

刘云鹏. 基于微震监测的“滞后型”动力灾害控制技术研究[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(1): 74-77.

文章编号: 1008-4495(2017)01-0074-04

基于微震监测的“滞后型”动力灾害控制技术研究

刘云鹏

(中石化华北油气分公司石油工程技术研究院, 河南 郑州 450006)

摘要: 为了研究某矿 N2105 工作面采空区后方进风巷发生“滞后型”动力灾害的原因, 首先分别从力学角度、顶板岩梁组合角度和地质角度对该工作面发生“滞后型”动力灾害的原因进行了分析, 其次采用 FLAC3D 数值模拟软件对理论分析结果进行验证, 最后建立微震监测系统作为 N2105 工作面动力灾害的控制技术手段。研究结果表明, 采空区后方进风巷发生“滞后型”动力灾害是由构造应力、煤柱侧向支承应力和采场后方支承应力相互叠加共同作用的结果; 采用微震监测技术可以实现三维、实时、连续的动力灾害监测和预警工作, 可为矿井动力灾害防治工作提供一定的指导和帮助。

关键词: 滞后型动力灾害; 数值模拟; 顶板岩梁组合; 微震监测技术; 构造应力

中图分类号: TD32

文献标志码: B

网络出版时间: 2017-02-07 18:19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20170207.1819.044.html>

Research on “Delayed” Dynamic Disaster Control Technology Based on Microseismic Monitoring

LIU Yunpeng

(Engineering Technology Institute, North China Company, SINOPEC, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: In order to study the cause of the “delayed” dynamic disaster occurred in the intake airway behind the gob of N2105 working face in a coal mine, analysis was firstly conducted on the causes of the “delayed” dynamic disaster in this face from the angle of mechanics, roof rock girder theory and geological structure, then the theoretical analysis results were verified by using FLAC3D numerical simulation software, and finally, a microseismic monitoring system was established and used as a control technology for the dynamic disaster in N2105 working face. The results indicated that the “delayed” dynamic disaster occurred in the intake airway behind the gob of the working face was resulted from the interaction of the tectonic stress, the side abutment stress of coal pillar and the bearing stress behind the working face; using microseismic monitoring technology could realize three-dimensional, real-time and continuous monitoring and early-warning of the dynamic disasters, which provided some guidance and help for controlling the dynamic disasters in other coal mines.

Keywords: delayed dynamic disaster; numerical simulation; roof rock girder theory; microseismic monitoring technology; tectonic stress.

近些年, 随着我国浅部煤炭资源逐渐减少, 许多煤矿不得不进行深部开采, 因此引发的矿井动力灾害也越发严重^[1]。特别是煤与瓦斯突出、冒顶片帮、矿震、冲击地压、底鼓等动力灾害给煤矿生产安全、矿工生命安全等造成了严重的威胁^[2-3]。

针对不同类型的动力灾害, 许多研究人员分别

从动力灾害的发生机理、诱发原因、灾害结果分析及防治措施等方面做了大量研究^[4-5]。郁钟铭等^[6]以米箩矿首采工作面为例, 通过相似模拟实验验证了“两带”高度经验公式计算数值基本准确; 陈勇等^[7]运用数值模拟手段研究了近距离上保护层开采后被保护层的位移和应力变化情况; 李浩荡等^[8]采用数值模拟和物探相结合的方法对宽沟煤矿某孤岛工作面的冲击危险性进行判定, 界定了孤岛工作面在回采过程中冲击地压易发生的危险区域和危险时期; Amoussou Coffi Adoko 等^[9]通过对 174 件冲击地压事故进行统计分析, 建立了 5 个预警模型, 发现不

收稿日期: 2016-06-23; 2016-09-08 修订

作者简介: 刘云鹏 (1989—), 男, 河南郑州人, 硕士研究生, 助理工程师, 现从事石油化工安全技术研究工作。E-mail: lyphx@163.com。

