

GBZ

中华人民共和国国家职业卫生标准

GBZ/T 220.2—2009

建设项目职业病危害放射防护评价规范 第2部分：放射治疗装置

The specification of radiological protection assessment for
occupational hazard in construction project
Part2: radiotherapy facility

2009-10-26 发布

2010-02-01 实施



中华人民共和国卫生部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	1
5 放射防护预评价	2
6 放射防护效果评价	4
附录 A (资料性附录) 常见放射治疗装置的一般评价因素	6
附录 B (资料性附录) 侧散射辐射示意图及一般核算方法	7
附录 C (资料性附录) 天空散射辐射示意图及一般核算方法	9
附录 D (资料性附录) 放射治疗装置机房屏蔽墙及防护门的一般核算方法	10
附录 E (资料性附录) 放射治疗装置机房主屏蔽墙宽度的一般核算方法	14
附录 F (资料性附录) 机房屏蔽设施防护效果监测时应采用的照射方式	15

前 言

根据《中华人民共和国职业病防治法》制定本部分。

GBZ/T 220《建设项目职业病危害放射防护评价规范》标准按部分发布,分为以下五部分:

- 第1部分:核电厂;
- 第2部分:放射治疗装置;
- 第3部分:γ辐照加工装置;
- 第4部分:中高能加速器;
- 第5部分:加速器工业应用。

本部分为 GBZ/T 220 的第 2 部分。

本部分的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F 是资料性附录。

本部分由卫生部放射卫生防护标准专业委员会提出。

本部分由中华人民共和国卫生部批准。

本部分起草单位:山东省医学科学院放射医学研究所。

本部分主要起草人:邓大平、卢峰、朱建国、宋钢、陈英民、李海亮、毕明卫。

建设项目职业病危害放射防护评价规范

第2部分：放射治疗装置

1 范围

本部分规定了放射治疗装置职业病危害放射防护评价的一般要求及评价方法。

本部分适用于射线装置(如医用电子加速器、深部X射线治疗机等)和装(配)有密封放射源装置(如医用 γ 射线远距离治疗机、 γ 射线立体定向治疗系统、后装机等)的放射治疗建设项目职业病危害放射防护预评价和控制效果评价。

本部分不适用于核医学实践中放射性同位素治疗和放射性敷贴治疗等建设项目职业病危害放射防护评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后的所有修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 19046 医用电子加速器验收试验和周期检验规程

GBZ 126 医用电子加速器卫生防护标准

GBZ 161 医用 γ 射束远距治疗防护与安全标准

GBZ 168 X、 γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准

GBZ/T 181 建设项目职业病危害放射防护评价报告编制规范

GBZ/T 201.1 放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 瞬时剂量率控制水平 *instantaneous dose rate control level*

瞬时剂量率是指放射治疗装置在某种照射方式下的周围剂量当量率。瞬时剂量率控制水平是根据年剂量控制水平和工作负荷导出并考虑到人员心理承受能力等因素确定下来的一个量值。

4 一般要求

4.1 评价类型

按照项目进程的不同阶段,分为两类评价:

- 在可行性论证阶段应进行职业病危害的预评价,即放射防护预评价;
- 在竣工验收阶段应进行职业病危害的控制效果评价,即放射防护效果评价。

4.2 评价内容

评价应包括工程分析、源项分析和辐射危害因素识别、辐射危害因素控制措施及核实、辐射危害评价、放射防护管理及事故应急措施等内容。评价内容中不涉及与放射无关的非放射危害因素的评价。

评价内容除应符合GBZ/T 181外,对于两类不同评价还应分别遵循5和6的要求,并以5.3和6.4为重点。

4.3 评价依据

4.3.1 对放射治疗装置建设项目的放射防护评价,应以相应的放射卫生防护法律、法规和标准为依据。

4.3.2 对放射治疗装置建设项目中的屏蔽设施及其防护效果的评价,应以 GBZ/T 201.1 为依据,并按照以下步骤,推导出适用于本建设项目的瞬时剂量率控制水平。

a) 确定适用于本建设项目的工作负荷、居留因子和使用因子等各项有关参数;

b) 按不同人员可能的驻留情况划分不同分区;

c) 按照 GBZ/T 201.1 中关于“确定周围剂量当量率控制水平的程序”要求的规定,确定本建设项目每一区域的瞬时剂量率控制水平,用于以后的屏蔽计算。

4.4 评价方法

使用的评价方法包括类比法、检查表法、风险评估法等,一般采用类比法,采用类比法时应充分考察类比项目的可类比性。评价时也可以采用其它方法,但应在报告书中就其依据来源、适用性和可靠性、优缺点和采用理由等方面给出必要说明。

