枕头坝一级水电站主机间蜗壳混凝土施工方案研究

王 海 胜， 魏 雄 伟
（国电大渡河枕头坝水电建设有限公司，四川 乐山 614700）

摘 要：考虑到枕头坝一级水电站主机间蜗壳混凝土施工具有工期紧、结构体型复杂、预埋管路多、技术要求高、施工难度大等特点，在总结、借鉴以往工程经验的基础上，对主机间蜗壳混凝土施工方案进行了一些创新和改进，从施工规划、分层分块、混凝土浇筑、回填灌浆、温度控制等方面进行了阐述。工程实践表明：该方案克服了工程建设难题，保证了工程质量及施工进度，节省了工程投资，取得了满意的施工效果，可供同类工程借鉴。

关键词：主机间；蜗壳混凝土；施工方案；分层分块；枕头坝一级水电站
中图分类号：TV7；TV52；TV544 **文献标识码**： B **文章编号**：1001-2184(2015)06-0093-04

1 工程概述

枕头坝一级水电站坝址位于四川省乐山市金口河区核桃坪河段，为大渡河干流水电开发的第19个梯级，上游距深溪沟水电站25 km，下游距枕头坝二级水电站4.1 km。坝址处控制流域面积73 057 km^2，多年平均流量1 360 m^3/s。电站采用堤坝式开发，枢纽布置为“左岸河床式厂房＋右岸泄洪闸”方案，两岸为混凝土非溢流坝，正常蓄水位高程624 m，最大坝高86.5 m，电站装机容量为720 MW，多年平均发电量32.90亿kW·h，正常蓄水位以下库容0.435亿 m^3，水库总库容为0.469亿 m^3。开发任务为发电，兼顾下游用水。

主机间装有4台单机容量为180 MW的轴流转桨式机组，总长度为138.4 m，机组间距为34.6 m，净宽29 m，蜗壳层起始高程为567.5～588.5 m。每台机组蜗壳层内设置锥管进人廊道和蜗壳进人廊道，单台机组蜗壳混凝土方量约为14 487.5 m^3，蜗壳呈蜗牛状梯形渐变结构，蜗壳钢筋由φ32主筋、φ25的分布钢筋组成。使用钢筋1 996.4 t，套管23 668个，混凝土57 950 m^3，插筋40根，回填灌浆187 m。

2 主要施工难点及应对措施

（1）主机间蜗壳层混凝土具有结构平面尺寸小、结构体型复杂、预埋管路及埋件繁多、技术要求高、施工工期紧张、施工干扰较大等特点，加之蜗壳环向主筋和蜗壳内外钢衬弯勾钢筋的干扰导致混凝土浇筑非常困难。

收稿日期：2015-10-15

（2）蜗壳阴角、座环支墩部位施工难度大。为保证混凝土浇筑质量，在蜗壳阴角等封闭部位采用混凝土泵送高流态混凝土入仓。为尽可能避免蜗壳发生偏移、上浮等而导致蜗壳变形，将蜗壳混凝土分为三区浇筑并严格控制上升速度。

（3）在蜗壳混凝土浇筑中，由于基础环与座环之间存在倒角并形成一个密封空间，该部位高于预留通气孔，泵送高流态混凝土仍无法填满。为此，根据现场施工情况、针对这些部位设置回填灌浆管和排气管，待座环底部浇筑平通气孔（已封闭通气孔）后立即进行砂浆回填，以减少该部位的接触灌浆量，并使回填砂浆与混凝土结合良好。

（4）蜗壳顶部混凝土外包钢衬。在混凝土浇筑过程中，所产生的活荷载和恒荷载极易使钢衬变形。为此，根据现场实际情况，在机窝处搭设满堂架用于支撑钢衬，同时考虑到机窝空间狭小和部分支撑钢管支点位于斜坡钢衬上、无法搭设大量的斜撑用于支撑钢衬，需要在钢衬上焊接临时支点，用于固定立杆，待拆模后敲掉临时支撑点并对该处钢衬实施防锈防腐处理。为了保护安装好的钢衬，将支撑与钢衬之间加垫方木，同时满堂架搭设按国家脚手架搭设规范严格执行。

