

新疆某地煤矿放射性水平调查及从业人员剂量分析

许慧萍¹, 李军²

1. 中国原子能科学研究院, 北京 102413; 2. 新疆维吾尔自治区辐射环境监督站

摘要: **目的** 对新疆某地区煤矿开采过程中环境放射性水平进行调查和分析, 了解该地区煤矿中伴生放射性分布情况, 并估算从业人员所受有效剂量。**方法** 以新疆某地区煤矿开采活动为研究对象, 通过现场测量、采样分析, 获得开采过程中的环境放射性水平, 并以此为依据评价从业人员在煤矿开采过程中的受照剂量。**结果** 该地区部分煤矿井下环境中 γ 辐射剂量率及氡浓度偏高; 各煤矿的煤矸石中放射性核素含量均小于 1 Bq/g, 大部分煤样中放射性核素含量小于 1 Bq/g; 各煤矿矿坑涌水中总 α 、总 β 含量低于污水排放标准中的排放限值, 煤矿矿井中氡浓度水平是从业人员辐射影响的重要因素。**结论** 通过调查, 了解该地区地下贮存煤炭资源的放射性水平; 为该地区现有煤矿的管理和煤矿规划提供客观依据; 为今后我国矿产资源开发利用的管理提供技术支持。

关键词: 煤矿; 从业人员; 有效剂量

中图分类号: X591 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2021)01-0044-04

Investigation on radiation level in certain coal mines in Xinjiang and dose analysis of employees

XU Huiping¹, LI Jun²

1. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413 China;

2. Xinjiang Monitoring and Supervising Centre of Radiation Environment

Abstract: **Objective** To understand the distribution of associated radioactivity, though investigating and analyzing the level of environmental radioactivity in certain coal mines in Xinjiang, and estimate the effective dose received by the workers. **Methods** Taking coal mining activities in a certain area of Xinjiang Province as the object of the study, the environmental radioactivity level in the mining process was obtained through on-site measurement and sampling analysis, and the exposure dose of the workers in the coal mining process was evaluated accordingly. **Results** The radiation dose rate and radon concentration in the underground environment of most coal mines in this area are high. The content of radionuclides in gangue of each coal mine is less than 1 Bq/g, the content of radionuclides in most coal samples is less than 1 Bq/g, and the total α and β in the gusher water of each coal mine are lower than the discharge limits of the sewage discharge standards. The radon concentration level in coal mines is an important factor affecting the radiation exposure of workers. **Conclusion** Through the investigation of this project, the radioactive level of coal resources stored underground in a certain area is understood, which provides an objective basis for the management and planning of existing coal mines in this area, and provides technical support for the management of exploitation and utilization of mineral resources in China.

Keywords: Coal Mine; Workers; Effective Dose

新疆是我国矿藏资源十分丰富地区, 也是我国煤炭资源丰富的省份之一^[1]; 其煤炭主要有褐煤、长焰煤(无烟煤)、不沾煤(烟煤)、焦煤等。近些年, 大量的调查和监测结果表明, 新疆某地区煤炭中天然放射性核素含量水平较高。当埋藏在地下含有天然放射性核素的煤炭资源被开采和利用, 其中的天然放射性物质将被迁移、浓集和扩散, 对周围环境造成放射性影响^[2-4]。为加强新疆某地区煤炭资源的监管, 应做好该

地区煤炭资源的开采规划和已开采煤矿进行放射性现状调查。本文通过选取该地区 6 个典型煤矿, 对矿区现场开展环境 γ 剂量率水平、氡浓度水平监测, 对原矿、煤矸石、矿坑涌水进行采样分析, 摸清该矿区环境中的辐射水平及环境介质中的放射性核素含量。对煤矿从业人员受照剂量进行了评价, 为当地煤矿资源的开采规划及伴生矿的辐射安全监管提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 调查对象 本文根据新疆某地区矿区规划, 现有开采煤矿分布特点, 选取该地区代表性的 6 个煤矿, 基本情况见表 1, 选取煤矿中除 A 矿外, 其他煤矿均为小型煤矿。对选取矿区周围环境及介质中的放射性水平进行实地调查和监测, 监测项目主要包括环境中的 γ 辐射剂量率, 井上、井下环境中的氡浓度; 对矿井涌水样品、煤炭及矸石样品进行取样, 并分析其中放射性核素 ^{238}U 、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 的活度浓度。

表 1 6 座煤矿基本情况

Table 1 Basic information of the six coal mines

煤矿	占地面积/km ²	实际产量/(Mt/a)	开拓方式	煤质类型
A 煤矿	118.5	10	混合开拓	长焰煤、不粘煤
B 煤矿	1.2	0.09	斜井开拓	
C 煤矿	1.3	0.09	斜井开拓	
D 煤矿	1.03	0.09	斜井开拓	
E 煤矿	1.15	0.09	斜井开拓	
F 煤矿	1.07	0.09	斜井开拓	

