

某大型水电站水文滑坡的稳定性及生物护坡研究

张诗媛¹, 朱继良², 罗言云¹

(1. 四川大学生命科学学院 生物资源与生态环境教育部重点实验室. 成都 610064;

2. 广西电力工业勘察设计研究院; 南宁 530023)

摘 要: 拟建的某水电站位于雅砻江上游大河湾的下游段, 是雅砻江流域规划拟建的最大库容水电站。该滑坡位于拟建 I 勘探线下游约 300 m 的左岸陡倾顺向坡中。通过采用 3 种极限平衡法对它进行了稳定性计算, 结果表明: 在天然情况下, 滑坡体处于平衡状态; 在特大降雨情况下, 滑坡发生整体失稳的可能性不大, 但有可能发生局部的失稳。为了使坡体处于稳定状态, 除了常规的工程治理措施外, 有必要对它采取生物护坡措施, 以减少水对滑坡体不利影响。

关键词: 水文滑坡; 水电站; 稳定性; 生物护坡措施

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0307-03

Study of the Stability of Shuiwen Slope and Bio-controlling Methods at a Reservoir

ZHANG Shi-yuan¹, ZHU Ji-liang², LUO Yan-yun¹

(1. School of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610064, China;

2. Guangxi Electric Power Industry Investigation Design and Research Institute, Nanning 530023, China)

Abstract: A hydroelectric station lies in the lower reaches of Dahewan, upstream of the Yalong River. This hydroelectric station is connected to the biggest capacity reservoir in the Yalong River. One of the slopes of the reservoir is very steep. If this slope fails it will harm thousands of people who live up slope. Calculations of the slopes stability, using three methods, indicates that the slope is safe under natural conditions, although under unusual weather conditions it could partially fail. In order to ensure the stability of the slope bio-controlling measures were implemented to reduce any adverse effects on the slope stability.

Key words: Shuiwen landslide; hydroelectric station; stability; bio-controlling measures

拟建的某水电站位于雅砻江上游大河湾的下游段^[1]。该水电站设计坝高 305 m, 正常蓄水位 1 880 m, 装机容量 3 200 MW, 库容 77 亿 m³, 是雅砻江流域规划拟建的最大库容水电站, 其调节能力将极大改善下游各电站, 尤其是已建成的二滩电站的发电状况。此外, 它还有促进当地经济发展与进一步加强民族团结的作用。

1 滑坡区的工程地质环境条件

水文滑坡位于拟建的某水电站坝址 I 勘探线下游约 300 m 的左岸。河谷呈“V”型, 谷坡陡峻, 左岸坡度 35~40°, 右岸坡度 40~50°; 谷坡坡肩地带, 高程为 2 200 m 左右的区域性第一级夷平面上, 普遍分布有红黏土, 厚零至数米不等。

滑坡发育于左岸陡倾顺向坡中, 岸坡下部为二叠系下统上段上部(P₁²⁻³)薄层深灰-灰黑色条纹-条带状钙质绢云母粉砂质板岩, 夹钙质长石石英细砂岩; 坡体中、上部为二叠系下统上段中部(P₁²⁻²)薄层灰绿色片岩、大理片岩、厚层块状角砾状大理岩, 夹有少量砂板岩。岩层总体产状 N10°

~30°E/SE∠85°~87°。

2 滑坡现象及滑体结构分析

滑坡平面展布近似箕形, 圈谷地形保存完好(图 1)。前缘最低高程 1 660 m, 比枯水期江水位高约 6 m, 后缘高程 2 120 m, 前后缘高差 460 m。滑坡纵长 1 000 m, 宽 570 m, 面积约 0.57 km²。据钻孔及平硐揭露, 滑体厚度 64~120 m, 平均约 80 m; 滑坡残体体积约 1.5×10⁶ m³, 堆积于左岸。

