

三软煤层采场围岩控制原则与实践

孙 森 唐少安

(山东能源新汶矿业集团有限公司 旬邑虎豪黑沟煤业有限公司 陕西 咸阳 711300)

摘 要:为解决三软煤层采场开采的顶板破碎、煤壁片帮、支架扎底等围岩控制难题,在对黑沟煤矿围岩物理力学试验与底板比压测试的基础上,采用理论分析、数值模拟、现场实测等研究方法,对该矿三软煤层采场围岩控制技术进行研究,提出了三软煤层采场围岩控制的三原则,即“顶板、煤壁、底板”综合控制原则,并对工作面支架进行了选型设计与设备配套的生产实践。现场实测结果表明,采场支架工作阻力不大,其中 92 号支架工作阻力超过 3 000 kN 比例最大,也仅为 0.29%,且煤壁片帮深度范围有明显降低,支架无扎底现象,围岩控制效果较好。

关键词:三软煤层;采场;围岩控制;煤壁片帮

中图分类号:TD324

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2014)12-0037-04

Principle and Practices on Surrounding Rock Control of Three Soft Seam

SUN Sen, TANG Shao-an

(Xunyi Huhao Heigou Coal Industry Company Limited, Shandong Energy Xinwen Mining Group, Xianyang 711300, China)

Abstract: In order to solve the roof broken, coal wall spalling, powered support subsided in floor and other difficult surrounding rock control problems occurred in the mining operation of the coal mining face in three soft seam, based on a physical mechanics test of the surrounding rock and floor specific pressure test in Heigou Mine, the theoretical analysis, numerical simulation, site measurement and other study methods were applied to study the surrounding rock control of mining face in three soft seam. Three principles on the surrounding rock control of the coal mining face in the three soft seam were provided. The three principles were the comprehensive control principles of the roof, coal wall and floor. Based on the three principles, equipment selection design and matched equipment production practices were conducted on the powered support of the coal mining face. The site measured results showed that a working resistance of the powered support in the coal mining face was not high. Among the powered supports, working resistance of No. 92 powered support was over 3 000 kN in maximum and was only 0.29% of the designed resistance. A spalling depth scope in the coal wall was obviously reduced. There was no subsided phenomenon of the powered support occurred. The practices showed that the surrounding rock control effect of the coal mining face was good.

Key words: three soft seam; mining face; surrounding rock control; coal wall spalling

0 引 言

三软煤层通常是指煤层软、顶板软、底板软的煤层,属于典型的难采煤层之一,在我国分布较为广泛,如淮北矿区、山东龙口矿区、徐州矿区等。就淮北矿区而言,大多数煤层为三软煤层,通常具有煤层及顶底板极软、地质构造复杂、瓦斯含量高且突出危险性高、煤层厚度不稳定、开采块段小等特征,因而开采难度极大^[1]。我国学者在三软煤层围岩控制

技术,包括基础试验、液压支架设计、煤壁控制等方面,均做过较多的研究,成果显著。彭苏萍等^[2]进行了三软煤层巷道围岩流变特征的试验研究,获取了泥岩的流变参数,为进一步的软岩巷道支护设计提供了科学依据;王建国^[3]针对三软煤层顶板管理困难,煤壁片帮架前冒顶,严重影响了工作面安全高效生产的难题,提出在三软煤层开采过程中顶板控制、支护密封和支架底座防扎底 3 项技术,优化了三软放顶煤支架的主要技术参数和结构形式,继而实

收稿日期:2014-06-10;责任编辑:曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.12.010

作者简介:孙 森(1966—),男,安徽怀宁人,高级工程师,现任旬邑虎豪黑沟煤业有限公司总工程师。E-mail: panliming@tdkcsj.com

引用格式:孙 森,唐少安.三软煤层采场围岩控制原则与实践[J].煤炭科学技术,2014,42(12):37-40,44.

SUN Sen, TANG Shao-an. Principle and Practices on Surrounding Rock Control of Three Soft Seam[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(12): 37-40, 44.

