

文章编号:1005-0523(2016)06-0043-07

基于洞内空气质量监测的长大隧道施工通风系统改进

肖粤秀,杨新安,江星宏,何知思

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804)

摘要:通风是长大隧道多工作面施工的重要辅助作业系统,是保证施工人员身体健康与机电设备正常运行的必要条件。通过对沪昆客专壁板坡隧道施工通风第五阶段的通风质量进行现场监测,分析发现隧道内存在工作面供风量不足、工作面风速偏低、粉尘、CO含量偏高等问题,采取增设射流风机和轴流风机、加强对通风设备的管理与维护等措施改善通风系统。实测结果表明,以上措施改善了施工通风效果,提高了隧道内空气质量,但仍需要根据监测结果进一步改善通风系统。

关键词:长大隧道;多工作面施工;通风;空气质量监测

中图分类号:U25

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.06.006

铁路新线建设中,长大隧道的施工进度往往决定了全线的工期。为缩短工期,长大隧道工程通常设计辅助坑道如平行导坑、斜井、竖井等以增加工作面、辅助隧道施工、加快施工进度,辅助坑道也是实施施工通风的重要通道。通风是长大隧道多工作面施工中重要的辅助作业系统^[1],是及时为工作面提供新鲜空气、排出粉尘及有毒有害气体、创造良好施工环境,保证隧道内工作人员健康与安全、维持机电设备正常运行的必要条件。

苑郁林等^[2]对乌鞘岭特长隧道施工通风阶段划分及其特点进行了总结,分析了施工通风对施工组织的制约,说明施工通风在特长隧道施工中的重要性。辛国平^[3]介绍了渝利铁路长洪岭隧道施工中采用分隔斜井、设置风仓,联合压入式风管实现污风与新鲜风的分离的通风方法,适用于长大隧道斜井工区的长距离独头通风。胡根友^[4]指出影响长大隧道通风效果的因素很多,应从加强施工现场的通风管理入手整体提高长大隧道施工通风质量。谭信荣^[5]分析了油竹山隧道各施工阶段的空气质量测试数据,指出隧道掘进长度超过3 500 m后,粉尘浓度超标,结合数值计算结果,提出了干式除尘器与压入式通风、巷道式通风相结合的优化措施,有效地降低粉尘含量,保证隧道内空气质量。明建龙^[6]介绍了云顶隧道采用的自动监测与人工监测相结合的严密有效的瓦斯监测系统及其通风方案,以提高瓦斯隧道的预测能力和通风效果。

许多学者^[7-10]结合长大隧道施工特征对通风方案进行设计,并通过风量、风压计算对风机、风管进行了选型与配置,强调了长大隧道施工过程中通过现场通风质量监测、数据分析等方法来实时调整并改进通风方案的重要性。但少有长大隧道工程在实际施工中通过通风质量监测结果反馈并改进通风设计方案的实施。

本文通过现场空气质量监测结果分析得知,沪昆客运专线壁板坡隧道第五阶段通风过程中存在工作面供风量不足、工作面风速偏低、粉尘和CO在工区内堆积无法快速排出等问题。针对此情况,对隧道通风系统提出了改进措施,并对改进后通风系统进行了空气质量监测,证明了改进措施对于改善隧道内空气质量起到较好作用。

收稿日期:2016-05-09

作者简介:肖粤秀(1992—),女,硕士研究生,研究方向为隧道及地下工程。

通讯作者:杨新安(1964—),男,教授,博士生导师,研究方向为隧道工程,城市地下工程。

1 工程概况

壁板坡隧道全长 14.576 km,是沪昆线最长的隧道,属 I 级风险隧道,是全线的重大控制工程。壁板坡隧道进口处受地形限制,采用合分修结构形式;隧道洞身被多条断层带切割,节理裂隙发育,地下水丰富,为控制施工风险、保障运营安全,设计为上、下行分离的双线隧道。贯通平导位于隧道左侧,全长 14.717 km,作为施工通风和运输的辅助坑道,并为正洞施工进行超前地质探测和预报。壁板坡隧道采用“平导超前、左线紧跟、右线正常推进”的施工方式,平导与正洞、左线与右线间以横通道连接,实现多工作面快速施工。

