

# 高速公路顺层路堑边坡优化设计方法

胡新丽<sup>1,2</sup>, 唐辉明<sup>1</sup>, 陈建平<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074; 2. 吉林大学朝阳校区建筑工程学院, 吉林长春 130026)

**摘要:** 高速公路顺层路堑边坡的稳定与否, 直接影响着公路的运行安全, 因此对该类边坡特点进行总结, 确定其研究方法是一项十分重要的任务。首先对高速公路顺层路堑边坡特点进行了总结, 提出了高速公路顺层路堑边坡从野外调查—稳定评价—开挖坡角确定—加固设计的优化设计路线。在此基础上, 以京珠高速公路大悟县境南段为例, 按照高速公路顺层边坡设计思路: 即在分析工程地质条件的基础上, 采用剩余推力和 Sarma 法计算了其稳定性, 对影响边坡的各因素进行了敏感性分析; 并根据计算成果确定了最优设计坡角。在保证边坡总体稳定的前提下, 提出了边坡开挖方案及经济合理的边坡锚喷加固设计方案。结果表明该设计方案对工程建设具有很强的系统性和实用性。

**关键词:** 高速公路; 顺层边坡; 稳定性评价; 最优设计坡角; 加固设计。

**中图分类号:** TU45      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2001)04-0373-04

**作者简介:** 胡新丽(1968—), 女, 讲师, 2000年毕业于中国地质大学, 获博士学位, 主要从事岩土工程教学与科研工作, 现在吉林大学作博士后研究。

## 0 引言

高速公路建设是目前我国交通建设中的重要课题。高速公路建设中的重要问题之一是路堑边坡的治理, 其成败在很大程度上影响着高速公路的安全与正常运营。由于顺层边坡更易产生破坏失稳, 因而顺层路堑边坡的治理设计就显得尤为重要。本文在总结分析顺层边坡特点的基础上, 提出了高速公路顺层路堑边坡优化设计方法。

## 1 高速公路顺层路堑边坡的特点

(1) 高速公路顺层路堑边坡为人工边坡, 由于边坡形成速度快, 坡内应力尚未完全释放, 因此存在潜在的破坏动力; (2) 高速公路顺层路堑边坡的主要结构面为层面、软弱夹层或层间错动面, 其次为节理面, 因此从结构控制稳定性的观点出发, 应该主要考虑层间结构面在边坡中的产状、位置及变化<sup>[1]</sup>; (3) 高速公路顺层路堑边坡的坡角多大于岩层面倾角, 即边坡开挖大多存在切脚现象。

## 2 高速公路顺层路堑边坡设计方法

根据高速公路顺层路堑边坡的特点, 采用系统工程思想<sup>[2,3]</sup>, 提出了高速公路顺层路堑边坡优化设计的系统框架(图1)。该研究思路总体分4个组成部分, 包括野外勘察—稳定性评价—开挖坡角确定—设计方案4个阶段。各工作阶段针对的问题各有侧重, 采用的方法各异。

(1) 野外勘察阶段。该阶段主要通过地面勘察、钻探、坑槽探、物探、室内及现场试验、测量等手段方法, 查明研究区的工程地质条件, 确定出斜坡岩土和结构面, 特别是层面的物理力学特征。作出自然斜坡稳定性评价, 为下一阶段的斜坡稳定性定量评价作准备。

(2) 稳定性评价阶段。根据野外勘察阶段的成果, 确定出计算模型, 选择适当的方法进行自然斜坡的稳定性定量评价及不同开挖坡角下的人工边坡稳定性验算。同时进行不同影响因素的敏感性分析, 即确定各因素对稳定性的影响程度, 为确定放坡后边坡的安全性和治理方案的合理性服务。

