

周俊. 煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术的研究现状及发展方向[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(6): 74-78.
文章编号: 1008-4495(2017)06-0074-05

综述与问题探讨

煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术的研究现状及 发展方向

周 俊^{1,2}

(1. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037; 2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039)

摘要: 提高煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵质量对于保障抽采瓦斯浓度, 推动煤层气开发利用产业的健康快速发展具有重要的现实意义。对煤矿井下瓦斯抽采钻孔漏风致因进行分析, 并定义了4种漏风形式。阐述了注水泥浆液、囊袋或注聚氨酯、PD材料、柔性膏体, 以及新型改性水泥封孔等工艺的技术特点, 并就各自的适用条件进行了分析。进一步指出煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术所面临的难题与挑战, 展望了未来的发展方向。

关键词: 瓦斯抽采; 钻孔; 漏风; 封堵技术; 研究现状; 发展方向

中图分类号: TD712⁺.6

文献标志码: C

网络出版时间: 2017-12-07 17:21

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20171207.1721.030.html>

Research Status and Development Direction of Plugging Technology for Gas Drainage Hole in Coal Mine

ZHOU Jun^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Gas Disaster Monitoring and Emergency Technology, Chongqing 400037, China;

2. China Coal Technology and Engineering Group Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China)

Abstract: Improving the plugging quality of gas drainage holes in coal mine has important practical significance for ensuring the concentration of the drained gas and promoting the healthy and rapid development of coal-bed methane exploitation and utilization industry. In this paper, the air leakage causes of gas drainage holes in coal mine were analyzed and 4 types of air leakage were defined. The technical characteristics of gas drainage hole plugging by cementing slurry, bag or polyurethane injection, PD material, flexible paste and new modified cement were described, and their applicable conditions were analyzed. The problems and challenges faced by gas drainage hole plugging technology in coal mine were further pointed out and the future development direction was prospected.

Keywords: gas drainage; borehole; air leakage; plugging technology; research status; development direction

煤矿瓦斯(又称“煤层气”)是赋存在煤层及煤系地层中的烃类气体,是一种清洁能源^[1]。加快煤层气开发利用,对保障高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井安

全生产、增加清洁能源供应、减少温室气体排放具有重要意义。2016年,我国煤矿井下煤层气抽采量达128亿m³,利用量为48亿m³;地面煤层气抽采量达45亿m³,利用量为42亿m³。井下煤层气的利用率远低于地面煤层气的利用率,造成该种现象的原因除煤层自身的地质条件、瓦斯抽采新技术应用等因素以外,还与瓦斯抽采钻孔的封堵效果密切相关。近年来,煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术的受关注程度不断提高,国内学者或相关技术人员也越来越

收稿日期:2017-07-16;2017-11-10 修订

基金项目:“十三五”国家科技重大专项项目(2016ZX05067004-004)

作者简介:周俊(1971—),男,四川安岳人,工学硕士,高级工程师,主要从事煤矿安全技术、民爆技术与工程的管理工作。E-mail:cqzhjun@163.com。

重视对抽采钻孔漏气机理^[2-3]、高效封堵材料等方面的研究^[4-17],并相继形成了相应的技术工艺与装备体系。但由于我国高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井煤层瓦斯地质条件差异性大,诸多抽采钻孔高效封堵材料及工艺的应用往往存在一定的适用条件限制。因此,如何将井下瓦斯抽采钻孔的高效封堵与矿井实际条件协调地结合起来,提升煤层瓦斯抽采浓度与抽采效率,就成为一个重点研究的问题。

鉴于此,笔者首先分析煤矿井下瓦斯抽采钻孔的漏气致因,并对我国煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵材料及技术工艺的研究现状进行系统的梳理,进一步着重分析各技术工艺的适用性,最后指出了未来的发展方向,以期为提高矿井瓦斯利用率提供借鉴与参考。

1 瓦斯抽采钻孔漏气致因分析

理想条件下,在实施瓦斯抽采钻孔封堵后,钻孔内的瓦斯浓度应与煤层内原始瓦斯浓度相等。但由于封孔材料、采掘扰动、封孔工艺等因素影响,往往使得钻孔在实施封堵后,将产生不同发育程度的漏气“通道”,使得气体在钻孔内外压差的驱动下进入抽采钻孔内,从而降低抽采瓦斯浓度。同时,开凿或掘进井下巷道将使其周围煤(岩)体产生不同程度的次生裂隙,该类裂隙也是空气进入抽采钻孔的“路径”之一。瓦斯抽采钻孔漏气分析示意图见图1^[2]。

