



中华人民共和国国家标准

GB/T 27476.6—2020

检测实验室安全 第6部分：电离辐射因素

Safety in testing laboratories—Part 6: Ionising radiations aspects

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

| | |
|---------------------------------|-----|
| 前言 | III |
| 引言 | IV |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 安全管理要求 | 4 |
| 5 安全技术要求 | 9 |
| 附录 A (资料性附录) 导出辐射防护标准 | 23 |
| 附录 B (资料性附录) 公众辐射照射的控制 | 33 |
| 附录 C (资料性附录) 不同类型辐射源的防护方法 | 37 |
| 附录 D (资料性附录) 射线装置分类 | 39 |
| 附录 E (资料性附录) 电离辐射测量 | 41 |
| 参考文献 | 45 |

前 言

GB/T 27476《检测实验室安全》分为以下 6 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：电气因素；
- 第 3 部分：机械因素；
- 第 4 部分：非电离辐射因素；
- 第 5 部分：化学因素；
- 第 6 部分：电离辐射因素。

本部分为 GB/T 27476 的第 6 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由全国认证认可标准化技术委员会(SAC/TC 261)提出并归口。

本部分起草单位：中国合格评定国家认可中心、中国电器科学研究院股份有限公司、浙江省辐射环境监测站、国家无线电监测中心检测中心、北京大陆航星质量认证中心股份有限公司、威凯认证检测有限公司。

本部分主要起草人：刘岩、张鹏杰、宋起柱、张荣锁、韩京城、刘国荣、王秀芳、吴国平、王文俭、叶颂平、曹实。

引 言

检测实验室安全运行可能涉及电气、机械、非电离辐射、电离辐射、化学和微生物等危险因素，GB/T 27476 是针对这些危险因素而制定的检测实验室安全系列标准，旨在提升检测实验室的安全管理能力和安全技术能力，降低检测实验室运行的安全风险。

GB/T 27476 是适用于检测实验室的安全系列标准，与现已颁布的专业领域实验室安全标准共同组成检测实验室安全标准体系。

本部分旨在防止工作人员在实验室使用电离辐射源时非必要暴露于辐射和其他人员可能被意外或预期的电离辐射伤害的事故。同时，描述了放射性物质和辐照装置的重要特性，有害性和其他基本辐射防护信息。

检测实验室安全

第6部分：电离辐射因素

1 范围

GB/T 27476 的本部分规定了检测实验室(以下简称实验室)与电离辐射因素相关的术语和定义、安全管理要求、安全技术要求等。

本部分适用于在固定场所内开展以下活动的实验室：

- 1) 使用、处置或储存放射性物质；
- 2) 使用辐照装置。

其他场所的实验室可参考使用,但可能需要附加要求。动植物检疫、医学、法医、兽医等其他实验室如参照本部分,可能需要附加专业领域的安全要求。

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 11806 放射性物质安全运输规程

GB 14500 放射性废物管理规定

GB 15603 常用化学危险品贮存通则

GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 27476.1—2014 检测实验室安全 第1部分：总则

EJ 380 开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范

3 术语和定义

GB 18871—2002 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了GB 18871—2002 的一些术语和定义。

3.1

(电离)辐射 (ionizing) radiation

在辐射防护领域,能在生物物质中产生离子对的辐射。

[GB 18871—2002,定义 J1.1]

3.2

(辐射)源 (radiation) source

可以通过发生电离辐射或释放放射性物质而引起辐射照射的一切物质或实体。

注：例如,发射氦的物质是存在于环境中的源, γ 辐照消毒装置是食品辐照保鲜实践中的源,X射线机可以是放射诊断实践中的源,核电厂是核动力发电实践中的源。

[GB 18871—2002,定义 J1.2]

3.3

辐照装置 irradiation installations

安装有粒子加速器、X射线机或大型放射源并能产生高强度辐射场的一种构筑物或设施。

注：正确设计的构筑物提供屏蔽和其他防护，并设有用以防止误入高强度辐射区的安全装置（如联锁装置）。辐照装置包括外射束辐射治疗用装置，商品消毒或保鲜用装置，以及某些工业射线照相装置等。

[GB 18871—2002, 定义 J2.14]

3.4

密封源 sealed source

密封在包壳里的或紧密地固结在覆盖层里并呈固体形态的放射性物质。

注：密封源的包壳或覆盖层具有足够的强度，使源在设计使用条件和磨损条件下，以及在预计的事件条件下，均能保持密封性能，不会有放射性物质泄漏出来。

[GB 18871—2002, 定义 J2.8]

3.5

戈瑞 Gray

Gy

吸收辐射量的国际单位。

注：1 Gy=1 J·kg⁻¹。

3.6

吸收剂量 absorbed dose

是一个基本的剂量学量 D ，定义为：

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

式中：

$d\epsilon$ —— 电离辐射授予某一体积元中的物质的平均能量；

dm —— 在这个体积元中的物质的质量。

能量可以对任何确定的体积加以平均，平均能量等于授予该体积的总能量除以该体积的质量而得的商。

单位：焦耳每千克(J·kg⁻¹)或戈瑞(Gy)。

[GB 18871—2002, 定义 J4.5]

3.7

希沃特 Sievert

Sv

当量剂量和有效剂量的国际单位。

注 1：1 Sv=1 J·kg⁻¹。

注 2：通常使用毫希沃特(mSv)，1 mSv=0.001 Sv，还有微希沃特(μSv)，1 μSv=0.001 mSv。比如在日常工作中不接触电离辐射的人，每年的正常因环境本底辐射(主要是空气中的氡)摄取量是每年 1 mSv~2 mSv。

3.8

约束 constraint

年均辐射量或辐射量水平，适合时，无论上升或潜在上升，对于实际中电离辐射的单一辐射源，设定低于职业或公众限量。

3.9

辐射防护负责人 radiation protection officer

技术上胜任某一给定类型实践的辐射防护业务，受注册者或许可证持有者聘任对防护与安全法规和标准的实施进行监督管理的人员。

[GB 18871—2002, 定义 J7.15]

3.10

指定辐射区域 designated radiation area; DRA

人员暴露于辐射或辐射物质中的,受辐射防护负责人(RPO)监督的工作区域。

注:此包括了国际防辐射委员会,国际原子能代表处中使用的“被控制的”和“受监督的”区域。

3.11

外部辐射 external radiation

人体从外部来源接收到的辐射。

3.12

半衰期 half-life

与放射性物质的衰减相关,一定量的放射性物质减少至其最初值的一半所需的时间。

3.13

内部辐射 internal radiation

身体从皮肤或伤口注射、摄取、吸入或吸收的电离辐射的辐射物质。

3.14

核素 nuclide

核的原子组成部分。

注:例如核子内中子和质子的数量。

3.15

防护间 protective housing

具有 X 射线管,加速或封闭源的房间。

注:预期用于在某一层度上减少辐射泄漏。

3.16

放射性物质 radioactive substance

含有放射性核素且其活度浓度和放射性总活度浓度都超过审管部门规定值的物质。

注:根据规定,审管部门制定受控放射能的最低限值。

3.17

放射线危害 radiological hazard

因暴露于电离辐射而引起对健康的潜在危险。

注:可能是由于外部辐射或身体内部放射性物质而引起。

3.18

放射性核素 radionuclide

放射性物质衰减时的原子核。

3.19

辐射毒性 radiotoxicity

毒性归结为放射性核素(和其衰减产物)产生的电离辐射对人体的危害。

注:辐射毒性不仅与放射性核素的性质,而且与其物理和化学状态,及放射性元素在人体或人体器官的新陈代谢有关。

3.20

年摄入量限值 annual limit on intake; ALI

参考人在一年时间内经吸入、食入或通过皮肤所摄入的某种给定放射性核素的量,其所产生的待积剂量等于相应的剂量限值。ALI 用活度的单位表示。

[GB 18871—2002,定义 J5.21]

3.21

导出空气浓度 derived air concentration; DAC

放射性核素在空气中的浓度限值,由年摄入量限值 ALI 推导出来的一个量。

3.22

导出工作限值 derived working limit; DWL

引入环境模型后得出的与实测辐射量具有可比性的辐射量修正限值。

注:有时被称为导出工作水平(DWL),或者导出水平(DL),常用的导出工作限值(DWL)是针对表面辐射污染的。

3.23

辐射事件 radiation incident

导致反常情况出现的预期之外的正常条件偏离事件。

注:反常情况可能引起辐射损伤、人员的污染或由一个独立事件产生的工作环境污染。

3.24

辐射事故 radiation accident

放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到意外的异常照射。

3.25

职业照射 occupational exposure

除了国家有关法规和标准所排除的照射以及根据国家有关法规和标准予以豁免的实践或源所产生的照射以外,工作人员在其工作过程中所受的所有照射。

[GB 18871—2002,定义 J5.10]

3.26

工作人员 worker

受聘用于全日、兼职或临时从事辐射工作并已了解与职业辐射防护有关的权利和义务的任何人员(自聘用人员被认为同时具有法人和工作人员的责任)。

[GB 18871—2002,定义 J7.13]

4 安全管理要求

4.1 组织结构和职责

4.1.1 GB/T 27476.1—2014 中 4.1.1 的内容适用。

4.1.2 GB/T 27476.1—2014 中 4.1.2 的内容适用。

4.1.3 GB/T 27476.1—2014 中 4.1.3 的内容适用。

增加下述内容:

实验室应有文件化的程序或政策明确规定相关人员的职责,并满足辐射实践正当化、辐射防护最优化、个人剂量当量限值(剂量控制)的辐射防护三原则以及电离辐射相关标准和法规的要求。

4.1.4 GB/T 27476.1—2014 中 4.1.4 的内容适用。

增加下述内容:

最高管理者应采取技术等措施以符合电离辐射的防护和安全要求。最高管理者可以指定其他管理人员实施该职责涉及的活动,但仍要对该职责承担责任。

实验室最高管理者的职责:

- a) 提供安全的工作场所,包括高标准的辐射保护和建立并遵守适当的安全措施规范;
- b) 设施等应符合国家相关法律法规;
- c) 遵守审管部门的指导;
- d) 所有从事电离辐射或放射性物质的人员都应该经过适当的上岗前辐射防护培训,并在适当的工

作周期中进行再培训；

- e) 有适当数量的人员从事辐射工作,以保证其安全和有效的运作；
- f) 有足够和适当的辐射/污染监测仪器,并进行适当的维护和校准；
- g) 从事电离辐射工作的所有人员应配备必要的个人剂量监测仪,并记录和保存他们的辐射照射剂量记录；
- h) 所有的放射性监测仪器和辐射源应定期核查和维护；
- i) 保存记录以供审管部门需要时查阅；
- j) 指定适当的人员担任辐射防护负责人。

4.1.5 GB/T 27476.1—2014 中 4.1.5 的内容适用。

增加下述内容：

最高管理者应指定或辐射防护负责人(RPO),负责监督辐射安全活动并确保辐射安全。辐射防护负责人(RPO)有权实施程序和干预已发生或正在发生的违背安全要求的情况。

辐射防护负责人(RPO)的职责：

- a) 确保在指定辐射区域(DRA)内辐射防护质量,使个人受辐射剂量最小化；
- b) 根据作业指导书和规程对安全工作提出建议；
- c) 必要时,与相关审管部门联络和商议；
- d) 确保所有必要的许可和注册事务可执行；
- e) 确保制定和实施适当的辐射安全管理计划；
- f) 联络因工作而暴露于辐射中的工作人员及其主管,确保制定了工作人员的培训计划以及电离辐射设备管理计划；
- g) 必要和有要求时,对指定的辐射区域、设备和运行安排检查和监控；
- h) 需要时,确保具有适当的人员和监测设备,保持正常的工作秩序；
- i) 安排个人测量时,有效剂量的记录保存应满足相应的法定时间；
- j) 必需时,提供医疗服务,医疗记录的保存应满足相应的法定时间；
- k) 检查使用或预期使用电离辐射的区域和装置,对辐射安全的管理给出报告和建议；
- l) 调查和记录非安全实践或事故,并向管理层和相关机构报告；
- m) 确保放射性物质和电离辐射仪器存放地点的记录在其处理后至少保存两年或者按照法规的要求；
- n) 安排放射性物质的安全存放和放射性废物的安全处理；
- o) 为工作人员和其他人员提供与所处环境相匹配的辐射安全建议和指导。

4.1.6 GB/T 27476.1—2014 中 4.1.6 的内容适用。

4.1.7 GB/T 27476.1—2014 中 4.1.7 的内容适用。

4.1.8 实验室应为其工作人员的行为负责,但这并不免除工作人员的责任。实验室应提供安全的工作场所,要求工作人员和其他人员遵守辐射安全要求和使用所提供的安全设备。实验室应避免所有从事电离辐射的工作人员或其他人员受到非工作需要的更大程度的辐射,应确保其受辐射剂量不超过 5.3.2 建议的限值或者其他相关文件的规定。

工作人员的职责：

- a) 接受辐射安全培训,并能正确处理辐射事件和采取适当的应急措施；
- b) 符合辐射防护负责人的要求；
- c) 使用的个人防护设备与其所处环境相适应；
- d) 熟悉辐射安全管理要求；
- e) 熟悉所用辐射源或放射性物质的主要物理和化学特性,以及生物性质；
- f) 将工作场所的辐射危害降到最低；

- g) 维护作业指导文件,以满足电离辐射相关标准和法规的要求;
- h) 及时向辐射防护负责人和指定人员报告任何已知的或可预见的非安全实践、其他危险情况或其他意外事故;
- i) 使用分发的个人监测设备并在规定时间内归还。

