

文章编号:1001-1986(2008)01-0053-05

兖州煤田矿山地质环境现状与治理对策

吴晓华^{1,2},叶进霞²,夏春英²,朱晓琳²

(1. 中国地质大学,北京 100083;2. 山东省鲁南地质工程勘察院,山东 兖州 272100)

摘要:针对煤炭开采引发的采空塌陷和矿山生态环境破坏等问题,调查分析了山东兖州煤田开发利用现状,及采空塌陷、水环境污染、土壤污染等地质灾害的分布范围及其危害。统计表明,截止 2005 年,兖州煤田已累计塌陷 116.127 km²,其中塌陷积水区已达 18.92 km²,最大塌陷深度 9.2 m,预计到 21 世纪中叶,兖州煤田将形成 32 000 hm² 的塌陷区。针对兖州煤田实际,提出了改进采矿方式、煤炭地下气化、塌陷土地复垦、煤矸石综合利用等矿山地质环境保护与治理对策,同时提出了建立和实施具有行业特色的矿区循环经济发展模式。

关键词:兖州煤田;煤炭资源开发;矿山地质环境;采空塌陷

中图分类号:X45 **文献标识码:**A

The current situation and countermeasures of mine geology environment in Yanzhou coalfield

WU Xiao-hua^{1,2}, YE Jin-xia², XIA Chun-ying², ZHU Xiao-lin²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Lunan Geologic Engineering Survey Institute, Yanzhou 272100, China)

Abstract: Focused on collapse and ecological environmental contamination caused by coal mining investigate the current situation of coal resources exploitation, the distribution of geological hazards or the environment geology questions such as mine collapse, water environmental contamination, soil pollution, analyses the harmfulness in Yanzhou coalfield. According to the statistics, the mining collapse area has reached to 116.127 km², among which the water covers the area of 18.92 km², the deepest to 9.2 m by the end of 2005. With the coal resource exploitation persistence, the collapse area will expand and about 32 000 hm² collapse area would be formed in Yanzhou coalfield in the middle of 21st Century. Deference the principle of exploit with protecting and protect with exploiting, combined with the situation of Yanzhou coalfield, come up with the protection and countermeasure, including improving mining method, UCG, reclaiming collapse land, integrated coal gangue utilization, etc.. Finally, put forward a coal recycle economy model with its own characters.

Key words: Yanzhou coalfield; coal resources exploitation; the mine geological environment; mine collapse

煤炭资源的开发在支持国民经济建设的同时也引发了采空塌陷、地下水污染、土壤污染等地质灾害和环境地质问题。尤其是近年来,矿业经济的迅猛发展,矿山地质灾害和环境地质问题日益突出,并成为制约经济发展的障碍。

本文以山东兖州煤田为研究对象,论述了兖州煤田煤炭开发引发的矿山地质灾害和环境地质问题,并提出了相应的治理保护对策。

1 兖州煤田概况

兖州煤田位于鲁西断隆鲁中隆起之兖州凸起东部,为一轴向 NEE、向 E 倾斜的不完整向斜构造,东起峰山断层,南及西南至煤系底部露头,东北至煤

系底板露头,南北长 30 km,东西宽 15.6 km,总面积约 440.4 km²。兖州煤田以煤层厚且稳定、煤质优、采区集中、开采条件好而著称,是我国东部最大的煤炭生产基地。

兖州煤田共划分为唐村、南屯、落陵、北宿、东滩、杨庄、太平、鲍店、杨村、单家村、兴隆庄、横河、里彦、田庄、古城、星村、辛集 17 个井田(图 1)。主要含煤层段是上石炭统和下二叠统太原组、山西组,共含煤 27 层,可采及局部可采 8 层,可采总厚约 12 m,煤炭总储量 40.63 × 10⁸ t。

