

高山峡谷地区水平位移控制网设计和观测探讨

伍文锋¹, 税思梅², 裴灼炎¹

(1. 长江勘测规划设计研究院 长江空间信息技术工程有限公司, 湖北 武汉 430010;

2. 中国电建成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 随着我国水电开发的推进,在西南高山峡谷地区涌现一批300 m级特大型水电站,这些水电工程具有高坝、大库、地质条件复杂、坝址区河谷狭窄、边坡高陡、蓄水影响范围大等特点。如何在这些工程上建立一个高精度和高稳定性的水平位移控制网,得到准确可靠的变形监测数据,是研究水电工程变形监测的重点和难点。通过对溪洛渡水电站水平位移控制网的设计、施工、观测的重点和难点进行分析,采取了校核网、基准网、工作基点网三级设网,逐级控制,并上下分层设置工作基点,逐步推进等措施,最终实现了溪洛渡工程水平位移控制网的高稳定性和高精度传递,为工程安全评价提供了准确可靠的数据支撑。

关键词: 高山峡谷;水平位移控制网;设计;观测

中图分类号: P221

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2017)03—0077—04

Design and Observation of Horizontal Displacement Control Network in the Alpine Canyon Area

WU Wenfeng¹, SHUI Simei², PEI Zhuoyan¹

(1. Spatial Information Technology Co., Ltd., Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan, Hubei 430010, China; 2. Chengdu Engineering Corporation Limited of Power China, Chengdu, Sichuan 610072, China)

Abstract: With the development of hydropower development in our country, a large number of 300 m class large hydropower stations have been designed in the southwest alpine canyon area, the hydropower project has the characteristics of high dams, large reservoirs, complex geological condition, narrow valley, high steep slope, wide range of water storage etc. How to establish a high precision and high stability of the horizontal displacement control network in these projects and obtain accurate and reliable deformation monitoring data is an important issue. Through the analysis key and difficult points of design, construction, observation in horizontal displacement control network. The check of network, network, network level reference point set, step by step control was proposed; According to the characteristics of Xiluodu project, through the addition of check network, reasonable choice of shop etc., the high stability and high accuracy transfer of horizontal displacement control network are realized, which could provide accurate and reliable data support for engineering safety evaluation.

Keywords: alpine canyon; horizontal displacement control network; design; observation

随着我国水电开发的推进,在西南高山峡谷地区涌现一批300 m级特大型水电站,这些水电工程具有高坝、大库、地质条件复杂等特点。如小湾、溪洛渡、锦屏、白鹤滩、乌东德等水电工程。从水库形成和投资角度考虑,这些大坝通常选择在相对狭窄的河谷地区。坝址区附近的边坡具有坡比大、落差大等特点;同时电站首次蓄水过程中,难以避免的引

起诱发地震以及改变周边山体的渗流场,导致原来稳定的山体进一步应力调整,发生一定变形。

水电工程通常采用以表面变形监测^[1]为主的监测方法^[2],变形监测控制网是坝区变形观测的基础和起算基准,其高精度和高稳定性尤为重要,其稳定性又是建筑物安全监测数据是否准确可靠的前提,将直接影响工程施工和安全^[3]。特大型水电工程坝

址区狭窄的河谷、高陡的边坡,伴随首次蓄水的二次变形调整,大幅提高了变形基准网的设计和实施难度。如何实现变形基准网的高精度和高稳定性,是水电工程安全监测体系建立所面临的重点和难点。现以溪洛渡水电站为例,阐述水平位移控制网的设计和观测,为类似工程提供参考和借鉴。

1 概 况

溪洛渡水电站位于四川省雷波县与云南省永善县接壤的金沙江溪洛渡峡谷中^[4]。溪洛渡水电站是金沙江干流梯级开发规划中的第三个梯级,以发电为主,兼有防洪、拦沙和改善下游航运条件等综合效益。坝段控制流域面积 45.44 万 km²。地下厂房对称布置在左右岸山体,共 18 台机组,装机容量为 13 860 MW(770 MW×18 台)^[5]。大坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程 610 m,最大坝高 285.5 m,水库正常蓄水位 600 m,死水位 540 m,库容 126.7 亿 m³。坝址附近两岸河谷对称,岸坡陡峻,宽高之比小于 2,山体雄厚,地形完整,无沟谷切割。

溪洛渡电站基础复杂^[6-7],坝区边坡岩体坚硬较完整,宏观上以次块状结构为主,岩体质量较好;层间、层内错动带倾角平缓,错动带物质以坚硬的玄武岩角砾为主,挤压较紧密,裂隙短小、粗糙,随机分布;两岸未见大规模的变形体,仅在斜坡的陡壁部位见局部的崩塌和冒落,坡脚未见大的崩塌堆积体分布。两岸地层产状平缓,总体以 3°~7°缓倾下游偏左岸。坝区山高谷深,气候的垂直差异突出。

