

# 阿海水电站大坝混凝土质量控制综述

李福年 张继全

(云南华电金沙江中游水电开发有限公司, 云南 昆明 650228)

**【摘要】** 本文以阿海水电站大坝混凝土施工质量控制为研究对象,结合水电站所处的气候和地形特点及国内碾压混凝土质量现状,从混凝土原材料优选、施工配合比试验研究、生产质量、入仓方式及温控措施等方面研究并提出提高混凝土质量的控制措施与对策,并应用于工程施工,混凝土施工质量控制达到预期效果。

**【关键词】** 阿海水电站; 混凝土; 质量控制; 综述

中图分类号: TV523

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)05-0039-04

## Overview on concrete quality control in Ahai Hydropower Station Dam

LI Funian, ZHANG Jiquan

(Yunnan Huadian Jinsha River Hydropower Development Co., Ltd., Kunming 650228, China)

**Abstract:** In the paper, concrete construction quality control in Ahai Hydropower Station Dam is adopted as a research object. Climate and terrain characteristics in the hydropower station as well as current situation of domestic roller compacted concrete quality are combined for studying research concrete quality in the aspects of concrete raw material selection, construction mixing proportion experimental study, production quality, warehousing methods, temperature control measures, etc. The control measures and countermeasures for improving concrete quality are proposed and applied to engineering construction. Concrete construction quality control can achieve the desired effect.

**Keywords:** Ahai Hydropower Station; concrete; quality control; overview

### 1 工程概况

阿海水电站位于云南省丽江市玉龙与宁蒗两县交界的金沙江中游河段,上游为梨园水电站,下游为金安桥水电站,属金沙江中游水电规划“一库八级”的第四级。

#### 1.1 工程枢纽布置

枢纽布置型式为河床坝后式厂房,主要由碾压混凝土重力坝、左岸溢流表孔、左岸泄洪冲沙底孔、右岸冲沙底孔、坝后主副厂房等构成。其中,挡水建筑物为碾压混凝土重力坝,坝顶设计高程 1510.00m,建基面最低高程 1378.00m,最大坝高 132.00m,坝顶总长度

482.00m。坝体和消力池混凝土总量约 280 万  $m^3$ ,其中碾压混凝土 150 万  $m^3$ 。

#### 1.2 工程气候及地形特征

坝址地处金沙江中游干热河谷,其流域气候特征差异很大,工程所在的直门达以下至攀枝花河段,大部分地处横断山脉地带,该地区受地形影响,气候在水平和垂直方向上差异很大,立体气候明显。冬春时节天气以晴朗干燥、降雨少为主;夏秋时节西南暖湿气流沿河谷溯源入侵形成降雨,主汛期 7、8、9 三个月的雨量多、强度大。坝址所在区的年总降水量在 710mm 左右,年均气温 18.7℃,年平均蒸发量大致为 1100~2500mm。

坝址部位金沙江流向大致由北向南, V线以上河道较顺直, 以下河道呈弧形凸向右岸。枯期河水位高程 1408.00 ~ 1410.00m, 水深一般 8.0 ~ 15.0m, 相应水面宽度一般 60 ~ 150m, 大坝正常蓄水位高程 1504.00m 处一般河谷宽 350 ~ 400m, 河谷为“V”形, 两岸谷峰相对高差大, 地形坡度一般为 30° ~ 45°。

### 1.3 阿海水电站混凝土质量控制目标

阿海水电站工程是云南华电金沙江中游水电开发有限公司的第一个母体电站, 也是中国华电集团在云南板块开发的第一个百万级水电站, 工程建设伊始就明确了“百年大计、质量第一”和“科学管理、精益求精”的质量方针, 以“实现达标投产, 争创国家优质工程奖”为质量目标, 努力将阿海水电站工程打造成华电云南的窗口。

## 2 国内碾压混凝土工程质量现状

碾压混凝土除了混凝土存在的一般质量缺陷外, 由于其本身的特殊性也存在着其他质量问题, 如层间结合不良、密实度不够、渗漏及温度裂缝等, 另外还存在着人力资源投入不足的现象。

