

预应力锚索加固对石门坎水电站边坡稳定性的影响

房敬年 耿秩君 万岳

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

【摘要】 预应力锚索加固技术在边坡工程中具有十分广泛的应用。本文以石门坎水电站边坡为例,运用强度折减法数值计算,得出预应力锚索加固前后边坡的安全系数。计算结果表明,预应力锚索支护可以通过改变潜在滑面位置和形状,提高边坡安全系数,进而提升边坡稳定性。

【关键词】 预应力锚索;边坡稳定性;强度折减法;安全系数

中图分类号: TV223

文献标识码: A

文章编号: 1005-4774(2017)012-0047-03

Influence of prestressed anchor cable reinforcement on slope stability of Shimenkan Hydropower Station

FANG Jingnian, GENG Yijun, WAN Yue

(Yellow River Surveying and Planning Design Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Prestressed anchor cable reinforcement technique is widely used in slope engineering. In the paper, Shimenkan Hydropower Station slope is adopted as an example. Strength reduction method is adopted for obtaining safety factor of the slope before and after the reinforcement of prestressed anchor cables. The calculation results show that the prestressed anchor cable support can improve the slope safety factor through changing the potential sliding surface position and shape, thereby enhancing the purpose of slope stability.

Keywords: prestressed anchor cable; slope stability; strength reduction method; safety factor

1 引言

目前,预应力边坡锚索加固的研究集中于锚固力作用机理、锚固段侧阻力的分布以及预应力损失等方面。在边坡工程设计的过程中采用预应力锚索加固技术,不仅可以充分发挥和增强岩土体的自身强度和稳定性,更能减少支护结构的体积并降低支护结构的重量;既节省工程造价,又对施工的安全产生深远影响。目前,预应力锚索加固技术已经成为加固岩土体边坡、提高边坡稳定性和处理复杂岩土工程问题的有效

方法。

预应力锚索加固边坡的作用机理很繁琐,主要原因是锚索与岩土体之间会产生复杂的相互作用,尤其是当边坡出现位移后,锚索会发生拉伸、剪切、弯曲等变形现象。锚索加固会使岩土体发生变形破坏、岩体与注浆锚固体黏结破坏、注浆体与锚索黏结破坏、锚索材料破坏四种破坏形式。国内外研究表明,预应力锚索是将长锚索锚入到潜在滑面以下,深入到岩土体中,由于锚索的长度很长,所以锚头部位可以穿过围岩松

动范围和塑性区进入基岩的原岩应力区,通过对锚索施加预应力从而来控制岩体,因此被加固岩体的强度就会增强,使岩体的应力状态得到改善,岩体的稳定性得到了提高。

2 强度折减法原理

在非线性边坡稳定性分析中,边坡在自重或外荷载作用下失稳破坏时,塑性区会贯穿整个边坡而形成一个滑裂带,整个边坡会沿滑裂带滑动,从而使沿滑裂带以上的岩土体成为机动结构,因而其数值计算结果将不收敛,强度折减法正是基于这一点提出来的。

强度折减法原理为将岩土体的抗剪强度参数 c 和 j ,除以折减系数 F ,得到一组新的强度参数 c' 和 j' ,将折减以后的岩土体抗剪强度参数代入模型中,重新进行数值计算,通过变换折减系数,从而得出满足收敛条件的折减系数,就得到所求的安全系数,即 $c' = c/F$, $j' = \arctan(\tan j/F)$ 。抗剪强度折减系数的定义为在外界条件不变时,岩土体所发挥的最大抗剪强度与外荷载在边坡内所产生实际剪应力的比值。外荷载所产生的实际剪应力应和抵抗外荷载所需要最小抗剪强度,即按照实际强度指标折减后确定的抗剪强度相等。当假定边坡包含的岩土体抗剪强度的折减程度相同时,把这种抗剪强度折减系数定义为边坡的整体稳定安全系数。