滑坡表面可见三级滑坡平台。其中 I 级平台受纵向冲沟破坏, 平面展布近似哑铃形, 高程 1 775~1 800 m, 坡度 18°; Ⅱ级平台保存完好, 平面展布呈带状, 高程分别为 1 875~1 925 m, 2 040~2 125 m, 坡度分别为 18~26°, 23°; Ⅲ级平台上广泛分布红黏土。据此推测, 它们的垂直落距分别为 300 m, 100 m, 150 m, 对应的滑距分别为 480 m, 200~300 m。滑坡体组成物质极不均一, 主要为碎裂状板岩、片岩以及碎块石夹泥。由此看来, 滑坡体物质破碎、解体极不充分, 表明滑距较短。

* 收稿日期: 2006-02-27

基金项目: 中国西南地区能源植物资源利用开发的研究(2004DFB00300)

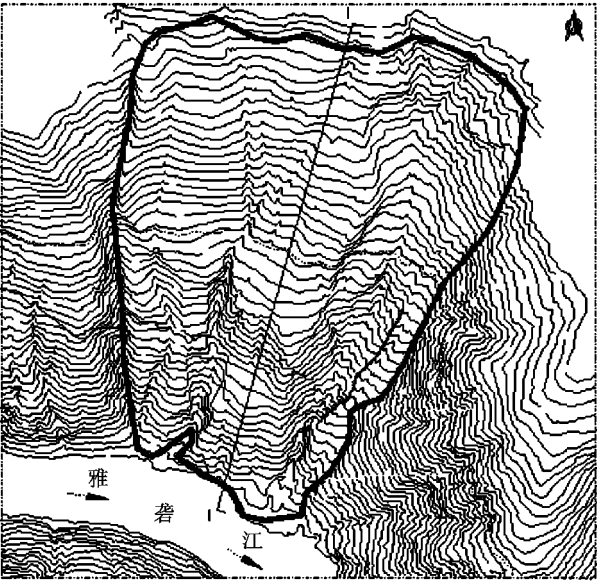
作者简介: 张诗媛(1979-), 女, 硕士生, 研究方向: 园林设计与工程; 通讯作者: 罗言云(1969-), 男, 副教授, 四川大学生命科学学院生物资源与生态环境教育部重点实验室。

滑坡未见整体复活迹象^[2],但在滑坡北侧发育一条现代泥石流沟,沟床纵坡降 40%。沟北坡崩塌积物(Q_4^{coll-d})较厚,表面多处可见"土滑"形成的裂缝;在高程 2 200 m 一段走向 $N65^{\circ}\sim 85^{\circ}E$ 渠道附近崩塌积物过去至少发生过三次"土滑"。沟南坡滑坡残体上可见侧向解体而形成的三道走向 NWW 的陡坎(壁)及三级小平台(图 1)。它们为泥石流流提供了较充足的物质来源,而且出沟口已形成冲洪积扇。表明该泥石流沟现今仍在活动。

3 稳定性研究

3.1 滑动向力学指标测试

为了对该滑坡稳定性状况作出正确评价,在现场进行了滑带土直剪试验和现场取回试样两种方法,现场采回滑带土样 11 组。综合提出的计算参数值见表 1。





图例  滑坡边界  剖面线
图 1 水文滑坡平面略图

表 1 水文滑坡计算取用参数表

类别	天然容重/ ($kN \cdot m^{-3}$)	饱和容重/ ($kN \cdot m^{-3}$)	凝聚力 c /kPa		摩擦角 $^{\circ}$	
			天然	饱和	天然	饱和
滑体	22	22.5	60	50	34	30
滑带	16.3	16.8	30.9	21.29	29	25
板岩	27	27.5	65	55	38	36

3.2 滑体稳定性评价

用传递系数法对水文滑坡体的稳定性进行评价。

3.2.1 计算模型

水文滑坡以 剖面进行稳定性计算(见图 2),模型中除了考虑主滑面外,还考虑了两个次级滑面。

根据滑带土的力学试验,确定水文滑坡滑面的抗剪强度参数如表 1 所列。

3.2.2 计算方案与方法

(1) 计算方案。计算方案采用:天然和暴雨两种工况,后一种工况考虑坡体完全饱水。

(2) 稳定性计算。计算方法采用一般条分法、毕肖普法和传递系数法。

(3) 计算结果与分析。从表 2 可以看出:天然状态下,主滑体处于稳定状态,且其稳定性系数较高,有较高的安全储备。而两个次级滑体则处于极限平衡状态,安全储备偏低。在暴雨的情况下,主滑体始终处于极限平衡状态,而 I 和

