

庞庄煤矿煤矸石淋溶液对周边水体影响分析

陆华^{1,2}, 闵望^{1,2}, 姜素^{1,2}, 卢毅^{1,2}, 苟富刚^{1,2}, 蔡田露^{1,2}

(1. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018;

2. 自然资源部地裂缝地质灾害重点实验室, 江苏 南京 210018)

摘要:为研究庞庄煤矿张小楼煤矸石堆场淋溶液对其场地和周边地表水、地下水水质影响情况, 围绕煤矸石堆场及周边采集 13 组水样做分析比对。结果表明, 煤矸石堆场淋溶液对周边地表水体形成普遍污染, 且污染物浓度随着污染距离增加逐步降低, 一般化学污染指标主要包括溶解性总固体、硫酸盐、铁、锰、氨氮等, 毒理学污染指标包括亚硝酸盐、氟化物、砷, 超标倍率约为 0.02~5.36。受距离及成井深度等因素影响, 地下水未遭受淋溶液明显的污染和影响。

关键词: 煤矸石; 淋溶液; 环境污染; 地表水; 地下水

中图分类号: X52

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2023)02-0064-04

Analysis of Impact of Coal Gangue Leaching on Surrounding Water in Pangzhuang Coal Mine

LU Hua^{1,2}, MIN Wang^{1,2}, JIANG Su^{1,2}, LU Yi^{1,2}, GOU Fu-gang^{1,2}, CAI Tian-lu^{1,2}

(1. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210018, China;

2. Key Laboratory for Earth Fissures Geological Disaster of MNR, Nanjing, Jiangsu 210018, China)

Abstract: 13 groups of water samples were collected from Zhangxiaolou coal gangue dump and surrounding areas of Pangzhuang Coal Mine for analysis and comparison, the impact of coal gangue leaching on the quality of surface water and groundwater in this area was studied. The results showed that the leaching solution from the coal gangue dump caused widespread pollution on surrounding surface water, and the pollutant concentration gradually decreases with the increase of pollution distance. The general chemical pollution indicators mainly included dissolved total solids, sulfate, iron, manganese, ammonia nitrogen etc. Toxicological pollution indicators included nitrite, fluoride and arsenic. The over-standard rate was about 0.02 to 5.36. The groundwater was not significantly affected by the leaching solution due to the influence of distance and well depth.

Key words: Coal gangue; Leaching solution; Environmental pollution; Surface water; Ground water

煤矸石作为煤矿开采和加工过程中产生的固体废物, 是我国目前排放量和累计存在量最大的工业废弃物之一^[1], 目前主要被应用于充填复垦、发电、烧结制砖、制备混凝土、制备水处理材料等领域^[2]。露天堆放的煤矸石经风化、日晒和雨淋, 会由原来的还原环境转变为氧化环境^[3], 特别是含硫量较高的煤矸石, 其中包含的硫化矿物会在水、氧气和微生物的联合作用下发生反应从而形成酸性废水^[4], 会对堆放场及周边环境造成严重污染^[5-6]。开展煤矸石堆场淋溶液对周边水体影响的探索研究具有一定意义。

1 研究区域概况与样品采集

1.1 研究区域概况

庞庄煤矿始建成于 20 世纪 70 年代, 原年生产能力 260 万 t, 属大型现代化矿井, 由东城、庞庄、张小楼 3 对井口组成。其中, 张小楼新大井成功改扩建后深度达 1 025 m, 为华东地区第一深井。研究

收稿日期: 2022-04-12; 修订日期: 2023-02-20

基金项目: 中国地质调查局地质调查“江苏省矿产资源集中开采区矿山地质环境调查”基金资助项目(1212011220209)

