

浅埋房采采空区分布勘察及治理技术

林惠立¹, 栾恒杰²

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院, 北京 100013; 2. 山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:中国榆林等地区采用房柱式开采方法后遗留了大量采空区。随着时间推移, 因煤岩体长期风化、蠕变而诱发采空区失稳, 产生大面积塌陷、飓风以及矿震等严重灾害。因此, 查明房采采空区潜在危险源并进行相应治理具有重要意义。研究了浅埋房采采空区工程地质特征, 认为厚表土层薄基岩型房采采空区上覆地层结构分布范围广、危害性大。通过采空区现状调研和 EH4 大地电磁法勘察技术探明了研究区域内采空区的范围和面积、采空区内积水区以及自然发火区等的分布情况。通过对比分析选取注浆隔离技术进行采空区治理并确定了各项技术参数, 预防了采空区灾害的发生。

关键词:房采采空区; 分布勘察; EH4 大地电磁法; 治理技术

中图分类号: TD82

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2016)01-0048-06

Distribution Investigation and Governance Technology for Shallow Buried Room Mining Goaf

LIN Huili¹, LUAN Hengjie²

(1. Mine Safety Technology Branch of China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: A large number of goafs were created after room and pillar mining in regions like Yulin in China. As time went by, the longtime weathering and creep deformation of coal-rock mass would induce goaf instability, causing serious disasters such as large area collapse, hurricanes and mine earthquakes. Therefore, it was of great significance to find out potential hazards of room mining goafs and take corresponding governance. This paper studied the engineering geological characteristics of room mining goafs, holding that there was a wide distribution of overlying strata in the thick overburden and thin bedrock type room mining goafs and the potential hazards were great. By investigating the present situation of goafs and by using the EH4 magnetotelluric method investigation technology, the goaf scope and area in the research area and the distribution of water-logged zones and spontaneous combustion ignition regions in the goaf were found out. Through contrastive analysis, the grouting isolation technology was chosen for the goaf governance and all technical parameters were determined. Thus, the occurrence of goaf disasters was effectively prevented.

Key words: room mining goaf; distribution investigation; EH4 magnetotelluric method; governance technology

中国榆林等地赋存丰富的浅埋煤炭资源, 煤层赋存深度小、地质情况一般较为简单, 在进行现代化大规模开发利用之前主要采用房采等较为落后的采煤方法, 留下大量房采采空区。随着时间的推移, 遗留在井下的部分煤柱自然风化、蠕变、破裂, 往往导致煤柱失稳破坏, 并波及相邻煤柱, 最终使整个采空区系统发生失

收稿日期: 2015-09-18

作者简介: 林惠立(1983—), 男, 山东滨州人, 博士, 助理研究员, 主要从事矿山压力与控制、采空区治理等方面的研究。

E-mail: linhuili3887734@163.com

栾恒杰(1989—), 男, 山东烟台人, 博士研究生, 主要从事采矿工程、岩土工程等方面的研究, 本文通信作者。

E-mail: luanjie0330@126.com

稳灾变,造成采空区大面积塌陷,对井下工作人员及开采设备设施造成威胁,甚至引发矿震灾害。因此,查明可能会被触发的房采采空区潜在危险源并进行相应治理具有重要意义。国内学者对采空区失稳模式和机理进行了大量的研究^[1]。黄英华等^[2]对矿柱和采空区顶板的失稳模式进行了介绍,分析了矿柱和采空区顶板的破坏力学机理;罗一忠^[3]从岩石力学角度对大面积采空区围岩的失稳机理进行了分析;李伟^[4]对覆岩结构失稳引发冲击性灾害机理进行了探讨;蔡美峰等^[5]针对大柳塔煤矿开采过程中出现大范围垮落动力失稳现象,通过现场调查、实验室试验、理论分析相结合进行了系统研究;王家臣等^[6]对房柱式开采采空区及煤柱情况的研究,提出某个煤柱首先破坏后,会产生连锁破坏效应。采空区处理问题一直是国内外采矿行业普遍存在的技术难题^[7],采空区的处理应根据实际地质条件,选择合适的处理方法,同时在保障采空区稳定的情况下,试验新的处理方法,以达到治理采空区的同时确保对环境的保护^[8]。