3 施工方案的设计

枕头坝一级水电站蜗壳混凝土分四个部位：蜗壳底板、蜗壳外侧边墙、蜗壳内侧锥管段、蜗壳顶板。总体施工顺序：领先浇筑底板一至二层，再分别浇筑蜗壳外侧边墙和内侧的锥管段，形成流道后封顶，分层高度控制在2 m以内。

(1)蜗壳底板采用无模施工工艺,沿蜗壳底板结构面用 φ20 圆钢筋制作样轨,样轨间距 2 m,加固在底部混凝土锚筋上。混凝土为 C25 二级配,主要采用门塔机配卧罐入仓,局部采用混凝土泵辅助,主要采取台阶法浇筑,配插入式振捣棒和软轴振捣棒平仓振捣。混凝土收仓时,蜗壳底板(永久过流面)用 3 m 刮尺刮平后割除样轨,原浆抹面。

(2)蜗壳外侧边墙在流道的一面为钢衬,其余各面现立组合钢模板,内撑内拉法加固。钢衬在高度方向分两段安装到位。施工时按蓝图分块执行, C25 二级配混凝土仍采用门塔机配卧罐入仓,局部用混凝土泵辅助。台阶法浇筑,插入式振捣棒平仓振捣。由于钢衬安装后竖立太高而直接影响混凝土下料,需要在仓内搭设混凝土入仓平台挂溜筒入仓。

(3)蜗壳锥管段分两期施工,一期 C25 混凝土浇筑与锥管外围衬板安装交替进行,一期内模采用小钢模,混凝土入仓方式同蜗壳外侧墙。锥管钢衬直接在肘管钢衬上接引,用正反扣加固在锥管一期混凝土预埋插筋上,锥管二期 C35 二级配混凝土采用泵送入仓。

(4)蜗壳顶板浇筑的先决条件有三个:一是蜗壳边墙混凝土浇筑到设计高程,二是座环安装就位,三是蜗壳顶板钢衬安装就位。待上述各项工作完成后开始准备顶板仓号。由于蜗壳顶板钢衬钢板太薄且未考虑施工荷载,故需要在蜗壳流道内搭设满堂红脚手架支撑体系。混凝土入仓方式同底板,也采取台阶法浇筑。

