

Doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2022.02.006

自然风压对云南某矿井通风系统的影响分析

王孝东,童学林,陈书鹏,符浩南

(昆明理工大学 国土资源工程学院,昆明 650093)

摘要:自然风压对矿井通风系统的影响主要表现在通风网络和风机两个方面。为探究自然风压对云南某矿井通风系统的影响,通过整理5条线路,实测并计算出自然风压,通过绘制通风网络图、风机与自然风压联合运行曲线的方式,分析自然风压对通风系统的影响。结果表明:受自然风压影响,作为进风井的1[#]竖井出现反风现象,由2[#]进风平巷进入的新鲜风未经过作业区被1[#]竖井抽出;自然风压的变化对风机工况点产生了影响。在夏季,自然风压不利于矿井通风,风机工况点向左侧偏移,使风量减少约3.5%;在冬季,自然风压帮助风机做功,风机工况点向右侧偏移,使风量增加约4.9%。建议在进风分支 e_1 处采用安装风门的形式控制1[#]竖井的反风现象,在通风困难时期采取增加风机功率和减小通风阻力的方法提高矿井风量。通过对自然风压的影响分析与控制方法的实施,有效地解决了自然风压对矿井通风系统的影响,基本达到预期效果。

关键词:自然风压;通风网络图;风机工况点;通风系统;联合运行曲线

中图分类号:TD724

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2022)02-0029-05

Analysis of the influence of natural wind pressure on the ventilation system of a mine in Yunnan

WANG Xiaodong, TONG Xuelin, CHEN Shupeng, FU Haonan

(Faculty of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The influence of natural wind pressure on the ventilation system of a mine is mainly manifested in the two aspects of the ventilation network and fans, in order to explore the influence of natural wind pressure on the ventilation system of a mine in Yunnan. This paper sorted out 5 lines, measured and calculated natural wind pressure, and analyzed the influence of natural wind pressure on the ventilation system by drawing the ventilation network diagram and the combined operation curve of fans and natural wind pressure. The results showed that, affected by the natural wind pressure, the 1[#] shaft as the air intake shaft appeared reverse wind phenomenon, and the fresh air entering from the 2[#] air intake lane was drawn out by the 1[#] shaft without passing through the operation area; in summer, the natural wind pressure was not conducive to mine ventilation, the fan operating point is shifted to the left, reducing the air volume by about 3.5%. In winter, the natural wind pressure helps the fan to do work, and the fan operating point is shifted to the right to increase the air volume by about 4.9%. It is recommended to install a damper at the air inlet branch e_1 to control the reversal phenomenon of shaft 1[#], and to increase the power of the fan and reduce the ventilation resistance to increase the air volume in the mine during difficult ventilation periods. Through the analysis of the influence of natural wind pressure and the implementation of the control method, the influence of natural wind pressure on the mine ventilation system is effectively solved, and the expected effect is basically achieved.

Key words: natural wind pressure; ventilation network diagram; fan operating point; ventilation system; joint operation curve

收稿日期:2021-10-06

基金项目:云南省重点研发计划项目(2020003AC100002);昆明理工大学引进人才科研启动基金项目(KKSY201767034)

作者简介:王孝东(1977—),男,副教授,硕士研究生导师,主要从事矿井通风与安全工程、数字化矿山研究。

通信作者:童学林(1997—),男,硕士研究生,主要从事矿井通风与安全。

自然风压作为矿井通风动力源之一,是影响矿井安全生产的重要因素,部分矿山建井初期甚至完全依赖于自然风压通风^[1]。其主要形成原因是,进风侧与回风侧温度差、高度差与影响空气重率变化等因素,导致两井筒空气柱质量不等引起的压差^[2]。

自然风压的影响有利有弊,大部分矿山面对自然风压对通风系统的影响并没有有效的处理措施。近年来,我国矿山与学者对自然风压的变化规律及对通风系统的影响做了大量研究。文虎等^[3]针对鄂尔多斯高原昼夜温差大的特点,分析了不同时期自然风压变化及对通风系统的影响,验证了进、回风井筒温差越大,自然风压越大的变化规律。赵文彬等^[4]通过测算一天中矿井自然风压的大小,建立变化曲线,得出 15:00 左右自然风压最低,通风最困难。黄启铭等^[5]采用现场实测与模拟的方法,对受自然风压影响严重区域进行定性定量分析,阐明了自然风压全年变化如正弦曲线。杜翠凤等^[6-7]模拟出不同环境温度条件下矿井的自然风压,利用 Origin 和 MINITAB 等软件对多种环境气温条件下的自然风压曲线进行拟合,导出回风竖井中自然风压的经验公式。马恒等^[8]运用流体静力学、热力学,结合通风网络解算算法,得出了矿井自然风压实时计算算法。

