

核技术利用建设项目
新院区新增使用医用电子直线加速器项目
环境影响报告表

首都医科大学附属北京儿童医院
2026年04月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

新院区新增使用医用电子直线加速器项目

环境影响报告表

建设单位：首都医科大学附属北京儿童医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市西城区南礼士路 56 号

邮政编码：100045

联系人：孙天智

电子邮箱：beitou_bch_project@163.com

联系电话：15201232168

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	13
表 3	非密封放射性物质.....	14
表 4	射线装置.....	15
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	16
表 6	评价依据.....	17
表 7	保护目标与评价标准.....	21
表 8	环境质量和辐射现状.....	25
表 9	项目工程分析与源项.....	28
表 10	辐射安全与防护.....	34
表 11	环境影响分析.....	44
表 12	辐射安全管理.....	64
表 13	结论与建议.....	68
表 14	审 批.....	71

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新院区新增使用医用电子直线加速器项目			
建设单位		首都医科大学附属北京儿童医院			
法人代表	倪鑫	联系人	孙天智	联系电话	15201232168
注册地址		北京市西城区南礼士路 56 号			
项目建设地点		北京市北京经济技术开发区亦庄新城 0203 街区 X100A1 地块 拟建临床诊疗中心地下一层东南侧			
立项审批部门		无	批准文号	无	
建设项目总投资（万元）		6800	项目环保投资（万元）	800	投资比例（环保投资/总投资） 11.77%
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 ）	350
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					
<p>1.1 单位概况</p> <p>首都医科大学附属北京儿童医院（简称“北京儿童医院”或“医院”）是集医疗、科研、教学、保健于一体的三级甲等综合性儿科医院，前身是我国现代儿科学奠基人诸福棠院士于 1942 年创办的北平私立儿童医院。现有院区位于北京市西城区南礼士路 56 号，医院总占地面积 7 万平方米，建筑面积 12 万平方米，编制病床 970 张，年均门诊量约 300 万人次，住院病人 8 万余人次，手术逾 3.4 万例。</p> <p>医院技术力量雄厚。拥有国家级重点学科儿科学，国家儿童肿瘤监测中心、</p>					

国家呼吸系统疾病临床医学研究中心等 12 个国家级平台，10 个国家临床重点专科，7 个北京市重点实验室，4 个北京市级研究平台以及 16 个市级医疗中心。医院设有疑难病例会诊中心和远程会诊中心，儿科疑难重症疾病的诊断治疗水平居国内领先地位。

医院为积极推进国家儿童医学中心（北京）的建设，积极落实国家与北京市各项发展规划，促进北京市儿童医疗卫生事业持续健康发展，实现核心区非首都功能疏解，北京市南部地区可持续优质发展，改善北京儿童医院诊疗与科研环境，为北京市乃至全国的疑难杂症与危急重症患儿提供优质可靠的医疗服务，医院拟建设新院区，设置床位 1200 张。

北京儿童医院为已取得《辐射安全许可证》单位。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状

北京儿童医院已取得了辐射安全许可证（京环辐证[B0058]，有效期至 2028 年 10 月 11 日），许可的种类和范围是：使用 II 类、III 类射线装置，北京儿童医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 北京儿童医院已许可的射线装置情况

序号	装置名称	类别	装置数量 (台)	活动种类
1	牙科 X 射线机	III	2	使用
2	牙科 X 射线机 CBCT	III	1	使用
3	放射诊断用普通 X 射线机（床旁）	III	14	使用
4	X 射线摄影装置（数字胃肠机）	III	2	使用
5	医用 X 射线骨密度仪	III	1	使用
6	数字减影血管造影装置	II	2	使用
7	放射诊断用普通 X 射线机（固定）	III	6	使用
8	X 射线摄影装置（泌尿造影机）	III	1	使用
9	医用 X 射线 CT 机	III	2	使用
合计		II 类：2 台；III 类：29 台		

1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京儿童医院近五年以来一共有 1 个辐射环评报告表项目，建设项目依照

法规要求履行了环保手续，具体落实情况见表 1-2。

表 1-2 建设项目竣工验收落实情况

序号	项目名称	环评批复文号 或备案号	竣工验收情况
1	新增使用 II 类 射线装置项目	京环审[2022]74 号	2023 年 9 月完成自行验收

1.2.3 辐射安全管理情况

1.2.3.1 辐射管理机构基本情况

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进放射性同位素和射线装置的安全使用，北京儿童医院专门成立了辐射安全与防护管理委员会，由院长担任组长，常务副院长担任副组长，心脏内科、心脏外科、影像中心、神经外科及功能神经外科、口腔科、急诊外科及普外科、消化科、麻醉科、医务处、采购中心、物管中心、保卫处、运营保障处等各部门的相关人员担任组员，并指定医务处专职负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表 1-3。

表 1-3 北京儿童医院辐射安全与防护管理委员会名单

职位	姓名	性别	专业	职务或职称	工作部门	专/兼职
组长	倪鑫	男	行政	院长	院办	兼职
副组长	赵成松	女	行政	常务副院长	院办	兼职
成员	贾晨光	男	行政	副院长	院办	兼职
成员	肖燕燕	女	心脏内科	副主任	心脏内科	兼职
成员	李志强	男	心脏外科	主任	心脏外科	兼职
成员	彭芸	女	影像医学	主任	影像中心	兼职
成员	段晓岷	女	影像技术	副主任	影像中心	兼职
成员	梁树立	男	神经外科及功 能神经外科	主任	神经外科及功能神 经外科	兼职
成员	于国霞	女	口腔	副主任	口腔科	兼职
成员	黄柳明	男	普外科	主任	急诊中心、急诊外 科、普外科（移植）	兼职
成员	吴捷	女	消化科	主任	消化科	兼职
成员	张钰	女	护理	手术室护士 长	麻醉科	兼职
成员	王芳	女	麻醉科	副主任	麻醉科	兼职

成员	田超	男	行政	副处长	医务处	兼职
成员	杜亚楠	男	行政	研究员	医务处	兼职
成员	涂途	女	行政	主任	采购中心	兼职
成员	徐恒	男	行政	副主任	物管中心	兼职
成员	赵国	男	行政	助理工程师	物管中心	兼职
成员	翟敬刚	男	行政	处长	保卫处	兼职
成员	聂纪锋	男	行政	副处长	运营保障处	兼职
成员	王晓瑜	男	院办	副主任	院办	专职
成员	王桂香	女	医务处	副主任	医务处	专职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

北京儿童医院依照《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》，结合医院情况和实践，已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，包括《辐射安全与放射防护安全保卫制度》《设备台账管理制度》《设备检修保养及报废制度》《环境监测及工作人员管理制度》《从业人员安全培训制度》《辐射安全与放射防护工作操作规程》《辐射安全与放射防护应急预案》《辐射事件报告制度》等，并按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员考核情况

北京儿童医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关工作人员共约 114 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

今后，医院将按照生态环境部 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。

1.2.3.4 个人剂量监测

北京儿童医院所有从事辐射工作的医护人员均佩带 TLD 个人剂量计，每季度监测一次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）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 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

目前，个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，

监测频度为每 3 个月检测一次。医院 2025 年度个人剂量监测结果表明，辐射工作人员年剂量最大值 0.373mSv，均不高于 1mSv，所有人员都低于医院规定的管理目标值。开展个人剂量检测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况。

医院有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医院辐射防护领导小组。今后将继续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，结果由本人和科室负责人签字后存档；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。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

(1) 委托第三方检测：根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，医院每年委托有资质单位对射线装置工作场所进行 1 次工作场所环境辐射水平监测，监测数据记录存档。

医院每年委托有资质的单位对医院已有的辐射场所防护和机器性能检测一次，且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

医院最近一次于 2025 年 9 月委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司对医院现有辐射工作场所进行了场所监测，监测项目为 X、 γ 辐射剂量率。据检测结果，DR 摄影相关设备机房外的周围剂量当量率为 0.12 μ Sv/h~16 μ Sv/h（小于 25 μ Sv/h），其他射线装置机房外的周围剂量当量率为 0.11~1.8 μ Sv/h（小于 2.5 μ Sv/h），满足 GBZ130-2020 中限值要求。

(2) 工作场所自行监测：根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，医院定期开展工作场所环境辐射水平自行监测。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-4。

表 1-4 医院现有辐射防护监测仪器清单

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量
----	------	----	------	------	----

1	X、Y辐射空气比释动能率仪	JB4000型	2022-11-10	正常	1
2	环境辐射 X- γ 剂量率仪	AT112	2018-03-01	正常	1
3	X 线检测仪	TNT12000D	2010-01-01	正常	1

本项目运行后，周围场所的辐射水平监测工作，将继续纳入医院辐射工作场所的监测范围，一并按照现有制度规定的频度开展。

1.2.3.6 辐射事故应急管理

北京儿童医院依据《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，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故（件）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。

医院已获得许可使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。医院已针对上述许可使用中可能发生大剂量照射等事故/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患者的生命安全，其中 2025 年度于 2025 年 8 月 5 日，在急救楼 3 层进行了医院 2025 年年度的辐射安全事故应急演练。本次演练由医务处、放射科、保卫处联合策划，以检查过程中公众误入机房事故为背景开展，演练采取“实景设置、实兵展开、实际操作”的方法进行。参与演练人员较好地履行各自的职责，并根据事前商定的射线装置辐射安全事故应急处置流程有序的完成了既定任务，达到了演练的预期效果。通过此次演练，提高了医务人员对突发性辐射事故的提安全意识、岗位责任感、防范意识和应急处理能力，增强了科室间的协作能力，保障了职工和就诊群众的安全。

1.2.3.7 其他情况

北京儿童医院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 2025

年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 项目建设背景

近年来，随着北京医疗卫生事业的迅速发展，人民健康水平持续提高，但医疗卫生服务体系结构性问题依然突出。特别是国家最新人口政策发布以来，新生儿人口数量剧增，儿科医疗存在的问题尤其突出。北京儿童医院作为全国儿科专业“领头羊”，大量的全国的患儿前来就诊，医院面临着超负荷运转，新技术、新方法因基础设施的限制无法开展，手术期难排、床位紧张等诸多困难；同时还给中心城区带来大量人流、交通和环境压力。为积极推进国家儿童医学中心（北京）的建设，积极落实国家与北京市各项发展规划，促进北京市儿童医疗卫生事业持续健康发展，实现核心区非首都功能疏解及改善北京儿童医院诊疗与科研环境，首都医科大学附属北京儿童医院特提出建设新院区工程。

作为国家儿童医学中心的依托主体医院，北京儿童医院在全国儿科疑难危重症诊断治疗、医学科学关键技术突破、高水平医学研究与成果转化等方面始终发挥着示范引领作用。但当前医院存在核心诊疗链条的关键短板——尚未组建核医学科与放疗科，同时儿童肿瘤、心血管等重症精准诊疗资源高度紧缺；更值得关注的是，新院区所在区域尚无医疗机构具备儿童专用核医学诊疗、肿瘤放射治疗及高端介入治疗能力，进而造成患儿跨区就医成本攀升、救治时效大打折扣。在此背景下，同步推进核医学科建设、直线加速器（放疗科核心设备）及 DSA 设备配置，不仅是填补区域儿科高端诊疗缺口的核心抓手，更是国家儿童医学中心践行行业引领使命、促进儿科核技术规范应用与发展的必然选择。

1.3.2 建设工程概况

北京儿童医院新院区位于北京经济技术开发区亦庄新城 0203 街区 X100A1 地块，总用地面积约 153340.1m²，规划总建筑面积 295800m²，其中地上建筑面积 205800m²，地下建筑面积 90000m²。新院区主要建设临床诊疗中心、科创中心、感染性疾病中心及配套用房等。新院区建成后，设置床位 1200 张。

新院区已取得北京市规划和自然资源委员会开发区分局《建设工程规划许

可证》（2025 规自（开）建字 0069 号）。医院于 2025 年 7 月 22 日取得了北京经济技术开发区行政审批局《关于北京市首都医科大学附属北京儿童医院新院区建设工程环境影响报告书的批复》（经环保审字 [2025]0097 号）等审批文件。

新院区于 2025 年 3 月 5 日正式开工，预计 2028 年投入使用。

1.3.3 新院区建筑布局

新院区按照分中心模式进行一级流程设计，用地中央布置临床诊疗中心，便于与周边出入口及配套建筑物衔接；考虑该地区主要风向为北风，将感染性疾病中心布置于用地南侧，位于院区下风向；用地北侧布置科创中心。

科创中心与临床诊疗中心通过地上及地下连廊相连，推动临床医学、科研、教学的便捷联系，打造一个独一无二的医疗生态体系，成为集医、教、研为一体的综合设施，助力北京儿童医院新院区未来儿科及妇产医学发展。

临床诊疗中心地下一层层高 6 米，地下二层层高 4.8 米；地上首层层高 5.1 米，二层~四层高 4.8 米，五层~九层层高 4.5 米。临床诊疗中心的主要布局如下。

地下二层：主要设置汽车库、太平间、物资库、病理库、档案库、设备用房等。

地下一层：主要设置汽车库、落客区、影像中心、放疗中心、核医学、营养厨房、肠内营养、配奶、对外餐厅、病案库、药库、白衣交换、垃圾暂存、设备用房等。

一层设置：血透中心、消防安防中心、采血中心、产科门诊、康复中心、高压氧、挂号收费、住院办理、PIVAS、中心药房、急诊留观、输液中心、雾化、急诊、抢救、EICU、急诊急救医护辅助区、门诊办公、特需接待中心、120 急救站、日间化疗、进排风机房、开闭站。

二层设置：检验中心、B 超、介入超声、心脏彩超、功能检查、舒适化中心、儿科门诊、妇科门诊、计划生育科、生殖中心、临检、儿科病房、新生儿病房。

三层设置：PICU、CCU、眼科门诊、MDT、新生儿病房、儿科病房、家属等候、中心供应、儿科门诊。

四层设置分娩、LDR、产科ICU、产科病房、输血科、儿科病房、治未病中心、中医综合治疗区、中心手术、日间手术、介入肺科、内镜中心、儿科门诊。

五层设置耳鼻喉科、国际医疗部、手术净化机房、儿科病房、产科病房、灾备机房、汇流排、医学美容科、皮科、手术辅助区、机器人中心。

六层设置国际医疗部、口腔科、儿科病房、妇科病房。

七层设置儿科病房。

八层设置儿科病房。

九层设置儿科病房、儿科特需病房、移植病房。

1.3.4 本项目环境影响评价内容

新院区新建的辐射工作场所均位于临床诊疗中心，涉及的核技术利用建设内容主要包括四部分：1.核医学科：设有 SPECT、PET 显像场所和门诊治疗场所，位于临床诊疗中心地下一层南区西北侧；2.放射科（影像中心）：设有 CT 扫描、DR 诊断等场所，位于临床诊疗中心地下一层南区北侧；3.放疗中心：使用 2 台医用直线加速器、1 台模拟 CT、1 台模拟 MR，位于临床诊疗中心地下一层南区东侧；4.介入中心：使用 3 台 DSA，位于临床诊疗中心地上四层。

为了使环评报告的内容清晰明了，避免交叉凌乱，本项目对核医学科及放疗中心医用直线加速器、DSA 项目分别编制环境影响报告表进行报批。由于上述建设内容均为编制“环境影响报告表”类别的建设项目，所以不存在建设项目拆分问题。地下一层还涉及放射科 CT、DR 以及放疗中心 1 台 CT 模拟定位机等其它使用的Ⅲ类射线装置拟在确定设备具体厂家和型号后单独进行备案。

本项目只涉及临床诊疗中心地下一层的放疗中心医用直线加速器区域。

1.3.5 项目建设内容与规模

(1) 放疗中心基本情况

医院拟在临床诊疗中心地下一层放疗中心新建 2 间加速器机房，并分别新增使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器。放射治疗科拟使用的射线装置情况见表 1-5。

表 1-5 放疗中心拟使用的射线装置情况表

序号	工作场所	型号	参数 (X射线最大参数)	厂家	类别
1	加速器机房1	待定	10MV FFF 模式: 1440Gy/h; 6MV FFF 模式: 840Gy/h; 6MV/10MV 普通模式: 360Gy/h; 最大照射野40cm×40cm CBCT: 150kV/630mA	待定	II类
2	加速器机房2	待定	10MV FFF 模式: 1440Gy/h; 6MV FFF 模式: 840Gy/h; 6MV/10MV 普通模式: 360Gy/h; 最大照射野40cm×40cm CBCT: 150kV/630mA	待定	II类

