

鹅公带古滑坡体防治方案分析^{*}

黄锦林^{1,2}, 杨光华^{1,2}, 钟志辉³

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510635; 2. 广东省岩土工程技术研究中心, 广东 广州 510635;
3. 武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 水库库岸滑坡是水库工程建设中普遍存在的问题, 尤其是河道型水库, 库区狭长, 滑坡点多面广, 库岸滑坡现象严重。阐述了库岸滑坡的防治原则、思路和方法, 并针对鹅公带古滑坡体进行了防治方案的分析比选。

关键词: 库岸滑坡; 滑坡防治; 防治原则; 防治方法; 方案比选

中图分类号: P642.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)01-0088-05

水库依河流山川而建, 库岸地质条件复杂, 加上受降雨、库水及地震等因素的影响, 容易产生滑坡。水库库岸滑坡是水库工程建设中普遍存在的问题, 尤其是河道型水库, 由于库区狭长, 滑坡点多面广, 象三峡工程, 库岸绵延上千公里, 已查出库区较大规模的崩滑体就达2 490个^[1], 给水库的正常运用带来极大影响。鉴于水库库岸滑坡的危害性, 为了避免库岸滑坡带来灾害损失, 在水库建设及运用过程中, 必须对已发现的潜在滑坡体进行治理, 特别是库岸大型滑坡体。目前, 针对水库库岸滑坡的治理方法很多, 包括地表排水措施、地下排水措施、削坡减载措施、反压阻滑措施、支挡抗滑措施、锚固措施、注浆改善滑带措施等, 每种方法都各有利弊。对于具体的库岸滑坡而言, 有时还不只是单一的处理手段, 需要多方法联合处理措施对其进行综合加固处理。针对库岸滑坡而言, 选择何种防治措施和手段不仅关系到工期和投资, 更牵涉到日后的处理效果, 如防治措施和手段不恰当, 后续的补救工作成本高、难度大, 因此, 研究库岸滑坡防治思路和方法有着十分重要的意义。

1 库岸滑坡防治原则

对库岸滑坡体的治理必须有针对性 and 选择性, 要遵循有所为有所不为的理念, 贯彻及早发现、预防为主、加强监测、因地制宜、综合治理的基本原则, 从以下几方面来开展库岸滑坡防治工作。

(1) 选择库岸滑坡治理措施时, 应针对滑坡体的未来工作状态, 科学合理选定岩土体力学参数进行稳定计算分析。考虑到水库库岸滑坡点一般都交通不便且治理施工难度大, 选定治理方案时

要充分考虑施工条件, 选择成本低、便于实施的治理方案。

(2) 在滑坡区或潜在滑坡区进行工程建设时, 应先治坡, 后建设。位于滑坡区范围内的建筑物基础宜采用桩基础或桩锚基础, 使建筑物荷载能够直接传递到滑床内的稳定地层中, 避免因为人为建设造成库岸滑坡。为了减少削坡减载外运土石方, 可结合造地, 将削坡土石方堆存在滑坡体前缘或挡土墙后形成平台, 以利滑坡体的稳定。

(3) 对危害工程设施安全和人身安全, 短期内难以查清的滑坡, 可分期进行治理, 优先选择易实施、见效快的地面及地下排水、消坡减载、压坡加载等措施和方法作为应急工程进行处理, 先稳住滑坡, 再构造其他永久工程进行处理。

(4) 应针对导致滑坡滑移的主导因素进行治理, 采取有针对性的相应工程处理措施。当水为主要诱因时, 应以排水为主, 辅以支挡措施; 切割坡脚导致的牵引式滑坡, 应以支挡为主, 辅以排水、减重等措施; 推移式滑坡的主滑段、牵引段宜优先采用削坡减载、拆除已有建(构)筑物, 阻滑段采用压坡加载, 辅以支挡、排水等措施。

(5) 库岸滑坡治理宜早不宜迟, 宜在水库建设期尚未蓄水前进行, 蓄水后对涉水边坡治理难度会增大很多。工程施工时宜安排在枯水季或诱发因素弱的期间进行, 并尽可能少扰动滑坡体, 施工过程中应加强滑坡体动态监测。

2 库岸滑坡防治思路和方法

水库库岸滑坡防治方法很多, 不同的方法都有自己的适用条件和布置原则。对于具体的库岸滑坡工程而言, 应针对滑坡体的具体情况, 综合

^{*} 收稿日期: 2012-04-10 修回日期: 2012-05-31

基金项目: 广东省水利科技创新基金项目(2009-36)

