



平顶山矿区深部动力灾害防治与资源绿色开采

张建国 王满 张国川 杨国和 张晋京 牛泽华

引用本文:

张建国, 王满, 张国川, 等. 平顶山矿区深部动力灾害防治与资源绿色开采[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(1): 295–303.
ZHANG Jianguo, WANG Man, ZHANG Guochuan. Prevention and control of deep dynamic disasters and resources green exploitation in Pingdingshan Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(1): 295–303.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022-2039>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

神南矿区煤炭绿色开采的水资源监测研究

Water resources monitoring of green coal mining in Shennan Mining Area

煤炭科学技术. 2021, 49(1): 304–311 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.01.028>

煤矿深部开采冲击地压灾害结构调控技术架构

Architecture of structural regulation technology for rock burst disaster in deep mining of coal mine

煤炭科学技术. 2022, 50(2): 27–36 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/832c1706-c116-49d3-ab3e-b9e69c7f8f2e>

煤矿开采动力灾害事故分析及防治对策研究

Analysis of coal mining dynamic disasters and study on prevention countermeasures

煤炭科学技术. 2020, 48(12) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/e48b793c-beee-462d-a4bd-ecfe70acbb56>

深部煤炭资源智能化开采技术现状与发展方向

Current situation and development direction of intelligent mining technology for deep coal resources

煤炭科学技术. 2021, 49(1): 139–145 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.01.008>

深部高瓦斯低渗透性煤层协同开采关键技术研究

Key technologies for collaborative mining of high gas and low permeability coal seams in deep mining areas

煤炭科学技术. 2020, 48(9): 66–74 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/f959ed3b-955a-48ff-a182-bb3f64552af3>

基于GT-ANP理论的生态脆弱区煤-水协调绿色开采度评价

Evaluation of coal water coordinated green mining degree in ecologically fragile area based on GT-ANP theory

煤炭科学技术. 2021, 49(8): 203–210 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/4414e8d9-978c-428c-bcb0-d36e3b8a3d99>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息



移动扫码阅读

张建国, 王 满, 张国川, 等. 平顶山矿区深部动力灾害防治与资源绿色开采[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(1): 295–303.

ZHANG Jianguo, WANG Man, ZHANG Guochuan, *et al.* Prevention and control of deep dynamic disasters and resources green exploitation in Pingdingshan Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(1): 295–303.

平顶山矿区深部动力灾害防治与资源绿色开采

张建国^{1,2}, 王 满^{1,2}, 张国川², 杨国和^{1,2}, 张晋京², 牛泽华^{1,2}

(1. 炼焦煤资源开发及综合利用国家重点实验室, 河南 平顶山 467000; 2. 中国平煤神马控股集团有限公司, 河南 平顶山 467000)

摘 要: 中国平煤神马集团开采的平顶山矿区是我国煤矿深部开采的典型代表, 历经 70 a 的发展, 集团始终坚持以科技力量引领生产, 以技术装备保障安全, 对瓦斯的认识不断深化, 走过了“被动防、主动治、绿色用”三大阶段, 动力灾害监测预警技术能够超前研判灾害发生概率, 预测不发生动力灾害准确率达到 100%, 发生动力灾害准确率达 80%, 使瓦斯灾害可防可控; 低渗煤层瓦斯的高效增透抽采技术使瓦斯治理周期由 24 个月缩至 8 个月, 吨煤瓦斯治理成本降低了 60%; 瓦斯“抽采—发电—制冷”一体化绿色开发利用技术有效降低巷道温度 5~10 ℃, 瓦斯抽采浓度提升到 50%, 保障了矿井冬季取暖和夏季制冷, 日均节省用电消耗 6 万 kW·h, 既消除了瓦斯威胁, 使矿井瓦斯变害为宝, 又保障国家煤炭供应安全, 符合“双碳”目标的发展需求。未来, 集团将以深部动力灾害的防治为基础, 积极推进煤炭转型绿色利用, 构建以炼焦煤资源安全开采、高效分选、绿色转化的产业化道路, 推进企业快速转型升级, 打造领跑行业的科研创新平台, 保障国家能源供应安全、紧跟社会经济发展步伐。

关键词: 平顶山矿区; 深部开采; 灾害防治; 绿色开采

中图分类号: TD713

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2023)01-0295-09

Prevention and control of deep dynamic disasters and resources green exploitation in Pingdingshan Mining Area

ZHANG Jianguo^{1,2}, WANG Man^{1,2}, ZHANG Guochuan², YANG Guohe^{1,2}, ZHANG Jinjing², NIU Zehua^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Coking Coal Exploitation and Comprehensive Utilization, Pingdingshan 467000, China; 2. China Pingmei Shenma Holding Group Co., LTD., Pingdingshan 467000, China)

Abstract: The Pingdingshan mining area mined by China Pingmei Shenma Group is a typical example of deep mining. After 70 years of development, the group always insists on leading production with scientific and technological strength, ensuring safety with technical equipment, deepening its understanding of gas, and has gone through three stages of “passive prevention, active treatment and green use”. The monitoring and warning technology of dynamic disaster can predict the probability of disaster occurrence in advance, and the accuracy of predicting no dynamic disaster can reach 100%. The accuracy rate of power disaster is 80%, so that gas disaster can be prevented and controlled; The efficient anti-reflection extraction technology of gas in low-permeability coal seam reduces the gas treatment cycle from 24 months to 8 months, and the cost of gas treatment for tons of coal is reduced by 60%. The integrated green development and utilization technology of gas “extraction – power generation – refrigeration” can effectively reduce the roadway temperature by 5–10 ℃, increase the gas extraction concentration to 50%, guarantee the mine heating in winter and refrigeration in summer, save 60 000 kW·h of electricity consumption per day, not only eliminate the gas threat, make the mine gas become treasure, but also ensure the national coal supply security. Meet the development needs of the “double carbon” goal. In the future, based on the prevention and control of deep dynamic disasters, the group will actively promote the green utilization of coal transformation, build an industrialization road of safe mining, efficient washing and green transformation of coking coal resources, promote the rapid transformation and upgrading of enterprises, build a leading scientific research and innovation platform in the industry, ensure the security of national energy supply and keep up with the pace

收稿日期: 2022-10-25

责任编辑: 常 琛

DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2022-2039

作者简介: 张建国(1965—), 男, 河南滑县人, 教授级高级工程师, 博士生导师, 博士。E-mail: zhangjg_z@126.com

of social and economic development.

