

煤矸石释放重金属环境效应研究

——淮南煤矿塌陷区水体试验场实例调查

白建峰¹, 崔龙鹏¹, 黄文辉², 胡友彪¹, 唐修义¹, 史永红¹(1. 安徽理工大学资源与环境工程系,
安徽 淮南 232001; 2. 中国地质大学能源地质系, 北京 100083)

摘要: 概要分析了淮南新孜 5 号井煤矸石所含的重金属元素对塌陷区鱼塘水质的影响, 指出除个别水样中 Zn、Cu 超标外, 其他均不超标, 该鱼塘水质适宜养鱼要求。矸石样与华北及整个地壳泥岩中元素的丰度比, 真石中 Cr、Pb、Zn 与泥岩丰度基本持平, 而 Cd、Cu 均超过其他泥岩中丰度值。因此, 煤矸石在地面遭受风化, 其所含有害物质可能会释放到环境, 在煤矸石堆放处适当进行监测还是必要的。

关键词: 煤矸石; 水; 重金属元素; 环境影响; 淮南矿区

中图分类号: X142 P595 文献标识码: A

1 引言

安徽省淮南是我国重要的煤电化基地, 是开采历史逾百年的大型矿区, 现有煤矸石堆(场)31 处, 占地 60.4 hm², 真石总量 1 098 万 m³。近年来, 由煤矸石释放出来的重金属对环境可能造成影响受到关注。杨晓勇等^[1](1995 年)研究过淮南地区土壤问题, 提出在蔡家岗区和大通—九龙岗区土壤受到 Zn、Pb、Sn、Co、Cu、Hg 等元素的污染。崔龙鹏^[2](1998 年)和张泰芳^[3](1999 年)通过对淮南煤矸石的初步分析, 均提出应重视由煤矸石释放出来的重金属对水和土壤的污染问题。目前, 安徽省在实施生态省建设, 淮南市拟启动利用煤矸石回填塌陷区, 复土造地工程和塌陷区水域利用工程。因此, 煤矸石重金属释放及其环境效应研究, 具有重要意义。

2 研究场地的选择

为研究煤矸石释放出的重金属对附近水体的影响, 选择研究场地十分重要。本文研究试验场地选择在淮南市老矿区, 以便更好地表征煤矸石风化后重金属的环境影响。该矿采出的煤矸石倒在井口东侧一个积水的采煤塌陷坑内, 面积约 7 000 m², 形状呈四边形, 中间水深约 10 m。塌陷区北缘为淮河大堤, 大堤距淮河河床尚近百 m, 堤外是淮河, 堤内有一被关闭的涵洞; 当池内水量过多时, 打开涵洞, 将水排出堤外。(图 1) 区内池塘水是静水, 水源补给主要来自雨水, 同时, 该矿矿井水也排入池塘, 水

量不大。塌陷区西侧的矸石堆高出水面约 8 m, 除矸石堆和淮河大堤外, 周边均种有旱粮, 作物长势不好, 不是重要的耕地。塌陷区内水体尚清澈, 浊度为 35 FTU, 岸边有蓄(又名猪草, Pinkweed)生长, 主要以渔业养殖为主。此外, 在池塘 0.5~1 km 范围内没有居民村落, 也没有任何工厂。可以认为, 这一鱼塘水中的重金属元素主要来自煤矸石的淋溶, 或来自矿井水, 因此, 选其作为煤矸石释放重金属对水体环境效应的研究场地较为合适。

3 样品采集和分析

评价一个塌陷区的水是否受到污染, 应采集与分析一定数量的岩、水样, 且采样点分布应合理。根据这一要求, 研究中共采集了 3 类样品:

a. 第 1 类是塌陷区的水样。采样原则为: 首先考虑到雨水的影响, 淮南地区的降雨多在 6、7、8 月份, 所以分 3 个时间, 即 2002 年 6 月 1 日、2002 年

