

特长公路隧道独头掘进施工通风设计与数值模拟分析

刘生¹, 周飞^{2,3}, 李鹏举²

(1. 长安大学理学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安 710055; 3. 长安大学公路桥梁与隧道陕西省重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:介绍了国内最长独头掘进公路隧道——麦积山隧道施工中的通风布置方式及通风设备,按规范方法对其风量的各相关参数进行了计算,基于有限元流体力学软件 FLUENT 对施工通风方案进行了数值模拟验证。阐述了通风过程中遇到的一些问题及解决方法,以取得良好的隧道通风效果,为施工创造了舒适、高效的工作环境。

关键词:独头掘进;公路隧道;施工通风;通风效果

中图分类号:U435.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)03-0074-04

Ventilation Technology and Numerical Simulation for the Construction of Extra-long Expressway Tunnel Blind Heading without Track Transportation/LIU Sheng¹, ZHOU Fei^{2,3}, LI Peng-ju² (1. School of Science, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China; 2. School of Science, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an Shaanxi 710055, China; 3. Shaanxi Provincial Major Laboratory for Highway Bridge & Tunnel, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China)

Abstract: The ventilation layout and ventilation equipment of the longest expressway tunnel (Maijishan tunnel) construction with blind heading interiorly were introduced, the relevant parameters were calculated according to the standard methods, the verification of numerical simulation for the construction ventilation scheme was processed based on the finite element fluid dynamics software FLUENT. Some problems encountered during the ventilation process and the solutions were described to obtain a good tunnel ventilation effect and create a comfortable and efficient work environment.

Key words: blind heading; expressway tunnel; construction ventilation; ventilation effect

1 概述

隧道施工中通风方式的选择不仅对辅助坑道的设置有影响,还决定施工速度及工程费用,尤其是以无轨运输为主的机械化施工的长大隧道,通风方案的选择尤为重要。在无轨运输作业条件下,内燃机设备废气排放量大,污染源分散在隧道沿程,稀释比较困难,其施工通风技术难度远大于有轨运输作业。目前国内有轨运输钻爆法施工时独头通风最长达 7500 m, TBM 施工最长超过 10 km。但在无轨运输钻爆法施工条件下,国内已建隧道独头掘进通风最长为 3600 m,目前公路隧道独头通风超过 3000 m 的还没有^[1~6]。在国外,法国铁路新干线隧道采用压入式通风独头通风最长的为 3400 m。

麦积山隧道为一座上、下分离的四车道高速公路特长隧道,宝鸡端洞口位于天水市北道区东岔镇境内,穿越秦岭主脊,散岔端洞口位于甘肃省天水市北道区利桥乡境内。隧道左线全长 12286 m,右线全长 12290 m,是目前国内第二长高速公路隧道,洞

口位于平曲线上,曲线半径 $R=4000$ m,其余为直线段,隧道纵坡为 1.58%。隧道施工采用新奥法,本标段独头掘进隧道范围为右线 YK29+000~YK34+808,全长 5808 m,是目前世界上独头掘进最长的公路隧道。

2 施工通风方案

2.1 不利通风时段的组合

第一组合:掌子面开挖放炮时,第二台衬砌台车最远距掌子面距离为 270 m,衬砌混凝土初凝时间 110 min,混凝土罐车运输时间最长为 40 min,炮烟必须在 30 min 内通过第二台衬砌台车。第二台车工作人员按照 40 人计,洞内其他工作人员 20 人计,燃油设备按照 100 kW 计。

第二组合:隧道出渣和衬砌混凝土同时施工时需要的风量。

2.2 风量计算^[7]

2.2.1 第一组合通风量计算

收稿日期:2009-10-28; 修回日期:2010-01-02

基金项目:长安大学科技发展基金(06Q01),交通部行业联合科技攻关项目(项目编号:200235336127)

作者简介:刘生(1958-),男(汉族),辽宁辽阳人,长安大学讲师,工程制图、隧道设计专业,从事工程图学与隧道工程方面的教学与科研工作,陕西省西安市南二环中段长安大学理学院制图教研室,86128875@163.com。

