6月

2015 年

June 2015

Fan Limin Zhang Xiaotuan Xiang Maoxi et al. Characteristics of ground fissure development in high intensity mining area of shallow seam in Yushenfu coal field [J]. Journal of China Coal Society 2015 AO(6): 1442 – 1447. doi: 10.13225/j. cnki. jccs. 2014. 1707

浅埋煤层高强度开采区地裂缝发育特征

——以陕西榆神府矿区为例

范立民¹² 张晓团¹ 向茂西² 张红强¹ 伸 涛¹ 林平选¹

(1. 陕西省地质调查院 陕西 西安 710065; 2. 陕西省地质环境监测总站 陕西 西安 710054)

摘 要:通过遥感解译结合实地调查,对榆神府矿区采煤损害进行了分析研究,结果表明:自1993 年以来,榆神府矿区塌陷区面积共94.47 km²,地面沉陷区95处,地裂缝1802条(组);地裂缝在地 表的展布具有明显的分带性,黄土沟壑区高强度开采区,地裂缝密集,地表破坏严重;风积沙地区, 高强度采煤地裂缝密集,部分地裂缝自然弥合,地表表象不明显;开采强度对本区地裂缝的发育起 决定性作用。本区地裂缝主要分布在石圪台一大柳塔、大昌汗一老高川、榆家梁、锦界、柠条塔煤矿 北翼以及大砭窑、麻黄梁一带,均为煤炭高强度开采区。 关键词:地裂缝;地质灾害;高强度采煤;采煤沉陷;浅埋煤层;榆神府矿区 中图分类号:TD823.2 文献标志码:A 文章编号:0253-9993(2015)06-1442-06

Characteristics of ground fissure development in high intensity mining area of shallow seam in Yushenfu coal field

FAN Li-min^{1 2} ZHANG Xiao-tuan¹ XIANG Mao-xi² ZHANG Hong-qiang¹ SHEN Tao² JIN Ping-xuan¹

(1. Shaanxi Geological Survey Xi' an 710065 China; 2. Shaanxi Geological Environment Monitoring Station Xi' an 710054 China)

Abstract: The paper analyzed the damage situation caused by coal mining at Yushenfu coal mining area by field survey and remote sensing interpretation. The study results show: 1 802(group) fissures and 95 ground subsidence have been caused by coal mining since 1993 within a total area 94. 47 km²; The distribution of ground fissures on the surface has significant zonation. Ground fissures are intensive and seriously damage the topography at the loess donga region however due to their partial closure the surface appearance is not obvious at the aeolian sand region; Mining intensity plays a decisive role in the development of fissures. Ground fissures mainly occur in the North of Shigetai-Daliuta Dachanghan-Laogaochuan ,Yujialiang Jinjie ,Ningtiaota and the area of Dabianyao-Mhuangliang where underwent high intensive coal mining activities.

Key words: ground fissure; geological hazards; high strength mining; mining subsidence; shallow seam; Yushenfu coal mining area

榆神府矿区高强度开采使地裂缝等地质灾害广 泛发育^[1]不仅造成了地下水流系统的改变和含水 层的疏干,还对植被根系发育、生长产生严重影 响^[2-4],并造成地下水渗漏和水位下降^[5-7],改变地 下水径流条件^[8],减少地表水体面积^[9],严重破坏了 区内地质环境,加大了水土流失。

收稿日期: 2014 - 12 - 09 责任编辑: 韩晋平

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2013CB227901);陕西省科学技术推广计划资助项目(2011TG-01) 作者简介: 范立民(1965—),男山西曲沃人 教授级高级工程师。Tel: 029-87851129 E-mail: 498518851@qq.com