现了三软煤层开采的安全高效;杨增夫^[4]通过对徐州矿区三软煤层赋存条件及矿压特征的分析,提出了综采放顶煤轻型支架选型依据,并探讨了其合理性;胡永忠^[5]在三软煤层的开采中,对液压支架的稳固提出了重要的技术措施,有效避免了支架下滑、下陷、压死、倾倒等事故,黄庆享等^[6]对三软煤层放顶煤支架围岩关系进行了研究,认为直接顶岩层具有关键性的控制作用。此外,我国学者还针对三软煤层采煤方法^[7-8]、矿压规律^[9-11]、底板破坏^[12-13]、煤壁控制^[14]等开展了大量的研究,有力推进了三软煤层开采方法、矿压规律、围岩控制技术的发展,这些研究常密切联系,共同保证了三软煤层安全高效的开采。众多研究结果表明,三软煤层开采采场围岩控制难度大,技术提升空间大。笔者以山东能源新矿集团旬邑虎豪黑沟煤业有限公司(以下简称黑沟煤矿)三软煤层采场围岩控制实践为例,提出此类煤层的采场围岩控制原则,并通过现场实测检验围岩控制效果。

1 工程概况

黑沟煤矿位于陕西咸阳市旬邑县东南的清源乡苍耳沟境内,黑沟井田煤系地层为中、下侏罗统延安组($J_{1-2}y$)的第一段,其厚度为14.18~64.40 m,平均厚度约40.00 m。本段共含煤4层,煤层总厚度为6.78 m,含煤系数17%。可采煤层仅有 4^{-2} 煤层,其余 4^{-1} 、 4^{-3} 、 4^{-4} 煤均为不可采层。可采煤层 4^{-2} 煤层全井田普遍分布,除井田南部及东部沉积边缘和剥蚀边缘煤层因薄而不可采外,其余均可采, 4^{-2} 煤层平均埋深为390 m,厚0.20~6.28 m,平均厚4.63 m,煤层结构及顶底板岩层情况见表1。

表1 4^{-2} 煤层顶底板岩层情况

	煤岩层	厚度/m	岩性
顶板	基本顶	4.0~9.0	中粒灰白砂岩
	直接顶	1.0~2.5	灰色粉砂岩
	伪顶	0.4~0.5	炭质泥岩
4^{-2} 煤层	上分层	0.60~0.80	煤
	夹矸	0.10~0.25	炭质泥岩
	中分层	1.10~1.30	煤
	夹矸层	0.10~0.25	薄层夹矸
	中分层	0.60~1.10	煤
	夹矸层	0.80~1.00	上为炭质泥岩、下为灰白粉砂岩
	下分层	0.60~0.85	煤
	底板	直接底	1.35~7.62
			粉砂岩与砂质泥岩

4^{-2} 煤层结构复杂,含夹矸4~5层,其中第3~4层夹矸最稳定,并将煤层分为上、中、下3个自然分层,黑沟煤矿主要开采中分层,厚度一般为2~3 m。煤层直接顶以薄层状的粉砂岩为主,此类顶板岩性松软,强度小,遇水泥化,矿井分层厚度多小于0.3 m,常与砂质泥岩形成互层,且节理裂隙发育,属不稳定顶板。底板则以灰色粉砂岩及砂质泥岩为主,局部为炭质泥岩,富含植物根须化石,呈团块状,较松软,遇水易膨胀底鼓,为不稳定岩层,厚度1.00~3.15 m,一般厚度2.0 m左右。底板则以灰色粉砂岩及砂质泥岩为主,局部为炭质泥岩,富含植物根须化石,呈团块状,较松软,遇水易膨胀底鼓,为不稳定岩层,厚度1.00~3.15 m,一般厚度2.0 m左右。

2 围岩物理力学测试

对三软煤层进行物理力学试验与底板比压测试,将为采场围岩控制基础,可为工作面液压支架选型等提供重要参考依据。

2.1 物理力学试验

取黑沟煤矿的煤岩样,采用经岩石力学试验进行测定,煤层及顶底板强度测定结果见表2。依据煤岩分类通则, 4^{-2} 煤层及其顶底板测试结果显示, 4^{-2} 煤层及顶底板均为松软煤岩层。由煤岩浸水试验可知,煤岩遇水强度急剧降低,浸水后基本顶、直接顶、伪顶的强度为其自身的1/3,煤层、夹矸的浸水后强度为其自身的1/2,底板最低为1/7。

表2 煤层及顶底板强度测试结果 MPa

样别	单向抗压强度	单向抗拉强度	浸水10 d 抗压强度
基本顶	28.80	1.19	9.73
直接顶	27.73	2.11	2.53
伪顶	25.61	2.97	0.29
煤层上分层	19.77	2.80	13.90
煤层中分层	20.33	1.02	11.12
煤层夹矸	26.27	2.80	2.09
底板	27.43	1.44	4.02