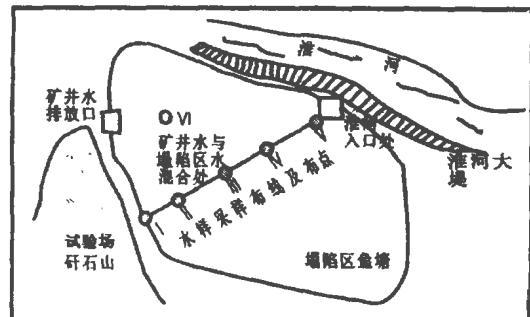


图 1 新庄孜煤矿采样点分布示意图

收稿日期: 2003-10-22

基金项目: 安徽省自然科学基金(00045313)、安徽省“十五”攻关(01010302)和国家自然科学基金(40272124)项目资助

作者简介: 白建峰(1978—), 男, 安徽理工大学硕士研究生, 主要从事环境化学及矿山环境工程研究。

表 1 新庄孜煤矿塌陷区水样中重金属元素含量

 $\rho_B \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

| 样品号 | 元素 | | | | | | Zn | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|-------|---------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | Cd | | | Cr | | | Cu | | | Pb | | | No. 1 | No. 2 | No. 3 |
| | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 1 | No. 2 | No. 3 | No. 1 | No. 2 | No. 3 |
| I ₁ | 0.43 | 0.12 | 0.12 | bdl | 0.34 | 1.89 | 3.92 | bdl | bdl | 1.26 | 7.39 | 0.12 | bdl | bdl | 21.34 |
| II ₁ | 0.48 | 0.10 | 0.09 | bdl | bdl | 1.38 | 3.07 | bdl | bdl | 1.26 | 6.26 | bdl | 1.49 | bdl | bdl |
| II ₂ | 0.45 | 0.11 | 0.06 | bdl | bdl | 1.68 | 1.60 | bdl | bdl | 1.20 | 4.63 | 1.56 | bdl | bdl | 13.48 |
| III ₁ | 0.44 | 0.09 | 0.06 | bdl | bdl | 1.30 | 0.72 | bdl | bdl | 1.23 | 3.37 | 0.02 | 0.1 | bdl | 15.55 |
| III ₂ | 0.50 | 0.10 | 0.06 | bdl | bdl | 2.43 | 3.77 | bdl | bdl | 1.18 | 4.51 | bdl | bdl | bdl | 19.58 |
| III ₃ | 0.48 | 0.16 | 0.08 | bdl | 1.69 | 1.81 | 4.50 | 3.80 | bdl | 1.21 | 9.88 | bdl | 2.44 | bdl | 28.28 |
| IV ₁ | 0.43 | 0.10 | bdl | bdl | bdl | 1.39 | 2.88 | bdl | bdl | 1.19 | 4.20 | bdl | bdl | bdl | 13.90 |
| IV ₂ | 0.48 | 0.14 | 0.01 | bdl | 1.24 | 1.96 | 4.30 | 0.91 | bdl | 1.21 | 7.50 | 1.32 | 2.68 | bdl | 41.27 |
| V ₁ | 0.47 | 0.10 | 0.01 | bdl | 0.05 | 1.33 | 3.74 | bdl | bdl | 1.25 | 4.72 | bdl | 2.93 | bdl | 17.87 |
| VI ₁ | 0.49 | 0.04 | bdl | bdl | bdl | 1.63 | 3.96 | bdl | bdl | 1.20 | 4.52 | bdl | 2.08 | bdl | bdl |
| 标准 | ≤ 5.00 | | | ≤ 100.00 | | | ≤ 10.00 | | | ≤ 50.00 | | | ≤ 100.00 | | |

注: “标准”——国家渔业水质标准(GB11607—89); bdl——检测极限以下。

表 2 新庄孜煤矿的煤矸石中重金属元素含量

 $w_B / \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

| 场地 | 岩样风化程度 | 元素 | | | |
|-------------------------|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| | | Cd | Cr | Cu | Pb |
| 试验场 煤矸石 | 未风化泥岩样 | 6.16 | 8.41 | 421.71 | 34.61 |
| | 弱风化泥岩样 | 6.41 | 10.29 | 411.49 | 42.70 |
| | 强风化泥岩样 | 5.28 | 92.28 | 331.27 | 34.75 |
| 淮南矿区 煤矸石 | 范围 | 0.07~6.67 | 10.29~92.28 | 0.12~236.88 | 13.63~76.08 |
| | 均值 | 2.42 | 50.66 | 42.05 | 32.22 |
| 华北泥岩中元素的丰度 ¹ | | 0.083 | 68.00 | 30.00 | 23.00 |
| 地壳泥岩中元素的丰度 ² | | 0.30 | 100.00 | 57.00 | 20.00 |
| 24.38~122.00 | | | | | |