根据壁板坡隧道施工阶段特征和通风系统设计与实施方案,主要分为六个施工通风阶段,如表 1 所示。

表 1 隧道施工通风阶段划分
Tab.1 Stages of ventilation during the tunnel construction

阶段	施工阶段	通风系统
第一阶段	平导与正洞独头掘进	平导与正洞采用独立压入式通风
第二阶段	合分修段未贯通,正洞工作面增加	平导与正洞采用独立压入式通风,新增正洞工作面通过平导辅助通风
第三阶段	合分修段未贯通,左、右线工作面增加	平导与正洞采用独立压入式通风,左、右线工作面通过平导辅助通风
第四阶段	合分修段已贯通,左、右线工作面增加	采用巷道式通风,左、右线工作面均通过风管从平导入口处取风,污风从左线排出
第五阶段	平导已贯通,左、右线工作面增加	采用巷道式通风,左、右线工作面均通过风管从平导取风,污风从左线排出
第六阶段	左线已贯通,右线工作面增加	采用巷道式通风,右线工作面通过风管从平导取风,污风从左线排出

壁板坡隧道进、出口端同时掘进,平导超前掘进迅速贯通,隧道施工通风主要处于第五阶段,如图 1 所示。此时平导已贯通,左线尚未贯通,通风距离长,左、右线工作面多,工作面污风须经平导引流至已贯通左线内,造成平导内风流紊乱,污风排出不顺,隧道内空气质量下降。

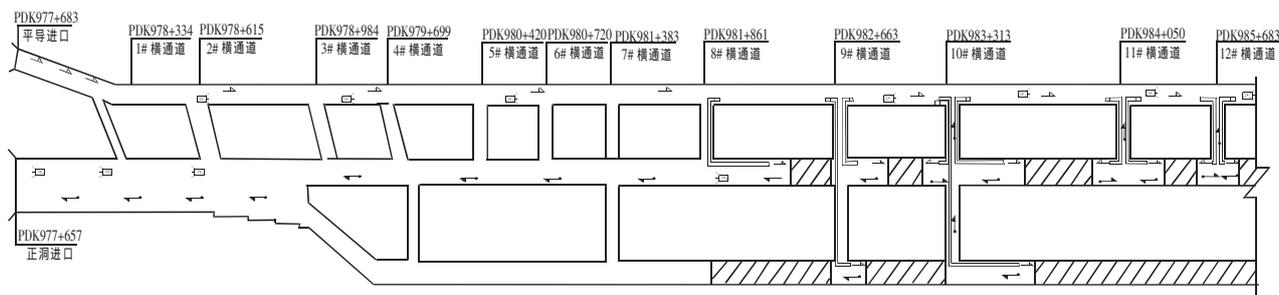


图 1 第五阶段施工通风示意图

Fig.1 Schematic diagram of the fifth stage of ventilation

2 隧道施工空气质量监测

通过对壁板坡隧道内粉尘及有害气体含量进行监测,找出通风系统存在的不足之处,改善通风措施,确保隧道内空气质量满足规范要求,保证施工人员健康、施工设备正常运行。

2.1 隧道施工通风控制标准

根据《铁路隧道设计规范》(TB 10003-2001)、《铁路隧道施工技术规范》(JTJ 042-94)、《铁路隧道工程施工安全设计规程》(TB 10304-2009)等技术规范,壁板坡隧道施工环境控制标准如表 2 所示。

2.2 监测仪器与测点布置

结合工程实际,本隧道重点针对 CO、粉尘、风速、温度等通风指标进行监测,监测仪器如表 3 所示。

表 2 隧道施工通风控制指标

Tab.2 Controlling indicators of ventilation during tunnel construction

编号	监测内容	指标上限	编号	监测内容	指标下限
1	CO	30 mg·m ⁻³ (24 ppm)	5	温度	28 °C
2	CO ₂	0.50 %	6	O ₂	20 %
3	NO ₂	5 mg·m ⁻³	7	新鲜空气量/每人	3 m ³ ·min ⁻¹
4	含有 10%以上游离 SiO ₂ 的粉尘	2 mg·m ⁻³	8	内燃机械作业风量	3 m ³ ·min ⁻¹ ·kw ⁻¹
			9	分部开挖工作面风速	0.25 m·s ⁻¹

表 3 监测仪器型号表

Tab.3 Models of monitoring instruments

编号	监测内容	仪器型号
1	CO	英思科 T40
2	粉尘	粉尘仪 P-5L2C
3	风速	热球式风速仪 QOF-3 型
4	温度	希玛 AR-847

隧道施工通风第五阶段,平导已经全线贯通,左线 1#~8# 也已经贯通,8# 横通道成为隧道交通以及通风的关键节点,9#~12# 横通道处左、右线有多个工作面,因此在 8#~12# 横通道处布置监测点以掌握隧道内空气质量。监测点如图 2 所示。

