

文章编号: 1000-582X(2012)05-126-06

硐室型矿井风流调控技术

王海宁

(1. 江西理工大学 a. 工程研究院; b. 钨资源高效开发及应用技术
教育部工程研究中心, 江西 赣州, 341000; 2. 铜陵有色金属集团股份有限公司 技术中心, 安徽 铜陵, 244000)

摘要:介绍了矿井风流调控的传统方法及矿用空气幕的布置形式,并将安装在巷道侧壁硐室内、具有柔性风门隔断风流、柔性风窗增阻减少风流和硐室型辅扇或风机机站引射风流作用的矿用空气幕定义为硐室型风流调控装置。现场应用研究结果表明,柔性风门的风流隔断率可以达到 85%~88%,柔性风窗可有效对运输巷道中风流进行增阻,硐室型辅扇或风机机站的引射风量可达到 30~40 m³/s,在难以设置风门、风窗、辅扇和风机机站的运输巷道中能有效控制风流短路、风流反向、风流循环、增加或减少巷道风量等,这不仅可以强化中段通风网络的排烟排尘效果,保护工人的身体健康,而且有利于提高矿井的有效风量率,促进矿井风流有序流动。具有广阔的推广应用前景。

关键词:运输巷道;柔性风门;柔性风窗;硐室型辅扇;硐室型风机机站;硐室型风流调控装置

中图分类号:TD724

文献标志码:A

Cavern type airflow control technology of mine

WANG Hai-ning

(1a. Engineering Research Institute; 1b. Engineering Research Center of High-efficiency Development and Application Technology of Tungsten Resources, Ministry of Education, Ganzhou, Jiangxi 341000, P. R. China; 2. Technology Center, Tongling Nonferrous Metals Group Co., Ltd., Tongling, Anhui 244000, P. R. China)

Abstract: The traditional methods of airflow controlling and the layout forms of mine air curtain are introduced. It defines cavern type airflow control device—the mine air curtain, which is installed in the side chamber of mine tunnel, could cut off airflow as flexible damper, increase resistance to airflow reduction as flexible wind window, and eject airflow as cavern type accessorial fan or fan ventilator station. Field application results show that the airflow partition rate of flexible damper reaches 85%–88%. The flexible wind window can effectively increase airflow resistance in transport tunnel. The airflow ejected by cavern type accessorial fan or fan ventilator station reaches 30–40 m³/s. In transportation tunnel where a damper, a wind window, an accessorial fan or a fan ventilator station are difficult to be set up, the cavern type airflow control device in mine can effectively control airflow short-circuit, airflow reverse and airflow cycle, increase or decrease of roadway ventilation. It can strengthen the blasting fume and dust exhaust through stage ventilation network, protect workers healthy, and improve the efficient ventilation rate to promote the mine airflow. The technology boasts wide application prospect.

收稿日期:2011-12-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50964003);“十五”国家科技攻关资金资助项目(2004BA615A-04);江西省科技厅重点项目(2005-52)

作者简介:王海宁(1965-),男,江西理工大学教授,博士,铜陵有色金属集团股份有限公司技术中心在站博士后;主要从事矿山安全及环保技术领域的研究,(E-mail)whnfyy@163.com。

Key words: transportation tunnel; flexible damper; flexible wind window; cavern type accessorial fan; cavern type fan ventilator station; cavern type airflow control device

矿井生产条件复杂,作业地点分散且时常变化,使得矿井通风系统不断变化,调节风流的通风构筑物等也要随之改变,否则,就会出现在主扇的作用下新鲜风流不能达到工作地点或通风网络中出现漏风、风流短路、风流循环等问题^[1-3]。对此,矿山主要是采取传统的风门、风桥、风窗、风障、辅扇、引射器等措施对风流的大小和方向进行调控^[3-5],但当这些措施需要在行人和运输频繁的巷道中实施时,一般则难以达到预期的风流调控效果,严重影响矿井的有效风量率。为解决此难题,国内外学者从二十世纪50年代开始在应用矿用空气幕控制风流短路方面开展了研究^[6],但其主要是在断面积和需隔断的风流阻力较小的巷道中应用单机空气幕来实现,且隔断风流的效率难以适应环境条件的变化,矿用空气幕的作用比较单一,对于大断面大压差巷道一般不易满足要求。自1998年以来,笔者主要在大断面大风压差运输巷道中开展多机并联矿用空气幕隔断风流、引射风流^[6]和增阻减少风流^[7-8]的试验研究^[9-10]与现场应用^[11],取得良好的风流调控效果。

