



**表 1 项目概况**

单位名称	广州中医药大学第一附属医院	地址	广州市机场路 16 号大院	
法人代表姓名	樊粤光		邮编	510400
联系人及电话	颜绍民 020-36591405			
项目名称	放射诊疗项目（改扩建）	项目地点	广州中医药大学第一附属医院	
项目用途	放射诊断、治疗	项目依据	《关于配置乙类大型医用设备的批复》见附件 9	
注册资金（万元）	/			
核技术项目投资(万元)	8000		核技术项目环保投资(万元)	2000
应用类型	放射性同位素应用	密封源	射线装置	其它
	无	使用Ⅲ类密封放射源	使用Ⅱ、Ⅲ类射线装置	无
<p>核技术应用的目的是任务：</p> <p>根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（中华人民共和国环境保护部第 3 号令）第二十三条规定“新建或者改建、扩建生产、销售、使用设施或者场所的，应申请领取辐射安全许可证”。</p> <p>根据医院诊疗需要，本次改扩建放射诊疗内容如下：</p> <p>1、放射治疗装置</p> <p>新建放疗科，用于肿瘤治疗：含 15MV 电子直线加速器 2 台、模拟 CT 机 1 台、模拟定位机 1 台，以及近距离后装治疗机 1 台（内含活度为 <math>3.7 \times 10^{11} \text{Bq}</math>/枚的 <math>^{192}\text{Ir}</math> 密封放射源）；</p> <p>2、放射影像装置</p> <p>（1）X 线透视下进行血管造影介入检查或治疗：数字减影血管造影 X 射线装置 1 台；</p> <p>（2）X 线透视下进行检查或治疗：手术室 C 臂 X 射线系统 5 台；</p> <p>（3）X 射线显像检查：含 CT 机、DR 机等医用 X 射线装置 7 台。</p> <p>依据《关于发布射线装置分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2006 年第 26 号）可知，电子直线加速器及数字减影血管造影装置为Ⅱ类射线装置；医用 CT、DR、</p>				

胃肠机等均为III类射线装置；据《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2006 年第 62 号）可知，10Ci（3.7E+11Bq）的  $^{192}\text{Ir}$  密封放射源为III类放射源。根据《建设项目环境保护分类管理名录》，（国家环境保护部令第 2 号 2008 年），从事使用 II 类射线装置或III类放射源的应该编制环境影响报告表，并报广东省环境保护厅审批。

受广州中医药大学第一附属医院委托，广东核力工程勘察院承担该院的改扩建放射诊疗项目核技术应用报告表的编制工作。

## 1.1 单位概况

广州中医药大学第一附属医院位于广州市机场路 16 大院。该院是一所大型综合性中医医院，创建于 1964 年，是我国高等中医药临床教育、医疗、科研重要基地之一，为全国首批三级甲等中医医院、示范中医医院和首批广东省中医名院。先后荣获“全国‘五一’劳动奖状”、“全国卫生系统先进集体”、“全国职业道德先进单位”、“全国中医药应急工作先进集体”、“全国中医医院优质护理服务先进单位”、“广东省文明单位”等称号。1994 年无偿救治身患股骨头坏死的好军嫂韩素云事迹饮誉全国，受到江泽民总书记等中央领导同志的赞扬和社会各界的好评。

医院占地面积 50940 平方米，现有建筑面积 13 万平方米，编制病床 1250 张，实际开放病床 1400 张，目前在建的内科大楼在 2015 年投入使用后，全院病床将达到 2200 张。住院部设有 36 个临床科室，门急诊各专科开设齐全。医疗业务每年持续增长，2013 年门急诊量突破 300 万人次，年收治住院病人超过 4.7 万人次，急诊量在广州市所有医院（含中医院和西医院）中名列前茅。医院现有职工 2200 余人，高级职称的中医及中西医结合专家 500 多名，拥有以我国首批“国医大师”邓铁涛教授以及欧明教授、王建华教授等为代表的一批全国知名中医专家，包括 16 位全国老中医药专家学术经验继承指导老师、19 位广东省名中医等，是全国中医技术力量最雄厚的中医院之一。

医院拥有卫生部国家临床重点专科 7 个（内分泌科、耳鼻喉科、骨伤科、脾胃病科、妇科、肿瘤科、临床药学）、国家中医药管理局重点专科 14 个（急诊科、内分泌科、耳鼻喉科、骨伤科、肿瘤科、妇科、心血管科、针灸科、脾胃病科、脑病科、风湿病科、重症医学科、护理学、临床药学），已进入国家重点专科专病单位数量最多的医院行列，其中多个专科专病成为全国协作组组长或副组长单位；拥有省级重点专科专病 27 个。多个国家级、省级培训基地落户我院，包括：中华医学会麻醉学分会气道管理培训基地，是目前仅有的四家全国气道管理培训基地之一；全国胸腔镜心脏手术技术培训基地，是中国医师协会指定的三家全国培训基地之一；国家中医药管理局第一批膏方人员培训机

构；广东省第一批血液透析培训基地；广东省唯一的广东省基层常见病多发病中医药适宜技术推广基地；全国首家中医专科医师培训基地等。

广州中医药大学第一附属医院位于环城高速公路及机场路交界处，医院北侧为环城高速公路，西侧为解放北路，东侧为居民区，南侧为广州中医药大学校区，东南角 140m 为三元里中学，其距离本项目门诊、急诊综合楼 210m，距离医技楼 290m，距拟建门诊楼约 270m，距离拟建地下放疗中心及介入室约 400m。

满足《广东省未成年人保护条例》“学校周围二百米范围内不得放置易燃易爆、剧毒、放射性、腐蚀性等危险物品和设施设备”的要求。医院位置图见图 1-1，医院平面卫星图见图 1-2，医院平面布置图见图 1-3。



图 1-1 广州中医药大学第一附属医院地理位置图



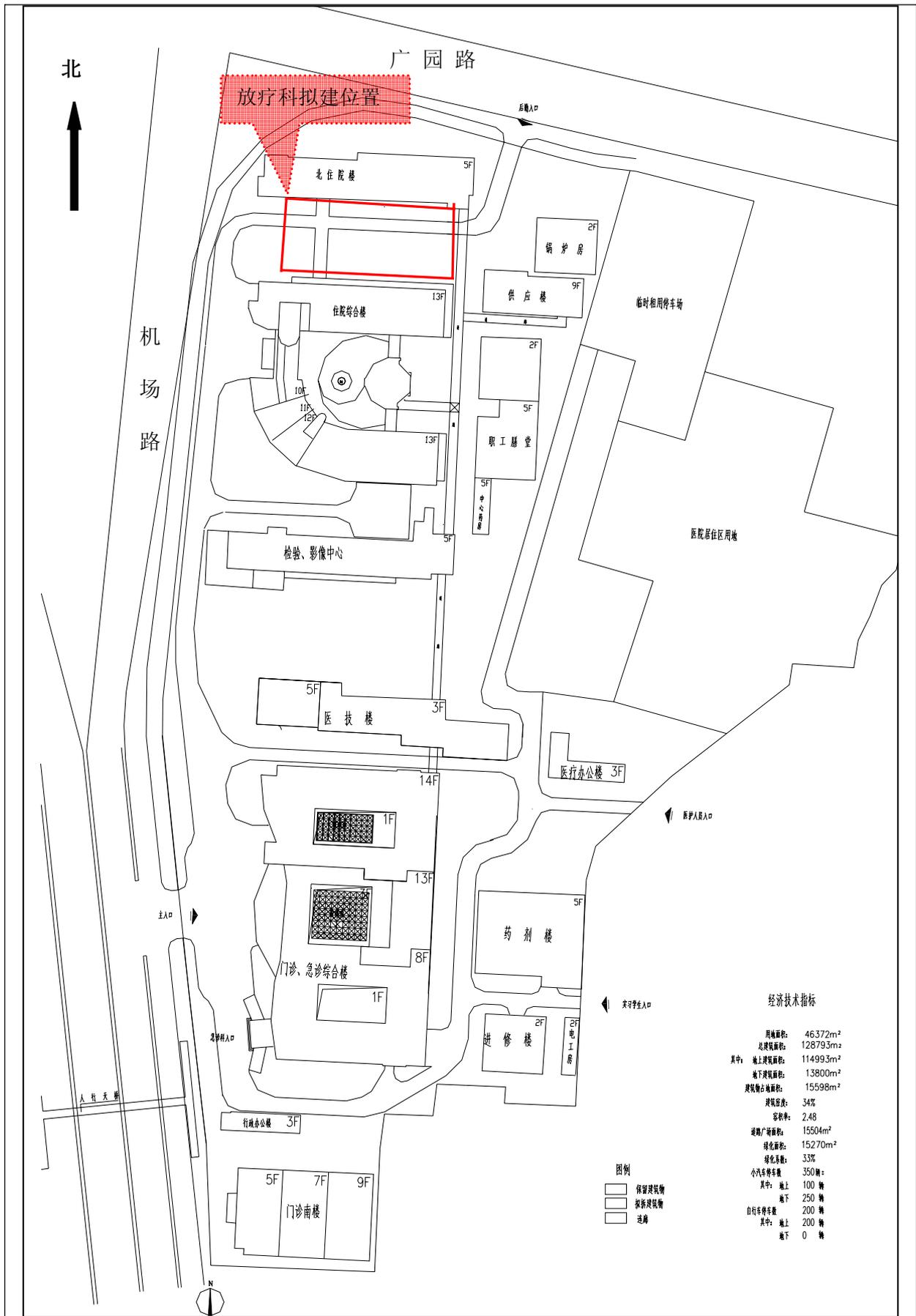


图 1-3 广州中医药大学第一附属医院平面图

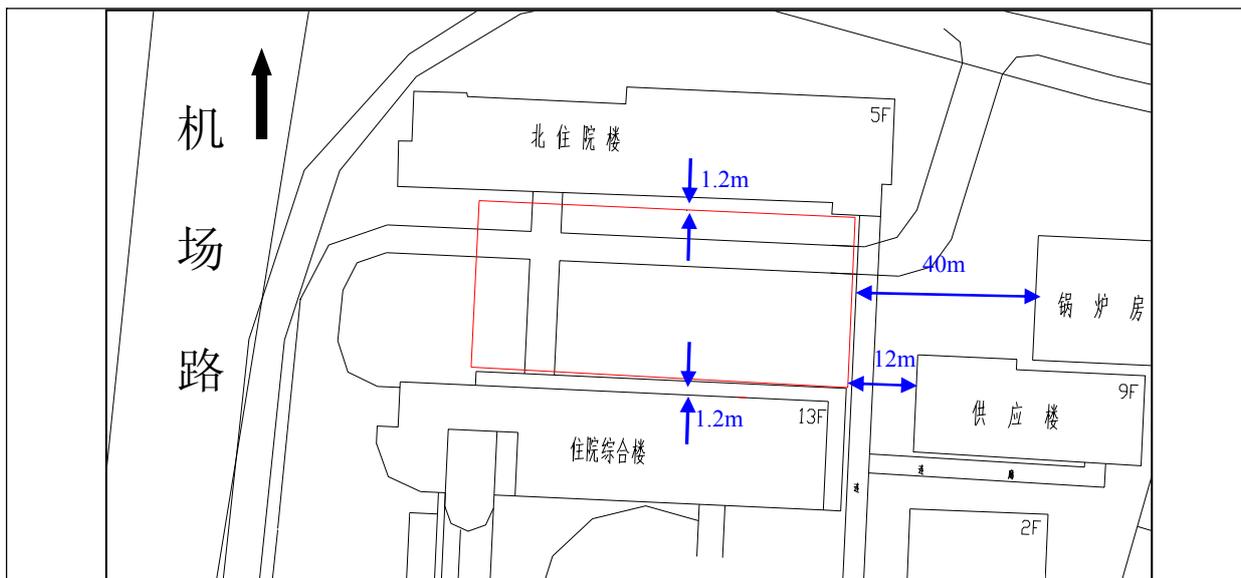


图 1-4 拟建放疗科四至图环境示意图

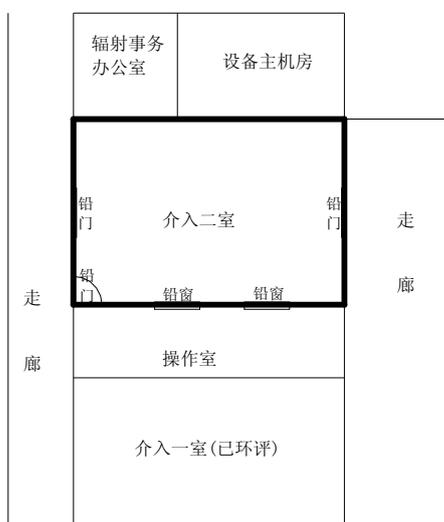


图 1-5 DSA 四至图环境示意图

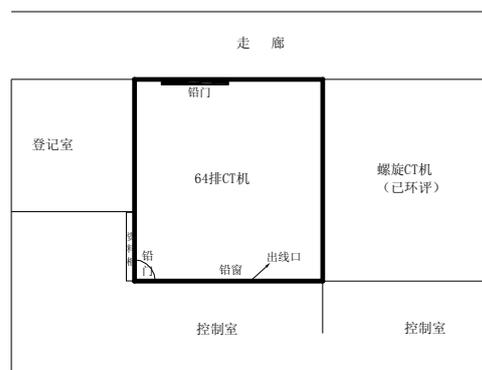


图 1-6 放射科 CT 机四至图环境示意图

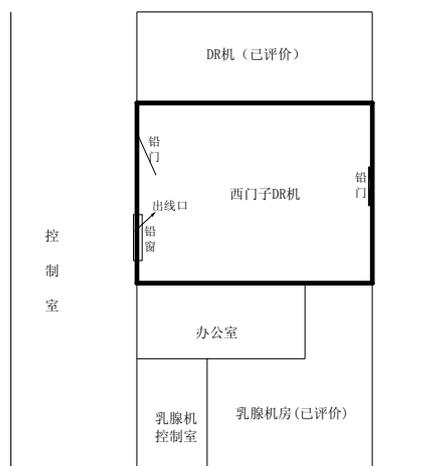


图 1-7 急诊 CT 机四至图环境示意图

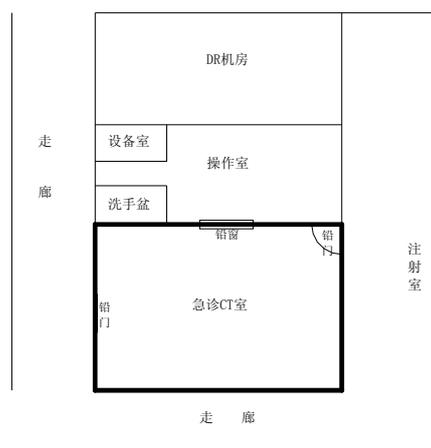


图 1-8 放射科 DR 机四至图环境示意图

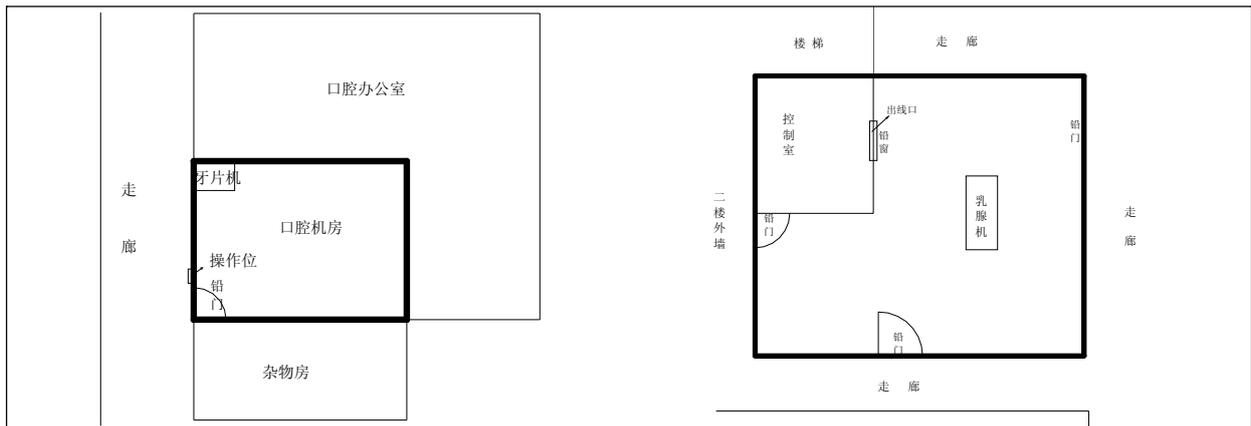


图 1-9 口腔机房四至图环境示意图

图 1-10 乳腺机四至图环境示意图

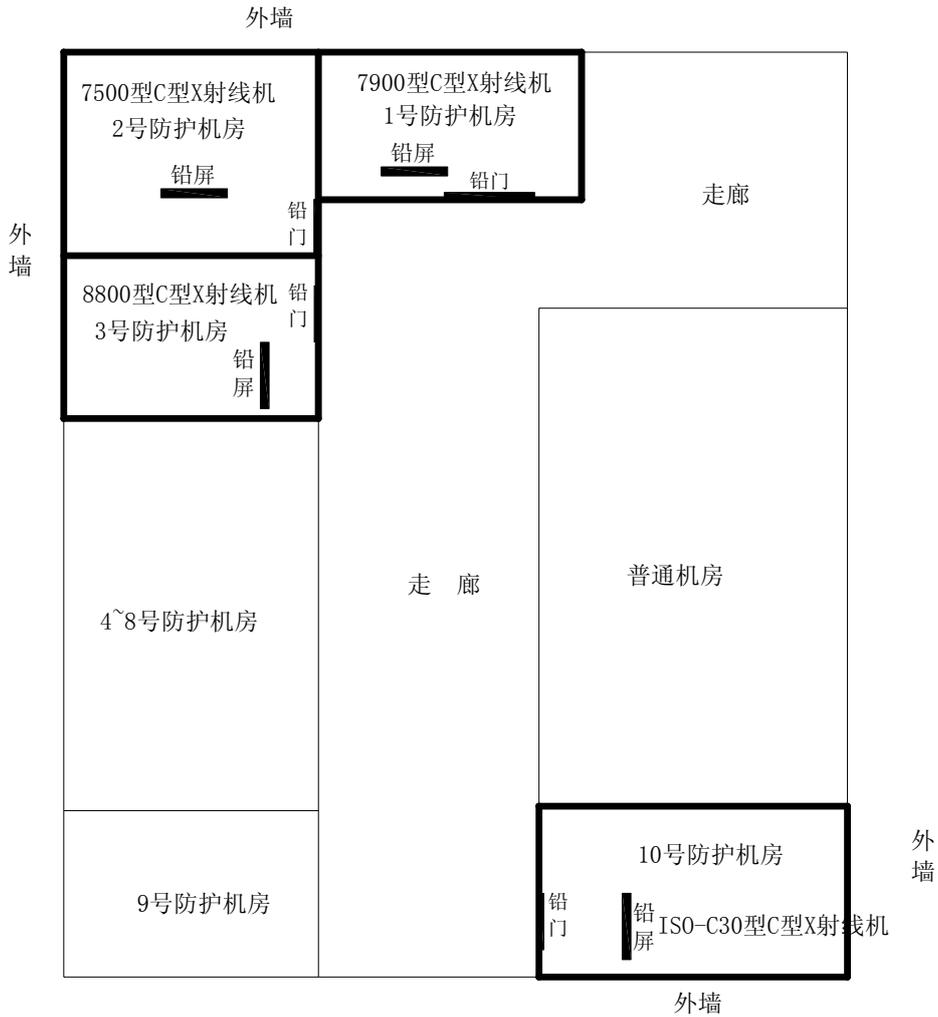


图 1-11 手术 C 臂机房四至图环境示意图

## 1.2 辐射防护工作回顾

广州中医药大学第一附属医院已申请许可数字减影血管造影装置（DSA）、SPECT-CT 机、CT 机、DR 机等射线装置 14 台，用于放射诊断治疗，详细设备规模见表 1-1。医院已开展乙级非密封源工作场所，使用到  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{201}\text{Tl}$  三种核素，其日最大等效操作量为  $7.9 \times 10^8 \text{Bq}$ 。以上设备均于 2009 年 6 月，委托广东核力工程勘察院编

制完成《广州中医药大学第一附属医院核技术应用项目环境影响报告表》，报告表编号为 09HPZ29；2011 年 1 月 25 日，该项目获得广东省环境保护厅审批，粤环审[2011]34 号，见附件 2；2011 年 04 月 25 日，获得广东省环保厅颁发的辐射安全许可证，证号：粤环辐证【03198】，见附件 3；2012 年 5 月 14 日，取得广东省环境保护厅关于广州中医药大学第一附属医院核技术应用项目竣工环境保护验收意见的函，粤环审[2012]229 号，见附件 4。

本次改扩建核技术应用项目环境影响报告表于 2014 年 6 月 12 日经过专家现场评审，并出具专家意见，见附件 10。

广州中医药大学第一附属医院介入、核医学科、影像诊断等所有放射工作人员均按照要求参加辐射安全培训知识，并取得合格证书，均做到持证上岗，见附件 5。所有放射工作人员佩戴个人剂量计，并按要求每季度送检一次，2012 年 9 月 18 日~2013 年 10 月 14 日检测报告，见附件 8。

