

某辐照装置退役<sup>60</sup>Co 残留量估算

普家云 沈思林

云南省辐射环境监督站, 云南 昆明 650032

**摘要:** 目的 判断辐照装置退役<sup>60</sup>Co 残留量是否满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) 10<sup>4</sup> Bq/kg 的豁免浓度与 10<sup>5</sup> Bq 总活度的要求。方法 采用高纯锗谱仪  $\gamma$  能谱分析方法进行<sup>60</sup>Co 核素比活度分析, 并根据放射性废物的总量进行<sup>60</sup>Co 残留量估算。结果 辐照室瓷砖<sup>60</sup>Co 残余量 74 665 Bq, 水泥<sup>60</sup>Co 残余量 84 420 Bq, 蒸发池底泥<sup>60</sup>Co 残余量 7458 Bq, 泵房渣土 791 Bq, 总残余量 92 669 Bq, 平均比活度为 226.3 Bq/kg。结论 辐照装置<sup>60</sup>Co 残留量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 10<sup>4</sup> Bq/kg 的豁免浓度与 10<sup>5</sup> Bq 总活度要求。

**关键词:** 辐照装置; 退役; <sup>60</sup>Co 残留量估算

中图分类号: TL75+1 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2015)01-069-02

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2015.01.029

某辐照室 60 年代先后从国内外购进一批<sup>60</sup>Co 放射源用于辐照研究, 至 20 世纪 80 年代停止辐照工作, 由于历史原因该辐照装置管理人员流失, 基本处于无人管理的失控状态, 贮源井水质恶化, 放射源泄漏, 威胁地下水安全。2007 年该辐照装置进行了退役, 退役过程中对受<sup>60</sup>Co 污染的贮源井水进行了离子交换处理、贮源井瓷砖表面进行了擦拭去污处理、排水管外土壤进行了开挖处理。为了确认是否满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002) [1] 10<sup>4</sup> Bq/kg 的豁免浓度与 10<sup>5</sup> Bq 总活度要求, 对退役治理后的辐照装置场所进行了<sup>60</sup>Co 比活度监测, 并对

作者简介: 普家云(1980-), 男, 云南昆明人, 工程师, 从事辐射环境监测与监督管理工作。

表 2 小清河历下亭断面水体<sup>40</sup>K 放射性活度浓度(mBq/L)

时间	枯水期	丰水期	平均值
2010 年	94	52	73
2011 年	57	61	59
2012 年	68	55	62
2013 年	46	59	53
监测值范围	(46~94)		62

由表 1 及表 2 可以看出, 2010-2013 年黄河水系济南段泺口断面水体的<sup>40</sup>K 比活度平均为 130 mBq/L, 与黄河水系山东段水中<sup>40</sup>K 1.34 × 10<sup>-1</sup> Bq/L [1] 接近, 大约是长江水系水中<sup>40</sup>K 比活度 0.49 × 10<sup>-1</sup> Bq/L [2] 的 3 倍, <sup>40</sup>K 比活度变化范围为(104~149) mBq/L, 与 1983-1990 年全国环境天然放射性水平调查<sup>40</sup>K 监测值(23~2494) mBq/L [3] 相比, 无显著变化; 2010-2013 年小清河历下亭断面水体的<sup>40</sup>K 比活度平均为 62 mBq/L, 约为黄河水系山东段水中<sup>40</sup>K 1.34 × 10<sup>-1</sup> Bq/L [1] 的 0.5