榆神府矿区地裂缝最早被发现干 1993 年^[10] 20 世纪90年代,大量小煤窑的无序开采,产生了较多的 地裂缝和地面沉陷[11] 使采空区与外界空气连通 ,并 触发采空区煤层自燃,不仅会降低煤炭回采率,还威 胁到矿山机电设备和生产人员的安全 同时造成空气 污染。由于榆神府矿区煤层浅埋且厚度大,基岩薄, 采深采厚比小,易形成地裂缝,是研究的热点之一。 王鹏等^[12]以韩家湾煤矿为例,研究了沙漠区大采高 条件下地裂缝破断机理。郭俊廷等^[13] 研究了厚松散 层下采煤产生的地裂缝宽度计算方法 并给出了计算 公式。王新静等^[14]针对沙漠浅埋煤层高强度开采, 设计了煤矿开采动态条件下的地裂缝监测装置 并在 补连塔煤矿进行了验证。胡振琪等[15] 以补连塔煤矿 为例 研究了风积沙地区采煤地裂缝发育规律。武强 和陈奇[16] 探讨了包括煤矿地裂缝在内的矿山地质环 境问题及致灾机理。蒙仲举等^[2]以补连塔煤矿为基 地 研究了采煤沉陷对沙柳根系的影响 认为裂缝宽 度、错位和裂缝与植物的距离是影响根系损伤程度的 主要因素。杜涛等^[3]研究了地裂缝对青杨根际微生 物数量、生长条件的影响。针对我国西部生态脆弱矿 区煤炭开发出现的诸多生态、地质环境问题,谢和 平^[17]、王双明等^[17-18]分别从不同角度提出了旨在减 轻包括地裂缝在内的地质环境破坏的科学开采建议 和技术路径。

上述研究,主要针对地裂缝的形成机理及对植被 发育的影响、地裂缝充填、减轻采动损害的途径展开, 研究范围多以一个煤矿或工作面为限,针对整个榆神 府矿区约8369km²的大区域、高强度开采条件下地 裂缝发育特点与规律的调查研究,鲜有报道。本文通 过遥感解译和实地调查,查明了地裂缝分布与发育特 征,剖析了典型矿井地裂缝形成机理,为区域性地质 环境保护提供了资料。

1 榆神矿区煤炭开采现状

研究区位于陕西榆林市榆阳区、神木县和府谷 县,主要包括神木北部矿区(含神东陕西部分)、新民 矿区、榆神矿区,面积8369 km²,(图1)。区内侏罗 系延安组(J_2y)含煤8层,可采和局部可采3~7层。 其中最上部的1⁻²2⁻²3⁻¹A⁻²煤层埋藏浅,厚度大, 单层厚度2~12 m,平均3~5 m,是目前的主要开采 对象。区内现有生产煤矿254处,2014年原煤产量 3.63亿t。区内现有采空区、塌陷区面积分别为366 km²和94.47 km²,涉及194个煤矿,而且采空区以每 年80~100 km²的速度增加,地表塌陷、地裂缝等地 质灾害不容忽视。



图1 研究区位置示意



2 研究方法

项目工作中使用了多种遥感数据,解译、分析比较认为,使用高分(QuickBird)卫星影像数据可以清晰地识别地裂缝,对获取的影像图,进行辐射校正、几何校正及影像融合及主成分分析,通过建立解译标志(表1)后在电脑屏幕上进行目视解译,配合野外调查,解译成果转绘至1:50000成果图件上。

表1 塌陷及地裂缝解译标志

 Table 1
 The remote sensing symbol for interpretation of subsidence and fissures

灾害类型	直接标志	间接标志
塌陷	SPOT 影像上隐约表现 为亮色晕斑 ,高分辨率 影像上可见平滑ኣ高亮 度的边坡等特征	风沙区为 V 型漏斗坑, 黄土区多为底部平缓 的 U 型坑(或浅碟状) 或 V 型漏斗坑
地裂缝	中间色调明显较两边 发黑,线状文理明显, 锯齿状或环形展布,阴 影造成的或亮(东南侧 陷落)或暗(北西侧陷 落)的线条,宽窄不均 匀,顶端尖灭	地裂缝均发育在矿区 内,矿井井口外围,距 离煤矿(井口)几百米 到几千米,多条成群出 现

3 地裂缝特征及区域分布

榆神府矿区地裂缝大量发育,影像上可见距离煤 矿(井口)几百米到几千米,多条成群(组)出现,直线 状或弧形(或椭圆状)展布,地裂缝规模一般十几米 到上千米,单条裂宽度几厘米到2.21m左右,陷落距 离几厘米到2.89m,同一地区大部分地裂缝展布方 向一致,近似平行状,部分区域展布方向比较杂乱,地 裂缝在黄土峁梁上识别较容易,在风沙区识别较难, 形成时间较近的易于识别,较早的地裂缝识别较难。 野外及高分影像上特征比较明显。

