

核技术利用建设项目

住院楼 **B2** 层放疗科加速器移机项目

环境影响报告表

建设单位:中国医学科学院北京协和医院(公章)

2023 年 9 月

核技术利用建设项目

住院楼 B2 层放疗科加速器移机项目

环境影响报告表

建设单位名称：中国医学科学院北京协和医院

建设单位法人代表（签名或签章）：张抒扬

通讯地址：北京市东城区王府井帅府园 1 号

邮政编码：100730

联系人：王文婷

电子邮箱：pumch_jjdlc@126.com

联系电话：010-69154346

表 1 项目基本情况

建设项目名称		住院楼 B2 层放疗科加速器移机			
建设单位		中国医学科学院北京协和医院			
法人代表	张抒扬	联系人	王文婷	联系电话	010-69154346
注册地址		北京市东城区王府井帅府园 1 号			
项目建设地点		北京协和医院帅府 1 号院住院楼地下二层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资(万元)	6000	项目环保投资(万元)	300	投资比例（环保投资/总投资）	5%
项目性质		☐ 新建 ☒ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	550
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类（医疗使用） ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☒ II 类 ☐ III 类		
	其他				
	1.项目概述 1.1 医院概况 中国医学科学院北京协和医院（以下简称“北京协和医院”或“医院”）是集医疗、教学、科研于一体的大型三级甲等综合医院，是国家卫生健康委指定的全国疑难重症诊治指导中心，以学科齐全、技术力量雄厚、特色专科突出、多学科综合优势强大享誉海内外。 北京协和医院建成于 1921 年，由洛克菲勒基金会创办。建院之初，就志在“建成亚洲最好的医学中心”。建院以来，医院形成了“严谨、求精、勤奋、奉献”的协和精神和兼容并蓄的特色文化风格，创立了“三基”、“三严”的现代医学教育理念，形成				

了以“教授、病案、图书馆”著称的协和“三宝”，培养造就了张孝骞、林巧稚等一代医学大师和多位中国现代医学的领军人物，并向全国输送了大批的医学管理人才，创建了当今知名的 10 余家大型综合及专科医院。2011 年在总结 90 年发展经验的基础上，创新性提出了“待病人如亲人，提高病人满意度；待同事如家人，提高员工幸福感”新办院理念。

目前，医院总建筑面积 60 万平方米，在职职工 4000 余名、两院院士 3 人、临床和医技科室 57 个、国家级重点学科 20 个、国家临床重点专科 29 个、博士点 18 个、硕士点 28 个、国家级继续医学教育基地 6 个、二级学科住院医师培养基地 18 个、三级学科专科医师培养基地 15 个。开放住院床位 2000 余张，单日最高门诊量约 1.73 万人次、年出院病人约 9.5 万余人次。被评为“全国文明单位”、“全国创先争优先进基层党组织”、“全国卫生系统先进集体”、“首都卫生系统文明单位”、“最受欢迎三甲医院”，荣获全国五一劳动奖章。同时，医院还承担着支援老少边穷地区、国家重要活动和突发事件主力医疗队的重任，在 2008 年北京奥运工作中荣获“特别贡献奖”。协和人以执着的医志、高尚的医德、精湛的医术和严谨的学风书写了辉煌的历史，今天的协和人正为打造“中国特色、世界一流”医院的目标而继续努力。

协和医院帅府 1 号院院区地理位置见附图 1 所示。协和医院帅府 1 号院区以及周围环境示意图见附图 2 所示。

1.2 核技术应用情况

协和医院现持有北京市生态环境局颁发的辐射安全许可证（京环辐证[A0012]，见附件 1），有效期至 2027 年 10 月 26 日，许可使用 III 类、V 类放射源，使用 II 类、III 类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

（1）已许可使用的放射源：医院已获许可使用的放射源见表 1-1。

表 1-1 已许可使用的放射源

序号	核素	类别	总活度(贝可)/活度(贝可)×枚数	活动种类
1	Ge-68	V	1.41E+8×7	使用；
2	Cs-137	V	3.33E+6×1	使用；
3	Cs-137	V	8.7E+5×1	使用；
4	Ge-68	V	7E+7×3	使用；
5	Co-57	V	1.85E+8×2	使用；
6	Ge-68	V	4.6E+7×2	使用；
7	Sr-90	V	3.3E+8×2	使用；
8	Sr-90	V	1.7E+8×1	使用；
9	Sr-90	V	3.7E+8×1	使用；

10	Ge-68	V	9.25E+7×1	使用；
11	Co-57	V	7.4E+8×1	使用；
12	Ge-68	V	5.55E+7×1	使用；
13	Ge-68	V	1.76E+7×1	使用；
14	Ge-68	V	9.25E+7×1	使用；
15	Ge-68	V	4.63E+7 ×2	使用；
16	Ge-68	V	7.40E+7×1	使用；
17	Co-57	V	7.40E+8×1	使用；
18	Ir-192	III	3.7E+11×3	使用；

(2) 已许可使用的非密封放射性物质：医院已获许可使用的非密封放射性物质汇总情况，见表 1-2。

表 1-2 已许可使用的非密封放射性物质

序号	工作场所名称	等级	核素	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	活动种类
1	转化医学综合楼核医学科 SPECT 影像区	乙	Tc-99m	4.44E+6	1.33E+12	使用；
2	转化医学综合楼核医学科 SPECT 影像区	乙	I-131	6.66E+7	6.66E+10	使用；
3	东单院区核医学科	乙	Ga-68	1.85E+7	2.32E+11	使用；
4	东单院区核医学科	乙	In-111	3.7E+7	9.25E+10	使用；
5	东单院区核医学科	乙	Ra-223	7.4E+7	2.25E+8	使用；
6	东单院区核医学科	乙	Ge-68--Ga-68 发生器	5.55E+7	3.7E+9	使用；
7	东单院区核医学科	乙	Tc-99m	9.2E+8	2.3E+13	使用；
8	转化医学综合楼核医学科核素治疗病区	乙	Lu-177	1.48E+8	1.48E+12	使用；
9	转化医学综合楼核医学科核素治疗病区	乙	I-131	2.78E+9	5.78E+12	使用；
10	帅府 1 号院核医学科	乙	In-111	1.85E+7	1.85E+10	使用；
11	帅府 1 号院核医学科	乙	N-13	7.4E+7	7.4E+11	使用；
12	帅府 1 号院核医学科	乙	Ga-68	3.7E+7	4.9E+11	使用；
13	帅府 1 号院核医学科	乙	Tl-201	7.4E+6	7.4E+9	使用；
14	帅府 1 号院核医学科	乙	F-18	5.32E+7	7.98E+11	使用；
15	帅府 1 号院核医学科	乙	I-131	7.4E+7	7.4E+10	使用；
16	帅府 1 号院核医学科	乙	Tc-99m	2.22E+6	5.55E+11	使用；
17	帅府 1 号院核医学科	乙	C-11	7.4E+7	7.4E+11	使用；
18	帅府 1 号院核医学科	乙	I-123	1.85E+7	1.85E+11	使用；
19	帅府 1 号院核医学科	乙	Cr-51	7.4E+4	1.85E+8	使用；
20	帅府 1 号院核医学科	乙	O-15	7.4E+7	7.4E+11	使用；
221	东单院区核医学科 PET 中心	乙	O-15	7.4E+7	7.4E+11	使用；

22	东单院区核医学科 PET 中心	乙	N-13	7.4E+7	7.4E+11	使用;
23	东单院区核医学科 PET 中心	乙	I-123	1.11E+7	2.7E+11	使用;
24	东单院区核医学科 PET 中心	乙	F-18	3.7E+8	9.25E+12	使用;
25	东单院区核医学科 PET 中心	乙	C-11	7.4E+7	7.4E+11	使用;
26	东单院区核医学科放免治疗区	乙	Sm-153	1.48E+8	1.85E+12	使用;
27	西单院区核医学科	乙	Tc-99m	1.85E+7	5.55E+12	使用;
28	西单院区核医学科	乙	F-18	5.55E+6	1.33E+12	使用;
29	西单院区手术室	丙	I-125	3.7E+9	1.7E+13	使用;
30	东单院区核医学科放免治疗区	乙	I-131	1.3E+8	2.6E+12	使用;
31	东单院区核医学科放免治疗区	乙	Sr-89	4.5E+7	1.1E+11	使用;
32	东单院区核医学科放免治疗区	乙	P-32	1.85E+7	4.63E+10	使用;
33	东单院区核医学科放免治疗区	乙	I-125	3.3E+7	3.3E+10	使用;
34	转化医学综合楼核医学科 PET 影像区	乙	C-11	5.55E+5	8.88E+9	使用;
35	转化医学综合楼核医学科 PET 影像区	乙	Ga-68	3.70E+5	1.85E+10	使用;
36	转化医学综合楼核医学科 PET 影像区	乙	F-18	1.48E+6	4.44E+11	使用;
37	东单院区内分泌放免实验室	丙	I-125	6.66E+7	1.3E+12	使用;
38	东单院区外科楼手术室	乙	I-125	3.7E+9	1.7E+14	使用;
39	转化医学综合楼核医学科 PET/MR 检查室	丙	F-18	7.40E+5	1.85E+11	使用;
40	转化医学综合楼核医学科 PET/MR 检查室	丙	C-11	2.78E+6	4.44E+10	使用;

3) 已许可使用的射线装置：医院已获许可使用的射线装置见表 1-3。

表 1-3 已许可使用的射线装置

序号	装置名称	类别	装置数量	活动种类
1	牙片机	III	9	使用;
2	放射治疗模拟定位机	III	2	使用;
3	DR	III	3	使用;
4	医用电子直线加速器	II	3	使用;
5	数字双能 X 线骨密度仪	III	5	使用;
6	SPECT-CT	III	8	使用;
7	移动床边机	III	16	使用;
8	放射治疗模拟定位机	III	1	使用;
9	尿动力 x 线检查机	III	1	使用;
10	医用 CT 机	III	20	使用;
11	多模式一体化数码放射治疗系统	II	1	使用;
12	碎石机	III	2	使用;
13	曲面断层机	III	4	使用;
14	C 型臂	III	7	使用;

15	加速器	II	8	使用;
16	数字胃肠机	III	4	使用;
17	DS 全数字乳腺 X 射线机	III	5	使用;
18	CT 四维模拟定位机	III	1	使用;
19	普通 X 线机	III	22	使用;
20	PET-CT	III	6	使用;
21	膀胱镜 X 线检查台	III	2	使用;
22	医用介入 X 射线装置	II	14	使用;

1.3 医院近几年履行环保审批手续情况

医院自 2018 年以来,开展的核技术利用项目均履行了环保审批手续,详见表 1-4 所示。医院委托有能力技术单位编制验收报告,自行组织了具备验收条件的项目开展竣工环保验收。

表 1-4 近几年履行环保审批手续情况一览表

编号	项目名称	环保审批	竣工环保验收
1	更新医用电子直线加速器	京环审[2018]17 号	因设备和方案调整,已重新履行环评手续。
2	更新射线装置 (CT 机)	201811010100000099	备案项目,已登证。
3	更新射线装置 (移动床边机、普通 X 线机)	201811010100000102	备案项目,已登证。
4	西院区改造工程 (新增八台 X 射线诊断设备)	201811010200000594	备案项目,已登证。
5	新增使用 1 台 TOMO 装置	京环审[2019]58 号	2020 年 11 月完成了自行竣工环保验收。
6	转化医学综合楼放射治疗	京环审[2019]63 号	2023 年 5 月完成部分设备竣工环保验收,其余设备正在安装调试中。
7	变更医用电子直线加速器	京环审[2019]343 号	2020 年 11 月完成了自行竣工环保验收。
8	变更医用电子直线加速器	京环审[2020]11 号	2020 年 11 月完成了自行竣工环保验收。
9	内科楼血液净化中心工程 DSA	京环审[2019]150 号	2021 年 5 月完成了自行竣工环保验收。
10	西单院区口腔中心改造工程	201911010200000563	备案项目,已登证。
11	新增丙级临时工作场所退役	202011010100000208	备案项目,已完成退役。
12	转化医学综合楼核医学	京环审[2020]45 号	正在申请许可证,后续开展竣工环保验收。
13	西单院区放射科改造工程 (新增及移用两台 X 射线摄影机)	201911010200000697	备案项目,已登证。
14	丙级临时工作场所退役	202011010100000208	已完成退役工作
15	新增牙科 X 射线机并新建机房	202111010200000213	备案项目,已登证。
16	门急诊楼更新数字 X 线摄影机一台	202011010100000456	备案项目,已登证。
17	新增双源 CT 并新建机房	202111010200000485	备案项目,已登证。
18	迁移牙科 X 射线机并新建机房	202111010200000486	备案项目,已登证。

