



中华人民共和国国家标准

GB/T 25306—2010

辐射加工用电子加速器工程通用规范

Standard of electron accelerator facility engineering for radiation processing

2010-11-10 发布

2011-05-01 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	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 辐射加工用电子加速器工程组成	3
5 电子加速器装置	4
6 束下装置	6
7 控制系统	7
8 厂房	7
9 安装与检验	10
10 工程验收	14
附录 A (规范性附录) 测量方法与公式	15
附录 B (资料性附录) 个人剂量限值与不同组织或器官的有效剂量	20
附录 C (资料性附录) 个人微波、高频电磁场与有害气体职业接触限值	21
附录 D (资料性附录) 束流焦斑直径、扫描频率、脉冲重复率的测量	22

前 言

本标准的附录 A 为规范性附录,附录 B、附录 C、附录 D 均为资料性附录。

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归口。

本标准主要起草单位:中国科学院上海应用物理研究所、北京机械工业自动化研究所、山东金塔建设有限公司、无锡爱邦辐射技术有限公司、江苏达胜加速器制造有限公司、宁波超能科技股份有限公司、四川久环电气有限责任公司、核工业标准化研究所、中国同位素与辐射行业协会辐射加工专业委员会。

本标准主要起草人:李民熙、郭彦斌、孙裕国、李兆先、俞章华、施惠栋、何小海、李国青、陈勇、朱希恺、赖启基、黄正新。

辐射加工用电子加速器工程通用规范

1 范围

本标准规定了辐射加工用电子加速器工程的组成和技术要求；电子加速器装置和束下装置的分类、型号命名；厂房建设的内容、要求、设计、施工及质量监督；安装和检验；工程验收。

本标准适用于能量为 0.15 MeV~15 MeV 的各类辐射加工用电子加速器工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本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。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 3095 环境空气质量标准

GB 5172—1985 粒子加速器辐射防护规定

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB/T 15447 X、 γ 射线和电子束辐照不同材料吸收剂量的换算方法

GB/T 16841 能量为 300 keV~25 MeV 电子束辐射加工装置剂量学导则

GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GBZ 1—2002 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

JJG 772 电子束辐射源（辐射加工用）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

辐射加工 radiation processing

电离辐射作用于物质，使其品质或性能达到预期要求的一种工艺过程。

3.2

辐射装置 radiation facility

由辐射室、电子加速器装置、束下装置、控制系统、安全设施等组成的辐射加工工艺装置。

3.3

辐射加工用电子加速器装置 electron accelerator facility for radiation processing

电子加速器装置 electron accelerator facility

产生、加速、引出电子束流用于辐射加工的装置。

3.4

束下装置 facility under beam

泛指束流引出窗下（外），用于输运物料进行辐射加工的装置。

3.5

参考面 reference plane

辐射场中选定的垂直于束流轴线的平面。

注 1: 通常取参考面在束流引出窗外并与引出窗相距不大于 200 mm。

注 2: 如图 1 所示, 在直角坐标中, 与束流中心轴——Z 轴相垂直的 X、Y 两坐标组成的平面为参考面, Z 轴与参考面相交的点 O 为参考点。

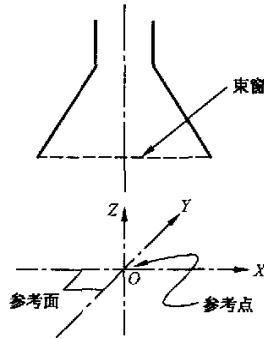


图 1 参考面示意图

3.6

电子束流能量 electron beam energy

束流能量 electron beam energy

电子束流(以下简称“束流”)在参考面处的能量。

3.7

束流能量不稳定性 electron beam energy instability

给定时间内, 由于加速器参数的未受控自然变化导致束流能量的变化率。

3.8

束流强度 electron beam intensity

通过参考面的束流的时间平均值, 对于脉冲加速器是指平均束流强度。

3.9

连续束流 continuous electron beam

幅度不随时间变化、持续存在的束流。

3.10

脉冲束流 pulse electron beam

周期性重复出现的束流, 其持续时间远小于无束流的持续时间。

3.11

束流脉冲重复率 electron beam pulse rate

以单位时间脉冲数表征的脉冲束流周期性参量。

3.12

束流强度不稳定性 electron beam intensity instability

给定时间内, 由于加速器参数的未受控自然变化导致束流强度的变化率。

3.13

束流焦斑 electron beam focal spot

束斑 electron beam focal spot

未经扫描的束流, 通过束流引出窗在参考面上形成的束流密度分布, 称为束流焦斑。以束流密度为束斑中心处 50% 的等密度圆周的直径为束斑直径。

3.14

束流扫描频率 electron beam scanning frequency

单位时间内束流沿引出窗宽度方向周期性扫描的次数。

3.15

束流扫描宽度 electron beam scanning width

束流经扫描后在参考面上形成的垂直于产品运动方向的有效束流宽度。

3.16

束流扫描不均匀度 electron beam scanning uniformity

在参考面上,束流扫描宽度内,束流密度分布的不均匀程度。

束流功率 electron beam power

单位时间束流所做的功。其数值为束流能量乘以束流强度除以电子电荷。

3.17

束流射程 electron beam range

测试模块表面处于参考面,沿辐射束流轴线的深度剂量曲线上,下降最陡处的切线外推线与该曲线末端的韧致辐射剂量的外推线相交点处材料的深度(等于实际射程)。

3.18

电离辐射 ionizing radiation

由能够产生电离的带电粒子和(或)不带电粒子组成的辐射。电离辐射也称射线。

3.19

辐射场 radiation field

电离辐射在选定介质中的空间-时间分布。

3.20

控制区 controlled area

需要或可能需要专门防护手段或安全措施的区域。主机室、辐照室及其迷道为控制区。

3.21

监督区 supervised area

不需要采取专门措施,但要定时检查和评价驻留人员职业受辐射状况的区域。控制室、周围辅助用房以及操作区域为监督区。

3.22

剂量测量系统 dosimetry system

由剂量计、测量仪器、剂量响应校准曲线(或剂量响应函数)或相关的参考标准和使用程序组成的用于确定吸收剂量的系统。

3.23

加工能力 processing throughput

辐射装置在给定的吸收剂量条件下,单位时间内能够处理的物料量。

3.24

束下装置传输速度 conveyor speed of facility under beam

束下装置运输的辐射物料,在经过辐射场的传输速度。

4 辐射加工用电子加速器工程组成

4.1 电子加速器装置

电子加速器装置由下列部分组成:

- a) 束流产生装置;
- b) 束流加速装置;
- c) 束流引出和辐射场形成装置;
- d) 控制及其他辅助装置。

4.2 束下装置

束下装置由下列部分组成：

- a) 传输装置,包括物料承载机构、物料传输机构、物料装卸机构;
- b) 适配装置,包括物料定位机构、工艺条件保证机构、传输稳定机构;
- c) 计量及监控系统。

