

# 平煤八矿东风井通风系统阻力测定与方案优化

张海庆<sup>1</sup>, 宋洋洋<sup>2</sup>, 焦向东<sup>1</sup>, 丁伟<sup>2</sup>

(1. 平顶山天安煤业股份有限公司 八矿, 河南 平顶山 467012; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

**摘 要:** 针对平煤八矿东风井主要通风机存在负压过高的问题, 采用气压计基点法对东风井通风系统进行通风阻力测定, 由测定结果得出: 东风井通风总阻力为 3 077 Pa, 超过了《煤矿井工开采通风技术条件》规定的 2 940 Pa, 进风段与回风段的通风阻力偏大。主要原因是通风路线过长、有些巷道断面过小、风量分配不合理。结合远期开采规划, 对东风井通风系统提出了优化方案, 运用 MVSS 软件对优化方案进行通风网络解算, 通过综合比较, 最终确定采用方案二对东风井通风系统进行优化。

**关键词:** 东风井; 阻力测定; 通风系统优化; 网络解算; 优化方案

**中图分类号:** TD724 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2012)09-0052-04

## Ventilation System Resistance Measurement and Ventilation Plan Optimization of East Mine Ventilation Shaft in No. 8 Mine of Pingmei

ZHANG Hai-qing<sup>1</sup>, SONG Yang-yang<sup>2</sup>, JIAO Xiang-dong<sup>1</sup>, DING Wei<sup>2</sup>

(1. No. 8 Mine, Pingdingshan Tian'an Coal Mining Corporation Ltd., Pingdingshan 467012, China;

2. School of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to the negative pressure too high existed in the main ventilator of Mine East Ventilation Shaft in No. 8 Mine of Pingmei, a barometer base point method was applied to the ventilation resistance measurement of the ventilation system. The measured results showed that the total resistance of mine ventilation in Mine East Ventilation Shaft was 3 077 Pa, over 2 940 Pa stipulated in *Coal Mine Ventilation Technical Condition*. The ventilation resistances at the air income section and the air retuning section were too high. The main causes were the ventilation route too long, some gateway cross section too small, ventilation distribution irrational. In combination with the long term mining plan, an optimized plan of the ventilation system in the Mine East Ventilation Shaft was provided. The MVSS software was applied to the ventilation network calculation of the optimized plan. With the comprehensive comparison, No. 2 plan was finally applied to the optimization of the ventilation system in Mine East Ventilation Shaft.

**Key words:** East Mine Ventilation Shaft; resistance measurement; mine ventilation system optimization; network resolution; optimization plan

矿井通风系统是矿井生产系统的重要组成部分, 担负着连续不断地向井下供给新鲜空气, 排出有毒有害气体, 保证矿井和作业人员安全的重要任务<sup>[1-2]</sup>。因此, 在矿井生产过程中应保证通风系统的安全可靠运行。但随着矿井开采深度和开采规模的增加, 通风路线长度和需风量不断增大, 通风网络日益复杂, 通风阻力也越来越大, 通风系统及主要通风机都可能出现不稳定运转的情况, 这将对矿

井的安全、可靠、高效生产产生重大影响。因此, 对矿井进行全面通风阻力测定, 针对目前及后期生产中存在的问题提出通风优化改造方案都有重要的实际意义<sup>[3]</sup>。

### 1 矿井概况

平煤八矿东风井(φ5.0 m)服务于己一采区、己三采区和己三扩采区, 安装1对K4-73-

收稿日期: 2012-04-25; 责任编辑: 王晓珍

作者简介: 张海庆(1971—), 男, 河南林州人, 工程师, 博士研究生。Tel: 13783275843, E-mail: pmbkzhq@sina.com

网络出版时间: 2012-09-17 10:33:18; 网络出版地址: [http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.52\\_015.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.52_015.html)

引用格式: 张海庆, 宋洋洋, 焦向东, 等. 平煤八矿东风井通风系统阻力测定与方案优化[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 52-55, 31.

