



中华人民共和国国家标准

GB/T 30371—2013

无损检测用电子直线加速器工程通用规范

Standard of electron linear accelerator engineering for non-destructive testing

2013-12-31 发布

2015-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工程的组成	2
5 加速器装置	3
6 运动机械及工装装置	5
7 工程装置的其他要求	6
8 射线无损检测建筑物工程	7
9 安装	10
10 检验条件及方法	11
11 工程验收	13
附录 A (规范性附录) 个人剂量限值与不同组织或器官的有效剂量	14
附录 B (规范性附录) 个人微波、高频电磁场与有害气体职业接触限值	16
附录 C (资料性附录) 屏蔽计算方法	17
附录 D (规范性附录) 测量方法	20

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国核工业集团公司提出。

本标准由全国核能标准化技术委员会(SAC/TC 58)归口。

本标准起草单位:北京机械工业自动化研究所、兖矿集团东华建设有限公司、中国原子能科学研究院、山东高阳建设有限公司、清华大学、五洲工程设计研究院、中国联合工程公司、江西起重机械总厂、山东起凤建工股份有限公司、中国第二重型机械集团公司、中国同位素与辐射行业协会辐射加工专业委员会、核工业标准化研究所。

本标准主要起草人:郭彦斌、张入通、孟祥宇、张亚峰、孙裕国、靳清秀、王淑贤、王春光、赵红兵、刘晓生、田绪峰、孔凡涛、赵晓辉、刘建辉、路尚修、王庆林、陈勇、连哲莉。

无损检测用电子直线加速器工程通用规范

1 范围

本标准规定了无损检测用电子直线加速器工程建设中加速器装置的技术要求、运动机械及工装装置的技术要求、射线无损检测建筑物工程设计要求、施工及质量监督以及工程安装、检验和验收等内容。

本标准适用于能量为 15 MeV 以下的无损检测用电子直线加速器工程,包括胶片 X 射线照相、计算机 X 射线成像(CR)、数字 X 射线实时成像、数字 X 射线照相(DR)及工业计算机 X 射线层析扫描(CT)等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 2894 安全标志及其使用导则

GB 3095 环境空气质量标准

GB/T 3811 起重机设计规范

GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 20129—2006 无损检测用电子直线加速器

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50223—2009 建筑工程抗震设防分类标准

GB 50278 起重设备安装工程施工及验收规范

GBZ 1—2010 工业企业设计卫生标准

GBZ 2.1—2007 工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分:化学有害因素

GBZ 2.2—2007 工作场所有害因素职业接触限值 第 2 部分:物理因素

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电子直线加速器工程 **electron linear accelerator engineering**

电子直线加速器工程由电子直线加速器装置、运动机械及工装装置、射线无损检测建筑物等组成。

3.2

电子直线加速器装置 **electron linear accelerator facility**

利用高频电场加速沿直线轨道运动的电子并打靶产生 X 射线的装置。

3.3

运动机械及工装装置 **motion machine and tooling equipment**

使 X 射线机头、工件和(或)探测器等运动所需的机械设备。

3.4

X 射线无损检测建筑物工程 **building engineering for X-ray non-destructive testing**

为实施 X 射线无损检测所需构筑物的建设工程。

3.5

X 射线束能量 X-ray beam energy

X 射线束连续能谱的最大能量。

3.6

准直器 collimator

由吸收材料制成的用于限定 X 射线束方向和角度的部件。

3.7

半值层 half-value layer (HVL)

入射 X 射线束辐射强度衰减到原强度一半时所需材料的厚度。

3.8

X 射线束焦点尺寸 X-ray beam focus spot size

加速后的电子束打在靶上所形成斑点直径的大小。

3.9

X 射线束均匀度 X-ray beam flatness

在距靶 1 m 与 X 射线束中心轴线垂直的平面上,与中心轴线夹角一定时,圆周上任一点的剂量率与中心轴线上剂量率的百分比。

3.10

X 射线束不对称度 X-ray beam asymmetry

在距靶 1 m 与 X 射线束中心轴线垂直的平面上,与中心轴线夹角一定时,圆周上任意两对称点的剂量率与相对于中心轴线上剂量率的百分比之差。

4 工程的组成

4.1 电子直线加速器装置

电子直线加速器装置通常由下列部分组成:

- a) X 射线机头;
- b) 调制器系统;
- c) 冷却系统;
- d) 控制系统;
- e) 配套水管、电缆等。

4.2 运动机械及工装装置

辐射屏蔽室内 X 射线机头和工件等运动所需的装置通常有:

- a) 使 X 射线机头运动的起重机械;
- b) 使 X 射线机头运动的承载车;
- c) 使工件运动的机构;
- d) 使成像探测器运动的机构;
- e) 装载工件的起重机械等。

4.3 射线无损检测建筑物工程

射线无损检测建筑物工程主要由下列部分组成:

- a) 辐射屏蔽室;
- b) 屏蔽门;

- c) 迷道；
- d) 调制器、冷却系统设备室；
- e) 控制室；
- f) 洗片、观片室；
- g) 变配电、暖通设备室；
- h) 其他公用设施、配套设施室。

5 加速器装置

5.1 总要求

- 5.1.1 加速器装置的 X 射线束能量、剂量率、准直器形状与尺寸、泄漏剂量等参数依用户合同要求设计制造。
- 5.1.2 根据具体要求,加速器装置借助运动机械及工装装置应能实现对工件的无损检测。
- 5.1.3 X 射线机头中的零部件材料,应符合对感生放射性的限制要求。
- 5.1.4 加速器装置的稳定性、可靠性应能满足使用要求。
- 5.1.5 应提供完整的技术文件资料。