2.2 底板比压测试

鉴于黑沟煤矿工作面底板松软,采用综采方法开采,综采支架极易扎入底板,导致支架初撑力无法正常发挥使顶板急速下沉,支架移动困难,使综采设备无法发挥优势^[15]。因此,需对底板进行比压测试,为液压支架设计与选型提供依据。经 4^{-2} 煤层底板比压测定,工作面底板比压为11.83~29.69 MPa,平均17.44 MPa。容许比压最大值为8.88~

22.27 MPa, 平均 13.07 MPa; 根据采煤工作面底板分类标准, 工作面底板为较软底板, 代号为 IIIb。

3 三软煤层采场围岩控制难点及原则

3.1 采场围岩控制难点

基础试验测试结果表明, 黑沟煤矿 4^{-2} 煤层为三软煤层, 再加上顶板为复合顶板, 开采难度极大。主要体现在以下 3 个方面。

1) 复合顶板支护难度大。 4^{-2} 煤层直接顶板中存在 1 层或几层不可采煤层。从支护方面分析, 复合顶板使可采煤层的直接顶厚度大幅增加, 均质性变差, 复合顶板各分层强度及刚度不等, 层理较发育, 分层之间黏聚力小。由于软岩、薄煤的自身强度低、弱面发育, 顶板松动圈较大, 易离层、冒落, 难以形成整体结构共同承载。采动后很容易发生离层挠曲, 大多与煤层呈整合接触, 上层煤的底板即下层煤的顶板, 如不采取有效支护方式, 极易发生突发性顶板事故。

2) 底板松软且遇水软化严重, 支架易扎底。 4^{-2} 煤层的底板比较松软, 尤其遇水后其自身强度变得更低, 在工作面回采过程中受采动应力影响极易发生支架底座扎底, 这将直接降低支架初撑力对顶板的主动支护效果, 甚者将引起顶板离层、冒落形成被动支护, 使支架直接成为顶板岩梁大部分载荷的承载体, 将严重影响工作面的正常回采。

3) 煤质软, 节理发育、煤层不稳定, 易发生煤壁片帮及端面冒顶事故。煤壁片帮和端面冒顶的连锁反应, 将逐步使本身整体结构性较差的复合顶板更加趋于破碎, 顶板压力将因顶板结构的失稳更大范围、更大程度的转移到支架上来。随着支架承受载荷的剧增, 将使工作面底板被压塑、变软, 形成恶性循环。

通过以上分析, 复合顶板三软煤层围岩控制方法和技术必须从保持上覆顶板的完整性、煤壁的稳定性和底板的整体性等方面进行相应研究。

3.2 采场围岩控制原则

针对上述分析, 黑沟煤矿 4^{-2} 煤层采场围岩控制应遵循如下 3 个原则。

1) 顶板控制原则: ①保证足够的支架支护强度。根据支护强度估算法及数值模拟分析法可得, 4^{-2} 煤层采场支护强度应不低于 0.6 MPa, 如图 1 所示; ②提供足够的过人空间; ③具有较好的控顶效果, 对顶板反复作用次数要少, 破坏作用要小。

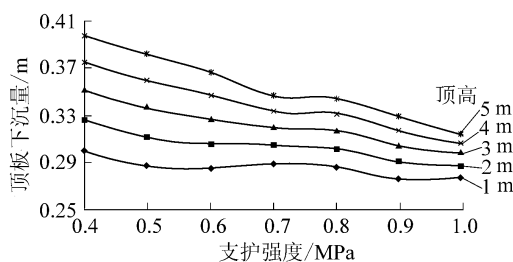


图 1 不同顶高层位的顶板下沉量

2) 底板控制原则。①根据采场底板控制的需要和现有支柱(架)的技术结构特征确定合理的支架底座面积, 以达到减少支架扎底量和提高支柱承载能力的目的; ②应尽可能避免底板人为浸水; ③适当缩小空顶距, 加快推进速度, 缩短循环时间, 缓解支架、支柱扎底的程度; ④在对底板采取有效措施的同时, 也要完善对顶板的管理, 要从“顶板-支架-底板”组成统一的力学体系角度出发来改善顶、底板管理, 从而有更好的安全保障。