19	新增医用 X 射线床旁摄影机 2 台	202111010200000487	备案项目，已登证。
20	北京协和医院使用放射源和射线装置	202011010100000931	备案项目，已登证。
21	北京协和医院发热门诊更新医用 CT 一台	202011010100000890	备案项目，已登证。
22	变更转化医学综合楼放射治疗设备	京环审[2021]97 号	2023 年 5 月完成部分设备竣工环保验收。
23	内科楼介入中心使用 DSA	京环审[2021]93 号	设备调试，近期验收。
24	转化医学综合楼使用 DSA 项目	京环审[2022]75 号	项目建设中
25	心内科导管室升级改造并更新使用血管造影机项目	京环审[2022]85 号	项目建设中
26	东单院区新增 III 类射线装置	202211010100000581	备案项目，已登证。
27	东单院区新增 III 类射线装置	202211010100000579	备案项目，已登证。
28	西单院区核医学科使用射线装置和刻度源	202211010200000637	备案项目，已登证。
29	转化医学综合楼核医学科使用射线装置	202211010100000592	备案项目，已登证。
30	新增医用 X 射线数字摄影并改建机房	202211010200000499	备案项目，已登证。
31	中国医学科学院北京协和医院东单院区转化医学综合楼 B3 层新增 1 台常规模拟机、1 台 CT 模拟机建设项目	202211010100000502	备案项目，已登证。
32	迁移乳腺 X 射线机并新建机房	202211010200000715	备案项目，已登证。
33	北京协和医院转化医学综合楼核医学科使用刻度源项目	202211010100000627	备案项目，正在申请许可。
34	中国医学科学院北京协和医院东单院区新增 III 类射线装置	202211010100000824	备案项目，正在申请许可。

1.4 放射性废物和放射源的安全管理

2017 年 4 月后，依据《北京市医疗机构核医学放射性废物清洁解控管理办法》（试行），将 A 类固体废物暂存超过 30 天、B 类固体废物暂存时间超过 10 倍最长半衰期且不少于 30 天后，使用监测仪器进行表面监测，达标后作为医疗废物处置。对含 A 类放射性废液进行自行清洁解控处置，对于含 B 类放射性废液，委托第三方检测机构监测后达标排放。

评价期间查阅了核医学科的“放射性固体废物暂存、处置管理台账”，记录内容包括放射性固体废物分类、废物所含核素名称、重量（kg）、废物暂存起始日期、废物暂存截止日期、表面污染自测结果、辐射剂量率自测结果、是/否符合解控要求、废物处置日期、废物处置操作人员、部门负责人审核、废物去向等，每一袋放射性固体废物填写一行台帐记录。

2022 年退回厂家或城市废物库废旧放射源 4 枚，更新 4 枚，新增 6 枚，并向北京市生态环境局完成备案工作。

1.5 辐射安全管理情况

（一）辐射环境安全管理机构

为了保证放射性同位素和射线装置的安全使用和有效管理，保障辐射工作人员的健康与安全，医院设立了辐射安全防护管理委员会，主任委员由主管副院长担任，委员会负责全院辐射安全与防护工作的领导工作。医院辐射安全与环境保护管理委员会组成见附件 2。

辐射安全防护管理委员会下设辐射防护管理工作小组，具体开展辐射安全与防护工作，主要职责包括：

①负责对本单位辐射安全管理制度编制、修订、完善，并组织实施；

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

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

④负责辐射安全设施和仪器的维护和管理，组织进行辐射工作场所和周边环境监测；

⑤负责对辐射工作人员进行个人剂量监测，并进行人员健康、保健管理。

（二）已建立的辐射防护规章制度及执行情况

协和医院制定了一系列的规章制度：辐射安全（放射防护）管理委员会及其职责、辐射及放射卫生防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、辐射安全（放射防护）培训考核制度、辐射及放射卫生监测方案、辐射及放射工作人员个人剂量监测和健康管理制、台帐管理制度\放射性废物、废水、废气处理方案\操作规程\核医学病房管理制度\后装机装源、倒源、检修和返回规程，以及辐射及放射卫生事故（件）应急预案。。

为了加强对辐射安全和防护管理工作，协和医院辐射安全与防护管理委员会负责医院的放射防护监督和管理的工作，使用放射性同位素和射线装置的有关科室负责人承担组织执行辐射安全措施和制度的责任，医务处负责对全院辐射防护管理制度执行情况的监督检查。每年依据相关法律法规对医院辐射工作的安全和防护状况，编写年度评估报告，并向生态环境主管部门上报。

（三）辐射工作人员培训考核

北京协和医院严格按照国家相关规定执行辐射工作人员持证上岗制度。目前，医院从事放射工作的职业人员和管理人员共计 418 人，均参加了生态环境主管部门认可的单位组织的辐射安全与防护培训考核或辐射安全与防护网上考核，并取得合格证书，已通

过辐射安全培训考核人员名单见附件 3 所示。

今后如需新增辐射工作人员,将及时安排其报名并参加国家核技术利用辐射安全与防护培训平台的考核,持证上岗。

(四) 个人剂量监测和场所监测情况

(1) 个人剂量监测

医院所有辐射工作人员均佩戴个人剂量计,依照《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019)、《放射工作人员职业健康管理辦法》(原卫生部令第 55 号)和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环保部 18 号令)的要求,建立个人剂量档案。

医院指定专人负责个人剂量监测管理工作。目前,医院的个人剂量检测委托北京市疾病预防控制中心放射卫生防护所按每季度 1 次的频度开展,并将每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案,个人剂量档案齐全。

根据医院提供的 2022 年度的个人剂量监测报告显示,参与个人剂量监测的 581 名人员,包含辐射工作人员、进修人员、保洁人员和就医引导人员等,年剂量超出 1mSv 的有 2 人(1.41mSv、1.01mSv),均为介入治疗辐射工作人员,受照剂量与工作性质和工作负荷相符,监测结果未见异常。

医院今后将继续加强个人受照剂量的监管,如果某位职业人员的单季度个人剂量监测结果高于年剂量约束值 1/4,将对其受照原因进行调查,结果由本人签字后存档;如果单季度个人剂量监测结果高于剂量约束值,将追查超标原因,并采取调离工作岗位或控制从事辐射工作时间等措施,保障辐射工作人员的健康。

(2) 工作场所环境辐射水平监测

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。

2022 年 8 月-11 月,医院委托北京市疾病预防控制中心对医院全部在用射线装置、机房防护及核医学工作场所、粒子植入场所进行检测,检测结果全部合格。

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,协和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,对操作非密封放射性同位素工作场所的工作台台面、通风橱台面、注射车以及设备等进

行表面污染监测，监测数据记录并存档。

（五）辐射监测仪器和防护用品配备情况

医院现配备有便携式辐射监测仪、便携式表面污染仪和个人剂量报警仪等辐射监测仪器设备，此外，医院为医护人员和受检者配备了必要的个人防护用品。

（六）辐射应急措施

医院根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十二条，原国家环境保护总局《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号）的规定，针对放射源丢失、被盗、卡源或操作失误，各射线装置工作场所安全联锁失效、人员误操作，以及核医学工作场所放射性药物丢失、洒漏等一系列可能造成人员超剂量照射事故（件）、环境污染事故（件）及其他辐射环境突发事件（件）的意外情况，制定了有针对性的《辐射事故应急处理预案》。医院每年至少组织一次全院应急演练。一旦发生辐射事故，医院将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 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，还将向当地卫生行政部门报告。

2022 年 7 月，分别在东单院区、西单院区的放射科、放射治疗科、核医学科进行了 4 次行辐射应急演练并进行总结。

1.6 本项目概况

1.6.1 项目背景

为了更好地满足肿瘤放射治疗的需要，协和医院拟在帅府 1 号院区住院楼地下二层放疗科机房内搬迁使用现有的 1 台医用直线加速器。

1.6.2 项目意义和必要性

帅府 1 号院区住院楼放疗科现有 1 台 Artiste 型医用直线加速器(6MV,200cGy/min)，使用已超过 10 年，治疗精度下降，故障频发，现已停用。医院拟将东单院区老楼现有的 1 台 TrueBeam 型医用直线加速器（1400cGy/min@6MV, 600cGy/min@10MV）搬迁至帅府 1 号院区放疗科，替换原有的 Artiste 型医用直线加速器，同时也将老楼放疗设备全部迁出。

1.6.3 项目性质和建设内容

帅府 1 号院区搬迁使用 1 台医用电子直线加速器项目的性质属于改建。

项目建设内容：将帅府 1 号院区住院楼地下二层放疗科现有的 1 台 siemens 公司 Artiste 型医用直线加速器（300cGy/min@6MV）进行报废处理，将东单院区老楼现有

的 1 台 TrueBeam 型医用直线加速器（1400cGy/min@6MV, 600cGy/min@10MV）搬迁至该腾空机房内使用，年最大出束时间不足 500h。

依照《射线装置分类》的规定，医用直线加速器属于 II 类射线装置。依照现行《建设项目环境影响评价分类管理名录》规定，本项目搬迁的加速器能量和剂量率较原有设备显著增加，不符合编制安全分析报告要求，应编制环境影响报告表，报生态环境主管部门审批。

根据《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，北京协和医院委托北京科欣科技发展有限公司开展“住院楼 B2 层放疗科加速器移机装置”项目的环境影响评价工作。

北京科欣科技发展有限公司符合生态环境部《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)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。北京科欣科技发展有限公司环评人员在现场踏勘、监测、收集资料的基础上，编制了住院楼 B2 层放疗科加速器移机项目环境影响报告表。评价重点是加速器设备在运行过程中产生的 X 射线对操作人员、周围员工及公众和环境的影响。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
无								

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
无										

注：日等效最大操作量和操作方式见国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（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	电子直线 加速器	II	1	TrueBeam	电子	10MV (X 线) 20MeV(电子束)	X 线: 1400cGy/min@6MV; 600cGy/min@10MV 电子束: 1000cGy/min	放射 治疗	帅府 1 号院住 院楼地下二层加 速器机房	从老楼放疗科搬迁 至帅府1号院,原 有的加速器报废处 置。

(二)X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

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

(三)中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
有害气体 O ₃ 等	气体				<10g	<0.01 mg/m ³	直接排放	经通风系统直接排入环境大气

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

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

表 6 评价依据

法规文件	1. 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令[2014]第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施； 2. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令[2003]第 6 号，2003 年 10 月 1 日起实施； 3. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2002 年 10 月 28 日通过，自 2003 年 1 月 1 日起施行； 2016 年 7 月 2 日第一次修正； 2018 年 12 月 29 日第二修正； 4. 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005 年 9 月 14 日经国务院令 449 号公布；2014 年 7 月 29 日经国务院令 653 号修订；2019 年 3 月 2 日经国务院令 709 号修订； 5. 《建设项目环境保护管理条例》，1998 年 11 月 29 日国务院令 253 号发布施行； 2017 年 7 月 16 日国务院令 682 号修订， 2017 年 10 月 1 日起施行； 6. 《医疗器械监督管理条例》，2000 年 1 月 4 日中华人民共和国国务院令 276 号公布，2014 年 2 月 12 日国务院第 39 次常务会议修订通过，2020 年 12 月 21 日国务院第 119 次常务会议修订通过）； 7. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》2006 年 1 月 18 日，原国家环境保护总局令 31 号公布；2008 年 12 月 6 日经原环境保护部令 3 号修改；2017 年 12 月 20 日经原环境保护部令 47 号修改；2019 年 8 月 22 日经生态环境部令 7 号修改；2021 年 1 月 4 号生态环境部令 20 号修订并实施； 8. 《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，2011 年 5 月 1 日起施行； 9. 《建设项目环境影响评价分类管理名录(2021 年版)》，生态环境部令[2020]第 16 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行； 10. 关于发布《射线装置分类的公告》，原环境保护部 原国家卫生和计划生育委员会公告[2017]第 66 号，2017 年 12 月 6 日起施行； 11. 《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； 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，原环境保护部，2017 年 11 月 20 日；
------	--