(2) 放射治疗科规划

1) 整体部署: 新建放疗中心, 为患者提供安全、高效的医疗服务, 同时保障医、技、护、工程等人员有基本的工作、学习、科研场所。

2) 设备数量: 本场所设计了 2 间加速器机房, 拟分别安装使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器。同时拟配套 1 台模拟 MR (非射线装置)、1 台 CT 模拟定位机, 待型号定好后再办理环评备案。

3) 工作制度: 250d/a。

4) 计划: 医院在获得配置许可后再行购置及安装。

5) 辐射工作人员配备

根据建设单位提供的资料, 本项目拟通过科室调整和招聘配备相关工作人员, 本项目拟配备辐射工作人员结构与《放射诊疗管理规定》、《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》符合情况详见表 1-6。

表 1-6 放射中心工作人员结构与法规要求符合情况

岗位	加速器首次配置	每年治疗 1500 名患者人员要求	本项目医院预计配备总人数	备注
医师	1名拥有副高级或以上本专业技术职务任职资格, 且具有5年或以上放射治疗专业临床工作经验的放疗医师	至少6名	6名	本项目建成后, 根据实际投入运行设备情况配备相应工作人员。
物理师	至少1名拥有中级或以上本专业技术职务任职资格, 或者具有5年或以上医学物理工作经验的物理师	至少4名	4名	

技师	至少2名具有2年或以上放疗工作经验的技师	至少10名	10名	
护士	至少1名	至少1名	2名	

放疗中心拟新增 22 名辐射工作人员（医师 6 名，物理师 4 名，技师 10 名，护士 2 名），能够满足医院的使用要求。辐射工作人员上岗前须通过辐射安全和防护考核。医院将为所有辐射工作人员配备个人剂量计，并定期对其进行剂量监测，及时告知其每季度受照剂量，并妥善保存监测数据。

6) 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后2间加速器机房拟新配4台个人剂量报警仪（2台/间）、2套固定式剂量报警仪（1套/间），1台便携式辐射剂量仪，能够满足常规的监测需求。

1.3.6 项目建设正当性和必要性

直线加速器放射治疗是北京儿童医院新增治疗项目。放射治疗是从发现 X 射线及放射性物质后才开始的，随着放射物理学、放射生物学、临床肿瘤学及各种放射治疗装置的发展，已和手术治疗、化学治疗一起成为治疗恶性肿瘤的三大主要手段。大多数儿童肿瘤对于放射治疗敏感，随着放疗技术的发展，通过精准控制放射治疗的剂量和靶区，放射治疗与手术、化疗等其他手段联合应用，可以最大程度杀死肿瘤，改善儿童长期生存质量，直线加速器具备普通放疗、电子线照射、三维适形放疗、调强放疗等多种功能，适用于治疗全身各种深部肿瘤和浅表肿瘤，是儿童实体肿瘤如脑瘤、神经母细胞瘤、肾母细胞瘤等不可替代的核心治疗手段，能为无法手术切除或术后需辅助放疗的患儿提供关键治疗，提升肿瘤控制率和生存率。因此放射治疗在儿童临床工作中地位越来越重要。

北京儿童医院为一家专业的儿童专科医院，本项目的建设将使医院有能力帮助更多的儿童患者及时进行诊断和发现疾病，摆脱疾病困扰。医院在放射治疗过程中，对射线装置的使用将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的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，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。

1.3.7 本项目产业政策符合性

本项目医用电子直线加速器属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类第十三项“医药”中第 4 条“高端放射治疗设备”类项目。

本项目不属于《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》中禁止和限制项目。因此，本项目的建设符合国家及地方产业政策要求。

1.3.8 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，本项目属于使用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。受北京儿童医院的委托，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。评价主要考虑射线装置在使用过程中，对周围环境的辐射影响，对职业人员和公众的辐射影响。

1.3.9 项目选址与周围环境

北京儿童医院新院区位于北京市北京经济技术开发区亦庄新城 0203 街区 X100A1 地块，拟建院区东侧为四合路，南侧为新凤河路，西侧为三海子东路，北侧为仁凤路。

本项目 2 间加速器机房均位于临床诊疗中心地下一层东南侧（该区域只有地下 1 层建筑物），周围 50m 区域均为医院内部。加速器机房东侧和南侧为地下土层，西侧为控制室、水冷机房、临时休息室，北侧为窗井、负压机房，楼上为绿化区、楼下为地下土层。

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
无								

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
无										

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》（GB18871-2002）和生态环境行业标准《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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	医用电子直线加速器	II	1	待定	电子	10MV (X 射线) 20MeV (电子线)	1m 处 1440Gy/h@FFF(10MV)、 840Gy/h@FFF (6MV)、 360Gy/h@FF 配套 CBCT: 150kV/630mA	放射治疗	临床诊疗中心地 下一层放疗中心 加速器机房 1	
2	医用电子直线加速器	II	1	待定	电子	10MV (X 射线) 20MeV (电子线)	1m 处 1440Gy/h@FFF(10MV)、 840Gy/h@FFF (6MV)、 360Gy/h@FF 配套 CBCT: 150kV/630mA	放射治疗	临床诊疗中心地 下一层放疗中心 加速器机房 2	

(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
无									

(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	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
无													

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	/			<16.6g		直接排放	经通风系统直接排入环境大气

表6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部部令第16号，2020年11月30日公布，2021年1月1日起实施。</p> <p>(7) 北京市生态环境局关于发布《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉北京市实施细化规定（2022年本）》的通告，通告（2022）4号，2022年4月1日起实施。</p> <p>(8) 《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。</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部部令第20号修订，2021年1月4日公布并实施。</p> <p>(10) 《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。</p> <p>(11) 《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。</p> <p>(12) 《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。</p>
-------------	--

- (13) 《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。
- (14) 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。
- (15) 《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。
- (16) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，原环保部，环办辐射函〔2016〕430号。
- (17) 《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。
- (18) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020年2月。
- (19) 《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。
- (20) 《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。
- (21) 北京市卫生健康委员会《关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》，北京市卫健委，2019年8月。
- (22) 《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。
- (23) 《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。
- (24) 北京市生态环境局关于发布《〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉北京市实施细化规定（2022年本）》的通告，通告〔2022〕4号，2022年4月1日起实施。
- (25) 北京市生态环境局关于发布《北京市生态环境局环境影响评价文件管理权限的建设项目目录（2024年本）》的通告（京环发

	<p>(2024) 24号), 自2025年1月1日起实施。</p> <p>(26) 《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》, 原国家环保总局, 环发〔2006〕145号。</p> <p>(27) 《放射诊疗管理规定》, 中华人民共和国卫生部令第46号, 2006年3月1日起实施。</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) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)。</p> <p>(5) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)。</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007)。</p> <p>(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)。</p> <p>(8) 《医用电气设备 第2-1部分: 能量为1MeV至50MeV电子加速器基本安全和基本性能专用要求》(GB 9706.201-2020)。</p> <p>(9) 《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>(10) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)</p> <p>(11) 《职业性内照射个人监测规范》(GBZ129-2002)</p> <p>(12) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)</p> <p>(13) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)</p>
其他	<p>(1) NCRP Report No.151: Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, 2005。</p> <p>(2) NCRP Report No.144: Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities, 2003。</p> <p>(3) 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。</p>

- | | |
|--|---|
| | <p>(4) 辐射安全手册，科学出版社，2011 年。</p> <p>(5) 《放射肿瘤物理学：教学手册》IAEA，2005 年。</p> <p>(6) 北京儿童医院提供的与本项目相关的申请和技术资料。</p> |
|--|---|

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目拟在北京儿童医院新院区临床诊疗中心新建的放疗中心新增 2 台医用电子直线加速器，其配套的 2 间治疗机房位于临床诊疗中心地下一层东南侧。

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，确定本项目辐射环境影响评价范围为：加速器机房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，无学校、居民楼等敏感目标，周围 50m 区域均为医院内部。

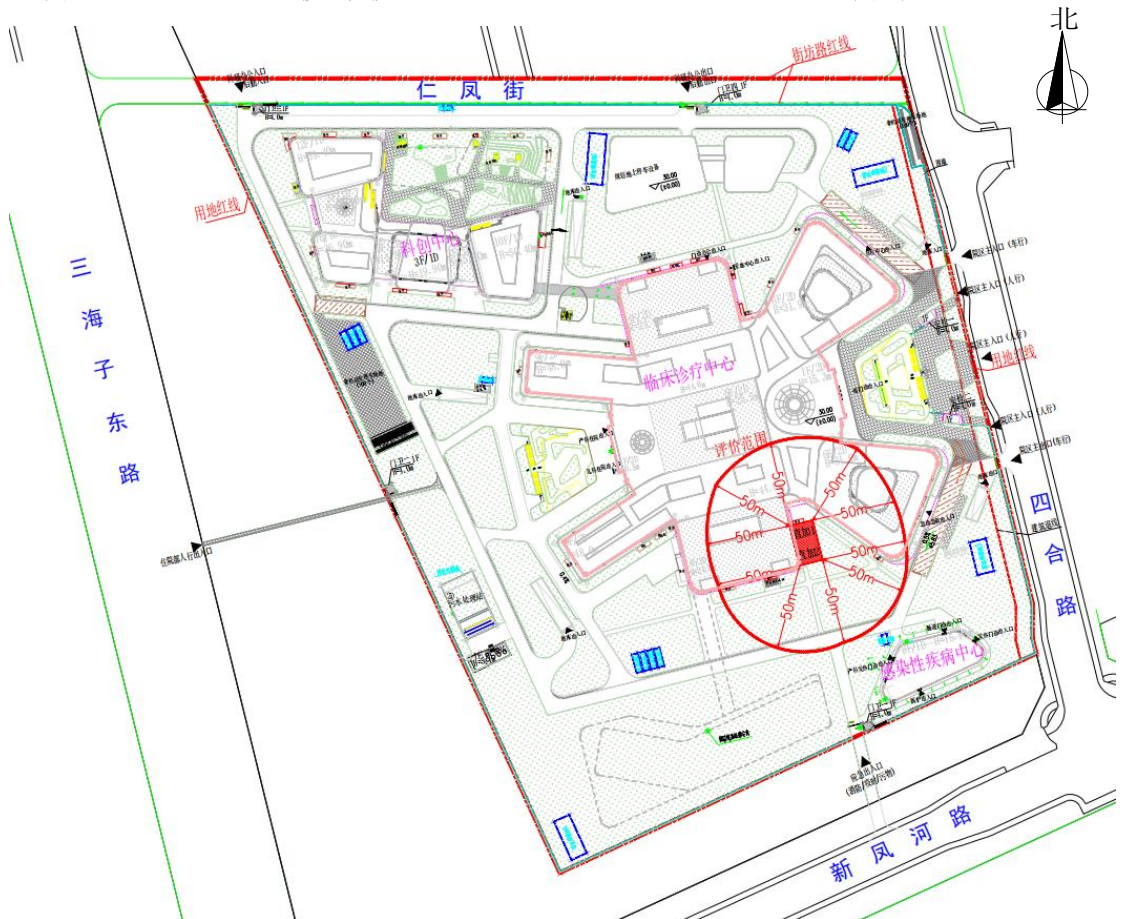


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

(1) 加速器机房 1、加速器机房 2 辐射屏蔽设计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法规及相关标准的要求。

7.1.4 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 X 射线、电子线、臭氧。

7.2 保护目标

本项目拟建 2 间加速器机房均位于新院区临床诊疗中心地下一层东南侧，充分考虑周围场所的安全，放射治疗场所已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，满足 HJ1198-2021 的选址要求。

加速器机房东侧和南侧为地下土层，西侧为控制室、水冷机房、临时休息室，北侧为窗井、负压机房，楼上为绿化区，楼下为地下土层。加速器机房平面布局图见图 7-2，场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7-1 所示。

表 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

项目	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
加速器机房 1、加速器机房 2	本项目工作人员	紧邻	22	/	控制室、水冷机房等
	/	0~23	/	东侧	地下土层
	/	0~23	/		院内绿化
	车库管理人员	23~50	1	东侧	地下车库
	/	0~50	/	南侧	地下土层
	/	0~50	/		院内绿化
	工作人员和患者	0~50	30~50	西侧	放疗中心
	/	紧邻	/	西侧	临时休息室
	其他工作人员和患者	0~33	3	北侧	分变电所、负压机房、车库等
	核医学科工作人员和患者	33~50	30~50	北侧	核医学科
	/	紧邻	/	楼上	院内绿化
	/	紧邻	/	楼下	地下土层

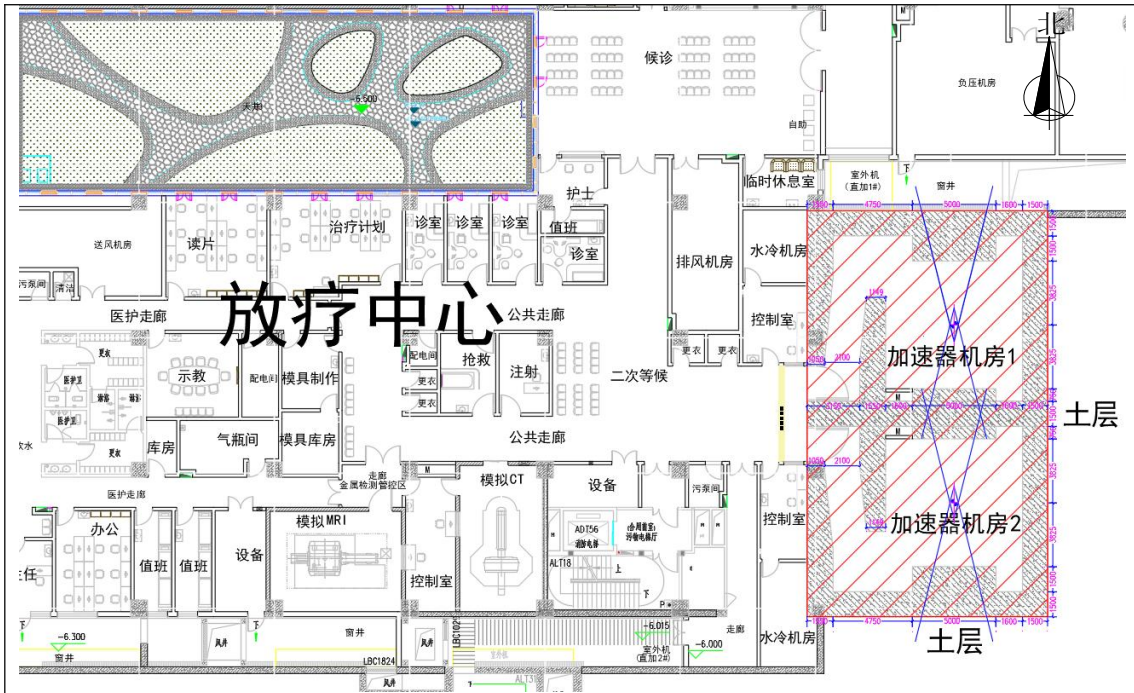


图 7-2 本项目加速器机房（地下一层）周围关系图

7.3 评价标准

7.3.1 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（GB18871-2002）

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

GB18871-2002 规定了剂量约束值：对于职业照射，剂量约束是一种与源相关的个人剂量值，用于限制最优化过程所考虑的选择范围。对于公众照射，剂量约束是公众成员从一个受控源的计划运行中接受的年剂量的上界。

设备的操作人员相对固定，本项目所有从事放射治疗的辐射工作人员年受照剂量约束值取 2mSv；对公众，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。

对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部

门备案。

7.3.3 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，参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目 2 间加速器机房控制区边界外 30cm 处的辐射剂量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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 0.3mg/m^3 和 5mg/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 0.2mg/m^3 ， NO_2 的 1 小时平均浓度 0.2mg/m^3 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

委托持有计量认证资质证书的深圳市瑞达检测技术有限公司（于 2026 年 2 月 26 日完成北京市生态环境监测技术服务机构备案），于 2026 年 3 月 12 日对本次新建的辐射工作场所周围进行了环境 γ 辐射剂量率监测。

8.1.1 监测项目

环境 γ 辐射剂量率。

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 辐射剂量率监测，监测点位布设见图 8-1。

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。测量点距地面 1m，间隔 30s 测读 1 次，每个测量点测量 10 次，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
辐射检测仪	AT1121/2017 1220	DLjl2026-01593/ 2026年2月5日 DLjl2026-00544/ 2026年1月16日	测量范围：50nSv/h~10Sv/h； 能量范围：60keV~3MeV； 相对响应之差：<±25%。

8.1.4 监测依据

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

8.1.5 监测结果

环境 γ 辐射剂量率的监测数据见表 8-2。

表 8-2 拟建临床诊疗中心区域环境 γ 辐射剂量率检测结果

检测点编号	检测点位置	γ 辐射空气吸收剂量率 (nGy/h)

