

球形环氢硼等离子体平台建设项目生态环境影响报告表
(送审版)



生态环境部监制

球形环氢硼等离子体平台建设项目生态环境影响报告表
(送审版)



建设单位名称：廊坊新奥聚变科技有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：于建潮



通讯地址：廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区

邮政编码：065001

联系人：董占猛

电子邮箱：dongzhanmeng@163.com

联系电话：18932629690

目 录

一、建设项目基本情况 - 1 -

二、建设项目工程分析 - 18 -

三、区域环境质量现状、环境保护目标及评价标准 - 79 -

四、主要环境影响和保护措施 - 102 -

五、环境保护措施监督检查清单 - 176 -

六、结论和建议 - 180 -

附图 - 185 -

附件 - 220 -

一、建设项目基本情况

建设项目名称	球形环氢硼等离子体平台建设项目		
项目代码	2607-131071-89-01-343149		
营运单位联系人	董占猛	联系方式	18932629690
建设地点	廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区		
地理坐标	(经度: 116.78° E 纬度: 39.56° N)		
国民经济行业类别	M7320	建设项目行业类别	172 核技术利用建设项目
建设性质	☒ 新建(迁建) ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 技术改造	建设项目申报情形	☒ 首次申报项目 ☐ 不予批准后再次申报项目 ☐ 超五年重新审核项目 ☐ 重大变动重新报批项目
项目审批(核准/备案)部门	廊坊经济技术开发区投资促进和招商合作局	项目审批(核准/备案)文号	廊开投内资备【2026】73号
总投资(万元)	460000	环保投资(万元)	4140
环保投资占比	0.9%	施工工期	三年
是否开工建设	☒ 否 ☐ 是——	用地(用海)面积(m ²)	79084.15
专项评价设置情况	《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划(2021-2035年)》		
规划情况	1、规划名称:《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划(2021-2035年)》 审查机关:廊坊市人民政府 审查文件:关于《廊坊经济技术开发区控制性详细规划》的批复		
规划环境影响评价情况	规划环境影响评价文件名称:《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划(2021-2035年)环境影响报告书》 审查机关:中华人民共和国生态环境部 审批文号:环审[2022]101号 审批时间:2022年7月15日		
规划及规划环境影响评价符合性分析	1、规划符合性分析		

	廊坊经济技术开发区组团包括开发区东区和西区(科技谷)两部分，其中开发区东区四至范围为北至廊坊市北边界，东至廊坊市东边界，南至荷花道，西至和平路；西区四至范围为北至廊坊市北边界，东至新华路，南至万桐南路，西至大皮营引渠，开发区组团总范围为 67.18 平方公里。其中东区为 53.63 平方公里，西区 13.55 平方公里。 规划年限为 2021-2035 年，其中近期为 2021-2025 年；远期为 2026-2035 年。 发展定位：推动开发区向创新区转型。开发区重点发展大数据、人工智能、金融、电子信息、创新服务等高端高新产业。大学城重点引入与廊坊产业发展契合的高校与职业学校。加速实施低效产业用地“腾笼换鸟”，培育创新型平台、基地和服务机构。围绕艾力枫社郊野公园，合理布局公共服务与商业功能，优化街区环境，打造配套服务中心。塑造凤河魅力滨水空间。 产业发展思路：以电子信息产业为龙头，大力发展先进设备及汽车制造、能源环保、文旅康养、现代物流产业，构建“1+4”现代产业体系，增强实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同性，推动先进制造业和现代服务业深度融合，形成以创新驱动为引领、深度融合为特征、高端产业为重点的发展模式，全面提升开发区在国家发展战略和区域发展格局中的位势。 规划结构：“一廊”指凤河滨水休闲绿廊；“两心”指综合服务中心、综合交通枢纽中心；“五轴”指祥云道文化艺术景观轴、九干渠滨水景观轴和大北环路-云鹏道、创业路、望京大道(银河路)三条重要的交通轴；“六片区”指产业拓展区、文旅康养产业区、电子信息产业区、现代物流产业区、能源环保产业区、先进设备及汽车制造产业区。 本项目属于 M7320 工程和技术研究和试验发展，主要是建设等离子体实验装置，研究物理目标包括高离子温度运行模式、高效无感电流驱动、球形环氢硼等离子体能量约束与特性验证、
--	---

氢硼反应率等四个方向，瞄准未来球形环氢硼反应堆需要解决的关键物理问题。本项目等离子体实验装置属于新能源研发的关键设备，项目地处廊坊经济技术开发区能源环保产业片区，符合《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035年）》的产业规划。 2.与《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035年）环境影响报告书》的相符性分析 根据《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035年）环境影响报告书》提出的园区规划产业环境准入负面清单： 表 1-1 与《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035年）环境影响报告书》符合性对比表			
片区名称及规划产业内容	产业准入要求	项目情况	符合性
总体产业准入要求	1、禁止新建产业政策中列入淘汰和限制的项目； 2、符合《河北省京冀交界地区新增产业的禁止和限制目录》相关准入要求； 3、禁止在生态红线内建设项目； 4、禁止采用非清洁能源； 5、新增项目清洁生产应达到国际先进水平； 6、环境风险等级应控制在一般水平； 7、禁止新增二类、三类工业用地； 8、禁止化学反应工艺引入；	1、本项目开展等离子体实验，不属于产业政策中列入淘汰和限制的项目； 2、本项目符合《河北省京冀交界地区新增产业的禁止和限制目录》相关准入要求； 3、本项目位于廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技北园，不在生态红线内； 4、本项目均使用电能，不使用非清洁能源； 5、本项目不属于生产性项目，等离子体实验过程产生的污染物极少，并均得到妥善处理； 6、本项目产生的危险废物收集后送至公司的危险废物暂存间暂存，定期交由有资质单位处理，环境	符合

		9、禁止新增涉重项目引入； 10、禁止新增电镀工序引入； 11、禁止高污染、高耗能项目引入；	风险等级可控制在一般水平； 7、本项目所在厂区已取得国有土地使用证，属于工业用地； 8、本项目不涉及化学反应工艺； 9、本项目主要开展放电实验，不产生重金属污染； 10、本项目不涉及电镀工序； 11、本项目不属于高污染、高耗能项目。	
	能源环保产业片区（规划产业：智慧能源、环保材料）	1、涉及环保材料产业可布局在先进设备及汽车制造产业区； 2、产业取水定额应满足河北省《工业取水定额》先进值标准要求。	1、本项目不属于环保材料产业，项目涉及的等离子体实验装置属于新能源研发的关键设备，符合产业规划。 2、根据河北省《工业取水定额》（DB13/T5448.1-2021），尚未发布本项目的先进值标准要求。	符合

由表 1-1 可知，本项目与《廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035 年）环境影响报告书》的要求相符合。

3.与《关于廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035 年）环境影响报告书的审查意见》（环审[2022]101 号文）的相符性分析

表 1-2 与《关于廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035 年）环境影响报告书的审查意见》（环审[2022]101 号文）符合性对比表

编号	审查意见	项目情况	项目符合性
1	坚持绿色发展和协调发展理念，加强《规划》引导。落实国家、区域发展战略，坚	本项目符合地区国土空间规划和河北省生态环境分区管控更新成果要	符合

		持生态优先、集约高效，以生态环境质量改善为核心，做好与各级国土空间规划和“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线、生态环境准入清单）生态环境分区管控体系的协调衔接，进一步优化《规划》布局、产业定位和发展规模。	求，符合园区产业定位。	
	2	根据国家和地方碳达峰行动方案、“十四五”应对气候变化专项规划和节能减排工作要求，推进经开区绿色低碳转型发展，优化产业、能源、交通运输、土地利用等《规划》内容，促进减污降碳协同增效。	本项目使用绿色能源，属于绿色低碳项目。	符合
	3	着力推动经开区产业结构调整和转型升级。从区域环境质量改善和环境风险防范角度，进一步优化各片区产业定位和发展规模；按“以水定产”原则，严格控制高耗水行业的发展，提高水资源利用率。对于产业定位和用地布局不合理且不符合生态环境保护要求的企业，应落实《报告书》提出的退出、升级改造等意见，严格执行存续期间的相关、环境管理要求，确保满足区域环境质量目标。	本项目仅涉及少量循环水使用，不属于高耗水行业。项目地处廊坊经济技术开发区能源环保产业区，所在厂区已取得土地证，用地性质为工业用地，符合产业定位和用地要求。项目运行过程中，正常工况下无废气产生，生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂，可满足区域环境质量目标。	符合
	4	严格空间管控，优化功能布局。加强对经开区各片区内及周边集中居住区防护，优化产业与居住布局，有效解决工居混杂问题，确保经开区产业布局与生态环境保护、人居环境安全相协调。开发范围和土地利用应符合	本项目位于城镇开发边界内。	符合

		国土空间相关规划，并严格控制城镇开发边界内。		
	5	严守环境质量底线，强化污染物排放总量管控。根据国家、河北省污染防治规划和区域“三线一单”生态环境分区管控相关要求，制定经开区污染减排方案，采取有效措施减少主要污染物和特征污染物的排放量，推进挥发性有机物和氮氧化物协同减排，确保区域生态环境质量持续改善，促进产业发展与生态环境保护相协调。	本项目符合河北省生态环境分区管控更新成果要求，本项目不排放挥发性有机物和氮氧化物，不涉及废气总量指标。	符合
	6	严格入区项目生态环境准入，推动绿色、低碳、高质量发展。严格落实《报告书》提出的各片区生态环境准入要求，强化区内企业污染物排放控制、提高清洁生产和污染治理水平。执行最严格的行业废水、废气排放控制要求，引进项目的生产工艺和设备、资源能源利用效率、污染治理等均需达到同行业国际先进水平。	本项目符合生态环境准入要求。项目污染物可以做到达标排放。项目研制工艺和设备、资源能源利用效率、污染治理等均达到同行业国际先进水平。	符合
	7	加强环境基础设施建设。加快污水及中水回用管网建设，进一步提高经开区中水回用率，强化中水回用措施的落实。一般工业固体废物、危险废物应依法依规收集、妥善安全处理处置。	本项目一般工业固体废物、危险废物依法依规收集、妥善安全处理处置。	符合
	8	健全完善环境监测体系，强化环境风险防范。建立完善包括环境空气、地表水、地下水、土壤、底泥等环境要素的监测体系，根据监测结果适时优化规划。建立凤河上下游联防联控机制和园区应急响应联动机制，提升环境风险防控和应急响应能力，保障区域环境安全。	本项目主要环境影响来自电离辐射，公司制定了符合要求的辐射环境监测方案并配置了辐射监测设备，可保障区域环境安全。	符合

	由表 1-2 可知，本项目与《关于廊坊经济技术开发区园区发展总体规划（2021-2035 年）环境影响报告书的审查意见》（环审[2022]101 号文）的要求相符合。
其他符合性分析	1、产业政策符合性分析 根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于“鼓励类”中第六条核能的 4、核技术应用——“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，以及第三十一条科技服务业的 10、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”的范畴。因此，本项目建设符合国家相关产业政策。根据《市场准入负面清单（2025 年）》，本项目不属于禁止准入类。对照《环境保护综合名录（2021 年版）》，本项目不在其“高污染、高风险”产品名录中。并且不属于《廊坊市广阳区、永清县、固安县和涿州市新增产业的禁止和限制目录》（2024 年 6 月 3 日，河北省人民政府）规定禁止/限制目录。不属于《河北省禁止投资的产业目录(2014 年版)》禁止投资类项目。2026 年 07 月 15 日，廊坊经济技术开发区投资促进和招商合作局已对本项目进行了备案，备案编号为廊开投内资备(2026)73 号，备案信息见附件 1。 综上所述，本项目符合国家及地方相关产业政策要求。 2、项目与土地利用规划的符合性 本项目位于廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区，本项目占地为工业用地，已取得不动产登记证明[冀（2026）廊坊开发区不动产证明第 0002426 号]、不动产登记证明[(冀（2026）廊坊开发区不动产证明第 0002419 号]，用地性质均为工业用地，本项目的建设符合用地规划。

	3.与廊坊市国土空间总体规划符合性 根据《廊坊市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，本项目位于城镇发展区，占地为工业用地，评价范围内不涉及生态保护红线区和农田保护区等生态敏感目标，本项目地理位置详见廊坊市国土空间总体规划图及本项目地理位置详见图 1-1，与广阳区生态保护红线关系示意图见附图 1。
--	--

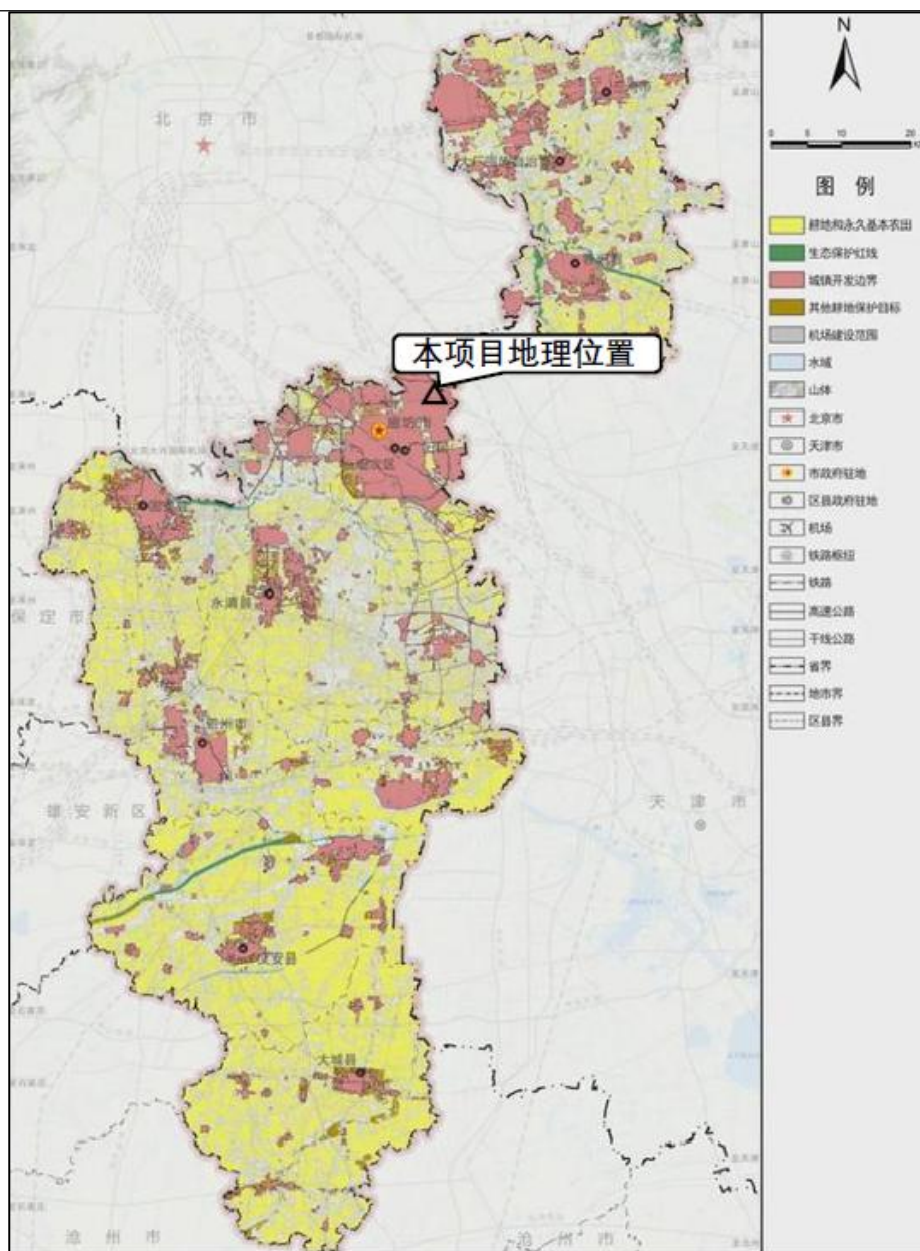


图 1-1 廊坊市国土空间总体规划及本项目地理位置图

综上所述，从基础条件、环境条件和该项目对环境的影响分析本项目选址符合要求。

4、廊坊市“三线一单”符合性分析

根据《廊坊市区域空间生态环境评价暨“三线一单”生态环境准入清单（2024 版）》，本项目所在地行政区域为廊坊经济技术开发区，属于重点管控单元。

区域分区管控要求符合性分析见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 项目分区管控要求符合性分析表				
类别	管控维度	管控要求	本项目情况	符合性
生态保护红线总体管控要求	禁止建设开发活动	生态保护红线内核心保护区原则上禁止人为活动，自然保护区核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动。生态保护红线内自然保护区、风景名胜區、饮用水水源保护区等区域，依照法律法规执行。	本项目不在生态保护红线保护范围内	符合
一般生态空间划定及管控要求	禁止开发建设活动的要求	根据生态功能保护区的资源禀赋、环境容量，合理确定区域产业发展方向，限制高污染、高能耗、高物耗产业的发展。要依法淘汰严重污染环境、严重破坏区域生态、严重浪费资源能源的产业，要依法关闭破坏资源、污染环境、损害生态系统功能的企业。	本项目不在“高污染、高风险”管控项目范围内	符合
地表水环境总体管控要求	污染物排放管控	1.新建、改建、扩建重点行业建设项目实行主要污染物排放等量或倍量置换。2.全面推行清洁生产审核，对超标、超总量排污和使用、排放有毒有害物质、高能耗企业（即“双超双有高耗能”）的企业实施强制性清洁生产审核。3.严格限制高风险化学品生产使用，并逐步淘汰或替代。4.严格执行子牙河、大清河流域水污染物特别排放限值。所有废水直排企业一律执行行业排放标准水污染物特别排放限值；	生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂。	符合

		没有行业标准或行业标准中没有水污染物排放特别限值的，一律执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918）一级 A 标准；行业标准中水污染物特别排放限值比《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918）一级 A 标准中相应控制因子宽松的，执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918）一级 A 标准。 5. 推进园区外涉水工业企业向工业集聚区集中，对不具备入园条件需要原地保留的涉水工业企业，实施深度治理，执行最严格的排放标准，否则一律予以关停。 6. 加强重点行业项目建设审批管理，对园区外新建造纸、金属制品、食品、危废、化工及涉及重金属等行业涉水工业项目原则上不予审批。 7. 全面推行企业排污许可“一证式”管理和证后执法监管，实行排污总量和浓度双达标控制，落实排污单位主体责任。强化重点企业水污染排放监管，确保工业废水达标排放。实施差别化限期治理和工业废水深度处理工程，对电镀、化工、造纸、原料药制造等涉水企业进行清洁化改造，加强对排放重金属、产生危废企业的废水排放监管和在线监测。加大现有工业园区整治力度，组织开展园区环境问题排查。严格控制依托城镇生活污水处理厂处理工业废水的入水标准，确保污水厂出水稳定达标。		
大气环境总体管控	污染物排放管控	1. 以水泥、平板玻璃、陶瓷、煤电等行业企业为重点，大力巩固重点行业超低排放改造成果，完成水泥、平板玻璃、陶瓷、煤电等重点行业强制性清洁生产审核。 2. 具备条件的玻璃、水泥和陶瓷企业基本完成固定源超低排放改造。传统产业工艺装备严格	本项目正常工况下无废气产生。	符合

	要求	落实国家《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平》要求，推进 5 大类 19 个行业改造升级和淘汰。3.以砖瓦、耐火材料等行业为示范，加快推进铸造、炭素、岩棉、无机盐、铁合金、铝工业、铜（镍、钴）工业、铅（锌）工业、再生铜（铝、铅、锌）等行业炉窑综合整治，确保稳定达标排放，鼓励平板玻璃窑炉采用全氧/富氧燃烧技术等清洁生产。严格新建项目准入管理，工业炉窑全面达到国家和省重点区域特别排放限值要求。4.推动高污染企业关停不能稳定达标和落后生产设施，逐步推进独立热轧等整合升级。加快推进全市燃煤锅炉替代工作和整治提升工作，推动三河热电厂烟气深度治理，加强全市现存 32 台生物质锅炉高效除尘和脱硝设施监管和改造。5.制定“一厂一策”治理方案，开展治理效果后评估，不断提高企业 VOCs 治理水平。鼓励涉 VOCs 排放重点行业企业，夏季高温时段实行生产调控、错时生产。以化工、包装印刷、工业涂装、家具制造、人造板、橡胶塑料制品等行业为重点，强化 VOCs 源头、无组织、末端全流程治理。开展涂料、油墨、胶粘剂、涂层剂（树脂）、清洗剂等原辅材料的企业低 VOCs 替代计划和实施。6.在岩棉棉、玻璃棉、人造板、化工等产业集聚和用热用能需求大的产业集群和工业园区，推进建设集中供汽供热或清洁低碳能源中心。推动供热管网覆盖范围内燃煤加热、烘干炉（窑）替代。不具备替代条件的产业集群，推动实施锅炉“拆小并大”。7.在确保人民群众“温暖过冬”的基础上，加快推进全市现存 35 蒸吨/	
--	----	--	--

			小时及以上燃煤锅炉替代工作，在保证供热供电的前提下，逐步完成热电联产机组供热范围内燃煤设施关停整合，推进燃煤锅炉替代。 8.PM_{2.5}年均浓度达标之前，二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘、挥发性有机物四项污染物均需进行倍量削减替代（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）。 9.大力开展工业企业全流程清洁化、循环化、低碳化改造，在电力、建材、化工等行业，开展减污降碳协同治理。重点针对耐火材料、矿物棉、有色、化工、包装印刷、彩涂板、人造__板等行业，开展传统产业集群升级改造，实行工业园区绿色准入，执行强制性污染物排放标准。持续推动常态化水泥错峰生产。		
	土壤风险防控总体管控要求	建设用地	1.逐步淘汰铅酸蓄电池、制革等行业落后产能。全面清理整顿布局分散、装备水平低、环保治污设施差的小型工矿企业，对不符合国家产业政策、没有环评手续、不能稳定达标排放的依法取缔。鼓励过剩产能企业主动退出。 2.严控涉重金属行业新增产能，对排放重点重金属的新增产能和淘汰产能实行“等量置换”或“减量置换”。对涉重金属行业新建、改（扩）建项目实行新增重金属污染物排放等量或倍量替代。对区域重金属排放量继续上升的地区，停止审批新增重金属污染物排放的建设项目。 3.工业项目布局选址应符合环境准入要求，严格控制在优先保护类耕地集中区域新建有色金属冶炼、石油加工、化工、电镀、制革、制药、铅酸蓄电池行业企业；结合区域功能定位和土壤污	本项目不涉及重金属；不属于高污染行业；项目占地属于工业用地；项目不会对周边土壤造成明显影响；符合环境准入要求	符合

		染防治需要，科学布局城乡生活垃圾处理、危险废物处置、废旧资源再生利用等设施 and 场所，确定合理的防护距离。 4.严禁将污泥直接用作肥料，禁止不达标污泥就地堆放，结合污泥处理设施升级改造，逐步取消原生污泥简易填埋等不符合环保要求的处置方式。鼓励利用水泥厂等工业窑炉，开展污泥协同焚烧处置。 5.禁止在居民区、学校、医疗和养老机构等周边规划布局可能造成土壤污染的建设项目。 6.扎实推进土壤污染调查评估。及时将关闭、搬迁、注销、撤销排污许可证的企业用地纳入监管范畴，防止腾退地块游离于监管之外。用途变更为“一住两公”（住宅、公共管理与公共服务用地）、土壤污染重点监管单位生产经营用地用途变更或者其土地使用权收回、转让前，以及土壤污染状况普查、详查和监测、现场检查表明有土壤污染风险的地块，土地使用权人应当依法开展土壤污染状况调查和评估。 7.严格落实总量控制制度，动态更新涉重金属重点行业企业全口径清单，持续推进重金属减排。依法依规将符合建设用地条件的排放镉等有毒有害大气、水污染物的企业，纳入重点排污单位名录。聚焦大气重点排污单位名录中的涉镉等重金属排放企业，督促开展大气污染物中颗粒物在线监测与监控联网工作。 8.以农药、化工、钢铁等行业企业关闭搬迁腾退土地为重点，强化调查评估、风险管控与修复、效果评估、后期管理等全流程监管。对暂不开发利用的污染地块，所在地县级生态环境部门提出划定隔离区域建议，报同级人民政府批准后，设立标识、发布	
--	--	---	--

			公告，并组织土地使用权人或土壤污染责任人实施土壤及地下水污染状况监测等风险管控措施。 9.健全生活垃圾收集、转运和处置体系，到 2025 年实现农村生活垃圾收运处置体系全覆盖；促进生活垃圾无害化处理和资源化利用，创新体制机制，全面推进垃圾焚烧发电，逐步扭转传统填埋方式。实现垃圾焚烧处理能力县域全覆盖。 10.按照省部署，对电镀、制革行业实施清洁生产技术改造，鼓励推动金属制品业、化学原料和化学制造业等行业企业实施管道化、密闭化改造，实施物料、污水、废气管线架空建设和重点区域防腐防渗改造。 11.以用途变更为“一住两公”的污染地块为重点，实施以安全利用为目的的风险防控，编制风险防控方案、合理制定开发利用计划，对于需要治理与修复的污染地块，开展治理与修复工作。 12.加强对曾用于生产、使用、贮存、回收、处置有毒有害物质的；曾用于固体废物堆放、填埋的；曾发生过重大、特大污染事故的；国家有关部门规定的其他情形的等建设用地地块的重点监测。		
	资源利用管控要求	水资源超采区	1.在地下水禁采区内，除为保障地下工程施工安全 and 生产安全必须进行临时应急取（排）水、为消除对公共安全或者公共利益的危害临时应急取水，以及为开展地下水监测、勘探、试验少量取水外，禁止取用地下水。 2.在地下水限采区内，对当地社会发展和群众生活有重大影响的重点建设项目确需取用地下水的，应按照用 1 减 2 的比例以及先减后加的原则，同步削减其他取水单位的地下水开采量，且不	本项目采用市政集中供水管网供水，不开采地下水	符合

			得深层、浅层地下水相互替代。地下水开发利用应当以浅层地下水为主。深层地下水作为战略储备水源、应急供水水源、无替代水源地区的居民生活水源，应当严格限制开采。		
		能源	1.采暖季前，在保障能源供应的前提下，廊坊市全市域基本完成生活和冬季取暖散煤替代，市主城区清洁取暖率达到 100%。 2.淘汰集中供热管网覆盖范围内的燃煤锅炉和散煤，在不具备热电联产集中供热条件的地区，可按等容量替代的原则，建设大容量燃煤锅炉进行集中供热替代。	本项目供热采用换热站、冷机热回收和风冷热泵，不使用燃煤锅炉	符合
	产业总体管控要求	产业总体布局要求	1.禁止建设《产业结构调整指导目录》中限制类、淘汰类产业项目，《市场准入负面清单》中禁止准入类及《河北省禁止投资的产业目录》、《河北省新增限制和淘汰类产业目录》中的产业项目。2.严格控制《环境保护综合名录》所列“高污染、高风险”管控项目。新建、改建、扩建相关项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，满足廊坊市污染物总量、排污许可、环评及产业准入等环境管理要求。 3.禁止建设《产业发展与转移指导目录》中引导逐步调整退出的产业和引导不再承接的产业。 4.禁止建设《禁止用地项目目录》中产业项目 and 不符合《限制用地项目目录》规定条件的产业项目。 5.禁止建设《河北省京津冀交界地区新增产业的禁止和限制目录》中禁止、限制类产业。 6.境外投资者不得从事《外商投资产业指导目录》（外商投资准入负面清单）中的禁止类项目 and 不符合《外商投资产业指导目录》（外商投资准入负面清单）中规定条件的限制类项目。	本项目未列入国家、地方准入负面清单。符合国家、地方产业政策	符合

表 1-4 廊坊市环境管控单元生态环境准入要求符合性分析表				
所属乡镇	管控单元	管控措施	本项目情况	符合性
廊坊开发区	重点管控单元	严格落实廊坊经济技术开发区规划及规划环评的准入要求。限制占用农田的项目入驻（项目占地调整为工业用地后可以入驻），限制占用区域大气污染物总量控制指标较大的项目入驻（实施总量削减、清洁生产后满足国家和地方总量控制要求的项目可以入驻）。废水含难降解的有机污染物、“三致”污染物项目禁止入园；生产工艺或生产设备落后、不符合国家相关产业政策、达不到规模经济的项目禁止入园。	本项目符合规划及规划环评准入要求，用地为工业用地。	符合
		涉 VOCs 工业企业大气污染物排放执行河北省《工业企业挥发性有机物排放控制标准》（DB13/2322）等。锅炉大气污染物排放执行《锅炉大气污染物排放标准》（DB13/5161）。装备制造、汽车及零部件制造等涉及工业涂装的行业，除特种设备特殊需求外，2035 年全部使用粉末、水性、高固体份、辐射固化等低 VOCs 含量的涂料替代溶剂型涂料。完善污水收集处理设施建设，水污染物排放执行《城镇污水处理厂水污染物排放标准》（DB11/890）中 B 标准。现状企业应通过原辅材料升级、工艺技术及装备升级改造等措施，提高污染物收集、处理效率，有效减低区域污染物排放。	本项目正常工况下无废气产生。本项目无锅炉。	符合
		城市建成区落实深层地下水禁采要求。	本项目采用开发区市政供水管网供水，不开采地下水	符合

二、建设项目工程分析

建设内容	1.项目概况 1.1 建设单位情况 廊坊新奥聚变科技有限公司（以下简称廊坊新奥聚变）位于河北省廊坊市经济技术开发区华祥路 118 号 0392 丘 1 幢 4-401 室，公司成立于 2026 年 6 月 11 日，隶属新奥集团，是新奥为推进球形环氢硼等离子体平台建设项目设立的专门主体。廊坊新奥聚变承接新奥在聚变领域的研究基础与成果，具备坚实的技术积淀，专注负责氢硼聚变项目的建设、运营及商业化推进。 1.2 项目背景和目的 受控核聚变被全球公认为解决人类能源危机的最佳途径，目前主流聚变技术路线及相关装置仍存在诸多商业化落地制约。其中，国际上主流的氘氘聚变路线，虽然技术相对易实现，但氘来源极其有限、价格昂贵且具有放射性，聚变过程中释放的高能中子还会引发较高感生放射性。且氘氘聚变会产生高能中子，氘氘聚变所用氘资源稀缺，均难以满足商业化发展需求。 在此背景下，经全球调研与探索论证，新奥选定聚变反应无中子的氢硼聚变技术路线，采用球形环托卡马克实验装置设计以提升实验效率。该路线所用燃料氢和硼储量丰富、易于获取，聚变反应可直接发电且无高能中子产生，具备显著的商业化优势，为后续新型聚变装置的研发奠定了核心技术基础。 为推动氢硼聚变技术研发，新奥此前已建成并迭代升级“玄龙”系列聚变实验装置： （1）2019 年，建成国内首座中等规模球形环托卡马克等离子体实验装置“玄龙-50”，该装置采用氢气作为工作介质，并开展了等离子体实验研究。 （2）2024 年，将“玄龙-50”装置升级改造为“玄龙-50U”，使用氢硼作为工作介质，提高等离子体密度、温度、约束时间等参数，对主机系统的真空室和磁场线圈核心部件进行了升级。增加了欧姆电流驱动和中性束加热系统，并对电子回旋加热系统及低杂波加热系统进行升级。装置升级后进行了第二阶段研发实验。
------	---

(3) 2026 年对“玄龙-50U”再次进行了升级改造，将等离子体电流由 500 kA 提升到 1.5 MA，并拟在中性束实验室新增 4 台中性束离子源装置，主要开展等离子体的约束控制及改善相关研究。

新奥在“玄龙-50”系列装置的研发实践中，持续推进氢硼聚变技术探索。玄龙-50 系列装置的合规运行与技术积累，为新聚变装置的研发提供了坚实的实践基础和技术支撑。随着研发工作的不断深入，为进一步突破氢硼聚变领域的科学问题和关键技术瓶颈，验证氢硼聚变的科学可行性，助力氢硼聚变商业化进程，亟须搭建参数更高、功能更完善的新一代聚变实验装置，为此，拟在廊坊建设球形环氢硼等离子体平台，用于开展氢硼聚变相关技术的研发实验工作。项目主要包含 1 套“和龙-2”装置、1 套 200keV 负源离子源装置及 1 套 80keV 离子源装置。2024 年 5 月 7 日，新奥向生态环境部辐射源安全监管司提交了《关于“和龙-2”射线装置分类的请示》，并于 2024 年 11 月 15 日取得生态环境部的复函（辐射函[2024]30 号）（见附件 2），明确“和龙-2”聚变装置参照 II 类射线装置进行管理。根据《射线装置分类》（征求意见稿），200keV 负源离子源装置及 80keV 离子源装置参照 II 类射线装置管理（粒子能量小于 100 兆电子伏的非医用加速器）。2026 年 6 月 11 日，为推进氢硼聚变商业化进程设立廊坊新奥聚变作为专项实施主体，作为本项目的建设单位承担相关工作。廊坊新奥聚变委托中国原子能科学研究院编制本项目环境影响报告表。

1.3 项目建设规模

1.3.1 建设内容

本项目建设“球形环氢硼等离子体平台建设项目”，实施球形环氢硼等离子体大型科研装置研发和中试，包含基础设施、主机、磁体、聚变电源、加热(正负源中性束、电子回旋、离子回旋)、低温、诊断、辅助、控制及人工智能等相关系统。项目建设完成后，进行氢硼物理实验及球形环工程方面的核心技术攻关。

本项目总建筑面积 81150.35m²，建设内容包括：1#装置大楼、2#低温中心、3#冷却中心、4#电源中心、5#厂房等。

本项目单体建筑明细表见表 2-1，项目工程组成及工程内容一览表详见表 2-2。

表 2-1 单体建筑明细表

序号	建筑物名称	总建筑面积/m ²	地上建筑面积/m ²	地下建筑面积/m ²	建筑层数/F		建筑高度/m
					地上	地下	
1	1#装置大楼	43963.20	31324.76	12638.44	5	2B	34
2	2#低温中心	6824.66	6674.61	150.05	3	1B	20.2
3	3#冷却中心	9697.07	9697.07	0	2	-	18.5
4	4#电源中心	7365.42	5910.55	1454.87	2	1B	16.84
5	5#厂房	13300	13300	0	2	-	9.5
6	合计	81150.35	66906.99	14243.36	-	-	-

表 2-2 项目工程组成及工程内容一览表

项目组成		工程内容
主体工程		包括 1#装置大楼、2#低温中心、3#冷却中心、4#电源中心、5#厂房。
		①1#装置大楼：主要为主机车间、电源车间、离子回旋车间、中控大厅、变电所、空调机房、核测量诊断设备间、特气间、戊类库房。
		②2#低温中心：主要功能为低温车间、低温工厂变配电室、实验室。
		③3#冷却中心：主要功能为冷却中心、电子器件备用备件等辅助设备用房。
		④4#电源中心：主要功能为变配电、10 kV 开关室、柴油发电机房。
公用工程		⑤5#厂房为超级电容集装箱。
	供电	用电由市政供电管网供给。
	供水	用水由市政供水管网供给。
	供冷	低温冷冻水主要由水冷冷水机组供应，风冷热泵作为备用冷源。
环保工程	供热	项目主供热方式为利用工业生产的余热，并配备了 2320 kW 的风冷热泵作为辅助热源。
	废气	本项目正常工况下无废气产生。
	废水	生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂。
	噪声	本项目噪声主要来源于机械设备及风机，采取低噪声设备、基础减振、厂房隔声、风机软管连接等降噪措施。
依托	固废	纯水制备产生的废滤芯及废反渗透膜为一般固废，由厂家定期更换回收；化粪池污泥为一般固废，由有资质单位定期清运；废润滑油、废润滑油桶、废乙醇包装瓶、废抹布、废金属吸附剂密闭收集后暂存于危废间，委托有资质单位处理；生活垃圾委托环卫部门处理。
	危废暂存间	依托新奥科技发展有限公司现有危废暂存间，占地面积 50m ² （长 10m×宽 5m×高 2.5m），贮存能力 25t。

工程	办公楼	依托新奥科技园研发工作室的办公楼，生活污水经化粪池处理后排到市政污水管网。
	食堂	依托新奥科技园研发工作室的食堂。食堂位于本项目北侧185m处，目前正在安装设备，预计2026年8月投入使用。食堂提供每日三餐，年运行260天，能容纳360人同时就餐，灶头数13个，设置高效油烟净化设备，并配备风机风量45000m ³ /h，油烟废气经楼顶排气筒排放。食堂设置隔油池处理含油污水，处理后排到市政污水管网。
	租赁中性束实验室	租赁新奥科技发展有限公司闲置1770m ² 车间，车间距离本项目55m。设置一台正离子源中性束和一台负离子源中性束装置，用于本项目配套的中性束实验。

1.3.2 主要生产设备

项目主要设备情况详见下表。

表 2-3 项目主要设备一览表

序号	位置	名 称	型号	单位	数量
1	1# 装 置 大 楼	变压器	SCB14-2500KVA	台	22
2		变压器	SCB14-1600KVA	台	2
3		变压器	SCB14-1250KVA	台	2
4		变压器	SCB14-800KVA	台	2
5		氦气中压压缩机	/	台	2
6		氦气高压压缩机	/	台	2
7		氦气回收气压缩机	/	台	3
8		氦气缓冲罐	/	台	3
9		气囊	/	台	3
10		液氮储罐	/	台	8
11		低压氦气储罐	/	台	18
12		离子回旋装置	1.5 MW	套	6
13		正离子源中性束	4 MW、5 MW、5 MW	套	3
14		负离子源中性束	3 MW	套	1
15		诊断中性束	1 MW	套	1
16		电子回旋	1 MW	套	7
17		真空室	/	套	1
18		液氮杜瓦	/	台	1
19		4K 冷箱	/	台	1
20		GMP	/	台	1
21		循环水泵	700 m ³ /h	台	6用2备
22		循环水泵	450 m ³ /h	台	2用1备
23		闭式冷却塔	800 m ³ /h	台	3
24		闭式冷却塔	500 m ³ /h	台	2
25		开式冷却塔	600 m ³ /h	台	4

26	加压供水装置	35 m ³ /h	套	1
27	自动加药装置	/	套	3
28	超纯水、脱盐水制备装置	超纯水: 20 t/h, 脱盐水: 30 t/h	套	1
29	1#磁悬浮离心式 7 度水机组	3131 kW 冷量需求	台	1
30	2#磁悬浮离心式 7 度水机组	2341 kW 冷量需求	台	2
31	1#螺杆式 7 度水机组	556 kW 冷量需求	台	1
32	2#螺杆式 7 度水机组	200 kW 冷量需求	台	1
33	超纯水降温水箱	容积: 30m ³ , 介质: 超纯水	台	4
34	波加热超纯水降温系统 1 (ICRF) 外循环泵	Q=220m ³ /h, H=60m	台	3
35	波加热超纯水降温系统 2 (ECRH) 外循环泵	Q=350m ³ /h, H=60m	台	3
36	波加热超纯水降温系统自循环泵	Q=50m ³ /h, H=20m	台	2
37	离子源超纯水降温系统外循环泵	Q=250m ³ /h, H=40m	台	3
38	离子源超纯水降温系统自循环泵	Q=15m ³ /h, H=20m	台	2
39	注入器超纯水降温系统外循环泵	Q=260m ³ /h, H=65m	台	3
40	量热靶超纯水降温系统外循环泵	Q=260m ³ /h, H=125m	台	3
41	注入器、量热靶超纯水降温系统自循环泵	Q=120m ³ /h, H=20m	台	2
42	等离子诊断、强场侧限制器超纯水降温系统外循环泵	Q=40m ³ /h, H=55m	台	2
43	偏滤器、第一壁超纯水降温系统外循环泵	Q=150m ³ /h, H=220m	台	2
44	PFCS 超纯水降温系统自循环泵	Q=210m ³ /h, H=20m	台	2
45	磁体线圈超纯水降温系统外循环泵	Q=160m ³ /h, H=80m	台	2

46		磁体线圈超纯水降温系统自循环泵	Q=200m³/h, H=20m	台	3
47		真空降温系统外循环泵	Q=65m³/h, H=60m	台	2
48		真空降温系统自循环泵	Q=60m³/h, H=20m	台	2
49		磁悬浮热水循环泵 1	Q=340m³/h, H=30m	台	3
50		磁悬浮热水循环泵 2	Q=320m³/h, H=30m	台	3
51		磁悬浮 7 度水循环泵 1	Q=300m³/h, H=32m	台	3
52		磁悬浮 7 度水循环泵 2	Q=260m³/h, H=48m	台	3
53		螺杆式 7 度水循环泵 1	Q=50m³/h, H=44m	台	2
54		螺杆式 7 度水循环泵 2	Q=120m³/h, H=40m	台	2
55		波加热超纯水降温系统自循环板式换热器	冷量需求 200kW	台	2
56		波加热超纯水降温系统 1 (ECRH) 外循环板式换热器	冷量需求 200kW	台	2
57		真空降温系统自循环板式换热器	冷量需求 200kW	台	2
58		离子源超纯水降温系统自循环板式换热器	冷量需求 60kW	台	2
59		注入器、量热靶超纯水降温系统自循环板式换热器	冷量需求 550kW	台	2
60		量热靶超纯水降温系统外循环板式换热器	冷量需求 300kW	台	2
61		PFCS 超纯水降温系统自循环板式换热器	冷量需求 1000kW	台	2
62		磁体线圈超纯水降温系统自循环板式换热器	冷量需求 1934kW	台	2
63		电动葫芦	2t	台	3
64	特种	甲烷气瓶柜	/	台	1
65	特种	氢气气瓶柜	/	台	1

66	气体间	三氟化氮气瓶柜	/	台	1
67		氦气气瓶架	/	台	1
68		氖气气瓶架	/	台	1
69		氩气气瓶架	/	台	1
70		乙硼烷气瓶柜	/	台	1
71		乙硼烷吸附筒	/	台	1
72		乙硼烷真空泵	/	台	2
73		三氟化氮真空泵	/	台	2
74	中性束实验室	正离子源中性束	/	台	1
75		负离子源中性束	/	台	1

1.3.3 原辅材料及能源消耗

项目原辅材料及能源消耗情况详见下表。

表 2-4 项目原辅材料及能源消耗情况一览表

序号	名称	规格	储存容器及储存压力	预计最大储存量	用途	储存位置	年使用量
1	乙硼烷（纯度100%）	8L/瓶	气瓶 8~10MPa	27.6g	实验用气、壁处理	特气间（气瓶柜内）	284g
2	氢气	47L/瓶	气瓶 13~15MPa	15.76g	实验用气	特气间、库房	1200g
3	甲烷	47L/瓶	气瓶 13~15MPa	100.96g	备用实验用气（偏滤器送气、弱场侧送气：偏滤器脱靶、辐射冷却）	特气间	0.95g
4	乙硼烷（纯度30%，70%氢气）	8L/瓶	气瓶 8~10MPa	18.4g	实验用气、壁处理	特气间（气瓶柜内）	284g
5	氮气	47L/瓶	气瓶 13~15MPa	411.25g	驱动气/破真空使用	特气间、库房	372700g
6	氩气	47L/瓶	气瓶 13~15MPa	468.12g	诊断标定	特气间、	700g

						库房	
7	氦气	47L/瓶	气瓶 13~15MPa	100.96g	辉光放电清洗、检漏测试	特气间、库房	3400g
8	氩气	8L/瓶	气瓶 13~15MPa	20.16g	实验用气	特气间、库房	500g
9	三氟化氮	47L/瓶	气瓶 13~15MPa	277.3g	壁处理	特气间、库房	1352g
12	75%乙醇	500mL/瓶	瓶装 常压	800g	非正常工况下，擦拭更换的新设备	库房	4000g

本工程主要化学品理化性质见下表。

表 2-5 项目主要化学品理化性质表

甲烷	分子式	CH ₄	外观与性状	无色无臭气体
	分子量	16.04	蒸汽压	53.32 kPa（-168.8℃）
	熔点	-182.5℃	沸点	-161.5℃
	密度	0.42 g/cm ³ （-164℃）	溶解性	微溶于水，溶于乙醇、乙醚。
	危险特性	与空气混合能形成爆炸性混合物，遇明火、高热能引起燃烧爆炸。与氟、氯等能发生剧烈的化学反应。若遇高热，容器内压增大，有开裂和爆炸的危险。		
	健康危害	空气中甲烷浓度过高，能使人窒息。当空气中甲烷达 25～30%时，可引起头痛、头晕、乏力、注意力不集中、呼吸和心跳加速、精细动作障碍等，甚至因缺氧而窒息、昏迷。		
	急性毒性	/		
乙硼烷	分子式	B ₂ H ₆	外观与性状	无色特臭气体
	分子量	27.67	蒸汽压	29.86 kPa（-112℃）
	熔点	-165.5℃	沸点	-92.6℃
	密度	0.45g/cm ³ （-112℃）	溶解性	易溶于二硫化碳
	危险特性	极易燃，与空气混合能形成爆炸性混合物。遇热源和明火有燃烧爆炸的危险。在室温下遇潮湿空气能自燃。与氟、氯、溴等卤素会剧烈反应并能与氟氯烷灭火剂猛烈反应。		
	健康危害	吸入高浓度乙硼烷出现胸闷、气短、干咳、心前区不适；可出现恶心、头痛、发热等症状。重者可发生肺炎、肺水肿。慢性影响：长期接触可能引起肝、肾损害，支气管炎，中枢神经系统症状较轻。		
	急性毒性	LD50：无资料 LC50：58 mg/m ³ (大鼠吸入)；33 mg/m ³ (小鼠吸入)		
乙醇	化学式为 CH ₃ CH ₂ OH，分子量 46.07，CAS 号：64-17-5，外观为无色透明液体，有芳香气味；沸点 78℃，闪点 13℃，相对密度 0.816g/mL，熔点-			

	114.1℃，沸点 78.3℃，危险性描述易燃；乙醇燃烧性很好，是常用的燃料、溶剂和消毒剂等，在有机合成中应用广泛。低毒，过量吸入、饮用会麻醉中枢神经；高浓度蒸汽刺激眼鼻呼吸道，误食可致昏迷、肝肾损伤。常温稳定；可与强氧化剂剧烈反应放热燃爆；与酸、碱基本不反应。
三氟化硼	化学式为 BF ₃ ，分子量 67.8，CAS 号：7637-07-2，相对密度 2.35g/mL，熔点-126.8℃，沸点-100℃，LC50:1180mg/m ³ ，4 小时(大鼠吸入)；不燃；急性中毒：主要症状有干咳、气急、胸闷、胸部紧迫感；部分患者出现恶心、食欲减退、流涎；吸入量多时，有震颤及抽搐，亦可引起肺炎。皮肤接触可致灼伤。
1.3.4 劳动定员及工作制度 本项目劳动定员为 300 人，分为 250 名实验工作人员与 50 名值班巡检人员。实验工作人员年工作 260 天，日工作 10 小时，白班制；值班巡检人员年工作 260 天，每日 24 小时，四班三倒制。 1.3.5 公用工程 (1) 给水： 本项目供水水源为廊坊经济技术开发区供水中心自来水，水质、水量可满足本工程的用水需求。本项目用水主要为生产用水和生活用水，新鲜水用量为 2109.73m³/d，年用水量 545459.04m³/a。 ①新鲜水 本项目生产用水主要为制冷站用水、3#冷却中心开式塔用水、3#冷却中心冷却塔用水、脱盐水及超纯水制备的精密空调和工艺降温用水、绿化浇灌、道路洒水。生活用水主要为值班人员用水。 A.生活用水 根据《河北省地方标准用水定额第 1 部分：居民生活》(DB13/T5450.1-2021)中的用水定额进行计算，每人每年 18.5~22.0m³，本项目每人每年用水量按 20m³，本项目实验人员 250 人依托新奥科技园研发工作室的办公楼，生活用水已考虑。本次仅考虑本项目厂区内值班人员 50 人的生活用水，本项目年运行 260 天，则生活用水量为 3.85m³/d (1000m³/a)。 B.制冷站用水 除 1#装置大楼外的空调冷源系统维持温度，需要定期更换，根据设计单位提供的资料：用水包括循环水量和塔补水量，循环水流量为 43200m³/d，年运营 260	

天，每天 24h，进出水温差为 5℃，无加湿蒸发量，补水量与排污水量一致，约为循环水量的 0.055%。则新鲜水补水量为 24m³/d（6240m³/a）。

C.3#冷却中心开式塔用水

3#冷却中心开式塔给实验装置供水。根据设计单位提供的资料：用水包括循环水量和塔补水量，循环水流量为 72000m³/d，年运营 260 天，每天 24h，进出水温差为 5℃，补水量与蒸发、风吹和排污总水量一致，约为循环水量的 1.5%。则新鲜水补水量为 1080m³/d（280800m³/a）。

D.3#冷却中心冷却塔用水

3#冷却中心冷却塔为开式塔，供水至空调加湿系统，加湿水量 78%蒸发，22%定期更换外排。根据设计单位提供的资料：用水包括循环水量和补水量，循环水流量为 44928m³/d，年运营 260 天，每天 24h，进出水温差为 5℃，补水量与蒸发、风吹和排污总水量一致，约为循环水量的 1.5%。则补水量为 674m³/d（175240m³/a）。

E.脱盐水

脱盐水采用新鲜水制备，工艺为“UF+超滤+一级 RO 反渗透”，仅供给 1#装置大楼的精密空调系统加湿和维持温度用水。根据设计单位提供的资料：脱盐水装置年运行 260 天，日运行 24h，新鲜水量为 48m³/d（12480m³/a），其中制备效率 90%制备脱盐水（43.2m³/d），10%为浓水（4.8m³/d）。

43.2m³/d 脱盐水用于 1#装置大楼的精密空调系统，其中 28.3m³/d 用于加湿蒸发不外排、14.9m³/d 用于维持温度冷凝废水每日定期外排。

F.超纯水

超纯水采用新鲜水制备，工艺为“超滤+一级 RO 反渗透+二级 RO 反渗透+UV 杀菌器+微膜+EDI”。超纯水仅供给 1#装置大楼的工艺循环降温系统用水。根据设计单位提供的资料：脱盐水装置根据需要间歇运行，新鲜水用量为 240m³/d，其中制备效率 90%制备超纯水 216m³/d，10%为浓水（24m³/d），二级 RO 反渗透产生的浓水进入超滤系统过滤，不外排。

216m³/d 超纯水供给 1#装置大楼的工艺循环降温系统用水，其中 156m³/d 用于加湿蒸发不外排、60m³/d 冷凝废水每日定期外排。

G.绿化浇灌

根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）中的用水定额进行计算，绿地浇洒用水定额按 $2\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 计算，绿化面积 9939m^2 ，年绿化浇洒按 183 天计，则绿地浇洒日用新鲜水量约 $19.88\text{m}^3/\text{d}$ ，年用新鲜水量约 $3637.67\text{m}^3/\text{a}$ 。

H.道路浇洒

根据《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019）中的用水定额进行计算，道路浇洒用水定额按 $2\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 计算，道路面积 10000m^2 ，则道路浇洒日用新鲜水量约 $20\text{m}^3/\text{d}$ ，年道路浇洒按 183 天计，年用新鲜水量约 $5200\text{m}^3/\text{a}$ 。

（2）排水：

本项目采用雨、污分流排水系统。

绿化浇灌、道路浇洒最终全部蒸发、下渗，不排放。排水主要为生活污水、软水制备浓水、冷却循环系统定期排污水，排水量共计 $635.37\text{m}^3/\text{d}$

（ $165196.2\text{m}^3/\text{a}$ ）。

①生活污水

根据《城市排水工程规划规范》（GB50318-2017）中“表 4.2.3 城市分类污水排放系数”中“城市综合生活污水的污水排放系数为 $0.8\sim 0.9$ ”，生活污水排放量按用水量的 85% 计算，则生活污水排水量为 $3.27\text{m}^3/\text{d}$ （ $850.2\text{m}^3/\text{a}$ ）。

②软水制备浓水

软水制备浓水为脱盐水和超纯水设备浓水。制备效率 90% 左右，本项目软水设备新鲜水总用水量为 $288\text{m}^3/\text{d}$ ；则制水浓水排放量为 $28.8\text{m}^3/\text{d}$ （ $7488\text{m}^3/\text{a}$ ）。

③冷却循环系统定期排污水

冷却循环系统定期排污水分为制冷站、3#冷却中心开式塔、1#装置大楼的精密空调、1#装置大楼的工艺循环降温系统定期排污水，共计排水量为 $603.3\text{m}^3/\text{d}$ （ $118378\text{m}^3/\text{a}$ ）。

根据设计单位提供的资料：

- 1) 制冷站定期排水量约为循环用水量的 0.055%，即 $24\text{m}^3/\text{d}$ ；
- 2) 3#冷却中心开式塔定期排水量约为补水量的 33% 即 $356.4\text{m}^3/\text{d}$ ；
- 3) 3#冷却中心冷却塔定期排水量约为补水量的 22% 即 $148\text{m}^3/\text{d}$ ；
- 4) 1#装置大楼的精密空调： $14.9\text{m}^3/\text{d}$ 用于维持温度冷凝废水每日定期外排；
- 5) 1#装置大楼的工艺循环降温系统： $60\text{m}^3/\text{d}$ 冷凝废水每日定期外排。

本项目的生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂，项目废水可达标排放，不会对周边水环境造成不良影响。

表 2-6 项目用水情况一览表 单位：m³/d

用水类型	用水项目	平均用水量	循环用水量	产污系数	排水量	排放去向
新鲜水	生活用水	3.85	0	85%	3.27	经化粪池处理后，排入园区污水管网
	制冷站用水	24	43200	100%	24	排入园区污水管网
	3#冷却中心开式塔用水	1080	72000	33%	356.4	
	3#冷却中心冷却塔用水	674	44928	22%	148	
	脱盐水--1#装置大楼精密空调用水	48	0	41%	19.7	
	超纯水--1#装置大楼工艺循环降温系统用水	240	0	35%	84	蒸发、下渗
	绿化浇灌	19.88	0	100%	0	
	道路浇洒	20	0	100%	0	蒸发、下渗
新鲜水合计		2109.73	160128	/	635.37	/

(2) 供电：本项目用电由市政供电网供给。

(3) 供热及制冷

本项目冬季主供热方式为 5500KW 的换热站，充分利用热回收量为 3400KW 冷机热回收，并配备了 1260KW 的风冷热泵作为辅助热源。热回收机组包括工艺和非工艺的制冷机房的热回收机组，采用热回收机组供低温热水。正常运行时换热站和风冷热泵热水可给低温热水备用。非工作时间热回收量减少时，以换热站和风冷热泵供热为主。

本项目制冷的低温冷冻水主要由水冷冷水机组供应，风冷热泵作为备用冷源。

1.3.6 环保投资

本项目总投资 460000 万元，其中环保投资 4140 万元，环保投资约占总投资的 0.9%，主要用于废气、废水、噪声和辐射治理、风险防范措施，具体环保投资见表 2-7。

表 2-7 环保投资情况一览表

项目	环保设施	费用（万元）
废气	废气：排风机	300
废水	化粪池	100
噪声	采用低噪声设备，基础减振	60
固废	危险废物委托处置，生活垃圾清运	50
屏蔽	铅门、混凝土	2000
风险	风险防范措施	1630
合计		4140

1.4 地理位置及周围环境布局

本项目位于廊坊市广阳区，项目地理位置详见附图 2，项目周边关系详见附图 3。项目周围 50 m 评价范围内无国家、省、市规定的重点文物保护单位、风景名胜、革命历史古迹、集中式水源地等。

“和龙-2”装置所在厂区分分为南北两个地块，为方便表述分别命名为南块地和北块地。南地块场地为 L 形，南北向长约 231.5m，东西向长约 466.01m，用地面积 67850.03 m²。南地块南侧与新奥科技园 -C 座隔路（新源道）相望；东侧与东科信和威卢克斯隔路（华祥路）相望；L 形“Ⅰ”部位北侧为新奥光伏，西侧为空地；L 形“-”部位北侧为新奥科技园设备楼和北地块，西侧为新奥光伏，“-”部分包含 1#厂房（装置楼）、2#厂房（低温中心），“Ⅰ”部分包含 4#厂房（电源中心）、5#厂房。北块地包含 3#厂房（冷却中心）。北地块场地为矩形，南北向长约 109.85m，东西向长约 102.26m，用地面积 11234.07 m²。北块地南侧为南块地，东侧与威卢克斯隔路（华祥路）相望，北侧与新奥信息大厦隔路（百合道）相望，西侧为新奥科技园设备楼。“和龙-2”位于南块地“-”部分的 1#厂房（装置楼）内。以 1#厂房（装置楼）为中心，2#厂房（低温中心）位于其北侧，5#厂房位于其西侧。4#厂房（电源中心）位于 5#厂房的西侧。3#厂房（冷却中心）位于 2#厂房（低温中心）的北侧。

两套中性束装置位于聚变中心中性束实验室，实验室南侧为库房、ECRH 调试区，北侧为配电室、库房以及中性束装置控制室，西侧为园区内部道路，隔路为空地，东侧为配电室。

厂区总平面布局图见附图 4。

2.项目特征

2.1 项目平面布局

2.1.1 “和龙-2” 装置

“和龙-2” 装置建于 1#厂房（装置楼）内，该建筑位于整个厂区中心，是一栋地上 5 层、地下 2 层的建筑，各层平面布局图见附图 5，其中：

（1）负二层只有主机车间负二层设备层。主机车间贯穿所有楼层，为方便描述各房间位置关系，各层均以主机车间为基准进行描述。

（2）负一层以主机车间负一层设备层为中心，各方位房间布局如下：

1）车间北侧：以主机车间负一层设备层北侧东西向主走廊为界，南北两侧房间布局如下：

i 走廊北侧（由西至东）

依次为给弱电进线间、空调机房&加压机房、高温氮气间、排烟机房、空调机房&加压机房、工具间、预留设备间、消防水泵房。

ii 走廊南侧（由西至东）

依次为预留设备间、细水雾机房、给水机房和 RO 水处理间、开水间、预留设备间、核测量诊断间、辐射诊断间 01、激光诊断间 01、激光诊断间 01-设备间。

2）车间南侧：自西向东依次为排烟机房&空调机房、光学诊断间 01、光谱诊断间 02 设备间、光谱诊断间 02、电磁测量诊断间、排烟机房、工具间。

3）车间西侧：无房间。

4）车间东侧：无房间。

（3）一层以主机车间为中心，各方位房间布局如下：

1）车间北侧：主机车间北部（内侧）为核测量诊断设备间，北侧（外部）依次为辅控机房、离子回旋车间，西北侧为 ICRF 调试区、离子回旋控制间，东北侧为 1#变电室、空调机房。

	2) 车间南侧：主机车间南部（内侧）为微波诊断设备间，紧邻南墙外侧为中控大厅，最南侧为大厅，中控大厅西侧为交流厅，中控大厅东西两侧分布有多个配套用房和交班室。 3) 车间西侧：主机车间西侧为预装车间和其北侧的空调机房。 4) 车间东侧：主机车间东侧为 200 kV 电源车间。 (4) 二层以主机车间上空为中心，各方位房间布局如下： 1) 车间北侧：主机车间上空北部（内侧）为参观平台，北侧（外部）为离子回旋车间上空，西北侧为辅控机房屋顶、空调机房，东北侧为 2#变电室、空调机房上空。 2) 车间南侧：主机车间上空南部（内侧）为参观平台，南侧（外部）为中控大厅上空，其东西两侧分布有配套机房和交班室，最南侧为大厅上空区域。 3) 车间西侧：主机车间上空西侧为预装车间上空和其北侧的中性束控制机房。 4) 车间东侧：主机车间上空东侧为 200 kV 电源车间上空。 (5) 三层以主机车间上空为中心，各方位房间布局如下： 1) 车间北侧：主机车间上空北侧为电子回旋车间，西北侧为 ECRH 控制室和调试区，东北侧为 3#工艺配电室、空调机房。 2) 车间南侧：主机车间上空南侧为不上人屋面。 3) 车间西侧：主机车间上空西侧为预装车间上空、工具间。 4) 车间东侧：主机车间上空东侧为 200 kV 电源车间上空。 (6) 四层以主机车间上空为中心，各方位房间布局如下： 1) 车间北侧：主机车间上空北侧为电子回旋车间上空，西北侧为 ECRH 控制室和调试区上空，东北侧为工具间、空调机房上空。 2) 车间南侧：主机车间上空南侧无房间。 3) 车间西侧：主机车间上空西侧为预装车间上空、空调机房。 4) 车间东侧：主机车间上空东侧为 200 kV 电源车间。 (7) 五层以主机车间上空为中心，各方位房间布局如下： 1) 车间北侧、西侧：主机车间上空整个北侧和整个西侧为 100 kV 电源车间，西北角和东北角均为空调机房。
--	--

2) 车间南侧：主机车间上空南侧无房间。

3) 车间东侧：主机车间上空东侧为 200 kV 电源车间上空。

2.1.2 中性束实验室：

两套中性束装置位于聚变中心中性束实验室，具体位置为原光伏车间北侧区域，整个实验室南北长度约 18 米，东西长度约 84 米，各层平面布局图见附图 5，其中：

(1)地面一层放置主设备，地下室区域主要放置附属设备；

地面一层各位置布局：实验室中部为 200keV 负源离子源装置，西部为 80keV 离子源装置；

南侧为库房及 ECRH 实验室，北侧从东往西依次为 200keV 负源控制室、两间库房、80keV 离子源控制室、配电室；

(2)负一层以附属设备为主，中间区域建设混凝土防护墙，将 200keV 负源真空室及离子源进行屏蔽防护，西侧主要为真空系统，冷却水系统等附属设备；

地下室南侧无建筑，北侧为走廊；

2.2 装置概况

2.2.1 主要参数

2.2.1.1 “和龙-2” 装置设计参数

“和龙-2” 装置主要设计参数见表 2-8。

表 2-8 “和龙-2” 主要设计参数

设计参数	数值
平均/峰值离子温度 T_i (keV)	~30
平均/峰值密度 n_e (m^{-3})	~1.3E20
约束时间 τ_E (s)	0.5
大半径 R_0 (m)	1.05
环径比 A	1.85
磁场 B_{T0} (T)	3.0
加热功率 P_{heat} (MW)	31
等离子体电流 I_p (MA)	3.0

2.2.1.2 中性束装置设计参数

中性束装置主要设计参数见表 2-9。

表 2-9 80keV 离子源相关参数

物理参数	参数水平	单位
能量	80	keV
束流	50	A
靶材（碳）	100 长×70 宽×0.5 厚	cm
打靶光斑尺寸	70×50	cm
真空室尺寸	360 长×300 宽×230 高	cm
真空室材质	2cm 厚 306L 不锈钢	

表 2-10 200keV 负离子源相关参数

物理参数	参数水平	单位
能量	200	keV
束流	20	A
靶材（无氧铜）	V 字形无氧铜靶，开口宽 70cm， 单个靶长度 100cm，高度 120cm	cm
打靶光斑尺寸	单个靶材上面光斑尺寸 70*86cm	cm
真空室尺寸	354 长×354 宽×240 高	cm
真空室材质	2cm 厚 304 不锈钢	

2.2.2 “和龙-2”系统组成

“和龙-2”等离子体物理实验装置，旨在全面验证氢硼热核反应及能量增益，成功点亮氢硼第一盏灯。装置建设完成后，将进行氢硼物理实验及球形环工程方面的核心技术攻关，一方面奠定氢硼燃烧等离子体科学基础；另一方面前瞻布局下一代燃烧等离子体实验装置（“和龙-3”），探索能量增益技术路径并开展发电演示，为商业化聚变能源奠定工程与技术基础。