3) 煤壁控制原则: 根据已有的研究结果及黑沟煤矿 4^{-2} 煤层的赋存特点及现场生产实践, 现采取以下措施, 加强煤壁的稳定性: ①提高支架初撑力和支护阻力; ②合理使用护帮、侧护装置; ③及时支护, 减小空顶范围; ④加快工作面推进速度; ⑤带压移架。

4 三软煤层采场围岩控制实践

4.1 采场围岩控制技术

三软煤层采场围岩控制技术的关键之一在于液压支架设计与选型, 选型应依据以上三软煤层采场围岩综合控制三原则, 即确保三软煤层采场顶板完整性、煤壁稳定性与底板整体性。采场液压支架架型主要有支撑式、支撑掩护式和掩护式 3 种, 而支撑掩护式与掩护式支架由于稳定性较好, 应用较为广泛, 且两者相比而言, 掩护式支架更是具有如下优点: 同等工作阻力、同等质量条件下支护强度高、支护能力强; 对顶板破坏作用小、顶板维护效果好; 整体顶梁结构利于保持梁端顶板的完整; 支架结构简单, 便于快速移动, 利于提高采场推进速度; 立柱受力均衡, 支护效率高; 对顶板形成主动和被动水平力, 避免冒顶, 改善顶板控制, 特别是对于不稳定和中等稳定顶板, 控顶效果好。由此可知, 在黑沟煤矿三软煤层开采条件下顶板易破碎、煤壁易片帮、底板易于扎底的情况下, 掩护式支架将更能适应其采场围岩控制需要。

根据以上分析, 黑沟煤矿 4^{-2} 煤层工作面确定

选择ZY3400/14/32两柱式掩护式支架,主要参数如下:支护高度1400~3200 mm,支架中心距1500 mm,支架宽度1430~1600 mm,初撑力2616 kN ($P=31.5$ MPa),额定工作阻力3400 kN(操作方式为本架控制 $P=40.9$ MPa),支护强度0.57~0.66 MPa,对底比压前尖端0.92~1.96 MPa,适应煤层倾角 35° (加防倒防滑),泵站压力31.5 MPa。ZY3400/14/32两柱式掩护液压支架适用于顶板较为破碎的、随采随冒、基本顶周期来压不明显的顶板。支架设计中采用了整体顶梁、伸缩梁加护帮板结构,前滚筒割顶煤后,可先把伸缩梁伸出,对顶板起到维护作用。支架具有较高的初撑力和工作阻力,降低了煤壁支承压力,提高了煤壁的稳定。护帮千斤顶行程为422 mm,初撑时的推、拉力分别为247、126 kN,工作阻力为319 kN,能够有效控制煤壁片帮与端面冒顶的发生。

对复合顶板三软煤层采场进行合理的设备选型配套能够有效保证工作面推进速度,提高生产效率,可保证工作面安全生产。黑沟煤矿 4^{-2} 煤层采场设备配套如下:MG180/435-W采煤机、ZY3400/14/32液压支架、SGD630/264刮板输送机、SGW-40T转载机、RBW200/31.5乳化液泵。

对ZY3400/14/32两柱式掩护液压支架底板比压进行校核计算,支架底座前端比压最大值为1.96 MPa,小于底板允许比压13.07 MPa。

4.2 应用效果

在黑沟煤矿4402W采场的10、49、50、51、92、93号支架各布置1台CDW-60型支架压力记录仪,观测记录支架压力数据,并绘制各架“支架工作阻力-推进距离”曲线,图2为51号支架工作阻力-推进距离曲线图。观测结果表明,采场周期来压步距为3~18 m,平均为5.73 m。循环末阻力动载系数为0.91~1.77,平均为1.39;加权阻力动载系数为1.03~1.76,平均为1.42。支架工作阻力分布频率表明,上述6架支架工作阻力普遍不高,工作阻力出

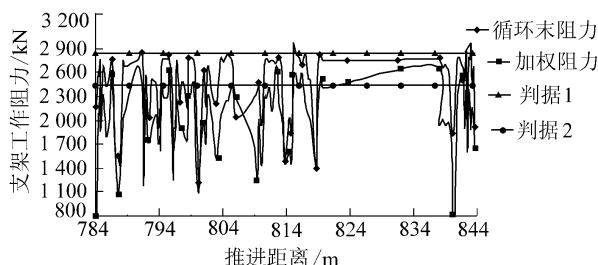


图2 51号支架工作阻力曲线

现在3000~3400 kN的比例较低,其中92号支架出现的比例最大,仅为0.29%,其次为50、51号支架,分别为0.04%、0.02%。由此可见ZY3400/14/32支架能够满足采场顶板控制要求。