以榆林某煤矿为工程背景,通过调研、现场勘察、理论分析以及方案对比等方法,对浅埋房采采空区的分布情况进行勘察,并采取相应的治理措施预防采空区灾害发生,取得了良好的效果。

1 浅埋房采采空区工程地质特征

我国赋存有大量埋深在 150 m 以内的浅部煤田,如神府、东胜、灵武、黄陵等,最典型的是神府、东胜煤田。神东矿区开采区域大部分集中于埋深 100~150 m 的浅部,煤层的典型赋存特点是埋深浅、基岩顶板较薄、表土覆盖层较厚。由于此类煤层矿压显现规律具有明显的特点,为了区别于其他煤层,通常将具有浅埋深、基岩薄、上覆厚松散层赋存特征的煤层称为浅埋煤层^[9]。根据榆林地区房式开采煤层覆岩特征参数,可将上覆地层分为厚表土层薄基岩、薄表土层厚基岩、厚表土层厚基岩三类^[10]。

厚表土层薄基岩型上覆地层结构分布范围广、危害性最大。如图 1 所示,从上覆地层组成来看,该类地层基岩层较薄,一般小于 20 m;冲积层较厚,一般在 40 m 以上,基载比小。由于冲积层厚度大、对基岩层施加了较大的荷载,使得基岩层的垮落步距较小,顶板极限悬顶面积也较小。此时,一旦房采采空区内部分煤柱失稳,失去对顶板的支撑能力,失稳面积达到一定值时会造成基岩层顶板失稳,将导致其自身及其上覆表土层全部垮落,直到地表,其来压强度大,冲击危险性高。

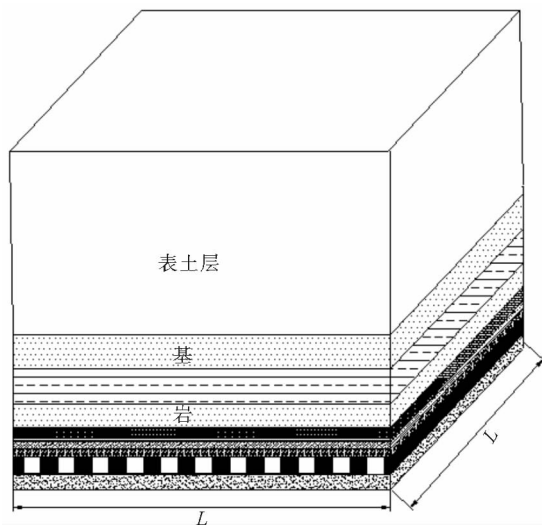


图 1 厚表土层薄基岩型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of thick overburden and thin bedrock type

2 浅埋房采采空区分布勘察

2.1 采空区分布概况

榆林市经几十年的开采已经形成了分布广泛、大小不一和难以计数的采空区。早期小窑、小煤矿星罗棋布,矿井开挖无设计、无图纸、无记录,大部分煤矿遗留下来的采空区范围和状态没有完整、详细的记录和数。有些采空区已部分塌陷,有些还没有塌陷,有些采空区存在着大量积水,有些采空区还发生自燃,已经形成的塌陷和随时可能塌陷的采空区也已经或必将引起该地区严重的地质环境问题。

为划定合理的勘察区域,首先对选取的研究区域进行了调查,根据收集到的资料,研究区域开采单一煤层 5-2 煤,煤层厚度 3.83~4.50 m,平均厚度为 4.15 m,埋深 15~130 m。目前 5-2 煤大部已开采完,采 5 m 留 8 m。

2.2 EH4 大地电磁法勘察

在对采空区分布初步调查的基础上,采用 EH4 大地电磁法对研究区采空区内情况进行勘察,并采用专用数据处理系统 IMAGEM 二维反演软件进行资料处理,勘察中共布置 47 条测线。在资料精细处理的基础

上,对电阻率剖面进行地质解释,并参考已往地质资料及煤矿开采情况,根据地层、采空区的电性特征,形成了各测线的反演电阻率色谱断面图,部分图如图 2 和图 3 所示。依据不同地质异常的电阻率特征,对每一剖面进行地质解释,圈定了 5-2 煤采空区范围。