装置整体由主机、真空系统、电源系统、加热系统、低温系统、诊断系统、运行控制系统等部分组成。

本节由主机系统和辅助系统两部分组成。

2.2.2.1 主机系统

主机部分总高约 13 m，直径约 8 m，由真空室、杜瓦、磁体线圈及支撑四部分组成。

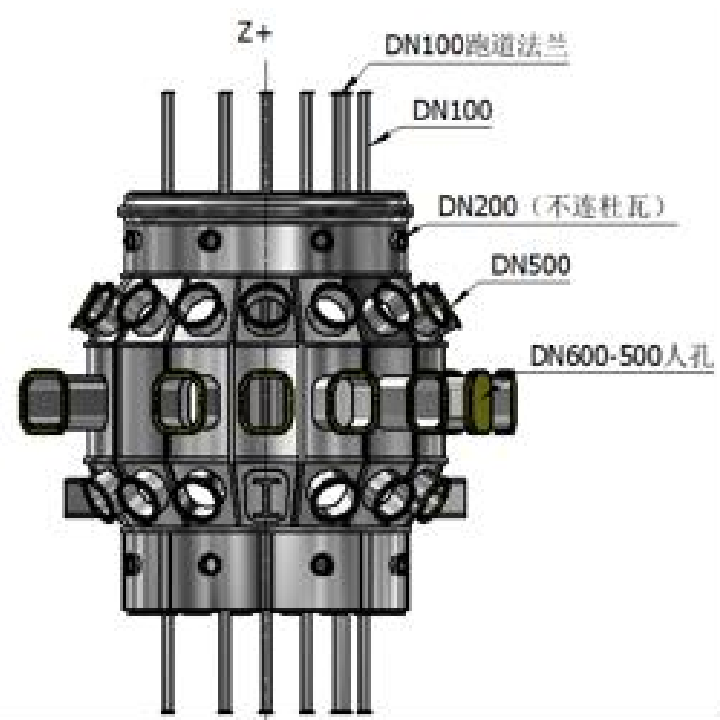
2.2.2.1.1 真空室

“和龙-2”装置真空室提供超高真空环境，容纳高温等离子体，提供因破裂或垂直位移导致等离子熄灭时释放其储能的回路，并能承受巨大的电动力的冲击。真空室还提供等离子诊断和辅助加热系统要求的各种窗口。

真空室为单层全焊接结构，主要由中心管组件、筒体组件、及支撑组成，结构如图 2-1 所示。筒体上开有 69 个窗口，窗口通过波纹管（刀口密封和弹性金属圈密封法兰）与杜瓦连接，如图 2-2 所示。其外形尺寸最大直径约 4260 mm，高度约 7420 mm。

真空室筒体环向和纵向设置有加强筋，保证结构强度和稳定性，加强筋还作为（PF1-10）线圈的支撑。

“和龙-2”真空室材料的主体材料选用 Inconel 625 镍基合金钢和窗口及加强筋选用低磁导率 316L 不锈钢，Inconel 625 它在高温下具有较高的电阻率和机械强



度。

图 2-1 “和龙-2” 真空室结构示意图

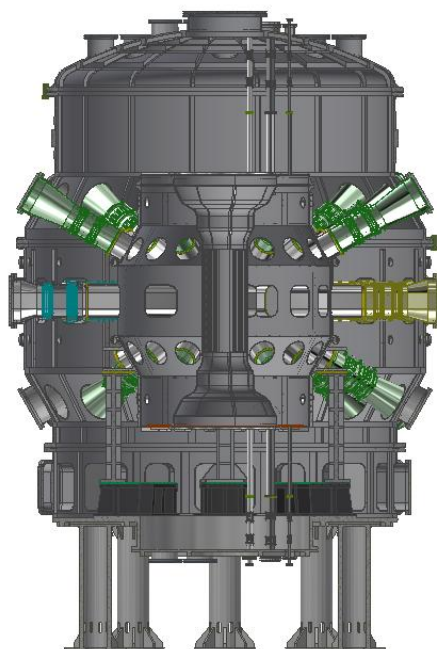


图 2-2 “和龙-2” 杜瓦与真空室连接示意图

2.2.2.1.2 杜瓦

杜瓦结构是“和龙-2”装置最外层的部件，为主机部件（真空室、磁体、磁体支撑）提供支撑结构，在实际运行过程中，杜瓦不仅承受自身重力、内压和外压等静力载荷，而且还受到地震载荷、热载荷和电磁载荷的作用。同时，杜瓦为磁体系统和其他低温组件提供一个真空隔热环境，隔离来自外界的热负荷；也为真空室窗口提供连接端口，为真空室内部布局提供维修更换和冷却系统通道。

“和龙-2”杜瓦为单层结构，主要由顶盖、中间环体、底座三大部分组成，杜瓦四部分最终连接成一体，均通过法兰胶圈密封的形式进行连接。杜瓦筒体上开有 97 个窗口，与真空室的窗口通过波纹管连接。

杜瓦筒体尺寸最大直径约 7760 mm，总高度约 12310 mm 结构，首选材料为 SS304 和 SS304L（ASTMA240），其具有较高的电阻率和屈服强度。如图 2-3 所示。

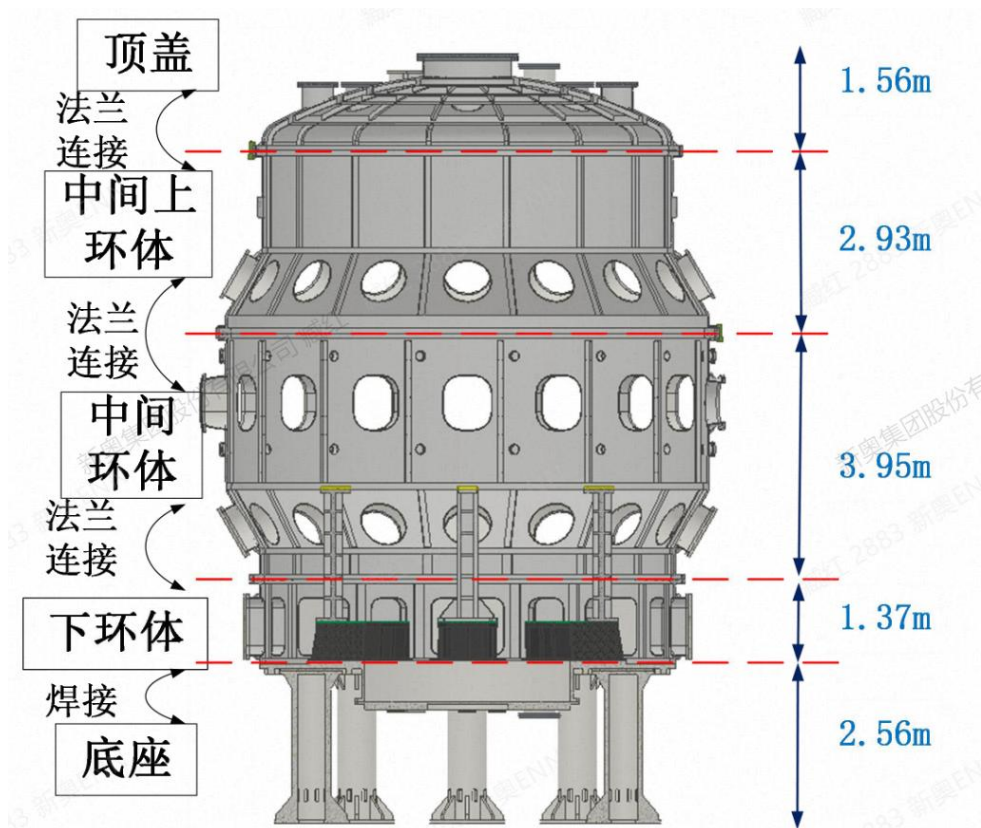


图 2-3 杜瓦结构示意图

“和龙-2”真空室根据 PF 排布，截面形状为多边形结构，考虑加工形式，杜瓦采用单层全焊接结构，整体主要由三段不等径圆筒组成，上下两段圆筒直径相同，中间段圆筒直径最大。

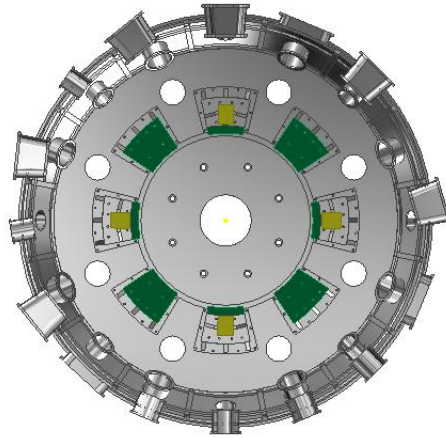


图 2-4 杜瓦中平面剖视图

杜瓦的基座由于承载着主机及其他系统大部分的载荷，所以整体材料选择为 SS304，基座分上下两部分：上环体和下裙座，下裙座设计有两种，上圆弧式和平板式，如图 2-5 所示。裙座下面设计有 8 根支撑腿，直径为 700 mm，整个基座平台和支撑腿都设计有大量的加强筋，以保证基座的稳固。

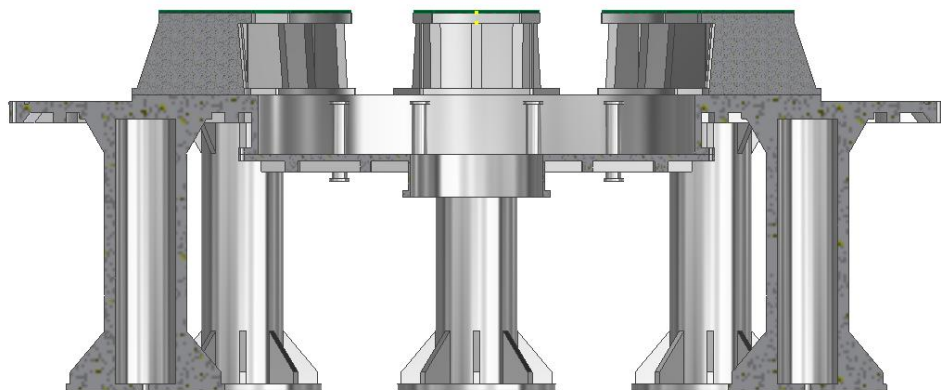


图 2-5 杜瓦基座结构示意图

杜瓦上的窗口主要根据真空室窗口而定，主要用作真空系统、加热系统以及诊断系统的连接通道，杜瓦与真空室之间的连接主要通过波纹管连接。

2.2.2.1.3 磁体线圈

磁体线圈属于装置主机系统一部分，安装在杜瓦之内。主要作用为：

- (1) 产生磁场约束等离子体；
- (2) 控制等离子体位形；
- (3) 产生建立、加热和维持等离子体。

是聚变装置的核心部件。

磁体线圈系统主要包括：环向场线圈、极向场线圈。

(1) 环向场线圈

是球形环装置的核心部件，它处在真空室的外面，沿着环形真空室的中心轴线形成的大圆均匀布置，一般由十到三十来个线圈组成。由于球形环装置是轴对称结构，都用柱坐标系 (R, Z, ϕ) 来描述。环向场线圈产生的磁力线都是指向 ϕ 方向的称为环向磁场 (TF: Toroidal Field)。磁力线指向 RZ 平面任意方向的磁场称为极向磁场 (PF: Poloidal Field)，也就是在与等离子体电流构成同轴圆形线圈中流动的电流产生的磁场。产生极向磁场的线圈称为极向场线圈。

环向场线圈产生的环向磁场与等离子体电流产生的极向磁场合成后形成的嵌套螺旋磁面用来约束等离子体。环向磁场强度远远大于极向磁场。

环向场线圈产生的环向磁场作用如下：

- 1) 约束等离子体；
- 2) 环向磁场对抑制等离子体不稳定性至关重要，如：扭曲模：强环向磁场可抑制大尺度扭曲不稳定性；气球模：高环向磁场可提高临界 β 极限，增强等离子体稳定性等；
- 3) 环向场影响无感等离子体电流驱动。在球形环中，由于低环径比，正确地选择环向磁场会明显地提高无感电流驱动（如中性束注入、射频波加热）效率。
- 4) 环向磁场 B_t 直接参与几乎所有托卡马克关键物理参数的计算，包括：平衡与稳定性（安全因子 q 、比压 β 、磁场剪切 s ）；约束性能（能量约束时间 τ_E 、阿尔芬时间 τ_A ）；工程极限（线圈应力、磁场强度）。

5) 环向场线圈设计参数

6) “和龙-2”装置磁体线圈设计使用两种冷却工况：i 低温氦气冷却，运行在低温环境（30 K），运行温区设计为 30 K-100 K；ii 使用去离子水冷却，运行在常温环境，正常运行温度设计为 20 °C-100 °C。

7) 环向场线圈（TF 线圈）的主要作用是产生环向磁场，约束等离子体。

8) 低温氦气冷却运行：TF 线圈需在大半径（ $R=1.05\text{ m}$ ）处产生 3 T 环向磁场。TF 线圈设计匝数为 16×5 ，单匝电流最大电流为 200 kA。

水冷运行：TF 线圈需在大半径（ $R=1.05\text{ m}$ ）处产生 2 T 环向磁场。TF 线圈设计匝数为 16×5 ，单匝电流最大电流为 130 kA。

为保证 TF 线圈平顶运行时间，环向场线圈中心柱和直段材料均选用银铜合金，因其导电率比铬锆铜高，但强度偏低。环向场线圈绝缘材料采用环氧树脂、聚酰亚胺和玻璃丝带等制成的复合材料。

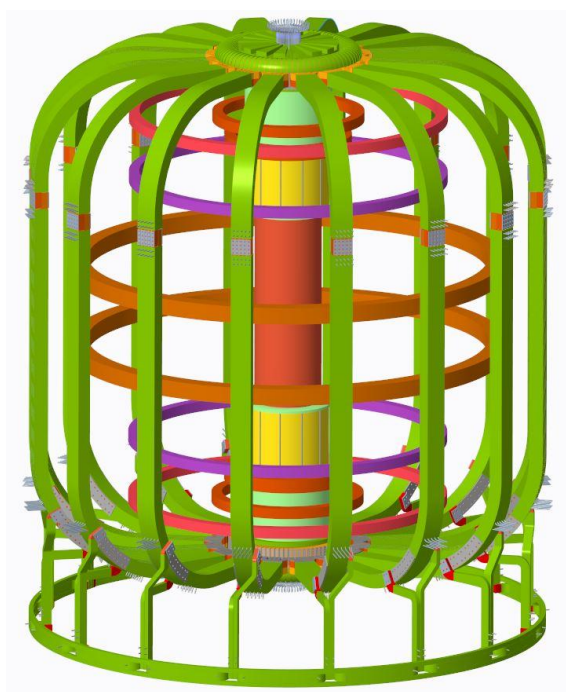


图 2-6 磁体线圈模型图

(2) 极向场线圈：

极向场线圈（Poloidal Field Coil，简称 PF 线圈）圆心位于装置中心线上，平行于中平面且布置在等离子体周围的圆形线圈，用于产生、建立和维持等离子体电流，控制等离子体平衡和位形。具体包括：用于产生、建立和维持等离子体电流的欧姆线圈（中心螺线管和用于产生零磁场的外部线圈）；控制等离子体在垂直和水平方向平衡的线圈；产生和维持偏滤器和限制器位形的线圈；以及控制垂直位移的线圈。

目前“和龙-2”的 PF 线圈系统设计共由 17 个线圈构成，按 PF 的功能分类，可分为：1）欧姆线圈(CS)；2）偏滤器线圈（PF1-PF8）；3）极向场线圈（PF9-PF12）；4）被动和主动 VDE 控制线圈。

“和龙-2”装置磁体极向场线圈中，欧姆线圈和 PF1/2 线圈设计使用两种冷却运行工况：低温氦气冷却和去离子水冷却。

使用低温氦气冷却时，运行在低温环境（30 K），正常运行温区设计为 30 K-100 K；

使用去离子水冷却，运行在常温环境，正常运行温度设计为 20 °C~100 °C。

其余 PF 线圈均采用去离子水冷却，运行在常温环境，正常运行温度设计为 20 °C~100 °C。

2.2.2.1.4 支撑结构

“和龙-2”装置的支撑结构主要包括环向磁场线圈支撑结构（以下简称为 TFS），极向磁场线圈支撑结构（以下简称为 PFS）和抗扭支撑结构。支撑结构既要满足承重的强度、刚度要求，主要包括重力载荷和电磁载荷等，又要满足运行、烘烤以及低温冷却等工况下的热胀冷缩引起的变形要求，还应充分考虑地震载荷、等离子体破裂和垂直位移事件(VDEs)期间的电磁负载。

支撑结构的模型图如图 2-7 所示。“和龙-2”支撑结构总高 8780 mm，外径 7900 mm，主体材质 SS304，总重量约 200 t。

--	--

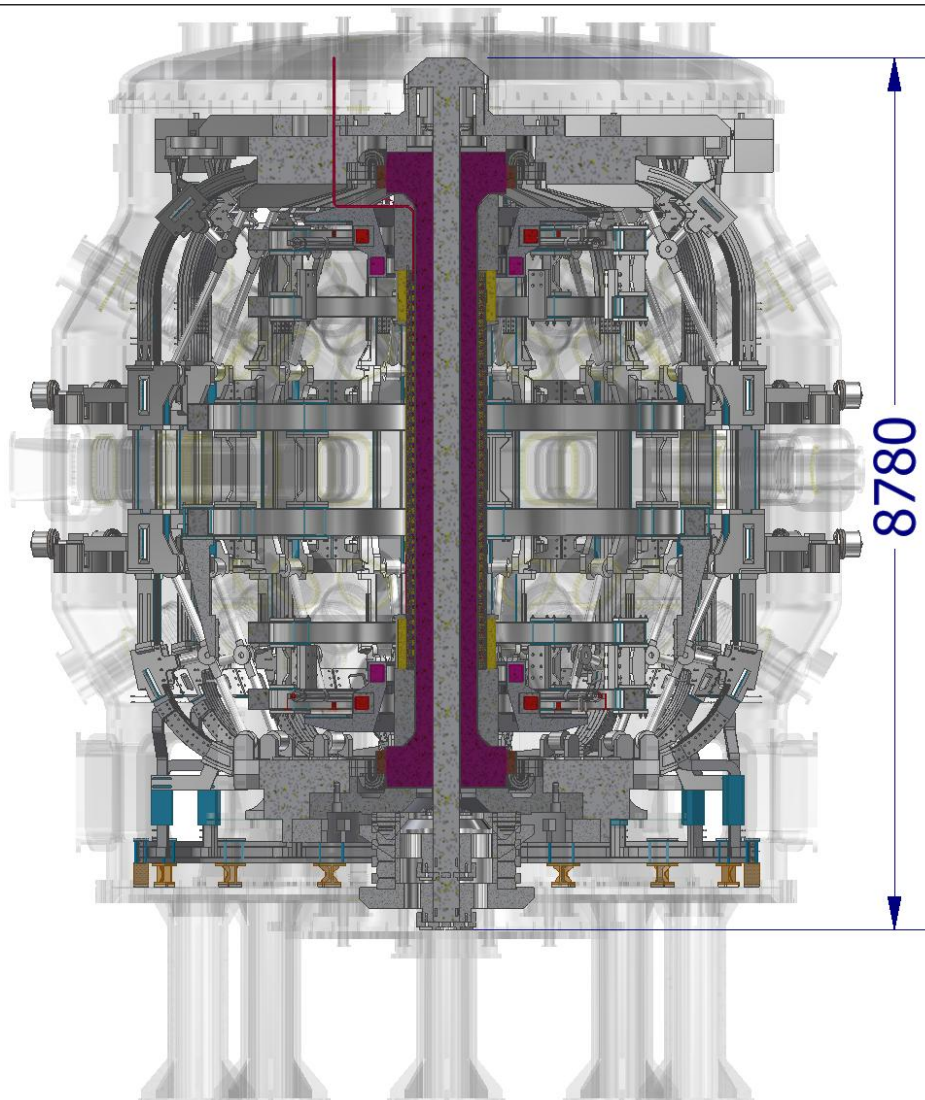


图 2-7 支撑结构模型图

2.2.2.2 辅助系统

辅助系统由真空系统、电源系统、加热系统、诊断系统、数据采集控制系统组成。各辅助系统所在位置见表 2-11。

表 2-11 各辅助系统所在房间位置

辅助系统		位置
真空系统	真空抽气系统	主机车间
	送气系统	主机车间
	壁处理系统	主机车间
电源系统	磁体电源	一层 200 kV 电源车间
	高压电源	五层 100 kV 电源车间
低温系统	20 K 超临界氦系统	4#动力中心

	4.5 K 超临界氦系统	4#动力中心
加热系统	欧姆加热系统	主机车间
	中性束加热系统	主机车间
	电子回旋加热系统	三层电子回旋车间
	离子回旋加热系统	一层离子回旋车间
诊断系统	磁测量	主机车间
	成像系统	主机车间
	HXR 诊断	主机车间
	CO ₂ 色散干涉仪	负一层激光诊断间
	H _α 诊断	主机车间
	快速杂质谱线	主机车间
	X-γ 诊断	主机车间
	105/140 GHz 杂散波测量诊断系统	主机车间
数据采集控制系统		主机车间及一层主控机房

2.2.2.2.1 真空系统

真空系统主要包括真空抽气系统、送气系统、壁处理系统。

2.2.2.2.1.1 抽气系统

“和龙-2”装置主体设计采用了内、外真空室的形式，内真空室就是等离子体的放电空间，外真空室作为绝热空间。

在等离子体放电过程中，产生的等离子体与内真空室壁表面相互作用，会使壁材料释放出大量杂质气体进入等离子体中，不仅会使热辐射损失增大，减少了反应的有效能量，甚至可能中止等离子体放电。如果不能及时排出杂质气体，就会加速损失真空室的面向等离子体的壁表面材料，降低装置寿命。

在正式放电之前，为减少杂质对等离子体电流的影响，还需要对真空室内表面进行清洗和烘烤。在清洗中将有大量杂质气体和水蒸气产生，真空抽气系统必须以较大的抽气速度及时排出这些杂质，才可有效地防止释放出来的杂质重新被吸附到清洗的壁面上，使在等离子体放电期间可能出现的杂质减少，防止实验过程中因为杂质的干扰使等离子体破裂。

“和龙-2”真空室真空抽气系统提供 $<5 \times 10^{-6}$ Pa 的极限真空环境，其中 H₂ 杂质分压 $<5 \times 10^{-6}$ Pa，其他杂质分压 $<5 \times 10^{-7}$ Pa。其中真空压力通过电离规标定测量，杂质分压通过 SRS-200 残余气体分析仪测量。“和龙-2”真空室每个法兰漏率定为 $\leq 3.0 \text{E-}10 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

设计为三级抽气，选用 4 台抽速 3050 L/s(N₂)脂润滑分子泵和 4 台抽速 5000 L/s (N₂) 低温泵组成，前级泵抽气由三套机组并联组成，两套 IH1800+PHMB2400 罗茨泵抽速 2000 L/s 罗茨泵组、一套由 ATH1600 和 602H 罗茨干泵串联组成。

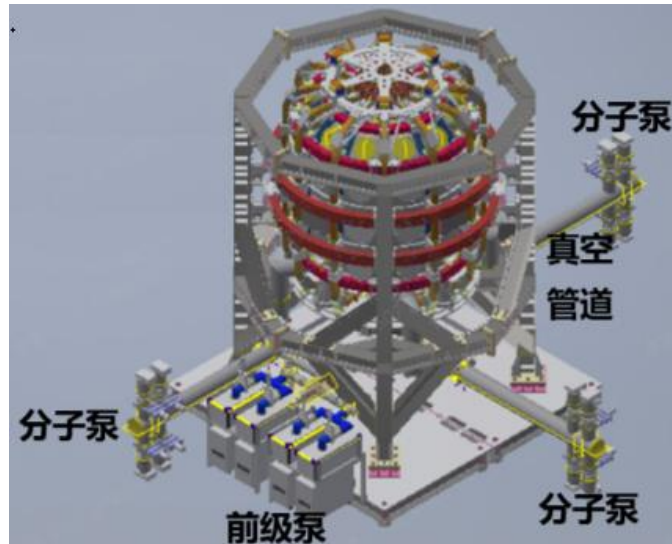


图 2-8 “和龙-2”装置真空抽气系统示意图

2.2.2.2.1.2 送气系统

送气系统主要目的是为等离子体放电提供原料，所有送气管路与主真空室连接进行绝缘处理；乙硼烷、氢气、氦气和氩气等实验气体实现脉冲送气和稳态送气；中心柱预设 6 条送气管路；增加气路排空管路，方便气路排空维护；SMBI 超声分子束注入系统送气、加热系统送气、偏滤器区域送气等功能。

系统功能：“和龙-2”送气系统可以提供 H_2 、 He 、 Ar 、 N_2 、 B_2H_6 、 CH_4 、 NF_3 等，为“和龙-2”提供用于等离子体放电、辉光放电清洗、壁处理、加料、诊断及与其他相关试验提供工作气体。

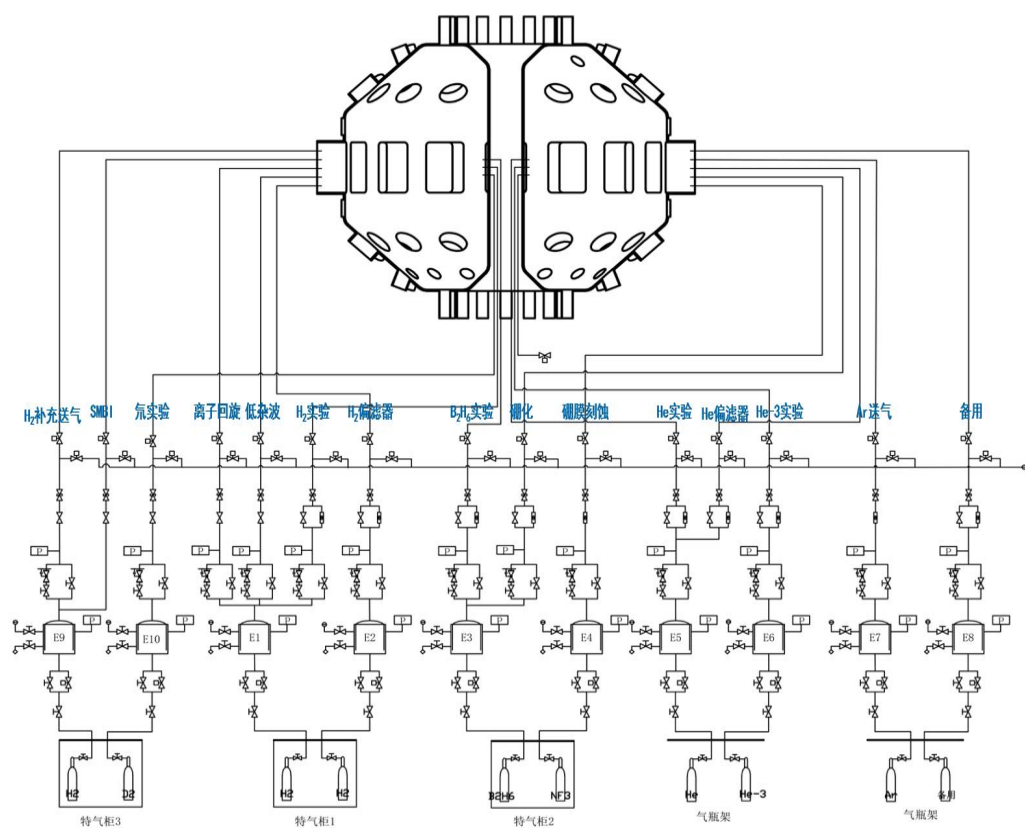


图 2-9 “和龙-2”送气系统布局图

- （1）特气柜 1 中放置两瓶氢气，满足偏滤器送气、实验送气以及低杂波和离子回旋送气需求，其中偏滤器送气气路并联流量计，可用于辉光放电送气。
- （2）特气柜 2 中放置乙硼烷和三氟化氮气瓶，用于乙硼烷实验送气，硼化以及硼膜刻蚀。
- （3）特气柜 3 中放置氢气气瓶，用于满足氢气补充送气，超声分子束送气需求。
- （4）气瓶架中放置氦气，氩气气瓶，分别用于满足氦气实验送气、辉光放电以及汤姆逊散射实验等。

(5) 增加气路排空管道，通过两个气动隔膜阀控制各个管路排空，避免管路排空时对真空室造成污染。

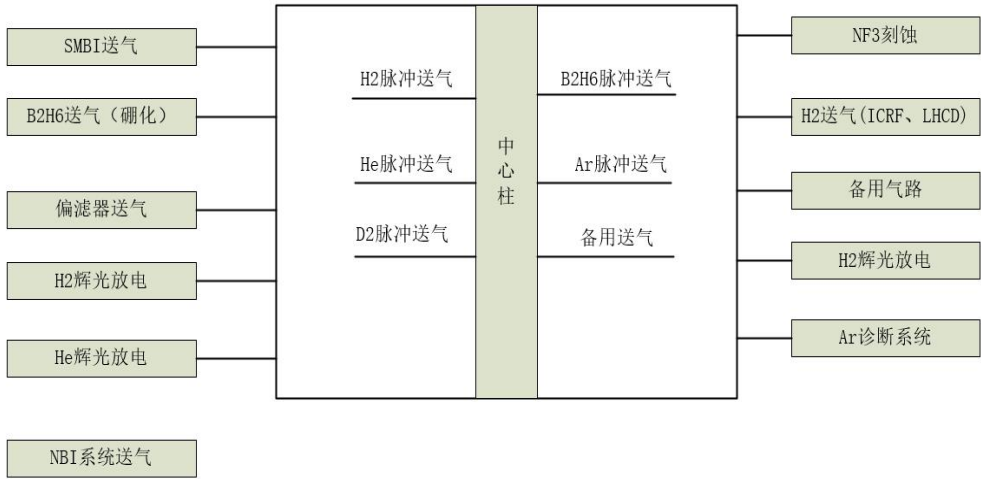


图 2-10 “和龙-2” 送气系统供气点示意图

- (1) 中心柱强场侧有六个送气喷口，分别用于乙硼烷、氢气、氦气、氩气实验送气，其中预留一个备用碰口，用于后续其他送气需求。
- (2) 乙硼烷弱场侧送气，用于偏滤器送气和器壁硼化。
- (3) 氢气弱场侧送气共 5 路，分别用于低杂波送气（LHCD），超声分子束送气（SMBI），偏滤器送气，离子回旋送气（ICRF）和补充送气，其中 LHCD 和 ICRF 送气管道装有流量计，可用于氢气辉光放电送气。
- (4) 氦气弱场侧送气用于满足偏滤器送气和辉光放电需求。
- (5) 三氟化氮气体弱场侧送气用于硼膜刻蚀。
- (6) 氩气弱场侧送气用于汤姆逊散射实验。

2.2.2.2.1.3 壁处理系统

“和龙-2” 壁处理系统的基本结构包括辉光电极、辉光电源、送气系统、控制系统、差分系统，以及诊断系统。辉光电极包括 4~6 个电极，其中 2~4 台为常规直流辉光电源电极，1 台水冷直流辉光电极，1 台为高频电源电极。辉光电源包括 3 台直流辉光电源和 1 台高频电源。送气系统共用物理实验的送气系统，乙硼烷、氢气等气体配置特气柜，送气控制为质量流量计 CFM 控制。整个壁处理工艺通过 PLC 由远程桌面进行控制。辉光放电清洗过程中通过残余气体分析仪 RGA 实时监测各组分变化确定最佳工艺和清洗效果。为了符合 RGA 的工作气压范围，

通过差分系统将真空室的气压降低一定比例后再读取 RGA 数据，起到保护 RGA 的作用。此外，也设计了膜厚仪以及往真空室送样的方式监测硼膜厚度及硼膜消耗情况。

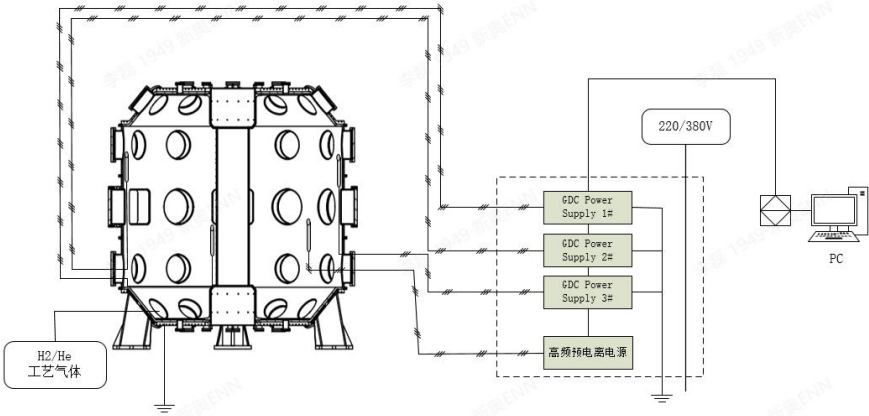


图 2-11 辉光壁处理系统示意图

残余气体分析仪（Residual Gas Analyzer, RGA）是一种用于测量和分析真空系统中剩余气体成分的仪器。它在聚变装置等需要高真空环境的实验设备中起着至关重要的作用，可以帮助研究人员了解真空系统的状态、检测潜在的泄漏点以及监测真空度的变化。见下图。



图 2-12 残余气体分析仪

RGA 的基本工作原理是通过电离真空室内的残余气体分子，然后根据这些离子的质量-电荷比（ m/z ）进行分离，并检测不同类型的气体分子或原子。这种质量分析技术通常采用四极杆质量过滤器来实现。

聚变装置中的差分抽气系统（Differential Pumping System）是专门设计用来在高真空或超高真空环境中，从主真空室中抽取少量气体样本进行分析而不显著影响主室真空度的一种技术。特别是当需要使用残余气体分析仪（RGA）时，差分抽气系统能够确保 RGA 工作在适当的气压范围内。其原理图见图 2-13。

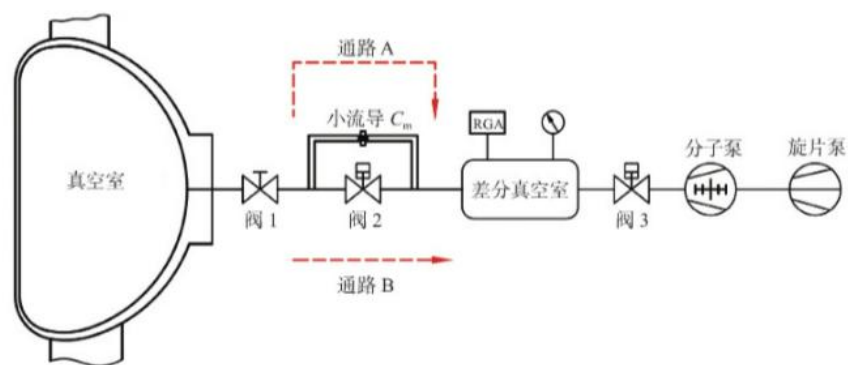


图 2-13 差分系统原理图

2.2.2.2.2 电源系统

电源系统主要由磁体电源和高压电源组成，均为大功率脉冲电源，由交流脉冲发电机组为其供电。

2.2.2.2.2.1 磁体电源

磁体电源在球形环装置中发挥着不可或缺的作用，其功能主要体现在为磁体线圈提供大电流产生磁场，进而实现等离子体的约束与控制。

磁体电源系统主要分为环向场磁体电源（以下简称为 TF 电源）、极向场磁体电源（以下简称为 PF 电源）和欧姆线圈电源（以下简称为 CS 电源）。各磁体电源均包括：磁体电源模块（包含充电器，超级电容模组，IGBT 功率变换部分），电缆，磁体电源控制系统，测量与保护系统及其附属设备。

表 2-12 “和龙-2” 磁体电源参数

序号	名称	直流输出电（V）	直流输出电流（kA）	说明
1	TF 电源	±2400	200	两象限运行
2	CS 电源	±1600	±70	四象限运行
3	PF1 电源	±800	±35	四象限运行
4	PF2 电源	±800	±35	四象限运行
5	PF3 电源	±800	±12	四象限运行
6	PF4 电源	±800	±12	四象限运行
7	PF5 电源	±800	±35	四象限运行
8	PF6 电源	±800	±35	四象限运行
9	PF7 电源	±800	±35	四象限运行
10	PF8 电源	±800	±35	四象限运行

11	PF9 电源	± 800	± 35	四象限运行
12	PF10 电源	± 800	± 35	四象限运行
13	PF11 电源	± 1600	± 35	四象限运行
14	PF12 电源	± 1600	± 35	四象限运行

“和龙-2”中的磁体电源，本质是大功率脉冲直流电源。以 TF 电源为例，介绍磁体电源的结构组成，磁体电源由电网供电，通过充电器在 10 分钟左右给超级电容充电，在放电期间的几秒内，通过 IGBT 功率变化部分调节 IGBT 开通的占空比，调节输出电流大小，将直流电供给到磁体线圈负载，产生实验所需求的磁场。

(1) TF 电源主要作用是为 TF 磁体线圈提供电流，最大提供 200 kA 电流，产生 3 T 的环向磁场，约束等离子体，拟采用模块化方案，单个模块 800 V/3.6 kA，通过模块的串并联实现所需参数。

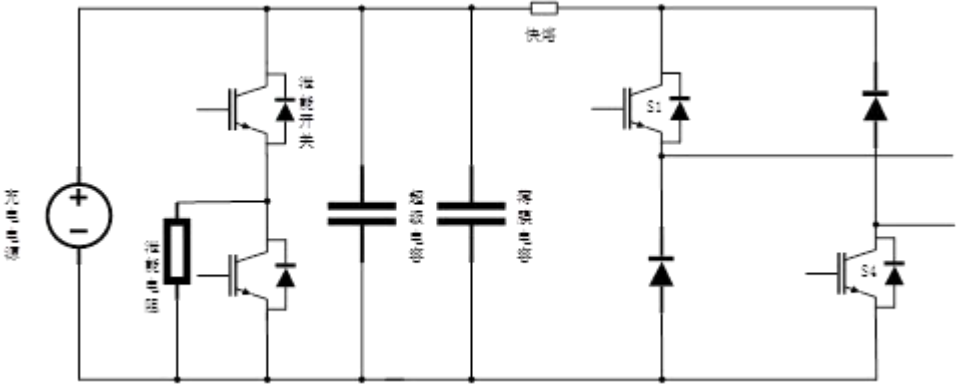


图 2-14 TF 电源整体拓扑图

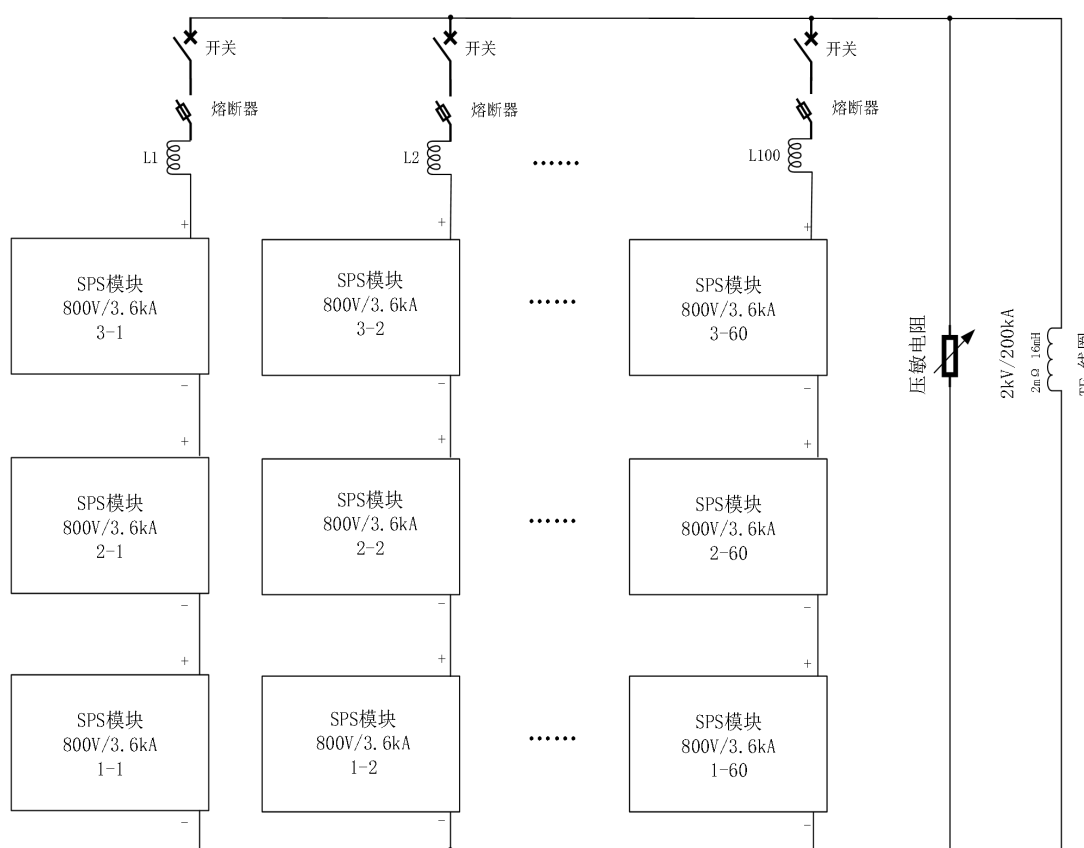


图 2-15 TF 电源模块设计图

(2) PF 电源主要作用是为 PF 线圈提供电流，产生极向磁场，建立和控制等离子体位形。PF 电源整体拓扑结构也是采用模块化结构与 TF 电源类似，其中 PF 电源是四象限运行电源，电源模块内部采用 H 桥方案。

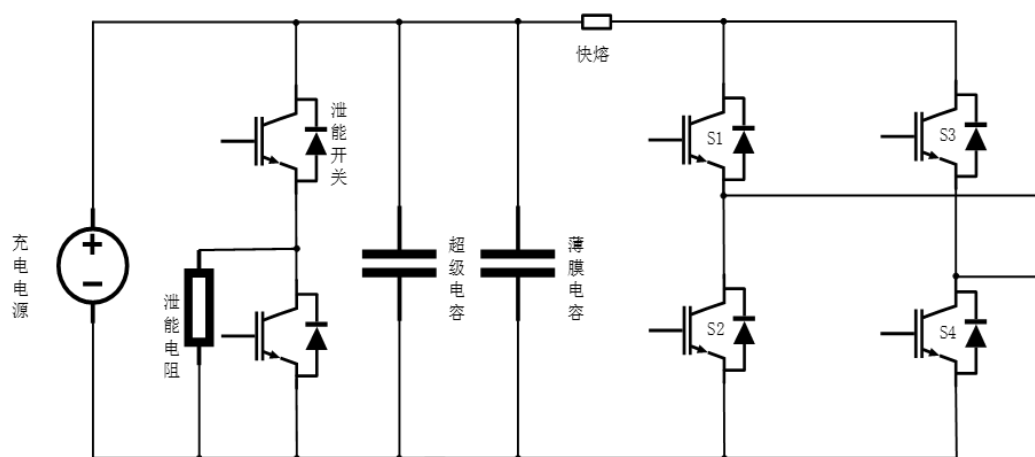


图 2-16 PF 电源模块设计图

(3) CS 电源主要作用是为 CS 线圈提供电流，提供建立和维持等离子体电流需求的伏秒数，其方案与 PF 电源一致。

(4) 超级电容采用双电层超级电容器，单个电源模块内超级电容 864 V/35.4 F，储能约 13.2 MJ，总共约 344 个电源模块，超级电容总储能约 4.5 GJ。电源模块采用户外集装箱配置，集装箱内配置消防安全设备。

2.2.2.2.2.2 高压电源

在球形环装置中，高压电源扮演者至关重要的角色，是实现离子加速、加热和控制的关键技术。在“和龙-2”装置中，高压电源主要为 ECRH、NBI、LHCD 及 ICRF 等系统提供能力，产生高能的微波或粒子，为装置加热使用。

PSM 高压电源主要包含隔离变压器、绝缘支架、高压控制柜、高压缓冲器及功率模块等。PSM 电源方案本质上是一种级联多电平方案，运行灵活、控制多样，输出电压可在大范围内连续可调；配合适当的控制策略，可以实现微秒级别的动态响应，可脉冲运行也可稳态运行，而且输出电压精度高、纹波小；鉴于输出电压越高，需要的电源模块越多，最适宜电压范围为百千伏及以下。

PSM 高压电源具有损耗低、效率高，结构简单、控制灵活，输出电压质量高、连续可调，故障响应迅速、可靠性高等优点，可满足不同辅助加热系统的需求，已经在世界聚变领域内得到了广泛的应用。新奥 100 kV 等级的加热大功率高压电源基本上采用 PSM 高压电源技术。

PSM 高压电源结构如图 2-17 所示，电源系统由 2 个高压单元组成，每个单元包好 1 台干式多绕组变压器和 42 个 PSM 电源模块，每台变压器副边引出 40 个副边绕组为电源模块供电。变压器的副边采用角形和星形交替设计，来降低整流侧输出纹波，该 PSM 高压电源的运行参数为 60 kV/50 A，主要为 ECRH、NBI 等系统供电，实际样机如图 2-18 所示。

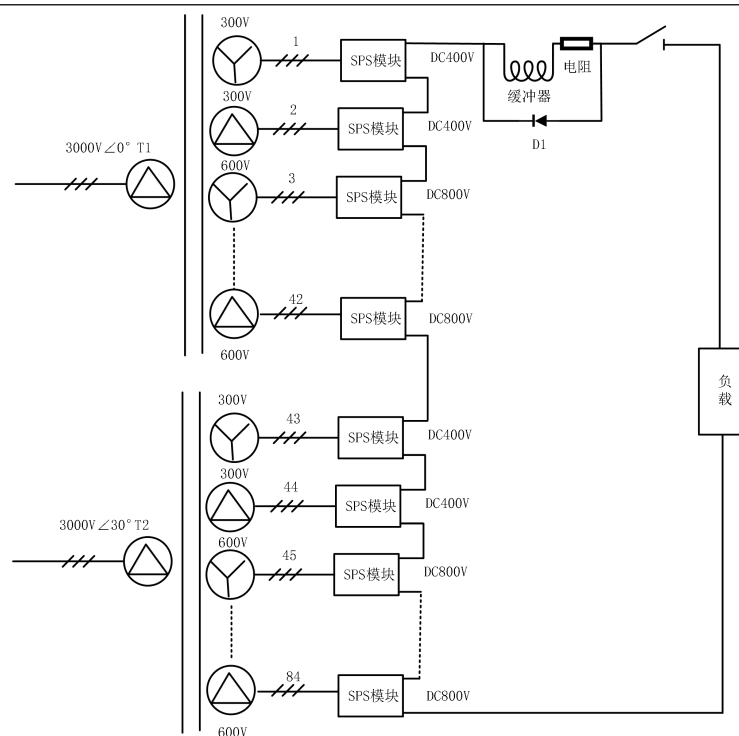


图 2-17 PSM 高压电源系统框图



图 2-18 高压电源样机图

2.2.2.2.3 低温系统

低温系统为聚变托卡马克装置重要的辅助系统之一，其主要为托卡马克装置的超导线圈、线圈盒及支撑、加热中性束低温泵及偏滤器环形低温泵等提供必需的压力、流量和温度的超临界氦，以转移各磁体系统、加热系统等静态热负荷和在运行过程中产生的动态热负荷。

“和龙-2”低温系统包括两部分，20 K 超临界氦系统、4.5 K 超临界氦系统。

2.2.2.2.3.1 20 K 超临界氦系统

20 K 超临界氦系统主要为“和龙-2”的 TF、CS、PF1/2 磁体系统以及馈线等提供低温冷却。

该系统包含 5 套子系统，分别用于冷却“和龙-2”的 TF、CS、PF1/2 磁体系统以及馈线等。5 套子系统均采用模块化设计，以多台 20 K 标准小型 GM 制冷机组建低温模块，作为低温冷源，为超临界氦气提供冷量，通过超临界氦气与磁体之间的换热，将磁体系统冷却到 30 K。按照功能对低温系统进行模块划分，20 K 超临界氦系统可分为:常温循环单元、低温冷箱单元、传输单元及外围辅助单元等。

(1) 常温循环单元：为整个低温系统的氦气循环提供动力，通过多台压缩机并联运行，提高氦气压力，驱动超临界氦进入冷箱进行降温后，进入磁体系统对线圈进行冷却。

(2) 低温冷箱单元：低温系统产生低温超临界氦的核心功能模块，采用多台 20 K 标准化小型 GM 制冷机作为冷源，并结合多级回热器、液氮预冷等模块完成氦气降温。

(3) 传输单元：将超临界氦按照使用要求，通过多通道低温真空管线传输至磁体系统（低温阀等可集成到冷箱单元）。

(4) 回收及纯化储存单元：其主要承担两个功能，不纯氦气回收纯化及氦气，包括：液氮储槽、氦气存储罐、高压集装格、回收压缩机、储气气囊及常温气体管线、纯度分析仪等。

(5) 外围辅助单元（部分与 4.5 K 超临界氦系统共用）：辅助整个低温系统运行，包含供配电系统、控制系统、水冷系统等。

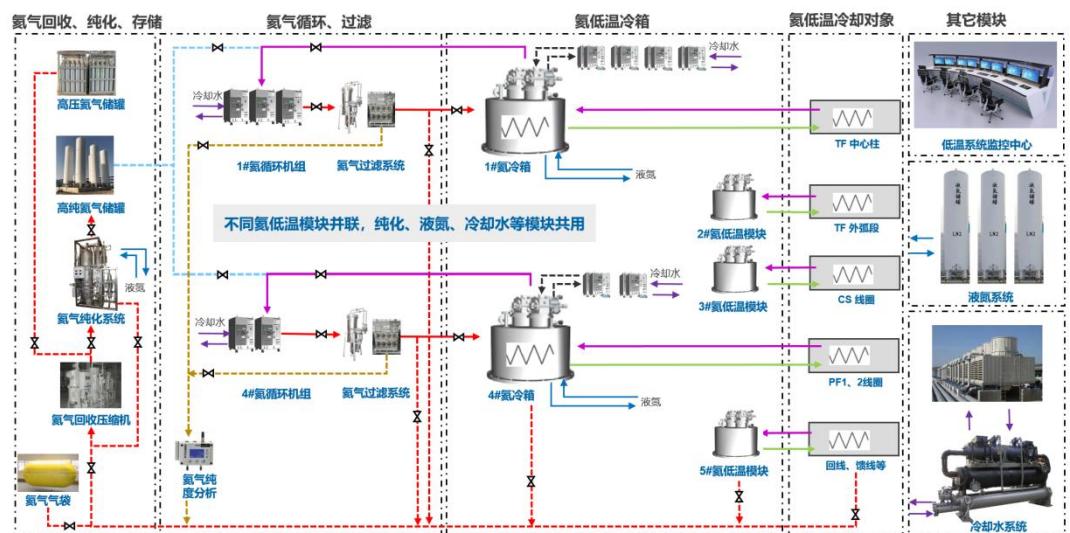
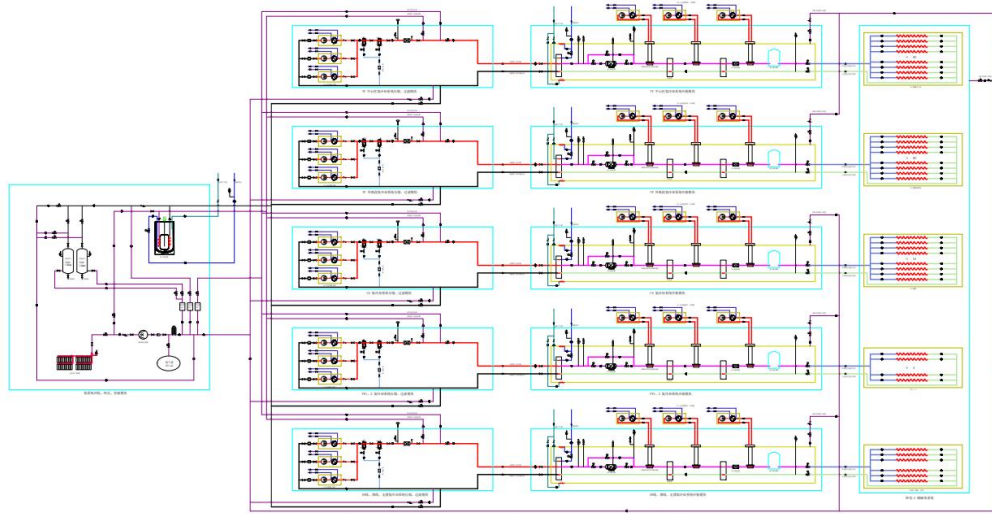


图 2-19 20 K 超临界氦系统示意图

图 2-20 20 K 超临界氦系统流程图



2.2.2.2.3.2 4.5 K 超临界氦系统

由于低温泵采用 4.5 K 超临界氦冷却，冷量需求大，根据其系统需求，规划建设一套 $4\text{ kW}@4.5\text{ K}$ 低温系统。

4.5 K 氦低温系统主要是为“和龙-2”装置的中性束低温泵和偏滤器低温泵提供制冷，其冷却目标包含以下 5 个：1#束线低温泵、2#束线低温泵、3#束线低温泵、4#束线低温泵、偏滤器低温泵(2 组)。

4.5 K 超临界氦系统可分为:低温冷源及液化单元、分配及传输单元、回收及纯化储存单元、外围辅助单元等；

(1) 低温冷源及液化单元：低温系统中产生液氦及低温超临界氦的核心功能模块，一般逆布林顿循环，通过高压压缩机产生高压氦气，再通过透平膨胀机膨胀、节流及多级换热产生 4.5 K 超临界氦；一般包括：真空冷箱、透平膨胀机、多级换热器、压缩机、除油系统及 GMS 系统。

(2) 分配及传输单元：将超临界氦、液氦及部分液氮按照使用要求，传输至负载端，一般包括过冷主阀箱、负载分配阀箱及多通道低温真空管线。

(3) 回收及纯化储存单元：其主要承担两个功能，不纯氦气回收纯化及氦气、液氮缓冲存储，包括：液氮储槽、氦气缓冲罐、高压集装格、回收压缩机、储气气囊及常温气体管线、纯度分析仪等。

(4) 外围辅助单元（部分与 20 K 超临界氦系统共用）：辅助整个低温系统运行，包含供配电系统、控制系统、水冷系统等。

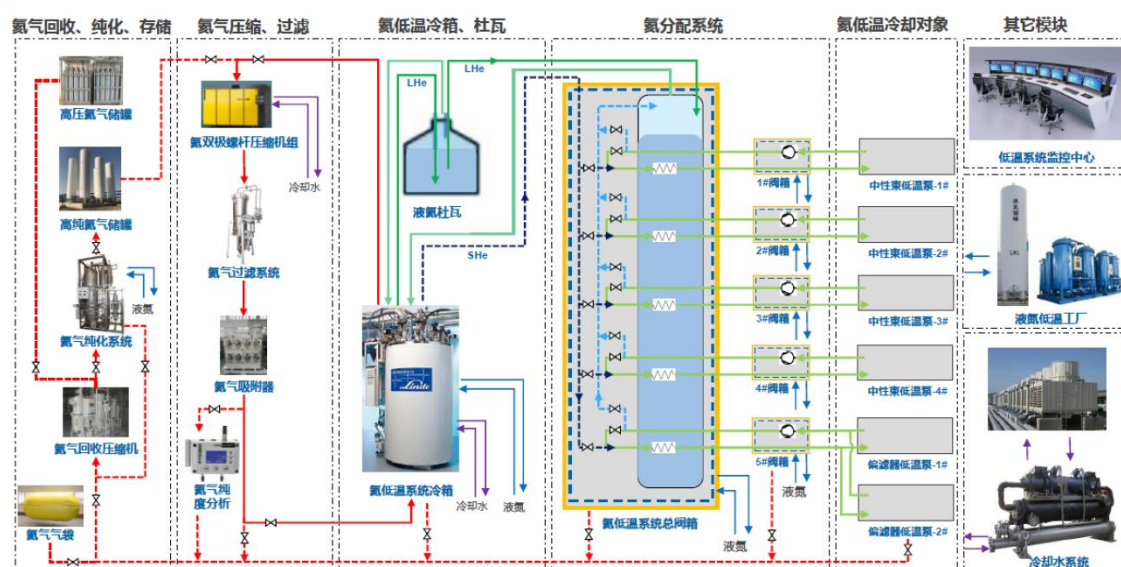


图 2-21 4.5 K 氦系统组成图

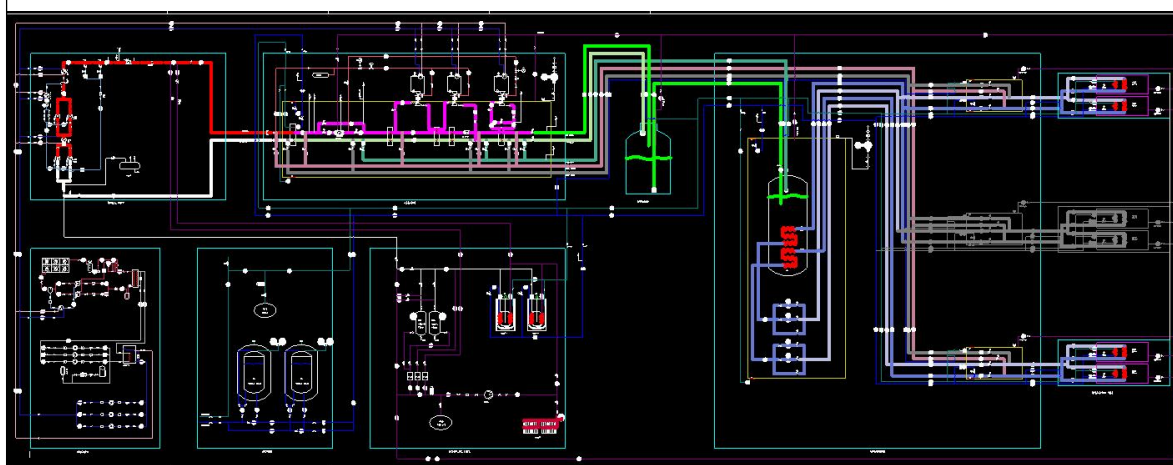


图 2-22 4.5 K 氦系统初步流程图

高纯氦气经双级压缩机加压后，过除油系统除油进入低温冷箱，通过液氮预冷（ $\sim 77\text{ K}$ ）降低初始温度 80 K，通过透平膨胀机膨胀至约 $8\text{ K}@3\text{ bar}$ （参数供参考）分成两路，一路通过节流产生 4.2 K 液氦进入液氮杜瓦，进而进入主阀箱中的液氦池，另外一路直接进入阀箱中的过冷换热器，与 4.2 K 液氦换热，形成 $\sim 4.5\text{ K}@3\text{ bar}$ 的超临界氦进入负载低温泵进行冷却，冷却完成后再次进入冷箱经多级回热至常温返回压缩机入口。

考虑到负载降温过程可能处于不同温区，因此，于主冷箱不同温区换热器前设置回气口，满足负载处于不同温度下的回气需要。

氦低温系统阀箱，根据低温泵不同冷却模式的冷却需求，向其提供不同温度、流量的氦气。

氦低温系统根据 5 组低温泵，设置了 5 组与低温泵一一对应的阀箱，每组阀箱通过多通道与低温泵连接，提供氦气、液氮的输送通道。阀箱内设置液氮过冷器、氦气循环泵、低温阀等，在低温泵稳态工作时为其提供 4.5 K 氦气进行冷却。

2.2.2.2.4 加热系统

“和龙-2”装置加热系统包括：欧姆加热系统、中性束加热系统、电子回旋加热系统、离子回旋加热系统。

2.2.2.2.4.1 欧姆加热系统

欧姆加热系统使用欧姆线圈（形状为圆柱，位于真空室中心柱内，尺寸半径 0.36 m，高度约 4 m）完成初始等离子体形成与加热。设计电流 70 kA，300 匝，满功率条件下总运行时间 4 s，最大伏秒数 5 Wb。

在放电实验启动阶段，利用变压器原理在真空室内感应产生强大的环向电场，击穿气体形成等离子体（欧姆启动），并通过等离子体自身的电阻（欧姆效应）对其进行初始加热，使等离子体达到一定的基础温度。

在维持和驱动等离子体电流阶段，是产生和维持稳态或长脉冲等离子体环向电流的主要手段。

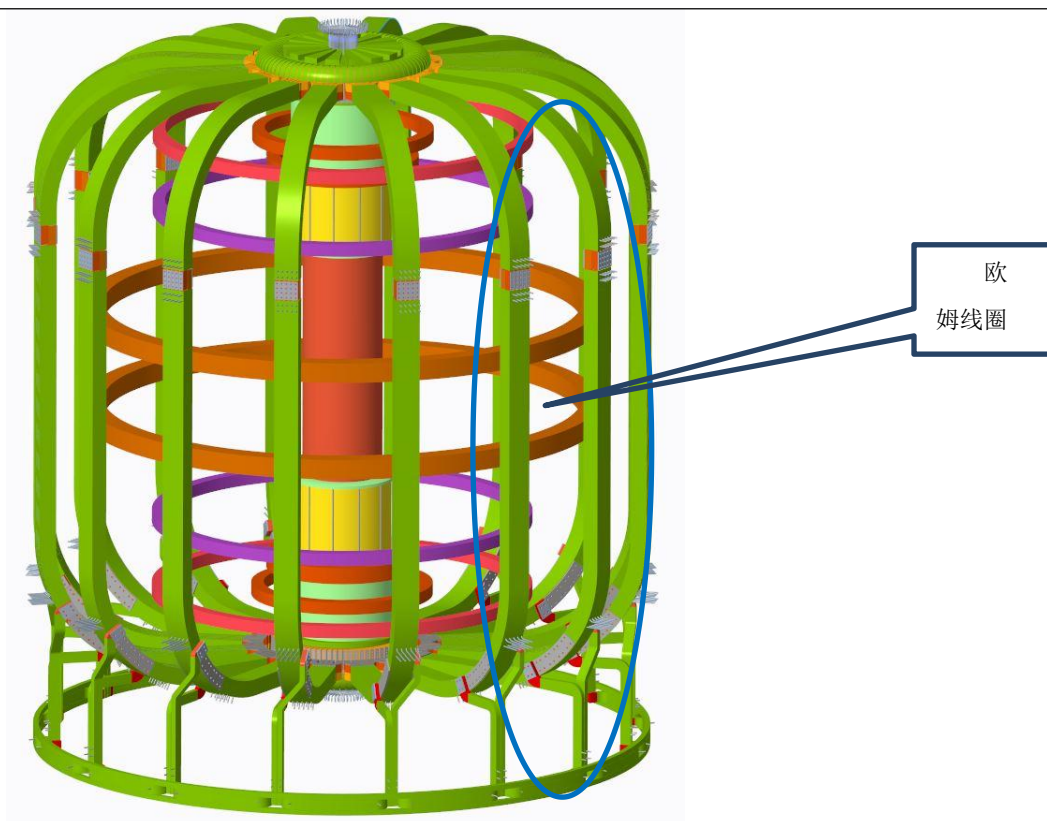


图 2-23 欧姆线圈示意图

2.2.2.2.4.2 中性束加热系统

中性束加热系统是“和龙-2”装置离子加热的主要手段，除加热离子外，中性束还具有加料、无感电流驱动、改善等离子体约束和辅助诊断等离子体参数的作用。共 4 条中性束系统，包括正离子源中性束注入器和负离子源中性束注入器两种类型，其中正离子源中性束包含三条注入器，1 条注入器能量 60 keV, 注入功率 3.5 MW，另外 2 条注入器能量 80 keV，注入功率共 10 MW，负离子源中性束 1 条注入器，注入能量 200 keV，注入功率 4 MW。

中性束加热系统工作原理：中性束注入（NBI）系统工作原理简单（见图 2-24）：在离子源放电室（亦称等离子体发生器）内，以额定的供气率供以工作气体（如 H_2 等），通过热阴极放电或高频电场放电产生源等离子体，然后由引出-加速系统（亦称离子光学系统）产生的高压静电场将离子引出、加速和聚焦，形成具有一定能量、流强、束成分和束截面的离子束。离子束在通过中性化器时，与从离子源流出的本底气体发生碰撞，通过电荷交换、离解，部分离子变成中性束，经漂移管道注入到聚变等离子体中，未被中性化的剩余离子束，在偏转磁铁

磁场的作用下，发生偏转，打在离子吞食器上，产生的中性气体被真空抽气系统抽走，其功率由流过吞食器的冷却水带走。

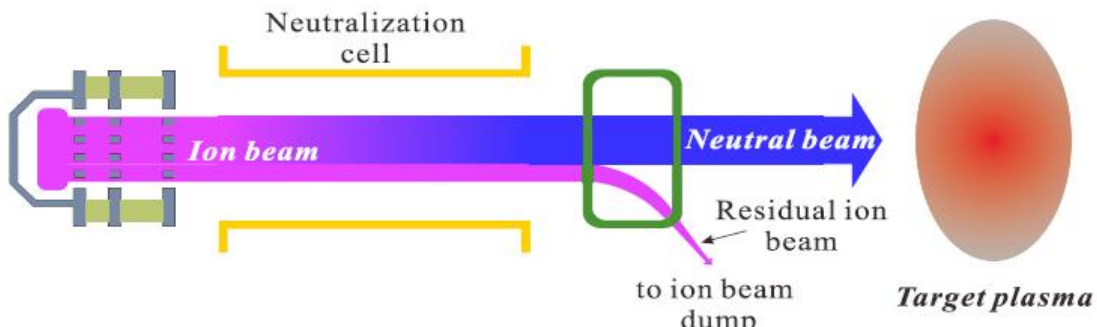


图 2-24 中性束注入器的工作原理图

NBI 加热系统是一个庞大的工程系统（见图 2-25），主要包含以下几个方面：

- (1)大功率离子源（等离子体产生、引出和加速三个部分）；
- (2)中性束注入系统（包括真空室、中性化管道、偏转磁体、量热靶、刮削器、漂移管道和支撑结构）；
- (3)真空抽气系统；
- (4)束参数诊断、温度监测、功率测试及数据采集系统；
- (5)冷却水系统；
- (6)弧放电电源、高压电源、偏转磁体电源等电源系统；
- (7)束线运行的控制系统。

