

# 某废弃铀矿区的调查结果与分析

周 程,赵福祥

中图分类号: R145 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2008)03-0334-02

【摘要】 目的 调查某废弃铀矿区的放射性污染现状及其对公众的辐射影响,并提出建议以指导制定治理措施及对策。方法 采用国家标准规定的方法对该废弃铀矿区的  $\gamma$  辐射剂量率、铀矿渣、土壤、水、底泥和生物样品中的放射性核素以及空气中氡进行分析测定。结果 除生物样品(茶叶)和空气中氡浓度外,其他样品均受到不同程度的放射性污染。结论 该废弃铀矿区已受到放射性污染,必须进行治理,才能恢复当地辐射环境质量。

【关键词】 废弃铀矿;放射性污染; $\gamma$  辐射;放射性核素;氡

在铀矿的开采过程中,将原本深埋在地下的大量含放射性的铀矿石提升到地面,冶炼时又将大量的低品位的铀矿石和铀矿渣堆放在矿区周围,经过风吹雨淋,大量的放射性核素扩散到了四周环境<sup>[1,2]</sup>,或通过地表水和地下水影响到更广的范围,同时放射性氡气不断地从地表处析出也在不断污染着大气环境质量,给当地生态环境和居民身体健康带来较大的潜在危害,给地方经济的发展造成了诸多不利的影响。

## 1 调查方法

1.1 调查内容 此次对该地区废弃铀矿区放射性污染调查的内容有: $\gamma$  辐射空气吸收剂量率测量分析(结果均不扣除仪器宇响值);铀矿渣中总放射性;土壤中放射性核素;水(地表水、地下水、自来水)中放射性核素;底泥(湖、塘、坑)中放射性核素;生物(茶叶)中放射性核素;空气中氡浓度。根据上述测量分析工作,对废弃铀矿区关键人群组所受辐射剂量影响进行评估;划定该区域现有废弃铀矿区的放射性污染地带;结合当地实际,按照国家有关土壤中放射性核素和空气中  $\gamma$  辐射剂量规定,提出适合废弃铀矿区的开放区域和条件。

### 1.2 点位布设

1.2.1 布点原则 分块随机法。将某一块特定放射性污染水平的区域作为一个采样监测单元,在每个单元内再随机布点。为了保证样品的代表性,土壤样品按梅花点法采集混合样。

1.2.2 调查范围 以废铀矿石(渣)堆或探矿井口等为核心,延伸至四周放射性污染区,直至无放射性污染的地方,即环境介质为天然放射性本底水平为止。现场  $\gamma$  辐射测量尽可能多些,一般以网格  $10\text{m}\times 10\text{m}$  或  $20\text{m}\times 20\text{m}$  开展布点,网格中心即为测量点。在  $\gamma$  辐射剂量率变化较大时,加密布点;在  $\gamma$  辐射剂量率较为平坦的地方,适当增大网络的间距。

1.2.3 样品的种类 ①铀矿渣:(地)地表处有裸露铀矿石样品时,选矿石样品 1 个,每个  $1\text{g}\sim 2\text{g}$  尽可能选择矿区中心区且  $\gamma$  辐射剂量率较高的地方。②土壤样品:污染区选中心区且  $\gamma$  辐射剂量率较高的地方、一般平坦区和本底水平尚无污染的地方(约离污染界  $100\text{m}$ )。采集地表层土壤样品 7 个,每个  $2\,000\text{g}$ 。③水体样品(含地下水、井水、地表水):选择放射性污染区主要的塘、河、地下水,各采集一个水体样品,每个样取  $25\text{L}$ 。④底泥样品:每个底泥样品采集塘(河)底部的表层泥,每个取样  $2\,000\text{g}\sim 3\,000\text{g}$ 。⑤生物样品(麦子、松针、茶叶等):生长在不同  $\gamma$  辐射剂量率地方的茶叶 4 个,每个  $2.5\text{kg}$ 。⑥空气中氡:矿区外环境 3 个点,居民建筑物内 1 点,每次测量时间  $2\text{h}$ 。

本次对该地区进行放射性污染调查和分析。根据地区不

同的地形、地貌、地质条件和放射性污染现状,有针对性的对上述区域的个别项目进行增删,优化布点和测量,确保客观和准确地反映当地的放射性污染现状,为最终放射性污染整治提供必要的科学数据。