(3) 开挖坡角设计阶段。依据稳定性方面的分析结果, 在满足规范<sup>[4]</sup>要求(安全系数 $\geq 1.25$ )的条

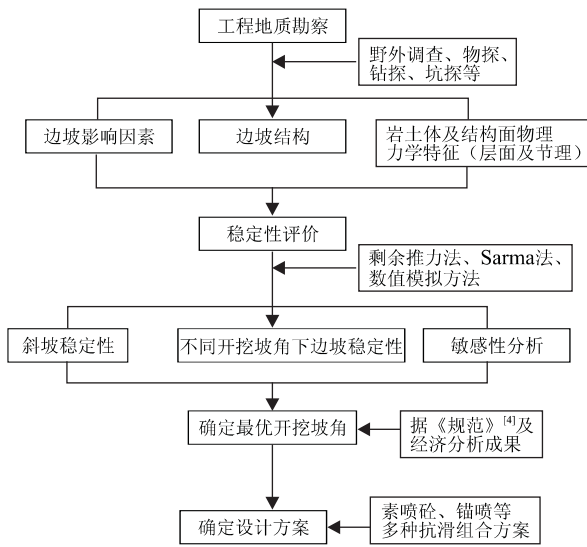


图 1 高速公路顺层路堑边坡优化设计思路

Fig. 1 Optimum design frame for expressway slope

件下,选择满足该条件的最大开挖坡角作为最优开挖坡角;同时根据经济方面的分析,确定在开挖与支护总费用最低时的边坡开挖角度为经济最优开挖坡角。综合对比两方面的结果,确定出优化开挖坡角。

(4) 治理设计阶段。根据上述计算结果和相应的规范,确定开挖施工方案;选择适当的边坡支护方法,并进行详细的方案设计,提出施工要求。同时进行路堑边坡开挖加固工程的经费概算。

## 3 实例

### 3.1 工程地质条件

京珠高速公路大悟县境南段需通过丘陵地段,由于公路路堑开挖,在 K32 段将形成高 30 m 左右的顺层人工边坡。该路段线路附近山顶高程 123.0~129.8 m,天然坡高 23~32 m,平均坡角 10°~20°。岩性主要为天台山组中段白云母石英片岩,层理发育,倾向坡外。该段位于大磊山背斜次级褶皱黑土沟倒转背斜的北翼。片(麻)理产状 130°~160°∠31°~57°。发育 4 组节理:(1)27°~286°∠73°;(2)180°∠33°;(3)224°∠51°;(4)261°∠39°。

本区地下水属裂隙水,岩体透水性较弱,地下水储量和井泉流量较小。地震基本烈度小于 VI 度。在边坡稳定性校核中可按 VI 度考虑。

### 3.2 斜坡稳定性评价及敏感性分析

斜坡稳定性评价是斜坡治理方案和设计的基础。合理确定最危险滑移面是进行稳定性计算的重

表 1 剩余推力和 Sarma 法计算成果对照

Table 1 Computed results of residual pushing force method and Sarma method

开挖坡角		55°	60°	65°	70°
自重作用	I	2.47	1.37	1.09	0.94
	II	2.52	1.42	1.15	1.03
自重与地震力	I	2.31	1.29	0.97	0.81
	II	2.40	1.31	1.02	0.97

I. 剩余推力法; II. Sarma 法。

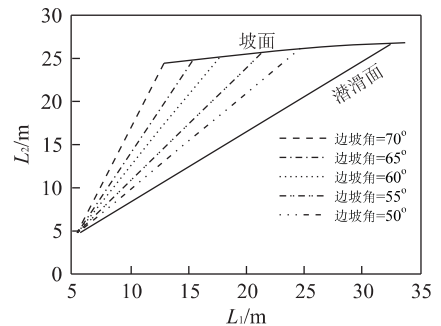


图 2 计算模型

Fig. 2 Computing model

要前提,根据片理倾角确定的最危险滑移面为直线型,倾角 50°。计算模型如图 2 所示。按边坡开挖和治理设计的需要,采用剩余推力法,计算了自然斜坡的稳定性,稳定性系数为 4.21;同时计算了不同放坡角 50°,55°,60°,65°,70°,在仅考虑自重或考虑自重及地震力两种情况的稳定性如表 1 所示。

定性分析表明影响边坡稳定性的因素主要为滑面强度参数、密度和地震力。我们采用剩余推力法(放坡角 55°)进行了敏感性分析。结果见图 3。分析表明,片理面抗剪强度参数对边坡的稳定性影响较敏感。其中, $c$  比  $\varphi$  对稳定性的反应较敏感。地震烈度的敏感性次之,密度对稳定性的敏感最低。

### 3.3 最优开挖坡角确定

最优坡角的确定依据以下两个方面:(1)稳定性分析结果;(2)以开挖与支护总费用最低时的边坡开挖角度为经济最优角度。根据开挖支护费用分析,并综合类似工程的经济和现有支护条件,最合理边坡角为 55°(图 4)。这与据稳定性评价所确定的边坡角相符,最优开挖坡角为 55°。