同冲击地压事故的诱发因素不一; Petr Konicek 等^[10]针对某矿在深部开采过程中,长壁工作面所面临的冲击地压问题进行研究,得出实施长钻孔卸压爆破技术可以有效降低冲击地压的危险程度;曹安业等^[11]以三河尖煤矿为工程背景,对微震监测中的时—频信号进行处理分析,揭示了不同微震信号的波形特征,提出利用微震信号的波形特征对矿井冲击地压进行预测预报;刘滨等^[12]通过室内实验和数值分析相结合的方法,揭示了岩爆的孕育发生机理,并通过微震监测系统进行现场监测分析,最终建立了岩爆预测预报模型;雷文杰等^[13]利用大型煤与瓦斯突出模拟试验装置,并结合微震监测系统得出了煤与瓦斯突出4个阶段的微震信号特征;孔令海^[14]利用高精度微震监测系统分析了煤矿采场上覆岩层支承应力分布和围岩破裂情况与微震事件数量之间的关系,并在试验矿井进行了现场验证。

目前,煤矿针对动力灾害所采用的预测方式主要分为两大类^[15-16],其中以微震监测为最有效的预测方式,其可以同时实现远距离、动态、三维、实时监测等功能,对动力灾害进行准确的预测预报。因此,笔者以某矿 N2105 工作面发生的“滞后型”动力灾害为研究对象,以微震监测技术作为预警手段,并结合 FLAC3D 数值模拟软件分别从不同层面对动力灾害的产生机理、控制技术展开研究分析,以确保有效防止该矿动力灾害的再次发生,保障该矿安全生产,同时也为其他煤炭企业的动力灾害防治工作提供一定的指导和帮助。

1 矿井概况

1.1 工作面概况

某矿 N2105 工作面为北二采区首个回采工作面,东侧为 N2106 工作面(设计阶段,未掘),西侧为 N2103 工作面(设计阶段,未掘),北侧为实体煤,南侧接北风井东翼 1# 回风大巷和北风井东翼胶带大巷。

1.2 动力灾害发生经过

N2105 回采工作面于 2013 年 11 月 17 日和 2014 年 1 月 23 日发生了两次“滞后型”动力灾害事故(均发生在工作面采空区后方进风巷),造成巷道底板瞬间鼓起(第一次冲击巷道长度约 200 m,第二次约 100 m),破坏了大量支架,底鼓引起的煤层底板开裂还造成了严重的瓦斯超限(第一次动力灾害发生后巷道最高瓦斯体积分数达到了 1.34%,第二次最高瓦斯体积分数则达到了 0.96%)。两次动力灾害影响范围对比如图 1 所示。

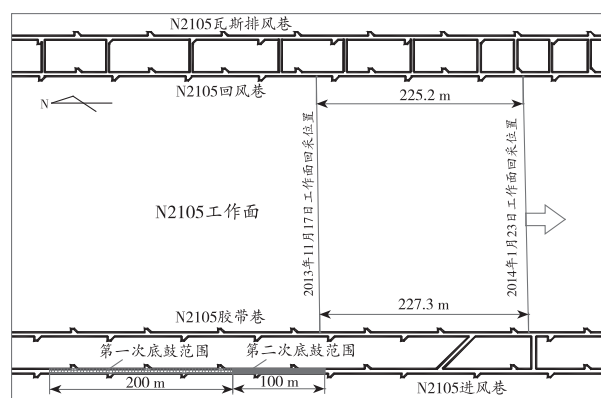


图1 两次动力灾害影响范围对比

2 动力灾害原因分析

2.1 理论分析

2.1.1 力学角度分析

N2105 工作面采用“双 U”型通风,进风巷和胶带巷进风,中间预留 35 m 宽保护煤柱,回风巷和瓦斯排风巷回风,中间同样预留 35 m 宽保护煤柱。

有研究结果表明^[17],动力灾害的发生与巷道间预留保护煤柱的宽度密切相关,煤柱宽度的大小直接关系到顶板来压所带来的应力和能量是否可以安全卸载或者转移。若煤柱宽度留设不当,则会引起应力集中现象。

