

干法静电除尘器泄爆阀性能测试试验

蔡周全¹, 郑鹏辉², 沈建涛², 华耀锋², 程方明¹

1. 西安科技大学能源学院, 西安 710054
2. 西安西矿环保科技有限公司, 西安 710077

摘要 干法静电除尘器泄爆阀是静电除尘器的安全保障设施。本文设计了泄爆阀测试试验装置,对泄爆阀的性能(包括静态加压性能、整定压力、回座压力、泄爆性能)进行了试验研究。结果表明,所研制泄爆阀3级弹簧弹性模量选用适合,其行程和压力关系与国外同类先进产品基本一致。泄爆阀整定压力约5kPa,回座压力约4.6kPa,达到设计要求;整定压力偏差、启闭压差符合要求。瓦斯爆炸模拟泄爆试验表明,泄爆阀在爆炸条件下能够发挥其泄爆性能并复位,动态压力-行程曲线与静态测试曲线一致。

关键词 泄爆阀;整定压力;爆炸试验;泄爆性能

中图分类号 TQ53

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.09.003

The Testing Experimental of Explosion Relief Hatch Performance for the Dry-Typed Electrostatic Precipitator

CAI Zhouquan¹, ZHENG Penghui², SHEN Jiantao², HUA Yaofeng², CHENG Fangming¹

1. School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China
2. Xi'an Xikuang Environmental Protection Co., LTD, Xi'an 710077, China

Abstract Explosion relief hatch is a kind of safety protection facility to protect dry-typed electrostatic precipitator from explosions. A test apparatus was designed to study the performances of the relief hatch, including static pressure performance, set pressure, re-seating pressure, and explosion relief performance. The result shows that the elastic modulus selection of the three-level spring for the explosion relief hatch designed and made by authors is reasonable. The relation between its pressure and stroke change accords with the advanced foreign products that is possessed of similar functions. The set pressure of the relief valve is around 5kPa, and the re-seating pressure is around 4.6kPa, they all meet the design requirement; and the deviations of set pressure and opening/closing pressure meet the requirement as well. The explosion relief hatch as the cover of gas explosion chamber was fixed, and the methane explosion was triggered in the chamber. The process of the gas explosion relief was analyzed using a high speed video, and explosion pressure was acquired by a pressure transmitter. The experiment results show that the explosion relief hatch has the good performance and is able to automatically reset. The dynamic pressure-stroke curve fits with the static test curve perfectly.

Keywords explosion relieve hatch; set pressure; explosion experiment; explosion relief performance

0 引言

干法静电除尘技术现已逐渐应用于中国炼钢工艺的煤气净化回收系统^[1-2]。干法静电除尘系统通过静电除尘方法可将煤气粉尘质量浓度降至10mg/m³以下。由于人为因素或工艺过程中的原因,圆筒型静电除尘器内部可能会出现小范围、短时间氧浓度升高,形成煤气爆炸条件,产生小范围煤气爆炸。为防止电除尘器内部爆炸破坏静电除尘器,进口的干

法静电除尘器配备有泄爆阀^[3-4]。

泄爆阀作为一种特殊的安全阀,其泄放筒型静电除尘器内部爆炸时产生的压力是一种冲击性的动压力,存在时间短、衰减快。阀体也不同于一般的安全阀,没有泄放导管、泄放口径大(目前使用的最大可达1200mm)。进口泄爆阀的价格昂贵且维修不便,国内外也尚无泄爆阀测试标准和相关技术参数报道。为此研制了具有自主知识产权的泄爆阀,以替

收稿日期:2012-01-16;修回日期:2012-03-19

基金项目:陕西省工业攻关项目(2011K10-09)

