

核技术利用建设项目

一期放疗科放射治疗项目
环境影响报告表

北京清华长庚医院

2024年5月

环境保护部监制

核技术利用项目

一期放疗科放射治疗项目 环境影响报告表

建设单位名称：北京清华长庚医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市昌平区立汤路 168 号

邮政编码：102218

联系人：李娜

电子邮箱：lna00687@btch.edu.cn

联系电话：010-56118526

目 录

表 1	项目基本情况	1
表 2	放射源	15
表 3	非密封放射性物质	16
表 4	射线装置	17
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6	评价依据	19
表 7	保护目标与评价标准	22
表 8	环境质量和辐射现状	28
表 9	项目工程分析与源项	31
表 10	辐射安全与防护	45
表 11	环境影响分析.....	59
表 12	辐射安全管理	82
表 13	结论与建议	86
表 14	审 批	89

表 1 项目基本情况

建设项目名称		一期放疗科放射治疗项目			
建设单位		北京清华长庚医院			
法人代表	姜胜耀	联系人	李娜	联系电话	010-56118526
注册地址		北京市昌平区立汤路 168 号			
项目建设地点		北京市昌平区立汤路 168 号医院 1 号门诊住院楼地下一层南侧			
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）	200	投资比例（环保投资/总投资）	6.7%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积（m ² ）	300
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		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他					
<p>1.1 单位概况</p> <p>北京清华长庚医院（简称“医院”）是由清华大学与北京市共建共管的大型综合性公立医院，建设和运营过程中得到了台塑企业和台湾长庚纪念医院的无私捐助和援建。医院座落于北京市昌平区天通苑地区，总规划床位 1500 床。于 2014 年 11 月 28 日开业，一期开设 1000 张床位。2015 年 11 月正式为医保患者服务；2017 年 6 月，实现异地医保直接结算；医院二期规划新增 500 张床位。</p> <p>北京清华长庚医院借鉴并在地化台湾长庚纪念医院管理模式，构建现代医院管理体制和运营模式，实行党委领导下的院长负责制，专业化医疗团队与职业化行政团队分工协同治理，提高医院管理的效率和效益。</p>					

医院以优越的事业平台、舒心的工作环境和体面的薪酬待遇，从海内外引进了一批优秀的专家，组成高水平医疗团队。首任院长董家鸿为国际著名肝胆胰外科和肝脏移植专家，于 2017 年当选中国工程院院士。医院实行 Attending 医师负责制、全责护理制和全人照护模式，并全面推行以疾病为导向的整合式医疗，持续优化医疗流程，为各类病患提供高效、优质、经济的诊疗服务，不断提升疾病治愈率和康复水准。

医院已经形成了涵盖内科部、外科部、妇儿部、专科部、急重症部、医技部、全科与健康医学部的 7 大医疗部和 50 余个临床医技专科，初步建成临床布局合理、专科设置完善、优秀人才汇聚、医院治理良善、医疗品质一流，在业界和社会享有美誉的综合性精品医院；形成了肝胆胰中心、神经中心、消化中心、急重症中心等优势突出的整合式医疗中心，涌现出心脏内科、妇产科、耳鼻咽喉头颈外科、泌尿外科、骨科、放射科、麻醉科等重点专科。医院开展国内外领先的医疗技术百余项，创下多项世界记录，以先进技术和优质服务成功救治了大批来自海内外的复杂危重病患，综合水平进入全国三级公立医院绩效考核前百位。2018 年 12 月，医院获批为首批国家临床教学培训示范中心。

北京清华长庚医院现有设备包括螺旋 CT、PET/CT、SPECT/CT、血管造影机、电子直线加速器、模拟定位系统等一批先进的放射诊断、治疗设备。

北京清华长庚医院为已取得《辐射安全许可证》单位。

1.2 核技术利用及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状

北京清华长庚医院已取得了辐射安全许可证（京环辐证[O0116]，有效期至 2024 年 10 月 11 日，许可的种类和范围是：使用 V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，见附件 1，北京清华长庚医院已许可射线装置使用情况见表 1-1。

表 1-1 北京清华长庚医院已许可的射线装置情况

序号	名称	类别（类）	数量（台）
1	计算机断层扫描仪（CT）	III	5
2	牙科 X 射线 CT	III	1
3	SPECT/CT	III	1

4	移动式 C 型臂 X 射线机	III	6
5	牙根尖 X 射线机	III	1
6	移动 X 射线机	III	5
7	数字乳房摄影 X 射线机	III	1
8	碎石机	III	1
9	医疗电子直线加速器	II	1
10	遥感摄影	III	1
11	血管造影机 (DSA)	II	4
12	骨密度检测仪	III	1
13	牙科全景 X 光机	III	1
14	数字常规检查射线 X 光机	III	4
15	数字胸部 X 射线机	III	2
16	移动式 G 型臂 X 射线机	III	1
17	PET/CT	III	1

北京清华长庚医院已许可的非密封放射性同位素使用情况见表 1-2。

表 1-2 北京清华长庚医院已许可非密封放射性同位素使用情况

工作场所名称	等级 (类别)	核素名称	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类
核医学科	乙级	I-131	3.70E+08	3.70E+11	使用;
		Tc-99m	1.85E+07	3.70E+12	使用;
		I-131	3.330E+04	3.33E+08	使用;
		F-18	7.40E+06	1.48E+12	使用;
		Y-90	5.06E+08	7.20E+11	使用;
钇 90 介入治疗场所	乙级	Y-90	5.0E+08	6.00E+11	使用;
		Tc-99m	5.55E+05	8.66E+10	使用;

北京清华长庚医院已许可的放射源使用情况见表 1-3。

表 1-3 北京清华长庚医院已许可放射源使用情况

序号	核素	类别	活度 (Bq)	(枚数)
1	Ge-68	V	5.5E+07	1
2	Ge-68	V	3.5E+06	1

1.2.2 近几年履行环保审批情况

北京清华长庚医院近五年以来一共有 2 个辐射环评报告表项目，具体落实情况见表 1-4。

表 1-4 建设项目竣工验收落实情况

序号	环评批复文号	项目名称	类别	备注
1	京环审 [2021]29 号	核医学科改造项目	报告表	于 2022 年 12 月办理竣工验收
2	京环审 [2022]89 号	Y-90 微球治疗项目	报告表	于 2023 年 2 月办理竣工验收
3	京环审 [2023]21 号	使用II类射线装置项目	报告表	于 2024 年 4 月办理竣工验收
4	京环审 [2024]11 号	二期新增使用医用电子直线加速器	报告表	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，北京清华长庚医院专门成立了辐射安全管理委员会，由党委委员/医技部部长担任主席，医务管理部、核医学科、放射诊断科、总务处、心脏内科、血管外科、神经外科等各部门的相关人员担任组员，并指定医务管理部李娜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 1-5。

表 1-5 北京清华长庚医院辐射安全管理委员会成员名单

职位	姓名	职务或职称	专业	工作部门	专/兼职
主席	郑卓肇	党委委员（医技部部长）	影像医学与核医学	/	兼职
委员	林思勇	医务管理部部长	临床医学	医务管理部	兼职
委员	何作祥	核医学科科主任	临床医学	核医学科	兼职
委员	黎功	放射治疗科科执行主任	肿瘤放射治疗学	放射治疗科	兼职

委员	余飞	心脏内科主任医师	心血管介入	心脏内科	兼职
委员	赵克强	血管外科副主任医师	胸心外科	血管外科	兼职
委员	苏伟	神经外科医师	外科学	神经外科	兼职
委员	张跃伟	肝胆胰介入科 科主任	影像医学与核 医学	肝胆介入科	兼职
委员	张琳	肝胆胰介入科 副主任医师	外科学	肝胆介入科	兼职
委员	张小峰	神经内科主治医师	神经病学	神经内科	兼职
委员	唐红卫	消化内科主任医师	内科学（消化 疾病）	消化内科	兼职
委员	赵喆	骨科副主任医师	临床医学	骨科	兼职
委员	李冬蓉	护理部督导	护理学	护理部	兼职
委员	张杰	基础运行部部长	工商管理	基础运行部	兼职
委员	闫伟娜	总务处副处长	护理学	总务处	兼职
委员	李树勋	工务处副处长	项目管理	工务处	兼职
委员	段鹏	保卫科科长	建筑环境与设 备工程	保卫科	兼职
专管员	刘国庆	放射诊断科技师	医学影像技术	放射诊断科	兼职
专管员	王兴	放射治疗科技师	医学影像技术	放射治疗科	兼职
专管员	翟彦龙	心脏内科技师	医学影像	心脏内科	兼职
专管员	梁斌	介入技师	生物医学工程	放射诊断科	兼职
秘书	李娜	助理主办	会计学	医务管理部	专职

1.2.3.2 制定规章制度及落实情况

北京清华长庚医院结合医院实际情况，已制定一套相对完善的管理制度和操作规程，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、辐射工作人员培训考核计划、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、辐射安全事故应急预案等，并严格按照规章

制度执行。

1.2.3.3 工作人员考核情况

北京清华长庚医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，医院从事辐射相关工作人员共约 150 人分批参加了辐射安全和防护培训，并通过了考核。

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

1.2.3.4 个人剂量监测

北京清华长庚医院所有从事辐射工作的医护人员均佩戴 TLD 个人剂量计，每季度 1 次监测一次，按照《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令 18 号）要求建立个人剂量档案，并于每年 5 月 31 日前将上一年度全体辐射工作人员的个人剂量监测数据上报至全国核技术利用辐射安全申报系统中。

目前，个人剂量监测工作已委托中国医学科学院放射医学研究所承担，监测频度为每 3 个月检测一次，一共开展个人剂量监测人员数量 212 人。医院 2023 年度个人剂量监测结果表明，大部分辐射工作人员年剂量都在 0.1mSv 左右，参与个人剂量检测人员年度个人受照剂量超出 1mSv 只有从事 DSA 工作的 13 人（剂量分别为 3.40 mSv、1.48 mSv、1.11mSv、2.02 mSv、2.17mSv、1.91mSv、1.87mSv、3.51mSv、2.15 mSv、2.88mSv、3.37mSv、2.54mSv、1.97mSv），其余人员均不高于 1mSv，所有人员都低于医院规定的管理目标值。开展个人剂量检测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况，2023 年度个人剂量监测报告见附件 2。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射防护领导小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；必要时将采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施，保障辐射工作人员的健康。

1.2.3.5 工作场所及辐射环境监测

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

2023 年 6 月，医院委托浙江建安检测研究院有限公司对医院全部在用射线装置、机房防护及核医学工作场所、Y-90 治疗场所进行检测，检测结果全部合格，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。

(2) 工作场所自行监测：根据《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》要求，医院定期开展工作场所环境辐射水平自行监测。核医学科每天工作结束后，对非密封放射性同位素工作场所的工作台台面、手套箱台面、注射台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。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，医院已配备的辐射监测仪器，详细清单见表 1-6。

表 1-6 医院现有辐射防护监测仪器清单

序号	仪器名称	型号	购置日期	仪器状态	数量	备注
1	个人剂量仪	贝谷/BS2010	2014-07-11	正常	5	放射治疗科
2	多通道辐射剂量监测系统	大建华克/HK-2108	2014-12-20	正常	1	核医科
3	表面沾污仪	Mirion/RDS-80	2014-12-20	正常	1	核医科
4	电离室巡测仪	Fluck/451p	2015-04-15	正常	1	放射科
5	巡测仪	上海贝谷/BS9511	2014-07-11	正常	1	放射治疗科
6	个人剂量仪	RADOS/RAD-60	2014-12-20	正常	3	核医科
7	x/γ 射线报警仪	中康联/SB-I（智能）型	2015-10-09	正常	1	放射治疗科
8	表面污染仪	IA-V2	2022-03-01	正常	1	核医科
9	辐射巡测仪	R-EGD	2022-04-01	正常	3	核医科
10	个人剂量报警仪	RG1000	2022-04-01	正常	3	核医科
11	辐射巡测仪	BG9521	2022-07-10	正常	1	钇 90 介入治疗室

12	表面污染仪	BG9611	2022-07-10	正常	1	钇 90 介入治疗室
----	-------	--------	------------	----	---	------------

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

1.2.3.6 辐射事故应急管理

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

医院已获得许可使用II类、III类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所。医院已针对上述许可使用中可能发生的放射性污染以及大剂量照射等事故/事件，制定了每年一次的演练计划。为规划和加强放射突发事件应急处理能力，同时最大程度地降低放射事件可能造成的后果，保障辐射工作人员及患者的生命安全，其中 2023 年度最近一次于 2023 年 9 月 20 日，在门诊楼 B1F 放射治疗科内进行了医院 2023 年下半年度的辐射安全事故应急演练。本次演练由医务管理部、保卫处、放射治疗科联合策划，以加速器治疗室放射治疗过程中开关失控，射线持续发生，病人可能受到过度照射为事故背景展开。演练采取“实景设置、实兵展开、实际操作”的方法进行。根据《辐射事故应急预案》，制定演练计划并有序实施，参与演练人员均较好地履行各自的职责，圆满完成既定任务，达到了演练预期的效果。

1.2.3.7 放射性废物的管理情况

目前，北京清华长庚医院核医学科和钇 90 介入治疗场所 2023 年以来只使用 F-18、Tc-99m、I-131 和 Y-90 四种核素。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》要求，对放射性废物进行管理：将放射性固体废物分类收集于专用的废物桶内，在废物衰变间内暂存。含 F-18、

Tc-99m 和 Y-90 的放射性废物暂存 30 天，剩余 Y-90 放射性同位素储存 60 天后，使用经检定合格的检测仪器对废物表面污染和辐射剂量率水平进行监测，辐射剂量率低于 200nSv/h 且 β 表面污染水平小于 0.8Bq/cm²，将废物解控作为医疗废物处置，并详细记录“放射性固体废物暂存、处置管理台账，最近的处置管理台账见附件 3。

北京清华长庚医院核医学科现有衰变池为槽式衰变池，总体积为 200m³，设有 2 级池，每级 100m³。衰变池废水按照 HJ1188-2021 和《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》要求至少衰变 180 天后排放，衰变池的废水在排放前委托有资质单位进行检测，符合要求后排入医院污水处理站，并详细记录“放射性液体废物暂存、处置管理台账，最近一次放射性废水委托检测报告见附件 3。

1.2.3.8 其他情况

北京清华长庚医院较圆满地完成了各项辐射安全防护工作，依据法律法规每年对本单位同位素和射线装置的安全和防护状况进行了年度评估，目前已编写上报了 2023 年度评估报告。

1.3 本项目概况

1.3.1 建设项目背景

国务院批复的《北京城市总体规划（2016 年-2035 年）》（以下简称“《北京城市总规》”）提出昌平区功能定位为首都西北部重点生态保育及区域生态治理协作区；具有全球影响力的全国科技创新中心重要组成部分和国际一流的科教新区；特色历史文化旅游和生态休闲区；城乡综合治理和协调发展的先行示范区。北京清华长庚医院位于昌平区天通苑地区，已逐步成为京北地区急重症救治中心，医院未来将重点提升卒中、胸痛、创伤与孕产妇救治能力，打造“京北区域医疗中心”。医院未来将进一步提升医院整体医疗服务效能，重点打造具有学术与医疗技术持续创新引领力的肝胆胰中心、器官移植中心、神经中心、消化中心、肿瘤中心等优势学科，辐射全国患者。天通苑地区人口稠密，优质医疗资源匮乏，区域健康医疗体系还不完善，与《北京城市总规》相关要求还有一定的差距，亟需进一步提升区域医疗卫生服务水平，使人民群众获得更高水平的医疗卫生服务。

在医院成立运行九年的时间里，已经初步建成了京北肝胆胰中心，建立了肝胆专科治疗联盟，在器官移植方面，医院也计划在董家鸿院士的领导下稳步推进，建立国内领先的移植中心；借助清华大学厚重的工科技术沉淀，医院还计划在肿瘤治疗方面将医工结合落到实处，近年来医院诊疗人数逐年增加，团队建设也随之进一步完善，患者量不断增多且病种复杂性不断提高，对疾病尤其是恶性肿瘤的综合治疗技术要求也随之提高，为了满足放射治疗方面的数量及质量需求（如颅内等神经系统肿瘤进行立体定向放射治疗、对运动器官进行门控治疗），现有直线加速器正式投入临床使用达 8 年之余，虽然能够满足大部分病种的常规放疗，无法开展立体定向（共面&非共面）及治疗中应用运动管理技术的精准放疗。立体定向放疗系统能够充分弥补现有放疗设备的技术不足，继而增大放疗科业务范畴，促进学科间深度合作，不断提升疾病诊疗疗效。因此拟申请对已有直线加速器进行汰旧换新及新增 1 台后装治疗机。

1.3.2 项目建设正当性

医院一期规划的治疗机房有两间加速器机房和一间后装治疗机房，目前只许可使用 1 台加速器，医院已取得大型医疗设备更新配置许可证（许可证号：乙 0105200092），为了不影响放疗科正常治疗，计划更新后的加速器拟安装到一期预留机房内，报废后的机房将来计划安装射波刀加速器。据统计，2022 年 1 月 1 日~2023 年 11 月 30 日，治疗量共 20854 人次，IMRT、VMAT 共 19260 人次，其余为普通和 3DCRT 治疗，现有治疗量已偏饱和。医院计划重点打造的优势学科包括肿瘤中心，医院二期建设规划中涵盖肿瘤中心整合式医疗病区，综合考虑医院整体发展及适配肿瘤中心所需放疗科配套空间，满足肿瘤患者“一站式”综合治疗，在二期建设中给予规划放疗科加速器机房 1 间并配置相应设备，且二期加速器目前也已取得乙类大型医疗设备配置许可证（许可证号：乙 0105200080），主要用于前列腺癌、早期肺癌、乳腺癌、神经系统肿瘤、头颈部、腹部、妇科等肿瘤方面诊治，因此放疗系统对于提升肿瘤相关学科的学术地位至关重要，具有显著的社会效益。

本项目更新加速器和新增后装治疗场所都位于地下一层，运行产生的辐射影响很小，对职业人员、公众以及环境带来的不利影响，远低于其使用对社会带来的利益，对受电离辐射照射的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》（GB18871-2002）中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

1.3.3 本项目产业政策符合性

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

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

1.3.4 项目基本情况

本次环境影响评价的内容为1号楼地下一层放疗科的放射治疗项目，主要包括：

（1）对预留加速器治疗室2迷路墙进行局部防护改造，新安装1台6MV带自屏蔽的医用电子直线加速器（型号待定），待启用时，现有加速器治疗室1台目前在用的Synergy Platform型加速器报废处理。

（2）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 $3.7E+11Bq$ ）。

本项目拟使用的源项情况见表1-7。

表1-7 本项目放射治疗科使用的射线装置情况表

序号	工作场所	型号	参数（X射线最大参数）	厂家	类别
1	加速器治疗室2	待定	6MV X射线等中心处1m处最大8Gy/min@FFF光子；机架旋转360°；最大照射野40cm×40cm；CBCT：150kV/630mA	待定	II类
2	后装治疗室	近距离治疗后装机	Ir-192， $3.7E+11Bq$ （10Ci）	待定	III类

1.3.5放射治疗科规划

（1）整体部署：建成后与现有的放射治疗科构成医教研一体的先进放疗中心，为患者提供安全、高效的医疗服务，同时保障医、技、护、工程等人员有基本的工作、学习、科研场所。

（2）设备数量：现有1台加速器和1台CT模拟定位机，本项目利用预留场所拟安装使用1台6MV医用电子直线加速器和1台近距离治疗后装机（内含1枚Ir-192放射源）。

(3) 工作制度：250d/a。

(4) 辐射工作人员配备

针对现有源项只新增 1 台近距离治疗后装机（加速器的数量维持不变），医生、物理师各新增 1 名，技师拟新增 2 名，放射治疗科现有辐射工作人员 12 名（医生 4 名、技师 5 名、物理师 2 名、护士 1 名），均已取得培训考核合格证书，都是辐射工作人员。本项目建成后，放射治疗科拟新增 3 名辐射工作人员（医生 1 名、技师 1 名、护士 1 名）。

(5) 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后拟新配 4 台个人剂量报警仪、2 套固定式剂量报警仪，1 台便携式辐射剂量仪利旧，能够满足常规的监测需求。