作者简介: 陆华(1977—), 男, 江苏兴化人, 正高级工程师, 本科, 主要从事水工环地质调查工作。

的煤矸石堆料主要来自张小楼矿井,堆放场地位于张小楼主井东南侧约 150 m,该煤矸石堆高约 30 m,外形整体呈圆锥形,底部直径约 75 m,总堆放量约 3.8 万 m³[7]。该石堆为当地较为典型的煤矸石堆场,北侧紧临砌砖厂,东侧距离刘集镇约 2.5 km,东北侧距离柳新镇约 2.3 km,地表岩性以第四系粉土、亚砂土和亚黏土为主。场地四周地势较为平坦,地面高程约 36 m,相比之下,南侧和东侧地势略低,原本为大面积塌陷地积水区域,目前已被改造为鱼塘,常年养鱼,低洼处水深约 4 m~5 m。

1.2 采样点布设

项目组针对张小楼矿井附近的煤矸石堆场地及周边地区进行了样点布设和样品采集,由于东侧、南侧和北侧地势相对低洼,雨后形成的淋溶液大部分顺着该方向流淌进而污染周边土壤和水体,故采样重点分布在东侧、南侧和北侧 3 个方向,共布设点位和采集水样 13 组。其中,淋溶液水样 2 组,地表水样 6 组,地下水样 5 组,见图 1。

1.3 采样要求

水质分析采用人工取样,实验室分析的方式。采样容器的选择、采样方法和要求、水样的保存方法和要求、送样要求依据《地下水水质分析方法 第 2 部分:水样的采集和保存》(DZ/T 0064. 2—2021)进行。水样采集容器为白色硬质塑料瓶,每个测试点采集一组水样(3 瓶),2 500 mL、500 mL 和 500 mL 的水样各一瓶,分别为原水样、碱化水样和酸化水样。

依据《地下水环境监测技术规范》(HJ 164—2020)采集水质样品,取样时,先用待取水样将采样瓶涮洗二三次,再将水样采集于瓶中,所采集的水样不得受到任何污染。采集的每个样品均应在现场立即封好瓶口,并贴上标签,标签上注明样品



图 1 庞庄煤矿煤矸石堆场及周边水样采集点分布

Fig. 1 Distribution of water sampling sites in coal gangue dump and surrounding areas of Pangzhuang Coal Mine

信息。水样采集后,应存放在阴凉处,并及时送往实验室分析,在运送过程中应注意防震、防冻、防晒,测试方法优先采用国家标准方法[8]。

1.4 测定

地下水水质样品的检测依据《地下水水质检验方法》系列标准进行,水分析类型为全分析。无机污染物监测仪器为 IRIS Intrepid 型全谱直读等离子体发射光谱仪、X7 ICP-MS 等离子体质谱仪和 UV-2550 型紫外可见分光光度计等。

水样测试指标共计 26 项:一般化学指标 13 项,包括 pH 值、溶解性总固体、总硬度、硫酸盐(SO₄²⁻)、氯化物(Cl⁻)、铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、铝(Al)、高锰酸盐指数(I_{Mn},以 O₂ 计)、氨氮(NH₃-N)、钠(Na⁺);毒理学指标 13 项,包括亚硝酸盐(NO₂⁻)、硝酸盐(NO₃⁻)、氟化物(F⁻)、汞(Hg)、砷(As)、硒(Se)、镉(Cd)、铬(Cr⁶⁺)、铅(Pb)、铍(Be)、钡(Ba)、镍(Ni)、钼(Mo)。此外,利用相关仪器对气温、水温、矿化度(TDS)、pH 值、氧化还原电位(Eh)等多项指标现场测定。样品测定满足实验室空白、实验室平行样、标准物质、加标回收等质量控制要求。

