

浅埋综放开采地表漏风对遗煤自燃的影响及治理

赵启峰^{1,2}, 何洪瑞³, 张建伟⁴, 张景钢², 王玉怀²

(1. 中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室 江苏 徐州 221008; 2. 华北科技学院 安全工程学院 河北 三河 065201;
3. 安徽省安全生产应急救援指挥中心 安徽 合肥 230002; 4. 中煤平朔集团有限公司 山西 朔州 036000)

摘要: 针对平朔矿区浅埋综放开采地表裂缝漏风问题, 分析了地表漏风原因及其对采空区遗煤自燃的危害, 采用“地表气压与井下采空区气压差、工作面进风巷与回风巷风量差、示踪气体地面瞬时释放法”确定地表漏风各参数: 9203 工作面回风巷风量比进风巷风量大, 差值为 $81 \text{ m}^3/\text{min}$, 地面空气经地表裂隙流入采空区, 最低漏风风速为 0.097 m/s 。根据漏风测试结果, 提出了“地面封堵裂缝防漏风+采空区注氮防火+回采工艺及组织管理改革”的综合防范与治理措施。现场实践表明, 上述措施有效控制了浅埋综放开采地表漏风和采空区遗煤自燃, 保证了工作面安全回采。

关键词: 地表裂缝; 地表漏风; 采空区遗煤自燃; 示踪气体; 通道封堵

中图分类号: TD752.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2016)03-0065-05

Surface air leakage of fully-mechanized top coal caving mining in shallow depth seam affected to abandoned coal spontaneous combustion and control

Zhao Qifeng^{1,2}, He Hongrui³, Zhang Jianwei⁴, Zhang Jinggang², Wang Yuhuai²

(1. National Key Lab of Coal Resources and Safety Mining, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;
2. School of Safety Engineering, North China Institute of Science and Technology, Sanhe 065201, China;
3. Anhui Provincial Work Place Emergency Management Center, Hefei 230002, China;
4. China Coal Pingshuo Group Company Limited, Shuozhou 036000, China)

Abstract: According to the surface air leakage problems of the fully-mechanized top coal caving mining in the shallow depth seam in Pingshuo Mining Area, the paper analyzed the ground surface air leakage causes and the damage to the abandoned coal spontaneous combustion in the goaf. Each parameter of the ground surface air leakage was determined with “difference between the ground surface atmospheric pressure and the goaf atmospheric pressure in underground mine, the air flow difference between the air income gateway and air retuning gateway in the coal mining face, tracer gas instantaneously released at the ground surface method”. The air flow of the air retuning gateway in No. 9203 coal mining face was higher than the air flow of the air income gateway and the differential was $81 \text{ m}^3/\text{min}$. The air from the ground surface flowed into the goaf through the ground surface cracks and the min air velocity of the air leakage was 0.097 m/s . according to the test results of the air leakage, comprehensive prevention and control measures with “the air leakage prevention with the ground surface crack sealing + the fire prevention and control with nitrogen injection in goaf + reform of mining technology and organization management” were provided. The site practices showed that the above measures could effectively control the ground surface air leakage of the fully mechanized top coal caving mining in the shallow depth seam and the abandoned coal spontaneous combustion in the goaf and could ensure the safety mining of the coal mining face.

Key words: ground surface cracks; surface air leakage; abandoned coal spontaneous combustion in goaf; tracer gas; air passage sealing

收稿日期: 2015-10-28; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.03.013

基金项目: 中央高校基本科研业务费资助项目(3142013035); 河北省矿井灾害防治重点实验室资助项目(KJZH2013S03)

作者简介: 赵启峰(1982—), 男, 山东枣庄人, 博士研究生, 讲师。Tel: 15132665168, E-mail: mineqfz@sina.com

引用格式: 赵启峰, 何洪瑞, 张建伟, 等. 浅埋综放开采地表漏风对遗煤自燃的影响及治理[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(3): 65-69.

Zhao Qifeng, He Hongrui, Zhang Jianwei, et al. Surface air leakage of fully-mechanized top coal caving mining in shallow depth seam affected to abandoned coal spontaneous combustion and control[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(3): 65-69.