矿用空气幕安装在巷道侧壁的硐室内,可以替代辅扇或风机机站、风窗及风门,统称为硐室型风流调控装置^[12-13]。目前,作者在硐室型风流调控装置的理论研究^[14]和解决矿井实际风流调控问题方面已取得一系列研究成果^[15],在此进行系统总结,对促进硐室型风流调控风流技术的更进一步的发展和推广应用具有重要的实际意义。

1 矿井风流调控传统方法

对于正常生产中的矿井,其通风网络已经形成,且主扇已定型,因此,若要确保矿井风流的有序流动,一般靠加强通风构筑物、辅扇等对风流的调控,达到完善通风系统的目的。传统的调控风流方法主要有隔断风流、调节风流等。

1.1 隔断风流方法

井下隔断风流的方法主要有风门(手动风门和自动风门)、风墙、风障等。一般,在有爆破冲击波破坏的情况下,风门和风墙难以发挥有效的作用;在有行人和车辆通行的巷道中,难以设置风墙隔断风流。

1.2 调节风流方法

包括调节风流的方向、风量的大小等,其中风流

方向一般是采用导流板调节;在非并联网络采用辅扇改变风流的方向(反向调节);在并联网络则采用增阻法、减阻法及增压法调节风流方向,其调节措施主要有风窗、辅扇、引射器等。风量大小的调节可以分为分支风量的调节、复杂网路的风量调节以及矿井总风量的调节。分支风量的调节可以采用辅扇和风窗调节措施;复杂网路的风量调节则要通过网络的优化计算,在最大阻力路线上不增加能耗的基础上采用风窗或辅扇调节方法;矿井总风量的调节是通过改变主扇风机的工况点来实现,主要方法是改变风机工作特性或改变矿井网路的风阻特性。改变风机工作特性的方法有改变风机转数、改变风机叶片安装角、改变风机的叶轮数和叶片数、改变风机前导器的叶片角度;改变矿井的风阻特性可通过改变巷道断面、支护型式及用调节闸门来实现,即降阻或增阻调节。

2 矿用空气幕

2.1 结构及功能

矿用空气幕由风机、供风器和整流器组成,其工作时,风机产生的风流通过供风器以较高风速按一定方向喷射出来,形成一股扁平射流,可用于隔断巷道中的风流或调节巷道中的风量,因而其可用来防止漏风(风流短路),控制井巷的风流方向和风量,防止有毒有害气体侵入工作地点等。

矿用空气幕具有多种功能,在需要增加风量的巷道中,其顺风流方向引射风流,可起到辅扇或风机机站的作用——硐室型辅扇或硐室型风机机站;在需要减少风量的巷道中,其逆风流方向工作,可增阻起调节风窗作用——柔性风窗;在需要隔断风流的巷道中可起到风门的作用——柔性风门。矿用空气幕即硐室型风流调控装置,在运输频繁的巷道中使用不妨碍运输和行人,且工作可靠。

2.2 布置形式及取风方式

2.2.1 布置形式

硐室型风流调控装置可采用4种布置形式,即单侧单机、单侧多机串联、双侧多机并联、双侧多机串并联。串联则是安装在同一巷道的不同断面上,并联则是安装在同一巷道的同一断面上。双侧多机串并联安装示意图如图1所示。

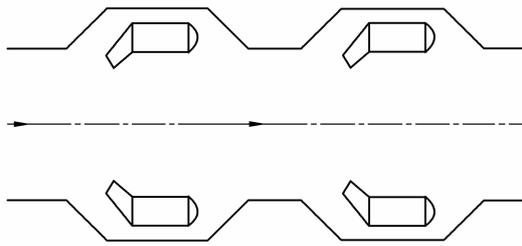


图 1 双侧多机串并联示意图

2.2.2 取风方式

对于隔断风流或增阻减少风流的矿用空气幕,按安装位置的不同可分为循环型和非循环型 2 种取风方式。安装在同一巷道无分岔口、且其出口口的风流和进风口的风流自成循环的称为循环型;非循环型的又分为两种情况,一是吸取 A 巷道的风流后在 B 巷道形成一股风幕,阻隔 B 巷道的风流;二是从巷道吸取风流并排入同一巷道内。此 2 种非循环型情况的风流都不再流回吸风口。

