

某典型路堑边坡稳定性及影响因素分析

刘亚君

(广东省冶金建筑设计研究院, 广东 广州 510080)

摘要: 对某典型路堑边坡的稳定性进行分析与计算, 为类似路堑边坡稳定性计算提供参考。

对比分析发现该路堑自然边坡稳定, 计算安全系数大于 1.2; 瑞典条分法比 Bishop 法及 Spencer 法偏保守, Bishop 法与 Spencer 法所得边坡安全系数非常接近; 边坡安全系数随坡体内摩擦角和粘聚力的增大而呈线性增长。

关键词: 公路; 路堑边坡; 瑞典条分法; 安全系数; 内摩擦角

中图分类号: U418.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0101-03

在近 30 年的道路建设过程中, 中国许多学者对边坡稳定性问题开展了大量有益研究, 也积累了许多宝贵经验, 如: 朱益军对杭州—金华—衢州高速公路(诸暨段)中的典型路堑边坡进行调研与分析, 研究了路堑边坡失稳的主要因素及类型; 彭雪震等从统计分析优势结构面的角度, 利用极限平衡法和赤平投影法对公路路堑边坡的工程地质条件及稳定性进行了评价与分析; 陈泽松等采用数值有限元法对高陡路堑边坡的施工开挖过程进行模拟分析, 对比研究了不同工况下高陡路堑边坡施工过程中的稳定性, 获得了高陡路堑边坡开挖过程中的最危险施工阶段。这些路堑边坡稳定性研究成果为道路工程建设提供了借鉴和参考。但如何经济合理地设计路堑边坡、如何确保施工过程中路堑边坡的安全性及如何对边坡进行合理防护和加固等仍是困扰中国道路建设的重大技术性难题。为此, 该文在现有研究成果的基础上, 利用 slide 计算软件及理论计算方法对某典型路堑边坡开展稳定性分析, 确保其施工与运营中的安全稳定性。

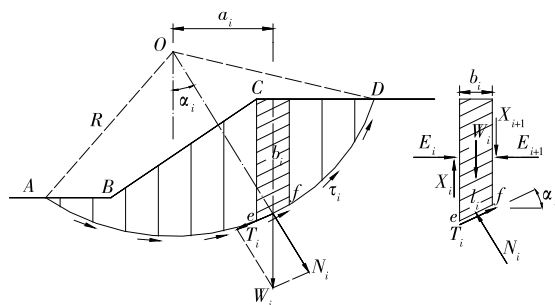
1 边坡稳定性分析方法

1.1 瑞典条分法

1936 年, Fellenius 提出瑞典条分法, 假设某土坡的形状如图 1 所示, 在二维条件下取单位宽度土坡进行稳定性分析。

$$T_i = W_i \sin \alpha_i$$

图 1 中, 曲线 AD 为一圆心为 O、半径为 R 的圆弧。将土坡中的滑动体 DCBA 分成若干竖向土条, 根据各土条之间的力和力矩平衡关系得到土坡的稳定性系数(安全系数):



b_i 为土条宽度; α_i 为土条倾角; W_i 为土条重力; N_i 、 T_i 分别为滑面 ef 上的法向反力和切向反力; E_i 、 E_{i+1} 为土条两侧的法向力; X_i 、 X_{i+1} 为土条两侧的竖向剪力; l_i 为土条底面长度。

图 1 瑞典条分法计算图示

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (1)$$

式中: M_s 、 M_r 分别为滑动力矩和抵抗力矩; c_i 、 φ_i 分别为土体粘聚力和内摩擦角。

1.2 Bishop 法

以瑞典条分法为基础, 毕肖普(Bishop)忽略竖向剪力 X_i 、 X_{i+1} 的影响, 并假设滑动面上的 τ_{fi} 与切向力 T_i 为一对大小相等方向相反的力[见式(2)], 根据静力平衡关系得到式(3)所示土坡安全系数计算公式。

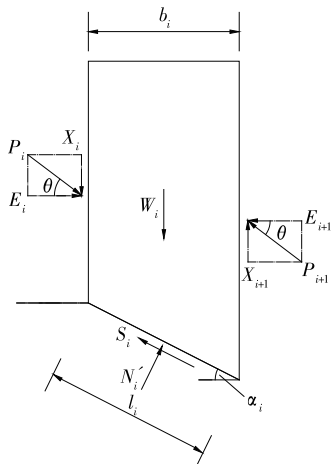
$$T_i = \tau_{fi} l_i = \frac{1}{F_s} (N_i \tan \varphi_i + c_i l_i) \quad (2)$$

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{[W_i + (X_{i+1} - X_i)] \tan \varphi_i + c_i l_i \cos \alpha_i}{\cos \alpha_i + \tan \varphi_i \sin \alpha_i / F_s}}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (3)$$

