

公路隧道送排风短道流场的数值分析及优化研究

石平^{1,2} 夏永旭¹

(1 长安大学公路学院, 西安, 710064) (2 湖北省交通规划设计院, 武汉, 430051)

摘要: 在竖井送排式通风时, 排风口和送风口之间可能产生短道流动, 这种短道流动会阻碍隧道内的空气交换^[1]。本文利用有限元方法对送排风短道流场进行三维数值分析, 研究表明: 采用竖井送排式纵向通风时, 短道内风流回流区总是存在的; 回流区的范围L随短道长度的增加而显著减小; 考虑到降低通风能耗和满足空气质量两方面的因素, 短道的长度一般取 65m~80m 适宜。

关键词: 公路隧道 短道 数值模拟 优化

Numerical Analysis and Optimization Research of Short Duct Flow Field of Outlet and Inlet in Highway Tunnel

SHI Ping^{1,2}, XIA Yong-xu¹

(1. Highway Institute, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

(2. Communication Planning and Design Institute of Hubei Province, Wuhan 430051, China)

Abstract: When the sending and exhausting shaft is ventilated, short duct flow can be occurred between outlet and inlet, which will baffle air exchange in highway tunnel. By applying finite-element method, the paper analyzed three-dimensionally the flow field of short duct, the result shows that the back flow in short duct exists always; the range L of back flow can be reduced obviously as the length of short duct is increased; considering reducing energy dissipation and satisfying air quality, the proper length of short duct should be 65 to 80 meters generally.

Keywords: Highway Tunnel, Short Duct, Numerical Simulation, Optimization

1. 引言

目前, 对于特长公路隧道, 多采用竖井或斜井加射流风机的分段纵向通风方式。而在通风方案设计中, 有关相邻竖井或斜井之间或单竖井送排风口之间的短道长度如何选取, 是大家一直比较关注的事情。现行的《公路隧道通风照明设计规范》(JTJ 026.1-1999) 规定“短道长度不得小于 50m”。然而这个 50m 是如何定出? 不小于 50m, 大到什么尺寸合适? 可否小于 50m? 短道的长度变化对隧道通风到底有什么样的影响? 本文将某分段纵向通风特长公路隧道为例, 运用 CFD 技术对短道内的流场进行数值模拟分析, 研究不同短道长度对通风效果的影响, 试图对短道的长度提出一个具体的量化范围, 为长大公路隧道的纵向通风设计和优化提供帮助。

2. 数值模拟计算模型

某公路隧道长度 5525m, 双洞单向交通, 通风设计方案左线上坡隧道采用双竖井三段通风, 右线下坡隧道采用单竖井两段纵向通风。为了研究竖井短道的通

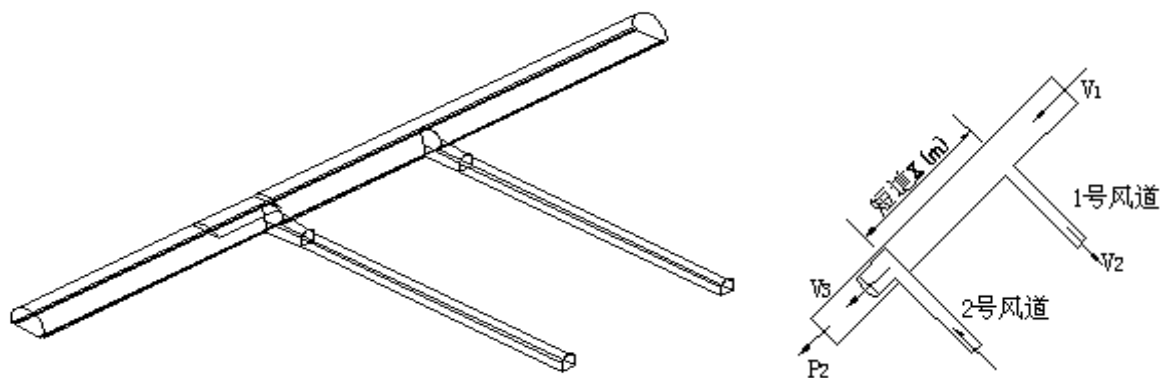


图 1 短道数值计算模型示意图

风效果，取图 1 所示模型，其中 V_1 、 V_3 为隧道风速， V_2 为排风道的风速； $X(m)$ 为短道长度，为一可变值。数值模拟的研究方案是，隧道及排风道的风速取实际值，短道长度从 10m 变化到 100m，考察回流区相对短道的影响范围(L/X)，其中 L 为短道内风流回流区纵向长度。由于该隧道是按照规范设计的标准两车道高速公路隧道，所以，模型计算边界条件可以取隧道的实际设计值。

