

## 某放射源仓库的科学管理及外照射剂量监测

李国申, 马怀成, 邓培君, 王引东, 孙高峰

中图分类号: TL72 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)04-0469-02

【摘要】 目的 有效利用及科学管理放射源仓库以降低辐射风险, 减少人员所受剂量。方法 在辐射防护原则的指导下, 通过放射源分类、非常用源屏蔽、受照时间控制等措施优化了某放射源仓库的管理和使用, 并对仓库外围和内部主要工作点进行了  $\gamma$  剂量率跟踪监测。结果 显示该仓库对周围环境  $\gamma$  辐射场基本没有贡献。同时基于对工作人员工作时间和地点的统计, 分析计算了工作人员所受的附加剂量, 结果表明工作人员年有效剂量逐年降低, 且所受剂量远低于职业照射年剂量限值。结论 对该仓库的科学管理利用是有成效的。

【关键词】 放射源仓库; 科学管理; 剂量率监测

放射源的安全使用和管理一直受到政府和公众的密切关注。2004 年 5 月起, 国家环保总局、公安部和卫生部联合首次在全国范围内开展了为期 8 个月的“清查放射源, 让百姓放心”专项活动<sup>[1]</sup>, 通过该项活动提高了我国放射源安全管理水平, 矿山、高校、研究所等单位的放射源管理也更加安全合理<sup>[2, 3]</sup>。但是以前的讨论多集中在安全管理层面, 基于降低工作人员和公众附加剂量的放射源科学有效管理却少有介绍。本文所介绍的放射源仓库放射源数量多、种类复杂、活度差异大, 根据安全管理及合理利用需求, 在辐射防护原则的指导下, 对放射源的存放、屏蔽、人员工作时间、内容等进行了优化。并根据优化

措施的实施, 于 2005、2007、2008、2010 年每年一次监测了仓库内部和周围环境的  $\gamma$  辐射场。分析评价了仓库对周围环境的影响和工作人员的年附加剂量, 验证了放射源科学管理的有效性。

## 1 放射源仓库概况

为了安全管理及有效利用放射源, 本辐射防护实验室于 2005 年建造了该放射源仓库, 其结构示意图如图 1 所示。截止到目前, 共管理包括点源、面源、固体源及液体源四大类近 300 多个放射源。

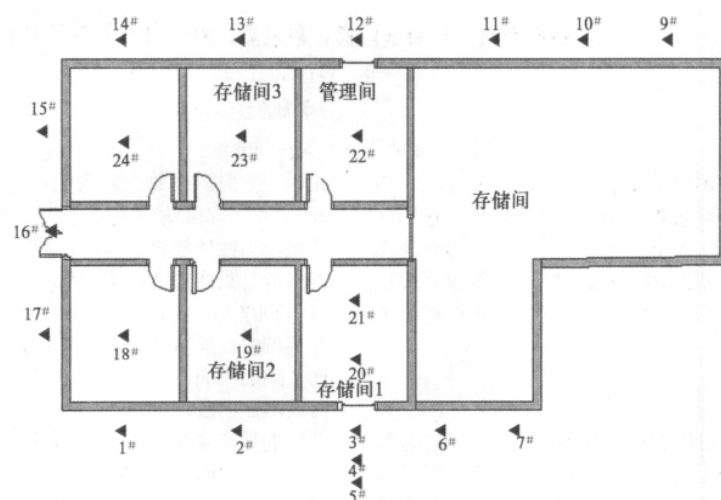


图 1 放射源仓库及布点示意图

该仓库具备严格的安全管理措施, 包括源室正门指纹和门禁系统(双人门禁和指纹匹配)、人员出入报警系统、放射源出入报警系统、源室正门外视频监控、人员出入及活动登记制度等。外墙窗户加装防盗栏, 仓库外 1m 整体铁网保护, 确保了源存放安全。放射源使用管理采取入库登记、借还登记、报废登记等制度, 保证了放射源的安全有效使用。

