

# 混合基础公路隧道明洞稳定性研究

赵峰<sup>1</sup> 夏永旭<sup>1</sup> 许东<sup>12</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064

2. 中铁西南科学研究院有限公司, 四川 成都 610031)

**摘要:** 斜交出洞的隧道明洞往往出现基础较深或承载力不足的现象。本文提出了处理此类问题的一个半基岩半桩基混合基础方案, 并将其应用到东峪隧道出口段的明洞基础中, 通过有限元结构计算, 验证了该混合基础明洞的稳定性。

**关键词:** 公路隧道 混合基础 明洞 稳定性

## 1. 前言

随着高速公路的快速发展, 各省市的建设重点都已纷纷进入山岭丘陵区。在公路隧道的规划、设计过程中由于考虑到工程造价, 经常对跨山越岭地区采取绕避方案或选择长度相对较短的隧道方案。这样, 不可避免地在路线中出现了大填大挖的现象。尤其在沿河傍山及线路与地形等高线斜交或平行的区域, 由于受地形限制在隧道进出口经常出现高边坡问题, 破坏了山体的稳定及隧道区域的生态植被。如何选择合适的洞口位置, 做好洞口的设计和施工是隧道建设过程中减少对环境的影响的关键因素。

## 2. 设计思路

对于傍山隧道, 为了有效保护环境, 避免出现较大的刷坡, 经常采取半明半暗进洞、棚洞、加长明洞等处理方案<sup>[1][2]</sup>。采取延长明洞或棚洞方案后, 可以有效减少对傍山一侧山体的破坏, 减小由于大刷坡而引起地质灾害的可能性。但由于傍山路线的特点, 在减少出现高边坡的同时, 在路线的另外一侧则容易出现地基承载力不足或基础较深的问题, 这就需要对此类基础进行处理才能满足设计要求。

明洞软弱基础常用的处理方案有换填法、挤密法以及注浆加固法等。采取上述方案的最终目的是提高基础的承载力, 达到设计要求的强度。其中换填法和挤密法适用于深度不是很大的基础, 注浆加固法可以适用于深度较大的软弱基础, 但处理费用较高, 且施工效果难以保证。因此, 对于傍山隧道明洞基础, 可以考虑采用复合式处理方案。傍山一侧采用山体基岩作为明洞基础, 另外一侧软弱基础则考虑采用桩基础, 中间段基础采用注浆加固处理, 明洞则调整衬砌结构形式与混合基础相对应。本文通过混合基础明洞方案在东峪隧道中的应用验证了该方案的可行性。

## 3. 应用实例

### 3.1 工程概况

张石高速公路二期工程是河北省高速公路布局规划“五纵、六横、七条线”公路网主骨架中之“纵五”的重要组成部分。该项目隧址区属中低山地貌, 山势陡峻, 悬崖、沟谷发育, 多呈“V”字形, 山坡坡度 $30^{\circ}$ ~ $80^{\circ}$ 。本段设置隧道9座, 受地形地质条件限制, 部分隧道为桥隧相接结构, 出口帮山而行。东峪隧道作为其中隧道之一, 全长2510m, 净宽13.25m, 采用了全长设置应急车道的内轮廓设计方案。

### 3.2 工程地质条件

东峪隧道主要围岩为震旦亚界蓟县系雾迷山组(Zj-w)白云岩, 浅灰色~深灰色, 粉晶~细晶结构, 薄~中层状构造, 燧石条带发育, 较密集。该隧道地质构造相对简单, 岩层为单斜地层, 勘察阶段未发现断层、褶皱, 主要为白云岩的节理裂隙, 围岩分级主要为III级。隧道出口为陡壁, 山体自然坡度约为 $70^{\circ}$ ~ $80^{\circ}$ , 有溶蚀现象, 垂直节理裂隙较发育, 存在落石危险。