4.3 控制系统

包括电子加速器装置的控制系统、束下装置的控制系统、辐射安全的控制系统,以及它们之间的接口和协议文件。

4.4 厂房

厂房主要由下列部分组成：

- a) 主机房、辐射室、传输通道、控制室;
- b) 剂量测量室、检验实验室;
- c) 物料厅及其他辅助用房。

5 电子加速器装置

5.1 分类

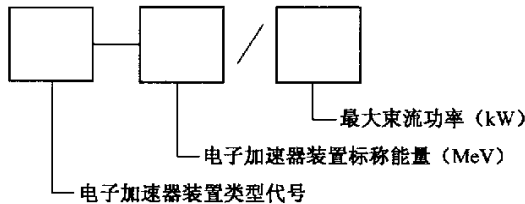
5.1.1 电子加速器装置按加速原理主要分为:直流高压型和高频谐振型两大类。

5.1.2 直流高压型电子加速器装置产生的束流是连续束流,常用的有:电子帘型、绝缘芯变压器型、中频谐振变压器型、高压倍加器型、高频高压型、电子静电型和三相变压器型等。

5.1.3 高频谐振型电子加速器装置产生的束流多为脉冲束流,常用的有:直线型、单腔脉冲型、单腔多次加速型等。

5.2 型号命名

按图 2 所示内容与顺序命名。



类型代号以字母表示:

- DL——电子帘型加速器装置;
- DY——绝缘芯变压器型加速器装置;
- DG——中频谐振变压器型加速器装置;
- DB——高压倍加器型加速器装置;
- DD——高频高压型加速器装置;
- DJ——电子静电型加速器装置;
- DT——三相变压器型加速器装置;
- DZ——直线型加速器装置;
- DP——单腔脉冲型加速器装置;
- DQ——单腔多次加速型加速器装置。

注:加速器属于自屏蔽方式的,在代号后加下标“z”标注。

图 2 电子加速器装置型号命名示意图

示例:

高频高压型电子加速器装置,标称能量 2.5 MeV,最大束流功率 50 kW,型号命名表示为:DD—2.5/50。

5.3 技术要求

5.3.1 束流能量

束流能量要求如下：

- a) 束流能量应连续或分档可调；
- b) 束流能量测量值与随机文件标称束流能量值的偏差 $\leq 5\%$ ；
- c) 标称束流能量是指加速器能稳定可靠运行的最高能量；
- d) 束流能量不稳定性 $\leq 5\%$ 。

5.3.2 束流强度

束流强度要求如下：

- a) 束流强度应连续或分档可调；
- b) 束流强度测量值与随机文件标称束流强度值的偏差 $\leq 5\%$ ；
- c) 标称束流强度是指加速器能稳定可靠运行的最大束流强度；
- d) 束流强度不稳定性 $\leq 5\%$ 。

5.3.3 束流功率

束流功率要求如下：

- a) 束流功率测量值与随机文件标称束流功率值的偏差 $\leq 10\%$ ；
- b) 脉冲束流功率均指平均功率；
- c) 束流功率不稳定性 $\leq 10\%$ ；
- d) 最大束流功率是指标称能量下的最大束流功率。

5.3.4 束流扫描不均匀度

束流扫描不均匀度 $\leq 10\%$ 。束流扫描宽度可调。

5.3.5 运行可靠性

运行可靠性要求如下：

- a) 在标称能量及束流负荷条件下，应 24 h 持续运行；
- b) 停机后处于高真空保持状态，非故障停机时间 < 1 h 时，重新开机进入工作状态时间 ≤ 10 min；
- c) 停机后处于高真空保持状态，非故障停机时间 ≤ 48 h 时，重新开机进入工作状态的时间 ≤ 60 min。

5.3.6 运行控制

智能化控制，功能齐全，保证运行正常、稳定、可靠。

5.3.7 接地

接地要求如下：

- a) 应采取主动接地，有电缆、高压屏蔽网、高压放电棒、高压过载保护、独立设备等接地和警告说明的预防保护措施；
- b) 设备应有良好的接地线并与外部接地系统相连接。外部接地系统接地电阻应在技术说明书中明确。

5.3.8 外观

装置外观应齐整协调，表面应平整光洁、色泽均匀，不得有伤痕、龟裂等缺陷。内部布局合理，接线齐整。

5.4 包装、运输、贮存

5.4.1 电子加速器装置的包装、运输、贮存按相关标准执行。

5.4.2 重要或易损部件应用专门设计的包装箱，保证在运输过程中不受损伤。

5.4.3 对环境有特殊要求的加速管、速调管、电子枪、闸流管和波导器件等按规定条件运输。

5.4.4 对贮存环境有特殊要求的部件,按技术要求的环境条件贮存。

5.4.5 需长期保持真空状态的部件,在贮存期间按技术要求维持真空状态。

6 束下装置

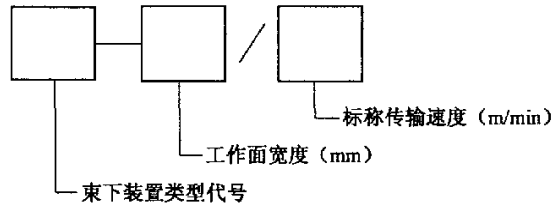
6.1 分类

束下装置按机械结构主要分为:

- a) 传输带类;
- b) 轨道类;
- c) 辊筒类;
- d) 其他类。

6.2 型号命名

按图3所示内容与顺序命名。



类型代号以字母表示:

- CS——传输带类;
- GD——轨道类;
- GT——辊筒类;
- QT——其他类。

图3 束下装置型号命名示意图

示例:

传输带型束下装置,工作面宽度1000 mm,标称传输速度120 m/min。型号表示为:CS—1000/120。

6.3 技术要求

6.3.1 基本要求

根据辐射加工工艺和电子加速器装置性能,确定束下装置类型和技术参数。

6.3.2 工作面宽度与高度

工作面宽度与高度要求如下:

- a) 工作面宽度应不小于随机文件标称值;
- b) 工作面高度和调节范围应在随机文件中标明。

6.3.3 承载能力

承载能力要求如下:

- a) 应具有足够的承载能力和机械稳定度,保证物料对称、平稳地通过辐射场;
- b) 承载能力应达到或优于随机文件规定的指标。

6.3.4 传输速度

传输速度要求如下:

- a) 传输速度及其调节范围应符合辐射加工工艺要求,应与加速器运行参数相匹配;
- b) 传输速度测量值与随机文件标称传输速度值的偏差 $\leq 2\%$;
- c) 传输速度应合理配置,使离散的物料在通过辐射场时被整合为紧密的物流;
- d) 在额定负载条件下传输速度的不稳定性 $\leq 1\%$ 。

6.3.5 材料

束下装置选用的材料,应耐氧化锈蚀与耐辐射变性。

6.3.6 运行可靠性

运行可靠性要求如下:

- a) 在额定负载和标称传输速度条件下,应 24 h 稳定运行;
- b) 非故障停机,恢复工作状态时间 ≤ 2 min。

6.3.7 运行控制

智能化控制,功能齐全,保证运行正常、稳定、可靠。

6.3.8 接地

设备应有良好的接地。

6.3.9 外观

装置总体布局紧凑、合理,接线齐整,外观平整光洁,无伤痕缺陷。

6.4 包装、运输、贮存

包装、运输、贮存按相关标准执行。

7 控制系统

7.1 控制要求

- 7.1.1 保证人身、设备安全,计量精确。
- 7.1.2 保证安全联锁执行的可靠性。
- 7.1.3 采用智能化控制。

7.2 控制功能

应具备如下功能:

- a) 正常开机和停机的逻辑控制;
- b) 运行参数的设置、自动跟踪、显示和记录;
- c) 运行参数的远程巡检;
- d) 设备故障显示、报警及自动停机;
- e) 安全联锁保护,包括主机房、辐射室门联锁、停机联锁等;
- f) 紧急停机。

7.3 控制台

- 7.3.1 电子加速器工程设备的运行操作必须在控制台进行。
- 7.3.2 控制台上应能显示记录主要运行参数、辐射加工产量,能显示辐射室内的工作状态及监督区内的剂量水平。
- 7.3.3 束下装置的控制与电子加速器的控制必须建立可靠的接口和协议文件。

8 厂房

8.1 厂房设计

8.1.1 设计单位及其人员资格

设计单位及其人员资格要求如下:

- a) 设计单位应持有相应的设计资质;
- b) 承担设计的负责人具有相应的设计资质;
- c) 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

设计依据如下:

- a) 应根据业主的委托书并依据辐射加工项目可行性报告、环境影响评价文件、安全分析、职业卫生评价、水文地质勘察资料、国家监管部门厂址审批文件等进行设计；
- b) 辐射防护安全应按 GB 18871—2002 中 4.3、6.4 和 GB 5172—1985 中 3、4 的规定进行设计；
- c) 控制区按纵深防御、冗余性、多元性、独立性的原则进行设计；
- d) 厂房的设计必须满足国家和地方劳动保护相关规定的要求，必须满足各种工况下设备运行安全的要求。

8.1.3 辐射防护安全要求

辐射防护安全要求如下：

- a) 辐射屏蔽材料采用混凝土时，其强度等级应高于 C20，密度不应低于 2.35 g/cm^3 ；
- b) 屏蔽结构及预埋件应满足设备供应商提供的土建工艺指导数据；
- c) 监督区的辐射剂量水平应符合 GB 18871—2002 和 GB 5172—1985 中的职业照射剂量限值要求；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 ；
- d) 控制区必须设有功能齐全、性能可靠的安全联锁系统和监控、紧急停机开关等设置；
- e) 控制区和监督区及其入口处应设置显示电子加速器装置运行状态的灯光信号和其他警示标志；
- f) 剂量监测设备、个人剂量计等应配置齐备；
- g) 其他物理因素安全要求应满足 GBZ 2.2—2007 规定的标准要求（见附录 C）。

8.1.4 工程安全要求

8.1.4.1 厂房建设及环境卫生要求

厂房建设及环境卫生要求如下：

- a) 厂房建设选址应符合 GBZ 1—2002 中 4.1.1、4.1.2、4.1.8、4.1.9 的要求；
- b) 厂房平面布局、竖向设计应符合 GBZ 1—2002 中 4.2.1.1、4.2.1.2、4.2.1.3、6.2.1.1 的要求，应满足电子加速器装置运行工况、辐射加工物流、辅助生产和生产管理的最优化要求；
- c) 厂房建设各功能区设施的卫生设计应符合 GBZ 1—2002 中 3.2、3.3 的要求；
- d) 厂房建设必须满足设备运行工况的要求；
- e) 辅助用房的基本卫生要求应符合 GBZ 1—2002 中的 6.1、6.2、6.3、6.4、6.5 的要求；
- f) 厂房建设必须满足环保部门对环境保护的相关要求。

8.1.4.2 供电要求

供电要求如下：

- a) 按电子加速器工程装置及厂房建设和公用工程提出的供电条件设计，当电网电压不符合其供电要求时，设置电压自动调整装置；
- b) 提供的三相五线制交流电源应达到电子加速器装置和束下装置的技术要求；
- c) 监督区、控制区等应设置备用照明系统。

8.1.4.3 给水要求

给水要求如下：

- a) 应根据电子加速器工程总用水要求，提供有一定冗余的水流量和水压；
- b) 根据电子加速器装置和束下装置等设备工艺要求的水质、水温、热交换负荷进行设计；
- c) 一次水水质应达到 GB 5749 规定的生活饮用水指标。

8.1.4.4 通风要求

通风要求如下：

- a) 根据 GBZ 2.1、GBZ 2.2 规定的工作场所的臭氧和氮氧化物等有毒有害气体最大允许浓度，结合电子加速器装置辐射能量输出工况进行设计；

b) 排风口的高度应根据 GB 3095 的规定,按照有害气体排出量和辐射装置附近环境与气象资料计算确定。

8.1.4.5 防火要求

厂房防火等级不低于二级,并设置火灾报警、火情停机装置,设置有效的灭火器材。

8.1.4.6 抗震要求

按丙类建筑抗震设防,抗震烈度符合国家和所在地区设防区划的要求。

8.1.4.7 其他要求

本标准未给出规定的工程设计,遵循国家相关标准。

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) 初步设计阶段提供:
 - 1) 初步设计及附图;
 - 2) 基本配置的设备清单及设备性能、推荐厂家清单;
 - 3) 初步设计概算。
- b) 施工图设计阶段提供:
 - 1) 厂区总图运输施工图及设计说明;
 - 2) 辐射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) 通风系统图纸及设计说明;
 - 7) 给排水及水处理系统图纸及设计说明;
 - 8) 设备技术条件(或技术说明书)、使用维护说明书及备件图纸;
 - 9) 工程概算书。

8.1.5.2 文件更改

文件更改要求如下:

- a) 设计文件提供后,一般不得更改。当必须更改时,原设计单位应提出设计更改通知单;
- b) 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。对安全有重大影响的更改,必须经安全主管部门审批;
- c) 设计更改通知单应与原有图纸资料共同存档。

8.2 工程施工及质量监督

8.2.1 施工单位资格

施工单位资格要求如下:

- a) 施工单位应具有国家颁发的二级以上施工资质证书;
- b) 施工单位应组建项目部,项目部经理具有建造师资格,技术负责人具有同类工程施工经验。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

施工要求如下:

- a) 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。施工单位不得擅自更改图纸;
- b) 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;

- c) 施工单位应建立健全质量管理体系,拟定工程施工质量管理实施细则;
- d) 屏蔽体结构的施工:
 - 1) 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;
 - 2) 屏蔽体结构不应有施工缝;无法避免时,按经过设计人员和监理人员认可的方案完成施工。
- e) 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,必须保证精度需求。浇筑前应获得设备供应商和监理单位的认可;
- f) 所有分部、分项工程的施工,本标准未指明的按相应的工程建设标准执行。

8.2.3 质量监督

质量监督要求如下:

- a) 厂房工程按相关法规进行质量监督并备案;
- b) 建设单位必须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;
- c) 施工单位质检员按规定配合监督,做好记录,保存、备案;
- d) 各分项、分部、单位工程及时进行质量检查验收。

9 安装与检验

9.1 安装

9.1.1 安装单位

安装单位要求如下:

- a) 电子加速器装置、束下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;
- b) 电子加速器装置的配套工程、公用工程可由具有资质的安装公司安装。

9.1.2 安装要求

9.1.2.1 总体安装要求

总体安装要求如下:

- a) 应严格按照设计单位提供的施工图安装,有关更改应有设计单位提供设计更改通知单。安装单位不得擅自更改图纸;
- b) 各专业、各分项安装工程具备安装条件时方可开工;各专业、各分项安装工程结束,应办理交接手续;
- c) 设备安装前应逐一检查相关的基础和预埋件,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。