3 石门坎水电站边坡稳定性分析

3.1 工程概况

石门坎水电站所处地区为少数民族聚集区,枢纽工程位于云南省思茅市境内,电站以发电为主要目标,并具有防洪、改善航运、发展旅游业等综合效益。电站区内地势高峻,峰峦连绵,沟谷发育,植被覆盖率达75%以上,山脉高程在2000.00m以上,切割深度大于1000m,地形坡度大于40°。

坝址区位于把边江左岸支流大赛箐附近至右岸支流长路河河口之间的河段上,坝址区长2.4km,控制流域面积6410km²,多年平均流量42.48 × 10⁸ m³,电站坝型为重力坝,最大坝高103m,正常蓄水位756.00m,相

应库容1.95 × 10⁸ m³,装机容量130MW,规模为大(2)型。电站厂房边坡位于坝址区左岸,工程建成后边坡需经受Ⅶ度地震的考验,其稳定性和加固处理措施研究是制约工程建设与安全运营的关键技术问题之一。因此,很有必要对支护后的电站厂房边坡的稳定性进行研究,以检验现有的支护措施是否满足边坡稳定性的要求。

3.2 计算模型及计算工况的划分

选取该边坡典型剖面进行数值分析,该二维计算剖面坐标系 X 轴方向约为N107°E,坐标轴 Y 方向以铅直方向为正向。剖面计算范围为 X 向取311m, Y 向自高程587.50m至高程853.90m。结合边坡工程地质特点,建立如图1所示的数值模型,模型左右边界采用 X 方向约束,底部为固定边界。边坡岩土体材料采用M-C强度准则。

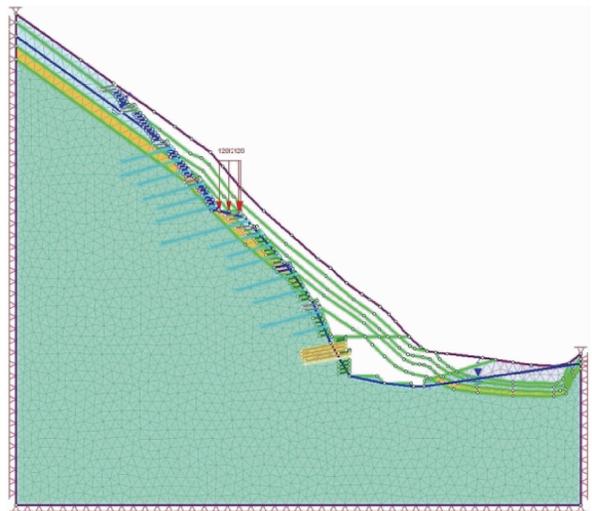


图1 强度折减法边坡稳定性计算模型

该电站厂房厂区边坡稳定分析考虑的主要荷载有自重、地下水渗透力、车荷载和地震荷载等,六种工况荷载组合分别为工况一:自重+地下水+车荷载(未加支护);工况二:自重+地下水(暴雨时)+车荷载(未加支护);工况三:自重+地下水(暴雨时)+车荷载+地震(未加支护);工况四:自重+地下水+车荷载(支护加上);工况五:自重+地下水(暴雨时)+车荷载(支护加上);工况六:自重+地下水(暴雨时)+车荷载+地震(支护加上)。

3.3 岩土体物理力学参数及锚杆、锚索特性

计算剖面所涉及的岩土体主要有河床冲、洪积物；坡积土；强风化粉砂岩；弱风化紫红色钙质粉砂岩，粉砂质泥岩；微风化紫红色钙质粉砂岩，粉砂质泥岩。其物理力学参数指标见表1。

表1 边坡岩土体力学指标建议值

岩体名称	天然重度/ (kN/m ³)	饱和重度/ (kN/m ³)	内摩擦角 $j/(\circ)$	黏聚力 c/MPa
河床冲、洪积物	21	22.3	37	0
坡积土	18	19.2	23	0.05
强风化粉砂岩	21	22.3	26	0.05
粉砂质泥岩	25	26.8	30	0.4
粉砂质泥岩	25.9	27.9	35	0.8
石英砂岩	26.2	28	50	1.1