1.2 监测方法

1.2.1 γ 辐射剂量率监测 使用 FH40G 型 γ 辐射剂量率仪现场监测, 测量时响应时间为 30 s, 每个监测点读取 10 个数据; 井下 γ 辐射剂量率按照沿井下主巷道每间隔 30~100 m 布点监测, 每个工作面布设 10~30 个点位; 井上环境按照矿井排风口为中心, 沿 4~8 个方位角 50 m、100 m、500 m、1000 m、2000 m、5000 m 布点监测; 生活区、煤堆场、矸石场根据情况布设 6~10 个监测点。

1.2.2 氡浓度水平监测 氡浓度测量使用 ERS-2-S 型便携式测氡仪(携带防爆装置), 每个点位测量时间为 60 min。井下氡浓度沿井下主巷道布设 4 个监测点位, 井上矿井排风口 4 个方位 200~500 m、矿井生活区、煤堆场、矸石场设置监测点位。

1.2.3 固体样品放射性核素分析 样品中铀采用液体激光荧光法分析, 样品中镭-226、钍-232 采用 BH1936 型低本底 γ 谱仪分析。在煤堆场、矸石场、井下巷道页岩、各开采煤层分别取 1~5 个样品。

1.2.4 水样品总 α 、总 β 采用 LBM—102 双路低本底 α/β 监测仪进行分析。根据煤矿矿坑涌水情况选取水样 1~2 个。

1.3 评价模式 本次评价从业人员受照剂量主要考

虑氡及其子体吸入内照射、 γ 外照射及粉尘吸入内照射的影响。

1.3.1 氡及其子体吸入内照射剂量估算 煤矿开采过程中氡及其子体吸入内照射剂量计算公式如下:

$$E_{Rn} = F \cdot C_{Rn} \cdot DF_{Rn} \cdot T \quad (1)$$

式中: E_{Rn} 为氡及其子体所致工作人员的有效剂量, Sv/a; F 为平衡因子, 取 0.4^[5]; C_{Rn} 为矿井中氡浓度, Bq/m³; DF_{Rn} 为剂量转换因子, 9.0×10^{-9} Sv/(Bq · h · m⁻³); T 为工作时间, 取 2000 h/a。

1.3.2 γ 外照射剂量估算 煤矿开采过程中 γ 外照射剂量计算公式如下:

$$E_{\gamma} = 0.7 \cdot T \cdot (D - D_0) \quad (2)$$

式中, E_{γ} 为从业人员年所受 γ 外照射的有效剂量, Sv; 0.7 为空气吸收剂量率与个人有效剂量换算因子, Sv/Gy; T 为年工作时间, 取 2000 h/a; D 为矿井中空气吸收剂量率; D_0 当地的空气吸收剂量率本底值^[6]。

1.3.3 粉尘吸入内照射剂量估算 煤矿开采过程中粉尘内照射计算公式如下:

$$E_{\pm} = DF_{inh} \cdot 2.5 \cdot C_{\pm} \cdot A_{\pm} \cdot R \cdot T \quad (3)$$

式中: E_{\pm} 为从业人员吸入粉尘所致年有效剂量, Sv/a; DF_{inh} 为吸入内照射剂量转换因子, Sv/Bq; ^{238}U 取 7.3×10^{-6} Sv/Bq, ^{226}Ra 取 3.2×10^{-6} Sv/Bq, ^{232}Th 取 4.2×10^{-5} Sv/Bq; 2.5 为粉尘对放射性核素 i 的富集因子^[7]; C_{\pm} 为矿井中粉尘浓度; 4 mg/m³^[8]; A_{\pm} 为粉尘中放射性核素活度浓度; R 为从业人员空气吸入量, 取 1.2 m³/h; t_A —职业人员年工作时间, 取 2000 h/a。

2 结果

2.1 调查结果

2.1.1 γ 辐射剂量率监测结果 典型煤矿中井上 γ 辐射剂量率水平在新疆原野 γ 辐射剂量率本底波动范围内, 井下 γ 辐射剂量率水平变化较大。监测结果见表 2。

2.1.2 氡浓度监测结果 典型煤矿中有 3 个井下氡浓度超过我国地下煤矿中氡浓度平均值 250 Bq/m³^[9], 监测结果见表 3。

2.1.3 样品中放射性核素含量分析 典型煤矿中 3 个煤矿的煤样中天然放射性核素含量较大, 其 ^{238}U 和 ^{226}Ra 含量超过新疆土壤中天然放射性核素含量, 最高者其含量约为当地土壤水平的 8 倍; 煤矸石中天然放射性核素含量除个别煤矿外基本为当地土

