

核技术利用建设项目

雄安宣武医院（新区投资部分）变更

核技术利用项目环境影响报告表

雄安宣武医院

2025年8月

表 1 项目基本情况

建设项目名称		雄安宣武医院（新区投资部分）变更核技术利用项目					
建设单位		雄安宣武医院					
法人代表		李嘉		联系人		联系电话	
注册地址		河北雄安新区启动区西里路一号					
项目建设地点		河北雄安新区启动区西里路一号医技 3 号楼					
立项审批部门				批准文号			
建设项目总投资 (万元)				项目环保投资 (万元)		投资比例(环保投资/总投资)	
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他				占地面积(m ²) (不新增占地)	
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类				
		☒ 使用	☒ I 类(医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类				
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物				
		☐ 销售	/				
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙				
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类				
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类				
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类				
	其他	/					
	1.1 项目建设背景介绍 1.1.1 建设单位概况 雄安宣武医院是雄安新区首家以三甲医院标准建设的大型综合医院，总规模为 1200 张床位，用地面积约 200 亩，总建筑面积约 28 万平方米，分为北京市采取“交钥						

匙”方式投资建设部分（以下简称“一期项目”）和雄安新区投资建设部分（以下简称“二期项目”）。医院围绕京津冀协同发展，建设集临床服务、医疗教育、医学科研和成果转化为一体的医疗综合体，最终成为健康中国建设实践样板区、医学科技研发引领区、医疗卫生服务模式创新示范区，为雄安新区建设提供强有力的医疗保障，并对新区医疗体系建设发挥示范性和引领作用，提升公共服务水平。雄安宣武医院以三级综合医院医疗体系为基本框架，延续首都医科大学宣武医院国家医学中心建设，以神经科学和老年医学为特色，依托于神经系统疾病疑难重症诊治、心血管疾病诊治、肿瘤诊治等学科优势。

雄安宣武医院（一期）设置床位 600 张，建筑面积 12.2 万平方米，包含门诊 1 号楼、住院 1 号楼、住院 2 号楼、医技 1 号楼和医技 2 号楼。2023 年 10 月 16 日，雄安宣武医院（一期）开诊试运行，由首都医科大学宣武医院负责全面管理，截至目前已有 30 个科室开诊，为患者提供与首都医科大学宣武医院同质化的高水平医疗服务，对落实非首都功能疏解和提升雄安新区医疗卫生水平有重要的示范引领作用。

雄安宣武医院二期工程即“雄安宣武医院（新区投资部分）项目”（以下简称“二期项目”）规划建筑面积 15.8 万平方米，医疗工作区包括包含：门诊 2 号楼、住院 3 号楼、住院 4 号楼、医技 3 号楼、医技 4 号楼，科研行政办公区包括科研行政、教学宿舍、实验用建筑和一栋感染疾病楼，将在 2025 年年底竣工投入使用。

1.1.2 建设项目履行环境保护审批情况

（一）一期项目

2020 年 6 月一期项目取得了容城县生态环境局“关于北京市支持河北雄安新区建设医院项目环境影响报告书的批复”。

一期项目放射科、内镜中心、手术中心、介入中心和口腔科等科室配套使用射线装置，开展影像诊断、介入治疗等放射诊断应用，其中，计划使用 9 台数字减影血管造影机（简称“DSA”）。III类射线装置应用已进行环境影响登记表备案。使用数字减影血管造影机环境影响报告表已获得河北雄安新区管理委员会公共服务局批复同意。

2023 年 9 月 1 日，经河北雄安新区管理委员会公共服务局批复同意，雄安宣武医院首次取得辐射安全许可证。2024 年 3 月医院新增使用两台移动 DR 及两台 DSA，获批变更辐射安全许可证；2024 年 6 月新增 4 台 C 形臂 X 射线机、1 台 CT 和 1 台体外碎石

用 X 射线机，获批变更辐射安全许可证。目前，医院持有辐射安全许可证书编号：冀环辐证[X0074]，许可使用 II 类、III 类射线装置。

2024 年 9 月，医院组织开展了“使用 II 类血管造影机项目”竣工环境保护验收工作。获得许可使用的介入中心 DSA-5 机房和 DSA-7 机房的 2 台 DSA 设备，已落实了环评报告表及环评批复要求，通过建设项目竣工环保验收。

（二）二期项目

2022 年 7 月，容城县生态环境局已批复《雄安宣武医院（新区投资部分）项目环境影响报告书》（不含核技术利用内容）。

建设单位委托中辐环境科技有限公司承担“雄安宣武医院（新区投资部分）核技术利用项目”环境影响评价工作。二期项目涉及使用放射性同位素和射线装置的应用内容包括：

- ① 1 套头部伽玛刀放疗系统，使用 192 枚 II 类 ^{60}Co 放射源（聚集安装于 1 套设备内，按使用 I 类放射源管理）；
- ② 1 套后装治疗系统，使用 1 枚 III 类 ^{192}Ir 放射源；
- ③ 4 台医用 6/10MV 电子直线加速器（属于 II 类射线装置）；
- ④ 一处核医学诊断及治疗工作场所（属于乙级非密封放射性物质工作场所），使用 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{223}Ra 等核素；
- ⑤ 1 台制备正电子核素用回旋加速器，以及制备 PET 显像药物工作场所（属于乙级非密封放射性物质工作场所）和小动物 PET 显像实验工作场所（属于丙级非密封放射性物质工作场所）；
- ⑥ 18 台放射诊断（其中，1 台介入手术用 DSA，属于 II 类射线装置，2 台 PET/CT，1 台 SPECT/CT，1 台小动物 PET/CT）用 X 射线装置；
- ⑦ 2 枚 V 类 ^{68}Ge 放射源（用于 PET/CT 设备质控用校验源）。

2023 年 4 月，上述核技术利用项目环境影响评价文件已获得河北雄安新区管理委员会公共服务局批复同意。

二期项目建筑工程建设已完成，目前正进行机电等辅助工程的设备设施安装建设，计划交工时间 2025 年 10 月。目前未使用放射性同位素，未安装含射线装置设备。

1.1.3 变更核技术利用建设项目方案

二期项目的放射治疗科布置于医技3号楼地下一层，规划配置1套头部伽玛刀放疗系统、1套后装治疗系统、4台医用6/10MV电子直线加速器和放疗模拟定位等诊疗设备，配套建设专用放射治疗室及辅助工作用房。目前，放射治疗科所在区域建筑结构工程已经完工，未实施装饰装修工程，未安装医疗设备。

随着工业制造和放射治疗技术的不断进步，放射治疗设备正向着智能化、精准化和高剂量率化发展。雄安宣武医院为满足高质量建设发展需要，拟对二期项目放射治疗设备配置方案进行细化调整，主要变更内容包括：（1）原配置方案中的1套头部伽玛刀放疗系统调整为1套头颈部X射线放射外科治疗系统（ZAP-X），改造利用已建伽玛刀机房；（2）加速器3室原计划安装1台6/10MV电子直线加速器，调整为1套X/γ射线放射治疗系统（TaiChiPro），改造利用已建加速器机房。

表 1.1-1 二期项目变更核技术利用建设内容分析表

序号	原机房名称	原建设方案	变更后建设内容	变更后机房名称/应用类别	重大变动判定
1	伽玛刀治疗室	1套头部伽玛刀放疗系统，使用192枚Ⅱ类 ⁶⁰ Co放射源，总活度233TBq。	1套头颈部X射线放射外科治疗系统（ZAP-X），使用1台3MV直线加速器，含MV级和kV级图像装置，具有整机自屏蔽设计。	ZAP-X治疗室/ Ⅱ类射线装置	是。核技术应用类别发生变化
2	加速器3室	1台6/10MV电子直线加速器	1套X/γ射线放射治疗系统（TaiChiPro），多模态一体化设计，使用1台6MV直线加速器，伽玛刀模块使用18枚Ⅰ类 ⁶⁰ Co放射源（总活度888TBq），kV级CBCT装置。	加速器3室/ Ⅱ类射线装置和 Ⅰ类 ⁶⁰ Co放射源	是。核技术应用类别和规模发生变化

说明：表中建设内容“重大变动判定”，根据《关于印发<污染影响类建设项目重大变动清单（试行）>的通知》（环办环评函〔2020〕688号），并参考《关于公开征求<核技术利用建设项目重大变动清单（征求意见稿）>意见的通知》（环办便函〔2023〕230号）来确定。

1.1.4 劳动定员及工作负荷

（1）人员配置：本项目运行初期从首都医科大学宣武医院调派辐射工作人员，承担本项目放射治疗科诊疗工作，另外，通过人才引进和公开招聘充实工作岗位。本项目计划由首都医科大学宣武医院调入7名工作人员，其中，放射肿瘤医师3人，医学物理师1人，放射治疗技师3人。根据就诊患者数量增加情况，将增配工作人员。本

项目工作人员固定设置，不与其他放射治疗室交叉使用。

(2) 工作负荷：根据设备厂家和医院提供的资料，X/ γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）治疗室按每天工作 8 小时，伽玛刀模式每天最多治疗 20 个病人，开源时间平均为 5min/人；加速器治疗模式每天最多可治疗 30 个病人，按照适形调强治疗每人出束时间平均为 3min。两种治疗模式合计治疗出束 800h/a。ZAP-X 系统典型临床治疗计划按 7134 MU 计，每天最多治疗 12 名患者，每周治疗出束时间为 4.8h。按全年运行 250 天，全年治疗出束约 240h/a。

1.2 项目由来和评价目的

根据《中华人民共和国环境影响评价法》第二十四条规定，建设项目的环境影响评价文件经批准后，建设项目的性质、规模、地点、采用的生产工艺或者防治污染、防止生态破坏的措施发生重大变动的，建设单位应当重新报批建设项目的环境影响评价文件。《建设项目环境保护管理条例》第十二条规定，建设项目环境影响报告书、环境影响报告表经批准后，建设项目的性质、规模、地点、采用的生产工艺或者防治污染、防止生态破坏的措施发生重大变动的，建设单位应当重新报批建设项目环境影响报告书、环境影响报告表。

雄安宣武医院二期项目拟变更 2 台放射治疗设备配置方案，主要涉及两处放射治疗工作场所，其使用辐射源项的类别和射线装置参数将有重大调整。按照表 1.1-1 对本项目变更前后建设内容及规模的分析，根据生态环境部办公厅《关于印发〈污染影响类建设项目重大变动清单（试行）〉的通知》（环办环评函〔2020〕688 号）有关规定，并参考生态环境部办公厅《关于公开征求〈核技术利用建设项目重大变动清单（征求意见稿）〉意见的通知》（环办便函〔2023〕230 号）有关内容，本项目属于建设项目的性质和规模发生重大变动情形，应对项目拟采取的污染防治措施可行性及其环境影响进行分析，重新编写并报审批所涉及建设项目环评文件。

对照《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）规定，本项目属于“五十五、核与辐射”类别中“172、核技术利用建设项目—医疗机构使用 I 类放射源，使用 II 类射线装置”。因此，项目建设前应当编制环境影响报告表，向政府管理部门申请审批。

受建设单位委托，中辐环境科技有限公司承担雄安宣武医院（新区投资部分）变

更核技术利用项目环境影响评价工作。评价单位在接受委托后，组织工程技术人员现场踏勘与调查，充分收集相关资料，结合项目特点，依照有关法律、法规、标准和技术规范编制完成了本项目辐射环境影响报告表。

1.3 实践正当性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

放射性同位素与射线装置应用于放射诊断、放射治疗和核医学诊疗是临床医学的重要而又先进的技术手段，对于保障人体健康，诊断和治疗疾病有着十分重要的作用。放射治疗是利用电离辐射的生物效应治疗肿瘤等疾病的技术，其基本原则是破坏恶性肿瘤和保存正常组织，约有 70%的恶性肿瘤患者需要进行放射治疗。常用的放射治疗设备依辐射来源划为加速器治疗装置和放射性核素治疗装置两大类。

立体定向放射治疗（SRT）是将来自不同角度的通常为小尺寸的辐射束定向并精确地相对患者体内靶区定位的先进治疗技术。立体定向放射外科（SRS）是立体定向放射治疗特定的方式，通过联合使用立体定向框架与解剖标记点，给予靶区单次高剂量辐射。 γ 射线立体定向放射治疗系统临床上又称“伽玛刀”，是一种融合现代计算机技术、立体定向技术和影像技术于一体的放射治疗设备。

本项目建设运营以后，将为雄安新区及区域居民提供优质的核技术应用医疗服务，具有明显的社会效益，采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害。

综合分析，本项目的实施对受照患者和社会所带来的利益远大于其引起的辐射危害，对工作人员和公众的辐射影响完全满足国家相关标准要求，项目建设符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》有关辐射防护“实践的正当性”原则要求。

1.4 产业政策和规划符合性分析

1.4.1 产业政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》列出“鼓励类”中“三十七、卫生健康，1. 医疗服务设施建设……”，符合国家产业政策。本项目不属于

《河北省禁止投资的产业目录》(2014 年)中的禁止项目,不属于《河北省新增限制和淘汰类产业目录》(2015 年)限制类和淘汰类项目,不在《市场准入负面清单》(2022 年版,国家发展和改革委员会、商务部,发改体改规〔2022〕397 号)之列。

1.4.2 规划符合性分析

本建设项目符合《河北雄安新区总体规划(2018—2035 年)》和《河北雄安新区起步区控制性规划》提出的打造宜居宜业环境,提供优质共享公共服务,高标准配置医疗卫生资源的要求。符合《河北雄安新区启动区控制性详细规划》提出的建设组团级综合医院,尽快形成新区医疗保障能力的医疗卫生设施建设要求,本项目规划建设用地属于“医疗卫生用地”。

《河北省人民政府办公厅关于印发河北省“十四五”医疗卫生服务体系规划的通知》(冀政办字〔2022〕23 号)提出,为承接北京非首都功能疏解,在雄安新区等区域设置由国家部门举办的医疗机构,打造医学中心和区域医疗中心,辐射和带动全省、京津冀区域乃至华北地区的医疗卫生服务能力提升,满足人民群众卫生健康需求,缓解首都医疗服务和城市运行管理压力。本建设项目符合河北雄安新区管委会印发的《河北雄安新区构建现代化医疗卫生服务体系三年行动计划》提出的目标和任务要求。

1.5 项目选址及环境保护目标

1.5.1 项目建设用地及周边环境

雄安宣武医院位于河北省雄安新区启动区,行政区划属于容城县大河镇。院区总用地面积 13.75 公顷,东西长约 430m,南北宽约 330m,东南侧是雁翎大街,西南侧为锦朋路,西北侧隔规划市政道路为城市景观绿地,东北侧为端阳路。医院地理位置见附图 1 所示。目前,医院周边除市政道路外,为城市建设预留空地和城市景观绿地。

医院医疗区建筑外观见图 1.5-1。

医院建筑布局及周围环境情况见图 1.5-2 所示。

医院建筑总平面图见附图 2。



图 1.5-1 雄安宣武医院医疗区建筑图



a. 医院建筑布局示意图



b. 医疗工作区俯瞰图

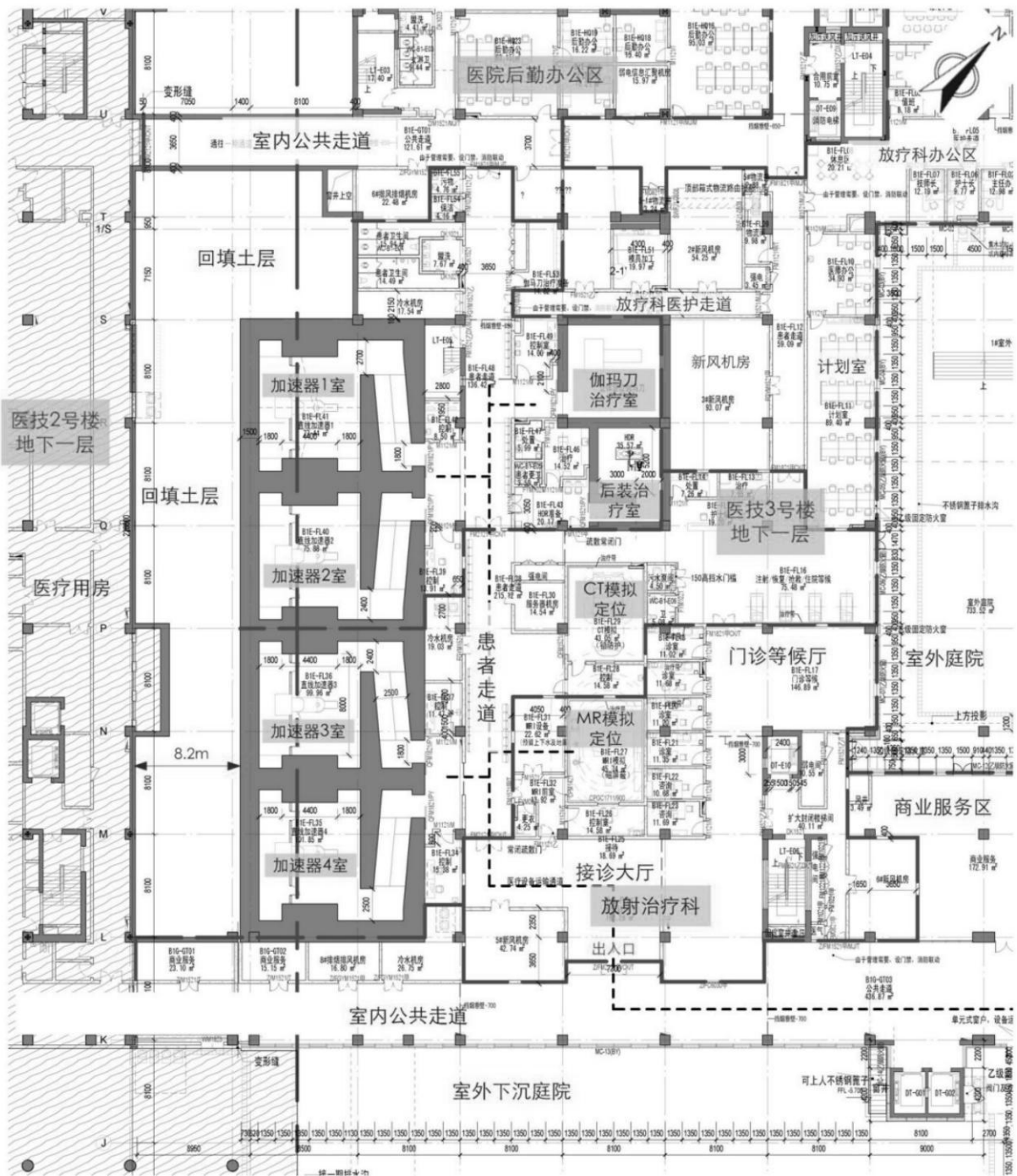
图 1.5-2 雄安宣武医院建筑布局及周围环境图

1.5.2 项目机房与外部建筑环境关系

医院东侧区域为医疗工作区，建有两栋门诊楼、4 栋住院楼（1 号至 4 号）、4 栋医技楼（1 号至 4 号）。其中，医技楼均为地上四层（局部三层）、地下两层建筑，地面建筑高度 22.5 米；住院楼均为地上九层、地下两层建筑，地面建筑高度 45 米。

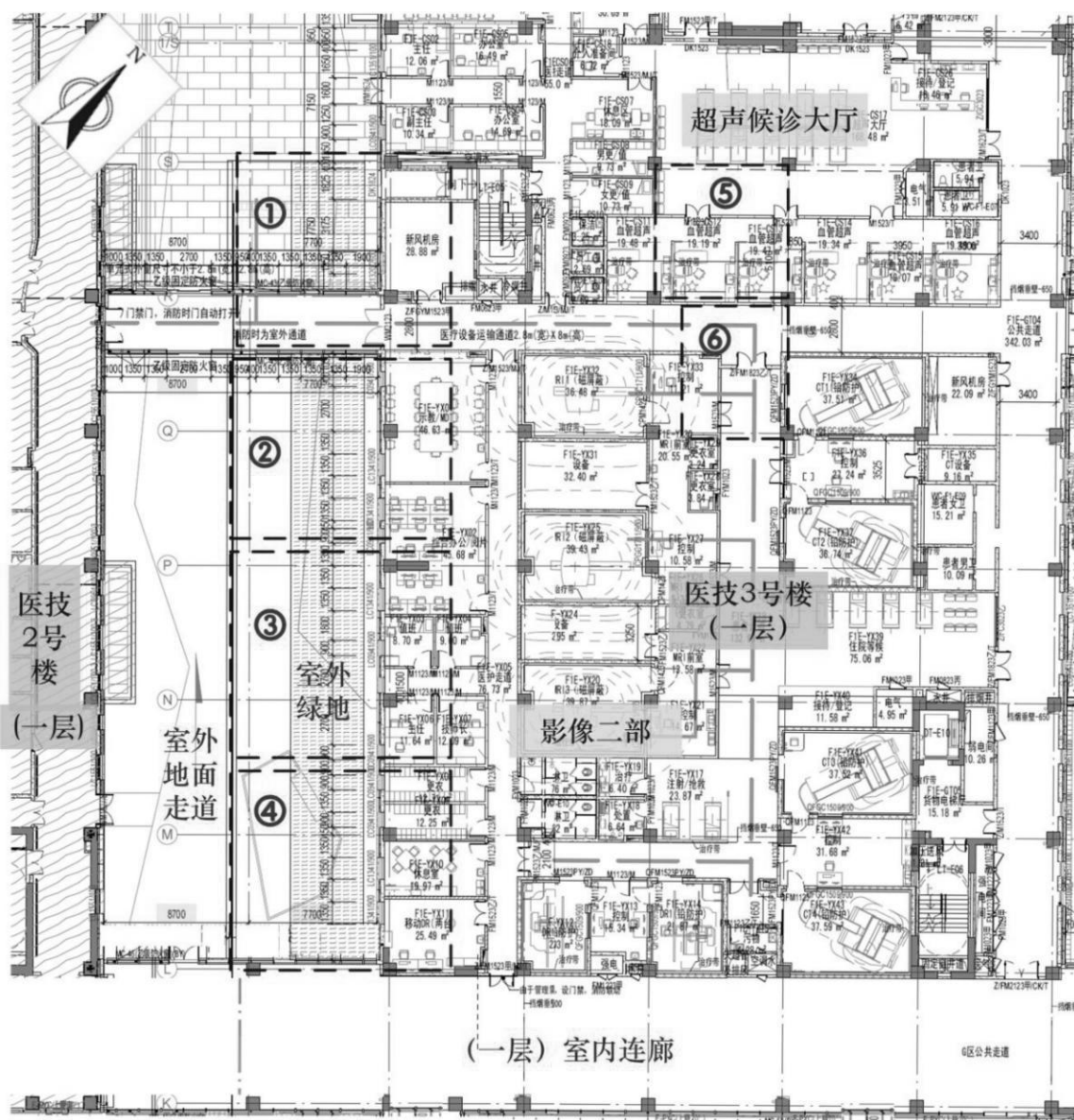
放射治疗科位于医技 3 号楼地下一层，下方无建筑，同楼层还有医院后勤办公区、公用设备机房，正上方（大楼一层）是影像二部和血管超声室。本项目评价范围为：以辐射工作场所屏蔽实体外周界向外扩展 50m 的区域，如图 1-3 所示。医技 3 号楼以西 16m 是医技 2 号楼相邻，以东 16m 与医技 4 号楼相邻，南侧 36m 是门诊大厅，大楼北侧与住院 3 号楼建筑相接。评价范围内是辐射工作场所所在的医技 3 号楼及相邻的本院医疗用建筑。

拟用放疗机房位置及周围建筑环境关系情况见图 1.5-3 所示。放射治疗科建筑平面布局及周围环境情况见图 1.5-4；正上方建筑平面布局情况见图 1.5-5。



说明：1、伽玛刀治疗室变更为头颈部X射线放射外科治疗系统（ZAP-X）机房；2、加速器3室作为X/γ射线放射治疗系统（TaiChiPro）机房。

图 1.5-4 放射治疗科建筑平面布局图



说明：1、框线⑤区域下方投影为头颈部X射线放射外科治疗系统（ZAP-X）机房；
2、框线③区域下方投影为X/γ射线放射治疗系统（TaiChiPro）机房。

图 1.5-5 （医技 3 号楼一层局部）放射治疗科上方建筑平面布局图

1.5.3 环境保护目标和选址合理性分析

拟使用的辐射工作场所均属于放射治疗科预留机房。本项目环境保护目标主要为放疗科辐射工作人员和周围公众。公众包括： 机房所在建筑及周围相邻建筑内的非放射性岗位工作人员、患者及其陪护人员，医院来访者等其他人员。

评价范围内无民居、写字楼和商住两用的建筑物。放射治疗科设置在在医技3号楼地下一层（下方无建筑），放疗设备机房选址已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，以及人员流动性大的商业活动区域。本项目经采取屏蔽和安全防护措施后，项目运行对周围环境、辐射工作人员和公众的辐射影响是可以接受后。因此，本项目选址较合理。

1.6 现有核技术利用管理情况

1.6.1 核技术利用放射诊疗应用及许可情况

2023年9月，河北雄安新区管理委员会颁发放射诊疗许可证，许可雄安宣武医院开展X射线影像诊断和介入放射性临床应用。目前，医院安装使用2台II类射线装置，均为数字减影血管造影机（DSA），使用18台III类射线装置，包括CT、DR、移动式C形臂、乳腺DR机、口腔颌面CBCT等放射诊断设备，二者合计20台，均已登记在辐射安全许可证台账内。2台DSA安装在医技1号楼3层介入中心手术室，其他III类射线装置分别由放射科、手术室、内镜中心、泌尿外科使用。

医院现持有辐射安全许可证（冀环辐证[X0074]），许可使用II类、III类射线装置。发证机关：河北雄安新区管理委员会公共服务局，有效期至2029年6月5日。

1.6.2 辐射安全管理情况

医院遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关放射性法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好，医院运行过程中未曾发生辐射事故。

（1）辐射安全与环境保护管理机构

建设单位在原有核技术利用项目运行时已成立辐射安全与环境保护管理机构，并根据人员变动情况及时调整管理机构组成人员，明确了相关工作内容和职责，能够满足原有核技术利用项目运行过程中辐射防护管理和监督的需要。

（2）辐射安全管理相关规章制度

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》，已制定了一套辐射安全管理制度，在原有核技术利用项目运行过程中进行了落实和执行，原有核技术利用项目多年来运行状况较好，未曾发生过辐射

事故。

（3）辐射工作人员培训情况

医院现有 36 名辐射工作人员，从事Ⅲ类射线装置使用的辐射工作人员有 34 人，医院已组织自主培训，并全部考核合格，其余 21 名辐射工作人员已取得国家核技术利用辐射安全与防护培训平台集中考核成绩合格单，考核成绩均在有效期内。

（4）个人剂量监测情况

医院现有辐射工作人员已全部进行个人剂量监测，根据医院 2024 年年剂量检测评价报告，辐射工作人员受照剂量均能满足不超过 5mSv/a 的剂量约束值要求，个人剂量监测结果未见异常。

（5）工作场所和环境辐射水平监测：根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，医院每年委托有资质单位对院内辐射工作场所及其周围环境进行 1 次辐射水平监测，监测报告存档。