	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12月6日； 14. 《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告〔2019〕第57号，2019年12月23日起施行； 15. 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，生态环境部，2020版； 16. 《关于发布〈建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法〉配套文件的公告》，生态环境部公告2019年第38号，2019年11月1日起施行 17. 《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，2020年1月1日起施行； 18. 《北京市城乡规划条例》，2019年3月29日修订； 19. 《北京市新增产业的禁止和限制目录（2022年版）》。
技术标准	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)； 2. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)； 3. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）； 4. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 5. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 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）； 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）； 8. 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ 1198-2021）； 9. 《放射治疗放射防护要求》（GBZ121-2020）； 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）； 11. 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012） 12. 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）； 13. 《医用电子直线加速器质量控制检测规范》（WS674-2020）。

其他	1. 中国医学科学院北京协和医院环境影响评价咨询协议书; 2. 医院放射诊疗操作规程、辐射安全管理制度、个人剂量检测报告等相关资料; 3. NCRP REPORT NO. 151 “Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X-and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities” (2005 年); 4. 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。
----	--

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目评价内容，按照《辐射环境保护管理导则核技术应用项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）要求，确定该项目辐射环境影响评价的范围：以加速器机房实体屏蔽外周界向外围扩展 50m 的区域作为评价范围。

7.2 评价目的

通过对本项目内容进行分析和估算，以期达到以下目的：

1. 了解掌握建设项目周围地区环境辐射现状；
2. 评价项目在运行过程中对周围环境及公众成员造成的辐射影响；
3. 评价项目运行对周围环境的辐射影响；
4. 评价辐射防护措施效果，提出进一步减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门管理提供依据；
5. 通过对该项目辐射环境影响评价，为营运单位保护环境和公众利益给予技术支持；
6. 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”

7.1.3 评价原则

1. 以建设项目为基础，环保法律法规为依据，国家有关方针政策为指导的原则；
2. 突出该项目的特点，抓住关键问题，坚持实事求是、客观公正的原则；
3. 评价来源于项目、服务于项目、指导于项目的原则

7.1.3 评价因子

本项目评价因子主要为 X 射线、电子线。

7.1.4 保护目标

本项目拟搬迁使用医用直线加速器的机房位于帅府 1 号院住院楼地下二层放疗科。

帅府 1 号院西侧隔胡同为新东安市场，南侧为协和医院院史馆，之外隔帅府园胡同为中央美院楼，东侧隔校尉胡同为协和医院东院区，北侧隔胡同为澳门中心。

医用直线加速器机房位于住院楼地下二层东南侧，与现有的 TOMO 加速器机房毗邻。医用直线加速器机房周围 50m 范围内，东侧紧邻控制室和 TOMO 机房，南侧为土层，地面上 38m 处为院史馆和学术会堂。西侧紧邻设备机房，之外是会诊会议室，北侧紧邻为卫生间淋浴间，之外是患者通道。医用直线加速器机房上面是患者通道（正上方）和更衣

间。

评价范围和保护目标分布示意图见图 7-1。



图 7-1 评价范围和保护目标分布示意图

表 7-1 医用直线加速器机房周围 50m 范围内的保护目标

保护目标	方位	距离(m)	长居留人数
控制室	东侧	紧邻	5
TOMO 机房	东侧	4	2
院史馆、学术会堂	南侧	38	20
加速器机房设备间	西侧	紧邻	3
会诊会议室	西侧	3	/
卫生间、浴室	北侧	紧邻	/
患者通道	北侧	1~2m	/
门诊楼	北侧	40	30
患者通道和更衣室	正上方	4.6	/
地上住院楼	一层以上	10	100
土层	下方	紧邻	/

地下二层的平面布局见图 7-2 所示。

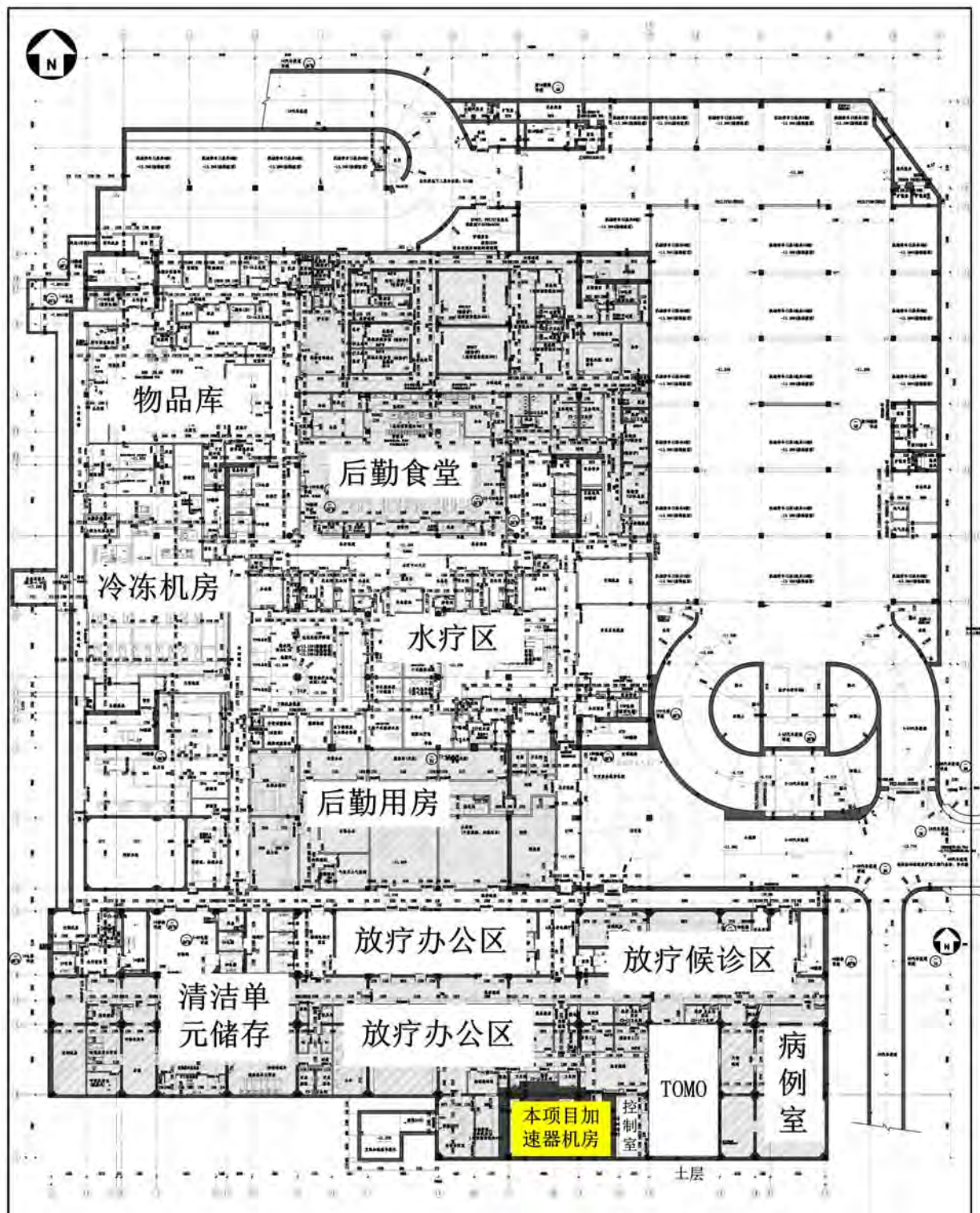


图 7-2 地下二层医用直线加速器机房位置示意图

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值和剂量约束值

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的规定:

(1) 剂量限值

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv，且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv，特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。
眼晶体的当量剂量 150mSv/a；四肢或皮肤的当量剂量 500mSv/a。	眼晶体的当量剂量 15mSv/a 皮肤的当量剂量 50mSv/a。

(2) 剂量约束值

综合考虑医院射线装置的使用现状，并为其它辐射设施和实践活动留有余地，本评价对职业照射和公众分别设定了年受照剂量约束值：

- 1) 本项目所有放射治疗辐射工作人员年受照剂量约束值取 2mSv。
- 2) 本项目对周围公众的年受照剂量约束值取 0.1mSv。

7.3.2 剂量率控制水平

参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），本项目的剂量率控制水平如下：

- 1) 本项目全部加速器机房四周墙体（含防护门）外 30cm 处辐射剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。
- 2) 对于全部机房楼上房间或地面人员可达区域，地面 30cm 处的剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

7.3.4 非放射性污染物控制值

(1) 室内空气质量

根据GBZ2.1-2019，工作场所空气中 O_3 和 NO_2 的浓度限值分别为 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 和 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 环境空气质量

臭氧和氮氧化物的环境空气质量浓度限值执行 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 环境质量和辐射现状

北京科环世纪电磁兼容技术有限责任公司于 2023 年 9 月 19 日对北京协和医院帅府 1 号院区住院楼周围和内部辐射水平现状进行了检测。检测布点见图 8-1。监测高度 1m。监测设备为国产 JW3104 型 X- γ 剂量率仪，其性能参数见表 8-1。评价区 γ 辐射水平监测结果见表 8-2。

表 8-1 检测仪器性能参数一览表

检测仪器	规格型号	性能参数	仪器编号	溯源方式及有效期
X、 γ 剂量率仪	JW-3104	剂量率范围：0~10 ⁵ ($\times 10^{-8}$ Gy/h)； 能量范围：25keV-3MeV	KHC-YQ-2 4	校准有效期至： 2024 年 3 月 19 日



图 8-1 监测点位示意图

表 8-2 辐射环境现状检测结果

测点 编号	点位描述	γ 辐射剂量率* (nGy/h)
①	住院楼南侧空地	83.2 $\pm$ 4.48
②	住院楼东侧空地	84.1 $\pm$ 4.32
③	住院楼北侧空地	84.3 $\pm$ 4.21
④	住院楼西侧空地	85.4 $\pm$ 4.17
⑤	加速器机房楼上（B1）患者通道（主束区域）	95.5 $\pm$ 4.21
⑥	加速器机房楼上（B1）更衣室（非主束区域）	95.7 $\pm$ 4.22
⑦	加速器机房楼上库房（B1）（非主束区域）	97.6 $\pm$ 4.25
⑧	加速器机房控制室内（B2）	97.5 $\pm$ 4.23

注：*监测结果含宇宙射线。

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69.8-182 nGy/h (室内,含宇宙射线)。本项目周围辐射水平监测结果表明:本项目所在建筑物周围和内部的辐射水平均属于正常本底水平,属于正常本底水平。

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

电子加速器核心部分的工作原理如图 9-1 所示。高压电源装置对交流电进行升压和整流滤波，向调制器提供直流电压；调制器的功能是向磁控管和电子枪提供具有特定宽度和幅度的高压脉冲。当加速器工作时，调制器主触发电路触发主闸流管按照所设定的脉冲重复频率(PRF)导通和关断，引起充、放电电路工作，在脉冲变压器次级产生磁控管和电子枪所要求的两路高压脉冲。其中一路高压脉冲加到磁控管阴极，引起磁控管震荡，产生微波脉冲；另一路脉冲高压脉冲加到电子枪的阴极，使电子射入加速管。与此同时，磁控管产生的微波脉冲经四端环流器馈入加速管，由于自动频率控制(AFC)使磁控管的工作频率与加速管的频率色散特性有最好的配合，在加速管内，前向微波和反射波代数相加形成驻波，这种波在空间上是恒定的，但在时间上是震荡的，即加速管的谐振腔内电场强度的大小和方向是变化的，但其位置不变，从而在加速管建立起电场梯度，使射入加速管的电子被逐级加速、聚焦，最后获得很高的能量；高速电子轰击位于加速管末端的钨靶而产生 X 射线。加速后的高速电子直接或经转换为 X 射线后供放射治疗使用。