4.2 安全管理体系

GB/T 27476.1—2014 中 4.2 的内容适用。

4.3 文件控制

GB/T 27476.1—2014 中 4.3 的内容适用。

4.4 要求、标书和合同的评审

GB/T 27476.1—2014 中 4.4 的内容适用。

4.5 分包

GB/T 27476.1—2014 中 4.5 的内容适用。

4.6 采购

GB/T 27476.1—2014 中 4.6 的内容适用。

4.7 服务客户

GB/T 27476.1—2014 中 4.7 的内容适用。

4.8 投诉

GB/T 27476.1—2014 中 4.8 的内容适用。

4.9 安全检查和不符合的控制

4.9.1 安全检查

GB/T 27476.1—2014 中 4.9.1 的内容适用。

4.9.2 不符合的控制

GB/T 27476.1—2014 中 4.9.2 的内容适用。

4.10 应急准备和响应

4.10.1 应急程序

GB/T 27476.1—2014 中 4.10.1 的内容适用。

4.10.2 应急演练

GB/T 27476.1—2014 中 4.10.2 的内容适用。

4.10.3 应急响应

GB/T 27476.1—2014 中 4.10.3 的内容适用。

4.10.4 辐射事故、事件和应急处置

4.10.4.1 辐射事故的分类、辐射事故应急处理按国家相关法律法规执行。

4.10.4.2 辐射事件或事故应报告给审管部门。下列事件中的任何一项构成一个辐射事件：

- a) 未计划、短期照射、疑似或确认人员受到外部辐射超过表 1 中相关年剂量限值的 1/5；
- b) 人员或其衣物上的放射性污染物超过导出工作限值(DWL)(参见附录 A)；
- c) 放射性物质的摄入量参见附录 A,超过相应年摄入量限值(ALI)的 1/5,这可能通过吸入、摄取或开放性伤口(最严格的 ALI)等途径发生；
- d) 非密封放射性物质的溢出量参见附录 A,超过 ALI(摄入量)；
- e) 着火、爆炸或洪水破坏了使用或存放放射性物质的房间(或房间的存放物遭到损坏)；
- f) 遗失或损坏密封源或其容器,或遗失非密封放射性物质参见附录 A,超过 ALI(摄入量)。

最高管理者和辐射防护负责人应确保：

- a) 实验室工作人员应接受处理可预见辐射事件和应急程序的指导；
- b) 实验室应有合适的人员防护设备,辐射监测仪器和应急工具箱；
- c) 实验室出口应有应急联系人的姓名和联系信息；
- d) 当法规有要求时,每个辐射事件或应急均应调查和记录,并报告给相关的审管部门。

4.10.4.3 一旦人员受到任何严重的伤害,均应立即处理,以便尽量减小污染物的扩散。

对严重或威胁到生命的事件的应急处理应优先于污染的处理。

4.10.4.4 实验室用于辐射事件安全控制的应急设备应容易获得。

最高管理者应确保应急工具箱集中放置在实验室合适的位置。应急工具箱应包括如下设备：

- a) 防护服,例如:可用的眼罩,面罩,处置手套或者呼吸保护装置；
- b) 人员和区域的去污染设备和清理药剂；
- c) 废物容器,如塑料袋、专用放射性废物桶；
- d) 屏蔽材料,如有机塑料板、铅板、铅块；
- e) 直读式个人剂量计、表面污染监测仪和便携式 γ 辐射剂量监测仪。

应急工具箱应定期检查(至少每年)并在必要时进行更换,用于处置辐射事件的处理物品应及时更换。专用应急设备及配件,如没有得到辐射防护负责人(RPO)的授权,严禁移作他用。

4.10.4.5 每个辐射事故或事件均应立即上报给辐射防护负责人(RPO)。同时需立即按当地政府辐射事故应急预案向审管部门汇报,禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。政府指定的部门负责公众的信息通报工作。必要时,辐射防护负责人(RPO)应征求审管部门关于处理该事故或事件的意见。

如果异常情况并未引起实际的辐射伤害或污染,但有潜在发生的可能,应立即将其报告给辐射防护负责人(RPO),以便采取预防措施防止再次发生。

4.10.4.6 应立即采取如下措施消除或减少受照射人员的意外照射危害：

- a) 外部辐射:怀疑已经受到意外外部辐射剂量的人员应立即撤出受辐射源影响的区域。必要时,应在辐射防护负责人(RPO)的帮助下,立即开展所受辐射量的评估。应对受照射人员进行心理干预,必要时,应实施医学观察和处理。
- b) 表面污染:受污染的人应尽快去污。根据被污染的身体部位,按如下步骤进行洗消处理:
 - 1) 用流动的水清洗污染的伤口并尽可能排挤出少许的血液；
 - 2) 注:如果存在污染物通过破损或破裂的皮肤进入血液的风险,不要继续洗消。
 - 3) 用柔和的洗手液和温水洗手,如果还不能去除污染,再重新使用洗手液。不要使用酒精类产品或者刺激性清洁剂,其可能降低皮肤的天然防护功能。用清洁吸水纸巾擦干皮肤上的水渍。
 - 4) 注:如果上述措施不能去掉手部的污染,戴上棉质手套,再戴上紧身的橡胶手套,维持几个

小时促使手排汗,帮助去掉污染物。

5) 除手外,清洁其他受污染部位的皮肤按涂抹清洁剂、清洗、吸水纸擦干等步骤进行。

6) 立即用水或者生理盐水(0.9%kg/L溶液)冲洗眼部、鼻孔、耳朵或者嘴部的污染。

注:为避免进一步污染眼睛、鼻孔、耳朵和嘴部,在去污染时,头部,包括头发,需要特殊处理。

c) 直至表明污染已降低至可接受的水平或者去污染过程可能引起皮肤损伤时,去污染措施才能停止。

d) 放射性物质的摄入量:对怀疑摄入放射性物质的人,辐射防护负责人(RPO)应进行生物监测,例如:器官影像测量、采取血样和排泄物进行监测等。必要时,咨询相关具有放射医学资格的专业人员。

4.10.4.7 放射性物质的溢出可能在处置、运输或者源容器破损时发生。更大范围的污染可能由实验室或者储存室的水灾导致,例如:来自雨水或者有缺陷的水暖。应按如下方法处理放射性溢出物,以尽量减小其对人员的危害:

a) 对于少量溢出(少于放射性核素的豁免水平)参见表 A.3,处理程序如下:

1) 戴上橡胶或塑料手套,袍子或者围裙,如果溢出发生在地面,穿上专用鞋套;

2) 监测放射性物质溢出区域以确定污染程度,限制不必进入该区域的其他人;

3) 用吸收剂从外至内清理溢出的液体,用湿纸巾或湿布将干燥物质上的溢出物擦干净;

4) 监测受影响的区域,检查去污过程,继续进行必要的洗消以将污染减小到最低水平,最好是低于1导出工作限值(DWL);

5) 去污过程中用过的所有物品按放射性废物处理;

6) 监测因溢出事件受污染和去污操作涉及的所有人员;

7) 将被污染的衣物放入塑料袋并进行密封。

b) 对于大量泄漏(高于放射性核素的豁免水平),参见表 A.3,处理程序如下:

1) 如有污染扩散或者严重的放射性事件危害到人群,应立即撤离相关区域;

2) 立即请求专家帮助[如辐射防护负责人(RPO)],溢出区域的去污应在辐射防护负责人(RPO)或者其他专家的指导下进行;

3) 减小溢出污染的扩散;

4) 在允许再进入受污染区域前,应制定一个有计划进入和去污的程序;

5) 确保实施去污人员防护适当;

6) 监控该区域以确保剩余污染减少到最低水平,最好少于一个导出工作限值(DWL);

7) 去污过程中用过的所有物品按放射性废物处理;

8) 监测溢出或去污操作涉及的所有人员;

9) 清除被污染的衣物,放在塑料袋里并密封。

4.10.4.8 当发生放射性物质损失时,应按以下程序处理:

a) 如果源离开了指定位置或不是由预期的供方交付,操作者要立即要求安全地将源返给操作者或者供方。应检查包装和容器是否破坏,并且调查辐射泄漏和表面污染。

b) 要监测排入污水管的放射性液体或者排入大气的放射性气体,确保符合监管的排放限值。异常高排放要立即进行调查并采取补救措施。任何计划外的超限值的排放均要向审管部门报告。

4.10.4.9 当放射性物品存放和使用区域发生着火和爆炸时,该放射性物品的数量、所在区域、特性和辐射危害应事先通知当地消防部门,并且应通知其特别注意有辐射危害警告标志的区域。

着火和爆炸也可能引起放射性污染物扩散。严重伤害的救生和救火要优先进行污染控制,但应采取合理措施来减小污染的扩散,特别是在清理阶段。

灭火之后,应在出事地点对消防队员进行表面污染监测,确保低于限值。

4.11 改进、纠正措施、预防措施

GB/T 27476.1—2014 中 4.11 的内容适用。

4.12 记录的控制

GB/T 27476.1—2014 中 4.12 的内容适用。

4.13 内部审核

GB/T 27476.1—2014 中 4.13 的内容适用。

4.14 管理评审

GB/T 27476.1—2014 中 4.14 的内容适用。

5 安全技术要求

5.1 危险源辨识和风险评价

5.1.1 总则

GB/T 27476.1—2014 中 5.1.1 的内容适用。

5.1.2 危险源识别

GB/T 27476.1—2014 中 5.1.2 的内容适用。

增加下述内容：

辐射防护负责人(RPO)应建立实验室使用或保存的放射性物质和辐照装置清单,明确保存地点。

5.1.3 风险评价

GB/T 27476.1—2014 中 5.1.3 的内容适用。

5.1.4 控制措施

GB/T 27476.1—2014 中 5.1.4 的内容适用。

5.1.5 电离辐射危害及其控制

电离辐射造成的危害会引起生物效应,参见附录 A。辐射的防护,一般分为两类,外照射危害和内照射危害。当评定总危害时,应当将它们一起考虑:

- a) 外部危害:外部危害来自于身体外的电离辐射源,它们辐射身体的部分或者全部,有足够的能量影响皮肤或者皮下组织。切实可行的控制措施有:
 - 1) 限制暴露于辐射的时间;
 - 2) 最大化辐射源和人之间的距离;
 - 3) 采用适当的屏蔽措施。
- b) 内部危害:内部危害的起因是放射性物质以吸入、注射、摄取或吸收等方式,经由皮肤或伤口进入身体。吸入的放射性物质有可能很快从身体中消除,也可能一部分吸入的放射性物质与特殊的器官结合在一起,以较慢的速度从身体中消除。当放射性原子随着辐射而衰变时,其周围的组织将受到电离辐射。控制污染的原则如下:

- 1) 抑制;例如,使用防尘柜、手套式操作箱或安全运转技术,限定可能被放射性物质污染的实验室区域;
- 2) 清洁;高质量的内务管理必不可少;
- 3) 完成任务时使用放射性毒性最小、放射性活性最低的物质。

注:参见附录 A 给出的更进一步的信息。

5.2 人员

5.2.1 安全意识、能力和资格

GB/T 27476.1—2014 中 5.2.1 的内容适用。

5.2.2 培训和指导

GB/T 27476.1—2014 中 5.2.2 的内容适用。

增加下述内容:

在任何人开始从事电离辐射相关工作之前,他们都应接受适当的关于所从事工作特性的培训。

对暴露在辐射中的人员进行培训和教育是安全工作的一个重要组成部分。最高管理者应安排辐射防护负责人(RPO)或健康专家对新员工进行如下方面的指导:

- a) 与员工工作相关的辐射危害性;
- b) 安全工作方法和技巧;
- c) 预防措施及采取预防措施的原因;
- d) 紧急事件处理程序。

同样,最高管理者应确保规则制定者不放宽标准,确保员工对新的设备或科研仪器对人身安全方面的要求需十分熟悉。

最高管理者应与辐射防护负责人(RPO)制定安全工作程序规则来处理实验室中的潜在危害。这些规则应在显著的位置展示出来,让实验室所有人员都知道。关于特殊危害的规则要尤其重视。

5.2.3 人员分类和监测

5.2.3.1 工作人员

应审管部门要求,最高管理者有责任建立和维护相应的辐射监测程序。建立辐射监测程序是为了确保对所有暴露的辐射源采取相应措施,使其:

- a) 能够评定实验室工作人员所受到的电离辐射量(以及在适当情况下,公众人员所受到的电离辐射量);
- b) 能够对可能导致过度辐射的辐射设备相关参数变化进行周期性测量。

对辐射监测程序,应该结合实践经验,定期对其进行修订和复核工作。

辐射监测的类型和程度取决于周边环境因素和辐射等级。当实际测量值低于限值,才能满足整体或某区域的监测方案要求。

当审管部门有要求时,需要针对个体进行监测。当个体辐射量大到一定的程度(如限值的 50%),个体监测应被考虑在内。

组织或器官的年度总辐射量应包括每年所接收的来自外界辐射源和来自内部的有效剂量。对于成年人,这种影响的综合持续时期为 50 年。非工作原因暴露于辐射源,如来自自然界的电离辐射、从医学治疗中接受的辐射等,不属于此范围。

辐射防护员应确保为所有因工作暴露于辐射源的工作人员记录所有的相关数据,并且至少每年进行一次数据复核。对于超过每年限值 25% 的个体辐射量,辐射防护员同样应进行复核。

5.2.3.2 公众

最高管理者有责任确保公众(除工作人员之外的人)所受到的电离辐射不超过公众辐射限定值。具体限值见表 1。防护程序应加以优化使公众所受到的辐射在最低水平。

注：公众的辐射照射控制参见附录 B。

5.3 设施和环境

5.3.1 实验室结构和布局

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.1 的内容适用。

检测实验室的辐射防护设计要求按 EJ 380 等标准执行。

使用放射性同位素、辐照装置的实验室应申请领取许可证,申请条件见相关部门文件。

5.3.2 职业接触限值

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.2 的内容适用。

5.3.3 火灾监测和防爆

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.3 的内容适用。

5.3.4 紧急报警系统

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.4 的内容适用。

5.3.5 通风

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.5 的内容适用。

5.3.6 电气安装

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.6 的内容适用。

5.3.7 防雷

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.7 的内容适用。

5.3.8 安防

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.8 的内容适用。

5.3.9 安装标志

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.9 的内容适用。

5.3.10 隔离状态下工作

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.10 的内容适用。

5.3.11 内务管理

GB/T 27476.1—2014 中 5.3.11 的内容适用。

5.3.12 辐射防护体系

5.3.12.1 建议持续使用国际放射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)推荐的辐射保护体系,该体系基于下列一般原则:

