

核技术利用建设项目

使用电子加速器辐照装置项目

环境影响报告表

北京大学

2025 年 12 月

环境保护部监制

核技术利用项目

使用电子加速器辐照装置项目 环境影响报告表

建设单位名称：北京大学

建设单位法人代表：

通讯地址：北京市海淀颐和园路 5 号

邮政编码：100087

联系人：李姜生

电子邮箱：lijjs@pku.edu.cn

联系电话：13256832065

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	26
表 3 非密封放射性物质	27
表 4 射线装置	28
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	29
表 6 评价依据	30
表 7 保护目标与评价标准	33
表 8 环境质量和辐射现状	39
表 9 项目工程分析与源项	42
表 10 辐射安全与防护	50
表 11 环境影响分析	63
表 12 辐射安全管理	78
表 13 结论与建议	82
表 14 审 批	84

表 1 项目基本情况

建设项目名称	使用电子加速器辐照装置				
建设单位	北京大学				
法人代表	龚旗煌	联系人	李姜生	联系电话	13256832065
注册地址	北京市海淀颐和园路 5 号				
项目建设地点	北京市怀柔新城 11 街区综合实验楼北侧东部				
立项审批部门	北京市发展和改革委员会	批准文号	京发改(审)[2023]782 号		
建设项目总投资(万元)	1000	项目环保投资(万元)	200	投资比例(环保投资/总投资)	20%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m ²)	90
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他					
<h3>1.1 单位概况</h3> <p>北京大学创办于 1898 年，初名京师大学堂，是中国第一所国立综合性大学，也是当时中国最高教育行政机关。辛亥革命后，于 1912 年改为现名。2000 年 4 月 3 日，北京大学与原北京医科大学合并，组建了新的北京大学。两校合并进一步拓宽了北京大学的学科结构，为促进医学与人文社会科学及理科的结合，改革医学教育和研究奠定了基础。近年来，在“211 工程”和“985 工程”的支</p>					

持下，北京大学进入了一个新的历史发展阶段，在学科建设、人才培养、师资队伍建设、教学科研等各方面都取得了显著成绩，为将北大建设成为世界一流大学奠定了坚实的基础。今天的北京大学已经成为国家培养高素质、创新型人才的摇篮、科学的研究的前沿和知识创新的重要基地和国际交流的重要桥梁和窗口。

1.2 本项目情况

1.2.1 本项目分子影像与医学诊疗探针创新平台的背景

随着科学技术的进步，特别是医疗卫生的发展，分子影像技术在生物医学领域起着越来越重要的作用，是生命科学、基础医学和临床医学的重要工具。分子影像技术改变了传统的医学诊断方式，是一种能够无需对活体生物创伤，就可以在分子层面获得活体内生化、生理及功能代谢变化的影像技术，目前主要应用方法有正电子发射断层成像（PET）、单光子发射计算机断层成像（SPECT）、光学成像、正电子发射磁共振成像（PET-MR）等。

在当今“精准医学”和“个体化医疗”时代，核医学分子影像在疾病的早期精确诊断和分期、指导治疗方案制定、疗效预测和评价等方面发挥着越来越重要的作用。如 PET 分子影像近年来已成为了我国各大医院的常规检查项目，成为肿瘤诊断的重要手段之一。分子探针在肿瘤诊疗中取得了巨大的临床效果和市场价值。

我国十分重视居民健康水平，对医药健康领域做出重要部署。党的十八大以来，习近平总书记反复强调了提高人民健康的重要性，指出“没有全民健康就没有全面小康”，并把健康中国提高到优先发展的战略地位，并在十九大报告中明确了建设健康中国的路线图。健康中国的建设首先离不开医学科学的发展。我国人口基数庞大，市场需求潜力巨大，但与发达国家相比，我国的分子影像探针发展相对落后，在探针药物研究、影像设备的原创性、配套支持和平台建设方面均有不足。为提振我国核技术在医疗领域的应用，2021 年 6 月，国家原子能机构、医保局、卫健委等八部委联合发布《医用同位素中长期发展规划（2021-2035 年）》，提出建立稳定的医用同位素供应保障体系，鼓励放射性新药研发，以及以 PET/CT 为代表的高端分子影像设备的国产化。

基于以上战略发展机遇以及解决我国在分子探针领域的落后局面，计划由

北京大学牵头组建，北京市固定资产投资资金支持的国家级“分子影像与医学诊疗探针创新平台”（简称“分子探针平台”）。分子探针平台依托北京大学，紧密结合各领域创新力量，开展分子影像关键技术核心攻关，解决我国放射性药物的“卡脖子问题”，有利于推动多学科知识、技术的交叉融合，通过平台间的交叉融合，建设成为国际领先的精准分子影像探针及药物研发与转化公共服务综合平台，其作为“多模态跨尺度生物医学成像设施”的附属平台，二者缺一不可、互相促进、协同发展。“多模态跨尺度生物医学成像设施”规划建设三大成像装置，覆盖宏观、介观、微观的全生物体尺度，并进行成像模态融合。分子影像探针与成像技术的组合配置，将发挥成像设施与分子影像探针平台的最大效能，平台建成后，将为“多模态跨尺度生物医学成像设施”提供更为有效的靶分子，极大的提升设施的成像水平，二者之间通过相互支撑配合，将开展一系列国际领先的精准分子影像探针研究与开发，极大提高现有设施的装备水平，产生一批有影响力的科技成果。

分子探针平台建设内容包括五个平台：活体化学与探针技术平台（平台 1）、生物影像探针平台（平台 2）、多模态影像探针平台（平台 3）、医学诊疗探针平台（平台 4）和公共服务平台（平台 5）。通过平台间的交叉融合，在基础科研、生物医药、人民健康等领域中实现不同原型技术全流程开发验证，建设成为国际领先的精准分子影像探针及药物研发与转化公共服务综合平台。支持怀柔科学城正在推进的“多模态跨尺度生物医学成像设施”的运行和技术转化，从而提供解决癌症等重大生命科学和医学问题的方案。平台关系图见图 1-1。

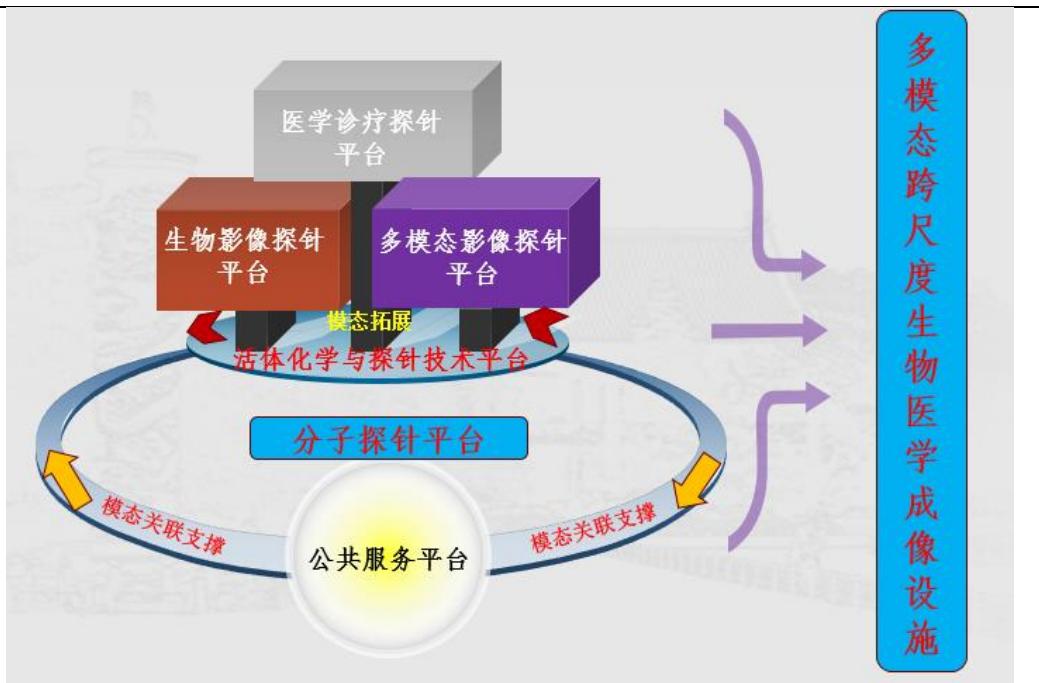


图 1-1 平台关系图

分子探针平台是大设施的重要支撑平台,利用放射性核素作为示踪剂的分子探针可以通过临床医学影像仪器用于患者诊疗,是具备临床和科研应用前景的研发方向。分子诊疗平台将整合高等院校、知名实验室和各大医院之间的优势资源,创新以医院为主体的模式,以医学临床应用发展为牵引,积极推动诊疗技术成果转化和临床应用。一方面,实现放射性药物的产业转化,医学诊疗探针平台建立一套可进行多种核素生产的核素制备体系,用于放射性诊断和治疗药物的开发与应用,打破核药从基础研究到临床医学之间的屏障,满足国内科研、药物临床前评价以及临床试验的基本要求。另一方面,推动分子探针的临床应用,开发原创临床可用的核素探针和发展新功能探针及其活体化学。最终开发以临床为导向的分子探针为目标,对接多模态跨尺度生物医学成像设施,实现探针临床及商业化,形成自主品牌和有效的国际影响。打造一个国内领先、国际一流的分子影像探针产学研平台,服务于社会临床需求。

1.2.2 建设工程概况

本项目拟建于北京市怀柔新城 11 街区,东至慧云东路,西至多模态跨尺度生物医学成像设施用地,北至怀柔新峰街,南至怀柔雁栖东七路。北京市规划和自然资源委员会怀柔分局于 2023 年 11 月 23 日发布的《关于分子影像与医学诊疗探针创新平台项目“多规合一”协同平台初审意见的函》(京规自(怀)

初审函[2023]0034 号）。该平台于 2025 年 1 月取得了北京市怀柔区生态环境局《关于关于分子影像与医学诊疗探针创新平台项目环境影响报告表的批复》（怀环审字[2025]0001 号）等审批文件，相关附件见附件 1。

1.2.3 建筑布局

分子探针平台所在的综合实验楼位于怀柔科学城“多模态跨尺度生物医学成像设施”设施东侧，总平面布局图见图 1-2 所示。综合实验楼地上 6 层（含设备层），地下 1 层，建筑高度约 30.0m。辐射项目都位于综合实验楼（地上 6 层，地下 1 层）的北侧，包括公共服务平台、活体化学与探针技术平台、医学诊疗探针平台。各实验室分布于建筑地下一层~地上六层，综合实验楼核技术利用建设内容主要集中于综合实验楼以下楼层北部区域内，具体分布见表 1-1 所示，综合实验楼剖面图见图 1-3。

表 1-1 综合实验楼内核技术利用项目分布情况

楼层	层高	核技术利用建设内容
B1	6.6m	两台自屏蔽回旋加速器（II 类射线装置）；6 条同位素研发线净化区（6 个乙级）；使用 1 台动物 PET/CT、1 台动物 SPECT/CT、1 台动物 PET/MRI 的动物实验室（丙级）；使用 1 台 2.5MeV 电子加速器辐照装置（II 类射线装置，辐射室位于 B1，主机室位于 1F 跨 2F）。
1F	5.4m	1 处公共服务平台药物质控实验室（丙级）。
3F	4.45m	1 处活体化学与靶向技术平台（乙级，含小动物 PET/CT 和小动物 SPECT/CT 各 1 台）
4F	4.45m	1 处医学诊疗探针平台（乙级）
5F	5.4m	1 处放药临床前研究及分子影像实验室（乙级），该区域拟使用小动物 PET/CT2 台，小动物 SPECT/CT、大动物 PET/CT、大动物 SPECT/CT 各 1 台。
6F	4.8m	

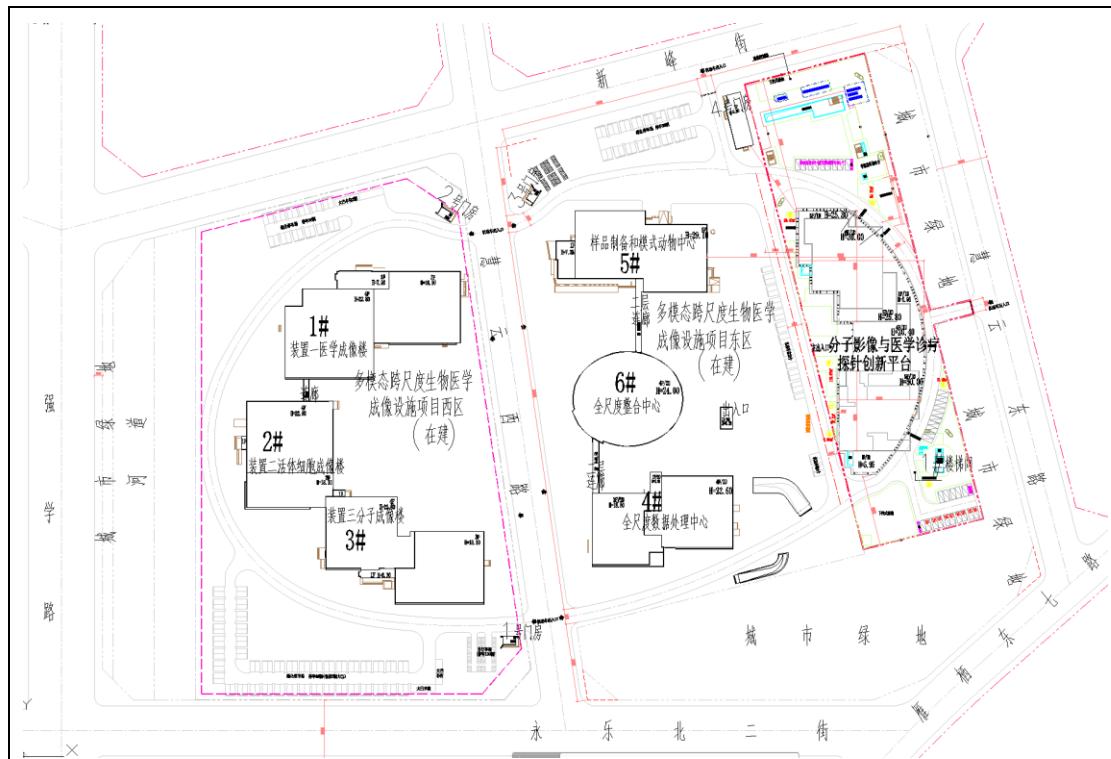


图 1-2 总平面布局图



图 1-3 综合实验楼剖面图

1.2.4 建设规模

综合实验楼主楼总建筑面积 29000m²，各核技术相关平台及主要用途及技术详见表 1-2。

表 1-2 平台主要用途及技术要求

平台名称	系统名称	用途及技术要求
活体化学与探针技术平台	活体化学	开发适用于活体的新型生物正交反应；利用新活体化学解决生命科学领域重大科学问题或研发具有临床转化潜力的新技术；促进不同种类探针“诊疗一体化”或“智能化”的功能升级。
	靶向技术	利用靶向技术筛选平台服务其他实验室相关探针的性能优化与临床转化；促进不同种类探针“诊疗一体化”或“智能化”的功能升级；以及利用靶向技术筛选实验室服务其他实验室探针的性能优化与临床转化

	标记技术	在放射性标记技术开发领域中,开发具有普适性和突破性的放射性标记方法学或新型同位螯合基团;并助力其他平台放射性探针、药物的标记流程优化;参与活体化学开发工作,助力关键生命科学领域科学问题的解决
医学诊疗探针平台	同位素制备	构建一套放射性核素的制备体系,用于分针探针的标记及评估应用;开发出高产额、高化学纯度、高核纯度、极限比活度固体靶核素,用于各类探针临床标记使用,提升探针临床应用途径
	诊疗探针研发	开展筛选靶点的药物开发研究;开发各类诊断型放射性分子探针;开发各类治疗型放射性分子探针;完成放射性分子探针的临床转化
	探针检测评价	建立新型正电子药物的质控、鉴定方法和标准;建立新型核素/放射性药物生产、质控、临床应用行业标准;建立放射性药物中国标准;实现新型正电子药物备案
公共服务平台	回旋加速器及药物制备	基于 2 台回旋加速器和核素发生器,构建一套正电子放射性核素的制备体系。建立一套能制备包含 β^+ 、 β^- 和 α 核素药物的制备体系,一个综合性的放射化学实验室。服务放射性核素标记药物制备,同时开展放射性药物的临床转化
	质控、分析系统	建立药物结构鉴定方法与标准;建立药物纯度鉴定方法与标准;建立药物理化性质评测方法与标准;构建光学性能评价方法与标准;构建核素探针影像分析方法与标准
	探针与放射性药物安全性评价系统	建立 1 个 SPF (无特定病原体) 级动物设施,1 个普通级大动物设施;建立 1 套探针及放射性药物安全性评价实验系统;建立 1 套探针及放射性药物安全评价实验方法和标准;完成探针及放射性药物的安全性评价实验

1.2.5 综合实验分子探针平台核技术内容

本项目分子探针平台核技术内容位于综合实验楼地下一层、一层、三层、四层、五层和六层北侧,涉及的3个平台,分别为公共服务平台、活体化学与探针技术平台、医学诊疗探针平台。

(1) 公共服务平台

地下一层北侧新建两间回旋加速器室,拟分别使用 1 台 12MeV 自屏蔽回旋加速器和 1 台 20MeV 自屏蔽回旋加速器核制备正电子核素 F-18、C-11、N-13、Ga-68、Zr-89、Cu-64、I-124 共 7 种核素。

地下一层北侧中部新建 6 个乙级同位素研发线(其中 5 个为净化实验区,1 个常规实验室),1. 固体靶处理淋洗间,用于 Zr-89、Cu-64、I-124 药物标记;2. α 核素治疗药物研发车间,用于 Ac-225、Pb-212、At-211 药物标记;3. 正电子药物研发车间,用于 F-18、C-11、N-13、Ga-68、Zr-89、Cu-64 药物标记;4. β 核素治疗药物研发车间,用于 Lu-177、Y-90 药物标记;5. 中试及药物研发实验室,主要开展放射性原料、非放射性原料以及放射性产品的检验检测工

作；6. 药物分析、质量检验实验室，用于 F-18、C-11、N-13、Ga-68、Zr-89、Cu-64、I-124、Lu-177、Y-90、Ac-225、Pb-212、At-211、Re-188、Cu-67、Tb-161 等药物分析、质量检验。

地下一层北侧南部新建动物实验室，使用 F-18、C-11、N-13、Ga-68、Zr-89、Cu-64、I-124、Tc-99m 共 8 种核素的丙级场所；使用动物 PET/CT、动物 SPECT/CT、动物 PET/MR 各 1 台，用于这些药物动物显像。

地上一层北侧新建药物质控实验室，用于 F-18、C-11、N-13、Ga-68、Zr-89、Cu-64、I-124、Lu-177、Y-90、Ac-225、Pb-212、At-211、Re-188、Cu-67、Tb-161 共 15 种核素的药物质控。

地上五层和六层北侧新建放药临床前研究及分子影像实验室，包含分子影像和实验药代实验，使用小动物 PET/CT2 台，小动物 SPECT/CT、大动物 PET/CT、大动物 SPECT/CT 各 1 台，涉及使用核素有 F-18、C-11、N-13、Ga-68、Zr-89、Cu-64、I-124、I-123、Tc-99m、Sm-153、P-32、Re-188、Sr-89、Sc-44、Sc-47、Ca-45、Br-76、As-72、Cu-67、Pb-212、Fe-59、Bi-212、Ga-67、Lu-177、Y-90、Ac-225、Pb-212、At-211、Ra-223、Th-227 共 30 种核素的乙级场所。

（2）活体化学与探针技术平台

三层北侧新建 1 处活体化学与探针技术实验室（乙级），使用 F-18、Ga-68、Zr-89、Lu-177、Tc-99m、Sc-44、Ac-225 核素开展可调控多肽核酸和可调控抗体核素探针标记和实验，使用小动物 PET/CT、小动物 SPECT/CT 各 1 台，用于标记好的这 7 种核素给药后的动物显像。

拟新增 1 台 FYMA025100 型电子加速器辐照装置（2.5MeV/40mA），用于模拟电子或模拟光子同步放化疗与活体化学实验，研究高能电子辐照在中型到大型动物的活体化学效应，还可用于体外模拟探针的内照射生物效应等机理研究。该电子加速器辐照室位于地下一层，主机室位于一层（跨二层），主束往下照射。

（3）医学诊疗探针平台

四层北侧新建 1 处医学诊疗探针实验室（乙级），其中碘核素放化标记室使用 I-131、I-123、I-124、I-125 核素标记药物；正电子核素放化标记室使用 F-

18、Sc-44、Cu-64、Zr-89 核素标记药物及使用 1 套 Ge-68 (Ga-68) 发生器；长半衰期核素放化实验区使用 Sm-153、Sr-89、P-32 、Lu-177、Y-90、Re-188、Cu-67、Tb-161、Y-86、Br-86 核素标记药物及使用 1 套 W-188 (Re-188) 发生器；单光子核素放化标记室使用 Tc-99m、In-111、Ga-67 核素标记药物及使用 1 套 Mo-99 (Tc-99m) 发生器； α 粒子核素放化标记室使用 Ac-225、Pb-212、Ra-223、Th-227 核素标记药物；除了标记外，该实验室还涉及相应质控及体内外评价分析等区域。

为了使环评报告的内容清晰明了，避免交叉凌乱，本项目对①B1 层北侧两间回旋加速器室及相关正电子核素热室，②B1 层北侧中部 6 个乙级同位素研发线，③B1 层北侧南部动物实验区（丙级场所），④1F 北侧药物质控实验室（丙级场所），⑤3F 层北侧活体化学与探针技术平台同位素实验室（乙级场所），⑥4F 层北侧医学诊疗探针平台同位素实验室（乙级场所），⑦电子加速器辐照室（含辐照室和主机室）使用 II 类射线装置，⑧5F、6F 层北侧放药临床前研究及分子影像实验室（乙级场所）分别编制环境影响报告进行报批。考虑到将来便于项目的验收，且使用功能上相对独立，都是可按照单独场所进行环评报批，所以不存在建设项目拆分问题。本项目只涉及电子加速器辐照室使用 II 类射线装置项目部分内容。

1.2.6 本项目环境影响评价内容

本项目电子加速器辐照室（控制区含辐照室、主机室）位于综合实验楼（地下 1 层，地面 6 层）北侧东部的地下一层、一层、二层（跨 3 层），辐照室位于地下一层，主机室位于地上一层（主机室的楼顶上方为三层地面），主束往下照射。

根据实验平台需要，拟新增 1 台电子加速器辐照装置，用于模拟电子同步放化疗与活体化学实验。根据目前实验计划，电子加速器辐照装置年最大出束时间不大于 417h，出束时辐射工作人员都是隔室操作。

