

核技术利用建设项目

# 二期新增使用医用电子直线加速器 项目环境影响报告表

北京清华长庚医院

2023年10月

环境保护部监制

核技术利用项目

# 二期新增使用医用电子直线加速器 项目环境影响报告表

建设单位名称：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：王成城

电子邮箱：[wcca03723@btch.edu.cn](mailto:wcca03723@btch.edu.cn)

联系电话：13436705989

## 目 录

表 1	项目基本情况 .....	1
表 2	放射源 .....	14
表 3	非密封放射性物质 .....	15
表 4	射线装置 .....	16
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物） .....	17
表 6	评价依据 .....	18
表 7	保护目标与评价标准 .....	21
表 8	环境质量和辐射现状 .....	25
表 9	项目工程分析与源项 .....	27
表 10	辐射安全与防护 .....	32
表 11	环境影响分析.....	40
表 12	辐射安全管理 .....	57
表 13	结论与建议 .....	61
表 14	审 批 .....	64

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		二期新增使用医用电子直线加速器			
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	13811769361
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 号医院二期医疗楼			
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 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 <sup>2</sup> ）	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 type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
其他					
<p><b>1.1 单位概况</b></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> <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</p>					

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，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	5

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	3
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	1
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	3.330E+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	竣工验收文号	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

### 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，由工会主席担任主席，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、总务处、血管外科、心内科、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	工会主席（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	放射诊断科执行主任	肿瘤放射治疗学	放射诊断科	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北京市辐射安全监管系统中。

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。开展个人剂量检测的人员，部分进修人员、新增辐射工作人员的工作时间较短，出现了不到四个季度的个人剂量检测结果的情况。

医院有专人负责个人剂量监测管理工作。发现个人剂量监测结果异常的，将及时调查原因，并将有关情况及时报告医院辐射防护领导小组。今后将继续加强个人受照剂量监测工作，如果某位辐射工作人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值的 1/4，将对其受照原因进行调查，结果由本人签字后存档；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**

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辐射安全监管系统。

**工作场所辐射水平监测：**医院每年委托有 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（包含现有核医学科工作场所），且北京市卫生健康委员会每年都要对医院的《放射诊疗许可证》校验一次，校验时医院必须提供当年的检测合格报告，检测报告齐全，检测结果均满足相关标准要求。

**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、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。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，该项工作由使用科室工作人员自行完成。

医院现有的监测方案基本能够满足现有场所使用要求，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。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 2022 年度于 2022 年 10 月 11 日下午，医院保卫处联合医务管理部、放射科、放射治疗科、核医学科等相关科室在门诊楼 2F 介入导管室内进行了医院本年度的放射安全事件应急演练，使工作人员知晓发生辐射时的处置流程，加强应对各类突发事件的处理能力，有效提高工作人员辐射事件的防范意识，效果良好。

#### **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钷 90 介入治疗场所只使用 F-18、Tc-99m 和 Y-90 三种核素。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  $\beta$  表面污染水平小于  $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，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”。

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  $200\text{m}^3$ ，设有 2 级池，每级  $100\text{m}^3$ 。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”。

#### **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 2022 年度评估报告。

### 1.3 本项目概况

#### 1.3.1 二期医疗楼建设项目背景

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，利用最尖端的科学技术打造领先的肿瘤治疗中心，这些都需要医疗空间的做支撑。

近年来医院诊疗人数逐年增加，给医院的基础设施带来了巨大压力，但医院发展受一期条件制约，矛盾凸显，急需寻求新的诊疗空间。本项目拟在昌平区原址扩建北京清华长庚医院，新增编制床位 500 张，完善医院学科建设和用房功能，扩大昌平区优质医疗资源，促进现有资源发展升级，使全区医疗资源总量有较高质量的增加，有效填补昌平区目前医疗资源缺口，提高全区整体医疗服务能力和技术水平；不仅可以健全昌平区的基本医疗服务体系，同时作为优质医疗资源，又可通过医疗联合体、技术支持、业务指导等模式发挥带动和辐射作用，全面提升京北地区的医疗服务能力和技术水平，为京北地区提供可靠的医疗保障。

本项目位于北京清华长庚医院院区内，已取得原北京市规划委员会《建设用地规划许可证》（2010 规地字 0065 号）和原北京市规划委员会《建设工程规划

许可证》(2010 规(昌)建字 0064 号)。医院于 2021 年 1 月取得了昌平区生态环境局《关于北京清华长庚医院二期建设项目环境影响报告书的批复》(昌环审字[2021]0011 号)等审批文件。

二期于 2020 年 5 月 12 日正式开工,2022 年初已实现结构封顶,计划 2023 年年底实现外立面装修封闭,2024 年年底计划实现工程整体竣工验收。

### 1.3.2 项目建设正当性

医院未来重点打造的优势学科包括肿瘤中心,目前医院只许可 1 台加速器,考虑到加速器机房建设的特殊性,所以二期工程预留 1 间加速器机房及相关场所。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

本项目药物制备场所属于《产业结构调整指导目录(2019 年本,2021 年修订)》中鼓励类第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”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

北京清华长庚医院现有 1 号楼地下一层的核医学科和放射治疗科场所布局和面积限制,场所无法满足拟增设备安装要求,考虑到医院诊疗发展需要,二期建设中专门预留设计核医学科和放射治疗科加速器场所等。二期地下一层规划有为核素显像、核素治疗区域,加速器放射治疗区域,核医学科东侧拟规划了放射性同位素实验区域和 Y-90 项目 DSA 相关场所;地下三层为生产正电子核素的回旋加速器相关区域;及二期还涉及放射科 CT、DR 等 III 类射线装置,这些内容另外单独报批和办理备案。

为了使环评报告的内容清晰明了,避免交叉凌乱,本项目对核医学科、医用

直线加速器、放射性同位素实验区域和 Y-90 项目分别编制环境影响报告表进行报批。由于上述建设内容均为编制“环境影响报告表”类别的建设项目，所以不存在建设项目拆分问题。放射科使用的Ⅲ类射线装置拟在确定设备具体厂家和型号后单独进行备案。

本项目内容为二期医疗楼地下一层放射治疗科东侧新建1间加速器机房（加速器室），拟新增使用1台10MV医用电子直线加速器，本项目拟使用的射线装置情况见表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	加速器室	待定	10MV X射线等中心处1m处最大24Gy/min@FFF光子, 6Gy/min@ FF光子; 机架旋转360°	待定	Ⅱ类
图像引导模式：2D采集：MV级（2.5MV）、kV级（最大150kV）；3D采集：kV级CBCT（最大150kV/500mA）。					

### 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，本场所设计了 1 间加速器机房，拟安装使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器。

（3）工作制度：250d/a。

（4）实施计划：医院在获得配置许可后再行购置及安装。

（5）辐射工作人员配备

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

**表 1-8 本项目放射治疗科工作人员结构与法规要求符合情况**

岗位	每年治疗 1500 名患者人员要求	本项目预计配备人数	备注
医师	至少6名	6 名	本项目建成后，2 台医用电子直线加速器年治疗人数约
物理师	至少4名	4 名	

技师	至少10名	10名	1000名，配备相关工作人员数量满足要求。
护士	至少1名	1名	

放射治疗科现有辐射工作人员 12 名，均已取得培训考核合格证书。本项目建成后，放射治疗科拟新增 9 名辐射工作人员，放射治疗科辐射工作人员总人数将达到 21 名。本项目建成后，医院将有 2 台医用直线加速器，21 名辐射工作人员能够满足设备的人员要求。

#### (6) 辐射监测仪器配备情况

本项目实施后加速器室拟新配2台个人剂量报警仪、1套固定式剂量报警仪，1台便携式辐射剂量仪，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

二期建设工程位于北京清华长庚医院院区南侧预留区域内，根据原北京市规划委员会《建设用地规划许可证》（2010规地字0065号），医院总用地面积94854.504平方米，其中建设用地面积82637.214平方米。四至范围：东至立水桥北路，南至太平庄中一街，西至立汤路，北至太平庄中二街。本项目位于北京清华长庚医院东南侧。医院周边关系图见图1-1。

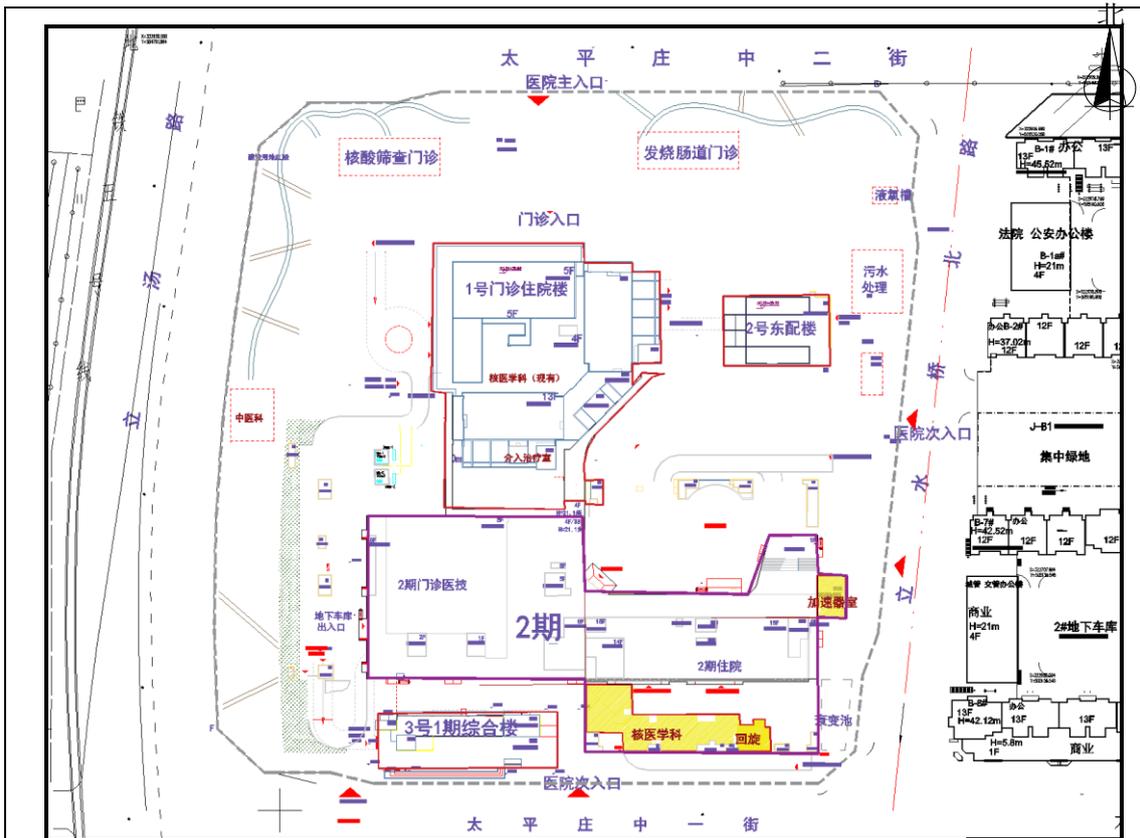


图1-1 本项目位置及周围环境

### 1.3.12 本项目辐射场所的布局

本项目加速器室位于二期医疗楼东侧的地下一层内(该区域只有地下1层建筑物),周围50m区域除了东侧部分为院外马路区域外,其它都是医院内部。加速器室东侧和南侧东部为地下土层,南侧西部为控制室,西侧为走廊,北侧为设备间,楼上为绿化区。

