

鄂尔多斯砂质基底排矸场煤矸石淋滤液 对地下水的污染研究

齐 啸¹, 冯海波², 刘晓波², 董少刚^{2*}

(1.呼伦贝尔市环境保护局,内蒙古 呼伦贝尔市 021008;2.内蒙古大学 环境与资源学院,内蒙古 呼和浩特市 010021)

摘 要:通过水文地质调查、采样分析并结合地下水流动系统理论,对鄂尔多斯某一典型砂质基底排矸场煤矸石淋滤液对地下水环境的影响进行研究.结果表明,煤矸石的堆放改变了地下水流动系统的原有特征,矸石场由地下水的排泄区转变为地下水的径流区,矸石场底部煤矸石长期浸泡在地下水中,有毒有害物质大量析出并随地下水的径流向下游扩散.矸石场下游地下水及附近出露的地表水中铬、砷、氟、硝酸根、铜、锌、镍、锰等污染因子远远高出背景值.其中水源地附近地下水中砷浓度为 1.013 mg/l,高出背景值 148 倍,硫酸根浓度为 602 mg/l,高出背景值 14 倍.图 4,表 1,参 8.

关键词:煤矸石淋滤液;地下水污染;地下水流动系统;大柳塔矿区

中图分类号:X523 **文献标识码:**A

煤炭作为我国的主要能源,对促进国民经济的发展具有重要战略意义.然而,煤炭的开采利用也给区域及全球生态地质环境造成了重大影响^[1-2],除煤炭加工及燃烧过程对大气和水体环境造成的污染外,煤矿开采、洗选及加工过程中产生的煤矸石对环境的影响也不容忽视.据不完全统计,目前,我国煤矸石已经累计堆存约 50 亿 t,并以每年 2 亿 t 的速度增加^[3].大多数煤矸石场就近建立于矿区周边的沟谷及洼地中,有些小矿甚至随意堆放.煤矸石在沟谷及低洼地中大量存放,不仅在降雨的淋滤下产生有毒有害物质污染土壤和地下水,也可能改变原有地下水流动系统的特征,使原本地下水的排泄区转化为径流区,从而导致污染区域的扩大.目前,关于煤矸石淋滤液对地下水环境的影响研究,主要是通过煤矸石浸泡实验^[4,5],水文地球化学调查^[6]、污染物迁移模型^[7]等方法进行预测分析.

鄂尔多斯沙地广泛分布,沙丘起伏,许多矿区

附近的丘间洼地成为临时或永久煤矸石堆放场.笔者拟通过对鄂尔多斯大柳塔矿区某砂质基地煤矸石场的水文地质调查、浸泡实验、采样监测并结合地下水流动系统理论,分析排矸场淋滤液对地下水环境的影响,为砂质基底煤矸石场的合理选址和污染防治提供参考.

1 研究区概况

大柳塔矿区位于陕西省北部,晋、陕、蒙三省(区)接壤地带,是国家级陕北能源化工基地的核心区域.该区属华北地层之鄂尔多斯分区内的延河地层小区,地处毛乌素沙地和黄土丘陵区过渡地带,地表物质主要是风积沙和黄土,植被稀少.该区以中生代地层为主体,大部出露侏罗系地层,其次为三叠系地层和新近系地层,第四系风积沙分布广泛,见图 1 所示.

收稿日期:2016-03-16

基金项目:国家自然科学基金资助(编号:41002129)

作者简介:齐 啸(1986-),男,河北石家庄人,硕士,工程师,研究方向:地下水污染与防治工程.