(1) 每次爆破需用炸药量 g 计算

开挖断面(按照 S3 支护形式)面积为 80.13 m^2 , 每次开挖进尺最大 3.5 m 计, 根据钻爆设计, 单位用药量为 1.44 kg/m^3 , 则:

$$g = 80.13 \times 3.5 \times 1.44 = 404 \text{ kg}$$

(2) 通风时间 t 按照 30 min 计算;

(3) 通风区段长度 L 按照 $L = 270 \text{ m}$ 计;

(4) 人员 m 按 60 人计, 设备功率 w 按 100 kW 计, 每个人员和设备每千瓦需风量 q 按 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ 计;

(5) 通风断面 S3 开挖支护后净空 $80.13 - 2.3 - 1.03 = 76.8 \text{ m}^2$ 计。

2.2.1.1 爆破排烟用风量 Q_1 计算

$$\begin{aligned} Q_1 &= 7.8 \div t \times \sqrt[3]{g(7.68 \times 270)^2} \\ &= 7.8 \div 30 \times \sqrt[3]{404(7.68 \times 270)^2} \\ &= 1451 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

2.2.1.2 排烟区段内人员设备用风量计算

风量设备系数按 1.5 计。

$$\begin{aligned} Q_2 &= qmk + qwk \\ &= 3 \times 60 \times 1.5 + 100 \times 3 \times 1.5 \end{aligned}$$

$$= 720 \text{ m}^3/\text{min}$$

2.2.1.3 第一组合需风量 Q 计算

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1451 + 720 = 2171 \text{ m}^3/\text{min}$$

2.2.2 第二组合通风量计算

出渣设备在掌子面同时施工的机械按照 184 kW 装载机 2 台, 135 kW 红岩自卸车按照 2.5 台计; 施工人员比第一组增加风水管处理人员 15 个, 道路维护人员 4 个, 第一组台车定位 22 人, 合计按 101 人计。

$$\begin{aligned} Q &= \sum qmk \\ &= 184 \times 2 \times 3 + 135 \times 2.5 \times 3 + 101 \times 3 \\ &= 2617 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

通过计算, 第一组合单位用风量为 $2171 \text{ m}^3/\text{min}$, 第二组合单位用风量 $2617 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