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

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》(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	10MV (X 射线) 18MeV (电子 线)	1m 处 1440Gy/h@FFF、 360Gy/h@FF:	放射治疗	加速器室	

(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 <sub>3</sub> 和NO <sub>x</sub>	气态				<16g		直接排放	环境大气

表6 评价依据

<p>法规文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，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》，主席令第二十四号，2018年12月29日日修订并实施。</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，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&lt;射线装置分类&gt;的公告》，原环境保护部、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&lt;建设项目竣工环境保护验收暂行办法&gt;的公告》，国环规环评[2017]4号，2017年11月20日。</p> <p>(12) 《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>(13) 《北京市城乡规划条例》，京人常[2021]61号，2021年9月24</p>
-------------	---

	<p>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)》，原北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347号。</p> <p>(15) 《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>(16) 《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>(17) 《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>(18) 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>(19) 《产业结构调整指导目录(2019年本)》，国家发展和改革委员会令 第29号，2021年修订，2021年12月30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) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。</p> <p>(3) 《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)。</p> <p>(4) 《放射治疗放射防护要求》(GBZ121-2020)。</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/T201.1-2007)。</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/T201.2-2011)。</p> <p>(7) 《医用电气设备 第2-1部分：能量为1MeV至50MeV电子加速器基本安全和基本性能专用要求》(GB 9706.201-2020)</p> <p>(8) 《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>(9) 《环境<math>\gamma</math>辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)。</p> <p>(10) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)。</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) 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

本项目为二期医疗楼地下一层放射治疗科东侧新建 1 间加速器室，并拟使用 1 台 10MV 医用电子直线加速器。

#### 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。

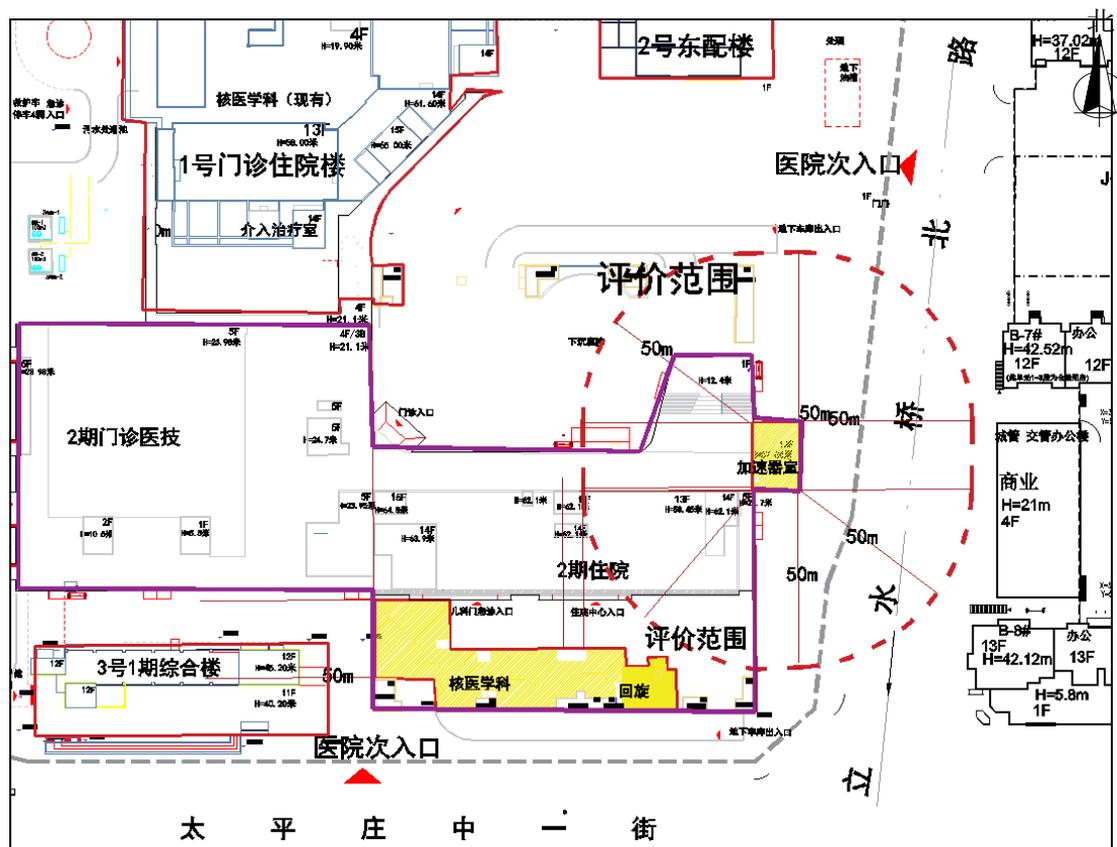


图 7-1 本项目评价范围示意图

#### 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、臭氧。

### 7.2 保护目标

本项目拟建放射治疗科的 1 间加速器室位于二期医疗楼东侧地下一层（加速器室为地下一层建筑物），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。

加速器室东侧和南侧东部为地下土层，南侧西部为控制室，西侧为走廊，北侧为设备间，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
加速器室	/	0~50	/	东侧	地下土层
	本项目工作人员	0~8	4	南侧	控制室、模具制作、水冷间等
	/	9~50	/		地下土层
	放射治疗科工作人员	0~26	20	西侧	放射治疗科诊疗场所
	放射科和患者	27~50	50		放射科诊疗场所
	放射治疗科工作人员	0~8	1	北侧	设备间、吊装孔
	/	9~50	/		地下土层
	其他工作人员	0~16	2	西北侧	补风机房、设备间、走廊
	餐厅工作人员	17~50	20		餐厅
	院内维护人员	紧邻	1	楼上	院内绿化区

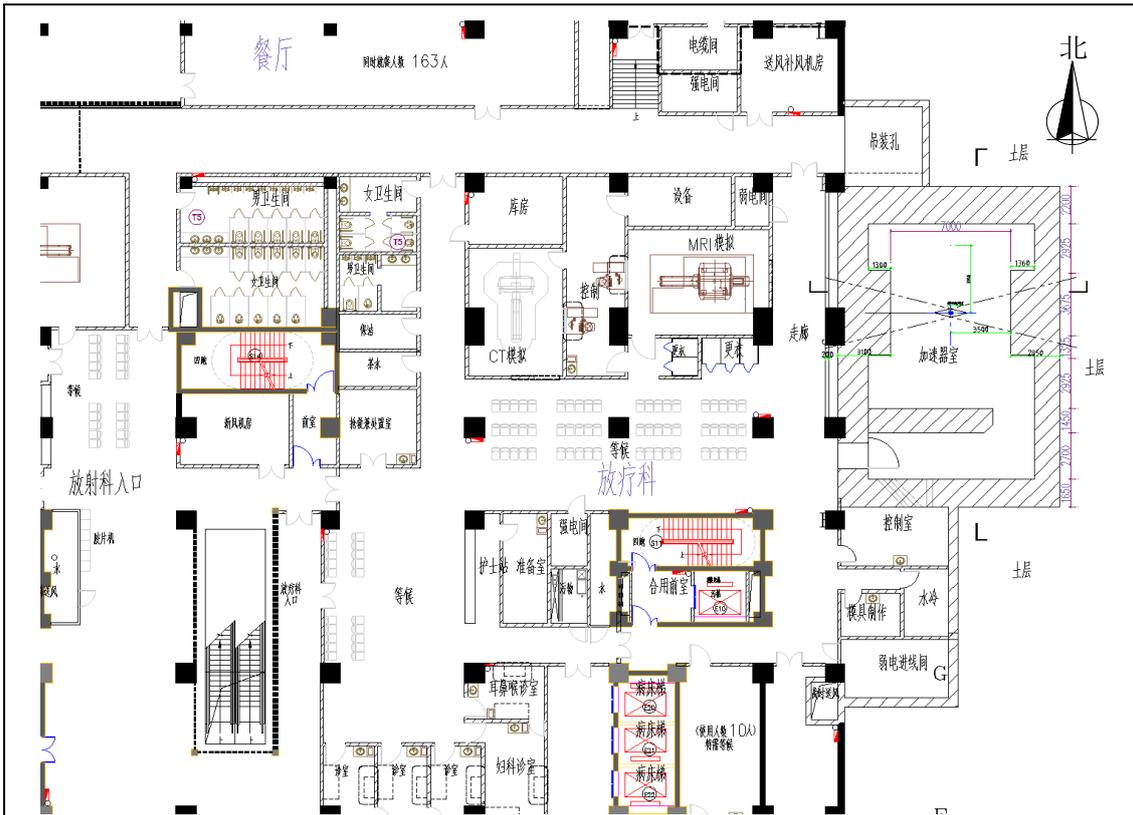


图 7-2 本项目加速器室（地下一层）周围关系图

### 7.3 评价标准

#### 7.3.1 剂量限值

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

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值（GB18871-2002）

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

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

职业照射，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)，本项目加速器室控制区边界外 30cm 处的辐射剂量率应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

### 7.3.4 非放射性控制值

#### (1) 室内空气质量

根据 GBZ2.1-2019，工作场所空气中 O<sub>3</sub> 和 NO<sub>2</sub> 的浓度限值分别为 0.3mg/m<sup>3</sup> 和 5mg/m<sup>3</sup>。

#### (2) 环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行 GB3095-2012《环境空气质量标准》中的二级浓度限值，臭氧的 1 小时平均浓度 0.2mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>2</sub> 的 1 小时平均浓度 0.2mg/m<sup>3</sup>。

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 2022 年 8 月 8 日对本次新增的辐射工作场所周围进行了  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率本底监测。

**8.1.1 监测项目**

$\gamma$  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  $\gamma$  辐射，监测点位布设见图 8-1。

**8.1.3 监测仪器及方法**

(1) 监测设备

本次监测采用的监测设备见表 8-1。

(2) 监测方法

$\gamma$  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、 $\gamma$ 剂量率仪	GH-102A/20170404	DLjl2022-02038、 2022-3-7~ 2023-3-6	测量范围：0.01 $\mu$ Gy/h~100 $\mu$ 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  $\gamma$  辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）。

**8.1.5 监测结果**

$\gamma$  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  $\gamma$  辐射环境本底水平监测结果

场所名称	点位序号	测点描述	辐射剂量率 ( $\mu$ Gy/h)
拟建辐	1	医院北侧入口	0.07 $\pm$ 0.01

射工作场所周围	2	门诊楼北侧	0.07±0.01
	3	西侧停车场	0.07±0.01
	4	行政楼南侧	0.08±0.01
	5	II 期施工区域北侧	0.08±0.01
	6	医院南侧入口	0.07±0.01

