

核技术利用建设项目

新建放疗中心
项目环境影响报告表

北京大学首钢医院

2021年3月

环境保护部监制

核技术利用项目

新建放疗中心 项目环境影响报告表

建设单位名称：北京大学首钢医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市石景山区晋元庄路9号

邮政编码：100144

联系人：刘逢雨

电子邮箱：sgyy_yzc@163.com

联系电话：010-57830827

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	12
表 3	非密封放射性物质	13
表 4	射线装置	14
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	15
表 6	评价依据	16
表 7	保护目标与评价标准	18
表 8	环境质量和辐射现状	24
表 9	项目工程分析与源项	26
表 10	辐射安全与防护	40
表 11	环境影响分析.....	52
表 12	辐射安全管理	78
表 13	结论与建议	81
表 14	审 批	83

表 1 项目基本情况

建设项目名称		门急诊医技大楼放射治疗项目			
建设单位		北京大学首钢医院			
法人代表		顾晋	联系人	刘逢雨	联系电话 010-57830827
注册地址		北京市石景山区晋元庄路 9 号			
项目建设地点		北京市石景山区晋元庄路9号门急诊医技大楼地下二层东侧			
立项审批部门		无		批准文号	无
建设项目总投资(万元)		3000	项目环保投资(万元)	300	投资比例(环保投资/总投资) 10%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积(m ²)	497
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类(医疗使用) <input type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他					
<p>1.1 单位概况</p> <p>北京大学首钢医院（以下简称“首钢医院”或“医院”）始建于 1949 年，是一所集医疗、教学、科研、预防保健为一体的大型三级综合医院，占地面积 65610 平方米，编制床位 1006 张，在岗职工 1800 余人，设有 36 个临床科室，12 医技科室，4 个社区卫生服务中心。2002 年 9 月，首钢总公司与北京大学签署联合办院协议，成为北京大学附属医院、北京大学教学医院、北京大学临床学院。首钢医院现为北京市基本医疗保险 A 类定点医院、北京市住院医师规范化培训基地、石景山区区域医疗中心，2022 年北京冬奥会场馆医疗保障牵头医院。</p> <p>首钢医院坚持“以重点学科带动医院发展，以特色技术带动学科发展”的发</p>					

展战略，在几代人的共同努力下，目前已经拥有胃肠外科、泌尿外科、肝胆胰外科、普通外科、骨科、骨肿瘤科、呼吸内科、心血管内科、神经内科、消化内科、血管医学科等一批优势学科和行业知名学科带头人。2017年3月，医院率先建设了国内第一家三级医院安宁疗护中心。近年来，医院通过不断加强人才工作和学科建设，综合竞争力不断攀升，相继承担着国家级、省部级、市级等众多科研项目。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

首钢医院目前持有北京市生态环境局颁发的《辐射安全许可证》（京环辐证[H0007]，有效期至2025年7月30日，许可证副本相关页见附件1），许可的种类和范围是：使用II类、III类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。医院已许可使用射线装置及非密封放射性物质情况分别见表1-1、表1-2所示。

表 1-1 已许可使用的射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量（台）
1	车载 X 光机	III	1
2	骨密度 X 光机	III	1
3	C 形臂	III	3
4	泌尿多功能 X 线机	III	1
5	牙片机	III	2
6	床旁 X 射线机	III	4
7	CT	III	4
8	数字 X 射线机	III	6
9	乳腺 X 光机	III	1
10	DSA	II	3
11	胃肠造影机	III	1
12	——	合计	27

表 1-2 已许可使用的非密封放射性物质

工作场所名称	等级 (类别)	核素名称	日等效最大操作量	年最大用量 (Bq)
--------	------------	------	----------	---------------

			(Bq)	
泌尿外科中心手术室	丙	I-125	1.78E+7	1.33E+11
核医学	乙	Tc-99m	1.85E+8	4.6E+12
医学影像中心住院大楼一层 CT 室 (2)	丙	I-125	1.78E+6	3.56E+11

1.2.2 近几年履行环保审批情况

首钢医院近 5 年来开展的核技术利用项目，均履行了环保审批手续，详见表 1-3 所示。

表 1-3 近几年履行环保审批手续情况一览表

编号	项目名称	环保审批	竣工环保验收
1	更新 1 台车载 X 射线机	京环审[2015]95 号	京环验[2015]145 号
2	更新 1 台数字胃肠机	备案号： 201811010700000024	已登证
3	医院住院楼一层 CT 室新增 I-125 粒子植入使用及住院大楼一层新增 CT 一台	备案号： 201811010700000442	已登证
4	新建使用数字减影造影机	京环审[2019]198 号	已完成自主验收 (2019 年 11 月)
5	新建核医学科 PET 中心	京环审[2020]161 号	正在建设中

1.2.3 辐射安全管理情况

1.2.3.1 辐射管理机构基本情况

为了加强辐射安全和防护管理工作，促进放射性同位素和射线装置的安全使用，首钢医院专门成立了辐射防护领导小组，由院长担任组长，副院长担任副组长，医务处、门诊部、保卫处、医学工程处、基建处、总务处、医学影像科、神经外科、核医学科等部门的相关人员担任组员，并指定医务处刘逢雨专职负责辐射安全管理工作，辐射防护领导小组成员名单见表 1-4。

表 1-4 首钢医院辐射防护领导小组成员名单

职责	姓名	性别	职务	部门	专/兼职
组长	顾晋	男	院长	院办	兼职
副组长	王海英	女	副院长	院办	兼职
组员	杨布仁	男	副院长	院办	兼职
	王宏宇	男	副院长、血管医学科主任	院办	兼职

关振鹏	男	副院长、骨科主任	院办	兼职
薄天慧	女	医务处处长	医务处	兼职
王义	男	门诊部主任	门诊部	兼职
张爱国	男	保卫处处长	保卫处	兼职
左晓霞	女	护理部副主任	护理部	兼职
赵长坡	男	医学工程处处长	医学工程处	兼职
杨迪	男	基建处处长	基建处	兼职
刘宏彦	女	总务处处长	总务处	兼职
张滨	男	医学影像科主任	医学影像科	兼职
于明川	男	医学影像科副主任	医学影像科	兼职
刘京山	男	普通外科主任	普通外科一病区	兼职
冷建军	男	肝胆胰外科主任	肝胆胰外科	兼职
李宁忱	男	泌尿外科主任	泌尿外科	兼职
高峰	男	神经外科主任	神经外科	兼职
唐强	男	心血管内科主任	心血管内科	兼职
乔淑冬	女	神经内科一病区主任	神经内科一病区	兼职
高伟	男	神经内科二病区主任	神经内科二病区	兼职
郭正纲	男	麻醉科主任	麻醉科	兼职
张蓉	女	口腔科主任	口腔科	兼职
东黎光	男	体检中心主任	体检中心	兼职
姜雅聪	女	核医学科主管医师	核医学科	兼职
陈新	女	金顶街社区卫生服务中心主任	金顶街社区卫生服务中心	兼职
张宏林	男	古城社区卫生服务中心主任	古城社区卫生服务中心	兼职
刘逢雨	女	医务处干事	医务处	专职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

首钢医院结合医院实际情况，已制定一套相对完善的辐射安全管理制度，包括辐射防护领导小组及岗位职责、放射性同位素与射线装置操作规程、辐射工作人员培训计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射事故应急制度等，并严格按照规章制度执行。

1.2.3.3 工作人员考核情况

首钢医院制定了辐射工作人员考核计划。目前，全部从事辐射工作的职业

人员和管理人员共计 156 人，均参加了生态环境部门认可的单位组织的辐射安全与防护考核，并取得合格证书（最早的一批为 2018 年 4 月取得合格证）。

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

1.2.3.4 个人剂量监测情况

首钢医院的个人剂量监测工作委托北京市疾病预防控制中心承担，按每季度 1 次的频度进行个人剂量监测，个人剂量档案齐全。全部的辐射工作人员均配置了个人剂量计，每季度由医院专人负责收集更换，并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案。

根据医院提供的 2020 年度的个人剂量监测结果（见附件 2），参与个人剂量检测的 187 名人员，年度个人受照剂量超出 1mSv 只有从事放射科工作的 1 人（1.28mSv），其余人员均低于 1mSv，均未超过医院年剂量管理值 5.0mSv。多数人员的年度受照剂量低于 0.2mSv。

开展个人剂量检测的人员，包含辐射工作人员、核技术利用场所的进修人员、核医学科就医引导人员和保洁人员等，所以开展个人检测的人数（187 名）多于辐射工作人员数量（156 名）。部分进修人员工作时间较短，所以出现了只有一个季度的个人剂量检测结果的情况。

医院今后将继续加强个人受照剂量的监管，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，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；如果单季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。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测情况

医院已制定辐射工作场所监测制度和自行监测记录档案，监测方案内容含有工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测，监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次等，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。监测记录记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息，监测记录随本单位辐射安全和防护年度评估报告一并提交北京市生态环

境局。

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

表面污染监测：每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台面、通风橱台面、注射车以及设备等进行表面污染监测，监测数据记录存档。工作人员离开可能受到放射性污染的工作场所时，监测其工作服、体表的表面污染水平。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，该项工作由核医学科工作人员自行完成。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，本次申报的放疗中心项目，将纳入医院辐射工作场所的监测范围，一并按照现有的频度开展自行监测。医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-5。

表 1-5 医院现配有辐射监测仪器清单

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	使用场所
1	辐射监测仪	Ranger	2018-12-27	正常	2	介入中心/ 导管室
2	表面污染仪	CoMo170	2018-12-27	正常	1	核医学科
3	便携式表面污染测量仪	MicroCont II RGZ190	2012-1	正常	1	核医学科
4	活度计	CRC-25R	2012-1-2	正常	1	核医学科
5	监视器	MCC-460R	2007-1-1	正常	1	核医学科
6	便携式放射性检测仪	PDS-100GN	2012-2	正常	2	核医学科
7	表面污染仪	Inspector	2009-4-14	正常	1	核医学科 (I-125 粒子场所)
8	报警器	BDL9500-3C	2007-1-1	正常	1	核医学科
9	辐射监测仪	Ranger	2019-4-18	正常	1	医学影像科 (I-125 粒子场所)
10	表面污染仪	CoMo170	2019-4-18	正常	1	核医学科 (I-125 粒子场所)

1.2.3.6 辐射事故应急管理情况

医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装

置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了关于本单位辐射项目的辐射事故（件）应急预案，以保证一旦发生辐射意外事件时，即能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理放射事故，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在预案中进一步明确规定本单位有关意外放射事件处理的组织机构及其职责、事故报告、信息发布和应急处理程序等内容。发生辐射事故时，单位将立即启动辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。2020 年 9 月 17 日下午，医院组织核医学科辐射防护应急演练。演练以核医学科使用 Tc-99m 为演练主体，液体 Tc-99m 在注射过程中意外掉落，导致 Tc-99m 辐射影响为演练背景，按照演练工作要求，由主管院长牵头，医务处组织协调，参加部门有核医学、医学工程处、疾病预防控制处、医院感染管理办公室、护理部、保卫处等。通过演练，使核医学工作人员对操作中可能出现的情况有了直观清楚的认识；对辐射工作人员进行宣传教育，加强了辐射工作人员的辐射安全防护意识和应急处置能力。同时也使各相关部门对辐射事故应急处置的流程更加清楚和熟练。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

首钢医院按照《北京市生态环境局办公室关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》（京环办[2018]13 号）对放射性废物进行管理。放射性固体废物分类收集于专用的废物库内，暂存时间分别超过 30 天、10 倍最长半衰期，对表面污染和辐射剂量率水平自行监测无异常后作为医疗废物处置。医院最近于 2020 年 11 月按照要求对 2017 年 7 月至 2020 年 9 月暂存时间满足要求的 Tc-99m 固体废物进行了清洁解控，并进行了详细解控记录（解控记录详见附件 3），质量约为 53kg。核医学许可使用的显像核素为 Tc-99m（A 类），配套的衰变池为推流式衰变池（2m³×3），产生的放射性废水已按照《关于加强医疗机构核医学放射性废物管理的通知》管理要求推流式自动解控排放。

1.2.3.8 其他情况

2020 年度，首钢医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据相关法律法规对单位放射性同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，编写了年度评估报告。

1.3 本项目情况

1.3.1 本项目背景

首钢医院建设于 1949 年 10 月，是一所具有 70 多年历史的老医院，是集医疗、教学、科研、预防保健为一体的三级综合医院，现为北京市基本医疗保险 A 类定点医院、北京市住院医师规范化培训基地、石景山区区域医疗中心。2019 年医院开放床位达到 958 张，2017 年门诊量 968236 人次，出院 30300 人次；2018 年门诊量 917055 人次，出院 34237 人次；2019 年门诊量 932816 人次 36997 人次，近三年门急诊人次逐步增长。

首钢医院现有 2 个院区分别位于北京市石景山区晋元庄路 9 号（主院区）和北京市石景山区石景山路 68 号首钢园区西十中心 N3-17 二层（分院区）。由于首钢高端产业综合服务建设带来的人口聚集，以及公众对自身健康状况日益重视，和未来人口老龄化的趋势，首钢医院目前门急诊压力越来越大。为满足人民群众日益增长的医疗卫生需求，首钢医院拟新建门急诊医技大楼，使门急诊硬件设施与医院总体发展规划相平衡。同时为了完善诊疗科目，提高医院肿瘤治疗综合实力，首钢医院拟在现有诊疗科目的基础上增设放射治疗专业，并于 2019 年 12 月 16 日取得北京市卫生健康委员会签发的《北京市卫生健康委员会原则同意北京大学首钢医院增设放射治疗专业诊疗科目的批复》，文号：京卫医〔2019〕177 号，见附件 4。

1.3.2 门急诊医技大楼及放疗中心项目概况

门急诊医技大楼项目包括拆除院区内现状门诊楼、汽车库、物业宿舍等建筑面积 18510.9 平方米，新建门急诊医技大楼（拟建地上 13 层、地下 3 层）位于医院主院区西南角，总建筑面积为 52727 平方米。建设内容主要包括门急诊、医技、住院、科研、教学、办公、大型医疗设备等功能用房，配套建设室外管线、室外绿化等红线内室外工程。门急诊医技大楼北侧距锅炉房约 7m，南侧距院外道路 15m，东侧紧邻泌尿大楼，西侧紧邻医院院墙。门急诊医技大楼项目于 2016 年 10 月 10 日取得《关于北京大学首钢医院新建门急诊医技大楼工程环境影响报告书的批复》（石环保批〔2016〕127 号）。

放疗中心位于该楼地下二层东侧，根据功能可划分为治疗区域和辅助区域两部分，其中治疗区域位于放疗中心西南侧，包括 1 间医用直线加速器机房、

1 间 TOMO 机房和 1 间后装治疗机房及其配套用室；辅助区域位于放疗中心北侧，包括 1 间 CT 模拟定位机房、制模室、医生办公室、计划室、会议室等相关用室。

1.3.3 本项目环境影响评价内容

本次环境影响评价的内容为门急诊医技大楼地下二层的放射治疗项目，放疗中心配套的模拟定位机将另行备案，本项目主要包括：

(1) 新建 1 间加速器机房（加速器室），拟新增使用 1 台医用电子直线加速器（X 射线最大能量 10MV，电子束最大能量 18MeV）；

(2) 新建 1 间 TOMO 机房（TOMO 室），新增使用 1 台 TOMO 设备，X 射线最大能量 6MV，无电子束；

(3) 新建 1 间后装机机房（后装治疗室），新增使用 1 台近距离治疗后装机（内含 1 枚 Ir-192 放射源，活度 3.7E+11Bq）。

本项目辐射源项情况见表1-6。

表 1-6 本项目使用的辐射源项情况表

序号	工作场所	型号及名称	参数	厂家	类别
1	加速器室	医用电子直线加速器	10MV X射线/FFF模式： 2400cGy/min（等中心1m处）	待定	II类
2	TOMO室	Tomo Therapy Hi-ART型 TOMO	6MV X射线/850cGy/min (0.85m处)	Accuray Incorporated	
3	后装治疗室	近距离治疗后装机	Ir-192, 3.7E+11Bq (10Ci)	待定	III类

1.3.4 目的和任务的由来

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

根据生态环境部《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(2019年生态环境部令第9号)最新要求，北京辐环科技有限公司符合第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于该条第二款所列单位。公司有专职环评工程师，有能力开展环境影响评价工作。受首钢医院的委托，评价机构环评人

员在现场踏勘、监测、收集资料的基础上，对该项目建设和运行对环境的辐射影响进行了分析评价，并编制了环境影响报告表。

1.3.5 项目选址、周围环境和布局合理性

本项目放疗中心位于医院西南角门急诊医技大楼地下二层内，场所周围环境：

(1) 楼外：门急诊医技大楼北侧距锅炉房约 7m，南侧距院外道路 15m，道路之外为首钢技师学院，东侧紧邻泌尿大楼，西侧紧邻医院院墙，之外为首钢管理干部学校，50m 范围内无居民楼。

(2) 场所周围：放疗中心位于该楼地下二层东侧，根据功能可划分为治疗区域和辅助区域两部分，其中治疗区域位于放疗中心西南侧，包括 2 间医用直线加速器机房（其中 1 间 TOMO 机房）、1 间后装治疗机房及其配套用室；辅助区域位于放疗中心北侧，包括 1 间 CT 模拟定位机房、制模室、医生办公室、计划室、会议室等相关用室。加速器室和 TOMO 室地下二层南侧和西侧为土层（北侧部分为战时水箱间），楼上还有 3m 左右的土层，楼下为土层。

可见，放疗中心拟新增的加速器室、TOMO 室和后装治疗室考虑了避让周围敏感目标，还考虑了利用地下土层进行屏蔽防护，选址基本合理。

1.3.6 产业政策符合性

本项目为使用放射治疗设备项目，属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第十三项第 5 条中关于“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，……”类别，属于国家支持和鼓励类产业。

1.3.7 开展新项目的技术能力

(1) 辐射工作人员配备

根据建设单位提供的资料，本项目拟通过科室调整和招聘配备相关工作人员，放疗中心工作人员配置计划见表 1-7。本项目拟配备放射工作人员结构与《放射诊疗管理规定》、《北京市乙类大型医用设备配置准入标准》符合情况详见表 1-8。

表 1-7 放疗中心工作人员配置计划

岗位	职称	职责	预计人数	备注
----	----	----	------	----

医师	中级及以上	勾画靶区、参与计划制定并验证计划，参与首次摆位	5 人	拟招聘1 名副主任医师和2 名主治医师
物理师	初级及以上	制作治疗计划和放疗设备质量控制监测	3 人	其中拟招聘2名中级职称物理师
技师	初级及以上	患者摆位、加速器操作及CT 模拟定位机操作	10 人	其中4 名具有2 年或以上放疗工作经验
护士	初级及以上	加速器、后装机放疗患者护理工作	6 人	/

表 1-8 本项目放疗中心工作人员结构与法规要求符合情况

相关要求	拟配情况	符合情况
具有完整的专业人员构成：医师、物理师、技师、工程师、护士拟配专业人员构成及人数见表1-7	拟配专业人员构成及人数见表1-7	符合
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	1 人	符合
至少1 名拥有中级或以上本专业技术职务任职资格或具有5 年或以上医学物理工作经验的物理师	2 人	符合
至少 2 名具有 2 年或以上放疗工作经验的技师	4 人	符合
至少 1 名护士	6 人	符合

(2) 检测仪器配备情况

新建放疗中心每间机房均配置 1 台固定式剂量率仪（共计 3 台），每间机房配置 2 台个人剂量报警仪（共计 6 台），放疗中心拟配 1 台便携式 X-γ 剂量率仪。

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	Ir-192	3.7E+11Bq×1枚	III	使用	放射治疗	门急诊医技大楼 地下二层后装治 疗室	后装机设备内贮存	新增

