

雁门关公路隧道联络风道局部损失数值模拟研究

石平¹ 夏永旭²

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

摘要: 公路隧道分段式纵向通风系统的风机房与竖井、竖井与主洞之间存在联络风道, 由于风道的弯曲、断面扩大与缩小、分叉以及合流等都会产生较大的局部压力损失, 本文运用有限元方法对雁门关公路隧道联络风道局部损失进行数值模拟分析, 研究表明: 缩压或扩压后的联络风道均宜采用方形截面。

关键词: 公路隧道; 联络风道; 有限元; 数值模拟

Numerical Simulation Research of Local Loss of the Consecution Duct of *Yan Men Guan* Highway Tunnel

Shi Ping¹ Xia Yongxu²

(1 Communications Planning and Design Institute of Hubei Province, Wuhan 430051)

(2 Highway Institute, Chang'an University, Xi'an 710064)

Abstract: For the segmented longitudinal ventilation system of highway tunnel, there are some consecution ducts between axial fan or tunnel and vertical shaft. A rather large local pressure losses are created in the bending ducts, expanded and reduced sections and diffluence and confluence ducts etc. The local loss of consecution ducts of *Yan Men Guan* highway tunnel is simulated numerically by the finite element method. The research shows the following results that the square cross sections are adopted for expanded and reduced consecution ducts.

Key words: Highway Tunnel; Consecution Duct; FEM; Numerical Simulation

1 引言

联络风道是隧道通风系统的组成部分之一, 风机房与竖井、竖井与主洞之间一般存在联络风道。联络风道的风压损失由沿程损失和局部损失(由于弯曲、断面扩大与缩小、分叉、合流等产生)两部分构成。但是如何准确选取联络风道局部损失系数, 一直是隧道通风设计人员所关心的问题。本文拟采用有限元数值模拟方法, 分别对缩压和扩压联络风道流场进行数值模拟, 研究不同几何形状时局部阻力系数变化规律, 提出联络风道结构形式优化建议, 为公路隧道通风设计提供参考。

2 雁门关公路隧道简介

雁门关公路隧道位于二河国道主干线山西境内的新广武~原平高速公路上, 双洞单向交通, 两洞轴线相距 40m。左洞长 5160m, 右洞长 5235m。左洞采用两竖井、两斜井加射流风机调压的组合通风方式, 右洞采用单竖井送排式加射流风机调压的组合通风方式。隧道通风系统平面布置见图 1 和 3, 安装风机的截面尺寸如图 2 所示。

