

卡洛特水电站蜗壳二期混凝土施工 关键技术及难点剖析

杜江

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 611730)

摘要:巴基斯坦卡洛特水电站总装机容量为 720 MW, 共装 4 台单机容量为 180 MW 的混流式发电机组, 单台机组共装蜗壳管节 36 节, 采用弹性垫层方案。笔者介绍了针对蜗壳二期混凝土施工各个环节的重点、难点问题, 对其分层分块、入仓方式、监测方法、后期灌浆进行的分析与创新过程, 实现了蜗壳浇筑期间的安全, 保证了蜗壳二期混凝土施工质量, 为发电机组的安全安装创造了条件。

关键词:卡洛特水电站; 蜗壳; 二期混凝土; 埋件; 监测; 灌浆; 施工技术

中图分类号: TV7; TV52; TV544

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)06-0076-06

Key Technology and Difficult Works Analyzing of Concrete Construction Stage II for Spiral Case of Karot Hydropower Station in Pakistan

DU Jiang

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611730)

Abstract: Karot Hydropower Station in Pakistan has a total capacity of 720MW, with 4 sets of 180MW Francis turbine-generator units, each unit is equipped with a total of 36 spiral case segments and adopts an elastic cushion methodology. The article focuses on the key technology and difficult works in each link of the spiral case in concrete construction stage II. It has carried out innovation and analysis on the layering and blocking, pouring methods, monitoring methods, and grouting, achieving pouring safety of the spiral case in stage II, ensuring the construction quality of the concrete construction stage II of the spiral case, and providing conditions for the safe installation of the generator units.

Key words: Karot Hydropower Station; Spiral case; Second stage concrete; Embedded parts; Monitoring methods; Grouting; Construction technology

1 概述

卡洛特水电站修建在巴基斯坦北部印度河支流吉拉姆河(Jhelum)上。项目总投资约 16.5 亿美元, 采用 BOOT 方式投资建设^[1]。该电站装机容量为 720 MW(4×180 MW), 多年平均年发电量约 32.06 亿 kW·h, 最大坝高 95.5 m, 年利用小时数为 4 452 h。电站建成后可满足巴基斯坦 210 万个家庭的用电需求。

该工程为单一发电的水电枢纽工程, 系由大坝、泄水、冲沙及引水发电系统等主体建筑物组成, 拦河大坝为沥青混凝土心墙土石坝。

厂房为坝后式, 共安装 4 台机组, 其单台机组

安装蜗壳管节 36 节, 采用弹性垫层方案。蜗壳管节组装焊接完成、支撑焊接牢固并经验收合格后即可启动蜗壳二期混凝土的浇筑施工, 管道埋件、基坑里衬继续向上安装, 待蜗壳和发电机层二期混凝土全部施工完成后向机电安装部门移交发电机组安装工作面。

2 重难点问题分析与施工规划

2.1 重难点问题分析

(1) 蜗壳二期混凝土浇筑是该电站工程施工的关键线路, 其结构形式复杂, 施工难度较大; 土建作业、机电安装交叉施工干扰较大。因此, 协调好土建、机电工程间的交叉作业是保证该电站施工工期的关键点。

收稿日期: 2023-05-30

(2)蜗壳二期混凝土内各种预埋管道、监测埋件等较多,故防止错埋、漏埋是其难点。

(3)鉴于座环支墩和蜗壳支墩密集且蜗壳底部钢衬距离一期混凝土面间隙较小(最小部位仅0.95 m),仓号的准备受空间限制,钢筋安装的难度大;蜗壳外包的径向、环向钢筋随蜗壳结构三维渐变,钢筋的下料、制作与安装是其难点。