1.3.6 目的和任务的由来

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

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

1.3.7 项目选址与周围环境

北京清华长庚医院位于北京市昌平区立汤路 168 号，医院东邻立水桥北路，西邻立汤路，南邻太平庄中一街，北邻太平庄中二街，医院地理位置图见图 1-1 所示。

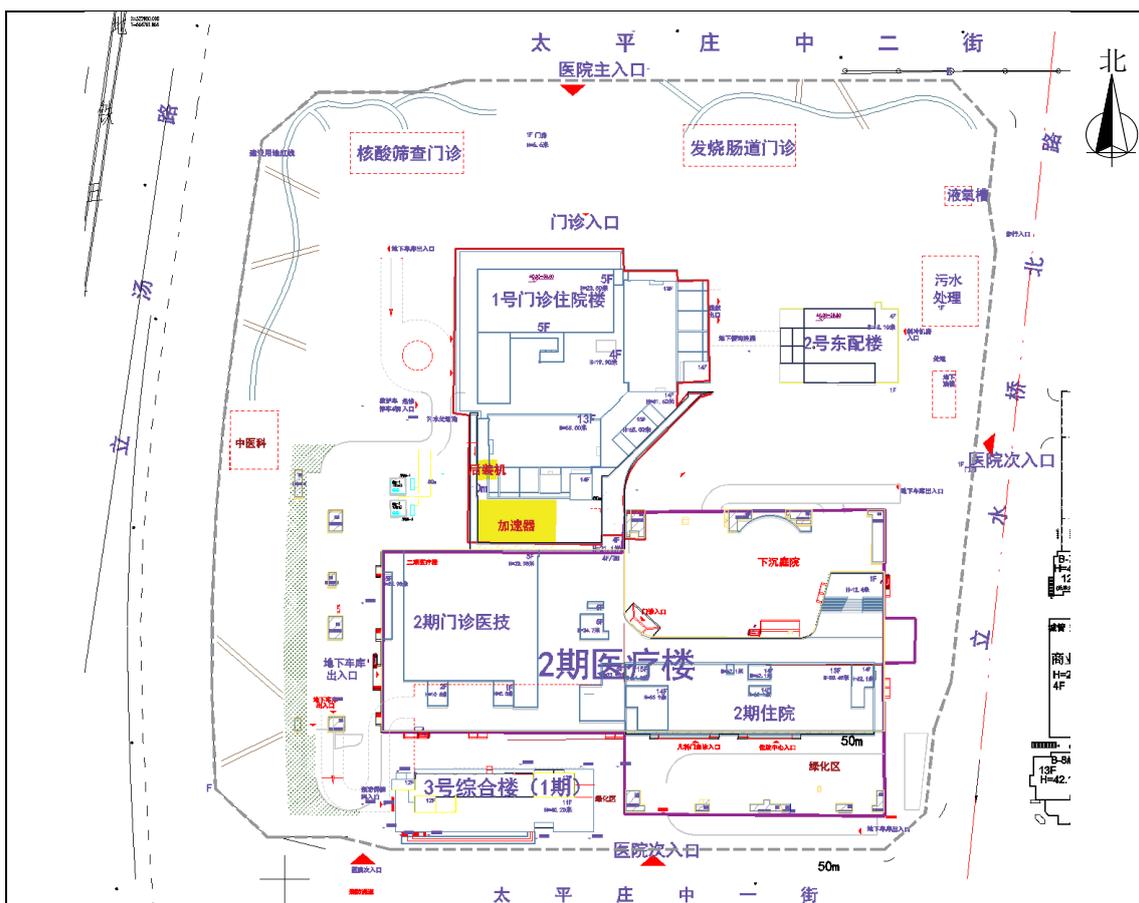


图1-1 本项目位置及周围环境

1.3.8 本项目辐射场所的布局

放射治疗科设于1号楼（门诊住院楼）地下一层南侧一端，共设置2间医用直线加速器机房、一间模拟定位机机房、一间 Ir-192 后装治疗机房及其它辅助工作用房若干。

2间加速器机房（该区域只有地下1层建筑物）设于该放疗科南侧，东、西相邻布置，东、南、西三侧均倚靠地下岩土层（土层与机房间设有防潮隔腔），北侧为设备间、控制室和患者入口，迷道均为“z”字型，设置在机房北侧。

Ir-192 后装治疗机房位于加速器机房西北向，迷道呈“z”字型，位于机房东部，迷道外是候诊区和准备室，控制室设在机房南侧，机房北侧是零件库房。

1.3.9 本项目放射源倒装、运输和返回

后装机使用的 ^{192}Ir 放射源将委托有放射源销售资质的专业公司购买。放射源运输由放射源销售公司直接委托有资质的运输单位承担。放射源运输至医院后，医院开始承担安全责任。

放射源倒装由具有使用相应类别放射源的资质单位（厂家或专业公司）完成，

并及时办理各项备案手续，承担辐射安全和防护责任。

退役放射源返回供源单位，同样委托有资质的放射源销售单位代为办理。放射源运输也将委托有放射源运输资质的单位进行。

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	放射治疗科后 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
无										

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

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	6MV (X 射线, 仅此一档)	1m 处 800Gy/h@FFF	放射治疗	加速器治 疗室2	

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μA)	中子强 度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
无													

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
O ₃ 和NO _x	气态				<16g		直接排放	环境大气

表6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号，2015年1月1日起实施。</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第二十四号，2018年12月29日修订并实施。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号，2003年10月1日起实施。</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令 第 682 号修订，2017年6月21日公布，2017年10月1日起实施。</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院令 第 709 号第二次修订，2019年3月2日第二次修订版公布并实施。</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，生态环境部部令第16号，2020年11月30日公布，2021年1月1日起实施。</p> <p>(7) 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令 第 9 号，2019年9月20日公布，2019年11月1日起施行。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p> <p>(10) 《关于发布<射线装置分类>的公告》，原环境保护部、原国家卫生计生委公告第66号，2017年12月5日。</p> <p>(11) 《关于发布放射源分类办法》的公告，原国家环境保护总局公告，2005年第62号。</p> <p>(12) 《关于发布<建设项目竣工环境保护验收暂行办法>的公告》，国环规环评[2017]4号，2017年11月20日。</p> <p>(13) 原北京市环境保护局办公室《关于做好辐射类建设项目竣工环境保护验收工作的通知》，京环办[2018]24号，2018年1月25日。</p> <p>(14) 《北京市城乡规划条例》，北京市人民代表大会常务委员会公告</p>
------	--

	<p>(十五届)第61号,2021年9月24日修订版公布并实施。</p> <p>(15)《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法(试行)》,原北京市环境保护局文件,京环发〔2011〕347号。</p> <p>(16)《辐射安全与防护监督检查技术程序》,生态环境部,2020年2月。</p> <p>(17)《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》生态环境部公告2019年第57号,2019年12月24日。</p> <p>(18)《关于进一步优化辐射安全考核的公告》生态环境部公告2021年第9号,2021年3月11日。</p> <p>(19)北京市卫生健康委员会《关于印发乙类大型医用设备配置准入标准的通知》,北京市卫健委,2019年8月。</p> <p>(20)《产业结构调整指导目录(2024年)》,国家发展和改革委员会2023年第7号令,2024年2月1日起施行。</p> <p>(21)《北京市新增产业的禁止和限制目录(2022年版)》,北京市人民政府办公厅,京政发办〔2022〕5号,2022年2月14日起施行。</p>
<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)《环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016)</p> <p>(3)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。</p> <p>(4)《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)。</p> <p>(5)《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)。</p> <p>(6)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分:一般原则》(GBZ/T201.1-2007)。</p> <p>(7)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分:电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)。</p> <p>(8)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分:γ射线源放射治疗机房》GBZ/T 201.3-2014。</p> <p>(9)《医用电气设备 第2-1部分:能量为1MeV至50MeV电子加速</p>

	<p>器基本安全和基本性能专用要求》(GB 9706.201-2020)。</p> <p>(10) 《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》(GBZ2.1-2019)。</p> <p>(11) 《环境空气质量标准》(GB3095-2012)。</p> <p>(12) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)。</p> <p>(13) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)。</p> <p>(14) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)。</p> <p>(15) 《剧毒化学品、放射源存放场所治安防范要求》(GA1002-2012)。</p> <p>(16) 《后装 γ 源近距离治疗质量控制检测规范》(WS262-2017)</p>
其他	<p>(1) 原国家环境保护局监督管理司,《中国环境天然放射性水平》,1995 年 8 月;</p> <p>(2) NCRP Report No.151: Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, 2005;</p> <p>(3) 辐射安全手册,科学出版社,2011 年;</p> <p>(4) 《放射肿瘤物理学:教学手册》IAEA,2005 年;</p> <p>(5) 北京清华长庚医院提供的与本项目相关的申请和技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

7.1.1 评价内容

本项目为一期 1 号楼地下一层放射治疗科使用 1 台直线加速器和 1 台后装机放疗装置及其配套的治疗机房。

7.1.2 评价范围

按照《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ10.1-2016)的规定,确定本项目辐射环境影响评价范围为:加速器治疗室 2 和后装治疗室控制区实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。本项目评价范围示意图见图 7-1 所示,本项目相关场所控制区周围 50m 范围内,无学校、居民楼等敏感目标,周围 50m 区域除了东侧部分为院外马路区域外,其它都是医院内部,主要为医院医疗综合楼内相关诊疗场所和院内区域等。

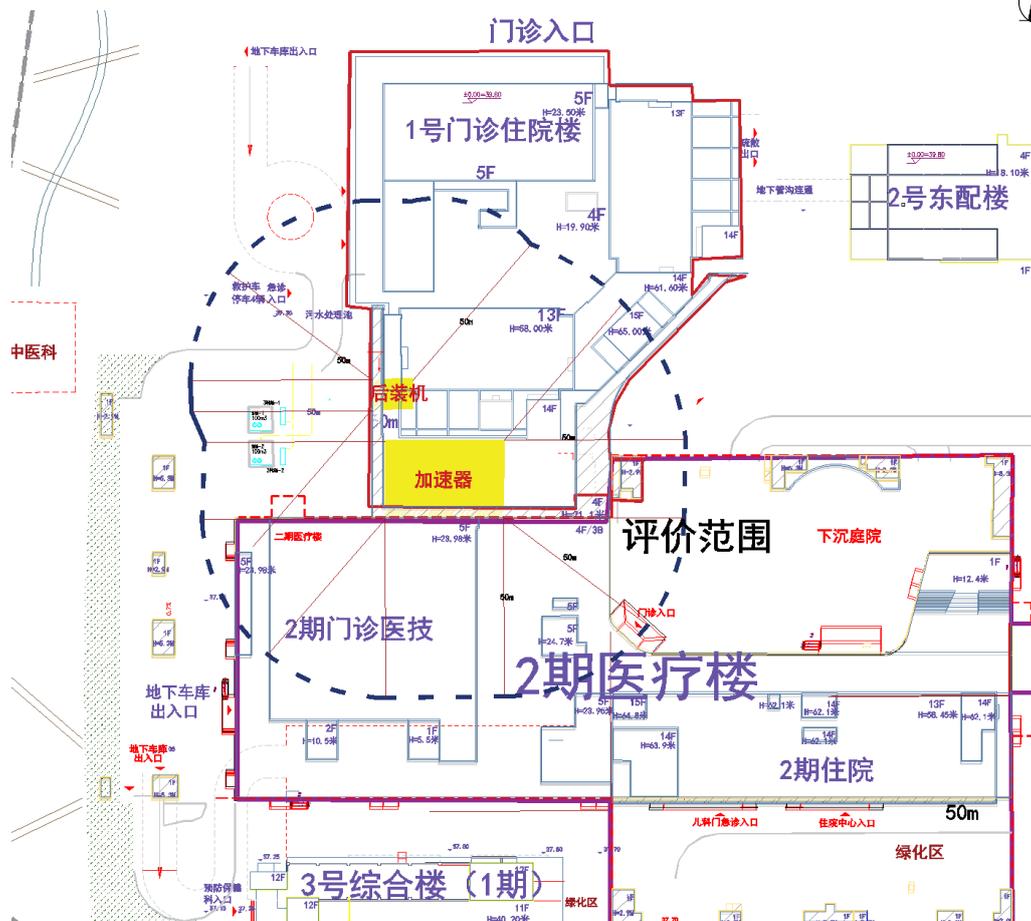


图 7-1 本项目评价范围示意图

7.1.3 关注问题

(1) 加速器治疗室 2 和后装治疗室辐射屏蔽设计是否满足国家相关标准的要求。

(2) 辐射安全管理情况及污染防治措施是否满足法规及相关标准的要求。

7.1.4 评价因子

本项目的环境影响评价因子为 X 射线、 γ 射线、臭氧。

7.2 保护目标

本项目放射治疗科的加速器治疗室 2 和后装治疗室位于一期 1 号楼地下一层南侧，充分考虑周围场所的安全，放射治疗场所已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，满足 HJ1198-2021 的选址要求。场所周围 50m 范围内保护目标的相关情况见表 7-1 所示。

加速器治疗室 2 东侧和南侧为地下土层，西侧为治疗室 1，北侧为控制室和设备间，楼上为绿化区。

表 7-1 本项目场所周围 50m 范围内主要保护目标

项目	保护目标	距离 (m)	常居留数量 (人)	方位	周围 50m 范围内主要场所或建筑物
加速器治疗室 2	/	0~50	/	东侧	地下土层
	/	0~1	/	南侧	地下土层
	其他工作人员	1~50	4		机房、变配电室等
	工作人员和患者	0~8	3	西侧	加速器治疗室 1
	放射治疗科工作人员、患者	9~50	/		地下土层
	本项目工作人员	0~4	2	北侧	控制室
	放射治疗科工作人员	5~28	15		放疗科其它诊疗区
	核医学科工作人员	29~50	14		核医学科诊疗场所
	院内维护人员	紧邻	1	楼上	院内绿化区和消防通道
后装治疗室	本项目工作人员	0~4	1	东侧	准备室
	放射治疗科工作人员、患者	5~37	15		放疗科其它诊疗区
	公众	38~50	5		医疗用品店、便利店等
	本项目工作人员	紧邻	1	南侧	控制室

放射治疗科工作人员、患者	4~19	3		加速器治疗室 1 及控制室
其他工作人员	20~50	2		机房、变配电室等
/	0~50	/	西侧	地下土层
值班人员	0~25	5	北侧	库房、安防机房等
卸货人员、管理人员	26~50	2		卸货区、汽车通道、库房
患者	紧邻	5	楼上	消防通道、留观监护区
保洁人员	紧邻	2	楼下	排风扩散室、厕所



图 7-2 本项目放射治疗科（地下一层）周围关系图



图 7-3 本项目放射治疗科楼上（一层）周围关系图

图 7-4 本项目放射治疗科楼下（地下二层）周围关系图

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

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

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB18871-2002）

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

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。

7.3.2 剂量约束值

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

本次评价所取年剂量约束值是单位统一剂量管理目标值。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，医院应该进行调查并报生态环境部门备案。

7.3.3 剂量率控制水平

对于本项目，要求在满足上述年剂量约束值的同时，参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目控制区边界外 30cm 处的辐射剂量率应不大于 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 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_2 的 1 小时平均浓度 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射环境现状监测

评价单位委托有资质单位于 2024 年 4 月 28 日对本次新增的辐射工作场所周围进行了 γ 辐射空气吸收剂量率本底监测，检测报告见附件 5。

8.1.1 监测项目

γ 辐射空气吸收剂量率。

8.1.2 监测对象及点位布设

监测对象：本次监测针对拟建场所周边进行环境辐射现状监测。

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

8.1.3 监测仪器及方法

(1) 监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8-1。

(2) 监测方法

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

表 8-1 监测设备及性能指标

仪器名称	型号/编号	检定/校准证书、有效日期	主要技术性能指标
X、 γ 剂量率仪	GH-102A/20170404	DLjl2024-01645、2025-2-26	测量范围：0.01 μ Gy/h~100 μ Gy/h； 能量范围：30keV~8MeV； 相对响应之差：< \pm 15%。

8.1.4 监测依据

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

8.1.5 监测结果

γ 剂量率的监测数据见表 8-2。

表 8-2 拟建辐射工作场所周围 γ 辐射环境本底水平监测结果

序号	检测点位置	地面介质	检测结果 (μ Gy/h)		备注
			平均值	标准差	
1	加速器治疗室 2 中央	混凝土	0.10	0.01	楼房

2	加速器治疗室 2 迷路	混凝土	0.11	0.01	楼房
3	加速器治疗室 2 入口	混凝土	0.10	0.01	楼房
4	加速器治疗室 2 东侧夹道	混凝土	0.12	0.01	楼房
5	加速器治疗室 2 西侧加速器治疗室 1	混凝土	0.11	0.01	楼房
6	加速器治疗室 2 北侧控制室	混凝土	0.10	0.01	楼房
7	加速器治疗室 2 北侧机械室	混凝土	0.10	0.01	楼房
8	加速器治疗室 2 楼上空地(主屏蔽区)	混凝土	0.10	0.01	道路
9	加速器治疗室 2 楼上空地(次屏蔽区)	混凝土	0.10	0.01	道路
10	加速器治疗室 2 楼上消防通道(斜上方)	混凝土	0.10	0.01	道路
11	后装治疗室中央	混凝土	0.10	0.01	楼房
12	后装治疗室迷路	混凝土	0.10	0.01	楼房
13	后装治疗室入口	混凝土	0.10	0.01	楼房
14	后装治疗室东侧准备室	混凝土	0.11	0.01	楼房
15	后装治疗室南侧控制室	混凝土	0.10	0.01	楼房
16	后装治疗室北侧库房	混凝土	0.10	0.01	楼房
17	后装治疗室楼上空地	混凝土	0.10	0.01	道路
18	后装治疗室楼上留观监护区	混凝土	0.10	0.01	楼房

