

引用格式:彭煜敏,丁华忠,丁同福,等.淮南矿区松软低渗煤层地面瓦斯治理技术研究与应用[J].油气藏评价与开发,2025,15(6):1061-1069.

PENG Yumin, DING Huazhong, DING Tongfu, et al. Research and application of surface gas control technology for soft and low-permeability coal seams in Huainan mining area[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2025, 15(6): 1061-1069.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2025.06.012

淮南矿区松软低渗煤层地面瓦斯治理技术研究与应用

彭煜敏¹, 丁华忠¹, 丁同福¹, 苏雷¹, 童碧¹, 荚胜丰¹, 陈本良², 唐勇敢¹, 刘超¹,
袁广¹, 罗荣道¹, 张明志¹, 高萌¹

(1. 淮南矿业集团煤层气开发利用有限责任公司, 安徽淮南 232000;

2. 煤炭开采国家工程技术研究院, 安徽淮南 232000)

摘要:淮南矿区地处中国陆地东西构造带与南北构造带交汇的前端,地质构造极为复杂,经过一系列构造演化,导致煤体破碎、松软,具有高瓦斯、高地压、高地温、高承压水、松软低渗“四高一松软”的特征。随着淮南矿区开采深度逐年增大,瓦斯灾害的复杂性和危险性显著增加,井下瓦斯治理工程与生产接替之间的矛盾更加突出。煤矿瓦斯治理与煤炭开采密切相关,通过地面瓦斯治理井预抽煤矿瓦斯能有效扼制瓦斯灾害事故,提高煤炭安全生产效率。以煤矿5~10 a规划设计的开采区为单元,地面瓦斯治理井沿采煤工作面轨顺、运顺内错30~40 m钻进,覆盖设计的全部采煤工作面。采用三开完井方式、旋转下套管技术、酸性压裂液体体系大规模压裂、有杆无杆排采工艺组合应用等手段,实现了工程成功率100%、压裂最高砂比20%、单井最高日产气量11 067 m³的效果。经煤矿井下验证,13-1煤层65.30 m范围内的原始瓦斯压力由6.8 MPa分别降至2.7、2.4 MPa,瓦斯由11.8 m³/t分别降至7.2、5.2 m³/t,地面瓦斯治理井压裂抽排对降低煤层瓦斯压力、瓦斯含量效果明显。实施地面瓦斯治理有利于煤矿安全生产、有利于优化能源结构、有利于碳减排,打造地面瓦斯治理示范区,对中国松软低渗煤层地质条件下实施地面瓦斯治理具有极大的借鉴意义。

关键词:淮南矿区;松软低渗;地面瓦斯治理;旋转下套管技术;煤矿井下验证

中图分类号:TE37

文献标识码:A

Research and application of surface gas control technology for soft and low-permeability coal seams in Huainan mining area

PENG Yumin¹, DING Huazhong¹, DING Tongfu¹, SU Lei¹, TONG Bi¹, JIA Shengfeng¹, CHEN Benliang², TANG Yonggan¹, LIU Chao¹,
YUAN Guang¹, LUO Rongdao¹, ZHANG Mingzhi¹, GAO Meng¹

(1. Huainan Mining Group Coalbed Methane Development and Utilization Co., Ltd., Huainan, Anhui 232000, China; 2. National Engineering & Technology Academy for Coal Mining, Huainan, Anhui 232000, China)

Abstract: The Huainan mining area is located at the forefront of the intersection of the east-west and north-south tectonic zones in China, with extremely complex geological structures. After a series of tectonic evolution, the coal seams have become fragmented and soft, characterized by “four highs and one softness”: high gas content, high formation pressure, high geothermal temperature, high confined water pressure, and soft and low-permeability coal. As the depth of mining in the Huainan mining area increases year by year, the complexity and hazard of gas disasters have significantly increased, leading to a more prominent contradiction between underground gas control engineering and production succession. Coal mine gas control and coal mining are closely related. Pre-extracting gas through surface gas control wells can effectively prevent gas-related accidents and improve the efficiency of coal safety production. Taking coal mining areas planned for 5 to 10 years as units, surface gas control wells were drilled along the coal mining working face following the track and transportation directions, with an offset of 30~40 m, covering all the designed working faces. Using a three-drilling completion method, rotary casing technology, large-scale fracturing with acidic fracturing fluid system, and drainage and production technology combined with and without sucker rod, the

收稿日期:2024-09-06。

第一作者简介:彭煜敏(1998—),女,本科,助理工程师,从事煤矿区煤层气(瓦斯)抽采研究。地址:安徽省淮南市潘集区夹沟镇淮南矿业集团煤层气开发利用有限责任公司,邮政编码:232000。E-mail:361480371@qq.com

通信作者简介:丁同福(1967—),男,硕士,正高级工程师,从事煤田地质和矿井地质技术研究。地址:安徽省淮南市潘集区夹沟镇淮南矿业集团煤层气开发利用有限责任公司,邮政编码:232000。E-mail:dingtongfu@163.com

基金项目:国家科技重大专项“深部煤层CO₂高效存储利用与安全监测技术”(2024ZD1004106);安徽省公益性地质工作项目“两淮矿区重点区域煤层气储层可改造性调查评价”(2024-g-1-6)。

project achieved a 100% success rate, the highest sand ratio of 20% during fracturing, and the highest daily gas production of 11 067 m³ per well. Through verification in the underground coal mines, the original gas pressure in the 13-1 coal seam within the ranges of 65 m and 30 m reduced from 6.8 MPa to 2.7 MPa and 2.4 MPa, respectively, and the gas content decreased from 11.8 m³/t to 7.2 m³/t and 5.2 m³/t, respectively. The fracturing and drainage technology of surface gas control wells had significant effects on reducing the gas pressure and gas content of the coal seam. The implementation of surface gas control technology is beneficial to coal mine safety, energy structure optimization, and carbon emission reduction. Establishing a demonstration area for surface gas control offers valuable insights for implementing surface gas control technology in soft and low-permeability coal seams under geological conditions in China.