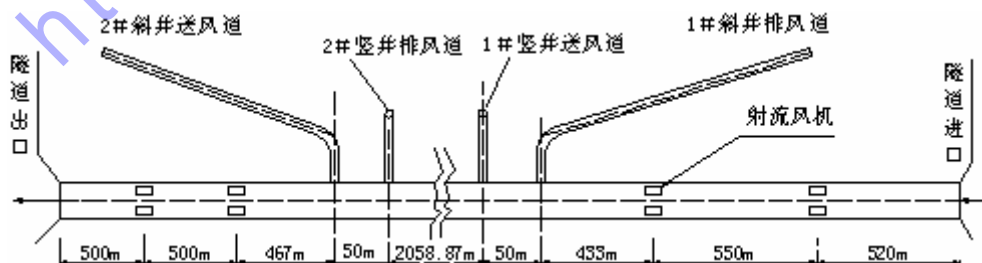


图 1 雁门关隧道左线通风系统平面示意图

Fig.1 Schematic showing the ventilation system of *Yan Men Guan* left tunnel

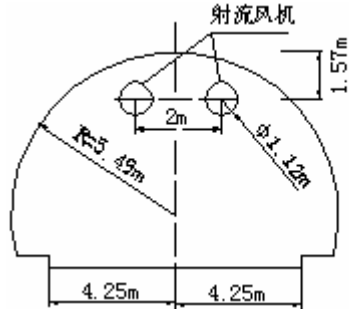


图2 风机横断面布置图
Fig.2 Arrangement plan of jet fan cross section

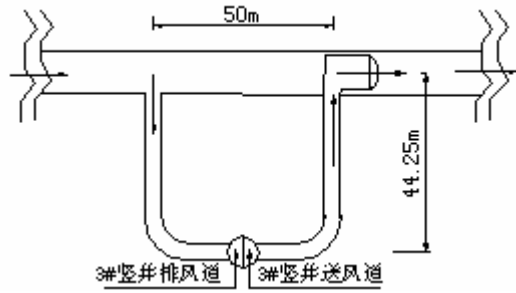


图3 雁门关隧道右线通风系统平面示意图
Fig.3 Schematic showing the ventilation system of Yan Men Guan right tunnel

3 几何模型

分别建立右线竖井与主洞的联络风道实体模型。排风联络风道模型如图4所示，送风联络风道如图5所示。左线2#竖井和2#斜井与主洞的联络风道，建立了如图6和图7所示的实体模型。选取的左、右线送、排风联络风道均为缩径形式的联络风道。右线风机房与竖井的联络风道结构模型如图8所示。

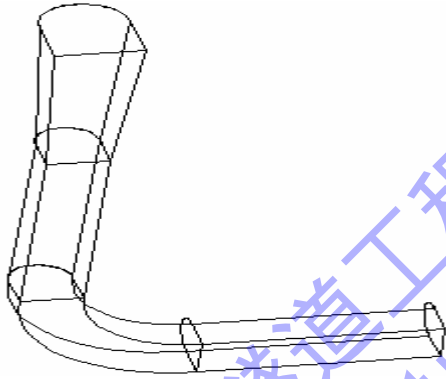


图4 右线竖井排风联络风道模型图
Fig.4 Model of consecution duct for exhaust duct of vertical shaft in right tunnel

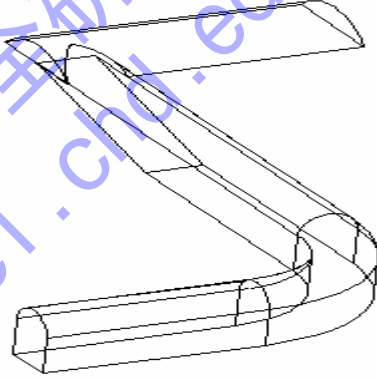


图5 右线竖井送风联络风道模型图
Fig.5 Model of consecution duct for delivery duct of vertical shaft in right tunnel

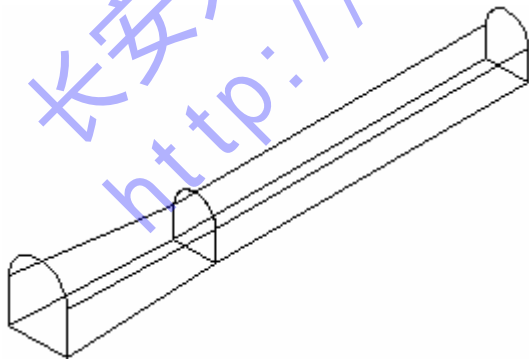


图6 左线2#竖井排风联络风道模型图
Fig.6 Model of consecution duct for exhaust duct of NO.2 vertical shaft in left tunnel

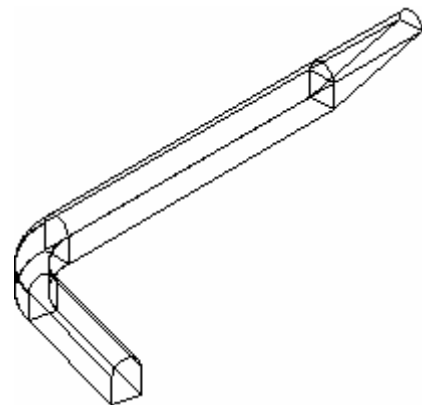


图7 左线2#斜井送风联络风道模型图
Fig.7 Model of consecution duct for delivery duct of NO.2 vertical shaft in right tunnel