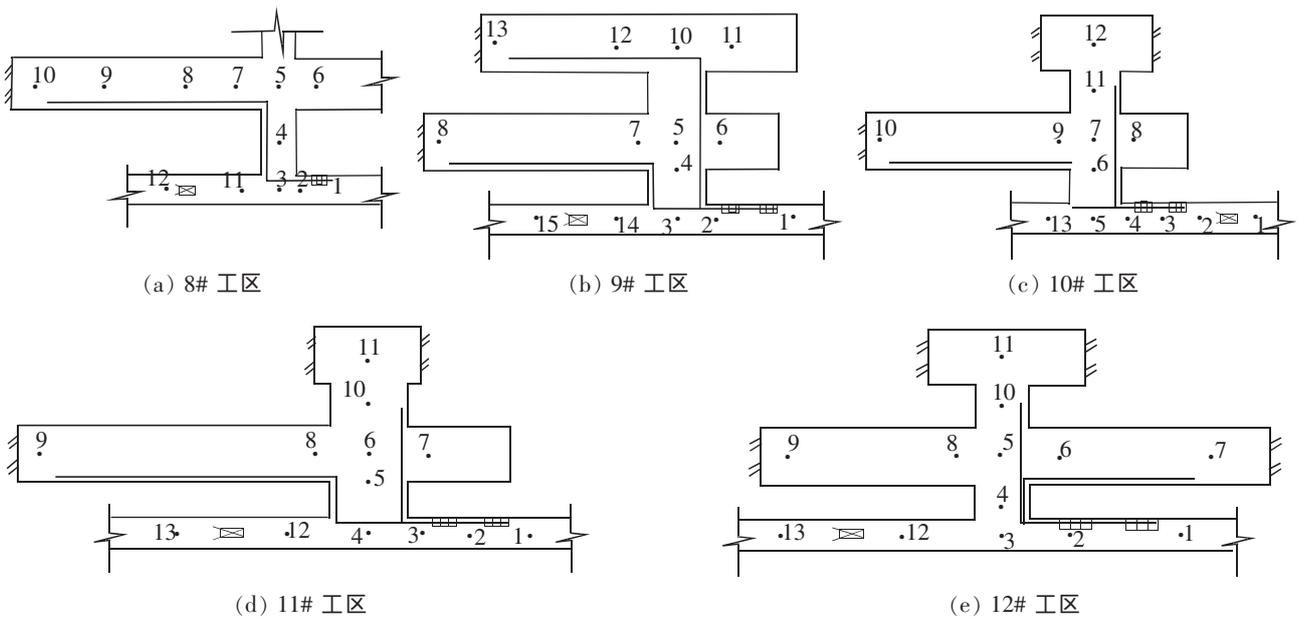


图 2 测点布置图

Fig.2 Arrangement of measuring points in different sites

2.3 空气质量监测结果

1) 粉尘含量。隧道施工中粉尘主要来源于开挖面钻孔、爆破喷射混凝土弃渣装车运输等施工环节,长时间悬浮于空气中将严重降低隧道内的能见度、危害作业人员健康。

8#~12# 工区各监测点粉尘含量如图 3 所示。根据《铁路隧道工程施工安全技术规程》(TB 10304-2009) 中的要求,容许的粉尘浓度为每立方米空气中含有 10%以上的游离二氧化硅的粉尘不得大于 2 mg。该阶段内 9#~12# 工作面的粉尘含量均严重偏高,远大于规定值,其中,9# 工区 13 号测点为右线大里程处工作面,12# 工区 9 号测点为左线大里程工作面,粉尘含量严重超标。

2) CO 含量。CO 是壁板坡隧道内主要的有害气体,CO 含量主要来源于 CO 沿开挖面裂隙渗透进入隧道开挖面,爆破完成后,通风风压、通风风量、通风时间不足等造成 CO 滞留工作面附近。运输车辆尾气的排放也是 CO 的来源之一。

8#~12# 工区各监测点 CO 含量如图 4 所示。8#~10# 工区内 CO 浓度满足规范要求,而 11# 与 12# 工区内 CO 浓度远超规范允许值 30 mg·m⁻³(24 ppm),不满足规范中隧道安全生产的要求。CO 的滞留不仅容易起火,存在安全隐患,且作业人员吸入 CO 过多而易中毒,威胁作业人员安全。