作者简介:蔡周全,研究员,研究方向为气体粉尘爆炸及防治技术,电子信箱:czq9707@sina.com

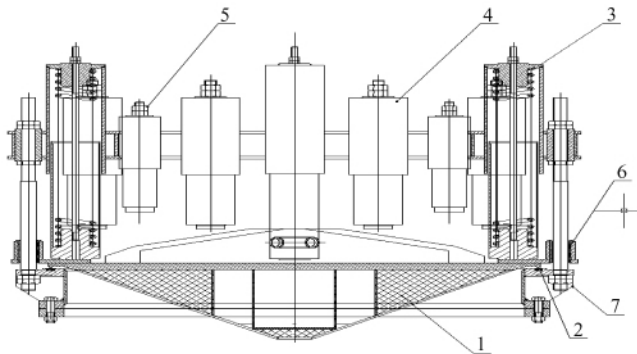
代进口产品,降低成本。

对泄爆阀性能测试,既没有国内外标准参照,也无相关技术参数及测试说明。齐振华^[4]对泄爆阀按安全阀一般要求进行开启高度和泄爆气量的试验研究,其泄爆阀的开启高度和泄爆气量测试试验的压力测定是在泄爆阀的联通管上,其压力值并不是泄爆腔(泄爆阀)所承受的压力,不能作为泄爆阀开启高度和泄爆阀排量测试的依据。为此,本文建立了泄爆阀性能测试装置,并进行了性能测试试验。

1 泄爆阀

用于煤气静电除尘系统的泄爆阀一般安装于煤气干法圆筒型静电除尘器(负压状态下运行)的进、出口端,其阀盖与法兰通过密封垫密闭。当静电除尘器内部由于气体爆炸使内压力超过设定的压力值时,泄爆阀阀盖自动打开,实现自动泄压,防止爆炸压力过大而损坏筒体及内部设施。压力降低后,阀盖在弹簧作用下,能迅速、自动复位,使阀体重新密闭,系统恢复正常工作而无需人员维修。

泄爆阀的结构见图1。泄爆阀阀盖设计为圆锥体型,以增加强度、减轻重量。阀盖采用3级泄爆方式,法兰与阀盖采用导向杆镶嵌结构联结。



1—阀盖;2—密封装置;3—1级泄爆装置;4—2级泄爆装置;
5—3级泄爆装置;6—导向装置;7—阀座

图1 泄爆阀结构图

Fig. 1 Structure chart of the explosion relief hatch

对泄爆阀性能测试参照国标 GB/T 12241—2005 安全阀一般要求和 GB 12242—89 安全阀性能试验方法进行。对泄爆阀整定压力、回座压力的测试,用空气作为介质替代煤气进行。

由于泄爆阀泄放口径大,无附加泄放管,泄放方式为连通泄放,用储压罐供气方式难以模拟爆炸时冲击压力下泄爆阀的开启高度、泄爆气量、排放压力和超过压力。泄爆阀开启高度与排放压力、超过压力的泄爆阀弹簧工作性能测试为静态描述,气体(甲烷)爆炸压力(动压)与泄爆阀开启高度的测试为动态描述。

泄爆阀弹簧工作性能采用机械施压方式进行测试。爆炸压力(动压)与泄爆阀开启高度的关系可通过气体(甲烷)爆

炸试验进行。

2 泄爆阀静压性能测试

泄爆阀静压性能即泄爆阀承受静态压力的性能,用来表征泄爆阀承压性能。

2.1 测试原理

采用机械加压方式进行测试,使液压机作用于阀盖,模拟爆炸超压的作用力,测试不同作用力 F (模拟不同气体压力 P)下的阀盖开启高度,绘制阀盖开启高度与气体压力之间的关系曲线,即3级弹簧在不同气体压力作用下的行程和张力情况。气体压力 P 为

$$P=F/S \quad (1)$$

其中, P 为气体压力,Pa; F 为液压机对阀盖作用力,N; S 为泄爆阀阀盖有效受压面积, m^2 。

2.2 测试装置

试验装置如图2所示,主要设备和仪器包括龙门液压机(Y22-30T)、称重装置、2把300mm不锈钢角尺(误差 $\pm 1mm$)、2副框式水平尺、1把5m钢卷尺。



图2 泄爆阀静压试验装置

Fig. 2 Experimental equipment for testing static pressure of explosion relief hatch

2.3 泄爆阀静压性能测试

试验步骤如下:将液压机伸缩缸顶部压头回缩至最小行程→将泄爆阀放置在液压机工作平台上(阀盖朝上,且阀盖中心须对准压头中心)→放置静压辅助装置→放置称重装置→启动液压机(操作液压机控制阀门)→缓慢伸出施压头,使泄爆阀开启高度加大→在开启高度允许范围内读取多组不同开启高度值与其对应压力值(重复此步骤)→汇总试验数据→绘制静态压力曲线。

