

某处理厂赤泥及赤泥水泥放射性水平调查

刁 垒^{1,2} 周剑良¹ 陈 凌² 刘福东²

中图分类号: X837 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)01-0063-02

【摘要】 目的 调查山东某赤泥处理厂赤泥及赤泥水泥的放射性水平。方法 用 GH102A X- γ 剂量率仪测量 γ 外照射剂量率,用 HPGe 低本底 γ 谱仪测量水泥及其原料的放射性比活度。结果 赤泥堆坝顶部截面 γ 外照射剂量率平均值为 $0.15 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$,压滤车间的 γ 外照射剂量率平均值为 $0.12 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$,办公室的 γ 外照射剂量率平均值为 $0.08 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。用赤泥作为熟料原料的 A 水泥厂的 P. 042.5 水泥内、外照射指数分别为 $I_{\text{Ra}}=0.38$ 和 $I_{\text{r}}=0.47$,P. C32.5 水泥的内、外照射指数分别为 $I_{\text{Ra}}=0.27$ 和 $I_{\text{r}}=0.37$ 。结论 工人所受的外照射剂量率接近本底水平;A 水泥厂的 P. 042.5 水泥、P. C32.5 水泥的内外照射指数均符合国家标准,适量赤泥作为水泥原材料对水泥的放射性水平影响不大。

【关键词】 赤泥; γ 外照射剂量率;放射性比活度

赤泥是氧化铝生产过程中的主要废物,因含有大量氧化铁而呈现红色,故称为赤泥。随着铝工业的发展,赤泥的排放量

作者单位:1 南华大学核科学技术学院,湖南 衡阳 421001

2 中国原子能科学研究院,北京 102413

作者简介:刁垒(1984~),男,山东滨州人,在读硕士,辐射防护及环境保护专业。

日益增加,目前全球每年排放赤泥约 5 000 万 t,我国每年排放约 500 万 t^[1]。一般平均每生产 1 t 氧化铝,就附带排放 1.0 t~2.0 t 的赤泥^[2]。作为工业废物的赤泥具有放射性和强碱性两个特点,赤泥的大量堆积既占用了大量土地又严重污染环境。

工业矿渣中放射性核素含量要比天然建筑材料中放射性核素含量高许多,工业矿渣作为建筑材料更容易造成公众室内

比对。计算偏差的公式为:

$$DEV(\%) = (D_{\text{SSDL}} - D_{\text{IAEA}}) / D_{\text{IAEA}} \times 100$$

根据 IAEA TRS-277 号报告规定,电离室测量有效点位于电离室几何中心向射线入射方向前移 0.6r, r 为电离室空腔内半径,0.6 ml PTW 30001 型电离室 $r=0.315 \text{ cm}$,所以测量时把电离室的几何中心置于水下 5.19 cm 处。

1.3 水中吸收剂量的计算方法 根据 IAEA TRS-277 报告^[3],计算⁶⁰Co γ 射线在水中的吸收剂量分为两个步骤:第一步:要确定电离室空腔中空气吸收剂量因子,其计算公式为:

$$N_D = N_K (1-g) k_{\text{att}} k_m$$

因在我国现行量值传递体系中,给出的是照射量校准因子 N_x 而且使用照射量的单位是 R/div,而不是国际单位制单位 C/kg。因此 N_x 和 N_K 的数值关系为:

$$N_K = 2.58 \times 10^{-4} N_x \frac{w}{e} \frac{1}{1-g}$$

式中 N_x 的单位是 $\text{C}/(\text{kg} \cdot \text{div})$, div 是仪器的读数分度单位。 w/e 为在空气中每产生一个离子对形成一个单位电子电荷所消耗的平均能量,单位是 J/C (焦耳每库仑) $\frac{w}{e} =$