4.5 评价资料

评价所需资料主要由建设单位提供、评价单位现场调查和检测得到。属建设单位提供的,必要时可要求其提供有关的溯源性文件或对其进行核查。属评价单位自主采用的,应该做到合理有据。评价资料应存档以备核查。

5 放射防护预评价

5.1 建设项目概况

评价单位应收集建设项目概况资料,明确建设项目所包含的建筑设施及其分区布局状况;并到建设单位现场调查建设项目拟选址周围的环境和人员状况,使用合适的剂量仪监测选址及其周围 50m 范围内环境本底辐射水平。

5.2 辐射源项分析

5.2.1 收集放射治疗装置的设备资料,对辐射源项进行分析,重点明确与辐射防护有关的参数,如拟使用的放射源活度、射线能量、泄漏辐射率、最大照射野面积等。

5.2.2 根据放射治疗装置的使用过程,分析治疗过程中与电离辐射危害有关的环节,包括对可能出现的异常或紧急状态进行辐射安全分析。

5.2.3 在对源项分析和治疗过程分析的基础上确定放射治疗装置的评价因素,几种常见放射治疗装置的一般评价因素参见附录 A。

5.3 防护措施评价

5.3.1 列出放射治疗装置及其附属设施的平面布置图,例如屏蔽墙的厚度、使用的建筑材料、穿墙管道设计、通风设计等。

5.3.2 建设项目布局及对邻近区域辐射影响的评价

5.3.2.1 根据建设项目卫生学评价的原则,对建设项目的布局给出评价,提出合理布局的建议。对放射工作场所的分区按照 GB 18871 中关于“辐射工作场所分区”要求进行。

5.3.2.2 放射治疗装置机房周围 50m 范围内有高于机房室顶的建筑时,应计算侧散射辐射,对高层建筑内的相关位置进行放射防护评价。侧散射辐射计算的示意图和一般核算方法参见附录 B。

5.3.2.3 放射治疗装置机房为单层建筑时,应计算天空散射辐射,对机房周围地面相关位置进行放射防护评价。天空散射辐射计算的示意图和一般核算方法参见附录 C。

5.3.3 屏蔽设施评价

5.3.3.1 对放射治疗装置机房屏蔽设施进行核算评价。屏蔽设施核算评价的内容包括机房主屏蔽墙、机房副屏蔽墙、机房防护门、机房穿墙管道等。几种常见放射治疗装置机房屏蔽墙及防护门的一般核算

方法参见附录 D。

5.3.3.2 后装治疗机机房墙体均应作为主屏蔽墙进行评价。核算屏蔽墙外剂量时应采用建设单位提供的放射源可能到达墙体的最近位置处进行核算。

5.3.3.3 对 γ 射线立体定向治疗系统,治疗射束不能直接照射到机房墙体时,可按泄漏辐射和散射辐射屏蔽要求评价屏蔽方案设计。

5.3.3.4 医用电子加速器、医用 γ 射线远距离治疗机、深部治疗 X 射线机等放射治疗机房应根据建设单位提供的等中心位置考虑屏蔽墙外辐射剂量,且应对主屏蔽墙的宽度进行评价。主屏蔽墙宽度的一般核算方法参见附录 E。

5.3.4 安全防护设施评价

5.3.4.1 对建设单位拟购买的放射治疗装置的辐射安全性能进行分析评价,主要分析其故障保护系统、安全连锁系统等内容。

5.3.4.2 对建设单位拟采取的安全防护装置和安全防护措施进行评价,例如门机连锁装置、剂量报警装置、通讯对讲设施、个人防护用品等。

5.3.5 其他评价内容

5.3.5.1 对于能量超过 10MeV 的医用电子加速器治疗装置,感生放射性数据资料可使用类比方法或者 GBZ 126 中的数据。

5.3.5.2 应对放射治疗机房内通风口设计的合理性进行评价,防止形成无效通风。根据进排风口的位置确定通风容积,根据排风口风机的标称通风量和通风容积评价机房内的通风换气次数。

