

# 贵州省某露天开采钒矿放射性职业病危害因素调查及评价

张小乐<sup>1,2</sup>, 周剑良<sup>1</sup>, 魏 涛<sup>2</sup>, 杨 忠<sup>2</sup>, 马光霖<sup>3</sup>, 喻立新<sup>2</sup>, 田祝娟<sup>2</sup>

中图分类号: R146 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2010)04-0456-02

【摘要】 目的 对钒矿露天开采中存在的放射性职业病危害因素进行调查和评价。方法 对贵州省某露天开采钒矿进行现场调查, 调查内容包括钒矿矿石、尾矿石、废渣放射性核素含量分析, 矿区内陆地  $\gamma$  辐射、空气氡浓度测量以及钒矿生活饮用水、生产性废水总  $\alpha$ 、总  $\beta$  浓度分析。结果 钒矿露天开采从业人员及相关公众人员受额外年有效剂量均小于国家标准限值; 钒矿矿石、尾矿石、废渣所含天然放射性核素水平远高于中国土壤本底值; 钒矿生活饮用水及生产性废水总  $\alpha$ 、总  $\beta$  浓度均在国家标准限值以内。结论 钒矿的露天开采过程中存在较低的放射性职业病危害风险; 矿石、尾矿石、废渣所含较高的放射性核素水平为进一步开展钒矿的放射性职业病危害因素调查提供了客观依据。

【关键词】 钒矿; 放射性; 职业病危害; 调查; 评价

钒作为一种非常宝贵的战略性资源, 长期以来被广泛应用于钢铁、化工、TiAl 金属合金化合物、光学转换涂层、核聚变反应堆、代替合金中的金属元素、汽车、二次电池以及航天航空领域<sup>[1]</sup>。

然而由于地质过程的原因, 天然放射性核素铀和钍富集于钒矿中, 产生较高水平的伴生放射性<sup>[2]</sup>。因此, 在对其进行开采、选矿、加工、冶炼、生产及利用将导致工作人员、相关公众人员因外照射和主要因吸入氡及其子体而受到照射, 形成放射性职业病危害风险。

本文主要通过对贵州省某露天开采钒矿矿石、尾矿石、废渣放射性核素含量, 矿区内陆地  $\gamma$  辐射、空气氡浓度以及钒矿生活饮用水、生产性废水总  $\alpha$ 、总  $\beta$  水平调查, 就钒矿从业人员及相关公众受到的放射性职业病危害风险进行评价。

## 1 测量仪器与方法

1.1 放射性核素分析 按照《用半导体  $\gamma$  谱仪分析低比活度  $\gamma$  放射性样品的标准方法》, 贵州省疾病预防控制中心  $\gamma$  能谱分析实验室对钒矿矿石、尾矿石及废渣中进行天然放射性含量分析, 分析仪器为北京核仪器厂生产的 BH1224型 NaI 低本底  $\gamma$  谱仪。

1.2 陆地  $\gamma$  辐射水平监测 依据 GB/T14583-93《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》进行陆地  $\gamma$  辐射剂量监测; 监测仪器为北京核仪器厂生产 BH103B型 X- $\gamma$  剂量率仪。

1.3 空气氡浓度监测 依据 GB/T14582-93《环境空气中氡的标准测量方法》进行空气氡浓度监测; 监测仪器为美国 DURRIDGE 公司生产 Rad7 型测氡仪。

1.4 生活饮用水、生产性废水总  $\alpha$ 、总  $\beta$  浓度分析 依据 GB/T5750.13-2006《生活饮用水标准检验方法 放射性指标》, 贵州省疾病预防控制中心低本底总  $\alpha$ 、总  $\beta$  分析实验室对钒矿生活饮用水及生产性废水进行总  $\alpha$ 、总  $\beta$  水平的分析; 分析仪器为北京核仪器厂生产的 BH1216型低本底  $\alpha$ 、 $\beta$  测量仪。

## 2 质量控制

(1) 现场监测及实验分析仪器均经过计量监督部门的合格检定, 并在检定有效期内。

(2)  $\gamma$  能谱分析实验室以及低本底总  $\alpha$ 、总  $\beta$  分析实验室均参加中国疾病预防控制中心辐射安全所组织的全国比对, 符合比对要求。

(3) 现场监测、采样及实验方法均依据相关标准, 规范严格参照执行; 固体样采用 30% 的密检样进行控制, 水样采用平衡双样进行控制。

(4) 该调查组工作人员多年从事放射性监测工作, 具有完成本调查工作的能力。

## 3 评价模式

3.1 额外年有效剂量评价 在对钒矿的开发利用过程中, 钒矿从业人员及相关公众人员受到的额外年有效剂量贡献主要来自  $\gamma$  辐射外照射、氡 (222Rn) 及其子体内照射<sup>[2]</sup>。在对其进行额外年有效剂量估算时, 将用贵州省天然平均  $\gamma$  辐射及氡浓度值作为本底扣除。具体估算方法如下:

