

# 均质边坡分级开挖宽平台设计初探

周应华<sup>1</sup>, 周德培<sup>2</sup>

(1. 铁道部第二勘察设计院交通设计研究分院, 四川 成都 610031; 2. 西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

**摘 要:** 对整体稳定性较差的高边坡, 在地形条件允许的情况下, 建议在边坡中部设置宽平台。平台宽度达到一定值时, 可使边坡平台上下级开挖互不影响, 这样做的好处是当边坡产生局部失稳时就不会波及到其他级边坡, 从而避免从上到下连续大滑坡。提出采用极限平衡法搜索滑面的方法来确定宽平台的合理宽度, 并用数值分析结果验证这种方法的合理性。进行了宽平台设计因子相关性分析, 并建议采用工程类比的方法结合上述宽平台设计因子相关性找出一个较为合理的边坡开挖坡率和宽平台值。

**关键词:** 均质边坡; 宽平台; 设计

**中图分类号:** P642 TU45

**文献标识码:** A

现有研究表明, 高边坡工程分级开挖, 每级设置一定宽度的平台能够较好调节坡体内的应力。对于自稳能力很差的土质或软岩高边坡, 假设在中部设置一定宽度的平台能否使上下边坡坡体内应力调整互不影响呢? 如果能这样, 开挖边坡的稳定性将大大提高。公路和铁路路基设计手册<sup>[1,2]</sup>中都对平台的设置进行了一般性的规定, 本文进一步开展这方面研究。

## 1 宽平台设计原理及流程

在边坡中部设置宽平台, 对于高边坡来讲主要有两点意义: ①可以更有效地拦截上部落石; ②平台宽度达到一定宽度时可认为边坡中上下两级边坡开挖互不影响, 从而将一个高边坡分解成两个相对较低的边坡来进行处理。目前公路路堑开挖坡面普遍采用快速植被恢复技术进行防护, 坡面的散落的石块比较少, 即使有少量碎石也由于草皮的作用很难在坡面上加速下滚, 所以条件①比较容易满足, 因此主要以条件②来控制宽平台的设计。

对一个高边坡而言, 要使下级开挖不影响上级

边坡的稳定性, 应该满足下级边坡开挖引起的临界滑面不切入上级边坡体内, 通过极限平衡方法搜索下一级边坡滑面的临界位置, 其在坡顶上的出露点距坡顶线的距离即可认为是宽平台的宽度。

下面的思路是先用单级滑面搜索的方法确定平台宽度的初始值, 然后用数值分析来检验这种方法获得平台宽度的是否合理。

传统的以瑞典圆弧法为代表的刚体极限平衡方法搜索滑面工作量大, 随着计算机的发展, 已广泛应用专业软件自动搜索临界滑裂面。下面用极限平衡分析软件 Slide5.0来完成单级边坡圆弧型滑裂面的搜索

用一个工程实例来说明在均质土坡中宽平台的设计流程。

一土质边坡, 材料参数为  $c=30 \text{ kPa}$   $\varphi=24^\circ$ ,  $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$ ,  $\mu=0.35$ 。概化后的边坡断面图如图 1 所示, 自然坡角为  $26^\circ$ 。因建设高速公路需要开挖, 路基面距坡顶的高度为  $20 \text{ m}$  坡顶面近似水平, 边坡的安全等级为一级 (安全系数为  $1.30$ )。要设计边坡开挖断面的形式。

先分析该边坡采用一坡到顶开挖方式下的稳定

收稿日期 (Received date): 2006-11-01; 改回日期 (Accepted): 2007-01-20

作者简介 (Biography): 周应华 (1976-), 男, 博士, 工程师。主要从事岩土工程设计方面的研究, Email: swjzzyh@163.com [Zhou Yinghua (1976-), male, doctor, engineer. Main research field: geotechnical engineering.]

性,建立模型并得到其稳定性系数为 1.089(图 2),不满足安全性要求。故该边坡拟设计为分级两级开挖,每级 10 m 坡率为 1:0.75 现主要是确定边坡中部平台的合理宽度。因单级边坡的稳定性足于满足安全性的要求,如能使边坡上下级开挖互不影响,则无需对边坡进行支挡,边坡的稳定性已可达到安全性要求,只需适当的坡面防护即可,这对降低边坡防护费用和提高边坡的长期稳定性将是大有好处的。

