

文章编号: 0451-0712(2005)02-0160-06

中图分类号: U453.1

文献标识码: B

# 铜锣山隧道新型洞门结构计算

李 强<sup>1,2</sup>, 王明年<sup>2</sup>, 林国进<sup>3</sup>

(1. 中交第一公路规划勘察设计研究院 西安市 710075; 2. 西南交通大学地下工程系 成都市 610031;

3. 四川省公路勘察设计研究院 成都市 610041)

**摘 要:** 结合有限元分析方法, 对铜锣山隧道邻水端新型洞门结构进行了三维数值模拟分析, 研究结果表明: 洞门衬砌结构只需构造配筋, 即可满足要求, 并进行了断面钢筋布置; 提出了基底最小承载力不应小于 0.5 MPa, 同时也表明, 基底应力全部为压应力, 洞门结构整体是稳定的。根据计算结果, 提出了相应的施工注意事项。

**关键词:** 新型洞门; 三维数值分析; 应力分布; 基底承载力

隧道洞口设计是洞口段、洞门以及其前后道路区间的一部分的设计总称。其中在洞口附近, 因为是明暗交接的地点, 宽度的减小、隧道壁的压迫感、坡度变化引起的适应性降低等, 都会引起速度的降低。为了尽量减轻洞口的这种状态, 使洞口周边的自然景观与洞门等协调, 并确保车辆行走从明处进入隧道的安全性, 就必须对隧道洞口段进行专项设计。但是, 在很长一段时间内, 都把洞口和洞门结

构等量齐观, 并把洞门当作一个能够承受背后山体土压力、稳定边坡、保护道路免于落石与雪崩等危害的防护承载结构。在设计观念上, 也常常以路堑方式设置洞门和开挖洞门, 因而, 在隧道洞口设计上, 大量采用端墙式或翼墙式洞门结构。洞门的修筑, 不仅改变了周边的自然环境, 破坏了既有的坡体自然平衡状态, 同时修筑的洞口及坡面的挡墙以及附属的构筑物对地区局部景观产生极大的影响。长期

收稿日期: 2004-08-16

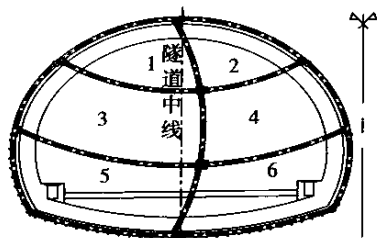


图 6 施工工法示意

浅埋近距大跨隧道暗挖穿越铁路施工, 尤其在高水位土体地层中, 防止地表发生大的沉降, 保证铁路运营的安全, 对铁路股道进行加固是非常必要的。从解放路隧道暗挖穿越地表未加固的环城东路段与加固后的铁路段地表沉降比较来看, 前者沉降达 17 cm, 后者目前只有 2~3 mm, 可见铁路股道的加固作用十分明显。

粘土固化浆液与 TGRM 灌浆液均是新型注浆

加固材料, 在本工程粉土粉砂地层中应用效果一般。粒径分析表明, 地层土体主要粒径范围与注浆材料粒径范围相差不大, 浆液难以在土体中形成渗透注浆堵塞土体孔隙而完全止水, 开挖结果表明在土体中浆液成脉状分布。因此对粉土粉砂粒径与注浆材料粒径相差不大时, 须通过试验确定其注浆参数。

本次设计中采用有限元程序模拟施工步骤对定性了解隧道开挖后周边土体应力场的变化及位移非常必要, 有针对性地采取了相应的施工措施。随着有限元技术的发展, 应更多地将有限元分析用于隧道工程的设计与施工中。

## 参考文献:

- [1] JTJ 026-90, 公路隧道设计规范[S].
- [2] 王新华. 粘土固化浆液在地下工程中的应用[M]. 北京: 中国铁路出版社, 1998.