## 2 科学管理措施

自放射源仓库启用以来, 随着实验及工作需要, 放射源数量不断增加, 一部分放射源的使用频率也在变化。在辐射防护原则的指导下, 通过几年的实践摸索, 逐步完善了该放射源仓库的科学管理模式。最终较成熟的管理措施主要包括放射源分类存放、非常用源有效屏蔽、人员受照时间控制等。

2.1 放射源的分类存放 该放射源仓库所管理的放射源种类较多, 数量较大, 存放和管理的要求有一定差别, 分类存放不仅符合安全管理要求, 也更有利于人员的辐射防护。按照源的形状类型, 将源分为点源、面源、固体源和液体源四类; 根据使用频率的不同将源分为常用源和非常用源两类; 按照存放要求将源分为常规存放、冰箱存放和屏蔽存放三类。

如图 1 所示, 将非液体源中非常用源按照形状类型存放于存储间 1, 其中活度较高的采用屏蔽存放; 将非液体源中常用源存放于存储间 3, 并按照使用频率大小近门存放; 将液体源存放于存储间 2, 对有温湿度存放要求的存放于冰箱中。所有源的存放位置登记造册, 方便使用和管理。存放点变更及时更新放射源存放登记表。

2.2 非常用源的屏蔽 非常用源特别是一些活度较高的源会给工作人员带来不必要的照射, 对此类源采用有效屏蔽手段不仅可以减少工作人员受照剂量, 也降低了仓库对周围环境的影响。在存储间 1 中, 将活度较高且有屏蔽容器的放射源远门堆

作者单位: 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024

作者简介: 李国申(1984~), 男, 陕西西安人, 工程师, 硕士, 核技术与应用专业。

放;无屏蔽容器的源采用自制的铅砖挡墙屏蔽。活度较低的源近门常规存放。

2.3 人员受照时间的控制 工作人员在放射源仓库受照时间主要依赖于实验及工作要求,但在不影响工作的前提下,通过合理安排实验时间,统筹优化放射源借还程序,减少不必要的检查等手段对受照时间进行控制。

### 3 剂量率监测及结果

GB18871-2002 规定,实践和源的注册者、许可证持有者或用人单位应根据其负责的实践或源的具体情况,按照辐射防护最优化的原则制定适当的职业照射监测大纲,进行相应的监测和评价。如果可能,对所有受到职业照射的人员均应进行个人监测。但对于受照剂量始终不可能大于 1mSv/a 的工作人员,一般可不进行个人监测<sup>[4]</sup>。因此本文对仓库外围和内部主要工作地点进行了监测,用以评价该放射源仓库对周围环境的影响,在对工作人员受照剂量估算评价时,没有采用个人剂量计,而是根据仓库内部主要工作点的剂量率及工作时间来估算的。

3.1 监测仪器 采用中国原子能科学院研制的 YB-IV 环境

辐射剂量仪进行监测,该仪器经过中国计量科学院检定,仪器主要性能指标如下<sup>[5]</sup>:高压电离室灵敏度因子:对 Ra 源 KRa: 约  $12.5 \times 10^{-16}$  A/(nGy<sup>-1</sup>),对典型环境 Ke: 约  $13.0 \times 10^{-16}$  A/(nGy<sup>-1</sup>);量程(用户可选择): 10nGy<sup>-1</sup> ~ 10μGy<sup>-1</sup>、100nGy<sup>-1</sup> ~ 100μGy<sup>-1</sup> 两种;相对固有误差:约 ±10%;高压电离室能量响应特性: < 30% (55 ~ 1250keV);工作环境:温度范围: -10℃ ~ +55℃、相对湿度: <90%。

3.2 监测布点 仪器探测器距地面 1m,监测点周围为较平坦的泥土地面。布点示意图 1 所示,其中近外墙监测点距外墙 1m,由于储源间 1 内存放大多数放射源特别是存在活度较高的源,因此在储源间 1 窗外远距离处增设监测点,布设 4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>点距墙分别为 5m、10m,储源间 1 内布设近门点 21<sup>#</sup>和远门点 20<sup>#</sup>,储源间 2 存放少量液体源,储源间 3 存放少量常用源,因此分别布设 1 个监测点,近正门的两个房间作为备用储源间也各设一个监测点。存储间为未启用的多源辐射场刻度系统,因一直处于密闭状态,未设监测点。