泄爆阀压力与行程曲线如图3所示(考虑了泄爆阀移动部分的重力作用;泄爆阀安装角度为0)。与德恩杰高温设备有限公司防爆阀压力与行程曲线相比,压力与行程曲线总体趋势以及开启、回座压力均相似,弹簧刚度稳定,完全能达到

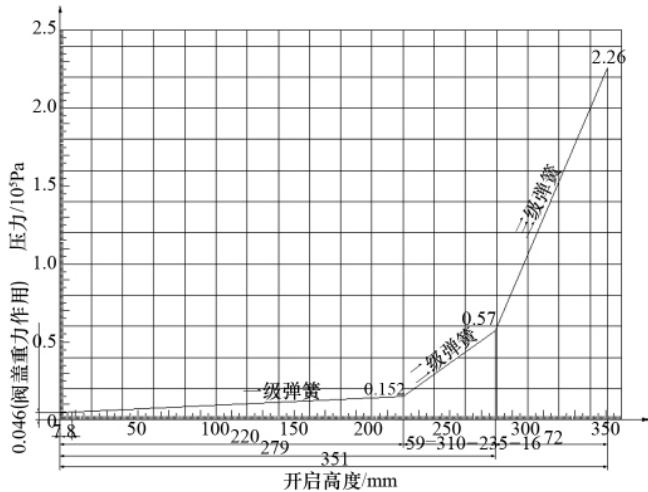


图3 泄爆阀压力与行程曲线

Fig. 3 Pressure and position curves of explosion relief hatch

泄爆要求。

3 泄爆阀整定压力和回座压力测试

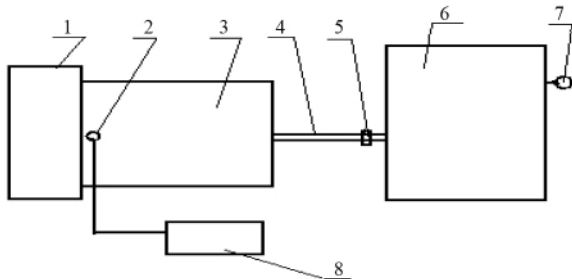
泄爆阀的整定压力和回座压力是泄爆阀动作的主要技术指标,分别表示泄爆阀的开启压力和回位封闭压力。泄爆阀出厂时必须调整准确,以保证泄爆阀的泄爆性能。

3.1 测试原理

向一定体积的圆柱型密封容器(一端为泄爆阀)内充入气体,泄爆阀所受压力即为容器内压。随容器内压的增加,泄爆阀受压也随之增加,泄爆阀开启泄压时的容器压力值即为泄爆阀的整定压力,泄爆阀关闭时的容器压力值即为泄爆阀回座压力。

3.2 测试装置

泄爆阀整定压力和回座压力试验测试系统如图4所示。测试设备和仪器:(1) 试验筒体内径为 $\Phi 1138\text{mm}$, 容积约 1.5m^3 , 承压 2.0MPa ;(2) 高速动态数据采集卡 PCI-10614, 测试4路, 输出触发控制, 采样率 10MS/s , 分辨率 $16\text{bit}/14\text{bit}$, TOPView2000 应用软件;(3) 压力传感器 CYG1103 (0.01,



1—泄爆阀;2—压力传感器;3—试验筒体;4—气体输送管路;
5—截止阀;6—储气罐;7—压力表;8—数据采集装置

图4 泄爆阀性能指标测试试验系统

Fig. 4 Experiment system for testing the performance parameters of explosion relief hatch

0.05,0.1,0.5MPa 各2件,精度0.25级);(4) 储气罐容积 3m^3 , 承压 0.88MPa (配带压力测试表);(5) 截止阀;(6) 气体输送管路;(7) 中型空压机;(8) 台式计算机。

3.3 泄爆阀整定压力和回座压力测试

在试验筒体出口端安装泄爆阀,用截止阀控制储气罐为试验筒体充气;通过压力传感器测试泄爆阀整定压力和回座压力;采用数据采集设备采集、记录数据。泄爆阀整定压力和回座压力测试结果见表1。可知整定压力约为 5kPa , 回座压力约为 4.6kPa 。

表1 泄爆阀整定压力和回座压力测试结果

Table 1 Test results for set-pressure and re-seating pressure of the explosion relief hatch

序号	整定压力		回座压力	
	测定电压/V	压力值/kPa	测定电压/V	压力值/kPa
1	2.52	5.04	2.30	4.60
2	2.47	4.94	2.28	4.56