注：检测结果含宇宙射线响应值。

## 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  $\gamma$  辐射剂量率水平属于正常本底水平。

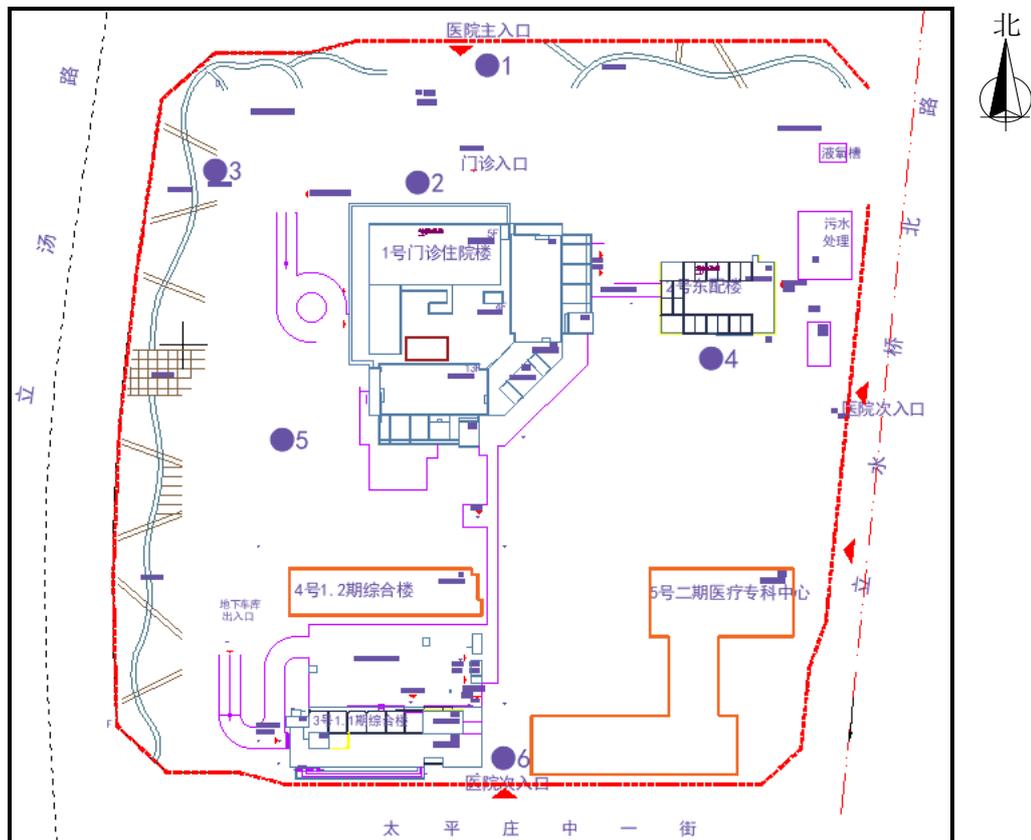


表 8-1 拟建二期辐射场所周围辐射环境水平监测点位图

表 9 项目工程分析与源项

## 9.1 医用电子直线加速器

### 9.1.1 工作原理

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。

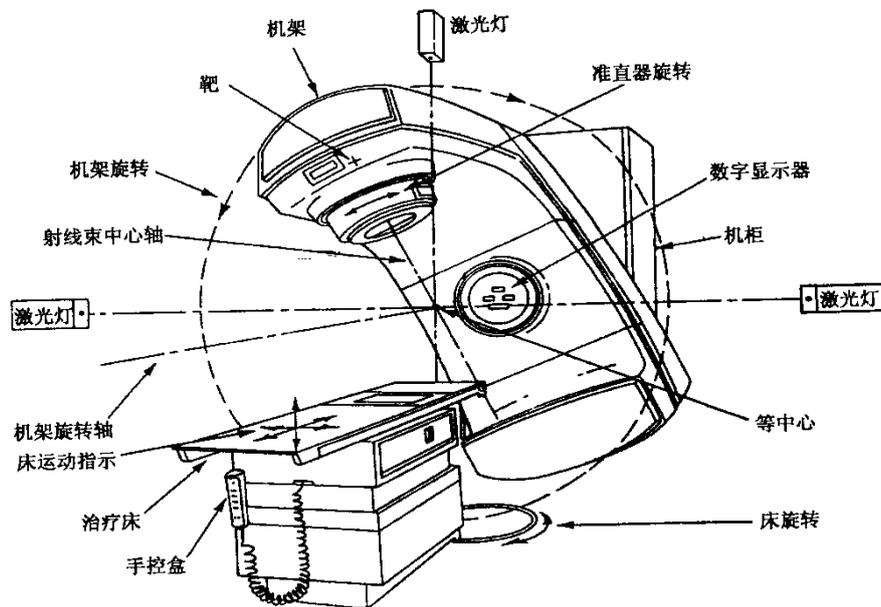


图 9-1 电子直线加速器示意图

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。

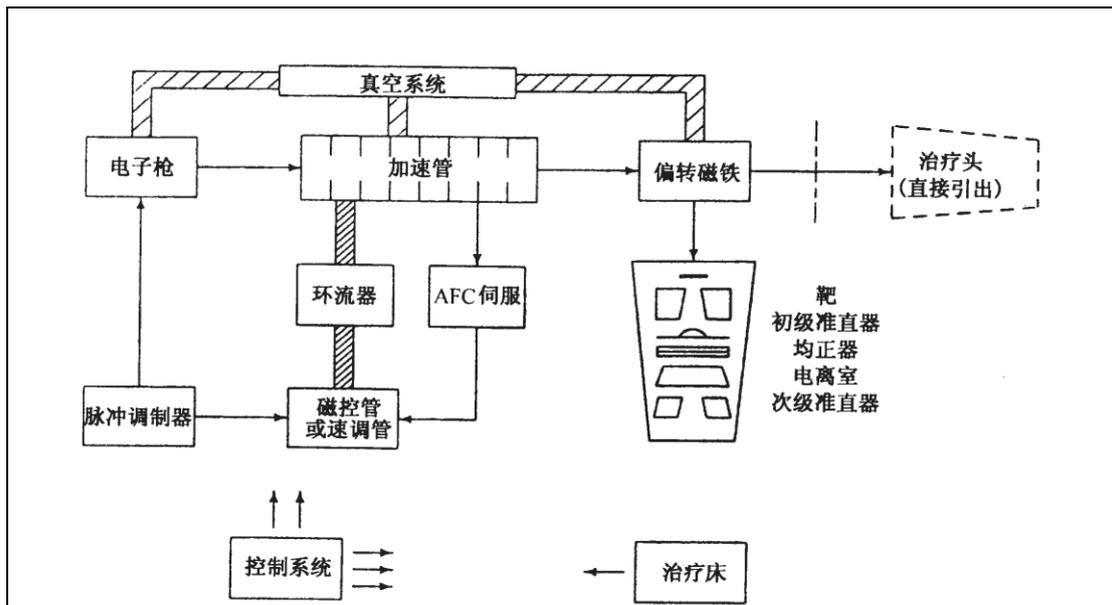


图 9-2 典型医用电子直线加速器内部结构图

### 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，确定模拟定位时间。

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

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

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

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

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

(7) 实施治疗：根据放疗计划，运用有关技术实施精确照射；

(8) 结束治疗：病人离开治疗室，摆位人员进行下一个患者摆位准备。

医用电子直线加速器放射治疗工作流程见图 9-3。

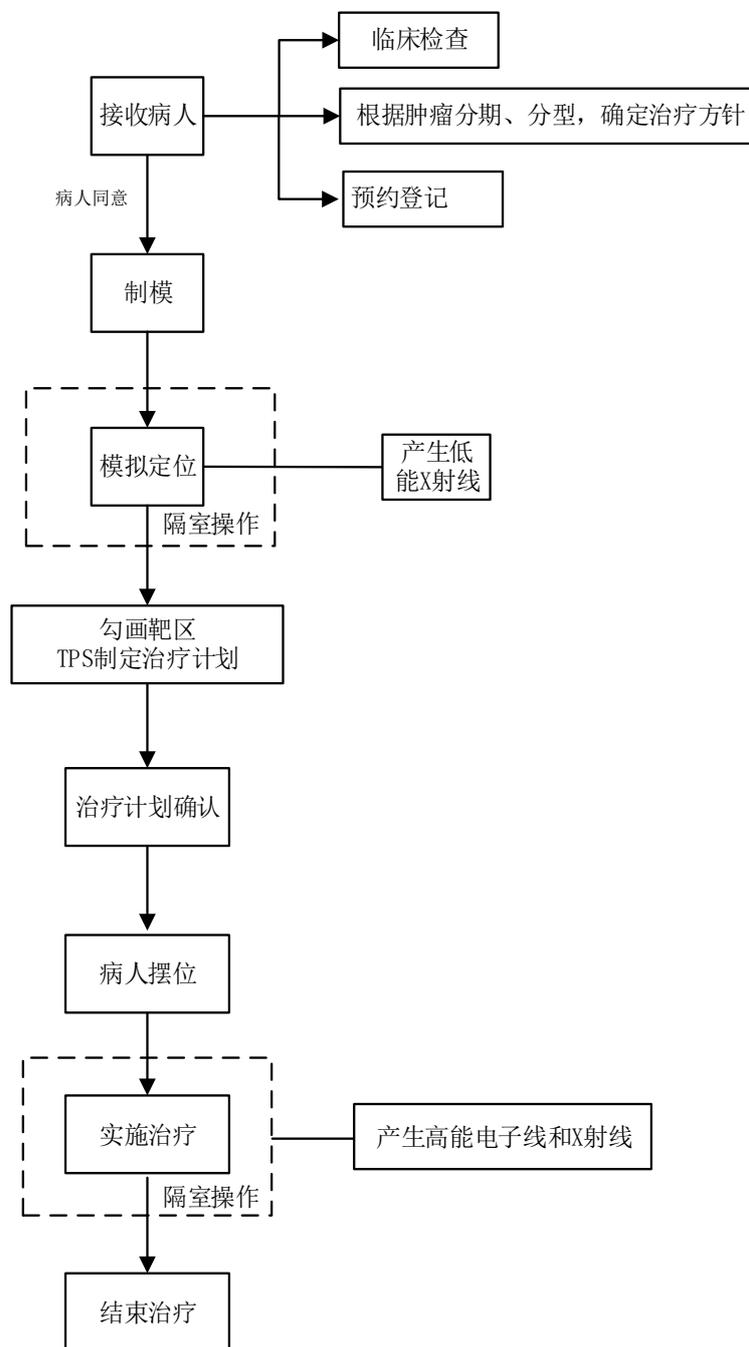


图 9-3 医用电子直线加速器放射治疗工作流程

## 2、使用规划

(1) 工作量：按最大工作负荷 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：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，加速器预期每天最多治疗 90 人次，400 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 90 人时出束时间为 45min/d，年总照射时间约 187.5h/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 24Gy/min（10MV）；14Gy/min（6MV）
6		电子线为 6Gy/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
10	机架旋转角度	360°。
11	图像引导模式	2D 采集：MV 级（2.5MV）、kV 级（最大 140kV）； 3D 采集：kV 级 CBCT（最大 140kV/500mA）

### 9.1.4 污染源项描述

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

外环境，对环境有一定的影响。

本项目拟使用的电子直线加速器最高输出的是 10MV 的 X 射线和 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，远低于 X 射线治疗时的防护；根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020），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  $\gamma$  射线。

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

#### （1）正常工况时的污染途径

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

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

#### （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，给周围活动的人员造成额外的照射。

表 10 辐射安全与防护

### 10.1 加速器工作场所项目辐射安全与防护

#### 10.1.1 选址与布局

加速器室位于二期医疗楼东侧的地下一层内(该区域只有地下1层建筑物),该场所还设有加速器控制室和其它辅助机房及场所。加速器室场所东侧为地下土层,南侧为地下土层和控制室,西侧毗邻走廊,北侧为土层和吊装孔,机房上方为院内绿化区,下方为地下土层。机房设有迷道,采用直形迷道形式。东墙、西墙、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。加速器室平面布局和剖面图见图 10-1 和图 10-2。