1.3 Spencer 法

Spencer 假设土条间的法向力和切向力之间的关系如式(4)所示,虽然土条之间的合力 P 相互平行,但不在同一直线上(如图 2 所示)。根据条间静力平衡关系及摩尔库伦准则得到条间合力 P 之间的递推关系[见式(5)]。

$$\frac{X_i}{E_i} = \frac{X_{i+1}}{E_{i+1}} = \tan\theta \quad (4)$$



S_i 为滑面上的切向反力。

图 2 Spencer 法计算图示

$$P_{i+1} - P_i = \frac{W_i \left(\sin\alpha_i + \frac{\cos\alpha_i \tan\phi'_i}{F_s} \right) + \frac{u_i l_i \tan\phi'_i}{F_s} - \frac{c'_i l_i}{F_s}}{\cos(\theta - \alpha_i) \left[1 + \tan(\theta - \alpha_i) \frac{\tan\phi'_i}{F_s} \right]} \quad (5)$$

式中: c'_i 、 ϕ'_i 分别为土体有效粘聚力和内摩擦角。

由于条间力为内力,根据静力平衡关系得:

$$\sum (P_{i+1} - P_i) = 0 \quad (6)$$

根据上述关系式,通过迭代求解即可得到土坡稳定性系数。

2 路堑边坡稳定性分析

2.1 路堑边坡概况

该路堑边坡处于剥蚀型构造地带,坡度为 $15^\circ \sim 35^\circ$;冲沟发育,冲沟走向多呈东西向,冲沟及沟谷断面呈 V 字形。地质调查及钻探结果显示,该路堑边坡的覆盖层以残坡积成因的粉质黏土、碎石及块石等为主,边坡下伏基岩主要为第三系砾岩、灰岩、泥灰岩、砂岩等。其地层岩性自上往下依次为:

(1) 第四系全新统(Qh)。① 种植土。其厚度

一般为 $0 \sim 0.4$ m。② 漂石。杂色,密实,饱和;以砂岩及灰岩为主,粒径为 $80 \sim 200$ mm;亚圆状,充填黏性土,厚度 $0 \sim 32$ m,洪积成因。③ 粉质黏土。褐红色,可塑状;局部含少量碎石,厚度 $0 \sim 3.6$ m。

(2) 第四系更新统(Qp)。④ 粉质黏土。褐红~褐黄色,硬塑状;局部含少量碎石,厚度 $0.0 \sim 25.8$ m。⑤ 碎石。褐黄色,中密~密实;以砂岩及灰岩为主,棱角状,充填黏性土,厚度 $0.0 \sim 20.7$ m。

(3) 第三系东塘组(E1d)。⑥ 砾岩。紫红色,中风化,泥质胶结,胶结差;岩质极软,属半成岩;砾石成分以砂岩及灰岩为主,呈次圆及次棱角状,粒径一般为 $5 \sim 20$ cm。

(4) 石炭系大塘阶(C1d)。⑦-1 全风化层。褐黄色,局部可见原岩结构,岩石已风化,呈硬塑土状,层厚 $0 \sim 4.8$ m,仅在 ZK20-2 号孔分布。⑦-2 强风化层。岩石裂隙发育,岩石破碎,岩芯呈碎石及碎块状,岩石软,层厚 $12.5 \sim 13.7$ m。⑦-3 中风化层。岩质硬,岩体较完整,岩芯大多呈块状及短柱状,层厚大于 14.1 m。⑧-1 强风化层。岩质软,岩体破碎,岩芯大多呈块状及碎石状,层厚 $1.6 \sim 4.1$ m。⑧-2 中风化层。岩质较硬,岩体较破碎,岩芯大多呈块状及碎石状,层厚大于 21.2 m。

2.2 模型建立与计算参数

根据该路堑边坡工程地质勘察及现场调研结果,截取最危险断面进行稳定性分析(如图 3 所示)。

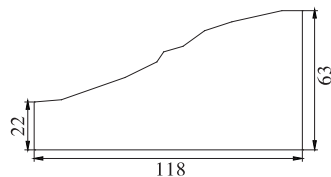


图 3 路堑边坡计算尺寸示意图(单位:m)

根据地质勘察资料及室内土工试验结果,得到该路堑边坡稳定性计算参数(如表 1 所示)。

表 1 路堑边坡模型计算参数

土层	天然重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	饱和重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚 力/kPa	内摩擦 角/ $(^\circ)$
粉质黏土	16.2	19.9	28	19
风化灰岩	20.8	25.6	480	38