1.3 监测分析方法 现场监测和实验室分析方法均采用国家标准分析方法,详见表 1。

表 1 监测分析方法

项目名称	监测方法	监测仪器
$\gamma$ 辐射剂量率	GB/T 14883-1993《环境地表 $\gamma$ 辐射剂量率测定规范》	FE40G X- $\gamma$ 剂量率仪 BF3103 A X- $\gamma$ 剂量率仪
空气中 $^{222}\text{Rn}$ 浓度	GB/T 14583-93《环境空气中氡的标准测量方法》 GB 1713-1986《用半导体 $\gamma$ 谱仪分析低比活度 $\gamma$ 放射性样品的标准方法》 GB 1743-89《土壤中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》	RAD7 测氡仪
土壤中 $\gamma$ 核素	GB/T 16145-1995《生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》	PI435 低本底 $\gamma$ 谱仪
生物 $\gamma$ 核素	GB/T 16145-1995《生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》	DS4000 低本底 $\gamma$ 谱仪
水中 $\gamma$ 核素	GB/T 16140-1995《水中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法》	JR380 低本底 $\gamma$ 谱仪
固体、水样总 $\alpha$	EJ/T 1075-1998《水中总 $\alpha$ 放射性浓度的测定 厚源法》	LB70 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪
固体、水样总 $\beta$	EJ/T 900-1994《水中总 $\beta$ 放射性测定 蒸发法》	LB70 低本底 $\alpha$ 、 $\beta$ 测量仪

1.4 质量保证 本次样品采集、现场监测和实验室分析均按照江苏省辐射环境监测管理站编制的质量体系文件和《辐射环境监测技术规范》(HJ/T 61-2001)的要求,实施全过程质量控制。监测人员均经过考核并持有合格证书。所有监测仪器均经过计量部门检定,并在有效期内。监测仪器使用时经过校准或检验。

## 2 监测结果与分析

2.1 原铀矿区简介 1959~1960 年,某地质队对该点做过普查、详测、地表山地工程揭露和深部勘探。1970 年~1979 年间,有关单位对此处多次进行普查、详测和揭露工作,施工钻孔 111 个,总进尺  $15\,676\text{m}$ 。钻孔最大深度  $240\text{m}$ 。4 个坑深总掘进  $766\text{m}$ 。井探 12 个,总工作量  $64\,1\text{m}$ 。槽探 53 条,工作量  $2\,759\text{m}^3$ ,探明了相关储量。

2.2 铀矿区现状 探井口(山顶 1 处,湖边一处)已于 2006 年由当地政府封堵;原灌溉用的铀矿井外接水管已拆除,电源切断,但开采铀矿主井已浸于水口,未进行再处理;铀矿石仍堆积在主井旁,大量裸露在外;某段道路  $\gamma$  辐射水平较高;部分道路

作者单位:江苏省辐射环境监测管理站,江苏 南京 210036  
作者简介:周程(1981~),男,四川自贡人,助理工程师,从事放射防护工作。

由废矿石铺筑;

2 3 监测结果与评价

2 3 1  $\gamma$  辐射剂量率 现场调查了该地区  $\gamma$  辐射剂量率, 测点 359个, 范围为 71~4 222nSv/h 平均为 177nSv/h 其中有 35个测量点  $\gamma$  辐射剂量率> 250 nSv/h 面积均有 76m<sup>2</sup>。最高点位于采井旁。

分析表明, 放射性污染最高点是原采矿井口西南约 10 多米处的矿渣堆。该地区地表处  $\gamma$  辐射剂量率超过 250nSv/h 的面积达 76×10<sup>2</sup> m<sup>2</sup>, 参照《铀矿地质辐射环境影响评价要求》(EJ/T977—1995)中放射性废物管理标准的规定要求(吸收剂量率扣除本底后不超过 174 rGy·h<sup>-1</sup>) 该处普遍剂量率偏高。

2 3 2 铀矿石(渣) 在开采井南侧采集铀矿石(渣)样品 1个, 分析结果总  $\alpha$  为 1.4×10<sup>4</sup> Bq/kg 总  $\beta$  为 5.1×10<sup>3</sup> Bq/kg 该矿石样品总放射性相对较高, 应对其妥善处理与处置, 避免环境受到放射性污染的扩散影响。

2 3 3 土壤 采集周围环境土壤样品(地表处)7个, 分析结果见表 2 原铀矿区及相关周围环境土壤样品 7个, 总  $\alpha$  为 (7.5×10<sup>2</sup>~2.5×10<sup>3</sup>) Bq/kg 总  $\beta$  为 (5.9×10<sup>2</sup>~1.1×10<sup>3</sup>) Bq/kg <sup>238</sup>U 为 (5.77×10<sup>1</sup>~3.31×10<sup>2</sup>) Bq/kg <sup>236</sup>Ra 为 (4.64×10<sup>1</sup>~2.26×10<sup>2</sup>) Bq/kg <sup>232</sup>Th 为 (4.50×10<sup>1</sup>~7.43×10<sup>1</sup>) Bq/kg <sup>40</sup>K 为 (3.51×10<sup>2</sup>~6.31×10<sup>2</sup>) Bq/kg 对照江苏省天然放射性水平调查结果, 土壤中钍—232和钾—40含量基本属江苏省放射性天然本底水平, 个别土壤总放与铀镭含量较高。