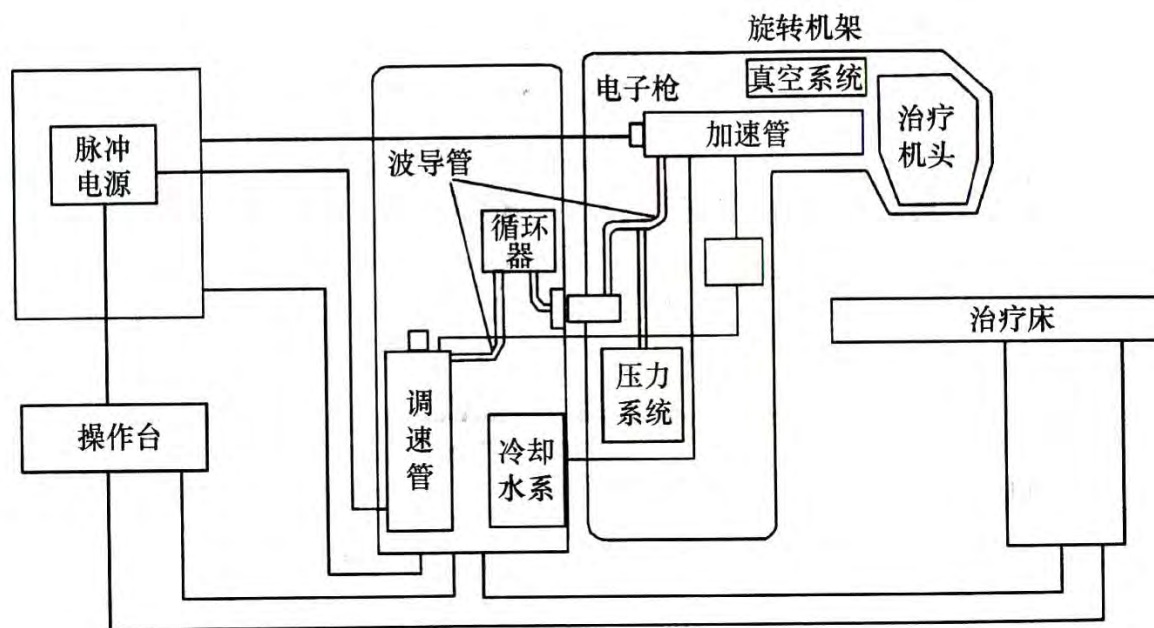
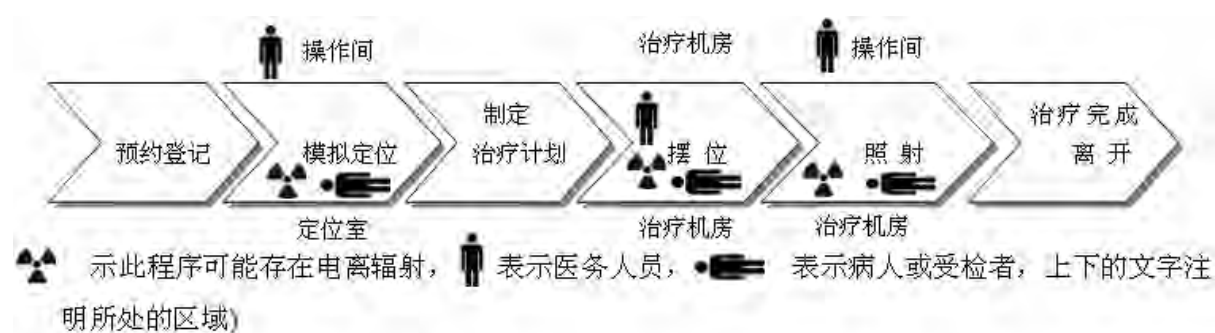


图 9-1 电子直线加速器结构示意图



图 9-2 拟搬迁使用的医用电子直线加速器外观图

9.1.2 治疗流程



1. 工作负荷：参照协和医院现状放疗科工作负荷，保守按照每天治疗 80 人次的工作负荷进行评价。每人“上床、摆位、照射、下床”平均时间约 6 分钟，全天完成 80 人次治疗，所需治疗总时间约 8h。

2. 出束时间：平均每人治疗照射 2Gy，等中心点最大剂量率为 1400cGy/min（治疗主要采用 6MV），加速器出束时间见表 9-1 所示。

表 9-1 加速器的出束时间预计

射线束	照射时间 (h) ^③	
	天	年
治疗束 ^①	0.19	47.62
泄漏辐射 ^②	0.95	476.2

注：① 有用线束照射时间是折算为最大剂量率进行治疗所用时间。②开展调强和适型治疗时，有用束的总剂量不变，但是照射时间会显著增加。保守按照 10 倍于常规治疗时间考虑泄漏辐射的影响。③设备质控等出束时间相对较少，未列入。

3. 利用因子：常规治疗中，机头 90°、270°和 180°出束时间各占年工作量的 15%；机头向下(0°)出束时间占年工作量的 55%。考虑到将来调强治疗使用占绝大多数，且多为容积调强，故本项目将机头 90°、270°和 180°出束时间的占比均提高至 25%。

4. 不同能量使用因子：保守按照 6MV 的 X 线治疗的患者占比 $\geq 80\%$ ，10MV 治疗的患者占比 $\leq 20\%$ 。

(1) 加速器能量选择

本项目加速器选择双能量，6MV 和 10MV。10MV 射线针对体重较大的患者和腹部肿瘤治疗，6MV 射线用于普通体重的患者治疗和其它治疗。

(2) 加速器最大剂量率

本项目加速器技术指标如表 9-2 所示。

表 9-2 电子直线加速器性能参数

项目	TrueBeam 型医用电子直线加速器
X 射线	1) X 线能量：加速器为双能，6MV 和 10MV。 2) X 线剂量率：1400cGy/min@ (6MV,FFF)，600cGy/min@ (10MV)。 3) 出束张角：28° 4) 最大射野：40×40cm (SSD=100cm) 5) 辐射泄露率： $\leq 0.1\%$ 6) 等中心点高度：1.3m
电子线	1) 电子线能量：6、9、12、16、20 MeV 五档； 2) 最大照射野 40cm×40cm； 3) 最大输出剂量率 1000cGy/min。
CBCT	额定管电压 140kV，额定管电流 630mA,50kW。

9.1.3 污染源项描述

(3) 关于中子及中子俘获 γ 射线的防护问题

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）。本项目加速器最大输出 X 射线辐射剂量率为 600cGy/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。

《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。

《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）第 4.7.2 条款规定：“加速器治疗 X 射线大于 10MV 时，由于 (γ, n) 反应生成“杂散”中子，应根据治疗装置生产厂家给出的且不高于国家标准的指标，考虑机房的中子屏蔽”；第

4.7.4 条款指出：对于大于 10MV 的 X 射线治疗机房，迷路入口的防护门应同时考虑 X 射线和“杂散”中子的散射辐射及中子俘获 γ 射线。

本项目加速器 X 线最大能量为 10MV，故不考虑中子以及感生放射性问题。

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。本项目所涉及的加速器的 X 线最大能量为 10MV，长时间运行可能导致靶部件、机头部件有少许活化，故更换靶部件时需要关注其放射性水平。

关于电子束治疗所致中子问题：加速器电子束治疗目前在临床上很少使用。本项目加速器电子束最大能量为 20MeV，理论上讲，采用电子束治疗时会产生韧致辐射（X 射线）。当电子束治疗能量大于 10MeV 时，会产生少量的能量大于 10MV 的高能 X 射线，继而可能引发（ γ, n ）反应，产生少量的中子。

电子束治疗的病例十分有限（通常不足 1%工作量），且电子束所致高能 X 射线的份额有限且剂量率较治疗 X 线低几个量级，继而发生（ γ, n ）反应产生中子的份额更低。根据经验，能够满足 10MV 的 X 射线屏蔽防护的加速器机房，一定能够满足电子束治疗的防护需要，故本项目对电子束使用环节的辐射环境影响不再做具体评价。

9.1.4 正常工况的污染途径

(1) 当电子轰击靶时，与靶物质发生作用产生韧致辐射。

(2) 治疗室空气在射线的强辐射下，吸收能量并发生电离作用产生 O_3 、NO、 NO_2 、 NO_3 、 N_2O 、 N_2O_2 、 N_2O_4 、 N_2O_5 等有害气体。

9.1.5 非正常情况的污染途径

(1) 加速器发生控制系统故障或人员疏忽，使得辐射工作人员受到误照射。

(2) 加速器发生控制系统故障或放疗参数设置错误，使得受检者受到大剂量照射。

(3) 机房门机联锁装置故障，人员误入机房受到照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1.1 项目环保验收

加速器设备搬迁和防护门更新工作完成后，应对辐射防护设施进行验收，其中包括辐射屏蔽、安全联锁和警示系统、通风系统等，这些项目依照设计标准验收合格后，方可正式投入运行。如上述设备的技术参数、机房位置和布局、辐射屏蔽状况发生变化，必须重新办理环保审批手续。

10.1.2 加速器机房拟采取的辐射安全与防护措施

1) 加速器机房(包括防护门)采用实体屏蔽措施，能够保证机房周围墙体、屋顶外和防护门外 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) 加速器辐射工作场所实行分区管理：加速器机房防护门内区域为控制区，控制室、相邻的配套设备间以及卫生间等为监督区。

3) 在加速器防护门外设立电离辐射警告标志。安装工作状态指示灯，并和设备出束关联。

4) 安装视频监控和语音对讲系统。

5) 辐射工作人员进入加速器机房将佩戴个人剂量报警仪。

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) 治疗系统采用专用钥匙启动，有专人操作设备。

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

9) 紧急停机按钮：紧急停机按钮安装在控制室的操作台上（1 个）、加速器设备上（2 个）、加速器治疗室的墙壁上（3 个）和迷道内 1 个，并有明显的标志，当遇到意外情况，可随时按动急停开关，切断设备高压，停止出束。紧急停止开关必须采用手动方式才能复位，复位后只有在控制台上启动才能再次出束照射。

10) 设置门控按钮：在防护门外旁侧安装关门按钮（无开门按钮），在防护门内侧迷道墙壁上安装开门按钮（无关门按钮），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。送风口设置在机房顶部迷道口一侧，排风口设置在机房墙体下侧 30cm 处，呈对角线布置。

12) 机房内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辐射工作人员判断设备的工作状态。加速器机房配置 2 台个人剂量报警仪，进入机房时携带。帅府 1 号放疗科已配备了 1 台 451B 型便携式剂量率仪，每半年自行开展一次场