11No32F 型离心式主要通风机, 主要通风机工作方式为抽出式, 配用电机功率 1 250 kW, 额定风量 12 300 m<sup>3</sup>/min, 额定风压 3 350 Pa。东风井通风系统存在风机负压较高、部分区段巷道老化严重的情况, 随着矿井不断向深部开采, 通风路线会越来越长, 通风总阻力将不断增大。因此结合矿井未来生产规划, 须对东风井通风系统进行优化。

## 2 通风阻力测定及结果分析

为了提出合理可行的优化方案, 首先应对东风井的通风情况有全面了解, 为此对东风井通风系统进行了通风阻力测定。矿井通风阻力测定是煤矿通风技术工作的重要内容之一<sup>[4-5]</sup>。通过阻力测定, 可了解通风系统的阻力大小和阻力分布情况, 及时发现其中存在的问题, 为通风系统优化改造提供基础资料<sup>[6]</sup>。

### 2.1 通风阻力测定

采用气压计基点测定法<sup>[7]</sup>对东风井通风系统进行阻力测定。测点布置在巷道支护完好、断面规整、附近无杂物、风流较稳定的断面内。

以己三扩采区为例, 其阻力测定路线: 主井—己三大巷—430 m 进风大巷—己三扩采区轨道上山—己 1617—13310 采煤工作面—己三扩采区回风上山—己三扩采区上部运输巷—己三扩采区总回风巷—东风井。

己三扩采区的通风路线如图 1 所示。

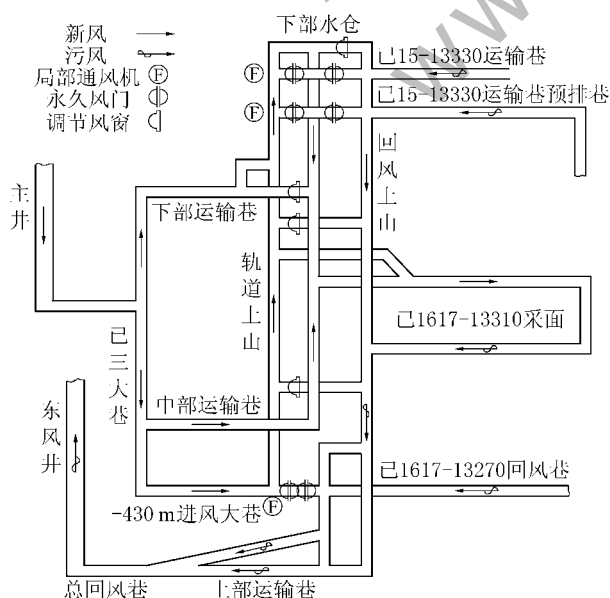


图 1 己三扩采区通风路线

### 2.2 测定数据平差处理方法

由于受井下环境、测量者、测量仪器等的影响, 测定数据不可避免地存在误差。为尽可能减少误差, 提高测定数据的准确性, 应对测定数据进行平差处理。假设一通风系统共有  $n$  条分支, 如果想得到所有分支的风压, 只需知道其中任意  $n-1$  条分支的风压即可。观测这样的  $n-1$  条分支风压, 称为必要观测, 观测的第  $n$  条分支风压为多余观测。由于观测值带有误差, 致使闭合回路风压之和不等于 0, 产生了不符值。如果有  $r$  个多余观测, 就产生  $r$  个平差值条件方程。采用平差值条件方程来消除不符值, 同时运用求条件极值的原理来解出改正值, 从而求得平差值, 这样以条件方程为函数模型的平差方法, 就是条件平差<sup>[8-9]</sup>。条件方程的数量与多余观测的数量相同, 即  $r = n - t$ , 其中  $n$  为观测的数据个数,  $t$  为必要观测数个数; 然后列出  $r$  个线性无关平差值方程。条件平差一般方程为

$$AL^* + C = 0 \quad (1)$$

式中:  $A = a_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, r; j = 1, 2, \dots, n$ ) 为条件方程系数矩阵;  $L^* = L + V = (L_1^*, L_2^*, \dots, L_n^*)^T$  为未知平差值向量,  $L = (L_1, L_2, \dots, L_n)^T$  为实测值向量,  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$  为改正值向量;  $C = (c_1, c_2, \dots, c_r)^T$  为条件方程常数项向量。

以  $L^* = L + V$  代入式 (1) 中得条件方程:

$$AV + W = 0 \quad (2)$$

其中,  $W$  为条件方程闭合差向量。由式 (1)、式 (2) 得

$$AL + C = W \quad (3)$$

按照最小二乘法准则, 并通过条件极值的拉格朗日乘数法, 求得未知平差值向量  $L^*$ 。

### 2.3 阻力测定结果及分析

1) 两测点间通风阻力与通风总阻力。两测点间的通风阻力按式 (4) 计算:

$$h_{ij} = k''(h_i'' - h_j'') - k'(h_i' - h_j') + \rho_{ij}g(z_i - z_j) + (h_{vi} - h_{vj}) \quad (4)$$

