

【综述】

 γ 辐照加工装置的安全与防护

谢丽娜, 申小章, 姚斌斌, 涂 彧

中图分类号: TL75⁺2 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2012)01-0124-02

辐照加工技术近年来已在轻工、化工、电力、食品保鲜、医疗卫生等行业获得越来越广泛的应用^[1]。钴-60 γ 辐照加工装置是辐照加工技术的主要技术装备。钴-60源 γ 辐照加工装置广泛用于科学研究、医疗器材辐射灭菌、化工材料辐射改性、食品射保鲜贮藏、杀虫防霉等领域中,在国民经济中愈来愈发挥重要作用^[2]。然而 γ 辐照加工装置是辐射技术利用项目中使用的放射源活度最大、潜在危害亦最大的一类装置,带有强放射性。辐照装置事故极易造成人员的伤亡,产生严重的经济损失和不良的社会影响,因此,加强对 γ 辐照加工装置的防护,加大对其周边环境的辐射监测,对保护工作人员和广大群众的健康以及维护社会和谐稳定发展具有重要的意义。

1 国内外 γ 辐照加工装置概况

据不完全统计,截止2008年全世界(中国除外)拥有大型钴源辐照装置250余座,实际装源超过 $3 \times 3.7 \times 10^{18}$ Bq (3×10^8 Ci)。根据美国核管理委员会(NRC)在2007年的统计数据,显示美国现有钴源总强度到达 $1.98 \times 3.7 \times 10^{18}$ Bq (1.98×10^8 Ci),美国已设计建造了单座装源能力超过 3.7×10^{17} Bq (10^8 Ci)的大型辐射灭菌装置^[3]。

目前,我国共有各类 γ 辐照加工装置近200座,设计装源能力 $3 \times 3.7 \times 10^{15}$ Bq (3×10^5 Ci)以上 γ 辐照加工装置101座,在建10余座,设计装源能力低于 $3 \times 3.7 \times 10^{15}$ Bq (3×10^5 Ci)的小型钴源辐照装置80多座。累计设计装源能力超过 3.7×10^{18} Bq (10^8 Ci),实际装源活度已经超过4 000万Ci^[3]。

2001年前江苏省共有大小⁶⁰Co γ 辐照加工装置8座,设计装源容量55.5PBq(1 500kCi),实际装源活度37PBq(1 000kCi)。2002年以来已建成和正在建设中的⁶⁰Co γ 辐照加工装置共有13座,至2004年10月全省设计装源容量65 112PBq(1 760万Ci),实际装源为148PBq(400万Ci)^[4]。电离辐射是枚双刃剑, γ 辐照加工装置也是如此,在运行过程中,⁶⁰Co辐照装置常见的事故类型有四种:①人员误入;②卡源事故;③贮源井水位下降;④贮源井水污染事故^[2]。 γ 辐照加工装置事故会带来严重的后果,在意大利(1975年)、挪威(1982年)、以色列(1990年)和我国(1990年)曾发生过这类死亡事故^[5]。

2 防护对硬件设施的要求

2.1 γ 辐照加工装置的辐射安全控制措施 工业 γ 辐照加工装置是通过放射性核素衰变放出的 γ 射线对产品进行辐照加工而达到一定的目地。目前,在工业上应用的辐照装置的 γ 源主要有核素⁶⁰Co、¹³⁷Cs等。在 γ 源应用于工业上的同时,必须

对 γ 源做好防护控制。在使用 γ 源进行工业辐照前,应当对 γ 源的活度进行测量和计算,并且按照源的活度做好正确的安全防护措施。在使用 γ 源对工业产品的辐照过程中,对在使用 γ 源对工业产品的辐照过程中,源采取屏蔽措施。 γ 辐照装置源的屏蔽:光子(γ 射线,X射线)能常采用高原子序数材料屏蔽,一般采用的高Z物质有铅、铁、钨、铀等,而一般采用的低Z物质有混凝土、砖土等。某些情况下用去离子水作为源 γ 的屏蔽体。 γ 辐照源的贮存,一般采用去离子水作为贮源水。对于用于贮源用的去离子水,要过滤去除水中的杂质,维持水的清洁,从而保护源和源架的清洁,延长使用寿命。去离子水需冷却后使用,⁶⁰Co核素衰变过程产生的热能会致井水温度升高,促进腐蚀效应,所以要对井水冷却^[5]。在敞开的水池周围,必须设置实体隔离物(维修或进行辅助操作时可移开),以防有关人员不慎跌入池中^[6]。在工业辐照的 γ 源达到使用寿命期,要进行更换 γ 源,并对退役的 γ 源进行一定的处理。目前退役源管理混乱,对于报废源不知如何处理处置引起了多起闲置源或废源失控事故^[7]。若要延长源的使用寿命期,必需交由审管部门进行检查源的密封性,合格后才可使用。退役的源可交回商家或按放射性废物处理。