1 工程概况

云南省某矿山位于云南省滇东北,矿区属亚热带高原型季风气候,雨量充沛,气候良好,夏无酷暑,冬无严寒,四季温差不大。矿区年平均降雨量 858.4 mm,最大降雨量 1 156.8 mm,最小 562.9 mm。每年 11 月至次年 4 月为干季,5 至 10 月为雨季,雨季降水量占全年的 87.7%,最小月降雨量 9.1 mm(1 月),最大月降雨量 187.5 mm(7 月)。最大昼夜降雨量为 220.3 mm。全年平均降雨日数 155.7 天。年平均有霜日 36 天,主导风向为东南风,最大风速 19 m/s,平均风速 2.6 m/s。年平均相对湿度 71%。

矿山采用“竖井—平巷—斜井”联合开拓,通风方式为 3 级抽出多级机站通风,回风平巷 A 平面风机(下文称 1[#] 风机)与 B 平面风机(下文称 2[#] 风机)

串联布置,型号为 DK45-6-No20,1 332 m 平面安装 1 台辅扇作为接力风机使用(下文称 3[#] 风机),型号为 DK40-6-No19。新鲜风来自 1[#] 进风平巷、2[#] 进风平巷与 1[#] 竖井,污风通过回风平巷排出。其中,矿井最低水平为 1 031 m 中段,1[#] 竖井(标高 2 538 m)与地表相连,1[#] 进风平巷(标高 1 568.2 m)、2[#] 进风平巷(标高 1 928.8 m)与回风平巷(标高 1 627.7 m)与矿山外部相连,位置最高的 1[#] 竖井与位置最低的 1[#] 进风平巷标高相差 969.8 m。

2 自然风压测算

本文主要研究矿井总自然风压^[9],根据进回风口及主、辅扇位置,整理了 5 条线路。为不影响井下正常施工,采用间接测定法对自然风压进行测定,研究对象井深超 100 m,井筒内空气状态变化属等温过程,采用等温公式计算自然风压^[10]。考虑到矿区昼夜温差大的特点,避免特殊环境对计算造成误差,在四季测量多组相关参数,取平均值作为计算参数,计算结果见表 1,自然风压变化曲线见图 1。

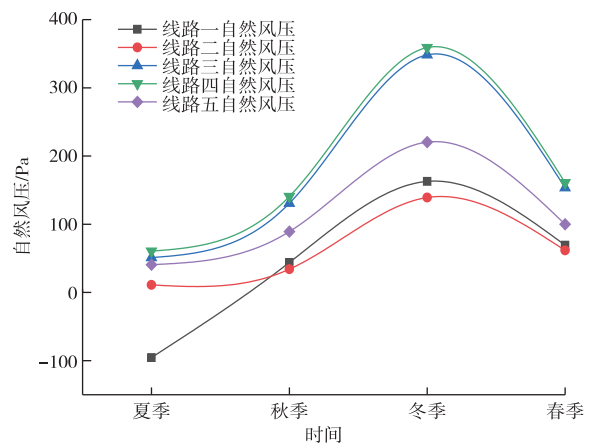


图 1 自然风压变化曲线

Fig. 1 Natural wind pressure change curves

表 1 自然风压计算表

Table 1 Natural wind pressure calculation table

线路名称	起点	终点	高差/m	自然风压值/Pa			
				夏季	秋季	冬季	春季
线路一	1 [#] 进风口	回风口	56.7	-95.51	43.96	162.81	69.22
线路二	2 [#] 进风口	回风口	301.1	11.12	34.14	139.24	61.73
线路三	1 [#] 竖井口	回风口	910.3	51.05	130.83	348.35	153.47
线路四	1 [#] 进风口	1 [#] 竖井口	969.8	60.58	140.66	359.05	160.94
线路五	2 [#] 进风口	1 [#] 竖井口	609.2	40.61	89.22	220.41	100.01