* 通讯作者,E-mail:groundwater@163.com

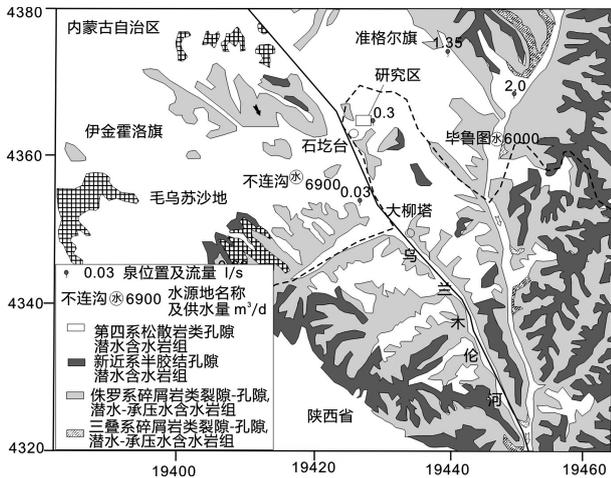


图1 大柳塔矿区水文地质略图

Fig.1 A sketch hydrogeological map of Daliuta mining area

煤矸石场位于乌兰木伦河以东约2.5 km的沙洼中,四周沙丘起伏,流动、固定和半固定沙丘交错分布.第四系坡积砂土,风积沙、冲湖积粉细砂,构成该区主要的潜水含水层.富水性受地貌形态的控制,在局部地势低洼处及具有蓄水形态的基岩界面处形成富含水层.该区多年平均降水量440.8 mm,主要集中在6~9月,占全年降水量的71%,年蒸发量为2 163 mm.据文献[8]研究大柳塔矿区第四系潜水主要接受大气降水的补给,松散含水层及烧变岩裂隙-孔洞含水带水大多为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型,个别为 $\text{HCO}_3 - \text{CaMg}$ 型,反映水交替条件较好;各种水中的溶解离子总量较低,一般介于0.15~1.2 g/L,大多数为0.3 g/L左右,表明形成过程时间较短.

2 样品采集与分析

2.1 排矸场基本情况

该排矸场位于大柳塔矿区内一低洼沙地中.洼地四周均为第四系风积砂所覆盖,洼地下部砂厚为15~20 m左右,四周为高度20~40 m的波状沙丘,第四系下部为新近系砂质泥岩隔水层,在丰水季节洼地中偶尔有潜水出露.在该洼地以南400 m左右有一季节性沟谷溪流,谷底设有截伏流井及泵站作为集中供水水源,日供水量1 000 m^3 左右.

排矸场始用于2005年2月,至2008年3月封场,共堆放煤矸石面积约 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^2$,高约35 m,堆放体积 $6.0 \times 10^6 \text{ m}^3$,封场后煤矸石上部覆30 cm的

粉砂土,并在场内种植黑沙蒿、樟子松等植物.

2.2 样品的采集及分析

根据矸石场周边的水文地质条件,在矸石场及其东南部沟谷中布置采样点6个,其中地下水样4个,地表水样2个.采样点 L_1 为泉水出露处, L_2 、 L_3 号样采样点为地表水; L_4 号采样点为地下水观测孔,孔深15 m,取样深度为水面以下5 m; L_5 为截伏流工程集水井处的地下水(混合样); L_6 号采样点为煤矸石场中地下水样,见图2.在采样时 L_4 、 L_5 及 L_6 均能闻到轻微的异味.

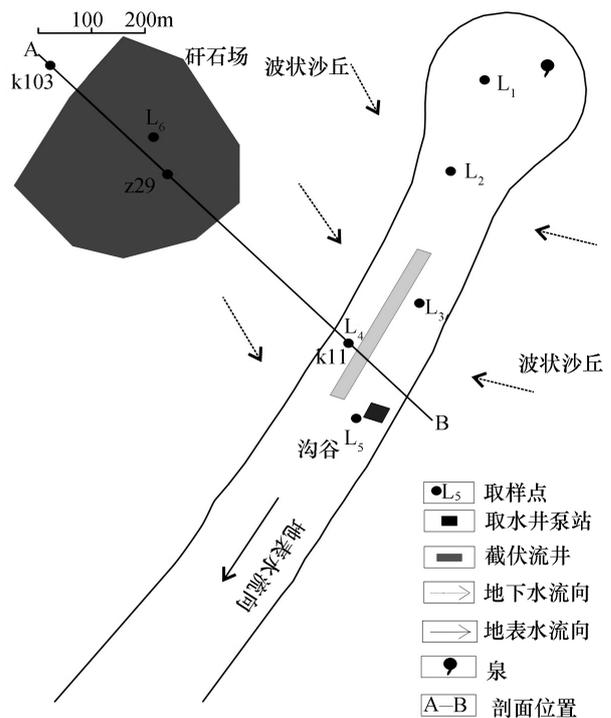


图2 矸石场位置及采样点分布图

Fig.2 Study area and distribution of sampling points

同时在矸石场采用随机布点法采集煤矸石样,将采集的样品混合后按“四分法”弃取缩分.矸石样品粉碎成粒径 $\leq 10 \text{ mm}$ 的颗粒,混合均匀,取200 g置于玻璃广口瓶中,然后加入1 000 mL的纯净水,用玻璃棒搅拌混匀,形成固液比为1:5的浸泡溶液,其初始pH值为7.常温下将浸泡液放置30 d,并间歇性搅拌,最后取上清液进行水化学分析.