式中:  $h_{ij}$  为测点  $i$ 、 $j$  之间的通风阻力, Pa;  $k'$ 、 $k''$  分别为气压计 I、II 的校正系数;  $h_i''$ 、 $h_j''$  分别为气压计 II 在测点  $i$ 、 $j$  的读数, Pa;  $h_i'$ 、 $h_j'$  分别为气压计 I 在测点  $i$ 、 $j$  的读数, Pa;  $z_i$ 、 $z_j$  分别为测点  $i$ 、 $j$  所在地的标高, m;  $h_{vi}$ 、 $h_{vj}$  分别为测点  $i$ 、 $j$  的动压, Pa;  $\rho_{ij}$  为测点  $i$ 、 $j$  间空气密度的平均值,

$\text{kg/m}^3$ ;  $g$  为重力加速度, 取  $9.8 \text{ m/s}^2$ 。

从入风井口到主要通风机入口, 把顺序连接各段井巷的通风阻力累加起来, 就得到矿井通风总阻力, 这就是井巷通风阻力的叠加原则<sup>[10]</sup>。矿井通风总阻力  $h_r$  按式 (5) 计算:

$$h_r = \sum h_{rj} \quad (5)$$

按式 (5) 计算得东风井的通风总阻力为  $3\,077 \text{ Pa}$ 。根据矿井通风系统阻力要求<sup>[11]</sup>, 东风井通风总阻力应低于  $2\,940 \text{ Pa}$ 。因此, 应考虑采取措施, 降低通风总阻力。

2) 阻力分布状况。根据测定结果, 得出东风井通风系统的进风段通风阻力为  $1\,019 \text{ Pa}$ , 占整个通风系统阻力的  $33.1\%$ ; 用风段和回风段的通风阻力为  $770 \text{ Pa}$ 、 $1\,288 \text{ Pa}$ , 分别占整个通风系统阻力的  $25.0\%$ 、 $41.9\%$ 。可知, 东风井进风段与回风段阻力偏大。并且进风段中己三大巷的通风阻力达  $579 \text{ Pa}$ , 占进风段总阻力的  $56.8\%$ , 原因是进风段风量分配不合理, 己三大巷的风量过大。回风段中己三扩采区新总回风巷至东风井的通风阻力达  $942 \text{ Pa}$ , 占回风段总阻力的  $73.2\%$ , 主要原因在于通风线路过长, 加上巷道断面积较小, 造成了进风段与回风段总阻力较大。

3) 自然风压。东风井的自然风压  $h_n$  计算式为

$$h_n = \sum \rho_i z'_i - \sum \rho_j z'_j \quad (6)$$

式中:  $\rho_i$ 、 $z'_i$  分别为第  $i$  条进风巷的平均空气密度和首尾标高差;  $\rho_j$ 、 $z'_j$  分别为第  $j$  条回风巷的平均空气密度和首尾标高差。

通过计算, 得出东风井通风系统夏季自然风压为  $78.8 \text{ Pa}$ , 辅助通风机工作。在冬季, 自然风压将会更大, 同样辅助通风机工作。由于矿井较深, 其自然风压受围岩热交换影响比浅井显著, 因此夏季与冬季自然风压都需要辅助通风机工作。

4) 总风阻与等积孔。已知矿井通风总阻力  $h_r$  和矿井总风量  $Q$ , 即可求得矿井总风阻  $R$ , 按式 (7) 计算:

$$R = h_r / Q^2 \quad (7)$$

东风井的通风总阻力  $h_r = 3\,077 \text{ Pa}$ , 总风量  $Q = 108 \text{ m}^3/\text{s}$ , 计算得东风井的总风阻  $R = 0.264 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ 。矿井等积孔的计算式为

$$A_d = 1.19 / \sqrt{R} \quad (8)$$

将  $R = 0.264 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$  代入, 得等积孔  $A_d =$