2.3 通风方案

计划采用分段综合式通风方式供风, 具体布设见图 1~3。

2.3.1 第一阶段 2000 m 内通风量计算

$$Q_{\text{供}} = Q / (1 - \beta)^{L/100}$$

式中: β ——综合漏风率, 取 0.015 ; L ——最不利长

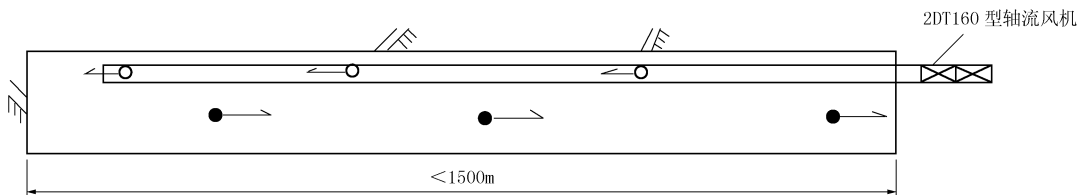


图 1 第一阶段通风布置示意图

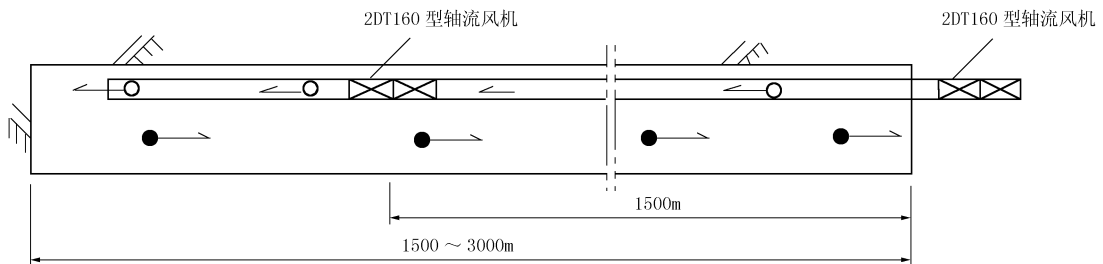


图 2 第二阶段通风布置示意图

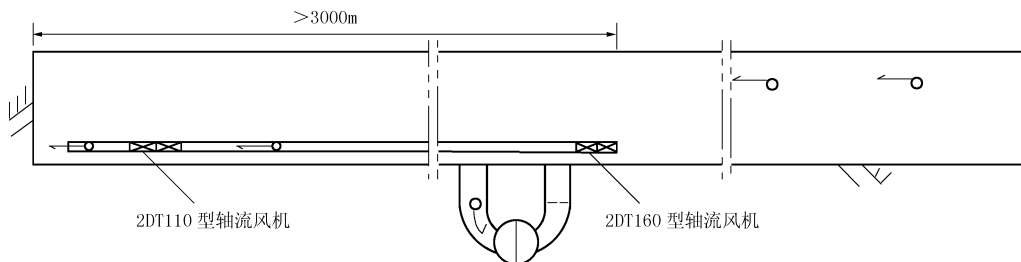


图 3 第三阶段通风布置示意图

度,2000 m, Q ——第一组合用风量,2171 m³/min。

$$Q_{\text{供}} = 2171 \div (1 - 0.015)^{2000/100} = 2937 \text{ m}^3/\text{min}$$

第一阶段通风设计满足第一用风组合的要求,同时满足第二用风组合的用风量要求。

2.3.2 第二阶段2000~3000 m段通风量计算

第二阶段采用抽排结合的方法综合通气,通风前应对前2000 m的风带进行部分更换,中间通风机将影响到1000 m的,将该段风管更换为铁皮通风管,铁皮通风管的100 m漏风率为0.01,考虑到第二组风机安装后,将产生区段的负压影响,风机前端200 m的漏风率按0计。

根据隧道内稀释原理计隧道通风时,可在第二台车算后增加一组风机,向外排风,达到施工区段内的对空气质量的规范要求。计划在进洞1500 m左右安装向外排风组,确保施工段的空气达标。

通风带按照风机进行配置,选用150 cm的软、钢丝和铁质通风带。

2.3.3 3000 m以后的通风设计

隧道施工到2770 m后,4号竖井可以进行排风工作,整个隧道按照竖井的安设分为两段。在4号竖井联络风道设置一台射流风机进行排风。

3 数值模拟验证

隧道内气体作低速流动,在许多部位都存在紊流流态(雷诺数 Re 的数量级一般为 10^6),可采用不可压缩均匀紊流对隧道通风进行数值模拟。数学模型为 $K-\varepsilon$ 双方程模型,其基本控制方程见文献[8]。可把它们写成如下的通用形式:

$$\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \rho_u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \rho_v \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \rho_w \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + S_\varphi \quad (1)$$

式中: $\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t}$ ——非稳态项,在不可压缩均匀流条件下

可略去不计; $\rho_u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \rho_v \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \rho_w \frac{\partial \varphi}{\partial z}$ ——对流项; $\frac{\partial \varphi}{\partial x}$

$\left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)$ ——扩散项;

S_φ ——源项。

对于稳态控制方程,可以用差分法离散,最终方程用矩阵表示为:

$$A_{ij}u_j = F_i \quad (2)$$

式中: A_{ij} ——对流项和扩散项离散后形成的刚度矩阵; u_j ——待求变量; F_i ——源项离散后的矩阵。

采用流体力学有限元 FLUENT 计算软件,其中

代数方程的求解为 TDM (Tri - Diagonal Matrix Algorithm) 法,计算模型见图4。对施工通风进行数值模拟验证通风方案,防止出现烟雾回流现象。

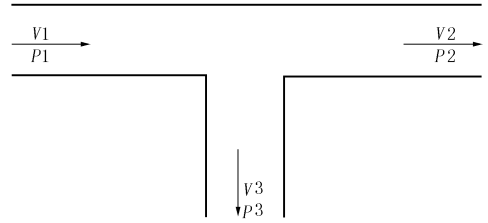


图4 计算模型平面示意图

各个方案下的速度分布云图见图5~7,由以上各阶段施工通风模拟所得云图可知,洞口方向流态较稳定,没有出现涡流区,不会发生烟雾回流,故施工通风设计所得成果满足实际工程需要。