3.3 监测结果 分别在 2005 年、2007 年、2008 年、2010 年四年对放射源仓库的辐射场进行了布点监测,监测结果见图 2。

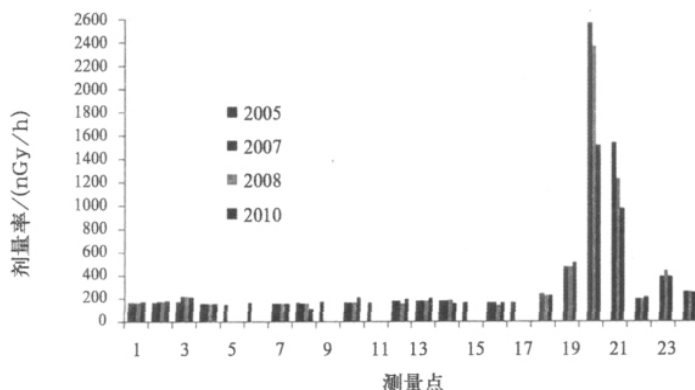


图 2 放射源仓库各年剂量率

由于监测目的变更,监测的重点也不同。2005 年仓库启用时,重点考虑该仓库对周围环境的影响,因此只监测了仓库外围 17 个点。2007 年后随着工作内容的变化,删减了部分仓库外监测点,重点增加了仓库内部的监测,并随着放射源存放位置的优化及屏蔽措施的开展对仓库内部的主要工作点进行了跟踪监测。

### 4 结果分析

2005 年该仓库作为放射源仓库使用时,大部分放射源都存放于仓库的地下井中,为了监测其对周围环境产生的剂量负担,在仓库外围布设监测点 1<sup>#</sup> ~ 17<sup>#</sup>。本地区房屋附近 γ 剂量率本底水平约为 150 nGy<sup>-1</sup> (未扣除宇宙射线影响),而监测点剂量率在 149 ~ 179 nGy<sup>-1</sup>,其中剂量率为 149 nGy<sup>-1</sup> 的 5<sup>#</sup>点距墙 10m,周围是平坦泥土地,接近于本底水平,12<sup>#</sup> ~ 14<sup>#</sup>点处于仓库外墙和院子围墙之间,建筑材料的影响带来了剂量率的升高。从整个监测结果看,该放射源仓库对周围环境的剂量率水平没有贡献。

由于 2005 年仓库外围各监测点剂量率大多在本底水平,因此在之后的监测中精简了仓库外围监测点 5<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>、9<sup>#</sup>、11<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>、17<sup>#</sup>,从图 2 可以看出,2007 年之后 3<sup>#</sup>点剂量率略微升高,这

是因为放射源存放点的变更引起的,但同时可以发现在距墙 5m 的 4<sup>#</sup>点又降为本底水平。2010 年 9<sup>#</sup> ~ 11<sup>#</sup>点剂量率稍高,这是因为此处堆放水泥预制块等建材,并非由仓库内的放射源造成。总体来说,放射源仓库对周围环境基本没有影响。

2007 年年初对该仓库的放射源进行了再整理和登统计,并将所有放射源从井内取出分类型分别存放于储源间 1、储源间 2、和储源间 3,多数放射源存放于储源间 3。因此在精简原有监测点的基础上,于 2007 年、2008 年、2010 年增加了仓库内部的剂量率监测点 18<sup>#</sup> ~ 24<sup>#</sup>,同时根据所统计的人员受照时间、主要工作内容,利用 (1) 式计算工作人员的有效剂量当量<sup>[6]</sup>:

$$H_e = D_\gamma K t \quad (1)$$

式中  $H_e$  为有效剂量当量 Sv;  $D_\gamma$  为环境地表 γ 辐射空气吸收剂量率 Gy · h<sup>-1</sup>;  $K$  为有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值,采用 0.7Sv · Gy<sup>-1</sup>;  $t$  为环境中停留时间 h。