33.97 J/C; g 的意义同前,对⁶⁰Co γ 射线 $g=0.003$ 。

第二步:是计算水模体中电离室测量有效点 P_{eff} 深度处吸收剂量 $D_w(P_{\text{eff}})$,其公式为:

$$D_w(P_{\text{eff}}) = N_D \cdot M \cdot S_{w,\text{air}} \cdot P_u \cdot P_{\text{cel}}$$

式中 N_D 的意义同前; M 为经大气温度、气压修正后的仪器读数; $S_{w,\text{air}}$ 为水空气阻止本领比,对于⁶⁰Co γ 射线 $S_{w,\text{air}}=1.133$; P_u 为扰动修正因子,校正电离室物质非水物质等效性,对于⁶⁰Co γ 射线 $P_u=0.993$; P_{cel} 为电离室中心收集极空气等效不完全的校正因子 $P_{\text{cel}}=1.000$ 。

2 结果

根据 IAEA 的规定,相对偏差在 $\pm 3.5\%$ 以内的为合格,超出的需要重新进行比对。此次,用山东新华医疗器械股份有限公司生产的 FCC-7000A 型⁶⁰Co γ 射线照射装置对编号为

DL0954 当中的 3 组 TLD 分别进行照射,SSDL 照射值 D_{SSDL} (Gy) 均为:2.02,IAEA 测量值 D_{IAEA} (Gy) 分别为:2.00;2.00;1.95,平均值为:1.98 (Gy),用文中计算偏差的公式求得相对偏差(%)为:1.8。IAEA 标准剂量学实验室通过测量给出了 TLD 吸收剂量值 D_{IAEA} ,并给出 D_{SSDL} 的偏差,比对结果相对偏差符合 IAEA 的相对偏差在 $\pm 3.5\%$ 以内的要求条件。因此,本所参加的此次 IAEA 组织的⁶⁰Co γ 射线国际比对的结果是合格的。

3 讨论

在仪器现场比对,邮寄 TLD 比对和邮寄电离室比对三项当中,TLD 比对方法是一种简单、易行、费用较低可多次进行的方法,多年来被 IAEA 在世界范围内广泛用于二级标准剂量学实验室⁶⁰Co γ 射线放疗剂量标准的核查。但是由于其本身的分散性会存在较大的偏差,因此,TLD 比对的结果只作为 IAEA 对 SSDL 一种质量核查手段,偏差不超过 $\pm 3.5\%$ 就没有问题。从结果可知,通过此次比对,证明了本所⁶⁰Co γ 射线标准所使用的测量方法和照射技术是正确的。同时也证明了本所标准仪器的准确度和工作人员的技术水平。

参考文献:

- [1] 郭朝晖,程金生,彭建亮. 2005 年放疗水平二级剂量标准的 TLD 国际比对[J]. 中华放射医学与防护杂志,2007,27:181-182.
- [2] 程金生,安晶刚,刘立明,等. 2002 年⁶⁰Co 放疗标准的 IAEA-SSDL TLD 国际比对[J]. 中华放射医学与防护杂志,2003,23:50-51.
- [3] IAEA. TRS No. 277. Absorbed dose determination in photon and electron beams [P]. An International Code of Practice. Second Edition. Vienna: IAEA,1997.
- [4] IAEA. DMRP-9810 TLD postal dose quality audit service for external radiotherapy [P],1998.

(收稿日期:2010-09-13)

附加照射剂量。为了评估赤泥处理厂生产过程中赤泥放射性对工人的影响以及以赤泥为原材料所生产的建材的放射性水平,本次调查针对山东某赤泥处理厂堆坝、工作场所、办公室的 γ 剂量率、赤泥及赤泥水泥中的放射性核素比活度进行了调查。

1 测量方法及质量保证

1.1 测量仪器 赤泥处理厂堆坝、工作场所、办公室的 γ 剂量率使用 GH102A X- γ 剂量率仪测量,测量方法采用《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93)。

