

中国煤矿废弃物环境效应研究进展

杨社锋^{1,3}, 方维萱^{1,2}, 胡瑞忠¹

1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002;

2. 中国有色金属矿产地质调查中心, 北京 100814; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039

摘要: 简述煤矿废弃物的环境地球化学效应和治理方法。分别论述了煤矸石山的自燃、淋滤和煤矿矿井水的环境效应。研究发现, 煤矸石自燃会释放出 SO_2 、 CO 、 H_2S 、 CO_2 、 NO_x 、 CH_4 、多环芳烃(PAHs)等多种有毒有害物质; 煤矸石中的有害元素 As、Cd、F、Hg、Mo、Pb 等含量多与硫化物、硫酸盐等正相关, 连续化学浸取能将大部分毒害元素溶出; 矿井水直接排放会引起地下水水位下降和环境污染。目前我国对煤矿废弃物的环境效应研究已经很重视, 但煤矸石和矿井水资源化治理还存在一些问题。

关键词: 煤矿; 煤矸石; 矿井水; 环境效应

中图分类号: X142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2004)03-0264-06

煤炭资源开发给人类供给了能源和原料, 但同时也对生态环境造成了严重破坏^[1], 引发了一系列煤矿环境地质灾害。灾害主要有顶板、瓦斯、煤层自燃、煤层气排放、地表剥离与堆放、煤矸石、矿井水和地表塌陷灾害等, 能形成多级环境效应, 对井下、水、土壤、大气、生态环境等造成污染。煤矸石是我国目前年排放量和累计存量最大的工业废弃物^[2,3], 全国煤矿年排放煤矸石等固体废弃物约 1.5×10^9 t, 矿井废水约 2.2×10^{10} t。截止 1999 年, 煤矸石占地面积已超过 120 km²。我国大中型煤矿多处于黄土高原等生态脆弱区, 煤炭开采开发造成的土地沙化和水土流失严重^[4]。目前全国约有 71% 的煤矿缺水, 而矿井水资源化率不到 20%^[3,5], 煤矸石综合利用率不到 20%^[6]。在我国人均耕地面积和水资源仅为世界平均的 32% 与 25% 的情况下^[1], 加强对煤矸石山、矿井水的环境效应与治理研究, 能有效解决煤矿区环境地质灾害和周边环境问题, 并能在一定程度上缓解我国人均资源不足的矛盾。

1 煤矸石环境效应

煤矸石主要来源于煤矿掘进、回采、洗选和露天煤矿剥离等过程, 一般就近堆放于矿区周围, 形成巨大的煤矸石山或排土场, 占用大量土地。煤矸石由煤层顶底板岩石、煤屑、煤层中夹矸等组成, 成分随

煤系地层不同而异, 一般为含一定碳氢物质的煤渣、多种砂岩、页岩、泥岩、石灰岩、砾岩等的松散堆积体。常见的矿物有高岭石、蒙脱石、伊利石、菱铁矿、石英、长石、黄铁矿、绿泥石、石膏、方解石等^[7,8], 含硫量从不到 1% 至 38.4%, 灰分一般大于 65%。煤矸石从暴露于自然环境开始就同时进行着物理、化学、生物变化, 产生自燃与淋滤现象^[9], 煤矸石山不合理堆积有时能造成滑坡和泥石流灾害。山西阳泉煤矿煤矸石属石炭系一二叠系^[10], 可作为我国代表性的煤矸石。其主要化学组成为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 SO_2 、 MnO 和煤炭等, 还有 Pb、Cd、Hg、As、Cr 等有毒重金属元素; 放射性元素含量一般不高。煤矸石易风化形成疏松多孔状产物, 释放出植物营养元素, 并逐步向土壤结构转变。煤矸石山不合理堆放会引起自燃发火, 自然风化与雨水作用会释放出有毒有害物质。

1.1 煤矸石山自燃

我国有近 1/4 的煤矸石山发生了自燃^[2]。我国对煤自燃倾向性研究始于 1950 年^[11]。煤自燃倾向性与煤的破碎程度、组成、氧化还原程度、变质程度和煤矸石中黄铁矿的含量等有关^[12]。煤的镜质体和丝炭含量越高, 变质程度越底, 密度愈小, 还原性愈强, 就愈易自燃。煤矸石山的粒度堆积具有一定的分选性, 底层的煤矸石透气性好, 煤矸石中含碳物

收稿日期: 2003-11-22 收到, 2004-02-11 改回

基金项目: 国家重大基础研究规划项目(2001CB409805)资助

第一作者简介: 杨社锋(1971), 男, 硕士研究生, 矿床地球化学专业, E-mail: shfyang166@sohu.com.