对于引射风流的风用空气幕,主要是非循环型取风方式。

3 硐室型风流调控装置应用研究

硐室型风流调控装置具有硐室型辅扇或硐室型风机机站、柔性风窗和柔性风门的作用。以下分别就其现场应用研究结果进行总结,以便为其在矿山井下风流控制中的推广应用提供可行的技术方法和借鉴。

3.1 柔性风门现场应用研究

某矿分斜坡道原设置一道手动风门来防止 TB_6 机站供给某分段的新鲜风流被短路,实际上,由于此分斜坡道为无轨运输巷道,设置的风门难以有效隔断风流或起作用,从现场测定和实际情况可知,此分斜坡道的漏风量达到 $36.0 \sim 45.0 \text{ m}^3/\text{s}$, TB_6 机站供给某分段的新鲜风流几乎全部由此被短路;同时,由于该分斜坡道离 TB_6 机站和 TB_4 排风机站较近,因而分斜坡道隔断风流的静压差较大,约为 110 Pa ,且分斜坡道的断面积约为 16 m^2 ,这无疑增加了柔性风门应用的难度。为此,现场根据柔性风门隔断风流的理论模型,在该分斜坡道应用了由 4 台 K45-6-No. 10 风机构成的多机并联柔性风门,如图 2 所示。

现场采用对比试验研究方法,对柔性风门的应用效果进行了测试,结果表明:1)多机并联柔性风门替代风门可阻隔短路风流,其阻风率为 $85\% \sim 88\%$,比原手动风门的阻风率 63.4% 高出 $21.0 \sim$

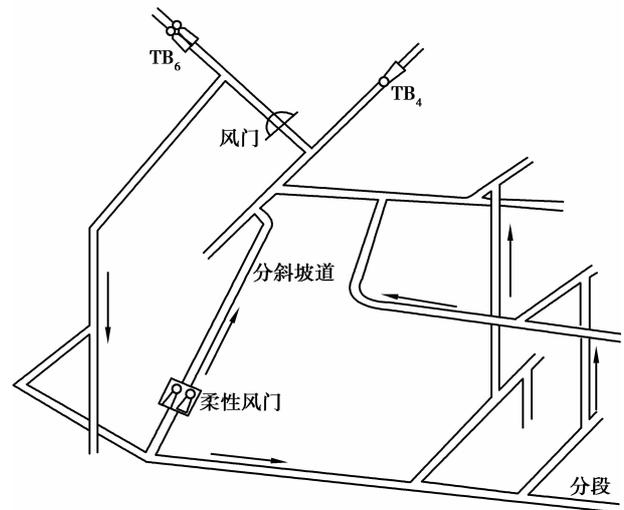


图 2 柔性风门现场应用示意图

24.0% ,阻隔风流的效果好。2)柔性风门阻隔了分斜坡道的短路风流,使 TB_6 风机的新鲜风流沿分段道送到需风点,提高了 TB_6 风机的有效风量率约 30.0% ;使分段进风道的有效风量平均增加 $12.3 \sim 24.5 \text{ m}^3/\text{s}$,不仅显著改善了作业点的工作环境,保护工人的身体健康,而且有利于提高劳动生产率。3)降低了 TB_4 风机的内部漏风率约 25% ,充分发挥了 TB_4 风机排污风的作用效果。

3.2 硐室型辅扇现场应用研究

3.2.1 多机并联硐室型辅扇

某矿主斜坡道为主要运输道,原设计进新鲜风的风量大于 $30 \text{ m}^3/\text{s}$,但实际上,由于自然风压、主扇和行车的影响,主斜坡道某水平以上的进风量达不到设计的要求,有时还出现反风现象,因此主斜坡道上的汽车尾气和行车扬尘难以及时稀释和排走,反风湿气增加巷道壁的湿度,不仅降低主斜坡道的能见度,对行车安全和工人的身体健康造成严重的威胁,而且十分不利于巷道壁的稳定和安全。为确保主斜坡道的行车安全、提高运输效率和减少巷道的维护量,在主斜坡道上应用了硐室型辅扇引射风流来替代辅扇,收到良好效果。