- a) 暴露在辐射中的行为不应被采用,除非这种行为对该个体或者社会具有足够的利益,能够弥补/抵消辐射所引起的损害(正当行为)。
- b) 在一个特定的辐射源中,辐射的量级,暴露人群的数量,发生这种辐射暴露的可能性(辐射暴露不一定被接收),在综合考虑经济、社会因素的基础上,应最大限度降低电离辐射对人体的损害。应采取措施来限制过程中个体所承受的剂量,或者是在有潜在暴露危险情况下的个体所承受的风险,对于个体接收辐射量的过程,或者是有潜在暴露危险的过程,都应加以约束,限制由于固有的经济或社会条件所可能导致的不公正,实现最优保护。
- c) 个体在所有相关活动中所接收的剂量之和应符合剂量的限值要求,或者对于有潜在暴露危险的情况,应符合风险控制的要求。保证任何个体都不会暴露于在正常环境中工作所不准许的辐射危险之中。并不是所有的辐射源本身都能够被控制,在选择辐射量限值之前列出相应的辐射源是必要的。

5.3.12.2 保护体系中的干预:放射性保护体系中的有关干预的部分基于下列一般原则:

- a) 提出的干预应利大于弊。例如:通过减少辐射量来减少危害,应充分地证明干预的代价,包括社会代价,是足以抵消其危害的。
- b) 干预的方式、范围,以及持续时间应最优化以使得剂量减少的净利益能够最大。
剂量的限值不适用于干预或者突发状况。

任何一个保护体系都应包括一个其在实际运用中的有效性全面评估,这个评估应以已获得的剂量及类别,以及对限制潜在暴露可能性采取的所有措施为基础,并将整个体系作为一个联贯的整体来看待,任何一个部分都不应孤立地考虑。

对成年人来说,限值是针对于在一定周期内由于外部暴露而接收的剂量,以及同样周期内的 50 年所接收的剂量。

5.3.13 辐射量的限值

5.3.13.1 推荐限值

5.3.13.1.1 工作人员

工作人员一年中接受到外部辐射和内部辐射的有效辐射量之和便是这一年中所有器官或组织所承受的辐射量。对成年人来说,辐射量的累计有效周期是 50 年。非工作原因的辐射(例如,自然环境中的电离辐射,在医学或牙科检查中身体所接收的辐射)并不包括在年辐射量的评估中。

对成年工作人员来说,工作过程中暴露在电离辐射中所接收的剂量限值应如下所示:

- a) 确定性影响的预防——对于四肢(手和脚)或皮肤(平均作用于 1 cm²)限值是每年 500 mSv,对于眼晶状体则为 150 mSv;
- b) 随机性事件的影响限制在一个可接受的水平——对于 5 年以上的时间,平均每年的有效剂量限值为 20 mSv。任何一年内的有效剂量不超过 50 mSv。

对于随机影响的限值,周年接收的有效剂量应满足下列关系。

$$\sum_T W_T \sum_R W_R D_{TR} \leq 20 \text{ mSv}$$

式中:

W_T ——组织权重因数;

W_R ——辐射权重因数；

D_{TR} ——辐射 R 使得器官或组织 T 平均吸收的剂量。

辐射量和组织权重因数分别在附录 B 给出。

对于内在的暴露,ALI 基于 20 mSv 的有效辐射限值。

对于职业暴露在辐射环境中的有生殖能力的女性,假设辐射量的接收速率是接近平缓的,且不大可能怀孕超过两个月还不被知道的前提下,则不必特别考虑其剂量的限值。怀孕一旦被确认,在剩余的怀孕时间内,建议腹部表面所接收的辐射量不超过 2 mSv,同时摄入的放射性核量不超过 ALI 值的 1/20。通过孕妇的组织吸收外部的剂量以及核素的有限转移,从而减少胚胎和胎儿所承受的辐射,使得其低于公众的有效辐射限值 1 mSv。

工作人员的有效辐射限值见表 1,不包括自然环境中的辐射以及由于医学目的而造成的辐射。

表 1 工作人员辐射限值和公众辐射限值

| 应用 | 辐射限值 | |
|--|------------------------------------|--------|
| | 工作人员 | 公众 |
| 有效辐射 | 20 mSv/每年,连续超过 5 年周期内 平均每年的限值要求 | 1 mSv |
| 每年相当的辐射量—— 眼晶状体 | 150 mSv | 15 mSv |
| 四肢(手和脚)或皮肤 | 500 mSv | 50 mSv |
| 注: 限值是针对于在一定周期内由于外部暴露而接收的辐射量,以及同样周期内的 50 年所接收的辐射量之和。 | | |

对于工作人员,应采取进一步的预防,使得任一年内的有效剂量不超过 50 mSv。而且,如果女性员工声明已经怀孕,则对其胚胎和胎儿应提供与公众同样水平的保护。在特殊条件下,适当的权威机构证明剂量限值要求需要进行暂时改变,则应遵循下列条件之一:

- 如果证明需要做暂时的改变,则对于不超过 5 年的周期,平均每年的有效剂量限值不应超过 50 mSv;
- 对于不超过连续 10 年的周期,则平均每年的限值为 20 mSv,且任何一年内的有限剂量不应超过 50 mSv。

对于公众,在特定的条件下,只要超过 5 年时间内平均每年的剂量不超过 1 mSv,则某一年内允许更高的剂量。

对于皮肤,不管暴露的总面积是多少,对于任何一个平均面积超过 1 cm² 皮肤区域,都应采用相同表 1 的限值。

5.3.13.1.2 公众

对于公众暴露于辐射的情况,一般采用控制辐射源的方法多过采用控制环境的方法。控制是通过最优化过程和使用约束限值来实现的。一年内公众所接收的有效辐射量限值为 1 mSv。在特定的条件下,只要超过 5 年时间内平均每年的辐射量不超过 1 mSv,则某一年内允许更高的有效剂量。对于眼晶状体周年限值为 15 mSv,而不管暴露的总面积是多少,对于任何一个平均面积超过 1 cm² 皮肤区域限值都是 50 mSv。

公众有效辐射限值见表 1,不包括自然环境中的辐射以及由于医学目的而造成的辐射。

5.3.13.2 特殊情况下辐射量的限制/约束

由良好控制的操作引起的实际辐射值将低于表 1 的限值。对于特别类型的操作或职业情况,作为

减少辐射量的一个处理部分,监管机构可以指定一个剂量的限制。还应考虑来自其他辐射源和实践中的辐射。

5.3.13.3 紧急情况中的辐射暴露

紧急情况下的接收的剂量应和工作原因的辐射暴露区别对待。一旦紧急情况得以控制,则在后来的补救工作中员工所接收的剂量应被限制到正常工作时的限值。突发事件中引发了高辐射,或者人员受到放射性物质的严重污染,在紧急援救和医学救助后,应尽快考虑适当的审管部门提出的对其医疗护理建议。无论是否接收了大量的辐射,都应该提供辅导服务。

5.3.14 电离辐射的防护

5.3.14.1 通用要求

本条适用于对来自任何辐射源的电离辐射危险的人员防护,例如,来自辐射发生设备的电离辐射或者来自密封或非密封放射性物质的电离辐射。

暴露于电离辐射的控制基于一定的程序体系,它包括以下内容:

- a) 在适用的情况下避免暴露于任何电离辐射;
- b) 辐射源的隔离和工程控制的准备,包括屏蔽、包壳、远程控制技术以及局部排气孔;
- c) 采用安全的工作方式,包括适当地利用时间、距离、屏蔽和包壳来减少暴露于电离辐射的机会;
- d) 在以上方法都不适用的情况下,采用安全保护设备来进行保护。

综合考虑经济和社会因素,使人暴露于电离辐射的可能性尽可能低。

公众在易接近的区域内所接收到的累积剂量不应超过 1 mSv/每年。在适用的情况下,限值条件可以应用表 A.5 中的占用率因子来放宽。

基于设计目的,工作人员以及公众所接收到的有效剂量应限制在表 1 中给出的有效剂量限值的一半以内。在设计过程中,适用表 A.5 给出的占有率因子,设计时应从以下方面进行核查:

- a) 进行一个安全评估;以及
- b) 确保公众场合允许剂量率不超过表 A.5 中推荐的限值。

永久安装在任何设施上的电离辐射防护应优先用于工作人员防护。保护性设备和器具应便于使用,且应定期或在发生任何改变后,由辐射防护负责人(RPO)进行核查后再投入使用。

所有有效的电离辐射束都应限制在最小的实用截面积内并且使其远离任何附近的未屏蔽区域。

为特定目的而选用的未密封放射性物质应具有对于从事工作来说最低的放射毒性和最小的放射性。它们应被控制并且按照其进入人体的可能性最小的方式来使用。

所有可能具有电离辐射危险的区域应按照辐射防护负责人(RPO)的决定用适当的设备定期进行监测,并且记录结果。

当辐射剂量对于人体来说可能达到或者超过相关限值时,应有另外一个人单独地作为观察者在场来确保所有相关的安全预防措施都被采用,以避免人员或设备的损失。

5.3.14.2 指定辐射区域(DRA)

DRA 以及在其内进行的活动应每年或者在每次改变发生时由辐射防护负责人(RPO)进行检查。还应当由适当的人员进行更加频繁地检查。只有获得授权人员才能够被允许进入此类区域。这些区域是永久地,或者临时地容纳了放射性物质的区域或者是在其中有放射性设备工作的区域。

在每个 DRA 内从事的工作性质和从事该工作的位置应当告知辐射防护负责人(RPO)。辐射防护负责人(RPO)应保存 DRA 内放射性物质的接收、存放、使用和处置记录。

5.3.14.3 辐射警告标志

在每个 DRA 的入口处应加贴电离辐射标志,标志应按 GB 18871—2002 中附录 F 的要求。这些警告标志可以与实验室通用危险标志整合在一起。

5.3.14.4 屏蔽

屏蔽的目的是确保任何人接受到的辐射剂量低于 5.3.2 的剂量限值,并且保证辐射剂量达到在合理情况下能达到的尽量低的水平。

参照附录 C 给出的针对不同类型辐射源,屏蔽材料的选择建议。

5.3.14.5 人员单独工作

应避免单独工作。当单独工作不可避免时,应采用一切可行的方法来减少人员单独工作的危险。

当单独工作时从事的所有任务应经过安全评估。这个评估应考虑拟做工作所涉及人员的经验和培训经历。在单独工作被批准之前还应由监督人进行额外的说明和培训。

当安全评估表明可能会有重大危险时,这些工作不应由人员单独进行。

当一个人的身体条件导致在单独工作时可能引起危险或者生命威胁时,应通知辐射防护负责人(RPO)或者最高管理者。

当人员必须在日常工作时间后单独工作时,或者在一个隔离的或危险的区域工作时,应提供他们求救的方法。另外,应要求单独工作人员应答指定人员的定期监控电话。或者最高管理者有责任安排这些定期监控电话。

注:参照附录 C 给出的不同类型辐射源的防护方法。

5.4 设备

5.4.1 安全设备

GB/T 27476.1—2014 中 5.4.1 的内容适用。

5.4.2 个体防护装备

GB/T 27476.1—2014 中 5.4.2 的内容适用。

5.4.3 设备的安全

5.4.3.1 设备的采购

GB/T 27476.1—2014 中 5.4.3.1 的内容适用。

5.4.3.2 设备的安装、调试、和使用

GB/T 27476.1—2014 中 5.4.3.2 的内容适用。

5.4.3.3 设备的安全操作

GB/T 27476.1—2014 中 5.4.3.3 的内容适用。

5.4.3.4 设备的维护

GB/T 27476.1—2014 中 5.4.3.4 的内容适用。

5.4.3.5 密封辐射源和辐照装置的防护

5.4.3.5.1 总则

本条适用于防止人员遭受密封放射源,如用于利用物质中的放射性诱导变化来教学的密封放射源,产生电离辐射的设备,比如 X 射线发生器和粒子加速器,以及附带产生电离辐射的设备,如电子显微镜、阴极射线管和高压电子整流器,这些放射源或设备可以用于有限空间或开放空间的安装。

注:在实验室中任何利用 5 kV 以上的电压来加速电子的设备被认为可能在无意中产生 X 射线。

当可行时,应利用特殊的建筑空间,例如隔间或房间,来覆盖电离辐射源和辐照装置以使得处于该建筑空间以外的人员得到适当的防护,以避免有用的电离辐射束泄漏和散射电离辐射的伤害。

一个辐射源或辐照装置可能引起外部电离辐射危险的区域应是一个 DRA,应按 GB 18871—2002 中附录 F 的规定,在适当的位置标识出的电离辐射标志和警告标志,添加电离辐射安全说明、健康危害、应急处理文件。在建筑空间的内部和外部以及安装场所的附近应使用可见或/和可听见的信号在辐射发生以前和发生期间来提供警告。

5.4.3.5.2 固定场所

对于任何电离辐射源及其被照射的物质来说一个有界的安装场所是一个设计的永久的建筑空间,以使得:

- a) 在辐射发生期间任何人都不被允许进入该空间;
- b) 辐射发生期间任何人都应能通过提供联锁装置来被阻止进入该空间;
- c) 对于大型建筑空间,在辐射开始前应有至少持续 20 s 的警报自动响起;
- d) 任何被意外地困在大型建筑空间的人员应可以在最短时间由合适的出口离开或者可以进入一个适当屏蔽的躲避处;
- e) 当辐射在一个大型建筑空间中发生时,该辐射应可以被停止或者从该空间内迅速地中断;该操作方式应不能从该空间外部复原;
- f) 在所有实际的操作条件下,建筑空间外部的人员应获得适当的保护;
- g) 在工作过程中,任何大型建筑空间外部的任何可触及表面允许剂量率不应超过 $200 \mu\text{Sv/h}$,或者,如果非工作人员可以接近该外部表面时,参照表 A.5 推荐的公众场合允许剂量率;
- h) 当未使用时,密封辐射源应可以由遥控控制以使其被收藏在建筑空间内部的适当屏蔽内;
- i) 所有的联锁和控制系统都应是具有自动保险装置的,并且,如果由电动控制,则一旦失去电力供应时应当由失效状态进入到安全状态。