兖州煤田为全隐蔽式华北型石炭 - 二叠纪煤田,上覆第四系(平均厚 120 m)和上侏罗统红色砂岩(平均厚 750 m)。地层由新到老为第四系、侏罗

收稿日期:2007-09-11

作者简介:吴晓华(1977—),男,山东诸城人,工程师,主要从事地质灾害勘查、治理与评价工作。

系、二叠系、石炭系及奥陶系。兖州煤田(兖州凸起)区外分布有太古界变质岩、寒武系和奥陶系等基岩地层。

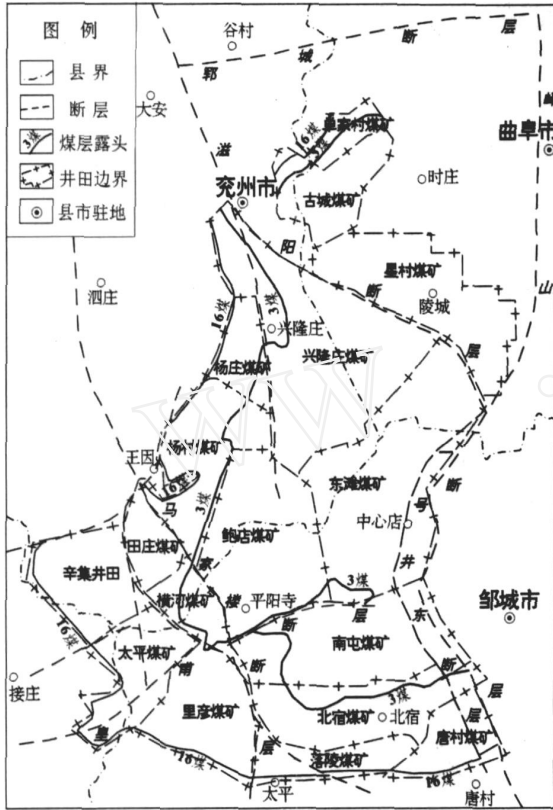


图 1 兖州煤田位置及矿井分布图

Fig. 1 Yanzhou coalfield position and mine distribution map

2 开发利用情况

兖州煤田已经历了 40 a 的开发建设,20 世纪 80 年代后期至 90 年代进入大规模开发时期,目前正处于煤炭开采高峰期,已建成大、中、小型矿井 16 对,只有辛集井田尚未建井。主要由国有重点煤矿兖矿集团有限公司(原兖州矿务局)进行开发,另有济宁市专营矿 2 个,兖州、邹县、曲阜县营矿 4 个,生建煤矿 1 个,临沂矿务局煤矿 2 个。全煤田设计总产煤能力 $2\,451 \times 10^4 \text{ t}$,2005 年实际产煤已突破 $3\,500 \times 10^4 \text{ t}$,其中兖矿集团 4 个主力矿井原煤产量已达 $2\,354 \times 10^4 \text{ t}$,约占兖州煤田原煤产量的 70%。

兖州煤田煤层埋深一般在 -300 m 以下,煤矿均采取竖井开拓、地下开采。主采煤层为山西组 3 号煤层,其次是太原组 16、17 号煤层。3 号煤层在煤田北部厚 8~10 m,中、南部分岔为 3 上、3 下,厚度一般为 5 m 和 3 m,16 和 17 号煤层厚均在 1 m 左右。采矿方法有走向长壁采煤法、条带式采煤法(村庄下)、水平分层采煤法等,大部分生产煤矿采用综采放顶采煤法。

3 矿山地质灾害与环境地质问题

煤田开发产生的地质灾害与环境地质问题分为两大类,一是矿业开发过程中排放的废水及废渣对地质环境的影响,如水环境污染、土壤污染等;一类是矿体开采及废渣堆放对矿山地质环境产生的破坏,如采空塌陷、地裂缝、渣石流等。目前,兖州煤田存在的地质灾害与环境地质问题主要是采空塌陷、水环境污染和土壤污染。