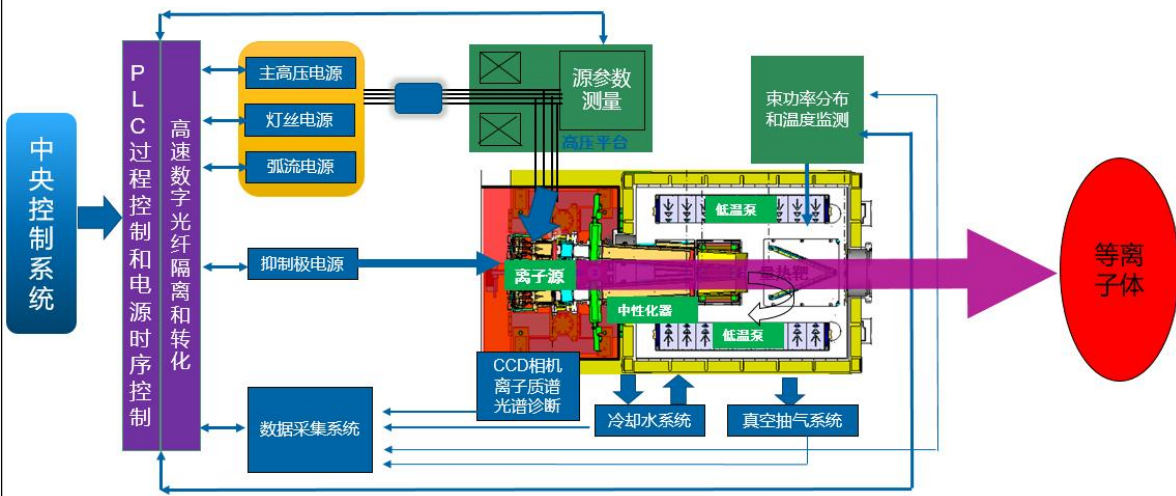


图 2-25 中性束加热系统组成框图

中性束加热系统布局如下：加热束线位于主机车间、主真空室周边，通过插板阀与主真空室连通（见图 2-26）。配套系统：电源系统中，高压电源单独设置在电源大楼，辅助电源则统一规划，集中安装在主机车间加热束线注入器附近的二层钢结构平台及三层结构平台（见图 2-27）；真空系统整体设置在主机车间负一层（见图 2-28），冷却水系统放置于冷却中心，低温系统放置于低温工厂，通过管廊中管路与主设备相连。

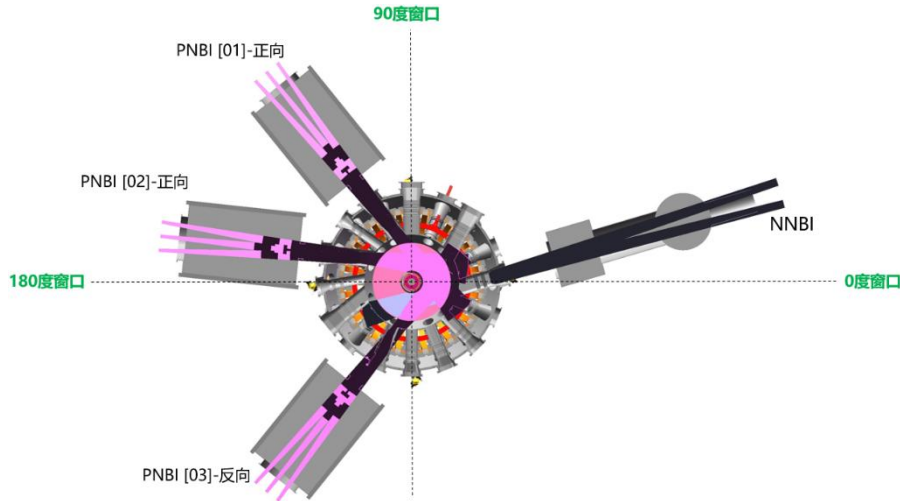


图 2-26 中性束加热束线布局示意图（主机车间）

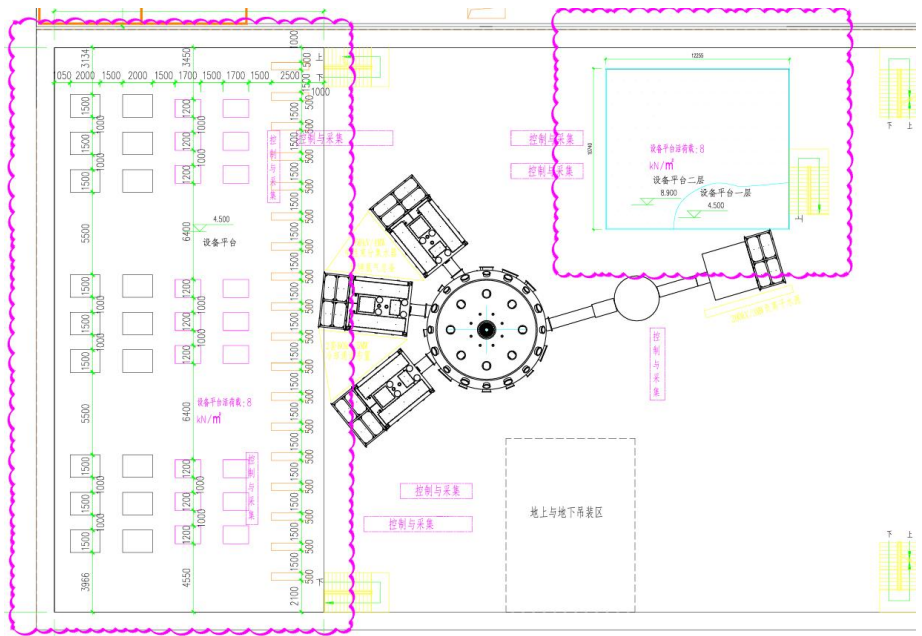


图 2-27 中性束辅助电源布局图（主机车间）

足电磁兼容性要求。为保障系统安装作业需求电子回旋加热场地需配备两台 5 T 多功能自动搬运机器人。

ECRH 波源以及控制系统与 ECRH 装置采用分区布置，ECRH 波源以及控制系统全部规划布置在加热系统大厅，波源间距不小于 5 米，以满足电磁兼容性要求。为保障系统安装作业需求 ECRH 加热场地需配备 10 T 天车，根据系统参数需求天车吊装高度>7 m 跨度覆盖全设备区，配备防摇摆定位系统（定位精度±1 mm），系统调试实验区安置激光校准平台（平面度≤0.05 mm/m）。

ECRH（电子回旋共振加热）系统基本结构主要涵盖波源系统与辅助系统两大部分。波源系统中，回旋管作为高功率微波源产生特定频率微波，传输线采用圆柱形波纹波导高效传输微波，发射天线则负责将微波注入等离子体。

电子回旋加热系统主要包括：真空系统（分子泵组）、电源系统（巨大脉冲功率电能，辅助电源）、冷却水系统（收集极，分水器）、控制系统（监测，综保）、波源系统（微波输出）、天线系统（微波注入角度）。

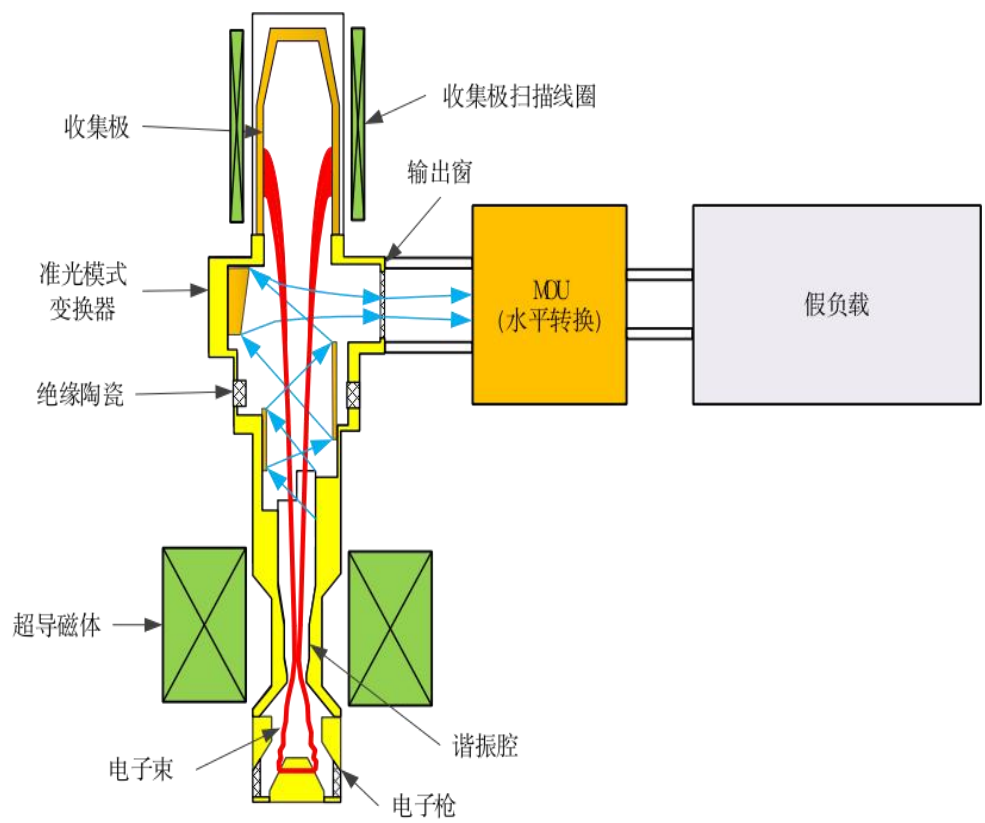


图 2-30 电子回旋加热系统组成示意图

2.2.2.2.4.4 离子回旋加热系统：

离子回旋加热系统是核聚变装置（如托卡马克）中用于加热等离子体的一种重要手段，其主要功能包括以下方面：

等离子体加热；维持聚变条件；电流驱动；控制等离子体不稳定性；与中性束注入、电子回旋协同加热。

离子回旋加热（ICRH）大厅是核聚变实验装置的核心辅助设施之一，专用于安装、运行和维护大功率离子回旋共振加热系统。其建筑功能围绕高频高压射频能量的产生、传输与安全控制展开，是支撑聚变等离子体加热与电流驱动的重要工程基础设施。该建筑层为离子回旋加热系统，发射机、水负载等设备的主要运行场所。包括发射机、水负载放置区；预装扩充区；设备装备检修区；循环冷却水区；控制室；配电室；备品备件区等。

（1）该建筑紧邻主机车间，三层建筑，总高 30 m；离子回旋共振加热系统（以下简称 ICRH）大厅位于建筑一层；建筑面积不低于 1800 m²；设备区占地约 1400 m²，楼层净高不低于 10 m，加热大厅 6 套 1.5 MW 发射机组合式布局，楼板摆放多绕组干式变压器、发射机；自建二层钢平台层高 4 m，摆放 PSM 电源模块和支架、限流电阻和测控系统等设备。设备总重约 200 t，并且地面硬化。大厅地面一层应高于建筑外地平面，防止雨水倒灌。

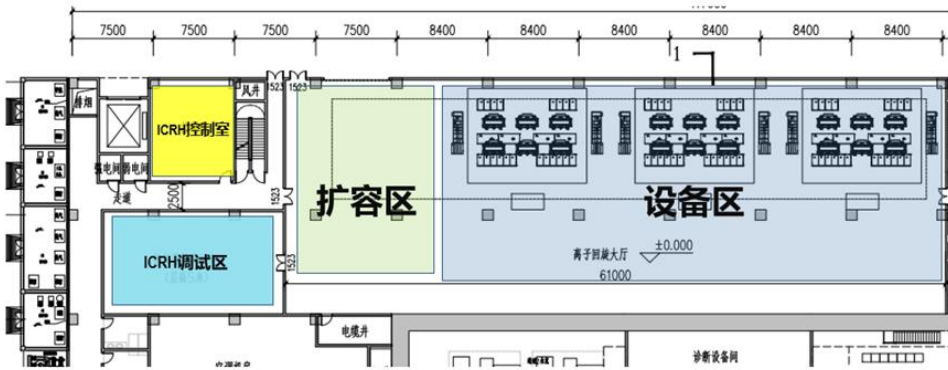


图 2-31 离子回旋加热系统大厅结构示意图

（2）功能区布局设计：各功能区之间应设置明确的物理分隔与标识系统，确保人员动线清晰、作业互不干扰。

设备区（东西长 45 m×宽 10 m，约 450 m²，净高不低于 10 m），

扩容区（长 13 m×宽 10 m，约 130 m²，净高不低于 10 m）、

ICRF 调试区（长 13 m×宽 10 m，约 130 m²）

ICRF 控制室（长 12 m×宽 7 m，约 80 m²）要求房间隔音，背景噪声≤ 55 dBA。

（3）合理规划 ICRH 设备、人员进出大门，楼梯位置；人员巡检、设备检修运输通道；冷却水、强电、弱电、传输线、接地线参数（宽 0.7~1 m，厚度 0.003 m 铜带）及暖通空调等孔洞预留。

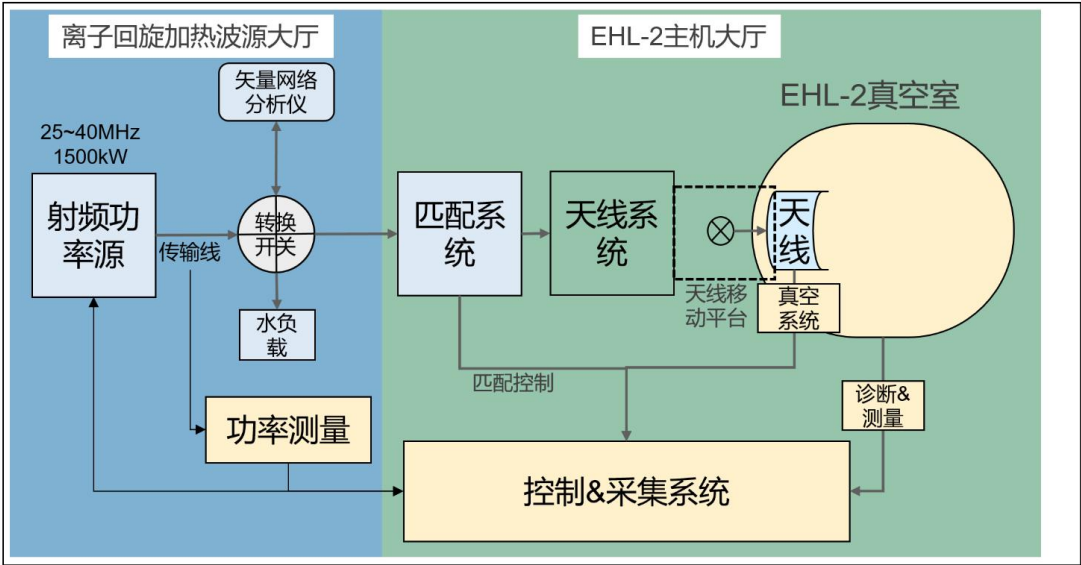


图 2-32 离子回旋加热系统组成示意图

2.2.2.2.5 诊断系统

诊断系统主要包括磁测量、成像系统、HXR 诊断、CO₂ 色散干涉仪、H_α 诊断、快速杂质谱线、x-γ 诊断、105/140 GHz 杂散波测量诊断系统各 1 套。

2.2.2.2.5.1 磁测量系统

电磁测量诊断系统作为磁约束聚变装置最基本的诊断系统，是获取等离子体宏观参数、监测磁场位形及装置运行状态的核心手段。“和龙-2”装置的电磁诊断系统设计旨在通过高精度磁探针、磁通环等传感器，实时测量极向磁通、等离子体电流及磁场扰动，为等离子体平衡控制、MHD 不稳定性预警和物理研究提供关键数据。系统需解决极端环境（高温、辐照、电磁噪声）下的可靠性问题，并融合多模态传感与高动态信号处理技术，以满足装置安全运行、长脉冲稳态放电及未来聚变堆工程验证的需求。本报告旨在提出“和龙-2”装置电磁测量诊断系统的概念设计方案，明确技术路线、布置原则和性能要求，并为后续工程设计提供输入条件。

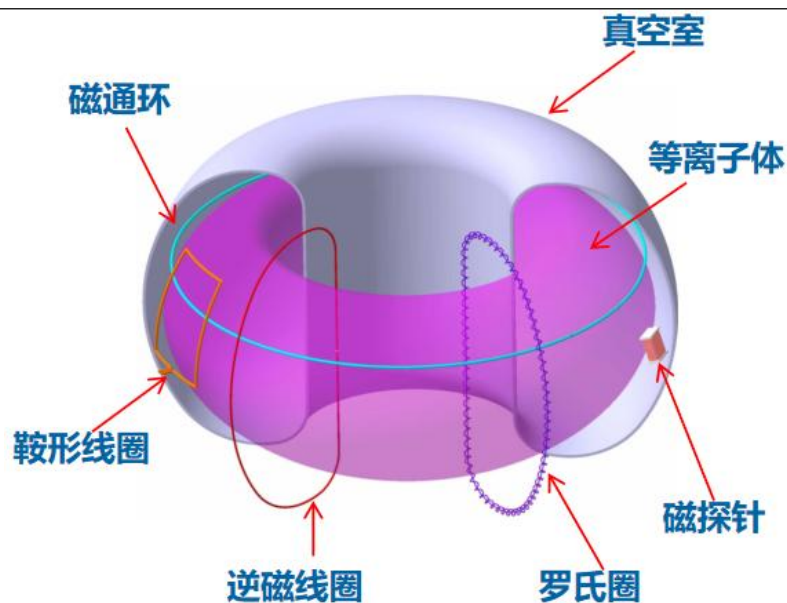


图 2-33 “和龙-2”装置上电磁测量分布示意图

2.2.2.2.5.2 成像系统

可见光成像技术凭借其非侵入性、高空间分辨率和时间分辨率等优点，成为研究托卡马克等离子体的重要手段。它能够提供等离子体边缘区域的二维图像信息，帮助研究等离子体与壁材料的相互作用以及等离子体内部的各种不稳定性。不同的研究需求对应着不同的相机参数。例如，研究快速物理过程需要高时间分辨率的相机系统，而偏滤器位置的打击点则要求高空间分辨率的相机系统，以实现精确定位。作为基础诊断系统，相机必须在装置运行初期就具备，以支持装置运行状态和安全监测。

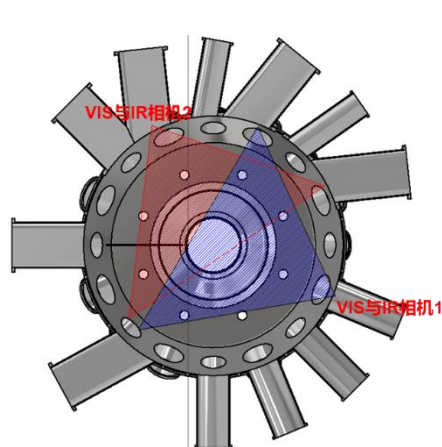


图 2-34 环向布局图

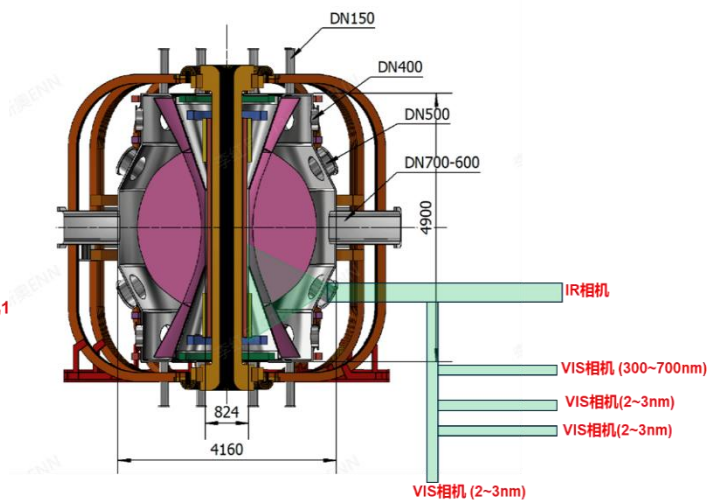


图 2-35 极向布局图

2.2.2.2.5.3 HXR 诊断

微波驱动和加热等离子体的过程中会产生大量的电子，电子在磁场约束下会通过轫致辐射产生宽能量范围的 X 射线。X 射线诊断可作为一种中性粒子探针，分为软 X 射线能谱诊断、快电子轫致辐射诊断以及逃逸电子诊断，可用于观测、研究等离子体行为。通过测量不同能段的 X 射线强度和能谱信息，研究等离子体能量损失、高能电子、MHD 行为、电子温度、破裂等物理课题。

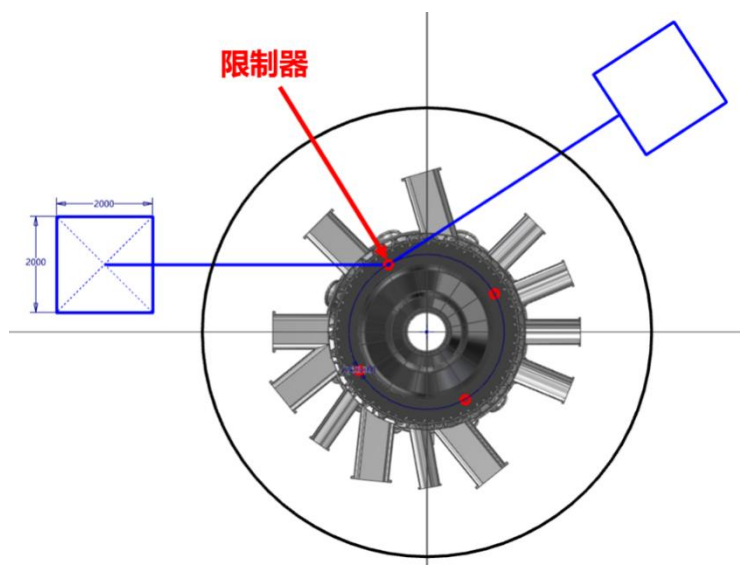


图 2-36 逃逸电子诊断光路概念设计图

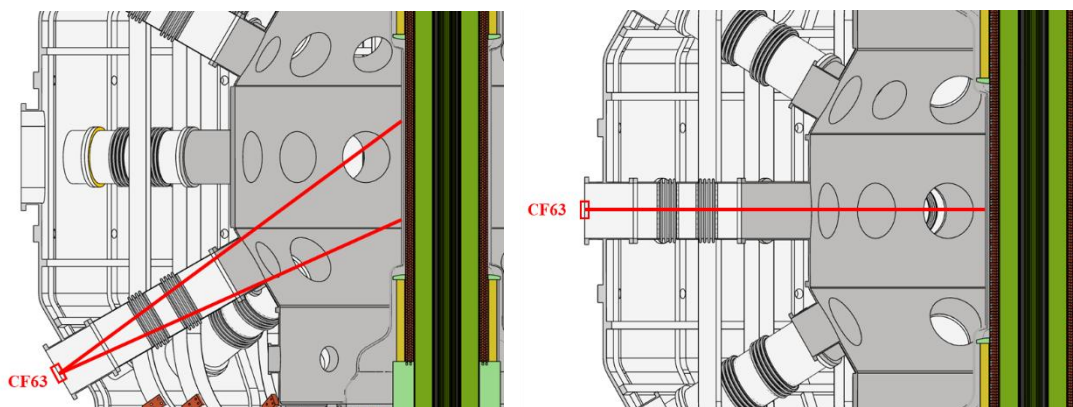


图 2-37 快电子诊断光路概念设计图，极向阵列（左），径向单道（右）

2.2.2.2.5.4 CO₂ 色散干涉仪诊断系统

为“和龙-2”装置提供高精度、高实时性的等离子体密度测量数据，满足其在密度反馈控制中的关键需求。尽管该系统的设计优先考虑了运行控制的可靠性、稳定性和实时性，但仍能在一定程度上支持物理研究。

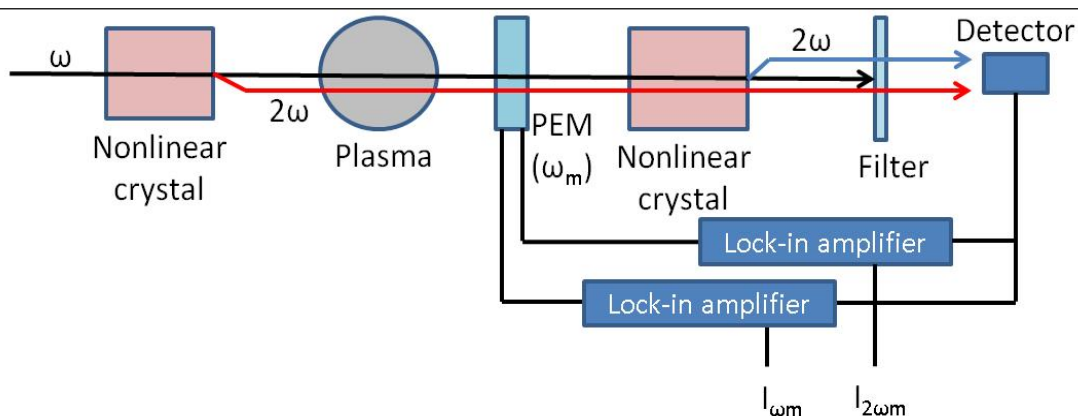


图 2-38 色散干涉仪原理图

2.2.2.2.5.5 H_{α} 诊断系统&快速杂质谱线

在光谱学中， H_{α} 、快速杂质谱线系统被动光谱诊断一直是监测等离子体边缘燃料和杂质流入的重要工具。通过对等离子体发射的不同光谱特征（特定谱线、连续谱）分析光谱的强度，为等离子体的输运、约束、杂质行为及能量损失等物理过程提供依据。其中 H_{α} 诊断中的 H_{α} 线（波长 656.28 nm）是氢原子巴耳末系的第一条谱线（ $n=3 \rightarrow n=2$ 跃迁），其辐射主要来自等离子体中的中性氢（ H^0 ）或低电离氢离子（ H^+ ），其强度与中性氢密度及激发态粒子数密度直接相关，可用于测量等离子体边缘或低密度区域的中性氢分布。快速杂质谱线诊断是一种基于波长选择的光谱测量技术，通过窄带滤光片或光栅单色仪，从等离子体复杂的发射光谱中分离出目标波长的谱线（如 H_{α} 、CIII、OVI 等），并测量其强度、时间演化。其核心作用是针对特定元素或离子的能级跃迁，实现对等离子体局部参数的精准诊断。快速杂质谱线系统、 H_{α} 线诊断虽各有侧重，但在等离子体物理研究中形成“从局部到全局、从元素到电子”的互补体系。是等离子体研究的关键实验手段。

2.2.2.2.5.6 X- γ 诊断系统

氢硼热核反应是“和龙-2”的核心目标，将对此进行验证，其目标是观测到可观的氢硼反应。伽马射线作为氢硼反应产物，其能谱、产额及空间分布的精确测量是证明氢硼反应的直接证据。伽马射线诊断(GRS)可作为一种中性粒子探针，有效测量聚变反应 γ 射线。

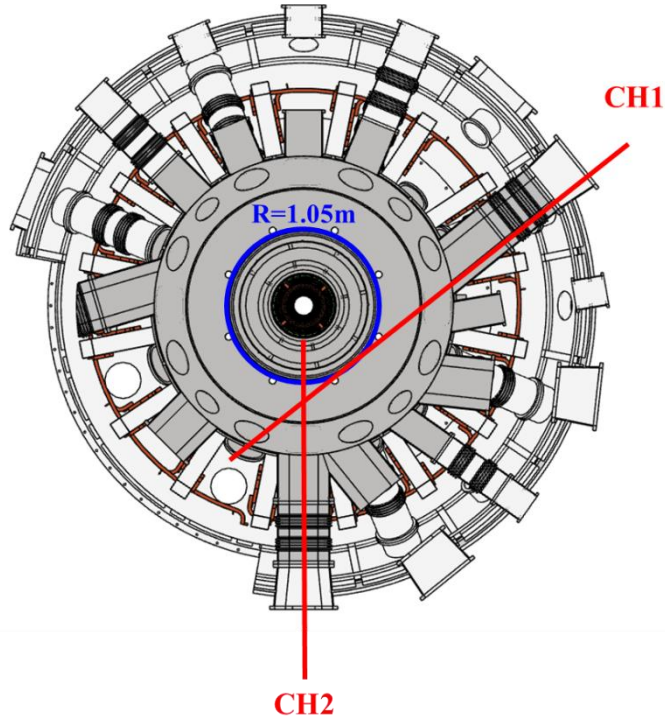


图 2-39 “和龙-2”伽马射线诊断光路概念设计图

2.2.2.2.5.7 105/140 GHz 杂散波测量

微波杂散辐射诊断主要由波导可变衰减器和检波器组成:一共三分为 105 GHz、140 GHz、170 GHz。判断有无电子回旋波注入，评估电子回旋波注入功率和杂散功率水平。

2.2.2.2.6 数据采集和控制系统

聚变控制系统是“和龙-2”装置的“大脑”，是实现“和龙-2”装置燃烧等离子体物理实验与高参数稳态运行的核心保障。该系统在复杂多变量耦合条件下，实现对电源、加热、加料、主机等关键子系统实施毫秒级乃至亚毫秒级的实时闭环控制，并具备 MHz 级别的高速数据采集能力。

“和龙-2”装置控制系统采用分层分布式架构，总体上可分为中央控制系统和子控制系统两部分。中央控制系统是装置的管理核心与数据中心，包括中央控制综合管理平台、时序控制系统、安全联锁系统、等离子体控制系统、高速采集系统、数据服务与网络系统等主要功能模块。子控制系统（以下称工厂控制系统 Plant Control System）负责执行特定设备的本地控制与监控，包括加热控制系统

（如 ECRH、NBI）、电源控制系统（如 PF、TF 电源）、脉冲发电机控制系统，以及真空、水冷等其他辅助控制系统。各系统模块的功能如下：

（1）等离子体控制系统负责等离子体放电全过程的实时平衡重建、实时反馈控制，实现在 1 ms 内磁场、电流、密度与加热功率的精准调节；并提供装置安全的第一级保护。

（2）中央控制综合管理平台是整个放电系统的设备和装置管理的核心，承担装置实验过程中实验管理、参数配置、任务调度、故障诊断、算法开发以及仿真验证等关键任务。

（3）高速采集分为实时采集和非实时采集，实时采集为等离子体控制提供计算数据；非实时采集为实验和设备监控提供数据支撑。

（4）时序控制系统为控制系统提供精准的时间基准和事件触发的功能，协调各系统设备的启停顺序。

（5）子控制系统为“和龙-2”装置控制系统的基础控制单元，直接连接并驱动真空、电源、诊断等本地物理设备，承担现场设备的实时控制、状态监视、警报与联锁处理的核心任务；它在本地执行第一级安全逻辑，确保设备快速响应与运行安全。

（6）安全联锁系统由中央安全联锁系统和安全联锁子系统组成。中央安全联锁系统根据预设的故障处理机制处理来自各子控制系统的安全联锁信息，统一协调各子控制系统的联锁保护动作。安全联锁子系统负责自身关键信号安全阈值的设定、采集和监控，并根据关键信号的实时采集结果和事先制定的故障报警机制，向中央联锁系统提交报警信息。

（7）数据服务系统提供一个高效、可靠、可扩展的分布式数据管理与信息共享平台，满足实验数据收集、处理和存储需求。同时，可以为全球科研人员提供一个便捷、协同的科学分析环境，并确保数据的长期安全和可利用性。

（8）网络系统承担装置控制指令、实时数据、安全联锁信息和海量实验数据的传输。系统需满足微秒级控制延迟、纳秒级时间同步、万兆级数据吞吐和物理安全隔离需求，构建覆盖控制指令、实验数据、联锁保护信息、时钟同步和音视频数据传输的多网融合架构，为装置可靠运行和科研协同提供稳定、高效、安全的环境。

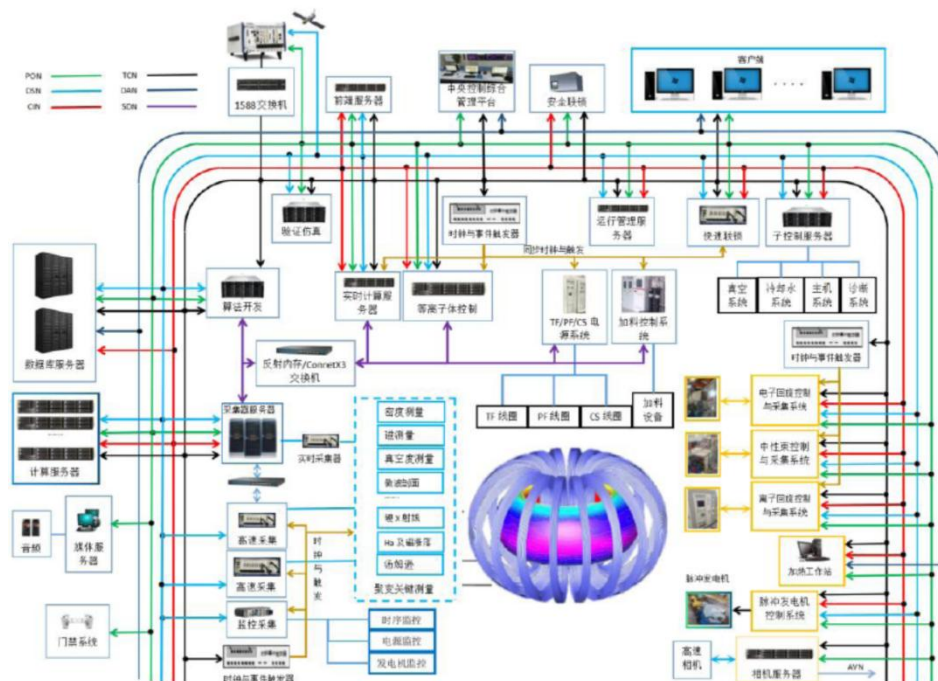


图 2-40 “和龙-2”装置控制系统硬件架构图

2.2.3 中性束实验室设备组成

包含一套 80keV 离子源束线系统, 注入器能量 80 keV, 注入功率 3.2 MW; 1 套 200keV 负离子源装置, 注入能量 200 keV, 注入功率 4 MW。如图 2-41 所示。

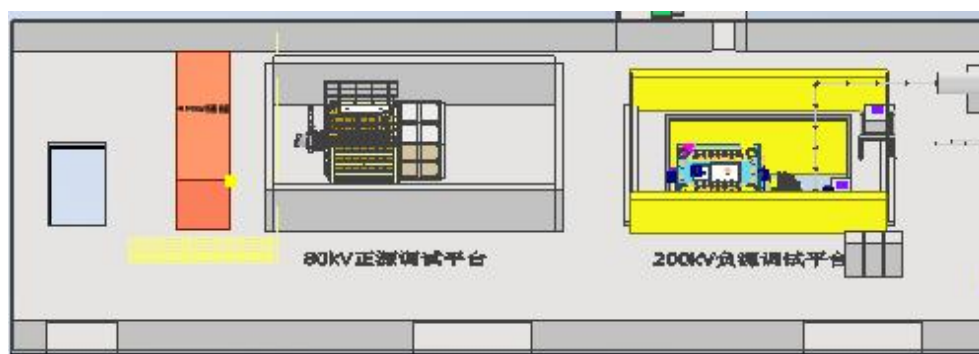


图 2-41 中性束装置组成

80keV 离子源束线系统, 主要包含以下几个方面:

- (1)大功率离子源（等离子体产生、引出和加速三个部分）；
- (2)中性束注入系统（包括真空室、中性化管道、偏转磁体、量热靶、刮削器、漂移管道和支撑结构）；
- (3)真空抽气系统；
- (4)束参数诊断、温度监测、功率测试及数据采集系统；
- (5)冷却水系统；

(6)弧放电电源、高压电源、偏转磁体电源等电源系统；

(7)束线运行的控制系统。

200keV 离子源装置，主要包含以下几个方面：

(1)200keV 大功率离子源（等离子体产生、引出和加速三个部分）；

(2)200keV 离子源真空室；

(3)真空抽气系统；

(4)束参数诊断、温度监测、功率测试及数据采集系统；

(5)冷却水系统；

(6)射频电源、200keV 高压电源、辅助电源等电源系统；

(7)控制、采集、保护系统。

两套系统布局如下：中性束实验室西侧为 80keV 离子源束线系统，中间为 200keV 离子源装置。配套系统：高压电源放置在专用的高压电源房间，辅助电源放置在专门搭建的高压平台上，真空抽气系统，冷却水系统统一放置在地下室。

2.2.4 运行模式

2.2.4.1 “和龙-2” 聚变装置

“和龙-2” 聚变装置研究分为初期研究、集成研究、拓展研究三个阶段，各阶段又细分不同实施阶段，表 2-13 给出了 2028—2031 年进行等离子体放电试验的规划。

表 2-13 等离子体放电试验的规划

研究阶段	阶段	预计运行时间	阶段目标	等离子体电流	预计放炮次数	破裂概率	间隔时间
初期研究	第一阶段	2028.01.01 - 2028.06.30	实现 1 MA 电流平台运行	1 MA	4500	40%	20 min
	第二阶段	2028.09.01 - 2028.11.31	实现 2 MA/2 T 电流平台运行实现长腿偏滤器位形 $T_i > 3$ keV, $T_i/T_e > 2$ (NBI 加热验证)	1 MA	2100	30%	20 min
				2 MA	100	20%	20 min
	第三阶段	2029.02.01 -	高离子温度模式验证: $T_i > 10$ keV, $T_i/T_e > 2$	1 MA	1500	20%	20 min
				2 MA	500	15%	20 min

		阶段	2029.04.30					
集成研究	第一阶段	2029.07.01 - 2030.04.30	Ti>25 keV, Ti/Te >2, H-B 热核反应验证高性能等离子体运行模式验证:完全非感应电流驱动 2 MA/2 T 电流平台运行	1 MA	4000	15%	20 min	
				2 MA	2000	10%	20 min	
	第二阶段	2030.07.01 - 2031.02.28	ICRH-NBI 协同效应验证	1 MA	3000	10%	20 min	
				2 MA	2000	10%	20 min	
拓展研究	第一阶段	2031.05.01 - 2031.12.31	Ti>30 keV, Ti/Te>2H-B 核反应增益验证高三乘积模式, ST 实验定标律验证实现 3 MA/3 T 电流平台运行	1 MA	950	10%	20 min	
				2 MA	3000	5%	20 min	
				3 MA	50	4%	1 h	
2.2.4.2 中性束离子源装置								
中性束离子源装置每年实验 300 天，每天 100 炮。脉宽 5s/炮。								
工艺流程和产排污环节	1 工作流程及产污节点							
	1.1 “和龙-2” 聚变装置							
	本项目在开展实验时，实验运行人员工作流程如下：							
	(1) 运行人员确认所有系统安全（主机无异常报警，电源系统无故障，门禁状态正常，真空、送气、冷却正常，无人员滞留主机车间）；							
	(2) 超级电容开始充电（电源系统进入待放电准备状态）-充电完成（电压达到设定值，储能状态正常，无过压、过流报警）；							
	(3) 设定实验参数（实验负责人根据需求修改放电电流、磁场、气体种类与气压、ECRH/NBI 功率、时序等参数）；							
	(4) 下发参数（所有修改后的参数重新下发给各子系统并反馈确认）；							
	(5) 连锁系统检查实验条件（自动检查指回令状态、门禁关闭状态、急停状态、电源允许状态、冷却与真空状态、各子系统 Ready 信号），全部满足后允许实验启动；							
	(6) 启动实验（运行人员执行实验启动操作）；							

- (7) TF 线圈通电，纵场建立（建立环向磁场，为等离子体约束提供基础磁场）；
- (8) PF/CS 线圈预充磁（建立等离子体形成初始磁场条件）；
- (9) 0 秒前预送气（工作气体：氢气、乙硼烷，用量约几十毫升）；
- (10) ECRH 系统出波辅助气体击穿；
- (11) CS 线圈电流爬升（感应产生等离子体电流，完成等离子体建立）；
- (12) 等离子体电流平顶（等离子体电流达到目标并保持稳定）；
- (13) NBI 注入、射频波加热（提升等离子体温度和密度，实现高参数运行）；
- (14) 加热到位（各加热系统达到设定功率，实验进入高温等离子体实验阶段）；
- (15) 等离子体电流下降（根据设定程序，等离子体电流逐步下降）；
- (16) 放电结束（本炮结束，系统执行数据保存、波形归档、状态复位）。

本项目“和龙-2”装置工作流程示意图见图 2-42。

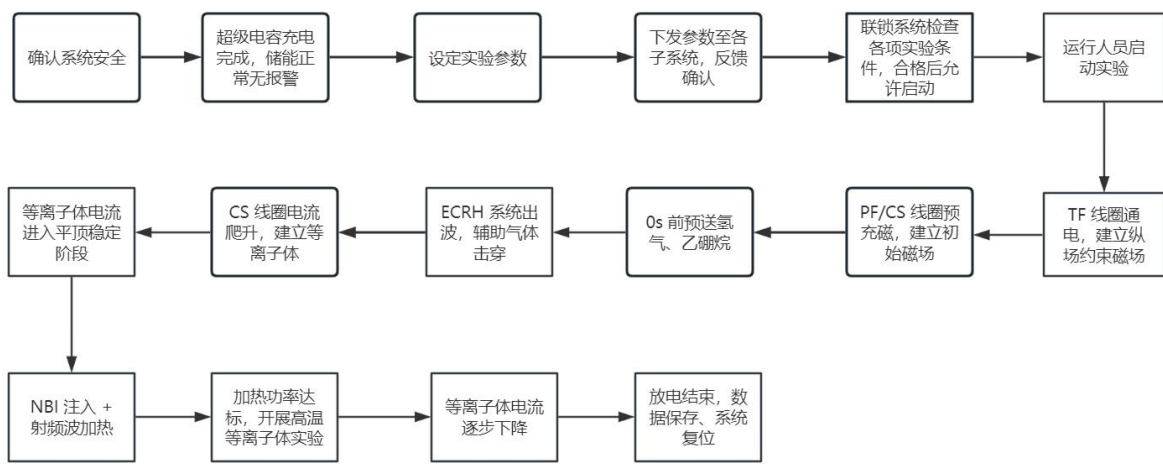


图 2-42 “和龙-2”装置工作流程示意图

在启动加热后，会产生电磁辐射。在进入高温等离子体实验阶段，会产生电离辐射。包含以下两种情况：

- 1) 稳态运行：
 - i 电子与离子库仑场相互作用碰撞产生的韧致辐射；
 - ii 带电粒子在磁场中圆周运动产生的回旋辐射。
- 2) 等离子体破裂：

i 逃逸电子经环电压加速能量可高达 10 MeV 以上，撞击器壁材料时会产生连续的韧致辐射（X 射线）；

ii 超过 10 MeV 的 X 射线与器壁材料等通过(p,n)反应会产生少量中子。

1.2 中性束离子源装置

中性束实验室离子源装置实验运行工作流程如下：

（1）运行人员确认所有系统安全（真空室主机无异常报警，电源系统无故障，门禁状态正常，真空、送气、冷却正常，无人员滞留主机车间）；

（2）高压电源、射频电源、辅助电源等系统进入待放电准备状态，无过压、过流报警；

（3）设定实验参数（电源、射频功率、工作气体气压、时序等参数）；

（4）快控系统下发参数，同步检查实验条件（各系统指回令状态、门禁关闭状态、急停状态、电源允许状态、冷却与真空状态、接地杆状态），全部满足后允许实验启动；

（5）启动实验；

调试过程中，离子束与负离子束在离子源腔体内产生、引出和传输过程中，束粒子（ H^- 、 H 、 H^+ 和 e ）与结构材料（真空腔体、电极、量热靶、诊断靶等）相互碰撞，产生电离辐射（X 射线）。

2.污染源项分析

2.1 电离辐射源项

装置运行过程中产生的辐射场，主要为装置运行期间产生的“瞬发辐射”和装置停机后依然存在的“残余辐射”。

瞬发辐射是装置运行时粒子与结构部件发生核反应产生，特点是能量高、辐射强，但会随着装置的停机而完全消失。

残余辐射即感生放射性，主要来自空气、冷却水及设备部件被中子轰击产生的活化产物，在装置停机后依然存在。

2.1.1 瞬发辐射

瞬发辐射包含 X 射线和中子。

2.1.1.1 X 射线

正常运行工况下，等离子体稳态运行，处于热力学平衡状态的等离子体温度平均值为 30 keV，此时的主要辐射来自带电粒子在电磁场中的加速、减速，这包括轫致辐射、回旋辐射等。轫致辐射主要是电子与离子的库仑场相互作用的碰撞过程产生的辐射；回旋或者同步辐射则是在磁场中，带电粒子圆周运动产生的辐射。

特殊运行工况下，部分电子能量高于某阈值时，受到环电压加速形成逃逸电子，等离子体稳定约束状态失效，称为等离子体破裂现象。逃逸电子被加速后能量可高达 10 MeV 以上，这部分高能逃逸电子与器壁结构材料作用，会产生连续轫致辐射（X 射线）。

2.1.1.2 中子

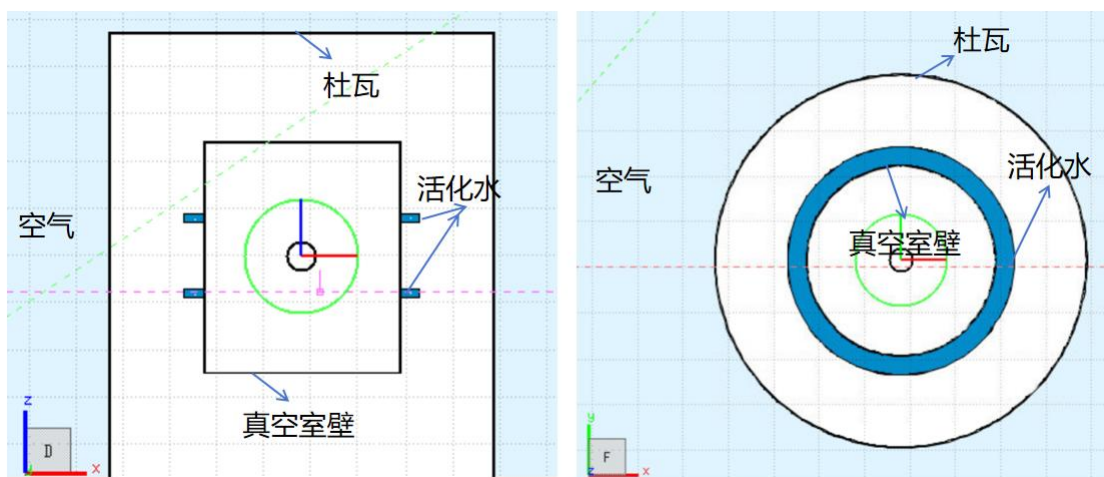
特殊运行工况下，逃逸电子被加速后能量可高达 10 MeV 以上，这部分高能逃逸电子与器壁结构材料作用，会产生连续轫致辐射（X 射线），超过 10 MeV 的高能 X 射线还可与真空室壁面材料发生光核反应，产生少量中子。

氢硼聚变本身不产生中子，通过梳理燃料、杂质以及产物的各种副反应，确认氢硼聚变反应的产物 α 粒子可以与燃料中的杂质 ^{10}B 发生反应，单次脉冲的中子产生率为： $5.22 \times 10^9 \text{ n/s}$ （能量约 1.2 MeV，无法引起空气、冷却水及设备部件活化，屏蔽计算时可不考虑其活化衍生辐射）。

2.1.2 感生放射性

原本稳定的核素因粒子照射而产生的放射性被称之为感生放射性。特殊运行工况下，“和龙-2”装置可能因等离子体约束失控发生等离子体破裂现象，此时逃逸电子撞击壁材料等会有约 1% 份额转化为硬 X 射线，且少量硬 X 射线能量会超过 10 MeV，进而通过 (γ, n) 反应产生少量中子，将周边空气或固体结构材料等活化。本次采用 FLUKA 软件对“和龙-2”装置的感生放射性核素活度浓度进行计算，并与《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度》（GB27742 - 2011）中的豁免标准进行对比，以实现放射性废物产生情况的评估。

感生放射性计算过程中，考虑了“和龙-2”周边空气、冷却水以及真空室壁等易活化材料。其中，空气及冷却水均按静态无循环进行计算，计算了放电 1 炮



(a) 剖面图

(b) 平面图

图 2-43 感生放射性模型图

表 2-14 放电 1 炮后 (0 min) 空气中主要放射性核素模拟结果

核素	A	Z	半衰期	总比活度 (Bq/cm ³)
Ar-41	41	18	109.61 min	4.48E-09
N-13	13	7	9.965 min	2.5E-07

表 2-15 放电 1 炮后 (0 min) “和龙-2”装置真空室壁主要放射性核素模拟结果

核素	A	Z	半衰期	比活度 (Bq/g)	豁免标准 (Bq/g)
Ni-65	65	28	2.5175 h	6.13E-07	10
Mn-56	56	25	2.5789 h	1.60E-04	10
Fe-53	53	26	8.51 min	4.61E-05	/

由表 2-14 和表 2-15 可得出以下结论：

(1) 室内空气中短寿命核素 N-13、Ar -41 活度浓度极低，另外，主机车间设有通风装置，对放炮间隔期间进入主机车间进行巡检的工作人员造成的内照射辐射影响可以忽略不计。

(2) 冷却水无活化产生。

(3) “和龙-2”装置真空室壁的感生放射性核素活度浓度远低于豁免标准限值。

2.2 电磁辐射源项

“和龙-2”装置产生电磁辐射的系统主要为电子回旋共振加热系统和离子回旋共振加热系统。产生高频电磁辐射的设备分别是回旋管、速调管和电子管。微波源产生微波功率，由传输设备传输至发射天线，由发射天线馈入等离子体。微波通过天线辐射至装置内部的等离子体中，都在波导管内辐射。

“和龙-2”装置电磁辐射系统参数情况详见表 2-16。

表 2-16 “和龙-2”装置电磁辐射系统及参数

电磁辐射系统	具体参数
电子回旋加热	1 套 50 GHz, 1 MW 7 套 105-140 GHz, 1 MW, 共计 7 MW
离子回旋加热	6 套 50-90 MHz, 1.5 MW, 共计 9 MW

2.3 非放射性污染源项分析

聚变装置硼化壁处理：硼化壁处理使用氦气作为载气来沉积硼涂层，形成固体沉积物 10-100nm 厚的纯硼薄膜，以降低等离子体中的杂质。一个纯度高的纯硼薄膜可以有效吸附真空室内残留的水汽、氧气和一氧化碳等杂质气体，实现“硼化清洗”的效果。

刻蚀：在放电效果较差时，通过刻蚀去硼膜，一年刻蚀 10 次，采用通入三氟化氮气体和硼膜中的硼反应的原理，反应效率 30%，生成微量的三氟化硼和氮气，达到去除硼的效果。

本项目生产过程中主要污染物的产生情况见下表。

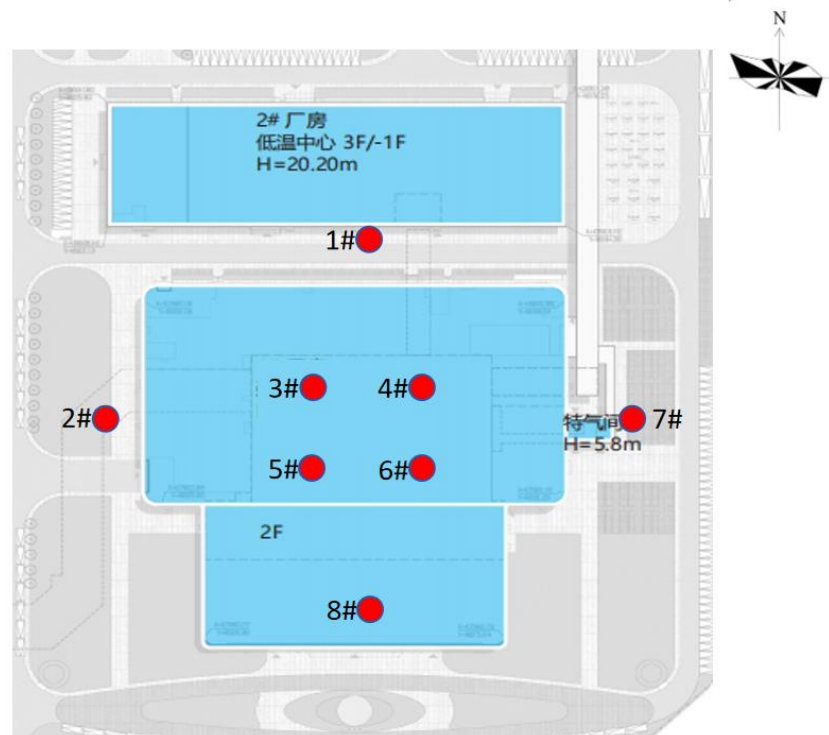
表 2-17 本项目生产过程中主要污染物的产生情况一览表

污染类别	序号	排污节点	主要污染物	治理措施或去向	产生规律
废水	W1	冷却循环系统 定期排污水、 软水制备浓水	pH、COD、 BOD ₅ 、SS、氨氮	排入市政污水管网	间断
	W2	生活污水	pH、COD、 BOD ₅ 、SS、氨氮	经化粪池处理后排 入市政污水管网	间断
噪声	N	机械设备及风 机等	Leq (A)	基础减振、厂房隔 声、风机软管连接 等	连续
固废	S	纯水制备	废滤芯及废反渗透 膜	厂家回收	间断

			化粪池	化粪池污泥	有资质单位定期清	间断
			设备保养	废润滑油	依托新奥科技发展有限公司危废间，定期交由有资质单位进行处理	间断
				废润滑油桶		间断
			更新设备擦拭	废乙醇包装瓶		间断
				废抹布		
			废气处理装置	废金属吸附剂		间断
			职工生活	生活垃圾	委托环卫部门处理	间断
与项目有关的原有环境污染问题	廊坊新奥聚变科技有限公司成立于 2026 年 6 月 11 日，本项目为公司成立后 拟建设的首个新建的建设项目，无与项目有关的原有环境污染问题。					

三、区域环境质量现状、环境保护目标及评价标准

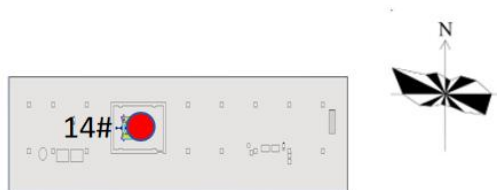
区域 环境 质量 现状	根据本项目基本信息，对项目厂址及周围环境的 X-γ辐射空气吸收剂量率、中子周围剂量当量率、电磁辐射环境质量及厂址周边连续等效 A 声级开展了相关检测。 委托中国原子能科学研究院监测室于 2026 年 9 月 16 日对项目拟建厂址环境γ空气吸收剂量率和中子周围剂量当量率进行了监测； 委托中国电子工程设计院股份有限公司于 2026 年 8 月 25 日对项目拟建厂址的环境电场强度进行了监测，检测报告编号为 DZY-263112-Z-(025)(03)FWZ、DZY-263112-Z-(025)(04)FWZ，见附件 3； 委托真维（廊坊）检测技术服务有限公司 2026 年 8 月 13 日对项目拟建厂址的现状噪声进行了监测，监测报告编号为 ZW JC[2026]08047，见附件 4； 1.辐射环境现状调查与评价 根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）及《中子周围剂量当量率测量方法》（FB 01—2022）（非标方法，经过 CMA 认证）的相关要求，结合本项目主要辐射污染因子的类别和特征，对廊坊新奥聚变科技有限公司拟建设的球形环氢硼等离子实验平台厂址环境四周γ空气吸收剂量率和中子周围剂量当量率进行了检测。 1.1 监测点位 本项检测点布置情况详见图 3-1。
----------------------	--



(1) 和龙-2



(2) 中性束一层



(3) 中性束负一层

注:● 1#~● 14#为检测点位。

图 3-1 拟建设的球形环氢硼等离子实验平台空地检测布点示意图

1.2 监测方法

本项目辐射环境监测方法见表 3-1。

表 3-1 辐射环境监测方法

序号	监测因子	监测方法
1	X-γ辐射剂量率	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）
2	中子周围剂量当量率	《中子周围剂量当量率测量方法》(FB 01—2022)

1.3 监测仪器

本项目辐射环境本底监测使用仪器基本信息见表 3-2。

表 3-2 辐射环境监测仪器基本信息

序号	设备名称	设备型号	能量范围	检定有效期	测量范围
1	X、γ剂量率仪	FH40G-X+FBZ672E-10	20 keV~7 MeV	2026.3.20-2027.3.19	0.1 nSv/h~100 uSv/h
2	中子剂量当量率仪	LB123+LB6411	热中子~20 MeV	2026.3.3-2027.3.2	0.1 μSv/h~100 mSv/h

1.4 监测结果及分析

本项目拟建厂址环境γ空气吸收剂量率范围为 35~59 nGy/h，处于天然本底水平；中子周围剂量当量率低于仪器最小探测下限 50 nSv/h。环境辐射水平检测结果见表 3-3。

表 3-3 环境辐射水平检测结果

检测序号	γ 空气吸收剂量率(nGy/h)	中子周围剂量当量率 (nSv/h)
1#	47±1	<50
2#	49±1	<50
3#	47±1	<50
4#	49±1	<50
5#	51±1	<50
6#	47±1	<50
7#	56±2	<50
8#	49±1	<50
9#	57±2	<50
10#	44±1	<50
11#	43±1	<50
12#	52±0	<50
13#	35±1	<50
14#	59±1	<50

注： γ 空气吸收剂量率含宇宙射线响应值（11.5 nGy/h）。

2.电磁环境质量现状调查与评价

委托中国电子工程设计院股份有限公司于 2026 年 8 月 25 日对项目场址周围电场强度进行监测。

2.1 监测点位

监测测点位详见图 3-2。

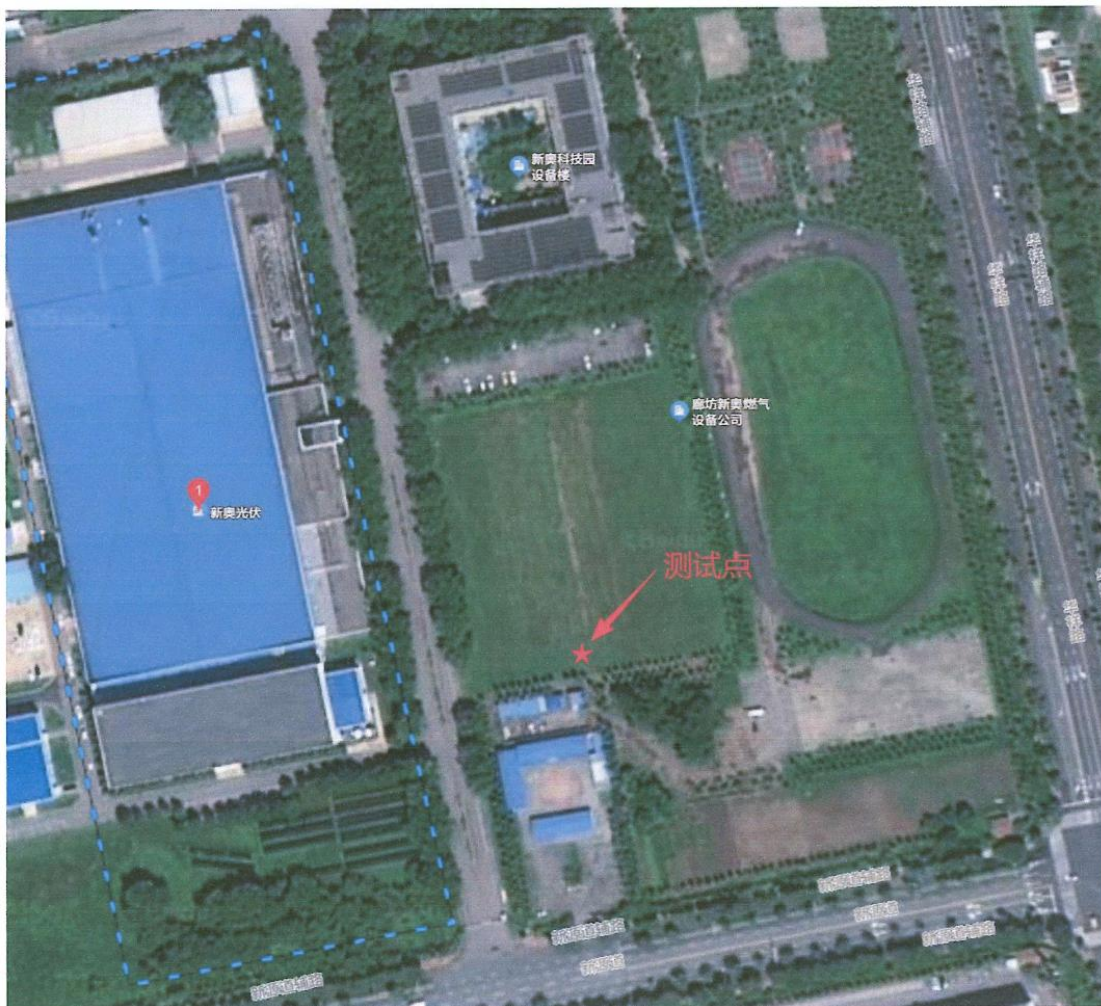


图 3-2 项目测试点位置图

2.2 监测方法

本项目电磁环境质量监测方法见表 3-4。

表 3-4 电磁环境质量监测方法

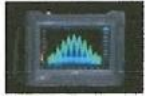
序号	监测因子	监测方法
1	电场强度	《电磁辐射暴露限制和测量方法》 GJB5313A-2017

2.3 监测仪器

本项目电磁环境质量监测使用仪器基本信息见表 3-5。

表 3-5 电磁环境质量监测仪器基本信息

序号	仪器名称	实物照片	型号	参数
----	------	------	----	----

1	频谱仪		NCEBE-A-FWZ001	频率范围：9 kHz-54 GHz;
2	喇叭天线		NCEBE-A-FWZ002	频率范围：18 GHz-50 GHz
3	对数周期天线		NCEBE-A-FWZ004	频率范围：30 MHz-3 GHz

2.4 电磁环境质量现状监测结果

本项目辐射环境本底电场强度监测结果见表 3-6。

表 3-6 测试点电磁环境测量数据

高频段		低频段	
扫描频率频段	环境场强(V/m)	扫描频率频段	环境场强(V/m)
50 G	0.000397192	50 MHz-90 MHz	0.000237137

检测结果表明，地块内 50 GHz 频率最大电场强值为 0.000397192 V/m，小于 27 V/m，满足电磁环境控制限值要求。地块内 50 MHz-90 MHz 频率范围内最大电场强值为 0.000237137 V/m，小于 12 V/m，满足电磁环境控制限值要求。

3. 声环境现状监测

厂界外周边 50m 范围内声环境保护目标为厂址西侧 15m 处的廊坊开发区第一中学（未建设）。

3.1 监测点位

根据《廊坊市中心城区声环境功能区划分方案》的补充说明（2023 年 11 月 20 日），本项目所在地属于 2 类声环境功能区，声环境执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中 2 类标准；项目东侧的华祥路和南侧的新源道 30m 范围为 4a 类声环境功能区。项目东厂界紧邻华祥路，南厂界紧邻新源道，因此东厂界和南厂界执行 4a 类声环境功能区标准。本项目在廊坊市中心城区声环境功能区中的位置见图 3-3。