II 级滑体则处于临界失稳状态。这主要是因为暴雨降水的过程中,坡体的容重增加,而内聚力和内摩擦角则减小,同时动水压力和孔隙水压力的存在也增大了下滑力。在它们的共同作用下,就出现了滑坡体的稳定系数减小的现象。又由于次滑体的剖面形态后缘较陡,其承受的坡体主动压力相对较大,所以它们的稳定性系数表现比主剖面的降低较快,也即是坡体处于失稳的临界状态。以上计算的结果,与野外见到的现象比较一致,从而也说明了计算结果和野外判断的正确性。

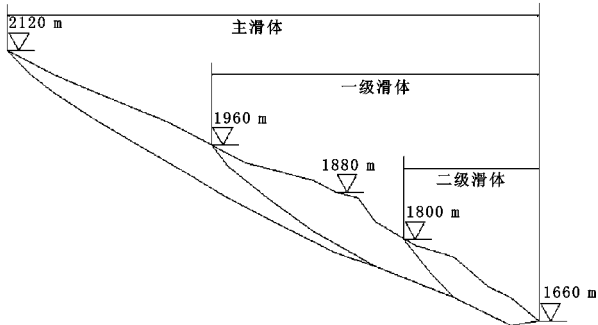


图 2 水文滑坡 - 计算剖面
表 2 水文滑坡稳定性计算结果

工况剖面	天 然			暴 雨		
	一般条分法	毕肖普法	传递系数法	一般条分法	毕肖普法	传递系数法
主滑体	1.163	1.168	1.200	1.015	1.020	1.044
I 级次滑体	1.091	1.098	1.150	0.952	0.959	0.997
II 级次滑体	1.029	1.048	1.162	0.896	0.912	1.031

4 生物护坡措施

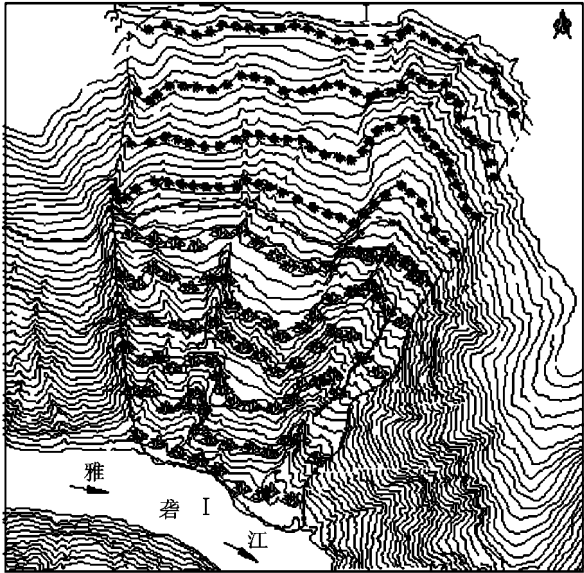
由稳定性计算结果可知,暴雨对坡体的稳定性起着重要的作用,所以对坡体除了采取必要的排水措施外,还有必要采取生物防护措施。由于工程建设破坏了原始植被,使坡体遭受雨水的侵蚀加重。库水位的升降及波浪冲刷岸坡,也极易导致边坡失稳。因此,尽快恢复生态环境、加强水土保持、防治滑坡的失稳是该工程的一个重要的环节。

4.1 生物防护作用与机理

降雨时,边坡不断经受雨水的袭击,一部分水自然下渗,一部分水在边坡汇集成径流。径流在土壤颗粒表面产生剪切力,当这种力大到能抵消土的抗侵蚀能力时,土壤颗粒即被径流带走,从而发生水土流失^[3]。而植被可以护坡和防止水土流失。一方面,它可通过树冠(或林冠)遮挡降雨,减少降水渗入量、通过根茎吸水、树叶蒸发而疏干土体和降低地下水位;又可阻滞地面径流,既降低了水的面蚀能力,又增大了地面的渗入量。另一方面,根茎可起到根固土壤,提高土体抗剪强度和抗冲刷能力的作用、嵌入基岩的根茎,可起到锚筋作用,成为支撑坡体的拱座。因此,在坡体上采取生物防护措施,根据不同的立地条件,种植灌木、草坪及其他地被植物后,就可有效地防止水土流失。