所的辐射水平监测。

13) 排风管道由迷道并在防护门上方采用“Z”方式穿出机房。线缆沟采用“U”型方式预埋穿过屏蔽墙。检测孔采用 45° 斜穿方式预埋。

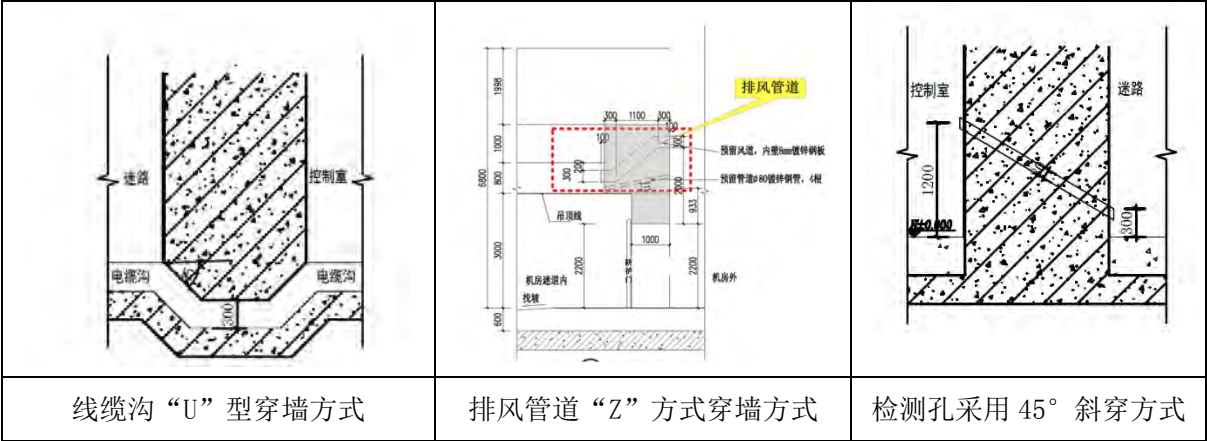


图 10-1 排风管、线缆和检测孔穿墙示意图

14) 其他要求：治疗室安装应急照明装置和安全出口指示灯，箭头指向出口处，设火灾自动报警装置等。。

加速器机房联锁和警示系统逻辑图见图 10-2 所示。

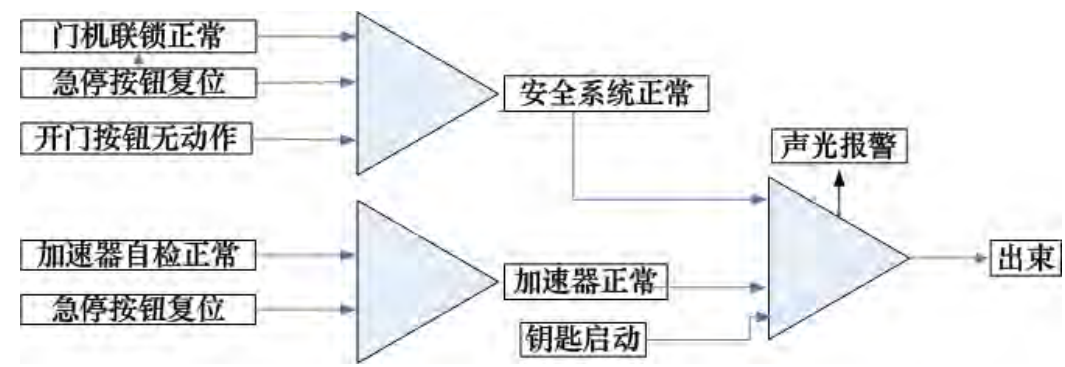


图 10-2 加速器机房联锁系统逻辑图

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序，表 10-1 列出了本项目加速器机房拟采取的安全与防护设施设计方案。

表 10-1 本项目加速器机房安全与防护设施设计要求

序号	项目	检查内容	本项目	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
2*		控制台有紧急停机按钮	√	1 个
3*		视频监控与对讲系统	√	1 套
4*		治疗室门与束流联锁	√	门机联锁
5*	B 警示装置	入口电离辐射警告标志	√	标准电离辐射警告标志
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	√	按照控制区和监督区管理
8*	C	屏蔽门内开门按钮	√	迷道门内侧

9	照射室	治疗室内放夹人装置		光电防夹人系统
10*	紧急设施	紧急照明或独立通道照明系统	√	应急灯
11*		治疗室内有紧急停机按钮	√	墙壁至少 3 个、迷道 1 个
12*		治疗床有紧急停机按钮	√	治疗床 2 个，机架上 1 个
13	D 监测设备	治疗室内有固定式剂量报警仪	√	1 台（更新）
14*		便携式辐射监测仪器仪表	√	1 台（利旧）
15*		个人剂量报警仪	√	2 台（更新）
16*		个人剂量计	√	每人 1 个
17*	E	个人辐射防护用品	√	铅衣
18	其它	通风系统	√	屋顶设风机 1 台

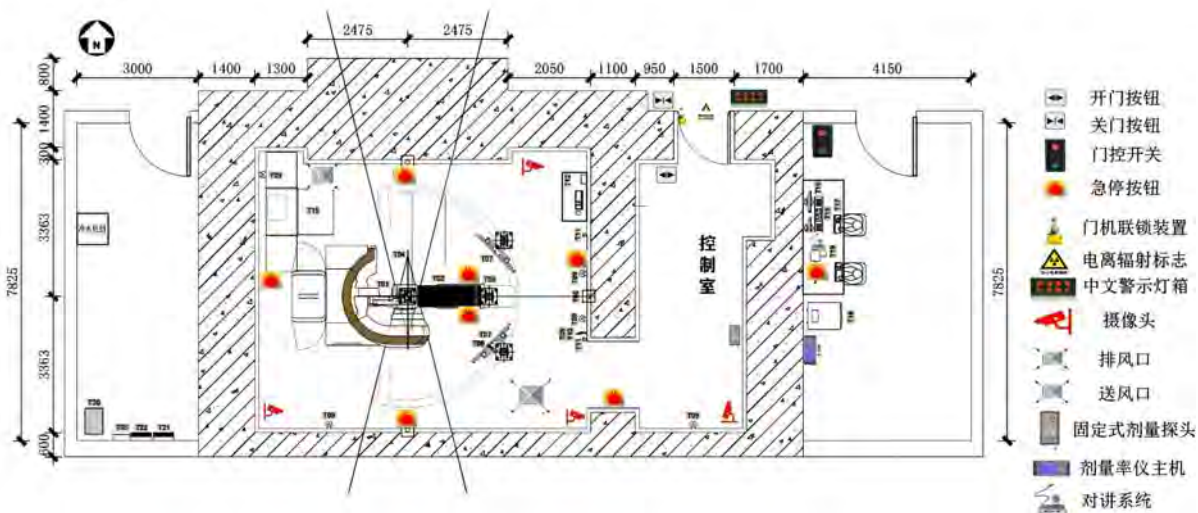


图 10-3 加速器机房联锁和安全措施布置图

10.2 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最大能量为10MV，故无需考虑中子、放射性活化气体以及活化产物的环境影响。

电子直线加速器在开机时会产生电子线，电子线打靶后会产生X射线。加速器产生的X射线有用束，以及漏射和散射的X射线对周围环境可能造成辐射影响。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，产生废靶。随着加速器运行时间增加，废靶的放射性水平可能会增加，故废靶处置前要进行放射性水平的监测， 如不满足清洁解控要求的废靶

送交城市放射性废物库处置。

10.3 对比《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的满足情况

表 10-2 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》(2017 年 12 月第二次修订)对使用放射性同位素和射线装置单位要求的对应评估情况。

表 10-2 项目执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

3 号令要求	项目单位情况	符合情况
应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院成立有辐射安全防护管理委员会，全面负责医院的辐射防护监督和管理工作的，小组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。	符合
从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，放疗科现有 71 人，全部通过了辐射安全与防护培训考核后上岗。	符合
使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	本项目不涉及放射源内容。	符合
放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目涉及的加速器机房门口显著位置处张贴有电离辐射警告标识和中文警示说明，并在机房门口设置有工作状态指示灯。设置门机联锁、紧急停止按钮，紧急回源系统等。	符合
配备必要的防护用品和监测仪器。	已配备有相应的防护用品和监测仪器。本项目投入运行前，机房将更新配置 1 台固定式剂量率仪，并新增配置 2 台个人剂量报警仪。放疗科利旧继续使用现有的 1 台 451B 型便携式剂量率仪。	符合
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护措施、台帐管理制度、培训计划和监测方案。	制定有较为齐全、比较严格的辐射防护规章制度，有人员辐射安全培训考核制度、各项操作规程、设备检修维护制度、辐射防护和安全保卫制度、台帐管理制度、环境监测及个人剂量监测制度、放射性废物管理制度、放射性事故应急预案。	符合
有辐射事故应急措施。	已制定有辐射事故应急处理预案。	符合
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。	本项目实施后，不产生放射性“三废”。	符合

12.7 对比环保部第 18 号令要求的满足情况

环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用放射性同位素和射线装置的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号令”要求的对照评估如表 10-3 所示。

表 10-3 安全和防护能力对照评估情况

18 号令要求	项目单位情况	符合情况
射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目涉及的加速器机房门口显著位置张贴有电离辐射警告标识和中文警示说明，并在机房门口设置有工作状态指示灯。设置门机联锁，紧急停止按钮，紧急回源系统等。	符合
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。	医院以前每年委托有资质单位进行 1 次射线装置工作场所和环境辐射水平监测，监测数据记录存档。每年委托北京市疾病预防控制中心完成放射工作场所检测。本项目实施后，仍每年委托有资质单位进行 1 次射线装置工作场所和环境辐射水平监测。	符合
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。	医院将在每年 1 月 31 日前向北京市环保局提交年度评估报告。	符合
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。	医院制定了辐射工作人员培训考核计划。目前，放疗科现有 71 人，全部通过辐射安全与防护考核后上岗。	符合
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，应当立即调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。	所有辐射工作人员均要求佩戴 TLD 个人剂量计，医院已委托北京市疾病预防控制中心进行个人剂量检测，频度为每季度一次。	符合

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

对于本项目而言，将会在现有的机房内进行简单的设备底座室内施工活动，对室外环境和周围人群的影响较小，故不再进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 机房位置和周围环境

医用直线加速器机房位于帅府 1 号院住院楼的地下二层南部。机房东侧为控制室、TOMO 机房以及设备机房，南侧为土层，西侧为附属设备（水冷、调制柜）用房、服务其用房和设备间，北侧为淋浴间和卫生间。机房上部是患者通道（主束区域）和医生更衣间（非主束区域）。周围环境见图 11-1 所示。

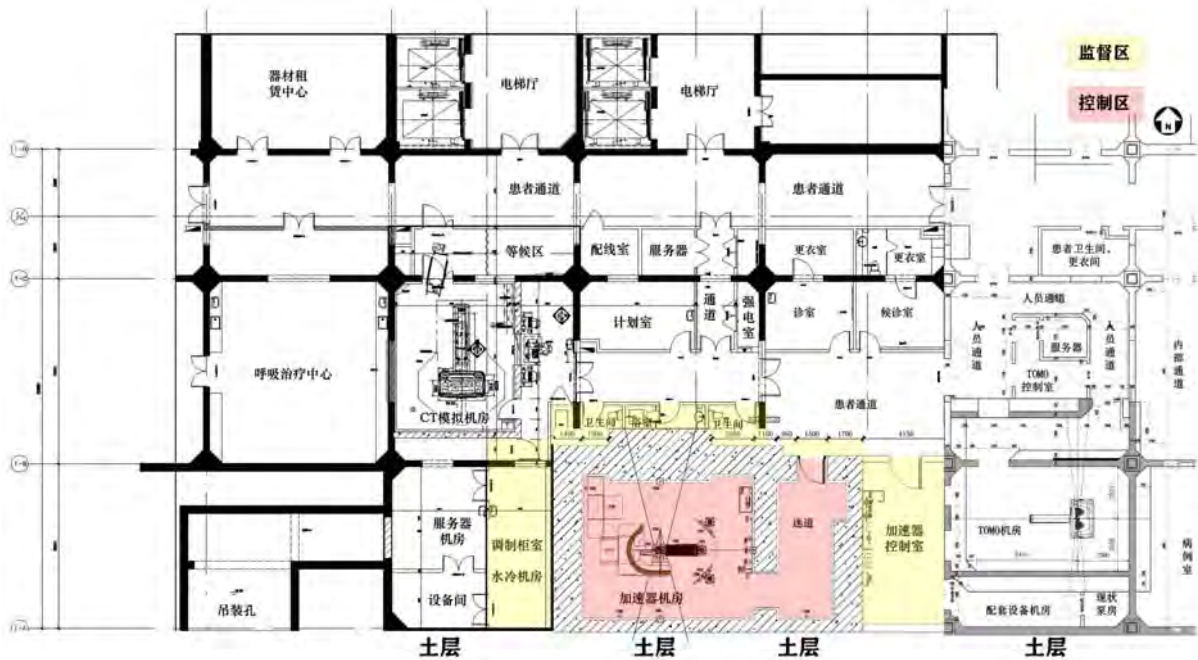


图 11-1 加速器机房所在位置及周围环境示意图

11.2.2 加速器装置的主要性能指标

加速器设备为 TrueBeam 型，主要技术指标见表 11-1 所示。

表 11-1 加速器装置的主要性能指标

生产厂家和型号	电子线能量(MeV)	X 线能量和最大输出剂量率	SSD	照射野	机架旋转范围	泄漏率
TrueBeam	最大能量：20MeV； 1000cGy/min	10MV：600cGy/min； 6MV：1400cGy/min CBCT：150kV/500mA	100cm	最大照射野 40cm×40cm； 等中心点高度 1.3m	360°，顺时针和逆时针方向	X 线：≤0.1%