对于坡面系统锚杆,采用两种方法进行处理。一种是直接施加锚杆支护;另一种是采用等效的方法进行处理,即认为系统锚杆增强了加锚岩体的抗剪强度,其抗剪强度的计算按下式的经验公式进行:

$$\begin{cases} C_1 = C_0 + \eta \frac{\tau s}{ab} \\ \varphi_1 = \varphi_0 \end{cases}$$

式中 c_0, j_0 ——加锚前岩体的黏聚力和内摩擦角;

c_1, j_1 ——加锚后岩体的黏聚力和内摩擦角;

t ——锚杆材料的抗剪强度,120MPa;

s ——锚杆的截面积;

a, b ——锚杆的纵、横向间距;

h ——综合系数,一般取10~15, h 为反映锚杆作用效应大小的参数,对于软岩取大值,硬岩取小值,对于此处扰动的坡面岩体取中值12.5。

预应力锚索结构分成锚固段、自由段和锚头段。根据锚索的结构特点,锚索的自由段只承受拉力作用,锚索的锚头段固定于锚墩。所采用的锚索设计方案为1000kN级和1500kN级,水平下俯15°。锚索的几何与力学参数:锚索弹模为200GPa,锚索抗拉强度为2215kN,钢绞线的公称直径为15.2mm,锚索钻孔直径为130mm,锚固段长度8m。

3.4 数值计算结果及分析

3.4.1 预应力锚索加固对临界破坏面形状和位置的影响

支护结构作用在岩土体后,其加固作用不仅在于改变边坡的安全系数,同时也使临界破坏面(潜在滑面)的位置有了一定的改变。因此,对于采用锚索加固的边坡,应该重新检索其临界滑面的位置,从而确定其达到某一安全系数时所需的最大锚固力。

图2和图3分别为强度折减法计算条件下边坡工况三(未施加支护)和工况六(施加锚索支护后)的最大剪应变图。从图2、图3中可以看出,在未施加锚索支护前,潜在滑带位置均出现在坡积土层及强风化层,

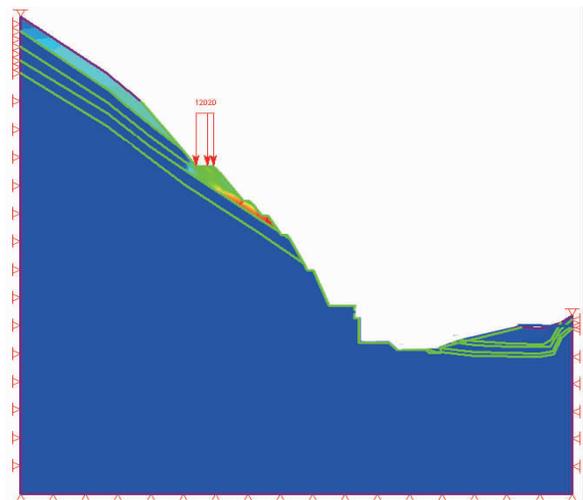


图2 工况三剖面滑面形式

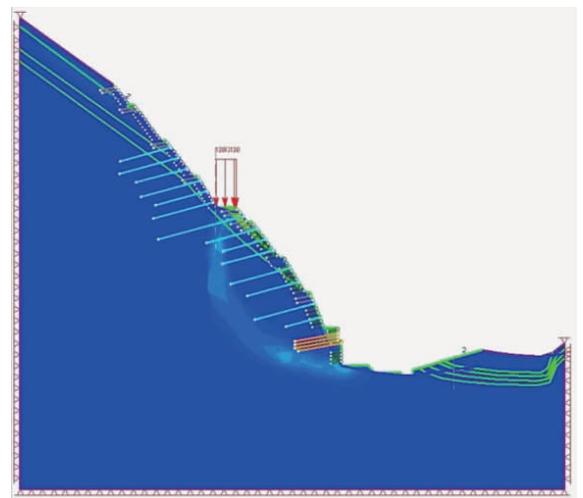


图3 工况六剖面滑面形式(公路以上)