注：检测结果包含仪器在检测点处的宇宙射线响应值（0.03 μ Gy/h）。

8.2 监测结果评价

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

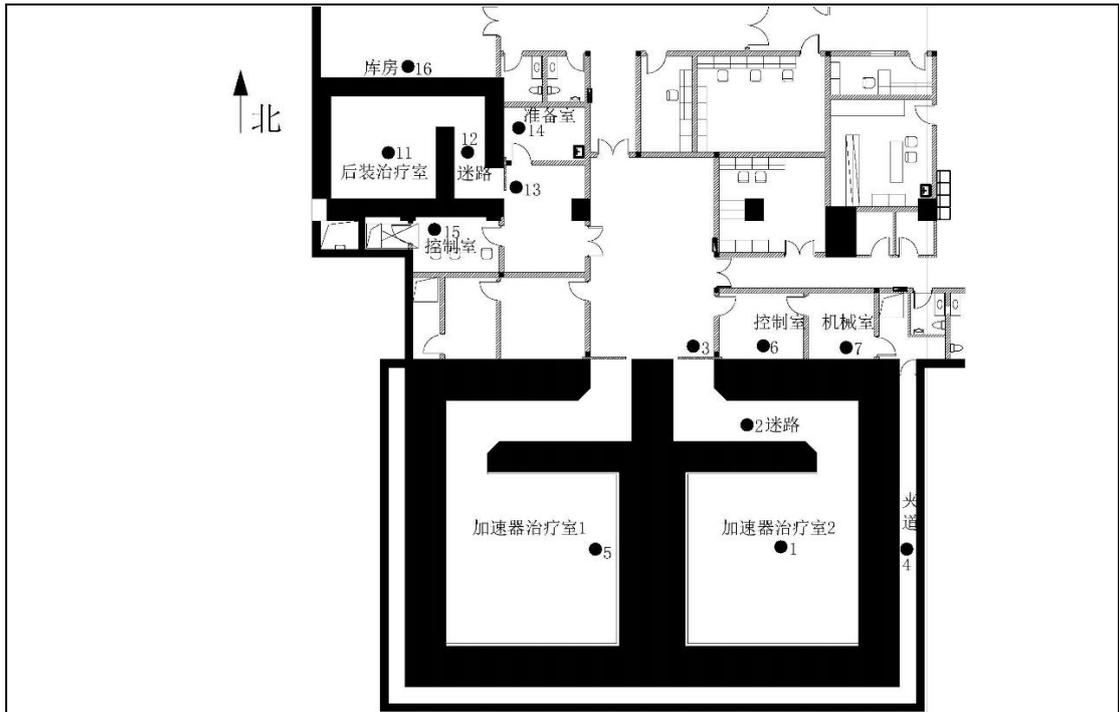


表 8-1 后装治疗室及加速器治疗室 2 区域

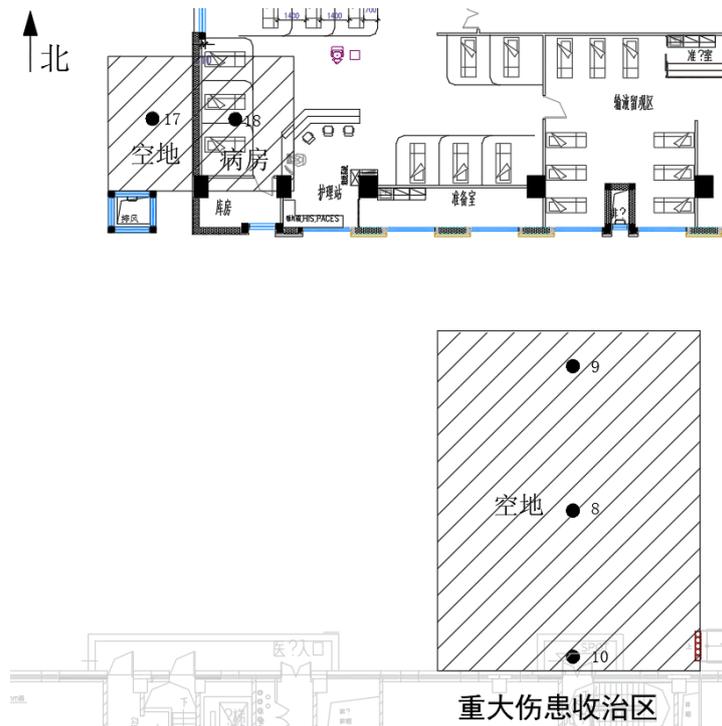


表 8-2 后装治疗室及加速器治疗室 2 楼上

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 设备组成和工作原理

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。脉冲调制器从外部电源取得能量并转换为脉冲宽度为几微秒、电压几十千伏的脉冲，同时加到磁控管（或速调管）和电子枪，电子枪中的电子经阳极和阴极间脉冲负高压作用进入加速管，同时磁控管（或速调管）经波导管将高功率的微波送入加速管，电子束被加速器到所需要的能量，打靶后形成治疗用 X 射线，输出剂量由薄壁穿透电离室监测。典型医用电子直线加速器内部结构见图 9-1。

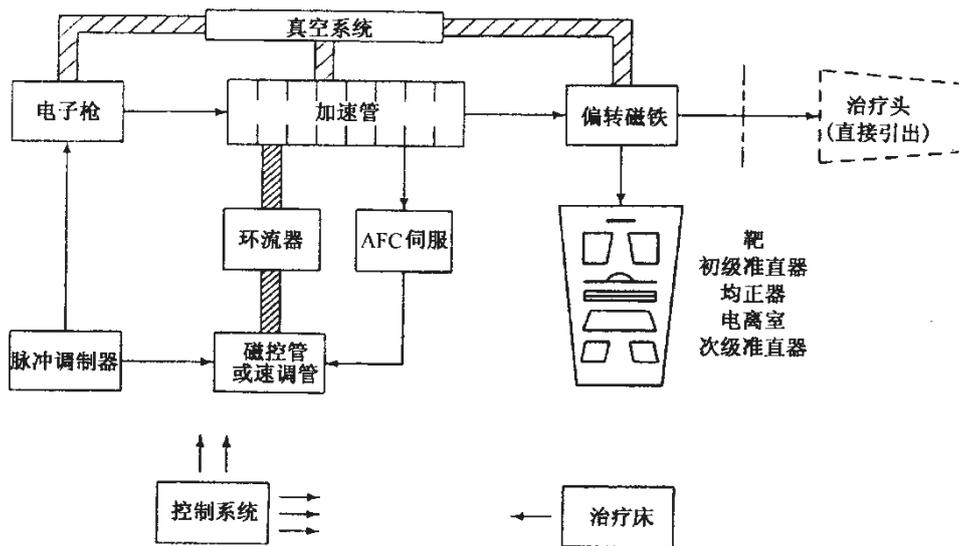


图 9-1 典型医用电子直线加速器内部结构图

9.1.2 设备特点

本项目拟配备的医用电子直线加速器，其结构类似于 TOMO 设备，是将 6MV X 射线加速器和主束自屏蔽体（Beam Stop）安装在一个旋转机架上，呈直线对称分布。加速器在旋转治疗过程中，自屏蔽体一并旋转，将主束的透射率降至 0.1%，达到与加速器机头泄漏辐射相当的水平。使用该设备的机房无需对主束进行单独屏蔽防护。主束采取自屏蔽措施后，加速器治疗室所需的外部屏蔽材料减少约一半左右。同类型医用电子直线加速器见图 9-2。自屏蔽体

结构和位置示意图见图 9-3。

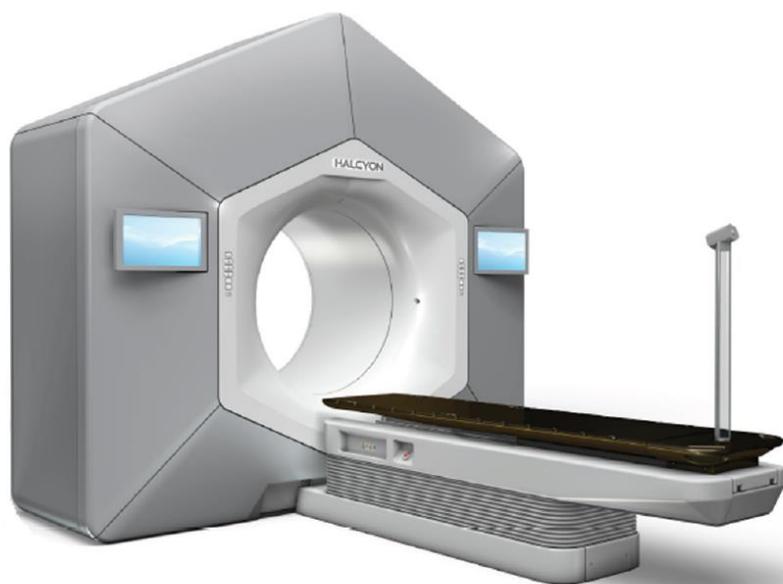


图 9-2 同类型医用电子直线加速器外观图

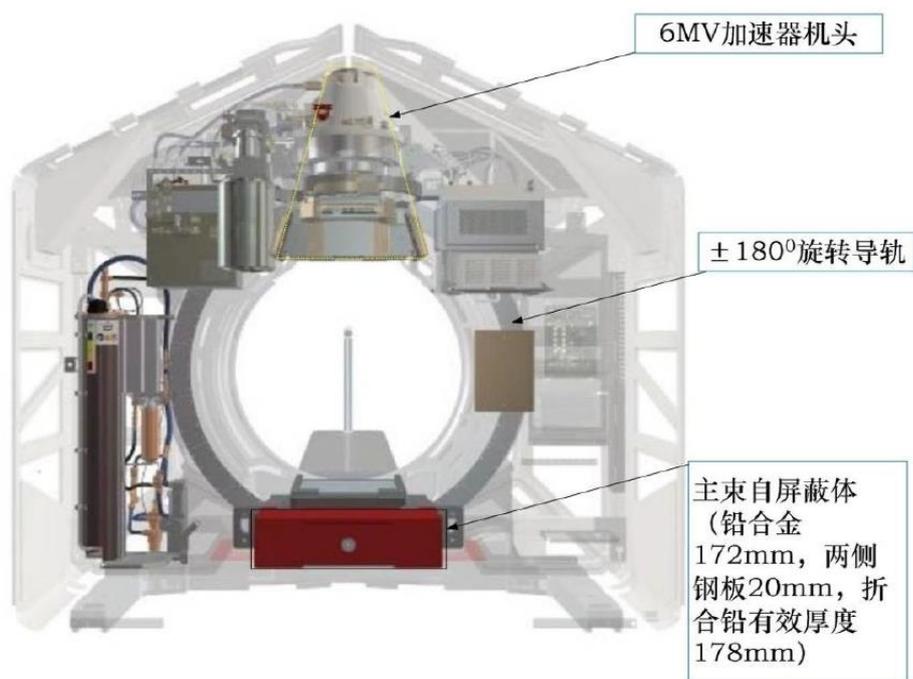


图 9-3 自屏蔽体结构

根据设备厂家这种类型加速器的资料：自屏蔽体整体厚度为 192mm，其中铅合金 172mm（含 3%铋），两侧钢板厚度总计 20mm。铅合金密度约为 $10.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，钢为 $7.85\text{g}/\text{cm}^3$ ，由此估算出等效铅屏蔽厚度为 178mm，靶点与自屏蔽体的位置关系图见图 9-4，参照 NCRP151 报告给出的 6MV X 射线在铅和铁中的十分之一层厚度，计算得出自屏蔽体的屏蔽能力为 1.3×10^6

$3 \times 0.63 = 0.08\%$ 。可见，单纯从自屏蔽体的厚度来看，其实际屏蔽能力是优于厂家给出的 0.1% 的技术指标，在本项目中保守地以透过率 1×10^{-3} 进行评价。同时，应考虑到自屏蔽对主射线屏蔽的宽度问题，由于靶点到等中心距离为 100cm，自屏蔽安装在探测器后侧，靶点距离自屏蔽体内表面距离超过 100cm，加上自屏蔽体本身的厚度 192mm 和部件壳厚度及其部件相互之间的距离等因素，可从图 9-4 估算出靶点距离自屏蔽体外侧表面的距离 181.8cm，在旋转等中心处最大照射野为 $28\text{cm} \times 28\text{cm}$ ，可得出主射线束投影到自屏蔽体外表面的最大宽度 50.9cm，厂家给出自屏蔽体横向宽度为 67cm，高度（纵向宽度）为 67cm，若自屏蔽体的中心与等中心点对应的，由此可知在最大野照射条件下，有用束照射到自屏蔽体表面时，覆盖主束后内、外表面两侧仍余留 11cm 和 8cm 的宽度，但仍应考虑主射线 30° 以内小角度散射时射线能量较高的问题，此时应适当拓宽主射线投影边缘的主屏蔽宽度，对应这种高能量主射线束小角度散射辐射相应局部的防护屏蔽墙仍应以主屏蔽墙设计。

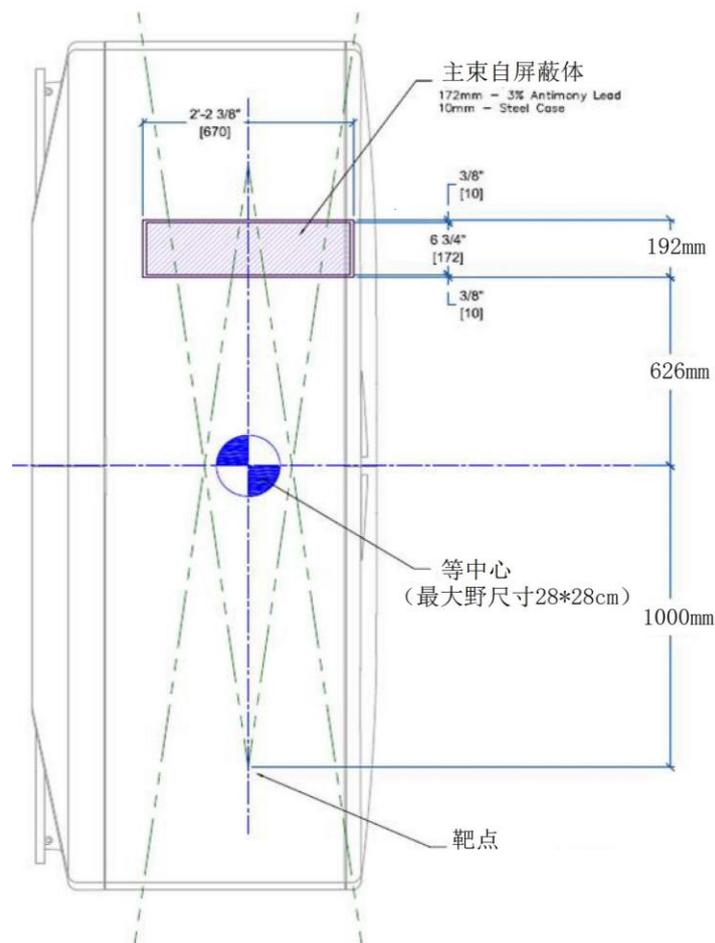


图 9-4 靶点与自屏蔽体的位置关系图

9.1.3 工作流程

1、治疗流程

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

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

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

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

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

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

(7) 照射治疗实施

① 对患者实施放疗前，其放射治疗单经技师双人核查确认。

② 根据治疗计划及其治疗单设定的加速器治疗条件进入治疗模式。

③ 技师引导在等候区等待的患者进入加速器机房，按照治疗计划所要求的条件对患者进行摆位、计划要求的验证，必要时（如首次）医师、物理师到场确认。

④ 完成摆位后退出机房，确认机房内无其他人员后关闭机房门，对患者实施放射治疗，治疗中通过影像设备观察治疗室内患者和治疗装置的运转状况。

⑤ 治疗结束后患者离开。

(8) 自适应治疗模式

本项目加速器具备自适应治疗模式，当患者经医师判断为满足适应症的要求，可为患者实施自适应治疗，一般流程为：

① 医师初步判断患者满足实施自适应治疗要求。

② 医师、物理师、技师通过治疗开始前采集的图像，进一步确认肿瘤大小、位置等的变化。

③ 设备根据之前计划、现场采集图像，重新自动调整、设计治疗计划。

④ 医师、物理师、技师查看自动生成的计划，并进行审核、签字，必要时可对计划手动修改。

⑤ 患者继续接受新计划的治疗。

(9) 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 9-5。

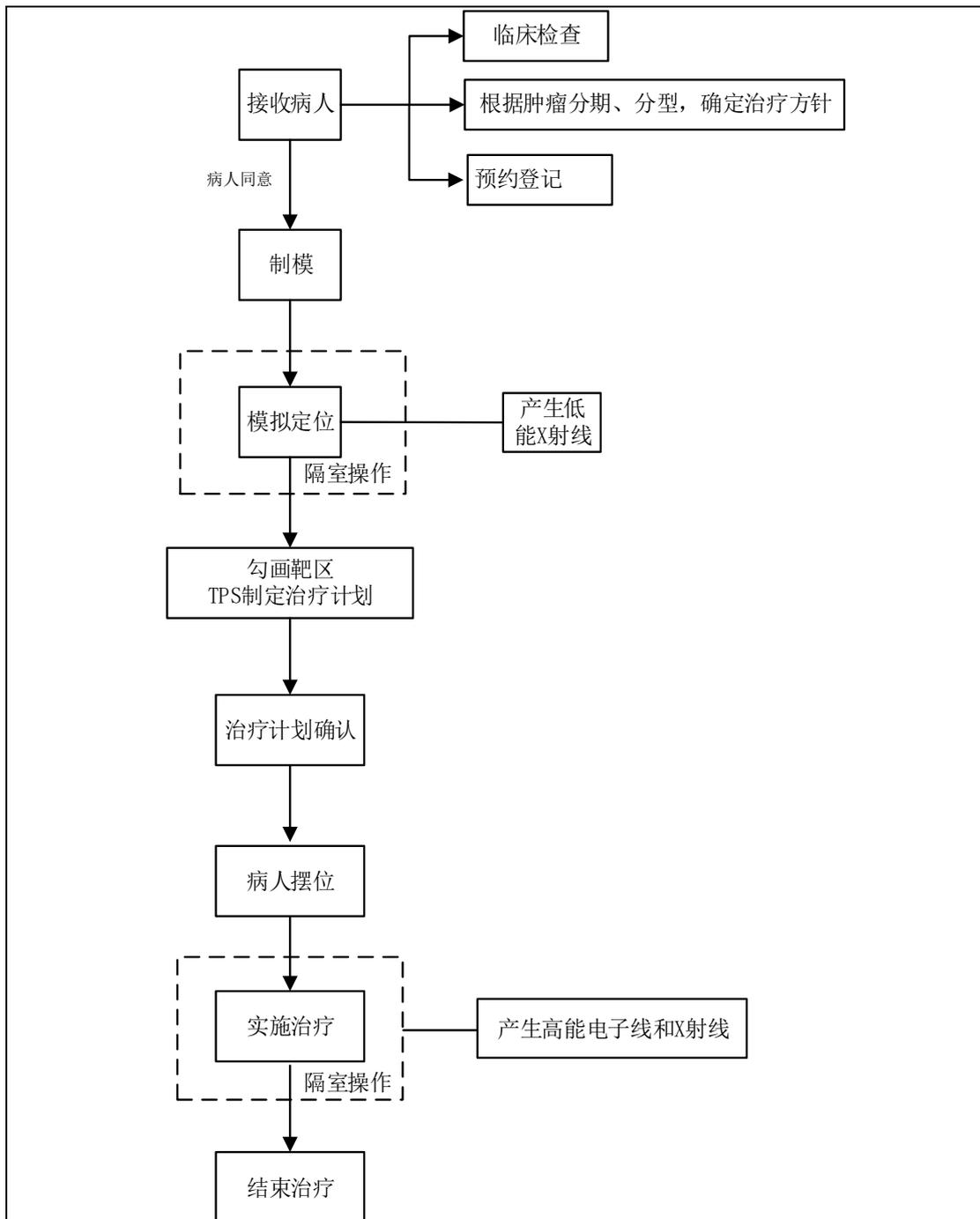


图 9-5 医用电子直线加速器放射治疗工作流程

2、使用规划

(1) 工作量: 按最大工作负荷 90 人次/天进行评价。每人“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 9~11 分钟, 全天完成 90 人次治疗, 所需时间约 13.5h-16.5h, 最大工作负荷时工作人员为两班轮转工作。

(2) 出束时间: 加速器治疗出束时间约为 0.5~2min/人次(平均为 1.5min), 日最大出束时间为 3h, 年总平均出束时间为 750h/a。

9.1.4 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
3	能量分档	X 射线： 6MV FFF（仅此一档）
4	等中心剂量率	X 射线为 8Gy/min（6MV）
5	等中心处最大照射野（主射束夹角）	280mm×280mm（15.9°×15.9°）
6	泄漏率	小于等中心处吸收剂量的 0.1%，主束自屏蔽体 <0.1%
7	靶到等中心点距离	1.0m
8	治疗束旋转角度	360°
9	图像引导模式	kV 级 CBCT（最大 150kV/500mA）

9.1.5 污染源项描述

电子直线加速器运行时电子轰击靶物质产生韧致辐射（X 射线）。本项目加速器常规最大输出 X 射线辐射剂量率为 8Gy/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只输出 6MV 的 X 射线，无电子束，根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）等要求，本项目 X 射线能量不高于 10MV 的加速器，故无需考虑中子辐射及中子俘获 γ 射线。

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

（1）正常工况时的污染途径

1) 直线加速器产生的韧致辐射 X 射线，成像系统运行时也产生 X 射线，但其能量要远低于治疗束。这些射线经透射、漏射和散射，对工作场所及其周

围环境产生辐射影响。

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

(2) 事故工况下的污染途径

发生的事故工况主要有以下两种情况:

1) 门机联锁失效, 工作人员误入加速器治疗室 2, 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 射线泄漏到加速器治疗室 2 外面, 给周围活动的人员造成额外的照射。