报

3.1 地裂缝的发育规律

(1)在垂向上,高强度采煤区地裂缝,往往形成陡坎,新近形成的地裂缝陡坎呈直角状,较早形成的地裂缝因风化显示圆滑、垮塌等,陡坎下发育有裂缝,地裂缝深度不一,最深可直通采煤工作面,达到10~200 m,但一般肉眼可见深度多在10 m以内,垂向上呈"V"字形,上宽下窄,逐渐尖灭,或被地裂缝两壁塌陷物掩埋而不可见。部分地裂缝周边植被退化,是由于地裂缝周边土壤(沙土)含水量下降造成的。

(2)在平面上,塌陷坑一般出现在首采工作面两端(图2),单条地裂缝在地表表现为宽窄不均匀,顶端 尖灭,宽度0.01~2.21 m,延伸长度1~350 m 不等,裂 缝群则呈现弧形、椭圆状展布(图3(a)(b)),椭圆形 的端头一般形成阶梯状塌陷陡坎,对应于井下采煤工 作面切眼位置,是浅埋煤层开采顶板初次切落造成的, 另一端形成不对称的椭圆状。在工作面终采线外围 30~50 m 处发育明显的台阶状裂缝(图3(c), (d))。单个地裂缝多呈"之"字形、锯齿状、雁列趋势 展布,对路面、房屋、电力设施等产生明显破坏。与冲 沟、地坎有一定的夹角。与沉陷(坑)伴生。地裂缝 发育的耕地大多撂荒,房屋受损。



图 2 地裂缝的形成过程及塌陷与工作面的关系 Fig. 2 Relationship between ground fissure formation collapse



(c) 塌陷边缘现场照片

(d) 塌陷边缘遥感图



Fig. 3 Photos and remote sensing images contrast

3.2 地裂缝的区域分布

榆神府矿区现有 1 802 条(组) 地裂缝,分布极不 均匀 遥感解译出的地裂缝分布除受矿山分布规模、 密度控制外 地貌类型也是其影响因素,沙地、沙盖黄 土地中地裂缝因掩盖而影像可解译程度较低。地裂 缝的分布范围、密度及形态等均有不同。地裂缝发育 与开采强度关系密切^[1],依据单位面积范围内开采 区(采空区)占比,本区可划分为高强度开采区(采区 面积占矿区面积比例 > 0.3)、中强度开采区(0.1 < 采区面积占矿区面积比例 < 0.3) 和低强度开采区 (采区面积占矿区面积比例 < 0.1),根据调查结果, 不同开采强度区地裂缝发育有明显的差异。

3.2.1 高强度(极高强度)开采区

在大柳塔、活鸡兔、大昌汗、庙沟门、老高川、榆家 梁、大砭窑及麻家塔、麻黄梁等高强度开采区地裂缝 发育密集,裂缝宽规模大,数量多,椭圆状展布。以榆 家梁煤矿为例,利用2011年前后的高分影像进行解 译,并结合野外调查,确定榆家梁煤矿开采形成地裂 缝 808 条(组),塌陷区 12 处,面积 37.02 km²,占解 译面积的 35.25%,塌陷区周围地裂缝密集分布,地 裂缝密集分布,地表下沉和水平变形大(图4),任伙 盘一上连庄子—瓦窑沟一带的塌陷区(X₇₂)面积最 大,达 27.67 km²(向南延伸超出了采空区边界)。塌 陷区大多位于黄土梁峁之上,没有穿过较大沟壑。



图 4 榆家梁煤矿地裂缝分布

Fig. 4 Ground fissure distribution of Yujialiang Coal Mine**3. 2. 2** 中强度开采区

在锦界、凉水井、榆阳等煤矿中强度开采区,有地 裂缝发育,但地裂缝发育密度、数量较高强度开采区 明显少,地裂缝的规模也小一些。

3.2.3 低强度开采区

在榆阳区地方煤矿开采区、榆树湾煤矿等虽然属 于高强度开采区 但采用了保水采煤技术 煤层顶板 基岩稳定性较好 ,导水裂隙带未发育到地表 ,地表拉 张裂缝也不发育 ,榆树湾煤矿采用限高保水开采技 术 ,一次只开采 5.5 m ,顶板结构完整 ,萨拉乌苏组含 水层结构未受到破坏 ,只发现了 2 条沉降盆地边缘的 拉张裂缝 ,而且裂缝规模小 ,对地表植被损伤也小。