9.1.2.2 电子加速器装置安装

电子加速器装置安装要求如下:

- a) 电子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;
- b) 扫描系统、引出窗的安装精度和固定状态应符合电子加速器装置整机性能的要求。调试完成后做最后固定;
- c) 真空装置和绝缘气体装置等按相关技术文件安装;
- d) 控制系统的仪表,安装前应严格检验其参数;安装、接线及线缆编号按照工程设计的相关技术文件安装。

9.1.2.3 束下装置安装

束下装置安装要求如下:

- a) 按设计要求检查核对整件、部件、零件的数量、规格、尺寸、材质;
- b) 按施工图和安装文件完成安装,其安装位置、高度调整范围、行走轴线位置、翻转等全部功能

达到设备技术要求。

9.1.2.4 辐射安全系统安装

辐射安全系统安装要求如下：

- a) 屏蔽门运动平顺,间隙、搭接符合设计要求;屏蔽视窗材质、安装符合设计要求;所有控制回路,安装完善无差错;仪表安装前检验合格,线缆线号准确、接线无误;
- b) 辐射监测设备按照仪表专业相关标准安装。

9.1.2.5 公用工程系统安装

给排水系统、电气系统、通风系统等公用工程,按照工程建设相应安装标准安装。

9.2 检验

9.2.1 检验条件

检验条件如下：

- a) 电子加速器装置、束下装置等安装调试完成;
- b) 辐射防护安全系统安装调试完成;
- c) 相关的控制系统安装调试完成;
- d) 公用工程、配套工程具备投运条件;
- e) 满足环境条件及供电、给水、供气条件;
- f) 相关区域具备封闭条件。

9.2.2 检验规则

9.2.2.1 电子加速器工程设备检验必须由业主、供应商和安装单位编制检验大纲。

9.2.2.2 电子加速器装置、束下装置等分出厂检验和现场检验,具体如下：

- a) 出厂检验是业主在供应商单位进行设备的初步验收,根据技术合同规定的检验项目,按检验大纲逐项进行,检验合格后形成验收文件,双方签字。
- b) 现场检验是供应商在业主现场将装置安装调试完成后的交接验收。先进行单机检验,后进行联动检验。根据合同规定的检验项目,按检验大纲逐项进行。检验合格后形成验收文件,双方签字后,应及时办理移交手续。
- c) 若联动检验条件尚未完全具备,则应及时办理单机移交手续。条件具备时,供应商应保证联动检验。

9.2.2.3 电子加速器装置性能指标应在最低、中间、最高能量状态下进行检验。

9.2.2.4 束下装置性能指标应在标称承载能力值的 75% 和 100% 的状态下,分别以最低、最高速度进行检验。

9.2.3 电子加速器装置的检验

9.2.3.1 束流能量

9.2.3.1.1 测量束流能量采用射程法。叠层测试模块上表面置于参考面上,根据束流在模块中测得的深度剂量曲线,求得束流在该模块材料中的实际射程 R_p ,按式(A.1)计算出对应的能量 E_p 。测量次数 $n \geq 5$,每次测量时间间隔 10 min。

9.2.3.1.2 束流能量测量值的偏差。束流能量测量值与随机文件标称束流能量值的偏差按式(A.2)计算。

9.2.3.1.3 束流能量不稳定性。电子加速器装置达到热平衡后,在运行参数不作调整的情况下,测量 1 h 内加速器输出束流能量的变化,每隔 5 min 记录一次控制台上束流能量指示值,按式(A.3)计算。

9.2.3.2 束流强度

9.2.3.2.1 用下述两种方法之一检验连续束流强度：

- a) 在参考面上,用覆盖住引出窗宽度与束流扫描角延长线相交所形成面积的铝收集靶上,对地串接 1 Ω 或 10 Ω 精密电阻,用 0.5 级直流电压表或经校正的数字电压表测铝收集靶对地电压,

换算成束流强度；

- b) 用精度好于 0.5 级的直流电流表直接测量直流高压回路电流, 减去除束流以外其他直流高压的分支电流, 即为束流强度。

9.2.3.2.2 用下述方法检验脉冲束流强度: 在铝靶或水靶对地之间接一测量平均束流的电路, 用经校准的直流数字电流表或 0.5 级的磁电式电流表, 直接测量脉冲束流的平均强度。

9.2.3.2.3 束流强度测量值与随机文件标称束流强度值的偏差按式(A.4)计算。

9.2.3.2.4 束流强度不稳定性按式(A.5)计算。

9.2.3.3 束流功率

根据 n 次测量束流能量的平均值和 n 次测量对应能量下平均束流强度的平均值, 按式(A.6)计算, 得 n 次测量束流(平均)功率的平均值。

- a) 束流功率测量值与随机文件标称束流功率值的偏差分别按式(A.7)、式(A.8)计算；

- b) 束流功率不稳定性按式(A.9)计算。

9.2.3.4 束流扫描不均匀度

测量束流扫描不均匀度可任选下列一种方法进行：

- a) 在参考面上用铝棒均匀排列组成的分布靶, 测量束流扫描分布的不均匀度按式(A.10)计算；
- b) 在参考面上用薄膜剂量片测量束流扫描分布不均匀度按式(A.11)计算；
- c) 在参考面上用单根铝棒法测量束流扫描分布不均匀度按式(A.10)计算；
- d) 在参考面上用玻璃板辐射致色法测量束流扫描分布不均匀度按式(A.12)计算。

9.2.4 束下装置的检验

9.2.4.1 视具体情况, 经供应商与业主约定, 束下装置可不做出厂检验。

9.2.4.2 工作面宽度与高度

工作面宽度与高度检验方法如下：

- a) 工作面宽度用直尺测量；
- b) 工作面高度和调节范围用直尺测量。

9.2.4.3 承载能力

在最高和最低传输速度条件下, 用实物测量束下装置的承载能力, 观察测量物料通过辐射场所位置时是否对称、平稳。测量次数 $n \geq 5$ 。

9.2.4.4 机械传输

通过调试达到运行平顺, 转动灵活, 负荷能力、受照射位置调整范围、传输速度的调整范围、速度变动等达到设计的技术要求。

9.2.4.5 传输速度

传输速度检验方法如下：

- a) 束下装置传输速度采用速度传感器测量。测量束下装置运行的最大传输速度值和最小传输速度值。测量次数各为 $n \geq 5$ 。每次测量时间间隔 2 min。
- b) 控制台上最大和最小传输速度指示值与最大和最小传输速度测量值的偏差 $\leq 2\%$ 。传输速度测量值与随机文件标称传输速度值的偏差按式(A.13)计算。

- c) 传输速度不稳定性

束下装置达到稳定运行后, 测量 1 h 内最大传输速度的变化和 1 h 内最小传输速度的变化, 每隔 5 min 记录一次控制台上传输速度指示值, 按式(A.14)计算。

- d) 直接观察离散的物料在通过辐射场时是否被调整合为紧密的物流。

9.2.4.6 运行控制

运行控制检验方法如下：

- a) 控制系统检验传输速度变化超标报警、超标停车、监控、辐射识别、计量、其他安全联锁等按照

设计要求逐个回路检验,达到技术要求并锁定;