3. 计算结果与分析

数值模拟计算的程序为国际通用的 FLUENT 程序，模拟的模型准则为紊流状态时的 $k-\epsilon$ 双参数模型。通过大量的有限元数值模拟计算，模拟计算的短道内回流区纵向长度及影响范围汇总于表 1，计算的回流区相对短道的影响范围变化曲线如图 2 所示，回流区速度云图如图 3~8 所示。

表 1 回流区纵向长度及影响范围模拟计算结果

项目		回流区纵向 长度 $L(m)$	影响范围 (L/X)	备注
组别	短道长度 $X(m)$			
1	10	8.5	85%	基本参数： $\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $T=20^\circ\text{C}$ 边界条件： $V_1=3.6\text{m/s}$ $V_2=7.48\text{m/s}$ $V_3=7.75\text{m/s}$ $P_2=0$
2	20	7.5	38%	
3	30	9.0	30%	
4	40	9.5	24%	
5	50	10	20%	
6	60	10.5	18%	
7	80	9.5	12%	
8	100	9.0	9%	



图 2 X-(X/L)变化曲线

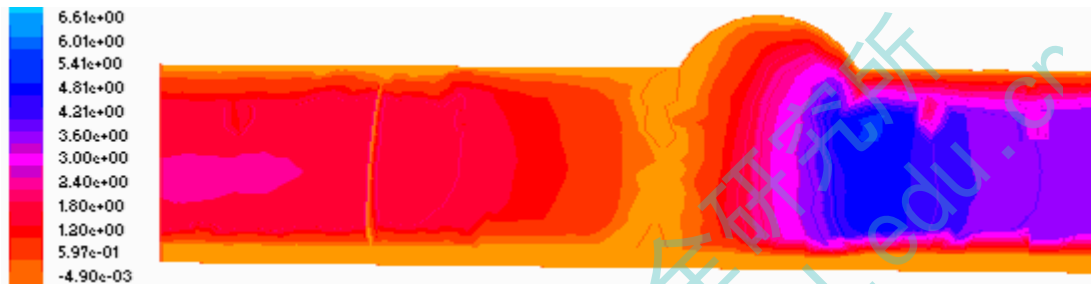


图 3 隧道轴向速度分布云图（短道长度 $X=10\text{m}$ ）

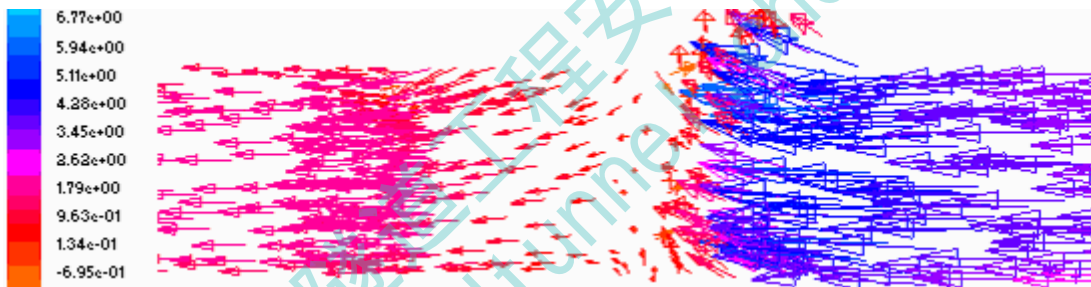


图 4 隧道轴向速度矢量图（短道长度 $X=10\text{m}$ ）



图 5 隧道轴向速度分布云图（短道长度 $X=30\text{m}$ ）

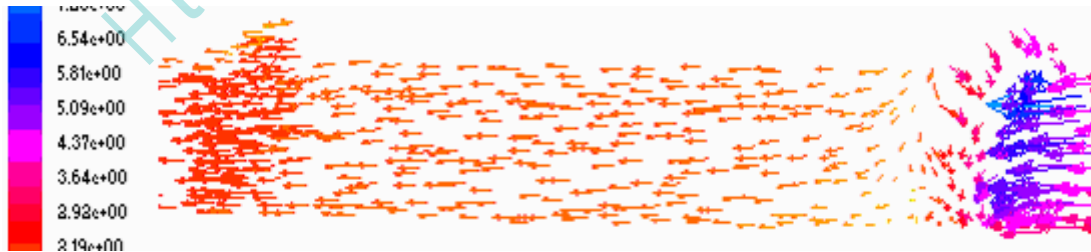


图 6 隧道轴向速度矢量图（短道长度 $X=30\text{m}$ ）



图 7 隧道轴向速度分布云图（短道长度 $X=60\text{m}$ ）

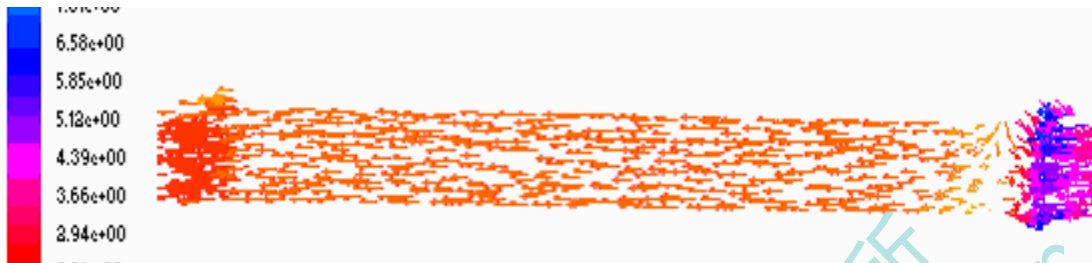


图 1-8 隧道轴向速度矢量图（短道长度 $X=60\text{m}$ ）

从数值模拟的结果可以看到：

