

# 岩质高陡边坡稳定性分析

陈 帆, 刘 立, 陆海空, 欧 哲

(西华大学建筑与土木工程学院, 四川 成都 610039)

**摘 要:**高边坡稳定性分析是一项复杂的系统工程问题, 涉及地质、水文、地理条件等各种因素, 目前有多种分析方法, 但这些方法都存在计算过程复杂、计算量很大的问题。以实际边坡为例, 采用赤平极射投影法和圆弧图表法分析某岩质高陡边坡, 减少大圆弧滑动法分析所需要的大量计算, 初步评价其稳定性, 为该边坡后续的详细稳定性分析提供参考。实例分析结果表明该方法大大地简化了计算, 最后针对一些具体情况给出了具体建议。

**关键词:**岩质高陡边坡; 稳定性; 赤平极射投影法; 圆弧图表法

**中图分类号:** U416.14

**文献标识码:** A

## Stability Analysis of High and Steep Rock Slope

CHEN Fan, LIU Li, LU Hai-kong, OU Zhe

(School of Architecture and Civil Engineering, Xihua University, Chengdu 610039 China)

**Abstract:** The stability analysis of high and steep rock slope is a complex system engineering issue. The problem analysis, research, evaluation and design are involved in mathematics, mechanics, geological background and environmental conditions. A comprehensive, integrated approach is to examine the analysis and solution to the problem. Slope stability analysis using arc-Sweden, Swedish sub-article law obtains a lot of spreadsheets, and the workload is heavy. In this paper, a very radio Stereographic projection and analysis of a circular chart are used to analyze the rock high and steep slope, which reduce a large number of calculation. A preliminary evaluation of its stability is conducted, which can be used as the reference for the analysis of detailed following analysis of the slope stability.

**Key words:** high and steep slope rock; stability; stereographic polar projection; circular chart method

随着我国城镇建设进程的加快, 有限的城区建设用地资源已无法满足需求, 大量高层建筑将往城郊山区发展, 依山而建。建筑场地内普遍分布有高陡边坡, 其安全与否, 直接关系到坡地地区人民生命财产安全。因此, 对高陡边坡的稳定性进行评价成为确保建设场地及相关建筑物安全的关键环节之一。岩质边坡稳定性的分析评价是一项复杂的系统工程问题, 它涉及工程地质学、岩体力学和计算科学等多种学科, 一直是岩土工程研究的重要内容<sup>[1-2]</sup>。目前, 岩质边坡稳定分析评价方法很多, 但存在的问题也较多。比较突出和严重的问题是计算过程复杂、计算量很大<sup>[3-5]</sup>。本文以实际边坡为例, 分别用赤平极射投影法和圆弧图表法分析该边坡的稳定性

法, 简化分析的步骤和计算量, 初步评价边坡的稳定性, 为边坡的加固提供科学的参考。

## 1 建设边坡场地概况

### 1.1 场地地理位置、地形地貌及工程概况

勘察场地位于达县南外镇曹家梁, 场地以缓坡地形为主, 局部平坦, 斜坡上建筑物密集, 坡度较缓, 平均坡度  $10 \sim 28^\circ$ , 由中间向四周变低, 呈“凸”字形。地貌上属构造堆积剥蚀区, 高程在  $300 \sim 350\text{m}$  之间, 相对高差约  $50\text{m}$ 。

项目分 A、B、C、D、E、F 六个区, 工程建设将形成高度不等的人工边坡, 受场地周边环境和用地条件的限制, 各段边坡均无放坡条件, 将形成陡直的人

收稿日期: 2009-09-17

基金课题: 四川省人事厅课题 (06206033)

作者简介: 陈 帆 (1979-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为岩土工程。

通讯作者: 刘 立 (1958-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为岩土工程、地下工程、测试技术等, Email: LiuL3188@163.com.