图 2 显示,5-2 煤及直接顶底板岩层段电阻率 $65 \sim 100 \Omega \cdot m$,沿煤层层位及上覆岩层形成了一定范围的高电阻率异常带,具有采空区电性异常特征或煤层自燃形成的火烧区的电性异常特征;120~240 m 桩号段,5-2 煤及直接顶底板岩层段电阻率 $55 \sim 65 \Omega \cdot m$,沿煤层层位为相对较高的电阻率异常带,具有采空区电性异常特征或煤层自燃形成的火烧区的电性异常特征,异常幅度明显弱于 0~120 m 桩号段,综合参考矿方提供的已知地质资料,推断 0~120 m 桩号段为房式开采形成的采空区,120~240 m 桩号段为煤层自燃形成的火烧区,该测线异常为可靠异常。

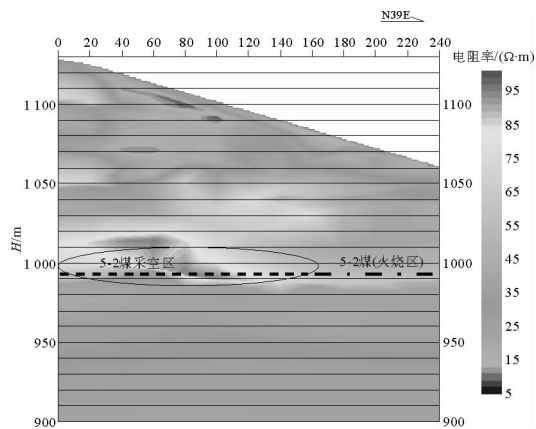


图 2 测线 L11 反演电阻率断面图

Fig. 2 Cross-section diagram of line L11 inversion resistivity

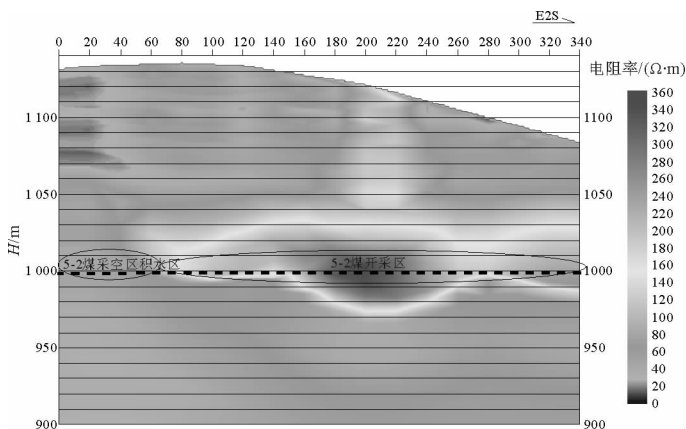


图 3 测线 L13 反演电阻率断面图

Fig. 3 Cross-section diagram of line L13 inversion resistivity

由图 3 可见,5-2 煤及直接顶底板岩层段电阻率小于 $30 \Omega \cdot m$,沿煤层层位出现一条带状低电阻率异常带,具有采空区积水的电性异常特征,推断测线 0~40 m 桩号段 5-2 煤为采空区积水区,为可靠异常;40~340 m 桩号段,5-2 煤及直接顶底板岩层段电阻率大于 $100 \Omega \cdot m$,其中 160~220 m 桩号段电阻率超过 $300 \Omega \cdot m$,沿煤层层位出现一条带状高电阻率异常带,具有采空区弱积水的电性异常特征,推断测线 40~340 m 桩号段 5-2 煤已开采,存在顶板垮落现象,为可靠异常。

根据测线 L1~测线 L47 二维反演电阻率断面所呈现的地质电性异常特征解释,查清了 5-2 煤和采空区分布范围和积水情况:

1)在本次划定的物探区内,查出 5-2 煤采空区 4 个,总面积 $903\ 200 \text{ m}^2$,如图 4 所示,其中 1# 采空区面积 $16\ 600 \text{ m}^2$,2# 采空区面积 $160\ 700 \text{ m}^2$,3# 采空区面积 $285\ 700 \text{ m}^2$,4# 采空区面积 $439\ 300 \text{ m}^2$ 。