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

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	待定	电子	10MV (X 线) 18MeV (电子束)	X 线: 2400cGy/min (6MV,10MV) 电子束: 1000cGy/min	放射治疗	门急诊医技大楼地下二层加速器室	新增
2	TOMO	II	1	Tomo Therapy Hi-ART	电子	6MV (X 线) 无电子束	850cGy/min	放射治疗	门急诊医技大楼地下二层 TOMO 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	
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
退役源	固态	Ir-192					不暂存	返回货源单位
废靶	固体	活化成份					暂存	优先清洁解控处置,活化程度较高的废靶送北京市城市放射性废物库。
有害气体O ₃ 等	气体	/					直接排放	经通风系统直接排入环境大气

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

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

表 6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日。</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2019 年 3 月 2 日。</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2021 年 1 月 1 日。</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2019 年 8 月 22 日。</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，2011 年 4 月 18 日。</p> <p>(9) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，2017 年 12 月 5 日。</p> <p>(10) 《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。</p> <p>(11) 《北京市环保局办公室关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24 号，2018 年 1 月 25 日。</p> <p>(12) 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年 4 月 1 日。</p> <p>(13) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日。</p> <p>(14) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，京环发[2011]347 号，2012 年 1 月 1 日。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016），环境保护部。</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）</p> <p>(3) 《医用电气设备第 2 部分：能量为 1MeV 至 50MeV 电子加速器安全专用要求》（GB 9706.5-2008）</p> <p>(4) 《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T</p>

	<p>201.1-2007)</p> <p>(6) 《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/T 201.2-2011)</p> <p>(7) 《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》(GBZ 2.1-2019)</p> <p>(8) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)</p> <p>(9) 《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)</p>
其他	<p>(1) NCRP Report No.151: Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, 2005;</p> <p>(2) NCRP Report No.144: Radiation Protection for Particle Accelerator Facilities, 2003;</p> <p>(3) IAEA SAFETY REPORTS SERIES No.47: Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities, 2006;</p> <p>(4) 《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS 262-2017)</p> <p>(5) 《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》(WS 531-2017)</p> <p>(6) 首钢医院提供的与本项目相关的申请和技术资料, 2021.3。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为新建放疗中心项目，包括 1 台直线加速器、1 台 TOMO 和 1 台后装机。

7.1.2 关注问题

(1) 使用的放射治疗装置辐射防护屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。

(2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足国家法律法规及相关标准的要求。

7.1.3 评价因子

本项目的环评影响评价因子为 X 射线、 γ 射线、臭氧和氮氧化物等。

7.1.4 评价目的

(1) 评价建设项目在运行过程中对辐射工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

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

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

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

(5) 为医院的辐射环境保护管理提供科学依据。

7.1.5 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016) 的规定，并结合该项目辐射为能量流污染的特征，根据能量流的传播与距离相关的特性，确定本项目评价范围放射治疗机房实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域。

7.2 保护目标

本项目新建放疗中心位于医院西南角门急诊医技大楼地下二层东侧，放疗

中心东、南侧为地下土层，西侧为为土层（北侧部分为保障用房、战时水箱间），北侧为人防固定设施，之外为地下土层，加速器室、TOMO 室楼上为 3m 左右的土层，后装治疗室楼上为变配电室，楼下为土层。

门急诊医技大楼北侧距锅炉房约 7m，南侧距院外道路 15m，道路之外为首钢技师学院，东侧紧邻泌尿大楼，西侧紧邻医院院墙，之外为首钢管理干部学校，除南侧外其余均为医院内部，50m 范围内无居民楼。根据项目特点及周围毗邻关系，确定主要环境保护目标主要为评价范围内工作人员，以及场所周围活动的公众人员。本项目将采取有效的辐射防护与安全管理措施，确保放疗中心运营所致工作人员和周围公众的年受照射剂量低于本报告提出的剂量约束值。本项目评价范围见图 7-1 所示，放疗中心周边关系见图 7-2 所示，项目边界周围 50m 范围内保护目标相关情况见表 7-1 所示。

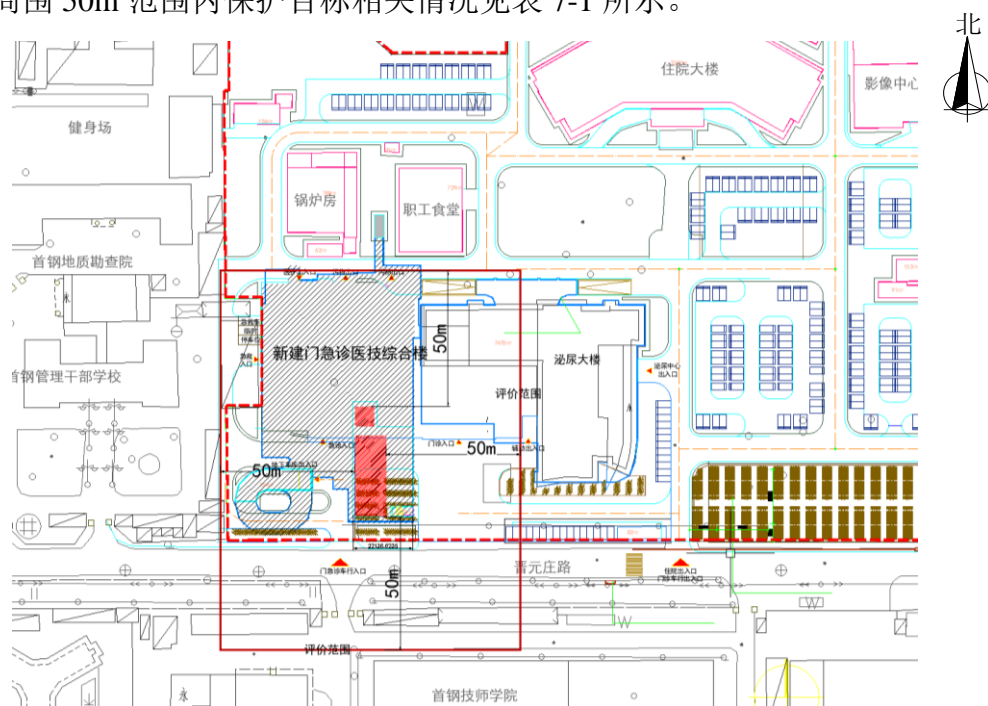


图 7-1 本项目评价范围示意图

表 7-1 门急诊医技大楼放疗中心治疗室周围 50m 范围内的保护目标

门急诊医技大楼（放疗中心）	保护目标	方位	距离(m)	长居留人数
	泌尿大楼	东侧	10~50	50
	首钢技师学院	南侧	25~50	10
	人防场所	北侧	30~50	2
	汽车坡道、垃圾暂存间等	西侧	0~50	5

3 个治疗室所在门急诊医技大楼地下二层的平面布局图见图 7-2 所示，楼

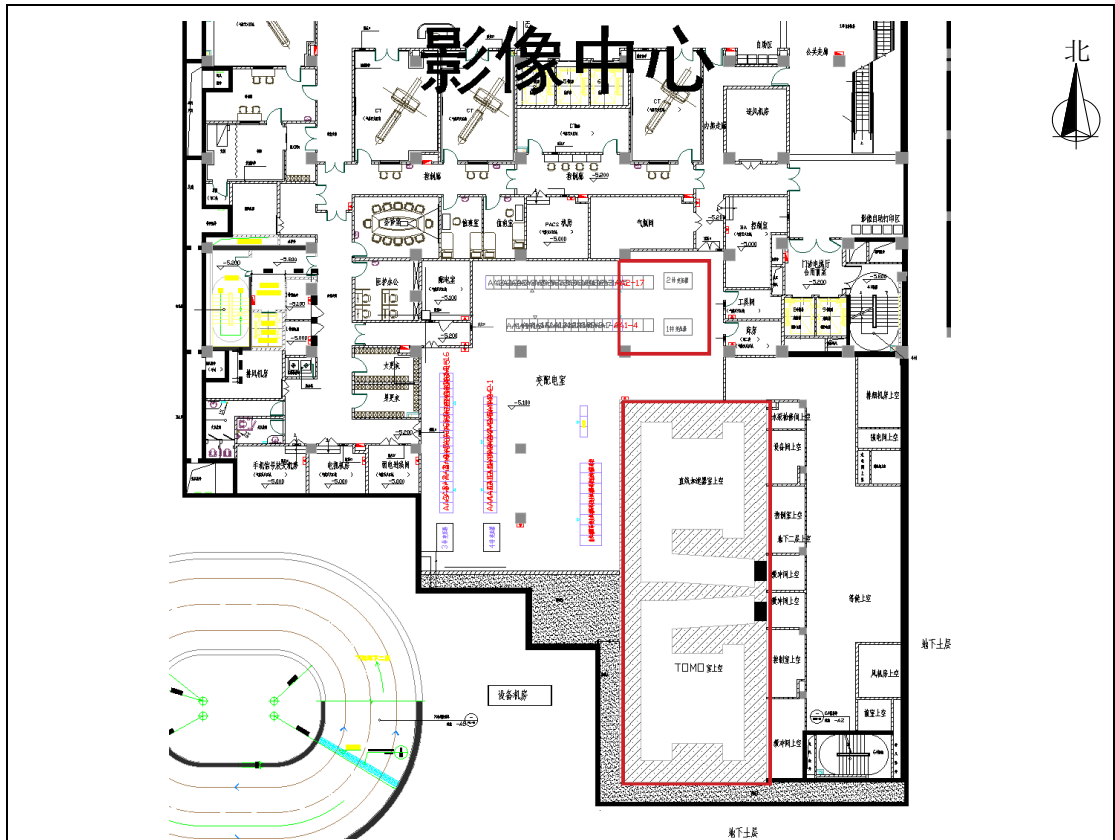


图 7-3 门急诊医技大楼地下一层（治疗机房上方）平面布局图

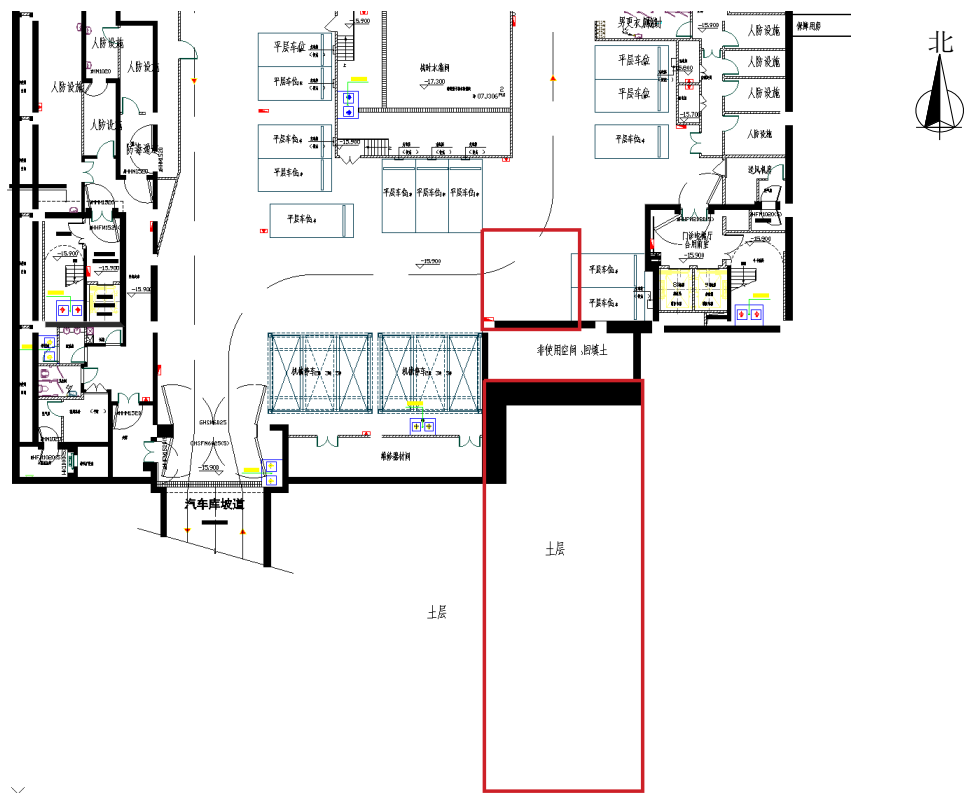


图 7-4 门急诊医技大楼地下三层（治疗机房下方）平面布局图

表 7-2 本项目含源设备以及射线装置机房周围相邻环境情况

工作场所	周围环境	方位	长居留人数
加速器室	控制室、患者走廊	东	2
	TOMO室	南	1
	地下二层为战时水箱间、地下一层西侧变配电室	西	1
	更衣室、走廊	北	2
	3m 左右土层，上方院内道路	上	2
	土层	下	/
TOMO室	控制室、患者走廊	东	2
	土层	南	/
	地下二层为土层，地下一层西侧 1.5m 土层，之外为设备机房	西	1
	加速器室	北	1
	3m 左右土层，上方院内停车位	上	3
	正下方土层	下	/
后装治疗室	库房、走廊、电梯厅	东	2
	更衣室、走廊	南	2
	战时水箱间、货车回车场地	西	5
	控制室、制模室	北	4
	变配电室	上	2
	汽车道	下	1

7.3 评价标准

7.3.1 基本剂量限值

电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB18871-2002）规定的剂量限值列于表 7-3。

表 7-3 工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB18871-2002）

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

GB18871-2002 规定了剂量约束值：对于职业照射，剂量约束是一种与源相关的个人剂量值，用于限制最优化过程所考虑的选择范围。对于公众照射，剂量约束是公众成员从一个受控源的计划运行中接受的年剂量的上界。剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%~30%（即 0.1~0.3mSv/a）的范围之内。

7.3.2 剂量约束值

职业照射，本项目辐射工作人员取 2mSv/a 作为剂量约束值；公众照射，本项目取 0.1mSv/a 作为剂量约束值。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，首钢医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

7.3.3 剂量率控制水平

对于本项目，要求在满足上述年剂量约束值的同时，参照《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020）和《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），剂量率控制值为：机房墙外和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5 μ Sv/h。

7.3.4 非放射性控制值

（1）室内空气质量

根据 GBZ2.1-2019，工作场所空气中 O₃和 NO₂的浓度限值分别为 0.3mg/m³和 5mg/m³。

（2）环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行 GB3095-2012《环境空气质量标准》中的二级浓度限值，臭氧的 1 小时平均浓度 0.2mg/m³，NO₂的 1 小时平均浓度 0.2mg/m³。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

8.1.1 地理位置

首钢医院位于北京市石景山区晋元庄路 9 号，医院地理位置见附图 1 所示。医院东侧紧邻北方工业大学，南侧为晋元庄路，西侧为首钢管理干部学校等，北侧为铁路区域，医院平面布局和周围关系见附图 2 所示。

8.1.2 场所位置

本项目拟新建放疗中心所在的门急诊医技大楼（拟建地上 13 层、地下 3 层）位于医院主院区西南角，北侧距锅炉房约 7m，南侧距院外道路 15m，东侧紧邻泌尿大楼，西侧紧邻医院院墙。放疗中心位于该楼地下二层东侧，根据功能可划分为治疗区域和辅助区域两部分，其中治疗区域位于放疗中心西南侧，包括 1 间医用直线加速器机房、1 间 TOMO 机房、1 间后装治疗机房及其配套用室；辅助区域位于放疗中心北侧，包括 1 间 CT 模拟定位机房、制模室、医生办公室、计划室、会议室等相关用室。拟新建门急诊医技大楼地下二层平面见附图 3，3 间治疗室的平剖面图见附图 4~附图 7。

8.2 辐射环境现状监测

建设单位委托北京华克智星医疗技术研究院有限公司，于 2021 年 3 月 15 日对本项目首钢医院新建放疗中心直线加速器及后装机房相关区域环境辐射水平进行了现状本底检测（检测报告编号：HKZX-[2021]第 003 号，检测报告见附件 6）。检测使用 X、 γ 剂量率仪，监测结果见表 8-1。

表 8-1 评价区环境 γ 辐射剂量率现状监测结果

序号	检测点位	γ 辐射剂量率 (nSv/h)
1	南直线加速器机房东侧	118±2.6
2	北直线加速器机房东侧	109±2.8
3	北直线加速器机房北侧	110±1.8
4	北直线加速器机房西侧	107±1.6
5	南直线加速器机房西侧（地面）	107±1.6

6	南直线加速器南侧外道路（地面）	93.6±2.9
7	后装机房东侧	107±1.2
8	后装机房北侧	105±1.3
9	后装机房西侧	106±1.6
10	后装机房南侧	107±1.9
11	后装机房内	109±1.8
12	放疗科区域正上方	92.9±2.7

注：*监测结果含宇宙射线

医院拟建放疗中心治疗室相关区域环境辐射水平属于正常本底水平，未发现院内及该项目场所周边环境辐射水平异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 医用电子直线加速器

9.1.1 工作原理

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

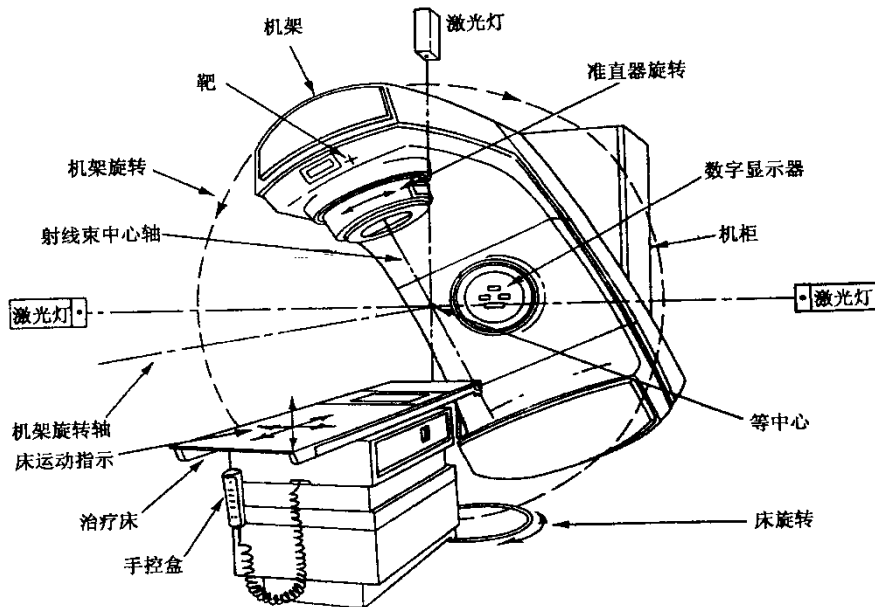


图 9-1 电子直线加速器示意图

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

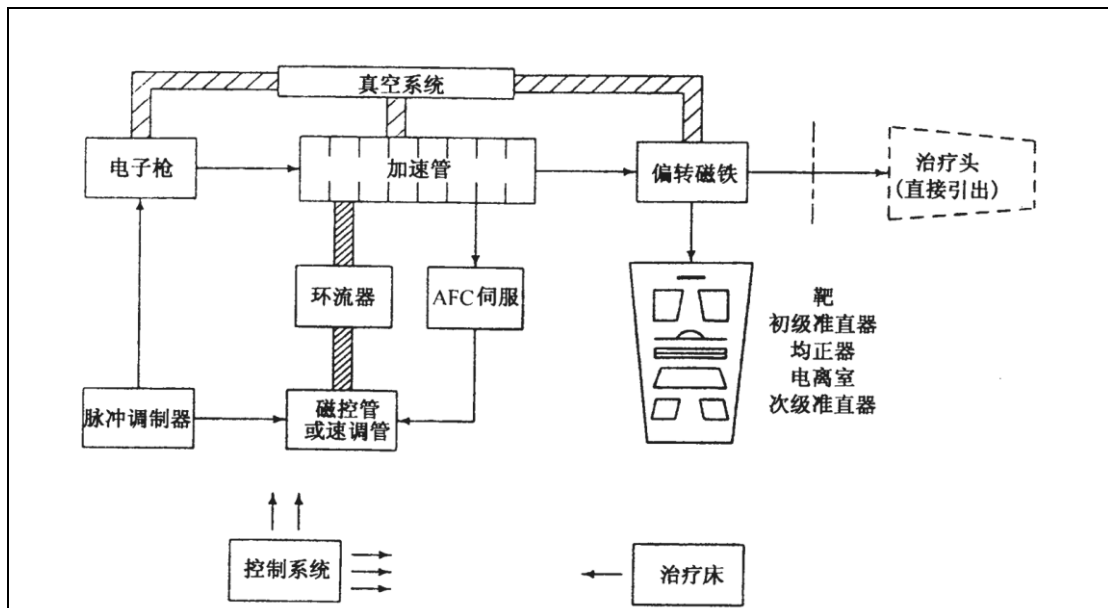


图 9-2 典型医用电子直线加速器内部结构图

9.1.2 工作流程

1、治疗流程

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

(2) 制模：为方便患者治疗定位，用热塑体模在相应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，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；