4 泄爆阀泄爆模拟试验

4.1 试验原理

通过甲烷气体在试验筒体内爆炸来模拟煤气干法圆筒型静电除尘器内的气体爆炸,对泄爆阀进行测试。

煤气的主要成分为 CO 、 H_2 和烷烃类气体,由于 CO 为剧毒气体, H_2 为强敏感爆炸性气体,其试验、购买和储存都比较困难,实际工况下的爆炸压力一般小于 0.3MPa ,因此采用甲烷气体代替煤气进行泄爆阀泄爆模拟试验。

测试试验爆炸压力尽量按照静压试验压力曲线趋势进行(图2),以检验泄爆阀不同压力下的泄爆性能。

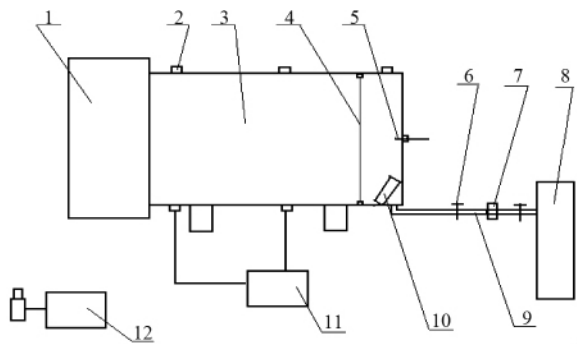
甲烷爆炸反应式为



甲烷爆炸体积分数一般为 5% — 16% ,爆炸压力最强体积分数为 9.5% — 10% 。根据文献[5],控制甲烷浓度可调节爆炸压力,由于设计泄爆阀的整定压力为 5kPa ,而低浓度时的爆炸压力也达到 0.37MPa ,因此只能减小甲烷爆炸体积,降低爆炸压力,以达到低压爆炸状况。

4.2 瓦斯爆炸模拟试验系统

爆炸模拟试验系统见图5,具体装置见图6。试验用品包括:(1) 内径为 $\Phi 1138\text{mm}$ 的试验筒体,容积 1.5m^3 ,承压 2.0MPa ;(2) 电点火药头,点爆能量约 400mJ (安装于试验筒体封闭端中心);(3) 0.12mm 的塑料薄膜,用于分隔爆炸腔和传爆腔;(4) AXLUGB-2301P4 型涡街气体流量计,最小计量 1L ,计量误差 1% ;(5) 体积分数 99.999% 的甲烷气体;(6) 台式计算机;(7) 高速动态数据采集卡 PCI-10614,测试4路,输出触发控制,采样率 10MS/s ,分辨率 $16\text{bit}/14\text{bit}$, TOPView2000 应用软件;(8) 压力传感器 CYG1103 (0.01,0.05,0.10,0.50MPa 量程各2个,精度0.25级,安装于距



1—泄爆阀;2—压力传感器;3—气体爆炸腔体;4—塑料薄膜;5—电点火药头;6—针阀;7—流量计;8—储气瓶(甲烷);9—气体输送管路;10—搅拌风扇;11—高速动态数据采集设备;12—高速摄像机
图5 爆炸模拟试验系统示意

Fig.5 Schema of experiment system of gas explosion simulation

出口法兰 100、200mm 处、点爆端);(9) FASTCAM-Super 10KC 高速摄像机,1000 幅/s;(10) 甲烷浓度检测仪。

4.3 泄爆阀泄爆试验

在爆炸腔内用塑料薄膜隔出 10% 的体积空间,充入一定浓度甲烷气体,用电点火药头点燃甲烷,由高速动态数据采



图6 爆炸模拟试验装置

Fig.6 Experiment device for gas explosion simulation

集系统测试压力动态变化,利用行程测试装置测试阀盖开启高度,用高速摄像机对泄爆阀泄爆状况进行摄像。

泄爆阀瓦斯爆炸泄爆试验结果见表 2。出口所测压力曲线见图 7(压力变送器最大输出 100kPa,对应电压 5V),平均开口高度与最大压力的关系见图 8。

表 2 泄爆阀瓦斯爆炸泄爆试验结果

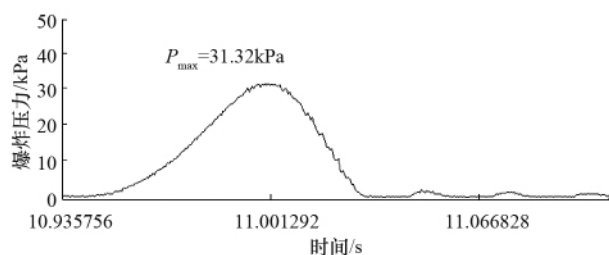
Table 2 Results of gas explosion relief test with explosion relief hatch