2.1.2 岩梁理论分析

采煤工作面前方及采空区后方之所以会产生应力集中现象,是因为工作面回采之后,顶板岩层形成了悬臂梁、砌体梁等岩梁结构形态。

为准确得出 N2105 工作面顶板的岩梁结构形态,通过下面公式(1)^[18]可以进行判断:若公式成立,则顶板岩梁结构属于悬臂梁结构;若公式不成立,则顶板岩梁结构属于砌体梁结构。

$$M + (1 - K_p) \sum h_i > H - \sqrt{\frac{2ql^2}{\sigma_c}} \quad (1)$$

式中: M 为回采工作面采高, $M=3.2$ m; K_p 为顶板碎胀系数,取 1.3; $\sum h_i$ 为煤层上方、关键层下方直接顶的累计高度,取 1.56 m; H 为关键层厚度, $H=11.00$ m; l 为关键层周期断裂步距,约为 15 m; q 为关键层所受到的上覆载荷,约为 15 000 kN; σ_c 为关键层的抗压强度,约为 91.7 kN/m³。

通过计算可得,公式(1)左边计算结果为 2.732,右边计算结果为 2.420,公式成立,因此,可以推断 N2105 工作面回采后,顶板形成悬臂梁结构。悬臂梁顶板来压机理:当工作面回采距离增加到一定程度时,顶板悬顶距足够大,采空区后方顶板缺失

侧向应力的束缚,突然发生失衡断裂,从而产生较大的冲击压力,作用于采空区后方预留的保护煤柱,通过煤柱的应力传递作用,引起煤层底板鼓起,造成“滞后型”动力灾害的发生。

2.1.3 地质角度分析

N2105 工作面范围内发育有一系列小型褶曲和断层,其中有一条主要为背斜构造,背斜轴部沿“东南—西北”方向分布,进风巷从背斜中部穿越,第一次和第二次底鼓范围均在该背斜轴部两侧。

背斜构造的存在会使背斜轴部和两翼产生应力集中现象,构造应力与工作面支承压力相互作用产生叠加效应,是造成两次动力灾害的主要原因之一。

2.2 数值模拟

为对理论分析结果进行验证,笔者采用 FLAC3D 数值模拟软件分别对煤柱留设、采场应力分布,以及背斜构造等方面进行模拟分析。

2.2.1 煤柱宽度模拟研究

为模拟煤柱留设宽度对煤柱所受应力的影响,选取 10~40 m 宽煤柱(取 1 m 宽度为变量)为研究对象,分别对有无支护条件下、沿不同层位布置巷道条件下的最大应力进行量化,其结果如图 2 所示。

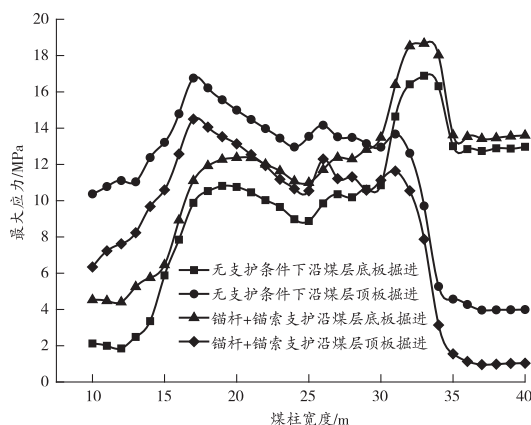


图2 不同条件下煤柱所受最大应力变化曲线对比

综合对比图 2 中 4 种情况下最大应力变化曲线,可以看出:

1) 以 10 m 宽度煤柱为起点,初始阶段最大应力随着煤柱宽度的增大而增大,煤柱宽度为 17~18 m 时,最大应力初次达到峰值。

2) 当沿煤层底板布置巷道时,无支护和有支护状态下,达到初次峰值后,最大应力出现一个平稳增高的过程,但是在煤柱宽度为 30 m 时最大应力迅速增大,在 32~34 m 处,最大应力第二次达到峰值(大于初次峰值)。

3) 当沿煤层顶板布置巷道时,无支护和有支护

状态下,达到初次峰值后,最大应力波动较大,但整体呈逐渐下降的趋势,在保护煤柱宽度为 30~32 m 时,最大应力迅速降低,在 35 m 处最大应力降到谷值。

4) 当煤柱宽度达到 35 m 及以上时,4 种情况下的最大应力都降到最低,并基本保持平稳变化,其中以锚杆+锚索联合支护条件下沿煤层顶板布置巷道的卸压效果最好。

综上所述,可以得出:当工作面回采到一定距离时,采空区后方一定区域内的煤柱在后方应力升高区应力和侧向支承应力的共同作用下,超过承载极限时,会引发一定程度的“滞后”动力现象。