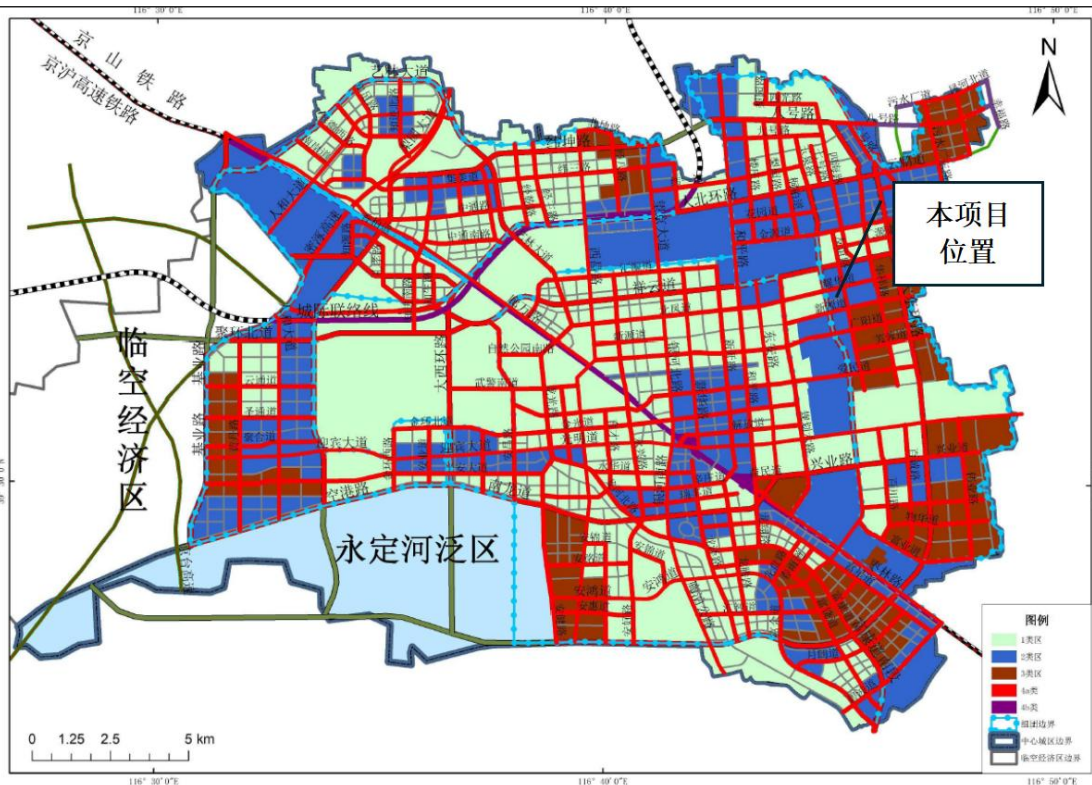


图 3-3 本项目在廊坊市中心城区声环境功能区中的位置示意图

表 3-7 声环境质量标准 单位：dB (A)

声环境功能区类别	执行标准		适用范围
	昼间	夜间	
4a 类	70	55	东厂界、南厂界
2 类	60	50	西厂界、北厂界

本项目于 2026 年 8 月 13 日对厂界及环境保护目标声环境质量现状进行监测(检测报告编号：ZWJC[2026]08047 号)，监测方案如下：

1 监测点位：东、西、南、北厂界及廊坊开发区第一中学（未建设），监测点位图见图 3-4。



图 3-4 声环境质量监测点位图

2 监测频次：昼间、夜间各一次。

3.2 监测方法

按照《声环境质量标准》(GB3096-2008)中的规定进行测量。

3.3 监测结果与评价

监测结果：本项目环境保护目标声环境质量现状监测结果如下。

表 3-8 声环境质量现状监测结果表 单位：dB（A）

监测点位	检测结果		执行标准		是否达标
	昼间	夜间	昼间	夜间	
东厂界	58	48	70	55	达标
南厂界	55	46	70	55	达标
西厂界	57	44	60	50	达标
北厂界	54	47	60	50	达标
廊坊开发区第一中学（未建设）	54	47	60	50	达标

由上表可知，本项目东、南厂界噪声现状监测结果满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 4a 类标准限值；西、北厂界及声环境保护目标噪声现状监测结果满足《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准限值。

4.大气环境

根据廊坊市生态环境局发布的《廊坊市生态环境质量报告书（2024 年）》中开发区相关的数据和结论，进行环境质量空气达标区判定。评价结果见下表：

表 3-9 廊坊开发区环境空气质量统计结果一览表						
区域名称	污染物	年评价指标	现状浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GB3095-2012 及修改单标准 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率 (%)	达标情况
廊坊市开发区	SO ₂	年平均质量浓度	3	60	5	达标
	NO ₂	年平均质量浓度	31	40	77.5	达标
	PM _{2.5}	年平均质量浓度	37	35	105.71	不达标
	PM ₁₀	年平均质量浓度	67	70	95.71	达标
	CO	24 小时平均第 95 百分位浓度值	1000	4000	25	达标
	O ₃	日最大 8 小时滑动平均第 90 百分位浓度值	179	160	111.88	不达标
根据《廊坊市生态环境质量报告书（2024 年）》及旧的标准：《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及修改单中二级标准，廊坊开发区区域环境空气中 PM _{2.5} 年平均质量浓度、O ₃ 日最大 8 小时平均值第 90 百分位数浓度超标。						
以下为《环境空气质量标准》（GB 3095—2026）中“过渡阶段浓度限值”对比结果。						
表 3-10 区域环境空气质量统计结果一览表						
区域名称	污染物	年评价指标	现状浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GB 3095— 2026 过渡 期二级标准 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率 (%)	达标情况
廊坊市开发区	SO ₂	年平均质量浓度	3	60	5	达标
	NO ₂	年平均质量浓度	31	40	77.5	达标
	PM _{2.5}	年平均质量浓度	37	30	123.3	不达标
	PM ₁₀	年平均质量浓度	67	60	111.7	不达标
	CO	24 小时平均第 95 百分位浓度值	1000	4000	25	达标
	O ₃	日最大 8 小时滑动平均第 90 百分位浓度值	179	160	111.88	不达标

本项目属于在 2026 年 3 月 1 日至 2030 年 12 月 31 日期间审批的建设项目，基准年 2024 年环境质量现状数据，按照《环境空气质量标准》（GB 3095—2026）中“过渡阶段浓度限值”进行达标判定，PM₁₀、PM_{2.5}年均浓度及 O₃ 日最大 8 小时滑动平均第 90 百分位数浓度不满足新标准中过渡阶段二级浓度限值要求。根据《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）中 6.4.1 项目所在区域达标判断规定：“城市环境空气质量达标情况评价指标为 SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、O₃，六项污染物全部达标即为城市环境空气质量达标”。

因此，本项目所在区域属于环境空气质量不达标区。

为改善廊坊市环境空气质量现状，随着《廊坊市深入打好重污染天气消除、臭氧污染防治、柴油货车污染治理和城市大气污染深度治理攻坚战行动方案》（廊气办字〔2023〕70 号）的实施，廊坊市环境空气质量现状逐步得到改善。

5.水环境

根据《廊坊市生态环境质量报告书（2024 年）》，廊坊市 2024 年各河流断面均达到考核目标要求，区域地表水质良好。

6.生态环境

本项目位于廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区，占地范围内无特殊生态敏感区和重要生态敏感区等生态保护目标，因此，不开展生态环境质量现状调查。

7.地下水

根据《环境影响评价技术导则地下水环境》（HJ610-2016），本项目地下水环境影响评价项目类别为 IV 类，且本项目为污染影响类报告表，厂区内不设危废间，不存在地下水环境污染途径，不会对地下水环境造成影响，故不开展地下水环境质量现状监测。

8.土壤环境

根据《环境影响评价技术导则土壤环境（试行）》（HJ 964-2018）及污染影响类报告表指南，本项目土壤环境影响评价项目类别为 IV 类项目，厂区内不

	设危废间，不存在土壤环境污染途径，不会对土壤环境造成影响，故无需开展土壤环境现状监测。
--	--

1.评价范围

1.1 电离辐射评价范围

根据《环境影响评价技术导则 磁约束聚变装置》（征求意见稿）第 4.5.1.1 条，等离子体物理实验装置辐射环境影响评价范围根据装置相关参数按照聚变装置分类管理确定评价范围。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）中对评价范围和保护目标的要求，“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物边界外 50 m 的范围（无实体边界项目视具体情况而定，应不低于 100 m 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“和龙-2”装置和中性束实验室属于II类射线装置，主机车间及中性束实验室有实体屏蔽物，因此，取主机车间和中性束实验室屏蔽体边界外 50 m 作为评价范围，评价范围图见图 3-5。

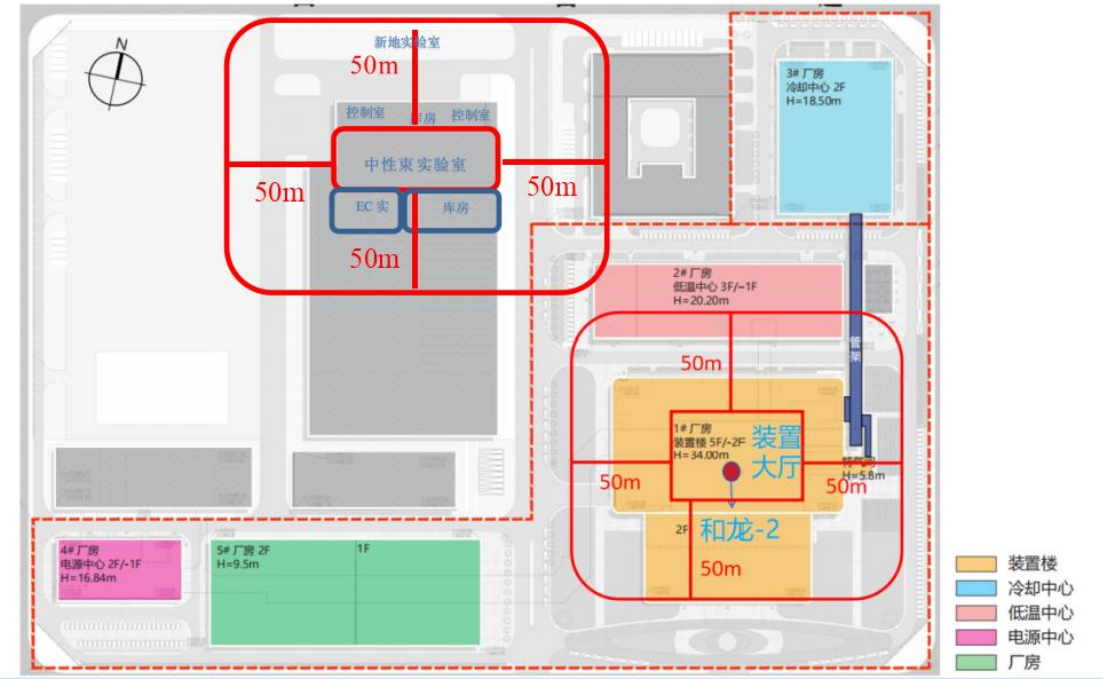


图 3-5 本项目 50 m 电离辐射评价范围图

1.2 电磁辐射评价范围

根据《环境影响评价技术导则 磁约束聚变装置》（征求意见稿）第 4.5.1.3 条，电磁辐射环境按照 HJ/T 10.3 确定评价范围，通常为：以主机车间为中心的

250 m。本项目“和龙-2”主机车间的电子回旋加热系统和离子回旋加热系统可能会产生一定电磁辐射影响，中性束实验室无电磁辐射产生。以主机车间为中心的 250 m 电磁辐射评价范围如图 3-6 所示。



图 3-6 本项目 250 m 电磁辐射评价范围图

1.3 声和大气环境评价范围

本项目声环境影响评价范围为项目厂界周围 50 m 范围，本项目大气环境影响评价范围为项目厂界周围 500 m 范围。



图 3-7 本项目声和大气环境评价范围图

2.环境保护目标

2.1 电离辐射环境保护目标

本项目“和龙-2”主机车间周围 50 m 电离辐射评价范围均位于厂区内。周围环境保护目标情况见表 3-11。

表 3-11 本项目周围电离辐射环境保护目标情况

序号	方位	名称	距离 (m)	人数	人员类别
1	主机大厅一层南侧	中控大厅	20	60	职业+ 公众
2	主机大厅三层西北侧	电子回旋大厅（控制室）	24	6	公众
3	主机大厅一层西北侧	离子回旋大厅（控制室）	24	10	公众
4	主机大厅一层西侧	预装大厅	14.5	7	公众
5	主机大厅负一层北侧	核测量诊断设备间	4.7	2	公众
6	主机大厅负一层南侧	微波诊断设备间	6.3	2	公众
7	主机大厅负一层北侧	核测量诊断间	4.7	2	公众
8	主机大厅负一层北侧	辐射诊断间 01	4.7	2	公众
9	主机大厅负一层北侧	激光诊断间 01	4.7	2	公众
10	主机大厅负一层北侧	激光诊断间 01-设备间	4.7	2	公众
11	主机大厅负一层南侧	光学诊断间 01	6.3	2	公众

12	主机大厅负一层南侧	微波诊断间 01	6.3	2	公众
13	主机大厅负一层南侧	光谱诊断间 01	6.3	2	公众
14	主机大厅负一层南侧	光谱诊断间 02-设备间	6.3	2	公众
15	主机大厅东侧	道路	30~50	/	公众
16	主机大厅东侧	特气间	20	1	公众
17	主机大厅西侧	道路	30~50	/	公众
18	主机大厅北侧	2#厂房（低温中心）	50	3	公众
19	主机大厅北侧	道路	25~50	/	公众

中性束实验室项目车间周围 50 m 电离辐射周围环境保护目标情况见表 3-12。

表 3-12 中性束实验室项目周围电离辐射环境保护目标情况

序号	方位	名称	距离（m）	人数	人员类别
1	实验室南侧东部	库房	10	3	公众
2	实验室南侧西部	ECRH 实验室	20	3	公众
3	实验室南侧	中性束正源实验室	40-50	5	职业
4	实验室北侧东部	200kV 负源控制室	20	5	职业
5	实验室北侧西部	80kV 正源控制室	5	5	职业
6	实验室北侧西部	配电室	10	/	公众
7	实验室北侧中部	库房	5	/	公众
8	实验室北侧	道路	20~30	/	公众
9	实验室东侧	配电室	30~50	2	公众
10	实验室西侧	道路	20~30	/	公众

2.2 电磁辐射环境保护目标

根据图 3-6，本项目“和龙-2”主机车间周围 250 m 电磁辐射评价范围内的环境保护目标情况见表 3-13。

表 3-13 本项目电磁辐射环境保护目标情况

序号	方位	名称	距离	人数
1	/	廊坊新奥聚变科技有限公司	/	162
2	西侧	新奥光伏	131	67
3	北侧	新奥科技园设备楼	155	78
4	南侧	新奥科技园-C 座	123	47
5	北侧	新奥信息大厦	243	71
6	东侧	威卢克斯	200	83
7	东侧	东科信	203	56
8	东南	欧鹏门窗	205	34

2.3 声环境保护目标

经现场调查了解，周围 50m 声环境评价范围内的环境保护目标情况见下表。

表 3-14 本项目声环境保护目标情况

序号	方位	名称	坐标	距厂界距离 (m)	人数	功能	功能区
1	W	廊坊开发区第一 中学（未建设）	116.764553; 39.552000	10	0	文教 区	1 类 区

2.4 大气环境保护目标

本项目位于廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区。经调查，项目厂界外 500m 范围内的大气保护目标见下表。

表 3-15 本项目大气环境保护目标情况

序号	名称	坐标		相对厂址方位	相对厂址距离（m）	保护对象	功能	保护级别
		东经°	北纬°					
1	廊坊开发区第一中学（未建设）	116.764553；39.552000		W	10	师生	文教区	《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中二级标准
2	开发区新世纪中学实验校/开发区八小	116.760550；39.551790		W	350	师生		
3	荣盛尊府小区	116.762857；39.554854		NW	310	居民	居住区	
4	塞纳荣府小区	116.766370；39.559140		N	440	居民		

2.5 地下水环境保护目标

经现场踏勘，项目厂界周围 500m 范围内不涉及地下水集中式饮用水水源和热水、矿泉水、温泉等特殊地下水资源，因此不再设置地下水保护目标。

2.6 生态环境保护目标

本项目位于廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区，用地性质为工业用地，占地范围内无生态环境保护目标。

污 染 物 排 放 控 制 标 准	1.法规文件 （1）《中华人民共和国生态环境法典》（中华人民共和国第十四届全国人民代表大会第四次会议通过，2026年8月15日起施行）； （2）《中华人民共和国原子能法》（中华人民共和国第十四届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议通过，2026年1月15日起施行）； （3）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第449号，2005年12月1日施行；国务院令第709号修订，2019年3月2日起施行）； （4）《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第253号，1998年实施；国务院令第682号修订，2017年10月1日起施行）； （5）《危险化学品安全管理条例》（国务院第591号令，2013年12月7日修订）； （6）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第31号发布，自2006年3月1日起施行；生态环境部令第20号第四次修改，自2021年1月4日起施行）； （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第18号，2011年5月1日施行）； （8）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部令第16号，自2021年1月1日起施行）； （9）《产业结构调整指导目录（2024年本）》（国家发展改革委令第7号，2024年2月1日起施行）； （10）《关于聚变装置辐射安全管理有关事项的通知》（生态环境部办公厅，环办辐射函[2025]128号，2025年4月2日起施行）； （11）《关于磁约束聚变实验装置辐射安全管理有关事项的通知》（原环境保护部办公厅，环办辐射函〔2016〕1670号，2016年9月20日）； （12）《关于发布<射线装置分类>的公告》，环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告2017年第66号，2017年12月5日施行； （13）《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》（生态环境部公告第57号，2020年1月1日施行）；
---	---

(14) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》(原国家环境保护局、公安部、卫生部,环发[2006]145号,2006年9月26日施行);

(15) 《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(生态环境部令第9号,2019年11月1日施行);

(16) 《河北省生态环境保护条例》(河北省第十三届人民代表大会常务委员会第十六次会议,2020年3月27日);

(17) 《河北省辐射污染防治条例》(2020年7月30日河北省第十三届人民代表大会常务委员会第十八次会议通过)。

2.技术标准

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

(2) 《环境影响评价技术导则 磁约束聚变装置》(征求意见稿);

(3) 《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);

(4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021);

(5) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021);

(6) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019);

(7) 《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014);

(8) 《声环境质量标准》(GB3096-2008);

(9) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008);

(10) 《环境影响评价技术导则声环境》(HJ 2.4-2021);

(11) 《国家危险废物名录》(2025年版)

(12) 《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023);

(13) 《危险废物鉴别技术规范》(HJ 298-2019);

(14) 《危险废物鉴别标准通则》(GB 5085.7-2019);

(15) 《危险废物识别标志设置技术规范》(HJ 1276-2022);

(16) 《危险废物收集 贮存 运输技术规范》(HJ 2025-2012)。

3.其他

(1) 《中国环境天然放射性水平》(原子能出版社,2015年7月1日);

	(2) 《聚变点火原理概述》（谢华生等编著，中国科学技术大学出版社，2023 年 6 月出版）； (3) 《辐射防护导论》（方杰著，原子能出版社，1991 年 6 月出版）。									
总量控制指标	1.剂量限值及剂量约束值 1.1 剂量限值 依据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 B，职业照射和公众照射的剂量限值如下： (1) 职业照射 应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： 1) 连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20 mSv； 2) 任何一年中的有效剂量，50 mSv。 (2) 公众照射 实践使公众中关键人群组成员所受到平均剂量估计值不应超过下述限值： 1) 年有效剂量，1 mSv； 2) 特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1 mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5 mSv。 1.2 辐射剂量约束值 根据《环境影响评价技术导则 磁约束聚变装置》（征求意见稿）第 4.4.1.1 条，职业照射和公众照射剂量约束值代表防护的基本水平，设计过程中必须确保源相关剂量不得超过剂量约束值。同时，剂量约束值不是管理限值，但超过剂量约束值可能需要采取后续行动。 (1) 正常运行状态下，职业照射的年有效剂量约束值不超过 5 mSv； (2) 正常运行状态下，公众照射的年有效剂量约束值不超过 0.1 mSv。 本项目辐射剂量限值和剂量约束值见表 3-16。 表 3-16 本项目剂量限值和剂量约束值 单位：mSv/a <table><tr><th>分类</th><th>GB18871-2002 基本限值</th><th>剂量约束值</th></tr><tr><td>职业照射</td><td>20</td><td>5</td></tr><tr><td>公众照射</td><td>1</td><td>0.1</td></tr></table>	分类	GB18871-2002 基本限值	剂量约束值	职业照射	20	5	公众照射	1	0.1
	分类	GB18871-2002 基本限值	剂量约束值							
	职业照射	20	5							
	公众照射	1	0.1							

1.3 剂量率控制水平

根据职业照射剂量约束值，工作人员年工作时间（按照每年工作 250 天，每天工作 8 h 计算）居留因子分为 $\geq 1/2$ 和 $< 1/2$ 两种情况（前者年工作时间按 2000 h 小时考虑，后者年工作时间按 500 h 考虑）。

- （1）居留因子 $T > 1/2$ 的场所：剂量率参考控制水平 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ；
- （2）居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：剂量率参考控制水平 $\leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ；
- （3）对不需要人员到达并只有借助工具才能到达的屋顶，屋顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制。

2.电磁环境评价标准

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。频率范围在 30 MHz~3000 MHz，电场强度公众曝露控制限值为 12 V/m；频率范围在 15 GHz~300 GHz，电场强度公众曝露控制限值为 27 V/m。

3.施工期评价标准

3.1 施工期扬尘

执行《施工场地扬尘排放标准》（DB13/2934-2019）表 1 中的扬尘排放浓度限值。

表 3-17 扬尘排放浓度限值

项目	无组织排放监控点浓度限值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10*	80

3.2 噪声

施工期噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2025）标准：昼间 $\leq 70\text{dB}(\text{A})$ ，夜间 $\leq 55\text{dB}(\text{A})$ 。

3.3 固废

施工期固体废物主要为建筑垃圾和装修废油漆桶等，其中建筑垃圾污染控制需满足《建筑垃圾污染控制技术规范》要求，废油漆桶需放置于危险废物暂存间，满足《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597—2023）要求。

4.运营期评价标准

4.1 废气

本项目正常工况下无废气产生。

4.2 废水

生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂，总排口排水水质执行《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表4中三级标准及满足廊坊开发区污水处理厂进水水质要求中标准限值。

表 3-18 项目污水排放执行标准

污染因子	单位	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表4中三级标准	污水处理厂进水水质要求	本项目执行标准
pH	/	6~9	6~9	6~9
COD	mg/L	500	400	400
BOD ₅	mg/L	300	300	300
氨氮	mg/L	/	45	45
SS	mg/L	400	400	400

4.3 噪声

执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中2类和4a类标准。

表 3-19 《工业企业厂界环境噪声排放标准》 单位：dB（A）

位置	执行标准		类别
	昼间	夜间	
东厂界、南厂界	70	55	4a类
西厂界、北厂界	60	50	2类

4.4 固废

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）要求；

危险废物收集、贮存、转运执行《危险废物贮存污染控制标准》GB18597-2023)和《危险废物转移管理办法》(生态环境部公安部交通运输部部令第23号)中的有关规定；

生活垃圾执行《中华人民共和国生态环境法典》中固体废物污染防治分编关于生活垃圾污染环境防治的有关要求。

5. 污染物排放总量控制原则

根据全国主要污染物排放总量控制规划，国家对 COD、NH₃-N、SO₂、NO_x 四种主要污染物实行排放总量控制计划管理。

根据环境保护部《关于印发<建设项目主要污染物排放总量指标审核及管理暂行办法>的通知》(环发[2014]197 号)及河北省环境保护厅《关于进一步改革和优化建设项目主要污染物排放总量核定工作的通知》(冀环总[2014]283 号)的规定，项目建成后排放总量指标依照国家或地方污染物排放标准核定。

6. 建设项目执行总量指标核算

(1) 废气污染物

本项目为试验装置，生产用热采用电加热方式，厂区内不设燃煤或燃气锅炉，正常工况下无废气产生。不涉及废气总量控制污染物排放，故总量控制指标建议 SO₂0t/a，NO_x0t/a。

(2) 废水污染物

本项目生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂。污水产生量为 165196.2m³/a，确定本项目实行总量控制的废水染物为 COD、NH₃-N。

①按照污水处理厂进水水质核算

总量控制指标按照廊坊开发区污水处理厂进水水质标准进行核算，污水处理厂进水水质为：COD≤400mg/L、氨氮≤45mg/L。则按照污水处理厂进水水质要求计算污染物达标排放量结果如下：

COD 排放量计算： $165196.2\text{m}^3/\text{a} \times 400\text{mg/L} \times 10^{-6} = 66.078\text{t/a}$ ；

氨氮排放量计算： $165196.2\text{m}^3/\text{a} \times 45\text{mg/L} \times 10^{-6} = 7.434\text{t/a}$ ；

②按照污水处理厂出水水质核算

廊坊开发区污水处理厂出水参照执行北京市地方标准《水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013)中表 1 中 B 排放限值，即 COD≤30mg/L，氨氮≤1.5mg/L (2.5mg/L) (注：12 月 1 日-3 月 31 日执行括号内限值)。

本项目氨氮排放限值为 1.5mg/L。则废水污染物核定排放量为：

	COD: $165196.2\text{m}^3/\text{a} \times 30\text{mg/L} \times 10^{-6} = 4.956\text{t/a}$; 氨氮: $165196.2\text{m}^3/\text{a} \times 1.5\text{mg/L} \times 10^{-6} = 0.248\text{t/a}$; 综上, 本项目按照污水处理厂进水水质要求总量控制指标为 COD66.078t/a、氨氮 7.434t/a; SO₂0t/a、NO_x0t/a; 按照污水处理厂出水水质要求总量控制指标为 COD4.956t/a, 氨氮 0.248t/a, SO₂0t/a, NO_x0t/a。
--	---

四、主要环境影响和保护措施

施 工 期 环 境 保 护 措 施	1、施工期环境空气影响分析 施工期大气污染物主要为施工扬尘和施工车辆、机械排放的尾气。施工作业扬尘主要来源：土方的挖掘扬尘及现场储料堆放扬尘；建筑材料(白灰、水泥、砂子、石子等)的现场搬运及传输设备装卸过程扬尘；堆料表面及料堆周围地面的风蚀扬尘；施工垃圾的清理及堆放扬尘；建筑材料运输车辆造成的施工现场道路扬尘。 为有效控制施工期间的扬尘影响，根据项目具体情况，结合《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》、《环境空气细颗粒物污染综合防治技术政策》、《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》、《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T393-2007）、《河北省建筑施工扬尘防治标准》、《河北省大气污染防治行动计划实施方案》、《河北省 2023 年建筑施工扬尘污染治理工作方案》（冀建质安函[2023]105 号）、《关于印发河北省建筑施工扬尘治理方案的通知》（冀建安[2017]9 号）、《施工场地扬尘排放标准》（DB13/2934-2019）、“六个 100%”、《河北省扬尘污染防治法》（2020 年 4 月 1 日）等相关政策中有关施工扬尘的管理规定，同时根据类比调查结果及其他施工场地采取的抑尘措施，施工单位应按照起对项目施工期提出以下要求： （1）在施工现场出入口明显位置设置公示牌，公示施工现场负责人、环保监督员、防尘措施、扬尘监督管理部门、举报电话等信息； （2）在施工现场周边设置硬质封闭围挡或者围墙； （3）对施工现场出入口、场内施工道路、材料加工堆放区进行硬化处理，并保持地面整洁； （4）在施工现场出口处设置车辆清洗设施并配套设置排水设施，车辆冲洗干净后方可驶出； （5）在施工工地内堆放水泥、灰土、砂石、建筑土方等易产生扬尘的粉状、粒状建筑材料的，应当采取密闭或者遮盖等防尘措施，装卸、搬运时应当采取防尘措施； （6）建筑垃圾应当及时清运，在场地内堆存的，应当集中堆放并采取密闭或者遮盖等防尘措施；
---	--

(7) 本项目施工场应至少设置 4 个扬尘监测点。监测点位宜设置于车辆进出口处和工地所在区域主导风向下风向的施工场地边界处，在施工区域围栏安全范围内，可直接监控施工场地主要施工活动。监测点位不宜轻易变动，以保证监测的连续性和数据的可比性；

(8) 建筑物内保持干净整洁，清扫时应当洒水防尘；

(9) 在重污染天气预警期间或者出现四级以上大风天气状况时，除应急抢险外，施工单位应当停止可能产生扬尘污染的作业；

(10) 建筑工地全面做到“六个百分之百”，即工地周边百分之百围挡、物料堆放百分之百覆盖、出入车辆百分之百冲洗、施工现场道路百分之百硬化、拆迁工地百分之百湿法作业、渣土车辆百分之百密闭运输。

施工现场出入口、加工区和主作业区等处安装视频监控，与住建部门联网；按规定安装在线监测系统，与环保部门联网，对施工扬尘实时监控。新建项目开工前应安装完毕。

在施工工地同步安装视频监控设备和扬尘污染物在线监测设备，分别与建设主管部门、生态环境主管部门的监控设备联网，并保证系统正常运行,发生故障应当在二十四小时内修复。

采取以上措施后，施工场地扬尘能够满足《施工场地扬尘排放标准》（DB13/2934-2019）标准要求，施工期废气对周围环境空气影响较小。

2、施工期废水影响分析

施工期废水主要来自施工人员产生的生活污水及少量生产废水，生产废水包括土方阶段降水井排水、结构阶段混凝土养护排水，以及各种运输车辆冲洗水等，主要污染物为 SS，间歇产生，产生量不大。生产废水经沉淀池沉淀处理后回用或浇洒路面，不外排。项目施工期预计施工人员约 500 人，设置临时施工营地 1 处，施工人员生活污水经化粪池处理后定期委托环卫抽运。根据《建筑施工计算手册》一临时设施施工中“施工用水参考定额”，施工人员卫生设施用水定额为 25L/人·班，则生活用水量为 12.5t/d(4562.5t/a)，排水量按 85%计，生活用水排放量为 10.6t/d(3869t/a)，生活污水中主要污染物为 pH、COD、BODs、SS、氨氮。

为避免施工废水对当地环境造成不利影响，施工期间应采取如下防治措施：

(1)施工现场洗车废水经沉淀池处理后循环使用不外排，砂浆和石灰浆等废液及沉淀池的泥沙宜集中处理，干燥后与建筑固体废物一起处置。 (2)管道铺设前应做好地下防渗措施；做好接驳管道的设计、施工工作，对于管道接驳过程中的污水溢流要做好疏导引流工作。 (3)对于施工车辆和设备，定期委托第三方维修保养，不在现场设置维修点，避免维修废油及废水的产生。 (4)项目拟设临时施工营地 1 处，生活污水排入化粪池，化粪池定期委托环卫抽运。废水排放满足《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 4 中三级标准及满足廊坊开发区污水处理厂进水水质要求中标准限值，生活垃圾设置垃圾桶，分类收集，做到日产日清，避免污水下渗造成地下水污染。 (5)为保护项目地下水，施工单位对现场垃圾堆放应做好防渗处理，避免因雨淋或渗滤液渗漏引起地下水污染。施工单位不得在项目所在地清洗含油施工工具和设备，减少含油废水对项目地下水环境的影响。 综上所述，采取措施后施工期排放的废水不会对地表水环境产生不利影响。					
3、噪声环境影响分析					
(1) 施工噪声源强					
施工噪声主要包括施工现场的各类机械设备运转噪声和物料运输车辆的交通噪声。推土机、装载机、挖掘机的噪声参数参照《低噪声施工设备指导名录》（2024 年版）中第二部分动力源为电动机的设备中最大的噪声值；压路机、平地机采用噪声参数参照《低噪声施工设备指导名录》（2024 年版）中第一部分动力源为内燃机的设备中最大的噪声值，本项目拟采用的各类建筑施工机械产噪值及噪声监测点与设备距离见下表。					
表 4-1 施工机械产噪值一览表 单位：dB(A)					
序号	设备名称	噪声值(Lp)/距离(m)	序号	设备名称	噪声值(Lp)/距离(m)
1	装载机	78/1	4	压路机	84/1
2	挖掘机	70/1	5	平地机	82/1
3	推土机	77/1	6	运输车辆	94/1
(2) 施工噪声贡献值					

施工噪声预测采用点源衰减模式，预测计算声源至受声点的几何发散衰减，计算中不考虑声屏障、空气吸收衰减等因素，预测公式如下：

$$L_r=L_{r0}-20\lg(r/r_0)$$

式中：L_r——距声源 r 处的 A 声压级，dB(A)；

L_{r0}——距声源 r₀ 处的 A 声压级，dB(A)；

r ——预测点与声源的距离，m；

r₀——监测设备噪声时的距离，m。

利用上述公式，预测计算主要施工机械在不同距离处的衰减值，预测计算结果见下表。

表 4-2 主要施工机械在不同距离处的噪声贡献值一览表

序号	机械	不同距离处的噪声贡献值[dB(A)]							施工阶段
		40m	60m	100m	200m	300m	400m	500m	
1	装载机	46	42	38	32	10	8	6	土石方
2	挖掘机	38	34	30	24	10	8	6	
3	推土机	45	41	37	31	10	8	6	
4	压路机	52	48	44	38	10	8	6	
5	平地机	50	46	42	36	10	8	6	
6	运输卡车	62	58	54	48	10	8	6	物料运输

（3）施工噪声影响分析

将上表噪声源预测计算结果与《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2025)相互对照可知，土石方施工阶段，昼间距施工设备 40m，夜间 100m 可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2025)的要求。

本项目位于新奥科技园北区，周边 100m 范围内有距离厂界西侧 10m 处的廊坊开发区第一中学敏感点，由于现状未建设，无师生及办公人员，因此本项目施工将不会对居民等声环境产生不利影响。

（4）施工噪声污染防治措施

为最大程度减少施工噪声对周边环境的影响，建议施工单位采取以下措施：

(1)选用低噪声设备和工艺，可有效降低传统打桩产生的高噪声；加强检查、维护和保养机械设备，保持润滑，紧固各部件，减少运行振动噪声；整体设备应安放稳固，并与地面保持良好接触，有条件的可以安装减振机座来降低噪声。

(2)工地四周设置不低于 2.5 米施工围挡，可起到即隔音又防尘的作用。

(3)合理布置施工场地，布置时要考虑与敏感目标的方位及距离，将高噪声设备尽量远离敏感目标布置，并避免高噪声设备同时运行。

(4)对工人及司机进行环保培训，车辆驶入施工区应减速慢行，禁止按喇叭，降低车辆行驶噪声，装卸物料时应轻装慢放，减少物料冲击车厢发出的声响。

(5)合理安排施工时间，除工程必须并取得相关部门批准外，严禁夜间(22:00~6:00)施工。因特殊需要延续施工时间的，应按要求办理相关手续并通知周边居民。

(6)建设单位会同施工单位在施工现场设立群众来访接待处，明确施工噪声污染协调处理工作负责人及联系电话并在施工现场出入口公示，建立与周边居民的联系，提前沟通尽量取得居民理解，如发生施工噪声扰民纠纷，应积极协调相关部门妥善解决。综上所述，施工过程通过施工前设置施工围挡，夜间禁止施工，会使施工噪声影响得到很大程度地降低，且施工影响是暂时的，随着施工期的结束，这种影响也将消除。

4、固体废物

施工期固体废物主要为施工场地产生的建筑垃圾和装修废油漆桶等，其中建筑垃圾包括渣土、废钢筋和各种废钢配件，金属管线废料、木屑、刨花、各种装饰材料的包装箱、包装袋等、散落的砂浆和混凝土，碎砖和碎混凝土块；再有地基开挖、管道铺设等产生的渣土等。根据《环境统计手册》和统计数据，建筑垃圾产生量约为 $0.144\text{t}/\text{m}^2$ ，本项目建筑面积 81150.35m^2 ，因此施工期建筑垃圾产生量约 11685.65t 。施工过程中产生的建筑垃圾由施工单位分类收集，可回收利用部分收集后回用或售予废品回收站，不可利用部分运至管理部门指定的建筑垃圾消纳场处理；废油漆桶需放置于危险废物贮存库，定期交由有资质的单位处理。

本项目高峰期工程施工人员约 500 人，工地生活垃圾按 $0.5\text{kg}/\text{人}\cdot\text{d}$ 计，生活垃圾产生量为 $250\text{kg}/\text{d}(91.25\text{t}/\text{a})$ ，分类收集后由当地环卫部门定期清运。

为减少建筑垃圾、装修废油漆桶和生活垃圾对环境的影响，采取如下措施：

(1)有计划地组织施工单位，挖填方要力争做到工程区内土石方平衡；

(2)建设施工期间废建筑材料和弃渣，尽量分类后回收利用，无利用价值的废弃物应送至政府指定的弃渣场处理，不能随意丢弃倾倒，以减少对周围环境的影响。

(3)施工车辆的物料运输应避开敏感点和交通高峰期。运输必须限制在规定时间内进行，按指定路段行驶。车辆运输散体物和废弃物时，运输车辆必须做到装载适量，加盖遮布，出工地前做好外部清洗，沿途不漏泥土、不飞扬。

(4)施工现场产生的建筑垃圾随产随清不在现场堆存，施工营地设置分类垃圾桶，生活垃圾分类收集后定期交由环卫部门清运处理。

(5)装修废油漆桶

废油漆桶需放置于危险废物贮存库，定期交由有资质的单位处理。危险废物暂存和运输管理，参考“四、主要环境影响和保护措施中-运营期-四、固体废物：3、危险废物”中要求。

综上所述，采取措施后施工期固体废物全部得到妥善处理，不会对周边环境产生不良影响。

5、施工期生态环境影响分析

(1) 占地影响分析

本项目占地均为永久占地，不涉及临时占地。占地范围内现状为空地，地表植被包括草本、灌木、乔木等，不涉及生态保护红线与基本农田。本项目占地已取得不动产登记证明[冀（2026）廊坊开发区不动产证明第 0002426 号]、不动产登记证明[(冀（2026）廊坊开发区不动产证明第 0002419 号]，用地性质均为工业用地。根据本项目永久占地的土地利用性质、特点，结合项目规划中的土地利用方式及布局，项目建成运行后土地利用性质不变，仍为工业用地，因此，本项目对区域用地类型不会产生影响。

(2)对植物的影响分析

施工期对植物的影响主要集中在整个场地的建设，会对工程涉及区域植物造成直接影响。形成地表裸露，从而使该区域局部生态结构发生变化，影响了该区域的生态系统的稳定性。但是项目开挖范围是在划定红线范围之内，且开挖的植被是常见植被(草本、灌木、乔木等)，不存在珍稀保护植物，且分布也较为均匀，不会使整个评价区植物群落的种类组成发生变化，也不会造成某一物种在评价区范围内的消失。因此，本项目施工期对植物的影响可接受。

(3)对动物的影响分析

本项目所在区域人类活动频繁，场区内涉及野生动物的种类及数量都不多，常见物种主要有爬行类、昆虫和常见鸟类。项目施工期间将使原栖息地上的动物丧失栖息地和觅食地，为觅食和寻找适宜的栖息地而向四周迁移。但场区内动物都是些常见种类，评价区域内地形地貌、生境等因素对野生动物逃遁较为有利，场区外有大面积生境与项目施工所破坏的生境相似，只要它们不被捕杀，最终它们中的大多数将辗转至场区内周边其他地带。因此，项目施工所造成的原有动物迁移，不会影响区域野生动物群系组成，对整个区域的野生动物影响可接受。

(4)对水土流失的影响分析

项目场区内工程设施的建设等生产活动，将破坏占地范围内的地表植被，造成地面、坡面裸露，使得水土流失加剧。车辆行驶、人员走动直接破坏植被之外，还压坏土壤结构，使土壤板结，透气性和保水性变差，不利于植被的生长发育。场区内施工对土壤层次、结构、性质、肥力等破坏，在雨季时节将会加剧水土流失。本项目施工面积较大，经过采取临时苫盖等措施的情况下，本项目施工建设可能产生的水土流失量将降到最低限度。经采取相应的工程措施及生物措施后，对生态环境影响可接受。本项目为新建项目，主要分为土方施工、结构施工、装修等阶段，主要环境问题来源于各种施工机械和运输车辆所产生的噪声、施工废水、施工与运输车辆所产生的粉尘和二次扬尘以及建筑垃圾对周围环境产生的干扰和影响。

为尽可能降低生态环境影响，主要保护措施如下：

(1)施工期严格控制施工范围，禁止破坏施工用地范围外的植被，施工前对占地区进行表土剥离，单独保存后期用于绿化种植。

(2)尽量少占用临时用地，临时占地优先选用无植被或植被稀少的闲置荒地，施工结束后，及时对临时用地进行绿化或恢复原用途，不改变用地性质。

(3)合理安排施工计划，协调好各个施工步骤，尽量缩短工期，减少疏松地面裸露时间，土方作业避开雨季和汛期，并争取土料随挖随运、随填随压，减少堆土裸土的暴露时间，同时做好防护工程，修建排水沟，防止漫流，减少水土流失量。

	(4)施工结束后及时进行景观绿化施工，以达到防止地表裸露、减少水土流失的目的。在选取植物种类时严禁引进外来物种，选用本土植物为主，尽量减少对本土植物的干扰。
--	---

综上所述，采取措施后项目建设对周边生态环境影响很小。

运营期环境影响和保护措施	1.辐射安全与防护措施 1.1 工作场所布局 1.1.1 “和龙-2”装置 装置楼占地面积约 12633.58 平方米，总建筑面积约 43963.20 平方米，其中地上建筑面积约 31324.76 平方米，地下建筑面积约 12638.44 平方米，建筑高度为 34.0 米。地上 5 层、地下 2 层，人员主入口位于建筑南侧，货物出入口在建筑北侧。 负二层为主机车间设备层。 负一层为主机车间设备间、变电所夹层、诊断间、空调机房、工具间、消防水泵房、辅助设备用房。 一层主要为主机车间、离子回旋车间、离子回旋控制间、ICRF 调试区、诊断间、中控大厅、预装车间、200 kV 电源车间、空调机房、工具间、辅助设备用房、交班室。 二层主要为主机车间、中性束控制机房、空调机房、设备用房。 三层主要为主机车间、电子回旋车间、ECRH 控制室和调试区、空调机房、设备用房。 四层主要为主机车间、200 kV 电源车间、空调机房、设备用房。 五层主要为主机车间、100 kV 电源车间、空调机房、设备用房。 各层层平面布置图详见附图 5，房间分布详细信息见表二建设项目工程分析 2.1 项目平面布局。 主机车间实际仅设置负二层、负一层、一层共 3 个建筑楼层；下文提及的主机车间二层、三层等，并非主机车间独立建筑楼层，而是相对于建筑整体楼层，按竖向高度位置进行的划分表述。 1.1.2 中性束实验室 中性束实验室占地面积约 1600 平方米，总建筑面积约 3200 平方米，其中地上建筑面积约 1600 平方米，地下建筑面积约 1600 平方米，建筑高度为 13 米。地上 1 层、地下 1 层，人员主入口位于建筑北侧，货物出入口在建筑西侧。
--------------	--

负一层为附属设备间、冷却水系统、真空抽气、空压机、送气系统、200kV 真空室等。

一层主要为主设备车间、高压平台、电源系统、控制保护系统、采集系统等；

项目平面布局图如图 4-1 所示：

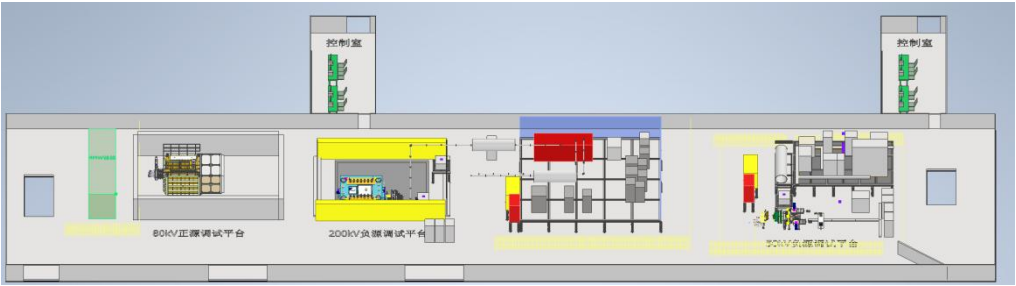


图 4-1 中性束实验室平面布局图

1.2 辐射工作场所分区

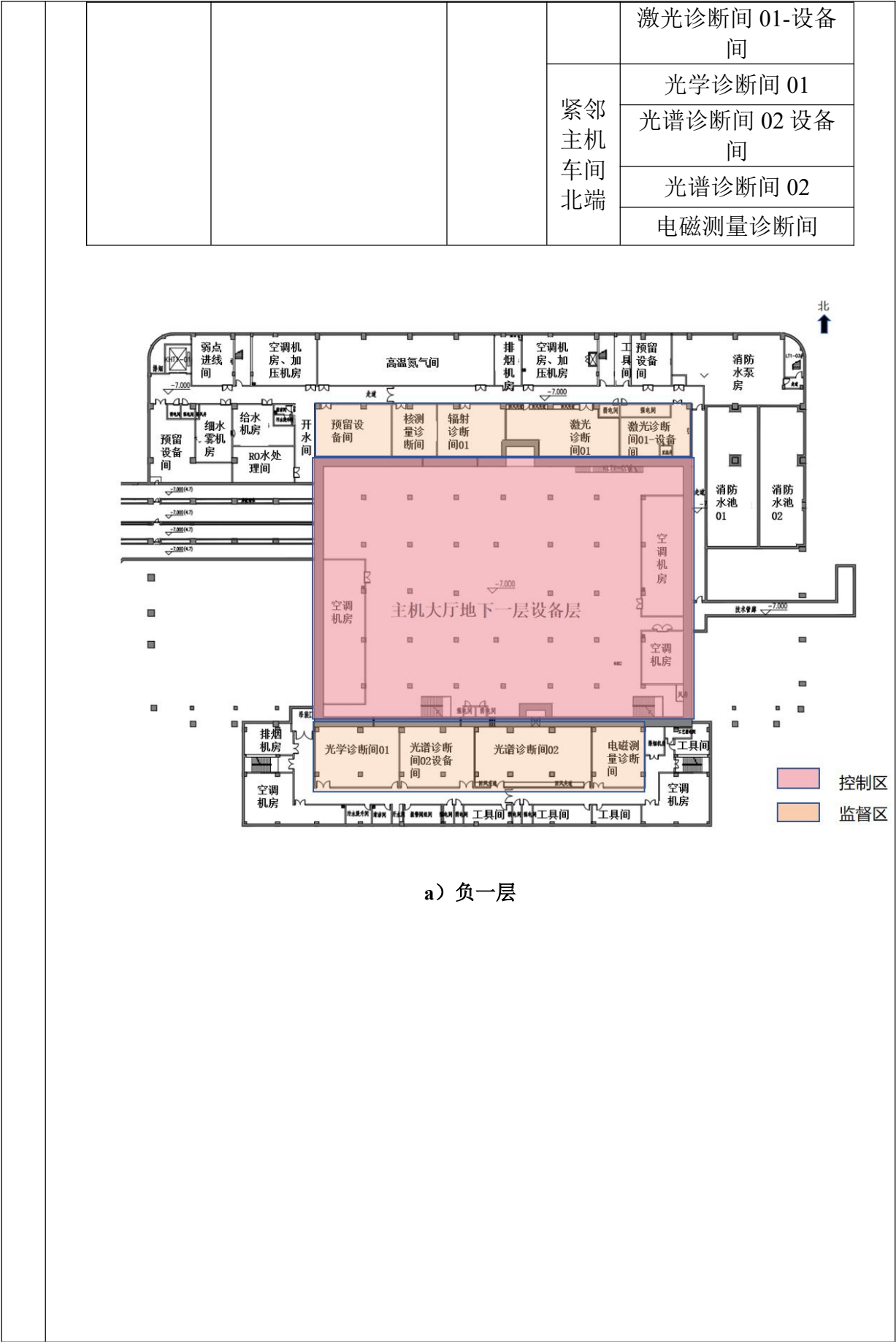
根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，将需要和可能需要专门的防护手段或安全措施的区域定为控制区；将通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域定为监督区。基于 GB18871-2002 相关要求，本项目辐射工作场所如下。

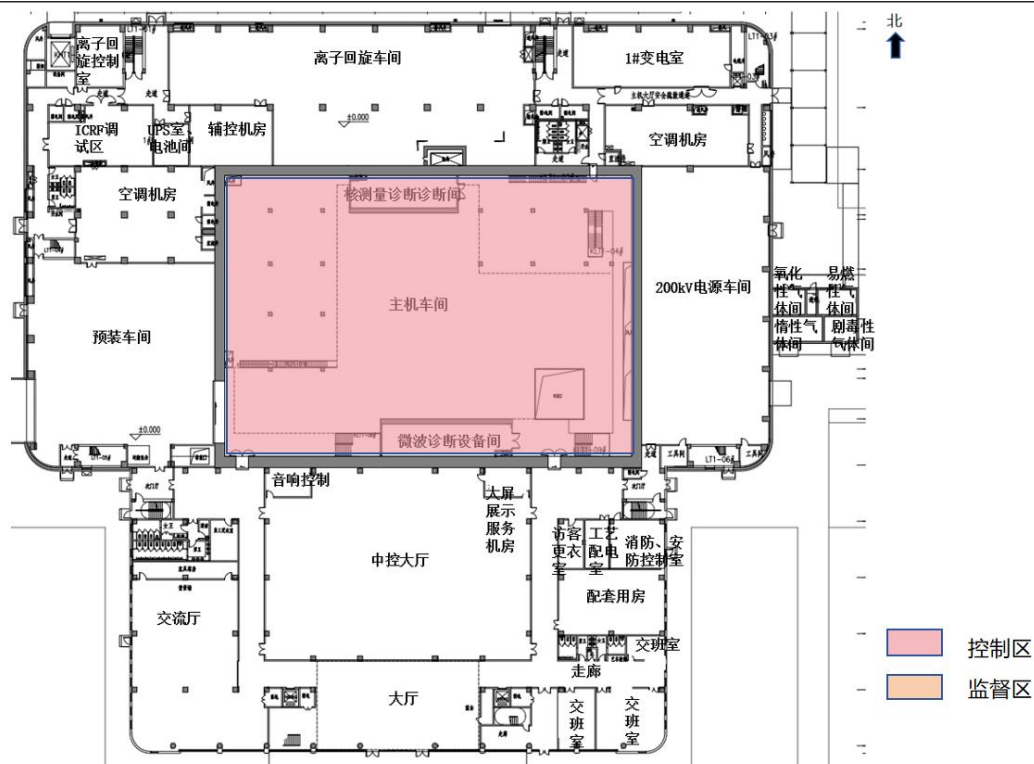
1.2.1 “和龙-2”装置

“和龙-2”控制区和监督区划分见表 4-3，本项目辐射工作场所分区情况见图 4-1。

表 4-3 辐射工作场所分区表

分区类型	管理要求	场所		
控制区	辐射工作场所重点防控区域，经门禁授权的辐射工作人员出入控制，采取门机连锁设施等。	1#厂房（装置楼）内	主机车间负一层	
			主机车间一层	
监督区	对所在工作场所监测结果或个人监测结果进行定期评估	1#厂房（装置楼）负一层	紧邻主机车间北墙	预留设备间
				核测量诊断间
				辐射诊断间 01
				激光诊断间 01





b) 一层

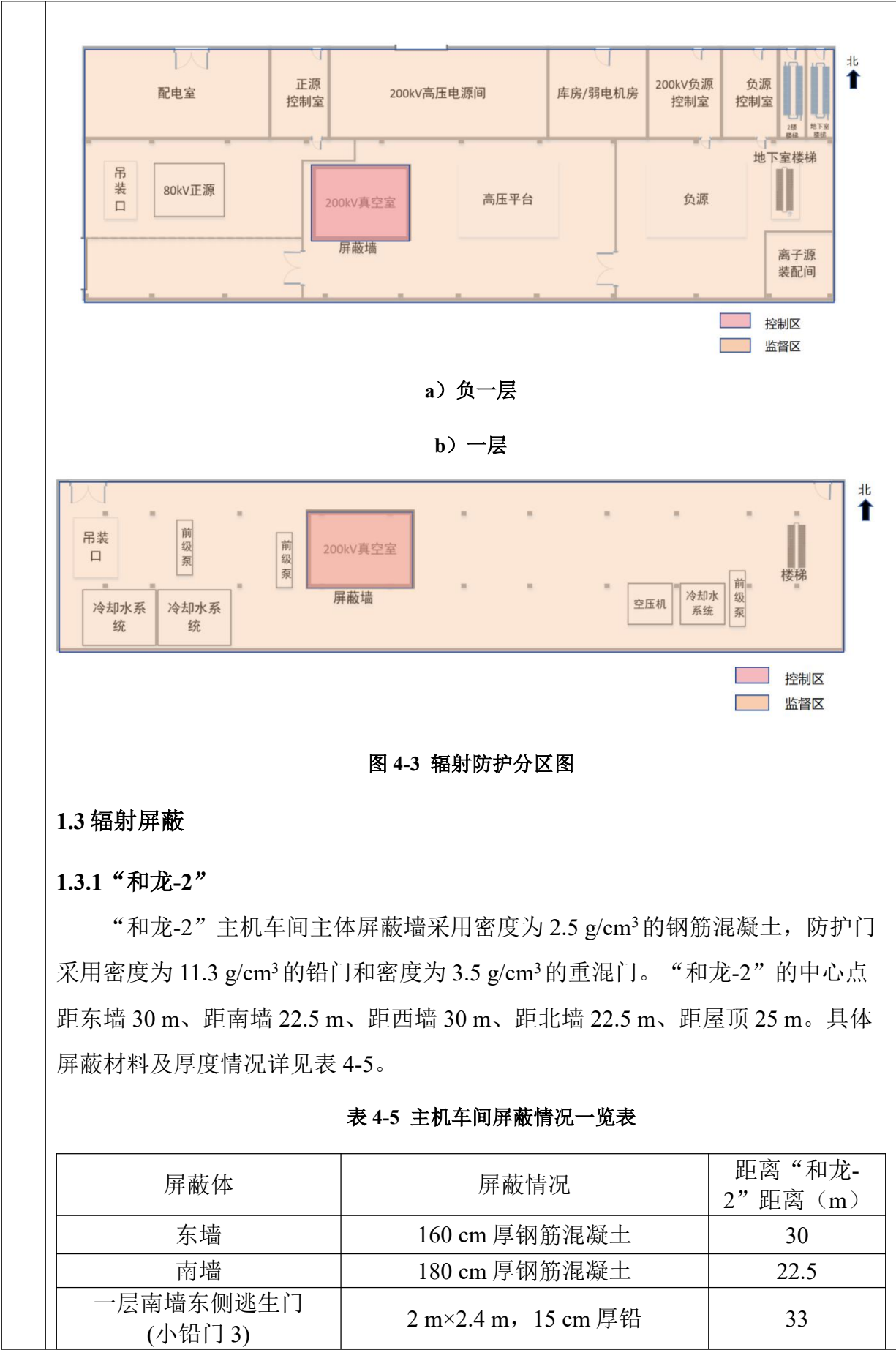
图 4-2 辐射防护分区图

1.2.2 中性束实验室

中性束实验室控制区和监督区划分见表 4-4，本项目辐射工作场所分区情况见图 4-2。

表 4-4 辐射工作场所分区表

分区类型	管理要求	场所		
控制区	辐射工作场所重点防控区域，经门禁授权的辐射工作人员出入控制，采取门机联锁设施等。	1 层	80kV 正源束线平台	
		负一层	200kV 负源调试平台	
监督区	对所在工作场所监测结果或个人监测结果进行定期评估	1 层、负一层、	1 层	80kV 正源控制室
			1 层	200kV 负源控制室
		负一层	除控制区的其它区域	
			负一层	除 200kV 负源控制区外区域



二层南墙东侧逃生门 (小铅门 6)	2 m×2.4 m, 15 cm 厚铅	33
一层南墙西侧参观门 (小铅门 2)	2 m×2.4 m, 15 cm 厚铅	31
二层南墙西侧参观门 (小铅门 5)	2 m×2.4 m, 15 cm 厚铅	31
西墙	160 cm 厚钢筋混凝土	30
一层西墙设备门 (重混门 1)	10 m×10 m, 120 cm 厚重混凝土	38
北墙	160 cm 厚钢筋混凝土	22.5
一层北墙逃生门(小铅门 4)	1.1 m×2.4 m, 15 cm 厚铅	35
室顶	48 cm 厚钢筋混凝土	25
负一层光谱诊断间穿孔迷道	负一层光谱诊断间迷道位于主机车间内, 光谱诊断间开孔位置附近, 主机车间屏蔽墙开孔 1.5 m×0.8 m, 三面为迷道墙, 上端敞开。迷道主墙体度为 1.2 m 厚钢筋混凝土, 两侧墙体为 0.5 m 厚钢筋混凝土, 迷道宽度为 1.2 m	25
回风井迷道	回风井迷道位于负一层, 大厅屏蔽墙开洞尺寸为 5 m×3.6 m, 开洞位置位于负一层大厅北墙。回风井迷道位于负一层和一层, 负一层针对孔洞墙体为 1.2 m 厚钢筋混凝土, 两侧墙体为 0.8 m 厚钢筋混凝土; 一层迷道三面墙体均为 0.5 m 厚钢筋混凝土。	23
负一层工艺风洞迷道	负一层工艺风洞迷道, 位于负一层西北侧技术走廊, 主机车间屏蔽墙分别开直径 0.7 m 和 0.6 m 的孔洞, 迷道三面均采为 0.3 m 厚的钢筋混凝土	38

负一层光谱诊断间穿孔迷道设计如图 4-4 所示。

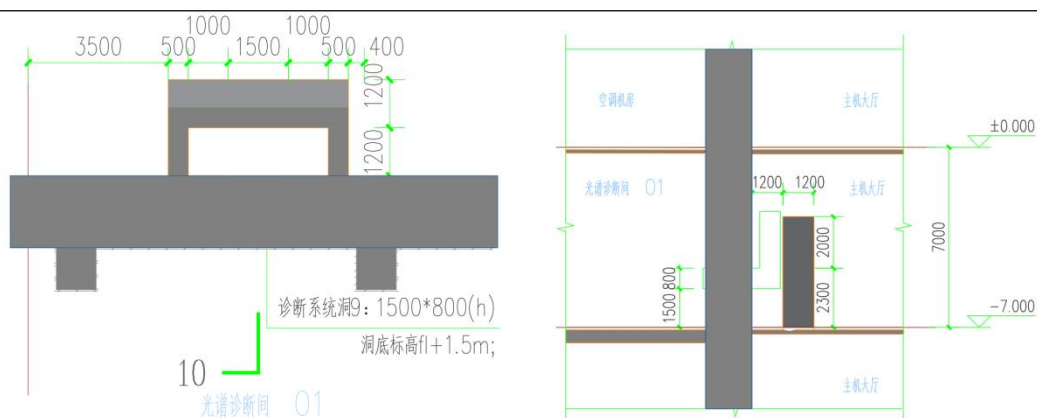


图 4-4 负一层光谱诊断间开孔迷道设计图

回风井迷道设计如图 4-5 所示。

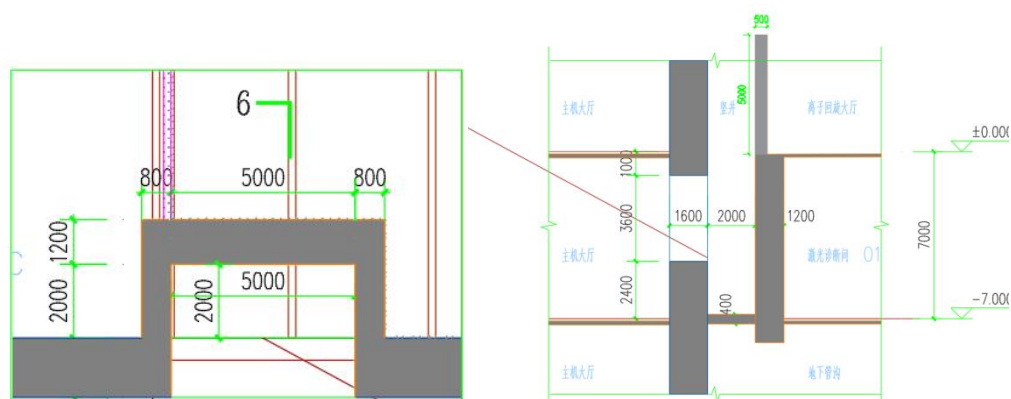


图 4-5 大厅回风井迷道设计图

负一层工艺风洞迷道设计如图 4-6 所示。

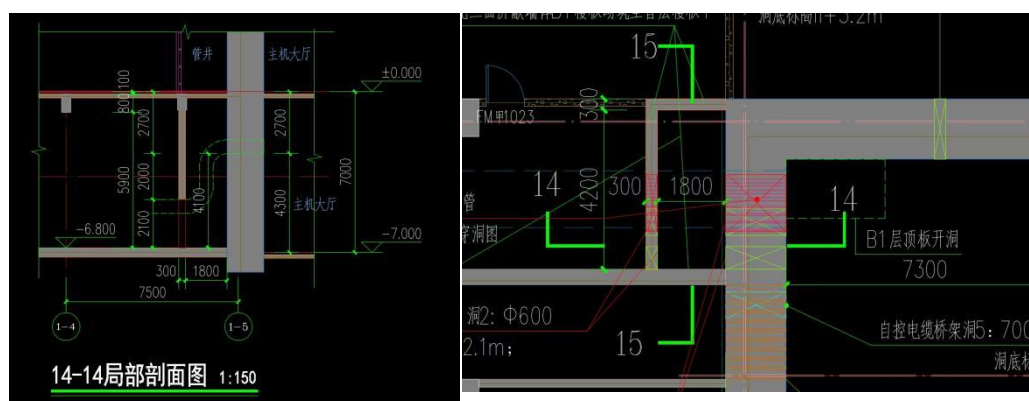


图 4-6 负一层工艺风洞迷道设计图

1.3.2 中性束实验室辐射防护屏蔽

200kV 离子源调试平台：真空室与离子源屏蔽墙采用密度为 2.35 g/cm^3 的混凝土，防护门采用密度为 11.3 g/cm^3 的铅门。真空室中心点距东墙 7.7m、距南墙 3.5 m、距西墙 4.8 m、距北墙 3.5 m、距屋顶 10m。具体屏蔽材料及厚度情况详见表 4-7。

表 4-7 200kV 离子源平台屏蔽情况一览表

屏蔽体		屏蔽情况	距离真空室中心点距离 (m)
负一层	东墙	60 cm 厚混凝土	7.7
	西墙	60 cm 厚混凝土	4.8
	南墙	60 cm 厚混凝土	3.5
	北墙	60 cm 厚混凝土	3.5
	东墙南侧 (铅门)	1.5 m×2.2 m, 20 mm 厚铅	8.1
一层	东墙	20 mm 厚铅	7.7
	西墙	20 mm 厚铅	4.8
	南墙	60 cm 厚混凝土	3.5
	北墙	60 cm 厚混凝土	3.5
顶部	顶部屏蔽	20 mm 厚铅	3.5

1.4 辐射安全联锁

1.4.1 “和龙-2”

1.4.1.1 钥匙控制

中央控制室控制台前配备 20 把总控联锁钥匙，放电间隙需进入主机车间检查的人员，必须人手一把钥匙，控制系统检测到有钥匙未归位，实验将无法启动。

1.4.1.2 人员出入管控措施

主机车间小铅门 2、3 处配备人脸识别及刷卡门禁系统，非辐射工作人员不可进入。通过面部识别或刷卡进入主机车间时，人员姓名会同步显示在小铅门上

方屏幕和中央控制室屏幕上；人员走出时，也需要面部识别或刷卡，系统将在名单中清除此人信息，名单未清零，实验不可开始。

1.4.1.3 门机联锁

大小铅门均配备了门机联锁系统，铅门开启时，装置无法运行。

1.4.1.4 急停按钮

主机车间二层、一层、负一层、负二层墙壁四周（二层东墙处人员不可达）以及监控大厅均设置有“急停按钮”，按下急停按钮，将立即关停加热系统及电源系统，实验将立即停止。

1.4.1.5 紧急开门

大铅门和小铅门附近均以及监控大厅均设有紧急开门按钮，确保主机车间人员可以在紧急情况下打开逃生。

1.4.1.6 清场巡检

主机车间二层、一层、负一层、负二层墙壁四周（二层东墙处人员不可达）均设置有“巡检按钮”，并均与控制台联锁，放电实验开始前，巡视人员进入主机车间分别按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。

