桑海涛,郭献洲.抗震巷道内空调通风系统的设计与实现[J].地震工程学报,2019,41(1):251-256.doi:10.3969/j.issn.1000－0844.2019.01.251
SANG Haitao,GUO Xianzhou.Design and Realization of Air Conditioning and Ventilation Systems in Anti-seismic Roadways [J].China Earthquake Engineering Journal,2019,41(1):251-256.doi:10.3969/j.issn.1000－0844.2019.01.251

抗震巷道内空调通风系统的设计与实现

桑海涛[1], 郭献洲[2]
(1. 江苏开放大学, 江苏 南京 210019; 2. 河北工业大学, 天津 300401)

摘要: 为解决传统巷道内空调通风系统存在的信息采集准确率较低、性能较差、抗震巷道环境难以改善等问题,提出设计一种新的抗震巷道内空调通风系统。先将系统的整体架构划分为采集层、控制层和监管层三部分,以主控制器为核心,对系统各执行组件做出正确地判断,并对各组件进行统一化控制,完成系统的硬件设计;创建中心服务器信息处理过程,设定风机运行指令,主动采集风速等环境信息,获取实际环境状态,将设定值与实际值进行对比,依据对比结果判断风机是否正常运行,实现系统软件功能的开发。实验结果表明,在不同的震级条件下,该系统能够有效改善抗震巷道环境,系统的信息采集准确率高达 85%左右,充分验证了该系统的优越性。

关键词: 抗震巷道; 空调通风; 主控制器; 中心服务器; 温度; 风速
中图分类号: TN911-34 **文献标志码**:A **文章编号**: 1000－0844(2019)01－0251－06
DOI:10.3969/j.issn.1000－0844.2019.01.251

Design and Realization of Air Conditioning and Ventilation Systems in Anti-seismic Roadways

SANG Haitao[1], GUO Xianzhou[2]
(*1. Jiangsu Open University, Nanjing 210019, Jiangsu, China;*
2. Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: To solve the problems associated with traditional air conditioning and ventilation systems in roadways, i.e., low accuracy of information acquisition, poor performance, and poor environment of anti-seismic roadway, a new air conditioning and ventilation system in anti-seismic roadways has been proposed in this study. First, the overall system architecture was divided into the acquisition layer, the control layer, and the supervision layer. With the main controller as the core, the executive components of the system were accurately judged, and the components were uniformly controlled to complete the hardware design of the system. Subsequently, the information treatment process of the central server was created. The operation instructions of the fan were set, and the environmental information, such as wind speed, was actively collected to obtain the actual loop. The set value and the actual value were compared to determine whether the fan was normally operated. Based on these procedures, the system software functions were devel-

收稿日期:2018-07-28
基金项目:国家自然科学基金(11171087)
第一作者简介:桑海涛(1972－),男,江苏连云港人,硕士,讲师,研究方向:工业与民用建筑、供热通风与空调。
E-mail:15358159752@163.com。

oped. The experimental results exhibited that the system can effectively improve the seismic roadway environment when earthquakes of different magnitudes occur; the information acquisition accuracy of this system is as high as 85%, which completely verifies the applicability of the system.

Keywords: anti-seismic roadway; air conditioning and ventilation; main controller; central server; temperature; wind speed

0 引言

近年来,地壳活跃性增强,地震发生频率增多,如 2014 年云南鲁甸发生的 M_S6.5 地震[1],2013 年甘肃岷县漳县 M_S6.6 地震等[2]。抗震问题已受到人们的密切关注,尤其是地下采矿巷道的抗震稳定性更是引起重视,抗震巷道由此诞生。不同于平常的矿井巷道,抗震巷道设计结构复杂,容易出现通风障碍等问题,严重影响井下人员身体健康,甚至可能会出现爆炸等事故,且通风不畅会影响巷道抗震功能的有效实施。目前,经常使用空调通风系统来完成抗震巷道的正常通风,以保障抗震巷道设计的有效性。由此可见,对抗震巷道空调通风系统进行研究具有重要的现实意义[3-4]。