广州中医药大学第一附属医院辐射设备至今未发生辐射事故。

**表 1-1 已申领使用活动种类及范围**

射线装置					
序号	设备名称	型号	类型/数量	状态	使用地点
1	数字减影血管造影装置	ALLURA-12	II类/1台	在用	住院北楼1楼介入室
2	单光子发射计算机断层扫描仪(SPECT/CT)	Infinia	III类/1台	在用	医技楼1楼ECT室
3	医用CT机	AQUILION64	III类/1台	在用	医技楼1楼CT室
4	CT机	PQ6000	III类/1台	已报废	门诊楼1楼急诊CT室
5	放射诊断用X射线机	BSX-200E	III类/1台	在用	胃肠检查室
6	放射诊断用X射线机(DR)	BSX-50AC	III类/1台	在用	门诊南楼体检中心X光检查室
7	放射诊断用X射线机(DR)	BSX-50ACPAS	III类/1台	准备报废	医技楼1楼透视检查室
8	X射线摄影装置(DR)	DR3500	III类/1台	在用	门诊楼1楼急诊X光检查室
9	X射线摄影装置(DR)	DR7500	III类/1台	在用	医技楼1楼5号检查室
10	X射线摄影装置(DR)	XQI	III类/1台	在用	医技楼1楼3号检查室
11	牙科X射线机(DR)	普兰梅卡	III类/1台	在用	医技楼1楼1号检查室
12	乳腺X射线机(DR)	吉特IM全乳数字化	III类/1台	在用	医技楼1楼9号检查室
13	放射诊断用移动式X射线机	AMX-4+	III类/1台	在用	医技楼1楼X射线室
14	放射诊断用移动式X射线机	AMX-4+ 320MA	III类/1台	在用	医技楼1楼X射线室

广州中医药大学第一附属医院核医学科				
序号	核素名称	日等效操作量 (Bq)	状态	工作场所
1	<sup>99m</sup> Tc	4.8×10 <sup>8</sup>	使用	核医学科
2	<sup>131</sup> I	3.0×10 <sup>8</sup>	使用	核医学科
3	<sup>201</sup> Tl	1.0×10 <sup>7</sup>	使用	核医学科
合计	—	7.9×10 <sup>8</sup>		

### 1.3 核技术应用规模情况

根据医院医疗需求，医院报废 PQ6000 型 CT 机及 BSX-50ACPAS 型 DR 机，并重新购买 BrightSpeed Elite Select 型 CT 机替代已报废 PQ6000 型 CT 机，购买 SonialvSION safire PLUS 型岛津大平板多功能数字化透视摄影系统替代 BSX-50ACPAS 型 DR 机，除此之外，医院还另外扩建部分新设备，扩建规模即本次评价规模详见表 1-2。

表 1-2 扩建规模（本次评价规模）

射线装置						
序号	设备名称	型号	最高管电压 (kV)	最大输出电流 (mA)	类型/数量	使用地点
1	数字减影血管造影系统 (DSA)	Artis Zee Ceiling	125	100	II类/1台	住院北楼1楼介入室
2	医用 CT 机	Discovery CT750HD	120	350	III类/1台	医技楼1楼 CT 新机房
3	放射诊断用移动式 X 射线机	MUX-100J	125	100	III类/1台	医技楼1楼 X 射线室
4	多功能 X 射线摄影装置 (DR)	AXIOM Luminos dRF	150	1000	III类/1台	医技楼1楼 7号检查室
5	C 型 X 线机	7900	110	20	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
6	C 型 X 线机	Ever View 7500	110	20	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
7	C 型臂成像系统	8800	120	75	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
8	C 臂 X 射线系统	ISO-C3D	110	20	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
9	口内 X 射线系统	X-MIND DC	70	8	III类/1台	门诊南楼5楼口腔科放射室
10	数字化乳腺	MultiCare	34	80	III类/1台	医技楼2楼

	机	Platinum				乳导管镜室
11	岛津大平板多功能数字化透视摄影系统	Sonialvsion safire PLUS	150	800	III类/1台	计划放置医技楼1楼透视检查室, 替换原BSX-50ACP AS型DR机
12	直线加速器	Trilogy	15MV (22MeV)		II类/1台	放疗科
13	直线加速器	待定	15MV (22MeV)		II类/1台	放疗科
14	模拟CT机	待定	140	800	III类/1台	放疗科
15	模拟定位机	Acuity	150	200	III类/1台	放疗科
16	医用CT机	BrightSpeed Elite Select	125	350	III类/1台	门诊楼1楼急诊CT室, 替换原PQ6000型CT机
17	移动C型臂成像系统	待定	120	75	II类/1台	门诊楼7楼日间手术间
密封放射源						
序号	核素名称	活度 (Bq)	类型/状态		工作场所	
1	<sup>192</sup> Ir (固体)	3.7E+11	III类/使用		放疗科, 贮存于近距离后装治疗机内	

### 1.3.1 调整规模

现有规模规模见表 1-1, 本次评价规模见表 1-2。

### 1.3.2 环境影响评价内容

本次环评规模, 即改扩建规模见表 1-2。

评价工作内容包括:

- (1) 新建放疗科, 肿瘤治疗: 含 15MV 电子直线加速器 2 台、模拟 CT 机 1 台、模拟定位机 1 台, 以及近距离后装治疗机 1 台 (内含活度为 10Ci 的 <sup>192</sup>Ir 密封放射源);
- (2) 扩建数字减影血管造影系统 1 台, 手术室 C 臂 X 射线系统 5 台;
- (3) 扩建 CT 机、DR 机等医用 X 射线装置 5 台, 改建 2 台。

环境影响评价主要考虑的问题有: <sup>192</sup>Ir 密封放射源释放的  $\gamma$  射线, 射线装置运行产生的电子线、X 射线、中子及感生核素对工作人员、公众以及环境的影响。

## 1.4 编制依据

### 1.4.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 22 号；
- (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 77 号；
- (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 6 号；
- (4) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 253 号；
- (5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》环境保护部 2 号；
- (6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号；
- (7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年；
- (8) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，国家环保总局第 26 号公告；
- (9) 《关于发布放射源分类办法的公告》，国家环保总局第 62 号公告。

### 1.4.2 技术导则及规范

- (1) 《辐射环境保护管理导则——核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ/T10.1-1995）；
- (2) 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB1215-89）；
- (3) 《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）；
- (4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；

## 1.5 评价标准

- (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871-2002

### ①剂量限值

表 1-3 剂量限值的相关内容

相关条款	具体内容
B1.1 职业照射	B1.1.1.1 应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
B1.2 公众照射	B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值： a) 年有效剂量，1mSv。

按防护与安全的最优化要求，结合本项目实际情况，取职业照射年平均有效剂量的四分之一作为职业工作人员的年有效剂量管理目标值，即不超过 5mSv；取公众照射年有效剂量的四分之一作为公众成员的年有效剂量管理目标值，即不超过 0.25 mSv。

- (3) 《医用 X 射线诊断放射防护标准》，GBZ130-2013

① X 射线设备机房（照射室）应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所的人员防护与安全。

②每台 X 射线机（不含移动式 and 携带式床旁摄影机与车载 X 射线机）应设有单独的机房，机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的 X 射线机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于 GBZ130-2013 要求。

③ X 射线设备机房的防护检测应在巡测的基础上，对关注点的局部屏蔽和缝隙进行重点检测。

关注点应包括：四面墙体、地板、顶棚、机房的门、观察窗、传片箱、采光窗 / 窗体、管线洞口等，点位选取应具有代表性。

④ X 射线设备机房辐射防护安全设施在项目竣工时应进行验收检测，在使用过程中，应按卫生计生行政部门规定进行定期检测。

⑤ 在正常使用中，医疗机构应每日对门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置进行检查，对其余防护设施应进行定期检查。

⑥ X 射线设备及其机房防护检测合格并符合国家有关规定后方可投入使用。

⑦应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

⑧在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h。

(4) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》，GBZ 165-2012

机房的防护要求：

①CT 机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件，一般应在建筑物的一端。

②CT 机房应有足够的使用空间，面积应不小于 30 $\text{cm}^2$ ，单边长度不小于 4m。机房内部应堆放无关杂物。

③CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度，机房外人员可能受到照射的等效有效剂量小于 0.25mSv（相应的周有效剂量小于 5 $\mu$ Sv），距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应 <2.5 $\mu$ Gy/h。

④CT 机房门外明显处应设置电离辐射警告标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

⑤CT 机房应保持有良好的通风。

(5) 《电子加速器放射治疗放射防护要求》GBZ126-2011

(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《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》；

(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》；

(7) 《后装 $\gamma$ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002)  
根据《后装 $\gamma$ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2002)：

#### “4 后装放射治疗设备的防护要求

##### 4.1 放射源

4.1.1 后装放射治疗用 $\gamma$ 放射源，必须符合 GB4076 的规定。

4.1.2 放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证书。说明书应载明放射源编号、核素名称、化学符号、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。

4.1.4 放射源的更换必须由合格的技术人员，在放射防护人员监督下进行。

4.1.5 放射源的运输必须符合 GB11806 的规定。

4.1.6 退役放射源必须及时退还原生产厂家或送指定的放射性废物库统一处理或妥善保存。

##### 4.2 贮源器

4.2.1 放射源贮源器表面必须标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的电离辐射警示标识（参见 GB2894）。

4.2.2 运输贮源器（或工作贮源器）内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，泄漏辐射的空气比动能率不得大于  $100\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于  $10\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

4.2.3 装载后装治疗用放射源的运输贮源器（或工作贮源器）除运输外，必须存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时应发出声光报警信号。

当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

##### 5 后装放射治疗室的防护要求

5.1 放射治疗室必须经专业人员设计，治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于  $20\text{m}^2$ 。

5.2 治疗室入口必须采用迷路设计，设置门机联锁，并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。

5.3 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，确保工作人员及公

众的受照剂量小于相应的年剂量限值。

5.4 在控制室与治疗室之间应设观察窗（或监视器）与对讲机。”

## 1.6 评价目的

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

（2）评价项目在运行过程中对工作人员及公众成员所造成的辐射影响；

（3）评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门的管理提供依据；

（4）通过项目辐射环境影响评价，为使用单位保护环境和公众利益给予技术支持；

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

表 2 放射性同位素及密封源（本次评价规模）

核素名称	放射性核素年使用总量 Bq	物理、化学性状	日等效操作量 Bq	年等效用量 Bq	操作方式	用途	使用地点
<sup>192</sup> Ir (固体)	3.7×10 <sup>11</sup> Bq/枚 (10Ci)	半衰期为 74 天, 射线能量为 0.37MeV, III类固体密封源	—	—	简单	肿瘤治疗	铅封罐/ 后装机内

表 3 废弃物（重点是放射性废弃物）

废弃物名称	状态	排放口浓度	年排放总量	暂存情况	最终去向
<sup>192</sup> Ir	固体	/	/	/	源厂家
废靶	固体	/	/	/	送交城市放射性废物库

表 4 射线装置（本次评价规模）

（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						
名称型号	生产厂家	加速粒子	能量（MV）	流强（ $\mu$ A）	用途	备注
直线加速器	（美国）瓦里安 Trilogy	电子	15MV（22MeV）	/	治疗	II类射线装置
直线加速器	待定	电子	15MV（22MeV）	/	治疗	II类射线装置
废物类型	数量	总活度（Bq）	主要感生放射性核素	废物去向		
废靶	靶的寿命通常为 5-10a			送交城市放射性废物库		
放射性废物年产生量	气态		$^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$	直接排放环境大气		
	液态	微量		循环利用，不外排		
	固态					
（二）X 射线机：包括医用诊断和治疗（含 X 射线 CT 诊断）、分析仪器等						
序号	设备名称	型号	最高管电压（kV）	最大输出电流（mA）	类型/数量	使用地点
1	数字减影血管造影 X 线（DSA）	Artis Zee Ceiling	125	100	II类/1台	住院北楼1楼介入室
2	医用 CT 机	Discovery CT750HD	120	350	III类/1台	医技楼1楼CT新机房
3	放射诊断用移动式 X 射线机	MUX-100J	125	100	III类/1台	医技楼1楼 X 射线室
4	多功能 X 射线摄影装置（DR）	AXIOM Luminos dRF	150	1000	III类/1台	医技楼1楼7号检查室
5	C 型 X 线机	7900	110	20	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
6	C 型 X 线机	Ever View 7500	110	20	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
7	C 型臂成像系统	8800	120	75	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
8	C 臂 X 射线系统	ISO-C3D	110	20	III类/1台	住院中心楼10楼手术室
9	口内 X 射线系统	X-MIND DC	70	8	III类/1台	门诊南楼5楼口腔科放射室
10	数字化乳腺机	MultiCare Platinum	34	80	III类/1台	医技楼2楼乳导管镜室
11	岛津大平板多功能数字化透视摄影系统	Sonialvsion safire PLUS	150	800	III类/1台	计划放置医技楼1楼透视检查室，替换原

						BSX-50ACPAS 型 DR 机
12	模拟 CT 机	待定	140	800	Ⅲ类 /1 台	放疗科
13	模拟定位机	Acuity	150	200	Ⅲ类 /1 台	放疗科
14	医用 CT 机	BrightSpeed Elite Select	125	350	Ⅲ类 /1 台	门诊楼1楼急诊 CT 室，替换原 PQ6000型 CT 机
15	移动 C 型臂成 像系统	待定	120	75	Ⅱ类 /1 台	门诊楼7楼日间 手术间

表 5 污染源分析（包括贯穿辐射污染）

主要放射性污染物和污染途径（正常工况和事故工况）

5.1 医用电子直线加速器

肿瘤的放射治疗是利用放射性核素或射线发生装置发出的射线对肿瘤及其侵犯的组织进行一定剂量照射，从而控制肿瘤细胞生长、增殖的一种物理治疗技术。电子直线加速器放疗设备利用电子线或 X 射线光子实施放射治疗。

电子直线加速器是利用微波电磁场加速电子，并使其具有直线轨道的一种装置，加速后的电子直接或经转换为 X 射线后供放射治疗用。医用直线加速器结构示意图 5-1，医用电子直线加速器外观图见图 5-2。

典型的放射治疗工作流程如下：

适应症病人→MRI、CT 或 X 线模拟定位→制定治疗计划→摆位→放射治疗。

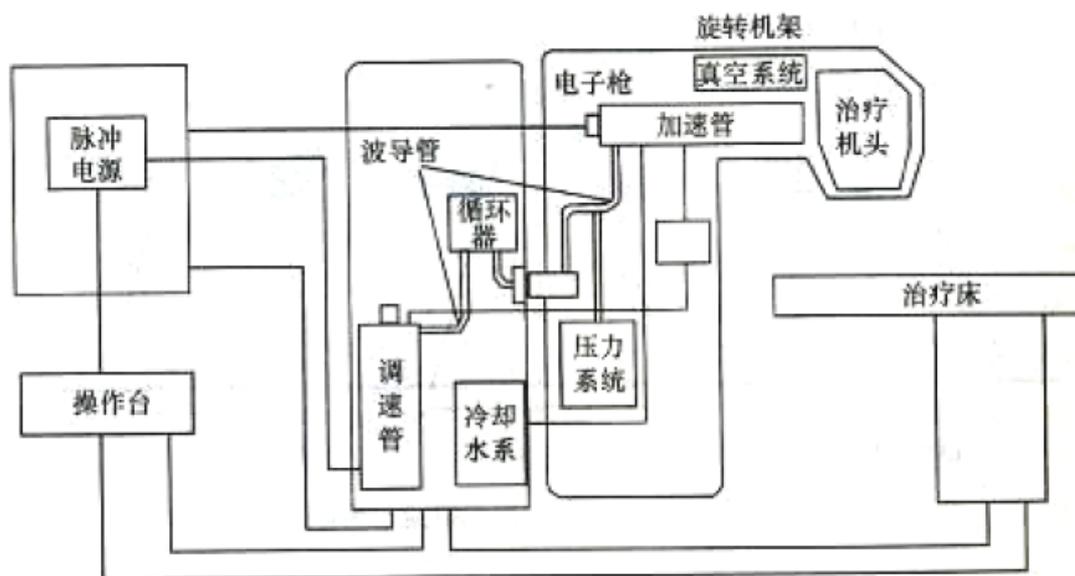


图 5-1 医用电子直线加速器结构示意图

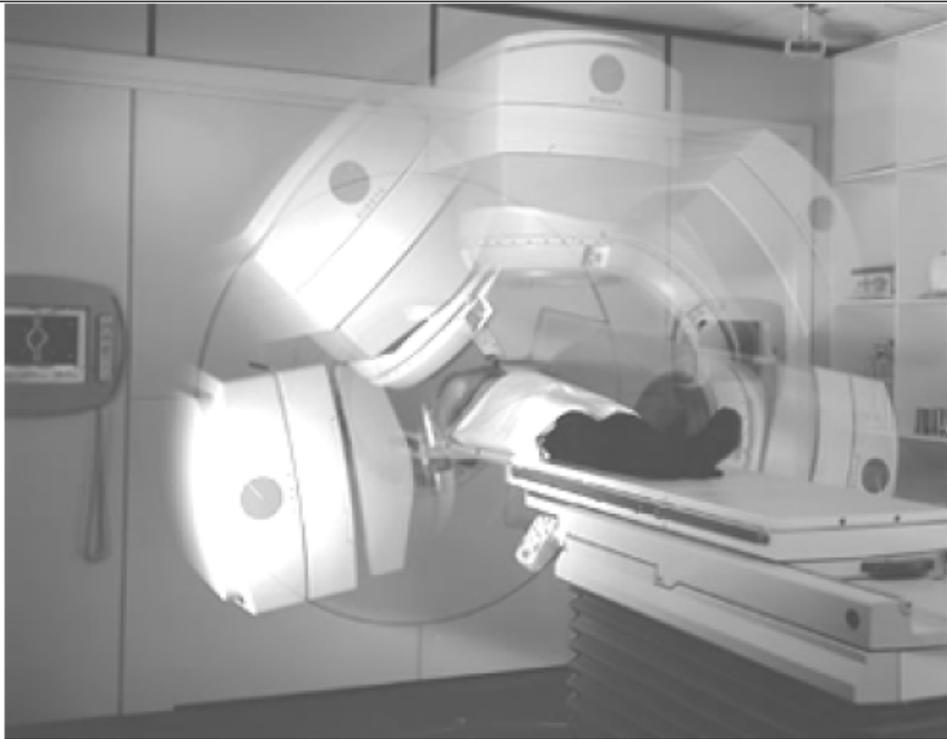


图 5-2 医用电子直线加速器外观图

### 5.1.1 主要的放射性污染和污染途径

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。工作人员在治疗室内停留时吸入设备运行产生的感生放射性气体。冷却水循环使用，不外排。

### 5.1.2 事故工况下的污染途径

- (1) 加速器发生控制系统故障或人员疏忽，使得工作人员受到误照射。
- (2) 加速器发生控制系统故障或辐照参数设置错误，使得受检者受到超剂量照射。
- (3) 机房门机联锁装置故障，人员误入机房受到辐射照射。

### 5.1.3 其它污染分析

空气在射线的强辐射下，吸收能量并通过电离作用产生  $O_3$ 、 $NO_x$ 、中子、感生放射性等有害气体。

## 5.2 $^{192}Ir$ 后装 $\gamma$ 源近距离治疗机

$^{192}Ir$ 后装  $\gamma$  源近距离治疗机未使用时，放射源封闭在治疗机头的贮存位置，机头活动门是关闭的，这时从源体漏出的射线较少，主要对进入治疗室的工作人员产生辐射照

射，不对治疗室外的工作人员和公众成员产生辐射照射。

$^{192}\text{Ir}$ 后装  $\gamma$  源近距离治疗机开机治疗时，机头活动门开启，源对病灶进行照射，此时泄漏和散射出来的射线较强，经过辐射防护屏蔽后还可能有一定的泄漏。治疗机除了可能产生少量的臭氧和氮氧化物外，没有放射性“三废”产生。 $^{192}\text{Ir}$ 放射源报废后由厂家回收。

在正常工况下： $^{192}\text{Ir}$ 为密封源， $\beta$ 射线被完全屏蔽，源活性物质也不会泄露，因此只有  $\gamma$  射线对人体产生外照射，而构筑机房时采取了L型迷路的屏蔽措施，仅少量散射线和穿透机房屏蔽的漏射线对机房外环境产生辐射影响。

在事故工况下：

- 1) 在源密封壳破损，源活性物质泄露；
- 2) 治疗过程中，发生卡源事故；
- 3) 在病人治疗期间，安全联锁发生故障，无关人员误闯入治疗室；
- 4) 将治疗装置卖给非法用户。

以上事故将造成医务人员和病人或其他人员受到额外照射，甚至发生大剂量的辐射照射事故。

### 5.3 X放射影像诊疗

X 射线是高速电子与靶物质相互作用产生的。医用 X 射线诊断设备是利用人体不同的组织或者组织与造影剂密度的差别，对 X 射线吸收能力不同的特点，透射人体的 X 线能够使荧光屏、电子暗盒或感光胶片显影，来间接显示内脏形态的变化、器官活动情况等，辅助临床诊断。目前主要有两种诊断方法：即透视和摄影。

#### 5.3.1 DSA工艺流程及产物环节

DSA 是 II 类 X 射线装置，其和一般 X 射线装置不同的是曝光时，介入手术医生及 C 臂机手术医生均在曝光室，唯一不同的是 C 臂机手术医生曝光时医生是在铅屏后，而 DSA 是扫描和手术是交叉进行的，故 DSA 对于医生的影响比一般的 X 射线装置大。工艺过程见图 5-3。