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

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

(7) 实施治疗：根据放疗计划，运用有关技术实施精确照射；

(8) 结束治疗：病人离开治疗室，摆位人员进行下一个患者摆位准备。

医用电子直线加速器放射治疗工作流程见图 9-3。

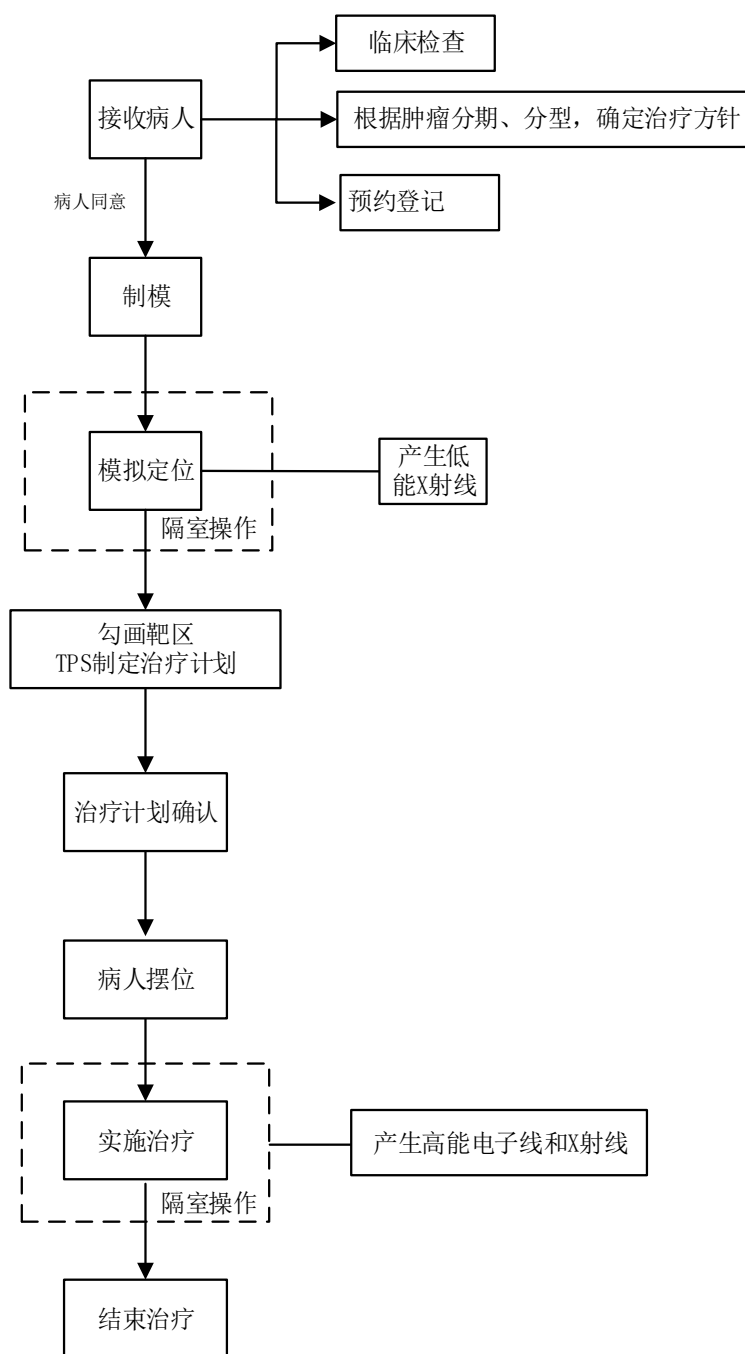


图 9-3 医用电子直线加速器放射治疗工作流程

2、使用规划

(1) 工作负荷：按最大工作负荷 60 人次/天进行评价。每人“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 6-8 分钟，全天完成 60 人次治疗，所需时间约

6h-8h。

(2) 出束时间：既开展常规放射治疗，也开展 IMRT、VMAT 等适形调强放射治疗，患者比例约为 1: 9，根据医院提供资料，每台加速器预期每天最多治疗 60 人次，300 人次/周。保守假设放射治疗在 400cGy/min 平均照射条件下，平均每人待照射区照射 2Gy，用时 0.5min，加速器日治疗 60 人时出束时间为 30min/d，年总照射时间 125h/a；适形调强放射治疗（IMRT）与普通放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的，但等中心处照射野会明显小，使用 VMAT 技术适形调强治疗时，调强因子取 3（常规调强 IMRT 因子取 5）。

(3) 使用因子：各个方向治疗照射的使用因子保守取 $U=0.25$ 。

9.1.3 设备技术指标

本项目拟配的 1 台加速器性能参数见表 9-1。

表 9-1 电子直线加速器性能参数

序号	指标	技术参数
1	型号及名称	电子直线加速器（型号待定）
2	射线种类	X 射线、电子线
3	能量分档	X 射线：最高能量为 10MV
4		电子线：电子线最高能量为 18MeV
5	等中心剂量率	X 射线为 2400cGy/min（10MV）；1400cGy/min（6MV）
6		电子线为 1000cGy/min
7	等中心处最大照射野（主射束夹角）	400mm×400mm（28°×28°）
8	泄漏率	小于等中心处吸收剂量的 0.1%
9	靶到等中心点距离	1.0m

9.1.4 污染源项描述

9.1.4.1 主要放射性污染物

电子直线加速器运行时电子轰击靶物质生产韧致辐射（X 射线）。本项目加速器常规最大输出 X 射线辐射剂量率为 600cGy/min（FFF：2400cGy/min）。有用线束外泄漏辐射剂量为有用线束的 0.1%，X 射线照射至墙壁和患者身体将产生散射辐射。加速器运行产生的 X 射线贯穿辐射、泄露辐射和散射辐射进入外环境，对环境有一定的影响。

本项目拟使用的电子直线加速器最高输出的是 10MV 的 X 射线和 18MeV 的电子束，在照射野处剂量相同时，电子束使用时的平均电子束流约为 X 射线的 10^{-3} ，且电子束使用时无重靶和有限束集光筒联锁，产生的韧致辐射会很小，约为使用 X 射线束时剂量的 10^{-6} ，因此，加速器电子治疗时的机房防护要求，低于 X 射线治疗时的防护；根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），本项目 X 射线能量不高于 10MV 的加速器，故无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线。

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

（1）正常工况时的污染途径

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

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

3) 微波 电子直线加速器上使用磁控管等微波组件，在它们处于工作状态时人员有可能受到来自这些组件开口处泄漏的微波危害。

（2）事故工况下的污染途径

发生的事故工况主要有以下两种情况：

1) 门机联锁失效，工作人员误入加速器室，受到额外的照射。

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

9.2 螺旋断层放射治疗系统（Tomo）

9.2.1 工作原理

螺旋断层放射治疗系统是一个综合的放射治疗系统，集成了计划、剂量计算、CT 扫描定位和螺旋治疗等功能调强放疗治疗。这一系统的主要特点在于：高能 X 射线束 360 度旋转聚焦注射肿瘤，靶区适形性佳，剂量分布均匀，使

正常组织及器官得到最大限度的保护；具有图像引导功能，每次治疗前在治疗机上进行 MVCT 成像，确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致后再进行放疗，从而保证了治疗的精确性。

6MV 直线加速器安装在螺旋 CT 滑环机架上，加速管沿机架的径向安装，机架能够 360 度旋转。它可产生 6 MV 的扇形束 X 射线，经射线出口处的二元开/关式多叶准直器调制，从而实现 360 度螺旋断层调强放射治疗；也可形成 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）。在治疗开始前进行 MVCT 成像扫描，重建出患者的三维影像，与计划 CT 影像进行比较，从三维方向上修正摆位误差，从而实现图像引导下的 IMRT 治疗。其治疗扇形束特性是向前呈峰形的束流曲线，直至通过一排 64 片二元开/关式钨多叶光栅实现调制为止，其中每一叶片投影到等中心的宽度为 0.625 cm。初级射线通过初级准直器后，经可调整宽度（4mm 至 5cm）的次级准直器形成狭长扇形射束（40cm 长，4mm 至 5cm 宽）。

9.2.2 设备组成

断层放射治疗机包括以下几部分：

（1）旋转机架：直线加速器部分、CT 探测器子系统、温控系统安装在旋转机架上；

（2）患者治疗床：带有复合材料的平板床面，用于支撑患者和旋转孔内移动患者；

（3）激光定位系统：有利于确定床上患者的初始位置，在断层图像匹配后也可实现修正患者位置；

（4）操作台工作站：控制室内，操作人员可控制和监视断层图像的采集、患者定位和治疗情况；

（5）状态控制台：配有选择步骤类型的钥匙开关，开始、停止出束尧紧急停止按钮及其状态指示灯；

（6）计划系统工作站：用于治疗 CT 图像采集和组织定义，评估及保存优化治疗计划；

（7）共享数据库服务器：包含整个系统所使用的患者和机器数据；

（8）最优化引擎：采用剂量优化和剂量计算，该设备采用专用硬件来加

速优化和剂量计算过程。断层放射治疗机外观图见图 9-4，主体结构部件图和束流准直部件侧面图见图 9-5 和图 9-6（引用 WS 531-2017）。

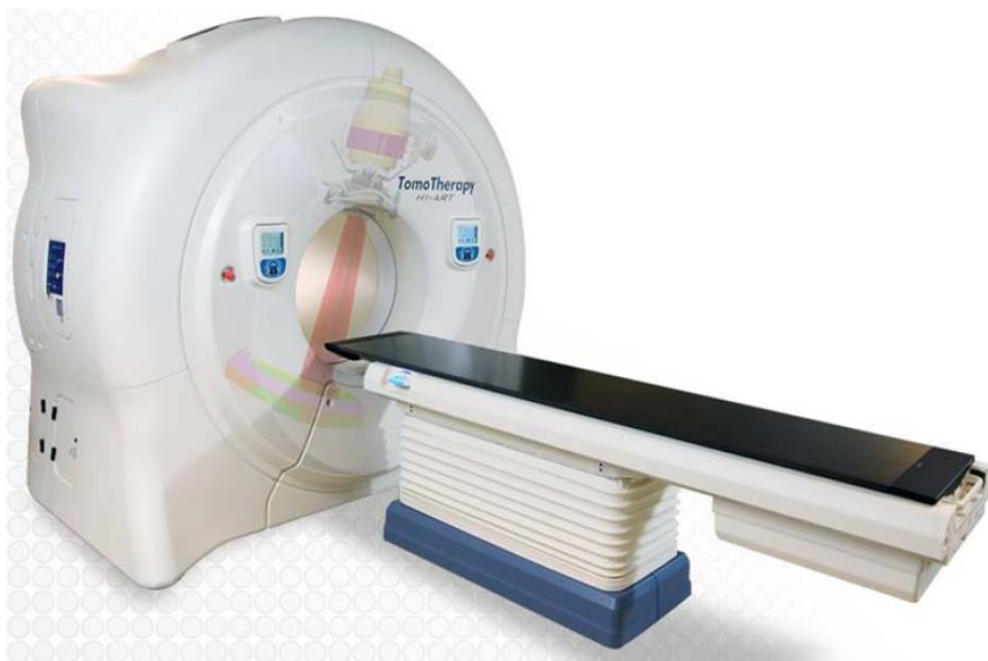


图 9-4 TOMO 放疗系统外观示意图

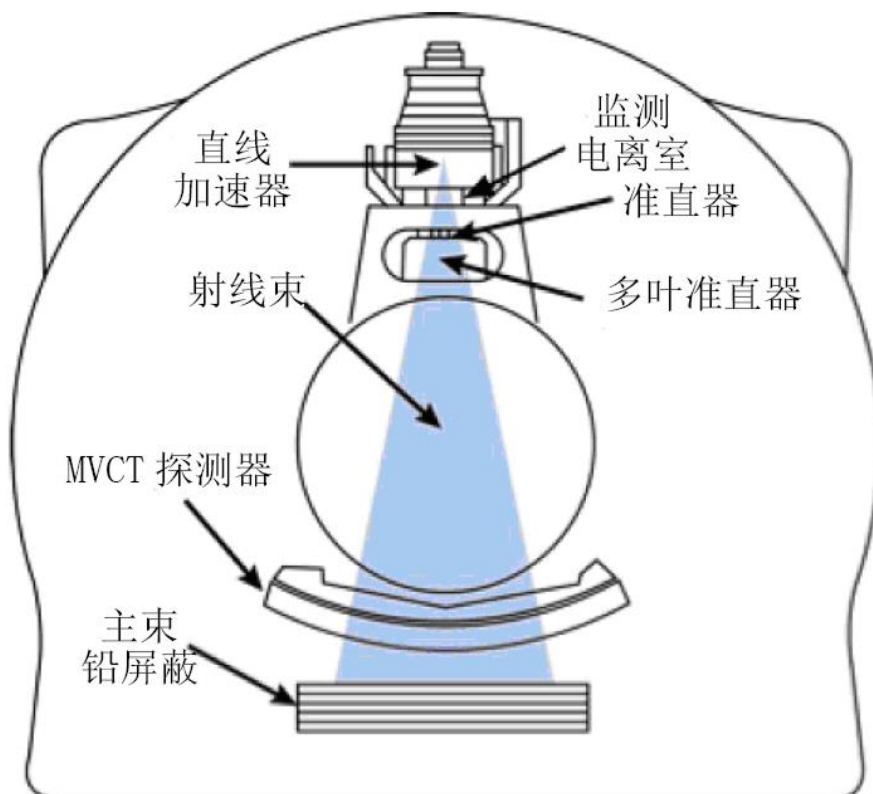


图 9-5 TOMO 放疗系统主体结构部件图

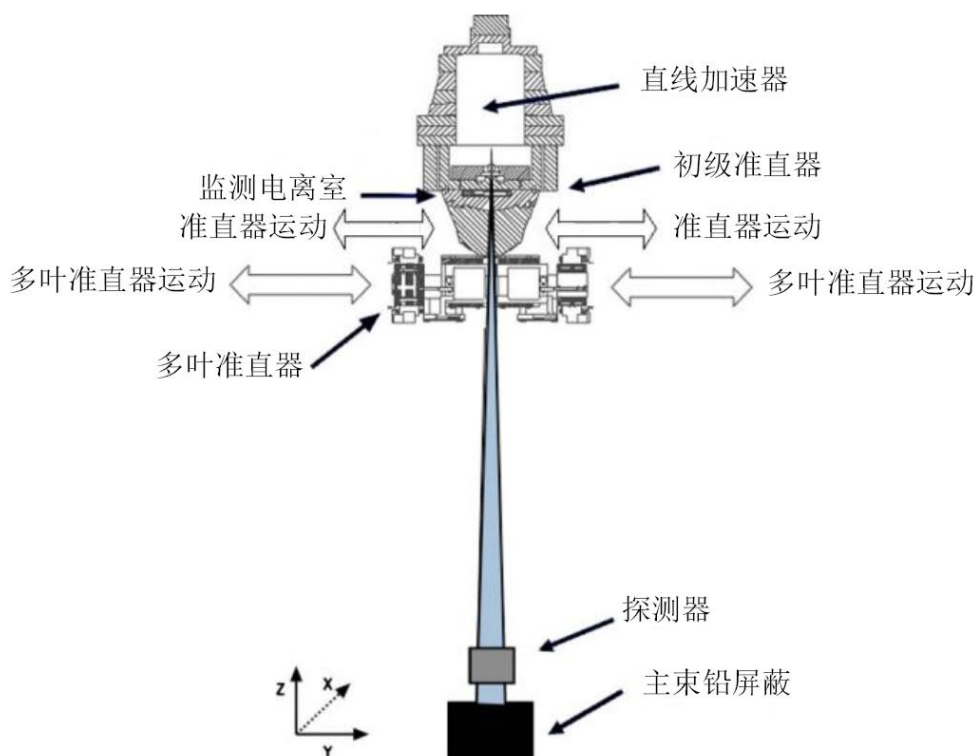


图 9-6 TOMO 放疗系统束流准直部件侧面图

9.2.3 工作流程

1、工作方式及操作流程

Tomotherapy Hi-Art 断层放射治疗装置的核心部件是 6MV X 射线加速器，属于一种窄束调强放射治疗装置。治疗束在等中心处的照射野：长 4mm 至 5cm，宽 40cm。在加速器机架旋转、多叶光栅的窄束适形调强“断层”照射的同时，治疗床推移，使待照射区通过窄治疗束，待照射区以断层截面扫描照射的方式获得治疗计划的准确、均匀的治疗剂量，整个工作过程类似于螺旋 CT。

(1) 病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者进行预约登记；

(2) 预约病人首先在放疗科原有模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，模拟定位扫描时工作人员隔室操作；

(3) 通过 MV 级 CT 扫描结果确认治疗体位在三维空间上与治疗计划一致；

(4) 技术人员启动 Tomo 治疗束部分开始照射治疗，治疗时工作人员隔室操作；

(5) 照射完毕后，技术人员协助病人离开机房。

2、使用规划

(1) 工作负荷：TOMO 刀预估安装初期每日工作量在 10-20 人次/日；科室成熟后预计每日最高工作量能达到约 50 人次/日。按最大工作负荷 50 人次/天进行评价。每人“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 15-20 分钟，全天完成 50 人次治疗，所需时间约 12.5h-16.7h，初期所需时间约 6.7h。

(2) 出束时间：患者病变区治疗剂量 2~10Gy/人次，人均总出束时间约 2.5min/人次，本项目按 50 人次/天进行评价，则日治疗照射时间 125min/d，周照射时间 625min/周（10.4h/周），年总照射时间 520.8h/a。

(3) 使用因子：各个方向治疗照射的使用因子保守取 $U=0.25$ 。

9.2.4 设备技术指标

本项目拟配的 1 台 TOMO 性能参数见表 9-2。

表 9-2 TOMO 性能参数

序号	项目	性能指标
1	射线	治疗束：6 MV X 射线； CT 扫描射线束：3.5MVX 射线
2	有用束距靶 85cm 的等中心处的 X 射线最大剂量率	6 MV : 850cGy/min 3.5 MV : 45cGy/min
3	X 射线泄漏辐射因子	10^{-3}
4	等中心处最大照射野	5cm×40cm
5	射线源到中心轴距离 (SAD)	85cm
6	成像时等中心处测得患者吸收剂量	0.5cGy~ 3cGy
7	等中心相对水平地面高度	113cm
8	二级准直器材料，厚度	钨，23cm
9	辐射源运动类型	主射束 360 度旋转，治疗床同步移动。
10	系统自带主束挡铅厚度	12.5cmPb 安装在 X 射线发生器对侧位置并同步转动。

9.2.5 污染源项描述

9.2.5.1 主要放射性污染物

该治疗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生产韧致辐射（X 射线）。设备输出 X 射线能量为 6MV，靶区辐射剂量率为 850cGy/min，有用线束外泄漏辐射剂量为有用线束的 0.1%。射线照至墙壁、设备和患者身体将产生散射辐射。X 射线图像成像系统运行时也产生 X 射线，但其能量要远低于治疗束。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 射线贯穿机房的屏蔽材料进入外环境。