在实验室中应用ICP-MS分析水样中的Zn、Cu、Ni、Cr、Hg、Mn、As等重金属元素,应用离子色谱分析 SO_4^{2-} 、 F^- 等阴离子的含量,监测结果如表1.

表1 水样分析结果(单位:mg/L)
Tab.1 The result of water sample analysis (unit: mg/L)

样品编号	监测指标									备注
	Cr	Ni	Cu	Zn	Mn	Hg	As	SO ₄ ²⁻	F ⁻	
L ₀	0.297	0.033	0.321	0.045	3.27	ND	2.162	685	1.721	浸泡液
L ₆	0.564	0.032	0.426	0.075	2.35	ND	3.082	1872	3.561	矸石场中
L ₁	0.003	ND	0.017	0.057	0.24	ND	0.007	40	0.013	泉
L ₂	0.012	ND	0.016	0.047	0.33	ND	0.008	42	0.018	地表水
L ₃	0.015	0.016	0.024	0.047	0.34	ND	0.011	76	0.021	地表水
L ₄	0.081	0.023	0.113	0.079	1.01	ND	1.013	602	1.972	地下水观测孔
L ₅	0.052	0.011	0.035	0.046	0.25	ND	0.056	375	1.155	截伏流井
饮用水标准	0.05	0.05	1.0	1.0	0.1	0.001	0.01	250	1	GB5749

注:ND表示未检出

3 结果讨论

3.1 水质监测结果分析

从浸泡实验分析结果看(表1中L₀),该矿煤矸石中主要污染物为Cr、Ni、Mn、As、SO₄²⁻、F⁻等.特别是该矿煤矸石中硫含量较高,经过30 d的浸泡,每克煤矸石浸出硫酸根(包括后期氧化部分)3.4 mg.可能由于硫化物的氧化导致溶液pH值下降,实验结束时,测得混合液pH值由7降为5.4左右.pH值的降低,将更有利于矸石中的其它重金属离子的释放.

本次野外采样中L₁号样品取自泉口,且未受到煤矸石淋滤液的影响,测试指标浓度可以代表该区地下水潜水背景值.从分析结果看,该区地下水潜水质较好,各项指标均满足饮用水水质标准(GB5749).L₆号水样为煤矸石堆浸泡液,可代表自然条件下煤矸石在长期淋滤及浸泡状态下所释放的各种污染物浓度.从分析结果看,该煤矸石浸出液监测指标中,除了Hg未检出外,其它指标均远远高于背景值,特别是Mn、As、SO₄²⁻、F⁻的浓度均大大高于饮用水标准.与室内矸石浸泡结果(L₀)对比,在自然条件下,矸石中污染物浸出浓度更高,这可能与浸泡时间长、地下水位变化导致的浸泡—脱水氧化—再浸泡及水—矸石质量比有关.L₂和L₃号样品是取之沟谷溪流中的地表水,L₂处于溪流的上游受矸石淋滤液的影响较少,水质较L₃要好一些.L₄号样品采之沟谷中截伏流井的西北侧,靠近矸石场方向的地下水,其水质主要受沟谷西北部矸石场地下水的影响.该处地下水水质已严重恶化,其中As浓度为1.013 mg/L,高出背景值148倍,SO₄²⁻浓度为602 mg/L,高出背景值14倍,说明该区地下水已经受到严重污染;L₅号样品取之截伏流工程集水井

中,该截伏流井处于沟谷中央,截水工程长约200 m,深约4 m,主要截取沟谷两侧沙地侧排的潜水及沟谷中的地表水下渗,供附近居民饮用.该工程截取的地下水经过左右两岸及入渗地表水的混合,污染物的浓度较西北岸地下水中的浓度有所降低,但从分析结果看,该工程已经受到矸石场淋滤液的严重影响,其中Mn、As、SO₄²⁻、F⁻等多个指标已超过饮用水水质标准.

综合分析以上6个水样,沿地下水的流动方向上,从矸石场到截伏流井地下水中各个检测指标的浓度逐渐降低,地表水从上游到下游,污染物的含量逐渐升高,以煤矸石场为中心形成一个严重污染区域.