5.2 控制系统要求

- 5.2.1 控制系统设计应遵循确保人身、设备、剂量安全的原则。
- 5.2.2 开机和停机操作应在控制台上进行,同时要有紧急停机装置。
- 5.2.3 控制按钮应采用安全电压。
- 5.2.4 控制系统应具备如下功能：
 - a) 正常开机和停机；
 - b) 出束前声光报警；
 - c) 设备状态及故障显示、报警及自动停机；
 - d) 显示装置的主要参数；
 - e) 安全连锁；
 - f) 紧急停机。

5.3 技术参数

5.3.1 X 射线束能量

常用的 X 射线束能量与对应吸收材料的半值层厚度有确定关系,见表 1。

表 1 常用的 X 射线束能量对应吸收材料的半值层厚度(HVL \pm 0.5)

X 射线束能量 MeV	钢(密度为 7.85 g/cm ³) mm	推进剂(密度为 1.78 g/cm ³) mm
1	16	61
2	20	84
4	25	116
6	28	138

表 1 (续)

X 射线束能量 MeV	钢(密度为 7.85 g/cm ³) mm	推进剂(密度为 1.78 g/cm ³) mm
9	31	160
12	32	178
15	33	188

5.3.2 检测厚度范围

常用的 X 射线束能量在满足照相灵敏度为 1% 时, 对应的等效钢检测厚度范围见表 2。

表 2 常用 X 射线束能量对应的等效钢检测厚度范围

X 射线束能量 MeV	等效钢厚度范围 mm
1	36~150
2	40~200
4	50~250
6	50~280
9	76~380
12	100~420
15	100~460

5.3.3 X 射线束空气吸收剂量率

在 X 射线束中心轴线上距靶 1 m 处, X 射线束空气吸收剂量率最大值应达到表 3 中的数值(不同用途时可变化)。

表 3 常用 X 射线束能量对应的 X 射线空气吸收剂量率

X 射线束能量 MeV	X 射线空气吸收剂量率 Gy/min
1	0.2
2	2.0
4	5.0
6	10.0
9	30.0
12	50.0
15	120.0

5.3.4 X 射线束焦点尺寸

能量不大于 9 MeV 时,焦点直径小于或等于 2.0 mm;能量在大于 9 MeV 时,焦点直径小于或等于 3.0 mm。

5.3.5 X 射线束均匀度

在 X 射线束中心轴线上距靶 1 m 远任意一侧夹角处, X 射线束均匀度不小于一定数值,常用数值见表 4。

表 4 常用 X 射线束能量对应的 X 射线均匀度和不对称度

X 射线束能量 MeV	与中心轴线夹角 A (°)	X 射线束均匀度 %	X 射线束不对称度 %
1	7.5	80	±5
2	7.5	78	
4	7.5	75	
6	7.5	62	
9	6.0	55	
12	6.0	50	
15	6.0	45	

5.3.6 X 射线束不对称度

在 X 射线束中心轴线上距靶 1 m 远任意一侧夹角 A° 处, X 射线束不对称度不大于表 4 中的 X 射线束不对称度数值。

5.3.7 辐射泄漏

5.3.7.1 泄漏剂量

在 X 射线束前向准直器 $\pm 1/2$ 准直器锥角到 $\pm 180^\circ$ 的范围内,距靶 1 m 处泄漏剂量率与 X 射线束中心轴线上剂量率的百分比应小于 0.1%。

5.3.7.2 中子剂量

加速器 X 射线束能量大于或等于 10 MeV 时,在 X 射线束前向准直器 $\pm 1/2$ 准直器锥角到 $\pm 180^\circ$ 范围内,距靶 1 m 处中子辐射剂量率应小于 0.1%(中心轴线上 X 射线束剂量率);其他任何方向距靶 1 m 处中子辐射剂量率应小于 0.01%。

6 运动机械及工装装置

6.1 总则

6.1.1 运动机械选用起重机时,要根据起重机使用等级和载荷状态,确定起重机整机的工作级别及其机构的工作级别。

6.1.2 悬吊运动机构应按技术要求设计制造。

6.1.3 用于 X 射线机头或工件运动的承载车的设计制造应满足工程特有的技术要求。

6.1.4 成像探测器机械运动机构应按技术要求设计制造。

6.1.5 本标准未提及的其他部分,应遵循相关标准设计制造。

6.1.6 应提供完整的技术文件资料。

6.2 控制系统要求

6.2.1 控制系统设计应遵循确保人身、设备安全的原则。

6.2.2 运动装置及工装装置的开机和停机操作部分应避免 X 射线直射,同时要有紧急停机装置。

6.2.3 多处控制时,各控制点应互锁,确保控制点唯一有效。

6.2.4 运动装置的最大运行速度应控制在额定值以下。

6.2.5 控制按钮应采用安全电压。

6.3 具体要求

6.3.1 根据起重机的工作级别,按照 GB/T 3811 进行设计制造。

6.3.2 选用其他运动机械及工装装置时应遵循运行平稳、安全可靠、定位准确的原则设计制造。

6.3.3 X 射线机头旋转机构应保证 X 射线机头与辐射屏蔽室主射束方向夹角限制在不大于 $\pm 90^\circ$ 的范围内;辐射屏蔽室无主射束方向限制的除外。

6.3.4 X 射线机头升降机构应有上下限位及钢丝绳防脱槽装置。

6.3.5 运动装置应在每个运行方向设行程限位器、缓冲器或端部止挡机构。

7 工程装置的其他要求

7.1 辐射屏蔽室环境条件

7.1.1 环境温度: $5^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$ 。

7.1.2 相对湿度: $\leq 90\%$ 。

7.2 供电

7.2.1 电压:交流三相五线制 $380\text{ V}\pm 19\text{ V}$ 。

7.2.2 频率:50 Hz。

7.2.3 供电功率:由技术文件给出。

7.3 电气安全

7.3.1 装置应设有保护接地,其设备金属表面与接地端子间的电阻不应大于 $0.1\ \Omega$ 。

7.3.2 在试验电压 2 000 V,试验持续时间大于或等于 1 min 的条件下,检测装置中各独立的供电设备的相线、零线对地及设备金属外壳之间的绝缘电阻均不应小于 $1\ \text{M}\Omega$ 。