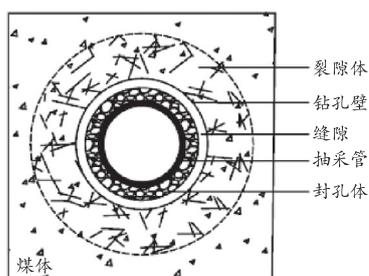
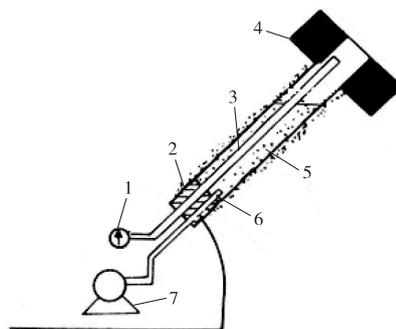


图1 瓦斯抽采钻孔漏气分析示意图

因此,笔者将瓦斯抽采钻孔漏气的形式定义为以下4种:①煤(岩)体次生裂隙漏气,这是由于巷道内的空气在钻孔内负压的驱动下,经由巷道周围煤(岩)体因开凿或掘进形成的次生裂隙进入钻孔内。②封孔材料失效引发的漏气,这是由于材料自身属性的原因,致使其内部形成了一定的裂隙,从而导致空气可经由该裂隙进入钻孔内。③封孔体与钻孔内壁间的漏气,这是由于封孔材料与钻孔内壁黏合性较差,封孔体与钻孔内壁间形成了缝隙;同时,由于封孔材料的渗透性较差或封堵材料浆液的注入压力较小,其有效作用范围并未达到钻孔周围

煤(岩)体的“卸压圈”^[2-3],致使巷道内的空气进入钻孔内。④煤(岩)体应力环境改变引发的漏气,例如保护层工作面开采使得被保护层产生卸压、变形,则被保护层工作面的瓦斯抽采钻孔封孔体受此影响,极有可能导致封孔失效。

综上所述,良好的封孔质量不仅取决于封孔材料属性、封孔工艺,同时与抽采钻孔周围煤(岩)体的力学状态密切相关。因此,在实施煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵作业时,应充分考虑抽采钻孔周围煤(岩)体的地质、应力环境对封孔体的影响。传统的抽采钻孔封堵方法采用注入水泥浆的工艺,即通过注浆泵、注浆管将混合均匀的水泥浆液注入钻孔内,并在孔口设置木楔或者棉纱防止水泥浆液倾出钻孔,待孔内水泥浆液充分反应固化后,再将抽采钻孔并网接抽,如图2所示。



1—连接抽采管路;2—木楔;3—抽采管;4—煤层;
5—水泥浆;6—注浆管;7—注浆泵。

图2 注浆封孔示意图

采用注入水泥浆液实施抽采钻孔封堵的好处在于,水泥浆液黏合力较强、渗透性强且造价低廉。但由于水泥浆液的凝固时间较长,通常需要24 h以上,且在固化的过程中会脱水、收缩,易使水泥封孔体内部产生裂隙,同时水泥注浆工艺的作业时间长、强度大,因此,随着高分子封孔材料在煤矿井下的大面积推广应用^[4-5],传统的注水泥浆封孔的工艺逐渐被取代。

2 瓦斯抽采钻孔封堵工艺现状

2.1 高分子材料封孔工艺

聚氨酯、聚亚氨酯等高分子材料封孔具有作业强度小、发泡固化反应时间快等优点,现已在我国大多数高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井中得以推广和应用^[4-5,7]。