文献[5]对空调通风系统的冷热源进行选取,从多角度分析风热回收系统、分层空调系统等,并对使用条件进行了详细研究,但该系统设计中信息采集准确率较低;文献[6]分析了不同冷水降温空调系统布置模式存在的问题,提出一种新型空调通风系统,该系统设计中注重分散制冷,并采取集中回热运行模式,有效降低了能耗损失,但系统整体性能无法满足实际需求;文献[7]针对大型矿井存在通风阻力的问题,利用 Ventsim 设计了矿井的通风系统,综合考虑技术的可行性和可靠性,选取不同方案对系统进行了优化,但忽略了信息采集问题,导致信息采集准确率较低。

为解决上述存在的问题,本文提出并设计了一种抗震巷道内空调通风系统。实验结果表明,在不同震级条件下,运用该系统均能有效改善抗震巷道环境,保持适宜的巷道温度和通风速度,且该系统具有较高的信息采集准确率,表明系统可行性较强。

1 抗震巷道内空调通风系统设计

抗震巷道内空调通风系统结构整体上可分为三层,即采集层、控制层和监管层,如图 1 所示。

从图 1 可以看出,利用传感器采集抗震巷道环境信息后,交由控制层对电源以及电机等进行控制,将控制信息输入至监管层,从整体角度对系统信息进行服务,完成抗震巷道内空调通风系统设计。

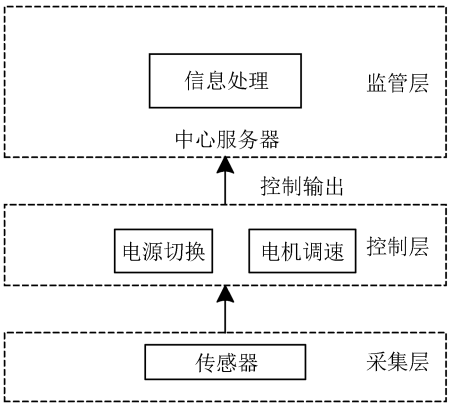

图 1 系统整体结构设计

Fig.1 Overall structural design of the system

1.1 系统硬件设计

系统硬件结构设计如图 2 所示。

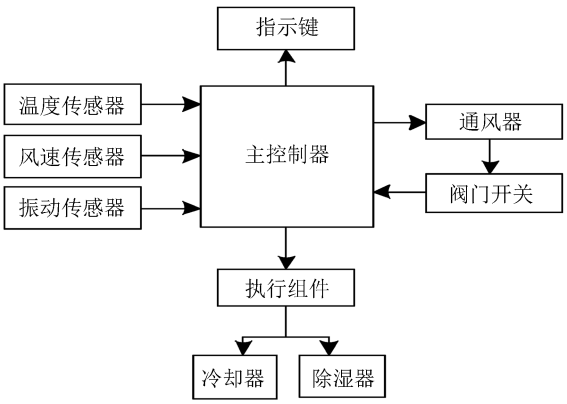

图 2 系统硬件结构

Fig.2 System hardware structure

图 2 中,主控制器主要通过对系统参数的融合分析,进而对系统各执行组件做出正确的判断。

由温度传感器和风速传感器对外界环境信息进行采集,根据采集得到的信息与冷却器和除湿器进行信息交互,调节阀门开度,给出指示键令,最终利用通风器实现抗震巷道内的空调通风[8]。此外,在不同震级条件下,可通过振动传感器感知地振动信息,进而利用主控制器设置不同振动情况下的空调运行模式。

其中冷却器会与除湿器同步运行,冷却器中有冷却水,用来冷却空气,但是这样会造成热量释放。

水吸收了热量，温度升高，然后这些水被送到冷却的水源中，冷却水被冷却之后，又被送回到除湿器。经过多次循环，冷却器释放的热量就被带走了。这一设计环节可以很好地对系统进行防护[9-10]。

