核技术利用建设项目

新增使用Ⅱ类射线装置项目

环境影响报告表

建设单位：北京四惠中医医院有限责任公司

二〇二四年九月

核技术利用建设项目

新增使用Ⅱ类射线装置项目

环境影响报告表

建设单位名称：北京四惠中医医院有限责任公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号

邮政编码：100124　　　　　　　　　联 系 人：李小龙

电子邮箱：bjshzy@126.com　　　　　　联系电话：15311117097

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td>建设项目名称</td><td colspan="5">新增使用II类射线装置项目</td></tr>
<tr><td>建设单位</td><td colspan="5">北京四惠中医医院有限责任公司</td></tr>
<tr><td>法人代表</td><td>龙启浪</td><td>联系人</td><td>李小龙</td><td>联系电话</td><td>15311117097</td></tr>
<tr><td>注册地址</td><td colspan="5">北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号</td></tr>
<tr><td>项目建设地点</td><td colspan="5">北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号北京四惠中医医院综合楼二期负一层东南部</td></tr>
<tr><td>立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="2">/</td></tr>
<tr><td>建设项目总投资（万元）</td><td>4500</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>820</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>18.2%</td></tr>
<tr><td>项目性质</td><td colspan="3">☑新建 □改建 □扩建 □其它</td><td>占地面积（㎡）</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="10">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>□销售</td><td>□I类 □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td>□I类（医疗使用） □II类 □III类 □IV类 □V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>□生产</td><td>制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td>/</td></tr>
<tr><td>□使用</td><td>□乙 □丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>□生产</td><td>□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>□销售</td><td>□II类 □III类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td>☑II类 □III类</td></tr>
<tr><td>其它</td><td colspan="2">/</td></tr>
</table>

1.1医院概况

北京四惠中医医院有限责任公司（以下简称“四惠中医院”）是注册地址为北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，营业执照见附件 1。北京四惠中医医院成立于 2016 年，是一家现代化二级中医医院，2022 年 12 月正式纳入北京市医疗保险定点医疗机构，是北京市中西医结合肿瘤会诊中心、北京市焦虑抑郁研究防治示范基地。

四惠中医院以“聚全国名医，为人民服务”的发展理念，汇聚了国医大师许润三、名老中医金哲、王素梅、金明等多位名医；以中国医学科学院肿瘤医院、中国医学科学院肿瘤医院、北京协和医院、中国中医科学院望京医院、中国中医科学院广安门医院、北京医院、北京中医药大学附属护国寺中医医院、北京中医药大学东直门医院等众多知

名三甲医院中西医专家，共同在诊疗服务、学术传承、技术推广、经验方转化等领域展开全面合作。四惠中医院以中西医结合治疗肿瘤为特色，是北京市中西医结合肿瘤会诊中心，专家资源较为丰富。目前，医院门诊专家 30 余位，其中国家级名中医和各学科带头人 10 余位，高级职称专家比例在 90%以上。四惠中医院全院建筑面积 11000 平方米，院内设有肿瘤科、微创介入科、中医内科、乳腺外科、中西医妇科、儿科、骨科、康复理疗科、针灸科、皮肤科、超声科、中西医眼科等 20 余个临床科室，开设床位 100 余张，住院医生团队、护理团队、医助团队、药剂团队和功能科室团队健全。

北京四惠中医医院位于北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院院区东侧为盛泰大厦，南侧和西侧均为菩提北路，北侧为惠河南街，四惠中医院地理位置见附图 1，医院院区平面布局和周边关系示意图见附图 2。

本项目四惠中医院计划新增 1 台医用电子直线加速器和 1 台螺旋断层调强放射治疗系统（TOMO）开展肿瘤放射治疗工作，项目的建设地点位于医院综合楼二期负一层的东南部区域。四惠中医院计划新成立“放射治疗科”，本项目 2 台放射治疗设备的使用科室均为放射治疗科，北京四惠中医医院的组织架构图见图 1.1。

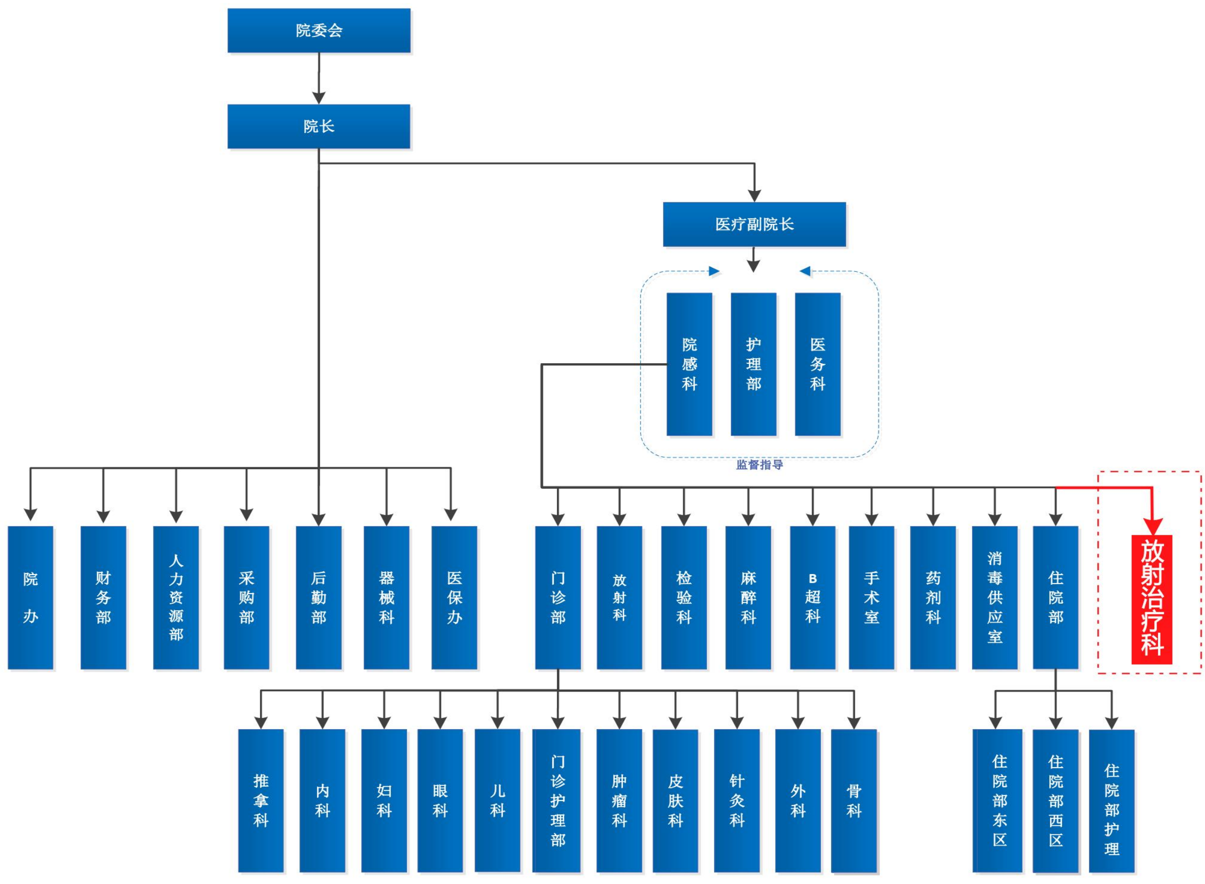


图 1.1 北京四惠中医医院组织架构

1.2 核技术应用情况

北京四惠中医医院有限责任公司目前持有北京市朝阳区生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[E0492]，有效期至 2028 年 7 月 11 日，见附件 2），许可种类和范围为：使用III类射线装置。四惠中医院已获许可使用的射线装置见表 1-1；

表 1-1　四惠中医院已许可使用的射线装置（III类 2 台）

序号	装置名称	类别	数量	型号	使用场所	活动种类
1	数字化 X 射线摄影系统	III	1 台	uDR263e	DR 室	使用
2	X 射线计算机体层摄影设备	III	1 台	uCT520	CT 室	使用

1.3 医院近几年履行环保审批手续情况

四惠中医院已严格按照辐射安全法律法规的要求办理了环评、验收和辐射安全许可手续，四惠中医院已开展的辐射类建设项目情况见表 1-2。

表 1-2 四惠中医院已开展的辐射类建设项目

序号	项目名称	登记表备案号	项目进展情况	备注
1	使用III类射线装置项目	202011010500004035	已建设完成，已获得使用许可	2 台III类设备

1.4 辐射安全管理情况

（一）辐射环境安全管理机构

为了保证射线装置的安全使用和有效管理，保障辐射工作人员的健康与安全，北京四惠中医医院成立了辐射安全领导小组。由执行院长担任组长，副院长任副组长，放射科、医务部、安全部、器械科相关人员为成员，并由医务部专职人员负责辐射安全的具体管理工作。医院辐射安全领导小组人员组成见表 1-3。

表 1-3 北京四惠中医医院辐射安全领导小组组成

人员类别	姓名	性别	职务或职称	工作部门	专/兼职
组长	刘文成	男	执行院长	院办	兼职
副组长	康文博	男	副院长	院办	兼职
成员	高志宏	女	医师	放射科	兼职
成员	李恒	男	医师	放射科	兼职
成员	李明明	男	主任	医务部	专职
成员	刘国义	男	主任	安全部	兼职
成员	赵洪彬	男	科长	器械科	兼职

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

四惠中医院已制定各项辐射安全管理规章制度、监测计划、操作规程等，各项规章制度均已得到严格落实，辐射安全管理情况良好。北京四惠中医医院每年均对医院辐射工作的安全和防护状况进行总结评估，并编写年度评估报告，于每年 1 月 31 日前按时上报生态环境主管部门。

（三）辐射工作人员培训

四惠中医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员培训考核制度。目前，医院从事放射性工作的职业人员共 4 人，辐射专职人员 1 人，均已通过辐射安全与防护考核。本项目新增的辐射工作人员均须网上报名参加辐射安全与防护考核（考核类别为“放射治疗”），通过考核后方可上岗从事辐射工作。

（四）个人剂量监测和工作场所监测情况

（1）个人剂量监测

四惠中医院严格按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）、《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第 55 号）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部 18 号令）的要求，建立辐射工作人员个人剂量档案并终生保存。

四惠中医院目前已委托北京市朝阳区疾病预防控制中心开展个人剂量监测工作，所有辐射工作人员均配置了个人剂量计，监测频次为 1 次/季度。医院已安排专人负责个人剂量计收发、送检和个人剂量监测报告的存档工作，个人剂量档案齐全。根据医院 2023 年度个人剂量监测报告（见附件 3），2023 年度医院共有 5 名辐射工作人员参与了个人剂量监测（其中范文净现已脱离放射工作岗位），辐射工作人员的个人有效剂量最大为 0.068mSv，个人剂量监测结果未见异常。

四惠中医院今后将继续加强放射工作人员个人剂量监测的管理，如果某位职业人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值 1/4 的，须对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；如果年度个人剂量监测结果高于剂量约束值，追查超标原因，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。

（2）工作场所环境辐射水平监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，四惠中医院每年委托有资质单位开展工作场所环境辐射水平监测，监测数据均记录存档。2024 年 4 月，四惠中医院委托天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司对医院 CT 室和 DR 室进行了环境辐射水平监测，检测结果均符合国家相关标准的要求，2024 年度委

托检测报告见附件 4。

（五）辐射监测仪器和防护用品配备情况

四惠中医院目前配备有铅衣、铅围裙、铅帽等个人防护用品，详见表 1-4。

表 1-4 四惠中医院现有个人防护用品配备情况

名 称	数 量	名 称	数 量
铅衣	2	铅帽	2
铅手套	1	铅眼镜	1
铅围裙	2	铅围脖	2
铅屏风	0	个人剂量计	4

（六）辐射应急措施

北京四惠中医医院有限责任公司已根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条，原国家环境保护总局《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》(环发[2006]145 号)的规定，制定了《辐射事故应急处理预案》，医院自从事辐射工作以来，未发生过辐射应急情况。医院每年均定期开展辐射事故应急演练和应急培训。

1.6 本项目概况

1.6.1 项目背景

北京四惠中医医院以中西医结合治疗肿瘤为特色，是北京市中西医结合肿瘤会诊中心。北京市中西医结合肿瘤会诊中心是北京市中医管理局批准设立的，北京四惠中医医院作为建设单位，负责会诊中心的建设与管理工作。

四惠中医院目前的肿瘤治疗手段主要依靠手术和药物治疗，缺少必要的放射治疗手段，导致某些复杂肿瘤治疗的不彻底，无法取得理想疗效。为保障肿瘤患者的放射治疗需求，提升对各类肿瘤疾病的综合治疗能力，四惠中医院现计划新增 1 台医用电子直线加速器和 1 台螺旋断层调强放射治疗系统（TOMO）开展肿瘤放射治疗工作，以求为各类肿瘤患者提供更完善、更科学的肿瘤综合治疗服务。

1.6.2 项目建设内容

本项目四惠中医院拟在医院综合楼二期负一层东南部新建 1 间加速器机房和 1 间 TOMO 机房，拟在加速器机房内新增使用 1 台医科达 Synergy 型医用电子直线加速器，拟在 TOMO 机房内新增使用 1 台安科锐 Radixact X5 型螺旋断层放射治疗系统（以下简

称“TOMO 设备”），用于开展放射治疗工作。本项目医用电子直线加速器和 TOMO 设备的主要技术参数详见表 1-5。

表1-5 本项目医用电子直线加速器主要技术参数

设备名称	医用电子直线加速器	螺旋断层放射治疗系统（TOMO）
厂家型号	医科达 Synergy 型	安科锐 Radixact X5 型
治疗模式	可开展常规放疗和调强放疗	螺旋断层放射治疗
射线种类和能量	X 射线：最大能量 6MV 电子线：最大能量 15MeV	放射治疗 X 射线：最大能量 6MV 影像引导 X 射线：最大能量 3.5MV
最大输出剂量率	X 射线：600cGy/min（1m 处） 电子线：600cGy/min（1m 处）	放射治疗时：850cGy/min（85cm 处） 影像引导时：45cGy/min（85cm 处）
泄漏辐射率	＜0.1%	＜0.1%
最大射野尺寸	40cm×40cm（SAD=100cm）	40cm×5cm（SAD=85cm）
使用场所	综合楼二期负一层加速器机房	综合楼二期负一层 TOMO 机房
其他	自带 CBCT 用于实时影像引导； CBCT 球管参数 130kV/500mA	主射束方向配备铅屏蔽板，铅板随设备机架同步旋转，防护厚度为 15.2cmPb

本项目性质为新建，根据《关于发布<射线装置分类办法>的公告》（原环保部、原卫计委公告 2017 年第 66 号），本项目拟新增的医用电子直线加速器和 TOMO 设备均属于II类射线装置。根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《建设项目环境影响评价分类管理名录》的相关要求，本项目应开展环境影响评价，并编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。本项目医用电子直线加速器的 CBCT 作为加速器的配套系统，也一并进行简要评价。

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 年生态环境部部令第 9 号）的要求，核工业北京化工冶金研究院符合第九条第一款规定，不属于该条第二款所列单位，无该条第三款所列情形，核工业北京化工冶金研究院有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受北京四惠中医医院有限责任公司委托，核工业北京化工冶金研究院组织技术人员对本项目进行了现场踏勘和辐射环境现状监测，收集相关技术资料，整理编制完成了本项目环境影响报告表。评价重点是加速器和 TOMO 设备在运行期间对职业人员、周围公众和环境所产生的辐射影响。

1.6.3 项目选址与周围环境

北京四惠中医医院位于北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院院区

东侧为楼外道路和盛泰大厦，南侧为菩提北路和空地，西侧为菩提北路、球场和停车场区域，北侧为惠河南街和通惠河。北京四惠中医医院地理位置图详见图 1.2，医院平面布局和周边关系示意图详见图 1.3。

图 1.2 北京四惠中医医院地理位置示意图

图 1.3 医院院区平面布局和周边关系示意图

本项目的建设地点位于四惠中医院综合楼二期负一层，综合楼为地上 4 层、地下一层建筑物。目前，综合楼二期负一层均为空置场地，本项目拟建加速器机房和 TOMO 机房均位于综合楼二期负一层东南部区域，加速器机房和 TOMO 机房相邻，各机房建成后：加速器机房东侧为 TOMO 机房，南侧为土层，西侧为楼梯间和分诊大厅，北侧为加速器控制室、水冷机房和过道，楼上均为设备间，地下为土层；TOMO 机房东侧为 TOMO 系统室，南侧为土层，西侧为加速器机房，北侧为 TOMO 控制室、机械室和过道，楼上均为设备间，地下为土层。

本项目加速器机房和 TOMO 机房均位于综合楼最底层的东南角区域，场所选址相对独立，机房南侧、东侧和地下均为土层，机房周围毗邻区域没有人员居留因子较大的用室。本项目工作场所的选址已充分考虑了周围区域的辐射安全与防护，工作场所布局较为合理，预计各放射治疗机房在采取了有效的实体屏蔽措施后，对周围公众人员和环境造成的辐射影响将非常有限。医院综合楼负一层现状平面图见图 1.4，本项目加速器机房和 TOMO 机房建成后综合楼负一层平面布局图见图 1.5。

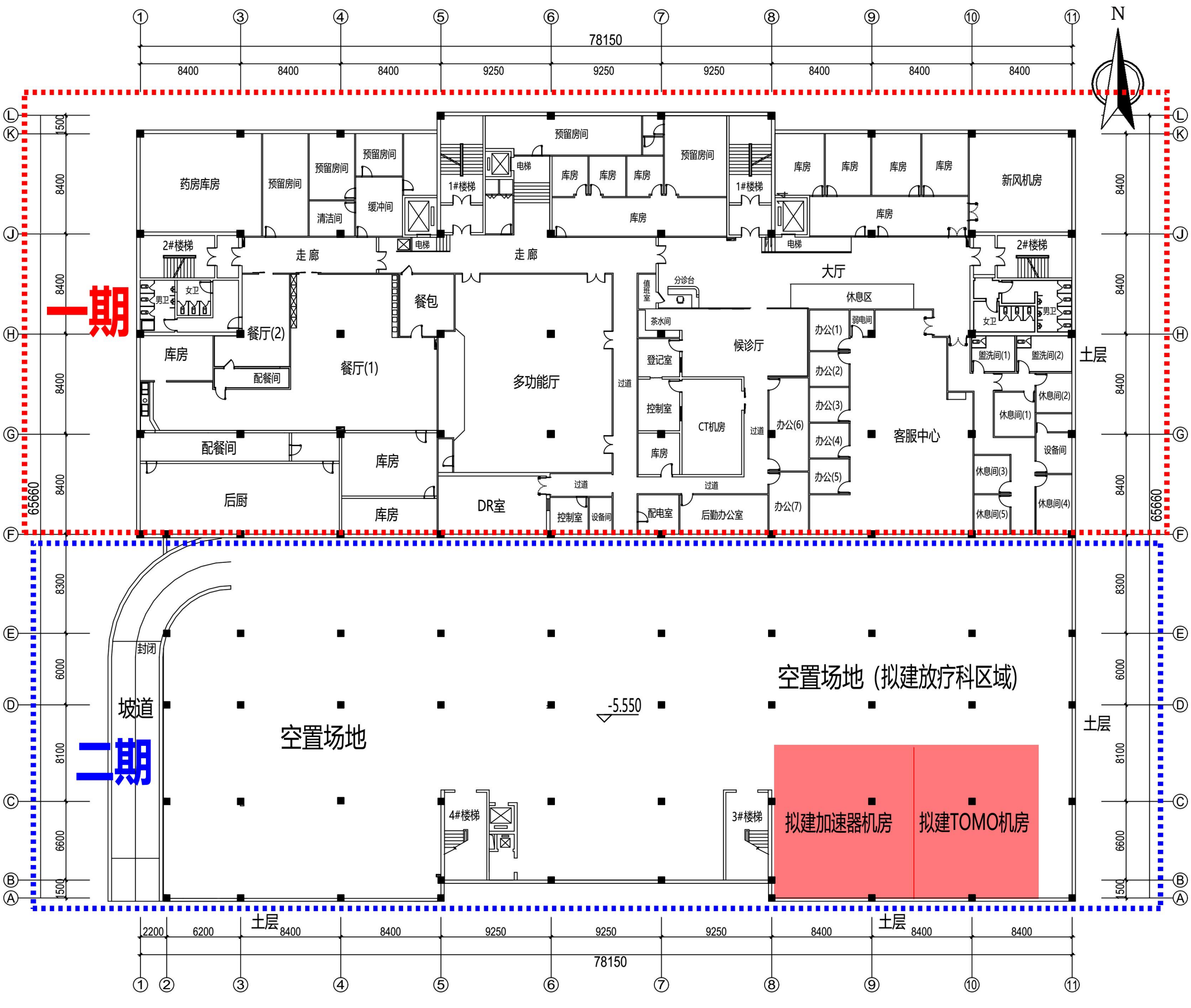


图 1.4 医院综合楼负一层现状平面图

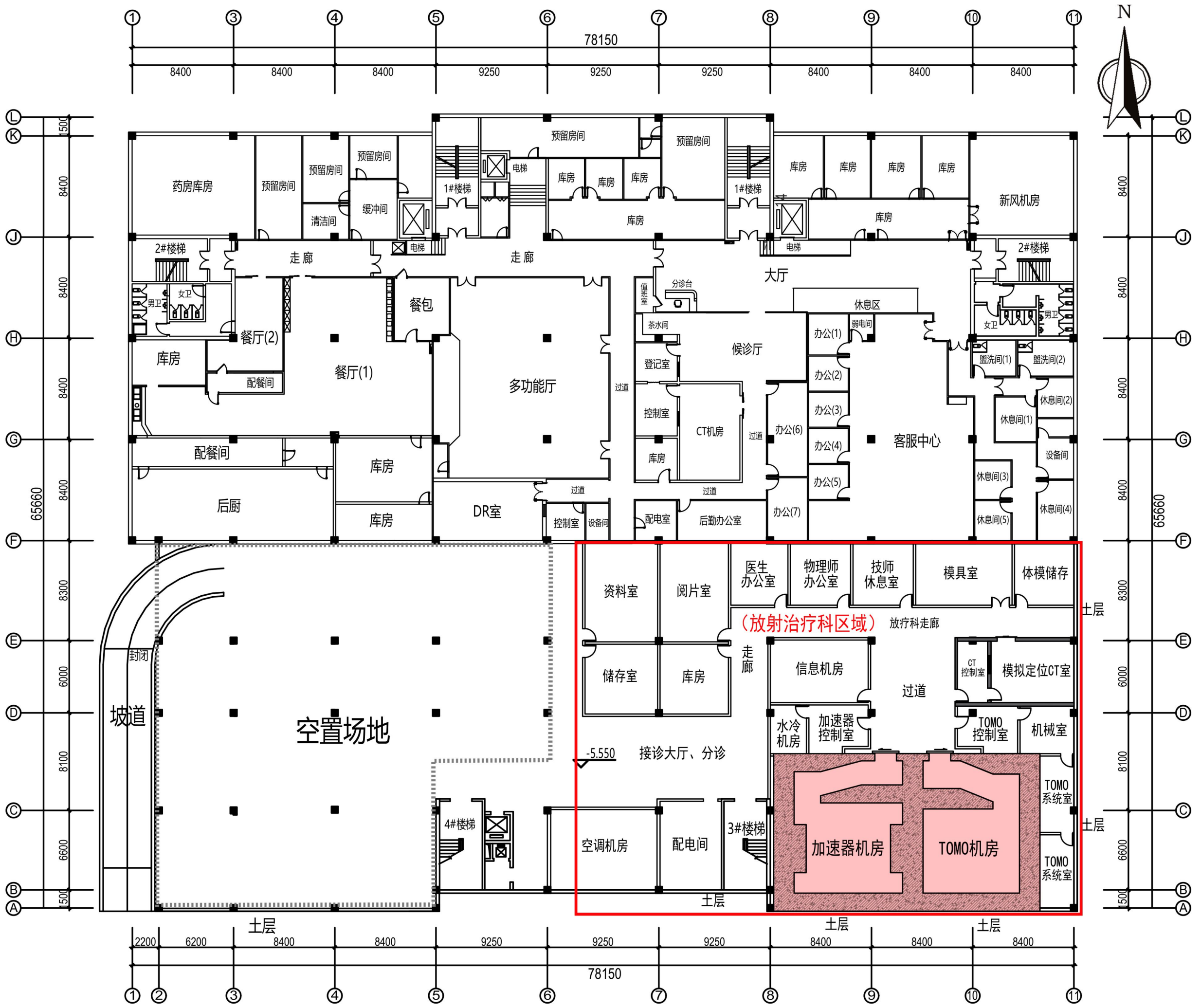


图 1.5 本项目建成后综合楼负一层平面布局图

1.6.4 实践正当性分析

本项目是利用医用加速器开展放射治疗，属于核技术在医学领域内的运用。根据国家发展和改革委员会令第 7 号《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，本项目属于鼓励类中“十三、医药”第 4 条中“高端放射治疗设备”类别。根据《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022 年版）》，本项目不属于禁止和限制类产业。因此，本项目符合国家和北京市目前的产业政策要求。

目前，四惠中医院肿瘤治理手段主要是以药物治疗和手术为主，医院目前收治的肿瘤患者中，有相当一部分患者需要辅以放射治疗才能取得进一步的疗效，但医院当前缺少必要的放射治疗手段，导致某些复杂肿瘤治疗的不彻底，无法取得理想疗效。本项目四惠中医院拟新增 1 台电子直线加速器和 1 台 TOMO 设备，将显著提升医院对各类肿瘤疾病的综合治疗能力，为肿瘤患者提供更完善、更科学的肿瘤综合治疗服务，四惠中医院作为北京市中西医结合肿瘤会诊中心，具备开展本项目放疗治疗工作的技术能力、专

家团队、人员和经费等条件。四惠中医院承诺在从事放射治疗工作期间，将严格按照国家相关法律、法规和标准的要求采取实体屏蔽措施和各项辐射安全防护措施，建立并健全辐射安全管理规章制度和设备操作规程，并严格贯彻落实。

综上，虽然开展放射治疗工作会对职业人员、公众以及环境带来些许的辐射影响，但是在采取了有效的实体屏蔽措施和辐射安全防护措施后，放疗设备的使用对受照射个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中“实践正当性”的原则与要求。

1.6.5 人员配备情况

四惠中医院本次拟新增医用电子直线加速器和TOMO放射治疗系统是医院首次开展放射治疗工作，四惠中医院拟新成立“放射治疗科”，计划新增配备不少于11名辐射工作人员，其中医师不少于3名、技师不少于4名、物理师不少于2名，护士不少于2名，放射治疗科所有辐射工作人员均不从事其他辐射工作。

根据北京市卫生健康委员会发布的《关于印发乙类大型医用设备配置许可管理实施细则的通知》（京卫药械[2019]10号）和《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》，本项目拟新增的电子直线加速器和TOMO放射治疗系统属于乙类大型医用设备，四惠中医院拟按要求申请乙类大型医用设备配置许可证。四惠中医院放射治疗科辐射工作人员配置计划与《准入标准》的对比情况见表1-6。

表1-6 本项目放射治疗科辐射工作人员配置情况

<table>
<tr><th colspan="2">《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》要求</th><th>本项目人员配置计划</th></tr>
<tr><td>1</td><td>首次配置的，应配备至少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2名具有2年或以上放疗工作经验的技师；至少1名护士。</td><td rowspan="3">本项目四惠中医院放射治疗科计划配置不少于11名辐射工作人员，包括：
（1）拟配备不少于3名医师（至少包括1名正高级和1名副高级放射治疗专业技术职称，并具有5年以上放疗临床经验）；
（2）拟配备不少于4名技师（具有两年或以上放射治疗工作经验）；
（3）拟配备不少于2名物理师（须拥有中级或以上本专业技术职务任职资格）；
（4）拟配备不少于2名护士（须具备护理专业的相关知识和工作能力）。</td></tr>
<tr><td>2</td><td>申请配置具有精确放疗（调强放疗、图像引导、立体定向、呼吸门控、实时追踪等）功能的设备，应配备正高级放射治疗专业技术职称医师至少1名。</td></tr>
<tr><td>3</td><td>每年治疗患者人数在500名以内的，至少配置3名医师，2名物理师，4名技师。</td></tr>
</table>

根据四惠中医院提供的信息，预计本项目运行后，每年收治的需要接受放射治疗的肿瘤患者最多不超过500名，由表1-6可知，本项目人员配置计划可满足《准入标准》中人员数量的要求。