根据河北戈瑞特环境检测有限公司出具的检测报告（编号：戈环 012024120023），2024 年 12 月，该公司受委托对雄安宣武医院 2 台Ⅱ类、18 台Ⅲ类射线装置所在机房进行周围环境 X-γ 辐射剂量率监测，监测结果符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）规定要求。

（6）年度评估报告情况

医院按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，每年对本单位放射性同位素与射线装置安全和防护状况进行评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度评估报告。

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
1	⁶⁰ Co	8.88×10 ¹⁴ Bq / 5.17×10 ¹³ Bq×18 枚	I	使用	放射治疗	加速器 3 室	X/γ 射线放射治疗系统 (TaiChiPro) 机架内。医技 3 号 楼地下一层放射治疗科加速器 3 室	新增
	以下空白							

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何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
	/									

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）。

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	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	X/γ 射线放射治疗系统	II	1	TaiChiPro	电子	X 射线: 6MV	X 射线: 14Gy/min; CBCT 图像引导系统模块: 额定 150kV, 64mA	放射治疗	医技 3 号楼地下一层放射治疗科, 加速器 3 室	新增
2	头颈部 X 射线放射外科治疗系统	II	1	ZAP-X	电子	X 射线: 3.0MV	X 射线: 15Gy/min; 包含 MV 级成像系统; kV 级成像系统	放射治疗	Zap-X 治疗室	新增

(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
	/								

(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	
	/												

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
退役 ^{60}Co 放射源	固态	^{60}Co		—	—	—	不暂存	返回货源单位
加速器废靶，加速器 维修拆除的活化部件	固态	活化成分		—	—	—	不暂存	交有相应资质的机构 收贮
臭氧和氮氧化合物	气态	—	—	—	少量	$\text{O}_3 < 0.30\text{mg}/\text{m}^3$	不暂存	放疗机房排风系统收 集，输送至楼顶高处 排放

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/m^3 ；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/m^3 ）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》（2015 年 1 月 1 日实施）； (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修订施行）； (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（2003 年 10 月 1 日实施）； (4) 《国务院关于修改<建设项目环境保护管理条例>的决定》（国务院 682 号令）； (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日国务院第 449 号令发布，2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令 第 709 号）修改，施行）； (6) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）； (7) 《河北省辐射污染防治条例》（2020 年 7 月 30 日河北省第十三届人大常委会第十八次会议通过修改，施行）； (8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第 18 号令）； (9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号）； (10) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局 公告第 62 号，2005 年）； (11) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号）； (12) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令 第 31 号公布，2017 年 12 月 12 日《环境保护部关于修改部分规章的决定》（部令 第 47 号）对其进行了修改，2019 年 8 月 22 日《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令 第 7 号）对其进行了修改，2021 年 1 月 4 日经生态环境部令 第 20 号修改）； (13) 《建设项目环境影响评价分类管理目录（2021 版）》（生态环境部令 第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行）； (14) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环境保护部办公厅环办辐射函〔2016〕430 号文）；
------	---

	（15）《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，2020年1月1日实施）； （16）《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，自2019年11月1日起施行）； （17）《关于发布<河北省生态环境厅审批环境影响评价文件的建设项目目录（2024年本）>的通知》（河北省生态环境厅 河北省数据和政务服务局，自2025年1月1日起实施）； （18）《关于印发<污染影响类建设项目重大变动清单（试行）>的通知》（生态环境部办公厅，环办环评函〔2020〕688号）。
技术标准	（1）《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1—2016）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ/T10.1—2016）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）； （4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157—2021）； （5）《辐射环境监测技术规范》（HJ61—2021）； （6）《环境空气质量标准》（GB3095—2012）及修改单； （7）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198—2021）； （8）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121—2020）； （9）《放射性废物管理规定》（GB14500—2002）； （10）《医用电气设备 第2-11部分：γ射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》（GB9706.211—2020）； （11）《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）； （12）《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）； （13）《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZT201.3—2014）； （14）《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)； (15) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128—2019）； (16) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（公安部 GA1002—2012）。
其他	(1) 雄安宣武医院（新区投资部分）变更核技术利用项目环境影响评价委托书； (2) 雄安宣武医院提供的与本项目相关的技术资料； (3) 《雄安宣武医院（新区投资部分）核技术利用项目环境影响报告表》及其批复文件； (4) 《河北省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护，1990 年 11 月刊）； (5) 生态环境部发布《2021 年全国辐射环境质量报告》； (6) 《关于公开征求<核技术利用建设项目重大变动清单（征求意见稿）>意见的通知》（生态环境部办公厅，环办便函〔2023〕230 号） (7) NCRP REPORT No.151（美国 NCRP：MV 级 X 和 γ 放疗设备的屏蔽设计和评价）； (8) 《头颈部 X 射线放射外科治疗系统防护性能与质量控制检测规范（送审稿）》（中国卫生监督协会团体标准，2024 年）； (9) 马向捷,李明生,孙全富,王成成,魏晓,程金生. 新型自屏蔽放射治疗系统辐射屏蔽性能防护检测与评估[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2023, 43(11): 906-912. （在线阅读：https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112271-20230831-00070）。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 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）要求，结合本项目源项特点和建筑布局具体情况，确定评价范围为：以辐射工作场所控制区实体屏蔽外周界向外围扩展50m的区域。评价范围为拟用放射治疗设备机房所在的医技3号楼及其相邻的本院医疗用建筑，具体见图1-3所示。项目规划建设用地属于“医疗卫生用地”，周围无环境制约因素，拟用辐射工作场所周围50m评价范围内无学校、居民区等环境敏感点。

7.2 保护目标

本项目环境保护目标主要为放疗科辐射工作人员和公众。公众包括：① 辐射工作场所所在建筑及周围相邻建筑内的非放射性岗位工作人员、患者及其陪护人员、来访者等；② 评价范围内经过或停留的其他人员。具体列于表 7.2-1。

表 7.2-1 环境保护目标调查分析表

头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X）机房（位置：医技 3 号楼地下一层）				
周围 50m 范围内建筑物	方位	距离（m）	环境保护目标	规模
ZAP-X 治疗室及控制室	场所内	-	辐射工作人员	4 人
后装机治疗室	南侧	紧邻至 9m	辐射工作人员	3 人
放疗科工作区（CT 模拟定位检查室、MR 模拟定位检查室、放疗科诊室、治疗/观察工作区、候诊大厅等）；公共通道	东南侧	9m 至 45m	辐射工作人员、公众	20 人
放疗科走廊、候诊区	西侧	紧邻至 7m	辐射工作人员、公众	120 人
加速器治疗室	西侧	7m 至 22m	辐射工作人员	15 人
医技 2 号楼	西侧	22m 至 50m	公众	150 人
放疗科走廊	北侧	紧邻	辐射工作人员、公众	流动人员
放疗科工作区（内部走廊、伽玛刀治疗准备室、模具加工室、医办室等）；后勤办公区	北侧	4m 至 50m	辐射工作人员、公众	50 人
新风机房	东侧	紧邻	公众	流动人员
放疗科工作区（内部走廊、医办室、治疗计划室）；医技 4 号楼	东侧	8m 至 50m	公众	60 人
上部相邻房间（血管超声室）	上方	紧邻	公众	2 人

上部（医技 2 号、3 号、4 号楼；住院 3 号楼）	上方	4m 至 22m	公众	60 人
X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）机房 / （位置：医技 3 号楼地下一层）				
周围 50m 范围内建筑物	方位	距离（m）	环境保护目标	规模
TaiChiPro 治疗室及控制室	场所内	-	辐射工作人员	4 人
放疗科走廊	东侧	紧邻至 4m	辐射工作人员、公众	流动人员
放疗科工作区（ZAP-X 治疗室、后装治疗室、CT 模拟定位检查室、MR 模拟定位检查室、放疗科诊室、治疗/观察室、诊室、候诊大厅等）；医技 4 号楼	东侧	4m 至 50m	辐射工作人员、公众	50 人
加速器 4 室	南侧	紧邻至 10m	公众	2 人
南侧商业服务用房、排烟排风机房、公共走廊		10m 至 30m	公众	流动人员
门诊 1 号楼；门诊大厅	南侧	22m 至 50m	公众	60 人
医技 2 号楼	西侧	8 至 50m	公众	60 人
加速器 2 室及附属设备机房	北侧	紧邻至 10m	辐射工作人员	4 人
放疗科工作区（加速器 1 室、卫生间、通道、模具加工室、医办室等）；后勤办公区	北侧	10m 至 50m	辐射工作人员、公众	50 人
上部相邻影像二部医办公室	斜上方	紧邻	辐射工作人员、公众	12 人
上部（医技 2 号、3 号楼；住院 3 号楼）	上方	4m 至 50m	公众	110 人

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）有关辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值规定。摘录列于表 7.3-1。

表 7.3-1 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv，特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

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。
--	---------------------------------------

注：表中剂量限值不包括医疗照射和天然环境辐射照射。

7.3.2 剂量约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 11.4.3.2 款，规定了个人受照射剂量约束值管理要求，按辐射防护最优化原则设计的年剂量控制值应小于或等于该剂量约束值。综合考虑本项目使用放射性同位素和射线装置规划，参考河北省同类规模医院管理要求，建议本项目取年有效剂量限值的 1/4 作为职业照射个人有效剂量约束值，即 5mSv/a；公众受照剂量约束值取 0.1mSv/a。

7.3.3 放射工作场所周围剂量率控制水平

放射治疗机房屏蔽体外周围剂量率控制水平参考《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗机房的屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2—2011）附录 A 导出，具体见第 11.4 节有关内容。

7.3.4 贮源容器泄漏辐射控制水平

依据《医用电气设备 第 2-11 部分：γ 射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》（GB9706.211—2020）第 201.10.2.5.2 款规定，防护屏蔽应将辐射衰减到如下程度，使得束控机械装置在关束位置时，距辐射源 1 m 处测得的由于杂散辐射（包括辐射源之外的其他放射性材料引起的辐射）引起的吸收剂量率不应超过 0.02mGy/h；对于机架型的设备，在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不得超过 0.2mGy/h。本项目伽玛刀治疗装置执行此标准规定。

7.3.8 工作场所空气中 O₃ 和 NO₂ 浓度限值

执行职业卫生防护标准《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ 2.1—2019）规定，工作场所空气中 O₃ 和 NO₂ 浓度限值分别为 0.3mg/m³ 和 5mg/m³。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理及场所位置

雄安宣武医院位于河北省雄安新区启动区，行政区划属于容城县大河镇。拟利用的两处放射治疗机房位于医院医技 3 号楼地下一层，邻近西侧的医技 2 号楼，机房下方无建筑，所在大楼土建工程已建设完工。医技 3 号楼为地上 4 层（局部三层）、地下两层（局部地下一层）医用建筑，目前大楼未交工投用。拟利用放射治疗机房现状见图 8.1-1。

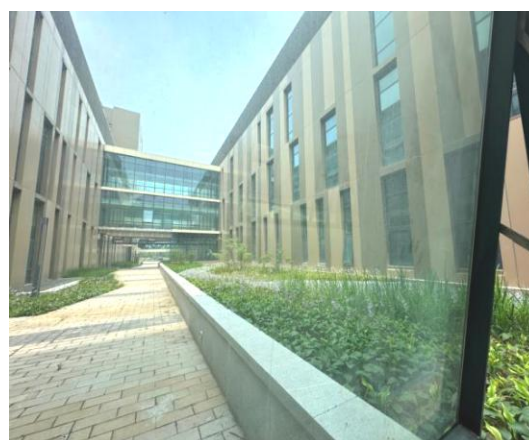


图 8.1-1 拟利用放射治疗机房现状图

8.2 环境质量和辐射现状

8.2.1 项目所在区域辐射环境质量

生态环境部发布的《2021 年全国辐射环境质量报告》监测数据显示，河北省环境 γ 辐射空气吸收剂量率（含宇宙射线响应值）年均范围在 63.2~92.7nGy/h。生态环境部辐射环境监测技术中心 2025 年 6 月发布（自生态环境部网站）《2025 年 1 季度全国空气吸收剂量率季度简报》监测数据显示，雄安新区容城站小时平均值范围 70.2~76.1nGy/h，月平均值为 72.5nGy/h。

根据《河北省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护，1990 年 11 月刊）调查结果，保定市宇宙射线电离成分所致室外环境空气吸收剂量率为： $(3.15 \pm 0.29) \times 10^{-8}$ Gy/h；保定市原野 γ 辐射空气吸收剂量率为： $(5.76 \pm 2.61) \times 10^{-8}$ Gy/h；保定市道路 γ 辐射空气吸收剂量率为： $(4.33 \pm 2.64) \times 10^{-8}$ Gy/h。

8.2.2 项目场址辐射环境质量监测结果

评价单位委托浙江建安检测研究院有限公司对拟建项目环境辐射水平进行了检测，检测项目是环境 X- γ 辐射空气吸收剂量率。接受委托的环境检测单位持有检验检测机构资质证书(浙江省省市场监督管理局认证，CMA 证号 221112050970)。检测时间：2025 年 7 月 9 日。

监测方法与标准包括：①《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）；②《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

使用检测仪器：X、 γ 辐射剂量当量率仪（型号：FH40G-L10+FBZ672E-10）。检测仪器在检定有效期内。

检测期间天气状况：晴，环境温度：33.1° C；环境湿度：70.0%。

检测点位及检测结果见表 8.2-1 和表 8.2-2；检测布点情况见图 8.2-1 至图 8.2-3 所示。

表 8.2-1 建设项目场址环境辐射监测结果

序号	监测点位名称	监测结果（nGy/h）
1	直线加速器 3 室内部	58.2 $\pm$ 1.2
2	直线加速器 3 室东侧（机房门口）	81.0 $\pm$ 0.9
3	直线加速器 3 室东侧（控制室）	87.9 $\pm$ 1.1
4	直线加速器 3 室东侧（冷水机房）	92.1 $\pm$ 1.1
5	直线加速器 3 室东侧（患者走道）	75.7 $\pm$ 1.7

6	直线加速器 3 室南侧（直线加速器 4 室）	62.0±1.0
7	直线加速器 3 室北侧（直线加速器 2 室）	62.9±1.1
8	直线加速器 3 室上方（室外绿地）	72.0±1.1
9	直线加速器 3 室上方（办公室）	77.3±0.9
10	伽玛刀治疗室内部	59.1±0.8
11	伽玛刀治疗室东侧（新风机房）	70.1±0.6
12	伽玛刀治疗室南侧（HDR 放疗室）	60.1±0.6
13	伽玛刀治疗室南侧（治疗室）	76.0±1.1
14	伽玛刀治疗室西侧（控制室）	83.5±0.6
15	伽玛刀治疗室西侧（机房门口）	79.9±0.9
16	伽玛刀治疗室西侧（患者走道）	75.1±1.0
17	伽玛刀治疗室北侧（医护走道）	68.8±1.1
18	伽玛刀治疗室上方（血管超声检查室）	68.1±1.3
19	医技 4 号楼东侧（过道）	42.7±1.0
20	医技 3 号楼南侧（过道）	32.5±0.7
21	医技 3 号楼西侧（过道）	41.7±0.7
22	医技 3 号楼北侧（过道）	26.5±1.2

说明：1、测量时探头距离地面约 1m；2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已扣除仪器对宇宙射线的响应值；3、环境 γ 辐射空气吸收剂量率=仪器读数平均值 $\times$ 仪器校准因子 $k_1\times$ 仪器检验源效率因子 $k_2\div$ 空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子 $k_3\times$ 测量点宇宙射线响应值 D_c ，校准因子 k_1 为 1.14，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy， k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，测量点宇宙射线的响应值为 12.3nGy/h。

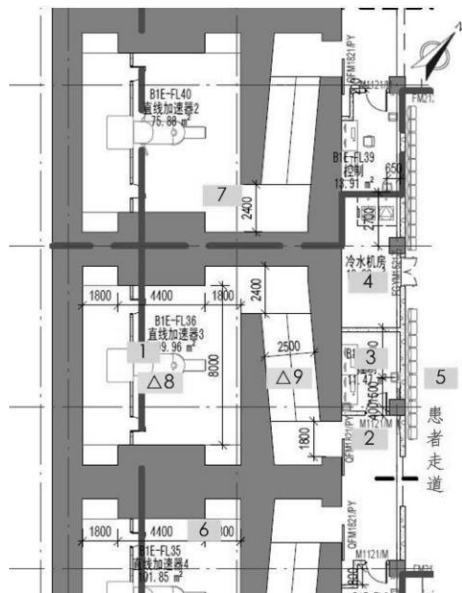


图 8.2-1 加速器 3 室环境辐射水平检测布点图（加△点位表示正上方房间）

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期污染源项分析

本项目放射治疗机房主体工程已建设完成。X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）治疗室及附属工作用房施工主要包括：电气、供排水、通风等工程施工，装修施工、设备安装、调试等施工。头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X）治疗室及附属工作用房施工主要包括：（1）机房改建工程，包括：局部改建治疗室墙体，安装防护门和观察窗；改建控制室；改建辅助设备间等；（2）电气、供排水、通风等工程施工，装修施工、设备安装、调试等施工。

本项目土建施工主要包括：放疗机房建筑主体结构拆改施工，附属工作用房二次结构施工。在本项目代建单位的严格监督下，施工方遵守文明施工、合理施工的原则，严格落实各项环保措施，可使其对环境的影响降至最小程度。施工结束后，项目施工期环境影响将随之消除。

本项目所有设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在射线装置安装调试阶段，主要污染因素为 X 射线和臭氧。建设单位应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁并派人看守。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入设备区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过机房屏蔽和距离衰减后对环境的影响较小。

9.2 X/γ 射线放射治疗系统污染源分析

9.2.1 设备组成与工作原理

1) 设备简介和构成

X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）兼具医用直线加速器治疗功能和伽玛刀治疗功能，同时为将病灶准确地置于放射区域，在加速器治疗模块和伽玛刀聚焦治疗模块之间，配备有 CBCT 图像引导系统模块。该多模式一体化放射治疗设备将 1 个 6MV 直线加速器治疗头、1 个 γ 射线聚焦治疗头（伽玛刀）和 1 个 CBCT 图像引导系统模块集成于同一个可旋转机架内，从而具备伽玛刀和加速器 2 种放射治疗功能。设备设计有加速器

和伽玛刀不能同时出束的控制系统，两部分独立运行，不同时工作。在每次治疗时利用 CBCT 进行实时位置验证，减小患者治疗位置误差，提升治疗效果。设备具有加速器模块屏蔽和 γ 射线聚焦头模块屏蔽设计，以减少设备周围泄漏辐射。

X/ γ 射线放射治疗系统 (TaiChiPro) 由机架、X 射线束流产生模块、射野成形模块、 γ 射线聚焦治疗模块（以下称“伽玛刀治疗模块”）、治疗床、CBCT 图像引导系统、控制系统、应用软件等组成。设备治疗单元外观见图 9.2-1 所示，设备机架组成结构见图 9.2-2，治疗单元设计尺寸见图 9.2-3 所示，主要技术参数见表 9.2-1。



图 9.2-1 TaiChiPro X/ γ 射线放射治疗系统（治疗单元）外观图

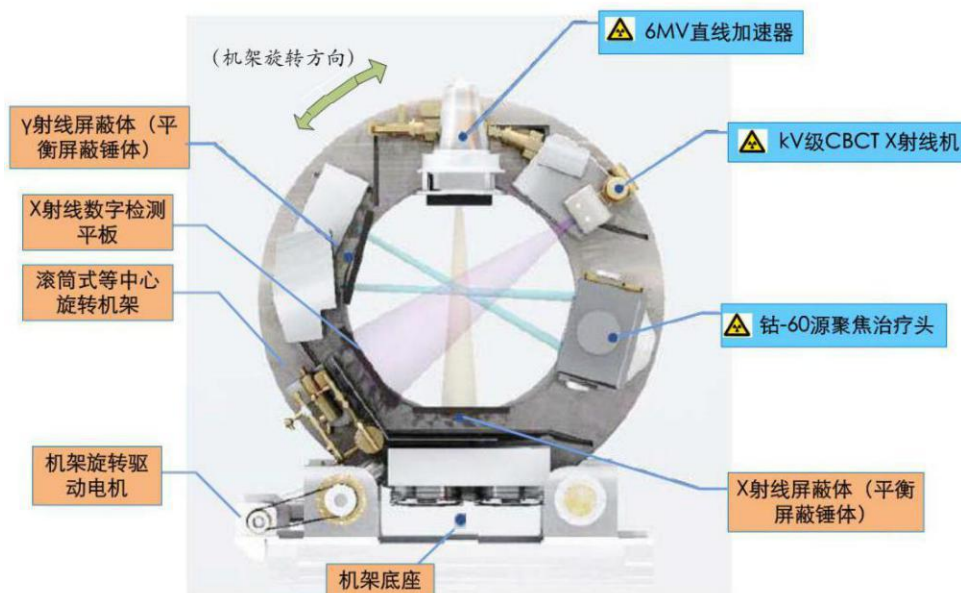


图 9.2-2 TaiChiPro X/ γ 射线放射治疗系统机架结构示意图

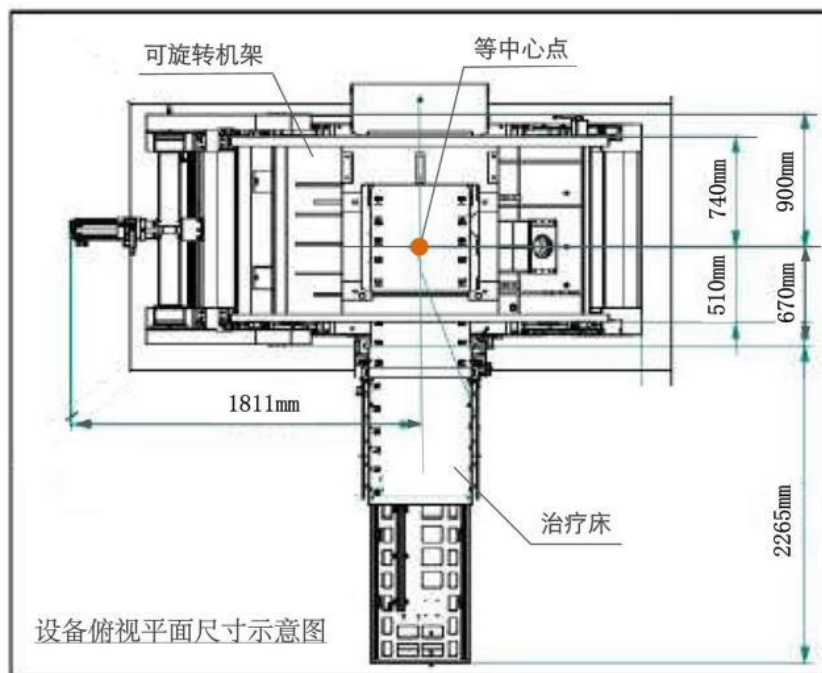
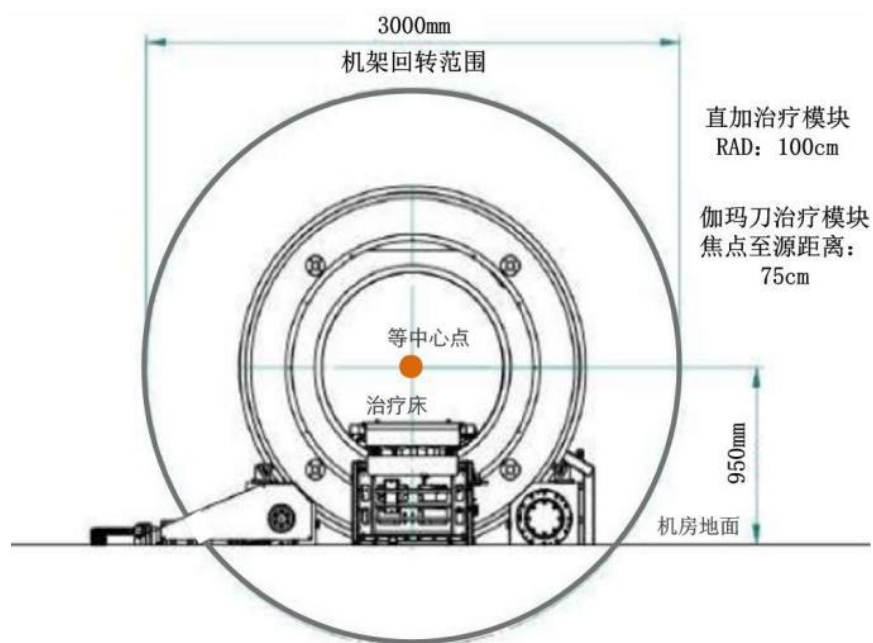


图 9.2-3 X/γ 射线放射治疗系统 (TaiChiPro) 治疗单元外观尺寸图

表 9.2-1 设备主要技术参数表

设备型号	功能模块	各项参数	具体情况
X/γ 射线 放射治疗 系统 (TaiChi Pro)	加速器治 疗模块	X 射线能量	6MV
		等中心处最大剂量率	1400cGy/min (FFF 模式)，常用 800cGy/min
		等中心处最大照射野	40cm×40cm
		有用束张角	27.8°
		SAD	1000mm
		等中心到地面距离	950mm (距地板高度；等中心距机器 最低点 1500mm)
		泄漏辐射	机头屏蔽体不大于 0.5%；准直器 不大于 0.1%
		加速管组件屏蔽	90° 方向为 91mmPb、180° 方向为 86mmPb。
		加速器束挡块	屏蔽体为 120mm 铅+70mm 钢构成
	γ 射线治 疗模块 (伽玛刀 治疗模 块)	聚焦头射线源	18 颗钴-60 放射源，单源初装设计 活度为 5.17×10^{13} Bq (平均约 1397Ci) ($1 \pm 10\%$)；最大装源活 度为 8.88×10^{14} Bq ($1 \pm 5\%$)。
		聚焦头准直器	共 7 组，规格为 Φ0.6cm、 Φ0.9cm、Φ1.2cm、Φ1.6cm、 Φ2.0cm、Φ2.5cm、Φ3.5cm
		聚焦头初装源焦点剂 量率	初装源时，在体部专用模体中心点 的水吸收剂量率不小于 2.0Gy/min。在专用球形模体 80mm 深度处水中的吸收剂量率不小 于 3.0Gy/min。
		焦点到射线源距离	750mm
		聚焦头屏蔽	在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近 的位置，由于杂散辐射引起的吸收 剂量率不超过 0.2mGy/h。
		伽玛聚焦头束挡块	屏蔽体由钢 82mm+铅 305mm+铅铋合 金 60mm 构成。
	CBCT 图像 引导系统 模块	最大管电压	150kV (临床一般为 120kV)
		最大管电流	64mA
		距靶 1m 处最大剂量 率	<0.5mGy/h (测试条件 150kV、 3.6mA)
		曝光时间	单次扫描为每秒 9 帧的脉冲式曝 光，单帧曝光时间最大 32ms，持续