上述部位混凝土强度指标较高,水化热温升大,施工过程温控措施需加强,严格控制混凝土的入仓温度、通水冷却、洒水养护等各个环节,确保工程质量。

4　施工程序及方法

4.1　施工程序

结合枕头坝一级水电站工程实际,针对主机间混凝土施工难点,所设计的蜗壳混凝土施工程序见图 1。

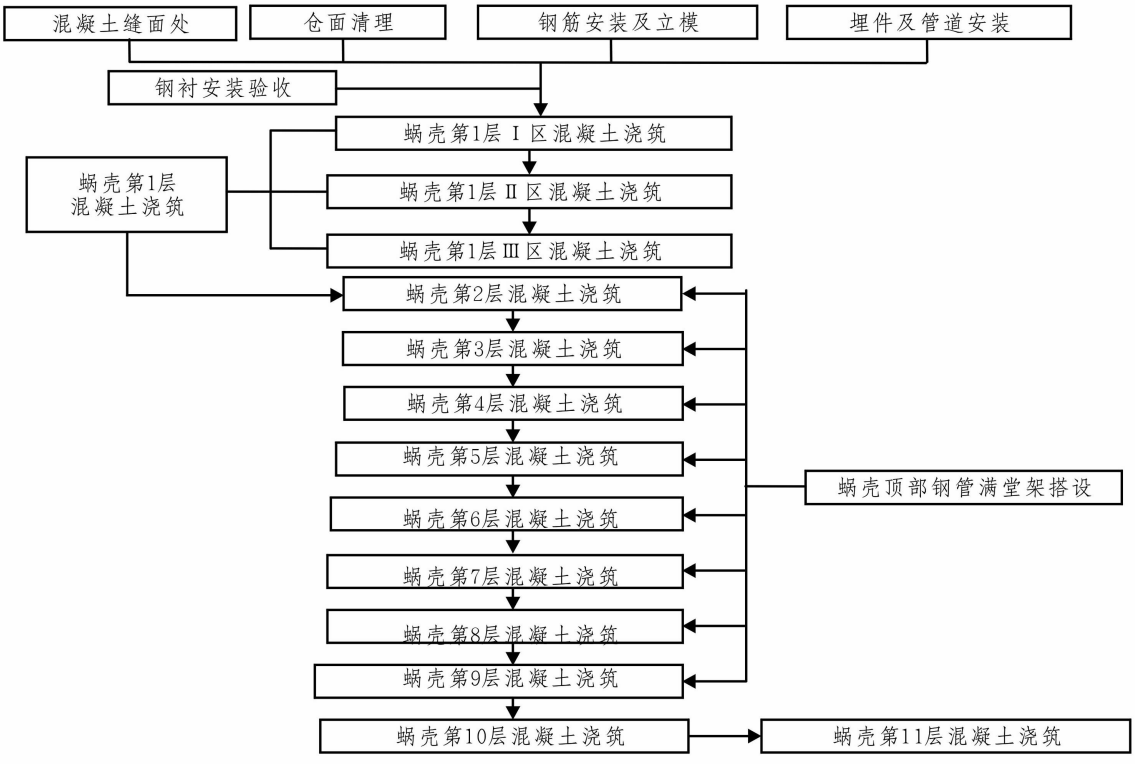

图 1　蜗壳混凝土施工程序图

4.2　施工分层及分块

蜗壳混凝土浇筑时,浇筑仓面大,入仓强度高,为了保证浇筑的连续性,减小蜗壳温度应力影响,需对混凝土施工进行分层分块。考虑到蜗壳钢衬结构形状,尽量避免产生小锐角混凝土体、减小混凝土浇筑上升时对蜗壳的浮力,防止蜗壳位

置偏差等情况,设计分层分块方式见图 2、3,水平分层施工缝面及竖直分块缝面采用高压水枪冲毛成毛面,粗砂微露,如遇特殊情况,业主、设计、监理、施工单位现场协调解决[1]。

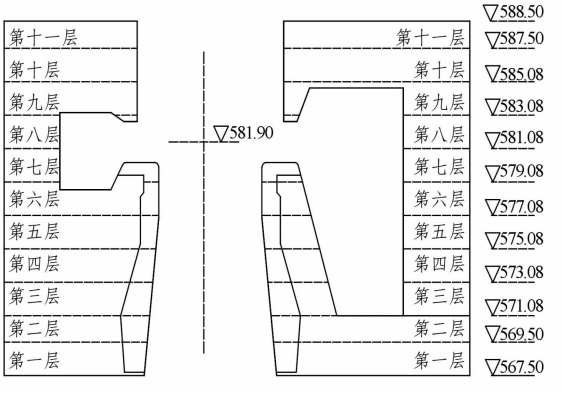

图 2　混凝土浇筑分层示意图

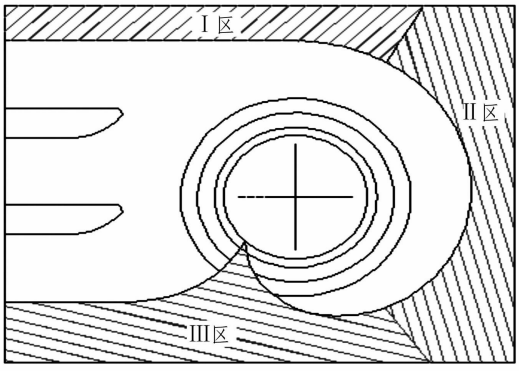

图 3　混凝土浇筑分块示意图

4.3　钢筋加工及模板组立

4.3.1　钢筋加工

(1)钢筋加工:钢筋在钢筋厂切割、弯曲后,采用 15 t 自卸汽车运输至施工部位,按钢筋编号和安装顺序依次堆放到仓号内。因为蜗壳部位钢筋多为弧形、网状布置,与机组金属结构外侧体形相近,故加工时应控制加工制件的精度,把误差控制在规范允许的范围内。在钢筋加工完成运输至安装工作面时,必须注意保护钢筋接头。