(4)在蜗壳阴角、蜗壳底部预埋补充灌浆管路,并在混凝土浇筑过程中保证该管路的安全及蜗壳二期混凝土较长施工期管路的维护是保证灌浆质量的重点。

(5)鉴于蜗壳阴角和底部结构复杂、空间狭小、钢筋密集、预埋件数量和种类多,控制蜗壳钢衬底部脱空范围是蜗壳二期混凝土施工的难点,亦为质量控制的重点,也是整个蜗壳二期混凝土浇筑施工成败的关键点。

(6)做好蜗壳抬动和位移的预防措施并在混凝土浇筑过程中严格控制、监测是保证混凝土浇筑顺利实施的重点。

(7)鉴于蜗壳二期混凝土体积大,蜗壳阴角、底部采用自密实混凝土时其胶凝材料掺量大,因此,做好温控措施、防止混凝土温度裂缝是保证二期混凝土施工质量的重点。

2.2 施工规划

(1)通道布置。进场道路及施工通道因其为不同的项目而各有不同,但其一般情况下均通过厂外交通进入安装间后再进入蜗壳施工区域。混凝土运输道路通过场外交通进入安装间,故需根据项目的特殊性考虑不同的入仓方式,并在安装间划定混凝土的浇筑场地。

(2)风、水、电的布置。

施工用水:除规划冲仓、养护施工用水外,应当单独布置一条温控冷却水供水线路。

施工用风:宜在蜗壳施工区域的上下游各布置一条供风线路。

施工用电:必须综合考虑蜗壳焊接、混凝土施工的总用电量,在蜗壳施工的上下游各布置一条供电线路。

总体而言,风、水、电的布置应能够满足从先浇筑的机组往后浇筑的机组分期延伸的要求。该

工程采用在安装间设置总开关的方式,沿1号机组向4号机组延伸,与蜗壳二期混凝土施工顺序一致。

(3)排污方式。蜗壳二期混凝土施工期间利用吊物孔将污水排放至廊道、汇至集水井、沉淀后集中抽排。

(4)施工照明。在上下游墙较高位置分别设置大功率投光灯,并对遮光部位增设仓内照明。

(5)施工分层与分块。根据蜗壳和座环的结构形式以及混凝土施工规范要求,结合该工程所配置的入仓手段,蜗壳二期混凝土在高度方向共分5个浇筑层。其中第1层分为4个浇筑块;第2~5层为整体浇筑,不再分块。二期混凝土施工分层、分块情况见图1,二期混凝土施工首层分块情况见图2。

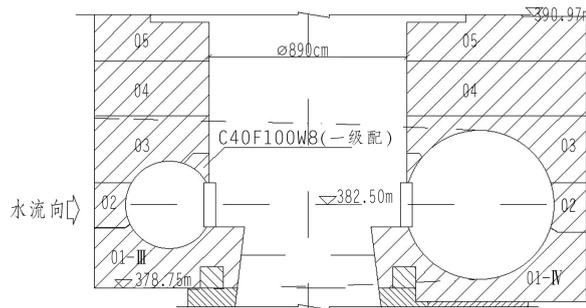


图1 二期混凝土施工分层、分块示意图

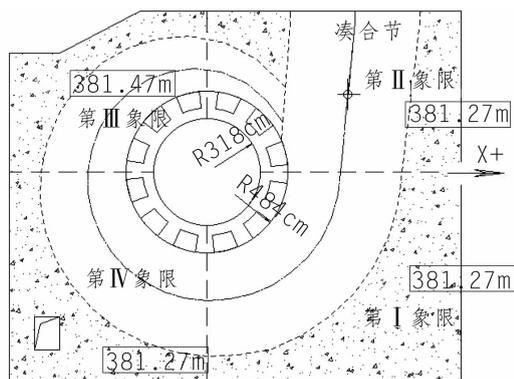


图2 二期混凝土施工首层分块示意图

蜗壳二期混凝土第一层的分层高度至少需达到座环钢衬面底部,以保证首层混凝土浇筑收仓后不会出现内高外低(蜗壳阴角部位高,外侧混凝土低)的情况,进而保证新浇筑的混凝土不会在自重的作用下往蜗壳外侧流动,从而最大限度地保证蜗壳阴角部位混凝土填充密实。