2.2 辐照场所的辐射安全控制措施 辐照场所一般分为控制区、监督区^[8]。控制区是在正常条件下为控制正常照射或防止污染扩散,防止潜在照射式限制其程度而要采取专门防护措施作出安全规定的区域。未指定为控制区的为监督区^[5]。在控制区的进出口处必需设立辐射危险警示标志,工业辐照所用的 γ 源存在控制区域中。为减少直射、散射辐射对辐射室以外的场所的影响,所用的 γ 源贮源的通道要呈迷宫式,并且注意通风。在辐照室内的空气受强源照射会产生少量的有害气体:臭氧分子及氮氧化物,其中O₃产额比NO_x的产额大^[9]。为了防止有害气体对工作人员的影响,必需采取良好的通风措施,离心风机进行抽风。辐照室内和控制台上必须提供手段以在任何时刻都可阻止、迅速中断或终止辐照装置的操作,并将源返回全屏蔽状态,并且,在辐照室内必需有警报器和安全设施,在源失去控制时能够发出可视警报和声音警报^[6]。在辐照场所的建造过程中还要考虑迷宫屏蔽墙的厚度、水井中水的深度等问题。装源 1.5×10^{15} Bq的大型⁶⁰Co辐照装置,墙壁为钢筋混凝土结构,厚度为1.85m,完全符合安全防护要求。辐照厅与装料卸料大厅之间有长50m宽1.3m的迷宫,外侧墙壁厚度为1.2m。贮源水井,呈六边形,深7m。井壁采用混凝土一次浇注完成,井壁中间设有钢板,防止井水渗透。当放射源处于非工作状态时,⁶⁰Co源贮于水井底部,此时,源棒顶端距水面4.5m,可确保工作人员在辐照厅内工作安全^[10]。另外,对于 γ 辐照加工装置的选址, γ 辐照加工装置的场址宜选择场地稳定、地质条件较好的地段,按国家相关规范要求避开高压输电走廊和易燃易爆场所,在抗震设防区应满足国家相关标准的要求。综合上述要求,收集水文、地质、气象、人口、地理环境、

基金项目: 国家大学生创新性实验项目(项目编号: 5731503210)。
作者单位: 苏州大学医学部放射医学与公共卫生学院, 江苏 苏州 215123

作者简介: 谢丽娜(1989~),女,江苏昆山人,放射医学七年制学生。
通讯作者: 涂彧,教授, tuyu@suda.edu.cn。

[30] 赵红光, 王志成, 龚平生, 等. 含金属硫蛋白奶粉对辐射损伤的防护作用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005, 25(4): 345-347.

[31] 吴扬, 胡志和, 郭嘉, 等. 张敏乳铁蛋白铬对实验性糖尿病小鼠血糖水平的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(13): 253-254.

地震等资料,经环境影响评价后,经过监管部门审批确定厂址^[5]。

3 γ 辐照加工装置运行安全管理

3.1 安全防护管理制度 γ 辐照加工装置运行操作和管理者,都必须把安全放在第一位。完善规程和制度,这是辐照装置安全运行的保证。 γ 辐照加工装置运行单位应建立完善的制度和规程,并加以有效实施,加强设备的检查与维护,同时对员工进行严格有效的培训,强化运行操作人员的安全防范意识,以杜绝辐射事故的发生,确保 γ 辐照加工装置的安全平稳运行^[3]。如:运行、检测人员现场责任制度;技术负责人和管理人员岗位责任制;工作人员岗位责任制;工作人员培训、考核制度;辐照装置运行安全规则;辐照装置的使用维护制度;日常检测制度;检测记录和核验制度;个人剂量监测制度;确定运行参数制度;事故报告制度;实验室管理及卫生制度;辐照与未辐照产品登记、贮存管理制度等^[2]。

3.1.1 运营单位和运行人员 运营单位必须要有相应管理或监督机构颁发的使用放射源的许可证,并能按照许可证规定的条件,熟悉和保证装置的安全运行,并应配置 1~2 名具有资格的人员,负责辐照装置在使用和运行过程中的安全。装置的运行操作,应由取得上岗许可证的人员担任。他必须熟悉:①辐照的基本结构、运行和保养;辐射防护的原则和实际操作;正常运行和应急运行的操作规程;管理和监督机构的管理条例等;②熟悉并能使用区域内的各种安全设施;③熟悉所用的放射性监测仪表以及管理部门对个人剂量监测的要求^[11]。