质、含硫物质、油页岩等缓慢氧化产生热量。当内部积聚的热量达到一定程度时,煤矸石就会燃烧^[13]。自燃产生 SO₂、CO、H₂S、CO₂、NO_x、CH₄、H₂、C₂H₄ 及苯并(a)芘等有毒有害物质^[9],并向大气排放大量的悬浮物。沈阳矿务局彩屯郑家煤矸石山的主要物质为 SiO₂ 和 Al₂O₃^[8],含硫量平均为 0.19%,煤矸石山自燃产生大量 CO、SO₂、H₂S 与苯并芘等污染物,SO₂ 浓度超过环境空气质量标准 GB3095-1996 中 II 级标准的 25.5 倍,H₂S 浓度超标 3557 倍;煤矸石山上作业人员曾发生多起中毒事故,造成 3 人死亡,140 余人出现头晕恶心、神志不清的中毒症状。淄博矿区煤矸石山附近降水监测结果表明,降水中 SO₄²⁻、矿化值比对照点明显增高,个别监测点降水 pH 达 5.0^[14],形成酸雨。大同矿区附近的云岗石窟遭到有害尘埃的腐蚀就与矸石山自燃有一定的关系^[1]。煤矸石山自燃时,许多毒害微量元素会在燃烧过程中逸出^[15],其中 Hg、Se、F、Cr、Pb、Cd 与 As 等向大气的逸出率分别达到 90%、90%、80%、30%、15%、10%与 8%。冯新斌等^[16]对贵州二叠纪龙潭组煤层中 S、As、Hg、Pb、Sb、Zn 等元素的多元分析结果显示,这些毒害元素主要赋存于次生黄铁矿、闪锌矿、方铅矿中,具挥发-半挥发性,在煤矸石自燃过程中易进入大气。据赵峰华等^[17]研究,贵州二叠纪煤层顶底板泥岩中黄铁矿的 As 含量高于煤中黄铁矿的含量,而煤层顶底板岩石是煤矸石山的主要组成部分。

1.2 煤矸石山淋滤

煤中硫及其它有害微量元素在煤炭加工利用过程中的迁移释放,可能会对环境和人体健康带来影响。一般认为煤中有 20 种微量元素对生态环境有危害^[14,18]: As、Ba、Be、Cd、Cl、Co、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Sn、Th、Tl、U 与 V 等,煤矸石中微量元素含量一般高于煤层。安太堡 11# 煤的分析结果^[18]表明,除 S、U、Se、Br、Mo 明显富集(富集系数 EF 大于 5)之外,其它有害元素的含量较低,U 与 Mo 主要以无机相产出,与黄铁矿、碳酸盐矿物、磷酸盐矿物及粘土矿物有较大相关性,这些物质很容易经过煤洗选过程直接排放到煤矸石中。煤矸石山堆放经风化和雨淋后释放出的大量有害物质与盐分进入土壤和水体。李尉卿等^[19]实验证明初始浸取液的 pH 值不同会导致浸出的有害元素的量产生很大变化,当初始 pH 值小于或等于 5.6(酸雨标准)时,有害金属元素浸出明显增多。我国南方很多