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》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等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	Elekta Synergy	电子	6MV（X 射线） 15MeV（电子束）	600cGy/min (等中心轴距靶点 1m 处)	放射治疗	综合楼二期负一层加速器机房	CBCT 参数： 130kV/500mA
2	TOMO	II	1	Radixact X5	电子	6MV（X 射线） 无电子束治疗	850cGy/min (等中心轴距靶点 0.85m 处)	放射治疗	综合楼二期负一层 TOMO 机房	影像引导 X 射线： 3.5MV、45cGy/min

(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
有害气体 O_3、NO_x 等	气体	-	-	-	少量	极低	直接排放	经各机房通风系统排入环境大气
无								

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》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施； （2）《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 6 号，2003 年 10 月 1 日起实施； （3）《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 24 号，2018 年 12 月 29 日修订并实施； （4）《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号修订，2017 年 6 月 21 日公布，2017 年 10 月 1 日起实施； （5）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令第 709 号第二次修订，2019 年 3 月 2 日经国务院令第 709 号修改并实施； （6）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，生态环境部部令第 16 号，2020 年 11 月 30 日公布，2021 年 1 月 1 日起实施； （7）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 9 月 20 日公布，2019 年 11 月 1 日起施行； （8）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部部令第 20 号修订，2021 年 1 月 4 日公布并实施； （9）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部第 18 号令，2011 年 4 月 18 日公布，2011 年 5 月 1 日起实施； （10）《关于发布<射线装置分类>的公告》，2017 年 12 月 5 日公布并实施； （11）《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 日公布并实施； （12）关于印发《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》的通知，原北京市环境保护局，京环发[2011]347 号，2012 年 1 月 1 日起实施； （13）《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020 年版； （14）《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； （15）《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市人民政府令第 295 号，2020 年 11 月 15 日起实施。

技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016） （2）《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）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （6）《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； （7）《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021） （8）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （9）《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）； （10）《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）； （11）《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）； （12）《环境空气质量标准》（GB3095-2012）及其修改单。
其他	（1）北京四惠中医医院有限责任公司环境影响评价咨询协议书； （2）北京四惠中医医院有限责任公司提供的本项目工程设计图纸、施工图纸和辐射防护工程设计资料； （3）设备厂家和医院提供的加速器、TOMO 设备技术资料和装机图纸； （4）NCRP Report No.151“Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities”（2005 年）； （5）《医用外照射源的辐射防护》，ICRP 33 号出版物，人民卫生出版社，1984。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目主要就医用加速器和 TOMO 设备运行过程中对周围环境以及工作人员、公众等产生的辐射影响进行分析。

7.1.2 评价因子

主要评价因子为射线装置使用过程中产生的透射、漏射、散射 X 射线，以及射线装置运行过程中产生的臭氧、氮氧化物等有害气体。

7.1.3 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，确定该项目辐射环境影响评价的范围：将本项目拟建加速器机房和 TOMO 机房实体屏蔽墙外围 50m 区域作为评价范围。本项目评价范围示意图如图 7.1 所示。

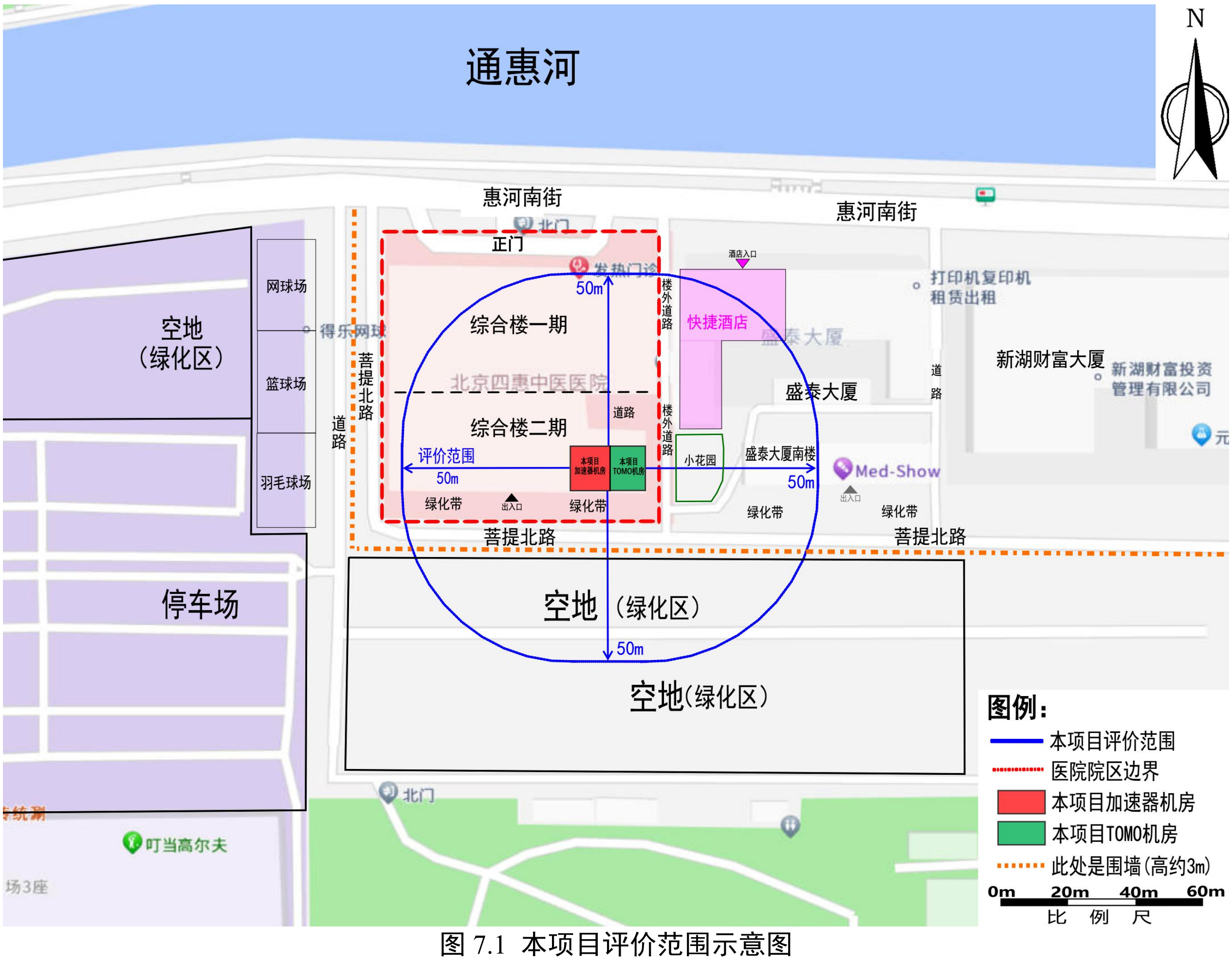


图 7.1 本项目评价范围示意图

7.2 保护目标

本项目建设地点位于北京四惠中医医院综合楼二期负一层。北京四惠中医医院地处北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院院区东侧为楼外道路、快捷酒店和盛泰大厦，南侧为菩提北路和空地，西侧为菩提北路、球场和停车场，北侧为惠河南街和通惠河，医院院区平面布局和周边关系情况如图 7.1 所示。

本项目拟建的加速器机房和 TOMO 机房均位于医院综合楼二期负一层东南部，本项目建成后，加速器机房东侧为 TOMO 机房，南侧为土层（土层上方为绿化带），西侧为楼梯间和分诊大厅，北侧为加速器控制室、水冷机房和过道，楼上均为设备间，地下为土层；TOMO 机房东侧为 TOMO 系统室，南侧为土层（土层上方为绿化带），西侧为加速器机房，北侧为 TOMO 控制室、机械室和过道，楼上均为设备间，地下为土层。

本项目拟建辐射工作场所周围 50m 评价范围内主要为四惠中医院综合楼一期和二期，以及医院东侧的快捷酒店和盛泰大厦的部分区域。因此，本项目主要保护目标为本项目辐射工作人员和周边公众，其中公众成员主要包括医院职工、就诊患者、患者家属，以及东侧快捷酒店和盛泰大厦内的公众人员，本项目评价范围内主要保护目标分布情况见表 7-1。本项目综合楼负一层平面布局示意图见图 7.2，综合楼一层平面布局示意图见图 7.3。

表 7-1　本项目评价范围内的保护目标分布情况

辐射场所	方位	距离(m)	周围主要场所	人数	保护目标
加速器机房和TOMO 机房	北侧	0~4	加速器控制室、水冷机房、TOMO 控制室、机械室、门外过道	11 人	辐射工作人员
		4~10	信息机房、模拟定位 CT 室、CT 控制室		
		10~18	放疗科办公室、休息室、阅片室、模具室、体膜储存室	约 25 人	辐射工作人员和公众
		18~36	职工休息间 1~5	约 20 人	公众
			医生办公室 1~5、客服中心	约 30 人	
			医生办公室 6~7、后勤办公室	约 10 人	
			CT 机房及控制室、候诊厅、登记室	约 20 人	
		36~43	大厅、休息区、分诊台、值班室等	约 20 人	
		43~50	库房、新风机房	偶尔有人	
	东侧	0~3	TOMO 系统室	偶尔有人	辐射工作人员
		3~13	楼外道路、花园	偶尔有人	公众

		13~25	快捷酒店南部区域	约 60 人	
		25~50	盛泰大厦西部区域	约 100 人	
	南侧	0~15	楼外绿化带	偶尔有人	公众
		15~25	菩提北路	偶尔有人	
		25~50	空地	偶尔有人	
	西侧	0~15	接诊大厅、分诊	约 30 人	公众
		15~50	空置场地	偶尔有人	
	西北侧	25~30	DR 室及控制室	约 10 人	公众
		30~50	多功能厅	约 30 人	
		35~50	后厨、配餐间、餐厅 1~2、餐包	约 60 人（饭点）	
	楼上	紧邻	均为设备间	偶尔有人	公众

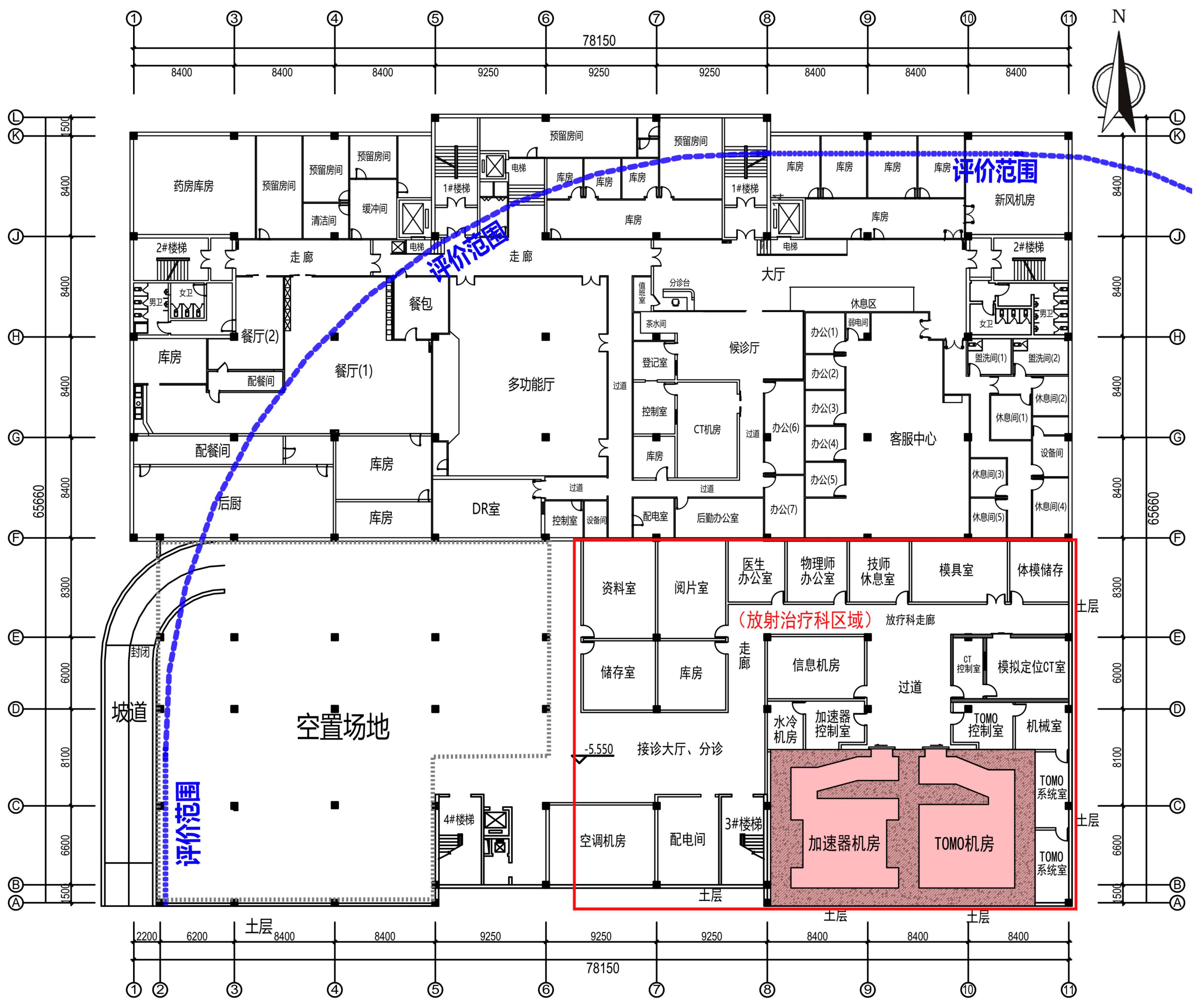


图 7.2 本项目综合楼负一层平面布局示意图

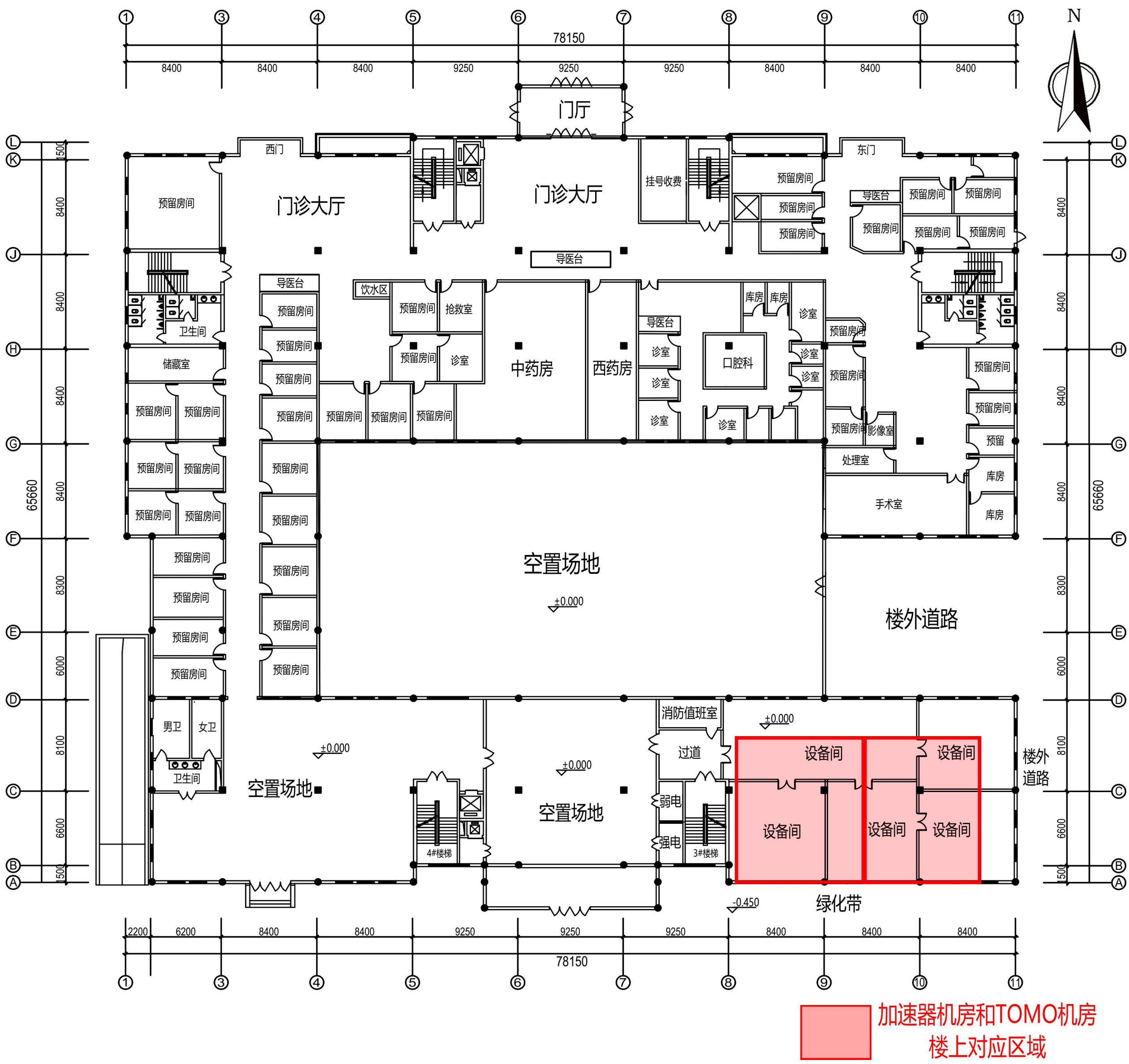


图 7.3 本项目综合楼一层平面布局示意图

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值见表 7-2。

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的年有效剂量不超出 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 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

本项目拟新增配备不少于 11 名辐射工作人员，综合考虑本项目射线装置的使用情况，本次评价对职业照射和公众分别设定了年受照剂量约束值：

（1）本项目放射治疗科辐射工作人员的剂量约束值取 2mSv/a；

（2）本项目公众成员的剂量约束值取 0.1mSv/a。

7.3.3 放射工作场所周围剂量率控制水平

参照《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》（GBZ 121-2020），本项目加速器机房和 TOMO 机房的四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处的周围剂量当量率均按不大于 2.5μSv/h 进行控制。

7.3.4 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）

参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），本项目医用电子直线加速器和 TOMO 设备工作场所应满足下列要求：

6.1 布局要求

6.1.1 放射治疗设施一般单独建造或建在建筑物底部的一端；放射治疗机房及其辅助设施应同时设计和建造，并根据安全、卫生和方便的原则合理布置。

6.1.2 放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。治疗机房、迷路应设置为控制区；其他相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需经常检查其职业照射条件的区域设为监督区。

6.1.3 治疗机房有用线束照射方向的防护屏蔽应满足主射线束的屏蔽要求，其余方向的防护屏蔽应满足漏射线及散射线的屏蔽要求。

6.1.4 治疗设备控制室应与治疗机房分开设置，治疗设备辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗设备分离的，尽可能设置于治疗机房外。

6.1.5 应合理设置有用线束的朝向，直接与治疗机房相连的治疗设备的控制室和其他居留因子较大的用室, 尽可能避开被有用线束直接照射。

6.1.6 本项目治疗机房均应设置迷路。

6.2 空间、通风要求

6.2.1 放射治疗机房应有足够的有效使用空间，以确保放射治疗设备的临床应用需要。

6.2.2 放射治疗机房应设置强制排风系统，进风口应设在放射治疗机房上部，排风口应设在治疗机房下部，进风口与排风口位置应对角设置，以确保室内空气充分交换；通风换

气次数应不小于 4 次/h。

6.4 安全装置和警示标志要求

6.4.2 联锁装置

放射治疗设备都应安装门机联锁装置或设施，治疗机房应有从室内开启治疗机房门的装置，防护门应有防挤压功能。

6.4.3 标志

医疗机构应当对下列放射治疗设备和场所设置醒目的警告标志：a）放射治疗工作场所的入口处，设有电离辐射警告标志；b）放射治疗工作场所应在控制区进出口及其他适当位置，设有电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

6.4.4 急停开关

放射治疗设备控制台上应设置急停开关，除移动加速器机房外，放射治疗机房内设置的急停开关应能使机房内的人员从各个方向均能观察到且便于触发。通常应在机房内不同方向的墙面、入口门内旁侧和控制台等处设置。

6.4.6 视频监控、对讲交流系统

控制室应设有在实施治疗过程中观察患者状态、治疗床和迷路区域情况的视频装置；还应设置对讲交流系统，以便操作者和患者之间进行双向交流。

7.3.5 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）

参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目医用电子直线加速器和 TOMO 设备工作场所除满足 GBZ121-2020 的相关要求外，还应满足下列要求：

（1）医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近；

（2）应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁设置急停按钮；急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发；

（3）安全联锁系统一旦被触发后，须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动；安装调试及维修情况下，任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证，工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

7.3.6 工作场所空气中臭氧和氮氧化物浓度限值

（1）室内空气质量

根据《工作场所有害因素职业接触限值-化学有害因素》（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《环境空气质量标准》（GB3095-2012 及其修改单）中的二级浓度限值，O_3 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。

7.4 评价目的

（1）对建设项目环境辐射现状进行调查或监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平；

（2）评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

（3）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为生态环境主管部门的管理提供依据；

（4）通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；

（5）对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

（6）评价项目的可行性，从环境保护角度为生态环境主管部门和北京四惠中医医院进行辐射环境管理提供依据。

7.5 评价原则

依据国家相关法律、法规及部门规章展开评价，严格执行国家和北京市的有关标准。要求辐射防护设计和安全措施必须满足相关标准的规定，并保证各类人员受照剂量在规定的限值以内，满足辐射实践的正当性、辐射防护与安全的最优化原则。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

8.1.1 地理位置

北京四惠中医医院地处北京市朝阳区高碑店乡半壁店村惠河南街 1092 号，医院东侧为楼外道路和盛泰大厦，南侧为菩提北路和空地，西侧为菩提北路、球场和停车场，北侧为惠河南街和通惠河。北京四惠中医医院地理位置示意图见附图 1，医院院区平面布局和周边关系示意图详见附图 2。

8.1.2 场所位置

本项目建设地点位于四惠中医院综合楼二期负一层，目前，综合楼二期的所有楼层均为空置场地，医院综合楼负一层和一层现状平面图见附图 3。

本项目四惠中医院拟在综合楼二期负一层东南部新建 1 间加速器机房和 1 间 TOMO 机房，项目建成后，加速器机房东侧为 TOMO 机房，南侧为土层，西侧为楼梯间和分诊大厅，北侧为加速器控制室、水冷机房和过道，楼上均为设备间，地下为土层；TOMO 机房东侧为 TOMO 系统室，南侧为土层，西侧为加速器机房，北侧为 TOMO 控制室、机械室和过道，楼上均为设备间，地下为土层。本项目建成后，综合楼负一层和一层平面布局图见附图 4，本项目加速器机房和 TOMO 机房平面布局图见附图 5，各机房的剖面图见附图 6。

8.2 环境质量和辐射现状

8.2.1 监测内容

核工业北京化工冶金研究院分析测试中心于 2024 年 8 月 5 日对本项目拟建加速器机房和 TOMO 机房及周边区域开展了的辐射环境现状监测。

8.2.2 监测方法

监测方法按照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）进行。

8.2.3 监测仪器

本次监测所使用的仪器已通过中国计量科学研究院检定，并处于有效期内，检测仪器性能和参数如表 8.1 所示。

表 8.1 检测仪器性能和参数表

仪器名称	X-γ剂量率仪
仪器型号	FH40G+FHZ672E-10
仪器编号	YQ-HJ-0002

能量响应	48keV~3MeV
测量范围	1nSv/h~100μSv/h
检定证书	DLjl2024-04934
检定有效期	2024 年 4 月 29 日-2025 年 4 月 28 日

8.2.4 监测时间与环境条件

监测时间：2024 年 8 月 5 日

环境条件：天气：晴；环境温度：36℃；相对湿度：60%RH。

8.2.5 质量保证措施

a. 合理布设监测点位，保证各监测点位布设具有代表性、科学性和可比性；

b. 采用国家有关部门颁布的标准方法，监测人员经考核并持有合格证书上岗；

c. 检测仪器已经过计量部门检定，并处于有效期内；

d. 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录；

e. 检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人签发。

8.2.6 监测结果及分析

现状监测结果见表 8.2，监测布点图见图 8.1。

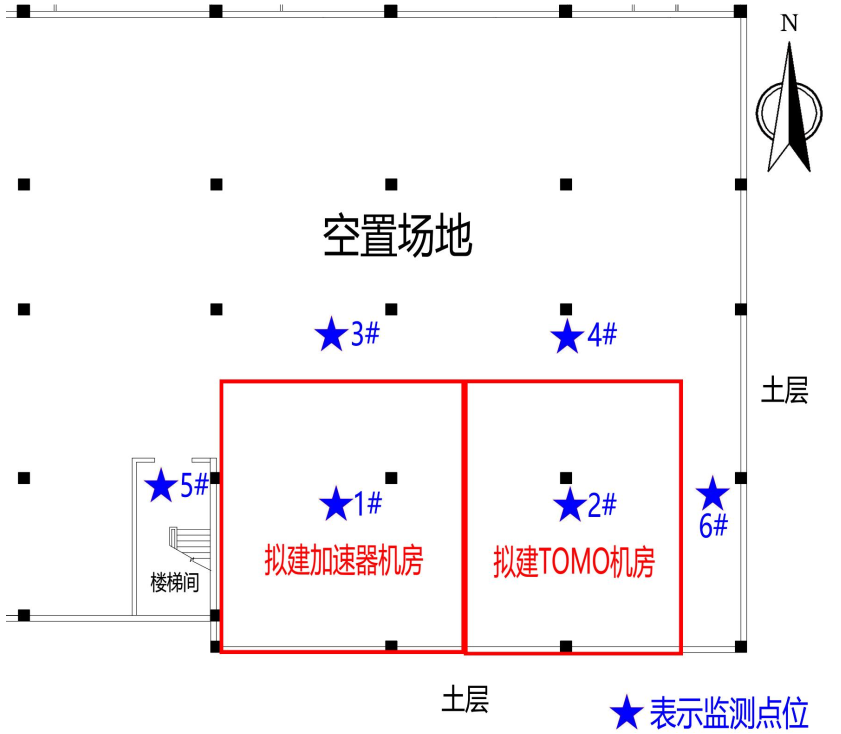
表 8.2 辐射环境现状监测结果

序号	现状监测点位	检测值（nGy/h）
1	拟建加速器机房区域内	96.6±2.2
2	拟建 TOMO 机房区域内	95.3±1.9
3	拟建加速器机房北侧区域	96.9±2.0
4	拟建 TOMO 机房北侧区域	96.4±2.1
5	拟建加速器机房西侧区域	95.8±1.8
6	拟建 TOMO 机房东侧区域	96.3±2.0
7	拟建加速器机房楼上区域（一层）	94.2±2.3
8	拟建 TOMO 机房楼上区域（一层）	94.8±1.6
9	综合楼南侧绿化带（楼外点位）	87.4±1.5
10	综合楼东侧道路（楼外点位）	89.6±1.6

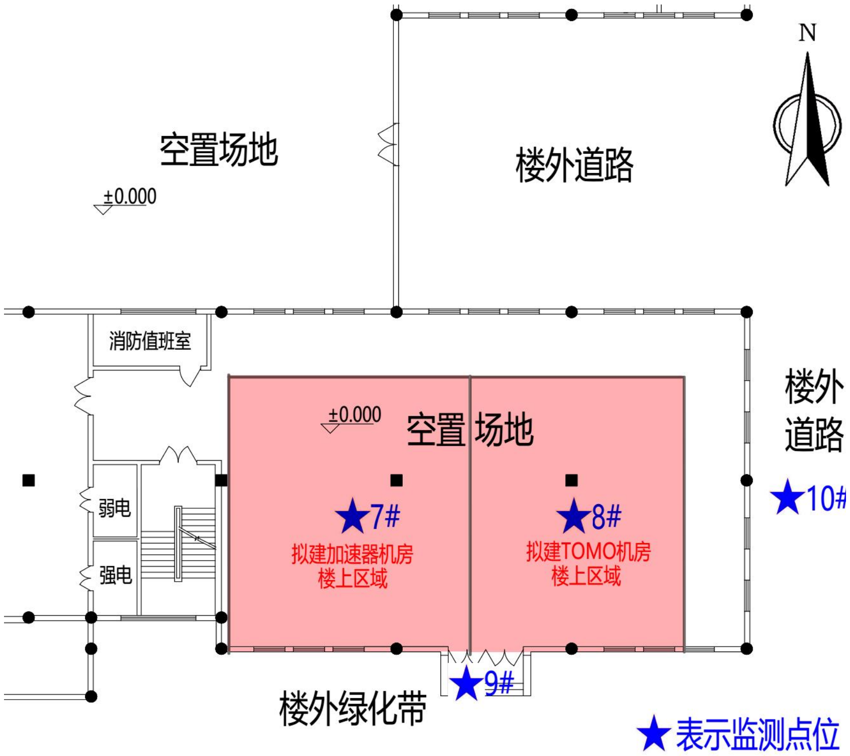
注：（1）以上监测数据未扣除对宇宙射线的响应。
（2）γ剂量率对应数值已参照 JJG393-2018 附录 D 表 D.2 进行换算，^{137}Cs γ参考辐射的空气比释动能与周围剂量当量转换系数 $h_K^*(10)$取推荐值 1.20Sv/Gy。