1	拟建临床诊疗中心点位 1	101±3
2	拟建临床诊疗中心点位 2	100±5
3	拟建临床诊疗中心点位 3	103±3
4	拟建临床诊疗中心点位 4	101±4
5	拟建临床诊疗中心点位 5	103±4
6	拟建临床诊疗中心点位 6	99±4
7	拟建临床诊疗中心点位 7	99±4
8	拟建临床诊疗中心点位 8	103±4
9	拟建临床诊疗中心点位 9	101±5
10	拟建临床诊疗中心点位 10	100±7
11	拟建临床诊疗中心点位 11	101±2
12	拟建临床诊疗中心点位 12	102±3
13	拟建临床诊疗中心点位 13	105±2

注:检测结果包含检测仪器在检测点处的宇宙射线响应值(30nGy/h),检测仪器使用¹³⁷Cs作为检定/校准参考辐射源,根据HJ 1157—2021第5.5条,该条件下空气比释动能和周围剂量当量换算系数取1.20Sv/Gy;检测时仪器探头中心距离地面为1m。

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)。由表8-2中检测结果可知,拟建临床诊疗中心区域的环境γ辐射剂量率为95~107nGy/h,为北京市的天然本底范围之内,未发现异常高值。

1、拟建临床诊疗中心布局图

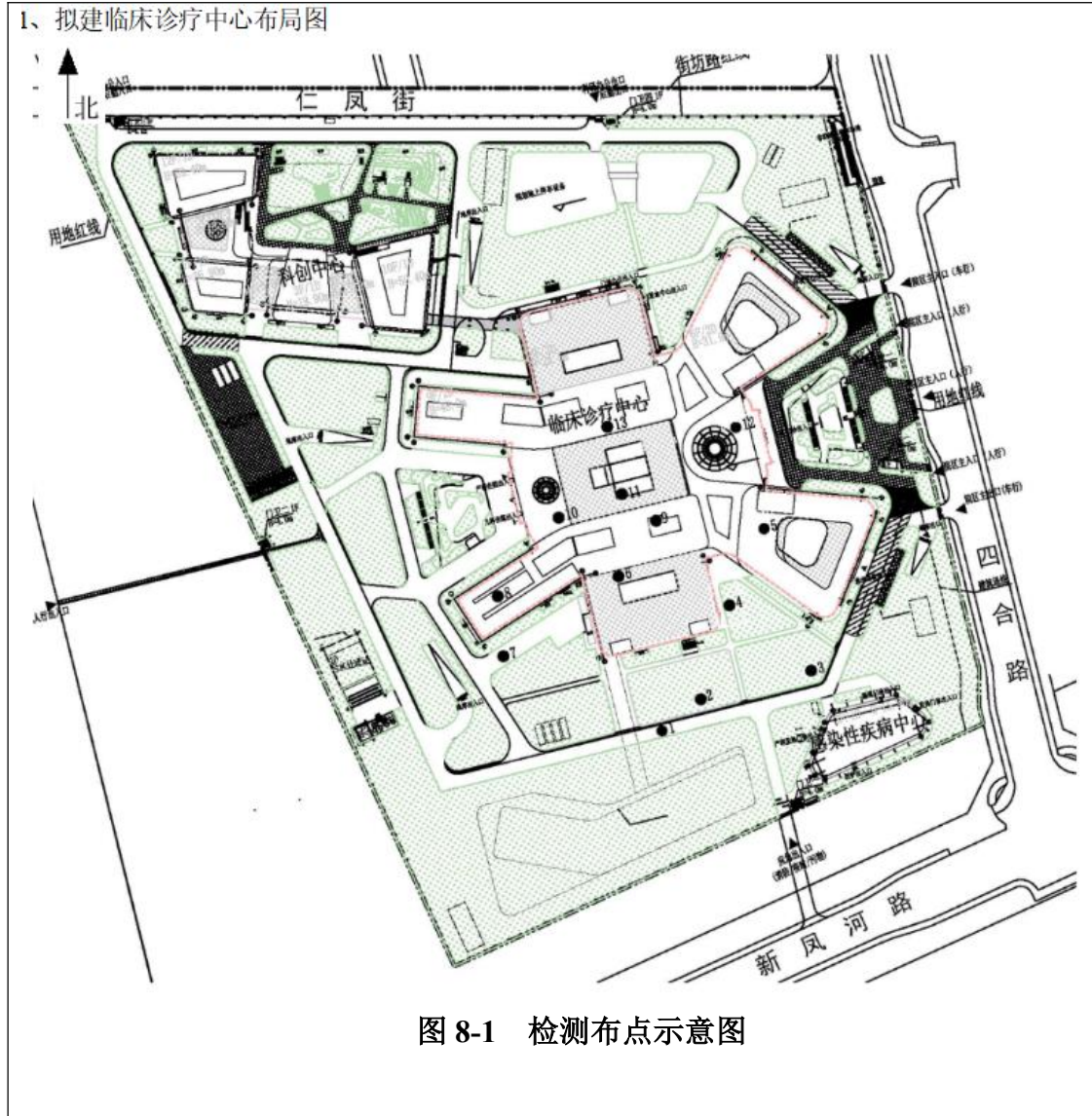


图 8-1 检测布点示意图

表 9 项目工程分析与源项

9.1 医用电子直线加速器

9.1.1 工作原理

电子直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。电子枪发射电子，在由磁控管或速调管为功率源的加速管中加速，当达到所需能量时，经散射箔和准直器得到治疗电子束。在 X 射线工作时，电子束射到金属靶上产生韧致辐射（X 射线），经准直得到治疗 X 射线。加速器放射治疗的工作方式为：以一个或几个治疗野定向照射，获得计划所需的治疗剂量。典型医用直线加速器见图 9-1。

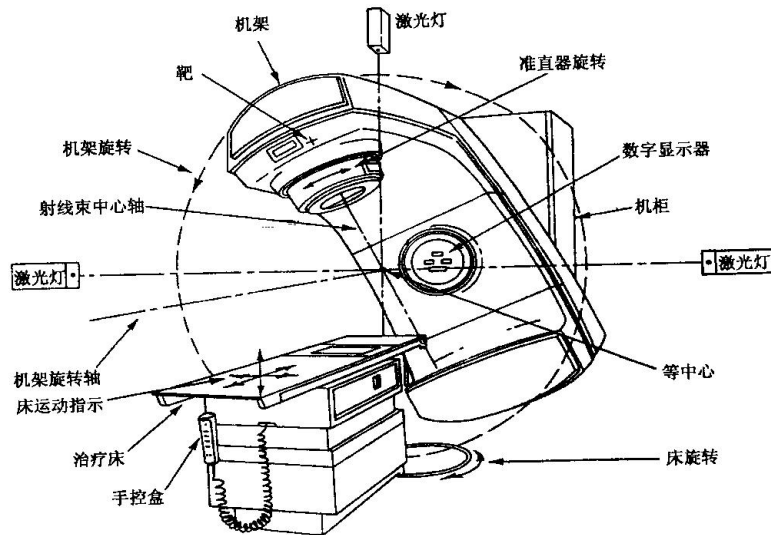


图 9-1 电子直线加速器示意图

医用电子直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的直线加速器，它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，经初级准直器和均整器形成剂量均匀的 X 射线束，再通过监测电离室和次级准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器内部结构见图 9-2。

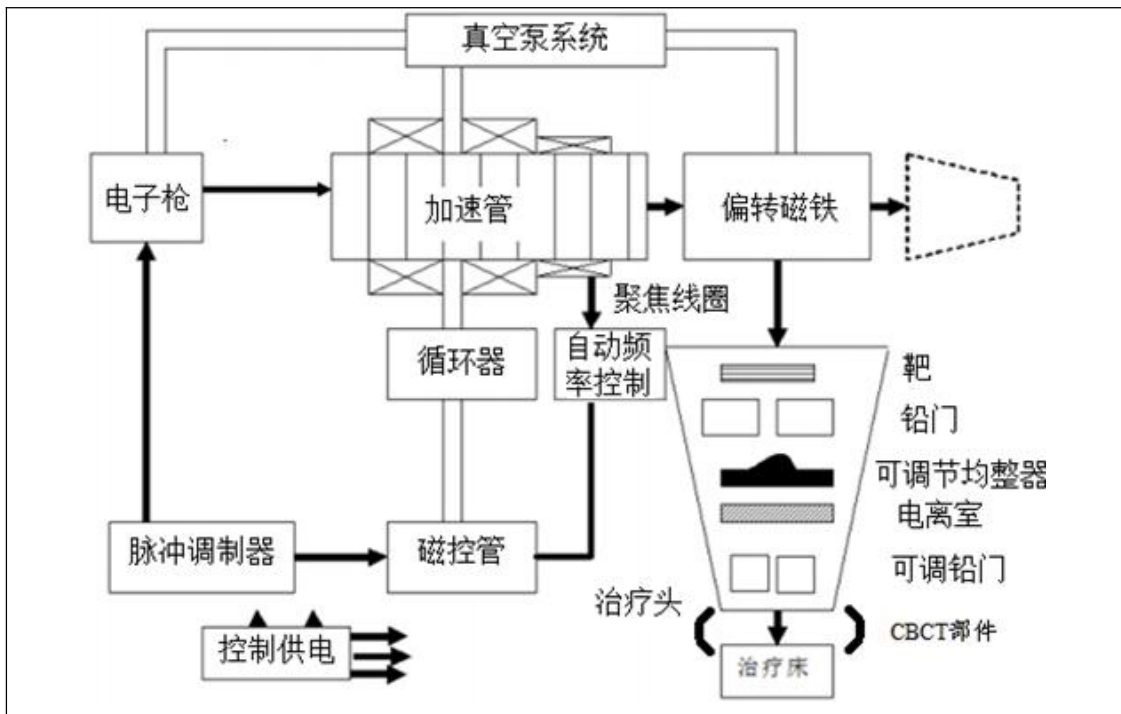


图 9-2 典型医用电子直线加速器内部结构图

(1) 产生带电粒子的结构，即电子枪。

电子枪是在真空状态下，应用高温阴极电子的电子热发射或高电场的电子场发射来获得电子，在阴极电压的电场作用下，电子从电子枪射出，再利用附加电场将电子引到加速器轨道上去。

(2) 加速器的主体部分

这部分的主要作用是将带电粒子加速到预定的能量，按其功能又可分为三个系统：I.加速器电场系统。产生电场使电子加速。II.控制磁场系统。产生磁场力使电子按预定的轨迹运动（包括导引磁场系统和电磁聚焦系统等）。III.真空系统。主要是保证粒子在运动过程中，尽可能减少与气体分子碰撞而造成损失和不必要的影响。

(3) 电子束引出结构

使已加速到额定能量的电子束偏离其原来的轨道，按预定方向直接引出，或者打内靶产生次级粒子。

本项目 2 台加速器拟配有 CBCT 定位模块，主要用于治疗计划验证。CBCT 扫描部分主要由 X 射线管和不同数目的探测器组成，用来收集信息，X 射线束对所选择的层面进行扫描，其强度因不同密度的组织相互作用而产生相应的吸收和衰减。

9.1.2 工作流程

1. 治疗流程

(1) 接收病人：对病人进行登记，进行临床检查，经医生诊断和治疗正当性判定后，根据肿瘤分期、分型确定治疗方针，与放疗中心预约登记，确定模拟定位时间。

(2) 制模：为保证治疗体位重复性与准确性，用热塑体模在相应治疗部位按照病人身体轮廓进行塑形、固定；

(3) 模拟定位：使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查，确定肿瘤的具体位置和形状，工作人员隔室操作；

(4) 勾画靶区 TPS 制定治疗计划：勾画病变靶区和正常器官，根据患者瘤体的类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；

(5) 治疗计划确认：再次确认靶区剂量，核实正常器官、热点和冷点是否在允许的范围之内，加速器是否有相应的转床、碰床等机械限值，移床等坐标设置是否正确；

(6) 病人摆位：摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度，严格按照摆位要求实施摆位；摆位结束，摆位人员等非患者均离开治疗室，关闭防护门；

(7) 实施治疗：根据放疗计划，运用有关技术实施精确照射；

(8) 结束治疗：病人离开治疗室，摆位人员进行下一个患者摆位准备。

医用电子直线加速器放射治疗工作流程见图 9-3。

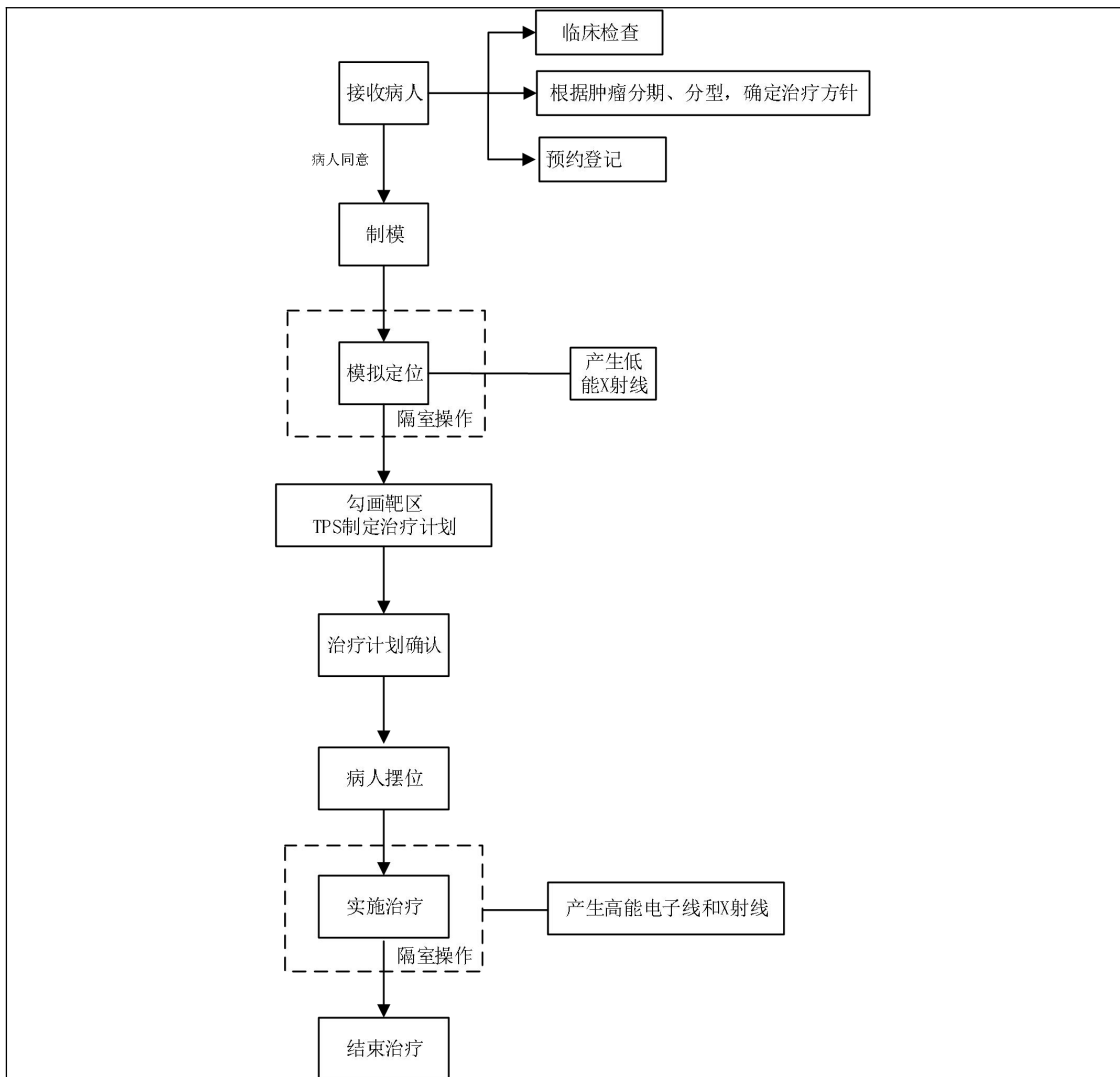


图 9-3 医用电子直线加速器放射治疗工作流程

2.使用规划

(1) 工作量：按最大工作负荷 50 人次/天进行评价。每人次“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 9~11 分钟，全天完成 50 人次治疗，所需时间约 7.5h-9.2h。

