

“5·12”震后碧口大坝的受损及加固

燕京,何录合

(大唐碧口水力发电厂,甘肃陇南 746412)

摘要:“5·12”地震对碧口大坝造成严重破坏及不可忽视的缺陷和安全隐患,震后通过分析碧口大坝受损情况,采取坝面裂缝处理、坝面保护、坝基防渗、泄水建筑物加固等一系列工程措施,全面改善了大坝的安全状况。

关键词:“5·12”地震;碧口大坝;受损;加固

Title: Damage caused by 5·12 earthquake to Bikou dam and rehabilitation//by YAN Jing and HE Lu-he// Bikou Hydropower Plant

Abstract: Damage caused by 5·12 earthquake to Bikou dam was serious, thus, some treatment measures were carried out, including crack treatment, dam face protection, foundation seepage prevention and reinforcement of discharge structures which were of good effect.

Key words: 5·12 earthquake; Bikou dam; damage; rehabilitation

中图分类号: TV698.2

文献标识码: B

文章编号: 1671-1092(2011)01-0060-04

1 工程概况

碧口水电站位于甘肃省文县碧口镇上游3 km的白龙江干流上,装机容量3×100 MW,为大(2)型工程。枢纽工程由土石坝、溢洪道、右岸泄洪洞、左岸泄洪洞、排沙洞、引水洞、调压井、钢管道、厂房和开关站等组成。大坝为壤土心墙碾压式土石混合坝,最大坝高101.8 m,坝顶高程711.8 m,坝顶长度297.36 m,坝顶宽7.6 m,设有L型钢筋混凝土防浪墙,防浪墙顶高程715.30 m,坝顶构造见图1。坝壳由砂砾石、堆石、石渣、碎石渣、卵漂石、含泥砂砾石等填筑。坝基砂砾石冲积覆盖层有宽1.3 m和宽0.8 m的两道混凝土防渗墙,两岸为混凝土齿墙与心墙接触。坝址基本烈度为7度,设防烈度为8度。



图1 坝顶剖面图(单位:m)

Fig. 1 Profile of the dam crest

碧口水库设计正常高水位704 m,校核洪水位708.8 m,总库容为5.21亿m³。1992年大坝首次定检后核定校核洪水位为710.1 m,2007年第三次大

坝定检核定校核洪水位为709.84 m。

2 “5·12”地震对碧口大坝的破坏

碧口大坝坝址距离“5·12”震中汶川293 km,地震对枢纽建筑物影响较大,各建筑物受到不同程度的损坏,大坝坝顶、上、下游护坡、坝体与两岸连接处均受到不同程度的损坏。大坝坝顶部位发生了较大的变形,坝体708 m高程相对最大沉降量达249 mm,向上游相对最大水平位移量159 mm。根据中国地震局公布的烈度调查结果,地震对电站坝址的影响烈度达到9度,超出了设计时的地震烈度8度。

“5·12”地震后也产生了大量余震,2008年对碧口电站影响烈度大于5度的地震有5次^[1],分别为2008年5月18日震级为6.3的余震、2008年5月25日震级为6.6的余震、2008年5月27日震级为6.0的余震、2008年7月24日震级为6.3的余震和2008年8月5日震级为6.4的余震。这些余震对枢纽建筑物产生了一定影响,直接影响到大坝坝顶防浪墙、防浪墙与心墙顶接缝、心墙与两岸接触面这些防渗结构的薄弱环节,也直接影响着高水位时大坝的安全稳定。

2.1 地震前后水库运行状况

“5·12”地震前,碧口水库为配合早成线检修,5

月初提前将库水位降低至 691 m 左右。5 月 12 日 14 时,碧口水库运行水位 691.46 m。地震发生后,发电设备、水库大坝和送出线路均受到了一定程度的破坏,机组被迫停机,水位逐步上升,5 月 13 日 8 时达 693.53 m。为确保大坝安全,根据《碧口水库地震后临时运用方案》和《水库泄空应急预案》,开启排沙洞降低库水位运行,库水位控制在 693.00~693.90 m 之间运行。5 月 18 日后库水位逐步下降,5 月 21 日达到最低 690.53 m。为保证抗震救灾供电工作需要,库水位控制在 691 m 附近运行。6 月 12 日后,在汛期实际调度运用中,将库水位控制在 693~694 m 之间运行。

2.2 大坝受损情况^[2]

坝顶下游砖砌挡墙从左岸至河床部位倒塌。防浪墙横缝有受到挤压或张开的变形迹象,部分横缝内沥青有外流现象。右岸坝顶与溢洪道引桥、左岸交通洞与左坝肩开裂。防浪墙有向上游的位移。大坝上游面右侧混凝土护板沿溢洪道边墙处有下沉现象,左侧护板部位局部开裂,左侧防浪门与坝体接触处开裂。上游坝坡防浪墙边缘与混凝土板连接处接缝张开,宽度约 1~2 cm。