Keywords: Huainan mining area; soft and low-permeability coal; surface gas control; rotary casing technology; underground coal mine validation

据预测,中国煤矿区煤层气,又称煤矿瓦斯,资源量超过 16×10^{12} m³,煤矿瓦斯是危害煤矿安全生产的首要灾害^[1]。俗称瓦斯的煤层气是造成煤矿瓦斯爆炸、煤岩体突出的灾害性气体和引起全球气候变暖的强烈温室性气体,也是一种洁净的新能源^[2]。随着煤矿开采深度逐年增加,瓦斯灾害与煤矿开采之间的矛盾更加突出,根据要求,煤层瓦斯压力达到3 MPa的区域应当采用地面井预抽煤层瓦斯,或者开采保护层、采用远程操控钻机施工钻孔预抽煤层瓦斯。在中国煤矿瓦斯防治和煤层气产业化发展新形势下,煤矿瓦斯与煤炭的协调开发是资源利用、安全生产与环境保护的必然需求^[3],煤层气开发为煤矿安全生产提供了重要的保障^[4],还能促进能源结构的优化和可持续发展^[5],契合中国“双碳”战略推进,符合能源未来发展方向和趋势。

淮南煤田是华北型煤田最南端的整装煤田,聚煤期为石炭—二叠系。淮南矿区是华东地区煤层气储量最大的地区^[6],是中国典型的松软低渗煤层发育区^[7],煤层具有高瓦斯、高地压、高地温、高承压水、松软低渗“四高一松软”的特征。淮南矿业集团自2018年开始,以实施29口地面瓦斯治理井为基础,结合淮南矿区松软低渗地质特征,以煤矿规划工作面为瓦斯治理目标,研究优化松软低渗煤层钻井、压裂、排采技术,实时开展煤矿井下验证地面井抽排工作,打造煤矿地面瓦斯治理示范区,为中国煤矿实施地面瓦斯治理提供可借鉴的经验。

1 淮南矿区地质构造特征及煤储层条件

1.1 区域地质构造

淮南煤田位于中国大陆东西构造带(秦岭—大别山)与南北构造(郟城—庐江断裂带)的交汇地带,淮南矿区地处两大构造交汇带的前端,为一轴向近东西、轴面略向南倾的复向斜构造,南北两翼发育叠瓦式推覆、滑脱构造,南有舜耕山、阜阳凤台断层,组成由南向北的推覆体,北在明龙山—上窑山一线有由北向南的滑覆体^[8]。淮南矿区推覆构造体系的形成是华北板块与扬子板块南北向

碰撞对接的结果,与秦岭—大别山造山带的形成和演化密切相关。淮南矿区推覆构造的动力学特征主要与印支运动和燕山运动有关^[9],地质构造极为复杂,形成了高瓦斯、高地压、高地温、高承压水、松软低渗“四高一松软”的地质特征。淮南矿区含煤地层产状平缓,除南翼推覆断块内的局部地层倾角陡立、偶呈倒转外,一般倾角介于10°~20°,并由一系列次级形态宽缓的褶曲和断层组成。淮南矿区地质构造示意图见图1。

1.2 淮南矿区含煤地层及煤组划分

淮南矿区主要含煤地层为石炭—二叠系,包括太原组、山西组和下石盒子组^[10]。石炭—二叠系为连续沉积地层。其中,石炭系厚度介于110~125 m,含薄煤线7~9层;二叠系厚度近1 000 m,含薄煤线32~40层,主采煤层的厚度介于290~340 m,含煤厚度介于29.5~32.6 m。石炭系太原组含煤薄而不稳定,不可采。二叠系山西组与上、下石盒子组为矿区的主要含煤地层,自下而上划分7个含煤段(图2)。山西组为第一含煤段,下石盒子组为第二含煤段,上石盒子组分为5个含煤段。下伏为奥陶系灰岩地层,厚度介于10~530 m,石炭系与奥陶系地层角度不整合;上覆为古近系、新近系松散沉积地层,厚度介于0~500 m。

淮南煤田为多煤组开采煤层群,从下往上分为A、B、C共3个煤组(图3)。A组煤地层厚度约68 m,主采煤层为1、3煤层;B组煤地层厚度约70 m,主要包含4—8煤层,其中4-1、5-2、8为主采煤层;C组煤地层厚度约72 m,主要包含11、13煤层,主采煤层为11-2、13-1。实施的29口地面井中,目的煤层分布于A、B、C组煤,地面井施工试验阶段出现了钻进难、卡钻、掉钻等难题。

1.3 煤储层条件

淮南矿区经过加里东、印支、燕山等一系列构造演化^[11],煤层反复被挤压,导致煤体破碎,裂隙不发育,煤层气不易产出^[12]。矿区内煤层具有高瓦斯、高地压、高地温、高承压水、松软低渗“四高一松软”的特征:埋藏深(300~1 500 m),地温高(地温梯度3 °C/hm,最高岩温