二期混凝土浇筑至蜗壳顶部时,宜一次性覆盖蜗壳顶部的外包钢筋,从而减少混凝土浇筑期间对蜗壳外包钢筋污染后的清理工作。其他分层情况根据工程入仓手段、浇筑能力、预埋件位置确定。

(6)施工顺序。基础环、座环安装间组装焊接并吊装就位→蜗壳安装验收→蜗壳二期混凝土施工。首层混凝土按 I 象限—III 象限—IV 象限—II 象限”的顺序施工。

(7)入仓手段。

混凝土拌和及运输:采用混凝土拌和系统集中供料,混凝土搅拌运输车运输。

混凝土入仓手段:采用混凝土拖式泵或车泵泵送入仓;桥机配合吊罐辅助入仓。分别在厂房尾水和安装间设置入仓平台。单仓混凝土浇筑设备的配置经计算确定,其必需满足仓号浇筑强度要求并配置备用入仓手段。

3 模板、钢筋与埋件的施工

(1)模板:施工缝面的模板采用木模板以适应蜗壳纵向钢筋自由穿过施工缝的需求;结构缝为非永久外露面,采用组合钢模板。

(2)钢筋:由于蜗壳外包钢筋体型复杂,三维渐变钢筋多,蜗壳支撑多,空间狭小,为便于钢筋的安装,在满足钢筋搭接规范^[2]的情况下,对于该工程考虑对特殊位置多搭接,对蜗壳底部 120°范围及阴角水流向钢筋均采用 4 m/段,腰部采用 6 m/段,顶部采用 12 m/段;垂直水流向钢筋在蜗壳腰线位置进行错搭接。

(3)埋件的施工。蜗壳二期混凝土内的预埋件主要包括冷却水管、钢衬底部接触灌浆管路、一、二期分缝面接触灌浆埋管、弹性垫层、监测仪器等。

①冷却水管。该工程选用直径 32 mm、壁厚 2 mm 的 HDPE 管用做混凝土温度控制的冷却水管,冷却水管埋设的间排距、层间距根据计算确定。该工程采用的冷却水管间排距为 1 m×1 m,高度方向的层距为 1.5 m。为保证混凝土内部通水冷却效果,该工程采用单根冷却水管长度不大于 150 m、水平布置和竖向布置相结合的方式敷设冷却水管。所埋设的冷却水管不得正对振捣孔,以防止振捣时破坏。混凝土浇筑后,采用电偶线对混凝土内部温度进行监测。

②灌浆管路。针对蜗壳阴角和蜗壳底部 120°范围的灌浆,该工程采用塑料拔管成孔与预埋灌浆管相结合的方式并设置了一套出浆盒灌浆系统。塑料拔管的目的是保证蜗壳底部接触面形成横向灌浆通道,以保证灌浆的浆液通畅并具有较大的覆盖面积。出浆盒系统为主要的灌浆系统,紧贴蜗壳钢衬壁の出浆盒为主要的灌浆手段,与出浆盒相连的管道为灌浆管。

座环、基础环上预留有孔洞,兼做振捣和排气孔,每 2 个预留孔布置一根直径 20 mm 的塑料拔管;蜗壳底部在所布置的主灌浆管上安装三通管,将塑料拔管与三通连接。蜗壳底部混凝土初凝后进行拔管,分别向蜗壳内侧和外侧将塑料拔管拔出,拔管后将在混凝土与蜗壳钢材间形成灌浆通道,该灌浆通道与预埋的主灌浆管共同形成蜗壳底部的灌浆通道。

出浆盒系统的灌浆管路也采用直径 20 mm 的硬质塑料软管,设置范围与拔管范围相同,沿管路方向安装出浆盒,浆液从出浆盒贴合的蜗壳钢衬面出浆,该工程出浆盒的间距按 2 m 设置。