高分子材料封孔工艺大致可分为:①药卷式封孔。将混合的聚氨酯、聚亚氨酯浆液倾倒在设置于封孔管外表面的棉纱上,然后将管材送至钻孔

内^[4-5]。②注浆式封孔。在封孔管末端与孔口处设置隔断,应用注浆泵将封孔材料浆液注入封孔段内^[6-8,11]。③囊袋式封孔。在孔内置入一次性囊袋注浆装置,作业时,浆液经塑料堵头件上的注浆孔进入囊袋,向囊袋内注浆,2个囊袋依次充满浆液,并达到钻孔注浆阀的开启压力后,钻孔注浆单向阀门开启,此后注浆泵开始向囊袋封堵的钻孔空间内注浆^[9]。封孔浆液在注浆压力作用下向钻孔壁渗透,达到设定压力,注浆停止,封孔结束。④带压式封孔。其实际也属于注浆式封孔的一种,不同之处在于,其是应用高分子材料在封孔管底部设置隔断,在孔口与隔断间进一步设置注浆区间,然后以高压空气将材料混合浆液注入注浆区间^[10,12-13]。

总结多年的实践经验:药卷式封孔作业成本低、时间快,但其效果较差,主要原因在于倒入的浆液量取决于作业人员的经验,因而封孔效果时好时坏;注浆式封孔所需的注浆泵自清洁问题尚未得到较好解决,因而致使在使用一定时间后,泵的更换费用成为注浆式封孔的主要成本之一;囊袋式封孔由于聚氨酯、聚亚氨酯浆液发泡反应与煤矿井下环境温度密切相关,环境温度若低于一定值,将使得囊袋内的封孔浆液反应程度降低,因而不易渗透至钻孔内;带压式封孔属目前一种较为先进的工艺,但其成本较高,所需的装备、配件较多,仅在部分经济条件相对较好的矿区得以推广应用。

2.2 PD材料封孔工艺

PD材料是由膨胀水泥、高水材料配方有机结合,并加入若干种增稠和保水材料的复合型封孔材料^[14-16]。PD材料封孔是近年来新兴的一种工艺,其主要采用微胶囊化技术,使得该材料的浆体在缓慢凝固的过程中体积逐渐膨胀,并渗透到钻孔周边的微裂隙,形成对钻孔周围裂隙的封堵^[14-16];在该材料应用过程中,辅以膨博封孔剂作为注浆隔断,从而形成两端封堵中间注浆(“两堵一注”)的封孔工艺,如图3所示。该工艺技术特征与高分子材料带压式封孔工艺类似^[10,12-13]。

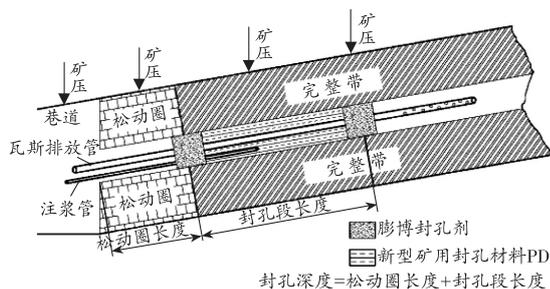


图3 PD材料封孔工艺示意图

应用PD材料封孔工艺作业时,首先需要确定巷道周围煤(岩)体的“松动圈”深度,并将注浆隔断设置于该深度,在确定合理的封孔段长度后,设置末端隔断,而后应用注浆管将浆液材料注入封孔空间内。该种材料良好的膨胀与渗透特性使得浆液能渗入较深的裂隙内,同时固化过程中与裂隙固体表面紧密黏合,并具有较高的强度。因此,实际应用中,该种封孔材料及工艺具有较好的封堵效果。但PD材料在固化反应后形成的封孔体弹性较差,在瓦斯抽采钻孔应力环境发生改变时,不易随之产生协调应变,因而会产生裂隙。

2.3 柔性膏体材料封孔工艺

为使封孔体能适应钻孔变形,且兼具主动渗透的特性,中国矿业大学开发了柔性膏体封孔材料^[17]。该材料以粉煤灰为基料,配以保水剂、膨胀剂、纤维素和偶联剂材料与水结合搅拌后,将形成一种柔性膏体并始终保持柔性状态。其技术工艺拓展性强,可采用注浆式封孔^[18-19],亦可采用“两堵一注”的带压式封孔。特别是,其浆液材料良好的渗透、抗干裂特性与固化后的弹性^[20],使其应用范围远大于其他封孔工艺。

