变领域持续加强对我国的围堵限制。我国迄今尚未开展过托卡马克 DT 实验,与欧美存在差距。面对加速到来的世界未来能源革命历史窗口,在 ITER 即将建成,美欧聚变能研发突然提速,以及中美前沿科技脱钩大背景下,亟需加快推进我国 DT 实验研究,以我为主加快掌握托卡马克 DT 运行关键技术,补强长期短板。以 DT 实验研究为引擎,抢占当前国际聚变技术高地,提升现阶段聚变能研发国际话语权,并以此为契机不断提升 ITER 参与深度,掌握 ITER 消化吸收主动权,并支撑我国聚变先导工程实验堆设计,是我国牢牢把握聚变能研发重大战略机遇期,加速聚变能源研发进程的重大举措。

(4) 依托中国环流三号是我国自主开展 DT 实验研究的最佳选择

实现 DT 聚变的条件苛刻,需要托卡马克装置等离子体达到堆芯级,离子温度、密度与能量约束时间“三乘积”达到 $10^{21} \text{ m}^3 \cdot \text{keV} \cdot \text{s}$ 量级,对装置规模和离子加热能力有较高要求。当前国际上具备开展 DT 聚变等离子体研究条件的实验平台稀缺。半个多世纪以来,美欧仅在 TFTR 和 JET 上开展过 DT 实验,且两大装置均已退役。我国现役两大托卡马克装置中国环流 2 号(HL-2)和东方超环(EAST)三乘积在 $10^{18} \sim 10^{19} \text{ m}^3 \cdot \text{keV} \cdot \text{s}$,距离堆芯级仍有不小差距。我国新一代“人造太阳”—中国环流三号(HL-3)是国内目前规模最大、运行能力最强的托卡马克装置,是 ITER 签约卫星装置,是推动我国聚变事业跨越式发展的重要依托。中国环流三号等离子体体积是国内现有最大装置的 2 倍以上,等离子体电流最高可达 300 万安培,等离子体离子温度最高可达 1.5 亿度以上,聚变三乘积可达 $10^{21} \text{ m}^3 \cdot \text{keV} \cdot \text{s}$ 量级,未来一段时间内 HL-3 预计将是国际上唯一具备开展可控 DT 实验研究能力的托卡马克实验平台,其是我国把握当下聚变能研发战略机遇期无可替代的大科学实验装置。

7.2 代价分析

本项目拟选址在四川省成都市双流区西航港街道黄荆路 5 号西物院白家园区内,

不新征用地，新建建筑面积 14486.6m²，改造建筑面积 15981.33m²。项目的建设将占用一定的土地资源，将消耗一定数量水泥、钢材、木材等建筑材料；同时项目建成后运行过程中还需要消耗到水、电等能源。

在经济方面，建设单位需要付出资金来实施本项目的建设，主要包括建筑场地成本、设备投资成本以及环保投资方面。其中，建设单位需要在辐射防护与环境保护方面投入资金建设环保设施以确保项目建成后运行对环境的影响满足国家标准的要求，主要包括屏蔽防护设施的修建、辐射安全防护设施设备的配备、辐射安全管理制度的建立、辐射监测和防范措施的设置以及对各类放射性和非放射性的治理措施等。

在环境影响方面，项目建成之后，运营期间将产生的一定程度的辐射环境影响与非放环境影响，经本次评价的预测分析，本项目建成后运行产生的环境污染因素，经过设计采取的各种防护措施和环保措施的处理后，进入环境的量很少，对环境和公众的影响很小，均低于国家标准中规定的限值，其影响是可接受的。