(下转第38页)

取水方案比选情况表

方案 比较项目	方案一 (旁渠人工砂渗流取水)	方案二 (河道浅层渗管取水)
1 水源	精河地表水	精河渗透水
2 水源水质	水质经处理后符合 水厂用标准要求	水质经处理后符合 水厂用标准要求
3 水量	满足	满足
4 输配水方式	重力输水,重力供水	重力输水,重力供水
5 直接工程费	757.88 万元	752.47 万元
6 运行管理	运行费用低	运行费稍高,需要 定期冲洗渗管
7 供水安全程度	供水保证率高	易淤积堵塞,供 水保证率较低
8 施工难易程度	不需要围堰	围堰范围较大,需二 次导流工程,滤料施 工质量要求高
9 最终推荐方案	√	

(上接第 49 页) 并且剪应变的量很大。在施加预应力锚索及锚杆后,由于锚索对边坡体的加固作用,改变了潜在滑面的形式,由原本比较脆弱、表层强度较低的坡积土及强风化岩转移到基岩内部,形成典型的滑坡圆弧面,但是可以看出,最大剪应变值明显减小,可见锚索支护大大降低了滑坡的风险。

3.4.2 预应力锚索加固对边坡安全系数的影响

表 2 为施加支护和不施加支护两种情况共六种工况下边坡安全系数计算结果,施加支护前公路以上的天然工况、暴雨工况以及暴雨+地震工况下的边坡安全系数分别为 1.63、1.44 和 1.30,公路以下的边坡安全系数分别为 1.44、1.30 和 1.24;施加支护以后边坡安全系数分别为 2.34、2.28、2.04 及 2.99、2.17、1.90,相较于支护前的安全系数大大增加,平均增加率为 43%。因此可以看出,预应力锚索加固可以明显提高边坡的稳定性,并且可以判断,锚索加固对潜在滑面位置和形状

表 2 不同工况条件下强度折减法稳定性计算成果

工况	工况一	工况二	工况三	工况四	工况五	工况六
公路以上	1.63	1.44	1.30	2.34	2.28	2.04
公路以下	1.44	1.30	1.24	2.99	2.17	1.90

5 结论

从工程运行的情况看,旁渠人工砂渗流取水方案基本达到了设计功能要求,运行正常。本文通过分析利用现有输水干渠新建取水构筑物实现重力流供水,解决了原水直接从河道采用渗管取水淤积情况较为严重的难题,并提出了根据人工滤料淤积状况进行设备反冲洗的措施,整个取水过程处于管理可控状态,提高了供水保证率,对天然河道取水方式具有借鉴意义。◆

参考文献

- [1] 水文地质工程地质技术方法研究队. 水文地质手册[M]. 2 版. 北京:地质出版社,2012.
- [2] 李炜. 水力计算手册[M]. 2 版. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [3] 王环波. 新疆渗滤取水滤床淤塞防治与防冻措施研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.

的改变,以及边坡安全系数的提高有很大程度的影响。

4 结语

本文利用强度折减法,通过对比锚索支护前后边坡滑面形式及边坡稳定性安全系数,从两个方面分析了预应力锚索支护对边坡稳定性的影响。从计算结果可以得出,预应力锚索支护后通过改变潜在滑面位置和形状,从而提高边坡安全系数,起到提高边坡稳定性的作用。◆

参考文献

- [1] 崔政权,李宁. 边坡工程——理论与实践最新发展[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999:148-184.
- [2] 程良奎. 岩土锚固的现状与发展[J]. 土木工程学报,2001,34(3):7-12,34.
- [3] 梁炯均. 我国岩土工程预应力锚索的发展与问题(岩土工程技术与概念发展)[M]. 北京:中国矿业大学出版社,1998.
- [4] 顾金才,陈安敏. 岩体加固技术研究之展望[J]. 隧道建设,2004,24(1):1-2,5.
- [5] 尤春安,战玉宝. 预应力锚索锚固段的应力分布规律及分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(6):925-928.