

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 785-2016

电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范

Technical standard of radiation safety for electron linear accelerator
industrial computed tomography

（发布稿）

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2016-03-29发布

2016-04-01实施

环 境 保 护 部 发布

目 次

前言	II
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 总体要求	2
5 加速器工业 CT 辐射安全与防护性能要求	3
6 加速器工业 CT 工作场所的辐射安全与防护要求	4
7 加速器工业 CT 安全操作要求	5
8 辐射防护监测和安全检查	5
9 质量保证	6
附录 A （规范性附录） 加速器工业 CT 工作场所、周边环境辐射水平监测要求和方法	8
附录 B （资料性附录） 加速器工业 CT 安全联锁逻辑关系	9
附录 C （资料性附录） 加速器工业 CT 工房及辐射安全设施布局示例	10
附录 D （规范性附录） 加速器工业 CT 辐射防护监测和检查的类别、内容和周期	11

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国放射性污染防治法》，保护环境，保障职业人员和公众的辐射防护和安全，制定本标准。

本标准规定了电子直线加速器工业 CT 的销售(含建造)和使用中的辐射安全技术和管理要求。

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

本标准由环境保护部辐射源安全监管司提出。

本标准由环境保护部核设施安全监管司、科技标准司组织制订。

本标准主要起草单位：重庆大学，重庆市辐射环境监督管理站，中国原子能科学研究院。

本标准环境保护部 2016 年 03 月 29 日批准。

本标准自 2016 年 04 月 01 日起实施。

本标准由环境保护部解释。

电子直线加速器工业 CT 辐射安全技术规范

1 适用范围

本标准规定了电子直线加速器工业CT的销售（含建造）和使用中的辐射安全技术和管理要求。
本标准适用于能量不高于15MeV电子直线加速器工业CT装置。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB 3095 环境空气质量标准

GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 9445 无损检测人员资格鉴定与认证

GB/T 20129 无损检测用电子直线加速器

GB/T29070 无损检测工业计算机层析成像（CT）检测通用要求

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本标准

3.1 电子直线加速器 electron linear accelerator

一种利用脉冲射频发生器将电子枪产生的电子在直线加速管内加速得到高能电子束的装置，简称加速器。加速器产生的高能电子可以直接引出，用于工业辐照或医学治疗等，也可轰击到重金属靶上，产生X射线作为工业无损检测或医学治疗等的X射线源。本标准中的电子直线加速器仅作为X射线源使用。

3.2 工业 CT industrial computed tomography

工业CT即工业计算机层析成像（CT）检测技术，是一种数字化辐射成像无损检测技术。射线沿着多个视角方向穿过被检测物的特定区域后，由辐射探测器记录射线透射率的变化，再通过特定算法重建出该区域物理特征分布图像。工业CT一般由射线源系统、探测系统、数据采集传输系统、机械系统、控制系统、图像处理系统以及辐射防护安全系统等部分组成。

3.3 电子直线加速器工业 CT electron linear accelerator industrial CT

利用电子直线加速器作为射线源的工业CT装置，简称加速器工业CT。

3.4 加速器工业 CT 射线源系统 radiation source system of accelerator industrial CT

提供加速器工业CT扫描所需的X射线束的装置。主要由加速器机头、调制器柜、控制柜（台）、冷却机组、限束装置、辐射防护安全以及相关支撑机构等组成，简称加速器系统。

3.5 加速器工业 CT 控制系统 control system of accelerator industrial CT

实现工业CT扫描运动的精确控制、协调加速器出束脉冲与数据采集系统的采样信号精确同步的时序逻辑控制，并负责系统的辐射安全保护功能。一般由伺服控制系统、计算机、控制台（柜）等硬件设备以及相关的控制软件组成，简称工业CT控制系统。

3.6 加速器工业 CT 检测室 test room of accelerator industrial CT

用于安放加速器工业CT扫描装置并具有辐射安全防护功能的专用扫描检测工房，简称检测室。

3.7 加速器最大空气比释动能率 maximum air-kerma rate of accelerator

加速器正常工作状态以最大功率运行时，射线锥束中心轴线上，距靶点1m处的空气比释动能率最大值。

3.8 加速器泄漏剂量比率 leakage dose ratio of accelerator

在加速器有用射线束外，距离加速器靶点1m处任何100cm²面积上，加速器机头的泄漏辐射空气比释动能率的平均值，与有用射线束中心轴线上距离靶1m处的空气比释动能率的比值。