7.4 结构与外观

7.4.1 装置的结构设计应符合工程应用的要求,便于操作和维护。

7.4.2 运动部件运行应自由灵活,无杂声,机械安装接口连接牢固。

7.4.3 运动装置、电源主滑触线等应涂刷安全色。

7.4.4 装置表面应平整光洁、色泽均匀,无明显机械损伤。

7.5 标志

7.5.1 装置标牌

各装置应设置永久性标志或标牌,其内容包括:

- a) 制造商名称;
- b) 装置名称;
- c) 装置型号;
- d) 出厂编号及出厂日期;
- e) 产品序列号。

7.5.2 部件铭牌

主要部件应设置具有以下标志的铭牌:

- a) 部件名称;
- b) 制造商名称;
- c) 编号及日期。

7.5.3 表盘铭牌

实体或虚拟显示仪表、操作开关、按钮、指示灯等应有说明其显示或操作对象内容的文字或图形标牌,名字过长时可用缩略语,并在说明书中列出缩略语的定义或解释。

7.5.4 警示标志

使用警示标志及说明标志应符合 GB 2894 的规定。

7.6 技术文件

各装置的技术文件包括但不限于以下项:

- a) 说明书;
- b) 操作手册;
- c) 维修手册;
- d) 出厂合格证等。

8 射线无损检测建筑物工程

8.1 工程设计

8.1.1 设计单位及其人员资格

8.1.1.1 设计单位应持有相应的设计资质。

8.1.1.2 承担设计的负责人应具有相应的设计资质。

8.1.1.3 承担设计的负责人应组织有资格的设计人员完成对应专业的设计工作。

8.1.2 设计依据

8.1.2.1 应根据业主的委托书并依据无损检测工程可行性报告、环境影响评价文件、安全评价文件、职业卫生评价文件、水文地质勘查资料及有关监管部门厂址审批文件等进行设计。

8.1.2.2 辐射防护安全设计应按 GB 18871—2002 中 4.3、6.4 的规定进行设计。

8.1.2.3 应按照纵深防御、冗余性、多元性、独立性的原则进行设计。

8.1.2.4 设计应满足国家劳动保护相关规定的要求以及各种工况下设备运行安全的要求。

8.1.2.5 在加速器 X 射线束能量大于或等于 10 MeV 时,辐射屏蔽设计应考虑中子辐射。

8.1.3 辐射防护安全要求

8.1.3.1 辐射屏蔽材料采用混凝土时,其强度等级应不低于 C25,密度不应低于 2 350 kg/m³。

8.1.3.2 辐射屏蔽室的结构及预埋件、穿越防护墙线缆及管道应满足所有设备安装、运行、检修和维修的要求,且不能影响辐射防护效果。

8.1.3.3 辐射屏蔽室外围的辐射剂量水平应符合 GB 18871—2002 的职业照射剂量限值要求(见附录 A);在工程设计时辐射防护设计的剂量规定为:职业照射个人年有效剂量限值为 5 mSv;公众成员个人年有效剂量限值为 0.1 mSv。

8.1.3.4 屏蔽门与墙体搭接合理,间隙与搭接比值不小于 1/10。

8.1.3.5 辐射屏蔽室应设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和视频监控、紧急停机开关等装置;装备多个射线源装置时,应能联锁切换。

8.1.3.6 辐射屏蔽室迷道入口处应设置显示加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志。

8.1.3.7 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备。

8.1.3.8 其他物理因素安全要求见附录 B。

8.1.3.9 辐射屏蔽室屏蔽计算方法参见附录 C。

8.1.4 工程安全要求

8.1.4.1 环境卫生要求

8.1.4.1.1 工程建设选址应符合 GBZ 1—2010 中 5.1 的要求。

8.1.4.1.2 总体布局应符合 GBZ 1—2010 中 5.2 的要求,并满足工程装置的运行工况、物流、辅助生产和管理的最优化要求。

8.1.4.1.3 各功能设施的卫生设计应符合 GBZ 1—2010 中第 6 章的工作场所基本卫生要求。

8.1.4.1.4 应满足设备运行工况的要求。

8.1.4.1.5 辅助设施的基本卫生要求应符合 GBZ 1—2010 中 7.1、7.2 和 7.3 的要求。

8.1.4.1.6 应满足环保部门对环境保护的相关要求。

8.1.4.2 供电要求

8.1.4.2.1 供电按无损检测所需设备、装置等提出的供电条件设计。

8.1.4.2.2 提供的三相五线制交流电源应达到工程装置的技术要求。

8.1.4.2.3 调制器室设置独立的接地装置,接地电阻应小于 4 Ω。

8.1.4.3 通风要求

8.1.4.3.1 辐射屏蔽室应根据 GBZ 2.1—2007 规定的工作场所的臭氧和氮氧化物等有害气体接触限值(见附录 B.3),结合加速器装置最大能量、最大剂量输出工况进行通风设计。

8.1.4.3.2 排风口的高度应根据 GB 3095 的规定,按照气体排出量和附近环境与气象资料计算确定。

8.1.4.3.3 冷却设备室应设计有与室外自然热交换的通道。

8.1.4.4 防火要求

8.1.4.4.1 厂房防火设计应按照 GB 50016 进行。

8.1.4.4.2 厂房耐火等级应不低于二级,并设置火灾报警、火情停机装置以及有效的灭火器材。

8.1.4.5 抗震要求

抗震设防应符合 GB 50223—2009 的要求,按丙类建筑设计抗震设防,抗震烈度符合国家和所在地区设防区划的要求。

8.1.4.6 其他要求

本标准未明确规定的工程设计,执行国家相关标准。

8.1.5 设计文件

8.1.5.1 文件内容

设计单位应按设计阶段向业主提交工程设计文件:

- a) 方案或初步设计阶段提供:
 - 1) 方案或初步设计说明及附图;
 - 2) 主要设备清单及设备主要性能参数。
- b) 施工图设计阶段提供:
 - 1) 总平面及运输设计施工图及设计说明;
 - 2) 辐射防护安全等设计说明书及施工图纸;
 - 3) 设备选型及配置说明书、汇总表;
 - 4) 建筑、结构图纸及设计说明;
 - 5) 电气图纸及设计说明;
 - 6) 暖通、给排水系统图纸及设计说明;
 - 7) 其他应提供的图纸及设计说明。

8.1.5.2 文件更改

8.1.5.2.1 设计文件提供后,一般不应更改。当必须更改时,原设计单位应提出设计更改通知单或更改后的图纸。

8.1.5.2.2 业主及业主委托的单位提出更改要求时,应经原设计单位同意;通过协商,由指定单位提出工作联系单,由原设计单位签署。

8.1.5.2.3 设计更改通知单应与原有图纸资料一起存档。

8.2 工程施工及质量监督

8.2.1 施工单位资格

8.2.1.1 施工单位应具有国家颁发的二级以上施工资质证书。

8.2.1.2 施工单位应组建项目部,项目部经理应具有一级建造师资格,技术负责人应具有同类工程施工经验。

8.2.1.3 项目部各专业技术人员、专业施工队伍配置齐全。

8.2.2 施工要求

8.2.2.1 施工单位应严格按设计单位提供的施工图施工;有关更改应有设计单位提供的设计更改通知单;施工单位不应擅自更改图纸。

8.2.2.2 施工前应编制施工组织设计;重要分部、分项工程应编制施工方案,施工方案经监理单位批准

后实施。

8.2.2.3 施工单位应建立健全质量管理体系,制定工程施工质量管理实施细则。

8.2.2.4 辐射屏蔽室浇筑混凝土前,应经过相关专业人员现场检验,并经监理人员书面认可后,方可浇筑;辐射屏蔽室结构不宜有施工缝;无法避免时,应按经过设计人员和监理人员认可的方案完成施工。

8.2.2.5 设备基础和重要预埋件的位置坐标,施工所选用的支护方法,应保证精度需求;浇筑前应获得设备供应商和监理单位的认可。

8.2.2.6 所有分部、分项工程的施工,本标准未提及的按相应的工程建设标准执行。

8.2.3 质量监督

8.2.3.1 无损检测建筑物工程按规定进行质量监督并备案。

8.2.3.2 建设单位应聘请监理单位进行现场质量监督和检查,做好记录,保存、备案。

8.2.3.3 施工单位质检员按规定配合监督,做好记录,保存、备案。

8.2.3.4 各分项、分部、单位工程及时进行质量检查验收。

9 安装

9.1 安装单位

9.1.1 加速器装置、运动机械及工装装置应由其供应商安装,或由供应商派员指导具有安装资质的专业安装公司安装。

9.1.2 加速器装置的配套工程、公用工程设备应由具有相应资质的安装公司安装。

9.2 总体安装要求

9.2.1 应严格按照设计单位提供的施工图安装,有关更改应由设计单位提供设计更改通知单。安装单位不应擅自更改图纸。

9.2.2 工程的各项安装应具备安装条件时方可安装,其中起重机类运动机械装置要取得监管部门签发的安装许可。

9.2.3 设备安装前应逐一检查相关的基础件和预埋件,对于不符合设备要求的工作面或工作点,按设计单位、设备供应商和监理单位认可的修改意见施工。

9.3 加速器装置安装

9.3.1 加速器装置各部件的安装精度和固定状态应符合相关技术文件的要求。

9.3.2 控制系统安装、接线及线缆编号应按照工程设计的技术要求进行。

9.3.3 随装置运动的悬挂线缆、水管应使用线缆拖链。

9.4 运动机械及工装装置安装

9.4.1 起重机类运动机械装置的安装应按照 GB 50278 的要求进行。

9.4.2 按设计要求检查核对整件、部件、零件的数量、规格、尺寸、材质。

9.4.3 对轨道跨度、高低差、轨道平直度等应进行检测。

9.4.4 按施工图和安装文件完成安装,其安装位置、调整范围等全部功能应达到装置技术要求。

9.4.5 控制系统的安装、接线及线缆编号应按照工程设计的技术要求进行。

9.4.6 工装装置所用随动线缆应缠绕在线缆卷筒上或使用线缆拖链。

9.5 辐射安全系统安装

9.5.1 屏蔽门间隙、搭接应符合设计要求,运动平顺,速度符合设计要求。

9.5.2 所有控制回路安装应无差错;线缆线号准确、接线无误。

9.5.3 辐射监测设备应按照仪表专业相关标准安装。

9.6 公用、配套设施系统安装

电气、给排水、暖通等公用、配套设施,按照工程建设相应安装标准安装。

10 检验条件及方法

10.1 检验条件

检验前,应具备的条件如下:

- a) 辐射屏蔽室区域具备封闭条件;
- b) 辐射安全系统联锁安装调试完成;
- c) 相关的控制系统安装调试完成;
- d) 公用、配套设施具备投运条件;
- e) 满足环境条件及供电、给水、通风等条件;
- f) 加速器装置、运动装置等安装调试完成。