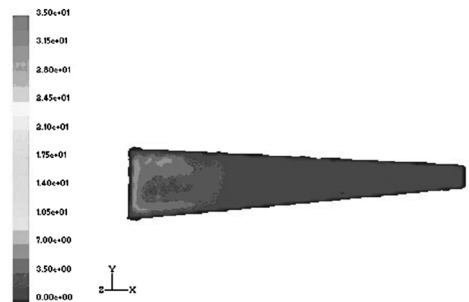


图5 第一阶段风速分布云图

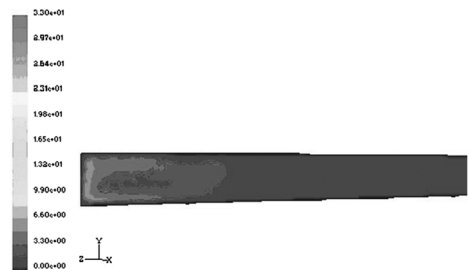


图6 第二阶段风速分布云图

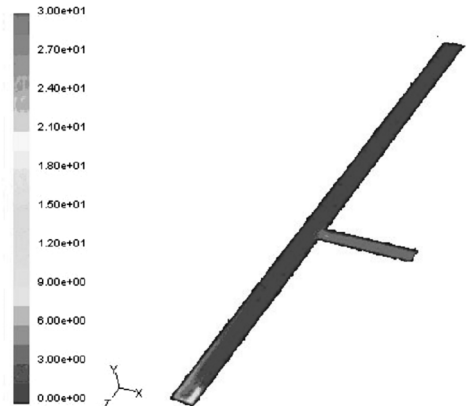


图7 第三阶段风速分布云图

4 实施效果验证

由于仿真模拟参数均采用规范要求或已有经验取值,两者存在一定差异,故应根据实测值来验证模拟施工通风效果。当隧道掘进 1800 m 时,施工作业环境中氧气体积含量为 23%,粉尘浓度为每立方米空气中含 2.1 mg,游离二氧化硅(SiO_2)的粉尘为 1.3 mg,有害气体一氧化碳(CO)浓度为 87 ppm。当隧道掘进 3600 m 时,施工作业环境中氧气体积含量为 21%,粉尘浓度每立方米空气中含 2.3 mg,游离二氧化硅(SiO_2)的粉尘为 1.5 mg,有害气体一氧化碳(CO)浓度为 96 ppm。测试表明各阶段隧道施工作业满足卫生标准^[7]。

5 结语

(1)隧道施工通风问题与施工的安全和效率有着直接的关系,所以,隧道施工(特别是特长隧道)首要解决的是通风设置的合理性和有效性,以创造良好的施工环境。

(2)通风方式的布置不但考虑通风效果,还要考虑能耗节约,尽可能做到低能耗高效率。对于长大隧道而言,轴流风机的应用不但解决了通风难和通风时间长的问题,还在一定程度上降低了能耗,基本达到了低能高效。

(3)合理通风方式的选择固然重要,通风的管理也是重中之重。一般情况下施工队伍都忽视对通风系统的有效管理,这对于一般小隧道施工而言其不良效果反映不明显,但对于长大隧道而言,其弊端就暴露得非常明显。所以,施工中要成立专门的通风管理小组,实施科学有效的通风管理。这不但涉及到对通风系统本身硬件的有效维护,还要做好交通引导,使各机械车辆按照预定的线路行走,避免造成风路紊乱,让通风系统充分发挥效用,这样才能取得良好的通风效果为施工创造舒适高效的工作环境。

参考文献:

- [1] 王毅才.隧道工程[M],北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 关宝树.隧道施工要点集[M].北京:人民教育出版社,2003.
- [3] 罗春如.干溪沟隧道通风技术[J].铁道建筑,2005,(7):55-56.
- [4] 胡天国.长距离小断面隧道独头掘进中的施工通风设计[J].铁道建筑,2002,(9):39-40.
- [5] 唐金仕.长大隧道独头掘进施工通风技术[J].山西建筑,2009,35(28):331-332.
- [6] 杨家松.隧道无轨运输独头掘进超9600 m 施工通风技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(10):66-70.
- [7] JTJ 026.1-1999,公路隧道通风照明设计规范[S].
- [8] 李玉柱,范明顺.流体力学[M].北京:高等教育出版社,1998.