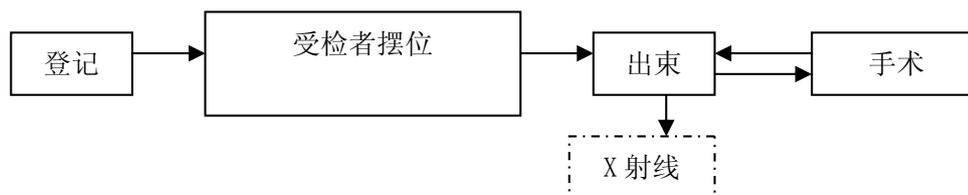


图 5-3 DSA 工艺流程及产物环节

### 5.3.2 CT等医用X射线装置工艺流程及产物环节

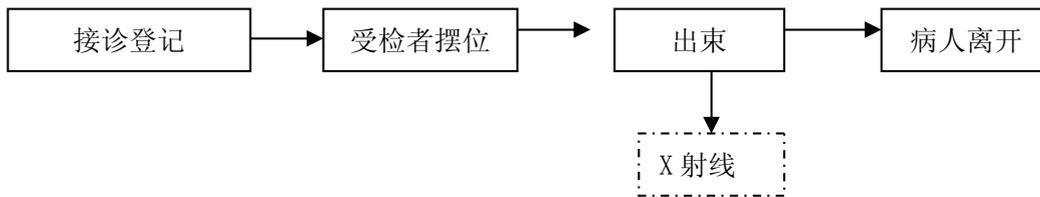


图 5-4 CT 等医用 X 射线装置使用流程及产物环节

本项目流程如上图 5-3、图 5-4。在扫描过程中使用 CT 机和普通 X 射线机，此环节会产生一定 X 射线污染。

### 5.3.4 C臂机工作原理及产物环节

C 臂由 X 射线移动车及另一个移动车组成。X 射线移动车包括电源系统、控制台、C 臂、C 臂上的 X 射线管组合和影像增强器；另一移动车包括电视监视器和图像处理系统。通过影像增强器在显示器屏幕上直接显示被检查部位的 X 线图像。

C 臂使用的主要环节有接受诊疗患者、告知辐射危害、制定诊疗方案、入室诊治等，其诊疗流程如图 5-5。

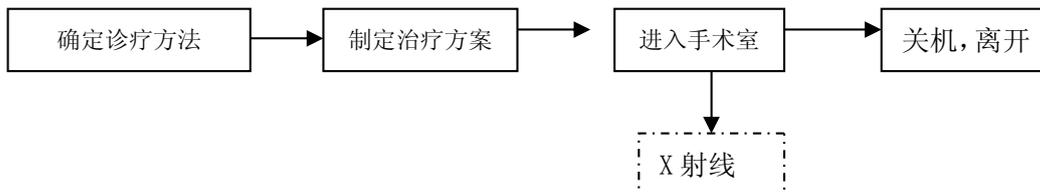


图 5-5 C 臂机医用 X 射线装置使用流程及产物环节

目前医用射线装置采用数字成像，不产生废显、定影液。主要的产污环节为在手术使用过程中产生的 X 射线。

### 5.3.4 正常工况的污染途径

医用 X 射线装置利用 X 射线进行影象辅助诊断。X 射线是其主要的放射污染。射线装置只有在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线。在射线装置出束时，有用束和漏射、散射的 X 射线对周围环境造成辐射污染。X 射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境中，将对操作人员及机房周围人员生产造成辐射影响。

X 射线与空气作用产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体。如果机房空气流通不畅这些有害气体将会在室内累积。

### 5.3.5 事故工况的污染途径

(1) X 射线装置发生控制系统或安全保护系统故障或人员疏忽，造成管电流、管

电压设置错误，使得受检者或工作人员受到超剂量照射。

(2) 在射线装置出束时人员误入机房受到辐射照射。

表 6 监测计划与污染防治措施

## 6.1 监测计划

### 6.1.1 个人剂量监测

从事放射工作的人员佩戴使用 TLD 个人剂量计。本医院放射工作人员的个人剂量监测由广州市疾病预防控制中心负责，每季度送检一次，根据《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2002）和《放射工作人员职业健康管理办法》（卫生部令第 55 号），建立个人剂量档案和健康管理档案，做好工作人员的剂量数据登记工作，每季度汇总、分析、评估，提出处理意见。放射工作人员上岗前必须进行健康体检，合格者方可上岗，工作期间，按卫生局规定，每两年安排到指定医院进行健康体检。

放射工作人员进行个人剂量监测发现监测结果异常的，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。在事故情况下，根据情况对有关人员进行个人剂量监测，做好作业人员的意外事故剂量监测和估算，并作详细记录。

### 6.1.2 环境监测

定期开展放射工作场所周围环境辐射水平的监测评价工作，监测点包括机房墙外 30cm、观察窗外 30cm、机房门外 30cm、楼道、相邻楼层房间、管线口位置及加速器机房外的天空散射和侧散射的监测。监测工作委托有资质单位进行，每年至少进行 1 次，监测数据记录存档。监测内容包括：X 射线装置产生的 X 射线、电子直线加速器产生的 X 射线、中子射线。

### 6.1.3 监测仪器校准

医院所持有的剂量率监测仪、报警仪、个人剂量计定期校准。剂量率监测仪、报警仪须委托有资质单位进行监测校准，每年一次；个人剂量计每个季度定期送检。

### 6.1.4 单位自检

医院根据监测计划，采用医院持有的 X- $\gamma$  剂量率仪对应用放射性同位素和射线装置工作场所进行监测。本项工作由医院辐射安全管理小组组织实施，每年进行 3-4 次，监测记录要求存档。

## 6.2 污染防治措施

## 6.2.1 加速器放射治疗设备辐射防护措施

(1) 将加速器机使用场所划分成控制区（治疗室）和监督区（控制室）。

(2) 机房设计充分考虑辐射对工作人员和周围公众健康的影响，满足安全与防护技术要求。加速器机房拟建于放疗科的负二层，加速器机房设置迷道，墙体有足够的屏蔽防护厚度。机房屏蔽墙主墙厚为3000mm，机房出入通道采用L型迷道设计，迷路内墙厚度为1200mm，迷路外墙厚度为1800mm，副墙厚度为1600mm和2200mm，防护门采用安全联锁装置，防护门的厚度不小于12mmPb。防护门框上方设有“正在工作”信号灯及放射性标志。机房建筑施工单位为广东重工建筑特殊设计院，机房铅门等防护施工广东路遥医特工程有限公司完成。

(3) 治疗室设置紧急停束控制键。治疗室出入口设置联锁装置，只有当防护门完全关闭后，加速器才能启动进行照射治疗。治疗室门内墙壁上设置开门按钮。

(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) 治疗室安装专用通风换气设施，每小时换气大于5次。

(6) 控制台电源和出束钥匙开关由专人保管，避免丢失和误用。

(7) 机房内设置固定式剂量率仪；配置便携式剂量率报警仪。

(8) 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》治疗机房的剂量控制要求与屏蔽考虑：

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子,可以依照附录 A. 由以下周剂量参考控制水平(Hc)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 Hc.d(uSv/h):

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员:Hc $\leq$  100uSv/周;

2) 放射治疗机房外非控制区的人员:Hc $\leq$  5uSv/周。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 Hc.max(uSv/h);

1) 人员居留因子 T $\geq$  1/2 的场所; Hc.max $\leq$  2.5uSv/h;

2) 人员居留因子 T $<$ 1/2 的场所; Hc.max $\leq$  10uSv/h。

c) 由上述 a)中的导出剂量率参考控制水平 Hc.d 和 b)中的最高剂量率参考控制水平 Hc.max,选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 Hc(uSv/h)。

d) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗机房顶外表面 30cm 处和(或)在该

立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处,可以根据机房外周剂量参考控制水平  $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$  和最高剂量率  $H_{c.\text{max}} \leq 2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ,按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平  $H_c(\mu\text{Sv}/\text{h})$  加以控制。

e) 还应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和,应按 4.2.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平  $H_c(\mu\text{Sv}/\text{h})$  加以控制;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量  $250\mu\text{Sv}$  加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,考虑上述 1) 和 2) 之后,机房顶外表面  $30\text{cm}$  处的剂量率参考控制水平可按  $100\mu\text{Sv}/\text{h}$  加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。

#### **6.2.2 $^{192}\text{Ir}$ 近距离治疗机污染防治措施**

(1) 将 $^{192}\text{Ir}$ 近距离治疗机使用场所划分成控制区(治疗室)和监督区(控制室)。

(2) 机房设计充分考虑辐射对工作人员和周围公众健康的影响,满足安全与防护技术要求。机房设置迷道,墙体有足够的屏蔽防护厚度。防护门框上方应设有“正在工作”信号灯及放射性标志。

(3) 治疗室设置紧急停束控制键。治疗室出入口设置联锁装置,只有当防护门完全关闭后,才能启动进行照射治疗。治疗室门内墙壁上设置开门按钮。

(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) 治疗室安装专用通风换气设施,每小时换气大于5次。

(6) 控制台电源和出束钥匙开关由专人保管,避免丢失和误用。

(7) 机房内设置固定式剂量率仪;配置便携式剂量率报警仪。

(8) 根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分:一般原则》治疗机房一般屏蔽要求:

①治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端,治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的该表,并根据相应条件确定所需要的屏蔽。

②在设计和评价治疗机房顶屏蔽时,应充分考虑“天空散射辐射”和“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射。

③治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

④直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束直接照射到的区域。

⑥根据场所空间和环境条件，确定设置迷路。

⑦根据治疗要求给定治疗装置源点的位置或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

### **6.2.3 X 射线诊断装置放射污染防治措施**

(1) 射线装置机房采取防X 射线的工程屏蔽措施，充分考虑邻室及周围环境的防护与安全。机房防护设计施工由广东路遥医特工程有限公司完成。

(2) 机房门口安装出束警示灯，门口贴电离辐射标识。

(3) 优化工作参数，尽可能降低工作电压，以达到减少医护人员和受检者受照剂量的目的。

(4) 放射工作场所配备铅围裙、铅围脖等个人防护用品，供医护人员和受检者使用。

(5) 机房安装通风装置，定期换气，防止空气中臭氧等有害气体累积。

### **6.2.4 辐射安全管理防护措施**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）要求，使用 II 类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负责辐射安全与环境保护管理工作。医院设有辐射防护安全组织机构来负责辐射安全与环境保护管理，对医院的辐射防护工作进行管理和技术支持。设有组长、副组长、成员等人员，开展放射事故的应急救援工作。满足要求。

医院已有 51 名辐射工作人员均已按要求参加并通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，符合国家相关法规要求，见附件 5。

根据国家有关要求，广州中医药大学第一附属医院应配备与辐射类型相适应的防护用品和监测仪器。医院已配备 1 台环境辐射巡测仪，用于定期自我检测放射工作场所及周边公众区域的辐射剂量水平；医院应再针对本项目配备 2 台个人剂量报警仪，用于对瞬时辐射剂量率的实时报警。

医院已为所有辐射工作人员配备个人剂量计并开展个人剂量检测工作，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，并按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

医院已按照《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环境保护部令第3号）成立辐射安全与环境保护管理机构，并制定有一系列符合要求的辐射安全管理制度。医院应针对本项目对原有的辐射安全管理制度进行相应的修改和完善，形成适用于各核技术应用项目的完善具体可行的管理制度。本报告现对相关管理制度提出以下建议和要求：

（1）操作规程：针对本项目专门制定操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

（2）岗位职责：明确管理人员、操作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

（3）辐射防护和安全保卫制度：根据医院的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度。

（4）设备维修制度：明确各设备和机房门机联锁装置在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保工作安全装置有效运转。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

（5）人员培训计划：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

（6）监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报环境保护行政主管部门。

（7）事故应急制度：针对可能产生的辐射污染情况制定事故应急制度，该制度要明确事故情况下应采取的防护措施和执行程序，有效控制事故，及时制止事故的恶化，保证及时上报、渠道畅通。

医院在落实以上措施后，本项目的辐射安全管理措施能够满足当前辐射安全管理的要求。

#### **6.2.5 制定辐射环境保护和安全管理规章制度**

医院制定有放射性工作安全管理制度、放射源管理制度、核医学科放射性同位素安全使用规定、放射事故应急预案、放射工作人员管理制度等辐射安全管理制度。制定有放射诊疗操作规程、放射工作人员岗位职责、人员培训、设备使用与维护、质量控制制度等。

### **6.2.6 对放射工作场所实施限制性管理措施**

医院采取合理布局医疗工作区环境，优化诊疗工作流程，加强引导服务等一系列措施，并设置放射性诊断和治疗专用工作区，对放射工作场所进行科学管理。将放射诊断及治疗设备机房划为辐射安全管理控制区，严格限制无关人员进入。机房控制室设为监督区，只有工作人员许可外来人员方可进入。控制区出入口外侧设置明显的放射性警告标识和中文警示说明，以避免公众受到不必要的照射。在放射工作场所公共候诊区设置宣传图板和显示屏向就诊人员及陪护者宣传辐射安全知识。

## 表 7 环境影响分析

### 7.1 环境现状监测

广东核力工程勘察院通过对广州中医药大学第一附属医院大院扩建项目进行环境辐射现状调查与监测，以评价该地区辐射环境状况及场址周围的辐射环境现状水平。

#### 1、监测内容

γ辐射空气吸收剂量率。

#### 2、监测方法

本次现状监测方法依据《辐射环境监测技术规范》。γ辐射空气吸收剂量率测量依据 GB/T14583-93《环境地表γ辐射剂量率测量规范》。

#### 3、监测仪器

本评价监测仪器为 6150AD-b- γ 剂量率仪，仪器检定见表 7-1。

**表 7-1 X、γ剂量率仪检定表**

检测项目	分析方法依据	检出下限	仪器名称及型号	仪器检定有效日期
环境 x-γ剂量率	GB/T 14583-1993	10nGy/h	6150AD-b- γ 剂量率仪	2014.11.17

#### 4、监测结果

①表中数据表示该点监测 5 个数据的平均值。

②监测点距离地面高度为 1.0m。

③监测地面介质为地砖。

射线装置周围环境现状监测结果如表 7-2~表 7-7。监测布点图见图 7-1~图 7-7。

**表 7-2 介入室 DSA 机房周围环境空气比释动能率监测结果**

监测日期：2014 年 2 月 21 日

测点号	监测结果(nGy/h)		设备名称	测点位置
	待机状态	曝光状态		
1#	121~169	160±3	DSA 监测	观察窗外 30cm
2#		170±4	工况：	观察窗外 30cm

3#		158±6	95kV, 352mA	防护墙外 30cm
4#		158 ±5		防护门外 30cm
5#		162±4		机房防护门外, 左 30cm
6#		160 ±3		机房防护门外, 中 30cm
7#		165 ±3		机房防护门外, 右 30cm
8#		123 ±5		机房防护门外, 右 30cm
9#		117 ±2		机房防护门外, 中 30cm
10#		121 ±4		机房防护门外, 左 30cm
11#		149 ±6		辐射事务办公室, 墙外 30cm
12#		157 ±7		防护墙外 30cm
13#		161 ±5		观察窗口下方, 出线口处
		160 ±4		机房正上方, 二楼

注：①表中监测点位对应图 7-1。

②表中数据表示该点监测 5 次数值的平均值。

**表 7-3 放射科 CT 室机房周围环境空气比释动能率监测结果**

监测日期：2014 年 2 月 21 日

测点号	监测结果(nGy/h)		设备名称	测点位置
	待机状态	曝光状态		
1#	145~184	185±5	CT 机监测 工况： 120kV, 200mA	观察窗外 30cm
2#		180 ±6		防护门外 30cm
3#		170 ±5		防护墙外 30cm
4#		172 ±5		机房外墙 30cm
5#		198 ±4		机房外墙 30cm, 登记室
6#		144 ±3		机房防护门外, 左 30cm
7#		142 ±8		机房防护门外, 中 30cm
8#		136 ±6		机房防护门外, 右 30cm
9#		196 ±5		机房外墙 30cm
10#		185 ±5		出线口处
11#		176±7		机房外墙 30cm, 螺旋 CT 机
	179 ±2	机房正上方, 二楼		

注：①表中监测点位对应图 7-2。

②表中数据表示该点监测 5 次数值的平均值。

表 7-4 急诊 CT 室机房周围环境空气比释动能率监测结果

监测日期：2014 年 2 月 21 日

测点号	监测结果(nGy/h)		设备名称	测点位置
	待机状态	曝光状态		
1#	157~188	171±5	急诊 CT 机 监测工况： 120kV， 200mA	观察窗外 30cm
2#		384 ±4		防护门外 30cm
3#		173 ±4		防护墙外 30cm
4#		332 ±3		机房防护门外，左 30cm
5#		220 ±4		机房防护门外，中 30cm
6#		362 ±5		机房防护门外，右 30cm
7#		262±3		防护墙外 30cm
8#		240 ±4		机房外墙 30cm，走廊
9#		286 ±5		机房外墙 30cm，注射室
10#		187 ±3		出线口处
11#		179±6		防护墙外 30cm，DR 机房
	194 ±6	机房正上方，二楼		

注：①表中监测点位对应图 7-3。

②表中数据表示该点监测 5 次数值的平均值。

表 7-5 放射科 DR 机房周围环境空气比释动能率监测结果

监测日期：2014 年 2 月 21 日

测点号	监测结果(nGy/h)		设备名称	测点位置
	待机状态	曝光状态		
1#	147~176	170±4	DR 机监测 工况： 80.7kV， 83.7mA	观察窗外 30cm
2#		196 ±3		防护门外 30cm
3#		190 ±4		机房防护门外，左 30cm
4#		164 ±5		机房防护门外，中 30cm
5#		223 ±4		机房防护门外，右 30cm
6#		198 ±4		防护墙外 30cm
7#		211 ±4		防护墙外 30cm，办公室
8#		174 ±3		出线口处
9#		177±6		防护墙外 30cm，DR 机房
		167 ±3		机房正上方，二楼

注：①表中监测点位对应图 7-4。

②表中数据表示该点监测 5 次数值的平均值。

表 7-6 放射科乳腺机房周围环境空气比释动能率监测结果

监测日期：2014 年 2 月 21 日

测点号	监测结果(nGy/h)		设备名称	测点位置
	待机状态	曝光状态		
1#	136~178	154±3	乳腺机监测工况： 28kV， 9.5mA	观察窗外 30cm
2#		147 ±3		防护墙外 30cm
3#		139 ±2		防护门外 30cm
4#		180±4		防护门外 30cm
5#		168 ±4		防护墙外 30cm
6#		175 ±4		防护墙外 30cm
7#		176 ±5		机房防护门外，左 30cm
8#		173 ±4		机房防护门外，中 30cm
9#		167 ±5		机房防护门外，右 30cm
10#		171 ±5		防护墙外 30cm
11#		187 ±5		出线口
		163 ±4		机房正上方，三楼
		174±3		机房正下方，一楼

注：①表中监测点位对应图 7-5。

②表中数据表示该点监测 5 次数值的平均值。

表 7-7 牙片机周围环境空气比释动能率监测结果

监测日期：2014 年 2 月 21 日

测点号	监测结果(nGy/h)		设备名称	测点位置
	待机状态	曝光状态		
1#	138~165	154±4	牙片机监测工况： 60kV, 5mA	防护门外 30cm
2#		147 ±5		防护墙外 30cm，操作位
3#		139 ±6		防护墙外 30cm
4#		160 ±6		防护墙外 30cm
5#		168 ±4		防护墙外 30cm
6#		165 ±5		防护墙外 30cm
7#		156 ±5		防护墙外 30cm
8#		153 ±4		防护墙外 30cm，杂物房

注：①表中监测点位对应图 7-6。

②表中数据表示该点监测 5 次数值的平均值。

表 7-8 手术室 C 臂机周围环境空气比释动能率监测结果

监测日期：2014 年 2 月 21 日

测点号	监测结果(nGy/h)		设备名称	测点位置
	待机状态	曝光状态		
1#	147~165	165±3	7900 型 C 臂机监	铅防护门外, 左 30cm
2#		157±3	测工况: 72kV,	铅防护门外, 右 30cm
3#		371±4	1.5mA	手术室内, 铅屏防护后
4#		185±5	7500 型 C 臂机监	铅防护门外, 左 30cm
5#		168±3	测工况: 72kV,	铅防护门外, 右 30cm
6#		253±4	1.5mA	手术室内, 铅屏防护后
7#		161±5	8800 型 C 臂机监	铅防护门外, 左 30cm
8#		153±5	测工况: 60kV,	铅防护门外, 右 30cm
9#		233±5	0.8mA	手术室内, 铅屏防护后
10#		174±4	ISO-C3D 型 C 臂	铅防护门外, 左 30cm
11#		268±3	机监测工况:	铅防护门外, 右 30cm
12#		365±4	45kV, 0.5mA	手术室内, 铅屏防护后