		1min, 即, 单次最大照射 17.28s。
	旋转角度	加速器和伽玛刀均为绕滚筒轴线 0° ~360° 连续旋转照射。伽玛刀聚焦头还可非共面摆动。

2) 机架设计特点

本设备的机架为滚筒式等中心旋转机架。束流产生模块、射野成形模块、聚焦头模块和图像引导系统、加速器射束挡块、聚焦头模块挡块等均安装在机架上, 主要包括机架底座、滚筒、滑环和配重等。机架绕滚筒轴线做 0° -360° 范围内顺、逆时针旋转, 对患者靶区进行辐照治疗, 其中伽玛聚焦头还可绕垂直于滚筒轴线做非共面摆动, 以改变聚焦入射角。

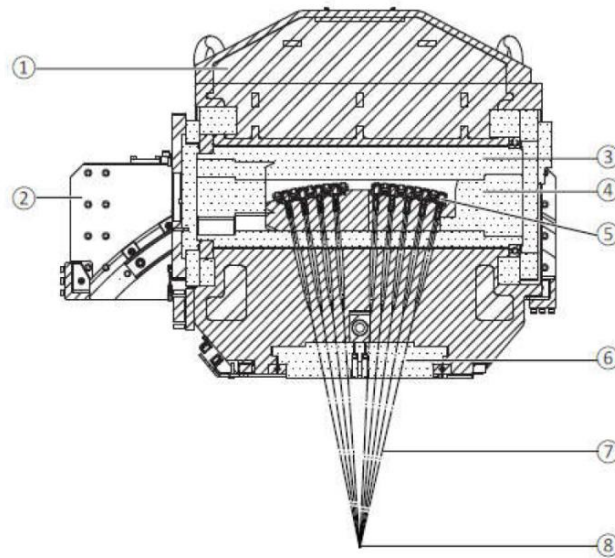
3) 束流产生模块 (BGM) 和射野成形模块 (BSM)

束流产生模块固定安装在机架的滚筒上, 主要包括: 高压脉冲调制器、磁控管、波导传输组件、加速管、剂量监测系统、屏蔽组件、水冷系统。束流产生模块利用高频微波场, 对电子枪发射的电子束进行加速, 形成 6MeV 高能电子束流后轰击金属钨靶产生韧致辐射, 从而形成 X 射线。加速器产生 X 射线后, 经过射野成形子系统 (BSM) 后在治疗平面上形成最大 40cm×40cm 的方形圆角射野。

4) γ 射线聚焦治疗模块

γ 射线聚焦治疗头安装在机架的滚筒上, 与滚筒进行可靠的固定连接。聚焦头主要包含箱体、钨滚筒、钴源匣、准直体、非共面驱动器五大部分。聚焦头内置按一定规则布置的 18 颗密封钴-60 放射源; 配套的准直体上有 7 组不同规格准直器, 准直器可自动更换, 形成 4 个扇形区、7 种不同大小的 γ 射线束聚焦野。

钴-60 放射源发射出的 γ 射线经钨滚筒上的预准直通道, 再经准直体上的终准直通道后形成边沿锋利的窄射束, 聚焦于辐射野中心, 并随聚焦头一起围绕机架轴线进行旋转, 对辐射野中心进行旋转聚焦照射, 实现聚焦放疗的作用。聚焦治疗头的结构组成如图 9.2-4 所示。



①箱体 ②非共面组件 ③钨滚筒 ④钴源匣 ⑤钴源 ⑥准直器 ⑦射束 ⑧焦点

图 9.2-4 γ 射线聚焦治疗头结构组成示意图

箱体设置多处功能部件的安装位置，并承担主要屏蔽功能。非共面组件安装在箱体两侧，是聚焦头主体与机架之间的连接部件。钴源匣安装于钨滚筒内。钨滚筒通过两端轴承与聚焦头箱体连接，是固定钴源匣的组件，用于对放射源发出的伽玛射束进行初步准直。钨滚筒钴源匣结构组成示意图见图 9.2-5。本设备设计最大装源总活度值为 $8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$ ($1 \pm 5\%$) (24000Ci)。

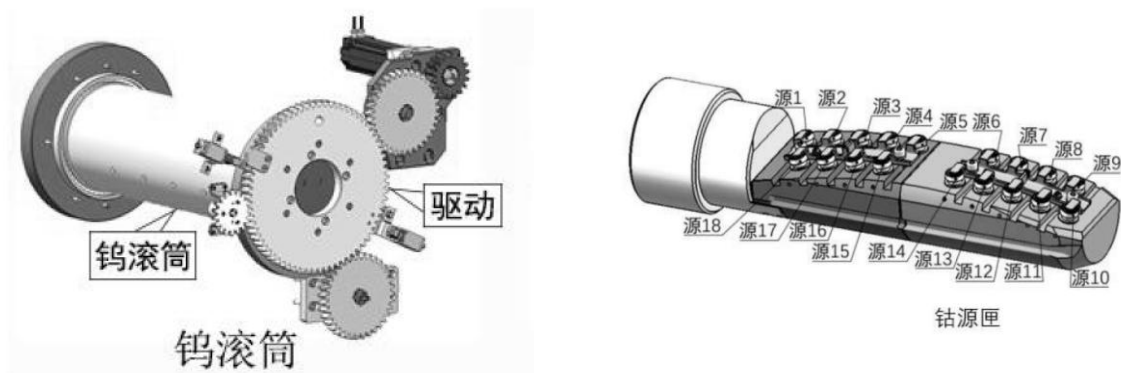


图 9.2-5 钨滚筒和钴源匣结构组成示意图

准直体用于对放射源发出的伽马射线进行最终约束。准直器是通过导轨安装在箱体上，可以在箱体上进行移动来实现不同准直孔规格的切换。

5) CBCT 图像引导系统模块

CBCT 是锥形束投照计算机重组断层影像类设备。本放射治疗系统 CBCT 图像引导系统模块包括 CBCT 影像平板、球管、高压发生器以及图像处理软件。CBCT 系统 X 射线机安装于加速器治疗头和 γ 射线聚焦治疗头之间，影像平板位于射线机对面，便于在加速器或伽玛刀治疗过程中提供病灶的三维图像。

6) 治疗床和患者定位系统

治疗床结构组成包括：上床板、中床板、立柱、支撑及底座。由三组伺服电机驱动滚珠丝杠带动三维治疗床分别沿 X、Y、Z 三个方向做直线运动，从而将患者病灶位置精确地送到预定照射的位置。三维床的升降部分配置了带制动伺服电机，能使床在上升到所需位置时可靠的保证停止在该位置上不变，同时设备还设置了基于 CBCT 的图像引导定位系统，以保证治疗精度。

患者定位系统包括定位床、负压袋和头部定位装置 3 部分。

7) 电气控制系统

电气控制系统由操作控制台、操作计算机、轴控制器控制系统、伺服驱动系统及伺服电机、锥形束 CT 影像系统（CBCT）、后备电源、传感器、连接电缆、对讲系统、视频监视系统等组成。其中操作控制台包括操作台、操作计算机主机及显示器、视频监视系统、对讲系统。控制台安装于治疗室旁的控制室内，通过各种类型的电缆与治疗室内的主机相连，在操作控制台上安装有操作控制盒、操作计算机、对讲系统、视频监控系统完成对主机的控制、与患者进行对话、监视患者的状态等用于治疗的一系列操作。操作控制台上安装有紧急停止按钮，在设备运行或调试过程中，如果发现问题可以通过按下紧急停止按钮，关闭放射源，停止设备运行，确保患者人身及设备安全。

8) 治疗计划系统

治疗计划系统（TPS）是为临床医生提供的交互式断层图像的三维重建工具，确定靶区和重要器官的几何描述；在辅助医生和物理师制定治疗方案时，计算剂量的分布并直观显示，用以评估该方案的效果、提供改进方案的依据；从而确定最优化的治疗计划，并打印输出治疗报告和控制文件。

9.2.2 放射治疗工作流程

拟使用设备具有加速器及伽玛刀两种放射治疗功能，治疗期间加速器和伽玛刀不同

时使用。治疗流程和产污环节见图 9-7。两种治疗模式的流程分别介绍如下：

（一） 加速器模式治疗工作流程

- ①临床诊断：确定为加速器放疗临床适应症患者，进行 CT 或其他模拟治疗定位（本次评价不涉及该部分）。
- ②设计治疗计划：借助计算机治疗计划系统（TPS）进行治疗计划设计，选择照射野大小、治疗剂量与剂量比、楔形滤过板等。
- ③确认治疗计划：对患者治疗计划进行剂量模拟验证，修订完善治疗计划。
- ④执行放射治疗计划。
- 1) 核对患者基本信息。
 - 2) 放疗技师及护理人员引导患者进入治疗室，进行摆位。
 - 3) 固定治疗体位，使肿瘤组织位于等中心点。
 - 4) 除了待治疗病人，其余人员撤出治疗室，关闭防护门。
 - 5) 使用 CBCT 图像引导系统模块对病灶位置进行扫描，并与模拟定位 CT（或 MR）扫描图像做对比，校准摆位误差；
 - 6) 核对治疗机的物理、几何参数，按照治疗计划启动加速器出束指令，进行治疗。治疗期间通过视频监控和对讲系统观察患者情况。
 - 7) 治疗完毕，加速器停止出束，工作人员方可进入治疗室。
 - 8) 工作人员协助患者下床，观察患者无异常情况时允许其离开治疗室。
- 放射治疗工作流程如图 9.2-6 所示。

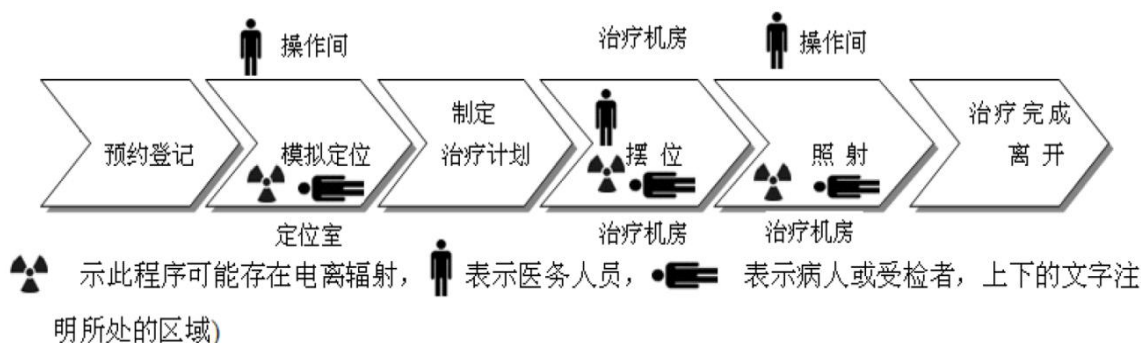


图 9.2-6 放射治疗工作流程示意图

（二） 伽玛刀模式治疗工作流程

- ①根据临床适应症决定采用伽玛刀治疗；
- ②给患者安装立体定位框架；
- ③进行 CT、MRI 定位扫描（本次评价不涉及该部分），获取病灶医学影像；
- ④规划治疗方案；
- ⑤根据治疗计划，调定 X、Y、Z 轴坐标值，以及准直器型号，将患者安置在治疗床上，束缚身体并固定体位，工作人员离开治疗室；
- ⑥使用 CBCT 图像引导系统模块对病灶位置进行扫描，并与模拟定位 CT（或 MR）扫描图像做对比，校准摆位误差；
- ⑦在控制台上确认相关治疗参数。控制治疗床使患者预定的靶点定位于治疗等中心点，实施放射治疗；
- ⑧控制治疗床位移以调整靶点位置，继续治疗；
- ⑨治疗结束，钨滚筒旋转至钴源匣关源位置，治疗床退出；
- ⑩工作人员进入治疗室，将患者从治疗床上解除固定，协助患者离开治疗室。

9.2.3 伽玛刀治疗模块放射性污染分析

（一）源项分析

本设备 γ 射线聚焦治疗头的钴源匣内安装 18 枚钴-60 放射源。Co-60 单源初装设计活度为 $5.17 \times 10^{13} \text{Bq}$ （平均约 1397Ci）（ $1 \pm 10\%$ ）；最大装源活度为 $8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$ （ $1 \pm 5\%$ ）（24000Ci）。按照《关于发布放射源分类办法的公告》（原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号）规定，Co-60 放射源活度 $\geq 3 \times 10^{13} \text{Bq}$ 属于 I 类放射源，I 类放射源为极高危险源。拟用设备安装使用的单枚 Co-60 放射源属于 I 类放射源。

Co-60 核素在发生 β 衰变的同时发射两种能量（1.173MeV、1.333MeV）的 γ 射线，平均能量为 1.25MeV。 γ 射线具有很强的穿透力。

表 9.2-1 ^{60}Co 半衰期和射线能量

核素名称	半衰期 $T_{1/2}$	β 射线最大能量， MeV (分支比, %)	主要 γ 射线最大能量， MeV(分支比, %)	空气比释动能率常数 (k_{γ})
^{60}Co (钴-60)	5.27a	0.318(100%), 1.491(<1%)	1.173(100%), 1.333(100%)	$0.308 \mu \text{Sv}/(\text{h}/\text{MBq})$

γ 射线聚焦治疗头集成安装在屏蔽箱体内部，结合钨滚筒、钴源匣、准直体等部件承

担对放射源的主要屏蔽功能，准直器承担对有用束的次要屏蔽功能。拟用设备设计有 γ 射线聚焦治疗束自屏蔽防护设施，主束挡块在聚焦治疗头对侧，随机架旋转，任何时刻都位于主射线束的正前方。

根据设备厂家资料，非治疗状态下在距防护屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.04mGy/h，在距辐射源 100cm 处杂散辐射吸收剂量率不应超过 0.004mGy/h 的水平。

非治疗状态下， γ 射线聚焦治疗头内钨滚筒处于关源位置，从源体泄漏的 γ 射线较少，主要对进入机房的工作人员产生辐射照射，不致对机房外的工作人员和公众成员产生辐射照射。

（二）非放射性污染分析

空气中氧和氮在 γ 射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用产生 O_3 和 NO_x 等有害气体。因此，放射治疗室需要安装强制换气排风设施，将电离辐射产生的有害气体排至室外。室内排风通过高烟囱集中排放，以达到快速稀释的作用。

（三）倒装放射源过程放射性污染

^{60}Co 半衰期为 5.27 年，使用一定时间（一般为 5 至 7 年）后，当伽玛刀配置的放射源活度衰减到不能满足治疗要求时，需要更换放射源。 ^{60}Co 衰变一次产生 γ 射线能量较高，穿透能力较强。在运输、使用、更换、退役过程中，均存在 γ 射线辐射危害，并可能造成环境放射性污染。

本项目倒装放射源操作在设备机房内进行，将委托伽玛刀供应商认可的、且取得使用 I 类放射源许可的机构完成，故本报告不进行具体评价。

设备更换下来的 ^{60}Co 放射源活度仍很高，处理不当会给环境带来严重的影响。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的要求，建设单位承诺在购买放射源时，与放射源供应商签订退役放射源的回收协议。设备退役的放射源将由供源厂家回收。

（四）可能发生的故障/事故分析

① 因放疗计划制定或实施时人为失误，引起病人的过量照射。

② 门机联锁装置失效，在伽玛刀运行时，人员误入治疗室内造成不必要的照射。在设备出束工作时，工作人员误留于机房内受到不必要的照射。

③ 在安装和换装放射源时，放射源从源容器掉落，会对操作人员造成很强的辐射照射。短期超大剂量辐射可致急性放射病，甚至死亡。

④ 发生卡源故障（放射源失控卡源）。停电时，UPS 供电，可将放射源关闭。当源体控制系统失灵、设备故障等，可能导致放射源无法自动关闭出现“卡源”故障。该设备设置有手动机械复位机构，应对上述故障，使放射源回到关束状态。

⑤ 放射源丢失或被盗。伽玛刀机房安防管理疏忽，以及在倒装放射源或设备检修期间放射源管理不善，可能发生放射源丢失或被盗。拟用设备使用的 I 类放射源为极高危险源，在没有防护情况下，短期超大剂量辐射可致急性放射病，甚至死亡。因此，放射源丢失或被盗对环境和公众的潜在危险较大。

9.2.4 加速器治疗模块放射性污染分析

（一）源项分析

电子直线加速器由调速管提供微波功率。调速管工作时脉冲电压和峰值电流一般都很高。电子直线加速器内产生的电子经过加速后，受到金属靶阻止，产生高能 X 射线。X 射线向外从各个方向穿过辐射头也会产生漏射线，从辐射头射出的漏射线，遍布机头各处。当 X 射线照射某种物质时，会产生散布于各个方向上的次级散射辐射。由于 X 射线贯穿能力强，将对机房周围环境和人员造成外照射。X 射线辐射只有在加速器运行时产生，停机后消失。

拟选用设备配置 6MV 电子直线加速器，等中心最大照射野 40cm×40cm，最大剂量率为 1400cGy/min，常用治疗剂量率 800cGy/min。按照《关于发布<射线装置分类>的公告》（环境保护部、国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号）规定，粒子能量小于 100MeV 的医用加速器划分为 II 类射线装置，在发生事故时可以使受到照射的人员产生较严重放射损伤，其安全与防护要求较高。拟用设备属于 II 类射线装置。

加速器组件屏蔽体外 100cm 处泄漏辐射不大于 0.5%；准直器泄漏辐射不大于 0.1%。拟用设备加速器有用束具有自屏蔽防护设施，主束挡块随机架旋转，任何时刻都位于主射线束的正前方。自屏蔽体屏蔽材料为 120mm 铅+70mm 钢构成。参考 NCRP No. 151 报告给出的 6MV 医用直线加速器有用束对应屏蔽材料的 TVL 参数，计算屏蔽透射因子为 1.59×10^{-3} 。考虑距离衰减因素后，滚筒外有用束的辐射剂量贡献不大于等中心

最大剂量率的 4.0×10^{-4} 。

加速器靶材及其他部件可能存在感生放射性物质。维修拆卸的废加速器靶材及其他部件应进行放射性水平检测。

由于设备加速器治疗头与伽玛刀聚集治疗头位于同一个滚筒内，因此加速器治疗过程中，工作人员进入机房对患者进行定位摆位时也受到伽玛刀机头（非治疗状态）泄漏 γ 射线的照射。

（二）非放射性污染

机房内空气在加速器 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。臭氧和氮氧化物将通过排风系统排出治疗机房。

（三）可能发生的故障/事故分析

可能发生的故障或事故工况，主要有以下几种情况：

- ① 加速器发生控制系统故障或人员疏忽，使得工作人员受到误照射。
- ② 加速器发生控制系统故障或辐照参数设置错误，使得受检者受到超剂量照射。
- ③ 机房门机联锁装置故障，人员误入机房受到辐射照射。
- ④ 门机联锁失效，在治疗室防护门未完全关闭的情况下，射线装置出束致使较强的 X 射线泄漏到治疗室外，可能导致周围人员受到意外照射。

9.2.5 CBCT 图像引导系统模块放射性污染分析

CBCT 图像引导系统运行产生 X 射线。工作状态下产生 X 射线，非工作状态下无 X 射线产生。CBCT 图像引导系统运行时，X 射线辐解空气会产生极少量的臭氧及氮氧化物。臭氧及氮氧化物产生量很小，经排风系统处理后对环境影响较小。

9.2.6 其他非放射性污染

本项目运行过程中工作人员、患者及其陪护人员产生少量生活污水，依托医院污水处理设施处理后排入到市政管网。本项目的固体废物主要为工作人员产生的生活垃圾依托医院生活垃圾收储系统进行处置。

9.3 头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X）污染源分析

9.3.1 立体定向放射外科技术简介

立体定向放射外科（stereotactic radiosurgery, SRS）是根据半圆弧球心聚焦原

理，运用 CT、MRI、DSA 等影像设备对颅内病灶（靶点）进行立体定位，采用专用放疗设备使大剂量窄束高能射线（X 射线或 γ 射线）单次大剂量照射在病灶上，使病灶缩小，同时又能保证病灶边缘及其周围正常组织所接受的放射性剂量照射呈锐减分布，以达到类似手术治疗的效果。立体定向放射外科在治疗颅内小体积良、恶性肿瘤和功能性病变具有技术优势，其特性是精确定位、精确计划和精确治疗，见图 9.3-1 所示。

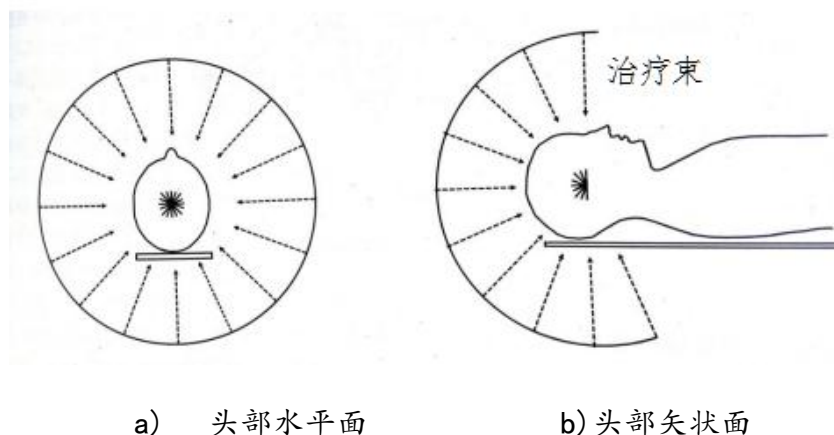


图 9.3-1 立体定向放射外科（SRS）技术治疗颅内病变示意图

9.3.2 头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X）污染源项分析

（一）结构组成及工作原理

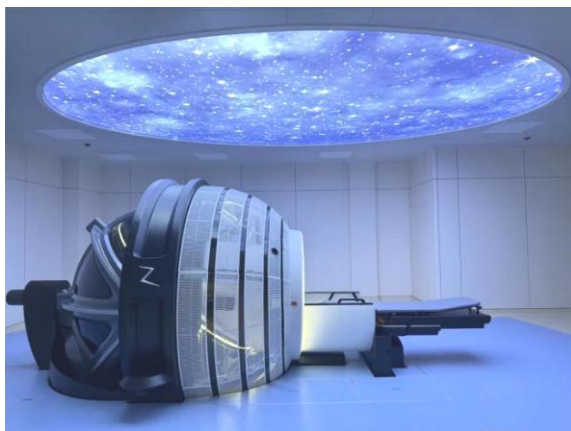
头颈部 X 射线放射外科治疗系统（本报告简称“ZAP-X 系统”或“ZAP-X”）由 3MV 医用直线加速器、倾斜轴和垂直轴机架（轴线间具有恒定的 45° 夹角）、X 射线高压发生器、X 射线管组件、X 射线探测器、治疗床、空压机、主电源、副电源、水冷系统、悬吊式控制台、操作者控制台、治疗计划软件组成。

ZAP-X 系统将小型化的直线加速器安装在球形钢结构支撑体上，通过双轴独立旋转方式调控加速器出束方位角，以确保射线束始终对准等中心，结合使用 kV 成像系统跟踪、治疗床精确定位技术和治疗计划软件，实现对患者颅内占位性病灶的立体定向放射外科治疗（SRS）和立体定向放射治疗（SRT）。

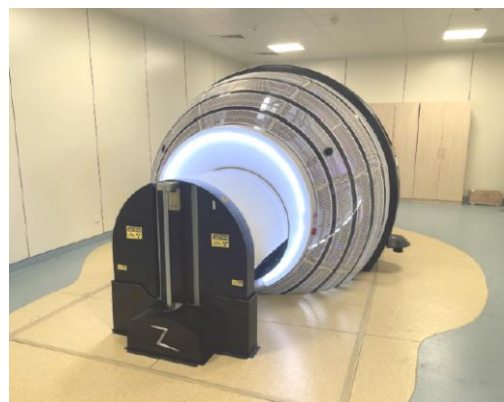
直线加速器配套使用可旋转的具有不同孔径的钨屏蔽准直器，实现小的辐射束半影，较高的辐射剂量率，降低辐射束散射，减少辐射泄漏。产品机架、治疗床护罩以及