表 2 煤田及其附近范围内 γ 辐射剂量率

Table 2 Radiation dose rate in the coalfield and nearby area

所在煤矿	井上环境/(nGy/h)		井下环境/(nGy/h)	
	范围值	均值	范围值	均值
A煤矿	80~110	98	80~120	91
B煤矿	70~140	91	60~120	76
C煤矿	50~240	143	41~1413	357
D煤矿	70~160	115	10~1000	184
E煤矿	80~180	114	10~210	97
F煤矿	80~150	106	80~670	258
新疆地区原野 γ 辐射剂量率 ^[6]	11.7~326.4	58.1±15.3		

表 3 煤田及附近范围空气中氡浓度

Table 3 Radon concentration in the air of the coal field and nearby area

所在煤矿	样品数/个		井上环境/(Bq/m ³)		井下环境含排风口/(Bq/m ³)	
	井上	井下	范围值	均值	范围值	均值
A煤矿	9	4	55~66	61	25~130	64
B煤矿	9	4	10~228	63	82~2093	436
C煤矿	9	4	43~68	56	102~150	144
D煤矿	9	4	25~65	38	14~4980	978
E煤矿	9	4	62~387	134	127~189	157
F煤矿	9	4	14~32	21	48~1063	294

壤的本底水平。煤样及煤矸石样天然放射性核素监测结果见表 4 和表 5。

表 4 煤矿煤样中天然放射性核素分析结果

Table 4 Analysis results of natural radionuclides in coal samples

所在煤矿	样品数/个	²³⁸ U/(Bq/Kg)		²²⁶ Ra/(Bq/Kg)		²³² Th/(Bq/Kg)	
		范围值	均值	范围值	均值	范围值	均值
A煤矿	5	0.4~20.4	7.2	3.1~12.6	6.7	3.0~4.8	4.07
B煤矿	5	4.6~224.5	54.5	16.2~151.7	41.9	8.4~30.9	20.9
C煤矿	5	13.1~136	55.9	10.8~110	56.0	5.0~13.8	7.4
D煤矿	3	5.0~305	75.8	4.2~1730	267.9	2.5~27.8	13.5
E煤矿	5	225~282.6	243.5	172.1~271.3	205.3	8.4~60.7	35.4
F煤矿	5	6.4~404.1	129.8	4.9~350.5	128.5	3.3~10.8	7.6
新疆土壤 ^[10]		5.17~153.7	33.88	10.93~203.4	31.64	10.45~190.4	38.17

2.1.4 矿坑涌水中总 α 、总 β 测量分析 6 个典型煤矿矿坑涌水中总 α 、总 β 含量均低于 1 Bq/L, 矿坑涌水测量分析结果见表 6。

2.2 从业人员剂量评价 6 个典型煤矿井下从业人

表 5 煤矸石样品中天然放射性核素分析结果

Table 5 Analysis results of natural radionuclides in coal gangue samples

样品所在地	样品数/个	²³⁸ U/(Bq/Kg)		²²⁶ Ra/(Bq/Kg)		²³² Th/(Bq/Kg)	
		范围值	均值	范围值	均值	范围值	均值
A煤矿	1	10.6	10.6	23.0	23.0	45.0	45.0
B煤矿	5	22.4~60.3	45.6	19.2~35.4	28.0	71.2~105.2	90.7
C煤矿	5	26.5~45	35.1	4.9~25.8	16.8	4.7~85.0	51.0
D煤矿	5	15.6~131	74.3	34.5~218.2	110.7	17.9~46	27.2
E煤矿	5	42.7~381.7	113.6	89.5~98.4	89.5	81.5~7.3	81.5
F煤矿	5	45.4~73.4	59.4	15.8~42.1	30.5	15.0~111.3	67.4

表 6 矿井涌水中总 α 、总 β 分析结果Table 6 Analysis results of total α and β in mine gushing water

样品所在地	样品数/个	总 α /(Bq/L)	总 β /(Bq/L)
A煤矿	1	0.11	0.16
B煤矿	2	0.12~0.14	0.17~0.23
C煤矿	1	0.562	0.52
D煤矿	1	0.22	0.38
E煤矿	1	0.40	0.36
F煤矿	1	0.66	0.22

员年受照剂量 0.54~7.34 mSv, 最大年受照剂量为 D 矿区, 其影响途径主要为氡及其子体的吸入造成的内照射。煤矿井下从业人员受照剂量情况见表 7。

表 7 煤矿井下从业人员受照剂量

Table 7 Exposure dose of coal mine employees

矿井	氡及其子体造成内照射/(mSv/a)	γ 外照射/(mSv/a)	空气中悬浮粉尘造成内照射/(mSv/a)	年受照剂量/(mSv/a)
A煤矿	0.46	0.07	0.01	0.54
B煤矿	3.14	0.04	0.03	3.21
C煤矿	1.05	0.60	0.02	1.67
D煤矿	7.04	0.25	0.05	7.34
E煤矿	1.13	0.08	0.1	1.31
F煤矿	2.12	0.40	0.04	2.56