3.1 采空塌陷

兖州煤田采空塌陷最早始于 1970 年,截止 2005 年,煤炭开采造成地表塌陷累计达 116.127 km^2 ,最大塌陷点位于兴隆庄矿范围内,深达 9.2 m。由于大部分矿井仍有一定的可采煤炭资源量,各矿井间采空区尚未连续,因此塌陷未连接成片,目前只形成深浅不等、大小不一和各自封闭的塌陷湖面。

采空塌陷损害程度与开采强度密切相关,开采薄煤层的唐村、北宿、落陵、杨村等矿沉陷特点是地表下沉变形量较小,采完后最大下沉在 1.5 m 左右,对环境的破坏程度相对较轻。开采 3 号煤的南屯、兴隆庄、鲍店、东滩、单家村等矿采用分层综采或综采放顶煤开采,开采强度大,速度快,下沉量 2.5~9 m 不等,地表径流水及降水汇集在沉陷盆地,形成大面积的积水区。

根据本区地面塌陷的沉降幅度及危害程度,地表塌陷地盆地可分为轻度塌陷区(61.633 km^2)、中度塌陷区(35.574 km^2)和重度塌陷区(18.92 km^2) 3 种类型(表 1)。

轻度塌陷区(相对塌陷深度小于 1 m)。主要位于兖州煤田南部和西部,主要有唐村、北宿、落陵、杨庄、田庄、古城煤矿的全部,太平、杨村、里彦煤矿的大部,除古城煤矿主采 3 号煤层,其余煤矿主采薄煤层 16、17 号煤,该区地形地貌无明显的变化或均匀下沉,基本不积水,对土地的耕种影响轻微,对地面建筑物的破坏程度轻微。

中度塌陷区(相对塌陷深度 1~3 m)。主要位于兖州煤田西部,分布在南屯、兴隆庄、鲍店、东滩、横河、单家村煤矿等常年积水区外围及杨村煤矿的部分区段。该类塌陷区地形有明显的变化,起伏不平或呈斜坡状,大部分地段季节性积水或为荒草地。

重度塌陷区(相对塌陷深度大于 3 m)。主要位于兖州煤田东部和北部,主要有分布于南屯、鲍店、兴隆庄、横河、单家村煤矿,主采厚煤层 3 号煤,该区地形地貌变化明显,大部分常年积水,少部分为季节性积水的荒草地或芦苇荡。该区的主要特点是开采

表 1 兖州煤田采空塌陷现状一览表

Table 1 Yanzhou coalfield mining collapse status

煤矿名称	投产日期	矿区面积/km ²	塌陷面积/km ²			总面积	最大塌陷深度/m
			轻度区	中度区	重度区		
唐村煤矿	1968 - 12	12.43	5.482	0.213	0	5.695	1.7
南屯煤矿	1973 - 12	50.79	4.354	5.324	3.805	13.483	6.9
落陵煤矿	1976 - 03	12.00	3.481	0.182	0	3.663	1.6
北宿煤矿	1976 - 12	27.11	12.945	1.578	0	14.523	1.7
东滩煤矿	1981 - 12	57.67	5.174	7.206	3.812	16.192	4.0
杨庄煤矿	1986 - 06	11.70	2.182	0.231	0	2.413	1.6
太平煤矿	1988 - 10	22.00	3.211	2.428	0.557	6.196	6.0
鲍店煤矿	1989 - 12	38.27	5.578	4.895	3.596	14.069	6.8
杨村煤矿	1990 - 06	27.47	4.028	1.172	0.321	5.521	6.0
单家村煤矿	1990 - 12	5.95	2.319	1.985	1.323	5.627	6.0
兴隆庄煤矿	1991 - 07	59.81	5.823	7.472	4.946	18.241	9.2
横河煤矿	1992 - 11	29.00	1.971	1.453	0.368	3.792	8.0
里彦煤矿	1995 - 10	22.50	2.726	1.435	0.192	4.353	3.7
田庄煤矿	1999 - 03	7.90	1.547	0	0	1.547	1.0
古城煤矿	2001 - 01		0.812	0	0	0.812	0.7
星村煤矿	2006 - 01	32.60	0	0	0	0	0
总计			61.633	35.574	18.920	116.127	