1.2　系统软件设计

根据硬件设计可以看出，空调通风系统的工作过程是一个不断进行信息交换、调度等的信息处理过程，因此对空调通风系统的中心服务器进行分析，利用中心服务器进行信息处理，是空调通风系统设计的主要任务[11-12]。

中心服务器是整个系统的核心，运用 Access 数据库可完成系统不同功能信息的处理。中心服务器的信息处理过程如图 3 所示。

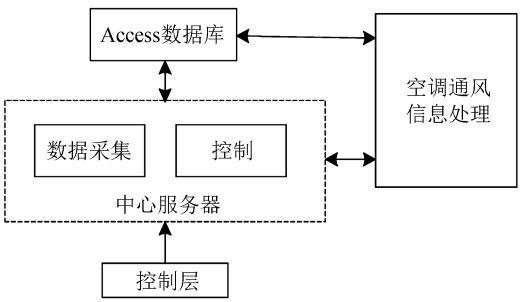

图 3　中心服务器信息处理过程

Fig.3　Information processing of central server

中心服务器通过串口服务器与控制层进行连接，同时，以空调通风数据为依据，与 Access 数据库连接，共同完成空调通风信息的处理[13]。

根据以上中心服务器，对空调通风系统的软件实现流程进行分析。

如图 4 所示，系统程序初始化完成后，设定风机运行指令，主动采集风速等环境信息，以及风机状态、冷却状态、除湿状态等系统状态初值数据，获取实际环境状态，将设定值与实际值进行对比，进而进入主循环，风机正常运行[14]。同时，如果设定系统运行时间，当系统连续运转至设定运行时间时，则调整至低风速运行以节能。检测到关机键按下后，系统保存好当前的状态设置参数，关闭阀门并断电，系统运行结束。

2　实验结果与分析

为对本文抗震巷道空调通风系统的性能进行验证，需要进行仿真实验，采用 MATLAB 软件搭建实验平台，操作系统为 WindowsXP。实验参数设置如表 1 所列。

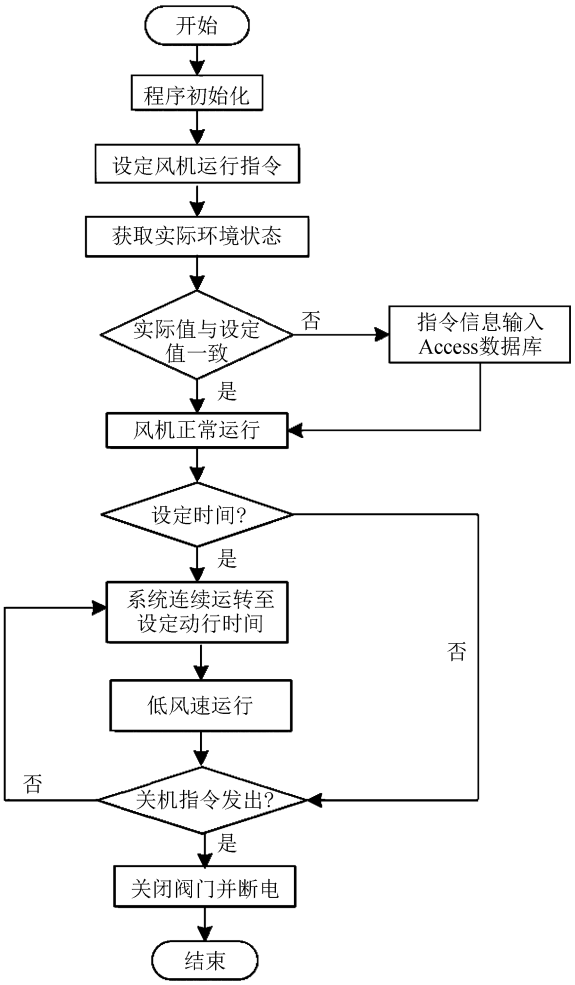

图 4　系统软件流程

Fig.4　System software flow

表 1　实验参数设置

Table 1　Setup of experimental parameters

参数名称		取值范围
环境参数	环境温度	≤30 ℃
	相对湿度	≤75%
	风速	0.3～0.9 m/s
	通风道进出口压强	0 Pa
	风冷冷凝器	4 个
	水冷冷凝器	2 个
系统参数	开发语言	VisualC＋＋6.0
	CPU	6.0 GHz
	处理器	I5
	内存	16 G