煤矿属高硫煤^[1],硫含量一般为 3%~4%,有的高达 10%,含高硫煤的煤矸石山自燃很可能产生酸性废水,加剧了有害元素的淋滤作用。研究表明,Hg 与硫化物的相关系数达 0.9727($\alpha=0.001$),与有机组分含量呈反相关关系^[20],这显示 Hg 主要赋存于煤矸石山含量较多的黄铁矿中,煤矸石自燃产生的酸性水能引起黄铁矿的分解,造成 Hg 的大量淋出。山东省三个典型煤矸石山的浸溶液中元素化学含量研究^[14]发现,堆放时间较长的煤矸石实验浸溶液与国家“地面水环境质量标准”(GB3838-88) III 类水对比,鄂庄矿 SO₄²⁻、F⁻ 与 Se 含量超标,南冶矿 pH 值超标,矸石风化后有害可溶物会大量增加。淄博南冶矿和张庄矿两处煤矸石山下游空隙水水质监测表明,煤矸石山附近土壤中 pH 值与 S、F、Cr、Pb、Cd、Hg、As 等元素含量均没有超过当地土壤环境本底值,煤矸石放射性均小于 1×10^{-7} Ci/kg,对人体基本无放射性危害。东北地区煤矸石浸出液和淋滤液中均检出 Cr、As、Pb、Cd、Cu 与 Zn^[8],有些物质浓度超过“地表水环境质量标准”(GHZBL-1999)和“地下水环境质量标准”(GB/TL4848-1993)中 III 类标准。进一步对矸石山坡面径流监测结果表明,Cr、As、Pb、Cd、Cu、Zn 等元素都有溶出,As、Cu、Zn 等浓度超过“地表水环境质量标准”(GHZBL-1999)中 III 类标准。张建立等^[21]的研究表明,山东淄博矿区几个煤矸石山淋滤水中致癌多环芳烃(PAHs)苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽与苯并(g,h,i)芘等多项超过国家饮用水水质标准。贵州省兴仁、兴义晚二叠世高砷煤中 As 含量^[22]为 94.1 $\mu\text{g/g}$ ~3.2%,As 主要赋存于砷酸盐和亚砷酸盐相中。据冯新斌等^[23]研究,一般低砷煤中 Hg、As、Se、Cd、Cu、Pd 在表生条件下具有极强的化学活动性,其中 As 的 83.3% 可被淋滤液带到表生带中。丁振华等^[24]对黔西南高砷煤研究发现,煤中黄铁矿含量较低,As 主要以高价有机砷的形态存在,经 NH₄Ac、HCl、HF、HNO₃ 连续浸取,仍有 50% 以上的 As 未从煤中提取出来。陈萍等^[25]认为贵州高砷煤矿区的 As 中毒源于当地生活燃煤的结果,与煤矸石山的淋滤作用关系不密切。

2 矿井水环境效应

煤炭开采过程需要对地下含水层预先疏干和矿井排水,即所谓矿井水排放。煤矿矿井水主要有煤层及围岩中孔隙水、岩溶水、裂隙水、断层水、地表降

水、老采空区积水及井下生产过程中的废水。矿井水排放会引起周围一定范围内地下水位下降和环境污染问题。

2.1 地下水位下降

矿井水排放会导致矿区所在地的地下水重新分布,引起局部地下水位下降,形成大面积地下水位降落漏斗区。北方煤田储量占全国煤炭总储量的大部分,煤质优良,但水资源只占全国的极少部分,开采煤炭使当地地下水位下降与水土流失,有的地区侵蚀模数达到 $10\ 000\ \text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}^{[26]}$,北方矿区每开采吨煤破坏地下水资源约 $10\ \text{m}^3^{[3]}$ 。山东泰安南鲍村^[27]受南汶煤矿疏排放矿井水影响,地下水位由1960年的不足2 m下降到了100 m以下,致使泉水断流,多处水井干涸。神府矿区大柳塔煤矿经井下疏排水后^[28],形成了以10号孔为中心、半径150 m的不规则椭圆形状水位降落漏斗,地下水位平均降低3~6 m,最大9.4 m。江西萍乡安源煤矿^[29]与高坑煤矿地下水降落漏斗相连达 $31\ \text{km}^2$,矿区周围泉水干枯,农田缺水,村民饮水困难。不少矿区地下水位下降后没有进行矿井水资源化治理,而是寻找另外的地下水源,使地下水资源在短时间内难以恢复。

