项目背景 Background

在建的秦岭终南山特长公路隧道北起长安县的青岔口南止柞水县的小峪口，是西康公路的控制工程。西康公路属于国家规划的“五纵七横”中的一纵。隧道穿越秦岭山脉主峰牛背梁，全长18.02km，双洞单向交通，最大埋深超过1700m，其建设规模居世界第一。

秦岭终南山特长公路隧道通风技术研究

The Research of Ventilation technology for Qinling extra-long highway tunnel

2006.10

长安大学 CHANG'AN UNIVERSITY

项目背景 Background

✦ 国内外的经验表明，长大公路隧道通风设备及土建费用一般为整个工程造价的30%～50%（隧道通风所需费用与隧道长度的三次方成正比增加），隧道通行后的运营费用将是一笔巨大的开支；

✦ 隧址所区部分处于国家级自然保护区内，对环保有严格要求；

✦ 通风方案的优劣对于工程节能、环保十分重要。

项目背景 Background

通风技术面临的主要问题: Principal problem of Ventilation technology

✦ 目前公路隧道汽车污染物基准排放量和各影响因素的值采用国外标准推荐值；

✦ 隧址区部分处于国家级自然保护区内；

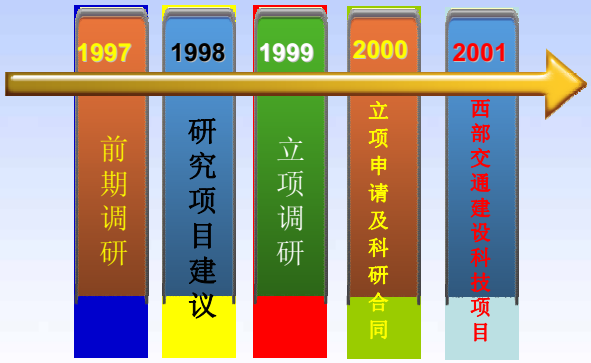
✦ 这么长的公路隧道，国内外可借鉴资料很少，通风方案的确定成关键和难点；

✦ 长大、深埋特性使得通风系统复杂，需要优化；

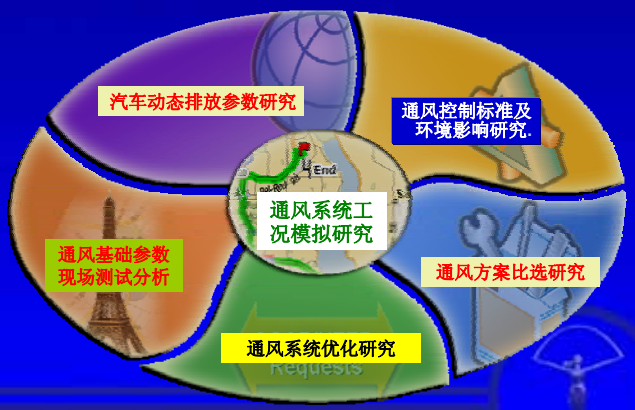
✦ 相邻铁路隧道对通风系统有无借鉴作用？

✦ 通风系统运营效果如何评价？

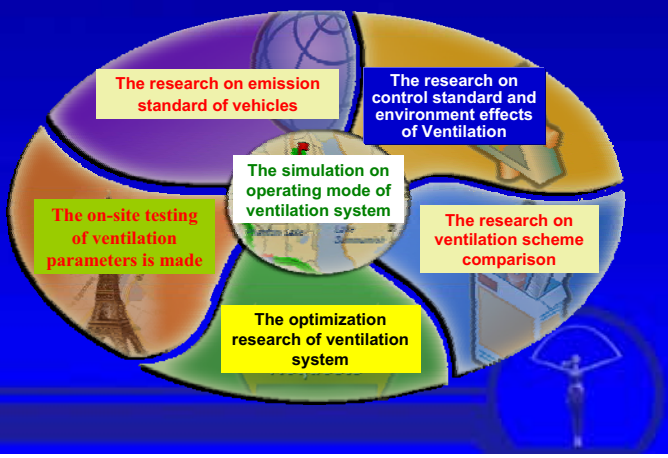
项目背景 Background



研究内容



Contents



研究内容 Contents

- ✦*汽车动态排放参数研究*
  - *The research on emission standard of vehicles*
- *汽车排放因子的试验研究*
  - *The testing on emission factors of vehicles*
- *海拔高度对汽车排放影响的试验研究*
  - *The experimental study on effects of elevation height on vehicles emission*
- *道路纵坡对汽车排放影响的试验研究*
  - *The experimental study on effects of road grade on vehicles emission*
- *技术进步因子的分析确定*
  - *The definition on factors of technological progress*

研究内容 Contents

- ✦通风控制标准及环境影响研究
  The research on control standard and environment effects of Ventilation
  - 污染物浓度控制标准
    The control standard of pollutants density
  - 隧道内纵向污染物浓度分布模拟
    The longitudinal distribution of pollutants density in the tunnel is simulated
  - 隧道竖井排风污染环境研究
    The environment effects of pollutants in shaft and openings are evaluated
  - 隧道出口局地污染物浓度场及环境影响
    The distributing and environment effects of pollutants density in openings

研究内容 Contents

- ✦通风方案比选研究
  The research on ventilation schemes comparison
  - 不同建设长度通风方案研究
    The research on ventilation schemes of different length
  - 其他通风方案研究
    The research on other ventilation schemes
  - 竖井分段纵向通风方案研究
    The research on shaft segment longitudinal ventilation scheme

研究内容 Contents

- ✦ 通风系统优化研究
  - 联络风道局部压力损失分析与结构优化
  - 隧道主体送排风口间短道流态分析
  - 射流风机升压效率计算分析
  - 紧急停车带几何形状计算分析
  - 隧道进出口段交叉流态分析
  - 竖井进出口区域交叉流态分析
  - 竖井底部中隔板高度优化试验
  - 竖井送排风口优化试验
  - 通风短道长度试验分析

Contents

- ✦ The optimization research of ventilation system
  - The analysis and optimization on local stress loss of ventilation section network
  - The short section flowmeter analysis on air in and air out ventilation of tunnel
  - The analysis on boosting efficiency of jet fan
  - The analysis on geometry shape of emergency parking place
  - The cross flowmeter analysis of tunnel portals
  - The cross flowmeter analysis of shaft portals
  - The optimization testing on diaphragm height of shaft bottom
  - The optimization testing on the shaft portals of air in and air out ventilation
  - The testing on length ofventilation short section

研究内容 Contents

- *通风基础参数现场测试分析*
  Filed test of basic data for tunnel ventilation
  - *喷射混凝土衬砌风阻系数测试*
    Filed test on Ventilation resistance factor of shotcrete lining
  - *隧道洞口端气候环境测试*
    Filed test on climate environment of tunnel portals
  - *隧道内气温现场测试*
    Filed test on air temperature in the tunnel
- *通风系统工况模拟研究*
  The simulation on operating mode of ventilation system

研究成果 Results

该项目针对秦岭终南山特长公路隧道建设的关键技术问题，通过大规模的室内模拟试验和现场试验，结合数值模拟计算，历时6年，主要在10个方面取得重要成果，这些成果不仅有力的支持了秦岭终南山特长公路隧道的建设，也对国内外特长公路隧道的决策和建设有着重要的引领作用和指导意义。

