

矿山压力与灾害控制

浅埋煤层工作面矿压显现规律实测分析及控制研究

何正刚

(北京天地玛珂电液控制系统有限公司, 北京 100013)

[摘 要] 基于沙坪矿 18204 综采工作面回采期间各测站采集的支架工作阻力数据, 分析初次来压时支架压死的原因, 得出浅埋单一关键层条件下, 顶板初次来压期间中部支架工作阻力普遍高于两端支架阻力, 动载系数较大, 覆岩整体破断裂隙直接贯通地表的矿压显现特征。通过 FLAC^{3D} 和 UDEC 数值模拟软件, 模拟分析不同推进速度下矿压显现规律, 提出通过缩短工作面长度和加快推进速度可明显减小工作面超前支承压力和影响范围, 降低煤壁水平位移量, 并得到了现场的验证, 为浅埋单一关键层下煤层的安全开采提供有益参考。

[关键词] 浅埋深; 矿压显现规律; 初次来压; 推进速度

[中图分类号] TD323 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2015) 01-0082-04

Underground Pressure Behavior Analysis of Mining Face in Shallow-buried Coal-seam and Its Control

HE Zheng-gang

(BeijingTiandi Make Electro-hydraulic Control System Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: The cause of powered support crushing in first weighting of 18204 full-mechanized mining face in Shaping Colliery was analyzed on the basis of working resistance data of powered support. It was obtained that working resistance of middle powered supports was generally larger than those at the two-end of mining face, dynamical load coefficient was large, and the mining fissures of surrounding rock reached surface. Underground pressure behaviors rule under different mining speeds were simulated with FLAC^{3D} and UDEC. It was put forward that advanced abutment pressure, its influence range and horizontal displacement of coal-wall could be reduced obviously by shortening face length and increasing mining speed, which was proved by practice. This provided reference for safe mining under shallow-buried single key strata.

Keywords: shallow buried depth; underground pressure behavior rule; first roof weighting; mining speed

晋神河曲煤炭开发公司沙坪矿是一座设计生产能力为 2.4Mt/a 的大型现代化矿井, 共 6 层可采煤层, 埋深 130~230m, 属浅埋煤层。所采煤层顶板较完整, 裂隙不发育。18204 工作面主采 8 号煤, 回采初期因初次来压造成大面积支架压死, 给井下安全生产带来巨大威胁。

为了揭示该煤层矿压显现规律及岩层破断特征, 从而能够准确掌握工作面顶板初次来压、周期来压步距和强度, 对 18204 回采工作面进行了矿压观测, 在此基础上分析了回采空间支架与围岩的相互作用关系, 并基于此合理选择了采煤参数、支护方式和顶板管理方法, 使得工作面实现了安全正常生产。通过总结浅埋工作面回采期间的来压规律, 可为此类条件下煤层的安全开采提供重要的借鉴意义。

1 工作面地质条件

18204 工作面主采的 8 号煤位于山西组地层中部或中下部, 依据钻孔揭露情况来看, 该工作面地表上覆黄土层为 50m, 埋深为 136m, 基岩厚度为 86m, 属于典型的浅埋深开采煤层。煤层结构复杂, 一般由 3~7 个分层组成, 含 2~6 层夹矸, 其中部有较稳定的一层厚 0.5~1m 的黏土性夹矸层。煤层顶板为泥岩、粉砂岩或粉质砂岩, 底板为黏土岩或泥岩, 顶、底板岩性介于软弱~中等坚硬之间, 岩体相对完整, 裂隙不发育。

工作面走向长 1857m, 净宽 300m, 采高 2.8~3.3m, 倾角 3~5°, 煤层可采面积 0.753km²; 煤层厚度无明显变化, 平均厚 3.20m, 密度 1.64t/m³, 可采储量 3.94Mt; 工作面煤层总体呈平缓的单斜构造形态, 局部波状起伏。采用走向长壁后退

[收稿日期] 2014-06-10

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2015.01.024

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划 (973) 资助项目 (2010CB226806)

[作者简介] 何正刚 (1983-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 工程师, 主要从事电液控制系统方面研究工作。

[引用格式] 何正刚. 浅埋煤层工作面矿压显现规律实测分析及控制研究 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (1): 82-85, 77.