10.2 检验规则

10.2.1 加速器工程设备检验应由业主、供应商和安装单位编制相应的检验大纲。

10.2.2 出厂检验是设备的初步验收,根据技术约定的检验项目,按检验大纲逐项进行;检验合格后形成初验收文件,双方签字;交钥匙工程视具体情况,可不做出厂检验。

10.2.3 现场检验是在业主现场将装置安装调试完成后的交接验收。根据约定的检验项目,按检验大纲逐项进行。检验合格后形成终验收文件,双方签字后,办理移交手续。

10.2.4 加速器装置性能指标应在标称能量条件下进行检验。

10.2.5 运动及工装装置性能指标应在标称速度下进行检验。

10.3 检验方法

10.3.1 外观检验

用目测法检查装置的外观,其结果应符合 7.4 的要求。

10.3.2 性能检验

10.3.2.1 各运动机械运行平稳,运动方向正确,位置无误,限位可靠,符合 6.1、6.3 的要求或满足具体技术指标要求;选用起重机时,按照 GB 50278 的规定检验。

10.3.2.2 各工装装置运行平稳,运动方向正确,位置无误,定位准确,限位可靠,符合 6.1、6.3 的要求或满足具体技术指标要求。

10.3.3 加速器装置检验

10.3.3.1 X 射线束能量

常用的 X 射线束能量与对应材料的半值层数值有确定关系,测量方法见附录 D 中的 D.1,其结果应

符合表 1 的要求。

10.3.3.2 检测厚度范围

X 射线束能量和剂量、所用胶片类型、焦距、胶片黑度、增感屏、散射消除等均满足射线照相工艺条件时(具体使用条件经协商同意),其结果应符合表 2 的要求。

10.3.3.3 X 射线束空气吸收剂量率

X 射线束空气吸收剂量率测量方法见附录 D 中的 D.2,其结果应符合表 3 要求。

10.3.3.4 X 射线束焦点

X 射线束焦点测量方法见附录 D 中的 D.3,其结果应符合 5.3.4 的要求。

10.3.3.5 X 射线束均匀度

X 射线束均匀度测量方法见附录 D 中的 D.4,其结果应符合表 4 的要求。

10.3.3.6 X 射线束不对称度

X 射线束不对称度测量方法见附录 D 中的 D.5,其结果应符合表 4 的要求。

10.3.3.7 泄露剂量

泄露剂量测量方法见附录 D 中的 D.6,其最大结果应符合 5.3.7.1 的要求。

10.3.3.8 中子剂量

中子剂量测量方法见附录 D 中的 D.7,结果应符合 5.3.7.2 的要求。

10.3.4 辐射安全检验

10.3.4.1 屏蔽门等屏蔽设施安装和运动符合设计要求。

10.3.4.2 剂量监测设备齐备、完善,符合设计要求,工作正常,剂量仪器读数准确。

10.3.4.3 在加速器装置最大剂量条件下运行,监测辐射屏蔽室外的辐射剂量水平,结果应符合 8.1.3.3 的要求。

10.3.4.4 剂量警示和报警装置符合设计要求,工作正常。

10.3.5 电气安全检验

10.3.5.1 设备保护接地

用接地电阻测试仪,使用 25 A 的测试电流,测量电气设备外壳与接地端子间的电阻,结果应符合 7.3.1 的要求。

10.3.5.2 绝缘电阻

在 7.3.2 的试验条件下,用 2 000 V 绝缘电阻表,检测装置中各独立的供电设备的相线、零线对地及设备金属外壳之间的绝缘电阻,结果应符合要求。

10.3.6 控制系统检验

10.3.6.1 在加速器装置运行过程中,观察控制系统联锁保护、仪表、接口、通讯、信号参数、状态及故障

显示等工作是否正常。检验结果应符合 5.2 的要求。

10.3.6.2 在加速器装置运行过程中,选择主要联锁保护系统,模拟输入保护信号,观察显示、报警和保护动作是否正常。

10.3.6.3 运动机械及工装装置的控制系统的检验结果应符合 6.2 的要求。

10.3.7 工程安全检验

10.3.7.1 环境卫生检验按国家相关规定进行,并符合 8.1.4.1 的要求。

10.3.7.2 供电设备运行正常,检验应符合 8.1.4.2 的要求。

10.3.7.3 通风设备按相应检验大纲开机检验,检测结果应达到技术要求的标称值,变化和调节范围均达到 8.1.4.3 的要求。

10.3.7.4 本标准未明确规定的其他设备的检验,均按国家相关标准执行。

11 工程验收

11.1 验收程序

11.1.1 由业主组织设计单位、施工单位、监理单位、加速器装置和运动机械及工装装置供应商等依据约定的相关技术文件进行验收。

11.1.2 由相关单位组织审查文件,实地分项检查并通过工程验收报告。

11.1.3 工程备案。

11.2 验收项目

验收项目包括但不限于如下部分:

- a) 建筑工程;
- b) 安装工程;
- c) 辐射安全检验;
- d) 配套及公用工程设备、装置等检验。

11.3 验收文件

验收文件包括但不限于如下部分:

- a) 工程项目立项文件;
- b) 设计任务书;
- c) 设计图纸文件;
- d) 竣工报告;
- e) 检验报告;
- f) 设备、装置说明书;
- g) 职业卫生控制效果评价报告或环保检验报告;
- h) 工程验收报告。

附录 A
(规范性附录)

个人剂量限值与不同组织或器官的有效剂量

A.1 个人剂量限值

A.1.1 职业照射个人剂量

根据 GB 18871—2002,职业照射个人剂量应不超过以下限值:

- 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),20 mSv;
- b) 任何 1 年中的有效剂量,50 mSv;
- c) 眼晶体的年当量剂量,150 mSv;
- d) 四肢(手和足)或皮肤年当量剂量,500 mSv。

A.1.2 公众照射个人剂量

根据 GB 18871—2002,公众照射个人剂量应不超过以下限值:

- a) 年有效剂量,1 mSv;
- b) 特殊情况下,如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1 mSv,则某单一年份的有效剂量可提高到 5 mSv;
- c) 眼晶体的年当量剂量,15 mSv;
- d) 皮肤年当量剂量,50 mSv。

