

大岗山水电工程建设重大技术问题研究及处理

林丹, 吕鹏飞, 李方平

(国电大渡河大岗山水电开发有限公司, 四川 石棉 625409)

摘要:大岗山水电站经过9年多的工程建设,在参建各方的共同努力下,目前面临的重大工程技术问题基本得到解决。在技术管理工作中,业主单位必须要充分发挥主导作用,以设计为龙头,充分调动设计单位的积极性,增强施工单位的主体责任意识,加强沟通协调,积极推动重大技术问题的研究和处理,才能保证工程建设目标的顺利实现。

关键词:抗震安全;边坡稳定;基础处理;混凝土温控

中图分类号:TV7:[TM622]

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)06-0097-04

0 引言

大岗山水电站位于四川省雅安市石棉县境内的大渡河中游河段上,是大渡河干流规划22级方案中的第14级。坝址处控制流域面积62 727 km²,多年平均流量1 010 m³/s,水库正常蓄水位1 130 m,相应库容7.42亿 m³,死水位1 120 m。电站总装机容量2 600 MW(4×650 MW),保证出力636 MW,年发电量114.5亿 kWh。电站枢纽由高210 m混凝土双曲拱坝、左岸地下厂房和右岸泄洪洞等建筑物组成。工程于2005年开工筹建,2008年1月完成了河道分流,2011年9月启动大坝混凝土浇筑,计划2015年7月投产发电。

在工程建设过程中,针对高烈度地震区拱坝抗震安全、峡谷坝肩高边坡开挖、右岸边坡卸荷稳定、大坝基础处理、混凝土温控等技术难题,积极落实解决方案,为确保工程安全平稳建设提供了强有力的技术支持。

1 大坝抗震安全问题

大岗山水电站坝址地处青藏高原与四川盆地的过渡带,川滇菱形块体东侧,NE向龙门山断裂带、NW向鲜水河断裂带和近NS向安宁河断裂带交汇形成的“Y”型区右下侧,距鲜水河断裂东南段磨西断裂、大渡河断裂南段得绥断裂分别为4.5 km和4 km,工程场址位于地震活跃区。大岗山水电站坝高库大,若遭遇地震破坏,除工程本身遭受损失外,其次生灾害也将会对下游地区人民群众生命财产带来重大损失。因而大坝抗震安全是大岗山工程建设首要的关键技术问题,需要深入

研究和落实应对措施。

1.1 大坝抗震措施

根据规范,大岗山水电站大坝按100年超越概率2%的标准进行抗震设防,按100年超越概率1%的标准进行抗震校核,其基岩场地水平峰值加速度分别为557.5 gal和662.2 gal,超出了现行规范所覆盖的最高地震设防水平,为目前我国高拱坝抗震设防最高水平。结合工程建设条件和当前大坝抗震技术水平,选择了抗震性能相对较好、抗震分析相对成熟的混凝土拱坝。

在大坝动力特性研究中,采用动力拱梁分载法、线弹性有限元法、拱坝-基础系统三维非线性有限元整体算法以及拱坝动力模型试验等多种方法进行了大坝动力特性和地震反应分析。计算结果表明,在设计地震作用下,大岗山拱坝地震反应规律与类似高拱坝一致,拱坝压应力值均小于坝体混凝土强度控制指标,且有较大安全裕度,坝体大部分范围的拉应力值均控制在设计要求之内;大坝上游面顶部拱冠部位、中部高程拱冠部位以及建基面附近静动综合拉应力水平较高,为抗震安全的薄弱部位。校核地震作用下,大坝横缝张开度较设计地震情况没有质的变化,与设计工况相比,坝体静动综合主拉应力大小没有明显变化,但下游面拉应力值有较大增长,主压应力值明显增大。拱坝动力模型试验表明,极限抗震超载能力约为2.0倍设计荷载,在4.5倍设计荷载作用下大坝仍能保持稳定,不致溃坝。