拔管成孔和出浆盒灌浆系统均根据蜗壳二期混凝土首层分块独立设置、分块灌浆。蜗壳底部拔管管路布置情况见图 3,蜗壳底部出浆盒管路平面布置情况见图 4。

拔管施工与混凝土浇筑同步进行,待混凝土浇筑至蜗壳底部接触面后,拔管施工人员密切关注混凝土性能,待覆盖拔管的混凝土初凝时即进

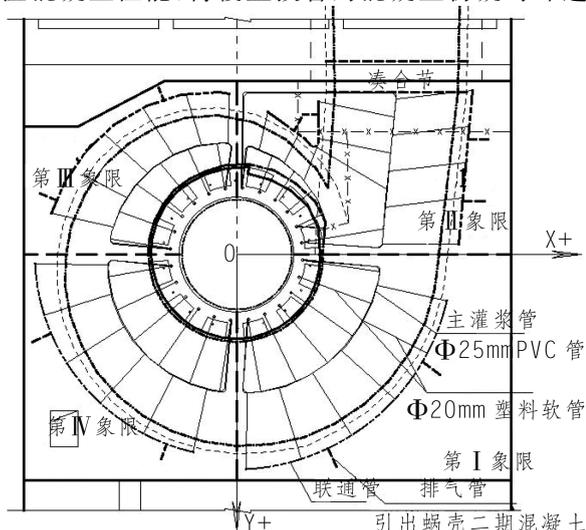


图 3 蜗壳底部拔管管路布置图

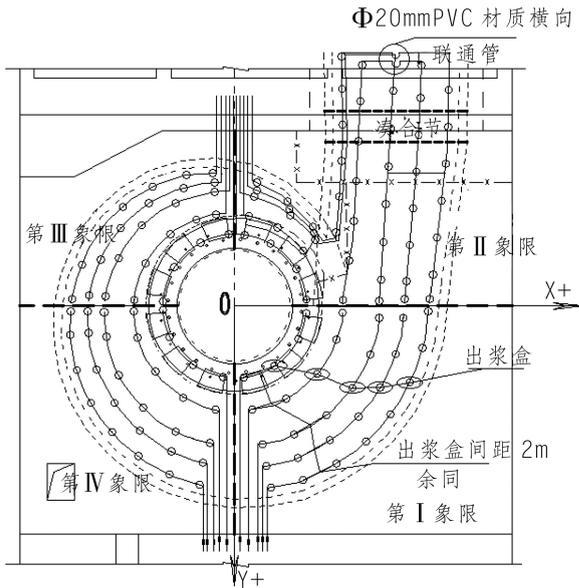


图4 蜗壳底部出浆盒管路平面布置图

行拔管。启动拔管时先对塑料管进行小幅度拉拔,当遇到的阻力过小时则表示混凝土凝结时间不足,为防止塌孔,应停止拔管,待混凝土凝结后再进行拔管。

一期和二期混凝土分缝面的接触灌浆采用预埋出浆盒系统并与蜗壳同期灌浆。

③弹性垫层。该工程蜗壳采用弹性垫层方案,弹性垫层为L-600型高压聚乙烯闭孔泡沫板,厚度为3~12 mm。施工工艺为:将弹性垫层和蜗壳钢衬表面清理干净,在弹性垫层粘胶表面上和与之相应的钢衬表面上均匀涂刷胶粘剂并待其适当晾干,将其一端贴紧已施工的弹性垫层缝面,先将靠近缝面约20%的弹性垫层表面仔细贴合已刷胶的钢衬表面并施压,自贴合端向自由端有序压合,辅以木榔头或橡胶榔头敲击排气。粘胶弹性垫层时应注意其方向,厚度不同的弹性垫层应按设计图纸粘贴到与其相对应的部位。弹性垫层应错缝粘贴,对于相互结合的端面涂胶粘合。