式综合机械化采煤法，顶板全部垮落处理采空区，ZY8000/17/35D 掩护式液压支架支护顶板，主要技术参数见表 1。

表 1 液压支架主要技术参数

项目	参数
支护高度/mm	1700 ~ 3500
中心距/mm	1750
支架宽度/mm	1660 ~ 1860
初撑力/kN	6412 ($P = 31.5 \text{ MPa}$)
工作阻力/kN	8000 ($P = 39.3 \text{ MPa}$)
支护强度/MPa	0.9 ~ 1.0
泵站压力/MPa	31.5

2 工作面矿压观测方案

2.1 观测内容

矿压显现规律 应用工作面支架上安设的圆图压力自计仪记录 18204 工作面回采期间不同时间的支架工作阻力，分析总结综采面矿压显现规律，包括初次来压强度与步距、周期来压强度与步距等。

液压支架适应性 根据圆图压力自计仪的实测数据和采场宏观现象，结合液压支架相关技术参数的计算公式，综合分析支架的工作状态、支护效果及其对顶板的适应性。

2.2 测点布置

为了分析工作面沿倾斜方向不同部位顶板的来压规律^[1]，掌握整个工作面在初次回采期间的压力显现规律、顶板的支护质量及开采边界的影响，参照 18204 综采工作面的周期来压情况，沿工作面倾向，按照“三曲五线”的原则在工作面支架上布置了 5 个矿压观测圆图自计仪，分别安装在第 20 号、80 号、90 号、100 号、160 号支架上。同时，在上下巷道支设顶板下沉仪，并用支柱测力计对两巷单体支柱的初撑力及工作阻力定期进行巡回检测，总结规律，为生产及搬家倒面工作积累基础数据，具体布置如图 1 所示。

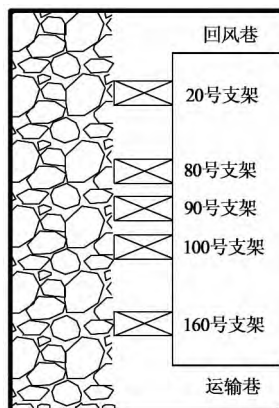


图 1 工作面测点布置示意

3 工作面矿压显现规律分析

3.1 18204 工作面来压情况

初次来压 工作面自 2010 年 10 月 21 日开始回采，至 2010 年 11 月 16 日机头推进 51m，机尾 46m，平均距离 47.5m，此时工作面初次来压，造成工作面倾向 45 ~ 148 号架梁前切顶，108 ~ 145 号架大部分被压死，而 1 ~ 45 号架顶板上方未来压，支架完好无损。

图 2 为沿工作面倾向初次来压时支架的工作阻力情况。由图 2 可看出，压力主要集中在中部，两端相对较弱，同时部分支架未接触顶板而无工作阻力；分析数据可知，瞬时最大工作阻力为 39.5MPa，为额定工作阻力的 100.5%，动载系数平均为 1.25。现场观测得出，在来压期间，采空区有顶板断裂的闷响声，工作面中部煤壁片帮严重，伴有劈裂的声音，安全阀全部开启，顶板破碎，冒顶较严重，两端无片帮，压力不明显。

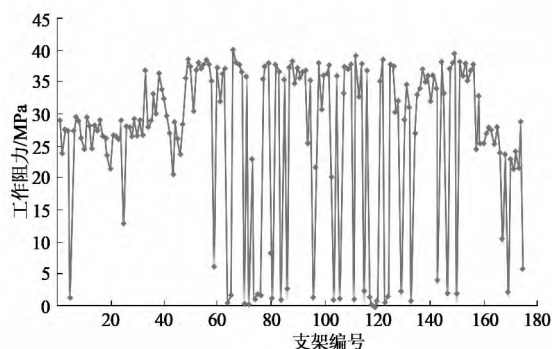


图 2 工作面初次来压时支架工作阻力

工作面来压特征 如图 3 所示，随工作面自切眼开始回采，在初次来压期间（约 45m 后），沿工作面倾向，矿压分布表现为工作面中部较大，两端头较小的特征；工作面中部煤壁片帮明显，工作阻力大部分在 21 ~ 30MPa 之间，为额定工作阻力的 81% ~ 90%，两端支架的工作阻力为 72% ~ 84%，仍有很大的富余量；中部来压明显早于两端，步距略小，对比现场实测，两者相差 3 ~ 6m；架间伴有局部冒顶现象，工作面顶板煤体较两端酥碎。

