

# 煤矿立风井备用防爆门及复位技术研究与应用

王梦东

(西山煤电(集团)有限责任公司 技术中心, 山西 太原 030053)

**摘要:**为解决矿井灾变时期立风井快速复位、密封的关键技术难题,研究了煤矿立风井备用防爆门及快速复位技术。备用防爆门变形模拟与抗冲击试验结果表明:备用防爆门能承受最大应力为189 MPa,最大弹性变形量32.2 mm,所设计的备用防爆门系统与现有防爆门完全相互独立,能够在煤矿井下发生瓦斯爆炸后,快速封盖风井井口,发挥与原防爆门相同的功能,既能正常通风又能反风。备用防爆门系统中还设置有活动风门,当井下发生二次甚至多次爆炸的情况下,风门能自动打开、复位,以保证矿井灾变时期的正常通风。

**关键词:**立风井;备用防爆门;瓦斯爆炸;复位技术

中图分类号:TD684 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2014)10-0084-03

## Research and Application of Standby Explosion-proof Door and Reset Technology for Mine Ventilation Shaft

WANG Meng-dong

(Technology Center, Xishan Coal and Electric Power Group Corporation Limited, Taiyuan 030053, China)

**Abstract:** In order to solve a rapid reset and seal key technology problems during a mine shaft disaster period, the standby explosion-proof door and rapid reset technology of the mine ventilation shaft was researched and developed. With deformation simulation and impact resistance test of the standby explosion-proof door, the results showed that the standby explosion-proof door could hold the max stress of 189 MPa and the max elastic deformation of 32.2 mm. The designed standby explosion-proof door system and the available explosion-proof door would be completely and mutually independent, could rapidly seal and cover the mine shaft head, could play a same function of the previous explosion-proof door and could have a normal ventilation and a reversed ventilation when a gas explosion occurred in the underground mine. There was a moving air door in the standby explosion door system. When twice or more explosions occurred in the underground mine, the air door could be automatically opened and reset to ensure the normal ventilation during the mine disaster period.

**Key words:** mine ventilation shaft; standby explosion-proof door; gas explosion; reset technology

## 0 引言

煤炭是我国国民经济发展的主要能源,随着可再生能源的上升,国产煤炭占我国一次能源消费总量的比例将会逐渐下降,但煤炭消费的绝对量仍呈增加趋势。然而我国煤矿安全生产潜在危险源多、灾害形势非常严峻,煤矿百万吨死亡率与国外相比,差距仍很大。在矿难中,一部分人是因为爆炸的冲击波致死,但更多的人是因瓦斯爆炸产生大量有毒有害气体窒息而死。因而发生事故后应及时进行

通风排毒,然而瓦斯爆炸后,由于矿井防爆门发生严重变形或被高压抛出,井下气流与地面空气发生风流短路,CO等有毒气体无法有效排出而引起大量人员伤亡<sup>[1-4]</sup>。另外,由于井下救援的需要,通常应对矿井进行反风,而此时由于防爆门通常不能及时关闭,同样造成风流短路,从而影响井下救援工作。因而发生瓦斯爆炸后,如何最大限度发挥防爆门的安全作用十分重要<sup>[5-6]</sup>。然而目前保证防爆门安全的措施仅是对现有防爆门的结构进行改造。由于矿井发生瓦斯爆炸的当量无法预计,仅对现有防爆门的

收稿日期:2014-05-02;责任编辑:赵瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2014.10.020

作者简介:王梦东(1968—),男,山西交城人,高级工程师,现任西山煤电(集团)有限责任公司技术中心主任。Tel:0351-6213507

引用格式:王梦东.煤矿立风井备用防爆门及复位技术研究与应用[J].煤炭科学技术,2014,42(10):84-86,91.

WANG Meng-dong. Research and Application of Standby Explosion-proof Door and Rapid Technology for Mine Ventilation Shaft[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 84-86, 91.