5.4.3.5.3 开放场所

对于因为操作的要求,例如手持式设备的使用,在一个开放的安装场所时,电离辐射源及其辐射照射物质应尽可能地被限制在与其他区域隔离的区域并且由适当的障碍物和警告标志描绘出该区域,以使得:

- a) 只有授权的人员可以进入该区域;
- b) 该区域外的所有人员在实际的操作条件下应被保护并满足 5.4.3.5 的要求;
- c) 授权人员应仅在该区域停留的时间应是实际调整该设备所必须的最短时间;并且
- d) 该设备应可以进行远程操作。

5.4.3.5.4 密封辐射源

对于密封辐射源。为了减少操作人员的辐射量,密封辐射源应仅使用远程方式操纵,例如镊子、长

钳子、驱动带或类似设备。

屏蔽应设置得尽可能地接近辐射源。应采取预防措施来保护工作人员和附近区域的人员以避免遭受直接或者散射的电离辐射。未屏蔽的辐射源应进行远程控制并且操作时间尽可能短。对于高放射性辐射源的任何新的或者不熟悉的操作应先使用非放射性的模拟辐射源进行一次实际操作。

每个密封辐射源或它的容器应清晰地贴上标签来标明辐射源的放射性和特性,用连续的数字编号或者贴上标识符以此来辨识每一个辐射源。

辐射防护负责人应保留每个密封辐射源的记录并且至少在每年或记录修订时对这些记录重新进行审查。记录应包括以下内容:

- a) 每个辐射源的序列号或者其他识别符号;
- b) 辐射源的化学成分、放射性核、接收日期以及接收时的放射性;
- c) 辐射源的每次移动;
- d) 辐射源离开组织的日期及其处理方式。

每个辐射源的记录应保存到其处理后两年。辐射防护负责人(RPO)应通过定期地核查来确保每个密封辐射源均被记录,该核查结果应有文件记录。

辐射防护负责人(RPO)应安排检查每个密封辐射源及其遮蔽物是否受到污染以及其密封的完整性,例如,每年用擦拭和涂抹的方法测试每个辐射源或者其遮蔽物。每10年以及觉察到有泄漏发生时进行一次泄漏测试。这些检查的细节也应该登录到记录文件中。

如果一个密封辐射源被腐蚀或破坏,或因为某种原因它被发现正在引起放射性污染,则辐射源应被密封在一个防漏的容器中并且在第一时间内通知审管部门。

如果一个密封辐射源被确信遗失或者放错位置,应在第一时间内通知辐射防护负责人(RPO)。如果辐射源的损失已经被证实,则应在第一时间内通知审管部门。

当不被使用时,密封辐射源应被储存在可靠的并充分屏蔽的容器内,该容器上应按 GB 18871—2002 中附录 F 的规定带有电离辐射标志。储存设备应满足 5.6 的要求。

如果一个辐射源有释放放射性气体的可能性,则该储存地点应提供一个有效的机械方法,以使得在该储存空间打开前放射性气体可以流通到外部大气。辐射防护负责人(RPO)应决定是否有必要对空气进行监测。

高放射性中子辐射源可以激活它们的直接遮蔽物并因此而产生额外的辐射或者/和污染危险。

处理不再必需的失去效能的辐射源的可选择方式见 5.6。

5.4.3.5.5 X 射线装置

对于利用 X 射线管产生的电离辐射的设备。典型地,使用的 X 射线束都拥有非常小的横截面并且释放出非常高的剂量率,接近射线管窗口位置每秒几十戈瑞,即使不考虑光的能量,在如此高的剂量辐射下暴露一秒钟就能产生严重的和疼痛性的灼伤或皮肤和皮下组织的坏死。对于这些分析性和研究性的设备,应提供特殊的额外预防措施;特别是,应采用有效方法来减少眼睛、脸和手指暴露于有用辐射束的几率。

X 射线管应安装在一个由不易变形的材料制成的保护性且防电击的屏蔽物内。

X 射线管屏蔽物上的开孔应用遮帘遮闭或者用一个完全屏蔽的外壳覆盖。应提供一个有效的射线束阻挡物,使得有用的 X 射线束通过样品和分析中的部件后可以被该阻挡物所吸收。在下列情况发生时,应提供一个联锁设备,优先选择一个机械结构并且具有防失效功能的设备,来防止 X 射线的产生:

- a) 当外壳上的遮帘或光圈打开但正在分析中的部件和射线束阻挡物没有在位时;
- b) X 射线管的屏蔽物被移除或者 X 射线管移出到屏蔽物外面时;
- c) 外壳与屏蔽物分离时;或
- d) 射线束阻挡物被移除时。

屏蔽物、遮帘、屏蔽外壳和射线束阻挡物的构造应使得在 X 射线管的任何实际工作条件下,离射线管表面 5 cm 处的整体辐射量不超过 100 $\mu\text{Sv/h}$ 。

应提供“防失效”警告灯或/和发光标志并且联锁控制来清晰表示:

- a) 当一个 X 射线管工作时;和
- b) 任何遮帘或光圈打开时。

在设备上的这些发光警告应能被容易地分辨,并在必要的位置重复使用。

对每个 X 射线分析仪器应进行周期性的辐射调查。

当 X 射线产生过程中应移除部分屏蔽物进行调节工作时,在一个人员进行调节工作的同时第二个有经验的人员应该在场。这个第二人员应:

- a) 警告正在进行移动调节的人员,该操作可能导致身体的某部分暴露在辐射下;
- b) 在调节的过程中进行任何必需的电离辐射监测;和
- c) 当调节完成时进行一个详细地监测调查。

X 射线产生过程中,在任何条件下都不能借助肉眼来调节瞄准仪。

在辐射发生过程中,X 射线管应被完全包裹并且装配上联锁装置。

常见射线装置的分配参照附录 D。

5.4.3.5.6 粒子加速器

对于高能粒子加速器的安全设计和操作的精确的规则,不能采用简单的方式进行编制。由它们产生的各种电离辐射要求不同的保护程序。

应从辐射防护负责人(RPO)或者其他专家那里寻求关于高能粒子设备的特殊危险的建议。当设计一种非标准的机器或设计一种非标准的操作的时候,在概念形成阶段就应该寻求专家的建议。

通常,一个粒子加速器应是一个封闭式装置。对加速器进行操作、维修和检查的过程中对 X 射线靶和潜在的活性部件进行处理时,应采取预防措施以防止外部辐射、放射性污染和放射性气体的产生。

5.5 检测方法

5.5.1 GB/T 27476.1—2014 中 5.5.1 的内容适用。

5.5.2 GB/T 27476.1—2014 中 5.5.2 的内容适用。

5.5.3 GB/T 27476.1—2014 中 5.5.3 的内容适用。

5.5.4 电离辐射监控

5.5.4.1 总则

电离辐射监控包括对以下数据的测量:实验室的工作人员所受的辐射量,来自于外部的剂量率,实验室表面和物体的放射性污染的数量,空气和污水中放射性污染的数量。监控的频率由辐射防护负责人(RPO)决定。

没有哪一种仪器可以单独完成上述所有的监控检测,在某些情况下,需要不止一台仪器来完成全部的评估。此外,从既定的测试仪器中读取数据的时机也是不准确的,会产生误差。对于监测方法和可能出现的问题参见附录 E。

在有放射性物质或电离放射源的实验室,员工应配备有辐射防护负责人(RPO)指定的辐射监测设备。在每一个使用非密封放射源的实验室,都应至少配备一台适当的放射性污染检测设备。如果放射源(非密封的)异常活跃,或者辐照装置能够引起外部的辐射危险,则需要一台剂量率监控设备。

5.5.4.2 监测设备的校准

所有监测设备需要在第一次使用时进行校准,此后每年校准和维护或者保养一次。校准应依照权

威机构提供的方法进行,校准记录应包括校准时间和所有校准项目的结果,并且校准记录自校准之日起保存两年。监测设备的校准应遵从国家对电离辐射的相关要求。

5.5.4.3 个人监测

个人监测的首要目标是证明个人辐射量低于本部分规定的剂量。

对于每年可能受到的辐射量达到标准剂量的 50% 或者更多的员工,应采取连续的监控措施。

外部照射剂量的个人监测可以采用视频,热致发光剂量计,辐射光致发光计,电离或电子剂量计进行测量,或者这几种仪器的综合使用。如果未密封的放射性物质有裸露的可能,则检测将包括对外部放射性污染物的估测,以及在需要的地方估测吸入量,例如,通过对员工吸入气体的样本进行测试,对工作中与放射性碘接触的员工甲状腺进行测试以及对工作中接触可溶性物理放射核的员工的尿样进行分析。除了对全身所受辐射量进行测试外,外部辐射量对身体特定部位,例如手指的辐射量也需要测量。这些暴露在外部的部位将对个人产生巨大的安全隐患。

5.5.4.4 辐射量的记录

工作人员辐射量的记录按要求应让个人了解,个人辐射量记录应保存 50 年,或审管部门要求的其他期限。

对于 X 射线分析设备,应储存仪器商提供的初始辐射剂量率检测结果,定期用辐射测量仪检测分布点并记录,厂家提供的辐射剂量率检测结果参见附录 E。

5.5.4.5 区域监控

5.5.4.5.1 外部辐射

辐射监控的目的是找出存在可评估剂量率或辐射产生变化的区域,以便使减少员工受到辐射的合理措施,如提供庇护或限制工作时间等,得以实施。

5.5.4.5.2 表面核污染

使用未密封放射性物质的地方,需要正规的核污染监控。密封的放射性源应参见附录 E,按照 5.4 中的方法进行检测。

对于重粒子加速器或者高活性中子源的靶组件或者靠近靶的其他零件,在操作之前需先测量其辐射诱导程度。

5.5.4.5.3 散布在空气中的污染

实验室里会发生空气核污染。参见附录 E,如果涉及放射源的操作,可能会造成呼吸区中空气的辐射污染,则工作应在烟雾处理柜或者手套箱中进行。如果上述是不可实现的,建议辐射防护负责人(RPO)设置某种空气监控设备。

5.6 物料

5.6.1 物料信息

5.6.1.1 总则

GB/T 27476.1—2014 中 5.6.1.1 的内容适用。

5.6.1.2 化学品安全技术说明书和物品清单

GB/T 27476.1—2014 中 5.6.1.2 的内容适用。

5.6.1.3 标识和标签

GB/T 27476.1—2014 中 5.6.1.3 的内容适用。

5.6.2 物料的贮存和使用

5.6.2.1 总体要求

实验室内物料的贮存、处理和使用应符合 GB 15603 和 GB/T 27476.1—2014 中 5.6.2 的要求。

在利用非密封放射性物质工作的过程中,除了要采取预防措施防止外部辐射,还需要采取预防措施防止放射性物质由呼吸、摄入或通过皮肤和伤口的吸收进入人体。

在实验室单次操作时能合理地安全处理的非密封放射性物质的数量取决于多种因素。其中最重要的因素是由于特殊放射性同位素导致的危险,它的挥发性、外部辐射水平、工作的性质以及实验室的设计。外部辐射照射量可以由屏蔽物、时间和距离进行控制。污染物的控制通常是依赖于建立适当的工作方法以及适当地关注实验室的设计、通风系统、内部装置和表面涂层。

实验室的门上应按 GB 18871—2002 中附录 F 的要求加贴电离辐射标志、电离辐射警告标志和适当的文字。未获得授权的人员不得进入任何此类实验室。

应保存放射性物质所有库存的记录。记录包括以下内容:

- a) 每种物质的性质和放射性;
- b) 接收的日期;
- c) 贮存和使用的地点;以及
- d) 处置的日期和方式。

从该放射性物质最后一次进入或处置的日期起,这些记录至少保存两年。

注:对于放射性废物的处置,要求进行特殊的安排。

5.6.2.2 贮存

放射性物质的使用和贮存应避免对邻近人员构成危险,确保不被盗窃或非授权下的挪用。但并非所有放射性物质都需要每天晚上都放在仓库内。

示例:把刷毒的阿尔法发射器放在仓库里要比放在带外套的盒子内正常工作危险的多。

放射性物质与非放射性物质隔离存放。

放射性物质应放于如下所述的上锁的仓库内:

- a) 仓库应处于水灾及其他自然或人为灾害的最小风险下。如果有可能遭受水灾害,如水管爆裂或屋顶漏水,仓库应具备能将放射性物质置于较高位置处,以便于排水的防护措施。
- b) 仓库由耐久防火物质制成。
- c) 仓库的内壁应是不易被污染的材料。
- d) 仓库应有可靠的屏蔽以确保仓库外部的放射性水平保持在:
 - 1) 对工作人员来说,不超过 $200 \mu\text{Sv/h}$;
 - 2) 对公众,一周平均值不超过 $20 \mu\text{Sv/h}$ 。
- e) 仓库的入口处应放置放射性警告标志。
- f) 仓库内应设置溢出盘来放置液体放射性物质。每个盘要有足够的容量来容纳盘内所有容器内的液体放射性物质,以保证材料复原。

- g) 仓库需具备排气系统,以防仓库里贮存的材料释放出放射性气体或蒸汽。抽取系统应在任何人员进入仓库以前就启动。若仓库中存放有镭,钷,铀的混合物,则空气应抽取至最低水平。空气抽取系统排放口的设置应远离任何被占用的区域,并满足国家对有害排放的要求。
- h) 除了运送放射性物质出入之外,仓库应保持上锁。

所有装有放射性物质(包括废物)的容器应进行标记,可参考以下格式:

放射性物质

部门/实验室

放射性核素

放射性

内容描述

日期:..... 签名:.....

