

# 大型水电站工程混凝土施工工艺研究及应用

张崇强

中国水利水电第四工程局有限公司, 青海 西宁 810007

**[摘要]** 本文结合金沙江溪洛渡水电站水垫塘二道坝混凝土施工工艺研究及应用, 全面系统的分析研究大型水电站工程混凝土施工工艺。以主要包括混凝土配合比试验研究情况及温控混凝土施工工艺, 从原材料选用检测、混凝土配合比试验分析与应用、混凝土施工中温控措施分析、混凝土施工温控措施、混凝土运输过程控制、雨季混凝土施工控制措施、混凝土浇筑完后养护和保护措施分析等方面施工工艺。重点说明了不同料源组合骨料对混凝土拌和物的影响, 提出了满足设计和施工要求的混凝土施工配合比及温控混凝土施工要求, 保证了溪洛渡水电站二道坝混凝土工程施工的质量, 也取得了较好的经济效益。

**[关键词]** 混凝土配合比; 温控混凝土; 施工; 工艺; 应用

DOI: 10.33142/hst.v5i6.7447

中图分类号: TV52

文献标识码: A

## Research and Application of Concrete Construction Technology in Large Hydropower Station

ZHANG Chongqiang

Sinohydro Engineering Bureau 4 Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810007, China

**Abstract:** Combined with the research and application of the concrete construction technology of the second dam of the plunge pool of the Xiluodu hydropower station on the Jinsha river, this paper comprehensively and systematically analyzes the concrete construction technology of the large-scale hydropower station project. It mainly includes the concrete mix proportion test research and temperature control concrete construction technology, from the aspects of raw material selection and detection, concrete mix proportion test analysis and application, temperature control measures analysis in concrete construction, concrete construction temperature control measures, concrete transportation process control, concrete construction control measures in rainy season, and concrete curing and protection measures analysis after pouring. The influence of different material source combined aggregate on concrete mixture is emphasized, and the requirements for concrete construction mix proportion and temperature control concrete construction that meet the design and construction requirements are proposed, which ensures the construction quality of the second concrete project of Xiluodu hydropower station, and also achieves good economic benefits.

**Keywords:** concrete mix ratio; temperature controlled concrete; construction; workmanship; application

### 1 工程概况

溪洛渡水电站位于金沙江下游云南省永善县与四川省雷波县相接壤的溪洛渡峡谷, 左右岸分别安装 9 台 77 万千瓦发电机组, 总装机容量达 1386 万 KW,

这是一座超级大的水利枢纽工程, 在中国仅次于三峡水利枢纽工程。项目主要集中在发电、防洪等综合效益, 同时拦截上游沉积物滞留和改善航行条件。它还可以提供级联补偿下游电站。作为主要的行洪、能量耗散结构, 水垫塘和二道坝项目开展大型流能量耗散的设计洪水流量  $32278\text{m}^3/\text{s}$ , 同时必须承担强大的动态水冲击力和脉动压力。它的目的是作为一个双向挡水溢流堰。基础表面的最低海拔为 334.0m, 坝顶高程 386.0m, 上游表面坡度比 1:0.5, 下游水面坡度比一直, 最大的大坝高度是 52.00m, 最大的坝底宽是 59.08m, 坝顶宽度是 4.36m。

根据溪洛渡水电站工程质量总体要求, 特别是对混凝土配合比、混凝土标号、混凝土的运输、混凝土温度控制、施工工艺等做了详细的规定要求。

为了满足混凝土施工要求, 该标段混凝土配合比试验

研究工作由水电四局溪洛渡试验室承担, 根据溪洛渡水电站混凝土施工管理手册及业主质量要求, 全面完成了砂石骨料检测, 不同粒径骨料组合试验, 混凝土混合物性能试验、力学性能试验, 变形性能试验、耐久性性能试验等, 同时, 编制了温控混凝土施工控制措施, 提出了满足设计要求和施工要求的混凝土配合比及温控混凝土施工要求。