空气在射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用产生 O₃ 和 NO_x 等有害气体。

9.2.5.2 正常工况的污染途径

(1) TOMO 系统产生的韧致辐射 X 射线，X 射线经透射、漏射和散射，对工作场所及其周围环境产生辐射影响。

(2) 空气在加速器 X 射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用产生 O₃ 和氮氧化物等有害气体。

9.2.5.3 事故工况的污染途径

发生的事故工况主要有以下两种情况：

(1) 门机联锁失效，工作人员误入机房，受到额外的照射。

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

9.3 后装机

9.3.1 工作原理

后装治疗机即近距离放射治疗机，是新一代肿瘤治疗设备,可进行后装放射治疗。后装放射治疗是指把不带放射源的治疗容器置于治疗部位，由电脑遥控步进电机将放射源送入容器进行放射治疗，如此可避免放置治疗容器过程中医务人员因放射受伤。可以将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗。由于放置位置准确、距病体组织近等优点，在治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤中，取得了明显的临床治疗效

果。

后装机由治疗计划系统、控制系统和后装机三部分组成。治疗计划系统通过数字化仪将患者的影像进行正交、半正交和交角的影像重建，通过运算可显示出优化治疗、三维储存显示剂量分布以及解剖结构，系统可以自动修正源衰变，根据源位、病灶大小和形态，计算出等剂量分布曲线。后装机的作用是将放射源准确、安全、定时地放置到人体病变部位。放射源安放在真源轮钢丝绳的最前端，所载的放射源约为 $0.9 \times 7 \text{ mm}$ 的圆柱体，使用时将塑料导管插入人体各需要治疗的部位，后装机最多可放置18条塑料管，设置18个治疗部位，多数情况下为3~4个治疗部位。一般后装机装有两个相同的绕有钢丝绳的轮，一个是真源轮，一个是假源轮，两个轮的结构和大小相同，在真源轮上放有放射源。两个轮分别由两个步进电机驱动，同时还各装有一个直流电机，用于必要时做快回抽的操作。某款后装机外观图见图9-7，后装机结构分解见图9-8。



图 9-7 某款后装机外观图

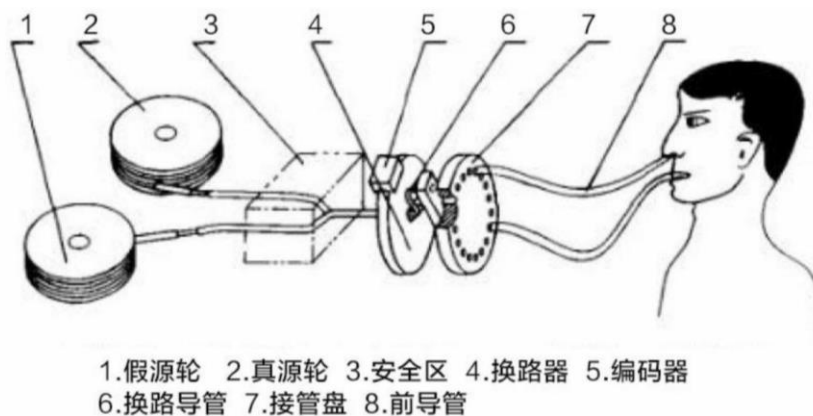


图 9-8 后装机结构分解示意图

9.3.2 工作流程

1、工作方式及操作流程

(1) 病人经医生诊断、治疗正当性判断后，确定需要治疗的患者与放疗中心预约登记，以确定模拟定位和治疗时间。

(2) 预约病人首先通过CT、超声等设备上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状，确定治疗中心。定位操作过程类似于X射线影像诊断，工作人员隔室操作。

(3) 确定肿瘤位置和形状后，物理人员根据医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划，该过程通常在电脑上完成。

(4) 治疗计划制定后，肿瘤病人在技术人员协助下，依据计划在治疗床上进行连接施源器，该过程在治疗机房内完成。

(5) 安装施源器后，技术人员进入操作室，确定所有安全措施到位后，启动治疗机进行照射。

(6) 照射完毕后，技术人员协助病人离开机房，为下次照射做准备。

2、使用规划

(1) 工作负荷：后装治疗机每天最高工作量能达到约 20 人次/日，每周接诊两天。每人平均检查时间约 15 分钟，全天完成 20 人次治疗，所需时间约 5h。

(2) 出束时间：每名患者治疗出束时间保守取 10min/人次，本项目按 20 人次/天进行评价，则日治疗照射时间 200min/d，周照射时间 400min/周（6.7h/周），年总照射时间 335h/a。

(3) 利用因子：各个方向治疗照射的使用因子取 $U=1$ 。

9.3.3 设备技术指标

本项目拟配的 1 台后装治疗机主要技术参数见表 9-3。

表 9-3 后装治疗机主要技术参数

序号	项目	参数指标
1	辐射源种类	Ir-192 丝状源

2	拟最大装源活度	370GBq (10Ci)
3	放射源衰变方式 (分支比%)	β^- (95.13%)、EC (4.87%)
4	辐射类型	γ 射线
5	γ 射线能量均值	0.468MeV
6	半衰期	74.0 天
7	空气比释动能率常数	0.111 μ Gy/ MBq h

9.3.4 污染源项描述

9.3.4.1 主要的放射性污染物

后装治疗是一种近距离治疗方式,该项目拟使用的核素是 Ir-192。最大装源活度 $3.7E+11$ Bq。Ir-192 的半衰期为 74.0d, γ 射线能量为 0.317 MeV(83%)、0.468MeV (48%) 和 0.604meV (8%)。

设备辐射防护性能:《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017) 要求储源器最大装载活度时,距储源器表面 5cm 吸收剂量率不得大于 50 μ Sv/h,距离储源器 100cm 处的球面上,任何一点的泄漏辐射不得大于 5 μ Sv/h。

9.3.4.2 正常工况的污染途径

正常运行时的主要环境影响是电离辐射和退役放射源。

在非治疗状态下,Ir-192 源封装在后装机的储源器内,容器周围辐射水平较低,对周围环境影响很小。治疗状态下,Ir-192 离开储源器,按裸源考虑,机房内空气比释动能率较高,漏射 γ 射线对治疗室周围环境将产生辐射影响。密封源退役时会产生废放射源。

9.3.4.3 非正常情况的污染途径

(1) 后装机操作系统发生故障,到达预置治疗时间,放射源无法自动收回,导致患者受超剂量照射;

(2) 运行情况下意外断电,且设备不间断电源系统故障无法启动,致放射源不能复位。该事故工况发生时,依照应急预案,人工摇转应急回源手柄退源。

(3) 运行过程中发生卡源或源脱落故障。该事故工况发生时,依照应急

预案，立即停止辐照工作，人工摇转应急回源手柄退源，或进入辐射场所排除故障。之后及时通知厂家维修。

(4) 因设备检修或更换放射源期间，将密封源贮源器拆卸下来，由于保管不善，可能会发生密封源丢失或被盜事故，可能产生较严重的辐射照射。

(5) 治疗期间安全联锁系统出现故障时，人员意外进入治疗室并停留，将受到过量照射的情况。

(6) 放射源意外破损时，导致治疗装置、机房甚至人员受到放射性污染。

9.4 后装机放射源的倒装和运输

后装机使用过程中每年更换 2-3 次 Ir-192 放射源，医院将委托持有放射源销售资质的公司购买放射源，并由销售公司委托具有放射源运输资质的公司进行放射源运输。医院配合放射源进场工作，在医院接受放射源，并安排适当的场地暂存。后装机倒装放射源工作由设备厂家的维修工程师完成。鉴于以上分析，医院工作人员在放射源的倒装和运输环节仅做一些安全性的辅助工作，本次评价无需进一步分析。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 选址与布局

本项目在门急诊医技大楼地下二层东侧放疗中心新建 1 间加速器机房（加速器室）、1 间 TOMO 机房（TOMO 室）和 1 间后装治疗机房（后装治疗室），以及控制室和其它辅助机房。放疗中心平面布局见图 10-1。

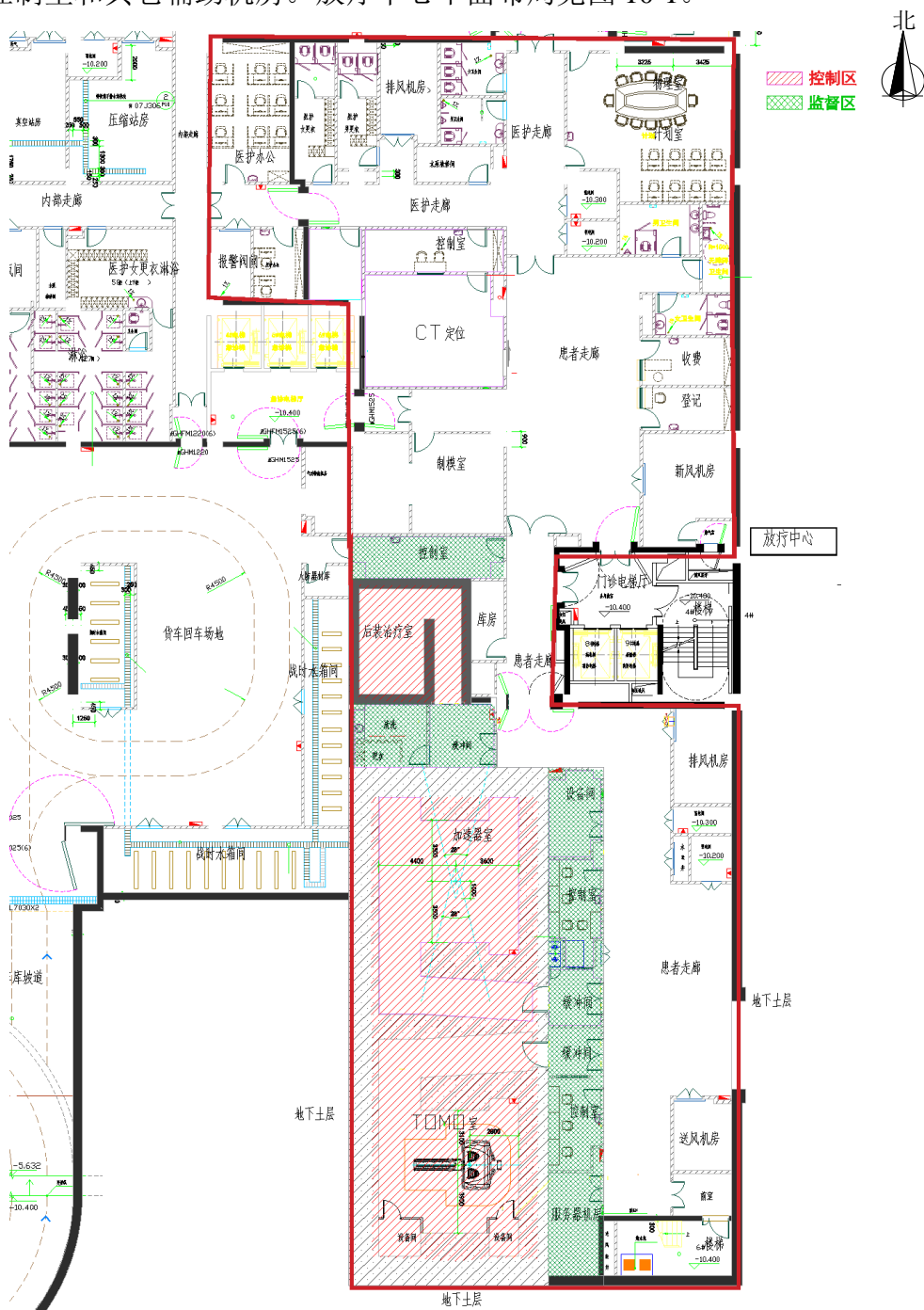


图 10-1 门急诊医技大楼地下二层放疗中心平面布局图

本项目拟新建的 1 间加速器机房和 1 间 TOMO 机房位于放疗中心治疗区域南侧呈南北镜像分布（考虑到将来也能安装加速器，TOMO 机房也按照加速器机房设计），东侧毗邻控制室、设备间、缓冲间和服务器机房，南侧为地下土层，西侧毗邻战时水箱间和地下土层，北侧毗邻清洗间、缓冲间和过道，机房上方为室外停车位和道路，下方为地下土层。两间机房均设有迷道，采用直形迷道形式。南墙、北墙、地面和房顶拟设为主束方向，控制室均位于非主射束方向，机房四周无敏感人员长期居留。

本项目拟新建后装治疗机房位于放疗中心治疗区域北侧，东侧毗邻库房，南侧毗邻清洗间、缓冲间，西侧毗邻战时水箱间和人防器材库，北侧毗邻控制室，机房上方为变配电室，下方为地下车库。机房设有迷道，采用直形迷道形式，四周无敏感人员长期居留。

选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，对公众影响较小。

10.1.2 机房屏蔽设计

表 10-1 机房屏蔽设计情况一览表

序号	场所名称	机房面积 (m ²)	屏蔽墙体方向	屏蔽材料及厚度
1	加速器室	66.3 (不含迷路)	东墙	1700mm 砼
			南墙	迷路内墙：主屏蔽部分1900mm砼，次屏蔽部分：1200~1550mm砼（主屏蔽区设计宽度：3900mm） 迷路外墙：600~1400mm砼
			西墙	1700mm 砼
			北墙	主屏蔽部分 3000mm 砼，次屏蔽部分：1700mm 砼（主屏蔽区设计宽度：3900mm）
			顶	主屏蔽部分 3000mm 砼+3400mm 土层，次屏蔽部分：1700mm 砼+4700mm 土层（主屏蔽区设计宽度：3900mm）土层）
			防护门	15mm 铅
2	TOMO 室	66.3 (不含迷路)	东墙	1700mm 砼
			南墙	主屏蔽部分 3000mm 砼，次屏蔽部分：1700mm 砼（主屏蔽区设计宽度：3900mm）
			西墙	1700mm 砼
			北墙	迷路内墙：主屏蔽部分1900mm砼，次屏蔽部分：1200~1550mm砼（主屏蔽区设计宽度：3900mm） 迷路外墙：600~1400mm砼

			顶	主屏蔽部分 3000mm 砼+3400mm 土层，次屏蔽部分：1700mm 砼+4700mm 土层（主屏蔽区设计宽度：3900mm）土层）
			防护门	15mm 铅
3	后装治疗室	22（不含迷路）	东墙	迷路内墙：600mm 砼 迷路外墙：600mm 砼
			南墙	600mm 砼
			西墙	600mm 砼
			北墙	600mm 砼
			顶	800mm 砼
			地板	800mm 砼
			防护门	10mm 铅

说明：依据建设单位提供资料，砼（混凝土）密度 2.35 t/m³；土密度为 1.6g/cm³，铅板的密度为 11.4g/cm³。

10.1.3 辐射安全与防护措施

10.1.3.1 加速器（包括 TOMO 系统）拟采取的辐射安全与防护措施

（1）加速器机房(包括防护门)采用实体屏蔽措施，能够保证机房周围墙体和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 2.5μSv/h，辐射工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

（2）加速器放射工作场所实行分区管理：1 间加速器机房和 1 间 TOMO 机房为控制区，控制室、设备间、缓冲间和服务器机房为监督区，分区图见图 10-1。

（3）在加速器室和 TOMO 室防护门外拟设立电离辐射警告标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

（4）两间机房拟安装电视监控（加速器室拟装 6 个摄像头、TOMO 室 8 个）、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）辐射工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计。

（6）加速器室和 TOMO 室电动防护门拟设置防夹人功能，可有效防止人员被挤压，停电时能够手动开启，使病人安全转移。

（7）治疗系统采用数字密码或者专用钥匙启动，由专人操作设备。

(8) 设置门机安全联锁：只有当防护门关闭，设备才能出束；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动停止出束。

(9) 紧急停机按钮：紧急停机按钮安装在控制室的操作台上（1个）、控制室墙上（1个）、加速器设备上（2个）、加速器治疗室的墙壁上（加速器室4个，TOMO室6个）和迷道内1个，并有明显的标志，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。紧急停机按钮必须采用手动方式才能复位。

(10) 门控按钮设置：在每间控制室墙上拟安装开关门按钮，在防护门内侧迷道墙壁上安装紧急开门按钮（无关门按钮）。

(11) 加速器室和 TOMO 室内都拟安装通风换气系统。换气次数不低于 4 次/h。其中进风口拟设距地高度约为 3.5m；排风口拟设置距地 30cm；进风管道和排风管道均拟由机房门上方采用“Z”方式穿出机房。加速器室和 TOMO 室与设备间的线缆都采用“U”型方式穿过屏蔽墙。

(12) 2 间机房内安装固定式辐射剂量监测报警仪器（探头拟安装在迷路墙上），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。放疗中心拟新配 1 台便携式辐射监测仪及每个治疗场所分别配置 2 台个人剂量报警仪。

(13) 其他要求：治疗室安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

加速器室和 TOMO 室加速器联锁和警示系统的设计见图 10-2，机房联锁和安全措施等布置见图 10-3 所示，风管和电缆沟穿墙节点图见图 10-4。加速器室和 TOMO 室工作场所安全与防护设施设计要求见表 10-2。

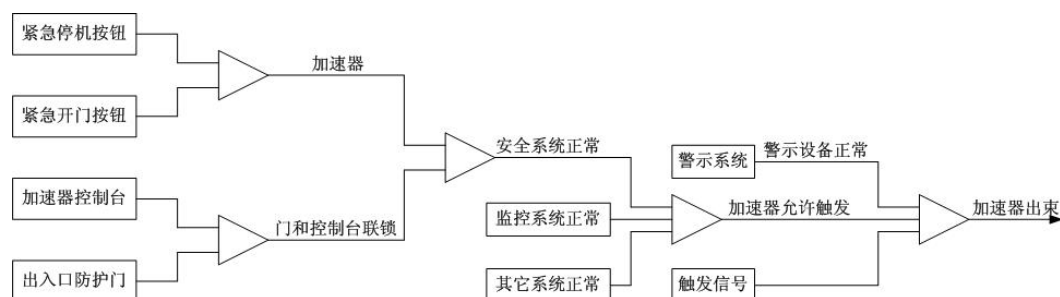
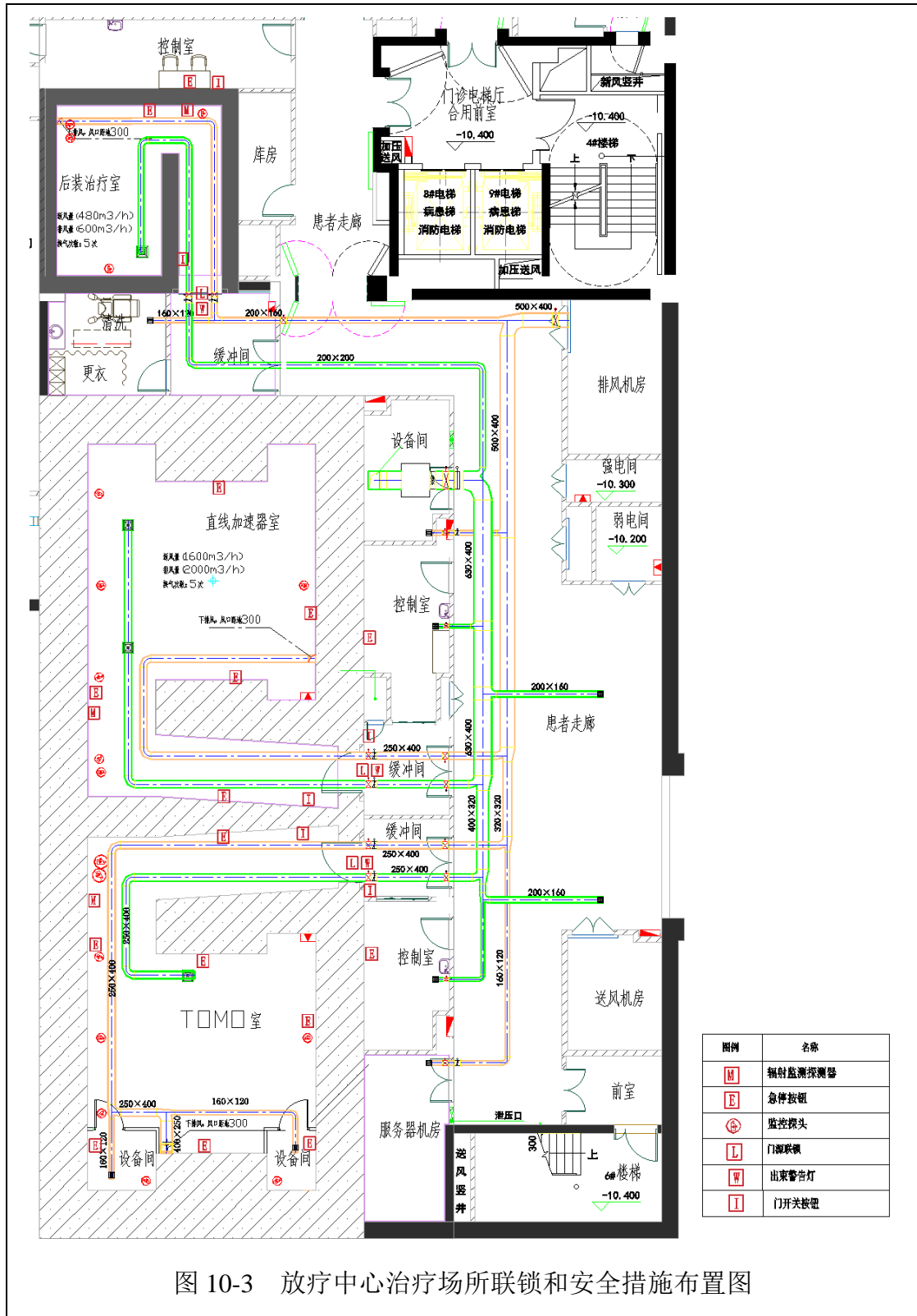