在现场应用中,依据安装硐室型辅扇巷道的风流状况、巷道特性等参数以及主斜坡道需风量的要求,考虑自然风压和主扇的影响,按照硐室型辅扇引射风流的理论公式,确定由 4 台 K45-6-No. 12 风机并联运行组成硐室型辅扇。现场应用试验结果表明,硐室型辅扇开启后,主斜坡道进风量的增加量为 $13.8 \sim 32.0 \text{ m}^3/\text{s}$,达到设计需风量的要求,且主斜坡道内空气的湿度随着引射风量的增加而减小,为

49.0%~71.0%。可见,在硐室型辅扇的作用下,主斜坡道内的空气干燥,可减少巷道的返修量、巷道的冒顶和片帮,节约巷道的维护费用;同时能有效改善主斜坡道内的环境质量,有利于安全生产。

3.2.2 多机串并联硐室型辅扇

某铁矿采用对角抽出式通风系统,双机并联主扇安装在井下上中段回风平巷,由于矿山投产初期的矿石提升任务繁重,回风井需承担一定的提升任务,其矿石倒运主要在下中段回风石门,且运输设备主要是无轨柴油汽车,因此下中段回风石门无法设置通风构筑物,当主扇正常运行时,上、下中段回风石门间就形成污风循环,如图3所示。这不仅严重威胁下中段回风石门内作业人员的身体健康,而且使得作业场所的可见度低,十分不利于行车安全。为解决此污风循环所带来的不良影响,在下中段回风石门研究应用了硐室型辅扇来控制污风循环。

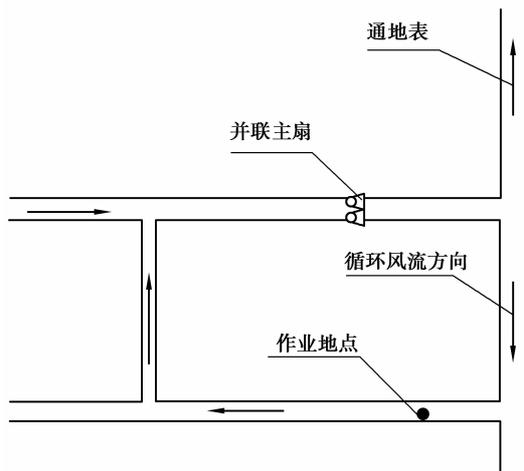


图3 井下主扇及循环风流示意图

依据现场的实际情况及硐室型辅扇的前期研究成果,本矿山采用了多机串并联硐室型辅扇,即由K45-6-No. 11和K45-6-No. 12风机两并两串组成,如图4所示。

从现场试验研究结果可以看出,1)硐室型辅扇能有效控制主扇产生的循环风流,防止上下中段间的污风循环,增加矿井总进风量 $25\sim 30\text{ m}^3/\text{s}$,提高矿井的有效风量率。2)硐室型辅扇正常运行时,其对主扇风量的影响度约为0.6%,不影响整个矿井通风系统的正常运行。3)硐室型辅扇运行噪声为 $82\sim 92\text{ dB(A)}$,对距离其约300 m处作业环境的干扰较小,且作业人员经过硐室型辅扇时接触其噪声的时间仅几分钟,对作业人员身体健康的危害较小。