根据拱坝动力特性分析成果,拱坝采取了配置梁向钢筋、横缝设阻尼器和上游坝面缺陷部位

收稿日期:2014-10-31

喷涂防渗材料等抗震措施。此外,在拱坝结构布置中还采取了其他综合抗震措施:在体形设计中增加拱端厚度,减小坝顶区域的高拉应力区;适当加大中心角,增加拱的作用以承担大部分地震力;坝体只设深孔,增加拱坝上部结构的完整性;拱坝上下游边坡采用混凝土进行回填贴角处理,增强整体性;抗力体布置预应力锚索,增强两岸坝肩的动力稳定性;左右岸均布置抗力体排水洞,降低岩体内的渗透压力;大坝上游基坑 957 m 高程以下回填石渣,提高大坝抗震安全性。

汶川地震后,中国国电集团公司组织院士、专家对大岗山水电站进行了震后安全评估,认为大岗山拱坝抗震研究成果反映了当前国内外大坝抗震技术的先进水平,只要按规程规范开展设计、精心施工、确保质量,大坝抗震安全是有保障的。

1.2 抗震措施的效果

大坝混凝土于 2011 年 9 月开始浇筑,目前已完工程量达 93%,各项抗震措施除坝顶阻泥器尚未实施外,其他均严格按设计要求完成。期间大坝工程经受了芦山地震考验,各项监测数据表明已完工程运行安全稳定。

2 峡谷高边坡开挖问题

大岗山水电站边坡最大开挖高度超过 500 m,土石方开挖总量约 880 万 m^3 ,与同类工程相比较,具有地质条件复杂,施工工期紧,施工干扰大等特点。按常规施工方法,在坝顶高程以上开挖容易造成石渣下河的环保水保问题,同时施工进度慢、安全风险大的问题也非常突出。

2.1 边坡开挖技术

2.1.1 河道提前分流方案仿真

应用基于 GIS 的三维可视化技术模拟仿真分析导流洞施工、河道提前分流、围堰分阶段实施、坝肩开挖渣料基坑出渣的工程施工状态,验证了加快拱坝建设的“高陡边坡优化先截后挖”方案的可行性,从而降低了导流建筑和分流的施工难度。

2.1.2 水保环保方案

通过对国内外高拱坝边坡开挖方式调查,论证提前分流是环保水保的有效措施。以达到在提前分流、加快坝肩边坡开挖施工进度的同时,减少土石方开挖,防止水土流失。

2.1.3 临时挡水子堰可行性

分析大渡河水文资料及近年坝址洪水流量情况,结合工程防洪度汛条件,在过水围堰的上部设置临时挡水子堰,使其能够抵挡常年洪水,进一步加强水土保持力度,创造良好的基坑集渣和出渣条件。结合设计技术,确定过水围堰、自溃式子堰等结构参数,同时明确临时子堰拆除的流量标准、拆除措施及相应的应急预案。

2.1.4 工程分流设计及施工方案

大岗山水电站在可行性研究及招标设计阶段初期导流采用全年围堰河道断流、隧洞导流方案,上下围堰采用土工膜斜墙土石围堰。

根据河道提前分流的前期工程建设的指导思想,河道分流后围堰形成的基坑用于集渣堆料,结合工程建设情况,基坑度汛设防等级可降低,对初期导流方案进行调整。在满足低线公路汛期通行、基坑具备出渣条件、水土保持有保证的要求下,全年围堰分期实施,分流后第一个汛期采用过水围堰、基坑过流、隧洞导流方式度汛,第二个汛期围堰加高至全年围堰,以导流洞导流方式度汛。

2.1.5 坝顶以上边坡快速开挖技术研究

陡边坡施工由于提前截流形成的过水围堰围护基坑,具备渣料直接翻渣入基坑的条件,施工强度大幅度提高;原有运输路线挖、装、运变为挖、推,由零散的出渣改为大规模集中出渣。