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。

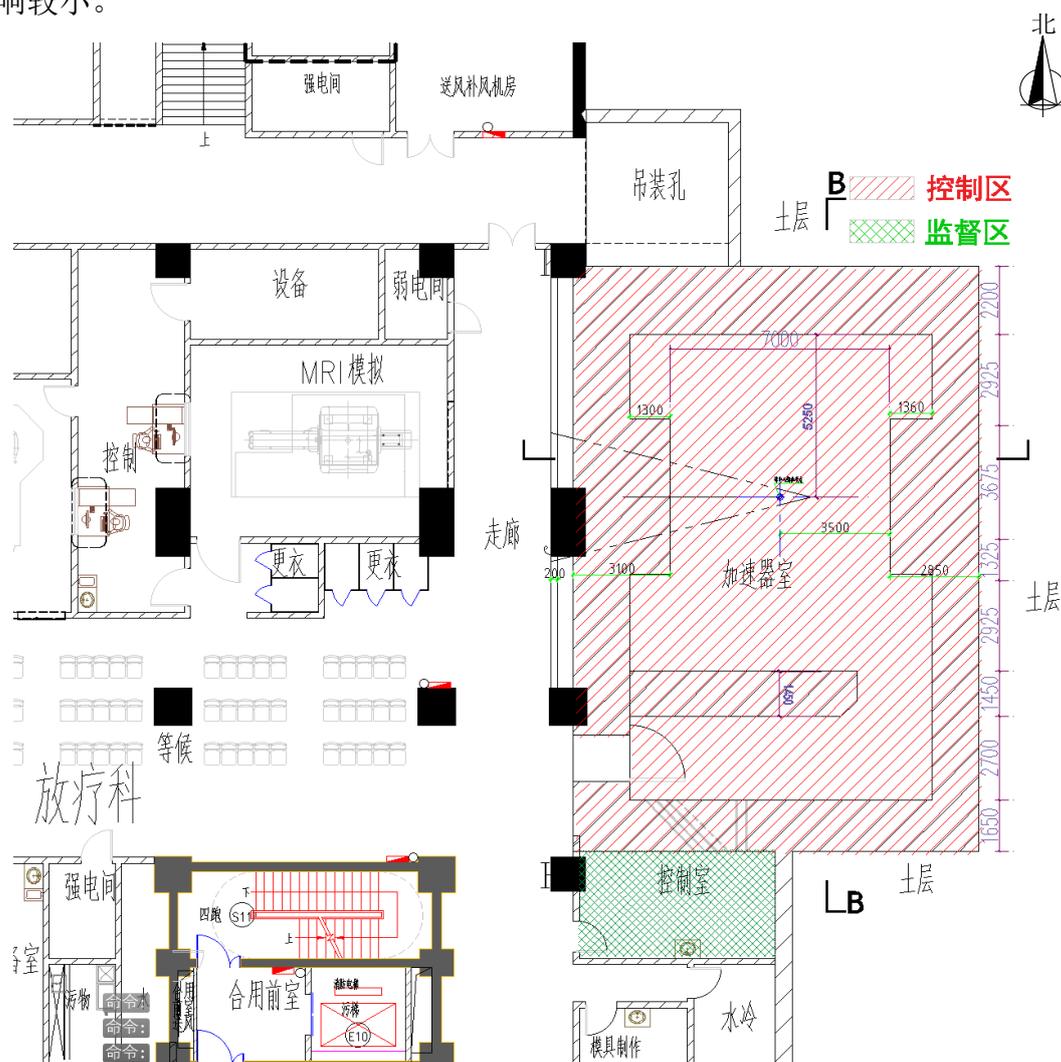


图 10-1 加速器室平面布局

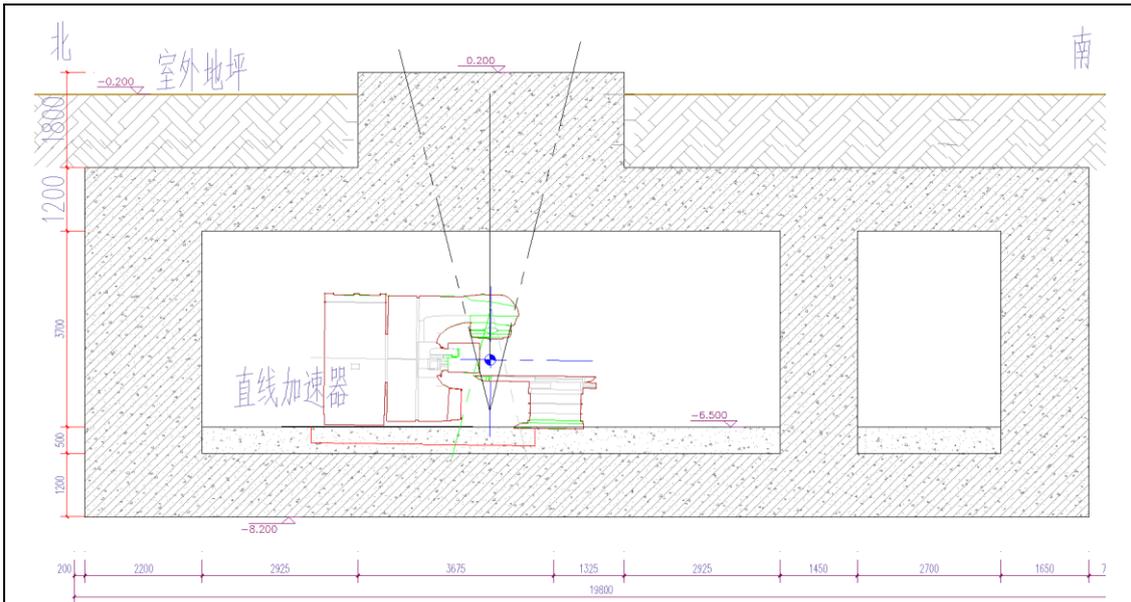


图 10-2 加速器室剖面图

### 10.1.2 机房屏蔽设计

加速器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	加速器室	东墙	主束区：285cm 砼+土层，宽度为 500cm	土层
			非主束区（次屏蔽）：149cm 砼+土层	
		西墙	主束区：310cm 砼（宽度：500cm）	走廊
			非主束区（次屏蔽）：180cm 砼	
		顶	主束区：300cm 砼（宽度：500cm）	院内绿化区
			非主束区：120cm 砼+140cm 土层	
		南墙	迷路内墙：145cm 砼；迷路外墙：165cm 砼	土层和控制室
北墙	220cm 砼	土层和吊装孔		
防护门	15mm 铅	走廊		

说明：依据建设单位提供资料，砼（混凝土）密度  $2.35\text{t/m}^3$ ，铅板的密度为  $11.4\text{g/cm}^3$ 。

### 10.1.3 辐射安全与防护措施

(1) 加速器室（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  $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，辐射工作人员和公众的受照剂量满足剂量约束要求。

(2) 加速器室辐射工作场所实行分区管理：加速器室为控制区，控制室为

监督区，分区图见附图 10-1。

(3) 警示标志：在加速器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) 监控、对讲系统：加速器室内拟设置 5 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：加速器室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。

(6) 防夹功能：加速器室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：加速器室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”方式穿出国房。加速器室与设备间的线缆都采用“U”型方式穿过屏蔽墙。

(12) 拟配置 1 台便携式辐射监测仪和 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，加速器室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。加速器室工作场所安全与防护设施设计要求见表 10-2。