按照《关于发布<射线装置分类>的公告》分类表要求，本项目电子加速器辐照装置属于工业辐照用加速器，为 II 类射线装置，本项目电子加速器辐照装置情况见表 1-3。

表 1-3 本项目电子加速器辐照装置情况表

装置名称	型号	参数	生产厂家	工作场所	类别
电子加速器辐照装置	FYMA025100	2.5MeV/40mA/100kW	山东辐岳机电科技有限公司	电子加速器辐照室	II类

1.2.7 开展新项目的技术能力

(1) 人员配备：本项目拟新增 2 名辐射工作人员。

(2) 检测仪器配备：本项目拟新增 1 台便携式辐射防护监测仪、1 套固定式辐射防护剂量报警仪（2 个探头）和 2 台个人剂量报警仪。

1.2.8 目的和任务的由来

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》等相关规定，本项目使用II类射线装置项目，应当进行环境影响评价，编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(2019年生态环境部令第 9 号)最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受北京大学的委托，评价机构环评人员在现场踏勘、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。评价主要考虑辐射工作场所对周围环境的辐射影响，对职业人员和公众的辐射影响。

1.2.9 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号），本项目电子加速器辐照装置属于“鼓励类—六、核能，4、核技术应用：同位素、加速器及辐照应用技术开发”，符合国家产业政策。

1.2.10 项目建设正当性和必要性

为了用于活体化学系统中，模拟电子同步放化疗与活体化学实验，研究高能电子辐照在中型到大型动物的活体化学效应。同时，该设备还可用于体外模拟探针的内照射生物效应等机理研究。

但是，由于在辐照过程中射线的应用可能会造成如下放射性环境问题：

(1) 给周围环境和辐射工作人员造成一定的辐射影响；

(2) 辐照装置的使用及管理的失误会造成辐射安全事故；

建设单位在开展辐照过程中，对射线装置使用将严格按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理射线装置情况下，可以将该项辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此该核技术应用的实践具有正当性。

综上所述，电子加速器辐照装置的建立不仅具有正当性，也具有必要性。

1.2.11 周围环境

本项目拟建于北京市怀柔新城 11 街区，用地红线范围东至慧云东路，西至多模态跨尺度生物医学成像设施用地，北至怀柔新峰街，南至怀柔雁栖东七路。单位地理位置图见附图 1 所示，平面布局及周围环境图见附图 2。

本项目电子加速器辐照室（控制区含辐照室、主机室）位于综合实验楼（地下 1 层，地面 6 层）北侧东部的地下一层、一层、二层（跨 3 层），辐照室位于地下一层，主机室位于地上一层（主机室的楼顶上方为三层地面）。周围 50m 范围内除了西侧有多模态跨尺度生物医学成像设施项目东区停车位和东侧慧云东路部分区域外，其他三面都是平台内部。根据项目特点及周围毗邻关系，确定主要环境保护目标为评价范围内工作人员，以及场所周围活动的公众人员。

1.3 核技术利用及辐射安全管理现状

1.3.1 核技术利用现状情况

北京大学目前持有生态环境部颁发的《辐射安全许可证》（国环辐证[00176]，有效期至 2027 年 9 月 30 日，见附件 1），已许可的活动种类和范围包括：使用 I 类、II 类、IV 类、V 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

北京大学已许可的射线装置使用情况见表 1-4。

表 1-4 北京大学已许可的射线装置情况

序号	名称	类别 (类)	数量 (台)	工作场所名称
1	X 射线单晶衍射仪	III类	1	材料科学与工程学院射线装置实验室
2	电子枪	III类	1	地球与空间科学学院（昌平）射线装置实验室

3	X 射线衍射仪	III类	1	地球与空间科学学院射线装置实验室 工学院射线装置实验室
4	X 射线荧光光谱仪	III类	1	
5	X 射线衍射仪	III类	2	
6	智能 X 射线衍射仪	III类	1	
7	X 射线晶体衍射仪	III类	1	
8	高分辨三维 X 射线显微成像系统	III类	1	
9	X 射线光电子能谱仪	III类	1	
10	小角 X 射线散射仪	III类	1	
11	X 射线衍射仪	III类	1	工学院射线装置实验室：工学院 1 号楼 006 房间
12	X 射线衍射应力分析仪	III类	1	工学院射线装置实验室：力学楼 三楼 103 室
13	高分辨 X-射线 CT	III类	1	工学院射线装置实验室：遥感楼 113
14	RFQ 加速器	II类	1	核物理与核技术国家重点实验室
15	4.5 加速器	II类	1	
16	RFQ 加速器中子照射装置	II类	1	
17	2X6 加速器	II类	1	
18	加速器	II类	1	
19	X 光机	III类	1	
20	X 射线衍射系统	III类	1	核物理与核技术国家重点实验室：北京大学加速器楼小平房实验室
21	1.3GHz 超导粒子加速器	II类	1	核物理与核技术国家重点实验室：技术物理大院
22	X 射线衍射仪	III类	12	化学与分子工程学院射线装置实验室
23	X 射线荧光光谱仪	III类	1	
24	多功能成像电子能谱仪	III类	1	
25	小角 X 光散射仪	III类	1	
26	台式 X 射线衍射仪	III类	1	
27	X 射线光电子能谱仪	III类	1	
28	高分辨粉末 X 射线衍射仪	III类	1	
29	生物学 X 射线辐照仪	III类	1	
30	X 射线荧光光谱仪	III类	1	
31	X 射线粉末衍射仪	III类	1	
32	X 射线光电子能谱仪	III类	1	
33	小角 X 射线散射仪	III类	1	
34	气溶胶中和器	III类	2	环境模拟与污染控制国家重点联合实验室
35	携带式变频充气 X 射线探伤机	II类	1	科技考古与文物保护实验室

36	台式 X 荧光光谱仪	III类	1	
37	便携式荧光光谱仪	III类	1	
38	便携式 X 射线衍射仪	III类	2	
39	手持式 X 荧光光谱仪	III类	1	
40	X 射线生物学辐照仪	II类	1	
41	生物学 X 射线辐照仪	III类	1	
42	X 射线显微镜	III类	1	
43	数字乳腺 X 射线机	III类	1	
44	实验鼠体成像分析仪	III类	1	未来技术学院射线装置实验室： 王克桢楼 245
45	材料衍射仪	III类	2	
46	X 射线装置	III类	8	
47	X 射线衍射仪	III类	4	
48	四轴 X 射线散射仪	III类		
49	离子源实验台	III类	2	
50	电喷雾气溶胶发生器	III类	1	
51	气溶胶中和器	III类	1	
52	X 射线管	III类	1	
53	荧光分析 X 射线管	III类	1	
54	牙片机	III类	3	
55	骨密度仪	III类	1	
56	牙科 X 射线机(其他)	III类	1	
57	DR	III类	2	
58	骨密度仪	III类	1	
59	CT 机	III类	1	
60	医用 X 射线机	III类	1	
61	螺旋 CT	III类	1	
62	牙科口外机	III类	1	
63	X 射线源辐照测试平台	III类	1	信息科学技术学院射线装置实验室
64	生物学 X 射线辐照仪	II类	1	医学部（昌平）射线装置实验室
65	X 射线单晶衍射仪	III类	3	
66	X 射线生物照射系统	III类	1	
67	X 射线粉末衍射仪	III类	1	
68	数字 X 射线成像系统	III类	1	
69	SPECT/CT	III类	1	
70	双能 X 射线小动物骨密度仪	III类	1	
71	高分辨 X 射线活体显微断层成像系统	III类	1	医学部射线装置实验室
72	小动物 PET/CT	III类	1	应用化学系放射性开放实验室：

				技物楼 150-3
73	回旋加速器	II类	1	应用化学系放射性药物研究中心
			104	

北京大学已许可使用的非密封放射性物质和非密封放射性物质工作场所的具体情况见表 1-5。

表 1-5 北京大学已许可非密封放射性同位素使用情况

序号	场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量(贝可)	年最大用量(贝可)
1	应用化学系 放射性药物 研究中心	丙级	F-18	7.40E+06	8.88E+10
2			Y-86	3.70E+06	1.11E+09
3			Zr-89	5.92E+06	1.18E+09
4			Cu-64	1.48E+06	1.18E+09
5	应用化学系 放射性开放 实验室	丙级	Tc-99m	1.00E+07	2.00E+11
6			I- 129	1.00E+07	2.00E+11
7			C-14	1.00E+07	2.00E+11
8			Co-60	1.00E+07	3.00E+09
9			Lu- 177	1.85E+7	4.63E+10
10			U-238	1.00E+06	1.00E+10
11			V-48	1.00E+05	1.00E+8
12			Pd-103/Rh-103m	1.00E+06	1.00E+09
13			Eu- 154	1.00E+06	1.00E+08
14			Ca-45	1.00E+06	1.00E+09
15			H-3	1.00E+06	2.00E+10
16			Re- 188	1.00E+07	3.00E+10
17			Th-天然	1.00E+07	2.00E+11
18			Se-75	1.00E+07	3.00E+10
19			Tc-99	1.00E+07	2.00E+11
20			Cr-51	1.00E+10	1.00E+10
21			S-35	1.00E+07	3.00E+10
22			Fe-59	1.00E+07	3.00E+10
23			Mo-99	1.00E+07	1.10E+11
24			Cu-64	1.00E+07	2.00E+11
25			Se-79	1.00E+07	2.00E+11
26			Sr-85	1.00E+07	3.00E+10
27			Sr-89	1.00E+07	3.00E+10
28			Mn-56	1.00E+06	1.00E+09
29			Zr-95	1.00E+07	3.00E+10
30			Sn- 113 (In-113m)	1.00E+07	2.00E+11

31			I- 125	1.00E+07	3.00E+10	
32			Bi-212	1.00E+7	2.50E+9	
33			Pb-212	1.00E+7	2.50E+10	
34			Ra-224	1.00E+7	2.50E+8	
35			I- 131	1.00E+07	3.00E+10	
36			Cs-134	3.00E+10	3.00E+10	
37			Ce-141	1.00E+07	3.00E+10	
38			Nd- 147	1.00E+07	3.00E+10	
39			Er- 169	1.00E+07	3.00E+10	
40			U 天然	1.00E+07	3.00E+10	
41			Sm-153	1.00E+07	3.00E+10	
42			Tm- 170	1.00E+07	3.00E+10	
43			Re-186	1.00E+07	3.00E+10	
44			In- 111	1.00E+06	1.00E+09	
45			W-188/Re-188	1.00E+06	1.00E+9	
46			Sr-82	1.85E+7	4.63E+10	
47			C-11	1.85E+7	4.63E+9	
48			I- 126	1.85E+7	4.63E+9	
49			F- 18	1.85E+7	2.00E+11	
50			Ra-223	1.85E+7	4.63E+8	
51			Cu-61	1E+7	2E+11	
52			Ga-66	1E+7	2.5E+10	
53			Y-86	1.85E+07	4.63E+10	
54			Zr-89	1.85E+07	4.63E+10	
55			I- 124	1.85E+07	4.63E+09	
56			Bi-213	1.85E+7	4.63E+9	
57			Ga-68	1.85E+7	4.63E+10	
58			I- 123	1.00E+07	2.00E+11	
59			Ga-67	1E+7	2.5E+10	
60			Br-76	1E+7	2.5E+10	
61			Ac-225	1.85E+7	4.63E+9	
62			Ga-68	1.85E+7	2.00E+11	
63			I- 121	1E+7	2E+11	
64			Y-90	1.00E+07	3.00E+10	
65			P-32	1.00E+07	3.00E+10	
66			Cl-36	1.00E+07	3.00E+10	
67			Eu- 152	1.00E+6	1.00E+08	
68	医疗卫生分析中心同位	丙级	F- 18	1.85E+7	7.40E+10	
69			Ga-68	1.85E+7	7.40E+10	

70	素室		S-35	3.70E+6	3.70E+9	
71			Cd-109	7.40E+6	3.70E+9	
72			C-14	7.40E+6	3.70E+9	
73			In- 111	1.85E+7	7.40E+09	
74			I- 131	1.85E+7	3.70E+9	
75			P-32	1.85E+6	3.70E+9	
76			Ca-45	3.70E+6	3.70E+9	
77			Co-57	3.70E+6	3.70E+9	
78			I- 125	1.85E+7	9.25E+9	
79			Zr-89	1.85E+07	3.00E+10	
80			Cr-51	1.85E+6	3.70E+9	
81			H-3	7.40E+6	3.70E+9	
82			Lu- 177	1.85E+7	7.40E+9	
83			Cu-64	1.85E+7	7.40E+10	
84			Y-90	1.85E+07	7.40E+09	
85			P-33	1.85E+6	3.70E+9	
86			I- 123	1.85E+7	7.40E+10	
87			Au- 198	1.85E+7	3.70E+10	
88			Re- 188	1.85E+7	7.40E+9	
89			Tc-99m	1.85E+07	3.70E+11	
90	生命科学学院公用同位素室	丙级	S-35	1.00E+07	3.00E+10	
91			H-3	1.0E+06	2.0E+10	
92			P-32	1.00E+07	3.00E+10	
93			C-14	3.70E+06	7.40E+09	
94	基础医学院放射医学系	乙级	Re- 188	3.70E+9	7.40E+12	
95			Ag- 110m	2.20E+8	4.40E+11	
96			Lu- 177	3.70E+9	7.40E+12	
97			C-14	2.20E+8	4.40E+11	
98			Y-90	3.70E+09	7.40E+12	
99			H-3	2.20E+08	4.20E+11	
100			Co-57	3.70E+9	7.40E+12	
101			I- 131	3.70E+9	7.40E+12	
102			Sr-90(Y-90)	3.70E+09	7.40E+12	
103			Tc-99m	3.70E+09	7.40E+12	
104			I- 125	3.70E+9	7.40E+12	
105			In- 111	3.70E+9	7.40E+12	
106			P-32	2.20E+8	4.40E+11	
107	放射性同位素及废物暂	丙级	I- 125	3.70E+6	1.85E+12	
108			Co-57	7.40E+4	1.85E+10	

109	存间		Cd-109	2.00E+4	5.00E+9	
110			I- 131	7.40E+6	1.85E+12	
111			P-33	2.00E+4	5.00E+9	
112			Ca-45	2.00E+4	5.00E+9	
113			P-32	2.00E+4	5.00E+9	
114			Ag-110m	2.20E+5	5.50E+10	
115			C-14	2.20E+4	5.50E+10	
116			Cr-51	2.00E+3	5.00E+9	
117			S-35	3.70E+05	9.25E+10	
118			Lu- 177	7.40E+6	1.85E+12	
119			H-3	3.70E+4	9.25E+10	

北京大学已许可的放射源使用情况见表 1-6。

表 1-6 北京大学已许可的放射源使用情况

序号	核素	类别	总活度 (Bq) /活度 (Bq) × 枚数	辐射活动场所
1	Co-60	I类	1.85E+15	钴源室
2	Co-60	I类		
3	Co-60	I类		
4	Co-60	I类		
5	Co-60	I类		
6	Co-60	I类		
7	Co-60	I类		
8	Cs-137	V类		
9	Mn-54,Co-60,Cs-137	V类	7.03E+05	核物理实验室
10	Am-241	V类	2.04E+05	
11	Co-60	V类	1.52E+08	
12	Co-60	V类	1.00E+06	
13	Co-60	V类	1.58E+06	
14	Pu-238	V类	3.70E+08	
15	Cs-137	V类	1.85E+05×2	
16	Pu-238	V类	3.70E+08	
17	Am-241	V类	1.00E+05	
18	Pu-238	V类	3.70E+08	
19	Pu-239	V类	1.11E+05×3	
20	Pu-238	V类	3.70E+08	

21	Fe-55	V类	4.81E+08	核物理与核技术国家重点实验室
22	Cs-137	V类	1.63E+06	
23	Co-60	V类	3.70E+06	
24	Co-60	V类	1.03E+06	
25	Co-60	V类	1.06E+05	
26	Cs-137	V类	1.24E+05	
27	Cs-137	V类	1.25E+05	
28	Pu-238	IV类	1.11E+09	
29	Fe-55	V类	1.48E+08×3	
30	Am-241	V类	4.38E+07	
31	Cs-137	V类	3.70E+08×2	
32	Am-241	V类	1.48E+05	
33	Cs-137	V类	3.70E+05	
34	Co-60	V类	3.70E+05×4	
35	Am-241/Be	V类	1.20E+06	环境学院辐射实验室
36	Cs-137	V类	6.96E+04	
37	Am-241	V类	4.38E+04	
38	Cf-252	V类	2.40E+06	
39	Am-241	V类	5.13E+04	
40	Cs-137	V类	2.85E+04	
41	Pu-239	V类	1.21E+05	
42	Am-241	V类	1.40E+05	
43	Am-241	V类	1.40E+04	
44	Co-60	V类	3.70E+05	
45	Am-241	V类	1.07E+07	
46	Sr-90	V类	1.48E+09	
47	Sr-90	V类	2.96E+09	
48	Sr-90	V类	1.85E+09	
49	Pu-238	IV类	7.40E+08	基础物理实验中心
50	Sr-90(Y-90)	V类	3.70E+07×8	
51	Cs-137	V类	3.70E+04×8	
52	Cs-137	V类	7.40E+08	
53	Co-57	V类	1.85E+08	

54	Co-57	V类	9.25E+08	
55	Cs-137	II类	2.40E+13	基础医学院免疫细胞照射室
56	Sr-90	V类	3.70E+09	
57	Cm-244	V类	1.85E+07×2	
58	Sr-90	V类	1.48E+09	
59	Am-241	V类	1.07E+07	
60	Sr-90	V类	1.00E+06	
61	Am-241	V类	9.33E+04	
62	Am-241	V类	2.70E+04	
63	Am-241	V类	5.53E+04	
64	Cs-137	V类	7.73E+04	
65	Cs-137	V类	1.18E+05	
66	Co-60	V类	1.10E+05	
67	Cs-137	V类	1.55E+05	
68	/	/	共 92 枚	/

1.3.2 近几年履行环保审批情况

北京大学根据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的规定，在许可的种类和范围内从事密封源、非密封放射性物质及射线装置的使用工作，严格执行辐射安全管理的各项规章制度，于每年 1 月 31 日前向生态环境主管部门提交上一年度评估报告，到目前无辐射安全事故发生。北京大学近五年来开展的辐射项目情况统计见表 1-7。

表 1-7 北京大学近几年履行环保审批手续和环保竣工验收手续情况

序号	项目名称	环评批复或备案号	进展
1	北京大学使用射线装置项目（2020 年）	202011010800003674	已建成
2	北京大学使用射线装置项目（2021 年）	202111010800001090	已建成
3	北京大学使用 V 类放射源建设项目 (2021 年)	202111010800001089	已建成
4	新建回旋加速器及配套放射性同位素实验室项目	京环审[2022]129号	已建成
5	北京大学使用射线装置项目(2023)	202311010800003007	已建成
6	北京大学生命科学学院放射性开放性实验室退役项目	202311010800003816	已建成

7	北京大学使用射线装置及放射源建设项目(2023)	202311010800003918	已建成
8	新增非密封放射性物质科研场所	京环审[2024]136号	建设中
9	北京激光加速创新中心核技术利用项目	京环审[2025]65号	建设中

1.3.3 辐射安全管理情况

1.3.3.1 辐射管理机构基本情况

为了加强对辐射安全和防护管理工作，促进同位素和射线装置合法的使用，北京大学设有环境保护办公室、辐射防护室，设有专职工作人员，在辐射防护领导小组和辐射防护专业小组的领导下，协调、完成全校日常辐射防护工作。

北京大学辐射防护领导小组成员由各相关职能部门部长和各院系院长（主任）组成。辐射防护专业小组由专业性强、熟悉院系放射工作的教师组成，详见表 1-8。

为落实辐射防护具体工作，各涉源院系成立了相应的工作小组。该小组由分管安全的各院系主任担任小组组长，定期与校环境保护办公室、辐射防护室沟通工作方法和意见，保证辐射防护工作安全、顺利、有效地进行。本项目建成后由北京大学未来技术学院（以下简称“未来技术学院”）具体管理。

表 1-8 北京大学辐射防护领导小组成员名单

序号	人员类别	姓名	职务或职称	工作部门	专/兼职
1	组长	张平文	副校长	党办校办	兼职
2	副组长	刘克新	部长	实验室与设备管理部	兼职
3	成员	韦宇	副部长	科学研究院	兼职
4	成员	云虹	院长	北京大学医院	兼职
5	成员	宁杰远	副院长	地球与空间科学学院	兼职
6	成员	吕明泉	副院长	化学与分子工程学院	兼职
7	成员	张通	副院长	工学院	兼职
8	成员	李焱	副院长	物理学院	兼职
9	成员	李恩敬	主任	环境保护办公室	专职
10	成员	廖安	副部长	保卫部	兼职

11	成员	崔剑锋	副院长	考古文博学院	兼职	
12	成员	陆克定	党委副书记	环境科学与工程学院	兼职	
13	成员	吴军	副部长	房地产管理部	兼职	
14	成员	金鑫	副院长	城市与环境学院	兼职	
15	成员	崔宏伟	副处长	医学部设备与实验室管理处	兼职	
16	成员	谢冰	副院长	信息科学技术学院	兼职	
17	成员	彭宜本	副院长	生命科学学院	兼职	
18	成员	欧阳晓玲	副院长	现代农学院	兼职	

1.3.3.2 制定规章制度及落实情况

北京大学已制定较为完善的辐射安全管理制度，并严格按照规章制度执行，具体包括：《北京大学辐射安全与防护管理办法》《辐射防护岗位职责》《北京大学涉源单位安全保卫职责规定》《北京大学辐射工作人员安全与职业健康管理实施细则》《北京大学放射性同位素与射线装置台账管理制度》《北京大学辐射安全事故应急预案》《北京大学废旧放射源和放射性废物管理和处置规定》《化学与分子工程学院放射安全和防护管理相关制度》《物理学院辐射安全和防护管理相关制度》《生命科学学院辐射安全和防护管理相关制度》《城市与环境学院辐射安全和防护管理相关制度》《环境科学与工程学院辐射安全和防护管理制度》《考古文博学院辐射安全和防护管理相关制度》《实验动物中心辐射安全与防护管理制度》《工学院放射安全和防护管理相关制度》《地空学院放射安全和防护管理相关制度》《北京大学医院放射安全和防护管理相关制度》《北京大学信息科学与技术学院辐射装置安全与防护安全管理相关制度》等制度。

1.3.3.3 工作人员考核情况

北京大学制定了辐射工作人员培训计划，目前北京大学辐射工作人员共计305名（除77名老师外，其余为学生），已全部完成生态环境部门认可的电离辐射安全与防护考核，且获得合格证书。《北京大学辐射工作人员安全与职业健康管理实施细则》（校发[2015]1号）中规定新上岗辐射工作人员和现持有辐射安全培训合格证书到期的人员，必须通过生态环境部认可的辐射安全与防护考核且考核合格后，方可从事辐射工作。