2.4 新型改性水泥封孔工艺

为降低煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵作业成本,并同时兼具良好的技术应用性,中煤科工集团重庆研究院有限公司研发了新型改性水泥封孔材料及配套工艺^[21-23]。新型改性水泥封孔材料以普通水泥和膨润土为基料,加入了保水剂防止在固化过程中“脱水”;加入膨胀剂使其浆体具备良好的膨胀性能,同时加入抗裂剂、减水剂、速凝剂及悬浮剂,防止封孔浆液在凝固后开裂,并增加浆液的流动性,缩短固化反应的时间,防止浆液发生离析。

新型改性水泥材料属无机复合型材料,与传统的高分子有机材料相比,造价较低,且对人体无毒。其配套的封孔管材、注浆泵、封孔器使用简单^[23],作业人员劳动强度小,因而逐步在我国的山西晋城、潞安、霍州,以及贵州水城、盘江等矿区得以大面积推广应用。

2.5 瓦斯抽采钻孔修复工艺

瓦斯抽采钻孔修复工艺是指在一次封堵后,经过一定的抽采时间,钻孔抽采瓦斯浓度下降,所采取的二次封堵工艺^[24-27]。文献[24]利用聚氨酯和水泥砂浆进行一次封孔后一段时间,使用水泥砂浆加细石粉进行二次注浆,消除一次封孔后材料浆液固化形成的上部空隙。文献[25]在实施聚氨酯囊袋式封孔时,在一次封孔段的尾部预留注浆的空间及配

套的注浆口,待钻孔抽采瓦斯浓度下降时,通过预留的注浆口往预留空间内注入聚氨酯浆液,实现二次封孔;文献[26-27]提出带压注浆一次封孔与漏气处置二次封孔相结合的技术方法,主要针对采用“两堵一注”的封孔工艺,在判定钻孔失效后,通过向初次封孔段内注入超细粉尘颗粒、化学黏液等适用的漏气处置材料,对钻孔周围等效裂隙场实行二次或多次封堵。

3 煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术发展方向

我国煤矿瓦斯抽采历经60多年的发展,已由最初的以保障煤矿安全生产为目的,发展为安全节能环保综合开发型抽采。如何提高煤层的抽采瓦斯浓度已成为煤矿瓦斯抽采利用亟待解决的重要问题。煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术已由最初的水泥浆封堵,发展至高分子、PD材料、柔性膏体材料封孔,特别是近年来国家对职业健康尤为重视,又涌现出以新型改性水泥封孔为代表的先进材料及工艺。但我国煤层瓦斯地质条件复杂,且随着当前煤炭开采深度的增加,深部煤(岩)体特殊的力学状态对瓦斯抽采钻孔的封堵又提出了新的要求^[28]。

结合新形势下我国煤炭工业的发展方向,笔者认为:煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术应着力研发能适应大变形条件的高性能封孔材料,如强柔性矿用混凝土的研发^[29]。深部煤层开采时,瓦斯抽采钻孔周围煤(岩)体易发生塑性大变形,因而首先应研发具有强柔性的矿用封孔混凝土材料,使封孔体具备极强的弹性与强度。同时,应开发更为轻便的封孔注浆装备,进一步减轻井下作业人员劳动强度。

由于巷道周围煤(岩)体存在一定范围的“卸压圈”^[2-3],因此瓦斯抽采钻孔的封堵深度并非越深越好,将封孔深度控制在“卸压圈”位置处,即为合理的封孔深度^[30]。目前大多采用理论计算或现场考察的方法确定钻孔的合理封孔深度,但此类方法所得到的结果往往适用性较差。同时考虑钻孔周围煤(岩)体次生裂隙场对封堵效果的影响,在确定合理封孔深度时,还需确定合理的封孔材料配比,使其适应井下实际。因此,如何科学地确定钻孔的合理封孔深度就成为封堵技术工艺发展的又一研究方向。笔者认为,可借鉴地质雷达探测偏压隧道围岩卸压圈的技术工艺^[31],研发轻型便携式合理封孔深度探测仪,用以进行巷道卸压圈、钻孔周围煤(岩)体裂隙场分布的探测,进而确定钻孔的合理封孔深度及适宜的封孔材料配比。

4 结语

1)对煤矿井下瓦斯抽采钻孔漏风成因进行了分析,并定义了4种漏风的形式:煤(岩)体次生裂隙漏气;封孔材料失效引发的漏气;封孔体与钻孔内壁间的漏气;煤(岩)体应力环境改变引发的漏气。

