

# 风门受压变形特征及新型抗压风门构筑技术

苗德俊<sup>1,2</sup>, 常德化<sup>1,2</sup>

(1. 山东科技大学 矿山灾害预防控制省部共建国家重点实验室培育基地, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:**随着矿井开采深度的增加,巷道受到的压力也越来越大,导致风门设施出现墙体开裂、门槛变形折断、风门漏风等问题。以唐口煤矿为例,采用现场观测、理论分析等方法,对风门受压变形状况进行分析;采用数值模拟对巷道受压破坏程度进行研究,提出构建新型抗压风门技术,并在 330 检修斜巷进行了试验。经过四个月的观测,风门墙体水平长度变形量为 17.3 cm,垂直长度变形量为 21.2 cm,墙体压力最高达到 16.7 MPa,风门完好。

**关键词:**唐口煤矿;风门;冲击地压;数值模拟;破坏机理

中图分类号:TD727

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2016)01-0038-06

## Deformation Characteristics and New Pressure-resistance Constructing Technology of Air Door

MIAO Dejun<sup>1,2</sup>, CHANG Dehua<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control Co-founded by Shandong Province and the Ministry of Science and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** With the deepening of mine exploitation, the tunnel pressure gets increasingly greater, leading to problems such as wall cracking, threshold deformation, air leakage of the air door. Taking Tangkou coal mine as an example, this paper studied air door deformation by using field observation and theoretical analysis and the extent of tunnel compression and damage by using numerical simulation. Based on this, a new air door construction technology was proposed and then tested in inclined tunnel 330. After four months' observation, it has been found that with a horizontal deformation of 17.3 cm, a vertical deformation of 21.2 cm, and a maximum pressure of 16.7 MPa in the wall, the air door remains intact.

**Key words:** Tangkou coal mine; air door; rock burst; numerical simulation; failure mechanism

矿井通风是煤矿生产的重要环节<sup>[1]</sup>。生产时期通风系统的主要功能是利用通风动力、以最经济的方式、向井下各用风地点供给质优量足的新鲜空气,稀释并排放出瓦斯、粉尘等各种有毒有害物质,降低作业地点的环境温度,给井下工人创造良好的工作环境;在发生灾变时,能及时、有效地控制风向及风量,并与其他措施相结合,防止灾害的扩大,减少人员伤亡和财产损失<sup>[2]</sup>。风门是保证煤矿通风系统正常运行的重要基础设施之一<sup>[3]</sup>。目前人们对风门的构筑技术做了大量的研究,取得了丰硕的成果。王海宁<sup>[4]</sup>模拟了风流对矿井风门的影响并提出了柔性风门技术。贺亮<sup>[5]</sup>、原慧军<sup>[6]</sup>、马忙利<sup>[7]</sup>、张修峰<sup>[8]</sup>、丁大同<sup>[9]</sup>等对风门的设置进行

收稿日期:2015-07-07

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR2012EEM004)

作者简介:苗德俊(1970—),男,山东烟台人,副教授,博士,主要从事安全管理理论、事故预防控制、热害控制技术等方面的研究。E-mail:1462987677@qq.com

常德化(1984—),男,河南永城人,主要从事安全管理理论及热害控制技术等方面的研究,本文通信作者。

E-mail:707176579@qq.com

了改进和完善。姜耀东<sup>[10]</sup>、苗法田<sup>[11]</sup>等对煤层冲击机理和风门冲击受压变形特征做了相关的分析。但是,随着煤矿开采深度的增加,冲击地压对矿井通风设施及其构筑技术提出了更高的要求,且其破坏机理有待进一步认识。唐口煤矿的开采深度深,风门构筑完毕后很快就会因受压过大而损坏,在此背景下,本研究着重分析高压力下通风设施破坏机理及构筑技术。