根据人员出入登记及工作内容估算,在管理间、储源间 1 (主要工作区域在 21<sup>#</sup>点附近)、储源间 2、储源间 3、18<sup>#</sup>点房间、24<sup>#</sup>点房间活动时间比例约为 3: 2: 1: 2: 1: 1。工作人员在各年的有效剂量见表 1。

表 1 放射源仓库管理措施及工作人员受照剂量

年份	主要措施	主要变化	受照时间 (h/人)	有效剂量 (μSv)
2007	从井中取出放射源,按形状类型分类	各储源间剂量率约为本底 10 倍以上	94.4	34(24) <sup>1)</sup>
2008	统计使用频率,将常用源转存储源间 3	储源间 1 剂量率降低,储源间 3 内略有升高	70.5	24(17)
2010	屏蔽高活度源,控制人员受照时间	储源间 1 剂量率大幅降低,人员受照时间大幅缩短	28.3	8.6(5.7)

注:1) 括号内为扣除本底后的职业照射有效剂量。

## 基于故障树分析法的放射源丢失事故分析

贺长兴, 尹在哲

中图分类号: TL73 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)04-0471-04

【摘要】目的 理清放射源事故的主要诱因, 为放射源被盗丢失事故的解决方案提供分析依据。方法 结合具体事故案例, 运用故障树分析法建立放射源被盗丢失事故树。结果 对事故树进行计算得出等效最小割集事故树。结论 引起放射源被盗丢失事故的主要诱因有约 13 个, 外加一些次要的因素; 有 13 项诱因并不真正引起放射源的被盗丢失事故。

【关键词】放射源事故; 被盗丢失; 故障树; 案例分析

随着我国经济和人类科学技术的飞速发展, 放射源在各个领域如工业、农业、医疗、科研等得到广泛的应用, 大大促进了人们生活水平的提高和国民经济的发展。统计表明, 我国近 20 年来辐射源的数量一直以年均 15% 的速度在增长<sup>[1]</sup>。与此同时, 我国放射事故的发生却时有报道, 平均每年大概 30 多起, 发生率是美国的约 40 倍<sup>[2]</sup>; 其中被盗丢失放射事故占大部分, 在 1954~1998 这 40 多年间平均比重高达 70.1%, 给人民生活和环境带来了极大的安全隐患。因此对放射事故中的因被盗丢失导致的放射源失控事件的深入分析, 将有助于给出应对大部分放射事故的安全对策解决方案。

## 1 放射源被盗丢失案例

1.1 案例一 失控源:  $\gamma$  料位计源。被盗丢失经过: 枣庄矿业集团公司某水泥厂于 1993 年 11 月在水泥立窑设备检修时, 将所用的  $\gamma$  料位计放射源拆下后, 放入一闲置库房内, 未采取安全防盗措施, 待 1994 年 2 月 23 日安装使用时, 发现该源丢失, 该厂在自行查找未果情况下, 于次日向市卫生、公安部门报案, 接案后, 市卫生、公安部门立刻组成联合调查组进行立案调查, 根据群众提供的线索, 于 2 月 25 日在厂邻村一农民家中将放射源找回<sup>[3]</sup>。

1.2 案例二 失控源:  $^{60}\text{Co}$  源。被盗丢失经过: 1977 年 8 月,

作者单位: 清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084  
作者简介: 贺长兴(1986~), 男, 汉族, 江西萍乡人, 研究生, 专业方向: 核技术及其应用。  
通讯作者: 尹在哲

GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准中规定, 工作人员的职业照射剂量限值为连续 5 年的年平均有效剂量不超过 20mSv, 任何一年中的年有效剂量不超过 50mSv<sup>[4]</sup>。由表 1 可知, 该仓库工作人员的职业照射年有效剂量远低于剂量限值。同时可见, 在科学管理措施实施后, 工作人员的职业照射剂量大幅降低, 说明对于放射源的优化使用管理是有成效的。