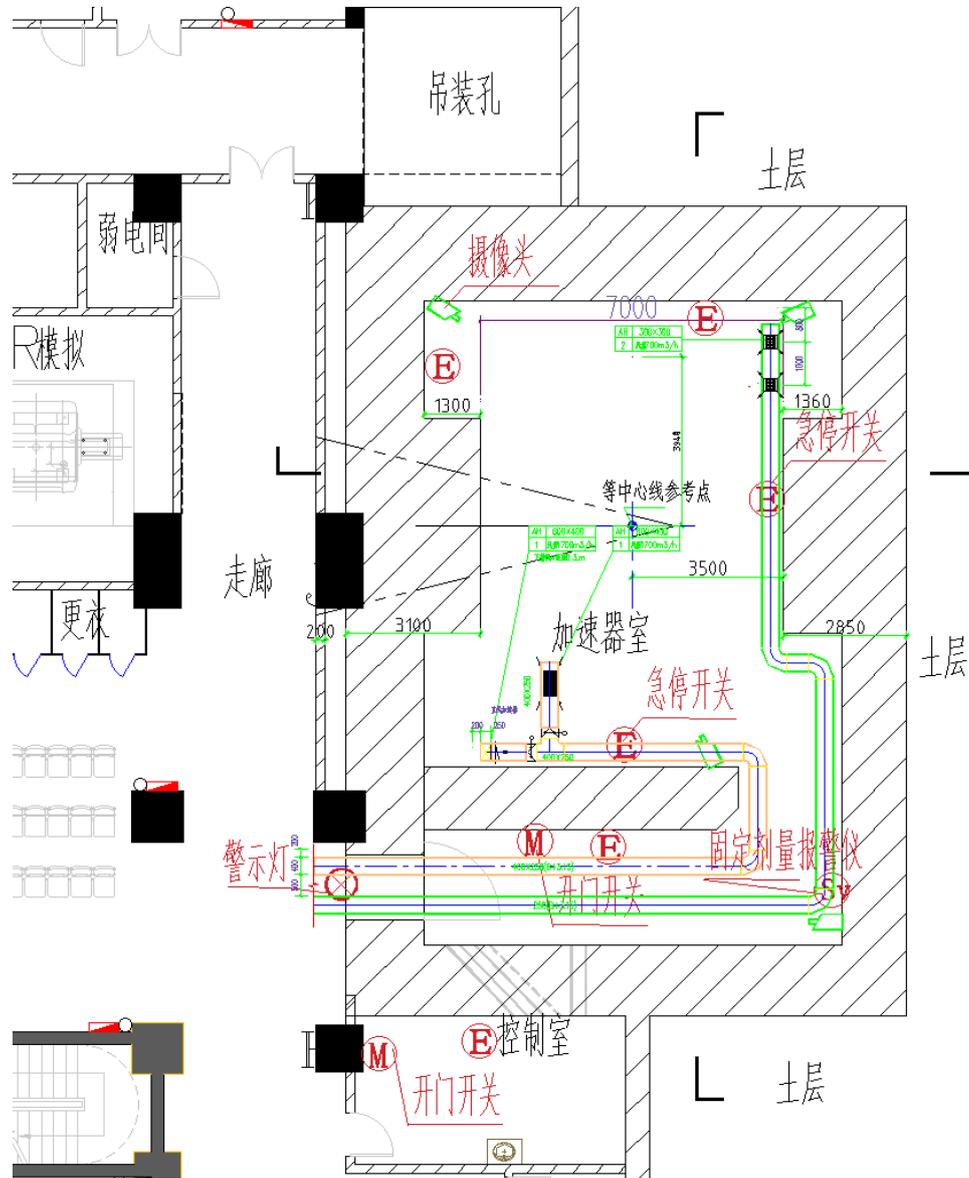


图 10-3 加速器场所联锁和安全措施布置图

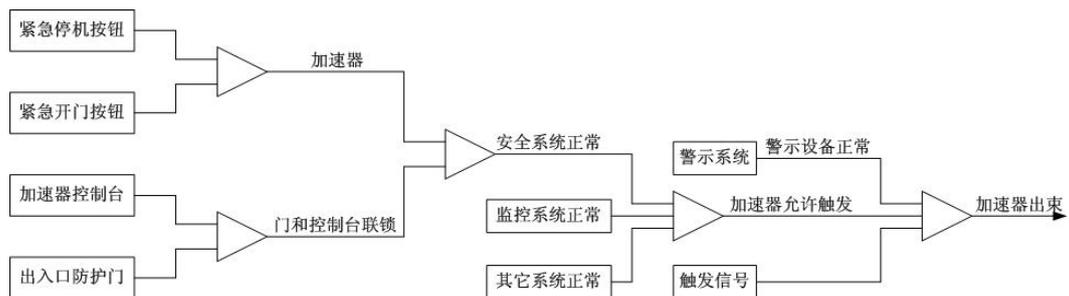


图 10-4 加速器室联锁系统逻辑图

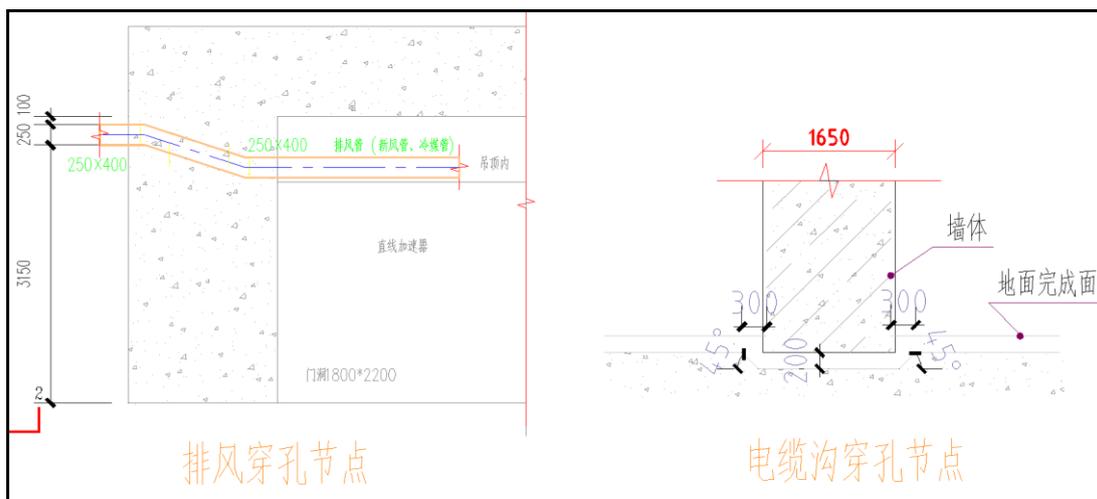


图 10-5 风管和电缆沟穿墙节点图

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	√	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	√	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
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	√	拟配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/。

## 10.2 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。	成立了由工会主席（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 11 人辐射工作人员（科里至少增配到 21 人），在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
3	使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源贮存库或设备。	本项目不涉及使用放射性同位素。	/
4	放射性同位素与射线装置，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目射线装置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，在射线装置机房门口设置工作状态指示灯，设置门机连锁系统。	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 1 台便携式辐射剂量仪、2 台个人剂量报警仪、1 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、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟完善规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	落实 后符合
7	产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	本项目正常运行时无放射性“三废”产生。	/
8	有完善的辐射事故应急措施。	在现有事故应急措施上，根据新建项目的需要，拟制定更为完善辐射事故应急处理预案。	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联锁、报警装置或者工作信号。	本项目射线装置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，在射线装置机房门口设置工作状态指示灯，设置门机联锁系统。	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	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。	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11人辐射工作人员（科里至少增配到21人），在通过辐射安全与防护考核合格后持证上岗。	落实后符合
5	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	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）。	落实后符合
6	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，不具备个人剂量监测能力的，应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	拟委托有资质单位对辐射工作人员进行个人剂量监测。	落实后符合

### 10.3 三废的治理

《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）和《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）指出，能量大于 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 10MV，不考虑放射性活化气体和中子的影响。此外，加速器产生的 X 射线与空气作用会产生少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，经加速器机房内的排风系统，排放到大气环境中。

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

表 11 环境影响分析

**11.1 建设或安装过程的环境影响**

本项目在建设和安装阶段无辐射产生，对周围环境没有辐射影响。对于本项目而言，涉及到屏蔽体的浇筑、建筑装修、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 加速器运行期环境影响**

**11.2.1 加速器参数和使用规划**

**(1) 机房所在位置**

加速器室位于二期医疗楼东侧的地下一层内（该区域只有地下 1 层建筑物），东侧为地下土层，南侧为地下土层和控制室，西侧毗邻走廊，北侧为吊装孔和土层间，机房上方为院内绿化区，下方为地下土层。

**(2) 设备参数**

加速器室拟使用的射线装置的技术指标如表 11-1 所示。

表 11-1 拟使用加速器技术指标一览表

场所	型号	电子线能量	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
加速器室	待定	18MeV (最大)	10MV: 6Gy/min; (FFF: 24Gy/min); 6MV: 6Gy/min; (FFF: 14Gy/min)	100cm	最大照射野 40cm×40cm	360°	≤0.1%

备注：由于泄漏辐射水平都是至少把准直器关闭情况下监测结果，FF 和 FFF 模式下打靶束流是一致的，只是 FFF 模式移开均准器，所以本项目垂直主束区方向的泄漏率水平取 FF 模式下的 0.1%（主束区方向取 FFF 模式下的 0.1%）。

**(3) 使用规划**

1) 加速器出束时间：既开展常规放射治疗，也开展 IMRT、VMAT 等适形调强放射治疗，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 90 人次时，出束时间为 30min/d (0.5h/d)，年总照射时间约 187.5h/a；适形调强放射治疗（IMRT）等调强放射治疗与普通放疗相比给予患者的吸收剂量是相同的，但等中心处照射野会明显小，使用 VMAT 技术适形调强治疗时，调强因子取 3（常规调强 IMRT 因子取 5）。泄漏辐射年总照射时间约为 937.5h/a

(IMRT 因子取 5)。

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

### 11.2.2 辐射环境影响评价方法

(1) 加速器机房剂量率和年附加剂量: 参照 NCRP151、GBZ/T201.2-2011 进行剂量率估算。具体做法: 依据其屏蔽设计估算模式, 以等中心点的剂量率替代周工作负荷, 转化为辐射剂量率水平估算, 最终导出机房周围辐射剂量率水平, 再根据加速器出束时间、使用因子、居留因子等估算辐射工作人员和公众的附加剂量。

考虑到电子束使用次数有限 (工作负荷不足 X 射线的 1%), 且电子束出束过程中, 电子线与机头、床、人体组织等作用产生韧致辐射的能量和强度均低于电子束撞击钨靶产生的治疗 X 射线的能量和强度, 所以, 如果机房及其防护门能够满足 X 治疗束的屏蔽防护要求, 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) 加速器室不同关注点应考虑辐射

主束区: 考虑有用束的直接照射, 忽略进入该区的泄漏辐射和散射辐射;

与主束区直接相连的次屏蔽区: 考虑泄漏辐射和主射线束水平方向的散射辐射;

其他区: 仅考虑泄漏辐射。

入口门: 主要考虑泄漏辐射、泄漏辐射的散射辐射和患者散射辐射。

治疗装置带有兆电子伏 (MV) 级和 kV 级的 CT 影像定位引导设备, 辐射源为 2.5MV 和 150kV 的 X 射线, 的 X 射线, 影像检查的受检者剂量约为  $0.5 \sim 1.5\text{cGy/人}$ , 对周围环境辐射影响远小于 6MV (10MV) X 射线, 因此, 加速器室只考虑 6MV (10MV) X 射线的屏蔽问题。

### 11.2.3 加速器室安全分析

(1) 主屏蔽墙宽度安全性分析:

加速器宽方向最大张角不大于  $28^{\circ}$ , 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； $\theta$ —治疗束的最大半张角（相对束中的轴线），本项目加速器取 $14^\circ$ ； $R$ —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。

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

**表11-2 各主束屏蔽区宽度计算结果**

位置	R (m)	所需最小宽度 (m)	设计宽度 (m)	结论
加速器室东墙主束区	4.84	3.51	5.00	满足
加速器室西墙主束区	4.81	3.50	5.00	满足
加速器室顶主束区	5.43	3.81	5.00	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

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

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

式中： $H_0$ —距靶1m处的最大剂量率，(10MV为 $1.44 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ )；

$B_{pri}$ —主屏蔽墙厚度对应的衰减因子；

$R$ —参考点至靶点的距离；

$t$ —屏蔽材料的厚度；

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

表 11-3 加速器射线束在砷、铅中的 TVL 值

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

2) 次屏蔽墙的散射辐射和泄漏辐射利用下列公式进行屏蔽估算:

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

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

式中:  $H_{ps}$ —距散射体  $d_{sec}$ m 处的辐射剂量率;

$B_{ps}$ —一次屏蔽墙厚度对应的衰减因子;

$\alpha$ —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 1600cm<sup>2</sup>;

$d_{sca}$ —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;

$TVL_{sca}$ —半值层厚度, cm, 详见表 11-3;

$H_0$ 、 $t$  同公式 (11-2 和 11-3)。

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

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

式中:  $H_L$ —距靶点  $d_L$ m 处的辐射剂量率;

$B_L$ —一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;

$TVL_e$ 、 $TVL_l$ —平衡半值层和第一半值层厚度, 单位 cm; 详见表 11-3。

$H_0$ 、 $t$  同公式 (11-2 和 11-3)。

## (2) 加速器室剂量率估算结果

加速器室外关注点剂量率估算结果见表 11-4, 平剖面图及剂量评估点见图 11-1。

表 11-4 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	
A	7.6	主束	285 (砼)	2.54E-08	2.49E+07	6.34E-01	东侧土层
B	11.7	次束 (漏射)	310 (砼)	1.35E-10	2.63E+03	3.54E-07	南侧控制室
C	8.6	主束	310 (砼)	5.37E-09	1.95E+07	1.04E-01	西侧走廊
D*	9.1	次束 (漏射)	204 (砼)	3.53E-07	1.74E+04	6.15E-03	西侧走廊
		次束 (散射)		5.18E-08	2.21E+02	1.15E-05	
E	7.7	次束 (漏射)	220 (砼)	1.08E-07	6.07E+03	6.54E-04	北侧吊装孔
M	9.3	次束 (漏射)	160 (砼) +1.5 (铅板)	5.07E-06	1.66E+04	8.43E-02	防护门
H	6.7	主束	300 (砼)	1.00E-08	3.21E+07	3.21E-01	顶上院内道路
I*	6.4	次束 (漏射)	137 (砼) +160 (土)	1.56E-08	3.52E+04	5.49E-04	
		次束 (散射)		1.64E-09	4.47E+05	7.32E-04	

注：(1) 普通混凝土 (砼) 的密度取为  $2.35\text{t/m}^3$ ，土的密度取  $1.6\text{t/m}^3$ ；计算屏蔽衰减因子时将土折算成等效砼厚度；(2) 10MVX 射线有用束距靶 1m 的等中心处的最大剂量率为  $1440\text{Gy/h}$ ；(3) 10MVX 射线  $30^\circ$  方向散射系数为  $3.18 \times 10^{-3}$ ；(4) 表中防护门处仅考虑了机头的泄漏辐射；(5) D、I 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 中加速器室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  $3.02\text{E-}01\mu\text{Gy/h}$  (室顶)，满足  $2.5\mu\text{Sv/h}$  要求。