坝下 0+007.8、高程 708 m,混凝土面板与坝顶下游边墙接触处下沉、面板开裂。下游坝坡左侧 671~691 m 高程的混凝土方格梁局部出现拱起、断裂。

691 马道、670 马道、坝脚排水沟上游挡墙错位。

3 大坝的加固处理

3.1 处理的必要性

碧口大坝坝址工程场地位于青藏高原东北部地震亚区的龙门山地震带内,未来百年内,龙门山地震带的地震活动水平比较高^[3]，“5·12”地震后,仍不能排除该地震带发生 7 级以上地震的危险性。碧口大坝防浪墙为大体积钢筋混凝土结构,具有较强的抵抗变形能力,与防渗心墙及坝壳堆石体的变形具有不协调性,外力作用下易发生变形。大坝防浪墙的钢筋混凝土与防渗心墙及坝壳堆石体两种材料可能产生不均匀变形,变形部位有可能形成渗漏通道。

如果库水沿防浪墙与防渗心墙裂缝处发生渗漏,渗透水流将冲刷防渗心墙顶部,形成渗漏通道,破坏防渗结构的整体性,对大坝安全造成严重威

胁。为了提高大坝防渗效果,确保大坝安全运行,对坝顶防浪墙底与防渗心墙之间的裂缝及坝体与两岸连接处的裂缝进行灌浆处理,对上、下游坝坡混凝土护面裂缝进行灌浆处理,以解决震后碧口大坝裂缝、渗漏、不均匀沉陷等问题。

3.2 防浪墙与防渗心墙的接缝处理

防浪墙与防渗心墙的接缝处理采用水泥灌浆和 LW 水性聚氨酯化学灌浆相结合的方法。为防止漏浆、串浆,保证灌浆质量,处理之前先进行防浪墙底部裂缝的封堵处理^[4]。将防浪墙底部角缘与其相连接的混凝土护板边缘凿毛,凿毛面与水平面夹角 70°,见图 2。凿毛后采用砂浆回填,为补偿砂浆本身产生的收缩,减小新旧混凝土结合面裂缝,砂浆中外掺氧化镁 3%(重量比)。

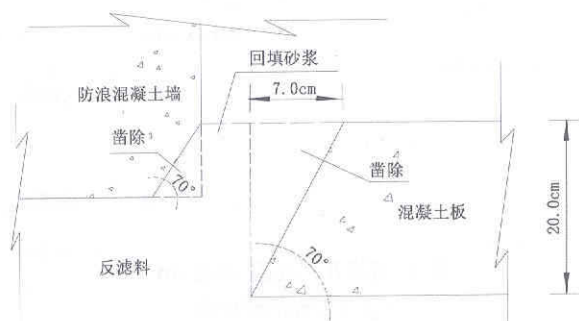


图2 防浪墙底部裂缝凿毛图

Fig. 2 Chiseling of the bottom of wave wall

壤土心墙坝顶混凝土防浪墙与防渗心墙顶部,只允许将混凝土层钻穿并入心墙 30 cm,防渗心墙与两岸接触部位钻孔时穿过心墙至基岩。为了防止心墙在灌浆过程中因灌浆压力过大而变形,对壤土心墙造成施工损伤,产生新的裂缝和渗漏点,采用下保护套管的方法保护心墙,并在套管底部半米内梅花型布设 6 mm 孔,便于浆液顺利流出套管进入坝体缝隙。

3.3 上、下游坝坡混凝土护面裂缝处理

上、下游坝坡混凝土护面裂缝两侧 10 cm 的混凝土以 45°角凿毛,采用砂浆回填,砂浆中掺氧化镁 3%(重量比)(见图 3)。

3.4 灌浆孔布置

3.4.1 坝顶钻孔布置

灌浆孔布置于坝顶公路上,共两排水泥灌浆孔和一排化灌,分为上游排、中间排和下游排,排距 1 m,钻孔布置为梅花型。下游排距坝顶公路下游边缘 2.5 m,为垂直孔,深入防渗心墙 0.3 m;中间

排化灌孔布置于两排水泥灌浆孔间,倾向上游,顶角 13° ,深入防渗心墙 0.3 m ;上游排灌浆孔倾向上游、顶角 24° ,深入防渗心墙 0.3 m 。灌浆孔剖面图见图4。

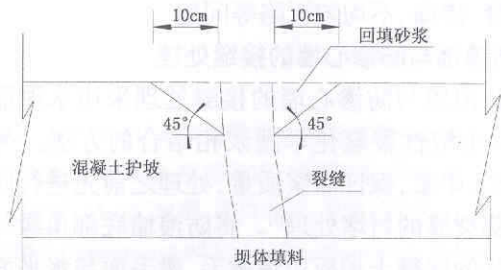


图3 坝坡混凝土护面处理示意图(单位:m)