4 总体要求

4.1 一般原则

4.1.1 基本要求

加速器工业CT销售（含建造）和使用单位应当根据国家有关法律、法规的规定建立健全辐射安全管理体系以及辐射安全和防护状况年度评估等管理制度。

4.1.2 辐射防护纵深防御原则

依据纵深防御原则，设置加速器工业CT多重辐射防护与安全措施，并使其辐射防护与安全重要系统、部件和设备具有适当的冗余性、多样性和独立性。

4.2 辐射工作场所的分区和警示标志及设备工作状态标识

4.2.1 辐射工作场所的分区

按照GB18871-2002的规定，加速器工业CT辐射工作场所分为：

- a) 控制区：检测室防护门以内区域；
- b) 监督区：控制室、设备机房、检测工件装卸区域及其它辅助房等区域。

4.2.2 警示标志及设备工作状态标识

在检测室工件及人员入口处，应设置电离辐射警示标志，以及加速器工作状态指示装置。电离辐射警示标志及中文警示说明等，应符合GB18871-2002附录F中的图F.1和图F.2要求。

4.3 职业照射和公众照射的剂量控制

4.3.1 个人剂量控制

4.3.1.1 加速器工业 CT 销售（含建造）、使用中，职业照射和公众照射的剂量限值应满足GB18871-2002 的要求。

4.3.1.2 职业照射和公众照射的剂量约束值规定为：

- a) 辐射工作人员个人年剂量约束值为5mSv;
- b) 公众成员个人年剂量约束值为0.1mSv。

4.3.2 工作场所剂量控制

附录A所包含的工作场所以及周边环境的屏蔽体(墙)表面大于或等于30cm处任何监测点的周围剂量当量率应不大于2.5 μ Sv/h。

5 加速器工业 CT 辐射安全与防护性能要求

5.1 一般要求

5.1.1 加速器最大空气比释动能率、电子束能量、X 射线均匀度等性能指标及电气、机械安全技术要求与测试方法应满足 GB/T 20129 的相应要求。

5.1.2 加速器工业 CT 的设计与制造,应满足 GB/T 29070 工业 CT 检测通用要求,还应充分考虑加速器的辐射防护与安全性能要求。

5.1.3 加速器工业 CT 的辐射安全设计与制造,应遵循冗余性、多样性和独立性原则,以保证当某一部件或系统发生故障时,以及各种事故状态下,仍能保证人员和环境的辐射安全。

5.1.4 加速器工业 CT 的控制开关、操作按钮等应做到功能可靠、视觉醒目、手感明确。

5.2 辐射安全与防护性能要求

5.2.1 加速器机头的辐射屏蔽材料和厚度应考虑射线的能量、束流强度和靶材料等因素,应按加速器最大空气比释动能率进行设计,加速器泄漏剂量比率应小于 0.1%。能量高于 10MeV 以上时,应考虑中子防护措施,如采用高低密度组合材料,增加含硼、石蜡等中子防护材料。

5.2.2 加速器机头应有射线限束装置,如准直器、光阑等。射线限束装置把射线束准直成一定厚度扇形射线束或锥形束,其射线束的扇角或锥角在满足工业 CT 的成像要求情况下,应尽可能小。

5.2.3 加速器系统应提供与工业 CT 连接的硬件接口及相应的控制程序,允许工业 CT 控制系统对加速器进行射线开关、脉冲重复频率设置等操作控制以及进行工作状态监测。

5.2.4 除调试或维修等特殊情况下,仅当接收到工业 CT 控制系统发出的出束允许信号后,加速器系统方可加高压出束,并在与工业 CT 的通信因故中断时,加速器应能自动停机。

5.2.5 工业 CT 控制系统应具备如下功能,以实现对加速器系统安全、可靠的控制:

- a) 与加速器之间可靠的通信接口;
- b) 能对加速器的射线开关、脉冲重复频率、出束时间等进行控制;
- c) 加速器工业CT操作台应显示加速器工作状态、出束剂量率、出束时间、触发频率、触发方式等参数。