7.3 正当性分析

通过本项目的实施，将推动我国在燃烧等离子体物理研究领域的高质量发展，补齐聚变堆相关技术短板，为我国深度参与 ITER 实验积累经验，奠定科学技术和人才基础；为自主设计建造聚变先导工程实验堆提供关键技术支撑。同时，项目设计了建造完善的辐射安全防护与环保设施来尽量降低对环境与人员的辐射影响，经分析评价，本项目对环境与人员的包括辐射污染在内的影响满足国家相关标准要求，本项目实践对社会所带来的利益（促进相关行业的技术进步和革新）是大于项目实施付出的代价（可能引起的包括辐射危害在内的环境影响）。

综上所述，通过对本项目实施的利益和代价的简要分析，综合考虑社会、经济、环境等各方面的因素之后，认为其利益大于代价，符合 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定的“实践的正当性”的辐射防护要求。

第八章 结论与建议

8.1 项目工程概况

本项目位于四川省成都市双流区西航港街道黄荆路5号西物院白家院区内，不新征用地，对现有 HL-3 装置及配套设施进行能力提升和改造，建设内容包括关键工艺系统能力提升建设及配套辅助条件的建设，新建建筑面积 14486.6m²，改造建筑面积 15981.33m²，新增和改造工艺设备 531 台（套）。项目按计划建成后中国环流三号装置将成为我国首个 DT 聚变实验平台。

该项目符合国家现行产业政策和当地规划，项目能够带来良好的社会效益和产生较好的经济效益；在采取了设计的辐射安全防护措施以及三废治理措施后，项目运行所产生的辐射危害是很小的，满足国家标准要求。该项目具有实践的正当性。

8.2 辐射安全与防护

本项目主机厅的建筑物屏蔽设计满足相关要求；主机厅内设计了手套箱来操作放射性核素；工作场所合理划定了控制区和监督区进行管理，人流与物流路径分离；并设置了场所设施、安全联锁等辐射安全与防护设施，配备了功能与数量满足要求的个人剂量与辐射环境监测设备；针对运行期产生的废气、废水和固体废物，项目设计和依托有完善的收集、处理、排放或暂存设施，可使各类废物得到较好的净化处理和安全暂存。

本项目配置的辐射安全与防护设施满足《生态环境部—磁约束聚变实验装置监督检查技术程序》《生态环境部—甲级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序》《四川省核技术利用辐射安全监督检查大纲（2016）》等相关标准规范的要求，是合理可行的。

8.3 环境影响分析

（1）辐射环境影响分析结论

① 电离辐射

通过理论预测，本项目运行所致工作人员职业照射剂量最大为 4.47mSv/a，所

致公众照射的有效剂量最大为 $2.09 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ ，满足 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》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。也低于本次评价确定的 5mSv/a 的职业照射剂量约束值和 0.1mSv/a 的公众照射剂量约束值。

② 电磁辐射

本项目主机装置和加热系统均接地，并在设备安装区域铺设接地绝缘设施，能够有效减小电磁辐射的影响。采取上述接地并使用强屏蔽作用的波导管、设备自身的防电磁辐射屏蔽金属壳体等防电磁辐射的措施的条件下，能有效屏蔽电磁波泄漏到周围环境中，对周围环境影响很小。

(2) 非放环境影响分析结论

① 非放射性废气

本项目运行期非放射性废气为柴油发电机燃料废气和食堂油烟。

发电机采用 0#柴油作为燃料，燃烧废气经自带的消烟除尘装置处理后排放，且发电机使用频率极低，工作时间短，采取上述措施处理后对大气环境影响小；食堂产生的食堂油烟经油烟净化装置处理后，对区域大气环境产生污染影响很小。

② 非放射性废水

本项目运行期产生的清净下水和生活污水收集后排入市政污水管网，经市政污水管网进入双流区航空港污水处理厂处理后，最终排入江安河。

本项目废水排放量小，产生的清净下水污染物少，清净下水和生活污水经城镇污水处理厂处理后对地表水环境影响甚微。

③ 噪声

本项目运行期间主要噪声源为真空系统真空泵、水冷系统水泵和冷却塔、压缩机、柴油发电机等动力设备。选择先进可靠的低噪声设备，并根据各噪声源的特性，采取基础减振、建筑隔声和消声等降噪措施后厂界噪声达标。