Key words: Pingdingshan Mining Area; deep mining; disaster prevention and control; green mining

0 引言

我国煤炭行业历史悠久,为国民经济的发展做出了重要历史贡献,煤炭作为我国主体能源^[1],占一次能源消费构成的56%,预计在2031—2050年煤炭消费量仍将维持在25亿~35亿t/a^[2]。

中国平煤神马集团(下文简称“集团”)是我国煤矿深部开采的典型代表^[3],矿井进入深部开采以后,由于地应力与煤层瓦斯压力共同作用,导致动力灾害、煤与瓦斯突出等事故相互交织,且互为诱因、互相强化。集团针对高瓦斯、高地压、高地温“三高”问题,坚持“科学产能和科学开采”^[4],每年科技投入占销售比重3%以上,用以开展深部动力灾害的预防、治理和利用协同攻关。目前,区域瓦斯治理的手段以超前钻孔卸压预防、顺层/穿层钻孔抽采治理和动力灾害监测预警为主,集团与瓦斯历经了浅层开采被动防、深层开采主动治,再到伴生资源绿色用三大阶段^[5],攻克了深部瓦斯防治技术,实现深部矿井瓦斯灾害可测可防可控;破解了低渗透煤层高效抽采难题,构建了瓦斯资源化利用新模式;创新“四优化一提升”^[6]理念,建成千米深井智能化工程^[7]。

目前,集团拥有3个国家级企业技术中心,2个博士后科研工作站,1个国家能源局重点实验室,1个煤炭行业工程研究中心,8个省级技术中心,12个省级工程研究中心;拥有各类科研和专业技术人才3万多人;特别是建设的“炼焦煤资源开发及综合利用国家重点实验室”,开展深部煤炭资源安全高效开采理论、技术与装备研究,以及炼焦煤向优质原料、清洁燃料和高附加值材料的清洁高效转化技术,引领深部资源高效绿色开发利用技术的发展、促进国家煤炭科技的进步。

1 平顶山矿区概况

我国富煤盆地经多期构造运动,煤储层多发生不同程度的改造和破坏,煤体受挤压构造应力作用强烈,高应力和低渗透性的难抽煤层广泛分布^[8]。平顶山矿区位于秦岭造山带北缘逆冲推覆构造系,属崤熊构造区的陕—平断陷区^[9],石炭—二叠含煤地层形成以来,经历了印支、燕山等地质历史时期,矿区内含煤岩系遭受强烈的变位、变形,形成了NE—NNE向和NE—NNE向的复合构造,煤层结构破坏

严重,导致构造煤发育,煤层瓦斯含量高,为煤与瓦斯突出事故埋下诱因^[10]。

平顶山矿区作为我国13个大型煤炭基地之一,自1952年建矿以来,历经70年的发展,目前拥有垂深超800m矿井13对,国家煤矿安全监察局公布的39处超千米灾害严重的矿井中,平顶山矿区占5处,且全部为煤与瓦斯突出灾害严重的矿井^[11],矿区煤体瓦斯普遍含量高,是“低孔低渗”难抽煤层的典型代表。

矿区最大水平主应力具有明显的分带性,阶梯状呈东部最大,中间其次,西部最小的规律展布,东部矿区受控于逆冲推覆褶皱断裂构造,最大水平主应力19.6~65.5 MPa;中部矿区构造应力区结构简单,最大水平主应力14.02~31.7 MPa;西部矿区垂直应力受控于锅底山断层,最大水平主应力12.8~16.84 MPa, (图1)同埋深下东部应力是西部的1.6倍以上^[12]。采区已组煤煤层瓦斯含量最大为24 m³/t,最大瓦斯压力2.5 MPa,区内地热资源丰富,八矿地层温度在530m处就高达47℃,根据地层恒温带公式计算,矿区平均地温梯度值在32.0~46.0℃/km,热害严重;同时,碳酸盐岩广泛发育且赋存大量的高压岩溶水,也深刻影响着矿井地温场的分布和地热资源的形成^[13]。

复杂的地层构造、煤体特性,使煤与瓦斯突出、地应力等灾害随采动活动的加深愈加严重,东部矿区开采深度、瓦斯压力、瓦斯含量、地应力以及热害水害较之西部更高,是集团灾害防治的重点。

2 被动防

2.1 浅层开采时期(1952—1983年)

1952年,平顶山煤矿的开发被列为“一五”计划重点项目之一,由此揭开了大规模开发平顶山煤炭的序幕。1955年,平顶山第1对矿井,诸葛庙矿(二矿)动工兴建,在之后的3年中,三矿、四矿、五矿等11队矿井开工兴建,同时,铁路、公路、电厂、医院、学校迅速建成,形成了平顶山矿区开发建设的高潮。1975年,平顶山矿务局实现了产量利润“双千万”(年产原煤1000万t、利润1000万元),迈入全国千万吨大局行列。截至1983年,矿井开采深度大多在300~500m,瓦斯涌出量小、没有矿井动力灾害的显现,仅靠通风即可解决瓦斯问题,有着“一风除百害”的瓦斯治理理念^[14]。

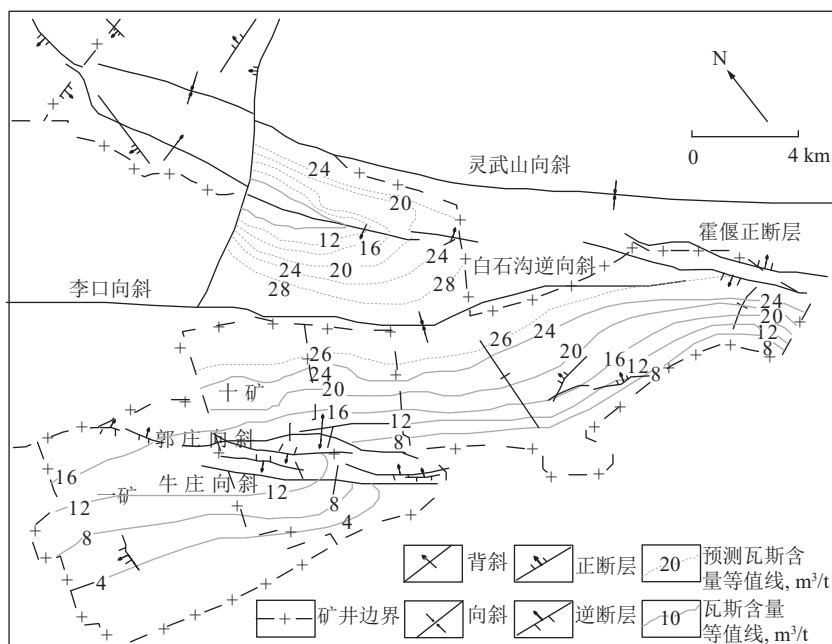


图 1 平顶山东部矿区已组煤层瓦斯含量等值线图

Fig.1 Contour map of gas content of Ji Group coal seam in eastern Pingdingshan mining area