9.2 后装机

9.2.1 工作原理

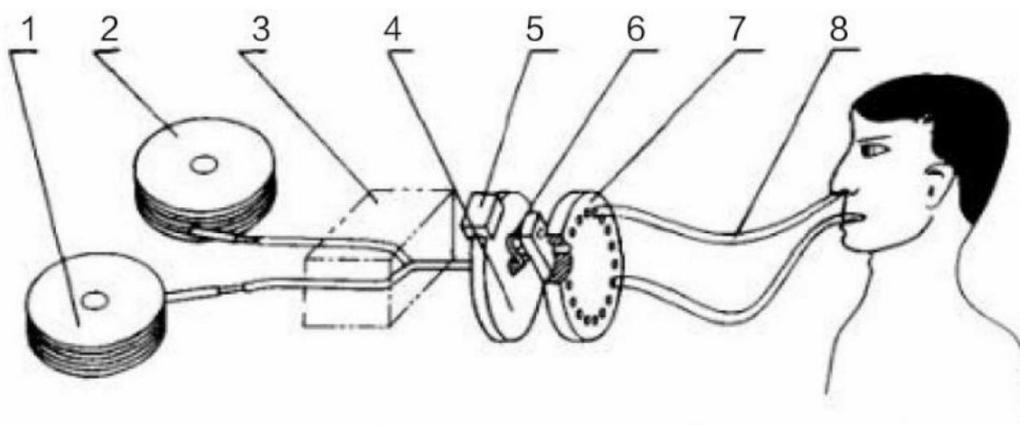
后装治疗机即近距离放射治疗机, 是新一代肿瘤治疗设备, 可进行后装放射治疗。后装放射治疗是指把不带放射源的治疗容器置于治疗部位, 由电脑遥控步进电机将放射源送入容器进行放射治疗, 如此可避免放置治疗容器过程中医务人员因放射受伤。可以将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗。由于放置位置准确、距病体组织近等优点, 在治疗妇科、鼻咽、食道、支气管、直肠、膀胱、乳腺及胰腺等肿瘤中, 取得了明显的临床治疗效果。

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 0.9×7mm 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。本项目后装机拟配置的放射源是 ¹⁹²Ir 丝状源, 最大装源活度为

$3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ (10Ci)，某款后装机外观图见图9-6，后装机结构分解见图9-7。



图 9-6 某款后装机外观示意图



- 1.假源轮 2.真源轮 3.安全区 4.换路器 5.编码器
6.换路导管 7.接管盘 8.前导管

图 9-7 后装机结构分解示意图

9.2.2 工作流程

1、后装治疗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射治疗中心预约登记，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。医师在治疗计划系统上勾画靶区和保护器官、给出治疗处方剂量和保护器官剂量限值，然后由物理师进行治疗计划的设计、优化，再由医师对治疗计划进行评估和确认，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) 施源器布置完成后，工作人员携带个人剂量报警仪，协助病人进入后装机室，对病人进行摆位，将后装机输源软管与病人身上的施源器进行连接。该过程在治疗机房内完成。

(6) 接好后装机施源软管后，工作人员离开后装治疗室，关闭防护门进入控制室，通过视频监控装置观察后装治疗室内的情况。

(7) 根据治疗计划进行治疗，工作人员在控制室隔室操作后装机，先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗。治疗结束后真源自动回源，关机。

(8) 照射完毕后，工作人员通过固定式剂量率监测仪确认放射源已回到贮源器后，工作人员携带个人剂量报警仪，打开防护门进入治疗室，拆除施源软管。

(9) 工作人员协助病人离开后装机室，回到检查准备室内，取出病人体内的施源器和其他填塞物，患者身体无异常后即可离开。

(10) 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。

本项目后装机治疗流程及产污环节示意图见图 9-8。

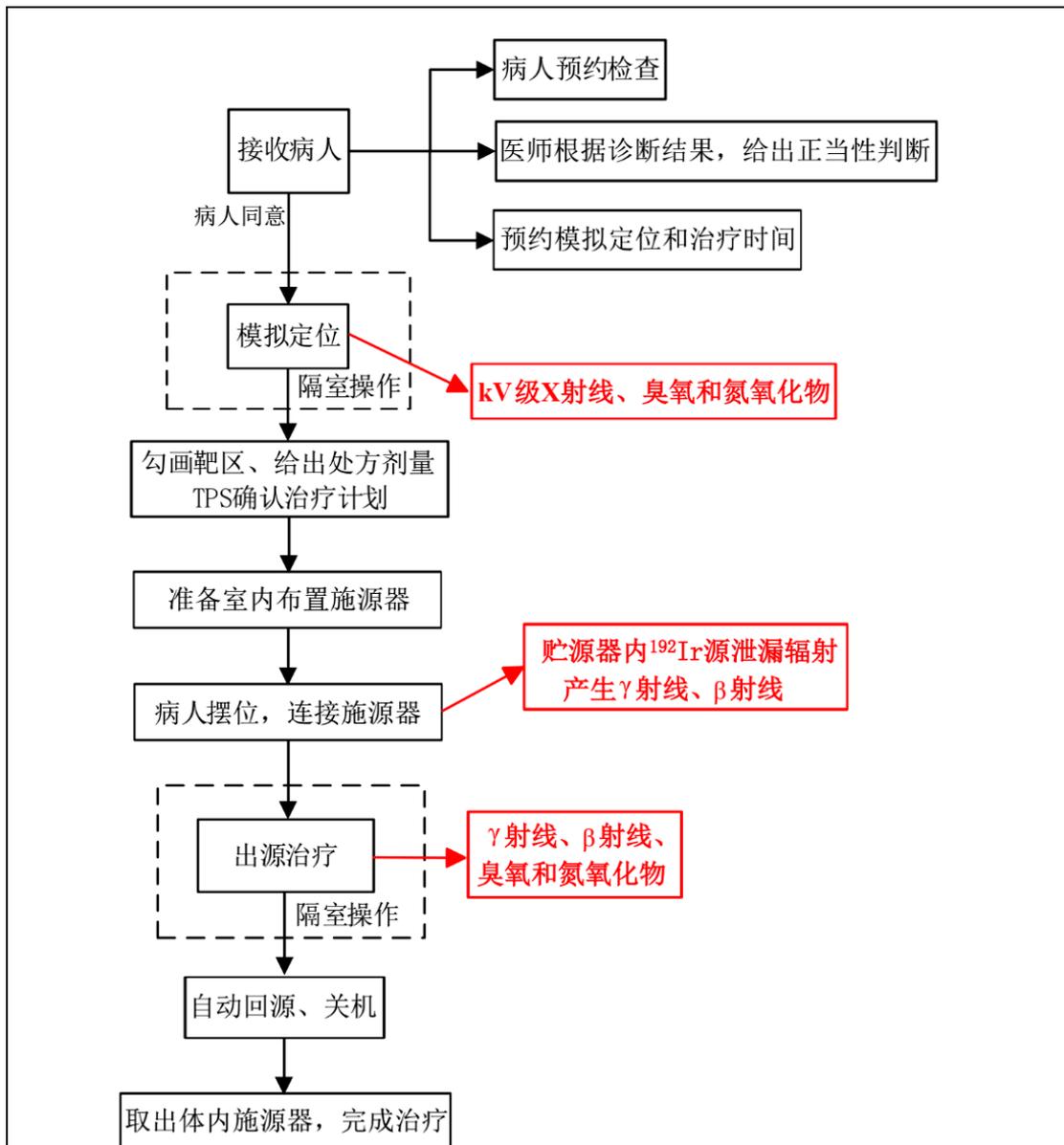


图9-8 本项目后装治疗流程及产污环节示意图

2、换源操作流程

(1) 医院委托后装已取得后装机 ^{192}Ir 放射源 (10Ci) 使用、销售辐射安全许可的单位购买放射源。提前商定放射源购买、运输与换源相关事宜。医院将与放射源供货单位签订退役放射源收回协议, 废旧放射源由放射源供货单位负责回收。

(2) 放射源供货单位委托具有放射性危险品运输资质的公司进行放射源运输, 医院将放射源倒装工作安排在周末放疗科无病人的时间段进行。

(3) 运输公司将新源容器运输至 1 号楼地下一层停车场, 由供源单位派专业人员将新源容器运送至负一层后装机室。医院仅配合放射源的进场工作,

不负责放射源的运输工作。

(4) 由供源单位专业人员负责开展换源操作，旧源导出和新源导入通常采用电脑控制，倒装人员通常是隔室倒装，不会近距离接触裸源。换源操作严格依照供源单位倒源操作规程进行，本报告不再进行具体描述。医院工作人员仅在控制室内做一些安全辅助工作，不负责放射源的倒装。

(5) 放射源更换完成后，废旧放射源由供源单位负责回收至源生产厂家处理。

2、使用规划

(1) 工作量：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。

(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(3.33h/d)，年总照射时间 333h/a。

(3) 利用因子：各个方向治疗照射的使用因子取 $U=1$ 。

9.2.3 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 9-2。

表 9-2 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	0.37MeV
6	半衰期	74.0 天
7	周围剂量当量率常数	0.17 μ Sv/MBq·h

9.2.4 污染源项描述

9.2.4.1 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 0.317MeV (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 $50\mu\text{Sv/h}$ ，距离储源器 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射不得大于 $5\mu\text{Sv/h}$ 。

9.2.4.2 污染途径

1、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，机房内剂量率较高， 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。

2、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。

9.3 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 加速器工作场所项目辐射安全与防护

10.1.1 选址与布局

放射治疗科设于 1 号楼（门诊住院楼）地下一层南侧一端，共设置 2 间医用直线加速器机房、一间模拟定位机机房、一间 Ir-192 后装治疗机房及其它辅助作用房若干。2 间加速器机房（该区域只有地下 1 层建筑物）设于该放疗科南侧，东、西相邻布置，东、南、西三侧均倚靠地下岩土层（土层与机房间设有防潮隔腔），北侧为制冷机房、控制室和患者入口，迷道均为“z”字型，设置在机房北侧，楼上是绿地和消防通道，下方为土层，东墙、西墙、地面和房顶拟设为主束方向，控制室位于非主射束方向，机房四周无敏感人员长期居留。Ir-192 后装治疗机房位于加速器机房西北向，迷道呈“z”字型，位于机房东部，迷道外是缓冲区和准备室，控制室设在机房南侧，机房北侧是零件库房，楼上是楼外消防通道和病房，楼下为排风扩散室和厕所。

放射治疗场所已避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，对公众影响较小。

10.1.2 辐射工作场所分区

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

本项目分区布置如下：

- （1）控制区：加速器治疗室 2 及防潮隔腔、后装治疗室；
- （2）监督区：控制室、设备间、准备室、缓冲间。

加速器治疗室 2 平面布局 and 剖面图见图 10-1 和图 10-2。

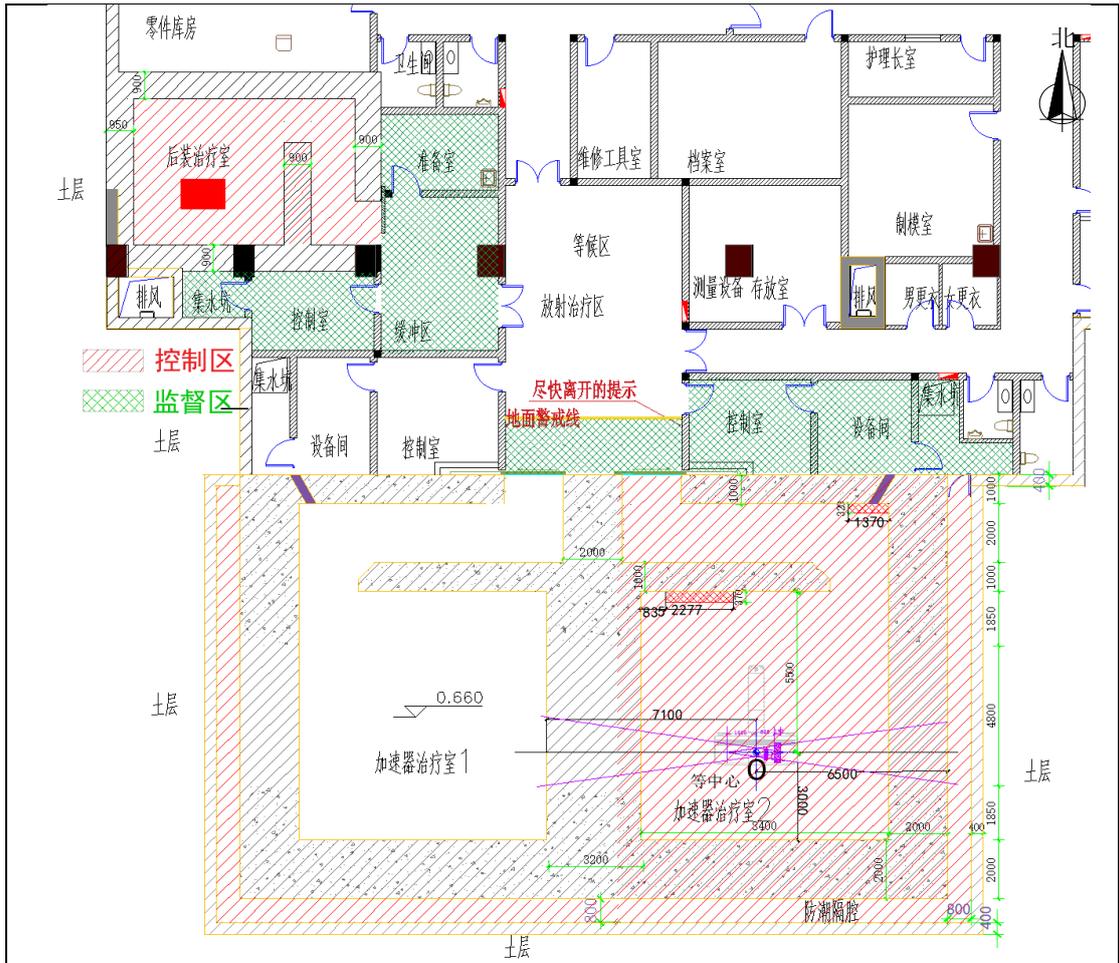


图 10-1 加速器治疗室 2 和后装治疗室平面布局

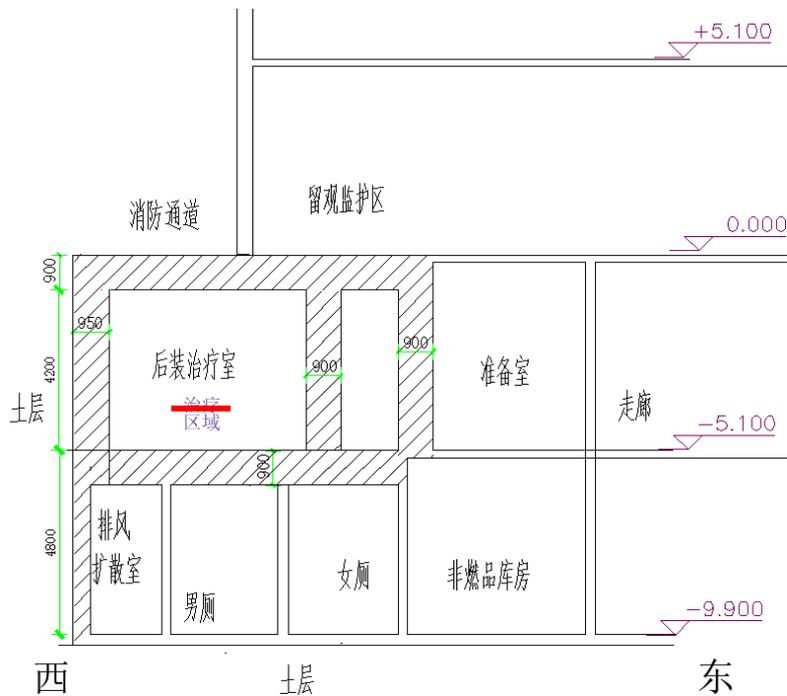


图 10-2 后装治疗室东西向剖面图

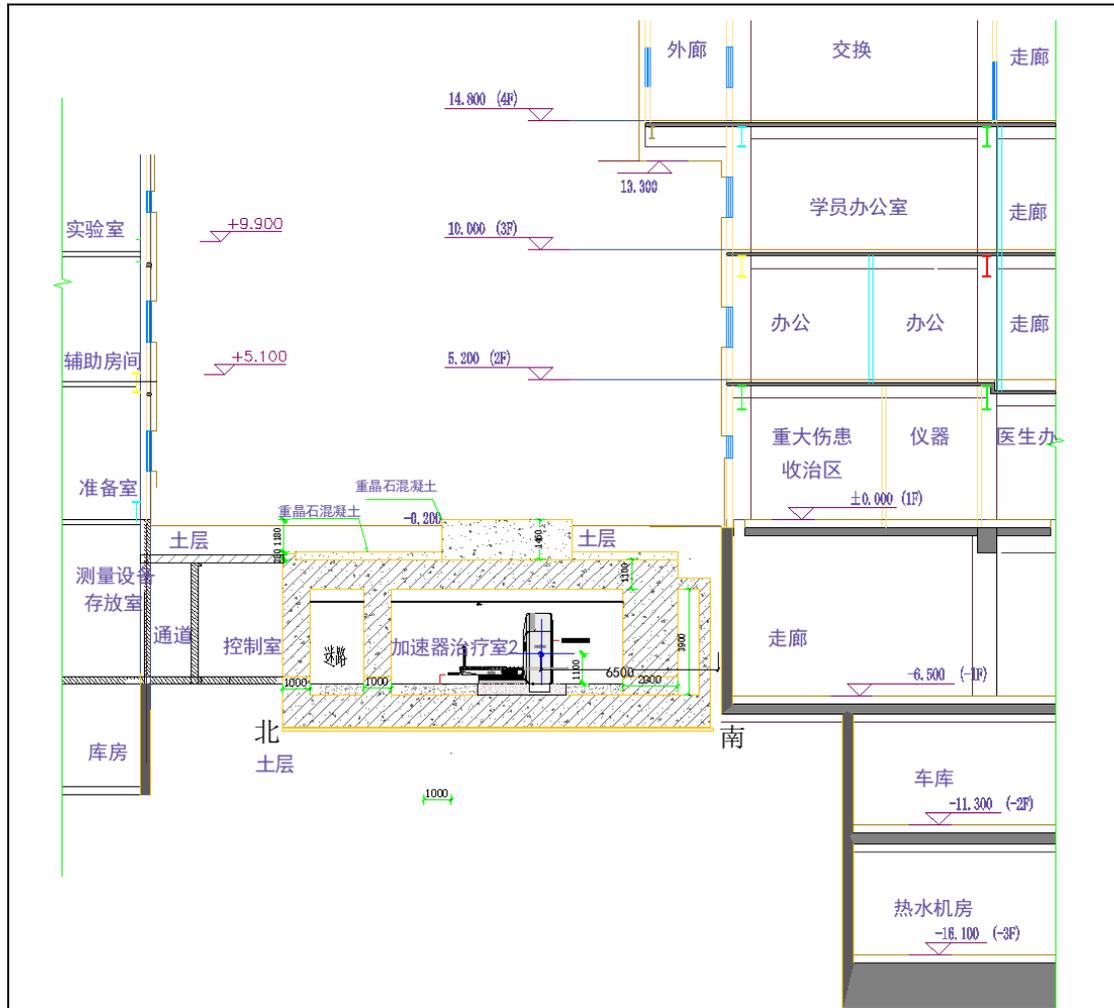


图 10-2 加速器治疗室 2 南北向剖面图

10.1.3 机房屏蔽设计

加速器治疗室 2 和后装治疗室屏蔽设计情况见表 10-1。

表 10-1 机房屏蔽设计情况一览表

序号	场所名称	屏蔽墙体方向	屏蔽材料及厚度	周边关系
1	加速器治疗室 2	东墙	200cm 砼+80cm 砼+土层	土层
		西墙	320cm 砼	加速器治疗室 1
		顶	主束区: 110cm 砼+146cm 重晶石砼 (宽度: 480cm)	院内道路
			非主束区: 110cm 砼+28cm 重晶石砼+98cm 土层	
		南墙	200cm 砼+80cm 砼+40cm 砼	二期医疗楼走廊
		北墙	迷路内墙: 100cm 砼 (局部 100cm 砼+37cm 混凝土砖); 迷路外墙: 110cm 砼 (局部 100cm 砼+32cm 混凝土砖)	控制室和设备间

		防护门	8mm 铅	缓冲区
2	后装治疗室	东墙	迷路内墙：90cm 砷；迷路外墙：90cm 砷	卫生间、准备间、缓冲区
		西墙	95cm 砷	土层
		南墙	90cm 砷	控制室
		北墙	90cm 砷	零件库房
		顶	90cm 砷	楼外道路和病房
		防护门	6mm 铅	缓冲区

说明：砷（混凝土）密度 2.35t/m³，混凝土砖密度 2.0t/m³，重晶石砷密度 3.2t/m³，铅板的密度为 11.4g/cm³，土的密度为 1.6g/cm³。

