

城市放射性废物管理现状和处置措施探讨

张瑞菊¹, 陈 鹏¹, 樊济宇^{2*}

¹南京市生态环境局, 江苏 南京

²南京航空航天大学, 物理学院, 江苏 南京

收稿日期: 2022年7月19日; 录用日期: 2022年8月19日; 发布日期: 2022年8月30日

摘 要

为了强化对放射性废物处理途径的监管举措, 以减轻其对环境的影响; 同时根据我国对放射性废物排放的管理限值要求, 我们深入分析了当前管理中所存在的问题。通过调查并结合对城市放射性废物管理中存在问题的分析, 我们提出改进放射性废物管理的要求: 通过制定强制性的管理措施, 并加强对放射性废物处置的监管, 就能减少放射性废物对环境的危害, 保护公众生命健康安全。

关键词

放射性废物, 处置, 监管

Present Situation of Urban Radioactive Waste Management and Disposal Methods

Ruiju Zhang¹, Peng Chen¹, Jiyu Fan^{2*}

¹Nanjing Ecological Environment Bureau, Nanjing Jiangsu

²College of Physics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu

Received: Jul. 19th, 2022; accepted: Aug. 19th, 2022; published: Aug. 30th, 2022

Abstract

To strengthen the supervision of radioactive waste treatment ways and reduce its impact on the environment, in this paper, we propose the corresponding requirements of radioactive waste management based on the management limit requirements of radioactive waste discharge of China and the analysis of the actual problems existing in the management of urban radioactive waste. By formulating mandatory management measures and strengthening the supervision of radioactive waste disposal, we think it can effectively reduce the harm of radioactive waste to the environment and protect public life, health and safety.

*通讯作者。

Keywords

Radioactive Waste, Management, Supervise

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

从上世纪中伊始,我国就已经对核能与核技术展开了开发与利用。近年来,放射性同位素在我国不同行业、不同领域的应用越来越深远而广泛,深入到大家的衣食住行各方面,在国家的各项现代化建设中发挥了重要作用。但是,与各项优越性能伴随而来的对环境的危害和防治问题不容忽视。本文通过对城市放射性废物在管理过程中存在的问题进行剖视,旨在为放射性核素在医学、工业、农业、食品加工等行业中产生的放射性废物的安全管理提供指导,同时也为监管部门进行核安全评审和监督管理提供重要依据。

2. 放射性废物及其分类

放射性废物是指含有放射性核素或者被放射性核素污染,其放射性核素浓度或者比活度大于国家确定的清洁解控水平,预期不再使用的废弃物[1]。放射性废物按照物理形态可分为固体放射性废物、液态放射性流出物、气态放射性流出物和生物放射性废物。根据各类废物的潜在危害以及处置时所需要的包容和隔离程度,我国现行的放射性废物分类体系将放射性废物分为极短寿命放射性废物、极低水平放射性废物、低水平放射性废物、中水平放射性废物和高水平放射性废物等五类,对应的处置方式分别为贮存衰变后解控、填埋处置、近地表处置、中等深度处置和深地质处置。其中极短寿命放射性废物和极低水平放射性废物属于低水平放射性废物范畴,豁免废物或解控废物不属于放射性废物[1][2]。

3. 城市放射性废物的主要来源

我国城市放射性废物主要来源于放射性同位素在医学、工业、农业、食品加工等行业的应用中产生的放射性废物,主要包括以下应用。

3.1. 放射性同位素在医学中的应用

放射性同位素在医学上主要是应用于疾病诊断和治疗、放射免疫分析等。使用的放射性核素主要有 ^{60}Co 、 ^{192}Ir 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{125}I 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{18}F 、 ^{241}Am 等。产生的放射性废物主要包括固态放射性废物、液态和气态放射性流出物、生物放射性废物和废旧密封放射源。

3.2. 放射性同位素在工业中的应用

放射性同位素在工业上的应用非常广泛。利用其发出的各种射线与物质相互作用而产生不同效应可制成各种分析控制、计量和检测等工业用核仪表;地质探矿是利用 Am-Be 中子源发出的射线与不同物质相互作用的差别来进行的;工业高分子材料的辐射改性是利用辐射接枝、交联的方法;在无损检测行业广泛应用的工业射线探伤机是利用 X、 γ 射线具有很强的穿透性的特点制成的;放射性静电消除器是利用放射性同位素 ^{210}Po 、 ^{238}Pu 产生的 α 粒子使空气发生电离,产生带电粒中和空气中的静电而达到消除静电