以来形成的这种观念和设计理念,造成了洞门结构单一、形式呆板笨重,即破坏了既有山体的平衡状态,也破坏了自然的植被状态。为了避免以往洞门结构的弊端,近几年隧道洞门出现了许多新颖的结构形式,其中“突出式”洞门结构形式就是其中的一种,它为洞门景观设计提供了极大的设计空间和自由度,这是路堑式洞门无法比拟的。针对以上情况,对垫江~邻水高速公路铜锣山隧道邻水端新型洞门结构进行了力学行为分析,以确保洞门结构既美观又安全。

1 工程概况

本隧道位于垫江~邻水高速公路第 6 合同段,喇叭口衬砌洞门设计长度为 25.44 m,其中外伸悬臂段长为 12.44 m,洞门结构表面有 3 排采光孔,距洞口起点分别为 9 m、13 m、17 m,采光孔形状为椭圆形,其尺寸分别为 2.50 m×1.00 m、2.00 m×0.8 m、1.00 m×0.56 m,呈对称分布,洞口段结构物的扩伸坡度为 1:5,采用 C25 钢筋混凝土修筑,仰拱采用 C15 片石混凝土填充。洞门结构整体位于Ⅲ类围岩地基上,具体情况见图 1。

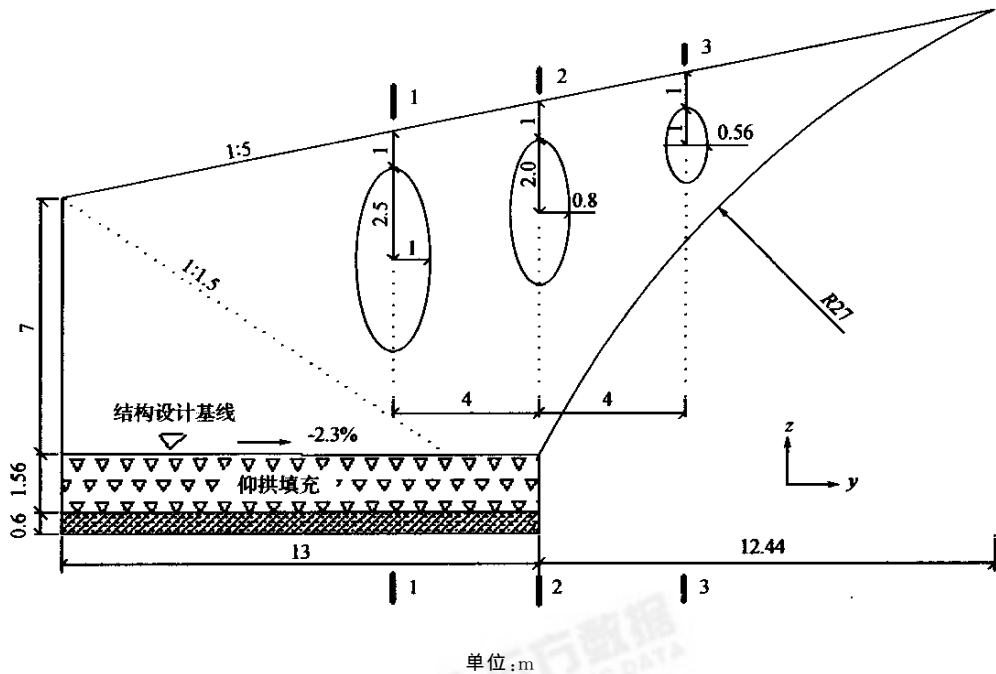


图 1 洞门喇叭口内表面设计

2 计算参数及模型

2.1 计算参数

计算参数见表 1。

表 1 计算材料物理力学指标

地层和材料名称	材 料 参 数		
	$E/\text{GPa}$	$\mu$	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$
围 岩	1.0	0.4	20
C25 钢筋混凝土拱墙及仰拱	29.5	0.2	25
仰拱 C15 片石混凝土回填	15	0.2	25