5.4 辐射防护监测计划

建设单位监测计划中至少应包括对设备、场所和人员的安排和要求。分析建设单位制定的辐射防护监测计划,并对辐射防护监测计划的内容是否详实可靠和具有可操作性作出评价。

5.5 辐射危害评价

根据建设单位提供的工作负荷预计情况及屏蔽设施放射防护核算结果对工作人员和公众进行正常运行状态下的年剂量估算和评价。对于具有多种照射方式的放射治疗设备,其年剂量估算时,可首先计算不同照射方式下的剂量,再根据不同照射方式所占比例计算年剂量,也可根据最大核算结果进行保守估算。能量超过 10MeV 的医用电子加速器治疗装置,其工作人员年剂量应包括治疗操作时治疗头部件的感生放射性辐射照射剂量。

5.6 应急准备与响应

建设单位提供的应急计划中应包括:

a) 分析放射治疗装置可能出现的紧急状况并提出具体的、可能发生的事故应急处理措施(如治疗照射不能停止时的应急处理、人体受超剂量照射时的应急处理)。对建设单位应急计划中未明确的内容,评价单位应给出建议。

b) 明确应急组织结构、人员情况及职责等内容。

5.7 放射防护管理

建设单位应提供放射防护管理组织、管理制度、工作人员健康管理等方面的内容。报告书评价的重点是放射防护管理是否健全,制度的内容是否详实可行,能否满足放射治疗的要求等。放射防护管理制度至少应包括《放射防护三级责任制度》、《工作人员健康查体和档案管理制度》、《工作人员个人剂量监测制度》以及《放射治疗设备质量控制制度》等,上述制度内容可以用附录形式给出并作为评价依据。

5.8 结论和建议

全面总结评价报告书的内容,给出建设项目职业病危害分类。对拟建项目的布局、职业病危害因素、拟采取的放射防护措施等内容做出简洁、概括性的结论,明确建设项目从职业病危害放射防护角度是否可行,并针对具体情况提出防护和管理建议。

6 放射防护效果评价

6.1 建设项目分析

评价单位到建设单位进行现场调查,核实建设项目所包含的建筑设施及其分区布局状况、建设项目周围的环境和人员状况以及周围 50m 范围内环境本底辐射水平。

6.2 辐射源项分析

根据放射治疗装置的说明书、操作规程等资料,重点核实辐射源产生的射线种类、射线能量、辐射强度等内容,分析建设单位放射治疗装置使用过程,明确治疗过程中与辐射安全有关的环节。

6.3 防护措施评价

6.3.1 根据施工图,现场核实建筑设施是否完全按照图纸要求和预评价报告提出的建议进行建设,重点查看与放射防护设计有关的内容,例如屏蔽墙的厚度、使用的建筑材料、穿墙管道设计、通风设计等。

6.3.2 现场核实放射治疗装置的安全防护性能,主要内容包括:

- a) 控制台显示内容是否符合相应国家标准要求;
- b) 装置的故障保护系统是否完善、有效;
- c) 对重要安全联锁装置的有效性应进行现场测试,如急停开关、门机联锁等。

6.3.3 现场核实建设单位采取的安全防护措施是否落实到位,主要内容包括:

- a) 监视和对讲系统;
- b) 警示灯和警示标志的设置情况;
- c) 个人防护用具的配备情况;
- d) 防护监测仪器的配备情况等。

上述防护措施可用现场拍摄的图片形式在报告书中体现并评价。

6.4 辐射监测与评价

6.4.1 建设项目单位的自主监测

核实的内容包括建设项目单位或其委托监测机构的资质、监测制度、监测内容、监测记录等。监测的类型应包括个人剂量监测、放射治疗工作场所监测和放射治疗质量控制监测等。

6.4.2 评价单位的验证监测

6.4.2.1 评价报告书中应对监测仪器作出说明,包括能量响应、量程范围、混合辐射场响应、相对偏差及仪器的刻度情况等。

6.4.2.2 在对源项分析和治疗过程分析的基础上确定放射治疗装置验证监测的内容。

6.4.2.3 对屏蔽墙、机房防护门进行防护效果验收监测时,放射治疗装置应采用监测位置处辐射剂量最大的照射方式。当这种照射方式不明确时,应对各个可能的照射方式分别进行监测。效果评价报告中应对监测条件作出说明。监测时,放射治疗装置应采用的照射方式参见附录 F。

6.4.2.4 能量超过 10MeV 的医用电子加速器感生放射性测量方法按照 GBZ 126 附录 A 中关于“感生放射性产生的吸收剂量率测试”的要求进行。

6.4.2.5 应对使用密封放射源的放射治疗设备进行表面污染监测,间接查验放射源的密封安全性能,监测时可采用试纸擦拭法。

6.4.2.6 评价机房内通风换气次数所采用的风速测量值应是排风口处多点测量的平均值。

6.4.2.7 评价报告书中应包括对放射治疗设备的质量控制监测内容,加速器的质控监测按照 GB/T 19046 和 GBZ 126 的规定进行;医用 γ 射束远距治疗的质控监测按照 GBZ 161 的规定进行;X、 γ 射线立体定向外科治疗的质控监测按照 GBZ 168 的规定进行。

6.5 辐射危害综合评价

根据验证监测结果及 5.5 对工作人员及公众进行年剂量估算。分析异常和事故状态下人员受照情况及其健康影响,提出减少异常和事故照射发生的建议。

6.6 应急准备与响应

分析建设单位制定的应急计划,核查的主要内容同 5.6,以及预评价报告书中建议的落实情况。

6.7 放射防护管理

分析建设单位制定的放射防护管理制度与实施措施,包括日常放射防护与安全管理、职业健康检查制度和实施程序、个人剂量监测制度和实施程序、放射工作人员放射防护知识培训制度与实施程序、各种档案建立与管理制度的内容满足放射防护管理要求的程度,核查的主要内容同 5.7,以及预评价报告书中建议的落实情况。

6.8 结论和建议

全面总结评价报告书的内容,对建设项目的布局、职业病危害因素、采取的放射防护措施、防护措施的防护效果等内容做出简洁、概括性的结论,对建设项目的防护设施和管理措施提出改进和完善的建议。

附录 A

(资料性附录)

常见放射治疗装置的一般评价因素

A.1 常见放射治疗装置的一般评价因素参见表 A.1。

表 A.1 常见放射治疗装置的一般评价因素

放射治疗装置	评价因素
深部治疗 X 射线机	X 射线
后装治疗机	γ 射线、泄漏核素污染
医用 γ 射线远距离治疗机	γ 射线、泄漏核素污染
γ 射线立体定向治疗系统	γ 射线、泄漏核素污染
能量 $< 10\text{MeV}$ 加速器	X 射线
能量 $\geq 10\text{MeV}$ 加速器	X 射线、电子线、电子线所产生的韧致辐射、中子、中子俘获 γ 射线、感生放射性

附录 B
(资料性附录)