表 2 土壤样分析结果 (Bq/kg)

序号	总 $\alpha$	总 $\beta$	<sup>238</sup> U	<sup>236</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
1	1.5×10 <sup>3</sup>	8.1×10 <sup>2</sup>	1.45×10 <sup>2</sup>	1.47×10 <sup>2</sup>	6.16×10 <sup>1</sup>	3.51×10 <sup>2</sup>
2	2.0×10 <sup>3</sup>	9.2×10 <sup>2</sup>	2.21×10 <sup>2</sup>	1.87×10 <sup>2</sup>	5.75×10 <sup>1</sup>	4.33×10 <sup>2</sup>
3	2.5×10 <sup>3</sup>	1.1×10 <sup>3</sup>	1.40×10 <sup>2</sup>	1.32×10 <sup>2</sup>	6.40×10 <sup>1</sup>	3.88×10 <sup>2</sup>
4	1.0×10 <sup>3</sup>	1.0×10 <sup>3</sup>	6.88×10 <sup>1</sup>	4.64×10 <sup>1</sup>	6.82×10 <sup>1</sup>	4.96×10 <sup>2</sup>
5	8.64×10 <sup>2</sup>	5.90×10 <sup>2</sup>	3.31×10 <sup>2</sup>	2.26×10 <sup>2</sup>	5.79×10 <sup>1</sup>	6.31×10 <sup>2</sup>
6	9.1×10 <sup>2</sup>	7.7×10 <sup>2</sup>	6.79×10 <sup>1</sup>	6.10×10 <sup>1</sup>	7.43×10 <sup>1</sup>	5.24×10 <sup>2</sup>
7	7.5×10 <sup>2</sup>	9.3×10 <sup>2</sup>	1.44×10 <sup>2</sup>	1.32×10 <sup>2</sup>	4.50×10 <sup>1</sup>	5.15×10 <sup>2</sup>

2 3 4 水体样品 水体样品采集附近的塘、湖、地下水共 3个, 每个样品 25L 分析结果见表 3

表 3 水样分析结果 (Bq/L)

样品名称	总 $\alpha$	总 $\beta$	<sup>238</sup> U	<sup>236</sup> Ra	<sup>232</sup> Th
湖水	4.47×10 <sup>-2</sup>	1.08×10 <sup>-1</sup>	2.99×10 <sup>-4</sup>	7.72×10 <sup>-4</sup>	2.89×10 <sup>-4</sup>
塘水	<1.0×10 <sup>-2</sup>	1.1×10 <sup>-1</sup>	5.25×10 <sup>-3</sup>	3.52×10 <sup>-3</sup>	2.44×10 <sup>-4</sup>
矿井水	3.1	9.7×10 <sup>-1</sup>	—	—	—

水体样品采集附近的塘、湖、地下水共 3个, 除某原矿井水样外, 其他所测 2个样品中, 总  $\alpha$  为 (<1.0×10<sup>-2</sup>~4.47×10<sup>-2</sup>) Bq/L 总  $\beta$  为 (1.08×10<sup>-1</sup>~1.1×10<sup>-1</sup>) Bq/L 达到《生活饮用水卫生标准》(5749—2006)中总放射性指导值(总  $\alpha$  0.5Bq/L 总  $\beta$  1 Bq/L)要求; <sup>238</sup>U 为 (2.99×10<sup>-4</sup>~5.25×10<sup>-3</sup>) Bq/L <sup>236</sup>Ra 为 (7.72×10<sup>-4</sup>~3.52×10<sup>-3</sup>) Bq/L <sup>232</sup>Th 为 (2.44×10<sup>-4</sup>~2.89×10<sup>-4</sup>) Bq/L 基本属水体中天然放射性本底水平。原矿井水中总  $\alpha$  是标准中指导值的 6 倍多, 已受到放射性的污染。

2 3 5 底泥 采集底泥样品 2个, 每个 2 000g~3 000g 分析结果见表 4 总  $\alpha$  为 (7.78×10<sup>2</sup>~9.53×10<sup>2</sup>) Bq/kg 总  $\beta$  为 (6.89×10<sup>2</sup>~8.43×10<sup>4</sup>) Bq/kg 底泥样中钍—232和钾—40含量基本属放射性天然本底水平, 铀镭含量略高于本底水平。