序号	甲烷体积/10 ⁻³ m ³	体积分数/%	最大压力/kPa	四导柱测试的开口高度/mm				平均开口高度/mm
No.1	9	9.6	31.32	98	85	114	100	99.25
No.2	44	9.5	57.5	187	145	136	184	163.00
No.3	39	9.5	42.5	153	157	167	165	160.50
No.4	79	9.0	34.38	88	78	112	100	94.50
No.5	84	9.5	40.63	145	132	120	138	133.75

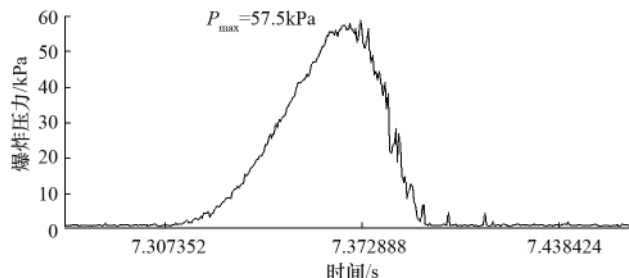
可见,动态测试行程-压力曲线(图 8)与泄爆阀静压行程-压力曲线(图 3)基本一致,这表明泄爆阀在爆炸动压状态能够保持其压力-行程特性。

以高速摄像机拍摄的试验 No. 3 泄爆阀动作状态(图 9)。瓦斯点爆后 72ms 泄爆阀打开,132ms 时泄爆阀达到最大开

口,236ms 时阀门闭合回位,从泄爆阀打开到关闭的时间为 164ms。而对应的压力曲线(图 7(c))的压力从 0 升起回到 0 的时间为 95ms。泄爆阀能够在爆炸状态下打开泄爆并随后关闭,能够发挥其泄爆作用。对应图 7(c)压力测试曲线,泄爆阀打开时长约是关闭时长的 1.7 倍。



(a) No. 1



(b) No. 2

图7 爆炸压力曲线

Fig.7 Explosion pressure curves

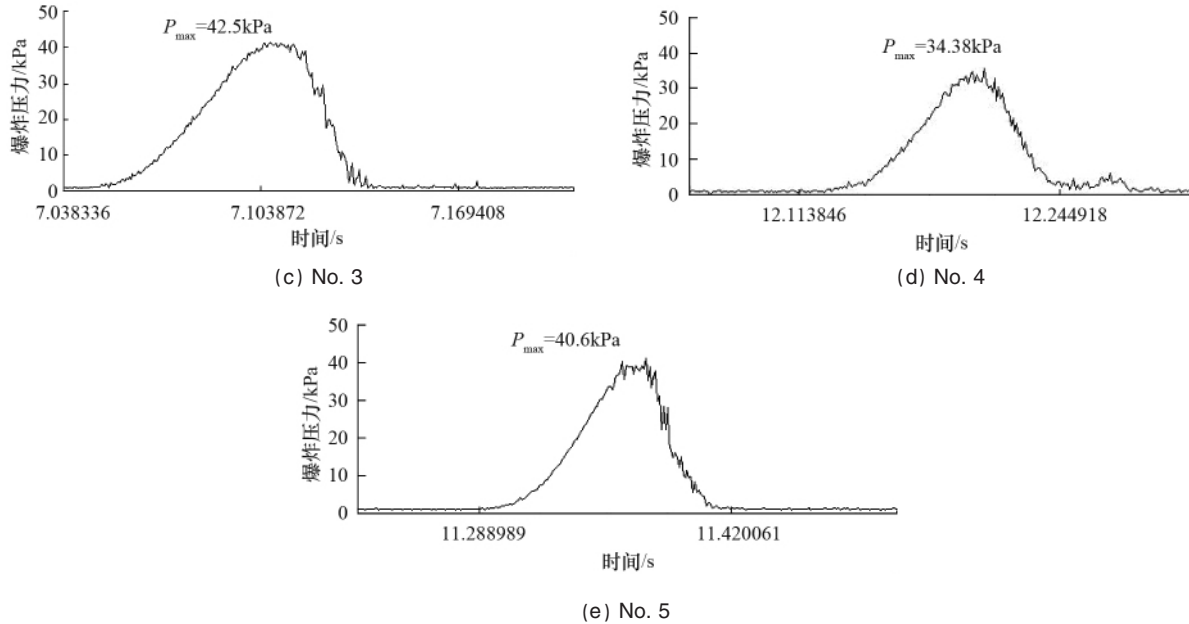


图7 爆炸压力曲线(续)