### 2.1 层间结合不良

碾压混凝土是一种低水泥用量的干硬性混凝土, 和易性相对较差, 在运输和摊铺过程中易分离, 整体抗渗性能较常态混凝土差, 如果层间结合面处理不好, 极易在结合面形成渗漏通道, 从而降低坝体的整体抗滑稳定性, 增加坝体的渗流量, 给建筑物安全可靠运行埋下重大隐患。

### 2.2 密实度不够

碾压混凝土只有在施工过程中经碾压达到设计规定的密实度后才能达到其预期的强度和不透水性。但在施工过程中因混凝土原材料质量波动、施工强度高、工期紧、施工作业队伍技术水平不平衡等各种因素影响, 虽然按施工工艺参数进行碾压, 但不一定能达到设计所要求的密实度。

### 2.3 温控裂缝问题

对于大体积混凝土来说, 混凝土浇筑初期会产生大量的水化热, 使得混凝土内外存在较大温差, 容易形

成温度裂缝, 如果在施工过程中处理不当容易造成贯穿裂缝。在大体积碾压混凝土施工中, 温度裂缝控制是一项较复杂的问题且具有普遍性。

目前, “层间结合、温控防裂”仍然是碾压混凝土施工质量控制的核心, 在工程建设过程中出现的各种质量缺陷、问题甚至事故与多种因素有关。只有切实遵循客观规律, 重视各环节的质量监督控制, 才能真正保证工程建设质量的全面实现, 并从根本上消除工程质量隐患。

## 3 阿海水电站大坝混凝土质量控制的难点

鉴于阿海水电站就近混凝土胶凝材料选择余地少, 经过原材料优选试验, 采用 P · O42.5 普硅水泥。普硅水泥在大体积混凝土应用时增加了水化热的控制难度, 需要在混凝土施工过程通过施工配合比选择、优化施工工艺参数和温控等措施的落实, 以防止温度裂缝产生; 同时考虑到水泥生产厂为新投产设备, 材料管理部门和试验部门应加强与水泥厂的沟通与协调, 动态掌握水泥生产情况, 确保质量稳定。

另外, 阿海水电站工程处在中国较典型干热地区的金沙江流域干热河谷, 其特殊的气候特征加大了施工技术风险。在金沙江干热河谷的高温季节连续浇筑, 需要有专项的设计措施、原材料措施、施工措施及温度控制措施, 预防温度裂缝发生。在阿海水电站大坝混凝土施工期间加强了与当地气象部门的合作, 尤其是在 6—10 月汛期期间, 由气象部门实时发布气象预报信息, 生产部门及时了解雨情和其他气象情况, 妥善安排施工进度; 同时在雨天施工时加强降雨量观测, 当雨量小于 3mm/h 时, 碾压混凝土继续施工, 需采取防雨布覆盖、临时排水沟等措施; 当雨量达到或超过 3mm/h 时, 暂停施工, 未完成碾压作业的条带和整个仓面全部覆盖并停止进料。

在工程建设期间, 正值中国水电开发建设的高峰期, 加上中国水电企业走出去战略的实施, 设计、施工、监理、建设等人力资源都不满足工程建设管理的要求, 导致国内水电建设的现场施工管理与作业人员素质参差不齐, 相关人员质量意识淡薄, 往往很多是劳务分包, 甚至存在以包代管的现象。工程项目实施伊始, 在

做好质量策划的基础上,应结合工程实际情况,控制好施工作业人员上岗前的技能培训与过程中的监督力度,使之能熟练地掌握与实施混凝土施工工艺流程及质量控制要点。

大坝坝体不分施工纵缝,碾压混凝土采用全断面通仓薄层摊铺浇筑,浇筑仓面大,施工强度高。阿海水电站河谷较为狭窄,呈深V形,坝体总长为482m,入仓道路的布置难度大,需进一步优化混凝土的运输及入仓方式,缩短碾压混凝土层间隔,运输浇筑强度满足大仓层面最短间歇时间要求。