研究成果 Results-1

1．首次确定了我国在用汽车排放因子，对影响汽车排放各因素值进行了修正

1.The emission standard of vehicles in China is firmed and the values of factors which affect the vehicle emission are modified

研究成果 Results-1

汽车排放因子及其影响因素值的确定是计算隧道需风量的前提。国内目前通常借用国外规范推荐值，对于秦岭终南山公路隧道这样的高海拔地区的特长隧道显然不合适。本项研究通过现场实测我国在用车辆的汽车CO和烟雾排放量，并结合我国汽车工业规划和国内现状，确定了汽车CO和烟雾基准排放量。经过现场试验和调研比较等手段，修正了海拔高度、道路纵坡、交通流量及其相关因素和技术进步因子在需风量计算中的取值。

研究成果 Results-1

主要结论results:

（1）确定出隧道污染环境下柴油车动态烟雾基准排放量选取2.0；

（2）确定出隧道污染环境下汽油车动态CO基准排放量为0.007 m3/km.veh；

（3）确定出海拔高度对柴油车烟雾排放量、汽油车CO排放量的变化规律，并建立了计算模型；

（4）确定出不同车速下柴油车烟雾排放量、汽油车CO排放浓度随坡度变化的规律。

研究成果 Results-2

2．明确给出了特长公路隧道洞内卫生控制标准

2.The hygienic standard in extra-long tunnel is established

研究成果 Results-2

隧道洞内卫生控制标准是计算隧道需风量的重要依据。对于秦岭终南山这类特长的公路隧道，国内外可供参考值的很少，研究针对秦岭终南山公路隧道环境参数计算出CO浓度控制标准和常用辅助设施环境CO控制浓度限值及烟雾控制浓度标准。

研究成果 Results-2

污染物浓度控制标准

The control standard of pollutants density

推荐的隧道正常营运不同车速CO浓度控制标准

the control standard of CO density

营运条件	通过车速（km/h）	40	45	50	55	60	70	80	90
	经历时间（min）	27.03	24.03	21.62	19.66	18.02	15.45	13.51	12.01
	允许CO浓度（ppm）	69	77	84	93	101	117	133	150
阻塞情况（极端）	通过车速（km/h）	10 (JTJ026.1-1999)				17-18（日本）			
	经历时间（min）	108.024				61.728			
	允许CO浓度（ppm）	20ppm				32ppm			

研究成果 Results-2

竖井排风污染物允许排放量及浓度排放限值

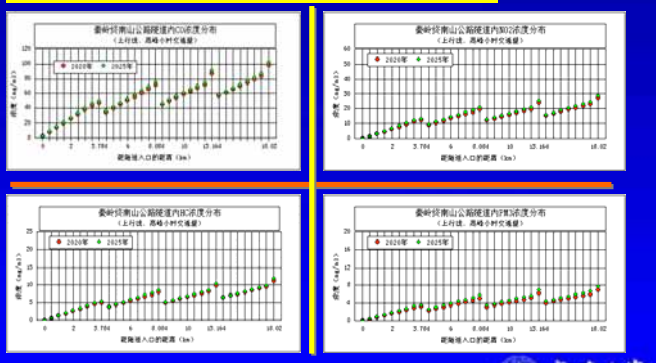
permissible concentration limit for pollutants of shaft

污染物	最高允许排放浓度（mg/m³）	排气筒高度（m）	最高允许排放速率（kg/h）	
			一级	二级
非甲烷碳氢化合物	150	15	6.3	12
		20	10	20
		30	35	63
		40	61	120
氮氧化物	420	15	0.47	0.91
		20	0.77	1.5
		30	2.6	5.1
		40	4.6	8.9
		50	7.0	14
		60	9.9	19
颗粒物	150	15	2.1	4.1
		20	3.5	6.9
		30	14	27
		40	20	46
		50	36	70
		60	51	100

研究成果 Results-2

隧道内纵向污染物浓度分布模拟

The longitudinal distribution of pollutants density in the tunnel is simulated



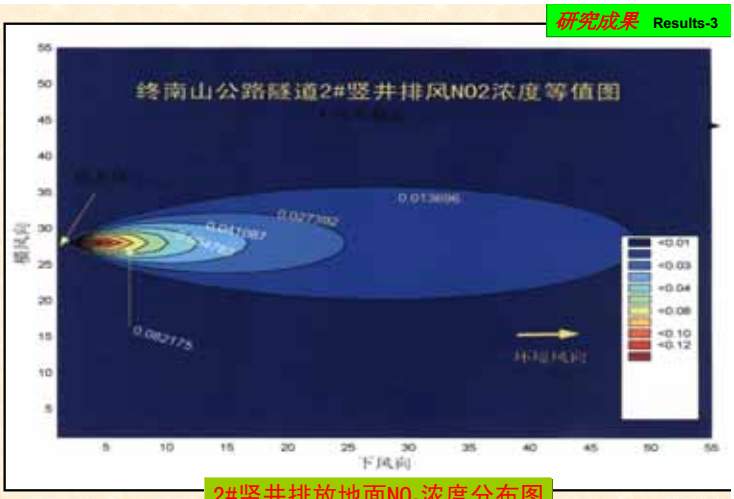
研究成果 Results-3

3．建立了隧道内污染物浓度分布模型，对竖井和洞口排风污染环境影响进行了评估

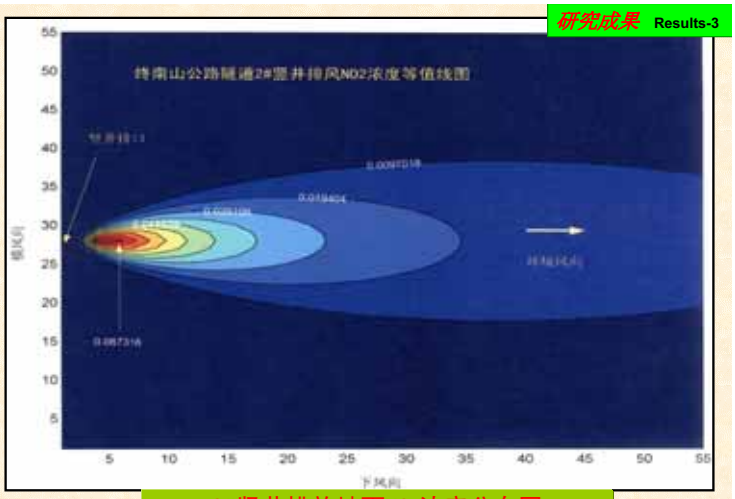
3.The concentration distribution of pollutants in the tunnel is simulated and the environment effects of pollutants in shaft and openings are evaluated