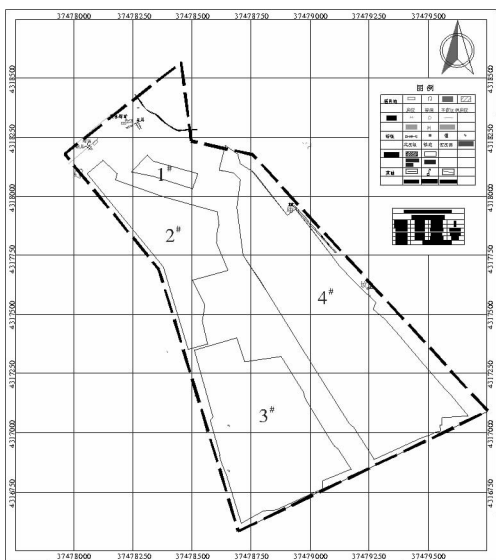


图 4 研究区域采空区分布图

Fig. 4 Goaf distribution diagram in the research area

2)5-2 煤采空区大部分区域为高电阻性异常特征

(积水程度弱),各测线所显示的采空区异常具有较高的可靠度。根据各测线采空区异常分布特点,5-2 煤开采规律性差,有的区段开采面积大,煤层顶板垮落范围较大,有的区段顶板垮落范围较小,有的区段顶板基本未垮落。

3)3[#]采空区内存在积水区,面积 35 280 m²,火烧区分布于物探区东北部,面积 204 643 m²。

3 浅埋大面积房采空区治理技术

3.1 采空区治理方案的选取

目前,采空区隐患综合治理主要有采空区地面注浆治理技术、采空区残留煤柱充填回收技术、采空区露天剥离治理技术和未塌采空区顶板崩落治理技术等,每种方法都有其适用条件。对于不存在近距离下层煤开采的房采采空区,注浆隔离治理法费用低,技术优点突出,因此优先选用;对于存在近距离下层煤开采且地表无建(构)筑物的房采采空区,在满足条件的前提下,可以考虑采用顶板崩落隔离法治理。对于地表不存在重要建(构)筑物的采空区治理的目标在于防止采空区大面积突然垮落形成矿震灾害,不需要对采空区全空间注浆或崩落。

由于研究区域房式开采时间较长且产权更迭等原因,除主要巷道及准备巷道位置清楚外,采空区已封闭。此外,根据勘探成果,采空区内煤柱及顶板已局部垮落、存在积水、煤柱自燃等情况,残留煤柱回收安全性差且成本过高,由此看来,该矿采空区不具备残留煤柱回收的条件。根据矿方提供资料,研究区域 5-2 煤采空区平均埋深 100 m,区内沟壑遍布且上部无其他可采煤层,因此不适宜进行露天剥离治理。根据上述情况,研究区域内 2[#]~4[#]采空区面积较大(远超过 20 000 m²),且部分区段顶板已垮落,而且存在积水、煤柱自燃等情况,为避免采空区突然塌陷可能会诱发地震等地质灾害,经综合考虑决定对位于研究区域 2[#]~4[#]采空区进行注浆隔离治理。

3.2 采空区注浆隔离治理工程

1)浆液配比

注浆隔离采用水泥风积沙浆液进行充填,浆液配比(质量比)按水:水泥:粉煤灰:风积沙=1:0.2:0.2:0.9,加入浆液体积 3%~5%的水玻璃,注浆治理以静注为主,当注浆压力孔口管压力达到 1.5 MPa,泵量小于 100 L/min,稳定 15 min 时,可结束该注浆段的注浆施工。注浆工程中可以根据各注浆孔实际情况进行适当调节。

2)治理范围

对研究区域房采采空区进行注浆隔离治理,注浆隔离治理范围如图 5 所示。

3)钻孔布置参数

以 2 万 m² 为一个隔离单位进行注浆隔离,以避免产生大面积垮塌,注浆钻孔间距为 40 m,双排孔布置,排距为 20 m,钻孔注浆有效半径为 20 m,注浆后能形成 50 m 宽注浆作用墙体,以注浆墙外围线为基准圈定隔离采空区面积在 2 万 m² 以内即可,隔离区可以按照 100 m×200 m 设置,也可按照 140 m×140 m 设置,具体布置可根据各矿采空区分布形态调整,以达到实施最低工程量获得最佳治理效果为原则,局部钻孔布置如图 6 所示。