1.4.1.7 声光报警

“和龙-2”装置实验运行人员在辐射安全联锁系统（屏蔽门、联锁钥匙、紧急停机及人员清零）均亮起复位绿灯，且装置各辅助系统准备就绪后，开始进行等离子体放电实验。在开始等离子体放电前 60 秒，总控系统开始倒计时，并通过声光报警装置，发出声光警报，运行前可及时提醒无关人员不得靠近，并提醒未撤离人员尽快。

1.4.1.8 警告警示标识

主机车间在人员出入小铅门及物流出入大铅门处设有电离辐射警示标志及中文警示说明，并安装有工作状态指示灯（带警报功能）。红灯状态时表示正在开

展实验，铅门无法打开，绿灯状态时表示未开展试验，铅门可以打开。此外，在人员出入小铅门外设有安全广播。

1.4.1.9 视频监控

主机车间在一层、负一层、负二层西北、东北、西南、东南角位置设有监控系统，可实现主机车间内持续监控，监控信息同步至中央控制室大屏幕上。若发现装置异常或发现有人滞留，将立即启动急停按钮。本项目的辐射安全措施布置情况见附图 6，辐射安全措施数量及位置见表 4-8。

表 4-8 辐射安全措施数量及位置

序号	项目	数量	使用地点
1	警告标识	6 个	一层西墙设备门、一层北墙逃生门、一层南墙东侧逃生门、一层南墙西侧逃生门、二层南墙东侧参观门、二层南墙西侧参观门
2	门机联锁	6 个	一层西墙设备门、一层北墙逃生门、一层南墙东侧逃生门、一层南墙西侧逃生门、二层南墙东侧参观门、二层南墙西侧参观门
3	声光报警	7 个	一层西墙设备门、一层北墙逃生门、一层南墙东侧逃生门、一层南墙西侧逃生门、二层“和龙-2”装置附近、二层南墙东侧参观门、二层南墙西侧参观门
4	总控钥匙	20 把	一层监控大厅
5	急停按钮	16 个	负二层东西南北墙、负一层东西南北墙、一层东西南北墙、二层西南北墙（二层东墙人员无法到达，所以没有巡检按钮）、一层监控大厅
6	紧急开门按钮	7 个	一层西墙设备门、一层北墙逃生门、一层南墙东侧逃生门、一层南墙西侧逃生门、一层监控大厅、二层南墙东侧参观门、二层南墙西侧参观门
7	巡检按钮	15 个	负二层东西南北墙、负一层东西南北墙、一层东西南北墙、二层西南北墙（二层东墙人员无法到达，所以没有巡检按钮）
8	视频监控	12 个	一层、负一层、负二层西北、东北、西南、东南角位置

1.4.2 中性束实验室安全联锁

1.4.2.1 人员出入管控措施

负一层及一层小铅门处配备人脸识别及刷卡门禁系统，非辐射工作人员不可进入。通过面部识别或刷卡进入真空室区域；

1.4.1.2 门机联锁

铅门均配备了门机联锁系统，铅门开启时，装置无法运行。

1.4.1.3 急停按钮

一层、负一层墙壁四周以及负源控制室均设置有“急停按钮”，按下急停按钮，将立即关停电源系统，实验将立即停止。

1.4.1.4 紧急开门

铅门附近及负源控制大厅均设有紧急开门按钮，确保人员可以在紧急情况下打开逃生。

1.4.1.5 清场巡检

放电实验开始前，巡视人员进入一层、负一层，巡查有无人员误留。

1.4.1.6 声光报警

实验运行人员在辐射安全联锁系统（屏蔽门、紧急停机）均亮起复位绿灯，且装置各辅助系统准备就绪后，开始进行等离子体放电实验。在开始离子源束流引出前 5 秒，快控系统开始倒计时，并通过声光报警装置，发出声光警报，运行前可及时提醒无关人员不得靠近，并提醒人员尽快撤离。

1.4.1.7 警告警示标识

主机车间在人员出入小铅门及物流出入大铅门处设有电离辐射警示标志及中文警示说明，并安装有工作状态指示灯（带警报功能）。红灯状态时表示正在开展实验，铅门无法打开，绿灯状态时表示未开展试验，铅门可以打开。此外，在人员出入小铅门外设有安全广播。

1.4.1.8 视频监控

一层、负一层西北、东北、西南、东南角位置设有监控系统，可实现主机车间内持续监控，监控信息同步至控制室大屏幕上。若发现装置异常或发现有人人员滞留，将立即启动急停按钮。本项目的辐射安全措施布置情况见附图 6，辐射安全措施数量及位置见表 4-9。

表 4-9 中性束实验室辐射安全措施数量及位置

序号	项目	数量	使用地点
1	警告标识	2 个	80kV 正源束线平台一层门、200kV 离子源调试平台负一层门
2	门机联锁	2 个	80kV 正源束线平台一层门、200kV 离子源调试平台负一层门
3	声光报警	4 个	80kV 正源束线平台一层门、80kV 正源束线平台一层、200kV 离子源调试平台负一层门、200kV 离子源调试平台一层
4	急停按钮	8 个	80kV 正源束线平台一层东西南北墙、200kV 离子源调试平台负一层东西南北墙
5	紧急开门按钮	2 个	80kV 正源束线平台一层门、200kV 离子源调试平台负一层门
6	巡检按钮	8 个	80kV 正源束线平台一层东西南北墙、200kV 离子源调试平台负一层东西南北墙
7	视频监控	12 个	80kV 正源束线平台一层、200kV 离子源调试平台一层、200kV 离子源调试平台负一层西北、东北、西南、东南角位置

1.5 辐射监测

廊坊新奥聚变科技有限公司为本项目的运行制定了《辐射工作场所监测管理规定》和《辐射工作人员个人剂量监测管理》，对放射性工作场所监测、周围环境监测、个人剂量监测等制定了监测计划，同时配备了相应的辐射监测设备，具体内容如下。

1.5.1 工作场所及周围环境监测

廊坊新奥聚变科技有限公司在“和龙-2”主体装置所在的主机车间及周围布置了 14 个固定辐射监测点，可进行实时监测并与门联锁，确保实验安全，“和龙-2”装置周边固定式辐射监测点位布置图见附图 7。点位信息见下表 4-10。

表 4-10 点位信息

序号	点位位置	监测因子
1	主机车间负二层南墙楼梯口	中子、X- γ
2	主机车间负一层南墙楼梯口	中子、X- γ
3	主机车间一层南墙楼梯口	中子、X- γ
4	主机车间一层西墙设备门外	中子、X- γ
5	主机车间一层南墙西侧逃生门外	中子、X- γ
6	主机车间一层南墙东侧逃生门外	中子、X- γ
7	主机车间一层北墙逃生门外	中子、X- γ
8	主机车间一层南墙外	中子、X- γ
9	主机车间一层东墙外	中子、X- γ
10	主机车间一层西墙外	中子、X- γ
11	监控大厅内（环境监测）	中子、X- γ
12	主机车间“和龙-2”装置附近	中子、X- γ
13	主机车间二层南墙西侧参观门外	中子、X- γ
14	主机车间二层南墙东侧参观门外	中子、X- γ

此外，公司利用便携式 X- γ 剂量率仪和便携式中子剂量率仪定期对“和龙-2”主机车间、周边办公室和实验室以及其他辐射工作人员经常滞留或出入的场所地点进行监测。

中性束实验室安全周围布置了 6 个固定辐射监测点，可进行实时监测并与门联锁，确保实验安全。中性束实验室周边固定式辐射监测点位布置图见附图 7。点位信息见下表 4-11。

表 4-11 点位信息

序号	点位位置	监测因子
1	80kV 正源束线平台一层门外	X- γ
2	80kV 正源束线平台内	X- γ
3	200kV 离子源调试平台负一层门外	X- γ
4	200kV 离子源调试平台负一层内	X- γ
5	200kV 离子源调试平台南墙外	X- γ
6	200kV 离子源调试平台北墙外	X- γ

1.5.2 个人剂量监测

根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）的相关要求，常规监测的周期应综合考虑放射工作人员的工作性质、所受剂量的大小、剂量变化程度及剂量计的性能等诸多因素。常规监测周期最长不应超过 3 个月。

辐射工作人员进入控制大厅时均需佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。公司每季度委托有资质单位定期为辐射工作人员进行 X- γ 个人剂量监测，并定期委托有资质单位对本单位辐射工作人员进行职业病健康体检，间隔不超过 2 年。

本项目个人剂量监测主要是利用光子个人剂量计和中子个人剂量计，对辐射工作人员所受的外照射个人累积剂量进行监测。确保每位工作人员均每人配备一个光子个人剂量计和一个中子个人剂量计，每 3 个月将个人剂量计送交有资质的单位进行检测，并建立个人剂量监测档案，由辐射安全管理小组统一长期保存。

1.5.3 辐射监测仪器

廊坊新奥聚变科技有限公司为本项目配备的辐射监测仪器见表 4-12。

表 4-12 辐射监测仪器

序号	探测因子	探测器类型	能量响应范围	剂量测量范围
1	X- γ	高压电离室、闪烁体	50 keV~10 MeV，可上限外延	0.01 μ Sv/h-10 mSv/h
2	中子	正比计数管、闪烁体	热中子~16 MeV，可上限外延	1.0 nSv/h~1.0 mSv/h

1.6 通风系统

本装置主机车间及配套功能用房采用“分区通风、集中排风”设计，空调机房为大厅、诊断间、研发室等区域提供送风、回风。系统包含“新风、循环送风、排风”三套管路，送、回风管依托各层走廊与设备间敷设，排风经管路汇总至屋面排风机组，高空达标排放；风管穿越辐射屏蔽墙体、楼板处采用密封屏蔽构造，兼顾通风换气与辐射防护要求，保障辐射工作场所空气流通与环境安全。辐射工作场所通风系统信息如表 4-13 所示。

表 4-13 辐射工作场所通风系统信息

区域名称	送、排风方式 (空调、排风机)	区域体积， m^3	送风量， m^3/h	排风量， m^3/h	换气次数
主机车间	新风机组送新风、排风机排风	120000	48400	59400	0.4
主机车间	全空气循环机组	120000	60500 $\times$ 4	0	2

空调机组放于主机车间内负一层，穿越一层楼板进入主机车间装置区。循环机组送风管路由见附图 8，循环机组回风管路由见附图 9。

新风机组放于屋面，穿越屋顶层楼板进入主机车间装置厅，新风管路由见附图 10。

负一层、二层的排风，排风机放于屋面，穿越屋顶层楼板进入主机车间装置区。直接排放，排风口高出地面 30 米。排风风管路由见附图 11。

辐射工作场所内送、排风管道穿墙方式示意图如下图所示。

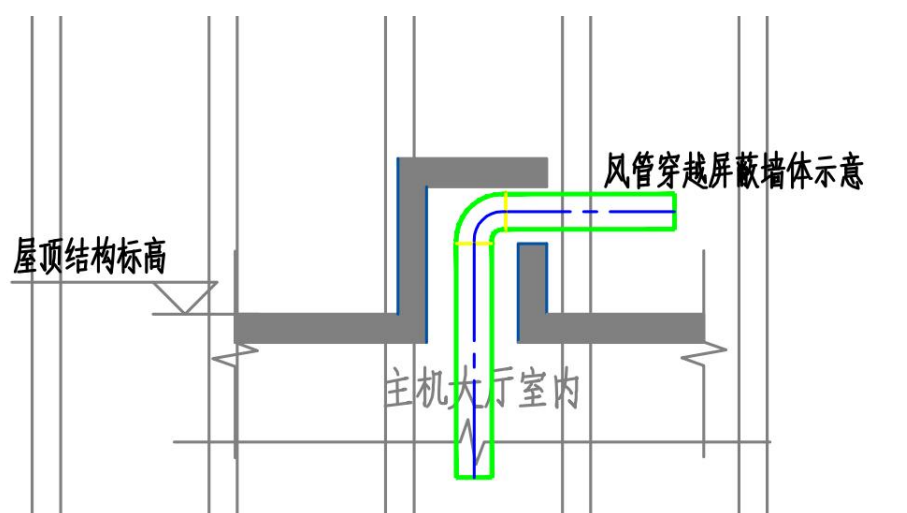


图 4-7 辐射工作场所内送、排风管道穿墙方式示意图

1.7 辐射安全管理

1.7.1 辐射安全管理机构

为加强辐射安全与环境保护管理工作，防止辐射污染环境，保障公众的健康，减少人为因素导致人员意外照射事故的发生，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等规定的要求，廊坊新奥聚变能源科技有限公司制定了《辐射安全管理规定》，成立了以梁云峰院长为组长的辐射安全与环境保护管理机构，明确组织结构成员和机构职责。

1.7.2 辐射安全管理制度

为建立健全辐射安全与环境管理规章制度，保障本项目运行过程中安全稳定及辐射工作人员安全健康。廊坊新奥聚变能源科技有限公司根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》制定了《辐射安全管理规定》（包含岗位职责）《辐射防护与安全保卫制度》《辐射工作人员培训管理规定》《辐射工作人员职业健康管理规定》《辐射工作人员个人剂量监测管理规定》《辐射工作场所监测

管理规定》《“和龙-2”装置日常检修维护保养指导书》《“和龙-2”装置实验运行规程》等，能够满足本项目的安全管理要求。

1.7.3 辐射事故应急

为健全核与辐射事故应急机制，及时处置突发核与辐射事故，提高应急处置能力，最大程度地控制或减轻核与辐射事故可能造成的人员伤亡、财产损失，保护环境，维护社会秩序和稳定，保障运行安全，廊坊新奥聚变能源科技有限公司根据相关法律法规的要求，制定了《辐射安全事故应急预案》，成立了应急组织机构，全面负责辐射事故应急工作。明确了岗位分工职责、应急准备、事故响应分级、应急响应措施、事故报告程序及联络接口等内容。定期组织培训教育和应急演练，做好应急演练记录。

1.7.4 辐射工作人员管理

廊坊新奥建立了辐射安全管理小组，具体信息见下表

表 4-14 辐射安全管理小组

机构名称	辐射安全与环境保护管理小组						
负责人	姓名	梁云峰		电话	18456587643		
联系人	姓名	赵岳		电话	0316-2596392		
	手机	18134932196		传真			
	Email	zhaoyues@enn.cn					
序号	人员类别	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	组长	梁云峰	男	应用物理	能源研究院一号位	能源研究院	兼职
2	副组长	崔晓东	男	安全工程	能源研究院首席安全总监	能源研究院	兼职
3	成员	杨园明	男	核能与核技术工程	聚变副总工程师	能源研究院	兼职
4	成员	石跃江	男	等离子体物理	聚变实验首席科学家	能源研究院	兼职
5	成员	董占猛	男	化工	HSE 工程师	安全办公室	专职

6	成员	赵岳	男	生物技术	HSE 工程师	安全办公室	专职
7	成员	吴超	男	机电一体化	安全员	运营能力群	兼职

廊坊新奥对辐射工作人员上岗前进行培训，通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，持证上岗。本项目辐射工作人员岗位设置和人员配备见下表。

表 4-15 本项目辐射工作人员岗位设置和人员配备

岗位类别	工作内容	工作地点	人数	工作时间
实验督导	督导等离子体放电实验	中控大厅	1	2000 h（全年）
实验主持	主持等离子体放电实验	中控大厅	6	2000 h（全年）
实验操作	具体操作等离子体放电实验	中控大厅	14	2000 h（全年）
实验中控	具体控制等离子体放电程序	中控大厅	5	2000 h（全年）
辐射安全	等离子体放电辐射安全管理	中控大厅	1	2000 h（全年）
离子源调试	离子源出束调试	中性束实验室	8	200h（全年）

1.8 电磁辐射防护措施

（1）电子回旋共振加热系统采取的安全防护和管理措施包括：微波产生、传输和发射链路完全封闭，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。由于工作波长为 1~6 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。设备运行区域安装视频监控、确保 ECRH 系统运行前人员离开设备区。

（2）离子回旋加热系统射频波辐射主要的屏蔽措施：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 10 cm 厚的铝管包裹，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。

经过以上措施后，可以使周围环境的电磁辐射造成的影响小于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）表 1 中公众曝露控制限值。

1.9 放射性三废治理

装置运行过程中，正常工况下无中子产生；在发生等离子体破裂现象时，可能有极少量中子产生，所引发的感生放射性经计算可忽略不计。无放射性三废产生。

2.运营期环境影响分析

2.1 辐射环境影响分析

正常运行工况下，等离子体稳态运行，处于热力学平衡状态的等离子体温度平均值为 30 keV，此时的主要辐射来自带电粒子在电磁场中的加速、减速，这包括轫致辐射、回旋辐射等。轫致辐射主要是电子与离子的库仑场相互作用的碰撞过程产生的辐射；回旋或者同步辐射则是在磁场中，带电粒子圆周运动产生的辐射。

特殊运行工况下，部分电子能量高于某阈值时，受到环电压加速形成逃逸电子，等离子体稳定约束状态失效，称为等离子体破裂现象。逃逸电子被加速后能量可高达 10 MeV 以上，这部分高能逃逸电子与器壁结构材料作用，会产生连续轫致辐射（X 射线），超过 10 MeV 的高能 X 射线还可与真空室壁面材料发生光核反应，产生少量中子。

2.1.1 “和龙-2”

2.1.1.1 一般运行工况

一般运行工况下，聚变等离子体的主要辐射来自电子与离子的库仑场相互作用产生的轫致辐射，以及在磁场中，带电粒子圆周运动产生的回旋辐射。

（1）轫致辐射

本项目等离子体温度 T_e 为 30 keV，电子密度 n_e 为 $1.3 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ ，等离子体体积 14 m^3 ，总轫致辐射功率为 2.08 MW/s，等离子体放电时间 0.5 s，则单次等离子体放电的轫致辐射总能量为 1.04 MJ。

本项目屏蔽计算过程中，各材料的质量衰减系数参考美国数据库 NIST.X-Ray Mass Attenuation Coefficients。真空室壁是由 2 cm 以上厚度的 316L 钢材构成，真空室外还有 3 cm 厚的杜瓦（材质为 316L 钢材）结构，绝大部分的轫致辐射能量

将会被 316L 钢材所吸收，仅在 5 cm 厚（真空壁 2 cm+杜马 3 cm）高硼硅观察窗处可能存在泄露，并考虑观察窗的屏蔽作用，则泄漏到真空室观察窗外的韧致辐射剂量为：

$$D_0 = \frac{W}{4\pi R^2} \times A \times e^{-0.8 \times 2.5 \times 2} \times \omega_R \times \omega_T$$

$$= \frac{1.04 \times 10^6}{4\pi(2.05)^2} \times 0.01 \times 4.54 \times 10^{-5} \times 1 \times 1 \text{ Sv} = 0.128 \text{ mSv}$$

式中， D_0 为真空室观察窗外的韧致辐射剂量； W 为单次等离子体放电的韧致辐射总能量； R 为“和龙-2”装置等离子体中心距装置外壁，取 2.05 m； A 为高硼硅观察窗面积，取 0.01 m²； m 为参考人质量，根据《辐射防护导论》P205，参考人质量取为 70 kg； ω_R 为辐射权重因子，光子和电子均取 1； ω_T 为组织权重因子，假设全身受照均匀，取 1。

真空室观察窗至主机车间墙体及铅门之间存在 20 m 的空间距离。辐射经过 160 cm 厚混凝土（密度 2.35 g/cm³ 为）的剂量率为 $D_0/20^2 \times e^{-0.96 \times 2.35 \times 160} \approx 0$ ，经过 15 cm 的铅（密度为 11.3 g/cm³）的剂量率为 $D_0/20^2 \times e^{-3 \times 11.3 \times 15} \approx 0$ 。经计算，可得主机车间墙体及铅门能够将韧致辐射完全屏蔽，可以得出一般运行工况下，韧致辐射对屏蔽体外产生的辐射影响可以忽略不计。

（2）回旋辐射

根据中国科学技术大学出版社《聚变点火原理概述》P48，单位体积等离子回旋辐射功率为：

$$P_{cycl} \approx 6.21 \times 10^{-21} B^2 n_e T_e \left(1 + \frac{T_e}{146}\right) (W \cdot m^{-3}) \quad (4-8)$$

式中，磁场 B 单位为 T，本项目为 3 T；温度 T_e 单位为 keV，本项目取为 30 keV，密度 n_e 为 $1.44 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 。

经计算，14 m³ 等离子体产生的回旋辐射功率为 4074.79 W/s。等离子单次放电 0.5 s，则单次放电释放能量仅 2037.4 J，

远小于韧致辐射能量（1.04 MJ），可以忽略不计。

2.1.1.2 特殊运行情况

特殊运行情况下，可能发生等离子体破裂，等离子体破裂会产生高能逃逸电子，其数量与等离子体电流直接相关，根据 ITER、EAST 和 HL-2A 等众多装置逃逸电子研究结果，在托卡马克等离子体破裂期间，电流猝灭阶段高通量的逃逸电子形成的逃逸电流可达到破裂前等离子体电流的 50%，逃逸电子转化为硬 X 射线的转换率约为 1%。

本项目计算过程按最大运行工况，即每小时放电 3 炮，3 炮等离子体实验均发生等离子体破裂现象，且每炮等离子体电流均达到 1.5 MA，产生 2.07×10^{17} 个逃逸电子（假设逃逸电子有 1% 的概率会转换成硬 X 射线），逃逸电子的最大能量为 15 MeV。采用 FLUKA 软件，对等离子体破裂时主机车间及周围剂量场进行模拟分析。

“和龙-2”主机车间的防护墙和门提供了主要的辐射屏蔽。主机车间长 65 m，宽 45 m，地上高 28 m，地下两层深 12 m。“和龙-2”装置位于大厅内中心位置，共设计有 1 个设备通道门、3 个逃生门和 2 个参观门。

主机车间屏蔽设计情况如下：

（1）主机车间四面屏蔽墙，南墙厚度为 1.8 m，其余三面墙体厚度为 1.6 m，材质为钢筋混凝土（密度为 2.5 g/cm^3 ）；

（2）屋顶厚度 48 cm，材质为钢筋混凝土；

（3）一层地板厚度 27 cm，材质为钢筋混凝土；

（4）负一层地板厚度 20 cm，材质为钢筋混凝土；

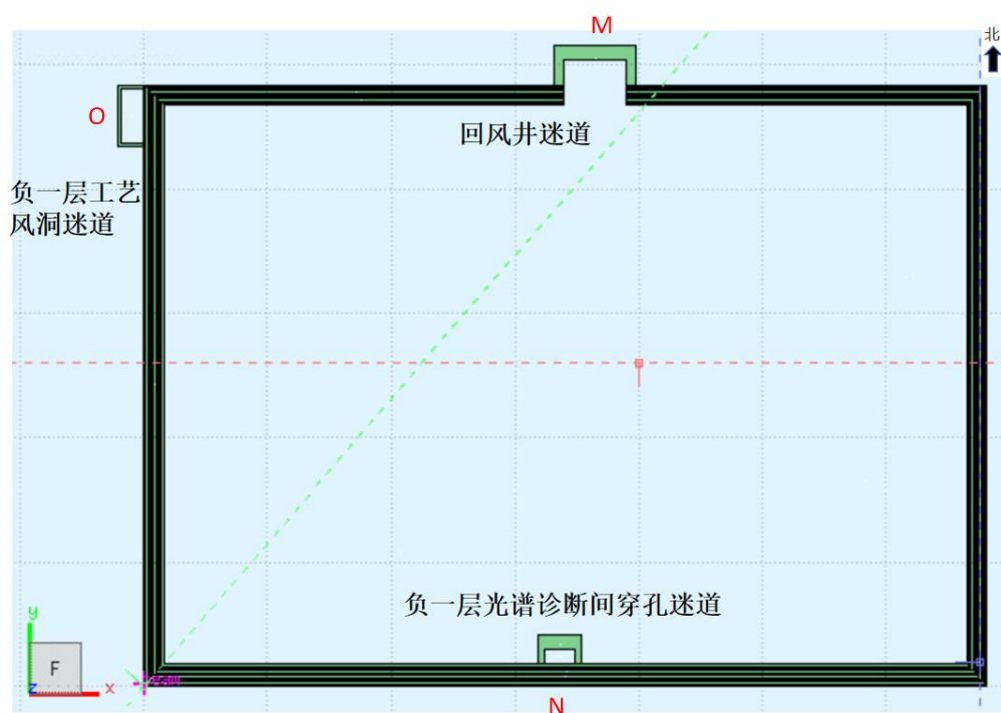
（5）设备通道门（为重混门 1，贯穿一二层）：高 10 m，宽 10 m，厚度为 120 cm，材质为重混凝土（密度为 3.5 g/cm^3 ）；

（6）南墙 2 个逃生门（东侧为小铅门 3，西侧为小铅门 2，均位于一层）：高 2.4 m，宽 2 m，厚度为 15 cm，材质为铅（密度为 11.3 g/cm^3 ）；

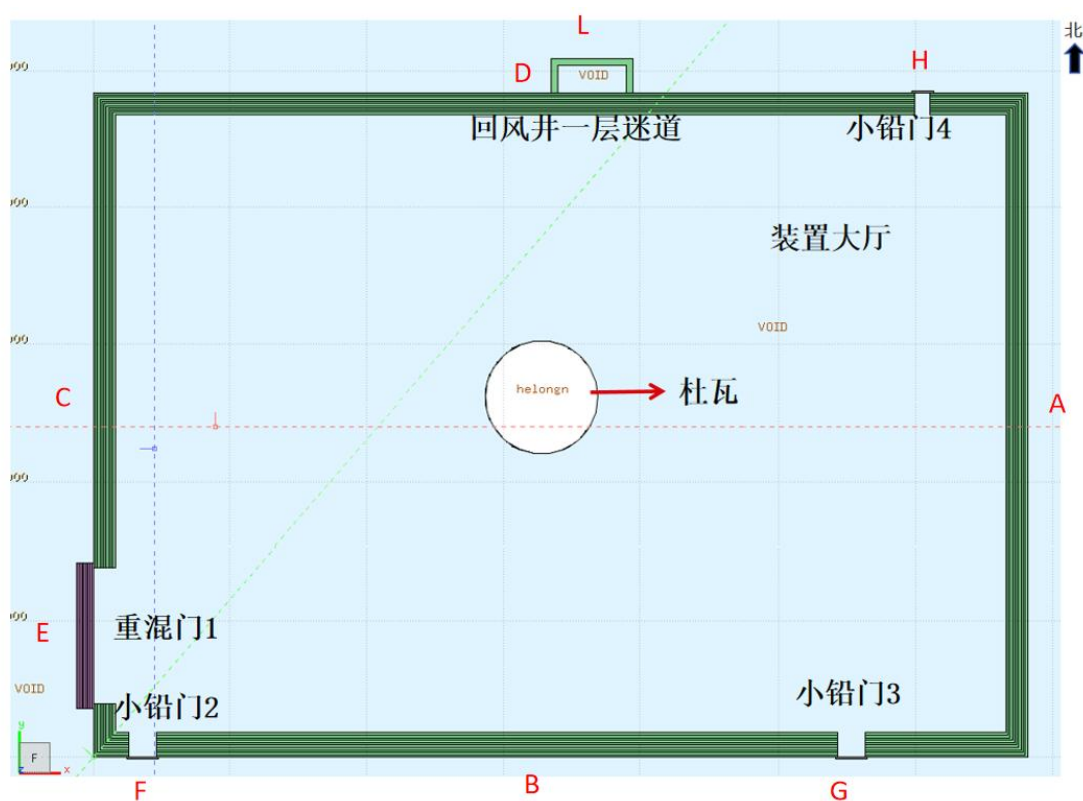
（7）北墙 1 个逃生门（为小铅门 4）：高 2.4 m，宽 1.1 m，厚度为 15 cm，材质为铅；

（8）2 个参观门（东侧为小铅门 6，西侧为小铅门 5，均位于二层）：高 2.4 m，宽 2 m，厚度为 15 cm，材质为铅。

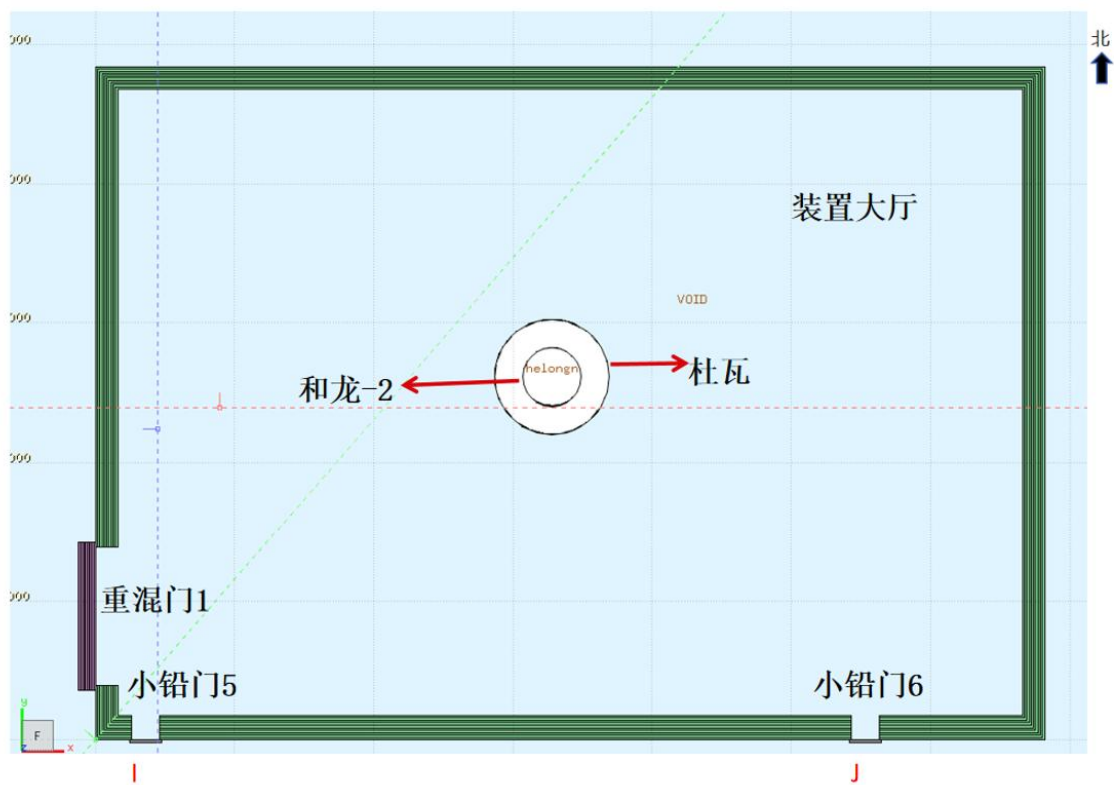
计算模型的平面布局图如图 4-8 所示，剖视图如图 4-9 所示，三维模型如图 4-10 所示。



a) 负一层



a) 一层



b) 二层

图 4-8 Fluka 计算模型平面布局图

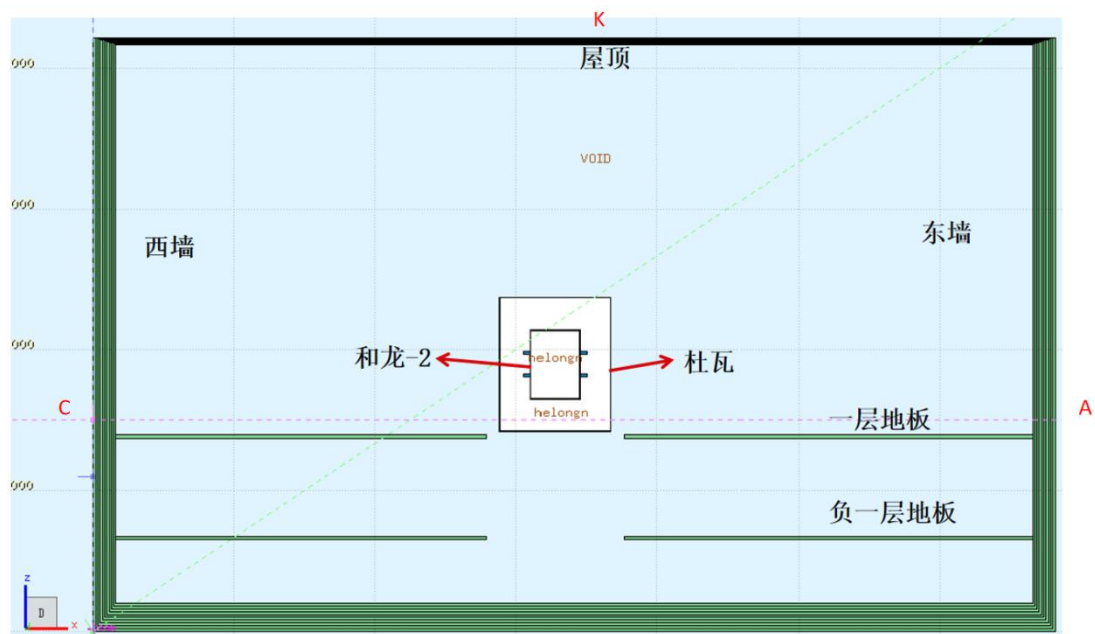


图 4-9 Fluka 计算模型剖视图

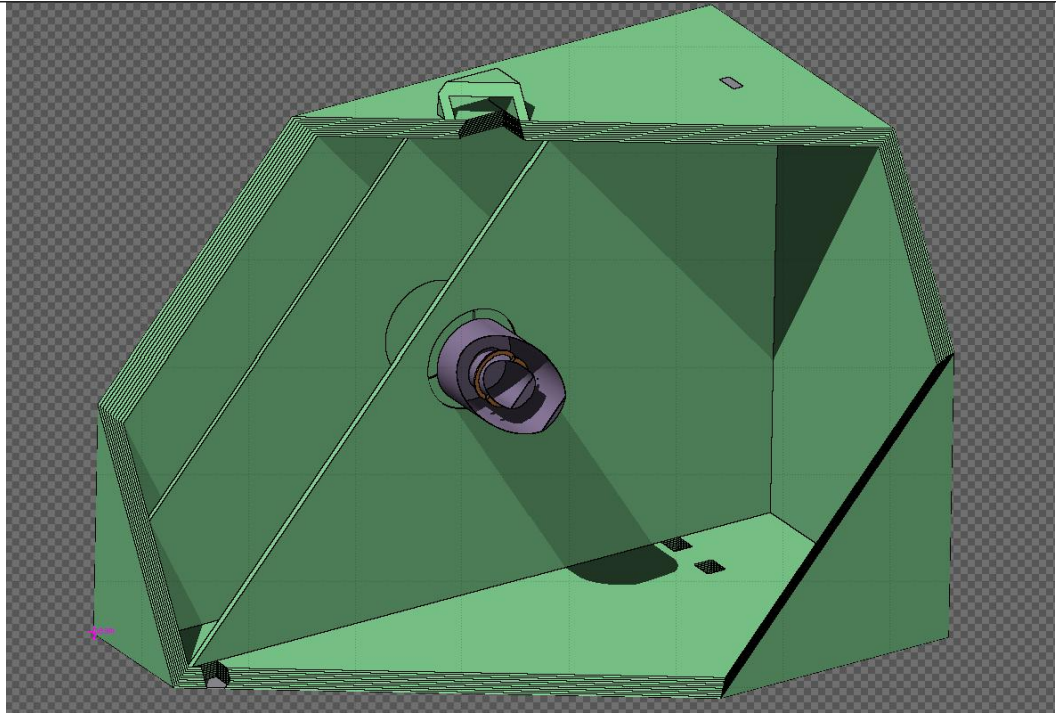


图 4-10 Fluka 计算模型三维视图

模拟中源设置为半径为 1.25m、高为 2.9m 的圆柱体源，各向同性，电子能量为 15 MeV。主机车间水平方向上的辐射剂量率二维分布如图 4-11 所示，竖直方向上的二维剂量率分布如图 4-12 所示。

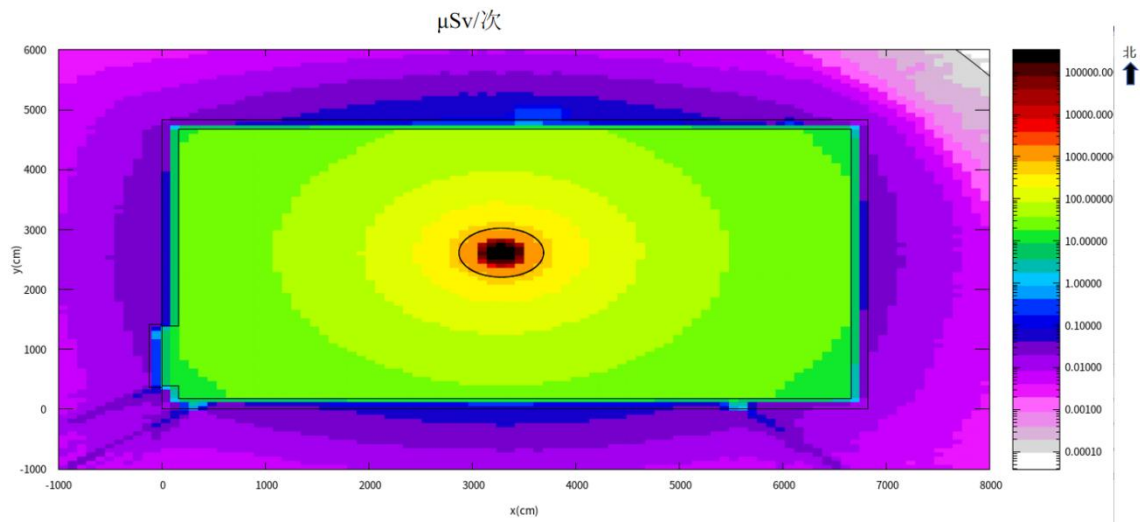


图 4-11 异常工况主机车间水平方向上的剂量率二维分布图

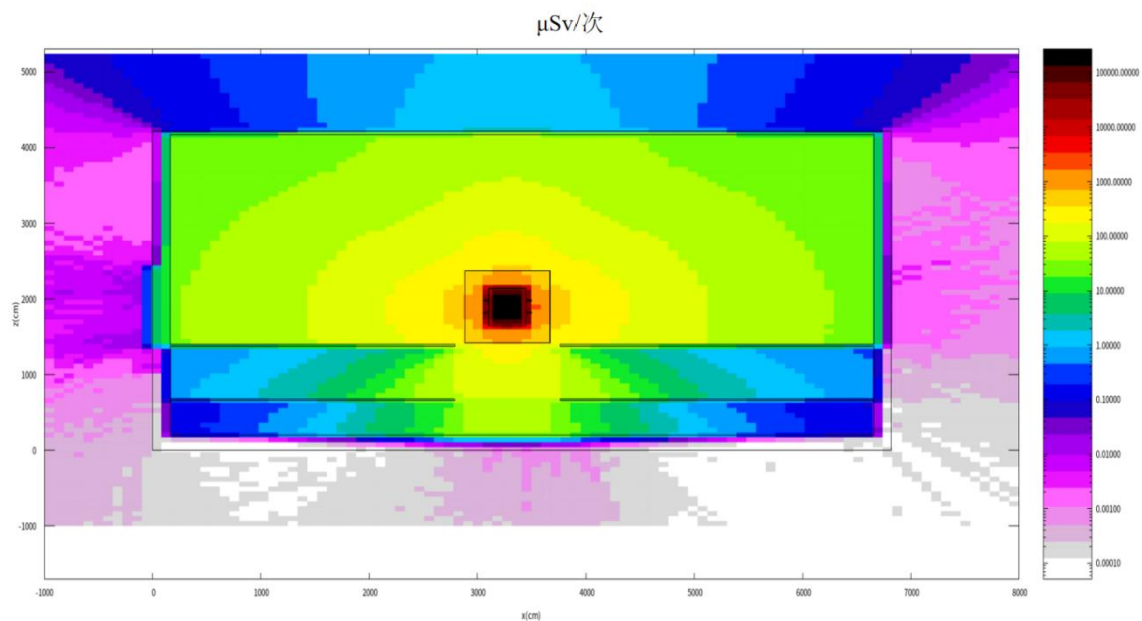


图 4-12 异常工况主机车间竖直方向上的剂量率二维分布图

为了观察中子剂量情况，单独统计中子周围剂量当量，如图 4-13 所示。

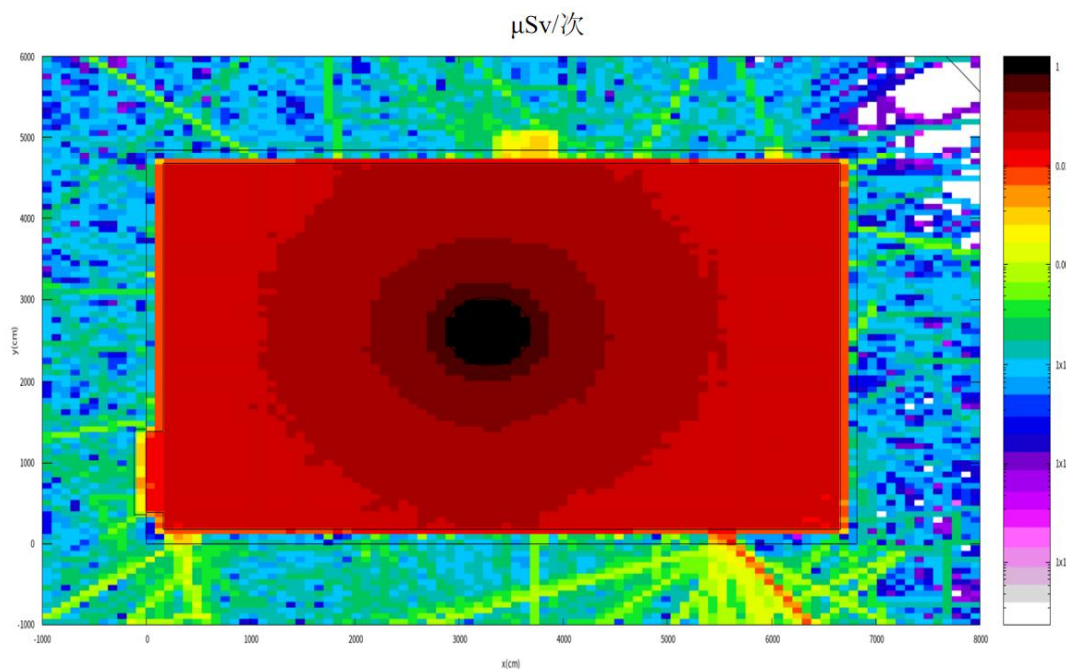


图 4-13 等离子体单次破裂主机车间水平方向上的中子剂量率二维分布图

统计主机车间主要屏蔽体外剂量率情况，具体如表 4-16 所示。本项目每小时最多放炮 3 次，按最保守情况估计，三次放炮全部为异常工况，剂量率=单次剂量×3。年异常工况次数按照表 2-13 中 2028 年（本年度运行次数最多）运行计划计算，为 2450 次，年剂量=单次剂量×2450。

表 4-16 主机车间主要屏蔽体外剂量率情况

关注点	单次剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{炮}$)	剂量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
A 东墙外 30 cm 处	2.40E-03	7.20E-03
B 南墙外 30 cm 处	2.10E-03	6.30E-03
C 西墙外 30 cm 处	2.90E-03	8.70E-03
D 北墙外 30 cm 处	1.20E-02	3.60E-02
E 重混门 1 外 30 cm 处	2.60E-04	7.80E-04
F 小铅门 2 外 30 cm 处	1.90E-03	5.70E-03
G 小铅门 3 外 30 cm 处	5.00E-03	1.50E-02
H 小铅门 4 外 30 cm 处	3.60E-04	1.08E-03
I 小铅门 5 外 30 cm 处	3.90E-03	1.17E-02
J 小铅门 6 外 30 cm 处	2.70E-03	8.10E-03
K 屋顶外 30 cm 处	5.86E+00	1.76E+01
L 一层回风井迷道外 30 cm 处	2.80E-03	8.40E-03
M 回风井迷道墙外 30 cm 处	5.80E-04	1.74E-03
N 光谱诊断间迷道墙外 30 cm 处	2.90E-04	8.70E-04
O 工艺风洞迷道墙外 30 cm 处	4.70E-04	1.41E-03

本项目“和龙-2”装置发生等离子体破裂时，中子产额较低，装置周边辐射剂量场主要由 X- γ 贡献。经计算，主机车间周边单次辐射剂量最大值为 5.86 $\mu\text{Sv}/\text{炮}$ ，对应剂量率 17.6 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，为屋顶，满足 100 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率管控限值要求。本装置中心至屋顶垂直距离大于 20 m，且屋顶为周边区域最高建筑结构。按极端保守假设，即便屋顶处剂量率达到 100 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，依据距离平方反比定律，其对地面位置的剂量率贡献仅为 $100/400=0.25$ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，故不考虑天空反散射，且屋顶区域日常无人员可达。

除此之外单次辐射剂量最大值在北墙外，为 0.012 $\mu\text{Sv}/\text{炮}$ ，对应剂量率 0.036 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，满足人员居留因子 $>1/2$ 时 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率管控限值要求。

本项目人员年有效剂量如表 4-17 所示：

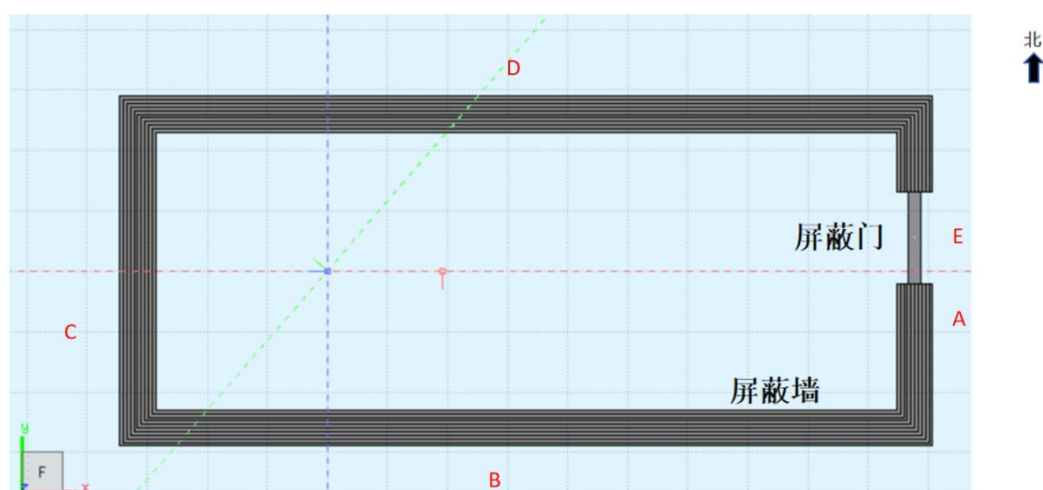
表 4-17 人员年受照剂量计算一览表

关注点	人员类型	居留因子	单脉冲辐射剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{炮}$)	年有效剂量 (mSv)
A 东墙外 30 cm 处	职业工作人员	1/4	2.40E-03	1.47E-03
B 南墙外 30 cm 处	职业工作人员	1	2.10E-03	5.15E-03
C 西墙外 30 cm 处	职业工作人员	1/2	2.90E-03	3.55E-03
D 北墙外 30 cm 处	职业工作人员	1	1.20E-02	2.94E-02

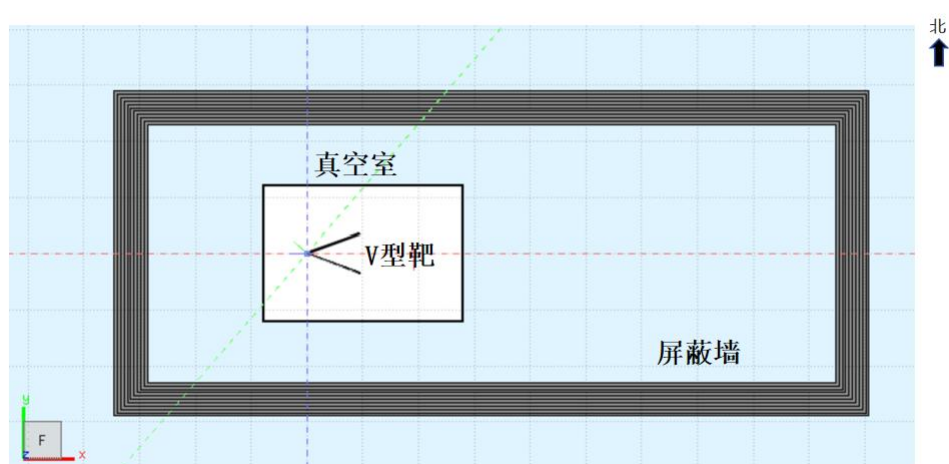
E 重混门 1 外 30 cm 处	职业工作人员	1/4	2.60E-04	1.59E-04
F 小铅门 2 外 30 cm 处	职业工作人员	1	1.90E-03	4.66E-03
G 小铅门 3 外 30 cm 处	职业工作人员	1	5.00E-03	1.23E-02
H 小铅门 4 外 30 cm 处	职业工作人员	1	3.60E-04	8.82E-04
I 小铅门 5 外 30 cm 处	职业工作人员	1/2	3.90E-03	4.78E-03
J 小铅门 6 外 30 cm 处	职业工作人员	1/2	2.70E-03	3.31E-03
K 屋顶外 30 cm 处	职业工作人员	1/4	5.86E+00	3.59E+00
L 一层回风井迷道外 30 cm 处	职业工作人员	1	2.80E-03	6.86E-03
M 回风井迷道墙外 30 cm 处	职业工作人员	1	5.80E-04	1.42E-03
N 光谱诊断间迷道墙外 30 cm 处	职业工作人员	1	2.90E-04	7.11E-04
O 工艺风洞迷道墙外 30 cm 处	职业工作人员	1	4.70E-04	1.15E-03
由表 4-17 可知，主机车间外职业工作人员所受年有效剂量最高为 3.59 mSv，满足职业工作人员 5 mSv/a 的年剂量约束值要求。 公众虽会进入主机车间参观，但装置运行期间不会在屏蔽门附近停留。经保守计算，装置每次运行时，即便参观人员紧邻屏蔽墙体，装置东西南北四侧墙外年最大剂量为 2.94×10^{-2} mSv，满足公众年剂量约束值 0.1 mSv/a 的管控要求。综上，在本装置现有运行模式与辐射防护措施条件下，职业工作人员及公众所受辐射剂量均处于安全可控水平，符合现行辐射防护相关标准规范要求。 2.2.2 中性束 2.2.2.1 200kV 离子源调试平台 本项目采用 FLUKA 软件，对 200kV 离子源调试平台运行时周围的剂量场进行模拟分析。 调试平台共包含地上一层、负一层两层结构。地上一层不设门；负一层东侧配置 20 mm 厚的铅防护门（宽 1.5m，高 2.2m）。真空室放置在负一层，真空室底部距离负一层地面的垂直高度为 2m。调试平台东西方向总长 12.5 m，南北方向总长 7 m；负一层层高 5 m，地上一层层高 2 m。 调试平台运行的辐射源项为：200 kV/20 A 负氢束流与 + 200 kV/10 A 电子束流入射至 V 型靶（靶厚度 2 cm，材料为无氧铜），束流与靶相互作用产生辐射。 调试平台的防护墙和门提供了主要的辐射屏蔽，屏蔽设计情况如下：				

- (1) 负一层四面防护墙厚度 60cm，材质为混凝土（密度为 2.35 g/cm^3 ）；
- (2) 负一层防护门厚度 20mm，材质为铅（密度为 11.3 g/cm^3 ）；
- (3) 一层地板厚度 23cm，材质为混凝土，真空室上方无地板；
- (4) 地上一层东西防护墙厚度 20mm，材质为铅，
- (5) 地上一层南北防护墙厚度 60cm，材质为混凝土墙；
- (6) 屋顶厚度 20mm，材质为铅。
- (7) 负一层地板厚度 60cm，材质为混凝土，下接地面。

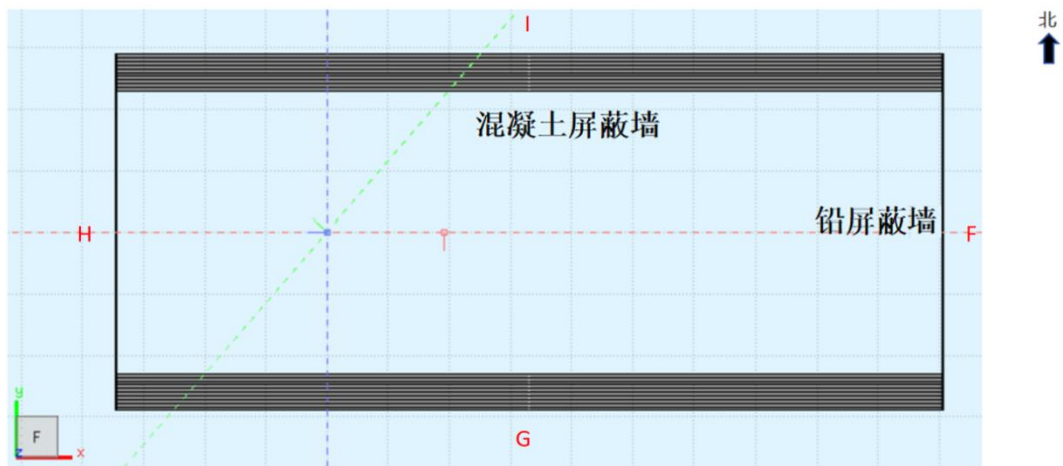
计算模型的平面布局图如图 4-14 所示，剖视图如图 4-15 所示，三维模型如图 4-16 所示。



a) 负一层（门，2m 以下，人员可达区域）



b) 负一层（真空室，2m 以上，人员不可达区域）



c) 一层

图 4-14 Fluka 计算模型平面布局图

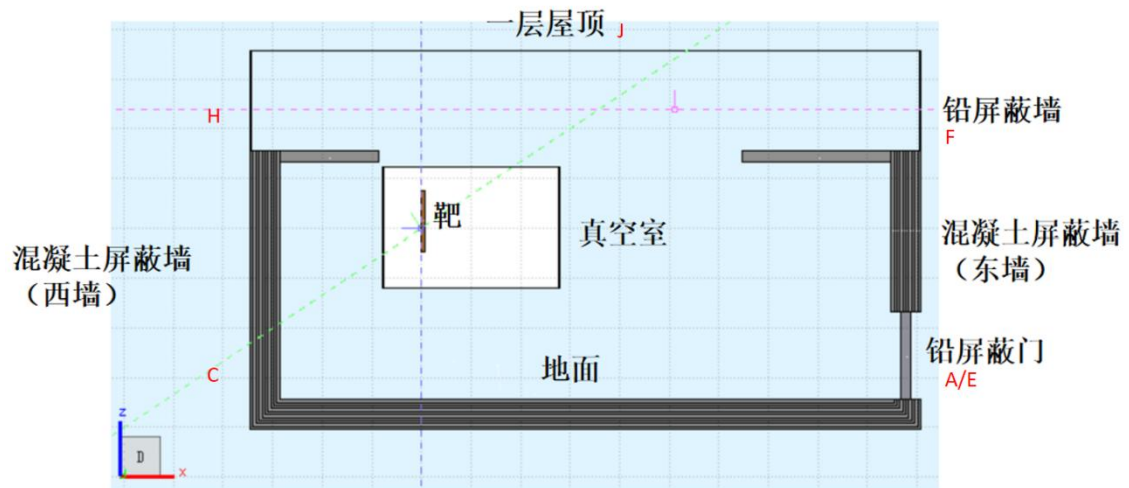


图 4-15 Fluka 计算模型剖视图

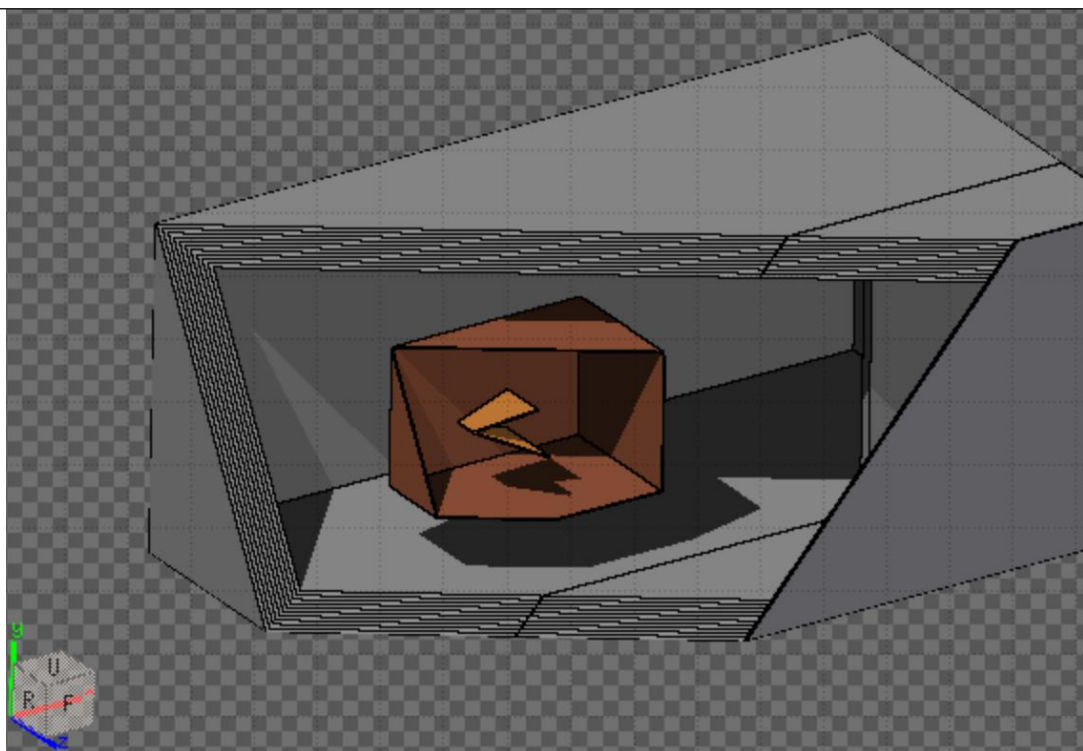


图 4-16 Fluka 计算模型三维视图

调试平台水平方向上的辐射剂量率二维分布如图 4-17 所示，竖直方向上的二维剂量率分布如图 4-18 所示。

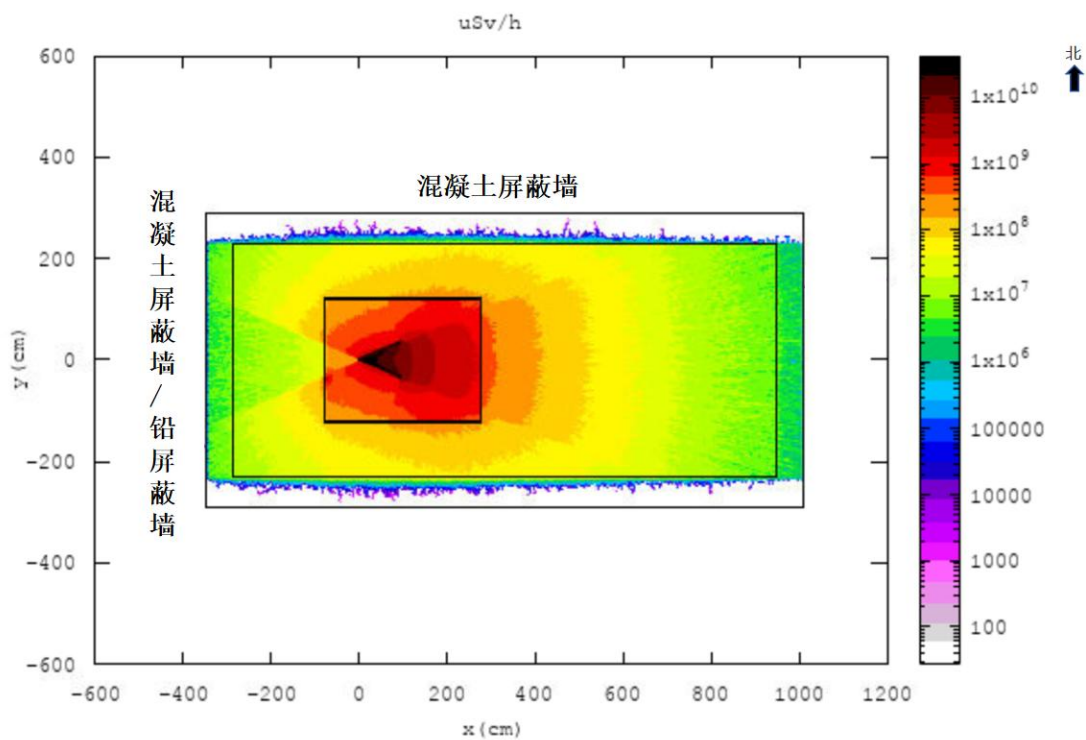


图 4-17 调试平台水平方向上的剂量率二维分布图

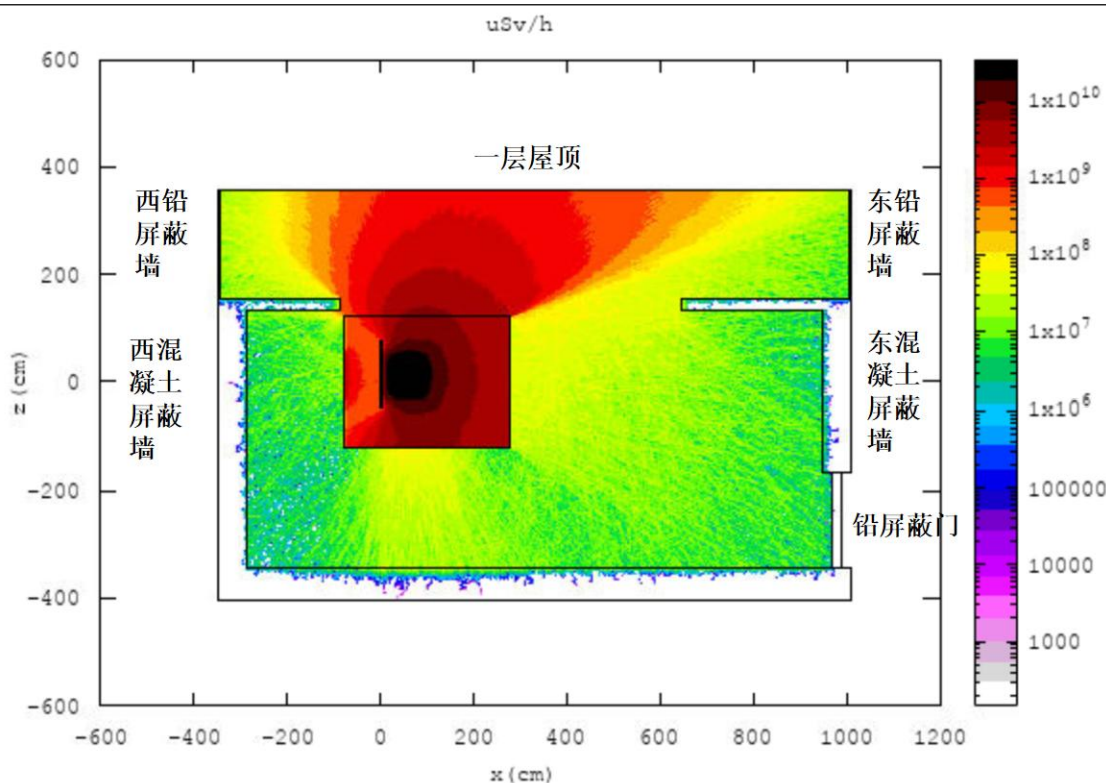


图 4-18 调试平台竖直方向上的剂量率二维分布图

统计调试平台主要屏蔽体外剂量率情况，具体如表 4-18 所示。

表 4-18 调试平台主要屏蔽体外年度累计剂量情况

	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年剂量 (μSv)
A 负一层东墙外	0	0
B 负一层南墙外	0	0
C 负一层西墙外	0	0
D 负一层北墙外	0	0
E 门外	0	0
F 一层东墙外	0	0
G 一层南墙外	0	0
H 一层西墙外	0	0
I 一层北墙外	0	0
J 屋顶	0	0

因调试平台屏蔽体防护充分，且打靶点位于负一层离地面 2m 处，正对靶点的墙体区域属于人员不可达区域，所以屏蔽体外 30cm 且人员可达区域的剂量率均为 0。中性束离子源装置每年实验 300 天，每天 100 炮。脉宽 5s/炮。人员年有效剂量也均为 0。