监测结果表明：本项目拟建加速器机房和 TOMO 机房区域内及周围环境的γ辐射剂量率范围为 96.8nGy/h～110nGy/h 之间，根据《中国天然放射性水平》（1995），北京市天

然辐射水平范围为 60nGy/h~123nGy/h（室外，含宇宙射线）和 69.8nGy/h~182nGy/h（室内，含宇宙射线）。因此，本项目拟建辐射工作场所区域及周边环境的辐射水平率处于北京市正常本底水平范围内，未发现辐射水平异常。



（综合楼负一层点位）



（综合楼一层点位）

图 8.1 拟建辐射工作场所周围现状监测点位图

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 工作原理和设备组成

医用电子直线加速器是产生高能电子束的装置，加速后的电子直接或经转换为 X 射线后供放射治疗使用，其基本工作原理是电子枪发射电子，在由磁控管或调速管控制的加速管中加速，当电子达到所需能量时，高能电子束射直接被引出或者射到钨靶上产生轫致辐射 X 射线，经初级准直器准直后得到治疗束，利用治疗束对患者肿瘤病灶进行照射，从而杀死肿瘤细胞。本项目医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，它的组成结构单元主要为：加速管、电子枪、微波系统、脉冲调制器、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。

加速器治疗机头主要是由偏转磁铁、靶、初级准直器、均整器、散射箔、电离室和限束光阑构成，其作用是产生治疗用 X 射线并使 X 射线治疗束符合放射治疗的特殊要求（如均整度、照射野面积和形状等）。电子枪产生的电子由行波加速波导管加速到所需能量后，进入偏转磁场，偏转后的电子束从电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶发生轫致辐射，产生大量高能 X 射线，经初级准直器和均整器后形成剂量均匀稳定的 X 射线束，再通过监测电离室和光阑限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。医用电子直线加速器工作原理示意图见图 9.1，加速器治疗机头内部结构见图 9.2。

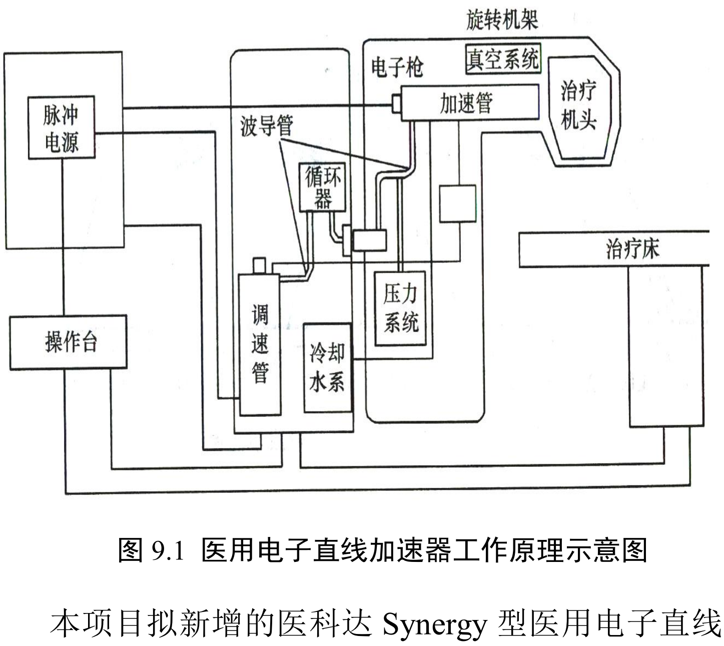


图 9.1 医用电子直线加速器工作原理示意图

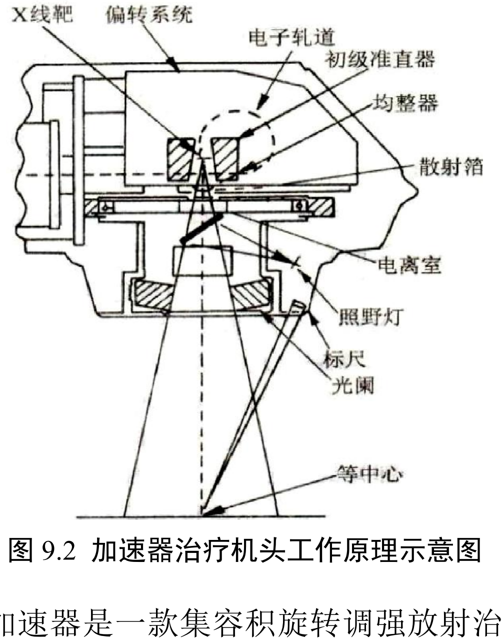


图 9.2 加速器治疗机头工作原理示意图

本项目拟新增的医科达 Synergy 型医用电子直线加速器是一款集容积旋转调强放射治疗技术（VMAT）与图像引导放射治疗技术（IGRT）于一体的医用电子直线加速器。VMAT 治疗计划能实现与靶区高度适形、均匀的剂量分布，依据临床需求施行单弧或多弧治疗，

多弧共面或非共面的治疗，能更好减少重要危及器官和正常组织的受照剂量，减少放射治疗所致的副作用和并发症；数字化直线加速器能够通过内置的、低漏射的电动多叶准直器（MLC）以及动态后备铅门，有效提高治疗精确度，极大减少非靶区的照射，提高治疗的安全性；本项目医用电子直线加速器拟配备锥形束 CT（Cone-beam CT，CBCT）用于实时影像引导，影像引导放射治疗（IGRT）是一种先进的四维放射治疗技术（空间维度+时间维度），其基本原理是在开展放疗前或放疗过程中利用 CBCT 建立肿瘤靶区的实时影像，通过与参考图像（模拟定位影像或治疗计划）比较，实时识别偏差，CBCT 影像引导系统可依据上述偏差来实时调整放疗参数和放疗计划，从而使照射野始终精准“追随”肿瘤靶区，大大提高了放射治疗的精准度，可在确保杀死肿瘤细胞的同时最大限度地降低正常器官的受照剂量。本项目医科达 Synergy 型医用电子直线加速器外观如图 9.3 所示。

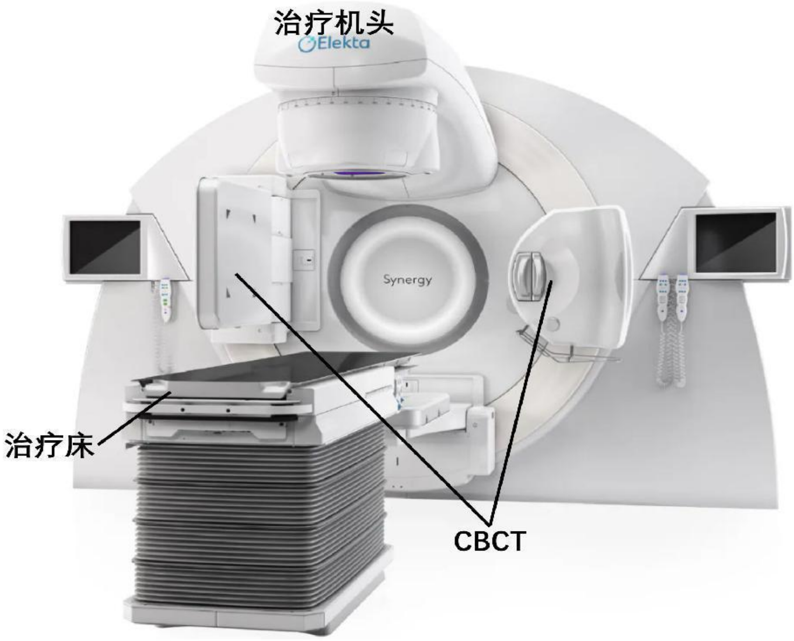


图 9.3 医科达 Synergy 型医用电子直线加速器外观示意图

9.1.2 设备技术指标

本项目拟新增使用的医用电子直线加速器性能参数配置见表 9-1。

表 9-1 本项目医用电子直线加速器参数配置

项目	参数配置
设备型号	医科达 Synergy 型医用电子直线加速器
X 射线	① X 射线最大能量：6 MV； ② X 射线最大剂量率：600cGy/min； ③ 最大照射野尺寸：40cm×40cm； ④ 源轴距：SAD=100cm； ⑤ 泄漏辐射率：<0.1%；

	⑥ 等中心点高度:1240mm； ⑦ 靶材料：钨； ⑧ CBCT 参数：最大管电压 130kV、最大管电流 500mA；
电子线	① 电子线能量：6MeV、8MeV、10MeV、12MeV、15MeV； ② 最大输出剂量率：600cGy/min； ③ 最大照射野尺寸：40cm×40cm。

9.1.3 治疗流程

本项目医用电子直线加速器工作流程及产污环节示意图见图 9.4。

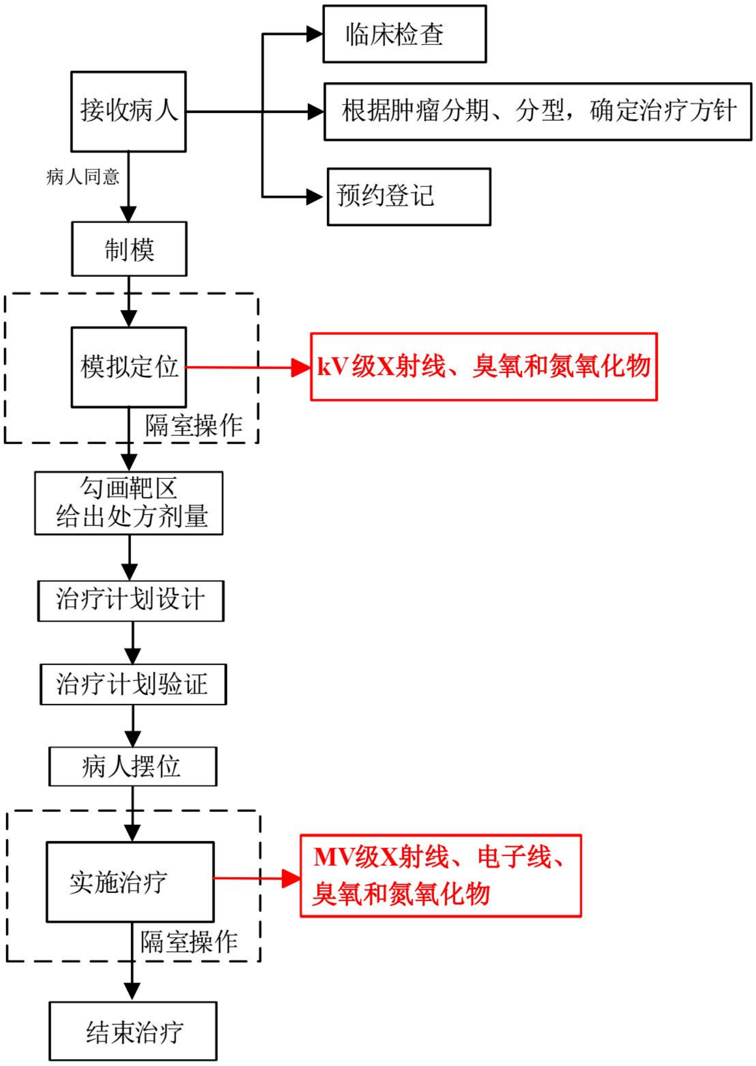


图 9.4 放射治疗工作流程示意图

（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，到放射治疗科预约登记，预约模拟定位的时间；

（2）制模：为方便患者定位，用热塑体模在治疗部位按照病人身体轮廓进行塑形；

（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，制定相应的 VMAT 等治疗计划；

（5）治疗计划验证：根据处方剂量和靶区范围，物理师通过计算机的放疗计划系统，计算照射肿瘤的剂量和分布、正常组织接受的剂量及分布，交由放疗医师评估确认。

（6）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；

（5）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；

（6）实施治疗：根据放疗计划，使用 CBCT 图像引导系统对靶区位置进行扫描，并与定位 CT 扫描图像做对比，校准摆位误差，运用有关技术实施精确照射；

（7）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。

9.1.4 污染源项描述

（1）主要放射性污染

①X 射线：本项目主要放射性污染物为 X 射线。电子直线加速器运行时高能电子轰击靶物质会产生韧致辐射 X 射线，X 射线仅在加速器出束状态时产生，停机后消失。本项目加速器 X 射线最大能量为 6MV，最大输出剂量率为 600cGy/min，加速器运行时会朝等中心点发射 X 射线，加速器机头周围会产生 X 射线泄漏辐射，X 射线照射至墙壁和患者身体会产生散射辐射，因此，加速器运行产生 X 射线有用线束、泄漏辐射和散射辐射会贯穿机房的屏蔽设施进入外环境，对周围环境产生外照射影响。

② 中子及中子俘获γ射线：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），对于大于 10MV 的 X 射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑 X 射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获γ射线。本项目加速器 X 射线最大能量为 6MV，不超过 10MV，故不考虑中子、感生放射性、中子活化的问题，加速器开机运行期间不会造成机头部件和靶的活化，加速器废靶可作为普通物品处置。

③ 电子线的辐射影响：电子线主要用于皮肤癌和浅部肿瘤的治疗。本项目加速器的电子线最大能量为 15MeV，电子线射程与电子能量和穿透物质有关，根据《辐射防护导论》公式 4.14 单能电子束射程的经验公式，15MeV 的电子线射程约 6.9g/cm^2（质量厚度），在空气中的射程约 5.4m，在水中的射程约 7cm，在混凝土中的射程约 3cm，可见，电子线基本不会穿透人体，加速器机房屏蔽设施可将电子线完全挡住，电子线不会穿出机房外部。

电子束照射至患者体表时会产生韧致辐射（X 射线），但由于人体组织的密度和有效原子序数低，韧致辐射效率低。参考《移动式加速器术中放射治疗辐射场剂量水平的测量与分析》（首都公共卫生，2012 年 8 月第 6 卷第 4 期）的测量结果：模拟 12MeV 电子束治疗状态且输出剂量率为 1000cGy/min 时，距离散射体 1m 处剂量率水平最高为 62.8mGy/h，约为 0.1cGy/min。可推算出韧致辐射效率约为 0.01%，本项目加速器电子束最大能量 15MeV，最大剂量率 600cGy/min，产生韧致辐射 X 射线剂量率约 0.06cGy/min，韧致辐射有效能量近似为 5MV（有剂量学意义的量，非平均能量），本项目加速器机房可满足 X 射线 6MV、600cGy/min 的屏蔽，也一定能够满足电子束治疗产生韧致辐射的屏蔽。

理论上讲，韧致辐射 X 射线能量最小值为 0，最大值为电子最大能量，可能会有很少量的韧致辐射 X 射线能量超过 10MV，继而可能引发（γ,n）反应产生少量的中子。但电子束基本被屏蔽在限束筒内且照射到患者体表（均为低 Z 物质），电子的韧致辐射能量损失小，产生大于 10MV 的高能韧致辐射份额很小，继而引发（γ,n）反应产生中子的份额更低。NCRP No.151 指出，由于混凝土中有较高的氢含量，对于中子的吸收截面较大，如果机房屏蔽层足以屏蔽初级 X 射线和泄漏 X 射线，则无需考虑光中子和中子俘获γ射线屏蔽问题。本项目仅对机房防护门处的中子剂量率水平进行简要分析：

假设韧致辐射 X 射线能量全部为电子的最大能量（15MV），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），迷道内口处的总中子注量Φ_B假设按公式（14）计算，则：

$$\Phi_B = \frac{0.46\times10^{12}}{4\pi(6.3)^2} + \frac{5.4\times0.46\times10^{12}}{2\pi(245)} + \frac{1.26\times0.46\times10^{12}}{2\pi(245)} = 2.95\times10^{9}\text{中子}/m\cdot Gy$$

电子束治疗的韧致辐射 X 射线剂量率为 0.06cGy/min（3.6E+04μGy/h），根据公式（16），机房入口（无防护门）处的中子剂量率 H_n 为：

$$\dot{H}_n = 2.4\times10^{-15}\times2.95\times10^{9}\times\sqrt{\frac{7.48}{6.8}}\times\left[1.64\times10^{-(6.7/1.9)}+10^{-(6.7/5.3)}\right]\times3.6\times10^{4}\approx0.015\mu Sv/h$$

可见，电子束治疗时加速器机房入口处的中子剂量率处于较低水平，经机房防护门屏蔽后，门外的中子剂量率将处于极低水平。由于本项目加速器使用电子束治疗次数很少（不足 X 射线治疗量的 1%），而且对环境的辐射影响远小于 X 射线治疗，因此本报告不再对电子束相关辐射影响进行具体评价。

（2）正常工况下的污染途径

① 加速器开机时产生的韧致辐射 X 射线经透射、漏射和散射，会对工作场所及其周围

环境产生辐射影响，污染途径为 X 射线外照射；

② 加速器机房内空气在 X 射线的强辐射下，吸收能量并发生电离作用产生臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x）等有害气体。

（3）事故工况下的污染途径

① 加速器机房门机联锁失效，加速器出束时有人员误入机房，或者防护门未完全关闭时加速器就能开机出束，会对工作人员及周围公众造成额外的照射；

② 工作人员在加速器机房内安装调试，未撤离机房时，加速器就开始出束。

9.2 TOMO 设备

9.2.1 工作原理和设备组成

TOMO 放射治疗全称为“螺旋断层调强放射治疗”，是一种将传统放疗和 CT 扫描优势相结合的先进肿瘤治疗技术，TOMO 设备采用独创性的设计以螺旋 CT 旋转扫描设计，结合计算机断层影像导航调校，突破了传统加速器的诸多限制，在 CT 引导下 360°聚焦断层照射肿瘤，具有多个机架角和多弧照射的能力，能够对肿瘤进行精准打击，同时尽可能保护周围正常组织。作为螺旋断层放射治疗系统的代表，TOMO 设备集立体定向放射治疗（SRT）、调强放疗（IMRT）、图像引导放疗（IGRT）和剂量引导调强适形放疗（DGRT）等多种技术于一体，实现了高精度螺旋 CT 与直线加速器的完美结合。本项目拟新增的安科锐 Radixact X5 型 TOMO 设备外观如图 9.5 所示。

图 9.5 本项目拟新增 TOMO 放射治疗设备外观

TOMO 设备把 6MV 直线加速器安装在螺旋 CT 滑环机架上，加速器沿机架的径向安装，

机架能够 360°旋转。其工作原理是利用直线加速器部分产生 6 MV 扇形束 X 射线，经机头处的气动二元（开/关）多叶光栅调制 40cm 宽的照射野，窄扇形的照射野可以环绕机架等中心点做 360°连续旋转照射，在机架旋转的同时，治疗床会根据机架等中心轴方向进床，治疗过程中机架按照特定的恒速旋转，每旋转一圈有 51 个方向的调制射野（机架每旋转 7°算一个射野方向），照射野射线围绕可患者产生了一个螺旋形照射通量图，从而实现 360°螺旋断层调强放射治疗。TOMO 设备还具有图像引导功能，在治疗开始前进行 MV 级 CT 成像扫描，利用 3.5 MV 的扇形束 X 射线，经螺旋扫描而重建出兆伏级的三维 CT 图像（即 MVCT），在确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致后再行放疗，TOMO 设备还可在每次治疗后推算出肿瘤接受到的剂量，适时调整后续的治疗剂量，从而确保治疗剂量的精确性和准确性。

TOMO 设备的 X 射线扇形束特性是向前呈峰形的束流曲线，初级射线通过初级准直器后，再通过一排 64 片二元气动多叶光栅进行调制，其中每一叶片投影到等中心的长度为 0.625 cm，最终形成狭长扇形 X 射线束（等中心射野长度 40cm，宽度 4mm~5cm 可调）；本项目 TOMO 设备加速器机头对侧位置的旋转机架上安装有铅屏蔽板（铅厚度为 15.2cm），铅屏蔽板可随加速器机头同步转动，实现对主 X 射线束的屏蔽。本项目 TOMO 放射治疗系统主机结构示意图见图 9.6，束流准直部件的侧面图见图 9.7。

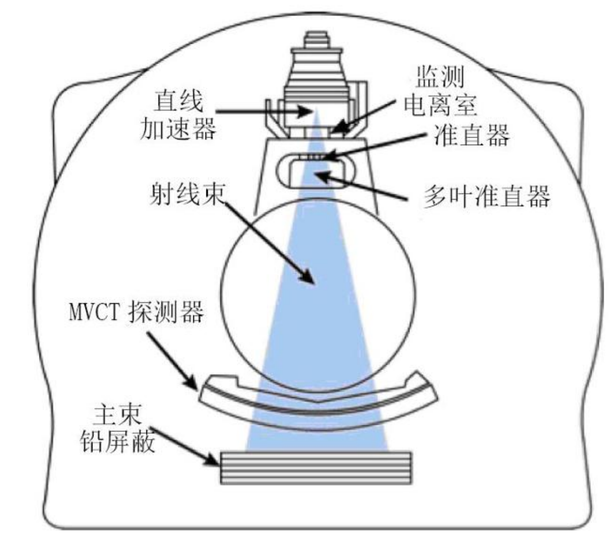


图 9.6 TOMO 放疗系统主机结构示意图

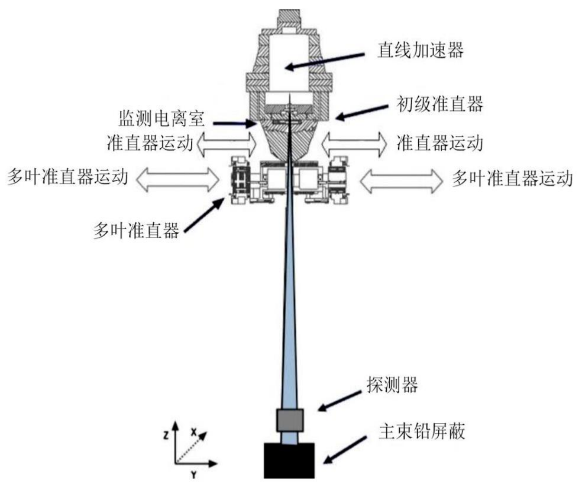


图 9.7 TOMO 放疗系统束流准直部件侧面图

9.2.2 设备技术指标

本项目拟新增使用的 TOMO 放射治疗系统性能参数配置见表 9-2。

表 9-2 本项目 TOMO 放射治疗系统主要参数配置

指标	技术参数
设备型号	安科锐 Radixact X5 型 TOMO 设备

射线种类和能量	放射治疗 X 射线：6MV 断层扫描 X 射线：3.5MV
射线源到中心轴距离（SAD）	85cm
等中心处 X 射线最大剂量率	放射治疗时：850cGy/min（85cm 处） 影像引导时：45cGy/min（85cm 处）
等中心处最大照射野	40cm×5cm（85cm 处）
泄漏辐射率	0.1%
等中心点相对高度	113cm
机架旋转角度	360°旋转
主射束铅屏蔽板	铅厚度 15.2cm，安装在旋转机架上与加速器对侧位置处，与机架同步转动。铅屏蔽板长 88.9cm，宽 22.8cm，厚 15.2cm，加速器靶点距铅屏蔽板内表面距离为 159.5cm；

9.2.3 治疗流程

本项目 TOMO 放疗工作流程与医用电子直线加速器的工作流程基本一致，TOMO 放疗的工作流程如下：

（1）接收病人：病人经医生诊断和治疗正当性判定后行 TOMO 放疗，根据肿瘤分期、分型确定治疗方针，到放射治疗科预约登记，预约模拟定位；

（2）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；

（3）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，在治疗计划系统上完成 TOMO 治疗计划的设计；

（4）治疗计划验证：利用 TOMO 的治疗计划系统进行治疗计划和剂量验证，计算照射肿瘤的剂量和分布、正常组织接受的剂量及分布，最终确定治疗计划。

（5）病人摆位：摆位人员认真核对病人信息、照射条件及摆位要求，严格按照要求实施摆位；摆位结束后离开治疗室，关闭防护门；

（6）治疗计划确认：工作人员启动 TOMO 设备的 MV 级 CT 进行扫描，通过扫描结果再次确认治疗体位在三维空间上与治疗计划是否一致；

（7）实施治疗：治疗计划确认无误后，工作人员启动 TOMO 设备治疗束实施精确照射治疗，治疗完成后设备自动停止照射；

（6）结束治疗：治疗完毕，病人离开治疗室，摆位人员准备下一个患者摆位。

9.2.4 污染源项描述

（1）主要放射性污染

主要放射性污染物为 TOMO 设备开机运行产生的 X 射线，TOMO 设备在关机状态下

不产生射线，只有在开机并处于出束状态下才会产生射线。TOMO系统配备X射线放射治疗系统和影像引导系统。其中X射线放射治疗系统运行时高速电子轰击靶物质生产韧致辐射X射线，X射线最大能量为6MV，等中心处X射线最大剂量率为850cGy/min；影像引导系统运行时会产生最大能量3.5MV的X射线，等中心处最大剂量率为45cGy/min，由于其X射线能量和强度均低于治疗X射线，对周围环境的外照射影响远低于治疗X射线。因此，TOMO设备运行期间产生X射线有用线束、泄漏辐射和散射辐射会贯穿机房的屏蔽设施进入外环境，对周围环境产生外照射影响。

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），对于大于10MV的X射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑X射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获γ射线。本项目TOMO设备X射线最大能量为6MV，不超过10MV，故不考虑中子、感生放射性、中子活化的问题，加速器开机运行期间不会造成机头部件和靶的活化，加速器废靶可作为普通物品处置。

（2）正常工况下的污染途径

① TOMO设备开机时产生的韧致辐射X射线经透射、漏射和散射，会对工作场所及其周围环境产生辐射影响，污染途径为X射线外照射；

② TOMO机房内空气在X射线的强辐射下，吸收能量并发生电离作用产生臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x）等有害气体。