对壁片帮观测结果分析表明,采场片帮多发生在工作面中上部,片帮深度为0.2~0.4 m的占57.4%,片帮深度大于0.4 m的占7.4%,比例较大;片帮深度在0.6 m以上的占1.8%。此类片帮多发生在煤壁中部偏上位置,且多数为滑落式片帮,即煤壁顶部的煤沿斜面滑下,在端面形成一定范围的空顶面积,很容易诱发顶板冒顶。该采场支架由于采用了伸缩梁加护帮板的形式,防片帮能力增加。经与上一个4406W工作面的煤壁片帮情况分析对比发现,煤壁片帮的深度范围有了明显下降,这就充分说明工作面上覆围岩层到了有效控制。此外,实际生产中,二柱掩护式支架未出现扎底现象,支架底座能够满足三软煤层工作面底板比压的要求。

5 结 语

1) 对三软煤层工作面煤层及围岩基础测试,包括物理力学测试及底板比压测试,是进行三软煤层采场围岩控制的重要基础工作之一,能够为采场围岩控制提供重要参考依据。

2) 黑沟煤矿 4^{-2} 煤层为三软煤层,且顶板为复合顶板,属于典型的难采煤层,存在顶板支护难度大、煤壁易片帮、支架底座易扎底的问题,因此三软煤层采场围岩控制应遵循“顶板、煤壁、底板”综合控制三原则。

3) 根据通过对黑沟煤矿 4^{-2} 煤层工作面合理液压支架选型与设备配套,矿压观测结果表明,采场支架工作阻力不大,很少超过3000 kN,最大比例仅为0.29%,煤壁片帮深度范围有明显降低,未出现支架底座扎底现象,说明采场围岩控制效果较好。

参考文献:

- [1] 李伟,詹振江.淮北矿区“三软”极复杂煤层综采技术研究与实践[J].煤炭学报,2010,35(11):1800-1808.
- [2] 彭苏萍,王希良,刘咸卫.“三软”煤层巷道围岩流变特征实验研究[J].煤炭学报,2001,26(2):149-152.
- [3] 王建国.三软煤层电液控制放顶煤液压支架设计[J].煤炭科学技术,2012,40(12):97-100.
- [4] 杨增夫.徐州矿区“三软”煤层综采放顶煤轻型支架合理性分析[J].煤炭科学技术,2002,30(10):56-58.

(下转第44页)

出, 钻孔深大于 6 m 的煤粉量明显增大, 且钻进到 12 m 时出现卡钻等动力效应, 钻进 17 m 共排出煤粉 377 kg, 是钻孔设计煤粉量 238 kg 的 1.6 倍, 说明煤柱区垂直应力较大。通过在煤柱区实施煤层钻孔进行卸压, 3_下322 工作面于 2014 年 2 月 16 日推进到终采线位置, 顺利穿越煤柱区, 避免了冲击地压发生, 保障了工作面回采安全。

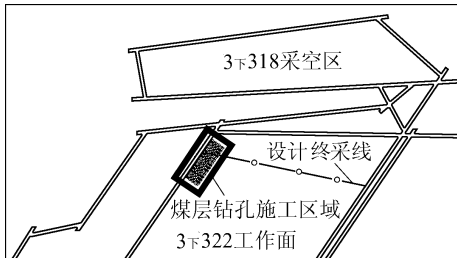


图4 煤层钻孔布置

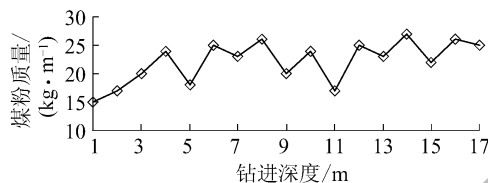


图5 钻进过程中煤粉量变化曲线

5 结 语

1) 指出冲击地压的发生需满足内、外因, 内因是指煤岩体的冲击倾向, 外因是指煤岩体的受载条件, 如应力、扰动, 且扰动是冲击地压的触发因素。

2) 以冲击地压发生的内、外因为线索, 分析了煤岩层冲击倾向、开采深度、煤柱、采动等因素综合影响下的冲击地压危险性, 并指出受开采深度、煤柱、采动综合影响时煤柱区运输巷沿空帮发生冲击地压的可能性较小, 实体煤帮发生冲击地压的可能性较大, 从而确定冲击危险区。

