

小湾水电站饮水沟堆积体失稳加固措施

刘红宝¹, 李占省¹, 李志强²

(1. 水利部小浪底建设管理局, 河南 郑州 450000; 2. 河海大学基建处, 江苏 南京 210098)

摘要:分析了小湾水电站紧临坝基上游侧的饮水沟左岸堆积体的结构特征和可能的变形失稳形式, 重点介绍堆积体前期施工中采取的削坡减载、预应力锚索加固措施, 以及 2003 年底到 2004 年初堆积体发生整体性向下蠕动后采取的上部开挖护坡, 中下部锚索锚固, 下部抗滑结构支挡、分层系统排水等综合措施。监测结果表明, 综合加固措施实施后, 堆积体边坡变形得到了有效控制, 已处于稳定状态。

关键词:堆积体失稳; 加固措施; 小湾水电站

中图分类号: TU432 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-7647(2006)03-0045-04

Reinforcement measures for watering gully deposit body at Xiaowan Hydropower Station//LIU Hong-bao¹, LI Zhan-sheng¹, LI Zhi-qiang²(1. Bureau of Xiaolangdi Hydro Project, MWR, Zhengzhou 450000, China; 2. Infrastructure Construction Division, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: For the deposit body on the left bank of watering gully near the upper dam foundation of the Xiaowan Hydropower Station, an analysis was performed of the structural characteristics and forms of deformation and instability that might occur, with emphasis placed on a series of reinforcement measures adopted at early stage of construction, such as slope cut to reduce the self-weight and pre-stressed rock anchor installation, as well as some comprehensive measures, including rock facing excavation at upper part for slope protection, rock anchor installation on the middle and lower parts, and anti-slide pile supporting and layered drainage system for the lower part, which were adopted from the end of 2003 to the early of 2004 to mitigate the downward integral creep deformation of the deposit body. The monitoring data show that the comprehensive measures effectively control the deformation of the deposit body and make it in steady state.

Key words: instability of deposit body; reinforcement measure; Xiaowan Hydropower Station

小湾水电站位于云南省西部南涧县与凤庆县交界的澜沧江中游。电站总库容 149.14 亿 m³, 装机容量 4 200 MW, 多年平均年发电量 189.9 kW·h。电站枢纽工程由混凝土双曲拱坝、坝后水垫塘及二道坝、右岸地下引水发电系统、左岸泄洪洞等组成, 坝身设泄洪表孔、中孔和放空底孔。两岸边坡陡直, 左岸紧临坝基上游侧存在大体积堆积体, 在开挖与支护中存在失稳的可能。

1 饮水沟堆积体结构特征及可能的变形失稳形式

1.1 范围及规模

饮水沟堆积体主要分布在河段左岸坝前紧邻坝基的饮水沟至 2 号山梁山脊之间的山坡上, 其平面形态似舌形。地形平均坡角 32°~35°, 局部地段有陡坎。堆积体南侧边界部位为相对凸起的 2 号山梁, 基岩裸露; 北侧为现代冲沟(饮水沟)凹地; 堆积

体前缘高程约 1 130 m, 宽度较小; 后缘高程约 1 600 m, 宽度较大。堆积体铅直厚度一般为 30~37 m, SN 方向长约 80~200 m, EW 方向斜长 745~830 m, 最大高差约 460 m, 总体积约 400 万 m³, 其中水库正常蓄水位以下约 40 万 m³。

1.2 物质特征

根据揭露的地层分析, 堆积体主要由块石、特大孤石夹碎石质土、碎石层、砂壤土组成。特大孤石直径达 2~5 m。特大孤石、块石、碎石的母岩为黑云花岗片麻岩。碎石质土、碎石层以及砂壤土在空间分布上不成层, 主要填塞在特大孤石、块石的缝隙之间。堆积体物质总体上相对较为密实, 但在局部地段较为疏松, 并存在架空现象。