2 结果与讨论

2.1 淋溶液样品测定结果

采集的两组淋溶液样品一组位于煤矸石堆底部(SJK28),另一组位于西南约 60 m 处总排污口(SJK29),均为煤矸石经过长期日晒、雨淋后大量可溶性无机盐随雨水浸泡渗出汇集而成,成塘于煤矸石堆四周低洼区域,属于典型地表污染源。依据《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)[9]质量分类指标可知,两组淋溶液水样水质极差,污染严重,超标指标共计 14 项,各项指标超标率高达 53.8%,见表 1。由表 1 可知,一般化学超标指标包括 pH 值、溶解性总固体、SO₄²⁻、Fe、Mn、Al、NH₃-N 和 Na⁺,毒理学指标包括 NO₂⁻、NO₃⁻、F⁻、As、Pb 和 Mo。其中,Al、Fe 两项指标超标情况最为严重,Al 值分别高达 5.70 mg/L 和 5.68 mg/L,分别超标 27.5 倍和 27.4 倍,Fe 值高达 9.24 mg/L 和 7.20 mg/L,分别超标 29.8 倍和 23.0 倍。显而易见,以上超标组分均来自煤矸石堆,且其含量远超其他超标类项目,其他指标超标倍率普遍介于 0.04~4 之间,均为 V 类水。

对比 SJK28 和 SJK29 的测定结果,发现淋溶液

表 1 淋溶液超标项及倍率统计

Table 1 Statistics of exceeding indicators and over-standard rate of leaching solution

指标分类	指标	水样编号	测定值 ρ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Ⅲ类水限值 ρ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	超标倍数
一般化学指标	pH 值 ^①	SJK28	8.87	6.5~8.5	0.04
	溶解性总固体	SJK28	1 286	1 000	0.29
		SJK29	1 280		0.28
	SO ₄ ²⁻	SJK28	558	250	1.23
		SJK29	513		1.05
	Fe	SJK28	9.24	0.3	29.8
		SJK29	7.20		23.0
	Mn	SJK28	0.20	0.1	1.0
		SJK29	0.18		0.8
	Al	SJK28	5.70	0.2	27.5
		SJK29	5.68		27.4
	NH ₃ -N	SJK28	1.61	0.5	2.2
		SJK29	1.76		2.5
	Na ⁺	SJK28	340	200	0.7
		SJK29	325		0.63
毒理学指标	NO ₂ ⁻	SJK28	4.92	1.0	3.9
		SJK29	5.41		3.4
	NO ₃ ⁻	SJK28	23.48	20	0.17
	F ⁻	SJK28	1.09	1.0	0.09
	As	SJK28	0.032	0.01	2.2
		SJK29	0.03		2.0
	Pb	SJK28	0.038	0.01	2.8
		SJK29	0.038		2.8
	Mo	SJK28	0.098	0.07	0.4
		SJK29	0.095		0.36

①无量纲。

随着运移距离的不断增加,水样中的污染物浓度也呈现出逐渐降低的趋势。究其原因,可能是在水流过程中沿途土壤对其产生吸附作用,使得超标组分及矿物质含量在运移过程中不断降低。此外,随着淋溶液向下游汇集,两侧高地地表水也不断缓慢汇入其中,导致水体中污染物浓度逐步降低。经粗略测算,下游汇水总量较上游提升约 5%。

2.2 地表水样品测定结果

地表水样包含 SJK17、SJK19、SJK20、SJK22、SJK23 和 SJK24 6 组水样,分别分布在煤矸石堆场的南侧、东侧和北侧,全部取自鱼塘内的养殖水体,除 SJK22 和 SJK24 距离相对较远之外,其他 4 组水样距离煤矸石堆均在 50 m 左右,测定结果见表 2。由表 2 可知,其超标指标共计 10 项,超标率 38.5%。其中,一般化学指标包括溶解性总固体、SO₄²⁻、Fe、Mn、Al、NH₃-N、Na⁺,毒理学指标包括 NO₂⁻、F⁻、As,5 组为 V 类水,1 组为 IV 类水,可见,煤矸石堆场已对周边地表水体造成了严重影响。

表 2 地表水样超标项及倍率统计

Table 2 Statistics of exceeding indicators and over-standard rate of surface water samples