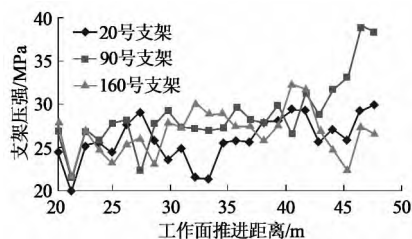


图 3 工作面推进过程中支架阻力变化

3.2 工作面支架特征分析

根据圆图自计仪在工作面初采推进过程中记录的数据, 分别对 18204 工作面中部的 80 号、90 号和 100 号支架的初撑力和循环末阻力进行统计, 研究支架的运行特征, 见表 2。

表 2 18204 工作面液压支架工作阻力 kN

支架号	支架平均初撑力	支架平均循环末阻力值	时间加权平均工作阻力
80	5109.32	5520.45	5301.21
90	5575.78	6106.67	5532.89
100	6188.43	6452.24	6321.63
平均值	5624.51	6026.45	5718.58

从表中可以看出, 支架平均初撑力为 5624.51kN (27.63MPa), 仅为额定工作阻力的 70.31%, 不符合规程中关于液压支架初撑力不得低于额定工作阻力 80% 的规定; 此外, 27.63MPa 的初撑力更低于 31.5MPa 的泵站压力。结合现场实际, 原因一方面可能是受不稳定顶板冒落状态的影响, 另一方面受乳化液泵站至支架之间管路漏液和支架漏液的影响。结合图 2 可看出, 工作面支架多处存在工作阻力为零的情况, 这与支架工过分追求支架齐平而升架不到位, 未触及顶板有关。支架平均循环末阻力值 6026.45/kN 和时间加权平均工作阻力 5718.58/kN 分别为额定工作阻力的 75.33% 和 71.49%, 均有很大的富余量。

4 18204 工作面来压机理分析

根据相关文献^[2-9], 作为典型的浅埋煤层, 其工作面上覆岩层一般呈现单一的关键层结构, 该关键层的破断失稳对工作面矿压显现和地表沉陷都有直接的影响。图 4 为典型的浅埋煤层工作面上覆岩层为单一关键层的破断示意图。此类上覆岩层垮落仅存在垮落带和裂缝带, 无弯曲下沉带。随着工作面的回采, 直接顶悬臂岩梁在上覆岩层自重和开采扰动应力、支架支护力的作用下, 开始弯曲下沉, 两端出现裂隙, 过程可简化理解为由嵌固梁到简支梁的转变, 当暴露面积达到强度极限时, 基岩层一次全厚性垮断, 初次来压表现强烈, 并时常伴有滑落失稳和台阶下沉现象, 顶板破断直接波及地表, 造成地面沉陷, 其破断具有“O-X”形破断特征。

结合 18204 工作面实际情况, 在临近初次来压期间, 工作面中部煤壁顶煤酥碎, 煤壁片帮严重, 在工作面顶板前方和采空区时常传来顶板断裂的声音, 即随着悬顶面积的增大, 工作面煤壁和切眼处所受的压力逐渐达到极限, 开始破断, 发生扭转。同时, 初次来压的位置所对应的地表地形复杂, 垂

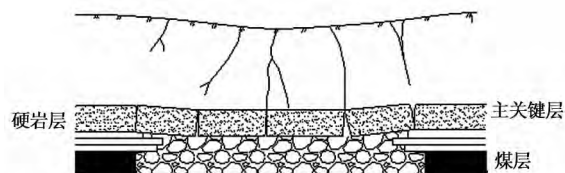


图 4 典型浅埋煤层上覆岩层的单一关键层结构

直于切眼方向存在 2 座山梁, 滑坡严重, 回风巷开始顺切眼的方向 140m 处地表开裂落差为 1.5 ~ 2m 的裂缝。在与切眼平行方向的 35m 处出现 1 条宽 1m 左右的拉动裂缝, 并在连续数日的监测里发现, 裂缝不断扩大, 直到距工作面位置 20m 左右扩大的趋势停止。