4.2 护坡技术

该水电站正常蓄水位以下,陆生、水生植物均难以生长。由于水位的升降,正常蓄水位以下 10 m 内水土流失严重。因此,其重点是从自然界选择两栖植物在此水位差地带种植是最好的方法,而正常水位以上则比较容易选择多种多样的植物。靖元孝等研究结果表明,全淹条件下香根草能存活 5 个月,且退水后能恢复正常生长;淹水条件下,香根草的生长发育状况与陆生环境没有差异。说明香根草是一种水陆两栖植物,可在水库库岸、河岸及湖岸等水位容易波动的湿地种植^[4]且能有效减少水对滑坡体不利影响。



图例 香根草, 白喜草, 百慕大草, 薹草
香根草, 白喜草, 紫穗槐, 胡枝子, 坡柳, 沙棘
图 3 生物护坡措施平面图

由于水文滑坡是坡度较大的潜在不稳定边坡,由破碎的岩土体组成,其表层土易形成冲沟和侵蚀、容易发生浅层滑坡和塌方。而香根草是一种适应性强、生物量大、易种好管的禾本科多年丛生草本植物,适宜在陡坡和缓坡地带种植。

香根草具有以下优点:

(1) 根系发达、高强,在土壤中可形成根结性植物篱,拦截了降雨冲刷的泥土。其抗拉和抗剪强度分别为 75 MPa 和 25 MPa^[5],还能防止浅层滑坡与塌方;

(2) 生长速度快、拦截能力强,能减少裸露表土 73% 的地表径流,拦截 98% 的泥沙^[8];极耐水淹(完全淹没 120 d 不会死亡)、固土保水能力强、抗冲刷能力强;

(3) 叶面具有巨大的蒸腾作用,能尽快排除土壤中的饱和水^[5],从而更容易增加坡体的稳定性;

(4) 无性繁殖特点,不会形成杂草;

(5) 工程造价适中,施工不受季节影响;

此外,它还具有燃料使用、工艺品编织、香料提取和造纸利用等方面的价值。

综合考虑,选择香根草护坡是最适宜的,且具有较广泛应用价值^[6]。

(下转第 312 页)

(上接第 306 页)

氰化物在湖水中最大检出值为 0.038 mg/l,油类在平水期已超标 78%^[4]。水质污染致使水环境逐渐恶化,湿地生态功能严重衰退,对湿地的生物多样性造成严重危害。

3 生物多样性保护及其可持续利用对策

3.1 控制湿地开发规模,保护野生动物栖息地

盲目扩大开发规模的行为,是导致湿地功能下降、生态环境恶化的一个主要原因。因此,“适度规模”应是鄱阳湖湿地未来开发利用中必须遵守的一条基本原则。多年来,鄱阳湖湿地的开发已达到了一定的规模,今后应严格制止对较高生态位的湿地的开发,对改变自然景观和利用途径的开发项目应进行环境影响评价,提供生态恢复、重建替代方案,并确保实施。同时,工农业生产的发展和城市化的扩张要逐渐形成合理的用地布局,改变用开发湿地的方法来补偿耕地面积减少的局面,对于野生动物的重要栖息地,要严格禁止任何形式的开发活动,以确保湿地生物有足够的栖息、觅食和活动空间。