3) 根据应力条件、触发条件, 预测了 3_下322 工作面穿越煤柱区时冲击地压危险性高, 并通过微震监测和钻孔煤粉量变化验证了预测结果的准确性。

4) 通过超前在煤柱区密集实施煤层钻孔, 避免了冲击地压的发生, 保障了工作面回采安全, 可为田陈煤矿及类似矿井今后开展煤柱区冲击地压危险性预测及治理提供借鉴。

参考文献:

- [1] 姜福兴, 魏全德, 姚顺利, 等. 冲击地压防治关键理论与技术分析[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 6-9.
- [2] 齐庆新, 李晓璐, 赵善坤. 煤矿冲击地压应力控制理论与实践[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 1-5.

- [3] 王存文, 姜福兴, 刘金海. 构造对冲击地压的控制作用及案例分析[J]. 煤炭学报, 2012, 37(S1): 263-268.
- [4] 潘一山, 王来贵, 章梦涛, 等. 断层冲击地压发生的理论与试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6): 642-649.
- [5] 李英杰, 潘一山, 阎海鹏. 大寒岭倒转背斜复杂煤层结构冲击地压研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2010, 30(2): 202-206.
- [6] 陈国祥, 郭兵兵, 冀林名. 褶皱区工作面开采布置与冲击地压的关系探讨[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(10): 27-30.
- [7] 陈法兵, 毛德兵, 蓝航, 等. 不规则煤柱影响下旋采工作面冲击地压防治技术[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(2): 8-11.
- [8] 高晓东, 张青山, 王海川, 等. 冲击倾向性煤层 Z 形煤柱诱发冲击地压机理研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(11): 50-52.
- [9] 刘金海, 姜福兴, 王乃国. 深厚表土长大综放工作面顶板运动灾害控制[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 165-176.
- [10] LIU Jin-hai, JIANG Fu-xing, ZHU Si-tao. Application of Coal Seam Boreholes in Rock Burst Control[C]// The 3rd International Workshop on Mine Hazards Prevention and Control. Brisbane: 2013: 72-78.
- [11] 刘金海, 姜福兴, 孙广京. 强排煤粉防治冲击地压的机制与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(4): 747-754.
- [12] 王存文, 姜福兴, 王平, 等. 煤柱诱发冲击地压的微震事件分布特征与力学机理[J]. 煤炭学报, 2009, 34(9): 1169-1173.
- [13] 袁瑞南, 李化敏, 李怀珍. 煤柱型冲击地压微震信号分布特征及前兆信息判别[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 80-85.

(上接第 40 页)

- [5] 胡永忠. “三软”煤层液压支架的稳固措施[J]. 矿业安全与环保, 2000, 27(S0): 108-109.
- [6] 黄庆享, 姬建虎, 张沛, 等. 三软煤层放顶煤支架-围岩关系分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2005, 22(1): 15-17.
- [7] 诸化坤. 权台煤矿三软煤层综放顶煤开采技术应用[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(2): 5-6.
- [8] 杨钦铭, 王子升. 北皂矿“三软”综放开采技术与实践[J]. 煤矿设计, 2001(5): 11-12.
- [9] 李建伟, 刘长友, 李永明, 等. 三软大倾角厚煤层组合支架工作面矿压显现规律及支架适应性分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(8): 79-82.
- [10] 王其扬. “三软”煤层综放开采矿压观测与分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 1998, 15(2): 21-23.
- [11] 郭坤, 刘长友, 孙凯. “三软”煤层综放面矿压规律及支架适应性研究[J]. 陕西煤炭, 2007(1): 22-23.
- [12] 朱术云, 周海洋, 李新芳, 等. 基于现场实测“三软”煤层采动底板变形破坏机制[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(4): 518-525.
- [13] 朱术云, 鞠远江, 姜振泉. “三软”煤层采动底板变形特征数值模拟与实测对比分析[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2013, 25(1): 13-16.
- [14] 宫培发, 孔德山. 三软煤层综采工作面煤壁加固技术[J]. 煤炭技术, 2003, 22(2): 41-42.
- [15] 王恩鹏, 张英. 液压支架底板比压的试验与研究[J]. 煤炭科学技术, 1996, 24(12): 33-35.