

文章编号:1671-6833(2008)01-0136-04

## 不同地形偏压与隧道受力变形的关系

姜汶泉<sup>1</sup>, 张运良<sup>2</sup>, 安永林<sup>2</sup>

(1. 浙江黄衢南高速公路有限公司, 浙江 衢州 324403; 2. 中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075)

**摘要:** 为了研究由地表倾斜引起的偏压对隧道受力、变形特性的影响, 依托三卿口隧道工程实例, 针对洞口浅埋偏压地段, 基于平面应变问题, 数值模拟了地表倾角为 $0^\circ$ 、 $5^\circ$ 、……、 $45^\circ$ 共计10种工况。结果表明: 地表倾角小于 $35^\circ$ 时, 隧道的拱顶沉降、周边收敛、衬砌弯矩、衬砌轴力变化较小, 而当地表倾角大于 $35^\circ$ 时, 各数值急剧增加; 偏压情况下隧道的敏感部位为左墙脚、左边墙、左拱脚、右拱脚, 而且在倾角大于 $35^\circ$ 时, 左拱脚弯矩出现反号(内侧受压, 变为内侧受拉)。建议在隧道设计、施工中, 当地表倾角小于 $35^\circ$ 时(相当于地面坡度1:1.4), 可以不考虑地形偏压对隧道的影响, 反之, 则要考虑。

**关键词:** 偏压; 地面倾角; 受力特性; 变形特性

**中图分类号:** U 452.112

**文献标识码:** A

### 0 引言

隧道洞口一般位于浅埋、偏压、软弱围岩地段, 其偏压问题是隧道设计、施工过程中经常遇到的问题, 偏压荷载对隧道的结构体系(如裂缝的产生)、隧道外边坡(如洞顶边坡下滑)以及施工都有很大的负面影响, 对设计和施工造成极大的困难<sup>[1-2]</sup>。因此, 开展隧道偏压的研究具有重要的工程实际意义。

目前关于偏压隧道的支护结构和围岩受力状态的研究主要集中在单个隧道的工程<sup>[3-4]</sup>, 对于考虑不同偏压条件下的隧道支护结构及围岩受力的研究甚少, 缺乏系统性, 和技术的推广应用。因而, 笔者针对不同的偏压条件, 对隧道支护结构和围岩的受力状态进行模拟, 分析偏压隧道的不同偏压程度对隧道支护结构受力状态和围岩稳定性的影响情况, 总结其中的规律。

### 1 不同偏压地段的数值模拟

为了研究不同偏压情况下围岩的变形及支护结构的受力特征, 笔者依托三卿口隧道工程, 对V级围岩偏压地段进行模拟, 特征点的布置见图1。

三卿口隧道位于衢(衢州)南(南平)高速公路浙江段第6合同段。隧道按规定的远期交通量设计, 采用双洞单向行车双车道隧道(上下行分

离式)。隧道右洞长1 732 m, 左洞长1 735 m, 断面为三心圆, 施工方法为台阶法。

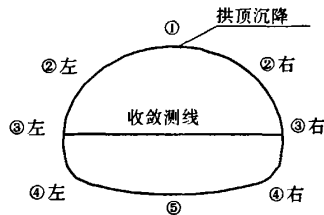


图1 特征测点布置示意

Fig. 1 Main measurement points in tunnel cross section

#### 1.1 计算范围

为减小有限元模型中边界约束条件对计算结果产生的不利影响, 计算域在水平方向上, 向左、向右各取35 m; 竖直方向上, 向下取35 m, 向上取至地面。

#### 1.2 计算模型的简化

计算中假设原岩应力为大地重力场模型, 模型中不考虑地下水的影响。初期支护中的管棚、小导管注浆、先灌后锚式锚杆和二次衬砌暂不考虑, 仅考虑初期支护中的喷射混凝土和型钢支撑, 采用梁单元来模拟, 其中把型钢等效为喷射混凝土, 如公式(1)所示<sup>[5]</sup>。

$$E = E_0 + (E_s A_s / L) / A_c \quad (1)$$

式中:  $E$  为折算后的混凝土弹性模量;  $E_0$  为原混

收稿日期: 2007-10-21; 修订日期: 2008-01-07

基金项目: 铁道部科技研究开发计划资助项目(2005K002-D-3)