3.1.1  $\gamma$  辐射所致额外年有效剂量  $H_e$ <sup>[3]</sup>

$$H_e = D_r \times K \times t \quad (1)$$

式中:  $H_e$  为年有效剂量当量,  $Sv \cdot a^{-1}$ ;  $D_r$  为  $\gamma$  辐射空气吸收剂量率扣除本底值,  $Gy/h$ ;  $K$  为有效剂量当量率与空气吸收剂量率比值, 采用 0.7  $Sv \cdot Gy^{-1}$ ;  $t$  为年暴露时间,  $h \cdot a^{-1}$ ; 居民室内居留因子为 0.8

3.1.2 氡及其子体所致额外年有效剂量  $H_{Rn}$ <sup>[4]</sup>

$$H_{Rn} = C_{Rn} \times t \times D_{gas} \times 10^{-6} + C_{Rn} \times F \times t \times D_{pneum} \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中:  $H_{Rn}$  为年有效剂量当量,  $mSv \cdot a^{-1}$ ;  $C_{Rn}$ —空气氡浓度扣除本底值,  $Bq/m^3$ ;  $t$  为年暴露时间,  $h \cdot a^{-1}$ ; 居民室内居留因子为 0.8;  $D_{gas}$  为氡的剂量转换因子,  $nSv/(Bq \cdot h \cdot m^{-3})$ , UNSCEAR2000 年报告值为 0.17;  $D_{pneum}$  为氡衰变产物的剂量转换因子,  $nSv/(Bq \cdot h \cdot m^{-3})$ , UNSCEAR2000 年报告值为 9;  $F$  为平衡因子, 室内  $F$  取 0.4 室外  $F$  取 0.6<sup>[2]</sup>。

3.1.3 平均个人额外年有效剂量

$$H = H_e + H_{Rn} \quad (3)$$

3.2 天然放射性核素水平评价 参考中国土壤中天然放射性核素含量, 对钒矿矿石、尾矿石以及废渣含天然放射性核素水平进行评价。

3.3 总  $\alpha$ 、总  $\beta$  浓度评价 通过钒矿生活饮用水、生产性废水的总  $\alpha$ 、总  $\beta$  浓度与贵州省饮用水平均总  $\alpha$ 、总  $\beta$  浓度相比较, 了解钒矿生活饮用水及生产性废水的放射性水平。

3.4 国家相关评价标准限值及控制目标 在对钒矿从业人员、相关公众人员进行额外年有效剂量评价以及对钒矿生活饮

用水、生产性废水进行总 α、总 β 浓度评价时,依据的相关国家标准限值及控制目标如下表 1所示:

表 1 国家标准限值及控制目标<sup>[5-7]</sup>

项 目		限值	控制目标
公众年有效剂量		1mSv/a	0.25mSv/a
工作人员年有效剂量 (连续 5年平均)		20mSv/a	5mSv/a
生活饮用水	总 α	0.5Bq/L	0.5Bq/L
	总 β	1Bq/L	1Bq/L
废水最高允许 排放浓度	总 α	1Bq/L	1Bq/L
	总 β	10Bq/L	10Bq/L

4 调查结果与评价

4.1 调查对象 所调查钒矿位于贵州省黔东南州某县,类型为石煤型, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>品位约为 0.8%,目前开采类别为露天开采,年生产 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>能力为 1 000,t钒矿石年操作量为 17万,t尾矿石及废渣年排放量分别为 8.8×10<sup>3</sup>,1.70×10<sup>5</sup>,t预计生产年限为 10年。

4.2 调查结果 钒矿各相关区域内陆地 γ辐射空气吸收剂量率及空气氡浓度调查结果见表 2 钒矿矿石、尾矿石及废渣天然放射性核素含量调查结果见表 3 钒矿生活饮用水及生产性废水总 α、总 β 浓度调查见表 4

表 2 陆地 γ辐射空气吸收剂量率及空气氡浓度

调查区域	陆地 γ辐射 空气吸收剂量率 (×10 <sup>-8</sup> Gy/h)	空气氡浓度 (× Bq/m <sup>3</sup> )
露天采掘场	50.9/(35~75)	39.4
生产车间	22.0/(14~34)	45.9
废渣场	36.0/(31~41)	61.2
矿石场	24.4/(15~34)	72.6
尾矿场	30.2/(25~35)	24.3
办公区	14.0/(9~21)	39.4
生活区	室内	13.3/(10~17)
	室外	15.7/(13~19)
贵州省本底值	室内	11.1 <sup>[8]</sup>
	室外	9.1 <sup>[8]</sup>