2.2 边坡开挖实施情况及效果

通过“围堰分期实施、河道提前分流、坝肩开挖基坑集渣出渣”的导流、截流、围堰填筑及陡坡开挖的综合控制与施工技术应用,实现分区、分块、分层“立体多层次”施工,成功解决了拱坝高陡边坡开挖渣料下河引起的水土流失、河道污染等环境保护问题,同时极大地简化了岸坡施工道路的布置与建设,实现了坝肩快速开挖。从 2007 年 11 月左右岸边坡开挖启动,到 2009 年 2 月坝顶以上边坡开挖支护完成,边坡下降高度达 21 m/月,开挖强度达 44 万 m^3 /月,出渣强度达 54 万 m^3 /月,开挖及出渣强度均达到国内先进水平,施工工期较可研提前 4 个月,到目前为止两岸边坡已安全稳定运行超过 7 年。

3 右岸边坡卸荷稳定问题

2009 年 8 月右岸边坡开挖至 1 070 m 高程时出现滑动变形,最大变形值达 27 mm,多点位移计测值持续增长未收敛,边坡开挖被迫中止。经补

充勘探成果和设计院计算分析,发现受 f231 断层影响边坡稳定安全系数不满足规范要求,需进行加固处理。

3.1 边坡加固措施

3.1.1 边坡加固方案

右岸边坡按枢纽工程 1 级边坡进行加固设计,边坡稳定安全控制标准不低于规范的下限值,即持久状况、短暂状况(含施工期)和偶然状况下安全系数不低于 1.25、1.15、1.05,以三维刚体极限平衡计算成果作为边坡稳定性判断依据。对以 XL09-15 为底滑面的块体采取锚索进行加固处理;对以 XL316-1 及 f231 断层为底滑面的大块体采取锚索+抗剪洞(锚固洞)+斜井措施进行加固处理,沿 XL316-1 及 f231 共布设 6 层抗剪洞进行置换处理,抗剪洞尺寸 8m×9 m(宽×高),上部 3 层沿抗剪洞间隔约 32 m 布置 1 条锚固洞;f231 断层出露前沿边坡采用贴坡混凝土和预应力锚索加固。

3.1.2 边坡安全监测方案

鉴于右岸边坡的重要性及加固处理的危险性和紧迫性,在常规监测的基础上采取了加强监测措施。右岸边坡布置有 4~6 个常规监测断面,有多点位移计、测斜孔、锚杆应力计和锚索测力计等仪器设施,对边坡内部变形和锚杆(索)应力进行监测;在边坡马道设有监测墩对边坡外部变形进行监测。边坡出现宏观变形裂缝后,针对 XL316-1 裂隙带及 f231 断层的变形进行了专门监测;结合勘探平洞,分别在 1 320 m,1 195 m,1 100 m 高程布置了跨深部裂隙及断层的石墨杆多点位移计,并对勘探平洞出露的裂隙开展测缝监测;在右岸边坡布设有 24 个传感器组成的微震监测系统,对边坡岩体变形破坏发展过程进行监测。

3.2 边坡加固实施情况及效果

根据 XL316-1 裂隙及 f231 断层性状和现场施工条件,采取了由表及里、自下而上、分期处理的施工方案。首先对前沿局部边坡采取预应力锚索和贴坡混凝土进行加固,控制前沿边坡变形继续发展;然后对施工条件好和加固效果明显的 1 150 m,1 120 m,1 060 m 高程下 3 层抗剪洞进行施工,使边坡尽快达到施工期稳定要求。2010 年 6 月中旬,右岸边坡安全系数已基本达到 1.15 的施工期安全要求,坝肩恢复开挖。2013 年底右岸