注: 1——据鄢明才, 引自文献 17; 2——据维诺格拉多夫, 引自文献 16。

表 3 新庄孜煤矿的矿井水样中重金属元素含量

 $\rho_B \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

| 采样地点 | 样数 | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn |
|---------|----|-----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 该矿矿井排水 | 3 | bdl; 0.06; 0.44 | bdl; bdl; 1.43 | bdl; bdl; 8.88 | bdl; 1.38; 4.37 | bdl; 4.54; 12.05 |
| 淮南矿区矿井水 | 13 | 0.21~0.86 | 1.28~2.90 | 1.44~43.82 | bdl~25.5 | bdl~122.56 |

注: bdl——检测极限以下。

10月15日和2003年4月11日, 采集了3次水样。其次, 考虑到塌陷区坡度大体上是西南方向高, 东北方向低, 按此方向布置5个采样点(样品号为I、II、III、IV、V); 又在距矿井水排入区内的排放口20 m处布置VI号采样点(图1)。再次考虑到池塘水的深度不同, 分3个深度采集样品, 即: 水面下约0.2 m(样品号右下角注明1)、水面下约1 m(样品号右下角注明2)和水面下约4 m(样品号右下角注明3)。总计在近10个月周期内, 从6个采样点采集水样30个。这些样品具有足够的代表性。

b. 第2类是煤矸石样。在该矿井口采集了新采出的未风化样, 又在矸石堆中部和底部各采一弱风化样和强风化样(按颜色深浅和机械强度划分)。该井的煤矸石几乎都是暗色泥岩, 偶夹粉砂岩。本次所采样品全是暗色泥岩。

c. 第3类是矿井水样。在该矿向塌陷区排水的出口, 采集3个矿井水样品(分别在2002年6月1日、2002年10月15日和2003年4月11日各采集1个样)。

水样采集后, 立即加浓硝酸(GR)固定, 使得水中pH=1~2, 静置一定时间使HNO₃充分与水混合, 再用离心机去除水中的固体悬浮物; 而煤矸石样经研磨、过筛(0.1 mm)、消化(用HNO₃、HF、HClO₄)。样品中重金属在中国地质大学(北京)用ICP-MS(电感耦合等离子体-质谱仪, 英国质谱公司生产, 型号: Platform ICP-HEX-MS)进行分析。

水样和煤矸石样中Cd、Cr、Cu、Pb和Zn的含量列于表1、表2和表3。

除此之外, 分析过淮南矿区的46个煤矸石样品和13个矿井水样品。这些样品的分析结果(表2、3)可反映全淮南矿区煤矸石和矿井水中重金属含量的总体水平。

4 讨论

4.1 塌陷区鱼塘水中的重金属元素

研究塌陷区是专用养鱼塘。我国对渔业用水的质量有标准规定。将表1中所列的33个水样测试结果和国家渔业用水标准GB11607的规定对比可

见。新庄孜矿 5 号井塌陷区鱼塘水样中 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn 5 种元素的浓度测值全都低于标准规定的允许浓度,且低的幅度还较大。前已陈述,30 个水样的采样点布局是有代表性的。该养鱼塘是一个孤立的池塘,水中的重金属元素主要来自煤矸石和矿井水。因此认为,这两个来源的重金属没有对水质带来显著危害。

4.2 煤矸石中的重金属元素

表 2 所列数据表明: Cd 在淮南煤矸石中的丰度大于华北地区和地壳中泥质岩的均值; Cr、Pb 和 Zn 在淮南煤矸石中和华北及地壳泥岩中的丰度大致相似; Cu 在淮南煤矸石中的丰度变化很大, 新庄孜矿 5 号井的煤矸石中铜的丰度特别高。在风化淋溶过程中, 煤矸石能释放出某元素的量, 不仅取决于煤矸石含有该元素的量, 在更大程度上取决于该元素在煤矸石内的赋存状态。微量重金属元素在煤和煤矸石里的赋存状态十分复杂。在一个样品内部, 同一元素可能同时存在若干赋存状态; 而不同元素又可同时处于一种赋存状态。国内外对微量元素在煤矸石中的赋存状态研究不多。一般认为, 上述 5 种重金属元素的赋存状态主要有两种: 以离子态存在于粘土矿物的晶格里, 或以类质同象存在于硫化物矿物(主要是黄铁矿)里。在煤矸石中成为该元素的独立矿物(如: 硫镉矿、铬铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等)的可能性较小, 当然也不排除煤矸石里有这些矿物的微粒, 至于这 5 种元素是否可能被有机质束缚, 学术界尚有争议。淮南矿区的煤多数属低硫煤, 这 46 个煤矸石样品中只有两个样的硫含量超过 1%, 44 个样的硫含量都低于 0.2%。据目前资料, 重金属元素在煤矸石里的最主要赋存状态可能是粘土矿物晶格里的金属离子, 在风化作用中, 原存在于粘土矿物内的金属离子可以被解脱, 但同时又可以被风化后的粘土矿物束缚, 还可被风化产生的胶体吸附, 强风化的煤矸石里仍然含有不少重金属元素, 所以释放出来, 并进入水体的金属离子不一定很多。有关淮南煤矸石里微量元素的赋存状态将另文论述。

