

# 地下厂房岩锚梁清水混凝土施工技术

田君<sup>1</sup>, 王峻<sup>2</sup>, 张学彬<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电建设工程咨询北京公司, 北京 100024; 2. 中国水利水电第七工程局有限公司 二分局, 四川 成都 611730)

**摘要:**地下厂房岩锚梁是从挪威引进的高新技术成果, 是水电站地下厂房的重要结构, 已在我国水电站得到了广泛的应用。随着水电站建设的发展, 对岩锚梁质量要求和外观效果要求越来越高。以猴子岩水电站地下厂房为依托, 重点介绍了地下厂房岩锚梁清水混凝土的施工过程, 可为同类型工程施工提供参考。

**关键词:**猴子岩水电站; 地下厂房; 清水混凝土; 施工技术

**中图分类号:**

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2013)06-0050-03

## 1 工程概述

猴子岩水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内, 是大渡河干流水电规划调整推荐22级开发方案中的第9个梯级电站, 引水发电系统布置于大渡河右岸, 采用首部式地下厂房, 电站安装4×425 MW发电机组, 总装机容量为1 700 MW。

猴子岩水电站地下结构尺寸为219.5 m×29.2 m×68.7 m(长×宽×高), 从左到右分别为副厂房、主机间及安装间, 自上而下共分为9层开挖。岩锚吊车梁(以下简称岩锚梁)位于第Ⅱ层上下游边墙, 单边长度为196.5 m, 高2.95 m, 岩锚梁底部距离厂房第Ⅱ层底板(高程1 710 m)3.8 m。岩锚梁结构由一期混凝土、二期混凝土、永久伸缩缝、施工缝键槽、排水沟、排水管、吊车梁轨道等组成。岩锚梁一期混凝土为C25二级配混凝土, 二期混凝土为C30一级配混凝土。

## 2 施工特点

(1) 清水混凝土极具装饰效果, 色泽均匀, 一次成型, 表面非常光滑, 棱角分明, 可不用再作任何外部抹灰等工程处理。

(2) 对混凝土配合比设计及原材料质量进行控制, 以降低水化热并改善混凝土外露面的光洁度。

(3) 模板工程。清水混凝土模板强度和平整度要求高。模板体系采用定型大钢模板内贴wisa模板, 混凝土内无拉杆式设计, 具有承载力大、精度高、拆装快捷、使用安全等特点, 确保了混凝土外露面的平整度及光洁度。

(4) 浇筑工程。混凝土的浇筑分层厚度严格控制在40 cm以内, 确保振捣质量并采用吊车配吊罐进行混凝土入仓。

(5) 基于混凝土外观及强度要求, 采用通水冷却控制混凝土的内部温度。对裸露混凝土表面及时覆盖进行保湿养护, 减少了混凝土裂缝的产生。

## 3 施工过程

混凝土施工前的准备(配合比试验等)→混凝土分块→支撑体系搭设→钢筋及模板安装→预埋件安装→混凝土浇筑→温度控制及混凝土养护。

### 3.1 混凝土施工前的准备工作

(1) 配合比的设计遵循相关清水混凝土要求。根据水电站地质条件的特殊性, 选用相应的水泥品种; 粉煤灰为Ⅰ级, 掺量为25%左右; 减水剂掺量的选择要确保混凝土拌合物的和易性并避免泌浆、扒地现象发生, 建议取值为0.6%~0.7%; 尽量减小石粉的含量波动范围, 建议取值在10%~16%之间; 最优砂率根据提供的成品砂进行试验比选。为避免混凝土表面产生色差, 确保单段混凝土采用同一型号、同一批次的水泥及外加剂品种; 塌落度的选择也至关重要, 在考虑运输塌落度损失的情况下, 入仓塌落度宜控制在120 mm左右; 混凝土浇筑需进行相应的生产性试验并及时总结改进。

(2) 岩锚梁下层的开挖需超前进行预裂, 以减少下层开挖爆破震动对岩锚梁混凝土的影响; 对于地质不良地段超前进行刻槽及补缺施工, 岩

收稿日期: 2013-10-25

锚梁的锚杆施工需超前施工、超前检测,避免对岩锚梁混凝土施工造成影响。

(3)为防止由于地基原因引起的承重排架沉降而导致岩锚梁混凝土变形,必须在承重架搭设之前完成上下游岩锚梁两侧支撑系统的地基处理。同时,在岩锚梁混凝土浇筑期间,控制周边洞室的爆破质点振动速度满足相关要求。