10.1.4 辐射安全与防护措施

10.1.4.1 加速器拟采取的辐射安全与防护措施

(1) 加速器治疗室 2（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) 加速器治疗室 2 辐射工作场所实行分区管理：加速器治疗室 2 和防潮隔腔为控制区，控制室和设备间为监督区，分区图见附图 10-1。

(3) 警示标志：在加速器治疗室 2 防护门外拟设立电离辐射警告标志和中文警示说明，安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

(4) 监控、对讲系统：加速器治疗室 2 内拟设置 4 监控探头，设备显示终端在控制室内，工作人员可通过此终端实时观察迷路、治疗室、治疗设备和患者的状况，也可以观察治疗室是否有人员滞留。拟配对讲系统，用于控制室内工作人员与机房内患者交流沟通。机房内麦克风拟安装于治疗室迷路内墙上，控制室内麦克风集成于控制台上。

(5) 固定式剂量报警仪：加速器治疗室 2 内拟安装有固定式辐射剂量监测仪，探头设置于机房内迷路墙位置，显示装置安装在控制室，用于监测机房内的辐射水平并帮助辐射工作人员判断设备的工作状态。

(6) 防夹功能：加速器治疗室 2 电动防护门拟设置防夹人功能，安装红外感应装置，运行过程中当有人员或物体经过红外感应区域时，机房门将自动停止动作。

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

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

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

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

(11) 通风系统：加速器治疗室 2 内拟安装通风换气系统。排风口与进风口拟对角设置，换气次数不低于 4 次/h。其中进风口拟设距地高度约为 3.0m；排风口拟设置距地约 30cm；进风管道和排风管道均拟由机房门上方采用“Z”方式穿出机房。加速器治疗室 2 与设备机房的线缆都采用“U”型方式穿过屏蔽墙。

(12) 拟增配置 2 台个人剂量报警仪。辐射工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪。

(13) 其他要求：加速器室北侧门外至地面警戒线区域，不设候诊椅，墙上拟设无关人员远离该区域、尽快离开的提示。加速器治疗室 2 安装应急照明装置，设火灾自动报警装置等。

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

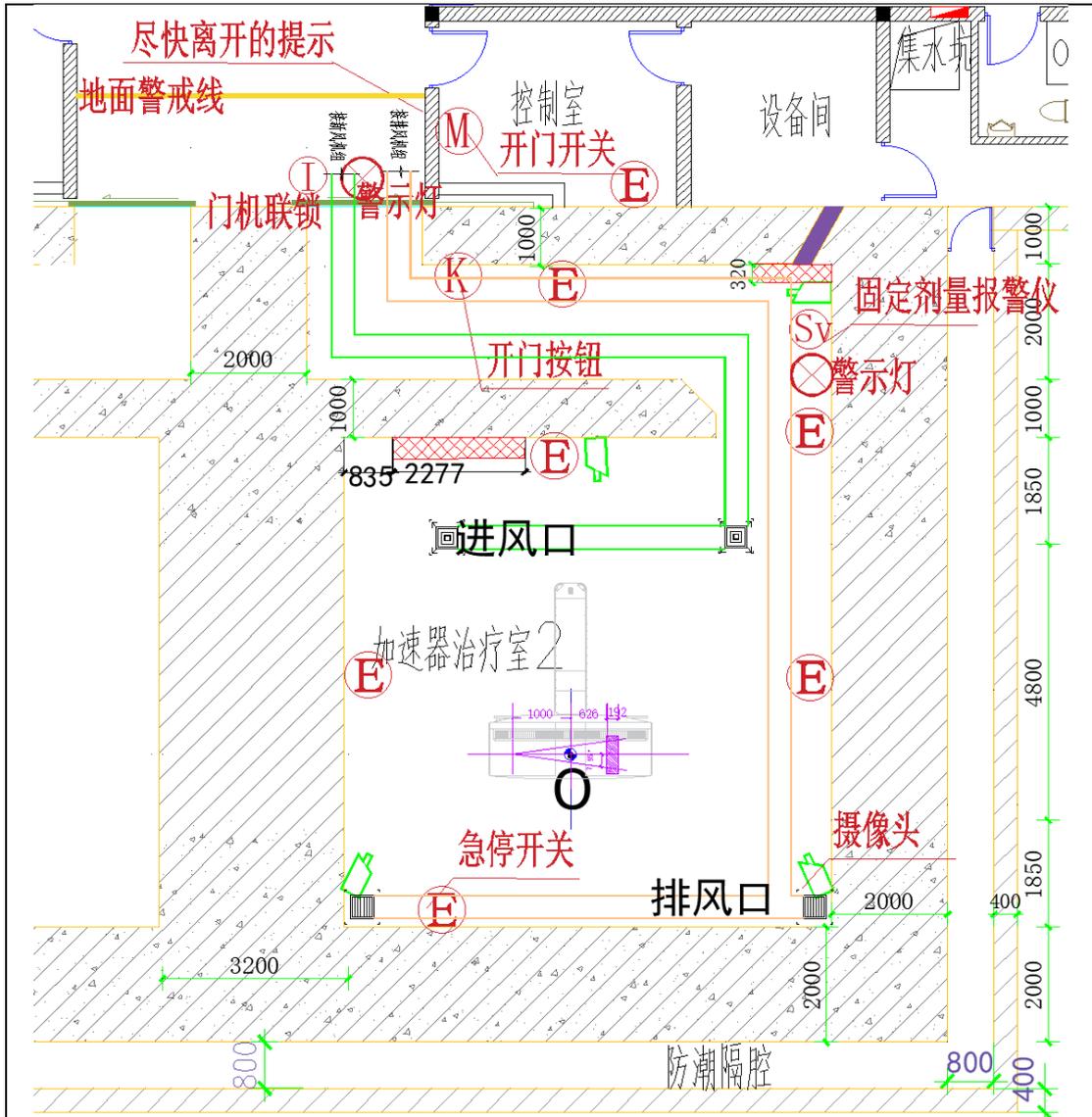


图 10-3 加速器场所联锁和安全措施布置图

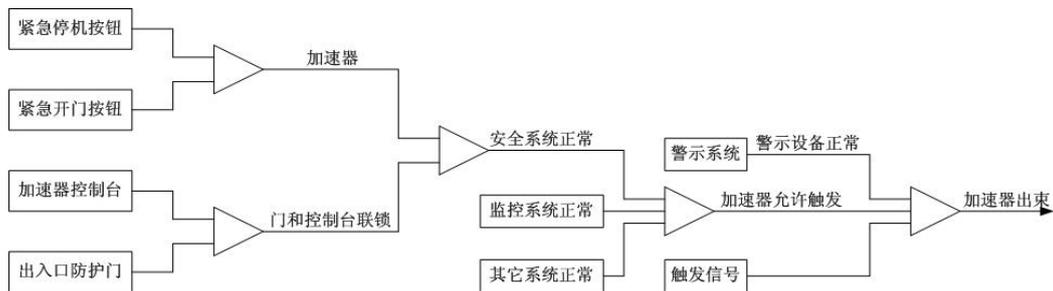


图 10-4 加速器治疗室 2 联锁系统逻辑图

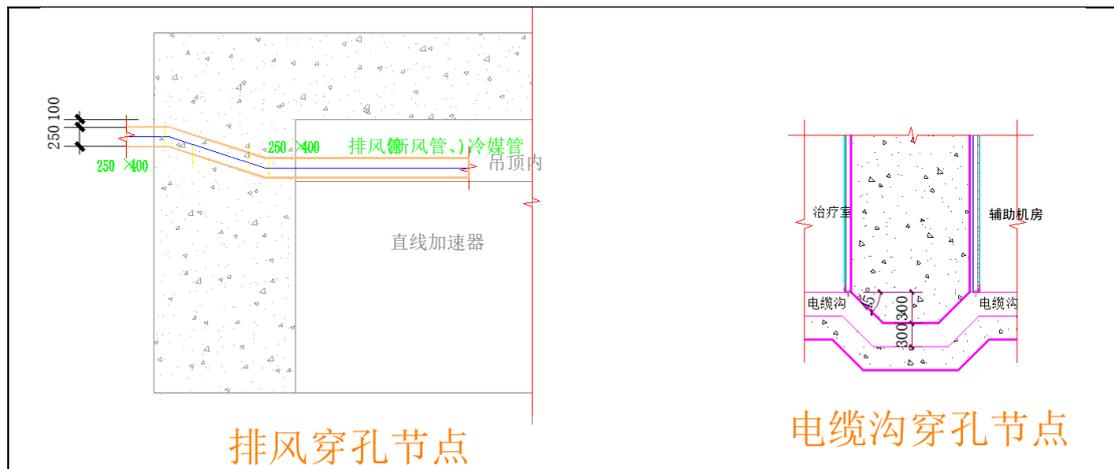


图 10-5 风管和电缆沟穿墙节点图

表 10-2 加速器治疗室 2 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 连锁	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	√	控制台设置1个
3*		视频监控与对讲系统	√	机房配置1套
4*		治疗室门与高压连锁	√	门机高压连锁
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	√	加速器治疗室 2 墙上至少 5 个紧急停机按钮
12*		治疗床有紧急停机按钮	√	2个
13	D 监测设备	治疗室内固定式剂量报警仪	√	1台，型号待定
14*		便携式辐射监测仪器仪表	√	利用现有1台
15*		个人剂量报警仪	√	2台，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/。

10.1.4.2 后装治疗室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) 后装机辐射工作场所实行分区管理：将后装治疗室划分为控制区，控制室为监督区，分区图见图 10-1。

(3) 在后装治疗室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（4 个）、迷道的墙壁上（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。后装治疗室拟设置 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北角，距地高度约为 3m；排风口拟设置于治疗室西南角，距地 30cm，呈对角线布

置。进风管道和排风管道拟由机房门上方采用“Z”方式穿出治疗室。后装治疗室与控制室的线缆采用水平 45° 斜穿过屏蔽墙（穿线孔直接约 10cm，距地面约 15cm）。

（12）治疗室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，当发生卡源或源脱落时能及时给出报警，同时防止病人将源带出治疗室。

（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》（GA1002-2012）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 10-6 所示，联锁和安全措施等布置见图 10-7 所示，排风、送风管道和电缆穿墙图见图 10-8。后装治疗工作场所安全与防护设施设计要求见表 10-3。

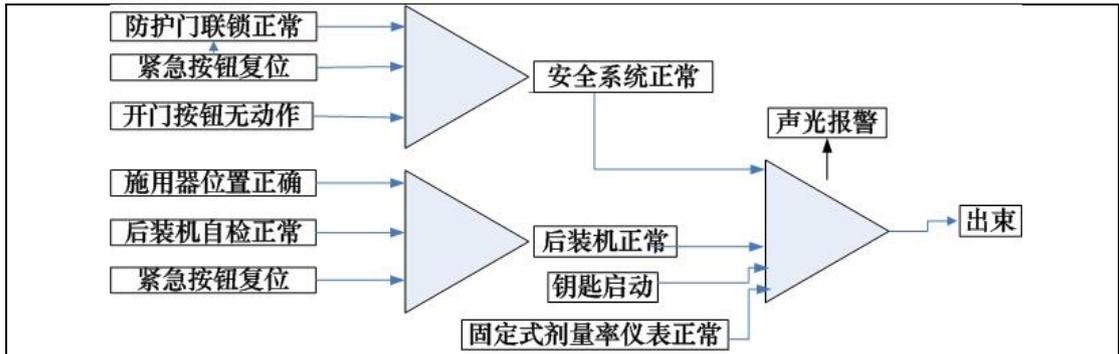


图 10-6 后装机安全联锁和警示系统逻辑图

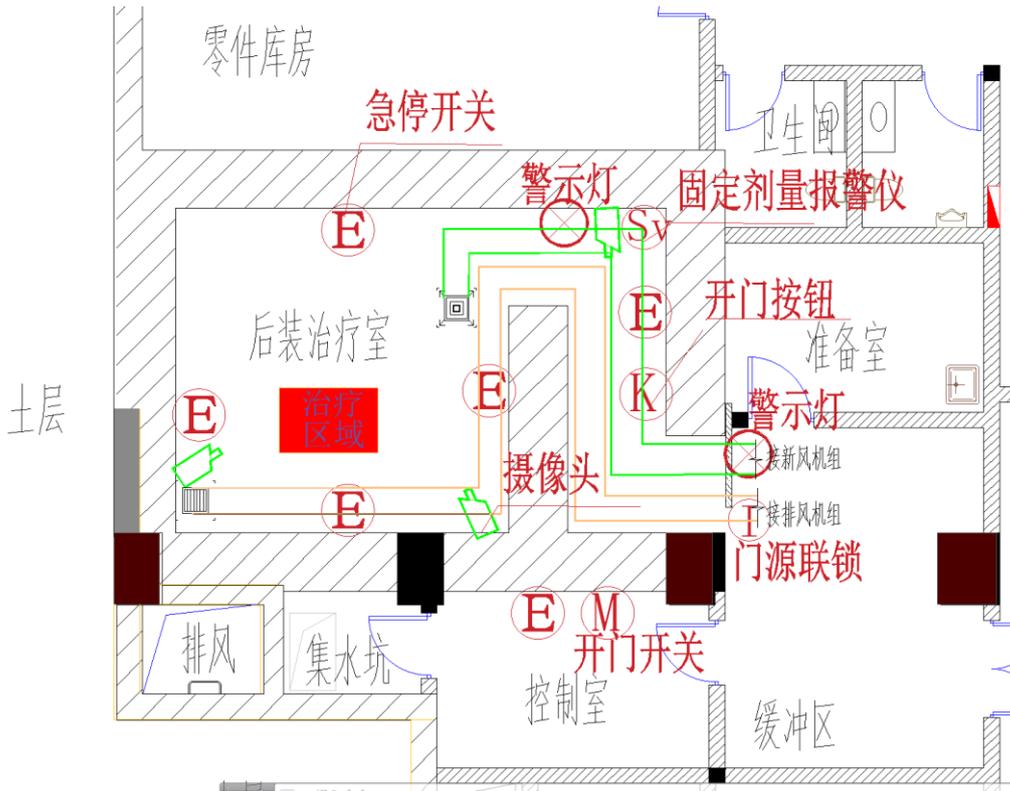
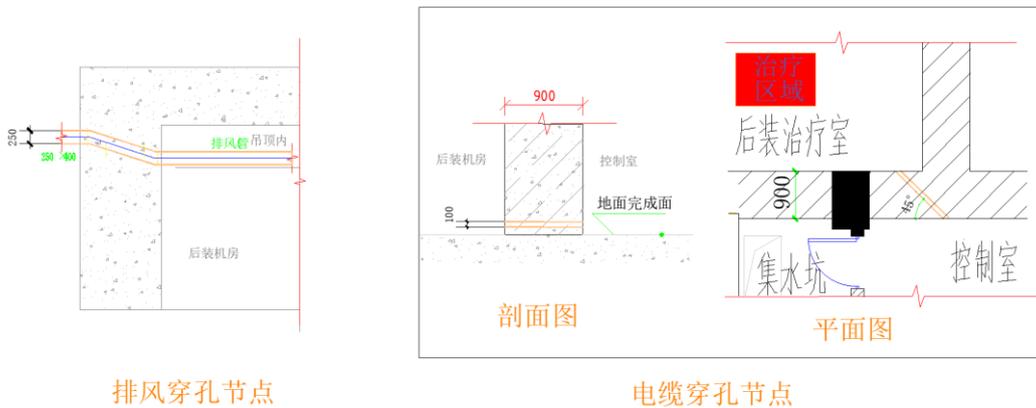


图 10-7 后装治疗室联锁和安全措施布置图



排风穿孔节点

电缆穿孔节点

图 10-8 后装治疗室排风管道、电缆穿墙图

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	√	设有迷道
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	√	拟配备张贴流程图
24	C 放射源贮 存	后装源暂存场所	×	不设置暂存场所
25		双人双“锁”	×	
26		防盗门窗	×	

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。

10.2 法规符合情况

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

10.2.1 对照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求的满足情况

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

表 10-3 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	应具备条件	落实情况	符合情况
1	使用放射性同位素、射线装置的单位, 应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构, 或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	成立了由党委委员 (医技部部长) 为主席的辐射防护和安全管理委员会, 全面负责医院的辐射防护监督和管理, 下设专职人员具体处理各项事务, 各相关部门内部职责明确, 本项目都是已有科室改建项目, 相关部门负责人不变。	符合
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院规定所有辐射工作人员, 在上岗前将参加辐射安全与防护考核。 北京清华长庚医院拟为本项目配置至少新增 3 名辐射工作人员, 在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源贮存库或设备。	本项目使用放射源场所将落实公安部门安保措施。	落实后符合
4	放射性同位素与射线装置, 应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目治疗机房门口显著位置处设置电离辐射警告标识和中文警示说明, 在机房门口设置工作状态指示灯。设置门机联锁、门源联锁系统, 紧急停止按钮, 紧急回源系统等。	落实后符合
5	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器, 包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	拟为本项目拟新配 4 台个人剂量报警仪、2 套固定式剂量报警仪, 能够满足现在工作的需要。	落实后符合
6	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、	拟完善规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、	落实后符合

	设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	台帐管理制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、放射性事故应急预案等。	合
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目正常运行时无放射性“三废”产生。退役放射源将返回生产厂家。	/
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	落实后符合

10.2.2 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的满足情况

《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求的对照检查如表 10-4 所示。

表 10-4 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表

序号	安全和防护管理办法要求	落实情况	是否符合要求
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全连锁、报警装置或者工作信号。	本项目机房门口显著位置处设置电离辐射警告标识和中文警示说明，在机房门口设置工作状态指示灯。设置门机连锁、门源连锁系统，紧急停止按钮，紧急回源系统等。	落实后符合
2	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、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。	医院将委托有辐射水平监测资质单位每年对辐射工作场所周围的辐射水平进行一次监测。医院将每半年使用辐射剂量仪，对工作场所内和控制区周边环境进行自行监测，做好监测记录并妥善保存监测报告。	落实后符合
3	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年1月31日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	医院在每年1月31日前向生态环境部门提交年度评估报告。	落实后符合

4	<p>第十七条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。</p>	<p>医院规定所有辐射工作人员，在上岗前将参加辐射安全与防护考核。</p> <p>北京清华长庚医院拟为本项目配置至少新增3名辐射工作人员，在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。</p>	落实后符合
5	<p>第二十三条</p> <p>生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，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。</p>	<p>将为所有从事放射性工作的人员配备个人剂量计，并委托有资质单位进行个人剂量监测（每季度1次）。</p>	落实后符合
6	<p>第二十四条</p> <p>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。</p>	<p>拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。</p>	落实后符合

10.3 三废的治理

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）指出，能量大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽以及感生放射性问题。本项目使用的加速器 X 射线最大能量为 6MV，不考虑放射性活化气体和中子的影响。此外，加速器产生的 X 射线与空气作用会产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，经加速器机房内的排风系统，排放到大气环境中。

加速器正常运行时，无废靶产生。如果冷却水循环系统出现故障，可能造成靶体散热不畅导致靶被打穿的情况，从而产生废靶。本项目加速器 X 射线最大能量仅有 6MV，不考虑废靶活化的影响，故不会有放射性废物产生。

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

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。

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

1、声环境影响分析

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

2、环境空气影响分析

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

3、水环境影响分析

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

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

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

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。对于本项目而言，涉及到屏蔽体的浇筑、建筑装饰、设备安装等，在项目的建设过程

中，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响，故不再进行详细评价。

11.2 运行期环境影响

11.2.1 参数和使用规划

(1) 机房所在位置

加速器治疗室 2 和后装治疗室位于放射治疗中心的南侧，毗邻关系见表 11-1 所示，机房布局见图 3 所示。

表 11-1 治疗室毗邻关系表

场所	东侧	南侧	西侧	北侧	室顶	楼下
加速器治疗室 2	土层	二期医疗楼走廊	加速器治疗室 1	控制室、设备间	绿地和消防通道	土层
后装治疗室	准备室、卫生间	控制室	土层	零件库房	消防通道和病房	排风扩散室和厕所