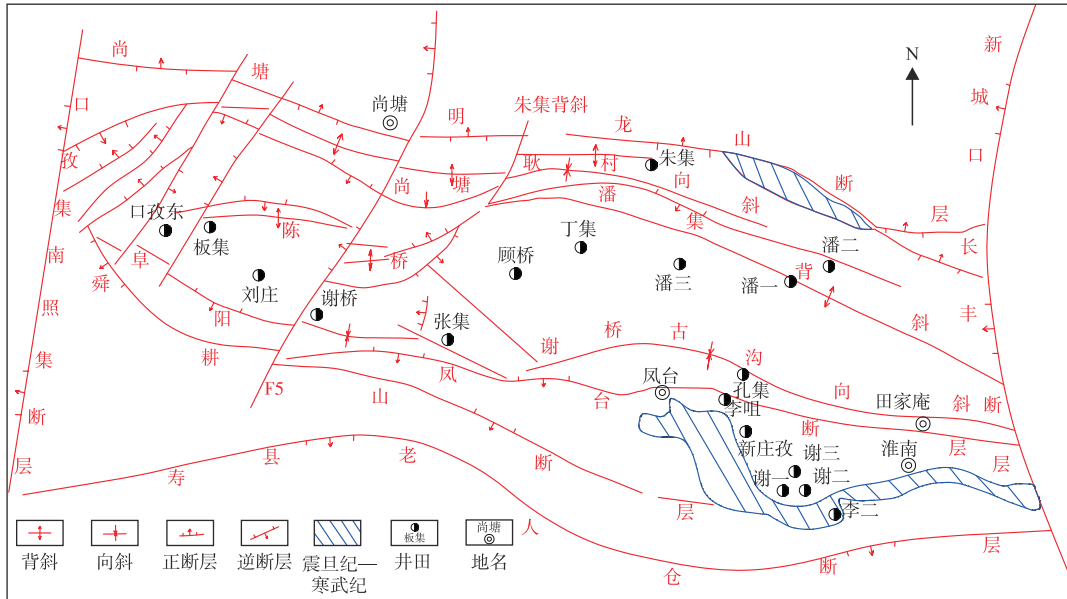


图1 淮南矿区地质构造示意图
Fig. 1 Geological structure of Huainan mining area

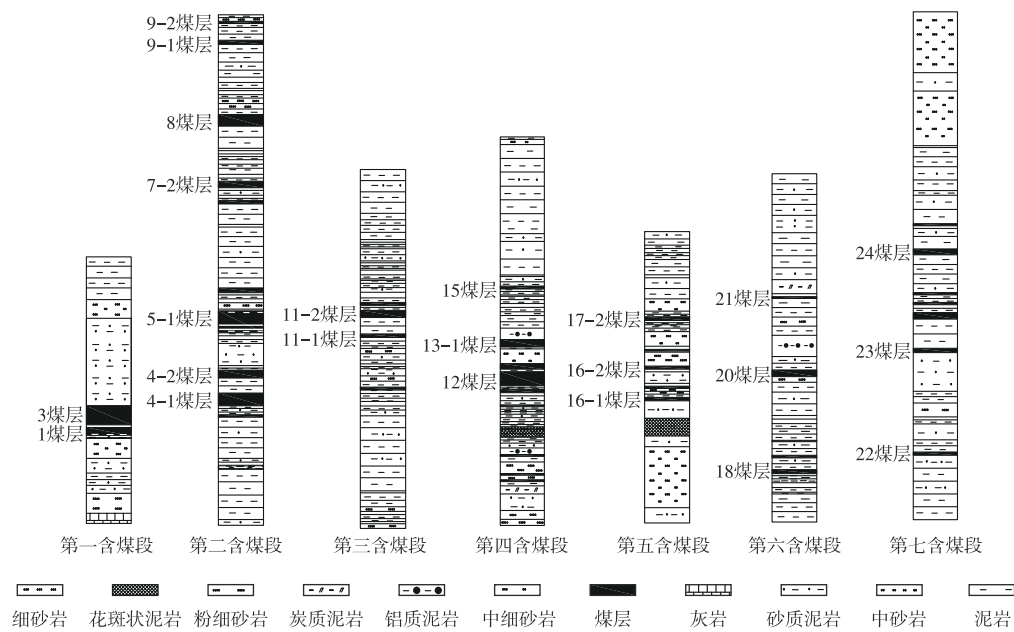


图2 淮南矿区第一至第七含煤段岩性柱状示意图
Fig. 2 Lithologic column diagram of first to seventh coal-bearing sections in Huainan mining area

52℃),煤层群赋存(8~15层),地压大(700 m以深进入高应力区,最大水平主应力达到35.7 MPa),瓦斯高(10~36 m³/t)且压力大(6.8 MPa),煤体松软(煤的坚固性系数介于0.2~0.8),透气性差如渗透率介于(0.001~0.010)×10⁻¹⁵ m²/s^[13]。这些复杂条件导致淮南矿区地面瓦斯治理水平井实施极为困难,发展初期钻井成孔难、压裂改造效果不好、排采产气低效,最高日产气量为3 000 m³且易衰减。生产时测量数据如下:

1) 含气量。对淮南矿区潘谢区钻孔样品进行的含气量测试,其中,13-1煤层空气干燥基甲烷介于0.08~16.50 m³/t,平均值为5.74 m³/t;11-2煤层空气干燥

基甲烷介于0.03~18.59 m³/t,平均值为5.42 m³/t;8煤层空气干燥基甲烷介于0.03~19.67 m³/t,平均值为5.50 m³/t;4-1煤层空气干燥基甲烷介于0.03~18.47 m³/t,平均值为5.84 m³/t;3煤层空气干燥基甲烷介于0.20~16.81 m³/t,平均值为7.41 m³/t;1煤层空气干燥基甲烷介于0.27~17.06 m³/t,平均值为7.23 m³/t。矿区各煤层空气干燥基甲烷含量差异跨度较大,整体偏低。

2) 煤体结构。根据各煤矿矿井宏观煤岩可辨程度、层理完整度、煤体破碎程度、裂隙和揉皱发育程度等,判定淮南矿区可采煤层煤体结构主要以碎裂、碎粒结构为主,局部为原生、糜棱结构。