2.2 蓬勃发展时期 (1984—1994 年)

1984 年,平顶山矿区发生了第 1 起煤与瓦斯突出,但由于瓦斯涌出量少、瓦斯压力小,对矿井高效生产和职工生命安全未产生影响。1988 年,平顶山矿务局原煤产量 1 788 万 t,居全国煤炭行业第 2 位,位列全国 500 强第 49 位,加速了平顶山经济的发展,带动了煤炭相关产业的兴起,保障了中原地区的能源供应,通风安全即可生产安全。

1989-01-03,平煤股份十二矿发生了煤与瓦斯突出伤人事故,之后的 2 年中,八矿、十矿相继发生多起煤与瓦斯突出。为此,集团在 1991 年重启了 1983 年尝试的瓦斯抽放试验,纠正了 1983 年“平顶山矿区煤层透气性低,瓦斯不可抽”的错误认识,随后集团初步形成了以通风、排放钻孔和本煤层瓦斯预抽相结合的综合治理雏形。

该时期末,部分矿井采掘深度超过 500 m,据统计,矿区瓦斯超限年累计高达上千次,煤与瓦斯突出事故多达 80 余次,发生了 4 起瓦斯爆炸事故(图 2),仅靠通风无法保障矿井安全^[15],集团研讨后提出了“瓦斯超限就是事故”的新理念,为今后矿井安全生产指明方向。

3 主动治

3.1 瓦斯治理探索期 (1995—2005 年)

集团针对 1996 年“5·21”事故,同煤炭科学研究院等单位共同承担国家重大科技“九五”攻关项目

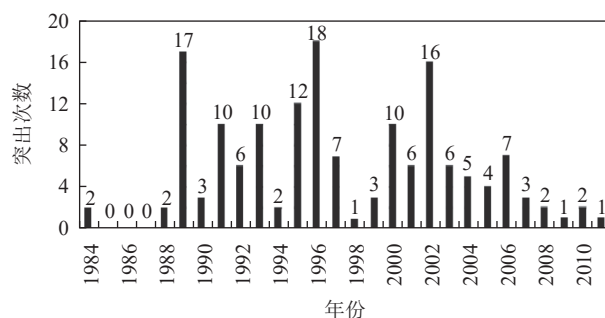


图 2 历年瓦斯突出次数

Fig.2 Times of gas outbursts over the years

“矿井瓦斯综合治理示范配套技术研究”,项目以集团所属矿井为研究基地,推广了岩巷穿层预抽掘进技术,施工了大量的高位巷和底板抽采巷,瓦斯分源抽采、控制卸压爆破、深孔致裂弹、高压水力割缝、地质预报等技术广泛应用。在平煤股份十矿建成了第 1 座地面永久抽放站和第 1 个瓦斯储配利用系统,并分别于 1999, 2003 年施工了地面抽采井,对 2 个突出危险工作面进行了回采前、中、后三期瓦斯预抽试验,积极探索地面井抽采技术。该时期采掘深度大多超过 600 m,瓦斯防治成为矿井安全高效生产的必由之路。

3.2 动力灾害防治期 (2006—2015 年)

3.2.1 瓦斯防治专业化队伍

2006 年以后,集团部分主力矿井进入深部开采,16 对突出矿井先后有 10 对采深超过 800 m(图 3),地应力、瓦斯压力、瓦斯含量显著增加,其中,首山一

矿戊组煤层实测瓦斯压力高达 6.6 MPa, 最高瓦含量 30 m³/t, 十二矿最大主应力 48.25 MPa, 部分矿井频繁出现动力现象。

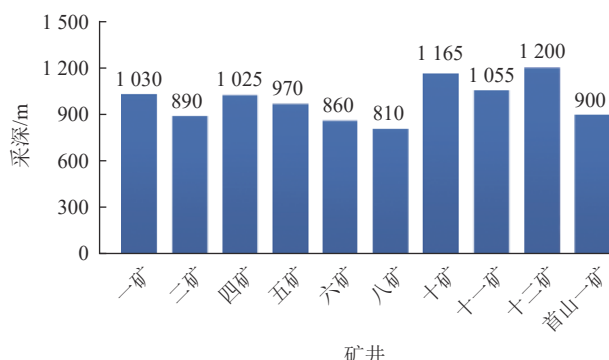


图3 平顶山矿区深部矿井采深

Fig.3 Depth map of deep mine in Pingdingshan mining area

2008年,集团成立瓦斯研究所,针对瓦斯综合治理、复合动力灾害防治展开攻关;2009年,集团同河南省煤气开发利用有限公司、澳洲CFT煤层气公司联合成立了河南煌龙新能源发展公司,集合技术和资金开展东部矿区煤层气地面抽采攻关,合作施工了20余口垂直井,抽采量显著增涨(图4);2011年,集团组建勘探工程处,成立瓦斯治理专业化队伍,标志着平顶山矿区瓦斯综合治理技术的快速发展。

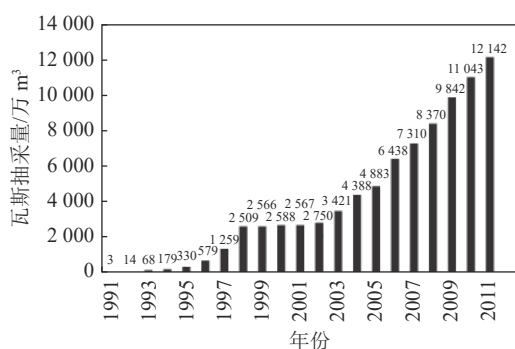


图4 矿区瓦斯抽采量

Fig.4 Histogram of gas extraction in mining area

3.2.2 瓦斯防治技术体系

要实现瓦斯治理“治得住、治得快、治得省”,必须有安全底线思维,实施严谨的管理,建立科学、有效的瓦斯防治体系。集团在理念上坚持“三不可”安全指导思想;技术上实施“一矿一策、一面一策”^[16]和瓦斯分级治理的原则,强力推进保护层开采,覆盖分源分级高效瓦斯防治技术、卸载增透瓦斯防治等技术(图5),从煤层瓦斯地质^[17]、地应力^[18-19]、煤岩体物理特征^[20-22]及力学性质进行全面解析,构建深部复合动力防灾减灾技术体系。