3 讨论

新疆某地区典型煤矿中各煤矿地上的 γ 辐射剂量率为新疆本底范围内, 井下的 γ 辐射剂量率波动范围很大, 其中有 3 个煤矿剂量率水平超过新疆本底波动水平; 煤矿井上氡浓度水平变化不大, 井下作业场所部分煤矿存在氡浓度较高; 煤矿煤样中天然放射性

核素的含量变化较大,除 1 个煤矿中²²⁶Ra 含量超过 1 Bq/g 外,其他天然放射性核素含量均小于该值;煤矸石中天然放射性核素含量均低于 1 Bq/g;矿坑涌水中总 α、总 β 含量低于污水综合排放标准中规定的排放限值。

从业人员受照剂量分析可知,井下煤矿开采对从业人员造成的受照剂量低于 GB 18871—2002 附录 B 中规定的国家限值,各种照射途径中对从业人员放射性危害最大的是吸入氡及其子体的贡献。

利益冲突声明 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 许慧萍:负责监测数据的整理和评价工作,李军:负责矿区现场监测和样品监测

参考文献

- [1] 岳锡宏,刘飏,王玉文.新疆煤中天然放射性和铀伴生煤矿潜在职业照射[J]. *中国辐射卫生*, 2018, 27 (3): 255-258. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2018.03.017.
- Yue XH, Liu B, Wang YW. The level of natural radionuclide concentration in Xinjiang coal and potential occupational exposure to uranium associated coal mine[J]. *Chin J Radiol Heal*, 2018, 27 (3): 255-258. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2018.03.017.
- [2] 陈玮,於国兵,陈志,等.皖南石煤开发利用对周围环境放射性水平影响调查[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28 (5): 550-553. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.05.020.
- Chen W, Yu GB, Chen Z, et al. Radioactive level of some stone coal mines and the dose survey of surrounding residents in Southern Anhui[J]. *Chin J Radiol Heal*, 2019, 28 (5): 550-553. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2019.05.020.
- [3] 冯奕达,张保生.伴生矿开发利用对环境的放射性影响及污染防治措施[J]. *环境与发展*, 2018, 30 (5): 76-77, 85. DOI: 10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2018.05.046.
- Feng YD, Zhang BS. The associated ore development and utilization of environmental radiation and pollution prevention and control measures[J]. *Environ Dev*, 2018, 30 (5): 76-77, 85. DOI: 10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2018.05.046.
- [4] 王欣,陈英民,王垒,等.山东省矿井下工作人员职业性照射初步评价[J]. *中国辐射卫生*, 2018, 27 (3): 273-275. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2018.03.022.
- Wang X, Chen YM, Wang L, et al. A primary assessment of occupational exposure to underground miners in Shandong Province[J]. *Chin J Radiol Heal*, 2018, 27 (3): 273-275. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714x.2018.03.022.
- [5] 中华人民共和国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.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 18871—2002 Basic Standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources[S]. Beijing: Standard Press of China, 2002.
- [6] 刘鄂,石振原,郭献东,等.新疆维吾尔自治区环境天然贯穿辐射水平调查研究[R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区环境监测中心站, 1989.
- Liu E, Shi ZY, Guo XD, et al. Investigation on environmental natural penetrating radiation level in Xinjiang Uygur Autonomous Region[R]. Urumqi: Environmental Monitoring Center Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 1989.
- [7] UNSCEAR. Ionizing radiation sources and biological effect, Annex C, Technologically Modified Exposures to Natural Radiation[R]. 1982.
- [8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GBZ 2.1—2019 工作场所所有害因素职业接触限值第1部分: 化学有害因素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- National Health Commission of the people's Republic of China, GBZ 2.1—2019 Occupational exposure limits for hazardous agents in the workplace-Part1: Chemical hazardous agents[S]. Beijing: Standard press of China, 2019.
- [9] 潘自强.我国天然辐射水平和控制中一些问题的讨论[J]. *辐射防护*, 2001, 21 (5): 257-268. DOI: 10.3321/j.issn: 1000-8187.2001.05.001.
- Pan ZQ. Some issues regarding natural radiation level and control in China[J]. *Radialization Prot*, 2001, 21 (5): 257-268. DOI: 10.3321/j.issn: 1000-8187.2001.05.001.
- [10] 刘鄂,王轶,杜新宪,等.新疆维吾尔自治区土壤中天然放射性核素含量调查研究[R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区环境监测中心站, 1989.
- Liu E, Wang Y, Du XX, et al. Investigation of natural radionuclide content in soil of Xinjiang Uygur Autonomous Region[R]. Urumqi: Environmental Monitoring Center Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 1989.

收稿日期: 2020-05-17