今后，全校将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，考核通过后方可上岗。

1.3.3.4 个人剂量监测

北京大学委托有资质单位承担辐射工作人员的个人剂量监测工作，监测频度为每 3 个月检测一次。在岗的辐射工作人员均已按照规范佩戴了个人剂量计，在个人剂量计佩戴时间每次届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案。根据北京大学 2024 年度个人剂量检测结果表明，全校辐射工作人员的最高值为 0.805mSv/a，未超过年剂量管理目标值。

单位设置专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告单位辐射安全防护领导小组。

单位今后将加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

1.3.3.5 工作场所及辐射环境监测

北京大学定期对现有辐射工作场所进行辐射水平监测。同时，每年委托有资质单位进行一次辐射工作场所和周边环境监测，监测数据记录存档。查阅 2024 年度辐射工作场所监测报告，由监测报告可以看出，北京大学辐射工作场所及周围环境辐射水平满足相关标准要求。

单位已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-9。

表 1-9 北京大学现配有辐射监测仪器清单

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	备注
1	X- γ 剂量率仪	BH3103B	2017-03-24	正常	1	
2	表面污染检测仪	RAM-SURF-1	2011-01-01	正常	3	
3	表面沾污仪	RadEye B20	2019-12-06	正常	1	
4	辐射监测仪	INSPECTOR.EX P	2011-01-01	正常	3	
5	辐射检测仪	Surveyor 200 0	2002-01-01	正常	3	
6	个人剂量报警仪	BH3084	2017-03-10	正常	4	

7	个人剂量率仪	RadEye G-10	2019-12-06	正常	3	
8	个人剂量仪	PDM-117	2002-01-01	正常	3	
9	环境 γ 辐射检测仪	FD-3013B	2013-01-01	正常	1	
10	辐射剂量报警仪	RG1000	2020-08-21	正常	1	
11	辐射剂量报警仪	RG1000	2021-09-01	正常	2	
12	个人辐射剂量计	SOEKS	2021-10-15	正常	1	
13	辐射剂量报警仪	SMACH-RG1000	2021-10-15	正常	1	
14	γ 剂量仪探头	DG1305	2009-12-01	正常	1	
15	中子雷姆探测器	FJ1903A	2009-12-01	正常	1	
16	个人剂量仪	PM1621	2006-06-01	正常	1	
17	个人剂量仪	PM1208	2006-10-01	正常	1	
18	手持式多功能沾污计量仪	Inspector Alert	2006-04-01	正常	1	
19	手持式碘化钠多道分析仪	ESPEC-2	2001-01-01	正常	1	
20	\times γ 辐射剂量率仪	FJ-1	2001-01-01	正常	1	
21	中子雷姆探测器	FJ1903A	2009-12-01	正常	1	
22	大面积 β γ 检查仪	FJ-402	2001-01-01	正常	1	
23	便携式 γ 监测器	1692	2001-01-01	正常	1	
24	工作场所 γ 监测器	AGM2	2000-11-01	正常	2	
25	环境中子监测器	ENM2	2000-11-01	正常	1	
26	便携式巡检谱仪	GR-135	2006-06-01	正常	1	
27	低能辐射仪	FJ-342	1980-01-01	正常	1	
28	个人剂量仪	PM1621	2006-06-01	正常	1	
29	X- γ 报警仪	FJ376G	2009-12-01	正常	1	
30	固定多路式监测报警器	RMS5120	2009-12-01	正常	1	
31	环境中子监测器	ENM3	2000-11-01	正常	3	
32	便携式巡检谱仪	GR-135	2006-06-01	正常	1	
33	γ 剂量仪探头	DG1305	2009-12-01	正常	1	
34	工作场所 γ 监测器	AGM3	2000-11-01	正常	4	
35	红外对射防盗系	ALEPH	2003-09-01	正常	1	

	统					
36	便携式辐射检测仪	Radeye G-10	2022-01-01	正常	1	
37	个人剂量计	PDM-227	2022-01-01	正常	1	
38	表面污染仪	como170	2022-01-01	正常	1	
39	辐射报警检测仪	Inspector TM	2022-01-01	正常	1	
40	热室 γ 剂量率探头	2	2022-01-01	正常	2	
41	便携式中子剂量率仪	Ludlum 2241- 4 (42-31H)	2022-01-01	正常	1	
42	便携式 γ 剂量率仪	RadEye G-10	2022-01-01	正常	1	
43	个人剂量报警仪	EPD TruDose- β γ	2022-01-01	正常	3	
44	个人剂量报警仪	PDM-227C	2022-01-01	正常	3	
45	固定式 γ 剂量率监测系统 (4 探头)	WF-PTM-K	2022-01-01	正常	1	
46	便携式 γ 剂量率仪/沾污仪	Ludlum 2241- 2 (44-9/133)	2023-01-01	正常	2	

单位现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，待本项目建设完成后，将纳入单位辐射监测计划，一并按照现有的频度开展。

1.3.3.6 辐射事故应急管理

北京大学依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位《北京大学辐射安全事故应急预案》，以保证本单位一旦发生辐射意外事件时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康部门报告。

已针对上述许可使用中可能发生的放射性污染以及大剂量照射等事故/事件，制定了每年一次的演练计划。为规划和加强放射突发事件应急处理能力，同时最大程度地降低放射事件可能造成的后果，保障辐射工作人员及公众的生

命安全，于 2024 年 11 月 7 日下午 15 点，应用化学系举行了放射性工作场所火灾事故消防演练。共有在放射性开放实验室工作和学习的 25 名师生参加了此次演练。本次演练模拟了放射性开放实验室 150-14 房间火灾事故及应急响应，对事故上报、应急预案启动、人员疏散、现场控制、火情处置等环节进行了演练。通过本次消防演练，提高了放射性开放实验室室内师生的安全意识，提升了工作人员对突发事件的自救逃生能力和放射性开放实验室处置火灾突发事件的应变组织能力，达到了演练的预期目的，为保证辐射环境安全打下了坚实基础。

1.3.3.7 年度辐射安全评估报告落实情况

北京大学较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2024 年度评估报告。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
	以下无内 容							

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
	以下无内容									

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器: 包括医用、工农业、科研、教学等各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量(MeV)	额定电流(mA)/剂量率(Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	电子加速器辐照装置	II	1	FYMA025100	电子	2.5	40mA	辐照	电子加速器辐照室	
	以下无内容									

(二) X 射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	用途	工作场所	备注
	以下无内容								

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大靶电流(μA)	中子强度(n/s)	用途	氚靶情况			备注
									活度(Bq)	贮存方式	数量	
	以下无内容											

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
O ₃ 和 NO _X	气态	/	/	/	少量	/	直接排放	环境大气
以下无内容								

注：1. 常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m³；年排放总量用kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m³）和活度（Bq）。

表6 评价依据

法规文件	(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号，2015年1月1日起实施。
	(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018年12月29日修订并实施。
	(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起实施。
	(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第682号修订，2017年6月21日公布，2017年10月1日起实施。
	(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第709号第二次修订，2019年3月2日第二次修订版公布并实施。
	(6) 《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，2020年11月30日公布，2021年1月1日起实施。
	(7) 《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9月20日公布，2019年11月1日起施行。
	(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施。
	(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第18号令，2011年4月18日公布，2011年5月1日起实施。
	(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，原环境保护部、原国家卫生计生委公告第66号，2017年12月5日。
	(11) 《关于发布放射源分类办法》的公告，原国家环保总局公告，2005年第62号，2005年12月23日。
	(12) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4号，2017年11月20日。
	(13) 原北京市环境保护局办公室《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24号，2018年1月25日。

	<p>(14) 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告（十五届）第 61 号，2021 年 9 月 24 日修订版公布并实施。</p> <p>(15) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号。</p> <p>(16) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年 2 月；</p> <p>(17) 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日。</p> <p>(18) 《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告 2021 年第 9 号，2021 年 3 月 11 日。</p> <p>(19) 《产业结构调整指导目录（2024 年）》，国家发展和改革委员会 2023 年第 7 号令，2024 年 2 月 1 日起施行。</p> <p>(20) 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》，北京市人民政府办公厅，京政发办〔2022〕5 号，2022 年 2 月 14 日起施行。</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）</p> <p>(2) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）</p> <p>(4) 《粒子加速器辐射防护规定》（GB 5172-85）</p> <p>(5) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）</p> <p>(6) 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）</p> <p>(7) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）</p> <p>(8) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）</p> <p>(9) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）</p>
其他	(1) 原国家环境保护局监督管理司，《中国环境天然放射性水平》，1995 年 8 月。

- (2) NCRP Report No.51: Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100MeV Partical Accelerator Facilities, 1977。
- (3) 《辐射防护基础》，李星洪等编，原子能出版社，1982 年。
- (4) 《辐射安全手册》，潘自强等编，科学出版社，2011 年。
- (5) 王时进等，辐射所致臭氧的估算与分析。中华放射医学与防护杂志，1994 年 4 月第 14 卷第 2 期。
- (6) 北京大学提供的与本项目相关的申请和技术资料，2025.11。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为电子加速器辐照室使用 1 台 2.5MeV 的电子加速器辐照装置，在操作过程中对周围环境以及工作人员、公众等产生的辐射影响进行分析。

7.1.2 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) 的规定，并结合该项目辐射为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定本项目评价范围为：以电子加速器辐照室（含辐照室和主机室）控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示，本项目相关场所控制区周围 50m 范围内，无敏感目标，主要为分子探针平台所在的综合实验楼。

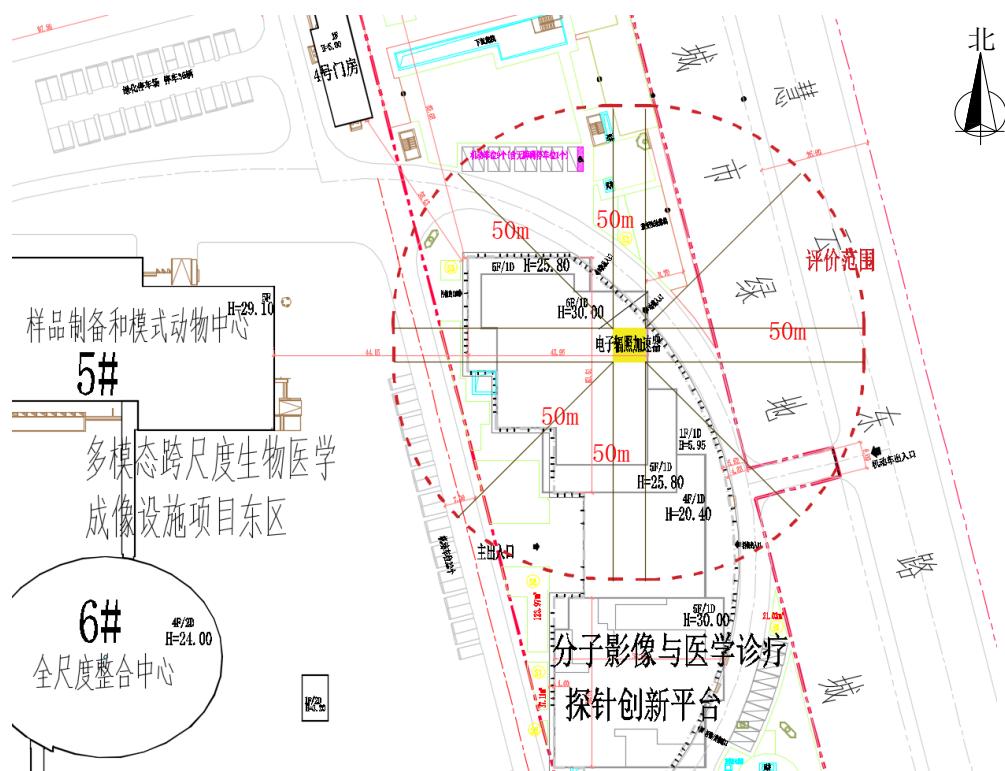


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

- (1) 屏蔽是否满足国家相关标准的要求。

(2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足使用射线装置的要求。

7.1.4 评价因子

本项目的环境影响评价因子主要为电子、X射线、臭氧。

7.1.5 评价目的

(1) 评价建设项目在运行过程中对辐射工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

(2) 评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境行政主管部门管理提供依据；

(3) 通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；

(4) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“合理可行、尽量低的水平”；

(5) 为北京大学的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.2 保护目标

本项目电子加速器辐照室（控制区含辐照室、主机室）位于综合实验楼（地下1层，地面6层）北侧东部的地下一层、一层、二层（跨3层），辐照室位于地下一层，主机室位于地上一层（主机室的楼顶上方为三层地面），归属于活体化学与探针技术平台管理。

辐照室东侧紧邻排烟机房，之外为地下土层，南侧50m之内为走道、公共平台的实验室、库房、进风机房换热站等，西侧50m之内为控制室、液体输送间、走廊、动物实验区、污水泵房、排烟机房等，北侧50m之内为排风井、走道、电梯间、卫生间、衰变池、空调机房、GMP区等，楼上是主机室。主机室一层东侧紧邻排风井、汇流排间，之外为楼外，南侧50m之内为公共平台区透射电镜室、扫描电镜室、质谱平台等，西侧50m之内为辅机室、走廊、公共平台的放药质控区等，北侧50m之内为排风井、动物梯厅、库房、试剂暂存间、配电，楼外通道等；主机室上空二层区域东侧楼外，南侧50m之内为多模态影像实验平台的元素分析室、超分辨率靶向技术验证室、小分子合成室、空调机房等，西侧50m之内为试剂暂存间、细胞间、准备间、多模态低温实验室、原核真核表达室等，北侧50m之内为排风井、动物梯、楼外等，楼上是化学与

探针技术平台的走廊、清洗间、饲料暂存、缓冲间、动物给药后观察室。周围50m范围内除了西侧有多模态跨尺度生物医学成像设施项目东区停车位和东侧慧云东路部分区域外，其他三面都是平台内部。根据项目特点及周围毗邻关系，确定主要环境保护目标为评价范围内工作人员，以及场所周围活动的公众人员。新建周围敏感点情况见表 7-1。

表 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

场所名称	保护目标	距离 (m)	常居留数量 (人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
电子加速器辐照室	公众	0~50	0	东侧	排烟机房、院内通道、绿化区、慧云东路等
	公众（平台其他工作人员）	0~50	30	南侧	公共平台的透射电镜室、扫描电镜室、质谱平台、实验室、库房；多模态影像实验平台的元素分析室、超分辨靶向技术验证室、小分子合成室，空调机房，进风机房，换热站等
	本项目工作人员	紧邻	2	西侧	控制室、液体输送间、辅机室
	公众（平台其他工作人员）	3~30	20		公共平台的放药质控区走廊、动物实验区，多模态影像实验平台的试剂暂存间、细胞间、准备间、多模态低温实验室、原核真核表达室等，污水泵房、排烟机房等
	公众	30~50	0		多模态跨尺度生物医学成像设施项目东区停车位、绿化区等
	公众（其他工作人员）	0~50	10	北侧	公共平台的 GMP 区、库房、试剂暂存间等，排风井、走道、电梯间、卫生间、衰变池、空调机房、配电，楼外通道等
	公众（平台其他工作人员）	紧邻	2	楼上	化学与探针技术平台的走廊、清洗间、饲料暂存、缓冲间、动物给药后观察室



图 7-2 本项目电子加速器辐照室地下一层辐照室周围关系图



图 7-3 本项目电子加速器辐照室一层主机室周围关系图

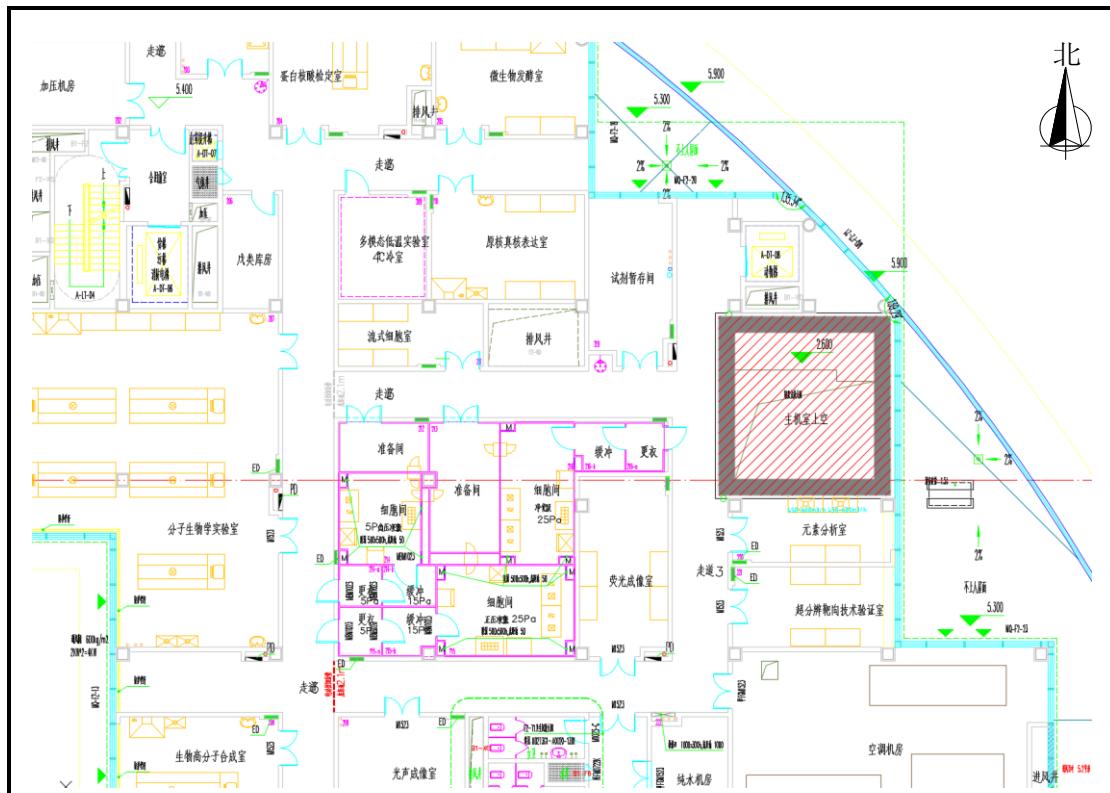


图 7-4 本项目电子加速器辐照室主机室上空二层区域周围关系图

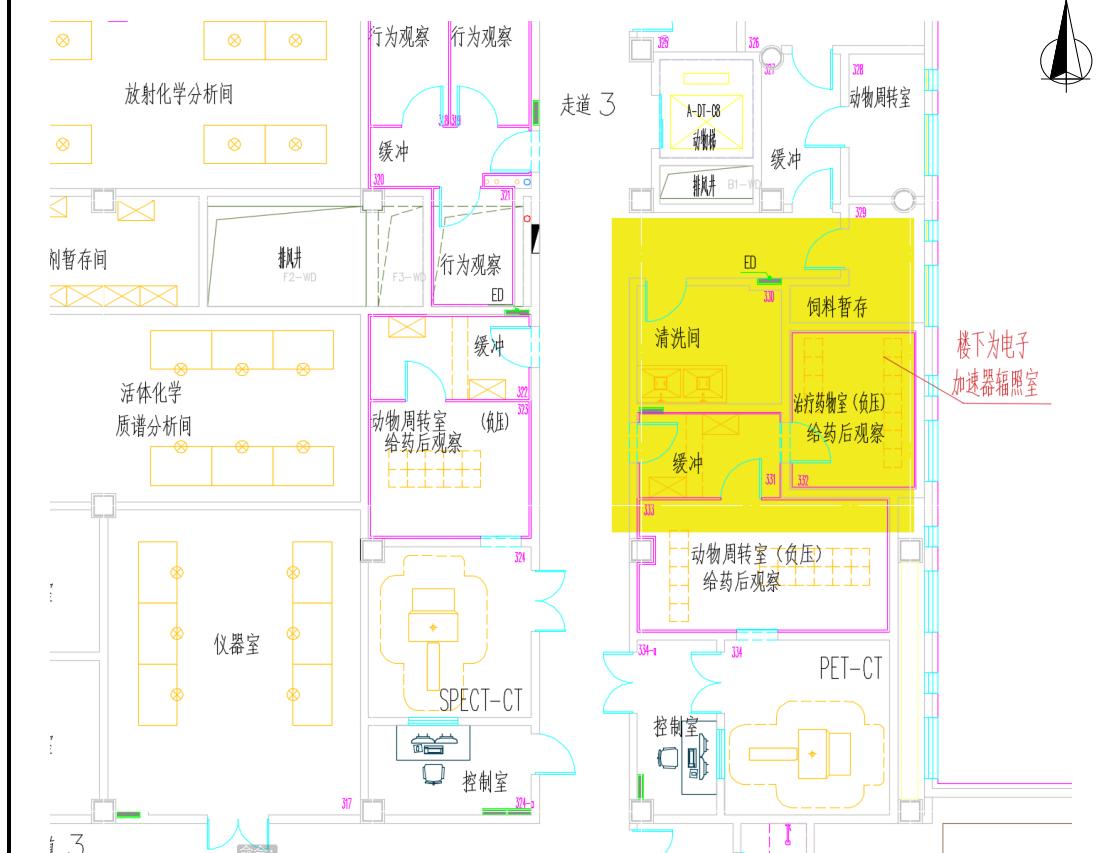


图 7-5 电子加速器辐照室楼上三层周围关系图

7.3 评价标准

7.3.1 基本剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准(GB18871-2002)规定的剂量限值列于表 7-2。

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

职业工作人员	公众
连续五年平均有效剂量 20mSv, 且任何一年有效剂量 50mSv	年有效剂量 1mSv; 但连续五年平均值不超过 1mSv 时, 某一单一年可为 5mSv
眼晶体的当量剂量 150mSv/a 四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a

7.3.2 剂量约束值

职业照射, 本项目辐射工作人员取 2mSv/a 作为剂量约束值; 公众照射, 本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

7.3.3 辐射工作场所边界周围剂量率控制水平

对于本项目, 要求在满足上述年剂量约束值的同时, 电子加速器辐照室外 30cm 人员可达处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

7.3.4 非放射性控制值

(1) 室内空气质量

根据 GBZ2.1-2019, 工作场所空气中 O_3 和 NO_2 的浓度限值分别为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行 GB3095-2012 《环境空气质量标准》中的二级浓度限值, 臭氧的 1 小时平均浓度 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$, NO_2 的 1 小时平均浓度 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

评价单位委托有资质单位于 2025 年 8 月 22 日对本次新增的辐射工作场所周围进行了 γ 辐射空气吸收剂量率监测，检测报告见附件 4。

8.1.1 监测项目

γ 辐射空气吸收剂量率。

8.1.2 监测对象及点位布设

监测对象：本次监测针对拟建场所周边进行环境辐射现状监测。

监测点位：本次监测对拟建场所在区域及周边进行环境地表 γ 辐射，监测点位布设见图 8-1 和图 8-2。

8.1.3 监测仪器及方法

(1) 监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8-1。

(2) 监测方法

γ 辐射剂量率：采用便携式监测仪表，以定点的测量方式进行。监测时每点测量 10 次，每次间隔 10 秒钟，取平均值。

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书、有效日期	主要技术性能指标
X、 γ 剂量率仪	GH-102A /20170404	DLjl2025-03238 、2025-3-13~ 2026-3-12	测量范围：0.01 μ Gy/h~100 μ Gy/h; 能量范围：30keV~8MeV; 相对响应之差： $<\pm 15\%$ 。