研究成果 Results-3

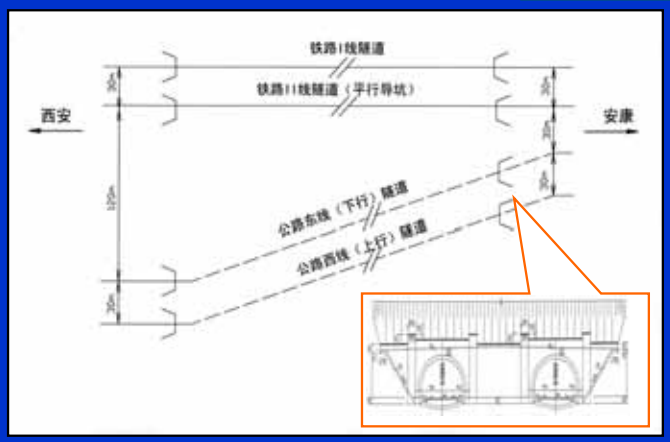
根据交通量、车型分类与排放因子，计算出各特征年高峰小时交通量时，隧道内污染物的排放强度，以此为基础，分别计算出各年限隧道内污染物浓度分布。由于秦岭终南山隧道2＃竖井所处地区为国家级自然保护区，执行一级标准，故而评估竖井排风污染对环境的影响，并提出竖井设计建议。同时还开展了洞口段局地污染物环境影响模拟，评估洞口污染物对周围环境和通风的影响。



2#竖井排放地面NO_2浓度分布图
（不稳定大气条件）
Distributing of NO_2 density



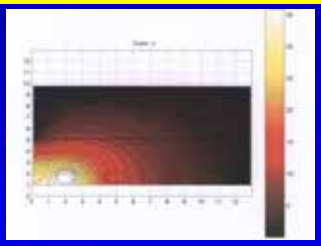
2#竖井排放地面NO_2浓度分布图
（不稳定大气条件，增加排气抬升20m）
Distributing of NO_2 density



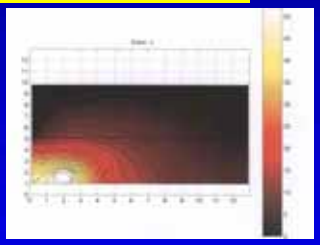
终南山公路隧道与铁路隧道洞口位置示意图
tunnel portals location of highway and railway

隧道出口局地污染物浓度场及环境影响

The distributing and environment effects of pollutants density in openings are evaluated



环境大气为不稳定时
隧道南口洞外CO浓度分布



环境大气为中性条件下
隧道南洞口外CO浓度分布

- 公路隧道排污对60m外的铁路隧道环境空气质量影响较小。
- 在两隧道口之间采用阻隔的方法可有效减缓西线与东线洞口两地之间尾气污染影响（污染的回流）。

主要结论 results

- 2#竖井排污造成地面NO_2高浓度的影响范围较小，浓度大于0.12 mg/m³的范围约为0.009 km²。
- 1#和3#竖井排放CO、NO_2和PM_3产生的浓度可以达到二级标准。2#竖井排放的CO浓度可达到一级标准，而NO_2和PM_3 浓度出现一定范围的超标。
- 提高2#竖井抬升高度，可减小地面污染物浓度；
- 竖井口设计应充分考虑不消弱出口向上的射流，井口防雨设施不宜采用百叶箱或顶盖类等。

4．首次构建了公路隧道复杂通风网络技术理论并研制出仿真计算软件

4.The complicated ventilation network technology of highway tunnel is established and calculating program is work out;

当时面临的主要困难Principal problem

- 公路隧道多竖井复杂通风系统（两竖井、三竖井、四竖井）
- 公路上下行隧道通风利用方案
- 运营通风与火灾通风的耦合问题
- 小竖井无动力通风方案
- 列车活塞风利用方案
- 利用铁路平导送风方案

针对秦岭终南山公路隧道多竖井复杂通风特性，引入通风网络理论，建立了各通风动力（交通通风力、风机风压、自然风压和火风压）计算模型，在此基础上研编了公路隧道复杂通风网络仿真程序，可用于公路隧道复杂通风系统的风网自然分风计算、多方案比选研究，模拟通风状况，预测通风效果等。

通风网络是由表示通风系统内各风流路线及其分合关系的网状线路图和其赋权通风参数两部分组成。隧道通风网络图是反映隧道中各风流分合关系的网络状示意图，是有向赋权连通图。隧道通风网络图是用图论的概念和方法来表示通风系统、并籍以利用图论的理论与方法来分析复杂通风系统，采用计算机解算通风网络和保证按需分风的风流调节等问题。

隧道通风网络遵循的基本规律

Basic principle which is followed by *ventilation network*

（1）风量平衡定律

假定空气密度不变、无漏风、忽略空气中水蒸气的变化，则风网内任意节点（或回路）相关分支的风量代数和为零；

（2）风压平衡定律

风网的任何闭合回路内，各分支风压代数和为零。分支风压包含通风阻力和通风动力两部分；

（3）阻力定律

隧道风路中正常风流一般均为紊流。各分支的风压和风量均符合紊流阻力定律。

计算模型

calculation model

隧道通风网络分析基本模型

(1)隧管通风阻力模型

(2)轴流风机风压风量曲线模型

(3)交通风压模型

(4)射流风机升压力模型

隧道通风网络数值模型建立

1. 送排风口压力模型

(1) 送风口正向压力模型

(2) 送风口反方向压力模型

(3) 排风口正向压力模型

(4) 排风口反方向压力模型

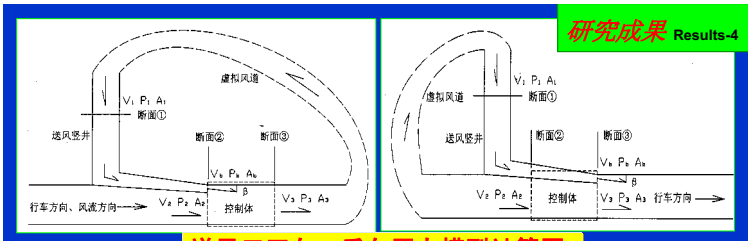
2．自然风压模型

(1) 超静压差模型

(2) 热位差模型

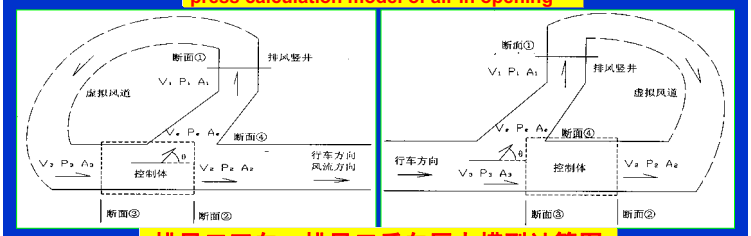
(3) 隧道总自然风压模型

研究成果 Results-4



送风口正向、反向压力模型计算图

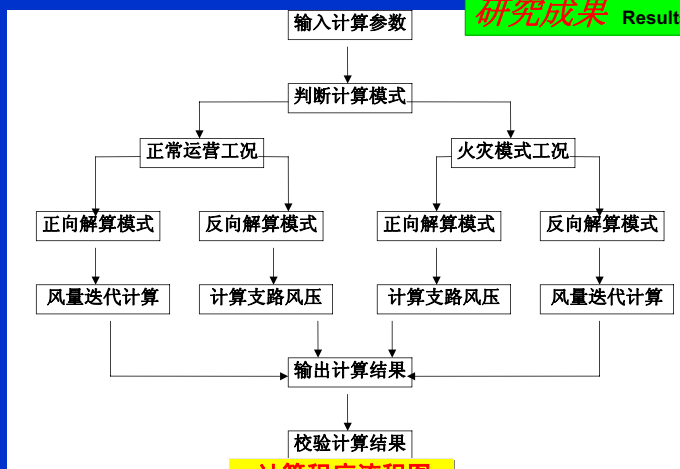
press calculation model of air in opening