## 1 风门墙压力及变形观测

唐口煤矿开采水平为-990 m,采深在-1 000 m左右,地压显现明显,煤层顶底板岩性软。岩石是非均质、非连续的岩体,强度低,单轴抗压强度一般不小于 30 MPa,且有不同程度的遇水膨胀性。有的裂隙发育,容易产生扩容,一些较硬的岩石在埋深大于 800 m 或地应力较强的情况下,发生蠕变和大的变形,发生松散、膨胀、碎裂、强度降低等现象。软岩多有兼容二种以上的复合特征。

在唐口煤矿北轨北回三路联络巷原建的风门墙上共布置 4 个超高压传感器(图 1),定期记录压力信息。同时在原建的风门墙上布置长度观测仪(图 2),观测其上下左右的变形量。

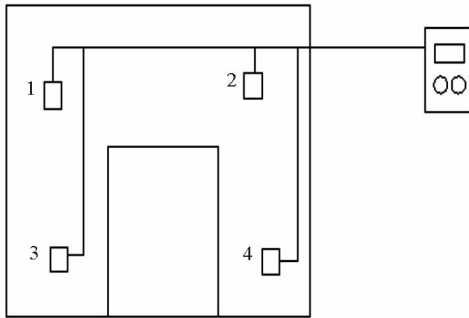


图 1 压力测量布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pressure measurement arrangement

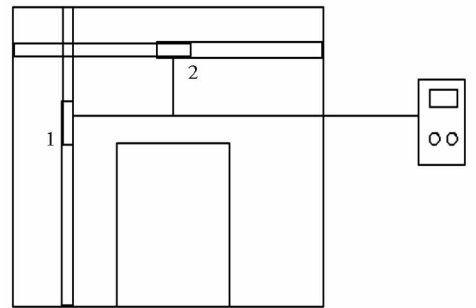


图 2 变形测量布置示意图

Fig. 2 Deformation measurement arrangement

2009-09-15—2009-12-16 期间的监测结果如图 3 和图 4 所示。由于该风门离工作面较近,受采场影响较大,当有矿压显现时,风门墙受压明显,同时变形增大。在 2009-10-15—10-23,2009-11-10—11-16,2009-11-26—12-04 期间,受矿压影响明显,当压力释放后,压力增加量和变形量较小。垂直方向和水平方向的变形比较明显,垂直方向的压力大于水平方向的压力,测点最大压力为 21.5 MPa,最小压力为 18.7 MPa。垂直方向右侧的压力大于左侧的压力,约相差 0.6 MPa;水平方向的压力左侧大于右侧的压力,约相差 0.7 MPa。水平方向的变形大于垂直方向的变形,约相差 53 mm。