## 4 因地制宜做好质量控制

### 4.1 工程混凝土原材料优选试验

混凝土原材料是配制高品质、高性能混凝土的基础,科学、合理的配合比则为混凝土各项良好性能提供保障,而施工质量的好坏是影响混凝土耐久性的最直接因素。

根据阿海水电站工程总进度计划安排,大坝碾压混凝土施工时段为2009年11月至2011年8月,历时22个月。虽然2007年中国水泥产能已达14多亿t,但水泥产量区域分布极其不平衡,华东和中南地区的产量占总产能66%;而工程建设地点周边大理、丽江和迪庆地区的水泥厂相对较少、产能较低,恰逢同期金沙江中游、澜沧江流域水电建设高峰期,混凝土原材料水泥处于需大于求的局面。

在选择原材料时,以“技术、经济、合理”为原则,在对周边地区的水泥、粉煤灰厂家进行广泛调研、分析、综合比较的基础上,充分考虑生产厂家的生产产能、质量稳定性、市场需求、货到工地的综合价格等制约因素,进行原材料的优选试验研究,确定混凝土原材料,以确保在工程建设顺利推进的同时,降低工程投资。

通过选取经济运距内三个厂家的水泥样品参与优选试验(其中两个为42.5中热硅酸盐水泥,一个为42.5普硅水泥),从抗压强度、劈拉强度、轴拉强度、极限拉伸值、轴心抗拉强度及抗压弹模6个混凝土性能指标进行综合比较分析,指标均能满足设计及规范要求,同时数据结果与水泥品种的选择是吻合的,虽然中

热水泥碾压混凝土性能相对普硅水泥碾压混凝土性能较优,但两者之间相差甚微。

工程项目建设管理在技术可行的前提下,还需对工程的经济性进行对比分析。由于中热水泥到工地的运输距离297km远大于普通水泥到工地的运输距离136km,并且中热水泥受所在地区水电工程影响,其供应能力无法保证,而普硅水泥运至工地交通方便、运距近,生产质量、供应能力均较稳定,只要在混凝土施工过程中采取相应的质量、技术保证措施,就能够确保混凝土性能满足设计要求。

### 4.2 混凝土施工配合比试验研究

依据混凝土原材料优选试验研究确定的原材料并参考国内其他类似工程经验,阿海水电站大坝碾压混凝土施工配合比采用42.5普硅水泥高掺Ⅱ级粉煤灰、掺缓凝高效减水剂的中富胶凝材料技术方案,在充分考虑碾压混凝土拌合物本身的工作度、含气量、抗分离性和可泵性及硬化混凝土强度、变形、耐久性和抗裂等性能技术指标要求基础上,结合阿海水电站工程特点,开展碾压混凝土施工配合比设计试验研究。

### 4.3 混凝土生产质量控制

a. 混凝土原材料管理。原材料是组成混凝土的基础,原材料品质的优劣直接影响混凝土质量的好坏,切实关系到大坝的强度、整体性及耐久性能,是一切质量保证的基础。原材料质量控制的目标是保证用于混凝土的各类原材料各项性能指标满足工程设计指标及《水利工程碾压混凝土施工规范》要求,防止将不合格的原材料用于工程。

b. 混凝土入仓方式选择。碾压混凝土具有施工速度快、成本低、可容纳多种机械同时施工的特点。其快速施工的关键制约因素往往是混凝土入仓运输方式。目前,碾压混凝土的入仓运输方式有自卸汽车运输、皮带机运输、负压溜槽运输、胎带机运输等。在铺筑大面积碾压混凝土时,因长臂反铲、门机、塔机、缆机等设备吊运入仓不能满足混凝土浇筑强度要求,为保证混凝土连续作业,不出现冷仓现象,阿海水电站工程大坝碾压混凝土入仓采用以自卸汽车直接入仓为主、满管溜槽为辅的混凝土入仓手段。