5 工作面推进速度与覆岩运动规律

相关研究表明, 在满足工艺要求的条件下, 加快工作面推进速度、避免工作面在某一位置滞留太久, 可有效控制矿压显现带来的问题。

5.1 数值模拟分析

为弄清工作面推进速度对覆岩运动规律的影响, 本文以沙坪矿 18204 工作面为模型, 进行了数值模拟分析。模型分别采用 FLAC^{3D} 和 UDEC 数值模拟软件进行建模, 在相同的边界条件下, 对工作面回采 200m 时不同推进速度下的采场围岩位移分布特征及上覆岩层运动规律进行模拟^[10]。模拟过程中以计算时步大小来代表工作面在推进 200m 这一位置的滞留时间长短, 从而间接反映工作面推进速度的快慢。此外, 由于 FLAC^{3D} 和 UDEC 的运算过程不同, 两者的时步并不具有一致性, 因此对 FLAC^{3D} 软件取时步为 500, 1000 及 1500, 分别代表推进速度较快、普通及较慢, 而对应 UDEC 软件, 则分别取时步为 5000, 10000, 20000。模拟结果如图 5 所示。

从 FLAC 模拟分析图中可以看出, 随着工作面推进速度的加快, 煤壁的水平位移量减小, 即运算时步越大 (即推进速度越慢), 工作面煤体及顶板的变形量就越大, 越不利于工作面上覆岩层的控制; 反之运算时步越小 (即推进速度越快), 工作面煤体及顶板的变形量就越小。为此, 应适当加快推进速度, 以控制工作面大面积来压, 造成压架。此外, 由 FLAC 模拟图中可知, 围岩向煤避外侧的水平位移也随工作面推进速度的增大而减小, 因此片帮现象基本消失。

