

# 海外水电站厂房蜗壳快速施工方法探讨

谭 龙 郑亚飞 王成志

中国水利水电第三工程局有限公司 陕西 西安 710016

**摘要：**快速施工技术在海外水电站厂房建设中的应用日益广泛，尤其在复杂地质和气候条件下，高效的施工方案对于项目按期完成具有决定性影响。对于海外水电站厂房而言，蜗壳施工处于关键线路，施工过程中面临的技术挑战主要包括模板、钢筋与埋件的精确安装，变形监测系统的有效建立，以及混凝土与灌浆施工的质量控制。通过对这些关键环节的深入研究和优化，不仅能够显著提升施工效率，还能确保工程的安全与质量。本论文旨在探讨这些重难点问题的解决方案，并提出一套适用于海外水电站厂房蜗壳快速施工的方法，以期未来的水电工程提供有益的借鉴。

**关键词：**海外；水电站厂房；快速施工方法；技术探讨

## 1 引言

水电站厂房的建设是水电工程的核心部分，其施工进度直接影响整个项目的成败。在全球范围内，越来越多的水电站项目选择在海外实施，这就要求施工团队不仅要应对复杂的地质和气候条件，还需克服文化差异和管理挑战。如何在保证质量和安全的前提下，缩短建设周期，提高施工效率，成为亟待解决的问题。水电站厂房蜗壳的快速施工不仅需要先进的技术和科学的管理，还需因地制宜，灵活应对各种突发情况。本论文通过对海外水电站厂房蜗壳施工项目的详细分析，重点探讨模板、钢筋与埋件施工技术，变形监测施工技术，以及混凝土与灌浆施工技术的优化方法，旨在为海外水电站的建设提供切实可行的解决方案。

## 2 施工项目概述

本项目位于几内亚境内孔库雷河中游，坝址距几内亚首都135km，为I等大(1)型工程。项目混凝土总量365万方，其中碾压混凝土约300万方，坝顶高程EL.215.5，最大坝高120m，坝长1164m，正常蓄水位EL.210，对应库容63.25亿 $m^3$ 。装备4台112.5MW立轴混流式水轮发电机组，总装机450MW。



图1 水电站全景

碾压混凝土重力坝自左至右分别是：左岸挡水坝段（18个坝段）长423.45m；发电引水坝段（5个坝段）长97m；导流底孔坝段（4个坝段）长60m；泄洪底孔坝段（1个坝段）长25m；溢流坝段（8个坝段）长173.55m和右岸挡水坝段（16个坝段）长385m<sup>[1]</sup>。

## 3 重难点问题分析与施工规划

### 3.1 重难点问题分析

(1) 在这个蜗壳二期的极为重要的混凝土浇筑环节中，作为水电站施工过程中不可或缺的一部分，其复杂而又错综的结构形式带来了相当巨大的施工难度。土建作业和机电安装之间频繁且明显的交叉干扰，使得协调这两者之间的交叉作业成为了确保整个水电站施工工期能否顺利如期完成的重要关键点。

(2) 在厚重坚实的蜗壳二期混凝土内部，包含了数量庞大、种类多样预埋管道和监测埋件，防止这些管道和埋件在漫长且细致入微的施工过程中出现错埋或者漏埋的问题已经成为一个巨大难题和严峻挑战。

(3) 座环支墩与密集安排布置在一处蜗壳支墩，而其底部钢衬与一期已经浇筑好的混凝土表面之间仅留下狭小间隙（最狭窄之处只有0.95米），导致仓号准备工作的空间受到严重限制，同时也使得钢筋安装操作变得极为困难复杂。

(4) 蜗壳阴角以及底部事先嵌入了用于补充灌浆的小心保护着管路，这些管路不仅需要在进行混凝土浇筑过程中特别周到呵护，而且还要在较漫长而持续不断的施工期间内进行维持护理，以确保灌浆质量达到严格标准要求。

(5) 蜗壳阴角及其底部拥有异常复杂精巧结构，并且空间非常狭小拥挤，其中填满了密集排列钢筋，以及数量众多并种类繁多预埋件。控制蜗壳钢衬底部脱空范

围已然成为一个主要难点,也是质量控制重点,因为如果发生钢衬底部脱空情况,不仅会影响整体稳定性,还可能引发渗漏等一系列问题<sup>[2]</sup>。

(6)为防止蜗壳在混凝土浇筑过程中出现抬动和位移,施工团队需制定详细的预防措施,并在浇筑过程中进行严格的控制和监测。

### 3.2 施工规划

(1)通道布置方面,进场道路及施工通道的设计需根据具体项目的地理条件和施工需求进行精心规划。通常情况下,这些通道通过厂外交通进入安装间,再延伸至蜗壳施工区域。

(2)风、水、电的布置是施工过程中不可或缺的重要环节。通风系统需确保作业面空气流通,防止有害气体积聚;供水系统则需满足施工用水的需求,同时确保废水的合理排放;供电系统需确保稳定可靠的电力供