在工程施工过程中发现部分碾压仓号廊道布置单一,为确保仓内施工通畅,采取在预制混凝土廊道预留缺口,设置钢栈桥跨廊道以满足自卸汽车跨廊道直接进入仓的要求,从而解决了碾压混凝土仓被廊道分隔后形成多个小仓号混凝土入仓的难题。

c. 混凝土温控措施研究。碾压混凝土大坝属于大体积混凝土结构,由于大量掺用粉煤灰,碾压混凝土水化热发展推迟,而坝体浇筑速度较快,碾压混凝土施工过程中通过浇筑层面散失的热量较少,加之气温年变化较大,引发混凝土出现温度裂缝。为降低温度应力,预防混凝土产生温度裂缝,保证建筑物的整体性和耐久性,根据设计要求严格控制出机口温度、入仓温度、浇筑温度、混凝土分层分块及间歇期等,同时采取通水冷却、混凝土表面养护、混凝土保护等温控措施来实现大坝混凝土容许温差、允许最高温度和灌浆温度控制性指标,从而预防混凝土裂缝生成。

## 5 混凝土质量检验成果分析与评价

进行质量管理的基础是真实可靠的数据,“一切用数据说话”才能做出科学的判断。在质量控制过程中通过科学的检测方法和合理的检测频次,采用数理统计方法,进行收集、整理、分析质量数据,有效地分析、发现过程中存在的问题,便于及时采取纠偏措施,纠正和预防质量事故。

### 5.1 整体质量评价

施工过程中抽样检测、钻孔取芯试验及渗漏量检测结果表明,碾压混凝土层间结合良好、裂缝少、坝体防渗系统效果好,大坝混凝土施工质量控制措施取得良好效果,混凝土各项性能满足设计技术要求。

a. 碾压混凝土钻孔取芯情况。大坝碾压混凝土经钻孔取芯检查,芯样获得率 99.0%;取芯外观光洁润滑,骨料分布均匀,结构密实,层间结合良好。同时在大坝 17 号坝段三级配碾压混凝土区,成功取出一根直径 197mm 长 19.28m 的混凝土芯样,该长度刷新了同期国内碾压混凝土大坝取芯的最长记录,芯样较高的完整度也反映出阿海水电站碾压混凝土施工质量和

取芯技术水平。

b. 压水试验。钻孔压水试验显示,二级配防渗区碾压混凝土满足最大透水率  $0.45 \sim 0.47 \text{Lu} < 0.5 \text{Lu}$  的设计要求,三级配防渗区碾压混凝土满足最大透水率  $0.86 \sim 0.95 \text{Lu} < 1.0 \text{Lu}$  的设计要求。

c. 坝体渗漏量。对正常蓄水位下大坝渗流量监测数据分析,坝基集水井口量水堰实测渗流量汇总值(包括消力池渗流量)为  $1625 \text{m}^3/\text{d}$ ,其消力池排往大坝的渗流量为  $45 \text{m}^3/\text{d}$ ,坝基的实际渗流量为  $1581 \text{m}^3/\text{d}$ ,满足设计控制参考值  $3423 \text{m}^3/\text{d}$  的要求。

### 5.2 第三方评价

电力建设工程质量监督总站对阿海水电站工程竣工阶段的质量监督中,对工程建设质量的总体评价为根据拌合物检测、物理力学指标、温度控制及外观质量和裂缝检查情况,表明已浇筑的大坝混凝土质量受到较好控制;在同类型同等规模坝型中,坝体混凝土裂缝少、渗漏量小。

## 6 展望

阿海水电站大坝混凝土施工实践表明,在经过广泛调研基础上开展混凝土原材料优选和配合比试验研究、验证、优化,全过程采取质量控制措施,使拌制出来的混凝土施工方便,硬化混凝土具有良好的物理力学性能及耐久性能;优选的原材料和施工配合比满足碾压混凝土强度、变形性能和耐久性等设计要求,施工性能良好,具有一定的技术经济性。

阿海水电站大坝混凝土质量控制效果良好,但与“实现达标投产,争创国家优质工程奖”的质量目标还有一定的距离。质量管理是工程建设领域一个永恒的话题,在经济、可靠的前提下提高混凝土抗裂能力技术、浇筑过程有效控制与评价方法等方面,仍有待于进一步探讨,还需要在今后的工作中不断借鉴国内外同行先进的技术、管理经验,提高混凝土质量控制水平。随着以上技术问题的解决和认识水平的不断提高,中国水工混凝土技术必将取得更大的进步,混凝土质量水平也必将迈上一个新台阶。◆