2.2.2 背斜构造模拟

背斜构造的模拟,采用蠕变模型,使用“apply zvel 0.001”命令,使模型在走向方向产生一个背斜构造。通过施加地应力,运用 Surfer 对背斜模型的应力状态进行分析,结果如图 3 所示。

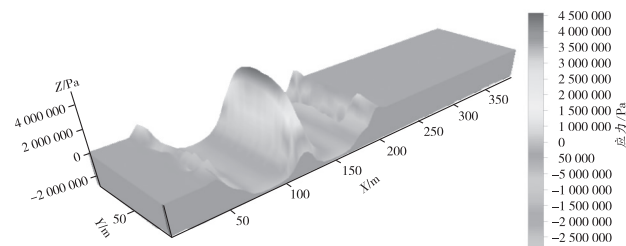


图3 背斜构造受力分析图

从图 3 中可以看出:

1) 背斜轴部,由于拉张作用,产生高应力集中现象,应力方向垂直向下。

2) 背斜两翼,由于挤压作用,也产生较高的应力(大小比轴部应力低),应力方向垂直向上。

3) 背斜两侧在挤压和拉张的共同作用下,产生剪切应力,稳定性较差,随着工作面向前推进,该区域极易发生失稳破坏。

对背斜构造的受力状态进行分析,结合采场应力分析结果,较好地解释了 N2105 工作面发生动力灾害为何在背斜两侧,为后期矿井动力灾害防治工作提供了较好的理论基础和参考。

2.3 结果分析

通过对发生在 N2105 工作面采空区后方保护煤柱外侧的两次“滞后型”动力灾害的原因进行理论分析和数值模拟研究,得出以下结论:

1) 理论分析结果表明:两次“滞后型”动力灾害事件均是由煤柱所受的侧向支承压力、采空区后方老顶来压所造成的支承应力,以及背斜构造应力相互叠加共同作用的结果。

2)数值模拟研究表明:N2105工作面留设35 m宽保护煤柱、采用“锚杆+锚索联合支护”方式并沿煤层顶板布置巷道合理可行。

3)数据模拟研究与理论分析结果基本一致,认为在多种因素作用下,采空区后方仍有可能再次发生“滞后型”动力灾害,因此,提出采用微震监测技术作为预警手段对动力灾害进行有效预防和监控。

3 微震监测现场应用

通过对N2105工作面“滞后型”动力灾害的原因进行分析,得出综合应力的叠加是造成工作面发生动力灾害的最主要原因。为防止矿井动力灾害的再次发生,提出采用ARAMIS M/E微震监测系统作为监控技术在现场进行应用。

自微震监测设备安装、调试,开始正式运行以来,共记录了近两个月的监测信号。整理、分析统计结果如图4和图5所示。

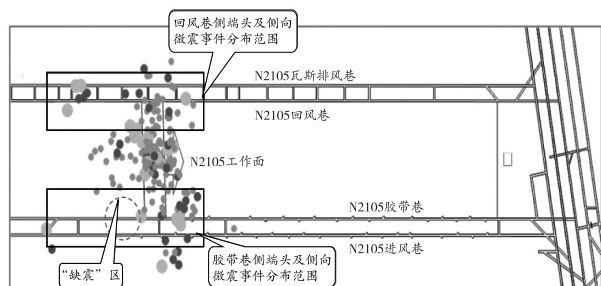


图4 N2105工作面微震事件投影

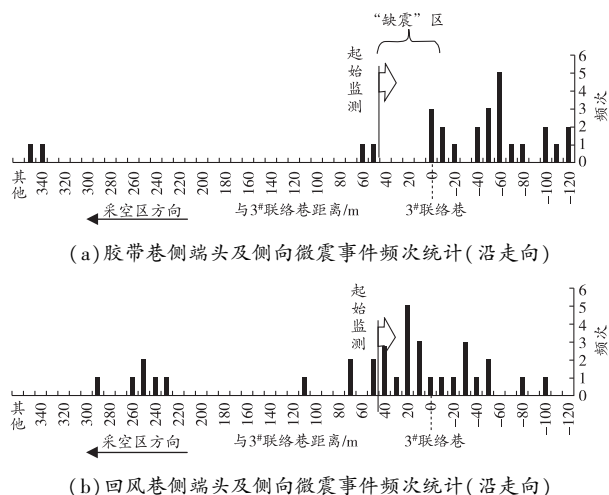


图5 微震事件频次统计

从近两个月的微震事件统计结果可以看出:

1)回风巷内侧微震事件较为密集,但是事件能量多集中在10 000 J以下,这表明该处顶板断裂充分,不易形成悬顶,或悬顶长度相对较小。

2)进风巷一侧,出现了“缺震”现象,这说明该

区域顶板发生的断裂较少,完整性较好,不易垮落,很可能形成了一定跨度的侧向悬顶,将在巷间煤柱上形成巨大的支承压力,不利于进风巷的稳定。

3)总体来看,近两个月所监测到的微震事件不多,能量不是很大,虽没有较大的动力现象发生,但对进风巷3#联络巷向里的“缺震”区域应该进行重点监测,并采取一定的防治措施。

4 结论

1)采空区后方进风巷发生“滞后型”动力灾害是由煤柱侧向支承应力、采场后方支承应力,以及构造应力相互叠加共同作用的结果。

2)FLAC3D模拟研究与理论分析相互验证,不仅提高了“滞后型”动力灾害原因分析的准确性,还可以对“潜伏的动力危险区域”进行准确划分。

3)采用微震监测技术作为回采区域动力灾害的监控手段,可以实现三维、实时、连续的动力灾害在线监测和预警工作,做到防患于未然,以保障矿井安全高效生产。

参考文献:

- [1] 袁亮,薛俊华. 中国煤矿瓦斯治理理论与技术[C]//2010年安徽省科协年会——煤炭工业可持续发展专题研讨会论文集,2010.
- [2] 窦林名,赵从国,杨思光,等. 煤矿开采冲击矿压灾害防治[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2006.
- [3] 李波,巨广刚,王珂,等. 2005—2014我国煤矿灾害事故特征及规律研究[J]. 矿业安全与环保,2016,43(3): 111—114.
- [4] 潘一山,赵杨锋,官福海,等. 矿震监测定位系统的研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(5): 1002—1011.
- [5] 谢和平,周宏伟,薛东杰,等. 煤炭深部开采与极限开采深度的研究与思考[J]. 煤炭学报,2012,37(4): 535—542.
- [6] 郁钟铭,舒仕海,魏中举,等. 首采工作面矿压显现规律相似材料模拟研究[J]. 矿业安全与环保,2016,43(3): 18—20.
- [7] 陈勇,杨宏民. 缓倾斜近距离上保护层开采被保护层应力位移采动影响研究[J]. 矿业安全与环保,2014,41(3): 1—3.
- [8] 李浩荡,蓝航,杜涛涛,等. 宽沟煤矿坚硬厚层顶板下冲击地压危险时期的微震特征及解危措施[J]. 煤炭学报,2013,38(S1): 6—11.

(下转第82页)

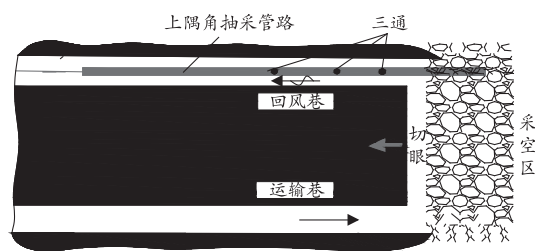


图8 上隅角插管抽采示意图

通过现场考察,上隅角插管瓦斯抽采流量保持在 $0.002\ 0\sim 0.002\ 3\ \text{m}^3/\text{min}$,瓦斯抽采体积分数保持在 $2\%\sim 8\%$,有效治理了采空区瓦斯,防止了工作面上隅角瓦斯超限(上隅角最大瓦斯体积分数为 0.68%)。