（3）事故工况下的污染途径

① TOMO机房的门机联锁失效，开机出束时有人员误入机房，或者防护门未完全关闭时TOMO设备就能开机出束，会对工作人员及周围公众造成额外的照射；

② 工作人员在TOMO机房内安装调试，未撤离机房时，TOMO设备就开始出束；

③ TOMO设备的主射束屏蔽板失效，会导致TOMO机房主束方向屏蔽墙外的辐射水平升高，导致工作人员和公众受到额外的照射。

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局和分区管理措施

（一）工作场所选址和布局

本项目的建设地点位于四惠中医院综合楼二期负一层，目前综合楼二期的所有楼层均为空置场地，医院综合楼负一层现状平面图见图 10.1。

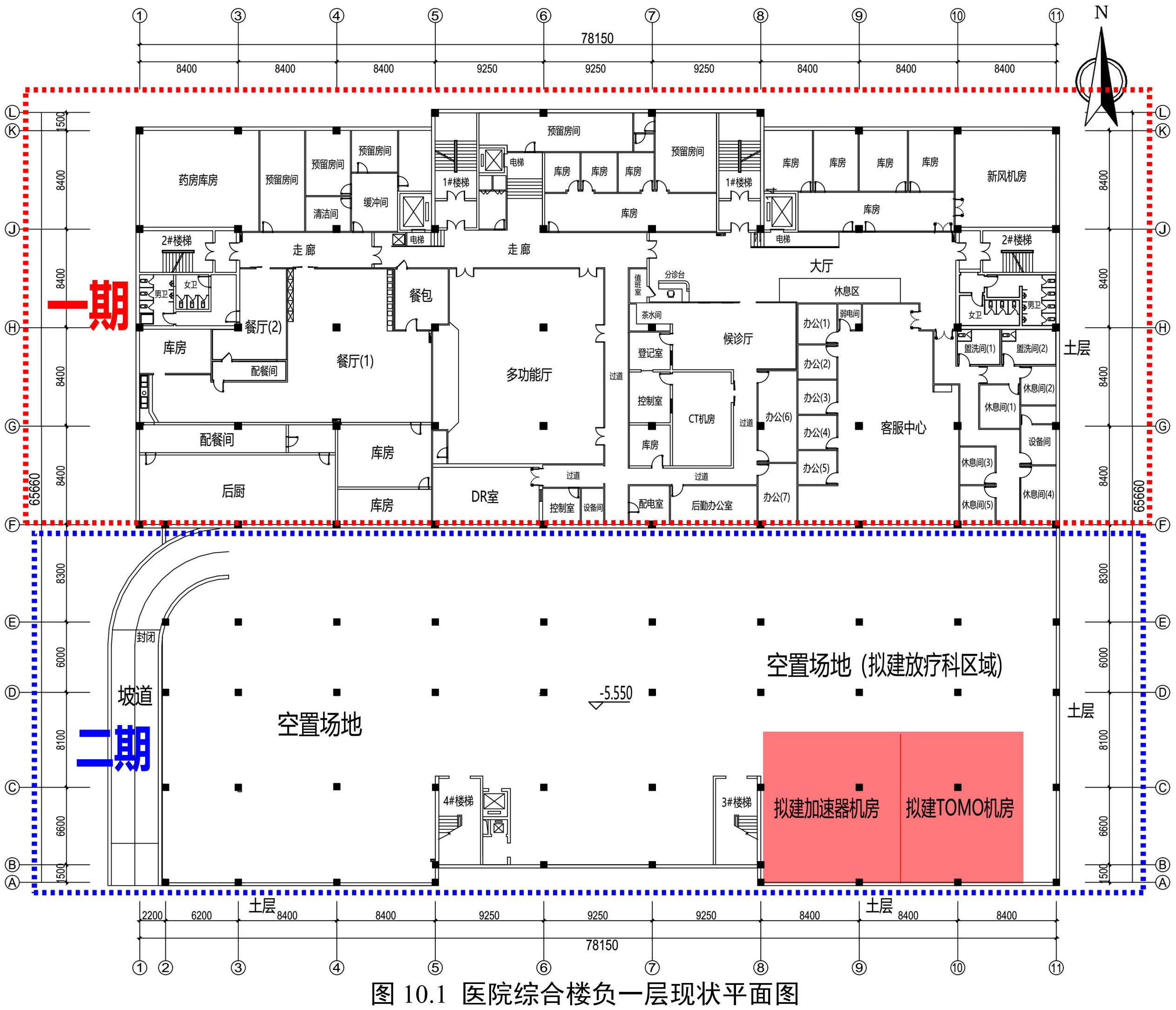


图 10.1 医院综合楼负一层现状平面图

本项目放射治疗科拟设置在综合楼二期负一层的东部，拟建加速器机房和 TOMO 机房均位于综合楼二期负一层东南部。本项目建成后：加速器机房东侧为 TOMO 机房，南侧为土层，西侧为楼梯间和分诊大厅，北侧为加速器控制室、水冷机房和过道，楼上均为设备间，地下为土层；TOMO 机房东侧为 TOMO 系统室，南侧为土层，西侧为加速器机房，北侧为 TOMO 控制室、机械室和过道，楼上均为设备间，地下为土层。本项目建成后综合楼负一层平面布局图见图 10.2。

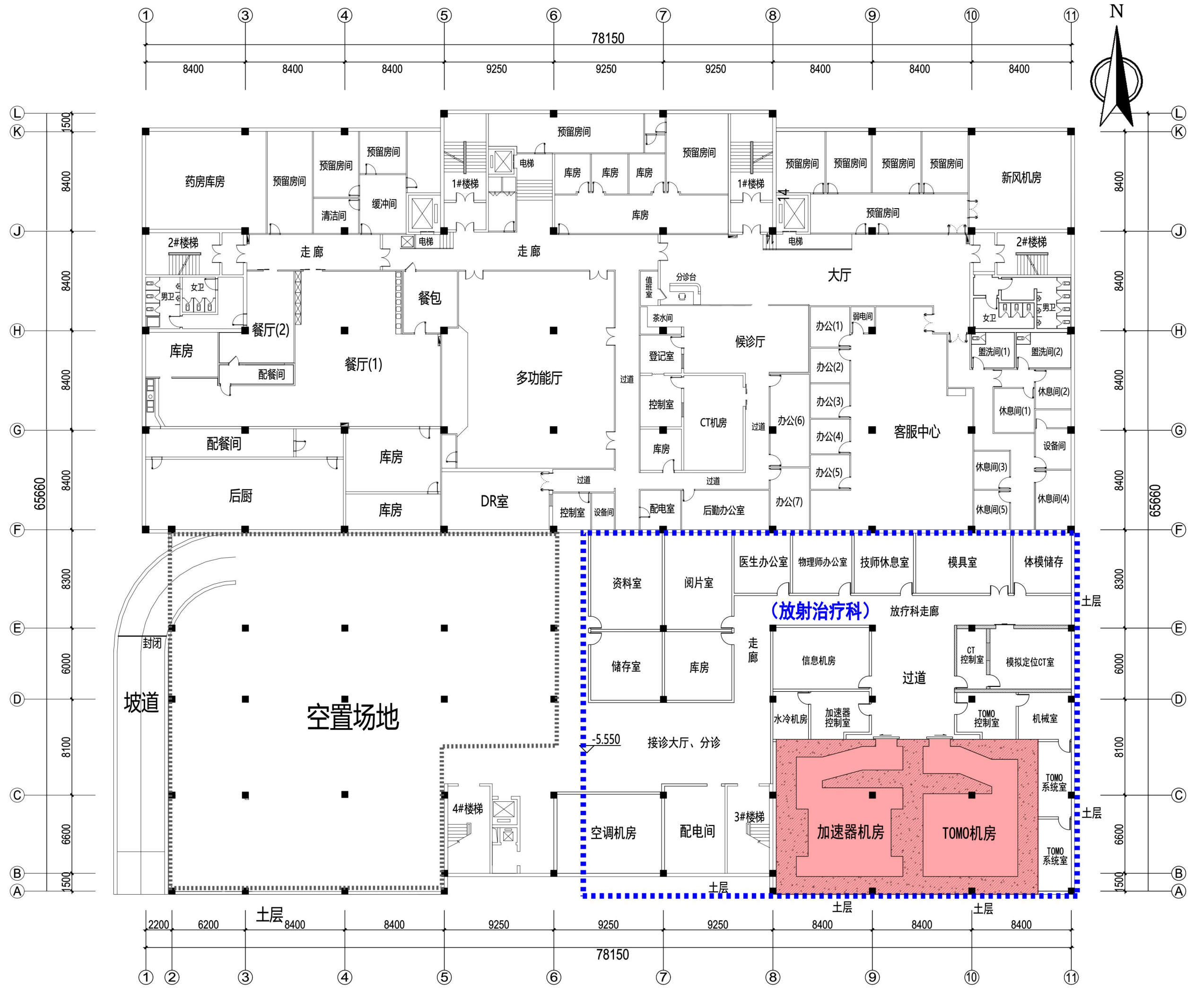


图 10.2 本项目建成后综合楼负一层平面布局图

（二）工作场所分区管理措施

为加强辐射工作场所的管理，限制无关人员受到不必要的照射，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的有关规定，应对辐射工作场所实行分区管理。《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中控制区和监督区的定义如下：

控制区：需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；

监督区：未被定为控制区，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。

结合定义和本项目场所布局，拟将本项目加速器机房和TOMO机房内部区域划为控制区，拟将加速器控制室、TOMO控制室、水冷机房、机械室、TOMO系统室、信息机房、防护门外过道均划为监督区，拟在监督区边界处设置警戒带和电离辐射警示牌，禁止无关人员进入监督区；对于模拟定位CT室区域，拟将模拟定位CT室内部划为控制区，CT控制室划为监督区。本项目辐射工作场所分区管理示意图详见图10.3。

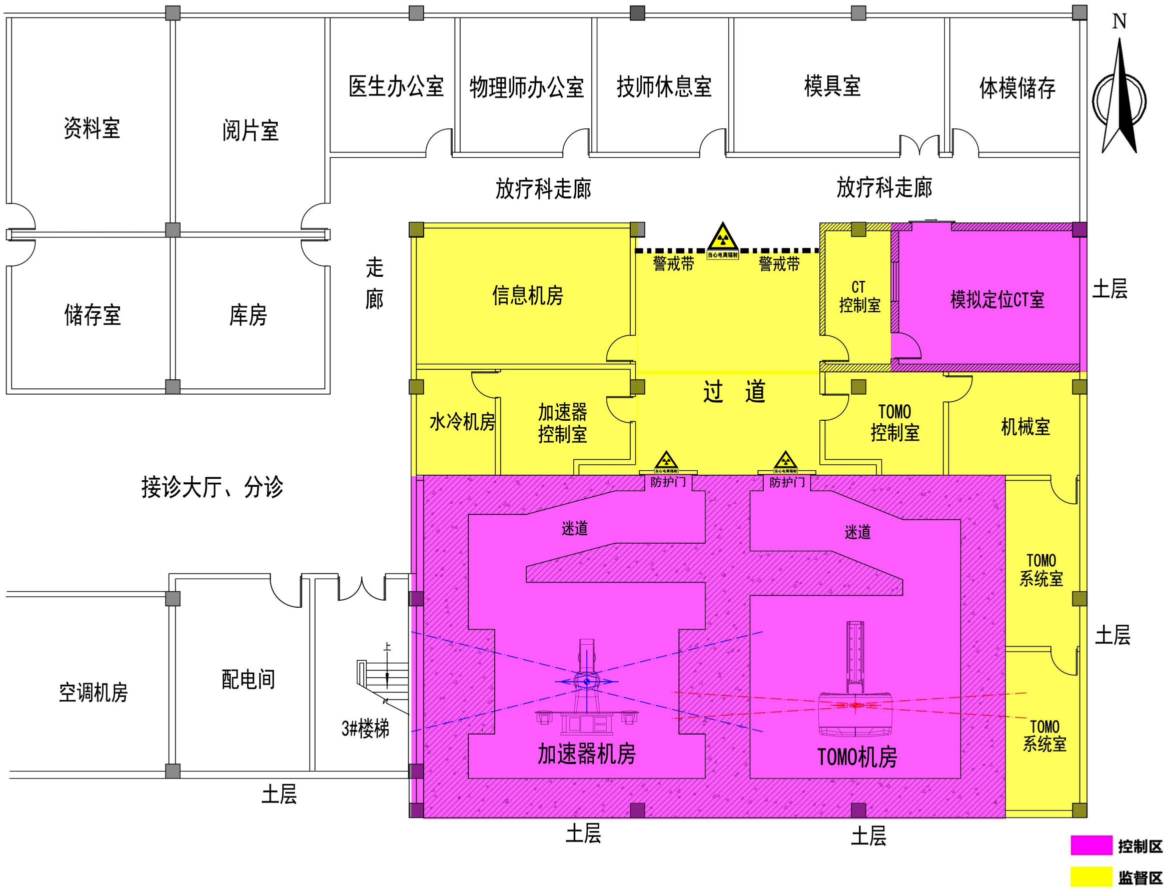


图 10.3 本项目辐射工作场所分区管理示意图

10.1.2 实体屏蔽设计

本项目加速器机房和 TOMO 机房的屏蔽墙和屋顶均采用钢筋混凝土浇筑（混凝土密度 2.35 t/m^3）。加速器机房内部南北长 7.5m，东西宽 7.0m，净高 3.4m，迷道宽 2.0m，加速器机房内部面积为 80.0m^2（含迷道）；TOMO 机房内部南北长 7.0m，东西宽 8.0m，净高 3.4m，迷道宽 2.3m，TOMO 机房内部面积为 76.8m^2（含迷道）。本项目加速器机房和 TOMO 机房的实体屏蔽设计参数见表 10-1，加速器机房和 TOMO 机房平面布局示意图见图 10.4，各机房的剖面示意图见图 10.5。

表 10-1 本项目加速器机房和 TOMO 机房实体屏蔽设计情况

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料和厚度	墙外场所
加速器机房	东侧屏蔽墙	主屏蔽墙：270cm 混凝土，宽 4.0m，内凸； 次屏蔽墙：170cm 混凝土。	TOMO 机房
	西侧屏蔽墙	主屏蔽墙：270cm 混凝土，宽 4.0m，内凸； 次屏蔽墙：170cm 混凝土。	3#楼梯间和分诊大厅
	南侧屏蔽墙	150cm 混凝土	土层
	迷道内墙	60cm~150cm 混凝土	\
	迷道外墙	60cm~150cm 混凝土	加速器控制室、水冷机房

	屋顶	主屏蔽墙：230cm+16cm 混凝土，宽 4.0m，外凸；次屏蔽墙：170cm+16cm 混凝土。	设备间
	防护门	24mmPb 电动平移防护门	门外过道
TOMO 机房	东侧屏蔽墙	170cm 混凝土	TOMO 系统室
	西侧屏蔽墙	170cm 混凝土（主束区域 270cm 混凝土）	加速器机房
	南侧屏蔽墙	150cm 混凝土	土层
	迷道内墙	60cm~170cm 混凝土	\
	迷道外墙	60cm~170cm 混凝土	TOMO 控制室、机械室
	屋顶	170cm 混凝土+16cm 混凝土楼板	设备间
	防护门	24mmPb 电动平移防护门	门外过道
注：混凝土密度均为 2.35t/m^3；本项目加速器机房和 TOMO 机房屋顶上方均为一层的楼板，楼板为 16cm 厚混凝土，各机房屋顶外表面与楼板之间的空隙为封闭空间，无法到达，详见图 10.5。			

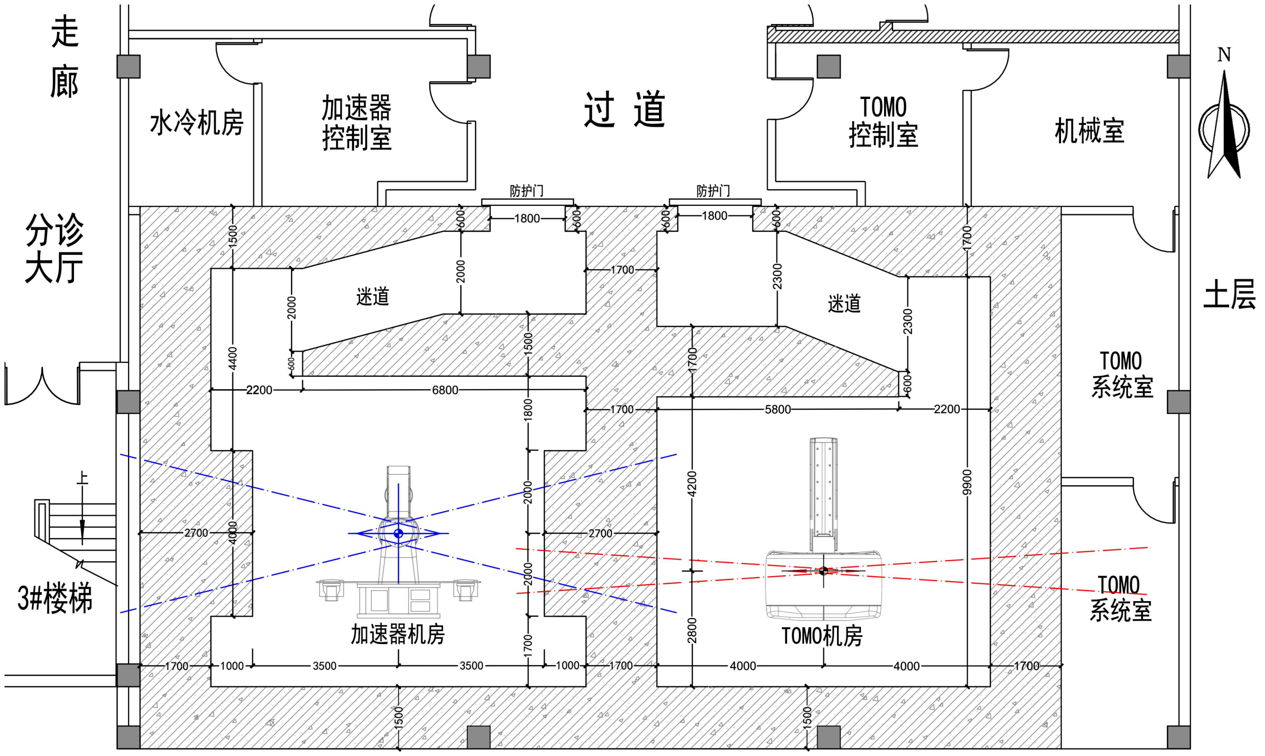
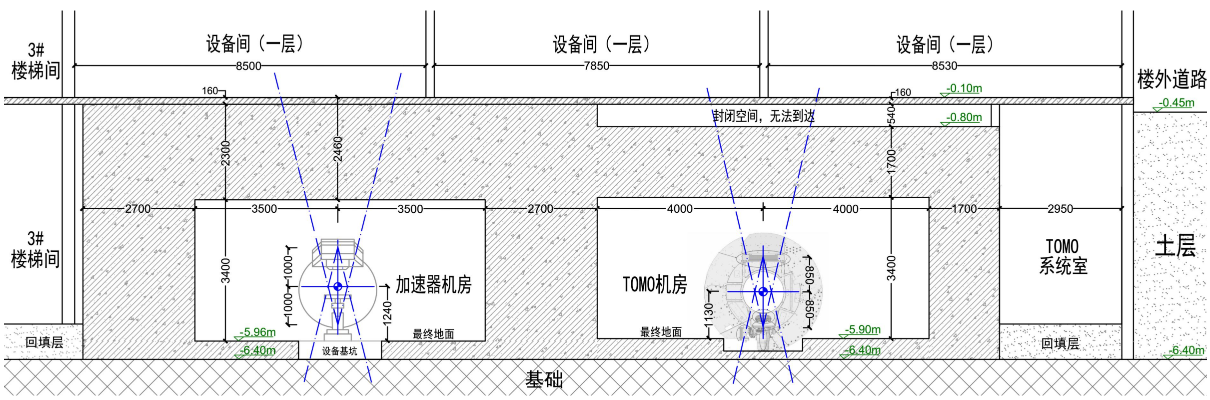
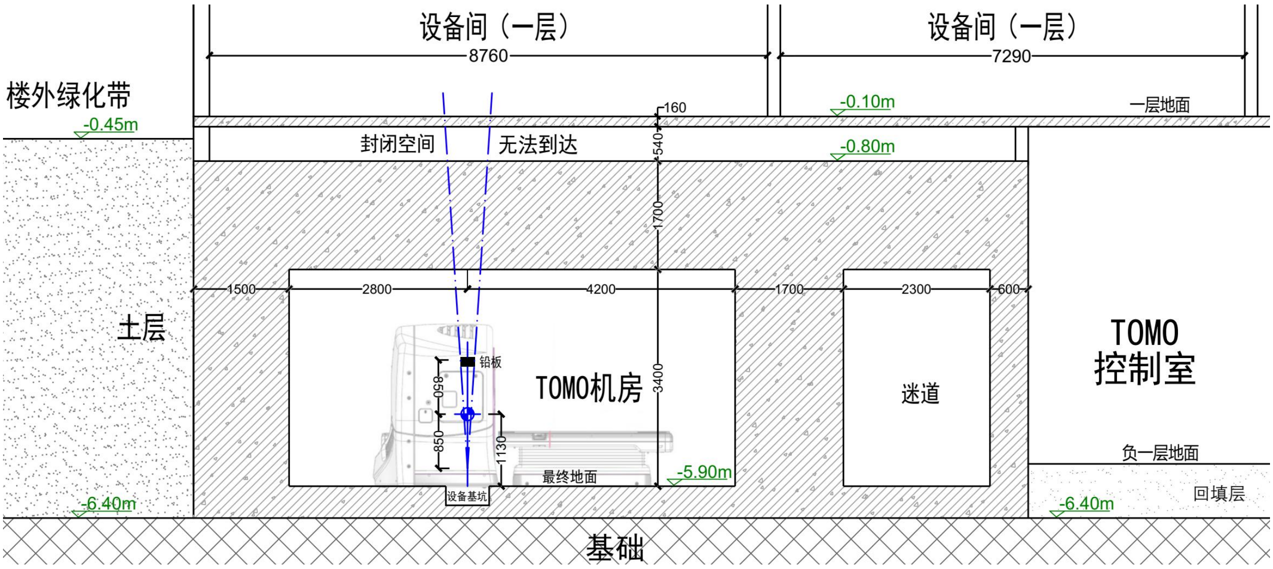


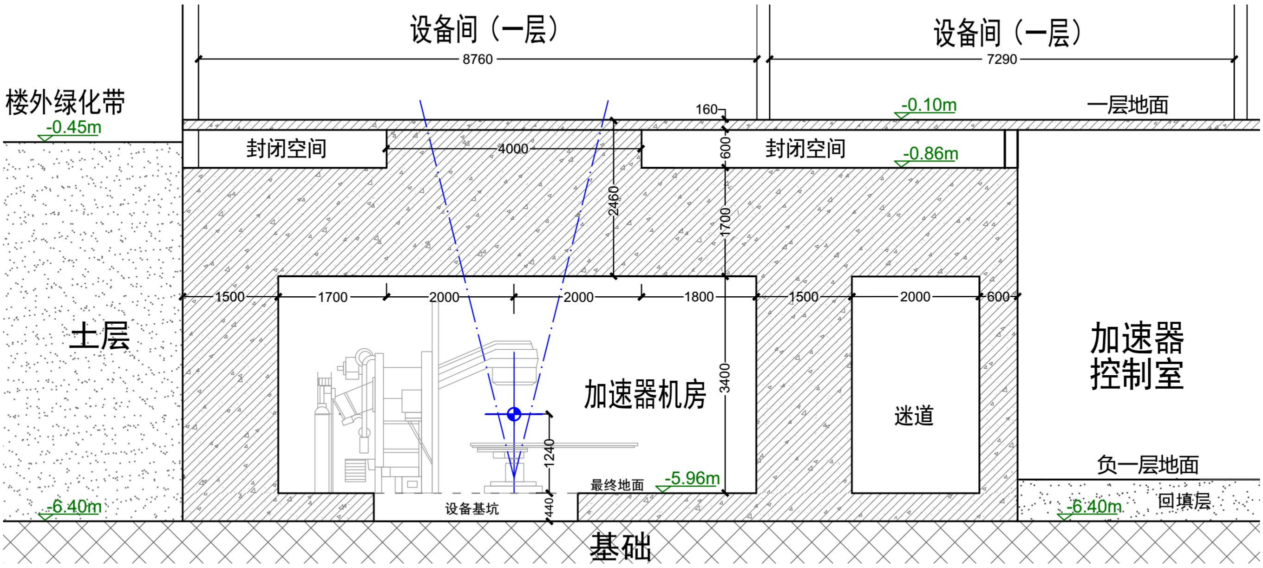
图 10.4 本项目加速器机房和 TOMO 机房平面示意图



（各机房东西向剖面图）



（加速器机房南北向剖面图）



（TOMO 机房南北向剖面图）

图 10.5 本项目加速器机房和 TOMO 机房剖面示意图

10.1.3 辐射安全与防护措施

（1）本项目加速器机房和 TOMO 机房拟采取实体屏蔽措施，保证加速器机房和 TOMO 机房四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5μSv/h，辐射工作人员和公众的年有效剂量满足本评价提出的剂量约束值要求；

（2）本项目辐射工作场所拟实行分区管理，将本项目加速器机房和 TOMO 机房内部划为控制区，加速器控制室、TOMO 控制室、水冷机房、机械室、TOMO 系统室、防护门外过道等区域划为监督区，放疗科走廊南侧监督区边界处拟设置警戒带和电离辐射警示标牌，禁止无关人员进入监督区。监督区边界和控制区入口处拟设置分区管理标识；

（3）加速器机房防护门外、TOMO 机房防护门外、加速器控制室门外和 TOMO 控制

室门外拟设置电离辐射警告标志和中文警示说明；加速器机房和TOMO机房的防护门上方均安装工作状态指示灯，并和对应设备的出束状态关联；

（4）门-机联锁装置：加速器机房和TOMO机房均设置门-机联锁装置，只有当机房防护门关闭时，该机房内的设备才能开机出束；反之，如果照射过程中机房防护门打开，该机房内的设备将立即停止出束；加速器机房和TOMO机房防护门均为24mmPb电动平移防护门，均设置防夹人功能，停电时均能够手动开启，使病人安全转移；

（5）紧急停机按钮：本项目加速器机房工作场所共设置9个紧急停机按钮，其中加速器控制台设1个，加速器设备上设2个，加速器机房内四侧墙壁共设5个，迷道口内侧设1个；本项目TOMO机房工作场所共设置8个紧急停机按钮，其中TOMO设备控制台设1个，TOMO设备上设2个，TOMO机房内四面墙壁共设4个，迷道口内侧设1个；所有紧急停机按钮处须设有明显标志，当遇到意外情况时可立即按动急停按钮，切断设备高压，停止出束。所有紧急停机按钮仅能采用手动方式才能复位；

（6）门控按钮设置：各设备的控制室内拟安装开关门按钮，拟在各机房防护门内侧迷道墙壁上安装紧急开门按钮（无关门按钮）；

（7）加速器机房和TOMO机房均配备固定式剂量率监测仪（每个机房配1套）。固定式剂量率监测仪由剂量探头和显示面板组成，剂量探头拟安装在各设备机房内部，监测仪主机拟安装在对应设备的控制室内，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断该机房内设备的工作状态；

（8）本项目加速器和TOMO设备控制台拟设置钥匙开关或密码启动，各设备由专人负责操作；

（9）本项目加速器和TOMO设备工作场所拟安装电视监控和对讲系统。其中，加速器机房内拟设置5个监控摄像头，监视器位于加速器控制台上方；TOMO机房内拟设置4个监控摄像头，监视器位于TOMO控制台上方；

（10）本项目加速器机房和TOMO机房各设置1套独立的机械通风系统，各机房的通风换气次数均不低于4次/h；其中，加速器机房的2个新风口均位于机房内靠近西墙的吊顶内，2个排风口均位于机房内东墙距地面20cm处；TOMO机房的2个新风口均位于机房内靠近东墙的吊顶内，2个排风口均位于机房内西墙距地面20cm处；加速器机房和TOMO机房通风管道穿墙位置均位于防护门上方，采用“U”形方式穿越屏蔽墙，穿墙洞口两侧墙面均铺设5mm铅皮进行屏蔽补偿。各机房的通风管道布局和穿墙方式详见图10.8和图10.9；

（11）加速器机房的线缆沟位于机房迷路外墙，采用“U”形方式从地下穿越屏蔽墙，

线缆沟出口位于水冷机房，线缆沟外侧设置 10mmPb 铅板防护；TOMO 机房的线缆沟分别位于迷路外墙和机房东墙，均采用“U”形方式从地下穿越屏蔽墙，线缆沟出口分别位于机械室和 TOMO 系统室，线缆沟外侧均设置 10mmPb 铅板防护；各机房的线缆沟位置和穿墙方式详见图 10.8 和图 10.9；

（12）本项目拟新增配备 1 台便携式 X-γ剂量率仪和 4 台个人剂量报警仪（每个机房各 2 台），辐射工作人员进入机房时应随身携带个人剂量报警仪；本项目所有辐射工作人员（不少于 11 名）均须通过辐射安全与防护考核，并配备个人剂量计，开展个人剂量监测工作。

（13）其他要求：各机房安装应急照明和应急出口指示灯，设火灾自动报警装置等。

本项目加速器机房和 TOMO 机房安全联锁及防护措施布置图见图 10.6，加速器机房和 TOMO 机房安全联锁逻辑图见图 10.7，各机房通风管道布局和线缆沟位置示意图见图 10.8，通风管道和电缆沟穿墙方式示意图见图 10.9。