针对矿区煤层高吸附、低透气、低孔隙的特点,

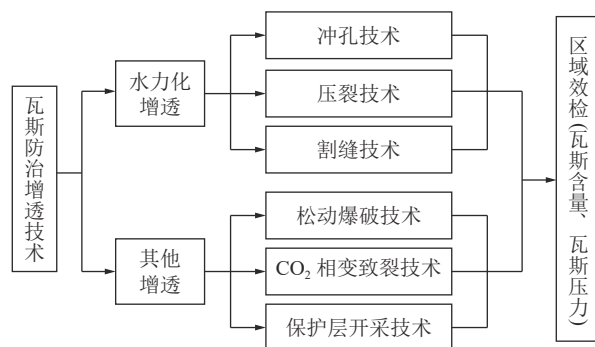


图5 瓦斯防治增透技术路线

Fig.5 Gas prevention and anti-reflection technical route

利用高压水力冲孔技术^[23-24](图6),对已成型的瓦斯抽采钻孔孔壁进行冲刷,使煤体吸附的瓦斯同破碎煤体一同被水流带走,该技术能够在孔壁一定范围内形成大量裂缝,增加了瓦斯运移的通道,提高了煤层透气性,缩短了瓦斯预抽达标时间,水力冲孔技术主要通过对煤层裂隙影响、对煤层受力状态及卸压区域影响以及含水率影响3个方面实现煤层卸压增透,对松软低渗透性突出矿井的提前消除有显著影响,煤体的抽采半径可增加2~3倍,冲孔单孔瓦斯抽采纯量提高35%以上,瓦斯抽采量可增加3倍以上,煤层瓦斯抽采达标时间缩短20%~30%,有效降低了煤层突出危险性。

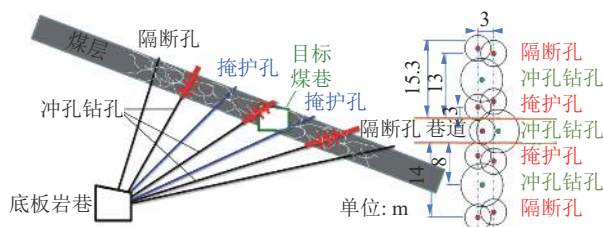


图6 水力冲孔技术施工示意

Fig.6 Hydraulic punching technology construction diagram

针对矿区煤层复杂赋存条件,利用水力割缝技术^[25],将高压水通过输水管路、密封钻杆由钻孔内钻头的喷嘴喷出高压水射流,将其冲击在煤体上形成缝槽,达到对周围煤体卸压增透的作用,以此强化瓦斯抽采;高压水射流也可以运用在破岩割缝,在岩壁进行快速切割形成切割缝,将水切割下来的岩渣通过泄压孔排出,达到卸压和促抽的目的。未施工水力割缝时,普通钻孔大部分浓度较低,水力割缝后,平均浓度提升5%~10%,流量提升0.3 m³/min,根据对矿区抽采量的统计,割缝后的抽采量较割缝前提高了2倍左右。

坚持“应保尽保”的原则,具备条件的区域全部实现保护层开采(图7)。针对突出严重的煤层,采用

非常规保护层 (图 8) 开采 (煤层厚度 300~500 mm, 岩系硬度系数 5~8, 采高 1.6~1.8 m), 通过优化开采工艺、科学选型设备, 革新破岩技术, 实现了保护层快速掘进、快速回采, 150 m 工作面长的近全岩保护层工作面月推进度由以往的不到 60 m 提高到 80~100 m, 构建了保护层沿空留巷管式抽采、被保护层

顺层及穿层式立体瓦斯抽采技术, 该技术抽采钻孔量减少 70%, 3 个月内瓦斯抽采率达到 80%, 实现了突出严重煤层 (瓦斯压力 1.78 MPa, 瓦斯含量 15.26 m³/t) 的安全高效生产, 月产 15 万~20 万 t。在保护层开采理论的基础上, 创新了薄煤层上保护层开采技术^[26]和岩层下保护层瓦斯卸压开采^[27]。