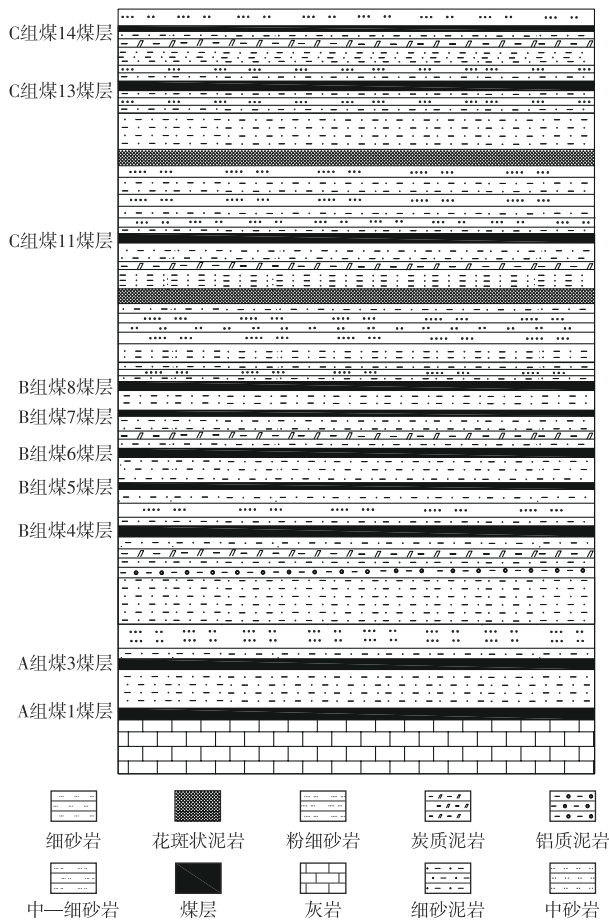


图3 淮南矿区煤组划分示意图

Fig. 3 Schematic diagram of coal group division in Huainan mining area

3) 孔隙度。淮南矿区孔隙度通过参数井压汞测试,真、视密度获取,其中,13-1煤层孔隙度介于0.58%~18.13%,平均值为6.40%;11-2煤层孔隙度介于0.68%~20.36%,平均值为6.45%;8煤层孔隙度介于0.65%~15.53%,平均值为6.68%;4-1煤层孔隙度介于0.69%~12.74%,平均值为6.72%;3煤层孔隙度介于2.11%~13.57%,平均值为7.31%;1煤层孔隙度介于1.35%~15.82%,平均值为7.15%。主要可采煤层平均孔隙度差异较小。

4) 渗透率。淮南矿区渗透率最低 $0.0011 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,煤层碎裂松软、渗透性极差。

1.4 淮南矿区地面瓦斯治理技术发展初期

20世纪90年代安然公司、格瑞克公司在淮南矿区地面开展煤层气开发相关工作,累计实施22口煤层气井,由于存在产气量低、稳产时间短、气量递减幅度大等问题,地面煤层气开发未取得实质性突破,松软低渗煤层条件下地面瓦斯治理属世界级难题。主要问题如下:

1) 钻井成井难。淮南矿区构造极复杂、地应力大(最大水平应力达35.7 MPa),矿区内现已发现50 m以上特大断层83条,落差5 m以上断层4 900条。存在钻井时

井壁稳定性差易垮塌造成埋钻事故,下套管容易被卡在“半路”下不到底等问题。

2) 压裂改造难。矿区内煤层结构破碎、层理紊乱、力学强度低,压裂裂缝难以扩展至远端,形成的裂缝易发生垮塌闭合,造成裂缝导流能力差、泄流面积有限。

3) 高效抽采难。单井整体产气量低,衰减快,不可逆。排采过程中煤粉多,造成井筒堵塞、埋泵、卡泵等井下事故多,停产检泵作业频繁。

2 淮南矿区地面瓦斯治理技术

为解决钻井成孔难、压裂改造效果不好、排采产气低效等难题,选取不同矿区A、B、C组煤不同目的煤层实施地面瓦斯治理水平井,依据淮南矿区煤层地质特征,从钻井、压裂、排采等方面进行逐步突破。

2.1 地面瓦斯治理井布井方式

基于煤矿区域地面瓦斯治理特点,以煤矿5~10 a规划设计的采区为单元,水平段轨迹沿设计的采煤工作面轨顺、运顺内错30~40 m分别施工L型或U型水平井,地面瓦斯治理井采用首尾相接式布井方式,实现对采煤工作面上、下顺槽的长度全覆盖,实施区域地面预抽。布井方式见图4。

2.2 钻井工艺技术

淮南矿区构造复杂、地应力大,700 m以深进入高应力区,水平应力大于垂直应力,最大水平应力达到35.7 MPa,导致钻井时井壁稳定性差、易垮塌造成埋钻事故,以及出现下套管容易被卡在“半路”下不到底等情况。针对淮南矿区钻井成孔难等问题,主要采用钻井轨迹控制、钻井设备及钻井液体系选用、三开旋转下套管等技术体系,优化了钻井轨迹钻进位置,解决了井壁稳定性差、套管下不到位、丢钻等问题,成井率达到100%,钻遇率超过80%。

1) 钻井设计。采用三开井身结构,水平段沿煤层走向布置,将L型或U型水平井水平段布置在距离煤层2 m左右的顶板岩层中^[14],并分别沿煤层上倾、下倾方向钻进。二开导眼段设计见煤点与靶点A距离小于30 m,导眼设计长度小于300 m,造斜段轨迹设计全角变化率每30 m不大于6°。一开采用直径为444.5 mm的钻头,二开采用直径为311.15 mm的PDC钻头(聚晶金刚石复合片钻头),三开采用直径为215.9 mm的PDC钻头。

2) 钻井装备。采用ZJ40/50石油钻机(配套顶驱),最大钩载介于2 250~3 150 kN,“网电+备用”发电机,F1600泥浆泵“两用一备”,泥浆采用“振动筛+清洁剂+除

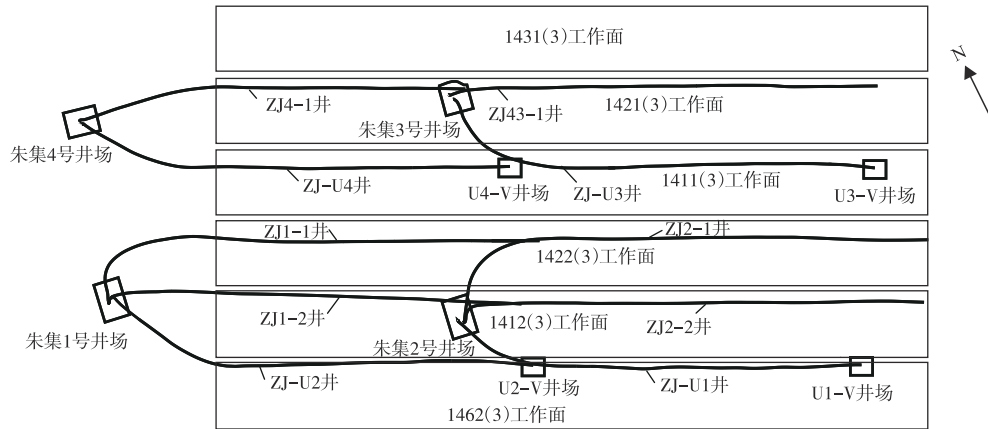


图4 朱集东矿地面瓦斯治理井布井方式示意图

Fig. 4 Schematic diagram of well layout for surface gas control in Zhujidong mine