射束阻挡器等部件采用自屏蔽设计，将产品辐射水平限制在可接受的较低值范围内。

该系统治疗单元（以下称“ZAP 治疗舱”）采用全屏蔽一体式构造，设备外观见图 9.3-2，其结构设计见图 9.3-3 所示。



1、待机状态



2、工作状态（舱盖、舱门关闭位）

图 9.3-2 ZAP-X 治疗单元外观图

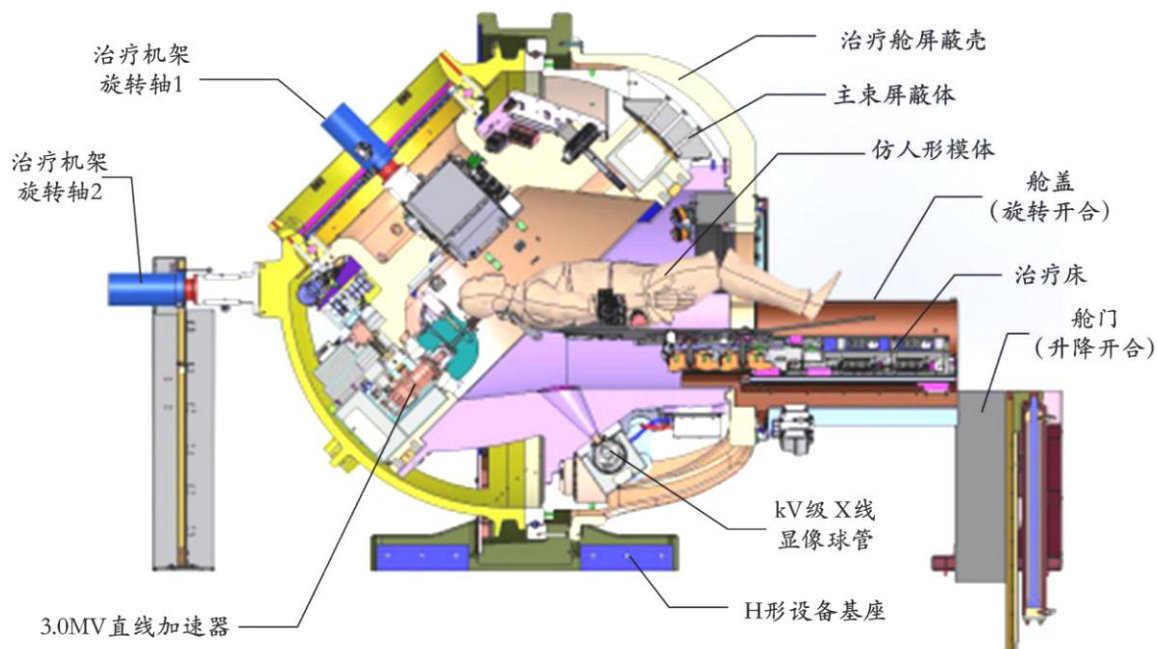


图 9.3-3 ZAP-X 治疗单元结构组成（剖面）示意图

ZAP-X 系统适用于颅内和颈部实体恶性肿瘤和病变的放射治疗，运行时患者在治疗

舱内接受治疗。治疗舱室采用钢或铅、钨合金材料包被的防辐射自屏蔽设计，可以减少其使用场地占地面积，并降低场所土建和防护建设费用。

ZAP-X 治疗单元外观尺寸见图 9.3-4。

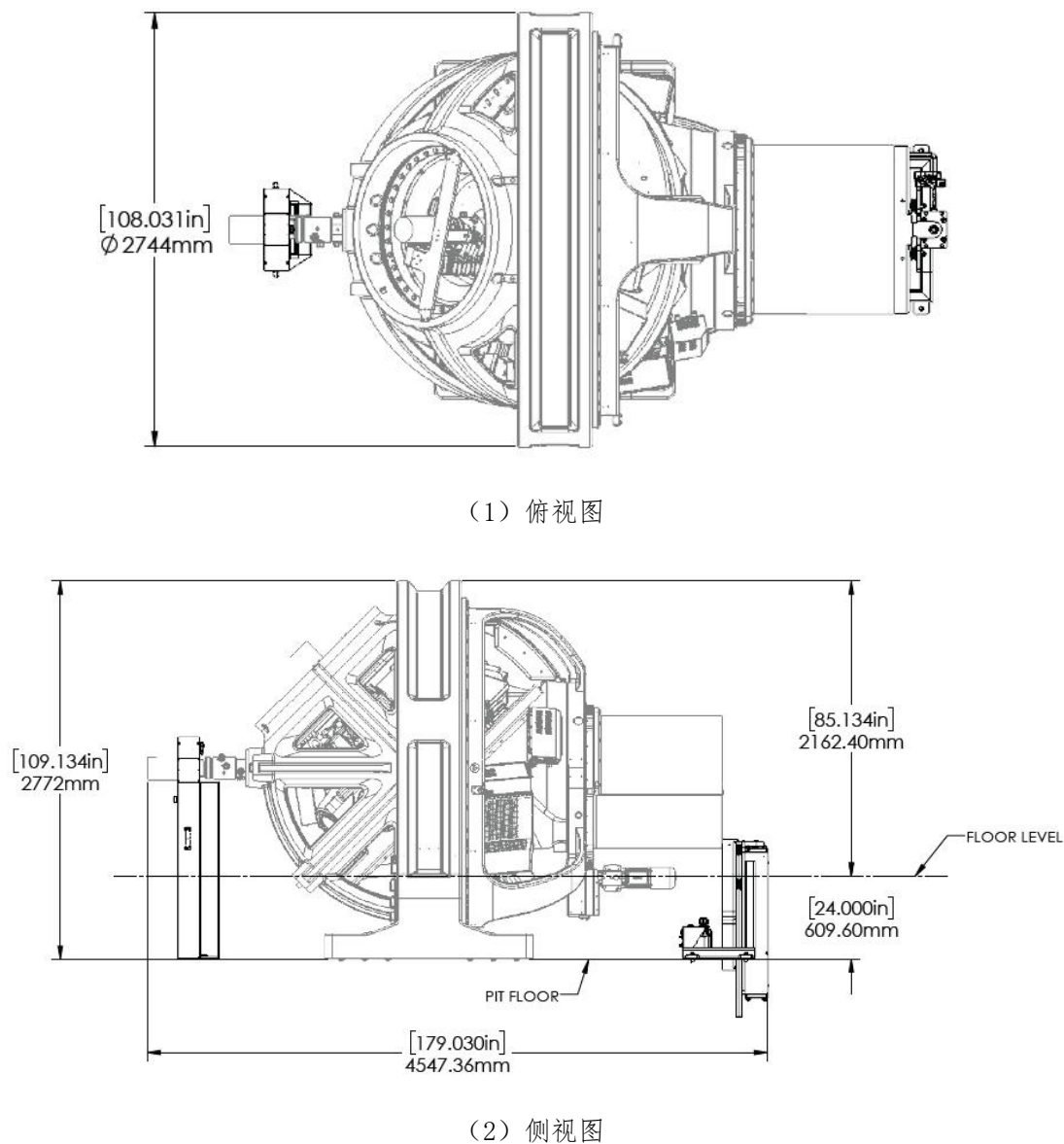


图 9.3-4 ZAP-X 治疗单元外观尺寸示意图

(二) 主要技术参数

ZAP-X 系统主要技术参数列于表 9.3-1 内。

表 9.3-1 ZAP-X 系统主要放射技术参数

技术指标	技术参数
控制系统	治疗计划导入、治疗控制、记录上传等
治疗模式	双轴独立旋转方式控制加速器立体定向； 适形调强放射治疗技术
射线类型	X 射线
X 射线标称能量	最大值 3.0MV
X 射线剂量率	最大值 15Gy/min
靶点到等中心距离（SAD）	450mm
准直器尺寸	直径 4mm 至 25mm，多档可调换。
治疗等中心高度	800mm
kV 成像仪	放射诊断用 X-ray 管球和 DR 探测器，额定值： 95kV/35mA。 生成患者的 X 射线图像以确保患者正确定位。
MV 成像仪	位于加速器线束对侧，可以生成每个输送射线束的 图像，实时监测射线束强度。
X 射线泄漏率	主射线泄漏率小于 0.01%。 ZAP 治疗舱采用一体化自屏蔽设计。设备周围 1 m 处（距地 1.2m 高度）X 线泄漏辐不超过 30 μ Gy/h。
治疗床	一体化结构设计，通过控制台实现高精度控制。治 疗床可以纵向平移、俯仰，水平旋转
安全设计	系统登录身份管理；照射剂量监测及联锁；设备周 围区域人体感应自动停束；床旁和控制台有紧急停 束控制；舱内机械通风换气及电视监控与对讲系 统；系统断电时应急时可手控释放气动阀，靠重力 打开舱门（盖），手动退床。

（三）ZAP-X 放射治疗工作过程

- ①根据临床适应症决定施行 ZAP-X 线立体定向放射治疗；
- ②给患者进行体位固定，获取颅内病灶医学影像；
- ③制订放射治疗计划（TPS）；
- ④核对患者信息，与患者沟通告知安全事项。给患者固定体位，送入 ZAP 治疗舱并调整至计划照射位置，关闭舱室门（盖）。

⑤操作人员离开治疗室，关闭治疗室防护门，在控制室远程控制设备。

⑥在治疗开始前启动 kV 成像系统进行验证，调整治疗床位置，对齐治疗靶点与系统等中心点，启动放射治疗程序。在治疗期间 ZAP-X 系统使用 kV 成像系统跟踪患者运动轨迹，并精确调整治疗床来补偿患者运动产生的偏移。

⑦治疗结束后，将患者移出 ZAP 治疗舱，辅助患者离开治疗室。

（四）主要的放射性污染和污染途径

ZAP-X 系统配备电子直线加速器和 X 射线图像成像系统。电子直线加速器运行时高速电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。设备输出 X 射线最大能量为 3MV，靶区辐射剂量率 15Gy/min。X 射线图像成像系统运行时也产生 X 射线，但其能量（额定管电压 95kV）要远低于治疗束。X 射线辐射只有在加速器和 X 射线球管运行时产生，停机后就消失。X 射线贯穿设备屏蔽体和治疗室屏蔽材料进入外环境。

（五）设备防护设计及泄漏辐射水平

ZAP 治疗舱采用钢或铅、钨合金材料包被的防辐射自屏蔽设计。能够产生电离辐射的部件，如射频电源、波导系统、靶及限束装置和 X 射线图像成像系统都安装在或集成到球面结构中。治疗床及其控制支撑平台突出于球面体外面，采取附加屏蔽。治疗床支撑台面设计旋转开合的圆弧形舱盖；舱门为气动式升降设计。

ZAP Surgical Systems 公司在其《ZAP-X 系统治疗实施手册》中推荐在治疗室内设置操作控制台，通过在 ZAP 治疗舱周围一定范围设禁区，规定治疗期间人员禁入，设计禁区触发急停的技术措施，以防止人员受到超剂量限值照射。

根据 ZAP-X 系统生产厂家提供的测试数据，ZAP 治疗舱表面靠近直线加速器部件、波导管、磁控管、冷却水管电缆引线位置、舱门等处存在辐射热点，设备周围 1 m 处（距地 1.2m 高度）X 线泄漏辐不超过 30 μ Gy/h。

国内研究单位对医疗机构安装使用的 ZAP-X 系统运行情况进行了调查，提出了在该类型设备周围电子控制区划设范围和剂量率控制水平建议。《头颈部 X 射线放射外科治疗系统防护性能与质量控制检测规范（送审稿）》（中国卫生监督协会团体标准，2024 年）提出，在自屏蔽式头颈部 X 射线放射外科治疗系统周边划出电子控制区，设电子警戒线；电子控制区应依据 TADR（时间平均剂量当量率）设置，TADR > 2.5 μ Sv/h 的区域

设为电子控制区；设备电子控制区外的 TADR 应 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，瞬时剂量当量率应 $\leq 20 \mu\text{Sv/h}$ 。按照上述文件，对于 ZAP-X 系统划设电子控制区的建议如图 9.3-5。

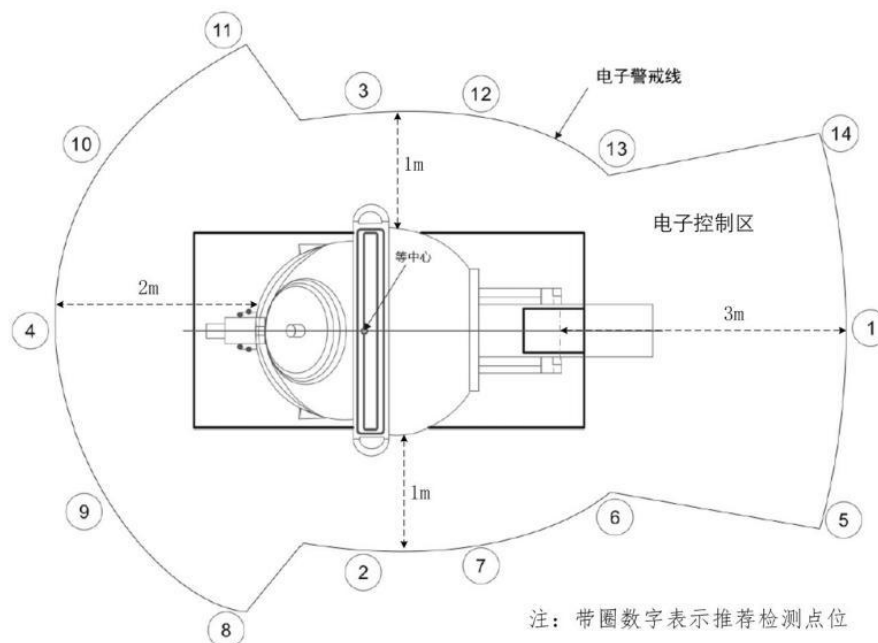


图 9.3-5 ZAP-X 设备周围电子控制区范围参考图

（六）可能发生的辐射事故分析

- a. ZAP-X 系统安全联锁保护系统故障失效，致工作人员受到误照射。
- b. 加速器发生控制系统故障或辐照参数设置错误，使得患者受到超剂量照射。
- c. 门机联锁装置故障，设备运行出束时人员误入机房受到辐射照射。

（七）其它污染分析

空气在射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用而产生 O_3 和 NO_x 等有害气体。ZAP 治疗舱为相对密闭空间，在工作负荷大且治疗间隔短情况下，容易产生有害气体集聚。

表 10 辐射安全与防护

10.1 X/γ 射线放射治疗系统 (TaiChiPro)

10.1.1 工作场所布局与管理分区

放射治疗科规划配置使用 4 台（套）直线加速器放射治疗设备，并列集中布置于医技 3 号楼的地下一层，见图 10.1-1 和附图 3、4 和 5 所示。各加速器治疗室下方无建筑，西侧为回填土层，东侧、北侧为放疗科其他工作区域，包括 ZAP-X 治疗工作区、后装治疗工作区、CT 模拟定位机房和 MRI 模拟定位机房、放疗科门诊工作区等。各加速器治疗室正上方为地面道路和绿地，斜上方为影像二部工作区。

按照医院放疗设备配置调整方案，原加速器 3 室变更作为 X/γ 射线放射治疗系统 (TaiChiPro) 机房。拟利用辐射工作场所位于放疗科的放射治疗工作区，与其他加速器治疗室并排布置，治疗室出入通道设有迷道，冷水机房、控制室与治疗室分室设置，实行隔室操作，既方便放射治疗工作，又能满足辐射安全管理与防护要求，该辐射工作场所建筑布局合理。

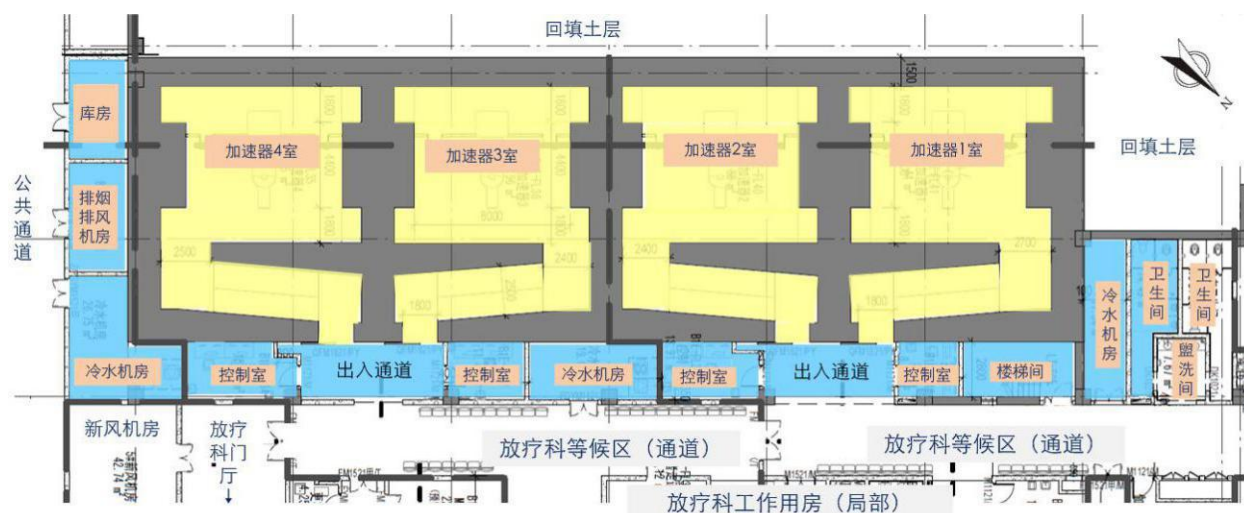


图 10.1-1 加速器放射治疗工作场所平面布局简图

为满足辐射安全管理要求，各工作场所划分为控制区和监督区。加速器治疗室（含迷道）为控制区；附设的控制室、冷水机房、出入口通道，以及与加速器治疗室邻近区域划为监督区，具体分区设置见图 10.1-1 所示和表 10.1-1 说明内容。

表 10.1-1 加速器 3 室辐射安全管理分区说明表

工作场所名称	控制区	监督区
X/γ 射线放射治疗 TaiChiPro) 机房 (加速器 3 室)	治疗室 (含迷道)	控制室、附属冷水设备机房、与加速器治疗室相邻的其他区域

在放射治疗室工作人员允许情况下, 相关人员方可进入治疗室。当加速器设备处于治疗状态时, 控制区 (治疗室含迷道) 内除患者外其他人员不得滞留, 以辐射安全连锁和警示装置控制及严格的管理制度保障此区的辐射安全。在治疗室门口设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯, 治疗室内 (含迷道) 安装视频监控系统, 以防止和避免人员误入。对于监督区应定期进行辐射照射的监督和评价, 以保证公众和职业人员受照剂量满足剂量约束管理目标要求。

10.1.2 辐射安全防护措施

(一) 机房辐射防护设计

拟利用加速器 3 室主体结构设计采用密度不小于 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ 的钢筋混凝土建造, 进出通道设有迷路, 安装电驱动防护门; 治疗束照射区的墙体和顶棚结构局部加厚, 建筑设计见附图 4 和附图 5, 辐射防护设计见表 10.1-2。

表 10.1-2 X/γ 射线放射治疗 (TaiChiPro) 机房辐射防护设计一览表

机房名称		X/γ 射线放射治疗 (TaiChiPro) 机房 (加速器 3 室)
几何尺寸	机房面积	71m^2 (不含迷道)
	室内净高	3.7
	体积	263
屏蔽材料及厚度	东墙	迷道内墙和外墙均为 104-170cm 砼, 迷道宽 250cm
	西墙	150cm 砼
	南墙	主屏区厚 370cm 砼, 宽度 440cm 砼; 次屏区厚 170cm 砼
	北墙	主屏区厚 370cm 砼, 宽度 440cm 砼; 次屏区厚 170cm 砼
	顶板覆土 400mm	内凸设计; 主屏区厚 270cm 砼, 宽度 440cm 砼; 次屏区厚 150cm 砼
	防护门	15mmPb
	通风装置	机房通风全排、全送设计, 采用上进风, 下出风路径
	通风次数	>9 次/h
	通风量	$2600\text{m}^3/\text{h}$

机房穿墙管线包括送排风管和电缆沟, 设备测试线缆埋设在电缆沟内。电缆沟采用 U

形由机房地坪下方穿过迷路外墙后进入冷水机房。机房内通风风管道穿墙处位于机房防护门上方混凝土区域。通风管道穿墙区域呈 Z 形穿过屏蔽墙，机房外穿墙口距地面约 4m，管道穿墙区域水平方向上屏蔽墙混凝土最薄处为 650mm。管道穿墙区域水平方向上屏蔽墙混凝土最薄处为 635mm。

防护门与墙体之间的缝隙不超过 20mm，防护门搭接宽度满足要求。

（二）X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）设备固有安全性

（1）加速器治疗模块自屏蔽防护措施

6MV 加速管 90°方向为 91mmPb、180°方向为 86mmPb。安装在加速器治疗头正对面的自屏蔽射束阻挡块，主屏蔽区由 120mm 纯铅和 70mm 钢板组成。加速器机头屏蔽体泄露辐射设计值为不大于 0.5%，准直器泄露辐射设计值为不大于 0.1%。

（2）伽玛刀治疗模块自带防护措施

伽玛刀聚焦头箱体（见图 10.1-2）采用铅、钢等高密度材料构成，承担主要屏蔽功能，能在最大程度上屏蔽不必要的杂散辐射。钴源匣安装于钨滚筒内。钨滚筒安装于箱体内。准直器结构为 70mm 钨，聚焦治疗头自身屏蔽能力为在距屏蔽表面 5cm 任一易接近的位置，由于杂散辐射引起的吸收剂量率不超过 0.2mGy/h。伽玛刀聚焦头对面有平衡屏蔽锤体，不可伸缩。

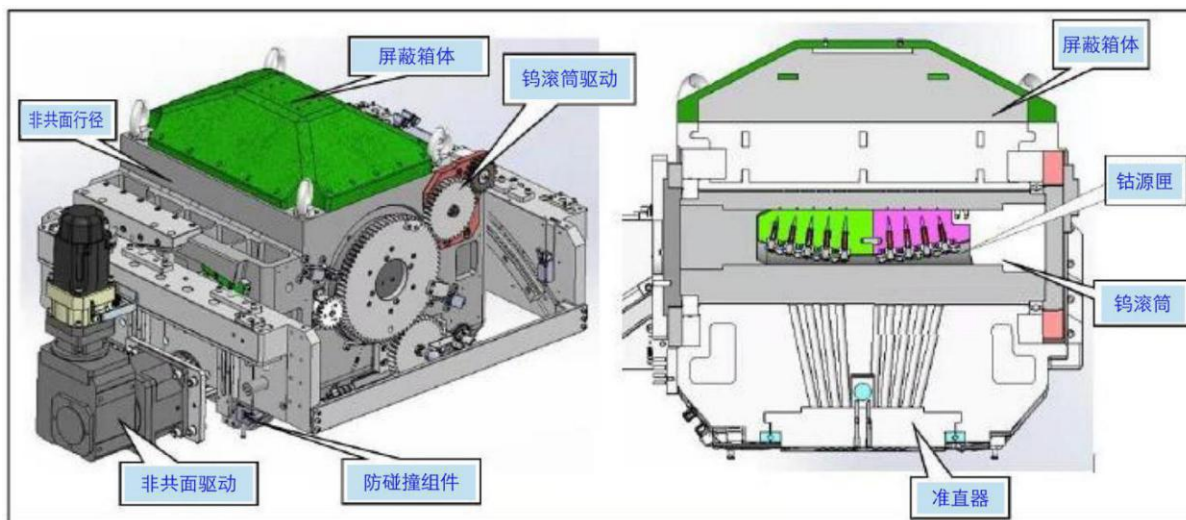


图 10.1-2 伽玛刀聚焦头箱体结构示意图

伽玛刀治疗聚焦头本身具有屏蔽防护效果，能有效的减少设备泄漏辐射剂量，减少对医务人员和病人附加照射。

(3) 设备由专用钥匙控制，只有通过专用钥匙才能开启电源。钥匙由专人保管。放疗技术人员离开控制室进入机房时，拔出专用钥匙，随身携带，以防他人误操作而发出射线。设备自带的紧急停机按钮

(4) 设备设置了加速器、CBCT 和伽玛刀不同时出束的控制系统。

(5) 设备主控制柜上设 1 个紧急停止按钮、机架接口电箱上设 1 个紧急停止按钮、两组侧壁控制器上各 1 个紧急停止按钮，操作台上设 1 个紧急停止按钮，可切断设备的动力电源。隔离变压器电箱上有 1 个设备紧急断电按钮，可切断总电源。

当触发任一紧急停止按钮时，在伽玛刀治疗模式下将放射源立即关闭，系统立即停止运动，在加速器治疗模式下将停止出束，系统立即停止运动。

(6) 紧急关源装置

a) 通过 UPS 电源供电关源。系统通过 6kVA UPS 为设备提供控制电源，通过 5kVA UPS 为伽玛刀治疗头提供紧急电源。当发生外部供电中断时，5kVA UPS 提供电源，关闭伽玛刀治疗头准直器、钨滚筒，停止辐照。

b) 手动关源。若系统出现故障，需终止治疗，但不能实现自动屏蔽辐射源，必须通过手动关源扳手关闭放射源装置。

(7) 防碰撞保护装置

防碰撞装置用于避免患者在治疗过程中与设备内筒发生碰撞。当治疗床或患者触碰到防碰撞保护装置时，控制系统立即关闭辐射源，并且停止其他动作。防碰撞装置被触发后，会触发联锁，导致治疗中断，需要根据控制系统软件界面上的提示进行操作。

(8) 手动释放患者

停电时，不能自动移动治疗床，必须紧急将治疗床降低到安全高度，完成释放患者操作。

(9) 伽玛刀使用 ^{60}Co 放射源的安全管理。

每枚放射源在制源工厂事先准备，经检验合格后，装入专用钢吊篮，由标准钴源屏蔽封装，并附《放射源产品合格证》和《密封放射源证书》，提供相关质量保证，从源头上确保了放射源的辐射安全。伽玛刀内装入的放射源为整体源，包含密封放射源的屏蔽体，不是裸源，其屏蔽体较厚，整个装置较重，密封放射源的屏蔽结构不会破损。伽玛刀 ^{60}Co

放射源贮存于主机铅罐内，取出放射源需要由设备方的专业技术人员通过专业工具方可取出，治疗室安装带锁防护门，入侵报警和视频监控系统，可有效防止放射源被盗丢失。

（三）机房安全防护措施

（1）将加速器治疗室及其配套工作场所划分成辐射防护控制区和监督区。治疗室(含迷道)为控制区，控制室为监督区。治疗室建筑采取辐射屏蔽防护措施。本治疗室实行隔室控制出束操作，出束期间不允许除患者外的其他人员在治疗室内停留。

（2）在治疗室防护门外设立放射性警告标志和中文警示说明，安装工作状态指示灯，以防止公众误入受到不必要的照射。

（3）须配备 UPS 自动供电系统。当治疗过程中停电，UPS 自动供电系统能使计算机保留病人的治疗记录，同时确保防护门能够开启，使病人安全转移。

（4）安装电视监控、对讲系统，在治疗过程中能够观察病人状况，此外，也可以观察治疗室是否有人滞留。

（5）治疗室工作人员配备便携式剂量监测报警仪。机房内安装固定式辐射剂量监测仪器，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）治疗室内安装通风换气系统。换气次数不低于 9 次/h。送风口设置在机房顶部，排风口设置在机房墙体下端部距地 30cm 处。送风口和排风口呈对角线布置。排风管道在防护门上方采用“Z”方式穿出机房。

（7）线缆采用“U”型方式下穿屏蔽墙。

（8）紧急情况开门设施：机房断电时防护门联锁断开，可以在停电等紧急情况下，由人员手动将门推开。防护门内侧墙壁上设置紧急开门按钮，防护门处设置红外防挤压装置，防人员被夹伤。

（9）其他要求：按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》（GA1002-2012）要求，治疗室应具有防盗设施，安装视频监控和入侵报警装置等防范设施，满足放射源安保要求后方可投入使用。机房内安装应急照明装置个火灾自动报警装置,配消防器材等。

（四）辐射安全联锁系统设计

安全联锁系统包括：加速器出束条件的控制、门机安全联锁、紧急设施和警示系统等。

- a. 治疗系统采用数字密码登陆管理，专人操作控制，以免丢失、误用和滥用。
- b. 出束联锁条件：加速器系统安全自检无误；通道口防护门关闭。
- c. 门机安全联锁：为防止有人在加速器出束时误入加速器治疗室，迷道防护门和隔断墙通道门均与出束照射系统进行了联锁。只有当两处门均关闭，出束照射系统才能启动；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动断电停止出束。
- d. 紧急停机设施：紧急停机按钮安装在控制室的操作台（1个）、设备外壳（2个）、治疗室内墙壁（3个）和迷道墙壁（2个）。当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备高压，停止出束。紧急停止开关必须采用手动操作方式才能复位。

加速器3室拟建辐射防护与安全设施情况见表10.1-3，主要辐射安全防护设施布置示意图见图10.1-4。

表 10.1-3 加速器3室辐射与安全设施建设一览表

安全防护措施	数量	说 明
急停按钮	8 个	红色按钮。分别位于操作台、机房内墙上、迷道墙上、设备上。按下急停按钮后不能自动复位。紧急情况下便于终止治疗。
视频监控设备	6 个	布置在机房内、迷道内，便于全方位观察机房及迷道内的情况，观察机架、治疗床和患者情况。
对讲系统	1 套	方便机房内外人员之间进行沟通交流。
联锁装置	多套	机房设置多重联锁装置，包括（迷道防护门）门机联锁、（隔断墙通道门）门机联锁、系统联锁、故障保护系统等。
安全警示标识	1 套	在机房入口处设置电离辐射警示标志和中文警示说明，提醒无关人员不要进入。
应急开门	1 套	以备停电时使用。防护门内设置一个紧急开门按钮，并设置手动开门系统。
防护门防挤压	1 套	防止人员被门夹伤。
固定式剂量监测仪	1 套	安装2个检测探头，一个在迷道内口墙上，一个在治疗室内墙上，仪表显示终端在控制室内。对机房进行实时剂量率监测和声光报警。
工作状态指示灯	2 套	三色信号灯，红色：正在照射。绿色：停止照射。黄色：准备照射。
个人剂量报警仪	2 台	进入机房内携带，监测工位的辐射剂量率水平，防止受到辐射误照射。
个人剂量计	若干	按工作人员数量配备