指标分类	指标	水样编号	测定值 ρ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Ⅲ类水限值 ρ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	超标倍数
一般化学指标	溶解性总固体	SJK17	1 357	1 000	0.36
		SJK19	1 326		0.33
		SJK20	1 459		0.46
		SJK22	1 266		0.27
		SJK23	1 352		0.35
		SJK24	1 230		0.23
	SO ₄ ²⁻	SJK17	396	250	0.58
		SJK19	374		0.87
		SJK20	411		0.64
		SJK22	383		0.53
毒理学指标		SJK23	326		0.30
		SJK24	283		0.13
	Fe	SJK23	0.7	0.3	1.3
		SJK24	0.46		0.53
	Mn	SJK23	0.29	0.1	1.9
		SJK24	0.11		0.1
	Al	SJK23	0.22	0.2	0.1
		SJK24	0.26		0.3
	NH ₃ -N	SJK17	2.15	0.5	3.3
		SJK19	2.22		3.44
毒理学指标		SJK20	1.85		2.7
		SJK23	3.18		5.36
	Na ⁺	SJK17	335	200	0.68
		SJK19	306		0.53
		SJK20	363		0.82
		SJK22	297		0.49
		SJK23	316		0.58
		SJK24	300		0.5
	NO ₂ ⁻	SJK19	1.02	1.0	0.02
		SJK23	1.50		0.5
毒理学指标	F ⁻	SJK17	1.08	1.0	0.08
		SJK19	1.14		0.14
		SJK20	1.34		0.34
		SJK23	1.30		0.3
		SJK24	1.36		0.36
	As	SJK17	0.04	0.01	3.0
		SJK19	0.041		3.1
		SJK20	0.042		3.2
		SJK22	0.045		3.5
		SJK23	0.058		4.8
	SJK24	0.053		4.3	

2.3 地下水样品测定结果

相比之下,煤矸石场地周边的地下水水质情况较好,基本未受到污染。分析结果显示,5 组地下水样中仅出现总硬度、F⁻、Fe、Mn、As 等几项,对比发现大多数超标项为原生指标^[10],且超标倍数普遍低于 1 倍,属轻微超标^[11]。究其原因,可能是上述地下水样距离煤矸石堆较远,煤矸石产生的淋溶液对地下水影响较小,同时水井开采深度较深,地

层上部约 40 m 的巨厚黏土层起到了较好的阻隔作用,有效避免了地表污染物的入侵。

2.4 污染状况

对比淋溶液、地表水和地下水样品的测定结果,发现这 3 类水样的水化学组分具有明显的规律性和一致性。其中,淋溶液均为 $\text{SO}_4\text{-Na}$ 型水,地表水样品以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Na}$ 型水为主,而淋溶液和地表水水样阳离子也保持较好的一致性,均为 Na 型,阴离子也呈现出密切的相关性,淋溶液阴离子均为 SO_4 型,而地表水样中阴离子均为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ 型,此种现象足以表明地表水体已经受到煤矸石堆场淋溶液的影响。地表水样中的超标组分与淋溶液中超标组分也具有较好的一致性,地表水样中的 10 项超标组分全部包含在淋溶液 14 项超标组分中,如此更能说明庞庄煤矿煤矸石堆场淋溶液已对周边地表水体造成了不同程度的污染。调查发现,受煤矸石淋溶液影响,周边的鱼塘养殖产量相比受污染前有所降低,总体降幅约 10%~15%,且鱼类出现生病死亡的概率明显提升。相比之下,地下水样保持独立的水化学特征,水化学类型不均且多样化,多为 $\text{HCO}_3(\cdot \text{Cl})\text{-Mg} \cdot \text{Ca}(\cdot \text{Na})$,说明该场地附近地下水体仍处于良好的原生环境,暂未受到外界水体的污染和影响,此结论与上述水质分析结果基本一致^[12]。