综上，在调试平台现有运行模式与辐射防护措施条件下，职业工作人员及公众所受辐射剂量均处于安全可控水平，符合现行辐射防护相关标准规范要求。

2.2.2.1 80kV 中性束测试系统

高速运动的带电粒子受到突然加速或者加速会发出具有连续能量的轫致辐射，轫致辐射能量损失率为：

$$S_{rad} \propto \frac{z^2 Z^2}{m^2} NE$$

式中：z—带电粒子电荷数，Z—介质的原子序数，N—介质的原子密度，m和E分别为入射带电粒子的质量和能量。

由此可知，电子的轫致辐射能量损失率比重带电粒子大得多，如质子轫致辐射比电子小1840的平方倍，约 3.4×10^6 倍。

80keV离子源装置仅含 H^+ 、 H^{2+} 、 H^{3+} 的正离子，轰击靶材产生的轫致辐射影响基本可以忽略不计。

2.3 电磁辐射影响

“和龙-2”聚变装置主要使用欧姆加热为主要的等离子体加热方式，配合使用电子回旋加热、离子回旋加热和中性束加热，各加热系统相互叠加耦合提升等离子体电流，不会对等离子体装置辐射水平产生影响。

而对于“和龙-2”的电子回旋（28 GHz、50 GHz）和离子回旋（22~50 MHz）均达不到和第一壁材料发生相互作用产生X射线和中子的能量条件。离子回旋波长较长，无法从观察窗口泄漏。电子回旋的泄露频率最大值为 $500 \text{ kW} \times 0.5$ （吸收系数） $\times 0.01\%$ （未占用窗口比例） $= 25 \text{ W}$ ，在装置2.5 m处的辐射量为 $25 / (4 \times 3.14 \times 2.5^2) = 0.3 \text{ W/m}^2$ ，小于公众暴露国标限值 2 W/m^2 。实际放电过程中，所有工作人员不会进入主机车间，且主机车间墙面有混凝土等屏蔽，不会对工作人员造成微波辐射伤害。

2.4 废气

2.4.1 聚变装置放电实验废气：

乙硼烷 (B_2H_6) 的脉冲等离子体放电实验开始后，乙硼烷在等离子体中通过高能电子碰撞会高效分解。乙硼烷的分解率极高，在温度 $>500^{\circ}C$ 时乙硼烷会彻底分解为单质硼和氢气，本项目温度为四千万度，达到乙硼烷完全分解的条件。

实验过程中的排气主要物质：氢气、氦气、杂质气体(微量)。

①氢气。乙硼烷在辉光放电等离子体中会完全分解，其化学反应式为：

$B_2H_6 \rightarrow 2B + 3H_2$ ，生成氢气。这个反应是整个过程的核心。

②未反应的氦气。氦气本身是惰性气体，不参与形成硼膜的化学反应，因此大部分未被电离的氦气会以气体形式被抽走。

③杂质气体。主要是器壁表面吸附的水蒸气、氧气和一氧化碳等气体。

实验废气为氢气、氦气、水蒸气、氧气、一氧化碳，本项目设置风险防范的环保设施，经密闭管道收集由金属钼吸附剂吸附处理后，最终经楼顶排气筒排放。

乙硼烷 (B_2H_6) 气体生成条件：

一、硼氢化钠与三氟化硼反应：在醚类溶剂（如二甘醇二甲醚）中，让硼氢化钠($NaBH_4$)与三氟化硼(BF_3)反应。这是目前商业化最典型的方法。

二、利用硼氢化锂与硼 v 酸三甲酯在 $150-200^{\circ}C$ 反应。

三、用金属氢化物（如 $LiAlH_4$ ）还原氧化硼。

四、硼氢化钠-碘（或溴）法：在乙醚溶剂中，硼氢化钠与卤素单质反应。

本项目等离子体放电实验后，乙硼烷会彻底分解为单质硼和氢气。并且实验结束后不加入上述有关合成乙硼烷的原料，不具备重新生成乙硼烷气体的反应条件，因此，实验废气中无乙硼烷气体的排放。

2.4.2 非正常工况

(1) 设备零件更新擦拭废气

本项目非正常工况下，每年设备零件更新换代时，需要使用 75%乙醇擦拭新设备零件的表面，会产生挥发性有机气体。75%乙醇的年使用量 0.004t/a，折纯后年用量 0.003t/a，挥发系数按照 100%，则挥发排放量 0.003t/a。年工作时间计

50h/a，排放速率为 0.006kg/h。因废气不易收集，经实验装置大厅的通风换气设施无组织排放。

(2) 刻蚀废气

在放电效果较差时，通过刻蚀工艺去设备内壁的硼膜，一年刻蚀约 10 次，每次刻蚀 12 小时，年工作时间 120h。采用通入三氟化氮气体（年使用量 1352g）和纳米级硼膜中的硼反应的原理，反应效率 30%，生成微量的三氟化硼和氮气，达到去除硼的效果。刻蚀过程为抽气状态，70%未反应的三氟化氮废气被抽走。

三氟化硼产生量为 388.46g/a，三氟化氮产生量为 946.4g/a。

本项目装置大厅设置事故应急措施，实验启动前风机开到最大，风量为 1800m³/h，抽完真空室后风量减少。废气经金属钼吸附剂处理后由楼顶不低于 34m 排气筒排放，处理效率 99%。因此，三氟化硼排放量为 0.000004t/a，排放速率为 0.000032kg/h，排放浓度为 0.018mg/m³；三氟化氮排放量为 0.000009t/a，排放速率为 0.000079kg/h，排放浓度为 0.044mg/m³。

因国家未指定三氟化氮和三氟化硼的排放标准，本项目三氟化硼参照《北京大气污染物综合排放标准》（DB11/501-2017）中其他 A 类物质 II 时段的排放标准为 20mg/m³。

根据《电子工业大气排放标准》（征求意见稿）编制说明中三氟化氮以氟化物计，氟化物参照北京市地标《电子工业大气排放标准》（DB11/1631-2019）的排放标准为 3mg/m³。

因此，在非正常工况下，三氟化硼、三氟化氮排放浓度分别满足《北京大气污染物综合排放标准》（DB11/501-2017）、《电子工业大气排放标准》（DB11/1631-2019）排放标准，对大气环境影响很小。

表 4-19 本项目废气非正常工况排放情况

排放源	污染物	排放速率 kg/h	年发生频次	单次持续时间 h	非正常情况排放量 t/a	应对措施
装置大楼的实验装置	非甲烷总烃	0.006	1	50	0.003	定期保养设备，加强通风

刻蚀	三氟化硼	0.000032	10	12	0.000004	定期保养事故应急处理设备，加强通风
	三氟化氮	0.000079			0.000009	

2.4.3 大气环境影响结论

本项目所在区域为不达标区，随着大气污染综合治理行动的实施，廊坊经济技术开发区环境空气质量已得到改善。本项目废气排放对周边环境的影响较小，不会对项目周围的大气环境敏感目标产生负面影响。综上，本项目大气环境影响可接受。

2.5 废水

1、水污染源

本项目废水主要为生活污水和冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水，本项目废水排放量为 635.37m³/d（165196.2m³/a），废水中主要污染物为 pH、COD、BOD₅、SS、氨氮。

本项目生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂。

（1）生活污水

本项目生活污水排放量为 1.7m³/d（442m³/a），生活污水水质参考《水工业工程设计手册—建筑和小区给水排水》中“表 12-41 公共建筑生活污水水质”，本次评价取平均值，即 pH：6.5~8.5、COD：400mg/L、BOD₅：200mg/L、SS：250mg/L、氨氮：37.5mg/L。

根据《化粪池原理及水污染物去除率》及相关经验数据，化粪池对各种水污染物的去除效率化粪池的水污染物去除效率按 COD：15%、BOD₅：9%、SS：30%、NH₃-N：3%计。

（2）软水制备浓水

本项目软水制备会产生浓水，浓水排放量为 28.8m³/d（7488m³/a），主要污染物因子为 pH、COD、BOD₅、SS、NH₃-N、溶解性总固体。参考《社会区域类环境影响评价》教材中纯水制备浓排水水质：pH：6.5~9、COD≤100mg/L、BOD₅≤30mg/L、SS≤30mg/L；NH₃-N 参考《纯水制备过程中氨氮和总氮在控制废

水中的富集》（陈磊，山东化工，2020年第49卷，第7期）制水废水各环节污染物浓度检测结果， $\text{NH}_3\text{-N}$ < 0.10mg/L。

本项目软化水废水中各污染物浓度取值为：pH：6.5~9、COD：100mg/L、BOD₅：30mg/L、SS：30mg/L、 $\text{NH}_3\text{-N}$ ：0.1mg/L。

（3）冷却循环系统定期排污水

冷却循环系统定期排污水分为制冷站、3#冷却中心开式塔、1#装置大楼的精密空调、1#装置大楼的工艺循环降温系统定期排污水，共计排水量为 455.3m³/d（118378m³/a）。定期排污水属于清净下水，废水中 COD_{Cr}、BOD₅、SS、氨氮污染物浓度较低。参考《建筑空调系统冷凝水与冷却水的综合利用研究》（天津大学环境科学与工程学院，2013年12月）中对冷却塔排水的水质检测结果，冷却塔废水产生浓度取 pH（无量纲）6.5~9、COD112mg/L、BOD₅65mg/L。

本项目外排污水中各污染物排放情况见下表所示。

表 4-20 本项目水污染物产排情况一览表

废水类型		废水量 (t/a)	pH	COD	BOD ₅	SS	氨氮
软水制备浓水	产生浓度 mg/L	7488	6.5~9	100	30	30	0.1
	产生量 t/a		--	0.749	0.225	0.225	0.001
冷却循环系统 定期排污水	产生浓度 mg/L	156858	6.5~9	112	65	--	--
	产生量 t/a		--	17.568	10.196		
生活污水	产生浓度 mg/L	850.2	6.5~8.5	400	200	250	37.5
	化粪池效率		--	15%	9%	30%	3%
	化粪池后排 放浓度 mg/L		6.5~8.5	340	182	175	36.38
	化粪池后排 放量 t/a		--	0.289	0.155	0.149	0.031
综合废水 DW001	排放浓度 mg/L	165196.2	--	112.63	64.02	2.26	0.19
	排放量 t/a		--	18.606	10.575	0.373	0.032
排放标准 mg/L		--	6-9	400	300	400	45
达标情况		--	达标	达标	达标	达标	达标

2、水环境影响分析

本项目实施后，项目排放的废水污染物浓度符合《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表4中三级标准及满足廊坊开发区污水处理厂进水水质要求中标准限值要求。

本项目产生的生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂，项目废水可达标排放，不会对周边水环境造成不良影响。

3、废水排放口基本信息

表 4-21 废水间接排放口基本情况表

排放口编号	排放口名称	排放口地理坐标	排放方式	排放去向	排放规律	污染物种类	排放标准 mg/L
DW001	污水总排放口	116.768342 , 39.555415	间接排放	廊坊开发区污水处理厂	间断排放，排放期间流量不稳定，但有规律，且不属于非周期性规律	pH	6-9
						COD	400
						BOD ₅	300
						SS	400
						氨氮	45

表 4-22 本项目废水排放类别、污染物及污染治理设施信息表

废水类别	污染物种类	污染治理措施			排放去向	排放方式	排放口编号	排放口是否符合要求	排放口类型
		污染治理设施编号	污染治理措施设施名称	是否为可行性技术					
生活污水	pH、COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	TW001	化粪池	是	廊坊开发区污	间断排放	DW001	是	一般排放

冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水	pH、COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	/	/	是	水处理厂				口
--------------------	--------------------------------	---	---	---	------	--	--	--	---

4、废水监测计划

根据《排污单位自行监测技术指南总则》（HJ819-2017），建设单位应委托有资质的检（监）测机构开展废水监测工作，本项目运营期废水监测计划见下表。

表 4-23 废水监测计划表

项目	监测点位	监测因子	监测方法	监测频率	执行标准
废水	DW001	pH、COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	手工监测	1次/年	《污水综合排放标准》（GB8978-1996）表 4 中三级标准及满足廊坊开发区污水处理厂进水水质要求中标准限值

5、依托廊坊开发区污水处理厂的环境可行性分析

①收水范围可行性分析

本项目位于廊坊经济技术开发区污水处理厂收水范围内。

②水量可行性分析

廊坊开发区污水处理厂位于京津塘高速公路以东，云鹏道与南营排渠之间，廊坊经济技术开发区污水处理厂设计处理水量为 6 万 m³/d，现有污水处理量为 3.5 万 m³/d，尚有容量 2.5 万 m³/d，出水水质达到北京市地标《城镇污水处理厂水污染物排放标准》（DB11/890-2012）中“B”标准。外排至南营干渠，最终进入凤河。本项目污水排放量为 165196.2m³/a（635.37m³/d），因此污水处理厂剩余污水处理能力能够处理本项目产生的污水。

③水质可行性分析

本项目废水经园区污水管网排入廊坊经济技术开发区污水处理厂。经预测，本项目排放的废水的浓度均满足廊坊经济技术开发区污水处理厂进水水质要求。

④处理工艺

廊坊经济技术开发区污水处理厂处理工艺为“细格栅+曝气沉砂池+多段式A2/O+二沉池+高效沉淀池+滤池+消毒”工艺处理废水，对水中污染物去除效率为COD90%、BOD₅90%、氨氮95%、SS90%。

从收水范围、水量、水质和处理工艺上分析本项目废水排入廊坊经济技术开发区污水处理厂处理是可行的。

综上，本项目外排废水不会对周围地表水环境产生明显不利影响。

2.6 声环境影响分析

(1) 噪声排放源强

本项目投入运行后，主要噪声源为泵类、压缩机、冷却塔、机组等设备运行时产生的机械噪声，源强在80~90dB(A)之间，企业通过采取低噪声设备、基础减振、厂房隔声、风机口软连接等措施，采取以上措施后其噪声值可减小约25dB(A)。根据设计资料及类比调查的结果，以厂区西南角为坐标原点(0, 0, 0)，项目主要设备噪声源强及降噪措施见下表所示。

表 4-24 本项目工业企业噪声源强调查清单（室内声源）

序号	建筑物名称	声源名称	数量	声源源强 dB(A)	声源治理措施	空间相对位置/m			距室内边界距离/m	室内边界声级 /dB(A)	运行时段	建筑物插入损失 /dB(A)	建筑物外噪声	
				声压级/距生源距离 /(dB(A)/m)		X	Y	Z					声压级 /(dB(A))	建筑物外距离 /m
1	冷却中心	1#冷水机组	1	80	车间密闭、基础减振、厂房	39 1	31 4	4	5	58	昼夜	25	33	1
2		1#冷水机组	1	80		40 2	31 4	4	4	59	昼间	25	34	1
3		2#冷水机组	1	80		41 0	31 4	4	4	59	昼夜	25	34	1
4		2#冷水机组	1	80		41 8	31 4	4	5	58	昼夜	25	33	1

	5	2#冷水机组	1	80	隔声等	42 4	31 4	4	4	59	昼夜	25	34	1
	6	超纯水、脱盐制备系统	1	75		43 3	31 5	4	4	54	昼间	25	29	1
	7	离子回旋收集极外循环泵	1	75		43 9	31 5	4	4	54	昼间	25	29	1
	8	离子回旋收集极外循环泵	1	75		44 4	31 5	4	2	59	昼间	25	34	1
	9	电子回旋负载、离子回旋外循环泵	1	80		39 1	29 8	4	5	58	昼间	25	33	1
	10	电子回旋负载、离子回旋外循环泵	1	80		40 0	29 8	4	14	55	昼间	25	30	1
	11	波加热系统自循环泵	1	75		40 8	29 8	4	21	50	昼间	25	25	1
	12	离子源正	1	80		41 8	29 8	4	21	55	昼间	25	30	1

			源外 循环 泵												
	1 3		离子 源正 源自 循环 泵	1	70		42 7	29 8	4	19	45	昼 间	25	20	1
	1 4		注入 器外 循环 泵	1	80		43 6	29 8	4	10	56	昼 夜	25	31	1
	1 5		注入 器外 循环 泵	1	80		43 9	29 8	4	7	57	昼 夜	25	32	1
	1 6		量热 靶外 循环 泵	1	80		44 3	29 8	4	3	61	昼 夜	25	36	1
	1 7		量热 靶外 循环 泵	1	80		39 1	28 2	4	5	58	昼 夜	25	33	1
	1 8		量热 靶外 循环 泵	1	80		40 2	28 2	4	16	55	昼 夜	25	30	1
	1 9		注入 器、 量热 靶自 循环 泵	1	80		40 6	28 1	4	20	55	昼 夜	25	30	1
	2 0		PFC S 外 循环 泵	1	75		41 6	28 2	4	30	50	昼 间	25	25	1
	2 1		磁体 线圈 外循 环泵	1	80		42 3	28 1	4	23	55	昼 间	25	30	1
	2 2		PFC S、	1	80		42 8	28 1	4	18	55	昼 间	25	30	1

			磁体 线圈 自循 环泵												
	2 3		真空 抽气 系统 外循 环泵	1	80		43 5	28 2	4	11	56	昼夜	25	31	1
	2 4		真空 抽气 系统 自循 环泵	1	80		44 2	28 2	4	4	59	昼夜	25	34	1
	2 5		1#机 组低 温水 泵	1	80		39 2	26 4	4	6	57	昼夜	25	32	1
	2 6		1#机 组低 温水 泵	1	80		40 1	26 4	4	15	55	昼 间	25	30	1
	2 7		2#机 组低 温水 泵	1	85		40 8	26 5	4	22	60	昼夜	25	35	1
	2 8		2#机 组低 温水 泵	1	85		41 3	26 4	4	26	60	昼夜	25	35	1
	2 9		2#机 组低 温水 泵	1	85		41 9	26 4	4	26	60	昼夜	25	35	1
	3 0		冷却 水循 环水 泵 1	1	85		42 5	26 4	4	21	60	昼夜	25	35	1
	3 1		冷却 水循 环水 泵 1	1	85		43 2	26 4	4	14	60	昼夜	25	35	1
	3 2		冷却 水循	1	85		44 1	26 4	4	5	63	昼夜	25	38	1

			环水泵 1												
	3 3		冷却水循环水泵 2	1	80		39 2	24 7	4	6	57	昼夜	25	32	1
	3 4		冷却水循环水泵 2	1	80		40 1	24 7	4	8	56	昼夜	25	31	1
	3 5		开式冷却塔 1	1	80		40 9	24 7	4	8	56	昼夜	25	31	1
	3 6		开式冷却塔 1	1	80		41 5	24 7	4	8	56	昼夜	25	31	1
	3 7		开式冷却塔 1	1	80		42 1	24 7	4	8	56	昼夜	25	31	1
	3 8		开式冷却塔 1	1	80		42 9	24 7	4	8	56	昼夜	25	31	1
	3 9		开式冷却塔 2	1	75		43 3	24 6	4	7	52	昼夜	25	27	1
	4 0		开式冷却塔 2	1	75		44 1	24 6	4	5	53	昼夜	25	28	1
	4 1		全自动加药装置	1	55		44 3	27 4	4	3	51	昼夜	25	26	1
	4 2		旁滤装置	1	70		44 1	29 1	4	5	33	昼夜	25	8	1
	4 3	1 # 装置大厅负二层	离子源负源外循环泵	1	75		32 5	11 9	-4	25	47	昼间	25	22	1
	4 4		离子源负源自循环泵	1	70		37 5	11 6	-4	34	42	昼间	25	17	1

	4 5	特 气 间	甲烷 气瓶 柜	1	60		43 2	11 0	4	2	50	昼 夜	25	25	1
	4 6		氢气 气瓶 柜	1	60		43 2	10 5	4	2	50	昼 夜	25	25	1
	4 7		三氟 化氮 气瓶 柜	1	60		42 7	11 0	4	2	50	昼 夜	25	25	1
	4 8		乙硼 烷气 瓶柜	1	60		42 7	10 5	4	3	50	昼 夜	25	25	1
	4 9		三氟 化氮 真空 泵	1	70		42 2	10 9	4	2	60	昼 夜	25	35	1
	5 0		乙硼 烷真 空泵	1	70		42 3	10 5	4	2	60	昼 夜	25	35	1
	5 1	低 温 中 心	20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	20 8	4	5	28	昼 夜	25	3	1
	5 2		20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	20 4	4	7	26	昼 夜	25	1	1
	5 3		20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	20 1	4	7	26	昼 夜	25	1	1
	5 4		20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	19 7	4	7	26	昼 夜	25	1	1
	5 5		20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	19 3	4	7	26	昼 夜	25	1	1

	5 6	20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	18 9	4	8	26	昼夜	25	1	1
	5 7	20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	18 5	4	8	26	昼夜	25	1	1
	5 8	20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	18 1	4	8	26	昼夜	25	1	1
	5 9	20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	17 7	4	3	31	昼夜	25	6	1
	6 0	20K 制冷 系统 电控 柜	1	50		41 3	17 5	4	2	34	昼夜	25	9	1
	6 1	4.5K 制冷 系统 液氮 杜瓦	1	60		40 8	20 8	4	5	38	昼夜	25	13	1
	6 2	4K 冷箱	1	70		40 8	20 4	4	9	46	昼夜	25	21	1
	6 3	GMP	1	70		40 8	20 1	4	12	45	昼夜	25	20	1
	6 4	氦气 中压 压缩机	1	90		40 8	19 6	4	12	65	昼夜	25	40	1
	6 5	氦气 中压 压缩机	1	90		40 8	19 3	4	12	65	昼夜	25	40	1
	6 6	氦气 高压	1	90		40 8	19 0	4	12	65	昼夜	25	40	1

			压缩机												
	67		氦气高压压缩机	1	90		408	187	4	12	65	昼夜	25	40	1
	68		4.5K制冷系统控制柜	1	50		409	183	4	10	25	昼夜	25	0	1
	69		4.5K制冷系统UPS	1	50		408	180	4	7	26	昼间	25	1	1
	70		1kw液氦杜瓦	1	60		408	175	4	2	44	昼夜	25	19	1
	71		1kw冷箱	1	70		400	209	4	4	49	昼夜	25	24	1
	72		油分离器（含GMP）	1	70		400	203	4	10	45	昼夜	25	20	1
	73		1kw压缩机	1	90		400	198	4	15	65	昼夜	25	40	1
	74		1kw控制柜	1	50		400	194	4	20	25	昼夜	25	0	1
	75		1kwUPS	1	50		400	190	4	17	25	昼间	25	0	1
	76		外纯化器	1	70		400	187	4	14	45	昼间	25	20	1
	77		回收压缩机	1	80		400	185	4	12	55	昼间	25	30	1
	78		回收压缩机	1	80		400	183	4	10	55	昼间	25	30	1
	79		回收压缩机	1	80		400	180	4	7	26	昼间	25	1	1

80	回收系统 UPS	1	50		400	176	4	3	31	昼间	25	6	1
81	GM 压缩机	540	70		290(420)	214(174)	4	1(19)	45(59)	昼夜	25	20(34)	1

(2) 噪声环境影响预测

采用《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）推荐的方法和模式进行预测。

1) 靠近开口处（或窗户）室内某倍频带的 A 声级：

$$L_{p1}=L_w+10\lg(Q/4\pi r^2+4/R)$$

式中：L_{p1}—靠近开口处（或窗户）室内某倍频带的声压级或 A 声级，dB；

L_w—点声源声功率级（A 计权或倍频带），dB；

Q—指向性因数；

R—房间常数；

r—声源到靠近围护结构某点处的距离，m。

2) 室内声源等效室外声源声功率级计算方法：

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

式中：L_{p1}—靠近开口处（或窗户）室内某倍频带的声压级或 A 声级，dB；

L_{p2}—靠近开口处（或窗户）室外某倍频带的声压级或 A 声级，dB；

TL—隔墙（或窗户）倍频带或 A 声级的隔声量，dB。

3) 噪声传播衰减模式：

$$L_A(r)=L_A(r_0)-20\lg(r/r_0)$$

式中：L_A(r)—距声源 r m 处的 A 声级；

L_A(r₀)—参考位置 r₀ m 处的 A 声级；

r—预测点距噪声源中心距离，m；

r₀—参考位置距声源中心距离，m。

4) 声压级合成模式：

$$L_n=10\lg\left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{Ai}}\right)$$

式中：L_n—n 个声压级的合成声压级，dB(A)；

L_i —各声源的 A 声级, dB(A)。

③预测结果

根据工程主要噪声源参数,按上述模式进行噪声影响值预测计算,结果见下表。

表 4-25 项目厂界噪声贡献值一览表 单位: dB (A)

预测点位置	贡献值		背景值		预测值		功能区类别	标准值	排放情况
	昼间	夜间	昼间	夜间	昼间	夜间			
南厂界	19.5	19.3	/	/	19.5	19.3	4a	昼间≤70 dB(A) 夜间≤55 dB(A)	达标
东厂界	35.7	35.3	/	/	35.7	35.3	4a	昼间≤70 dB(A) 夜间≤55 dB(A)	达标
西厂界	16	15.8	/	/	16	15.8	2	昼间≤60 dB(A) 夜间≤50 dB(A)	达标
北厂界	45.8	45.5	/	/	45.8	45.5	2	昼间≤60 dB(A) 夜间≤50 dB(A)	达标
廊坊市开发区第一中学	16.5	16.2	5.4	4.7	54.0	47.0	2	昼间≤60 dB(A) 夜间≤50 dB(A)	达标

从预测结果可以看出,在采取基础减震、厂房隔声等措施后,项目对西厂界昼间噪声贡献值为 16dB(A),夜间噪声贡献值为 15.8dB(A);北厂界昼间噪声贡献值为 45.8dB(A),夜间噪声贡献值为 45.5dB(A);西厂界、北厂界满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中 2 类标准要求;东厂界昼间噪声贡献值为 35.7dB(A),夜间噪声贡献值为 35.3dB(A);南厂界昼间噪声贡献值为 19.5dB(A),夜间噪声贡献值为 19.3dB(A);满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)中 4a 类标准要求。

厂界外 50m 范围内声环境敏感点为规划建设的廊坊开发区第一中学,本项目对廊坊开发区第一中学(未建设)的昼间噪声贡献值为 16.5dB(A),夜间噪声贡献值为 16.2dB(A),叠加背景值后,廊坊开发区第一中学(未建设)的昼间噪声预测值为 54.0dB(A),夜间噪声预测值为 47.0dB(A)。满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)表 1 中的 2 类区标准要求。

(3) 声环境保护措施及其可行性分析

①项目生产设备布置于厂房内，采取厂房隔声措施，合理布置强噪声设备的位置，同时环评要求相应设备采取基础减振措施，本项目噪声排放不会对周围环境产生较大影响。

②建设单位应建立设备定期维护、保养的管理制度，以防止设备故障形成的非正常生产噪声，同时确保环保措施发挥最佳有效的功能；加强职工环保意识教育，提倡文明生产，防止人为噪声。

采取以上降噪措施后，本项目设备噪声不会对周边声环境产生明显影响。

(4) 监测计划

表 4-26 项目噪声环境监测计划一览表

环境要素	监测布点	监测污染物	监测频次	执行标准	备注
噪声	北厂界、西厂界外 1m 处	Leq (A)	1 次/季度	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准	/
	东厂界、南厂界外 1m 处			《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 4a 类标准	/
	廊坊市开发区第一中学东侧临近本项目处	Leq (A)	1 次/季度	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准	学校建成后开始监测

2.7 固体废物

本项目运营期固体废物主要有纯水制备产生的废滤芯及废反渗透膜、化粪池清理产生的污泥、废润滑油、废润滑油桶、废金属吸附剂和生活垃圾。其中废滤芯及废反渗透膜、化粪池清理产生的污泥为一般工业固体废物；废润滑油、废润滑油桶、废乙醇包装瓶、废抹布、废金属吸附剂属于危险废物。

1、生活垃圾

本项目劳动定员共 300 人，年工作 260 天，参照《第一次全国污染源普查城镇生活污染源排污手册》和环境影响工程师培训教材《社会区域类环境影响评价培训教材》中推荐的生活垃圾产污系数，生活垃圾按日产生量 0.5kg/(人·d) 计，则生活垃圾产生量为 39t/a。厂区设有分类垃圾桶，对生活垃圾进行分类收集，委托环卫部门定期清运，日产日清，对周围环境影响较小。

2、一般工业固体废物

1) 环境影响分析

纯水制备产生的废滤芯及废反渗透膜：纯水制备系统使用的滤芯和反渗透膜每五年更换一次，每次产生 200kg 废滤芯及废反渗透膜，则平均每年废滤芯及废反渗透膜产生量为 0.04t/a。根据《固体废物分类与代码名录》中分类要求，废滤芯及废反渗透膜的废物种类为 SW59 其他工业固体废物，废物代码为 900-008-S59。由厂家进行定期更换回收，不外排。

表 4-27 项目一般工业固体废物的产生、处置情况

产生环节	固废名称	属性	代码	物理性状	产生量 (t/a)	贮存方式	利用处置方式	利用或处置量 (t/a)
纯净水制备	废离子交换树脂	一般固废	900-008-SW59	固态	0.04	袋装	厂家回收	0.04
化粪池	化粪池污泥	一般固废	900-099-S07	液态	3.6	/	有资质单位定期清运	3.6

2) 环境管理要求

本项目产生的一般工业固体废物应按照《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）要求的相关规定，进行收集、管理、运输及处置：

①单位应当建立健全工业固体废物产生、收集、贮存、运输、利用、处置全过程的污染环防治责任制度，建立工业固体废物管理台账，如实记录产生工业固体废物的种类、数量、流向、贮存、利用、处置等信息，实现工业固体废物可追溯、可查询，并采取防治工业固体废物污染环境的措施。

②禁止向生活垃圾收集设施中投放工业固体废物。

③产生工业固体废物的单位委托他人运输、利用、处置工业固体废物的，应当对受托方的主体资格和技术能力进行核实，依法签订书面合同，在合同中约定污染防治要求。

④产生工业固体废物的单位应当根据经济、技术条件对工业固体废物加以利用；对暂时不利用或者不能利用的，应当按照国务院生态环境等主管部门的规定

建设贮存设施、场所，安全分类存放，或者采取无害化处置措施。贮存工业固体废物应当采取符合国家环境保护标准的防护措施。

综上所述，本项目所产生的一般工业固体废物均能得到合理利用和妥善处置，不外排，处理处置方式符合《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）要求。

3、危险废物

1) 环境影响分析

本项目产生的危险废物主要为废润滑油、废润滑油桶、废乙醇包装瓶、废抹布、废金属吸附剂。

设备润滑产生的废润滑油和废润滑油桶，属于危险废物，行业类别为 HW08 废矿物油与含矿物油废物，废润滑油行业代码：900-217-08，废润滑油产生量为 0.1t/a，废润滑油桶行业代码：900-249-08，废润滑油桶产生量为 0.01t/a。

废乙醇包装瓶属于危险废物，行业类别为 HW49 非特定行业，行业代码：900-047-49，废乙醇包装瓶产生量为 0.0002t/a。

废抹布属于危险废物，行业类别为 HW49 非特定行业，行业代码：900-041-49，产生量为 0.001t/a。

主体实验装置大厅、特气间的风险防范措施中各设置一套废气处理装置（金属钼吸附装置），根据设计资料，金属钼更换量为 0.5t/a。废金属吸附剂属于危险废物，行业类别为 HW49 非特定行业，行业代码：900-041-49。

收集后依托新奥科技发展有限公司危废间，定期交由有资质单位进行处理。

表 4-28 项目危险废物的产生、处置情况

产生环节	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	产生量/t	物理性状	有害成分	产废周期	危险特性	贮存方式	处置方式
设备运转	废润滑油	HW08	900-217-08	0.1	液态	有机物	1年	T,I	依托新奥科技发展有限公司危废间	定期交由有处理资质的单位处置
	废润滑油桶	HW08	900-249-08	0.01	固态	有机物	1年	T,I		
更新设	废乙醇包装瓶	HW49	900-047-49	0.0002	固态	有机物	1年	T,I,R		

备擦拭 废抹布	HW49	900-047-49	0.001	固态	有机物	1年	T,I,R		
废气处理装置	废金属吸附剂	HW49	900-041-49	0.5	固态	有机物	1年	T,I	

2) 危险废物贮存场所依托可行性分析

本项目危险废物依托新奥科技发展有限公司现有 1 座 50m² 的危险废物暂存间暂存，暂存间位置见附图 12。该危险废物暂存间通过“新奥科技发展有限公司能源新材料研发项目”，于 2021 年 1 月 15 日取得环评批复，批复文号：廊开审建环[2021]4 号，并于 2021 年 9 月 16 日通过竣工验收。

新奥科技发展有限公司危险废物暂存间长 10m×宽 5m×高 2.5m，平面布置示意图见附图 13。危险废物暂存间总贮存能力为 25t，分为三间，其中 A 室用于贮存废有机溶液及废油，B 室用于废固体试剂贮存，C 室用于废有机溶剂包装物贮存。A 室设有储液池，容积为 0.125m³，可收集最大容器的废液泄漏，地面设有坡度，可以保证泄露废液能自流入储液池。

项目各类危险废物最大年产生量为 0.6112t/a。项目危废间地面采取防腐、防渗、泄漏收集等措施，可满足本项目需要。

表4-29 本项目依托的危险废物贮存场所（设施）基本情况表

贮存场所（设施）名称	危险废物名称	危险废物类别	危险废物代码	位置	占地面积	贮存方式	总贮存能力/t	当前贮存量/t	贮存周期
危废暂存间	废润滑油桶	HW08	900-249-08	C 室	20m ²	密闭容器	10	1.11	3 个月
	废乙醇包装瓶	HW49	900-047-49			密闭容器			
	废抹布	HW49	900-047-49			密闭			

						容 器			
	废金属 吸附剂	HW49	900-041- 49			密 闭 容 器			
	废润滑 油	HW08	900-217- 08	A 室	20m ²	密 闭 容 器	10	0.30 6	3 个 月

3) 厂内运输过程中环境影响分析

建设项目危险废物由厂区运往新奥科技发展有限公司危险废物暂存间时，严格按照《危险废物收集 贮存 运输技术规范》(HJ2025-2012)的要求进行。

①危险废物运输应由持有危险废物经营许可证的单位按照其许可证的经营范围组织实施，承担危险废物运输的单位应获得交通运输部门颁发的危险货物运输资质。

②危险废物公路运输应按照《道路危险货物运输管理规定》(交通部令[2019年]第42号)、JT617以及JT618执行。

③废弃危险化学品的运输应执行《危险化学品安全管理条例》有关运输的规定。

④运输单位承运本项目危险废物时，应在危险废物包装上按照 GB18597 附录 A 设置标志。

⑤本项目危险废物公路运输时，运输车辆应按 GB13392 设置车辆标志。

⑥危险废物运输时的中转、装卸过程应遵守如下技术要求：

A. 卸载区的工作人员应熟悉废物的危险特性，并配备适当的个人防护装备。

B. 卸载区应配备必要的消防设备和设施，并设置明显的指示标志。

C. 危险废物装卸区设置隔离设施，液态废物卸载区应设置收集槽和缓冲罐。

转运时，危险废物放入专门盛装危险废物的容器或防漏胶袋中，由带有防漏托盘的车辆转运至危险废物暂存间，转运过程中由于人为操作失误造成的容器倒翻、胶袋破损等情况时，泄漏的危险废物大部分会进入托盘中，极少情况下会出现托盘满溢泄漏情况。由于本项目危险废物产生点距离危险废物暂存间较近，因此企业在加强管理的情况下，厂外转运过程中出现散落、泄漏概率很小，不会产生二次污染。

4) 委托处置环境影响分析

本项目环评阶段危险废物暂未委托利用或者处置单位，建议项目投入运行后选择项目周边有资质、有处置能力的危险废物处置单位就近处置，减少危险废物转移、运输过程的环境风险和运输沿线环境敏感保护目标的影响。本评价对后续危险废物的意向处置单位提出处置能力、资质类别等要求如下：

a 委托处置单位应取得危险废物经营许可证，其经营方式应包括危险废物收集、贮存、处置综合经营许可证。

b 经营的危险废物类别应包括：HW08 废润滑油及废润滑油桶，HW49 废乙醇包装瓶、废抹布、废金属吸附剂，与所经营的危险废物类别相适应的处置技术和工艺。

c 经营规模有余量处置本项目产生的危险废物。

2) 环境管理要求

贮存管理要求：

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

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

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

d 贮存设施地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。贮存的危险废物直接接触地面的，还应进行基础防渗，防渗层为至少 1m 厚黏土层（渗透系数不大于 10^{-7}cm/s ），或至少 2mm 厚高密度聚乙烯膜等人工防渗材料（渗透系数不大于 10^{-10}cm/s ），或其他防渗性能等效的材料。

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

	f 贮存设施应采取技术和管理措施防止无关人员进入。 g 贮存分区应设置具有液体泄漏堵截设施。 运输过程管理要求： 按照生态环境部、公安部、交通运输部令第 23 号《危险废物转移管理办法》中为危险废物转移联单运行和管理规定。转移危险废物的，应当执行危险废物转移联单制度，通过国家危险废物信息管理系统（以下简称信息系统）填写、运行危险废物电子转移联单，并依照国家有关规定公开危险废物转移相关污染防治信息。运输危险废物的，应当遵守国家有关危险货物运输管理的规定。 危废处置管理要求： ①设置明显的危险废物标识，采用专用密封桶对收集后的危险废物进行密封包装，外包装标明“请勿倒置”的字样。分类堆存，按危废种类分别设置危废贮存分区，桶装废物后必须盖严，并保证容器不得破漏，整齐摆放在室内，防日晒、雨淋；对装有危废的容器进行定期检查，容器泄漏损坏时必须立即处理，并装入完好容器内。 ②危险废物容器入临时储存区内贮存，采取防雨、防风、防晒、防渗要求，以防污染物泄漏污染环境。 ③根据危废类别，设置明显危废警示标志，危废间内外均需设置危险废物标识。 ④建设单位应制定严格的管理制度对危险废物在产生、分类、管理和运输等环节进行严格的监控，设立危废管理人员及管理台帐，要保证危险废物及时外运，避免过量暂存，避免可能造成二次污染。危险废物纸质转移联单（包括电子转移联单的打印联、转移信息台账记录）保存期一般为危险废物利用或处置完毕后三年。危险废物电子转移联单数据应永久保留。项目处置危险废物的措施应符合《中华人民共和国生态环境法典》第六分编固体废物污染防治 第二十三章 危险废物污染防治中相关要求，应执行《危险废物转移管理办法》规定的各项程序。 建设单位应负责项目营运期的环境管理工作，需建立完善的环境管理机构，确定各部门及岗位的环境保护目标和可量化的指标。明确环保兼职人员的工作职
--	--

责，制定并督促执行相应的环境保护规章制度。对员工进行定期和不定期的环境保护知识培训，提高职工的环境保护意识，保证环境管理和环保工作顺利进行。

综上，项目产生的固体废物全部得到了妥善处置或合理安置。在建设单位认真落实评价建议，采取相应的防渗措施，日常生产过程中加强对固废临时堆放场所管理的基础上，固体废物不会对周围环境产生污染影响。

2.8 地下水、土壤

（1）污染源及污染途径分析

根据《环境影响评价技术导则地下水环境》（HJ610-2016）和《环境影响评价技术导则土壤环境（试行）》（HJ964-2018），本项目为IV类建设项目，不开展地下水环境和土壤环境影响评价。

本项目建成后非正常工况下危废间危险废物包装容器防渗层破损发生破损等发生泄漏，造成危废等物质泄漏渗入土壤及地下水环境，引起土壤及地下水环境污染。

（2）污染防控措施

1) 地下水

本项目地下水污染防治措施和对策，应坚持“源头控制、分区防控、污染监控、应急响应”的原则。本项目拟采取的地下水的防治措施如下所述：

①源头控制措施

积极推行实施清洁生产，实现各类废物循环利用，减少污染物的排放量；项目应根据国家现行相关规范加强环境管理，采取防止和降低污染物跑、冒、滴、漏的措施。

正常生产过程中应加强巡检及时处理污染物跑、冒、滴、漏，同时应加强对防渗工程的检查，若发现防渗密封材料老化或损坏，应及时维修更换，将污染物泄漏的环境风险事故降到最低限度。

②分区防控措施

重点防渗区：主要为消防事故水池，防渗技术要求等效黏土防渗层 $M_b \geq 6.0m$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$ ；或参照 GB18598 执行。

一般防渗区：主要为实验大厅、化粪池，防渗技术要求等效黏土防渗层 $M_b \geq 1.5m$ ， $K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$ ；或参照 GB16889 执行。

简单防渗区：厂区道路及办公生活区地面必须硬化。厂区除绿化用地外，全部做水泥硬化处理。

2) 土壤

①源头控制措施

厂区做好防渗工作，切断土壤环境的影响源，评价要求厂区地面全部硬化，使其污染物不会接触到土壤。厂区内做好雨水收集工作，雨污分流。

②过程防控措施

项目场地内裸露地面须采取必要的绿化措施。除绿化外，其他生产区及办公区路面全部硬化，落实厂区地下水“分区防渗”措施及要求。

综上所述，在严格落实分区防渗等措施的前提下，本项目的建设对土壤及地下水环境影响轻微。

2.9 生态环境影响分析

本项目位于廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区。用地性质为工业用地，项目占地面积为 79084.23m²，占地范围内及周边无特殊生态敏感区和重要生态敏感区等生态保护目标，不会对区域生态环境造成影响。

2.10 环境风险评价

(1) 物质危险性识别

1) 风险调查

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附录 B，对原辅材料、燃料、中间产品、副产品、最终产品、污染物、火灾和爆炸性伴生/次生物等进行危险性识别，筛选风险评价因子，本项目涉及的危险物质主要为乙硼烷、甲烷、废润滑油、备用发电机的柴油。

本项目涉及的危险物质的数量和分布情况见下表。

表 4-30 危险物质及临界量一览表

物质名称	风险物质	CAS 号	临界量/t
乙硼烷	乙硼烷	19287-45-7	1
甲烷	甲烷	74-82-8	10
废润滑油	矿物油类	/	2500
柴油	柴油	/	2500
三氟化硼	三氟化硼	7637-07-2	2.5

2) 风险潜势初判

当存在多种危险物质时，按下式计算物质总量与其临界量的比值（Q）。

$$Q=q_1/Q_1+q_2/Q_2+q_3/Q_3\ldots q_n/Q_n$$

式中： $q_1, q_2, \ldots, q_n$ —每种危险物质实际存在量，单位为 t；

$Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ —与各种危险物质相对应的临界量，单位为 t。

表 4-31 危险物质数量与临界量比值一览表

物质名称	物料暂存最大量 q_i (t)	临界量 Q_i (t)	q_i/Q_i
乙硼烷	0.000046	1	0.000046
甲烷	0.000105407	10	0.0000105
柴油	0.85	2500	0.00034
三氟化硼	0.0000009	2.5	0.00000038
Q			0.00039688

根据计算结果，本项目 $Q=0.00039688<1$ 。环境风险潜势为 I 级，只需简单分析，在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性的说明。

(2) 环境风险识别

本项目危险物质及分布情况，见下表。

表 4-32 本项目风险物质一览表

序号	物质名称	储存位置	易燃易爆性	有毒有害性
1	乙硼烷	特气间	易燃	剧毒
2	甲烷		易燃	低毒
3	柴油	柴油发电机房	易燃	低毒
4	三氟化硼	1#装置大楼	不燃	高毒

(3) 环境风险分析

1) 大气环境风险分析

本项目特气间、柴油发电机房、1#装置大楼的挥发性物质泄漏后逸散到大气，会对环境空气造成污染，一旦遇明火或高热，可能会发生火灾。燃烧产物主要为二氧化碳、一氧化碳和水，一氧化碳、三氟化硼会对附近企业员工及周边居民产生影响。

2) 水环境风险分析

本项目危险物质泄漏可能通过垂直入渗对地下水环境产生影响或通过地表漫流进入地表水环境产生影响。

由于本项目所使用原辅料量较小，且均采用瓶装、罐装、桶装，发生泄漏事故的概率极低，若发生泄漏事故，将立即采取收集措施（可采用吸油毡、吸附剂、砂土等），并使用砂土构筑临时围堰，避免试剂、危险废物（液态）流出厂界，在采取上述措施处理风险事故后，项目泄漏基本不会对区域地表水环境产生环境风险。同时为防止危险废物遗撒污染地面，盛装废液的包装容器置于托盘上可收集泄漏液。以上发生泄漏事故时收集的废液均作为危废处置。

（4）环境风险防范措施及应急要求

1）环境风险防范措施

本项目风险防范措施如下：

①厂区危险物质使用各自密闭容器盛装，建设单位应定期检查是否存在泄漏。

②原辅材料和危险废物等储存于阴凉、通风的场所，远离火种、热源。储存区内粘贴警示标志，周边严禁烟火，防止发生火灾危险。

③厂区应按要求配置一定数量不同类型、不同规格的移动式灭火器材，以便及时扑救初始火灾。

④加强日常管理，预防意外泄漏事故，储区应备有合适的收容材料。

⑤本项目对特气间等进行严格管理，做好地面防渗，并且在收集、运输、储存过程中严格执行操作规范。

⑥一旦出现盛装液态危险废物的容器发生破裂或渗漏情况，马上修复或更换破损容器，可防止泄漏液体直接流入地面上。运输过程中若发生泄漏，若发生泄漏，应将地面残留液体用布立即擦拭干净，沾染物均作为危险废物交有资质单位集中处理处置。

⑦特气间的所有电器设备均为防爆设备、并安装防爆摄像头。

⑧特气间均设置气体探测报警器。

⑨特气间设置静电释放器，防止静电产生。

⑩厂区内转移运输物料采用钢气瓶专用车，并固定位置，防止碰撞。

⑪特气间设置负压气瓶柜储存气瓶、电子切断阀、流量计，发生事故泄漏后，废气经金属吸附剂处理后（金属吸附剂主要成分为钼，设计处理效率为99%），经楼顶排气筒排放。

2) 环境风险应急措施

①应具备灭火器等用品，并定期检查灭火器状态及其有效期等。

②定期进行安全环保宣传教育以及紧急事故模拟演习，提高事故应变能力。

③发生事故后，当班人员立即启用应急物资，若发生泄漏，则启用应急收集桶、消防沙、吸油棉等设施；发生火灾事故时，启用灭火器、消防栓、消防沙及应急收集桶等装置，产生有限消防废水时及时封堵雨水排放总口，使用应急泵将消防废水抽至消防废水池中；若火势较大，产生大量的消防废水，则应该及时启动一级响应，向相应的政府部门进行求助。

3) 事故应急预案

突发环境事件应急预案根据环境保护部发布的《企业突发环境事件风险评估指南(试行)》（环办[2014]34号）、《突发环境事件应急管理办法》(国办发〔2024〕5号)和《企业事业单位突发环境事件应急预案备案管理办法(试行)》(环发[2015]4号)要求，针对项目生产过程存在的风险事故类型，编制突发环境事故应急预案。企业应与政府有关部门协调一致，企业的事故应与政府的事故应急网络联网。若发生事故，立即向调度室和应急指挥办公室报告。

根据应急预案分级响应条件，启动相应的预案分级措施。此外，应明确企业、园区/区域、地方政府环境风险应急体系。企业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) 环境风险分析结论

本项目环境风险事故发生后可能对大气环境、地下水、地表水环境产生影响。项目在落实各项环境风险防范及应急措施和加强管理的条件下，是可防控的，项目环境风险水平可接受。

3.事故影响分析

3.1 “和龙-2”

本项目“和龙-2”装置是一台大型射线装置，停机或断电则瞬时辐射场会立即消失。该装置在特殊运行工况下会发生等离子体破裂现象，逃逸电子与器壁材料反应可产生少量能量高于 10 MeV 的 X 射线，并通过 (γ , n) 反应产生少量中

子。经计算，中子引起的空气、冷却水或土壤等活化远低于豁免水平，不存在事故导致放射性气体泄漏等环境危害。

该装置可能发生的事故工况，就是人员误入造成的人身伤害。如安全联锁系统失灵、工作人员违章作业滞留等。人员误入发生事故，会在第一时间发现，所以误入人员最多被照射一次。假设极端情况下，人员紧挨杜瓦，在该处所受照射剂量为 1600 μSv ，不会造成人员受伤或者死亡。

为保障人身安全，防止这类事故的发生，廊坊新奥聚变科技有限公司已采取了较完善的多重辐射安全防护措施。包括门机联锁、声光报警、20 把总控联锁钥匙、门禁识别系统及同步统计出入人员信息功能、监控系统及值班人员巡视清场等措施。这些措施体现了廊坊新奥聚变科技有限公司对实验安全的高度重视，可以认为上述辐射安全措施可靠，可确保实验的顺利和安全运行。

3.2 中性束实验室

中性束实验室属于一般射线装置，装置停机、断电后，由束流产生的瞬时 X 射线辐射场将立即消失。装置正常调试运行过程中主要产生 200 keV 量级韧致 X 射线；在特殊极端工况下，可发生等离子体破裂，逃逸电子轰击装置器壁，可能产生少量高能 X 射线，无中子产生。

本装置调试阶段可预见的主要事故工况为人员误入辐射屏蔽区域引发的人员受照事故，典型触发条件包含辐射安全联锁失效、工作人员违规操作、清场不彻底导致人员滞留屏蔽区内等。一旦发生人员误入，现场声光报警、视频监控、值班人员巡检可实现事件第一时间发现，误入人员仅会承受单次照射。

保守取极端事故场景：人员近距离贴近离子源真空室 / 量热靶等强辐射源位置，受照时间 1min。经评估该极端条件下人员受到的辐射剂量约 100mSv。该剂量属于急性低剂量照射，不会造成人员躯体损伤、急性放射病或死亡。

为防范人员误入类事故发生，实验室已配置多重冗余辐射安全防护手段：屏蔽体防护门，门机联锁、现场声光辐射报警装置、人员门禁识别系统、视频监控系统，同时配套执行实验前清场、值班人员现场巡检确认等管理制度。多重技术与管理措施相互兜底，能够有效规避人员误入风险。综上，本中性束实验室离子源调试相关辐射安全防护措施完备可靠，可保障装置调试实验安全、稳定开展。

4.辐射安全许可证申请条件

《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第31号发布，生态环境部令第20号修订，自2021年1月4日起施行）第十六条提出了使用放射性同位素（包括放射源）、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备的八个条件；2011年发布的《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第18号，自2011年5月1日起施行）中对使用放射性同位素（包括放射源）和射线装置的单位也提出了相应的管理要求。

下面分别就原国家环境保护总局令第31号和原环境保护部令第18号的要求与廊坊新奥聚变科技有限公司达到的条件进行对比，并给出是否符合要求的结论，见表4-33和4-34。

表 4-33 原国家环境保护总局令第31号及廊坊新奥聚变科技有限公司达到条件对照表

法规要求		廊坊新奥聚变科技有限公司现状	结论
《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国	（一）使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了以梁云峰（公司一号位）为组长的辐射安全管理小组，全面领导公司的辐射安全防护和质量保证工作。	符合要求
	（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	职业工作人员均进行了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规培训，经考核合格后上岗。	符合要求
	（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目只涉及射线装置。	符合要求
	（四）放射性同位素与射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	主机车间和中性束实验室在人员及物流出入口设有电离辐射警示标志、中文警示说明与带警报功能的工作状态指示灯，且设安全广播；多处设急停按钮并标识醒目，按下可关停相关系统；大小铅门配备门机连锁；中央控制室配备总控连锁钥匙，钥匙不归位实验无法启	符合要求

家环境保护总局令第31号发布，生态环境部令第20号修订)		动；小铅门处有人脸识别及刷卡门禁系统，人员进出信息同步显示且名单未清零实验不可开始；实验运行需安全联锁系统及各辅助系统就绪，放电前有声光警报；各层墙壁四周设巡检按钮并与控制台联锁；多处设有监控系统且信息同步至中央控制室；大小铅门附近设紧急开门按钮；辐射工作人员需培训考核持证上岗，进入控制大厅佩戴个人剂量计与报警仪，公司定期安排剂量监测与职业病健康体检。	
	（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	便携式 X-γ剂量率仪 1 台、便携式中子剂量率仪 1 台。20 套 γ 辐射监测仪和 14 套环境中子探测器。“和龙-2”装置和中性束实验室的辐射工作人员，每人 1 套光子个人剂量计和 1 套中子个人剂量计；	符合要求
	（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	公司制定了《辐射安全管理规定》（包含岗位职责）《辐射防护与安全保卫制度》《辐射工作人员培训管理规定》《辐射工作人员职业健康管理规定》《辐射工作人员个人剂量监测管理规定》《辐射工作场所监测管理规定》《“和龙-2”装置日常检修维护保养指导书》《“和龙-2”装置实验运行规程》等。	符合要求
	（七）有完善的辐射事故应急措施。	制定了《辐射安全事故应急预案》	符合要求
	（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目运行时不产生放射性三废。	符合要求
表 4-34 原环境保护部令第 18 号要求及廊坊新奥聚变科技有限公司达到条件对照表			

法规要求		廊坊新奥聚变科技有限公司 现状	结 论
《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》 (原环境保护部令第18号)	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	主机车间在人员及物流出入口设有电离辐射警示标志、中文警示说明与带警报功能的工作状态指示灯，且设安全广播；多处设急停按钮并标识醒目，按下可关停相关系统；大小铅门配备门机联锁；中央控制室配备总控联锁钥匙，钥匙不归位实验无法启动；小铅门处有人脸识别及刷卡门禁系统，人员进出信息同步显示且名单未清零实验不可开始；实验运行需安全联锁系统及各辅助系统就绪，放电前有声光警报；各层墙壁四周设巡检按钮并与控制台联锁；多处设有监控系统且信息同步至中央控制室；大小铅门附近设紧急开门按钮；辐射工作人员需培训考核持证上岗，进入控制大厅佩戴个人剂量计与报警仪，公司定期安排剂量监测与职业病健康体检。	符 合 要 求
	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	每年委托有资质的单位对主机车间及周围辐射环境水平进行监测，并出具监测报告；同时，使用便携式 X-γ 剂量率仪对本项目放射性工作场所进行自行监测，并建立了辐射环境自行监测记录档案。	符 合 要 求
	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	依规定对主机车间的安全和防护状况进行年度评估，编写年度评估报告，于每年 1 月 31 日前报原发证机关。	符 合 要 求
	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，	职业工作人员均进行了辐射安全和防护专业知识及相关	符 合

	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。	法律法规的培训，经考核合格后上岗。	要求
	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	对本项目职业工作人员进行个人剂量监测，并建立个人剂量监测档案，终生保存。	符合要求

从以上对比可知：廊坊新奥聚变科技有限公司符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第 31 号发布，生态环境部令第 20 号修订，自 2021 年 1 月 4 日起施行）第十六条要求应当具备的八个条件，和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号，自 2011 年 5 月 1 日起施行）第五条、第九条、第十二条、第十七条、第二十三条要求应当具备的条件，具备使用Ⅱ类射线装置“和龙-2”和中性束实验室的技术能力。

5.竣工环境保护验收

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》要求，建设单位是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；验收报告编制完成后 5 个工作日内，公开验收报告，公示的期限不得少于 20 个工作日。验收报告公示期满后 5 个工作日内，应当登录全国建设项目竣工环境保护验收信息平台，填报建设项目基本信息、环境保护设施验收情况等相关信息，生态环境主管部门对上述信息予以公开。项目建成后，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月。项目竣工环保验收一览表见表 4-35。

表 4-35 项目竣工环保验收一览表

项目	验收内容	验收要求
----	------	------

	电离辐射	工作人员受照剂量	职业工作人员满足 5 mSv/a 的剂量约束值。公众人员满足 0.1 mSv/a 的剂量约束值。
		剂量率控制水平	①人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所：剂量率参考控制水平 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ； ②人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所：剂量率参考控制水平 $\leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ； ③对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制。 考虑到等离子体实验特点，上述 $2.5 \mu\text{Sv}$ 、 $10 \mu\text{Sv}$ 及 $100 \mu\text{Sv}$ 均为小时累积剂量。
	电磁辐射	公众曝露控制限值	执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）表 1 中公众曝露控制限值。
	声环境	噪声	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准（昼间 60 dB（A）、夜间 50 dB（A））。
	危险废物	危险废物	《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597-2023）。
	辐射监测设备	便携式监测设备	便携式 X- γ 剂量率仪 1 台、便携式中子剂量率仪 1 台。
		固定式辐射监测设备	20 套 γ 辐射监测仪和 14 套环境中子探测器。
		个人防护监测设备	“和龙-2”装置和中性束实验室的辐射工作人员，每人 1 套光子个人剂量计和 1 套中子个人剂量计；
	其他防护措施	辐射工作人员培训、辐射安全与管理制度	按要求安排辐射工作人员参加培训；制定完善的工作场所管理及辐射安全与管理制度。
		辐射防护分区	辐射工作场所按要求进行辐射防护分区。
		主机车间和中性束实验室防护措施	A.钥匙控制 中央控制室控制台前配备 20 把总控联锁钥匙，放电间隙需进入主机车间检查的人员，必须人手一把钥匙，控制系统检测到有钥匙未归位，实验将无法启动。 B.人员出入管控措施 主机车间小铅门 2、3 处配备人脸识别及刷卡门禁系统，非辐射工作人员不可进入。通过面部识别或刷卡进入主机车间时，人员姓名会同步显示在小铅门上方屏幕和中央控制室屏幕上；人员走出时，也需要面部识别或刷卡，系统将在名单中清除此人信息，名单未清零，实验不可开始。 C.门机联锁 大小铅门均配备了门机联锁系统，铅门开启时，装置无法运行。

		D.急停按钮 主机车间二层、一层、负一层、负二层墙壁四周（二层东墙处人员不可达）以及监控大厅均设置有“急停按钮”，按下急停按钮，将立即关停加热系统及电源系统，实验将立即停止。 E.紧急开门 大铅门和小铅门附近均以及监控大厅均设有紧急开门按钮，确保主机车间人员可以在紧急情况下打开逃生。 F.清场巡检 主机车间二层、一层、负一层、负二层墙壁四周（二层东墙处人员不可达）均设置有“巡检按钮”，并均与控制台联锁，放电实验开始前，巡视人员进入主机车间分别按序按动“巡检按钮”，巡查有无人员误留。 G.声光报警 “和龙-2”装置实验运行人员在辐射安全联锁系统（屏蔽门、联锁钥匙、紧急停机及人员清零）均亮起复位绿灯，且装置各辅助系统准备就绪后，开始进行等离子体放电实验。在开始等离子体放电前 60 秒，总控系统开始倒计时，并通过声光报警装置，发出声光警报，运行前可及时提醒无关人员不得靠近，并提醒未撤离人员尽快。 H.警告警示标识 主机车间在人员出入小铅门及物流出入大铅门处设有电离辐射警示标志及中文警示说明，并安装有工作状态指示灯（带警报功能）。红灯状态时表示正在开展实验，铅门无法打开，绿灯状态时表示未开展试验，铅门可以打开。此外，在人员出入小铅门外设有安全广播。 I.视频监控 主机车间在一层、负一层、负二层西北、东北、西南、东南角位置设有监控系统，可实现主机车间内持续监控，监控信息同步至中央控制室大屏幕上。若发现装置异常或发现有人人员滞留，将立即启动急停按钮。
--	--	---

五、环境保护措施监督检查清单

内容要素	排放口 (编号、名称)/污染源	污染物项目	环境保护措施	执行标准
大气环境	/	/	/	/
地表水环境	废水总排口 DW001	pH、COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	生活污水经化粪池处理后与冷却循环系统定期排污水、软水制备浓水合并经厂区总排口通过市政管网最终排入廊坊开发区污水处理厂	《污水综合排放标准》(GB8978-1996)表4中三级标准及满足廊坊开发区污水处理厂进水水质要求中标准限值
电离辐射	1套“和龙-2”装置、200kV离子源调试平台	正常运行工况下的韧致辐射及回旋辐射；特殊运行工况等离子体破裂时，能量可高达10 MeV以上的韧致辐射(X射线)及通过(p, n)反应产生的少量中子	四周采用混凝土、沙袋、铅等屏蔽材料，辐射屏蔽效果可满足辐射剂量率要求，采取了较全面的辐射安全措施。	1) 职业工作人员满足5 mSv/a的剂量约束值。公众人员满足0.1 mSv/a的剂量约束值。 剂量率约束值 ①人员居留因子T > 1/2的场所：剂量率参考控制水平 ≤ 2.5 μSv/h； ②人员居留因子T ≤ 1/2的场所：剂量率参考控制水平 ≤ 10 μSv/h； ③对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶，机房顶外表面30 cm处的剂量率参考控制水平可按100 μSv/h加以控制。考虑到等离子体实验特点，上述2.5 μSv、10 μSv及100 μSv均为小时累积剂量。
声环境	设备运行、风机	Leq	低噪声设备、基础减振、厂房隔	《工业企业厂界环境噪声排放标准》

			声、风机软管连接	(GB12348-2008) 2类、4a类标准
电磁辐射	“和龙-2”电子回旋加热系统	电磁辐射	微波产生、传输和发射链路完全封闭,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。	《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)表1公众暴露控制限值,本项目电子回旋加热系统的电场强度不得超过 27 V/m。
	“和龙-2”离子回旋加热系统	电磁辐射	发射机腔体的腔板设计成双层的簧片结构,能有效屏蔽射频信号。射频波沿传输线内导传输,外导有 10 cm 厚的铝管包裹,不会向外辐射,接口法兰处有铝箔缠绕,然后用导电铝箔胶带粘接,可避免射频波泄漏。	《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)表1公众暴露控制限值,本项目离子回旋加热系统不得超过 12 V/m。
固体废物	纯水制备	废滤芯及废反渗透膜	厂家回收	《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)
	化粪池	化粪池污泥	有资质单位定期清运	
	设备保养	废润滑油	依托新奥科技发展有限公司危废间,定期交由有资质单位进行处理	危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)
		废润滑油桶		
	更新设备擦拭	废乙醇包装瓶		
		废抹布		
	废气处理装置	废金属吸附剂		
	职工生活	生活垃圾	委托环卫部门处理	《中华人民共和国生态环境法典》中固体废物污染防治分编关于生活垃圾污染环境防治的有关要求
土壤及地下水污染防治措施	1) 地下水 ①源头控制措施			

	积极推行实施清洁生产，实现各类废物循环利用，减少污染物的排放量；项目应根据国家现行相关规范加强环境管理，采取防止和降低污染物跑、冒、滴、漏的措施。 正常生产过程中应加强巡检及时处理污染物跑、冒、滴、漏，同时应加强对防渗工程的检查，若发现防渗密封材料老化或损坏，应及时维修更换，将污染物泄漏的环境风险事故降到最低限度。 ②分区防控措施 重点防渗区：主要为消防事故水池，防渗技术要求等效黏土防渗层 $Mb \geq 6.0m$，$K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$；或参照 GB18598 执行。 一般防渗区：主要为实验大厅、化粪池，防渗技术要求等效黏土防渗层 $Mb \geq 1.5m$，$K \leq 1 \times 10^{-7} cm/s$；或参照 GB16889 执行。 简单防渗区：厂区道路及办公生活区地面必须硬化。厂区除绿化用地外，全部做水泥硬化处理。 2) 土壤 ①源头控制措施 厂区做好防渗工作，切断土壤环境的影响源，要求厂区地面全部硬化，使其污染物不会接触到土壤。厂区内做好雨水收集工作，雨污分流。 ②过程防控措施 项目场地内裸露地面须采取必要的绿化措施。除绿化外，其他生产区及办公区路面全部硬化，落实厂区地下水“分区防渗”措施及要求。
生态保护措施	不涉及
环境风险防范措施	①厂区乙硼烷、甲烷、废润滑油、柴油、三氟化硼等风险物质使用各自密闭容器盛装，建设单位应定期检查是否存在泄漏。 ②原辅材料和危险废物等储存于阴凉、通风的场所，远离火种、热源。储存间内粘贴警示标志，周边严禁烟火，防止发生火灾危险。 ③厂区应按要求配置一定数量不同类型、不同规格的移动式消防器材，以便及时扑救初始火灾。 ④加强日常管理，预防意外泄漏事故，储区应具备有合适的收容材料。 ⑤本项目对原辅料库房、危废间进行严格管理，做好地面防渗，并且在收集、运输、储存过程中严格执行操作规范。 ⑥一旦出现盛装液态危险废物的容器发生破裂或渗漏情况，马上修复或更换破损容器，可防止泄漏液体直接流入地面上。运输过程中若发生泄漏，若发生泄漏，应将地面残留液体用布立即擦拭干净，沾染物均作为危险废物交有资质单位集中处理处置。 ⑦特气间的所有电器设备均为防爆设备、并安装防爆摄像头。 ⑧特气间均设置气体探测报警器。 ⑨特气间设置静电释放器，防止静电产生。 ⑩厂区内转移运输物料采用钢气瓶专用车，并固定位置，防止碰撞。