作者简介: 姜汶泉(1969-), 男, 浙江温岭人, 浙江黄衢南高速公路有限公司副总工程师, 主要从事公路的建设与管理研究。

混凝土弹性模量; $E_g$  为型钢弹性模量; $A_g$  为型钢截面积; $L$  为每榀钢架的间距; $A_c$  为喷射混凝土截面积。

根据设计资料,取  $E_0 = 28 \text{ GPa}$ ,  $A_c = 2\,151.6 \text{ mm}^2$ ,  $E_g = 210 \text{ GPa}$ ,  $A_g = 250\,000 \text{ mm}^2$ ,  $L = 0.75 \text{ m}$ 。代入式(1),得  $E = 30.410 \text{ GPa}$ 。

围岩视为各向同性体,采用 Mohr-Column 屈服准则;喷射混凝土采用弹性。左边界和右边界设为水平方向的位移为零,上边界设为自由边界,下边界设为竖向位移为零。

1.3 计算力学参数

围岩和支护结构的材料力学参数见表 1。

表 1 计算力学参数

Tab.1 Properties of mechanical parameters

材料名称	$E/\text{GPa}$	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	$\mu$	$c/\text{MPa}$	$\phi/(\text{^\circ})$
V 级围岩	1	17	0.35	0.05	20
C25 喷射混凝土	30.41	23	0.2	—	—

1.4 计算工况

保持隧道拱顶与地表面的距离为  $8 \text{ m}$ , 改变不同的地表倾斜程度,模拟了地表倾角为  $0^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $35^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $45^\circ$ , 共计 10 种工况。部分工况的网格如图 2 所示。

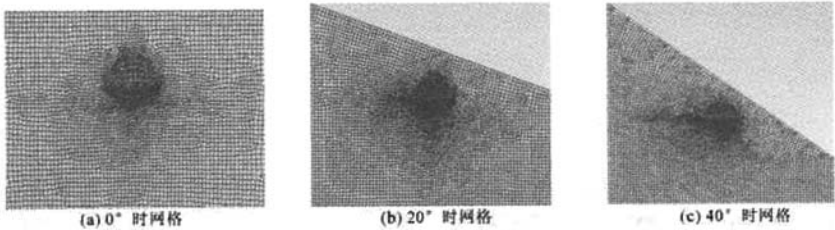


图 2 部分网格示意图

Fig.2 Some grid of the models

2 不同偏压地段的数值模拟结果分析

2.1 隧道拱顶沉降分析

从图 3 中可以看出,隧道拱顶沉降随地表倾角的变化大致分为 3 个阶段:①当地表倾角为  $0 \sim 30^\circ$  时,拱顶沉降变化微小;②当倾角为  $35^\circ$  时,拱顶沉降有较小增加,而当倾角为  $40^\circ$  时,拱顶沉降出现大幅增加;③倾角为  $45^\circ$  时,拱顶沉降也出现增加,但是增加的幅度没有  $40^\circ$  大(此时出现拐点)。

因此,从拱顶沉降的角度考虑,认为地表倾角小于  $35^\circ$  时,可以不考虑地形偏压的作用。大于  $35^\circ$  时要考虑偏压的作用,并采取适当的措施。

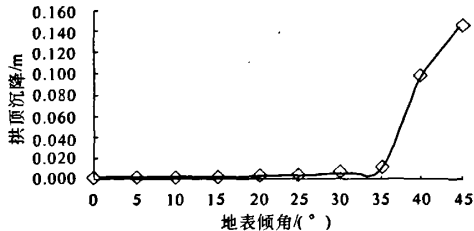


图 3 不同地表倾角下隧道拱顶沉降

Fig.3 Curve of crown displacements vs slope angle

2.2 隧道周边收敛分析

从图 4 中可以看出,隧道周边收敛随地表倾角的变化也分为 3 个阶段:①当地表倾角为  $0^\circ \sim 30^\circ$  时,周边收敛缓慢增加;②当倾角为  $30^\circ \sim 35^\circ$  时,周边收敛急剧增加,达到最大值  $33 \text{ mm}$ ;③而当倾角为  $35^\circ \sim 45^\circ$  时,周边收敛减小,并出现迅速扩张,倾角为  $45^\circ$  时,周边将扩大  $80 \text{ mm}$ 。