残余量进行估算。

## 1 调查内容和方法

1.1 调查内容 贮源井瓷砖、贮源井底部水泥、贮源井水离子交换处理后剩余水、蒸发池底泥、辐照装置水泵房渣土中<sup>60</sup>Co 的比活度。

## 1.2 分析方法和仪器

1.2.1 取样方法 贮源井瓷砖按贮源井分为上中下三层取样; 贮源井底部水泥取混合样; 蒸发池底泥取混合样; 辐照装置水泵房渣土按开挖沟的底部及沟边进行取样。

1.2.2 分析方法和仪器 结合调查的实际情况, 针对调查的具体对象, <sup>60</sup>Co 活度按照国家标准 GB 11743

倍, 与长江水系水中<sup>40</sup>K 比活度 0.49 × 10<sup>-1</sup> Bq/L [2] 接近, <sup>40</sup>K 比活度变化范围为(46~94) mBq/L, 与 1983-1990 年全国环境天然放射性水平调查<sup>40</sup>K 监测值(23~2494) mBq/L 相比, 处于同一水平。

## 3 结论

2010-2013 年黄河水系济南段泺口断面及小清河历下亭断面水体的<sup>40</sup>K 放射性水平处于正常本底范围内。

## 参考文献

- [1] 李福生, 张连平, 程杰, 等. 黄河水系山东段放射性水平调查与评价[J]. 中国辐射卫生, 1998, 7(4): 214-216.
- [2] 李振平. 长江水系放射性水平调查及评价[M]. 北京: 原子能出版社, 1984: 1-16.
- [3] 何振芸, 罗国栋, 黄家矩. 全国环境天然放射性水平调查研究(1983-1990年)概况[J]. 辐射防护, 1992, 12(2): 81-95.

收稿日期: 2014-06-21 修回日期: 2014-10-24

-1989《土壤中放射性核素的  $\gamma$  能谱分析方法》和 GB 11713-89《用半导体  $\gamma$  谱仪分析低比活度  $\gamma$  放射性样品的标准方法》,仪器采用 GEM60P 高纯锗(HPGe) DSPEC PLUS 数字化高分辨率  $\gamma$  能谱仪。

### 2 调查结果

在实验室对所取样品进行制样,分析,各样品中所含<sup>60</sup>Co 比活度见表 1。

表 1 各样品中<sup>60</sup>Co 比活度

序号	样品名称	<sup>60</sup> Co( Bq/kg)	备注
1	贮源井底底泥	$2.12 \times 10^5$	退役前
2	贮源井底部水泥样	435.3	退役处理后
3	贮源井底部瓷砖样	390.8	
4	贮源井中部瓷砖样	504.7	
5	贮源井上部瓷砖样	7.2	
6	蒸发池底泥干样	110.0	
7	泵房周围土壤样品	$1.25 \times 10^4$	退役开挖中土壤中最高 <sup>60</sup> Co 比活度
8	泵房开挖沟底部土样	23.0	退役治理后
9	泵房开挖沟周围土样	15.4	

### 3 <sup>60</sup>Co 残余量估算

3.1 瓷砖<sup>60</sup>Co 残余活度估算 辐照室贮源井直径为 1.9 m,接近底部 2 m 处开始变径至 1.8 m,井深 4.5 m,按 1.5 m 间隔,分上中下三层采样,上中下三层瓷砖重量分别为 85.5,84 和 81 kg,总残余<sup>60</sup>Co 活度 =  $7.2 \times 85.5 + 504.7 \times 84 + 390.8 \times 81 = 74665$  Bq。

3.2 底部水泥<sup>60</sup>Co 残余活度估算 根据 GB 14569.1-2011<sup>[2]</sup>,水泥固化体中核素的浸出率<sup>60</sup>Co $\leq 2 \times 10^{-3}$  cm/d,考虑运行 40 年和包壳最短 15 年质保,保守计算渗透深度:

$$H = 2 \times 10^{-3} \text{ cm/d} \times 365 \text{ d/a} \times (40 - 15) \text{ a} = 18.25 \text{ cm}$$