- b) 按施工设计内容,检验控制台显示与控制的束下装置回路与电子加速器装置控制部分建立的协议文件。

9.2.5 控制系统的检验

控制系统检验方法如下:

- a) 在电子加速器工程装置开机过程中,观察控制系统各回路、联锁保护、仪表、接口、通讯、信号数值、显示、报警工作正常;
- b) 在电子加速器工程装置开机过程中,选择主要联锁保护系统输入故障模拟信号,观察故障显示、报警和保护动作是否正常。

9.2.6 辐射安全系统的检验

辐射安全系统检验如下:

- a) 屏蔽门等屏蔽设施安装和运动符合设计要求;
- b) 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;
- c) 在电子加速器装置最大功率运行情况下,测量控制区、监督区的辐射剂量水平,符合 8.1.3c) 的限值;
- d) 剂量警示和报警装置符合设计要求,工作正常。

9.2.7 运行可靠性的检验

9.2.7.1 连续运行

连续运行检验方法如下:

- a) 电子加速器装置连续运行检验
电子加速器装置达到热平衡后,在最大功率和连续运行条件下进行检验,运行 4 h 后停机,检查各部件无异常,4 h 内非故障停机的累计时间 ≤ 20 min。
- b) 束下装置连续运行检验
束下装置在额定负载和标称速度连续运行条件下,运行 4 h 后停机,检查各部件无异常。

9.2.7.2 重复开机

重复开机检验方法如下:

- a) 电子加速器装置重复开机检验
电子加速器装置全部停机,保持高真空状态 1 h,重新开机,达到最大功率正常工作时间 ≤ 10 min。停机后处于高真空保持状态,非故障停机时间 ≤ 48 h,重新开机进入工作状态的时间 ≤ 60 min,检查各部件无异常。
- b) 束下装置重复开机检验
束下装置在额定负载条件下,全部停机 1 h,重新开机,达到标称传输速度稳定运行时间 ≤ 2 min。

9.2.8 环境卫生的检验

按国家相关规定进行环境卫生的检验。

9.2.9 供电、给水、通风设备的检验

供电、给水、通风设备的检验如下:

- a) 供电、给水、通风设备的装配安装符合技术要求;
- b) 按检验大纲,分别开机逐项检验,供电量、给水量和水温、通风量的仪表指示值,达到技术要求和随机文件标称值。变化和调节范围均达到技术要求;
- c) 供电、给水、通风设备检验运转正常。

9.2.10 联动检验

依据检验大纲,按公用工程、配套工程、电子加速器装置和束下装置的顺序组织;按单机、单回路、分

系统、系统的顺序安排；按手动、点动、空载、负荷检验的顺序进行；最后进行电子加速器工程装置的联动检验。

9.2.11 剂量测试

剂量分布测试应按 JJG 772 和 GB/T 16841 进行，所使用的剂量计应能追溯到国家标准。

10 工程验收

10.1 验收程序

10.1.1 由业主组织设计单位、施工单位、电子加速器装置和束下装置供应商等依据合同约定的相关技术文件进行验收。

10.1.2 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。

10.1.3 工程备案。

10.2 验收项目

验收项目如下：

- a) 厂房工程；
- b) 安装工程；
- c) 设备检验；
- d) 防护安全系统检验；
- e) 工程概预算。

10.3 验收文件

验收文件如下：

- 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) 职业卫生控制效果评价报告；
- g) 环保检验报告；
- h) 剂量测量报告；
- i) 操作规程及安全规章制度；
- j) 工程决算报告；
- k) 工程验收报告。

附录 A
(规范性附录)
测量方法与公式

A.1 束流能量

A.1.1 叠层法测量束流能量

A.1.1.1 均匀叠层法

根据束流能量,选用薄膜剂量计本身或盖玻片或载玻片叠成 \geq 束流实际射程 R_p 的1.5倍厚度,如图A.1a)所示。如选用薄膜剂量计时较适用于 $E_p \leq 0.3$ MeV,也可以用分压电阻乘以电流值来计算电子束流能量。

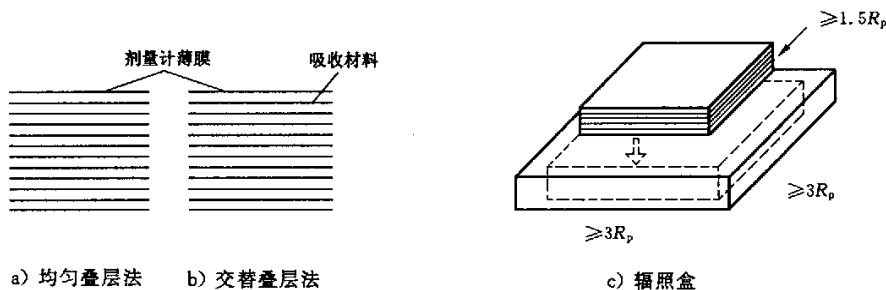


图 A.1 叠层法示意图

A.1.1.2 交替叠层法

用薄膜剂量计和一定厚度的吸收材料交替层叠到总厚度 ≥ 1.5 倍的束流实际射程 R_p 。如图A.1b)所示。

A.1.1.3 叠层放置

为了防止散射束的影响,叠层应置于辐照盒内,如图A.1c)所示。

A.1.2 能量在 $1 \text{ MeV} < E_p < 50 \text{ MeV}$ 范围的 $E_p \sim R_p$ 关系

在水或其他等效材料作测量束流射程的测试模块时, $E_p \sim R_p$ 的关系按式(A.1)计算:

$$E_p = 0.22 + 1.98R_p + 0.0025R_p^2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

E_p ——束流能量,单位为兆电子伏(MeV);

R_p ——束流实际射程,单位为克每平方厘米($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)。

采用铝或水或聚乙烯作测量模块材料是成熟的技术方法。在 $1.0 \text{ MeV} \leq E_p \leq 10 \text{ MeV}$ 范围,按式(A.1)计算结果与表A.1所给的数据关系的相对偏差 $\leq 5.5\%$ 。

表 A.1 能量在 $0.1 \text{ MeV} \leq E_p \leq 10 \text{ MeV}$ 范围的 $E_p \sim R_p$ 关系表

E_p/MeV	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
$R_p(\text{水})/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$	0.012 3	0.024 5	0.039 3	0.074 5	0.158	0.251	0.398	0.918	1.45	2.52	5.18
$R_p(\text{铝})/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$	0.013 0	0.025 0	0.040 3	0.075 3	0.158	0.249	0.396	0.912	1.44	2.52	5.18
$R_p(\text{聚乙烯})/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$	0.011 7	0.023 6	0.038 3	0.073 2	0.156	0.249	0.396	0.912	1.44	2.50	5.14

注:表中数据摘自 GB/T 15447。

由于玻璃的主要成分是硅(Si),而铝和硅的原子序数、原子量及核外电子层的排布均相近,分别为:

$13_{Al25.98} 3S^2 3P^1; 14_{Si28.09} 3S^2 3P^2$ 。

根据电离粒子的阻止本领与射程的对应关系,用玻璃(Si)片叠层辐射致色方法作束流射程的测试,在 $0.5 \text{ MeV} \leq E_p \leq 10 \text{ MeV}$ 范围用式(A.1)确定 E_p 值是合适的且已被实验所证实。玻璃片宜用厚度 $h=0.17 \text{ mm}$ 的“盖玻片”,其密度 $\rho=(2.38-2.40) \text{ g/cm}^3$; $E_p > 5 \text{ MeV}$ 的测量也可用“载玻片”,其厚度 $h=0.8 \text{ mm}$,密度 $\rho=(2.45-2.46) \text{ g/cm}^3$ 。玻璃致色法测 E_p-R_p 有测量过程快捷简易的优点,也有足够高的测量精度($\approx h/2$)。