(2) 设备参数

加速器治疗室 2 和后装治疗室拟使用设备的技术指标如表 11-2 和表 11-3 所示。

表 11-2 拟使用加速器技术指标一览表

场所	型号	X 线能量和最大输出剂量率	SAD	照射野	机架旋转范围	泄漏率
加速器治疗室 2	待定	6MV FFF (仅此一档) 8Gy/min	100cm	最大照射野 28cm×28cm	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 0.35MeV。	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：加速器治疗出束时间约为 0.5~2min/人次（平均为 1.5min），日最大出束时间为 3h，年总平均出束时间为 750h/a。

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

3) 后装治疗机出束时间：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 (3.33h/d)，年总照

射时间 333h/a。

4) 后装机使用因子：各个方向治疗照射的使用因子取 $U=1$ ，以此保守估算周围受照剂量。

11.2.2 辐射环境影响评价方法

(1) 机房剂量率和年附加剂量：参照 NCRP151、GBZ/T201.2-2011 进行剂量率估算。具体做法：依据其屏蔽设计估算模式，以等中心点（或 1m 处）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。

NCRP151 报告指出，对于 6MVX 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) 不同关注点应考虑的辐射

1) 加速器机房

主束区：考虑有用束的直接照射，忽略进入该区的泄漏辐射和散射辐射；

与主束区直接相连的次屏蔽区：考虑泄漏辐射和主射线束水平方向的散射辐射；

其他区：仅考虑泄漏辐射。

入口门：主要考虑泄漏辐射、泄漏辐射的散射辐射和患者散射辐射。

治疗装置带有 150kV 的 X 射线定位引导设备，影像检查的受检者剂量约为 0.5~1.5cGy/人，对周围环境辐射影响远小于 6MV X 射线，因此，加速器治疗室 2 只考虑 6MV X 射线的屏蔽问题。

2) 后装治疗室

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 加速器治疗室 2 安全分析

(1) 主屏蔽墙宽度安全性分析：

本项目加速器机架内辐射头对侧配置有同步旋转自屏蔽体，靶点至自屏蔽体内、外表面距离分别为 162.6cm 和 181.8cm，初始辐射最大夹角为 15.9° ，最大照射野为 28cm×28cm，可计算出初始辐射投影到自屏蔽体内、外表面的最大

宽度分别为 45cm 和 51cm，自屏蔽体宽度为 67cm，覆盖主束后内、外表面两侧仍余留 11cm 和 8cm 的宽度，能满足辐射屏蔽要求，由于主射线的小角度散射辐射能量仍然较高，故在防护墙的屏蔽设计中仍应注意主射线照射到自屏蔽体时旁侧小角度散射辐射的防护问题。

(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

$$H = H_0 \times B_{pri}/R^2 \quad (11-1)$$

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

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

式中： H_0 —距靶 1m 处的最大剂量率，(6MV 为 $4.8 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)；，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；

Γ —放射源的周围剂量当量率常数（或称 Γ 常数），见表 11-4；

B_{pri} —主屏蔽墙厚度（含自屏蔽体）对应的衰减因子；

R —参考点至靶点的距离；

t —屏蔽材料的厚度；

TVL_e 、 TVL_l —平衡什值层和第一什值层厚度，单位 cm；详见表 11-5。

表 11-4 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	周围剂量当量率常数 $\Gamma \mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	TVL,cm	
				铅	混凝土
Ir-192	74.0d	0.37	0.17	1.6	15.2

注：表中数据来源于 IAEA SSG-11,2011 和 IAEA No.47 的表 20 和表 22。

表 11-5 加速器射线束在砷、铅中的 TVL 值

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

2) 次屏蔽墙的散射辐射和泄漏辐射利用下列公式进行屏蔽估算:

$$H_{PS} = \frac{\alpha H_0 B_{ps} \frac{F}{400}}{d_{sca}^2 \times d_{sec}^2} \quad (11-4)$$

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

式中: H_{ps} —距散射体 d_{sec} m 处的辐射剂量率;

B_{ps} —次屏蔽墙厚度对应的衰减因子;

α —散射体表对初级辐射束的散射比 (散射系数);

F —被照射物体散射处照射野面积, 取 784cm^2 (28×28);

d_{sca} —靶至被照射物体的距离, 取 1.0m;

d_{sec} —等中心点至参考点的距离, m;

TVL_{sca} —什值层厚度, cm, 详见表 11-5;

H_0 、 t 同公式 (11-1 和 11-2)。

$$H_L = \frac{H_0 B_L}{1000 d_L^2} \quad (11-6)$$

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

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;

d_L —参考点至靶点的距离, m;

TVL_e 、 TVL_l —平衡什值层和第一什值层厚度, 单位 cm; 详见表 11-4。

H_0 、 t 同公式 (11-1 和 11-2)。

11.2.4.1 加速器治疗室 2 机房外剂量率估算

(1) 加速器治疗室 2 剂量率估算结果

加速器治疗室 2 外关注点剂量率估算以 6MV (FFF: 8Gy/min) 模式进行估算, 结果见表 11-6, 平剖面图及剂量评估点见图 11-1。

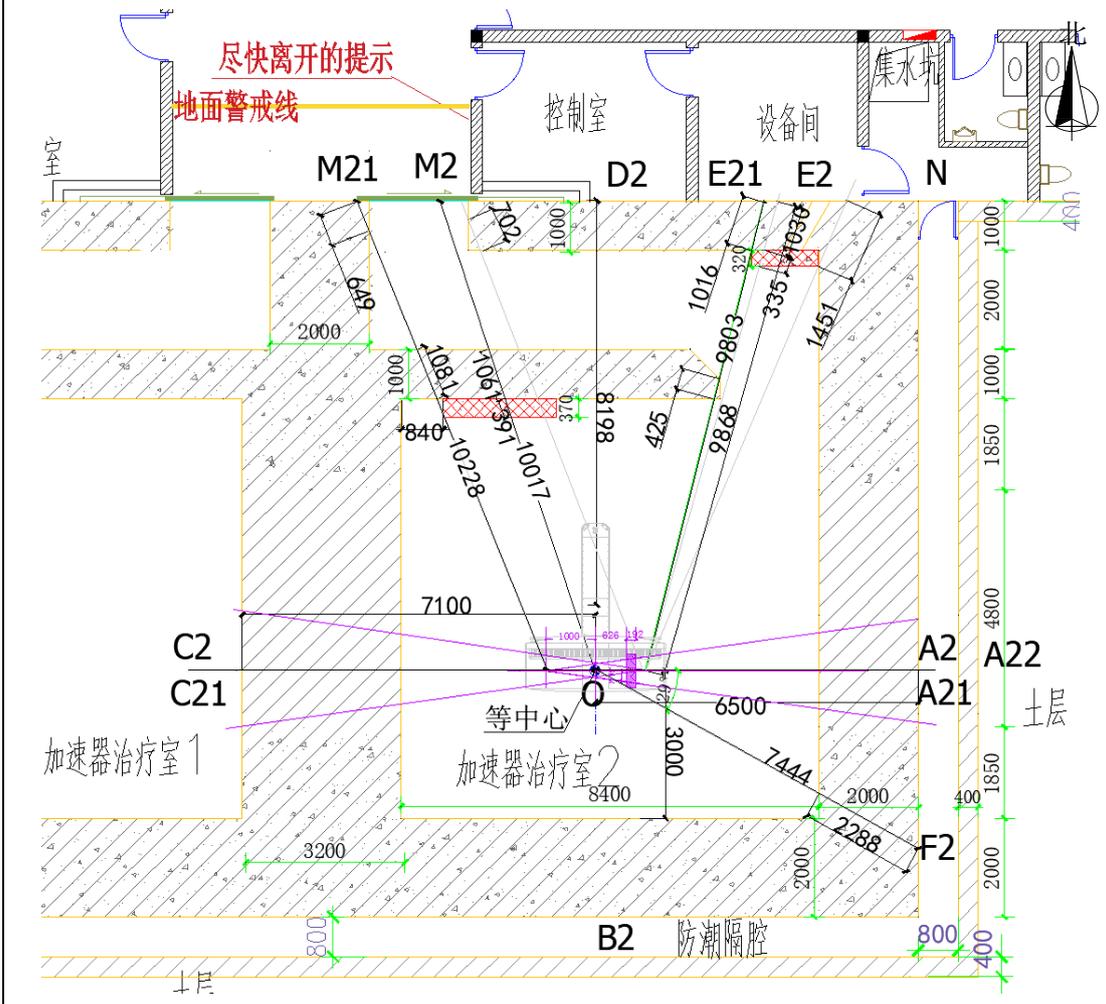
表 11-6 加速器治疗室 2 外关注点剂量率估算结果

位置	距离 (m)	射线束	辐射屏蔽		剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		位置描述
			厚度, cm	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A2	7.8	主束	200 (砼)	8.70E-7	7.89E+03	6.86E-3	东侧防潮隔腔 (控制区)
A21	5.8	漏射	200 (砼)	1.89E-7	1.43E+04	2.69E-3	
A22	9.0	主束	240 (砼)	5.34E-8	5.93E+03	3.16E-4	东侧土层
B2	5.3	漏射	200 (砼)	1.89E-7	1.71E+04	3.23E-3	南侧防潮隔腔 (控制区)
B21	7.3	漏射	280 (砼)	3.29E-10	9.01E+03	2.96E-6	南侧二期走廊
C2	8.4	主束	320 (砼)	2.01E-10	6.80E+03	1.37E-6	西侧加速器治疗室 1
C21	6.4	漏射	320 (砼)	1.37E-11	1.17E+04	1.61E-7	
D2	8.5	漏射	200 (砼)	1.89E-7	6.64E+03	1.25E-3	北侧控制室
E2	10.2	漏射	103 (砼) +33 (混凝土砖)	4.52E-5	4.61E+03	2.09E-1	北侧设备间
E21	10.1	漏射	144 (砼)	1.61E-5	4.71E+03	7.58E-2	北侧设备间
F2*	7.7	漏射	229 (砼)	1.89E-8	8.10E+03	1.53E-4	东侧防潮隔腔 (控制区)
		散射		1.56E-9	4.40E+04	6.84E-5	
M2	10.3	漏射	106 (砼) +39 (混凝土砖) +0.8 (铅板)	1.73E-5	4.52E+03	7.84E-2	防护门
M21	10.5	漏射	173 (砼)	1.61E-6	4.35E+03	7.01E-3	防护门
H2	6.7	主束	110 (砼) +146 (硫酸钡)	4.33E-10	1.07E+04	4.63E-6	顶上院内绿化区、消防通道
H21	4.7	漏射	117 (砼) +30 (硫酸钡) +111 (土)	1.37E-8	2.17E+04	2.99E-4	
I2*	6.3	漏射	125 (砼) +32 (硫酸钡) +120 (土)	3.56E-9	1.21E+04	4.31E-5	
		散射		2.42E-10	6.57E+04	1.59E-5	
G2	10.7	漏射	160 (砼) +42 (硫酸钡) +139 (土)	2.59E-11	4.19E+03	1.09E-7	重大伤患收治区

G21*	14.2	漏射	129 (砼) +34 (硫酸钡) +113 (土)	3.04E-9	2.38E+03	7.23E-6	办公区
		散射		2.03E-10	1.29E+04	2.62E-6	
J2	16.9	漏射	311 (砼) +68 (硫酸钡) +248 (土)	2.81E-20	1.68E+03	4.72E-17	准备室
J21	19.5	漏射	181 (砼) +46 (硫酸钡) +161 (土)	1.00E-12	1.26E+03	1.26E-9	辅助房间

注：(1) 普通混凝土(砼)的密度取 2.35t/m³；硫酸钡密度取 3.2t/m³；土的密度取 1.6t/m³；计算屏蔽衰减因子时将土折算成等效砼厚度；(2) 6MVX 射线 30° 方向散射系数为 2.77×10⁻³；(3) 表中防护门处仅考虑了机头的泄漏辐射；(4) F2、I2、G21 点位屏蔽厚度与距离都取散射和漏射较小值进行评价，估算点都是距离屏蔽体外表面 30cm 处。

根据上表 11-4 中加速器治疗室 2 外关注点的剂量估算结果可知，机房外关注点人员可达处的剂量率最大值为 2.09E-1μGy/h（北侧设备间），满足 2.5μSv/h 要求。



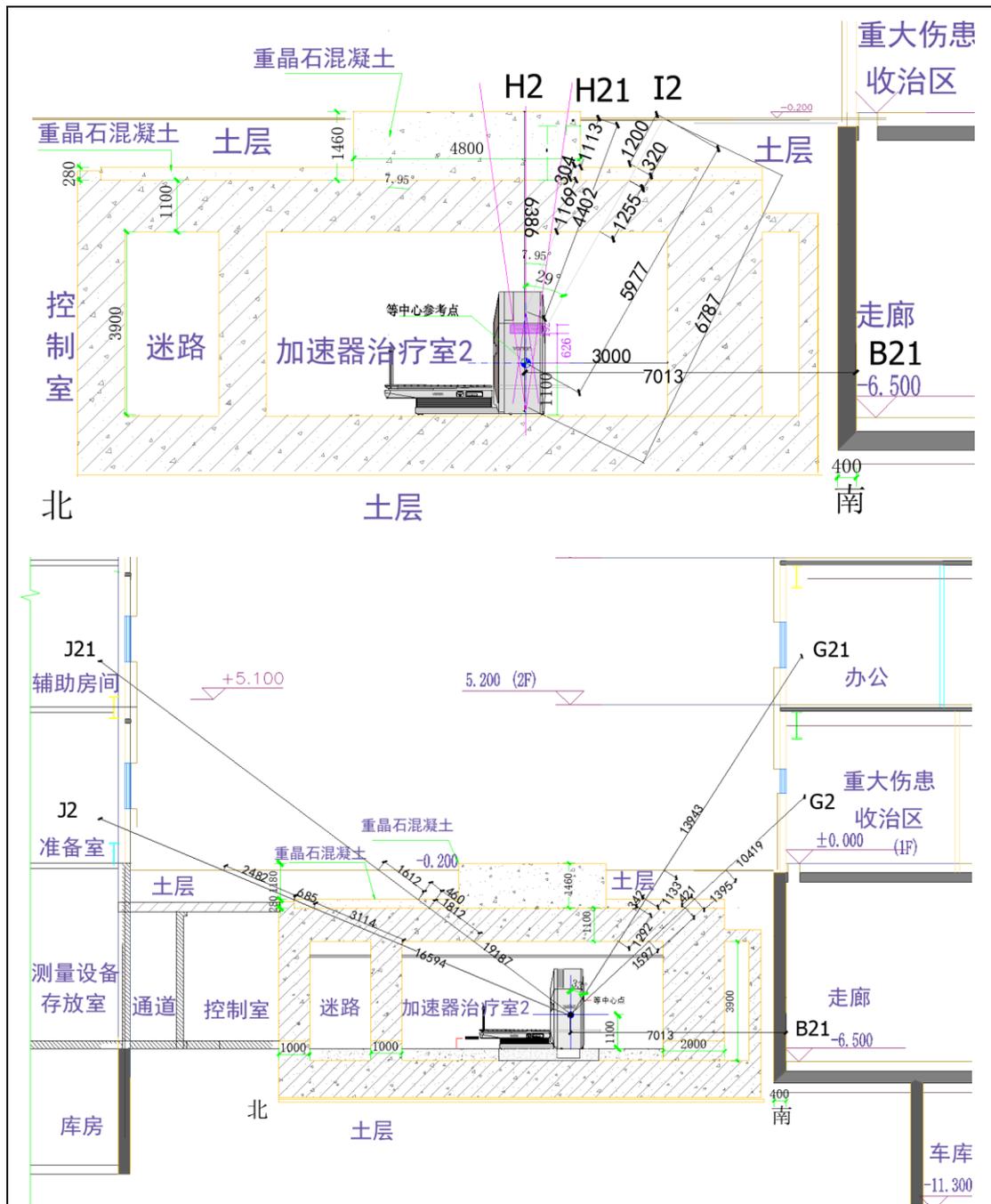


图 11-1 加速器治疗室 2 平剖面图及剂量评估点

(2) 加速器治疗室 2 防护门外的散射辐射剂量估算

根据 GBZT 201.2-2011, 对于 6MV 加速器机房, 防护门外不用考虑中子的影响。由于主束墙散射至少需要经过 3 次散射后才能到达门口, 且经过自屏蔽体衰减, 对门口的辐射影响较小, 本项目主要就考虑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。具体如下:

1) 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 (H_{Ls}) 剂量率估算

$$H_{LS} = \frac{L_r H_0 a_{LS} A_1}{d_{LS}^2 \times d_{zz}^2} \times 10^{-t/TVL} \quad (11-8)$$

式中： L_r —距靶 1m 处装置头泄漏辐射率，取 0.1%；

H_0 —距靶 1m 处的辐射剂量率为 $4.8 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

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

A_1 —从门入口处可见墙的面积， $0.58 \times 3.9 \approx 2.26 \text{m}^2$ ；

d_{LS} —靶至 A1 墙迷路中心线的距离，7.23m；

d_{zz} —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离，10.60m（门外 30cm 处）；

t —屏蔽厚度；

TVL —什值层厚度，cm。

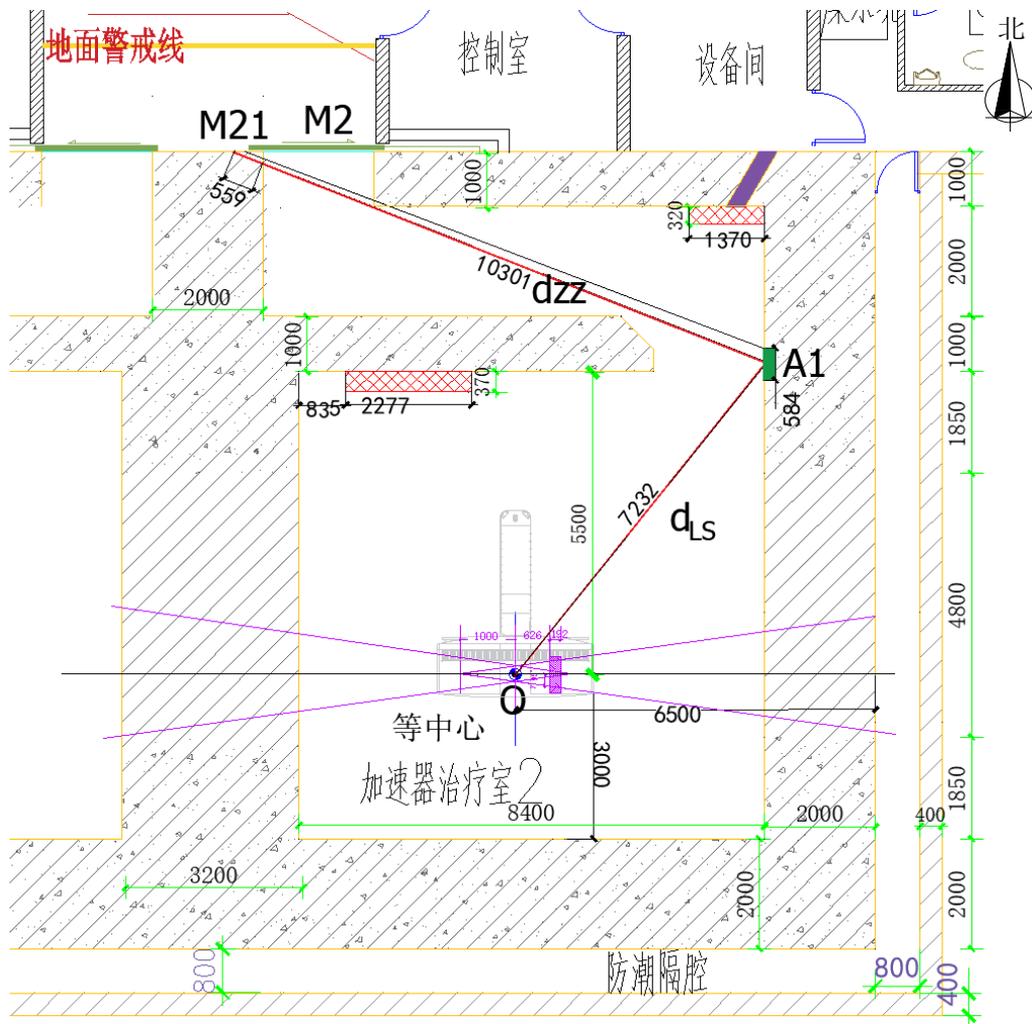


图 11-2 机头漏射线经墙面散射平面图

2) 散射辐射的二次散射 (H_{PS}) 剂量率估算

$$H_{PS} = \frac{a_{(0)} H_0 \left(\frac{F}{400}\right) (a_{PS} A_1)}{d_{sca}^2 \times d_{sec}^2 \times d_{zz}^2} \times 10^{-t/TVL} \quad (11-9)$$