④监测埋件与机电埋件的埋设。机电埋件与监测埋件按照设计图纸安装,并与钢筋施工同步埋设,不单独占用蜗壳二期混凝土施工的直线工期。

4 变形监测

蜗壳二期混凝土浇筑期间的监测主要为抬动监测和变形监测。抬动监测主要是监测蜗壳二期混凝土施工期间液态混凝土产生的浮托力导致的

蜗壳竖向变形^[3];变形监测主要是监测蜗壳四周不平衡浇筑二期混凝土导致的蜗壳水平位移。

监测点的设置需同时满足监测蜗壳的上浮(径向变形)和位移(环向变形)。监测的时间段为第1、2层二期混凝土的浇筑和灌浆过程;监测的目的:确保座环和蜗壳变形受控,提供监测支撑数据,调控二期混凝土的入仓强度。

4.1 监测点的布置

座环监测点布置在基坑内的座环面上,每90°范围分别布置环向和径向2个监测点,合计8个监测点;4个径向监测点,4个环向监测点。

蜗壳监测点布置在蜗壳顶部,每90°范围布置2个监测点,共8个。

4.2 监测要求

座环、蜗壳的变形值为:座环环向和径向变形 ≤ 0.2 mm;蜗壳偏移 ≤ 2.5 mm。相应的监测要求为:

(1)正常情况下的观测频次为30 min/次。

(2)当座环变形达到0.1 mm时,监测人员需及时预警,增加监测频率,降低混凝土入仓速度。

(3)当座环变形达到0.15 mm时,监测人员需立即报警,暂停混凝土浇筑,调整混凝土入仓方式后方可继续浇筑。

(4)蜗壳变形监测方式与座环相同,预警值和报警值分别为1.5 mm和2 mm。

(5)首层每仓混凝土浇筑完成后均需对座环进行测量,并将其与原始基准数据、混凝土入仓前数据进行对比分析。

(6)复测:第1~2层蜗壳二期混凝土浇筑完成后,实施测量对座环进行终了复核并与蜗壳、座环的验收测量数据进行对比,旨在为后续机电安装提供测量依据。

该工程4台发电机组蜗壳二期混凝土浇筑监测数据显示:座环环向和径向变形均小于0.1 mm,蜗壳偏移变形小于1 mm。

5 混凝土与灌浆施工

5.1 混凝土浇筑准备

混凝土浇筑前应进行详细的联合验收,验收内容包括预埋件数量、位置的准确性、仓面清理情况、冷却水管通水检查、变形监测点、灌浆系统逐个检查、施工通道等。

5.2 混凝土布料、平仓与振捣

根据项目中的设备配置情况,第 1~2 层蜗壳二期混凝土浇筑采用平铺法,浇筑振捣坯层的厚度为 30 cm。根据机电设计图纸要求,需要严格控制新鲜混凝土厚度,其液态混凝土与蜗壳接触后仓内的厚度不大于 60 cm,相应的混凝土入仓上升速度不大于 0.3 m/h,混凝土浇筑时需严格控制其初凝时间;蜗壳二期混凝土首层浇筑时,按分块独立对称方式浇筑;待新鲜混凝土接触蜗壳外包钢筋后即更换自密实混凝土浇筑;待自密实混凝土接触蜗壳底部后启动蜗壳阴角自密实混凝土浇筑。蜗壳首层二期混凝土浇筑关键技术^[4]在其他论文中已有详细描述,在此不再赘述。

在蜗壳二期混凝土第 3~5 层浇筑时其不受浇筑速度影响,但需保证下一层混凝土覆盖前上一层混凝土不得发生大面积初凝。浇筑第 3 层时,该层同时含有 C25 和 C40 两种标号的混凝土,不单独分仓浇筑 C40 混凝土;施工时,首先采用 C40 混凝土对该区域进行浇筑,待 C40 混凝土超出图纸所示区域后立即覆盖 C25 混凝土。