根据以上实验参数设置，对本文系统进行验证，分析不同震级条件下空调通风系统性能，性能指标选取巷道通风的速度和巷道温度。设置地震震级分别为 3～4 级和 4～5 级，在不同震级条件下，对本文抗震巷道空调通风系统与传统巷道通风系统的性能进行对比，传统巷道通风系统主要选取文献[5]、文献[6]和文献[7]系统。需要明确的是，两个地震事

件均是基于仿真进行的。

(1) 3～4 级地震下系统性能对比

3～4 级地震条件下,运用本文抗震巷道与传统巷道通风系统后,巷道通风速度对比结果如图 5 所示。

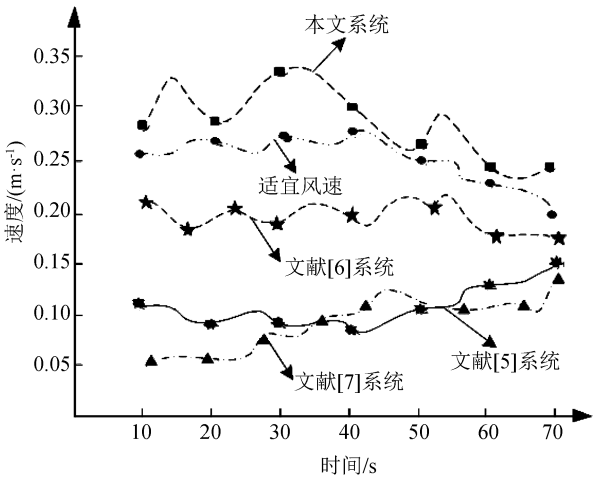

图 5 3～4 级地震条件下不同巷道通风速度对比

Fig.5 Comparison between ventilation velocities of different roadways under M3～4 earthquake

观察图 5 可知,3～4 级地震条件下,利用本文抗震巷道通风系统后,巷道的通风速度与适宜风速较为接近,而文献[5]这一传统巷道通风系统与适宜风速相差较大,文献[6]这一传统巷道通风系统虽然相对平稳,但是普遍低于适宜温度,文献[7]这一传统巷道通风系统低于适宜温度太多。这一分析结果显著表明本文抗震巷道空调通风系统的运用效果明显,说明本文系统性能较好。

为保障矿井工作人员的安全,保持矿井适宜环境,避免爆炸等灾害的发生,矿井巷道温度的控制显得尤为重要,抗震巷道设计结构复杂,通风效果较差,易出现温度较高现象。3～4 级地震条件下,运用本文抗震巷道与传统巷道后,巷道温度对比结果如表 2 所列。

表 2 3～4 级地震条件下不同巷道温度对比

Table 2 Comparison between temperatures of different roadways under M3～4 earthquake

实验次数	本文系统/℃	文献[5]系统/℃	文献[6]系统/℃	文献[7]系统/℃
10	23.3	28.3	28.0	29.4
20	24.2	27.3	27.9	29.7
30	23.3	27.2	28.2	29.9
40	25.5	28.0	27.5	30.1
50	24.2	29.1	29.0	30.0
60	23.3	28.5	28.5	29.2
70	25.2	27.4	28.1	29.8
平均值	24.1	27.9	28.1	29.7