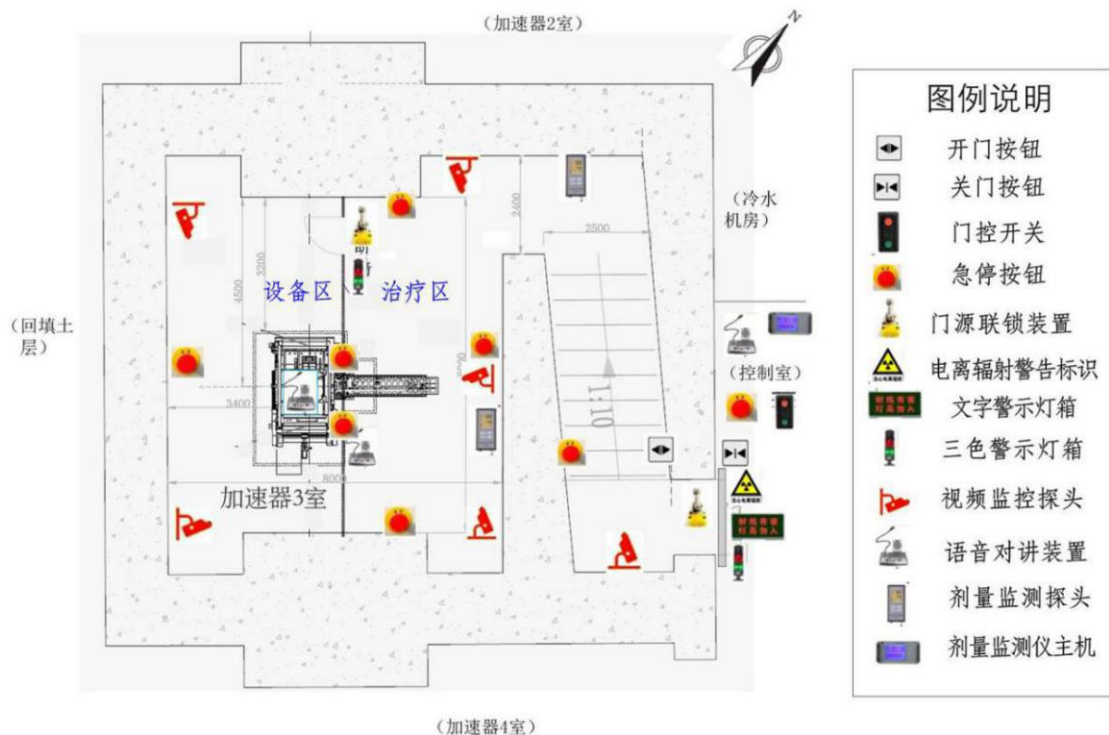


图 10.1-4 加速器 3 室安全设施布置示意图

10.1.3 三废的治理

设备在非治疗状态和治疗过程中，均不会产生放射性废水和放射性废气。

（一）退役放射源

本项目运行期将会产生退役放射源。医院拟在放射源购买之初即与售源单位签订回收处置合同，在更换放射源时，旧源由厂家直接运走，放疗科不存放废旧源。废旧放射源在倒装新源时从设备内倒出，装入放射源容器内，直接返回供源厂家。

（二）有害气体

加速器治疗模块运行产生的电子线、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，伽玛刀模块运行时 ^{60}Co 放射源产生较强的 γ 射线与空气作用会产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，经治疗室通风系统（换气次数不低于 4 次/h），排放到大气环境中。加速器 3 室安装通风换气系统，采用全排全送方式，送风口设置在机房顶部，排风口设置在机房墙体靠近地板位置，呈对角线布置。治疗室送、排风管路示意图见附图 10 所示。治疗室通风排放口设在医技 3 号楼顶部高处。

（三）加速器含放射性废靶

本项目放射性废物是加速器的废弃靶，只在加速器装置需要更换金属靶时才产生，换下的废靶均由加速器供应厂家直接回收，不在医院内存储。

10.2 头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X）

10.2.1 工作场所建筑布局与管理分区

头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X）将安置于原预留伽玛刀治疗室，并对机房建筑进行局部改造，该辐射工作场所位于医技 3#楼地下一层，包括 ZAP-X 治疗室、控制室、患者通道和辅助设备间。ZAP-X 治疗室地下无建筑，东侧为通风机房；南侧与后装放疗工作区相邻；西侧和北侧为放疗科走廊；上部为血管超声检查工作区。ZAP-X 治疗室布局及周围环境情况见图 10.1-1 和附图 3、4、5 和 6 所示。

ZAP-X 治疗场所将辅助功能用房与治疗室分室设置，实行隔室放疗操作，依据 ZAP-X 自屏蔽防护效果优化了设备布置，将设备泄漏辐射水平较高的区域尽量远离防护门和控制室，综合考虑治疗室采取的建筑屏蔽设计和相应辐射安全管理措施，在满足临床工作需要的前提下，从辐射安全和环境保护管理角度分析，本辐射工作场所布局较合理。

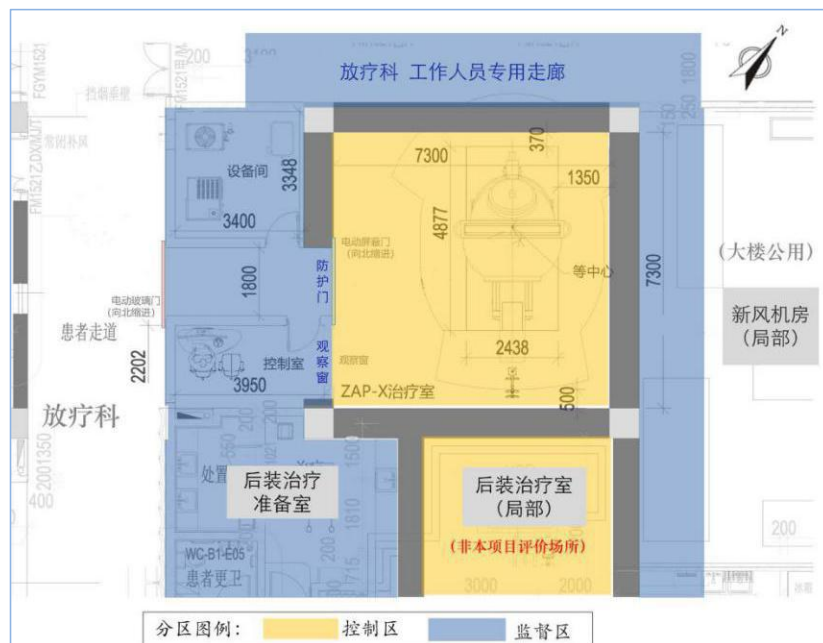


图 10.2-1 ZAP-X 治疗室建筑平面布局简图

为满足辐射安全管理要求，本工作场所划分控制区和监督区。ZAP-X 治疗室为控制区；ZAP-X 控制室、附属设备间、内部过道以及与伽玛刀治疗室邻近区域（屏蔽墙外 1.5m 范围内）划为监督区，分区情况见图 10.1-1。

在治疗室工作人员允许情况下，相关人员方可进入治疗室。当处于治疗状态时，控制区（治疗室）内除患者外其他人员不得滞留，以辐射安全连锁和警示装置控制及严格的管理制度保障此区的辐射安全。在治疗室门口设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯，以防止和避免人员误入。对于监督区应定期进行辐射照射的监督和评价，以保证公众和职业人员受照剂量满足剂量约束管理目标要求。

10.2.2 辐射防护设计

ZAP-X 治疗室使用面积约 53m²，室内净高 4.8m，主体结构采用密度不小于 2.3g/cm³ 的钢筋混凝土建造，墙体结构厚度 80cm，顶棚结构厚度 80cm；地面结构厚度 60cm。由于设备运输进场需要，计划拆除机房门洞附近墙体，拆除范围（含原门洞区域）宽 400cm，距室内地板高 300cm。机房拆除部分除了留出通道和观察窗位置，其他部分采用 24cm 厚混凝土浇筑过梁，24cm 厚重晶石砖（密度 3.2g/cm³）砌筑墙体进行重建。机房安装电驱动铅钢复合防护门，内含 10mm 厚铅板。控制室与治疗室共用墙设观察窗，安装 ZF3 型 50mm 厚铅玻璃，尺寸为 1500mm×900mm。治疗室下方无建筑及构筑物。

ZAP-X 治疗室建筑设计见附图 7 至附图 10。

10.2.3 ZAP-X 治疗室辐射安全及防护措施

（1）ZAP 治疗室采用实体屏蔽措施，保证治疗室外围有人员停留场所 X 线辐射剂量率不大于本报告建议的剂量率参考控制水平值，工作人员和周围公众受照剂量满足环评文件提出的剂量约束要求。

（2）工作场所实行分区管理。ZAP-X 治疗室为控制区，严格限制与治疗无关的人员进入。ZAP-X 系统实行隔室控制出束操作，出束期间不允许除患者外的其他人员在治疗室内停留。治疗室出入口处设置电离辐射警告标识和中文警示说明。患者通道门外安装工作状态指示灯，附加中文警示说明。ZAP-X 治疗室以外，与治疗室相邻的其他区域划为监督区。ZAP-X 治疗室出入口设置门禁，限制非本室工作人员和其他人员进入。外来人员、患者及其陪护人员须经工作人员允许方可进入该工作区。

(3) ZAP-X 系统控制台设置开机锁和系统登录密钥，由专人保管。ZAP-X 系统设计有开机、初始化、自检、治疗、质控、记录等控制程序。

(4) 操作控制台安全配置。控制室操作台配置主控显示屏、视频监控屏、键盘、鼠标等人机交互设备，设置控制系统的工作流程轮盘和移动控制终端。

(5) ZAP-X 系统设计有急停控制。可以通过急停按钮或系统安全控制程序触发，在急停期间停止移动和辐射，同时保持为系统供电，清除急停后，系统即可恢复全部功能。紧急关机 (EPO) 按钮将断开系统的电源，期间 UPS 电池将在有限时间内继续为操作者 PC 供电，但无法使用系统。

如果发生软件急停无法停止操作的情况，可以手动执行急停，按最近的物理急停按钮。如果发生急停按钮故障失效的情况，采取手动紧急关机措施，按下最近的紧急关机按钮，或关闭所在工作区的主断路器。事后联系 ZAP-X 客户支持部门分析事因。

表 11.2-1 ZAP-X 系统急停和紧急关机控制设计

急停触发的情形	设计说明
1) 用户触发的急停	1) 急停按钮 1: 在系统后面的主系统上。 2) 急停按钮 2: 在患者右侧的系统入口处。 3) 急停按钮 3: 在患者左侧的系统入口处。 4) 急停按钮 4: 在移动控制终端上。 5) 急停操作者控制台: 在工作流程轮盘上。
2) 禁区触发的急停	主系统两侧有两个外部近距离传感器。如果某人或某物接近系统，则将触发急停。
3) 准直器防碰撞传感器触发的急停	激光扫描仪位于系统内部的准直器后面。如果检测到潜在的碰撞，则将触发急停。
4) 系统触发的急停	如果检测到潜在的安全问题，系统本身可以触发急停。
手动紧急关机 (EPO)	紧急关机 (EPO) 按钮是物理急停按钮，将断开系统的电源。一个 EPO 按钮在控制台工作流程轮盘上 (图)；一个在设备间配电柜面板上。

(6) ZAP 系统在启动治疗前先运行自检程序，只有当治疗床移动至指定位置，关闭治疗舱外壳和防护门，加速器才能启动出束。

(7) ZAP 系统治疗舱盖、门和治疗床采用压缩空气气动控制。紧急情况时，可以手动释放防护门的压力旁通阀，操作旋开舱盖，落下防护门，退出治疗床。

(8) ZAP-X 系统治疗舱周围划出禁区(如图),地面设置明显标识,治疗期间禁止人员进入禁区停留。主系统两侧有两个外部近距离传感器。如果人员或物体接近系统,则将触发急停。

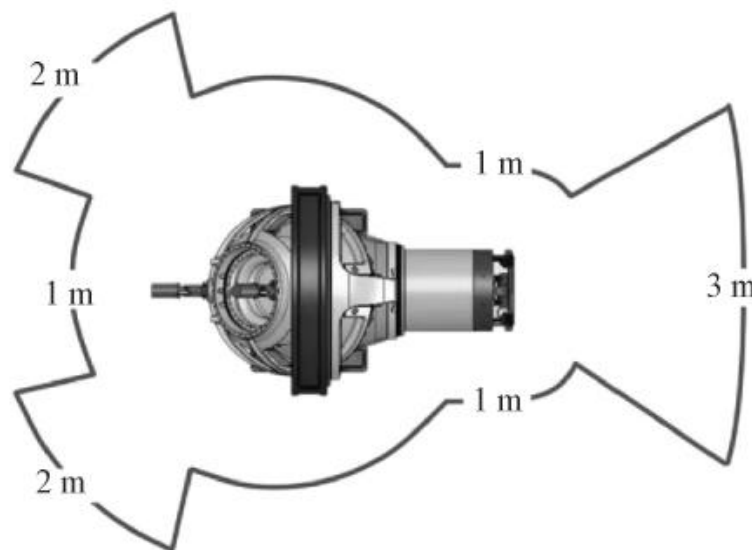


图 10.2-4 ZAP-X 系统禁区范围示意图

(9) ZAP-X 系统安装视频监控和语音对讲系统。控制台视频监控屏幕可选择显示 4 个监控画面。在 ZAP 治疗过程中工作人员可以实时观察患者情况,与患者及时沟通。

(10) 治疗室内紧急停束按钮。在治疗室四周墙壁上各设置 1 个紧急停止按钮,供误留机房人员紧急情况时使用。紧急停束按钮按下后,需人工复位方可解除。

(11) ZAP 治疗舱安装强制通风换气装置。

(12) 控制室设有观察窗。设备操控人员可以全方位观察治疗室内情况,及时发现是否有人误停留或者其他异常的情况。

(13) 治疗室人员通道门联锁装置。安装电动防护门,只有当防护门关闭,加速器才能启动;反之,如果照射过程中防护门打开,系统将自动停止出束。

(14) 治疗室安装火灾报警系统,配备灭火器材。

(15) 治疗室设置应急照明灯和安全出口指示灯。

安全设施设计布置见图 10.2-5 所示。



图 10.2-5 ZAP-X 治疗室安全设施布置示意图

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序（2020 年版）有关直线加速器机房管理要求，表 10.2-2 对照列出了 ZAP-X 治疗室拟采取的安全与防护设施设计方案。

表 10.2-2 ZAP-X 治疗室安全与防护设施设计要求一览表

序号	项目	辐射安全与防护监督检查内容	本项目设计方案
1*	A 控制台及安全联锁	防止非工作人员操作的锁定开关	设置启动钥匙和电子密码
2*		控制台是否有紧急停机按钮	工作流程轮盘 1 个停机按钮；移动控制终端 1 个停机按钮
3*		电视监控与对讲系统	控制室设计观察窗，可以观察治疗室情况。ZAP-X 配备视频监控和对讲系统，多探头视频设计，监控覆盖治疗舱室
4*		治疗室门与束流联锁	门机（源出束）联锁
5		治疗室内准备出束音响提示	设计出束灯光提示
6*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	电离辐射警告标志
7*		入口有工作状态显示	工作状态指示灯
8	C	紧急开门按钮及指示、说明	迷道门内侧墙壁设开门按钮

9	照射室 紧急设施	紧急照明或独立通道照明系统	应急照明
10*		治疗室内有紧急停机按钮	治疗机架 3 个；治疗室墙壁 4 个
11*		治疗床有紧急停机按钮	机架上治疗床入口两侧各 1 个
12	D 监测设备	治疗室内有固定式辐射剂量监测仪	无。 ZAP-X 系统具自屏蔽设计，周围划出禁区（边界瞬时剂量当量率 $\leq 20 \mu\text{Sv/h}$ ），地面设置明显标识。治疗舱两侧各有 1 个近距离传感器。如果人员或物体接近系统，将触发急停。
13*		便携式辐射监测仪	1 台（放疗科公用）
14*		个人剂量报警仪	配备 2 台，治疗摆位技师使用
15*		个人剂量计	本室放疗工作人员每人 1 个
16	E 其它	治疗室内防夹人装置	电动防护门具有防夹功能
17		通风系统	ZAP 治疗舱安装强制通风换气装置。ZAP-X 治疗室安装通风系统，换气不低于 4 次/h。
18		火灾自动报警装置	1 套
19		灭火器材	干粉灭火器

注：带*内容是必须要求。

10.1.3 三废的治理

ZAP-X 系统运行过程中不会产生放射性废水和放射性废气。ZAP-X 系统加速器运行时 X 线辐解空气产生的有害气体（臭氧和氮氧化物等）通过机房通风装置及时排到室外大气环境。

ZAP 治疗舱安装强制通风换气装置。在轴向屏蔽罩上预留六处风口，装配有一台风扇。空气从风口流入治疗舱，再从治疗舱患者脚端缝隙处流出。治疗室安装通风换气系统，采用全排全送方式，换气次数不低于 4 次/h。送风口设置在机房顶部，排风口设置在机房墙体靠近地板位置，两者呈对角线布置。治疗室排风经管道组织，由管道井延伸至楼顶排放。送、排风管线路径示意图见附图 7 所示。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目施工期主要的污染因子有：噪声、扬尘、废水、固体废物、设备安装及调试过程可能产生的放射性污染。本项目非辐射内容已另行委托环境影响评价，在此不再分析施工期的影响。

设备安装及调试过程会产生放射性污染，因此。含放射源装置和射线装置的安装应由专业人员进行，医院方不得自行安装设备。在安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。人员离开时机房必须上锁。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

环评建议在设备安装调试阶段，医院应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在门上粘贴电离辐射警告标志，采取管控措施，禁止无关人员靠近。由于设备安装调试时间用时短，而且均在放射工作场所内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。

11.2 X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）运行环境影响分析

11.2.1 基本情况说明

（一）放射治疗设备配置使用规划

放疗科规划使用 4 台电子直线加速器用于放疗治疗，分别安置于医技 3 号楼地下一层放射治疗科加速器 1 室至加速器 4 室。各加速器治疗室均按照最大 10MV 能量 X 射线治疗模式进行设计建造，目前建筑工程已经完成，暂未安装放射治疗设备和实施装饰装修工程。医院计划将加速器 3 室安装设备变更为 1 套兼具医用直线加速器治疗功能和伽玛刀治疗功能的 X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）。

根据设备厂家和医院提供的资料，工作时间按每天工作 8 小时计算，伽玛刀治疗平均时间为 10min/人，每天最多可治疗 20 个病人，加速器治疗平均时间为 8min/人，每天最多可治疗 30 个病人。

在实际治疗中伽玛刀开源时间平均为 5min/人，每天最大的开源时间为 1.7h；每周工

作 5 天，相当于每周开源 8.5h；按一年工作 50 周计算，年实际最大开源时间为：425h。加速器年最大使用人次为 30 人次/d×250d=7500 人次/a，单人单次照射 8Gy-10Gy，按照适形调强治疗每人出束时间 3min 计，周出束时间 7.5h，年出束时间 375h。因此，两种治疗模式合计周出束时间 16h，累计治疗出束 800h/a。

（二）治疗室周围附加剂量率评价方法

拟选用 X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）兼具医用直线加速器治疗功能和伽玛刀治疗功能，设备设计有加速器和伽玛刀不能同时出束的控制系统，两部分独立运行，不同时工作。CBCT 图像引导系统模块其最大管电压、最大管电流较小（150kV、64mA，距靶 1m 处最大剂量率 <0.5mGy/h）。本项目机房防护条件在满足加速器（6MV X 射线）屏蔽要求的情况下，机房屏蔽体完全可以满足对 CBCT 开机产生 X 射线的防护，对辐射环境影响较小。因此，本报告主要对加速器和伽玛刀运行过程中的环境影响进行分析。

1) 加速器治疗模块

加速器治疗模块使用 6MV 能量 X 射线治疗束，等中心最大剂量率 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ ，设备具有治疗束自屏蔽设计。根据设备厂家提供的资料，加速器组件屏蔽体泄漏不大于 0.5%；准直器不大于 0.1%；屏蔽体为 120mm 铅+70mm 钢厚，97cm（长）×94cm（宽）。对于 6MV 能量 X 射线初级束， TVL_{Pb} 取 5.7cm， TVL_{Fe} 取 10cm，混凝土 TVL_1 和 TVL 分别取 37cm 和 33cm，计算加速器模块初级束自屏蔽体的泄漏辐射比率： $10^{(-12/5.7)} \times 10^{(-7/10)} = 1.59 \times 10^{-3}$ ；治疗室主屏蔽墙和顶板主屏蔽区混凝土结构建造厚度不低于 270cm，计算初级束贯穿屏蔽体的泄漏辐射比率： $0.1 \times 10^{(-270-37)/33} = 8.70 \times 10^{-8}$ 。综合分析，初级束贯穿自屏蔽体和主屏蔽体总泄漏辐射比率为 1.4×10^{-10} 。忽略初级束辐射的距离衰减因素，治疗室主束屏蔽体外（距离等中心 ≥5m）关注点的辐射剂量贡献值预计低于 $1.2 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。可见，设备运行时初级束贯穿屏蔽体后相应关注点的辐射附加剂量率很小。

拟选用 X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）加速器治疗模块结构组成和滚筒式机架旋转治疗方式与螺旋断层加速器（TOMO）基本相同。《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）给出，螺旋断层加速器机房屏蔽可以忽略散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽，对初级束直接投照的区域，也按屏蔽泄漏辐射考虑。综合分析可知，本报告加速器治疗模块以机头屏蔽体泄漏（泄漏辐射

比率 0.5%) 作为代表源项, 保守预测治疗室外辐射附加剂量率。

2) 伽玛刀治疗模块

本报告按照厂家提供的设备周围不同点位辐射剂量率水平的实测资料, 参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZT201.3—2014) 给出的模式及参数, 预测治疗室周围辐射附加剂量率。

11.2.2 加速器有用线束主屏蔽区宽度核算

加速器 3 室有用束主屏蔽墙为内、外凸型式设计, 顶层主屏混凝土结构为内凸型式设计。考虑本项目拟用放疗设备及机房布局设计情况, 主屏蔽墙按照内凸式屏蔽(混凝土结构厚度为 270cm) 估算主屏蔽区半宽度数据。

根据《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) 附录 D 中例举的公式计算有用线束主屏蔽区的宽度, 机房主屏蔽墙宽度核算示意图 11.2-1, 计算参数及结果见表 11.2-1。

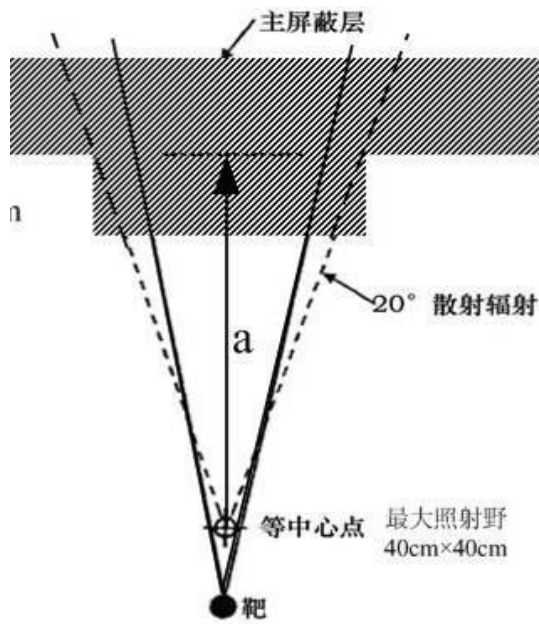


图 11-2-1 有用束在(内凸式)屏蔽墙的投影区宽度估算示意图

$$Y_P=2[(a+SAD)\times\tan\theta+0.3]$$
 (公式 11.2-1)

式中: Y_P ——机房有用射线束主屏蔽区的宽度, m; θ ——治疗束的最大半张角(相对束中的轴线), θ 取 13.9°; SAD ——源轴距, m; (本设备直线加速器治疗模块为

$SAD=1m$) ; a ——等中心至墙的距离, m;

表 11.2-1 加速器 3 室主屏蔽结构半宽度核算

机房名称	主屏蔽墙位置	主屏蔽墙形式	等中心至墙*的距离 (m)	计算西侧半宽度 (m)	设计值 (m)	评价结果
加速器 3 室	北墙主屏蔽墙宽度	内凸	5.45	1.60	1.60	满足
	南墙主屏蔽墙宽度	内凸	4.55	1.38	1.60	满足
	顶棚主屏蔽层宽度	内凸	3.95	1.22	1.60	满足
说明: 主屏墙(顶棚结构)设计宽度 4.4m。主屏墙按内凸考虑, 其有效屏蔽厚度以 270cm 计。按照设备在治疗室布局, 等中心位于偏西南位置, 核算时主要考虑西侧主屏蔽区宽度。						

由核算结果可知, 拟用加速器 3 室南侧、北侧墙体及顶棚的主屏蔽混凝土结构层设计宽度能够满足屏蔽有用射线束的要求。

11.2.3 评价关注点的导出剂量率参考控制水平

本项目居留因子取值参考《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021) 附录 A, 具体情况见表 11.2-2。

表 11.2-2 不同场所居留因子取值说明表

场所类别	居留因子 (T)		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、移动式电子加速器的相邻手术室与诊室、咨询台、有人护理的候诊室以及周边建筑中的驻留区。
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗机房房门外30cm处、相邻的(共用屏蔽墙)放射诊疗机房 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货区域、楼梯、无人看管的电梯

本评价参考《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), 在加速器 3 室外选择关注点, 并见图 11.4-2 和图 11.4-3 所示。本项目加速器治疗室所在区域无地下层, 西南侧是回填土层, 故该位置不设关注点。