8.1.4 监测依据

- 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；
- 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

8.1.5 监测结果

本项目周围 γ 辐射空气吸收剂量率的监测数据见表 8-2。

表 8-2 辐照室及周围剂量当量率检测结果

场所名称	点位序号	测点描述	辐射剂量率（ μ Gy/h）
辐照室及周围	B31	拟建加速器辐射室	0.07 \pm 0.01
	B32	走道	0.08 \pm 0.01

	B33	走道	0.08±0.01
	B34	拟建控制室	0.08±0.01
	B35	走道	0.08±0.01
	B36	排烟机房	0.08±0.01
主机室及周围	D30	拟建主机室	0.09±0.01
	D31	动物梯厅	0.07±0.01
	D32	拟建辅机室	0.07±0.01
	D33	拟建辅助设备机房	0.07±0.01
	D34	拟建透射电镜室	0.08±0.01
	D35	汇流排间	0.07±0.01

注：检测结果包含检测仪器在检测点处的宇宙射线响应值（0.03 μ Gy/h）。

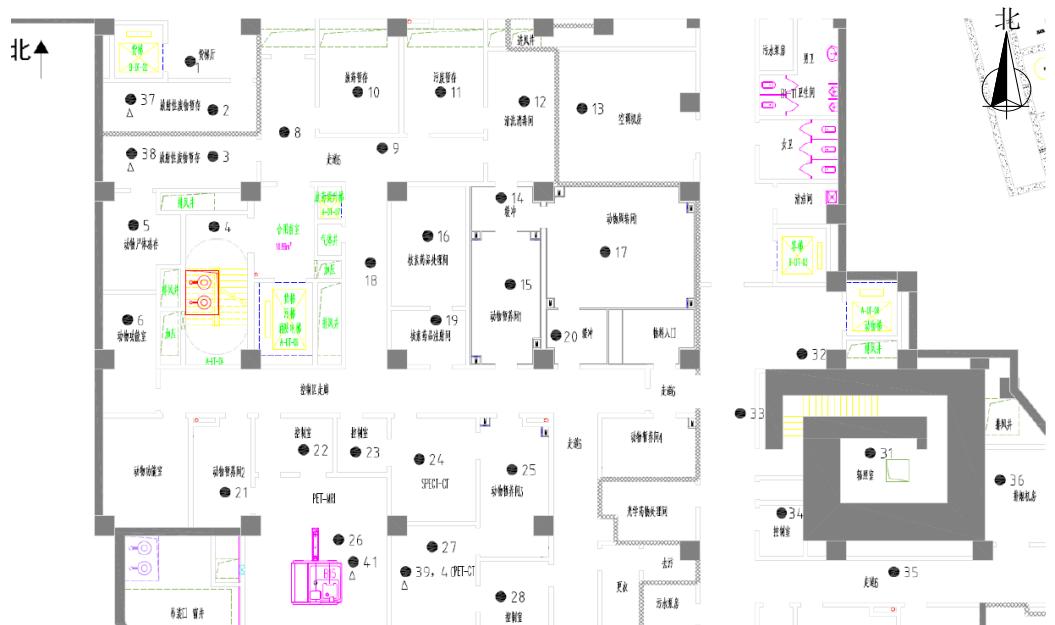


图 8-1 辐照室及周围检测点位布局图

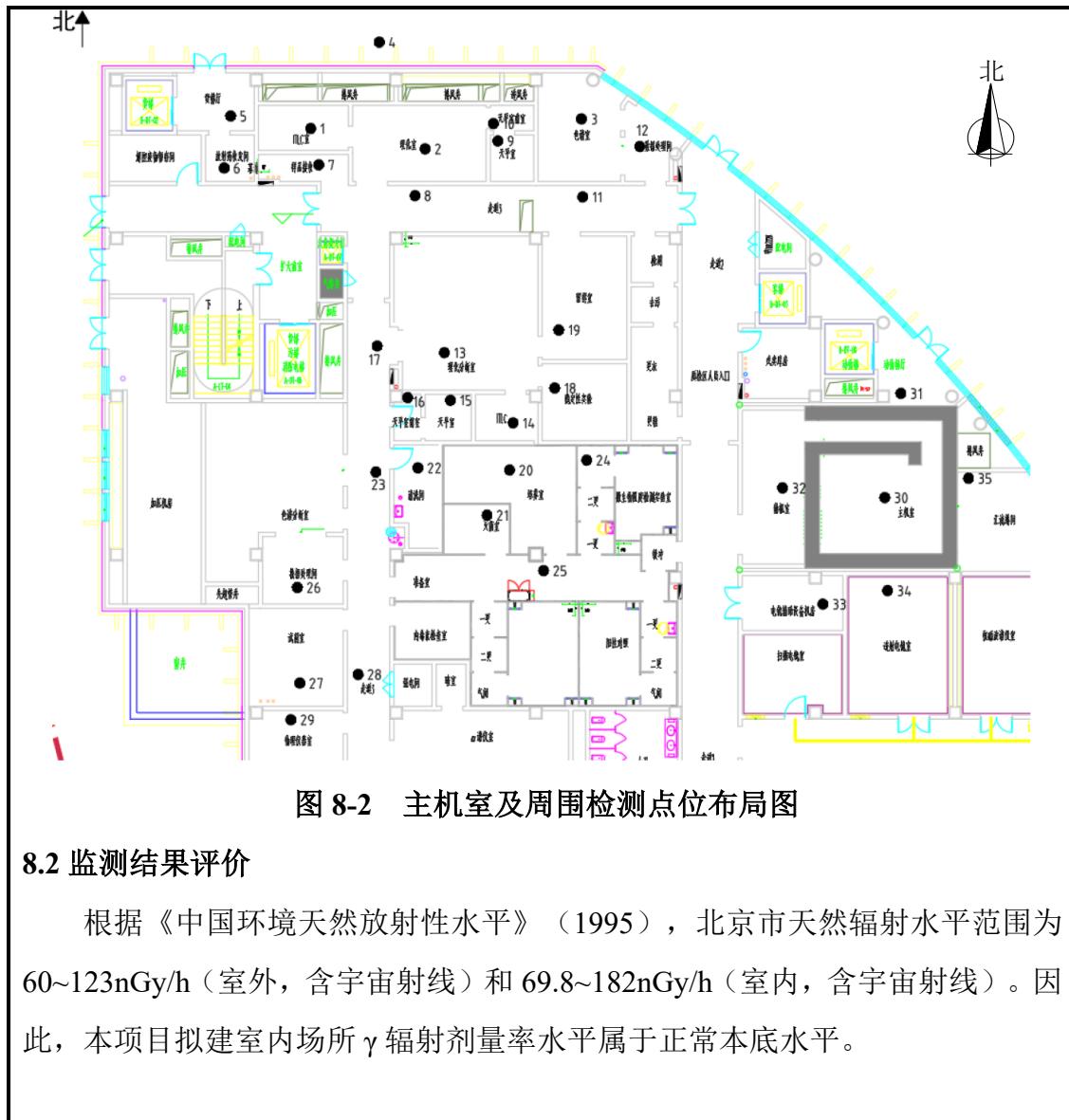


图 8-2 主机室及周围检测点位布局图

8.2 监测结果评价

根据《中国环境天然放射性水平》（1995），北京市天然辐射水平范围为 60~123nGy/h（室外，含宇宙射线）和 69.8~182nGy/h（室内，含宇宙射线）。因此，本项目拟建室内场所 γ 辐射剂量率水平属于正常本底水平。

表9 项目工程分析与源项

9.1 电子加速器辐照装置

活体化学与探针技术平台电子加速器辐照室拟新增1台FYMA025100型电子加速器辐照装置，用于模拟电子或模拟光子同步放化疗与活体化学实验，研究高能电子辐照在中型到大型动物的活体化学效应，还可用于体外模拟探针的内照射生物效应等机理研究。该电子加速器辐照室位于地下一层，主机室位于一层（主机室的楼顶上方为三层地面），主束往下照射，利用电子束进行产品辐照，其最大电子束能量为2.5MeV、束流强度为40mA，最大束流功率为100kW。

9.1.1 工作原理

电子加速器是带电粒子在高频电场加速下，沿直线轨道传输的加速器装置。高频加速电场可以分为行波场和驻波场，加速电场为横磁波TM01模，在轴线上存在较强的电场分量，因此可以与沿Z轴方向运动的电子束交换能量，使电子加速。高频变压器和高频电极及其对钢筒、倍压器芯柱之间形成的分布电容组成振荡器，高频振荡器与装在加速器内的槽路线圈、射频电极、反馈电容等所构成的外振荡槽路一起构成高频振荡，产生加速器所需要的高频功率。这一高频电压通过高频电极与芯柱上的半圆电晕环间的分布电容和芯柱内的整流硅堆组成的并联耦合串联倍压系统，在高压电极上产生所需的直流电压。从高压电极内的电子枪产生的电子流在此负极性电压作用下通过加速管时得到加速，达到所设计要求的速度（能量），按预定方向直接引出。

电子直线加速器的特点是射线能量较高（穿透力强）、剂量率大，可用于干细胞相关实验（骨髓移植及分化，饲养层细胞制备、细胞诱变等）、DNA损伤、Cell cycle、细胞培养、血制品照射、肿瘤、信号转导、免疫、基因治疗、放射生物学、药物研发等生物技术研究。该电子加速器辐照室位于地下一层，主机室位于一层，主束只往下照射。其系统示意如图9-1。

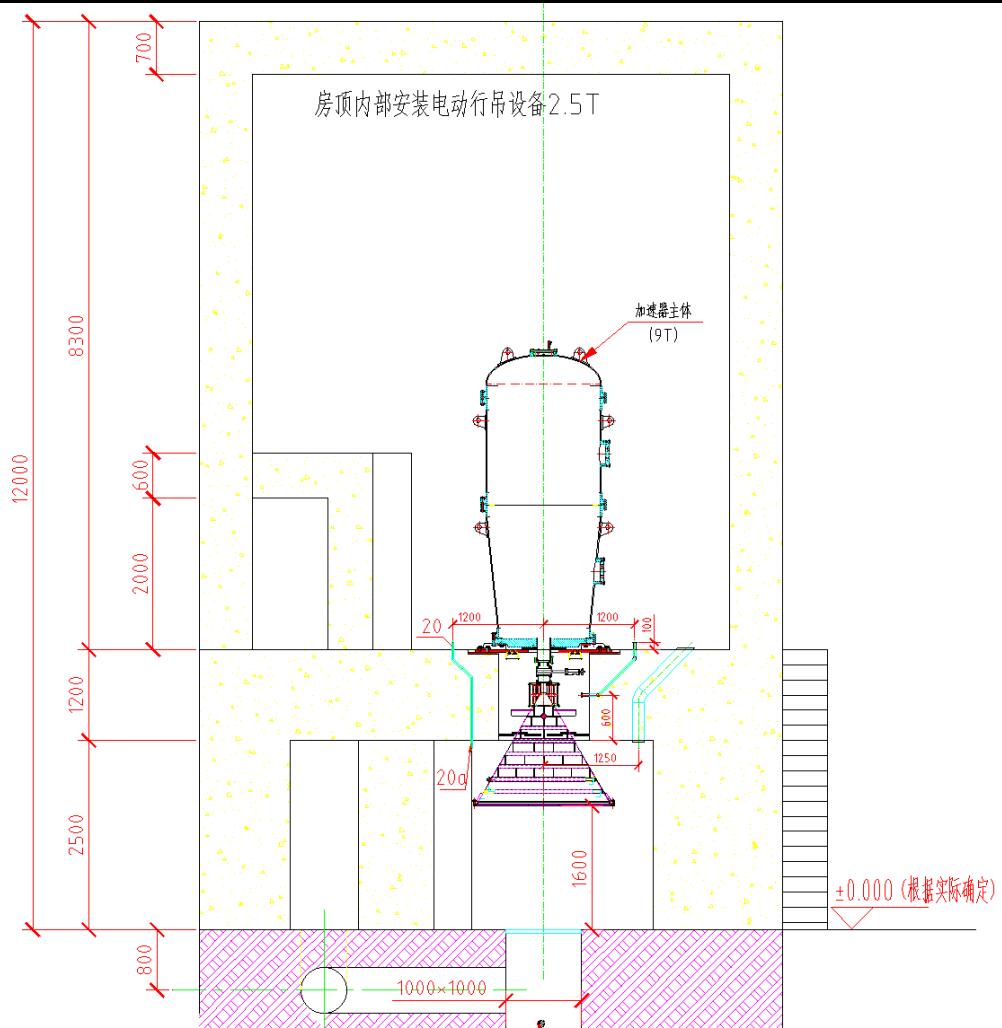
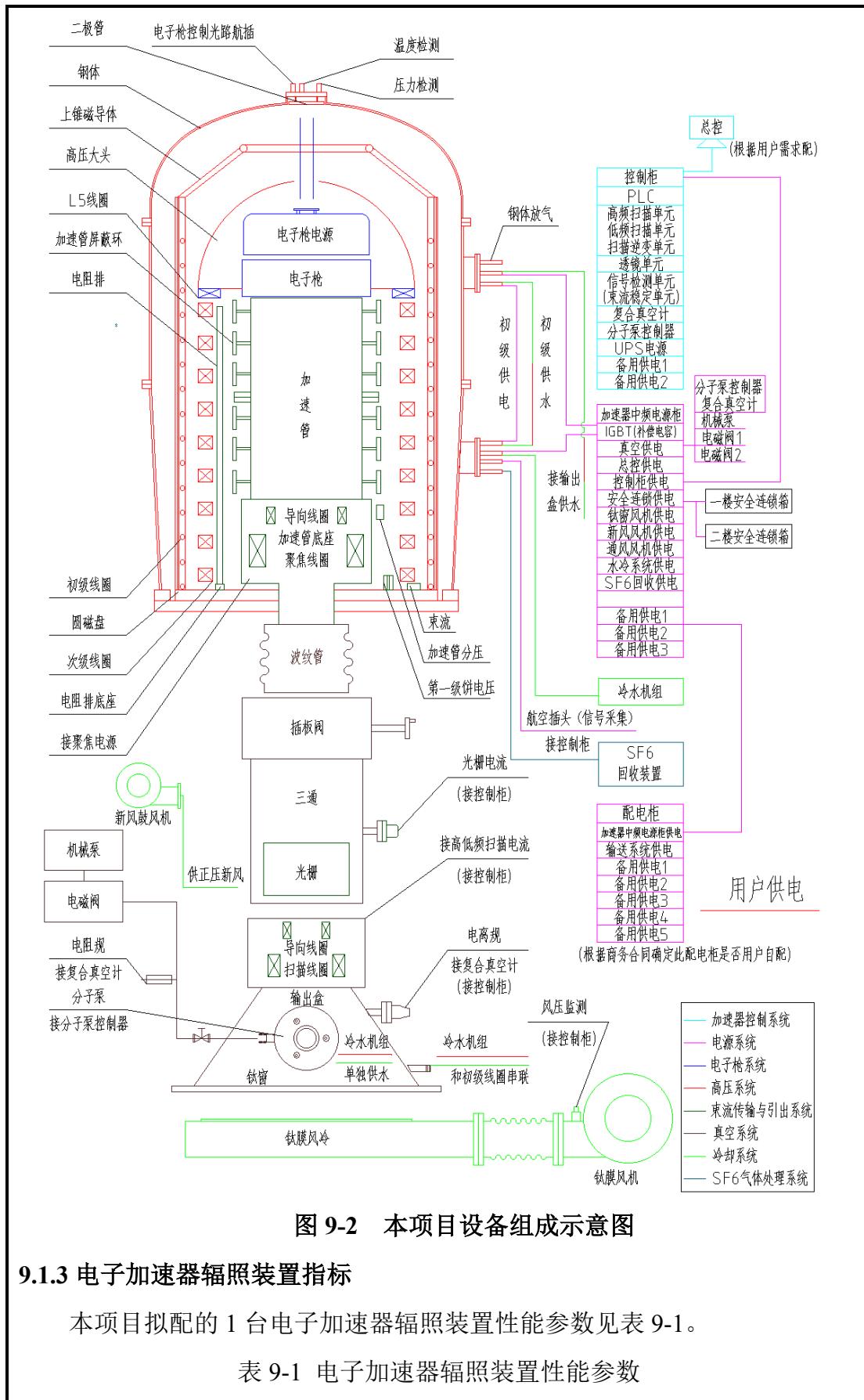


图 9-1 电子加速器系统工作示意图

9.1.2 设备组成

电子加速器系统主要由加速器控制系统、电源系统、电子枪系统、高压系统、束流传输与引出系统、真空系统、冷却系统、SF₆气体处理系统等部分组成，组成示意图见图 9-2。加速器的主体部分机头内装有电子枪、驻波加速管、聚焦线圈、微波功率源、微波功率传输系统、波导供气系统、射线准直及屏蔽装置、激光定位装置、剂量测量探头和控制电路等部分。



序号	指 标	技术参数
1	型号及名称	FYMA025100 型电子加速器辐照装置
2	射线种类	电子线
3	最高能量（连续可调）、束流强度、最大功率	2.5MeV/40mA, 最大束流功率为 100kW
4	1m 处主射束最大夹角	30°

9.1.4 操作流程

本项目电子加速器辐照装置操作如下：

（1）开机

1) 授权人员不能随意开机，特别是不得开启“出束”按钮。开机时需有不少于两名辐射工作人员，并按操作规程操作。

2) 检查机械泵、分子泵运行情况，复合真空计的真空情况，确认正常。

3) 检查配电柜空气开关、接地器开关正常。启动上电开关按钮，主控台电脑自行启动。

4) 电脑启动完成后，打开加速器软件，检查软件上的显示是否正常，如“硬保护 UPU 界面”水路状态、温度显示、SF6 压力显示等。

5) 确认水路阀门打开，检查水冷机组水位正常，启动水冷机组。检查各水路压力及有无漏水情况。

6) 检查束下线系统运转正常，水负载水路正常。

7) 携带便携式个人剂量报警仪巡检主机室，检查拉绳开关、防误入等安全联锁装置是否正常并按序按动巡检按钮，巡查有无人员误留。在确认主机室内无人员后，关闭主机室屏蔽门（平常主机室门属于常闭状态）。

8) 再次检查软件上的显示是否正常。按照工作要求，选取加速器“正常模式”工作，其余模式与正常模式操作类似。

9) 在主界面点击“启动变频电源”->“启动扫描”->“启动开机报警”，变频电源、臭氧风机、钛膜风机开始启动。在此过程中可观察启动前后显示状态的变化，查看监控内有无异常。

10) 在主界面有能量(MeV)、束流 (mA)、HF 扫描宽度 (%)、LF 扫描宽度 (mm)、LSU 聚焦强度(%)5 个数值输入框, 根据需要输入数值, 调节能量与束流等。

11) 电子加速器配备传送带系统, 传送带系统由电脑控制, 以特定速度连续经过电子加速器出束口。待辐照物品置于托盘中, 放置在传送带上等待辐照。在辐照过程中, 电子加速器的电子枪部分处于静止状态, 仅传送带部分运动。

12) 升到预定值, 待能量、束流参数稳定后, 将钥匙旋至“开”的位置, “准备好”灯亮起, 室内和机房门外的报警系统应响铃 10 秒, 10 秒后方可系统面板进一步“确认”以运行加速器。

13) 按“出束”开始出束, 达到预置剂量后, 自动停束, 加速器辐照结束后, 报警系统响铃, 需手动确认辐照结束, 响铃才会停止, 此时“完成”灯亮, 将“钥匙”旋至“关”, 按“完成”按钮清零, 通过电脑控制进行下一个辐照物品, 开始下一次照射, 出束过程室内和机房门外红灯亮、蜂鸣器响。

(2) 停束

1) 停束时, 在主界面数值输入框将能量与束流降下来, 后点击“关闭加速器”, 此时加速器将停止工作。

(3) 关机

1) 关机时, 点击“关闭加速器”, 加速器停止工作, 点击“关闭变频电源”、“退出”。变频电源、钛膜风机, 臭氧风机停止工作, 将加速器软件退出。

2) 关闭操作电脑, 关闭上电开关按钮。

3) 关闭配电柜的空气开关等。

4) 关闭水冷机组, 关闭水负载水路, 关闭束下线电源。

本项目电子加速器辐照装置工艺流程如下:

- (1) 对待辐照产品进行直观评价, 入库;
- (2) 确定产品密度范围, 确定装箱模式, 编排辐照计划;
- (3) 将待辐照的产品拿到辐照室内, 放置于束下装置的台上, 然后传输到辐照区域, 同类型的束下装置示意图见图 9-3;

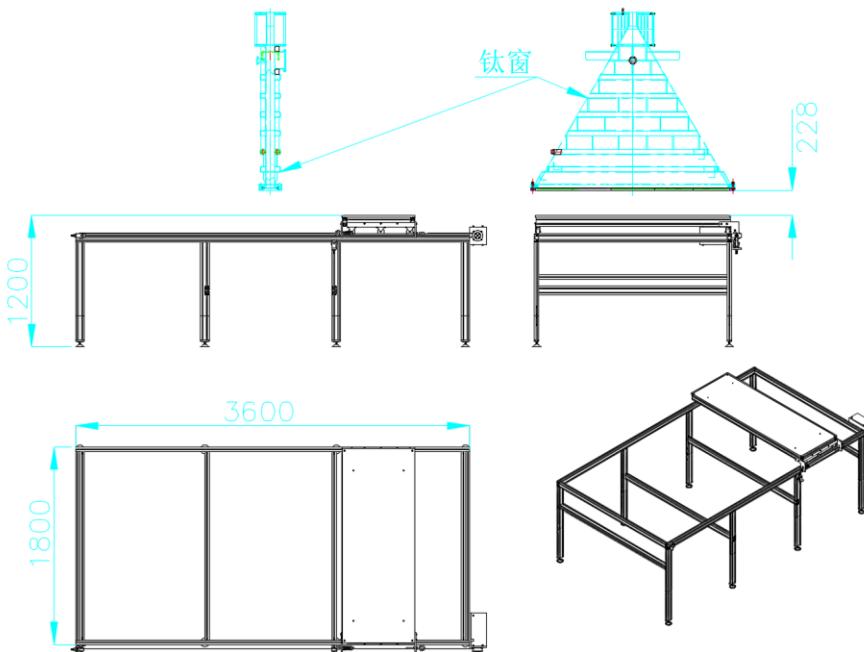


图 9-3 同类型的束下装置示意图

(4) 开机前, 操作人员巡检辐照室, 确定照射室内无人, 确定所有安全联锁装置、臭氧排风系统、加速器冷却系统和照射室内照明、监视器工作正常; 并打开声光警示;