根据表 2 可知,3～4 级地震条件下,运用本文抗震巷道空调通风系统后,巷道温度平均值保持在 24.1 ℃左右,属于适宜温度,而运用文献[5]这一传统巷道通风系统后,巷道温度平均值保持在 27.9 ℃左右,相对于适宜环境温度较高,不利于巷道功能的发挥以及矿井安全维护;文献[6]这一传统巷道通风系统中,最低温度都在 27.5 ℃,相对适宜温度来说过高,影响抗震功能发挥,不利于巷道安全维护;文献[7]这一传统巷道通风系统中最温度可达 30.1 ℃,温度过高,对矿井安全维护更加不利。

(2) 4～5 级地震下系统性能对比

4～5 级地震条件下,利用本文抗震巷道与传统巷道后,巷道通风速度对比结果如图 6 所示。

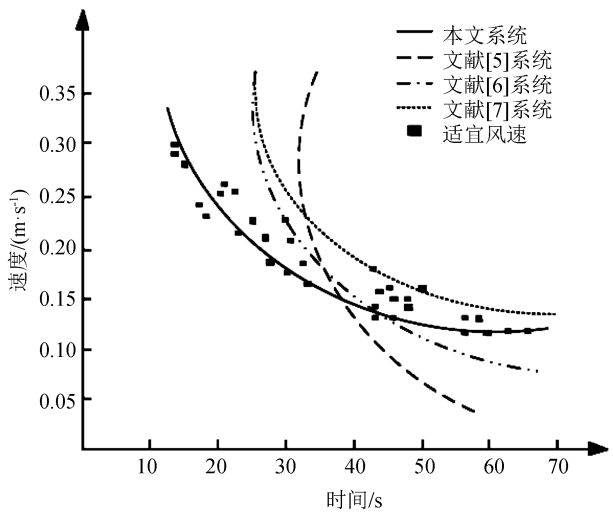

图 6 4～5 级地震条件下不同巷道通风速度对比

Fig.6 Comparison between ventilation velocities of different roadways under earthquake with magnitude 4～5

观察图 6 可知,4～5 级地震条件下,运用本文抗震巷道通风系统后,巷道通风速度与适宜风速较为接近,走势一致,且两者拟合程度较高。运用文献[5]这一传统巷道通风系统后,巷道通风速度走势与适宜风速走势出现较大偏差,两者拟合程度极小,运用文献[6]这一传统巷道通风系统后,拟合程度不大,走势有偏差,在文献[7]这一传统巷道通风系统下,走势相似,但整体温度过高,表明本文抗震巷道的空调通风系统具有一定的可行性,能够有效改善巷道通风速度,促进巷道保持良好状态。

4～5 级地震条件下,利用本文抗震巷道与传统巷道后,巷道温度对比结果如表 3 所列。

根据表 3 可知,运用本文抗震巷道空调通风系统后,巷道温度最高为 25.6 ℃,与实际适宜环境温度较为接近,且平均温度控制在 24.2 ℃左右,能够

满足巷道维持正常状态的需求。而运用文献[5]这一传统通风系统之后，巷道温度最高为 28.9 ℃，平均值也高达 27.6 ℃，与实际适宜环境温度存在一定的差距，不利于巷道正常状态的维持。运用文献[6]这一传统通风系统后，巷道温度最高可达 29.0 ℃，平均值为 28.1 ℃，高于适宜环境温度，对巷道抗震功能发挥不利。运用文献[7]这一传统通风系统后，温度最低都可达 28.7 ℃，温度过高，极不利于巷道安全。

表 3　4～5 级地震条件下不同巷道温度对比

Table 3　Temperature comparison of different roadways under earthquake with magnitude 4～5

实验次数	本文系统/℃	文献[5]系统/℃	文献[6]系统/℃	文献[7]系统/℃
10	24.3	28.4	28.4	29.5
20	23.4	26.3	27.9	28.7
30	23.7	28.0	28.5	28.9
40	25.6	27.3	28.5	30.0
50	24.6	28.9	29.0	30.1
60	24.9	26.5	28.1	29.3
70	23.1	27.8	28.4	29.3
平均值	24.2	27.6	28.4	29.4