结构进行改造实际上无法保证矿井发生瓦斯爆炸时防爆门不被破坏<sup>[7-10]</sup>。据此,提出采用全新的备用防爆门,在矿井发生瓦斯爆炸、原有防爆门遭到破坏时备用防爆门能及时复位、密封风井,保证矿井正常通风,防止瓦斯爆炸灾害事故扩大,最大限度减少损失。

## 1 备用防爆门设计

### 1.1 相似模拟爆炸试验及计算

分析研究瓦斯爆炸冲击波的传播机理,影响瓦斯冲击波爆炸强度的控制因素。

#### 1) 相似模拟爆炸当量 $W_{TNT}$ 计算。

$$W_{TNT} = 1.8\alpha W_f Q_f / Q_{TNT}$$

其中:  $\alpha$  为爆炸效率因子,取 0.04;  $W_f$  为燃料的总质量,在此为甲烷质量, kg;  $Q_f$  为燃料的燃烧热, kJ/kg, 甲烷取  $55.5 \times 10^3$  kJ/kg;  $Q_{TNT}$  为 TNT 爆炸热, 取 4 520 kJ/kg。甲烷-空气混合物摩尔质量 26.681 g/mol, 甲烷密度为 0.656 kg/m<sup>3</sup>, 气囊甲烷质量 0.014 4 kg,  $W_{TNT} = 12.72$  g。

2) 相似模拟瓦斯爆炸超压计算。混合气体体积 66 L; 反应物中氧气 2/3, 甲烷 1/3; 混合物的摩尔质量 26.681, 甲烷密度 0.656 kg/m<sup>3</sup>, 标准状态下每 1 kg 乙炔完全燃烧放出的热量为 55.5 MJ, 反应放出热量为 0.800 9 MJ, 冲击波超压  $1.927 \times 10^5$  Pa, 波阵面传播速度 551 m/s, 气流速度 284 m/s, 密度 3.965 4 kg/m<sup>3</sup>, 爆炸当量相对于 12.72 g TNT 炸药。

### 1.2 矿井灾变时期立风井控风方案

充分考虑矿井灾变时期的各个因素,了解分析现有防爆门存在的安全隐患,考虑不改变现有风井防爆门的结构,另增加一套独立的备用防爆门,并在此基础上增加备用防爆门的方案。即改变备用防爆门的结构,将备用防爆设计成对开的备用防爆门,这样在矿井灾变时期原有矿井风井防爆门遭到破坏时,启动备用防爆门可以将风井盖严。一旦发生 2 次或多次爆炸时,备用防爆门上的备用防爆门能实现自动打开与复位。通常情况下,当发生瓦斯或煤尘爆炸时,第 1 次的威力是最大的,原有防爆门可能受到严重的危害,当以后发生 2 次或多次爆炸时,气流对防爆门的冲击力会逐渐减小,因此,发生第 1 次爆炸时被摧毁的是原有矿井风井的防爆门,之后备用防爆门可产生作用。

### 1.3 备用防爆门快速复位系统

备用防爆门的设计既要考虑对原风井盖的罩

盖、密封、固定,还要考虑到移动、对接和锁紧。因此,必须设计可靠的备用防爆门快速复位系统。经过研究,提出以下 3 个方案:吊装复位系统、倾斜滑道复位系统、水平导轨牵引系统。经过对比分析,认为水平导轨牵引系统更加可行。该方案是考虑将备用防爆门置于原风井盖一旁的 2 根水平导轨上,并且可以在电动机驱动下沿水平导轨移动,当原风井盖由于井下灾变被冲击破坏而需要启用备用防爆门快速复位系统时,复位系统的电控部分驱动横梁行走机构,将备用防爆门系统推至原风井盖上方,同时电推杆锁紧装置将其锁紧,在反风时确保井盖不被吹开。此方案中防爆门的移动是电动机驱动,能使防爆门从备用状态快速移动至指定位置。据测算:从开始移动到运动到指定位置只需 33.3 s,能够保证在规定时间内实现反风,同时,大幅减少了人工操作,消除了安全隐患。