3.1.2 定期检查和维修 为了保证 γ 辐照加工装置的连续安全运行,必须制定维修和检查计划,并认真实施。检查和维修应由受过培训和具有一定技术水平的人员进行。检查和维修可以按项目以每周、每月或每半年检修一次。检查中发现故障或缺陷应及时排除并做记录,否则 γ 辐照加工装置不能运行^[11]。

3.2 安全监督检查 为确保 γ 辐照加工装置的安全运行,在做好一系列防护措施的同时,有关部门应同时进行定期或不定期的安全监督检查,如:对基本管理制度的监督检查;对档案资料的监督检查;对安全联锁设施的监督检查;对环境影响的监督检查;对关键工作现场的抽查监测;对放射源运输与倒装的监督检查等^[12]。

3.3 辐射监测

3.3.1 剂量监测 在控制区和监督区内工作的人员都必须佩戴个人剂量计,并至少有一人佩戴有声音报警的个人剂量计。可以将个人剂量计佩戴在前胸、腕部、手指或下腹部等部位,通过监测工作人员在一定周期内或在一次操作过程中受到的辐射剂量,评价个人受照剂量上限,借以评价工作场所现有防护措施的有效性^[13]。个人剂量计性能应符合有关标准,并依照有关规定进行检定,正常运行 1~3 个月测读一次。

控制区内必须设置固定式辐射检测仪表,此仪表的读数应能区分出源在贮存位、照射位或生源途中的工况。每日每班都应首先检查仪表,保证其处于正常工作状态。

3.3.2 环境辐射水平监测

3.3.2.1 外照射 γ 水平监督检查 采用便携式剂量率仪定期重复性巡测,根据工作场所外照射剂量测量结果来评价屏蔽防护的效能或工作条件的满意度,从而加强 γ 辐照加工装置的安全性。辐照室墙体外辐射剂量率在升源运行时应 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

3.3.2.2 大气污染物监督检查 源降至水井下贮位 5min 后,辐照室内 NO_x (包括 NO 、 NO_2 等各种氮氧化物换算成 NO : 浓度) $\leq 5 \text{mg/m}^3$,室外日平均 $\leq 0.1 \text{mg/m}^3$ 、任何一次采样浓度 $\leq 0.15 \text{mg/m}^3$;降源 5min 后室内 $0 \leq 0.3 \text{mg/m}^3$,室外 1h 平均 $\leq 0.16 \text{mg/m}^3$ 。

3.3.2.3 水污染物监督检查 贮源井水监测每年 2 次,监测其

pH 值、电导率、氯离子和放射性浓度等;外排井水中 Co 单次排放总活度应 $\leq 1 \times 10^4 \text{Bq}$,月排放的 ^{60}Co 总活度应 $\leq 1 \times 10^4 \text{Bq}$ 。且只能排入下水道,不能排沟渠,排放点应固定。附近饮用水井每年进行一次 ^{60}Co 和总 β 浓度等监测, ^{60}Co 浓度应未检出或同于本底值。对排入地表水的废水下水道排放口上、下游各 500m 处取样监测 ^{60}Co 和总 β 浓度等。并每年对辐照室附近深度为 10~30cm 土壤中的 ^{60}Co 比放射性进行监测。

3.3.2.4 固体废物监督检查 主要是应将受到放射性污染的废树脂等送往城市放射性废物库贮存^[12]。

3.4 辐射安全警示标志 2007 年 2 月,国际原子能机构 (IAEA) 和国际标准化组织 (ISO) 联合宣布启用一个新增加的电离辐射防护与安全的警示标志,由传统三叶形电离辐射标志不断发射的电离辐射波、骷髅头和奔跑的人三部分整合在三角形内成,旨在对广大公众更加形象和醒目地警示电离辐射的潜在危险,警告人们当接近有较大潜在危险的放射源时应快速远离之,尽可能让普通公众成员,更直观了解与认知电离辐射危险,以有利于避免或者减少广大公众受到有较大危险性放射源的意外伤害^[14]。