5.2.6 加速器系统应与检测室防护门、紧急停机按钮、射线源开关钥匙等实现安全联锁。只有满足检测室防护门关闭、紧急停机按钮复位、射线源开关钥匙合上等联锁条件,且加速器系统、工业 CT 设备均准备就绪,工业 CT 控制系统向加速器系统发出出束允许信号后,方可启动加速器出束进行 CT 扫描检测。加速器工业 CT 的安全联锁逻辑设计可参考附录 B(资料性附录)。

5.2.7 在加速器系统出束前，应有不少于 10 秒的声、光预警信号，声、光预警信号结束后加速器系统方可加高压出束；出束后应持续发出声、光信号，直至停束为止。在出束过程中，5.2.6 的联锁条件一旦不满足，系统应立刻自动切断高压停止出束，并发出警示信号；

5.2.8 加速器系统和工业 CT 控制系统的操作控制程序应设置密码，未经单位辐射安全管理人员允许不得修改。

6 加速器工业 CT 工作场所的辐射安全与防护要求

6.1 加速器工业 CT 工作场所的选址、布局和建筑设计应符合相关辐射安全防护法规和标准要求，保证建、构筑物施工质量，保障工作场所和周围环境安全。

6.2 加速器工业 CT 工作场所应合理布置，检测室与控制室及其他辅助用房应分开，控制室等人员活动频繁的区域，应避开有用线束的照射方向。工作场所以及辐射安全设施布局设计可参考附录 C（资料性附录）加速器工业 CT 工房及辐射安全设施布局示例图。

6.3 初级辐射(有用射线束)直接投照的防护墙（包括天棚）按主射线辐射屏蔽要求设计，其余墙体按次级辐射屏蔽要求设计。天棚辐射屏蔽厚度设计，还应考虑天空散射对周边环境的影响。在计算屏蔽厚度时，需考虑 2 倍安全系数。通向检测室的导线、导管设计宜采用“U”或“Z”等方式的设计，确需穿越防护墙的，应不得影响其辐射屏蔽防护效果。

6.4 检测室的工件和人员入口处应设置防护门。防护门与墙体之间的搭接合理，间隙与搭接比值应小于 1/10。加速器能量大于 10MeV 以上时，迷道以及防护门应考虑中子及中子俘获产生的 γ 射线的防护。屏蔽材料应包括含硼聚乙烯或含硼石蜡等中子防护材料。

6.5 检测室应按设计图纸文件和国家有关标准规范进行土建工程和附属工程的施工及安装，确保施工质量和辐射屏蔽防护效能。在施工中涉及辐射防护和安全设施的修改，应征得设计单位同意并应报审管部门批准，并作好记录，以备检查和验收。

6.6 检测室所有入口处的防护门应与加速器工业 CT 联锁。在防护门开启时，加速器不能加高压出束。加速器出束状态下防护门被开启，加速器应自动切断高压停止出束，通过控制台的复位操作后，方可再一次加高压出束；检测室人员入口应设置迷道，有用线束朝向应尽量避免工件出入口、控制室和迷道。检测室迷道防护门内侧应安设标识明显的紧急开门开关，确保异常情况时人员能从检测室内迅速开门离开。

6.7 检测室、迷道、加速器机头及工业 CT 操作台上应安装紧急停机按钮，检测室墙面、迷道内等处应安装检查复位按钮。紧急停机按钮、复位按钮及紧急开门开关处应设置有明显标识。在紧急停机后，只有通过再次复位后才能重新启动加速器。

6.8 检测室应设置通风装置，设计上确保检测室内外空气质量达到 GB 3095 要求。

6.9 检测室应设置固定式剂量监测装置，对加速器的出束状态进行监测。

6.10 检测室内应有监视装置，其摄像头的安装应保证检测室内，特别是加速器有用线束区域内可视，并在控制室内设置专用监视器。必要时在检测室与控制室之间安设通讯设备。

7 加速器工业 CT 安全操作要求

7.1 一般要求

7.1.1 加速器工业 CT 操作人员和专(兼)职管理人员应经过辐射防护安全培训以及专业技术培训,并经考核合格。操作人员还应符合 GB 9445 中射线照相检测人员的身体健康条件,并接受工业 CT 无损检测专业培训。