示踪量级的非密封放射性残留物应存放在带相应的聚乙烯或橡胶瓶塞的玻璃容器内。

电离辐射会引起水分解,因此可用通风式容器来存放放射性溶液。放射性溶液在处理前需要考虑中和废弃物的酸碱度。

注:含大约 200 MBq 的阿尔法放射性或 2 GBq 的贝塔放射性的放射性溶液,在标准温度和压力下通常产生大约 1 mL/月的气体。

5.6.2.3 使用

以下附加要求适用于非密封放射性物质的使用:

- 所有与非密封放射性物质有关的工作应与其他工作隔离,如果可能的话,此类工作应在一个为此目的单独预备的防护间中进行。当要使用的多种物质的放射性和放射性毒性水平相差较大时,优先选择单独的防护间进行试验。
- 进食、喝水、抽烟和化妆品的使用等活动均不应在实验室中进行。食物、饮料、厨房器具或者餐具均不准许放置在实验室中。应有标志可以明示以上要求。
- 由于良好工作程序的重要性,在进行与非密封放射性物质有关的工作之前,应充分学习、思考和理解相关技术。
- 应使用非放射性物质进行练习以此来确保当使用放射性物质的时候,可以保证操作的准确性。匆忙的操作会导致事故,拖延的操作可能导致更多的辐射照射。
- 制定工作程序和应急程序,这些程序应在实验室内显著展示。
- 实验室内应保持高度清洁。
- 应具备一个检测放射污染的程序,规定测量方法和测量周期。
- 在实验室中应始终穿着专为放射性工作预备的保护性服装,即使在放射性等级很低的时候。
- 从事所有与非密封性放射性物质有关的工作时,应戴着适当的手套,并且在穿戴和脱下手套时应特别小心以避免污染手和手套的内表面。
- 出于个人目的而在实验室中使用的纸毛巾和棉纸应是一次性使用的。
- 实验室中使用的所有保护性服装都应在离开之前脱下并留在实验室内或放在紧靠着实验室的外面;外面用于放置服装的地方应被认为是放射性区域,例如,拥有一种潜在的污染危险。被污染的保护性服装不应与未污染的物品一起洗涤。
- 在实验室中不应进行嘴部动作,吸液管应是注射器或球状物,或者是带有一次性头的自动活塞型器皿。

注:推荐使用柔软的聚乙烯耐洗瓶。

- m) 在“放射性”区域内使用的所有试剂、工具和仪器应清晰地贴上标签,例如,使用油漆,并通常要保持在“放射性”区域内。当任何物品需要离开“放射性”区域时,应对其进行监测,如果有需要的话还要排除污染并贴上标签。这个标签应带有实验室的辨识信息、日期并带有保证该物品无污染的工作人员的姓名和签名。
- n) 用于操作非密封性放射性物质的所有工作试验台,以及液体废弃物的所有冲洗槽应带有一个放射性符号。
- o) 所有放射性配制品都应清晰地标记上放射性符号和化学成分、放射性核素、放射性、日期以及负责人的姓名。
- p) 所有与非密封液体放射源有关的工作应在一个双层容器或一个大的盘子内进行,例如,由不锈钢或塑料制成,这个盘子应使用吸水纸作为边界来限制溅洒的液体散布出来。
- q) 会产生蒸汽、喷雾、粉尘或放射性气体的操作应在一个通风橱或手套式操作箱中进行。
- r) 在实验室中应提供用于盛装固体放射性物质废弃物的适当容器,例如,滤纸、手套、绵纸、抛弃型的吸液管头、空的抛弃型分析试管以及类似材料。
- s) 盛满的废弃物容器应密封并贴上符合要求的标签。应根据辐射防护负责人(RPO)的建议为特殊的高放射性液体废弃物提供容器,并且该容器要做上适当的标记,必要时,该容器还应屏蔽。
- t) 当离开指定的放射性区域时,所有工作人员应彻底地洗手。应监测手、衣物和鞋来确保污染导出工作限值(DWL)没有被超过。工作结束后离开指定的放射性区域之前都应严格地遵守这些程序。
- u) 实验室的清洁工作应由经过适当培训的人员来进行。为了减少空气传播的污染危险发生的可能性,建议使用湿清洁法。应为放射性同位素实验室准备仅用于该实验室的单独清洁设备。不推荐在放射性同位素实验室中使用真空吸尘器。如果要使用,则真空吸尘器应配备有高效的排气过滤装置。
- v) 为减少辐射剂量的最简单方法是远离辐射源,并且遥控设备的必要性应当由辐射防护负责人(RPO)来考虑,例如:镊子。
- w) 为了实验室的运作应在实验室中使用电加热。利用红外灯所带来的蒸发作用来减少飞溅、喷射和微滴污染。
- x) 维护工作,例如:接收槽、废弃物管道、排气管道的维修,应在辐射防护负责人(RPO)评估完任何潜在的辐射危险并为维护人员提供了适当的信息和指导后才进行,以确保维护人员采取了适当的预防措施来防止任何潜在危险的发生。

除了以上各条,应观察以下的预防措施:

- a) 应使用带有可移除型聚乙烯垃圾桶或袋的废弃物箱。应当根据工作的性质来改变废弃物容器周围的屏蔽物的大小和要求,并应寻求辐射防护负责人(RPO)的指导。

注:参见附录 C。

- b) 当对高放射性非密封源进行操作时,可能要求使用特殊的遥控工具。
- c) 为了更好的从事工作,计算设备通常应在一个独立的防护间内。除了准备好的样品外,任何放射性物质都不能进入该房间。在样品准备过程中用过的手套应在进入防护间前脱下。

5.6.2.4 运输

放射性材料的运输应按 GB 11806 的要求,同时还要满足适用法规的要求。

5.6.3 放射性废物的贮存、运输和处置

放射性废物的贮存、运输和处置应符合 GB 14500 的要求。

附 录 A
(资料性附录)
导出辐射防护标准

A.1 范围

本附录提供了电离辐射防护导出标准的信息。

A.2 电离辐射危险

暴露于电离辐射对生物的影响是复杂的,它受照射量、照射率、照射范围、照射部位、电离辐射的类型等多种因素的影响。

电离辐射的生物效应可以总结如下:

- a) 身体上——影响负责维持人体功能的活体细胞的正常运行;
- b) 遗传上——影响负责保持遗传特性的生殖细胞的正常运行。

人的全身在短时间内接受大约 3Sv 或更大的有效剂量,可以导致辐射疾病。反过来说,长时间暴露于低剂量的电离辐射中,可以增加癌症等疾病的发生率。

通常,当电离辐射的剂量减少时,电离辐射对活体物质的有害影响也会相应地减小。有明显证据表明,大剂量的电离辐射是有害的。然而,人类和其他物种已经进化到可感知自然界发生的电离辐射的程度。辐射保护的实践表明,在职业暴露的范围内,辐射的剂量和导致的反应是呈线形的,对于光子和电子来说,单位剂量产生的危险性大约是高剂量和高剂量比率情况下的一半。

A.3 修正因数

考虑到不同类型的辐射和组织辐射敏感度所对应的不同的生物有效性,修正因数应用于吸收剂量的值(以 Gy 为单位)以获得能够与 5.3.2 给出的限值进行比较的剂量值。辐射权重因数的值在表 A.1 中给出,组织权重因数在表 A.2 中给出。

表 A.1 辐射权重因数

| 辐射的类型及能量范围 | 辐射权重因数 ω_R |
|--------------------------|-------------------|
| 光子,所有能量 | 1 |
| 电子及介子,所有能量 | 1 |
| 中子,能量 < 10 keV | 5 |
| ≥ 10 keV, < 100 keV | 10 |
| ≥ 100 keV, < 2 MeV | 20 |
| ≥ 2 MeV, < 20 MeV | 10 |
| ≥ 20 MeV | 5 |
| 质子(不包括反冲质子),能量 > 2 MeV | 5 |
| α 粒子、裂变碎片、重核 | 20 |

表 A.2 组织权重因数

| 组织或器官 | 组织权重因数 ω_T | 组织或器官 | 组织权重因数 ω_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 |
| 膀胱 | 0.05 | 其余组织或器官 | 0.05 |
| 乳腺 | 0.05 | — | — |

A.4 放射性同位素危险规定值

放射性同位素危险规定值,显示在表 A.3 里用辐射毒性群体来分类,根据具体活动的组合,由于该活动而吸入或咽下的放射性物质的数量,以及最需限制吸入的 ALI。

根据放射性同位素的危险程度,它们被分别列入了四个小组。组 1 包含的放射性同位素具有非常高的危险性;组 2 包含的放射性同位素有较高的危险;组 3 包含的放射性同位素具有中等危险性,其中子群 3b 的危险性比子群 3a 低一些;组 4 包含的放射性同位素的危险性较低。

表 A.3 中没有被包括的放射性同位素,必要时,将由管理当局分配到一个放射性同位素的危险小组中。由管理当局发布的关于放射性同位素的分类情况会在表 A.3 所示内容的基础上有所变化。

A.5 导出安全标准

放射性物质倾向于富集在特定的组织器官中。ICRP 发布了大量关于放射性元素的有效剂量因子的数据,基于这些数据计算出了放射性物质的年摄入量限量(ALI)以及导出空气浓度(DAC)。

表 A.3 列出了绝大多数相关职业的 ALI 以及 DAC 限值和常用放射性核素的其他性质,这些数据仅仅作为辐射防护的指引。

表 A.3 一般放射性物质的特性

| 核子 | 辐射毒性组别 | 半衰期 | 主β射线的最大能量 MeV(%富余) | 主γ射线的最大能量 MeV(%富余) | 未防护状态下的 γ剂量率 μSv/h | 最大限制性职业 吸入ALI Bq | 职业DAC Bq/m ³ | 最大限制性职业 摄入ALI Bq |
|-------------|--------|---------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| H-3(空气) | 4 | 12.3 y | 0.018 | — | — | 1.1×10 ¹³ | 4.6×10 ⁹ | — |
| H-3(含氚的水蒸气) | 4 | | | | | 7.7×10 ⁷ | 3.2×10 ⁴ | 1.1×10 ⁹ |
| H-3(有机的范围) | 4 | | | | | 4.9×10 ⁸ | 2.0×10 ⁵ | 4.8×10 ⁸ |
| C-11 | 4 | 20.38 m | 0.96(98%) (正电子) | 0.511(200%) | 194 | — | — | 8.3×10 ⁸ |
| C-11(蒸气) | 4 | | | | | 1.7×10 ¹⁰ | 6.9×10 ⁶ | — |
| C-11 一氧化物 | 4 | | | | | 9.1×10 ⁹ | 3.8×10 ⁶ | — |
| C-11 二氧化物 | 4 | | | | | 6.3×10 ⁹ | 2.6×10 ⁶ | — |
| C-14 | 4 | 5 730 y | 0.156(100%) | — | — | — | — | 3.4×10 ⁷ |
| C-14(蒸气) | 4 | | | | | 3.4×10 ⁷ | 1.0×10 ⁷ | — |
| C-14 一氧化物 | 4 | | | | | 2.5×10 ¹⁰ | 3.8×10 ⁶ | — |
| C-14 二氧化物 | 4 | | | | | 9.1×10 ⁹ | 1.4×10 ⁴ | — |
| N-13 | | 9.97 m | 1.190(100%) | 0.511(200%) | 194 | — | — | — |
| O-15 | | 2.04 m | 1.7(100%) (正电子) | 0.511(200%) | 194 | — | — | — |
| F-18 | 4 | 1.83 h | 0.635(97%) (正电子) | 0.511(193%) | 188 | 2.2×10 ⁸ | 9.0×10 ⁴ | 4.1×10 ⁸ |
| Na-22 | 3b | 2.6 y | 0.540(89%) (正电子) | 0.511(180%) 1.270(100%) | 360 | 1.0×10 ⁷ | 4.2×10 ³ | 6.3×10 ⁶ |
| Na-24 | 3b | 15 h | 1.390(99.9%) | 1.370(100%) 2.750(100%) | 520 | 3.8×10 ⁷ | 1.6×10 ⁴ | 4.7×10 ⁷ |
| P-32 | 3a | 14.3 d | 1.700(100%) | — | — | 6.9×10 ⁶ | 2.9×10 ³ | 8.3×10 ⁶ |
| P-33 | 3b | 25.4 d | 0.249(100%) | — | — | 1.5×10 ⁷ | 6.4×10 ³ | 8.3×10 ⁷ |

表 A.3 (续)

| 核子 | 辐射毒性组别 | 半衰期 | 主 β 射线的最大能量 MeV(%富余) | 主 γ 射线能量 MeV(%富余) | 未防护状态下的 γ 剂量率 μ Sv/h | 最大限制性职业 吸入 ALI Bq | 职业 DAC Bq/m ³ | 最大限制性职业 摄取 ALI Bq |
|-------------------------|--------|---------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| S-35(无机) S-32(有机的范围) | 3b | 87 d | 0.167(100%) | — | — | 1.8×10^7 | 7.6×10^3 | 1.5×10^8 |
| | 4 | | | | | 1.7×10^8 | 6.9×10^3 | 2.6×10^7 |
| K-42 | 4 | 12.4 h | 3.52(82%) 2.0(18%) | 1.520(18%) | 39 | 1.0×10^8 | 4.2×10^4 | 4.7×10^7 |
| Ca-45 | 3a | 163 d | 0.260(99.9%) | — | — | 8.7×10^6 | 3.6×10^3 | 2.8×10^7 |
| Ca-47 | 3a | 4.54 d | 0.690(82%) 1.990(18%) | 1.300(75%) | 160 | 9.5×10^6 | 4.0×10^3 | 1.3×10^7 |
| Sc-47 | 3b | 3.351 d | 0.440(68%) | 0.159(68%) | 22 | 2.7×10^7 | 1.1×10^4 | 3.7×10^7 |
| | | | 0.601(32%) | | 6.3 | | | |
| Cr-51 | 4 | 27.7 d | — | — | — | 5.6×10^8 | 2.3×10^5 | 5.3×10^8 |
| Fe-55 | 3b | 2.7 y | — | 0.005(16%) | — | 2.2×10^7 | 9.1×10^3 | 6.1×10^7 |
| Fe-59 | 3a | 45 d | 0.470(53%) | 1.100(57%) | 180 | 6.3×10^6 | 2.6×10^3 | 1.1×10^7 |
| | | | 0.270(46%) | 1.290(43%) | | | | |
| Co-57 | 3b | 271 d | — | 0.122(86%) | 41 | 3.3×10^7 | 1.4×10^4 | 9.5×10^7 |
| | | | | 0.136(10%) | | | | |
| Co-58 | 3b | 71 d | 0.475(14.8%) (正电子) | 0.511(29.8%) | 170 | 1.2×10^7 | 4.9×10^3 | 2.7×10^7 |
| | | | | 0.810(99%) | | | | |
| Co-60 | 2 | 5.3 y | 0.318(100%) | 1.170(100%) | 370 | 1.2×10^6 | 4.9×10^2 | 5.9×10^6 |
| | | | | 1.330(100%) | | | | |
| Cu-64 | 4 | 12.58 h | 0.578(37%) | 0.511(35.7%) | 36 | 1.3×10^8 | 5.6×10^4 | 1.7×10^8 |
| | | | 0.653(18%) (正电子) | | | | | |