## 5 讨论

在安全管理的基础上, 对放射源的科学优化管理应受到重视。本文根据辐射防护原则的指导, 通过采用放射源分类、非常用源屏蔽、受照时间控制等措施, 逐年降低了工作人员的职业附加有效剂量, 而且远远低于职业照射的剂量限值。

通过几年对放射源仓库  $\gamma$  剂量率水平的监测, 发现除储源间 1 对仓库外 1m 处的  $\gamma$  辐射场有贡献外, 仓库外其它地点处于本底水平。由于 3# 点为储存了较多放射源的储源间 1, 且距地 1.5m 高的窗户屏蔽能力较差, 导致窗外剂量率水平较高, 因此建议将该窗户用水泥密封, 加强屏蔽能力。

由于安全和屏蔽等原因, 各储源间的窗户基本都被封死,

某矿务局勘探队搬迁过程中, 将 1 枚密封在铁桶内上锁的  $^{60}\text{Co}$  放射源搬往新址无门无锁的房间中, 无人看管, 一周时间被盗丢失。通过卫生、公安部门组织调查, 广泛宣传与查找, 偷盗者于第 4 天将铅罐送到勘探队大门口, 放射源完好无损<sup>[4]</sup>。

1.3 案例三 失控源:  $^{137}\text{Cs}$  料位计源。被盗丢失经过: 1991 年 11 月, 沂源水泥厂设备检修拆下  $^{137}\text{Cs}$  料位计源, 存放在未上锁的房间中 2 个多月, 市卫生、公安部门年度检查发现该源被盗丢失。两部门先后抽调 40 余名人员查找, 于第 5 天将源完好找回。

1.4 案例四 失控源: 铯-192 源。被盗丢失经过: 肇事单位是一家主要从事锅炉压力容器无损检测工作的股份制公司。2002 年经有关部门批准取得了放射工作资质。放射安全管理组织、管理制度及操作规程健全, 放射源库房防范设施齐全。事发前, 源库内存有 5 枚放射源(4 枚铯-192, 1 枚铯-75)。2004 年 5 月 25 日, 该单位职工准备取探伤机外出作业时, 发现少了 1 台储源器, 内带 1 枚铯-192 放射源, 当时活度为 2.26 TBq(61Ci), 随即, 单位向公安机关报案。当天晚上, 犯罪嫌疑人通过电话向单位进行敲诈勒索。在公安机关的全力侦破下, 5 月 27 日将被盗放射源追回, 同日将 2 名犯罪嫌疑人抓获。后经有关部门对起获储源器的现场及被盗储源器进行检测, 确认储源器完好, 未对环境造成污染。单位法人和经理因负管理不善责任, 均被处治安拘留 15 天, 两名犯罪嫌疑人因盗窃罪分别被判有期徒刑 6 年和 3 年<sup>[5]</sup>。

限于篇幅, 更多的案例请参考文后文献<sup>[6-9]</sup>。

因此由液体源的挥发、放射性尘土的再悬浮造成的内照射没有做评估。建议在该仓库安装通风系统, 减少工作人员的内照射剂量。

## 参考文献:

- [1] 国家环保总局. 查底数、除隐患、收废源, “清查放射源, 让百姓放心”专项行动启动 [EB/OL]. <http://www.sepa.gov.cn/eic/649094490434306048/20040426/1049126.shtml>. 2004-04-26.
- [2] 葛沐锋. 浅析淮南矿业集团放射源管理 [J]. 能源环境保护 2009 23(1): 60-61.
- [3] 王咏妙. 对高校实验室辐射安全管理的探讨 [J]. 实验室科学 2006 (4): 91-92.
- [4] GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 [S].
- [5] 中国原子能科学研究院, YB-IV 型环境辐射剂量率仪使用说明 [Z]. 002: 2-3.
- [6] GB/T14583-93 环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范 [S].

(收稿日期: 2011-04-23)