### 2 原材料试验

#### 2.1 水泥

对于大宗材料采购, 业主通过公开招标, 最终选用四川省峨胜水泥股份有限公司生产的峨胜中热 42.5 水泥。同时对水泥的抗压强度、矿物质(氧化镁)含量、抗拆强度均做了全面的试验测试, 试验数据其氧化镁含量为 3.9-4.7%, 抗压强度: 28 天龄期的抗压强度不低于 47.1MPa., 其水泥的各项技术指标完全满足项目混凝土施工要求。

#### 2.2 粉煤灰

溪洛渡水电站水垫塘和二道坝混凝土掺合料中, 各种粒径的骨料由金沙江溪洛渡水电站黄桷堡砂石加工系统

生产, 原材料由左右岸地下厂房所开挖的岩石通过破碎、筛分, 再加之, 骨料长期暴露在外, 骨料的含水率相对较少, 然而, 为了提高混凝土的性能, 减少混凝土施工的成本, 适量的粉煤灰掺和在混合混凝土配合比试验, 其中, 粉煤灰是曲靖一级粉煤灰由曲靖方圆环保建材有限公司供应, 使用的减水剂型号为 X404C 的高效缓凝减水剂, 该碱水济由马贝建材有限公司生产, 试验所用引气剂的规格型号是 AIR202, 该引气剂由上海麦斯特建材有限公司生产, 通过掺和适量的粉煤灰、碱水济等材料, 减少混凝土的用水量, 提高混凝土的性能。

### 2.3 各类级配骨料

本项目混凝土施工中所用的骨料由金沙江溪洛渡水电站黄楠堡砂石加工系统生产, 其原料主要由玄武岩和角砾熔岩, 项目部门进行性能测试的玄武岩、角砾熔岩人工骨料在混凝土大坝质量。结果表明, 矿物成分和风化程度的骨料抗压强度有显著影响, 将抗拉强度、极限拉伸值、抗冻、抗渗和抗裂性混凝土。含量越高风化骨料在混凝土和骨料的风化程度越深, 越高对混凝土性能的不利影响。这主要是因为风化光环的存在和骨料的表面出现锈斑骨料的风化程度高导致骨料之间的粘结强度的减少和胶结材料的粘贴, 骨料的风化后, 自己的实力下降, 吸水率增加, 和他们的坚定减少, 导致混凝土性能的下降。

#### 2.3.1 各级配骨料对混凝土强度影响因素分析

试验表明, 骨料中的黏土、粉尘等物质, 有害物质, 对混凝土强度产生不利影响, 混凝土施工规范中也规定了有害物质使用限量。

混凝土配合比中, 由于碎石表面比较粗糙, 与水泥粘结性较好, 当水灰比相等或配合比相同时, 粗骨料和卵石拌制的混凝土, 粗骨料拌制的混凝土强度比卵石的强。通过试验说明, 在大体积混凝土施工中, 选用粒径为小石 5mm-20mm, 中石 20mm-40mm, 大石 40mm-80mm 的粗骨料。以增强混凝土的强度。

### 2.4 混凝土用水量的影响分析

根据混凝土配合比设计规范要求, 为了保证混凝土强度等级, 必须选择适当的水胶比。水胶比的高低不但对混凝土的强度有影响, 而且影响混凝土中用水量, 无形中增加了混凝土施工成本, 在不改变混凝土力学性能、以及耐久性的情况下, 在混凝土配合比配置过程中添加一定量的外加剂等。

溪洛渡水电站水垫塘和二道坝工程混凝土中使用的由曲靖生产的一级粉煤灰的水需求比为 94%, 根据水的需求比的定义, 使用等量替代的方法, 当粉煤灰含量 20% ~ 35% 时, 平均每立方米混凝土用水量可以减少大约 4 ~ 7 公斤的用水量。

使用高品质的粉煤灰不仅可以降低混凝土的用水量, 而且还可以改善其工作性, 混凝土后期强度的增加更多没

有粉煤灰的混凝土。

## 3 混凝土配合比设计

### 3.1 混凝土抗压强度与水胶比和粉煤灰掺量的关系分析

根据溪洛渡水电站水垫塘和二道坝工程混凝土设计指标, 水胶比为 0.41、0.44、0.48, 粉煤灰掺量选择范围为 0%, 20%, 30%, 提供 7d、28d、90d 龄期的混凝土抗压强度与水胶比和粉煤灰掺量的关系试验。试验表明: 对于不同水胶比和粉煤灰掺量条件下, 混凝土抗压强度与水胶比和粉煤灰掺量都有较好的相关性。