表 A.3 (续)

| 核子 | 辐射毒性组别 | 半衰期 | 主β射线的最大能量 MeV(%富余) | 主γ射线能量 MeV(%富余) | 未防护状态下的 γ剂量率 μSv/h | 最大限制性职业 吸入ALI Bq | 职业DAC Bq/m ³ | 最大限制性职业 摄入ALI Bq |
|---------|--------|---------|-----------------------------|--|--------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| Cu-67 | 3b | 61.7 h | 0.390(56%) | 0.090(17%) | 24 | 3.4×10^7 | 1.4×10^4 | 5.9×10^7 |
| Zn-65 | 3a | 244 d | — | 1.115(50.7%) | 89 | 7.1×10^6 | 3.0×10^3 | 5.1×10^6 |
| Ga-67 | 3b | 3.26 d | — | 0.093(35.7%) | 30 | 7.1×10^7 | 3.0×10^4 | 1.1×10^8 |
| Ga-68 | 4 | 67.7 m | 1.900(88%) | 0.511(178%) | 179 | 1.5×10^8 | 1.0×10^5 | 2.0×10^8 |
| Ge-75 | 2 | 288 d | — | 0.020(67.7%) | 16 | 2.5×10^6 | 1.1×10^3 | 1.5×10^7 |
| Se-75 | 3b | 119.8 d | — | 0.265(59.8%) | 230 | 1.2×10^7 | 4.9×10^3 | 7.7×10^6 |
| Br-82 | 3b | 1.47 d | 0.444(98%) | 0.62(43%) 0.70(28%) 0.93(24%) 1.04(27%) 1.32(27%) 1.48(16%) | 440 | 2.3×10^7 | 9.5×10^3 | 3.7×10^7 |
| Rb-86 | 3b | 18.7 d | 0.697(8.8%) 1.774(91.2%) | — | 15 | 1.5×10^7 | 6.4×10^3 | 7.1×10^6 |
| Sr-89 | 3a | 50.5 d | 1.49(100%) | — | — | 3.6×10^6 | 1.5×10^3 | 7.7×10^6 |
| Sr-90 | 2 | 29 y | 2.280 | — | — | 2.6×10^5 | 1.1×10^2 | 7.1×10^5 |
| Y-90 | 3b | 2.67 d | 2.280(100%) | — | — | 1.2×10^7 | 4.9×10^3 | 7.4×10^6 |
| Mo-99 | 3b | 2.8 d | 0.436(17%) 1.210(83%) | 0.74(13%) | 31 | 1.8×10^7 | 7.6×10^3 | 1.6×10^7 |
| Tc-99 m | 4 | 6.0 h | — | 0.14(89%) | 33 | 6.9×10^8 | 2.9×10^5 | 9.1×10^8 |
| Cd-109 | 2 | 462 d | — | — | 50 | 2.1×10^6 | 8.7×10^2 | 1.0×10^7 |
| Ir-111 | 3b | 2.8 d | — | 0.245(94%) 0.171(90%) | 140 | 6.5×10^7 | 2.7×10^4 | 6.9×10^7 |

表 A.3 (续)

| 核子 | 辐射毒性组别 | 半衰期 | 主β射线的最大能量 MeV(%富余) | 主γ射线能量 MeV(%富余) | 未防护状态下的 γ剂量率 μSv/h | 最大限制性职业 吸入 ALI Bq | 职业 DAC Bq/m ³ | 最大限制性职业 摄取 ALI Bq |
|--------|--------|--------|--------------------------|--|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| I-123 | 4 | 13.2 h | — | 0.159(83.4%) | 75 | 1.8×10^8 | 7.6×10^4 | 9.1×10^7 |
| I-124 | 3a | 4.18 d | — | 0.027(30%) 0.511(46%) 0.603(59%) | 205 | 3.2×10^6 | 1.3×10^3 | 1.5×10^6 |
| I-125 | 2 | 60 d | — | 0.027(39%) | 74 | 2.7×10^6 | 1.1×10^3 | 1.3×10^6 |
| I-131 | 2 | 8 d | 0.610(89%) | 0.360(81.2%) | 77 | 1.8×10^6 | 7.6×10^2 | 9.1×10^5 |
| I-132 | 4 | 2.3 h | 1.185(18.9%) | 0.670(98.7%) | 390 | 1.0×10^8 | 4.2×10^4 | 6.9×10^7 |
| Cs-131 | 4 | 9.7 d | — | — | 34 | 4.4×10^8 | 1.9×10^5 | 3.4×10^8 |
| Cs-137 | 3a | 30 y | 0.510(94.6%) | 0.660 | 103 | 3.0×10^6 | 1.2×10^3 | 1.5×10^6 |
| Sm-153 | 3b | 46.7 h | 0.690(43%) 0.640(35%) | 0.103(28%) | 24 | 2.9×10^7 | 1.2×10^4 | 2.7×10^7 |
| Dy-165 | 4 | 2.33 h | 1.19(14%) 1.29(83%) | — | 6.2 | 2.3×10^8 | 9.6×10^4 | 1.8×10^8 |
| Yb-169 | 3a | 32.0 d | — | 0.590(35%) | 88 | 8.3×10^6 | 3.5×10^3 | 2.8×10^7 |
| Ir-192 | 3a | 74. d | 0.540(41%) 0.670(48%) | 0.320(82.8%) 0.468(48%) | 160 | 4.1×10^6 | 1.7×10^3 | 1.4×10^7 |
| Au-198 | 3b | 2.7 d | 0.960(98.8%) | 0.410(95.5%) | 79 | 1.8×10^7 | 7.6×10^3 | 2.0×10^7 |
| Tl-201 | 4 | 3.04 d | — | 0.167(10%) | 24 | 2.6×10^8 | 1.1×10^5 | 2.1×10^8 |
| Ra-226 | 2 | 160 y | — | — | 3.2 | 9.1×10^3 | 3.8×10^0 | 7.1×10^4 |
| Am-241 | 1 | 432 y | — | 0.013 9(42.7%) 0.060(35.9%) | 85 | 7.4×10^2 | 3.1×10^{-1} | 1.0×10^5 |

表 A.3 (续)

| 核子 | 辐射毒性组别 | 半衰期 | 主β射线的最大能量 MeV(%富余) | 主γ射线能量 MeV(%富余) | 未防护状态下的 γ剂量率 μSv/h | 最大限制性职业 吸入ALI Bq | 职业DAC Bq/m ³ | 最大限制性职业 摄入ALI Bq |
|-------------------------------|--------|------------------------|--|---|--------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 混合物: | | | | | | | | |
| Sr-90+Y-90 | 2 | 29 y | 2.28 | — | — | 5.1×10^5 | 2.1×10^2 | 1.3×10^6 |
| Ra-226+d | 2 | 1 600 y | 3.27 | 0.8 | 223 | 5.0×10^4 | 2.1×10^1 | 1.3×10^5 |
| Th 金属(新近化学分离的钍-Th-232+Th-228) | 4 | 1.4×10^{10} y | — | — | — | 6.6×10^2 | 2.7×10^{-1} | 1.3×10^5 |
| Th-ore | 4 | — | 0.04 0.33 1.28 1.52 1.80 2.25 | 0.24 0.58 0.91 0.97 2.61 — | 340 | 3.1×10^3 | 1.3×10^0 | 1.3×10^5 |
| U 金属(新近化学分离的铀-U-238+U-234) | 4 | 4.5×10^9 y | — | — | — | 3.2×10^3 | 1.3×10^0 | 4.3×10^5 |
| U-ore | 4 | — | 0.02 0.06 0.19 0.67 0.73 1.51 1.54 2.28 3.27 | 0.05 0.13 0.30 0.35 0.61 0.80 1.12 1.76 — | 150 | 3.5×10^3 | 1.5×10^0 | 1.1×10^5 |

表 A.3 (续)

| 核子 | 辐射毒性组别 | 半衰期 | 主β射线的最大能量 MeV(%富余) | 主γ射线能量 MeV(%富余) | 未防护状态下的 γ剂量率 μSv/h | 最大限制性职业 吸入 ALI Bq | 职业 DAC Bq/m ³ | 最大限制性职业 摄取 ALI Bq |
|--|--------|-----|-----------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <p>注 1: 职业 DAC 是基于 5 μm 的活度中值空气动力学直径的气溶胶和每年 2 400 m³ 的呼吸率的计算结果。</p> <p>注 2: Cs-137 的未防护的 γ 剂量率是衰变产物辐射。</p> <p>注 3: Ra-226+d 是与衰变产物一起下降到 Pb-210 时的数据。</p> <p>注 4: Ra-226+d 的主 γ 射线能量是 0.5 mm pl-ir 封装的平均有效能。</p> <p>注 5: Th-ore, 是指包括现在存在的所有衰变产物。</p> <p>注 6: 按照 Th-232 的 GBQ, 所有衰变产物都存在未保护状态的 γ 剂量率。如果不存在钍及其即时短寿命衰变产物, 则除以 4。</p> <p>注 7: 对于 U-ore 和 Th-ore, 活性为总贝克勒尔。转换为活性, 乘以 0.6。</p> <p>注 8: 根据 GBQOF U-238, 所有衰变产物均存在未保护状态的 γ 剂量率。如果不存在氦及其即时短寿命衰变产物, 则除以 20。</p> | | | | | | | | |

A.6 导出工作限值

通常来说,实验室中日常表面最大污染剂量有一个限值,离开实验室后体表或者其他表面的残存辐射剂量有一个较低的限值。基于辐射毒性组别,建议的导出工作限值(DWL)在表 A.4 中列出。

同样也有基于水体或者其他环境污染源设定的 DWL 值。

表 A.4 表面污染物的导出工作等级

| 辐射毒性组别 | 实验室内允许残留污染物的最高等级 Bq/cm ² | 皮肤上或实验室内其他物件上残留 污染物的最高等级 Bq/cm ² |
|--------|--|---|
| 组别 1 | 0.1 | 0.01 |
| 组别 2 | 1 | 0.1 |
| 组别 3a | 10 | 1 |
| 组别 3b | 100 | 10 |
| 组别 4 | 1000 | 100 |

注:辐射毒性组别在表 A.3 中列出。

A.7 剂量约束

个人(特定职业或者公众)活动导致各种致电离辐照或者间接辐照,其接受的总剂量不可超过某个剂量约束值。这个限值基于每种辐射源产生的辐照值,通过一系列优化推导而出,其目的在于将辐照限制在实际可行的最低水平上。

A.8 占用率因子

5.5 中,特定区域的允许剂量率计算需引入表 A.5 中的占用率因子(F),见式(A.1):

$$P = C/F \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

P = 修正后的公众场合允许剂量率,单位为毫希沃特每年(mSv/年);

C = 剂量约束值,由审管部门制定(通常 $C=1$,除非审管部门制定了其他值);

F = 占用率因子,见表 A.5。

表 A.5 占有率因子和设计因子

| 占有区域 | 假定的占有时间 h/年 | 占有率因子 F | 公众场合允许剂量率 P mSv/年 |
|-----------------------------|----------------|-----------|------------------------|
| 工作区域,实验室,办公室,暗室,邻近建筑物被占用的房间 | 2 000 | 1 | 1 |
| 杂物间 | 100 | 1/20 | 20 |

表 A.5 (续)

| 占有区域 | 假定的占有时间 h/年 | 占有率因子 F | 公众场合允许剂量率 P mSv/年 |
|---|----------------|-----------|------------------------|
| 无人看守的停泊区域,无人看守的等候室,走廊,楼梯,自动电梯,小径,车行道 | 50 | 1/40 | 40 |
| 注:表中未列出的任何区域,辐射防护负责人(RPO)可指派为以上任何占有率因子。 | | | |

附录 B
(资料性附录)
公众辐射照射的控制

B.1 介绍

实验室运作时,实验室管理部门需要对任何由于实验室操作而引起的辐射照射进行控制。有两大类群体是被考虑的:

第一类需考虑的群体是工作于实验室或实验室附近,但其工作不是关于放射性物质或辐射制造器的人员,例如办公室职员,可称为非职业照射工作人员。在某些情况下,也包括在临近的工厂或办公楼工作的人员。此群体与工作人员暴露于同一时期。在计算导出的极限值时,这种照射值设定为每天 8 h,每周 5 天,每年 50 周。

第二类需考虑的群体是生活在实验室附近人群,其生活中所呼吸的空气,或消耗的水和食物都可能被实验室排泄物所污染。此群体暴露时间会达到每天 24 h,每年 365 天。

两类群体都适用于表 1 列出的公众推荐限值。这些极限值可能由于管理机构的约束而减少,并且在任何情况下,所提供的保护应当最有效地进行。

对于工作人员,其每年接收的辐射总量是外界有效值和内部来源摄入体内的有效值的总和。年度辐射总剂量不包括自然界辐射和个人接受内科或牙医治疗所导致的辐射。

B.2 公众持续接触区域的限量值

公众人员的建议限量值是每年 1 mSv,可以是五年的平均值,在特殊情况下可以增加至每年 5 mSv。此限值适用于公众从多来源接收辐射量的限制。为公众可能接触到的实验室邻近区域设定限值,见 5.2 并参考附录 A。