0 引言

在采动影响下,浅埋厚煤层综放工作面上覆岩层运移变形破坏容易形成与地表贯通的裂缝,这些裂缝将地表与井下采空区和工作面导通,从而产生地表与采空区之间的漏风。尤其是浅埋易燃煤层综放开采,因埋深浅、开采强度大、综放采空区遗煤多、漏风规律紊乱、漏风供氧充分等原因,更易引起地表裂隙贯通漏风、采空区氧浓度增大、热量积聚和遗煤自燃,对煤矿安全回采造成威胁^[1]。国内外专家学者及技术人员针对地表漏风规律及其对采空区遗煤自燃的影响进行了大量研究和实践,胡振琪等^[2]通过井上下结合空间坐标控制体系和自主研发的动态地裂缝监测方法,对补连塔综采工作面地表裂缝进行持续动态监测,提出了边缘裂缝的分布规律和动态裂缝的发生发育规律及其与地质采矿条件之间的关系;胡青峰等^[3]研究了厚煤层开采地表裂缝的发育规律,结合工作面上方观测线的实测资料揭示了地表裂缝发育过程机理,并分析了地表裂缝危害性;康建荣^[4]分析了地表产生采动裂缝的4个阶段及其形成过程机制,揭示了采动裂缝对山区地表移动变形的影响;张辛亥等^[5]研究了补连塔煤矿采空区内浮煤自燃特点,封闭工作面并采取从地面向采空区灌注液态氮气和液态二氧化碳的措施进行治理。地表漏风给矿井通风管理和采空区遗煤防灭火增加了难度,因此,研究地面漏风原因及其对采空区遗煤自燃的危害,准确测试地表漏风参数,继而采取有效技术措施,消除地表漏风及采空区遗煤自燃危险性,是浅埋易燃厚煤层综放安全回采的技术关键。笔者结合平朔矿区浅埋综放开采地表裂缝漏风的问题,研究地表漏风与浅埋煤层采空区遗煤自燃关系,采用可靠方法监测地表漏风方向及风速,继而提出了针对性的综合防范与治理措施,为浅埋易燃厚煤层综放安全高效回采提供保障。

1 矿井概况

中煤平朔集团某矿位于朔州平朔矿区,井田内山丘连绵,沟壑纵横,植被稀少,属于典型的梁、垣、峁黄土地貌。9203综放工作面位于该矿东二带区,走向长1549 m,倾斜宽240.5 m,北部为9205工作面,南部为采空区,西部为井田边界,东部为辅助运输大巷,如图1所示。该工作面所采9号煤,煤厚10.4~15.2 m,平均厚度12.8 m(综放顶煤,机采

高度3.2 m,放煤高度9.6 m,选用ZF10000/23/37型支撑掩护式低位放顶煤液压支架),煤层平均倾角3°,平均埋深198 m。煤层结构复杂,含2~5层夹矸(以黑色泥岩为主)。根据工作面主运巷、辅运巷掘进揭露情况,该工作面地质结构复杂,断层发育,落差大于5.0 m以上的断层有13条,其中存在横穿整个工作面大断层。煤尘有爆炸危险性,属自燃煤层,自然发火期最短3~6个月。矿井采用负压抽出式通风,9203工作面辅运巷进风、主运巷回风。9203综放工作面于2014年11月初已回采110 m,在采动影响下,上覆岩层形成的采动裂隙(冒落带与裂隙带)有可能与地表裂缝贯通,加之工作面对应地表沟壑纵横,侵蚀切割作用强烈,地面肉眼可见裂缝逐渐增多,最大裂缝深度已达2.5 m,最大宽度0.45 m。该地区气候相对干燥,降水量少,开采形成的地表裂隙自动闭合性较差,一旦裂隙贯通,成为地表与井下采空区之间漏风的良好通道,从而加剧采空区遗煤自燃危险性^[4]。