A.1.3 束流能量测量值与随机文件标称束流能量值的偏差计算公式[见式(A.2)]

$$\frac{\Delta E_p}{E_{ps}} = \frac{E_{pav} - E_{ps}}{E_{ps}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

ΔE_p ——束流能量变量;

E_{ps} ——随机文件标称的束流能量值,单位为兆电子伏(MeV);

E_{pav} —— n 次测量束流能量的平均值,单位为兆电子伏(MeV)。 $E_{pav} = (\sum_{i=1}^n E_{pi})/n$, E_{pi} 为第 i 次束流能量的测量值,单位为兆电子伏(MeV)。

注:按公式计算的偏差值有可能为负值,为简便起见,采用其绝对值。

A.1.4 束流能量不稳定度计算公式[见式(A.3)]

$$\frac{\Delta E_p}{E_{pav}} = \frac{1}{E_{pav}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{pav} - E_{pi})^2}{n-1}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

A.2 束流强度

A.2.1 平均束流强度测量电路图

平均束流强度测量电路示意图见图 A.2。

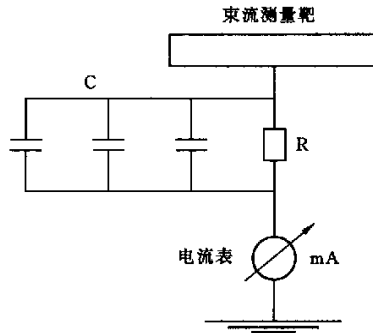


图 A.2 平均束流测量电路图

图中 RC 时间常数应比脉冲束流周期 T 大 10 倍左右。

周期脉冲束流也可采用经校准的快速采样存贮示波器——AD 转换数字积分——PC 系统,通过测量跨接于测试靶与地之间的精密电阻的端电压,换算成束流扫描在参考面上的平均束流强度。

测量次数 $n \geq 5$,每次测量时间间隔 10 min。

A.2.2 束流强度测量值与随机文件标称束流强度值的偏差计算公式[见式(A.4)]

$$\frac{\Delta I_s}{I_{es}} = \frac{I_{sav} - I_{es}}{I_{es}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

ΔI_s ——束流强度变量;

I_{es} ——随机文件标称平均束流强度值,单位为毫安(mA);

I_{cav} —— n 次测量束流强度的平均值,单位为毫安(mA); $I_{\text{cav}} = \sum_{i=1}^n I_{\text{ci}}/n$, I_{ci} 为第*i*次平均束流强度的测量值,单位为毫安(mA)。

注:按公式计算的偏差值有可能为负值,为简便起见,采用其绝对值。

A.2.3 束流强度不稳定性计算公式[见式(A.5)]

$$\frac{\Delta I_{\text{c}}}{I_{\text{cav}}} = \frac{1}{I_{\text{cav}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{\text{cav}} - I_{\text{ci}})^2}{n-1}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.5)$$

A.3 束流功率

A.3.1 束流功率平均值计算公式[见式(A.6)]

$$P_{\text{cav}} = \frac{1}{e} E_{\text{pav}} I_{\text{cav}} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

P_{cav} ——束流功率平均值,单位为千瓦(kW);

随机文件标称束流(平均)功率按式(A.7)计算:

$$P_{\text{cs}} = \frac{1}{e} E_{\text{ps}} I_{\text{cs}} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

P_{cs} ——随机文件标称束流(平均)功率值,单位为千瓦(kW)。

A.3.2 束流功率测量值与随机文件标称束流功率值的偏差计算公式[见式(A.8)]

$$\frac{\Delta P_{\text{c}}}{P_{\text{cs}}} = \frac{P_{\text{c}} - P_{\text{cs}}}{P_{\text{cs}}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

ΔP_{c} ——束流功率变量;

P_{c} ——束流功率值,单位为千瓦(kW)。

注:按公式计算的偏差值有可能为负值,为简便起见,采用其绝对值。

A.3.3 束流功率不稳定性计算公式[见式(A.9)]

$$\frac{\Delta P_{\text{c}}}{P_{\text{cav}}} = \frac{1}{P_{\text{cav}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{\text{pav}} - E_{\text{pi}})^2 \times \sum_{i=1}^n (I_{\text{cav}} - I_{\text{ci}})^2}{n-1}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.9)$$

A.4 束流扫描不均匀度测量方法

A.4.1 电子加速器装置达到热平衡后,在参考面上由不少于9根材质相同、 $\phi 15$ mm的铝棒或铝管均匀排列组成的分布靶,测量扫描宽度内的束流分布。铝棒最上面母线应在参考面上并平行于Y方向,铝棒的长度和位置应全覆盖穿越引出窗到达参考面的所有束流的Y方向投影长度。各铝棒直径的最大偏差应 ≤ 0.1 mm。使电子加速器装置在各额定脉冲重复率(连续束流无此条件)和扫描频率条件下输出束流扫描,测量同一时刻各铝棒截获束流所输出的电流强度 I_0 ,获得 I_0 的最大值 $I_{0\text{max}}$ 和最小值 $I_{0\text{min}}$ 。按式(A.10)计算束流扫描不均匀度 U_x :

$$U_x = \frac{I_{0\text{max}} - I_{0\text{min}}}{I_{0\text{max}} + I_{0\text{min}}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.10)$$

A.4.2 在参考面上放置一块能由束下装置带动的非金属板,将薄膜剂量片均匀分布在板上的扫描宽度范围内。引出束流后,束下装置带动贴有剂量片的板移动并通过辐射场,使其接受束流照射。测量剂量片上剂量 D ,取其最大值 D_{max} 和最小值 D_{min} , U_x 按式(A.11)计算:

$$U_x = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

A.4.3 用一根长度和位置全覆盖穿越引出窗到达参考面所有束流的 Y 方向投影长度的 $\phi 15$ mm 铝棒,其最上面母线应在参考面上并与 Y 方向平行。以合适的速率使铝棒沿 X 向移动,整个移动过程均应保证铝棒轴线平行于 Y 方向、最上面母线始终处于同一参考面。使加速器在各额定脉冲重复率(连续束流无此条件)和扫描频率条件下输出束流扫描,用采样存贮示波器(或函数记录仪)测出铝棒移动全程的 I_0 与其坐标 X 的关系曲线。并读得 $I_{0\max}$ 和 $I_{0\min}$ 。 U_x 按式(A.10)计算。

A.4.4 用一块厚度约 2 mm~3 mm、其表面可全覆盖参考面上有用扫描束流宽度的透明玻璃板。控制束流时间,使玻璃辐射致色响应在线性范围。用黑度计或分光亮度计测出玻璃的黑度分布,读得黑度的最大值 D_{\max} 和最小值 D_{\min} 。 U_x 按式(A.12)计算:

$$U_x = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

注 1: A.4.1 的缺点是有可能漏掉真正的 $I_{0\max}$ 和 $I_{0\min}$,从而使所得的 U_x 值可能优于实际值;方法 3) 的适用条件是束流强度的短时不确定度(不稳定度)在 U_x 测量所需的时间内,其影响可以忽略。