3.2 搞好湿地生态环境建设,加强生物多样性管理与保护

近几十年来,由于环境污染和过度猎取以及非法捕杀,导致鄱阳湖湿地生物多样性急剧减少,湿地的生态功能日益衰退。为保证鄱阳湖湿地保持稳定的生态功能,今后必须根据具体情况对湿地进行严格保护和管理。首先要严格控制各种污染物直接进入水体,对珍稀鱼类和其它水生或陆生动物栖息、繁殖场所进行重点管理,确保其生态环境处于正常状况;其次,要严禁毁坏莲藕、芦苇等水生植物,严禁过度捕捞和非法狩猎活动,保护鱼虾类产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道,保护水域的生物多样性,严禁围湖造田,对影响和破坏湿地生境的农田要退耕还湖,恢复湿地生境;第三,要强化湿地自然保护区的建设,观测湿地生态系统的变化,研究湿

参考文献:

[1] 王江林,万慧霖.鄱阳湖湿地植被的生物多样性及其保护和利用[J].环境与开发,2000,15(4):19.
[2] 吴江天.江西鄱阳湖国家自然保护区湿地生态系统评价[J].自然资源学报,1994,9(4):337.
[3] 丁疆华,温琰茂,舒强,等.鄱阳湖湿地保护与可持续发展[J].环境与开发,1999,24(3):43.
[4] 林波,林燕芳,夏雨,等.鄱阳湖水质污染对湿地生态系统生态功能的影响[J].地质灾害与环境保护,2004,15(3):22-23.

地生物多样性动态和受威胁情况,为各级政府部门制定生物多样性保护措施提供依据;第四,应切实贯彻《环境保护法》、《野生动物保护法》等法律法规,通过法律和经济手段,严厉查处非法捕猎、经营、贩运、倒卖和走私野生动物及其产品的案件,制止酷渔滥捕,取缔有害捕捞设施,重点打击施毒捕鱼的行为,坚决取缔湖滨地区的野禽市场,禁止个人和部门的非法收购,杜绝破坏生物多样性的现象。

3.3 加大资金投入,加强生物多样性的研究

由于鄱阳湖湿地生物资源的重要性,我们应该采取各种行之有效的筹资措施,加大资金投入,重视鄱阳湖湿地生态环境的保护和研究,特别是利用现代高新技术,对湿地动植物资源种群数量、生态习性、繁殖规律等进行动态监测,建立鄱阳湖湿地生物多样性信息系统,使鄱阳湖湿地动植物的遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性的调查、收集、保护、鉴定、评价等方面获得的数据库进入数据管理和服务,并据此建立鄱阳湖湿地野生动植物的繁殖和保护中心,利用先进的繁殖技术,不断扩大鄱阳湖湿地野生生物的种群数量,走出一条保护-开发-利用的新路子。

3.4 积极开展宣传教育工作,提高公众的参与度

湿地生物多样性的保护有赖于当地广大人民群众的理解、支持和参与。目前,鄱阳湖湿地生物多样性保护的宣传与教育还处于滞后状态,普及广度、力度、深度都不够,造成公众对生物多样性的保护意识薄弱,乱砍滥伐、乱捕滥猎现象时有发生。今后应加大宣传力度,加强与保护区周围居民的交流与沟通,让当地居民了解生物多样性保护的重要性,提高全社会的保护意识,只有这样才能促进鄱阳湖湿地生物多样性的永续利用和可持续发展。

程结束后回铺到路基边坡,或取弃土场表面,或桥台坡面,或隧道进出口上方,或构筑草皮水沟,以消减铁路建设造成的生物总量损失。

(4) 部分地段可以选择适宜草种进行植被再造,以尽快恢复其生产力,目前已在沱沱河、北麓河地区进行了试验,植



图 1 DK1229+ 300 附近路堤植被再造试验

4.2.2 生态型用水恢复

生态型用水恢复主要侧重于湿地内以桥代路施工便道、施工场地等临时设施的清除以及采砂河道的疏浚。在以桥代路施工过程中便于相关材料的运输及施工,设置了少量施工便道、施工场地等临时设施,虽然在施工过程中采取了相

参考文献:

[1] 铁道第一勘察设计院. 新建铁路青藏线格尔木至唐古拉山口段生态环境影响专题报告书[R]. 2002. 1- 123.
[2] 铁道科学研究院. 新建铁路青藏线格尔木至唐古拉山口段施工期环境保护监理细则[R]. 2002. 1- 85.
[3] 王美芝, 许兆义, 等. 青藏铁路工程对高原生态环境的影响[J]. 交通环保, 2002, 23(3): 2- 11.
[4] 李京荣, 王家骥, 等. 浅析铁路建设对生态环境的影响[J]. 环境科学研究, 2002, 15(5): 58- 61.
[5] 王芳, 王浩, 等. 西北生态需水研究[J/OL]. <http://co.163.com/neteaseivp/resource/paper>.
[6] 吴青柏, 刘永智, 等. 寒区冻土环境与工程环境间的相互作用[J]. 工程地质学报, 2000, 8(3): 281- 287.
[7] 李军乔. 三江源地区生态环境重建对策研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2002. 12- 56.

(上接第 309 页)

结合该边坡的实际情况,采取以下治理方案(见图 3),具体是:

在较稳定的部位,即一级滑面到坡体后缘之间的部分,其按照等高线栽植,行间距 100~ 120 cm,丛距 10 cm,5 株/丛。并且混合栽植了具有耐热、耐旱、耐涝等特点的白喜草、百慕大草和鸢尾菊等植物。

在潜在不稳定部位,即一级滑坡至坡体前缘的区域内,在香根草间栽植目的树种和先锋树种,同时香根草及混栽草本植物的种植密度增大,丛距增加到 20 cm,4 株/丛。对目的树种和先锋树种拟采用播种方法,因为播种的林木具有根系网络效果好,坡面不易崩塌;抗拉力强;抵御自然灾害的能力强等。建设初期,香根草为主要的护坡植物,中期先锋树种起作用,后期以目的树种为主,形成天然群落,与当地的景观相协调,使开挖的高边坡得以恢复。此外,高大的乔木不宜种植在该边坡上,因为其重量和对风的抗性都会对边坡的

参考文献:

[1] 张倬元, 王士天, 王兰生, 等. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 134- 137, 321- 338.
[2] 王士天, 黄润秋, 李渝生, 等. 雅砻江锦屏水电站重大工程地质问题研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1998. 168- 180.
[3] 周长军. 利用生物技术做高等级公路边坡的防护[J]. 黑龙江交通科技, 2003, (7): 42- 43.
[4] 靖元孝, 陈兆平, 杨丹菁. 香根草(*Vetiveria zizanioides*) 对淹水的反应和适应初报[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2001, 11(4): 40- 43.
[5] 冯子元, 张丽萍. 香根草技术在百色水利枢纽工程河道边坡防护中的应用[J]. 人民珠江, 2003, (4): 66- 69.
[6] 程洪. 香根草在我国的应用及研究综述[J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 77- 81.

被生长发育和群落特征良好,在海拔 4 650 m 的高度可以正常生长并安全越冬,取得了初步成果。但人工建立的植物群落的稳定性、这些人工群落是否会对当地的原生植物群落产生不良影响有待进一步研究。



图 2 DK1324+ 300 附近路基水沟旁植被恢复

应的防护措施,但对湿地下游生态用水仍然会产生一定影响,因此在工程结束后必须将上述临时设施(特别是桥梁下方的施工便道)拆除,恢复湿地内桥梁两侧生态用水的衔接。对堆积在采砂河道内的砂料必须清除,防止堵塞河道,保证下游生态用水的持续、稳定供给。

稳定性造成不利的影响。因该地区地处南方,主要选择紫穗槐、胡枝子、坡柳、沙棘等灌木,适合该地区生长的植物。

5 结 论

水文滑坡由三组滑面组成。其中,主滑面的后缘高程为 2 040~ 2 125 m,一级滑面的后缘高程为 1 875~ 1 925 m,二级滑面的后缘高程为 1 775~ 1 800 m。

在天然情况下,滑坡体整体处于稳定性状态,而二级滑面所组成的滑坡体处于极限平衡状态。

在特大暴雨的情况下,坡体整体处于极限平衡状态,而一级和二级滑面所组成的坡体,其稳定性系数较低,极有可能失稳,从而并有可能诱发坡体的整体失稳。

在工程治理措施的基础上,通过采取生物护坡后,能较好地

对坡体的稳定性起着重要的改善与控制作用。