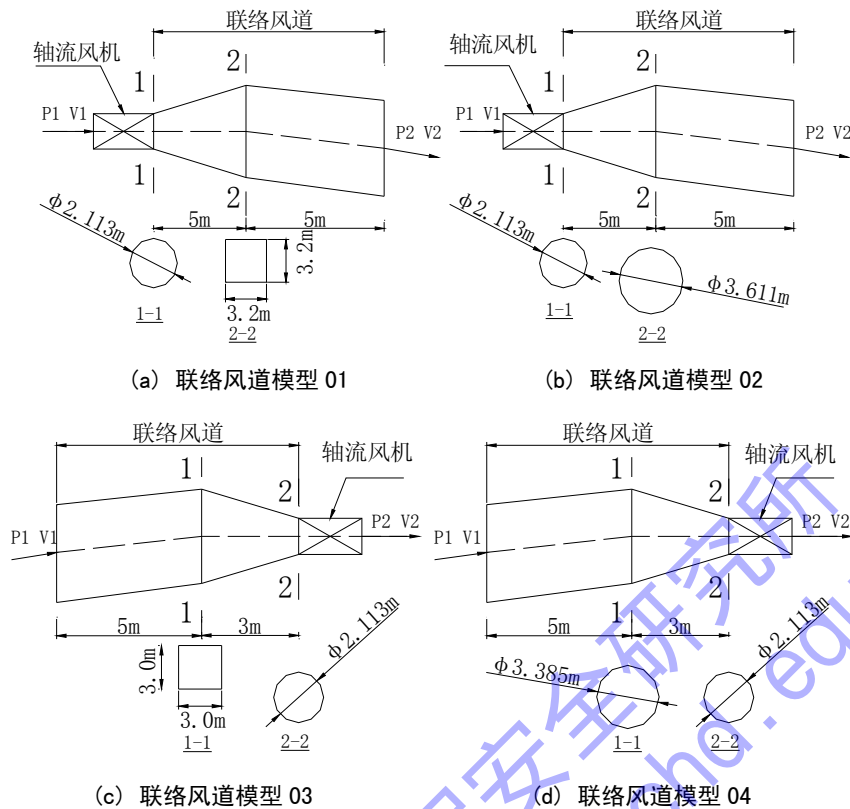


图 8 右线风机房与竖井的联络风道计算模型示意图

Fig. 8 Computing model schematic showing consecution duct for between axial fan rooms and vertical shaft in right tunnel

4 数值模拟参数

运用计算流体力学软件 FLUENT6.0 (利用 $K-\epsilon$ 双方程模型) 对雁门关隧道纵向通风条件下的联络风道局部损失进行数值模拟分析。数值模拟的物性参数和边界条件如表 1。

表 1 数值模拟的物性参数和边界条件

Table 1 Physical parameter and boundary condition of numerical simulation

隧道外界参 考压力 (Pa)	隧道内 平均温度	摩阻损 失系数	空气密度 (kg/m^3)	运动粘性系数 ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)
101325	20°C	0.020	1.205	1.8135e-5

5 分析与结论:

数值模拟得到的压力和速度矢量分布云图分别如图 9~16 所示。



图 9 右线竖井排风联络风道水平剖面总压力分布云图

Fig. 9 Pressure graph of consecution duct for exhaust duct of vertical shaft in right