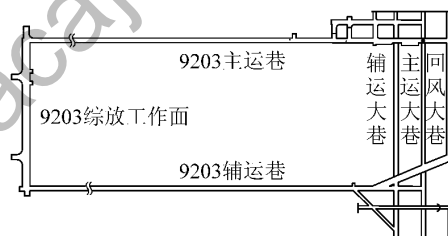


图1 9203综放工作面巷道布置

Fig. 1 Layout of roadways in No. 9203 working face

2 地面漏风原因及其对采空区遗煤自燃的危害

2.1 煤层赋存特性

1) 煤层埋藏浅。浅埋煤层开采上覆岩层运移破坏产生的“两带”容易与地表裂缝贯通,采空区遗煤长时间处于漏风供氧蓄热环境,对采空区防灭火极为不利^[5]。

2) 构造、断层及顶板覆岩岩性^[6]。9203综放工作面位于向斜核部,断层裂隙发育。顶板岩性以粗、中砂岩为主,间夹泥岩和砂质泥岩,胶结程度低,近地表风化裂隙发育,易引起覆岩运移及构造带产生裂隙并波及地表,漏风加剧采空区遗煤自燃的风险。

3) 煤层夹矸多,个别地段只采不放,采空区遗煤多。工作面从开切眼回采后,夹矸逐渐增多,放煤效果变差,见矸即关闭放煤口,大量顶煤遗留在采空

区内^[7]。

2.2 综放开采工艺及覆岩破断规律

1) 综放开采工艺。9号煤的采高大(厚度 12.8 m)、埋藏浅(埋深 198 m),工作面较长(240.5 m),造成采空区空间过大。另外,工作面上下两端头4~6架顶煤不放,距开切眼 20 m、距终采线 17 m 也只采不放,进一步增加了采空区遗煤量。

2) 覆岩破断规律(矿压作用影响)。已有研究结果表明^[8],浅埋综放开采地表裂缝一般出现在采空区周边(两巷、开切眼、工作面附近)的上部地表,而采空区周边恰好是遗煤较多且破碎区域,地表裂缝一旦与采空区贯通,充足的氧气进入采空区,为遗煤自燃提供条件。

2.3 地面氧气、水、气压差

1) 地面氧气对采空区遗煤的影响。地面氧气通过裂缝进入采空区后,为浮煤的自燃提供了良好的自燃条件,增加了采空区防灭火难度。

2) 水对采空区遗煤的影响。尽管 9203 工作面顶板含水层不发育,但夏季降雨增多,地表水、松散层水和基岩含水层中的水通过裂缝通道渗入采空区,采空区遗煤被水浸泡,表面积增大,遗煤释放热能,积聚能量,加大自燃危险性。

3) 气压差对采空区遗煤自燃的影响。冬季寒冷,大气密度大,若地表至井下采空区存在漏风,气压差将比其他季节增大,对采空区遗煤自燃有重大影响。

3 地表漏风参数测定

为了检测 9203 工作面地表至井下采空区的漏风方向、漏风通道以及漏风量、风速等参数,课题组采用“气压差、风量差、示踪气体瞬时释放法”综合研究方法测定地表漏风各参数(漏风方向、漏风量、风速)。

1) 地表气压与井下采空区气压差。该矿井采用负压抽出式通风,地面处于相对正压状态,因此漏风是由地表向井下漏风^[8]。另外,漏风通道中空气柱也产生一定压力,使得地表与采空区气压差进一步增大。因此,9203 综放工作面漏风是从地表裂缝进入井下采空区。

2) 进风巷与回风巷风量差。在 9203 进风巷、回风巷内选择合适断面,进行多次风量测试,比较进风与回风风量差值。由实测数据(表 1)可知,9203 工作面进风巷风量与回风巷风量差值为 $81 \text{ m}^3/\text{min}$ 。进风侧温度 19.5°C ,回风侧温度 21.7°C 。结果表

明:9203 工作面回风巷风量比进风巷风量大。产生风量差值的原因:①地表漏风,导致地表空气沿着已贯通裂缝渗透至井下工作面,引起工作面回风量大于进风量;②工作面回风侧温度高于进风侧,导致气体体积增加,但此部分增量较小^[9]。由此验证地面空气通过地表裂隙流入井下采空区。

表 1 9203 工作面进风与回风风量监测

Table 1 Intake and return air volume monitoring of No.9203 working face

测风点	巷道断面面积/ m^2	风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$	温度/ $^\circ\text{C}$
9203 辅运巷(进风)	17.5	1.44	1 517	19.5
9203 主运巷(回风)	16.9	1.58	1 598	21.7