作者简介: 黄锦林(1971-), 男, 江西赣县人, 博士, 教授级高级工程师, 从事水利水电工程及防洪减灾研究工作。

E-mail: hjl@gdsky.com.cn

分析选用滑坡防治方法, 力求做到安全可靠、经济合理。

2.1 基于治水思路的库岸滑坡防治方法

水是引起水库库岸滑坡的最主要因素之一, 由于水的作用, 导致库岸滑坡岩土体物理力学参数改变。水对滑坡体的影响主要表现在两个方面: 一是直接影响, 即滑坡体浸水后强度下降; 另一是间接影响, 即水位上升造成浸水滑面上有效应力减少或抗滑阻力减少, 导致蠕滑复活或加速过程中滑带土强度随剪切变形产生变化。治理水是防治水库库岸滑坡的重要思路, 包括截、排、堵、引、护等多种方法。

(1) 截水

截水方法主要是在滑坡体可能发展的边界 2.0 ~ 4.0 m 以外的稳定地段依地形变化趋势设置截水沟, 拦截滑坡体以外的地表水进入滑坡体内, 避免直接冲刷滑坡体。

(2) 排水

排水方法是在滑坡区域范围内充分利用自然地形, 开挖明沟、明槽, 形成网状畅通的排水系统, 减少雨水下渗和表层冲刷。

(3) 引水

引水方法是将滑坡体内的积水或滑坡体外进入体内的地下水(包括承压水等)通过盲沟、盲管、排水孔等引出滑坡体内或阻止其进入滑坡体内。

(4) 堵水

堵水方法是用黏性土、水泥浆等防渗材料堵塞滑坡体内或周边的土体裂缝, 减少地表水(包括雨水、生活水等)渗入滑坡体内。

(5) 护坡防冲刷

护坡防冲刷包括生态措施和工程措施。生态措施主要有植树、植草等; 工程措施包括浆砌块石护面、干砌块石护面、喷混凝土护面、网格护面、抛石护面或在水流较急、冲刷严重地段修筑丁坝改变水流流向, 以防止地表水对滑坡坡面冲刷或江河水对滑坡体坡脚的冲刷。

2.2 基于力学平衡思路的库岸滑坡防治方法

滑坡体之所以滑动, 主要是滑坡体的力学平衡被打破, 下滑力大于阻滑力造成的。改善滑坡体力学条件是滑坡体治理的另一重要方法, 其思路主要是通过改善滑坡体力学条件, 减少下滑力, 增加阻滑力来防止滑坡体发生滑动。基于力学平衡思路的库岸滑坡防治方法包括: 改变滑坡体几何形状、支挡、锚固、增设阻滑件等。

(1) 改变滑坡体几何形状

改变滑坡体几何形状包括滑坡体前填后挖、全部清除、部分清除等措施。通过对主滑动剖面分析, 对于滑床后缘陡峭、前缘平缓, 滑坡体头重脚轻或推移式滑坡体, 可在滑坡体后缘的主滑地段减重卸载或在前缘的阻滑地段加载压脚, 以达到滑坡体的力学平衡。对于比较小的滑坡体,

或经比选清理比治理更经济的滑坡体, 可以采用全部或部分清除的方法进行处理。

(2) 支挡

支挡方法是通过支挡体来平衡滑坡体的下滑力, 抵抗滑坡体的滑动, 来确保滑坡体的稳定安全。支挡方法很多, 包括重力式挡墙、拉钉挡墙、加筋土挡墙、格构框架挡墙、“L”型悬臂挡墙、抗滑桩等。支挡结构较少破坏滑坡体植被, 且能有效地改善滑坡体的力学平衡条件, 是目前用来稳定滑坡体的有效措施之一。

(3) 锚固

锚固方法是通过安设在岩土层深处的受拉杆件而起作用, 它的一端与工程构筑物(或支挡结构)相连, 另一端锚固在岩土层中, 必要时对其施加预应力, 以承受土压力、水压力等所产生的拉力, 用以有效承担滑坡体下滑力, 防止滑坡体变形, 维护滑坡体的稳定。

(4) 增设阻滑件

阻滑件对阻止滑坡岩石体层面间滑动作用效果明显, 主要是在滑带或滑面处设计混凝土结构件, 阻止滑坡体沿滑带或滑面处滑动。

2.3 基于滑带置换思路的库岸滑坡防治方法

滑带是库岸滑坡体的薄弱面, 滑带的强度及稳定性往往决定了整个滑坡体的稳定性。滑带置换是通过灌浆、灌浆加筋、群桩、疏干滑面以及麻面爆破、焙烧、电化学加固等方法改善滑带土或滑面力学性质, 提高滑坡体稳定性的滑坡防治措施。采用这种防治措施, 在某些特定条件下具有阻滑效果快、施工简便等优点, 但由于提高稳定性效果有限, 且难以检验, 对于重要工程, 只宜作为辅助或应急工程手段。