7.1.2 操作人员应按附录 D 要求,定期检查加速器工业 CT 的安全联锁、紧急停机按钮、射线源开关钥匙、通风换气装置以及剂量监测与警示标志及装置等,确认其处于正常状态。

7.1.3 进入检测室前,操作人员应确认加速器已处于停束状态,并应拔出射线源开关钥匙方可进入。

7.1.4 每次加速器出束之前,操作人员应巡查检测室及迷道,确认检测室及迷道内无人且防护门关闭后方可开启加速器出束。一旦发现设备异常,应立刻关闭射线束并停机检查,在未查明原因和维修结束前,加速器不得投入工作使用。

7.1.5 加速器工业 CT 操作、安装调试和检修维护人员在工作过程中,应按要求配戴个人剂量计。进行加速器设备的调试和维修时,工作人员除了按要求配戴个人剂量计外,还应按要求携带个人剂量报警仪。

7.1.6 加速器工业 CT 每天工作结束后,作好安全记录,并由使用单位的辐射安全管理人员或委托相关责任人保管好射线源开关钥匙。

7.2 加速器工业 CT 安装调试和检修维护中的安全操作要求

7.2.1 加速器工业 CT 安装调试和检修维护人员,除应经过辐射防护安全培训并取得相应合格证书外,还应经过厂家的专业技术培训合格后,方可进行相关的安装、调试和检修工作。

7.2.2 在设备的调试和维修过程中,射线源开关钥匙应安排专人看管,或由维修操作人员随身携带。

7.2.3 在设备的调试和维修过程中,如果要求解除安全联锁等保护措施,应经相关负责人同意之后安排专人监护,并应在检测室的入口等关键处设置醒目的警示牌。工作结束后,先恢复安全联锁并经确认系统正常后才能启用加速器。

7.3 加速器工业 CT 设备报废和退役的安全要求

7.3.1 当能量大于 10MeV 的加速器工业 CT 报废或退役时,对加速器产生的放射性废靶、废水等含感生放射性的废物,应按法规要求送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

7.3.2 能量大于 10MeV 加速器工业 CT 的工作场所退役时,应按相关法规要求,实施退役项目辐射环境终态监测,并提交退役终态监测报告或者监测表。

8 辐射防护监测和安全检查

8.1 加速器工业 CT 设备的监测和检查

8.1.1 加速器工业 CT 出厂前,设计制造单位应按附录 D 中的出厂监测和检查的要求,对设备的辐射防护性能进行测试和检验,确认各项与辐射防护和安全有关的设计要求得到满足后方可出厂。

8.1.2 加速器工业 CT 正式投入使用后，使用单位应按附录 D 中常规监测的内容和方法，定期对设备进行常规检测和安全检查，及时排除隐患，杜绝事故的发生。

8.2 加速器工业 CT 工作场所、周边环境辐射水平监测要求和方法

8.2.1 加速器工业 CT 工作场所、周边环境辐射水平监测要求和方法参照附录 A。

8.2.2 在加速器工业 CT 正式投入使用前的试运行阶段，使用单位应按有关法规规定委托具有相应资质的监测机构按附录 A 工作场所及周边环境辐射水平监测要求及方法和附录 D 中的验收监测和检查内容和要求，进行验收监测和检查，并经审管部门批准后方可投入正式使用。

8.2.3 加速器工业 CT 销售（含建造）和使用单位应配置适当的 X、 γ 辐射剂量仪，加速器能量大于 10MeV 时，应同时配置中子周围剂量当量（率）仪，对控制室、检测工件装卸区域等工作场所和周围环境进行辐射监测，并做好详细的记录。

8.2.4 监测仪器的性能应符合附录 A 要求。辐射监测仪器应经法定单位的检定或校准，并在其有效时间内使用。

8.3 个人剂量监测

8.3.1 加速器工业 CT 操作、安装调试和检修维护人员应按 7.1.5 的规定配置 X、 γ 个人剂量计进行常规个人剂量监测，并按国家有关规定建立个人剂量档案。