图 10-2 加速器（TOMO）机房联锁系统逻辑图



图例	名称
	辐射监测探测器
	急停按钮
	监控探头
	门源联锁
	出束警告灯
	门开关按钮

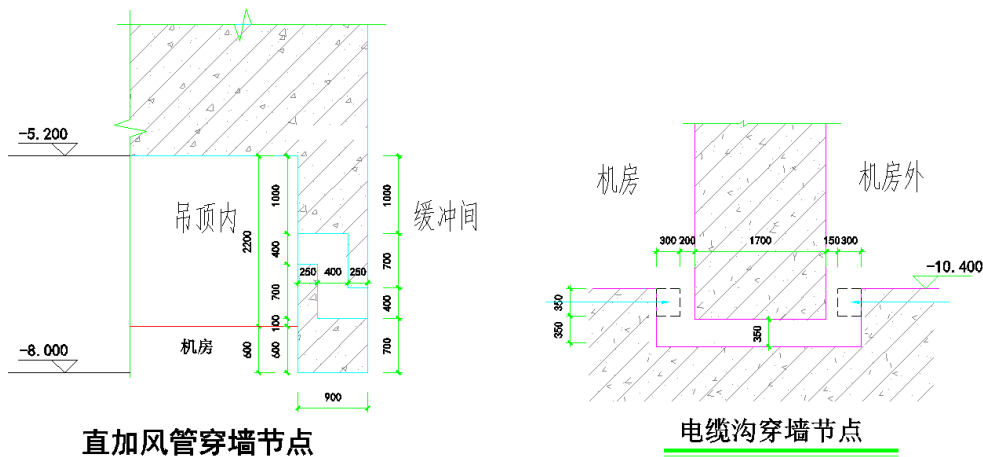


图 10-4 风管和电缆沟穿墙节点图

表 10-2 加速器室（TOMO 室）辐射安全防护设施设计要求

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

16*		个人剂量计	√	每人1个
17*	E 其它	个人辐射防护用品	√	/
18		通风系统	√	拟设有单独的排风系统

注：加*的项目是重点项，有“设计建造”的划√，没有的划×，不适用的划/。

10.1.3.2 后装机机房拟采取的辐射安全与防护措施

(1) 使用专用机房，机房建筑采取可靠的实体屏蔽，安装辐射屏蔽门，采用隔室遥控操作方式。能够保证机房周围墙体外、屋顶和防护门外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

(2) 后装机放射工作场所实行分区管理：将后装机机房划分为控制区，控制室、缓冲间、清洗间何更衣室为监督区，分区图见图 10-1。

(3) 在后装机防护门外粘贴电离辐射标志和中文警示说明。安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

(4) 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员滞留。

(5) 工作人员进入机房将佩戴个人剂量计，并携带个人剂量报警仪。

(6) 电动防护门具有防夹人功能，停电时能够手动开启，使病人安全转移。

(7) 治疗系统由控制台钥匙或者密码控制。

(8) 设置门源安全连锁：只有当防护门关闭，设备才能出源；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动回源。

(9) 紧急停机按钮：紧急停机按钮安装在控制室的操作台上（1 个）、后装机设备上（1 个）、后装机机房的墙壁上（1 个），并有明显的标志。当按动急停开关，设备自动回源。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位。

(10) 门控按钮设置：在防护门内侧迷道墙壁上安装开门按钮，在控制室内设开、关门按钮。

(11) 治疗室内安装通风换气系统。换气次数不低于 4 次/h。后装治疗机房拟设置 1 个进风口和 1 个排风口，其中进风口拟设置于治疗室吊顶东南角，距地高度约为 3m；排风口拟设置于治疗室西北角，距地 30cm，呈对角线布置。

(12) 机房内拟安装固定式辐射剂量监测报警仪器,用于监测机房内的辐射水平并帮助工作人员判断设备的工作状态。

(13) 设备具有模拟源(假源),采用假源探路、真源治疗的双重驱动系统,假源可自动穿过施源器检查所有联接点并对可能产生打结或过度弯曲的部位报警,防止因输源通路不畅造成卡源事故。

(14) 配备 UPS 不间断电源。当在治疗过程中发生停电情况,UPS 自动供电能使放射源退回到安全位置,并留存病人的治疗记录。

(15) 设备安全联锁和自动回源系统等故障检查和保护系统。施源器未插入机头的卡盘内,不能出源;施源器未锁紧,不能出源;

(16) 设备机头内有应急回源手柄,当退源用的电机失灵时,可采用应急回源手柄退源;

(17) 治疗室内拟配合适的贮源容器、长柄镊子等应急设备。

(18) 按照《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA 1002-2012)要求,在治疗室拟安装视频监控和入侵报警装置等防范设施,满足公安安保要求后投入使用。

(19) 放射源的更换过程由专门的程序控制,工作人员隔室操作,整个过程放射源对操作人员绝无暴露。

(20) 退役的放射源由放射源供方收回。

后装机联锁和警示系统的设计见图 10-5 所示,机房安全联锁和安全措施布置见图 10-3 所示。后装治疗工作场所安全与防护设施设计要求见表 10-3。

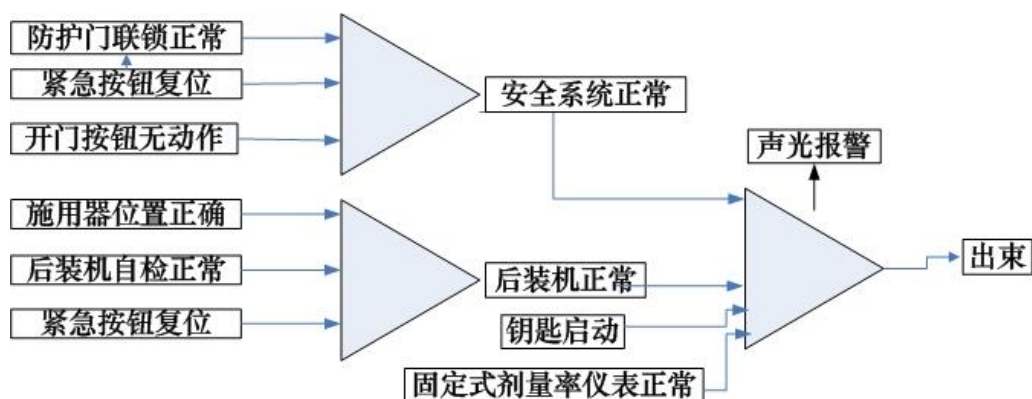


图 10-5 后装机安全联锁和警示系统逻辑图

表 10-3 后装机机房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 装置安全 设施	防止非工作人员操作的锁定开关	√	钥匙或密码
2*		施源器与源联锁	√	设备配备
3*		管道遇堵自动回源	√	设备配备
4*		仿真源模拟运行	√	设备配备
5*		主机外表面电离辐射警示标志	√	标准电离辐射警告标志
6*		控制台显示放射源位置	√	指示灯显示
7*		控制台紧急停止照射按钮	√	1个
8*		停电或意外中断照射时自动回源装置	√	设备配备
9*		手动回源措施	√	设备配备
10*	B 场所安全 设施	治疗室迷道出入口处固定式辐射水平监测仪	√	治疗室迷路墙上拟设置固定剂量报警仪
11*		治疗室有迷道	√	L型迷道
12*		治疗室门与出源联锁	√	门源联锁
13*		应急开关（放射源返回储源器）	√	设备配备
14*		治疗室电视监控对讲装置	√	后装治疗室内拟安装影像监控和对讲装置
15*		入口处电离辐射警示标志	√	标准电离辐射警告标志
16*		入口处源工作状态显示	√	指示灯
17*		停电或意外中断照射时声光报警	√	指示灯
18*		通风设施	√	不低于4次/h
19		火灾报警仪	√	屋顶火灾报警器
20*		个人剂量计	√	每名工作人员1个
21*		工作人员进入治疗室携带个人剂量报警仪	√	拟配2台个人剂量报警仪
22*		治疗室内配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备	√	后装治疗室拟配备储源容器、长柄镊子等设备，用于拿取放射源
23*		治疗室内张贴应急处置流程	√	拟配备2台
24	C 放射源贮 存	后装源暂存场所	√	保险柜
25		双人双“锁”	√	门禁锁
26		防盗门窗	√	防护门

注：加*的项目是重点项，“检查结果”符合要求的划√，不符合要求的划×，不适用的均划

/, 不能详尽的在备注中说明。

10.1.4 法规符合情况

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定, 现对首钢医院从事本项目辐射活动能力评价列于表 10-4 和表 10-5。

10.1.4.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

表 10-4 汇总列出了本项目对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对使用放射性同位素和射线装置单位承诺的对应检查情况。

表 10-4 项目执行“安全许可管理办法”要求对照表

序号	环保部 3 号令要求	本单位落实情况	是否符合要求
1	应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构, 或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射防护领导小组, 并在该机构设有本科以上学历的专职管理人员。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	放疗中心拟调配和新增到 24 人, 其中医师 5 名, 物理师 3 名, 技师 10 名、护士 6 名, 本项目启用前, 相关人员拟参加辐射防护与安全知识考核, 并取得考核合格证。	近期符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体防卫要求的放射源暂存库或设备。	拟设专用治疗机房, 治疗室内拟配合适的贮源容器、长柄镊子等应急设备。	近期符合
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要求的安全措施。	拟制定相应的操作规程, 防护门外拟设置电离辐射警告标志, 拟安装工作状态指示灯; 拟安装急停按钮、巡检按钮、监控对讲等安全防护设施。	近期符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器, 包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。	每个辐射工作人员拟配备个人剂量计, 拟配置 1 台便携式辐射监测仪、6 台个人剂量报警仪和 3 套固定式剂量监测报警仪。	近期符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善现有的规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	近期符合

7	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善的辐射事故应急处理预案。	近期符合
---	---------------	--	------

10.1.4.2 对《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与安全和防护管理办法要求的对照检查如表 10-5 所示。

表 10-5 项目执行“安全和防护管理办法”要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	本单位落实情况	是否符合要求
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其出口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	在机房门外拟设有出束工作状态指示灯，防护门外贴有电离辐射警告标志，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置等。	近期符合
2	第七条 放射性同位素和被放射性污染的物品应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，并指定专人负责保管。	拟设专用后装治疗机房，并由放疗中心专门专人负责保管。	符合
3	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所及其周围环境进行1次监测。	符合
4	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	承诺每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	符合
5	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考	放疗中心拟调配和新增到24人，其中医师5名，物理师3名，技师10名、护士6名，本项目本项目启用前，相关人员拟参加辐射防护与安全知识	近期符合

	核；考核不合格的，不得上岗。	考核，并取得考核合格证。	
6	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。	符合
7	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。	委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	符合

以上分析可知，该单位从事本项目辐射活动的技术能力基本符合相应法律法规的要求。

10.2 三废的治理

NCRP151报告指出，对于10MVX射线能量的加速器不需考虑中子辐射影响及其产生的感生放射性问题。根据IAEA188号技术报告，当X射线能量未超过10.55MeV（对于空气）或15.67MeV（对于水），不需考虑活化问题。本项目拟使用的加速器X射线最大能量为10MV，不考虑机房内空气活化和冷却水的活化。此外，放射治疗设备X射线、 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，经机房内的排风系统，排放到大气环境中。

加速器在运行过程中可能产生加速器废靶。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，产生废靶。此外，加速器报废时，会有废靶产生。对于更换下来的废靶和退役时拆卸下来的废靶，将请有资质单位检测，如满足清洁解控要求，按普通物品处理，反之，按放射性废物送往北京市城市放射性废物库暂存。

后装机使用过程中，每年更换2-3次Ir-192放射源，故本项目会产生废旧放射源。废旧放射源在倒装新源时从设备内导出，直接装入放射源容器内，直接返回供源厂家，不在医院暂存。

表 11 环境影响分析

11.1 建设或安装过程的环境影响

该项目施工活动对环境的影响主要是机房建设过程中产生的噪声、粉尘以及振动等，为了不影响周围环境，在机房建设过程中，将采取一些降噪、防尘措施。如在施工现场设置隔离带、设立声障，这样既可有效的减少扬尘的污染，又可降低噪声，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

11.2 运行期环境影响

本项目工程建设施工和设备安装过程不产生放射性污染，本次评价主要关注设备投入运行后的环境影响。

11.2.1 加速器参数和使用规划

(1) 机房所在位置

3 间治疗室位于放疗中心的西南侧，毗邻关系见表 11-1 所示，机房布局见附图 3 所示。

表 11-1 3 间治疗室的毗邻关系表

场所	东侧	南侧	西侧	北侧	室顶	地下
加速器室	控制室和设备间	TOMO 室	战时水箱间等	更衣室、缓冲间	上方院内道路	土层
TOMO 室	控制室、服务器机房	土层	土层	加速器室	上方院内停车位	土层
后装治疗室	库房	清洗间、缓冲间	战时水箱间和人防器材库	控制室	变配电室	车库通道

(2) 设备参数

3 间治疗室拟使用的射线装置和放射源的技术指标如表 11-2 和表 11-3 所示。

表 11-2 拟使用直线加速器技术指标一览表

场所	型号	电子线能量	X 线能量和最大输出剂量率	SSD	照射野	机架旋转范围	泄漏率
加速器室	待定	18MeV (最大)	10MV: 600cGy/min; (FFF: 2400cGy/min); 6MV: 600cGy/min; (FFF: 1400cGy/min)	100cm	最大照射野 40cm×40cm	360°	≤0.1%

TOMO 室	Tomotherapy Hi-ART	无	6 MV : 850cGy/min 3.5 MV : 45cGy/min	85cm	最大照射野 40cm×5cm	360°	≤0.1%
--------	--------------------	---	---	------	-------------------	------	-------

表 11-3 后装机设备的技术参数

生产厂家和型号	放射源种类和活度	半衰期和射线能量	储源器泄漏辐射水平
待定	Ir-192, 3.7E+11Bq (10Ci)	半衰期 74.0d; γ 射线 平均能量 0.35 MeV。 γ 剂量率转化系数: 0.111 μ Sv/h.MBq.m ⁻²	储源器最大装载活度时, 距储源器 表面 5cm 吸收剂量率不得大于 50 μ Sv/h, 距离储源器 100cm 处的 球面上, 任何一点的泄漏辐射不得 大于 5 μ Sv/h。

(3) 使用规划

1) 加速器出束时间: 既开展常规放射治疗, 也开展 IMRT、VMAT 等适形调强放射治疗, 患者比例约为 1: 9, 根据医院提供资料和第九章的预测, 加速器日治疗 60 人次时, 出束时间为 30min/d (0.5h/d), 年总照射时间 125h/a; 适形调强放射治疗 (IMRT) 等调强放射治疗与普通放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的, 但等中心处照射野会明显小, 使用 VMAT 技术适形调强治疗时, 调强因子取 3 (常规调强 IMRT 因子取 5);

2) TOMO 出束时间: 根据医院提供资料和第九章的预测, 成熟后预计每人最高工作量能达到约 50 人次/日, 每天出束时间为 125min/d (2.08h/d), 年总照射时间 520.8h/a;

3) 后装治疗机出束时间: 根据医院提供资料和第九章的预测, 成熟后预计每人最高工作量能达到约 20 人次/日 (每周接诊两天), 每天出束时间为 200min/d (3.33h/d), 年总照射时间 335h/a。

本项目 3 台治疗设备不同射线束的出束时间统计见表 11-4。

表 11-4 放射治疗出束时间

射线束	照射时间 (h)					
	每天总出束时间			年总照射时间		
	加速器室	TOMO 室	后装室	加速器室	TOMO 室	后装室
有用束、 散射辐射	0.5	2.08	3.33	125	520.8	335
泄漏辐射	2.50	2.08	3.33	625	520.8	335

4) 加速器利用因子: 对于常规治疗, 机头 90°、270°和 180°(朝上) 出束

时间各占年工作量 10%；机头向下（0°）出束时间占年工作量 70%。考虑调强治疗的使用，将机头为 0°、90°、270°和 180°（朝上）出束时间的占比提高至 25%，以此保守估算周围公众受照剂量。

11.2.2 辐射环境影响评价方法

（1）加速器机房剂量率和年附加剂量：采用 NCRP151、GBZ/T 201.2-2011 进行剂量率估算。具体做法：依据其屏蔽设计估算模式，以等中心点的剂量率替代周工作负荷，转化为辐射剂量率水平估算，最终导出机房周围辐射剂量率水平，再根据加速器出束时间、使用因子、居留因子等估算辐射工作人员和公众的附加剂量。

考虑到电子束使用次数有限（工作负荷不足 X 射线的 1%），且电子束出束过程中，电子线与机头、床、人体组织等作用产生韧致辐射的能量和强度均低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度，所以，如果机房及其防护门能够满足 X 治疗束的屏蔽防护要求，一定能够满足电子束治疗中产生的韧致辐射的防护要求，故本评价对电子束的环境影响不做具体评价。NCRP151 报告指出，对于 10MVX 射线能量的加速器不需考虑中子辐射影响及其产生的感生放射性问题。

（2）不同关注点应考虑辐射

1) 加速器机房

主束区：仅考虑有用束的直接照射，忽略进入该区的泄漏辐射和散射辐射；

与主束区直接相连的次屏蔽区：考虑泄漏辐射和主射线束水平方向的散射辐射；

其他区：仅考虑泄漏辐射。

入口门：考虑有用束、患者散射和机头泄漏射线的散射辐射、穿过迷路内墙的泄漏辐射。

2) TOMO 机房

主束区：考虑有用束的直接照射；

其他区：仅考虑泄漏辐射（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/T 201.2-2011 附录 D.2 的相关要求，可忽略患者散射辐射）；

入口门：主要考虑泄漏辐射、泄漏辐射的散射辐射和患者散射辐射。

治疗装置带有兆电子伏（MV）级的 CT 影像定位引导设备，辐射源为 3.5MV 的 X 射线，影像检查的受检者剂量约为 0.5~1.5cGy/人，对周围环境辐射影响远小于 6MV X 射线，因此，Tomo 机房只考虑 6MV X 射线的屏蔽问题。