3.3 治理效果

注浆治理工程完成后,可通过检测孔钻探取芯,根据取芯结石体采取率和岩芯的破坏程度,可判断浆液对采空区充填和胶结后的充填效果;对取芯结石体进行室内抗压强度试验,可检测其强度是否满足设计要求;采用钻孔电视可观测钻孔内结石体情况。

在查清煤矿采空区分布范围、采空区上方地表建(构)筑物分布情况以及采空区内水、火、煤柱、顶板等情况的基础上,综合考虑对研究区域房采采空区的力学及数值计算以及安全评价的结果,采取相应的注浆隔离治理技术,预防和控制采空区灾害发生,取得了良好的效果。

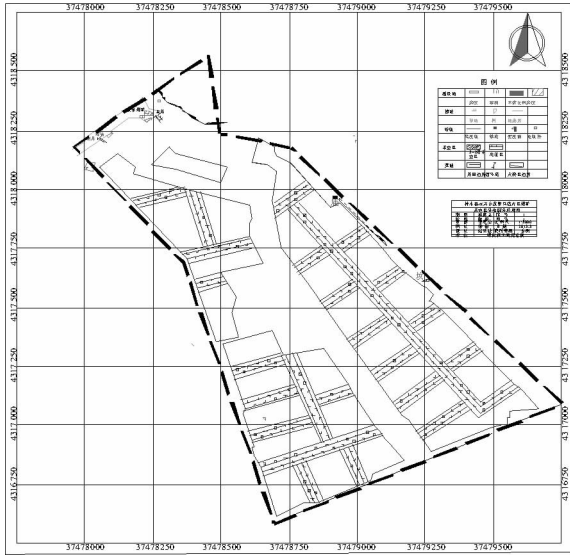


图 5 采空区综合治理范围及钻孔布置图

Fig. 5 Goaf comprehensive governance range and drilling arrangement diagram

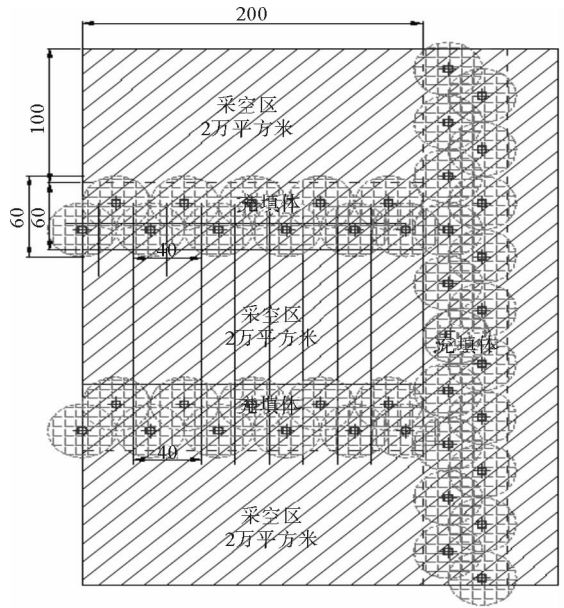


图 6 采空区注浆隔离法局部钻孔示意图

Fig. 6 Isolation goaf grouting method local borehole diagram

4 结论

1) 研究了浅埋房采采空区工程地质特征, 将榆林地区房采采空区上覆地层结构分为厚表土层薄基岩型、薄表土层厚基岩型、厚表土层厚基岩型三种类型, 认为厚表土层薄基岩型房采采空区上覆地层结构分布范围广、危害性大。

2) 采用 EH4 大地电磁法, 探明在划定的物探区内具有 5-2 煤采空区 4 个, 总面积达 903 200 m²。采空区内有积水区、发火区以及顶板垮落区等的分布。

3) 在上述研究成果的基础上, 通过方案比较确定了对 2[#] ~ 4[#] 采空区进行注浆隔离的治理方案。采取注浆隔离治理预防了采空区灾害发生, 取得了良好效果。

参考文献:

[1] 汪伟, 罗周全, 王益伟, 等. 金属矿山采空区危险性辨识的遗传 BP 模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(2): 39-45.
WANG Wei, LUO Zhouquan, WANG Yiwei, et al. Study on genetic BP model for identifying metal mine goaf danger[J]. China Safety Science Journal, 2013, 23(2): 39-45.