气器+离心机”4级处理。

3) 钻井轨迹控制。通过二开钻进时确定顶板、底板岩性、钻时、伽马特性,加强岩屑及气测录井特征分析。利用随钻测量(MWD)的随钻伽马、综合地质导向分析,引导三开钻进,且井眼轨迹进尺150~200 m定期探煤1次,井眼轨迹见图5。

4) 钻井液体系。钻井液选配时主要针对顶底板泥质含量高、易水化膨胀等条件,配置强抑制性、强携岩(粉)能力的防垮塌井壁钻井液体系,防止钻井过程中井壁失稳垮塌。

5) 三开旋转下套管技术。针对三开水平段下套管面临水平段长、摩阻大、卡管的难题,采用三开旋转下套管工艺技术,由钻机旋转动力(顶驱+旋转装置)、P110材质工作套管(包括高强梯型扣)、旋转引鞋、泥浆循环系统等构成。套管下置过程中,上下提拉和边下边加压旋转,配合使用泥浆循环,保证套管全部下到位。

2.3 压裂工艺技术

由于淮南矿区煤层结构破碎、层理紊乱、力学强度低,压裂裂缝难以扩展至远端,形成的裂缝易发生垮塌闭合,造成裂缝导流能力差、泄流面积有限。针对压裂改造难题,淮南矿区地面瓦斯治理采用煤层顶底板分段压裂水平井技术,采用首段油管传输方式、分段分簇不同相位进行射孔、“泵送可溶桥塞+射孔联作”方式进行压裂,实时调整压裂砂量、液量体系,促使裂缝从顶板向煤层中延伸沟通井筒与下部煤层^[15],射孔率达100%,携砂效果较好,实现煤层及其附近地层裂缝有效改造。

1) 射孔方式。首段射孔采用油管传输方式射孔,其余各段采用“泵送可溶桥塞+射孔联作”方式进行分段分簇射孔,单段长60~80 m。依据钻井轨迹与煤层及其顶底板位置关系,处于顶板采用垂直向下射孔,处于底板采用垂直向上射孔,在煤层中60°螺旋或水平两翼射孔。

2) 压裂工艺。选用“泵送可溶桥塞+射孔联作”分段压裂技术,采用酸性活性水压裂液体系,实行“大排量、大粒径、大砂比”控液量强加砂压裂,支撑剂选用粒径为(1.270 0, 1.587 5] mm、(0.635 0, 1.270 0] mm、[0.362 9, 0.635 0] mm石英砂。

3) 裂缝监测。采用微地震地面裂缝监测技术,实时监测压裂裂缝的具体方位及三维形态,实现水平井群压裂裂缝全覆盖工作面,见图6。

2.4 排采工艺技术

排采制度的优化是保证生产效率和资源利用率的重要环节^[16],引导煤粉快速排出,有效提高单井产量^[17]。排采工艺采用有杆和无杆相组合方式,有杆排采工艺以顶驱螺杆泵为主,无杆排采工艺选用电潜螺杆泵、电潜隔膜泵和离心泵。以井底流压为控制核心,采用“套压+流压”来保持排采过程中煤层气渗透流场的稳定,在井底流压较低时(小于100 m的水柱),一般采用较高套压(0.5 MPa)排采;在井底流压较高时,一般采用较低套压(0.2 MPa)排采,合理控制排采速度,实现瓦斯治理效果最优化。目前煤层气井稳定排采周期超过680 d,单井最高日产气量达11 067 m³(图7),有效解决了单井整体产气量低、衰减快、不可逆,以及排采中煤粉多而造成井筒堵塞、埋泵、卡泵等井下事故多、停产检泵作业频繁等问题。

3 地面瓦斯治理技术应用效果及煤矿井下验证

2024年底,分别在新谢区块、潘谢区块、顾桥煤矿、潘二煤矿、潘三煤矿、朱集东矿、张集煤矿共施工完成了29口地面瓦斯治理井,其中21口为L型井、8口为U型井,涵盖A组1+3煤层、B组8煤层、C组13-1和11-2煤层等主采煤层。水平井轨迹在煤层顶(底)板0~2 m钻