由 UDEC 模拟分析图可以得出, 工作面开挖至 200m 处时, 采空区上方直接顶完全垮落, 但不同推进速度下工作面围岩应力分布状况有差别, 推进

速度越快, 工作面煤壁处应力越小; 反之, 工作面

推进速度慢, 则煤壁处应力较大。这也解释了现场

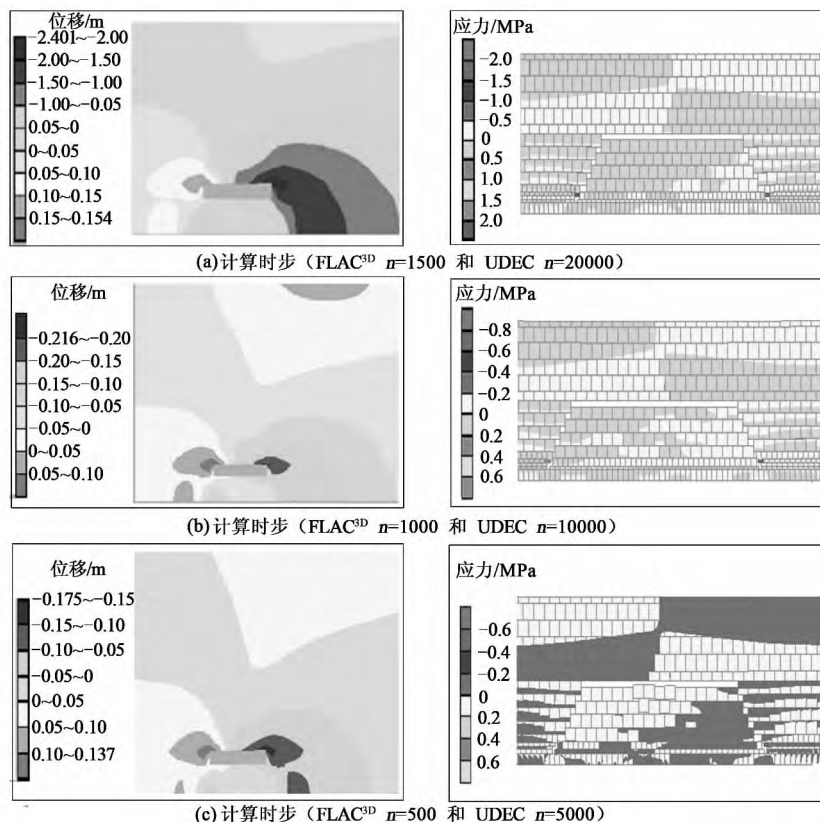


图5 不同推进速度下工作面围岩位移特征和上覆岩层运动状况

实践中许多工作面滞留较久时, 常造成顶板来压过大, 出现煤壁处台阶下沉, 上覆松散层与覆岩层整体断裂作用在支架上, 造成支架压死现象的原因^[11-13]。此外, 由 UDEC 分析图中还可以看出, 顶板断裂位置距离工作面回采空间 (支架) 位置均较远, 因此迫使顶板尽快断裂, 避免悬顶, 也是现场预防压架的一项重要工作。

5.2 现场实践

根据上述分析, 发生支架压死事故后, 矿方采取了缩短工作面长度并加快工作面推进速度的方法, 确保了安全生产。压架前工作面长度为 300m, 采用端部斜切进刀方式割三角煤, 双向割煤的进刀方式, 每日进尺 6.4m。工作面压架后, 工作面缩短为 200m 左右, 每早班割煤 2 刀, 交替进刀, 工作面支架及时移步跟进, 再无支架压死现象发生。上述方案只应用于工作面初次来压及前几次周期来压前后, 18204 工作面在初次来压后, 推进 47.5 ~ 303.5m 范围内采用了缩短工作面并加快推进速度的方法; 为保证采出率及高产高效, 推进 303.5m 后, 矿压显现稳定时仍采取正常采煤工艺。

6 结论

(1) 18204 工作面为典型的浅埋工作面, 其初

次来压步距约为 47.5m, 初次来压较强烈, 动载明显, 上覆松散层及覆岩关键层整体破断, 无弯曲下沉带, 裂隙直接贯通到地表, 地面塌陷明显。

(2) 支架的平均初撑力、平均循环末工作阻力和加权平均阻力均低于额定工作阻力, 总体上存在富余, 但因操作不当和泵压管路破损造成初撑力不足, 支架整体受力不均, 对顶板的控制不力, 不但容易造成支架受损, 更易导致局部大面积支架压死, 影响工作面安全生产。

(3) 浅埋工作面沿倾向方向不同部位的矿压显现程度不同, 其中中部来压较强烈, 两端较缓和, 初次来压期间常造成中部支架压死, 顶板破断具有 “O-X” 形破断特征。

(4) 通过缩短工作面长度和加快工作面推进速度, 可以减小工作面超前支承压力的影响范围并使峰值位置和顶板断裂位置前移, 降低工作面超前支承压力集中程度, 使煤壁的水平突出位移减小, 这为浅埋综采工作面的安全开采提供重要参考。

[参考文献]

- [1] 汪青仓, 赵永飞. 浅埋深工作面矿压观测 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2004, 21 (3): 82-84.

(下转 77 页)

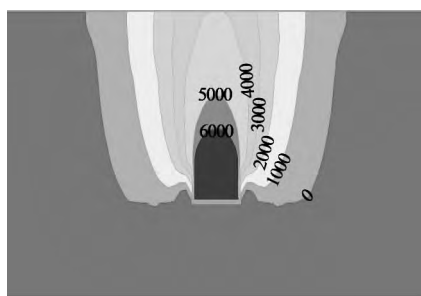


图 5 倾向主剖面上的竖直移动

量达到 4000mm, 地表下沉形状为近似圆形, 工作面巷道主要影响范围为 220 ~ 250m, 对于其基岩的移动变形主要是由基岩结构形成的平衡拱结构控制, 从其模型应力云图和岩层移动云图可以看出平衡拱结构的大小和表土层厚度决定了地表松散层的影响范围。基岩的移动变形从下到上主要呈衰减传播, 上下各点的下沉量各不相同, 而表土层各点下沉量基本相同, 以整体下沉为主。由于其工作面宽度设定为 200m, 在模拟过程中加入工作面宽度的限定后, 其最终模拟地表移动范围结果为 245m。