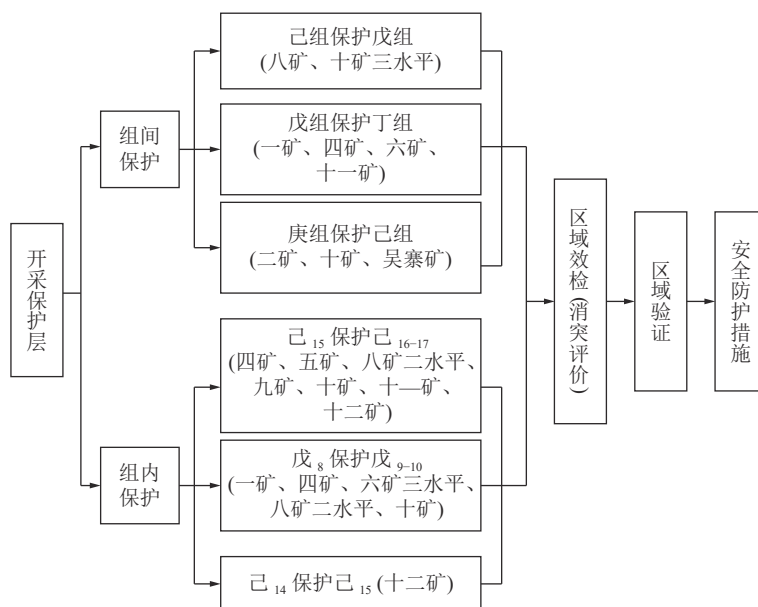


图 7 保护层开采技术路线

Fig.7 Protective layer mining technical route

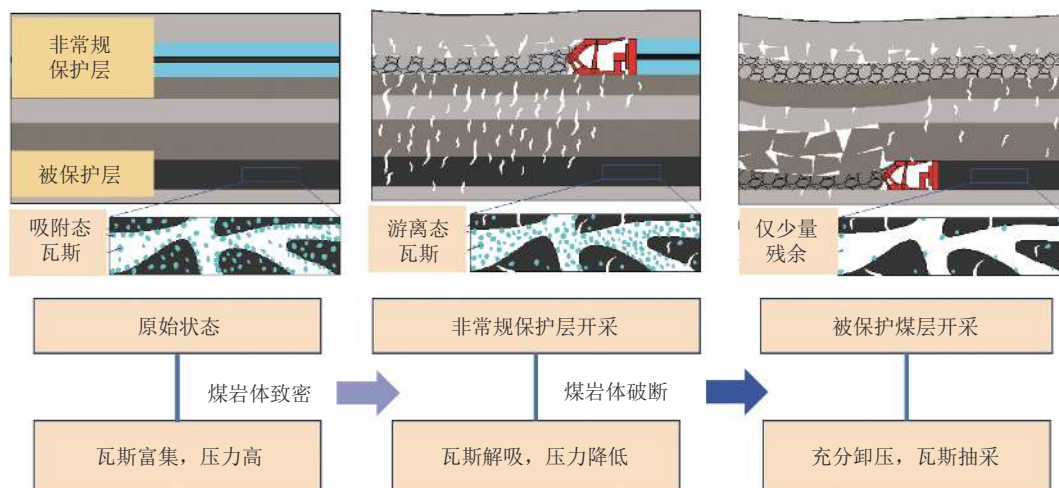


图 8 非常规保护层开采卸压原理

Fig.8 Pressure relief principle of unconventional protective layer mining

利用深孔松动爆破技术^[28]和液态二氧化碳相变致裂技术^[29], 前者增加煤体透气性, 使煤体瓦斯得以提前缓慢释放、瓦斯压力、含量降低; 后者相变致裂后抽采有效影响半径从 2 m 提高到 3.5~4.0 m; 百米钻孔抽采量增加 2~4 倍。

瓦斯治理技术使瓦斯事故大幅度下降, 平顶山矿区瓦斯抽采量由 2000 年的 3 000 万 m³ 提高到目

前的 1.7 亿 m³, 成效显著。

3.2.3 复合动力灾害防治技术

矿区进入深部开采以后, 致灾因素复杂多样且相互关联、相互影响, 高瓦斯、高地压等耦合致灾因素严重威胁矿井安全, 为此, 进行动力灾害的监测预警和防治技术的研究 (图 9)。

通过建立复合动力灾害微震监测和应力监测分

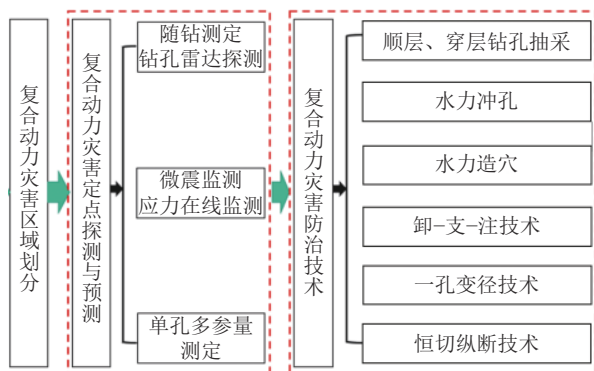


图9 深井动力灾害防控技术集成

Fig.9 Deep well dynamic disaster prevention and control technology integration

级预测预警系统^[30],对动力灾害等级进行划分,微震监测系统监测煤岩体震动发生的准确位置、能量大小及规律,进行实时预警;通过微震事件确定关键岩层,进行针对性的解危,应力在线监测系统,实时监测工作面前方煤体应力状态。根据评级结果对全矿井的动力灾害危险性进行等级划分,划分出高度危险区和中度危险区(图10)。

利用“钻—切—压”集成技术进行动力灾害的防治。通过布压裂孔钻、高压射流切、增压致裂压,结合微震技术对卸压效果进行检验,反映煤岩体的应力状态和释放变性能的速率,以及达到极限应力平衡状态后的煤岩体的突然破坏现象,通过微震的能量和频次间接反映冲击危险性;开展远场爆破卸压技术,使应力集中区域的应力释放,预警区域得到了有效的解危,达到预期的卸压效果。

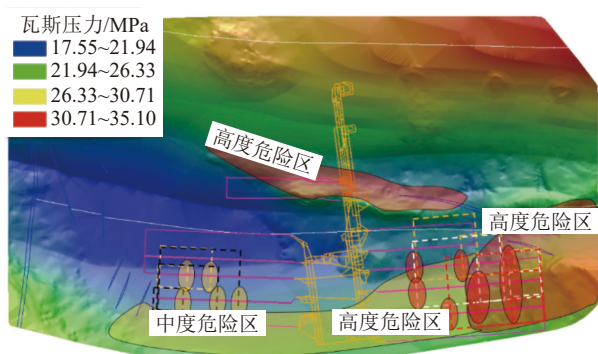


图10 动力灾害危险区划分

Fig.10 Division of dynamic hazard zones

4 绿色利用

煤矿进行采掘活动的同时,伴生资源的绿色利用成为企业绿色转型升级、国家“双碳”下可持续发展的重要组成部分,瓦斯作为清洁能源,具有较大的开发潜力,合理利用能够相对缓解能源短缺问题,随

着当今社会对节能减排及环境保护的重视日渐增加,瓦斯利用、矸石处理及智能化煤矿等技术在矿区取得成功。

4.1 瓦斯智能高效抽采

建立了深部煤岩体瓦斯运移与富集理论模型,揭示了采动影响下煤岩体裂隙及瓦斯运移演化规律。形成了“三位一体”(底抽巷穿层预抽—卸压截流抽、本煤层顺层预抽—卸压强化抽、高抽巷封闭抽)瓦斯立体抽采方法。应用集装箱式瓦斯智能抽采成套装备,实现了瓦斯抽采负压、浓度、流量的智能匹配,解决了低渗透突出煤层瓦斯抽采浓度低、效率低、能耗高的难题。瓦斯体积分数由不到5%提升至50%,瓦斯抽采量逐年上升(图11)。