11.2.3 机房屏蔽防护现状情况

加速器机房（墙体、底板和顶板）全部采用为密度 2.35t/m³ 混凝土整体浇筑，机房现状屏蔽施工情况如表 11-2 所示。机房室内净高 4.8m（非主屏蔽区域）和 3.8m（主屏蔽区域）。机房内部尺寸为长 8.2m×宽 6.5m，有效容积约 236m³（不含迷道区域）。加速器机房平面和剖面示意图见图 11-2、图 11-3 及附图 4 所示。

表 11-2 住院楼放疗科 B2 加速器机房现状屏蔽情况

屏蔽结构	辐射屏蔽材料及厚度	备注
东侧迷道外墙	砼，70cm—170cm	1) 本次设备搬迁，机房的墙体、顶板维持现状。 2) 设备等中心点位置不变。
东侧迷道内墙	砼，110cm	
南侧墙（墙外土层）	砼，60cm+土层	
西侧墙	砼，140cm	
北侧主屏蔽墙	砼，250cm（宽度 495cm）	
北侧次屏蔽墙	砼，140cm	
顶板（主束照射区域）	砼，255cm（宽度 420cm）	
顶板（非主束照射区域）	砼，155cm	3) 本次更换为含 15mmPb 的电动平开防护门
防护门	含 10mm 厚铅	

注：混凝土密度为 2.35t/m³。

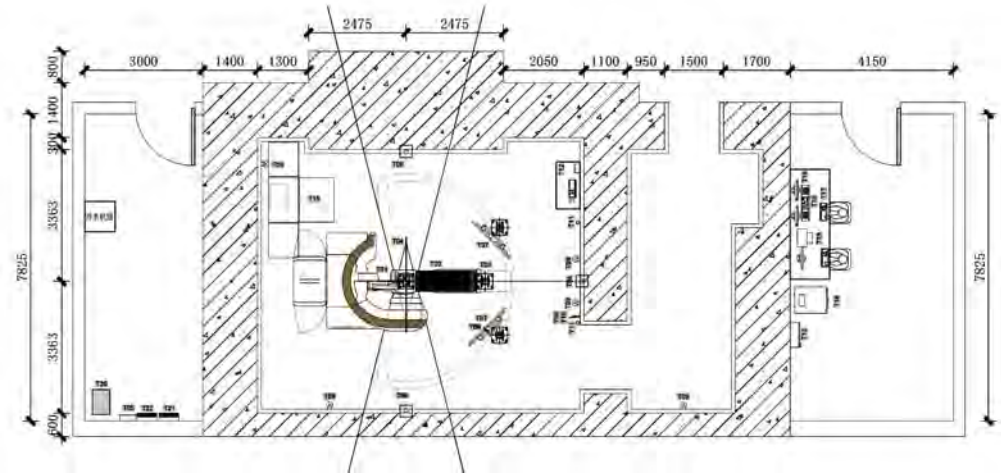


图 11-2 加速器机房现状平面布局示意图

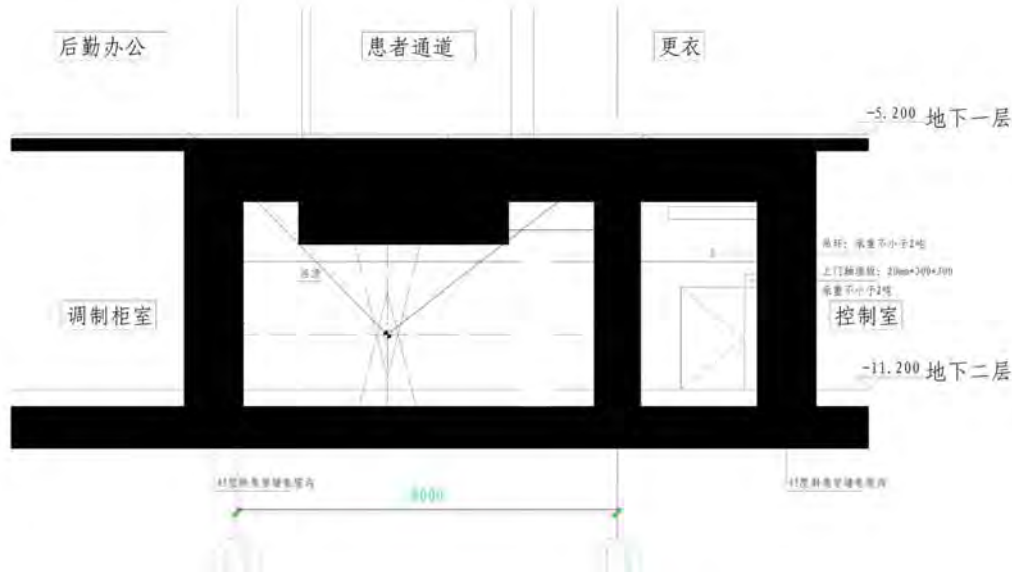


图 11-3 加速器机房现状剖面布局示意图

11.2.4 加速器运行对环境的辐射影响

本项目拟搬迁的 Turebeam 加速器 X 射线治疗束的能量为 6MV 和 10MV 两档。本报告采用的估算模式依据 2005 年出版的 NCRP 151 号报告“MV 级 X 和 γ 射线放疗设备的屏蔽设计和评价”。

(1) 机房周围辐射水平

1) 主束贯穿辐射对机房周围环境的剂量率贡献

主屏蔽墙的透射系数 B_{pri} ，由公式 (1) 求出：

$$B_{pri} = (10^{-1})^{10 \left[\frac{(H-TVL_1)}{TVL_e} \right]} = 10^{-\left\{ 1 + \left[\frac{(H-TVL_1)}{TVL_e} \right] \right\}} \quad (1)$$

主束对相应关注点位的剂量率贡献 H_{pri} ，依据公式 (2) 进行估算：

$$H_{pri} = B_{pri} \cdot D_0 \cdot (1 + d)^{-2} \quad (2)$$

式 (1) 和 (2) 中， H 为主屏蔽墙的厚度，cm； TVL_1 为主束对混凝土的第一个十分之一值层， TVL_e 为主束对混凝土的平均十分之一值层，cm，具体数据见表 11-3； d 为等中心点到关注点的距离，m。 D_0 为等中心处 X 射线的吸收剂量率，本项目为 $14\text{Gy}/\text{min}@6\text{MV}$ 和 $24\text{Gy} \cdot \text{min}^{-1}@10\text{MV}$ 。

表 11-3 普通混凝土对不同工况下射线束的 TVL

TVL 类型	TVL 值 (cm)			
	主束		泄漏辐射	
	6MV 工况	10MV 工况	6MV 工况	10MV 工况
TVL_1	37	41	34	35
TVL_e	33	37	29	31

2) 泄漏射线对机房周围环境的剂量率贡献

泄漏射线的透射系数 B_L ，由公式（3）求出：

$$B_L = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(h/\cos\theta - TVL_1^L)}{TVL_e^L}\right]\right\}} \quad (3)$$

泄漏射线对相应关注点位的剂量率贡献 H_L ，依据公式（4）进行估算：

$$H_L = \frac{B_L L_f D_0}{(d)^2} \quad (4)$$

式（3）和（4）中， h 为屏蔽墙的厚度，cm； θ 为射线对屏蔽墙的入射角； TVL_1^L 为泄漏射线对混凝土的第一个十分之一值层， TVL_e^L 为泄漏射线对混凝土的平均十分之一值层，cm，具体数据见表 11-3； L_f 为主束的泄漏率，保守取 0.1%。符号 h 、 D_0 和 d 代表的意义同前文。

3) 病人散射线对机房周围环境的剂量率贡献

病人散射的透射系数 B_{ps} ，由公式（5）求出：

$$B_{ps} = 10^{-\left(\frac{h/\cos\theta}{TVL_{sca}}\right)} \quad (5)$$

病人散射线对关注点位的剂量率贡献 H_{sca} ，依据公式（6）进行估算：

$$H_{sca} = \frac{B_{ps} \alpha(\theta) D_0 \left(\frac{F}{400}\right) \alpha_1}{(d_{sca} d_{op})^2} \quad (6)$$

式（5）和（6）中， h 为次屏蔽墙的厚度，cm； TVL_{sca} 为病人散射线对混凝土的十分之一值层，cm，具体数据见表 11-4； α 为以不同角度散射时的散射系数； F 为病人治疗位置的射野面积， cm^2 ； d_{sca} 为靶点至病人的距离，m，取值为 1；400 是以射野面积 $20cm \times 20cm$ 为标准进行标准化的散射面积。 H 、 θ 、 D_0 和 d 代表的意义同前文。

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

工况	TVL_{sca} (cm)					
	散射角度					
	15°	30°	45°	60°	90°	135°
6 MV	34	26	23	21	17	15
10 MV	39	28	25	22	18	15

表 11-5 机房周围 X 射线所致周围环境附加剂量率水平

点 位	位置描述	与等 中心 点距 离 (m)	射线束	混凝土 厚度 (cm)	附加剂量率 (μSv/h)	
					10MV (600cGy/min)	6MV (1400cGy/min)
1	北侧淋浴间(主束区)	6.1	主束	250	1.60E+00	5.85E-01
2	北侧卫生间(非主束区)	5.9	泄漏辐射 (26° 斜射)	140	1.32E-01	1.53E-01
		5.9	患者散射 (26° 斜射)	140	3.60E-01	2.73E-01
3	北侧卫生间(非主束区)	5.9	泄漏辐射 (26° 斜射)	140	1.32E-01	1.53E-01
		5.9	患者散射 (26° 斜射)	140	3.60E-01	2.73E-01
4	调制机房	5.5	泄漏辐射	140	4.88E-01	6.14E-01
5	加速器控制室	10.3	泄漏辐射	140	1.39E-01	1.75E-01
6	加速器控制室	10	泄漏辐射	250	4.18E-05	2.99E-05
7	加速器控制室	10.3	泄漏辐射	180	7.13E-03	7.31E-03
8	防护门外*	7.9	泄漏辐射 (25° 斜射)/散射辐射	15mm 铅	3.63E-03	1.45E-02
9	南墙外(土层中)	4.3	主束	60	3.93E+05	6.01E+05
10	楼上主束区(患者通道)	5.0	主束	255	1.65E+00	8.19E-01
11	楼上非主束区域	6.7	泄漏辐射 (45° 斜射)	155	9.16E-04	1.35E-03
			患者散射 (45° 斜射)	155	1.51E-03	1.44E-03
12	楼上非主束区域	6.7	泄漏辐射 (45° 斜射)	155	9.16E-04	1.35E-03
			患者散射 (45° 斜射)	155	1.51E-03	1.44E-03