侧散射辐射示意图及一般核算方法

B.1 侧散射辐射示意图见图 B.1。

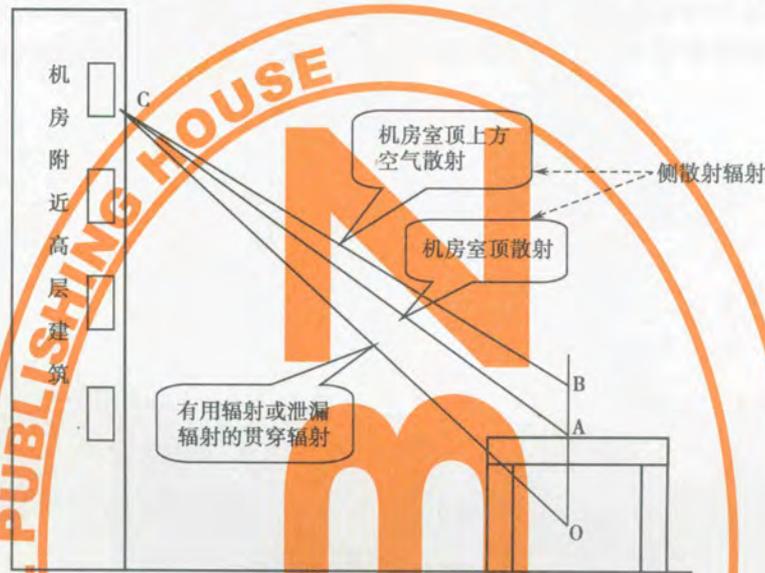


图 B.1 侧散射辐射示意图

B.2 侧散射辐射一般计算方法

B.2.1 机房室顶散射(见示意图中 AC,适用于 X、γ 射线)

$$\dot{H}_u = \frac{\dot{H}_0}{r^2} \cdot \frac{\sin^2 \theta \cos \theta}{2\pi} \cdot E_1(\mu_{eff}h) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- \dot{H}_u —室顶散射在关注点处的剂量率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$;
- \dot{H}_0 —有用线束距源 1m 处的输出量, $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;
- r —为室顶源点与参考点间的水平距离, m;
- θ —斜上方散射的散射角;
- $E_1(\mu_{eff}h)$ —与 $\mu_{eff}h$ 存在函数关系, 可查表求得;
- μ_{eff} —X 射线的混凝土线有效衰减系数, m^{-1} 。
- h —室顶的屏蔽厚度, m。

B.2.2 机房室顶上方空气散射(见示意图中 BC,适用于 X、γ 射线)

$$\dot{H}_a = \frac{\dot{H}_0}{2\pi R} E_1(\mu_{eff}h) I_1^0(E_0, \mu R) \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- \dot{H}_a —室顶上方空气散射在关注点处的剂量率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$;

\dot{H}_0 —有用线束距源 1m 处的输出量率, $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

R —室顶源点与参考点间的水平距离, m;

$E_1(\mu_{\text{eff}}h)$ —与 $\mu_{\text{eff}}h$ 存在函数关系, 可查表求得;

$I_1^0(E_0, \mu R)$ —空气散射函数, 与 E_0 及 μR 相关, 可查表求得。

附录 C
(资料性附录)

天空散射辐射示意图及一般核算方法

C.1 天空散射辐射示意图见图 C.1。

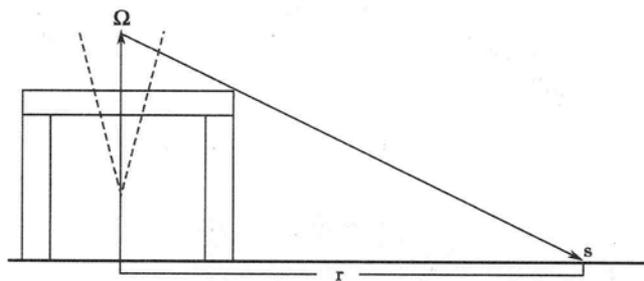


图 C.1 天空散射辐射示意图

C.2 天空散射辐射一般核算方法(适用于 X、γ 射线)

$$\dot{H}_s = 2.5 \times 10^{-2} \cdot \dot{H}_1 \cdot \Omega^{1.3} \cdot r^{-2} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

\dot{H}_s —地面的天空散射辐射剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

\dot{H}_1 —治疗室顶上方 2 米处的剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

Ω —射束立体角;

r —地面某点 s 与射束中心轴的水平距离, m。

附录 D

(资料性附录)

放射治疗装置机房屏蔽墙及防护门的一般核算方法

D.1 放射治疗机房屏蔽墙的防护厚度核算

D.1.1 加速器放射治疗装置机房屏蔽墙对 X 射线的防护核算

根据瞬时剂量率控制水平要求,按十分之一值层厚度法(TVL)可估算出符合剂量率目标要求的主、副屏蔽墙的厚度。计算公式如下:

$$K = \frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_p r^2} \dots\dots\dots (D.1)$$

$$K = 10^{\frac{d_p}{TVL}} \dots\dots\dots (D.2)$$

由式(D.1)及式(D.2),并考虑斜入射可得式(D.3)

$$d_p = TVL \left[\log_{10} \left(\frac{\dot{H}_0}{\dot{H}_p r^2} \right) \right] \cos \theta_0 \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