9 质量保证

9.1 加速器工业 CT 辐射安全设计及制造中的质量保证

9.1.1 为保证加速器工业 CT 的辐射安全，工业 CT 的设计制造单位应当具备健全的产品质量保证管理体系，保证产品设计性能指标达到辐射防护安全要求。

9.1.2 加速器工业 CT 设计制造单位应做好产品的质量控制，对设计、材料的供应和使用、制造工艺、检查与检验方法以及运行操作程序进行规范，确保加速器工业 CT 的辐射安全防护性能满足本标准要求。

9.1.3 加速器工业 CT 设计制造单位应确认其出厂设备的辐射安全性能指标，满足设计及运行操作要求，设备合格后方可出厂。

9.2 加速器工业 CT 运行使用中的质量保证

9.2.1 加速器工业 CT 使用单位应当建立健全质量保证体系，保证设备运行达到辐射防护安全要求。

9.2.2 加速器工业 CT 使用单位应建立辐射安全管理机构，明确管理人员及其职责，落实辐射安全责任制；应建立健全辐射防护安全管理规章制度，并有效贯彻实施。

9.2.3 加速器工业 CT 使用单位应采取有效措施，确保与设备运行操作有关的各种规程、检测方法和标准制定等能正确、有效地进行和完成，并对有关加速器工业 CT 设备、设施进行有效的维护，确保其辐射安全设施能正常地运行。

9.2.4 加速器工业 CT 使用单位应采取有效的防护与安全措施，防止由于人为错误或其他原因导致的事故或事件，并有效减轻事故或事件的后果；应当分析可能发生的故事和风险，制定相应的应急预案，做好应急准备，并报许可证颁发机关备案。

9.2.5 加速器工业CT使用单位应建立健全辐射安全和防护培训制度,规范建立有关文件记录档案,培植并保持运行操作和管理人员良好的安全文化素养。

附 录 A
(规范性附录)

加速器工业 CT 工作场所、周边环境辐射水平监测要求和方法

A.1 监测仪器

A.1.1 X、 γ 环境辐射剂量仪

剂量当量率有效量程范围至少为：10nSv/h~250 μ Sv/h；剂量当量有效量程范围至少为：10nSv~10mSv；能量响应范围至少为：50keV~3MeV，在此能量范围内的响应与对 ^{137}Cs γ 参考辐射源响应不得超过 $\pm 30\%$ 。

A.1.2 中子周围剂量当量（率）仪（当加速器能量大于10 MeV时使用）

中子周围剂量当量率有效量程范围应至少覆盖4个量级，典型有效量程范围应为：1 μ Sv/h~10 mSv/h；相对固有误差不应超过参考辐射周围剂量当量率约定真值的 $\pm 20\%$ ；能量响应随中子能量的变化不超过50%；当辐射相对于校准方向从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 的任何角度入射时，仪器指示值的变化不应超过 $\pm 25\%$ 。

A.2 监测条件

加速器处于额定工作条件，并在正常CT扫描位置放置一个常规检测的典型工件。

A.3 监测点

工作场所监测点：检测室防护门及门缝四周；控制室内人员操作位、电缆线管道孔及通风口等位置，以及过道走廊等预计剂量率较高的位置或人员停留时间长的位置等。

周边环境监测点：检测室屏蔽墙体外、检测室人员可达屋顶、工房周围人员活动较频繁的区域，如道路、办公室，以及周围的居民点等。

A.4 监测方法

对工作场所、周边环境预计剂量率较高的监测点位，在距离屏蔽体（墙、防护门）表面30cm处进行巡测。监测布点以及测量要求按有关监测规范进行。

附 录 B
(资料性附录)
加速器工业 CT 安全联锁逻辑关系

B.1 加速器工业CT安全联锁逻辑关系c

电子直线加速器工业CT系统的安全联锁逻辑控制、设备的工作状态指示等,一般由系统的PLC编程实现。PLC将安全联锁和设备的工作状态及其它相关信息上报工业CT系统控制计算机,实现加速器出束安全联锁控制。按纵深防御原则,加速器安全联锁除通过软件控制之外,还采用继电器触点等硬连接方式实现,以保证设备适当的冗余性、多样性和独立性。下图为安全联锁逻辑关系参考示例图。