排风口正向、排风口反向压力模型计算图

press calculation model of air out opening

研究成果 Results-4



计算程序流程图

technological of program

研究成果 Results-4

公路隧道通风网络计算程序主界面

interface of program

研究成果 Results-4

复杂公路隧道通风网络仿真分析应用程序包括三大功能：

- 实现运营通风网络分风解算（正向分析）
- 运营通风网络风机配置解算（反向分析）
- 火灾工况模拟计算

研究成果 Results-5

5．建成了适应特长公路隧道的通风物理模型试验系统

5.The advanced physical model experiment system is established

研究成果 Results-5

根据相似性理论，选择雷诺数相似为隧道通风物理模型相似准则，对雷诺数相似条件下自模区理论进行理论推导和试验验证，在此基础上对隧道通风物理模型进行设计、选材和安装，并成功解决了物理模型设计中的相关技术问题，提出了等效模拟法中等效阻力隔栅计算公式，建立一套适合特长公路隧道的通风物理模型试验系统。通过对该系统基本性能的测试试验，证明了该系统的稳定性和可靠性。该平台用于公路隧道通风方案比选和通风系统局部优化研究。

隧道通风物理模型试验理论条件

The theory condition about physical model experiment of ventilation

研究成果 Results-5

1．流动相似性原理

（1）几何相似

（2）运动相似

（3）动力相似

2．隧道通风基本假定

（1）流体不可压缩

（2）流体为等温流动

（3）流体流动为稳定流

（4）流体为连续介质

（5）流体流动遵守能量守恒定律

选取相似性准则

The selection of similitude rule

研究成果 Results-5

几何相似是运动相似和动力相似的前提和依据，动力相似是决定两流动相似的主导因素，运动相似是几何相似和动力相似的表现。因此，在几何相似前提下，要保证流动相似，主要看动力相似。

公路隧道通风可以理想化为粘性不变的不可压缩流体在重力场中的有压管流运动。两个流动系统的动力相似条件可由无量纲形式的纳维－斯托克斯（Navier-Stokes）方程导出。即要使两个几何相似的封闭系统中不可压缩流体动力相似，仅需该两个系统的雷诺数相同。

确定自模区
The definition of self-simulate area

研究成果 Results-5

雷诺数大于第二临界值时，流体流动时的流速分布、流动状态不再发生变化，与雷诺数无关，即第二自模区。但雷诺准数达到多少才能进入第二自模区，只有通过试验才能得知，这给模型设计带来困难。

确定第二自模区的试验过程

（1）确定所研究的区域；

（2）在此区域内测定流体速度、压降、选定当量直径、流体参数等；

（3）计算一组雷诺数和欧拉数，描绘成曲线；

（4）当雷诺数和欧拉数无关时，该雷诺数即为第二临界值。

隧道通风物理模型试验系统
physical model experiment system of ventilation

研究成果 Results-5

设计制作两套试验模型：

（1）1:24模型：该模型全长107.10m，分160节，每节长70cm，另配套3组送风竖井通道和3组排风竖井通道，配备8台离心风机提供通风动力。可根据需要自由组合，完成4竖井、3竖井、2竖井、单竖井送排式通风、竖井集中送（排）风及整体方案的验证优化。

（2）1:8模型：该模型全长50m，分52节，每节长100cm，另配套1组送、排风竖井通道。配备2台大功率轴流风机及变频器，通过变频器提供可连续变化的通风动力。该模型可完成大比尺条件下不同工况的通风局部优化模拟。

研究成果 Results-5

隧道通风模型整体布置图（1：24）
whole distributing of physical model

隧道通风局部模型图（1：8）
part distributing of physical model

数据采集系统
Data acquisition system

研究成果 Results-5

试验数采监控系统是以工业化自控软件组态王KingView为基础设计开发的，压力测量采用毕托管，可分别测量全压、动压和静压。

阻力隔栅设计
The dissepiment resistence design

研究成果 Results-5

隧道原型竖井送排式通风分段试验研究中，模型（1：24）高0.317m，底宽0.455m，全长则需750.8m。室内模型试验中长度取750.8m几乎不可能实现。一则试验中风门开度、测点位置等的调整将需大量时间，二则压电转换器的上传信号是弱电信号，如此长距传输将降低试验数据精度。针对秦岭终南山公路隧道通风整体模型试验，在通风模型的稳定流段安装阻力隔栅，即可获得相应长度的等效阻力。当需要获得的隧道模型长度较大时，可采用多组阻力隔栅串联，但隔栅间距不宜过小，试验中取隔栅间距为1.4m。测点设置距阻力隔栅3.15m远，确定隧道模型长度为107.1m。

隧道通风物理模型基本性能试验
The basic fuction experiment of ventilation physical model

研究成果 Results-5

1.动力系统试验
（1）风机性能试验
（2）变频器性能试验
（3）风机开启顺序试验
2.测试系统试验
（1）毕托管性能试验
（2）压电转换器性能试验
（3）数据采集系统试验
3.模型摩阻损失系数试验
4.模型断面风速试验

长安大学 CHANG'AN UNIVERSITY

研究成果 Results-6

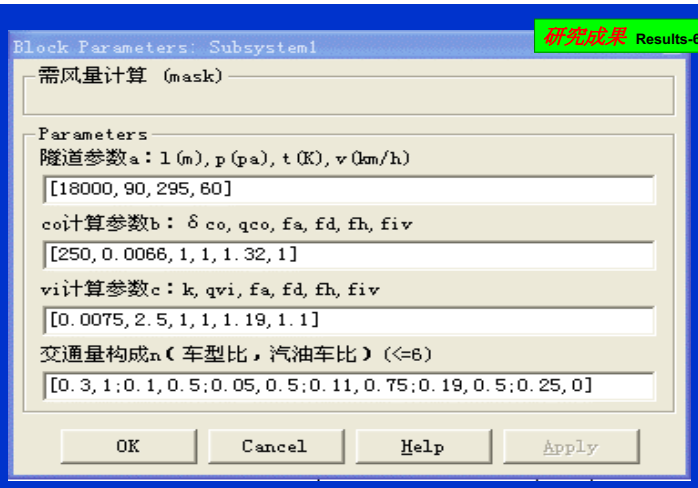
6．开发出基于Matlab语言的公路隧道纵向通风设计计算平台

6.The program based is work out with matlab，which is fit for one dimension longitudinal ventilation

长安大学 CHANG'AN UNIVERSITY

研究成果 Results-6

传统的纵向通风计算理论公式计算繁杂，鉴于此，开发了基于Matlab语言的公路隧道结构化纵向通风计算软件，该软件针对性强，将纵向通风问题集成一身，前后处理方便，界面友好，可实现不同通风分段方式的自由组合计算。