1.3 可能的变形失稳形式

堆积体部位下伏基岩岩性为黑云花岗片麻岩夹片岩, 岩体整体抗剪强度较高, 不可能沿基岩的中缓倾角节理和剪切裂隙发生滑移。堆积体组成物质以

块石、特大孤石(岩块较新鲜、坚硬)为主,夹少量碎石质砂壤土,碎石质砂壤土主要填充在块石缝隙之间,不成层,其仍有较高的抗剪强度,在堆积体内部不可能发生滑移。

在堆积体与基岩接触带普遍有厚约 0.15 ~ 8.05 m 的坡积层,其颗粒相对较细,细颗粒含量占 6% ~ 33%,抗剪强度相对最低。因此,堆积体整体失稳的最危险滑面为堆积体与下伏基岩的接触带,其稳定性取决于该地带土层的厚度、抗剪强度和接触面的起伏程度。

2 堆积体前期施工

堆积体前期开挖与支护采取了削坡减载和预应力锚索加固的措施,开挖量约 179 万 m^3 ,在 1380 m 的出渣公路坡脚位置共打设 1000 kN 级预应力锚索支护 54 根。该工程于 2002 年 3 月开工,开挖施工自上而下进行;2003 年 4 月 1500 m 以上缓坡段完成,6 月 1380 m 以上的中缓坡段大部分完成,11 月中旬 1290 m 以上完成;2004 年 1 月上旬开挖到 1245 m 高程。锚索施工于 2003 年 10 月前完成。

边坡开挖完成后,在 1380 m 以上坡比为 1:1.5 ~ 1:1.15;在 1380 m 以下开挖较陡,综合坡比为 1:1,局部达 1:0.8。开挖后的边坡总体上陡于天然边坡。开挖后在 1380 m 以上保留堆积体约 69 万 m^3 ,在 1245 ~ 1380 m 之间保留堆积体约 81 万 m^3 。

3 堆积体变形特征

2003 年 12 月 17 日发现堆积体开始出现裂缝,最先在 2 号山梁堆积体与岩石面上游侧部位高程 1400 ~ 1540 m 之间,最宽缝约为 3 mm。2004 年 1 月 10 日 2 号山梁高程 1290 ~ 1310 m 岩土界面出现裂缝;1 月 21 日高程 1260 m 以上岩土界面剪切错台 10 cm 以上;1 月 23 日裂缝继续扩张,高程 1380 m 以上的裂缝已扩张到高程 1520 m 附近,高程 1380 m 公路边上锚索网板下部已经拉断脱离,下游边界前沿最大剪切错动约 20 cm。总体上变形具有以下特征:

a. 变形范围分布在 1245 ~ 1540 m 高程之间,并主要位于堆积体与基岩接触带附近。

b. 不同部位开挖支护形式不同,堆积体结构和组成物质不同,变形程度和表现形式也有所不同。南侧边坡变形较快,裂缝沿片理面发展较为连续;北侧变形相对较慢,受基岩面起伏控制,裂缝尚未完全贯通;1380 m 高程以下变形较大,而 1380 m 高程以上变形相对较小。

c. 地表观测表明,边坡整体向河床方向发生变形,并略呈向沟心,变形矢量场与堆积体底界形态较协调吻合。

d. 从已埋设建立的 1380 m 高程以上内观设备观测情况看,部分内观点孔口位移较明显,其中位于 1400 m 高程的 13 号测斜孔孔深 33.5 ~ 36.5 m 处位移量较大,位于 1380 m 高程的 4 号锚索测力计荷载增加较快,比锁定时增加 157.7 kN(锁定时荷载 1800 kN)。

4 抢险加固

从堆积体的变形特征可以看出堆积体已出现整体变形,边坡破坏形式是渐进性、牵引式、自下而上逐步扩展的,若不及时处理将有可能产生大范围整体失稳破坏。为确保堆积体的稳定,经过多次专家讨论,决定采用坡顶削坡减压,中下部锚索锚固,下部抗滑结构支挡、分层系统排水等综合措施来控制边坡变形。

4.1 坡顶削坡减压

坡顶削坡减压主要布置在堆积体 1460 ~ 1600 m 高程范围。从 1600 m 高程开始,利用挖掘机械按原马道分台阶逐层下挖。每层台阶开挖完成后及时进行贴坡混凝土、浆砌石护坡处理。共开挖约 30 万 m^3 。开挖后的坡比基本保持原设计坡比,局部稍有变缓。