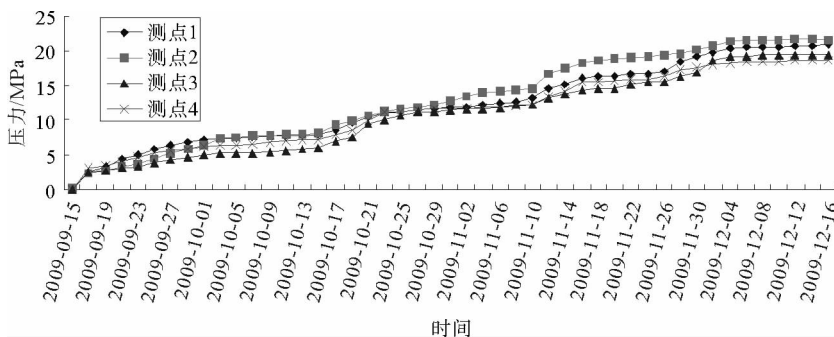


图 3 四测点压力变化示意图

Fig. 3 Schematic diagram of pressure changes in four measuring points

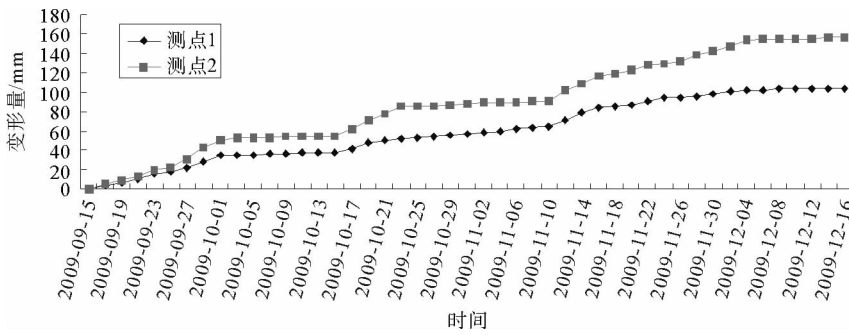


图 4 二测点的水平垂直变形量示意图

Fig. 4 Schematic diagram of horizontal and vertical deformation of two measuring points

## 2 通风设施巷道破坏模拟

### 1) 几何模型

模型几何尺寸:长×宽×高=100 m×76.4 m×75.2 m,为了消除数值模型的边界效应,模型的两侧边界距巷道帮的距离为 36 m,顶边界距巷道拱顶的距离为 36 m,底边界距巷道的底板距离为 32 m,沿巷道轴向,即 Y 方向的总长度为 30 m。在模型的上部采用载荷来代替上部岩层的重量。模型划分为 30 700 个单元,34 672 个节点。

### 2) 力学参数

结合现场实际情况,从上到下共设置 6 层,分别为细砂岩、泥岩、铝质泥岩、砂岩、粉砂岩、砂岩,并进行了岩石力学参数测试,如表 1 所示。

表 1 数值模拟中各岩层的力学参数

Tab. 1 Numerical simulation of the mechanical parameters of the rock

岩石名称	层厚/m	容重/ (kg/m <sup>3</sup> )	密度/ (kg/m <sup>3</sup> )	孔隙率/ %	抗拉强 度/MPa	单轴压缩 $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$			
						抗压强 度/MPa	弹性模 量/GPa	变形模 量/GPa	泊松比
细砂岩	13.55	2 732	2 787	1.99	1.706	73.2	16.140	9.010	0.184
泥岩	10.89	2 586	2 680	3.52	1.768	36.1	11.510	5.790	0.140
铝质泥岩	4.02	2 596	2 693	3.61	1.068	40.5	9.934	5.740	0.147
砂岩	6.16	2 585	2 676	3.39	1.716	28.3	8.905	6.454	0.275
粉砂岩	10.93	2 572	2 657	3.21	2.088	68.3	15.070	10.570	0.248
砂岩	6.82	2 595	2 691	3.59	1.518	70.9	14.230	9.496	0.200

### 3) 岩体的力学模型

模型中均采用 Mohr-Coulomb 屈服准则判断岩体的破坏,并且均不考虑塑性流动(不考虑剪胀)。用 FLAC<sup>3D</sup> 模拟圆拱形巷道壁受到的围岩应力,如图 5~7 所示。

由图 5 可以看出,巷道两帮的最大塑性区深度为 3.0 m,顶板为 4.2 m,底板为 3.0 m,两帮和顶板浅部以剪切破坏为主,巷道顶板的塑性区范围大于两帮和底板。由于顶板、两帮和顶板塑性屈服范围大,因此在巷道底角的塑性范围相对较小,其中底角的塑性屈服深度为 2.4 m。