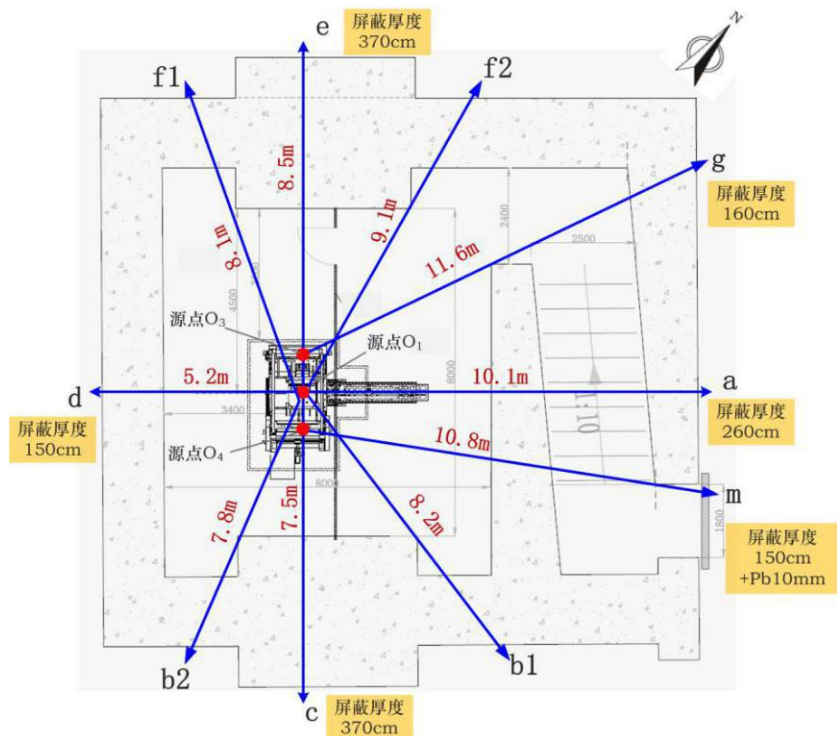


图 11.4-2 加速器模式运行周围环境剂量评价关注点分布图--平面

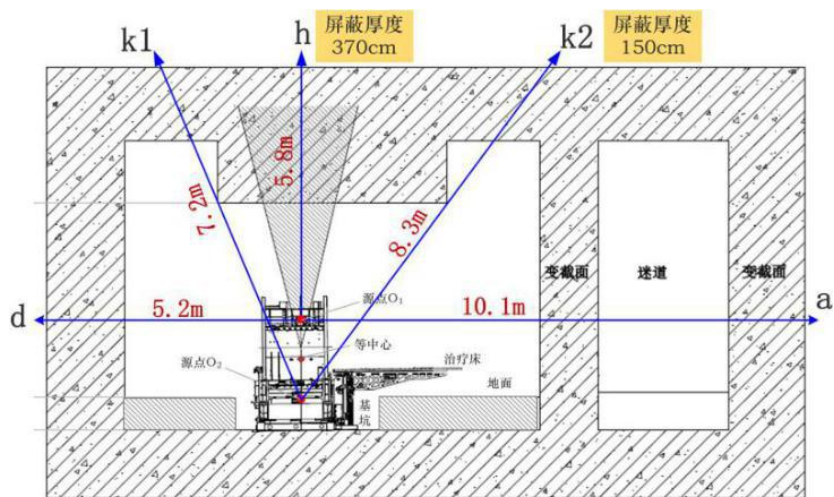


图 11.4-3 加速器模式运行周围环境剂量评价关注点分布图--剖面

按照《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）附录 A，单一有用线束在关注点的导出剂量率控制水平为：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \dots\dots\dots (\text{公式 11.2-2})$$

式中：

H_c ：周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

t：治疗装置周治疗照射时间，h；

U：有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T：人员在相应关注点驻留的居留因子。

单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控制水平为：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot N \cdot T) \dots\dots\dots (\text{公式 11.2-3})$$

式中：N——调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子，通常 $N=5$ ；其余同式 11.2-2。

对于直线加速器机房墙外和入口门外关注点的剂量率参考控制水平应不大于下述 a)、b)和 c)所确定的剂量率参考控制水平 H_c ：

a) 使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子，依照附录 A（即本报告公式 11.4.2），由周剂量参考控制水平（ H_c ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）：

①放射治疗机房外控制区的工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

②放射治疗机房外非控制区的工作人员： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同，分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）：

①人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

②人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所： $H_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平 H_c ，和 b)中的最高剂量率参考控制水平 $H_{c,max}$ ，选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 H_c （ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）。

表 11.2-3 各关注点辐射剂量率参考控制水平 ($\dot{H}_c$)

场所名称	关注点	点位描述	辐射类型	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	使用因子 (U)	居留因子 (T)	$\dot{H}_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	出束时间 (h/周)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	
									计算值	最终取值*
加速器 3 室	a	控制室	泄漏+散射辐射	≤ 100	1	1	10	16	6.25	2.5
	b ₁ 、b ₂	南侧次屏蔽区外 30cm (加速器 4 室)	泄漏+散射辐射	≤ 100	1	1/8	10	16	50	2.5
	c	南侧主屏蔽区外 30cm (加速器 4 室)	治疗束	≤ 100	1/4	1/8	10	16	200	2.5
	e	北侧主屏蔽区外 30cm (加速器 2 室)	治疗束	≤ 100	1/4	1/8	10	16	200	2.5
	f ₁ 、f ₂	北侧次屏蔽区外 30cm (加速器 2 室)	泄漏+散射辐射	≤ 100	1	1/8	10	16	50	2.5
	g	迷道墙外外 30cm (冷水机房)	泄漏+散射辐射	≤ 100	1	1/40	10	16	250	2.5
	m	防护门外	泄漏+散射辐射	$\leq 2^*$	1	1/16	10	16	2.0	2.0
	h	顶棚主屏蔽区外 30cm 处 (院内绿地)	治疗束	≤ 2	1/4	1/16	10	16	8.0	2.5
	k ₁	顶棚次屏蔽区外 30cm 处 (院内绿地)	泄漏+散射辐射	≤ 2	1	1/16	10	16	2.0	2.0
	k ₂	斜上方 (医技楼一层) 影像二部医生办公室	泄漏+散射辐射	≤ 2	1	1	10	16	0.125	0.125
说明: 本报告取公众受照剂量约束值 100 $\mu\text{Sv}/\text{年}$, 按全年工作 50 周计算, H_c 取值为 $\leq 2 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。										

11.2.4 加速器模式辐射环境影响分析

(一) 辐射剂量率预测

根据拟建加速器的技术参数和治疗室的设计方案，参考《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）中的计算方法，预测加速器以最高能量运行时有用线束、泄漏辐射对治疗室外各目标点的辐射剂量率水平。

首先按公式 11.2-4 计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ：

$$X_e = X \cdot \sec\theta \quad \dots\dots\dots \text{（公式 11.2-4）}$$

式中：

X_e ——射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，cm；

X ——屏蔽墙体厚度，cm；

θ ——入射角夹角。

再按式 11.2-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B 。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad \dots\dots\dots \text{（公式 11.2-5）}$$

式中： $TVL_1(\text{cm})$ 和 $TVL(\text{cm})$ 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。

按式 11.2-6 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad \dots\dots\dots \text{（公式 11.2-6）}$$

式中：

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 X 射线最高输出率：6MV 加速器为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

f ——对有用线束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 0.005；

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

根据本项目治疗室的设计方案，计算出各关注点的有用线束和泄漏辐射剂量率水平，计算参数和结果见表 11.2-4。

表 11.2-4 加速器治疗模式运行时关注点辐射剂量率的预测结果表

场所名称	关注点	点位描述	辐射路径	有效厚度 (cm)	入射角 θ (°)	距离 R (m)	TVL1 (cm)	TVL (cm)	预测值 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)
加速器 3 室	a	控制室	$O_1 \rightarrow a$	260	0	10.1	34	29	6.63E-5
	b1	南侧墙次屏蔽区外 30cm (加速器 4 室)	$O_1 \rightarrow b_1$	240	45	8.2	34	29	4.92E-4
	b2	南侧墙次屏蔽区外 30cm (加速器 4 室)	$O_1 \rightarrow b_2$	196	30	7.8	34	29	1.79E-2
	c	南侧墙主屏蔽区外 30cm (加速器 4 室)	$O_4 \rightarrow c$	270	0	7.5	34	29	5.43E-5
	d	西侧墙外 30cm (土壤层, 无建筑物)	$O_1 \rightarrow d$	150	0	5.2	34	29	1.55
	e	北侧墙主屏蔽区外 30cm (加速器 2 室)	$O_3 \rightarrow e$	270	0	8.5	34	29	4.23E-5
	f1	北侧墙次屏蔽区外 30cm (加速器 2 室)	$O_1 \rightarrow f_1$	186	25	8.1	34	29	3.67E-2
	f2	北侧墙次屏蔽区外 30cm (加速器 2 室)	$O_1 \rightarrow f_2$	196	30	9.1	34	29	1.32E-2
	g	迷道墙东侧 30cm (水冷设备机房)	$O_3 \rightarrow g$	185	30	11.6	34	29	1.94E-2
	m	防护门外 30cm	$O_4 \rightarrow m$	150	0	10.8	34	29	3.60E-1
	h	顶棚主屏区外 100cm 处 (院内绿地)	$O_1 \rightarrow h$	270	0	5.8	34	29	9.09E-5
	k1	顶棚次屏蔽区上 100cm 处 (院内绿地)	$O_2 \rightarrow k_1$	186	30	7.2	34	29	4.65E-2
	k2	斜上方 (医技楼一层) 影像二部医生办公室	$O_2 \rightarrow k_2$	240	45	8.3	34	29	4.80E-4
说明: 1、拟用 TaiChiPro 型设备其加速器治疗模块结构组成和滚筒式机架旋转治疗方式与螺旋断层加速器 (TOMO) 基本相同。参考 GBZ/T201.2011 附录给出的螺旋断层加速器机房屏蔽预测方法, 可以按照屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽, 对初级束直接投照的区域, 也按屏蔽泄漏辐射考虑。泄漏辐射比率取 0.005; 2、保守取加速器机头与关注点最近的源位置。3、相邻机房共用的主屏墙按内凸考虑, 有效屏蔽厚度以 270cm 计。									

迷道外口散射辐射贡献估算如下：

本项目加速器有用线束不向迷路内墙照射。参考《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）推荐的预测模式，结合本项目加速器治疗室建筑布局，本治疗室迷道入口散射辐射影响主要考虑治疗束经患者散射至迷道墙体，再经过B处和C处两次散射到达迷道外口m点的贡献值，见图11.4-4所示。

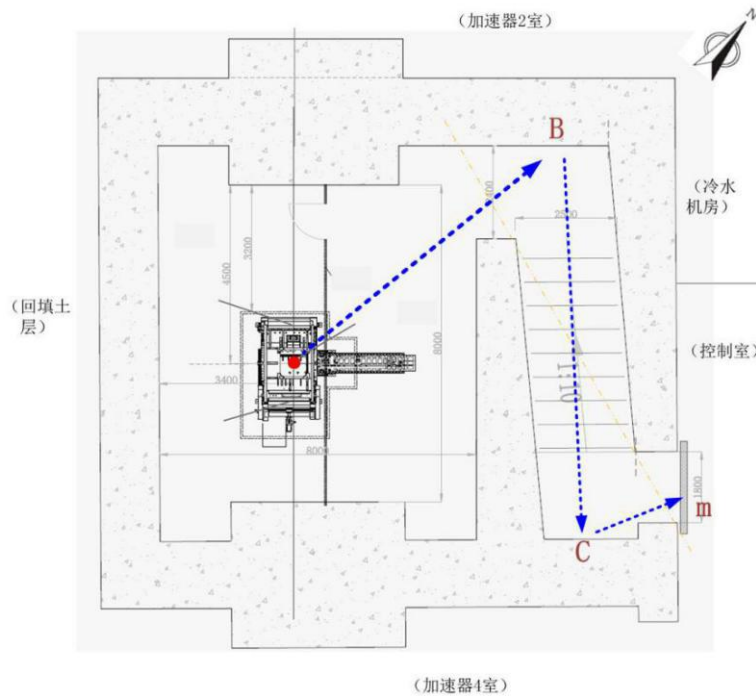


图 11.4-4 迷道外口散射辐射路径预测分析示意图

预测关注点 m 处辐射剂量率按公式 11.2-7 进行计算，计算结果见表 11.2-5。

$$\dot{H}_m = \frac{\alpha_{ph} \times (F \div 400)}{R_1^2} \times \frac{\alpha_1 \times A_1}{R_2^2} \times \frac{\alpha_2 \times A_2}{R_3^2} \times \dot{H}_0 \quad \text{..... (公式 11.2-7)}$$

式中：

$\dot{H}_m$ ——m 处的散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

α_{ph} 、 α_1 、 α_2 ——散射因子；

F ——有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

A_1 ——B 处的散射面积， m^2 ；

A_2 ——C 处的散射面积， m^2 ；

R_1 ——“o—B(迷道内口散射体中心点至等中心)”之间的距离，m；

R_2 ——“B—C”之间的距离，m；

R_3 ——“B—m”之间的距离，m；

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ 。

表 11.2-5 迷路入口患者散射辐射剂量率计算参数及结果

参数指标	取值及计算结果	备 注
$\dot{H}_0$ ($\mu\text{Sv/h}$)	8.40×10^8	FFF 模式下等中心最大剂量率
a_{ph}	1.39×10^{-3}	治疗束 45° 散射辐射
F (cm^2)	1600	40cm×40cm
a_1	0.022	45° 入射， 0° 散射
a_2	0.013	0° 入射， 75° 散射
A_1 (m^2)	9.6	
A_2 (m^2)	4.5	
R_1 (m)	8.2	
R_2 (m)	10.4	
R_3 (m)	2.5	
$\dot{H}_m$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.27	

NCRP No.151 报告给出，迷道入口来自有用束和机头泄漏射线的散射辐射，其能量较低，平均值约为 0.2MeV，在 Pb 中的 TVL 为 5mm。NCRP No.151 报告给出 Pb 对 6MV X 射线的 TVL 为 5.7cm，本评价对加速器运行泄漏辐射屏蔽估算时保守采用此值。加速器机房设计安装 15mmPb 当量铅钢复合材质防护门。机房迷路入口附近泄漏和杂散射线经过防护门屏蔽后，门外 m 处辐射剂量率计算见表 11.2-6。

表 11.2-6 防护门外辐射剂量率估算表

参数	患者散射辐射通过迷道墙散射	机头泄漏辐射贯穿迷道内墙
屏蔽前剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.27	3.60×10^{-1}
铅屏蔽厚度 (mm)	15	15
TVL (mm)	5	57
屏蔽后剂量率 $\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	1.27×10^{-3}	1.96×10^{-1}
合计	$1.97\times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$	

放疗科的 4 间加速器机房并列布置，两两相邻，保守考虑相邻机房的防护门外辐射剂量率贡献的叠加影响因素，按单一机房贡献值 2 倍计，预计防护门外杂散辐射剂量率不超

过 $3.94 \times 10^{-1} \mu\text{Sv/h}$ 。

（二）附加辐射剂量率分析小节

加速器治疗模式运行时机房外的辐射附加剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较分析情况见表 11.2-7。

表 11.2-7 辐射剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

机房名称	关注点	点位描述	预测计算最大值 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制水平值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否符合要求
加速器 3 室	a	控制室	6.63E-5	2.5	符合
	b1、b2	南侧次屏蔽区外（加速器 4 室）	1.79E-2	2.5	符合
	c	南侧主屏蔽区外（加速器 4 室）	5.43E-5	2.5	符合
	e	北侧主屏蔽区外（加速器 2 室）	4.23E-5	2.5	符合
	f1、f2	北侧次屏蔽区外（加速器 2 室）	3.67E-2	2.5	符合
	g	迷道墙外（水冷设备机房）	1.94E-2	2.5	符合
	m	防护门外	3.94E-1	2.0	符合
	h	顶棚主屏区上方（院内绿地）	9.09E-5	2.5	符合
	k1	顶棚次屏蔽区上方（院内绿地）	4.65E-2	2.0	符合
	k2	斜上方（医技楼一层）影像二部医生办公室	4.80E-4	0.125	符合

通过上表可见，本项目加速器模式运行机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足相应的剂量率参考控制水平的要求。

（三）工作人员及公众受照剂量估算

照射剂量采用《辐射防护手册》（第一分册）中计算公式：

$$D_r = D_l \times U \times T \times t \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{（公式 11.2-8）}$$

式中：

D_r ——人员受照剂量，mSv/a；

D_l ——关注点处的辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t ——年出束时间，h/a；

U ——使用因子

T ——居留因子。

根据公式（11.2-8）计算各预测点位人员所受的辐射影响（年有效剂量）见表 11.2-8。

表 11.2-8 加速器模式运行所致人员有效剂量预测表

场所名称	关注点	位置描述	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用因子 U	居留因子 T	有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
加速器 3 室	a	控制室	6.63E-5	1	1	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	b1、b2	南侧次屏蔽区外（加速器 4 室）	1.79E-2	1	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	c	南侧主屏蔽区外（加速器 4 室）	5.43E-5	0.25	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	e	北侧主屏蔽区外（加速器 2 室）	4.23E-5	0.25	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	f1、f2	北侧次屏蔽区外（加速器 2 室）	3.67E-2	1	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	g	迷道墙外（水冷设备机房）	1.94E-2	1	1/40	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	m	防护门外	3.94E-1	1	1/16	9.2×10^{-3}	0.1（公众）
	h	顶棚主屏区上方（院内绿地）	9.09E-5	0.25	1/16	1.0×10^{-3}	0.1（公众）
	k1	顶棚次屏蔽区上方（院内绿地）	4.65E-2	1	1/16	1.1×10^{-3}	0.1（公众）
	k2	斜上方（医技楼一层）影像二部医生办公室	4.80E-4	1	1	1.0×10^{-3}	0.1（公众）

说明：1、加速器治疗模式累计出束时间按照 375h/a 计。2、西侧墙外为回填土层，关注点 d 不做剂量估算。3、表中人员受照剂量预测结果低于 $1\mu\text{Sv/a}$ 的，按 $1\mu\text{Sv/a}$ 计。

加速器治疗模式按照 6MV X 射线最大输出剂量率（840Gy/h），设备泄漏辐射比率最大值 0.5%，工作负荷累计出束 375h/a 进行偏保守预测。由表 11.2-8 可知，该源项运行对本治疗室工作人员的辐射照射剂量低于 $1.0 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ ，对治疗室邻近区域公众辐射照射剂量不超过 $9.2 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ （最大值点位是防护门外）。

加速器 3 室位于医技 3 号楼地下一层，经过土壤层和建筑屏蔽以及进一步的距离衰减，评价范围内其他公众辐射照射有效剂量很小，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值（ 1mSv/a ）的要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv 。

11.2.5 加速器模式废气影响分析

1) 臭氧

参考王时进等学者发表的《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)给出的公式, 估算直线加速器辐射所致臭氧的产额和浓度。

① 有用线束的 O₃ 产额

采用公式 (11.2-9) 计算有用射线束所致 O₃ 产额的公式:

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) R G \quad \dots\dots\dots (11.2-9)$$

式中:

P 为 O₃ 的产额, mg/h; $\dot{D}_0$ 为辐射有用线束在距 1m 处的输出量, Gy /m²·min; R 为 X 射线束靶点到屏蔽物 (墙) 的距离, m; G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数, 取值为 10; θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O₃ 产额

将泄漏辐射看成为 4 π 方向均匀分布的点源, 并考虑加速器室墙壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%, 泄漏辐射产生 O₃ 的产额 P (mg/h) 为:

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 G V^{1/3} \quad \dots\dots\dots (11.2-10)$$

本评价选取加速器有关参数如下: $\dot{D}_0 =$ (均值) 8Gy/min; $R=4.0$ m; $\theta=+14^\circ/-14^\circ$; $G=10$; 加速器治疗室容积 $V \approx 263$ m³ (不含迷道)。

根据公式 (11.2-9) 得出有用线束 $P=23.1$ mg/h。根据公式 (11.2-10) 得出泄漏辐射的 $P=1.7$ mg/h。二项合计, $P=24.8$ mg/h。年出束时间 1000h, 则臭氧的年产量约为 24.8g。

③ 臭氧浓度

治疗室内的产生臭氧一部分由通风系统排到室外, 另一部分自然分解。空气中臭氧的平均浓度可用式 (13) 计算。

$$Q(t) = \frac{Q_o T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad \dots\dots\dots (11.2-11)$$

式中:

$Q(t)$ 为治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度, mg/m³; Q_o 为臭氧的辐射化学产额, mg/h; V 为治疗室体积, 取值 263m³; T 为有效清除时间, h。如果照射时间很长($t > T$), 则:

$$Q(t) = \frac{Q_o T}{V} \quad \dots\dots\dots (11.2-12)$$

若以 t_v 表示换气一次所需时间 h; t_d 表示臭氧的有效分解时间 (取 0.83h), 则有

效清除时间为：

$$T = \frac{t_v \bullet t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots (11.2-13)$$

由公式（11.4-14）计算得 T 为 0.19h。当 $t \gg T$ 时，臭氧达饱和浓度，由式（11.4-13）得到在正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 $0.018\text{mg}/\text{m}^3$ ，远低于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ 2.1—2019）对工作场所中 O_3 浓度限值（ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ）控制要求。加速器治疗室内臭氧通过排风系统由排气筒排放至室外，经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低，对周围大气环境的影响十分轻微。

2) 氮氧化物

在多种氮氧化物（ NO_x ）中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半，能够满足《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（GBZ 2.1—2019）对工作场所中 NO_2 浓度限值为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 控制要求。治疗室内氮氧化物（ NO_x ）通过排风系统由排气筒排放至室外，经过大气的稀释和扩散作用其浓度将进一步降低，对周围大气环境的影响十分轻微。

3) 加速器治疗室排风系统设置要求

该项目直线加速器机房拟采用“上送下排”方式通风，送风管道与排风管道拟由迷道经防护门上方采用“Z”字形式进出机房，风管尺寸 $600\text{mm} \times 250\text{mm}$ 。机房内顶部设置 $550\text{mm} \times 550\text{mm}$ 的送风口，在加速器治疗室西墙内侧下部设置尺寸为 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 的排风口，风管底部（排风口）离地 30cm。机房的排风管道与大楼排风管道相连后在医技 3 楼 E 区的楼顶（高度 22.5m）排放。

11.2.6 加速器模式固废环境影响分析

本项目更换的废靶件由加速器供应商回收，不在医院存储，因此不会对周围环境产生污染。

11.2.7 加速器模式辐射事故影响分析

（一）可能发生的辐射事故

- 1) 安全联锁装置发生故障情况下，人员误入运行的治疗室而造成 X 射线误照射。
- 2) 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离治疗室，如果加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。
- 3) 工作人员在治疗室内摆位操作或其他准备工作时，控制台处操作人员误开机出

束，发生事故性出束，对工作人员造成辐射伤害。

4) 加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。

5) 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，造成辐射伤害。

(二) 预防措施

(1) 制定自检制度，并严格进行经常性自查，如发现门机联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

(2) 加强人员培训，制定规范的操作规程并落实。

(3) 其它异常运行事件和防范措施

a) 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。

b) 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。

c) 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。医护人员进入加速器室，要保持防护门开启，由于有门机联锁系统，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巡查，确认无误后方可出束。

d) 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。

e) 工作人员误入：加速器放疗工作人员须携带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。

11.2.8 伽玛刀治疗模块运行环境影响分析

根据设备厂家提供的设备装源初期使用最大孔径准直器，焦点放置模体模拟治疗运行时机房内的辐射水平矩阵图，进行机房治疗室屏蔽防护能力预测。

(一) 治疗室屏蔽防护效果预测

参考 GBZ/T201.3-2014 中 5.2.1 的方法计算 γ 刀设备运行时治疗室屏蔽体外关注点的泄漏辐射剂量率水平。

(1) 墙体、屋顶屏蔽效果预测

在给定的屏蔽物质厚度 X (cm) 时, 首先按照公式 (11.2-2) 计算有效厚度 X_e (cm), 按照公式 (11.2-3) 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B , 再按照公式 (11.2-4) 计算屏蔽体外辐射剂量率。本评价报告根据设备厂家提供的 γ 刀出束状态的辐射测量值, 以最接近本项目治疗室墙内表面的辐射剂量, 按照距离平方反比关系计算治疗室外关注点的剂量率。各计算公式如下:

$$X_e = X / \cos \theta = X \cdot \sec \theta \quad \dots\dots\dots (11.2-2)$$

式中: X ——设计屏蔽厚度, cm; θ ——斜射角。

$$B = 10^{- (X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad \dots\dots\dots (11.2-3)$$

拟用伽玛刀治疗模块具有自屏蔽设计, 出束状态设备周围辐射来源主要是泄漏辐射和散射辐射。参考 GBZ/T 201.3-2014 正文有关规定及附录 C 和附录 E 提供的技术参数, 混凝土结构对于 γ 刀出束状态杂散辐射的 TVL 保守取 21.8cm。

$$\dot{H} = \dot{H}_1 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 \cdot B \quad \dots\dots\dots (11.2-4)$$

式中:

$\dot{H}$ ——屏蔽体外关注点的辐射剂量率, μ Sv/h;

$\dot{H}_1$ ——等中心平面上接近治疗室墙内侧检测值较高的某一参考点的辐射剂量率, μ Sv/h;

R_1 ——参考点辐射剂量率到等中心的距离, m;

R_2 ——关注点到等中心的距离, m, 本项目关注点为相应屏蔽体外 30cm。

(5) 依据设备厂家提供的辐射水平矩阵图 (见附件 7), 选取最接近机房墙体表面、距地面 1m 高度处的辐射水平最大值预测四侧墙体及防护门外关注点的剂量率 (μ Sv/h)。厂家资料未给出设备正上方点位测试数据。考虑伽玛刀治疗头绕等中心作圆周旋转治疗的设计特点, 本报告选取机架左右侧向的代表性测点数据, 作为设备正上方参考点

剂量率值计算治疗室上部关注点的辐射附加剂量率。计算结果见表 11.2-9。

表 11.2-9 伽玛刀出束状态下治疗室周围辐射剂量率计算参数和结果表

关注点	关注点位置描述	R ₂ 距离 (m)	参考点测值 (μSv/h)	R ₁ 距离 (m)	机房屏蔽砼厚度 (cm)	剂量率贡献值 (μSv/h)	导出剂量率控制水平 (μSv/h)
a	控制室	10.1	29	10.0	260	3.43E-11	2.5
b2	南侧次屏蔽区外 (加速器 4 室)	7.8	44	3.0	170	1.04E-7	2.5
c	南侧主屏蔽区外 (加速器 4 室)	7.5	44	3.0	370	1.12E-7	2.5
e	北侧主屏蔽区外 (加速器 2 室)	8.5	55	3.5	370	1.02E-16	2.5
f1	北侧次屏蔽区外 (加速器 2 室)	8.1	55	3.5	170	1.48E-7	2.5
g	迷道墙外 (水冷设备机房)	12.0	32	10.0	160	1.02E-6	2.5
m	防护门外	10.8	29	10.0	150 (不含防护门)	3.28E-6	2.0
h	顶棚主屏区上方 (院内绿地)	5.8	81	2.5	370	1.60E-16	2.5
k1	顶棚次屏蔽区上方 (院内绿地)	7.2	81	2.5	150	1.29E-6	2.0
k2	斜上方 (医技楼一层) 影像二部医生办公室	9.0	81	2.5	150	8.23E-7	0.125
说明: 屏蔽厚度均不考虑斜射角。							

拟用机房建有迷道, 根据上表可知, 伽玛刀治疗出束时机房内杂散辐射贯穿迷道内墙对于迷道外口的辐射剂量贡献很小 (不考虑防护门屏蔽因素为: $3.28 \times 10^{-6} \mu\text{Sv/h}$)。迷道外口的辐射还来自机房内杂散辐射经过迷道口墙体的散射贡献。查设备厂家提供的辐射水平矩阵图, (A1, B2) 点位是对应本项目机房迷道内口位置, 其辐射剂量率为 $42 \mu\text{Sv/h}$ 。对于防护门外的辐射剂量预测计算方法参考 GBZ/T 201.3-2014, 参数取值及计算结果见表 11.2-10。

表 11.2-10 伽玛刀治疗模式迷道外口散射辐射计算参数及结果

参数指标	取值及计算结果	备注
$\dot{H}_0 (\mu\text{Sv/h})$	42	取自厂家提供的辐射水平矩阵图数据
a_1	1.02×10^{-2}	迷道内口墙体, 45° 入射, 0° 散射

a_2	7.54×10^{-3}	迷道外口墙体, 0° 入射, 75° 散射
A_1 (m^2)	9.6	
A_2 (m^2)	4.5	
R_2 (m)	10.4	
R_3 (m)	2.5	
$\dot{H}_m$ ($\mu\text{Sv/h}$)	2.06×10^{-4}	