3) 示踪气体地面瞬时释放法(瞬时释放 SF_6 方法)。瞬时释放法是在可能存在的漏风通路的主要进风口(漏风源),一次瞬时释放一定量的 SF_6 气体(2 袋采样气球),同时,在预先估计的漏风通路出口(漏风汇)采集气样,通过分析所采集气样中 SF_6 信号、检测时间、漏风距离等,确定存在的漏风通道和通道漏风风速^[10-13]。本次 9203 工作面地表漏风检测具体过程如下:① SF_6 地面释放点位置(漏风源):与 9203 综放工作面连通较好的“主运巷、辅运巷”对应地表漏风量相对较大处、周期来压顶板破断、地表裂隙相对较深处,以确保 SF_6 气体最大可能地渗入井下采空区。② SF_6 井下接收点位置(漏风汇):井下工作面最大负压点的回风隅角处,即 9203 工作面主运巷与工作面交叉处。使用 5750A 便携式气体检测仪检测 SF_6 (检测精度达 8×10^{-12})。结果表明:最短运移时间为 34 min(地面开始释放至井下最早检测出气样的采集时差),漏风通道最短距离为 198 m(地表裂缝至 9203 工作面回风隅角之间的垂距)。计算得出最低漏风风速为 0.097 m/s 。

4 地表漏风防治措施

9203 工作面地面漏风风速较大、综放采空区遗煤较多,容易引起采空区热量积聚和遗煤自燃,因此有必要采取地表堵漏和采空区防灭火措施。根据漏风测试结果,结合工作面开采条件,采取了“地面封堵裂缝防漏风+采空区注氮防自燃+回采工艺及组织管理改革”的综合防范与治理措施。

4.1 防止地表漏风的措施

防止地表漏风的措施有^[14-15]:①裂缝底部充

填: 由于地面裂缝形态各异, 深浅不一, 平面分布形态无规律可循。现场使用挖掘机沿着裂隙走向挖槽, 槽深 1.5~2.0 m, 槽宽为裂缝宽 5~6 倍, 将黄土、沙、石灰等充填材料加水搅拌成泥浆, 使用喷浆机喷射充填至裂缝底部, 如图 2 所示。②表层覆土: 就近取材, 将附近浅层黄土或露天矿剥离地表土运至 9203 工作面对应地表, 分层填土掩埋裂缝。每填入 0.5 m 厚的黄土夯实 1 次(保证土壤紧实度, 提高保水性能), 在表层覆土之上也可进行植被建设, 将治理地表漏风与生态修复相结合。

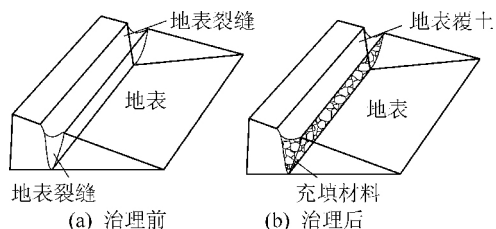


图 2 地表裂缝底部充填及地表覆土防漏风示意

Fig. 2 Cracks bottom filling and surface covered with loess to prevent air leakage

4.2 采空区注氮防遗煤自燃(随采随注氮)

根据 9203 工作面开采条件, 采用采空区埋管注氮, 如图 3 所示。从大巷注氮主管路引出一趟注氮分管路, 沿着辅运巷(进风巷)铺设至辅运巷超前支架处, 然后在管路末端使用软管($\phi 51 \text{ mm} \times 10\,000 \text{ mm}$)将其与超前支架上的“拖管”连接, 超前支架上固定钢管并将其延伸至采空区 30 m 处, 该拖管随超前支架向前移动而同步移动。氮气释放口选择在采空区内距工作面煤壁 30 m 位置^[12-13]。注氮方式及注氮量: 采用间歇注氮方式; 为使氮气充满整个需要惰化处理的区域, 首次注氮量为 $27\,082 \text{ m}^3$, 日注氮量为 $18\,292 \text{ m}^3$ 。

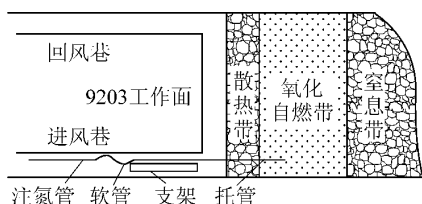


图 3 采空区注氮防遗煤自燃示意

Fig. 3 Nitrogen injection in goaf to prevent abandoned coal spontaneous combustion