2.3 计算结果及分析

利用 slide 数值计算软件及上述典型理论计算方法建立相应计算模型,计算得到该路堑边坡稳定

安全系数(如表 2 所示)及安全系数随粉质黏土粘聚力和内摩擦角的变化情况(如图 4、图 5 所示)。

表 2 路堑边坡稳定性计算结果

计算方法	安全系数
瑞典条分法	1.226
Bishop 法	1.305
Spencer 法	1.303

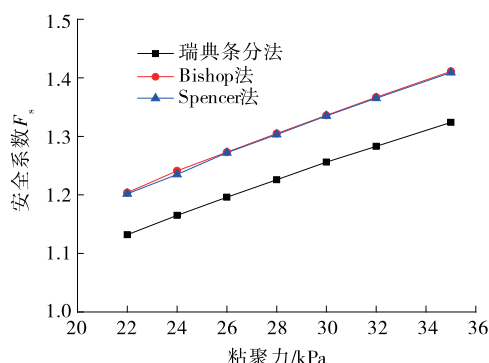


图 4 边坡安全系数与土体粘聚力的关系

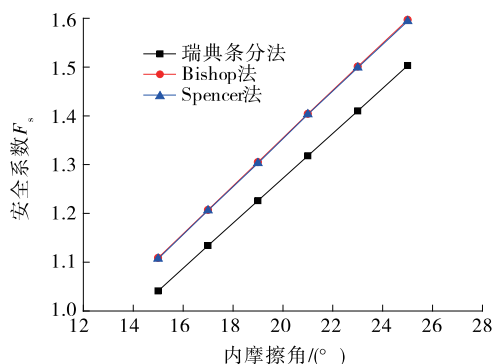


图 5 边坡安全系数与土体内摩擦角的关系

由表 2 可知:该路堑边坡的安全系数大于 1.2,说明天然状态下该边坡稳定,满足安全性要求;瑞典条分法计算所得边坡安全系数比 Bishop 法与 Spencer 法所得结果小,偏保守,而 Bishop 法与 Spencer 法所得计算结果非常接近。

由图 4、图 5 可知:该路堑边坡的安全系数随粉质黏土层粘聚力、内摩擦角的增大呈线性关系增大,说明其稳定性主要由上覆粉质黏土层的物理力学参数所决定。鉴于其安全系数大于 1.2,可仅对其采用植草植被防护。

3 结论

(1) 天然状态下,该典型路堑边坡的安全系数大于 1.2,满足安全性要求;瑞典条分法比 Bishop 法及 Spencer 法保守;Bishop 法与 Spencer 法所得边坡安全系数非常接近。

(2) 该路堑边坡的安全系数随粉质黏土层粘聚力、内摩擦角的增大近似呈线性关系增大,建议对其采取适当措施进行防护。

参考文献:

- [1] 李曙龙,黄小龙.水平成层土质边坡破坏机理及极限承载力研究[J].湖南交通科技,2015,41(2).
- [2] 赵明阶,何光春,王多垠.边坡工程处治技术[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 夏艳华,白世伟.传递系数法在滑坡治理削坡方案设计中的应用[J].岩石力学与工程学报,2008,27(增刊1).
- [4] 朱益军.高速公路路堑边坡稳定性研究[D].杭州:浙江工业大学,2001.
- [5] 彭雪震,林贤蓬.基于赤平投影和极限平衡的某路堑边坡稳定性分析[J].中国水运:下半月,2009(9).
- [6] 陈泽松,夏元友,李奇敏,等.高陡路堑边坡开挖稳定性评价及应用[J].武汉理工大学学报,2010,32(5).
- [7] 胡海晨.高速公路土质边坡开挖稳定性分析[J].科技视界,2013(28).
- [8] 黄静宇,黄新任.非线性强度准则下炭质泥岩路堑边坡稳定性分析[J].湖南交通科技,2014,40(3).
- [9] 冯守中,闫澍旺,崔琳.干旱地区路堑边坡失稳的机理及稳定性分析方法[J].岩土力学,2009,30(增刊).

收稿日期:2016—10—28

(上接第 83 页)

方法研究[J].公路,2005(1).

- [9] 郭大进,沙爱民,孙建华,等.沥青路面工程质量控制指标体系的研究[J].公路交通科技,2007,24(4).
- [10] 宋波,郭大进.基于控制图数理的沥青混凝土路面试验检测指标误差估计[J].公路,2012(1).
- [11] 文俊.施工过程中沥青路面各结构层弯沉演变规律研

究[D].长沙:长沙理工大学,2013.

- [12] 陈林,王树杰.耐久性沥青路面力学响应及疲劳寿命预估研究[J].公路与汽运,2016(6).
- [13] 位赛厦.土基抗压回弹模量对半刚性基层沥青路面结构承载力的影响分析[J].公路与汽运,2016(4).

收稿日期:2016—10—18