(4)为保证混凝土之间充分的连接咬合以满足岩锚梁整体性要求,在进行新一仓混凝土施工之前,需对上一仓已浇筑完成的混凝土端头部位进行凿毛及清理工作。

(5)人工清除岩锚梁混凝土浇筑范围内的浮石、墙脚石渣和堆积物等,对局部欠挖地段利用人工配合风镐进行处理,直至合格,并用高压风水枪冲洗岩面,保证岩面清洁湿润、无欠挖、无松动岩石。

(6)采用全站仪测量放线,将岩锚梁体型的控制点线标示在明显的固定位置,并在方便度量的地方放出高程点,确定钢筋绑扎、立模边线以及梁顶高程并做标记。

### 3.2 混凝土分块

混凝土分仓需结合永久伸缩缝、进厂交通洞段进行优化布置,以不大于 15 m 为宜。

### 3.3 支撑体系搭设

支撑体系由排架和型钢三角架两部分组成,排架承重需进行专业的验算。为减少排架立杆底部的集中受力,建议在排架立杆底部增设垫槽钢(图 1)。

### 3.4 钢筋及模板安装

钢筋及模板安装的总体施工程序:底模安装→钢筋安装→预埋件安装→侧模安装→端头模板(键槽模板安装)。

(1)底模安装。采用 2 m 长定型钢模内贴 20 mm 厚 wisa 模板,斜面模板安装前测量并检查定型三角架,在其满足设计要求后,将定型钢模采用 8 t 汽车吊吊装至定型三角架预定位置,用螺栓将模板连成整体。考虑到浇筑过程中称重排架下沉,将斜面定型钢模在高程上与设计结构一致。在斜面模板与基岩面超挖空隙处采用木条+砂浆进行拼补,定型钢模安装完成后内贴 wisa 板, wisa 板组合缝使用透明胶带粘接。

(2)钢筋安装。钢筋在加工厂按下料单进行

分批制作并编号,采用 8 t 汽车吊吊运,双面焊接和绑扎连接,钢筋安装过程中预先将进入孔(下料孔)预留出来。保护层采用在钢筋与模板之间垫置强度不低于结构设计强度的混凝土垫块,尺寸为 10 cm × 10 cm × 5 cm (长 × 宽 × 厚)。混凝土垫块制作时先预埋铁丝,以便于与结构钢筋扎紧固定。垫块应互相错开,分散布置。在各排钢筋之间用短钢筋支撑以保证位置准确。钢筋安装时先将排风排水钢管位置由测量放线并标示在岩台上,钢筋安装在该部位并应尽量错开排风排水钢管位置。钢筋安装应规范合理,确保钢筋安装正常有序地进行。

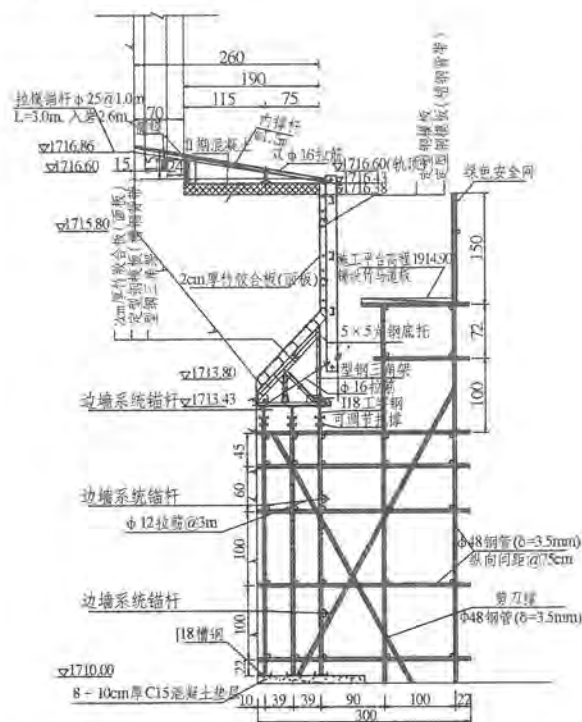


图 1 岩锚梁模板体系图

(3)侧模安装。侧面模板采用定型钢模内贴 20 mm 厚 wisa 模板,侧模与底模及侧模之间采用螺栓连接,然后内贴 wisa 板, wisa 模板必须与钢模板紧贴,相邻 wisa 模板之间的缝隙不得大于 2 mm,斜面 wisa 模板与直立面 wisa 模板连接处预先加工成 45°,以使其充分咬合(图 2)。

wisa 模板表面必须涂刷脱模剂(建议采用色拉油),严禁采用废机油代替。侧面模板采用“内撑外拉”的方式进行固定,拉杆与梁体下拐点及浇筑面以上的边墙系统锚杆焊接牢靠,与侧模背枋形成拉结,从而避免了在梁体内部设置拉杆。