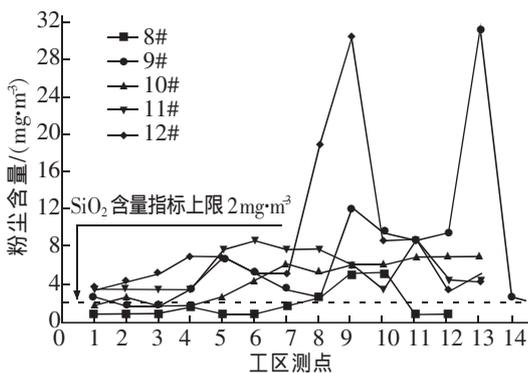


图 3 8#~12# 工区监测点粉尘含量分布
Fig.3 Dust content in 8#~12# sites

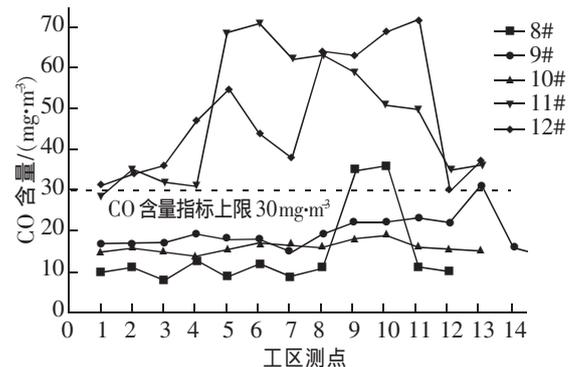


图 4 8#~12# 工区监测点 CO 含量分布
Fig.4 CO content in 8#~12# sites

3) 工作面风速。8#~12# 各工作面风速如表 4 所示,多数隧道工作面风速小于 0.25 m·s⁻¹,其中 9# 右线大里程以及 12# 左线大里程两个工作面风速低于 0.1 m·s⁻¹,不满足规范要求,粉尘、CO 易在工作面滞留,含量超标,降低了工作人员工作效率且危害作业人员健康。

4) 温度。8#~12# 工区测点的平均温度如表 5 所示,由图可知各工区的平均温度随里程的增大而增大,各工区温度基本满足隧道洞内施工温度规定要求。但 11# 工区处平均温度 28.3 °C,最高温度达到 30.2 °C,局部高温将降低工作人员工作效率。

表 4 8#~12# 各工作面风速监测值
Tab.4 Wind speed in working faces in 8#~12# sites

工作面	风速/(m·s ⁻¹)
8# 左线大里程	0.3
9# 左线大里程	0.5
9# 右线大里程	0.05
10# 左线大里程	0.15
11# 左线大里程	0.2
12# 左线小里程	0.2
12# 左线大里程	0.05

表 5 8#~12# 工区温度平均值
Tab.5 Average temperature in 8#~12# sites

工区	平均温度/°C
8#	20.4
9#	25.1
10#	24.6
11#	28.3
12#	27.9

3 监测结果分析与通风改进措施

由通风质量监测数据图表可知,该阶段隧道施工通风存在的主要问题是:①粉尘含量、CO含量超标,危害施工作业人员健康;②工作面风速偏低,污风无法迅速排出,尤其是8#横通道与平导交叉处,前方工作面污风在此汇集后引流到左线,风速偏低,严重阻碍了污风的排出;③大里程工作面温度偏高,影响施工人员作业效率。造成通风不畅的主要原因是:①由于风管通风距离长,经二衬台车时风管未摆放平直、沿程阻力大导致风压不足,风管在拐角处易出现破损造成漏风,未及时修补等导致隧道工作面供风量不足;②风管出口未随工作面的推进而及时延长、影响了工作面污风排出;③平导内射流风机数量不足,污风排出不畅。

针对以上通风问题及其原因分析,对隧道该阶段施工通风方案进行了调整:①在8#横通道与平导交叉口处增设一台射流风机,在通风距离较长的10#~11#横通道之间的平导内增设一台射流风机;②在9#左线大里程和12#左线小里程增设一台射流风机;③在平导空气质量较差的12#作业区增加一台跨横通道引流用轴流式风机;④加强通风设备管理,按时检查并及时修复破损风管,工作面推进后,及时延长风管。