综合上述分析, 伽玛刀治疗模式运行对机房防护门外辐射剂量率贡献很小。参考 GBZ/T201.3-2014 有关钴源放疗机房预测内容, 迷道外口散射辐射能量约 0.2MeV, 在铅中的 TVL 值为 5.0mm。治疗室安装 15mm 厚铅防护门, 伽玛刀治疗模式运行时防护门外辐射剂量率预计为 $2.06 \times 10^{-7} \mu\text{Sv/h}$, 满足机房屏蔽防护导出剂量率参考控制水平值 ($0.125 \mu\text{Sv/h}$)。

拟用设备符合《医用电气设备 第 2-11 部分: γ 射束治疗设备的基本安全和基本性能专用要求》(GB9706.211—2020) 有关放射源治疗装置关束状态时设备周围泄漏辐射控制要求。依据设备厂家提供的关束状态下辐射水平矩阵图 (见附件 8), 距设备表面 0.5m 处泄漏辐射不大于 $5.7 \mu\text{Gy/h}$, 距设备表面 2.5m 处辐射水平不大于 $2.95 \mu\text{Gy/h}$, 在设备贮源状态下泄漏辐射热点位于机房隔墙内的设备区, 除了定期维护和检修设备工作外, 通常情况下人员不会进入、停留。治疗区的治疗床周围距设备表面 0.5m 处泄漏辐射不大于 $1.40 \mu\text{Gy/h}$; 治疗区距设备表面 2.5m 处泄漏辐射不大于 $0.45 \mu\text{Gy/h}$ 。

拟用加速器 3 室采用混凝土结构建造, 墙体和顶板厚度不低于 150cm, 出入通道建有迷路, 并安装防护门。在关束状态下伽玛刀治疗模块的泄漏 γ 射线经过墙体及顶棚结构屏蔽 (屏蔽透射因子 $\leq 1.32 \times 10^{-7}$), 泄漏辐射对治疗室周围环境的影响可以忽略。

可见, 治疗室各侧屏蔽墙外和顶板上方关注点的辐射剂量率贡献值能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)、《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020) 和本报告第 11.2.2 节 (见表 11-2-1) 中关注点导出剂量率参考控制水平有关要求。

(二) 辐射工作人员和公众剂量估算及评价

人员的年有效剂量由公式 (11.2-5) 进行估算:

$$H = \dot{H} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \dots\dots\dots (11.2-5), \text{ 式中:}$$

H —年剂量, $\mu\text{Sv/a}$; $\dot{H}$ —参考点处剂量率, $\mu\text{Sv/h}$; U —使用因子; T —居留因子; t

一年照射时间，（h/a）。

伽玛刀模式运行所致人员受照剂量计算参数和计算结果见表 11.2-11。

表 11.2-11 伽玛刀模式运行所致人员有效剂量预测表

场所名称	关注点	位置描述	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	居留因子 T	有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
加速器 3 室	a	控制室	3.43E-11	1	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	b1、b2	南侧次屏蔽区外（加速器 4 室）	1.04E-7	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	c	南侧主屏蔽区外（加速器 4 室）	1.12E-7	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	e	北侧主屏蔽区外（加速器 2 室）	1.02E-16	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	f1、f2	北侧次屏蔽区外（加速器 2 室）	1.48E-7	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	g	迷道墙外（水冷设备机房）	1.02E-6	1/40	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
	m	防护门外	2.06E-7	1/16	1.0×10^{-3}	0.1（公众）
	h	顶棚主屏区上方（院内绿地）	1.60E-16	1/16	1.0×10^{-3}	0.1（公众）
	k1	顶棚次屏蔽区上方（院内绿地）	1.29E-6	1/16	1.1×10^{-3}	0.1（公众）
	k2	斜上方（医技楼一层）影像二部医生办公室	8.23E-7	1	1.0×10^{-3}	0.1（公众）

说明：1、加速器治疗模式累计出束时间按照 425h/a 计。2、西侧墙外为回填土层，不做剂量估算。3、表中人员受照剂量预测结果低于 $1\mu\text{Sv/a}$ 的，按 $1\mu\text{Sv/a}$ 计。

（1）辐射工作人员剂量估算及评价

根据设备厂家测试数据，在贮源状态下加速器 3 室治疗区范围内距设备表面 0.5m 处泄漏辐射不大于 $1.40 \mu\text{Gy/h}$ 。假设全部治疗摆位工作由同一组医护人员完成，工作人员距设备表面距离 0.5m 处操作，全年摆位时间累计约 417h（按全年治疗 5000 人次，每个病人每次治疗摆位平均需要 5min），则辐射工作人员在 γ 刀治疗摆位操作时累计最大受照剂量为： $1.40 \mu\text{Gy/h} \times (1 \mu\text{Sv/h} / \mu\text{Gy/h}) \times (5/60) \text{h} \times 5000 \times 10^{-3} = 0.583 \text{mSv/a}$ 。

加速器治疗模式全年摆位时间累计约 625h（按全年治疗 7500 人次，每个病人每次治疗摆位平均需要 5min），则辐射工作人员在加速器治疗摆位操作时累计 γ 射线受照剂量为： $1.40 \mu\text{Gy/h} \times (1 \mu\text{Sv/h} / \mu\text{Gy/h}) \times (5/60) \text{h} \times 7500 \times 10^{-3} = 0.875 \text{mSv/a}$ 。

由表 11.2-6 估算结果可知， γ 刀治疗模式运行时工作人员在控制室停留的受照剂量不

超过 0.001mSv/a。本报告 11.3 节评价内容可知，加速器治疗模式运行时工作人员在控制室停留的受照剂量不超过 0.001mSv/a。

加速器 3 室与其他两间加速器机房相邻。根据《雄安宣武医院（新区投资部分）核技术利用项目环境影响报告表》评价分析，相邻加速器治疗室设备运行对于本治疗室停留人员的附加剂量为 0.072mSv/a。

本治疗室工作人员相对固定，不承担其他放射诊疗工作。综合分析，拟用设备运行对于加速器 3 室辐射工作人员的附加剂量： $0.583+0.875+0.001+0.001+0.072\approx 1.53\text{mSv/a}$ ，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

（2）公众受照剂量估算及评价

公众的年有效剂量贡献值分别来自加速器运行产生的 X 射线辐射和伽玛刀治疗模块运行产生的 γ 射线辐射。设备运行产生的辐射经过机房墙体、屋顶和防护门屏蔽衰减后对周围公众产生照射。根据表 11.2-11 理论估算结果，伽玛刀治疗模式运行对于机房相邻区域停留的公众年辐射剂量贡献不超过 $1\times 10^{-3}\text{mSv}$ ；根据表 11.2-8 理论估算结果，加速器治疗模式运行对于机房相邻区域停留的公众年辐射剂量贡献不超过 $9.2\times 10^{-3}\text{mSv}$ ，二者合计预计低于 0.01mSv/a。

治疗室位于医技楼地下一层，经过土壤层和建筑屏蔽以及进一步的距离衰减，评价范围内公众辐射照射有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.2.9 倒装放射源环境影响分析

医院委托具有使用 I 类放射源辐射安全许可证的单位承担换、装放射源工作，并负责协助设备厂家进行换装源操作。在换装源过程中，将严格按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关规定，做好辐射安全与防护工作；安装放射源后须请有监测资质的单位对辐射工作场所和周围环境进行监测，换装源过程的环境影响是可控的。

伽玛刀装源经过 5~7 年的使用年限后，会产生报废或退役的放射源。按照《放射性废物安全管理条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的有关规定，未经批

准不得擅自处理。使用放射源单位应当与生产放射源单位签订废旧放射源返回合同，在放射源废弃后 3 个月内将废放射源交回生产单位进行安全处置，废放射源回收参照放射源转让程序办理。废放射源送贮完成之日起 20 日内，应及时向辐射安全许可证发证的生态环境主管部门备案，申请办理放射源注销手续。

11.2.10 伽玛刀模式有害气体环境影响分析

依据本项目使用放射源类型、活度，考虑该型伽玛刀治疗模块的结构组成及初级束自屏蔽设计，参考《辐射所致臭氧的估算与分析》（王时进等，中华放射医学与防护杂志，1994 年）给出的估算模式，治疗室内臭氧的产生率可按以下公式进行计算：

$$Q_0 = 6.39 \times 10^{-4} \times A \times G \times V^{1/3} \dots\dots\dots (11.2-6)$$

式中，

Q_0 —治疗室臭氧的产生率，mg/h；

A—放射源的总活度，Ci；

G—空气每吸收 100eV 的辐射能量所产生的臭氧分子数，取 $G=10.3$ ；

V—伽玛刀治疗束行径空间容积， m^3 ，取 $0.343m^3$ 。

6.39×10^{-4} —对于 ^{60}Co 放射源，该参数已考虑治疗室散射辐射产额的贡献。对于伽玛刀设备，计算结果乘以立体角修正因子进行修正，臭氧产额 Q 计算修正为：

$$Q = Q_0 \times (\text{最大焦斑面积}/\text{源焦距的平方}) / 4\pi \dots\dots\dots (11.2-7)$$

伽玛刀初装源活度为 24000Ci。采用公式（11.2-6）和（11.2-7）进行计算，则治疗室臭氧的产生率 Q 为： $111mg/h \times [0.0962 / (0.75)^2 / (4\pi)] = 1.51mg/h$ 。

当考虑臭氧分解及室内通风时，任意时刻 t 时治疗室臭氧的浓度按下公式计算：

$$C_t = Q \times T \times (1 - e^{-T/t}) / V \dots\dots\dots (11.2-8)，\text{式中：}$$

C_t —治疗室臭氧的浓度， mg/m^3 ；T—有效清除时间， $T = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d}$ ，h； t_v —为治疗室换气

1 次所需时间，h； t_d —为臭氧的有效分解时间，h； t —时间，h； $V_{\text{室}}$ —治疗室的体积， m^3 ；取 $V=263m^3$ 。

臭氧有效分解时间取 0.83h。当 t 远大于 T 时， $C_t = Q \times T / V_{\text{室}}$ ，计算治疗室内空气中臭氧浓度约为 $1.1 \times 10^{-3}mg/m^3$ ，臭氧浓度远小于《工作场所有害因素职业接触限值-化学有

害因素》(GBZ2.1-2019)标准“ $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ”限值,符合相关要求。

对于氮氧化物,主要以 NO_2 为主,辐解空气产额约为臭氧的一半。本项目伽玛刀治疗模式运行过程中,在治疗室采用设计通风量情况下,室内臭氧和氮氧化物浓度能够满足《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》(GBZ2.1-2019)标准相关要求,产生的臭氧和氮氧化物经机械动力排风系统排风后,臭氧和氮氧化物向外环境的排放浓度远小于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)二级标准限值,经过大气稀释扩散对周围大气环境的影响很小。

11.2.11 伽玛刀模式运行事故影响分析

本项目可能发生的事故工况及应急处理措施如下:

(1) 治疗机房门机联锁装置失效,人员误入

一旦发现联锁系统出现故障,应立即停止治疗工作,组织技术人员对联锁系统进行检查维修,在确认联锁系统恢复正常后,设备才能重新投入使用。同时应将避免发生这类事故的措施建立在治疗室的工作制度中,严格执行设备联锁系统定期检查制度,并且将检查结果记录备案。

(2) 安装调试过程中出现卡源事故

安装调试过程如果出现停电或者系统故障导致卡源时,由设备厂家专业人员进行处理。首先采用自动回源,当自动回源失效时,采用手动回源。

(3) 治疗过程中出现卡源事故

出现这种情况放射工作人员立即按动紧急停止按钮,穿好防辐射服迅速进入治疗室,沿墙壁绕到设备后面,采用复位的方式关闭射线束。

(4) 换源、装源过程放射源掉落事故

换源或装源由有资格的专业人员进行,医院放射工作人员不参与该项工作。做好换装源程序和一切准备工作,工作人员必须佩带辐射监测仪器,穿戴防护衣帽,疏散周围人员。装源、换源工作人员应经过专业培训,考核合格后方能上岗。装源、换源在热室内操作,在操作过程中,下方设置安全网或安全托盘,以防跌落后污染地面和遗失。严格加强放射源的安全管理,严格按照规定的实施方案进行换装源,确保环境和人员安全,杜绝事故(事件)发生。一旦发生跌落,使用机械手从安全网或安全托盘中重新夹取此源。

（5）储源器泄漏

在放射源储存过程中发生储源器泄漏事故，医院应实时监控储源器周围的 X- γ 辐射剂量率，一旦发现储源器泄漏，应及时暂停诊疗工作，并及时联系设备厂家进行储源器的修复更换，期间封闭治疗机房，禁止医务人员或其他人员进入机房从而受到不必要的照射。储源器修复更换结束后应对现场进行详细的辐射剂量率测量。

（6）放射源丢失、被盗

一旦发生放射源丢失、被盗、失控事故，采取以下处理措施：①保护事故现场，紧急疏散无关人员，所有人员紧急撤离至安全区域。②及时报告医院辐射安全应急领导小组，上报当地政府卫生行政部门、生态环境部门及公安部门。③协助公安及卫生部门迅速查找，追回丢失的放射性物质。

11.3 ZAP-X 系统运行环境影响分析

11.3.1 基本情况说明

（一）放射治疗设备配置使用规划

头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X 系统）安装于原伽玛刀治疗室，配套改建机房建筑。ZAP-X 治疗室计划配备 3 名专职工作人员，工作时间按每天工作 8 小时，每天最多治疗 12 名患者，每周治疗 5 d，全年最多治疗患者 3000 人次。

根据设备厂家和医院提供的资料，ZAP-X 系统典型临床治疗计划为 7134 MU，治疗时系统等中心处剂量率为 1500 MU/min，每人次治疗照射约 4.8 min，则该系统每周的出束时间 t 为 4.8h。按全年运行 250 天，累计治疗出束约 240h/a。X 射线图像采集装置每人次治疗出束不超过 0.5min，全年累计出束约 25h/a。

（二）ZAP-X 治疗室周围附加剂量率评价方法

ZAP-X 系统是一种由计算机控制，小型 3MV 直线加速器为治疗放射源，采用双轴机架旋转模式，可实现 200 多个照射方向，使用 kV 成像系统精确定位治疗靶点，在治疗时系统防护门和外壳关闭以实现完全屏蔽。随照射机位不同，设备周围泄漏辐射水平在一定范围内波动。

本报告类比国内已安装的同类型设备周围实测的瞬时剂量率最大值数据，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZT201.3—2014）给出的预测模式，计算 ZAP-X 治疗室周围辐射附加剂量率。

kV 成像系统其最大管电压、最大管电流较小（95kV、35mA）。ZAP-X 治疗舱防护条件在满足加速器（3MV X 射线）屏蔽要求的情况下，完全可以满足对 kV 成像系统运行产生 X 射线的防护，对辐射环境影响很小。因此，本报告主要分析加速器运行的环境影响。

11.3.2 评价关注点的导出剂量率参考控制水平

ZAP-X 治疗室剂量评价关注点的导出剂量率控制水平计算方法见 11.2.3 节，计算参数选取及计算结果见表 11.3-1。关注点位置见图 11.3-1 和图 11.3-2 所示。

本治疗室所在区域无地下层，故下方不设关注点。

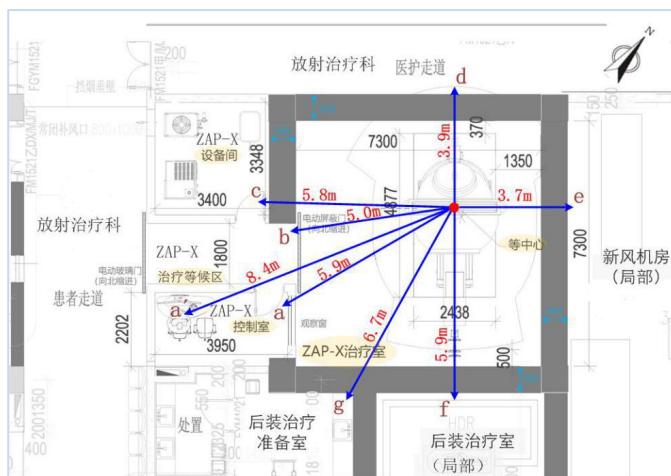


图 11.3-1 ZAP-X 治疗室评价关注点分布图--平面

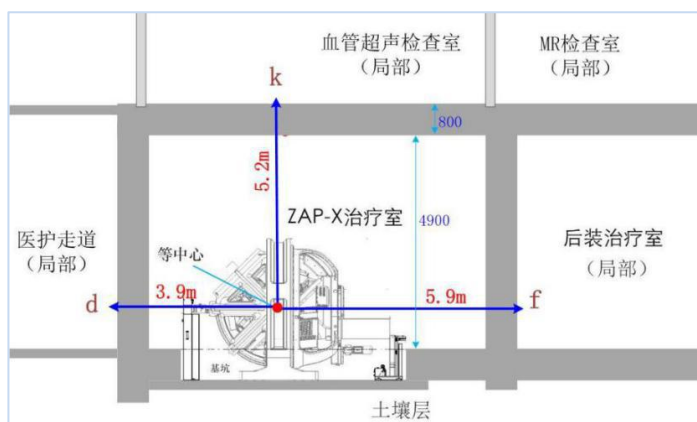


图 11.3-2 ZAP-X 治疗室评价关注点分布图--剖面

表 11.3-1 各关注点辐射剂量率参考控制水平 ($\dot{H}_c$)

场所名称	关注点	点位描述	辐射类型	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	使用因子* (U)	居留因子 (T)	$\dot{H}_{c,\max}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	出束时间 (h/ 周)	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	
									计算值	最终取值*
ZAP-X 治疗室	a	控制室距观察窗 30cm	泄漏+散射 辐射	≤ 100	1	1	2.5	5.9	16.9	2.5
	b	防护门外 30cm (治疗等候区)	泄漏+散射 辐射	≤ 100	1	1/8	10	5.9	136	2.5
	c	西南侧墙外 30cm (ZAP-X 设备间)	泄漏+散射 辐射	≤ 100	1	1/40	10	5.9	678	2.5
	d	西北侧墙外 30cm (医护走道)	泄漏+散射 辐射	≤ 100	1	1/8	10	5.9	136	2.5
	e	东北侧墙外 30cm (新风机房)	泄漏+散射 辐射	$\leq 2^*$	1	1/40	10	5.9	13.6	2.5
	f	南侧墙外 30cm (后装治疗室)	泄漏+散射 辐射	≤ 100	1	1/8	10	5.9	136	2.5
	g	南侧墙外 30cm (后装治疗准备室)	泄漏+散射 辐射	≤ 100	1	1/8	10	5.9	136	2.5
	k	上部房间地板上方 30cm (血管超声检查室)	泄漏+散射 辐射	$\leq 2^*$	1	1	2.5	5.9	0.34	0.34
说明：1、本报告取公众受照剂量约束值 $100 \mu\text{Sv}/\text{年}$，按全年工作 50 周计算，$H_c$ 取值为 $\leq 2 \mu\text{Sv}/\text{周}$。 2、本项目导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 大于 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 时，保守按 $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 执行。										

11.3.3 ZAP-X 运行环境影响分析

(一) ZAP-X 治疗舱周围泄漏辐射水平分析

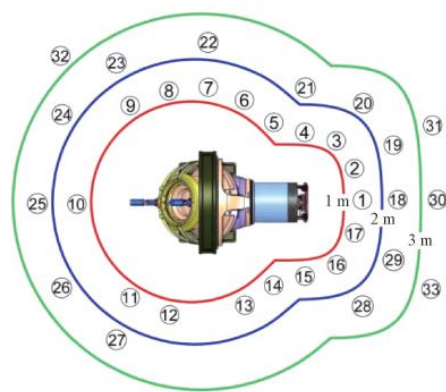
本报告类比国内已安装的同类型设备周围辐射剂量率水平的实测资料（参考文献：马向捷, 李明生, 孙全富, 王成成, 魏晓, 程金生. 新型自屏蔽放射治疗系统辐射屏蔽性能防护检测与评估[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2023, 43(11): 906-912）。

模拟 ZAP-X 治疗过程, 采取 5 个不同的机位持续照射, 检测周围剂量当量率; 执行一次完整典型临床常用治疗计划, 在高度 1.2m 处测量每个检测点位的累积剂量。

照射机位包括: ①初始位置照射(从患者头部向脚部, 斜向下 45° 照射。该设备无法沿患者头部向脚部水平照射); ②从上向下照射(机架角度 0°); ③从下向上照射(机架角度 180°); ④从左向右照射(从患者左侧向右侧照射, 机架角度 270°); ⑤从右向左照射(从患者右侧向左侧照射, 机架角度 90°)。

检测条件: 3MV X 射线, 最大孔径 25mm 准直器, 等中心处剂量率为 1500MU/min, 使用“Lucy”头部模体; 使用经国家计量院校准的 451P 电离室巡检仪。

检测布点及检测结果: 在距离设备表面 1.3m、2.3m、3.3m, 距地面高度 0.6m~1.2m 范围布点 33 个, 检测布点图及检测结果分析见图 11.2.3。



注: 红色为 1 m 线, 蓝色为 2 m 线, 绿色为 3 m 线

图 2 ZAP-X 治疗系统周边 33 个检测点位示意图

检测结果分析:

- 1) 在 1.3 m 处的 17 个检测点位中, 共有 1、2、9、11 和 17, 这 5 个点位的周围剂量当量率大于 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。点位 2 和 17 较高, 分别是 $30.42 \mu\text{Sv/h}$ 和 $30.46 \mu\text{Sv/h}$ 。
- 2) 在 2.3 m 处的 12 个检测点位中, 共有 18、19 和 29, 这 3 个点位的周围剂量当量率较高, 分别是 $11.69 \mu\text{Sv/h}$ 、 $15.83 \mu\text{Sv/h}$ 和 $16.68 \mu\text{Sv/h}$ 。其他点位的周围剂量当量率均小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。
- 3) 在 3.3m 处所有 4 个检测点位的周围剂量当量率均小于 $10 \mu\text{Sv/h}$ 。点位 30、31、32 和 33 检测最大值分别为 $7.24 \mu\text{Sv/h}$ 、 $8.24 \mu\text{Sv/h}$ 、 $3.89 \mu\text{Sv/h}$ 和 $9.54 \mu\text{Sv/h}$ 。
- 4) 执行一次典型治疗, 1.3m 线处累积剂量为 0.10 至 $0.80 \mu\text{Sv}$; 2.3m 线处累积剂量为 0.08 至 $0.34 \mu\text{Sv}$ 。

图 11.2.3 ZAP-X 治疗舱周围辐射剂量水平检测分析图

(二) 本项目 ZAP-X 治疗室屏蔽防护效果预测

拟用 ZAP-X 系统具有自屏蔽设计, 出束状态设备周围辐射来源主要是泄漏辐射和散射辐射。ZAP-X 系统治疗舱结构与头部伽玛刀机架设计相类似, ZAP-X 系统同时具有治疗床旋转式舱盖和升降式舱门, 实现了全屏蔽设计。本报告参考采用 GBZ/T 201.3-2014 推荐

的头部伽玛刀机房屏蔽计算方法，预测计算 ZAP-X 治疗室的屏蔽防护效果。计算公式见式（11.3-1）

$$\dot{H} = \dot{H}_1 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \cdot B \quad \dots\dots\dots (11.3-1), \text{ 式中:}$$

$\dot{H}$ ——屏蔽体外关注点的辐射剂量率， $\mu\text{ Sv/h}$ ； $\dot{H}_1$ ——等中心平面上接近治疗室墙内侧检测值较高的某一参考点的辐射剂量率， $\mu\text{ Sv/h}$ ； R_1 ——参考点到等中心的距离，m； R_2 ——关注点到等中心的距离，m，本项目关注点为相应屏蔽体外 30cm。

根据 ZAP-X 同类型设备运行测试结果，在 5 个不同照射方向出束时，同一监测点位辐射剂量当量率变化较大。本报告保守取靠近关注点的类比检测结果较大的点位为预测参考点。以 ZAP-X 系统等中心作为“参考源点”位置。类比检测资料未给出设备正上方检测数据。考虑 ZAP-X 设备构造和屏蔽结构的左右对称性，本报告推算设备上方未测量区域参考点的泄漏辐射剂量率最大值，见表 11.3-2。

关注点位置见图 11.3.1 和图 11.3.2，关注点辐射剂量计算参数及结果见表 11.3-2。

表 11.3-2 ZAP-X 治疗室周围辐射剂量率计算参数和结果表

关注点	关注点位置	关注点 R_2 (m)	参考点测值 ($\mu\text{ Sv/h}$)	参考点 R_1 (m)	机房屏蔽材料/厚度 (cm)	剂量率贡献值 ($\mu\text{ Sv/h}$)	导出剂量率控制水平 ($\mu\text{ Sv/h}$)
a	控制室观察窗处	5.9	6.78	2.6	观察窗铅玻璃/5	6.84E-1	2.5
					重晶石砖墙/24	5.94E-2	
a'	控制室操作位	8.4	6.78	2.6	铅/0.10	4.04E-1	2.5
b	防护门外 (治疗等候区)	5.0	5.62 (圈 13)	2.6	铅/0.10	1.41 (裸) 8.77E-1	2.5
c	西南侧墙外 (ZAP-X 设备间)	5.8	9.55	2.6	砼/80	1.04E-3	2.5
d	西北侧墙外 (医护走道)	3.9	3.13	3.9	砼/80	7.55E-4	2.5
e	东北侧墙外 (新风机房)	3.7	1.62	2.6	砼/80	4.34E-4	2.5
f	南侧墙外 (后装治疗室)	5.9	7.24	4.8	砼/80	2.60E-3	2.5
g	南侧墙外 (后装治疗准备室)	6.7	9.54	4.8	砼/80	2.66E-3	2.5
k	上部房间 (血管超声检查室)	5.2	11.94	2.6	砼/80	1.62E-3	0.34

说明：1、对于 3MV X 射线，铅屏蔽的半减弱层值（HVT）取 1.45cm；混凝土结构的 1/10 减弱层值（TVT）取 24.5cm。80cm 厚混凝土（砼）屏蔽衰减因子为 5.43×10^{-4} 。10mm 厚铅屏蔽衰减因子为 0.622。24cm 厚重晶石（密度 3.2g/cm^3 ）砖墙折算为 33cm 厚混凝土（密度 2.3g/cm^3 ），其屏蔽衰减因子为 4.50×10^{-2} 。采用 ZF3 型铅玻璃（密度 3.2g/cm^3 ），5.0cm 厚铅玻璃折算为 7.0cm 厚混凝土（密度 2.3g/cm^3 ），其屏蔽衰减因子为 5.18×10^{-1} 。2、屏蔽厚度均不考虑斜射路径。

可见，ZAP-X 治疗室各侧屏蔽墙外和顶板上关注点的辐射剂量率贡献值能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和本报告第 11.3.2 节,表 11-3-1 中关注点导出剂量率参考控制水平有关要求。