注：①表中监测点位对应图 7-7。

②表中数据表示该点监测 5 次数值的平均值。

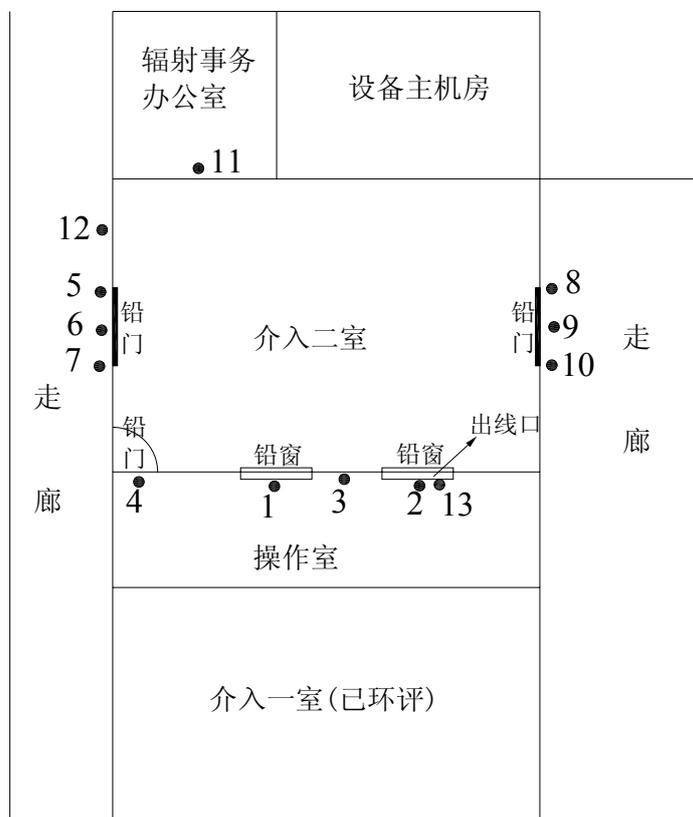


图 7-1 介入室平面布置及测点示意图

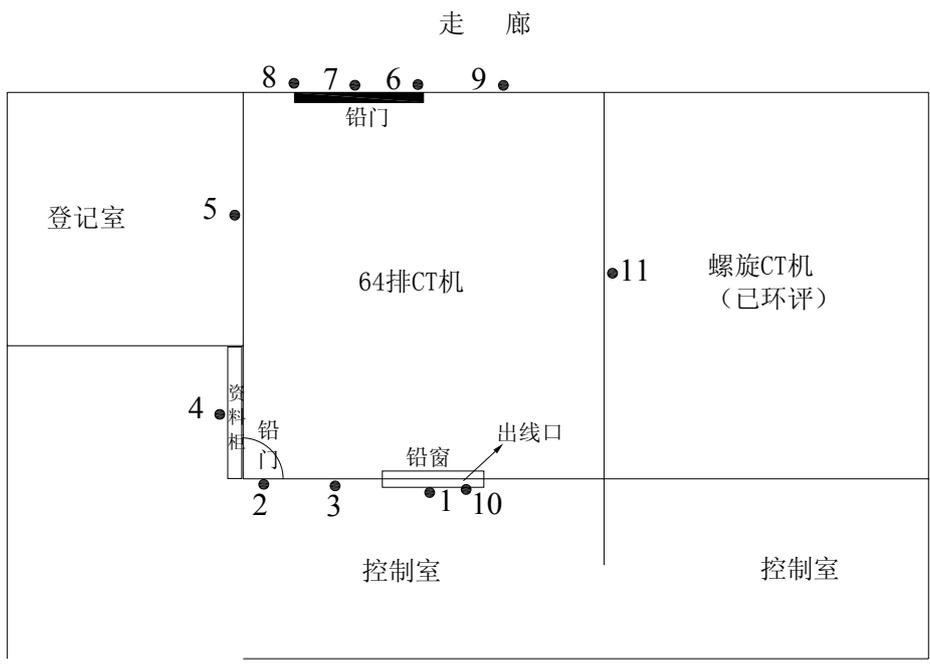


图 7-2 放射科 CT 室平面布置及测点示意图

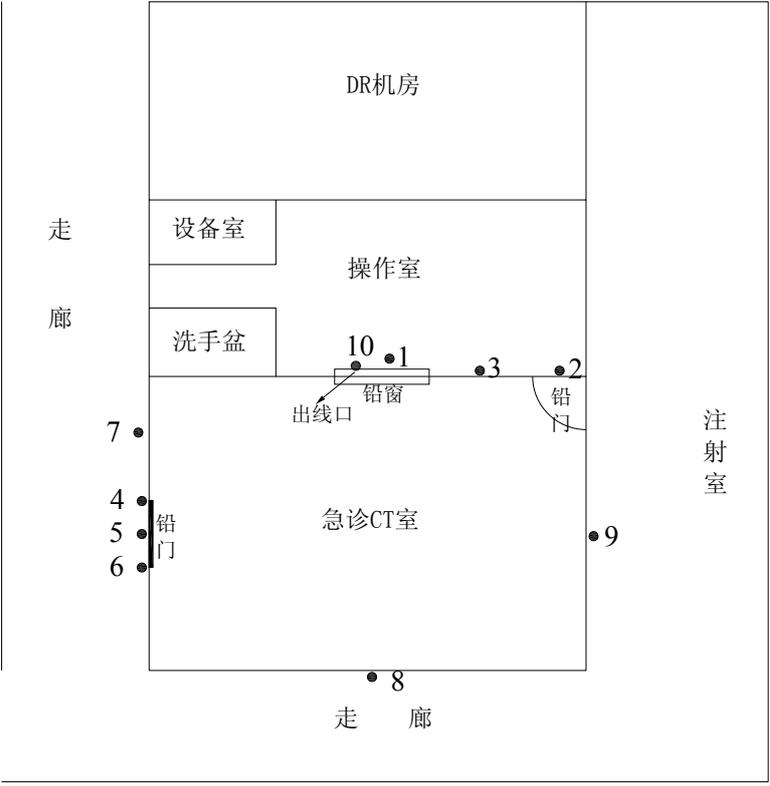


图 7-3 急诊 CT 室平面布置及测点示意图

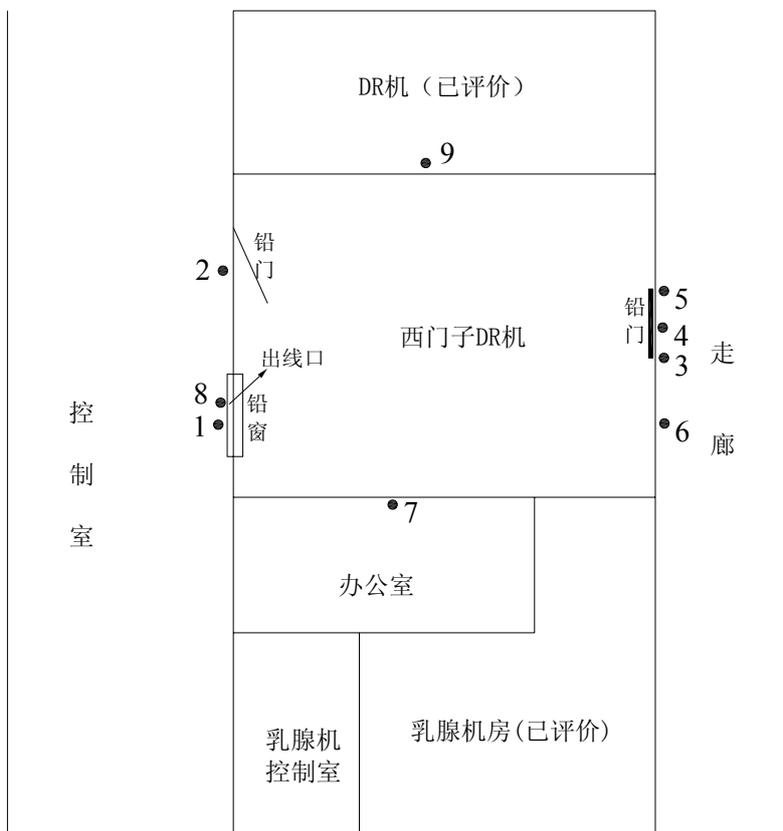


图 7-4 放射科 DR 机平面布置及测点示意图

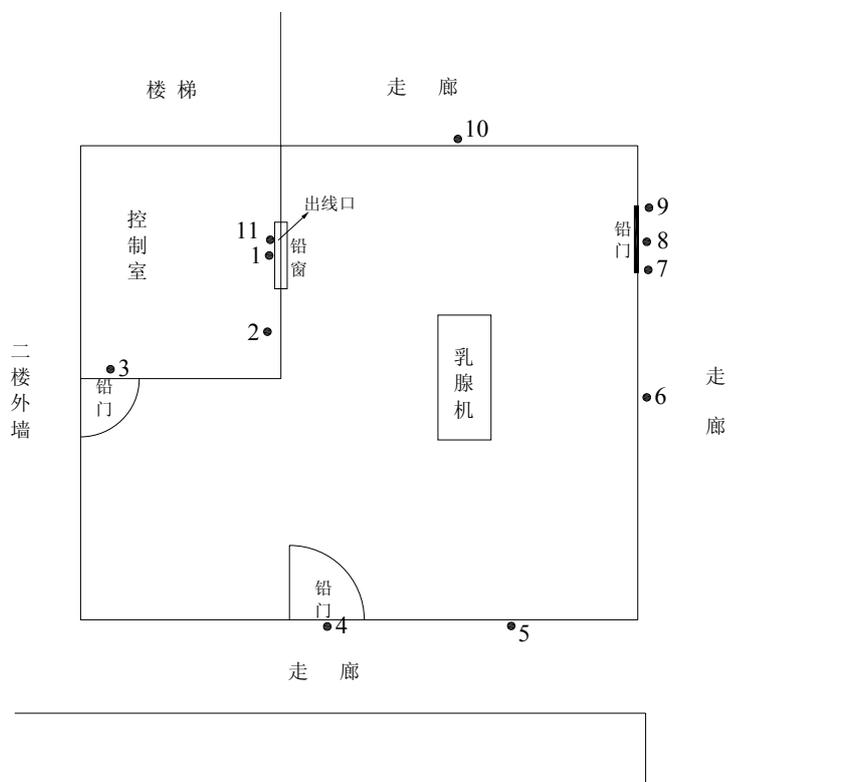


图 7-5 乳腺机平面布置及测点示意图

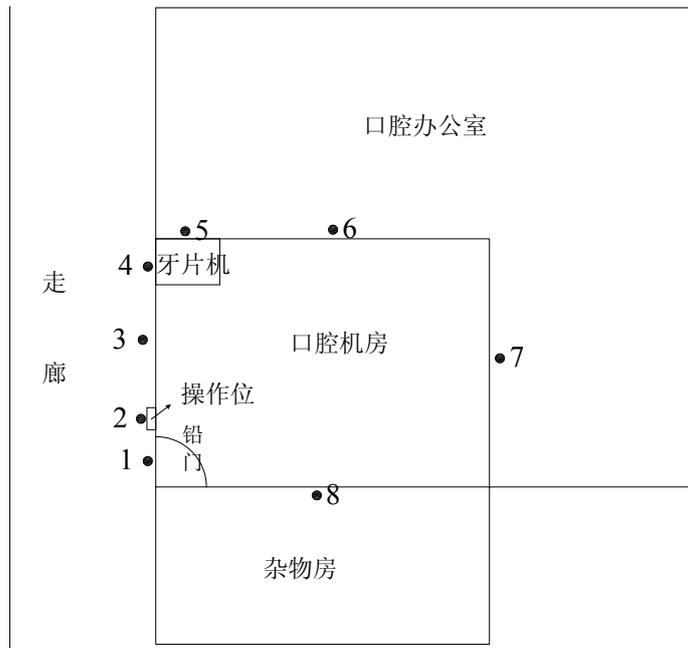


图 7-6 口腔牙片机平面布置及测点示意图

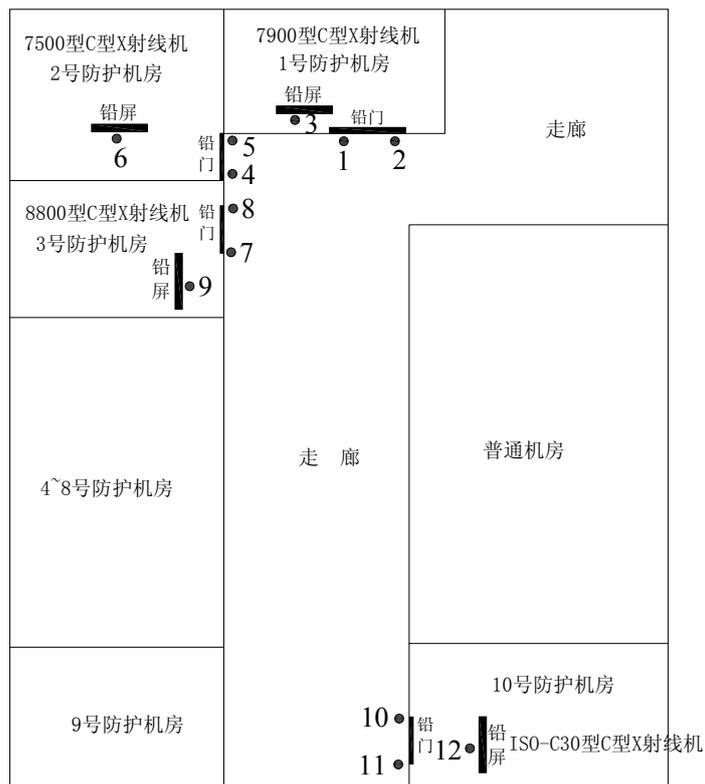


图 7-7 手术室平面布置图及测点示意图

由表 7-2~表 7-8 可知，医院射线装置，在曝光条件下，机房周围环境空气比释动能率为 117nGy/h~384nGy/h。手术室 C 臂机房内铅屏后环境空气比释动能率为 233 nGy/h~371nGy/h。

## 7.2 环境影响分析

广州中医药大学第一附属医院本次扩建设备使用地点包括介入室、放射科、住院部手术室和放疗科。

其中介入室、放射科、住院部手术室各机房的防护情况见表 7-9。

表 7-9 机房的防护情况一览表

序号	设备名称	使用地点	机房面积 (m <sup>2</sup> )	机房内最小单边距离 (m)	机房六面防护铅当量 (mmPb)	通风情况
1	数字减影血管造影 X 线 (DSA)	住院北楼1楼介入室	36	4.2	3	机械通风3~5次/小时
2	医用 CT 机	医技楼1楼 CT 新机房	36	6	3	
3	放射诊断用移动式 X 射线机	医技楼1楼 X 射线室	25	5	无	
4	多功能 X 射线摄影装置(DR)	医技楼1楼7号检查室	25	5	3	
5	C 型 X 线机	住院中心楼10楼手术室	35	5.5	2	
6	C 型 X 线机	住院中心楼10楼手术室	35	5.5	2	
7	C 型臂成像系统	住院中心楼10楼手术室	35	5.5	2	
8	C 臂 X 射线系统	住院中心楼10楼手术室	35	5.5	2	
9	口内 X 射线系统	门诊南楼5楼口腔科放射室	5	2	2	
10	数字化乳腺机	医技楼2楼乳导管镜室	20	4	2	
11	岛津大平板多功能数字化透视摄影系统	待定	36	6	3	
12	医用 CT 机	门诊楼1楼急诊 CT 室	36	6	3	

由表 7-9 可知,各机房防护条件满足《医用 X 射线诊断放射防护标准》(GBZ130-2013)标准要求。

### 7.2.1 介入室

#### 1、剂量估算

按照联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)——2000 年报告附录 A, X- $\gamma$  射线产生的外照射人均年有效剂量按下列公式计算:

$$D=TH \times 10^{-6} \dots\dots\dots \text{式 7-1}$$

式中： D—受照的剂量， mSv/a；  
 H— $\gamma$  外照射剂量率增量， nGy/h；  
 T—受照工作时间， h/a。

由表 7-2 介入室周围环境监测结果可知，在 DSA 射线装置曝光状态下，机房周围环境空气比释动能率为 117nGy/h~170 nGy/h。观察窗监测最高值为 170nGy/h，每天按最大值 8h 计算，年工作日为 330 天，据式 7-1 计算得知，在不扣除环境背景值的条件下，工作人员所受年有效剂量为 0.45mSv，低于本项目工作人员的年有效剂量管理目标值 5mSv。公众受照剂量按机房周围监测的最高值 170nGy/h 计算，公众停留因子取 1/16，公众年有效剂量为 0.03 mSv，低于本项目公众的年有效剂量管理目标值 0.25mSv。

## 2、个人剂量估算

介入工作人员 2012.9.18~2013.10.14 年度个人剂量统计见表 7-10。

**表 7-10 介入室工作人员个人剂量统计**

单位： mSv

姓名	工种	2012.9.18-12.17	2013.1.10-4.19	2013.4.15-7.14	2013.7.15-10.14	合计
刘 敏	介入	0.26	0.14	0.22	0.20	0.82
林宜圣	介入	0.22	0.15	0.27	0.21	0.85
温凤媚	介入	0.43	0.12	0.23	0.24	1.02
王芳军	介入	0.40	0.20	0.23	0.19	1.02
李圳英	介入	0.24	0.05	0.05	0.05	0.39

注：以上表格数据表示介入工作人员穿戴铅防护用品后，个人剂量计位于铅衣内的数值。

由表 7-10 可知，介入室工作人员 2012.9.18~2013.10.14 个人剂量之和最大值为 1.02mSv，低于本项目工作人员管理目标值 5mSv。

由于 DSA 工作人员，在曝光条件下在机房内，因此，本评价建议其 DSA 机房内工作人员应同时佩戴两个个人剂量计，即铅衣内和铅衣外各一个，以便对照。

### 7.2.1.2 放射科

放射科设备包括 CT 机、DR 机、乳腺机等，其现场监测结果见表 7-3~表 7-7。

环境影响分析采用剂量估算和个人剂量计统计法。

## 1、剂量估算

由表 7-3~表 7-7 可知，在射线装置曝光状态下，机房周围环境空气比释动能率为 136nGy/h~384nGy/h。观察窗监测最高值为 185nGy/h，每天按最大值 8h 计算，年工作日为 330 天，据式 7-1 计算得知，在不扣除环境背景值的条件下，工作人员所受年有效剂量为 0.49mSv，低于本项目工作人员的年有效剂量管理目标值 5mSv。公众受照剂量按机房周围监测的最高值 384nGy/h 计算，公众停留因子取 1/16，公众年有效剂量为 0.06 mSv，低于本项目公众的年有效剂量管理目标值 0.25mSv。

## 2、个人剂量分析

放射科工作人员于 2012.9.18~2013.10.14 年度个人剂量统计见表 7-11。

表 7-11 放射科工作人员个人剂量统计

单位：mSv

姓名	工种	2012.9.18-12.17	2013.1.10-4.19	2013.4.15-7.14	2013.7.15-10.14	合计
邓海和	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
黄耀华	放射	0.06	0.05	0.09	0.05	0.25
张昌政	放射	0.10	0.05	0.05	0.11	0.31
陈志强	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
冷晓明	放射	0.05	0.06	0.05	0.05	0.21
李海凤	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
王磊琼	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
黄祖武	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
黎顺贤	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
韩伟强	放射	0.05	0.05	0.05	0.09	0.24
张佳	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
禰翠玲	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
陈容凤	放射	0.05	0.06	0.06	0.05	0.22
卿时汉	放射	0.09	0.05	0.10	0.05	0.29
简润强	放射	0.11	0.05	0.05	0.05	0.26
蔡德春	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
朱加宏	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
潘瑞东	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
李健萍	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
朱孟娟	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
叶亮	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20

李高峰	放射	0.05	0.05	0.05	0.07	0.22
刘连生	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
周寨文	放射	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
徐燕	放射	0.05	0.05	0.05	0.10	0.25
朱海峰	放射	/	0.05	0.05	0.05	0.15
莫焕涛	放射	/	0.05	0.05	0.05	0.15
周泽旺	CT	调岗	0.05	0.07	调岗	0.12
杨贤卫	CT	0.05	0.05	0.05	0.25	0.40
郑芸	CT	0.13	0.05	0.05	0.05	0.28
朱丹	CT	0.09	0.05	0.05	0.05	0.24
许焕奇	CT	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
徐灶清	CT	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
王晓东	CT	/	0.05	0.05	0.07	0.17

由表 7-11 可知，放射科工作人员 2012.9.18~2013.10.14 个人剂量的最大值为 0.31mSv，低于本项目管理目标值 5mSv。

### 7.2.1.3 手术室 C 臂机

本院共有手术室 C 臂机 4 台，位于住院大楼 10 楼的 1 号防护手术室~10 号防护手术室内使用，其现场监测结果见表 7-8。

根据《广州中医药大学第一附属医院骨科 C 臂机 X 光机临床应用标准操作规程》手术室 C 臂机操作人员在 C 臂机曝光时，其操作人员及医护人员躲避在 3mmpb 的铅屏后面，其操作方式类似于 DSA，因此，参照 DSA 进行管理。操作人员在手术期间穿戴铅连体防护服、铅围脖、铅眼镜等防护用具，并在铅衣内佩戴个人剂量计。

环境影响分析采用剂量估算和个人剂量计统计法。

#### 1、剂量估算

由表 7-8 可知，在射线装置曝光状态下，手术室防护机房门外的环境空气比释动能率为 157nGy/h~268nGy/h。根据医院提供，手术室工作人员在曝光条件下一般位于铅屏后面，其曝光条件下，铅屏后监测最高值为 371nGy/h，每天射线装置出束累计时间按最大值 3h 计算，年工作日为 330 天，据式 7-1 计算得知，在不扣除环境背景值的条件下，手术工作人员所受年有效剂量为 0.36mSv，低于本项目工作人员的年有效剂量管理目标值 5mSv。手术室禁止公众进入，因此，对公众不产生影响。

#### 2、个人剂量分析

手术 C 臂机工作人员实质上为放射科工作人员，其放射科工作人员于 2012.9.18~2013.10.14 年度个人剂量统计见表 7-11。由表 7-11 可知，放射科工作人员 2012.9.18~2013.10.14 个人剂量的最大值为 0.31mSv，低于本项目管理目标值 5mSv。

#### 7.2.1.4 防护设备

放射工作人员个人防护用品见下列表 7-12。

表 7-12 个人防护用品列表

名称	数量	规格	标准要求	是否满足
铅屏风	3 个	3mmpb/1.8×1.3m	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜、铅防护屏	是
双面连体防护服	4 件			
铅护眼镜	3 个			
铅防护围脖	2 件			
防护围裙	2 件			