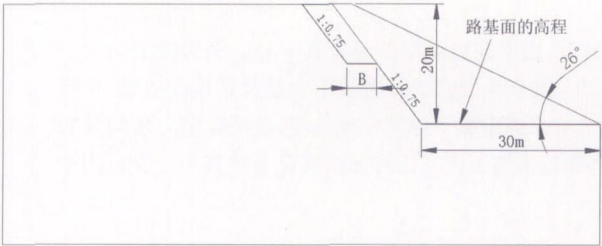


图 1 一土质边坡断面示意图  
Fig 1 A cross-section of a soil slope

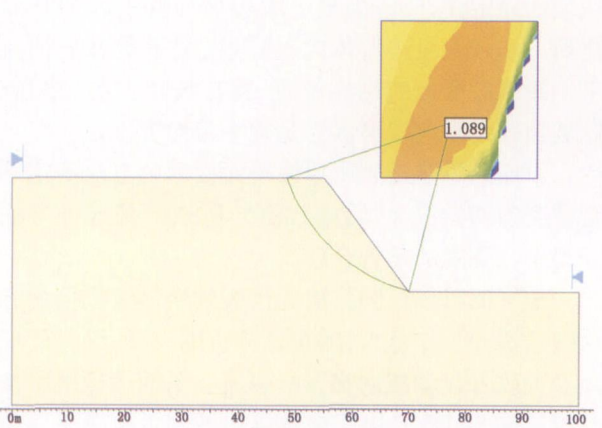


图 2 边坡一坡到顶开挖下的稳定性  
Fig 2 Stability of slope by whole excavation

现主要确定两级边坡之间的平台宽度 B。下面先用圆弧滑面搜索法对第一级边坡滑面进行搜索,以此来确定 B 的一个初始值,然后用有限元对其进行检验。建立第一级边坡开挖后的模型(图 3),用简化 Bishop 法搜索的得到  $B=4.638\text{ m}$  稳定性系数为 1.605 说明单级边坡的稳定性满足安全性要求。

为了安全起见,取平台宽度  $B=5\text{ m}$  用有限元软件建模分析,以边坡开挖后的塑性区和最大剪应力增量带的位置来评价平台宽度是否合理。模型的约束条件采用左右法向约束,底部双向约束。两级开挖后的塑性区和最大剪应力增量带的位置见图 4。

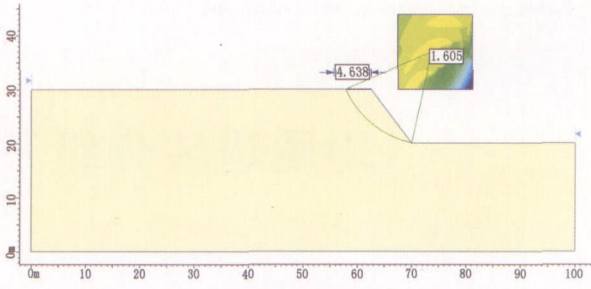
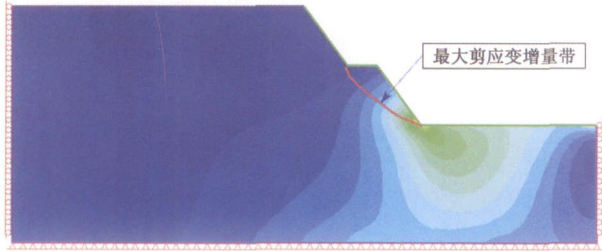
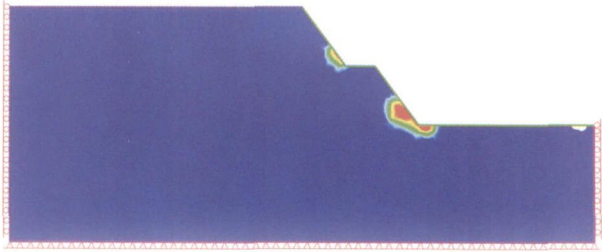


图 3 Bishop 法搜索得到的平台宽度初始值  
Fig 3 Primary value of bench width searching by bishop method



(a)最大剪应变增量带



(b)塑性区

图 4 有限元模型网格划分及约束条件图  
Fig 4 Mesh and restriction of FEM model

由最大剪应变增量带的位置可以大致确定潜在滑移面的位置<sup>[3]</sup>,由图 4(a)可知,第一级边坡开挖引起的潜在滑移面对第二边坡基本上是没有多大影响的。图 4(b)塑性区的范围也表明第一级边坡开挖其塑性区发展的范围也在 5m 平台以内。由此可知,平台宽度取 5 m 对于该边坡来说基本满足上下级边坡开挖互不影响的要求。

综合上述,对均质边坡而言,先通过单级滑面搜索的方法确定平台宽度的初始值,然后用数值分析来检验这种方法获得平台宽度的是否合理的思路是可行的,可见,宽平台的设计应遵循以下原则:

1. 宽平台设置后,下级边坡开挖对上级边坡基本没有影响。这样做的好处是一旦整个边坡的某级边坡失稳就不会波及其他级边坡,从而避免从上到下连续大滑坡;
2. 在满足条件 1 的情况下,开挖宽平台方案较

加支护措施方案更为经济。

在满足上述原则的前提下, 宽平台的设计流程可总结为图 5。

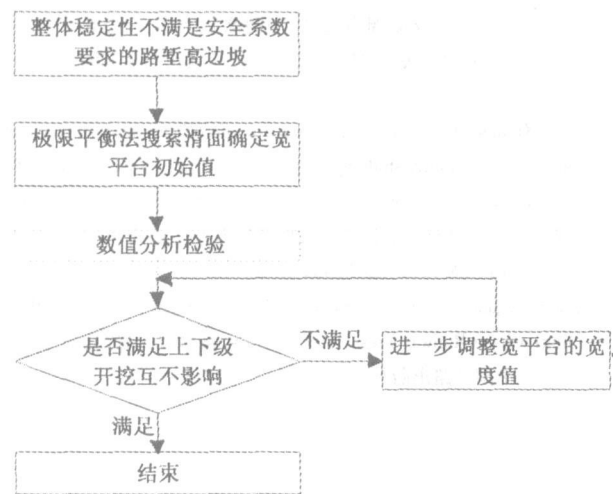


图 5 宽平台设计流程图  
Fig 5 Design flow chart of Spacious bench

## 2 宽平台设计因子相关性分析

宽平台设计与边坡的稳定性密切相关, 宽平台设计因子应与边坡的稳定性影响因素是一致的。对均质边坡而言, 影响其稳定的主要因素可归纳为: 1. 坡高; 2. 坡率; 3. 边坡岩土体的力学与变形特性。蒋爵光<sup>[4]</sup>更指出, 对一个边坡的设计而言, 坡率是较坡高更为关键的设计参数, 故在此主要研究边坡开挖坡率和岩土参数变化的情况下平台宽度的变化情况。在此, 称边坡的开挖坡率和岩土参数为宽平台设计因子。

当岩土参数确定时, 平台宽度随设计坡率的变化情况如图 6 其中土体的重度  $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$  (以下同)。可以看出, 在两组不同的强度参数情况下, 平台宽度随坡率具有相似的变化规律, 在坡率较小时 ( $1:1.75 \sim 1:1.5$ ) 平台宽度有一个极小值, 若有条件, 边坡设计坡率在该范围时, 较窄的平台宽度即可满足上下级开挖互不影响的要求, 这样可以较小的挖方来达到边坡分级稳定的目的; 随着坡率增大, 平台宽度出现一个极大值; 在坡率较大时, 平台的宽度趋于一个相对稳定的值。

同时研究了在坡率为  $1:1$  时, 平台宽度随设计岩土参数的变化情况 (图 7 图 8)。可以看出, 平台宽度具有随内摩擦角递减, 随内聚力递增的变化规律。

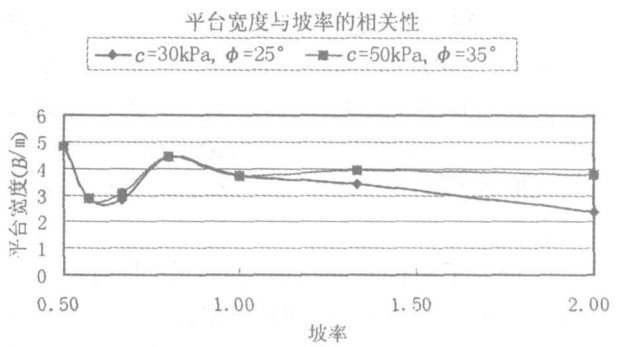


图 6 平台宽度与坡率的相关性  
Fig 6 Relativity between bench width and the ratio of slope

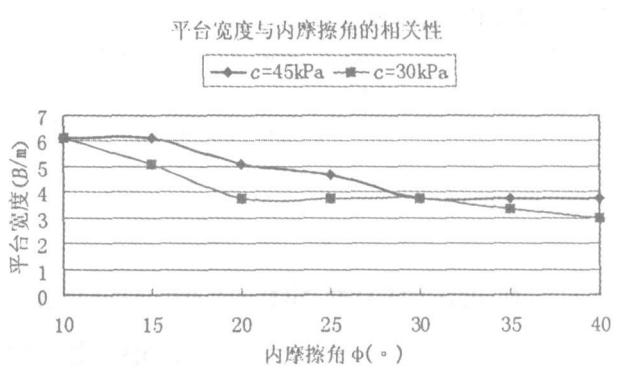


图 7 平台宽度与内摩擦角的相关性  
Fig 7 Relativity between bench width and angle of internal friction