### 3.2 混凝土配合比试验分析

根据溪洛渡水电站水垫塘和二道坝工程混凝土主要设计指标、强度保证率、配比强度, 以及混凝土强度与水胶比和粉煤灰掺量的比例关系, 确定了溪洛渡水电站水垫塘和二道坝混凝土配合比设计参数。

## 4 混凝土施工配合比及应用

通过对以上试验数据分析, 混凝土施工配合比应用过程中各类原材料的相融性较好, 能够满足混凝土混合物各项技术指标, 混凝土强度满足技术要求, 同时对已使用的混凝土配合比出机口抗压强度进行统计检测分析, 从 28d 龄期抗压强度标准偏差看, 混凝土生产质量水平达到优秀等级, 统计结果见表 1。溪洛渡水电站二道坝工程常规混凝土施工配合比见表 2。

表 1 混凝土抗压强度检测结果统计

设计指标	试验项目	试验龄期	技术要求	试验组数	试验结果 (MPa)			标准偏差 MPa	保证率 %
					最大值	最小值	平均值		
C <sub>180</sub> 40F <sub>90</sub> 250W <sub>90</sub> 14	抗压	26d	≥26	882	38.1	27.1	30.1	2.22	/
		180d	≥39	582	57.8	40.2	47.1	3.63	97.5
C <sub>180</sub> 35F <sub>90</sub> 250W <sub>90</sub> 12	抗压	28d	≥23	726	34.7	24.4	26.5	2.12	/
		180d	≥34	52	48.1	37.6	42.0	2.51	99.4

## 5 混凝土施工温控措施

溪洛渡水电站水垫塘和二道坝工程其主要作用是泄洪消能, 坝体承受的应力大, 设计混凝土强度要求高, 水泥用量大; 混凝土容许最高温度标准高, 控制严等实际难度。尤其是在夏季最高温度控制, 对混凝土施工要求更高。

项目部主要通过以下控制措施, 进一步提高温控混凝土的温度, 达到提高混凝土的质量。

(1) 在混凝土拌和时掺入缓凝剂, 以延长凝结时间, 保证其施工时间。

(2) 统筹规划施工各个环节, 使得各工序紧密而具有连续性, 从未达到提高混凝土浇注效率, 缩短水平运输和垂直运输、混凝土卸车和等待卸货时间, 并控制混凝土

**表 2 溪洛渡水电站二道坝常规混凝土施工配合比**

序号	设计指标	级配	水胶比	粉煤灰 (%)	砂率 (%)	外加剂		坍落度 (cm)	小石: 中石: 大石: 特大石								
						ZB-1A (%)	FS (/万)										
1	C <sub>180</sub> 40 F <sub>90</sub> 250 W <sub>90</sub> 14	二	0.40	30	33	0.6	1.0	5~7	50: 50								
2		三								28	1.0	3~5	30: 30: 40				
3		四												22	1.0	3~5	20: 20: 30: 30
4		三富															
5	二	0.45	30	33	0.6	1.0	5~7	50: 50									
6	三								31	1.0	3~5	30: 30: 40					
7	四												23	1.0	3~5	20: 20: 30: 30	
8	三富																32
9	二	0.50	30	34	0.7	1.0	5~7	50: 50									
10	三								31	1.0	3~5	30: 30: 40					
11	四												24	1.0	3~5	20: 20: 30: 30	
12	三富																32

在浇注时温度不超过 30℃。

(3) 选用具有环保和保温功能的全封闭保温防雨性自卸汽车, 以有效控制混凝土在运输途中的温度回升。浇筑过程中, 在混凝土振捣密实后, 及时进行保温。

(4) 避免在高温浇注时期: 在施工进度满足要求的前提下, 如果外部温度过高, 项目部在具体安排施工过程时, 及时调整施工工序及施工作业时点, 首先进行仓号准备工作, 待仓号一切准备就绪后, 将浇筑时间, 安排在早上或者晚上或者是阴天, 进而达到提高混凝土凝结质量的目的。