2.2 矿井水排放

目前我国煤矿的矿井水大都没有经过特殊处理而直接排放,有的还受井下腐烂坑木与废弃油脂的污染。矿井水水质按含有的物质差异可分为:洁净矿井水、含悬浮物矿井水、酸性矿井水、高矿化度矿井水和含F、Fe、Mn及其它离子水、含油水与含放射性水等。其中酸性矿井水、含氟矿井水、含悬浮物矿井水、含有害元素矿井水进入地表水体和土壤环境中会影响着水生动植物、农作物生长和人体健康。煤中所含的多种有毒有害微量元素会被矿井水渗流出并带到地表。山东夏庄煤矿^[9]矿井水主要来自深层奥陶系巨厚层石灰岩中的裂隙水,酸性较强,直接排放于孝妇河,已影响到当地人的健康。大同市口泉煤矿直接排放的矿井水水质监测结果^[30]表明, SO_4^{2-} 、氨氮、Hg、COD、氟化物和硝酸盐氮超标率很高,酚、As、Cr、Hg等超标率较低,但检出率大于64%。河流下游断面水质均为V级,且越靠近煤矿排水口的浅层地下水水质污染越严重,浅井中的主要污染物与矿井水排放的污染物超标次序基本相同,说明矿井水直接排放很可能是浅层地下水和河流水质污染的主要原因。淄博双沟煤矿矿井水和地下水研究表明^[21],有多种致癌多环芳烃(PAHs)超

过国家饮用水水质标准。淄博、枣庄等地煤矿矿井水水质分析结果表明^[27], SO_4^{2-} 、矿化度、总硬度、悬浮物含量明显偏高,为主要的污染组分。贵州的高汞和高砷煤矿矿井水能将赋存与黄铁矿、硫酸盐、碳酸盐矿物中的有毒物质溶出,矿井水直接排放会造成地表土壤和水体的严重污染。煤矿报废停排水后会引起井下水位大幅度上升^[31],污染深部含水层。

3 煤矸石山治理与合理利用

煤矸石堆放会造成大气污染、水污染、喷爆、泥石流、滑坡与占用土地等环境地质灾害。目前我国煤矸石山污染防治方法^[8,14]主要有:捡选有用资源、煤矸石山注浆等防灭火、煤矸石综合利用、煤矸石山复垦等。这些方法可归为两类:灾害防治与治理(即土地复垦)和综合利用。煤矸石以多种砂岩、泥岩、灰岩、煤屑及黄铁矿、高岭石等为主,捡选有用物质可有效防治各种污染。根据煤矸石化学成分分析,所捡选的物质可用于沸腾炉、发电、制砖、制水泥、充填路基、肥料及多种化工应用。煤矸石可用于煤矿地下采空区充填、采空区上覆岩层离层带的注浆化充填,也是塌陷土地复垦时无毒害污染充填材料的主体^[10,32],适当条件下可作为林业用地,或植树植草。在土壤有害化学元素不超标时,可种植农作物,但有的农作物对一些有害元素有富集吸收特性^[33]。贵州水城汪家寨、红花岭、木冲沟煤矿煤矸石山自然风化后形成的表层土壤中Cu、Pb、Zn、Cd含量远高于Ⅱ级土壤环境标准值^[34],由于贵州土地贫瘠和缺乏,当地直接种植的农作物玉米、土豆中的Cu、Pb、Zn、Cd含量也远高于饲料标准。有的野生植物如鬼针草对Cd与Pb有较强的吸收能力^[35],能成为先期种植植物,以稀释重金属浓度。

4 矿井水治理与合理利用

大多数煤矿矿井废水中重金属含量不超标,有的甚至可达到农田直接灌溉的标准。矿井水治理与合理利用有三种方法:直接排放补充土壤中有用物质、治理后利用和治理后排放。我国大多数煤矿处于干旱半干旱地区^[26],矿井水排放会引起地下水位下降和地表缺水,矿井水资源化可有效缓解这些问题。我国对酸性矿井水的净化研究始于上世纪70年代。净化处理主要有蒸馏法、化学混凝沉淀法、外加电场电渗析法、半透膜反渗透法与酸碱中和法等^[36],此外还有气体分离和渗透气化等以膜为基础

的新方法。对矿井废水的处理也可以根据情况进行多级处理^[9],充分利用分批处理的矿井水。近年研究利用煤矸石为原料^[37],制作高分子絮凝剂聚硅酸铝(PSAA),用来处理酸性、含F、含SS、含COD等复杂矿井水,效果显著。