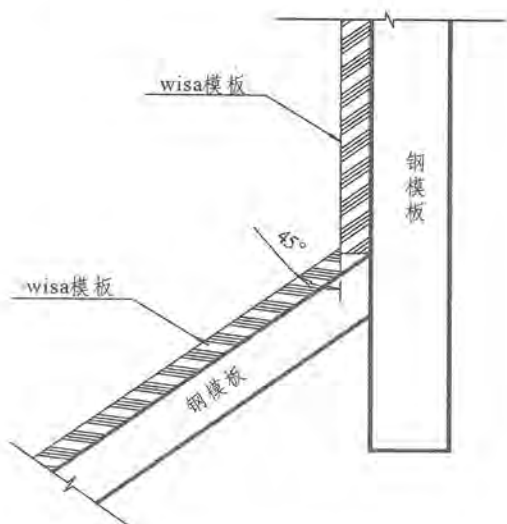


图2 拐点处 wisa 模板接缝图

(4) 堵头模板(键槽模板的安装)。堵头模板采用木模板现场拼装,键槽模板采用木模板定制,排水沟内的模板采用小钢模板或木板。模板要求组装紧密,拼缝之间不允许有错台,模板组装后要求整个板面平整光滑。

### 3.5 预埋件安装

(1) 岩壁吊车梁内设有桥机轨道预埋插筋、排风排水管、车挡地脚螺栓、滑触线、接地扁铁、构造柱插筋等。在安装前,先测量并精确定出点位,确定安装位置及高程。安装完成并经验收合格后才能进行混凝土浇筑,混凝土浇筑过程中要注意对埋件进行保护。

(2) 排风排水管安装时应将排水管固定牢固,其下端应牢牢顶在模板上(切割成斜口,与模板密贴),上下端进行封堵,待混凝土浇筑后,拆除封堵物,并在混凝土浇筑完成后及时用清水冲洗。

### 3.6 堵头模板的安装

(1) 堵头模板亦采用“内撑外拉”的方式进行加固,模板的拉筋以手感到受力为准且不能使堵头模板出现偏转、移位。

(2) 键槽模板采用加工厂定制的方式制作,安装时必须找准位置,并把过缝钢筋标识在键槽模板上,用电钻开孔,以便纵向筋穿过。键槽模板的固定方式与堵头模板的固定形式一致。

### 3.7 混凝土浇筑

(1) 在混凝土浇筑前清理仓内的杂物并将其冲洗干净,排除积水,检查钢筋、埋件是否符合设

计和规范要求,施工缝面及键槽槽面在混凝土浇筑时应凿毛处理并用水冲洗干净。

(2) 为减少混凝土水化热可能造成的混凝土因内部温度过高出现裂缝等不良后果,混凝土入仓采用汽车吊配吊罐作为主要入仓手段,从而有效地降低了混凝土水化热带来的负面效果。不建议采用泵送。

(3) 混凝土采用平层法自下而上分层浇筑,浇筑层厚控制在 30 ~ 40 cm,控制混凝土下料高度不大于 1.5 m,防止混凝土出现离析现象。

(4) 下料孔应尽量避免开岩锚梁锚杆、结构钢筋及混凝土梁体内的预埋件进行设置。

(5) 混凝土浇筑必须保持连续性,对已开仓段必须一次性浇筑完成,不允许出现冷缝。

(6) 混凝土振捣采用插入式振捣器振捣,两台振捣器一前一后交叉两次梅花形插入振捣,快插慢拔,振捣器插入混凝土的间距不超过振捣器有效半径的 1.5 倍、距模板的距离不小于振捣器有效半径的 1/2 倍,尽量避免触动钢筋和预埋件,必要时辅以人工捣固密实。

(7) 单个位置的振捣时间以 15 ~ 30 s 为宜,以混凝土不再下沉、不出现气泡并开始泛浆为止,严禁过振、欠振。

### (8) 温度控制及混凝土养护

① 混凝土浇筑收仓后 12 ~ 18 h 开始进行流水养护。岩锚梁承重模板(底模)可在混凝土强度达到 70% 设计强度后拆除。具体拆模时间可根据混凝土试件的强度及温控情况进行调整。脱模后对岩锚梁采用土工布覆盖进行滴灌养护,养护时间不少于 28 d。

② 通水冷却混凝土温度与水温之差以不超过 25 °C 为宜,管中水的流速以 0.6 m/s 为宜,水流方向应 24 h 调换一次,每天降温不宜超过 1 °C,通水时间一般为 15 d。