2 设 计

变形监测网的建立是变形监测中的首要任务^[8]。变形监测网网形的最佳设计实质是网点点位的最佳设计^[9]。合理的设计是水平位移监测控制网高稳定性和高精度传递的保障。除满足规范要求外,还需考虑工程的特点和面临的困难。现从设计目的和原则、面临的困难和应对措施、设计方案三个方面阐述溪洛渡工程水平位移监测控制网的设计。

2.1 设计的目的和原则

设计目的:为坝区水工建筑物及岸坡水平位移监测提供稳定可靠的基准;及时获得满足设计精度要求的变形观测成果。

设计原则:保持变形观测数据的可靠性、及时性和连续性;监测仪器设备的选型,力求耐久、可靠、实用、有效,满足工程需要和便于实现自动化;力求做到合理且经济。

2.2 面临的困难和应对措施

面临的困难:基准点的选定是一个难点,首先基准点距离测量仪器或变形点不能太远,否则影响测量精度;其次,基准点距离测量仪器或变形点不能太近,否则其稳定性难以保证^[10]。河谷狭窄、岸坡陡峻,河床方向延伸空间有限,如何避开蓄水影响区域,选择施工期和运行期都处于稳定的基准点难度大。监测范围上下游达到 3 km,高差最大超过 500 m,而左右岸最大宽度不超过 1 km,如何建立一个覆盖整个监测范围,且精度高的监测网难度大。

应对措施:分级设网,逐级控制,并增设校核网对基准点的稳定进行校核和改算;逐步推进、上下分层设置工作基点,改善基准网的网形,形成高精度、全覆盖的工作基点网;尽量远离边坡临空面,优先选择冲沟后、低高程的部位实施倒垂孔布设校核网点,远离边坡开挖卸荷和蓄水影响,确保校核点的稳定;由于早期难以全面准确的把握高坝大库的蓄水影响区,因此点位还需考虑坝下游不同山体结构,且数量应有富余。

2.3 设计方案

针对溪洛渡工程特点和面临的困难,进行水平位移基准网设计和研究。溪洛渡水平位移监测控制网由水平位移校核网、水平位移基准网、水平位移工作基点网组成,基准网为工作基点网提供起算基准,校核网为基准网提供起算基点并检校其稳定性。

(1) 水平位移校核网。基准网的稳定性是一个相对的概念,由于受到开挖、蓄水等因素的影响,基准点有时也会产生位移。鉴于此,增设校核网,为整个网的起算基准和检校其稳定性。校核点要求测点所在部位山体长期稳定性好。根据现场地形地貌和地质条件,宜在坝下游离施工区较远(部分选在过冲沟)、组网条件好(合适的网形确保精度)、稳定坚固的基岩上,同时兼顾通视条件佳、安全可靠、远离高压电线或其它可能的干扰源、交通便利、使用方便的部位布设校核网点。溪洛渡水平位移校核网由 4 个测点组成,布置见图 1。

(2) 水平位移基准网。基准网是用来为工作基点提供起算基准,要求稳定可靠,避免改算数据过大,导致短期内数据偏差过大。宜在稳定的山体部位、组网条件好(合适的网形确保精度)、稳定坚固的基岩上,同时兼顾通视条件佳、安全可靠、远离高压电线或其它可能的干扰源、交通便利、使用方便的部位布设基准网点。溪洛渡水平位移基准网共计 11 个测点,由 6 个变形观测墩、4 个倒垂点、1 个钢管标