	⑪特气间设置负压气瓶柜储存气瓶、电子切断阀、流量计，发生事故泄漏后，废气经金属吸附剂处理后（金属吸附剂主要成分为钼，设计处理效率为 99%），经楼顶排气筒排放。
其他环境管理要求	①环保管理机构：建立环保管理机构，加强内部管理，建立和健全各项环保规章制度； ②排放口规范化：严格按照《排污口规范化整治技术要求（试行）》建立规范化排污口，设检测孔及监测平台，设排污口标示牌，建立规范化排污口档案； ③对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。

六、结论和建议

1.项目概况

新奥科技在“玄龙-50”系列装置的研发实践中，持续推进氢硼聚变技术探索。“玄龙-50”系列装置的合规运行与技术积累，为新聚变装置的研发提供了坚实的实践基础和技术支撑。随着研发工作的不断深入，拟在廊坊建设球形环氢硼等离子体实验平台（以下简称“和龙-2”），用于开展氢硼聚变相关技术的研发实验工作。2024年5月7日，新奥科技向河北省生态环境厅提交了《关于“和龙-2”射线装置分类的请示》并于2024年11月15日取得生态环境部的复函（辐射函[2024]30号），明确“和龙-2”聚变装置参照Ⅱ类射线装置进行管理。2025年12月2日，新奥集团为推进氢硼聚变商业化进程设立廊坊新奥聚变科技有限公司作为专项实施主体。该公司全面承接新奥科技在聚变领域的研究基础与技术成果。本项目拟新增1台“和龙-2”聚变装置，用于氢硼聚变研发实验，其工作介质为氢气、乙硼烷，本项目射线装置基本参数情况见表6-1。

表 6-1 本项目射线装置清单

序号	射线装置名称	主要参数	数量	类别
1	“和龙-2”	工作介质：氢气、乙硼烷 等离子体特性： 中心电子温度：30 keV 脉冲时间：0.5 s 电磁场强度：3.0 T 大/小半径：1.05/0.57 m 中心密度：1.44E20 m ⁻³ 等离子体电流：3.0 MA 加热功率：36 MW	1	Ⅱ类

2.实践正当性

本项目建成以后可进一步推动对氢硼聚变反应点火条件的探索，装置的设计采取了安全、冗余的辐射安全与防护措施，以尽可能降低对工作人员和公众的辐射影响。本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的效益足以弥补其可能引起的辐射危害。因此，综合考虑社会、经济等方面因素，本项目的建设符合《电离辐射防护与辐

射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

3.区域规划、产业政策符合性

项目选址位于廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区，符合开发区总体布局；项目建设符合国家和地方产业政策要求。项目运营期采取了完善的污染治理措施并制定了环境管理与监测计划，可确保废气、废水、噪声各类污染物达标排放，固体废物全部综合利用或妥善处置。在各类环保设施稳定运行的情况下，项目的实施不会对周围环境产生明显污染影响。因此，在保证落实各项环保治理措施的前提下，从环保角度分析，项目建设可行。

4.辐射安全防护措施

（1）辐射工作场所分区：按照控制区和监督区对辐射工作场所进行划分，主机车间小铅门处配备人脸识别门禁系统，非辐射工作人员不可进入。

（2）辐射安全联锁系统：辐射工作场所设计了安全、冗余的辐射安全联锁系统，包括门机联锁、总控联锁钥匙、急停按钮、巡查按钮、紧急开门按钮、声光报警器、工作状态指示灯、视频监控以及电离辐射警告标志和中文警示说明，可有效防止工作人员和公众受到意外照射。

（3）辐射屏蔽：根据我国法规标准要求确定各辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平，采用混凝土作为主屏蔽体，经计算各辐射工作场所屏蔽体外瞬时剂量率均低于其剂量率控制水平。

（4）工作场所辐射监测系统：本项目工作场所和周围环境设有 14 套固定式中子探测器、20 套固定式 γ 辐射探测器、1 台便携式 X- γ 辐射检测仪和 1 台便携式中子剂量率仪，对场所内剂量率水平进行实时监测和显示，确保工作人员和公众的安全。

（5）职业工作人员上岗前进行培训，通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，持证上岗。

（6）本项目每季度委托有资质单位为职业工作人员进行 X- γ 个人剂量监测，并定期委托有资质单位对本单位辐射人员进行职业病健康体检，间隔周期最长不超过 2 年。

5.环境影响分析

5.1 剂量率水平

北墙外侧单次辐射剂量为 $0.012 \mu\text{Sv}/\text{炮}$ 、剂量率 $0.036 \mu\text{Sv}/\text{h}$ （按每小时 3 炮计算），满足人员居留因子 $>1/2$ 时 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率管控限值要求。

主机车间屋顶单次辐射剂量最大值为 $5.86 \mu\text{Sv}/\text{炮}$ ，对应剂量率 $17.6 \mu\text{Sv}/\text{h}$ （按每小时 3 炮计算），满足 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 的剂量率管控限值要求。

中性束调试平台屏蔽体防护充分，且打靶点位于地下一层离地面 2m 处，在人员不可达处，屏蔽体外 30cm 且人员可达处的剂量率均为 0。人员年有效剂量也均为 0。

5.2 受照剂量

主机车间外职业工作人员所受年有效剂量最高为 3.59 mSv ，满足职业工作人员 $5 \text{ mSv}/\text{a}$ 的年剂量约束值要求。

公众虽会进入主机车间参观，但装置运行期间不会在屏蔽门附近停留。经保守计算，装置每次运行时，即便参观人员紧邻屏蔽墙体，装置东西南北四侧墙外年最大剂量为 $2.94 \times 10^{-2} \text{ mSv}$ ，满足公众年剂量约束值 $0.1 \text{ mSv}/\text{a}$ 的管控要求。

5.3“三废”的环境影响

“和龙-2”运行过程中，因等离子破裂可能会发生等离子体破裂现象并可能有极少量的中子产生，所引发的感生放射性经计算可忽略不计。无放射性三废产生。

6.辐射环境管理

廊坊新奥聚变科技有限公司根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规要求，成立了辐射安全管理小组，负责指导、监督、检查辐射防护相关工作，制定了《辐射安全管理规定》（包含岗位职责）《辐射防护与安全保卫制度》《辐射工作人员培训管理规定》《辐射工作人员职业健康管理规定》《辐射工作人员个人剂量监测管理规定》《辐射工作场所监测管理规定》《“和龙-2”装置日常检修维护保养指导书》《“和龙-2”装置实验运行规程》等规定，能够满足本项目安全管理要求。

7. 总结论

综上，本项目的建设具有良好的社会效益和科研价值，在认真贯彻执行国家有关环境管理的法律、法规和国家标准，严格实施本项评价工作提出的环境污染控制措施和加强管理的前提下，不会对周围环境带来不可接受的环境影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则，从辐射安全和环境保护的角度上来评价是可行的。

8. 建议

为更好的做好本项目的环保工作，提出以下建议及要求：

（1）加强放射工作人员个人剂量监测管理工作，及时送检并统一管理维护放射工作人员个人剂量监测档案；

（2）项目运行过程中，严格按照操作规程，加强对辐射工作人员有关辐射防护方面的培训，避免意外事故造成对公众和工作人员的附加影响。

附表

建设项目污染物排放量汇总表

项目 分类	污染物名称	现有工程 排放量（固体 废物产生量） ①	现有工程 许可排放量 ②	在建工程 排放量（固体 废物产生量） ③	本项目 排放量（固体 废物产生量） ④	以新带老削减量 （新建项目不 填）⑤	本项目建成后 全厂排放量 （固体废物产 生量）⑥	变化量 ⑦
废气	/	0	0	0	0	0	0	0
废水	COD	0	0	0	18.606	0	18.606	+18.606
	氨氮	0	0	0	0.032	0	0.032	+0.032
	SS	0	0	0	0.373	0	0.373	+0.373
	BOD ₅	0	0	0	10.575	0	10.575	+10.575
一般工业 固体废物	废滤芯及废反渗透膜	0	0	0	0.04	0	0.04	+0.04
	化粪池污泥	0	0	0	3.6	0	3.6	+3.6
危险废物	废润滑油	0	0	0	0.1	0	0.1	+0.1
	废润滑油桶	0	0	0	0.01	0	0.01	+0.01
	废乙醇包装瓶	0	0	0	0.0002	0	0.0002	+0.0002
	废抹布	0	0	0	0.001	0	0.001	+0.001
	废金属吸附剂	0	0	0	0.5	0	0.5	+0.5
生活垃圾	生活垃圾	0	0	0	39	0	65	+39

注：⑥=①+③+④-⑤；⑦=⑥-①

打印编号: 1790586420000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	22fdu3		
建设项目名称	球形环氢硼等离子体平台建设项目		
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	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	廊坊新奥聚变科技有限公司		
统一社会信用代码	91131001MAKG2YR033		
法定代表人 (签章)	于建潮		
主要负责人 (签字)	于建潮		
直接负责的主管人员 (签字)	梁云峰 梁云峰		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	中国原子能科学研究院		
统一社会信用代码	12100000400000309R		
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
孟庆森	07351443506140099	BH009726	孟庆森
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
孟庆森	主持编制	BH009726	孟庆森
金潇	审核	BH013175	金潇
赵语墨	表一至表六	BH078748	赵语墨

 持证人签名: Signature of the Bearer 管理号: 07351443506140099 File No.:	姓名: 孟庆森 Full Name 性别: _____ Sex 出生年月: 197710071433 Date of Birth 专业类别: 环评 Professional Type 批准日期: 2007-05-13 Approval Date 签发单位: 人事局 Issued by 签发日期: 2007年8月20日 Issued on
---	--

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、国家环境保护总局批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试合格，取得环境影响评价工程师的职业资格。 This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer. 中华人民共和国人力资源和社会保障部 approved & authorized by Ministry of Personnel The People's Republic of China	国家环境保护总局 approved & authorized by State Environmental Protection Administration The People's Republic of China 编号: No.: 0005271
---	---

附图

附图 1：本项目与广阳区生态保护红线关系示意图

附图 2：项目地理位置图

附图 3：项目周边关系图

附图 4：项目地理位置图

附图 5：项目平面布置图

附图 6：辐射安全措施布置图

附图 7：固定式辐射监测点位布置图

附图 8：主机车间循环机组送风风管路由

附图 9：主机车间循环机组回风风管路由

附图 10：主机车间新风管路由

附图 11：主机车间排风风管路由

附图 12：本项目与依托的办公楼、食堂及危废间以及租赁中性束实验室关系示意图

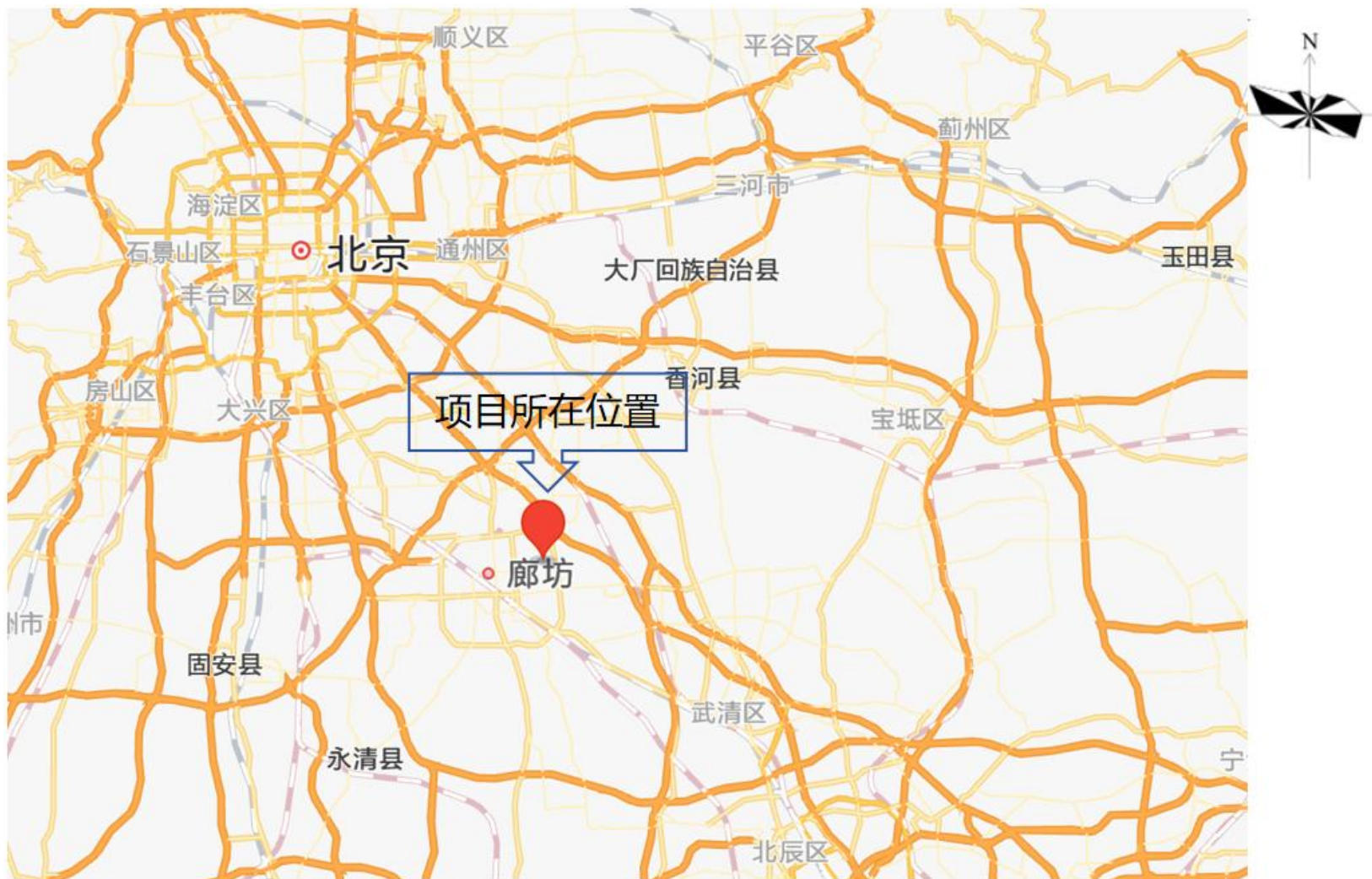
附图 13：本项目依托危废间平面布置示意图



比例尺 1:180000



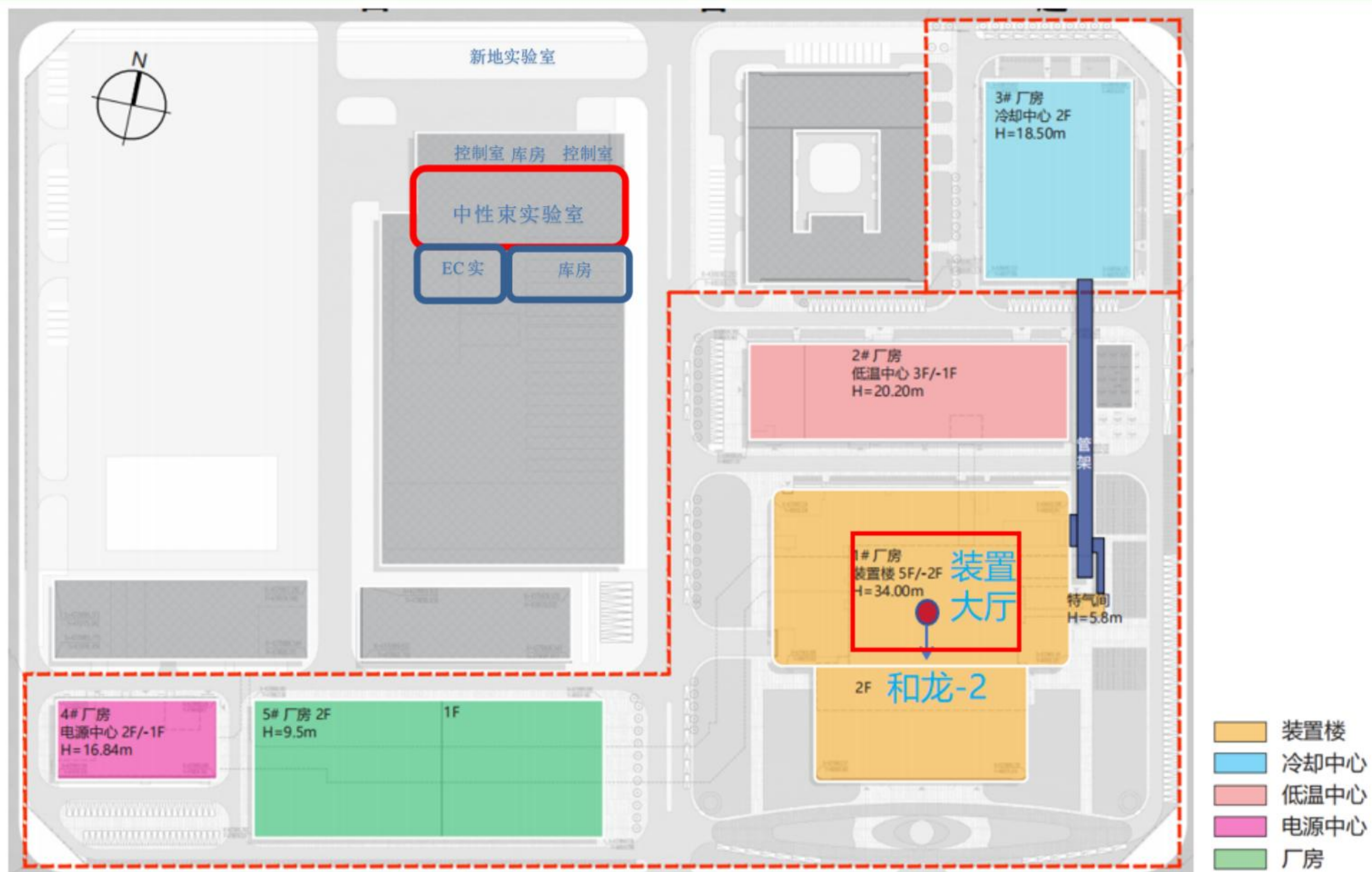
附图1 本项目与广阳区生态保护红线关系示意图



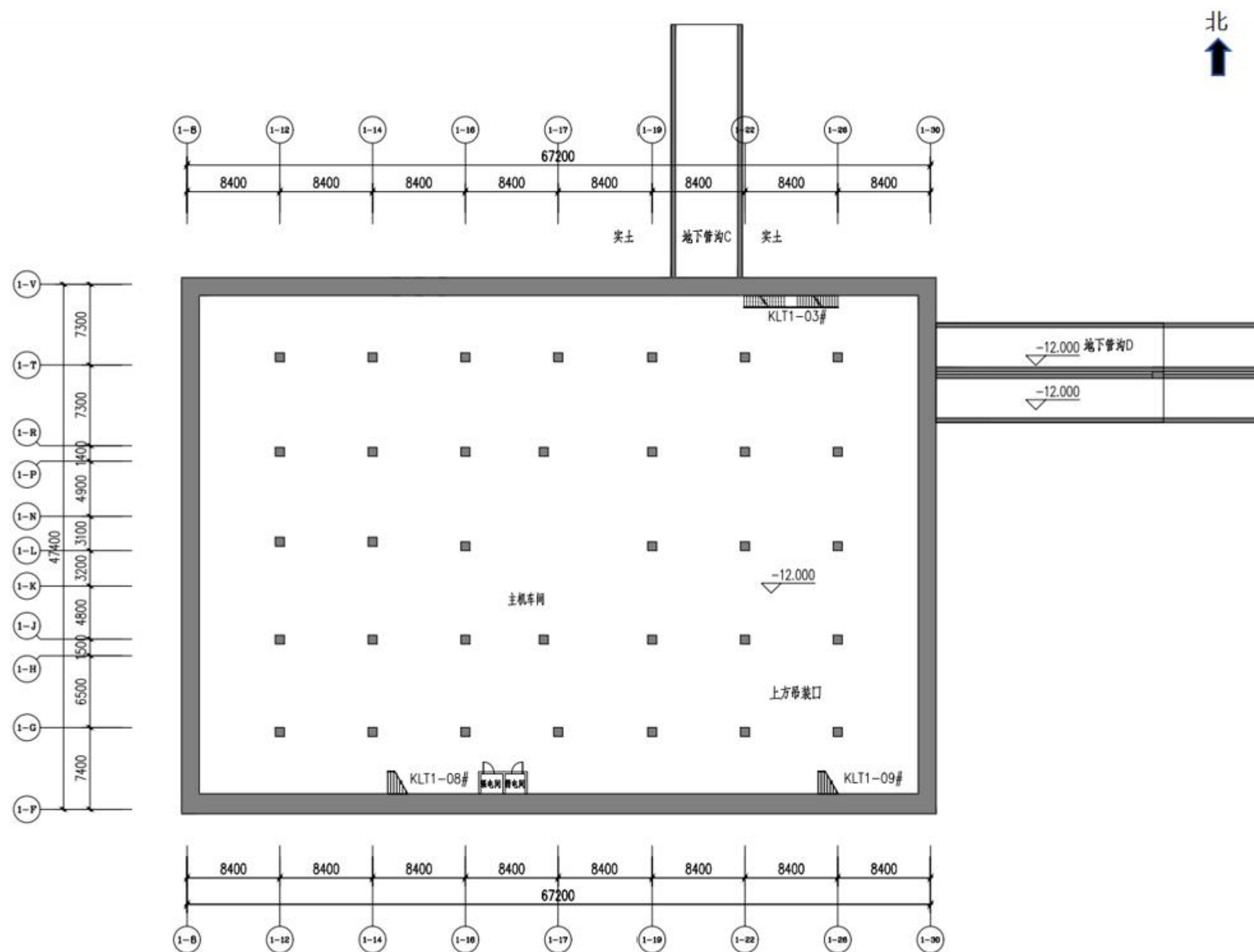
附图 2 项目地理位置图



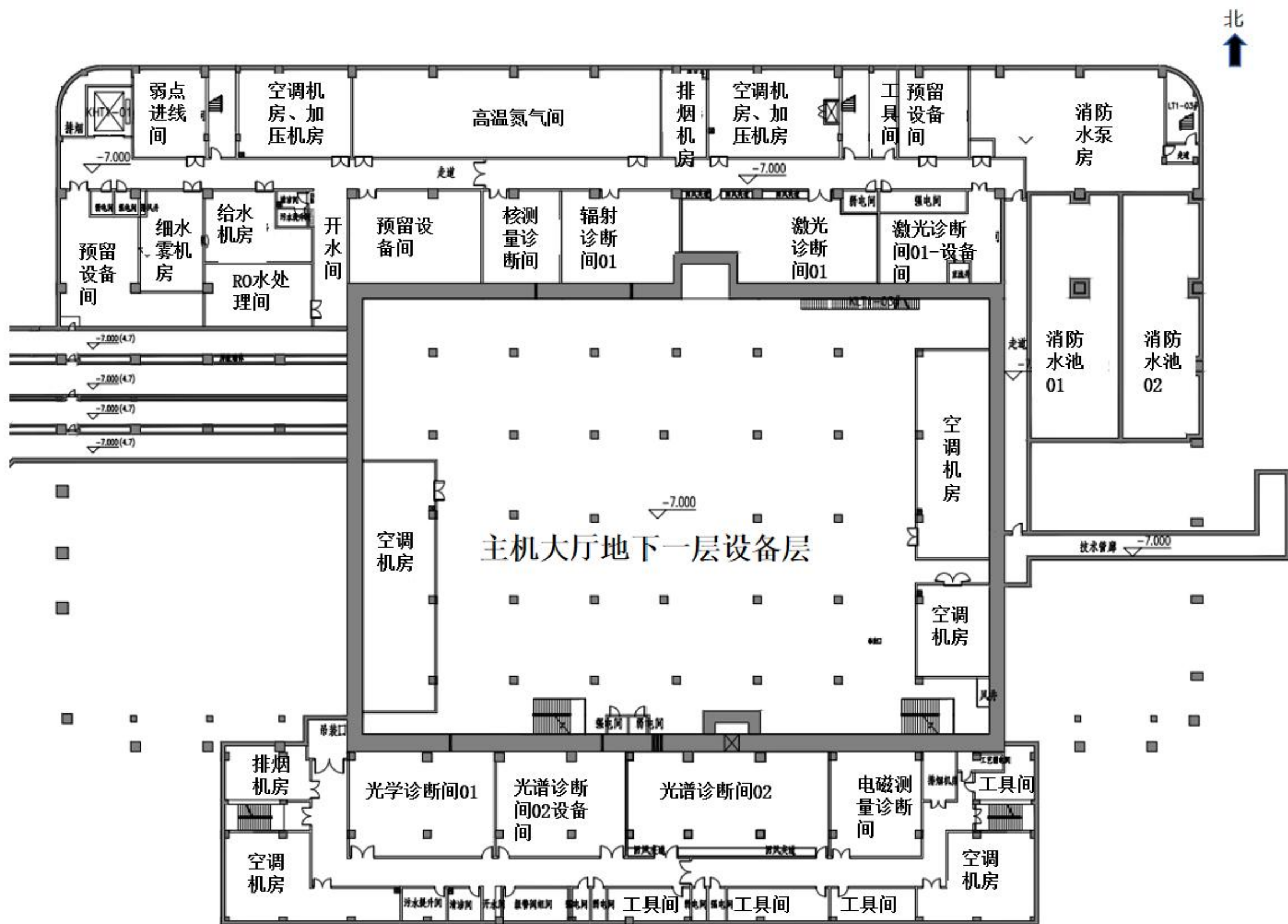
附图3 项目周边关系图



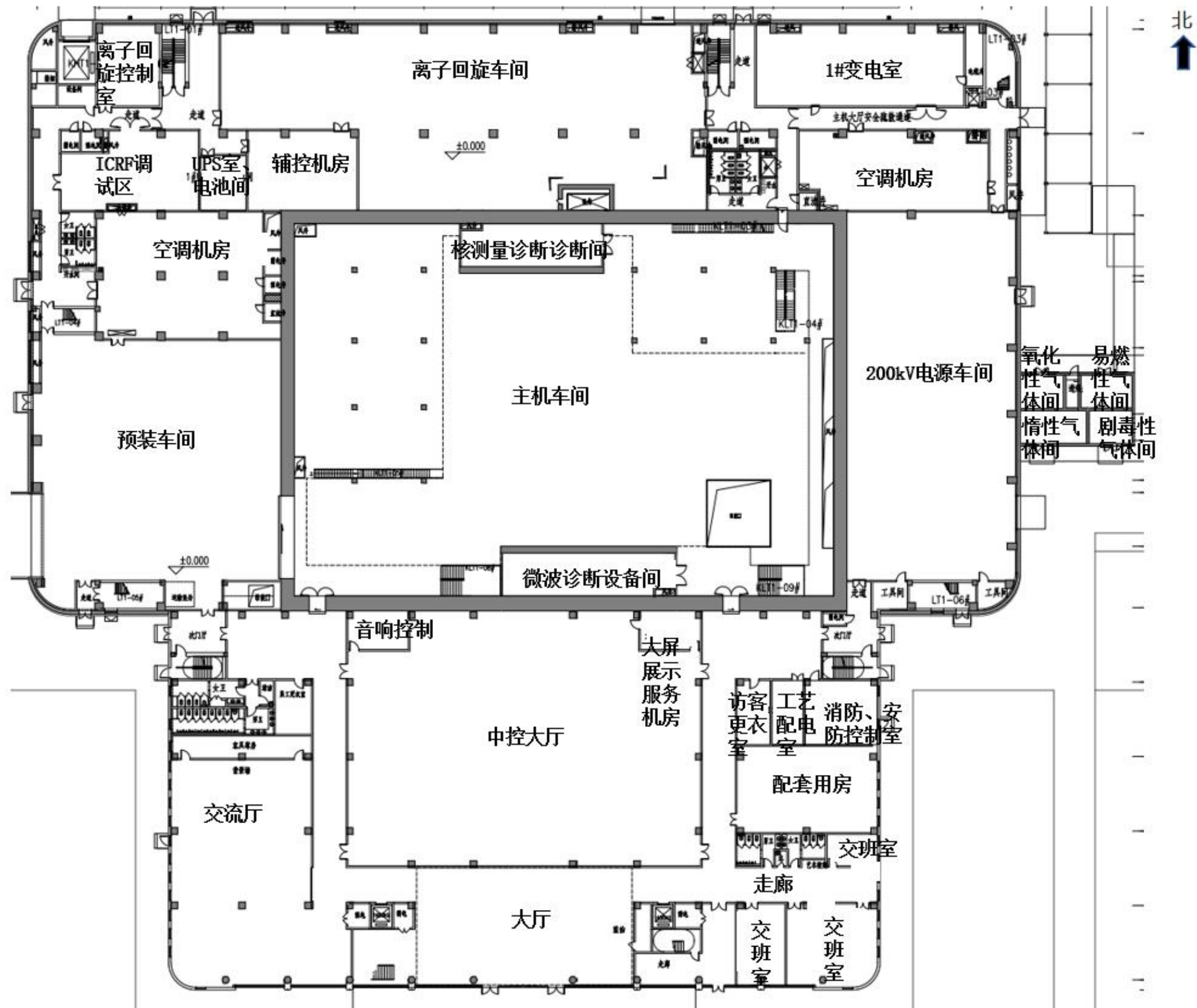
附图 4 项目总平面布局图



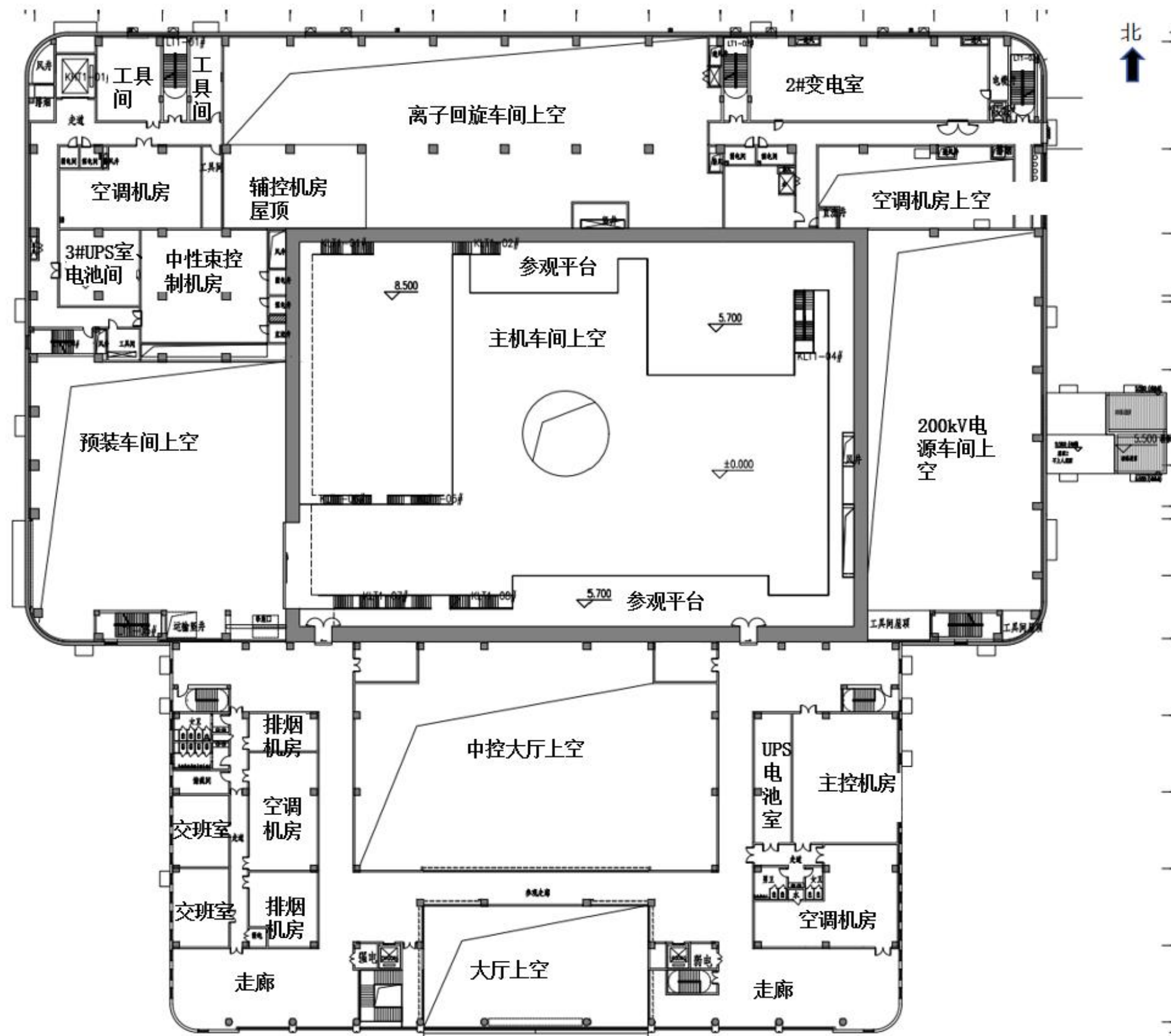
a) “和龙-2”装置负二层



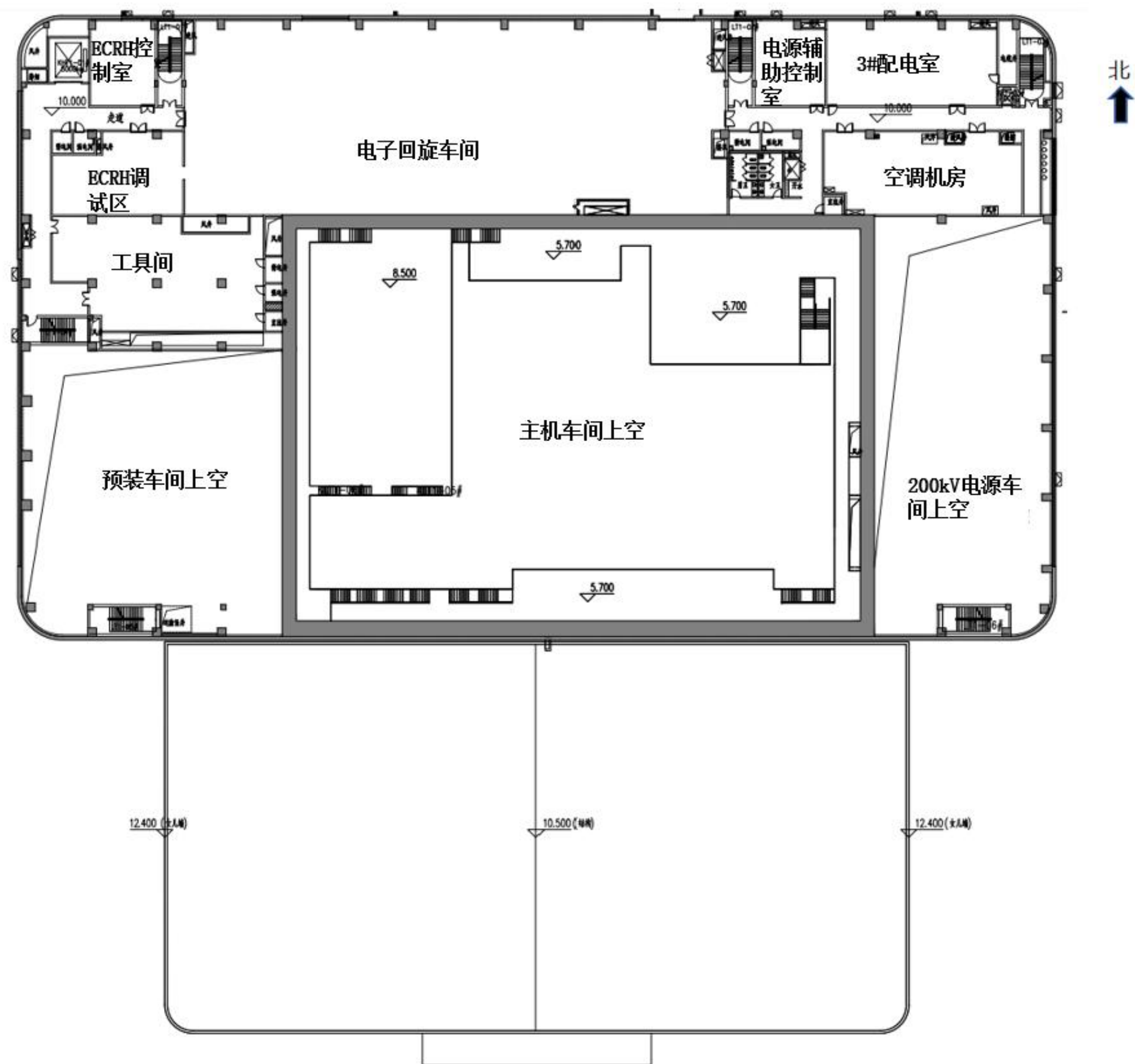
b) “和龙-2”装置负一层



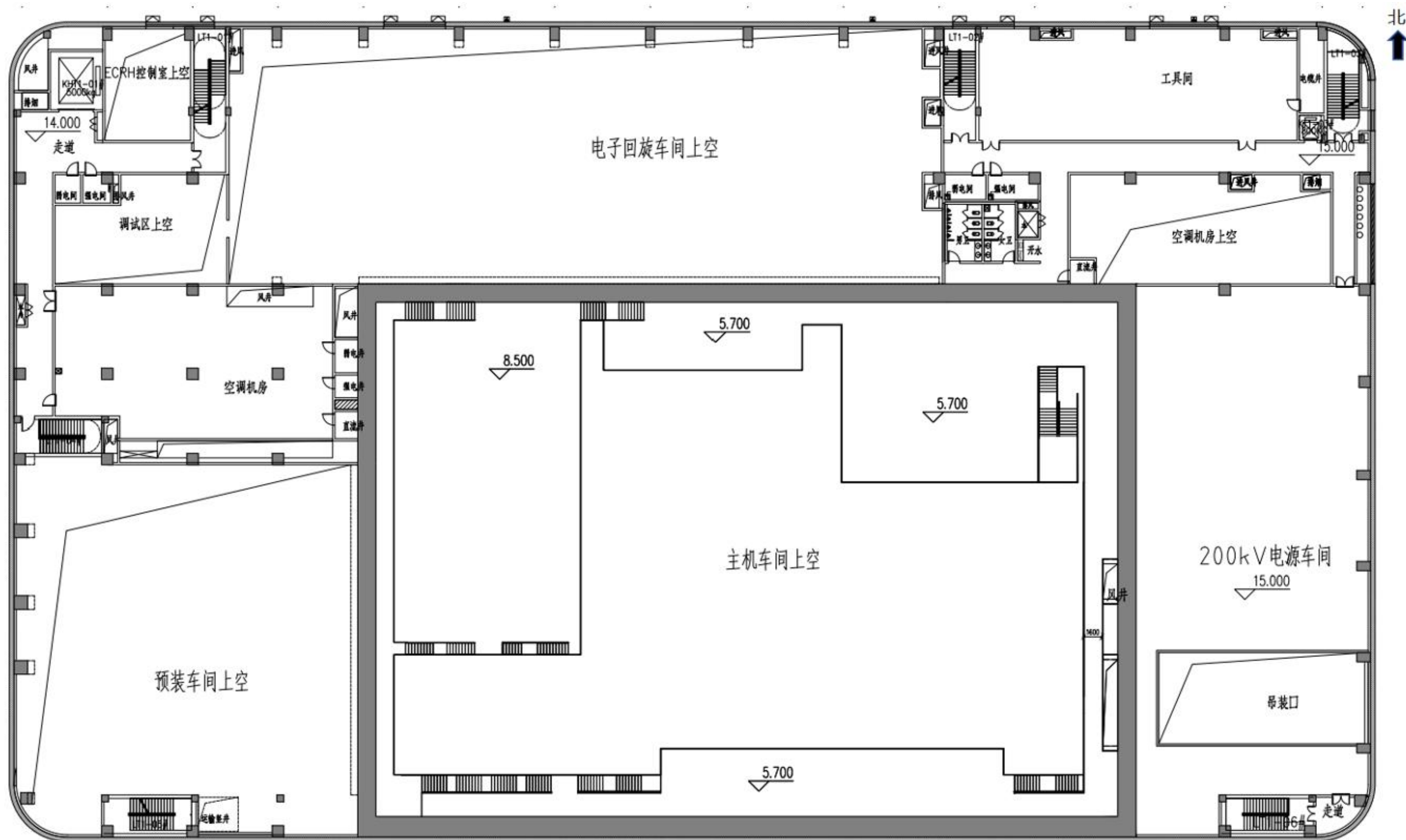
c) “和龙-2”装置一层



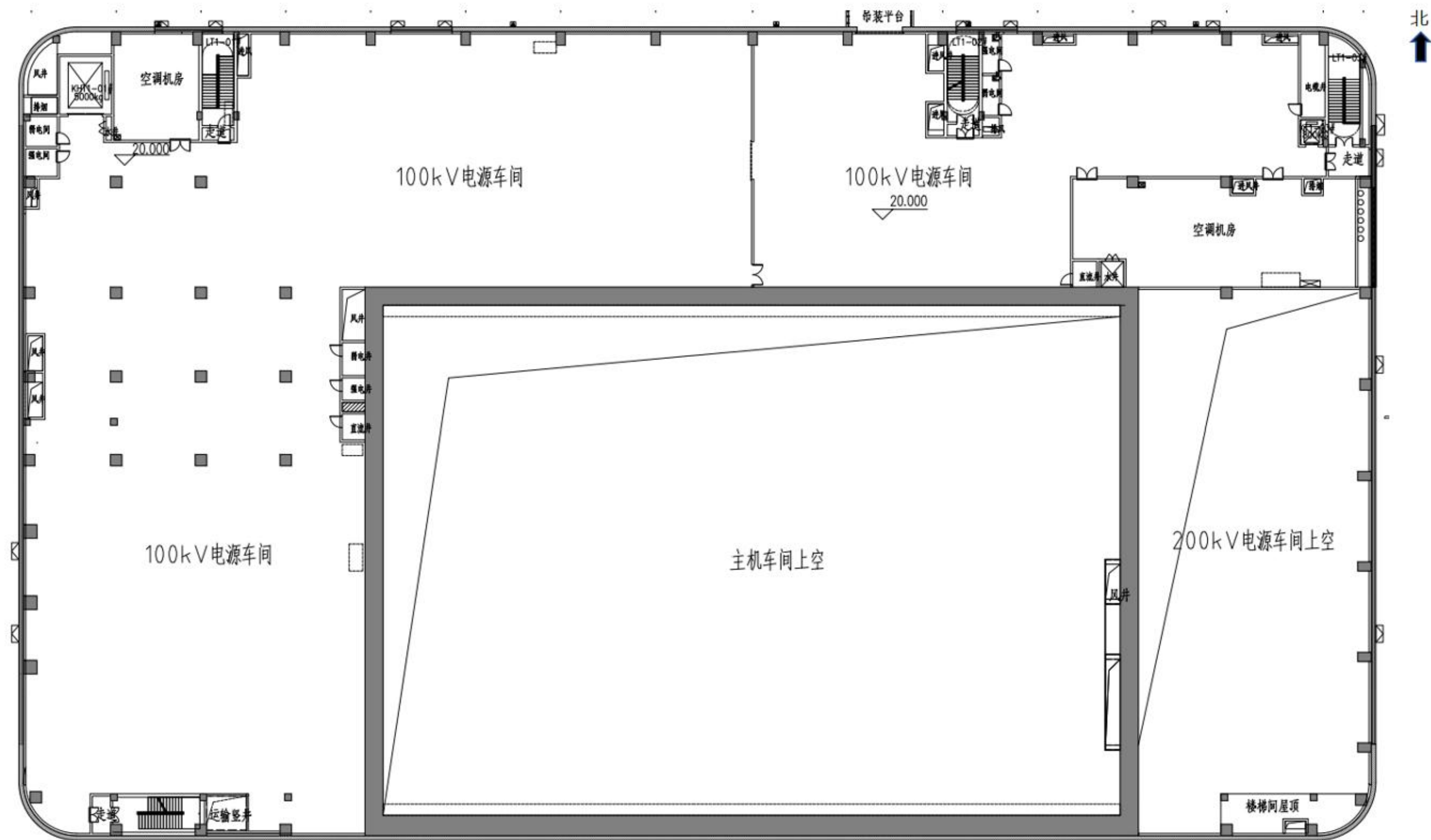
d) “和龙-2”装置二层



e) “和龙-2”装置三层



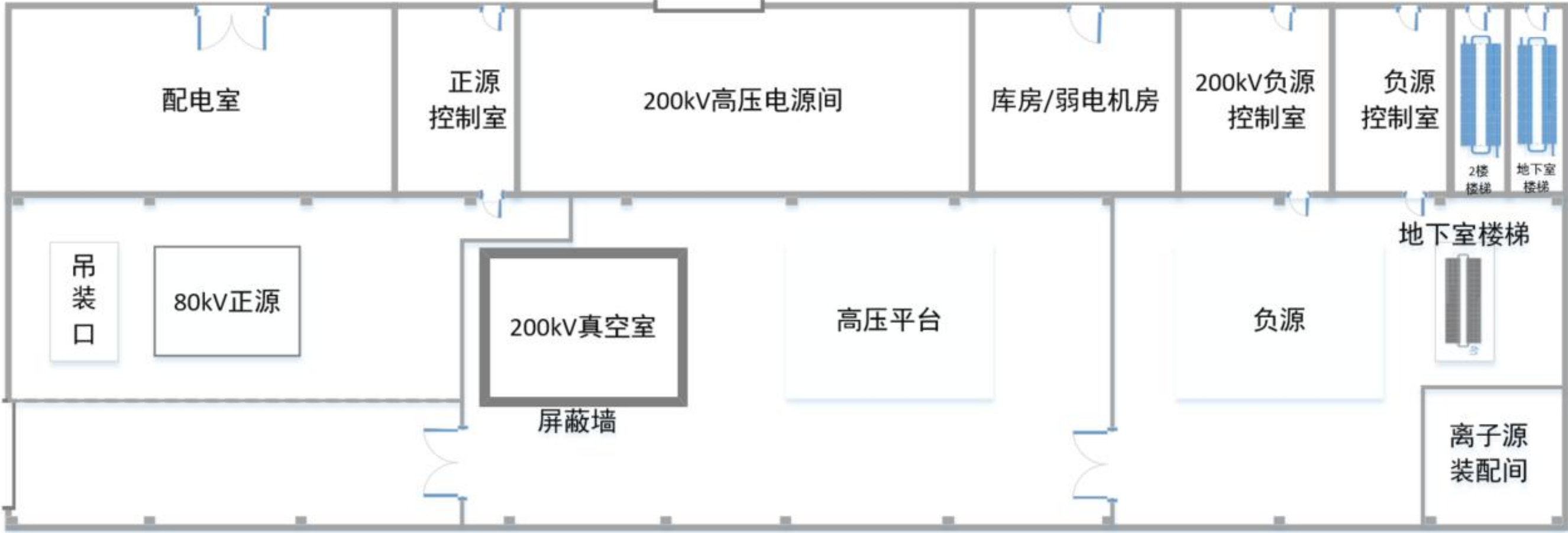
f) “和龙-2”装置四层



g) “和龙-2”装置五层

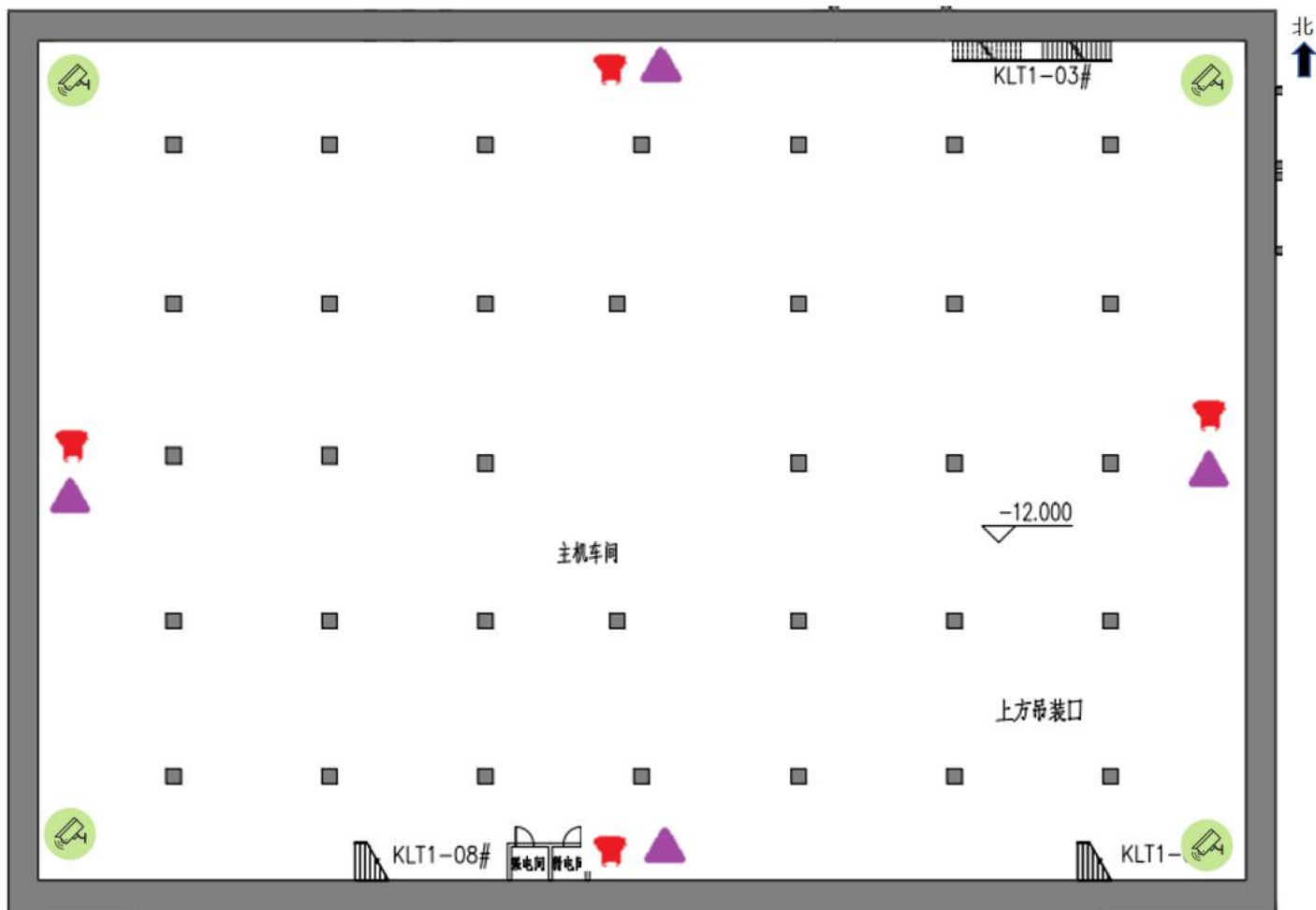


h)中相束实验室负一层



i)中性束实验室一层

附图 5 项目平面布置图



a) “和龙-2”装置负二层



b) “和龙-2”装置负一层



d) “和龙-2”装置二层



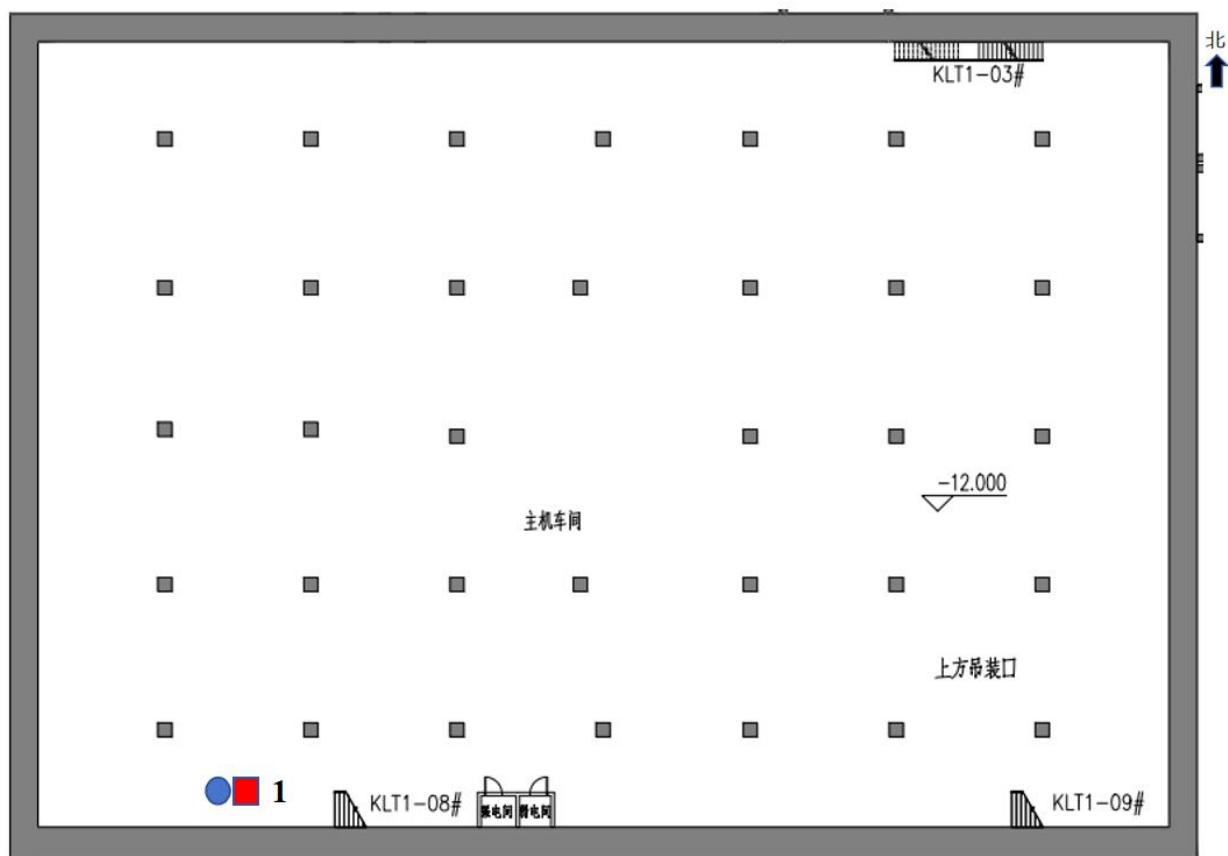
- 警告标识
 门机联锁
 声光报警
 总控钥匙
- 急停按钮
 紧急开门按钮
 巡检按钮
 视频监控