注 2: A.4.2 的测量精度取决于玻璃辐射致色的线性特征,此法在原理上较适当。测量次数 $n \geq 5$,每次测量时间间隔 10 min。

A.5 束下装置传输速度

A.5.1 传输速度测量值与随机文件标称传输速度值的偏差计算公式[见式(A.13)]

$$\frac{\Delta v_p}{v_{ps}} = \frac{v_{ps} - v_{pav}}{v_{ps}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

Δv_p ——传输速度变量;

v_{ps} ——随机文件标称传输速度值,单位为米每分(m/min);

v_{pav} —— n 次测量传输速度的平均值,单位为米每分(m/min)。 $v_{pav} = (\sum_{i=1}^n v_{pi}) / n$, v_{pi} 为第 i 次测量的传输速度值,单位为米每分(m/min)。

注:按公式计算的偏差值有可能为负值,为简便起见,采用其绝对值。

A.5.2 传输速度不稳定度的计算公式[见式(A.14)]

$$\frac{\Delta v_p}{v_{ps}} = \frac{1}{v_{pav}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{ps} - v_{pi})^2}{n-1}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

A.6 传输带辐射工艺参数条件的限制关系

A.6.1 限制关系 I (脉冲束与连续束均受此关系限制)

当束斑内束流密度分布为标准正态分布函数关系,物料照射在扫描束下以传输带工艺进行时,为使沿传输带运行方向(简称纵向或 Y 向)的剂量波动不大于对应的不均度期望系数 k ,传输带的运行速度 V_L 、扫描频率 f_{sw} 、束斑直径 ϕ_c 之间受(A.15)关系式限制:

$$V_L \leq k f_{sw} \phi_c \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

式中:

V_L ——传输带的运行速度,单位为米每分(m/min);

k ——不均度期望系数,无量纲;

f_{sw} ——扫描频率,单位为赫兹(Hz);

ϕ_c ——束斑直径,单位为毫米(mm)。

A.6.2 限制关系 II (只有脉冲束工作模式受此关系限制)

当束斑内束流密度分布为标准正态分布函数关系, 物料照射在扫描束下进行, 为使沿扫描窗宽度方向(简称横向或 X 向)的剂量波动不大于对应的不均度期望系数 k , 束流脉冲重复率 N , 束流扫描宽度 W_e 、扫描频率 f_{sw} 、束斑直径 φ_e 之间受(A.16)关系式限制:

$$\frac{N}{W_e} \geq \frac{2f_{sw}}{k\varphi_e} \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:

N ——束流脉冲重复率, 单位为赫兹(Hz);

W_e ——束流扫描宽度, 单位为厘米(cm)。

A.6.3 限制关系 I 与 II 的统一

当要求纵、横向的剂量波动不均度相同, 即纵、横向有相同的不均度期望系数 k 时, V_L 、 N 、 W_e 、 f_{sw} 、 φ_e 五个参数之间应满足式(A.17)的不等式协调限制条件:

$$\frac{V_L}{k\varphi_e} \leq f_{sw} \leq \frac{kN\varphi_e}{2W_e} \dots\dots\dots (A.17)$$

A.7 束流在低原子序数材料中相对深度剂量分布及辐射物料最佳厚度

图 A.3 中给出了不同能量束流在低原子序数材料中相对深度剂量分布(曲线横坐标以测试模块深度坐标 Z 和该模块中的束流射程 R_p 的比值表征, Z/R_p 无量纲)。

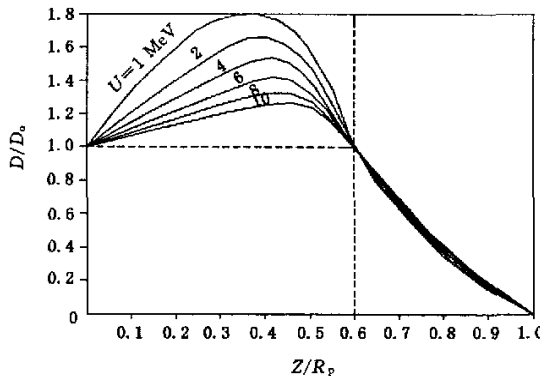


图 A.3 束流在低原子序数材料中相对深度剂量分布曲线

单面辐射物料的最佳厚度 $h_{opta} = 0.6R_p \sim 0.7R_p$;

双面辐射物料的最佳厚度 $h_{optd} = 1.44R_p \sim 1.68R_p$ 。

最佳厚度下, 单面、双面辐射束流的理想利用率之间的关系见式(A.18):

$$\eta_d = 1.2\eta_s \dots\dots\dots (A.18)$$

式中:

η_s ——最佳厚度下, 单面辐射束流的理想利用率;

η_d ——最佳厚度下, 双面辐射束流的理想利用率。

由曲线可计算出来与束流深度剂量分布有关的能量利用率, 见式(A.19)和式(A.20):

单面辐射:

$$\eta_s = 0.51E_e^{0.145} \dots\dots\dots (A.19)$$

双面辐射:

$$\eta_d = 0.61E_e^{0.145} \dots\dots\dots (A.20)$$

附录 B
(资料性附录)

个人剂量限值与不同组织或器官的有效剂量

B.1 个人剂量限值

B.1.1 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。

B.1.2 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。

B.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(E)为相应组织或器官的权重因数(w_T)乘以相应的当量剂量(H_T),见式(B.1):

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

根据 GB 18871—2002,不同组织或器官的权重因数(w_T)的数值见表 B.1。

表 B.1 不同组织或器官的权重因数(w_T)

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	0.2	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
膀胱	0.05	其余组织或器官	0.05
乳腺	0.05	—	—

附录 C

(资料性附录)

个人微波、高频电磁场与有害气体职业接触限值

C.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参见表 C.1。

表 C.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)。

C.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参见表 C.2。

表 C.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	—

C.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 。

注:此项限制主要在辐射室。在辐射室,由于射线导致空气电离主要产生臭氧和二氧化氮这两种有害气体。

附录 D
(资料性附录)

束流焦斑直径、扫描频率、脉冲重复率的测量

D.1 束流焦斑直径的测量

D.1.1 束流焦斑直径的测量

预置薄膜剂量片于参考面束流轴线位置。在无扫描展宽条件下,短时间出束。控制出束时间,以使剂量片束斑面积内的剂量分布都在剂量片剂量测量的线性范围内。由薄膜剂量测量系统测得吸收剂量径向分布求得束斑直径 φ_e 。

测量次数 $n \geq 1$ 。当取 $n > 1$ 时,各次测量时间间隔约 10 min,束流焦斑直径测量值与随机文件标称束流焦斑直径值的偏差按式(D.1)计算:

$$\frac{\varphi_e}{\varphi_{es}} = \frac{\varphi_{es} - \varphi_{sav}}{\varphi_{es}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

φ_e ——束流直径值,单位为毫米(mm);

φ_{es} ——随机文件标称的束斑直径值,单位为毫米(mm);

φ_{sav} —— n 次测量束斑直径的平均值,单位为毫米(mm)。 $\varphi_{sav} = (\sum_{i=1}^n \varphi_{ei}) / n$, φ_{ei} 为第 i 次测量的束斑直径值,单位为毫米(mm)。