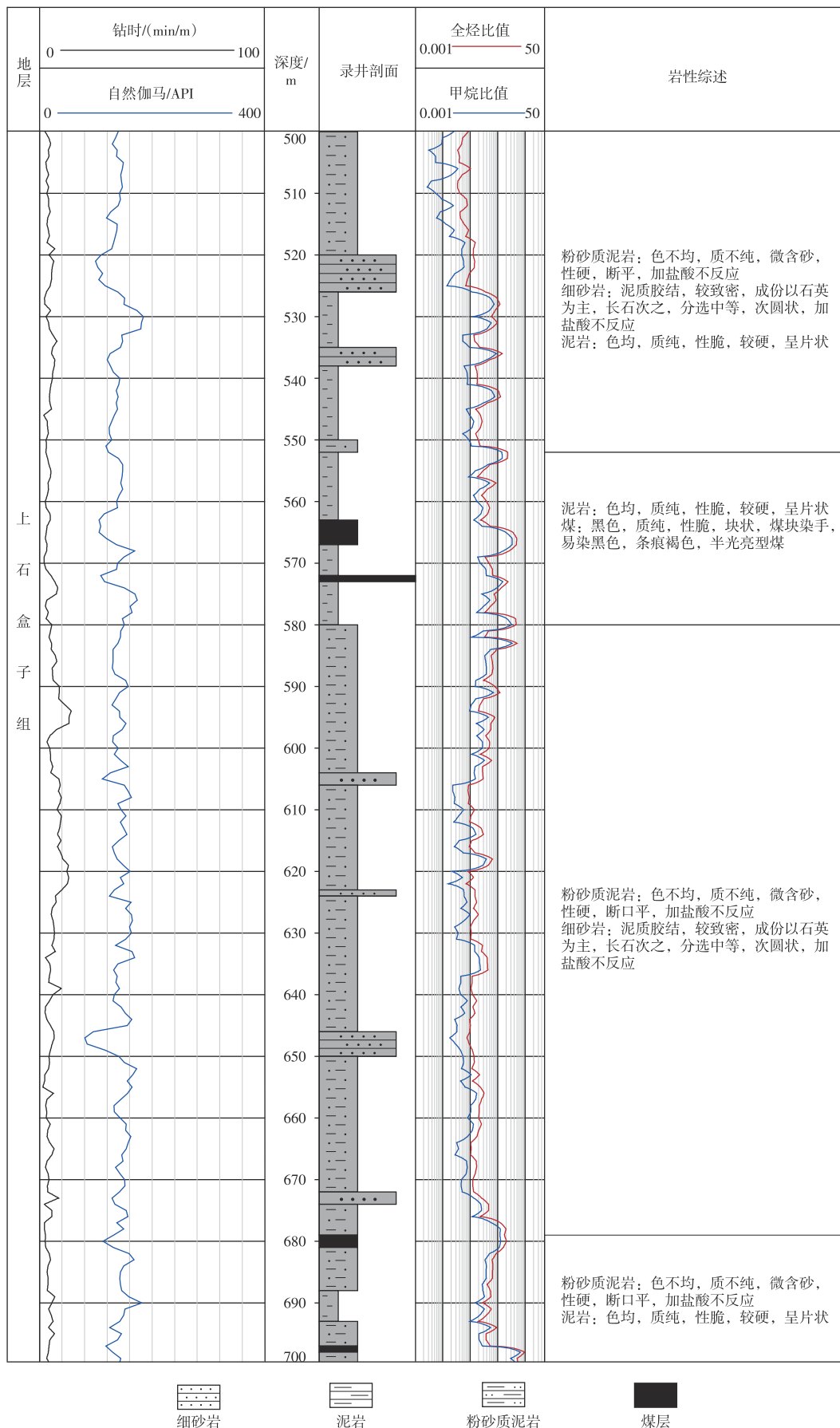


图5 顾桥矿录井综合图

Fig. 5 Logging synthesis chart of borehole trajectory in Guqiao mine

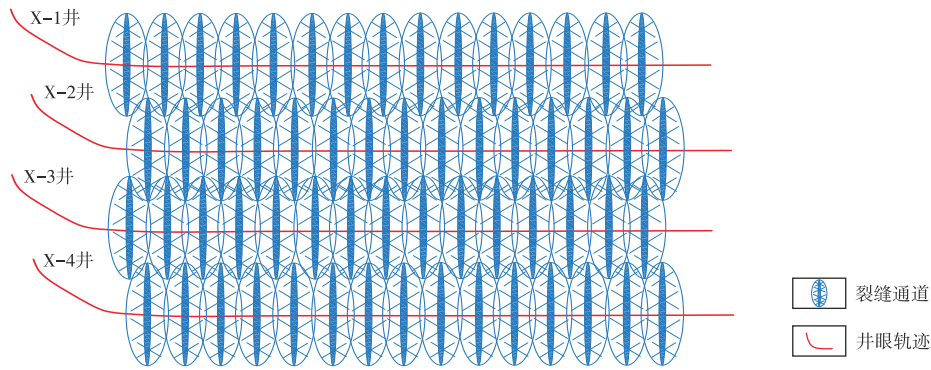


图6 淮南矿区水平井群压裂裂缝全覆盖示意图

Fig. 6 Schematic diagram of full coverage of fractures in horizontal well groups in Huainan mining area

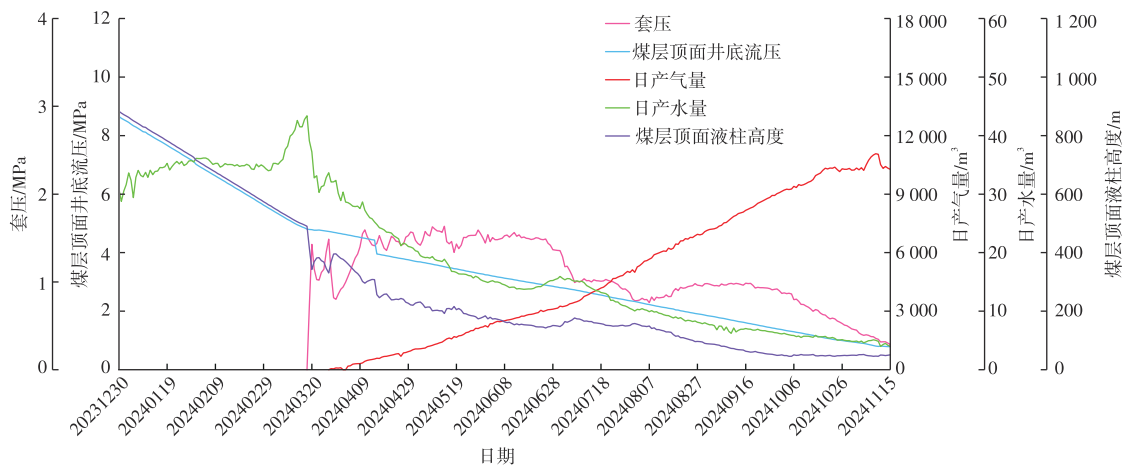


图7 朱集东矿ZJU4井排采综合曲线

Fig. 7 Comprehensive drainage and production curves of well ZJU4 in Zhujidong mine

遇率达到94%,井眼轨迹探煤比例50%以上,钻井工期由4个月缩短到2.5个月,工程成功率100%。射孔成功率100%,压裂加砂最高砂比达到20%,压裂裂缝半长超过150 m,缝高20~30 m。单井排采阶段稳产期超过680 d,最高日产气量达11 067 m³,累计产气量达5.1×10⁴ m³,单井累计最高产气量超过325×10⁴ m³。