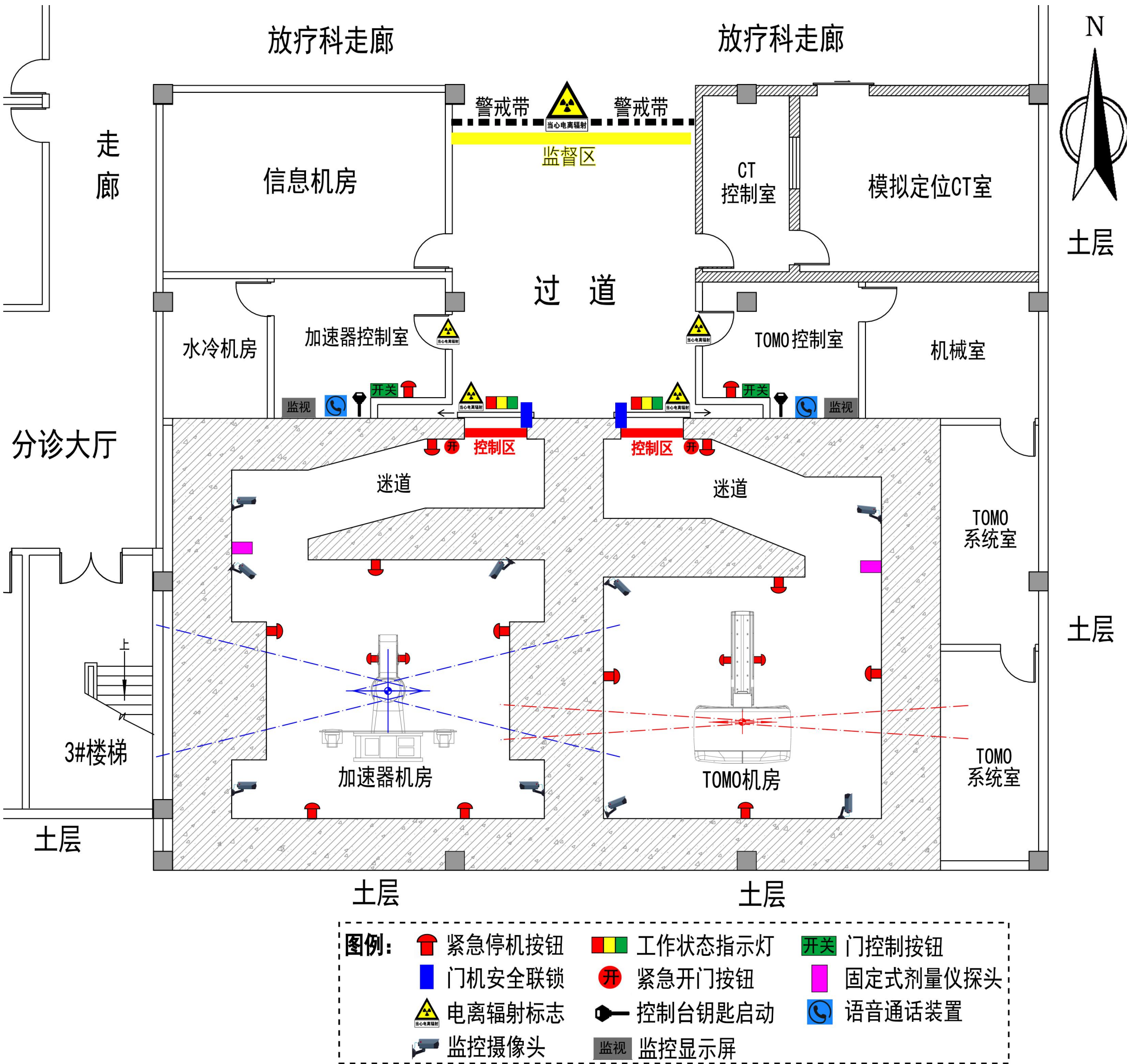


图 10.6 加速器机房和 TOMO 机房安全联锁及防护措施布局示意图

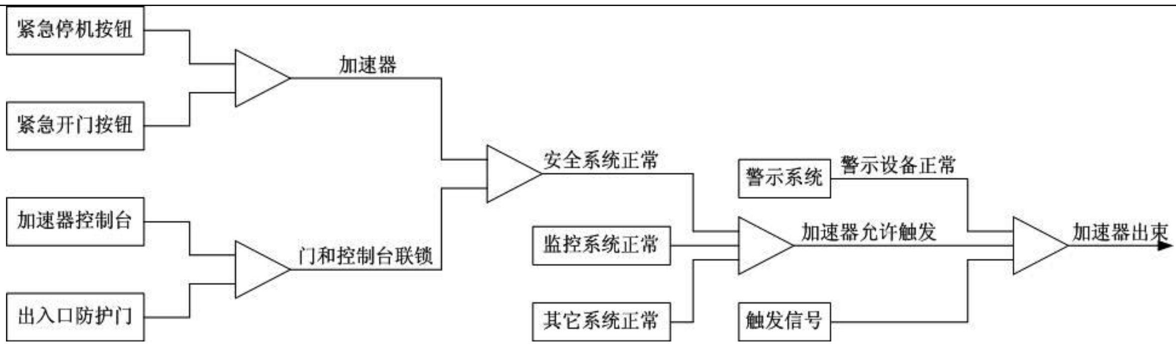


图 10.7 加速器和 TOMO 机房安全联锁逻辑示意图

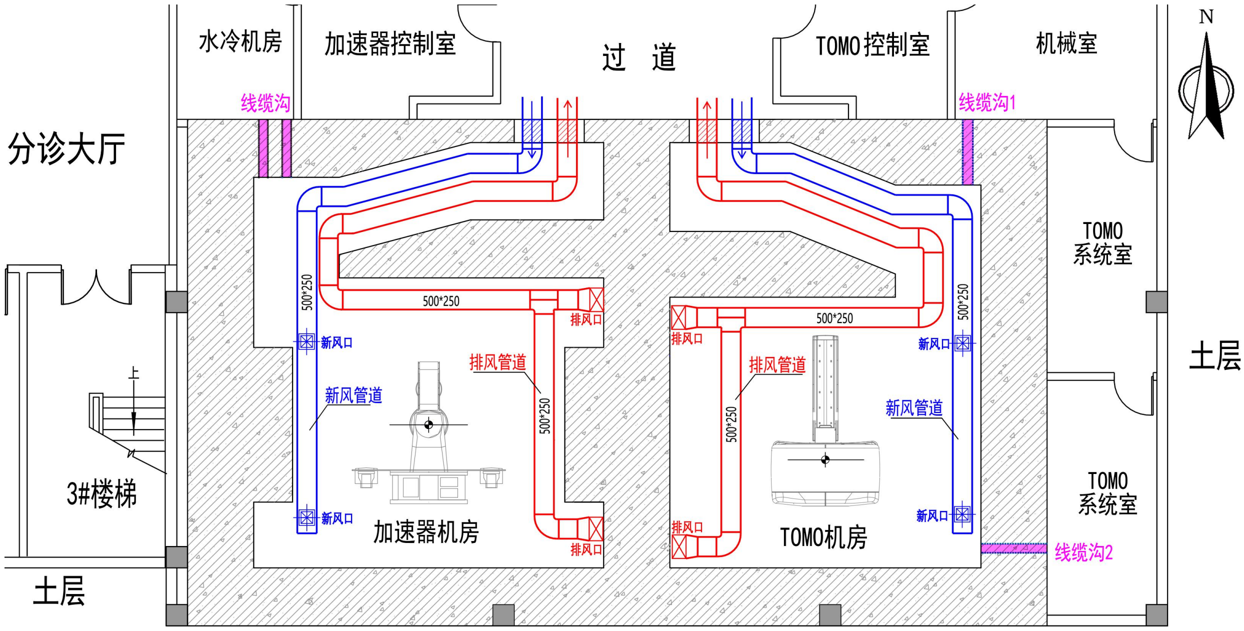


图 10.8 各机房通风管道布局和线缆沟位置示意图

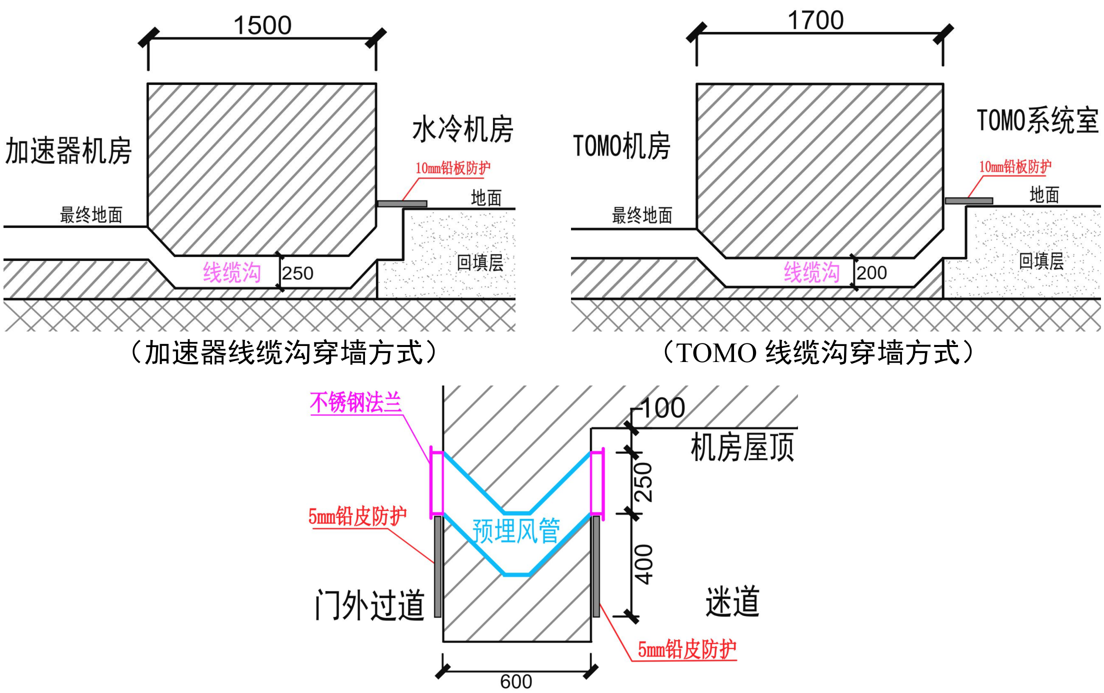


图 10.9 通风管道和电缆沟穿墙方式示意图

10.2 工作场所辐射安全与防护设施管理

本项目加速器机房和TOMO机房拟设置的辐射安全防护设施与《中国核与辐射安全管理体系 现场监督检查和执法程序》（2020年版）中“医用电子直线加速器使用场所监督检查技术程序”（程序编号：NNSA/HQ3-08-JD-IP-033）的对比结果见表10-2。

表10-2 加速器机房和TOMO机房辐射安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	设计建造	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	√	均采用钥匙或密码
2*		控制台有紧急停机按钮	√	各设备控制台均设1个
3*		视频监控与对讲系统	√	各设备机房均设1套
4*		治疗室门与高压联锁	√	均设置门机联锁装置
5*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	防护门外均张贴标准电离辐射标志
6*		入口有加速器工作状态显示	√	防护门外均设置工作状态指示灯
7*		工作场所分区及标识	√	设有分区管理中文标识，监督区边界处设警戒带和电离辐射警示牌
8*	C 照射室紧急设施	屏蔽门内开门按钮	√	各机房防护门内侧设置
9		治疗室门防夹人装置	√	均设有防夹人和停电手动开启
10*		紧急照明或独立通道照明系统	√	均设置紧急照明系统
11*		治疗室内有紧急停机按钮	√	加速器机房内墙面共设置6个； TOMO机房内墙面共设置5个；
12*		治疗床有紧急停机按钮	√	加速器治疗床侧设2个； TOMO设备床侧设2个；
13	D监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	√	加速器和TOMO各配1套，共2套
14*		便携式辐射监测仪器仪表	√	增配1台（加速器和TOMO共用）
15*		个人剂量报警仪	√	增配4台（加速器和TOMO各2台）
16*		个人剂量计	√	每人1支，共计11支
17*	E其他	个人防护用品	√	拟配2套铅衣
18		通风系统	√	各机房均配备强制通风系统

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的均划 /。不能详尽的在备注中说明。

10.3 本项目法规符合情况

10.3.1 与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的符合情况

原环保部2011年第18号令《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，本项目与“18号令”要求的对照情况见表10-3。

表10-3 安全和防护能力对照检查情况

安全和防护管理办法要求	建设单位情况	符合情况
第五条 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。	本项目加速器机房和TOMO机房防护门外拟设置电离辐射警告标识和中文警示说明，各机房防护门上方拟设置工作状态指示灯；各放射治疗机房拟采取门-机安全联锁、急停按钮、紧急开门按钮、监视对讲系统、固定式剂量监测仪、钥匙或密码控制、通风系统等安全与防护措施。	落实后符合
第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	已委托有资质的监测单位开展辐射监测，监测频次为1次/年，监测数据记录存档； 医院将利用本项目配备的便携式X-γ剂量率仪定期开展工作场所自行监测工作。	落实后符合
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。	医院每年1月31日前向生态环境主管部门提交上一年度的辐射安全与防护状况年度评估报告。	近期符合
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。	四惠中医院现有的辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，持证上岗； 本项目拟配备的11名辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后方可上岗从事辐射工作。	落实后符合
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。	四惠中医院所有从事辐射工作的人员均配有个人剂量计，已委托有资质的监测机构开展个人剂量监测，个人剂量计每季度送检1次，个人剂量档案齐全。 医院拟为本项目新增的11名辐射工作人员配备个人剂量计，并按要求开展个人剂量监测工作。	落实后符合
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。	四惠中医院已委托有资质的单位开展工作人员个人剂量监测工作。	近期符合

四惠中医院承诺将按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求采取

相应的辐射安全和防护管理措施，医院在落实上述各项措施后可满足管理办法要求。

10.3.2 对《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求满足情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原环保部“3 号令”，2021 年 1 月 4 日生态环境部部令第 20 号修正）第十六条的规定，对使用射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与法规要求的对照检查见表 10-4。

表 10-4　与“3 号令”要求对照检查情况

3 号令要求	建设单位落实情况	是否符合
设有专门的辐射安全与环境保护管理机构。	四惠中医院已成立辐射安全与环境保护管理机构，并设有专职专职人员负责辐射安全管理的日常工作。	近期符合
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。	四惠中医院现有的辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，持证上岗； 本项目拟配备的 11 名辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后方可上岗从事辐射工作。	落实后符合
放射性同位素与射线装置使用场所有防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目加速器机房和 TOMO 机房防护门外拟设置电离辐射警告标识和中文警示说明，各机房防护门上方拟设置工作状态指示灯；各放射治疗机房拟采取门-机安全联锁、急停按钮、紧急开门按钮、监视对讲系统、固定式剂量监测仪、钥匙或密码控制、通风系统等安全与防护措施。	落实后符合
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。	本项目拟新增配备 1 台便携式 X-γ剂量率仪、4 台个人剂量报警仪和 2 台固定式剂量率监测仪。	落实后符合
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。	四惠中医院拟根据本项目建设内容，增加本项目加速器设备、TOMO 设备的操作规程，建立并健全各项辐射安全管理规章制度，制定本项目加速器和 TOMO 工作场所的辐射监测方案，定期开展场所环境辐射水平监测。	落实后符合
有完善的辐射事故应急措施。	四惠中医院拟建立健全《辐射事故应急处理预案》，将本项目射线装置和工作场所纳入应急预案进行管理。《辐射事故应急处理预案》须符合工作实际，明确应急管理小组及应急职责、事故分级、应急响应流程、事故应急处置、事故上报、应急终止、应急联系方式、应急演练和培训等内容。	落实后符合

四惠中医院在以上落实各项辐射防护措施，并建立健全各项辐射安全管理规章制度后，医院将具备“使用Ⅱ类射线装置”的单位申请《辐射安全许可证》应具备的基本条件。

10.4 三废的治理

《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《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）指出，X 射线能量低于 10MV 的加速器，无需考虑中子辐射及中子俘获γ射线，本项目使用的医用电子直线加速器和 TOMO 设备的 X 射线最大能量为 6MV，故无需考虑中子、感生放射性、活化产污和的“放射性三废”环境影响。此外，放疗设备产生的 X 射线与机房内的空气作用会产生少量的臭氧、氮氧化物等非放有害气体，有害气体经各机房的机械通风系统排放到大气环境中，对环境的影响很小。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目在建设阶段和设备安装阶段无辐射产生，不会对周围环境产生辐射影响。

本项目建设过程中，施工活动对环境的影响主要是产生的噪声、粉尘以及振动等，为降低对周围环境的影响，在施工过程中将严格遵守施工安全相关规定，施工期间采取降噪、防尘措施，合理安排施工时间，将产生振动较大的工程安排在下班或节假日进行。本项目是在已有的建筑物内建设混凝土机房，工程量相对较小，对周围环境的影响很小。本项目设备安装过程由设备厂家的专业安装人员完成，设备安装过程中严格限制无关人员停留，在机房内进行安装活动，对公众和周围环境的影响较小，不再进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 电子直线加速器环境影响分析

（一）设备技术参数

本项目拟新增使用的医用电子直线加速器 X 射线最大能量为 6MV，有用线束距靶点 1m 处最大输出剂量率为 600cGy/min；电子线最大能量为 15MeV，电子束治疗时最大输出剂量率为 600cGy/min。本项目医用电子直线加速器技术参数详见表 11-1。

表 11-1 本项目医用电子直线加速器技术参数表

设备型号	医科达 Synergy 型医用电子直线加速器
治疗模式	可开展常规放疗和调强放疗
射线种类和能量	X 射线最大能量 6MV；电子线最大能量 15MeV
最大输出剂量率	X 射线 600cGy/min；电子线 600cGy/min
泄漏率	<0.1%
主射束张角	±14°
最大射野尺寸	40cm×40cm（SSD=100cm）
等中心点高度	124cm
机架旋转范围	360°
CBCT 参数	最大管电压 130kV，最大管电流 500mA

（二）使用规划

（1）工作量：根据四惠中医院提供的信息，本项目加速器运行后，预计每天的治疗量最多为 30 人次。完成每人次放射治疗须经过“确认患者信息和治疗计划、患者进入机房、患者上床、工作人员指导摆位、关门、实施照射、开门、患者下床、患者离开机房”等一系列流程，预计平均耗时约 15min/人次，全天完成 30 人次治疗耗时约 7.5h。本项目

加速器每周计划运行 5 个工作日，年运行 50 周，年运行 250 天，年累计治疗量不超过 7500 人次。

（2）出束时间：对于常规放射治疗，平均每人次待照射区照射剂量 2~3Gy，在和最高剂量率 600cGy/min 和等中心点最大照射野（40×40）cm^2 的照射条件下，用时不超过 0.5min/人次，全天完成 30 人次治疗的照射时间为 15min/d，年累计照射时间为 62.5h。

适形调强放射治疗（IMRT）等调强放疗与常规放疗相比，给予患者待照射区的照射剂量是相同的，但调强放疗时等中心处照射野会明显变小，因此调强治疗需要更长的照射时间，泄漏辐射的工作负荷将会显著增加。预计本项目接受调强治疗患者占比在 90%以上，保守考虑所有患者都接受调强治疗。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 A.1，当调强放射治疗与常规放射治疗人数相同时，相应的有用线束和有用线束的散射辐射的工作负荷与常规放疗相同。但对于泄漏辐射，其工作负荷将会显著增加，本项目泄漏辐射工作负荷保守取常规放疗的 5 倍（调强因子取 N=5）。在考虑调强放疗后，本项目加速器的照射时间详见表 11-2。

表 11-2 本项目加速器的照射时间预计

射线类型	照射时间（h）	
	天	年
有用线束、散射辐射[a]	0.25	62.5
泄漏辐射[b]	1.25	312.5

注：a）有用线束和散射辐射均是按最大剂量率和最大照射野条件下折算出的照射时间；
b）调强治疗时，有用线束给予患者的总剂量不变，但照射所需时间增加，因此保守按 5 倍（调强因子取 5）的照射时间来计算泄漏辐射对机房外人员的年附加剂量。

（3）利用因子：对于常规治疗，加速器机头向下（0°）出束时间占年工作量的 55%，机头 90°、270°、180°（向上）出束时间各占年工作量的 15%，考虑到绝大多数患者均接受调强放疗（通常为适形调强 IMRT、容积旋转调强 VMAT 等），故本项目将加速器机头 90°、270°、180°（向上）的出束时间占比均提高至 25%，据此保守估算加速器机房周围人员的受照剂量。

（三）辐射环境影响评价方法

（1）射线类型（X 射线）：

本项目加速器可开展 X 射线放射治疗和电子线放射治疗，考虑到电子束治疗次数有限（不足 X 射线治疗量的 1%），且电子线治疗过程中，电子束与机床、人体等组织作用产生的韧致辐射 X 射线能量和强度均远低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线，加速器机房屏蔽墙和防护门若满足治疗 X 射线的屏蔽防护要求，就可以满足电子线以及电子线所产

生的轫致辐射 X 射线的防护要求，故本项目对电子束的环境影响不作具体评价。

本项目加速器配套有 CBCT 影像引导系统，CBCT 最大管电压 130kV，即 CBCT 产生的 X 射线最大能量为 0.13MV，其 X 射线能量和输出剂量率均远远小于 X 射线治疗束，若放射治疗时机房的实体屏蔽能够满足本评价提出的剂量率控制水平，则 CBCT 系统运行对周围人员和环境的影响将极其轻微。

综上所述，本项目对加速器在 X 射线 6MV、600cGy/min 的工况运行时对周围环境的辐射影响进行评价。

（2）射线能量（6MV）：

参照《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）第 4.7.4 条款，对于大于 10MV 的 X 射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑 X 射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获γ射线。本项目拟新增的加速器 X 射线最大能量为 6MV，因此不再需考虑中子、感生放射性以及中子活化的辐射影响问题。

（3）机房不同墙面需要考虑的辐射：

有用线束主屏蔽区：主屏蔽墙外均考虑有用束直接照射；

与主屏蔽区相邻的次屏蔽区：次屏蔽墙外考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合影响；

侧屏蔽墙：其他墙仅考虑泄漏辐射的影响（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.1，侧屏蔽墙可不考虑患者散射辐射的影响）；

机房防护门：应考虑泄漏辐射穿过迷路内墙以及迷道内散射辐射的剂量率贡献。

（四）附加剂量率估算方法

主要分析加速器以 X 射线 6MV、600cGy/min 工况运行时，计算加速器机房周围各关注点处的附加剂量率水平是否满足本评价提出的剂量率控制要求，

（1）有用线束

参考 NCRP NO.151 报告中式 2.1～2.4，初级 X 射线的屏蔽可由式（11-1）、式（11-2）计算：

$$H_{pri} = \frac{B_{pri}WUT}{d_{pri}^2} \qquad (11\text{-}1)$$

$$B_{pri} = 10^{-[1+(\frac{\Delta - TVL_1}{TVL_e})]} \qquad (11\text{-}2)$$

式中：H_{pri}— 关注点处的附加剂量率（μGy/h）；

B_{pri}— 主屏蔽墙对应的屏蔽透射因子；

W— 有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，600cGy/min，取 3.6×10^{8}μGy/h；

T— 居留因子，计算瞬时附加剂量率取 1；

U— 使用因子，计算瞬时附加剂量率取 1；

d_{pri}— 靶点至主屏蔽墙外关注点的距离，m；

△— 屏蔽材料厚度，cm；

TVL_1— 有用线束在屏蔽材料中的第一个十分之一值层厚度，见表 11-3；

TVL_e— 有用线束在屏蔽材料中平衡时的十分之一值层厚度，见表 11-3。

表 11-3　6MV 的 X 射线对应不同材料的 TVL 值

射线类型		混凝土（cm）		铅（cm）	
		TVL_1	TVL_e	TVL_1	TVL_e
有用线束	6MV	37	33	5.7	5.7
泄漏辐射	6MV	34	29	5.7	5.7
注：数据取自 NCRP REPORT NO.151 附录表 B.2、B.7。					

（2）泄漏辐射

参考 NCRP NO.151 报告中式 2.8，泄漏辐射的屏蔽可由式（11-3）和式（11-4）计算，泄漏辐射剂量率按初级辐射剂量率的 0.1%计：

$$H_L=\frac{B_L WT}{1000d_L^2} \tag{11-3}$$

$$B_L=10^{-[1+(\frac{\Delta-TVL_1}{TVL_e})]} \tag{11-4}$$

式中：H_L— 关注点处的附加剂量率（μGy/h）；

1/1000— 机头泄漏辐射比率，即 0.1%，

B_L— 屏蔽透射因子；

W— 有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，600cGy/min，取 3.6×10^{8}μGy/h；

T — 居留因子，计算瞬时剂量率取 1；

d_L— 靶点距关注点的距离，m；

TVL_1— 泄漏辐射在屏蔽材料中的第一个十分之一值层厚度，见表 11-3；

TVL_e— 泄漏辐射在屏蔽材料中平衡时的十分之一值层厚度，见表 11-3。

（3）患者的散射辐射

参考 NCRP NO.151 报告中式 2.7，散射辐射的屏蔽可由式（11-5）和式（11-6）计算：

$$H_{ps}=\frac{B_{ps}\alpha WT\frac{F}{400}}{d_{sca}^{2}d_{\sec}^{2}} \tag{11-5}$$

$$B_{p}=10^{-\frac{\Delta}{TVL_{sca}}} \tag{11-6}$$

式中：H_{ps}— 关注点处附加剂量率（μGy/h）；

B_{ps}— 屏蔽透射因子；

α— 患者体表对初级辐射束的散射比，由入射 X 射线能量及散射角度决定，根据 NCRP NO.151 附录 B 表 B.4，6MV 的 X 射线对应的散射比取 2.77×10^{-3}（30°）和 1.39E-03（45°）；

W— 有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高剂量率，600cGy/min，取 3.6×10^{8}μGy/h；

T— 居留因子，计算瞬时剂量率取 1；

F— 有用束在等中心处照射野面积，按最大照射野计算，取（40×40）cm²；

d_{sca}— 靶点至患者的距离，取 1m；

d_{sec}— 患者至墙外关注点的距离；

TVL_{sca}— 患者散射辐射在屏蔽材料中的十分之一值层厚度，见表 11-4。

表 11-4 普通混凝土对病人散射线以不同角度散射所致的 TVL_{sca}

屏蔽材料	工况	散射角					
		15°	30°	45°	60°	90°	135°
混凝土（cm）	6MV	34	26	23	21	17	15
注：数据取自 NCRP REPORT NO.151 附录表 B.5a、表 B.5b。							

表 11-5 本项目加速器机房周围附加剂量率估算参数汇总表

射线能量	有用线束	泄漏辐射	散射辐射
X 射线 6MV	W：3.6×10^{8}μGy/h； TVL_1：37cm； TVL_e：33cm；	W：3.6×10^{8}μGy/h； 泄漏率：0.1%； TVL_1：34cm； TVL_e：29cm； TVL_{Pb}：5.7cm；	W：3.6×10^{8}μGy/h； α：2.77×10^{-3}（30°散射）、1.39×10^{-3}（45°散射）； F：1600cm²； d_{sca}：1.0m； TVL_{sca}：26cm（30°散射）、23cm（45°散射）；