历史长、开发强度大,受采动影响,土地破坏较严重,积水沼泽化是重要的表现。

兖州煤田普遍存在采空塌陷地质灾害,随着煤炭产量的迅猛增加,塌陷面积将逐年递增。根据原煤目标产量规划,兖州矿区 2005 年原煤产量已达峰值,此后 15 a 将基本保持峰值水平^[1],兖州矿区的塌陷率随年份变化差异较大,塌陷率最小为 1977 年的 0.071 hm²/10⁴t,最大为 1982 年的 0.486 hm²/10⁴t。近几年,塌陷率有所下降,2002 年只有 0.143 hm²/10⁴t^[2]。根据济宁市矿产资源总体规划,兖州煤田 2006—2010 年平均原煤产量在 3 000 × 10⁴t/a 左右,按济宁市平均塌陷率 0.27 hm²/10⁴t 计算^[3],兖州煤田塌陷的面积在 800 hm²/a 左右。到 21 世纪中叶,兖州煤田将会形成以鲍店为中心,北起曲阜单家村,东至东滩,南到邹城市的唐村,形成 32 000 hm² 的塌陷区,其中,深度大于 5 m 的将达到 4 300 hm²,塌陷最深处达 9.2 m^[1]。

据统计,仅兖州市境内采煤塌陷损失的农田(绝产)达 231.4 hm² 以上,致使采煤区的不少村庄人均耕地不足 0.03 hm²,甚至有的村庄已无土地可以耕种^[5]。

采空塌陷除引起地面垂向高差变化外,还会导致地面水平移动,水平移动方向多变,速度也不均匀,从而引起地表建筑物的破坏。兖州煤田内因采煤地面塌陷造成的民房损坏、村庄搬迁现象是较普遍的。仅兴隆庄、鲍店、南屯 3 对矿井,因采煤塌陷就已造成 2 个乡镇机关、6 所学校、24 个大小工厂、22 个村庄和 1 个良种试验场被迫搬迁,而且村庄搬

迁越来越难,搬迁征地总费用由 1983 年的 1.11 万元/户上涨至目前的 12.6 万元/户。

采空塌陷使通过矿区的公路变得波状起伏,凹凸不平。尤其是兖—邹公路,虽几经修复,还是高洼不平,一些乡间公路在积水区被截断,非积水区起伏不平,严重影响了车辆的运行。

此外,采空塌陷改变了土壤结构,水肥沿倾斜的地裂缝渗漏流失,形成严重的“跑水、跑肥、跑土”,导致土壤肥力不断下降。在季节性、常年性积水矿区,如兴隆庄、鲍店、杨村、田庄等煤矿塌陷区被水淹没的土壤丧失其耕种功能,因此造成了农作物大幅度减产或绝产。

3.2 地下水污染

采煤区地下水污染主要是矿坑水、选煤废水和煤矸石堆积淋滤对地下水的污染。兖州煤田煤矿废水多数已经过处理,外排水对环境的污染较轻,区内水环境污染主要是煤矸石淋滤对水环境的污染。

煤矸石中含有大量的有机质成分,同时含有金属、碱土金属和硫化物等,是有机物和无机盐类的污染物。煤矸石多露天堆放或填坑筑路,受长期风化和积水的淋溶、浸泡等作用,矸石中的可溶性无机盐及微量元素溶解于水中,对周围地下水产生一定的污染作用。长期堆放特别是充填于塌陷区内的煤矸石,更易于地表水及地下水的充分浸溶,故矸石淋滤液对其周围水环境的长期效应是不容忽视的。