以上防护用品满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)。

#### 7.2.2 放疗科环境影响分析

医院放疗科目前处于地基设计阶段，医院环境 $\gamma$ 辐射剂量率水平背景测量值为 132nGy/h~166nGy/h。与广州市室内环境值相当（据《中国环境天然放射性水平调查》，国家环境保护局，广州市室内环境 $\gamma$ 辐射剂量率范围 104.6-264.1nGy/h）。

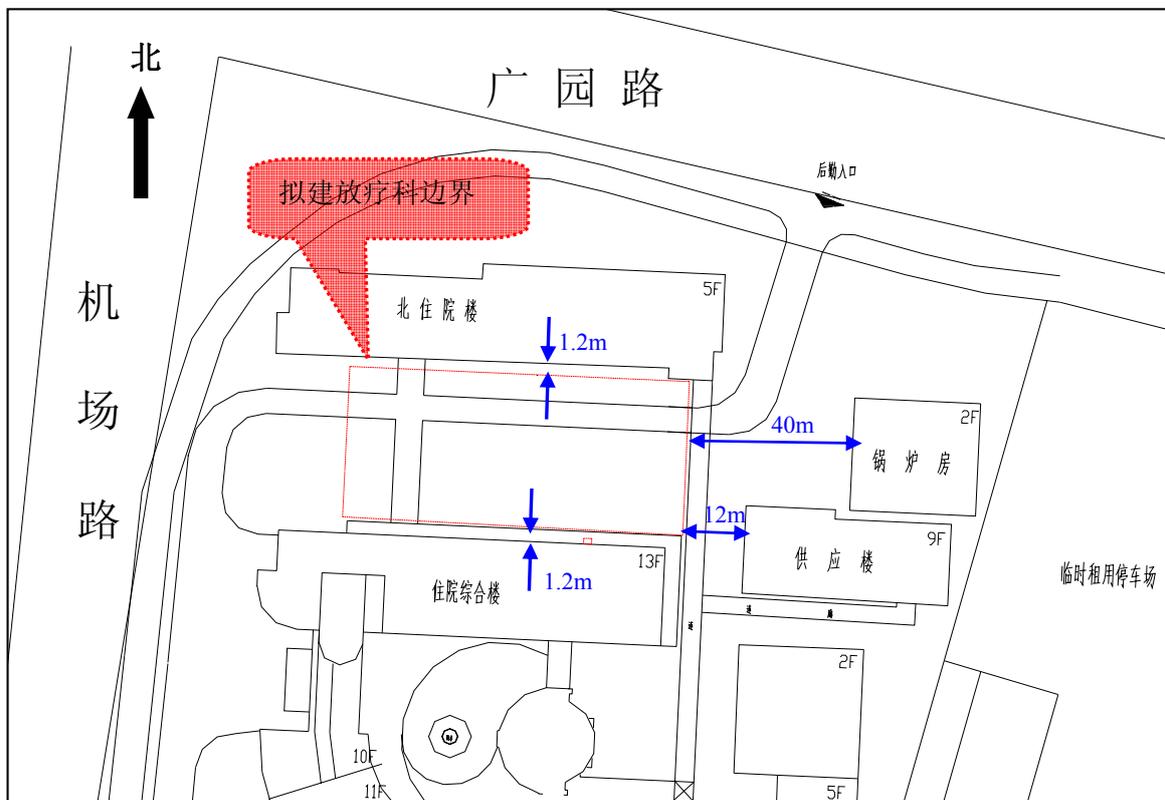


图 7-8 放疗科四至图

### 7.2.2.1 直线加速器环境影响分析

#### 1、 加速器选址合理性分析

由于医院场地自身限制,综合多方面考虑,医院放疗科最佳选址位置为医院住院北楼及住院综合楼之间的过道地下,放疗科共地下二层。单层用地面积约 1058 平方米,地块四周均为医院用地,拟建放疗科北侧为住院北楼,南侧为住院综合楼,西侧为医院内部通道,通道西侧为机场路,东侧为医院长廊通道,通道东侧供应楼及供应房间,东北角为医院广园路后门口。附近不存在明显的污染源,而且周边均为规划路,其位置相对较为独立,交通十分便利,自然通风条件好。

加速器拟建放疗科西北角,负二层为加速器机房、后装机机房、模拟 CT 机机房、模拟定位机机房以及治疗机房等其他配套机房,负一层为物理室、模具室等其他配套房间,首层左右两侧为上下通道雨棚及玻璃天面和人员通道。即加速器机房等高活性区位于负二层,物理室机房等低活性区位于负一层。

根据天空散射和侧散辐射的辐射水平计算和评价可知,加速器机房顶层外路面的有效剂量为  $0.69\mu\text{Gy/h}$ ,其对公众的有效剂量为  $0.02\text{mSv}$ ,远低于本项目管理目标值  $0.25\text{mSv}$ 。为了尽可能降低加速器对公众影响,建议加速器正式投入运行期间,对其通道采取限制人员或增加防护围栏等防护措施,尽量减少无关人员在其顶层停留。

直线加速器风井位于首层东侧进出楼梯的西侧墙壁,加速器排风道由地下混凝土排风管+地面不锈钢排风管直通住院综合楼屋面,住院综合楼为拟建放疗科附近 50m 内最高的楼房。放疗科四至图见图 7-8,其机房平面布置图见附图 2。

距离放疗科西南角约 400m 处有一学校,为三元里中学,其 200m 内无学校、幼儿园等敏感点。满足《广东省未成年人保护条例》“学校周围二百米范围内不得放置易燃易爆、剧毒、放射性、腐蚀性等危险物品和设施设备”的要求。

综合考虑,广州中医药大学第一附属医院放疗科的加速器选址基本合理。

#### 2、 加速器通风、排风口的合理性

加速器运行中会产生的感生放射性气体通过地风管到风井口高空排入大气。排风口位于周边 50m 最高楼,即 13 层住院综合楼,周围 50m 建筑物四至图见图 7-9,加速器机房通风平面图见图 7-10。

加速器废气排放口位于排风口位于周边 50m 最高楼,即 13 层住院综合楼,高于住院综合楼屋面 0.5m,高于地面约 45m。排放口周围 50m 内含医院住院北楼(5F)、医院锅炉

房（2F）、医院供应楼（9F）、职工膳堂（2F）、住院综合楼（13F）。排放口选址满足国家要求。详细四至图见图 7-9。

加速器排放管道的进风口设于机房迷道的尽头，设置下排风口，进风管道和排风管道于防护门上方斜 45° 穿出治疗室，经过 2 个 90 度转弯后至负二层综合排风机房的东南角，延伸至住院综合楼北侧外墙垂直向上，约 45m 直至屋面后排入大气，该通风系统布置不影响墙体的屏蔽防护效果。排风管的详细走向见图 7-10。

通风量评价：根据设计资料，通风速率约为 1700m<sup>3</sup>/h，加速器机房容积约 430m<sup>3</sup>，机房的通风换气次数达 3.95 次/h，能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

综上所述，本项目排放口的设置合理，符合国家要求。

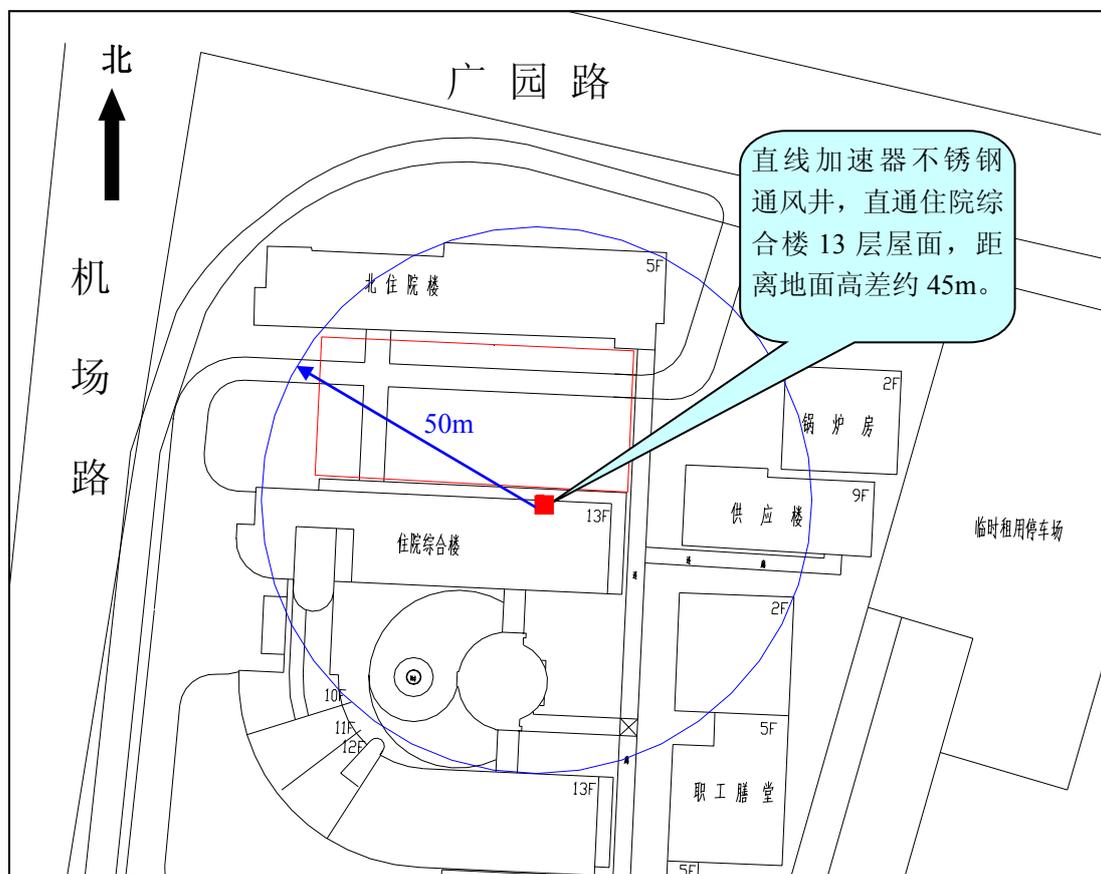


图 7-9 排风口周围 50m 建筑物四至图

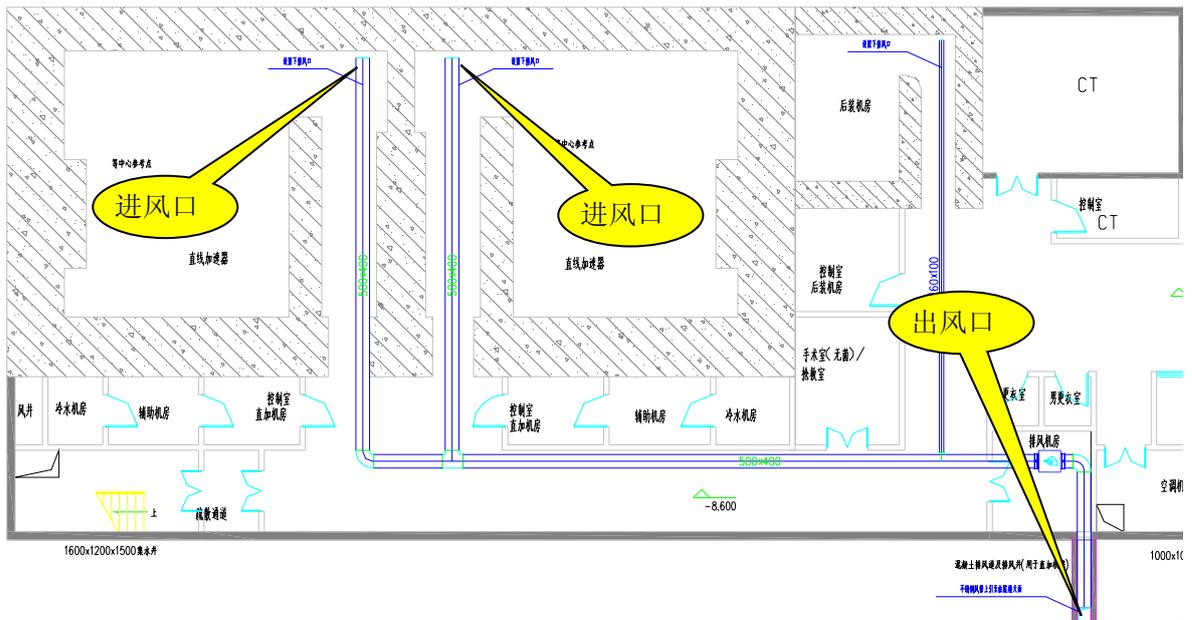


图 7-10 加速器机房通风平面图

### 3、加速器电缆沟防护设计说明

根据设计单位提供资料可知，机房的控制电缆布设于电缆沟内，电缆沟埋设于地下 0.3m 以下，穿墙部分以 45° 角斜穿入地下 0.7m 以下，连接机房与控制室外外，该铺设情况不影响墙体的屏蔽防护效果。具体线路图见图 7-11 及图 7-12 所示。

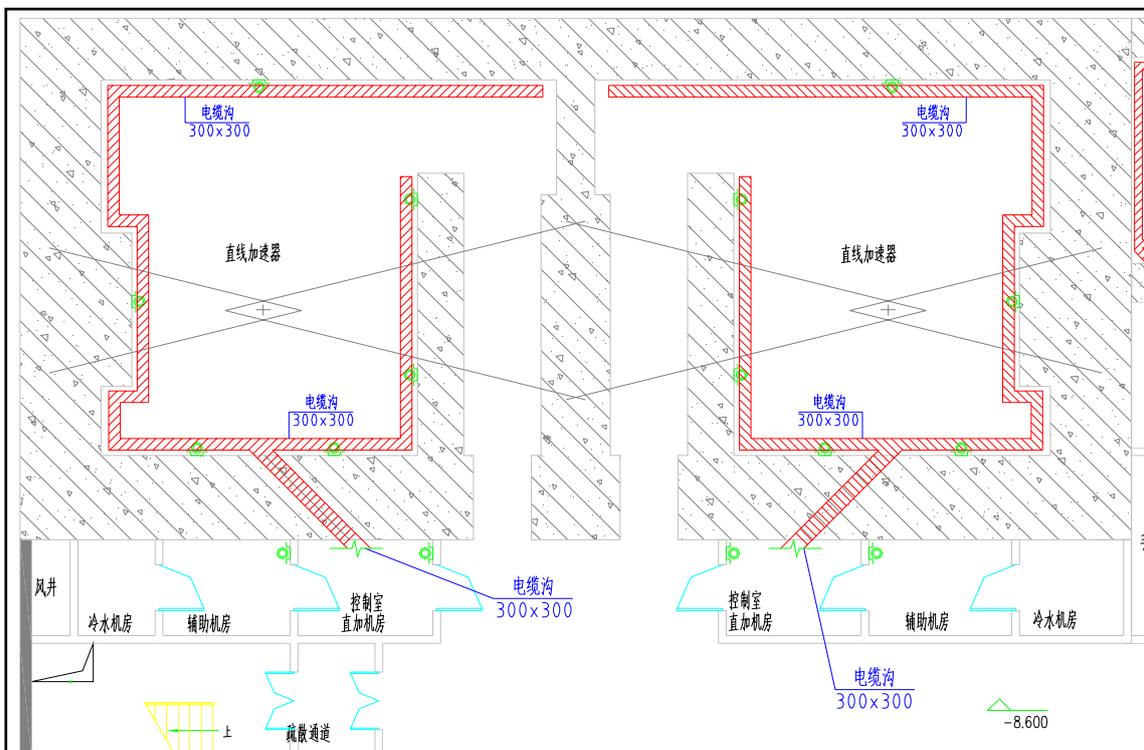


图 7-11 加速器电缆沟线路图

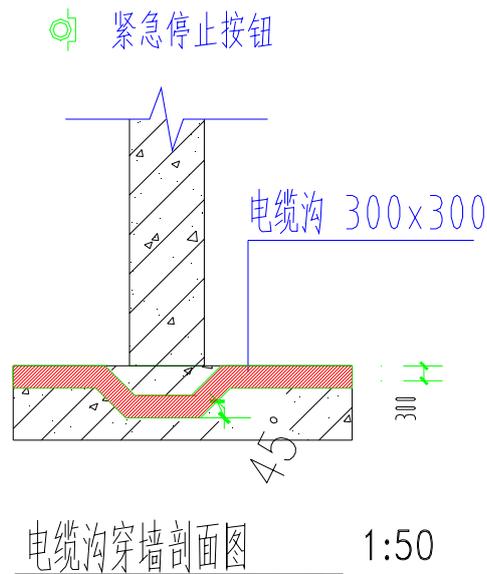


图 7-12 加速器电缆沟穿墙剖面图

#### 4、加速器分区、布局合理性

**加速器分区：**根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的分区要求，对加速器场所进行分区管理，把工作场所分为控制区、监督区，便于辐射防护管理和职业病控制。

##### （1）控制区

以加速器防护门为界，加速器机房及迷道为控制区，在正常治疗的工作过程中，区内不得有无关人员滞留，在控制区的进出口及其他适当位置处应设立醒目的国家规定的电离辐射警告标志。应制定辐射防护与安全措施，设置防护门的门锁和连锁装置，严格限制进出控制区，保障该区的辐射安全。

##### （2）监督区

防护门外部分、控制室、辅助机房和治疗室屏蔽墙外划定区域。对该区不采取专门的防护手段安全措施，但要定期检查其辐射剂量。

**加速器布局：**本项目加速器机房控制室与治疗室分离，控制室位于治疗室南侧，治疗室面积 $>72\text{m}^2$ 。迷道为直迷路设计，有用线束不向加速器机房控制室侧照射，仅向东西墙、房顶及地面照射。机房布局符合《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）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域”、“在迷路内扣处，应避免宽束有用直接照射迷路外墙，并尽可能避免 $4\pi$ 有用束和泄露辐射直接照射迷路外墙”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中

“新建治疗室不应小于45m<sup>2</sup>”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定。

由于医院地下场地限制，射线主方向选择避开控制室，而朝向迷路一侧，根据加速器机房设计图纸可知道，迷路内墙的混凝土厚度为1.7m，迷路外墙的混凝土厚度为1.0m，迷路内外墙厚度合计为2.7m，由表7-15可知，加速器机房严格按照防护设计，加强各项防护工作，其布局基本合理。

## 5、辐射源项分析

加速器在组装过程中不产生放射性，不存在辐射源项。加速器在调试和正常运行使用过程中存在的辐射源项，主要有中子、 $\gamma$ 射线、感生放射性和放射性废物等。

### 1) 中子

高能质子束撞击靶材料后发生(p,n)反应产生中子，这些中子的能谱是连续谱，最大中子能量近似等于质子最大能量减去产生中子反应的阈能。按照标准要求加速器大于10MV才产生中子。

### 2) X射线

加速器机房X射线只有在加速器出束情况下才产生，加速器停止后，X射线立刻消失：

### 3) 感生放射性

感生放射性主要是中子、X射线与屏蔽体内空气作用产生的感生放射性（活化）气体，主要以<sup>15</sup>O为主，也有<sup>13</sup>N、<sup>11</sup>C。

另外，从加速器引出的质子束流与靶材料作用，可产生感生放射性核素，设备运行过程中人员在控制室进行操作，不受感生放射性的辐射影响。

## 6、辐射屏蔽设计

本院拟建15MV电子直线加速器2台，分别位于1号机房和2号机房，均位于放疗科地下负二层，直线加速器机房均位于放疗科西北角，其机房由使用主体、直迷道和防护门组成，机房采用混凝土一次性浇注而成。主束线方向为主束区，主防护墙为东西方向，东西主防护墙厚度均为2900mm，1号位于放疗科的西北角，东侧和北侧均为地下墙壁，南侧为冷水机房、辅助机房及控制室，东侧为2号直线加速器机房，西侧主防护墙厚度为2900mm，西侧次防护墙为2100mm，东侧迷路内墙厚度为1200mm，迷路外墙厚度为1800mm，顶棚2900mm；2号位于1号加速器机房的东侧，北侧为地下墙壁，南侧为冷

水机房、辅助机房及控制室，西侧为 1 号直线加速器机房，东侧为近距离后装机机房及控制室，西侧迷路内墙厚度为 1200mm，迷路外墙厚度为 1800mm，东侧主防护墙厚度为 2900mm，西侧次防护墙为 2100mm，顶棚 2900 mm。迷路出口为安全连锁防护门，防护门采用加速器启动电路实行门机连锁方式的轨道电动式，防护门的厚度为 16mmpb+12cm 含硼聚乙烯。机房铅门上安装了红色警示灯，门上贴有电离辐射警示标志，提醒工作人员和病人注意。放疗科平面布置图见附图 2~附图 5，加速器机房平面四至图见图 7-13。

依据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中加速器机房屏蔽厚度要求，最高治疗 X 射线大于 10MV 的主屏蔽区砼屏蔽厚度不低于 2500mm，次屏蔽区砼屏蔽厚度不低于 1100mm。本院加速器机房屏蔽区砼屏蔽厚度设计与标准要求对照，如表 7-13。

**表 7-13 直线加速器机房屏蔽设计**

序号	屏蔽主体		设计厚度 (mm)	标准厚度 (mm)
1 号加速器 机房	西墙	主墙	2900 (宽 4000)	2500
		次墙	2100	1100
	北墙	次墙	1600	1100
	南墙	次墙	2200	1100
	东墙	迷路内墙	1700	按 2500(此处设计合计 3000)
		迷路外墙	1000	
	顶层	主、次顶一致	3000	2500
面积大小		>72m <sup>2</sup>	>45m <sup>2</sup>	
2 号加速器 机房	东墙	主墙	2900 (宽 4000)	2500
		次墙	2100	1100
	北墙	次墙	1600	1100
	南墙	次墙	2200	1100
	西墙	迷路内墙	1700	按 2500(此处设计合计 3000)
		迷路外墙	1000	
	顶棚	主、次一致	2900	2500
面积大小		>72m <sup>2</sup>	>45m <sup>2</sup>	