（4）关注点选取

本项目加速器机房周围关注点位置平面示意图和剖面示意图见图 11.1 和图 11.2。

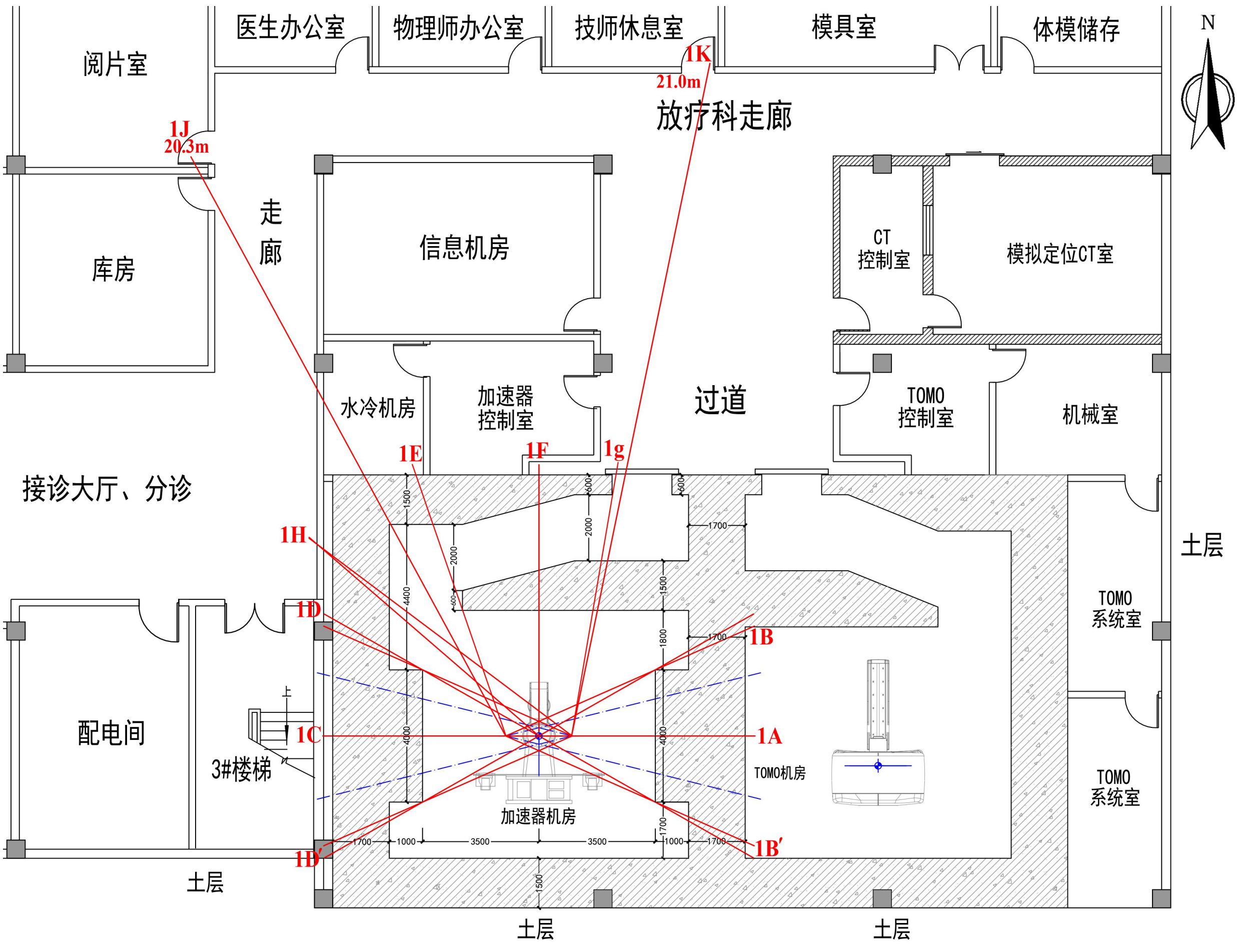


图 11.1 本项目加速器机房周围关注点平面示意图

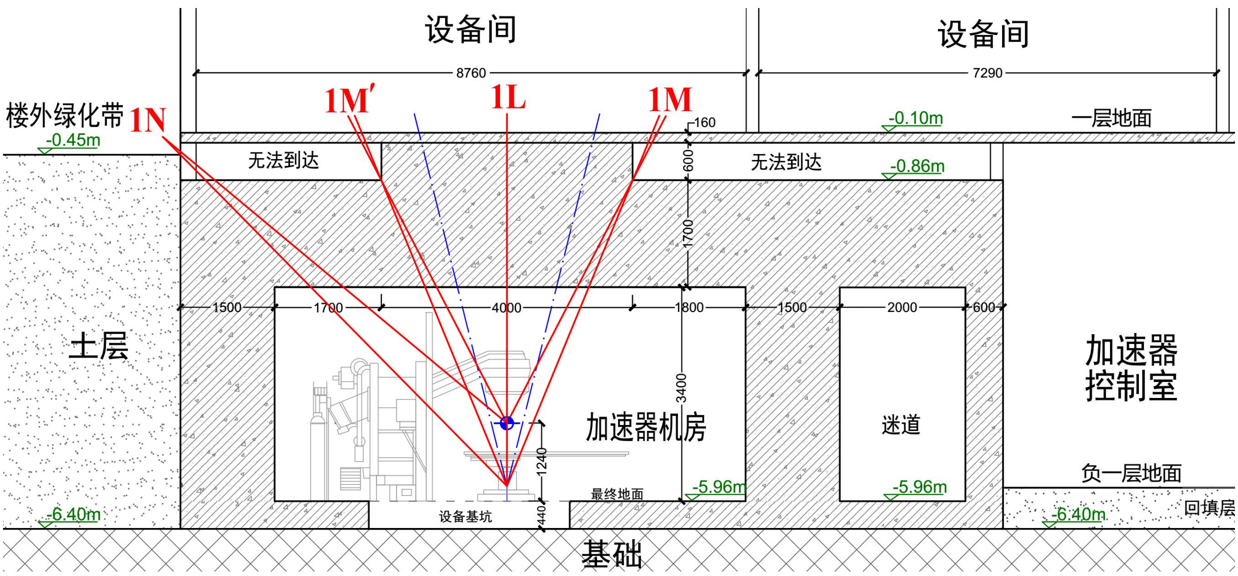


图 11.2 本项目加速器机房周围关注点剖面示意图

（五）附加剂量率估算结果

本项目电子直线加速器在 X 射线 6MV、600cGy/min 的工况下运行时，加速器机房周围各关注点处的附加剂量率估算结果见表 11-6。

<table>
<caption>表 11-6 本项目加速器机房周围各关注点的附加剂量率估算结果</caption>
<tr><th>点位</th><th>主要射线束</th><th>距离（m）</th><th>有效屏蔽厚度*（cm）</th><th>透射因子</th><th colspan="2">附加剂量率（μGy/h）</th></tr>
<tr><td>1A
东墙主屏蔽墙外 30cm</td><td>主束</td><td>7.5</td><td>270cm 混凝土</td><td>8.70E-09</td><td colspan="2">5.57E-02</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1B
东墙次屏蔽墙外 30cm</td><td>泄漏辐射（24°斜射）</td><td>8.2</td><td>186cm 混凝土</td><td>5.74E-07</td><td>3.07E-03</td><td rowspan="2">5.18E-03</td></tr>
<tr><td>散射辐射（30°斜射）</td><td>7.4</td><td>196cm 混凝土</td><td>2.89E-08</td><td>2.11E-03</td></tr>
<tr><td>1C
西墙主屏蔽墙外 30cm</td><td>主束</td><td>7.5</td><td>270cm 混凝土</td><td>8.70E-09</td><td colspan="2">5.57E-02</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1D
西墙次屏蔽墙外 30cm</td><td>泄漏辐射（24°斜射）</td><td>8.2</td><td>186cm 混凝土</td><td>5.74E-07</td><td>3.07E-03</td><td rowspan="2">5.18E-03</td></tr>
<tr><td>散射辐射（30°斜射）</td><td>7.4</td><td>196cm 混凝土</td><td>2.89E-08</td><td>2.11E-03</td></tr>
<tr><td>1E
北墙外水冷机房</td><td>泄漏辐射</td><td>8.6</td><td>150cm 混凝土</td><td>1.00E-05</td><td colspan="2">4.87E-02</td></tr>
<tr><td>1F
北墙外加速器控制室</td><td>泄漏辐射</td><td>8.2</td><td>210cm 混凝土</td><td>8.53E-08</td><td colspan="2">4.57E-04</td></tr>
<tr><td>1g
机房防护门外 30cm</td><td>泄漏辐射</td><td>8.4</td><td>150cm 混凝土
+0.24cm 铅</td><td>3.79E-06</td><td colspan="2">1.94E-02</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1H
西墙外分诊大厅</td><td>泄漏辐射（40°斜射）</td><td>9.9</td><td>222cm 混凝土</td><td>3.29E-08</td><td>1.21E-04</td><td rowspan="2">1.22E-04</td></tr>
<tr><td>散射辐射（45°斜射）</td><td>9.1</td><td>240cm 混凝土</td><td>3.67E-11</td><td>8.88E-07</td></tr>
<tr><td>1J
西北方向阅片室</td><td>泄漏辐射（30°斜射）</td><td>20.3</td><td>173cm 混凝土</td><td>1.61E-06</td><td colspan="2">1.41E-03</td></tr>
<tr><td>1K
北侧放疗科办公区域</td><td>泄漏辐射</td><td>21.0</td><td>150cm 混凝土
+0.24cm 铅</td><td>3.79E-06</td><td colspan="2">3.10E-03</td></tr>
<tr><td>1L
屋顶主屏蔽墙外 30cm</td><td>主束</td><td>5.9</td><td>246cm 混凝土</td><td>4.64E-08</td><td colspan="2">4.80E-01</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1M
屋顶次屏蔽墙外 30cm</td><td>泄漏辐射（22°斜射）</td><td>6.4</td><td>200cm 混凝土</td><td>1.89E-07</td><td>1.66E-03</td><td rowspan="2">2.76E-03</td></tr>
<tr><td>散射辐射（28°斜射）</td><td>5.5</td><td>210cm 混凝土</td><td>8.38E-09</td><td>1.10E-03</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1N
屋顶南侧楼外绿化带</td><td>泄漏辐射（40°斜射）</td><td>7.8</td><td>222cm 混凝土</td><td>3.29E-08</td><td>1.95E-04</td><td rowspan="2">1.96E-04</td></tr>
<tr><td>散射辐射（45°斜射）</td><td>7.1</td><td>240cm 混凝土</td><td>3.67E-11</td><td>1.46E-06</td></tr>
<tr><td colspan="7">注：混凝土密度 2.35t/m³，表中屏蔽材料厚度已根据斜射角度换算为有效屏蔽厚度。</td></tr>
</table>

（六）机房防护门外附加剂量率估算

本项目加速器机房迷道口防护门内侧主要考虑患者散射辐射，以及 X 射线主束和泄漏辐射的散射辐射贡献，根据 NCRP NO.151，加速器防护门外的剂量率考虑下列贡献：

① 泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}；

② 主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{ps}；

③ 主束穿过患者并经屏蔽墙二次散射的剂量率贡献 H_{ss}；

④ 泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的剂量率贡献 H_{LT}。

各部分剂量率贡献计算如下：

（1）加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}：

机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射示意图见图 11.3，参考 NCRP NO.151 中式 2.10：

$$H_{LS}=\frac{L_f\cdot W\cdot U\cdot \alpha_1\cdot A_1}{(d_{\sec}\cdot d_{ZZ})^2} \qquad (11\text{-}7)$$

式中：H_{LS}— 预测点处辐射剂量率，μGy/h；

L_f — 机头泄漏辐射比率，取 0.1%

W — X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率；

U— 墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

α_1— 散射墙对泄漏辐射的反散射系数（见表 11-7）；

A_1 — 迷道入口处可见散射墙的面积，m²；

d_{sec} — 靶点至散射墙迷路中心线对应点的距离，m；

d_{zz} — 散射墙到迷道入口处的距离，m。

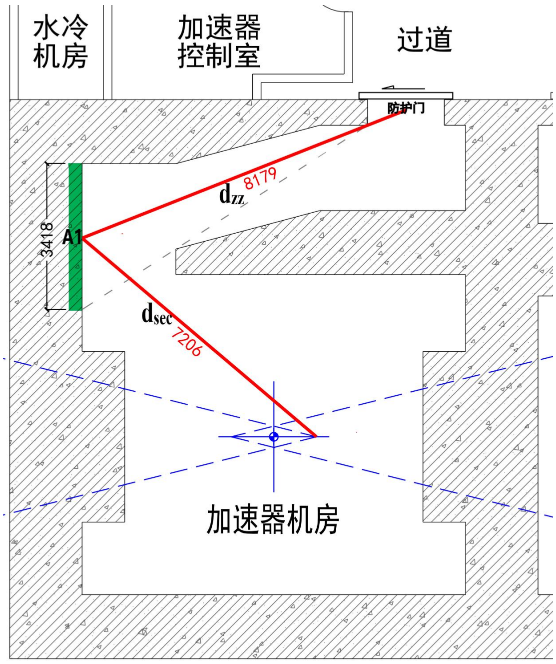


图 11.3 泄漏辐射经屏蔽墙一次散射示意图

（2）主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{ps}

主束经患者和屏蔽墙各一次散射示意图见图 11.4，参考 NCRP NO.151 中计算式 2.11 ：

$$H_{ps}=\frac{\alpha(\theta)\cdot W\cdot U\cdot(F/400)\cdot\alpha_1\cdot A_1}{(d_{sca}\cdot d_{\sec}\cdot d_{ZZ})^2} \tag{11-8}$$

式中：H_{ps}— 预测点处辐射剂量率，μGy/h；

W— X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率；

U— 墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

F— 有用束在等中心处的最大照射野面积，取（40×40）cm^2；

$\alpha(\theta)$— 患者对初级辐射的散射比（见表 11-7）；

α_1— 散射墙对患者散射辐射的反射系数（见表 11-7）；

A_1— 迷道入口处可见散射墙的面积，m^2；

d_{sca}— 靶点至患者的距离，取 1m；

d_{sec}— 靶点至散射墙迷路中心线对应点的距离，m；

d_{zz}— 散射墙到入口处的距离，m。

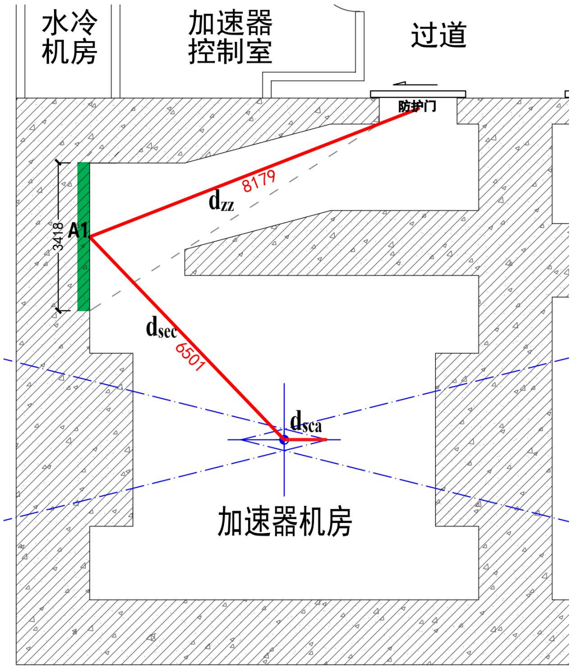


图 11.4 主束经患者和屏蔽墙散射示意图

（3）主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射的剂量率贡献 H_{ss}

主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射示意图见图 11.5，参考 NCRP NO.151 中式 2.9：

$$\dot{H}_{ss}=\frac{W\cdot U\cdot\alpha_0\cdot A_0\cdot\alpha_Z\cdot A_Z}{(d_h\cdot d_r\cdot d_z)^2} \tag{11-9}$$

式中：H_{ss}— 预测点处辐射剂量率，μGy/h；

W— X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率；

U— 墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

α_0— 主束散射面的散射系数（见表 11-7）；

A_0— 等中心处最大照射野投影在主屏蔽墙上的面积，m^2；

α_Z— 主束到达二次散射墙发生第二次散射的反散射系数（见表 11-7）；

A_Z— 主束的散射线到达二次散射墙时的二次散射面积，m^2；

d_h— 靶点至主束散射面的距离，m；

d_r— 主束散射面中心点至迷路中心线的距离，m；

d_z— 迷路中心线到防护门入口处的距离，m。

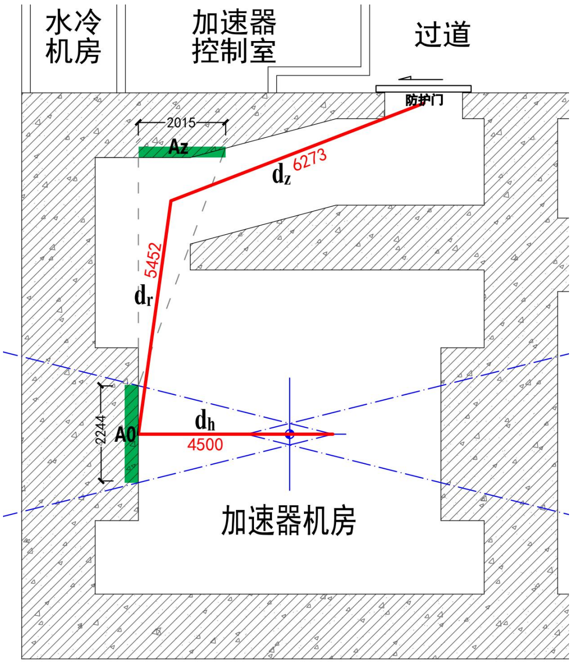


图 11.5 主束穿过患者经屏蔽墙二次散射示意图

（4）泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的剂量率贡献 H_{LT}

根据表 11-6 估算结果，泄漏辐射穿过迷道内墙和防护门的剂量率为 1.94E-02μGy/h；

本项目加速器机房迷道口内侧的总剂量率贡献值列于表 11-7。

表 11-7 本项目加速器机房迷路口内侧剂量率计算参数及结果

剂量率贡献	参数	数值	单位	依据
加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}	H_{LS}	9.22	μGy/h	依式（11-7）计算
	W	3.60E+08	μGy/h	设备参数
	L_f	0.001	-	设备参数
	α_1	7.7E-03	-	NCRP NO.151 TableB.8b/60°
	A_1	11.6	m^2	设计资料
	d_{sec}	7.2	m	设计资料

	d_{zz}	8.2	m	设计资料
主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{PS}	$\boldsymbol{H_{ps}}$	163.46	μGy/h	依式（11-8）计算
	W	3.60E+08	μGy/h	设备参数
	F	1600	cm^2	设备参数
	α_θ	1.39E-03	-	NCRP NO.151 TableB.4/45°
	α_1	2.0E-02	-	NCRP NO.151 TableB.8b（60°/0.5 MeV）
	A_1	11.6	m^2	设计资料
	d_{sec}	6.5	m	设计资料
	d_{zz}	8.2	m	设计资料
主束穿过患者经屏蔽墙表面二次散射的剂量率贡献 H_{SS}；	$\boldsymbol{H_{ss}}$	25.76	μGy/h	依式（11-9）计算
	W	3.60E+08	μGy/h	设备参数
	α_0	2.7E-03	-	NCRP NO.151 TableB.8a/75°
	α_z	1.8E-02	-	NCRP NO.151 TableB.8b（75°/0.5MeV）
	A_0	5.0	m^2	设计资料
	A_z	6.9	m^2	设计资料
	d_h	4.5	m	设计资料
	d_r	5.4	m	设计资料
	d_z	6.3	m	设计资料
泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的贡献	$\boldsymbol{H_{LT}}$	2.78E-02	μGy/h	表 11-6 的计算结果

NCRP NO.151 报告给出，迷道口内侧来自有用线束和机头泄漏射线的散射 X 射线能量较低，平均值约为 0.2MeV，在铅中的 TVL 值取 5mm。本项目加速器机房防护门的防护厚度为 24mmPb，根据表 11-7 的计算结果可得，加速器机房防护门外的附加剂量率为：

（9.22+163.46+25.76）$\times 10^{-(24/5)} + 0.0194 = 2.25E\text{-}02$μGy/h。

综合表 11-6 和表 11-7 的估算结果可知，本项目加速器以最大工况运行时，加速器机房四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处的附加剂量率最大值为 4.80E-01μGy/h（屋顶主屏蔽墙外 30cm 处），远低于本评价提出的不大于 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，预计本项目加速器机房周围 50m 评价范围内保护目标所处区域的附加剂量率将远远小于 2.5μSv/h。

（七）其他辐射影响分析

（1）主屏蔽墙宽度分析

参考《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），加速器主屏蔽墙宽度 Y_P 应满足：

$$Y_P = 2[(a + SAD) \times \tan\theta + 0.3] \quad (11\text{-}10)$$

式中： Y_P — 加速器室有用线束主屏蔽区的宽度，m；

SAD — 源轴距，本项目取 1m；

θ— 有用线束最大半张角，取 14°；

a— 等中心点到主屏蔽相连接的次屏蔽墙内表面的距离（内凸形式），或等中心点到主屏蔽区墙的外表面的距离（外凸形式），m；

本项目加速器机房东侧、西侧主屏蔽墙均为内凸形式，等中心点至南侧次屏蔽墙内表面的距离 a 为 4.5m，计算可得主屏蔽墙宽度应不小于 3.34m，本项目加速器机房东西两侧主屏蔽墙设计宽度均为 4.0m，宽度满足要求；

本项目加速器机房主屏蔽墙为外凸形式，等中心点至屋顶主屏蔽墙外表面的距离 a 为 4.62m，计算可得主屏蔽墙宽度应不小于 3.40m，本项目加速器机房屋顶主屏蔽墙设计宽度为 4.0m，宽度满足要求；

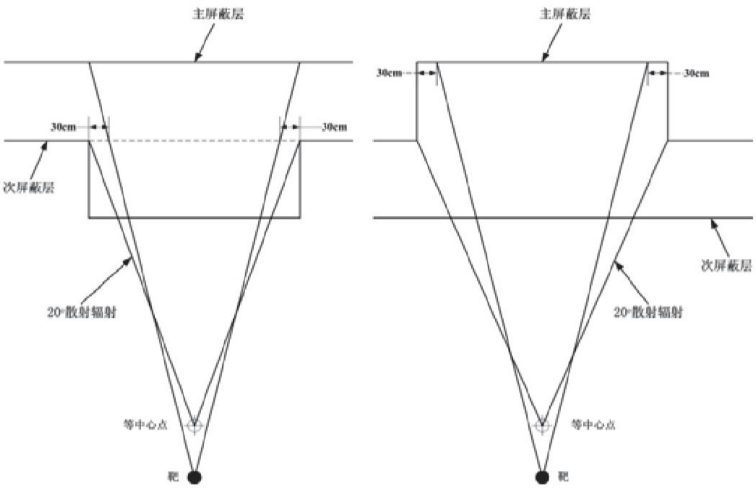


图 11.6 主屏蔽墙宽度要求示意图

（2）CBCT 运行环境影响分析

本项目加速器 CBCT 的球管的最大管电压为 130kV，CBCT 的 X 射线能量和输出剂量率均远低于治疗 X 射线。根据 ICRP 33 号出版物 P78 表 3 可知，130kV 的宽束 X 射线在混凝土中的十分之一值层厚度约为 6.6cm，本项目加速器机房的屏蔽厚度至少为 150cm 厚混凝土，计算可得 130kV 宽束 X 射线的透射因子 B=1.87×10^{-23}，比 X 射线治疗束的透射因子低了十几个数量级，可见 CBCT 运行对周围环境的辐射影响极小，不再考虑。

11.2.2 TOMO 环境影响分析

（一）设备技术参数

根据本项目 TOMO 设备厂家提供的信息，TOMO 设备在进行放射治疗时，放射治疗 X 射线最大能量为 6MV，设备等中心点处的最大输出剂量率为 850cGy/min（距靶点 0.85m 处）；在进行影像引导时，断层扫描 X 射线最大能量为 3.5MV，设备等中心点处的最大

输出剂量率为 45cGy/min（距靶点 0.85m 处）；本项目 TOMO 设备等中心处的最大照射野 40cm×5cm，主射束铅屏蔽板安装在旋转机架上与加速器对侧位置处，可与机架同步转动，实现对主射束的屏蔽。本项目 TOMO 设备技术参数配置详见表 11.8。

表 11-8 本项目 TOMO 放射治疗系统主要参数配置

设备型号	Radixact X5 型 TOMO 设备
射线种类和能量	放射治疗 X 射线：6MV 断层扫描 X 射线：3.5MV
射线源到中心轴距离（SAD）	85cm
等中心处 X 射线最大剂量率	放射治疗时：850cGy/min（85cm 处） 影像引导时：45cGy/min（85cm 处）
等中心处最大照射野	40cm×5cm（85cm 处）
泄漏辐射率	0.1%
等中心点高度	113cm
机架旋转角度	360°旋转
主射束铅屏蔽板	铅厚度 15.2cm，安装在旋转机架上与加速器对侧位置处，与机架同步转动。铅屏蔽板长 88.9cm，宽 22.8cm，厚 15.2cm，加速器靶点距铅屏蔽板内表面距离为 159.5cm；

（二）使用规划

（1）工作量：根据四惠中医院提供的信息，本项目 TOMO 设备运行后，预计每天的治疗量最多为 30 人次，单次治疗过程耗时平均耗时约 15min，全天完成 30 人次治疗耗时约 7.5h。本项目加速器每周计划运行 5 个工作日，年运行 50 周，年运行 250 天，年累计治疗量不超过 7500 人次。

（2）出束时间：患者平均病变区的治疗剂量为 2Gy，每人次治疗出束时间平均为 2.5min，最长不超过 5min，保守均按 5min/人次计算，全天完成 30 人次治疗的出束时间为 150min/d，年最多运行 250 天，即本项目 TOMO 设备年累计出束时间不超过 625h。

本项目 TOMO 设备还配备有低辐射剂量的 CT 影像引导功能，在进行 CT 断层扫描时会输出能量为 3.5MV、剂量率为 45cGy/min 的 X 射线，X 射线能量和输出剂量率明显小于治疗 X 射线，TOMO 设备 CT 断层扫描所致患者剂量约 0.005~0.03Gy/人次，单次治疗过程中累计 CT 扫描时间约 1min。由于断层扫描 X 射线对周围环境辐射影响远小于放射治疗 X 射线，且 TOMO 设备放射治疗的出束时间已保守按最长 5min/人次进行核算，因此，本评价仅考虑 TOMO 设备 6MV 放射治疗 X 射线对机房周围环境和人员的辐射影响。

（3）使用因子：在机架旋转调强治疗中，主射束向机房墙体或顶面照射的使用因子 U 通常取 0.1，本项目将主射束向各个方向墙面的使用因子提高至 U=0.25，保守估算 TOMO

机房周围人员的年受照剂量。

（三）辐射环境影响评价方法

（1）射线类型（X 射线）：

在进行放射治疗时，TOMO 设备等中心处输出剂量率最高为 850cGy/min（即 510Gy/h），加速器靶点距离设备等中心点距离 SAD 为 0.85m，可推算出距靶点 1m 处的最高输出剂量率为 614cGy/min（即 369Gy/h）。本项目对 TOMO 设备在 X 射线 6MV、距靶点 1m 处输出剂量率 614cGy/min 的工况运行时，对周围环境的辐射影响进行评价。

（2）射线能量（6MV）：

参照《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）第 4.7.4 条款，对于大于 10MV 的 X 射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑 X 射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获γ射线。本项目 TOMO 设备 X 射线最大能量为 6MV，因此不再需考虑中子、感生放射性以及中子活化的辐射影响问题。

（3）主束铅屏蔽板安全性分析：

本项目 TOMO 加速器机头的对侧位置上设有主束铅屏蔽板，屏蔽板固定在旋转机架上，随加速器机头同步旋转，实现对主射线的屏蔽，同时还能起到平衡机架配重的作用。根据设备厂家提供的信息，本项目 TOMO 设备主束屏蔽板为 15.2cm 厚铅板，参照 NCRP NO.151 附录 B 表 B.2，6MV 的 X 射线在铅中的 TVL_1 和 TVL_e 值均为 5.7cm，15.2cm 铅屏蔽板对应的主束衰减系数约为 0.215%。

根据厂家提供的设备资料可知，本项目 TOMO 设备主束铅屏蔽板的尺寸为 88.9cm（长）×22.8cm（宽）×15.2cm（厚），加速器靶点到屏蔽板内表面的距离为 159.5cm，则靶点到屏蔽板外侧表面的距离为 174.7cm，TOMO 设备 SAD 为 85cm，等中心（距靶点 85cm）处最大照射野为 40cm（长）×5cm（宽），推算可得，主束投照到铅屏蔽板上的最大范围不超过 82.2cm（长）×10.3cm（宽），因此，主束铅屏蔽板在覆盖主束范围的同时，边缘至少还能余留 3.35cm 宽度，铅屏蔽板设计尺寸可满足对主束照射区的屏蔽。

（4）TOMO 机房不同墙面需要考虑的辐射：

主束区域：均考虑有用束直接照射（同时考虑主束铅屏蔽板的防护）；

非主束区域：考虑泄漏辐射的影响，忽略患者散射辐射（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.2，忽略患者散射辐射，按屏蔽泄漏辐射考虑机房屏蔽）；

机房防护门：主要考虑泄漏辐射以及主射束、泄漏辐射和患者散射辐射的贡献。

（四）附加剂量率估算方法

主要分析 TOMO 设备以 X 射线 6MV、614cGy/min@1m 的工况运行时，计算 TOMO 机房周围各关注点处的附加剂量率水平是否满足本评价提出的剂量率控制要求：

（1）有用线束

参考 NCRP NO.151 报告中式 2.1～2.4，初级 X 射线的屏蔽可由式（11-11）、式（11-12）计算：

$$H_{pri} = \frac{B_{pri}WUT}{d_{pri}^2} \quad (11\text{-}11)$$

$$B_{pri} = 2.15\times10^{-3}\times10^{\frac{-\Delta}{TVL_e}} \quad (11\text{-}12)$$

式中：H_{pri}— 关注点处的附加剂量率（μGy/h）；

B_{pri}— 主屏蔽墙对应的屏蔽透射因子；

W— 有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高输出剂量率，本项目 TOMO 设备有用线束中心轴上距靶点 0.85m 处最高剂量率为 850cGy/min，可推算出距靶点 1m 处最高输出剂量率最高为 614cGy/min 即 W 取 3.69×10^8μGy/h；

T— 居留因子，计算瞬时剂量率取 1；

U— 使用因子，计算瞬时剂量率取 1；

d_{pri}— 靶点至主屏蔽墙外关注点的距离，m；

△— 屏蔽材料厚度，cm；

2.15×10^{-3}— TOMO 设备主束屏蔽板的衰减系数，对于 6MV 的 X 射线，15.2cm 铅屏蔽板对应的主束衰减系数为 2.15×10^{-3} ；