表 3 钒矿矿石、尾矿石及废渣天然放射性核素含量 (Bq/kg)

样品名称	采样地点	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>40</sup> K
矿石	露天采掘场	1487.10	35.20	860.18	191.97
尾矿石	尾矿场	486.85	19.99	427.98	207.90
废渣	废渣场	823.67	30.11	858.66	171.56
中国土壤本底值 <sup>[2]</sup>	—	33	41	32	440

表 4 钒矿生活饮用水及生产性废水总 α、总 β 浓度 (×mBq/L)

分析内容	钒矿生产性 废水	钒矿生活 饮用水	贵州省饮用水 <sup>[10]</sup> 平均值
总 α	471.5	92.1	5.98
总 β	1840.0	84.1	0.42

4.3 额外年有效剂量估算 对于钒矿工作人员,其年工作时间取值 2 400h较为符合中国国情;相关公众人员室内居留时间取值 7 000h室内居留时间取值 1 760h 通过公式 (1)、(2)、

(3)计算出不同人员受照额外年有效剂量,其结果见表 5

表 5 不同人员受照额外年有效剂量 (mSv/a)

评价对象	γ辐射额外 年有效剂量值 H <sub>e</sub>	氡及其子 体照射额外年 有效剂量值 H <sub>Rn</sub>	平均个人额外年 有效剂量 H
露天采矿工人	0.70	0.33	1.03
车间工人	0.18	0.19	0.37
渣场工人	0.45	0.62	1.07
选矿工人	0.26	0.77	1.03
办公人员	0.05	0.13	0.18
生活区人员	0.19	0.25	0.44

4.4 评价

(1)结合表 1表 5可以得出,露天开采钒矿从业人员受照额外年有效剂量均在国家标准限值以内;钒矿办公人员受照额外年有效剂量低于公众人员年有效剂量控制目标值;钒矿生活区人员受照额外年有效剂量低于国家标准公众人员年有效剂量限值,但是略高于控制目标,应采取一定的放射防护措施。

(2)从表 3可知,钒矿石、尾矿石、废渣中含天然放射性核素<sup>238</sup>U、<sup>226</sup>Ra浓度分别约为中国土壤本底水平的 45倍、27倍、15倍、13倍、25倍、27倍。因此,对尾矿场的综合整治以及对废渣的有效控制将变得尤其必要。

(3)结合表 1表 4可以看出,钒矿生活饮用水总 α、总 β 浓度均大于贵州省饮用水平均值数倍,但是均在国家标准限值以内;生产性废水总 α、总 β 浓度均小于国家标准最高允许排放浓度限值。依据国家标准 GB9133—1995《放射性废物的分类》钒矿生产性废水总 α、总 β 浓度小于 4×10<sup>6</sup>Bq/L<sup>[11]</sup>,属于低放废水。

5 结论

通过本次调查,对钒矿露天开采中存在的放射性职业病危害风险有了一定程度的了解。虽然相关从业人员及公众人员受照额外年有效剂量较低,但是这并不能代表钒矿井下开采中存在的放射性职业病危害水平。

重要的是,通过对钒矿矿石、尾矿石、废渣所含天然放射性核素水平的了解,为进一步开展钒矿开采中存在的放射性职业病危害因素调查提供了客观依据。

参考文献:

[ 1 ] 刘世友.钒的应用与展望[ J].稀有金属与硬质合金,2000 (141): 58—61

[ 2 ] 联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR).电离辐射源与效应[ R].太原:山西科学技术出版社,2002

[ 3 ] GB/T14583—93 环境地表 γ辐射剂量率测定规范[ S].

[ 4 ] GBZT182—2006 室内氡及其衰变产物测量规范[ S].

[ 5 ] GB18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[ S].

[ 6 ] GB5749—2006 生活饮用水卫生标准[ S].

[ 7 ] GB8978—1996 污水综合排放标准[ S].

[ 8 ] 中华人民共和国卫生部.中国环境电离辐射水平及居民受照剂量(外照射部分)[ M].北京:中华人民共和国卫生部,1986.524—544

[ 9 ] 李锁照,陈煜友,魏涛,等.贵州省居民受天然放射性照射水平的研究与评价[ J].中华放射医学与防护杂志,1998 18(3): 205—207.

[ 10 ] 喻立新,田祝娟.贵州省饮用水放射性水平分析[ J].中国辐射卫生,2008 17(2): 254

[ 11 ] GB9133—1995 放射性废物的分类[ S].