边坡加固处理全部完成。目前各项监测成果显示,右岸边坡整体稳定无异常,边坡处理效果满足设计要求。

4 大坝基础处理问题

大岗山水电站工程地质复杂,大坝建基岩体主要为澄江期中粒黑云二长花岗岩,花岗岩中各类脉岩穿插发育,以辉绿岩脉为主,脉岩出露宽度一般 0.5~10 m,最大宽度达 26 m,其中宽度大于 2 m 或较破碎的辉绿岩脉共计 203 条,宽度大于 5 m 的辉绿岩脉约 56 条,主要为陡倾角。坝址区地下水一般无色、无味、透明,其中基岩裂隙水以 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 型水为主,少量 $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$ 型水,属弱—强碱性淡水,对混凝土具溶出性弱腐蚀性。岩体卸荷松弛问题突出,根据左岸建基面开挖以后长观孔观测数据,开挖 24 个月建基面 0~20 m 存在 6%~18% 的声波衰减率,由于以上因素综合影响,大坝基础处理难度较大。

4.1 大坝基础处理措施

4.1.1 大坝建基面处理

根据大岗山拱坝建基面对岩体质量的要求,拱坝建基面以微新 II 类、弱风化下段的 III 1 类岩体为主,坝体上部约 80 m 建基面可局部利用 III 2 类岩体。辉绿岩脉主要为 III 2、IV、V 类岩体,其承载能力和抗变形能力低,不能直接作为拱坝建基面,需进行处理。

水泥灌浆和混凝土置换是拱坝建基面缺陷处理常用的手段。为验证水泥灌浆对大岗山建基面缺陷处理的适应性及处理效果,大岗山工程对需处理的花岗岩和辉绿岩脉开展了多次专项试验研究。试验结果表明采用常规水泥灌浆,灌后 VI、V 类辉绿岩脉的声波保证率、变形模量和透水率还不能完全达到设计要求,需要采取细水泥加密灌浆或水泥—化学材料复合灌浆进行处理。根据灌浆试验成果,结合建基面受力特点,对建基面高程的 III 2 类辉绿岩脉采用加密固结灌浆进行处理;对一般 IV 类辉绿岩脉表层采用混凝土块置换,置换块以内岩脉进行水泥加密固结灌浆处理;而对规模较大、性状较差的左岸 $\beta 21$ 、右岸 $\beta 8$ 和 $\beta 43$ 等 IV、V 类辉绿岩脉,采用深部混凝土网格置换及加密固结灌浆进行处理。

4.1.2 基础防渗处理

大岗山坝基帷幕最大深度为 158 m,除了面

临深部辉绿岩脉以外,还面临腐蚀性承压热水影响。为了满足基础防渗要求,除了对浅部采取固结灌浆和置换开挖以外,对深部还开展了帷幕灌浆科研试验研究。针对辉绿岩脉开展的水泥-环氧复合灌浆试验成果表明,水泥灌浆灌后地层透水率能够全部下降到2 Lu以内,超过50%的孔段能够达到1 Lu以内。化学灌浆灌后100%的孔段透水率均达到了设计防渗标准(≤ 1 Lu),根据疲劳压水、破坏性压水试验结果,灌后V1类辉绿岩脉地层具有稳定可靠的抗渗能力,足以承受坝前水头压力。通过对水泥浆材腐蚀性试验研究,证实腐蚀水对试块抗压强度具有一定的影响,根据加速腐蚀条件成果推测101年后影响约为10%,浆液水灰比、腐蚀性水 HCO_3^- 浓度是影响帷幕性状的主要因素,通过加厚帷幕幕体厚度,以及化学灌浆等综合方式,可以提高帷幕的耐腐蚀性和耐久性。

在施工过程中,左岸及河床坝基940 m以下有80%的灌浆孔段出现了回浆返浓现象,回浆返浓的范围及处理难度在国内罕见,现有规范及类似工程经验都无法取得较好的灌浆效果。为此现场开展了不同灌浆材料、不同灌浆工艺的生产试验,最终确定了细水泥灌浆方案,通过控制水泥细度,采取浆液置换,实现尽可能的多灌水泥浆液的目的,但以上措施只能将透水率减小至3 Lu以内,为了满足设计1 Lu透水率标准,设计最终确定了化学灌浆补灌措施。