3.2 地下水流动系统变化对污染物迁移的影响分析

基于对煤矸石场周边的水文地质调查,绘制地下水流动系统图,分析煤矸石堆放对地下水流动系统的影响.在煤矸石堆放以前,矸石场和其东南部沟谷中的地下水为两个相对独立的地下水流动系统,矸石场与沟谷中的地下水基本没有水力联系(见图3),矸石堆放的沙洼,作为局部潜水排泄的通道,在丰水季节偶有潜水出露,但在强烈的蒸发作用下很快消失,潜水位下降.

矸石堆放后,沙洼中的蒸发作用被大大削弱,侧排进入沙洼区域的地下水逐渐赋存于煤矸石堆的空隙中.同时,由于煤矸石堆松散、孔隙大,雨季的降水能够较快的补给到含水层,使矸石场区域的地下水位上升.在矸石堆放5 d后,通过探孔(2011年4月)观测发现,矸石场区潜水位上升3~4 m.随着矸石场区地下水位的上升,原始地下水流动系统特征发生变化,矸石场区由地下潜水的排泄区逐渐转

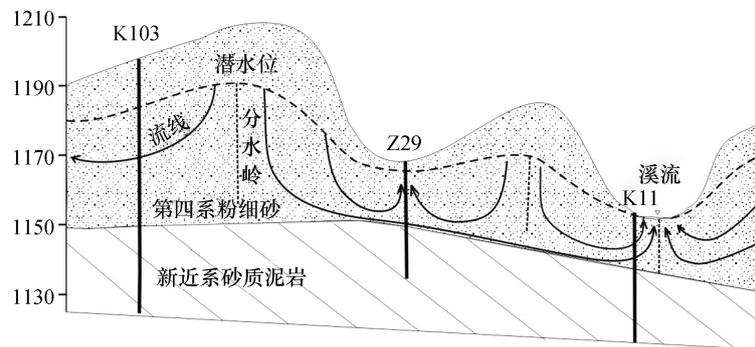


图3 矸石填埋前 A-B 断面水文地质剖面图(A-B 位置见图1)

Fig.3 Hydrogeological cross-section profile of AB before landfilling (A-B location see Figure 1)

化为地下水的径流区。随着新系统的形成,矸石场与东南部沟谷之间的分水岭消失,两者发生直接的水力联系。填埋场底部堆存的煤矸石长期浸泡在地下水中,在水—岩相互作用下,产生大量的淋滤液,并

随地下水的流动向东南部沟谷迁移,导致沟谷中的水源地污染严重,给当地居民的生活生产造成极大危害(图4)。

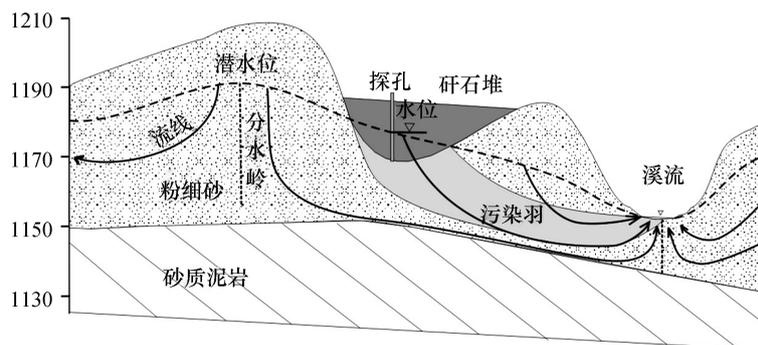


图4 矸石填埋后 A-B 断面水文地质剖面图(A-B 位置见图1)

Fig.4 Hydrogeological cross-section profile of AB after landfilling (A-B location see Figure 1)

4 结论

鄂尔多斯煤炭资源丰富、沙地分布广泛,沙质基底煤矸石场较多。该区降雨量集中,降雨入渗系数大,砂质基底煤矸石场产生的淋滤液数量大,对浅层地下水水质造成了严重的影响。通过对大柳塔矿区某煤矸石场的水文地质调查、取样监测,结合地下水流动系统理论分析了该矸石场淋滤液对附近地表水及地下水水质的影响。

研究表明,该矿煤矸石淋滤液中的主要污染物为铬、砷、氟、硝酸根、铜、锌、镍、锰等,煤矸石的淋滤会导致局部区域地下水 pH 值下降。煤矸石的堆放

改变了场地周边地下水流动系统的原有特征,地下水位上升,使原本地下水的排泄区转变为径流区,导致矸石场下部煤矸石长期浸泡在地下水中;煤矸石产生的含有大量污染物的淋滤液随地下水的流动向下游扩散,使污染面积不断扩大;矸石场东南部沟谷中的地下水及地表水水质都受到了煤矸石淋滤液的影响,截伏流井集中供水系统的多项监测指标已不能满足饮用水水质标准;矸石场南部沟谷中的地表水及潜水都最终排向乌兰木伦河,可能对乌兰木伦河的水质产生不良影响。