工边坡,各段边坡的坡角均大于  $82^\circ$ 。由于篇幅有限,本文仅分析 B 区边坡的稳定性。B 区位于拟建场地中部的北侧,拟建建筑的  $\pm 0.00$  标高为  $304.10 \sim 306.30\text{m}$ ,将形成 B1~B2 段和 B2~B3 段两处人工边坡,总体坡向南(中段局部向西)。B1~B2 段人工边坡长约  $50\text{m}$ ,坡高  $28.4 \sim 30.9\text{m}$  不等; B2~B3 段人工边坡长约  $70\text{m}$ ,坡高约  $40.6\text{m}$ 。B 区坡脚均为  $85^\circ$ ,坡向为  $169^\circ$ 。

### 1.2 区域地质构造

勘察场地位于达县一大竹向斜近轴部东翼,轴线方位为  $15 \sim 20^\circ$ ;出露侏罗系中统上沙溪庙组泥岩和砂岩,呈互层状,总体倾向西,产状  $259 \sim 292^\circ \angle 20 \sim 36^\circ$ ;无断层、裂隙密集带通过。受达县一大竹向斜构造的影响,场区内主要发育两组节理,其中一组走向与向斜轴部近平行(第一组),另一组与向斜轴部近垂直(第二组)。产状分别为  $68 \sim 138^\circ \angle 46 \sim 72^\circ$  和  $174 \sim 215^\circ \angle 65 \sim 90^\circ$ 。见节理玫瑰花图(图 1)。

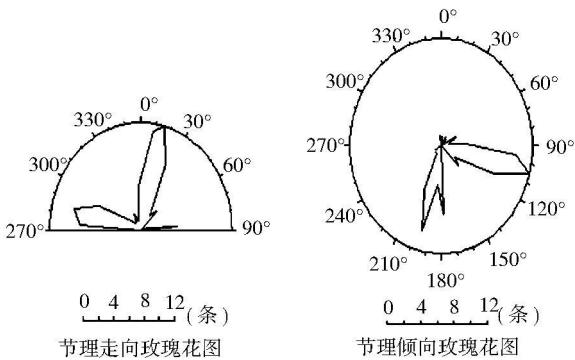


图 1 节理玫瑰花图

## 2 岩质边坡稳定性分析

### 2.1 赤平极射投影法

赤平极射投影是表示空间物体之点、线、面角距关系的一种平面投影。通过这种方法,将较复杂的空间问题化为简单的平面问题,以便于研究与应用<sup>[6]</sup>。该法是根据现场踏勘结果,将边坡某一调查点处岩体中发育的多组裂隙绘制成赤平投影图,根据所绘制成的赤平投影图对该点处边坡岩体的稳定性进行定性判别。在不考虑影响边坡稳定的坡高、坡顶荷载等条件下,根据结构面产状与边坡坡度、坡向的组合关系作赤平极射投影图<sup>[7-8]</sup>。根据赤平极射投影图,对该边坡的稳定进行定性评价如下:

B1~B2、B2~B3 段人工边坡位于拟建场地中

部的北侧,长度分别约  $50\text{m}$  和  $70\text{m}$ ,总体坡向南(中段局部向西),坡高约  $28.4 \sim 30.9\text{m}$  和  $40.6\text{m}$  不等。其赤平极射投影图 2 所示。