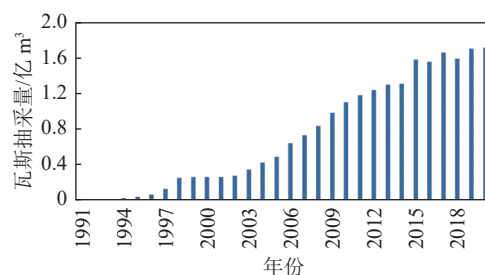


图11 矿区瓦斯抽采量

Fig.11 Histogram of gas extraction in mining area

4.2 瓦斯发电—集中制冷—热害治理

集团构建了“瓦斯发电—集中制冷—热害治理”高效协同技术与智能化集成装备^[7],实现了瓦斯资源循环利用,显著改善了井下作业环境,解决了瓦斯排放(图12)和高温热害矿井生产效率低下的难题。

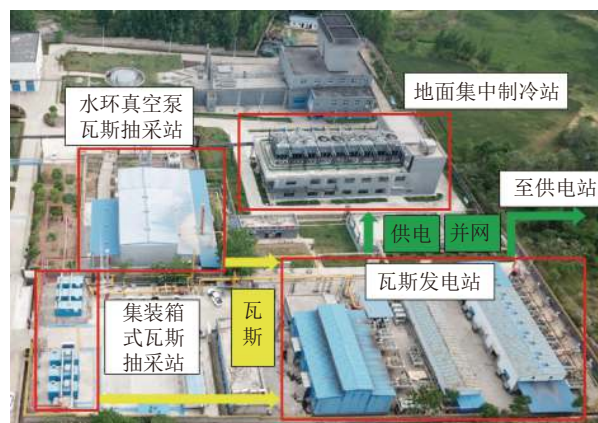


图12 瓦斯资源绿色利用现场布局

Fig.12 Site layout of green utilization of gas resources

通过研究瓦斯发电微电网控制关键技术,改进了微电网的结构、参数及并网发电输配方式,基于瓦斯抽采动态调控技术对并网发电功率进行预测,避免对电网造成较大冲击。研究矿井热害及井下制冷

负荷影响因素,对瓦斯发电设备及深井热害治理技术方案进行了优选集成,实现了瓦斯发电设备与制冷设备^[31](图 13)的高效协同运行,巷道温度降幅达 5~10 ℃,湿度降幅达 20%~30%,煤层各巷道均保持在相对舒适的环境,杜绝了人员中暑现象。将电源改调至瓦斯发电站,日均节省用电消耗 6 万 kW·h。

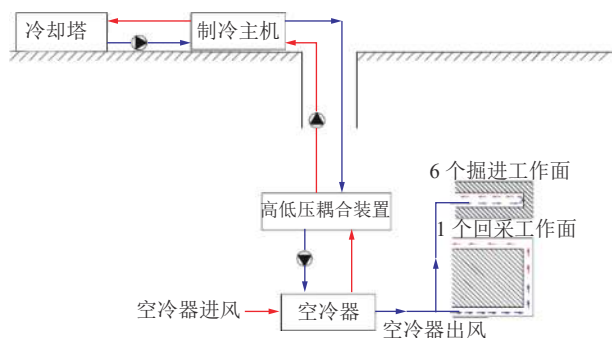


图 13 集中降温系统示意

Fig.13 Schematic of centralized cooling system

4.3 矸石分选利用

矸石作为煤炭伴生资源,在煤矿建设、煤炭开采及加工过程中大量产出,随意排放会对环境带来极大危害^[32]。集团在开采保护层的基础上研发了高效回采及井下少煤多矸分选技术,创新了充填与垮落式协同开采,保护层开采及分选、被保护层开采与充填的采选充绿色协同一体化系统实现了高瓦斯低透气煤层及伴生瓦斯资源安全高效开采,提高了资源采出率。成果应用后,近全岩保护层进尺能力达 120 m/月,井下矸石系统入选能力达 220 万 t/a;超长充填协同垮落式混合工作面面长达 220 m、产煤能力达 180 万 t/a、最高单产达 20 万 t/月(提高了 2 倍)、矸石处理能力达 60 万 t/a。

4.4 智能化煤矿示范工程

针对条件复杂、灾害严重的千米深井智能化建设难题,在实现动力灾害有效防控的基础上,率先建成了河南省首个智能化采煤工作面和智能化掘进工作面^[33],形成了涵盖厚、中、薄煤层的智能化生产格局。截至目前共建成国家级智能化煤矿 1 对,省级智能化煤矿 4 对、智能化采煤工作面 26 个(图 14)、智能化掘进工作面 40 个。

5 展 望

集团坚持“一矿一策”“一区一措”的思路^[16],瓦斯超限从之前的年均 2 位数,降低至年均个位数以内,高瓦斯低透气煤层的高效治理周期由原先的 24 个月缩短至 8 个月;采掘工作面单产单进水平提升



图 14 煤矿智能化综采工作面

Fig.14 Intelligent fully-mechanized coal mining face

50% 以上;吨煤瓦斯治理成本降低了近 60%,年均创造效益高达 2.6 亿元,为我国深部资源安全高效开采提供了理论基础和技术保障。

习近平总书记指出:“煤炭作为我国主体能源,要按照绿色低碳的发展方向,对标实现碳达峰、碳中和目标任务,立足国情、控制总量、兜住底线,有序减量替代,推进煤炭消费转型升级”,总书记进一步明确了我国煤炭绿色低碳发展的战略方向,为深入实施煤炭资源的绿色开发提供了根本遵循。集团“立足煤、延伸煤、超越煤”,保障煤炭供应链安全,推进炼焦煤全流程绿色利用的重大科学问题和技术难题,切实解决炼焦煤安全绿色开采、炼焦煤资源加工与洁净化、清洁炼焦与焦化副产品高值化转化三大方向。发挥企业优势,打通煤基硅材料、煤基碳材料、煤基尼龙材料 3 条产业链,建成全球最完成的煤化工产业链,引领炼焦煤资源高效绿色开发利用技术的发展、促进国家煤炭科技的进步,走出一条符合中国国情由煤基能源向煤基资源的低碳化发展之路。阐释如下:

1) 深部煤炭资源安全绿色开采。研发深部资源开采复合灾害防控理论、技术与装备,构建深部复合灾害监测与预警体系,开发利用灾害中显现的瓦斯和地热资源,进行深部资源开采过程中的瓦斯、地应力、地热等复合灾害的防、治、用。