$2.32 \text{ m}^2$ 。根据矿井通风难易程度的分级<sup>[10]</sup>, 可知东风井通风难易程度属容易。

5) 阻力测定误差检验。阻力测定误差  $\varepsilon$  检验计算式如下:

$$\varepsilon = \frac{h_s - h_v + h_n - h_r}{h_s - h_v + h_n} \times 100\% \quad (9)$$

根据测定结果, 通风总阻力  $h_r = 3\,077 \text{ Pa}$ , 自然风压  $h_n = 78.8 \text{ Pa}$ , 在通风机房读取的主要通风机静压  $h_s = 3\,156 \text{ Pa}$ , 动压  $h_v = 24.6 \text{ Pa}$ , 计算得阻力测定误差  $\varepsilon = 4.15\%$ , 误差值小于  $5\%$ <sup>[12]</sup>, 可知测定结果基本符合事实。

### 3 通风优化方案确定

笔者采用矿井通风仿真系统 (MVSS) 进行矿井通风网络解算与仿真, 并对通风系统进行分析。

#### 3.1 现行通风系统网络解算

将经过条件平差处理后的各分支巷道的风阻及主要通风机参数输入到 MVSS 软件, 对现行通风系统进行解算, 解算结果得出最大阻力路线与阻力测定路线基本吻合。主要巷道的解算风量与测定风量对比见表 1。

表 1 主要巷道解算风量与测定风量对比

巷 道	测定风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	解算风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	误差/ %
己三大巷	93.77	92.54	1.3
-430 m 进风大巷	34.58	35.08	1.4
己三扩采区下部运输巷	17.17	17.82	3.8
己三扩采区中部运输巷	13.44	13.10	2.5
己 1617-13310 采煤工作面	22.08	21.76	1.4
己三扩采区新总回风巷	28.95	27.59	4.7
己三扩采区上部运输巷	39.24	38.41	2.1
己三扩采区总回风巷	43.12	42.55	1.3
己三总回风巷	51.23	52.80	3.1
己一总回风巷	12.68	13.04	2.8

从表 1 中可以看出, 解算风量与测定风量误差均在  $5\%$  之内, 结果可靠。

#### 3.2 通风优化方案

针对东风井通风系统存在的通风总阻力过大、进风段风量过于集中、回风段阻力过大的问题, 并结合东风井未来开采计划, 提出 3 种优化方案。

1) 方案一。将己三扩采区新总回风巷向东侧延深  $500 \text{ m}$ , 并在此处建一新回风井, 井筒直径为

5 m，担负己三扩采区的回风；同时在己三扩采区新总回风巷与上部运输巷之间安装风门（许少量风通过，用于行人呼吸），避免己三扩采区的回风进入东风井；东风井只担负己一采区与己三采区的回风。

2) 方案二。扩大己三配风巷的通风断面面积至 15 m<sup>2</sup>，与己三大巷同时作为主要进风巷，避免进风风量过于集中，担负己三与己三扩采区的进风。扩大己三采区总回风巷与己三扩采区总回风巷的通风断面面积至 14 m<sup>2</sup>，降低回风段的通风阻力。

3) 方案三。结合方案一与方案二，将己三扩采区新总回风巷向东侧延伸 500 m，并在此处建一新回风井，担负己三扩采区的回风，同时在己三扩采区新总回风巷与上部运输巷之间安装风门；扩大己三采区配风巷的通风断面，与己三大巷同时作为主要进风巷，担负己三采区与己三扩采区的进风。

3.3 通风优化方案效果模拟

现阶段采掘工作面布置：己一采区回采结束，没有采掘工作面；己三采区有 3 个掘进工作面；己三扩采区有 3 个掘进工作面和 1 个采煤工作面。考虑到未来矿井生产中会增加采掘工作面，假设未来己三采区与己三扩采区在现有工作面布置情况下分别增加 1 个掘进工作面与 1 个采煤工作面。在满足各采掘工作面风量的情况下，运用 MVSS 软件对 3 个方案分现阶段与未来 2 种工作面布置方式进行效果模拟，并根据矿井通风阻力要求<sup>[11]</sup>进行检验。3 个方案中风井的风量与阻力模拟结果见表 2。

表 2 3 个方案中风井的风量与阻力模拟结果

方案	回风井	总风量 / ( m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )		通风阻力 / Pa	
		现有	未来	现有	未来
一	东风井	50.35	80.35	1 274	1 632
	新建风井	57.68	87.68	2 026	2 702
二	东风井	108.03	168.03	2 276	2 875
三	东风井	50.35	80.35	964	1 244
	新建风井	57.68	87.68	1 588	1 973