### 3.3 原明洞设计方案



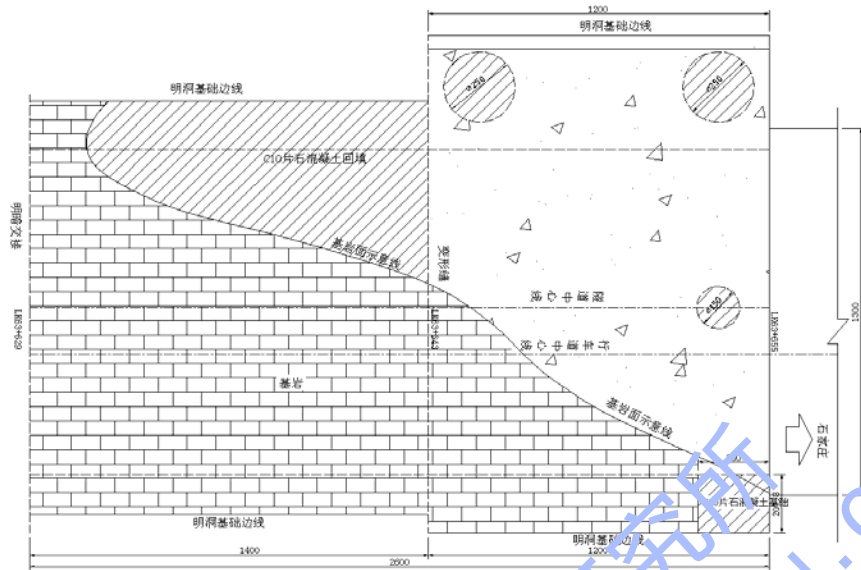


图3 明洞基础处理方案图

(1) LK63+629~LK63+643 段

该段 14m 明洞基岩面较浅，隧道弃渣较少，采取拆除弃渣换填 C10 片石混凝土的方案，换填宽度根据实际地形进行调整，但应满足嵌入基岩  $\geq 50\text{cm}$  的要求，基础底部必须落在基岩上。明洞采用常规的明洞设计，设计方案如图 4 所示。

(2) LK63+643~LK63+655 段

该段 12m 明洞基岩面较深，弃渣深度也较大。明洞采用单压明洞，基础采用两侧边墙基础代替仰拱基础。明洞基础左侧除部分采用 C10 片石混凝土换填，大部分采用基岩作为基础。右侧由于弃渣深度大，采用两处桩基础作为明洞基础。在 LK63+653.2 处设一处直径 2.5m 桩基、一处直径 1.5m 桩基和一道横系梁；LK63+644.8 处设一处直径 2.5m 桩基和一道横系梁。两处横系梁均与明洞两侧边墙基础相连接。两处横系梁上部设置 12m 长桥梁搭板作为路面基础，搭板下部约 1.8m 深弃渣换填为碎石垫层。设计方案如图 5 所示。

根据桥梁挖孔深度确定两处 2.5m 直径桩基长度分别为 20m 和 12m，1.5m 直径桩基长度为 12m。施工时可根据地下条件适当调整桩长，但必须保证桩基嵌岩深度不小于 2.0m。为防止两段明洞产生不均匀沉降，在两段明洞接缝处设置了变形缝。