的目的；火灾报警器上使用的 ^{241}Am 烟雾探测器，当有烟雾时，使 ^{241}Am 发射的 α 离子的电离减弱，并发出报警信号等。常用的放射性核素主要有 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 、Am-Be中子源、 ^{192}Ir 、 ^{210}Po 、 ^{238}Pu 等。所以放射性同位素在工业中的应用产生的放射性废物主要为废旧密封放射源[3] [4]。

3.3. 放射性同位素在农业和食品加工中的应用

放射性同位素在农业上的应用也比较广泛，利用辐射育种改良品种，提高产量；农副产品进行辐照保鲜，延长食用期；农药、化肥的放射性同位素标记、示踪；花卉新品种的培植等。常用的放射性核素主要有 ^{60}Co 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{65}Zn 、 ^{125}I 等[5] [6]。产生的放射性废物主要包括固态放射性废物、液态和气态放射性流出物和废旧密封放射源。

4. 城市放射性废物的种类及处置方式

根据放射性同位素在医学、工业、农业、食品加工等行业的应用及放射性废物的分类方法，城市放射性废物处理方式主要包括[7] [8] [9]。

4.1. 固体放射性废物

1) 废旧密封放射源：售源单位回收或送交城市放射性废物库。

2) 其他放射性固体废物：主要包括污染的工作服、口罩、鞋套和手套；注射器、针头、塑料管、原料瓶、棉签等。这类放射性废物通常都被按核素类别和半衰期长短分类存放在放射性废物暂存间进行保管。其中，极短寿命放射性废物贮存衰变经检测达标后作为普通废物送交有资质的单位处置。

4.2. 液态放射性流出物

放射性废液主要包括操作工艺中产生的少量放射性废液、清洗衣物、工具和器皿等产生的废液，以及体内注射了放射性药物的患者的痰液和排泄物。一般采用衰变池或容器贮存衰变方法，经检测达标后排放。

4.3. 气态放射性流出物

气态放射性流出物一般是在放射性药物的制备、分装等过程中产生的。这类操作一般要求在通风柜或密闭的手套箱中进行，并且要求通风管道的高度和通风柜操作口的风速等均应满足相应的规定要求，必要时通风系统应加装高效过滤器。

4.4. 生物放射性废物

在医学实验、药代动力学研究过程中会产生小白鼠、狗、猴等动物器官和尸体等生物放射性废物。这类废物一般采用防腐处理和冷藏贮存衰变的方法，经检测达标后作为普通生物废物送交有资质单位处置。

5. 我国控制放射性流出物排放的基本原则

放射性流出物是一个专称，专指涉源实践中所造成的以液体、气体、气溶胶、或粉尘等形态排入环境的放射性物质，这类物质在排放过程中可在空气和水体中得到稀释和弥散，为了控制放射性物质排放的浓度和总量，必须经过批准才能释放此类物质。流出物向环境的排放实际上就是将处理后的放射性废物进行最终处置的方式之一，因此，既要执行放射性废物管理的相关要求，又要遵循放射性废物处置的基本原则[1] [2]。

5.1. 限值年有效剂量

对公众所受到的辐射照射进行评价使用的基本量是年有效剂量，它是一个体现辐射安全的量。我国采纳的剂量限值标准与国际原子能机构保持一致，即所有人工辐射源所致公众受照的年有效剂量不超过 1 mSv。1 mSv/a 代表当一年之内受到此水平的辐射照射，根据随机性效应线性无阈的特点，在十万受辐射照射人群中，可能会有大略 4 例是因为辐照射而罹患癌症，而在没有受到辐射照射的情况下由于其他原因十万人中患癌的人数大约是 200 人。强烈的倍数反差证明 1 mSv/a 这一剂量标准是非常安全的。然而，在实际生活中，一个人不可能只受到单一辐射源的辐照，因此，制定安全规则必然要考虑到这一复杂情况，也就是说，公众受到单一辐射源所致的年有效剂量必须远远低于 1 mSv/a [10] [11]。