表 4 底泥样分析结果 (Bq/kg)

样品名称	总 $\alpha$	总 $\beta$	<sup>238</sup> U	<sup>236</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
湖底泥	7.78×10 <sup>2</sup>	8.43×10 <sup>2</sup>	1.33×10 <sup>2</sup>	1.22×10 <sup>2</sup>	6.30×10 <sup>1</sup>	4.79×10 <sup>2</sup>
田塘底泥	9.53×10 <sup>2</sup>	6.89×10 <sup>2</sup>	7.26×10 <sup>1</sup>	6.52×10 <sup>1</sup>	6.53×10 <sup>1</sup>	5.83×10 <sup>2</sup>

2 3 6 生物样品 生物样品采集茶叶 4个, 分析结果见表 5 天然铀含量为 (0.14~0.50) mg/kg 鲜, 天然钍含量为 (0.145~0.914) mg/kg 鲜, <sup>226</sup>Ra 含量为 (4.29×10<sup>-1</sup>~1.14×10<sup>1</sup>) Bq/kg 鲜, 参照《食品中放射性物质限制浓度标准》<sup>[6]</sup>, 基本属天然放射性本底水平。

表 5 茶叶样品分析结果

序号	天然铀 (mg/kg 鲜)	天然钍 (mg/kg 鲜)	<sup>226</sup> Ra (Bq/kg 鲜)	$\gamma$ 辐射 (nSv/h)
1	0.15	0.317	2.27	121
2	0.50	0.914	1.14×10 <sup>1</sup>	127
3	0.27	0.222	1.52	114
4	0.14	0.145	4.29×10 <sup>-1</sup>	86

2 3 7 氡 空气中氡的测量共选取有代表性的点位 4处, 每次测量时间为 2h(一次测量), 测量结果见表 6

表 6 空气中氡浓度

测点位置	测量结果 (Bq/m <sup>3</sup> )	测量日期 (地面)
1	19.9	07.04.11
2	14.2	07.04.12
3	11.4	07.04.11
4	11.4	07.04.12

废弃铀矿区原野空气中氡浓度为 (11.4~19.9) Bq/m<sup>3</sup>, 基本属于室外空气中氡浓度的正常本底水平。

3 结论与建议

3 1 结论 ①该废弃铀矿区铀矿石总放射性相对较高, 多为山体一部分, 有些甚至裸露出地表, 直接造成该区域  $\gamma$  辐射剂量率偏高, 应对其妥善处理与处置。②废弃铀矿区  $\gamma$  辐射剂量率远高于正常值, 由此产生的外照射, 影响附近居民或行人的身体健康。有关管理部门应该高度重视并妥善解决这一问题。③原矿井处水已受到放射性的污染, 有关部门应立即进行控制与治理。④矿区土壤测样中, 土壤中钍—232和钾—40含量基本属放射性天然本底水平, 个别地方土壤总放与铀镭含量较高, 需要进行治理。⑤底泥样中钍—232和钾—40含量基本属放射性天然本底水平, 铀镭含量略高于本底水平。⑥茶叶样品中天然铀含量, 钍含量, <sup>226</sup>Ra 含量基本属天然放射性本底水平。⑦废弃铀矿区原野空气中氡浓度基本属于室外空气中氡浓度的正常本底水平。

3 2 建议 ①清理废矿石, 集中掩埋; 对污染道路进行清理整治; 对路边裸露高放矿石点进行爆破, 放坡, 清理; 用土工网覆盖植草绿化; 在高放点修建景观建筑, 与生态区呼应。②对废弃铀矿区开展放射性污染整治, 达到山体有限制开放, 其余 unlimited 开放, 提高该地区土地利用, 对恢复当地的辐射环境质量和经济发展具有十分重要的意义。

参考文献:

[ 1 ] Andreas Bollhöfer The lead isotopic composition of dust in the vicinity of a uranium mine in northern Australia and its use for radiation dose assessment [ J ]. Science of the Total Environment 2006 366 579—589  
[ 2 ] Hancock GR A methodology for the assessment of rehabilitation success of postmining landscapes—sediment and radionuclide transport at the former Nabarlek uranium mine Northern Territory Australia [ J ]. Science of the Total Environment 2006 354 103—119  
[ 3 ] EJ521—1990 铀矿冶辐射环境质量评价规定 [ S ].  
[ 4 ] EJ/T977—1995 铀矿地质辐射环境影响评价要求 [ S ].  
[ 5 ] GB15848—1995 铀矿地质辐射防护和环境保护规定 [ S ].  
[ 6 ] GB14883—1994 食品中放射性物质限制浓度标准 [ S ].

(收稿日期: 2008—03—11)