注：方案一中的新建风井不能满足通风阻力要求，其他均可。

由解算结果得出方案一进风段与用风段各分支的风量与阻力基本不变，回风段阻力减少至 236 Pa。方案二用风段风量与阻力基本不变，进风段己三配风巷扩宽后的风量为 46.84 m<sup>3</sup>/s，己三大巷的

风量为 48.51 m<sup>3</sup>/s，解决了进风过于集中的问题，同时阻力减少至 542 Pa；己三总回风巷与己三扩大总回风巷扩宽后，回风段总阻力减少至 964 Pa。方案三进风段与用风段同方案二，回风段阻力减少至 275 Pa。

3.4 通风优化方案比较

方案二与方案三可同时满足现有与未来通风系统的阻力要求，应从这 2 个方案中选择 1 个作为东风井通风系统的优化方案。方案二所需工程量为：扩宽己三配风巷、己三总回风巷与己三扩采区总回风巷，总长度为 2 870 m。方案三所需工程量为：己三扩采区新总回风巷向东掘进 500 m，新建风井 365 m，扩宽己三配风巷 1 460 m，增设 2 台通风机。考虑到现有通风机设备和井巷的合理利用，尽可能充分发挥现有巷道的作用，减少不必要的设施，同时结合工程量大小，最终选择方案二作为东风井通风系统的优化方案。

4 结 论

1) 在通风阻力测定及结果分析的基础上，找出东风井通风系统存在的问题主要是通风总阻力过大，进风段与回风段阻力偏大。主要原因是进风段风量分配不合理与回风段巷道断面过小。

2) 根据通风系统存在的问题，并结合未来开采规划，提出了 3 个优化方案。运用 MVSS 对 3 个方案进行效果模拟，结果得出方案二与方案三可同时满足现阶段与未来 2 种工作面布置情况下的阻力要求。将方案二与方案三对比可知，方案二所需工程量远小于方案三，并且方案二能充分利用现有通风机设备与井巷，最终确定方案二作为东风井通风系统的优化方案。

参考文献:

[1] 马 骊,王鹏军,李晋生. 浅析矿井通风系统的优化 [J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5 (4): 187-190.  
[2] 庞大芳,高东旭,李绪萍. 矿井通风系统优化改造研究 [J]. 煤炭技术, 2008, 27 (10): 73-75.  
[3] 张学博,高贯金,郭飞鹏. 平煤一矿通风系统优化改造方案 [J]. 西安科技大学学报, 2011, 31 (6): 740-744.  
[4] 陶铁军,吕淑然,刘 璐. 寿王坟铜矿通风阻力测定与安全性分析 [J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5 (4): 125-129.

(下转第 31 页)

注气时间的注气有效影响半径的结果进行分析, 通过 Excel 对结果进行拟合, 拟合结果如图 3 所示。

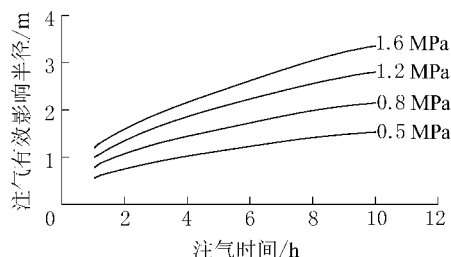


图3 不同注气压力下有效影响半径与注气时间的关系

由图3可得, 在同一注气压力下, 有效影响半径随注气时间的增加而增加, 有效影响半径  $R$  与注气时间  $t$  存在幂指数函数关系,  $R = At^B$ , 不同注气压力下注气有效影响半径  $R$  与注气时间  $t$  的关系式见表2。由表2可知, 计算公式中系数  $A$ 、 $B$  随注气压力  $p$  的变化而变化, 经回归分析, 系数  $A$ 、 $B$  与注气压力  $p$  存在如图4所示的关系。

表2 不同注气压力下注气有效影响半径计算公式

注气压力/MPa	公式	系数 $A$	系数 $B$
0.5	$R = 0.55587t^{0.4406}$	0.5587	0.4406
0.8	$R = 0.7859t^{0.4408}$	0.7859	0.4408
1.2	$R = 1.0008t^{0.4464}$	1.0008	0.4464
1.6	$R = 1.1912t^{0.4474}$	1.1912	0.4474