(5) 核算好产品辐照所需的剂量后, 将所有安全装置复位后, 启动加速器电源, 调节到所需时间后, 辐照完成后关机;

(6) 照射完毕后, 工作人员佩戴个人剂量报警仪和个人剂量计进入辐照室, 从束下装置的台上取下产品, 然后装上新的需照射的产品。

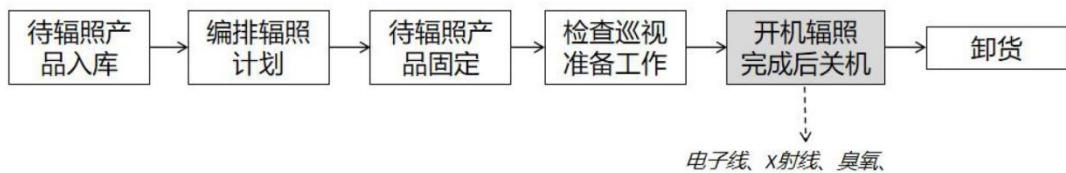


图 9-4 本项目的电子加速器辐照装置操作过程及其产污环节示意图

9.1.5 辐照工况、操作方式及工件情况

1. 辐照工况

电子加速器都是每个样品分别出束照射, 经常处于待机状态, 主射方向均为定向朝地面, 每个样品一般辐照几秒, 最多不会超过 1 分钟, 保守加速器每天最大辐照 100 个样品, 每年最多工作 250 天, 年出束时间最大不超过 417h。

2、操作方式

需辐照的产品准备完毕后,位于地下一层辐照室旁控制室的操作人员控制加速器的启动和关闭。每次加速器开机运行之前,操作人员关闭加速器高压后才能进入辐照室内,依次按下迷道内的巡检开关,此时,加速器无法开机;

操作人员在辐照室内巡检完毕后出迷道口依次按下巡检开关后,在控制台进行光电感应系统、巡检系统、急停系统等安全装置的复位操作,加速器才能开机运行。此时所有电气联锁、传输系统联锁、门灯联锁、门机联锁,防人误入装置、辐照室内臭氧排放风机启动且正常运转、安全联锁警示灯、警铃、紧急停机按钮等处于正常状态。加速器进行远程操作。

一层主机室常年上锁,除检修以外,不得进入。检修人员检修时需拔出控制台上的钥匙才能打开主机室防护门,进入主机室后,检修人员按下巡检开关,此时,加速器无法开机;检修人员在检修完毕后走出迷道后,在控制台插入钥匙,进行光电感应系统、巡检系统、急停系统防人误入装置,等安全装置的复位操作,加速器才能开机运行。

3、工件情况

本项目电子加速器辐照的工件对象主要是干细胞及其他各类产品,产品的大小和形状不定,根据实际情况确定辐照装箱模式(箱盒式或者散装)。

9.1.6 污染源项描述

电子束在材料中有确定的射程,它正比于电子的初始能量而反比于吸收材料的密度。辐照加工直接应用电子束照射,电子的贯穿能力较弱,能量为2.5MeV的电子在混凝土中的射程只有几厘米。所以,几厘米厚度的混凝土就可以屏蔽电子。电子加速器辐照装置的电子束与受照物体作用,大部分转化成热能,一部分转换为轫致辐射。本项目产生的污染物为电子束及其轰击受照物体产生的X射线,以及辐解空气产生O₃和NO_x等有害气体。X射线最大能量相当于入射电子的最大能量,X射线具有较强的贯穿能力,所以X射线是加速器运行中的主要的环境影响因子。

由X射线装置的工作原理可知,X射线装置的辐射是随机器的开、关产生和消失。因此,单位使用的电子加速器辐照装置在非使用状态下不产生射线,只有在开机并处于出线状态时才会发出X射线。因此,在开机期间,X射线

成为污染环境的主要因子。

本项目 X 射线能量不高于 2.5MV，故无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线。

因此，本项目加速器的主要污染因子为直线加速器在开机期间 X 射线，其次为臭氧和氮氧化物等。X 射线辐射只有在加速器运行时产生，停机后就消失。加速器运行产生的 X 射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境。

（1）正常工况时的污染途径

1) 直线加速器产生的轫致辐射 X 射线，这些射线经透射、漏射和散射，对工作场所及其周围环境产生辐射影响。

2) 空气在加速器电子线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用产生 O_3 和氮氧化合物等有害气体。

（2）事故工况下的污染途径

发生的事故工况主要有以下两种情况：

1) 门机联锁失效，工作人员误入电子加速器辐照室，受到额外的照射。

2) 射线装置正常工况下，门机联锁失效，铅防护门未完全关闭的情况下射线装置就能出束，致使 X 射线泄漏到电子加速器辐照室外面，给周围活动的人员造成额外的照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 工作场所项目辐射安全与防护

10.1.1 选址与布局

本项目电子加速器辐照室（控制区含辐照室、主机室）位于综合实验楼（地下 1 层，地面 6 层）北侧东部的地下一层、一层、二层（跨 3 层），辐照室位于地下一层，主机室位于地上一层（主机室的楼顶上方为三层地面）。

辐照室东侧紧邻排烟机房，南侧隔空井外为走道，西侧紧邻控制室、液体输送间、走廊，北侧为排风井、走道，楼上为主机室，无地下室；主机室一层东侧紧邻排风井、汇流排间，南侧紧邻透射电镜室、扫描电镜室控制室，西侧紧邻辅机室，北侧为排风井、动物梯厅、库房；主机室上空二层区域东侧为楼外，南侧紧邻元素分析室，西侧紧邻走廊，北侧为排风井、走廊，楼上为化学与探针技术平台的走廊、清洗间、饲料暂存、缓冲间、动物给药后观察室。电子加速器辐照室四周紧邻区域无敏感人员长期居留。

电子加速器辐照室已避开特殊人群及人员密集区域，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及应用的便利性，对公众影响较小。

10.1.2 辐射工作场所分区

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

本项目分区布置如下：

（1）控制区：辐照室、主机室，其运行过程中不允许任何人进入。

（2）监督区：控制室、液体输送间、辅机室，无关人员不允许进入。

控制区管理要求：控制区入口处明显位置粘贴电离辐射警告标志，装置运行期间禁止进入，仅经授权并解除联锁后才能进入控制区内，进入控制区的辐射工作人员须佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，拟在辐照室门口地面画警戒线，墙上写着尽快离开的提示。

监督区管理要求：监督区入口处设标牌标明监督区，需经授权方可进入，进入监督区的辐射工作人员须佩戴个人剂量计。

电子加速器辐照室平面图和剖面图见图 10-1~图 10-5。

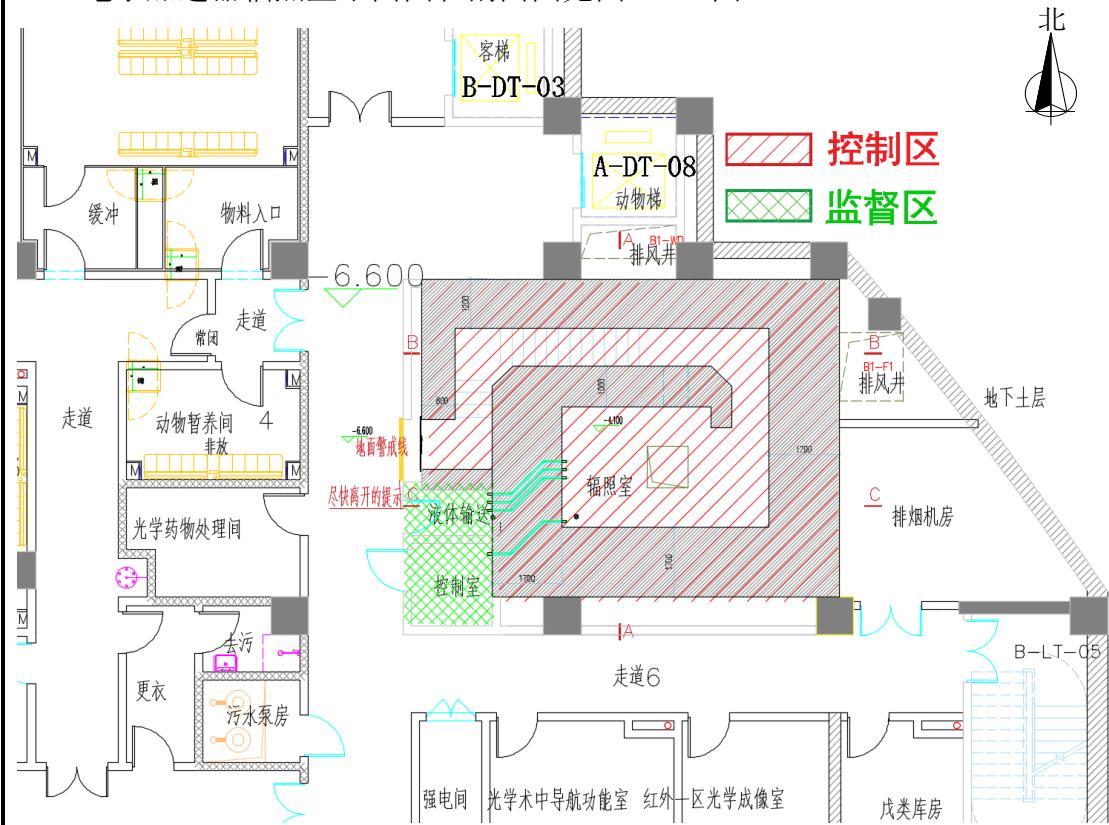


图 10-1 本项目电子加速器辐照室地下一层辐照室周围关系图

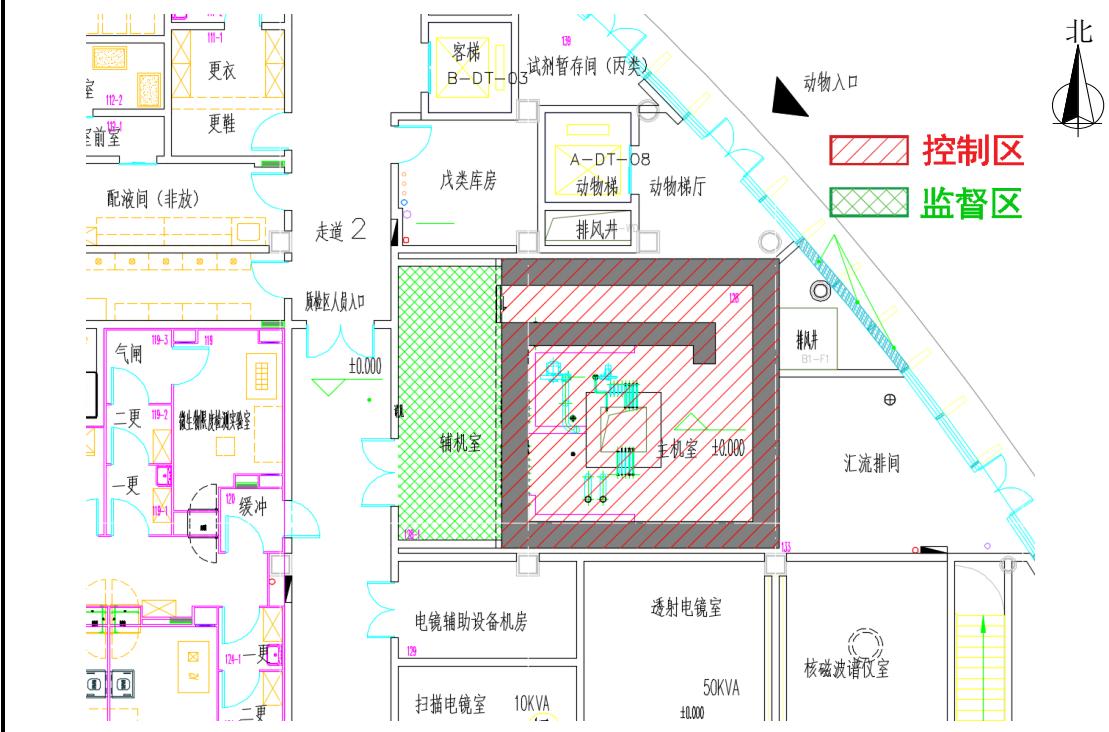


图 10-2 本项目电子加速器辐照室一层主机室周围关系图

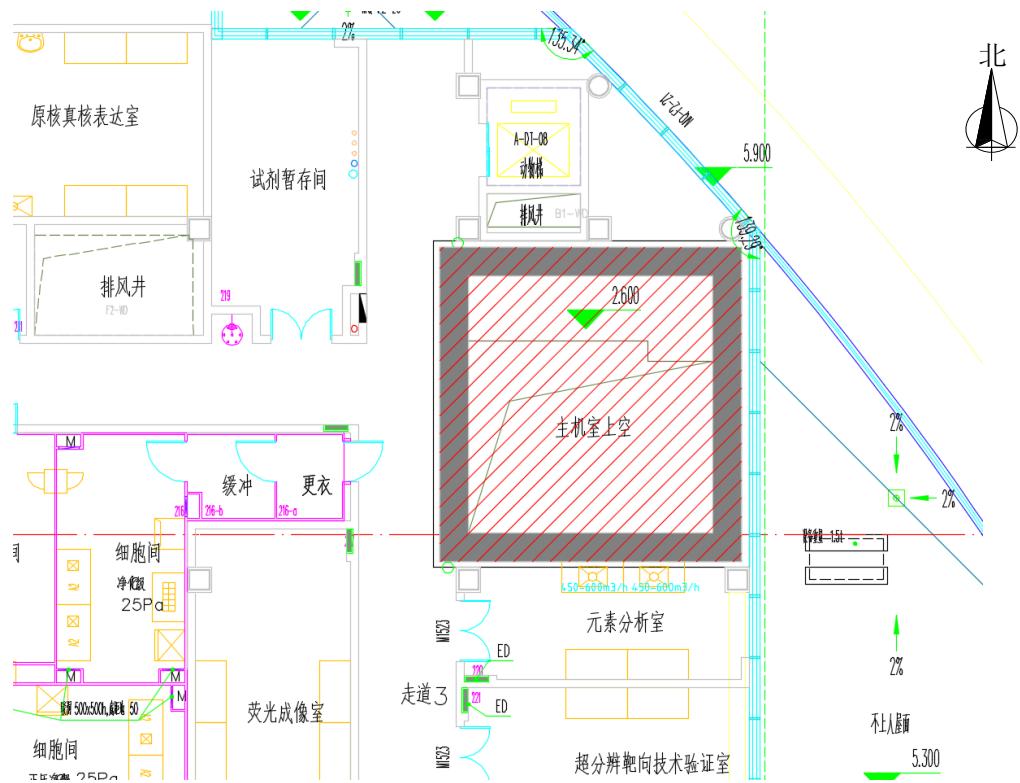


图 10-3 本项目电子加速器辐照室主机室上空二层区域周围关系图

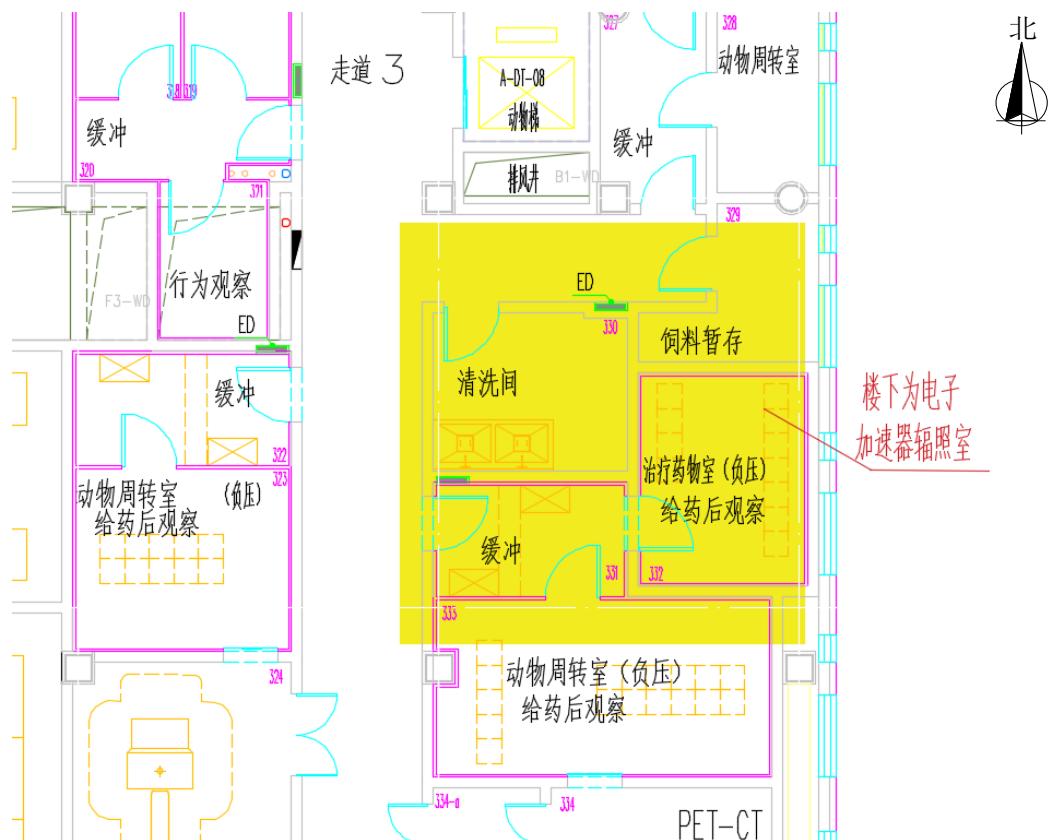


图 10-4 电子加速器辐照室楼上三层周围关系图

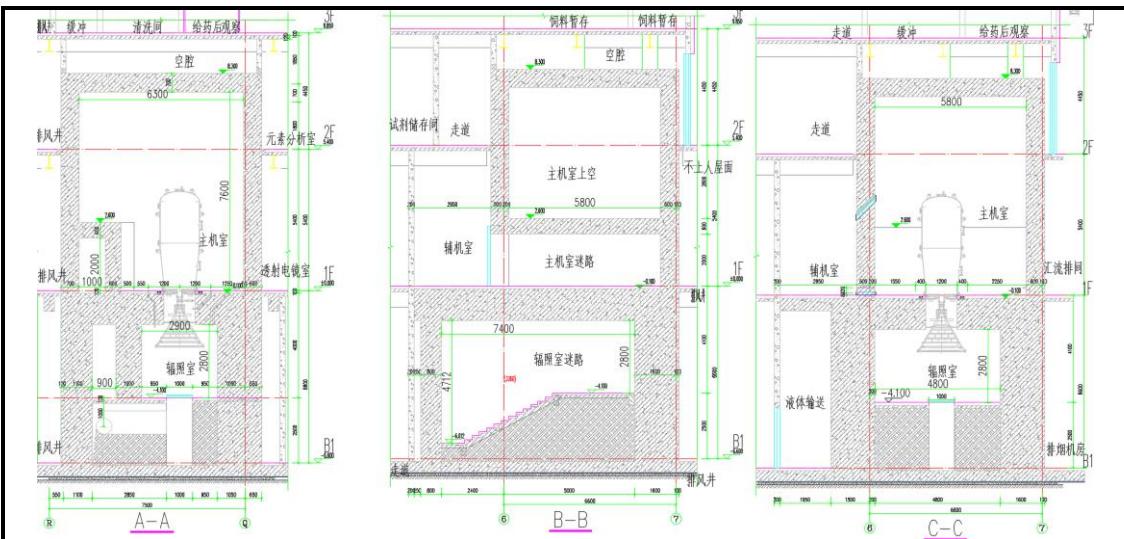


图 10-5 电子加速器辐照室剖面图

10.2 回旋加速器室和辐照加速器室项目安全设施

10.2.1 辐射屏蔽设计

(1) 辐射屏蔽设计

电子加速器辐照室六面墙体拟采用砼（现浇混凝土）屏蔽，防护门采用铅防护门。机房采取的屏蔽措施如表 10-1 所示。

表 10-1 电子加速器辐照室屏蔽设计方案

序号	机房名称	屏蔽墙体方向	屏蔽设计	周围环境
1	地下一层辐照室	东墙	170cm 砼	排烟机房
		南墙	170cm 砼	走道
		西墙	170cm 砼	控制室、液体输送间
		北墙	迷路内墙: 100cm 砼; 迷路外墙: 西侧 120cm 砼, 南侧 80cm 砼	排风井、走道
		顶	120cm 砼 (除加速器主机区域外)	主机室
		防护门	2mmPb	走道
	一层主机室(跨二层)	东墙	70cm 砼	排风井、汇流排间; 楼外
		南墙	70cm 砼	透射电镜室、扫描电镜室控制室; 元素分析室
		西墙	70cm 砼	辅机室; 走廊
		北墙	迷路内墙: 60cm 砼; 迷路外墙: 70cm 砼	排风井、动物梯厅、库房; 排风井、走廊
		顶	70cm 砼	顶上不上人区域; 隔三层楼板上面为走廊、清洗间、饲料暂存

			存、缓冲间、动物给药后观察室
	地板	120cm 砷 (除加速器主机区域外)	辐照室
	防护门	5mmPb	辅机室

注：铅密度不低于 11.34g/cm^3 ；砷（混凝土）密度不低于 2.35g/cm^3 ；土密度不低于 1.9g/cm^3 。

10.2.2 电子加速器辐照室拟采取的辐射安全与防护措施

(1) 辐照室和主机室（包括防护门）采用实体屏蔽措施，能够保证机房周围墙体、防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

(2) 辐照加速器室实行分区管理：辐照室和主机室为控制区，控制室、液体输送间、辅机室为监督区。拟在辐照室门口地面画警戒线，墙上写着尽快离开的提示。

(3) 警示标志：在辐照室和主机室防护门外拟设立电离辐射警告标志和中文警示说明，安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

(4) 监控、对讲系统：辐照室和主机室内拟共设置 6 个监控探头（迷路各 1 个、辐照室和主机室内各 2 个），设备显示终端在控制室内，工作人员可通过此终端实时观察迷路、辐照室和主机室的状况，也可以观察辐照室和主机室是否有人员滞留。同时拟在辐照室和主机室迷路墙上安装对讲系统，方便控制室与辐照室和主机室的沟通。

(5) 剂量联锁装置：拟安装 1 套固定式辐射剂量监测仪，探头设置于辐照室和主机室内迷路墙位置（共 2 个探头），显示装置安装在控制室，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断设备的工作状态，且剂量探头拟设置剂量联锁，剂量值超过探头设置的阈值 ($2.5\mu\text{Sv/h}$) 时，开机期间防护门无法从外面打开（除非按下急停或停止出束按钮，门才可以从外部打开），该设计可防止人员在出束期间误入，但是，人员可以在出束时从迷道内部打开防护门。