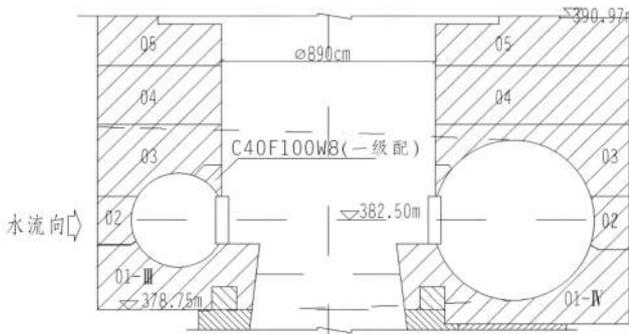


图2 二期混凝土施工分层、分块情况

## 4 水电站厂房快速施工方法

### 4.1 模板、钢筋与埋件的施工技术

(1)模板施工:考虑到那些繁复又特殊的施工缝面要求,木模板被广泛地、大量地应用于适应蜗壳纵向钢筋自由穿过施工缝的需求<sup>[5]</sup>。

(2)钢筋安装:在蜗壳底部120°范围以及阴角处采用4米段长短形状,而腰部则使用6米段长度,顶部更是延用了12米长段;垂直水流方向上,在腰线位置对钢筋进行巧妙错搭接处理。

(3)预埋件:在蜗壳二期混凝土内部,包括冷却水管、与底部接触灌浆相关联的一系列管路、一期分缝面灌浆埋管,还有弹性垫层及监测仪器等等,都需毫不含糊地按照设计严谨、细致地安装<sup>[6]</sup>。

①冷却水管:该工程选用直径32毫米和壁厚2毫米HDPE材料制成,并根据详细计算确定间排距和层间距,以保证混凝土浇筑过程中温度均匀,不至于产生裂缝。

②灌浆管路:尤其针对蜗壳阴角和底部120°范围所

应,以支持各种机械设备的正常运行<sup>[3]</sup>。

(3)排污方式在蜗壳二期混凝土施工期间尤为关键。施工过程中产生的污水需通过吊物孔排放至廊道,再汇集到集水井中进行沉淀处理,最后通过集中抽排系统排出。

(4)施工照明对于夜间和低光照条件下的作业至关重要。在上下游墙的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)施工分层与分块是保证蜗壳二期混凝土浇筑质量的关键措施。根据蜗壳和座环的结构特点以及混凝土施工规范要求,结合工程所配置的人仓手段,蜗壳二期混凝土在高度方向上共分为5个浇筑层<sup>[4]</sup>。其中,第1层分为4个浇筑块,第2至第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2,二期混凝土施工首层分块情况见图3。