基于matlab语言一维纵向通风计算程序

program based is work out with matlab

研究成果 Results-6

程序的主要功能有：

- 根据交通量的分布特征，计算隧道需风量的分布特征；
- 隧道近、远期的通风计算和风机功率配置；
- 计算隧道运营期间射流风机随交通量的变化而需开启的台数，推算运营期间风机开、停管理和隧道通风用电量预测；
- 计算隧道多竖井送排式各段的轴流风机、射流风机所需功率曲线，完成轴流风机、射流风机等的通风系统配置。

7．深入开展了秦岭终南山公路隧道通风方案比选研究

7.The ventilation scheme comparison of Qinling Extra-long highway tunnel is made

研究成果 Results-7

针对竖井送排式通风方案、小竖井无动力通风方案、列车活塞风利用方案和利用铁路平导送风方案等进行了大量比选研究，推荐使用三竖井送排式通风方案。特别对两竖井和三竖井送排式通风方案，通过物理模型试验系统和数值仿真平台进行了方案验证。

研究成果 Results-7

不同建设方案通风技术比选研究
The research on ventilation schemes of different length

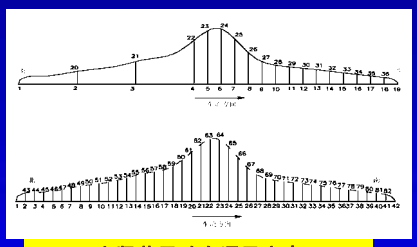
AK方案（18020m）
- 两竖井分段纵向通风
- 三竖井分段纵向通风
- 三竖井全横向通风方案

A1K方案（11145m)
- 两竖井分段纵向通风
- 两竖井半横向通风
- 两竖井全横向通风方案

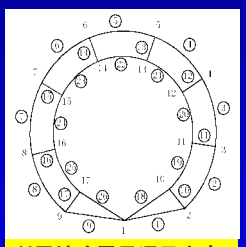
A2K方案（13175m）
- 两竖井分段纵向通风
- 两竖井半横向通风
- 两竖井全横向通风方案

研究成果 Results-7

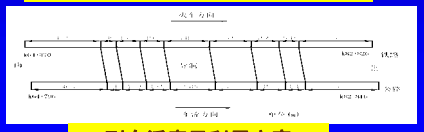
其他通风方案适应性研究
The research on other ventilation schemes



小竖井无动力通风方案
without physics poewr of small shaft



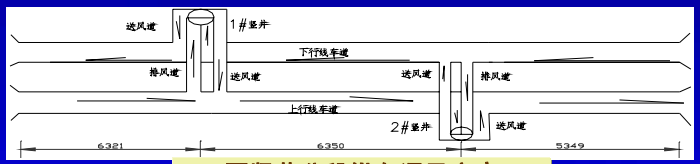
利用铁路平导通风方案
Level ventilation scheme



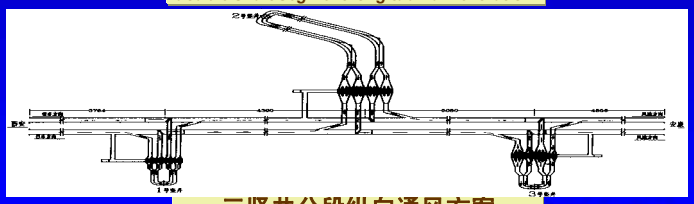
列车活塞风利用方案
use the piston wind of train

研究成果 Results-7

两竖井和三竖井分段纵向通风方案研究
The research on shaft segment longitudinal ventilation scheme



两竖井分段纵向通风方案
double shaft segment longitudinal ventilation



三竖井分段纵向通风方案
three shaft segment longitudinal ventilation

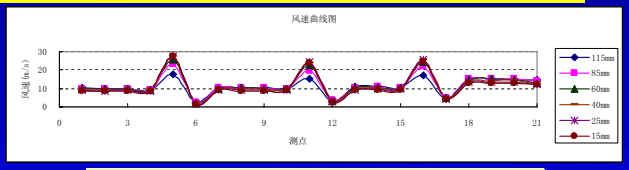
研究成果 Results-7

研究手段 research method

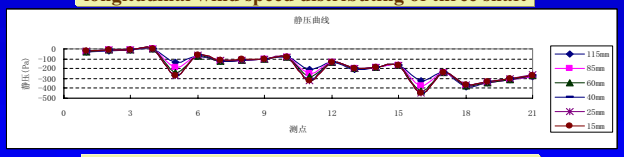
1. 物理模型（1：24）试验模拟
2. 数值仿真分析

基于计算流体力学软件CFDesign，其功能与特征：
- 二维平面、轴对称和三维空间流体问题
- 可压缩和不可压缩流体的计算问题
- 稳定状态和短暂状态流体运动问题
- 紊流和层流问题
- 可以采用笛卡尔坐标和圆柱坐标
- 牛顿流和非牛顿流的分析
- 外部流体和内部流体

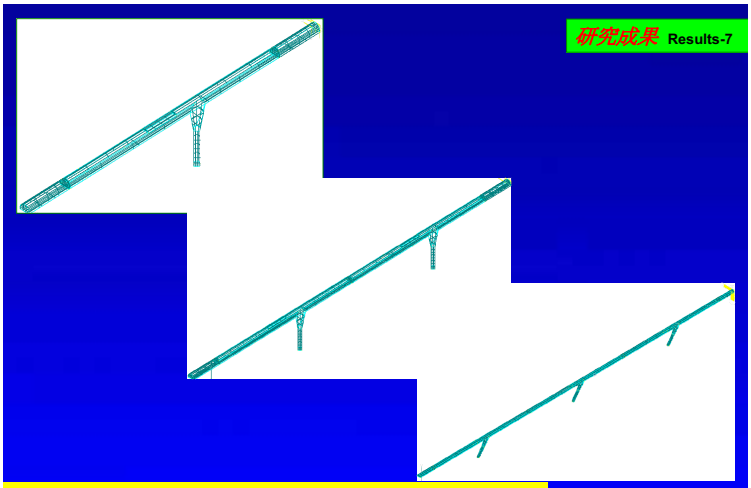
竖井分段纵向通风方案物理模型试验
The physical model experiment of shaft segment longitudinal ventilation



距拱顶不同距离时三竖井隧道纵向风速分布图
longitudinal wind speed distributing of three shaft



距拱顶不同距离时三竖井隧道纵向静压分布图
longitudinal static press distributing of three shaft



竖井分段纵向通风方案数值仿真
The numerical simulation of shaft segment longitudinal ventilation

关键要素～确定需风量
Key point ～definition of desired wind

（1）交通构成（汽柴比）
（2）汽车CO、 VI基准排放量
（3）设计浓度限值（卫生控制标准）
（4）设计车速工况

上行线（西线）各年限需风量表
desired wind of every year on up line

设计年限	2010	2015	2020	2025
总需风量（m^3）及控制因素	295.07 稀释VI需风量 车速60km/h	499.75 稀释VI需风量 车速60km/h	722.56 稀释VI需风量 车速60km/h	975.04 稀释VI需风量 车速60km/h

下行线（东线）各年限需风量表
desired wind of every year on down line

设计年限	2010	2015	2020	2025
总需风量（m^3）及控制因素	252.43 稀释CO需风量 车速30km/h	378.99 稀释CO需风量 车速30km/h	539.19 稀释CO需风量 车速30km/h	715.76 稀释CO需风量 车速30km/h