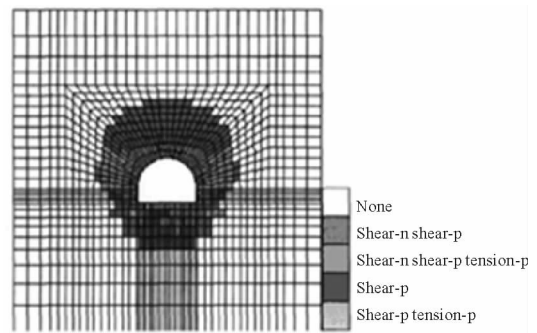


图 5 围岩屈服深度示意图

Fig. 5 Schematic diagram of surrounding rock's yield depth

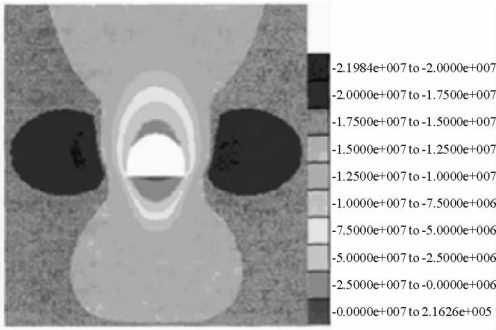


图 6 垂直方向应力示意图

Fig. 6 Schematic diagram of vertical stress

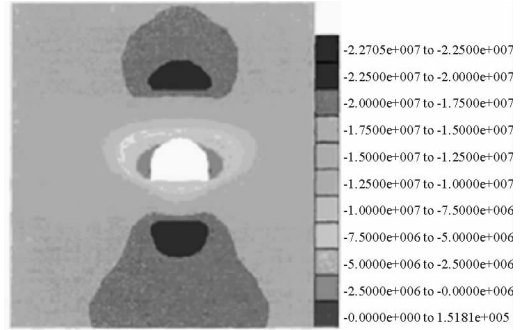


图 7 水平方向应力示意图

Fig. 7 Schematic diagram of horizontal stress

由图 6 可以看出,在两帮塑性区范围内形成卸压区而应力降低,在塑性区外 3.0~4.0 m 范围内形成应力集中区,其中应力最大值为 21.7 MPa,巷道底板的拉应力大于顶板,拉应力值为 0.21 MPa。由图 7 可以看出,围岩塑性区外形成应力集中区,其应力最大值为 22.7 MPa,在巷道两帮为拉应力,其值为 0.15 MPa。

#### 4) 风墙应力分析

为了保证通风系统的可靠性,风墙的边界必然紧贴巷道壁,巷道受到围岩的应力,被支护设施吸收,由于岩石的蠕变性、碎胀性及采动的影响,该应力会逐渐增大,最后会超出支护设施能承受的上限,超出上限的部分即剩余应力将会加载在风墙上。根据上节模型得到的巷道应力分布,可以定性得到风墙受到的应力分布,如图 8 所示。通过分析,可以看出顶底板中部是应力较大的部位,而顶板与两帮、两帮与底板的连接处,水平应力和垂直应力发生重合,为风墙应力集中点,也是最易发生变形破坏的位置,而由于风墙是一个立体结构,在应力集中位置将导致墙体破裂和墙皮脱落。

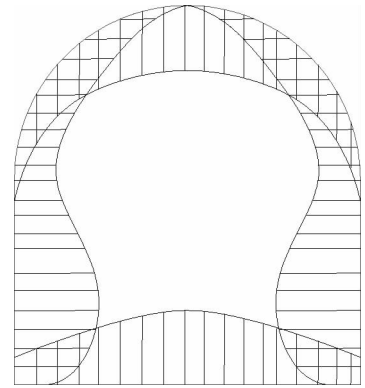


图 8 风墙应力示意图

Fig. 8 Schematic diagram of air door wall stress

### 3 新型抗压风门的设计

现有的风门大都采用内置风门,矿压较大时,容易导致门框变形,风门关闭不严、漏风等问题。因此,为避免矿压破坏风门,保证矿井通风系统可靠及安全生产,结合上述破坏机理分析及数值模拟,本设计采用外置风门设计,首先将墙体与风门分离,中间留出与风门框内侧一样的空间;然后用水泥砂浆、砖将框与墙体之间填实;最后用电钻在两竖坎上下两端各打眼一个,用准备好的锚杆将门框与墙体固定在一起,如图 9 所示。