- (1) 用竖井送排式纵向通风时，短道内风流回流区总是存在的；
- (2) 短道回流区位于排风道的一侧，主要是由于隧道内的气流从排风道的排风口排出时，排风口附近的出现低压或负压区，使得在排风口下游一部分气流沿隧道风流相反方向流入排风道；
- (3) 短道很短时，回流区较长，但回流区的范围 L 随短道长度的增加而显著减小。当短道长度在 10m 到 100m 范围内变化时，回流区纵向长度在 7.5m 到 10.5m 米内变化；
- (4) 短道回流区的存在，使得一部分通风能量浪费。为了减小短道回流区的范围，从理论上讲，设计时要尽量增大短道的长度，但短道长度越长，其间污染浓度较大，等效新鲜空气量较小，不利于空气交换^[1]。所以短道长度的确定必须考虑到降低通风能耗和满足空气质量两方面的因素。如果考虑到回流长度不大于整个短道长度的 18% ，则短道长度应不小于 60m 。所以建议短道的长度可在 $65\text{m}\sim 80\text{m}$ 之间选取。

4. 结束语

采用竖井送排式纵向通风时，短道内风流回流区是不可避免的。回流区的范围 L 随短道长度的增加而显著减小，整个回流区的影响范围随短道长度的变化不大。为了减小短道回流区通风能量的浪费，设计时要尽量增大短道的长度，但短道长度越长，其间污染浓度较大，等效新鲜空气量较小，不利于空气交换^[1]。所以短道长度的确定必须考虑到降低通风能耗和满足空气质量两方面的因素。建议竖井送排风短道的长度一般在 $65\text{m}\sim 80\text{m}$ 适宜。

参考文献

1. 中华人民共和国交通部，公路隧道通风照明设计规范（JTJ 026.1—1999），北京：人民交通出版社，2000
2. 中交第一公路勘察设计研究院，新原高速公路初步设计总说明，2001.6
3. 中交第一公路勘察设计研究院，雁门关隧道通风技术设计，2001.6
4. 石平，公路隧道通风局部效应三维数值模拟发现与研究，长安大学硕士学位论文，2004.5

石平，1977 生，男，汉族，湖北孝感人，原长安大学硕士研究生，现在湖北省交通规划设计院工作，主要从事公路隧道通风与结构设计。

长安大学隧道工程安全研究所
Http://roadtunnel.chd.edu.cn