样品的放射性核素测量使用 HPGe 低本底 γ 谱仪测量。检测依据《用半导体 γ 谱仪分析低比活度 γ 放射性样品的标准方法》。

1.2 质量保证 GH102A X- γ 剂量率仪在近期做过刻度和比对,保证其测量结果的可靠性。

样品的测量与分析由中国原子能科学研究院辐射安全研究所完成。该所的实验室已获得检测资质认证,检测人员经考核上岗。HPGe 低本底 γ 谱仪性能稳定,测量结果与国防科工委放射性一级站多次比对,结果均符合的很好。

1.3 调查布点及取样 本次对 γ 剂量率的调查分三个场所 136 个监测点,其中在面积为 300 m \times 800 m、厚度为 15 m 左右的赤泥堆坝顶部表面 1 m 高度处,以 10 m \times 10 m 的棋盘式布点测量;在三个赤泥压滤车间,每个车间在工人经常活动的位置选取 7 个点进行测量;在三个办公室每个办公室选取四个方向和中间位置 5 个点进行监测;测量时仪器离地面高度约为 1 m。

分别对赤泥处理厂赤泥、A 水泥厂的水泥熟料原材料赤泥、粉煤灰、高铁炉渣以及 P. 042.5 水泥、P. C32.5 水泥进行取样,每种样品随机取两份,每份 1 kg,用样品袋保存好,作好记录。

样品经 100 $^{\circ}$ C 烘干至恒重,压碎过筛(40~60 目)称重后装入与刻度谱仪的体标准源相同体积和形状样品盒中,密封,放置 3~4 周后测量。

表 3 赤泥处理厂赤泥、A 水泥厂水泥的放射性比活度

样品类型	样品数	天然放射性核素含量 (Bq \cdot kg $^{-1}$)			内照射指数		外照射指数	
		^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	$I_{\text{Ra}}(\times 10^{-1})$	$I_{\text{K}}(\times 10^{-1})$	$I_{\text{r}}(\times 10^{-1})$	$I_{\text{e}}(\times 10^{-1})$
赤泥厂赤泥样品	2	365.0 \pm 20.0	135.0 \pm 7.0	70.2 \pm 7.5	6.8 \pm 0.4	17.8 \pm 1.0		
A 厂水泥: P. 042.5	2	58.7 \pm 6.4	76.3 \pm 3.7	156.0 \pm 11.0	3.8 \pm 0.2	4.7 \pm 0.4		
A 厂水泥: P. C32.5	2	48.8 \pm 5.8	53.6 \pm 3.1	140.0 \pm 13.0	2.7 \pm 0.2	3.7 \pm 0.1		
普通水泥(未掺赤泥)	2	42.5 \pm 5.0	47.2 \pm 2.6	116.0 \pm 10.0	2.4 \pm 0.1	2.1 \pm 0.3		

GB6566-2001 给出了建材的内外、照射指数 I_{Ra} 、 I_{r} 的计算式^[4]:

$$I_{\text{Ra}} = C_{\text{Ra}}/200$$
$$I_{\text{r}} = C_{\text{Ra}}/370 + C_{\text{Th}}/260 + C_{\text{K}}/4200$$

其中 I_{Ra} 为内照射指数, C_{Ra} 为建筑材料中天然放射性核素 ^{226}Ra 的放射性比活度,单位为贝克/千克(Bq \cdot kg $^{-1}$); I_{r} 为外照射指数, C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_{K} 分别为建筑材料中天然放射性核素 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的放射性比活度,单位为贝克/千克(Bq \cdot kg $^{-1}$)。

由表 3 可以看出, A 水泥厂的 P. 042.5 水泥、P. C32.5 水泥和普通水泥(未掺赤泥)中天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40 的放射性比活度同时满足 $I_{\text{Ra}}\leq 1.0$ 和 $I_{\text{r}}\leq 1.0$,其产销与适用范围不受限制;但是由于这两种赤泥水泥掺加了赤泥,其内、外照射指数均明显大于普通水泥。