B.3 公众和非职业照射工作人员的年均摄入量(ALI)和空气来源浓度(DAC)

表 B.1 列出了 ALIs 和 DACs 的推荐值,一般是表 A.3 所列出的职业值的 1/20。

表 B.1 公众人员的 ALI 和 DAC 值

| 核素 | 辐射毒性 | ALI(吸入的)/Bq | DAC/(Bq/m ³) | ALI(摄取)/Bq |
|-----------|------|----------------------|--------------------------|-------------------|
| H-3 气 | 4 | 5.6×10^{11} | 6.9×10^7 | 不适用 |
| H-3 水 | 4 | 3.8×10^6 | 4.8×10^2 | 5.6×10^7 |
| H-3 | 4 | 2.4×10^7 | 3.0×10^3 | 2.4×10^7 |
| C-11 水蒸气 | 4 | 3.1×10^8 | 3.9×10^4 | 4.2×10^7 |
| C-11 一氧化物 | 4 | 8.3×10^8 | 1.0×10^5 | 不适用 |
| C-14 水蒸气 | 4 | 1.7×10^6 | 2.1×10^2 | 1.7×10^6 |
| C-14 二氧化物 | 4 | 4.5×10^8 | 5.6×10^4 | 不适用 |

表 B.1 (续)

| 核素 | 辐射毒性 | ALI(吸入的)/Bq | DAC/(Bq/m ³) | ALI(摄取)/Bq |
|------------|------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| C-14 一氧化物 | 4 | 1.3×10^9 | 1.5×10^5 | 不适用 |
| 钠-22 | 3b | 7.7×10^5 | 9.5×10^1 | 3.1×10^5 |
| 钠-22 | 3b | 3.7×10^6 | 4.6×10^2 | 2.3×10^6 |
| 磷-32 | 3a | 2.9×10^5 | 3.5×10^1 | 4.2×10^5 |
| 磷-33 | 3b | 6.3×10^5 | 7.7×10^1 | 4.2×10^6 |
| 硫磺-35 无机物 | 3b | 7.7×10^5 | 9.5×10^1 | 7.7×10^6 |
| 硫磺-35 有机蒸气 | 4 | 8.3×10^6 | 1.0×10^3 | 1.3×10^6 |
| 钾-40 | 4 | 4.8×10^5 | 5.9×10^1 | 1.6×10^5 |
| 钾-42 | 4 | 8.3×10^6 | 1.0×10^3 | 2.3×10^6 |
| 钙-45 | 3a | 2.7×10^5 | 3.3×10^1 | 1.4×10^6 |
| 钙-47 | 3a | 4.8×10^5 | 5.9×10^1 | 6.3×10^5 |
| 钪-51 | 3b | 1.4×10^6 | 1.7×10^2 | 1.9×10^6 |
| 铬-51 | 4 | 2.7×10^7 | 3.3×10^3 | 2.6×10^7 |
| 铁-55 | 3b | 1.3×10^6 | 1.6×10^2 | 3.0×10^6 |
| 铁-59 | 3a | 2.6×10^5 | 3.3×10^1 | 5.6×10^5 |
| 钴-57 | 3b | 1.0×10^6 | 1.2×10^2 | 4.8×10^6 |
| 钴-58 | 3b | 4.8×10^6 | 5.9×10^1 | 1.4×10^6 |
| 钴-60 | 2 | 3.1×10^4 | 3.9×10^1 | 2.9×10^5 |
| 钴-60m | 4 | 7.1×10^8 | 8.8×10^4 | 5.9×10^8 |
| 铜-64 | 4 | 8.3×10^6 | 1.0×10^3 | 8.3×10^6 |
| 铜-67 | 3b | 1.6×10^6 | 2.0×10^2 | 2.9×10^6 |
| 锌-65 | 3a | 4.5×10^6 | 5.6×10^1 | 2.6×10^5 |
| 锌-69 | 4 | 3.6×10^7 | 4.4×10^3 | 3.2×10^7 |
| 镓-67 | 3a | 4.5×10^6 | 5.6×10^1 | 2.6×10^5 |
| 镓-68 | 3b | 2.0×10^7 | 2.5×10^3 | 1.0×10^7 |
| 锗-68 | 2 | 7.1×10^4 | 8.8×10^0 | 7.7×10^5 |
| 硒-75 | 3b | 7.7×10^5 | 9.5×10^1 | 3.9×10^5 |
| 溴-82 | 3b | 1.6×10^6 | 2.0×10^2 | 1.9×10^6 |
| 铷-86 | 3b | 1.1×10^6 | 1.3×10^2 | 3.6×10^5 |
| 铯-89 | 3a | 1.3×10^5 | 1.6×10^1 | 3.9×10^5 |
| 铯-90 | 2 | 6.3×10^3 | 7.7×10^1 | 3.6×10^4 |

表 B.1 (续)

| 核素 | 辐射毒性 | ALI(吸入的)/Bq | DAC/(Bq/m ³) | ALI(摄取)/Bq |
|------------|------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| 钷-90 | 3b | 6.7×10^5 | 8.2×10^1 | 3.7×10^5 |
| 钨-99 | 3b | 1.0×10^6 | 1.2×10^2 | 8.3×10^5 |
| 铈-99m | 4 | 5.3×10^7 | 6.5×10^3 | 4.6×10^7 |
| 镉-109 | 2 | 1.2×10^5 | 1.5×10^1 | 5.0×10^5 |
| 铟-111 | 3b | 4.3×10^6 | 5.4×10^2 | 3.5×10^6 |
| 碘-123 | 4 | 1.4×10^7 | 1.7×10^3 | 4.6×10^6 |
| 碘-124 | 3a | 2.3×10^5 | 2.8×10^1 | 7.7×10^4 |
| 碘-125 | 2 | 2.0×10^5 | 2.4×10^1 | 6.7×10^4 |
| 碘-131 | 2 | 1.4×10^5 | 1.7×10^1 | 4.6×10^4 |
| 碘-132 | 4 | 9.1×10^6 | 1.1×10^3 | 3.5×10^6 |
| 铯-131 | 4 | 2.1×10^7 | 2.6×10^3 | 1.7×10^7 |
| 铯-137 | 3a | 2.6×10^4 | 3.2×10^0 | 7.7×10^4 |
| 钷-153 | 3b | 1.6×10^6 | 1.9×10^2 | 1.4×10^6 |
| 镱-165 | 4 | 1.6×10^7 | 2.0×10^3 | 9.1×10^6 |
| 镱-169 | 3a | 3.3×10^5 | 4.1×10^1 | 1.4×10^6 |
| 铪-192 | 3a | 1.6×10^5 | 2.0×10^1 | 7.1×10^5 |
| 金-198 | 3b | 1.1×10^6 | 1.4×10^2 | 1.0×10^6 |
| 钽-201 | 4 | 2.3×10^7 | 2.8×10^3 | 1.1×10^7 |
| 镭-226 | 2 | 1.1×10^2 | 1.3×10^{-2} | 3.6×10^3 |
| 镭-241 | 1 | 1.0×10^1 | 1.3×10^{-3} | 5.0×10^3 |
| 混合物 | | | | |
| 铯-90+钷-90 | 2 | 1.2×10^4 | 1.5×10^0 | 6.5×10^4 |
| 镭 226+d | 2 | 5.9×10^2 | 7.3×10^{-2} | 9.3×10^3 |
| 钍 nat (金属) | 4 | 2.4×10^1 | 2.9×10^{-3} | 6.6×10^3 |
| 钍 226+d | 4 | 7.4×10^1 | 9.1×10^{-3} | 6.6×10^3 |
| 铀 nat (金属) | 4 | 1.1×10^2 | 1.4×10^{-2} | 2.1×10^4 |
| 铀-238+d | 4 | 7.0×10^1 | 8.6×10^{-3} | 4.0×10^3 |

B.4 非职业照射工作人员

B.4.1 吸入

对于非工作暴露于辐射人员(为成年人),辐射的吸入仅仅发生在工作时间内。工作中吸入的空气的量和工作人员是一样的,例如:在8 h工作日中是 9.6 m^3 。这些量值在表 B.2 中给出。

表 B.2 每天吸入空气量的 ICRP 推荐值

| 活动量 | 呼吸的空气量/m ³ | |
|--|-----------------------|------|
| | 轻型工作 | 重型工作 |
| 睡眠, 8 h | 3.6 | 3.6 |
| 工作的(5.5 h 轻型工作+2.5 h 休息, 坐着的) (7 h 轻型工作+1 h 重型工作) | 9.6 | 13.5 |
| 非工作的(4 h 休息, 坐着的+3 h 轻型工作+ 1 h 重型工作) | 23 | 27 |
| 24 h 的 | 23 | 27 |

注: 对于吸入量: 暴露在工作环境中限值为 5 μm , 对暴露在公共场所中限值为 1 μm ; 特定年龄的吸入量换算因数参见有关国际文件。

B.4.2 摄取

ALI 值在表 B.1 中给出, 是表 A.3 中列出的工作人员量值的 1/20。

B.5 公众人员

B.5.1 吸入

公众人员可能 24 h 都在呼吸着受污染的空气。一个成年人 24 h 呼吸的空气量为 17.6 m³~27 m³, 取决于其活动量以及性别。另外, 对职业人士一年仅 250 天, 而公众人员也许一年 365 天都暴露在辐射当中。

公众人员的 ALI 值在表 B.1 中给出。

B.5.2 摄取

公众人员(成年人)摄取的 ALI 值在表 B.1 中给出, 是表 A.3 中列出的工作人员摄取量值的 1/20。

B.6 量值的评估

B.6.1 非职业照射工作人员的量值评估

对于非职业照射人员, 实验室例行检测程序中应包括足够多的对非辐射工作区域的测量方法, 以评估这些人员所接收的辐射量。

B.6.2 公众辐射量的评估

工作人员所接收的辐射量易于检测和控制, 而对公众个体则难以施加类似的控制方法。对于公众人员暴露的控制, 通常采用控制辐射源的方法多于控制环境。必要的话, 控制措施的有效性, 可以利用“鉴定组”的概念, 通过环境采样和建模计算来进行检验。

对公众人员, 通常选择鉴定群组。这是一个有相似年纪和习性的人口群体, 他们可能接收来自实验室操作中的最高暴露量。

被选定特定群组的平均剂量是通过测算实验室的空气传播和液体排量, 或者适用时从环境直接测量的。

附录 C
(资料性附录)
不同类型辐射源的防护方法

C.1 范围

本附录提供了不同类型辐射源的防护方法信息。辐射源对人体的照射可分为外照射和内照射两类,其防护方法也不同。

C.2 内照射的防护

内照射是放射性物质经由食入、摄入、吸入、皮肤黏膜或伤口进入体内,在体内衰变释放粒子、射线而使人体机体受到照射。内照射防护的原则是尽量阻断、减少放射性物质进入体内的量,或缩短放射性物质在体内的滞留时间。主要防护方法有:

- a) 围封隔离:在辐射源周围设置屏障或在手套箱中操作,防止放射性物质向四周无序扩散。
- b) 佩戴防护用具:操作可能产生放射性气体、气溶胶、粉尘的物质时,严格按作业指导书穿戴防护衣具,如防护服、口罩、防护手套等。
- c) 缩短接触时间:限制接触受放射性污染空气的时间。必要时,可在正式操作前进行模拟演练,熟练掌握操作流程。
- d) 排出体内放射性核素:在专业医师的指导下,服食适宜的医学试剂,加速体内放射性核素的排泄,缩短生物半衰期。

C.3 外照射的防护

外照射是体外放射性物质因衰变释放粒子、射线而使人体机体受到照射。外照射防护的原则是尽量避免、减少体外射线对人体的照射。主要防护方法有:

- a) 时间防护:尽可能缩短操作人员与放射性物质的接触时间。必要时,可在正式操作前进行模拟演练,熟练掌握操作流程,减少正式操作时的用时。
- b) 距离防护:人体受到的照射率,与人和辐射源间距离的平方成反比,因此增大辐射源与人体间的距离可有效减少人体所受的照射。增加人体与源间距离的方法有很多,如采用长柄器具或机械手进行远距离操作。
- c) 屏蔽防护:在辐射源与人体之间设置适宜的物质材料,用于屏蔽辐射源释放的射线对人机体的照射。屏蔽材料的选择主要取决于辐射源放射性核素的衰变特性。表 C.1 为屏蔽材料选择的一般原则。

表 C.1 实验室屏蔽材料选择的一般原则

| 辐射源衰变方式 | 屏蔽材料选择 | 常用屏蔽材料 | 备注 |
|----------|-----------|------------|-----------------------------|
| α | 一般低原子序数物质 | 纸、铝箔、有机玻璃等 | α 辐射源防护的重点为防止形成内照射伤害 |

表 C.1 (续)

| 辐射源 衰变方式 | 屏蔽材料选择 | 常用屏蔽材料 | 备注 |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|----|
| β, e | 低原子序数物质+高原子序数物质 | 铝、有机玻璃； 混凝土、铅等 | |
| $p, d, {}^3\text{He}$ | 高原子序数物质 | 钽、铀等 | |
| x, γ | 高原子序数物质、通用建筑材料 | 铅、铁、钨、铀、混凝土、砖等 | |
| n | 低原子序数物质、含硼材料 | 水、石蜡、聚乙烯、碳化硼铝、 含硼聚乙烯等 | |