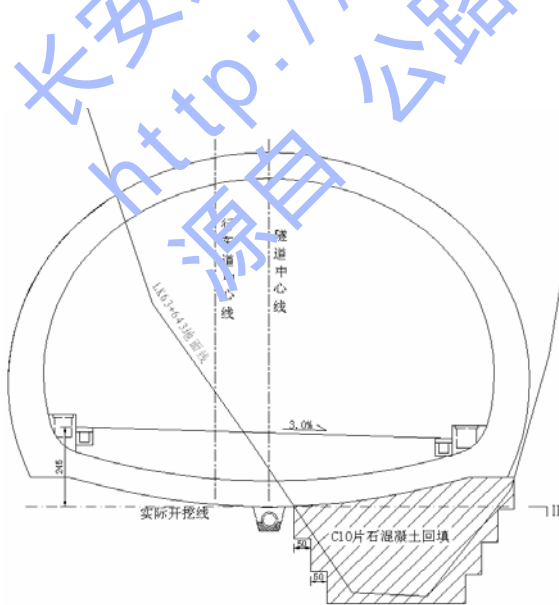


图4 常规明洞设计方案

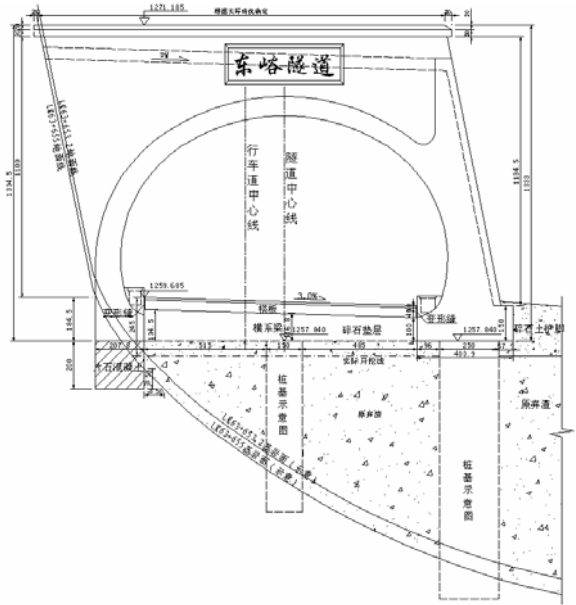


图5 混合基础明洞设计方案

## 4.混合基础明洞稳定性分析

### 4.1 明洞荷载

混合基础明洞基础以上部分受力与一般明洞相同，不在赘述。混合基础除了承受拱圈边墙传来的荷载外，还要承受碎石弃渣填料的水平推力。在水平推力的计算中：（1）考虑汽车荷载产生的水平推力。将汽车轴重转化为与填料相同的土柱作用，不考虑汽车的冲击力和制动力。（2）不考虑水压力。

### 4.2 结构计算理论

东峪隧道出口山体为白云岩，直立性良好，具有较好的自稳能力，施工阶段对危石亦做了清理。因此本次结构计算的主要目的是研究结构自身荷载、碎石土回填及粘土层对明洞结构稳定性的影响以及桩基自身的稳定性，计算理论为二维线弹性理论，计算的方法为有限单元数值模拟法。

### 4.3 有限元计算模型

根据东峪隧道桥隧相接段明洞设计情况，为了保证计算结果合理，按照隧道力学理论，取明洞右侧围岩 30m 范围，下侧围岩 30m 范围，然后进行有限元离散，整体模型如图 6 所示。

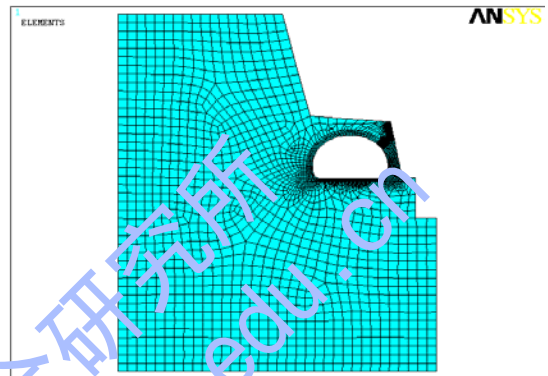


图 6 有限元计算模型

### 4.4 计算参数

数值模拟采用的岩体材料参数如表 1 所示。明洞支护拱圈按素混凝土考虑，洞口回填部分按 C10 片石混凝土材料考虑，回填下部弃渣部分（已做注浆处理）按 IV 级围岩进行考虑，计算参数如表 1 所示。