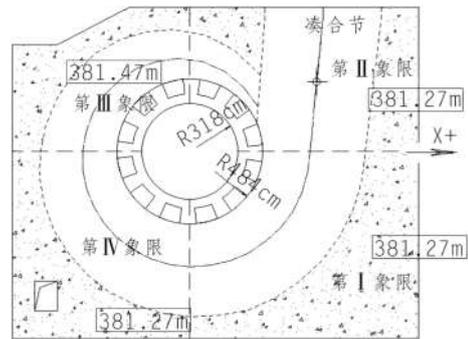


图3 二期混凝土施工首层分块情况

需灌浆部分,本工程采用塑料拔管成孔结合预埋灌浆系统,同时引入一套出浆盒灌浆系统。其中拔管道布置详见图4,而出浆盒平面布局参照图5。

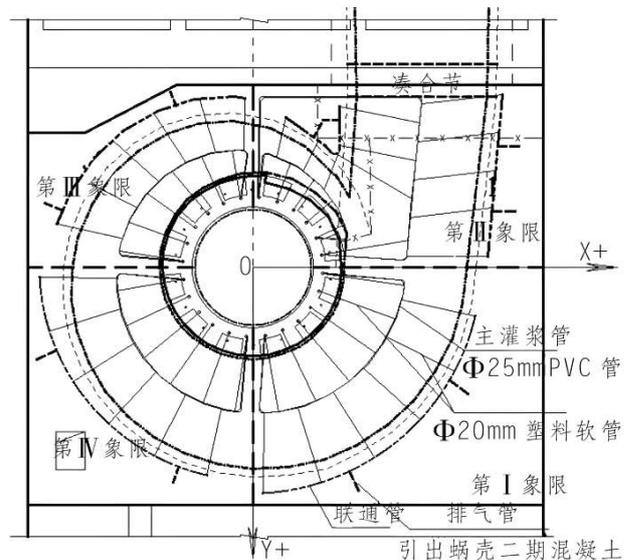


图4 拔管道布置

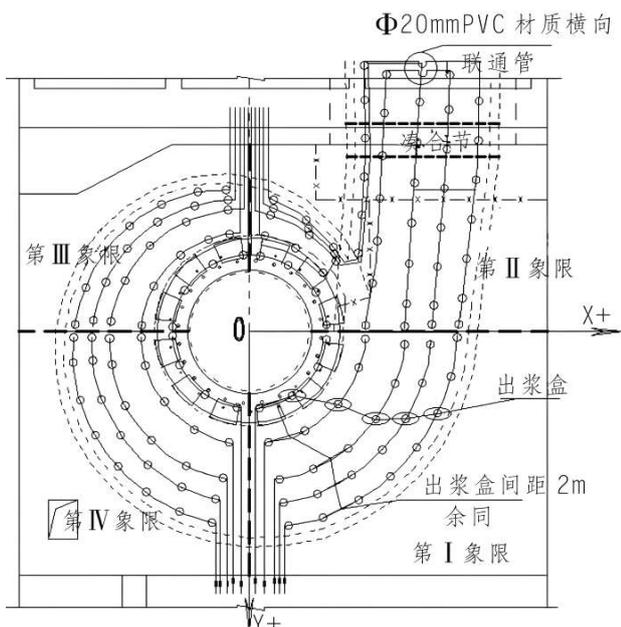


图5 出浆盒平面布局参照图

#### 4.2 变形监测施工技术

(1) 变形监测在水电站厂房快速施工中至关重要，能够及时发现和处理结构变形问题，保证工程质量和安全。监测技术需覆盖从施工初期到工程竣工的全过程，通过高精度的监测仪器和科学的监测方法，确保数据的准确性和可靠性<sup>[7]</sup>。

(2) 在施工过程中，变形监测点的布设是基础。监测点应选择在关键结构部位，如蜗壳、座环及支墩等，确保能够全面反映结构的变形情况。同时，监测点的数量和位置需根据工程的具体特点和设计要求进行优化，以便提供全面的数据支持。监测点的布设需遵循公式(1)：

$$N = \frac{A}{d^2} \quad (1)$$

其中，N为监测点数量，A为结构面积，d为监测点的最大间距。该公式确保了在有限的工程区域内，监测点能够均匀分布，提供足够的监测数据<sup>[8]</sup>。

(3) 变形监测数据的采集与分析是技术的核心。高精度的全站仪和自动化监测系统被广泛应用于变形监测中，能够实时采集和传输监测数据。数据采集频率需根据施工进度和结构变形特点进行调整，通常在浇筑期间增加监测频率，以便及时发现潜在问题。监测数据的分析需采用科学的方法，包括时间序列分析和空间分析，以全面评估结构的变形情况。时间序列分析如公式(2)：

$$S(t) = \sum_{i=1}^n a_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (2)$$

其中，S(t)为监测点的位移， $a_i$ 为振幅， $\omega_i$ 为角频率， $\varphi_i$ 为相位角，n为总的谐波数。该公式能够有效分解

位移数据，提取出不同频率的变形成分，为变形原因的分析提供依据。

#### 4.3 混凝土与灌浆施工技术

##### 4.3.1 混凝土浇筑准备

混凝土浇筑准备在水电站厂房快速施工中扮演着关键角色，确保施工质量和效率。准备工作涉及材料检验与储备、设备调试与维护、施工场地清理与布置等多方面内容。材料储备量的计算需精确，公式为(3)：

$$Q = V \times \rho \times R \quad (3)$$

其中，Q为材料储备量，V为浇筑体积， $\rho$ 为材料密度，R为储备系数，通常取1.1~1.2。这确保了材料供应充足，避免因短缺而影响施工进度。设备调试方面，混凝土搅拌机、输送泵和振捣器需在施工前进行全面检查和试运行，确保其性能良好。