由表1可知,大部分自然风压为正值,帮助矿井通风,线路一夏季的自然风压出现负值,不利于矿井通风, $H_{1\text{夏季}} = -95.51 \text{ Pa}$ 。由于1[#]竖井口至1[#]进风口的高差较大,导致线路四自然风压值较大,全年波动范围约298.47 Pa。

分析图1可知,5条线路自然风压呈现出基本相同的规律,即“夏季低、冬季高”形如正弦曲线的变化趋势。

3 自然风压对通风系统的影响

3.1 自然风压对通风网络的影响

矿山采用“三进一回”的通风方式,自然风压对通风网络的影响主要表现为1[#]进风平巷、2[#]进风平巷、回风平巷与1[#]竖井间的相互作用。对一般矿井而言,自然风压不随风量而变^[11],但随着通风阻力的增大,导致井下风量减少,从而使风量达不到生产要求。为直观准确地得到自然风压对矿井通风网络的影响,结合现场测量与自然风压计算结果,通过绘制通风网络图的方式进行分析,见图2。

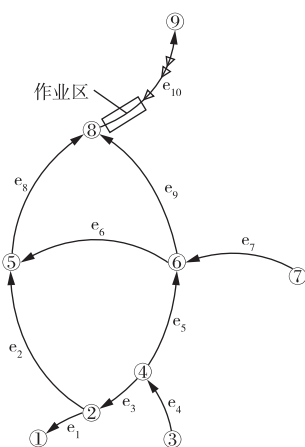


图2 通风网络图

Fig. 2 Ventilation network diagram

图2中,①~⑨为节点,①表示1[#]竖井,③表示2[#]进风口,⑦表示1[#]进风口,⑨表示回风口, e_1 、 e_4 、 e_7 为进风分支, e_{10} 为回风分支。由图2可知,作为进风的1[#]竖井出现反风现象,由“三进一回”变成了“两进两回”的通风方式,其主要原因是受自然风压作用,相当于在1[#]竖井井口安装一台风压200 Pa左右的风机,2[#]进风口进入的部分新鲜风经作业区通过回风平巷排出,另一部分未经过作业区被1[#]竖井抽出,造成大量新鲜风外漏,使矿井内风流紊乱,局部地区甚至会出现风量低、无风等现象;由于1[#]进风口距1[#]竖井口较远,对1[#]竖井的影响较小,大

部分新鲜风通过 e_6 与 e_9 两条分支流入作业区,最后由回风平巷排出。

为解决1[#]竖井反风现象,建议在进风分支 e_1 处采用安装风门的形式进行封堵,封堵后的通风网络图如图3所示。

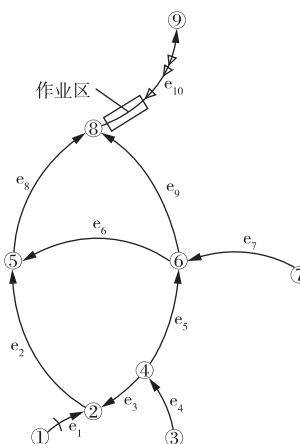


图3 通风网络图(进风分支 e_1 封堵后)

Fig. 3 Ventilation network diagram(after the air inlet branch e_1 is blocked)

由图3可知,进风分支 e_1 被封堵后,1[#]竖井作自由井使用,通风方式变成了“两进一回”,2[#]进风口进入的新鲜风风流线路为“ $e_4 \rightarrow e_3 \rightarrow e_2 \rightarrow e_8 \rightarrow e_{10}$ ”与“ $e_4 \rightarrow e_5 \rightarrow e_9 \rightarrow e_{10}$ ”,有效解决了1[#]竖井的反风问题。

3.2 自然风压对风机的影响

本文研究对象井下3台风机在通风网络中属串联关系,在风机联合运行曲线分析中,使用风机出厂特性曲线。其中,1[#]风机与2[#]风机叶片安装角度 $40^\circ/35^\circ$,3[#]风机叶片安装角度为 $35^\circ/30^\circ$ 。根据“风压相加,风量相等”的原则,绘制夏季、冬季不同风机串联作业时的等效合成特性曲线及串联风机与自然风压串联的特性曲线, R_2 为风机串联后的风阻, R_1 为临界风阻,点A为临界工况点,如图4~7。

由于不同海拔高度的空气密度不同,在叶轮直径与转速不变的情况下,风压与空气密度关系^[12]如下:

$$\frac{H_{\text{出厂}}}{H_{\text{实测}}} = \frac{\rho_{\text{出厂}}}{\rho_{\text{实测}}} \quad (1)$$