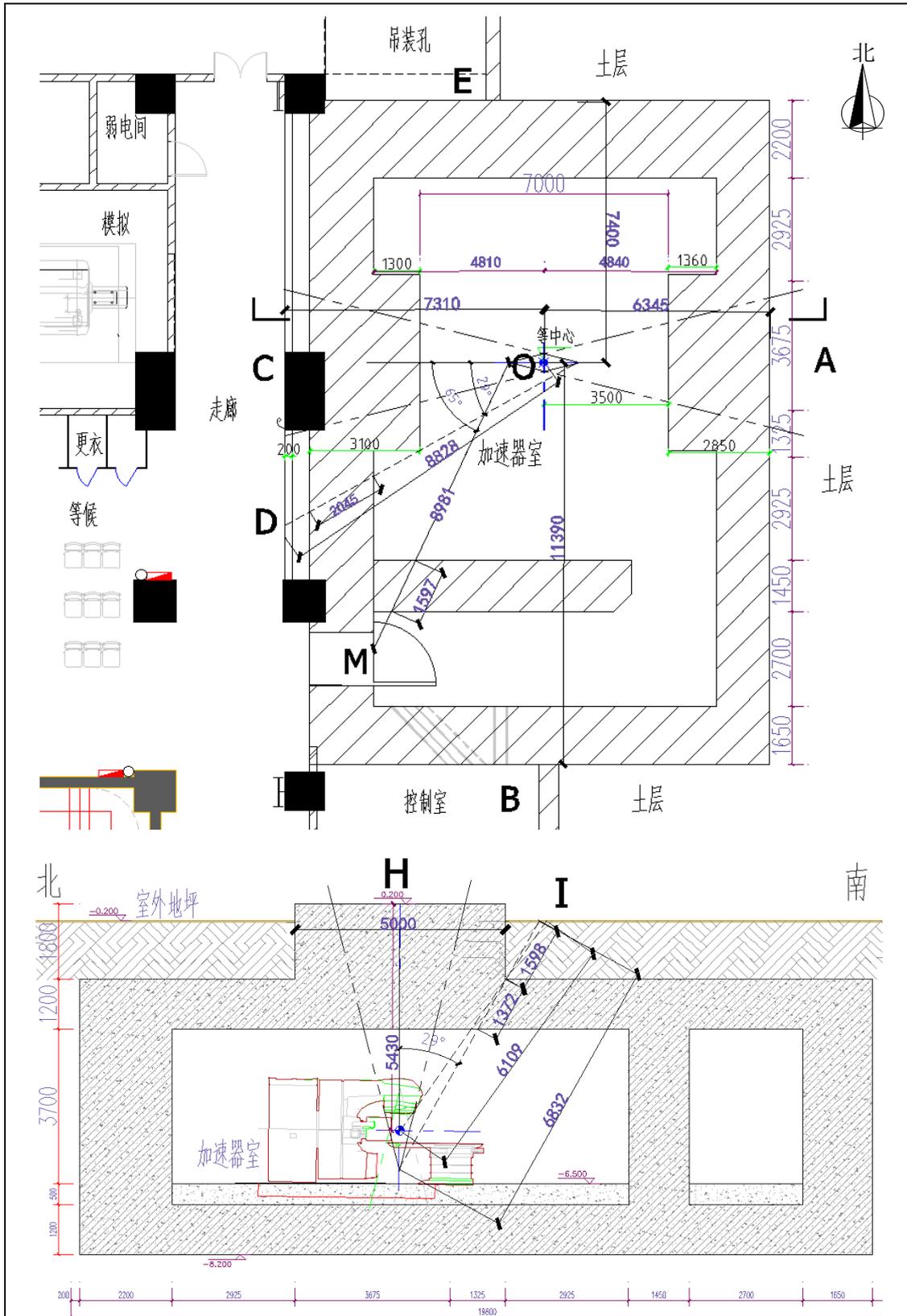


图 11-1 加速器室平剖面图及剂量评估点

### (3) 加速器室外防护门外的辐射剂量估算

根据 GBZT 201.2-2011, 对于 10MV 加速器机房, 防护门外不用考虑中子

的影响。本项目主要考虑主束墙表面的二次散射、患者散射的二次散射、泄漏辐射一次散射、泄漏辐射穿过迷路内墙的贡献。其中 6MV 的散射因子略高于 10MV，本项目散射因子取较大值进行估算，具体如下：

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

1) 主束墙表面的二次散射 ( $H_s$ ) 剂量率估算

$$H_s = \frac{H_0}{d_h^2} \times \frac{\alpha_0 A_0 \alpha_z A_z}{d_r^2 \times d_z^2} \times 10^{-t/TVL} \quad (11-8)$$

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

$\alpha_0$ —主束经散射面  $A_0$  的散射系数 (系数取值由 NCRP REPORT 151 TableB.8a),  
 $2.7 \times 10^{-3}$ ;

$A_0$ —等中心 1.0m 处最大照射野投影在东墙上的面积,  $2.23 \times 2.23 \approx 4.97 \text{m}^2$ ;

$\alpha_z$ —散射经迷路表面  $A_z$  第二次反散射的系数 (系数取值由 NCRP REPORT 151  
 TableB.8a, 能量为 0.5MeV),  $8.0 \times 10^{-3}$ ;

$A_z$ —散射面  $A_0$  的散射线经过迷路内口发散到迷路外墙内表面的散射面积,  
 $1.55 \times 3.7 \approx 5.74 \text{m}^2$ ;

$d_h$ —从靶点至散射面  $A_0$  的距离, 4.50m;

$d_r$ —第一次散射面中心点经迷路内口至迷路中线的距离, 9.87m;

$d_z$ —b 点经迷路中线至防护门外 30cm 入口处的距离, 8.06m;

$t$ —屏蔽厚度;

$TVL$ —什值层厚度, mm。

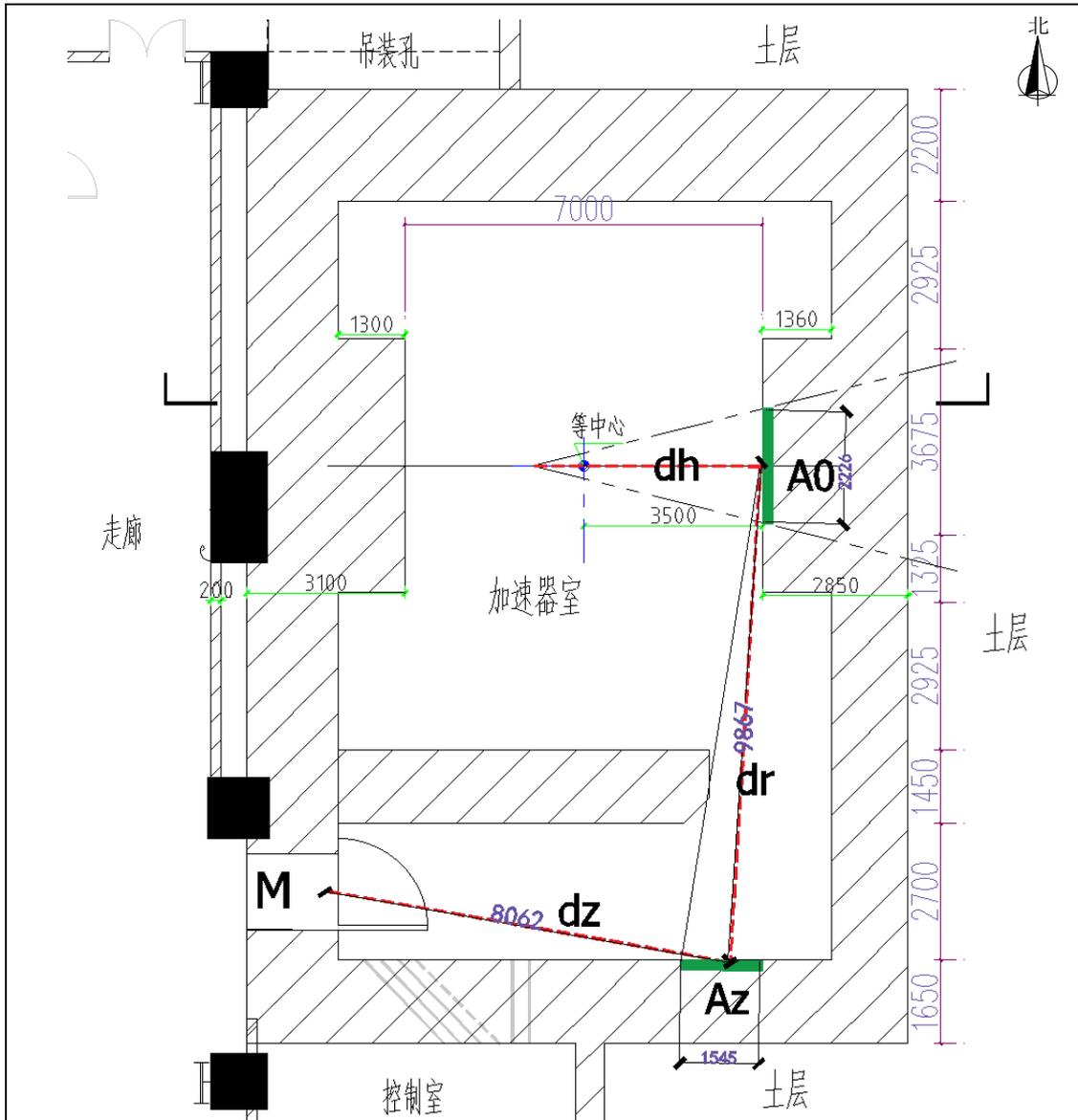


图 11-2 主束墙面散射平面图

2) 加速器机头泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射 ( $H_{LS}$ ) 剂量率估算

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

式中:  $L_f$ —距靶 1m 处装置头泄漏辐射率, 取 0.1%;

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

$a_{LS}$ —南墙对机头漏射辐射的反散射系数 (系数取值查 NCRP REPORT 151 TableB.8b),  $8.0 \times 10^{-3}$ ;

$A_1$ —从门入口处可见墙的面积,  $3.08 \times 3.7 \approx 11.40 \text{m}^2$ ;

$d_{LS}$ —靶至 A1 墙迷路中心线的距离, 10.25m;

$d_{zz}$ —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离, 9.92m;

$t$ —屏蔽厚度;