2.2 计算模型

本次计算范围选取为:上部至地表,下部取至隧道仰拱以下 40 m。左右各取 40 m,隧道纵向 40.44 m (包括 15 m 隧道洞身+隧道洞门喇叭口段)。隧道左右有水平约束,下部有垂直约束,地表为自由边界,

前后有垂直其面的纵向约束。计算中,用 4 面体单元模拟围岩、衬砌、喇叭口洞门。计算模型总单元数为 354 474 个,总节点数为 68 958 个,见图 2 所示。

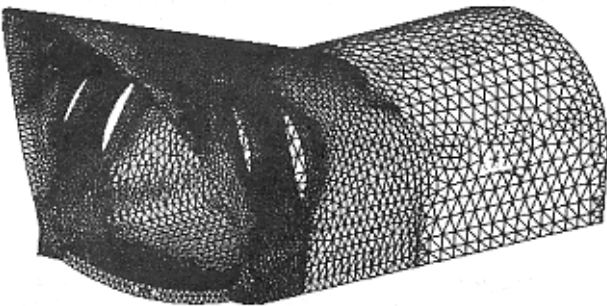


图 2 模型局部

2.3 计算内容

(1)3 排采光孔的 1-1、2-2、3-3 断面及隧道拱

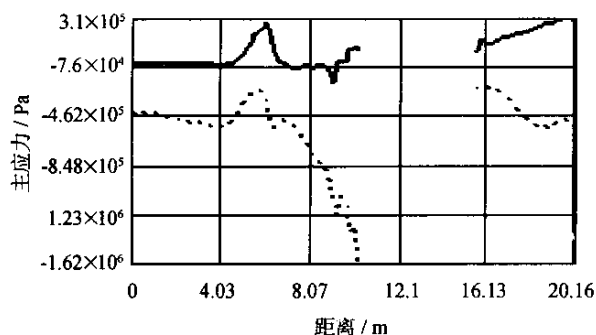
顶断面的应力分布情况,配筋量大小(具体位置见图1);

(2)喇叭口衬砌仰拱基底应力分布情况,提出基底承载力要求;

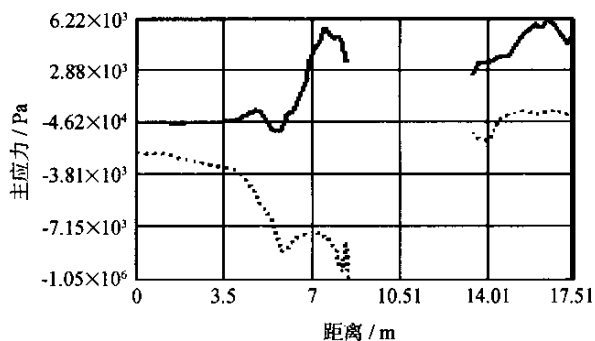
(3)根据计算结果,提出施工注意事项。

### 3 计算结果分析

#### 3.1 各断面应力分布情况



(1) 1-1 断面外缘各点最大(小)主应力分布情况



(2) 1-1 断面内缘各点最大(小)主应力分布情况

图3 1-1 断面应力分布

由图3的分析,可以得出:

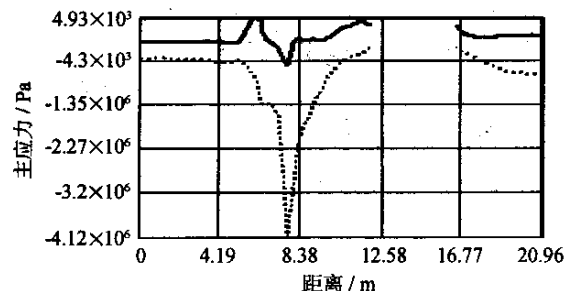
1-1 断面外缘最大主应力有两个峰值,第一峰值出现在边墙脚处,其数值为 0.27 MPa;第二峰值出现在拱顶处,其数值为 0.31 MPa;采光孔上下边缘处的主拉应力较小,其数值不大于 0.1 MPa,最大主压应力为 -1.62 MPa,出现在采光孔下边缘,而上边缘的主压应力仅为 -0.25 MPa。从图中也可以看出:主拉应力与主压应力的变化是相辅相成的,对应位置的主压应力较大时,主拉应力较小;反之,则相反。