3.5 公众宣传 核能、核技术、环境与健康一直是人们关心的问题。然而因为辐射看不见,感觉不到,使人捉摸不定;核与放射事件的危险是不自愿的、可怕的、灾难性的,人们不熟悉,又无法控制;核技术困难、复杂、专业性强,与武器发展联系,故长期以来保密较严格,一般公众对放射相关知识了解甚少等等原因导致众产生严重的恐慌与排斥心理。因此应该在做好辐射防护一系列措施的同时,加强核辐射知识群众性普及教育,消除公众谈“核”色变的盲目排斥恐慌心理,并且要让广大群众了解辐射对健康带来的危害,一定剂量的辐射能引起机体的确定性效应,辐射还可引起生物体的远后效应^[15]。还应该了解,在万一发生事故的情况下,如何使自己避免或减小所受到的剂量,这样可避免核无知带来的不应有的不良后果。

4 思考与展望

我国虽已制订颁布了一系列的辐射防护标准,但随着环境辐射污染的日益严重,有必要尽快完善国家相关标准体系,加强环境辐射监测和管理。目前,国外的辐射相关标准已逐步趋向统一,所以新的辐射防护标准可在借鉴国外研究的基础上,结合我国辐射管理工作中新的实际情况来制定^[16]。

由于目前事故发生的原因与源有很大关系,对所有的源的安全系统要逐月检查,确保其运行功能正常。为保持 γ 辐照加工装置的功能完好并能安全运行,需要对其进行定期的维护,定期补充 ^{60}Co 源和重新排列源架上的源,并对原有的源的活度进行测定。在工业辐射装置的建造上,更加完善屏蔽措施,防止直接照射和减小潜在照射,使工作条件更家安全。

为了使制度得以贯彻落实,应不断加强领导检查监督,并利用包干、评比、奖惩等手段使大家变被动为主动地执行制度,从而使安全防护管理的各项工作有序地进行。

应定期对辐照防护装置辐射监测仪器进行检测、维修和校准,从而更好地保证 γ 辐照加工装置的安全性^[17]。

钴源装置操作工作人员整体素质有待提高,须经过必要的专业知识培训,使员工具备良好的心理素质,在任何时候都不出现丝毫松懈,并且应提升员工的专业技能和应对突发事件的能力。

应针对可能发生的辐射安全事故做好应急措施,可以通过制定相应措施、规范,加强上下级、部门间的团结协作、现场模拟训练,加强群众辐射安全文化普及,提升医疗救助水平等方面,减轻辐射事故的危害。

参考文献:

[1] 王泽港,杨小勇,罗时石,等.中小型钴辐照装置安全控制

【综述】

辐照食品安全与辐射伦理

王冬辉 涂 彧

中图分类号: X591、R15 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2012)01-0126-03

辐照食品是指用 X 射线、 γ 射线或电子直线加速器处理的食物^[1]。辐照食品的出现与转基因食品一样,改善了全球的粮食短缺问题。辐射技术的运用,使食品得以保存,减少了由昆虫、细菌污染引起的食物损失问题,从而从一定程度上缓解了全球粮食危机问题。同时辐照技术可引起食物的物理、化学及生物变化,从而影响食物的营养价值和感官特性^[2]。在公众生活中,辐照技术使食品得以保鲜,口感上更好,但其涉及的安全性问题仍不容忽视。

1 辐照食品的利与弊

食品辐照技术主要是利用辐射源产生 γ 射线或利用射线装置产生 X 射线及高能电子束,对农产品及食品进行加工处理,抑制农产品发芽、杀灭细菌等微生物,以达到延长食品的保质期,提高食品卫生质量、保持营养品质及风味等目的^[3]。我国是世界上农产品出口大国,随着我国成功加入 WTO,在国际贸易上的竞争日趋激烈。因此运用世界先进技术提高我国出口农产品的质量是十分必要的。1980 年 FAO、IAEA 以及 WHO 的联合专家委员会,提出了“经 10kGy 以下剂量辐照的任何食品都没有毒理学方面的问题,无需再进行毒理学检查”^[4]的建议。这一建议的提出使辐照食品在世界范围内得以推广,商业化程度也日趋明显。

食品经一定剂量的射线照射后,射线能量沉积在害虫、虫卵、微生物以及一些酶类中,使其被杀死或失去活性。从而使农产品、食品不易变质,不会由于生化反应发生老化等改变。有利于食品长久保存且不会发霉、腐烂,也免遭病虫害。辐照技术与化学灭菌法等传统方法相比,具有杀菌效果好、无污

染无化学性物质残留,且一般不会引起食物温度明显的升高,可以很好的保持食品原有色、香、味等优点^[5]。

辐照食品不含有放射性核素,也不会产生感生放射性。从核反应阈能来看,能够直接产生感生放射性核素的带电粒子能量多数在 5~10 MeV 以上,而绝大多数天然核素的(γ, n) 反应阈能都在 10 MeV 以上。因此,低于 10 MeV 的电子加速器不用考虑感生放射性问题^[6]。