研究成果 Results-7

两竖井方案隧道上、下行线所需风机功率及布置表远期（2025年）

desired fan power of double shaft *scheme*

		射流风机			轴流风机			
					1#竖井		2#竖井	
		西安~1#	1#~2#	2#~安康	排风	送风	排风	送风
上行线	功率（kw/台）	22	22	22	540	830	700	600
	台数	50	50	14	3	3	3	2
	功率小计（kw）	2508			7410			
		9918						
下行线	功率（kw/台）	22	22	22	520	640	590	600
	台数	28	26	22	3	2	1	3
	功率小计（kw）	1672			5230			
		6902						
总计（kw）		16820						

研究成果 Results-7

三竖井方案隧道上、下行线所需风机功率及布置表远期（2025年）

desired fan power of three shaft *scheme*

		射流风机				轴流风机					
						1#竖井		2#竖井		3#竖井	
		西安~1#	1#~2#	2#~3#	3#~安康	排风	送风	排风	送风	排风	送风
上行线	功率（kw/台）	22	22	22	22	260	400	510	830	440	410
	台数	6	6	18	6	1	2	2	2	2	2
	功率小计（kw）	792				5440					
		6232									
下行线	功率（kw/台）	22	22	22	22	590	570	530	520	610	800
	台数	2	2	6	14	1	1	2	2	1	1
	功率小计（kw）	440				4670					
		5198									
总计（kw）		11430									

研究成果 Results-8

8．系统进行了秦岭终南山特长公路隧道通风系统优化研究

8.The optimization research of ventilation system is made

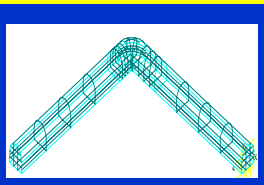
研究成果 Results-8

为进一步指导通风设计，利用数值仿真平台对通风系统局部进行仿真分析，主要分析了联络风道局部压力损失、隧道主体送排风口间短道流态、射流风机升压效率、紧急停车带几何形状、隧道进出口段交叉流态和竖井进出口区域交叉流态等的模拟分析，与之相验证和补充，在物理模型试验系统上也进行了竖井底部中隔板高度优化试验、竖井送排风口优化试验和通风短道长度试验等，提出了结构优化建议，有力支持了秦岭终南山公路隧道通风系统设计，降低了工程造价，减少了运营费用。

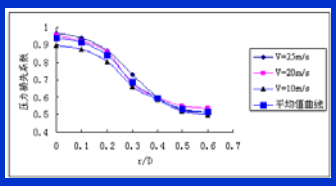
联络风道局部压力损失分析与结构优化

The analysis and optimization on local stress loss of ventilation section network

竖井联络风道90°拐弯处结构形式优化



在送排联络风道拐弯处必须设置导流板以减少压力损失。在给定的联络风道形式的基础上，建议r/D（联络风道设置的内半径/风道断面当量直径）应尽量取较大的值。

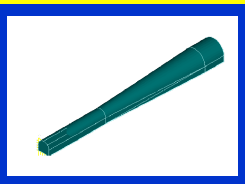


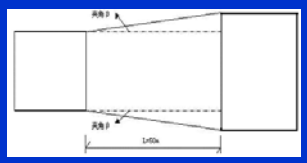
（r/D为风道内壁半径/风道当量直径）

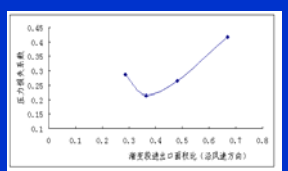
联络风道局部压力损失分析与结构优化

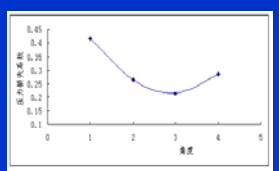
The analysis and optimization on local stress loss of ventilation section network

联络风道渐扩段压力损失系数分析





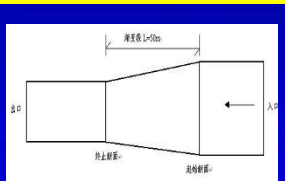


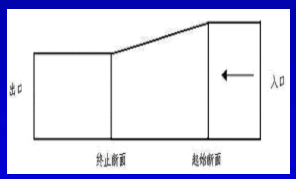


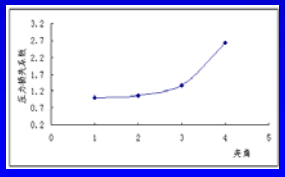
联络风道局部压力损失分析与结构优化

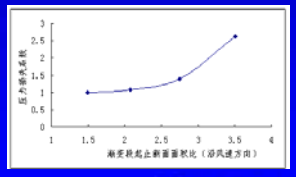
The analysis and optimization on local stress loss of ventilation section network

联络风道渐缩段压力损失系数分析





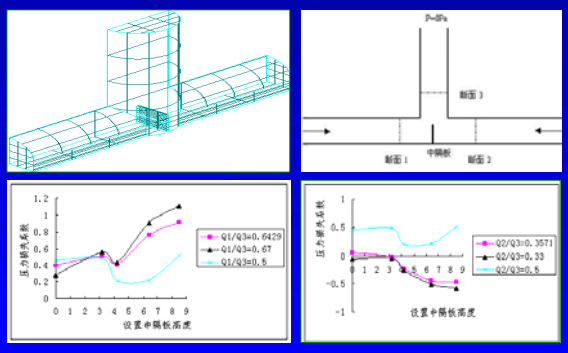




联络风道局部压力损失分析与结构优化

The analysis and optimization on local stress loss of ventilation section network

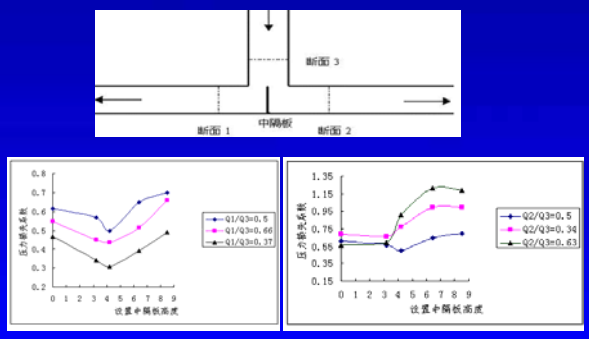
排风竖井底部分隔板合理高度设置



联络风道局部压力损失分析与结构优化

The analysis and optimization on local stress loss of ventilation section network