5 存在问题与建议

煤矿开采排出的煤矸石和矿井废水环境效应不容忽视。从生态学角度来看^[38],煤矿区是一个自然、社会、经济复合生态系统,开发引起的生态问题是环境与发展的焦点之一。煤矸石和矿井水对煤矿区的环境效应会形成环境地质灾害链,影响矿区和周边地区的生态环境。杨福海等^[39]提出金属矿山生态环境新的更高层次重建、生态综合发展的新观点,为煤矿废弃物的治理与利用提供了新的思路。矿产资源综合利用是治理煤矿废弃物的基本方针,而煤矸石和矿井水的资源化治理可以在一定程度上缓解我国人均资源不足的矛盾。目前我国对煤矸石和矿井水的环境效应研究已经引起重视,但治理范围和深度还处于地区发展不平衡状态,存在的主要问题有:1)煤矸石山土地复垦物种选择不当或无选择;2)治理过程相对缺乏理论体系与技术支撑;3)对治理和综合利用废弃物投入不足等。

建议今后加强:1)煤矸石自燃和淋滤过程中有毒有害元素的迁移规律和环境效应的研究;2)含特殊污染物矿井水中有毒有害元素的迁移规律和环境效应的研究;3)生态脆弱地区的煤矿废弃物治理;4)煤矸石山无覆土微生物复垦;5)煤矸石山复垦物种选择;6)建立煤矸石山复垦示范区及生物地球化学试验观测基地;7)建立煤矿区环境评价系统。特别对黔西南特殊地质背景下高汞、高砷煤矿区的废弃物环境效应加强研究。

参考文献(Reference):

- [1] 韦朝阳,张立城,何书金.我国煤矿区生态环境现状及综合治理对策[J].地理学报,1997,52(4):300-307.
Wei Chaoyang, Zhang Licheng, He Shujin. A discussion on the eco-environmental conditions in the coal mining areas in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 52(4): 300-307. (in Chinese with English abstract)
- [2] 杨梅忠,陈克良.中国煤矿灾害现状与减灾对策分析[J].灾害学,1997,12(3):67-70.
Yang Meizhong, Chen Keliang. Analysis on present situation of disasters and disaster reduction measures in coal mines of China[J]. Journal of Catastrophology, 1997, 12(3): 67-70.

- (in Chinese with English abstract)
- [3] 贾希荣.煤矿区可持续发展中的环境问题与对策[J].煤田地质与勘探,2001,29(1):39-41.
Jia Xirong. The environmental problems and control measures of sustainable development in coal mine areas[J]. Coal Geology & Exploration, 2001, 29(1): 39-41. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘昌华,胡振琪.内蒙古煤炭资源开发中的生态环境治理与发展对策研究[J].中国矿业,2003,12(8):26-28.
Liu Changhua, Hu Zhenqi. Study on ecological environment harnessing and sustainable development in coal resource developing in inner Mongolia[J]. China Mining Magazine, 2003, 12(8): 26-28. (in Chinese with English abstract)
- [5] 冯建宏.我国露天煤矿开采环境问题及防治对策研究[J].中国矿业,2002,11(6):61-64.
Feng Jianhong. Study on environmental problems raised by China's opencut coal mining & mitigation measures[J]. China Mining Magazine, 2002, 11(6): 61-64. (in Chinese with English abstract)
- [6] 姜军,程建光.煤矿矿区生态恢复与可持续发展[J].煤田地质与勘探,2001,29(4):7-9.
Jiang Jun, Cheng Jianguang. Ecological recovery in coal mining areas and sustainable development[J]. Coal Geology & Exploration, 2001, 29(4): 7-9. (in Chinese with English abstract)
- [7] 刘桂建,杨萍月,崔树军,徐载俊.梁宝寺区环境地质现状分析评价[J].中国煤田地质,1998,10(1):49-52.
Liu Guijian, Yang Pingyue, Cui Shujun, Xu Zaijun. The analysis of the present evaluation on environmental geology in Liangbaosi[J]. Coal Geology of China, 1998, 10(1): 49-52. (in Chinese with English abstract)
- [8] 刘汝海,王起超,刘景双.东北地区煤矸石环境危害与对策[J].地理科学,2002,22(1):110-113.
Liu Ruhai, Wang Qichao, Liu Jingshuang. Hazards and countermeasures of the gangue in northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(1): 110-113. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王景平.煤炭资源开发对环境的影响及防治对策[J].河北师范大学学报(自然科学版),2000,24(4):544-547.
Wang Jingping. The influence on the environment and its treatment policies of the development of coal resource[J]. Journal of Hebei Teachers University(Natural Science), 2000, 24(4): 544-547. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王志亚,林大仪,赵景逵.煤矸石复垦工程中绿肥牧草对矸石风化层生态环境影响[J].土壤学报,1996,33(3):317-321.
Wang Zhiya, Lin Dayi, Zhao Jingkui. Preliminary study on influence of green manure forage on eco-environment of weathering crust in reclamation engineering of gangue hills[J]. Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3): 317-321. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王省身,张国枢.中国煤矿火灾防治技术的现状与发展[J].火灾科学,1994,3(2):1-6.
Wang Shengshen, Zhang Guoshu. The current situation and development of coal mine fire prevention and treatment technology in China[J]. Fire Safety Science, 1994, 3(2): 1-6. (in Chinese with English abstract)