混凝土初凝前应进行充分振捣,直到混凝土不再明显下沉、大气泡也不再冒出、开始泛浆为止。尽量避免振捣器碰撞蜗壳、冷却水管等埋件。混凝土浇筑严格按照收仓线收仓,混凝土浇筑层收仓初凝后,对施工缝面采用高压水冲毛。

5.3 养护及通水冷却

混凝土浇筑结束后 6~18 h 开始养护。开仓浇筑混凝土一旦覆盖冷却水管应立即通冷却水或系统水以降低混凝土内部的温度。

根据温度控制计算结果:该工程在 4~10 月高温季节浇筑施工时,采用 10~12℃ 的制冷水通水冷却,控制通水流量为 17~25 L/min;当采用 14~16℃ 的河水冷却时,将通水流量控制在 20~25 L/min。其余时间段采用河水通水冷却,将通水流量控制在 15~20 L/min。混凝土内部最高温度出现前,将通水流量控制在 15~25 L/min;最高温度出现后,将通水流量控制在 12~17 L/min^[5]。

该工程共抽检蜗壳二期混凝土入仓温度 24 个测点,平均入仓温度为 16.8℃,合格率为 100%。检测浇筑温度 29 次,平均浇筑温度为

18.1℃,较入仓温度上升 1.3℃。共计安装了 31 组电偶线用以监测混凝土的内部温度,其中 3 组未检测到数据,剩余 28 组检测到的平均混凝土内部最高温度为 41.7℃。混凝土内部的最高温度为 43.2℃,最低温度为 39.7℃。混凝土内部的最高温度均控制在设计要求的最大温度附近。

5.4 灌浆

对于蜗壳钢衬脱空面积超过 0.25 m² 的部位需要进行补充灌浆,其灌浆压力不超过 0.2 MPa^[6]。易出现脱空的部位主要为座环、基础环下部和蜗壳底部 120° 范围。灌浆施工方法如下:

(1) 灌浆材料和设备:灌浆用水泥采用普通硅酸盐水泥,标号为 42.5。灌浆设备采用 3SNS 型灌浆泵,工程施工全过程采用全自动记录仪记录浆液灌入数据,管道畅通性检查亦同步记录以作为后期浆液灌入量的依据。

(2) 锤击检查:第 2 层蜗壳二期混凝土浇筑完成后、灌浆前采用锤击检查的方法以确定蜗壳及座环底部的脱空范围。对于蜗壳和座环内侧的钢材用油漆做脱空范围标记,并辅助测量仪器绘制脱空范围图,用于灌后复查。

(3) 吹缝:采用风水联合冲洗。首先采用水冲洗灌浆管路、缝隙,其顺序由高到低,同步检查灌浆通道是否通畅;再采用高压风吹出灌浆管路和缝隙内的污物、积水,直至没有杂物排出。

(4) 浆液及浆液变换:灌浆采用纯水泥浆液灌注,浆液水灰比采用 0.8:1 和 0.5:1 两个比较,以 0.8:1 开灌,尽量多灌 0.5:1 的浓浆。

(5) 灌浆:采用由低到高的顺序对座环和蜗壳进行灌浆;当排出的浆液浓度与进浆保持一致时,可以基本确定已完成钢衬空隙灌浆,持续灌注 5 min 后结束灌浆。

该工程单台发电机组的最大水泥灌入量为 6.86 t,最小水泥灌入量为 1.06 t;单台机组的最大平均单耗为 15.3 kg/m²,单台机组的最小平均单耗为 2.4 kg/m²。对比其他同类型项目,该工程蜗壳二期混凝土和蜗壳钢衬之间的阴角较小,水泥灌入量少,蜗壳底部二期混凝土浇筑质量较好,蜗壳阴角填充率数据位于行业前列。

水泥灌浆结束后进行二次脱空检查,如蜗壳与混凝土接触面空腔仍然较大,可以采用磁力