e)中性束实验室负一层



f)中性束实验室一层

附图 6 辐射安全措施布置图

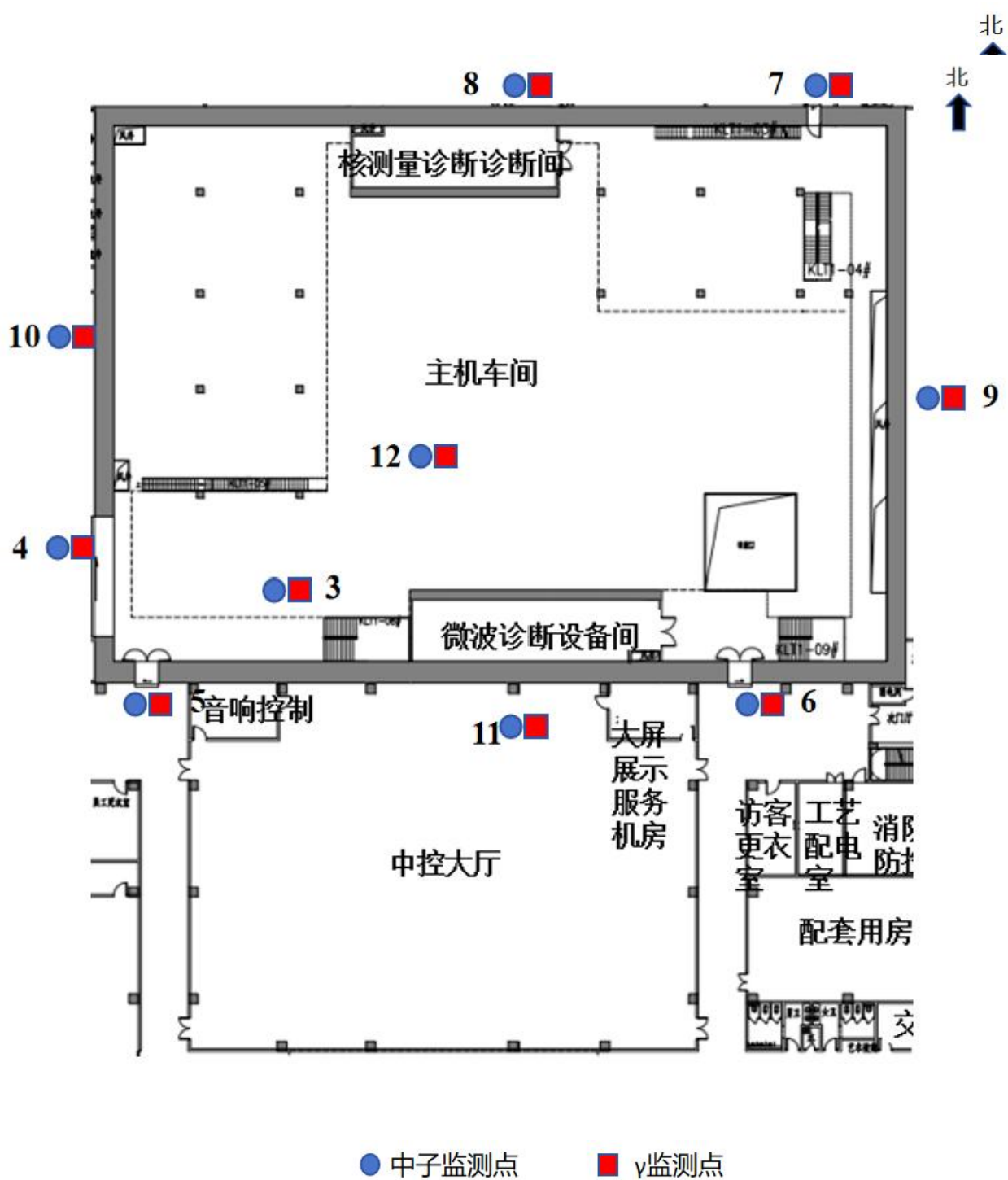


● 中子监测点 ■ γ监测点

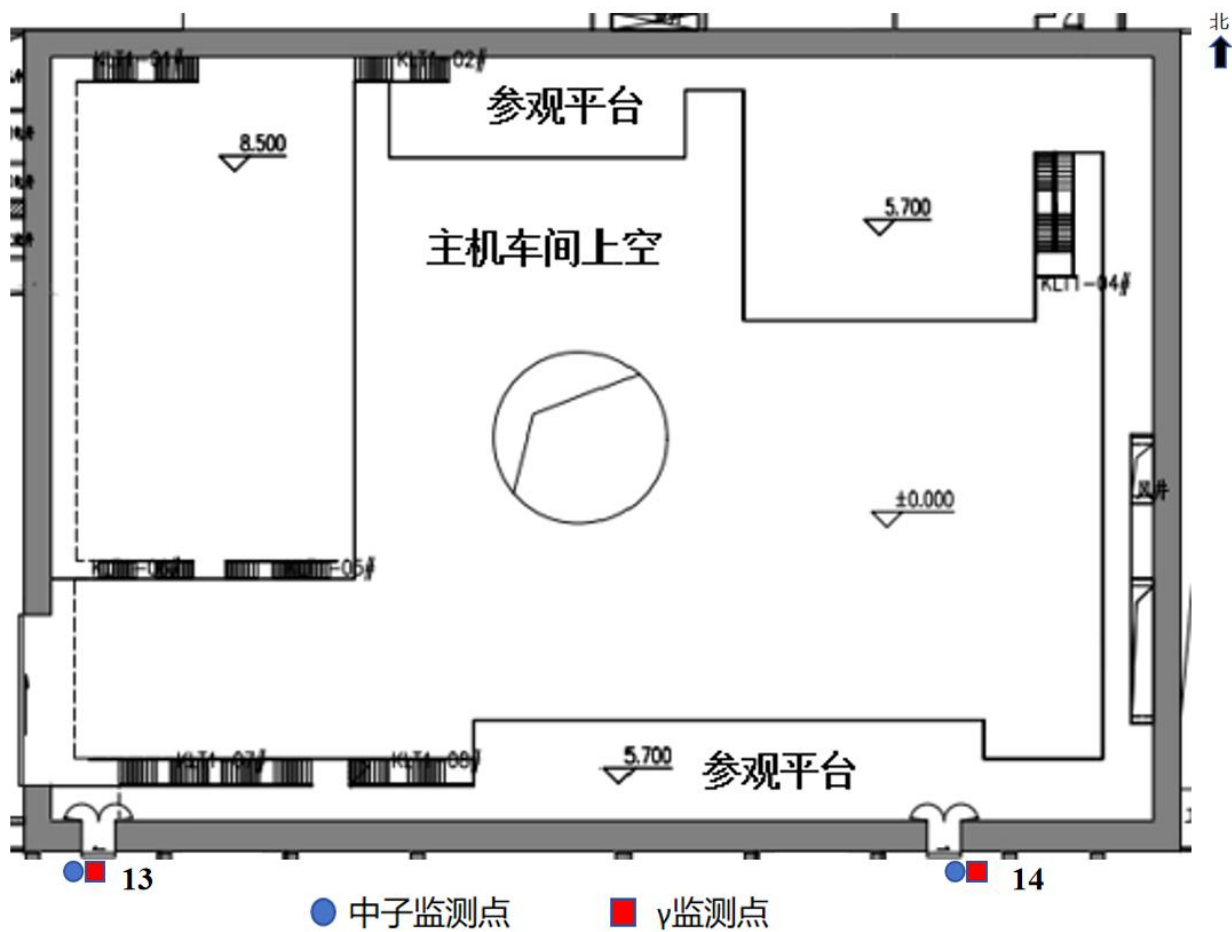
a) “和龙-2”装置负二层



b) “和龙-2”装置负一层



c) “和龙-2”装置一层



d) “和龙-2”装置二层

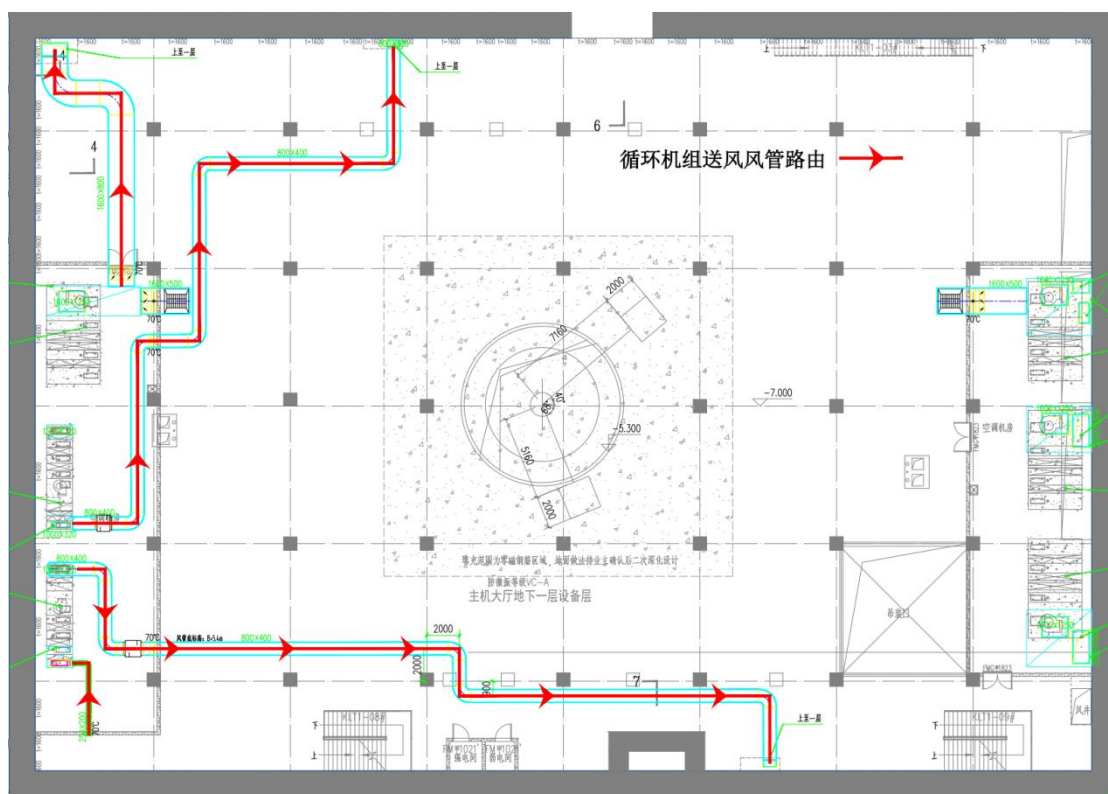


e) 中性束实验室负一层

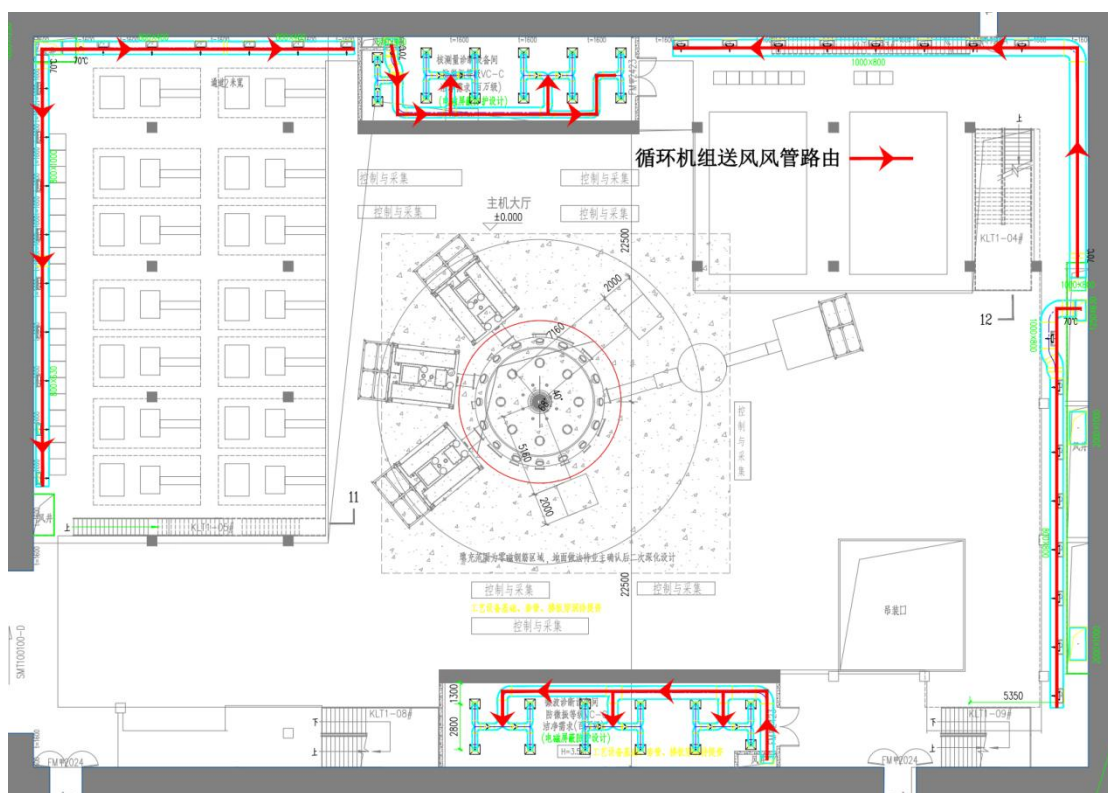


f)中性束实验室一层

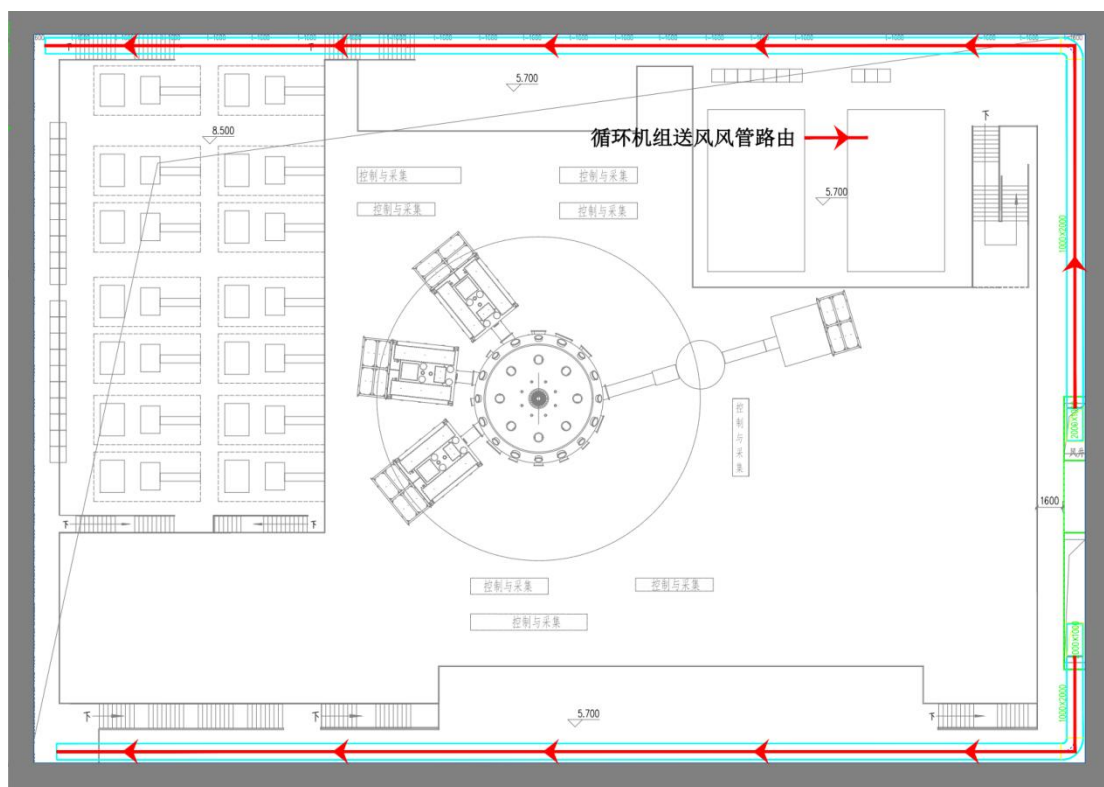
附图 7 固定式辐射监测点位布置图



a) 主机车间负一层循环机组送风风管路由

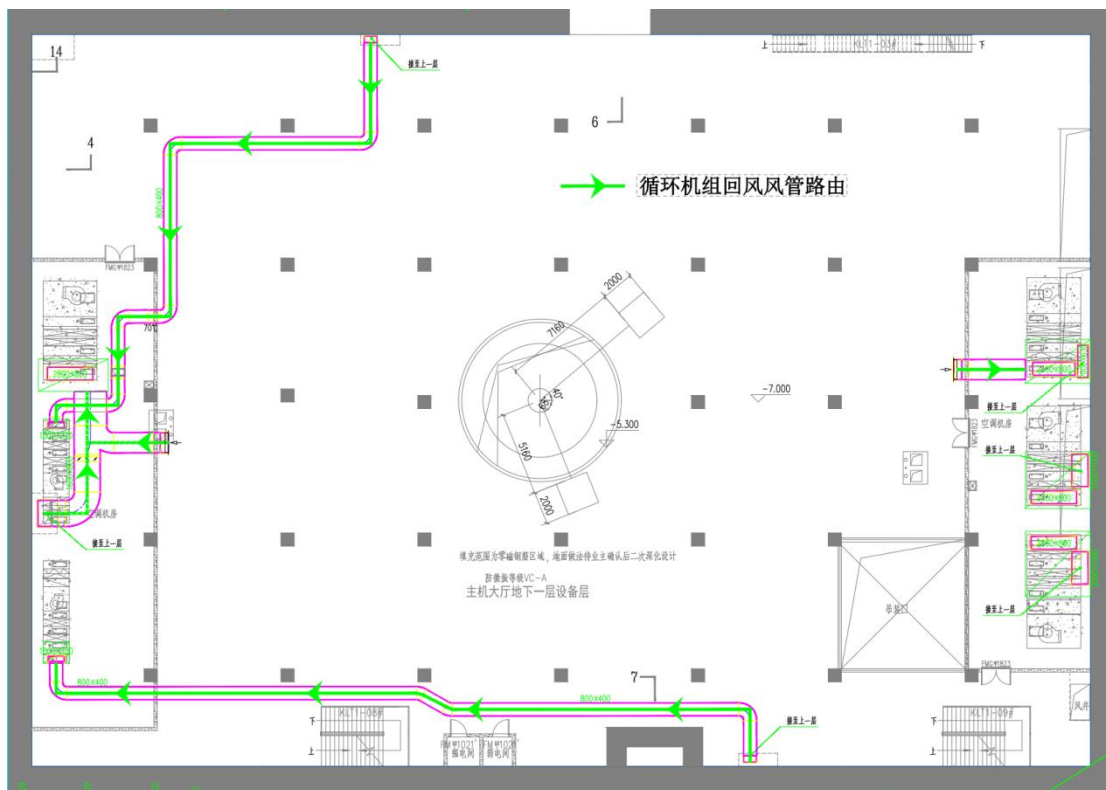


b) 主机车间一层 8.5 米以下循环机组送风风管路由

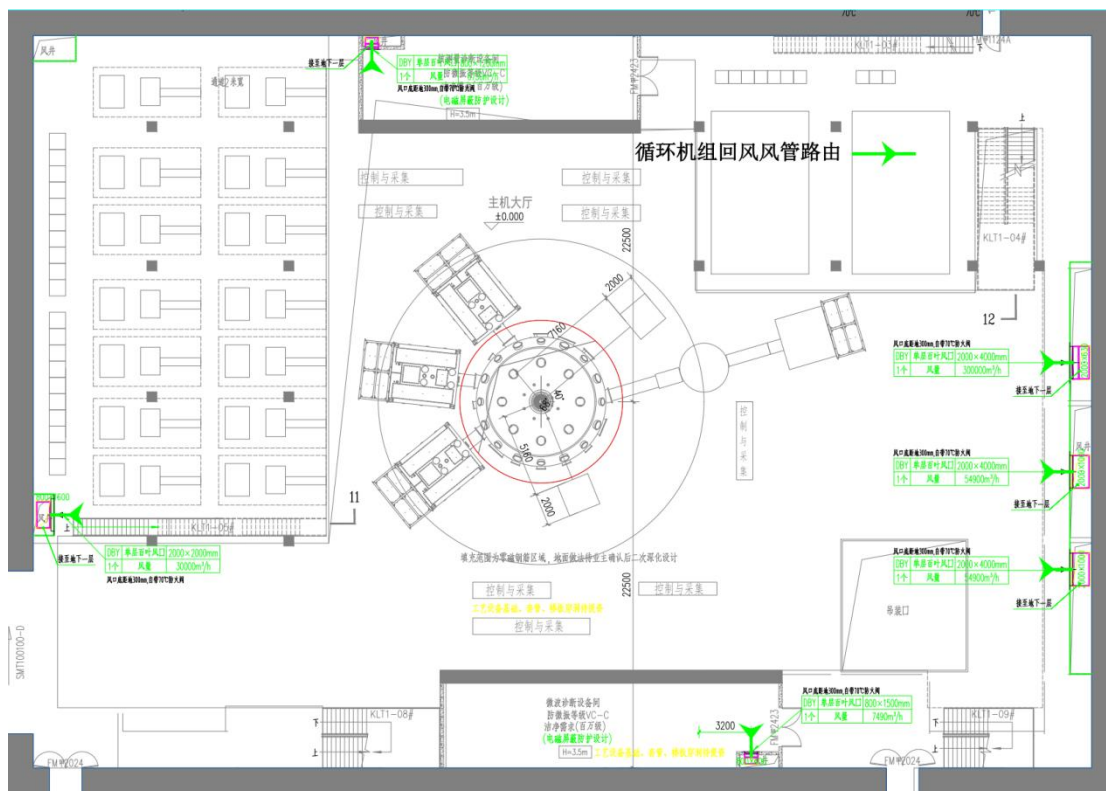


c) 主机车间一层 8.5~18 米内循环机组送风风管路由

附图 8 主机车间循环机组送风风管路由



a) 主机车间负一层循环机组回风风管路由

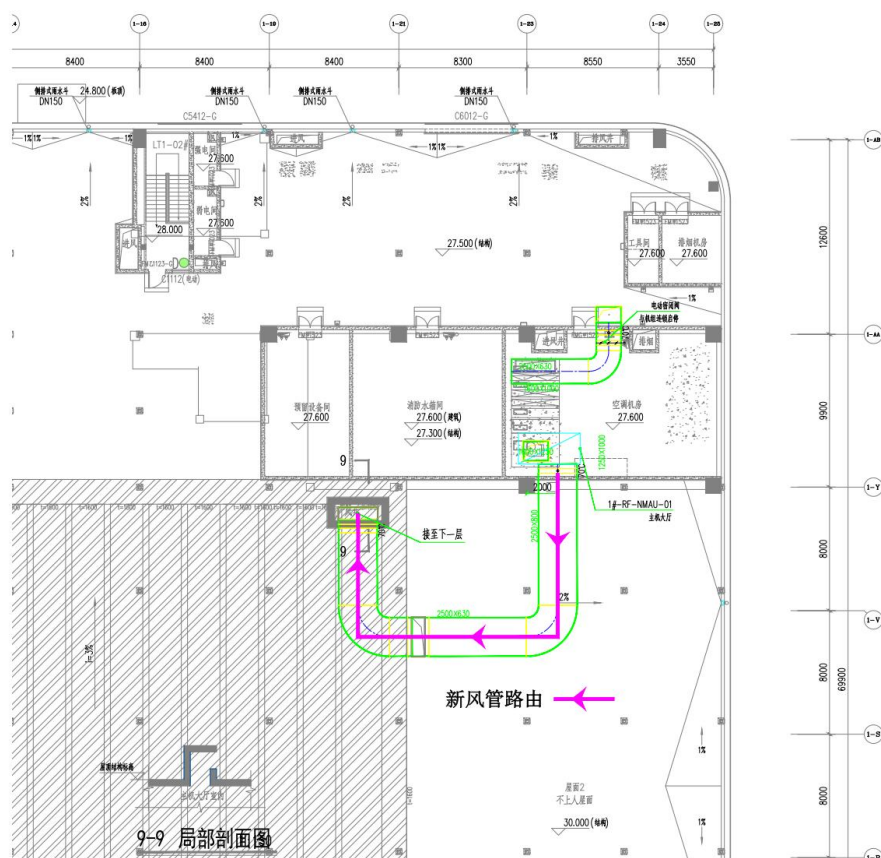


b) 主机车间一层循环机组回风风管路由

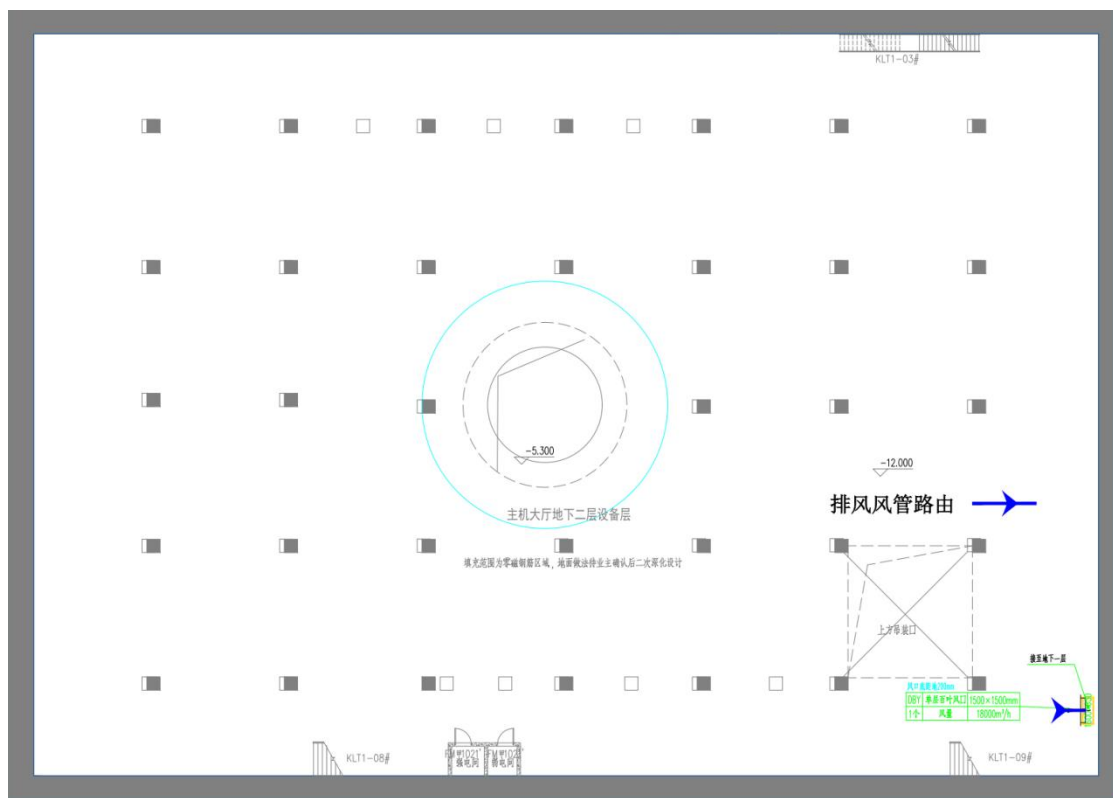
附图 9 主机车间循环机组回风风管路由



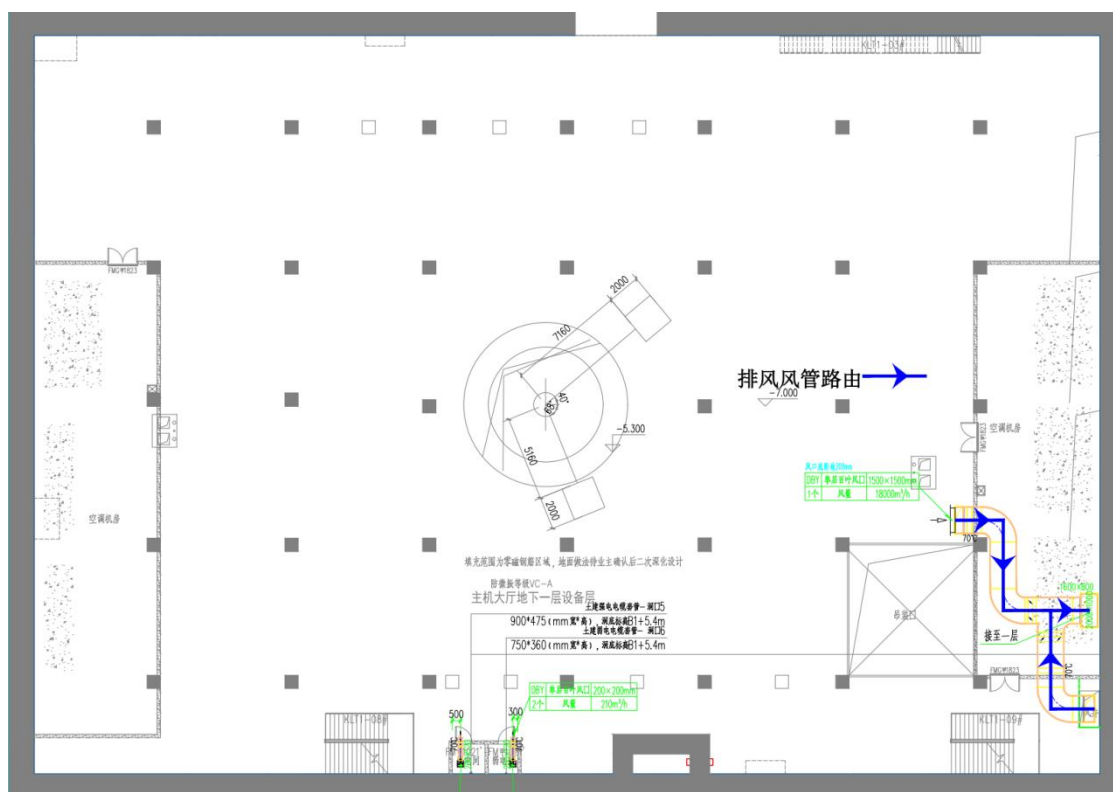
a) 主机车间一层 27 米处新风管路由



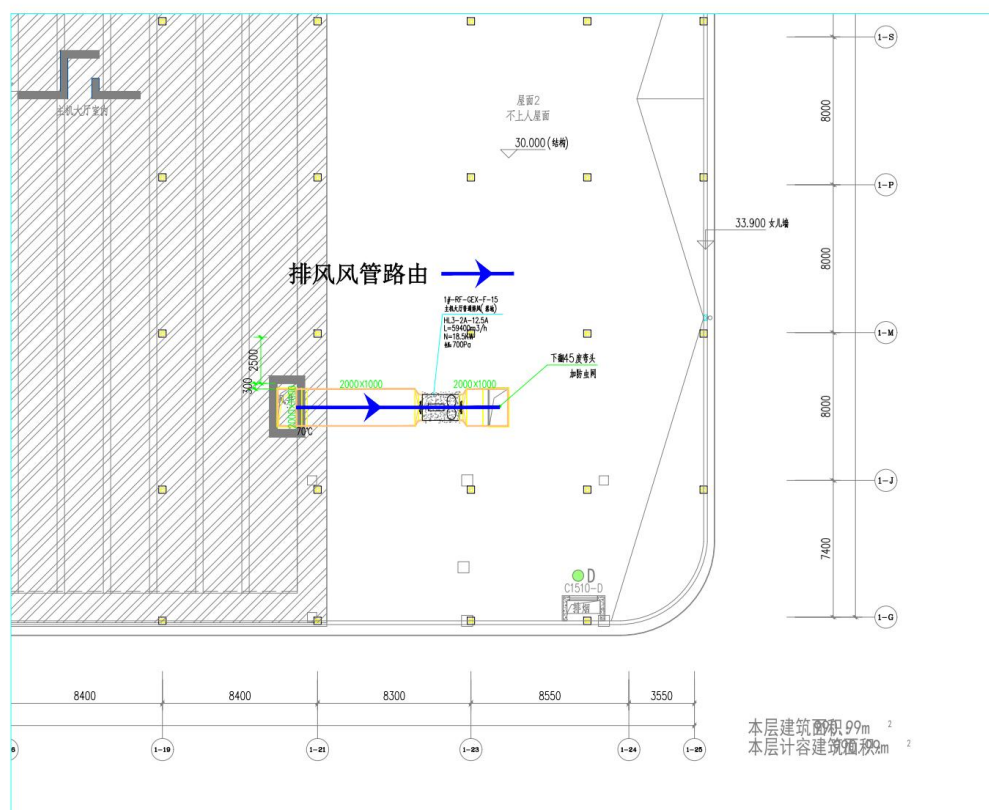
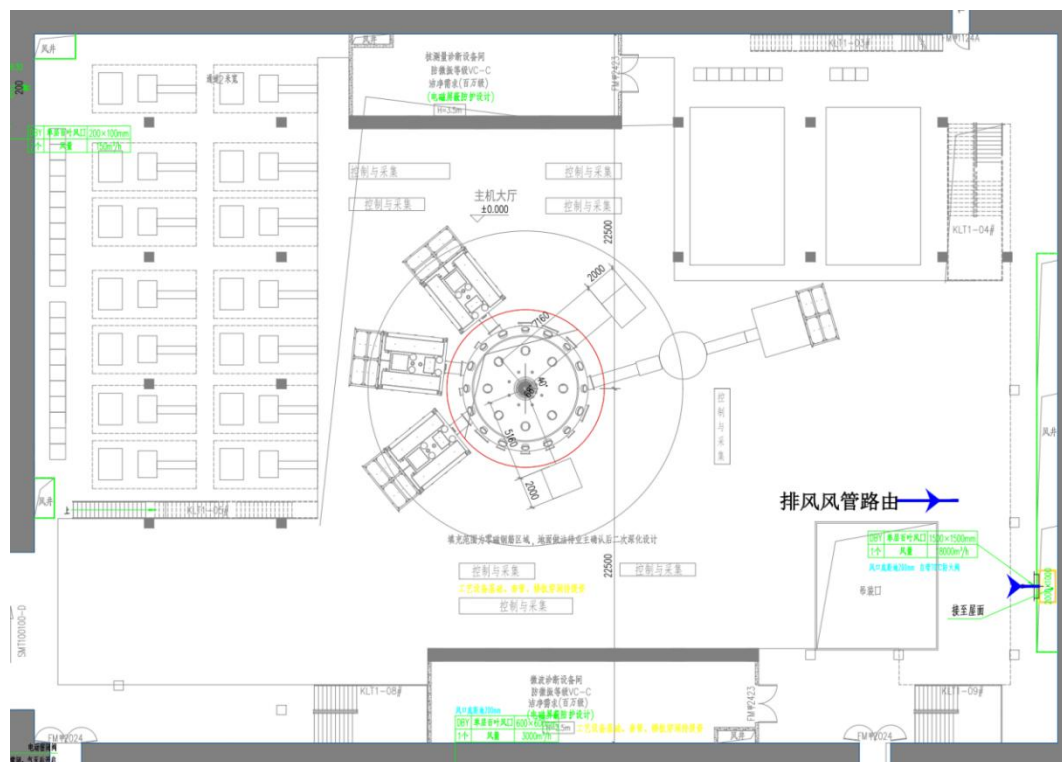
b) 主机车间屋面新风管路由
附图 10 主机车间新风管路由

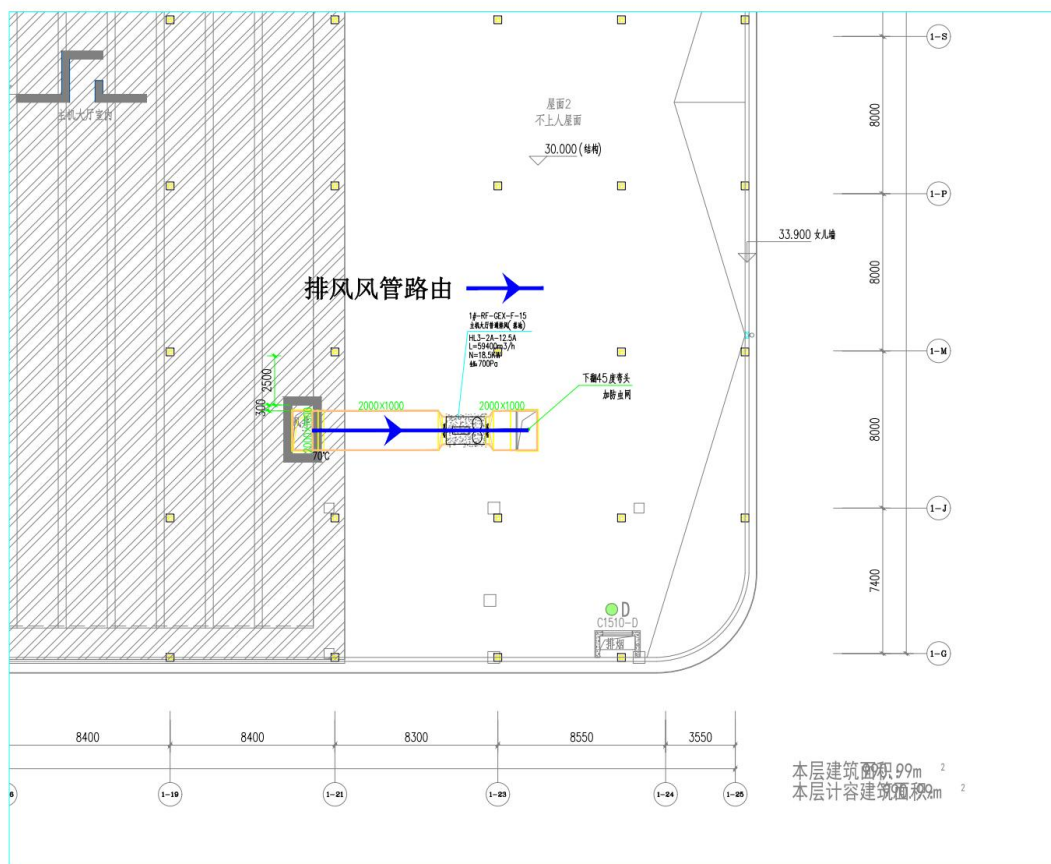


a) 主机车间负二层排风风管路由



b) 主机车间负一层排风风管路由



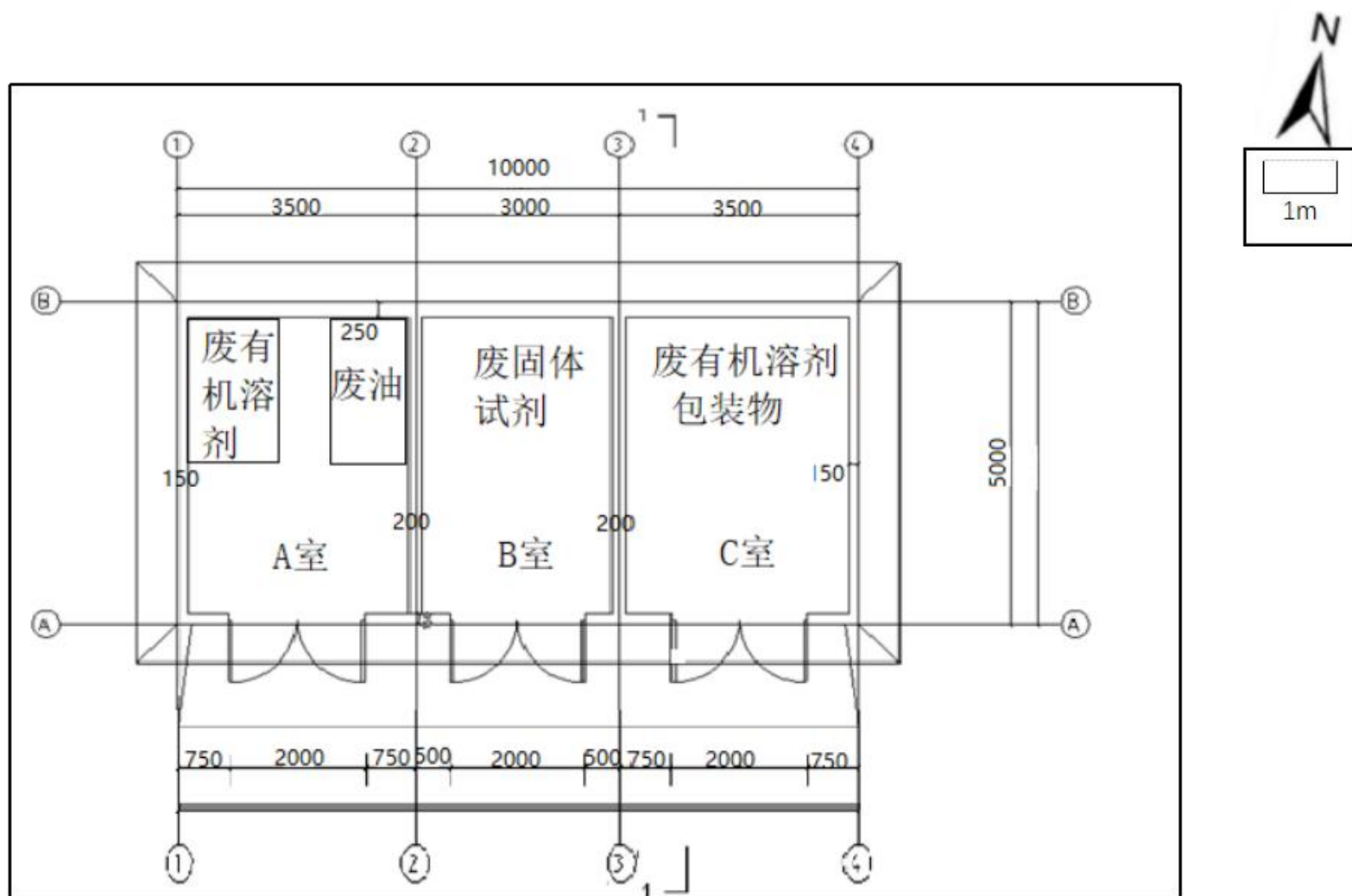


e) 主机车间屋面排风机及排风口位置

附图 11 主机车间排风风管路由



附图 12 本项目与依托的办公楼、食堂及危废间以及租赁中性束实验室关系示意图



附图 13 本项目依托危废间平面布置示意图

附件

附件 1 企业投资项目备案信息

附件 2 生态环境部复函

附件 3 电磁辐射环境检验报告

附件 4 噪声监测报告

附件 1 企业投资项目备案信息

备案编号：廊开投内资备〔2026〕73 号

企业投资项目备案信息

廊坊新奥聚变科技有限公司关于球形环氢硼等离子体平台建设项目的备案信息如下：

项目名称：球形环氢硼等离子体平台建设项目。

项目建设单位：廊坊新奥聚变科技有限公司。

项目建设地点：廊坊经济技术开发区华祥路新奥科技园北区。

主要建设规模及内容：项目主要搭建球形环氢硼等离子体平台，实施球形环氢硼等离子体大型科研装置研发和中试，包含基础设施、主机、磁体、聚变电源、加热（正负源中性束、电子回旋、离子回旋）、低温、诊断、辅助、控制及人工智能等相关系统。项目建设完成后，进行氢硼物理实验及球形环工程方面的核心技术攻关。

项目总投资：460000 万元，其中项目资本金为 92000 万元，项目资本金占项目总投资的比例为 20%。

项目信息发生较大变更的，企业应当及时告知备案机关。

注：项目自备案后 2 年内未开工建设或者未办理任何其他手续的，项目单位如果决定继续实施该项目，应当通过河北省投资项目在线审批监管平台作出说明；如果不再继续实施，应当撤回已备案信息。

投资促进和招商合作局
2026年07月15日



固定资产投资项目

2607-131071-89-01-343149

附件 2 生态环境部复函

中华人民共和国生态环境部司函

辐射函〔2024〕30号

关于新奥科技发展有限公司 拟新增等离子体实验项目“和龙—2” 射线装置分类的复函

河北省生态环境厅：

你厅《关于新奥科技发展有限公司拟新增等离子体实验项目“和龙—2”射线装置分类的请示》（冀环辐射函〔2024〕991号）收悉。

根据《关于磁约束聚变实验装置辐射安全管理有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕1670号），经研究，我认为“和龙—2”实验装置可参照Ⅱ类射线装置进行管理。

特此函复。



（此件依申请公开）

附件 3 电磁辐射环境检验报告

报告编号(NO. of Report): DZY-263112-Z-(025)(03)FWZ

检 验 报 告

INSPECTION REPORT

工程/产品名称
Name of Engineering 球形环氢硼等离子体实验平台建设项目电场强度监测

委 托 单 位
Client 中国原子能科学研究院

检 验 类 别
Inspection Category 委托检验

中国电子工程设计院股份有限公司
(国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心)
China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (National Center for Quality Inspection and
Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

注 意 事 项

NOTICE

1.报告无“检验检测专用章”无效;

Test report is invalid without the “special stamp for inspection and detection” on it.

2.复制报告未重新加盖“检验检测专用章”无效;

Duplication of test report is invalid without the “special stamp for inspection and detection” re-stamped on it.

3.报告无主检、审核、批准签字无效;

Test report is invalid without the signatures of the persons for chief test, verification and approval.

4.报告涂改无效;

Test report is invalid if altered.

5.对检验报告若有异议,应于收到报告之日起十五日内向检验单位提出;

Different opinions about inspection report should be reported to the inspection department within 15 days from the date of receiving the inspection report.

6.监督抽检样品的检测只对所抽检批次的样品负责;委托样品的检测报告仅对来样负责。

The inspection of the sampling sample is only responsible for the sample of the sampling;The inspection of the commissioned samples is only responsible for the sample.

7.测试结果仅对委托测试的对象负责;对不可复现的测试项目,结果仅对测试所代表的时间和空间位置负责。

The test is only responsible for the entrusted test object For non-reproducible test items,the results are only responsible for the time and space position represented by the test.

地址:北京市海淀区西四环北路 160 号

电话(Tel): 010-88194101 88194105

传真(Fax): 010-88194101

邮编: 100142

E-mail: jiancezhongxin@ceedi.cn

Internet: www.ceetc.cn



中国电子工程设计院股份有限公司
(国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心检验报告)
China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (Inspection Report of National Center for Quality
Inspection and Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

报告编号 (No. of Report): DZY-263112-Z-(025)(03)FWZ 共 8 页第 1 页 (Page 1 of 8)

工程名称 (Name of engineering)		球形环氢硼等离子体实验平台建设项目电场强度监测	
委托单位 (Client)		中国原子能科学研究院	
工程地点 (Place of engineering)		河北省廊坊市广阳区经济开发区新奥光伏 1# 厂房	
检验日期 (Inspection date)		2026 年 8 月 25 日	报告日期 (Date of Report) 2026 年 9 月 14 日
检验 (Inspection)	项目 (Item)	球形环氢硼等离子体实验平台建设项目电场强度监测	
	仪器 (Instruments)	频谱分析仪 (NCEBE-A-FWZ001); 对数周期天线 (NCEBE-A-FWZ004)	
	依据 (According to)	《电磁辐射暴露限值和测量方法》GJB5313A-2017	
检验结论 (Conclusion)			
地块满足电磁环境控制限值要求, 如下: 地块内 50GHz 频率范围内最大电场强值为 0.000397192V/m, 小于 27 V/m, 满足电磁环境控制限值要求。 (本页以下无正文)			
备注: 天气 (多云) 温度 (31 °C) 湿度 (70%)			
批准 (Approval)	审核 (Verification)	主检 (Chief tester)	联系电话 (Tel)
段同歧	许照刚	宋海彬	010-68207544
段同歧	许照刚	宋海彬	
日期: 2026 年 9 月 14 日			

中国电子工程设计院股份有限公司
(国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心检验报告)
China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (Inspection Report of National Center for Quality
Inspection and Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

报告编号 (No. of Report) : DZY-263112-Z-(025)(03)FWZ 共 8 页第 2 页 (Page 2 of 8)

一、工程概况

1、项目概况:

项目建设地点位于河北省廊坊市广阳区经济开发区新奥光伏 1#厂房, 占地面积 12653.75 平米。

我单位于 2026 年 8 月 25 日在相关区域针对设备工作频率进行现场环境电磁场监测, 由于现场正在施工, 测试点位选择在设备安装场地范围内的干扰源最强处, 在测试位置上, 喇叭天线 360°旋转 360s。装置拟使用的电子回旋加热系统的具体参数如下表所示。

产生电磁辐射的系统	具体参数
电子回旋加热系统	1套50GHz, 1MW



2、测试位置:



图 1.1 项目地理位置图

设计
102

中国电子工程设计院股份有限公司
 (国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心检验报告)
 China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (Inspection Report of National Center for Quality
 Inspection and Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

报告编号 (No. of Report): DZY-263112-Z-(025)(03)FWZ

共 8 页第 4 页 (Page 4 of 8)

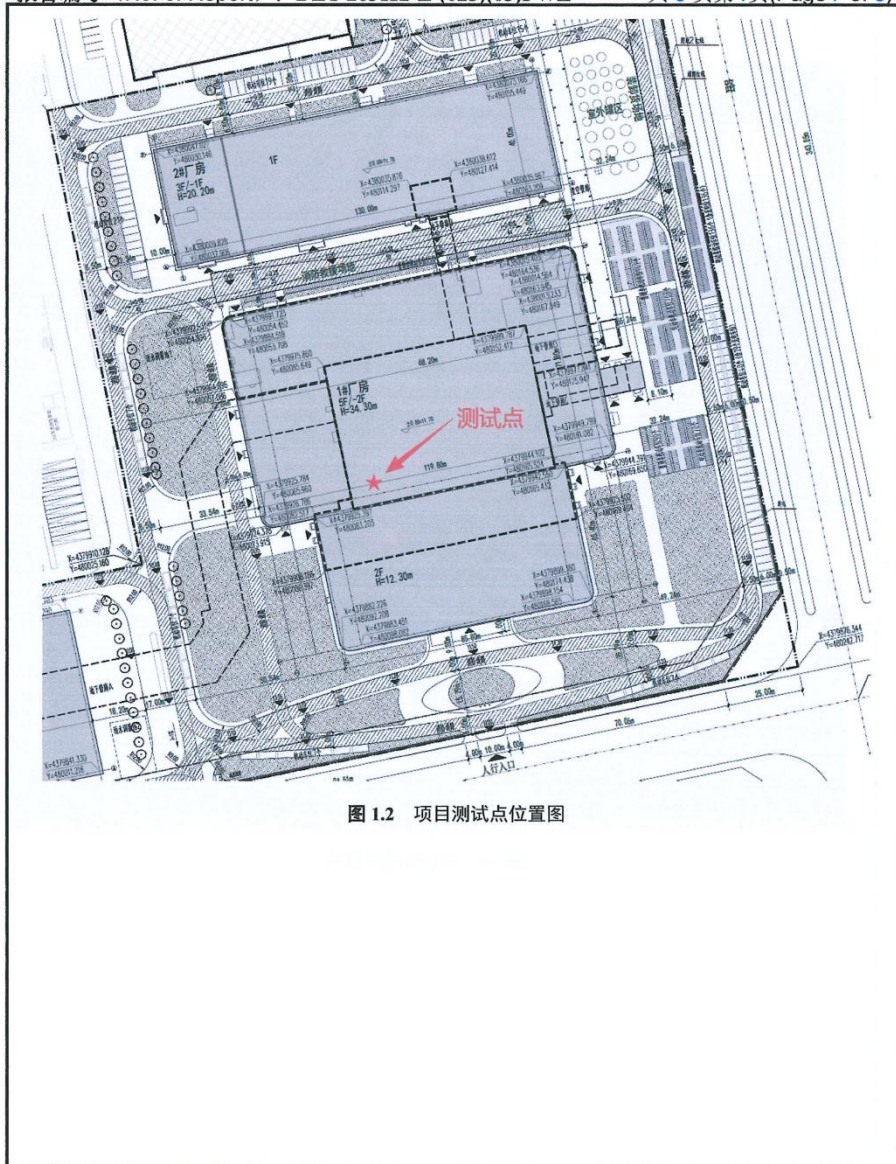


图 1.2 项目测试点位置图

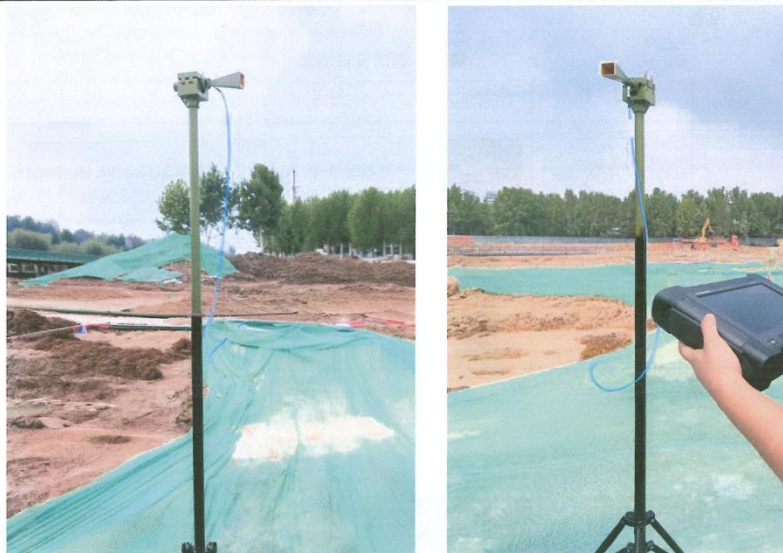


图 1.3 项目测试点天线布置

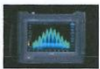
二、测试项目

进行现场球形环氢硼等离子体实验平台建设项目辐射环境本底监测中电场强度部分的监测。

院公
转用
: 010

三、测试设备

表 3.1 测试设备清单

序号	仪器名称	实物照片	型号	参数
1	频谱仪		NCEBE-A-FWZ001	频率范围: 9KHz-54GHz;
2	喇叭天线		NCEBE-A-FWZ002	频率范围: 18GHz-50GHz

四、测试方法

1、测量设备示意



图 4.1 电磁环境测量设备示意图

2、测试频段方法要求

表 4.1 测试频段方法要求

编号	测试频率	天线类型	天线极化	检波方式	频点驻留时间	场强控制限值
1	50GHz	喇叭天线	水平/垂直	均方根	360° 旋转扫描360s	27V/m

3、测点布局

在设备安装场地的星号位置 (见图 1.2) 设置 1 个测试点, 测试点距离西侧内部道路边界约 51m, 测试点距离南侧新源道辅路边界约 94m。

4、数据处理

测试点在 50GHz 频率范围内监测水平极化与垂直极化, 检测方式为 360°旋转扫描 360s。频谱仪最大保持并读数。

场强计算公式:

$$E = U + AF + L$$

E: 天线口面处信号场强, 单位 dBμV/m

U: 天线负载端电压, 单位 dBμV

AF: 天线系数, 单位 dB/m

L: 线损, 单位 dB

场强单位转换公式:

$$E = 10^{\frac{X}{20} - 6}$$

E: 电场强度, 单位 V/m

X: 电场强度, 单位 dBμV/m

选择每一个频率范围的最大计算场强值为最终检测环境场强值。

五、测试结果

1、数据处理

(1) 测试点电磁环境测量数据

序号	扫描频段 (GHz)	最大场强频率 (GHz)	线损 (dB)	天线系数 (dB/m)	测量数据 (dBμV)		环境场强 (V/m)	测试条件
					水平极化	垂直极化		
1	50	50.000029	4.92	40.77	6.29	6.73	0.000397192	施工中

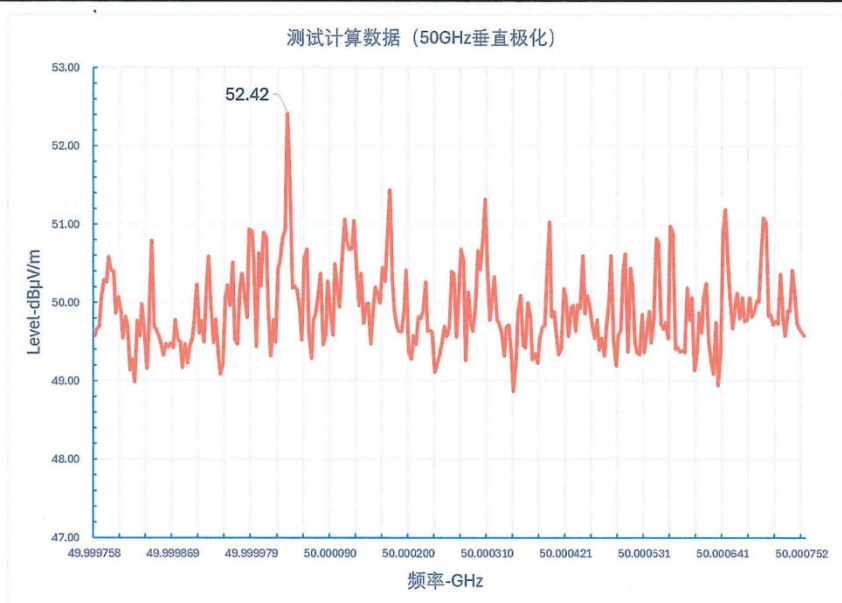


图 5.1 测试计算数据曲线 (50GHz 垂直极化)

2、数据分析

地块内 50GHz 频率范围内最大电场强度为 0.000397192V/m, 小于 27 V/m, 满足电磁环境控制限值要求。

(本页以下无正文)

报告编号(NO. of Report): DZY-263112-Z-(025)(04)FWZ

检 验 报 告

INSPECTION REPORT

工程/产品名称
Name of Engineering 球形环氢硼等离子体实验平台建设项目电场强度监测

委 托 单 位
Client 中国原子能科学研究院

检 验 类 别
Inspection Category 委托检验

中国电子工程设计院股份有限公司
(国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心)
China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (National Center for Quality Inspection and
Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

注 意 事 项

NOTICE

1.报告无“检验检测专用章”无效;

Test report is invalid without the “special stamp for inspection and detection” on it.

2.复制报告未重新加盖“检验检测专用章”无效;

Duplication of test report is invalid without the “special stamp for inspection and detection” re-stamped on it.

3.报告无主检、审核、批准签字无效;

Test report is invalid without the signatures of the persons for chief test, verification and approval.

4.报告涂改无效;

Test report is invalid if altered.

5.对检验报告若有异议,应于收到报告之日起十五日内向检验单位提出;

Different opinions about inspection report should be reported to the inspection department within 15 days from the date of receiving the inspection report.

6.监督抽检样品的检测只对所抽检批次的样品负责;委托样品的检测报告仅对来样负责。

The inspection of the sampling sample is only responsible for the sample of the sampling;The inspection of the commissioned samples is only responsible for the sample.

7.测试结果仅对委托测试的对象负责;对不可复现的测试项目,结果仅对测试所代表的时间和空间位置负责。

The test is only responsible for the entrusted test object For non-reproducible test items,the results are only responsible for the time and space position represented by the test.

地址:北京市海淀区西四环北路160号

电话(Tel):010-88194101 88194105

传真(Fax):010-88194101

邮编:100142

E-mail:jiancezhongxin@ceedi.cn

Internet: www.ceetc.cn

中国电子工程设计院股份有限公司
(国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心检验报告)
China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (Inspection Report of National Center for Quality
Inspection and Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

报告编号 (No. of Report) : DZY-263112-Z-(025)(04)FWZ 共 8 页第1页(Page1 of 8)

工程名称 (Name of engineering)		球形环氢硼等离子体实验平台建设项目电场强度监测	
委托单位 (Client)		中国原子能科学研究院	
工程地点 (Place of engineering)		河北省廊坊市广阳区经济开发区新奥光伏 1#厂房	
检验日期 (Inspection date)		2026 年 8 月 25 日	报告日期 (Date of Report) 2026 年 9 月 11 日
检验 (Inspection)	项目 (Item)	球形环氢硼等离子体实验平台建设项目电场强度监测	
	仪器 (Instruments)	频谱分析仪 (NCEBE-A-FWZ001); 对数周期天线 (NCEBE-A-FWZ004)	
	依据 (According to)	《电磁辐射暴露限值和测量方法》GJB5313A-2017	
检验结论 (Conclusion)			
地块满足电磁环境控制限值要求, 如下: 地块内 50MHz-90MHz 频率范围内最大电场强值为 0.000237137V/m, 小于 12 V/m, 满足电磁环境控制限值要求。 (本页以下无正文)			
备注: 天气 (多云) 温度 (31 °C) 湿度 (70%)			
批准 (Approval)	审核 (Verification)	主检 (Chief tester)	联系电话(Tel)
段同岐	许照刚	宋海彬	010-68207544
段同岐	许照刚	宋海彬	
日期: 2026 年 9 月 11 日			

中国电子工程设计院股份有限公司
(国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心检验报告)
China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (Inspection Report of National Center for Quality
Inspection and Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

报告编号 (No. of Report): DZY-263112-Z-(025)(04)FWZ 共 8 页第2页(Page2 of 8)

一、工程概况

1、项目概况:

项目建设地点位于河北省廊坊市广阳区经济开发区新奥光伏 1#厂房, 占地面积 12653.75 平米。

我单位于 2026 年 8 月 25 日在相关区域针对设备工作频率进行现场环境电磁场监测, 由于现场正在施工, 测试点位选择在设备安装场地范围内的干扰源最强处, 在测试位置上, 对数周期天线按东西南北四个方向, 扫描共 360s。装置拟使用的离子回旋加热系统的具体参数如下表所示。

产生电磁辐射的系统	具体参数
离子回旋加热系统	6 套 50-90MHz, 1.5MW, 共计 9MW

109

2、测试位置:



图 1.1 项目地理位置图

中国电子工程设计院股份有限公司
 (国家电子工程建筑及环境性能质量检验检测中心检验报告)
 China Electronics Engineering Design Institute Co., LTD (Inspection Report of National Center for Quality
 Inspection and Testing of Electronics Engineering Building and Environmental Performance)

报告编号 (No. of Report): DZY-263112-Z-(025)(04)FWZ

共 8 页第 4 页 (Page 4 of 8)

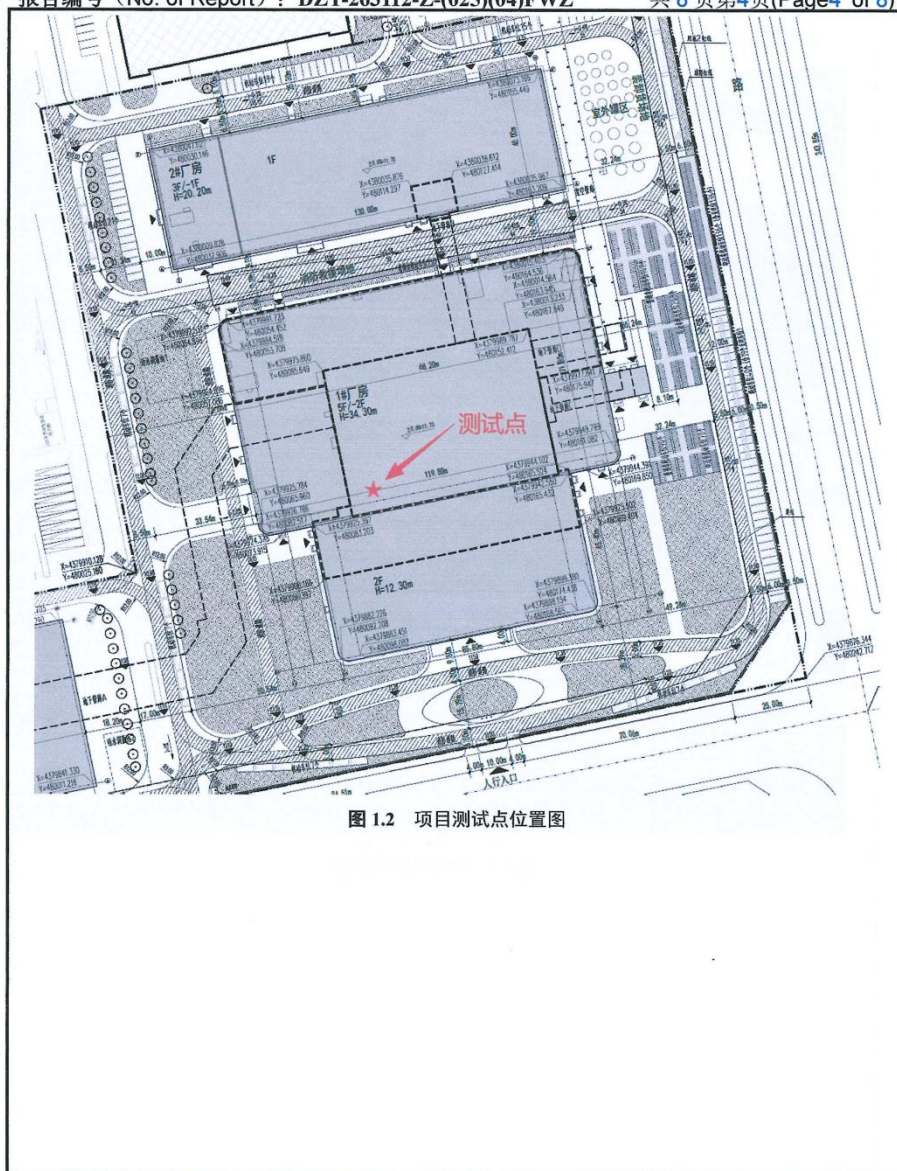


图 1.2 项目测试点位置图

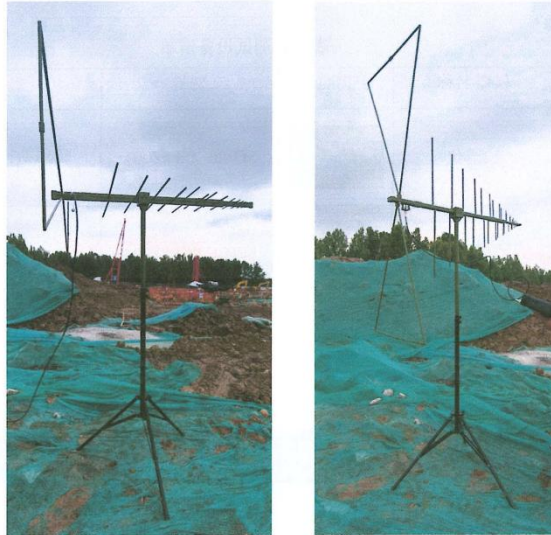


图 1.3 项目测试点天线布置

二、测试项目

进行现场球形环氢硼等离子体实验平台建设项目辐射环境本底监测中电场强度部分的监测。

三、测试设备

表 3.1 测试设备清单

序号	仪器名称	实物照片	型号	参数
1	频谱仪		NCEBE-A-FWZ001	频率范围：9KHz-54GHz;
2	对数周期天线		NCEBE-A-FWZ004	频率范围：30MHz-3GHz

四、测试方法

1、测量设备示意

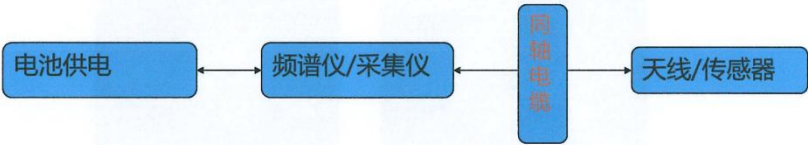


图 4.1 电磁环境测量设备示意图

2、测试频段方法要求

表 4.1 测试频段方法要求

编号	测试频率	天线类型	天线极化	检波方式	频点驻留时间	场强控制 限值
1	50 MHz ~90 MHz	对数周期天线	水平/垂直	均方根	东西南北四个 方向，扫描共 360s	12V/m

3、测点布局

在设备安装场地的星号位置 (见图 1.2) 设置 1 个测试点, 测试点距离西侧内部道路边界约 51m, 测试点距离南侧新源道辅路边界约 94m。

4、数据处理

测试点在 50MHz-90MHz 频率范围内监测水平极化与垂直极化, 检测方式为东西南北四个方向, 扫描共 360s。频谱仪最大保持并读数。

场强计算公式:

$$E=U+AF+L$$

E: 天线口面处信号场强,单位 dBμV/m

U: 天线负载端电压, 单位 dBμV

AF: 天线系数, 单位 dB/m

L: 线损, 单位 dB

场强单位转换公式:

$$E=10^{(\frac{X}{20}-6)}$$

E: 电场强度, 单位 V/m

X: 电场强度, 单位 dBμV/m

选择每一个频率范围的最大计算场强值为最终检测环境场强值。

五、测试结果

1、数据处理

(1) 测试点电磁环境测量数据

序号	扫描频段 (MHz)	最大场强 频率 (MHz)	线损 (dB)	天线 系数 (dB/m)	测量数据(dBμV)		环境场强 (V/m)	测试条件
					水平极化	垂直极化		
1	50 ~ 90	67.12	0.59	11.2	35.71	34.26	0.000237137	施工中



图 5.1 测试计算数据曲线 (50MHz-90MHz 水平极化)

2、数据分析

地块内 50MHz-90MHz 频率范围内最大电场强值为 0.000237137V/m, 小于 12 V/m, 满足电磁环境控制限值要求。

(本页以下无正文)

附件 4 噪声监测报告



250312342316
有效期至2031年09月16日止



真维检测
ZHENWEI TESTING

监测报告

ZWJC[2026]08047号



项目名称 廊坊新奥聚变科技有限公司现状监测
委托单位 廊坊新奥聚变科技有限公司
监测类别 现状噪声

真维（廊坊）检测技术服务有限公司

2026年08月13日



说 明

- 1、报告封面无检验检测专用章/公章、章、骑缝章无效。
- 2、报告无编制人、审核人及授权签字人签字或等效标识无效。
- 3、报告涂改、增删无效。
- 4、复制报告需经本机构同意或授权。
- 5、未经本机构同意不得将报告作为商业广告等宣传使用。
- 6、本报告仅对本次监测结果负责，如有异议，请在收到监测报告15日内向本机构提出书面申诉。
- 7、如涉及分包等需要特别声明的情况，按相关规定执行。

责 任 表

监测类别	监测点位	采样/测试人员	监测日期	起止时间
现状噪声	聚变北厂界（Z1）	王志恒、刘然淳	08月08日	16时50分-23时18分
	聚变西厂界（Z2）			
	聚变南厂界（Z3）			
	聚变东厂界（Z4）			
	敏感点（廊坊开发区第一中学）（Z5）			

-----本页以下空白-----

编制人员：张伟莉 张伟莉

审核人员：刘小玉 刘小玉

签发人员：何敏恩 何敏恩 日期：2026.08.13

机构名称：真维（廊坊）检测技术服务有限公司

通讯地址：廊坊市广阳区爱民东道235号绿龙无公害蔬菜配送有限公司办公楼B区1-601（608室）

联系电话：19003366221

邮 箱：19003366221@163.com

邮 编：065000

1 概述

受廊坊新奥聚变科技有限公司（联系人：周彩霞，17733686950）委托，真维（廊坊）检测技术服务有限公司于2026年08月08日对廊坊新奥聚变科技有限公司现状噪声进行了监测。

2 监测依据

- 2.1 《排污单位自行监测技术指南 总则》（HJ 819-2017）
- 2.2 《廊坊新奥聚变科技有限公司监测方案》

3 执行标准

表3-1 执行标准一览表

监测点位及编号		监测指标	标准限值	单位	标准名称及标准号	
噪声	聚变北厂界（Z1）	现状噪声	昼间60 夜间50	dB （A）	《声环境质量标准》（GB3096-2008） 表1中2类	
	聚变西厂界（Z2）					
	敏感点（廊坊开发区 第一中学）（Z5）		昼间70 夜间55		《声环境质量标准》（GB3096-2008） 表1中4a类	
	聚变南厂界（Z3）					
	聚变东厂界（Z4）					

4 监测内容

表4-1 现状噪声监测内容一览表

监测点位及编号	监测指标	监测频次	备注
聚变北厂界（Z1）	噪声	监测1天，昼、夜间各监测1次	/
聚变西厂界（Z2）			
聚变南厂界（Z3）			
聚变东厂界（Z4）			
敏感点（廊坊开发区第一中学）（Z5）			

-----本页以下空白-----

5 监测分析方法及使用仪器

表5-1 分析方法及使用仪器信息一览表

监测类别	监测指标	分析方法名称及标准号	仪器名称型号及编号	方法检出限
现状噪声	现状噪声	《声环境质量标准》 (GB3096-2008)	一级多功能声级计 AWA6228* ZWYQ-18-81 声校准器 AWA6021A ZWYQ-18-82 手持式风向风速表16025 ZWYQ-24-45	/

6 质量保证与质量控制

6.1 监测人员

参加采样/测试及监测的人员均经过岗前培训，通过上岗考核，具备相应的岗位能力，经批准上岗。

6.2 监测仪器

监测仪器经计量部门检定/校准并在有效期内使用，并根据标准方法要求进行了符合性确认。

6.3 监测过程

噪声测量期间无雨雪、无雷电，风速为5m/s以下进行。每次测量前、后在测量现场进行声学校准，其前、后校准示值偏差不大于0.5dB（A）。

-----本页以下空白-----

7 监测结果

7.1 噪声监测结果

表7-1 现状噪声监测结果

单位: dB (A)

监测点位	测量时段	测量结果	排放限值	是否达标
聚变北厂界 (Z1)	昼间	54	60	达标
	夜间	47	50	达标
聚变西厂界 (Z2)	昼间	57	60	达标
	夜间	44	50	达标
聚变南厂界 (Z3)	昼间	55	70	达标
	夜间	46	55	达标
聚变东厂界 (Z4)	昼间	58	70	达标
	夜间	48	55	达标
敏感点 (廊坊开发区第一中学) (Z5)	昼间	54	60	达标
	夜间	47	50	达标

本页以下空白

附图：

图1 监测点位图



8 结论

现状噪声：聚变北厂界（Z1）、聚变西厂界（Z2）、敏感点（廊坊开发区第一中学）（Z5）昼间、夜间噪声监测结果满足《声环境质量标准》GB3096-2008表1中2类标准限值要求；聚变南厂界（Z3）、聚变东厂界（Z4）昼间、夜间噪声监测结果满足《声环境质量标准》GB3096-2008表1中4a类标准限值要求。

报告结束