(2) 出束时间：既开展常规放射治疗，也开展 IMRT、VMAT 等适形调强放射治疗。根据医院提供资料，加速器机房预期每天最多治疗 50 人次，250 人次/周。保守假设放射治疗在 400cGy/min 平均照射条件下，平均每人待照射区照射 2Gy，用时 0.5min，加速器日治疗 50 人时出束时间为 25min/d，年总照射时间约 105h/a；适形调强放射治疗（IMRT）与普通放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的，但等中心处照射野会明显小，使用 VMAT 技术适形调强治疗时，调强因子取 3（常规调强 IMRT 因子取 5）。

(3) 使用因子：各个方向治疗照射的使用因子保守取 $U=0.25$ 。

9.1.3 设备技术指标

本项目拟配备的 2 台医用电子直线加速器性能参数见表 9-1。

表 9-1 医用电子直线加速器性能参数

使用场所	加速器机房 1	加速器机房 2
型号及名称	医用电子直线加速器(型号待定)	医用电子直线加速器(型号待定)
射线种类	X射线、电子线	X射线、电子线
能量分档	X射线：最高能量为10MV 电子线：最高能量为20MeV	X射线：最高能量为10MV 电子线：最高能量为20MeV
等中心剂量率	10MV FFF 模式：1440Gy/h 6MV FFF 模式：840Gy/h 6MV/10MV 常规模式：360Gy/h	10MV FFF 模式：1440Gy/h 6MV FFF 模式：840Gy/h 6MV/10MV 常规模式：360Gy/h
等中心处最大照射野(主射束夹角)	400mm×400mm (28°×28°)	400mm×400mm (28°×28°)
泄漏率	小于等于等中心处吸收剂量的 0.1%	小于等于等中心处吸收剂量的 0.1%
靶到等中心点距离	1.0m	1.0m
机架旋转角度	360°	360°
图像引导模式	CBCT (最大150kV/630mA)	CBCT (最大150kV/630mA)

9.1.4 污染源项描述

电子直线加速器运行时电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。本项目加速器常规最大输出 X 射线辐射剂量率为 6Gy/min（FFF：24Gy/min）。有用线束外泄漏辐射剂量为有用线束的 0.1%，X 射线照射至墙壁和患者身体将产生散射辐射。加速器运行产生的 X 射线贯穿辐射、泄露辐射和散射辐射进入外环境，对环境有一定的影响。

本项目拟使用的电子直线加速器最高输出的是 10MV 的 X 射线和 20MeV 的电子束，在照射野处剂量相同时，电子束使用时的平均电子束流约为 X 射线的 10^{-3} ，且电子束使用时无重靶和有限束集光筒联锁，产生的韧致辐射会很小，约为使用 X 射线束时剂量的 10^{-6} ，保守距打靶位置 1m 处韧致辐射剂量值取 $360\mu\text{Gy/h}$ ($360\text{Gy/h}\times 10^{-6}$)，根据 GBZ/T201.2-2011 标准给出直接光中子在距靶 1m 处的最大值为 $(1\sim 4\times 10^{-3})\text{Sv/Gy}$ ，则 1m 处光中子剂量当量率不大于 $1.44\mu\text{Sv/h}$ ，因此，加速器电子治疗时的机房防护要求，远低于 X 射线治疗时的防护；根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》

(GBZ/T201.1-2007)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)等要求,本项目 X 射线能量不高于 10MV 的加速器,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) 直线加速器产生的韧致辐射 X 射线,成像系统运行时也产生 X 射线,但其能量要远低于治疗束。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 X 射线的强辐射下,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,工作人员误入加速器机房,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 射线泄漏到加速器机房外面,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 加速器工作场所项目辐射安全与防护

10.1.1 项目选址与合理性分析

本项目 2 间加速器机房均位于临床诊疗中心地下一层东南侧，加速器机房东侧和南侧为地下土层，西侧为控制室、水冷机房、临时休息室，北侧为窗井、负压机房，楼上为绿化区、楼下为地下土层。2 间加速器机房均设置迷路，迷路采用“L”形迷路形式。南墙、北墙、地面和房顶拟设为主束方向，控制室位于非主射束方向，机房四周无敏感人员长期居留。

放射治疗场所已避开产房等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，以及患者就诊和临床应用的便利性，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：加速器机房 1、加速器机房 2；
- （2）监督区：控制室、水冷机房、机房入口区等。

加速器机房平面布局和剖面图见图 10-1~图 10-2。

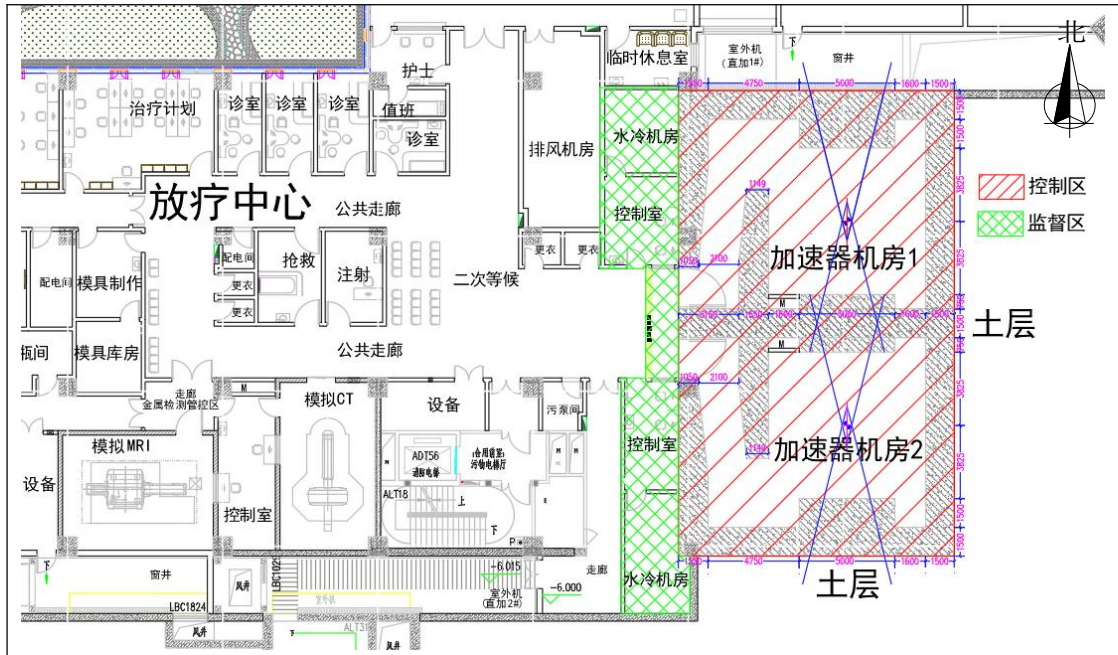
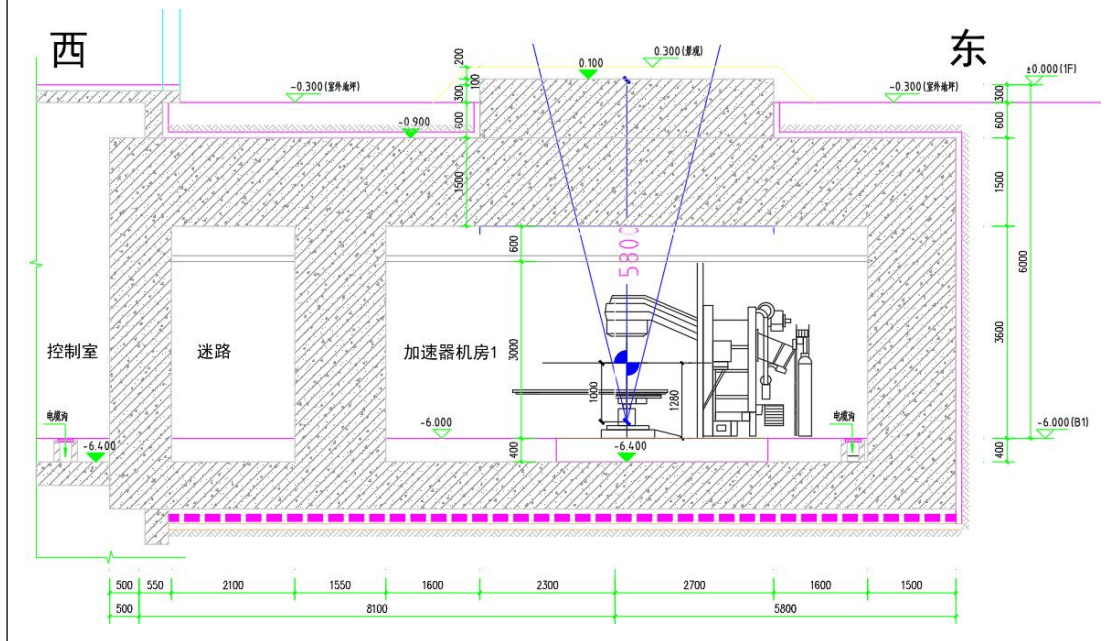


图 10-1 加速器机房平面布局



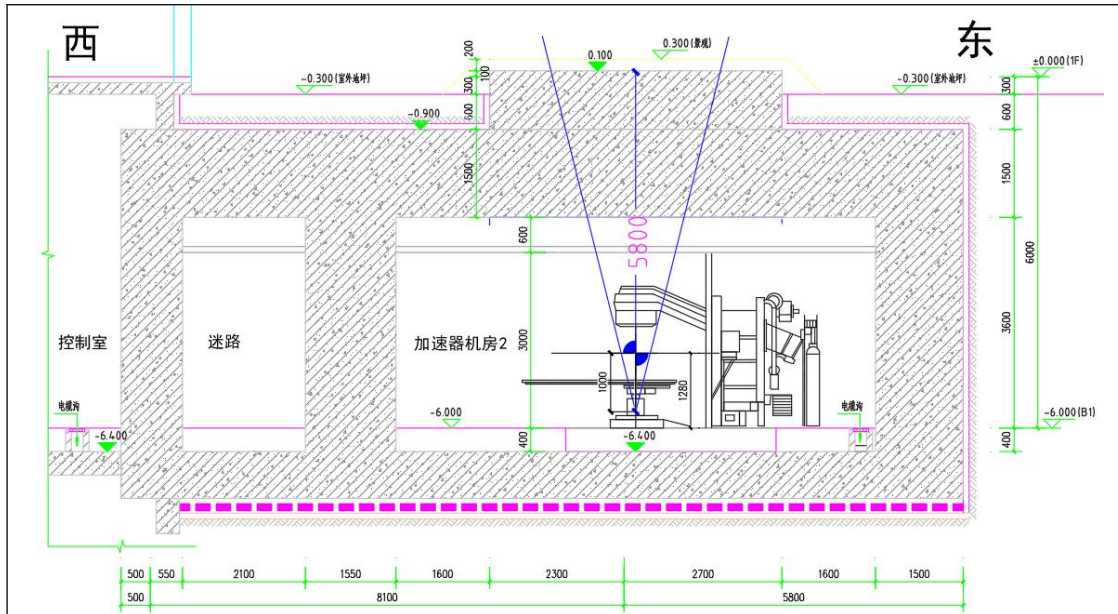


图 10-2 加速器机房剖面图

10.1.3 场所屏蔽方案

本项目防护主体都是混凝土或重晶石混凝土屏蔽，防护门为铅屏蔽。本项目场所屏蔽方案情况见表 10-1。

表 10-1 机房屏蔽设计情况一览表

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽材料及厚度	周边关系
1	加速器机房 1	南墙	主束区：300cm 钢筋混凝土（宽度：500cm）	加速器机房 2
			非主束区：150cm 钢筋混凝土	
		北墙	主束区：300cm 钢筋混凝土（宽度：500cm）	室外窗井
			非主束区：150cm 钢筋混凝土	
		顶	主束区：150cm 钢筋混凝土+100cm 重晶石钢筋混凝土（宽度：500cm）	绿化区
			非主束区：150cm 钢筋混凝土	
		东墙	150cm 钢筋混凝土	土层
西墙	迷路内墙：155cm 钢筋混凝土，局部楔形，最窄处为 114.9cm；迷路外墙：155cm 砼，局部楔形，最窄处为 105cm	控制室、水冷机房、走廊		
防护门	15mm 铅	走廊		
2	加速器机房 2	南墙	主束区：300cm 钢筋混凝土（宽度：500cm）	土层
			非主束区：150cm 钢筋混凝土	
		北墙	主束区：300cm 钢筋混凝土（宽度：500cm）	加速器机房 1
			非主束区：150cm 钢筋混凝土	

	顶	主束区：150cm 钢筋混凝土+100cm 重晶石 钢筋混凝土（宽度：500cm）	绿化区
		非主束区：150cm 钢筋混凝土	
	东墙	150cm 钢筋混凝土	土层
	西墙	迷路内墙：155cm 钢筋混凝土，局部楔形， 最窄处为 114.9m；迷路外墙：155cm 钢筋 混凝土，局部楔形，最窄处为 105cm	控制室、水冷机 房、走廊
	防护门	15mm 铅	缓冲区

说明：砼（混凝土）密度 2.35g/cm^3 ，铅板的密度为 11.4g/cm^3 ，土的密度为 1.9g/cm^3 。

10.1.4 辐射安全与防护措施

（1）2 间加速器机房均采用实体屏蔽措施，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）2 间加速器机房辐射工作场所实行分区管理：2 间加速器机房为控制区，控制室、水冷机房、机房入口区等为监督区，分区图见图 10-1。

（3）警示标志：在 2 间加速器机房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：每间加速器机房内拟设置 6 个监控探头，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、机房、治疗设备和患者的状况，也可以观察治疗室是否有人员滞留。拟配对讲系统，用于操作室内工作人员与机房内患者交流沟通。机房内麦克风拟安装于治疗室迷路内墙上，操作室内麦克风集成于控制台上。

（5）固定式剂量报警仪：每间加速器机房内拟安装 1 套固定式辐射剂量监测仪，探头设置于机房内迷路墙位置，显示装置安装在操作室，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。

（6）防夹功能：每间加速器机房电动防护门拟设置防夹人功能，安装红外感应装置，运行过程中当有人员或物体经过红外感应区域时，机房门将自动停止动作。

（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）门机联锁：每间加速器机房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。

(9) 紧急停机按钮：每间机房内墙上拟设有 5 个急停按钮，包括：迷路外墙 1 个，机房四面墙各 1 个；在操作室的操作台上（1 个）、加速器设备上（2 个），并有明显的标志，此外，按下任一急停按钮，可立即终止加速器运行，按下急停按钮后需人工复位加速器才能重新启动。

(10) 门控按钮设置：在操作室墙上安装开关门按钮，机房防护门内侧安装紧急开门按钮（无关门按钮），当意外事故发生时，可供人员迅速逃离。

(11) 通风系统：每间加速器机房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 4 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。加速器机房与设备机房的线缆都采用“U”型方式穿过屏蔽墙。

(12) 各机房分别拟增配置 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。

(13) 其他要求：拟在加速器机房上方绿化区加设栅栏，防止无关人员靠近；每间加速器机房拟安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

加速器机房联锁系统逻辑图的设计见图 10-3，机房联锁和安全措施等布置见图 10-4 所示，风管和电缆沟穿墙节点图见图 10-5。治疗室工作场所安全与防护设施设计要求见表 10-2。

