

峰值强度与残余强度对边坡加固的影响研究

谭文辉, 任奋华, 苗胜军

(北京科技大学 土木系, 北京 100083)

摘要: 现有的边坡加固方案中, 基本上都是用岩石的峰值强度来确定边坡的临界滑面和锚固长度。实际上, 边坡出现滑动后, 滑面保持残余变形和抵抗外部载荷的能力出现了衰减, 滑面上的强度只是残余强度, 采用一种混合方法进行边坡加固, 即用峰值强度来确定边坡的临界滑面, 用残余强度来确定锚固长度。研究表明, 采用混合方法对边坡进行加固可以提高边坡加固工程的安全性, 具有较大的实际意义。

关键词: 边坡加固; 峰值强度; 残余强度; 滑动面; 安全系数

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Influence of parameters of peak strength and residual strength on the reinforcement of slopes

TAN Wen-hui, REN Fen-hua, MIAO Sheng-jun

(Department of Civil Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: The parameters of peak strength are often used to determine the critical slip surface and the length of anchors in schemes of slopes' reinforcement at present, in fact, the capability of resisting loads and deformation decreases in the slip surface after sliding, there are only residual strength existing. Therefore, a mixed method is proposed to reinforce slopes, that is, the critical slip surface is determined by the parameters of peak strength, while the length of anchors is determined by the parameters of residual strength. The research shows that the safety of the reinforced slopes could be improved by the mixed method.

Key words: reinforcement of slopes; peak strength; residual strength; slip surface; safety factor

1 引言

滑坡是一种常见的地质灾害。边坡发生滑动时, 常常发现滑动面上的平均剪应力比它们的抗剪强度小得多。1964年 Skempton 在一篇题为“黏土边坡的长期稳定性”的资料中, 对这个问题作了系统的论述, 认为发生上述现象的一个重要因素就是岩石的残余强度(剩余强度)问题^[1]。

残余强度是岩石在破坏之后保持残余变形和抵抗外部载荷的能力。对于边坡而言, 剪切破坏面之间摩擦力维持的承载能力就是残余强度, 而摩擦力仅在具有相对滑移或者有相对滑移的趋势时才会产生。因此, 当边坡出现滑动时, 边坡的稳定性基本上是由岩石的残余强度决定的。但是, 目前在进行边坡稳定性加固时, 常采用峰值强度进行计算, 这样加固后边坡的安全性到底有多大? 到底用岩石的

峰值强度还是残余强度来进行边坡的加固是令人困惑的问题^[2]。为此, 本文以一实际工程为例, 采用对比的方法来研究峰值强度与残余强度对边坡加固效果的影响。

2 实例分析

2.1 工程概况

祁县—临汾高速公路灵石至霍州段 k80+534~k93+263 路段内地形、地质条件十分复杂, 线路通过大量煤矿采空区和滑坡群, 不良地质现象接踵分布。由于工程施工对古滑坡体的人为扰动, 造成节理裂隙发育和主要由强风化岩体构成的大范围路段路基及高陡路堑边坡多处出现严重失稳和大规模坍塌迹象。在将部分路段路堑边坡坡率调整放缓至 1:1~1:1.5 后, 施工过程中仍发生边坡滑塌失稳现象, 常规方法已无法保证边坡的长久稳定与安全。

开挖过程中, 在 k86+125~k86+185 段路堑左边坡发生了较大规模滑塌, 该段边坡坡高大于 50 m, 岩体破碎、软弱, 并含有大量膨胀性泥岩和节理十分发育的砂岩, 极易风化并产生局部失稳。该段边坡正常情况下无地表水流经^[3], 因此, 水的影响可以不考虑。

2.2 计算模型

根据对现场工程地质调查, 结合坡体滑塌现状、岩土体物理力学性质、坡高等因素, 选取滑坡区内 k86+145 典型边坡断面进行稳定性分析并确定相应的加固措施。该段滑坡区地层主要为黄土、砂岩、泥岩。边坡岩体力学参数见表 1。

表 1 边坡岩体力学参数 (峰值强度)
Table 1 Parameters of slope rockmass (peak strength)

种类	内摩擦角 φ / ($^{\circ}$)	凝聚力 c / kPa	重度 γ / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$
黄土	18	16	19
砂岩	22	23	22
泥岩	20	20	21