地面瓦斯治理井煤层气抽采评价,为煤层气区块后续工程部署与决策、矿井瓦斯灾害危险程度评价等提供可靠依据^[18],瓦斯抽采是煤矿瓦斯灾害防治的重要举措^[19],淮南矿区首次研究应用井下长距离密闭取样技术进行地面井抽采效果检测^[20]。

井下考察验证初期,利用原潘一东煤矿东翼轨道大巷和井下支架检修硐室,利用定向钻机施工穿层钻孔,巷道钻孔包括13个检验孔和7个原始煤体考察孔(图8,图9),对PX2-1、PX1-1地面瓦斯治理试验井压裂排采效果进行考察。

通过煤矿井下钻孔、涌水参数测试、含砂量测试、瓦斯含量测试、瓦斯压力测试、煤层参数测试、抽采影响范围等方法考察地面瓦斯治理试验井压裂抽采效果。结果表明:在抽采瓦斯量2×10⁴ m³时,13-1煤层65、30 m范围内的原始瓦斯压力由6.8 MPa分别降至2.7、2.4 MPa,瓦

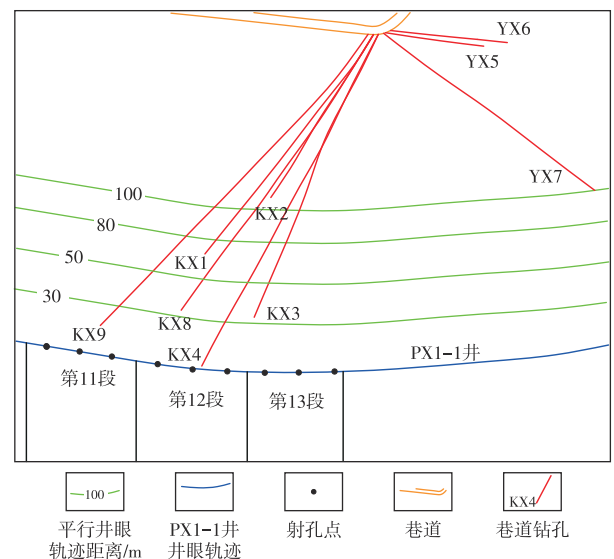


图8 潘一东矿PX1-1井考察孔施工平面图

Fig. 8 Plan view of exploration hole construction for well PX1-1 in Panyidong mine

斯由11.8 m³/t分别降至7.2、5.2 m³/t;水平井65 m范围内,地面瓦斯治理井压裂抽排对煤层降低瓦斯压力、降低瓦斯含量效果明显。

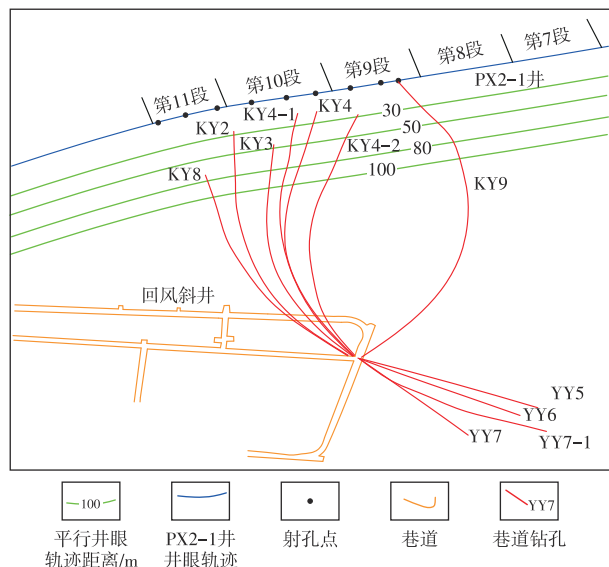


图9 潘一东矿PX2-1井考察孔施工平面图

Fig. 9 Plan view of exploration hole construction for well PX2-1 in Panyidong mine

4 结论

淮南矿区松软低渗煤层条件下瓦斯治理属世界级难题,面对淮南矿区开采深度逐年增大,瓦斯灾害的复杂性和危险性显著增加的问题,采用实施地面瓦斯治理井的方式治理煤矿井下瓦斯:

1) 以煤矿规划设计的采区为单元,沿采煤工作面轨顺、运顺内错30~40 m分别施工L型或U型水平井。

2) 通过对钻井、压裂、排采工艺技术进行优化和改进,采用三开完井方式、旋转下套管技术、酸性压裂液体大规模压裂、有杆无杆排采工艺组合应用等手段,实现了工程成功率100%、压裂最高砂比20%、单井最高日产气量11 067 m³的效果。

3) 经煤矿井下验证,13-1煤层65、30 m范围内的原始瓦斯压力由6.8 MPa分别降至2.7、2.4 MPa,瓦斯含量由11.8 m³/t分别降至7.2、5.2 m³/t,地面瓦斯治理井压裂抽排对煤层降低煤层瓦斯压力、降低煤层瓦斯含量效果明显。因此,通过地面实施瓦斯治理井是煤矿治理瓦斯的有效方法。