1-1 断面内缘最大主应力也有两个峰值,第一峰值出现在边墙上,距 P 点 7.5 m 处,其数值可达 0.6 MPa;第二峰值出现在拱顶偏下,距 P 点 16.4 m 处,其数值为 0.63 MPa;采光孔上下边缘处的主拉

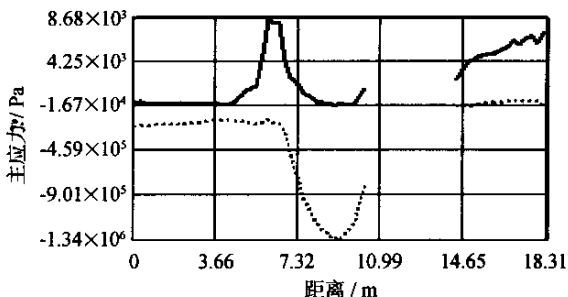
应力可达 0.35 MPa,比相同位置外边缘的主拉应力要大,最大主压应力为 -1.05 MPa,出现在采光孔下边缘,比相同位置外边缘的主压应力要小。

综上所述,1-1 断面最大主拉应力为 0.63 MPa,出现在拱顶内边缘;最大主压应力为 -1.62 MPa,出现在采光孔外表面下边缘。在《铜锣山隧道邻水端洞门结构设计图纸》中,喇叭口衬砌采用 C25 钢筋混凝土灌注,根据《铁路隧道设计规范》的规定,C25 混凝土设计抗拉强度为 1.33 MPa,设计抗压强度为 -12.5 MPa,计算出 1-1 断面的应力均小于规范规定的数值,因此 1-1 断面是安全的,只需进行构造配筋即可满足要求。

(2)2-2 断面应力分布见图4所示。



(1) 2-2 断面外缘各点最大(小)主应力分布情况



(2) 2-2 断面内缘各点最大(小)主应力分布情况

由图 4 的分析,可以得出:

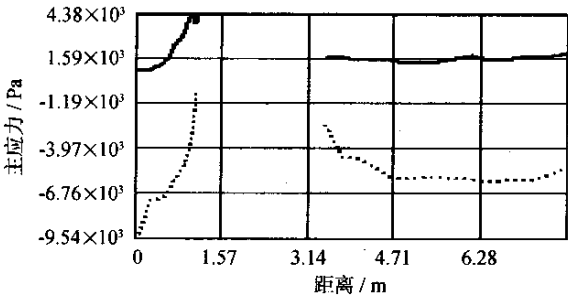
2—2 断面外缘最大主拉应力出现在边墙脚处,其数值为 0.49 MPa;采光孔上下边缘处的主拉应力也比较大,其数值可达 0.33 MPa,最大主压应力为 -4.12 MPa,出现在边墙上,距  $P$  点 7.7 m 处,采光孔上下边缘处的主压应力比较小,其数值不超过 -0.1 MPa。

2—2 断面内缘最大主拉应力出现在边墙脚处,其数值为 0.87 MPa;采光孔上下边缘处的主拉应力比较小,其数值不超过 0.25 MPa,最大主压应力为

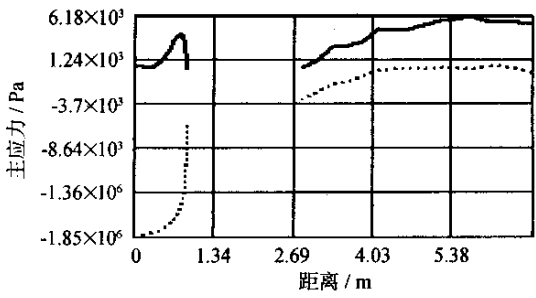
-1.34 MPa,出现在边墙上,距  $P$  点 9.1 m 处,采光孔下边缘处的主压应力较上边缘的主压应力要大,其数值为 -0.8 MPa。