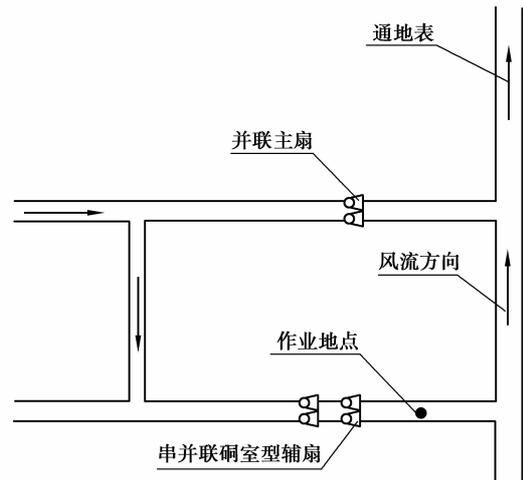
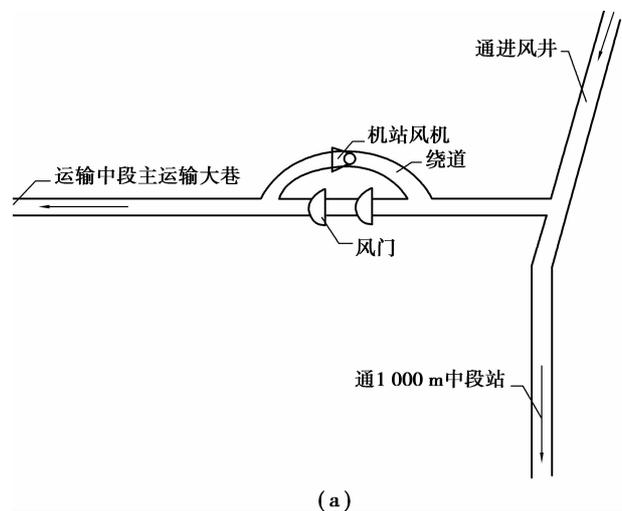


图4 多机串并联硐室型辅扇应用示意图

3.3 硐室型风机机站应用研究

多级机站通风方法的实际应用中,若风机机站需设置在主运输巷道或易受爆破冲击波的破坏的巷道中时,则矿井一般难以建成完善的多级机站通风系统,且通风效果将受到严重影响。而硐室型风机机站可以设置在运输巷道内,因而增强了多级机站通风方法的适应性和有效性。

某矿主要运输中段原设计设置二级风机机站(单台K40-6-No. 20风机),为本中段提供 $35\text{ m}^3/\text{s}$ 新鲜风流,如图5(a)所示,实际上,在绕道中设置二级风机机站方案一直未实施,原因是本中段无轨运输设备运行频繁,风机机站安装在绕道,在主运输道内设置两道风门极易被撞坏,难以达到有效隔断风流的效果。因此,在实际生产过程中,本运输中段常处在污风循环、污风反向或污风停滞状态,导致无轨柴油机设备运行产生的废气难以及时排出,作业环境恶劣。为此,依据现场的实际情况,在主运输道研究应用了4台K45-6-No. 13风机并联运行的硐室型风机机站,如图5(b)所示。



(a)

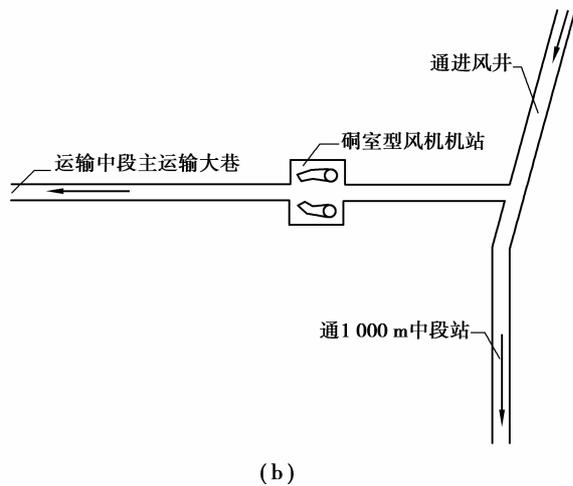


图 5 巷道型和硐室型风机机站方案示意图

从现场试验研究结果可以看出,在风机机站建设之前,主运输道石门和主运输道内均是污风,其主要卸矿作业点由于安装了大功率的局扇,流动风量虽达到 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右,但却是污风循环,且风温高达 $28.2 \text{ }^\circ\text{C}$,风流不仅污浊缺氧(O_2 含量低于 16%),而且巷道内可见度低。而硐室型风机机站运行后,本运输中段的污风循环、风流停滞和污风反向的问题得到有效解决,增加新鲜风量达 $35\sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$,且送风温度为 $19.0 \text{ }^\circ\text{C}$,主要作业区附近的风温为 $25.0 \text{ }^\circ\text{C}$,明显改善了通风效果,增加行车可见度,有效提高了柴油机设备的燃烧效率和劳动生产效率。可见,硐室型风机机站完全可以替代巷道型风机机站,有效解决大断面运输巷道不掘绕道设置风机机站的关键技术,不仅增强了多级机站通风方式的适应性,而且减少风机机站的维护量,不影响行人和运输。

