

长廊式调压室对称式滑模施工技术

——以硬梁包水电站为例

陆奕初, 蔡文豪

西京学院土木工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年5月22日; 录用日期: 2026年6月14日; 发布日期: 2026年6月25日

摘要

以硬梁包水电站长廊式调压室混凝土衬砌施工为背景, 针对其断面大、边墙高、混凝土量大以及地下洞室作业空间受限等问题, 选用对称式液压滑模施工技术开展边墙及闸墩混凝土施工。本文阐述了该技术的施工原理、滑模系统组成、安装调试、钢筋与爬杆协同施工、混凝土浇筑和滑升控制以及质量控制措施。工程应用表明, 该技术能够减少支架搭设、模板支拆和施工缝数量, 提高调压室混凝土衬砌施工效率、外观质量以及结构整体性。

关键词

长廊式调压室, 对称式液压滑模, 混凝土衬砌

Symmetrical Slipform Construction Technology for a Corridor-Type Surge Chamber

—A Case Study of Yingliangbao Hydropower Station

Yichu Lu, Wenhao Cai

School of Civil Engineering, Xijing University, Xi'an Shaanxi

Received: May 22, 2026; accepted: June 14, 2026; published: June 25, 2026

Abstract

Taking the concrete lining construction of the corridor-type surge chamber at Yingliangbao Hydropower Station as the engineering background, this study adopts symmetrical hydraulic slipform

construction technology for the concrete construction of the sidewalls and gate piers in response to challenges such as large cross-sectional dimensions, high sidewalls, large concrete volume, and limited working space in the underground cavern. This paper describes the construction principle of this technology, the composition of the slipform system, installation and commissioning, coordinated construction of reinforcement and climbing rods, concrete placement and slipform lifting control, as well as quality control measures. Engineering application shows that this technology can reduce scaffold erection, formwork assembly and dismantling, and the number of construction joints, while improving the construction efficiency, surface quality, and structural integrity of the concrete lining in the surge chamber.

Keywords

Corridor-Type Surge Chamber, Symmetrical Hydraulic Slipform, Concrete Lining

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着水电工程、地下储能工程及大型输水工程的持续建设, 地下厂房、调压室、调压井、引水隧洞及地下廊道等大尺度地下水工结构的建设规模不断扩大。与常规地面混凝土结构相比, 大型地下廊道结构通常具有空间狭长、断面尺度大、边墙高度高、结构转换复杂、混凝土浇筑量大以及多工序交叉作业频繁等特点[1][2]。其中, 长廊式调压室作为引水发电系统中的重要建筑物, 兼具水力调节、压力平衡和运行安全保障功能, 其混凝土衬砌质量直接关系到结构整体性、耐久性和后期运行稳定性[3]。因此, 如何在受限地下空间内实现高边墙、大体积混凝土的高效、连续和高质量施工, 已成为大型地下水工建筑物施工中的关键问题。

目前, 大型地下洞室及廊道结构混凝土施工主要采用满堂支架支撑、组合钢模板、台车模板、液压爬模、滑模及其组合工艺等方法[4]-[6]。其中, 传统满堂支架与人工支模方法适用范围广、施工组织灵活, 但在高边墙、大断面和长距离廊道结构中, 往往存在支架搭设量大、模板周转频繁、施工周期长、作业人员投入多以及洞内空间占用严重等问题。台车模板和组合钢模板在隧洞、竖井及规则断面结构中应用较多, 具有一定机械化优势, 但当结构存在闸墩、门槽、岩柱隔墙、变断面或局部异形部位时, 其适应性和连续施工能力会受到限制。液压爬模和滑模技术能够减少模板反复拆装, 提高竖向结构连续施工效率, 已在筒仓、烟囱、桥塔、水塔以及部分水工竖井结构中得到应用[7]。然而, 既有研究和工程实践多集中于规则竖向结构或单侧墙体施工, 对于超大型长廊式地下调压室这类“长距离、高边墙、大断面、多构件交叉”的复杂地下廊道结构, 滑模系统整体稳定性、双侧同步滑升、混凝土性能与滑升速度匹配、门槽及预埋件协同施工等问题仍缺乏系统总结。

从现有研究来看, 大型地下廊道结构混凝土施工仍存在以下技术瓶颈: 一是地下空间受限条件下, 支架、模板、钢筋、泵管和运输设备集中布置, 易造成施工组织效率降低; 二是高边墙混凝土分层支模浇筑时施工缝数量较多, 不利于衬砌结构整体性和外观质量控制; 三是大断面滑模施工过程中, 模板整体刚度、千斤顶同步性、爬杆稳定性及滑升偏差控制难度较大; 四是混凝土坍落度、初凝时间、分层厚度和滑升速度之间缺乏统一协调时, 容易出现粘模、冷缝、表面拉裂、脱模强度不足或模板偏移等质量问题; 五是对于门槽、止水带、预埋件等复杂细部结构, 如何与滑模连续施工过程协同匹配, 仍需要结合工程案例进一步总结。由此可见, 当前研究不仅需要关注滑模技术本身的可行性, 还应进一步明确其

在大型地下廊道结构中的施工组织条件、关键控制参数和质量控制路径。

硬梁包水电站调压室为地下埋藏阻抗式调压室, 采用“一洞一室两机”及“单管单机供水”的布置格局。调压室平面呈长条形布置, 并与主厂房、主变室纵轴线平行。工程共设置 1#、2#两个调压室, 每个调压室长 114.4 m、宽 25.4 m, 中间设 20 m 岩柱隔墙; 调压室设计开挖总长 248.80 m, 边墙混凝土衬砌高度约 60 m 以上, 属于典型的大断面、高边墙、超大型地下长廊式水工建筑物。针对调压室结构尺度大、施工高度高、混凝土衬砌工程量以及洞内施工空间受限等问题, 工程在边墙及闸墩混凝土施工中选用了大断面对称式液压滑模施工技术。该技术以整体钢结构滑模系统为核心, 借助液压千斤顶沿支撑杆同步爬升, 带动模板、操作平台和辅助平台整体上升, 从而实现高边墙混凝土连续浇筑和竖向成型。