(6) 防夹功能：两个防护门都拟设手动推拉开关门方式，无需设置防挤压功能。

(7) 密码和钥匙控制装置：为防止非操作人员误操作设备，在操作室控制台处设置系统密码和专用钥匙启动，防止非工作人员操作。

(8) 钥匙联锁：电子加速器的控制室操控台上的开机钥匙牢固串联的钥匙

和主机室门、辐照室门联锁。人员要进入主机室或辐照室时，必须从加速器控制台上取出开机钥匙牢固串联的钥匙串，才能开门进入主机室或辐照室，此时加速器无法启动，以确保进入人员的安全。在运行中该钥匙是唯一的且只能由操作人员使用。

(9) 防人误入装置：辐照室迷道出入口、主机室迷道入口不同距离处均设置有三道红外光电联锁，每道光电联锁在同一垂直面上都有上中下三道光束。当人或者动物经过红外开关处，会触碰到红外线，则加速器停机。

(10) 门机联锁：防护门设置与加速器束流控制、加速器高压触发联锁，防护门未关紧时加速器不会出束，打开防护门，加速器停止出束；只有当防护门关闭，设备才能出束；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动停止出束。

(11) 急停装置：控制台上设有急停按钮，并有指示标识；沿辐照室和主机室内墙上、迷道内墙上等所有墙面距地面约 1.4m 处布设拉线开关（为不锈钢制，不易生锈）实现对辐照室和主机室人员可达位置的全覆盖，以致发生因为疏忽大意而导致辐照室或主机室内有人员滞留时，滞留人员能够随处拉动拉线，加速器的高压立即切断，同时在控制台上有报警灯亮，这时加速器不能启动工作，操作人员将急停装置复位后加速器才能再次启动。

(12) 清场巡检按钮（清场巡更系统）：迷路、主机室和辐照室内距地面约 1.4m 处设置了“巡检按钮”共设 6 个（每层分别 3 个），巡检按钮处设置明显的标识并进行编号（1、2、3），且与控制台联锁。在加速器准备出束时，巡检人员进入辐照室和主机室内巡视，按序按动“巡检按钮”，确认有无人员逗留后，加速器才能出束。

(13) 信号警示装置：在控制区出入口处及内部距地约 2.5m 处设置灯光和音响警示信号，加速器出束前将响警铃 30 秒对人员进行提示尽快撤离，万一有人停留在机房内，此时可按室内墙上或控制台上的急停装置，切断加速器供电。加速器出束时警灯闪亮，警示任何人员不得进入防护厅。主机室和辐照室出入口设置工作状态指示灯（红黄绿三色指示灯），并与电子加速器辐照装置联锁，出束时绿灯灭、红灯闪烁；停止出束时红灯灭、绿灯亮；黄灯亮时加速器处于准备工作状态，不得开门进入通道。

(14) 紧急开门按钮：主机室和辐照室门内距地面约 1.4m 处安装了紧急开

门按钮，如有人员不慎滞留在主机室和辐照室内，可通过紧急开门按钮打开防护门逃生。

(15) 通风系统及通风联锁：电子加速器辐照室内拟安装通风换气系统。排风口与进风口拟对角设置，换气次数不低于 25 次/h。其中进风口拟设距地高度约为 3.0m；排风口拟设置距地约 30cm；进风管道和排风管道均拟由机房门上方采用“Z”方式穿出机房。加速器与设备机房的线缆采用“U”型方式穿过屏蔽墙。

主机室、辐照室排风系统和控制系统联锁，加速器停机后，只有达到预先设定的 18min 时间才能开门，以保证室内臭氧等有害气体的浓度低于允许值。

(16) 电子加速器辐照室拟新配置 1 台便携式剂量监测仪和 2 台个人剂量报警仪。辐射工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(17) 烟雾报警：辐照室顶部设置烟雾报警装置，遇有火险时，加速器应立即停机并停止通风。

(18) 夜光指示：突然断电时，通道内设有应急灯，并有夜光标识指示行走路线。

(19) 本项目所用加速器辐照装置的固有安全性

本项目电子加速器辐照装置本身设有多重安全保护措施：钥匙控制、急停装置、调制器联锁、水系统联锁等。本项目电子加速器辐照装置的固有安全性良好。

1) 紧急停机按钮：在控制台设有紧急停机按钮。一旦遇到紧急情况，按下紧急停机按钮，切断加速器供电。

2) 调制器联锁：只有在电子枪灯丝、磁控管灯丝预热完毕，且没有故障出现时，调制器才允许加高压，加速器才可以出束。一旦出现充电过流、反峰过荷、无触发、柜门打开的故障，均切断高压，加速器不出束。相应的故障灯亮。

3) 水系统联锁：一旦水冷系统的水温、水位、水压等出现故障时，均切断高压，同时水系统停止工作，加速器不出束，故障灯亮。

4) 真空联锁：若加速器内真空度低于设定值，则加速器停机，故障灯亮。

5) 操作人员钥匙联锁：控制室操作人员离开操作台时，取下钥匙，加速器无法开机，避免误照射发生。

6) 控制台复位确认按钮：巡检结束后，操作人员在控制台进行光电感应系

统、巡检系统、急停系统等安全装置的复位操作，加速器才能开机运行。

电子加速器辐照室联锁系统逻辑图的设计见图 10-6，机房联锁和安全措施等布置见图 10-7 所示。

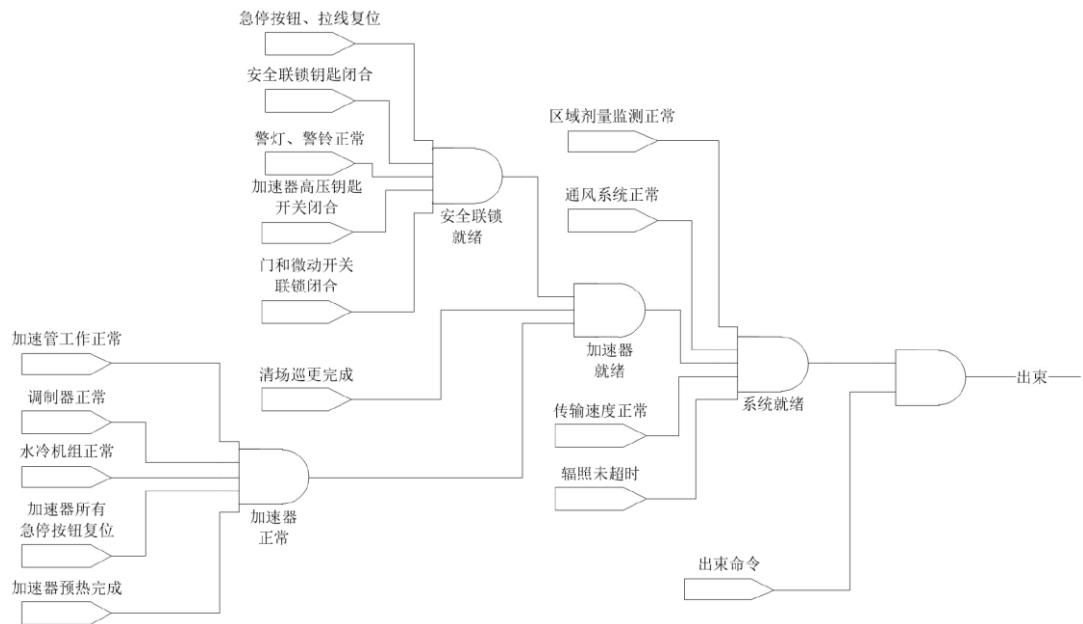
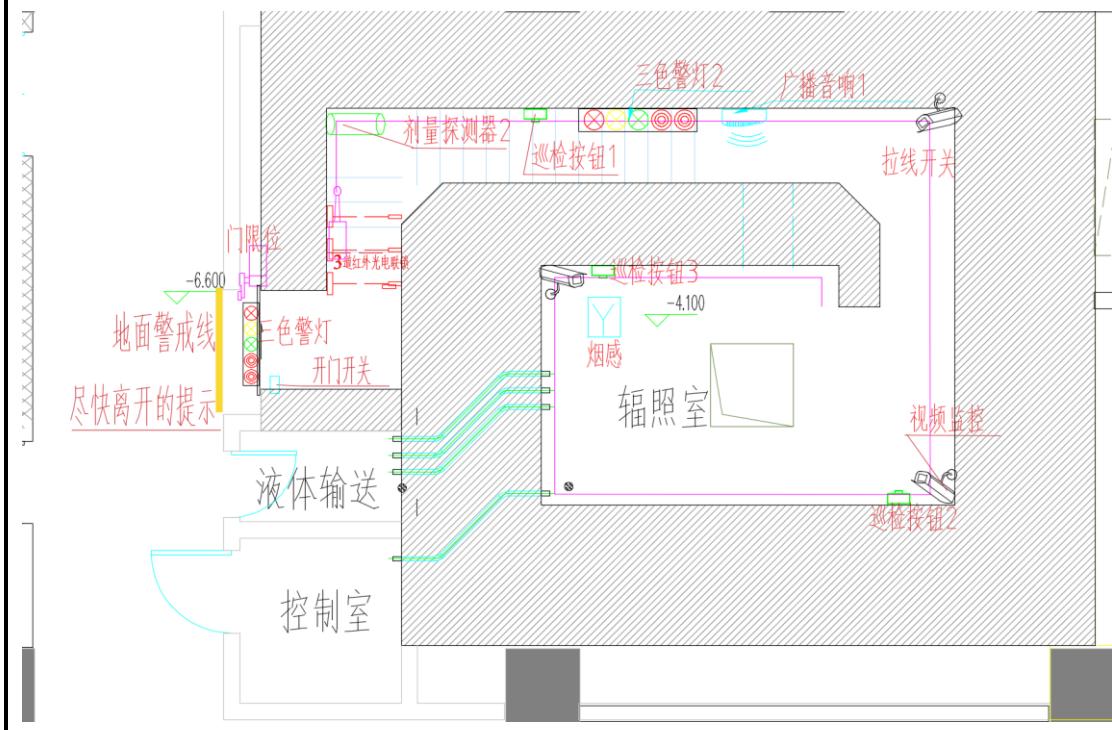


图 10-6 电子加速器辐照装置安全联锁逻辑关系图



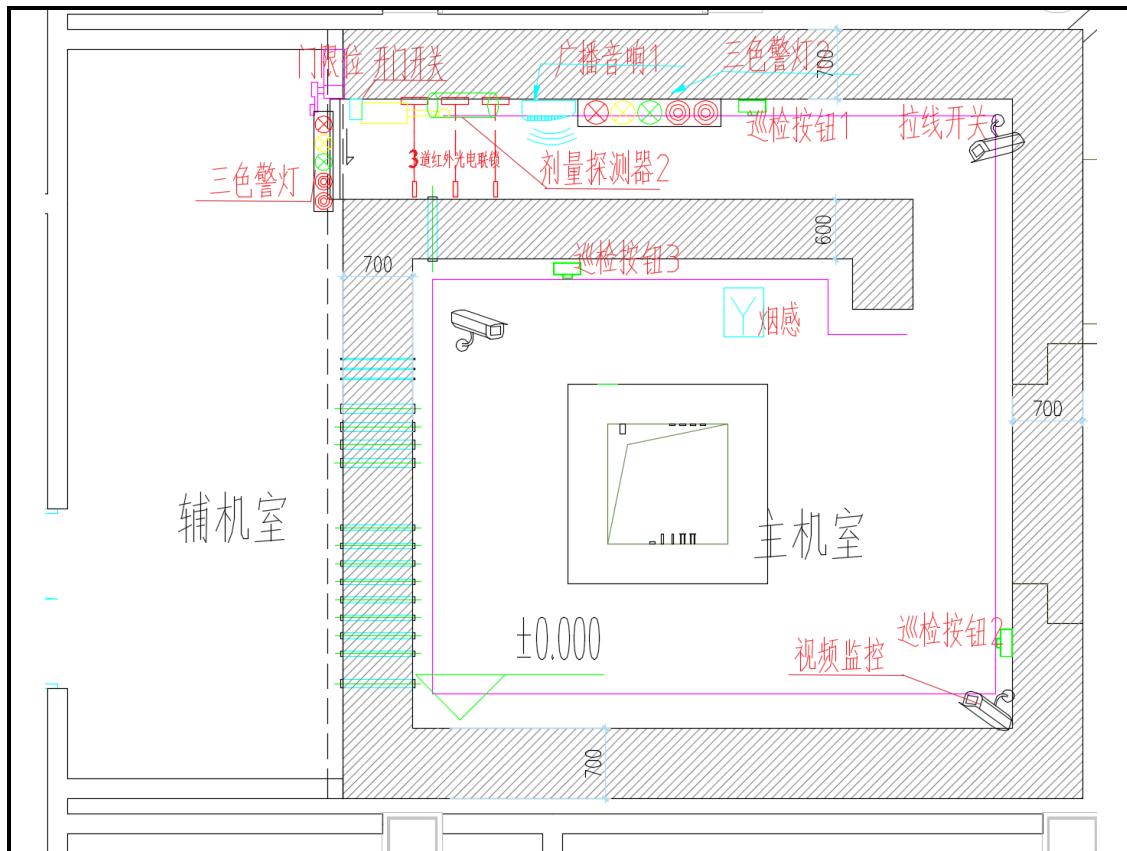


图 10-7 电子加速器辐照室联锁和安全措施布置图

10.2.3 工作场所安全与防护设施

参照国家生态环境部（国家核安全局）2020 发布的《电子加速器辐照装置监督检查技术程序》（NNSA HQ3-08-JD-IP-022），本项目的安全与防护设施设计要求见表 10-2。

表 10-2 电子加速器辐照装置场所辐射安全与防护设施设计表

序号	检查项目		是否拟设置	备注
1*	A 出入口控制	入口电离辐射警告标志	√	门上拟设有电离辐射警示标志
2*		入口加速器工作状态显示	√	辐照室、主机室拟设工作状态指示灯
3*		厅门联锁钥匙开关（辐照室、主机室）	√	辐照室、主机室拟设门联锁钥匙开关
4		视频监控系统	√	辐照室、主机室分别拟配 3 个视频探头
5*		门内紧急开门按钮	√	辐照室、主机室分别拟设 1 个开门按钮
6		紧急出口指示	√	拟设有夜光标识指示行走路线
7*		应急照明	√	通道内设应急灯

8*	B 安全 联锁	控制台和加速器厅门同 一把钥匙（或钥匙牢固 串联）	√	控制台和加速器厅门钥匙牢 固串联
9*		门与加速器高压触发联 锁	√	拟设门机联锁
10*		加速器开机前声、光报 警	√	控制区出入口处拟设置灯 光和音响警示信号
11*		辐照室、主机室内固定 式辐射剂量监测仪，且 与门联锁	√	辐照室和主机室迷道口设置 剂量监测探头，与辐照室和 主机室的出入口门联锁。
12*		传输系统与束流联锁	/	本项目不设传输系统
13*		通风系统与加速器联锁	√	拟设主机室、辐照室排风系 统和控制系统联锁
14*		火灾报警仪、且与通风 联锁	√	辐照室顶部设置烟雾报警装 置，遇有火险时，加速器应立 即停机并停止通风
15*		人员通道 2~3 道防误 入装置（光电、红外等）	√	辐照室迷道出入口、主机室 迷道入口不同距离处均设置 3 道红外光电联锁
16*		货物进出通道 2~3 道 防误入装置	√	辐照室迷道出入口不同距离 处均设置 3 道红外光电联锁
17*		控制台上复位确认按钮	√	控制台上拟设复位确认按钮
18*	C 紧急 停机 装置	清场巡更系统	√	主机室和辐照室分别设 3 个 清场巡更按钮
19*		控制区内醒目位置设置 紧急停机按钮（或拉线 开关）、并附说明指示	√	辐照室和主机室内拟设拉线 开关急停装置
20*	D 监 测 设 备	控制台紧急停机按钮	√	控制台拟设紧急停机按钮
21*		控制区内固定式辐射剂 量监测仪	√	拟安装 1 套，主机室和辐照 室米兰各设 1 个探头（共 2 个）
22*		个人剂量报警仪	√	拟配 2 台
23*		个人剂量计	√	所有工作人员配备 TLD 个 人剂量计
24*	E 其 他	便携式辐射防护监测仪	√	拟配 1 台
25		必要应急物资等	√	气体灭火器

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

10.3 法规符合情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，现对从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-3 和表 10-4。

10.2.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-3 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置承诺的对应检查情况。

表 10-3 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	要求	落实情况	是否符合要求
1	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。	已成立辐射防护领导小组,并在该机构设有专职管理人员。	落实后符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	本项目新增2名辐射工作人员,在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体防卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射性同位素。	不涉及该内容
4	放射性同位素与射线装置使用场所应有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	拟制定相应的操作规程,防护门外拟设置电离辐射警告标志,拟安装工作状态指示灯;拟安装急停按钮等安全防护设施。	落实后符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器,包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。	辐射工作人员拟配备个人剂量计,本项目拟新增1台便携式辐射防护监测仪、1套固定式辐射防护剂量报警仪和2台个人剂量报警仪,并开展相应自行监测。	落实后符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善已制定健全的规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训考核计划、监测方案等。	落实后符合
7	有完善的辐射事故应急措施。	已完善辐射事故应急措施。	符合
8	产生放射性废气、废液、固体废物的,还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目不涉及	不涉及该内容

10.3.2 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件,本项目具备的条件与《放射性同位素与射

线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10-4 所示。

表 10-4 项目执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	本单位落实情况	是否符合要求
1	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，其出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。	在电子加速器辐照装置外拟设有出束工作状态指示灯，防护门外贴有电离辐射警告标志，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置等。	落实后符合
2	第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。	本项目不涉及放射性同位素。	不涉及该内容
3	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。	拟委托有辐射水平监测资质公司每年对辐射工作场所及其周围环境进行1次监测。	落实后符合
4	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。	承诺每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	落实后符合
5	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	本项目新增2名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
6	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。	为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质公司进行个人剂量监测（每季度1次）。	落实后符合
7	第二十四条	已委托有资质公司对辐射	符合

	生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	工作人员进行个人剂量监测。	
--	--	---------------	--

10.4 三废的治理

- (1) 本项目运行中，不产生放射性“三废”。
- (2) 电子加速器辐照装置运行过程中，会产生少量的臭氧和氮氧化物，对环境的影响是十分轻微的。

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

本次评价项目涉及到屏蔽体的浇筑、建筑装修、设备安装等，在项目的建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。项目建设期主要的污染因子有：噪声、废水、固体废弃物和扬尘，本项目简要说明。

1、声环境影响分析

该项目施工期的噪声主要来自机房屏蔽体浇筑、相关设施的安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，对周围环境影响小。因此，合理安排施工时间，夜间禁止高噪声机械作业，对周围的影响不大。

2、环境空气影响分析

施工期，扬尘来自于材料搬运、装卸等施工活动，由于扬尘源多且分散，属于无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大。本项目施工量较少，施工范围较小，对环境影响较小，土建工程结束后即可恢复。

3、水环境影响分析

本工程施工污水主要来自少量施工废水。施工废水主要包括砂石料加工水。施工废水含泥沙和悬浮物，直接排出会阻塞排水管道和对附近水体造成污染。对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理。

4、固体废物影响分析

施工期间固体废物主要为建筑垃圾。施工过程中的建筑垃圾和生活垃圾必须集中处理，严禁随意堆放和倾倒。生活垃圾应置于单位内部垃圾收集箱内。施工建筑垃圾委托有资质的渣土运输公司处置，运垃圾的专用车每次装完垃圾后，用苫布盖好，避免途中遗洒和运输过程中造成扬尘。可以使工程建设产生的垃圾处于可控制状态。

综上所述，建设工程在施工期的环境影响是短暂的、可逆的，随着施工期的结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述措施进行污染防治，并加强监管，使本项目施工对周围环境的影响降低到最小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 电子加速器辐照装置

(1) 加速器参数

电子加速器的电子束能量为 2.5MeV，电子束流强度为 40mA，束流功率为 100 kW。

(2) X 射线发射率

本项目电子直线加速器运行时束流方向定向朝下，因此 X 射线 0° 方向是地面（地下为土层），不需要防护。因此辐照室和主机室四周屏蔽体的厚度取决于 90° 方向 X 射线。

(3) 辐照室 X 射线发射率

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ979-2018) 附录 A 表 A.1, 2.5MeV 入射电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率为 $2.5 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ，本项目屏蔽体为混凝土墙，保守计算 X 射线发射率修正系数取值 0.5。最大束流强度为 40mA，根据附录 A 公式 (A-2)，辐照室距离 X 射线辐射源 1m 处的吸收剂量率为：

$$\dot{D}_{10} (90^\circ) = 60 \times 2.5 \times 40 \times 0.5 = 3.0 \times 10^3 \text{ (Gy/h)} = 3.0 \times 10^9 \text{ (\muGy/h)}$$

根据附录 A 表 A.4, 2.5MeV 电子在 90° 方向的相应等效能量为 1.6MeV。

(4) 主机室加速器束流损失所致 X 射线发射率

电子在加速过程中发生束流损失，上层主机室辐射的主要来源为损失的束流打在加速结构上而产生的韧致辐射。损失束流位置和粒子能量具有很大的不确定性，所以韧致辐射的能谱难以确定。根据厂家提供资料，本项目使用的电子加速器辐照装置最大束流损失率为 2%（即最大电子束流强度为 0.8mA），沿主束侧向漏束的等效能量为 0.75MeV ($2.5 \text{MeV} \times 30\%$)。根据附录 A 表 A.1，内插法可得入射 0.75MeV 电子在距靶 1m 处侧向 90° 的 X 射线发射率保守取 $0.235 \text{Gy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ 。保守计算考虑，X 射线发射率修正系数在示例中取值为 0.5。当最大束流强度为 0.8mA，根据附录 A 公式 (A-2)，主机室距离 X 射线辐射源 1m 处的吸收剂量率为：

$$\dot{D}_{10} (90^\circ) = 60 \times 0.235 \times 0.8 \times 0.5 = 9.6 \text{ (Gy/h)} = 5.64 \times 10^6 \text{ (\muGy/h)}$$

根据附录 A 表 A.4, 0.75MeV 电子在 90° 方向的相应等效能量约为 0.5MeV。

(5) 使用规划

工作量：每天最大辐照 100 个样品，每个样品辐照最多不会超过 1 分钟，每年最多工作 250 天，年出束时间最大不超过 417h。

11.2.2 辐射环境影响评价方法

(1) 本项目加速粒子为电子，电子的贯穿能力较弱，能量为 10MeV 的电子在混凝土中的射程只有几厘米。所以，几厘米厚度的混凝土就可以屏蔽电子，本次不再详细分析评价。电子束轰击靶、各结构材料和辐照产品都会产生轫致辐射(X 射线)，X 射线是电子加速器辐照装置辐射防护设计中的主要辐射源。本次评价选取 X 射线作为主要污染因子，采用理论预测方法进行辐射环境影响分析。

(2) 电子加速器辐照室周围剂量率和年附加剂量：依据其屏蔽设计估算模式，以 1m 处点的剂量率估算出周围辐射剂量率水平，再根据加速器出束时间、使用因子、居留因子等估算辐射工作人员和公众的附加剂量。