K —考虑距离衰减因素后,将参考点剂量(率)降低到控制水平时的辐射剂量(率)衰减倍数;

\dot{H}_p —对参考点处要求的瞬时剂量率控制水平, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 —距靶 1m 处的有用线束或泄漏的辐射剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

r —参考点与靶点间的距离, m;

d_p —符合剂量率目标要求的主(副)屏蔽墙的厚度, m;

$\cos \theta_0$ —入射角 θ_0 的余弦;

TVL—对不同能量的宽束 X 射线,防护材料的十分之一值层厚度, m。

D.1.2 后装治疗机机房屏蔽墙对 X 射线的防护核算

后装机治疗状态下,放射源发出的 γ 射线穿过患者躯体后向周围散射。辐射防护屏蔽计算时,从偏安全的角度出发,忽略人体对射线的衰减作用,将放射源视为裸源进行防护计算。

后装机 γ 射线透过屏蔽墙体后到达墙外参考点,参考点处的吸收剂量率按下式计算:

$$D_0 = \frac{A \times \Gamma_k}{d^2} \times B \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

D_0 —参考点处的吸收剂量率, $\mu\text{Gy/h}$;

A —放射源活度, GBq;

Γ_k —比释动能率常数, $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h} \cdot \text{GBq}$;

d —参考点距放射源的距离, m;

B —辐射透射比。

D.1.3 γ 射线立体定向治疗系统放射治疗装置机房屏蔽墙对 X 射线的防护核算

γ 射线立体定向治疗系统治疗时,有用 γ 射线不能直接照射到屏蔽墙体上,而是通过治疗焦点处的人体散射后射向周围。 γ 射线立体定向治疗系统的辐射防护计算,要考虑散射辐射和泄漏辐射。

屏蔽墙体外参考点处泄漏辐射剂量率计算公式如下:

$$D_0 = \frac{D \times \eta}{d^2} \times B \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

- D_0 —墙外参考点处的吸收剂量率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$;
- D —焦点处的最大吸收剂量率, $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;
- η —设备表面相对于焦点处的标称漏射率;
- d —墙外参考点距设备泄漏参考点的距离, m ;
- B —相应墙体厚度的辐射透射比。

D.2 防护门屏蔽厚度的核算

D.2.1 采用迷路设计的加速器机房防护门的 X 射线防护核算

D.2.1.1 漏射线穿过迷路内墙

计算公式可参考式(D.3)。

D.2.1.2 漏射线的一次散射及主射束的两次散射

对于防护门则必须同时考虑散射辐射及泄漏辐射共同作用的影响。有关防护门外泄漏辐射剂量率的计算公式可参考式(D.3), 而多次散射辐射剂量率计算的通用公式则为:

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{H}_0}{R_0^2} \prod_{i=1}^n \frac{\cos \theta_{oi} \cdot \Delta S_i}{R_i^2} \cdot \alpha(E_{oi}, \theta_{oi}, \theta_i, \phi_i) \dots\dots\dots (D.6)$$

式中:

- \dot{H}_s —多次散射辐射剂量率, $\mu\text{Gy}/\text{h}$;
- \dot{H}_0 —距入射至 ΔS_1 的辐射源 1m 处的辐射输出量率, $\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;
- R_0 —辐射源至 ΔS_1 的距离, m ;
- θ_{oi} —第 i 次散射的入射角;
- θ_i —第 i 次散射的散射角;
- ΔS_i —第 i 次散射的散射面积, m^2 ;
- R_i —第 i 次散射的散射终点至 ΔS_i 的距离, m ;
- E_{oi} —第 i 次散射的入射辐射的能量;
- ϕ_i —第 i 次散射的散射方位角;
- $\alpha(E_{oi}, \theta_{oi}, \theta_i, \phi_i)$ —剂量微分反照率系数。