4.3 综放回采工艺及组织管理方面采取的措施

1) 加强放顶煤管理工作。坚持一采一放, 放净顶煤, 提高 9203 顶煤回收率, 减少采空区遗煤。加快工作面推进度, 缩短采空区煤的氧化时间, 防止浮

煤自燃。

2) 加强工作面通风管理, 及时调整风量压差。9203 工作面进风量由作业规程中设计的 $1\,810 \text{ m}^3/\text{min}$ 下调至 $1\,523 \text{ m}^3/\text{min}$, 在确保安全前提下, 尽量减少工作面配风量, 缩短氧化带宽度; 工作面回风侧安装调压风门, 增加回风侧阻力, 使风压分配更加合理, 减少地表和采空区压差; 在辅运巷隅角处挂设挡风帐, 减少向采空区漏风, 主运巷端头支架处挂导风帐, 将回风有害气体排出。

3) 加强监测、预测预报工作。火检员每天观察并汇报 9203 工作面 and 巷道煤层有无自燃征兆, 每周对回风隅角回风气体(CH_4 、 CO 、 CO_2 及其他烷烃气体)检测分析。

4) 加强巷道内油漆、油脂、木屑、棉纱布头等易燃物质的清理与回收工作。该类物品用后有剩余的, 要及时带上井处理或在井下指定区域妥善保管。

5) 停采后, 及时回撤。工作面回采至终采线后, 要求 35 d 内将设备回撤完毕, 及时封闭并向采空区内注黄泥浆, 减少漏风和供氧时间。

5 地表漏风治理效果

为检验上述地表漏风综合治理措施的实施效果, 在 9203 辅运巷、主运巷布设测点, 监测进风与回风量、 CO 浓度等。现场监测数据(表 2)表明: ①地表裂缝充填覆土后, 9203 综放工作面辅运巷进风量为 $1\,523 \text{ m}^3/\text{min}$, 主运巷回风量为 $1\,533 \text{ m}^3/\text{min}$ 。进风量和回风量相差不大, 结果表明: 地面采取“裂缝底部充填+表层覆土”的措施后, 地表至井下岩土层裂隙通道被封堵, 消除了地表至采空区的漏风。②采空区注氮、地表裂缝充填覆土后, 9203 综放工作面回风隅角处 CO 体积分数由治理前的 4.2×10^{-4} 降至 1.1×10^{-4} ; 回风流 CO 体积分数由治理前的

表 2 采取综合治理措施后 9203 工作面进风与回风量监测

Table 2 Intake and return air volume monitoring of No. 9203 working face after taking comprehensive measures

测风点	巷道断面积/ m^2	风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$
9203 辅运巷(进风)	17.5	1.45	1 523
9203 主运巷(回风)	16.9	1.52	1 533

注: 地表裂隙封堵后, 工作面采空区内的漏风主要来源于进风巷向采空区内渗流的风量。

1. 26×10^{-4} 降至 0.05×10^{-4} 。采空区束管监测也未发现 O_2 浓度有明显增大的迹象。回风隅角、回风流 CO 浓度逐渐下降表明: 采用“地面封堵裂缝+采空区注氮”的综合治理措施后, 采空区自燃危险性显著降低, 消除了采空区漏风和煤层自燃隐患。

6 结 论

1) 针对浅埋厚煤层综放开采地表裂缝导致地面空气渗入采空区的问题, 分析了煤层赋存特性、综放工艺及覆岩破断规律、地面因素(氧气、水、气温压差等) 对地表漏风及采空区遗煤自燃的影响。

2) 采用“地表气压与井下采空区气压差、工作面进风巷与回风巷风量差、示踪气体地面瞬时释放漏风测试”综合研究方法, 测定得出地表漏风各参数, 即漏风方向为沿地表裂隙流向井下采空区, 漏风路线最短距 198 m, 最低漏风风速为 0.097 m/s 。

3) 现场实践表明, “地面封堵裂缝防漏风+采空区注氮防遗煤自燃+回采工艺及组织管理改革”的综合防范与治理措施, 封堵了地表裂缝与采空区漏风通道, 降低了采空区内部氧浓度范围, 为防止浅埋厚煤层综放开采地表漏风及采空区遗煤自燃提供了技术保障。

参考文献 (References):