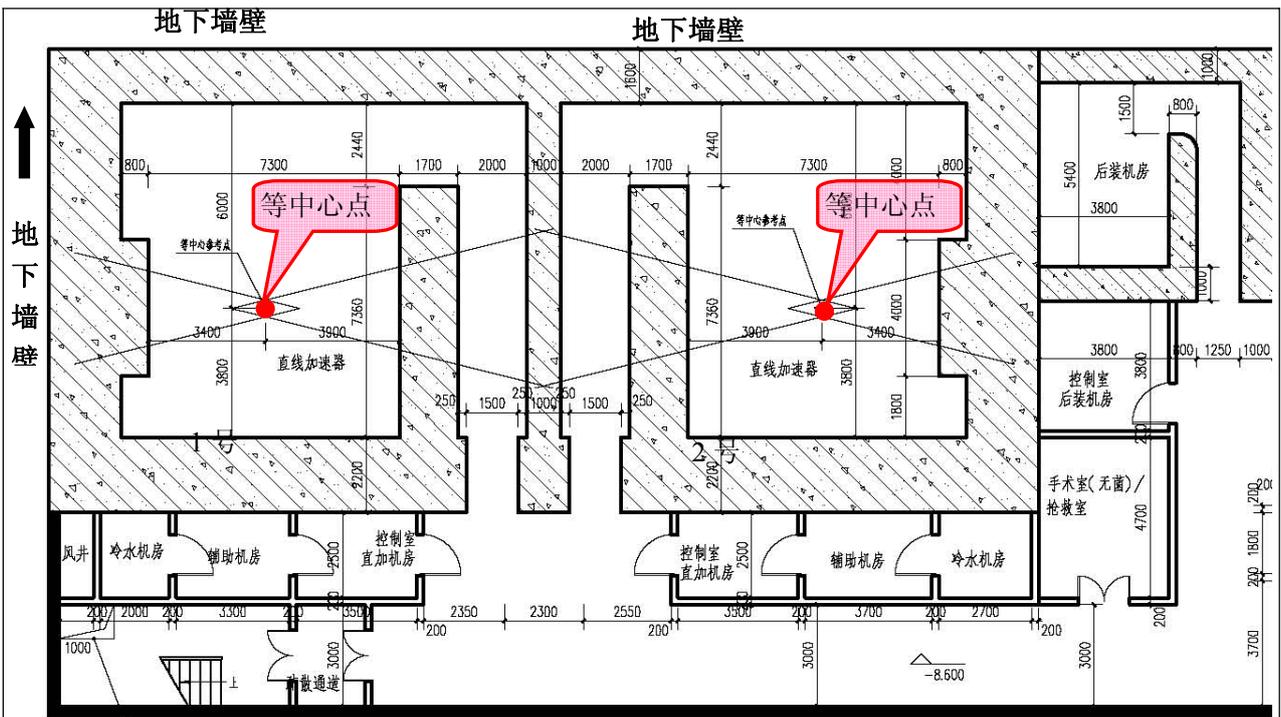


图 7-13 直线加速器平面四至图

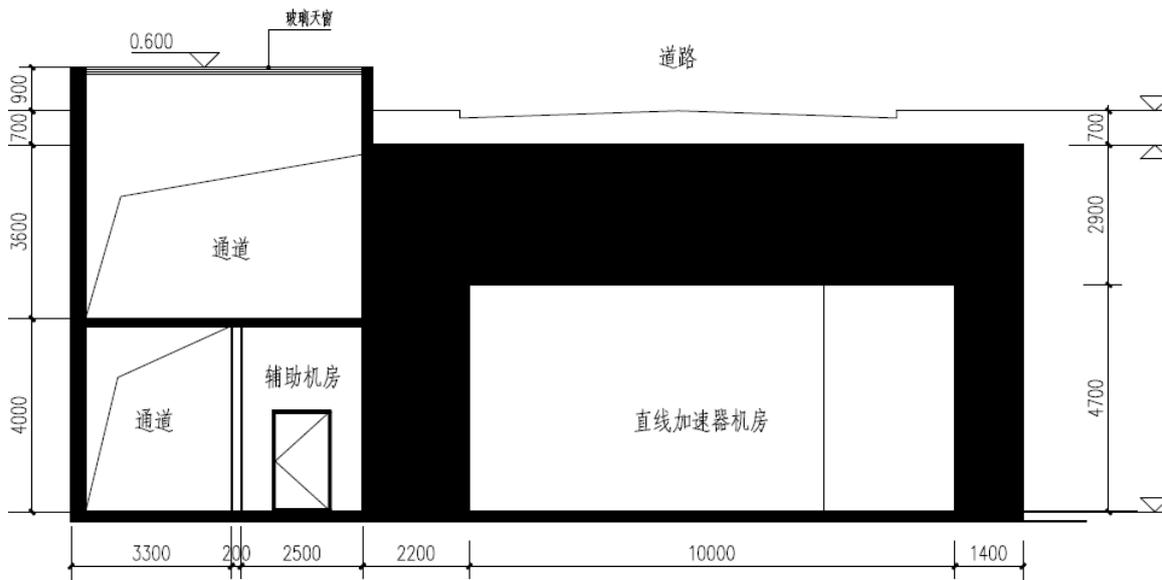


图 7-14 直线加速器剖面布局图

## 7、辐射防护措施

### (1) 辐射安全设施

在出入口处设置显著的辐射防护标志。

在通往加速器机房的出入口处安装加速器工作状态指示灯。

在出入口门外旁侧安装门控按钮，在出入口门内安装紧急开门按键。

在加速器机房内、迷路内设置紧急按钮，供误留在机房内的人员应急使用。

在机房内安装声音或灯光式出束提示装置。

机房屏蔽设计应有中子辐射防护。

治疗室应有足够的使用面积，治疗室不应小于 45m<sup>2</sup>。

控制台的出束钥匙开关要由专人保管，以免丢失和滥用。

需配置工作剂量率仪和双道剂量监测系统。

(2) 设置安全联锁装置：包括迷路门联锁和机房内紧急停束按键。

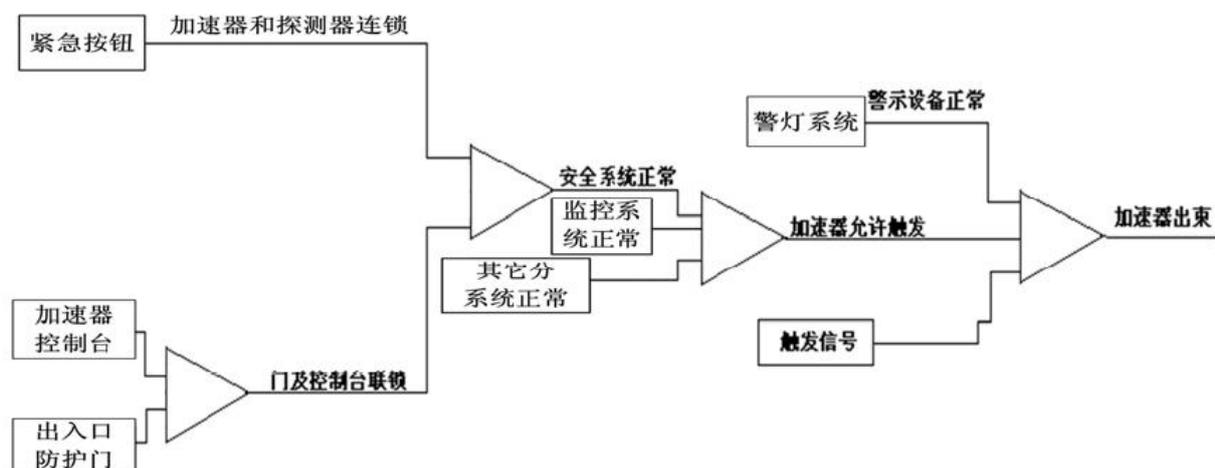
迷路门联锁：为防止有人在加速器工作状态下误入加速器机房，出入口的迷路门和出束照射系统进行了联锁，只有当防护门关闭，出束照射系统才能启动；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动断电停止出束。

防护门启闭开关装有安全钥匙，当钥匙处于开的位置时，防护门启闭开关可以启动；当钥匙处于关的位置时，防护门启闭开关不可以启动；当拔出钥匙时，防护门启闭开关处于关的位置。

紧急按钮：除以上安全联锁控制外，在加速器机房内墙和迷路墙上设置的紧急按钮一经按下，系统会无条件关闭加速器束流，停止出束。

安全巡检开关：当工作人员进入机房时，按下该开关，加速器不能出束；当工作人员完成对机房的检查走出机房时，将该开关复位加速器方可出束。

加速器连锁和报警系统的设计：



(3) 通风系统：控制室和电源室将安装空调设备，以确保电气设备的最佳运行，其它区域将根据需要进行通风或者加热。机房设置通风系统。机房的换气次数为 3~4 次/h。

(4) 分区管理：工作场所分为控制区和监督区，实行分区管理。加速器机房迷路外端入口以内的所有区域作为控制区，控制室为监督区。

(5) 辐射防护管理机构：该院设有辐射防护安全组织机构，设有组长、副组长、成

员、秘书等。

(6) 操作人员：从事放射治疗的工作人员需经过辐射防护知识和实际操作的培训，并通过考核，才能正式从事放疗工作。

(7) 规章制度：全面的和完善的规章制度是加速器安全运行的必要条件。设备购置后，将修改完善有关安全规章制度，制定设备操作规程，并严格执行。

(8) 故障检修：设备维护由专业技术人员进行。在维护和维修时，决不可擅自解除连锁系统。如果因工作需要确实需要旁路某项连锁，需经负责人批准。

(9) 事故与应急管理：包括动力故障、火灾、烟雾情况下紧急停机；应急设备使用训练与检查等。制定事故应急响应预案，发生放射事故或事件时，及时向有关部门报告。

(10) 管沟屏蔽：通风系统和控制系统的安装，使得混凝土屏蔽层存在局部的薄弱的部位。项目设计中应考虑防止漏束的补偿措施，如采用倒 L 形管引出通风管道和控制电缆管沟，避免漏束情况的发生。

(11) 其他安全设施：

机房迷道防护门外、加速器调制器机柜设置电离辐射警告标志；在迷道防护门外设置出束警示灯；在控制台上有加速器出束状态指示灯。

在机房迷路内设置摄像监视系统，监视设备运行情况，也可以观察加速器机房内是否有人员滞留。

在机房内设置固定式剂量率仪，及时掌握运行过程中的剂量水平变化。当加速器运行后，工作人员应等待剂量率降低至本底水平后进入治疗室。

## 8、防护厚度计算

加速器等效靶中心处距离各屏蔽墙体表面的距离如表 7-14 所示。

表 7-14 加速器等效靶中心处距离主次防护墙的距离

位置	机房	东墙（主）		南墙（次）	西墙（主）		北墙（次）	顶棚（主）
		迷路内	迷路外		迷路内	迷路外		
距等中心处 (m)	1 号机房	3.9	7.6	3.8	3.4		6.0	3.6
		3.4			3.8	3.9		

(1) 主、副防护墙体厚度

直线加速器屏蔽设计参照《辐射防护技术与管理》第十六章中林氏法的公式进行设计。

根据墙体防护厚度计算公式：

主防护墙厚计算公式：
$$S_p = TVT \lg \frac{WUTn}{Pd_{pri}^2} \dots\dots\dots \text{式 7-2}$$

副防护墙厚计算公式：
$$S_s = TVT \lg \frac{0.001WTn}{Pd_{sec}^2} \dots\dots\dots \text{式 7-3}$$

式中的 X 射线的十分之一层厚度值 (TVT) 分别为 41cm；工作负荷 W：按每天治疗 100 个病人时取  $2 \times 10^5 \text{cSv} \cdot \text{wk}^{-1}$ ；利用因子 U：主防护墙取  $U=1/4$ ，旋转治疗时才照到取  $U=1/10$ ；居留因子 T：职业照射人员工作区取  $T=1$ ，部分居留区取  $T=1/4$ ； $d_{pri}$ 、 $d_{sec}$ ：分别为加速器到主、次防护墙的距离，见表 7-14；剂量限值 P：职业照射人员取  $0.01 \text{cSv} \cdot \text{wk}^{-1}$ ，公众取  $0.0005 \text{cSv} \cdot \text{wk}^{-1}$ ；安全系数 n：取  $n=2$ 。计算结果参见表 7-15。

(2) 机房顶层

机房顶层计算方法与防护墙壁相同。

根据公式 
$$S_p = TVT \lg \frac{WUTn}{Pd_{pri}^2}$$
 计算机房顶层屏蔽厚度。

其中， $S_p$ ：主屏蔽厚度，cm；

TVT：标准混凝土的 TVT 值，15MV 取 41 cm；

W：工作负荷，取  $2 \times 10^5 \text{cSv} \cdot \text{wk}^{-1}$ （按每天治疗 100 个病人计）；

T：居留因子，取  $1/4$ ；

P：剂量限值，取  $0.001 \text{cSv} \cdot \text{wk}^{-1}$ ；

$d_{sec}$ ：距离，根据提供的机房平面布置图取值，m；其中心到顶层距离为 3.6m；

n：安全系数，取 2。

表 7-15 加速器屏蔽墙混凝土厚度设计与理论计算对照见表（单位：m）

加速器	东墙（主）		南墙（次）		西墙（主）		北墙（次）		顶层		
	理论	设计	理论	设计	理论	设计	理论	设计	理论	设计	
1 号 机房	迷路内	2.5	1.7+1.0 =2.7	1.9	2.2	2.7	2.9	1.5	1.6	2.7	2.9
	迷路外	2.3									
2 号 机房	2.7		1.9	2.2	迷路内	2.5	1.7+1.0 =2.7	1.5	1.6	2.7	2.9
					迷路外	2.3					
	满足要求		满足要求		满足要求		基本满足要求		满足要求		

注：1、防护墙要求无裂缝，混凝土密度不小于  $2.35 \text{g/cm}^3$ 。

(3) 防护门的铅厚度

①门口的 X 射线的平均能量：

$$\bar{E}_x = 0.287 \left( \frac{E_e}{10} \right)^{0.265}$$

式中：

$\bar{E}_x$ ：迷路外口 X 射线的平均能量 (MeV)

$E_e$ ：X 射线的最大能量 (MeV)

②门口的 X 射线的剂量率：

$$D_d = 5 \times 10^{-6} D_m \quad (\text{短 L 型迷路})$$

式中：

$D_d$ ：迷路外口的剂量率，Gy/h；

$D_m$ ：中心 X 射线剂量率 150Gy/h。

③射线到门的减弱倍数

$$K = D_d / D_i$$

式中：

$K$ ：减弱倍数；

$D_i$ ：门外控制剂量值，对工作人员取  $2.5 \mu \text{Gy/h}$ ；

④铅门的厚度计算

$$S = HVT \ln(K) / \ln(2)$$

式中：

$HVT$ ：铅半值层厚度

门口 X 能量为 0.35MV 的时候， $HVT=1.87\text{mmPb}$ ；

计算如下：

15MV 加速器室铅门的厚度：

$$S = 1.3 \ln(30) / \ln(2) = 9.2 \text{mmPb}$$

而设计单位对防护门设计要求为 12mmPb+12cm 含硼聚乙烯。从以上理论计算对照，可知，医院拟建 15MV 电子直线加速器机房防护设计满足屏蔽要求。

(4) 防护门屏蔽中子层

15MV 高能加速器产生的 X 射线半随有少量光中子。

对医用加速器估算防护门所需含硼聚乙烯防护厚度采用下列公式 7-4~7-6 计算。

$$K_n = \frac{\dot{H}_n}{P} \dots \dots \dots \text{式 7-4}$$

$$K_n = 2^n \dots \dots \dots \text{式 7-5}$$

$$\Delta_{pl} = n \cdot HVT_{pL} \dots \dots \dots \text{式 7-6}$$

式中：

$K_n$  为减弱倍数； $\dot{H}_n$  为门口中子当量剂量率（取保守值  $70 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ）； $P$  为门外环境中子当量剂量率控制标准（取  $2.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ）； $\Delta_{pl}$  为含硼聚乙烯的厚度（cm）； $n$  为含硼聚乙烯的半值层个数； $\text{HVT}_{pl}$  为含硼聚乙烯的半值层厚度（1.5cm）。

门口中子当量剂量率采用陈敬忠《医用电子加速器中子的屏蔽》，根据陈敬忠提供医用加速器室门口的中子剂量数据，光子能量为 15MV 的单折短 L 型迷路外口中子当量剂量最高值为  $2.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ （本项目属单折长 L 型迷路，取该值较保守，用该数据是合适的）。

估算含硼聚乙烯的防护厚度为 7.2cm 左右，本项目 15MV 加速器机房防护门设计按含硼聚乙烯 12cm（含硼聚乙烯板使散射中子慢化，吸收硼俘获中子时释放的  $\gamma$  线，同时屏蔽迷道中的散射 X 射线。还可同时分散防护门的重量，降低环境辐射水平），满足防护要求。

(5) 天空散射和侧散辐射的辐射水平计算和评价

即计算天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近公众的照射。

按照 NCRP51 的估算原则：

电子直线加速器在距离靶 1m 处的辐射剂量率最大值： $0^\circ$  方向： $6\text{Gy}/\text{min}$ ； $90^\circ$  方向泄漏辐射剂量率： $0.006\text{Gy}/\text{min}$ （保守按有用束吸收剂量率的 0.1% 计）；

屏蔽系数  $K$  依照公式 7-7 计算：

$$K = 0.1 \times 10^{-(L - \text{TVL}_1) / \text{TVL}} \dots\dots\dots \text{式 7-7}$$

式中： $L$  为屏蔽物厚度（cm）； $\text{TVL}_1$  是将辐射剂量衰减至初始值十分之一的屏蔽物质厚度； $\text{TVL}$  是屏蔽物质将辐射剂量衰减十分之一的平均厚度。

表 7-16 加速器产生的 X 射线在混凝土中的  $\text{TVL}_1$  和  $\text{TVL}$

X 射线束能量	$\text{TVL}_1$ ( $\text{TVL}$ ) 值, cm	
	初级束	$90^\circ$ 泄漏辐射
15MV	44 (41)	36 (33)

注：表内数据取自 NCRP Report No 151。

$$D = \frac{D_0}{R^2} \times K \dots\dots\dots \text{式 7-8}$$

式中： $D$  为评估点的剂量率； $D_0$  为距辐射源初级束 1m 处的空气吸收剂量率， $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ； $K$  为透射系数； $R$  为辐射源距离评估点的距离，m。

把加速器的靶点视为点源，可依据公式 7-8 计算 X 主束和泄漏辐射对机房屋顶的附加剂量率。考虑到治疗束（主束）和泄漏射线经过散射后能量较低，且多数（ $>30^\circ$ ）散

射的衰减远大于泄漏辐射，只要能够满足泄漏辐射的屏蔽，就可以满足散射的屏蔽。故评价只估算 X 主束、泄漏辐射的剂量率贡献。

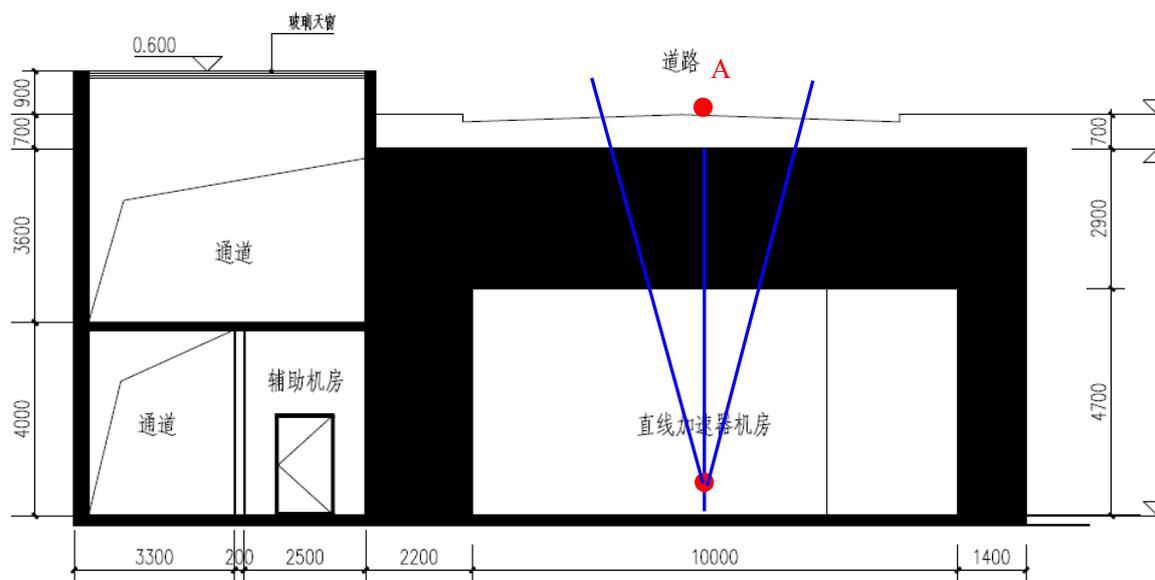


图 7-15 直线加速器剖面布局图

表 7-17 加速器机房屋顶 X 射线辐射有效剂量率估算表

点位	位置描述	距离 (m)	射线束	屏蔽层厚度 (cm)	有效剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	
					0°方向	90°方向
A	机房上方顶层路面	7.2	主束	290	0.69	$6.9 \times 10^{-6}$