2)阐述了注水泥浆液、囊袋或聚氨酯、PD材料、柔性膏体,以及新型改性水泥封孔等工艺的技术特点,并就其适用条件进行了分析。

3)结合新形势下我国煤炭工业的发展方向,认为:煤矿井下瓦斯抽采钻孔封堵技术应着力研发能适应大变形条件的强柔性矿用封孔混凝土材料;开发更为轻便的封孔注浆装备,进一步减轻井下作业人员劳动强度;研发轻型便携式合理封孔深度探测仪,用以进行巷道卸压圈、钻孔周围煤(岩)体裂隙场分布的探测,进而确定钻孔的合理封孔深度及适宜的封孔材料配比。

参考文献:

- [1] 程波,叶佩鑫,隆清明,等.煤基质收缩效应和有效应力对煤层渗透率影响的新数学模型[J].矿业安全与环保,2010,37(2):1-3.
- [2] 周福宝,孙玉宁,李海鉴,等.煤层瓦斯抽采钻孔密封理论模型与工程技术研究[J].中国矿业大学学报,2016,45(3):433-439.
- [3] 王志明,孙玉宁,王永龙,等.瓦斯抽采钻孔动态漏气圈特性及漏气处置研究[J].中国安全生产科学技术,2016,12(5):139-145.
- [4] 周林锋.采用PU矿用密封胶提高瓦斯抽采浓度的探讨[J].矿业安全与环保,2008,35(S1):83-85.
- [5] 秦江涛,杨春,庞成,等.A-B胶封孔工艺在煤矿顺层抽采钻孔中的应用性试验[J].矿业安全与环保,2013,40(6):77-78.
- [6] 马灵军,王宽,张云峰,等.瓦斯抽采钻孔化学注浆封孔技术的应用[J].煤矿安全,2011,42(7):100-102.
- [7] 王继仁,郝晋伟,武德全,等.本煤层固液耦合流体壁式密封技术开发及应用[J].中国安全生产科学技术,2015,11(4):33-39.
- [8] 黄鑫业,蒋承林.本煤层瓦斯抽采钻孔带压封孔技术研究[J].煤炭科学技术,2011,39(10):45-48.
- [9] 王振锋,周英,孙玉宁,等.新型瓦斯抽采钻孔注浆封孔方法及封堵机理[J].煤炭学报,2015,40(3):588-595.
- [10] 张超,林柏泉,周延,等.本煤层近水平瓦斯抽采钻孔“强弱强”带压封孔技术研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(6):935-939.
- [11] 幸大学,杨春,吴再生.煤矿瓦斯抽采钻孔新型封孔剂在磨心坡煤矿的应用[J].矿业安全与环保,2012,