4 典型地貌区地裂缝发育规律

不同地貌区,地裂缝显现不一样。黄土地貌区地 裂缝显现明显,不易被掩埋,在一些大型煤矿多采用 人工填埋。风沙地貌区,地裂缝不明显,极易被沙蚀 而掩埋,但形成时间短的地裂缝,仍然清晰可见。

4.1 黄土沟壑区地裂缝的分布特征

以大砭窑矿区为例,该矿始建于 1931 年(0.03 Mt/a),1987 年扩建为 0.15 Mt/a,2005 年改造为 0.45 Mt/a,2011 年 再次 技 改 为 1.20 Mt/a。井田面积 25.408 8 km²,东西长 6.4 km,南北宽 4~6 km。开拓 方式采用平硐 - 斜井联合开拓方式,采煤方法为综采。

4.1.1 采空区分布范围

大砭窑煤矿具有较长的开采历史,开采 5⁻²煤 层,煤层埋深 56~166 m,原以房柱式开采。对于顶 板较破碎的煤层,采 3.50 m,预留 6 m 煤柱;对于顶 板较完整的煤层,采 5 m,预留 5 m 煤柱,采空区分布 较小。近年改造为综采,形成了大面积的采空区,采 空区位于井田东北部,面积约 4.43 km²。

4.1.2 地面塌陷或地裂缝的发育特征

本次所调查的地面塌陷,均表现为地面裂缝,无 明显的塌陷坑,主要威胁林地、草地。大砭窑煤矿地 面塌陷范围较大,调查时分为3个区进行调查,每个 区的地裂缝发育特征如下:

(1)杨桃峁变形区。该区煤矿开采时间较早,大约在20世纪50年代开始,开采方式为房柱式开采,最早变形塌陷的时间为2001年,该区变电站旁有1条裂缝,一直延伸到庙圪垯的山顶龙王庙旁,整体呈弧形,走向30°~100°,长度约2km,最宽处约2m,深度约5m,部分区域可见2m×2m的小型塌陷坑。

(2)火烧界变形区。该区开采时间为 2001— 2002 年,开采方式为综采,最早变形塌陷的时间为 2003 年,区内大部分裂缝都已被掩埋,本次调查只见 部分裂缝,走向为 90°。

(3) 四道沟一六道沟变形区。四道沟村附近开 采时间为 2004—2008 年,开采方式为综采,最近发生 塌陷的时间为 2013 年,发育多条裂缝,长500~ 1 000 m,宽0.05~0.20 m,深0.3~2.0 m 不等。六 道沟村附近开采时间为 2009 年,开采方式为综采,最 近发生塌陷的时间为 2013 年。塌陷区域内可见多条 裂缝与下错台坎,裂缝走向 20°~50°,长 300 m,宽 0.2 m 深2 m。在沟壑边可见由塌陷引发的次生滑 坡、崩塌灾害。

4.2 风积沙区地裂缝的分布特征

风沙区地裂缝难以识别,沙漠地貌区地裂缝分布 多,但多数自然弥合或被草本植物覆盖,难以识别,显 现数量少的"假象"(图5),调查中,风积沙区开裂宽 度较小的地裂缝很难发现,开裂宽度大的地裂缝,经 过一次较大降雨后,多数弥合,难以长期保留。

5 地裂缝、地面塌陷的形态

根据地面塌陷的形态特征 将研究区地面塌陷划 分为:裂缝、塌陷坑、塌陷槽、塌陷盆地等4种类型。

(1)地裂缝。地裂缝是采空区地面塌陷的常见 形式。塌陷裂缝一般长几米至几百米,宽几厘米至几 十厘米 根据裂缝两侧的错落特点又可进一步区分为 正台阶状裂缝、负台阶状裂缝及无明显错落裂缝。如



图 5 风沙滩区基本顶初次破断地层变化

Fig. 5 Sketch for main-roof first breaking formation in blown-sand region

石圪台煤矿地面塌陷,为2^{-2上}煤开采所引起,煤层厚 度约5m,埋深约50m,造成公路路面出现多条纵向 裂缝。

(2) 塌陷坑。在开采薄基岩浅埋煤层时,地表有时会出现倒锥形漏斗和椭圆形塌陷坑。倒锥形漏斗一般呈上大下小的圆形或椭圆形塌陷坑,地表直径10余米至几十米,深几十厘米至10余米。如榆神矿地面塌陷,在火烧沟形成塌陷坑,呈椭圆形,坑深约0.6m。