综上所述,2—2 断面最大主拉应力为 0.87 MPa,出现在边墙脚处;最大主压应力为 -4.12 MPa,出现在边墙上,距  $P$  点 7.7 m 处。计算出 2—2 断面的应力均小于规范规定的数值,因此 2—2 断面是安全的,只需进行构造配筋即可满足要求。

(3)3—3 断面应力分布见图 5 所示。



(1) 3-3 断面外缘各点最大 (小) 主应力分布情况



(2) 3-3 断面内缘各点最大 (小) 主应力分布情况

图 5 3—3 断面应力分布

由图 5 的分析,可以得出:

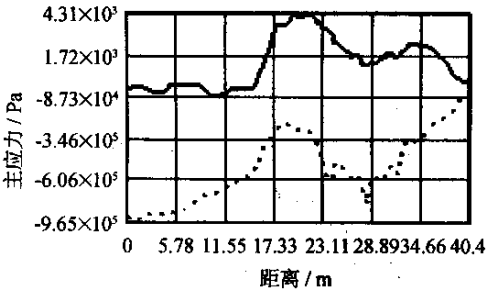
3—3 断面外缘最大主拉应力出现在采光孔下边缘附近,其数值为 0.44 MPa,最大主压应力为 -0.95 MPa,出现在该断面外缘两侧边脚处,采光孔上边缘处的主压应力要大于下边缘的主压应力,其数值为 -0.26 MPa。

3—3 断面内缘最大主拉应力出现在拱部,距  $P$  点 5.7 m 处,其数值为 0.62 MPa;采光孔上下边缘处的主拉应力比较小,其数值不超过 0.1 MPa,最大主压应力为 -1.85 MPa,出现在该断面两侧边脚

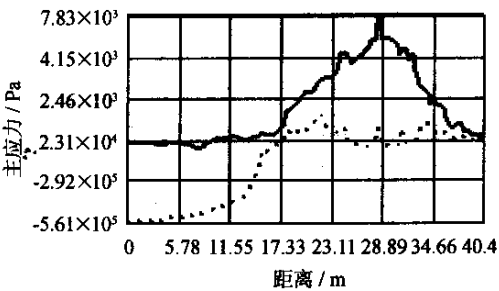
处,采光孔下边缘处的主压应力较上边缘的主压应力要大,其数值为 -0.6 MPa。

综上所述,3—3 断面最大主拉应力为 0.62 MPa,出现在拱部内边缘,距  $P$  点 5.7 m 处;最大主压应力为 -1.85 MPa,出现在该断面内缘两侧边脚处。计算出 3—3 断面的应力均小于规范规定的数值,因此 3—3 断面是安全的,只需进行构造配筋即可满足要求。