4.2 锚索锚固

堆积体共布置锚索 1356 根,其中 1000 kN 锚索 148 根,1800 kN 锚索 1208 根,主要分布在高程 1274 ~ 1420 m 之间,长 55 ~ 75 m,水平下倾 15°。内锚固段约 8 ~ 15 m。间排距分部位不同不等,一般为 2 m $\times$ 3 m。外锚墩有网板结构、独立结构和与贴坡混凝土连接结构共 3 种。

造孔采用 MG—100 型和 YG—80 型钻机,1000 kN 锚索孔 $\varnothing 115$,1800 kN 锚索孔 $\varnothing 165$ 。钻孔倾角偏差不得大于 $\pm 2.5^\circ$ 。由于堆积体的特殊地质结构以及整体向下的蠕动,在造孔过程中出现了塌孔、卡钻、跑风漏风、掉钻、埋钻等现象。经过多次试验分析,采用了 YG—80 型钻机进行变径套管跟管钻进的施工方法。具体工艺为:孔位放样后,采用 $\varnothing 194$ 直钎头开孔,然后利用 $\varnothing 178$ 套管跟管钻进,当跟管钻进 20 ~ 30 m(约为堆积体厚度的 1/2)时,退钻、拔管。随后更换 $\varnothing 168$ 套管继续跟管钻进。采用这种施工工艺,套管扭矩大幅度减小,加快了施工部位的造孔速度,提高了成孔率。

下索采用人工与机械辅助相结合的方法平稳快速地进行,保持各钢绞线顺直,不能出现扭结现象。

由于山体持续变形,而且滑移面内各侧点滑移速度不均,孔内经常会出现“错台”、塌孔的现象,出现了索体下至一半又被迫拉出来重新扫孔的现象。在施工过程中,为顺利下索,采用了减小塑料隔离支架直径的方法,同时为减小摩阻力,在内锚固段尝试使用了自制的“灯笼形”钢筋隔离支架,其作用等同于原设计的塑料隔离支架,但在穿索过程中起到导向作用,降低了下索的难度。

采用YC—200D型千斤顶对锚索的各单根钢绞线进行预紧张拉。对应1000 kN和1800 kN级锚索分别采用YCW150B和YCW250B型不同吨位的千斤顶张拉。单根钢绞线预张拉力为30 kN,正常张拉分4个阶段,张拉力分别为设计值的50%,75%,100%,115%。

自由段灌浆使用强度等级为42.5 MPa的普通硅酸盐水泥,水灰比为0.4:1或0.5:1,封孔回填灌浆材料与锚固段灌浆的材料相同。由于锚索张拉段处于松散的堆积体内,空隙较大,漏浆严重,在施工过程中出现了吸浆量大和注浆效果不明显现象,为有效控制张拉段的灌浆量,采取吸浆量较大部位的锚索张拉段索体上包裹土工布和细帆布的方法防止漏浆,并设置止浆塞,防止内锚固段与自由段发生串浆,较好地解决了张拉段吸浆量大的问题,确保了灌浆质量。

4.3 1245 m 高程的抗滑支挡结构

1245 m 高程的抗滑支挡结构由布置在1245 m 高程的坝顶公路内侧的上、下游挡墙及15根抗滑桩三部分组成。上、下游挡墙地上部分29 m,地下部分最深近40 m。上游挡墙采用拱式混凝土形式,挡墙建基面高程为1238 m,拱高程在1239~1244 m之间。在上游挡墙1270 m 高程和1266 m 高程各布置7根1800 kN级锚索(共14根)。15根抗滑桩中1~10号抗滑桩断面尺寸为3 m×5 m,11~15号抗滑桩断面尺寸为4 m×7 m,抗滑桩之间采用混凝土墙连接。1~10号桩每个桩身上布置6根1800 kN级锚索(共60根),每堵连接墙上1270 m 高程和1272 m 高程设计各有4根1800 kN级锚索(共36根);2~11号桩上布置1800 kN级锚索共20根,连接墙1247 m 高程和1249 m 高程设计1800 kN级锚索共36根。下游挡墙采用平面混凝土支挡结构,下宽上窄。