（三）辐射工作人员和公众剂量估算及评价

人员的年有效剂量由公式（11.3-2）进行估算：

$$H = \dot{H} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \dots\dots\dots (11.3-2), \text{ 式中:}$$

H —年剂量， $\mu\text{Sv/a}$ ； $\dot{H}$ —参考点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ； U —使用因子； T —居留因子； t —一年照射时间，（h/a）。

ZAP-X 系统运行所致人员受照剂量计算参数和计算结果见表 11.3-3。

表 11.3-3 ZAP-X 系统运行所致人员受照剂量预测表

关注点	位置描述	剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	使用 因子 U	居留 因子 T	有效剂量 (mSv/a)	剂 量 约 束 值 (mSv/a)
a	控制室观察窗处	$6.84\text{E-}1$	1	1	0.164	5.0（职业）
a'	控制室操作位	$4.04\text{E-}1$	1	1	0.097	5.0（职业）
b	防护门外（治疗等候区）	$8.77\text{E-}1$	1	1/8	2.6×10^{-2}	5.0（职业）
c	西南侧墙外（ZAP-X 设备间）	$1.04\text{E-}3$	1	1/40	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
d	西北侧墙外（医护走道）	$7.55\text{E-}4$	1	1/8	1.0×10^{-3}	0.1（公众）
e	东北侧墙外（新风机房）	$4.34\text{E-}4$	1	1/40	1.0×10^{-3}	0.1（公众）
f	南侧墙外（后装治疗室）	$2.60\text{E-}3$	1	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
g	南侧墙外（后装治疗准备室）	$2.66\text{E-}3$	1	1/8	1.0×10^{-3}	5.0（职业）
k	上部房间（血管超声检查室）	$1.62\text{E-}3$	1	1	1.0×10^{-3}	0.1（公众）

说明：1、全年累计出束时间 240h。2、使用因子保守取 1。3、表中预测受照有效剂量结果低于 $1.0 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ 的，按 $1.0 \times 10^{-3}\text{mSv/a}$ 计。

可见，ZAP-X 系统运行对于本治疗室工作人员的附加剂量不超过 0.164mSv/a ，放疗科

其他工作人员受照剂量预计不超过 0.001mSv/a。

ZAP-X 治疗室紧邻后装治疗室。根据《雄安宣武医院（新区投资部分）核技术利用项目环境影响报告表》评价分析，后装治疗室设备运行对于本治疗室停留人员的附加剂量为 0.006mSv/a。操作 ZAP-X 系统工作人员不承担其他放射诊疗工作，叠加后装治疗室泄漏辐射贡献值，预计本项目投入运行后，人员年受照有效剂量不超过 0.170mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

ZAP-X 系统具有整机自屏蔽设计，设备泄漏辐射经过墙体、屋顶和防护门（窗）等建筑材料的屏蔽衰减和距离衰减，对周围公众的辐射照射剂量较小，预计不超过 0.001mSv/a。ZAP-X 治疗室东侧相邻的风机房和上方血管超声检查室停留（公众）人员，可能同时受到后装治疗室泄漏辐射照射。根据《雄安宣武医院（新区投资部分）核技术利用项目环境影响报告表》评价分析，后装治疗室设备运行对于相邻的风机房和上方血管超声检查室公众照射剂量均不超过 0.001mSv/a。

综合考虑，ZAP-X 治疗室位于医技楼地下一层，机房泄漏辐射经过土壤层和大楼建筑屏蔽以及距离衰减，评价范围内公众辐射照射有效剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.1mSv。

11.3.4 ZAP-X 系统运行辐射事故影响分析

（一）可能发生的辐射事故

- 1) 防护门安全联锁装置故障失效，人员误入运行的治疗室而造成 X 射线误照射。
- 2) 工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离治疗室，如果加速器运行，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。
- 3) 加速器控制系统出现故障，照射治疗不能停止，病人受到计划外照射。
- 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，造成辐射伤害。

（二）预防措施

（1）制定自检制度，并严格进行经常性自查，如发现门机联锁、监视器、工作状态指示灯、电离辐射警告标志不够完善或失灵，以及防护门出现故障，应立即补充和修复。定期进行门机联锁装置、工作指示灯检查，防止人员误入。

(2) 加强人员培训，制定规范的操作规程并落实。

(3) 其它异常运行事件和防范措施

a) 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。

b) 停电故障：工作人员采用启动+手动方式打开治疗舱室盖和门，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。

c) 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。医护人员进入加速器室，要保持防护门开启，由于有门机联锁系统，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巡查，确认无误后方可出束。

d) 维修期间的事故：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。

e) 工作人员误入：加速器放疗工作人员须携带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。

f) ZAP-X 治疗舱周围划设 1m 至 3m 宽的禁区，具有明显的标识，开机出束时禁入。ZAP-X 主系统两侧有两个外部近距离传感器。如果某人或某物接近系统，则将触发急停。在恢复系统操作之前，必须将障碍物清离禁区。

11.3.5 电离辐射产生有害气体环境影响分析

1) 臭氧

空气在射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用而产生 O₃ 和 NO_x 等有害气体。加速器室内的臭氧产额 Q_o(mg/h)由式 (11.3-3) 计算。

$$Q_0=0.42D_0RG \quad (11.3-3)$$

式中：

D₀—距靶 1m 处的比释动能率(Gy/min)，取值 15Gy/min；

R—靶与屏蔽室壁的距离(m),取值为 0.8m；

G—空气每吸收 100eV 辐射能量所产生的臭氧分子数，此处取 G 值为 8。

由公式（11.2-3）计算 ZAP 治疗舱内空气中臭氧的产额 Q_0 为 40.3mg/h。

在 ZAP 治疗舱周围 1m 附近，泄漏辐射剂量率只有数十 $\mu\text{Gy/h}$ 。屏蔽体辐射透射因子约为 10^{-6} 。考虑在 ZAP 治疗舱外部贯穿辐射强度大大降低，与屏蔽体内部相比其臭氧产额可忽略。

ZAP 治疗舱安装机械排风装置，以交换舱室内空气。假设加速器产生的臭氧在治疗室内扩散并充分混合。室内臭氧一部分由通风系统排到室外，另一部分自然分解。辐照室空气中臭氧的平均浓度可用式（11.3-4）计算。

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \quad (11.3-4)$$

式中：

$Q(t)$ —为辐照室内 t 时刻臭氧的平均浓度， mg/m^3 ；

Q_0 —为臭氧的辐射化学产额， mg/h ；

V —为 ZAP-X 治疗室体积， m^3 。取值 261m^3 ；

T —为有效清除时间， h 。

如果照射时间很长($t \gg T$)，则：

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \quad (11.3-5)$$

若以 t_v 表示换气一次所需时间 h ；

t_d 表示臭氧的有效分解时间（取 0.83h ），则有效清除时间为：

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (11.3-6)$$

ZAP 治疗室设计换气次数 4 次/h 以上， $t_v=0.25\text{h/次}$ 。由式（11.3-6）计算得 T 为 0.20h 。当 $t \gg T$ 时，臭氧达饱和浓度，由式（11.3-5）得到在正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 0.031mg/m^3 ，低于工作场所中 O_3 浓度限值（ 0.3mg/m^3 ）。室内臭氧通过排风系统由排气筒排放至室外，经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低。排放浓度远低于大气环境质量标准中 O_3 浓度限值（ 0.2mg/m^3 ），对周围大气环境的影响十分轻微。

2) 氮氧化物

在辐解空气多种氮氧化物（ NO_x ）产物中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半，工作场所中的限值大于 O_3 的十倍，大气环境质量标准中的限值与 O_3 相近（ 0.24mg/m^3 ）。因而 NO_x 产生和排放对周围大气环境的影响很小。

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

雄安宣武医院设立辐射安全领导小组，组长全面负责医院辐射安全领导工作，分管副院长担任副组长主管医院放射防护与辐射安全工作，小组成员包括医学工程处、医务部、相关科室领导。辐射安全领导小组对医院辐射安全工作实行统一管理，并接受相关行政主管部门的监管，负责建立辐射安全和放射防护工作管理体系，建立相应规章制度，落实辐射防护措施，建立、健全本单位辐射应急预案，定期开展辐射应急培训，组织应急演练，有效应对辐射事故(件)。

医院现有辐射安全与防护管理机构人员配备和相关人员职责，能够满足对本单位辐射安全与环境保护管理要求，本建设项目投入使用后，将其纳入医院现有管理体系，并根据人事变动情况及时调整人员名单，明确相关人员职责。

12.2 辐射安全管理

(1) 规章制度

医院制定了《放射性同位素与射线装置安全和防护管理制度》，规定了总则、人员安全和防护、场所安全和防护、废旧放射源与放射性废物管理、应急响应与安全保卫等方面的总体要求，制定了《放射源管理制度》《伽玛刀安全和防护管理规定》《放射性物品库安全防范管理规定》《放射诊疗设备检修维护制度》，《放射工作人员管理制度》《放射性同位素与射线装置台账管理制度》《放射诊疗质量保证与控制制度》，《辐射工作场所及环境监测方案》《放射性同位素与射线装置安全防护应急预案》等制度文件，制定了《加速器操作规程》《伽玛刀操作规程》等技术文件。

上述管理制度和应急预案考虑到了医院现有核技术利用项目类别以及相关辐射设备的操作使用和安全防护，制度基本健全，具有一定的可操作性。

本项目拟使用的 1 套 X/ γ 射线放射治疗系统 (TaiChiPro) 是现有医用加速器治疗装置基础上集成伽玛刀治疗模块和 CBCT 成像模块的多模态一体化放疗设备，其安全管理上需兼顾加速器和伽玛刀特性。拟使用的 1 套头颈部 X 射线放射外科治疗系统 (ZAP-X)，具有整机自屏蔽设计，治疗技术理念先进，自动化程度高。因此，医院拟在项目投入使用前，在现有放射治疗管理制度和操作规程中将补充多模式一体化放疗设备和 ZAP-X 系统专用管理制度，主要包括设备操作规程、工作场所安全管理、设备

与场所辐射监测、辐射事故应急等内容。

（2）辐射工作人员管理

本项目运行初期拟从首都医科大学宣武医院调派辐射工作人员，承担放射治疗科诊疗工作，后期通过人才引进和公开招聘充实工作岗位。医院制定辐射工作人员培训计划，明确培训对象、内容、周期、方式以及考核办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

辐射工作人员已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。医院将及时安排新增辐射工作人员和辐射防护负责人在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台上学习本项目相关岗位科目知识，并在辐射安全与防护培训平台上网络报名参加本项目相关考核，考核合格，取得培训合格证书持证上岗。

（3）档案管理

医院已建立放射工作人员个人剂量档案，包括个人基本信息、工作岗位，档案信息和保存记录等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定执行。同时现有工作人员已开展个人剂量监测及职业健康检查，并按照要求管理个人档案。

（4）年度评估

医院制定有《辐射安全和防护状况年度评估制度》，明确了年度评估报告包含内容，并指定专人负责填写和上报，要求如实填写医院辐射防护管理情况，并在每年1月31日前将上年度报告提交在全国核技术利用辐射安全申报系统上。本项目建成后，将纳入医院整体辐射防护日常管理中。

（5）核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任感，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求建设单位树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事单位核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。

医院已建立了辐射环境安全管理体系，明确了医院各层次人员的职责、不断识别医院内部核安全文化的薄弱处并加以纠正，落实两个“零容忍”，即对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”，将核安全文化的建设贯彻在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

12.3 辐射环境监测

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871—2002）《辐射环境监测技术规范》（HJ61—2021）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128—2019）有关规定，医院应制定相应的辐射监测计划，包括：

①项目竣工后 3 个月内委托有资质的单位对项目周围环境辐射水平进行验收监测。

②委托有资质的单位定期对项目周围环境辐射水平进行监测周期为 1 次年，并于每年 1 月 31 日前在全国核技术利用辐射安全申报系统上提交上一年度的评估报告。

③医院定期（1 次/季度）自行对全院辐射工作场所环境辐射水平进行监测，并作好监测记录，监测数据存档。配备满足监测需要的辐射检测设备，具体见表 12.3-1。

④所有辐射工作人员均应佩戴个人剂量计，并定期（每 3 个月 1 次）送有检测资质机构进行监测，建立个人剂量监测档案。

⑤所有辐射工作人员上岗前均应进行职业性健康体检，以排除职业禁忌症。开展辐射工作后，应定期开展职业健康体检（不少于 1 次/2 年），并建立个人职业健康档案。

本项目辐射监测计划表见表 12.3-1。监测点位可参考本报告辐射工作场所辐射剂量率预测关注点进行布设。

表 12.3-1 本项目辐射监测计划

监测类别	工作场所	监测项目	监测频次	监测设备配置计划
自行监测	加速器3室（X/γ射线放射治疗系统（TaiChiPro）	X-γ辐射剂量率	工作场所周围辐射环境监测，每季度一次	1台X-γ辐射剂量率仪（放疗科公用）；1套固定式X-γ辐射剂量率仪；2台个人剂量监测报警仪
	ZAP-X治疗室	X-γ辐射剂量率	工作场所周围辐射环境监测，每季度一次	1台X-γ辐射剂量率仪（放疗科公用）；2台个人剂量监测报警仪
委托监测	加速器3室（X/γ射线放射治疗系统（TaiChiPro）	X-γ辐射剂量率	工作场所周围辐射环境监测，每年一次	
	ZAP-X治疗室	X-γ辐射剂量率	工作场所和周围辐射环境监测，每年一次	
监测范围和监测布点说明：应监测屏蔽墙、防护门、观察窗外，以及楼上、楼下相邻区域和通风、线缆贯穿屏蔽结构附近区域。监测点位布设可参考本报告表11评价关注点。				

12.4 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等有关规定，建设单位应制定辐射事故应急预案，辐射事故应急预案应包括以下内容：

①应急机构和职责分工；②应急人员的组织、培训以及应急；③可能发生辐射事故类别与应急响应措施；④应急方案已明确应急的具体人员和联系电话；⑤辐射事故应急措施和处理程序；⑥辐射事故的调查和报告；⑦人员培训和演习计划；⑧预案发布；⑨应急联系电话；⑩应急响应流程图。

一旦医院发生辐射事故，立即采取应急措施关闭辐射源，人员尽快脱离强辐射场，封锁辐射工作场所，立即向医院应急指挥领导小组报告，启动医院辐射事故应急预案，2小时内医院填写《辐射事故初始报告表》，向雄安新区生态环境局和公安部门报告，造成人员超剂量照射的，向政府卫健部门报告。

为使事故发生时能有效应对，医院每年至少须进行一次应急人员的演习培训，模拟事故发生时应进行的流程和应采取的措施，当辐射事故发生时能熟练、沉着、有效应对，将事故的危害降到最低。

12.5 辐射活动能力评价

对照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部第18号令）对使用射线装置和放射性同位素的单位提出的要求，本项目与“18号令”要求的对照情况见表12.5-1。

表 12.5-1 本项目与 18 号令要求的对照检查情况

序号	环境保护部第 18 号令有关要求	本项目情况	符合情况
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，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。 射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	放射性工作场所入口设置有电离辐射警示标识、安全联锁、报警装置或者工作信号，场所内安装观察窗或视频监控装置，防止人员受到意外照射。	符合
2	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、	建设单位将制定辐射环境监测计划，每年委托有资质的单位对辐射工作场所辐射水平	符合

	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。	进行监测，并出具监测报告；定期进行自主监测，并建立辐射环境自行监测记录或报告档案，妥善保存，以备主管部门的监督检查。	
3	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。	建设单位制定辐射安全管理制度，依法对本单位使用放射性同位素和射线装置安全和防护工作进行年度评估，编写年度评估报告，于每年1月31日前报原发证机关。	符合
4	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。	建设单位将制定辐射安全管理制度，要求所有辐射工作人员须参加生态环境部门认可的辐射安全和防护培训，经过考核合格方允许上岗。	符合
5	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。	建设单位将制定辐射安全管理制度，制定辐射监测计划，进行个人剂量监测，建立个人剂量监测档案；定期开展辐射工作人员健康检查，建立辐射工作人员个人健康档案。	符合

从表12.5-1对比内容可知：对照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求，从辐射安全管理角度考虑，建设单位具备从事放射性活动的技术能力。

对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的规定，针对医院从事申请活动种类的能力进行综合分析评价，结果见下表：

表 12.5-2 辐射安全许可有关要求与本项目评价结果对照一览表

序号	《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求	本项目评价结果
1	使用Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类放射源，使用Ⅰ类、Ⅱ类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有1名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有1名具有大专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；	建设单位设立辐射安全与环境保护管理机构，配备相应资质的专业人员，满足管理要求。
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	建设单位承诺从事辐射工作的人员参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，考核合格者上岗。

3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	设计满足要求
4	放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	设计满足要求
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。	设计满足要求
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。	建设单位制定有辐射安全管理制度和相关操作规程，制定有岗位职责、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。
7	有完善的辐射事故应急措施。	建设单位制定有辐射事故应急预案，包括各辐射工作场所制定辐射事故应急措施。
8	产生放射性废气、废液、固体废物的，应具有确保放射性废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	设计满足要求
9	使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有 1 名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。	建设单位计划配备相应技术人员，并制订相应的质保体系。

由表12.5-2分析内容可知，对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求，从辐射安全管理角度考虑，建设单位具备从事放射性活动的技术能力。

12.6 本项目竣工环境保护验收内容（建议）

本项目竣工环境保护验收要求见下表：

表 12.6-1 环境保护竣工验收一览表

序号	验收内容	验收要求
1	环境保护相关管理文件	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、验收监测报告。
2	环境管理制度、应急管理措施	按照本报告表第 12.2 节和 12.4 节要求落实。
3	辐射工作人员管理	①本项目辐射工作人员应具备相应的岗位技能；②医

		院制定有个人剂量监测管理制度，每 90 天对放射工作人员进行个人剂量监测；③制定辐射工作人员职业健康体检制度。上岗前辐射工作人员职业健康体检，资料存档备查；④辐射工作人员参加辐射安全知识培训，考核合格后上岗。	
4	辐射监测仪器和放射防护用品	辐射监测仪器的种类和数量至少达到本报告中表 12.3-1 配置计划要求落实。	
5	辐射工作场所建筑布局 and 人流、物流路径	各辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致，人流、物流路线合理，满足辐射安全管理要求。	
6	辐射屏蔽设计及安全防护措施	①辐射工作场所屏蔽防护按环评报告中表 10 有关章节描述内容要求落实到位，屏蔽体外剂量率控制水平满足规范要求；②工作场所保持良好的通风；③防护门上方设置工作状态指示灯、电离辐射警告标识及中文说明，并且指示灯正常工作；④放疗机房安全联锁装置、紧急停止按钮设置满足设计要求。	
7	辐射监测	制定有辐射监测管理制度，落实辐射监测计划，监测档案记录完整。每年委托有资质单位对工作场所周围环境进行工作场所和周围环境辐射监测，衰变池排放废水辐射监测。	
8	剂量限值 and 剂量约束管理目标值	剂量限值满足 GB18871 规定。剂量约束管理目标值：辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv；公众成员年有效剂量管理目标值不超过 0.1mSv。	
9	废气治理	两处放射治疗室分别设置通风系统，废气引至所在建筑楼顶高处排放。	
10	固体废物治理	应有放射性固体废物安全管理制度，具体要求：①有 X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）放射源退役处置方案，与供源单位签订委托收贮协议文件；②直线加速器拆卸置换的废靶件、活化零部件等，妥善保管，及时交设备厂家收回。	

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

雄安宣武医院位于河北省雄安新区河北雄安新区启动区西里路一号，是雄安新区首家以三甲医院标准建设的大型综合医院。2023 年 10 月 16 日，雄安宣武医院（一期）开诊试运行。雄安宣武医院二期工程即“雄安宣武医院（新区投资部分）项目”规划建筑面积 15.8 万平方米，医疗工作区建设内容包括：门诊 2 号楼、住院 3 号楼、住院 4 号楼、医技 3 号楼、医技 4 号楼，将建设医学影像科、放射治疗科、核医学科、介入中心等辐射工作场所，目前工程正在建设中。2023 年 4 月，河北雄安新区管理委员会公共服务局已批复《雄安宣武医院（新区投资部分）核技术利用项目”环境影响报告表》（批复文号：雄安环表〔2023〕3 号）。

二期项目建设的放射治疗科布置于医技 3 号楼地下一层。医院现计划对其放射治疗设备配置方案进行细化调整，变更 2 台设备配置计划，包括：（1）原计划安装的 1 套头部伽玛刀放疗系统调整为 1 套头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X），改造利用已建伽玛刀机房；（2）加速器 3 室原计划安装 1 台 6/10MV 电子直线加速器，现调整为 1 套 X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）。两台设备均安装于专用治疗室内。治疗工作场所配套有控制室、设备间等附属工作用房。

头颈部 X 射线放射外科治疗系统（ZAP-X）治疗单元采用全屏蔽一体式构造，使用 1 台 3MV 直线加速器，为 II 类射线装置。X/γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）为多模式一体化放疗设备，包含 1 台 6MV 直线加速器，为 II 类射线装置，包含 1 套伽玛刀治疗模块，使用 18 枚 I 类 ^{60}Co 放射源，初装源最大活度 $8.88 \times 10^{14} \text{Bq}$ （24000Ci）。

由于雄安宣武医院（新区投资部分）核技术利用项目原定建设内容中 2 台放射治疗设备的辐射源项发生重大变动，本报告针对变更建设内容重新开展环境影响评价。

13.1.2 实践正当性

放射性同位素与射线装置应用于放射诊断、放射治疗和核医学诊疗是临床医学的重要而又先进的技术手段。本项目建设运营以后，将为雄安新区及区域居民提供优质的放射治疗技术医疗服务，具有明显的社会效益，采取辐射防护屏蔽和安全管理措施后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害。项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中辐射防护“实践

的正当性”的原则与要求。

13.1.2 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》列出“鼓励类”中，“三十七、卫生健康，1. 医疗服务设施建设……”类别，符合国家产业政策。

13.1.3 辐射环境现状

项目所在地空气吸收剂量率处于正常环境本底水平，辐射环境现状无异常，项目所在区域辐射环境现状质量良好。

13.1.4 项目选址和布局合理性

放射治疗科位于医技 3 号楼地下一层，下方无建筑。拟用放疗设备安置在专用机房内，放射治疗场所配套有控制室、设备间等附属工作用房。场所选址已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，以及人员流动性大的商业活动区域。本项目经采取屏蔽和安全防护措施后，项目运行对周围环境、辐射工作人员和公众的辐射影响是可以接受后。因此，本项目选址和布局合理。

13.1.5 辐射安全与防护分析结论

（一）辐射安全管理分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198—2021）规定，本项目对拟用辐射工作场所进行分区管理，限制无关人员进入控制区，防止人员受到不必要的辐射照射。

（二）屏蔽体防护

本项目机房设计了足够厚度的屏蔽体，机房四周墙体和楼板采用混凝土结构建造，可保证房间屏蔽体外周围剂量当量率满足辐射防护的要求；各屏蔽体的穿墙管线采用多种穿越方式（如 U 形、Z 形）等，对屏蔽体的防护能力削弱甚微，不影响墙体的屏蔽防护效果；铅防护门的生产和安装均交有资质的厂家负责，以保证防护门搭接处的屏蔽能力；施工时保证施工质量。

（三）辐射安全与防护措施

本项目拟配置的设备自身安全性能较好；机房设置多重联锁、急停按钮、监控系统、对讲系统；机房内设置固定式剂量报警装置，具有声光报警功能；防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，与设备运行状态联锁，并设置中文说明；防护门上设置电离辐射警示标识；防护门内外设置开门按钮，并设置手动开门装置；防护门处设置红外线防挤压装置。

（四）场所通风

放射治疗机房设置机械通风系统，机房的废气经排风管道引至室外排放。⑤医院配置个人剂量报警仪、X- γ 辐射仪等监测仪器，并配置设备质控检测仪器，保证设备、放射工作人员、公众成员的安全。

（五）退役放射源管理

X/ γ 射线放射治疗系统（TaiChiPro）的伽玛聚焦头内安装 18 枚 I 类 ^{60}Co 放射源。当放射源活度不能满足治疗需要时，更换退役的放射源由供源单位家进行回收。

综上，建设单位拟采取的辐射安全与防护措施落到实处后，项目的建设能够满足辐射防护的要求。

13.1.6 环境影响分析

①根据预测结果，两处辐射工作场所的放射治疗设备运行时机房屏蔽体外剂量当量率满足本报告有关剂量率参考控制水平要求，周围有人员可能停留区域辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。机房建筑放射防护设计满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198—2021）有关屏蔽防护要求。

②本项目辐射工作人员和公众成员的年附加有效剂量均满足本项目建议的有效剂量管理目标值（辐射工作人员 5mSv/a ，公众成员 0.1mSv/a ）。本项目运行后辐射工作人员和公众成员受照剂量不超过《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，本项目建设对周围辐射环境的影响有限，能为环境所接受。

③本项目放射治疗机房均建设机械通风系统，换气次数不小于 4 次/h，可保持机房内良好的通风，排放口设在所在建筑顶部高处排放。放射治疗设备运行产生的有害气体通过机房通风装置排出室外经过大气稀释扩散后对周围环境影响较小。

④本项目运行不产生含放射性废水和含放射性废气，加速器靶材及其他部件可能存在感生放射性物质。维修拆卸的废加速器靶材及其他部件应进行放射性水平检测。本项目更换的废靶件由加速器供应商回收，不在医院存储，因此不会对周围环境产生污染。

13.1.7 辐射安全管理

雄安宣武医院为新建医疗机构，目前处于分步建设阶段。医院成立了辐射防护管理组织，各项规章制度、操作规程、应急处理措施基本健全、具有可操作性。医院将根据二期项目核技术利用内容，调整充实医院辐射防护管理机构人员，完善放射治疗临床应用相关辐射安全和放射防护管理制度，补充完善辐射事故应急预案，加强日常

应急响应的准备工作及应急演练。医院应严格执行各项规章制度执行，放射工作人员需经辐射防护与安全培训并考核合格后才能上岗，在工作时正确佩戴个人剂量计，定期检测并进行健康体检。医院还应在今后的工作中，不断完善相关管理制度，加强管理，杜绝辐射事故的发生。

综上所述，雄安宣武医院（新区投资部分）项目变更使用 2 台放射治疗设备，符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”要求，项目选址可行，平面布局合理。在落实本报告提出的辐射防护措施和管理安全措施后，项目环境风险可控，能实现辐射防护安全目标及污染物的达标排放。因此，从辐射安全和环境保护角度分析，本项目建设是可行的。

13.2 建设单位承诺

（1）遵守有关放射性污染防治和放射诊疗的法律、法规 and 规定，严格执行管理制度，落实管理责任。

（2）配备满足工作需要的，具有相应放射诊疗资格的医技工作人员。组织从事辐射工作的人员参加辐射安全法律法规和放射防护知识培训，考核合格方安排上岗。定期组织在岗放射工作人员参加辐射安全知识继续教育。

（3）配备满足工作需要的辐射监测设备和个人剂量计，落实辐射监测制度，发现监测结果异常，及时查找原因，进行整改。

（4）按照国家有关放射性同位素转让管理规定购置放射源，处置退役放射源。

（5）加强工程建设施工质量管理，确保放射工作场所建筑工程质量。

（正文结束）

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