备用防爆门快速复位系统的整体构成如图 1 所示,其备用防爆门快速开启结构主要由风井盖门扇、风井盖转轴装置和配重等组成。根据备用防爆门能在发生瓦斯爆炸时快速开启的设计要求,计算了快速开启结构中的配重,分析了井盖开启过程的运动学和动力学,验证了井盖开启时间能满足规程要求。为提高井盖刚度,在备用防爆门井盖上设计了加强筋,并对加强筋、转轴强度和刚度进行校核计算。

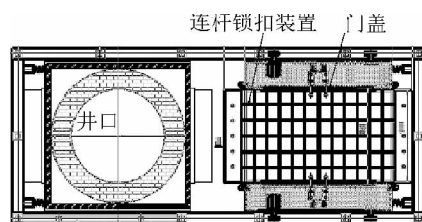


图1 备用防爆门快速复位系统的整体结构

### 1.4 备用防爆门电控系统

备用防爆门电控系统由横梁行走电动机和电动推杆电动机组成,其工作原理如图 2 所示。D1、D2 为横梁行走装置的电动机,在运转时做同步运动。D3、D4、D5、D6 分别为锁紧装置中的电动推杆电动机,在运转时做同步运动。当防爆门处于备用状态

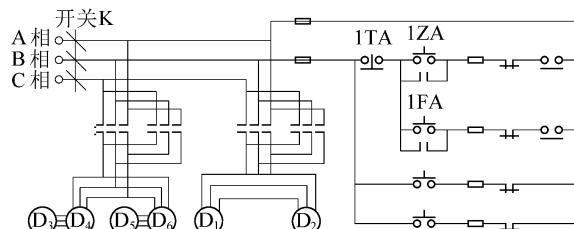


图2 备用防爆门电控系统

时,此电控系统不工作。当防爆门进入工作状态时,启动“前进”按钮 1ZA,电动机正转,防爆门向前移动,到达终点位置时启动按钮 1TA,防爆门停止移动。当需要防爆门退出工作状态则启动“退回”按钮 1FA,电动机反转,防爆门后退,退回终点位置时启动停止按钮 1TA。在需要反风工作时,通过正向按钮进入锁紧状态,不需要反风工作时,通过反向按钮退出锁紧状态。

### 1.5 备用防爆门与密封池间的密封结构

1) 备用防爆门与方形密封池之间的密封结构设计。根据密封圈截面的不同,目前的密封方式通常有矩形、椭圆形、骨形、塔形、月形和 O 形橡胶密封圈 6 种。经过对密封件的压缩过程和应力分布分析,几种异型密封件无论在装配状态下还是大开缝时均可满足一定的密封要求。异型密封件可在较大开缝时(5 mm 以上)保证良好的气密性,弥补了传统 O 形圈的不足。经有限元分析和试验验证,本设计中密封结构确定采用椭圆形和月形相结合的密封方式<sup>[11-12]</sup>,确保了备用立风井防爆门封闭立风井后的有效风量大于 90%。

2) 备用防爆门底盘密封设计。底盘的上平面与大气环境相通,为了减少漏风,当备用防爆门推至原风井盖上方时,要求与外界应有可靠的密封。采用的密封办法是在底盘上平面槽钢位置处粘接厚度 20~30 mm 的橡胶海绵密封条,当防爆门的门盖处于备用状态时,门盖由于自重而压紧橡胶海绵使其紧贴底盘上平面,当防爆门处于工作状态时,压在槽钢位置处的海绵条起到密封作用。底盘下平面密封比较复杂,一方面是底盘在行走进入混凝土方箱位置时侧边始终要处于密封状态,另一方面是底盘到位时其前后端面也要处于密封状态,这样才能满足防爆门的密封要求,有效防止漏风。采用的密封方案是在活动槽钢上粘接厚度 6×60 mm,长 7 640 mm 的密封条,当活动槽钢到达指定位置时通过紧贴密封条接触,保证活动槽钢和固定槽钢之间的可靠密封,以防气体从此位置泄露,达到密封效果。

## 2 备用防爆门变形模拟与抗冲击试验

### 2.1 备用防爆门变形模拟

利用 FLUENT 软件对瓦斯爆炸流场进行数值模拟,得出瓦斯爆炸冲击波在不同时刻作用于备用防爆门上的压力分布,并利用牛顿运动第二定律,分别求出备用防爆门被开启的最小压力、不同时刻的压