土石方开挖主要是地下部分开挖,设计开挖工程量11904 m³。抗滑桩位置处于松散的堆积体中,地质条件复杂,容易发生塌方,为减少爆破影响,每次爆破按1 m的进尺控制,前进1 m后立即对1 m井壁进行衬砌。

抗滑桩与原开挖边坡之间回填石渣,反压至

1310 m 高程,坡面护坡为浆砌石结构。反压回填料按粒径小于或等于40 cm、压实后干容重大于或等于20 kN/m³、分层为60 cm进行控制。采用18 t振动碾分层碾压。回填量约15万 m³。索体穿过反压回填区时采用钢套管保护,在钢套管周围使用粒径较小的回填料防止在碾压过程中的大块石损坏钢套管。

4.4 排水洞排水

左岸边坡1245 m 高程以上共布置9条排水主洞,每条排水主洞有近10条排水支洞。1245 m 高程以上排水洞设计断面尺寸为2.5 m×3.5 m,其中1378 m 高程排水洞为贯通洞,全线长801.9 m,高程1580 m,1540 m,1500 m,1460 m,1420 m的排水洞均为盲洞,主洞长分别为195 m,375 m,262 m,255.5 m,238.1 m。排水支洞的长度根据洞壁松散体厚度的不同而不同。排水洞洞壁上布置有排水孔,排水孔 $\varnothing 40 \sim \varnothing 110$,孔深在8~40 m范围。

由于排水洞基本上都要通过堆积体,为了防止堆积体内洞挖塌方,施工中采用“小药量、弱爆破、短进尺、勤支护”的施工工艺。对比较破碎、松散的地层在开挖前进行超前支护,主要是打超前锚杆。排水洞支护方法主要有工字钢支撑、喷混凝土、锚杆和混凝土衬砌等。洞挖过程中,根据不同的地质情况选取不同的支护形式。岩石破碎段采用工字钢衬砌,衬砌紧随开挖进行。

5 堆积体强化加固处理

堆积体抢险加固处理从2003年12月开始,2005年初基本完成。施工过程中,随着工程的进展,裂缝的变形和监测锚索测力计荷载都逐渐减小。据2004年底的观测资料分析,堆积体已基本趋于稳定。

为了进一步提高堆积体的稳定安全系数,在原有抢险加固的基础上,经分析研究决定对堆积体作进一步加固处理。在1460~1500 m 高程之间布置了12根抗滑桩,在1310~1340 m 高程之间布置了8根抗滑桩。抗滑桩断面为3 m×5 m,分上下两排布置,最深达69 m,中间由2.5 m×4 m的地梁连接。桩上游用素混凝土回填。抗滑桩结构见图1。

6 监测结果

对堆积体稳定性采用了边坡表面常规变形观测、GPS卫星定位实时监测系统和预应力锚固监测等手段进行了监测。堆积体经前期施工后,2003年12月14日监测发现其变形突然增大,变形速率达到1.13 mm/d。2004年2月2日开始进行预应力锚索抢险加固,平均施工量达到100根/d。安装400根预应力锚索后,堆积体变形速率已明显降低,仅为

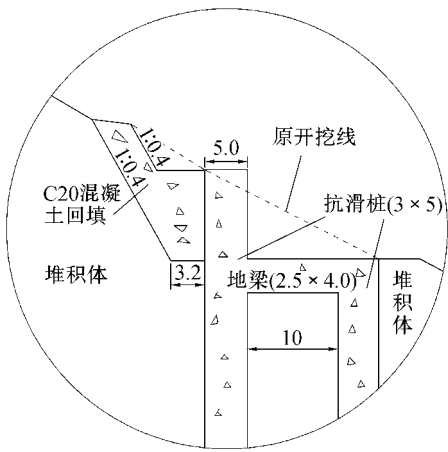


图 1 抗滑桩结构示意图(单位:m)

0.12 mm/d。综合加固措施实施后,监测结果显示:锚索预应力总损失为 12.64%,预应力荷载基本达到了设计要求,边坡总变形控制在 3.0~4.0 mm,已处于稳定状态。