(3) 关注点位选取

为预测电子加速器辐照室设计方案的屏蔽效果，本次在加速器室四周设立最不利参考点位，从保守角度出发，在机房设计的尺寸厚度基础上，假定最大工况运行并针对参考点最不利情况进行环境环评影响分析，选择剂量率参考点为辐照室和主机室四周屏蔽墙外 30cm 处、迷道口处、防护门外以及保护目标处。由于本项目机房下方没有其他楼层和功能房间，所以地面的防护不予考虑。

11.2.3 辐射剂量估算公式

(1) 对加速器室周围环境的剂量率的估算

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_{10}}{R^2} \times K^{-1} \quad (11-1)$$

$$K^{-1} = 10^{-\left[1 + \frac{t - TVL_I}{TVL_e}\right]} \quad (11-2)$$

式中： \dot{D} 为估算点的剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

\dot{D}_{10} 为 X 射线辐射源 1m 处的吸收剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

R 为 X 线管靶点到关注点的距离， m ；

t 为屏蔽厚度， mm ；

TVL_e 、 TVL_I —平衡什值层和第一什值层厚度，单位 cm ；详见表 11-1。

(2) 散射辐射的散射剂量率估算

$$\dot{D}_S = \frac{\dot{D}_{10}(\alpha_1 A_1)(\alpha_2 A_2)^{j-1}}{R_0^2 \times d_1^2 \times d_2^2 \times \dots \times d_j^2} \times 10^{-\frac{t}{TVL}} \quad (11-3)$$

式中： \dot{D}_{10} —X 射线辐射源 1m 处的吸收剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

α_1 —东墙对辐射的反散射系数（取值查 NCRP REPORT 151 TableB.8b, 散射能量为 0.5MeV, 有用束散射辐射的入射角为 45°）， 1.1×10^{-2} ；
 α_2 —从以后的物质散射出来的 0.5MeV 的 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的），取 2.2×10^{-2} ；
 A_1 —X 射线入射到第一散射物质的散射面积， $1.58 \times 2.80 = 4.42 \text{m}^2$ （一层 $2.5 \times 2.0 = 5.0 \text{m}^2$ ）；
 A_2 —迷道的截面积， $0.9 \times 2.80 = 2.52 \text{m}^2$ （一层 $1.0 \times 2.0 = 2.00 \text{m}^2$ ）；
 R_0 —靶点到 A1 散射面中心线点的距离, m；
 d_1 —沿着迷道长轴的中心线距离, m；
 $d_1 \dots d_j$ —沿着迷道长轴的中心线距离, m。

表 11-1 加速器射线束在砼、铅中的 TVL 值

入射电子能量	十分之一值砼厚度, cm		十分之一值铅厚度, cm	
	TVL_1	$TVLe$	TVL_1	$TVLe$
0.5MeV	15.2	11.9	0.5	1.2
1.0MeV	18.5	15	1.5	2.6
1.5MeV	20.4	18.3	2.6	3.65
2.0MeV	22.1	20.1	3.35	4.2
1.6MeV*	20.7	18.7	/	/

备注：其中 1.6MeV 根据上表数据内插所得。

(3) 年有效剂量

$$E = \dot{D} \times t \times T \times K \times 10^{-3} \quad (11-4)$$

式中： E —年有效剂量, mSv；

\dot{D} —计算点附加剂量率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ；

K —有效剂量与吸收剂量换算系数, Sv/Gy , 本项目取 1.0；

T 为人员的居留因子；

t 为年曝光时间, h/a。

11.2.4 实验室外剂量率估算

(1) 剂量率估算结果

电子加速器辐照室平剖面图及剂量评估点见图 11-1~图 11-3, 根据公式 (11-1) 和公式 (11-2) 估算电子加速器辐照室外关注点剂量率, 估算结果见表 11-2 和

表 11-3。

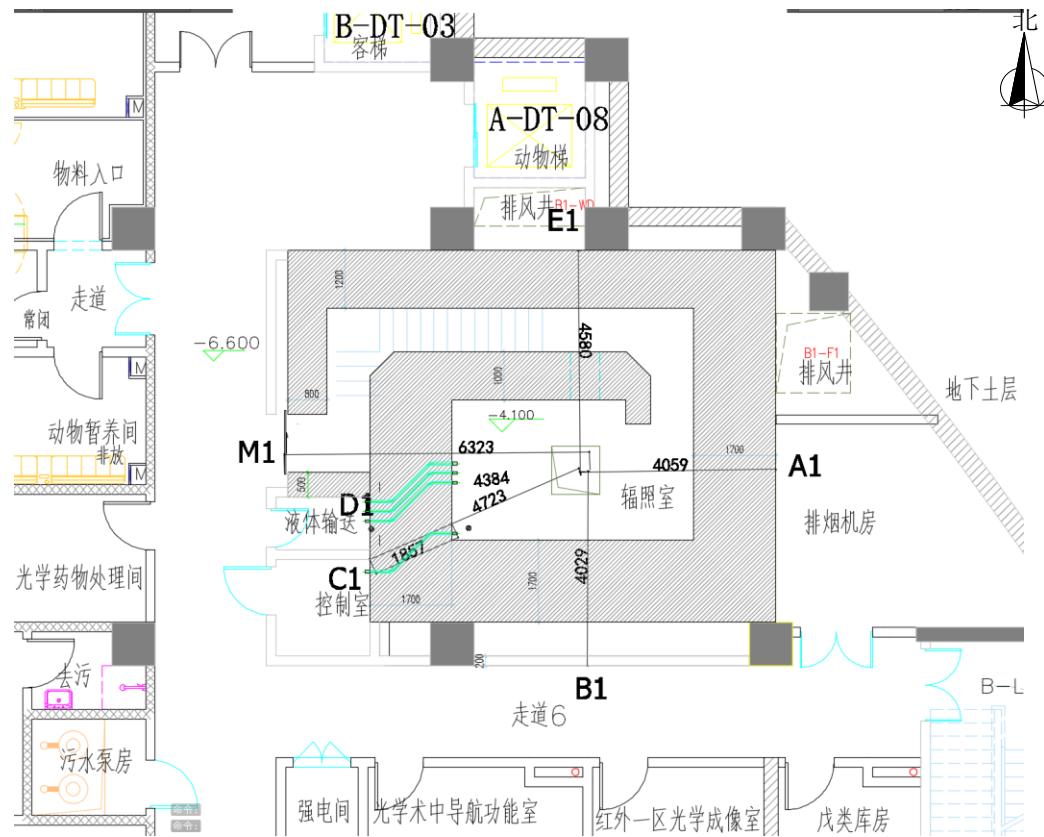


图 11-1 电子加速器辐照室地下一层辐照室平面图及剂量评估点

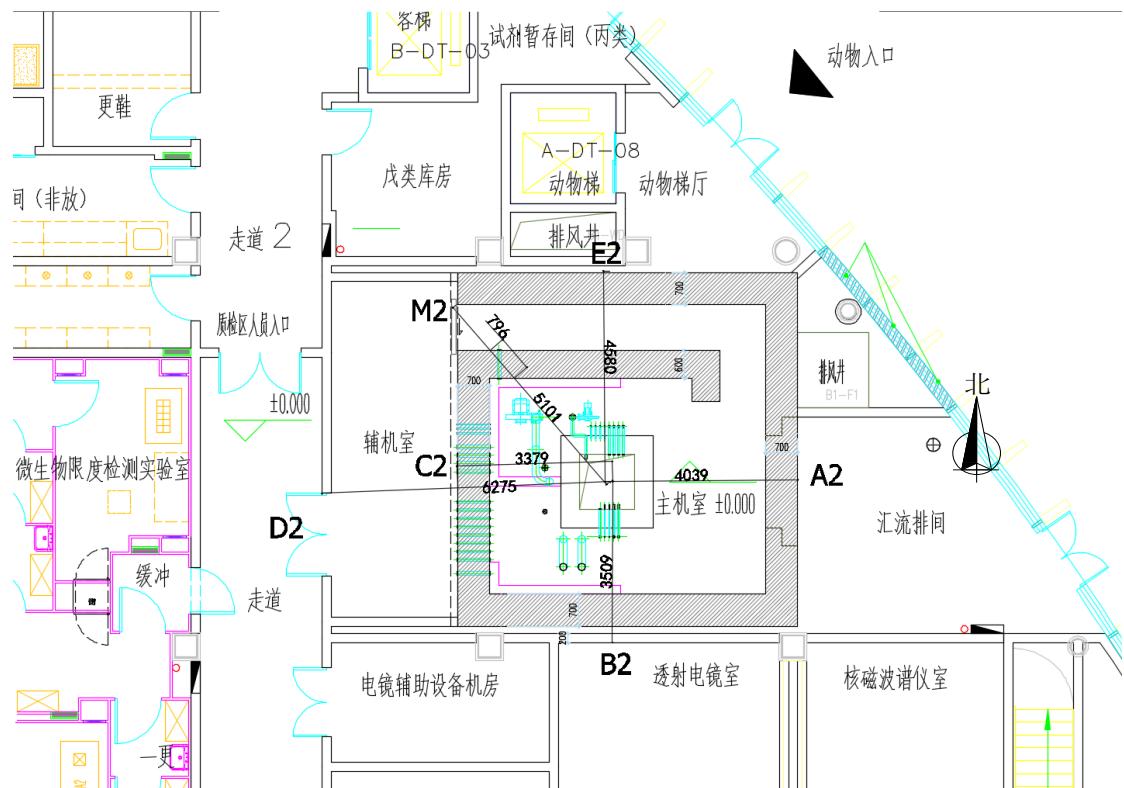


图 11-2 电子加速器辐照室一层主机室平面图及剂量评估点

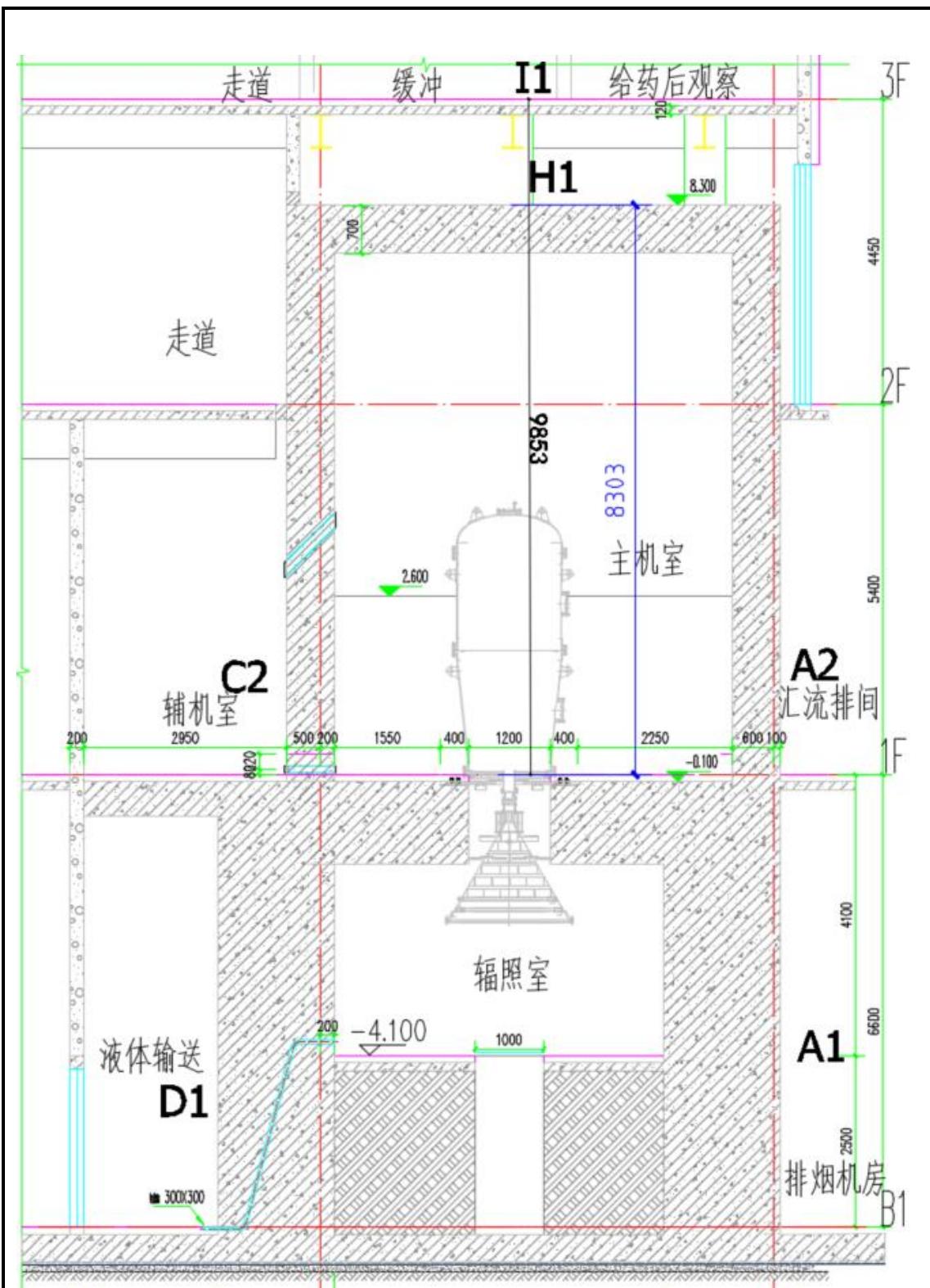


图 11-3 电子加速器辐照室剖面图及剂量评估点

表 11-2 地下一层辐照室周围关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	辐射屏蔽		剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		位置描述
		厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	

A1	4.4	170 (砼)	1.04E-09	1.55E+08	1.61E-01	东侧排烟机房
B1	4.3	170 (砼)	1.04E-09	1.62E+08	1.68E-01	南侧走道
C1	5.0	186 (砼)	1.45E-10	1.20E+08	1.74E-02	西侧控制室
D1	4.7	170 (砼)	1.04E-09	1.36E+08	1.41E-01	西侧液体输送
E1	4.9	220 (砼)	2.20E-12	1.25E+08	2.75E-04	北侧排风井、走廊
M1	6.6	170 (砼)	1.04E-09	6.89E+07	7.15E-02	门口

注: (1) 砼(混凝土)的密度取为 2.35 t/m^3 ; (2) X射线有用束距靶 1m 的处的最大剂量率为 3000Gy/h ; (3) M1 点未考虑防护门铅的衰减影响。

表 11-3 一层主机室周围关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	辐射屏蔽		剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		位置描述
		厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A2	4.3	70 (砼)	2.48E-06	3.05E+05	7.57E-01	东侧汇流排间
B2	3.8	70 (砼) +20 轻体砖	9.26E-07	3.91E+05	3.61E-01	南侧透射电镜室
C2	3.7	70 (砼)	1.80E-06	4.12E+05	7.40E-01	西侧辅机室
D2	6.6	70 (砼)	1.80E-06	1.29E+05	2.33E-01	西侧辅机室外走道
E2	4.9	130 (砼)	2.25E-11	2.35E+05	5.29E-06	北侧动物梯厅
M2	5.4	79.6 (砼)	3.87E-07	1.93E+05	7.49E-02	门口
H1	8.6	70 (砼)	2.48E-06	7.63E+04	1.89E-01	室顶无人区
I1	10.2	82 (砼)	2.44E-07	5.42E+04	1.32E-02	楼上缓冲间

注: (1) 砼(混凝土)的密度取为 2.35 t/m^3 ; (2) 轻体砖密度为 0.6 t/m^3 , 20cm 轻体砖等效 5.1cm 砼; (3) X射线有用束距靶 1m 处的最大剂量率为 5.64Gy/h 。

(2) 电子加速器辐照室迷路散射辐射剂量估算

地下一层辐照室射线经过迷路散射后, 估算门口 M1 和液体输送间 D1 位置, 分别经过 4 次和 3 次散射; 一层主机室由于经过迷路 1 次散射无法到达门口, 门口 M2 位置估算了两种情况(经过 1 次散射并斜穿迷路内墙后到达门口和经过 2 次散射达到门口), 电子加速器辐照室散射路径示意图见图 11-4~图 11-6。

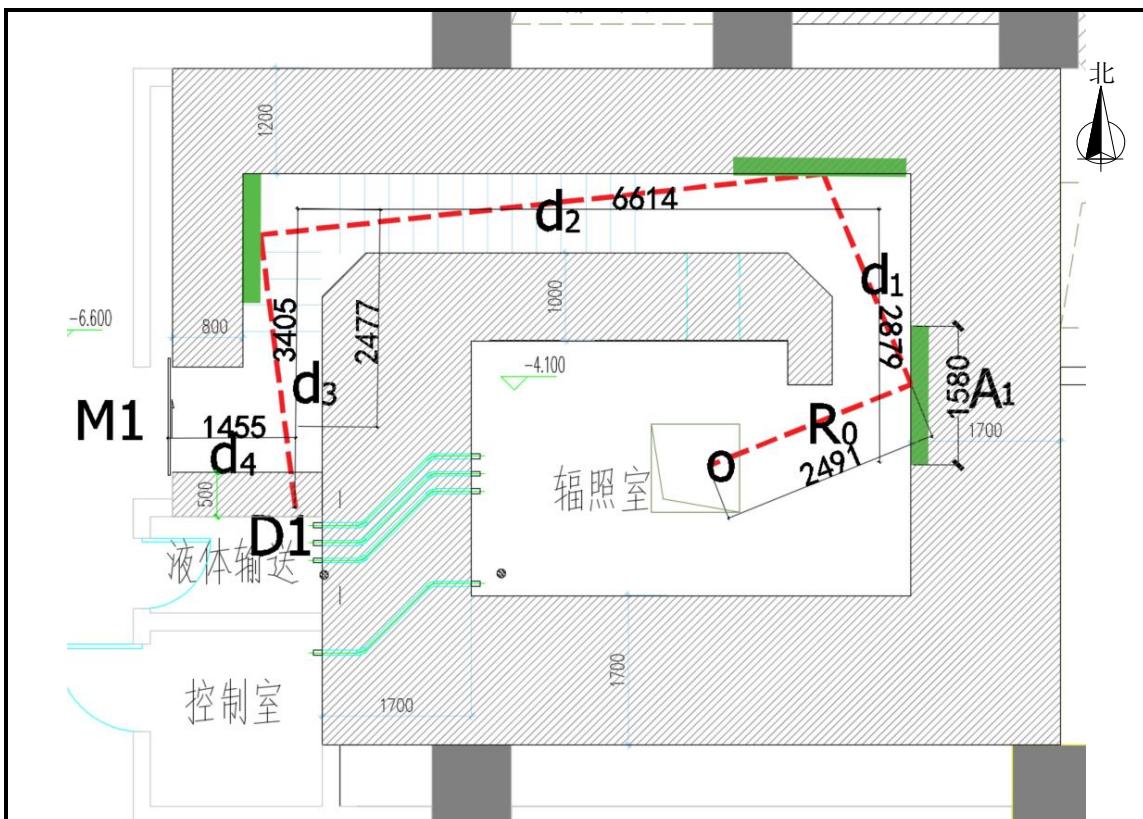


图 11-4 地下一层辐照室散射路径示意图

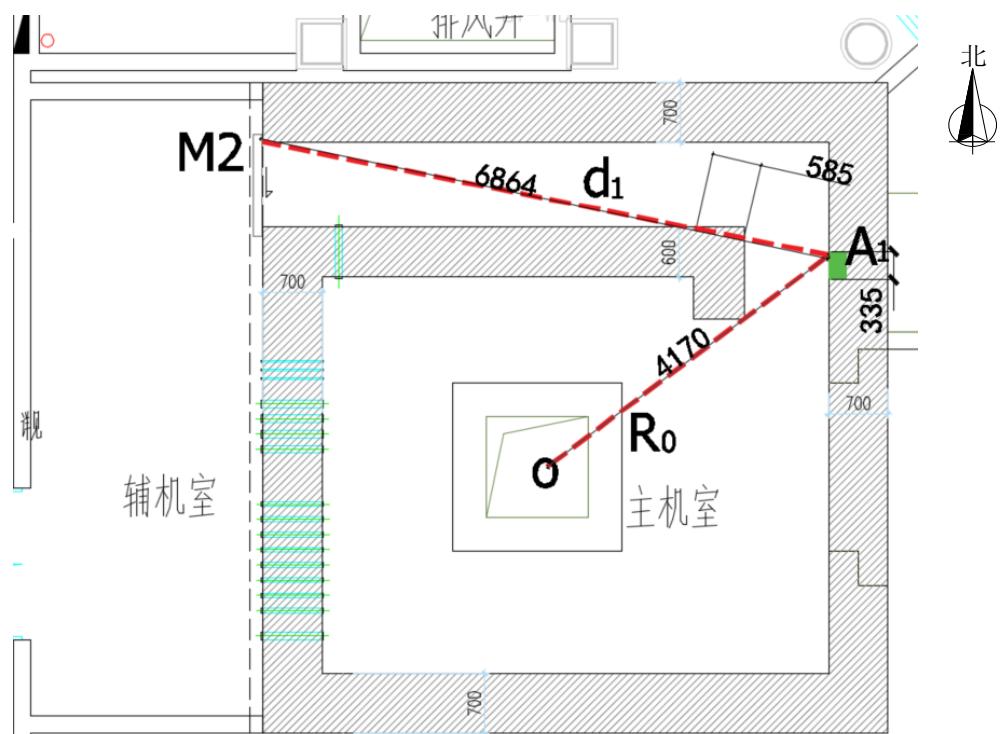


图 11-5 一层主机室 (1 次散射) 散射路径示意图

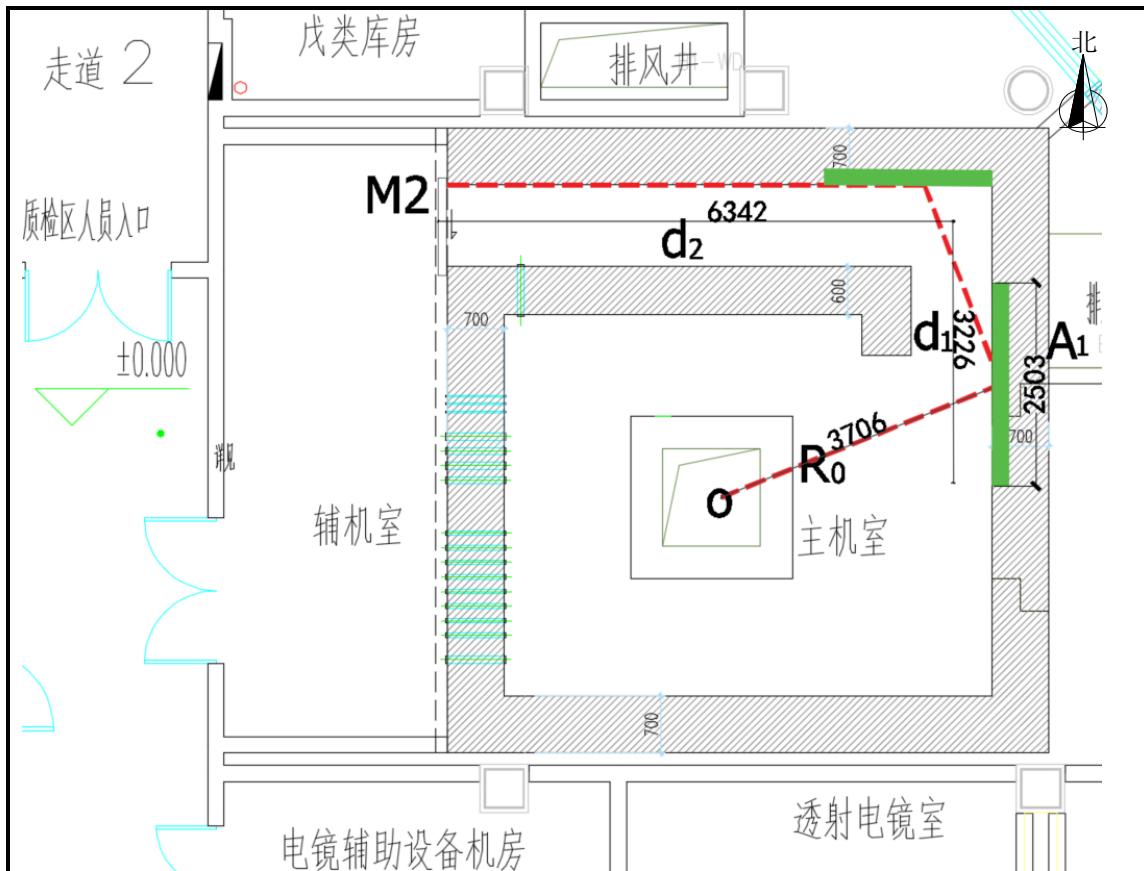


图 11-6 一层主机室 (2 次散射) 散射路径示意图

根据公式11-3和图11-4~图11-6中的相关参数, 加速器运行时经过散射后估算点处X射线辐射剂量率的估算结果汇总列于表11-4和表11-5中。可见, 估算出电子加速器辐照室防护门外的总剂量率约为 $1.78E-1\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