A.2 不同组织或器官的有效剂量

由于人体不同组织或器官对电离辐射随机性效应有不同的敏感性,为辐射防护目的,人体组织或器官的有效剂量为相应组织或器官的权重因数乘以相应的当量剂量,见式(A.1)。

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad \dots\dots\dots(A.1)$$

式中:

E ——为人体组织或器官的有效剂量,单位为希伏(Sv);

w_T ——组织或器官 T 的权重因数;

H_T ——组织或器官 T 所受的当量剂量,单位为希伏(Sv)。

根据 GB 18871—2002,不同组织或器官的权重因数见表 A.1。

表 A.1 不同组织或器官的权重因数表

组织或器官	组织权重因数 w_T	组织或器官	组织权重因数 w_T
性腺	0.20	肝	0.05
(红)骨髓	0.12	食道	0.05
结肠	0.12	甲状腺	0.05
肺	0.12	皮肤	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01

表 A.1 (续)

组织或器官	组织权重因数 w_T	组织或器官	组织权重因数 w_T
膀胱	0.05	其余组织或器官	0.05
乳腺	0.05	—	—

附 录 B

(规范性附录)

个人微波、高频电磁场与有害气体职业接触限值

B.1 工作场所微波职业接触限值

按照 GBZ 2.2—2007,工作场所微波职业接触限值见表 B.1。

表 B.1 工作场所微波职业接触限值

类 型		日剂量 $\mu\text{W} \cdot \text{h}/\text{cm}^2$	8 h 平均功率密度 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	非 8 h 平均功率密度 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	短时间接触功率密度 mW/cm^2
全身辐射	连续微波	400	50	$400/t$	5
	脉冲微波	200	25	$200/t$	5
肢体局部 辐射	连续微波或 脉冲微波	4 000	500	$4 000/t$	5

注： t 为受辐射时间，单位为小时(h)。

B.2 高频电磁场职业接触限值

按照 GBZ 2.2—2007,高频电磁场职业接触限值见表 B.2。

表 B.2 高频电磁场职业接触限值

频率 f MHz	电场强度 V/m	磁场强度 A/m
$0.1 \leq f \leq 3.0$	50	5
$3.0 < f \leq 30$	25	—

B.3 有害气体职业接触限值

按照 GBZ 2.1—2007,有害气体职业接触限值如下：

- a) 臭氧,最高容许浓度:0.3 mg/m^3 ;
- b) 二氧化氮,时间加权平均容许浓度 5 mg/m^3 ;短时间接触容许浓度 10 mg/m^3 。

附录 C
(资料性附录)
屏蔽计算方法

C.1 一次 X 射线屏蔽层的厚度计算

C.1.1 一次 X 射线的透射率计算

$$B_x \leq (1.67 \times 10^{-3}) \frac{H_M \cdot d^2}{D_0 \cdot T} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

B_x —— X 射线在混凝土中的屏蔽透射率;

H_M —— 剂量当量限值,单位为微希伏每小时($\mu\text{Sv/h}$);

d —— X 射线源到参考剂量点间的距离,单位为米(m);

D_0 —— 离靶 1 m 处 X 射线的空气吸收剂量率,单位为微戈瑞每小时($\mu\text{Gy/h}$);

T —— 居留因子。

C.1.2 十值层个数计算

$$n = \lg\left(\frac{1}{B_x}\right) \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

n —— 十值层的个数。

C.1.3 屏蔽层的厚度计算

从图 C.1 给出的曲线中,获得相应十值层 T_1 和 T_e 后,利用式(C.3),计算出混凝土屏蔽层的厚度。

$$S = T_1 + (n - 1)T_e \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

S —— 混凝土屏蔽层厚度,单位为厘米(cm);

T_1 —— 第一个十值层厚度,单位为厘米(cm);

T_e —— 第一个十值层之后的十值层厚度,也称平衡十值层,单位为厘米(cm)。

C.2 迷道散射 X 射线计算

$$H_m = H_0 \cdot \frac{(a_1 \cdot A_1)(a_2 \cdot A_2) \cdots (a_n \cdot A_n)}{(d_1 \cdot d_2 \cdots d_n)^2} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

H_m —— X 射线在参考剂量点处的吸收剂量率,单位为微希伏每小时($\mu\text{Sv/h}$);

H_0 —— 第一次散射面上的吸收剂量率,单位为微希伏每小时($\mu\text{Sv/h}$);

a_1 —— X 射线第一次散射系数;

a_2 和 a_n —— 分别为 X 射线第二次散射系数和第 n 次散射系数($n > 2$);

A_1 —— 第一次散射的散射面积,单位为平方米(m^2);

A_n —— 迷道的截面积,单位为平方米(m^2);

d_1 —— X 射线第一次散射距离,单位为米(m);

d_2 和 d_n —— 分别为 X 射线第二次散射距离和第 n 次散射的距离($n > 2$),单位为米(m)。

C.3 天空散射计算

天空散射导致的剂量可用式(C.5)计算。

$$D_s = \frac{(2.5 \times 10^{-2} D_0 \Omega^{1.3})}{d_s^2 d_i^2} \times 10^{-[(T_e - T_1)/(T_e - 1)]} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

D_s —— 计算的天空散射吸收剂量率,单位为微希伏每小时($\mu\text{Sv/h}$);

Ω —— X 射线源到屋顶的立体角,以球面度为单位;

d_s —— 源到参考剂量点的最小水平距离,单位为米(m);

d_i —— 源到距屋顶外表面 2 m 高处的垂直距离,单位为米(m);

T_e —— 屋顶的厚度,单位为米(m)。

C.4 中子的屏蔽计算

C.4.1 中子透射率计算

$$B_n \leq (2.8 \times 10^{-7}) \frac{H_M \cdot d^2}{\phi_0 \cdot T} \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

B_n —— 中子在混凝土中的屏蔽透射率;

ϕ_0 —— 距靶 1 m 处的中子注量率,单位为平方米每平方厘米每秒($\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