(4)隧道拱顶断面应力分布见图 6 所示。



(1) 隧道拱顶外缘各点最大 (小) 主应力分布情况



(2) 隧道拱顶内缘各点最大 (小) 主应力分布情况

图 6 隧道拱顶断面应力分布

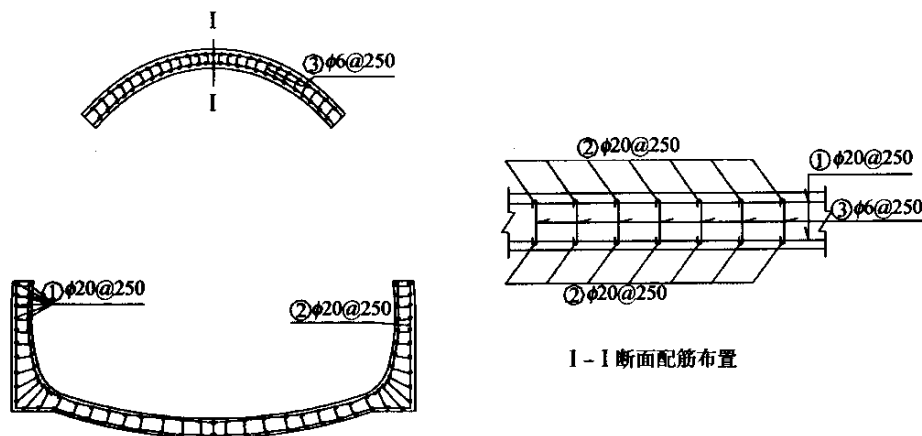
由图 6 的分析可以得出:

隧道拱顶外缘最大主拉应力为 0.43 MPa, 出现在第 1 采光孔隧道拱顶处; 同样, 最大主压应力为 -0.97 MPa, 出现在隧道洞身。拱顶内缘最大主拉应力为 0.78 MPa, 出现在第 2 采光孔隧道拱顶处, 最大主压应力为 -0.56 MPa, 仍出现在隧道洞身上。由此可见, 隧道拱顶断面最大(小)主应力均比较小, 根据《公路隧道设计规范》的规定, 对喇叭口洞门只

需构造配筋, 即可满足要求, 保证结构的安全。

### 3.2 钢筋配置情况

由以上分析可以得出: 各断面最大(小)主应力均小于所使用混凝土的设计抗拉、抗压强度, 结构只需构造配筋; 根据《钢筋混凝土设计规范》的规定, 采用对称配筋, 受拉、受压钢筋最小配筋率均取 0.2%。具体断面配筋见图 7 所示。

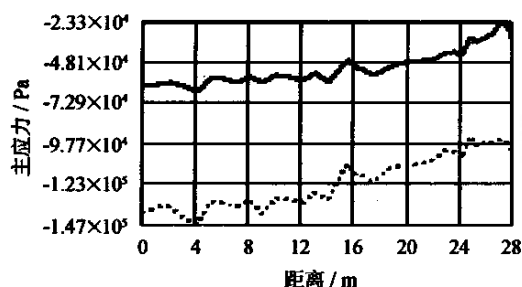


单位: mm

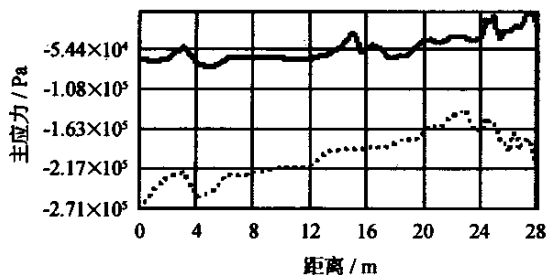
图 7 喇叭口洞门衬砌配筋

### 3.3 基底应力分布

基底应力分布见图 8 所示。



(1) 基底中央最大(小)主应力分布



(2) 基底边缘最大(小)主应力分布

万方数据

图 8 基底应力分布

由图 8 可以得出:

基底中央及边缘最大(小)主应力均小于 0, 且由洞身向洞口逐渐递减, 说明, 喇叭口洞门基底没有出现拉应力, 洞口段结构不会因结构外伸而发生倾覆现象, 可以判定: 喇叭口洞口段整体是稳定的, 有足够的抗倾覆安全系数。

由图中也可以得出: 喇叭口洞门基底最大压应力为 -0.27 MPa, 且前端压应力小于后端压应力, 考虑一切的不利因素, 本文建议喇叭口衬砌仰拱基底最小承载力不应小于 -0.5 MPa, 计算的最小基底承载力要求与设计吻合。