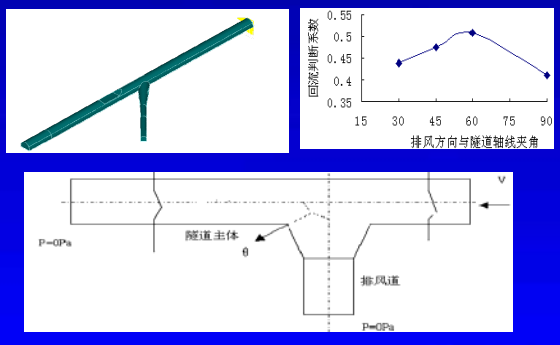
送风竖井底部分隔板合理高度设置



隧道主体送排风口间短道流态分析

The short section Flowmeter analysis on air in and air out ventilation of tunnel

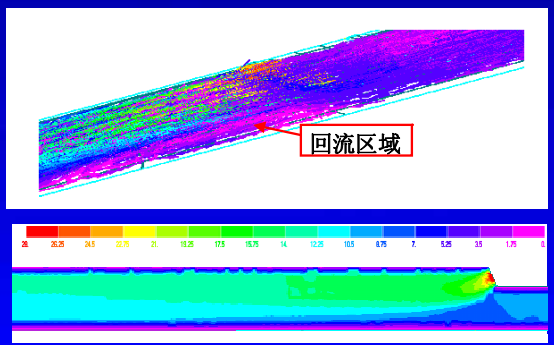
排风道与隧道主轴线夹角对短道流态影响分析



隧道主体送排风口间短道流态分析

The short section Flowmeter analysis on air in and air out ventilation of tunnel

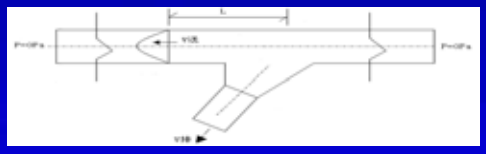
送风方向与隧道主体轴线夹角对短道流态影响分析

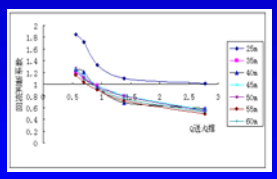


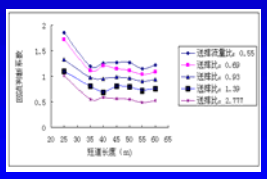
隧道主体送排风口间短道流态分析

The short section Flowmeter analysis on air in and air out ventilation of tunnel

送排风口距离和竖井送排流量比对短道流态影计算

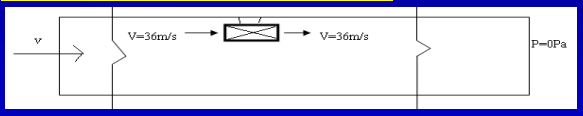




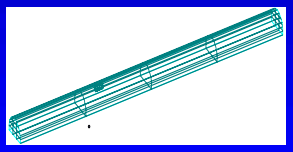


射流风机升压效率计算分析

The analysis on boosting efficiency of jet fan

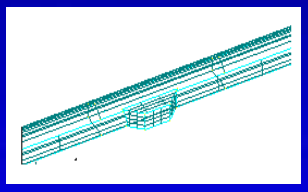


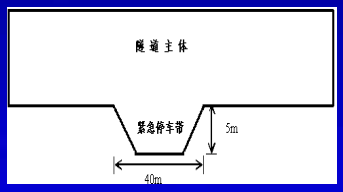
- 当风机轴线与拱顶之间距离与射流风机叶轮直径的比值取较大值时，隧道内的流体更容易达到流速均匀状态；
- 射流风机出口向下倾斜一定角度时，隧道内的流体更容易达到流速均匀状态；
- 建议安装射流风机时，比值尽量取大；同时在情况允许条件下，将射流风机出口角度向下倾斜一定角度。

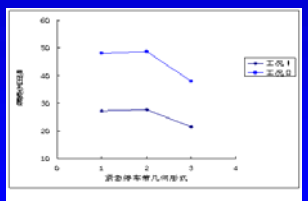


紧急停车带几何形状仿真分析

The analysis on geometry shape of emergency parking place



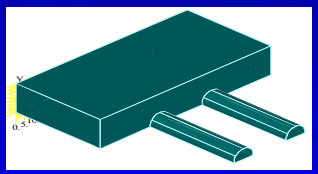


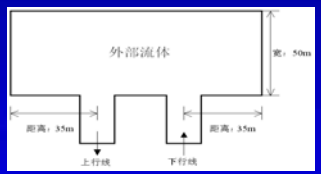


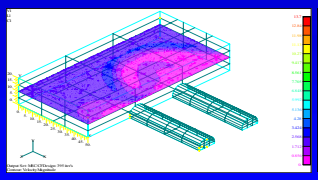
1代表90° 折线连接紧急停车带
2代表45° 折线连接紧急停车带
3代表45° 光滑连接紧急停车带

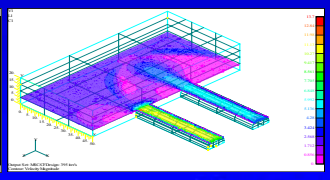
隧道进出口段交叉流态分析

The cross flowmeter analysis of tunnel portals









研究成果 Results-9

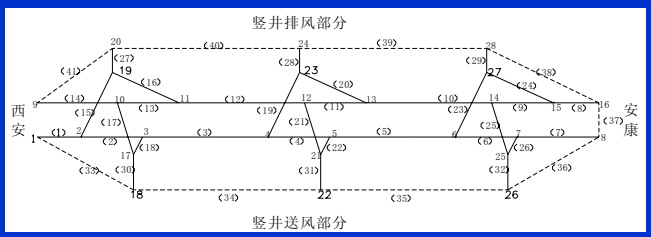
9．提出了隧道通风工况模拟设计方法，对通风系统工况进行了模拟

9.The operating mode simulation method is put forward，which is used to simulation the operating mode simulation of Qinling Extra-long highway tunnel

研究成果 Results-9

结合秦岭终南山隧道通风系统，提出通风工况模拟设计方法。交通组成对隧道中需风量的影响很大，故在进行风机控制时，应将交通量、交通组成等参数综合考虑进行供风。应将前馈式风机控制和后馈式风机控制结合使用，互相验证、互为补充。针对不同交通量、不同车辆组成等交通工况，采用隧道网络仿真计算程序进行风机选型研究和各工况下风机开启工况的模拟，针对风机工况模拟的结果，对风机开启各不同工况下所允许通过的交通量及交通组成进行计算分析，并对风机控制提出建议。

研究成果 Results-9



通风系统网络图
Net of ventilation system

主要结论result

研究成果 Results-9

当开启一个竖井的送排风道风机就可满足隧道需风量要求时，则宜开启2＃竖井中的风机；

当开启两个竖井中的风机进行供风时，同时开启1＃、3＃竖井中的风机最为经济；

工况分析表明所推荐的上下行各不同风道的风机特性曲线可满足隧道通风需要。

通过风机工况的模拟，得到在不同交通量、不同自然风压和风机不同组合下，风机的风量及风机的风压（风机的工况点），从而确定出风机的功率，业主可对运营后的通风费用有个初步估计。同时，有助于在实际操作中对风机进行控制。