由表 7-17 可知，按保守剂量估算，机房顶层的有效剂量率最大为  $0.69\mu\text{Gy/h}$ ，低于本项目设计要求  $2.5\mu\text{Gy/h}$ 。

按照每天最大治疗病人 100 计，每个病人出束时间按最保守 1min 计，停留因子取 1/16，由式 7-1 可知，机房顶层公众年受照年有效剂量为  $0.02\text{mSv}$ ，低于本项目管理目标值  $0.25\text{mSv}$ 。

## 9、电离辐射分析

本报告采用的估算模式依据 2005 年出版的 NCRP 151 号报告“MV 水平 X 和  $\gamma$  治疗设备的屏蔽设计和评价”。

NCRP 1977 报告书给出的钨靶发生光核反应( $\gamma$ -n)的阈值为  $8.0\text{MV}$ 。本项目拟选用直线加速器产生的 X 线能量为  $15\text{MV}$ ，其运行时能够产生一定量的中子。

医用直线加速器机头屏蔽体的中子泄漏辐射不超过有用束吸收剂量率的 0.2%，准直器的中子泄漏辐射也不超过有用束吸收剂量率的 0.2%。NCRP151 报告指出，由于混凝土

有较高的氢含量，对中子的吸收截面较大。经验表明，如果屏蔽层足以屏蔽初级 X 射线和泄漏 X 射线，则无需考虑光中子和中子俘获 $\gamma$  射线的附加屏蔽问题。因此，本评价报告不考虑机房墙体中子透射的问题。当加速器以 15MV 的高能运行时，光子与钨靶发生光核反应( $\gamma$ -n)可产生中子。

### (1) 感生放射性气体分析

加速器的结构材料、冷却水以及加速器机房的空气被中子和 $\gamma$  射线照射后，产生感生放射性。其辐射水平取决于加速器粒子的能量、种类、流强和靶材料的性质以及加速器运行时间等。

#### ①空气活化分析

《辐射防护手册 第三分册 辐射安全》(李德平等 p98, 1990 年原子能出版社)给出：对 14MV 电子直线加速器，每千瓦的束流功率产生的感生放射性总量约为  $4.4 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，其中气体约  $4.6 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。本项目电子束的功率约为 600W，类比估算结果为，每小时产生的活化气体总量约  $3.0 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

加速器机房设计安装独立送排风系统，换气次数可达 5 次/h。本项目加速器的进风口设于顶部，出风口设于底部，并使进、出风口呈三角型布置。机房有效容积约  $364 \text{m}^3$ 。本加速器投用后以 15MV 工况运行的时间约占总出束 20%，且为间歇性运行。此外，感生放射性核素多数半衰期较短，以  $^{15}\text{O}$  为主，也有  $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$ ，半衰期分别为 2.1min、10min、20.5min、1.8h，保守假设活化产物的半衰期为 20min。依照上述假设，预计治疗室内的活化气体浓度低于  $5 \times 10^4 \text{Bq/m}^3$ 。加速器机房内产生的活化气体经排风口排放到室外环境中，年排放量约  $7.2 \times 10^9 \text{Bq}$ 。采用大气导则模拟计算得出，机房换气的放射性物质最大落地浓度低于  $2 \text{Bq/m}^3$ 。实际上由于加速器间歇运行，停机时间远超过出束时间，且高能运行的时间通常不足总运行时间的 1/5，因此，公众因气溶胶浸没照射所受剂量很小。

靶体采用循环水冷却。循环水受中子照射后，其中的少量重金属可被活化，具有一定的放射性。正常情况下，冷却水循环使用，不外排。加速器循环水系统中使用的离子交换树脂，经一定期限后含有较强的感生放射性物质，更换后需送交城市放射性废物库暂存。

非正常情况有：

- a. 停机后检修冷却水系统时，残余放射性可能对人员体有一定影响。
- b. 循环水管路破裂致含有放射性物质的冷却水泄漏。处理方法：一旦冷却水泄漏，暂时封闭调试机房，待短寿命活化产物衰减后再进行去污工作，对环境造成的影响是十分轻微的。高功率运行停机检修时，要停顿一段时间，待机头活化成份衰减后再进行。

## ② 臭氧

依据文献公式，估算辐射所致臭氧的产额和浓度。

### (一) 有用线束的 O<sub>3</sub> 产额

采用公式 7-1 计算扩展射线束所致 O<sub>3</sub> 产额的公式：

$$P_1 = 2.43D_0(1 - \cos\theta)RG \dots\dots\dots \text{式 7-9}$$

式中：P 为 O<sub>3</sub> 的产额； D<sub>0</sub> 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 O<sub>3</sub> 分子数，文献估算时取值为 10； θ 为有用束的半张角。

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

$$P_2 = 3.32 \times 10^{-3} D_0 G V^{1/3} \dots\dots\dots \text{式 7-10}$$

本评价选取加速器有关参数如下：

•D<sub>0</sub>=6.0Gy /min； R=6.5m（最大值）； θ=+15°/-15°； G=10； 加速器治疗室容积 V≈364m<sup>3</sup>（含迷道）。

根据公式 7-9 得有用线束 P<sub>1</sub>=32.8mg/h。根据公式 7-10 得出泄漏辐射的 P<sub>2</sub>=1.5mg/h。二项合计，P=34.3mg/h。保守估计加速器治疗人数 300 人次/周，15000 人次/年，年出束时间 400h，则臭氧的年产量为 13.7g。

## 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。辐照室空气中臭氧的平均浓度可用式 7-11 计算。

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} (1 - e^{-t/T}) \dots\dots\dots \text{式 7-11}$$

式中：Q(t)为辐照室内 t 时刻臭氧的平均浓度，mg/m<sup>3</sup>； Q<sub>0</sub> 为臭氧的辐射化学产额，mg/h； V 为辐照室的体积，m<sup>3</sup>； T 为有效清除时间，h。如果照射时间很长(t>>T)，则：

$$Q(t) = \frac{Q_0 T}{V} \dots\dots\dots \text{式 7-12}$$

若以 t<sub>v</sub> 表示换气一次所需时间 h； t<sub>d</sub> 表示臭氧的有效分解时间（取 0.83h），则有效清除时间为：

$$T = \frac{t_v \cdot t_d}{t_v + t_d} \dots\dots\dots \text{式 7-13}$$

机房设计通风量为 1800m<sup>3</sup>/h。正常通风时治疗室的换气次数达到 5 次/h，即  $t_v=0.2h$ /次。由式 7-13 计算得 T 为 0.16h。当  $t \gg T$  时，臭氧达饱和浓度，由式 7-12 得到在正常排风时辐照室内的臭氧浓度为 0.01mg/m<sup>3</sup>，低于工作场所中 O<sub>3</sub> 浓度限值 (0.3mg/m<sup>3</sup>)。治疗室内臭氧通过排风系统由排气筒排放，经过大气的稀释和扩散作用其浓度进一步降低，远低于大气环境质量标准中 O<sub>3</sub> 浓度限值 (0.2mg/m<sup>3</sup>)，对周围大气环境的影响十分轻微。

#### ④氮氧化物

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，工作场所中的限值大于 O<sub>3</sub> 的十倍，大气环境质量标准中的限值与 O<sub>3</sub> 相近 (0.24mg/m<sup>3</sup>)。因而 NO<sub>x</sub> 产生和排放对周围大气环境的影响很小。

综上所述，机房的防护设计满足标准要求。

#### 7.2.2.2 后装治疗机环境影响分析

根据医院提供的平面及剖面设计方案图，医院拟建近距离后装机机房位于地下负二层中部靠北侧，机房由混凝土一次性浇筑而成，后装机机房北侧为泥土，西侧为 2 号加速器机房，南侧为后装机控制室及候诊区，东侧为模拟 CT 机房。其四至图见图 7-16。其四周墙体厚度见表 7-18。

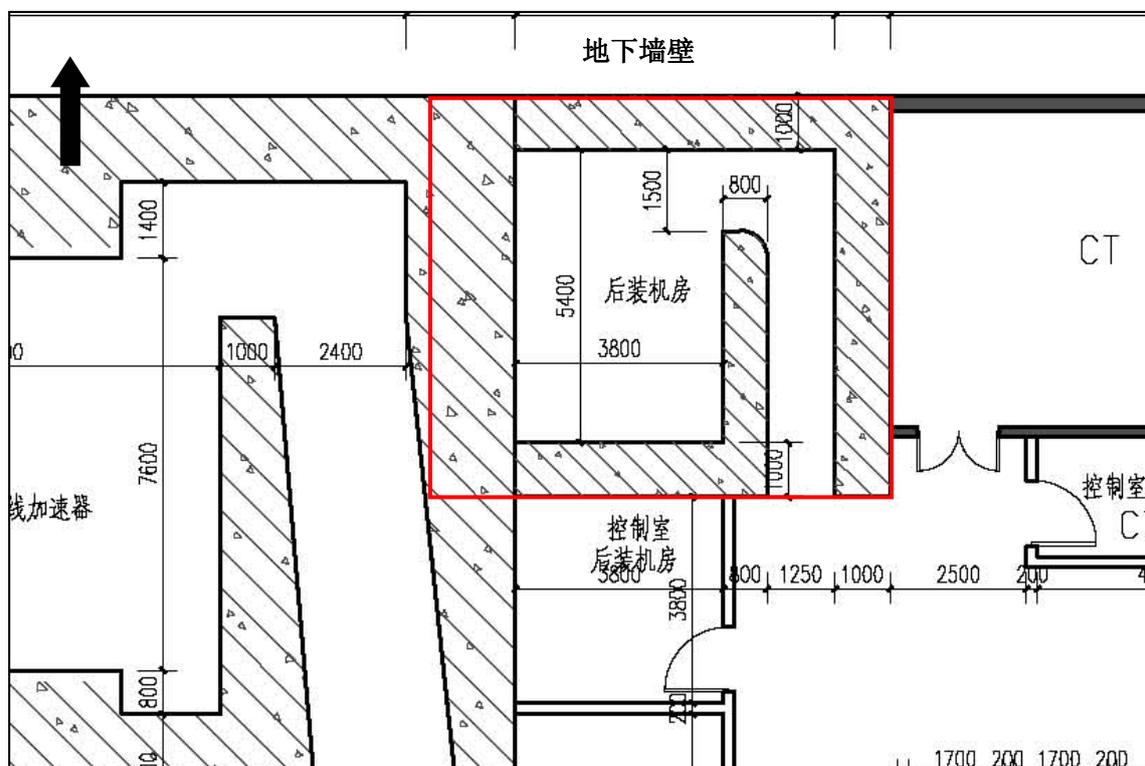


图 7-16 近距离后装机四至图

表 7-18 后装机四周墙体防护厚度

位置	北墙	西墙	南墙	东墙	顶层
厚度 m	1.0	2.0	1.0	迷路内墙 0.8+迷路外墙 1.0	1.0

注：混凝土密度不小于 2.35g/cm<sup>3</sup>。

①机房四周墙体屏蔽厚度

本项目 <sup>192</sup>Ir 源的活度为 10 Ci，γ 射线能量为 0.317MeV，照射量率常数  $\Gamma=0.48R \cdot m^2Ci \cdot h$  或比释动能率常数  $\Gamma_K=0.13mGy \cdot m^2/GBq \cdot h$ ，源至考查点的最近距离  $r=2m$ ，居留因子  $T=1$ ，考查点控制比释动能率  $K_1$  为  $2.5 \mu Gy \cdot h^{-1}$ ，代入点源公式并将单位换算一致，

$$K_0 = \frac{A \cdot \Gamma_K}{r^2} = \frac{10 \times 370 \times 0.13 \times 1}{2^2} = 120mGY \cdot h^{-1}。$$

$$\text{则减弱倍数 } K = \frac{K_0}{K_1} = \frac{120 \times 1000}{2.5} = 48000$$

半值层法， $K=2^n$ ， $48000=2^n$ ，则  $n=\lg 48000/\lg 2=15.6$

已知混凝土 HVT=4.1cm，则  $15.6 \times 4.1cm=64cm$

机房的屏蔽墙四周设计厚度为 1000mm，大于 640mm。

②机房天花厚度

源至考查点的最近距离  $r=2m$ ，保守取值  $T=1$ ，天花外考查点控制比释动能率  $K_1$  为  $2.5 \mu Gy \cdot h^{-1}$ ，代入上述点源公式并将单位换算一致，计算出天花板厚度为 640mm，实际后装机天花设计厚度为 1000mm，满足防护要求。

③防护门、窗铅当量

机房防护门、窗按 5mmpb 设计，满足防护要求。

因此，医院后装机机房防护设计厚度符合国家有关规定要求。

7.2.2.3 模拟CT机环境影响分析

根据医院提供的平面及剖面设计方案图，医院拟建模拟 CT 机位于地下负二层偏东部靠北侧，机房由混凝土一次性浇筑而成，模拟 CT 机北侧为泥土，西侧为后装机机房，南侧为 CT 控制室及候诊区，东侧为模拟定位机机房。其四至图见图 7-17。其四周墙体厚度见表 7-19。

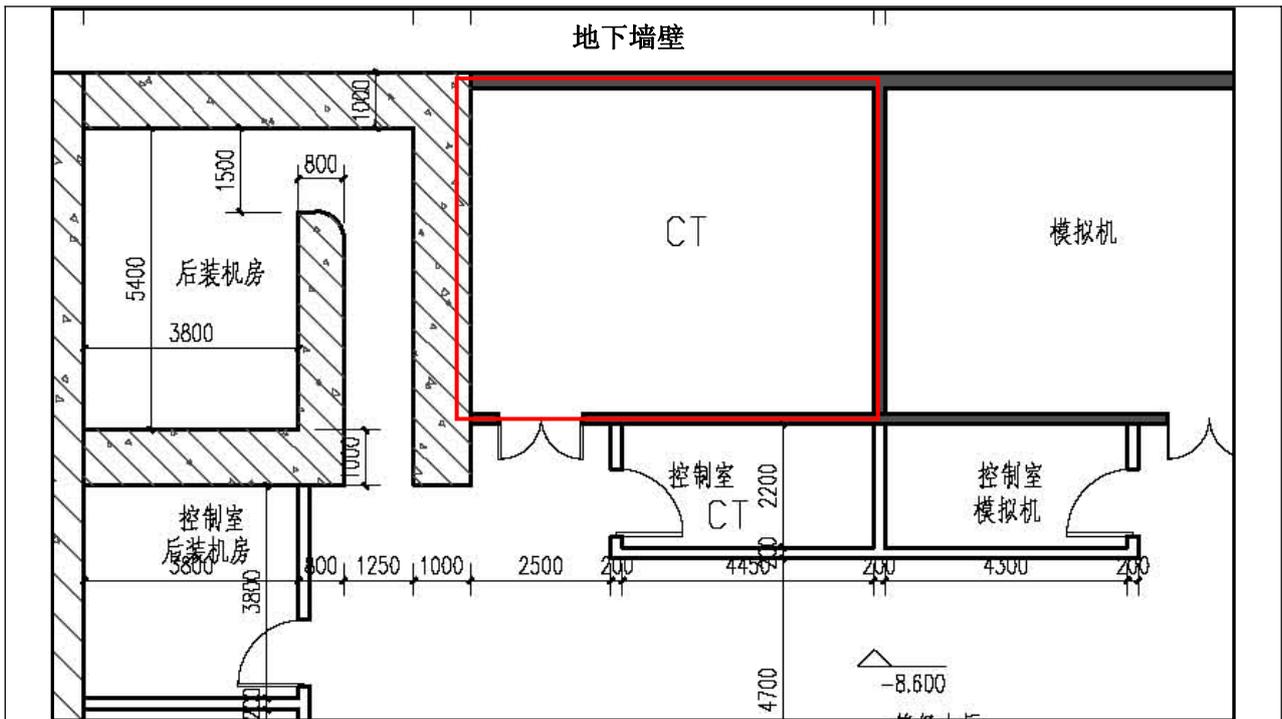


图 7-17 模拟 CT 机四至图

表 7-19 模拟 CT 四周墙体防护厚度

位置	北墙	西墙	南墙	东墙	顶层
混凝土厚度 (m)	0.3	1.0	0.3	0.3	0.3
相当于铅当量 (mmPb)	4.7	15.6	4.7	4.7	4.7

注：1、混凝土密度不小于 2.35g/cm<sup>3</sup>。

2、对于 100kV 的 X 射线，1mmPb 相当于 64mm 混凝土的防护效果。

根据《X 射线计算机断层摄影放射防护要求专用职业卫生标准》(GBZ 165-2012) 和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)。模拟 CT 机房实际防护情况与标准对照分析见表 7-20。

表 7-20 模拟 CT 机房实际防护情况与标准对照分析

机房名称	项目	设计情况	标准要求	是否满足要求
CT 机位于放疗科地下室负二层	机房位置	位于放疗科地下负二层	X 射线设备机房(照射室)应充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全。	满足
	机房屏蔽	四周墙体屏蔽厚度: 北墙、南墙、东墙混凝土厚度为 300mm, 西墙厚度为 1000mm, 均大于 4mmPb; 顶棚屏蔽厚度: 300mm 混凝土满足防护要求(相当于 4.7mmPb)	CT 机房的墙壁应该有足够的防护厚度, 机房外人员可能受到年有效剂量小于 0.25mSv (相应的周有效剂量小于 5 μSv), 距机房外表面 0.3m 的空气比释动能率应 < 2.5 μGy/h。	是

		防护门屏蔽: 4mmpb	较大工作量时, 机房有用线束朝向及非有用线束墙壁和天棚, 应有 2.5mm 铅当量的防护厚度, 一般工作量时候应有 2mm 铅当量。	
	观察窗防护	铅窗 4mmPb		是
	机房的大小	5.8*7.15=41.47 m <sup>2</sup>	CT 应有足够的使用空间, 面积应不小于 30cm <sup>2</sup> , 单边长度不小于 4m。	是
	机房内布局	合理, 无杂物	要合理, 不得堆放与诊断工作无关的杂物; 机房应设有观察窗或摄像监控装置, 其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态	是
	机房通风	设有机械通风	机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风	是
	标志、指示灯	门口设有电离辐射警告标志, 醒目指示灯, 辐射防护注意事项	机房门外应有电离辐射警告标志、辐射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯, 灯箱处应设警示语句; 机房门应有闭门装置, 且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。	是
	受检者候诊位置	恰当	要选择恰当, 并有相应的防护措施	是
	防护用品	为患者及受检者配置铅衣、铅帽等防护用具	配备适量铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子; 、患者和受检者防护用品与辅助防护设施, 其数量应满足开展工作需要, 对陪检者应至少配备铅防护衣; 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25 mm Pb; 应为不同年龄儿童的不同检查, 配备有保护相应组织和器官的防护用品, 防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5 mm Pb。	是

对照表 7-20 可知, 模拟 CT 机房防护措施满足《X 射线计算机断层摄影放射防护要求 专用职业卫生标准》(GBZ 165-2012) 和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 的标准要求。

#### 7.2.2.4 模拟定位机环境影响分析

根据医院提供的平面及剖面设计方案图, 医院拟建模拟定位机位于地下负二层偏东部靠北侧, 机房由混凝土一次性浇筑而成, 模拟定位机北侧为泥土, 西侧为模拟 CT 机, 南侧为模拟定位机控制室, 东侧为治疗室。其四至图见图 7-18。其四周墙体厚度见表 7-21。

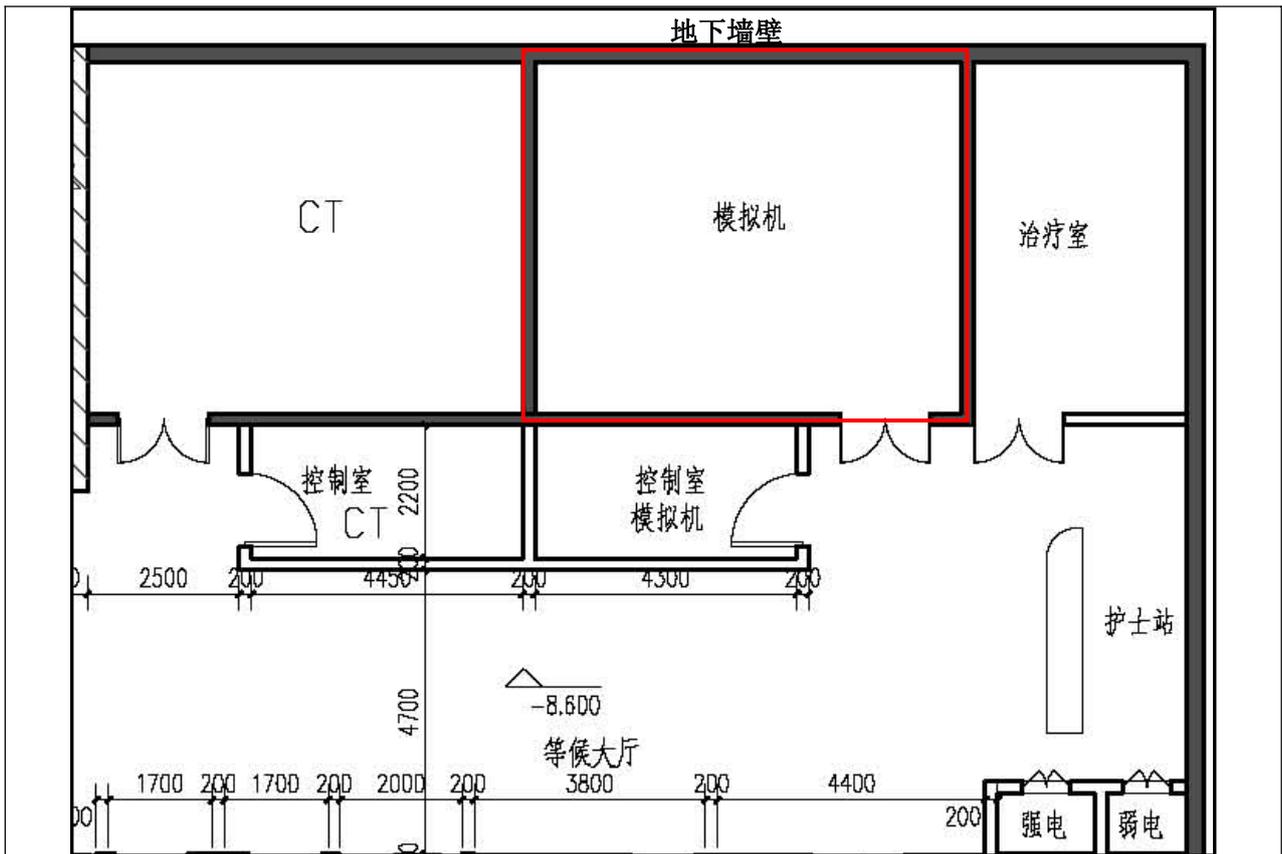


图 7-18 模拟定位机四至图

表 7-21 模拟定位机四周墙体防护厚度

位置	北墙	西墙	南墙	东墙	顶层
混凝土厚度 (m)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
相当于铅当量 (mmPb)	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7