tunnel

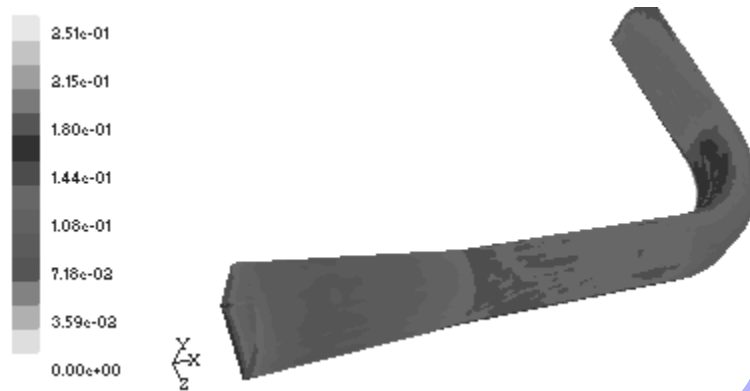


图 10 右线竖井排风联络风道壁面摩擦系数分布云图
Fig.10 Pressure graph for distributed loss coefficient of
consecution duct for exhaust duct of vertical shaft in right tunnel

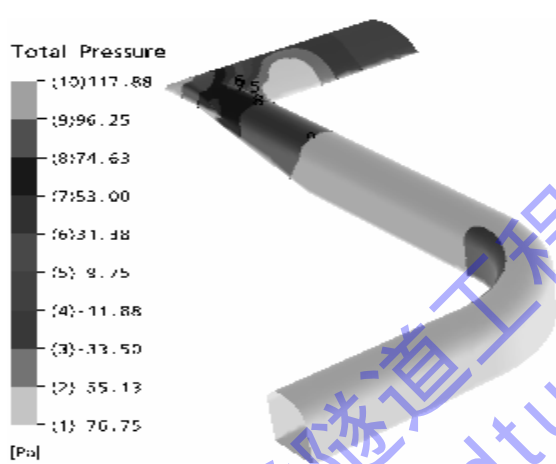


图 11 右线送风联络道壁面总压力云图
Fig.11 Pressure graph of consecution duct
for delivery duct in right tunnel



图 12 右线送风联络道壁面摩擦力云图
Fig.12 Pressure graph for distributed loss of
connecting tube for delivery duct in right tunnel



图 13 左线 2# 竖井排风联络风道铅垂面总压力分布云图
Fig.13 Pressure graph of consecution duct for exhaust duct of 2# vertical shaft in left tunnel



图 14 左线 2# 竖井排风联络风道铅垂面速度矢量图
Fig.14 Velocity vector graph of consecution duct for exhaust duct of 2# vertical shaft in left tunnel

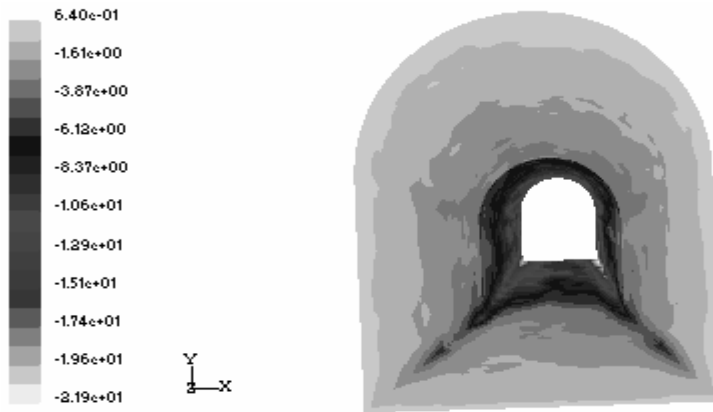


图 15 左线 2# 竖井排风联络风道壁面总压力分布透视图
Fig.15 Perspctive view for total pressure of consecution duct for exhaust duct of 2# vertical shaft in left tunnel