## 4 设计方案

总的设计原则为:(1)保证开挖边坡总体稳定,

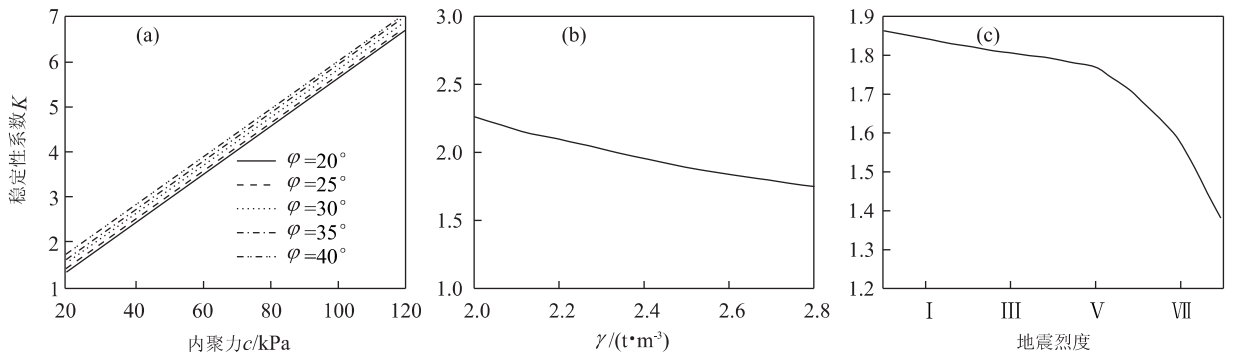


图 3 不同因素对边坡稳定性的影响

Fig. 3 Effects of different factors on stability coefficient of slope  
a,b,c. 分别表示强度参数、岩体天然密度和地震力对边坡稳定性的影响

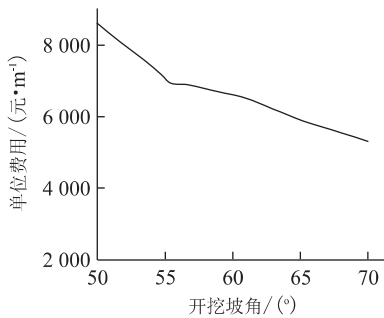


图 4 开挖坡角与单位费用关系曲线

Fig. 4 Relation of excavation slope angle and unit cost

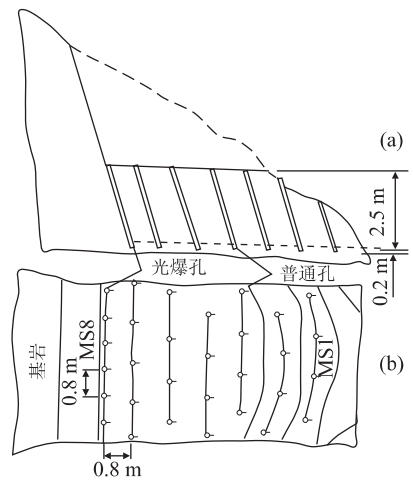


图 5 边坡开挖炮孔布置

Fig. 5 Arrangement of power hole for slope excavation  
a. 剖面图; b. 平面图

对局部不稳定段进行治理;(2)使开挖与加固工程量最小;(3)设计方案易于实施;(4)加固措施与开挖方法和综合治水有机结合.按《公路路基设计规范》<sup>[4]</sup>确定有关设计参数.

设计总体方案为:(1)采用分层开挖与光面爆破、锚喷网加固、综合治水措施三者一体的设计、施工总方案;(2)采用锚喷支护设计以加固边坡表层;(3)采用低台阶水平分层开挖法,台阶边坡光面爆破;(4)采用坡顶、坡底设置截水沟、边坡坡面钻泄水孔的综合治水措施.

### 4.1 边坡开挖设计

开挖方案为:低台阶高度为 2.5 m,采用风钻钻孔,毫秒导爆管雷管微差爆破法.根据分层开挖、边坡光面爆破的要求按类比法设计爆破参数.

(1)基本参数.炮孔斜度为 2 : 1,炮孔深度 3.0 m,爆破深度 2.5 m,炮孔孔径 40 mm,炸药单耗 0.45~0.5 kg/m<sup>3</sup>;(2)装药量.普通孔 2.1 kg/孔,光面爆破孔 0.75 kg;(3)抵抗线.普通孔 1.2 m,光面爆破孔 0.8 m;(4)孔距.普通孔 1.5 m,光面爆破孔 0.8 m.开挖与爆破炮孔布置见图 5.

### 4.2 锚喷支护设计

支护方案:(1)支护设计以技术经济合理的稳定坡角、严格的控制爆破和综合治水措施为基础;(2)采用锚喷网 3 种支护类型;(3)开挖与支护同步进行.