研究成果 Results-10

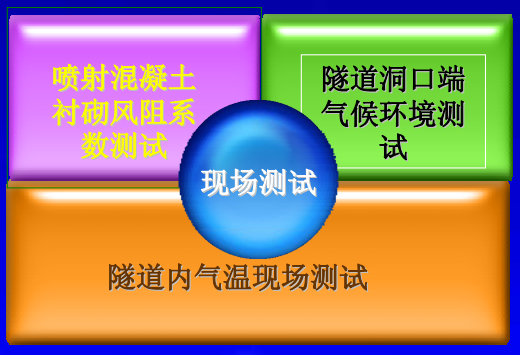
10．针对秦岭终南山特长公路隧道开展了通风参数现场测试

10.The on-site testing of ventilation parameters is made

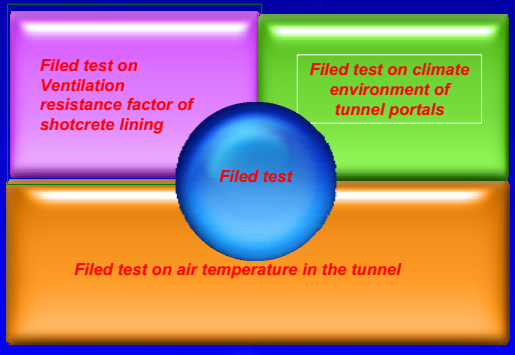
研究成果 Results-10

喷射混凝土作为隧道永久性衬砌的通风沿程阻力系数目前国内外尚无足够资料可供参考，鉴于此，开展了对喷射混凝土衬砌通风沿程阻力系数的现场测试，测试结果表明，喷射混凝土衬砌通风沿程阻力系数取值为0.051～0.053。为获悉终南山隧道两侧洞口气候变化规律，在隧道两端洞口建立了长期观测气象站，进行了长达一年的连续观测，获得了隧道两端洞口气象基本参数；隧道内气温变化规律也是通风计算的基础数据，课题组先后两次赴秦岭隧道内进行洞内气温现场测试，得到了深埋多竖井隧道内气温变化及其分布规律，为通风计算和设计提供了有力保障。

研究成果 Results-10



研究成果 Results-10

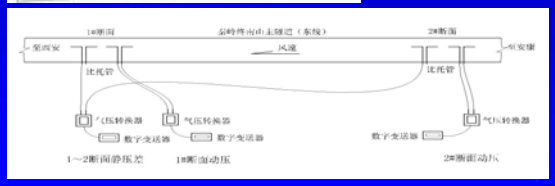


研究成果 Results-10

喷射混凝土衬砌风阻系数测试

Filed test on Ventilation resistance factor of shotcrete lining

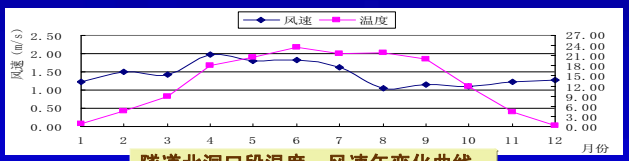
实测秦岭终南山隧道K65+500～K66+154.5喷射混凝土段通风沿程阻力系数λ位于0.051～0.053，建议秦岭终南山隧道喷射混凝土段通风沿程阻力系数λ的设计值取为0.051～0.053。



研究成果 Results-10

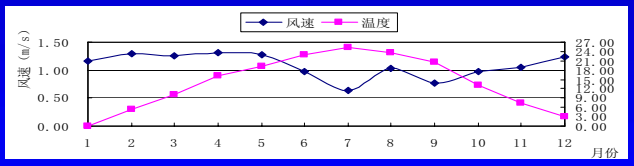
隧道洞口端气候环境测试

Filed test on climate environment of tunnel portals



隧道北洞口段温度、风速年变化曲线

climate of tunnel north portals



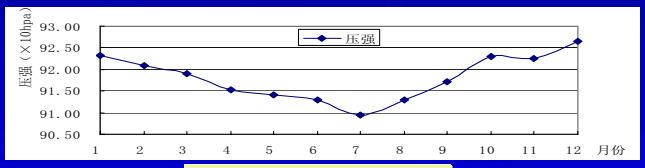
隧道南洞口段温度、风速年变化曲线

climate of tunnel south portals

研究成果 Results-10

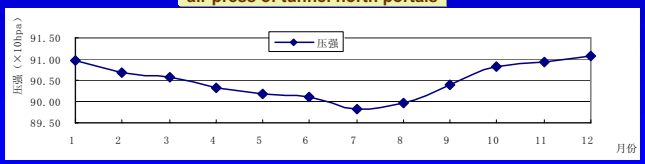
隧道洞口端气候环境测试

Filed test on climate environment of tunnel portals



北洞口气压年变化曲线曲线

air press of tunnel north portals



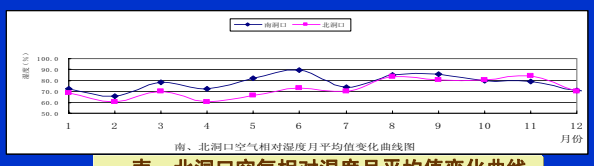
南洞口年气压年变化曲线

air press of tunnel south portals

研究成果 Results-10

隧道洞口端气候环境测试

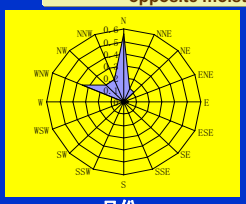
Filed test on climate environment of tunnel portals



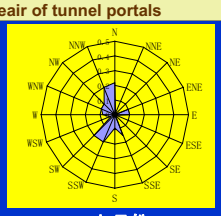
南、北洞口空气相对湿度月平均值变化曲线图

南、北洞口空气相对湿度月平均值变化曲线

opposite moistureair of tunnel portals



一月份

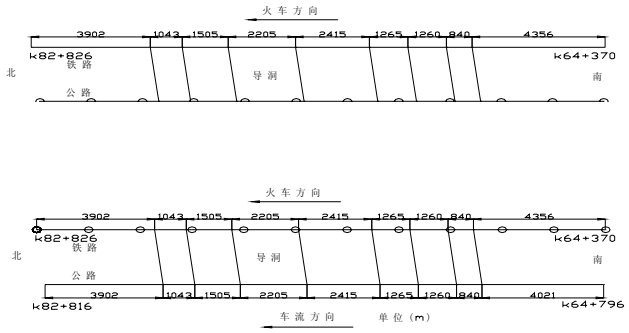


七月份

北洞口风向频率

wind direction frequency of tunnel north portals

研究成果 Results-10



研究成果 Results-10

隧道内气温现场测试

Filed test on air temperature in the tunnel

（1）秦岭隧道埋深大，对应区段地热明显，隧道中部岩层温度高达38℃，大部分区段也在20℃以上；

（2）公路东线隧道9月份测试时期，洞内自然风速很小，最大风速2.0m/s，平均风速1.01m/s；

（3）公路东线隧道内气温明显高于外界气温，温差多在5℃以上；

（4）公路东线隧道测试时洞内风流主要由北向南，从而使隧道内南段气温明显高于北段，且南段洞内气温高于岩层温度，多数区段气温在25℃以上；

研究成果 Results-10

（5）铁路西线隧道内日平均气温明显高于洞口外界气温，温差多在5～10℃之间；

（6）铁路西线隧道测试时期，隧道南北两端外界日气温变化很大，分别达到22.0℃和19.5℃；

（7）昼夜温差变化的影响范围仅在距洞口2km以外，测试表明距南口进风段的1.6km测点处，洞内气温日较差仅4.5℃，而对于出风段的隧道北口，在洞内距洞口0.1km测点处，气温日较差仅3℃；

（8）秦岭特长隧道内洞内风速的瞬时变化对洞内气温影响甚小，且影响范围仅在距洞口2～3km区段，隧道中部区段气温基本保持恒定。

欢迎 指导！

Thank you