4.2 大坝基础处理情况及效果

4.2.1 建基面处理

大坝深部基础处理已于2012年6月完成并通过验收;建基面置换处理已于2011年11月全部完成;目前1030 m以下固结灌浆施工与检查基本完成,除17坝段受低波速带影响个别孔段声波值不满足设计要求外,其余坝段声波检测全部满足设计要求,针对不合格孔段主要采取了长观孔观测及补灌处理措施。

4.2.2 基础防渗处理

通过过程的严格管理、第三方质量检测以及重大技术问题的过程跟踪咨询,目前1030 m以下帷幕灌浆除局部岩脉裂隙影响段、导流洞影响段以外,其余部位施工及检查基本完成,灌后检查透水率满足设计要求。

5 混凝土温控问题

大岗山拱坝坝高210 m,混凝土方量约320万 m^3 ,质量要求高。混凝土的特性及性能指标直接影响大坝的坝体温度场、温控指标、温度荷载。温度荷载是拱坝设计的重要荷载之一,对拱坝施工期及运行期的工作性态有着重要影响,因而必须对混凝土温控问题进行充分的试验、分析、论证,以确保混凝土的各项特性达到设计要求。

5.1 温控技术

针对混凝土温控问题,设计院开展了花岗岩人工骨料特性试验研究、花岗岩混凝土掺合料特性试验研究、花岗岩混凝土配合比及力学参数试验研究、花岗岩混凝土热学参数试验研究、花岗岩混凝土变形性能试验研究以及大岗山双曲拱坝温度徐变应力分析,研究成果表明大岗山拱坝混凝土具有高强度、中弹模、低热、微收缩、大极限拉、抗裂性能较好的特点。拱坝应力分析以拱梁分载法的计算成果作为评价强度安全的主要依据,分别计算基本组合和特殊组合工况应力成果,确定坝体混凝土最大极限抗压强度不低于36 MPa,为满足坝体混凝土结构及温控防裂的要求,拱坝混凝土采用A、B、C三区混凝土,分区设计主要根据坝体结构应力分布确定。拱坝分缝设计根据孔口布置要求确定28条横缝,将大坝分为29个坝段。结合坝区气温和水库水温计算拱坝稳定温度场,研究确定拱坝温度荷载、拱坝封拱温度、混凝土最高温度、混凝土入仓温度。通过有限元进行基础温差应力分析,确定基础温差控制标准。采用有限差分法最高温度进行计算比较,确定混凝土浇筑层厚。根据混凝土层厚及温控要求,拟定5种不同的间距的水管冷却效果进行比较计算,研究确定冷却水管布置方案。对拱坝上下游坝面采用苯板隔热保温。根据以上研究成果和专家咨询意见,设计院进一步明确了短间歇、均匀连续浇筑的混凝土施工原则,温度控制过程中遵循早冷却、小温差缓慢冷却的原则。

5.2 温控措施实施情况及效果

施工过程中,利用温控仿真监测成果指导通水冷却,实现“个性化”通水,同时加强过程管理,严格按设计要求控制混凝土施工各道工序,保证了各项温控措施的全面落实。截止目前,大坝混

(下转第111页)

移民长治久安。

5 结论及建议

(1)多途径、多渠道筹措逐年货币补偿安置资金十分迫切和必要

通过本文分析和探讨,土地“两费”仍是逐年货币优先补偿资金来源项目,该项资金基本可以满足电站建设期移民逐年货币补偿安置所需资金,但随着国家土地征收相关政策的日益完善以及农民对土地重要性认识的不断提高,可以预见,电站建设征占土地的成本将会在相当长的一段时间里不断提高,土地“两费”根本无法完全满足移民在电站运行期逐年货币补偿安置资金需求。若电站后续资金压力及风险全部由电站业主承担,项目业主经营压力将持续加大,移民后续资金保障难度也将持续增加,移民生活及后续发展出现瓶颈势必会持续加大移民安置区的社会稳定风险,移民“搬得出,稳得住,能发展,可致富”的政策目标实现难度将会持续加大。因此,研究、探讨多途径多渠道统筹各项可利用资金,为逐年货币