3 鹅公带古滑坡体防治方案

鹅公带库岸边坡位于某新建水利枢纽坝址上游 1.3 km, 分布在右岸。研究表明, 鹅公带为一古滑坡体, 滑动带已经产生, 坡顶地面也已出现裂缝, 水库蓄水后出现高速滑坡的概率极高^[2], 必须对其进行治理。滑坡分布在高程 100 ~ 295 m 之间, 滑坡体相对高度大(约 195 m)、方量大(约 240 万 m³), 且该地区降雨量较大(多年平均降雨量 1 488 mm), 水库蓄水后滑坡体受水位变动影响大(正常蓄水位 154.5 m, 汛限水位 144.5 m, 经常性的水位变动幅度达 10 m)。针对该滑坡体的这些特点, 采用基于治水或基于滑带置换思路的库岸滑坡防治方法对其作用有限, 且效果也不会理想, 不能根本解决该古滑坡体的蓄水复活滑动问题, 因此, 从大的方案上来看, 要对其进行根治, 必须采用基于力学平衡思路的库岸滑坡防治策略。基于力学平衡思路的库岸滑坡防治方法包括: 改变滑坡体几何形状、支挡、锚固、增设阻滑件等,

结合鹅公带古滑坡体的地形地质条件及工程的实际情况，经分析比较，决定采用抗滑桩加固和填土反压加固两种方案来加固处理鹅公带古滑坡体。

图 1 是鹅公带古滑坡体的土层分布示意图。考虑到鹅公带为含软弱滑带的古滑坡体，计算时采用 FLAC3D 软件进行稳定分析。表 1 是通过现场和室内直剪试验^[3-4]以及滑带土参数反演分析^[5]得到的该古滑坡体土层参数。

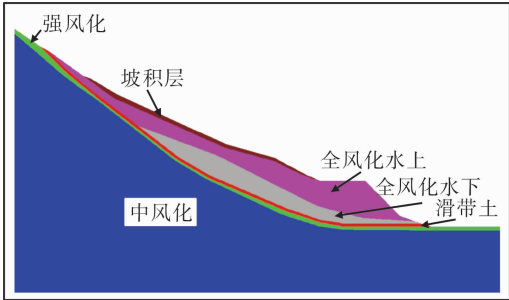


图 1 鹅公带古滑坡体的土层分布示意图

表 1 鹅公带古滑坡体土层参数

土层	重度 /(kN/m ³)	摩擦角 /(°)	粘聚力 /kPa	变形模 量/MPa	泊松比
坡积层	19	15	35	25	0.3
全风化(水上)	19.5	34.7	55.8	38.5	0.25
全风化(水下)	20.9	29.7	48	20.9	0.25
滑带土	21	24.1	23.1	37.4	0.25
强风化	24	35	100	90	0.25
中风化	26	42	400	900	0.2

3.1 抗滑桩加固方案

抗滑桩加固方案考虑在距离坡脚 75 m 处和 260 m 处施加抗滑桩，距离坡脚 75 m 处的抗滑桩 1 长约 80 m，嵌入强风化以下深度为 25 m；距离坡脚 260 m 处抗滑桩 2 长约 70 m，嵌入强风化以下深度为 20 m。在利用 FLAC3D 软件进行滑坡体稳定分析时，抗滑桩材料参数取为：弹性模量 30 GPa，泊松比 0.2，粘聚力 1.5 MPa，内摩擦角 45°。

图 2 是抗滑桩加固方案 FLAC3D 计算模型，表 2 是该方案下计算得到的鹅公带古滑坡体边坡稳定安全系数，表中规范要求的安全系数由《水利水电工程边坡设计规范》(SL386 - 2007) 确定^[6]。从计算结果可以看出，采用该方案能够满足规范规定的抗滑稳定安全要求。