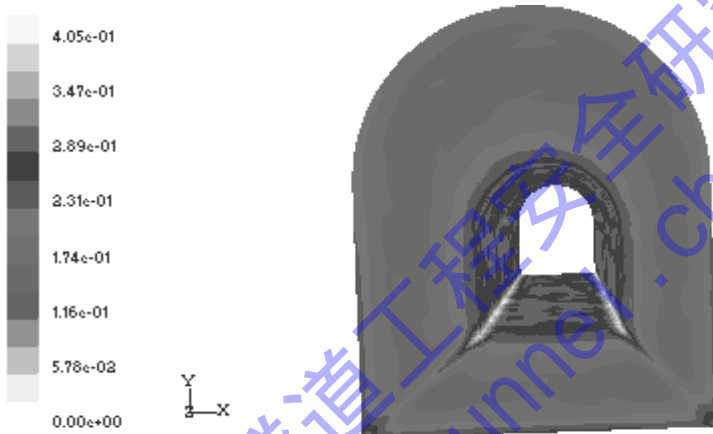


图 16 左线 2# 竖井排风联络风道壁面摩阻系数分布透视图
Fig.16 Perspctive view for distributed loss coefficient of consecution duct for exhaust duct of 2# vertical shaft in left tunnel

通过对数值模拟计算结果的分析，可以得到如下主要结论：

(1) 风速增大时压力损失相应增加，损失系数略有减小，且变化幅度极小。

(2) 联络风道的损失系数受风道本身的结构形式的影响很大，拐弯越多、缩径和扩径段越多，压力损失系数也越大，因此右线的联络风道损失系数都明显大于左线。右线排风道压力损失 ΔP_p (包括沿程损失)及损失系数 ζ_p 的模拟计算值分别为： $\Delta P_p=5.632\text{Pa}$ ； $\zeta_p=0.7197$ ；送风道压力损失 ΔP_s (包括沿程损失)及损失系数 ζ_s 的模拟计算值分别为： $\Delta P_s=64.7935\text{Pa}$ ； $\zeta_s=5.0825$ 。左线 2# 竖井联络风道压力损失 ΔP_p (包括沿程损失)及损失系数 ζ_p 的模拟计算值分别为： $\Delta P_p=6.385\text{Pa}$ ； $\zeta_p=0.3682$ ；送风道压力损失 ΔP_s (包括沿程损失)及损失系数 ζ_s 的模拟计算值分别为： $\Delta P_s=8.9743\text{Pa}$ ； $\zeta_s=0.2873$ 。

(3) 对扩压联络风道：扩压后的断面形式对损失系数影响较为显著，扩压后的风道由方形变为圆形时，损失系数明显增大。对缩压联络风道：缩压后的风道断面形式对损失系数的影响很小，采用等截面积方形和圆形断面计算的损失系数大小差别不大。

(4) 从联络风道壁面摩阻系数分布云图可以发现，摩阻损失系数的分布并不均匀，在风速大以及转弯处会相应增大。从壁面总压力分布云图可知：在圆顺弯曲风道处的压力损失较小；在急转以及突缩风道处，由于流场的急剧改变，会在附近某些区域出现低压或负压区，严重阻碍流场发展，压力损失都非常大。在风道弯曲、折曲、截面变化以及出入口处的壁面

摩阻系数较大,而且分布不均匀。如图 10、12 和 16 所示。

(5) 从速度矢量分布图可知,在直向、圆顺的风道段,流场基本上是均匀稳定的,而在急转以及突缩风道处的风速分布极不均匀,损失较大。

(6) 对于这两种形式的联络风道,采用渐变、缩小渐变前后面积差距、把渐变后的风道截面设计为方形以及在风道弯曲和折曲处设置导流叶片都能有效减小局部压力损失。

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) [S]. 北京:人民交通出版社, 2000. 6.
- [2] 夏永旭,王永东,赵峰. 秦岭终南山公路隧道通风方案探讨 [J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(5): 48~50.
- [3] 石平. 公路隧道通风局部效应三维数值模拟分析与研究 [D]. 硕士学位论文. 西安:长安大学, 2004.
- [4] 王永东,夏永旭. 公路隧道通风设计中若干问题的探讨 [J]. 公路, 2006, (02): 185~187.
- [5] 夏永旭. 我国长大公路隧道通风中的几个问题 [J]. 公路, 2003, 48(5): 146~149.