表11-4 辐照室散射剂量率的计算参数及结果

参数		M1点位	D1点位
辐照室	$\dot{D}_{10}(\mu\text{Gy}/\text{h})$	3.0E+9	3.0E+9
	α_1	1.1E-2	1.1E-2
	A_1	4.42	4.42
	α_2	2.2E-2	2.2E-2
	A_2	2.52	2.52
	$R_0(\text{m})$	2.5	2.5
	$d_1(\text{m})$	2.9	2.9
	$d_2(\text{m})$	6.6	6.6
	$d_3(\text{m})$	2.5	3.7

	d_4 (m)	1.8	/
	t (mm)	2mm铅	300砼
	TVL (mm)	1Pb	150砼
	\dot{D}_S ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	5.36E-03	9.37E-03
直射辐射	$\mu\text{Gy}/\text{h}$	7.15E-2	1.47E-1
	$\dot{D}_{\text{总}}$ ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	7.69E-02	1.56E-01

表11-5 主机室散射剂量率的计算参数及结果

参数		M2点位 (1次散射)	M2点位 (2次散射)
主机室	\dot{D}_{10} ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	5.64E+6	5.64E+6
	α_1	2.2E-2	2.2E-2
	A_1	0.67	5.0
	α_2	/	2.2E-2
	A_2	/	2.0
	R_θ (m)	4.2	3.7
	d_1 (m)	7.2	3.2
	d_2 (m)	/	6.6
	t (mm)	585砼 (有效厚度)	5Pb
	TVL (mm)	200砼	2
	\dot{H}_{PS} ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	1.08E-01	1.41E-02
直射辐射	$\mu\text{Gy}/\text{h}$	7.49E-2	
	$\dot{D}_{\text{总}}$ ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)	1.78E-1	

(3) 电子加速器辐照室周围剂量率水平

根据电子加速器辐照室周围关注点的剂量估算结果可知, 机房外人员可达关注点的最大辐射剂量率为 $7.57\text{E-1}\mu\text{Gy}/\text{h}$ ($7.57\text{E-1}\mu\text{Sv}/\text{h}$, 主机室东侧汇流排间 A2 点位) , 主机室防护门外剂量率为 $1.78\text{E-1}\mu\text{Gy}/\text{h}$ ($1.78\text{E-1}\mu\text{Sv}/\text{h}$) , 满足本报告设定的剂量率控制水平 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ (取 $1.0\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$) 。

评价范围周围的影响: 根据以上估算, 电子加速器辐照室的最大附加剂量率为 $7.57\text{E-1}\mu\text{Sv}/\text{h}$, 经过距离、空气等的衰减影响, 附加剂量率至少降低两个数量

级，对周围的辐射影响可以忽略不计。

11.2.5 工作人员和公众受照剂量估计

(1) 工作人员受照剂量估计

根据以上估算，可预计电子加速器辐照室周围的工作人员的年附加有效剂量见表 11-6 所示。

表 11-6 运行时工作人员的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年出束时间, t (h)	剂量率 (μGy/h)	年附加有效剂量, μSv
电子加速器辐照室工作人员	C1	控制室	1	1	417	8.84E-2	3.69E+01
	D1	辐照室西侧液体输送	1	1	417	1.57E-1	6.55E+01
	M1	防护门外	1/8	1	417	7.69E-2	4.01

(2) 公众受照剂量估计

根据以上估算，可预计电子加速器辐照室周围的公众的年附加有效剂量见表 11-7 所示。

表 11-7 加速器运行时公众的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年受照时间, t (h)	剂量率 (μGy/h)	年附加有效剂量, μSv
电子加速器辐照室周围公众	A1	辐照室东侧排烟机房	1/16	1	417	1.76E-1	4.59
	E1	辐照室北侧走廊	1/16	1	417	2.75E-4	7.17E-03
	B2	主机室南侧透射电镜室	1/4	1	417	3.61E-1	3.76E+01
	D2	主机室西侧走道	1/16	1	417	2.33E-1	6.07
	I1	楼上缓冲间	1/16	1	417	1.32E-2	3.44E-01

综上所述，本项目对职业人员和公众年附加有效剂量值分别为 6.55E-2mSv、3.76E+01μSv，满足年剂量约束值（2mSv/a, 0.1mSv/a）的要求。

11.2.6 O₃ 和 NO_x 分析

本项目电子加速器辐照装置只有提供电子束模式，电子束最高能量为 2.5MeV，电子加速器运行过程中，射线与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，其中臭氧的危害较氮氧化物大，且产额高。因此主要考虑臭氧的影响。

(1) 平行电子束所致的 O_3 产额

$$P = 45dIG \quad (11-5)$$

式中： P 为单位时间电子束产生 O_3 的质量， mg/h；

I 为电子束流强度， mA；

d 为电子在空气中的行程，结合电子在空气中的线阻止本领 $S=2.3\text{keV}/\text{cm}$ 和辐照室尺寸选取，本处保守取 280cm；；

G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数 ($G=10$)。

(2) O_3 的浓度

设： O_3 的有效分解时间为 t_d (常取为 0.83h)， 通风换气周期为平均每次换气需通风 t_V 小时 (h)。

\bar{T} 为 O_3 的有效清除时间 (h)：

$$\bar{T} = \frac{t_V \times t_d}{t_V + t_d} \quad (11-6)$$

在加速器正常运行期间，臭氧不断产生，考虑到室内连续通风和臭氧自身的化学分解 (有效化学分解时间约为 50 分钟)，辐照室空气中臭氧的平衡浓度随辐照时间 t 的变化为：

$$Q = \frac{P}{V} \bar{T} (1 - e^{-\frac{t}{\bar{T}}}) \quad (11-7)$$

当 $t_V \ll t_d$ ，因而 $\bar{T} \approx t_V$ 。当长时间辐照时，则辐照室内臭氧平衡浓度 (mg/h) 为：

$$Q = \frac{P}{V} \bar{T} \quad (11-8)$$

式中： V 为机房的体积， m^3 ；

(3) 参数与结果

电子加速器辐照室排风量为 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，换气次数不低于 25 次，即 $t_V=0.04\text{h}$ ，按 (11-7) 计算出 $\bar{T}=3.82\text{E-}02\text{h}$ 。电子加速器辐照室相关参数与 O_3 浓度计算结果如表 11-8 所示。

表 11-8 电子加速器辐照装置相关参数与 O_3 产额计算结果

装置名称	I (mA)	d (cm)	V^* (m ³)	P (mg/h)	Q (mg/m ³)
电子加速器辐照装置	40	280	350	5.04E+6	5.50E+2

备注：电子加速器辐照室的体积参照图 10-4 参数保守估算（约 350m³）。

根据上述估算结果，电子加速器辐照室内臭氧平衡浓度为 5.50E+2mg/m³，高于 GBZ2.1 所规定的工作场所最高容许浓度（浓度限值 0.3mg/m³）。

（4）臭氧排放

由于臭氧浓度不满足要求，因此在电子加速器辐照装置停止运行后，人员不能直接进入辐照室，风机需继续运行，其运行时间 T 由下式计算：

$$T = -\bar{T} \ln \frac{Q_0}{Q} \quad (11-9)$$

式中：

T —为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所须时间 (h)。

Q_0 —GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度， 0.3mg/m³。

由（式 11-9）计算出，电子加速器辐照装置停机后，辐照室内的排风机继续工作约 17.2min 后，辐照室内臭氧浓度可满足 GBZ2.1 规定 0.3mg/m³ 标准限值要求。辐照室加速器停机后，继续排风 18min 以后工作人员才能进入辐照室。

在多种氮氧化物 (NO_x) 中，以 NO₂ 为主，其产额约为 O₃ 的一半，工作场所中的限值为 O₃ 浓度的 16.7 倍，GB3095-2012 中规定的外部环境中 NO₂ 的浓度限值与 O₃ 相近。可见，NO_x 是安全的。

如果排到大环境中浓度至少降低几个数量级，说明臭氧的影响是较轻微的，这样的 O₃ 排放浓度对周围公众的影响较小。

11.3 异常事件分析与防范建议

11.3.1 可能发生的事故

由于断电后加速器就不会再持续的产生辐射，且本项目加速器是 2.5MeV 的电子辐照设备，一般的事故都不会对环境造成影响。加速器有比较完备的屏蔽、联锁和警告装置、操作规程，以及严格规章制度，所以其他人员不可能进入电子加速器辐照室。在控制台设有紧急按钮，可以使人员及时摆脱危险。为了防止这类事故的发生，加速器的安全联锁装置应经常保持良好的工作状态，并且应该制定严格的规章制度和操作规程，对工作人员进行辐射安全教育和培训，加强工作

人员的安全意识。

冷却水泄漏事故，水中的不考虑感生放射性影响，发生该类事故时对环境的影响是极其轻微的。其它电源故障、触电、着火等事故，不会对环境造成辐射污染。

11.3.2 假想事故的环境影响

(1) 事故情景假设

检修人员或工作人员人为将加速器安全装置旁路，仅切断了束流便进入辐照室，加速器在高压状态下，会产生暗电流，主要为高压电场作用下灯丝表面的电子逸出、高压发生器在锻炼高压或者束流过程中可能发生电晕放电、气体电离等也会产生带电粒子等，可能形成空载电流，导致人员受到照射。事故情景假设：人员进入辐照室后，穿过 3 道红外光电联锁时，加速器高压就立即停止。保守假设在入口处停留时间 10s，据此估算误入人员的最大受照剂量。

(2) 事故后果计算

加速器在高压状态时，最低空载束流约为额定束流的二十分之一，考虑束下空气吸收剂量率为正常运行时的二十分之一。根据报告表前面分析，空载电流导致的辐射，在 3 道红外光电联锁前的剂量率不大于 $2.5\mu\text{Gy}/\text{h}$ ，假设人员停留 10s，所受到的剂量不大于 $0.1\mu\text{Sv}$ ，不构成辐射事故。

11.3.3 风险防范措施

结合本项目情况，可能发生的最严重的事故是人员误入高辐射区造成的人身伤害事故。这类事故威胁运行人员的人身安全，但是不会对环境造成影响。本项目中待建设的实验室设有完备的辐射安全联锁系统，可以防止此类事故的发生。

(1) 安全联锁装置

为了防止由于工作人员的误操作或由于控制失灵而造成工作人员遭受意外辐射损害，装置本身及控制系统在设计中都应进行联锁装置和警告装置设置。

安全联锁装置由物理器件、机械或电器设施组成，并依赖自动控制系统的联锁设计实现，以采集信号方式来区分，在设计安全联锁时本着多重性，多样性，独立性的原则，可以设多道安全联锁（安全联锁装置，包括钥匙开关、急停装置、工作状态指示灯、视频监视装置和声光报警装置等），能够满足达标要求。

(2) 报警装置

实验室辐照装置设有声光报警装置，用于人员的警示作用。防护门外上方安装指示灯，实时显示实验室工作状态，防止人员误入。最大限度保障人员安全和设备合理使用。声光报警装置主要包括警铃、报警灯。装置与声光报警装置联锁，准备照射时，黄色报警灯工作；装置工作时，红色报警灯工作；当屏蔽门关闭时，绿色警灯工作。

（3）紧急停机装置

在辐照室、主机室、控制室明显位置设急停装置，万一滞留在室内人员可按开关切断高压，停止出束，从而保证人身及设备的安全。墙上标明“紧急开关”字样，复位后高压才能启动。

（4）剂量监测和视频监控

辐照室、主机室配备视频监控，可实时全方位监视实验室情况；场所内设有固定式辐射报警仪开展剂量监测。辐射工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

辐照室、主机室安装视频监控系统，操作人员直接或间接观察辐照室、主机室内装置位置及设备、被照样品情况。与此同时，为防止出现事故，设剂量监测系统，并与照射间视频监控系统结合，进行及时控制。一旦剂量出现异常值，可立即采取相应措施将其停止。

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条和国家环境保护总局环发<2006>145号文件之规定，发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理小组

北京大学已经设置了北京大学辐射防护领导小组作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-8 所示。

辐射安全管理小组的职责：

1. 在北京大学辐射安全与防护领导小组组长、副组长的领导下，负责北京大学辐射安全防护的管理工作。
2. 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本院相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。
3. 制定、修订北京大学辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。
4. 制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全与防护领导小组组长的指挥下负责事故现场的应急处理工作。
5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。
6. 建立装置档案，组织北京大学有关部门和人员对使用的装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。
7. 对北京大学从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。
8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好北京大学年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

12.1.2 辐射工作人员

本项目拟新增 2 名辐射工作人员，将按照生态环境部 2019 年第 57 号公告、2021 年第 9 号公告要求，定期（五年一次）组织辐射工作人员进行辐射安全防护考核，辐射工作人员按要求每五年考核一次，考核通过后方可上岗。

12.2 辐射安全管理规章制度

包括《北京大学辐射安全与防护管理办法》《辐射防护岗位职责》《北京大

学涉源单位安全保卫职责规定》《北京大学辐射工作人员安全与职业健康管理实施细则》《北京大学放射性同位素与射线装置台账管理制度》《北京大学辐射安全事故应急预案》《北京大学废旧放射源和放射性废物管理和处置规定》《化学与分子工程学院放射安全和防护管理相关制度》《物理学院辐射安全和防护管理相关制度》《生命科学学院辐射安全和防护管理相关制度》《城市与环境学院辐射安全和防护管理相关制度》《环境科学与工程学院辐射安全和防护管理制度》《考古文博学院辐射安全和防护管理相关制度》《实验动物中心辐射安全与防护管理制度》《工学院放射安全和防护管理相关制度》《地空学院放射安全和防护管理相关制度》《北京大学医院放射安全和防护管理相关制度》《北京大学信息科学与技术学院辐射装置安全与防护安全管理相关制度》等制度。

本项目实施后，北京大学将结合新项目的开展，在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善相关制度，还需补充完善项目涉及的实验室岗位职责、操作规程、辐射安全和防护管理相关制度和监测方案的修订工作。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

北京大学已制订有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为北京大学辐射监测计划体系的管理目标之一，要求北京大学辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，并建立相应的个人剂量监测档案。北京大学每年对全校所有辐射工作场所至少监测一次，监测频度为每3个月检测一次。北京大学将严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，北京大学严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

如发现监测数据异常，将立即暂停其辐射工作，查明原因并妥善解决后方可继续开展辐射工作。

12.3.2 辐射监测仪器配备和防护用品

北京大学已配置必要的辐射监测仪器，本项目拟新增1台便携式辐射防护监测仪、2台个人剂量报警仪和新增1套固定剂量报警仪（2探头），能够满足辐射防护和环境保护的要求。设备名称、数量和技术指标要求见表12-1。

表12-1 监测仪器配置表

序号	仪器名称	型号	数量	备注
1	便携式辐射防护监测仪	待定	1 台	新增
2	固定式辐射监测仪	待定	1 套	新增
3	个人剂量报警仪	待定	1 台	新增

12.3.3 辐射工作场所监测

根据原环保部 18 令的要求, 北京大学具备自行检测能力的单位, 本项目每年使用便携式剂量率仪开展 2 次自行监测。已建立辐射环境自行监测记录或报告档案, 并妥善保存, 接受生态环境行政主管部门的监督检查。

本项目工作场所监测包括 X 射线剂量率监测, 场所配备有固定式剂量监测仪。

自行监测采用安装固定式在线监测仪表和便携式监测仪表相结合的方式, 其固定式在线监测设备安装位置分别见图 10-7。本项目辐射工作场所监测计划见表 12-2, 辐射工作场所监测布点参照见图 11-1~图 11-3 估算点。

表 12-2 本项目辐射工作场所监测计划

监测场所	监测类别	监测方式	监测内容	监测项目	监测点位	监测频次
辐照室	自行监测	固定式	贯穿辐射	γ 辐射剂量率	辐照室内	实时
		便携式			四周屏蔽体外可达处和防护门外 30cm 处	2次/年
主机室	自行监测	固定式	贯穿辐射	γ 辐射剂量率	主机室内	实时
		便携式			四周屏蔽体外可达处和防护门外 30cm 处, 屋顶	2次/年

12.4 辐射事故应急管理

北京大学已制定《北京大学辐射事故应急制度》。本项目实施后, 北京大学将严格依据《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求, 完善使用射线装置有关的各项管理制度, 确保运行过程中的辐射安全。在应急预案中进一步明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容, 能够满足北京大学实际辐射工作的需要。

发生辐射事故时, 应当立即启动本单位的辐射事故应急方案, 采取必要防范措施, 并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》, 向当地生态环境部门报

告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生健康行政部门报告。北京大学将每年至少组织一次应急演练。

12.5 项目环保验收内容建议

建议本项目的环保验收内容列于表 12-3 中。

表 12-3 项目环境保护竣工验收内容

验收内容	验收要求
环保资料	本项目审批后的环境影响报告表、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等。
辐射安全管理	建立辐射安全管理机构、确定了相应的安全责任、制定了相应的规章制度等。
人员要求	辐射工作人员参加辐射安全与防护考核，考核合格后上岗，并开展个人剂量监测。
剂量约束值和剂量率控制	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告建议，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a 。辐射工作场所周围屏蔽及防护门外 30cm 处（人员可达处）辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。
电离辐射标志和中文警示	防护门外设置电离辐射警示标志和中文说明，防护门上方设置工作状态指示灯。
布局和屏蔽设计	加速器室墙体、屋顶、地板和防护门屏蔽射线的能力满足辐射防护的要求。
辐射安全设施	落实本报告表表 10 中提出的各项辐射安全与防护措施。
辐射监测	有满足管理要求的辐射监测制度，每年进行 2 次辐射监测和开展自行监测，监测记录存档；配备 1 台便携式辐射防护监测仪、1 套固定式辐射防护剂量报警仪（2 个探头）和 2 台个人剂量报警仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。
规章制度	制定有相应的辐射安全防护制度，从业人员辐射安全培训制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台账管理制度、环境监测及个人剂量监测制度，并有效贯彻落实。
应急预案	针对人员受照大剂量照射，以及导致环境污染后果等情景，建立有应急预案，并落实必要的应急装备，制定有辐射事故（件）应急演练计划。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

综合实验楼北侧东部拟建电子加速器辐照室，拟新增 1 台 FYMA025100 型电子加速器辐照装置（2.5MeV/40mA），用于模拟电子或模拟光子同步放化疗与活体化学实验，研究高能电子辐照在中型到大型动物的活体化学效应，还可用于体外模拟探针的内照射生物效应等机理研究。

本项目符合当前国家产业政策，运行产生的辐射影响很小，对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，低于其使用对社会带来的利益，符合实践正当性原则，该项目实施是正当可行的。

13.1.2 选址合理性分析

本项目辐照室位于地下一层，主机室位于地上一层（主机室的楼顶上方为三层地面），主束往下照射。该场所周围 50m 范围内除了西侧有多模态跨尺度生物医学成像设施项目东区停车位和东侧慧云东路部分区域外，其他三面都是平台内部，紧邻区域无敏感人员长期居留，已避开特殊人群及人员密集区域，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及应用的便利性，对公众影响较小。

辐照室和主机室采用实体屏蔽措施，主机室防护门拟设常闭门，辐照室防护门外拟设警示、联锁，能够保证周围场所的防护与安全，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目使用场所是可行的。

13.1.3 辐射防护屏蔽能力分析

通过对电子加速器辐射装置实体屏蔽措施分析可知，能够保证装置周围 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，并设置门-灯联锁、工作状态指示及电离辐射警示等措施，符合辐射安全防护的要求。

13.1.4 辐射环境评价

(1) 根据现场监测和估算结果可知，预计工作人员和公众的年受照剂量均低于相应剂量约束限值（ $2\text{mSv}/\text{a}$ 、 $0.1\text{mSv}/\text{a}$ ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，应该进行调查并报生态环境部门备案。

(2) 本项目射线装置正常运行（使用）情况下，不产生放射性废气、放射

性废水和放射性固体废物，故不存在放射性“三废”对环境影响的问题。

(3) 辐射安全防护管理：设有辐射安全与环境保护管理机构，负责辐射安全管理和监督工作。拟完善操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护等制度。

(4) 与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的规定对照检查，满足要求。

13.1.5 结论

综上所述，北京大学使用电子加速器辐照装置项目相应的辐射安全和防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京大学承诺：

(1) 遵守有关法律、法规的规定，执行管理制度，落实管理责任。不违规操作和不弄虚作假。

(2) 妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；

(3) 辐射工作人员全部参加辐射安全与防护考核，考核合格后方可上岗，定期组织在岗人员参加辐射安全知识继续教育。

(4) 严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所和参与辐射工作的工作人员进行监测，并将监测记录保存留档；

(5) 项目竣工后，及时自行组织开展竣工环境保护验收。运行期间接受生态环境管理部门的监督检查。

表 14 审 批

下一级环保部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日