对东滩煤矿塌陷区水并取样测试结果表明,与生活饮用水卫生标准相比,pH 值为 10.5,大大高于了标准所限定的范围,F 元素为 3.18 mg/L,超标 3.18

倍^[8]。由于 SO_4^{2-} 的迁移能力强且稳定,因此在饱气带防护性能差的地段,地下水极易受 SO_4^{2-} 污染,落陵矿生活区地下水中 SO_4^{2-} 含量达到了 402.73 mg/L,兴隆庄煤矿老矸石山北 SO_4^{2-} 达 831.98 mg/L,南屯煤矿 SO_4^{2-} 最高达到了 2 865.02 mg/L^[9]。目前,大部分矿区浅层第四系孔隙水的水化学类型为 HCO_3^- —Ca 型,少数矿区受矸石山淋滤水污染影响,已出现了 HCO_3^- — SO_4^{2-} —Ca 型水,甚至 SO_4^{2-} — HCO_3^- —Ca 型水。

3.3 煤矸石及土壤污染

兖州煤田 16 个煤矿共有矸石山 19 座,煤矸石堆积量约 $1\ 500 \times 10^4$ t,而综合利用量仅 500×10^4 t 左右。煤矸石中含有 As、Cr、Hg、Cd 等 22 种有害微量元素,长期堆放的煤矸石在淋溶—风化—淋溶作用下使部分微量元素析出,旧煤矸石淋滤液中各组分含量普遍高于新矸石淋滤液。各种元素在水流作用下随水迁移,造成土壤中微量有害元素富集。兴隆庄、鲍店、落陵、单家村等靠近煤矸石山及其附近的土壤中全盐量及大部分易溶盐的含量均大于背景土的含量,其中以 SO_4^{2-} 离子尤为突出(表 2),这是受煤矸石淋滤污染的结果。

对东滩煤矿、唐村煤矿煤与矸石中主要有害微量元素测试结果表明,矸石中微量元素含量一般高于煤层,矸石中 As、Hg、Cd、Pb、Cu、Zn 高于地壳丰度值^[6]。对鲍店矿区的土壤研究结果表明,土壤中 4 种重金属元素 Cu、Cd、Pb、Zn 的平均含量都超过了土壤背景值,Cu 的平均含量是其背景值的 1.5 倍;Cd 为 24.2 倍;Pb 为 1.5 倍;Zn 为 1.9 倍^[7]。总体来说,矸石中各元素的含量普遍比周围土壤中要高,由于长期的污染,该区土壤已表现出不同程度的重金属累积现象,但污染程度较轻,污染范围也多集中在矸石山附近。

3.4 闭坑矿山串层污染

兖州煤田除兖矿集团所属的部分煤矿(兴隆庄、

东滩、鲍店、南屯、杨村)处于中壮年期外,其它煤矿均处于老年期、衰亡期,部分煤矿如单家村、落陵、太平和杨庄煤矿即将闭坑^[4],其中唐村煤矿已于 2001 年闭坑转产。煤矿闭坑后,停止疏排矿坑水,导致矿坑水的大量蓄积,水位大幅上升,原有的水动力条件被破坏,当矿坑水位升高到一定程度,高于与之有联系的其它含水层,就会对这些含水层产生反向补给,进而造成这些含水层水质的恶化,给当地居民生活和工农业生产带来不利影响。

目前,唐村煤矿尚未发现串层污染现象,但是由于其西南是邹县电厂双村岩溶水水源地,对唐村煤矿串层污染的危害不能小视。淄博煤田洪山煤矿就是闭坑矿山串层污染的典型例证。洪山煤矿 1994 年闭坑,1997 年矿坑水位高于岩溶水位近 70 m,大量矿坑水反向补给岩溶水,造成供水井串层污染,水化学类型由 HCO_3^- —Ca·Mg 型演变成 SO_4^{2-} · HCO_3^- —Ca·Mg 型,水质急剧恶化,矿区及周围生活饮用水井报废,当地群众吃水困难^[10]。

4 矿山地质环境保护与治理对策

4.1 采空塌陷灾害治理^[10]