注：1、混凝土密度不小于  $2.35\text{g/cm}^3$ 。

2、对于 100kV 的 X 射线，1mmPb 相当于 64mm 混凝土的防护效果。

根据《X 射线计算机断层摄影放射防护要求专用职业卫生标准》(GBZ 165-2012) 和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)。模拟定位机机房实际防护情况与标准对照分析见表 7-22。

表 7-22 模拟定位机机房实际防护情况与标准对照分析

机房名称	项目	设计情况	标准要求	是否满足要求
模拟定位机位于放疗科地下室负二层	机房位置	位于放疗科地下负二层	X 射线设备机房(照射室)应充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全	满足
	机房屏蔽	四周墙体屏蔽厚度:北墙、南墙、东墙混凝土厚度为 300mm,西墙厚度为 300mm,均大于	标称 125 kV 以上的摄影机,有用线束方向铅当量为 3mmPb,非有用线束方向铅当量为 2mmPb	是

		4mmPb; 顶棚屏蔽厚度: 300mm 混凝土满足防护 要求(相当于 4.7mmPb) 防护门屏蔽: 4mmpb		
	观察窗防护	铅窗 4mmPb		是
	机房的大小	5.8*7.0=40.6 m <sup>2</sup>	应有足够的使用空间, 面积应 不小于 30cm <sup>2</sup> , 单边长度不小 于 4m。	是
	机房内布局	合理, 无杂物	要合理, 不得堆放与诊断工作 无关的杂物; 机房应设有观察 窗或摄像监控装置, 其设置的 位置应便于观察到患者和受 检者状态	是
	机房通风	设有机械通风	机房应设置动力排风装置, 并 保持良好的通风	是
	标志、指示灯	门口设有电离辐射警 告标志, 醒目指示灯, 辐射防护注意事项	机房门外应有电离辐射警告 标志、辐射防护注意事项、醒 目的工作状态指示灯, 灯箱处 应设警示语句; 机房门应有闭 门装置, 且工作状态指示灯和 与机房相通的门能有效联动。	是
	受检者候诊 位置	恰当	要选择恰当, 并有相应的防护 措施	是
	防护用品	为患者及受检者配置 铅衣、铅帽等防护用具	配备适量铅橡胶性腺防护围 裙(方形)或方巾、铅橡胶 颈套、铅橡胶帽子; 患者和受 检者防护用品与辅助防护设 施, 其数量应满足开展工作需 要, 对陪检者应至少配备铅防 护衣; 防护用品和辅助防护设 施的铅当量应不低于 0.25 m m P b; 应为不同年龄儿童的 不同检查, 配备有保护相应组 织和器官的防护用品, 防护用 品和辅助防护设施的铅当量 应不低于 0.5mm P b。	是

对照表 7-22 可知, 模拟定位机机房防护措施满足《X 射线计算机断层摄影放射防护要求专用职业卫生标准》(GBZ 165-2012) 和《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 的标准要求。

#### 7.2.2.5 门诊楼日间手术室环境影响分析

医院拟建门诊大楼, 拟建门诊大楼位于医院东南侧, 即现在门诊、急诊大楼的东侧, 拟建门诊大楼距离医院西侧三元里中学约 270m, 其 200m 内无学校、幼儿园等敏感点。满足《广东省未成年人保护条例》“学校周围二百米范围内不得放置易燃易爆、剧毒、放射性、腐蚀性等危险物品和设施设备”的要求。

拟建门诊大楼拟扩建 C 型臂成像系统 1 台，该 C 臂机将位于拟建门诊楼七楼日间手术室的固定防护室机房 N6 室内使用。其机房防护图见图 7-19 所示。

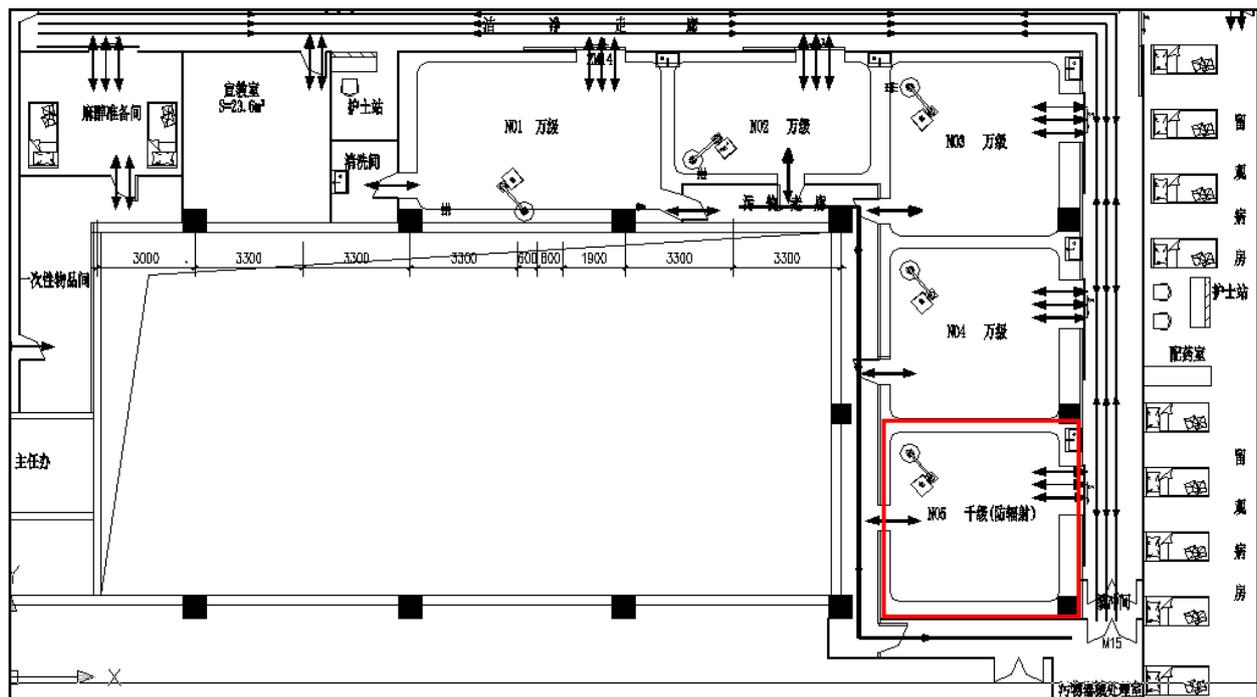


图 7-19 门诊七楼手术室平面图

N6 防辐射机房按照机房六面均达到 2mmPb 的防护进行屏蔽。对比《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)，C 臂机房实际防护情况与标准对照分析见表 7-23。

表 7-23 C 臂机机房实际防护情况与标准对照分析

机房名称	项目	设计情况	标准要求	是否满足要求
C 臂机将位于拟建门诊楼七楼	机房位置	位于门诊楼七楼	X 射线设备机房(照射室)应充分考虑邻室(含楼上和楼下)及周围场所的人员防护与安全	满足
	机房屏蔽	六面屏蔽厚度: 2mmpb 防护门屏蔽: 2mmpb	有用线束方向铅当量为 2mmPb, 非有用线束方向铅当量为 2mmPb	是
	观察窗防护	铅窗 2mmPb		是
	机房的大小	6.0*7.0=42.0m <sup>2</sup>	但应有足够的使用空间, 面积应不小于 20cm <sup>2</sup> , 单边长度不小于 3.5m。	是
	机房内布局	合理, 无杂物	要合理, 不得堆放与诊断工作无关的杂物; 机房应设有观察窗或摄像监控装置, 其设置的位置应便于观察到患者和受检者状态	是
	机房通风	设有机械通风	机房应设置动力排风装置, 并保持良好的通风	是
标志、指示灯	门口设有电离辐射警告标志, 醒目指示灯, 辐射防护注意事项	机房门外应有电离辐射警告标志、辐射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯, 灯箱处	是	

			应设警示语句；机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。	
	受检者候诊位置	恰当	要选择恰当，并有相应的防护措施	是
	防护用品	为患者及受检者配置铅衣、铅帽等防护用具	配备适量铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子；患者和受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25 m P b；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5 m P b。	是

对照表 7-23 可知，C 臂机机房防护措施满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的标准要求。

表 8 结论与建议

### 8.1 结论

广州中医药大学第一附属医院是一所大型综合性中医医院，创建于 1964 年，是我国高等中医药临床教育、医疗、科研重要基地之一，为全国首批三级甲等中医医院、示范中医医院和首批广东省中医名院。先后荣获“全国‘五一’劳动奖状”、“全国卫生系统先进集体”、“全国职业道德先进单位”、“全国中医药应急工作先进集体”、“全国中医医院优质护理服务先进单位”、“广东省文明单位”等称号。

广州中医药大学第一附属医院已申请许可数字减影血管造影装置（DSA）、SPECT-CT 机、CT 机、DR 机等射线装置 14 台，用于放射诊断治疗，详细设备规模见表 1-1。医院已开展乙级非密封源工作场所，使用到  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{201}\text{Tl}$  三种核素，其日最大等效操作量为  $7.9 \times 10^8 \text{Bq}$ 。以上设备均于 2009 年 6 月，委托广东核力工程勘察院编制完成《广州中医药大学第一附属医院核技术应用项目环境影响报告表》，报告表编号为 09HPZ29；2011 年 1 月 25 日，该项目获得广东省环境保护厅审批，粤环审[2011]34 号，见附件 2；2011 年 04 月 25 日，获得广东省环保厅颁发的辐射安全许可证，证号：粤环辐证【03198】，见附件 3；2012 年 5 月 14 日，取得广东省环境保护厅关于广州中医药大学第一附属医院核技术应用项目竣工环境保护验收意见的函，粤环审[2012]229 号，见附件 4。

#### (1) 实践正当性

为了更好的为广州市区患者服务，广州中医药大学第一附属医院拟在医院住院综合楼北侧和住院北楼南侧中间的绿化通行到下方建负二层放疗科，用于肿瘤治疗，放疗科拟含 15MV 电子直线加速器 2 台、模拟 CT 机 1 台、模拟定位机 1 台，以及近距离后装治疗机 1 台（内含活度为 10Ci 的  $^{192}\text{Ir}$  密封放射源）；另放射科扩建数字减影血管造影 X 射线装置 1 台、手术室 C 臂 X 射线系统 5 台、改扩建 CT 机、DR 机等医用 X 射线装置 7 台。

上述项目是为了更好地满足医学诊疗和科研需要，具有良好的社会效益和经济效益，符合辐射防护“正当实践”原则。

#### (2) 加速器选址、布局合理性评价

由于医院场地自身限制,综合多方面考虑,医院放疗科最佳选址位置为医院住院北楼及住院综合楼之间的过道地下,放疗科共地下二层。单层用地面积约 1058 平方米,地块四周均为医院用地,拟建放疗科北侧为住院北楼,南侧为住院综合楼,西侧为医院内部通道,通道西侧为机场路,东侧为医院长廊通道,通道东侧供应楼及供应房间,东北角为医院广园路后门口。附近不存在明显的污染源,而且周边均为规划路,其位置相对较为独立,交通十分便利,自然通风条件好。

加速器拟建放疗科西北角,负二层为加速器机房、后装机机房、模拟 CT 机机房、模拟定位机机房以及治疗机房等其他配套机房,负一层为物理室、模具室等其他配套房间,首层左右两侧为上下通道雨棚及玻璃天面和人员通道。即加速器机房等高活性区位于负二层,物理室机房等低活性区位于负一层。

根据天空散射和侧散辐射的辐射水平计算和评价可知,加速器机房顶层外路面的有效剂量为  $0.69\mu\text{Gy/h}$ ,其对公众的有效剂量为  $0.02\text{mSv}$ ,远低于本项目管理目标值  $0.25\text{mSv}$ 。为了尽可能降低加速器对公众影响,建议加速器正式投入运行期间,对其通道采取限制人员或增加防护围栏等防护措施,尽量减少无关人员在其顶层停留。

直线加速器风井位于首层东侧进出楼梯的西侧墙壁,加速器排风道由地下混凝土排风管+地面不锈钢排风管直通住院综合楼屋面,住院综合楼为拟建放疗科附近 50m 内最高的楼房。放疗科四至图见图 7-8,其机房平面布置图见附图 2。

距离放疗科西南角约 400m 处有一学校,为三元里中学,其 200m 内无学校、幼儿园等敏感点。满足《广东省未成年人保护条例》“学校周围二百米范围内不得放置易燃易爆、剧毒、放射性、腐蚀性等危险物品和设施设备”的要求。

加速器废气排放口位于排风口位于周边 50m 最高楼,即 13 层住院综合楼,高于住院综合楼屋面 0.5m,高于地面约 45m。排放口周围 50m 内含医院住院北楼(5F)、医院锅炉房(2F)、医院供应楼(9F)、职工膳堂(2F)、住院综合楼(13F)。排放口选址满足国家要求。详细四至图见图 7-9。

加速器机房的通风换气次数达 3.95 次/h,能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的分区要求,对加速器场所进行分区管理,把工作场所分为控制区、监督区,便于辐射防护管理和职业病控制。

**加速器布局：**本项目加速器机房控制室与治疗室分离，控制室位于治疗室南侧，治疗室面积 $>72\text{m}^2$ 。迷道为直迷路设计，有用线束不向加速器机房控制室侧照射，仅向东西墙、房顶及地面照射。机房布局符合《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)中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”、“直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域”、“在迷路内扣处，应避免宽束有用直接照射迷路外墙，并尽可能避免 $4\pi$ 有用束和泄露辐射直接照射迷路外墙”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)中“新建治疗室不应小于 $45\text{m}^2$ ”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定。

由于医院地下场地限制，射线主方向选择避开控制室，而朝向迷路一侧，根据加速器机房设计图纸可知道，迷路内墙的混凝土厚度为1.7m，迷路外墙的混凝土厚度为1.0m，迷路内外墙厚度合计为2.7m，加速器机房应严格按照防护设计，加强各项防护工作，其布局基本合理。

### (3) 辐射屏蔽能力分析

根据项目辐射工作场所设计文件和辐射安全防护技术措施分析可知，直线加速器机房及其他射线装置机房辐射屏蔽能力符合辐射防护安全最优化原则设计，满足辐射防护要求。

直线加速器机房的具体屏蔽防护：直线加速器机房由使用主体、直迷道和防护门组成，机房采用混凝土一次性浇注而成。主束线方向为东西方向，东西主防护墙厚度均为2900mm，1号机房西侧主防护墙厚度为2900mm，西侧次防护墙为2100mm，东侧迷路内墙厚度为1200mm，迷路外墙厚度为1800mm，顶棚2900mm；2号机房西侧迷路内墙厚度为1200mm，迷路外墙厚度为1800mm，东侧主防护墙厚度为2900mm，西侧次防护墙为2100mm，顶棚2900mm。迷路出口为安全连锁防护门，防护门采用加速器启动电路实行门机连锁方式的轨道电动式，防护门的厚度为 $16\text{mmpb}+12\text{cm}$ 含硼聚乙烯。

### (4) 目标管理值剂量估算

根据剂量估算及工作人员个人剂量分析，医院工作人员和公众所受的年有效剂量符合《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；并且分别低于项目管理目标值( $5\text{mSv}$ 和 $0.25\text{mSv}$ )。

### (5) 辐射安全管理、措施评价

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(环境保护部令第3号)要求，使用II类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负责辐射安全与环境保护管理工作。医院设有辐射防护安全组织机构来负责辐射安全与环境保护管理，对医院的辐射防护工作进行管理和技术支持。

医院已有 51 名辐射工作人员均已按要求参加并通过了辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，符合国家相关法规要求。所有辐射工作人员配备个人剂量计并开展个人剂量检测工作，定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，并按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

医院已配备 1 台环境辐射巡测仪，用于定期自我检测放射工作场所及周边公众区域的辐射剂量水平；医院应再针对本项目配备 2 台个人剂量报警仪，用于对瞬时辐射剂量率的实时报警。

综上所述，广州中医药大学第一附属医院核技术应用项目在确保施工质量、落实本报告所提出的各项污染防治措施和管理措施后，该医院具备与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和辐射安全防护措施，其设施运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，本项目是可行的。

## **8.2 建议**

- 1、项目运行期间严格执行报告表中的各项管理制度及措施。
- 2、项目竣工后，应该尽快向广东省环境保护厅申请项目竣工环境保护验收。

表9 审批

主管单位环保机构预审意见：	
经办人签字 年 月 日	单位盖章 年 月 日
县（区）环保部门意见	市（地区）环保部门意见
单位盖章 年 月 日	单位盖章 年 月 日
省级环保部门审批意见：	
经办人签字 年 月 日	单位盖章 年 月 日

## 建设项目环境保护审批登记表

填表单位（盖章）：

填表人（签字）：

项目经办人（签字）：

建设项目	项目名称	放射诊疗项目（扩建）				建设地点	广州中医药大学第一附属医院院内								
	建设内容及规模	扩建含 15MV 电子直线加速器 2 台、模拟 CT 机 1 台、模拟定位机 1 台，以及近距离后装治疗机 1 台（内含活度为 10Ci 的 <sup>192</sup> Ir 密封放射源）；另扩建数字减影血管造影 X 射线装置 1 台、手术室 C 臂 X 射线系统 5 台和改扩建 CT 机、DR 机等医用 X 射线装置 7 台。				建设性质	<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改扩建 <input type="checkbox"/> 技术改造								
	行业类别	医用 83				环境保护管理类别	<input type="checkbox"/> 编制报告书 <input checked="" type="checkbox"/> 编制报告表 <input type="checkbox"/> 填报登记表								
	总投资（万元）	8000				环保投资（万元）	2000		所占比例		25%				
建设单位	单位名称	广州中医药大学第一附属医院		联系电话	020-36591405		评价单位	单位名称	广东核力工程勘察院		联系电话	020-86825675			
	通讯地址	广州市机场路 16 号大院		邮政编码	510400			通讯地址	广州市花都区滨湖路 1 号		邮政编码	510800			
	法人代表	樊粤光		联系人	颜绍民			证书编号	国环评证乙字第 2852 号		评价经费				
现状	建设区域环境	环境质量等级    环境空气：                      地表水：                      地下水：                      环境噪声：                      海水：                      土壤：                      其它：													
	建设项目所	环境敏感特征 <input type="checkbox"/> 饮用水水源保护区 <input type="checkbox"/> 自然保护区 <input type="checkbox"/> 风景名胜区 <input type="checkbox"/> 森林公园 <input type="checkbox"/> 基本农田保护区 <input type="checkbox"/> 生态功能保护区 <input type="checkbox"/> 水土流失重点防治区 <input type="checkbox"/> 生态敏感与脆弱区 <input type="checkbox"/> 人口密集区 <input type="checkbox"/> 重点文物保护单位 <input type="checkbox"/> 三河、三湖、两控区 <input type="checkbox"/> 三峡库区													
污染物排放达标与总量控制（工业建设项目详填）	污染物	现有工程（已建+在建）				本工程（拟建）					总体工程（已建+在建+拟建）				区域平衡替代削减量
		实际排放浓度 (1)	允许排放浓度 (2)	实际排放总量 (3)	核定排放总量 (4)	预测排放浓度 (5)	允许排放浓度 (6)	产生量 (7)	自身削减量 (8)	预测排放总量 (9)	核定排放总量 (10)	“以新带老”削减量 (11)	预测排放总量 (12)	核定排放总量 (13)	
	废水														
	化学需氧量*														
	氨氮*														
	石油类														
	废气														
	二氧化硫*														
	烟尘*														
	工业粉尘*														
氮氧化物															
工业固体废物*															
与项目有关的其他污染物特征	工作人员辐射剂量											管理目标 5mSv/a		剂量限值 20mSv/a	
	公众个人辐射剂量											管理目标 0.25mSv/a		剂量限值 1mSv/a	

注：1、\*为“十五”期间国家实行排放总量控制的污染物      2、排放增减量：（+）表示增加，（-）表示减少      3、计量单位：废水排放量—万吨/年；废气排放量—万标立方米/年；工业固体废物排放量—万吨/年；水污染物排放浓度—毫克/升；大气污染物排放浓度—毫克/立方米；水污染物排放量—吨/年；大气污染物排放量—吨/年