2000 m 地质岩心钻探关键技术与装备钻探试验示范工程取得重大进展

本刊讯 2010年3月15日,应用中国地质科学院勘探技术研究所研制的全液压地质岩心钻机及NQ口径绳索取心钻具施工的山东省乳山金青顶金矿区ZK43-1钻孔深度顺利超过2000 m。这一钻进深度成为了目前国内全液压地质岩心钻机最大应用深度纪录,标志着国家“863”计划重点项目“2000 m 地质岩心钻探关键技术与装备”钻探试验示范工程取得重大进展。此前,ZK43-1钻孔曾使用该钻机和国产HQ口径绳索取心钻具钻进1461.90 m,随后下入了相同深度的 $\varnothing 91 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm}$ 技术套管,创造了国内HQ规格绳索取心钻进深度及岩心钻探套管应用深度的两项最深记录。

ZK43-1钻孔倾角 80° ,所遇地层坚硬破碎,漏失严重。钻孔施工由勘探技术研究所组织实施,山东省正元地质勘查院烟台分院承担施工任务。作为国土资源大调查地质调查工作项目和危机矿山接替资源深部找矿钻探示范工程,施工机台承接国家“863”计划重点项目“2000 m 地质岩心钻探关键技术与装备”的研究成果,使用了最新研制的YDX-5型全液压岩心钻机、高压泥浆泵、泥浆制备固控设备及高精度钻探参数监测系统,并采用了不对称梯形螺纹扣型的高强度绳索取心钻杆、大深度绳索取心液动锤、超高胎体二次镶焊金刚石钻头、新系列高强度套管、不提钻换钻头钻具等先进工艺器具。

YDX-5型岩心钻机是勘探技术研究所自主研发的新一代全液压深孔岩心钻机。该钻机在大通孔氮气弹簧卡盘、长行程给进机构、多挡无级调速动力头等核心部件和关键技术方面取得突破,具有钻进能力大、工艺适应性强、稳定性好、移动便利、使用维护方便等特

点。配套液压泥浆泵在使用孔底动力机具的高背压工况下实现连续稳定的运转。泥浆制备固控设备确保了钻孔冲洗液性能稳定,有效防止了绳索取心钻杆内壁结垢。钻探参数监测系统确保了钻孔施工安全,明显降低了钻孔事故率。高强度双密封不对称梯形扣绳索取心钻杆采用了新开发的XJY-850无缝合金钢管材,管材机械性能达到国外先进水平,几何精度明显提高,钻杆韧性好、强度高、耐磨性、密封性明显改善,螺纹副拧卸扭矩低。大深度绳索取心液动锤在高背压条件下稳定工作,提高了钻探效率,降低了钻孔弯曲强度。超高胎体二次镶焊金刚石钻头硬岩最长使用寿命超过110 m,大大减少了钻探辅助时间。新系列高强度套管明显降低了钻孔环空流体阻力损失,保证了深孔技术对策的顺利实施。

ZK43-1钻孔自2009年8月1日开钻以来,得到了上级部门和金洲矿业集团的大力支持。同时,北京探矿工程研究所、中国地质科学院探矿工艺研究所、中国地质大学(武汉)、吉林大学、中国地质装备总公司等多家单位提供了技术装备支持,试验示范工作进展顺利。至2010年3月14日,全孔平均钻进时效为1.64 m,岩心采取率为98.75%,钻孔质量优良。

在勘探技术研究所的精心组织下,ZK43-1钻孔将继续向2000 m以深钻进。现场工程技术人员将确保生产安全,尽最大努力满足深部地质找矿要求,创造新的地质岩心钻探记录,充分显示我国地质调查装备研发实力,促进岩心钻探技术水平不断提高。