矿山生态环境保护与恢复治理是一项复杂的系统工程,应本着在“在保护中开发,在开发中保护”的原则,结合塌陷地类型进行分类治理。

4.1.1 改进采矿方式

将目前的顶板陷落法开采改为自下而上异向开采,即采用自深部向浅部的开采方式,这样可有效地防止煤矿采空区的反复塌陷。另外,还可采用如下采煤方式:a. 井下采煤矸石不出井,用之充填井下采空区。这样既可减轻地面塌陷又可避免排矸对地质环境的影响;b. 同一煤层、多工作面协调开采,以减少地表不均匀下沉,减少倾斜和水平变形对房屋的影响;c. 分煤层交错布置工作面,可减少不均匀下沉和静态变形值,使部分变形得以抵消。

表 2 部分煤矿煤矸石易溶盐分析结果表

mg/kg

Table 2 The result of gangue soluble salt analysis in partial coal mine

矿山名称	K^+	Na^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	pH 值	全盐量/g kg^{-1}
单家村	5.4	55.8	276.5	27.7	2.3	32.4	475.0	427.9	127.3	7.9	1.4
杨庄	7.0	21.6	404.1	70.3	4.0	55.5	965.9	369.9	28.6	7.5	1.9
兴隆庄	171.8	70.4	164.8	29.7	9.0	183.2	359.3	328.8	108.1	7.5	1.4
鲍店	3.0	50.0	196.7	32.9	2.5	10.5	375.0	360.2	20.7	7.7	1.0
落陵	13.2	57.4	380.7	51.0	2.0	31.4	948.0	384.4	0.0	7.8	1.9
唐村	4.6	26.6	85.1	20.6	2.0	8.4	175.0	198.2	26.8	7.4	0.8
东滩	1.8	61.6	103.1	12.9	0.8	27.2	110.0	338.5	27.1	7.7	0.7
南屯	4.0	55.6	122.3	27.1	2.0	26.1	90.0	471.4	8.0	8.0	0.8
背景土	7.3	26.6	122.5	15.5	1.3	1.1	56.3	432.2	5.9	7.5	0.7

4.1.2 煤炭地下气化

煤炭地下气化(UCG)是将处于地下的煤炭进行有控制的燃烧,经热作用及化学反应产生可燃气体,其实质是只提取煤中含能组分,将灰渣等污染物留在井下^[12]。此技术方法的应用可有效减轻煤炭生产对矿区生态环境的压力,改善矿区及周边区域生态环境。徐州新河二号井 UCG 半工业性试验、唐山刘庄煤矿 UCG 工业性试验在这方面作了有益探索,在此基础上进行了山东新汶、肥城、山西昔阳等地的技术推广。山东新汶矿业集团公司鄂庄煤矿于 2002 年投入生产,综合效益良好。

4.1.3 塌陷土地复垦

塌陷地的土地复垦应因地制宜,根据塌陷程度采用“一疏、二平、三改造”的方式复垦^[11]。对塌陷深度较浅的地区,宜采用回填方式予以复垦;地面塌陷深度较深的地区,可改造成水库、鱼塘的方式复垦。兖州矿区的矽石主要成分为 SiO_2 , 约占 59%; 其次为 Al_2O_3 , 约占 18%; 含硫量很少, 只占 0.83%; 放射性及有害痕量元素均不超标, 可用作塌陷地充填复垦材料^[11]。

4.2 煤矽石综合利用

为减少煤矽石堆积对水、土环境的污染,综合利用、变废为宝是唯一出路。可利用煤矽石生产建筑材料;建立矽石再选厂、回收煤炭、拣选高岭石和硫铁矿;充分利用矽石热值,建立矽石发电厂;利用煤矽石铺路、充填塌陷坑、提取化工原料和稀有元素、生产矿物肥料、井下充填等。南屯煤矿是我国煤矽石综合利用的典型,其煤矽石发电厂是我国第一座煤泥、煤矽石综合利用电厂,每年可利用煤矽石 $5.5 \times 10^4 \text{ t}$,在减少煤矽石排放量的同时增加收入 1 200 多万元。