7 结 语

小湾水电站左岸堆积体近邻的坝基对枢纽的安全运行至关重要。从堆积体的抢险加固处理可以得出以下结论和启示:①通过采取抢险加固措施,小湾

水电站左岸饮水沟堆积体的蠕动变形已得到有效控制,堆积体趋于稳定。②采用上部削坡减压、中下部 1356 根锚索锚固、下部挡墙及 15 根抗滑桩抗滑结构支挡、系统立体分层排水的综合措施,可有效地抑制大体积堆积体的变形,是加固大型堆积体的有效方法。③通过对堆积体的稳定性进行监测,不但能发现堆积体的蠕动变形,而且能为加固方案的制订提供参考依据。④抗滑桩开挖采用每次爆破 1 m 进尺,并在开挖后立即进行井壁衬砌;排水洞开挖中采用“小药量、弱爆破、短进尺、勤支护”的措施,减小了施工对堆积体的进一步扰动。⑤变径跟管成孔、减小隔离架直径、钢筋导向索、锚索张拉段索体包裹土工布灌浆等技术,是在堆积体内进行锚索施工的有效方法。

参考文献:

[1] 高明忠,谢和平,周宏伟.水库蓄水前后库岸稳定性研究方法概述[J].水利水电科技进展,2004,24(7):93-96.
[2] 夏维洪.基岩冲刷的模型相似问题[J].河海大学学报:自然科学版,1997,25(1):67-72.
(收稿日期:2005-04-12 编辑:高建群)

(上接第 9 页)

表 5 调水调沙期间下游各河段主槽平滩流量变化

河 段	主槽宽/ m	滩槽高差 增值/m	主槽平滩流量增值/(m ³ ·s ⁻¹)		
			断面法	水位法	采用值
小浪底—花园口	800	0.26	374	300	300
花园口—夹河滩	739	0.20	266	150	240
夹河滩—高村	806	0.37	537	525	500
高村—孙口	414	0.38	283	435	300
孙口—艾山	454	0.11	90	-140	90
艾山—冻口	421	0.18	136	30	80
冻口—利津	384	0.13	90	80	90
利津—丁字路口	404	0.20	145	275	200

注:水位法计算平滩流量增值采用河段进、出口水文站的平均值。

4 结 语

- a. 在目前河槽严重萎缩的边界条件下,当发生中常洪水时便有较强的淤滩刷槽作用,有利于改善河道行洪条件和减缓“二级悬河”态势。
- b. 漫滩洪水造成的滩地淤积绝不仅仅来自滩地滞蓄水体的泥沙沉降,而主要来自滩槽水流泥沙频繁的横向交换。
- c. “二级悬河”的发生与发展对淤滩刷槽效果有负面影响,应设法尽快消除。
- d. 2002 年调水调沙试验期高村附近河段平滩流量增大明显主要与该河段发生较大范围漫滩造成

滩淤槽冲关系密切。

参考文献:

[1] TOEBES G H,SOOKY A A. Hydraulics of meandering rivers with floodplains[J]. Waterways and Harbor,1967,93(2):213-236.
[2] 钱宁,张仁,周志德.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987:202-209.
[3] 马喜荣,夏自强,陈竹青,等.黄河下游泥沙淤积对洪水演进的影响[J].水利水电科技进展,2004,24(7):4-6.
(收稿日期:2005-08-02 编辑:高建群)

· 简讯 ·

第二届河口海岸国际研讨会将在广州举行

第二届河口海岸国际研讨会将于 2006 年 11 月 28~30 日在广州举行。研讨会的中心议题是:“河口海岸与生态环境”,包括河口海岸演变、河口生态及其环境的保护措施、河口治理及港口、航道整治、河口等模拟技术及其运用等。会议将为全球的河口海岸专家、学者、工程技术人员和决策者提供一个交流研究成果、传播技术和展望未来的研讨机会。联系地址:510610 中国广州天寿路 80 号第二届河口海岸国际研讨会秘书处, E-mail: icec2006@prwri.com.cn。

(本刊编辑部供稿)