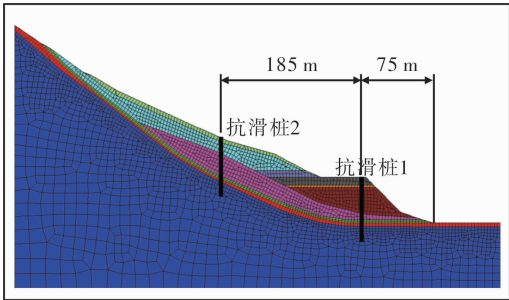


图 2 抗滑桩加固方案 FLAC3D 计算模型

表 2 抗滑桩加固方案鹅公带古滑坡体边坡稳定安全系数

序号	运用条件	计算工况	计算安全系数	规范要求安全系数
1	正常运用条件	天然状态 (河道水位 97.0 m)	1.26	1.15 ~ 1.10
		汛限水位 144.5 m	1.23	
		正常蓄水位 154.5 m	1.22	
		设计洪水位 162.2 m	1.24	
		设计洪水位 162.5 m 骤降至正常蓄水位 154.5 m	1.19	
		正常蓄水位 154.5 m 骤降至汛限水位 144.5 m	1.15	
2	非常运用条件	校核洪水位 163.0 m	1.25	1.10 ~ 1.05
		正常蓄水位 154.5 m 骤降至极限死水位 138.5 m	1.12	

3.2 填土反压加固方案

采用填土反压加固方案时，考虑在高程 141.5 m(水库死水位)处布置 16 m 宽的石渣平台，压坡外侧坡度 1:2.0。在利用 FLAC3D 软件进行滑坡体稳定分析时，填土材料参数取值为：重度 19 kN/m³、粘聚力 0，内摩擦角 30°，变形模量 32.5 MPa，泊松比 0.25。

图 3 是填土反压加固方案 FLAC3D 计算模型，表 3 是该方案下计算得到的鹅公带古滑坡体边坡稳定安全系数。从计算结果可以看出，采用此方案也能够满足规范规定的抗滑稳定安全要求。

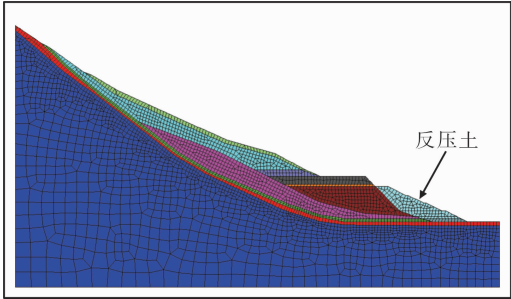


图 3 填土反压加固方案 FLAC3D 计算模型

表 3 填土反压加固方案鹅公带古滑坡体边坡稳定安全系数

序号	运用条件	计算工况	计算安全系数	规范要求安全系数
1	正常运用条件	天然状态 (河道水位 97.0 m)	1.16	1.15 ~ 1.10
		汛限水位 144.5 m	1.15	
		正常蓄水位 154.5 m	1.22	
		设计洪水位 162.2 m	1.24	
		设计洪水位 162.5 m 骤降至正常蓄水位 154.5 m	1.19	
		正常蓄水位 154.5 m 骤降至汛限水位 144.5 m	1.13	
2	非常运用条件	校核洪水位 163.0 m	1.24	1.10 ~ 1.05
		正常蓄水位 154.5 m 骤降至极限死水位 138.5 m	1.12	

4 鹅公带古滑坡体防治方案比选

对于鹅公带古滑坡体而言, 从计算结果可以看出, 采用抗滑桩加固方案和填土反压加固方案都能够满足规范规定的稳定安全要求, 要选定最终的加固处理措施, 尚需针对工程的实际特点, 从施工难易程度、工程投资和加固处理可靠性等方面进行技术经济比较。本文针对鹅公带古滑坡体的实际情况, 从以下几方面对加固处理方案进行对比分析。

4.1 施工难易程度对比

鹅公带古滑坡体坡高、坡陡, 且为山区峡谷地形, 施工场地十分有限。如采用抗滑桩加固方案, 要将施工材料和施工机械运输到山上, 难度很大; 施工场地布置困难, 材料堆放(储备)、搅拌站、钢筋加工点、人员生产和生活场所等都很难安排; 此外, 由于该滑坡为古滑坡体, 且滑坡体中下部厚度达 50 ~ 60 m, 要在不影响滑坡体稳定的前提下开展抗滑桩施工难度极大, 施工人员的安全也很难保证(特别是降雨期)。当采用填土反压加固方案时, 以上问题都迎刃而解, 施工仅在坡脚进行, 现场不需要设置专门的施工场所, 只需建一条临时施工道路; 反压体材料可利用工程开挖渣料直接运至坡脚堆填, 运输方便, 且平整和碾压也十分容易, 可直接上施工设备; 施工过程中对古滑坡体的干扰小, 基本不会影响到滑坡体, 只要做好降雨时的河道防洪措施和安全准备, 施工人员的人身安全不会受到影响。因此, 从施工难易程度对比来看, 填土反压加固方案优于抗滑桩加固方案。