表 1 计算参数表

材料类别	$E/(10^6\text{kPa})$	$\mu$	$\gamma/(\text{kn}\cdot\text{m}^{-3})$	材料类别	$E/(10^6\text{kPa})$	$\mu$	$\gamma/(\text{kn}\cdot\text{m}^{-3})$
围岩	15	0.26	24	洞口回填	24	0.22	23
明洞拱圈	29.5	0.2	23	弃渣	3.0	0.3	21

### 4.5 计算结果分析

#### (1) 结构位移分析

从图 7 中看出围岩及回填部位 Y 方向位移在隧道基础部分沉降较为不均匀，明洞拱脚靠近山体侧位移值较大，最大值为 $-0.845\text{e}^{-3}\text{m}$ ；从图 8 中可以看出拱圈左侧由于承受山体侧压力作用，此处位移值较其他部分较大，最大值为 $-0.01\text{m}$ 。

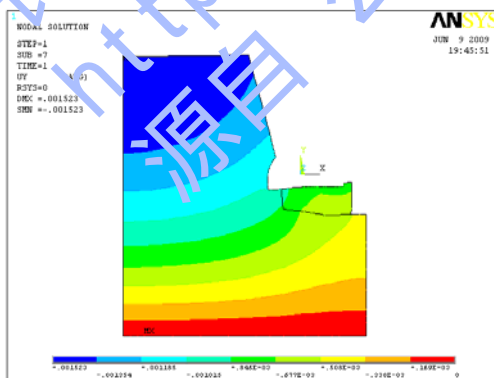


表 7 围岩及回填部位位移云图

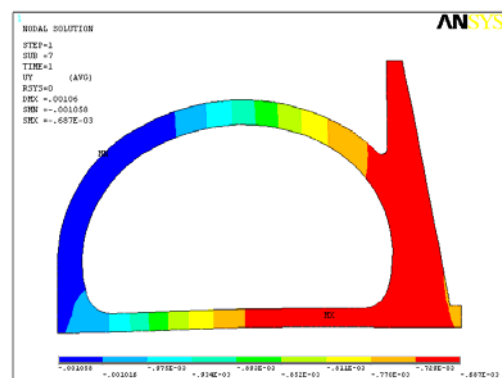


图 8 支护结构 Y 方向位移云图

#### (2) 应力计算结果分析

从图 9 中可以看出明洞拱圈的最大拉应力产生在左侧拱脚底部，最大拉应力值 2.18MPa，第一



主应力主要分布在-0.37MPa~1.22MPa 之间；图 10 可以看出明洞拱圈的最压应力产生在左侧拱脚内侧，最大压应力值为-5.59MPa，第三主应力主要分布在-0.37MP~0.1MPa 之间。