参考文献:

[1] 吴代赦,郑宝山,康往东,等.煤矸石的淋溶行为与环境

- 影响的研究—以淮南潘谢矿区为例[J].地球与环境,2004,32(1):55-59.
- Wu Dai-she, Zheng Bao-shan, Kang Wang-dong, et al. Leaching behavior of coal spoils and environmental impacts [J]. *Geology and geochemistry*, 2004, 32(1): 55-59.
- [2] 董少刚,贾志斌,刘白薇,等.干旱区井工开采煤矿山生态水文地质演化研究—以鄂尔多斯某煤矿为例[J].工程勘察,2013(2):45-48.
- Dong Shao-gang, Jia Zhi-bing, Liu Bai-wei, et al. Study on eco-hydrogeological evolution in underground mining coal of arid areas: Taking the coal mine in Ordos as the example [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2013(2): 45-48.
- [3] 王心义,杨建,郭慧霞.矿区煤矸石山放引起的土壤重金属污染研究[J].煤炭学报,2006,31(6):808-812.
- Wang Xin-yi, Yang Jian, Guo Hui-xia. Study on heavy metals in soil contaminated by coal waste rock pile [J]. *Journal of china coal society*, 2006, 31(6): 808-812.
- [4] J. Szczepanska., I. Twardowska. Distribution and environmental impact of coal-mining wastes in Upper Silesia, Poland [J]. *Environmental Geology*, 1999, 38(3): 249-258.
- [5] 施南迪,董少刚.采用离石黄土原位修复煤矸石渗滤液污染地下水[J].环境科学研究,2013.26(10):1110-1117.
- Shi Nan-di, Dong Shao-gang. The study on repairing groundwater contamination polluted by coal gangue leachate by means of lishi loess [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2013.26(10): 1110-1117.
- [6] Pirrie D., Gamm G.S., Sear L.G., Hughes S. H. Mineralogical and geochemical Signature of mine waste contamination, Trisillian River, FalEstuary Cornwall, UK [J]. *Environmental Geology*, 1997, 29(1/2): 58-65.
- [7] 梁冰,陆海军,肖利萍,等.煤矸石淋滤液对地下水污染的数值仿真研究[J].系统仿真学报,2007.4,19(7):1439-1441,1616.
- Liang Bin, Lu Hai-jun, Xiao Li-ping, et al. Numerical imitation for coal gangue transport in groundwater system [J]. *Journal of System Simulation*, 2007. 4, 19(7): 1439-1441, 1616.
- [8] 贾秀梅,孙继朝.大柳塔矿区地下水形成模式研究[J].勘察科学技术,2001(6):3-6.
- Jia Xiu-mei, Sun Ji-chao. Groundwater forming model research for Daliuta mining area [J]. *Site Investigation Science and Technology*, 2001(6): 3-6.

Study on Groundwater Contamination of the Coal Waste Leachate of Sandy Base Field in Erdos

QI Xiao¹, FENG Hai-bo², LIU Xiao-bo², DONG Shao-gang²

(1. Environmental Protection Bureau Hulunbuir, Hulunbuir 021008, China; 2. College of Environment and Resources of Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

Abstract: Based on the hydro-geological survey, sampling analysis and combined with groundwater flow systems theory, the paper studied the impact of coal waste leachate of a typical sandy base coal waste field in Ordos on groundwater environment. The results showed as follows: piling of coal waste has changed the original characteristics of groundwater flow systems; coal waste field has turned from groundwater discharge areas into the runoff areas; the coal waste in the coal waste field has been immersed into groundwater, which resulted in a great deal of toxic and hazardous substances were unleashed and spread to downstream areas with the flow of groundwater. Chromium, arsenic, fluoride, nitrate, copper, zinc, nickel, manganese, etc. in the downstream groundwater were seriously polluted. Concentration of arsenic was 1.013 mg/l, which was 148 times as much as background value, while that of SO₄²⁻ was 602 mg/l, which was 14 times as much as background value. 4figs., 1tab., 8refs.

Keywords: coal waste leachate; groundwater pollution; groundwater flow system; Daliuta mine area

Biography: QI Xiao, male, born in 1986, master, engineer, research directions: Management and research work related to environmental protection.