3 结论

通过对赤泥处理厂 γ 外照射产生的剂量率的调查,了解到赤泥堆坝顶部截面的 γ 外照射剂量率平均值最高,为 0.15 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$,压滤车间和办公室的 γ 外照射剂量率平均值相当,分别为 0.12 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 0.08 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$;工人所受的 γ 外照射剂量

2 结果与分析

2.1 山东某赤泥处理厂 γ 外照射产生的剂量率 山东某赤泥处理厂 γ 外照射产生的剂量率见表 1。从表 1 可以看出,赤泥堆坝顶部截面 γ 外照射剂量率平均值为 0.15 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$,约为当地原野 γ 空气吸收剂量率平均值^[3]0.05 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 的 3 倍;压滤车间的 γ 外照射剂量率平均值为 0.12 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$,略高于当地的室内 γ 空气吸收剂量率平均值;办公室的 γ 外照射剂量率平均值为 0.08 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$,与当地的室内 γ 空气吸收剂量率平均值相当。工人主要活动在车间、办公室,其所受 γ 外照射剂量率接近本底水平。

表 1 赤泥处理厂 γ 外照射剂量率($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$)

场所	测点数	范围	平均值	标准差
赤泥堆坝	100	0.11~0.19	0.15	0.017
压滤车间	21	0.11~0.13	0.12	0.005
办公室	15	0.05~0.10	0.08	0.011

2.2 赤泥及赤泥水泥的放射性比活度 A 水泥厂自 2004 年开始使用氧化铝厂的赤泥作为水泥熟料原料生产水泥,不同型号水泥配比方案及其各种原料的放射性比活度见表 2,赤泥处理厂赤泥、A 水泥厂水泥的放射性比活度见表 3。

表 2 A 水泥厂水泥配比方案及其各种原料的放射性比活度

原料	A 厂水泥: A 厂水泥:		核素比活度(Bq \cdot kg $^{-1}$)		
	P. 042.5	P. C32.5	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
赤泥	13%	11%	365.0 \pm 20.0	135.0 \pm 7.0	70.2 \pm 7.5
水泥	粉煤灰	5%	10%	201.0 \pm 13.0	159.0 \pm 7.0
配比	粒化高	15%	15%	96.9 \pm 8.1	151.0 \pm 6.0
方案	炉矿渣			113.0 \pm 10.0	
其他	67%	64%	—	—	—

从表 2 中可以看出水泥的矿渣原材料中,放射性比活度最高的为赤泥,其次为粉煤灰,再次为粒化高炉矿渣。

率接近当地本底水平。

通过对所取样品进行核素分析,了解到赤泥处理厂赤泥的外照射指数 I_{r} 约为 1.78,不适宜作为主体建筑材料,且赤泥作为氧化铝工业矿渣具有强碱性,使用时必须经过预处理,成本较大,直接使用不现实。

本次调查的两种赤泥水泥均符合国家标准,说明赤泥作为水泥的熟料原料是可行的,可以从一定程度上解决赤泥再利用的问题。但是这两种赤泥水泥对赤泥的利用率相对较低,仅占其原料总量的 13% 和 11%,如何寻求其他更为有效利用赤泥的途径仍是一个值得研究的课题。

参考文献:

[1] 曹瑛,李卫东,刘艳改.工业废渣赤泥的特性及回收利用现状[J].硅酸盐通报,2007(1):143-145.

[2] 陈蓓,陈素英.赤泥的综合利用和安全堆存[J].化工技术与开发,2006(12):32-35.

[3] 李洪昌,谢锋,王文团,等.山东省环境天然贯穿辐射水平调查研究[J]辐射防护,1991(1).

[4] GB6566-2001 室内装饰装修材料建筑材料放射性核素限量[S].
(收稿日期:2010-11-29)