力分布、不同时刻的转动角加速度及不同时刻的已开启角度,分析备用防爆门运动规律。然后利用 ANSYS 软件对备用防爆门进行应力分析,得到备用防爆门最大变形情况,通过材料强度校核,分析其变形属于塑性变形还是弹性变形。通过数值模拟得出以下主要结论。①在 CH<sub>4</sub> 体积浓度为化学当量比浓度 9.5% 条件下点火后,爆炸冲击波压力为 26 kPa 时,备用防爆门开始打开,当开启角度为 12° 时压力达到峰值 782 kPa。②备用防爆门所受最大应力为 189 MPa,小于钢的许用应力 245 MPa,最大弹性变形量 32.2 mm,未发生塑性变形,说明备用防爆门结构设计合理,备用防爆门整体可靠性符合要求。

### 2.2 备用防爆门抗冲击试验

按照试验矿井实际规模尺寸的 1/4 比例,设计了中试试验平台(图 3)。其中模拟井筒的直径为 1.2 m,深度 10 m,在模拟井筒上方安装 1/4 实际尺寸的备用防爆门,并按照爆炸当量由小到大顺序进行中试试验,其试验系统原理如图 4 所示。



图 3 备用防爆门中试试验台

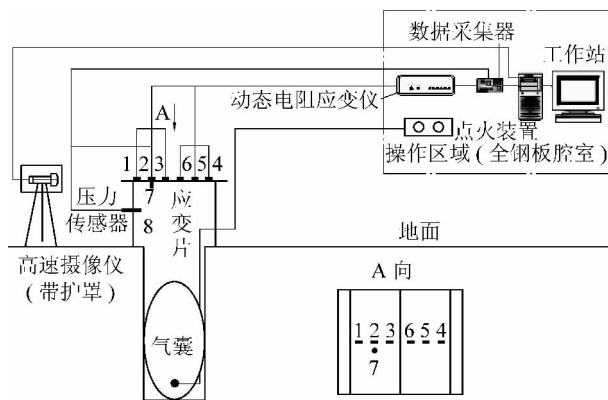


图 4 备用防爆门中试试验系统原理

在中试试验平台上共进行了 8 次备用防爆门中试试验。为提高有限体积爆炸气体的爆炸当量,爆炸气体采用化学当量浓度的乙炔与纯氧的混合气体,混合气体体积 5~45 L, TNT 爆炸当量为 2.13~19.17 g。8 次试验过程中爆炸当量以逐渐加大为原则,考察备用防爆门应力、变形情况。中试试验结果表明:在所有爆炸试验过程中,备用防爆门承受的主

(下转第 91 页)

## 5 结 语

全自动预混料气力输送系统在口孜东矿的应用表明,该系统可以根据掘进工作面用料需求连续自动为掘进工作面提供直径不大于 4 mm 的混合料,在保证混合料质量的基础上满足了巷道支护棚后浇筑混凝土材料用量大的需求。采用气力输送,有效缓解了矿井辅助运输运力紧张问题,全自动化的 PLC 控制结合完全基于 WEB 的上位监控和远程诊断支持,保证了系统的全自动运行,大量减少辅助运输及巷道修护从业人员数量。气力输送方式避免了采用矿车运输时的安全风险,从根本上保障人员安全。配合联合支护工艺的变革,大幅改善了矿井的支护效果,该系统在开采深度和产量较大的矿井具有很好的推广应用价值。

### 参考文献:

- [1] 刘佑荣,唐辉明.岩体力学[M].北京:化学工业出版社,2008:194.
- [2] 冯林杨,邢德恩,马 注.深井巷道支护技术应用研究[J].山东煤炭科技,2012(2):119.
- [3] 柏建彪,侯朝炯.深部巷道围岩控制原理及应用研究[J].中国矿业大学学报,2006,35(2):146-147.
- [4] 王 成,张 农,韩昌良等.U型棚锁腿支护与围岩关系数值分析

(上接第 86 页)