由于边坡高度大、范围广, 整个坡体在沿轴线方向的变形很小, 可以忽略不计, 因此, 力学分析采用平面应变假设模型。边界条件为两侧限制水平移动, 底部限制垂直位移。边坡计算简图见图 1, 该图用边坡稳定性分析软件 GEO-SLOPE 生成。

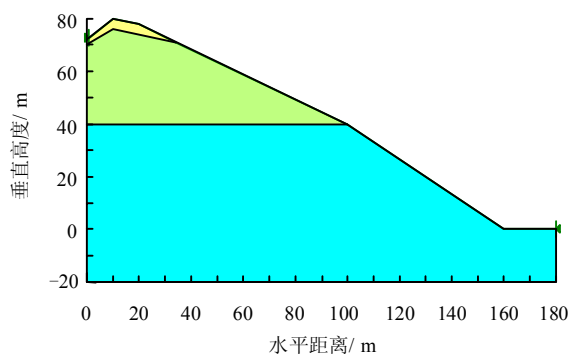


图 1 边坡计算简图

Fig.1 Calculation model of a slope

采用极限平衡分析方法中的 SARMA 法计算出的边坡滑面见图 2, 此时边坡安全系数只有 0.907, 边坡处于不安全的状态, 必须加固。

2.3 锚固分析

为保证边坡的稳定, 决定采用以中高压注浆预应力锚杆为支护手段的边坡治理措施, 根据现场的具体情况和规范要求, 决定采用的锚杆布置间距为 $2.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, 采用直径为 32 mm 的螺纹钢组成一根

锚杆。取锚固段的长度 $L_0 = 9 \text{ m}$, 锚杆的安装倾角取 20° , 岩石与锚固体黏结强度特征值取 200 kPa, 锚孔直径为 100 mm, 锚固体安全系数取 2.0, 锚杆安全系数取 1.8。当滑面基本保持不变, 岩土参数取峰值强度时, 单根锚杆的设计总长度 $L = 15 \sim 23 \text{ m}$, 加固后的边坡见图 3。此时边坡安全系数为 1.521, 边坡处于稳定状态。

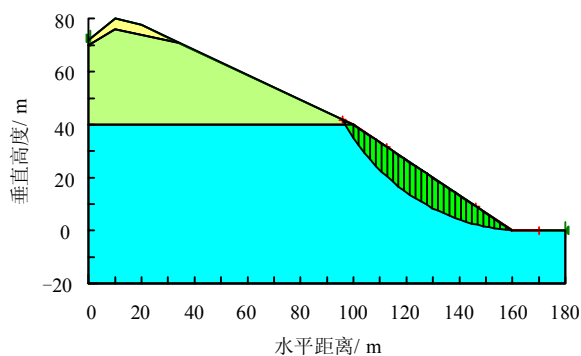


图 2 边坡滑面与安全系数 (峰值强度)

Fig.2 Slide surface and safety factor of the slope (peak strength)

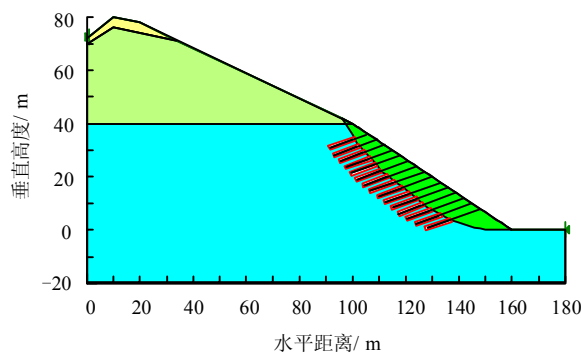


图 3 边坡加固后安全系数 (峰值强度)

Fig.3 Safety factor of the slope after being reinforced (peak strength)

但是, 当边坡滑动以后, 整个边坡滑面上的强度一般应是残余强度。文献[4~6]的研究表明, 各类岩土强度衰减后, 其凝聚力和内摩擦系数普遍降低到峰值强度的 70%~90%。因此, 本研究中将发生滑动岩层中凝聚力和内摩擦系数的残余值取为其相应峰值强度的 70%。当滑面抗剪强度取为残余强度时, 计算出的安全系数为 1.046, 此时, 边坡又处于不稳定状态 (见图 4)。