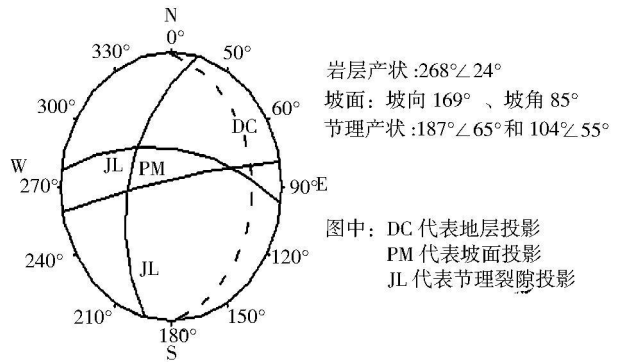


图 2 赤平极射投影图

通过对图 2 分析:开挖后边坡坡向与一组节理裂隙倾向小角度相交,坡角比节理倾角大,并且两组节理形成的楔形体的组合线倾角比坡角缓,均形成外倾结构面,该段边坡整体不稳定,将形成平面滑动。其中产状为  $187^\circ \angle 65^\circ$  的节理与开挖后形成的边坡交角比产状为  $104^\circ \angle 55^\circ$  的节理与开挖后形成的边坡交角较大,故开挖后产状为  $187^\circ \angle 65^\circ$  的节理为主要不稳定控制面。

### 2.2 圆弧图表法

边坡稳定分析若采用瑞典圆弧法、瑞典条分法和毕晓普法均需进行大量的试算,工作量很大。为减少工作量,很多学者建议用简化图表法代替。洛巴索夫根据圆弧等法<sup>[9]</sup>,通过大量计算绘成评价土坡稳定的简单实用图表,如图 3 所示。

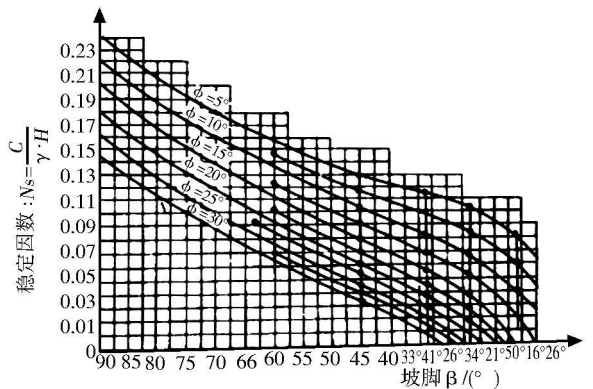


图 3 圆弧图表法  $N_s - \beta - \varphi$  关系曲线

$$\text{稳定因数: } N_s = C / \gamma H \quad (1)$$

C 为结构面的粘聚力 /  $\text{kPa}$ ;  $\gamma$  为岩土体的重度 /  $(\text{kNm}^{-3})$ ; H 为边坡高度 /  $\text{m}$ ;  $\beta$  边坡坡角 /  $(^\circ)$ ;  $\varphi$  为内摩擦角 /  $(^\circ)$ 。  
(下转 94 页)

## 参 考 文 献

- [1] 栾秋平. 双向脉冲电镀电流源性能分析[J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2008(01): 12-13.
- [2] 侯进. 浅谈脉冲电镀电源[J]. 电镀与环保, 2005(03): 28-31.
- [3] 于永民, 孙斌. 脉冲电镀应用现状及对策分析[J]. 表面技术, 2006(03): 82-84.
- [4] Norman M Osero. An Overview of Pulse Plating[J]. Plating and Surface Finishing 1986(10).
- [5] Vincent B. Berrot P. Creusat G F et al. Gold Deposits Obtained by Pulse Plating[J]. Plating and Surface Finishing 1990(12).
- [6] Tang P T, Watanabe T, Andersen J E T et al. Improved Corrosion Resistance of Pulse Plated Nickel Through Crystallization Control

- [J]. Journal of Applied Electrochemistry 1995(1).
- [7] 章志敏, 刘德斌, 杨向东, 等. 超细铂丝亚硫酸盐脉冲镀金实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2005(07): 1027-1030.
- [8] 电镀手册编写组. 电镀手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [9] J. Torres-González P. Benaben. Study of the Influence of Electrolyte Chemical Composition on the Properties of Chromium Electrodeposits: microstructure, Crystallographic Texture, Residual Stress and Microhardness[J]. Metal Finishing 2003, (101): 107-116.
- [10] 韩桂利. 电镀电源的发展与新技术[J]. 天津冶金, 2007(01): 45-47.