体部分应力水平小于材料许用应力,没有发生塑性变形,说明备用防爆门整体设计合理,安全防护性能可靠。在屯兰矿的梁庄立风井现场安装、调试备用防爆门系统,试验结果表明,防爆门整体结构、快速开启结构、密封结构设计合理,能按规定的时间实现复位;电控系统及执行机构运行可靠。

## 3 结 语

备用防爆门复位装置在矿井发生灾变且原有防爆门遭到破坏时能迅速封闭立风井,突破了传统的局限于对现有立风井防爆门进行改进的思维,为确保矿井灾变时期矿井风流的稳定提供了一种全新的理论、技术与装备。同时,在备用防爆门基础上增加对开备用防爆门,当发生 2 次或多次爆炸时,备用防爆门上的对开备用防爆门能实现自动打开与复位,确保备用防爆门矿井灾变时期矿井的通风安全。

### 参考文献:

- [1] 张宝权.关于煤矿现用防爆门不安全性的探讨[J].煤矿安全,

及应用[J].采矿与安全工程学报,2011,28(2):209-213.

- [5] 陈建本,徐天才,张 炜,等.深井软岩巷道底鼓机制及控制[J].煤矿安全,2011,43(6):156-159.
- [6] 孙晓明.煤矿软岩巷道耦合支护理论研究及其设计系统开发[D].北京:中国矿业大学(北京),2001:11-18.
- [7] 廖常初.S7-300/400 PLC 应用技术[M].北京:机械工业出版社,2007:1-9.
- [8] 王华忠.监控与数据采集(SCADA)系统及其应用[M].北京:电子工业出版社,2010:1-7.
- [9] 博尔曼.工业以太网的原理与应用[M].北京:国防工业出版社,2011:3-11,121-135.
- [10] 李正军.现场总线与工业以太网及其应用技术[M].北京:机械工业出版社,2011:361-365.
- [11] 胡寿松.自动控制原理[M].4版.北京:科学技术出版社,2001:11-12.
- [12] 高国桑,彭康拥,陈来好,等.自动控制原理[M].3版.广州:华南理工大学出版社,2009.
- [13] 周 杰,陈伟海,于守谦.基于 ARM 的嵌入式系统在机器人控制系统中应用[J].微计算机信息,2007(2):271.
- [14] 蔡海尼,何 盼,文俊浩,等.面向服务架构的数据服务在数据访问中的应用[J].重庆大学学报,2009,32(10):1208-1213.
- [15] 王春梅,周 晖.基于人力成本控制的人力资源管理模式构建[J].改革与战略,2011(11):54.
- [16] 康红普,王金华,林 健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2011,36(11):1810-1815.
- [1] 1988,19(5):11-12.
- [2] 梁炳福,张福珍.改进矿井防爆门结构型式的建议[J].煤炭工程,1988(10):34-35.
- [3] 杨源林.论矿井防爆门的作用与适用条件[J].煤矿安全,1989,20(7):41-43.
- [4] 王连成,王 宏.设置防爆门的合理参数[J].煤矿安全,1989,20(7):12-14.
- [5] 周开枫.立风井防爆门结构形式探讨[J].煤炭工程,1986(6):22-24.
- [6] 范喜生.矿用自动复位式风井防爆门研究[J].煤炭科学技术,2012,40(6):58-61.
- [7] 董 腾,王海桥,张永青,等.矿井防爆门、盖自动封堵装置研发[J].中国安全生产科学技术,2012(5):184-187.
- [8] 陈世建.煤矿风井防爆门改进[J].煤矿机械,2007,28(6):140-141.
- [9] 杜 欣.立风井防爆门快速启闭及锁扣装置在矿井主通风机上的应用和分析[J].科技创业家,2014(8):113.
- [10] 张永东.煤矿风井防爆门改造[J].价值工程,2010(1):134.
- [11] 郑旭明,刘爱新.煤矿风井防爆门改造[J].煤矿机械,2009,30(2):164-165.
- [12] 王海燕,曹 涛,周心权,等.煤矿瓦斯爆炸冲击波衰减规律研究与应用[J].煤炭学报,2009,34(6):779-783.