4.2 工程投资对比

抗滑桩加固方案需构建大尺寸的钢筋混凝土抗滑桩结构, 由于现场缺乏相关建筑材料, 需从较远的地方购入, 还要运至山上, 相对填土而言, 价格高、运距远且难度大, 材料成本高; 对于这种大尺寸钢筋混凝土抗滑桩, 施工时需要现场挖孔, 孔深、需要的施工和防护设备要求高, 现场的施工费用高; 此外, 抗滑桩加固方案要在施工现场搭建施工人员生产、生活场所和材料、设备存放场所, 增加了施工时的间接成本。采用填土反压加固方案时, 可以充分利用工程开挖渣料, 外购少, 运输容易, 运输距离短, 材料成本低; 施工时不需要过多的专门设备, 仅常规设备就能够解决现场施工问题, 施工费用低; 此外, 填土反压加固方案无需在施工现场搭建施工人员生产、生活场所和材料、设备存放场所, 废物利用还可以减小渣场数量, 无形中节约施工成本。经初步测算, 采用抗滑桩加固方案的工程投资比采用填土反压加固方案的工程投资更大。因此, 从工程投资对比来看, 填土反压加固方案优于抗滑桩加固方案。

4.3 加固的可靠性对比

采用抗滑桩加固方案时, 虽然从平面二维计算成果来看, 稳定安全系数满足规范要求, 但由于桩是间隔布置, 计算时在将三维问题简化为二

维问题时进行了概化处理, 实际情况会与计算条件有一定差异。设计时桩间距的选择也存在很大灵活性, 方案实施后, 设计人员选择的桩间距是否能使桩间土体在水库蓄水运行后形成土拱效应, 取决于设计人员的设计经验和设计水平。此外, 由于施工时挖孔的深度较大, 抗滑桩断面尺寸大且长度长, 施工质量难以控制, 施工过程中对滑坡体的影响和干扰大, 施工过程中的可靠性也存在一定问题。施工可靠性取决于施工队伍的施工经验和施工水平, 如操作不当, 将影响滑坡体的稳定。因此, 从加固的可靠性因素来看, 抗滑桩加固方案的不可靠因素较多, 将影响方案的实施效果。当采用填土反压加固方案时, 计算条件与工程实际情况比较一致, 设计可靠性与设计人员的经验和水平关联性相对更小; 此外, 从方案实施来看, 施工只是常规的运土和填土碾压, 不需要特别的施工手段, 施工简便, 施工质量容易控制, 施工过程中对滑坡体的影响和干扰小, 施工可靠性容易得到保证。因此, 从加固的可靠性对比来看, 填土反压加固方案也优于抗滑桩加固方案。

综上所述可以看出, 对于鹅公带古滑坡体而言, 填土反压加固方案比抗滑桩加固方案更为实用、经济、合理可行。经分析比较, 推荐采用坡脚填土反压加固方案来对鹅公带古滑坡体进行加固处理。为了提高鹅公带古滑坡体的加固处理效果, 除采用坡脚填土反压加固处理措施外, 在滑坡体范围内的原始边坡表面还布置纵横向的系统排水沟, 使降水尽快形成地表径流排出滑坡体; 在压坡项高程至校核洪水位之间的滑坡体表面布置系统排水孔, 内置塑料盲沟管并外敷土工布, 使库水位消落时边坡内的水能尽快排出, 利于边坡稳定; 在滑坡体范围外布置截水天沟, 阻止滑坡体外的地表水汇入到滑坡体内。

5 结语

库岸滑坡治理是水库建设中的一项重要内容, 其加固治理方法很多, 在实际工作中, 应针对工程特点选择合适的处理方法。当大的处理方案选定后, 尚需辅以一些小的加固处理措施, 以便使加固方案实施效果更佳。

参考文献:

- [1] 郑颖人, 陈祖煜, 王恭先, 等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [2] 黄锦林, 赵吉国, 张婷, 等. 基于层次分析法的库岸高速滑坡危险度评价[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 95-99.
- [3] 张有祥. 库岸边坡稳定性及抗滑桩加固研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2009.
- [4] 广东省水利电力勘测设计研究院. 广东省乐昌峡水利枢纽工程可行性研究报告[R]. 广州: 广东省水利电力勘测设计研究院, 2008.
- [5] 黄锦林. 库岸滑坡涌浪对坝体影响研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.
- [6] SL386-2007 水利水电工程边坡设计规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

(下转第 97 页)