(编校:夏书林)

(上接 55页)

根据工程地质调查和测绘、室内试验及地区经验综合确定计算参数, 稳定性计算参数见表 1。

表 1 边坡稳定性计算参数表

项目 坡段	$\gamma / (\text{kNm}^{-3})$	$C / \text{kPa}$	$\varphi / (^{\circ})$	坡高 / m	坡度 / $(^{\circ})$
B1~B2	25.1	90	27	30.9	85
B2~B3	25.1	90	27	40.6	85

由于 B1~B2 和 B2~B3 坡段边坡高度均大于 30m, 而且边坡失稳破坏后将对坡脚下面的居民生命财产安全产生严重威胁, 故 B1~B2 和 B2~B3 边坡安全等级均为一级, 参照《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2002)一级边坡稳定安全系数为 1.35。

用 C 计算边坡稳定如下:

$$C' = C / 1.35 = 27 / 1.35 = 20$$

将  $C' = 20$  带入式 (1):

$$N_s = c / \gamma H = 20 / (25.1 \times 30.9) = 0.026$$

由  $N_s = 0.026$  查图 3 得坡角  $\beta = 42^{\circ} < 85^{\circ}$ 。

故 B1~B2 坡段边坡不稳定, 需加固。由于 B1~B2 坡段除了坡高比 B2~B3 坡段低了点外, 其他各种参数都完全一样, 所以可以只计算 B1~B2 坡段的稳定因素。如果 B1~B2 坡段经计算不稳定, 那么 B2~B3 坡段也一定不稳定。由上面计算可知, B2~B3 坡段边坡也不稳定, 需加固。

### 3 结论和建议

综合赤平极射投影法和圆弧图表法分析结果得知该边坡不稳定, 必须采取加固措施。

岩质边坡岩体中所发育的结构面是控制边坡稳定的关键因素, 通过赤平极射投影法分析, 该岩质边

坡结构面切割岩体形成滑动面和潜在滑动楔形体, 对该边坡稳定性影响很大。

由本文分析过程可知: 相对瑞典圆弧法、瑞典条分法和毕晓普法, 赤平极射投影法和圆弧图表法能较快速地初步分析边坡的稳定性, 大大地简化了计算。如果现阶段只初步分析边坡的稳定性, 暂时不考虑以后的边坡加固等详细设计, 建议用赤平极射投影法, 只需现场勘测出边坡的产状就能分析。如果边坡分析不稳定后要加固, 建议用圆弧图表法, 通过工程地质调查和测绘、室内试验取得表 1 中的参数值, 然后用稳定因素公式计算边坡的稳定性。

## 参 考 文 献

- [1] 邹祖银. 223 省道岩质高陡边坡稳定性的分析评价[J]. 路基工程, 2009(2): 52-54.
- [2] 肖云. 露天采场高陡岩质边坡典型地段稳定性分析[J]. 武汉工程大学学报, 2009(3): 34-37, 41.
- [3] 肖桃李. 岩质边坡稳定性影响因素分析[J]. 中国水运(下半月), 2008(10): 179-180, 182.
- [4] 李文波. 岩质边坡稳定性分析方法及应用[J]. 中国水运(下半月), 2008(8): 186-189.
- [5] 周德培. 基于坡体结构的岩质边坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2008(4): 687-695.
- [6] 姚环, 郑振. 公路岩质高边坡稳定性的综合评价研究[J]. 岩土工程学报, 2006(5): 558-563.
- [7] 田文彪. 赤平极射投影法在路堑岩质边坡稳定性评价中的应用[J]. 中国水运: 理论版, 2007(06): 57-61.
- [8] 王军. 边坡稳定性的赤平极射投影法分析[J]. 今日科苑, 2008(20): 282-282.
- [9] 于海峰. 全国注册岩土工程师专业考试培训教材[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.

(编校:叶超)