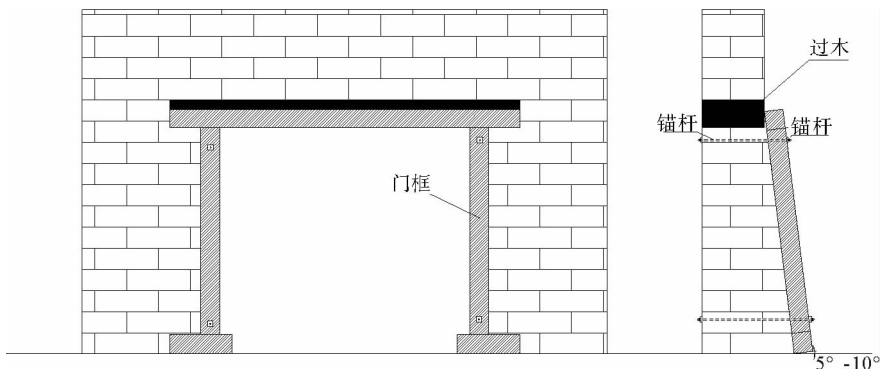


图 9 新型抗压风门结构示意图

Fig. 9 Schematic diagram of the new compression damper structure

## 4 应用效果

在唐口煤业公司压力较大的 330 检修斜巷, 构筑了一道风门, 在新建的风门墙上布置 4 个超高压传感器(图 1), 定期记录压力信息; 同时布置长度观测仪(图 2), 观测其上下左右的变形值。对该新建的风门经过四个月的观测, 结果如表 2 所示。观测结果表明, 风门墙体水平长度变形量为 17.3 cm, 垂直长度变形量为 21.2 cm, 墙体压力最高达到 16.7 MPa, 虽然风门变形量增大, 最大为 212 mm, 但墙体仍然完好。

表 2 新型风门墙的压力、变形与墙体破坏状况表

Tab. 2 Pressure, deformation and damage of the new throttle wall

时间	压力/MPa				垂直长度/mm		水平长度/mm		备注
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 1 长度	变形量	测点 2 长度	变形量	
2010-03-02	0.24	0.22	0.02	0.03	3 220	0	3 750	0	完好
2010-03-12	7.50	8.30	5.10	4.60	3 139	81	3 685	65	完好
2010-03-22	8.20	9.80	5.50	4.80	3 108	112	3 680	70	完好
2010-04-02	9.50	10.30	7.80	6.20	3 087	133	3 658	92	完好
2010-04-12	10.60	11.50	8.30	7.40	3 070	150	3 645	105	完好
2010-04-22	11.80	12.70	9.60	8.10	3 058	162	3 623	127	完好
2010-05-02	12.60	13.80	10.30	8.70	3 037	183	3 618	132	完好
2010-05-12	12.80	14.20	10.70	8.90	3 025	195	3 604	146	完好
2010-05-22	13.30	14.70	11.10	9.30	3 024	196	3 597	153	完好
2010-06-02	13.60	15.30	11.60	9.70	3 022	198	3 589	161	完好
2010-06-12	13.80	15.90	12.10	10.20	3 014	206	3 583	167	完好
2010-06-22	14.20	16.70	12.50	10.60	3 008	212	3 577	173	完好

## 5 结论

通过超高压压力传感器和长度传感器对唐口煤矿的两个压力较大巷道新建的风门连续监测, 发现随着压力增大, 变形量也逐渐增大, 最大压力为 21.5 MPa, 最大变形量为 157 mm, 当矿压释放到一定程度, 压力和变形量变化缓慢。在唐口煤矿构筑的新型抗压风门, 经过四个月的实际观测, 风门完好, 延长了该矿通风设施的使用寿命、降低了该矿通风设施的维护成本、保障了该矿矿井通风系统的稳定、可靠运行。