式中, $H_{\text{出厂}}$ 为出厂工况点的风压,Pa; $H_{\text{实测}}$ 为实测工况点的风压,Pa; $\rho_{\text{出厂}}$ 为风机工厂所在地区空气密度,取 1.293 g/L ; $\rho_{\text{实测}}$ 为风机安装位置空气密度,1332 m平面取 1.115 g/L ,回风平巷取 1.085 g/L ;因此,实测工况点风压略小于出厂工况点风压,冬季同理。

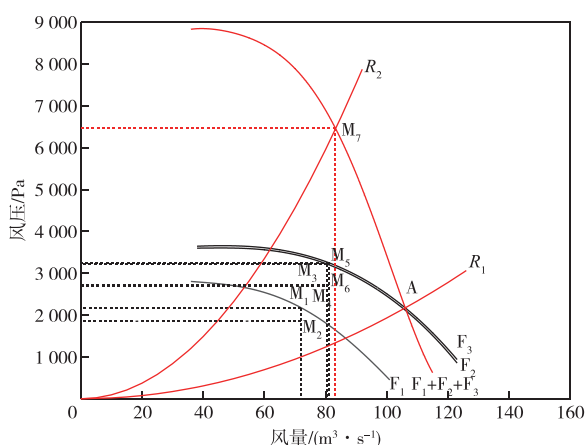


图4 风压特性曲线不同的风机串联作业时等效特性曲线(夏季)

Fig. 4 Equivalent characteristic curves of fans with different wind pressure characteristic curves in series operation(summer)

图4中, F_1 表示3#风机性能曲线, M_1 、 M_2 分别为出厂工况点与实测工况点, $H_1=2\,172.4\text{ Pa}$, $Q_1=72\text{ m}^3/\text{s}$, $H_2=1\,872.7\text{ Pa}$, $Q_2=72\text{ m}^3/\text{s}$; F_2 表示1#风机性能曲线, M_5 、 M_6 分别为风机的出厂工况点与实测工况点, $H_5=3\,216.4\text{ Pa}$, $Q_5=80.5\text{ m}^3/\text{s}$, $H_6=2\,698\text{ Pa}$, $Q_6=80.5\text{ m}^3/\text{s}$; F_3 表示2#风机性能曲线, M_3 、 M_4 分别为风机的出厂工况点与实测工况点, $H_3=3\,249.8\text{ Pa}$, $Q_3=81.1\text{ m}^3/\text{s}$, $H_4=2\,726\text{ Pa}$, $Q_4=81.1\text{ m}^3/\text{s}$; M_7 表示在3台风机串联等效合成特效曲线上的工况点, $H_7=6\,463.5\text{ Pa}$, $Q_7=83.2\text{ m}^3/\text{s}$ 。

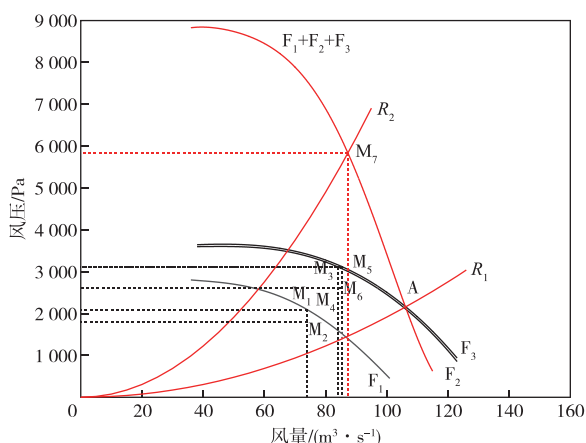


图5 风压特性曲线不同的风机串联作业时等效特性曲线(冬季)

Fig. 5 Equivalent characteristic curves of fans with different wind pressure characteristic curves in series operation(winter)