C.4.2 中子的十值层个数计算

$$n_n = \lg\left(\frac{1}{B_n}\right) \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

n_n —— 减弱中子所需的十值层的个数。

C.4.3 中子的屏蔽厚度计算

$$S_n = T_1 + (n_n - 1) \cdot T_e \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

S_n —— 中子的混凝土屏蔽层厚度。

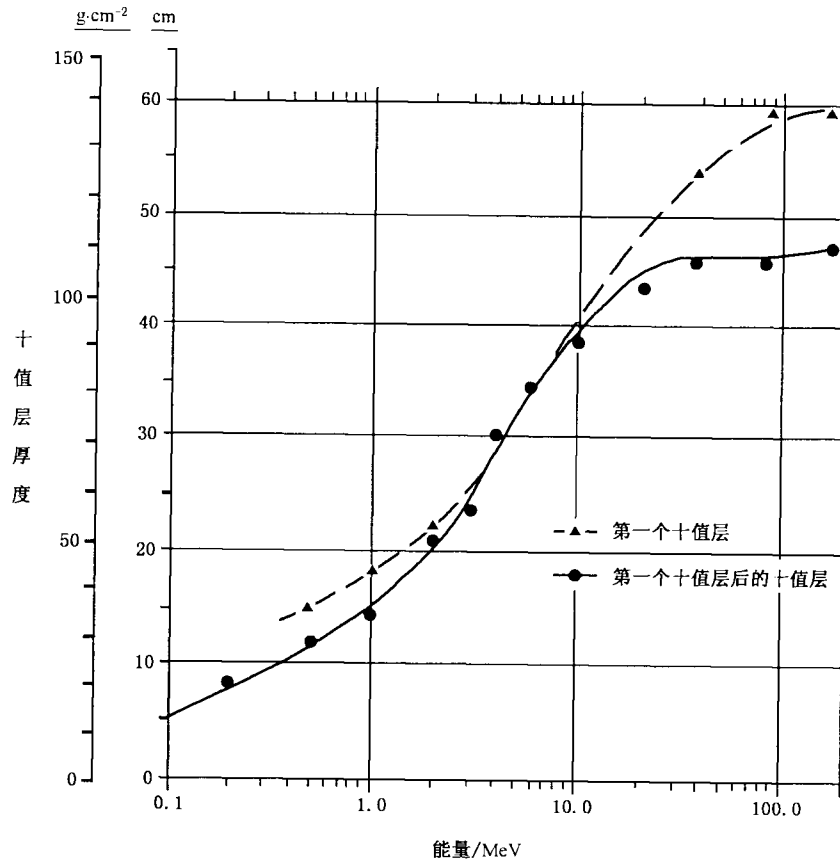


图 C.1 0.1 MeV~100 MeV 电子加速器的宽束 X 射线的混凝土十值层

附录 D
(规范性附录)
测量方法

D.1 X 射线束能量

用测定 X 射线束在吸收材料中的半值层的方法确定加速器的电子束能量。

测量时将剂量仪探头放在 X 射线束中心轴线 0° 且距靶 1 m 处,在探头与靶之间先后放置不同厚度的板材(表 1 所给出的吸收材料之一)。在相同照射剂量下,测量 X 射线束穿过不同厚度 x 板材的衰减情况,即剂量仪的读数 I ,根据 $\ln I = F(x)$ 求出板材的半值层值 $x_{1/2}$ (计算时,前两个半值层一般不用)。X 射线束穿过吸收材料时,其衰减规律见式(D.1)。

$$I = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- e —— 2.718 28(自然对数);
- x —— 吸收板材厚度,单位为毫米(mm);
- I_0 —— 吸收板材厚度 x 为 0 时测得的吸收剂量率,单位为戈瑞每分(Gy/min);
- I —— 不同 x 值下测得的吸收剂量率值,单位为戈瑞每分(Gy/min);
- μ —— 为线性衰减系数。

根据测量结果绘出不同厚度板材下的 X 射线束剂量率曲线,利用最小二乘法作拟合求得 μ 值,进一步求出半值层 $x_{1/2}$ 值。

D.2 X 射线束空气吸收剂量率

将剂量仪探头放在 X 射线束中心轴线距靶正前方 1 m 处进行测量,开机运行,在剂量率达到标称值并稳定后,记录剂量仪 1 min 时间内的吸收剂量值,取三次测量的平均值为 X 射线束最大空气吸收剂量率 D_0 。

D.3 X 射线束焦点

X 射线束焦点测量使用叠块法。它是由厚度为 h_1 (通常为 0.2 mm)的铜片和厚度为 h_2 (通常为 0.2 mm)的塑胶片,宽度为 100 mm,长度约 250 mm,二者交替排列并紧密固定后形成的叠层块,如图 D.1 所示。测量时,将叠块以水平(或垂直)方向放置于 X 射线束中心轴线上尽可能靠近靶处(O)测量(见图 D.2)。射线束使放在叠块另一端的胶片感光,处理后的胶片出现数根黑白相间的条纹,靠近中央的黑度较大,两边的黑度较小。

计算方法:取黑度等于中央黑度 50%的黑条数 n 按式(D.2)计算焦点尺寸 d_d 。

$$d_d = (h_1 + h_2) \times n \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- d_d —— 焦点尺寸,单位为毫米(mm);
- h_1 —— 铜片厚度,单位为毫米(mm);