针对深部开采面临高地应力、高地温和高瓦斯的复杂环境,建立深部矿井温度场、应力场和渗流场的定量表征方法和可视化理论,分析多场耦合相互作用机制探索揭示多场耦合灾害孕育演化规律,集成各监测预警技术建立基于多指标监测技术的复合灾害识别数据采集系统;研究复合灾害分级分类指标体系,形成多源多相、井上下立体协同防控理论、技术与装备,指定复合灾害防控技术规范与标准;降低煤炭开采过程中的碳排放,对瓦斯和地热资源进行开发利用,实现瓦斯精细化与高效抽采的统一优化及瓦斯的高效循环利用,结合先进探测手段,对地

热资源分级利用,研究地热开发技术及装备,使热害变废为宝。

2) 复杂炼焦煤资源加工与洁净化。针对炼焦煤矸石采出量大、矿井提升效率低的突出问题,围绕深部资源井下矸石分选与就地充填的关键技术瓶颈,研究井下煤矸分选系统及物料运输的智能化控制技术,研发井下受限空间模块化煤矸智能分选装备与流程工艺,建立具有我国自主知识产权的深部炼焦煤资源井下矸石智能分选充填工程示范,实现无人高效稳定连续运行。

3) 清洁焦化及焦化副产品高值化开发。探索智能精准配煤炼焦技术,研究焦炉煤气合成甲烷、CO/CO₂制烯烃等高附加值材料,发展炼焦粗苯合成可降解聚合物单体技术,开展煤焦油先进分离与分级分质转化利用技术研究,突破炼焦煤向优质原料、清洁燃料和高附加值材料的清洁高效转化技术。针对氢气、甲烷和二氧化碳高效捕集技术,开发高效功能性多孔吸附材料,研究变压吸附分离工艺和原料气变温吸附工艺,形成成套技术;建立焦炉煤气高效捕集氢气、甲烷和二氧化碳工业示范装置、建设“原煤→煤焦油→产品开发→三废处理→资源循环”低碳环保产业结构,形成煤焦油全生命周期绿色低碳利用技术。

参考文献(References):

- [1] 张抗,焦扬.从能源时代更替和“气荒”看我国能源构成多元化和因地制宜的战略思维[J].中外能源,2018,23(6): 1-19.
ZHANG Kang, JIAO Yang. Research on coal industry development and transition in China under the background of carbon neutrality[J]. Sino-Global Energy, 2018, 23(6): 1-19.
- [2] 孙旭东,张蕾欣.碳中和背景下我国煤炭行业的发展与转型研究[J].中国矿业,2021,30(2): 1-6.
SUN Xudong, ZHANG Leixin. Research on the coal industry development and transition in China under the background of carbon neutrality[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(2): 1-6.
- [3] 吴建亭,寇建新.平顶山矿区深部煤炭开采瓦斯防治技术研究[J].中国煤层气,2013,10(6): 3-5.
WU Jianting, KOU Jianxin. Study on gas prevention and control for deep mining of coal in Pingdingshan Mining Area[J]. China Coalbed Methane, 2013, 10(6): 3-5.
- [4] 张建国.科学产能和科学开采是未来煤矿发展方向[J].科学新闻,2017(10): 1.
ZHANG Jianguo. Scientific production capacity and scientific mining are the development direction of coal mine in the future[J]. Science News, 2017(10): 1.
- [5] 张建国.中国平煤神马集团瓦斯防治体系建设[J].煤炭科学技术,2017,45(8): 13-18.
ZHANG Jianguo. Construction of gas prevention and control system in China Pingmeishenma Group[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 13-18.
- [6] 张建国,王辉.“四优化一提升”助推煤炭企业科技减人和安全高效实践与启示[J].能源与环保,2018,40(7): 1-4.
ZHANG Jianguo, WANG Hui. Practice of safe and efficient production with less personnel boosted by “four optimizations and one promotion” for coal enterprise and its inspiration[J]. China Energy and Environmental Protection, 2018, 40(7): 1-4.
- [7] 张建国,王满,袁森,等.基于瓦斯治理-抽采-利用一体化的深部突出矿井安全绿色开发模式与示范工程[J].重庆大学学报,2022,45(2): 30-40.
ZHANG Jianguo, WANG Man, YUAN Miao. Safe and green exploitation model and demonstration projects of deep outburst mine based on the integration of gas control, extraction and utilization[J]. Journal of Chongqing University, 2022, 45(2): 30-40.
- [8] 刘统.平顶山矿区难抽煤层微观孔隙结构演化特性及对瓦斯储运的影响[D].徐州:中国矿业大学,2021: 1-240.
LIU Tong. Evolution Characteristics of Microscopic pore structure of hard-to-drain coal seams in Pingdingshan coalfield and their influences on gas storage and transportation. [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2021: 1-240.
- [9] 王桂梁,琚宜文,郑孟林.中国北部能源盆地构造[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007: 1-540.
WANG Guiliang, JU Yiwen, ZHENG Menglin. Structure of energy basin in northern China [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2007: 1-540.
- [10] 闫江伟.地质构造对平顶山矿区煤与瓦斯突出的主控作用研究[D].焦作:河南理工大学,2016: 1-222.
YAN Jiangwei. Study on controlling effect of tectonic structures on coal and gas outburst in the Pingdingshan Mining Area, [D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2016: 1-222.
- [11] 国家安全生产监督管理总局.煤监局对国有重点煤矿开展安全生产专项监察,2019.[EB/OL](2020-0903)[022-09-20].https://mp.weixin.qq.com/s/i7d1RBq_PqwcLhQV-oU12Q.
- [12] 宫伟东.平顶山东部矿区的构造应力及其对煤与瓦斯突出的影响[D].徐州:中国矿业大学,2020: 1-202.
GONG Weidong. Study on tectonic stress and its influence on coal and gas outburst in Pingdingshan Eastern Mining[D]. Xuzhou: China University of Mining Technology-Beijing, 2020: 1-202.
- [13] 李延河,万志军,于振子,等.平顶山矿区地热地质条件及成因分析[J].地球物理学进展,2022,11(1): 1-14.
LI Yanhe, WAN Zhijun, YU Zhenzi, et al. Analysis of geothermal geological conditions and its genesis in Pingdingshan Mining Area. [J]. Progress in Geophysics, 2022, 11(1): 1-14.
- [14] 张建国.中国平煤神马集团瓦斯综合治理的回顾与展望[J].矿业安全与环保,2013,40(5): 82-86.
ZHANG Jianguo. Review and prospect of comprehensive gas prevention and control of China Pingmeishenma group[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2013, 40(5): 82-86.
- [15] 李洪.平煤集团瓦斯综合治理措施及发展方向[J].中国煤炭,2002,12(13): 32-33.
LI Hong. Comprehensive gas control measures and development direction of Pingmei Group[J]. China Coal, 2002, 12(13): 32-33.
- [16] 张建国.深化瓦斯区域防治“一矿一策”方略[J].煤矿安全,2014,45(5): 163-166.
ZHANG Jianguo. Advancing regional methane control work by deepening “One Mine One Policy” Strategy[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(5): 163-166.