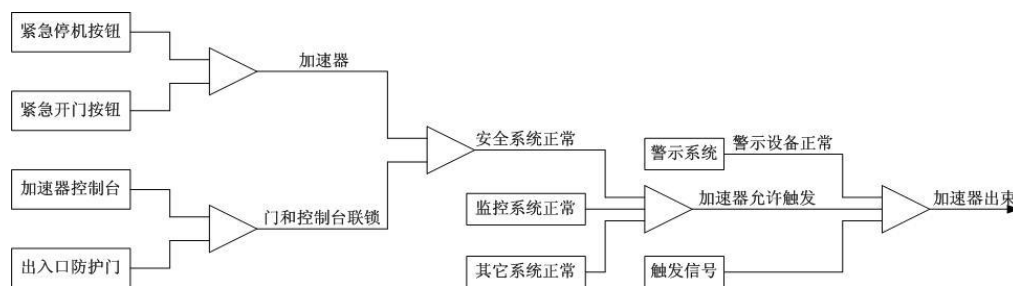


图 10-3 加速器机房联锁系统逻辑图

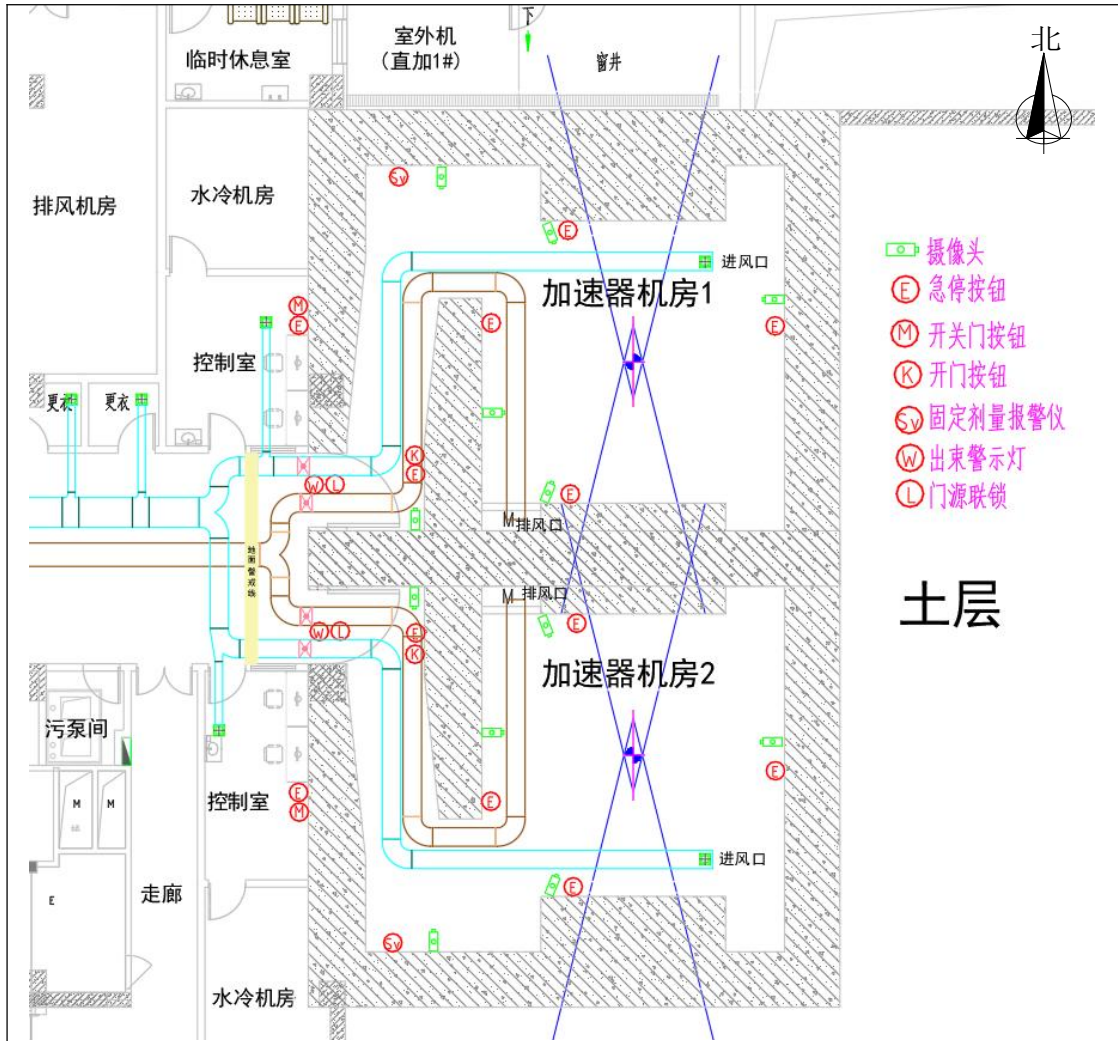


图 10-4 加速器场所联锁和安全措施布置图

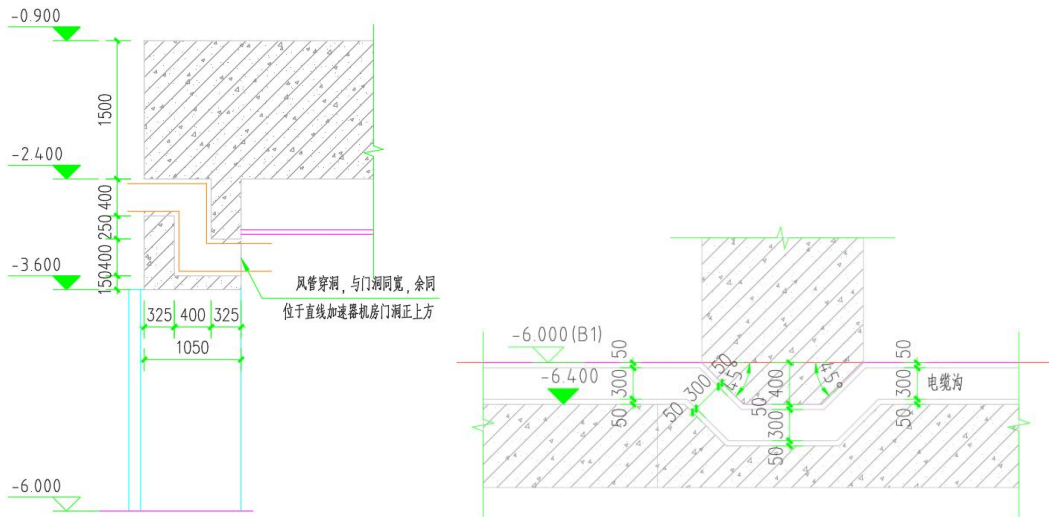


图 10-5 风管和电缆沟穿墙节点图

表 10-2 加速器机房辐射安全防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	是否拟设置	备注
1*	A 控制台 及安全 联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙和密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	每个控制台设置1个
3*		视频监控与对讲系统	√	每个机房配置1套
4*		治疗室门与高压联锁	√	门机高压联锁
5*	B 警示装 置	入口电离辐射警告标志	√	门上设有电离辐射警示标志
6*		入口有加速器工作状态显示	√	工作状态指示灯
7*		工作场所分区及标识	√	地面不同颜色分为控制区和监督区
8*	C 治疗室 紧急设 施	屏蔽门内开门按钮	√	迷道门内侧
9		治疗室门防夹人装置	√	具有防夹功能和停电手动开启功能
10*		紧急照明或独立通道照明系统	√	应急照明
11*		治疗室内有紧急停机按钮	√	每间加速器机房墙上至少5个紧急停机按钮
12*		治疗床有紧急停机按钮	√	2个
13	D 监测设 备	治疗室内固定式剂量报警仪	√	每间机房1台，型号待定
14*		便携式辐射监测仪器仪表	√	拟配1台
15*		个人剂量报警仪	√	2台/间，共4台，型号待定
16*		个人剂量计	√	每人1个
17*	E	个人辐射防护用品	√	/
18	其它	通风系统	√	拟设有单独的排风系统

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/。

10.2 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，现对北京核工业医院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单位承诺的对应检查情况。

表 10-3 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	应具备条件	落实情况	符合情况
1	使用放射性同位素、射线装置的单位，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或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了由院长为负责人的辐射安全与防护委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的，下设专职人员具体处理各项事务，各相关部门内部职责明确，本项目为新建科室项目，启用后委员会增加增项部门负责人。	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。	医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。北京儿童医院拟为本项目配置至少配备 22 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保卫要求的放射源贮存库或设备。	本项目不涉及使用放射性同位素。	/
4	放射性同位素与射线装置，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。	拟制定相应的操作规程，加速器机房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、监控对讲等安全防护设施。	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，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	辐射工作人员配备个人剂量计，拟配置 1 台便携式辐射剂量仪、4 台个人剂量报警仪（2 台/间）和 2 套固定式剂量监测报警仪（1 套/间），能够满足现在工作的需要。	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、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善和制定规章制度、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、人员培训计划、监测方案等。	落实后符合
7	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。	本项目正常运行时无放射性“三废”产生。	/
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射	落实后符

	事故应急处理预案。	合
--	-----------	---

10.2.2 《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 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	落实情况	是否符合要求
1	<p>第五条</p> <p>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连锁、报警装置或者工作信号。</p>	<p>本项目加速器机房门口显著位置处设置电离辐射警告标识和中文警示说明，在机房门口设置工作状态指示灯。设置门机连锁，紧急停止按钮等。</p>	<p>落实后符合</p>
2	<p>第九条</p> <p>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。</p>	<p>医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每半年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。</p>	<p>落实后符合</p>
3	<p>第十二条</p> <p>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。</p>	<p>医院在每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。</p>	<p>落实后符合</p>
4	<p>第十七条</p> <p>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。</p>	<p>医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。</p> <p>医院拟为本项目配置至少22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。医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。</p>	<p>落实后符合</p>
5	<p>第二十三条</p> <p>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</p>	<p>将为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。</p>	<p>落实后符合</p>

	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。		
6	第二十四条 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。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合

10.3 “三废”的治理

《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)和《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)指出,能量大于10MV的X射线放射治疗设备,须考虑中子屏蔽以及感生放射性问题。本项目使用的加速器X射线最大能量为10MV,不考虑放射性活化气体和中子的影响。此外,加速器产生的X射线与空气作用会产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体,经加速器机房内的排风系统,排放到大气环境中。

加速器正常运行时,无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障,可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况,从而产生废靶。本项目加速器X射线最大能量仅有10MV,且使用时间较短,故预计废靶活化水平很低,不会超出解控水平,故不会有放射性废物产生。

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。

本次评价项目涉及屏蔽体的浇筑、建筑装饰、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源于机房屏蔽体浇筑、相关设施安装调试等阶段，但该评价项目的建设工程，影响期短暂，且在地面下施工，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，对环境的影响较小，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。生活垃圾应置于公司内部垃圾收集箱内。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，避免途中遗撒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 加速器运行（使用）后对环境的影响

11.2.1 加速器参数和使用规划

(1) 机房所在位置

本项目拟建 2 间加速器机房位于临床诊疗中心地下一层东南侧（该区域只有地下 1 层建筑物），加速器机房东侧和南侧为地下土层，西侧为控制室、水冷机房、临时休息室，北侧为窗井、负压机房，楼上为绿化区、楼下为地下土层。

(2) 设备参数

2 间加速器机房拟使用的射线装置的技术指标如下表 11-1 所示。

表 11-1 拟使用加速器技术指标一览表

场所	型号	X 线能量和 1m 处最大输出剂量率	SAD	等中心最多照射野	机架旋转范围	泄漏率
加速器室 1	待定	10MV: 6Gy/min; (24Gy/min@ FFF) ; 6MV: 6Gy/min; (14Gy/min@ FFF)	100cm	40cm×40cm	360°	≤0.1%
加速器室 2	待定(预留)	10MV: 6Gy/min; (24Gy/min@ FFF) ; 6MV: 6Gy/min; (14Gy/min@ FFF)	100cm	40cm×40cm	360°	≤0.1%

(3) 使用规划

1) 加速器出束时间：既开展常规放射治疗，也开展 IMRT、VMAT 等适形调强放射治疗。根据医院提供资料和第九章的预测，加速器日治疗 50 人次时，出束时间为 25min/d，年总照射时间约 105h/a；适形调强放射治疗（IMRT）等调强放射治疗与普通放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的，但等中心处照射野会明显小，使用 VMAT 技术适形调强治疗时，调强因子取 3（常规调强 IMRT 因子取 5）。泄漏辐射年总照射时间约为 525h/a（IMRT 因子取 5）。

2) 加速器使用因子：本项目将机头为 0°、90°、270°和 180°（朝上）出束时间的占比都按 25%，以此保守估算周围受照剂量。

11.2.2 辐射环境影响评价方法

(1) 加速器机房剂量率和年附加剂量：参照 NCRP151、GBZ/T201.2-2011 进行剂量率估算。具体做法：依据其屏蔽设计估算模式，以等中心点的剂量率替代周工作负荷，转化为辐射剂量率水平估算，最终导出机房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。

考虑到电子束使用次数有限（工作负荷不足 X 射线的 1%），且电子束出束过程中，电子线与机头、床、人体组织等作用产生韧致辐射的能量和强度均低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，所以，如果机房及其防护门能够满足 X 治疗束的屏蔽防护要求，也能够满足电子束治疗中产生的韧致辐射的防护要求，故本评价对电子束的环境影响不做具体评价。NCRP151 报告指出，对于 10MVX 射线能量的加速器不需考虑中子辐射影响及其产生的感生放射性问题。

（2）加速器机房不同关注点应考虑辐射

主束区：考虑有用束的直接照射，忽略进入该区的泄漏辐射和散射辐射；

与主束区直接相连的次屏蔽区：考虑泄漏辐射和主射线束水平方向的散射辐射；

其他区：仅考虑泄漏辐射。

入口门：主要考虑泄漏辐射、泄漏辐射的散射辐射和患者散射辐射。

治疗装置带有 150kV 的 X 射线定位引导设备，影像检查的受检者剂量约为 0.5~1.5cGy/人，对周围环境辐射影响远小于 6MV（10MV）X 射线，因此，加速器机房只考虑 6MV（10MV）X 射线的屏蔽问题。

11.2.3 加速器机房安全分析

（1）主屏蔽墙宽度安全性分析：

加速器宽方向最大张角为 28°，根据公式 11-1 可估算出主束所需的宽度。

$$d=2[(SAD+R)\times \tan\theta^{\circ}+0.3] \quad (11-1)$$

式中： d —机房有用束主屏蔽区的宽度，m； SAD —源轴距，取 1m； θ —治疗束的最大半张角（相对束中的轴线），本项目加速器取 14°； R —等中心点至与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙内表面或到外凸式主屏蔽墙外表面顶部的距离，m。

加速器机房屏蔽结构设计平剖面见图 11-1，根据公式 11-1 估算结果见表 11-2，本项目加速器机房各主束区屏蔽宽度都满足要求。

表11-2 各主束屏蔽区宽度计算结果

位置	R(m)	所需最小宽度 (m)	设计宽度 (m)	结论
----	------	------------	----------	----

加速器机房 1	南墙	6.83	4.51	5.0	满足
	北墙	5.33	3.76	5.0	满足
	顶	4.8	3.50	5.0	满足
加速器机房 2	南墙	5.33	3.76	5.0	满足
	北墙	6.83	4.51	5.0	满足
	顶	4.8	3.50	5.0	满足

(2) 屏蔽估算中的安全余量

在所选用的屏蔽估算与评价方法中，包含着一定的安全因素。例如：工作负荷、居留因子、治疗装置的实际辐射防护相关剂量指标严于国家标准；使用辐射源的实际工作条件低于额定条件；人员实际驻留位置不局限于治疗机房外表面 30cm 的估算位置，以及估算的量值和有效剂量之间不进行量值转换系数修正等。

11.2.4 机房外剂量率估算

(1) 剂量率估算方法

1) 主束贯穿辐射对机房周围环境的剂量率的估算

主屏蔽墙利用下列公式对初级辐射进行屏蔽估算

$$\dot{H} = \dot{H}_0 \times B_{pri}/R^2 \quad (11-2)$$

$$B_{pri} = 10^{-\left[1 + \frac{t-TVL_l}{TVL_e}\right]} \quad (11-3)$$

式中： \dot{H}_0 —距靶 1m 处的最大剂量率，10MV 为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

B_{pri} —主屏蔽墙厚度对应的衰减因子；

R —参考点至靶点的距离；

t —屏蔽材料的厚度；

TVL_e 、 TVL_l —平衡什值层和第一什值层厚度，单位 cm；详见表 11-3。

表 11-3 加速器射线束在砷、铅中的 TVL 值

射线束		初级束		泄漏辐射		30° 人体散射
十分之一衰减厚度		TVL1	TVLe	TVL1	TVLe	TVL
砷厚度， cm	6MV	37	33	34	29	26
	10MV	41	37	35	31	28
铅，cm	6MV	5.7	5.7	5.7	5.7	/

	10MV	5.7	5.7	5.7	5.7	/
--	------	-----	-----	-----	-----	---

2) 次屏蔽墙的散射辐射和泄漏辐射利用下列公式进行屏蔽估算:

$$\dot{H}_{PS} = \frac{a\dot{H}_0 B_{ps} \frac{F}{400}}{d_{sca}^2 \times d_{sec}^2} \quad (11-4)$$

$$B_{ps} = 10^{-t/TVL_{sca}} \quad (11-5)$$

式中: \dot{H}_{PS} —距散射体 d_{sec} m 处的辐射剂量率;

B_{ps} —次屏蔽墙厚度对应的衰减因子;

α —散射体表对初级辐射束的散射比 (散射系数);

F —被照射物体散射处照射野面积, 取 1600cm²;

d_{sca} —靶至被照射物体的距离, 取 1.0m;

d_{sec} —等中心点至参考点的距离, m;

TVL_{sca} —什值层厚度, cm, 详见表 11-3;

\dot{H}_0 、 t 同公式 (11-2 和 11-3)。

$$\dot{H}_L = \frac{\dot{H}_0 B_L}{1000d_L^2} \quad (11-6)$$

$$B_L = 10^{-\left[1 + \frac{t - TVL_L}{TVL_e}\right]} \quad (11-7)$$

式中: \dot{H}_L —距靶点 d_L m 处的辐射剂量率;