③ 混凝土内部温度观测在混凝土浇筑完成后即开始,观测频率为 1 次/2 h;之后 2 d 内,1 次/4 h;5 d 以后,1 次/12 h;在观测混凝土内部温度的同时测试厂房洞室内的环境温度。

## 4 几点认识

笔者总结了大岗山、长河坝、黄金坪及猴子岩等水电站岩锚梁混凝土浇筑施工技术,得出以下几点认识:

(下转第 100 页)

绞盘,使用直径2 mm的钢丝绳悬挂1个垂球(4个角共4个锤球),每个垂球重10 kg左右,为减少垂球晃动,将其悬置于水桶或油桶内。模板每滑升一次释放垂球至墩底的桶内,通过钢尺检查垂球线与墩顶、墩底和模板的距离来确定模板的垂直度和墩身的总体垂直度。

(3)每天利用全站仪进行高程、结构尺寸量测及校核,并用钢卷尺随时检测各部位结构尺寸情况。

## 5 结 语

在该桥墩施工过程中,浇筑上升平均速度为2.6 m/d,施工质量得到了各方一致认可。采用“液压滑模+大模板倒模法”施工体现了以下优点,可在类似工程中推广运用。

(1)简化了施工工序,缩短了工期,能大大节约施工成本。

简化了立模、拆模等工序,能使混凝土连续作

业,加快了施工进度,明显快于其它现浇方法并缩短了工期。由于结合采用了液压滑模施工技术,节省了大量的墩旁支架、模板和起吊设备的投入,整个模体简单,投入小,大大节约了成本。

(2)保证了高墩施工的安全。

由于减少了高空安装和拆除模板作业,整个模体装置荷载主要由提升架、支承杆等传至已浇筑的墩身混凝土,从而保证了结构安全稳固以及施工期间的人员安全。

(3)大大提高了高墩混凝土施工质量。

浇筑过程连续作业,减少了施工缝,加强了混凝土的整体性,提高了混凝土质量。

(4)在高墩施工中,为解决有较缓收分面条件下采用液压滑模施工方法提供了新的思路。

作者简介:

廖成林(1975-),男,重庆丰都人,高级工程师,在读工程硕士研究生,研究方向:水利工程。(责任编辑:李燕辉)

(上接第52页)

(1)精细化配合比设计是关键。岩锚梁作为地下厂房的重要结构,对混凝土的要求已经很高,清水混凝土对混凝土的要求就更高。为了保证岩锚梁清水混凝土的内部质量和外观质量,使混凝土具有良好的施工性能,需在岩锚梁混凝土浇筑之前进行精心地配合比试验,确定最佳配合比。

(2)尽可能采用低热水泥,以减少混凝土中的水泥掺量,降低混凝土水化热。混凝土入仓手段尽可能不用泵送,最好采用汽车吊或皮带机入仓,变泵送混凝土为常态混凝土,这是降低混凝土水化热、减少混凝土温度裂缝最有效的手段之一。

(3)采用定型钢模板和高强度的模板背撑,

在岩锚梁结构混凝土内无拉筋,这是保证混凝土外观质量的重要措施之一。

(4)建议设计院对同类型、同规模的地下厂房岩锚梁体型进行标准化设计,岩锚梁的模板能够在多个工程周转使用,对施工成本的节约十分有利。

作者简介:

田 君(1968-),男,湖北蕲春人,高级工程师,从事水电工程设计及监理工作;

王 峻(1987-),男,重庆黔江人,助理工程师,从事水电工程及高速铁路施工技术工作;

张学彬(1974-),男,四川资阳人,高级工程师,从事水电工程施工技术及管理工作。(责任编辑:李燕辉)

(上接第85页)

参考文献:

- [1] 傅志忠. 羽毛球飞行特性初探[J]. 福建体育科技. 1990, 9(2-3): 35-38.
- [2] 赖 旭,何 伟,胡 雄. 风力机翼型及叶片气动性能数值模拟[J]. 武汉大学学报(工学版). 2010, 43(3): 273-277.
- [3] 王企鲲,陈康民. 叶片弯曲对微型轴流风扇气动性能影响的数值研究[J]. 流体机械. 2007, 35(10): 14-19.
- [4] 武生智,刘 楠,薄天利. 沙漠公路近壁流场的风洞实验利

数值模拟[J]. 兰州大学学报(自然科学版). 2008, 44(4): 27-34.

- [5] 刘振东,李 源,喻 磊,等. 基于CFD技术的螺旋桨风机气流速度场数值模拟研究[J]. 工程力学. 2013, 30(6): 346-352.

作者简介:

程 飞(1983-),男,山西长治人,回族,工程师,博士,从事水利水电工程枢纽布置设计工作。

(责任编辑:李燕辉)