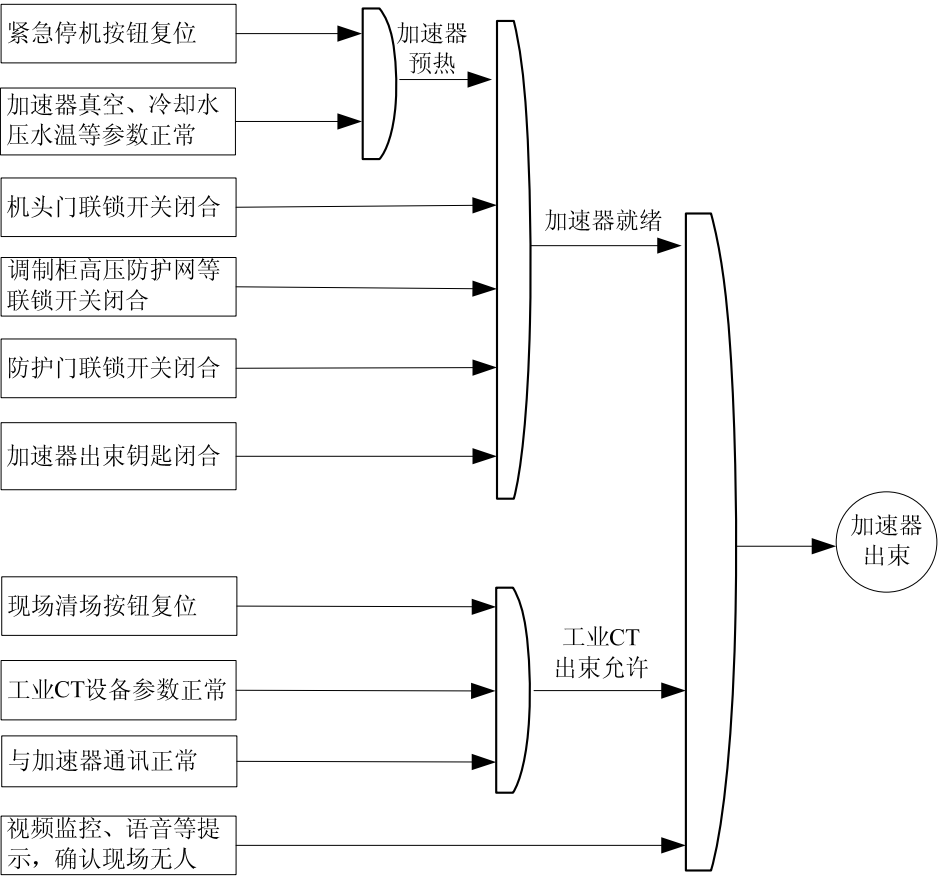
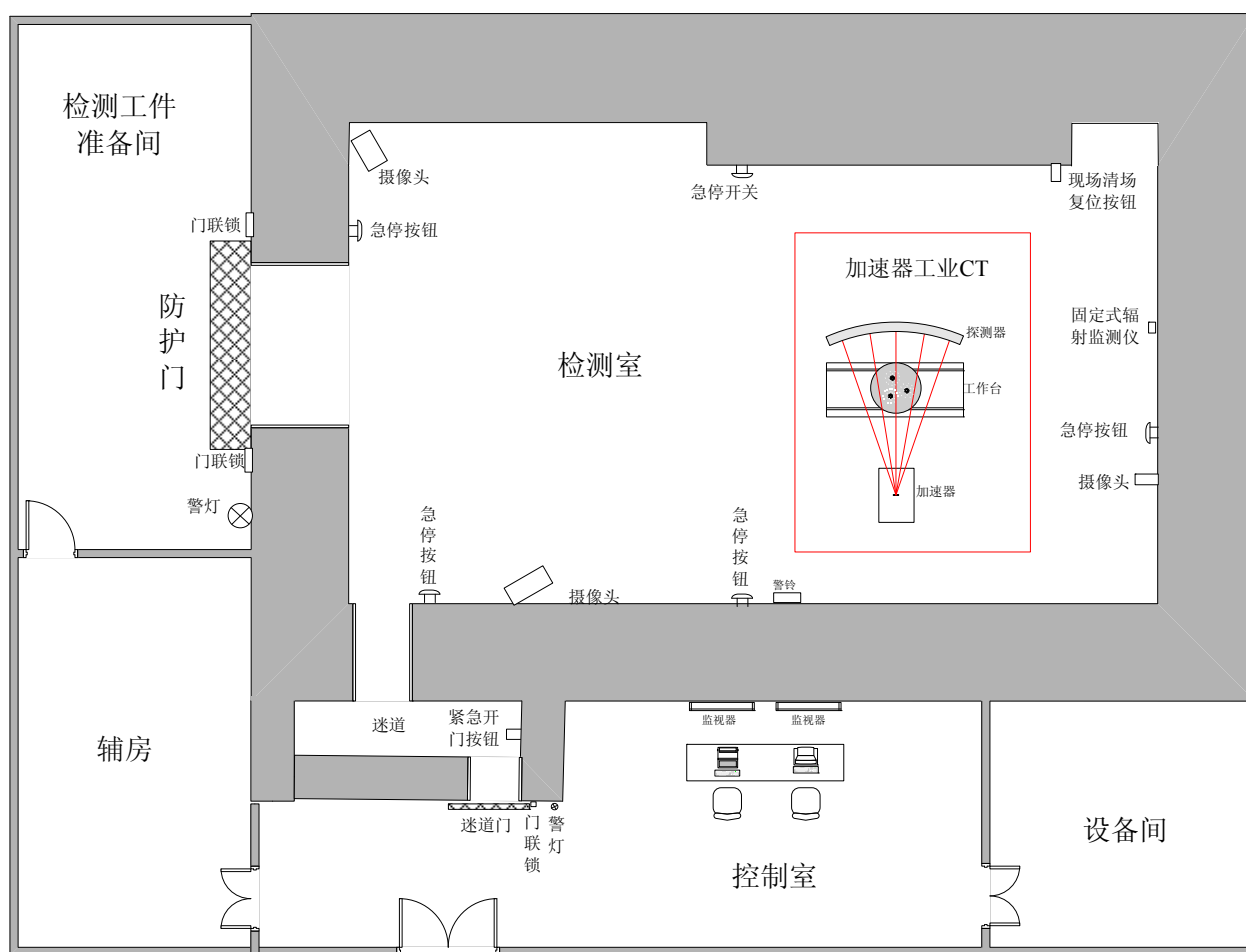