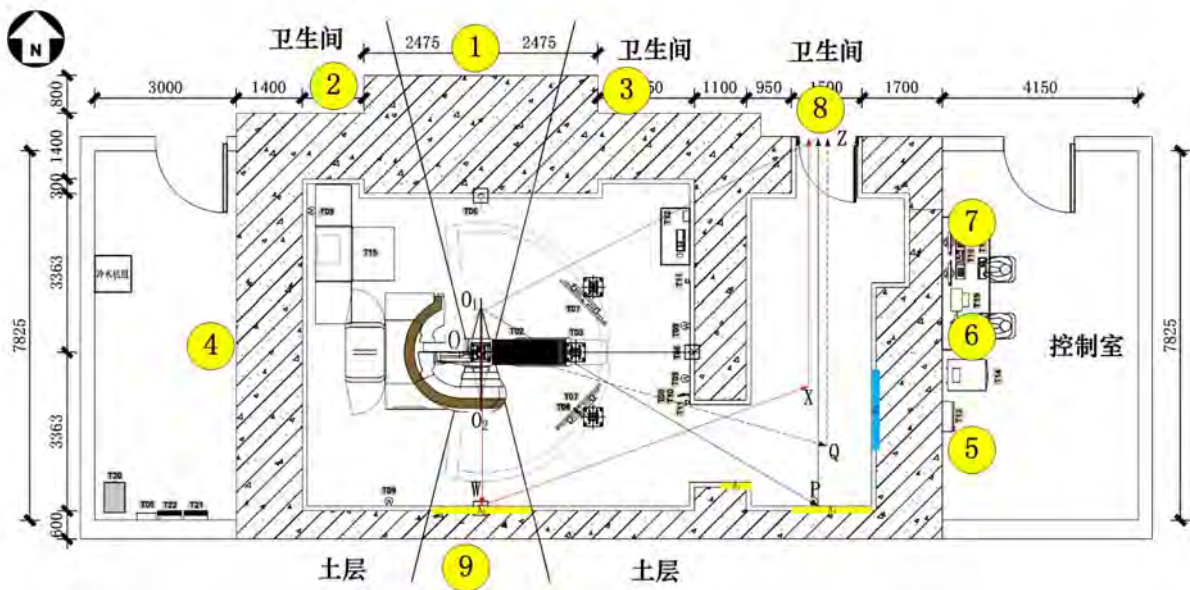


图 11-4 加速器治疗室四周估算点位平面布局示意图

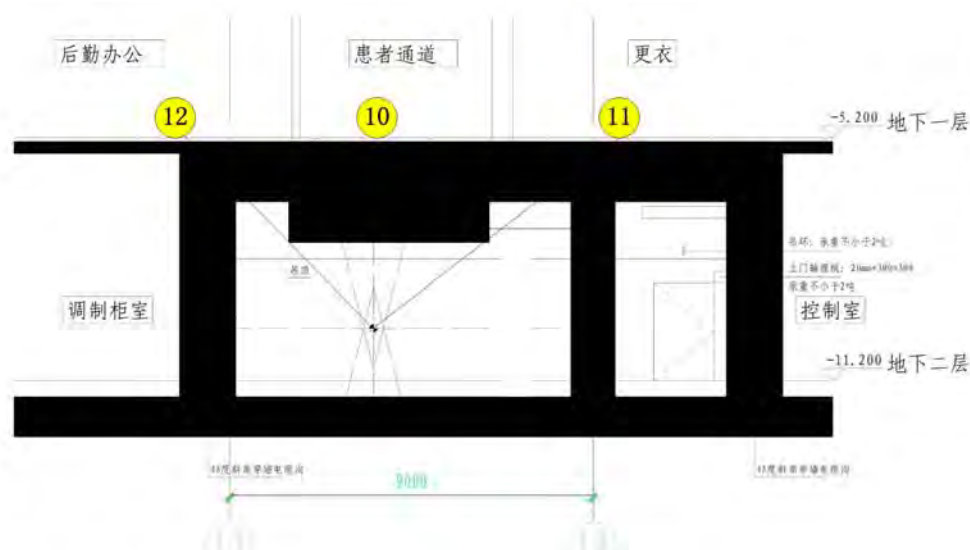


图 11-5 加速器治疗室周围环境估算点位剖面示意图

(2) 迷道口内、外侧辐射水平的估算

对于低能加速器，迷道口的辐射水平主要考虑：①主束经屏蔽墙 2 次散射所致的剂量率贡献， H_S ；②机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射所致的剂量率贡献， H_{LS} ；③主束经病人和屏蔽墙的散射所致的剂量率贡献， H_{PS} ；④泄漏射线贯穿迷道内墙所致的剂量率贡献， H_{LT} 。图 11-4 为对迷道口有剂量率贡献的上述四种主要成分的散射路径示意图。

1) 主束经屏蔽墙 2 次散射对迷道口的剂量率贡献， H_S

如图 11-4 所示，主束经墙壁 2 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为机头 $O_1 \rightarrow W \rightarrow X \rightarrow Z$ 。主束经墙壁 2 次散射对迷道口的剂量率贡献估算模式 (7)。

$$H_s = \frac{D_0 \alpha_0 A_0 \alpha_2 A_2}{(d_h d_t d_z)^2} \quad (7)$$

式中：\$D_0\$ 代表的意义同前文；\$\alpha_0\$ 为屏蔽墙对主束第一次散射系数；\$\alpha_2\$ 为屏蔽墙对主束第二次散射系数；\$A_0\$ 为第一次散射区面积，\$m^2\$；\$A_2\$ 为第二次散射区面积，其值为从第一散射区域观察“迷道内口”投影到迷道外墙的截面积，\$m^2\$；\$d_h\$ 为靶点至第一散射面中心点 W 的距离(\$d_{QW}\$)，m；\$d_t\$ 为第一散射面中心点 W 经迷道内墙边缘与迷道中心线交点 Z 的距离(\$d_{WZ}\$)，m；\$d_z\$ 为等中心点经迷道内墙边缘与迷道中心线交点 Z 至迷道口 V 点的距离(\$d_{ZV}\$)，m。

$$H_s(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(2.7 \times 10^{-3})(2.95)(18 \times 10^{-3})(4.2)}{(4.3)^2(7.4)^2(5.2)^2} = 18.47 \mu Sv/h$$

$$H_s(10MV) = \frac{(360 \times 10^6)(2.1 \times 10^{-3})(2.95)(18 \times 10^{-3})(4.2)}{(4.3)^2(7.4)^2(5.2)^2} = 6.15 \mu Sv/h$$

2) 机头泄漏射线经屏蔽墙 1 次散射对迷道口的剂量率贡献，\$H_{LS}\$

如图 11-4 所示，泄漏射线经墙壁 1 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为机头 \$O_1 \rightarrow Y \rightarrow G\$。泄漏辐射经墙壁 1 次散射对迷道口的剂量贡献估算模式 (8)：

$$H_{LS} = \frac{D_0 L_f \alpha_1 A_1}{(d_{LS} d_{zz})^2} \quad (8)$$

式中：\$D_0\$ 和 \$L_f\$ 代表的意义同前文；\$\alpha_1\$ 为墙壁对泄漏射线的散射系数；\$A_1\$ 为泄漏辐射 1 次散射区面积，其值为从迷道口处向机房内可观察的屏蔽墙的截面积，\$m^2\$；\$d_{LS}\$ 为靶点至迷道中心线和泄漏射线散射面 \$A_1\$ 的交点 X 的距离(\$d_{QX}\$)，m；\$d_{zz}\$ 为散射面 \$A_1\$ 至迷道口 V 的距离(\$d_{XV}\$)，m。

$$H_{LS}(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(10^{-3})(5.87)(5.2 \times 10^{-3})}{(8.2)^2(7.8)^2} = 6.26 \mu Sv/h$$

$$H_{LS}(10MV) = \frac{(360 \times 10^6)(10^{-3})(5.87)(4.1 \times 10^{-3})}{(8.2)^2(7.8)^2} = 2.12 \mu Sv/h$$

3) 主束经病人和屏蔽墙各 1 次散射对迷道口的剂量率贡献，\$H_{PS}\$

如图 11-4 所示，主束经病人后再经墙壁 1 次散射后可以到达迷道口，其散射路径为 \$O_2 \rightarrow O \rightarrow X \rightarrow G\$。主束经病人、墙壁散射后对迷道口的剂量率估算模式 (9)：

$$H_{PS} = \frac{D_0 \alpha(\theta) \left(\frac{F}{400} \right) \alpha_1 A_1}{(d_{sca} d_{sec} d_{zz})^2} \quad (9)$$

式中：\$D_0\$、\$F\$、\$d_{sca}\$、\$A_1\$、和 \$d_{zz}\$ 代表的意义同前文；\$\alpha(\theta)\$ 为病人散射线以散射角 \$\theta\$ 进行散射时的散射因子；\$\alpha_1\$ 为墙壁对病人散射线的散射系数，与 \$\alpha_0\$ 和 \$\alpha_2\$ 代表的意义完全相同；\$d_{sec}\$ 为病人至迷道中心线和散射面 \$A_1\$ 的交点 \$X\$ 的距离(\$d_{OX}\$)，m。

$$H_{PS}(6MV) = \frac{(840 \times 10^6)(1.39 \times 10^{-4}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (22 \times 10^{-3})(5.87)}{(1 \times 7.6 \times 6.5)^2} = 24.7 \mu Sv \cdot h^{-1}$$

$$H_{PS}(10MV) = \frac{(360 \times 10^6)(1.35 \times 10^{-4}) \left(\frac{40 \times 40}{400} \right) (22 \times 10^{-3})(5.87)}{(1 \times 7.6 \times 6.5)^2} = 10.28 \mu Sv \cdot h^{-1}$$

4) 泄漏射线贯穿迷道内墙对迷道口的剂量率贡献，\$H_{LT}\$

机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后可以直接到达迷道口，其辐射路径为等中心点 \$O_1 \rightarrow G\$。机头泄漏射线直接贯穿迷道内墙后对迷道口的剂量率估算模式 (10)：

$$H_{LT} = \frac{D_0 L_f B_L}{d_L^2} \quad (10)$$

由公式 (3) 求出泄漏射线的透射系数 \$B_L\$。式中符号 \$d_L\$ 为等中心点 \$O\$ 到迷道口 \$V\$ 的距离(\$d_{OV}\$)，m；\$D_0\$ 和 \$L_f\$，代表的意义同前文。

$$B_L(10MV) = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(205/\cos 25^\circ - 35)}{31} \right] \right\}} = 6.80 \times 10^{-8}$$

$$B_L(6MV) = 10^{-\left\{1 + \left[\frac{(205/\cos 25^\circ - 34)}{29} \right] \right\}} = 2.36 \times 10^{-8}$$

$$H_{LT}(10MV) = \frac{(360 \times 10^6)(0.1\%)(6.80 \times 10^{-8})}{(7.9)^2} = 4.02E-04 \mu Sv \cdot h^{-1}$$

$$H_{LT}(6MV) = \frac{(840)(0.1\%)(2.36 \times 10^{-8})}{(7.9)^2} = 3.17E-04 \mu Sv \cdot h^{-1}$$

5) 防护门内、外侧辐射水平的估算

表 11-6 迷道口防护门内侧的剂量率水平(\$\mu Sv \cdot h^{-1}\$)

编号	代码	剂量来源	6MV 运行	10MV 运行
1	\$H_S\$	主束经 2 次散射的贡献	18.47	6.15
2	\$H_{LS}\$	泄漏射线 1 次散射贡献	6.26	2.12
3	\$H_{PS}\$	主束经病人后再经 1 次散射贡献	24.70	10.28
4	\$H_{LT}\$	泄漏辐射直接透射贡献	3.17E-04	4.02E-04
防护门内侧			49.43	18.55
防护门外侧			1.45E-02	5.75E-03

NCRP No.151 号报告给出，泄漏散射和病人散射后 X 射线的能量较低，在迷道口处的能量约为 0.2MeV，在 Pb 中的 TVL 为 5mm。本项目采用含 15mmPb、4mmFe 的复合防护门（相当于 17.7mmPb），经防护门屏蔽后，门外的辐射水平为：

$$6\text{MV}: (18.47 + 6.26 + 24.70) \times 10^{-(17.7/5)} + 3.17\text{E-}04 = 1.45\text{E-}2 \mu\text{Sv/h}$$

$$10\text{MV}: (6.15 + 2.12 + 10.28) \times 10^{-(17.7/5)} + 4.02\text{E-}04 = 5.75\text{E-}3 \mu\text{Sv/h}。$$