4 改进后通风监测结果

通风方案调整后,再次对通风质量指标进行了监测,改进后粉尘含量、CO含量、工作面风速如图5~图7所示。

改进后,各工区测点粉尘含量均大幅减少,基本满足规范要求。8#、9#工区内CO含量略有减少,10#工区内CO含量反而有所上升,11#、12#工区内仍大于规定值,其中10#区因风机损坏停止工作、11#工区因监测时段有爆破施工导致CO的浓度值较高。改进措施并未达到有效减少各工区内CO含量的目的,需进一步调整通风方案。除11#左线大里程处工作面风速低于 $0.25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 外,其余工作面风速均满足要求。

改进前、后8#~12#工区测点的平均温度如图8所示,由图可知各工区的平均温度随里程的增大而增大。改进后,8#、9#、11#工区的温度均明显降低,12#工区处略高于 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$,基本满足隧道洞内施工温度规定要求。

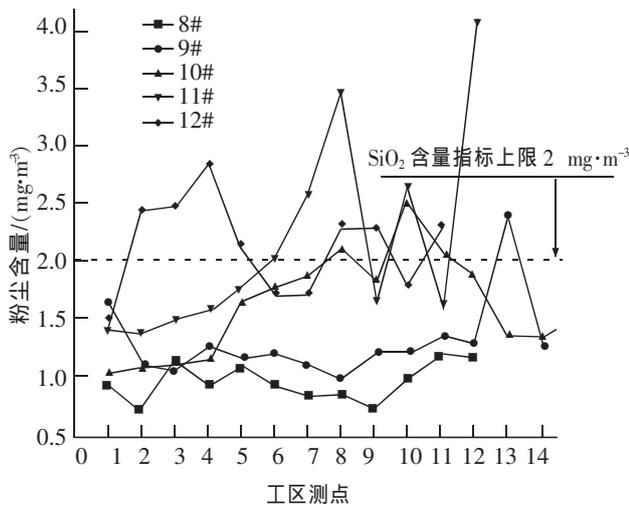


图5 改进后8#~12#工区监测点粉尘含量

Fig.5 Dust content in 8#~12# sites after improvement

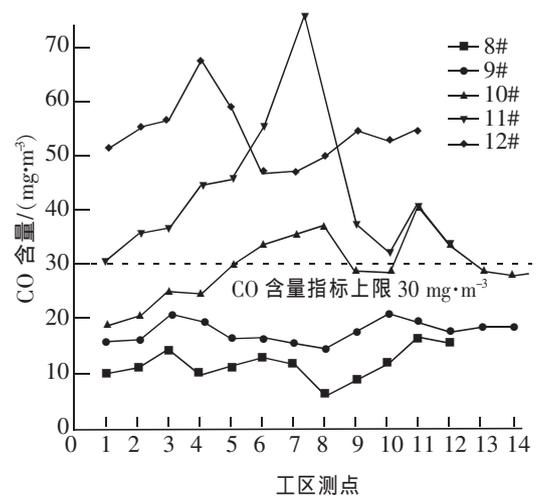


图6 改进后8#~12#工区监测点CO含量

Fig.6 CO content in 8#~12# sites after improvement

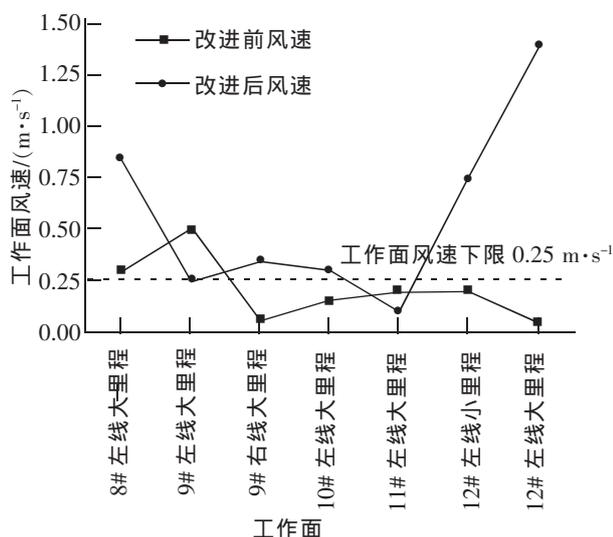


图7 改进前、后8#~12#各工作面风速

Fig.7 Wind speed in working faces of 8#~12# sites before and after improvement

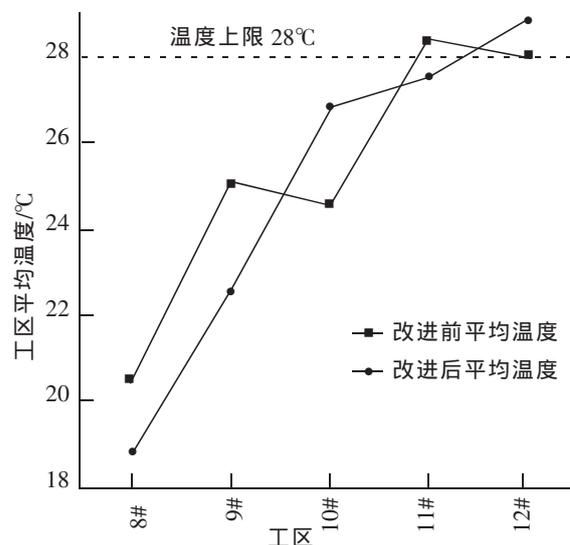


图8 改进前、后8#~12#工区平均温度

Fig.8 Average temperature in 8#~12# sites before and after improvement

5 结论

针对沪昆客专璧板坡隧道在平导已贯通,左线尚未贯通,左、右线工作面较多时的通风阶段进行了监测分析,指出了该阶段内由于风管通风距离长、沿程阻力大、风管未及时随工作面推进而延长等原因造成工作面供风量不足,平导与横通道内射流风机不足导致风速偏低,污风不能及时排出,而使隧道内CO、粉尘含量偏高,影响了施工人员工作效率与身体健康。

通过在工作面、平导内增设射流风机、在横通道内增设轴流风机,引导并加速污风的排出,同时加强对通风设备的管理与维护,对通风系统进行了调整。监测结果表明,这些措施有效地降低了工作面及平导内CO、粉尘含量以及工作面温度,促进了污风迅速经平导进入左线,排至洞外,极大地改善了洞内施工人员的工作环境,为隧道掘进工作的正常进行及机械设备的保护创造了较好的施工环境。

长大隧道多工作面施工过程中,工作面增减频繁,工序转换次数多,通风条件复杂,不仅要求施工通风组织能配合施工工况及时进行调整,也需进行空气质量监测,对当前的通风系统进行评价并进一步优化通风方案,保证隧道内空气质量满足要求,同时保障隧道快速施工满足工期要求。

参考文献:

- [1] 王梦恕. 中国隧道及地下工程修建技术[M]. 北京:人民交通出版社,2010.
- [2] 苑郁林,杨木高. 乌鞘岭铁路隧道施工通风特点及其对施工组织的制约性[J]. 公路,2003,8(8):166-169.