组成。水平位移基准网布置见图 2。

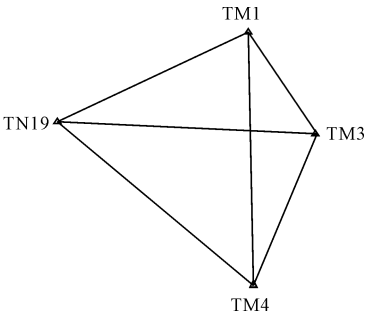


图 1 水平位移基准网及校核网图

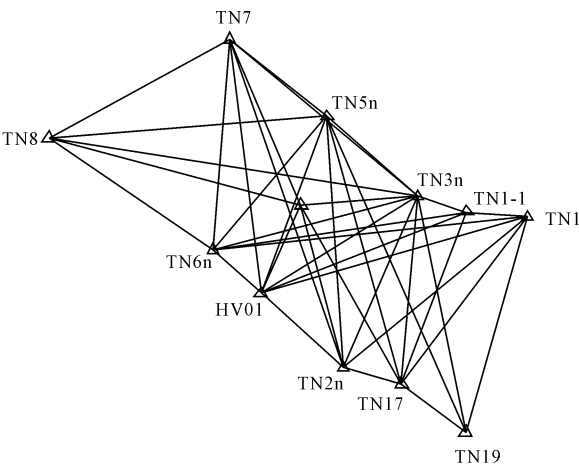


图 2 溪洛渡水电站水平位移基准网布置图

(3) 水平位移工作基点。水平位移工作基点网实际上是对基准网点进行加密和补充,主要用来改善交会角度、边长差,用以提高整个变形网的观测精度。其选点要求与基准网点基本一致。溪洛渡工作基点网由 13 个测点组成,布置见图 3。

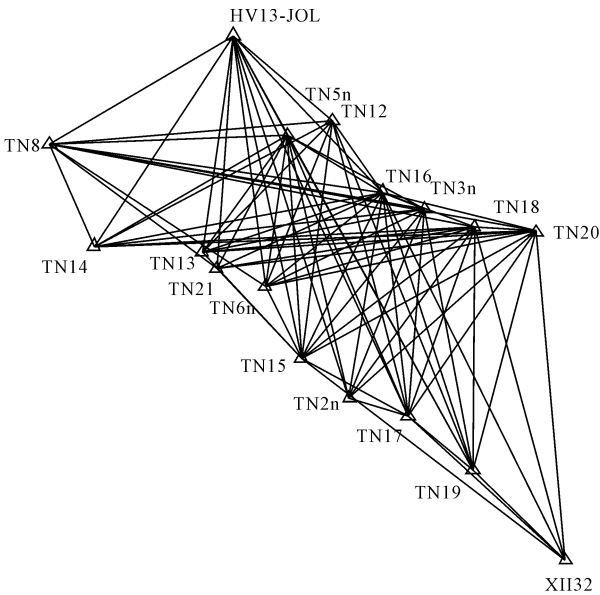


图 3 水平位移工作基点网图

3 观 测

观测工作开展尽量做到固定作业人员、固定仪器设备、固定作业方法(包括起算数据固定)“三固定”原则,以确保观测成果的质量。

水平位移监测控制网严格按规范和设计要求定期开展观测,及时进行数据处理和精度分析,最后对变形测点的成果进行改算,为工程安全评价提供精确的数据支撑。溪洛渡水平位移控制网采用金沙江坐标系,采用 1956 年黄海高程为基准,选在中部 470 m 高程面为投影面,地球曲率半径为6 369 000 m。

3.1 观测方案

(1) 水平角。水平角用徕卡 TM50 精密全站仪采用全圆方向法按一等网精度要求进行全自动观测,各项限差按表 1 的规定执行。

表 1 水平角观测限差表		
项 目	限 值	
两次照准读数互差/(")	1	
半测回归零差/(")	5	
一测回内 2C 互差/(")	9	
归零后,同一方向值各测回互差/(")	5	
三角形最大闭合差/(")	2.5	
按三角形闭合差计算的测角中误差/(")	0.7	
角极条件	$1.4 \sqrt{\delta\delta}$	
边极条件	$2 \sqrt{0.4p[\delta\delta] + m_{ps1}^2 + m_{ps2}^2}$	

严格按有关的规程规范操作,选择有利的观测时间段进行观测,水平角采用全圆方向法观测 12 测回,全部测回在两个异午时间段内各完成约一半,若为全阴天可适当放宽。方向观测时,当测站上的方向数多于 9 个时,进行分组观测,两组方向数应大致相同,组间重合至少 2 个方向,两组共同方向间夹角互差不得大于 $\sqrt{2} m$ (m 为相应等级测角中误差)。

(2) 边长。边长采用徕卡 TM50 精密全站仪按一等精度要求进行观测。每条边异午对向往返观测,若为全阴天可适当放宽为同午对向往返观测,每条测距边往返观测各 4 测回,每测回照准 1 次,读数 4 次。每条边在一个时间段内的观测始末,要测定干温、湿温及气压。温度估读到 0.2℃,气压估读到 0.5 毫巴。温度计应置于伞下,使不受阳光直接辐射的影响。

(3) 精度和可靠性预期。水平位移监测控制网网点的主要参数指标估算精度均满足规范要求,详见表 2。对水平位移校核基准网和水平位移基准网

各观测量进行可靠性计算,方向观测与边长观测内外可靠性指标基本上都在 5 和 3 以内,网的内外可靠性均较好。

表 2 典型网点估算精度统计表

测点类别	点名	点位中误差/mm		
		M_x	M_y	M_{xy}
基准点	TN1	± 0.60	± 0.48	± 0.77
	TN1 - 1	± 0.55	± 0.49	± 0.74
校核点	TN2n	± 0.46	± 0.54	± 0.71
	TN3n	± 0.50	± 0.43	± 0.66
	TN5n	± 0.45	± 0.58	± 0.73
工作基点	TN12	± 0.21	± 0.26	± 0.33
	TN13	± 0.34	± 0.26	± 0.43
	TN14	± 0.55	± 0.31	± 0.63