3) 后装机房

后装治疗机房应考虑治疗源 4π 发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。

11.2.3 加速器机房安全分析

(1) 主屏蔽墙宽度安全性分析：

加速器室有用束最大张角为 28° （TOMO 宽方向最大张角不大于 3.4° ），根据公式 11-1 可估算出主束所需的宽度。

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

式中： d —机房有用束主屏蔽区的宽度，m； SAD —源轴距，取 1m 和 0.85m； θ —治疗束的最大半张角（相对束中的轴线），本项目加速器取 14° ，TOMO 取 1.7° ； R —等中心点至与主屏蔽墙相连接的次屏蔽墙内表面或到外凸式主屏蔽墙外表面顶部的距离，m。

加速器机房屏蔽结构设计平剖面见图 11-1 和图 11-2，根据公式 11-1 估算结果见表 11-5，本项目加速器机房各主束区屏蔽宽度都满足要求。

表11-5 各主束屏蔽区宽度计算结果

位置	R (m)	所需最小宽度 (m)	现有宽度 (m)	结论
加速器室北墙主束区	4.8	3.49	3.90	满足
加速器室南墙主束区	4.2	3.19	3.90	满足
加速器室顶主束区	3.90	3.04	3.90	满足
TOMO 室北墙主束区	3.65	0.44 (半宽度)	1.09 (半宽度)	满足
TOMO 室南墙主束区	5.05	0.48 (半宽度)	1.09 (半宽度)	满足
TOMO 室顶主束区	3.92	0.45 (半宽度)	1.09 (半宽度)	满足

(2) 屏蔽估算中的安全余量

在所选用的屏蔽估算与评价方法中，包含着一定的安全因素。例如：工作负荷、居留因子、治疗装置的实际辐射防护相关剂量指标严于国家标准；使用

辐射源的实际工作条件低于额定条件；人员实际驻留位置不局限于治疗机房外表面 30cm 的估算位置，以及估算的量值和有效剂量之间不进行量值转换系数修正等。

11.2.4 机房外剂量率估算

(1) 剂量率估算方法

1) 主束贯穿辐射对对机房周围环境的剂量率的估算

主屏蔽墙利用下列公式对初级辐射进行屏蔽估算

$$H = H_0 \times B_{pri} / R^2 \quad (11-2)$$

$$H_0 = A \times K_\gamma \quad (11-3)$$

$$B_{pri} = 10^{-\left[1 + \frac{t - TVL_l}{TVL_e}\right]} \quad (11-4)$$

对于 TOMO，有用束区配备了 12.5cm 的挡铅（衰减因子为 4.1×10^{-3} ），在计算有用束区屏蔽对应的衰减因子时采用公式（11-5）

$$B_{pri} = 4.1 \times 10^{-3} \times 10^{-t/TVL_e} \quad (11-5)$$

式中： H_0 —距靶或源 1m 处的最大剂量率，对放射源采用公式（11-3）计算，相关参数见表 11-3；

A —放射源的活度，MBq；

K_γ —放射源的空气比释动能率常数（或称 K_γ 常数），见表 11-6；

B_{pri} —主屏蔽墙厚度对应的衰减因子；

R —参考点至靶点的距离；

TVL_e 、 TVL_l —平衡什值层和第一什值层厚度，单位 cm；详见表 11-7。

表 11-6 γ 射线源的主要辐射特性参数

核素	半衰期 $T_{1/2}$	γ 射线能量均值 MeV	空气比释动能率常数 $K_\gamma \mu\text{Gy}/(\text{h MBq})$	TVL, cm	
				铅	混凝土
Ir-192	74.0d	0.37	0.111	1.6	15.2

注：表中数据来源于 IAEA No.47 的表 20 和表 22。

表 11-7 不同能量 X 射线束在砷和铅中的 TVL 值

射线束		初级束		泄漏辐射		30° 人体散射
十分之一衰减厚度		TVL1	TVLe	TVL1	TVLe	TVL
砷厚度,	6MV	37	33	34	29	26

cm	10MV	41	37	35	31	28
铅, cm	6MV	5.7	5.7	5.7	5.7	/
	10MV	5.7	5.7	5.7	5.7	/

2) 次束贯穿辐射对加速器室周围环境剂量率的估算

初级辐射束不能直接到达该屏蔽墙, 屏蔽估算时, 与主束区直接相连的次屏蔽区考虑泄漏辐射和主射线束方向的散射辐射, 其他区域仅考虑泄漏辐射。

次屏蔽墙的散射辐射利用下列公式进行屏蔽估算:

$$H_{ps} = \frac{H_0 B_{ps} \alpha \frac{F}{400}}{(d_{sca} \times d_{sec})^2} \quad (11-6)$$

$$B_{ps} = 10^{-\frac{t}{TVL_{sca}}} \quad (11-7)$$

式中: H_{ps} —距散射体 d_{sec} m 处的辐射剂量率;

B_{ps} —次屏蔽墙厚度对应的衰减因子;

α —散射体表对初级辐射束的散射比 (散射系数);

F —被照射物体等中心处照射野面积, 加速器取 $40 \times 40 \text{cm}^2$, TOMO 取 $40 \times 5 \text{cm}^2$;

TVL_{sca} —什值层厚度, cm, 详见表 11-7;

H_0 、 t 同公式 (11-2 和 11-4)。

次屏蔽墙泄漏辐射利用下列公式进行屏蔽估算:

$$H_L = \frac{H_0 B_L}{1000 d_L^2} \quad (11-8)$$

$$B_L = 10^{-\left[1 + \frac{t - TVL_l}{TVL_e}\right]} \quad (11-9)$$

式中: H_L —距靶点 d_L m 处的辐射剂量率;

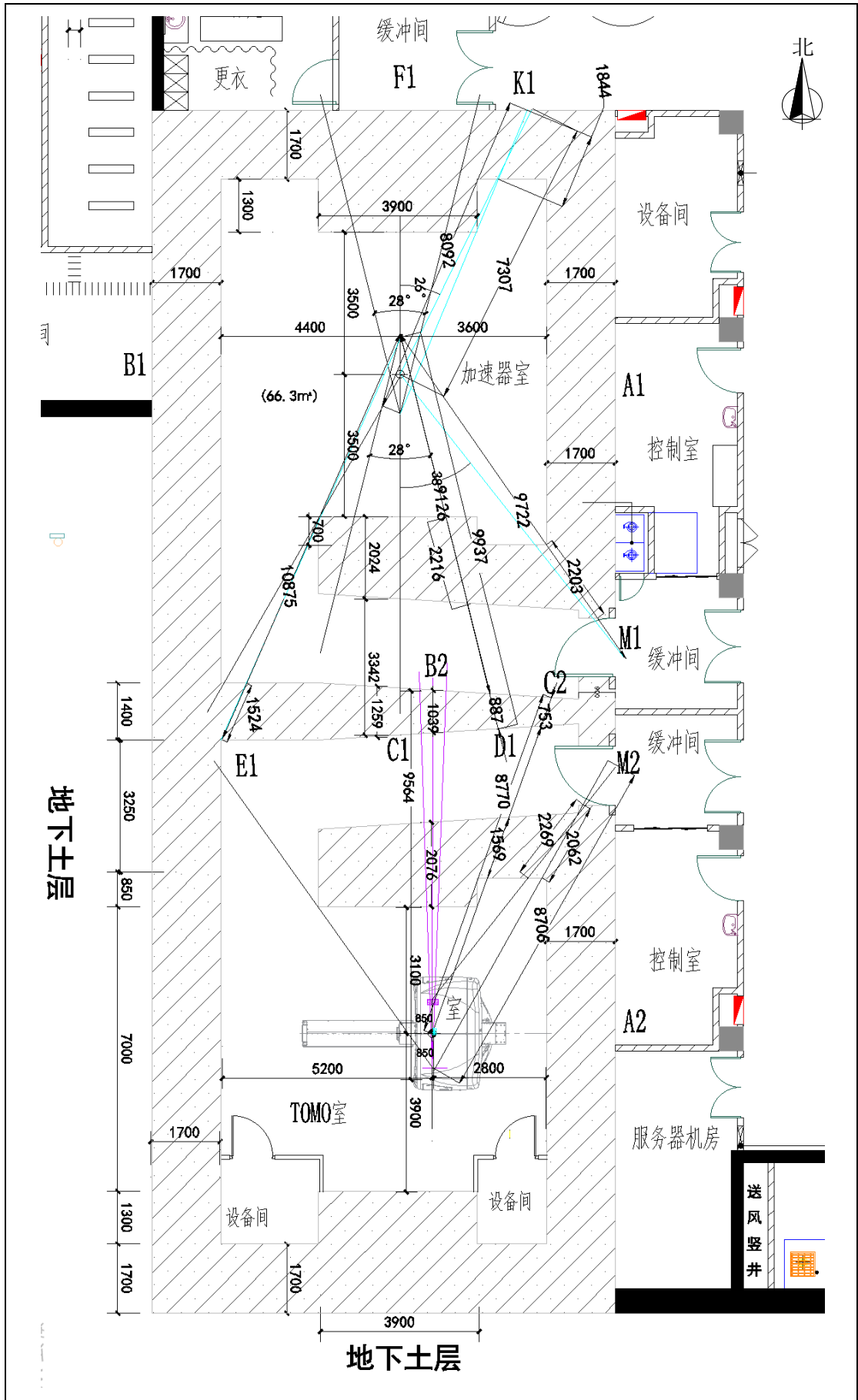
B_L —次屏蔽墙厚度对应的衰减因子;

TVL_e 、 TVL_l —平衡什值层和第一什值层厚度, 单位 cm; 详见表 11-7。

H_0 、 t 同公式 (11-2 和 11-4)。

(2) 剂量率估算结果

加速器室和 TOMO 室外关注点剂量率估算结果见表 11-8 和表 11-9, 2 间治疗室平剖面图及剂量评估点见图 11-1。



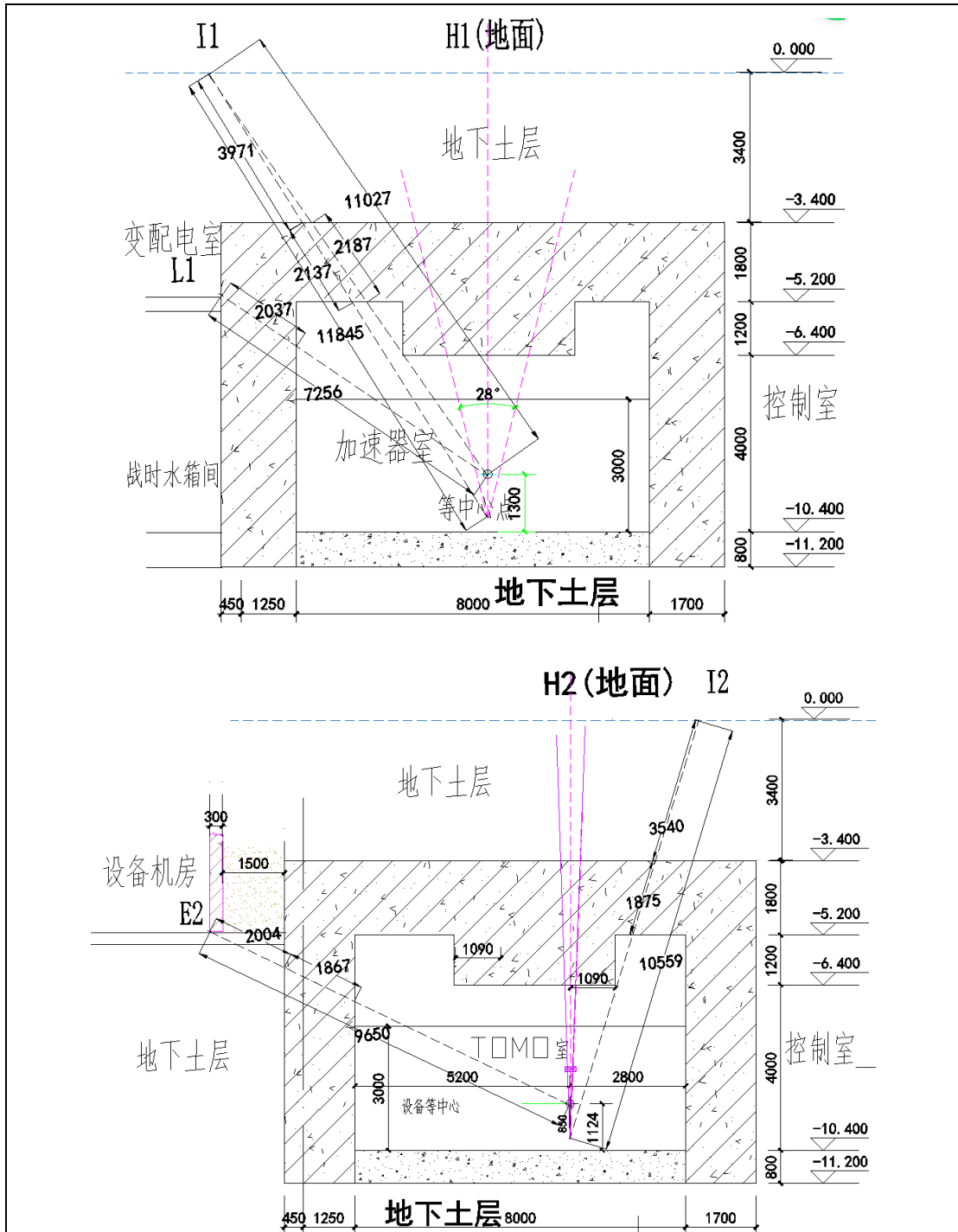


图 11-1 加速器室和 TOMO 室平剖面图及剂量评估点

表 11-8 加速器室外关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	射线束	辐射屏蔽		剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		位置描述
			厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A1	5.6	次束 (漏射)	170 (砼)	4.42E-6	4.59E+4	2.03E-1	东侧控制室
B1	6.4	次束 (漏射)	170 (砼)	4.42E-6	3.52E+4	1.55E-1	西侧战时水箱间

C1	10.2	主束	328 (砼)	1.75E-9	1.38E+7	2.42E-2	南侧 TOMO 室
D1	10.2	主束	310 (砼)	5.37E-9	1.38E+7	7.43E-2	
E1	11.2	次束 (漏射)	152 (砼)	1.68E-5	1.15E+4	1.93E-1	
F1	7.8	主束	300 (砼)	1.00E-8	2.37E+7	2.37E-1	北侧缓冲间
K1*	7.7	次束 (漏射)	184 (砼)	1.56E-6	2.43E+4	1.22E-1	北侧更衣室、走廊
		次束 (散射)		2.68E-7	3.09E+5	8.29E-2	
M1	10.0	次束 (漏射)	220 (砼) +1.5 (铅板)	2.60E-7	1.44E+4	3.74E-3	防护门外缓冲间
H1	10.4	主束	300 (砼) +340 (土)	5.71E-15	1.33E+7	7.60E-8	顶上院内道路
I1*	11.3	次束 (漏射)	213 (砼)	3.53E-16	1.13E+4	3.99E-12	
		次束 (散射)	+397 (土)	5.18E-18	1.43E+5	7.43E-13	
L1	47.6	次束 (漏射)	203 (砼)	3.81E-7	2.49E+4	9.49E-3	斜上方一层变配电室

注：(1) 普通混凝土 (砼) 的密度取为 2.35 t/m³，土的密度取 1.6 t/m³；计算屏蔽衰减因子时将土折算成等效砼厚度；(2) 10MV X 射线有用束距靶 1m 的等中心处的最大剂量率为 1440 Gy/h；(3) 10MV X 射线 30° 方向散射系数为 3.18×10⁻³；(4) 表中防护门处仅考虑了机头的泄漏辐射；(5) K1、I1 点位屏蔽厚度与距离都取较小值进行评价。

表 11-9 TOMO 室外关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	射线束	辐射屏蔽		剂量率 (μGy/h)		位置描述
			厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A2	4.8	次束 (漏射)	170 (砼)	2.04E-6	1.60E+4	3.27E-2	东侧控制室
B2	9.9	主束	311 (砼)	4.98E-10	3.76E+6	1.87E-3	北侧加速器室
C2	9.1	次束 (漏射)	232 (砼)	1.49E-8	4.45E+3	6.62E-5	
H2	10.4	主束	300 (砼) +340 (土)	1.07E-16	3.41E+6	3.65E-10	顶上停车位
I2	10.9	次束 (漏射)	187 (砼) +354 (土)	2.59E-15	3.10E+3	8.04E-12	
E2	10.0	次束 (漏射)	187 (砼) +200 (土)	1.08E-11	3.69E+3	3.99E-8	斜上方一层设备机房

M2	9.0	次束（漏射）	206（砼） +1.5（铅板）	6.39E-8	4.55E+3	2.91E-4	防护门外缓冲间
----	-----	--------	--------------------	---------	---------	---------	---------

注：（1）普通混凝土（砼）的密度取为 2.35 t/m³，土的密度取 1.6 t/m³；计算屏蔽衰减因子时将土折算成等效砼厚度；（2）TOMO6MV X 射线有用束距靶 0.85m 的等中心处的最大剂量率为 510Gy/h，1m 处为 368.5Gy/h；（3）表中防护门处仅考虑了机头的泄漏辐射。

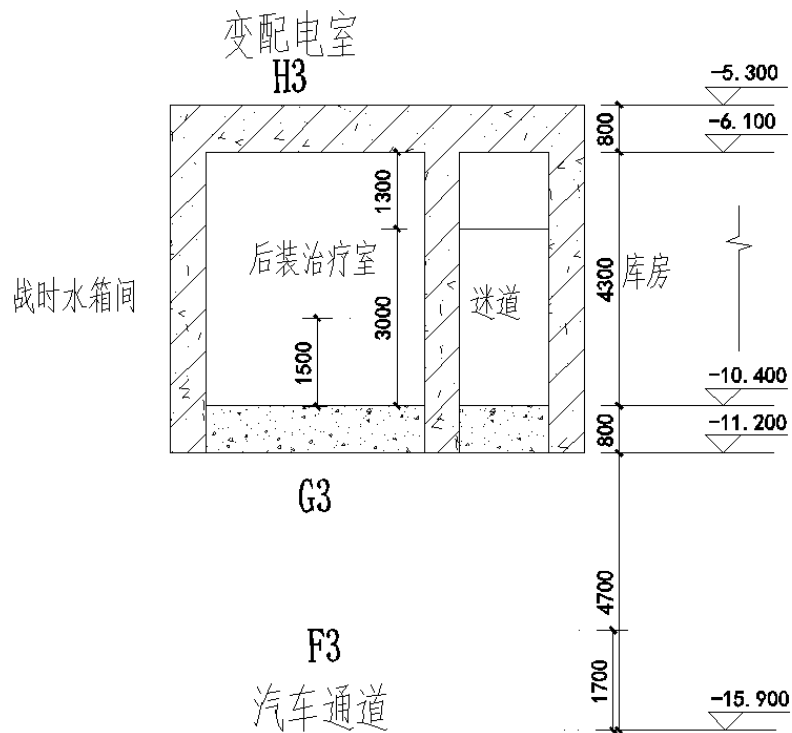
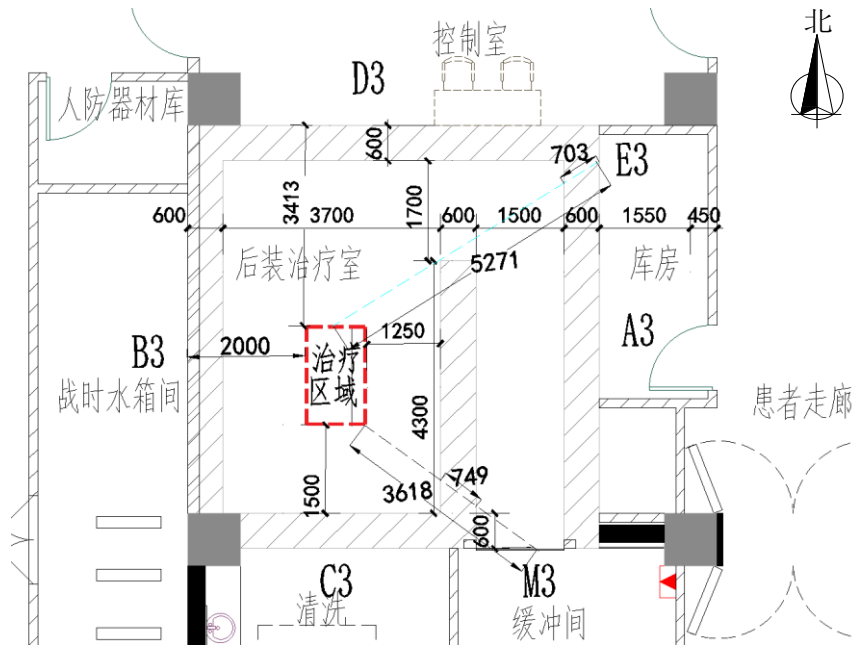