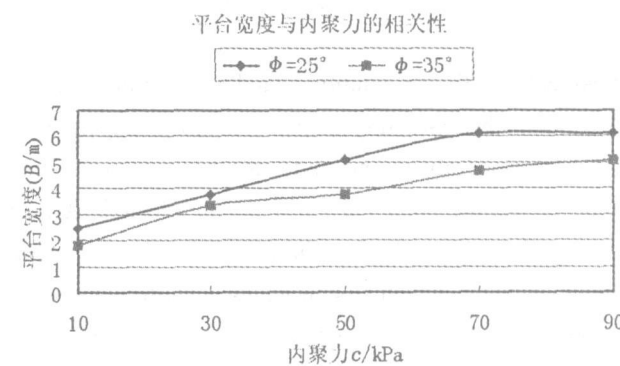


图 8 平台宽度与内聚力的相关性  
Fig 8 Relativity between bench width and cohesion

设计人员进行边坡设计时, 可采用工程类比的方法并结合上述宽平台设计因子相关性找出一个较为合理的边坡开挖坡率和平台宽度值。

## 3 结语

通过对边坡分级开挖下稳定性的研究, 得到如下研究成果:

1. 在地形条件允许的情况下, 建议设置宽平

台,平台宽度达到一定值时,边坡的下级开挖对上级影响不大,这样做的好处是当边坡产生局部失稳时就不会波及其他级边坡,从而避免从上到下连续大滑坡。对均质边坡提出可采用极限平衡搜索滑面的方法选取宽平台的合理值,然后用数值分析法来检验其合理性。

2. 研究了平台宽度与边坡开挖坡率和岩土参数的相关性,进行边坡设计时,可根据现有工程的使用情况并结合这些相关性找出一个较为合理的边坡开挖坡率和平台宽度值。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] The First Railways Survey & Design Institute The Handbook of Railway Engineering Technology Subgrade [ M ] . Beijing China Railway Press 1995 20 ~21 [ 铁道部第一勘测设计院 . 铁路工

程设计技术手册:路基 [ M ] . 北京:中国铁道出版社,1995 20 ~21]

- [ 2 ] China Communication Second Highway Survey Design and Research Institute The Handbook for Highway Designing—— Subgrade ( Second Publishing ) [ M ] . Beijing China Communications Press 2001 60 ~ 61 [ 交通部第二公路勘察设计院 . 公路设计手册——路基 (第二版 ) [ M ] . 北京:人民交通出版社,2001 60 ~ 61]
- [ 3 ] Ding Ximei, Liu Guangshi, Huang Runqiu Shear strain increment applying in stability studying of debris slopes [ J ] . Advance in Earth Sciences 2004 19 ( Suppl ): 318 ~ 323 [ 丁秀美,刘光士,黄润秋,等 . 剪应变增量在堆积体边坡稳定性研究中的应用 [ J ] . 地球科学应用 . 2004 19 (增刊 ): 318 ~ 323 ]
- [ 4 ] Jiang Jueguang The Rock Slope in Railway Engineering [ M ] . Beijing China Railway Press 1997. 1 ~ 15 [ 蒋爵光 . 铁路岩石边坡 [ M ] . 中国铁路出版社,1997. 1 ~ 15]

# Elementary Study on Design of Spacious Bench in Homogeneous Slope by Step Excavation

ZHOU Yinghua<sup>1</sup>, ZHOU Depei<sup>2</sup>

( 1. Institute of Transportation Design and Research Under the Second Railways Survey and Design Institute Chengdu 610031, China

2. School of Civil Engineering Southwest Jiaotong University Chengdu 610031 China)

**Abstract:** With the condition landform permitting Spacious bench in slope is suggested to set in the middle of slope that whole stability is of a sort in this paper. When the width of spacious bench is reach a fixed value excavation in slope above and under the bench cannot affect each other. With this advantage when a local failure in slope occurs the other parts will not be affected. A method to get the width of Spacious bench using limit equilibrium searching is put forward in this paper. Numerical analysis is used to validate rationality of the method. Relativities of Spacious bench design genes is studied Engineering analogy method combined with the relativities are used to get a reasonable value of the ratio of slope and the width of bench.

**Key words:** homogeneous slope spacious bench in slope design