#### 4.2.1 锚杆参数

(1)锚杆深度.综合考虑结构面发育状况,爆破、锚杆可能与结构面倾斜的因素,以及《规范》<sup>[4]</sup>提出的锚固深度安全系数为 2~3 的要求,锚杆深度确定为 3 m;(2)锚杆间距离.根据结构面最大尺寸确定锚杆间距为 2 m,锚杆间距与排距相同;(3)最大锚固力.根据锚杆对边坡局部滑块的锚固作用原理设计每根锚杆的最大锚固力:

$$P = \{W([F]\sin \psi - \cos \psi \tan \varphi) - cA\} / (\sin \beta \tan \varphi + [F]\cos \beta).$$

式中:安全系数  $[F] = 1.4$ ; 每根锚固面积  $A =$

4 m<sup>2</sup>; 每根锚杆承担的岩体重量  $W = 10.8 \times 10^4 \text{ N}$ ; 节理倾角  $\psi = 35^\circ$ ,  $\varphi = 24.5^\circ$ ;  $c = 5 \text{ kPa}$ ; 锚杆与坡面的夹角  $\beta = 75^\circ$ . 每根锚杆的锚固力  $P = 31.2 \text{ kN}$ ; (4) 锚杆孔径与直径. 设计锚杆孔径为 40 mm, 锚杆直径为 20 mm, 砂浆强度为 10; (5) 锚杆锚固力校核. 按公式  $P = \pi \cdot d \cdot L \cdot \tau$  校核. 当锚杆直径为  $d = 20 \text{ mm}$ , 锚杆稳定锚固深度  $L = 1 \text{ m}$ , 锚杆与砂浆的平均结合力  $\tau = 1.1 \text{ N/mm}^2$  时的最小锚固力为 69.1 kN. 大于设计锚固力  $P$  及规范 50 kN 锚固力的要求. 说明锚杆参数满足要求.

**4.2.2 喷砼参数** 喷砼厚度定为 10 cm, 喷砼强度定为 20. 喷砼材料要求使用 425# 以上水泥及砂石, 速凝剂喷砼配合比为水泥: 砂: 石 = 1: 2: 2.

**4.2.3 钢筋网参数** 选用直径 6 mm I 级钢筋, 局部地段使用 10 mm I 级钢筋; 钢筋网格为 20 cm × 20 cm. 总工程造价 38 万元.

## 5 结论

在系统总结分析高速公路路堑顺层边坡特点的基础上, 提出的高速公路路堑边坡稳定性评价及设计方法思路, 具有系统性强、实用性强的特点. 实际应用表明, 对工程应用具有很强的指导作用.

### 参考文献:

- [1] 张学年, 盛祝平, 孙广忠, 等. 长江三峡工程库区顺层岸坡研究[M]. 北京: 地震出版社, 1993. 1-3.
- [2] 崔政权. 系统工程地质导论[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992. 5-69.
- [3] 胡新丽. 大型水平顺层滑坡形成机制数值模拟方法[J]. 山地学报, 2001, 19(2): 175-179.
- [4] JTJ013-1995, 公路路基设计规范[S].

## OPTIMUM DESIGN METHOD FOR BEDDING SLOPE OF EXPRESSWAY

Hu Xinli<sup>1,2</sup>, Tang Huiming<sup>1</sup>, Chen Jianping<sup>1</sup>

(1. *Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 2. *Construction and Engineering faculty, Chaoyang Compus of Jilin University, Changchun 130026, China*)

**Abstract:** It is known that the stability of the bedding slope of expressways directly affects the running safety of road, so it is important to summarize its characteristics and determine its study methods. Thus this paper presents a summary of its characteristics and an optimum design method and clue for field investigation, stability evaluation, determination of the optimum excavation slope angle and slope improving design. Then, taking the southern part of Dawu Section of Jingzhu (Beijing-Zhuhai) expressway as an example, we discuss the application of this optimum design method. Namely, the slope stability is evaluated with the method of residual pushing force and the Sarma method based on the analysis of the engineering geology conditions. After that, the sensitivity analysis for the slope stability is done using the residual pushing force method. On the precondition of ensuring the whole stability of slope and the economic reasonability, the paper also advances the optimum angle of design, the slope excavation scheme and the anchor and spray concrete scheme of the slope improvement design. The example shows that this optimum design method and clue are systematic and practicable for the construction.

**Key words:** expressway; bedding slope; stability evaluation; optimum design angle of slope; reinforce design.