2.5 污染特征

虽然地表水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 As 指标超标倍率稍高,介于 3~4 倍之间,但远低于淋溶液的最高超标率。其他超标倍率一般在 1 倍左右,溶解性总固体、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 和 As 4 项指标所有水样全部超标,超标率 100%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 F^- 指标 5 组超标,超标率约 80%,超标情况也较为普遍。Al、Mn、Fe 和 NO_2^- 超标率较低,均为 33%。此外,对比 SJK23 和 SJK24 (北侧流向),以及 SJK20 和 SJK22 (东侧流向) 两组水样测定结果,发现距离煤矸石堆较远的水样测定指标要普遍低于距离较近的测定指标,可见与煤矸石堆的距离直接影响周边水体的受污染程度。究其原因,是主要污染组分和矿物质随着污染距离的增加而不断被吸附和沉淀^[13]。

3 结语

庞庄煤矿煤矸石堆场经过十多年的日晒和雨淋,在发生一系列物理化学反应后,大量可溶性无机盐随雨水浸泡渗出,汇集成淋溶液。两组淋溶液

水样中超标指标 14 项,超标率高达 53.8%。其中,一般化学超标指标包括 pH 值、溶解性总固体、 SO_4^{2-} 、Fe、Mn、Al、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等,毒理学指标包括 NO_2^- 、 NO_3^- 、 F^- 、As、Pb 等,均为 V 类水,属典型污染源水体。煤矸石淋溶液对其场地及周边 6 组地表水样造成了严重污染,一般化学污染指标主要包括溶解性总固体、 SO_4^{2-} 、Fe、Mn、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等,毒理学污染指标包括 SO_2^- 、 F^- 、As,被污染的地表水 5 组为 V 类水,1 组为 IV 类水,且污染物浓度随着污染距离增加逐步降低。受距离及巨厚黏土地层阻隔等因素影响,煤矸石堆场周边 5 组地下水样中仅出现总硬度、 F^- 及 Fe、Mn 等几项原生指标超标情况,且属轻微超标,煤矸石淋溶液未对该场地及周边地下水体造成明显影响。该研究摸清了地表水污染状况,在煤矸石场地污染研究上取得了一定进展。

[参考文献]

- [1] 梁宏伟. 煤矸石堆放地周边地下水环境污染特征及评价[J]. 江西煤炭科技, 2019(4): 79-83.
- [2] 狄军贞, 鲍斯航, 杨逾, 等. 粒径对煤矸石污染物溶解规律影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(4): 178-184.
- [3] 刘亚丽. 煤矸石淋溶液对周围地下水环境的影响分析[J]. 山西科技, 2018, 33(3): 76-80.
- [4] 张明睿, 郑俊, 徐力刚, 等. 城市小流域面源污染输出特征及污染负荷分类核算研究[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(4): 25-29.
- [5] 董兴玲. 煤矸石山酸性废水污染及源头控制技术[J]. 西部探矿工程, 2020(12): 151-153.
- [6] 程维平. 煤矸石淋溶液对环境的影响研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2005(6): 47-50.
- [7] 陆华, 姜素, 倪俊, 等. 2012—2013 年江苏省矿山地质环境调查报告[R]. 南京: 江苏省地质调查研究院, 2015.
- [8] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [9] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 地下水质量标准: GB/T 14848—2017[S]. 北京: 中国标准社出版, 2017.
- [10] 肖航, 燕青, 李洋, 等. 短时强降雨下平原区域浅层地下水入渗补给规律研究[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(6): 24-28.
- [11] 陆华, 陆徐荣, 杨磊, 等. 淮河流域江苏平原区浅层地下水污染分析[J]. 环境监测管理与技术, 2014, 26(5): 19-23.
- [12] 陆徐荣, 黄敬军, 陆华, 等. 淮河流域(江苏段)环境地质调查报告[R]. 南京: 江苏省地质调查研究院, 2008.
- [13] 乔悦, 国巧真, 吴欢欢, 等. 地表水水质时空变化及其与土地利用响应研究[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(6): 23-27.