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

H_0 —等中心处的辐射剂量率为 $4.8 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

F —被照射物体等中心处照射野面积，取 784cm^2 （ $28 \text{cm} \times 28 \text{cm}$ ）；

α_{ps} —西墙对散射辐射的反散射系数（取值查 NCRP REPORT 151 TableB.8b，散射能量为 0.5MeV ，模体有用束散射辐射的入射角为 45° ）， 2.2×10^{-2} ；

A_1 —从门入口处可见墙的面积， $0.58 \times 3.9 \approx 2.26 \text{m}^2$ ；

d_{sca} —靶至被照射物体的距离，取 1.0m ；

d_{sec} —等中心点到 A_1 墙与迷路中心线交点的距离， 7.23m ；

d_{zz} —从 A_1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离， 10.60m ；

t —屏蔽厚度；

TVL —什值层厚度， cm 。

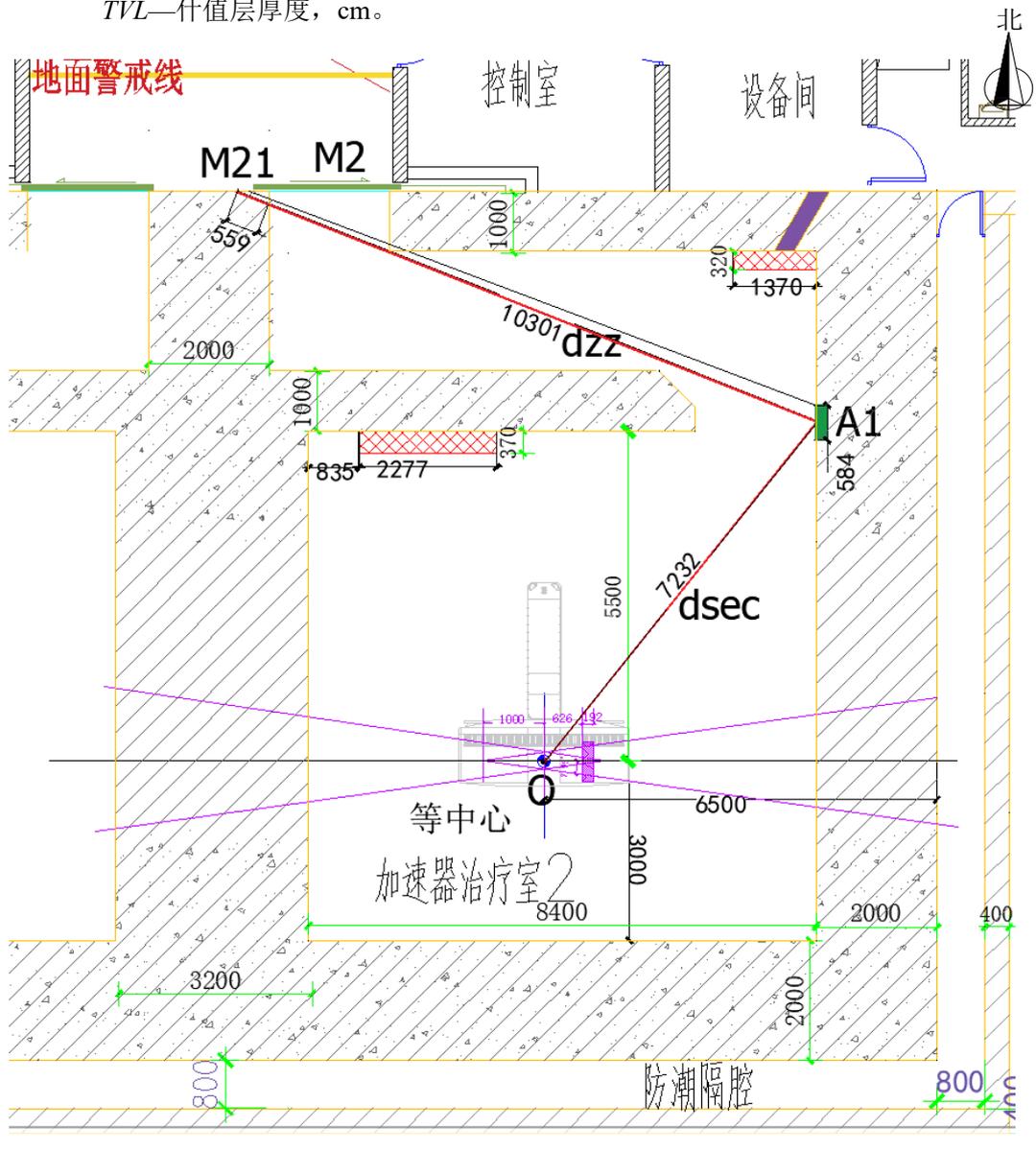


图 11-3 主束通过患者体表散射线经墙面散射平面图

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 11-6 的估算结果。

5) 加速器治疗室2防护门附近X射线贯穿辐射分析

根据公式11-8~公式11-10和图11-2~图11-3中的相关参数，加速器运行时机房迷道入口处X射线辐射剂量率的估算结果汇总列于表11-7中。可见，机房防护门附近X射线辐射主要来自散射线经迷道内口墙壁的二次散射辐射。估算出加速器治疗室2防护门外散射辐射+泄漏辐射的总剂量率约为1.01E-2 μ Gy/h。

表11-7 加速器治疗室2迷路入口处剂量率的计算参数及结果

参数		加速器治疗室2
H_{LS}	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	4.8E+08
	L_r	0.001
	α_{LS}	7.3E-3
	A_I	2.26
	$d_{LS}(\text{m})$	7.23
	$d_{zz}(\text{m})$	10.60
	$t(\text{cm})$	55.9
	$TVL_{\frac{R}{2}}(\text{cm})$	18
	$H_{LS}(\mu\text{Gy/h})$	1.06E-3
H_{ps}	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	4.8E+08
	$\alpha(\theta)$	1.39E-3
	$F(\text{cm}^2)$	784
	α_{ps}	2.2E-2
	A_I	2.26
	d_{sca}	1.0
	d_{sec}	7.23
	d_{zz}	10.60
	$t(\text{cm})$	55.9

	$TVL_{\text{砼}}$ (cm)	15
	H_{ps} ($\mu\text{Gy/h}$)	2.08E-3
H_{LT}	H_{LT} ($\mu\text{Gy/h}$)	7.01E-3
$H_{Tot-shield}$		1.01E-2

备注： TVL 值是查 NCRP151 报告附录 A 中 Fig.A.1a 可得；这两种散射如果经过铅门衰减的路由至少经过 15mmPb+30cm 砼有效厚度的衰减，辐射影响远小于以上估算结果。

(3) 防潮隔腔门外剂量率水平

根据表 11-6 中估算结果，防潮隔腔内最大附加剂量率为 $6.86\text{E-}3\mu\text{Gy/h}$ ，经过散射后到门口 N 处的剂量水平考虑散射因子和距离的衰减后，至少降低三个数量级，因此防潮隔腔门口的附加剂量水平可以忽略。

(4) 加速器治疗室 2 周围剂量率水平

根据加速器治疗室 2 墙外关注点的剂量估算结果可知，机房外人员可达关注点的最大辐射剂量率为 $2.09\text{E-}1\mu\text{Gy/h}$ （北侧设备间），防护门外剂量率为 $7.84\text{E-}2\mu\text{Gy/h}$ ，满足本报告设定的剂量率控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

评价范围周围的影响：根据以上估算，加速器治疗室 2 上方的最大附加剂量率为 $2.09\text{E-}1\mu\text{Sv/h}$ ，经过距离、空气等的衰减影响，附加剂量率至少降低两个数量级，对周围的辐射影响可以忽略不计。

11.2.4.2 后装治疗室机房外剂量率估算

(1) 后装治疗室剂量率估算结果

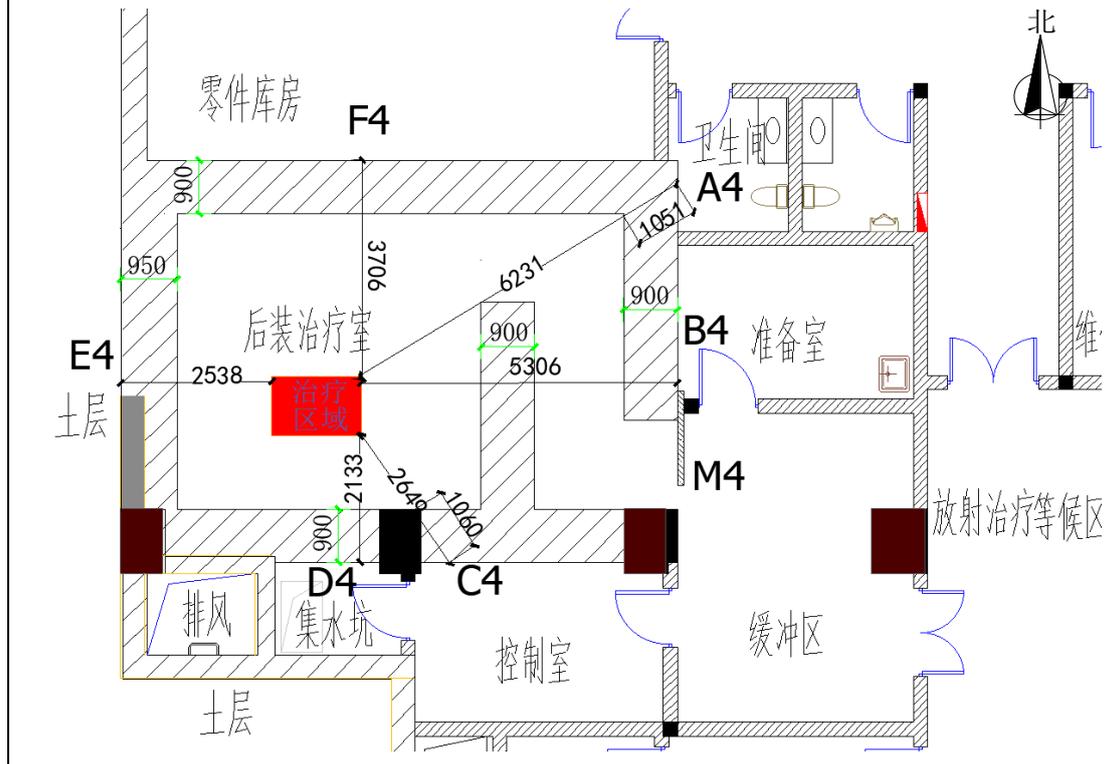
后装治疗室外关注点剂量率估算结果见表 11-8，治疗室平剖面图及剂量评估点见图 11-4。

表 11-8 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 ($\mu\text{Sv/h}$)		位置描述
		屏蔽材质及厚度	衰减因子	屏蔽前	屏蔽后	
A4	6.5	105cm 砼	$1.24\text{E-}7$	$1.49\text{E+}03$	$1.84\text{E-}4$	东墙楼外卫生间
B4	5.6	90cm 砼	$1.20\text{E-}6$	$2.01\text{E+}03$	$2.41\text{E-}3$	东墙楼外准备室
M4	5.6	90cm 砼 +6mmPb	$5.06\text{E-}7$	$2.01\text{E+}03$	$1.01\text{E-}3$	防护门入口
C4	2.9	106cm 砼	$1.06\text{E-}7$	$7.48\text{E+}03$	$7.95\text{E-}4$	南墙楼外控制室
D4	2.4	90cm 砼	$1.20\text{E-}6$	$1.09\text{E+}04$	$1.31\text{E-}2$	南墙楼外集水间
E4	2.8	95cm 砼	$5.62\text{E-}7$	$8.02\text{E+}03$	$4.51\text{E-}3$	西墙外土层

F4	4.0	90cm 砼	1.20E-6	3.93E+03	4.71E-3	北墙外库房
H4	4.3	90cm 砼	1.20E-6	3.40E+03	4.08E-3	屋面室外
I4	4.4	91.5cm 砼	9.56E-7	3.25E+03	3.10E-3	屋面留观监护区
G4	2.2	90cm 砼	1.20E-6	1.30E+04	1.56E-2	楼下卫生间
G41	4.5	90cm 砼	1.20E-6	3.11E+03	3.73E-3	楼下卫生间

注：距后装源（10Ci）1m 的剂量率为 $6.29E+4\mu\text{Sv/h}$ 。



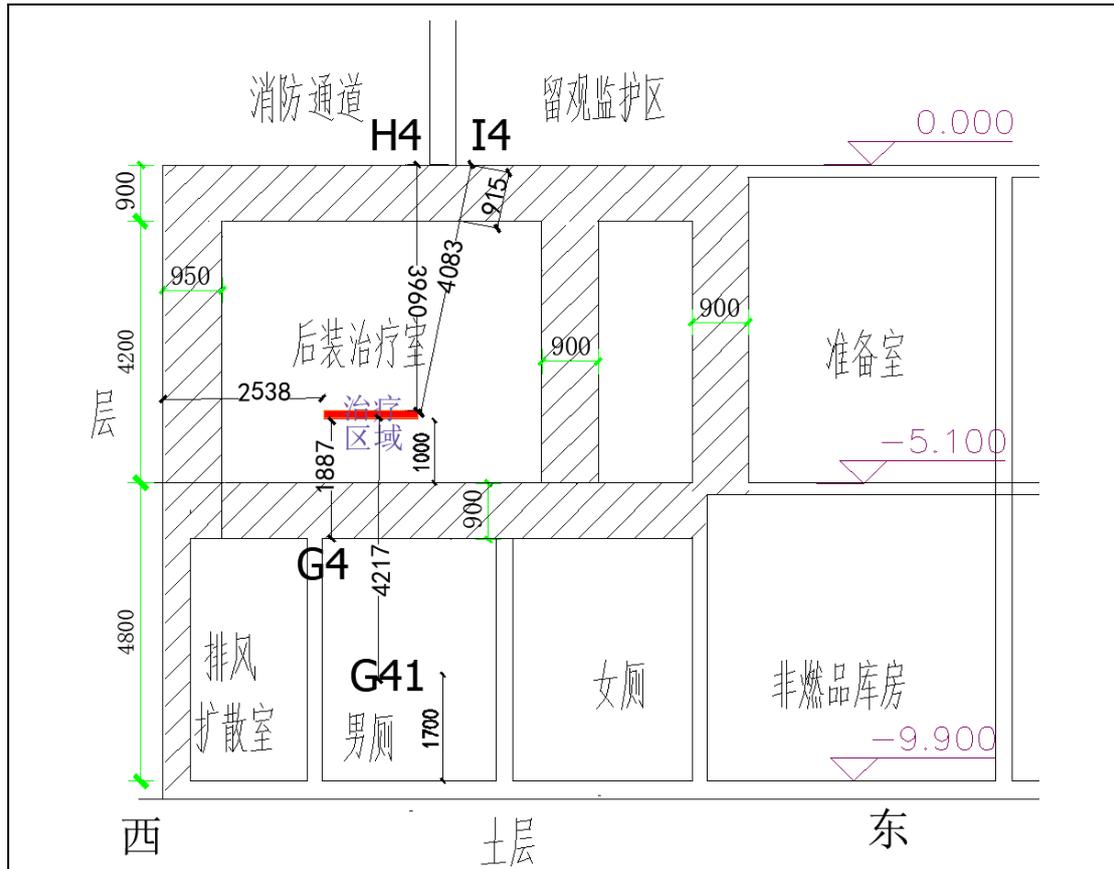


图 11-4 后装治疗室平剖面图及剂量评估点

(2) 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(11-10)进行估算。

$$H_S = \frac{A \times \Gamma \times S_1 \times \alpha_1}{R_1^2 \times R_2^2} \quad (11-10)$$

式中：A—放射源活度，本项目为 3.7E+5MBq；

Γ —1m 处放射源的周围剂量当量率常数，对 Ir-192 为 0.17 μ Sv/h·MBq；

S_1 — γ 射线在迷道内口墙的散射面积，取 3.61m² (86cm×420cm)；

α_1 —治疗束一次散射的散射系数，3.45E-2 (系数取值由 NCRP REPORT 151 TableB.8b,0.25MeV, 45° 入射, 30° 散射)；

R_1 —放射源到散射面中心点的距离，取 3.56m；

R_2 —为迷道内口散射点到防护门外 30cm 处的距离，取 6.44m。

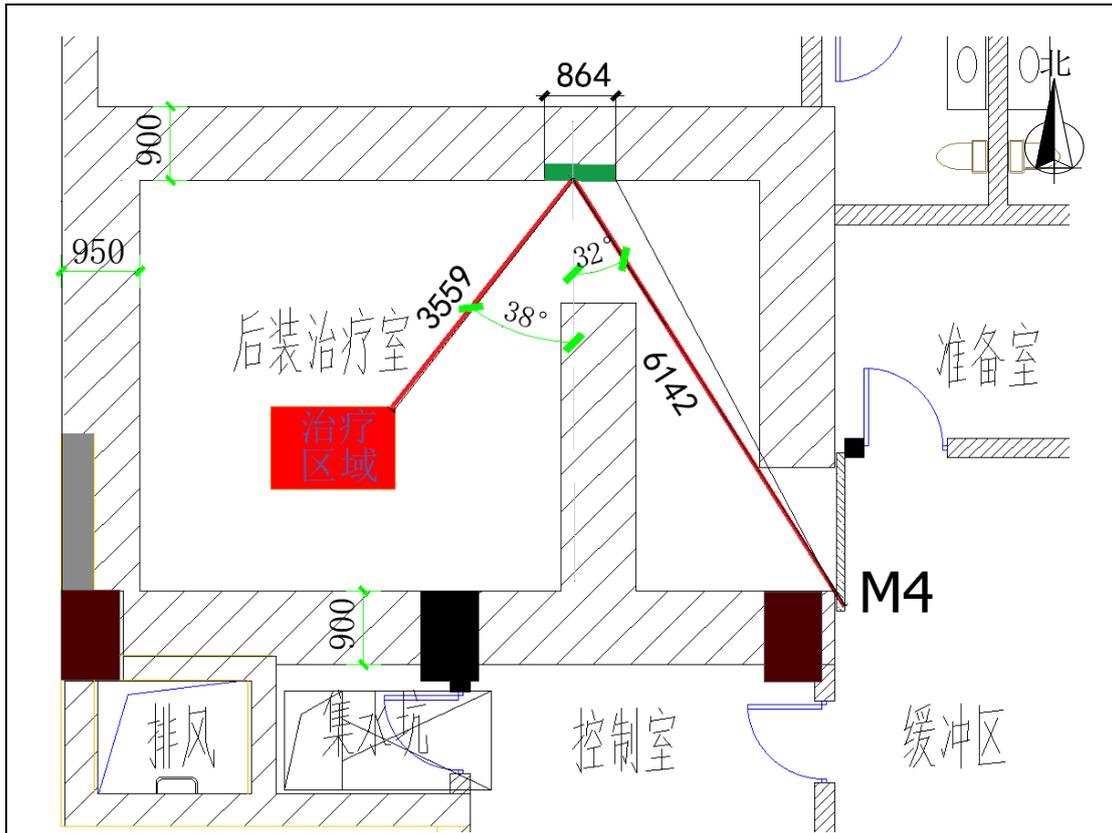


图 11-5 后装治疗室散射路径图

依据公式 (11-10) 计算未经过防护门衰减时的剂量率 $H_s=149\mu\text{Sv/h}$ 。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 6mm 铅门 (有效厚度约为 11.3mm 铅) 屏蔽后, 防护门外辐射剂量率降低至 $8.19\text{E}-2\mu\text{Sv/h}$ 。叠加上射线贯穿迷道内墙和防护门的辐射贡献值为 $1.01\text{E}-3\mu\text{Sv/h}$, 则后装治疗室防护门外的剂量约为 $8.29\text{E}-2\mu\text{Sv/h}$ 。