(2)钢筋安装:蜗壳钢筋安装难度较大,需待测量放出控制点后才能进行钢筋安装。首先按施工详图和现场实际情况搭设样架钢筋和架立钢筋,然后安装结构钢筋。结构钢筋的安装位置、间距、保护层应符合施工图的规定,将允许偏差控制在规定的范围内。对于有多层钢筋的部位,先安装下层或内层钢筋,待检验合格后,再施工上层或外层钢筋。

(3)蜗壳断面尺寸逐渐减小,而顺流向钢筋数量保持不变,从而使蜗壳末端出现钢筋密集、混凝土无法施工的情况。为避免这种现象的发生,当蜗壳尾部钢筋间距小于 10 cm 时,现场采取每两根并在一起的措施。在钢筋施工中,如与孔洞、预埋件、千斤顶等障碍物发生冲突时,按以下原则处理:① 障碍物尺寸小于 20 cm,局部调整钢筋间距进行避让;② 障碍物尺寸大于 20 cm,割断钢筋避让,在割断钢筋的部位进行局部加强。

4.3.2　模板组立

主机间蜗壳流道两侧及顶部结构面全部为钢衬,无需立模。施工中应注意保护好钢衬及其支撑体系,防止在混凝土浇筑过程中变形。蜗壳内侧与锥管及垂直分缝处模板采用 5 cm×10 cm 木方搭配,人工现场拼装,扣件连接。模板采用 φ14 钢筋拉杆固定,架管横向背牢,纵向采用 φ48 脚手架管加固。蜗壳进人廊道、预留孔洞等需搭设满堂支撑架,满堂架 φ48 钢管步距为 1.5 m、纵距为 0.9 m,横距为 0.9 m,并配置扫地杆和斜撑,架设模板钢衬工将钢管垫板置于底板混凝土上。模板在使用前彻底涂抹脱模剂,易于脱模。

4.4　混凝土施工

4.4.1　混凝土入仓

仓面验收合格后方可进行混凝土浇筑。浇筑时应保持混凝土施工缝面的洁净和湿润,并在混凝土面上均匀铺一层 2 ~ 3 cm 厚的砂浆,每次铺设砂浆的面积与混凝土浇筑强度相适应,并及时覆盖混凝土,以保证新、旧混凝土结合良好。

蜗壳混凝土主要采用门机吊罐入仓、泵送作为辅助入仓的方式。蜗壳Ⅱ区混凝土采用下游侧 7 号 MQ1260B、8 号 MQ 900B、9 号 MQ600B 门机浇筑,Ⅰ、Ⅲ区混凝土采用上游侧 4 号 K80/115 塔机、2 号 MQ900 B、3 号 MQ1260 B 门机浇筑,对于部分门机覆盖不到的部位由泵车泵送混凝土浇筑,确保混凝土入仓强度[2]。

4.4.2　混凝土平仓及振捣

混凝土在平仓后进行振捣,大体积混凝土采用 φ100 插入式高频振捣器,薄壁结构部位采用 φ50 软轴插入式振捣器。振捣器不能直接碰撞模板、钢筋和预埋件,以防模板走样和预埋件移位,对预埋件,特别是止水片周围应细心振捣,必要时

辅以人工捣固密实。振捣时间以混凝土粗骨料不再明显下沉,不出现汽泡、开始泛浆为准,插入式振捣器一般为 20 ~ 30 s,高频振捣器不应小于 10 s。振捣器移动的距离以不超过其有效半径并插入下层 5 ~ 10 cm 按振捣顺序依次进行,方向一致,振动棒快插慢拉,以保证混凝土上下层结合紧密。

混凝土浇筑时,若泌水较多,应及时排除但不得带走水泥浆,并应及时通知实验室查明混凝土泌水原因,采取相应的措施予以解决。严禁在模板上开孔赶水,防止带走水泥浆液而影响混凝土质量。不得在仓内加水,若发现混凝土和易性较差,则需加强振捣以保证质量。混凝土浇筑须保持连续性,若因故中止且超过混凝土的初凝时间,则应按施工缝进行处理。只有对混凝土面进行冲毛或凿毛并冲洗干净后,才能进行下一次混凝土浇筑施工。