3.4 柔性风窗现场应用研究

某矿为两翼对角抽出式通风系统,全矿设计需风量为 $130 \text{ m}^3/\text{s}$,其中主斜坡道设计进风量为 $50 \text{ m}^3/\text{s}$,但在实际生产过程中,由于冬季自然风压的影响,主斜坡道的进风量大大增加,当气温低于 $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,主斜坡道的进风量高达 $130\sim 150 \text{ m}^3/\text{s}$,风速超过 6 m/s ,这样不仅影响主斜坡道无轨设备的运行和行人,而且导致主井和副井均成为回风井,井下风流紊乱,井下作业过程中产生的污风对 2 井筒内的提升设备造成严重的腐蚀;此外,冬季部分主斜坡道淋水结冰对行车安全也构成较大威胁,十分不利于矿山的安全生产。尽管在主斜坡道口安装了派专人看管的手动风门,但受气候条件及地理位置等的限制,风门难以发挥作用。为此,采用柔性风窗

对主斜坡道的风流进行控制。

在实际应用中,依据柔性风窗阻风率的计算公式和现场的实测的风流静压值等计算柔性风窗所提供的有效压力为 160 Pa ,并确定柔性风窗由 4 台 K40-6-No. 13 风机并联组成,安装在距主斜坡道口约 300 m 处的硐室内。从现场对比试验研究结果可以看出,冬季在不同的气温条件下,通过调节柔性风窗风机的运行状态,便可控制主斜坡道的进风量小于 $50 \text{ m}^3/\text{s}$,不仅避免了主井和副井出污风,有效减少井筒设施的维护量,确保矿井风流有序流动,而且防止了淋水段斜坡道的结冰,减少了人工挖冰的工程量,有利于安全行车。

3.5 对比研究

从以上的试验研究结果可以看出,硐室型风流调控技术与传统风流调控技术相比,不仅在应用效果方面有较大改善,而且在适用条件方面有拓宽,对比研究结果如表 1 所示。

表 1 运输巷道上硐室型风流调控技术与传统风流调控技术对比

| 对比内容 | 传统技术 | 硐室型风流调控技术 |
|--------|----------|--------------------------------------|
| 阻风率 | 63.4% | 85%~88% |
| 引射风流 | 不能实现 | $13.8\sim 32.0 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| 控制风流循环 | 不能实现 | 有效控制风流循环 |
| 设置风机机站 | 需掘绕道才能设置 | 直接在运输巷道中安装 |
| 设置风窗 | 不能设置 | 有效调节 |

从附表可以看出,在运输巷道上传统风流调控技术一般难以实现风流调控的目的,而硐室型风流调控技术有较强的适用性,能实现风流的有效调控。在运输巷道上应用柔性风窗的主要优势是对巷道不产生刚性隔断,对生产、运输干扰少,维护量少,也不需要人员看管,但比传统方法要增加能耗;在运输巷道上应用硐室型辅扇或风机机站时,由于风机前增加了供风器,风机出口的供风量会因增加阻力而减少,但供风器出口的风流速度大,能在巷道中形成引射风流,因而也就弥补了风机风量的减少,具有很好的供风效果。

4 结 语

在运输和行人频繁或受爆炸冲击波影响的巷道中设置风流调控装置时,采用传统的通风构筑物等一般难以达到预期的效果,而新型的硐室型风流调控装置(矿用空气幕)具有隔断风流、引射风流和对

风流增阻的多种调控风流的功能,因此,在实际应用中,可替代风门,在大断面大风压差无轨运输巷道内实现风流隔断率比传统风门的高约20%~25%,有效解决了在无轨运输巷道内难以安装风门的技术难题;可替代辅扇或风机机站,在主要运输巷道中有效控制风流反向、风流循环和增加作业区风量,解决大断面运输巷道安装辅扇或不掘绕道设置风机机站的技术;可替代风窗,控制井筒或斜坡道的进风量,确保矿井风流有序流动,促进矿山的安全、稳定、持续生产。