图5中, F_1 表示3#风机性能曲线, M_1 、 M_2 分别为

风机的出厂工况点与实测工况点, $H_1=2\,090.2\text{ Pa}$, $Q_1=74.1\text{ m}^3/\text{s}$, $H_2=1\,801.8\text{ Pa}$, $Q_2=74.1\text{ m}^3/\text{s}$; F_2 表示1#风机性能曲线, M_5 、 M_6 分别为风机的出厂工况点与实测工况点, $H_5=3\,111.5\text{ Pa}$, $Q_5=84.1\text{ m}^3/\text{s}$, $H_6=2\,610.0\text{ Pa}$, $Q_6=84.1\text{ m}^3/\text{s}$; F_3 表示2#风机性能曲线, M_3 、 M_4 分别为风机的出厂工况点与实测工况点, $H_3=3\,119.5\text{ Pa}$, $Q_3=85.4\text{ m}^3/\text{s}$, $H_4=2\,616.7\text{ Pa}$, $Q_4=85.4\text{ m}^3/\text{s}$; M_7 表示在3台风机串联等效合成特效曲线上的工况点, $H_7=5\,832.1\text{ Pa}$, $Q_7=87.3\text{ m}^3/\text{s}$ 。

自然风压与风机在井下类似于串联作业,线路一、线路二和线路三均通过风机,鉴于1#进风平巷与回风巷距离较近,能较好地反映出自然风压对风机的影响,故选取线路一作为风机的主要影响线路。

如图6,曲线 $F_1+F_2+F_3$ 为串联风机单独作用时的特性曲线,曲线 F' 指自然风压为 -95.51 Pa 时与风机联合作用的特性曲线。对于3#风机,a点为自然风压 -95.51 Pa 时反映在特性曲线上的工况点,同理,b点是反映在1#风机特性曲线上的工况点,c点是反映在2#风机特性曲线上的工况点。可见在夏季风机的运行工况点向风机特性曲线左侧偏移,自然风压不利于矿井通风,风量降低约3.5%,建议在通风困难时期采用增大风机功率和减少风阻的方法提高矿井风量。

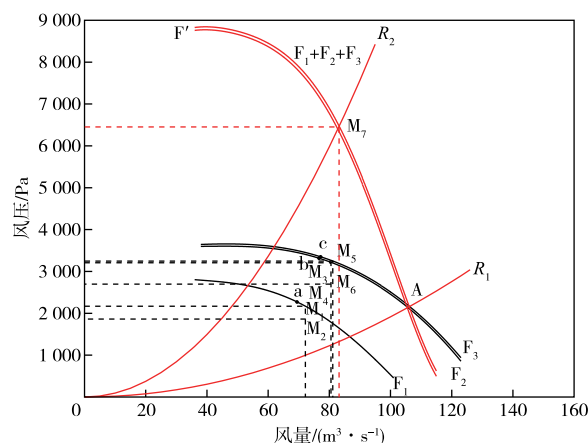


图6 夏季自然风压与风机联合运行曲线

Fig. 6 Combined operation curves of natural wind pressure and fan in summer

如图7,曲线 $F_1+F_2+F_3$ 为串联风机单独作用时的特性曲线,曲线 F' 指自然风压为 162.81 Pa 时与风机联合作用的特性曲线。对于3#风机,a点为自然风压 162.81 Pa 时反映在特性曲线上的工况点,同理,b点是反映在1#风机特性曲线上的工况点

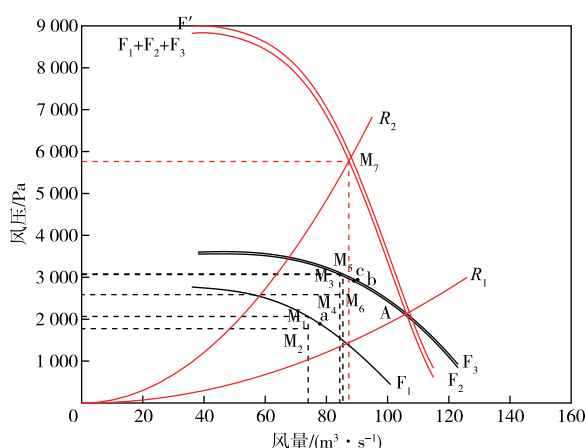


图7 冬季自然风压与风机联合运行曲线

Fig. 7 Combined operation curves of natural wind pressure and fan in winter

点,c点是反映在2[#]风机特性曲线上的工况点。冬季风机的运行工况点向风机特性曲线右侧偏移,自然风压帮助风机做功,风量增加约4.9%。

4 结论

1)整理了5条线路,自然风压均呈现“夏季低、冬季高”形如正弦曲线的变化趋势,大部分时间自然风压对矿井通风有利,线路四自然风压值最大,全年波动范围约298.47 Pa。