Fig. 3 Concrete protective face for the dam slope

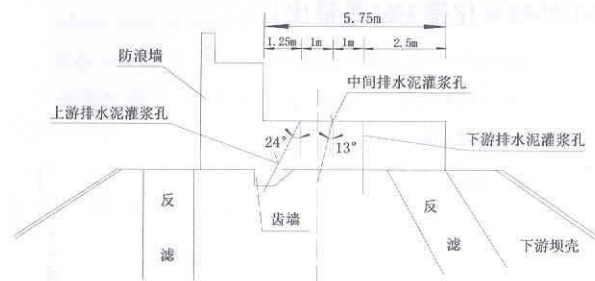


图4 灌浆孔剖面图(单位:m)

Fig. 4 Grouting holes

钻孔时,先进行第一排孔序的钻孔灌浆工作,待第一排灌浆完毕后进行第三排孔序的钻孔灌浆工作,待这两排水泥灌浆结束 14 d 后,进行第二排孔序的化学灌浆。在各排灌浆过程中,采用分序灌浆的方式进行。施工次序与灌浆次序一致,同一次序灌浆孔可同时施工,下一次序孔待上一次序孔灌浆结束后方可开钻。

3.4.2 与右岸溢洪道侧墙连接处的灌浆孔布置

溢洪道混凝土左侧墙外侧与防渗心墙之间采用齿墙连接,齿墙顶宽 50 cm ,高 2.0 m 左右。两排灌浆孔布置于齿墙两侧,化灌孔布置于两排水泥灌浆孔之间,灌浆孔的布置见图4。

3.4.3 与左岸岸坡连接处的灌浆孔的布置

防渗心墙与左岸岸坡齿墙连接处灌浆孔布置同右岸,两排灌浆孔布置于齿墙两侧,化灌孔布置于两排水泥灌浆孔之间,灌浆孔布置见图4。

3.5 水泥灌浆参数

水泥灌浆孔孔径为 $\phi 56\text{ mm}$,取芯检查孔孔径为 $\phi 76\text{ mm}$ 。防渗心墙与两岸接触部位的每个灌浆孔分两个灌浆段,第一个灌浆段为防浪墙与防渗心

墙结合面,钻孔穿过结合面 0.3 m ,第二个灌浆段为防渗心墙与两岸的结合面,钻孔打到齿墙混凝土或基岩终孔,不再入岩。

灌浆施工时先进行上游排水泥灌浆,再进行下游排水泥灌浆,最后进行中间排的LW化学灌浆,采用孔内循环法。灌浆材料采用42.5号普通硅酸盐水泥,水泥细度要求通过 $80\text{ }\mu\text{m}$ 方空筛的筛余量不超过5%。集中制浆站宜制备水灰比为 $0.5:1$ 的纯水泥浆液,输送浆液速度宜为 $1.4\sim 2.0\text{ m/s}$,水泥灌浆最大压力应控制为 0.2 MPa ,控制抬动观测变形值 $\Delta \leq 0.2\text{ mm}$ 。当起始浆比的注入量达到 300 L 以上或灌浆时间已达 30 min ,而灌浆压力和注入率无改变或改变不显著时,改用 $1:1$ 的水灰比浆液。在设计最大压力下,注入速率量小于 0.4 L/min 时,再继续灌 20 min 即可结束水泥灌浆。

3.6 LW化学灌浆参数

水泥灌浆结束 14 d 后进行LW化学灌浆,顺序为先I序、再II序。LW化学灌浆采用纯压式灌浆法,栓塞卡在防浪墙混凝土与心墙结合面以上 10 cm 处,最大灌浆压力 0.2 MPa 。在设计压力下单位注入率 $< 0.2\text{ L/min}$ 时,持续灌注 20 min 即可结束。化学灌浆孔孔径为 $\phi 40\sim 56\text{ mm}$;取芯检查孔孔径为 $\phi 76\text{ mm}$ 。防渗心墙与两岸接触部位的每个灌浆孔分为两个灌浆段,第一个灌浆段为防浪墙与防渗心墙结合面,钻孔穿过结合面 0.3 m ;第二个灌浆段为防渗心墙与两岸的结合面,钻孔打到齿墙混凝土或基岩终孔,不再入岩。

4 加固处理效果

加固处理工程于2008年11月3日开工,2009年1月12日结束。灌浆耗用42.5号普通硅酸盐水泥 174 t ,LW水溶性聚氨酯 $10\text{ t}^{[4]}$ 。加固处理后,对大坝水平垂直位移、浸润线、绕坝渗流等项目进行了加密测量。从监测数据来看,监测数据变化平稳无异常,垂直位移呈减小趋势,变化稳定,水平位移变形相对较小,变化比较均匀,大坝浸润线及绕坝渗流没有发生明显突变。