[2] 徐必根, 黄英华, 刘小林, 等. 护顶层对石膏矿采空区稳定性影响研究[J]. 矿业研究与开发, 2007, 27(5): 20-22.
XU Bigen, HUANG Yinghua, LIU Xiaolin, et al. Influence of top-safeguarding layer on stability of mined-out area in gypsum mines[J]. Mining Research and Development, 2007, 27(5): 20-22.

[3] 罗一忠. 大面积采空区失稳的重大危险源辨识[D]. 长沙: 中南大学, 2005: 44-47.

[4] 李伟. 采空区覆岩失稳引发冲击性灾害机理[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2010, 29(1): 1-4.
LI Wei. Mechanism analysis on shock disaster caused by overburden strata instability in gob[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2010, 29(1): 1-4.

[5] 蔡美峰, 李玉民, 来兴平, 等. 大柳塔煤矿采空区动力失稳机理[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2009, 28(1): 1-4.
CAI Meifeng, LI Yumin, LAI Xingping, et al. Mechanism of dynamic destabilization of mined-out area during mining in Da-liuta Coal Mine[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2009, 28(1): 1-4.

- [6]孟达,王家臣,王进学.房柱式开采上覆岩层破坏与垮落机理[J].煤炭学报,2007,32(6):577-580.
MENG Da,WANG Jiachen,WANG Jinxue. Mechanism on the failure and caving of roof strata in pillar and house mining [J]. Journal of China Coal Society,2007,32(6):577-580.
- [7]石永奎,郝建,尚亚平,等.曹庄煤矿自流式似膏体充填工艺研究[J].煤炭工程,2012(4):51-54.
SHI Yonggui,HAO Jian,SHANG Yaping,et al. Gravity flow type paste-like backfill technology research in Caozhuang mine [J]. Coal Engineering,2012(4):51-54.
- [8]郝建,石永奎,隗峰,等.条带充填置换条带煤柱技术研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2013,28(2):16-19.
HAO Jian,SHI Yongkui,WEI Feng,et al. Study on technology of on replacing strip coal pillars by strip-filling mining[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition),2013,28(2):16-19.
- [9]钱鸣高,石平五,许家林.矿山压力与岩层控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010:282.
- [10]伊茂森.神东矿区浅埋煤层关键层理论及其应用研究[D].徐州:中国矿业大学,2008:12-20.

(责任编辑:吕海亮)

(上接第 47 页)

- [7]文虎,赵庆贤,马砺,等.运河矿 1303 综放面煤层自燃灭火启封技术[J].煤炭科学技术,2004,32(4):37-39.
WEN Hu,ZHAO Qingxian,MA Li,et. al. Yunhe mine 1303 fully mechanized caving on the face of coal seam spontaneous combustion fire unsealed technology[J]. Coal Science and Technology,2004,32(4):15.
- [8]段春生,雷炎云,李世雄,等.不同风量下采空区自燃三带判定及防灭火技术[J].煤炭科学技术,2015,43(1):62-65.
DUAN Chunsheng,LEI Yanyun,LI Shixiong,et al. The three zones determination of goaf spontaneous combustion under different air volume and preventing and extinguishing fire technology[J]. Coal Science and Technology,2015,43(1):62-65.
- [9]刘松,蒋曙光,王东江,等.采空区自燃“三带”变化规律研究[J].煤炭科学技术,2011,40(4):12-15.
LIU Song,JIANG Shuguang,WANG Dongjiang,et al. Study on the change law of “three zones” in the goaf spontaneous combustion “zones”[J]. Coal Science and Technology,2011,40(4):12-15.
- [10]刘景书.易自燃厚煤层综放工作面采空区自燃灭火技术[J].煤炭技术,2009,28(1):18-21.
LIU Jingshu. Spontaneous combustion technology of coal spontaneous combustion zone in the fully mechanized caving face of thick coal seam[J]. Coal Technology,2009,28(1):18-21.

(责任编辑:吕海亮)