D.2.1.3 防护门处 X 散射辐射能量计算

计算公式可参考式(D.7)。

$$E_1 = \frac{E_0}{1 + 1.96 \cdot E_0 (1 - \cos \theta_s)} \dots\dots\dots (D.7)$$

式中:

- E_1 —散射辐射的能量, MeV ;
- E_0 —入射线的能量, MeV ;
- θ_s —散射方向与入射方向的夹角。

由公式(D.7)计算出防护门处 X 射线能量后, 可查表得到相应屏蔽材料的 TVT。

D.2.2 采用迷路设计的加速器机房防护门的中子辐射防护核算

D.2.2.1 泄漏中子穿透迷路内墙到达防护门处的剂量率计算

可采用公式:

$$H(r) = \frac{H_0}{r^{-1.2}} \dots\dots\dots (D.8)$$

式中:

- $H(r)$ —机房内考查点的中子当量剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;
- H_0 —距靶 1m 处的中子当量剂量率, $\mu\text{Sv}/\text{h}$;

r —考查点到靶点的距离, m;

根据公式(D. 8)计算出在无迷路内墙时到达防护门处的中子剂量率,再根据下述公式计算出穿透迷路内墙到达防护门处的中子剂量率:

$$H_{D,n1} = \frac{H(r)}{10^{(d_p/TVL)}} \dots\dots\dots (D. 9)$$

式中:

$H_{D,n1}$ —穿透迷路内墙直接到达防护门处的中子剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

$H(r)$ —公式(D. 8)计算出的在无迷路内墙时防护门处的中子剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

d_p —迷路内墙厚度, cm;

TVL —相应中子能量的混凝土十分之一层厚度, cm。

D. 2. 2. 2 经迷路散射到达防护门处的中子剂量率计算

可采用公式:

$$H_{D,n2} = \frac{H_0 \times \alpha \times A}{d_1^2 \times d_2^2} \dots\dots\dots (D. 10)$$

$$\alpha = \alpha(E_0) \times (\cos \theta_0)^{2/3} \times (\cos \theta) \dots\dots\dots (D. 11)$$

式中:

$H_{D,n2}$ —经迷路散射到达防护门处的中子剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

H_0 —距靶点 1 米处泄漏中子剂量率, $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$;

α —中子散射率;

A —散射墙面积, m^2 ;

d_1 —散射墙参考点距靶点的距离, m;

d_2 —散射墙参考点距防护门距离, m;

$\alpha(E_0)$ —加速器中子能谱范围内的混凝土中子散射率, 推荐值 0. 11;

θ_0 —入射角;

θ —散射角。

D. 2. 2. 3 加速器机房防护门处中子的平均能量计算

1) 原发中子能量

原发中子的平均能量与入射电子的动能和靶物质的反应阈能有关, 表 D. 1 列出了几种加速器的原发中子平均能量。

表 D. 1 原发中子平均能量(MeV)

加速器能量	靶物质	原发中子平均能量
10	钨	0. 65
15	钨	1. 8
25	钨	2. 2
25	铅	2. 3

2) 泄漏中子能量

根据半能层厚度(NCRP No. 79 给出了几种常见的机头屏蔽物质的半能层厚度)和原发中子的平均能量使用公式(D. 12)可以计算出泄漏中子能量。

$$E_L = \frac{E_0}{2^{d/HEL}} \dots\dots\dots (D. 12)$$

式中:

E_L —泄漏中子的平均能量, MeV;

E_0 —原发中子的平均能量, MeV;

d —加速器机头屏蔽物质厚度, cm;

HEL —屏蔽物质和原发中子平均能量所对应的半能层厚度, cm。

3) 加速器机房内混合中子场的平均能量计算

混合中子场平均能量计算公式(NCRP No. 79 推荐)为:

$$E = E_L \times \left(1 - \frac{4.1 \times 4\pi R^2}{S + 5.4 \times 4\pi R^2} \right) \dots\dots\dots (D. 13)$$

式中:

E —混合中子场平均能量, MeV;

E_L —泄漏中子的平均能量, MeV;

R —机房内测量点距靶点的距离, cm;