- 39(1):58-60.
- [12] 王圣程,庞叶青,张云峰,等. 抽采钻孔带压注浆封孔技术的研究与应用[J]. 煤矿安全,2011,42(6):4-6.
- [13] 刘明星. 含水煤层瓦斯抽采钻孔封孔工艺[J]. 煤矿安全,2013,44(3):62-63.
- [14] 孙文德,李子全,周军,等. 瓦斯抽采中新型封孔材料及工艺的应用研究[J]. 煤炭科学技术,2012,40(4):60-63.
- [15] 吉春和,王新坤,王志鹏. 新材料保压式封孔在瓦斯抽采钻孔中的应用[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2015,34(5):605-609.
- [16] 孙文标,郭兵兵,张瑞林. 氢氧化钠对瓦斯抽采钻孔新型封孔材料性能的影响[J]. 中国安全科学学报,2016,26(3):98-102.
- [17] 翟成,向贤伟,余旭,等. 瓦斯抽采钻孔柔性膏体封孔材料封孔性能研究[J]. 中国矿业大学学报,2013,42(6):982-988.
- [18] 杨磊,朱昱辰,李义敬,等. 瓦斯抽采钻孔径向膨胀渗透封孔技术研究[J]. 煤炭科学技术,2013,41(10):60-63.
- [19] 张超,李树刚,张天军,等. 钻孔CF新型密封材料的孔隙结构特性研究[J]. 西安科技大学学报,2016,36(1):70-74.
- [20] 王柱,蔡长辉,杨永良,等. 速凝膨胀封孔材料密封穿层抽采钻孔技术及其应用[J]. 煤矿开采,2014,19(3):121-122.
- [21] 刘延保,熊伟. 顺层瓦斯抽采钻孔封孔提浓技术及应用[J]. 煤矿安全,2017,48(1):63-66.
- [22] 刘延保. 煤层瓦斯抽采区域提浓技术体系及应用[J]. 中国矿业,2017,26(1):130-134.
- [23] 刘延保. 瓦斯抽采钻孔封孔成套技术及应用研究[J]. 煤炭工程,2017,49(4):32-35.
- [24] 李文树,陈久福,龙建明,等. 瓦斯顺层抽采钻孔封孔工艺改进研究[J]. 煤炭科学技术,2013,41(S2):161-162.
- [25] 杨晓红. 煤层抽采钻孔瓦斯衰减分析与抽采钻孔封孔工艺改进[J]. 矿业安全与环保,2009,36(S1):105-106.
- [26] 孙玉宁,卢卫永,杨坤,等. 三囊袋封堵器处置钻孔漏气技术研究[J]. 中国安全生产科学技术,2015,11(3):67-72.
- [27] 王兆丰,李杰,杨宏民,等. 抽采钻孔封孔失效的二次处理措施[J]. 煤矿安全,2012,43(5):86-88.
- [28] 谢和平,高峰,鞠杨,等. 深部开采的定量界定与分析[J]. 煤炭学报,2015,40(1):1-10.
- [29] 郭金敏,张义顺. 矿用高性能聚合物改性混凝土的应用研究[J]. 采矿与安全工程学报,2011,28(4):660-665.
- [30] 吴教锬. 基于应力分带特征的顺层钻孔合理封孔深度研究[J]. 矿业安全与环保,2017,44(1):62-65.
- [31] 郭亮,李俊才,张志敏,等. 地质雷达探测偏压隧道围岩松动圈的研究与应用[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(S1):3009-3015.

(责任编辑:陈玉涛)

=====

(上接第73页)

对象,主要研究了煤矿井下疏干水的慢速脱碳的控制。为了更好地稳定中间池的化学环境,首先分析了慢速脱碳过程中的影响因子,建立了中间池水位的数学模型。其次对进料(水和硫酸)、出水以及进出水流量扰动三冲量进行了综合性的PID控制。最后在Simulink环境下搭建了仿真模型,并通过对比试验完成了单冲量与三冲量的试验对比。结果表明:基于三冲量PID的控制方法较单冲量控制而言,在消除扰动、保持系统pH值稳定方面有明显改善,一定程度上提高了工业疏干水的净化效果。

参考文献:

- [1] 钱感,关洪银. 燃煤电厂脱硫废水综合处理工艺[J]. 水处理技术,2017,43(2):136-138.
- [2] 李守亮. 宝清露天煤矿疏干降水系统优化[J]. 煤炭技术,2016,35(6):215-217.
- [3] 苏颖,马芳,肖子博. 电厂废水处理及回用技术的研究

进展[J]. 资源节约与环保,2016(5):26.

- [4] 高燕宁,张立军,孙小军,等. 矿井疏干水回用于大型火力发电厂[J]. 中国给水排水,2013,29(16):61-64.
- [5] 汪洪涛. 大型火电厂化学水处理技术进展与应用探讨[J]. 橡塑技术与装备,2016,42(6):34-35.
- [6] 韩琳,尹萍,程勇明,等. 泥渣回流对慢速脱碳处理城市中水的影响研究[J]. 工业安全与环保,2014,40(8):80-82.
- [7] 张亮,朱乐辉,杨德龙,等. 絮凝沉淀+BAF工艺处理煤矿废水及回用[J]. 水处理技术,2012,48(3):132-135.
- [8] 国玲玲,王国峰. 三冲量在制氢装置锅炉汽包液位控制中的应用[J]. 中外能源,2016,21(9):85-88.
- [9] 傅毓赞,史金铎. 电厂水处理仿真系统及其使用功能探究[J]. 煤炭技术,2012,31(11):256-257.
- [10] 顾磊,吴建国,张培建,等. 模糊PID神经网络算法在污水处理中的应用[J]. 水电能源科学,2016,34(11):49-53.

(责任编辑:逢锦伦)