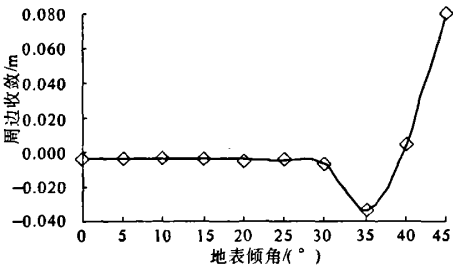


图 4 不同地表倾角下隧道周边收敛

Fig.4 Curve of peripheral convergence vs slope angle

因此,周边收敛在  $35^\circ$  出现极值。从周边收敛的角度考虑,可以认为地表倾角在  $30^\circ$  以下可以不用考虑偏压的作用,而当倾角超过  $30^\circ$ ,则应该考虑其影响。

2.3 隧道初期支护弯矩分析

图 5 给出了部分地表倾角的弯矩图,图 6 给出了不同倾角下隧道初期支护的弯矩展开图,图

7 给出了变化最显著的点④左(左墙脚)、②左(左拱脚)、②右(右拱脚)的不同倾角下的弯矩。

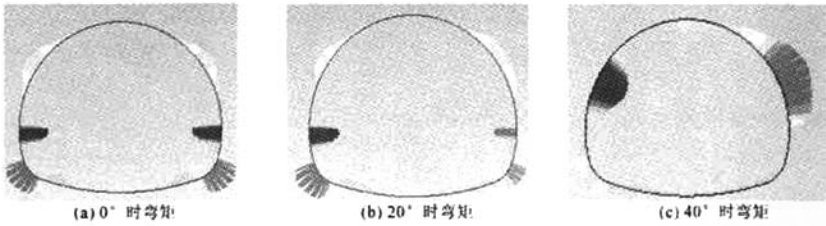


图5 部分地表倾角下的衬砌弯矩

Fig.5 Lining moments distribution of some cases

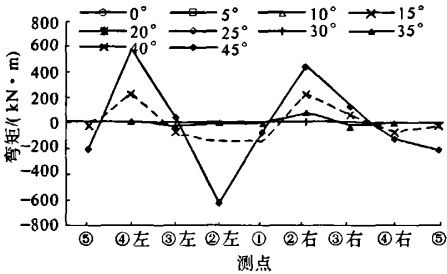


图6 不同倾角下的隧道初期支护的弯矩展开图

Fig.6 Expansion graph of lining moments distribution

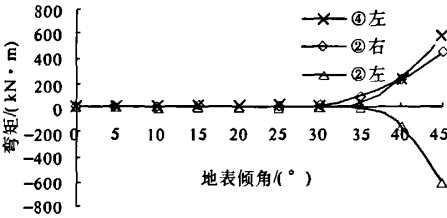


图7 不同倾角下的隧道特征部位的弯矩图

Fig.7 Lining moments of main points vs slope angles

(1)随着地表倾角的加大,衬砌弯矩图形出现不对称,衬砌的弯矩都在增大,最显著的点为左、右拱脚及左墙脚。

(2)对于右拱脚,地面倾角超过30°,弯矩开始出现明显的增加:倾角为30°时,弯矩为16.5 kN·m,35°时,弯矩为91.8 kN·m;当倾角为45°时,弯矩为445 kN·m。

(3)对于左墙脚,地面倾角超过35°时,弯矩才有显著的增加,当倾角为45°时,弯矩高达

573.8 kN·m。

(4)同样,对于左拱脚,地面倾角超过35°时,弯矩才有显著的增加,但是此时弯矩方向发生了改变:地面倾角小于35°,衬砌的外侧受拉,而当倾角大于35°时,衬砌的内侧受拉;如倾角为35°时,弯矩为6.1 kN·m,而倾角为40°时,弯矩为-160.5 kN·m。

因此,从衬砌的弯矩角度考虑,地面倾角超过35°时,应该考虑偏压的影响,并且此时的敏感部位为左、右拱脚、左墙脚。

2.4 隧道初期支护轴力分析

图8给出了部分倾角的轴力图。图9给出了不同倾角下隧道初期支护的轴力展开图,图10给出了变化最大的点④左(左墙脚)、③左(左边墙)、②右(右拱脚)的不同倾角下的轴力。

(1)随着地表倾角的加大,衬砌轴力图出现不对称,衬砌的轴力都在增大,最显著的点为左墙脚、左边墙及右拱脚。

(2)轴力随地面倾角的变化大致分为4个阶段:第一阶段,倾角为0°~10°时,衬砌轴力变化微小;第二阶段,倾角为10°~35°时,衬砌轴力开始缓慢增大;第三阶段,倾角为35°~40°时,衬砌轴力迅速增大(梯度最大);第四阶段,倾角超过40°时,衬砌轴力继续增大,但是增大的梯度降低。