TVL_e— 有用线束在混凝土中平衡时的十分之一值层厚度，见表前文 11-3。

（2）泄漏辐射

参考 NCRP NO.151 报告中式 2.8，泄漏辐射的屏蔽可由式（11-13）和式（11-14）计算，泄漏辐射剂量率按初级辐射剂量率的 0.1%计：

$$H_L = \frac{B_L WT}{1000 d_L^2} \quad (11\text{-}13)$$

$$B_L = 10^{-[1+(\frac{\Delta-TVL_1}{TVL_e})]} \quad (11\text{-}14)$$

式中：H_L— 关注点处的附加剂量率（μGy/h）；

1/1000— 机头泄漏辐射比率，即 0.1%，

B_L — 屏蔽透射因子；

W — 有用线束中心轴上距靶 1m 处的最高输出剂量率，取 3.69×10^8μGy/h；

T — 居留因子，计算瞬时剂量率取 1；

d_L — 靶点距关注点的距离，m；

TVL_1 — 泄漏辐射在屏蔽材料中的第一个十分之一值层厚度，见前文表 11-3；

TVL_e — 泄漏辐射在屏蔽材料中平衡时的十分之一值层厚度，见前文表 11-3。

本项目 TOMO 机房附加剂量率估算参数汇总详见表 11-9。

表 11-9 本项目 TOMO 机房周围附加剂量率估算参数汇总表

射线能量	有用线束	泄漏辐射
X 射线 6MV	W：3.69×10^8μGy/h；主束衰减系数：2.15×10^{-3}；TVL_e：33cm；	W：3.69×10^8μGy/h；泄漏率：0.1%；TVL_1：34cm；TVL_e：29cm；TVL_{Pb}：5.7mm；

（4）关注点选取

本项目 TOMO 机房周围关注点位置平面示意图和剖面示意图见图 11.7 和图 11.8。

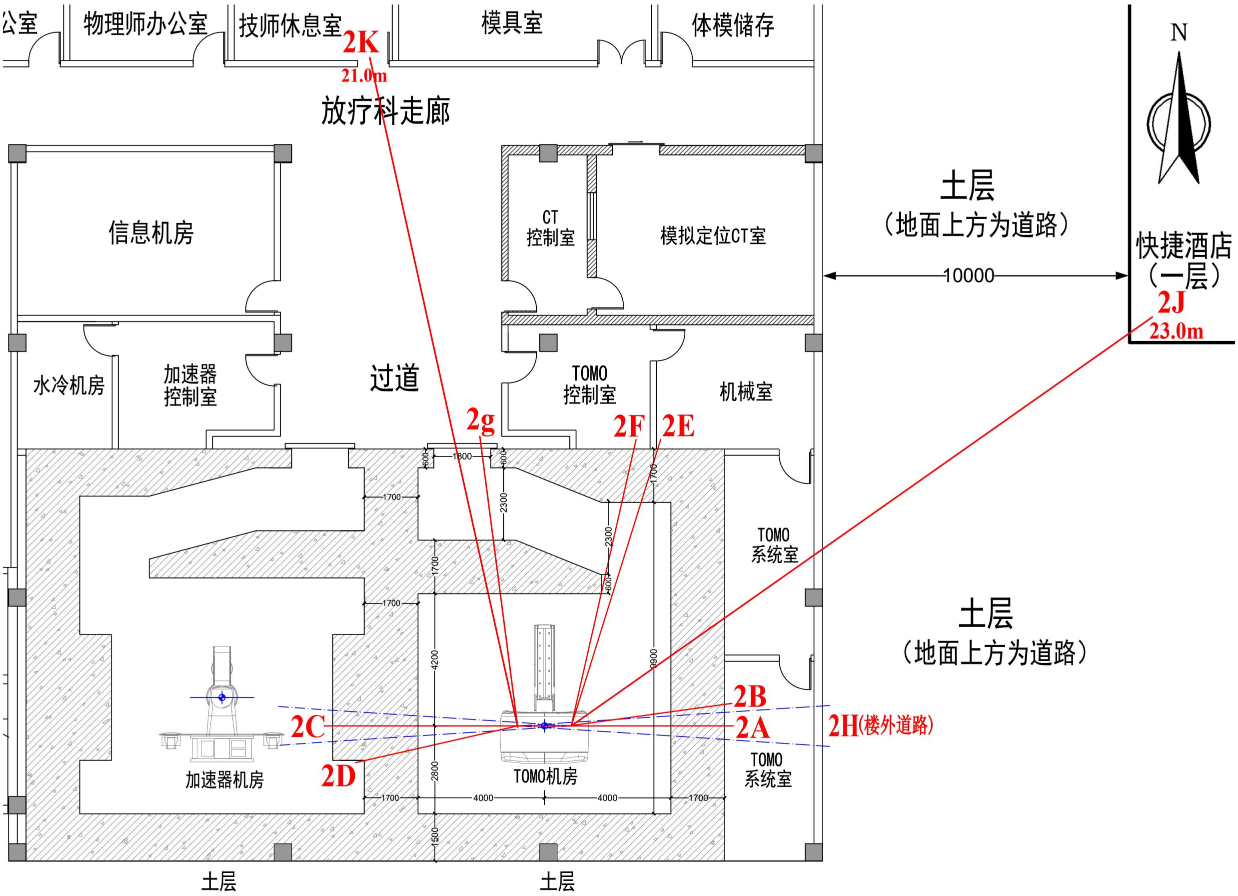
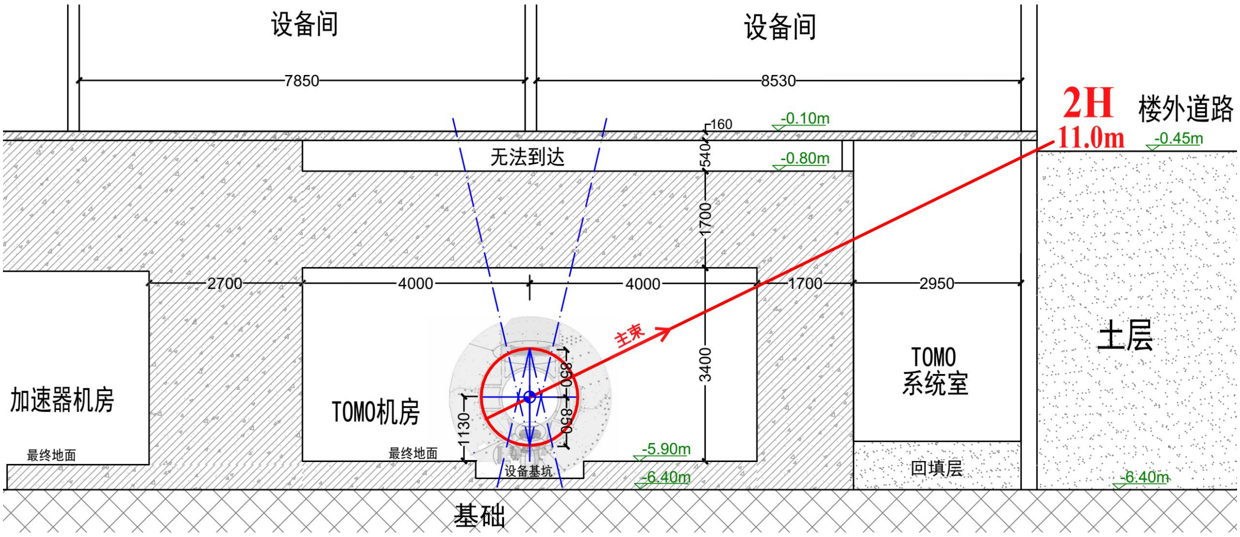
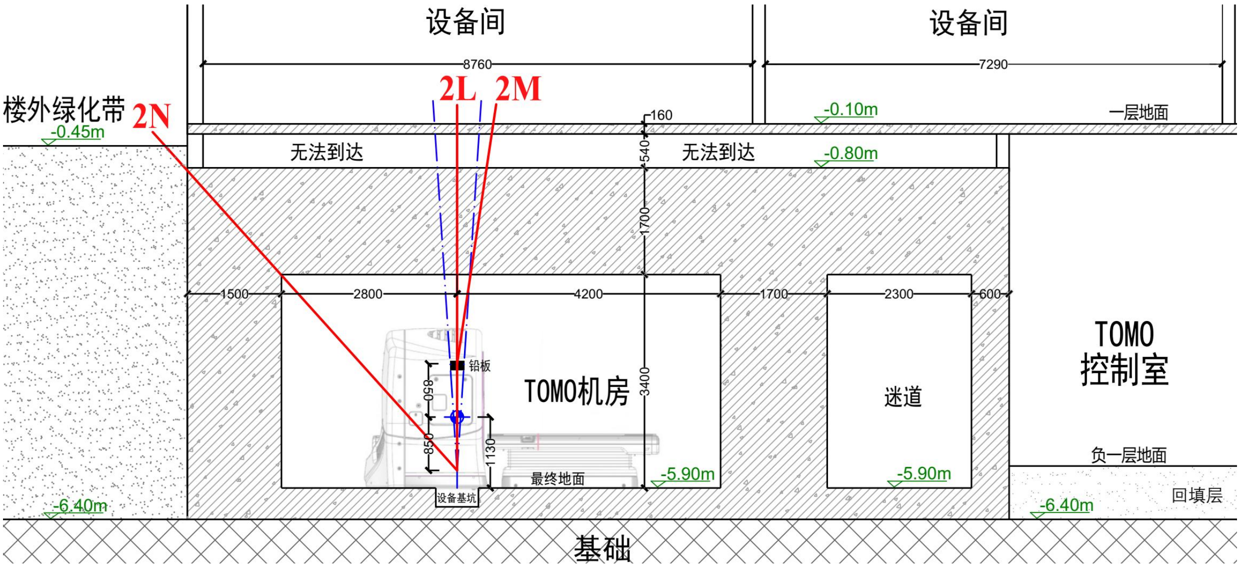


图 11.7 本项目 TOMO 机房周围关注点平面示意图



（东西向剖面图）



（南北向剖面图）

图 11.8 本项目 TOMO 机房周围关注点剖面示意图

（五）附加剂量率估算结果

本项目 TOMO 设备在 X 射线 6MV、距靶点 1m 处输出剂量率 614cGy/min 的工况运行时，TOMO 机房周围各关注点处附加剂量率估算结果见表 11-10。

表 11-10 本项目 TOMO 机房周围各关注点的附加剂量率估算结果

点位	射线类型	距离(m)	屏蔽厚度	透射因子 B	附加剂量率（μGy/h）
2A 东墙外主束区域	主束	6.8	170cm 混凝土	1.52E-08	1.21E-01
2B 东墙外非主束区域	泄漏辐射	5.1	170cm 混凝土	2.04E-06	2.90E-02
2C 西墙外主束区域	主束	7.8	270cm 混凝土	1.41E-11	8.58E-05

2D 西墙外非主束区域	泄漏辐射	5.2	170cm 混凝土	2.04E-06	2.79E-02
2E 北墙外机械室	泄漏辐射	9.5	170cm 混凝土	2.04E-06	8.35E-03
2F 北墙外 TOMO 控制室	泄漏辐射	9.3	170cm 混凝土	2.04E-06	8.72E-03
2g 机房防护门外	泄漏辐射	9.3	170cm 混凝土 +0.24cm 铅	1.11E-06	3.31E-03
2H 东侧楼外道路 (地面上方)	主束 （30°斜射）	11.0	196cm 混凝土	2.47E-09	7.54E-03
2J 东北侧快捷酒店一层 (地面上方)	泄漏辐射 （30°斜射）	23.0	196cm 混凝土	2.59E-07	1.81E-04
2K 北侧放疗科办公区域	泄漏辐射	21.0	170cm 混凝土 +0.24cm 铅	1.11E-06	6.48E-04
2L 屋顶外主束区域	主束	5.8	170cm 混凝土 +16cm 混凝土	4.97E-09	5.45E-02
2M 屋顶外非主束区域	泄漏辐射	4.1	170cm 混凝土 +16cm 混凝土	5.74E-07	1.26E-02
2N 屋顶南侧楼外绿化带	泄漏辐射 （40°斜射）	7.0	196cm 混凝土	2.59E-07	1.95E-03
注：混凝土密度 2.35t/m³。除 2H、2J、2N 点位考虑了斜射外，其他点位保守均不考虑斜射。					

（六）机房防护门外附加剂量率估算

本项目 TOMO 机房迷道口防护门内侧的辐射水平主要考虑患者散射辐射的贡献，以及 X 射线主束和泄漏辐射的散射辐射的贡献，根据 NCRP REPORT NO.151，防护门外的附加剂量率考虑下列贡献：

① 泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}；

② 主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{ps}；

③ 主束经主束屏蔽板和屏蔽墙二次散射的剂量率贡献 H_{ss};

④ 泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的剂量率贡献 H_{LT}。

各部分剂量率贡献计算如下：

（1）加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}：

机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射示意图见图 11.9，参考 NCRP NO.151 中式 2.10：

$$H_{LS}=\frac{L_f\cdot W\cdot U\cdot \alpha_1\cdot A_1}{(d_{\sec}\cdot d_{ZZ})^2} \quad （11\text{-}15）$$

式中：H_{LS} — 预测点处辐射剂量率，μGy/h；

L_f — 机头泄漏辐射比率，取 0.1%

W — X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率，取 3.69×10^8μGy/h；

U — 墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

α_1— 散射墙对泄漏辐射的反散射系数（见表 11-11）；

A_1 — 迷道入口处可见散射墙的面积，m^2；

d_{sec} — 靶点至散射墙迷路中心线对应点的距离，m；

d_{zz} — 散射墙到迷道入口处的距离，m。

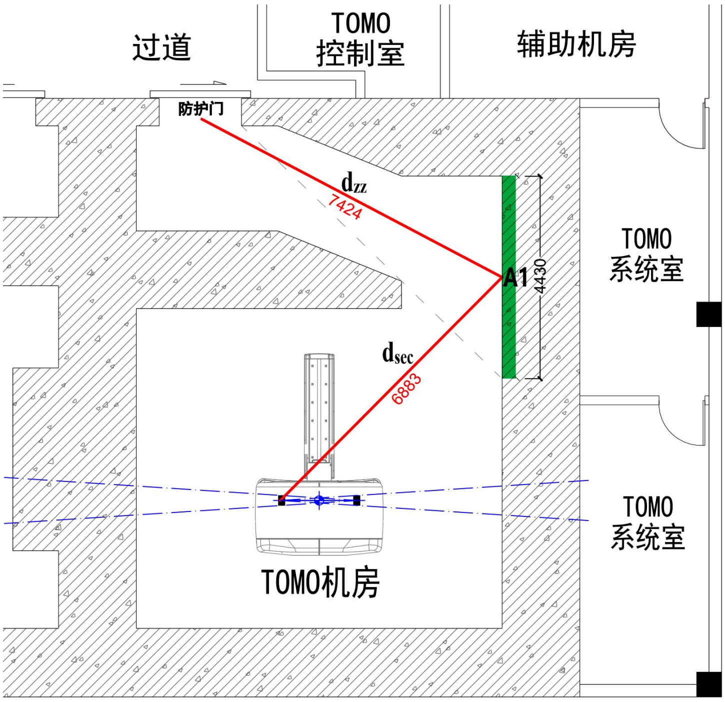


图 11.9 泄漏辐射经屏蔽墙一次散射示意图

（2）主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{ps}

主束经患者和屏蔽墙各一次散射示意图见图 11.10，参考 NCRP NO.151 中计算式 2.11：

$$H_{ps}=\frac{\alpha(\theta)\cdot W\cdot U\cdot(F/400)\cdot\alpha_1\cdot A_1}{(d_{sca}\cdot d_{\sec}\cdot d_{ZZ})^2} \tag{11-16}$$

式中：H_{ps} — 预测点处辐射剂量率，μGy/h；

W — X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率，取 3.69×10^8μGy/h；

U — 墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

F — 有用束在等中心处的最大照射野面积，取（40×5）cm^2；

$\alpha(\theta)$ — 患者对初级辐射的散射比（见表 11-11）；

α_1 — 散射墙对患者散射辐射的反射系数（见表 11-11）；

A_1— 迷道入口处可见散射墙的面积，m^2；

d_{sca}— 靶点至患者的距离，取 0.85m；

d_{sec}— 靶点至散射墙迷路中心线对应点的距离，m；

d_{zz}— 散射墙到入口处的距离，m。

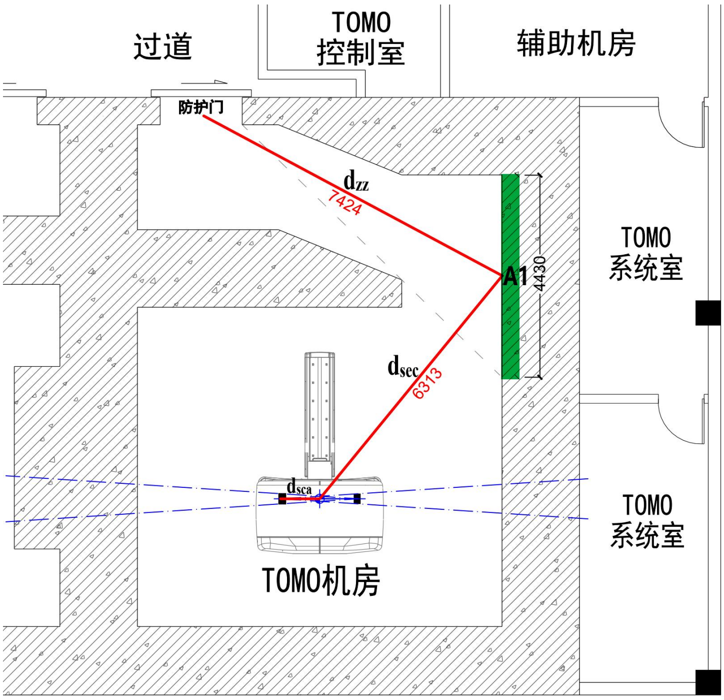


图 11.10 主束经患者和屏蔽墙散射示意图

（3）主束穿过患者经主屏蔽板二次散射的剂量率贡献 H_{ss}

主束穿过患者经主屏蔽板二次散射示意图见图 11.11，参考 NCRP NO.151 中式 2.9：

$$\dot{H}_{ss}=\frac{W\cdot U\cdot\alpha_0\cdot A_0\cdot\alpha_Z\cdot A_Z}{(d_h\cdot d_r\cdot d_z)^2} \tag{11-17}$$

式中：H_{ss}— 预测点处辐射剂量率，μGy/h；

W— X 射线有用线束距靶 1m 处最大输出剂量率，取 3.69×10^8μGy/h；

U— 墙的使用因子，计算瞬时剂量率时取 1；

α_0— 主束散射面（将主束铅屏蔽板视为散射体）的散射系数（见表 11-11）；

A_0— 等中心处最大照射野投影在铅屏蔽板的面积，保守取铅屏蔽板最大面积 $0.203m^2$；

α_Z— 主束散射线到达二次散射墙发生第二次散射的反散射系数（见表 11-11）；

A_Z— 主束散射线到达二次散射墙时的二次散射面积，m^2；

d_h— 靶点至主束铅屏蔽板的距离，m；

d_r— 主束铅屏蔽板中心点到二次散射墙的距离，m；

d_z— 二次散射墙到防护门入口处的距离，m。

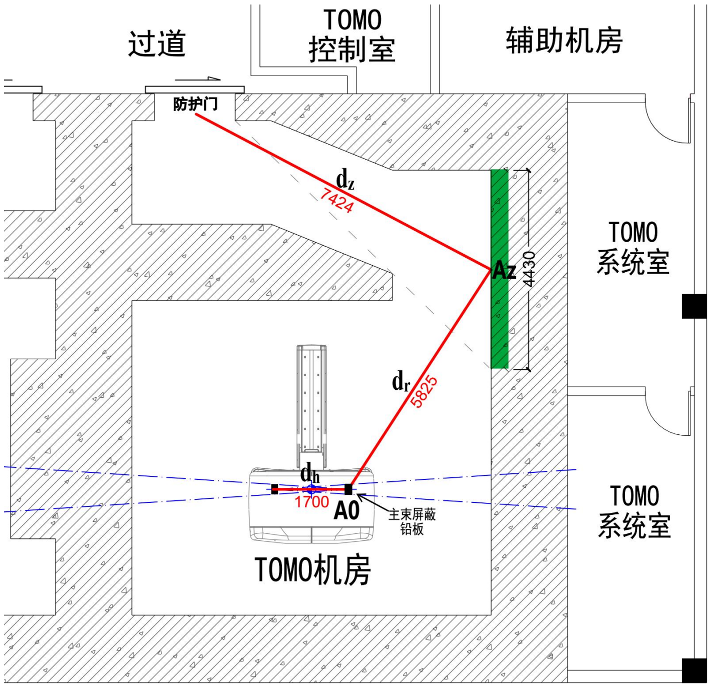


图 11.11 主束穿过患者经屏蔽墙二次散射示意图

（4）泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的剂量率贡献 H_{LT}

根据表 11.10 估算结果，泄漏辐射穿过迷道内墙和防护门的剂量率为 3.31E-03μGy/h；

本项目 TOMO 机房迷道口内侧的总剂量率贡献值列于表 11-11。

表 11-11 本项目 TOMO 机房迷路口内侧剂量率计算参数及结果

剂量率贡献	参数	数值	单位	依据
加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙一次散射的剂量率贡献 H_{LS}	H_{LS}	16.46	μGy/h	依式（11-15）计算
	W	3.69E+08	μGy/h	设备参数
	L_f	0.001	-	设备参数
	α_1	7.7E-03	-	NCRP NO.151 TableB.8b/60°
	A_1	15.1	m^2	设计资料
	d_{sec}	6.9	m	设计资料
	d_{zz}	7.4	m	设计资料
主束经患者和屏蔽墙各一次散射的剂量率贡献 H_{PS}	H_{ps}	49.32	μGy/h	依式（11-16）计算
	W	3.69E+08	μGy/h	设备参数
	F	200	cm^2	设备参数
	α_θ	1.39E-03	-	NCRP NO.151 TableB.4/45°
	α_1	2.0E-02	-	NCRP NO.151 TableB.8b（60°/0.5 MeV）
	A_1	15.1	m^2	设计资料
	d_{sca}	0.85		设备参数
	d_{sec}	6.3	m	设计资料
	d_{zz}	7.4	m	设计资料
主束穿过患者经主屏蔽板二	H_{ss}	16.15	μGy/h	依式（11-17）计算
	W	3.69E+08	μGy/h	设备参数

次散射的剂量率贡献 H_{SS}；	α_0	3.8E-03	-	NCRP NO.151 TableB.8e/60°
	α_z	2.0E-02	-	NCRP NO.151 TableB.8b（60°/0.5MeV）
	A_0	0.203	m^2	设备资料
	A_z	15.1	m^2	设计资料
	d_h	1.7	m	设计资料
	d_r	5.8	m	设计资料
	d_z	7.4	m	设计资料
泄漏辐射穿过迷路内墙和防护门的贡献	$\boldsymbol{H_{LT}}$	3.31E-03	μGy/h	表 11-10 的计算结果

NCRP NO.151 报告给出，迷道口内侧来自有用线束和机头泄漏射线的散射 X 射线能量较低，平均值约为 0.2MeV，在铅中的 TVL 值取 5mm。本项目 TOMO 机房防护门的防护厚度为 24mmPb，根据表 11-11 的计算结果可得，加速器机房防护门外的附加剂量率为：

$$(16.46+49.32+16.15)\times10^{-(24/5)}+0.00331=4.61\text{E-}03\mu Gy/h。$$

综合表 11-10 和表 11-11 的估算结果可知，本项目 TOMO 设备以最大工况运行时，TOMO 机房四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处的附加剂量率最大值为 1.21E-01μSv/h（东墙主束区域外 30cm 处），远低于本评价提出的不大于 2.5μSv/h 的剂量率控制水平。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，预计加速器机房周围 50m 评价范围内保护目标所处区域的附加剂量率将远远小于 2.5μSv/h。

（七）剂量率叠加情况分析

本项目加速器机房和 TOMO 机房相邻，应考虑医用加速器和 TOMO 设备同时运行的剂量率叠加，须考虑剂量率叠加的点位主要包括各机房防护门外、各机房屋顶上方、各机房南侧地面绿化带等点位，依据前文的计算结果，本项目加速器机房和 TOMO 机房周围关注点的剂量率叠加结果详见表 11-12。

表 11-12 本项目加速器机房和 TOMO 机房附加剂量率叠加结果

叠加点位描述	叠加点位	附加剂量率（μSv/h）		剂量率叠加结果（μSv/h）
各机房防护门外	1g+2g	1g	2.25E-02	2.71E-02
		2g	4.61E-03	
北侧放疗科办公区域	1K+2K	1K	3.10E-03	3.75E-01
		2K	6.48E-04	
屋顶上方设备间	1L+2L	1L	4.80E-01	5.35E-01
		2L	5.45E-02	
南侧地面绿化带	1N+2N	1N	1.96E-04	2.15E-03
		2N	1.95E-03	

由表11-12的叠加结果可知，在考虑了加速器和TOMO设备同时运行的剂量率叠加后，本项目加速器机房和TOMO机房周围的附加剂量率仍满足不大于2.5μSv/h的剂量率控制要求。

11.2.3 职业人员、公众附加剂量估算

（1）附加剂量估算公式

本项目职业人员、公众附加剂量估算可按照如下公式计算：

$$E = D \times t \times T \times U \times K \qquad (11\text{-}11)$$

式中：E—人员附加剂量，μSv/a；

D—关注点处附加剂量率，μGy/h；

t—出束时间，h/a；

T—居留因子，依据GBZ121-2020附录A表A.1进行取值；

U—治疗束朝向的使用因子；

K—吸收剂量和有效剂量的换算系数，Sv/Gy，本项目不进行修正，K取1.0；

（2）职业人员受照剂量估算

根据以上剂量率估算结果，本项目职业人员年附加有效剂量估算结果见表11-13。

表11-13　本项目辐射工作人员年附加有效剂量估算结果

<table>
<tr><th>估算对象</th><th>点位编号</th><th>场所位置</th><th>附加剂量率（μGy/h）</th><th>年受照时间（h/a）</th><th>使用因子</th><th>居留因子</th><th>年附加剂量（μSv/a）</th></tr>
<tr><td rowspan="6">加速器工作人员</td><td>1F</td><td>加速器控制室</td><td>4.57E-04</td><td>312.5</td><td>1</td><td>1</td><td>1.43E-01</td></tr>
<tr><td>1g</td><td>加速器机房防护门外</td><td>2.25E-02</td><td>312.5</td><td>1</td><td rowspan="2">1/8</td><td rowspan="5">3.83E+00</td></tr>
<tr><td>2g</td><td>TOMO 机房防护门外</td><td>4.61E-03</td><td>625</td><td>1</td></tr>
<tr><td>2C</td><td rowspan="2">加速器机房内*</td><td>8.58E-05</td><td>625</td><td>0.25</td><td rowspan="2">1/8</td></tr>
<tr><td>2D</td><td>2.79E-02</td><td>625</td><td>0.75</td></tr>
<tr><td>1E</td><td>水冷机房</td><td>4.87E-02</td><td>312.5</td><td>1</td><td>1/16</td></tr>
<tr><td rowspan="6">TOMO 工作人员</td><td>2F</td><td>TOMO 控制室</td><td>8.72E-03</td><td>625</td><td>1</td><td>1</td><td>5.45E+00</td></tr>
<tr><td>2g</td><td>TOMO 机房防护门外</td><td>4.61E-03</td><td>625</td><td>1</td><td rowspan="2">1/8</td><td rowspan="5">3.38E+00</td></tr>
<tr><td>1g</td><td>加速器机房防护门外</td><td>2.25E-02</td><td>312.5</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1A</td><td>TOMO 机房内*</td><td>5.57E-02</td><td>62.5</td><td>0.25</td><td>1/8</td></tr>
<tr><td>2A</td><td rowspan="2">TOMO 系统室</td><td>1.21E-01</td><td>625</td><td>0.25</td><td rowspan="2">1/16</td></tr>
<tr><td>2B</td><td>2.90E-02</td><td>625</td><td>0.75</td></tr>
<tr><td colspan="8">注*：辐射工作人员只有在设备停机后才会在机房内停留。由于本项目2间机房共用屏蔽墙，辐射工作人员在机房内停留时，考虑了另一台设备运行所致工作人员的有效剂量；</td></tr>
</table>