综上可知，在不同震级条件下，本文系统性能均优于文献[5]、文献[6]、文献[7]系统，充分说明了本文系统的优势。此外，在对系统设计中，分为采集层、控制层和监管层三部分，可见信息采集是系统设计的基础步骤，也是系统设计的基石，那么信息采集准确率则至关重要。对本文系统的信息采集准确率进行验证分析，如图 7 所示。

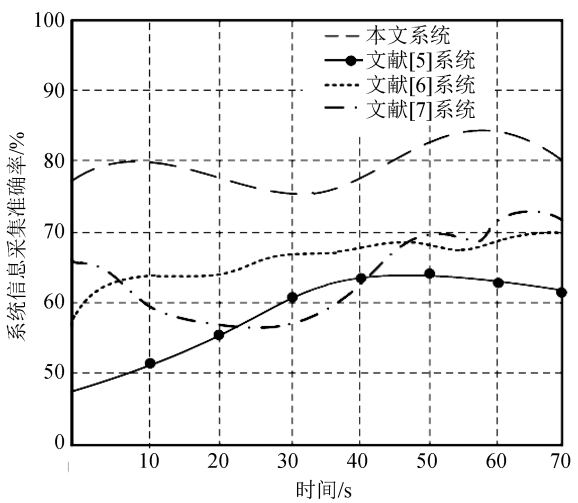

图 7　系统信息采集准确率对比

Fig.7　Comparison between information acquisition accuracies of different systems

观察图 7 可知，本文系统的准确率可高达 85% 左右，而文献[5]系统的信息采集准确率虽然随着时间的推移出现上升趋势，但最高也仅仅为 64%，远低于本文系统，文献[6]系统信息采集准确率也呈现上升趋势，但最高为 70%，文献[7]系统信息采集准确率较为不稳定，最高在 75% 左右，进一步验证了本文空调通风系统的良好性能。

3　结论

保障抗震巷道内通风畅通，可有效促进巷道抗震功能的实施，本文提出并设计了一种抗震巷道内空调通风系统，将系统划分为采集层、控制层和监管层三部分，从硬件和软件两方面进行了分析，完成空调通风系统设计。实验结果表明，该系统性能较好，在不同震级条件下均能改善抗震巷道温度和通风速度问题，且系统信息采集准确率远高于传统方法，说明本文系统性能良好，为巷道通风问题的深入研究奠定了基础。

参考文献(References)

[1]　郭增建，郭安宁，赵乘程，等.2014 年云南鲁甸 M_S6.5 地震预测回顾与反思[J].地震工程学报，2015，37(增刊 1)：82-85.
GUO Zengjian，GUO Anning，ZHAO Chengcheng，et al. Review and Introspection of Prediction of the 2014 Ludian，Yunnan M_S6. 5 Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal，2015，37(Suppl)：82-85.

[2]　郭安宁，郭志宇，赵乘程，等.2013 年甘肃岷县漳县 M_S6.6 地震及短临前兆的显现[J].地震工程学报，2015，37(4)：981-985.
GUO Anning，GUO Zhiyu，ZHAO Chengcheng，et al. Minxian—Zhangxian M_S6. 6 Earthquake in Gansu (2013) and Its Short-term and Impending Precursors[J]. China Earthquake Engineering Journal，2015，37(4)：981-985.

[3]　吴多华，乔卫国，李伟，等.地震荷载对巷道稳定性影响分析及控制技术[J].煤矿安全，2016，47(3)：79-82.
WU Duohua，QIAO Weiguo，LI Wei，et al. Effect Analysis of Seismic Load on Roadway Stability and Its Control Technology [J].Safety in Coal Mines，2016，47(3)：79-82.