4.3 闭坑矿山污染防治

控制闭坑矿山污染的最直接最有效的方案就是封堵串层污染井、切断污染通道、杜绝污染源。可采用高标号水泥对串层污染井由下向上注浆封堵,切断矿坑水与岩溶水的水力联系,防止矿坑水继续污染岩溶水。对矿坑水可以采用生物法:硫酸盐还原菌去除硫酸盐。直接利用地势较高的矿山立井作投源孔,向矿井内加入相关菌种和底质,在地势较低的立井抽水,利用人工流场控制反应速率。经生物处理后的矿坑水抽出地表后,再采用蓄水沉淀和化学絮凝法进行深度处理,达到利用的目的。

4.4 拉长产业链 建立和实施循环经济发展模式

煤炭资源指向性强,产品附加值低,因而煤矿区

长期存在着利润向外转移的现象。因此要拉长产业链,拓宽产业面,通过调整产业结构,实行多元化战略。要以煤炭为原料,发展煤的衍生产品,重点发展“煤电建材联营”为主体的产业经济,从一次能源向二次能源转化,在转化的过程中提升煤的附加值,走综合开发、深度加工、高效利用、循环发展的道路,形成循环经济产业链,这也是是矿区可持续发展的必然选择。

5 结语

兖州煤田煤炭资源开发在为社会贡献大量煤炭资源的同时,也引发了采空塌陷等环境地质问题,破坏了矿山生态地质环境。对矿山地质环境的治理应遵从“在保护中开发,在开发中保护”的原则,根据不同的环境地质问题采取相应的治理措施,同时应依托煤炭的资源优势,建立和实施具有行业特色的煤炭循环经济模式,促进矿产资源的开发与环境的协调发展。

参考文献

- [1] 陈龙乾,郭达志,许善宽,等. 兖州矿区采煤塌陷地状况与综合治理途径研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 504 - 508.
- [2] 郝莉莉,冯启言,王华,等. 兖州矿区环境地质问题与控制[C]. 矿井地质与资源环境—2004 年全国矿井地质学术会议论文集. 2004: 592 - 597.
- [3] 司双印,张运备,马敬杰,等. 采煤塌陷区生态地质环境恢复治理与可持续发展问题的探讨[J]. 地质灾害与环境, 2004, 15(3): 11 - 16.
- [4] 济宁市人民政府. 山东省济宁市地质灾害防治规划(2004 - 2020 年)[R]. 2004.
- [5] 刘德成,张荣隋,梁栋彬. 山东省兖州市采煤区地面塌陷的原因及其对策[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 67 - 69.
- [6] 冯启言,刘桂建. 兖州煤田矽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.
- [7] 刘红侠,王小英,韩宝平. 兖州矿业集团鲍店矿区土壤重金属污染评价[J]. 能源环境保护, 2004, 18(2): 56 - 58.
- [8] 王晖,郝启勇,尹儿琴. 煤矽石的淋溶、浸泡对水环境的污染研究—以兖济滕矿区塌陷区充填的煤矽石为例[J]. 中国煤田地质, 2006, 18(2): 43 - 45.
- [9] 李家田,梁永臣,李菊凤,等. 山东省济宁市煤田地质灾害勘查报告[R]. 兖州:山东省鲁南地质工程勘察院, 2000.
- [10] 孔庆友,康凤新,李守昌,等. 山东省矿山主要地质灾害及其防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(1): 72 - 76.
- [11] 魏启福,刘亚坪,宗杰. 平原地区采煤塌陷地的复垦模式与技术—以河南省永城市为例[C]. 第六届全国土地复垦学术会议论文集. 2001: 84 - 89.
- [12] 梁杰,余力. “长通道、大断面”煤炭地下气化新工艺[J]. 中国煤炭, 2002, 28(12): 8 - 10.
- [13] 田莉雅,秦胜. 兖州矿区循环经济与可持续发展研究[J]. 能源环境保护, 2006, 20(6): 54 - 56.