5.2. 年排放量实行总量控制

年有效剂量限值是基本限制，但在实际应用中不便于控制和操作。因此，通过分析放射性流出物排出后从环境中扩散、转移，经各种途径对人造成照射，推导出一组相对保守、安全的放射性物质年排放量限值，以保证在最不利情况下，只要满足该组推导限值，就能保证公众所受到的年有效剂量满足要求。

5.3. 实施最优化政策

最优化是在遵守了放射性核素年排放量限值，满足总量控制要求的前提下，为尽可能地减少公众人员受照射的可能性、受照射的人数和受照射剂量的大小，在花费代价不大的情况下，仍可采取必要的措施减少流出物的排放，它是辐射防护体系的重要组成部分[12]。

5.4. 可追溯复查原则

放射性流出物的排放除遵守最优化、总量控制和年有效剂量控制外，还应遵循可追溯复查性原则。审管部门可追溯复查流出物排放时的监测数据和流量等相关数据资料，也可设置监控装置，对气态、液态流出物的排放进行实时监控[11]。

6. 放射性流出物排放管理要求

- 1) 申报和批准：放射性流出物的排放均需要审管部门批准，但是批准方式可以是许可也可以是核准。
- 2) 净化与处理：如果放射性流出物的排放量较大，为了保护辐射环境安全与周边居民的身体健康，必须在放射性气体和液体的排放口设置净化设施，经处理达标后再排放[13]。
- 3) 专设排放口：放射性流出物排放应设置专门的排放口。放射性气体流出物要通过设置的烟囱排放，按照流出物中放射性核素的含量，烟囱的设置和高度要符合相应的要求。对于放射性液体流出物，排放口应选在对流出物扩散条件好的水域，而不应设置在集中取水口，水生生物养殖场和经济鱼类产卵场、回游路线等对人类生活产生重大影响的场所。
- 4) 流出物监测：放射性流出物在排放前必须进行活度浓度、流量等监测，只有监测达标才允许按习惯要求进行排放。
- 5) 对放射性液体流出物实行槽式排放：不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足条件(每月排放的总活度不超过 10 ALI_{min}，每一次排放的总活度不超过 1 ALI_{min}，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗)的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放做好记录[14]。

7. 放射性废物管理过程中存在的问题

在对非密封放射性物质工作场所的日常监管中，我们发现各使用单位基本都能做到按照放射性核素

种类对放射性废物进行分类收集，但对于如何规范处置放射性废物及放射性废物在管理方面的相关要求还存在不少问题，主要表现在以下几个方面：

1) 未履行申报和批准手续：对于极短寿命放射性废物，贮存衰变经检测达标后作为普通废物送交有资质的单位处置，并没有向审管部门申报并获得批准[15]。

2) 检测不规范：判断固体放射性废物是否属于豁免废物或者是否达到清洁解控水平，其依据是所含有的放射性核素的活度/活度浓度是否低于相应的豁免水平和清洁解控水平，但非密封放射性物质使用单位在将放射性废物作为普通废物处理前，仅对废物表面的 γ 辐射剂量率或表面沾污水平进行了检测，并未对其活度或者活度浓度进行检测，无法判断放射性废物是否达到豁免水平或者清洁解控要求。

3) 排放不规范：放射性流出物排放口缺乏放射性核素浓度检测及计量设备，无法判断放射性流出物排放是否符合规范要求。

4) 处置难度大：达不到清洁解控水平的含有长寿命放射性核素的废物，如 ^3H 、 ^{14}C 等处置难度大，费用高，导致大量放射性废物长期贮存和堆积。

5) 废液固化难：对于不能经净化排放的含有长寿命放射性核素(^3H 、 ^{14}C 等)的废液，如何进行处理转变为放射性固体废物没有统一的标准，导致在废液固化过程中可能大大增加放射性废物的量，不符合废物处理减量化的原则。