通过理论计算得到高速公路侧 1312 工作面的保护煤柱尺寸至少为 227m。而 FLAC^{3D} 数值模拟表土层厚度为 180m, 工作面长度为 200m, 模拟得出的地表影响范围为 245m。1312 工作面上覆表土层实际厚度为 184m, 工作面长度为 201m, 在保证高速公路安全的前提下保护煤柱的尺寸取两者的最大值, 即保护煤柱尺寸 $L = 245 \text{ m}$ 。同时在回采过程中在上表土层沿工作面走向和倾向方向布置观测站点, 根据工作面的推进过程实时测量其地表的变形, 若发现具有明显的下沉变形异常迹象, 立即采取有效措施确保上覆高速公路的安全。

3 结束语

通过对上覆岩层移动规律的研究, 在理论计算

与模拟结果相近的情况下, 从理论上证明了采用改进垂线法确定保护煤柱尺寸留设的可行性。但针对合理高效留设保护煤柱的研究提出以下几点展望:

(1) 加强上覆围岩稳定控制理论的研究十分重要, 希望提出更加新颖和有效的理论, 可实现有效控制围岩的稳定性, 这就使得保护煤柱尺寸的留设变得简化。

(2) 除了加强理论研究以外, 对于地表观测仪器、观测方法加强改进, 以便更加准确得出合理的岩层移动角。

(3) 保护煤柱的目的主要是保护上覆建筑物, 而工作面回采过后的采空区是造成上覆岩层移动的主要诱因, 因此对于新型注浆材料和新型注浆工艺的研究, 也将推动煤炭事业的发展。

(4) 加强对高速公路等地表建筑下压煤开采技术的研究, 采用新的开采工艺, 分析研究上覆岩层的受力状态, 合理布置工作面。

【参考文献】

- [1] 刘海滨, 王立杰. 我国煤炭资源综合开发布局与模式研究 [J]. 自然资源学报, 2004 (3): 401-407.
- [2] 刘海青, 张华兴, 李凤明, 等. 垂线法留设保护煤柱的改进 [J]. 煤矿开采, 2010, 15 (8): 15-16, 59.
- [3] 魏峰远, 陈俊杰, 邹友峰. 影响保护煤柱尺寸留设的因素及其变化规律 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (10): 85-87.
- [4] 王 刚, 郭广礼, 李 伶, 等. 高等级公路下保护煤柱设计 [J]. 金属矿山, 2011 (2): 43-46.
- [5] 梅松华, 盛 谦, 李文秀. 地表及岩体移动研究进展 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (S1): 4535-4539.
- [6] 许家林, 钱鸣高, 朱卫兵. 覆岩主关键层对地表下沉动态的影响研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (5).
- [7] 聂卫平. 建筑物下安全开采深度研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2007.

【责任编辑: 徐乃忠】

(上接 85 页)

- [2] 黄庆享. 浅埋煤层的矿压特征与浅埋煤层定义 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21 (8): 1174-1177.
- [3] 黄庆享. 近浅埋煤层大采高矿压显现规律实测研究 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 20 (3): 58-59.
- [4] 黄庆享, 钱鸣高, 石平五. 浅埋煤层采场老顶周期来压结构分析 [J]. 煤炭学报, 1999, 24 (6): 581-585.
- [5] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [6] 侯忠杰. 浅埋煤层关键层研究 [J]. 煤炭学报, 1999, 24 (4): 359-363.
- [7] 张俊云, 侯忠杰. 浅埋采场矿压及覆岩破断规律 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1998, 15 (3): 92-110.

- [8] 黄庆享. 浅埋煤层长壁开采顶板结构及岩层控制研究 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [9] 伊茂森, 张日晨. 薄基岩浅埋煤层工作面顶板来压过程研究 [J]. 煤矿开采, 2008, 13 (4): 81-83.
- [10] 刘全明. 浅埋综采工作面矿压显现的推进速度效应分析 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (7): 24-26.
- [11] 李 翔, 张东升, 张 炜, 等. 丁家渠煤矿薄基岩浅埋煤层首采工作面矿压实测分析 [J]. 煤炭工程, 2009, 41 (12).
- [12] 陶志勇, 任艳芳. 薄基岩浅埋深综采工作面矿压规律实测分析 [J]. 煤矿开采, 2009, 14 (3): 93-94.
- [13] 柴 敬, 高登彦, 王国旺, 等. 厚基岩浅埋大采高加长工作面矿压规律研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26 (4): 37-42.

【责任编辑: 潘俊锋】