B_L —次屏蔽墙厚度对应的衰减因子;

d_L —参考点至靶点的距离, m;

TVL_e 、 TVL_L —平衡什值层和第一什值层厚度, 单位 cm; 详见表 11-3。

\dot{H}_0 、 t 同公式 (11-2 和 11-3)。

(2) 加速器机房剂量率估算结果

加速器机房外关注点剂量率估算都保守以 10MV (FFF: 24Gy/min) 模式进行估算, 结果见表 11-4、11-5, 平剖面图及剂量评估点见图 11-1、11-2。

表 11-4 加速器机房 1 外关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	射线束	辐射屏蔽		剂量率 (μGy/h)		位置描述
			厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A1	5.9	次束(漏射)	150 (砼)	1.95E-05	4.14E+04	8.07E-01	东侧土层
B1	8.1	主束	300 (砼)	1.00E-08	2.19E+07	2.19E-01	南侧加速器机房 2
C1*	7.5	次束(漏射)	168 (砼)	5.12E-06	2.56E+04	1.31E-01	南侧加速

		次束(散射)		1.00E-06	2.56E+07	3.26E-01	器机房 2
D1	9.1	次束(漏射)	258 (砼)	6.40E-09	1.74E+04	1.11E-04	西侧控制室
D11	9.2	次束(漏射)	152 (砼)	1.68E-05	1.70E+04	2.86E-01	西侧水冷机房
D12	12	次束(漏射)	192 (砼)	8.62E-07	1.00E+04	8.62E-03	西侧临时休息室
E1	8.1	主束	300 (砼)	1.00E-08	2.19E+07	2.19E-01	北侧窗井
F1*	8.4	次束(漏射)	169 (砼)	4.76E-06	2.04E+04	9.71E-02	北侧室外机
		次束(散射)		9.21E-07	2.04E+07	2.39E-01	
M1	9.4	次束(漏射)	161 (砼) +1.5 (铅)	4.70E-06	1.63E+04	7.66E-02	防护门
H1	6.1	主束	150 (砼) +100 (重晶石)	1.06E-08	3.87E+07	4.12E-01	顶上绿化
I1*	5.5	次束(漏射)	169(重晶石)	4.76E-06	4.76E+04	2.26E-01	顶上绿化
		次束(散射)		9.21E-07	4.76E+07	5.58E-01	

注：（1）钢筋混凝土（砼）的密度取为 2.35t/m³，重晶石混凝土（重晶石）的密度取 3.5t/m³；计算屏蔽衰减因子时将重晶石折算成等效砼厚度；（2）10MVX 射线有用束距靶 1m 的等中心处的最大剂量率为 1440Gy/h；（3）10MVX 射线 30° 方向散射系数为 3.18×10⁻³；（4）表中防护门外仅考虑了机头的泄漏辐射；（5）C1、F1、I1 点位屏蔽厚度与距离都取散射和漏射较小值进行评价，估算点都是距离屏蔽体外表面 30cm 处。

表 11-5 加速器机房 2 外关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	射线束	辐射屏蔽		剂量率 (μGy/h)		位置描述
			厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A2	5.9	次束(漏射)	150 (砼)	1.95E-05	4.14E+04	8.07E-01	东侧土层
B2	8.1	主束	300 (砼)	1.00E-08	2.19E+07	2.19E-01	南侧土层
C2*	8.4	次束(漏射)	168 (砼)	5.12E-06	2.04E+04	1.05E-01	南侧土层
		次束(散射)		1.00E-06	2.04E+07	2.60E-01	
D2	9.1	次束(漏射)	258 (砼)	6.40E-09	1.74E+04	1.11E-04	西侧控制室
D21	9.5	次束(漏射)	163 (砼)	7.43E-06	1.60E+04	1.19E-01	西侧水冷机房
E2	8.1	主束	300 (砼)	1.00E-08	2.19E+07	2.19E-01	北侧加速器机房 1
F2*	7.5	次束(漏射)	168 (砼)	5.12E-06	2.56E+04	1.31E-01	北侧加速

		次束(散射)		1.00E-06	2.56E+07	3.26E-01	器机房 1
M2	9.4	次束(漏射)	161(砼) +1.5(铅)	4.70E-06	1.63E+04	7.66E-02	防护门
H2	6.1	主束	150(砼) +100(重晶石)	1.06E-08	3.87E+07	4.12E-01	顶部绿化
I2*	5.5	次束(漏射)	169(重晶石)	4.76E-06	4.76E+04	2.26E-01	顶部绿化
		次束(散射)		9.21E-07	4.76E+07	5.58E-01	

注：（1）钢筋混凝土（砼）的密度取为 2.35t/m³，重晶石混凝土（重晶石）的密度取 3.5t/m³；计算屏蔽衰减因子时将重晶石折算成等效砼厚度；（2）10MVX 射线有用束距靶 1m 的等中心处的最大剂量率为 1440Gy/h；（3）10MVX 射线 30° 方向散射系数为 3.18×10⁻³；（4）表中防护门处仅考虑了机头的泄漏辐射；（5）C2、F2、I2 点位屏蔽厚度与距离都取散射和漏射较小值进行评价，估算点都是距离屏蔽体外表面 30cm 处。

根据上表 11-4~11-5 中加速器机房外关注点的剂量估算结果可知，机房外关注点人员可达处的剂量率最大值为 7.84E-01μGy/h（顶部绿化），即 8.94E-01μSv/h（加速器使用的平均能量不小于 2.0MeV，H*(10)/Ka 的转化系统不大于 1.14μSv/μGy），满足 2.5μSv/h 要求。

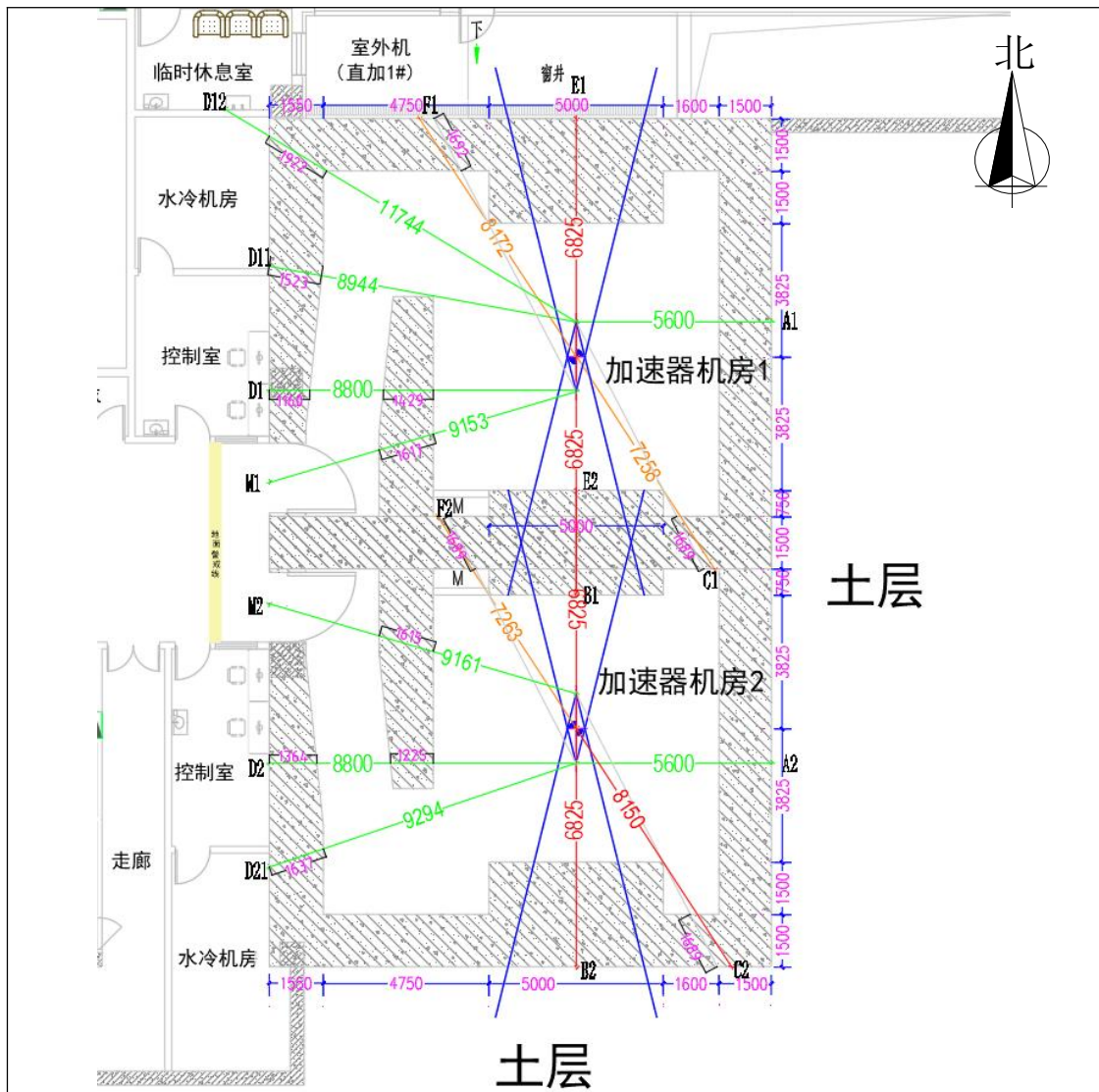
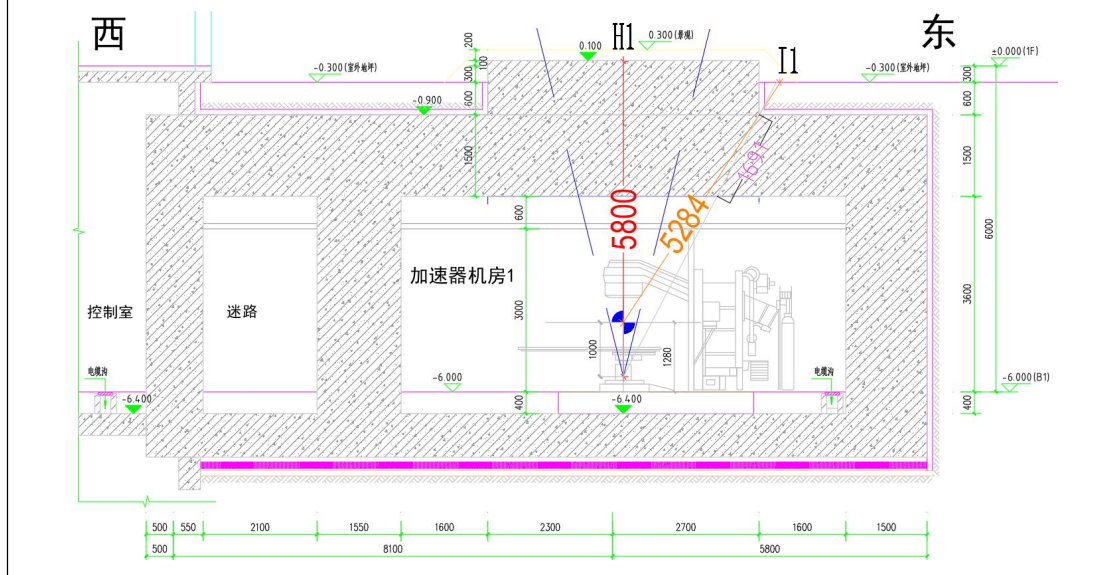


图 11-1 加速器机房平面图及剂量评估点



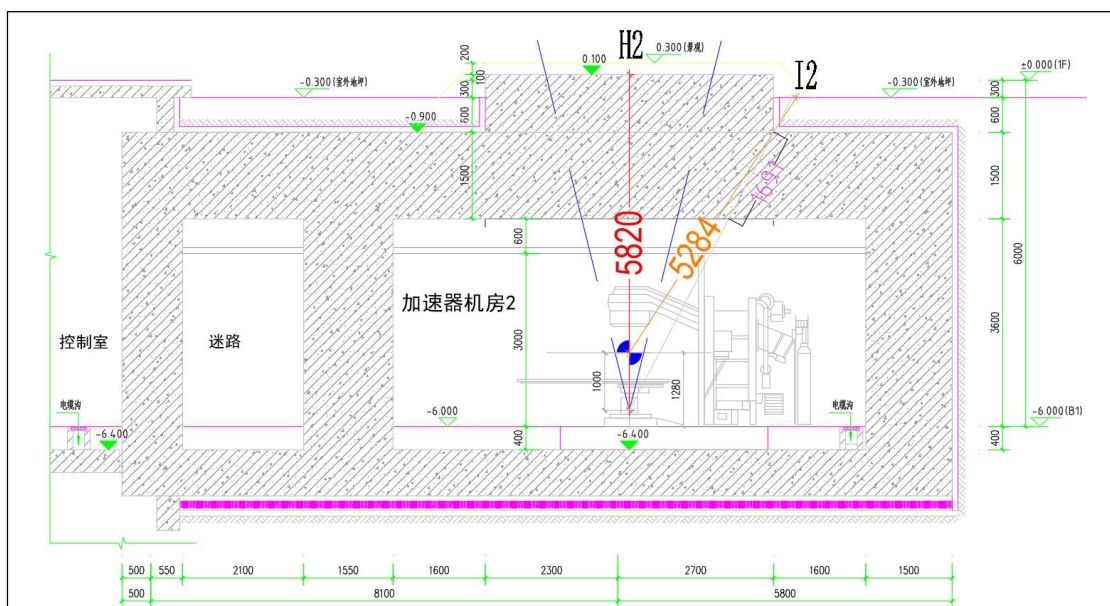


图 11-2 加速器机房剖面图及剂量评估点

(3) 加速器机房防护门外的辐射剂量估算

根据 GBZT 201.2-2011，对于 10MV 加速器机房，防护门外不用考虑中子的影响。本项目主要考虑主束墙表面的二次散射、患者散射的二次散射、泄漏辐射一次散射、泄漏辐射穿过迷路内墙的贡献。由于加速器机房 1 主束向北墙（加速器机房 2 主束向南墙）散射至少需要经过 3 次散射后才能到达门口（假设每次散射因子保守按 10^{-2} ，距离衰减因子约为 1×10^{-5} ，则未经过门衰减门外的剂量水平不大于 $0.1 \mu\text{Gy/h}$ ），且经过防护门衰减，对门口的辐射影响较小，故主束墙表面的二次散射考虑加速器机房 1 主束向南墙（加速器机房 2 主束向北墙）散射。其中 6MV 的散射因子略高于 10MV，本项目散射因子取较大值进行估算，具体如下：

- a) 主束墙表面的二次散射 (H_S)；
- b) 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 (H_{Ls})；
- c) 患者散射辐射的二次散射 (H_{Ps})；
- d) 穿过迷路内墙的泄漏辐射。

1) 主束墙表面的二次散射 (H_S) 剂量率估算

$$\dot{H}_S = \frac{H_0}{d_h^2} \times \frac{a_0 A_0 a_z A_z}{d_r^2 \times d_z^2} \times 10^{-t/TVL} \quad (11-8)$$

式中： \dot{H}_0 —距靶 1m 处的辐射剂量率， $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

a_0 —主束经散射面 A_0 的散射系数（系数取值由 NCRP REPORT 151 Table B.8a），

5.2×10^{-3} ;

A_0 —等中心 1.0m 处最大照射野投影在东墙上的面积, $2.402 \times 2.402 \approx 5.77\text{m}^2$;

α_z —散射经迷路表面 A_z 第二次反散射的系数 (系数取值由 NCRP REPORT 151 TableB.8a, 能量为 0.5MeV), 1.7×10^{-2} ;

A_z —散射面 A_z 的散射线经过迷路内口发散到迷路外墙内表面的散射面积, $2.463 \times 3 \approx 7.39\text{m}^2$;

d_h —从靶点至散射面 A_0 的距离, 4.83m;

d_r —第一次散射面中心点经迷道内口至迷道中线的距离, 10.23m;

d_z —b 点经迷道中线至防护门外 30cm 入口处的距离, 10.1m;

t —屏蔽厚度;