所以，防护门外 Z 点总剂量率分别为 0.0057 $\mu\text{Sv/h}$ (10MV)和 0.014 $\mu\text{Sv/h}$ (6MV)，满足本评价设定的 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 的剂量率约束值要求。

（3）主束屏蔽墙宽度分析

NCRP No.151 报告给出了主束屏蔽层宽度的计算方法，见图 11-6 所示。根据设计资料，等中心点到北侧主屏蔽墙最内侧的距离是 3.3m，主屏蔽墙厚度 2.5m。等中心点到顶部主屏蔽墙和次屏蔽墙衔接位置的距离是 3.1m，射束张角 28°，据此计算，加速器超斜上方照射时，主屏蔽墙的宽度要求不少于 4.37m。本项目北侧主屏蔽墙宽度为 4.9m，满足屏蔽主束和散射辐射的要求。

等中心点到顶部主屏蔽墙和次屏蔽墙衔接位置的距离是 3.1m，射束张角 28°，主屏蔽墙厚度 2.5m，据此计算，顶部主屏蔽墙的宽度要求不少于 3.35m。本项目顶部主屏蔽墙宽度为 4.2m，同样满足屏蔽主束和散射辐射的要求。

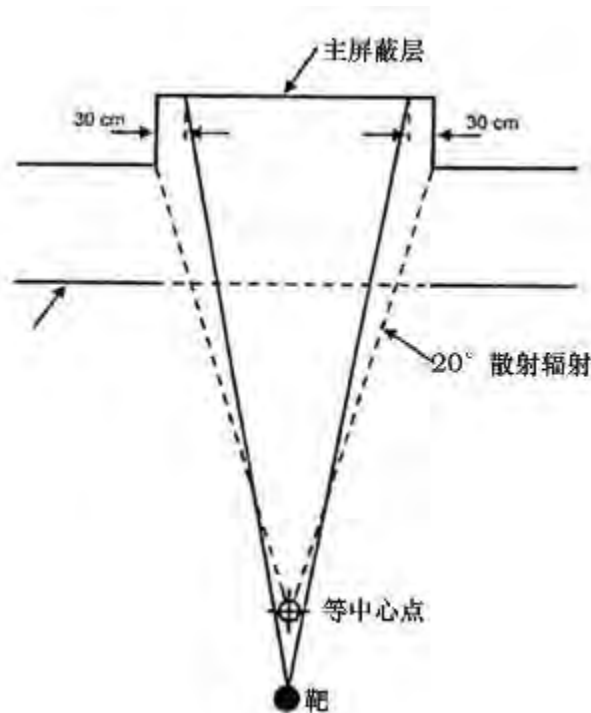


图 11-6 主束屏蔽宽度估算示意图

11.2.5 机房周围人员受照剂量估算

加速器治疗室工作人员外照射受照情况估算结果见表 11-7。

表 11-7 加速器运行时机房外围人员受照剂量估算

点位	位 置	10MV 运行		6MV 运行		居留因子	利用因子	年受照剂量 (μSv)
		剂量率 (μGy/h)	时间 (h/a)	剂量率 (μGy/h)	时间 (h/a)			
1	淋浴间	1.60E+00	9.52	5.85E-01	38.10	1/20	25%	4.69E-01
2、3	卫生间	4.92E-01	95.2	4.26E-01	380.96	1/20	25%	2.61E+00
4	调制柜和水冷房	4.88E-01	95.2	6.14E-01	380.96	1/16	1	1.75E+01
5	加速器控制室	1.39E-01	95.2	1.75E-01	380.96	1	1	7.99E+01
6	加速器控制室	4.18E-05	95.2	2.99E-05	380.96	1	1	1.54E-02
7	加速器控制室	7.13E-03	95.2	7.31E-03	380.96	1	1	3.46E+00
8	防护门外	5.75E-03	95.2	1.45E-02	380.96	1/8	1	7.59E-01
10	楼上主束区 (楼道)	8.19E-01	9.52	1.65E+00	38.10	1/5	25%	3.53E+00
11、12	楼上非主束区域 (基建处会议室)	2.43E-03	95.2	2.79E-03	380.96	1	25%	3.24E-01

由表 11-7 可知，在控制室停留的放疗工作人员的年受照剂量约 80μSv/a，远远低于 2mSv/a 的剂量约束值。机房周围公众（顶部楼道主束区域停留）的年受照剂量最高为 3.53μSv/a，低于设定的 100μSv/a 的剂量约束值。

11.2.6 辐解有害气体

1) 臭氧

依据文献公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

① 有用线束的 O₃ 产额

采用公式（11）计算扩展射线束所致 O₃ 产额的公式：

$$P = 2.43 \dot{D}_0 (1 - \cos \theta) R G \quad (11)$$

式中：P 为 O₃ 的产额； $\dot{D}_0$ 为辐射有用线束在距 1m 处的输出量，Gy /min；R 为射线束中心点到屏蔽物（墙）的距离，m；G 为空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O₃ 分子数，文献估算时取值为 10；θ 为有用束的半张角。

② 泄漏辐射的 O₃ 产额

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

$$P = 3.32 \times 10^{-3} \dot{D}_0 G V^{1/3} \quad (12)$$

本评价选取加速器有关参数如下： $\dot{D}_0 = 14.0 \text{ Gy/min}$ ； $R = 4.15 \text{ m}$ （最大值）； $\theta = +14^\circ \sim -14^\circ$ ； $G = 10$ ；加速器治疗室容积 $V \approx 250 \text{ m}^3$ （含迷道）。根据公式（11）得出有用线束 $P = 42 \text{ mg/h}$ 。根据公式（12）得出泄漏辐射的 $P = 2.8 \text{ mg/h}$ 。二项合计， $P = 44.8 \text{ mg/h}$ 。

根据报告表“表 9-1 加速器出束时间预计”，加速器的年出束时间为 476.2h（折算为最大剂量率时），则臭氧的年产量为 21.3g。

③ 臭氧浓度

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

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

式中： $Q(t)$ 为治疗室内 t 时刻臭氧的平均浓度， mg/m^3 ； Q_0 为臭氧的辐射化学产额， mg/h ； V 为治疗室的体积， m^3 ； T 为有效清除时间， h 。如果照射时间很长 ($t \gg T$)，则：

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \quad (14)$$

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

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \quad (15)$$

机房设计通风量为 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。正常通风时治疗室的换气次数达到 6 次/h，即 $t_v = 0.17 \text{ h}$ 次。由式（16）计算得 T 为 0.14 h 。当 $t \gg T$ 时，臭氧达饱和浓度，由式（15）得到在正常排风时治疗室内的臭氧浓度为 0.0035 mg/m^3 ，远低于工作场所中 O_3 浓度限值 (0.3 mg/m^3)。

加速器室安装有独立的送、排风系统，设计通风量约 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。机房排风采用单独管道，最终引至住院楼排风沟的总排口。从上述估算结果可见，排风中的臭氧浓度为 0.0035 mg/m^3 ，约为大气环境质量标准中 O_3 浓度限值（一小时平均为 0.2 mg/m^3 ）的 1/50，可见，加速器排风对周围大气环境的影响十分轻微。

2) 氮氧化物

在多种氮氧化物 (NO_x) 中，以 NO_2 为主，其产额约为 O_3 的一半。工作场所中 NO_2 的浓度限值超出 O_3 的十倍，环境空气中其限值与 O_3 相近（一小时平均 0.24 mg/m^3 ）。因而， NO_x 产生和排放对周围大气环境的影响很小。

11.2.7 噪声

噪声的主要来源是通风、空调系统以及加速器的高压调制器。由于加速器机房位于地下，排风机又安装在单独的通风机房内，噪声对周围的影响很小；加速器的高压调制器置于封闭加速器室内，因此噪声不会影响加速器治疗室外的工作人员和临近区域的人员。

11.2.8 电磁辐射

电子直线加速器使用了磁控管、射频分离器、射频腔和波导传输系统等微波组件。为了有效地利用微波能，要求电子传输系统密封性能好，呈真空状态，微波能被束缚在波导管内，其泄漏微波可忽略不计，故微波辐射对环境的影响几乎可忽略。

11.2.9 放射性固体废物的管理措施

加速器正常运行时无放射性“三废”产生。非正常情况下，可能产生废靶，更换下来废靶，如不满足清洁解控要求的废靶送交城市放射性废物库处置。

11.2.10 CBCT 的环境影响分析

本项目搬迁的加速器带有 CBCT 装置，加速器机房能够满足高能（10MV）X 线屏蔽，一定满足低能 X（150kV）的屏蔽。加速器机房内部尺寸为长 8.2m×宽 6.5m，机房面积和单边长度分别满足 GBZ130-2020 中使用 CT 装置的面积 30m² 和单边最小长度 4.5m 的要求。

11.2.11. 加速器机房排风系统设置要求

该项目直线加速器机房拟采用“上送下排”方式通风，送风管道与排风管道均由迷道经防护门上方采用“Z”字形式进出机房。

机房内顶部设置 300mm×300mm 的送风口，在加速器机房西北侧设置尺寸为 400mm×200mm 的排风口，风管底部（排风口）离地 30cm。机房的排风管道与大楼排风管道相连后在住院楼楼顶排放。

11.3 事故影响分析

11.3.1 加速器事故影响分析

（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，是人员误入高辐射区而造成人身伤害事故。保守假设：①等中心点的剂量率为 840Gy/h；②射野面积 15cm×15cm；③误入人员在迷道内口处停留 1min，据此估算误入人员的一次最大受照剂量。

该误入人员的受照剂量主要由 2 部分组成：①机头的泄漏辐射；②病人的散射辐射。

依照前面估算模式，计算得出人员误入可能的受照剂量为：

① 机头的泄漏辐射，散射路径为 $O \rightarrow G$ ：

$$\frac{840\text{Gy/h} \times 1.0 \times 10^{-3}}{(5.2\text{m})^2} \times \frac{1}{60} \text{h} \times 1\text{Sv/Gy} = 0.52\text{mSv}$$

② 病人的散射辐射，散射路径为 $O_4 \rightarrow O \rightarrow G$ ：

$$\frac{840\text{Gy/h} \times 1.39 \times 10^{-3} \left(\frac{15 \times 15}{400} \right)}{(1\text{m})^2 (5.2\text{m})^2} \times \frac{1}{60} \text{h} \times 1\text{Sv/Gy} = 0.40$$

因此，人员误入机房的一次最大受照剂量为 $0.52\text{mSv} + 0.40\text{mSv} = 0.92\text{mSv}$ ，该剂量的照射不会对误入机房的人员健康造成严重影响。

对这种事故，该装置设有安全联锁系统，以及在治疗室和迷道内设置有闭路监视系统，可有效防止其发生，事故本身不会对环境造成任何影响。

（2）其它异常运行事件和防范措施

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，设备配套的UPS给控制台电脑自动供电，记录正在治疗病人已经接受的累积治疗剂量等治疗信息。

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。医护人员进入加速器室，要保持防护门开启，由于有门机联锁系统，加速器无法启动。为防止陪护人员或其他人员误留在加速器机房内受到误照射，要求加速器在每次出束前，工作人员必须进机房进行检查，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。

11.3.2 加速器事故/事件影响分析

（1）事故分析

加速器治疗装置可能发生的最严重的放射性事故是人员误入高辐射区而造成的人身伤害事故。针对上述可能发生的事故，制定了应急预案。

(2) 事故处理措施

1) 门机联锁装置失效：在加速器运行时人员误入治疗室内，造成不必要的照射；

2) 停电：治疗过程中停电，设备配套的 UPS 不间断电源将给控制台电脑系统供电，保留病人的治疗记录等。

3) 维修期间的事故：维修工程师在检修期间误开机出束，为防止该种事故，维修人员应携带个人剂量报警仪，一旦有紧急情况，应及时撤离现场。

发生该类事故后，应在 2 小时内向当地生态环境部门和公安部门报告，填写《辐射事故初始报告表》，如果可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。