- [3] 辛国平. 长大隧道分隔巷道与风管联合通风施工技术[J]. 现代隧道技术,2015,52(6):184-189.
- [4] 胡根友. 长大隧道施工通风技术应用研究[D]. 成都:西南交通大学,2008:60-61.
- [5] 谭信荣,陈寿根,张恒. 基于洞内空气质量测试的长大隧道施工通风优化[J]. 现代隧道技术,2012,49(6):152-157.
- [6] 明建龙. 高瓦斯隧道监控与施工通风设计[J]. 铁道建筑,2009(2):18-20.
- [7] 王立琛. 长大公路隧道施工通风技术研究[J]. 山西建筑,2009,35(11):317-318.
- [8] 申百囤. 长大隧道巷道式通风技术与应用[J]. 北方交通,2012,10(10):93-96.
- [9] 田传海. 长大隧道施工通风方案设计[J]. 西部探矿工程,2008,12:190-192.
- [10] 黄强. 长大隧道通风施工技术[J]. 山西建筑,2014,40(9):187-188.

Improvement of Ventilation System during Large-Tunnel Construction Based on Air Quality Testing

Xiao Yuexiu, Yang Xin'an, Jiang Xinghong, He Zhisi

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Ventilation is an important aided system of the multiple working faces in the long and large tunnel construction, which is the necessary condition to ensure the health of the working staff and the running of electromechanical equipment. By testing air quality of the fifth ventilation stage during Bibanpo tunnel construction in site, this study showed that the short supply of air volume, low speed of wind, and high content of dust and CO were the main problems. Extra jet fan and axial fan were installed and the management and maintenance to the ventilation equipment were reinforced to improve the ventilation system. Measured results showed that those measures improved the effects of ventilation and the air quality during tunnel construction. But further improvements are needed according to the results.

Key words: long tunnel; multiple working faces; ventilation; testing of air quality

(责任编辑 王建华)