S —机房内表面积, cm^2 。

4) 防护门处的中子能量计算

机房内的散射中子平均能量约为泄漏中子的 0.24 倍(NCRP No. 79 推荐), 可以推测在防护门处的中子平均能量将更低, 采用迷路内口处的混合中子平均能量的 0.24 倍来估计防护门处的中子平均能量是偏安全的。

D. 2.3 采用迷路设计的加速器机房防护门的中子俘获 γ 辐射防护核算

一般认为防护门处的中子俘获 γ 辐射约为此处中子当量剂量率的 0.07~0.2 倍范围, 建议采用 0.1 倍进行屏蔽计算。

俘获 γ 辐射屏蔽的十分之一层厚度在文献上有不同的报道, 从安全角度考虑, 建议采用 10MeV 能量进行屏蔽计算。

附录 E
(资料性附录)

放射治疗装置机房主屏蔽墙宽度的一般核算方法

E.1 放射治疗装置机房主屏蔽墙宽度的核算

机房主屏蔽区范围应略大于有用束在机房屏蔽墙(或顶)的投影区,可依下式确定:

$$Y_p = 2[r(a + SAD)/SAD + 0.3] \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

- Y_p —机房有用束主屏蔽区的宽度,m;
- SAD —源轴距,m;
- r —放射治疗装置等中心位置处最大方形照射野对角线长度的1/2,m;
- a —等中心点至主屏蔽墙外表面的距离,m。

附录 F
(资料性附录)

机房屏蔽设施防护效果监测时应采用的照射方式

F.1 机房屏蔽设施防护效果监测时应采用的照射方式见表 F.1。

表 F.1 机房屏蔽设施防护效果监测时应采用的照射方式

放射治疗装置	机房屏蔽设施	评价因子	放射治疗装置应采用的照射方式
深部治疗 X 射线机	屏蔽墙 防护门	X 射线	放射治疗使用的最高 kV、最高 mA； 治疗位置处最大照射野； 治疗位置处置水模体； 有用射束垂直向下照射。
后装治疗机	屏蔽墙	γ 射线	放射源活度最大； 放射源位于可能到达测试屏蔽墙的最近位置处； 治疗位置处无模体。
	防护门	γ 射线	放射源活度最大； 放射源位于可能到达防护门的最近位置处； 治疗位置处无模体。
医用 γ 射线远距离治疗机	屏蔽墙	γ 射线	放射源活度最大； 有用射束朝向测试屏蔽墙外测量位置处； 等中心最大照射野； 治疗位置处无模体。
	防护门	γ 射线	放射源活度最大； 有用射束 0°、90°、180°、270° 四种朝向分别测试； 等中心最大照射野； 治疗位置处置水模体。
γ 射线立体定向治疗系统	屏蔽墙 防护门	γ 射线	焦点剂量率最大； 焦点处最大照射野； 治疗位置处置头模或体模。
最高能量 < 10MeV 加速器	屏蔽墙	X 射线	等中心常用最高剂量率； 有用射束朝向测试屏蔽墙外测量位置处； 等中心最大照射野； 治疗位置处无模体。
	防护门	X 射线	等中心常用最高剂量率； 有用射束 0°、90°、180°、270° 四种朝向分别测试； 等中心最大照射野； 治疗位置处置水模体。
最高能量 ≥ 10MeV 加速器	屏蔽墙	X 射线 电子线(电子线韧致辐射)	各能量挡或常用最高能量挡 X 射线、电子线； 等中心常用最高剂量率； 有用射束朝向测试屏蔽墙外测量位置处； 等中心最大照射野； 治疗位置处无模体。

续表

放射治疗装置	机房屏蔽设施	评价因子	放射治疗装置应采用的照射方式
最高能量 $\geq 10\text{MeV}$ 加速器	防护门	X 射线	各能量档或常用最高能量挡 X 射线； 等中心常用最高 X 射线剂量率； 有用射束 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四种朝向分别测试； 等中心最大照射野； 治疗位置处置水模体。
		中子 中子俘获 γ 射线	能量 $\geq 10\text{MeV}$ 的各挡或常用最高能量挡 X 射线； 等中心常用最高 X 射线剂量率； 有用射束 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四种朝向分别测试； 等中心 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 照射野； 治疗位置处置水模体。