参考文献

- [1] 孙海涛,舒龙勇,姜在炳,等. 煤矿区煤层气与煤炭协调开发机制模式及发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(12): 1-13.
SUN Haitao, SHU Longyong, JIANG Zaibing, et al. Progress and trend of key technologies of CBM development and utilization in China coal mine areas[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(12): 1-13.
- [2] 张群. 关于我国煤矿区煤层气开发的战略性思考[J]. 中国煤层气, 2007, 4(4): 3-5.
ZHANG Qun. Strategic thinking on coal mine methane development in China[J]. China Coalbed Methane, 2007, 4(4): 3-5.
- [3] 刘见中,沈春明,雷毅,等. 煤矿区煤层气与煤炭协调开发模式与评价方法[J]. 煤炭学报, 2017, 42(5): 1221-1229.
LIU Jianzhong, SHEN Chunming, LEI Yi, et al. Coordinated development mode and evaluation method of coalbed methane and coal in coal mine area in China[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(5): 1221-1229.
- [4] 孙钦平,赵群,姜馨淳,等. 新形势下中国煤层气勘探开发前景与对策思考[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1): 65-76.
SUN Qinpingle, ZHAO Qun, JIANG Xinchun, et al. Prospects and strategies of CBM exploration and development in China under the new situation[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(1): 65-76.
- [5] 郭凯. 煤层气综合评价与勘探关键技术研究[J]. 能源与节能, 2024(6): 13-15.
GUO Kai. Key technologies of CBM comprehensive evaluation and exploration[J]. Energy and Energy Conservation, 2024(6): 13-15.
- [6] 李峰,薛生,涂庆毅,等. 基于低温液氮浸溶处理的淮南矿区松软中阶煤孔隙特征[J]. 煤矿安全, 2024, 55(3): 73-83.
LI Feng, XUE Sheng, TU Qingyi, et al. Pore characteristics of soft medium rank coal in Huainan Mining Area based on low temperature liquid nitrogen immersion treatment[J]. Safety in Coal Mines, 2024, 55(3): 73-83.
- [7] 张群,葛春贵,李伟,等. 碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂煤层气高效抽采模式[J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 150-159.
ZHANG Qun, GE Chungui, LI Wei, et al. A new model and application of coalbed methane high efficiency production from broken soft and low permeable coal seam by roof strata-in horizontal well and staged hydraulic fracture[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 150-159.
- [8] 程军,莫都,吴国代. 淮南矿区构造动力学特征及煤体变形机制[J]. 山西建筑, 2012, 38(17): 66-67.
CHENG Jun, MO Du, WU Guodai. The tectonic dynamic characteristics and deformation mechanism of coal in Huainan mining area[J]. Shanxi Architecture, 2012, 38(17): 66-67.
- [9] 吴国代,桑树勋,程军,等. 基于卸压煤层气开发的构造煤储层孔渗特征与类型划分:以淮南矿区为例[J]. 石油学报, 2013, 34(4): 712-719.
WU Guodai, SANG Shuxun, CHENG Jun, et al. Poroperm characteristics and classification of tectonic coal beds for pressure-relieved methane exploitation: A case study on Huainan mining area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(4): 712-719.
- [10] 余坤,杨开珍,靖建凯,等. 淮南煤田含煤岩系沉积相类型特征与演化:以新集井田1001钻孔为例[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(1): 20-27.
YU Kun, YANG Kaizhen, JING Jiankai, et al. Characteristics and evolution of sedimentary facies types of coal measures in Huainan coalfield: A case study of well 1001 in Xinji coal mine[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(1): 20-27.
- [11] 刘士言,魏强,胡宝林,等. 淮南潘集深部13₁煤层含气量影响因素分析[J]. 煤炭技术, 2021, 40(3): 46-48.
LIU Shiyan, WEI Qiang, HU Baolin, et al. Influence factors of gas content of No. 13₁ coal seam from Panji deep area in Huainan Coalfield[J]. Coal Technology, 2021, 40(3): 46-48.

- [12] 柴君锋,孙红波,阴慧胜,等.煤层顶板水平井煤层气开发技术研究[J].煤炭技术,2020,39(10):44-46.
CHAI Junfeng, SUN Hongbo, YIN Huisheng, et al. Study on development technology of coalbed methane in horizontal well of coal seam roof[J]. Coal Technology, 2020, 39(10): 44-46.
- [13] 孔祥喜,唐永志,李平,等.淮南矿区松软低透煤层煤层气开发利用技术与思考[J].煤炭科学技术,2022,50(12):26-35.
KONG Xiangxi, TANG Yongzhi, LI Ping, et al. Thinking and utilization technology of coalbed methane in soft and low permeability coal seams in Huainan Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(12): 26-35.
- [14] 陈本良,袁亮,薛生,等.淮南矿区煤层顶板分段压裂水平井抽采技术及效果研究[J].煤炭科学技术,2024,52(4):155-163.
CHEN Benliang, YUAN Liang, XUE Sheng, et al. Study on technology and effect of gas extraction in horizontal well with segmental hydraulic fracture in roof of coal seam in Huainan mining area[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(4): 155-163.
- [15] 刘超,袁广,李浩哲,等.分段多簇密切割压裂技术在淮南矿区煤层气抽采中的应用[J].煤炭技术,2024,43(2):166-170.
LIU Chao, YUAN Guang, LI Haozhe, et al. Application of staged multi-cluster dense-cutting fracturing technology in coalbed methane extraction in Huainan mining area[J]. Coal Technology, 2024, 43(2): 166-170.
- [16] 陈旭.煤层气生产井排采制度研究与优化[J].石化技术,2024,31(5):292-294.
CHEN Xu. Research and optimization of coalbed methane production well drainage and extraction system[J]. Petrochemical Industry Technology, 2024, 31(5): 292-294.
- [17] 朱庆忠.我国高阶煤层气疏导式高效开发理论基础:以沁水盆地为例[J].煤田地质与勘探,2022,50(3):82-91.
ZHU Qingzhong. Theoretical basis of dredging and efficient development of high-rank coalbed methane in China: A case study of the Qinshui Basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(3): 82-91.
- [18] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.煤矿区煤层气地面抽采效果检测与评价:GB/T 34547—2017[S].北京:中国标准出版社,2017:10.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specification for detection and evaluation of coalbed methane surface drainage effect in coal mine: GB/T 34547—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017: 10.
- [19] 乔伟,王凯,程波.顺层长钻孔瓦斯抽采工艺技术应用研究[J].矿业安全与环保,2021,48(6):93-98.
QIAO Wei, WANG Kai, CHENG Bo. Study on the application of gas drainage technology in bedding long drilling[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2021, 48(6): 93-98.
- [20] 丁华忠,龙威成,程合玉,等.煤层气井抽采效果井下长距离取样检测技术研究[J].陕西煤炭,2023,42(2):16-19.
DING Huazhong, LONG Weicheng, CHENG Heyu, et al. Study on the underground long-distance sampling detection technology for the extraction effect of coalbed methane well[J]. Shaanxi Coal, 2023, 42(2): 16-19.

(编辑 黄颖)