### 4 施工注意事项

(1) 由于隧道洞口段围岩强度较低, 埋深较浅, 且围岩多为未固结的堆积物和风化带, 原岩承载力一般比较低, 在洞口结构荷载下, 将产生较大的沉降, 影响洞门结构的正常使用, 因此, 洞门修筑之前, 需要采用相应措施, 提高基底承载力, 使其达到要求。

(2) 洞口开挖和伴随隧道开挖, 势必引起周边围岩的松弛, 诱发山体坡面滑动和崩塌, 因此, 在隧道



开挖之前,应对坡面进行处理,且特别注意防止隧道轴向滑动。

(3)坡面应与隧道轴线垂直,否则会有偏压作用,产生较大弯矩和应力,严重影响结构的受力。

(4)洞口段易产生漏水、结冰,从维修管理角度来看,施工时,应做好防排水、隔热等措施。

5 结 论

(1)采光孔的1—1、2—2、3—3断面和隧道拱顶断面应力均小于混凝土的强度设计值,因此,结构只需进行构造配筋即可满足受力要求。

(2)喇叭口衬砌仰拱基底应力均为压应力,而且前端压应力小于后端压应力,洞口段整体是稳定的。基底最大压应力为0.27 MPa,考虑一切不利因素,建议喇叭口衬砌仰拱基底承载力不应小于

0.5 MPa。  
(3)考虑到洞口段围岩强度较低,承载能力较差,施工之前,应对仰拱基底及山体坡面进行预加固处理,同时,也应做好防排水、隔热等措施。

本文的研究成果,为今后的相关工程提供一定的技术支持,具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] TBJ108—92,铁路隧道喷锚构筑法技术规则[S].  
[2] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京:人民交通出版社,2003.  
[3] 四川省公路规划设计研究院. 铜锣山隧道施工设计图纸[Z]. 2004.  
[4] 黄裳,王效通. 结构设计原理[M]. 北京:中国铁道出版社,1997.

Structure Calculation of Late-Model Portal of  
Tongluo Mountain Tunnel

LI Qiang<sup>1,2</sup>, WANG Ming-nian<sup>2</sup> LIN Guo-jing<sup>3</sup>

(1. China Communications First Highway Survey Design and Research Institute, Xi'an 710075, China;  
2. Dept. of Underground and Tunnel Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;  
3. Sichuan Provincial Communication Department Highway Planning, Survey, Design and Research Institute, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Combined with finite element method (FEM), the stress mechanics of late-model portal structure by 3-D numerical analysis are simulatngly analysed. The results of the study show that the portal structure only needs constructional steel bars, and the layout of steel bars is designed on tunnel cross-section; and that the lowest bearing capacity of the foundation should not be less than 0.5 MPa is also suggested. The results also indicate that the foundation base stress is compressive stress and the portal structure is stable. According to the calculating result, the corresponding construction measures are put forward.

**Key words:** late-model portal; 3-D numerical analysis; stress distribution; foundation base bearing capacity

\*\*\*\*\*

陕 西 投 资 目 标 锁 定 170 亿 元

2005 年 1 月 18 日,陕西省交通工作会议召开,会议以“全面贯彻落实科学发展观,努力提高交通运输服务保障水平”为主旋律,吹响了陕西交通事业新一轮奋进的号角。

“十五”以来的四年中,陕西交通分别以每年96 亿、120 亿元、131 亿元、158 亿元的建设投资逐年递增。特别是2004 年,陕西全年完成交通固定资产投资158.25 亿元,共新增公路2 701 km,使得全省公路总里程达到52 720 km;新铺农村公路3 180 km,新改建通村公路4 000 km,新增通公路村740 个。

2005 年,陕西交通固定资产投资计划完成170.9 亿元,其中重点公路建设项目计划安排128.7 亿元,在建高速公路规模达1 520 km 以上,计划建成农村客运示范班线11 条。