[4]　胡泽安，张平松，胡雄武.大断面巷道掘进围岩条件震波联合测试模拟研究[J].河南理工大学学报(自然科学版)，2016，35(5)：625-629.
HU Zean，ZHANG Pingsong，HU Xiongwu. Numerical Simulation Research on Geological Prediction of the Large Section Tunnel Surrounding Rock by Seismic Data Fusion[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science)，2016，35(5)：625-629.

[5]　姜学鹏，刘坚，卢颖，等.超大焊接厂房自然通风方式模拟与对比研究[J].科学技术与工程，2017，17(22)：148-154.
JIANG Xuepeng，LIU Jian，LU Ying，et al. Researches on Natural Ventilation Ways of Large Welding Workshop by Comparison and Simulation[J]. Science Technology and Engineer-

ing,2017,17(22):148-154.

[6] 吕洁,张琼,周勃,等.自然通风作用下计算机房夏季热环境数值模拟[J].沈阳工业大学学报,2016,38(1):115-120.
LÜ Jie,ZHANG Qiong,ZHOU Bo,et al.Numerical Simulation of Summer Thermal Environment in Computer Room under Action of Natural Ventilation[J].Journal of Shenyang University of Technology,2016,38(1):115-120.

[7] 赵航.基于模糊 PID 控制的通风风量调节系统研究[J].现代电子技术,2016,39(16):125-127.
ZHAO Hang.Study on Ventilation Air Quantity Control System Based on Fuzzy PID Control[J].Modern Electronics Technique,2016,39(16):125-127.

[8] 申红明,徐晨,沈晓燕,等.通风控制系统设计与实现[J].现代电子技术,2017,40(16):105-108.
SHEN Hongming,XU Chen,SHEN Xiaoyan,et al.Design and Implementation of Ventilation Control System[J].Modern Electronics Technique,2016,40(16):101-102.

[9] 程朋,王勇,王艳丽,等.工字型城市地下人行通道的通风环境与优化设计研究[J].科学技术与工程,2016,16(33):255-261.
CHENG Peng,WANG Yong,WANG Yanli,et al.Study on Ventilation Environment and Optimization Design of Urban I-Shaped Pedestrian Underpass[J].Science Technology and Engineering,2016,16(33):255-261.

[10] 桑海涛.大温差环境下空调送风系统优化设计[J].现代电子技术,2017,40(20):150-152.
SANG Haitao.Optimal Design of Air Supply System for Air Conditioner in Large Temperature Difference Environment [J].Modern Electronics Technique,2017,40(20):150-152.

[11] 赵丹,张辉,张娜,等.矿井通风系统故障巷道规律分布[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2017,36(9):914-919.
ZHAO Dan,ZHANG Hui,ZHANG Na,et al.Fault Roadway Law Distribution of Mine Ventilation System[J].Journal of Liaoning Technical University (Natural Science),2017,36(9):914-919.

[12] 苏晨辉,宋志强,曹伟,等.河床式水电站厂房地震响应软弱基岩弹模敏感性分析[J].水利水电技术,2017,48(11):69-74.
SU Chenhui,SONG Zhiqiang,CAO Wei,et al.Analysis on Sensitivity of Soft Rock Foundation Elastic Modulus on Seismic Response of Run-of-River Hydropower Station[J].Water Resources and Hydropower Engineering,2017,48(11):69-74.

[13] 丁翠.火灾时期矿山通风巷道“特征环”与“关键环”的分布特征研究[J].中国安全生产科学技术,2017,13(8):55-60.
DING Cui.Study on Distribution Characteristics of “Characteristic Ring” and “Key Ring” in Mine Ventilation Roadway during Fire[J].Journal of Safety Science and Technology,2017,13(8):55-60.

[14] 李文倩,王乾伟,王飞,等.基于 Vague 集的地下洞室地震安全评价[J].河海大学学报(自然科学版),2017,45(5):413-418.
LI Wenqian,WANG Qianwei,WANG Fei,et al.Seismic Safety Evaluation of Underground Cavern with Vague Set[J].Journal of Hohai University (Natural Sciences),2017,45(5):413-418.