（3）公众受照剂量估算

根据以上剂量率估算结果，本项目公众成员年附加有效剂量估算结果见表 11-14。

表11-14　本项目公众成员的年附加有效剂量估算结果

<table>
<tr><th>估算对象</th><th>场所位置</th><th>点位编号</th><th>附加剂量率（μGy/h）</th><th>年受照时间（h/a）</th><th>使用因子</th><th>居留因子</th><th>年附加剂量（μSv/a）</th></tr>
<tr><td rowspan="13">公众成员</td><td>西墙外3#楼梯间</td><td>1C</td><td>5.57E-02</td><td>62.5</td><td>0.25</td><td>1/16</td><td>5.44E-02</td></tr>
<tr><td>西墙外分诊大厅</td><td>1H</td><td>1.22E-04</td><td>312.5</td><td>1</td><td>1/4</td><td>9.53E-03</td></tr>
<tr><td>西北侧阅片室</td><td>1J</td><td>1.41E-03</td><td>312.5</td><td>1</td><td>1</td><td>4.41E-01</td></tr>
<tr><td rowspan="2">北侧放疗科办公区域</td><td>1K</td><td>3.10E-03</td><td>312.5</td><td>1</td><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">1.37E+00</td></tr>
<tr><td>2K</td><td>6.48E-04</td><td>625</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="3">屋顶上方设备间</td><td>1L</td><td>4.80E-01</td><td>62.5</td><td>0.25</td><td rowspan="3">1/16</td><td rowspan="3">1.37E+00</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2L</td><td>5.45E-02</td><td>625</td><td>0.25</td></tr>
<tr><td>1.26E-02</td><td>625</td><td>0.75</td></tr>
<tr><td>东侧楼外地面道路</td><td>2H</td><td>7.54E-03</td><td>625</td><td>1</td><td>1/16</td><td>2.95E-01</td></tr>
<tr><td>东北侧快捷酒店</td><td>2J</td><td>1.81E-04</td><td>625</td><td>1</td><td>1</td><td>1.13E-01</td></tr>
<tr><td rowspan="2">南侧楼外绿化带</td><td>1N</td><td>1.96E-04</td><td>312.5</td><td>1</td><td rowspan="2">1/16</td><td rowspan="2">8.00E-02</td></tr>
<tr><td>2N</td><td>1.95E-03</td><td>625</td><td>1</td></tr>
</table>

由表 11-13 和表 11-14 的估算结果可知：本项目职业人员年附加有效剂量不超过 5.45μSv/a，远低于本评价设定的职业人员剂量约束值 2mSv/a，本项目辐射工作人员不从事其他辐射工作，加速器工作人员和 TOMO 工作人员的技师独立配备，可不考虑剂量叠加的影响；本项目周围公众人员年附加有效剂量不超过 1.37μSv/a，远低于本评价设定的公众剂量约束值 0.1mSv/a。根据辐射剂量率与距离的平方成反比的规律以及周围建筑物的屏蔽作用，预计本项目周围 50m 评价范围内公众的年附加有效剂量将远低于本项目设定的公众剂量约束值 0.1mSv/a。

11.2.4 有害气体的环境影响

根据 IAEA188《电子直线加速器工作的辐射安全问题》和《辐射所致臭氧的估算与分析》（中华放射医学与防护杂志，1994 年第 14 卷第 2 期，P101）推荐的计算方法估算 X 射线所致臭氧的产额和浓度。

① 臭氧的危害影响

臭氧来源包括有用线束的臭氧产额和泄漏辐射的臭氧产额两部分。

有用线束的臭氧产额可由式（11-12）计算得到。

$$Q = 2.43 D_0 (1-\cos\theta) R G \tag{11-12}$$

式中：

Q — O_3 的产额，mg/h；

D_0 — 有用线束在距等中心点 1m 处的输出量，Gy/min；

R — 射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，m；

G — 空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数；

θ — 有用束的半张角。

将泄漏辐射看成为 4π方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑加速器室墙壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%，臭氧产额可由式（11-13）计算得到。

$$Q_0 = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{\frac{1}{3}} \qquad (11\text{-}13)$$

其中：

D_0＝6Gy/min（最大值）；R=4.5m（最大值）；θ＝14º；G=10；

加速器机房内部体积（含迷道部分）V=272m^3。

根据计算式（11-12）可得，有用线束 O_3 产额为 19.5mg/h。

根据计算式（11-13）可得，泄漏辐射和散射辐射的 O_3 产额 1.29mg/h。

则加速器运行时臭氧的总产率为：19.5mg/h +1.29mg/h =20.8mg/h。22.8

考虑连续排风和臭氧的分解时，治疗室空气中臭氧的平均浓度可由式（11-13）计算：

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V}(1 - e^{(-t/T)}) \qquad (11\text{-}13)$$

其中，

Q(t) －治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度，mg/m^3；

Q_0 －臭氧的产生率，mg/h；

V －治疗室的体积（含迷道部分），V=272m^3；

T －有效清除时间，h。

如果照射时间很长(t>>T)，则：

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \qquad (11\text{-}14)$$

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 0.83 h），则有效清除时间为：

$$T = \frac{t_V \cdot t_d}{t_V + t_d} \qquad (11\text{-}15)$$

式中，

t_v一换气一次所需时间，h；

t_d一臭氧的有效分解时间，0.83 h；

正常通风时加速器机房的换气次数不低于 4 次/h，按 t_v 保守取最大值 0.25 h。由式（11-15）计算得，T = 0.192h。当 t >> T 时，臭氧将达饱和浓度。

根据式（11-14）计算可得，在正常排风条件下，本项目加速器机房内的臭氧浓度仅为 1.47E-02mg/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）中臭氧浓度限值 0.3mg/m^3；按照上述的计算方法，计算可得本项目 TOMO 机房内的臭氧浓度仅为 1.68E-02mg/m^3，也满足臭氧浓度限值 0.3mg/m^3 的要求；

本项目加速器机房和 TOMO 机房内的臭氧通过的各机房的排风系统高空排放，经大气的稀释和扩散后，臭氧浓度将进会一步降低，远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中“臭氧 1h 平均浓度 0.2mg/m^3”的浓度限值要求。

② 氮氧化物对环境的影响

加速器和 TOMO 设备运行时还产生各种氮氧化物 NO_x（以 NO_2 为主），产额约为 O_3 的一半，不超过 8.40E-03mg/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）中氮氧化物浓度限值 5mg/m^3，也远低于《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中“二氧化氮 1h 平均浓度 0.2mg/m^3”的浓度限值要求。

可见，本项目医用电子直线加速器和 TOMO 设备运行期间，机房内产生的臭氧和氮氧化物有害气体通过各机房的排风系统排放，有害气体浓度均远低于相关国家标准限值，对周围大气环境的影响十分轻微。

11.3 异常事件分析与防范建议

11.3.1 事件（故）分析

（1）本项目医用电子直线加速器和 TOMO 设备在运行期间主要存在以下事故风险：

① 门机连锁失效：机房的门机安全联锁失效，放疗设备在出束状态下人员误入机房，或者防护门未完全关闭的情况下放疗设备开机出束，导致人员受到误照射；

② 人员误留机房：人员误留机房内或工作人员在机房内开展准备工作未撤出机房时，控制台操作人员误开机出束，导致人员受到误照射。

（2）事故受照剂量分析

本项目可能发生的最严重的辐射事故是门机联锁失效，无关人员误入加速器机房而受到误照射。以直线加速器设备为例进行分析，事故情境：当加速器以最大工况运行时，有人员误入机房后到达迷道内口处，看到加速器机床上有患者正在接受治疗后，急速返回。假设该人员在迷道内口处停留 20s，据此估算该误入人员最大受照剂量。

考虑最不利情况，该误入人员的受照剂量主要由三部分组成：①机头的泄漏辐射；②主束经主屏蔽墙的散射；③患者的散射辐射；依照 11.2.1 节的估算模式，计算得该误入人员可能的受照剂量为：

① 机头的泄漏辐射：

$$\frac{360Gy/h\times0.1\%}{(5.8m)^2}\times\frac{20}{3600}h\times10^3 mSv/Gy\approx0.06mSv$$

② 主束经主屏蔽墙的散射

$$\frac{360Gy/h\times2.7\times10^{-3}\times5m^2}{(4.5m)^2\times(4.1m)^2}\times\frac{20}{3600}h\times10^3 mSv/Gy\approx0.08mSv$$

③ 患者的散射辐射

$$\frac{360Gy/h\times1.39\times10^{-3}\times\left(\frac{40\times40}{400}\right)}{(1m)^2\times(5.2m)^2}\times\frac{20}{3600}h\times10^3 mSv/Gy\approx0.41mSv$$

因此，人员误入机房一次受照剂量约为 0.06mSv+0.08mSv+0.41mSv=0.55mSv，不构成辐射事故，该剂量的照射也不会对误入人员的健康造成影响。

对于人员误照射事故，本项目加速器机房和 TOMO 机房防护门均配备了可靠的门机安全联锁，各机房内均设有紧急停机按钮、紧急开门按钮、迷道、监控系统、出束报警等安全措施，可有效防止此类事故的发生。

11.3.2 事件（故）防范建议

针对本项目可能发生的辐射安全事件（故），建议采取以下措施预防和避免辐射事件（故）的发生：

（1）为避免加速器出束状态时人员误入机房或防护门未完全关闭时开机出束，加速器机房须设置可靠的门机安全联锁系统，以保证加速器的安全运行。同时，门机联锁的可靠性并不能排除其失效的风险，工作人员还应在每日工作前检查门机连锁装置是否正常，并做好日常维护保养、定期检查，保证安全联锁系统始终处于正常状态。

（2）为防止人员误留在加速器机房内受到误照射，要求工作人员每次关闭防护门之

前，必须进入机房检查，工作人员进入加速机房时应携带个人剂量报警仪；加速器出束前应有声音报警，提醒工作人员及时从加速器机房撤出；定期检查机房内紧急停机按钮、紧急开门按钮、监控装置、通风系统、固定式监测仪器等安全设施，确保其处于可用状态。

（3）加速器机房和TOMO机房防护门外应设置电离辐射警告标志、中文警告说明和工作状态指示灯。要加强辐射工作场所分区管理措施，控制区只允许辐射工作人员进入，严格限制无关人员在监督区内停留；

（4）为应对停电事件，本项目加速器和TOMO设备应配备UPS系统保证电脑的不间断供电，记录正在接受治疗的患者已接受的累积剂量。各机房内应安装应急照明装置，各机房防护门应具有停电手动开启功能，使患者能够安全转移；各机房内应安装火灾自动报警装置，并配备灭火器材。在遭遇极端天气事件停工时，应切断放疗设备的所有供电系统，保证设备安全；

（5）所有辐射工作人员须参加辐射安全与防护考核，考核通过后方能从事辐射工作。制定严格的放疗设备使用管理规定和设备操作规程，杜绝违规操作。加强辐射工作人员的辐射安全知识和操作培训，增强辐射工作人员的辐射安全意识。

（6）要定期检查放疗工作场所各项安全联锁和安全措施、TOMO设备主屏蔽板、设备各项功能等，发现问题应立即停止辐射工作，并及时联系设备厂家维修；

（7）应建立并健全各项辐射安全管理规章制度，并严格贯彻落实，辐射防护领导小组要定期检查辐射安全管理制度的落实情况，发现问题及时纠正；严格落实个人剂量监测制度和辐射工作场所监测方案，利用辐射监测仪器开展工作场所环境辐射水平自行监测，监测记录妥善存档；

（8）建立并健全《辐射事故应急处理预案》，定期开展辐射事故应急演练和应急培训。一旦发生辐射事故，应立即启动《辐射事故应急处理预案》，采取必要的防范措施，怀疑有人员可能受到大剂量照射时，应及时送至医院进行医学处理。

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

为了保证射线装置的安全使用和有效管理，保障辐射工作人员的健康与安全，北京四惠中医医院成立了辐射安全领导小组。由执行院长担任组长，副院长任副组长，放射科、医务部、安全部、器械科相关人员为组员，配并有专职人员负责辐射安全管理具体工作。

本项目放射治疗科成立后，放射治疗科主任和主要工作人员须加入辐射安全领导小组，新的辐射安全领导小组成立后，医院应以红头文件的形式将辐射安全管理小组人员组成下发医院各科室和部门。

12.2 辐射安全管理规章制度

四惠中医院依照《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》，已制定了各项辐射安全管理规章制度、监测计划、操作规程和应急预案等，各项规章制度已得到有效贯彻落实。

本项目实施后，四惠中医院核技术利用的种类和范围将增加使用Ⅱ类射线装置，且医院辐射安全许可证发证机关将变更为北京市生态环境局。四惠中医院将结合新项目的开展，在向北京市生态环境局重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员建立并健全各项辐射安全管理规章制度、工作场所监测方案、设备操作规程和辐射事故应急处理预案，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织相关部门人员进行学习，保障射线装置的安全使用。

12.3 辐射安全与防护培训

四惠中医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。目前，四惠中医院从事放射性工作的职业人员和专职管理人员共计 5 人，均已通过了辐射安全与防护考核，持证上岗。此外，四惠中医院计划利用内网、宣传展板等形式对全员进行辐射安全知识教育，提高人员的辐射安全文化素养，定期组织辐射工作人员和辐射安全管理人员参加辐射安全管理法规和防护新知识培训。

本项目拟新增配备不少于 11 名辐射工作人员，包括至少 3 名医师，4 名技师、2 名物理师和 2 名护士，满足《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》中人员配置要求，可满足实际本项目放射治疗工作需要。所有辐射工作人员须报名参加辐射安全与防护考核（考核类别“放射治疗”），通过考核后方可上岗从事辐射工作。

12.4 辐射监测

（1）个人剂量监测

四惠中医院已定期开展辐射工作人员个人剂量监测工作，所有从事辐射工作的人员均配备了个人剂量计，并按每季度 1 次的频度委托有资质的机构开展个人剂量监测。四惠中医院已根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第 55 号）的要求建立了放射工作人员个人剂量档案并终生保存，四惠中医院拟为本项目所有新增辐射工作人员配备个人剂量计，定期开展个人剂量监测工作。

四惠中医院今后将继续加强辐射工作人员个人剂量监测工作。若发现某辐射工作人员个人剂量监测结果出现异常时（即显著高于其它辐射工作人员的、单季度有效剂量超出 0.5mSv 的或年有效剂量超出 2mSv 的），应当立即进行核实、调查原因或采取干预措施，并将有关情况形成文字档案，经当事人签字确认后与个人剂量档案一起妥善保存。

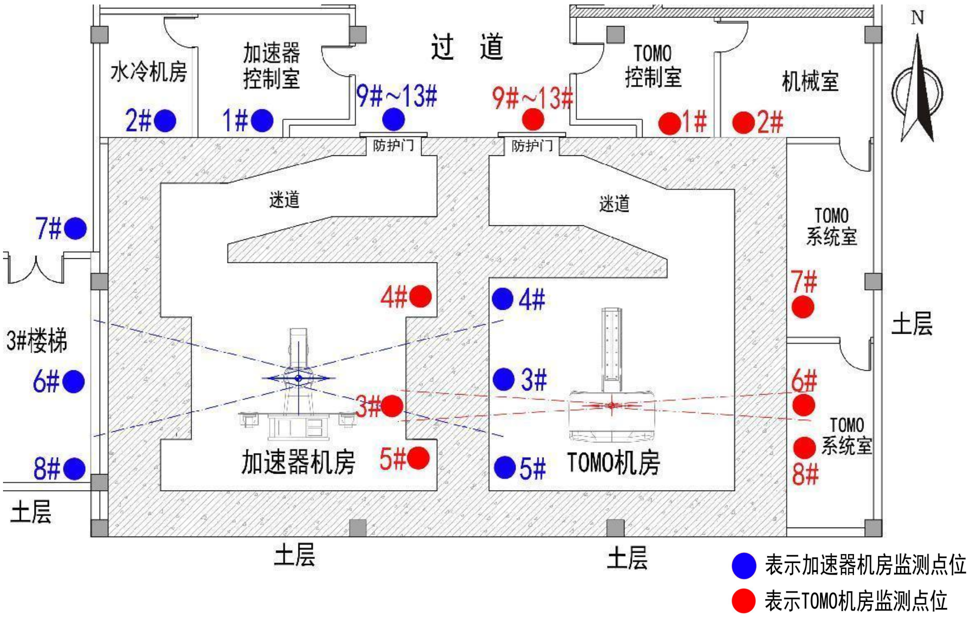
（2） 工作场所辐射水平监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环保部令第 18 号）的要求，四惠中医院每年均应委托有资质单位对医院所有射线装置工作场所开展环境辐射水平年度监测，监测结果妥善存档。

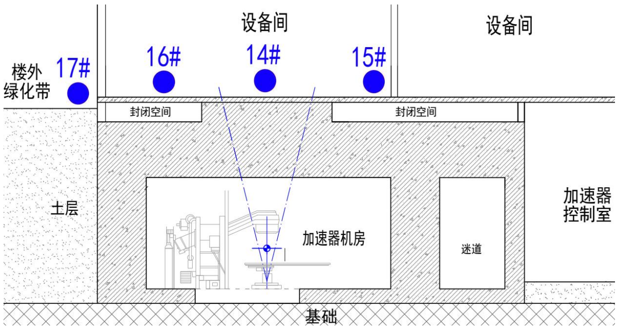
根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，四惠中医院拟利用本项目配备 X-γ剂量率仪对加速器和 TOMO 机房开展自行监测工作。自行监测采取定点监测和巡测相结合的方式进行，在各点位附近进行巡测（一般为距地面 1m 处），重点对 X-γ辐射剂量率较高的位置进行测量。所有自行监测结果应连同监测工况、监测人员、监测时间等一同记录并妥善保存。本项目辐射工作场所的自行监测方案如下：

- 监测项目：X-γ剂量率；
- 监测设备：X-γ剂量率仪；
- 监测频次：不少于 1 次/季度；
- 监测点位：包括各控制室人员操作位、各机房四周屏蔽墙外 30cm 处、各机房防护门外 30cm 处、各机房屋顶上方 30cm 处等位置；
- 监测工况：应在 X 射线最大能量、最高输出剂量率和最大照射野的条件下进行监测；
- 剂量率控制水平：本项目加速器机房和 TOMO 机房四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h；

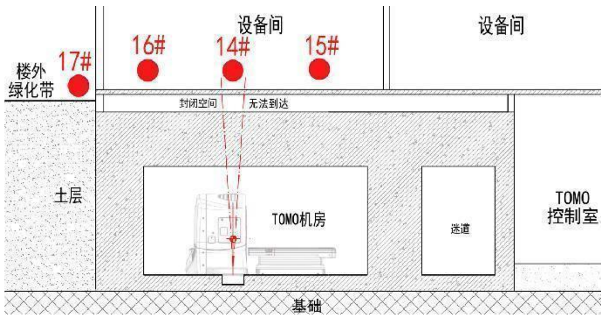
本项目加速器机房和 TOMO 机房的自行监测点位详见图 12.1，自行监测结果记录样表见表 12-1 和 12-2。



（机房平面图）



（加速器机房剖面图）



（TOMO 机房剖面图）

图 12.1 本项目工作场所自行监测点位图

表12-1 本项目加速器机房自行监测数据记录样表

监测日期		监测仪器	
监测工况		记录人	
监测点位	监测点位置	X-γ剂量率（μSv/h）	照射方向
1	加速器控制台处		向东照射
2	北墙外 30cm 处（水冷机房）		
3	东墙主屏蔽墙外 30cm		
4	东墙北侧次屏蔽墙外 30cm		
5	东墙南侧次屏蔽墙外 30cm		
6	西墙主屏蔽墙外 30cm		向西照射
7	西墙北侧次屏蔽墙外 30cm		
8	西墙南侧次屏蔽墙外 30cm		
9	防护门中部外 30cm		
10	防护门左侧门缝外 30cm		

11	防护门右侧门缝外 30cm		
12	防护门上方门缝外 30cm		
13	防护门下方门缝外 30cm		
14	屋顶主屏蔽墙上方 30cm		向上照射
15	屋顶北侧次屏蔽墙上方 30cm		
16	屋顶南侧次屏蔽墙上方 30cm		
17	楼外绿化带处		

表12-2 本项目TOMO机房自行监测数据记录样表

监测日期		**监测仪器**	
监测工况		**记录人**	
监测点位	**监测点位置**	**X-γ剂量率（μSv/h）**	**照射方向**
1	TOMO 控制台处		向西照射
2	北墙外 30cm 处（机械室）		
3	西墙外 30cm 处中部		
4	西墙外 30cm 处北部		
5	西墙外 30cm 处南部		
6	东墙外 30cm 处中部		向东照射
7	东墙外 30cm 处北部		
8	东墙外 30cm 处南部		
9	防护门中部外 30cm		
10	防护门左侧门缝外 30cm		
11	防护门右侧门缝外 30cm		
12	防护门上方门缝外 30cm		
13	防护门下方门缝外 30cm		
14	屋顶上方 30cm 处中部		向上照射
15	屋顶上方 30cm 处北部		
16	屋顶上方 30cm 处南部		
17	楼外绿化带处		

（3）辐射监测设备

本项目拟新增 1 台便携式 X-γ剂量率仪、4 台个人剂量报警仪（加速器和 TOMO 各 2 台）和 2 台固定式剂量率监测仪（加速器和 TOMO 各 1 台），可满足本项目辐射监测的需要。

12.4 辐射事故应急

四惠中医院拟建立健全《辐射事故应急处理预案》，并将本项目射线装置和工作场所纳入应急预案进行管理，《辐射事故应急处理预案》中应明确：应急管理小组人员及应急职责、辐射事故的分级、应急响应流程、事故应急处置措施、事故上报流程、应急终止、应急联系方式、以及应急演练和应急培训等各项内容，每年至少应组织 1 次应急演练和应急培训。

一旦发生辐射事故，应立即启动医院辐射事故应急预案，采取必要的应急处置措施和防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门报告；造成或可能造成人员超剂量照射的，还应向当地卫生行政部门报告，同时，还须进行工作人员的意外事故剂量监测和工作场所及周围环境的应急监测，并作好详细的监测记录。

12.5 项目环境保护验收内容建议

根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》国环规环评[2017] 4 号规定，自项目竣工之日起 3 个月内，四惠中医院应开展自主验收工作，编制竣工环境保护验收监测报告，并向社会公开相关信息，接受社会监督。本环评建议自主验收内容及要求见表 12-3。

表 12-3 本项目竣工环保验收主要内容

验收内容	验收要求
剂量限值和剂量约束值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定和环评预测结果，本项目对公众和职业照射的剂量约束值分别执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。
剂量率控制水平	加速器机房和 TOMO 机房的四周墙体、防护门和屋顶外 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h。
电离辐射标志和中文警示	本项目加速器机房和 TOMO 机房防护门外设置电离辐射警告标识和中文警示说明，各机房防护门上方设置工作状态指示灯；工作场所监督区边界和控制区入口处设置分区管理中文标识。
场所布局和屏蔽设计	本项目辐射工作场所布局和实体屏蔽设施应与环评报告表描述一致，加速器机房和 TOMO 机房的四周墙体、防护门和屋顶屏蔽射线的能力满足辐射防护的要求。
辐射安全与防护措施	各放射治疗机房设置门-机安全联锁，防护门具有防夹人功能；加速器机房工作场所设置 9 个急停按钮（加速器控制室 1 个、加速器设备 2 个、机房内墙壁 5 个、迷道内 1 个）；TOMO 机房工作场所设置 8 个急停按钮（TOMO 控制室 1 个、TOMO 设备 2 个、机房内墙壁 4 个、迷道内 1 个）；各机房防护门内侧均设置紧急开门按钮，各控制室设置对应的开关门按钮；各机房均配备有固定式剂量率监测仪；加速器和 TOMO 治疗

	系统均采用数字密码或者专用钥匙启动；各工作场所均安装有视频监控和对讲系统；各设备机房均设有机械通风系统，通风换气次数不低于 4 次/h。
监测仪器	本项目增配 2 台固定式剂量率监测仪、1 台便携式 X-γ剂量率仪和 4 台个人剂量报警仪，所有辐射工作人员配备个人剂量计。
规章制度	更新现有的辐射安全管理制度，增加本项目设备的操作规程，本项目设备纳入监测方案管理，各项规章制度得到有效贯彻落实。 建立并健全本项目各项辐射安全管理规章制度、监测方案、本项目设备的操作规程，各项规章制度应符合工作实际，并得到有效贯彻落实。
人员培训	本项目拟新增 11 名辐射工作人员均须通过辐射安全与防护考核。
应急预案	建立并健全《辐射事故应急处理预案》，本项目放射治疗工作场所纳入应急预案进行管理。《辐射事故应急处理预案》须符合工作实际，明确应急管理小组及应急职责、事故分级、应急响应流程、事故应急处置、事故上报、应急终止、应急联系方式、应急演练和应急培训等内容。

表 13 结论与建议

13.1 结论

（1）实践的正当性：本项目北京四惠中医医院拟在医院综合楼二期负一层东南部新建1间加速器机房和1间TOMO机房，拟在加速器机房内新增使用1台医科达Synergy型医用电子直线加速器，拟在TOMO机房内新增使用1台安科锐Radixact X5型TOMO设备，用于开展放射治疗工作。本项目的建设将显著提升医院对各类肿瘤疾病的综合治疗能力，为各类肿瘤患者提供更完善、更科学的肿瘤综合治疗服务，四惠中医院具备开展本项目的技术能力、专家团队、人员和经费等条件。本项目的建设和运行对受照射个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中“实践正当性”的原则与要求。

（2）辐射屏蔽能力分析：本项目放射治疗工作场所的设置已充分考虑了设备性能、运行特点和周围场所的安全与防护，已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符合辐射工作场所使用和辐射安全防护的要求。

（3）项目周围辐射环境现状：本项目辐射工作场所及其周围的γ辐射剂量水平与北京市天然本底水平一致，未发现环境辐射水平异常。

（4）辐射安全与防护措施：本项目加速器和TOMO设备工作场所拟实行分区管理，监督区边界和控制区入口处拟设置分区管理标识；加速器机房和TOMO机房防护门拟设置电离辐射警告标识和中文警示说明，各机房防护门上方拟设置工作状态指示灯；各工作场所拟采取门-机安全联锁、急停按钮、紧急开门按钮、监视对讲、固定式剂量率监测仪、钥匙或密码控制、机械通风系统等安全与防护措施；本项目拟新增配备2台固定式剂量率监测仪、1台便携式X-γ剂量率仪和4台个人剂量报警仪，所有辐射工作人员均配备个人剂量计；上述各项辐射安全与防护措施落实后，可有效防止误操作，避免工作人员和公众受到意外照射。

（5）辐射环境影响分析：本项目加速器和TOMO设备正常运行时，加速器机房和TOMO机房的四周墙体、防护门和屋顶外30cm处附加剂量率最高为5.35E-01μSv/h（各机房屋顶上方设备间），满足本评价提出的小于2.5μSv/h的剂量率控制要求。加速器运行所致工作人员附加剂量不超过5.45μSv/a，公众成员附加剂量不超过1.37μSv/a，均满足本评价设定的工作人员2mSv/a和公众0.1mSv/a的剂量约束值要求。

（6）辐射安全管理：四惠中医院已成立辐射安全领导小组，并设有辐射安全与防护专

职管理人员。医院拟建立健全各项辐射安全管理规章制度，包括《岗位职责》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《射线装置台账管理制度》、《辐射工作人员考核管理制度》、《个人剂量监测管理制度》、《监测方案》、《监测仪器使用和校验管理制度》等各项管理制度，拟制定本项目加速器和 TOMO 设备的《操作规程》，拟建立健全《辐射事故应急处理预案》。医院现有辐射工作人员均已通过辐射安全与防护考核，本项目拟新增的 11 名辐射工作人员须网上报名参加辐射安全与防护考核，通过考核后持证上岗。

（7）与生态环境部 2021 年修订的《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和原环保部第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》提出的具体要求进行对照评估，环评报告中描述的辐射安全和防护措施如果得到落实，能够满足运行的要求。

综上所述，北京四惠中医医院有限责任公司新增使用Ⅱ类射线装置项目，辐射安全与防护措施和辐射安全管理制度可行，在落实本报告表提出的各项辐射安全与防护措施的前提下，各射线装置的运行对周围环境产生的辐射影响符合环境保护的相关要求。故从辐射环境保护角度论证，该建设项目是可行的。

13.2 建议和承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京四惠中医医院郑重承诺：

（1）在项目运行过程中，严格依照操作规程操作设备，不弄虚作假，不违规操作。

（2）不断加强全院的辐射安全管理工作，建立健全各项辐射安全管理规章制度、设备操作规程和辐射事故应急预案，落实辐射安全管理责任。

（3）严格按照辐射监测方案定期对辐射工作场所进行监测，并将监测记录保存留档。

（4）加强辐射工作人员的管理，所有辐射工作人员须通过辐射安全与防护考核方可从事辐射工作。按要求定期开展辐射工作人员个人剂量监测，个人剂量档案妥善存档；

（5）及时向北京市生态环境局办理辐射安全许可证申领手续，严格落实建设项目环境保护“三同时”制度。在项目建设完成投入试运行后及时开展竣工环境保护验收工作。在后续运行过程中接受生态环境主管部门的监督检查。

表 14 审批

下一级生态环保部门预审意见：   公 章 经办人 年 月 日
审批意见：   公 章 经办人 年 月 日