- [12] 胡社荣,蒋大成. 煤层自然火灾现状与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(4): 69-72.
Hu Sherong, Jiang Dacheng. The disasters of spontaneous combustion of coal beds and prevention countermeasures[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2000, 11(4): 69-72. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张振文. 煤矿矸石山喷爆的形成机制与影响因素[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2002, 21(1): 11-14.
Zhang Zhenwen. Forming mechanism and influence factors of gangue hill spray explosion[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2002, 21(1): 11-14. (in Chinese with English abstract)
- [14] 常允新,朱学顺,宋长斌,卫政润. 煤矸石的危害与防治[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(2): 39-43.
Chang Yunxin, Zhu Xueshun, Song Changbin, Wei Zhengrun. Hazard of gangue and its control[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2001, 12(2): 39-43. (in Chinese with English abstract)
- [15] 冯启言,刘桂建. 兖州煤田矸石中的微量有害元素及其对土壤环境的影响[J]. 中国矿业, 2002, 11(1): 67-69.
Feng Qiyang, Liu Guijian. Harmful trace elements contained in gangue from Yanzhou coalmines and their influence on soil [J]. China Mining Magazine, 2002, 11(1): 67-69. (in Chinese with English abstract)
- [16] 冯新斌,洪业汤,倪建宇,周斌,王羽. 煤中潜在毒害元素分布的多元分析及其地球化学意义[J]. 矿物学报, 1999, 19(1): 34-40.
Feng Xinbin, Hong Yetang, Ni Jianyu, Zhou Bin, Wang Yu. Multivariable analysis on distribution of potentially hazardous elements in coal and its geochemical significance[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1999, 19(1): 34-40. (in Chinese with English abstract)
- [17] 赵峰华,任德轶,彭苏萍,王运泉. 煤中砷的赋存状态[J]. 地球科学进展, 2003, 18(2): 214-230.
Zhao Fenghua, Ren Deyi, Peng Suping, Wang Yunquan. The modes of occurrence of arsenic in coal[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(2): 214-230. (in Chinese with English abstract)
- [18] 宋党育,王文峰,秦勇. 安太堡 11# 煤元素地球化学特征及环境效应[J]. 煤炭转化, 2003, 26(1): 41-44.
Song Dangyu, Wang Wenfeng, Qin Yong. Element geochemistry and its environment effect from coal bed No. 11 in Antaibao mine[J]. Coal Conversion, 2003, 26(1): 41-44. (in Chinese with English abstract)
- [19] 李尉卿,田鹰. 粉煤灰煤矸石等废渣及其制品中有害金属元素在水中浸出的研究[J]. 粉煤灰, 2002, (5): 18-21.
Li Weiqing, Tian Ying. Research on water extraction of harmful metallic elements in waste slag such as fly ash and coal gangue etc and their products[J]. Coal Ash of China, 2002, (5): 18-21. (in Chinese with English abstract)
- [20] 冯新斌,洪业汤,洪冰,倪建宇,朱泳焯. 煤中汞的赋存状态的研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(2): 71-78.
Feng Xinbin, Hong Yetang, Hong Bing, Ni Jianyu, Zhu Yongxuan. Modes of occurrence of mercury in coal[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2001, 20(2): 71-78. (in Chinese with English abstract)
- [21] 张建立,潘懋,钟佐荣,汤鸣皋. 山东淄博煤矿区环境中多环芳烃的初步研究[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(2): 7-9.
Zhang Jianli, Pan Mao, Zhong Zuoshen, Tang Minggao. Initial research on polycyclic aromatic hydrocarbons in Zibo coal mine environment[J]. Coal Geology and Exploration, 2002, 30(2): 7-9. (in Chinese with English abstract)
- [22] 赵峰华,任德轶,郑宝山,胡天斗,刘涛. 高砷煤中砷赋存状态的扩展 X 射线吸收精细结构谱研究[J]. 科学通报, 1998, 43(14): 1549-1551.
Zhao Fenghua, Ren Deyi, Zheng Baoshan, Hu Tiandou, Liu Tao. Research of expansion X-ray absorption fine structure spectrology of Arsenic in high arsenic coal[J]. Science Bulletin, 1998, 43(14): 1549-1551. (in Chinese)
- [23] 冯新斌,洪冰,倪建宇,洪业汤. 煤中部分潜在毒害微量元素在表生条件下的化学活动性[J]. 环境科学学报, 1999, 19(4): 433-437.
Feng Xinbin, Hong Bing, Ni Jianyu, Hong Yetang. Chemical mobility of potentially toxic trace elements in coal at surface conditions[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(4): 433-437. (in Chinese with English abstract)
- [24] 丁振华,郑宝山, Finkelmann R B, 胡天斗,周运书. 典型高砷煤样品的连续浸取实验研究[J]. 地球科学, 2003, 28(2): 209-213.
Ding Zhenhua, Zheng Baoshan, Finkelmann R B, Hu Tiandou, Zhou Yunshu. Subsequent leaching study of typical high As coal sample from southwest Guizhou Province[J]. Geosciences, 2003, 28(2): 209-213. (in Chinese with English abstract)
- [25] 陈萍,黄文辉,唐修义. 我国煤中砷的含量赋存特征及对环境的影响[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(3): 1-4.
Chen Ping, Huang Wenhui, Tang Xiuyi. Features of As content, occurrence in coal and its effects on environment in China [J]. Coal Geology & Exploration, 2002, 30(3): 1-4. (in Chinese with English abstract)
- [26] 叶贵钧. 西北五省(区)的煤炭资源水环境及生态环境[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(6): 39-42.
Ye Guijun. Statue of coal, water resources and ecological environment in five provinces, northwestern China[J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(6): 39-42. (in Chinese with English abstract)
- [27] 姚春梅,魏嘉. 山东省煤矿区地质灾害发育现状及防治对策[J]. 山东地质, 1999, 15(2): 43-47.
Yao Chunmei, Wei Jia. The existing situation of geological hazards in major coal mining areas of Shandong province and their protection measures[J]. Shandong Geology, 1999, 15(2): 43-47. (in Chinese with English abstract)
- [28] 段中会. 榆神府矿区煤矿水害及其防治研究[J]. 中国煤田地质, 1998, 10(增刊): 60-61.
Duan Zhonghui. The water harm and prevention measures in coal mine areas in Yushenfu region[J]. Coal Geology of China, 1998, 10(Supp.): 60-61. (in Chinese with English abstract)
- [29] 颜春,余广文. 江西省矿山开发引起的主要生态环境问题及防治建议[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 111-114.