因此,从衬砌的轴力角度考虑,地面倾角超过35°时,应该考虑偏压的影响,并且此时的敏感部位为左边墙、左墙脚、右拱脚。

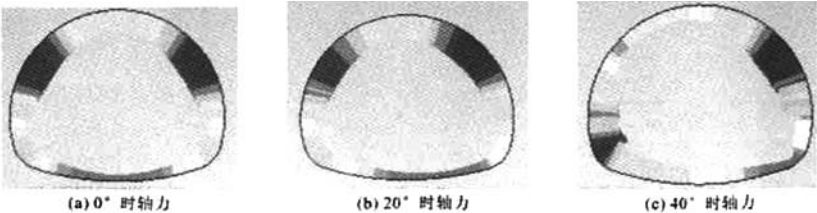


图8 部分地表倾角下的衬砌轴力

Fig.8 Lining axial forces distribution of some cases

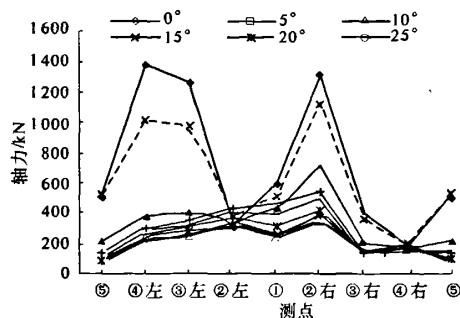


图9 不同倾角下的隧道初期支护的轴力展开图

Fig. 9 Expansion graph of lining axial forces distribution

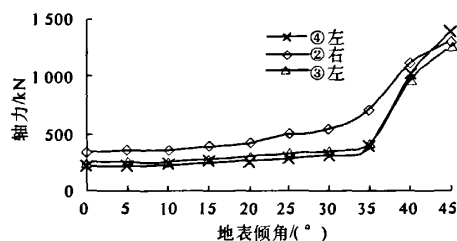


图10 不同倾角下的隧道特征部位的轴力图

Fig. 10 Lining axial forces of main points vs slope angles

## 4 结论

当地面倾角小于35度(倾角35度相当于地面坡度1:1.4),可以不用考虑地形偏压对隧道的影响;而当倾角大于35度时,要考虑偏压的影响,并且主要的敏感部位为左墙脚、左边墙、左拱脚、右拱脚,因此,在隧道的设计、施工中,对这些部位应予以加固,特别是左拱脚在此时,弯矩出现反号(内侧受压,变为内侧受拉)。

## 参考文献:

- [1] 彭立敏,刘小兵. 交通隧道工程[M]. 长沙:中南大学出版社,2003.
- [2] 安永林,彭立敏,赵丹,等. 基于不同地表倾角的连拱隧道施工优化分析[J]. 郑州大学学报:工学版,2007,28(2):39-42.
- [3] 赵玉光,高波. 岩质高边坡偏压隧道洞口段施工现场监控量测与地质灾害预报[J]. 地质灾害与环境保护,2002,13(3):12-15.
- [4] 周晓军,高杨,李泽龙,等. 地质顺层偏压隧道围岩压力及其分布特点的试验研究[J]. 现代隧道技术,2006,43(1):12-21.
- [5] 史胜利. 软基浅埋隧道施工技术研究[D]. 长沙:中南大学土木建筑学院,2007.

## Relationship Between Different Slope Bias Pressure and Deformation and Mechanics of Tunnel

JIANG Wen-quan<sup>1</sup>, ZHANG Yun-liang<sup>2</sup>, AN Yong-lin<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Huangqu'nan Highway Co. Ltd., Quzhou 324403, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Based on a plain problem, a simulation of ten cases (with slope angle  $0^\circ, 5^\circ, \dots, 45^\circ$ ) were carried out on a shallow tunnel under bias pressure to study the influence of different bias pressure on tunnel internal forces and rock deformation. The results show: when the slope angle is less than  $35^\circ$ , there is a little increase in crown displacement, convergence, lining bending moments and lining axial forces; however, if slope angle greater than  $35^\circ$ , there is significant increase with the most sensitive parts locating left foot corner, left sidewall, left arch foot and right arch foot. Meanwhile, direction of bending moments, in left arch foot, is reversed. Some proposals, on tunnel design and construction, are therefore suggested: it is unnecessary to take bias pressure into account if the surface slope angle is smaller than  $35^\circ$ , otherwise, bias pressure should be considered with special attention to sensitive parts.

**Key words:** partial pressure; slope angle; mechanics characteristic; deformation characteristic