根据后装治疗室外关注点的剂量估算结果可知, 机房外人员可达关注点的最大辐射剂量率为 $8.29\text{E}-2\mu\text{Sv/h}$ (防护门外), 满足本报告设定的剂量率控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

11.2.4.3 加速器治疗室 2 和后装治疗室周围剂量率水平

根据 2 间治疗室墙外关注点的剂量估算结果可知, 机房外关注点的最大辐射剂量率分别为 $2.09\text{E}-1\mu\text{Gy/h}$ 和 $8.29\text{E}-2\mu\text{Sv/h}$, 均满足本报告设定的剂量率控制水平 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

考虑加速器室的剂量率叠加效应, 主要考虑加速器治疗室 1 和加速器治疗室 2 同时运行时对门口处的剂量影响, 由于本项目加速器治疗室 2 启用时, 加速器治疗室 1 就停止使用, 因此目前可以不考虑剂量率的叠加影响。

评价范围周围的影响：根据以上估算，1间加速器室和1间后装治疗室一层地面的最大附加剂量率为4.08E-3μSv/h，经过距离、墙体、空气的衰减影响，附加剂量率继续降低，对周围的辐射影响可以忽略不计。

11.2.5 工作人员和公众受照剂量估计

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

式中： E --年有效剂量，μSv；

D --计算点附加剂量率，μGy/h；

t --年出束时间，h/a；

K --有效剂量与吸收剂量换算系数，Sv/Gy，本项目取1.0；

T --居留因子；

U --使用因子。

(1) 工作人员受照剂量估计

根据以上估算，可预计加速器治疗室2和后装治疗室周围的工作人员的年附加有效剂量见表11-9所示。

表 11-9 运行时工作人员的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年受照时间, t (h)	剂量率 (μGy/h)	年附加有效剂量, μSv
加速器治疗室2工作人员	D2	控制室	1	1	750	1.25E-3	9.38E-01
	E2	设备间	1/16	1	750	2.09E-1	9.80E+00
	M21	防护门外	1/8	1	750	7.84E-2	7.35E+00
后装治疗室工作人员	C4	控制室	1	1	333	7.95E-4	2.65E-01
	M4	防护门外	1/8	1	333	8.29E-2	3.45E+00

(2) 公众受照剂量估计

根据以上估算，可预计加速器治疗室2和后装治疗室周围的公众的年附加有效剂量见表11-10所示。

表 11-10 加速器运行时公众的年附加有效剂量估算结果

估算对象	位置编号	场所位置	T	U	年受照时间, t (h)	剂量率 (μGy/h)	年附加有效剂量, μSv
------	------	------	-----	-----	----------------	-------------	--------------

加速器 治疗室 2 周围 公众	B21	南侧二期医疗楼 走廊	1/16	1	750	2.96E-6	1.39E-04
	H21	顶上院内绿化 区、消防通道	1/16	0.25	750	2.99E-4	3.50E-03
	G21	南侧二期医疗楼 办公区	1	1	750	7.23E-6	5.42E-03
后装治 疗室周 围公众	A4	东墙楼外卫生间	1/16	1	333	1.84E-4	3.83E-03
	F4	北墙外库房	1/16	1	333	4.71E-3	9.80E-02
	I4	屋面留观监护区	1	1	333	3.10E-3	1.03E+00
	G41	楼下卫生间	1/16	1	333	3.73E-3	7.76E-02

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 9.80E-3mSv、1.03E-3mSv，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，即使叠加上医院放射治疗科 2023 年度的个人剂量值（低于 1mSv/a），也是满足年剂量约束值的要求。

根据剂量与距离平方成反比以及评价范围内固有建筑物的屏蔽，在加速器机房周围 50m 评价范围内的公众的年剂量远小于 1.03μSv（顶上留观监护区），也低于设定的剂量约束目标值 0.1mSv/a。

11.2.6 O₃ 和 NO_x 分析

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

（1）O₃ 的产额

本项目加速器只有提供 X 射线治疗模式，X 射线最高能量为 6MV，故仅考虑 X 射线所致 O₃ 的产额。

① 加速器有用线束的 O₃ 产额

$$P = 2.43D_0(1 - \cos \theta)RG \quad (11-12)$$

式中： P 为 O_3 产额，mg/h；

D_0 为辐射有用束在距靶 1m 处的输出量， $Gy \cdot m^2/min$ ；

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 O_3 分子数（ $G=10$ ）；

θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O_3 产额

将泄漏辐射看为 4π 方向均匀分布的点源（包括有用束区限定的空间区），并考虑机房壁的散射线使室内的 O_3 产额增加 10%， O_3 的产额 P （mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{1/3} \quad (11-13)$$

式中： V 为加速器机房的体积， m^3 ；其余符号同（11-12）。

（2） O_3 的浓度

设： O_3 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 O_3 浓度（mg/h）为：

$$Q = \frac{P}{\bar{T}} \quad (11-14)$$

式中： V 为机房的体积， m^3 ；

\bar{T} 为 O_3 的有效清除时间（h）：

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \quad (11-15)$$

（3）参数与结果

按照《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），机房通风换气率应不小于 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。该加速器机房的体积约为 $344m^3$ （ $8.40m \times 10.50m \times 3.9m$ ），风机风量不低于 $1400m^3/h$ ， $t_v=0.246h$ ，按（11-15）计算出 $\bar{T}=0.19h$ 。机房相关参数与 O_3 浓度计算结果如表 11-11 所示。

表 11-11 各治疗室相关参数与 O_3 产额计算结果

场所名称	D_0 ($Gy \cdot m^2/min$)	θ ($^\circ$)	R (m)	V (m^3)	P (mg/h)	Q (mg/m^3)
加速器治疗室 2	8	7.95	0.62	344	3.0	1.7E-3

根据上述估算结果，则臭氧的年总产量不大于 2.3g。机房 O_3 浓度最大值为 $1.7 \times 10^{-3} mg/m^3$ ，低于浓度限值 $0.3 mg/m^3$ 。说明臭氧的影响是较轻微的。这

样的 O₃ 排放浓度对周围公众的影响可忽略不计。

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

11.2.7 异常事件分析与防范建议

(1) 人员误入加速器治疗室 2 并发生误照事故

加速器可能发生的最严重的放射性事故是门机联锁失效, 人员误入加速器治疗室 2 而受到意外照射。事故情景假设: 加速器在以 6MV 治疗患者过程中, 人员误入机房后到达迷道内口处, 发现有病人正在治疗, 急速返回。保守假设在迷道内口处停留时间 10s, 据此估算误入人员的最大受照剂量。

迷道口的剂量贡献为有用束和机头泄漏射线的散射辐射等, 根据表 11-7 数值, 可推算出迷道口处 (防护门内) 的剂量率, 见表 11-12 所示。

表 11-12 加速器 6MV 运行时迷道内口剂量率水平 (μSv/h)

编号	剂量来源	迷道口内
1	泄漏辐射	9.18E+3
2	主束经患者一次散射	5.11E+4
合计		6.03E+4

保守假设在迷道内口停留 10s, 最大受照剂量约为 1.67E+2μSv (6.03E+4×10/3600), 对误入人员健康不会造成影响。

该装置设有门机安全联锁系统, 以及在治疗室和迷道内设置有闭路监视系统, 可有效防止该事故发生。此外, 加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警仪进入治疗室。一旦出现误入情况, 报警仪会提醒工作人员, 立即撤出。

(2) 其它异常运行事件和防范措施

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

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

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

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

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

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

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

11.2.8 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和阻挡物的屏蔽，处理事故时距离一般大于30cm，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 $6.3\text{mSv/h} \times (100\text{cm}/30\text{cm})^2 \times 0.5\text{min} \div 60 = 0.58\text{mSv}$ 。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，并以书面形式上报生态环境主管部门。

11.3 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11-13。

表11-13 项目环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
剂量限值	根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)和环评报告预测，公众、职业照射剂量约束值执行 0.1mSv/a 和 2mSv/a。
剂量当量率	控制区外 30cm 人员可达处周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv/h。
电离辐射标志和中文警示	在机房外设有工作状态警示灯，防护门外贴有电离辐射警告标志。
布局和屏蔽设计	辐射工作场所建设和布局与环评报告表描述内容一致。屏蔽墙和防护门的屏蔽能力满足辐射防护的要求。机房通风换气设施运转正常，通风能力满足设计要求。
辐射安全设施	机房采取分区管理、实体屏蔽。设置放射性警告标识和中文警示说明、工作状态指示灯、门机联锁、门源联锁系统，紧急停止按钮，紧急回源系统等，可有效防止职业和公众受到意外照射。
监测仪器	备检测仪器：新配 4 台个人剂量报警仪、2 套固定式剂量报警仪。辐射工作人员进行个人剂量监测，建立健康档案。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划、台帐管理制度、设备检修维护制度、监测方案、放射性事故应急预案等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。

应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际，应急预案明确了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

医院已经设置了辐射安全管理委员会作为专门管理机构，并指定了专人负责辐射安全与环境保护管理工作。人员构成具体情况见表 1-5 所示。本项目为在放疗科扩建项目，相关负责人将继续担任辐射安全管理委员会成员，负责相关科室的日常管理。辐射安全管理小组的职责：

1. 在医院辐射安全管理委员会主席的领导下，负责本医院辐射安全防护的管理工作。

2. 贯彻执行国家、北京市政府部门有关法律、法规、规章、相关标准及有关规定。负责对本医院相关部门和人员进行法律、法规及相关标准的培训、教育、指导和监督检查等工作。

3. 制定、修订本医院辐射安全防护管理制度及仪器设备操作规程。

4. 制定、修订辐射事故应急预案，配备相应的事故处理物资仪器、工具，一旦发生辐射意外事故或情况，在辐射安全管理委员会主席的指挥下负责事故现场的应急处理工作。

5. 负责办理辐射安全许可证的申请、登记、换证及年审等工作。

6. 建立装置档案，组织医院有关部门和人员对使用的装置及剂量监测仪器进行检查和维护保养，保证正常使用。

7. 对医院从事辐射工作的人员进行条件和岗位能力的考核，组织参加专业体检、培训并取得相应资格证。

8. 组织实施对从事辐射工作人员的剂量监测，做好个人剂量计定期检测工作，对数据进行汇总、登记、分析等工作。做好医院年度评估报告工作，认真总结、持续改进并上报有关部门。

12.1.2 辐射工作人员

本项目实施后医院拟为本项目新增 3 名辐射工作人员（医生 1 名、技师 1 名、护士 1 名），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，同时按照国家相关规定进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健

康监护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

12.2 辐射安全管理规章制度

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

本项目实施后，北京清华长庚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，如监测方案、辐射突发环境事件应急预案等，确保全部辐射工作有章可循。同时，组织各科室人员进行学习，确保依照规定安全使用射线装置。

12.3 辐射监测

12.3.1 个人剂量监测

北京清华长庚医院根据制订了医院有关辐射工作人员个人剂量监测的管理要求，并将辐射工作人员个人剂量监测工作作为全院辐射监测计划体系的管理目标之一，要求全院辐射工作人员按要求接受个人剂量监测，监测频度为每3个月检测一次，并按照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令18号)要求建立个人剂量档案。辐射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的，立即核实和调查，并将有关情况进行文字记录。

全院现有的辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托中国医学科学院放射医学研究所承担，本项目投入使用后，所涉及新增辐射工作人员将继续进行个人剂量监测。

12.3.2 工作场所和辐射环境监测

(1) 委托监测

医院每年委托有资质的单位对医院已有的放射性同位素工作场所和所有射线装置机房防护和机器性能检测1次

(2) 本项目自行监测方案

医院针对本项目启用后，放射治疗科拟新配备4台个人剂量报警仪、2套固定式剂量报警仪，继续使用现有1台辐射剂量巡测仪，能够满足医院辐射防

护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。新增项目实施后，工作人员使用拟配备的辐射剂量巡测仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

(1) 监测项目：X 剂量率水平

(2) 检测设备：X- γ 辐射辐射剂量巡测仪

(3) 检测频次：剂量率水平每年不少于 2 次。

(4) 工作场所 X 剂量率水平监测：点位包括点位加速器治疗室 2 和后装治疗室四周和楼上 30cm 处（人员可达处）的剂量率水平，监测数据记录存档，加速器治疗室 2 和后装治疗室监测点位计划见表 12-1，监测点位布置见图 12-1 所示。

表 12-1 加速器治疗室 2 和后装治疗室监测计划

场 所	测点编号	位置描述	检测频次
加速器治疗室 2	1	控制室	2 次/年
	2	设备间	2 次/年
	3	防潮隔腔门口	2 次/年
	4	防护门外	2 次/年
	5~6	防潮隔腔走廊	2 次/年
	7	西墙外加速器治疗室 1	2 次/年
	8~9	楼上院内绿化区、消防通道	2 次/年
后装机治疗室	10	控制室	2 次/年
	11~13	东侧缓冲区、准备间、卫生间	2 次/年
	14	北侧库房	2 次/年
	15~16	楼上消防通道、留观监护区	2 次/年
	17~18	楼下扩散室、卫生间	2 次/年

12.4 辐射事故应急管理

北京清华长庚医院制定了《北京清华长庚医院辐射事故应急制度》，依据《中华人民共和国放射性污染防治法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护

条例》等法律法规的要求，一旦发生辐射事故时，能迅速采取必要和有效的应急响应行动，妥善处理，保护工作人员和公众的健康与安全，同时在应急预案中进一步明确规定处理的组织机构及其职责分工、事故分级、应急措施、报告程序、联系方式等内容，能够满足医院实际辐射工作的需要。

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

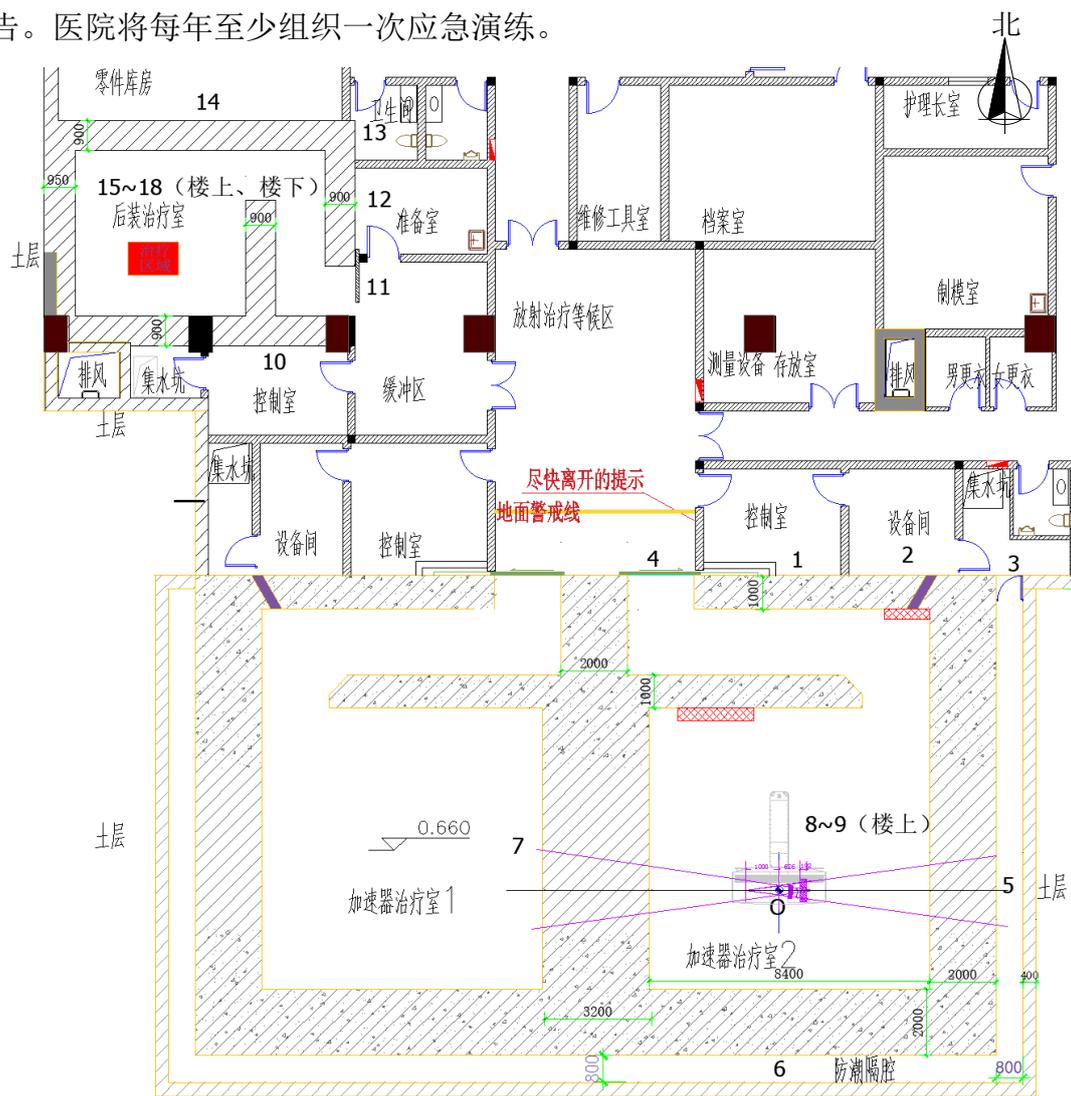


图 12-1 拟建加速器治疗室 2 和后装治疗室自行检测点位图

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

北京清华长庚医院持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证（京环辐证[O0116]），其种类和范围为：使用 V 类放射源，乙级、丙级非密封放射性工作场所，使用 II 类、III 类射线装置。

为了进一步发展优势学科，满足患者日益增长的就诊需求，同时也考虑未来的发展趋势，医院拟进一步加强放射治疗基础设施建设，在二期放疗科开展放射治疗项目，使用 1 台加速器和 1 台后装机，主要用于前列腺癌、早期肺癌、乳腺癌、神经系统肿瘤、头颈部、腹部、妇科等肿瘤方面治疗。

13.1.2 正当性分析

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

13.1.3 选址与布局合理性分析

北京清华长庚医院本项目位于二期 1 号楼南侧的地下一层内，周围 50m 区域除了东侧部分为院外马路区域外，其它都是医院内部，主要为医院医疗综合楼内相关诊疗场所和院内区域等。选址充分考虑了周围场所的防护与安全，以及患者就诊和临床应用的便利性，为相对独立的区域，对公众影响较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是可行的。

13.1.4 辐射防护屏蔽能力分析

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。

13.1.5 辐射环境影响评价

(1) 根据场所周围关注点辐射剂量估算结果可知，本项目运行后，预计工作人员和公众的年有效剂量均低于相应剂量约束值（2mSv、0.1mSv），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要

求。对于辐射工作人员年受照剂量异常情况，单位应该进行调查并报生态环境部门备案。通过对治疗机房的辐射屏蔽措施分析可知，机房墙体和防护门外周围剂量当量率不超过 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

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

(3) 辐射安全与防护措施：加速器治疗室 2 和后装治疗室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、门源联锁系统、紧急回源系统、紧急开门按钮、监控设施、门机安全联锁系统、辐射剂量监测和报警系统等，可有效防止职业人员和公众受到意外照射。

(4) 辐射安全防护管理：医院设有辐射安全与环境保护管理机构，负责全院的辐射安全管理和监督工作。医院将根据本次所申请项目种类制定健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、人员培训考核计划、健康体检制度、辐射事故应急预案和设备检修维护制度等，以满足辐射安全管理的要求。

13.1.6 结论

综上所述，北京清华长庚医院使用 1 台医用电子直线加速器和 1 台后装机，相应的辐射安全制度和辐射防护措施基本可行，在落实项目实施方案和本报告表提出的污染防治措施及建议前提下，其运行对周围环境产生的辐射影响可控，符合环境保护的要求。故从辐射环境保护角度论证，本项目的运行是可行的。

13.2 承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京清华长庚医院承诺：

- (1) 妥善处理群众信访和投诉，做好公众宣传、解释和沟通工作；
- (2) 严格按照工程设计施工，保证工程建设质量。
- (3) 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；
- (4) 项目竣工后按照生态环境主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，并接受生态环境主管部门的监督检查。

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

(6) 本项目加速器启用同时，现有加速器治疗室 1 台目前在用的 Synergy Platform 型加速器办理停用手续。

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