(5) 采取仓面喷雾、加盖保温被等降温保温措施, 尽可能减少混凝土温度回升, 控制温度处于要求范围之内。

(6) 当一个仓号浇筑完成后, 必须及时做好混凝土养护工作, 坝体的上游和下游坝面应浇水养护, 达到降低混凝土温度的目的, 以避免混凝土表面缺水而干裂。间歇层应浇水或者使用喷壶喷洒养护, 以保持混凝土表面湿润, 直到下一层混凝土施工。

### 6 混凝土运输过程控制

① 在使用运输车辆运输温度控制混凝土之前, 应将车辆斗清洗干净, 确保没有其他杂质污染混凝土。在装货前, 车体的内部应涂上防粘剂, 以防止粘在车厢内, 同时, 防粘剂应均匀喷洒在车厢内壁, 并以格完全覆盖车厢的内壁, 并没有残余液体积聚在车厢的底部。减少混凝土运输过程中的损耗, 从而达到降低施工成本的目的。

② 为避免混凝土在运输过程中出现热量损失及其它杂物混入, 装料后在运输车辆上加盖上保温帆布, 以满足温控混凝土浇筑时的温度, 从而提高混凝土的性能。同时, 在运输途中为了防止运输车辆突然制动, 以免混凝土出现骨料离析。

③ 运输混凝土的车辆到达施工现场后, 结合现场施工工序安排, 首先应将装运车辆驾驶至“汽车轮胎清洗点”,

严格遵守施工现场指挥人员的安排, 对运输车辆轮胎进行彻底清洗, 清洗后再将车辆缓缓驶入浇筑仓面。以上施工工序必须严格规范, 以确保入仓混凝土干净、从而达到提高混凝土的浇筑质量。

④ 在运输过程中, 如果运输车辆要途径上坡或者下坡路面时, 在到达斜坡施工位置上方的施工道路后, 应将混凝土卸入主绞架的吊斗内。然后由吊斗把混凝土转到运料小车, 再由运料小车输送到斜坡浇筑机料斗中, 此过程施工工序要求比较严格, 以降低混凝土的离析。

⑤ 混凝土从运输车中转入漏斗时, 需在施工区域附近搭建卸料平台, 台上的运输车往台下的漏斗卸料。因溪洛渡水电站水垫塘和二道坝工程, 左右岸跨度大, 该浇筑主要采用在大坝左右岸安装的缆机, 通过缆机吊罐, 进行混凝土运送、入仓浇筑。

### 7 雨季混凝土施工控制措施

(1) 加强对气象资料的收集, 动态了解气象变化, 统筹安排施工进度。如雨天施工则应加强降雨量的测试: 当雨量不超过 3mm/h, 持续时间不超过 30min, 则可以进行混凝土浇筑。

(2) 在降雨强度 < 3mm/h 的条件下, 继续施工的措施:

① 在混凝土浇筑标准及规范内, 增加拌合楼出机口混合物的 VC 值以达到降低水灰比;

② 混凝土浇筑施工过程中如遇到降雨天气, 首先应及时对浇筑仓面进行挡雨措施, 并尽快平仓、振捣, 减少混凝土在雨中暴露时间太长;

③ 混凝土施工前期, 应当提前安排排水措施, 防止水浸泡到混凝土, 从而导致混凝土离析的情况;

(3) 当降雨强度 ≥ 3 毫米/小时, 应暂停施工, 各个仓号应迅速完成以下表面处理工作:

① 迅速平整已下仓的混凝土, 快速振捣, 平仓;

② 如果太晚平仓、收仓, 或者因雨量比较大时, 应及

时覆盖混凝土浇筑面。

(4)大雨过后,降雨量小于3毫米/小时,并持续超过30分钟。浇筑仓面覆盖而未振捣的混凝土还未初凝时,应根据混凝土施工规范要求恢复施工。

(5)雨后恢复施工,采取的措施:

①将运输混凝土的运输车辆车厢内积水清理干净;

②新拌制的混凝土所有技术指标应恢复正常的值,但应采取上限值进行控制;

③及时清理浇筑仓面和排水,使混凝土浇筑仓表面清洁、无积水;

④在浇筑时,若发现有振捣不到位且未初凝者,及时补充混凝土并假期振捣,若漏振捣且已初凝而无法恢复振捣者,及被雨水严重浸入者,应及时予以清除,重新浇筑施工;

⑤在浇筑混凝土过程中,如果出现浇筑仓内有漏振且还未初凝的现象,应当及时从新振捣。如果漏振且已经初凝导致无法再次振捣且严重浸泡在雨水中的情况时,应当及时清楚,重新浇筑施工;

## 8 混凝土浇筑完后养护和保护措施分析

(1)混凝土养护

当一个仓混凝土浇筑完成后,要及时做好养护工作,混凝土养护工作应安排专人负责,同时做好养护记录。混凝土连续养护时间不少于90d或至混凝土覆盖,养护期间养护面保持在湿润状态,避免干湿交替,需要覆盖保温材料进行表面保温时,可停止洒水养护。

永久暴露面养护:永久暴露面长期流水养护。养护时间从混凝土终凝后开始,白天实行不间断流水养护,夜间可实行间断养护。

坝块左右侧面养护:采用洒水和塑料管喷洒相结合的方式养护,特别是低块浇筑时,既要养护好侧面又不能将水流到仓内。水平浇筑仓仓面的养护工作:浇筑混凝土达到初凝后,表面可以进行人工手动浇水养护。对于大型浇筑仓且连续浇筑持续两班以上时,第一时间应对浇筑的混凝土部位进行浇水养护。但水不能流到还未初凝的混凝土表面,待6小时后,对浇筑仓面进行表面洒水养护,直到前面一仓施工完为止。

降雨时养护:当连续降雨时间超过30分钟时,养护每个坝块的表面和侧面工作应停止;当连续降雨持续时间超过1小时,所有永久暴露面养护可以停止;停止降雨后1小时内必须恢复正常的通水养护工作。

养护检查:每2小时检查一次养护通水情况。检查内容包括:坝段表面的湿润情况,混凝土表面发白的区域大小、坝段侧面混凝土湿润情况、通水养护通水情况、喷水旋转喷头喷水情况等。

(2)保护

冲毛(刷毛)的时间随混凝土强度、施工季节和机械性能(刷毛机、冲毛机)的不同而变化,一般可在初凝以后,终凝之前进行。避免过早冲毛,损坏混凝土质量。

混凝土拆模时间不得少于3天,拆模后立即挂贴保护材料,保护材料紧贴被保护面。当气温骤降来临时需延迟拆模时间。

## 9 结束语

在溪洛渡水电站水垫塘和二道坝混凝土施工中,严格按照业主要求,优化混凝土配合比、规范混凝土拌合、运输、浇筑、温控措施等方法得到了广泛应用。以上措施为完成溪洛渡水电站水垫塘和二道坝混凝土浇筑起到了关键作用,特别是对混凝土强度、耐久性等进行了试验分析,通过一系列的实验数据证明项目混凝土配合比具有较高的可行性。这是项目部全体职工智慧的结晶,为今后其他类似大体积混凝土配合比及混凝土施工工艺借鉴。

### [参考文献]

[1]董爱国.论水利水电工程总混凝土施工质量控制要点[J].科学之友,2010(10):12-13.

[2]闫瑞兰.浅谈现场混凝土温度的控制和裂缝预防的措施[J].内蒙古科技与经济,2008(4):56-59.

[3]施正友,王保法,康志明.小湾右岸大坝工程混凝土配合比试验研究及应用[J].实验研究与施工测量,2012(5):23-25.

作者简介:张崇强(1983.1-),男,汉族,籍贯:陕西咸阳市,工作单位:中国水利水电第四工程局有限公司,职务:工程管理部主任,当前职称:工程师,学历:本科,研究方向:施工技术管理 工程计量管理。