Fig. 7 Explosion pressure curves (continued)

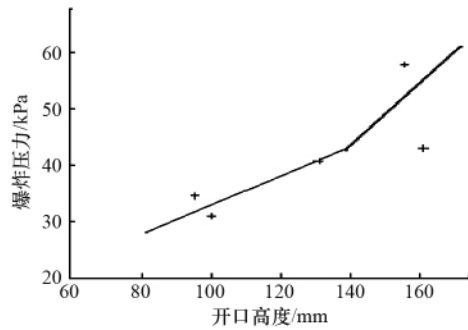


图8 爆炸压力与平均开口高度的关系

Fig.8 Relationship between explosion pressure and average opening high

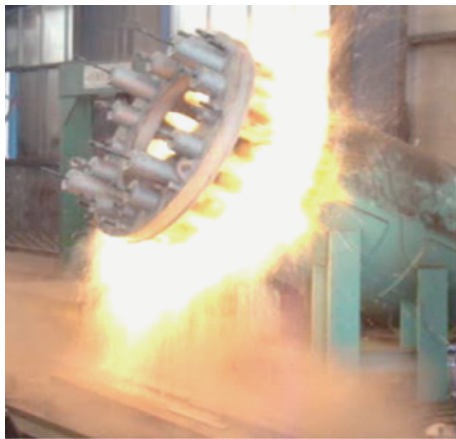


图9 泄爆阀泄爆状态照片

Fig. 9 Photo of explosion relief state for explosion relief hatch

5 结论

泄爆阀静态加压试验表明,3级弹簧弹性模量选用适合,其行程与压力的线性变化曲线与进口泄爆阀泄爆相仿。

用压气进行的测试试验中,泄爆阀整定压力约5kPa,回座压力约4.6kPa,与德恩杰高温设备有限公司泄爆阀启动压力5kPa相近,符合设计要求。整定压力偏差未超过标准±3%整定压力的要求;启闭压差为9.7%整定压力,大于最小值(2.5%整定压力)且小于最大值(15%整定压力),符合要求。

所建爆炸模拟试验装置及测试系统能够完成爆炸泄爆模拟试验。对泄爆阀进行的瓦斯爆炸模拟泄爆试验表明,泄爆阀在爆炸状态下能够发挥其泄爆性能并复位,且动态压力-行程曲线与静态测试曲线一致,能达到泄爆要求。

参考文献 (References)

- [1] 张同忠. 转炉煤气干法除尘技术在我国的应用[J]. 硅谷, 2009(3): 116-117.
Zhang Tongzhong. *Silicon Valley*, 2009(3): 116-117.
- [2] 张东丽, 毛艳丽, 曲余玲. 转炉煤气干法除尘技术应用现状[J]. 冶金管理, 2010(7): 57-60.
Zhang Dongli, Mao Yanli, Qu Yuling. *China Steel Focus*, 2010(7): 57-60.
- [3] 王永刚, 王建国, 叶天鸿, 等. 转炉煤气干法除尘技术在国内钢厂的应用[J]. 重型机械, 2006(2): 1-3.
Wang Yonggang, Wang Jianguo, Ye Tianhong, et al. *Heavy Machinery*, 2006(2): 1-3.
- [4] 齐振华. 煤气净化系统使用自闭式煤气安全泄爆阀的探讨[J]. 冶金动力, 1999(5): 43-46.
Qi Zhenhua. *Metallurgical Power*, 1999(5): 43-46.
- [5] 尉振娟, 谭迎新. 管道内不同浓度甲烷爆炸传播特性的实验研究[J]. 煤矿安全, 2009(10): 43-46.
Yu Cunjuan, Tan Yingxin. *Safety in Coal Mines*, 2009(10): 43-46.

(责任编辑 孙秀云,代丽)