6 结论

1)采用顺层走向长钻孔、底板穿层钻孔和本煤层顺层钻孔等相结合的“立体”预抽方式对2621区段进行采前预抽,使煤层原始瓦斯含量由 $21.77\ \text{m}^3/\text{t}$ 降至 $4.72\ \text{m}^3/\text{t}$,大大降低了后期各分层回采期间的瓦斯治理难度,特别是首分层回采期间的瓦斯治理难度。

2)根据2621-1工作面回采期间的瓦斯涌出量、瓦斯涌出来源及特点,提出了集底板穿层钻孔、顺层走向长钻孔和高位钻孔为一体的卸压瓦斯抽采方法,采用联络巷埋管、上隅角插管,以及大孔径穿层钻孔抽采近距离上覆采空区瓦斯等为一体的采空区瓦斯抽采措施,形成了特厚煤层回采工作面瓦斯综合治理技术。

3)2621-1工作面回采期间日产量最大为 $5\ 976\ \text{t}$,对应的绝对瓦斯涌出量为 $79.76\ \text{m}^3/\text{min}$,通过采取上述瓦斯治理措施,回采期间工作面回风瓦斯体积分最大为 0.51% ,上隅角最大瓦斯体积分数为 0.68% ,保证了工作面的安全回采,同时实现了矿井达产。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 2015年国民经济和社会发展统计公报[A]. 2016.
- [2] 王家臣. 厚煤层开采理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.
- [3] 孟宪瑞,吴昊天,王国斌. 我国厚煤层采煤技术的发展及采煤方法的选择[J]. 煤炭工程,2014,46(10):43-47.
- [4] 李明好,陈富勇. 特厚煤层分层开采顶分层瓦斯涌出规律探讨[J]. 矿业安全与环保,2000,27(4):39-40.
- [5] 王明社,张银禄,张满圈. 高瓦斯厚煤层采煤工作面的瓦斯综合治理[J]. 煤矿安全,2002,33(11):13-14.
- [6] 贾立刚,胡胜勇,朱国忠,等. 特厚煤层首分层综采工作面瓦斯综合治理技术[J]. 煤炭技术,2010,29(8):99-101.
- [7] 罗跃,朱炎铭,王怀勤,等. 分源预测法在厚煤层瓦斯涌出量预测研究中的应用[J]. 煤炭工程,2011(3):87-89.
- [8] 陈君,张运增. 特厚煤层综放开采瓦斯治理技术[J]. 山西煤炭,2011,31(12):63-65.
- [9] 王华. 白茆沟煤矿复杂特厚煤层首分层工作面瓦斯治理技术[J]. 矿业安全与环保,2015,42(6):77-79.

(责任编辑:陈玉涛)

(上接第77页)

- [9] AMOUSSOU COFFI ADOKO, CANDAN GOKCEOGLU, LI WU, et al. Knowledge - based and date - driven fuzzy modeling for rockburst prediction [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2013, 61: 86-95.
- [10] PETR KONICEK, KAMIL SOUCEK, LUBOMIR STAS, et al. Long - hole distress blasting for rockburst control during deep underground coal mining[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2013, 61: 141-153.
- [11] 曹安业, 窦林名, 秦玉红, 等. 高应力区微震监测信号特征分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(2): 146-149.
- [12] 刘滨, 刘泉声. 岩爆孕育发生过程中的微震活动规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2011, 28(2): 174-180.
- [13] 雷文杰, 李绍泉, 商鹏, 等. 微震响应煤与瓦斯突出模拟试验[J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31(1): 161-166.

- [14] 孔令海. 煤矿采场围岩微震事件与支承压力分布关系[J]. 采矿与安全工程学报, 2014, 31(4): 526-531.
- [15] 吕进国, 姜耀东, 赵毅鑫, 等. 冲击地压层次化监测及其预警方法的研究与应用[J]. 煤炭学报, 2013, 38(7): 1161-1167.
- [16] 赵善坤, 李宏艳, 刘军, 等. 深部冲击危险矿井多参量预测预报及解危技术研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(S2): 339-344.
- [17] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [18] 鞠金峰, 许家林, 朱卫兵. 浅埋特大采高综采工作面关键层“悬臂梁”结构运动对端面漏冒的影响[J]. 煤炭学报, 2014, 39(7): 1197-1204.

(责任编辑:陈玉涛)