2008年汛后 $10\sim 12$ 月,在坝顶灌浆补强加固施工过程中,库水位维持在 699.50 m 左右运行。2009年1月,大坝补强加固结束后,库水位逐步蓄至正常蓄水位 704 m ,并维持高水位运行近三个月,最高

蓄水位为2009年1月28日704.98 m,其中库水位高于正常蓄水位704 m的天数达50多天。2009年10月16日最高蓄水位706.45 m,大坝、库区等检查均无异常,说明碧口大坝补强加固效果良好,大坝又恢复到了一个新的稳定状态。

5 结 语

“5·12”地震对碧口大坝造成了不可忽视的缺陷及安全隐患,经过对碧口大坝采取补强加固、裂缝处理、坝面保护、坝基防渗、边坡防护、溢洪道加固、监测设施改造等一系列的工程措施,全面改善了大坝安全状况。经过一年多的运行,大坝运行稳定,取得了明显的经济效益和巨大的社会效益。施工中使用的LW可溶性聚氨酯化学材料能够快速固化堵漏,聚合后的固结体有良好的延伸性、弹性及抗渗性,在水中永久保持原形,浆液对水质适应

性强^[4]。补强加固后,碧口水库高水位运行验证了大坝在补强加固后高水位情况下的安全状况。 ■

参考文献:

- [1]大唐碧口水力发电厂.碧口水电站大坝特检专题报告:“5·12”地震后施工竣工总结报告[R].2009,11.
- [2]聂广明,何雷霆,谢霄易,等.碧口水电站大坝“5·12”地震后的应急检查概况[J].大坝与安全,2008(3):3-6.
- [3]兰州地震工程研究院.碧口水电站坝址工程场地安全性评价报告[R].2008.
- [4]中国水电顾问集团西北勘测设计研究院.白龙江碧口水电站震损建筑物修复设计总结报告[R].2009,11.
- [5]何录合,王文安.“5·12”地震对碧口水电站大坝影响分析[J].电网与清洁能源,2009(8):60-62.

收稿日期:2010-09-19

作者简介:燕京(1985-),女,工程师,主要研究方向:水电站生产管理。

西藏可持续发展综合能源蓝图以水电为主

据中国西藏新闻网 从自治区发展和改革委员会了解到,根据中央第五次西藏工作座谈会精神,自治区研究制定了符合西藏实际的能源发展思路和目标,为我区的能源发展勾勒出了一幅美好的蓝图。

当前和今后一个时期,西藏能源发展将坚持开发利用区内能源资源和输入区外优质能源并举,以水电为主,油、气和可再生能源为补充,形成稳定、清洁、安全、经济、可持续发展的综合能源体系。

发展规划分为近期、中期、远期三个阶段,沿着解困、治本到加速发展这个主线,分别做出了详细的发展规划。

近期(2010~2012年)是解困期,这一阶段将努力缓解电力短缺矛盾。计划在2010年和2011年建成两台燃机电源,燃机电厂装机容量达到36万kW;同时,将确保青藏直流联网工程2012年建成投运,力争今年年底投产,届时可输入电力约30万kW;投产老虎嘴水电站,加快果多水电站建设,开工建设多布水电站,阿里阿青水电站;建设10万kW太阳能光伏电站,预计今年全部建成投产;力争开工建设雅鲁藏布江中游加查、大古、街需等水电站项目;同时争取通过加快外送电源项目前期工作,开工建设三个条件成熟的外送电源项目。

中期(2013~2015年)是治本阶段,将从根本上解决区内用电问题,同步加快外送电源建设。满足区内用电的装机容量达287万kW,年发电量达到100亿kW·h,其中藏中电网装机容量235万kW。总装机容量中水电装机174万kW,柴油、燃气电厂装机62.75万kW,太阳能光伏和光热发电16万kW,小水电装机24万kW,风能、地热能发电进一步推进。实现用电人口全覆盖并在部分地区推行农牧区电气化试点。中部电网和阿里电网、昌都电网“一大两小”主电网“户户通电”覆盖面积进一步扩大,覆盖范围达到44个县。格拉输气管道建成投产,增加油气等优质生活燃料供应,建设城镇供热设施。

远期(2016~2020年)是加速发展期,水电将进入快速发展时期。到2020年,满足区内需求的电力装机容量达600万kW。藏中地区基本形成以雅鲁藏布江中游河段和易贡河忠玉以下河段两个水电群为主的水电格局和火电、光电、风电以及输入区外优质能源相互补充的电源结构。“藏电外送”逐步成为战略性支撑产业,在建规模达到2500万kW以上,外送投产规模达到1000万kW以上。格拉输油管道新线建成投产。全区主要城镇实现集中供暖。