TVL —什值层厚度, mm。

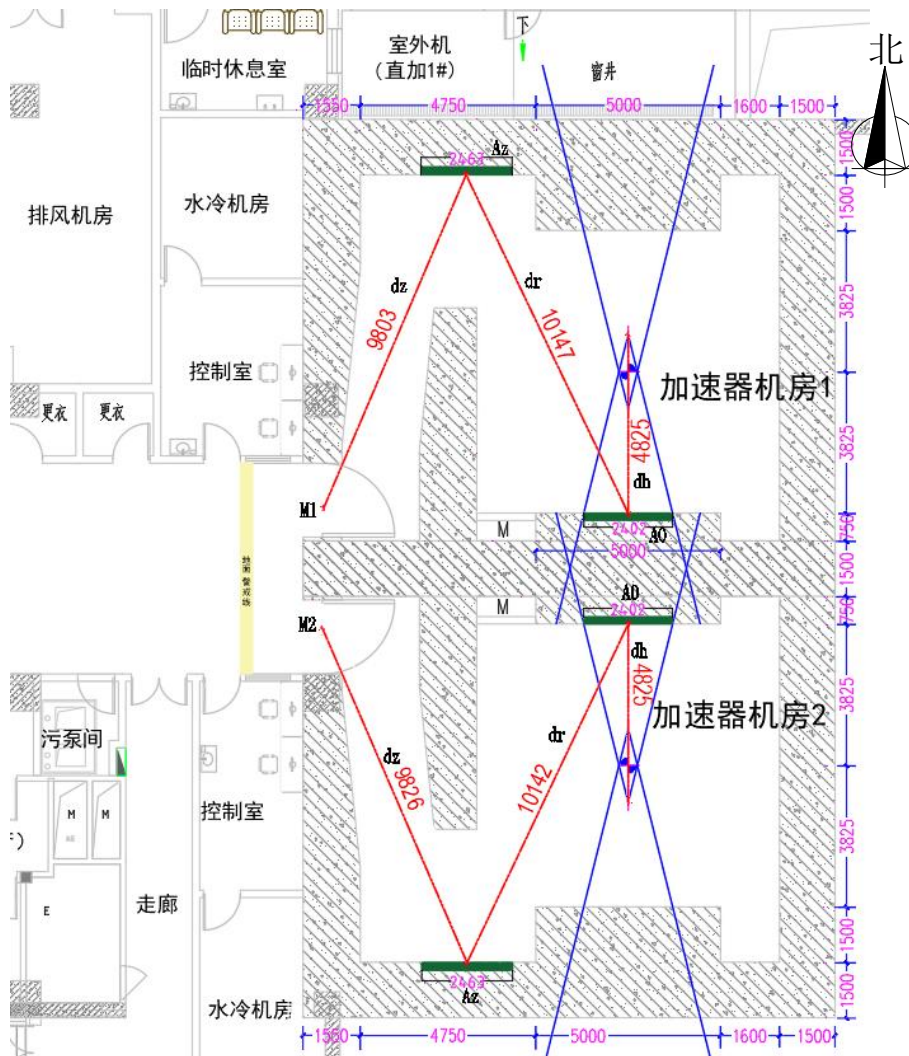


图 11-3 主束墙面散射平面图

2) 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 (H_{Ls}) 剂量率估算

$$H_{LS} = \frac{L_f H_0 \alpha_{LS} A_1}{d_{LS}^2 \times d_{zz}^2} \times 10^{-t/TVL} \quad (11-9)$$

式中： L_f —距靶 1m 处装置头泄漏辐射率，取 0.1%；

H_0 —距靶 1m 处的辐射剂量率， $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

α_{LS} —南墙（北墙）对机头漏射辐射的反散射系数（系数取值查 NCRP REPORT 151 TableB.8b）， 7.3×10^{-3} ；

A_1 —从门入口处可见墙的面积， $2.463 \times 3 \approx 7.39 \text{m}^2$ ；

d_{LS} —靶至 A1 墙迷路中心线的距离，7.68m；

d_{zz} —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离，10.1m；

t —屏蔽厚度；

TVL —什值层厚度，mm。

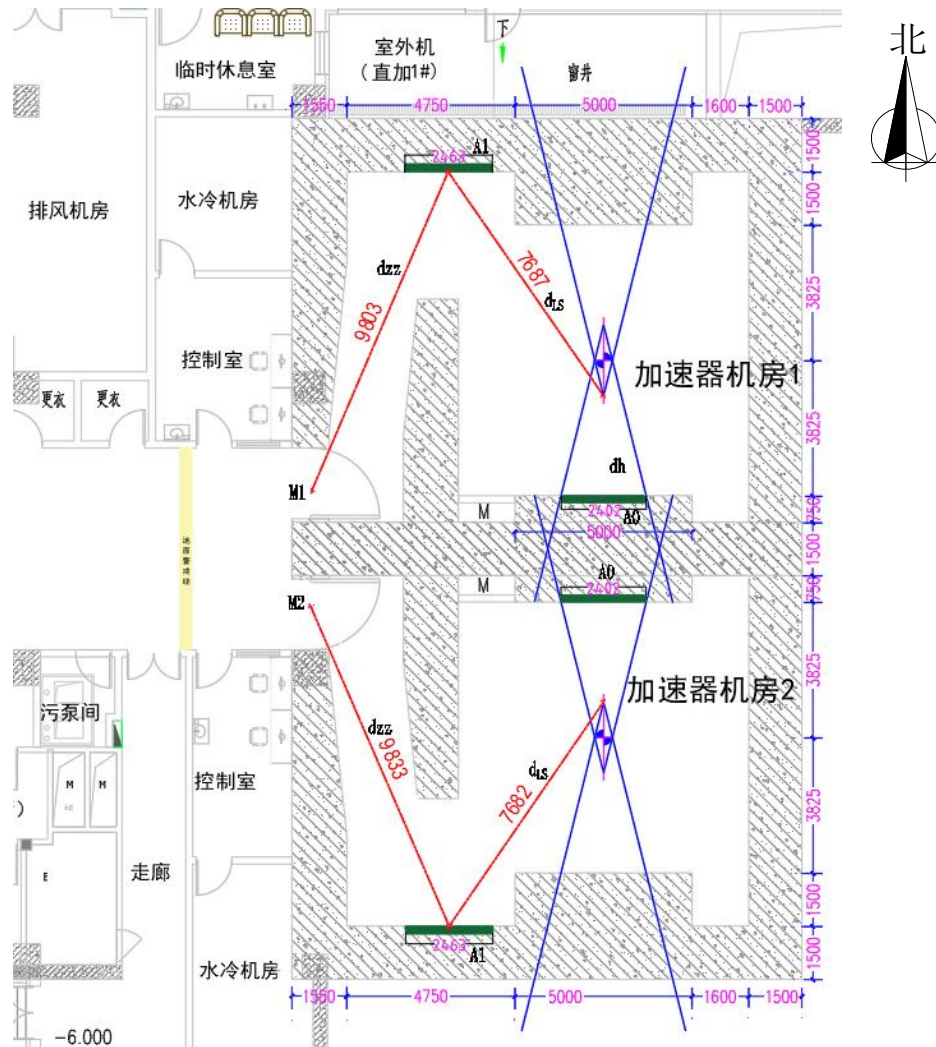


图 11-4 机头漏射线经墙面散射平面图

3) 散射辐射的二次散射 (H_{Ps}) 剂量率估算

$$\dot{H}_{PS} = \frac{\alpha(\theta) \dot{H}_0 \left(\frac{F}{400}\right) (\alpha_{PS} A_1)}{d_{sca}^2 \times d_{sec}^2 \times d_{zz}^2} \times 10^{-t/TVL} \quad (11-10)$$

式中： $\alpha(\theta)$ —有用束的散射辐射以 $\theta=45^\circ$ 的散射角入射到墙面的散射因子（系数取值查 NCRP REPORT 151 TableB.4）， 1.39×10^{-3} ；

\dot{H}_0 —等中心处的辐射剂量率， $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

F —被照射物体等中心处照射野面积，取 1600cm^2 （ $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ）；

α_{PS} —南墙对散射辐射的反散射系数（取值查 NCRP REPORT 151 TableB.8b，散射能量为 0.5MeV ，模体有用束散射辐射的入射角为 45° ）， 2.25×10^{-2} ；

A_1 —从门入口处可见墙的面积， $2.463 \times 3 \approx 7.39\text{m}^2$ ；

d_{sca} —靶至被照射物体的距离，取 1.0m ；

d_{sec} —等中心点到 A_1 墙与迷路中心线交点的距离， 6.89m ；

d_{zz} —从 A_1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离， 10.1m ；

t —屏蔽厚度；

TVL —什值层厚度， mm 。

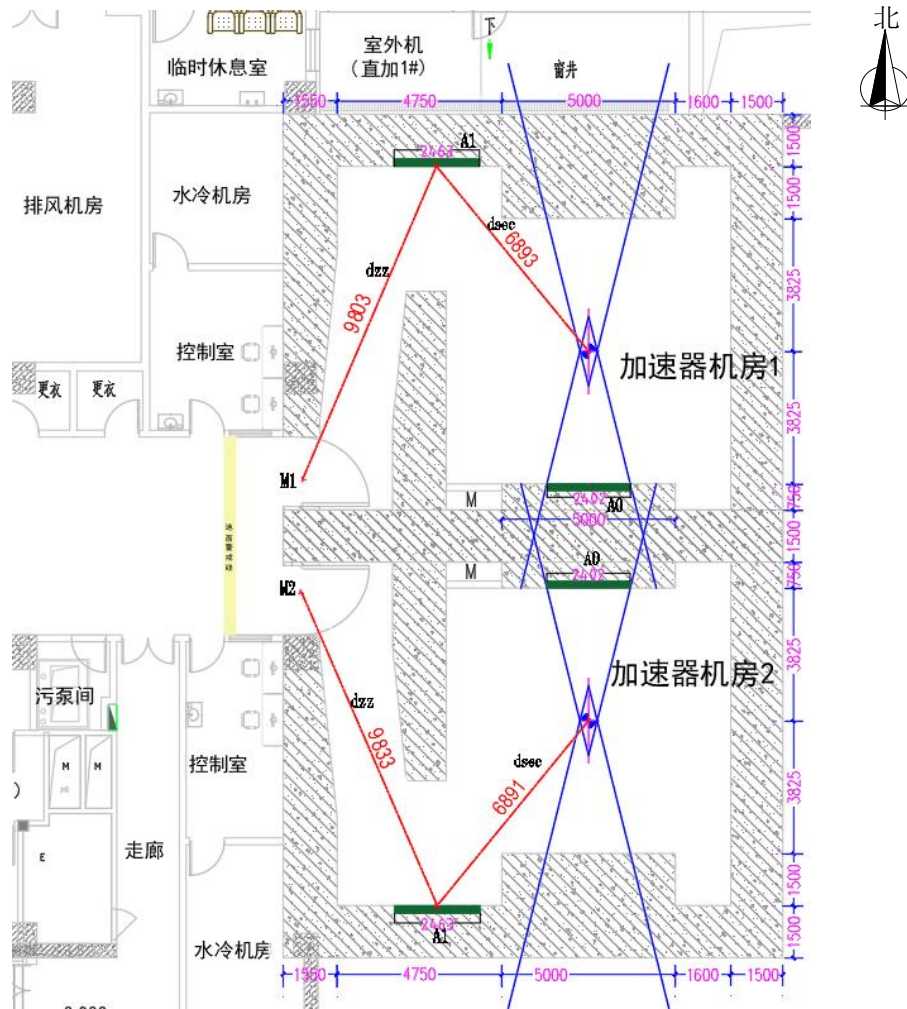


图 11-5 主束通过患者体表散射线经墙面散射平面图

4) 穿过迷路内墙的泄漏辐射剂量率估算

机头泄漏射线贯穿迷道内墙和防护门后的辐射贡献值见表 11-4~11-5 的估算结果。

5) 2间加速器机房防护门附近X射线贯穿辐射分析

根据公式 11-8~公式 11-10 和图 11-3~图 11-5 中的相关参数, 加速器运行时机房迷道入口处 X 射线辐射剂量率的估算结果汇总列于表 11-6 中。可见, 机房防护门附近 X 射线辐射主要来自散射线经迷道内口墙壁的二次散射辐射。估算出加速器机房防护门外散射辐射+泄漏辐射的总剂量率最大约为 $3.79\text{E-}01\mu\text{Gy/h}$, 即 $4.32\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ (加速器使用的平均能量不小于 2.0MeV , $\text{H}^*(10)/\text{Ka}$ 的转化系统不大于 $1.14\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$)。

表11-6 加速器机房迷路入口处剂量率的计算参数及结果

参数		加速器机房1	加速器机房2
\dot{H}_S	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	1.44E+09	1.44E+09
	α_0	5.20E-03	5.20E-03
	$A_0 (\text{m}^2)$	5.77	5.77
	α_z	1.70E-02	1.70E-02
	$A_z (\text{m}^2)$	7.39	7.39
	$d_h (\text{m})$	4.83	4.83
	$d_r (\text{m})$	10.23	10.23
	$d_z (\text{m})$	10.1	10.1
	$t (\text{cm})$	15	15
	$\text{TVL}_{\text{铅}} (\text{mm})$	0.001	0.001
	$H_s(\mu\text{Gy/h})$	1.47E-02	1.47E-02
\dot{H}_{LS}	$\dot{H}_0 (\mu\text{Gy/h})$	1.44E+09	1.44E+09
	L_f	0.001	0.001
	α_{LS}	7.30E-03	7.30E-03
	A_l	7.39	7.39
	$d_{LS}(\text{m})$	7.68	7.68
	$d_{zz}(\text{m})$	10.1	10.1

	t (mm)	15	15
	$TVL_{\text{铅}}$ (mm)	0.001	0.001
	H_{Ls} ($\mu\text{Gy/h}$)	1.29E-02	1.29E-02
H_{PS}	\dot{H}_0 ($\mu\text{Gy/h}$)	1.44E+09	1.44E+09
	$\alpha(\theta)$	1.39E-03	1.39E-03
	F (cm^2)	1600	1600
	α_{ps}	2.25E-02	2.25E-02
	A_I	7.39	7.39
	d_{sca}	1	1
	d_{sec}	6.89	6.89
	d_{zz}	10.1	10.1
	t (mm)	15	15
	$TVL_{\text{铅}}$ (mm)	5	5
	H_{ps} ($\mu\text{Gy/h}$)	2.75E-01	2.75E-01
	H_{LT}	H_{LT} ($\mu\text{Gy/h}$)	7.66E-02
$H_{\text{Tot-shield}}$		3.79E-01	3.79E-01

(4) 加速器机房周围剂量率水平

根据加速器机房墙外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 $7.84\text{E-}01\mu\text{Sv/h}$ （顶部），满足本报告设定的剂量率控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

评价范围周围的影响：根据以上估算，加速器机房的最大附加剂量率为 $7.84\text{E-}1\mu\text{Sv/h}$ ，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

附加年有效剂量计算公式： $E = \dot{D} \times t \times T \times U \times K$ (11-10)

式中： E --年有效剂量， μSv ；

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

t --年出束时间，h/a；

K --有效剂量与吸收剂量换算系数， Sv/Gy ，本项目取1.0；

T --居留因子；

U —使用因子。

(1) 工作人员受照剂量估计

根据以上估算，可预计加速器机房周围的工作人员的年附加有效剂量见表 11-7 所示。

表 11-7 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	年受照时间, t (h)	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年附加有效剂量, μSv
加速器机房 1 工作人员	D1	控制室	1	1	525	1.27E-04	6.66E-02
	D11	水冷机房	1/16	1	525	3.26E-01	1.07E+01
	M1	防护门	1/8	1	525	4.32E-01	2.84E+01
	E2	加速器机房 1(加 2)	1/8	0.25	105	2.50E-01	8.21E-01
	F2	加速器机房 1(加 2)	1/8	0.25	105	5.21E-01	1.71E+00
加速器机房 2 工作人员	B1	加速器机房 2(加 1)	1/8	0.25	105	2.50E-01	8.21E-01
	C1	加速器机房 2(加 1)	1/8	0.25	105	5.21E-01	1.71E+00
	D2	控制室	1	1	525	1.27E-04	6.66E-02
	D21	北侧水冷机房	1/16	1	525	1.35E-01	4.43E+00
	M2	防护门	1/8	1	525	4.32E-01	2.84E+01

备注：本项目加速器使用的平均能量不小于 2.0MeV，周围剂量当量与吸收剂量换算系数保守按 1.14 $\mu\text{Sv}/\mu\text{Gy}$ 取值，表中数值均已按系数转换。

(2) 公众受照剂量估计

根据以上估算，可预计加速器机房周围的公众的年附加有效剂量见表 11-8 所示。

表 11-8 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 ($\mu\text{Sv/h}$)	年附加有效剂量, μSv
加速器机房 1 周围公	D12	临时休息室	1/16	1	525	9.83E-03	3.22E-01
	M1	防护门	1/16	1	525	4.32E-01	1.42E+01