辐照技术是一把双刃剑,在给公众带来众多利益的同时,也显现出不少弊端。在水果、蔬菜等食品中,含量最高的成分是水。这些富含水分的食品在接受射线照射后,由于水的电离而产生大量的 $OH\cdot$ 、 $H\cdot$ 等自由基。这些自由基具有很强的氧化还原性,可以通过加成、解离、加氢等反应与食物中的蛋白质、糖类、脂类、维生素等人类必须营养物质反应,从而破坏这些营养物质的结构,降低其生理价值。自由基和水合离子容易引起蛋白质氢键和二硫键的断裂,导致其二级和三级结构发生破坏^[7]。高能射线作用于产品上能使化学键脱掉或从化学链上吸收氢原子。分子链上氢原子被吸收的位置,能立即与临近分子链上的其他位置发生结合形成稳定键^[8]。通过新键的生成和旧键的破坏,改变物质的化学结构,进而影响其功能。图 1 为一个简单结构的自由基反应。

射线除了利用自由基间接对事物进行破坏,也可直接作用于上述营养物质,导致其结构发生改变。例如射线直接作用蛋白质大分子,使蛋白质间发生交联,一级结构发生改变,相应的生物功能发生改变或者丧失^[9]。这样的蛋白质被人体吸收后也无法得到有效的利用。长期使用可能会造成由于缺乏某一种或几种必须氨基酸而导致营养不良或机体代谢紊乱等。研究^[10]表明,食品经辐照处理后,会产生异味,降低食品质量。

2 辐照食品的伦理问题

2.1 尊重消费者的知情权 辐照技术作为一种新的处理技术

作者单位:苏州大学医学部放射医学与公共卫生学院,江苏省放射医学与防护重点实验室,江苏 苏州 215123
作者简介:王冬辉(1990~),男,河南,在读本科生。
通讯作者:涂彧,教授, tuyu@suda.edu.cn

- 系统的改造与优化[J]. 中国辐射卫生 2002, 11(4): 221-222.
- [2] 李俊山, 张永富. 中小型辐照装置的运行安全管理[J]. 辐射防护通讯 2003, 23(6): 33-35.
- [3] 韩伟. γ 辐照装置的辐射安全与操作安全[A]. 中华人民共和国环境保护部第一次放射源与辐射安全管理工作技术交流与研讨会[C](2008年5月苏州).
- [4] 刘春泉, 朱佳廷, 赵永富, 等. 江苏省⁶⁰Co γ 射线辐照加工持续发展探讨[J]. 核农学报 2005, 19(2): 118-201.
- [5] 姜德智. 放射卫生学[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2004: 188-194.
- [6] GB 17279-1998, 水池贮源型 γ 辐照装置设计安全准则[S].
- [7] 闫玉奎. 降低钴源辐照加工装置潜在照射的管理与控制[J]. 辐射防护通讯 2003, 23(5): 7-10.
- [8] GB 17568-2008, γ 辐照装置设计建造和使用规范[S].
- [9] 吴小平. 江苏省钴-60 辐照装置的辐射环境监测和安全管理[J]. 生产一线 2009, 51.

- [10] 李晓华. 大型⁶⁰Co γ 源辐照装置及其安全防护系统[J]. 核农学通讯 1994, 79-82.
- [11] 潘自强, 程建平. 电离辐射防护和辐射源安全[M]. 北京: 原子能出版社, 765.
- [12] 楼洪鑫, 陈敏, 郑晓敏, 等. Γ 射线辐照装置辐射安全与防护监督检查的思考[J]. 核安全 2008, 4(2): 10-14.
- [13] 李芳, 吴小平, 范磊, 等. 江苏省 γ 辐照装置的辐射防护监测与评价[J]. 中国辐射卫生 2007, 16(1): 97-98.
- [14] 崔雷. 辐射事故对公众心理影响及消除方法[J]. 吉林农业科技学院学报 2009, 18(3): 46-48.
- [15] 郑钧正. 关于电离辐射防护与安全的警示标志[J]. 辐射防护 2007, 7(4): 255-256.
- [16] 介晓坤. 关于我国环境辐射防护标准的几点思考[J]. 中国环境管理干部学院学报 2009, 19(1): 41-42.
- [17] 赵士庵, 欧向明. 我国辐射防护仪器的应用现状和校准[J]. 中国辐射卫生 2006, 15(4): 409-411.

(收稿日期: 2011-03-18)