(3) 塌陷槽。在开采薄基岩煤层时,地表有时会 出现塌陷槽型,这种塌陷槽类似于地堑,其两侧为松 散层裂缝,中间下陷,塌陷槽宽1m至几十米,下陷深 度一般在10余厘米至几米。如大砭窑地面塌陷,由 大砭窑煤矿开采形成,塌陷槽宽0.5~40m,整体下 错8~73 cm,呈条带状,长约300m。

(4)塌陷盆地。在开采薄基岩煤层时,地表常出现一种切落式塌陷盆地,其范围一般比工作面大。在地形较平坦地区,盆地中央总体上呈现平底形式,沿工作面周边呈现因塌陷而造成的缓坡形态,塌陷深度一般在1~3 m。如三不拉村白渠组地面塌陷,由大柳塔煤矿采煤形成塌陷盆地,造成约200 m 公路整体下沉。

6 结 论

(1)研究区地面塌陷可划分为地裂缝、塌陷坑、 塌陷槽、塌陷盆地等4种类型。榆神府矿区通过遥感 解译结合实地调查确定的地裂缝有1802条(组),地 裂缝最大宽度2.21 m ,最大落差(陡坎)2.89 m ,地裂 缝长度十几到上千米,深度0.01~200 m ,可见深度 一般10 m 左右。垂向上呈"V"字形,上宽下窄,逐渐 尖灭。横向上呈不规则状、锯齿状、椭圆状等。

(2) 地裂缝主要分布在高强度开采的大柳塔、活 鸡兔、大昌汗、庙沟门、老高川、榆家梁、大砭窑及麻家 塔、麻黄梁等地,尤其以极高强度开采的地处黄土地 貌的榆家梁、大砭窑、麻黄梁煤矿最为密集;神木─榆 林之间 地裂缝主要分布于西沟、锦界、长乐堡等高强 度开采区。

(3)不同地貌区,地裂缝识别难易不同,地裂缝 在黄土地貌区易于识别解译,裂缝宽度达,落差明显, 台阶状地裂缝发育显著,在沙漠地貌去影像特征不 清,实地调查也难易识别,容易被沙蚀掩埋。

参加野外调查的还有宁建民、李成、李永红、何意 平、杜江丽、郑苗苗、彭捷、仵拨云、姚超伟、卞惠瑛、李 文莉、杨渊、程帅、蒋辉等同志 在此一并致谢!

参考文献:

[1] 范立民.榆神府区煤炭开采强度与地质灾害研究[J].中国煤炭 2014 40(5):52-55.

Fan Limin. On coal mining intensity and geo-hazard in Yulin-Shenmu-Fugu mine area [J]. China Coal 2014 40(5):52-55.

- [2] 蒙仲举 任晓萌,陈晓燕,等,采煤塌陷对沙柳根系损伤机理研究[J].北方园艺,2014(1):66-68.
 Meng Zhongju, Ren Xiaomeng, Chen Xiaoyan et al. Study on damage mechanism of roots of salix psammophila by mining subsidense [J].
 Northern Horticulture 2014(1):66-68.
- [3] 杜 涛 毕银丽,张 姣,等. 地表裂缝对青杨根际环境的影响
 [J].科技导报 2013(2):45-49.

Du Tao ,Bi Yinli ,Zhang Jiao ,et al. Effects of cracks on the rhizospheric environment of populus cathayana [J]. Science & Technology Review 2013(2):45-49.

- [4] 王 力,卫三平,王全九. 榆神府煤田开采对地下水和植被的影响[J]. 煤炭学报 2008 33(12):1408-1414.
 Wang Li, Wei Sanping, Wang Quanjiu. Effect of coal exploitation on groundwater and vegetation in the Yushenfu Coal Mine [J]. Journal of China Coal Society 2008 33(12):1408-1414.
- [5] 范立民. 陕北地区采煤造成的地下水渗漏及其防治对策分析
 [J]. 矿业安全与环保 2007 34(5):62-64.
 Fan Limin. Underground water seepage gaused by coal mining and its prevenment and control measures in North Shaanxi region [J]. Min-ing Safety & Environmental Protection 2007 34(5):62-64.
- [6] 范立民.论保水采煤问题[J].煤田地质与勘探 2005 33(5):50 -53.

Fan Limin. Discussing on coal mining under water-containing condition[J]. Coal Geology & Exploration 2005 33(5):50-53.