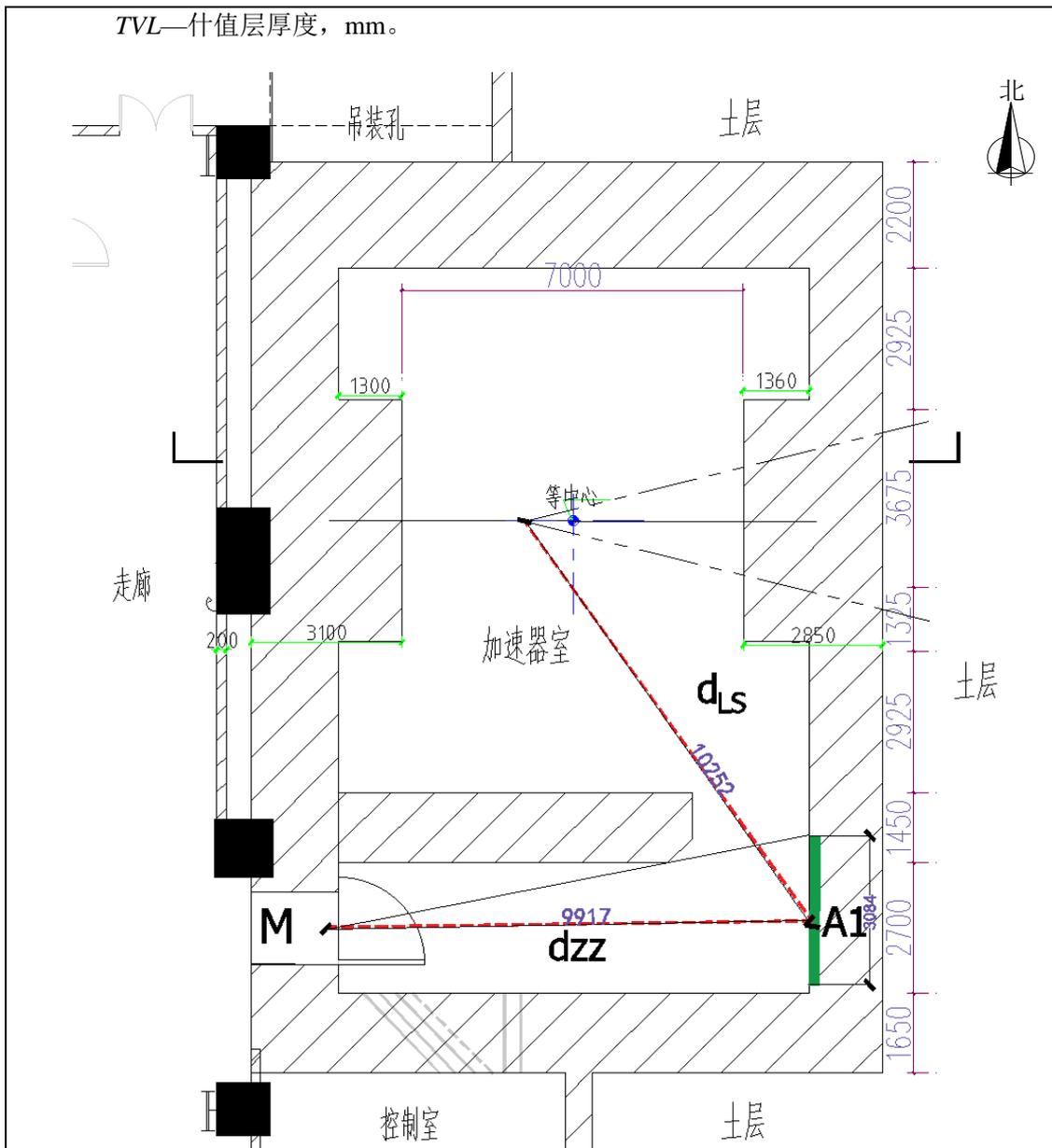


图 11-3 机头漏射线经墙面散射平面图

### 3) 散射辐射的二次散射 ( $H_{PS}$ ) 剂量率估算

$$H_{PS} = \frac{\alpha(\theta) H_0 \left(\frac{F}{400}\right) (\alpha_{PS} A_1)}{d_{scn}^2 \times d_{sec}^2} \times 10^{-t/TVL} \quad (11-10)$$

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

$H_0$ —等中心处的辐射剂量率为  $144 \times 10^9 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ;

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

$\alpha_{PS}$ —西墙对散射辐射的反散射系数 (取值查 NCRP REPORT 151 Table B.8b, 散射能量为  $0.5 \text{MeV}$ , 模体有用束散射辐射的入射角为  $45^\circ$ ),  $1.8 \times 10^{-2}$ ;

$A_1$ —从门入口处可见墙的面积,  $3.26 \times 3.7 = 12.06 \text{m}^2$ ;

$d_{sca}$ —靶至被照射物体的距离，取 1.0m；  
 $d_{sec}$ —等中心点到 A1 墙与迷路中心线交点的距离，9.72m；  
 $d_{zz}$ —从 A1 墙与迷路中心线交点至入口处的距离，9.91m；  
 $t$ —屏蔽厚度；  
 $TVL$ —什值层厚度，mm。

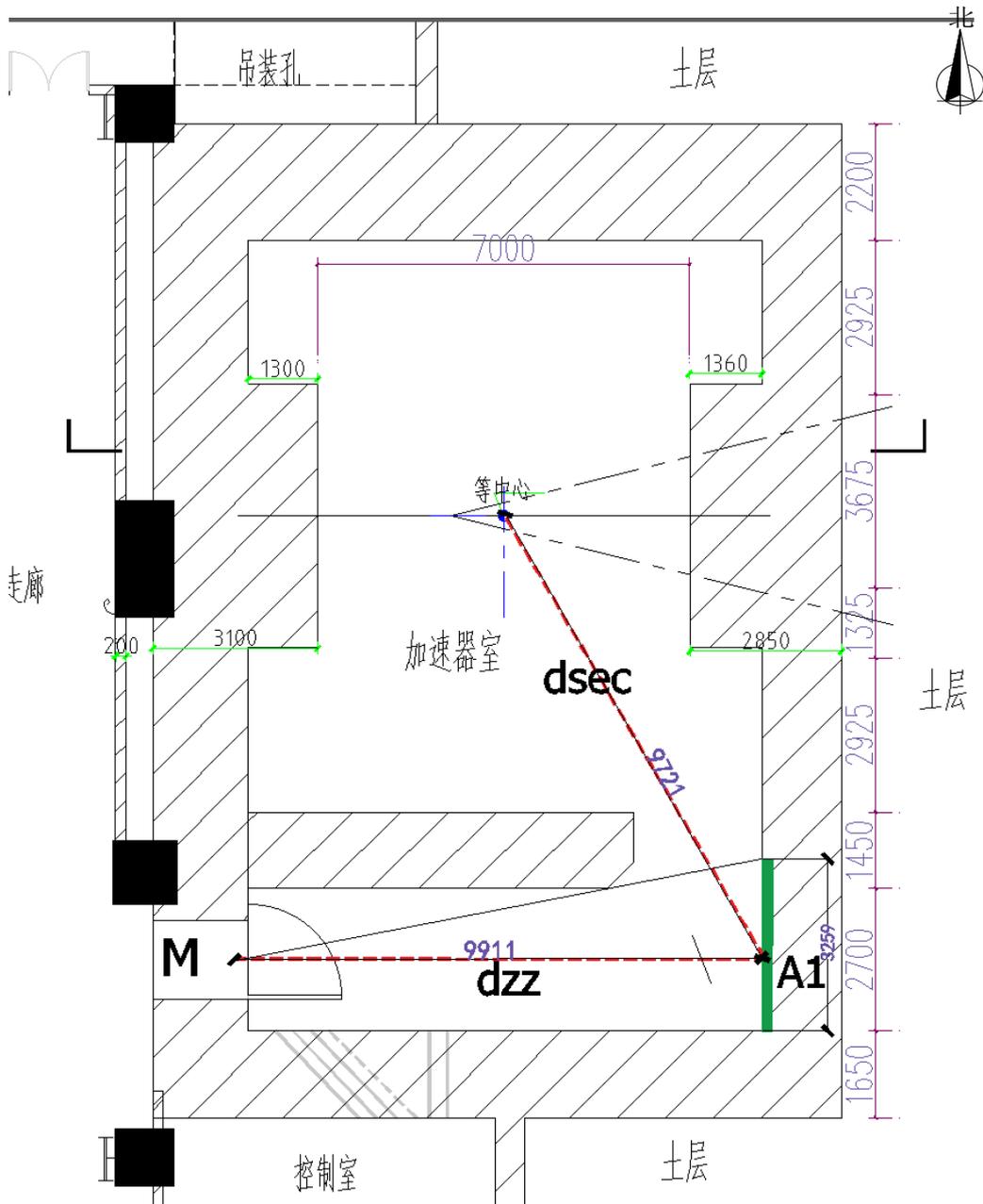


图 11-4 主束通过患者体表散射线经墙面散射平面图

#### 4) 穿过迷路内墙的泄漏辐射剂量率估算

机头泄漏射线贯穿迷道内墙和防护门后的辐射贡献值见表 11-4 的估算结果。

5) 加速器室防护门附近X射线贯穿辐射分析

根据公式11-8~公式11-10和图11-2~图11-4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11-5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。估算出加速器室防护门外散射辐射+泄漏辐射的总剂量率约为 $2.95E-1\mu\text{Gy/h}$ 。

表11-5 加速器室迷路入口处剂量率的计算参数及结果

参数		加速器室
$H_s$	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	1.44E+09
	$\alpha_0$	2.7E-03
	$A_0 (\text{m}^2)$	4.97
	$\alpha_z$	8.0E-03
	$A_z (\text{m}^2)$	5.74
	$d_h (\text{m})$	4.50
	$d_r (\text{m})$	9.87
	$d_z (\text{m})$	8.06
	$t (\text{cm})$	15
	$TVL_{\text{铅}} (\text{mm})$	5
	$H_s(\mu\text{Gy/h})$	<b>6.92E-3</b>
$H_{LS}$	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	1.44E+09
	$L_r$	0.001
	$\alpha_{LS}$	8.0E-03
	$A_l$	11.40
	$d_{LS}(\text{m})$	10.25
	$d_{zz}(\text{m})$	9.92
	$t (\text{cm})$	15
	$TVL_{\text{铅}} (\text{mm})$	5
	$H_{LS}(\mu\text{Gy/h})$	<b>1.27E-2</b>
$H_{ps}$	$H_0(\mu\text{Gy/h})$	1.44E+09
	$\alpha(\theta)$	1.39E-03

	$F$ (cm <sup>2</sup> )	1600
	$\alpha_{PS}$	1.8E-02
	$A_I$	12.06
	$d_{sca}$	1.0
	$d_{sec}$	9.72
	$d_{zz}$	9.91
	$t$ (cm)	15
	$TVL_{铅}$ (mm)	5
	$H_{ps}$ ( $\mu$ Gy/h)	<b>1.87E-1</b>
$H_{LT}$	$H_{LT}$ ( $\mu$ Gy/h)	<b>8.43E-2</b>
$H_{Tot-shield}$		<b>2.91E-1</b>

#### (4) 加速器室周围剂量率水平

根据加速器室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 3.02E-1 $\mu$ Gy/h（室顶院内绿化区），满足本报告设定的剂量率控制水平 2.5 $\mu$ Gy/h。

**评价范围周围的影响：**根据以上估算，加速器室上方的最大附加剂量率为 3.02E-1 $\mu$ Sv/h，经过距离、空气等的衰减影响，附加剂量率至少降低两个数量级，对周围的辐射影响可以忽略不计。

#### 11.2.5 工作人员和公众受照剂量估计

附加年有效剂量计算公式： $E=D \times t \times T \times U \times K$  (11-9)

式中： $E$ --年有效剂量， $\mu$ Sv；

$D$ --计算点附加剂量率， $\mu$ Gy/h；

$t$ --年出束时间，h/a；

$K$ --有效剂量与吸收剂量换算系数，Sv/Gy，本项目取1.0；

$T$ --居留因子；

$U$ --使用因子。

##### (1) 工作人员受照剂量估计

根据以上估算，可预计加速器室周围的工作人员的年附加有效剂量见表 11-6 所示。

表 11-6 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
加速器室工作人员	B	控制室	1	1	937.5	3.54E-7	3.32E-04
	M	防护门外	1/8	1	187.5	2.91E-1	6.82