图 11-2 后装治疗室平剖面图及剂量评估点

表 11-10 后装治疗室外关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	辐射屏蔽		剂量率 (μGy/h)		位置描述
		厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A3	4.3	120 (砼)	1.27E-8	2.22E+3	2.85E-5	东侧库房
B3	2.3	60 (砼)	1.13E-4	7.75E+3	8.75E-1	西侧战时水箱间
C3	2.4	60 (砼)	1.13E-4	7.12E+3	8.04E-1	南侧清洗间
D3	3.7	60 (砼)	1.13E-4	2.99E+3	3.38E-1	北侧控制室
E3	5.6	70 (砼)	2.48E-5	1.31E+3	3.24E-2	东侧库房
M3	3.9	74.9 (砼) +10 (Pb)	2.80E-6	2.70E+3	7.55E-3	防护门入口
F3	5.3	80 (砼)	5.46E-6	1.46E+3	7.96E-3	地下三层汽车通道
G3	1.8	80 (砼)	5.46E-6	1.27E+4	6.90E-2	地下二层底板下 30cm 处
H3	3.9	80 (砼)	5.46E-6	2.70E+3	1.47E-2	楼上地下一层变配电室
/	9.2	100 (砼)	2.64E-7	4.84E+2	1.28E-4	一层大厅

注：距后装源（10Ci）1m 的剂量率为 4.1E+04μGy/h。

(3) 加速器室和 TOMO 室外防护门外的辐射剂量估算

按照 NCRP No.151 和 IAEA47 号报告，加速器机房入口屏蔽主要考虑患者散射辐射以及来自 X 射线主射线束和泄漏辐射的散射辐射，不需考虑中子及其相关的中子俘获 γ 射线。本项目主要考虑主束穿过迷路内墙后迷路外墙的一次散射、患者散射的二次散射、泄漏辐射一次散射、泄漏辐射穿过迷道内墙的贡献。其中 6MV 的散射因子略高于 10MV，本项目散射因子取较大值进行估算，具体如下：

- a) 主束穿过迷路内墙后迷路外墙的一次散射 (H_s);
- b) 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 (H_{L_s});
- c) 散射辐射的二次散射 (H_{P_s});
- d) 穿过迷路内墙的泄漏辐射。

1) 主束穿过迷路内墙后迷路外墙表面的一次散射 (H_s) 剂量率估算

$$H_s = \frac{H_0 K}{d_h^2} \times \frac{\alpha_0 A_0}{d_z^2} \quad (11-10)$$

式中： H_0 —等中心处的辐射剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ (TOMO : $5.1 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$);

K —迷路内墙的衰减因子;

α_0 —主束散射面 A_0 的散射系数 (系数取值由 NCRP REPORT 151 Table B.8a);

A_0 —等中心处最大照射野投影在迷路外墙上的面积;

d_h —从靶点至散射面 A_0 的距离, m;

d_z —中线至防护门外 30cm 入口处的距离, m;

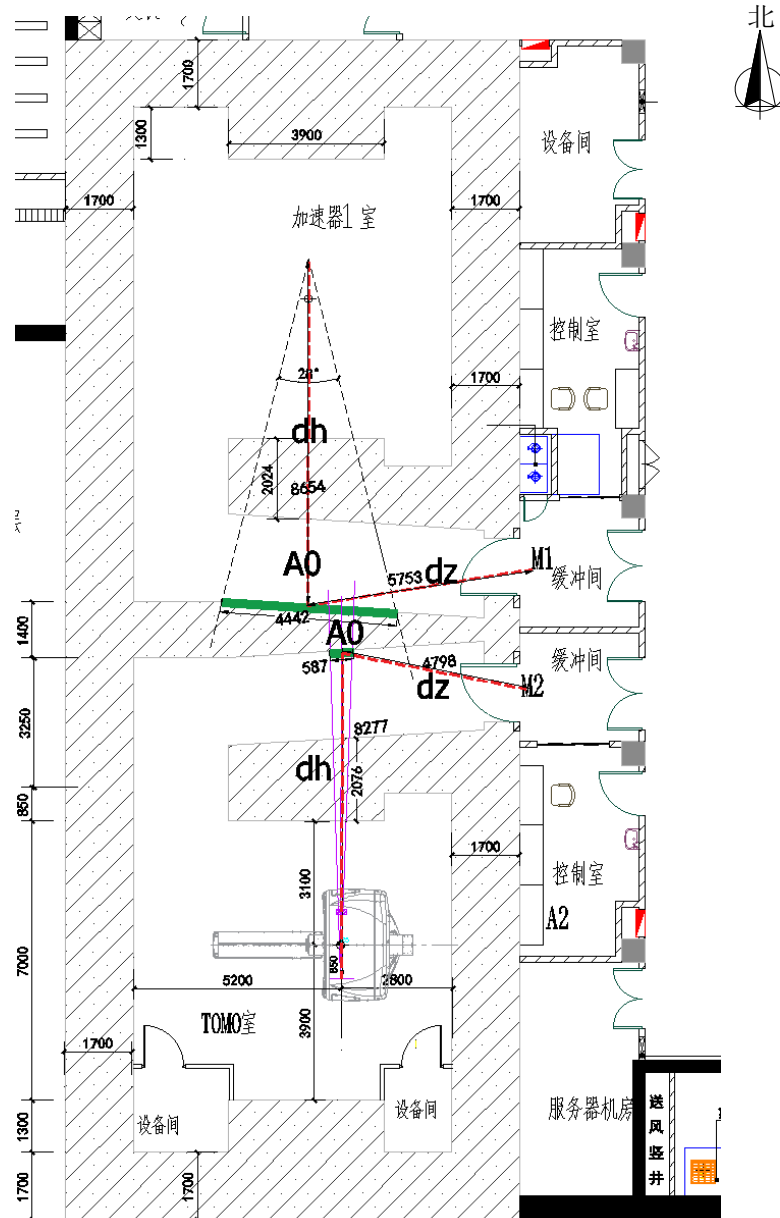


图 11-3 2 间治疗室主束墙面散射平面图

2) 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 (H_L) 剂量率估算

$$H_{LS} = \frac{L_f H_0 \alpha_{LS} A_1}{(d_{LS} d_{ZZ})^2} \quad (11-11)$$

式中： L_f —距靶 1m 处装置头泄漏辐射率，取 0.1%；

H_0 —等中心处的辐射剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ (TOMO : $5.1 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)；

α_{LS} —西墙对机头漏射辐射的反散射系数（系数取值查 NCRP REPORT 151 TableB.8b）；

A_1 —从门入口处可见墙的面积， m^2 ；

d_{LS} —靶至 A1 墙迷路中心线的距离，m；

d_{ZZ} —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离，m。

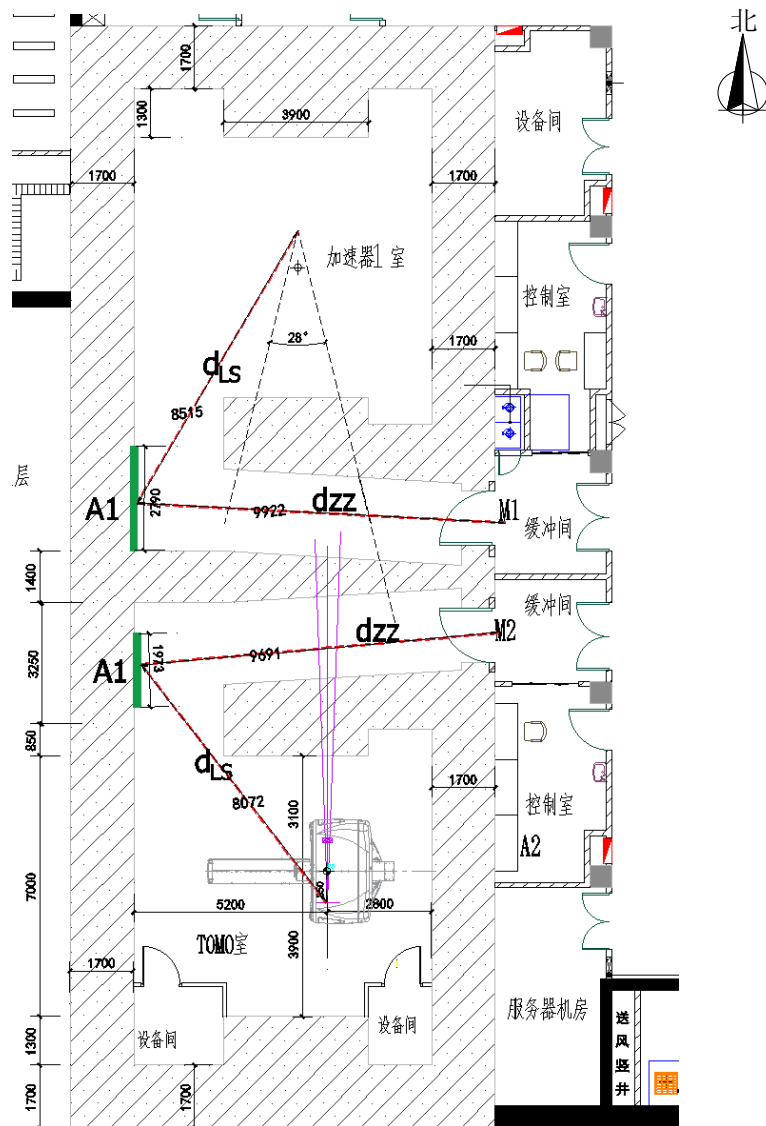


图 11-4 2 间治疗室机头漏射线经墙面散射平面图

3) 散射辐射的二次散射 (H_{Ps}) 剂量率估算

$$H_{PS} = \frac{\alpha(\theta)H_0\left(\frac{F}{400}\right)(\alpha_{PS}A_1)}{(d_{sca} \times d_{sec} \times d_{ZZ})^2} \quad (11-12)$$

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

H_0 —等中心处的辐射剂量率为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ （TOMO： $5.1 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ）；

F —被照射物体等中心处照射野面积，取 1600cm^2 （ $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ）、 200cm^2 ；

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

A_1 —从门入口处可见墙的面积， m^2 ；

d_{sca} —靶至被照射物体的距离，取 1m ；

d_{sec} —等中心点到 A1 墙与迷路中心线交点的距离， m ；

d_{ZZ} —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离， m 。

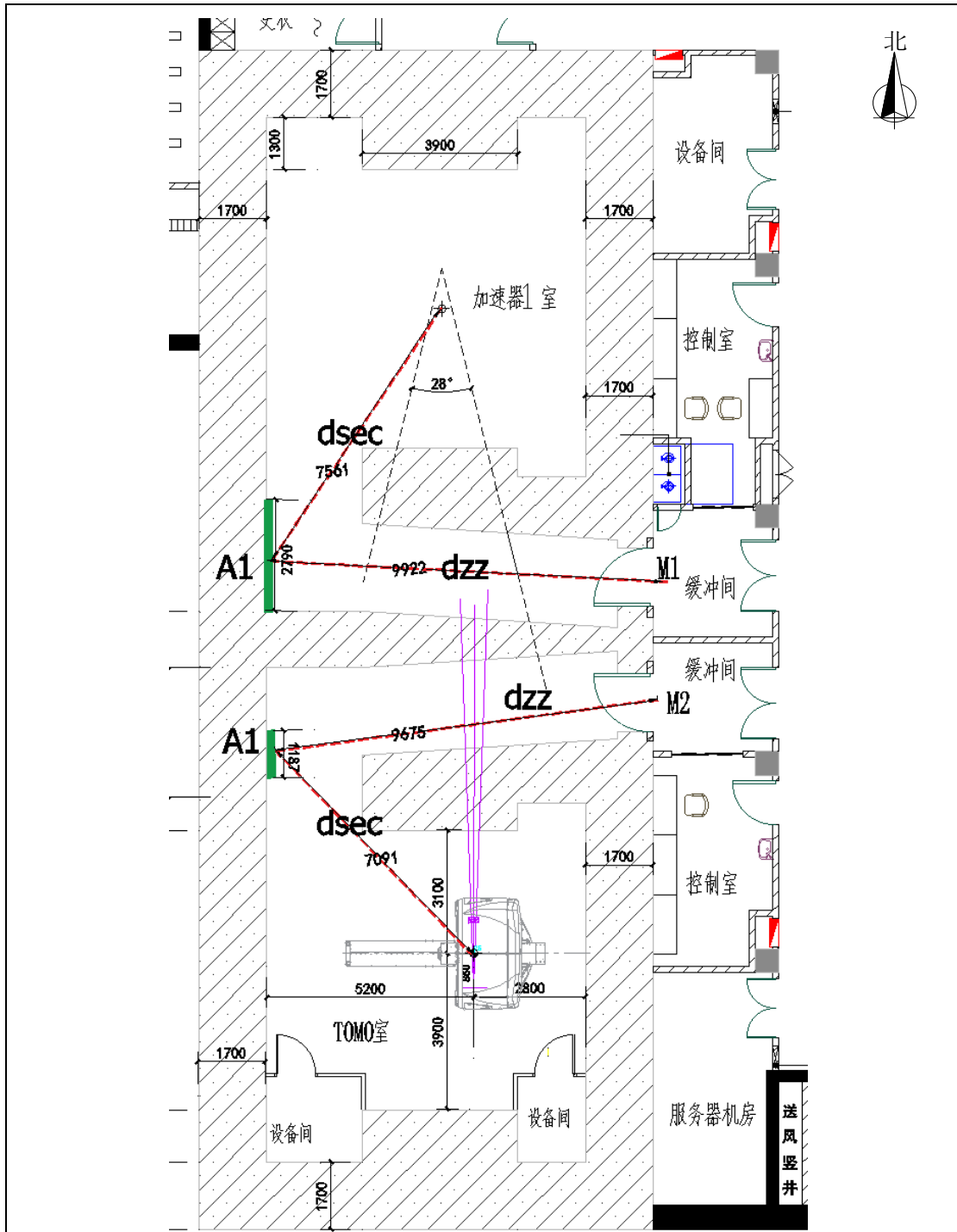


图 11-5 2 治疗室主束通过患者体表散射线经墙面散射平面图

4) 穿过迷路内墙的泄漏辐射剂量率估算

机头泄漏射线贯穿迷道内墙和防护门后的辐射贡献值见表 11-8~表 11-9 的估算结果。

5) 两间治疗室防护门附近X射线贯穿辐射分析

根据公式 11-10~公式 11-12 和图 11-3~图 11-5 中的相关参数，加速器和

TOMO运行时机房迷道入口处X射线辐射剂量率的估算结果汇总列于表11-11中。可见，机房防护门附近X射线辐射主要来自散射线经迷道内口墙壁的二次散射辐射。估算出2间治疗室防护门外散射辐射+泄漏辐射的总剂量率最大值为0.48 μ Gy/h。

表 11-11 2间治疗室迷路入口处剂量率的计算参数及结果

参数		加速器室	TOMO室
H_s	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	1.44×10^9	5.10×10^8
	K	4.34E-6	6.77E-7
	α_0	2.70E-03	2.70E-03
	$A_0 (\text{m}^2)$	15.36	2.28
	$d_h (\text{m})$	8.65	8.27
	$d_z (\text{m})$	5.75	4.80
	$H_s(\mu\text{Gy/h})$	4.63E-2 (TVL取1.5cmPb)	1.48E-3 (TVL取1.5cmPb)
H_{LS}	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	1.44×10^9	5.10×10^8
	L_r	0.001	0.001
	α_{LS}	6.4E-03	6.4E-03
	A_l	14.51	10.26
	$d_{LS}(\text{m})$	8.51	8.07
	$d_{zz}(\text{m})$	9.92	9.69
	$H_{LS}(\mu\text{Gy/h})$	18.8	4.0
H_{ps}	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	1.44×10^9	5.10×10^8
	$\alpha(\theta)$	1.39E-03	1.39E-03
	$F (\text{cm}^2)$	1600	200
	α_{ps}	2.2E-02	2.2E-02
	A_l	14.51	6.17
	d_{sca}	1	0.85
	d_{sec}	7.56	7.09
	d_{zz}	9.92	9.68
	$H_{ps}(\mu\text{Gy/h})$	455	10.2

H_{LT}	$H_{LT}(\mu\text{Gy/h})$	3.74E-3	2.91E-4
$H_{Tot-shield}$	$t_{\text{barrier}}(\text{mm})$	10	10
	$TVL_{pb}(\text{mm})$	5/15	5/15
	$H_{Tot-shield}(\mu\text{Gy/h})$	0.48	0.02

注：参数取自NCRP REPORT No.151和设计资料；

$$H_{Tot-shield} = H_s \times 10^{-(t_{TVL})} + H_{LS} \times 10^{-(t_{TVL})} + H_{ps} \times 10^{-(t_{TVL})} + H_{LT}$$

6) 后装治疗室防护门外辐射水平

防护门外剂量率水平除了泄漏辐射贡献外，还受到治疗束经迷道的散射贡献。治疗束经过迷道散射对防护门所致的附加剂量率依据公式(11-13)进行估算。

$$H_s = \frac{A \cdot K_\gamma \cdot S_1 \cdot \alpha_1}{R_1^2 \cdot R_2^2} \quad (11-13)$$

式中：A—放射源活度，本项目为 3.7E+5MBq；

K_γ —1m 处放射源的空气比释动能常数，对 Ir-192 为 0.111 $\mu\text{Gy/h} \cdot \text{MBq}$ ；

S_1 — γ 射线在迷道内口墙的散射面积，取 8.51 m^2 (198cm \times 430cm)；

α_1 —治疗束一次散射的散射系数，（系数取值由 NCRP REPORT 151 TableB.8a,0.25MeV, 45°入射, 0°散射）3.6E-2；

R_1 —放射源到散射面中心点的距离，取 4.08m；

R_2 —为迷道内口散射点到防护门处的距离，取 6.68m。

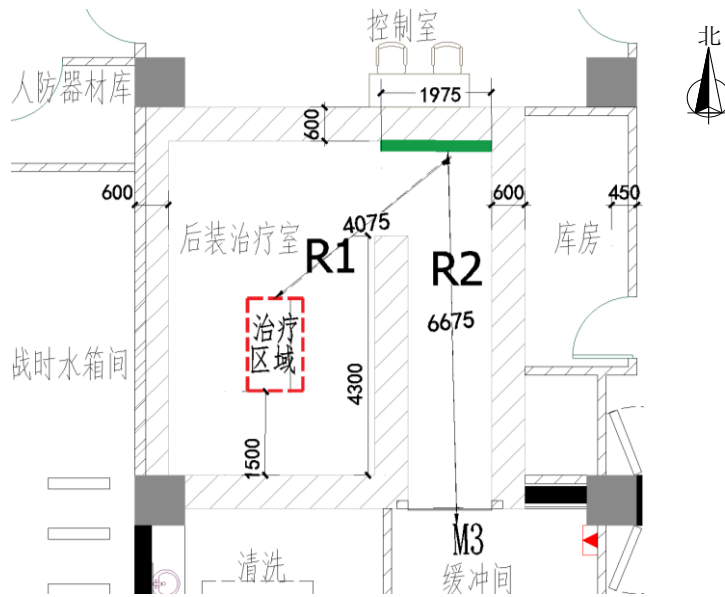


图 11-6 后装治疗室散射路径图

依据公式 (11-13) 计算未经过防护门衰减时的剂量率 $H_s = 16.9\mu\text{Gy/h}$ 。根

据 GBZ/T201.3-2014, Ir-192 治疗束的散射辐射能量约为 0.2MeV, 其在铅中的 TVL 为 5mm, 经 10mm 铅门屏蔽后, 防护门外辐射剂量率降低至 0.17 μ Gy/h。叠加上射线贯穿迷道内墙和防护门的辐射贡献值为 7.55E-3 μ Gy/h, 则后装治疗室防护门外的剂量约为 0.18 μ Gy/h。