D.1.2 束流焦斑直径与剂量不均度的期望系数 k

当电子枪发射的束流轴对称地注入加速管,沿加速管中心轴(附近)加速后,无偏射出引出窗,则在参考面上的束流密度分布近似为正态分布。

为简化,令束斑内束流密度的正态分布函数标准归一化。归一化的标准正态分布函数见式(D.2):

$$j(a) = e^{-\frac{a^2}{2}} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式(D.2)可表达成图 D.1 的曲线。

扫描束流宽度方向两端在 V_L 方向的轨迹是纵向剂量波动最大的两条边缘线,其波动函数是传输带运行时所有束斑在两端边缘线上束流密度(剂量)叠加的总结果。设两端边缘线在辐射产品上的坐标以 L 表示,则处于两端边缘线区域中,产品的吸收剂量随 L 波动(一维线密度波动)最大,可用式(D.3)表示:

$$J(L) = \sum_{n=0}^{\infty} [e^{-\frac{1}{2}(L-n\varphi_e)^2}] \quad (n \text{ 为整数}, L \geq 0) \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式(D.3)的 $J(L)$ 函数关系值可通过数值计算求得。据此计算的一些 $D_{max}/D_{min}-k$ 的关系曲线计算结果如图 D.2 中 a)~e) 所示(图中横坐标是以 $\Delta L = k\varphi_e$ 为单位的无量纲 L 值)。虽然不同的电子加速器装置引出窗参考面位置以及不同束流能量 E_e ,束流的不同发射度等都将使上述束流密度分布偏离标准正态分布的函数关系,并随上述参数变化而改变,但它给出的规律性分析结论是普适的,可供参考的。

表 D.1 $D_{max}/D_{min}-k$ 关系的部分数值关系

k	0.850	0.875	0.900	0.925	0.950	0.975	0.985	1
D_{max}/D_{min}	1.029	1.036	1.047	1.061	1.078	1.100	1.108	1.125

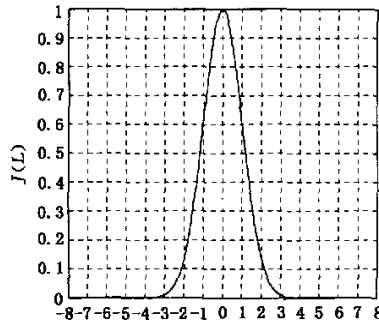
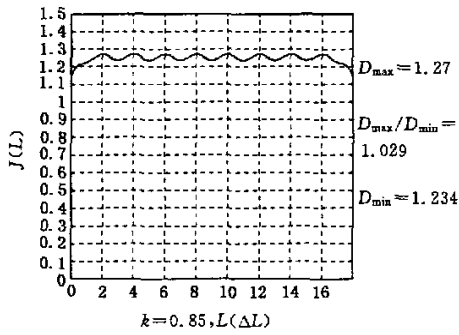
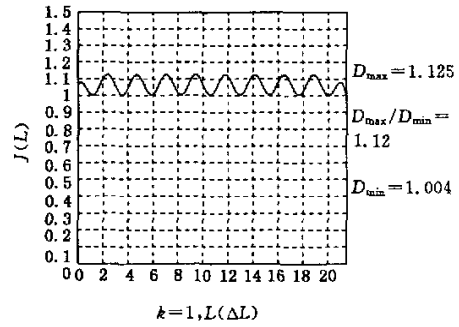


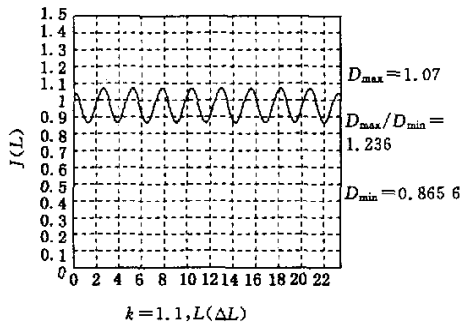
图 D.1 束斑内束流密度的正态分布图



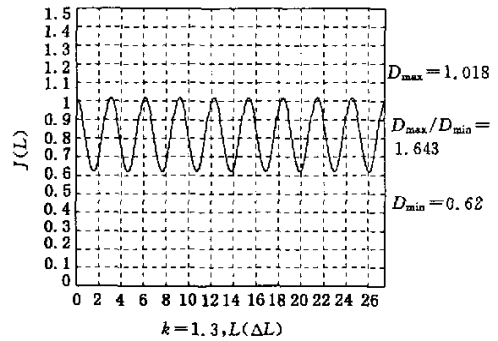
a)



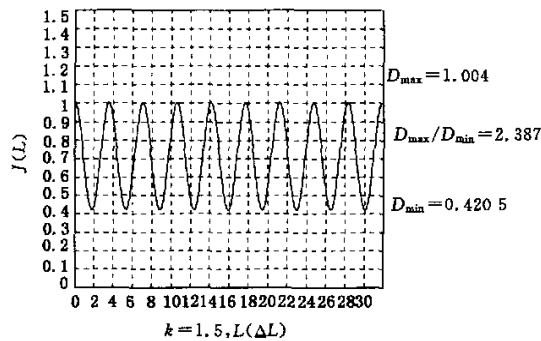
b)



c)



d)



e)

图 D.2 D_{\max}/D_{\min} - k 的关系曲线计算结果图

D.2 束流扫描频率的测量

于参考面扫描束中心线附近,置一根轴线平行于Y方向、φ15 mm的铝棒。在扫描束照射过程中,用已校正过时间轴的示波器观测铝棒在扫描束照射下的电流波形,可求得实测的扫描频率 f_{sw} 。

测量次数 $n \geq 5$,每次测量时间间隔 10 min。束流扫描频率测量值与随机文件标称扫描频率值的偏差按式(D.4)计算:

$$\frac{\Delta f_s}{f_{sw}} = \frac{f_{sw} - f_{sav}}{f_{sw}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

Δf_s ——束流扫描频率变量;

f_{sw} ——随机文件标称束流扫描频率值,单位为赫兹(Hz);

f_{sav} —— n 次测量束流扫描频率的平均值,单位为赫兹(Hz)。 $f_{sav} = (\sum_{i=1}^n f_{si}) / n$, f_{si} 为第*i*次测量的束流扫描频率值,单位为赫兹(Hz)。

D.3 束流脉冲重复率的测量

脉冲型加速器应提供位于加速管出口处的无截获束流脉冲变压器,用已校正时间轴的示波器观测加速器出束时周期性束流脉冲波形。计算出束流脉冲重复率 N 。

测量次数 $n \geq 5$,每次测量时间间隔 10 min。束流脉冲重复率测量值与随机文件标称束流脉冲重复率值的偏差按式(D.5)计算:

$$\frac{\Delta N}{N_s} = \frac{N_s - N_{sav}}{N_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

ΔN ——束流脉冲重复率变量;

N_s ——随机文件标称束流脉冲重复率值,单位为赫兹(Hz);

N_{sav} —— n 次测量束流脉冲重复率值的平均值,单位为赫兹(Hz)。 $N_{sav} = (\sum_{i=1}^n N_i) / n$, N_i 为第*i*次测量的束流脉冲重复率值。