- [17] 张建国. 平顶山矿区构造环境对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 3(43): 2-5.
ZHANG Jianguo. Control effect of structure environment to coal and gas outburst in Pingdingshan Mining Area[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 3(43): 2-5.
- [18] 张建国. 流变应力恢复法地应力测试技术研究与应用[J]. 煤矿安全, 2015, 34(1): 1-5.
ZHANG Jianguo. Geostress measurement technology by rheological Stress recovery method and its application[J]. Safety in Coal Mines, 2015, 34(1): 1-5.
- [19] 张建国. 平煤超千米深井采动应力特征及裂隙演化规律研究[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(5): 1041-1049.
ZHANG Jianguo. Mining-induced stress characteristics and fracture evolution law of over one kilometer deep Pingdingshan coal mine[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017, 46(5): 1041-1049.
- [20] 张建国, 李红梅, 刘依婷, 等. 煤尘微观润湿特性及抑尘剂研发初探: 以平顶山矿区为例[J]. 煤炭学报, 2021, 46(3): 812-825.
ZHANG Jianguo, LI Hongmei, LIU Yiting. Micro-wetting characteristics of coal dust and preliminary study on the development of dust suppressant in Pingdingshan Mining Area[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(3): 812-825.
- [21] 张建国, 刘依婷, 王 满, 等. 基于分子动力学模拟的非离子表面活性剂对煤润湿性影响机制[J]. 工程科学与技术, 2022, 54(5): 191-202.
ZHANG Jianguo, LIU Yiting, WANG Man. Influence mechanism of nonionic surfactant on coal wettability based on molecular dynamics simulation[J]. Advanced Engineering Sciences, 2022, 54(5): 191-202.
- [22] 王 满, 王英伟. 平顶山矿区煤体微观结构的扫描电镜分析[J]. 煤矿安全, 2014, 45(7): 169-171.
WANG Man, WANG Yingwei. Scanning electron microscope analysis of coal microstructure in Pingdingshan Mine Area[J]. Coal Mine Safety, 2014, 45(7): 169-171.
- [23] 张建国, 林柏泉, 翟 成. 穿层钻孔高压旋转水射流割缝增透防突技术研究与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(3): 411-415.
ZHANG Jianguo, LIN Boquan, ZHAI Cheng. Research on outburst prevention technology of high pressure hydraulic-cutting seam through layer and ITS Application[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(3): 411-415.
- [24] 张建国, 翟 成. 深埋藏高应力顺层水力冲孔煤体卸压规律及应用[J]. 工矿自动化, 2022, 48(10): 116-141.
ZHANG Jianguo, ZHAI Cheng. Pressure relief law and application of deep-buried high-stress bedding coal by hydraulic flushing[J]. Journal of Mine Automation, 2022, 48(10): 116-141.
- [25] 唐巨鹏, 杨森林, 李利萍. 不同水力割缝布置方式对卸压防突效果影响数值模拟[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(1): 61-66.
TANG Jupeng, YAMG Senlin, LI Liping. Numerical simulation of the effect of different hydraulic slit arrangement on pressure relief and outburst prevention[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(1): 61-66.
- [26] 张创业, 孙 朋. 平煤股份十二矿开采薄煤层保护层瓦斯治理技术[J]. 中国煤炭, 2018, 44(5): 105-108.
ZHANG Chuangye, SUN Peng. Gas control technology for mining thin coal seam protection layer at No. 12 Mine of Pingmeigufen, [J]. China Coal, 2018, 44(5): 105-108.
- [27] 董国胜. 平煤十二矿岩层下保护层开采技术及工程实践[J]. 能源与环保, 2019, 41(8): 187-196.
DONG Guosheng. Mining technology and engineering practice of protective seam under rock stratum in Pingdingshan No.12 Coal Mine[J]. Energy and Environmental Protection, 2019, 41(8): 187-196.
- [28] 汪国华, 王高飞, 高建成, 等. 松动爆破卸压技术在煤炭开采中的应用[J]. 采矿技术, 2012, 12(3): 101-123.
WANG Guohua, WANG Gaofer, Gao Jiancheng, et al. Application of loose blasting pressure relief technology in coal mining[J]. Mining Technology, 2012, 12(3): 101-123.
- [29] 王兆丰. 液态CO₂相变致裂二次增透技术[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2016, 35(5): 597-600.
WANG Zhao Feng. Secondary anti-reflection technology of liquid CO₂ phase transition induced cracking[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science Edition, 2016, 35(5): 597-600.
- [30] 张建国, 兰天伟, 王 满, 等. 平顶山矿区深部矿井动力灾害预测方法与应用[J]. 煤炭学报, 2019, 44(6): 1698-1706.
ZHANG Jianguo, LAN Tianwei, WANG Man, Prediction method of deep mining dynamic disasters and its application in Pingdingshan Mining Area[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(6): 1698-1706.
- [31] 张国川, 刘 枫. 首山一矿地面集中式降温技术与工程实践[J]. 煤炭工程, 2020, 52(11): 94-97.
ZHANG Guochuan, LIU Feng. Centralized surface cooling technology and engineering practice in Shoushan No. 1 Mine[J]. Coal Engineering, 2020, 52(11): 94-97.
- [32] 邹明军. 煤矸石充填开采技术在平煤十二矿的应用[J]. 中州煤炭, 2012(10): 75-76.
ZOU Mingjun. Application of coal gangue backfill mining technology in PingMei No. 12 Mine[J]. Zhongzhou Coal, 2012(10): 75-76.
- [33] 张国川. 加强科技创新打造智能矿山: 河南平宝煤业有限公司智能矿山建设成果及经验[J]. 智能矿山, 2021, 2(1): 89-94.
ZHANG Guochuan. Strengthening scientific and technological innovation to build smart mine: achievements and experience of Henan Pingbao Coal Industry Co., Ltd. smart mine construction[J]. Intelligent Mine, 2021, 2(1): 89-94.