4.3 新庄孜矿井水中的重金属元素

表 3 所列水样的分析结果表明: 新庄孜矿及其附近矿大多数矿井水样品的 Cr、Cd、Pb、Cu、Zn 的浓度低于渔业用水标准; 只有一个水样的锌和一个水样的铜浓度超过标准。矿井水进入池塘与雨水混合后会进一步稀释, 因此, 表明这 5 种元素的浓度均符合渔业用水标准。

4.4 煤矸石中释放出的重金属元素对环境的影响

赵继尧等^[6](2002)认为自然界的煤里无一不含

有各种微量元素。从煤样中检测到某元素的含量往往出现差异,但是自然界煤里任何微量元素的含量有其“背景值”。如若从一个研究区的个别样品中检测到某元素含量超过“背景值”,有可能是因为样品采集或处理不当,造成样品失去代表性;或者出现分析误差。当一批样品的检测结果反映研究区内存在某微量元素的地球化学异常区(带),研究该元素的地球化学特征,环境效应和可利用价值才有意义。自然界多数煤矿区内没有某微量元素的地球化学异常区(带),只有特殊地质条件方可形成煤中某微量元素的地球化学异常区(带)。例如:我国贵州省发现砷富集区,云南省发现锗和铀的富集区等^[7]。

赵继尧等对煤中微量元素的这些认识同样适用于研究煤矸石里的微量元素。淮南矿区煤中微量元素丰度处于自然界的“背景值”范围之内,没有发现某元素的地球化学异常区(带)。在调查研究中,我们分析煤矸石样 49 个,矿井水样 16 个也未发现显著的异常区(带)情况。根据淮南矿区的地质发展历史,矿区没有形成某重金属元素富集的地质条件。因此,从新庄孜 5 号井煤矸石释放出的重金属元素没有污染养鱼池塘是可以理解的。通过对这一养鱼塘的研究,可以推测,淮南矿区煤矸石中的重金属元素对附近的水体不大可能造成大的危害。

应该指出,大量煤矸石长期在地面遭受风化,释放到环境(特别是土壤)里的有害元素有可能局部积累,造成危害。因此,在煤矸石堆放处适当进行监测还是必要的,同时,使用煤矸石对塌陷区填充复垦后,在长期水—岩作用下,重金属的迁移机理和环境效应有待进一步调查研究。

本课题在研究的过程中,得到安徽大学环境科学研究所李玉成教授的指导,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 杨晓勇,孙立广,张兆峰.安徽淮南地区土壤污染综合研究[J].中国地质灾害与防治学报,1995,6(4): 37—43.
- [2] 崔龙鹏.淮南煤矿塌陷区煤矸石填充复垦及其对环境的影响[J].安徽地质,1998,8(3): 58—61.
- [3] 张泰芳.淮南潘谢矿区煤矸石浸泡试验及对环境的影响[J].安庆师范学院学报(自然科学版),5(3): 102—105.
- [4] 郭明才,迟清华.地壳化学元素丰度—中国华北地台地壳化学元素的丰度与分布[A].地球化学(第 30 届国际地质大会论文集,第 19 卷)[C].北京:地质出版社,1998,39—54.
- [5] 黎彤,倪守斌著.地球和地壳的化学元素丰度[M].北京:地质出版社,1990,52—56.
- [6] 赵继尧,唐修义,黄文辉.中国煤中微量元素的丰度[J].中国煤田地质,2002,14(增刊): 5—13.