- [1] 李 昊. 浅埋煤层群开采地表漏风规律研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2014.
- [2] 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 Anming. 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.
- [3] 胡青峰, 崔希民, 袁德宝, 等. 厚煤层开采地表裂缝形成机理与危害性分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(6): 864-869.
Hu Qingfeng, Cui Ximin, Yuan Debao et al. Formation mechanism of surface cracks caused by thick seam mining and hazard analysis [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(6): 864-869.
- [4] 康建荣. 山区采动裂缝对地表移动变形的影响分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(1): 59-64.
Kang Jianrong. Analysis of effect of fissures caused by underground mining on ground movement and deformation [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(1): 59-64.
- [5] 张辛亥, 李 昊, 张立辉. 补连塔煤矿上覆采空区大面积火区综合治理技术研究[J]. 煤炭工程, 2014, 46(2): 52-54.
Zhang Xinhai, Li Hao, Zhang Lihui. Study on comprehensive control technology of large area firing zone in above seam mining goaf of Bulianta Mine [J]. Coal Engineering, 2014, 46(2): 52-54.
- [6] 谭志祥, 王宗胜, 李运江, 等. 高强度综放开采地表沉陷规律实测研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(1): 59-63.
Tan Zhixiang, Wang Zongsheng, Li Yunjiang et al. Field research on ground subsidence rules of intensive fully mechanized mining by sublevel caving [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(1): 59-63.
- [7] 范钢伟, 张东升, 马立强. 神东矿区浅埋煤层开采覆岩移动与裂隙分布特征[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(2): 196-202.
Fan Gangwei, Zhang Dongsheng, Ma Liqiang. Overburden movement and fracture distribution induced by longwall mining of shallow coal seam in the Shendong Coalfield [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(2): 196-202.
- [8] 徐会军, 刘 江, 徐金海. 浅埋薄基岩厚煤层综放工作面采空区漏风数值模拟[J]. 煤炭学报, 2011, 36(3): 435-441.
Xu Huijun, Liu Jiang, Xu Jinhai. Numerical simulation research on gob air leakage of shallow-buried thin bedrock thick coal seam with fully-mechanized top coal caving technology [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(3): 435-441.
- [9] 夏 良, 杨胜强, 鹿存荣, 等. 地表沉陷初期漏风对采空区遗煤自燃影响的分析和治理措施[J]. 煤矿开采, 2012, 17(1): 86-88.
Xia Liang, Yang Shengqiang, Lu Cunrong et al. Influence of air-leakage on coal spontaneous combustion in gob and prevention measures at initial stage of surface subsidence [J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(1): 86-88.
- [10] 霍忠锋, 刘 波, 王玉怀. 察哈素煤矿 3101 工作面及地表漏风联合测试及其防治[J]. 煤矿安全, 2015, 46(3): 130-132.
Huo Zhongfeng, Liu Bo, Wang Yuhuai et al. Joint test for air leakage of 3101 working face and surface in Chahasu Coal Mine and its control [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(3): 130-132.
- [11] 任晓鹏. SF_6 示踪气体在矿井近距离煤层漏风检测中的应用[J]. 煤炭技术, 2013, 32(6): 188-190.
Ren Xiaopeng. Exploration on air leakage detection with SF_6 tracer gas in contiguous seams of coal mines [J]. Coal Technology, 2013, 32(6): 188-190.
- [12] 何俊忠, 杨宏伟. SF_6 示踪气体在采空区漏风量测定及注氮优化中的应用[J]. 煤矿安全, 2012, 43(S): 119-121.
He Junzhong, Yang Hongwei. Application of SF_6 tracer gas in the goaf air leakage measurement and nitrogen injection optimization [J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(S): 119-121.
- [13] 吴 侃, 胡振琪, 常 江. 开采引起的地表裂缝分布规律[J]. 中国矿业大学学报, 1997, 26(2): 56-59.
Wu Kan, Hu Zhenqi, Chang Jiang. Distribution law of ground crack induced by coal mining [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1997, 26(2): 56-59.
- [14] Zhao Chaoying, Zhang Qin, Ding Xiaoli et al. Monitoring of land subsidence and ground fissures in Xian, China 2005-2006: mapped by SAR interferometry [J]. Environmental Geology, 2009, 58(7): 1533-1540.
- [15] 刘 辉. 西部黄土沟壑区采动地裂缝发育规律及治理技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.