(4) 3 间治疗室周围剂量率水平

根据 3 间治疗室墙外关注点的剂量估算结果可知, 机房外关注点 (除防护门入口处) 的最大辐射剂量率分别为 2.37E-1 μ Gy/h、3.27E-2 μ Gy/h、8.75E-1 μ Gy/h, 均满足本报告设定的剂量率控制水平 2.5 μ Gy/h。根据以上 5)、6) 等防护门外辐射水平估算, 3 间治疗室防护门外剂量率分别为: 0.48 μ Gy/h, 0.02 μ Gy/h, 0.18 μ Gy/h, 可见所有治疗室防护门外的辐射剂量率也满足低于 2.5 μ Sv/h 的要求。

评价范围周围的影响: 根据以上估算 3 间治疗室一层地面的最大附加剂量率为 1.28E-4 μ Sv/h, 经过距离、墙体、空气的衰减影响, 附加剂量率至少降低两个数量级, 对周围的辐射影响可以忽略不计。

11.2.5 工作人员和公众受照剂量估计

$$\text{附加年有效剂量计算公式: } E = D \times t \times T \times U \times K \quad (11-14)$$

式中: E --年有效剂量, μ Sv;

D --计算点附加剂量率, μ Gy/h;

t --年出束时间, h/a;

K --有效剂量与吸收剂量换算系数, Sv/Gy, 本项目取 1.0;

T --居留因子;

U --使用因子。

(1) 工作人员受照剂量估计

根据以上估算, 可预计治疗室周围的工作人员的年附加有效剂量见表 11-12 所示。

表 11-12 运行时工作人员的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年受照时间, t	剂量率 (μ Gy/h)	年附加有效剂量, μ Sv
加速器室工作人员	A1	控制室	1	1	625h	0.20	125
	M1	防护门外	1/16	1	125 h	0.48	3.8

TOMO 室 工作人员	A2	控制室	1	1	520.8h	3.27E-2	17.0
	M2	防护门外	1/16	1	520.8h	0.02	0.7
后装治疗 室工作人 员	D3	控制室	1	1	335h	3.38E-1	113.2
	M3	防护门外	1/16	1	335h	0.18	3.8

后装治疗室工作人员机房内操作时，会受到后装源（贮存位）的泄漏辐射。假设工作人员每次治疗前、后在床旁（距离储源罐 100cm）各操作 1min，则全年治疗 2000 人次，在后装机储源罐（>100cm 处）附近的停留时间约 66.7h。

《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》（WS 262-2017）要求，工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周围剂量率当量率不大于 $50\mu\text{Sv/h}$ ，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量率当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。本评价保守依照该数值剂量估算，后装机操作工作人员年最大受照剂量为： $5\mu\text{Sv/h} \times 66.7\text{h} + 113.2\mu\text{Sv} = 446.7\mu\text{Sv}$ 。

（2）公众受照剂量估计

根据以上估算，可预计治疗室周围的公众的年附加有效剂量见表 11-13 所示。

表 11-13 加速器运行时公众的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年受照时间, t	剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	年附加有效剂量, μSv
加速器 室周围 公众	B1	西侧战时水箱间 (漏射)	1/16	1	625h	1.55E-1	6.05E+00
	E1	南侧 TOMO 室 (漏射)	1/8	1	625h	1.93E-1	1.51E+01
	F1	北侧缓冲间	1/16	0.25	125h	2.37E-1	4.63E-01
	H1	顶上院内道路	1/16	0.25	125h	7.60E-8	1.48E-07
	I11	斜上方一层变配 电室 (漏射)	1/16	1	625h	9.49E-3	3.71E-01
TOMO 室周围 公众	B2	北侧加速器室	1/8	0.25	520.8h	1.87E-3	3.04E-02
	H2	顶上停车位	1/16	0.25	520.8h	3.65E-10	2.97E-09

	E2	斜上方一层设备机房	1/16	0.25	520.8h	3.99E-8	3.25E-07
后装治疗室周围公众	B3	西侧战时水箱间	1/16	1	335h	8.75E-1	1.83E+01
	C3	南侧清洗间	1/16	1	335h	8.04E-1	1.68E+01
	E3	东侧库房	1/16	1	335h	3.24E-2	6.78E-01
	F3	地下三层汽车通道	1/16	1	335h	7.96E-3	1.67E-01
	H3	楼上地下一层变配电室	1/16	1	335h	1.47E-2	3.08E-01
	/	一层大厅	1/16	1	335h	1.28E-4	2.68E-03

综上所述，本项目对职业人员和公众年附加有效剂量值分别为 446.7 μ Sv、18.3 μ Sv，满足年剂量约束值（2mSv/a，0.1mSv/a）的要求。

由于医院设备的技师相对固定，每台设备拟固定配备至少 2 名技师操作，物理师负责剂量测量与校准、治疗计划的设计与监督实施、辐射安全的监督，医师负责临床检查与诊断，放疗前的工作准备，放射治疗目标的确认和方法的选择，物理室和医生的附加剂量远小于本项目估算结果。因此对本项目辐射工作人员可不考虑剂量叠加的影响。

根据剂量与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，在加速器机房周围 50m 评价范围内的公众的年剂量远小于 18.3 μ Sv（西侧战时水箱间），即使考虑叠加（叠加后为 24.3 μ Sv），也都低于设定的剂量约束目标值 0.1mSv/a。

11.2.6 O₃ 和 NO_x 分析

后装机的 1m 处剂量率远小于加速器和 TOMO，相应的 O₃ 也会小很多，本项目只对加速器和 TOMO 进行分析。

（1）O₃ 的产额

本项目电子直线加速器提供 X 射线和电子线两种模式，X 射线最高能量为 10MV，电子线最高能量为 18MeV。使用电子束模式时，X 射线靶和均整器从电子射线束范围内移去，产生电子线的电子束流强度比打靶产生临床 X 射线所需的电子束流强度小 2~3 个数量级（《放射肿瘤物理学：教学手册》IAEA，2005），故仅需考虑 X 射线所致 O₃ 的产额。

① 加速器、TOMO 有用线束的 O₃ 产额

$$P = 2.43 \dot{D}_o (1 - \cos \theta) R G \quad (11-15)$$

式中：P 为 O₃ 产额，mg/h；

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

R 为靶到屏蔽物（墙）的距离，m；

G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数（G=10）；

θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O₃ 产额

将泄漏辐射看为 4 π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内的 O₃ 产额增加 10%，O₃ 的产额 P（mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_o G V^{1/3} \quad (11-16)$$

式中：V 为加速器机房的体积，m³；其余符号同（11-14）。

（2）O₃ 的浓度

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

机房最高饱和 O₃ 浓度（mg/h）为：

$$Q = \frac{P}{\bar{T}} \quad (11-17)$$

式中：V 为机房的体积，m³；

\bar{T} 为 O₃ 的有效清除时间（h）：

$$\bar{T} = \frac{t_V \cdot t_d}{t_V + t_d} \quad (11-18)$$

（3）参数与结果

① O₃ 产额

考虑到本项目的最大剂量率、靶点到墙面的距离、主束束角度等参数，O₃ 产额以加速器室进行估算，参数如下： \dot{D}_o 最大值为 24Gy m²/min；R=4.5m（有用束）； $\theta=14^\circ$ ；V=291m³。

按照《放射治疗放射防护要求》（GBZ 121-2020），机房通风换气率应不小于 4 次/h。该加速器机房的换气率设计不低于 4 次/h，满足该标准中关于机房内通

风的要求。

按 (11-15)、(11-16) 式估算出 O_3 产额, $P=83.2\text{mg/h}$ 。

② O_3 浓度

$t_d=0.83\text{h}$; $t_v=0.25\text{h}$, 按 (11-18) 计算出 $\bar{T}=0.192\text{h}$ 。

按 (11-17) 式估算出机房空气中的 O_3 浓度分别为 $5.5\times 10^{-2}\text{mg/m}^3$, 远低于浓度限值 0.3mg/m^3 。

依照以上的估算方法, TOMO室正常情况下 O_3 产额、浓度如表11-14。

表11-14 TOMO室的 O_3 浓度情况表

场所	\dot{D}_o	R	θ^*	V	P	O_3 浓度
TOMO室	$5.1\text{Gy m}^2/\text{min}$	4.75m	14°	291m^3	18.1mg/h	$1.2\times 10^{-2}\text{mg/m}^3$

备注: TOMO室的有用束的半张角保守取 14° 。

说明臭氧的影响是较轻微的,这样的 O_3 排放浓度对周围公众的影响可忽略不计。

③ NO_x 分析

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, 工作场所中的限值为 O_3 浓度的 16.7 倍, GB3095-2012 中规定的外部环境中 NO_2 的浓度限值与 O_3 相近。可见, NO_x 是安全的。

11.3 异常事件分析与防范建议

11.3.1 加速器和 TOMO 事故影响分析

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

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

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

剂量。

(3) 事故性出束：工作人员在治疗室内为患者摆位或开展其它准备工作，控制台处操作人员误开机出束。医护人员进入治疗室，要保持防护门开启，由于有门机连锁系统，加速器无法启动。为防止陪护人员或其他人员误留在加速器机房内受到误照射，要求加速器在每次出束前，工作人员必须进机房进行检查，确认无误后，方可出束。

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

(5) 工作人员误入：加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

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

11.3.2 后装机事故影响分析

(1) 卡源事故

后装机最严重的事故是卡源事故。

发生卡源时，首先使用后装机提供的紧急回源程序或按钮进行紧急回源处理。后装治疗机的源开关控制系统均配有手动机械复位应急装置。当控制系统出现故障导致自动关源系统失效时，通过手动机械复位机构将使放射源回到储源状态。

如果源卡的过死，紧急回源装置无法回源时，只能采取人工回源处理。此外，如果后装机放射源脱落掉地上，也需人工处置。处理该类事故，需严格按照事故应急处理措施进行操作，工作人员在进入机房前，应穿上铅衣、铅帽、铅围脖，戴上铅眼镜，并佩带个人剂量计及携带辐射巡测仪，进入机房后，应在尽可能短的时间内，将放射源旋回后装机的贮源系统内或者转移至铅罐内。

人员穿戴防护用品进入机房，在30cm距离处理事故，预计外照射剂量率

可以降低一个量级，故完成手动复位或者捡拾放射源应急操作的受照剂量约为 $4.1\text{mSv/h} \times (100\text{cm}/30\text{cm})^2 \times 0.5\text{min} \div 60 = 0.38\text{mSv}$ 。可见，当后装治疗机发生卡源或者脱落事故时，人工操作时受照剂量较小，对操作人员健康影响很小，是安全的。

(2) 放射源失控

后装治疗机使用 1 枚 Ir-192 源，属于 III 类放射源，源失控对环境安全的潜在危险较大。医院在使用前会制定有设备安全使用管理制度和操作规程，来全面加强机房安全保卫措施，严防放射源失控。设备定期更换放射源的工作由具有使用 III 类 Ir-192 后装机资质的单位承担，废源由供方在倒装新源时顺便回收。

根据原国家环保总局《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），发生放射源丢失、被盗时，医院将立即向上级主管部门报告，启动事故应急预案。发生该类事故后，将在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告。

(3) 人员误照

发生人员误照后，有关科室应当立即向医院主管部门报告。由医院领导统一指挥，启动应急预案程序，迅速安排受照人员接受医学检查，或者在指定的医疗机构救治，并以书面形式上报环保主管部门。

11.4 放射源运输、倒装和安全管理

(1) 放射源运输

根据项目实施计划，后装机所需放射源拟由放射源生产厂家提供。医院将委托持有放射源销售资质的公司购买放射源，并由销售公司委托具有放射源运输资质的公司进行放射源运输。医院配合放射源进场工作，在医院接受放射源，并安排适当的场地暂存。

(2) 放射源倒装

后装机放射源倒装工作由设备厂家的维修工程师完成。医院派出工作人员做一些辅助工作。倒装放射源之前，项目单位将与放射源供应商签订密封源购置和返回协议，办理《放射性同位素转让审批表》。倒装过程中，做好现场警戒和准备工作，监测倒源场所的剂量率水平，操作人员佩带个人剂量计和个人

剂量报警仪。待放射源倒装完毕，双方办理放射源安全责任转移手续。

在倒装放射源过程中，一旦发生卡源情况，依照拟定的应急计划妥善处置，并严格控制倒源人员的受照剂量。

(3) 放射源安全管理

医院将加强含源设备安全管理，补充制定后装治疗操作规程，全面加强机房安全保卫措施，严防放射源失控。

医院辐射安全事故预案中拟增加放射源丢失被盗事故报告处置的有关规定。

11.4 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表11-15。

表11-15 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。
剂量当量率	各治疗室外 30cm 处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	机房防护门口设置放射性警告标志和中文警示说明，设置工作状态指示灯。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。
辐射安全设施	设备由密码或者钥匙启动；加速器机房辐射安全与防护措施有分区管理、实体屏蔽、放射性警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯、急停按钮、门机安全联锁系统、辐射剂量监测和报警系统等，可有效防止职业和公众受到意外照射。后装机机房还具有安全防护联锁系统和自动回源检测指示等故障检查和保护系统；设备配套有模拟源与真源双重驱动系统，还配备有不间断自动供电系统。
监测仪器	放疗科每间机房均配置 1 台固定式剂量率仪（共计 3 台），每间机房配置 2 台个人剂量报警仪（共计 6 台），放疗科配套 1 台便携式 X- γ 剂量率仪。医院为每位辐射工作人员配备个人剂量计 1 套。
“三废”处置设施	制定有退役放射源处理方案。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防

	护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了的应急处理组织机构及职责、处理原则、信息传递、处理程序和处理技术方案等。配备必要的应急器材、设备。针对使用放射性同位素过程可能存在的风险，建立应急预案，落实必要的应急装备。进行过辐射事故（件）应急演练。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 辐射安全管理小组

医院设立了辐射防护领导小组，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作，现有的人员构成具体情况见表 1-4 所示。本项目实施后，医院将放疗中心纳入辐射安全管理范围，放疗中心主任将担任辐射安全与环境保护管理领导小组成员，负责放疗中心的日常管理。辐射防护领导小组的职责：

(1) 负责对本单位辐射安全管理制度编制、修订、完善，并组织实施；

(2) 负责定期对辐射工作人员进行辐射安全相关法规及内部辐射安全规程的宣传、培训和考核；

(3) 负责组织进行辐射应急预案的演练；当出现辐射事故或事件时，组织人员，启动应急响应，进行事故发生后的抢救工作；

(4) 负责辐射安全设施和仪器的维护和管理，组织进行辐射工作场所和周边环境监测；

(5) 负责对辐射工作人员进行个人剂量监测，并进行人员健康、保健管理。

(6) 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

12.1.2 辐射工作人员

首钢医院放疗中心拟调配和新增到 24 人，其中医师 5 名，物理师 3 名，技师 10 名、护士 6 名，新增的辐射工作人员将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并及时参加每五年一次的重新考核，并制定了辐射工作人员考核计划。

12.2 辐射安全管理规章制度

首钢医院已制定多项辐射安全管理制度，包括包括辐射防护领导小组及岗位职责、放射性同位素与射线装置操作规程、辐射工作人员培训计划、辐射工作场所安全和防护管理制度、设备检修维护制度、辐射工作人员个人剂量监测制度、工作场所和环境辐射水平监测方案、台帐管理制度、放射性废物管理制度、辐射事故应急制度等。

本项目实施后，首钢医院核技术利用的种类和范围将新增使用 III 类放射

源和新增加速器和 TOMO。医院将结合新项目的开展，在重新申领辐射安全许可证前，组织相关人员完善相关制度，如操作规程、监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保依照规定安全使用放射性同位素和射线装置。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

首钢医院已制订了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，并建立相应的个人剂量监测档案。

全院辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京市疾病预防控制中心承担，监测频度为每 3 个月检测一次。医院严格要求辐射工作人员按照规范佩戴个人剂量计，规定在个人剂量计佩戴时间届满一个监测周期时，由专人负责收集剂量计送检更换，医院严格按照国家法规和相关标准进行个人剂量监测和相关的防护管理工作。

12.3.2 辐射监测仪器配备

首钢医院对本项目辐射场所拟新配备 3 台固定式在线辐射监测仪，新增 6 台个人剂量报警仪和 1 台便携式辐射巡测仪，能够满足首钢医院辐射防护和环境保护的要求。

12.3.3 本项目工作场所自行监测方案

首钢医院拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。本项目实施后，放疗中心工作人员使用便携式辐射巡测仪，对拟新建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

- (1) 监测项目：X、 γ 剂量率水平
- (2) 检测设备：X- γ 辐射剂量率仪
- (3) 检测频次：剂量率水平每年自行检测 2 次。

本项目涉及工作场所的监测布点：监测点位如图 11-1、图 11-2，主要是治疗机房的周边、楼上、特别是控制室和防护门处。测量结果连同测量条件、测量方法和仪器、测量时间等一同记录并妥善保存，并根据标准要求，每年进行一次设备状态检测。

12.4 辐射事故应急管理

首钢医院依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规的要求，制定了《辐射应急预案》，包括辐射事故应急管理小组的组成、职责与分工，可能发生的辐射事故与事件类型，事故应急处理和报告程序，应急保障、人员培训和演练，应急装备、器材等内容。医院规定科室每季度组织一次演练，每年至少组织一次全院应急演练。本项目在已在许可活度种类范围基础上增加加速器和 III 类放射源，医院按要求拟对现有的《辐射事故应急预案》进行完善。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

发生辐射事故时，应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。医院将每年至少组织一次应急演练。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 正当性分析

本项目首钢医院因临床诊疗工作需要，提高医院肿瘤治疗综合实力，且首钢医院诊疗科目已取得放射治疗专业的批复，本项目为使用放射治疗设备项目，属于《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中第十三项第 5 条中关于“新型医用诊断设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，……”类别，属于国家支持和鼓励类产业。故本项目具有良好的社会效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合实践正当性原则。

13.1.2 辐射防护屏蔽能力分析

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

13.1.3 辐射环境评价

(1) 估算结果表明：治疗室正常运行后，预计工作人员和公众的年有效剂量均低于相应剂量约束值（2mSv、0.1mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。通过对治疗机房的辐射屏蔽措施分析可知，机房墙体和防护门外周围剂量当量率不超过 2.5 μ Sv/h。

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

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

(4) 辐射安全防护管理：首钢医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责全院的辐射安全管理和监督工作。医院制定有较健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、设备检修维护

制度和辐射事故应急预案等，本项目实施后将完善与本项目有关的岗位职责、操作规程等管理制度，进一步完善辐射事故应急预案并有效执行。

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

13.1.4 结论

综上所述，首钢医院新建放疗中心使用医用电子直线加速器、TOMO 机和后装机项目，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，首钢医院承诺：

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

(2) 妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；

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

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

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

表 14 审 批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日