3.2 数据处理

观测数据采集完成后,所有资料在平差计算前按相应规范的要求进行各项限差检查验算;选择校核网点的坐标为起算数据,平差计算出其它网点的坐标。

(1) 观测数据预处理。边长改正:温度、湿度、气压等气象改正,仪器加、乘常数改正,观测斜距精确归算到标心斜距,最后归算到 470 m 高程椭球面平距,地球曲率半径6 369 000 m;对经预处理后的观测数据进行各项验算:三角形闭合差、角极条件、边极条件等。

(2) 平差计算。基准网以校核网点推算出来的 TN2n、TN3n、TN5n、TN6n 坐标值为起算数据,采用金沙江坐标系进行平差和评定其余基准网点坐标精度。

3.3 观测成果

通过合理的观测方法和数据处理,测得溪洛渡水电站水平位移监测控制网的三角形闭合差、角极条件自由项、测边极条件自由项、测边边长不同时间段差均小于限差,且 80%在小于 1/2 限差。测角中误差为 ± 0.56",小于规范限值的 ± 0.70"。水平位移监测控制网观测成果满足设计和规范的要求。典型网点观测精度见表 3。

本次观测成果相较于上次,上下游方向变化很小,y 方向均表现为向河谷方向的位移,量级不大。

监测网的质量包括精度灵敏度、观测、费用、可靠性等多因素质量准则^[11]。对照质量准则,从观测成果分析,溪洛渡水平位移监测控制网成果质量优良。目前基准网运行状态良好,满足工程安全监测的需要。

表 3 典型网点观测精度统计表

测点类别	点名	本次观测坐标中误差/mm	
		d_x	d_y
基准点	TN1	± 0.71	± 0.61
	TN1 - 1	± 0.65	± 0.58
校核点	TN2n	± 0.57	± 0.63
	TN3n	± 0.60	± 0.56
	TN5n	± 0.66	± 0.66
工作基点	TN12	± 0.45	± 0.55
	TN13	± 0.73	± 0.51
	TN14	± 1.21	± 0.61

4 结 论

溪洛渡水电工程具有高坝大库,坝址区河谷狭窄,地质条件复杂,枢纽区边坡坡比大、落差大,蓄水影响范围大等特点。通过分级设网,逐级控制,增设校核网,提高网的稳定性;逐步推进、上下分层布设网点,改善网形,提高精度;采用合理的观测方案和数据处理方法,确保观测成果的准确等手段。最终实现了溪洛渡工程水平位移控制网的高稳定性和高精度传递,为工程安全评价提供了准确可靠的数据支撑。

参考文献:

[1] 黄志鹏,董燕军,廖年春,等.锦屏一级水电站左岸开挖高边坡变形监测分析[J].岩土力学,2011,33(S2):235-242.

[2] 赵明华,刘小军,冯汉斌,等.小湾电站高边坡的稳定性监测及分析[J].岩石力学与工程学报,2006,25(S1):2746-2750.

[3] 陈 涛.安全监测基准网粗差剔除与稳定性分析的实现[D].南京:南京信息工程大学,2011:1-62.

[4] 伍文锋.溪洛渡水电站特大型地下厂房洞室群开挖质量控制[J].水利与建筑工程学报,2012,10(6):138-142.

[5] 伍文锋.溪洛渡水电站超大型地下厂房围岩监测资料分析和稳定性评价[J].水利与建筑工程学报,2014,12(2):112-116.

[6] 王仁坤.溪洛渡拱坝设计综述[J].水力发电,2003,29(11):17-19.

[7] 王仁坤.金沙江溪洛渡水电站枢纽建筑物设计综述[J].中国三峡建设,2005(6):47-50.

[8] 李双平,方 涛,王当强.测量机器人在溪洛渡电站变形监测网中的应用[J].人民长江,2007,38(10):54-56.

[9] 陶华学.变形监测网网形结构的动态优化设计——三级动态优化设计[J].勘察科学技术,1990(3):48-51.

[10] 詹龙喜,唐继民,汪维春,等.变形监测基准点的稳定性检验[J].上海地质,2004(2):34-36.

[11] 陶华学,潘行庄.顾及多因素影响的变形监测网网形结构的优化设计[J].勘察科学技术,1995(2):42-47.