图 B.1 电子直线加速器工业 CT 安全联锁逻辑关系示例图

附 录 C
(资料性附录)
加速器工业 CT 工房及辐射安全设施布局示例

C.1 电子直线加速器工业CT工房及辐射安全设施布局图示例

加速器工业CT工房一般根据加速器工业CT装置大小、检测工件的尺寸、检测工艺流程等实际需要进行布局设计。加速器工业CT工房一般由检测室、控制室、设备室以及其他辅助用房组成。在工房设计和施工时,还应充分考虑门连锁、急停按钮、辐射剂量监测仪等辐射安全防护设施的布局及安装。下图为典型的加速器工业CT工房及辐射安全设施布局示例图。



图C.1电子直线加速器工业CT工房及辐射安全设施布局示例图

附 录 D
(规范性附录)

加速器工业 CT 辐射防护监测和检查的类别、内容和周期

D.1 加速器工业CT辐射防护监测和检查的类别、内容和周期

表E.1加速器工业CT辐射防护监测和检查的类别、内容和周期

序号	监测和检查类别	监测和检查内容	对应条款	监测周期
1	出厂监测和检查	1) 加速器工业 CT 的辐射安全与防护性能要求	5	设备出厂前
2	验收监测和检查	1) 总体要求	4	设备投入使用前的监测和检查
		2) 辐射安全与防护性能要求	5.2	
		3) 工作场所的辐射安全与防护要求	6	
3	常规监测和检查	1) 警示标识	4.2.2;7.1.2	每天
		2) 安全联锁	5.2.6; 7.1.2	每天
		3) 紧急停机按钮		每周
		4) 射线源开关钥匙		每周
		5) 声光报警装置	5.2.7;7.1.2	每天
		6) 通风装置	6. 8; 7.1.2	每天
		7) 固定式剂量监测装置	6. 9; 7.1.2	每天
		8) 监视及通信装置	6. 10; 7.1.2	每天
		9) 个人剂量监测	4.3.1; 8.3	3 个月
		10) 工作场所环境监测	4.3.2; 8.2	每年至少一次