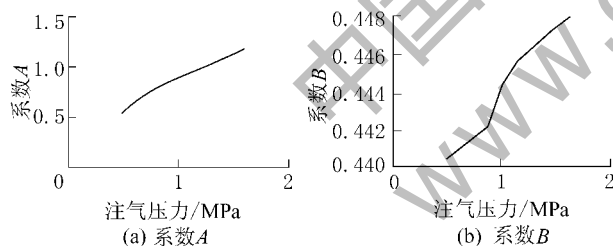


图4 系数  $A$ 、 $B$  随注气压力  $p$  的变化

由图4可知,  $A$ 、 $B$  与  $p$  存在线性关系, 其中  $A = 0.5672p + 0.3028$ ,  $B = 0.0071p + 0.4365$ , 结合  $R = At^B$  得  $R$  与  $t$ 、 $p$  存在的关系为  $R = (0.5672p + 0.3028)t^{(0.0071p + 0.4365)}$ , 其中,  $0.5 \leq p \leq 1.6$  MPa。

## 4 结 论

依据瓦斯渗流理论、瓦斯扩散理论、多元气体竞争吸附理论、能量守恒理论及理想气体状态方程理论, 建立注气驱替煤层甲烷方程模型, 基于 Comsol 数值模拟软件模拟了石港煤矿采用注气驱替煤层甲烷时注气有效影响半径与注气时间和注气

压力的关系, 对模拟结果回归分析得出以下结论:

- ①在同一注气压力下, 注气有效影响半径随注气时间的增加而增大, 但在单位时间内的增加量越来越小。
- ②在同一注气时间下, 注气有效影响半径随注气压力的增加而增大。
- ③ $R$  与  $t$ 、 $p$  存在的关系:  $R = (0.5672p + 0.3028)t^{(0.0071p + 0.4365)}$ , 其中  $0.5 \leq p \leq 1.6$  MPa。

## 参考文献:

- [1] 乔美英, 马小平, 乔铁柱, 等. 工作面瓦斯涌出量时间序列分形特性研究 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (12): 51-55.
- [2] 国家煤矿安全监察局. 《防治煤与瓦斯突出规定》读本 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [3] 王兆丰, 刘 军. 我国煤矿抽放存在的问题及对策探讨 [J]. 煤矿安全, 2005, 36 (3): 29-44.
- [4] 王兆丰, 杨宏民, 陈立伟, 等. 置换解吸和抑制解吸技术防治瓦斯突出试验研究 [R]. 焦作: 河南理工大学, 2010.
- [5] 程林峰. 煤层气注入增产法的探讨 [J]. 中国煤层气, 2006, 3 (3): 40-43.
- [6] 唐书恒, 杨 起, 汤达祯, 等. 注气提高煤层甲烷采收率机理及实验研究 [J]. 石油实验地质, 2002, 24 (6): 545-549.
- [7] 颜志丰, 唐书恒, 方念乔, 等. 沁水盆地高家庄区块煤储层的孔隙特征 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 37 (2): 103-107.
- [8] 周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存规律与流动机理 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [9] 杨宏民. 井下注气驱替煤层甲烷机理及规律研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2010.

## (上接第55页)

- [5] 黄俊生, 李宗远, 韩永强. 矿井通风阻力测定数据的综合分析 [J]. 中州煤炭, 2010 (12): 82-84, 100.
- [6] 王文才, 王俊峰, 刘靖元, 等. 王晁煤矿通风系统阻力测定及优化方案 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (2): 63-66.
- [7] MT/T 440—2008, 矿井通风阻力测定方法 [S].
- [8] 陈 宙, 赵恩平, 蒋仲安, 等. 矿井通风阻力测定数据平差处理方法及应用 [J]. 中国矿业, 2006, 15 (10): 105-108.
- [9] 陈开岩, 陈发明. 矿井通风测量数据处理方法的集成于应用 [J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31 (6): 600-605.
- [10] 张国枢. 通风安全学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [11] AQ 1028—2006, 煤矿井工开采通风技术条件 [S].
- [12] 陈开岩, 王省身. 用气压计法测量风网阻力的精度检验 [J]. 中国矿业大学学报, 1995, 24 (12): 65-70.