 [7] 范立民 蔣泽泉. 榆神矿区保水采煤的工程地质背景 [J]. 煤田 地质与勘探 2004 32(5):32-35.
 Fan Limin , Jiang Zequan. Engineering geologic background of coal mining under water-containing condition in Yushen coal mining area

mining under water-containing condition in Yushen coal mining area [J]. Coal Geology & Exploration 2004 32(5):32-35.

[8] 冀瑞君 彭苏萍,范立民,等.神府矿区采煤对地下水循环的影响[J].煤炭学报 2015 40(4):938-943.

Ji Ruijun ,Peng Suping ,Fan Limin ,et al. Effect of coal exploitation on groundwater circulation in the Shenfu mine area: An example from middle and lower reaches of the Kuye river basin [J]. Journal of China Coal Society 2015 40(4):938-943.

- [9] 马雄德 范立民,张晓团,等. 榆神府矿区水体湿地演化驱动力 分析[J]. 煤炭学报 2015 40(5):1126-1133.
 Ma Xiongde Fan Limin Zhang Xiaotuan et al. Driving force analysis for water and wetlands evolution at Yushenfu mining area [J]. Journal of China Coal Society 2015 40(5):1126-1133.
- [10] 范立民.煤矿地裂缝研究[A].环境地质研究(第三辑 [C].北 京:地震出版社,1995:137-142.
- [11] 范立民 杨宏科. 神府矿区地面塌陷现状及成因研究[J]. 陕西 煤炭 2000,19(1):7-9.

Fan Limin ,Yang Hongke. Study on present situation and causes of ground collapse in Shenfu mining area [J]. Shaanxi Coal 2000 ,19 (1):7-9.

[12] 王 鹏 余学义,刘 俊.浅埋煤层大采高开采地表裂缝破坏机 理研究[J].煤炭工程 2014(5):84-86.

Wang Peng ,Yu Xueyi ,Liu Jun. Study on cracking failure mechanism of surface ground above underground high cutting coal mining face in shallow mining depth seam [J]. Coal Engineering ,2014 (5):84 -86.

- [13] 郭俊廷, 邹定辉 杨国柱, 等. 厚松散层条件下地表采动裂缝宽度的计算方法[J]. 煤矿安全 2014 45(5):170-172,176.
 Guo Junting Zou Dinghui, Yang Guozhu, et al. Calculation method of the surface cracks width induced by mining under thick alluvium [J]. Safety in Coal Mines 2014 45(5):170-172,176.
- [14] 王新静 胡振琪 杨耀淇 為 采动动态地裂缝发育特征监测装置的设计与应用[J]. 煤炭工程 2014(3):131-133.

Wang Xinjing ,Hu Zhenqi ,Yang Yaoqi ,et al. Design and application of monitoring device for development characteristic of dynamic ground fissure caused by coal mining [J]. Coal Engineering ,2014 (3):131-133.

- [15] 胡振琪,王新静,贺安民.风积沙区采煤沉陷地裂缝分布特征与发生发育规律[J].煤炭学报 2014 39(1):11-18.
 Hu Zhenqi, Wang Xinjing, He Anmin. Distribution characteristic and development rules of ground fissures due to coal mining in windy and sandy region[J]. Journal of China Coal Society ,2014, 39(1):11-18.
- [16] 武 强 陈 奇. 矿山环境问题诱发的环境效应研究[J]. 水文 地质工程地质 2008 35(5):81-85.

Wu Qiang ,Chen Qi. An analysis of environmental effects induced by environmental problems in mines [J]. Hydrogeology and Engineering Geology 2008 35(5):81-85.

- [17] 谢和平,王金华,申宝宏,等. 煤炭开采新理念——科学开采与 科学产能[J]. 煤炭学报 2012 37(7):1069-1079. Xie Heping, Wang Jinhua, Shen Baohong, et al. New idea of coal mining: Scientific mining and sustainable mining capacity [J]. Journal of China Coal Society 2012 37(7):1069-1079.
- [18] 王双明,黄庆享,范立民等. 生态脆弱矿区含(隔)水层特征及 保水开采分区研究[J]. 煤炭学报 2010 35(1):7-14. Wang Shuangming, Huang Qingxiang, Fan Limin, et al. Study on overburden aquelude and water protection mining regionazation in the ecological fragile mining area [J]. Journal of China Coal Society 2010 35(1):7-14.