在混凝土浇筑过程中,若发现模板有变形、移位时,必须立即停止该部位混凝土浇筑,对变形或移位位置加焊角钢、拉杆,确保其变形、移位不再增大。

4.4.3 混凝土收面及养护

混凝土的收面工作是浇筑的重要工序,做好混凝土的衬砌工作,可以降低粗糙率,提高输水能力,增强防渗效果,延长使用年限。收面工作应在浇筑完混凝土后立即用原浆收面,不得另外铺砂浆收面,不得洒水收面。其工序是根据测量放线的结构控制点,先用长木抹粗抹一遍,使其表面平整,稍停后再用铁泥抹细抹一遍,最后待大量水分蒸发后,再用铁泥抹压抹一遍,直至达到密实、平整、光滑的效果。

混凝土养护按混凝土浇筑完毕 6 ~ 8 h 后开始人工洒水养护,气温高时取小值,气温低时取大值,应配备专人负责洒水养护,始终保持混凝土表面湿润,混凝土养护时间为 14 d。

4.4.4 混凝土温控措施

考虑到枕头坝一级水电站工程的实际情况,设计混凝土的入仓温度不超过 19℃,厂房蜗壳外层属大体积混凝土,混凝土浇筑过程中采取了以下措施控制:(1)混凝土浇筑尽量选在温度较低时段施工;(2)采用预冷混凝土施工,控制混凝土入仓温度;(3)合理配置资源,尽量减少混凝土途中搅拌的时间,并定时用冷水冲洗车罐降温;(4)混凝土浇筑收仓后 8 ~ 18 h 开始洒水养护且养护到上层混凝土浇筑为止,同时在蜗壳内壁采用常流水喷洒养护[3]。

4.4.5 蜗壳回填灌浆

蜗壳地脚螺栓回填灌浆按照设计要求在地脚螺栓孔内顶部埋设回填灌浆管,灌浆管从座环上灌浆管升出,待浇筑回填混凝土后进行回填灌浆。

5 应用效果

主机间蜗壳混凝土浇筑计划每台机组平均浇筑时间为 202 d,实际平均浇筑时间为 189 d,每台机组平均节约工期 13 d,总共节约工期 52 d。施工过程中温控效果较好,经专家检测蜗壳混凝土浇筑密实度较好,未发现蜗壳混凝土质量缺陷,质量控制较好,取得了满意的效果,为枕头坝一级水电站按期下闸蓄水争取了宝贵的时间,更为工程建设带来了较大的经济效益。

6 结 语

(1)实践证明:枕头坝一级水电站主机间蜗壳混凝土浇筑采取分 3 区、11 层的施工方案是可行的,具有较强的可操作性,有利于加快施工进度,降低工程投资,对加快推进工程进度具有重要意义。

(2)枕头坝一级水电站属Ⅱ等大(二)型重力坝,河床式厂房布置,该方案的成功应用,可为同类工程提供借鉴。

(3)枕头坝一级水电站于 2011 年 11 月截流,2014 年 5 月 18 日顺利实现二期围堰破堰基坑充水目标,2015 年 5 月顺利下闸蓄水、8 月首台机组发电,顺利实现了各项节点目标,为同类工程的建设树立了标杆。

参考文献:

[1] 谭 华. 溪洛渡水电站左岸地下厂房蜗壳混凝土施工技术[J]. 水力发电,2012,38(10):53 - 56.

[2] 董战猛,梁振刚,刘沛峰. 糯扎渡水电站地下厂房蜗壳混凝土浇筑质量控制[J]. 人民长江,2012,43(4):89 - 91.

[3] 杨根录. 向家坝左岸电站厂房蜗壳混凝土施工与质量控制[J]. 人民长江,2015,46(2):23 - 27.

作者简介:

王海胜(1978-),男,河南新乡人,工程师,硕士,从事水电工程建设技术与管理工作;

魏雄伟(1987-),男,湖北天门人,工程师,硕士,从事水电工程建设技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)