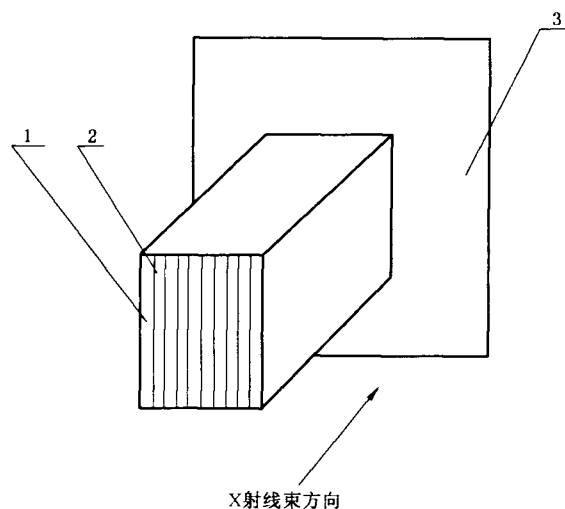
h_2 ——塑胶片厚度,单位为毫米(mm);

n_d ——黑条数。

求出3个不同距离的 d_d 值后,用最小二乘法拟合出曲线并外推至O点处,O点处的截距即为焦点尺寸。

经协商同意,也可以选取最靠近靶处一点的 d_d 值,作为X射线束焦点尺寸。

经协商同意,也可以用其他测试方法。



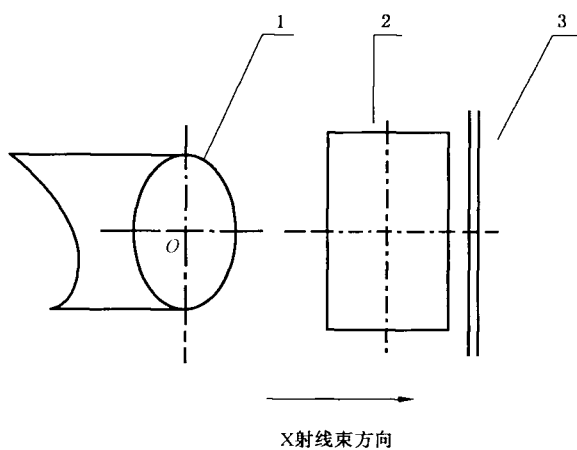
说明:

1——铜片;

2——塑胶片;

3——胶片。

图 D.1 叠块及测量示意图



说明:

1——靶;

2——叠层块;

3——胶片。

图 D.2 叠块及胶片摆放位置示意图

D.4 X 射线束均匀度

将剂量仪探头放置在距靶 1 m 处,在相同条件下测量出中心轴线上的吸收剂量率值 D_0 和与中心轴线夹角 A 的圆周上对称于 O 点任意两点的吸收剂量率值(见图 D.3),取其最小值 D_{\min} 按式(D.3)进行计算, η_h 值为均匀度测量结果。

$$\eta_h = \frac{D_{\min}}{D_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

η_h ——X 射线束均匀度;

D_{\min} ——距靶 1 m 处,与中心轴线夹角 A 的圆周上对称于 O 点任意两点的吸收剂量率最小值。

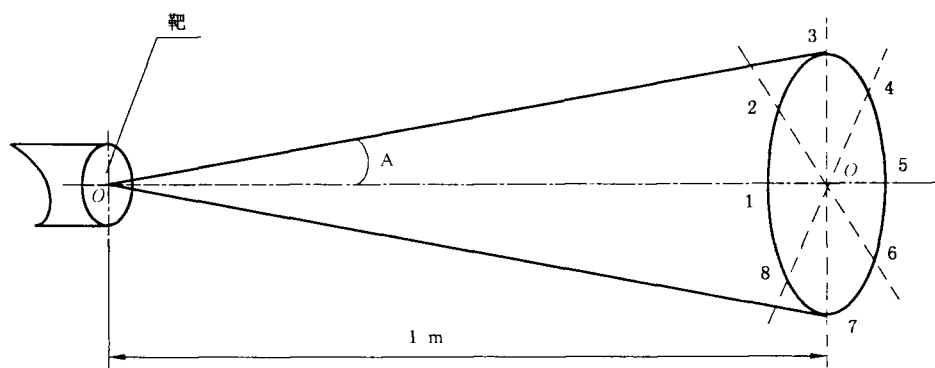


图 D.3 X 射线束均匀度测量示意图

D.5 X 射线束不对称度

利用 D.4 均匀度测量方法,在距靶 1 m 处且与中心轴线夹角 A 的圆周上对称于 O 点任意两点,测量出吸收剂量率 D_1 和 D_2 值,按照式(D.4)计算 X 射线束不对称度 η 。

$$\eta = \frac{D_1 - D_2}{D_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

η ——X 射线束不对称度;

D_1 ——距靶 1 m 处,与中心轴线夹角 A 的圆周上对称于 O 点任意点 1 的吸收剂量率值;

D_2 ——距靶 1 m 处,与中心轴线夹角 A 的圆周上对称于 O 点任意点 2 的吸收剂量率值。

D.6 泄露剂量

用铅块遮挡住 X 射线机头前向准直器口。

以 X 射线束中心轴线为 0° ,距靶 1 m 处,在 X 射线束前向 $+1/2(-1/2)$ 准直器锥角到 $+90^\circ(-90^\circ)$ 准直器外的圆弧上任取 3 点,放置剂量计,连续出束 1 min,测量各点吸收剂量率;计算各点吸收剂量率相对于 D.2 测得的 X 射线最大吸收剂量率的百分比。

经协商同意,也可以采用 GB/T 20129—2006 中图 6 所示方法。

D.7 中子剂量

以 X 射线束中心轴线为 0° , 距靶 1 m 处, 在 X 射线束前向 $+1/2(-1/2)$ 准直器锥角到 $+90^\circ(-90^\circ)$ 准直器外的球面上任取 3 点, 放置中子剂量计, 连续出束 1 min, 测量各点中子剂量率; 计算各点剂量率相对于 D.2 测得的 X 射线最大吸收剂量率的百分比。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
无损检测用电子直线加速器工程通用规范
GB/T 30371—2013

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 48 千字
2014年5月第一版 2014年5月第一次印刷

*

书号: 155066·1-49069 定价 27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 30371-2013