- Yan Chun, Yu Guangwen. Main eco-environmental problems caused by mines development and control advice in Jiangxi province[J]. Chinese J. of Geological Hazard and Control, 2003,14(1):111-114. (in Chinese with English abstract)
- [30] 时红. 山西煤矿的生态环境问题及其对策[J]. 重庆环境科学, 2002,24(2):11-13.
- Shi Hong. Eco-environment problems and countermeasures of coal mines in Shanxi Province[J]. Chongqing Environ. Sci., 2002,24(2):11-13. (in Chinese with English abstract)
- [31] 冯东梅. 闭矿后矿区环境地质灾害分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002,21(4):526-527.
- Feng Dongmei. Analyses of environ-geological disasters in closed coal mines[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2002,21(4):526-527. (in Chinese with English abstract)
- [32] 刘景双,王金达,张学林,于君宝,严登华. 煤矿塌陷地复垦还田生态重建研究[J]. 地理科学, 2000,20(2):189-192.
- Liu Jingshuang, Wang Jinda, Zhang Xuelin, Yu Junbao, Yan Denghua. Study on reclamation and reconstruction in collapse sites in coal mining area[J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(2):189-192. (in Chinese with English abstract)
- [33] Fang W X, Huang Z Y, Wu P W. Contamination of the environmental ecosystems by trace elements from mining activities of Badao bone coal mine in China[J]. Environmental Geology, 2003,(44):373-378.
- [34] 尚爱安,党志,漆亮,文震. 两类典型重金属土壤污染研究[J]. 环境科学学报, 2001,21(4):501-503.
- Shang Ai'an, Dang Zhi, Qi Liang, Wen Zhen. Study on two kinds of heavy metals pollution of soil[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2001,21(4):501-503. (in Chinese with English abstract)
- [35] 刘玉荣,党志,尚爱安. 煤矸石风化土壤中重金属的环境效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2003,22(1):64-66.
- Liu Yurong, Dang Zhi, Shang Ai'an. Environmental effects of heavy metals in soils from weathered coal mine spoils[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003,22(1):64-66. (in Chinese with English abstract)
- [36] 顾和和,胡振琪,周德群. 我国煤矿区的生态环境保护[J]. 中国煤炭, 1997,23(6):16-19.
- Gu Hehe, Hu Zhenqi, Zhou Dequn. The eco-environmental protection of coal mining areas in China[J]. Coal of China, 1997,23(6):16-19. (in Chinese with English abstract)
- [37] 王续良. 煤矿废弃资源化利用的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2002,30(8):44-46.
- Wang Xuliang. Test and research on utilization of waste of coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2002,30(8):44-46. (in Chinese with English abstract)
- [38] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984,4(1):1-9.
- Ma Shijun, Wang Rusong. Society-economy-nature compound ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 1984,4(1):1-9. (in Chinese with English abstract)
- [39] 杨福海,李富平,甘德清,刘仁义. 矿山生态恢复与露天地下联合开采[M]. 北京:冶金工业出版社, 2002. 1-12.
- Yang Fuhai, Li Fuping, Gan Deqing, Liu Renyi. Ecosystem restoration and combination of opencut mining with underground mining in mining areas[M]. Beijing: Metallurgy Industry Press, 2002. 1-12. (in Chinese)