附 录 D
(资料性附录)
射线装置分类

D.1 范围

本附录说明本射线装置分类办法。

D.2 射线装置分类原则

根据射线装置对人体健康和环境可能造成危害的程度,从高到低将射线装置分为 I 类、II 类、III 类。按照使用用途分医用射线装置和非医用射线装置。

I 类为高危险射线装置,事故时可以使短时间受照射人员产生严重放射损伤,甚至死亡,或对环境造成严重影响。

II 类为中危险射线装置,事故时可以使受照人员产生较严重放射损伤,大剂量照射甚至导致死亡。

III 类为低危险射线装置,事故时一般不会造成受照人员的放射损伤。

D.3 射线装置分类表

常用的射线装置按表 D.1 进行分类。

表 D.1 射线装置分类表

| 装置类别 | 医用射线装置 | 非医用射线装置 |
|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|
| I 类射线装置 | 能量大于 100 MeV 的 | 生产放射性同位素的加速器(不含制备 PET 用放射性药物的加速器) |
| | 医用加速器 | 能量大于 100 MeV 的加速器 |
| II 类射线装置 | 放射治疗用 X 射线、电子束加速器 | 工业探伤加速器 |
| | 重离子治疗加速器 | 安全检查用加速器 |
| | 质子治疗装置 | 辐照装置用加速器 |
| | 制备正电子发射计算机断层显像装置(PET)用放射性药物的加速器 | 其他非医用加速器 |
| | 其他医用加速器 | 中子发生器 |
| | X 射线深部治疗机 | 工业用 X 射线 CT 机 |
| | 数字减影血管造影装置 | X 射线探伤机 |
| III 类射线装置 | 医用 X 射线 CT 机 | X 射线行李包检查装置 |
| | 放射诊断用普通 X 射线机 | X 射线衍射仪 |
| | X 射线摄影装置 | 兽医用 X 射线机 |

表 D.1 (续)

| 装置类别 | 医用射线装置 | 非医用射线装置 |
|--------|-----------------|---------|
| Ⅲ类射线装置 | 牙科 X 射线机 | |
| | 乳腺 X 射线机 | |
| | 放射治疗模拟定位机 | |
| | 其他高于豁免水平的 X 射线机 | |

附 录 E
(资料性附录)
电离辐射测量

E.1 范围

本附录说明了电离辐射及辐射污染的测量方法及过程。

E.2 总则

随机波动产生于辐射过程中的放射源,在低强度辐射中占有最重要的地位。这些随机波动及固有的背景辐射,限制了辐射测量所能达到的精确度。

选用辐射测量仪器时应结合自己的使用意图。

选用测量仪器时还应考虑到仪器的以下特性:

- a) 所测辐射的种类;
- b) 辐射覆盖的能量范围;
- c) 要测量的物理量(计数,计数速率;剂量,剂量率);
- d) 仪器测量范围;
- e) 能量依赖性;
- f) 强度依赖性;
- g) 几何依赖性;
- h) 灵敏性;
- i) 精确度;
- j) 效率;
- k) 响应时间;
- l) 对外部干扰因素的敏感程度(光照,射频场,磁场);
- m) 对脉冲及连续辐射的响应特性;
- n) 轻便性;
- o) 电源供应;
- p) 维护和保养;
- q) 温度,湿度及地区依赖性。

某些仪器中的探测装置对暴露在同一辐射中的人体组织会有不同的反应,因此在读取仪器示值时必须小心。此外,还有一些仪器的使用受到它自身局限性的影响。在使用仪器之前,操作人员应了解这些局限性。例如:

- a) 高强度辐射区间内“盖革”计数器的饱和及折叠;
- b) 当探测器探测得的辐射总容量比横贯容量大时做出偏小的判断;
- c) 当探测器与所测辐射的种类及能量不匹配时做出错误的判断。

通常,仪器在被首次使用前,实验室应确保它们已通过计量部门的测试及校准。在以后的使用过程中,应建立仪器质量保证程序,并定期对其进行可溯源再次校准。仪器质量保证程序及重新校准同样应获得计量部门的批准。在仪器使用正常无须重新校准的情况下,比较切合实际的做法是一年进行一次可溯源重新校准。正确适当地对仪器进行维护;当出现会影响测量精度的故障,应对仪器进行维修时,

维修完毕之后应重新校准该仪器。对仪器检测校准的结果及日期应记录存档,存档文件保留两年。

仪器内部的电池应定期充电或更换,以保证仪器的可持续使用。

以监测为目的的放射性测量可以分为五类,在以下各部分说明。

E.3 个人剂量测量

整体外部剂量可以用个人剂量监测装置来测量,通常包括热释光剂量计(TLD),电子显示剂量计(EID)和胶片剂量计等。测量时应将装置佩带在人体上半身各部位。个人剂量监测装置如果设计适当,可以测量 β 、 α 、 γ 及慢中子等射线所致剂量。快中子所致剂量采用另外一种特殊的个人剂量计来测量。

只要佩带者处于均匀且各向同性的辐射场中,可以采用个体剂量计对整体剂量进行测量。靠近小尺寸放射源,或对产生窄射束辐射的装置的操作,都会使人体暴露在极不均匀的辐射场中。此种情况下应测量局部剂量。将附加的个人剂量计佩带在手腕,前额及身体其他部位,可以很有效地测量局部剂量。指尖局部剂量采用热释光剂量计来测量比较合适。

除以上介绍的几种个人剂量计之外,还有直读式剂量计,它能有效地测量高 γ 射线所致剂量,并能对剂量累积率进行连续监测。

每一台个人剂量计都应当编号,仅供单人使用,规定期限之前准时交回。

专为个人设计的个人剂量计应当佩带在个人身体上,不能用来测量固定位置剂量,譬如一张长凳子的剂量;如要测量固定位置剂量,应当由辐射防护负责人(RPO)提供专门的剂量计。

个人剂量计也存在很多局限性,降低了它的实用性。某些类型的个人剂量计在平时使用中不能测量低能 β (譬如从H-3中发出来的 β 射线),辐射,低能 α 、 γ 或者脉冲辐射等射线所致剂量。

内部剂量的测量要比外部剂量困难。有三条评定身体内部放射性的途径可以尝试,即:

- a) 测算或估计暴露参数,计算接收剂量;
- b) 测量人体排泄物(尿液,粪便及呼出气体)的放射性,计算人体内部剂量;
- c) 直接测量器官或身体的放射性剂量,如甲状腺检测器和全身计数器。

确定接收剂量和体内放射性物质含量之后,便可计算内部剂量。

对于摄入辐射,通过良好的卫生习惯和操作规范可以有效的避免,因此吸入辐射应作为重点防护。空气辐射污染含量可以通过个人空气取样器进行有效的测量。但使用静态取样测试工作人员呼吸区域的空气污染含量,会产生误差,可使用计算修正因素解决这个弊端。已知该值之后,假设呼吸速率为 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$,吸入1ALI产生20 mSV的有效辐射量,便可计算出人体接受的辐射含量。

E.4 外部辐射的测量

外部辐射主要通过剂量率测量表进行测试,通常是由电离室、“盖革”计数管、闪烁探测器组成。

在使用或测试新的放射性仪器,或是更换试验设备当时就进行全面的监测是很有必要的。等X射线形成范围以后再进行测试,就没有作用了。使用密封或非密封放射性物质时,应时常对周围环境进行监测,因为该放射范围会移动,且会变换方位。

测试X射线装置,比如:X射线衍射仪,发出的窄射束所产生的辐射比较特殊,因为散射辐射的主要放射线束横截面小,能量低,需要采用计数精确的灵敏测试仪,也可以采用辐射探测照相法对存在的放射线进行有效的监测。在监测诸如此类X射线装置时,需要格外小心,即使试验条件有微小的变化都要引起格外的注意。另外,高能装置也会产生同样的问题,还会伴有强能量光谱和产生不同类型微粒的情况。

电子显微镜和电子衍射仪,不同于X射线衍射仪,目前还没有发现较大的问题。在安装启用该设

备之前可以先进行监测,如有必要还可以在剂量率高的地方设置屏蔽设备。

图 E.1 给出了典型 X 射线分析设备辐射剂量率检测的布点情况。

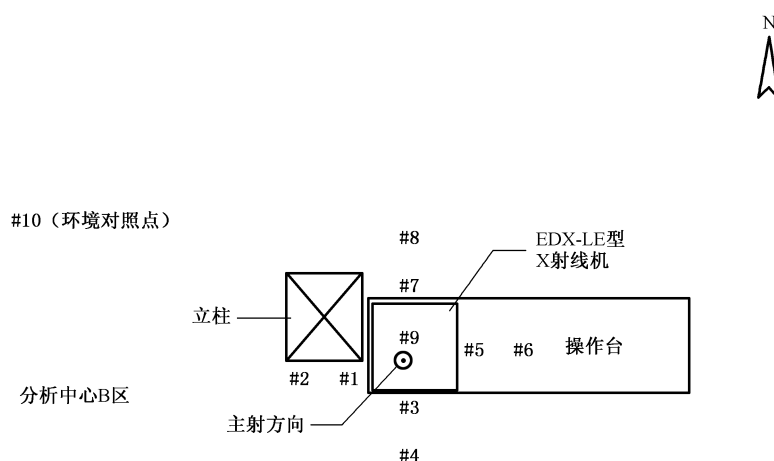


图 E.1 检测布点示意图

表 E.1 给出了典型 X 射线分析设备辐射剂量率检测的结果。

表 E.1 典型 X 射线分析设备辐射剂量率分布

| 序号 | 测点位置 | X、 γ 辐射剂量率 nSv/h |
|----|----------------------------------|----------------------------|
| 1 | EDX-LE 型 X 射线机西侧表面 | 118 \pm 1 |
| 2 | EDX-LE 型 X 射线机西侧表面以西 1 m 处 | 126 \pm 1 |
| 3 | EDX-LE 型 X 射线机南侧表面 | 119 \pm 2 |
| 4 | EDX-LE 型 X 射线机南侧表面以南 1 m 处 | 135 \pm 1 |
| 5 | EDX-LE 型 X 射线机东侧表面 | 107 \pm 1 |
| 6 | EDX-LE 型 X 射线机东侧表面以东 1 m 处,操作位置处 | 113 \pm 1 |
| 7 | EDX-LE 型 X 射线机北侧表面 | 115 \pm 1 |
| 8 | EDX-LE 型 X 射线机北侧表面以北 1 m 处 | 119 \pm 1 |
| 9 | EDX-LE 型 X 射线机上表面 | 126 \pm 1 |
| 10 | 环境对照点 | 115 \pm 1 |

注: 以上测量值均未扣除本次测量仪器的宇宙响应。

检测结果表明,EDX-LE 型 X 射线机处于正常工作状态时,其周围环境中的年累计 X、 γ 辐射剂量满足 GB 18871—2002 中规定的对公众受照剂量的限制要求。

E.5 表面放射性污染测试

用来测试表面放射性污染物的仪器通常是带有“盖革”计数管和闪烁探测器探针的速度测定器。对于某些 β -发射体,特别是能发射例如 C-14 和 S-35 等低能粒子的设备,测试它的探针需要带有一个很薄的入射窗,可以选择云母端窗计数管,厚度大约为 2 mg/cm²,或是特制的闪烁探测器。目前还没有合适

的仪器能有效的监测氡表面污染。

α 粒子探测器通常带有一个闪烁探测器,其携带的不透光入射窗非常薄,所以很容易损坏。

α 粒子和低能 β 粒子在空气中有有限的辐射范围,测试仪应非常靠近被监测物体表面,但不接触。

当直接监测不适用时,可以进行擦拭测试或涂片测试,以下情况可以使用该方法:

- a) 监测低能的 β 辐射面污染,比如:H-3,C-14,S-35;
- b) 存在干扰性的强度辐射背景;
- c) 污染监测器的探头不能触及被监测表面;
- d) 由于自身吸收的影响,采用直接监测的方法对污染等级的测评会偏低;
- e) 对活动性污染水平进行测算。

在以上测试过程中,测试表面经用吸收体(譬如滤纸或薄纱纸)擦拭后放置到适当的低背景区域,采用合适的计数器对其进行测量。一般情况下假定 10% 的活动性污染会转移到吸收体上。对于地板,天花板和墙壁而言,污染平面通常取为 1 000 cm²,其他表面取为 300 cm²。对于人体皮肤而言,污染表面面积通常不超过 100 cm²,而手的污染面积取其总的表面积。附录 A 给出了污染的导出工作限值(DWL)。

普通型号的便携式污染监测器能够用来检测手部及衣物的污染。根据设计特点,固定式仪器用来单独监测 α 射线或 β/γ 射线污染,以及对手,鞋或衣物的污染进行同步监测。

E.6 空气传播的放射性污染的测量

空气传播的放射性污染可能来自自然界的气体或微粒污染。

一种常见的气体污染测量方法是从受污染空气中提取样品,将样品装入容器后进行测量。某些环境下可以采用另一种替代方法:选用合适的材料捕捉放射性气体样品,测量材料上所含样品的放射性。

测量微粒污染的一种常见方法是利用过滤器提取一定量的污染空气,一般为数百升,测量捕捉到的样品放射性。

典型的取样方法是用个人空气取样器从人体呼吸区域提取空气样品,取样时人体全身暴露在空气中。

空气取样器仅是一种微粒收集器,通常情况下不能收集气体或蒸气。例如天然氦-220 和氦-222 气体的固态衰减次级粒子可以收集到但很难测量。氦-220 次级粒子通常情况下含量很少,可以忽略不计。而氦-222 次级粒子的有效半寿期仅为半个小时,假设在收集样品几个小时后对样品过滤器进行测量,氦的次级粒子已充分衰减,只剩下长生命期的反射原子核,此时可对这种原子核的放射性进行测定。

E.7 液体放射性污染测量

可以通过以下几种方式对其进行测量:

- a) 在液体内部放置合适的探测器;
- b) 将液体样品放入计数器内,液体闪烁计数器,盖革计数器或伽玛波谱仪;
- c) 对液体样品蒸发干燥后的残余物进行测量计数。

注:方法 a) 测量结果由液体容积决定,需要获得更大容积范围内的校准。方法 b) 需要附加的捕捉装置。通常情况下推荐使用方法 c)。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国环境保护法(主席令第二十二号,1989.12.26)
 - [2] 田志恒.辐射剂量学.北京:原子能出版社,1992.06.
 - [3] 放射事故管理规定(卫生部,2001.8.26)
 - [4] 放射工作卫生防护管理办法(卫生部,2002.1.3)
 - [5] 中华人民共和国放射性污染防治法(2003.10.1)
 - [6] 放射性同位素与射线装置安全和防护条例(中华人民共和国国务院,2005.9.14)
 - [7] 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,2006.1.18)
 - [8] AS 2243.4:2018 Safety in laboratories—Part 4:Ionizing radiations
-