2)对自然风压的研究,大部分还停留在计算的层面,本文通过绘制通风网络图的方式,更加直观地分析了自然风压对矿井通风系统的影响,发现作为进风的1[#]竖井存在反风现象,建议使用安装风门封堵的方式解决。

3)利用绘制风机特性曲线图的方式,定量地分析了自然风压对通风机的影响。冬季自然风压有利于矿井通风,风量增加约4.9%;夏季自然风压阻碍矿井通风,风量降低约3.5%,可以在通风困难时期采取增大风机功率和减少风阻的方法提高矿井风量。

参考文献

- [1] 尹里刚,周焕明. 自然风压在井下通风系统的应用与研究[J]. 工业安全与环保, 2017, 43(11): 35-37, 65.
YIN Ligang, ZHOU Huanming. Application and research of natural wind pressure in underground ventilation system[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2017, 43(11): 35-37, 65.
- [2] 王英敏. 矿井通风与防尘[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
WANG Yingmin. Mine ventilation and dust prevention[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007.
- [3] 文虎,王宝元,刘文永,等. 自然风压对矿井通风系统的影响分

析及防治[J]. 煤炭技术, 2018, 37(3): 137-139.

WEN Hu, WANG Baoyuan, LIU Wenyong, et al. Analysis and prevention of the influence of natural wind pressure on mine ventilation system[J]. Coal Technology, 2018, 37(3): 137-139.

- [4] 赵文彬,徐凯,史俊文,等. 自然风压和活塞风影响下的会宝岭铁矿斜坡道污风治理[J]. 金属矿山, 2017, 46(7): 164-167.
ZHAO Wenbin, XU Kai, SHI Junwen, et al. Sewage wind treatment on the slope of Huibaoling iron mine under the influence of natural wind pressure and piston wind[J]. Metal Mine, 2017, 46(7): 164-167.
- [5] 黄启铭,杜文州,颜国强,等. 深井自然风压变化规律及重点影响区域研究[J]. 煤矿安全, 2014, 45(9): 16-19.
HUANG Qiming, DU Wenzhou, YAN Guoqiang, et al. Study on the law of natural wind pressure changes in deep mines and key affected areas[J]. Coal Mine Safety, 2014, 45(9): 16-19.
- [6] 杜翠凤,潘浩. 基于UDF的自然风压对果洛龙洼矿井通风稳定性影响的数值模拟[J]. 有色金属(矿山部分), 2014, 66(1): 72-76.
DU Cuifeng, PAN Hao. Numerical simulation of the influence of natural wind pressure on the ventilation stability of Guoluolongwa Mine based on UDF[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2014, 66(1): 72-76.
- [7] 刘连美,杜翠凤. 大冶铁矿东采矿井自然风压的数值模拟计算[J]. 金属矿山, 2010, 39(2): 30-34.
LIU Lianmei, DU Cuifeng. Numerical simulation calculation of natural wind pressure in the east mine shaft of Daye iron mine[J]. Metal Mine, 2010, 39(2): 30-34.
- [8] 马恒,张跃,周西华. 含自然风压通风网络的自动解算及应用[J]. 金属矿山, 2016, 45(1): 157-161.
MA Heng, ZHANG Yue, ZHOU Xihua. Automatic calculation and application of ventilation network with natural wind pressure[J]. Metal Mine, 2016, 45(1): 157-161.
- [9] 姚银佩,蔡泽山,杨鹏,等. 高海拔特长斜坡道分段压抽通风系统及仿真[J]. 有色金属(矿山部分), 2021, 73(1): 11-15.
YAO Yinpei, CAI Zeshan, YANG Peng, et al. Sectional forced-exhaust ventilation system and simulation of extra-long ramp at high altitude[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2021, 73(1): 11-15.
- [10] 于峰,于海跃. 反向风流对井筒及车场的预热[J]. 矿业快报, 2001(13): 38-39.
YU Feng, YU Haiyue. Preheating of shaft and depot by reverse air current[J]. Express News of Mining Industry, 2001(13): 38-39.
- [11] 谭海文. 自然风压变化规律及其对矿井通风系统的影响[J]. 黄金, 2007, 28(11): 20-23.
TAN Haiwen. The changing law of natural wind pressure and its influence on mine ventilation system[J]. Gold, 2007, 28(11): 20-23.
- [12] 吴超. 矿井通风与空气调节[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2008.
WU Chao. Mine ventilation and air conditioning[M]. Changsha: Central South University Press, 2008.

(编辑:周叶)