### 参考文献:

- [1]周刚,程卫民,田传强,等. 矿井通风系统危险源辨识、评价与控制[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2014,33(6):51-57.  
ZHOU Gang, CHENG Weimin, TIAN Chuanqiang, et al. Hazard identification, evaluation and control of mine ventilation system[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2014, 33(6): 51-57.
- [2]王海宁. 硐室型矿井风流调控技术[J]. 重庆大学学报, 2012, 35(5): 127-131.  
WANG Haining. Cavern type airflow control technology of mine[J]. Journal of Chongqing University, 2012, 35(5): 127-131.
- [3]ONDER M, SARAC S, CEVIK E. The influence of ventilation variables on the volume rate of airflow delivered to the face of long drivages[J]. Tunneling & Underground Space Technology, 2006, 21(5): 568-574.
- [4]王海宁. 柔性风门理论数值模拟与应用[J]. 煤炭学报, 2010, 35(增): 123-127.  
WANG Haining. Flexible damper numerical simulation and application[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(S): 123-127.
- [5]贺亮,刘明园. 风门的合理设置及改进[J]. 煤炭技术, 2009, 28(9): 9-10.  
HE Liang, LIU Mingyuan. Reasonable installation and improvement of ventilation door[J]. Coal Technology, 2009, 28(9): 9-

- 10.
- [6]原慧军. 自动气动无压平衡风门系统[J]. 煤矿机械, 2015, 36(4): 176-178.  
YUAN Huijun. Automatic pneumatic non-pressure balancing damper system[J]. Coal Mine Machinery, 2015, 36(4): 176-178.
- [7]马忙利, 马小辉. 机械式风门闭锁装置的优化改进[J]. 煤矿安全, 2014, 45(6): 92-93.  
MA Mangli, MA Xiaohui. Optimization improvement for locking device of mechanical air door[J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(6): 92-93.
- [8]张修峰, 周旋旋. 矿用新型双轴移动式无压全自动互锁平衡风门的研制[J]. 煤炭工程, 2013(2): 120-122.  
ZHANG Xiufeng, ZHOU Xuanxuan. Research and development of new mine double shaft mobile type pressureless full automatic interlock balanced air door[J]. Coal Engineering, 2013(2): 120-122.
- [9]丁大同, 周玺柱, 王子帮, 等. 风门的合理配置与优化选择[J]. 煤矿安全, 2009(9): 42-44.  
DING Datong, ZHOU Xizhu, WANG Zibang, et al. The rational allocation and optimal selection of air door[J]. Safety in Coal Mines, 2009(9): 42-44.
- [10]姜耀东, 潘一山, 姜福兴, 等. 我国煤炭开采中的冲击地压机理和防治[J]. 煤炭学报, 2014, 39(2): 206-212.  
JIANG Yaodong, PAN Yishan, JIANG Fuxing, et al. State of the art review on mechanism and prevention of coal bumps in China[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(2): 206-212.
- [11]苗法田. 矿井风门冲击变性特征及结构优化[J]. 矿业安全与环保, 2013, 40(2): 28-30.  
MIAO Fatian. Impact deformation characteristics and structural optimization of mine air door[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2013, 40(2): 28-30.

(责任编辑: 吕海亮)

## “矿山灾害预防与控制”研究专栏征稿

### 征稿范围:

- ◇ 矿山岩层控制
- ◇ 采动岩体力学
- ◇ 资源规划与绿色开采
- ◇ 矿井瓦斯与火灾治理
- ◇ 矿山震动与冲击地压
- ◇ 煤炭科学开采理论、方法与技术
- ◇ 安全监测监控与信息化
- ◇ 井下充填开采
- ◇ 现代化矿井生产技术
- ◇ 瓦斯的抽采与利用

欢迎相关领域专家学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“矿山灾害预防与控制”专栏。稿件通过专家评审后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: [http://xuebao.sdust.edu.cn/index\\_z.asp](http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp)

电子邮箱: [zkchem@sdust.edu.cn](mailto:zkchem@sdust.edu.cn)

联系电话: 0532-86057859

《山东科技大学学报(自然科学版)》编辑部