Advances in Studying Environmental Impact and Pollution Control of Coalmine Waste in China

YANG She-feng^{1,3}, FANG Wei-xuan^{1,2}, HU Rui-zhong¹

1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100814, China;

3. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: The land occupation of gangue hill and non-processed drainage of waste water from coal mining are posing considerably hazardous impacts to the environment in China. The current condition of lacking lands and water resources in China is being worsened by environmental effects of gangue hill, waste water from coal mining. This article primarily discusses environ-geochemistry effects and countermeasures against the impacts of coalmine waste, and also discusses environmental effects of spontaneous combustion and leaching solution of gangue hill and waste water from coal mining. Researches indicate that many harmful substances such as SO₂, CO, H₂S, CO₂, NO_x, CH₄ and polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) etc. are emitted to the air during gangue spontaneous combustion, that most poisonous and harmful elements can be dissolved from gangue with continuous chemical solution method because the contents of most these elements such as As, Cd, F, Hg, Mo, Pb etc. have positive correlation with sulfides and carbonates etc. in gangue, and that lowered water table and environment pollution can arise from nonprocessed drainage of waste water. At present, much attention has been paid to research on environmental effects of coal mine wastes, but little is done on management and remediation of coal mine wastes and waste water in China.

Key words: coal mine; gangue; waste water; environment effect