众	H1	顶部绿化	1/16	0.25	105	4.69E-01	7.70E-01
	I1	顶部绿化	1/16	0.25	105	8.94E-01	1.47E+00
加速器 机房 2 周围公 众	M2	防护门	1/16	1	525	4.32E-01	1.42E+01
	H2	顶部绿化	1/16	0.25	105	4.69E-01	7.70E-01
	I2	顶部绿化	1/16	0.25	105	8.94E-01	1.47E+00

备注：本项目加速器使用的平均能量不小于 2.0MeV，周围剂量当量与吸收剂量换算系数保守按 1.14 μ Sv/ μ Gy 取值，表中数值均已按系数转换。

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 2.84E-02mSv、1.42E-02mSv，满足年剂量约束值（2mSv/a，0.1mSv/a）的要求。

根据剂量与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，在加速器机房周围 50m 评价范围内的公众的年剂量远小于 1.42E-02mSv（防护门），也低于设定的剂量约束目标值 0.1mSv/a。

11.2.6 O₃ 和 NO_x 分析

（1）O₃ 的产额

本项目加速器具有提供 X 射线和电子线两种模式，X 射线最高能量为 10MV，电子线最高能量为 20MeV。使用电子束模式时，X 射线靶和均整器从电子射线束范围内移去，产生电子线的电子束流强度比打靶产生临床 X 射线所需的电子束流强度小 2~3 个数量级（《放射肿瘤物理学：教学手册》IAEA，2005），故仅需考虑 X 射线所致 O₃ 的产额。

① 加速器有用线束的 O₃ 产额

$$P = 2.43\dot{D}_0(1 - \cos\theta)RG \quad (11-11)$$

式中：P 为 O₃ 产额，mg/h；

\dot{D}_0 为辐射有用束在距靶 1m 处的输出量，Gy·m²/min；

R 为靶到屏蔽物（墙）的距离，m；

G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数（G=10）；

θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O₃ 产额

将泄漏辐射看为 4 π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），

并考虑机房壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%，O₃ 的产额 P (mg/h) 为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{1/3} \quad (11-12)$$

式中： V 为加速器机房的体积，m³；其余符号同 (11-10)。

(2) O₃ 的浓度

设：O₃ 的有效分解时间为 t_d (常取为 0.83h)，机房通风换气周期为平均每次换气需通风 t_v 小时 (h)。

机房最高饱和 O₃ 浓度 (mg/h) 为：

$$Q = \frac{P}{V} \bar{T} \quad (11-13)$$

式中： V 为机房的体积，m³；

\bar{T} 为 O₃ 的有效清除时间 (h)：

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \quad (11-14)$$

(3) 参数与结果

按照《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)，机房通风换气率均应不小于 4 次/h。2 间加速器机房的换气率设计不低于 4 次/h，满足该标准中关于机房内通风的要求。2 间加速器机房的体积均为 185.9m³ (8.1m×7.65m×3m)，风机风量不低于 2000m³/h， $t_v=0.093h$ ，按 (11-13) 计算出 $\bar{T}=0.088h$ 。机房相关参数与 O₃ 浓度计算结果如表 11-9 所示。

表 11-9 加速器机房相关参数与 O₃ 产额计算结果

场所名称	D_0 (Gy·m ² /min)	θ (°)	R (m)	V (m ³)	P (mg/h)	Q (mg/m ³)
加速器机房 1	24	14	4.83	185.9	88.2	4.15E-02
加速器机房 2	24	14	4.83	185.9	88.2	4.15E-02

根据上述估算结果，则臭氧的年总产量不大于 16.6g。机房 O₃ 浓度最大值为 $4.15 \times 10^{-2} \text{mg/m}^3$ ，低于浓度限值 0.3mg/m^3 。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可忽略不计。

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。

11.2.7 异常事件分析与防范建议

(1) 人员误入加速器机房并发生误照事故

加速器可能发生的最严重的放射性事故是门机联锁失效，人员误入加速器机房而受到意外照射。事故情景假设：加速器在以 10MV 治疗患者过程中，人员误入机房后到达迷道内口处，发现有病人正在治疗，急速返回。保守假设在迷道内口处停留时间 10s，据此估算误入人员的最大受照剂量。

迷道口的剂量贡献为有用束和机头泄漏射线的散射辐射等，根据表 11-6 数值，可推算出迷道内口处的剂量率，见表 11-10 所示。

表 11-10 加速器运行时迷道内口剂量率水平 ($\mu\text{Sv/h}$)

编号	剂量来源	迷道口内
1	主束经过墙的一次散射	1.77E+4
2	泄漏辐射	2.44E+4
3	主束经患者一次散射	1.69E+5
合计		2.11E+5

保守假设在迷道内口停留 10s，最大受照剂量约为 $5.86\text{E}+2\mu\text{Sv}$ ($2.11\text{E}+5 \times 10/3600$)，对误入人员健康不会造成影响。

该装置设有门机安全联锁系统，以及在治疗室和迷道内设置有闭路监视系统，可有效防止该事故发生。此外，加速器放疗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。

(2) 其它异常运行事件和防范措施

在异常和事故状态下，如安全装置失灵、损坏等，人员可能误入正在进行出束的加速器机房内，或者人员误留而出束，此时将会受到 X 射线照射的危害。

1) 出束不能停止时：按下专用键盘“停束”键，如果加速器继续出束，则将专用键盘“出束钥匙开关”扳至“禁止”位。如继续出束，则按下控制台“急停”开关。在维修人员确保机器能够正常运行之前，操作人员不得试图再次开机。

2) 停电故障：工作人员采用手动方式打开防护门，迅速将病人从治疗床上移出，UPS 系统给电脑自动供电，记录正在治疗病人已经接受的累积治疗剂量。

3) 事故性出束：工作人员在治疗室内为患者摆位或开展其它准备工作，控制台处操作人员误开机出束。医护人员进入治疗室，要保持防护门开启，由

于有门机连锁系统，加速器无法启动。为防止陪护人员或其他人员误留在加速器机房内受到误照射，要求加速器在每次出束前，工作人员必须进机房进行检查，确认无误后，方可出束。

4) 维修期间的事故：加速器维修工程师在检修期间误开机出束。在维修加速器时，按下急停开关，或保持防护门开启，这种情况下，加速器无法启动。此外，维修人员携带有个人剂量报警仪，一旦有紧急情况，马上按下墙上的急停按钮，并迅速撤离现场。

5) 工作人员误入：加速器放疗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。

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。

11.2.8 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表11-11。

表11-11 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行0.1mSv/a和2mSv/a。
剂量当量率	控制区外30cm人员可达处周围剂量当量率应不大于2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	在机房外设有工作状态警示灯，防护门外贴有电离辐射警告标志。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。机房通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	机房采取分区管理、实体屏蔽。设置放射性警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯、门机连锁、急停按钮等，可有效防止职业和公众受到意外照射。
监测仪器	备检测仪器：新配1台便携式辐射剂量仪、4台个人剂量报警仪、2套固定式剂量报警仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。

规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

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

医院已经设置了辐射安全与防护委员会作为专门管理机构，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 1-5 所示。本项目实施后，医院将加速器机房纳入辐射安全管理范围，相关负责人将担任辐射安全与环境保护管理领导小组成员，负责相关科室的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

1. 在医院辐射安全与防护委员会主席的领导下，负责本医院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。负责对本医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、修订本医院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，在辐射安全与防护委员会主席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，组织医院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. 对医院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。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

12.1.2 辐射工作人员

本项目实施后医院拟为本项目配置至少 22 名辐射工作人员，新增人员将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并及时参加每五年一次的重重新考核，同时按照国家相关规定进行个

人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

12.2 辐射安全管理规章制度

北京儿童医院制定了多项辐射安全管理制度，包括辐射防护和安全保卫制度、操作规程、设备检修维护制度、辐射工作人员培训考核制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、辐射工作岗位职责、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射事故应急制度等。

本项目实施后，医院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，如操作规程（增加医用电子直线加速器操作规程等）、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保依照规定安全使用射线装置。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

北京儿童医院根据制订了医院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全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，监测频度为每3个月检测一次，并按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）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18号）要求建立个人剂量档案。辐射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况进行文字记录。

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京贝特莱博瑞技术检测有限公司承担，本项目投入使用后，所涉及新增辐射工作人员将继续进行个人剂量监测。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

（1）委托监测

医院每年委托有资质的单位对医院已有的射线装置机房防护和机器性能检测1次。

（2）本项目自行监测方案

医院针对本项目启用后，放射治疗中心拟新配备1台辐射剂量巡测仪、4

台个人剂量报警仪、2套固定式剂量报警仪，能够满足医院辐射防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟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。新增项目实施后，工作人员使用拟配备的辐射剂量巡测仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

(1) 监测项目：X 剂量率水平

(2) 检测设备：X- γ 辐射辐射剂量巡测仪

(3) 检测频次：剂量率水平每年不少于 2 次

(4) 工作场所 γ 剂量率水平监测：点位包括点位加速器治机房四周和楼上 30cm 处（人员可达处）的剂量率水平，监测数据记录存档，加速器机房监测点位计划见表 12-1，监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-1 加速器机房监测计划

场 所	测点编号	位置描述	检测频次
加速器机房 1	1	西侧控制室	2 次/年
	2	西侧水冷机房	2 次/年
	3	西北侧临时休息室	2 次/年
	4~5	加速器机房 2	2 次/年
	6	防护门外	2 次/年
	7	顶部绿化	2 次/年
加速器机房 2	8	西侧控制室	2 次/年
	9	西侧水冷机房	2 次/年
	10~11	加速器机房 1	2 次/年
	12	防护门	2 次/年
	13	患者更衣	2 次/年

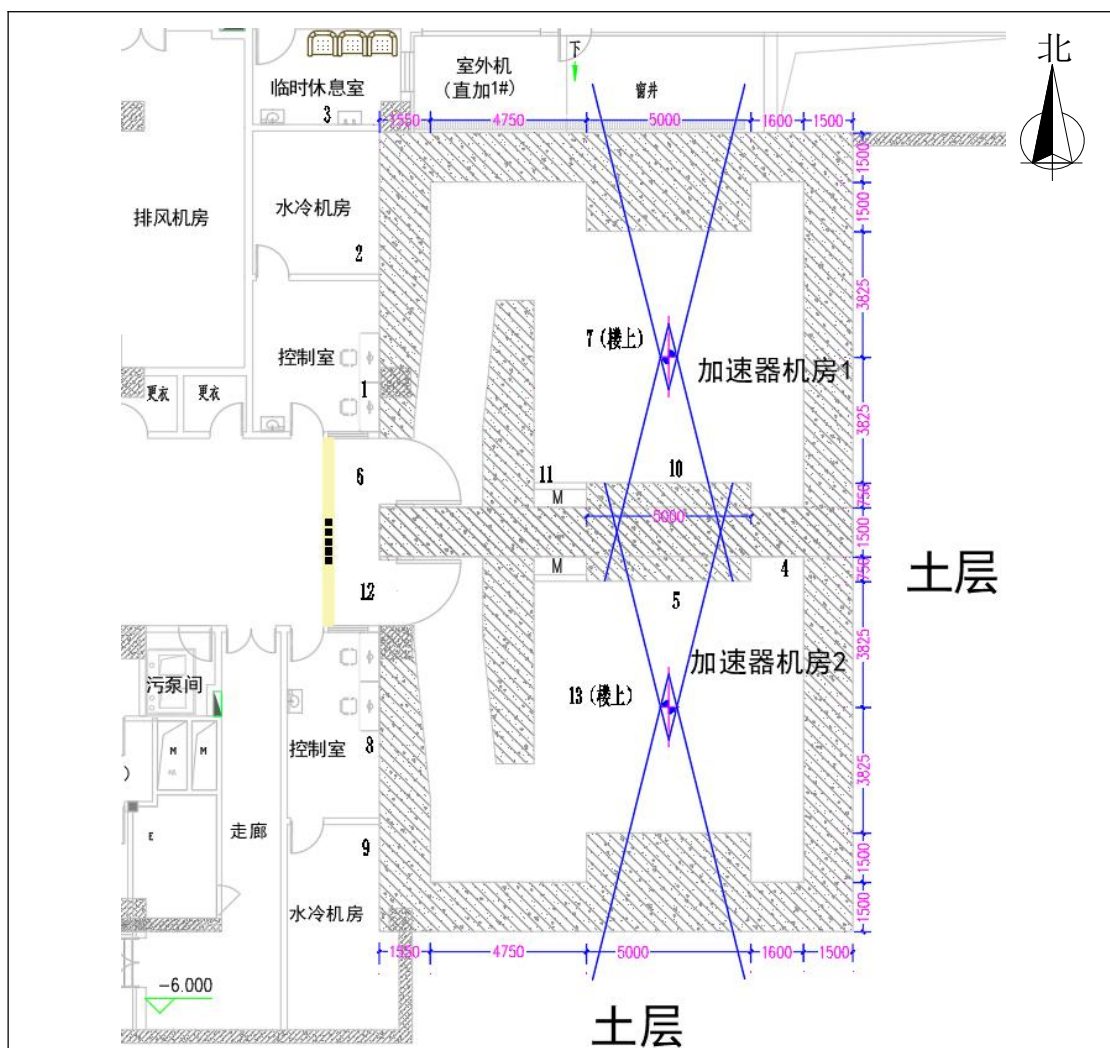


图 12-1 拟建加速器机房自行检测点位图

12.4 辐射事故应急管理

北京儿童医院制定了《北京儿童医院辐射事故应急制度》，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，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时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，能够满足医院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。医院将每年至少组织一次应急演练。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

北京儿童医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证（京环辐证[B0058]），其种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置。

作为国家儿童医学中心的依托主体医院，北京儿童医院在全国儿科疑难危重症诊断治疗、医学科学关键技术突破、高水平医学研究与成果转化等方面始终发挥着示范引领作用。为了进一步发展优势学科，满足患者日益增长的就诊需求，同时也考虑未来的发展趋势，医院拟新增放射治疗建设，拟新增使用 2 台医用电子直线加速器。此次新院区新增使用直线加速器，不仅是填补区域儿科高端诊疗缺口的核心抓手，更是国家儿童医学中心践行行业引领使命、促进儿科核技术规范应用与发展的必然选择。

13.1.2 正当性分析

本项目的目的是满足医学诊断和治疗工作需要，提高医疗服务水平，满足患者就医需要，具有良好的社会效益和经济效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合辐射实践正当性原则的要求。同时具备了技术、人员和经费等条件。

13.1.3 选址与布局合理性分析

北京儿童医院本项目位于新院区临床诊疗中心地下一层东南侧（该区域只有地下 1 层建筑物），周围 50m 区域除了东侧部分为院外马路区域外，其它都是医院内部，项目场址环境辐射本底未见异常，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

13.1.4 辐射安全与防护能力分析

在设置辐射工作场所时已充分考虑了辐射源项的性能和特点、周围工作场所的防护与安全，对辐射工作场所选址和布局设计进行了综合考虑，辐射工作场所屏蔽设计原则符合辐射工作场所使用和辐射防护安全的要求。

13.1.5 辐射环境影响评价

(1) 根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目运行后，预计工作人员和公众的年有效剂量均低于相应剂量约束值（2mSv、0.1mSv），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，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。通过对治疗机房的辐射屏蔽措施分析可知，机房墙体和防护门外周围剂量当量率不超过 2.5 μ Sv/h。

(2) 本项目运行过程中，会产生少量的臭氧和氮氧化物，估算结果显示，正常通风情况下，机房内的臭氧浓度为可忽略的水平，经通风系统排放后，浓度将至少降低 1 个量级，故对周围环境的影响是十分轻微的。

(3) 辐射安全与防护措施：加速器机房辐射安全与防护措施有分区管理、实体屏蔽、电离辐射警示标识和中文警示说明、工作状态指示灯、急停按钮、紧急开门按钮、监控设施、门机安全联锁系统、辐射剂量监测和报警系统等，可有效防止职业人员和公众受到意外照射。

(4) 辐射安全防护管理：医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责全院的辐射安全管理和监督工作。医院将根据本次所申请项目种类制定健全的操作规程、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制度等，以满足辐射安全管理的要求。

13.1.6 结论

综上所述，北京儿童医院新院区新增使用医用电子直线加速器，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，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可控，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，北京核工业医院承诺：

- (1) 严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。
- (2) 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；
- (3) 项目竣工后按照生态环境主管部门规定的标准和程序，对配套建设

的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并接受生态环境主管部门的监督检查。

（4）在辐射项目运行中决不容许违规操作和弄虚作假等现象发生，如若发现相关现象接受相关处理。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院进行调查并报生态环境主管部门备案。

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