远程卸压瓦斯抽放数值模拟

唐世斌¹,杨天鸿¹,徐 涛¹,唐春安^{1,2},石必明³,余启香³ (1.东北大学岩石破裂与失稳研究中心,辽宁沈阳 110006;2.中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室,北京 100080;3.淮南工业学院资源管理系,安徽淮南 232001)

摘要:利用新近开发的含瓦斯煤岩破裂过程固气耦合作用的F—RFPA^{2D}数值模拟工具,模拟了潘一矿在下煤层开采过程中上覆岩层的移动、垮落的全过程,以及由于下煤层开采所诱发的上煤层(主采煤层)透异性演化过程,并对采动影响下煤层瓦斯抽放时瓦斯的流动运移规律进行了初步的数值模拟研究。模拟结果同现场工程实际比较吻合,表明利用F—RFPA来研究煤矿开采所诱发的煤层透异性演化和瓦斯运移等工程实际问题是可行的。

关键词:远程卸压;瓦斯抽采;F—RFPA^{2D}系统;数值模拟

中图分类号:TD712.6 **文献标识码:**A

1 引言

为提高煤层瓦斯的抽放效果,增强煤层开采的安全性,国内外都做了大量的研究工作,姜集辉^[1]、董钢锋^[2]、蓝成仁^[3]、宋生印^[4]等分别运用在煤岩体中注入表面活性剂、高水压射流扩孔技术和穿层深孔爆破的方法来提高矿井瓦斯抽放率;卢平^[5]、姚金林^[6]、程远平^[7]等对卸压瓦斯抽放技术进行了试验研究;张吉林^[8]等针对阳泉矿区瓦斯抽放方式采取一定的措施进行了优选。Ren^[9]等用计算流体动力学的方法对钻孔瓦斯抽放进行了数值模拟研究。但是,这些方法并不是适用于所有的矿山。目前国内有煤层群开采的矿区,大多都青睐于开采保护煤

层来对被保护煤层进行卸压,以提高被保护煤层的透异性这一措施。俄罗斯、美国、德国、英国、波兰、乌克兰、澳大利亚等国都较广泛地采用了这一技术,在国内,铁法、淮南、重庆南桐、阳泉、淮南等矿区也都应用了这一技术,并取得了较好的效果。

基于以上认识,作者应用新近开发完成的含瓦斯煤岩破裂过程固气耦合作用的F—RFPA^{2D}数值模拟工具,模拟了潘一矿下煤层开采过程中采场上覆岩层的变形、垮落过程,以及采动影响下上煤层的透异性演化情况,并对采动过程中煤层瓦斯的运移流动规律进行了初步的数值模拟研究,以期对煤层瓦斯抽放、煤与瓦斯突出等机理提供理论基础和科学依据。

收稿日期:2003-12-21

基金项目:国家自然科学基金重大项目(50134040),国家自然科学基金项目(50204003,50174013)

作者简介:唐世斌(1980—),男,重庆市梁平县人,中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室硕士研究生,主要从事岩石破裂失稳、岩体渗流力学的数值模拟及相关研究工作。

Environmental impact of heavy metal in coal mining spoils: An investigation on water near waste piles in Huainan gob area, Anhui Province, China

BAI Jian-feng¹, CUI Long-peng¹, HUANG Wen-hui², HU You-biao¹, TANG Xiu-yi¹, SHI Yong-hong¹

(1. Department of Resource & Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. Department of Resource & Geology, University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract:The paper focuses the environmental impact of heavy metals in coal mining spoils in Xinzi No.5 Coal Mine on fishing ground, Huainan mining area. The results indicate that the concentration of heavy metals in water samples, except for Zn,Cu in one sample, are less than national fishery-water quality standard of China. Nevertheless, Cd and Cu in coal mining spoils are much more than their background levels in Huabei shale and shale from the earth's crust (lithosphere), but Cr,Pb and Zn are present similar values comparing with these background levels. Therefore, discharge of heavy metal in weathering coal mining spoils did not yet cause the remarkable contamination of ground water in Huainan coal mining areas since there are relevant low content of heavy metals in coal mining spoils. In general, it is important to monitor the soil and sediment and biota around coal mining spoil piles, and to pay attention to long-term environmental impact of heavy metals.

Key words:coal mining spoils; water; heavy metals; environmental impact; Huainan mining area