(上接第100页)

混凝土浇筑量达300万 m^3 ,仅发现7条浅表性裂缝,温控管理效果显著。

6 结语

大岗山水电工程规模巨大,高拱坝、高边坡、高地震烈度的工程特性使得工程建设难度大、工程技术复杂。突发性重大工程问题对工程建设影响巨大,右岸边坡加固处理占用关键线路时间长达约10个月,迫使工程建设总进度计划进行了重大调整。深入开展前期工程勘测设计、科学组织施工生产是顺利推进工程建设的重要基础。

大岗山水电站经过9年多的工程建设,在参建各方的共同努力下,目前面临的重大工程技术问题基本得到解决。在技术管理工作中,业主单位必须要充分发挥主导作用,以设计为龙头,充分

补偿安置方式提供充足的资金保障,确保移民的合法权益不受损失显得十分迫切和必要。

(2)建议成立“长补保障基金”,确保逐年货币补偿安置资金的落实

为确保选择逐年货币补偿生产安置的移民后续资金的长期有效保障及促进移民安置区的经济发展,本文作者建议在有逐年货币补偿作为生产安置方式的库区,从电站首台机组发电基准年开始成立“长补保障基金”(以下简称保障基金),保障基金由库区基金和提取部分电站电价收益组成,其中库区基金按本电站当年上缴的库区基金总额的40%~50%进行提留;电站电价收益以电站当年发电总量为计算基础并按0.003~0.005元/kWh计算每年电价收益。

作者简介:

李明(1975-),男,四川眉山人,学士,高级工程师,从事水利水电移民安置规划设计工作;

何生兵(1980-),湖北宜昌人,硕士,高级工程师,从事水利水电移民安置规划设计工作。(责任编辑:卓政昌)

调动设计单位的积极性,增强施工单位的主体责任意识,加强沟通协调,积极推动重大技术问题的研究和处理,才能保证工程建设目标的顺利实现。

参考文献:

- [1] 张建华,吴基昌.大岗山水电站前期工程建设重大技术问题处理[J].人民长江,2011(14).
- [2] 林丹,吴基昌.大岗山水电站提前分流决策及实施效果[J].人民长江,2011(14).

作者简介:

林丹(1966-),男,福建福州人,总经理,主要从事水电工程建设管理工作;

吕鹏飞(1965-),男,山西运城人,副总经理兼总工程师,主要从事水电工程建设管理工作;

李方平(1973-),男,江西赣州人,副总工程师,主要从事水电工程建设管理工作。(责任编辑:卓政昌)

武警水电成功实施桐子林水电站三期明渠截流

由武警水电部队承担施工任务的桐子林水电站,经过10天9夜高强度施工,于11月8日晚19时28分成功实施了三期明渠截流,比预定计划提前7天合拢,这次截流是国内同类型水电站明渠工程截流中难度最大的一次。据悉,桐子林水电站截流龙口最大流速达到7.45米每秒,上下游最大落差达到10米,这两项指标为目前国内同类型水电站工程截流难度之最。武警水电部队组织专家组确定截流方案,并从各基层单位抽调270多名参加过四川芦山和云南鲁甸抗震救灾任务中的技术骨干力量参与施工。截流现场武警水电官兵24小时不间断监测水文数据,截流采用右岸预进占的战法,截流戗堤龙口段采用全断面推进和凸出上游挑角两种进占方式,堤头抛投采用直接抛投、集中推运抛投和卸料冲砸抛投三种方法。该水电站以发电任务为主,兼有下游综合用水要求,计划2015年6月首台机组发电,2016年6月工程竣工。