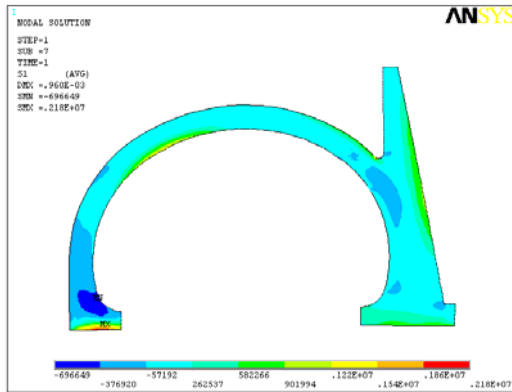


图 9 拱圈第一主应力云图

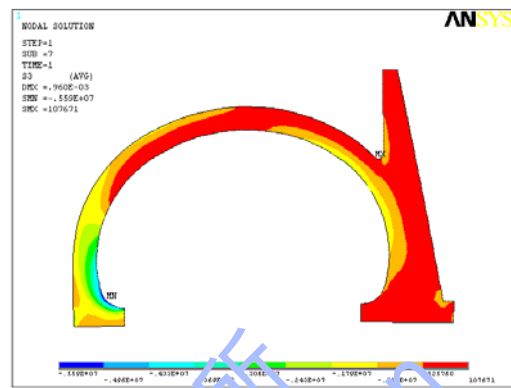


图 10 拱圈第三主应力云图

### (3) 小结

通过对该明洞结构及其混合基础的计算分析，现在把结构应力计算结果汇总于表 2 所示。

表 2 应力计算结构汇总

第一主应力 (MPa)		第三主应力 (MPa)	
最大值	主要范围	最小值	主要范围
2.01	0.21~0.55	-7.25	-5.54~0.09

通过对围岩、明洞基础回填部位及拱圈结构 Y 方向位移值分析，虽然回填部位发生不均匀沉降，但位移值较小，其对结构的整体稳定性没有大的影响。从隧道出口明洞采用半基岩半桩基的混合基础的方案下，结构衬砌的拉应力和压应力均满足 C25 强度要求，支护结构的设计是安全的。

### 5. 结束语

(1)在路线走廊布设困难，隧道出口为斜交偏压地段，设置棚洞、单压明洞可以避免由于大刷坡而诱发大的地质灾害，从而实现保护环境，保证行车安全的目的。

(2)对于基础较深或承载力不满足要求的明洞，可以采用桩基础或混合基础作为明洞的基础。

(3)通过对混合基础明洞结构稳定性的数值模拟，证明了在东峪隧道出口明洞采用半基岩半桩基的混合基础的方案是安全可行的。

Stability Research of Cut-and-Cover Road Tunnel with Composite Foundation

ZHAO Feng<sup>1</sup> XIA Yong-xu<sup>1</sup> XU Dong<sup>1,2</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an Shaanxi, 710064

2. Southwest research institute of china railway engineering, ChengDu Sichuan, 610031)

**Abstract:** The problem of deep foundation and insufficiency of bearing capacity is always found in cut-and-cover tunnel in the zone the slope adjacent to mountain. For this problem, this paper puts forward a composite foundation structure and introduces the application in Dongyu cut-and-cover tunnel. Through FEM method, the stability of composite foundation of cut-and-cover tunnel is validated.

**Key words:** Road Tunnel; Composite Foundation; Cut-and-cover Tunnel; Stability

### 参考文献

- [1] 蒋树屏, 刘元雪, 黄伦海, 郭云普. 环保型傍山隧道结构研究[J]. 中国公路学报, 2006, 19 (1): 80~83  
 [2] 郑宗溪. 设于桥梁上方的新型棚洞研究[J]. 铁道工程学报, 2007, 2: 54~57

## 作者简介:

1) 赵峰, 男, 身份证号: 132331197609113675。2002年7月毕业于长安大学桥梁与隧道工程专业, 获工学硕士学位。毕业后就职于中交远洲交通科技集团有限公司, 从事公路隧道设计及相关科研工作, 发表科研论文10余篇。现攻读长安大学桥梁与隧道工程专业博士学位, 主要从事公路隧道风险评估与安全评价研究。

通信地址: 河北省石家庄市红旗大街25号C座15层, 050051

联系方式: 15081877598, 13933058549。电子邮箱: zhaof2000@163.com

2) 夏永旭, 男, 身份证号: 610103195312180453。1982年3月毕业于西安公路学院工程力学专业, 现任长安大学公路学院桥梁与隧道专业教授, 博士生导师。多年来一直从事教学与科研工作, 发表科研论文80余篇, 出版专著5本, 近年来主要从事公路隧道的结构理论及长大公路隧道的通风和防火救灾研究。

通信地址: 西安市南二环中段长安大学444信箱, 710064

联系方式: 13709258640。电子邮箱: yongxuxia@126.com

3) 许东, 男, 身份证号: 612328198111190017。2009年7月毕业于长安大学桥梁与隧道工程专业, 获工学硕士学位。现就职于中铁西南科学研究院有限公司, 从事铁路隧道及地铁设计及研究工作。

通信地址: 成都市金牛区西月城街118号轨道设计院, 610031

联系方式: 13880872665。电子邮箱: xxx1522@126.com

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