④ 固体废物

本项目UPS电源更换产生的废铅酸电池，运行和检修期间供电系统、低温系统产生的废液压油、变压器油，经收集暂存后交由有相应资质的单位回收处理；装置检修和维护过程中更换的废器件和废电缆，HL-3装置去离子水制备系统更换的活性炭、过滤器芯、废树脂、废反渗透膜为一般工业固体废物，由相应生产厂家或废品回收站回收处理；生活垃圾袋装收集后转入项目区设置的垃圾收集点，再由环卫部

门清运至生活垃圾场卫生填埋。

综上，项目运行产生的非放射性废气、废水、噪声等均可实现达标排放，对项目所在区域的空气、水和声环境影响很小；项目运行产生的非放射性固体废物均可得到妥善处置，对周围环境无影响。

8.4 辐射安全管理

西物院设有辐射安全与环境保护管理机构——辐射安全与防护管理领导小组，负责全院所有辐射实践活动的辐射安全与环境保护工作。辐射安全与环境保护管理机构的设置满足要求。

本项目拟配备 34 名辐射工作人员，其中新增 10 名辐射工作人员，其余 24 人从西物院现有辐射工作人员中调配。并承诺按照国家相关法规要求配置辐射安全关键岗位注册核安全工程师，所有辐射工作人员均应按照国家相关要求参加培训，考核合格后方能上岗。在此基础上本项目辐射工作人员的配置满足要求。

本项目拟制定《辐射事故应急预案》，预案内容包括：相关机构及其职责、应急响应措施等，本项目辐射事故应急预案是可行的。

本项目设置了相应的辐射剂量监测手段并制定了相应的监测制度。工作人员个人剂量监测、工作场所的监测、污染物排放监测和环境监测按监测方案的内容、频次和要求进行监测，可满足本项目要求。

8.5 公众参与

根据《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第 4 号）的相关规定，西物院采取网络公示、报纸公示、张贴公告等方式开展了公众参与。在开展公众参与期间，西物院及环境影响报告书编制单位均未收到相关部门和公众反映的与本项目环境影响和环境保护措施有关的建议和意见。

8.6 结论

本项目符合国家产业政策，符合当地城市建设与产业发展规划；综合考虑项目的经济、社会和环境等方面的利益与代价，实施本项目具有正当性；项目设计采取的放射性污染防治措施和非放射性污染防治措施有效合理，可确保项目运行产生的各项污染物达标排放；项目建成后运行对公众和工作人员的辐射影响很小，满足评

价标准要求，是可接受的；项目运行产生的废气、废水、噪声及固体废物等对周围环境影响很小。项目的建设在严格遵守国家有关法律法规要求、严格按照建设项目“三同时”制度要求、贯彻落实本环境影响报告书提出的各项环境保护措施和风险防范措施并加强管理的前提下，从环境保护角度而言是可行的。

8.7 承诺

(1) 在项目投运前完成对本项目辐射工作人员的辐射安全培训，并保持对工作人员进行安全生产和环境保护（包括辐射防护）方面的持续教育。

(2) 在项目投运前完成辐射安全管理规章制度的新增及完善，并随国家辐射安全与环境保护方面法律法规的更新及时组织修订。

(3) 建设单位按照生态环境部部令第 31 号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第四十二条之规定编写辐射防护安全与防护状况年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报送辐射安全许可证发证机关。

8.8 项目竣工验收检查内容及要求

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评〔2017〕4 号）规定，建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督，确保建设项目需要配套建设的环境保护设施与主体工程同时投产或者使用，并对验收内容、结论和所公开信息的真实性、准确性和完整性负责，不得在验收过程中弄虚作假。

建设项目竣工后，建设单位应当如实查验、监测、记载建设项目环境保护设施的建设和调试情况，编制验收监测报告。