8. 放射性废物管理措施提升与成效

根据放射性废物的特性及其对人体健康和环境的潜在危害程度，并遵循放射性废物减量化、无害化和妥善处置、永久安全的安全管理原则，提出具体管理要求如下：

1) 放射性废物产生单位应当采取措施尽量减少放射性废物的产生量，实现废物最小化，并对产生的放射性废物按照核素分类收集，避免放射性废物与有毒和危险材料的混合。

2) 放射性废物产生单位应详细记录所收集废物的信息，包括放射性核素的名称、来源、数量、测量或估算的活度、日期、负责人等。

3) 放射性废物的豁免和贮存衰变后的清洁解控，需向监管部门进行申报并获得批准。在每批废物被解除监管控制前，应当进行有代表性的测量，以证明达到了清洁解控水平。

4) 对于达不到清洁解控水平的低放废液应采取凝聚沉淀、离子交换、电渗析和反渗透、蒸发(非挥发性的放射性核素)等安全可靠的方法进行固化。

5) 放射性废物产生单位应当及时将其产生的达不到清洁解控水平的放射性废物，送交有相应资质的社会放射性废物集中贮存单位或各省(区、市)城市放射性废物库贮存，或者直接送交有相应资质的放射性固体废物处置单位处置。

6) 放射性流出物的排放应通过排放监测和环境监测证明自己遵守了排放限值方面的监管要求，并应保存监测记录。

7) 通过上述监管措施的实行，不仅可以保证对放射性废物的处理、豁免、贮存、以及放射性流出物的排放等问题实现规范化的管理，而且可以有效地保证监管措施的落实到位；从而实现了放射性废物管理的科学化，保护了环境卫生和公众的健康。

9. 结论

在城市放射性废物管理中，长期存在着诸多问题包括：申报和批准手续不健全，检测和排放不规范等，这些问题有可能给人民群众的身体健康和环境卫生带来安全隐患。通过本项研究，我们发现只有通过制定强制性的安全管理措施和制度，并加强对放射性废物从收集到处置的全过程的安全监管，就能彻底减少放射性废物对环境的危害，保护公众生命健康安全 and 环境卫生。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院令 第 612 号. 放射性废物安全管理条例[Z]. 2012-03-01.
- [2] 环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 63 号. 放射性废物分类[Z]. 2018-01-01.
- [3] 徐健, 熊先祥, 雷奇峰, 武以博. 我国高放废物地质处置法规体系的若干问题探讨[J]. 世界核地质科学, 2014, 31(4): 601-606.
- [4] 刘立坡, 李国青, 靳立强, 罗峰. 我国核设施退役治理标准化现状及建议[J]. 辐射防护, 2016, 36(5): 326-334.
- [5] 邱国华, 李金凤, 刘森林, 范仲, 陈运利. 放射性废物处置安全全过程系统分析及有关问题的探讨[J]. 辐射防护, 2018, 38(2): 95-100.
- [6] 李洋, 杨洁, 赵杨军, 张宇, 顾志杰. 全国核基地辐射环境现状评价方法[J]. 中国科技成果, 2017, 18(7): 31-34.
- [7] 张建岗, 汤荣耀, 李国强, 徐潇潇, 杨亚鹏, 冯宗洋, 等. 应急照射情况的防护[J]. 辐射防护, 2016, 36(6): 337-343+363.
- [8] 杨庆, 侯立安, 王佑君. 中低水平放射性废水处理技术研究进展[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(9): 103-107
- [9] 孙寿华, 冉掄东, 林力, 等. 放射性废液处理技术的现状及展望[J]. 核动力工程, 2019, 40(6): 1-6.
- [10] 刘吉平, 狄小云, 苏锋, 王彬冰. 大气中氙的测量方法及其所致内照射剂量的估算[J]. 中国辐射卫生, 2011, 20(2): 187-188+191.
- [11] 施宸皓, 梁婕, 曾光明, 袁玉洁, 钟敏洲, 张立华. 某废弃铀矿周边农田土壤重金属和放射性元素的风险分析和修复措施[J]. 环境工程学报, 2018, 12(1): 213-219.
- [12] 樊利光, 张勇, 徐宏明, 姜建其, 陈忠宇. 个人剂量实时监测系统用户软件开发及应用[J]. 辐射防护通讯, 2005, 25(4): 36-39.
- [13] 张瑞菊, 庄振明, 宋永忠, 李京, 俞文. 南京市环境放射性水平调查与评价[J]. 中国辐射卫生, 2014, 23(5): 443-445.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. HJ 61-2021. 辐射环境监测技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [15] 苏成杰, 高涵. 辐射工作许可证在核电站辐射防护管理中的应用[J]. 辐射防护通讯, 2017, 37(3): 9-13.