实际底部有瓷砖和防渗处理不可能有如此大的渗透量。退役时底泥为  $2.12 \times 10^5$  Bq/kg,水泥接触面平衡浓度至少为其 1/10,达  $2.12 \times 10^4$  Bq/kg。综合接触界面浓度为 435.3 Bq/kg,保守估算剩余深度 h 为:

$$2.12 \times 10^4 / 435.3 = 18.25 / \text{h} \quad h = 0.375 \text{ cm}。$$

考虑井底直径 1.8 m,混凝土密度  $2.35 \text{ g/cm}^3$ ,混凝土比活度 435.3 Bq/kg,混凝土剩余重量为  $2.35 \text{ g/cm}^3 \times (1.8/2)^2 \text{ m}^2 \times 3.14 \times 0.375 \text{ cm} / 1000 = 22.41 \text{ kg}$ ;剩余活度为  $435.3 \text{ Bq/kg} \times 22.41 \text{ kg} = 9755 \text{ Bq}$ 。实际上,井底已经经过物理去污剥离了一层混凝土,剩余量已经很小了。在同等的深度情况下,贮源井<sup>60</sup>Co 内残余总活度为  $74665 + 9755 = 84420 \text{ Bq}$ 。

3.3 蒸发池底泥残余活度 蒸发池含<sup>60</sup>Co 底泥面积估计为  $50 \text{ m}^2$ ,泥深 0.08 m,底泥含水量 98.5%,比重为  $1.13 \text{ g/cm}^3$ (以上参考活性污泥法沉淀底泥参数)累计干泥重量为  $50 \text{ m}^2 \times 0.08 \text{ m} \times 1.13 \text{ g/cm}^3 \times 1000 \times (1 - 98.5\%) = 67.8 \text{ kg}$ (干泥),总活度估算为  $110.0 \text{ Bq/kg} \times 67.8 \text{ kg} = 7458 \text{ Bq}$ 。

3.4 泵房渣土 泵房底部土样比活度为 23.0 Bq/kg,周围土样 15.4 Bq/kg。实际工程中开挖最高活度达  $1.25 \times 10^4 \text{ Bq/kg}$ ,泵房渣土 3440 kg,由于土壤吸附作用,<sup>60</sup>Co 分布为指数衰减,活度由  $1.25 \times 10^4 \text{ Bq/kg}$  降至 23 Bq/kg(接近 1/500),考虑 23 Bq/kg 降至 0 Bq/kg 浓度渐变,按照开挖 3440 kg 的 1/50 粗略重量( $23/2$ ) Bq/kg 代表平均浓度,剩余量约为  $11.5 \text{ Bq/kg} \times 68.8 \text{ kg} = 791 \text{ Bq}$ 。

### 4 结论

综上所述,场址状态共残留受污染物约 409.51 kg,总活度为  $84420 \text{ Bq} + 7458 \text{ Bq} + 791 \text{ Bq} = 92669 \text{ Bq}$ ,平均比活度为 226.3 Bq/kg,满足《离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)  $10^4 \text{ Bq/kg}$  的豁免浓度与  $10^5 \text{ Bq}$  总活度要求。

#### 参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫总局. GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

[2] 国家环境保护部. GB 14569.1-2011 低-中水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

收稿日期: 2014-04-11 修回日期: 2014-09-21

(上接第 67 页)

在 2013 年度对云南省的共计 107 台医用诊断 X 射线机进行的各项检测指标显示光野与照射野四边的偏离、光野与照射野中心这两项不合格率较高,原因是没有及时对带病工作的医用诊断 X 射线机进行日常保养和维护所导致,经过反复维修调试后,第二次检测均达到合格,这样就保证了 100% 的医用诊断 X 射线机可满足临床诊断要求,所以应加强对医用诊断 X 射线机性能的检测并采取相应的控制措施,以确保每台在用的医用诊断 X 射线机处于合格、安全的工

作状态,以减少和避免患者受到不必要的照射,这样才能保证患者的健康与安全。

#### 参考文献

[1] 国家质量监督检验检疫局. GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

[2] 中华人民共和国卫生部. GBZ 138-2002 医用 X 射线诊断卫生防护监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

[3] 中华人民共和国卫生部. WS 76-2011 医用常规 X 射线诊断设备影像质量控制检测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

收稿日期: 2014-04-17 修回日期: 2014-08-21