参考文献:

- [1] JEMING G E. Air curtain in the 70's [J]. Refrigeration and Air Conditioning, 1970, (3): 93-99.
- [2] YI L J, WANG Y M. Fan of ejecting airflow in mines[J]. Gold, 1994, 15(9): 19-22.
- [3] GUYONNAUD L, SOLLIEC C, DUFRESNED V, et al. Design of air curtains used for area containment in tunnels[J]. Experiments in Fluids, 2000, (28): 377-384.
- [4] 刘正伟,王立杰. 基于未确知集的矿井通风系统方案评价选择[J]. 煤炭学报, 2009, 34(6): 810-813.
LIU ZHENG-WEI, WANG LI-JIE. Evaluation and selection on mine ventilation system based on unascertained set[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(6): 810-813.
- [5] 王海宁. 矿井风流动与控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [6] 王海宁,古德生,吴超,等. 多机并联空气幕引射风流及其应用研究[J]. 矿冶工程, 2004, 24(4): 7-10.
WANG HAI-NING, GU DE-SHENG, WU CHAO, et al. Theory and application of air flow ejected from air curtain by paralleled fans in mining tunnels[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2004, 24(4): 7-10.
- [7] 陈宁青,王海宁,张红婴. 单机空气幕控制运输道风流反向的现场应用[J]. 金属矿山, 2005, 353(11): 75-76.
CHEN NIN-QING, WANG HAI-NING, ZHANG HONG-YING. In-situ application of air curtain with a fan control airflow reverse in transportation way[J]. Metal Mine, 2005, 353(11): 75-76.
- [8] 王海宁,吴超,古德生. 多机并联增阻空气幕的现场应用[J]. 中南大学学报, 2005, 36(2): 307-310.
WANG HAI-NING, WU CHAO, GU DE-SHENG. In-situ application of air curtain with parallel fans as resistant of airway [J]. Journal of Central South University, 2005, 36(2): 307-310.
- [9] WANG H N. Application of air curtain on mine pollution control [C] // Proceedings of the 1st International Conference on Pollution Control and Resource Reuse for a Better Tomorrow and Sustainable Economy, 2006, Shanghai, China. Shanghai: Tongji University, 2005: 176-179.
- [10] 王海宁,张红婴. 矿用空气幕试验研究与应用[J]. 煤炭学报, 2006, 31(5): 615-617.
WANG HAI-NING, ZHANG HONG-YING. Test and application of air curtain in mine[J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(5): 615-617.
- [11] WANG H N. Test of air curtain in mine [C] // Proceedings of 2006 International Symposium on Safety Science and Technology, October 24-27, 2006, Changsha, China. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2006: 1507-1509.
- [12] WANG H N, SHEN Y. Theoretical model of air curtain with serials-parallel fans and experimental study[C] // Proceedings of the 6th International Conference on Mining Science & Technology. October 18-20, 2009, Xuzhou, China. Xuzhou: China University of Mining Technology, 2009: 154-160.
- [13] 王海宁. 硐室型风机机站空气动力学特征研究及其应用[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(2): 214-218.
WANG HAI-NING. Aerodynamic characteristics of multi-fans being installed in two sides of the cross-cut of main tunnel and application investigation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(2): 214-218.
- [14] WANG H N. Theory model of auxiliary fans being installed in two sides of cross-cut of tunnel and application investigation for controlling stagnant air [C] // Proceedings of 2008 International Symposium on Safety Science & Technology. September 24-27, 2008, Beijing, China. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2008: 1556-1559.
- [15] 王海宁,牛忠育,吴彦军. 矿用空气幕控制井下循环风流的应用研究[J]. 矿业研究与开发, 2010, 30(1): 84-87.
WANG HAI-NING, NIU ZHONG-YU, WU YAN-JUN. Study of controlling circulated air flow by air curtain in underground mine[J]. Mining Research and Development, 2010, 30(1): 84-87.

(编辑 郑洁)