可见, 采用残余强度进行边坡加固时, 原设计方案是不安全的, 必须对原方案进行修正。为了达

到规范规定的边坡稳定安全系数 1.3,在原锚杆总长的基础上增加了 21 %的锚杆。此时,边坡的安全系数为 1.302,边坡又处于稳定状态(见图 5)。

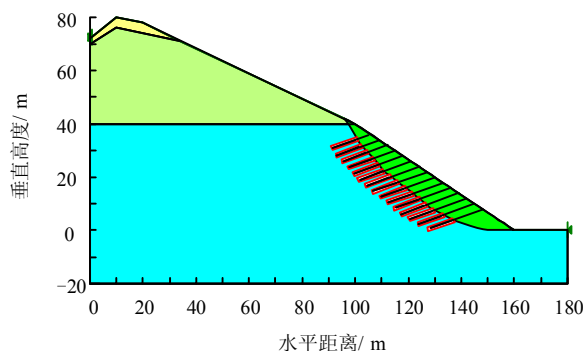


图 4 边坡加固后安全系数(残余强度)
Fig.4 Safety factor of the slope after being reinforced (residual strength)

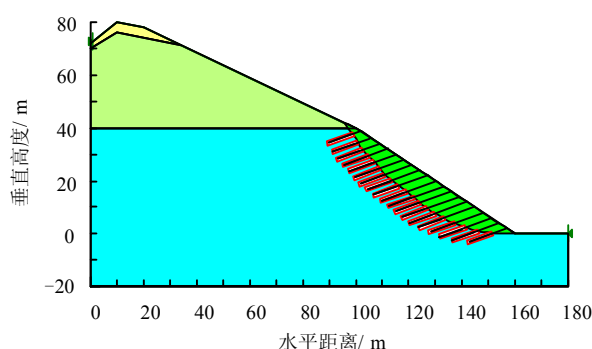


图 5 增加锚杆后边坡安全系数(残余强度)
Fig.5 Safety factor of the slope after anchors' number increases (residual strength)

3 结 论

边坡滑动面参数的取值对于边坡加固工程具有十分重要的意义,本文以一公路边坡为例,进行了峰值强度和残余强度对边坡加固安全性的影响研究,提出了一种混合方法来进行边坡的加固,即用峰值强度来确定边坡的临界滑面,用残余强度来确定锚固长度;研究表明,对于边坡出现滑动后的加固处理,用残余强度来确定锚固长度能使边坡更安全,该法可为边坡工程的加固处理提供依据。

限于条件,本文仅根据文献资料将残余强度取为峰值强度的 70 %进行边坡稳定性分析,而边坡滑动面的强度参数与滑坡发育状况、滑动体的结构与组成、滑坡性质与类型、地下水等因素密切相关,因此,实际工程中,滑动面的强度参数应在室内及现场物理力学试验的基础上,结合滑坡现场及工程经验综合确定。

需要特别说明的是:对于没有经历任何破坏,只是安全系数达不到规范要求的边坡,此混合法不宜采用。

参 考 文 献

- [1] Skempton A W. Long-term stability of clay slopes[J]. *Geotechnique*, 1964, 14(2): 157—168.
- [2] Dov Leshchinsky. Design dilemma: use peak or residual strength of soil[J]. *Geotextiles and Geomembranes*, 2001, (9): 111—125.
- [3] 池友良. 某高速公路特大塌方治理研究与应用[硕士学位论文 D]. 北京: 北京科技大学, 2004.
- [4] 李玉红, 贾彤, 郭丽娟. 关于土的残余强度的概念、测试与应用[J]. *房材与应用*, 2005, 33(5): 33—34.
LI Yu-hong, JIA Tong, GUO Li-juan. Concept, test and application of soil residual strength[J]. *Housing Materials & Applications*, 2005, 33(5): 33—34.
- [5] 张芳枝, 陈晓平. 东深供水工程风化泥质软岩残余强度特性研究[J]. *工程地质学报*, 2003, 11(1): 54—57.
ZHANG Fang-zhi, CHEN Xiao-ping. The characteristic of residual strength of soft clayey rocks of the East River-Shenzhen water supply project[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2003, 11(1): 54—57.
- [6] 田斌, 戴会超, 王世梅. 滑带土结构强度特征及其强度参数取值研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(17): 2 887—2 892.
TIAN Bin, DAI Hui-chao, WANG Shi-mei. Strength characteristics of soil in slide zone and determination of its parameters[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(17): 2 887—2 892.