### (2) 公众受照剂量估计

根据以上估算,可预计加速器室周围的公众的年附加有效剂量见表 11-7 所示。

表 11-7 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
加速器室周围公众	C	西侧走廊	1/16	0.25	187.5	1.04E-1	3.05E-01
	H	顶上院内道路	1/16	0.25	187.5	3.21E-1	9.40E-01
	M	防护门外	1/16	0.25	187.5	2.91E-1	8.53E-01

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 6.82E-03mSv、9.40E-04mSv,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 2022 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 9.40E-01μSv(顶上院内绿化区),也低于设定的剂量约束目标值 0.1mSv/a。

### 11.2.6 O<sub>3</sub>和 NO<sub>x</sub>分析

#### (1) O<sub>3</sub>的产额

本项目加速器具有提供 X 射线和电子线两种模式, X 射线最高能量为

10MV，电子线最高能量为 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 O<sub>3</sub> 的产额。

① 加速器有用线束的 O<sub>3</sub> 产额

$$P = 2.43D_0(1 - \cos \theta)RG \quad (11-10)$$

式中：P 为 O<sub>3</sub> 产额，mg/h；

D<sub>0</sub> 为辐射有用束在距靶 1m 处的输出量，Gy·m<sup>2</sup>/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<sub>3</sub> 分子数（G=10）；

θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O<sub>3</sub> 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<sub>3</sub> 产额增加 10%，O<sub>3</sub> 的产额 P（mg/h）为：

$$P = 3.32 \times 10^{-3}D_0GV^{1/3} \quad (11-11)$$

式中：V 为加速器机房的体积，m<sup>3</sup>；其余符号同（11-10）。

（2）O<sub>3</sub> 的浓度

设：O<sub>3</sub> 的有效分解时间为 t<sub>d</sub>（常取为 0.83h），机房通风换气周期为平均每次换气需通风 t<sub>v</sub> 小时（h）。

机房最高饱和 O<sub>3</sub> 浓度（mg/h）为：

$$Q = \frac{P}{V} \bar{T} \quad (11-12)$$

式中：V 为机房的体积，m<sup>3</sup>；

$\bar{T}$  为 O<sub>3</sub> 的有效清除时间（h）：

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d} \quad (11-13)$$

（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为 388m<sup>3</sup>（10.85m×9.66m×3.7m），风机风量不低于 1700m<sup>3</sup>/h，t<sub>v</sub>=0.228h，按（11-13）计算出  $\bar{T}$ =0.18h。机房相关参数与 O<sub>3</sub>

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<sub>3</sub> 产额计算结果

场所名称	$D_0$ (Gy·m <sup>2</sup> /min)	$\theta$ (°)	$R$ (m)	$V$ (m <sup>3</sup> )	$P$ (mg/h)	$Q$ (mg/m <sup>3</sup> )
加速器室	24	14	4.5	388	83.8	3.9E-02

根据上述估算结果，则臭氧的年总产量不大于 16g。机房 O<sub>3</sub> 浓度最大值为 3.9×10<sup>-2</sup>mg/m<sup>3</sup>，低于浓度限值 0.3mg/m<sup>3</sup>。说明臭氧的影响是较轻微的。这样的 O<sub>3</sub> 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<sub>x</sub>) 中，以 NO<sub>2</sub> 为主，其产额约为 O<sub>3</sub> 的一半，工作场所中的限值为 O<sub>3</sub> 浓度的 16.7 倍，GB3095-2012 中规定的外部环境中 NO<sub>2</sub> 的浓度限值与 O<sub>3</sub> 相近。可见，NO<sub>x</sub> 是安全的。

### 11.2.7 异常事件分析与防范建议

#### (1) 人员误入加速器室并发生误照事故

加速器可能发生的最严重的放射性事故是门机联锁失效，人员误入加速器室而受到意外照射。事故情景假设：在以加速器 10MV 治疗患者过程中，人员误入机房后到达迷道内口处，发现佩戴的个人剂量报警仪报警，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 11-5 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 10MV 运行时迷道口内剂量率水平 (μSv/h)

编号	剂量来源	迷道口内
1	主束穿过自屏蔽体后经过迷路外墙的一次散射	6.92
2	泄漏辐射经屏蔽墙的一次散射	12.7
3	散射辐射的二次散射	1.87E+2
4	穿过迷路内墙的泄漏辐射	1.38E-1
合计		207.2

保守假设在迷道口内停留 10s，最大受照剂量约为 0.58μSv，对误入人员健康不会造成影响。

该装置设有门机安全联锁系统，以及在治疗室和迷道内设置有闭路监视系统，可有效防止该事故发生。此外，加速器放疗工作人员须佩戴个人剂量报警

仪进入治疗室。一旦出现误入情况，报警仪会提醒工作人员，立即撤出。

## (2) 其它异常运行事件和防范措施

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

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

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

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

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

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

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

## 11.8 项目环保验收内容建议

根据项目建设和运行情况，评价单位建议本项目竣工环境保护验收的内容见表11-13。

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 $\mu$ 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、急停按钮等, 可有效防止职业和公众受到意外照射。
监测仪器	备检测仪器: 新配 1 台便携式辐射剂量仪、2 台个人剂量报警仪、1 套固定式剂量报警仪。辐射工作人员进行个人剂量监测, 建立健康档案。
规章制度	已经制定有各项安全管理制度、操作规程、工作人员培训考核计划等。辐射安全管理制度和操作规程得到宣贯和落实。
人员培训	辐射工作人员均通过辐射安全和防护考核。
应急预案	辐射事故应急预案符合工作实际, 应急预案明确了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。本项目为在已许可项目增加同类型的设备，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配置至少 11 人辐射工作人员（科里至少增配到 21 人），将在生态环境部培训平台报名参加并通过辐射安全和防护考核，经过考核合格后持证上岗，并及时参加每五年一次的重重新考核，同时按照国家相关规定进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监

护档案，并为工作人员保存职业照射记录。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

北京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1台辐射剂量巡测仪、2台个人剂量报警仪、1套固定式剂量报警仪，能够满足医院辐射防护和环境保护的要求。对于已配备的和今后拟配置的防护监测设备，将定期送计量检定部门

进行检定，保证仪器可靠的功能状态。拟建立辐射环境自行监测记录或报告档案，并妥善保存，接受生态环境行政主管部门的监督检查。新增项目实施后，工作人员使用拟配备的辐射剂量巡测仪，对拟建辐射工作场所进行监测，本项目自行监测方案如下。

(1) 监测项目：X 剂量率水平

(2) 检测设备：X-γ 辐射辐射剂量巡测仪

(3) 检测频次：剂量率水平每年不少于 1 次。

(4) 工作场所 X 剂量率水平监测：点位包括点位加速器室四周和楼上 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 加速器室监测计划

场 所	测点编号	位置描述	检测频次
加速器室	1	控制室	1 次/年
	2~3	西侧走廊	1 次/年
	4	北侧吊装孔	1 次/年
	5	防护门外	1 次/年
	6	楼上院内绿化区	1 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。

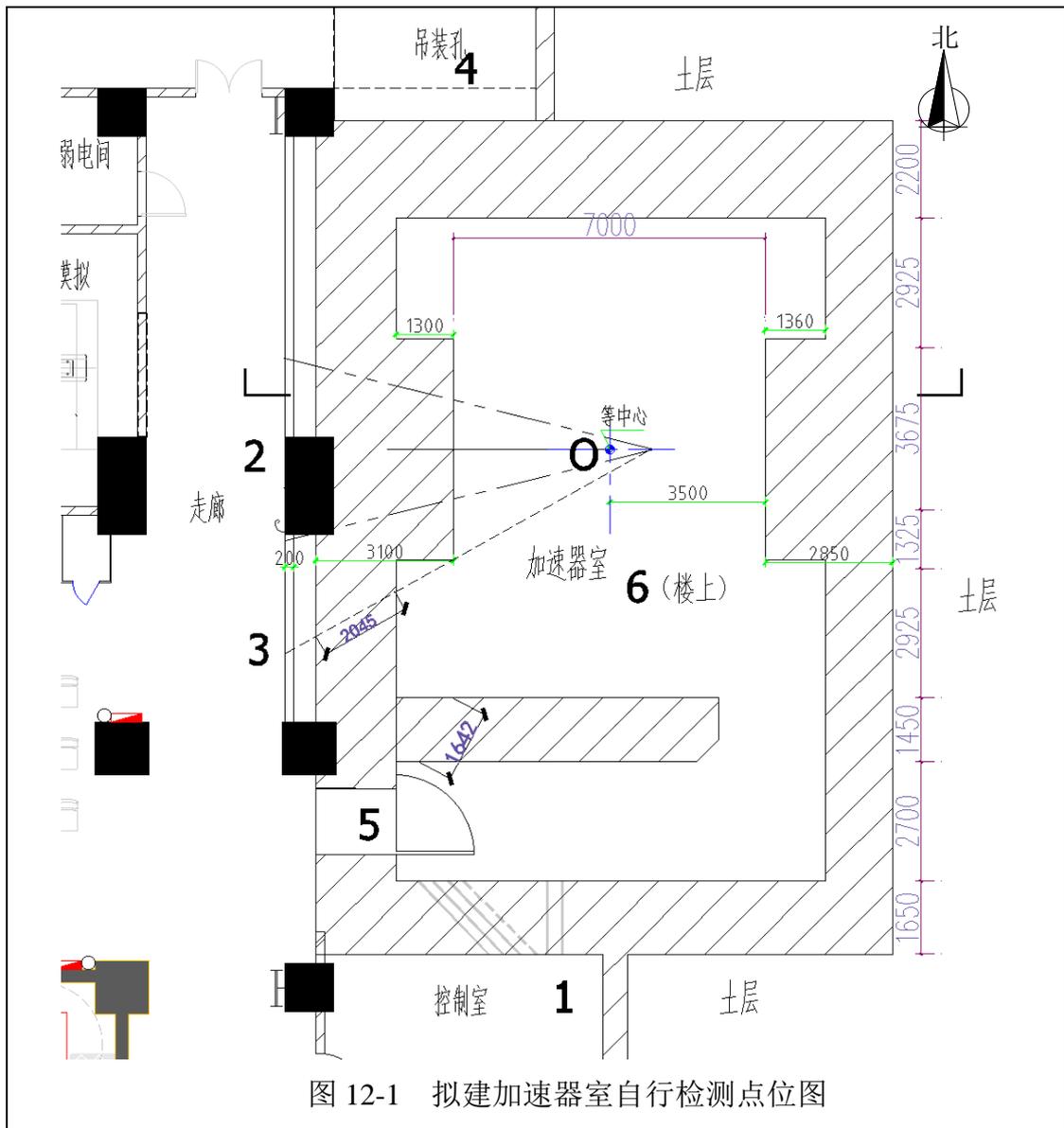


图 12-1 拟建加速器室自行检测点位图

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，二期工程预留 1 间加速器机房及相关场所。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

随着肿瘤病患的日益增加，北京清华长庚医院放射治疗科仅有的 1 台医用电子直线加速器已不能满足就医需求。为了提升放射治疗科的医疗水平和就医环境，医院拟在二期东侧新建加速器机房并新增 1 台医用电子直线加速器，本项目加速器 X 射线最大能量为 10MV，直线加速器设备运行可不考虑放射性“三废”，对周围环境的辐射影响也很小，对职业人员、公众环境带来的不利影响，远低于其使用对社会带来的利益，故该核技术应用项目具有正当性和必要性。

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

#### 13.1.4 辐射防护屏蔽能力分析

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

### **13.2 承诺**

为了保护环境,保障人员健康,北京清华长庚医院承诺:

- (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。