##### 4.3.2 养护及通水冷却

在进行浇筑第3至第5层蜗壳二期混凝土的时候，在开始下一层混凝土的浇筑之前，必须要注意避免大面积出现初始地层<sup>[9]</sup>。在第三层完成之后，这些将会包括C25和C40等级的混凝土。在布置过程中，不单独对仓内进行C40混凝土的浇筑，而是优先在关键区域进行C40混凝土的浇筑。当实际测量发现C40等级混凝土的浇注面积超出图纸所示配比时，需要迅速放置并填充C25级别，以确保整个过程中的连续性和均匀性。尤其是在明显看到混凝土停止下沉，没有大气泡冒出，并且开始有水分浮现的时候，应该充分使用振动器对其振动，但要谨慎操作以避免与蜗壳、冷却水管及任何其他预埋件发生碰撞，从而防止这些重要部位受到损伤。整体来说，每次具体的浇筑工作都严格按照事先收集好的方案执行。等到表面收集层初步固化后，还需要用高压水冲洗施工缝表面，以此尽可能增强各个不同层之间粘结强度，从而减少通过施工缝渗漏风险。

##### 4.3.3 灌浆

其中一个关键环节是注浆材料和设备的选择，注浆设备一般选用普通波特兰水泥、42.5标号、3SNS注浆泵。利用自动记录仪对整个施工过程进行记录，获取灌浆浆数据，并对管道进行平整度检查，确保数据的准确性和工作的连续性。第二层蜗壳二期砼浇筑完成后，在灌浆前，采用锤检法确定蜗壳底部及座圈空腔范围<sup>[10]</sup>。实际运行时，对蜗壳和阀座环内的钢材进行油漆标记，并借助测量仪器绘制空化范围图，以便以后灌水时复查。采用风水联合冲洗法对灌浆管道和裂缝中的污垢和水分进行了清除。为了做到这一点，首先用水冲洗，然后从高到低的顺序检查灌浆通道的平整度。然后，用高压空

气彻底吹掉管道和缝隙中的污垢和水,确保没有任何残留。采用纯水泥浆进行灌浆,水灰比分别为0.8:1和0.5:1。先进入比例为0.8:1的稀浆,然后逐渐增加到比例为0.5:1的浓浆。填充由低到高的级数组成,其中阀座环和蜗壳的体积都是逐层注入的。当排浆浓度与注入浆浓度相匹配时,即完成钢衬缝隙的灌浆,并在5分钟后进行充分灌注。

#### 结语

综上所述,水电站厂房蜗壳快速施工技术的优化和应用不仅能够显著提升施工效率,还能有效保障工程的安全与质量。通过对模板、钢筋与埋件施工技术的创新,变形监测系统的完善,以及混凝土与灌浆施工工艺的改进,项目团队能够在复杂的地质和气候条件下,高效完成厂房蜗壳建设。这不仅为水电站项目按时投产提供了坚实的基础,还为未来类似工程的实施积累了宝贵的经验。希望本论文的研究成果能够为海外水电站建设领域的技术进步和项目管理提供新的思路和方法。

#### 参考文献

[1]王维山.水电站施工技术和运行管理的方法[J].电工技术,2024(S01):444-446.

[2]周松林.水电站定子下线施工工序优化探讨[J].水电站机电技术,2022,45(9):3-4.

[3]范志鹏.对水电站施工中的交叉作业安全风险的探讨[J].名城绘,2022(21):1-2.

[4]王联国,李志伟,幸丽.大型水电站工程土建施工管理的实践探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(34):205-207.

[5]钟小华,杜兴.春厂坝抽水蓄能电站机组安装方法探讨[J].水电站机电技术,2023,46(1):16-18.

[6]余涛.基于智能算法的水电站电气设备故障诊断与预测[J].工程建设与设计,2023,(19):59-61.

[7]韩云.基于大数据加速分析的水电站电气设备运行监测技术[J].电器工业,2023,(07):54-57.

[8]妮鹿菲尔·毛吾田.水电站电气设备运行维护与故障检修研究[J].光源与照明,2023,(01):156-158.

[9]马克俭.水电站电气设备运行监测中的预防性试验分析[J].机电信息,2013,(33):64-65.

[10]徐青彪,郭文波,张龙生,等.主动干预消弧技术在水电站施工供电中的应用[J].人民黄河,2023,45(S02):166-167.