基于上述背景, 本文以硬梁包水电站长廊式调压室为工程依托, 围绕对称式液压滑模施工技术展开研究, 重点总结其技术原理、滑模系统组成、安装调试、钢筋与爬杆协同施工、混凝土浇筑与滑升控制、滑升观测及外观质量控制措施。本文的目的在于: 一方面, 明确对称式滑模技术在大型地下长廊式调压室高边墙混凝土施工中的适用条件和关键控制要点; 另一方面, 从工程实践中提炼可供类似地下廊道结构参考的施工组织和质量控制经验, 为后续大型地下水工建筑物混凝土衬砌施工提供技术借鉴。

2. 对称式滑模施工技术原理

对称式滑模施工工艺流程如图 1 所示。

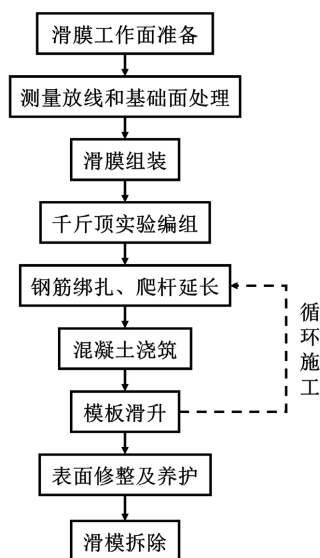


Figure 1. Flow chart of the symmetrical slipform construction process

图 1. 对称式滑模施工工艺流程图

2.1. 滑模施工基本原理

滑模施工的本质是将传统“支模 - 浇筑 - 等强 - 拆模”的间歇式施工过程, 转化为“连续浇筑 - 适时脱模 - 同步滑升”的连续成型过程[8]。其关键并不只是模板能够上升, 而在于混凝土早期强度增长、模板滑升速度和结构成型质量之间形成稳定匹配关系[9]。若混凝土脱模时强度不足, 易出现坍塌、拉裂和边角变形; 若混凝土凝结过快, 则会增大模板滑升阻力, 诱发粘模、冷缝或表面撕裂。因此, 滑模施工的控制核心是使混凝土在模板内保持足够可施工性, 在脱模瞬间又具备基本自稳能力[10]。

对称式滑模施工如图 2 所示。

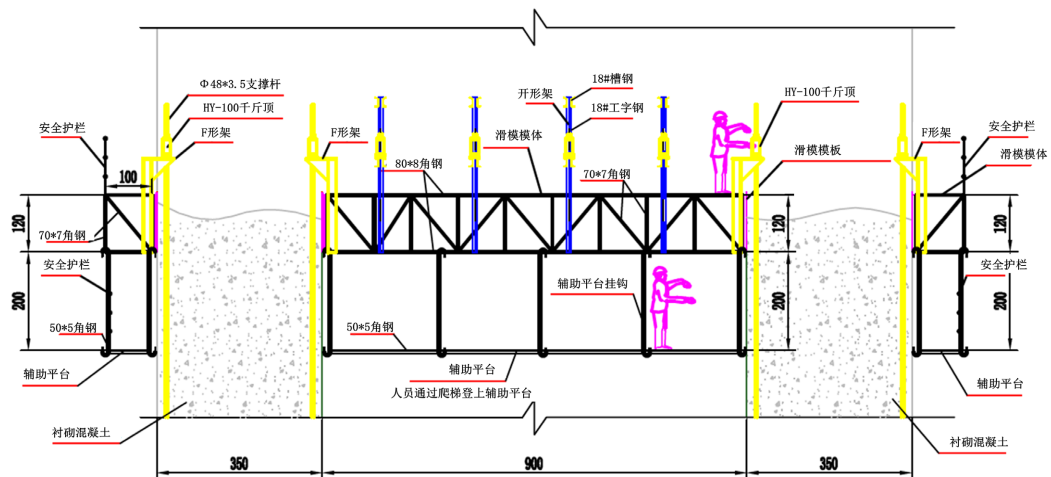


Figure 2. Schematic diagram of symmetrical slipform construction
图 2. 对称式滑模施工示意图

对称式滑模系统主要由模板、操作盘、辅助盘、提升架、液压千斤顶、支撑杆和液压控制系统组成。施工过程中, 滑模系统自重、施工荷载和混凝土侧压力通过提升架及千斤顶传递至支撑杆, 再由支撑杆传递至已浇筑混凝土结构。支撑杆既是千斤顶爬升轨道, 也是滑模体系竖向荷载传递构件。因此, 支撑杆垂直度、接长质量和自由长度控制直接影响滑模体系稳定性。对于高边墙、大断面结构而言, 若仅关注模板提升而忽视支撑体系受力连续性, 容易造成局部不同步、模板偏位或爬杆失稳。

2.2. 对称式滑模技术特点

与单侧滑模或常规液压滑模相比, 对称式滑模更强调结构两侧或相邻施工面的协同受力与同步提升。长廊式调压室具有空间狭长、边墙高、闸墩及岩柱隔墙布置复杂等特点, 若采用单侧支模或分段支模, 容易造成施工组织割裂和施工缝增多。对称式滑模通过整体钢桁架模体、提升架、千斤顶和爬杆系统形成相对稳定的整体施工单元, 可在一定程度上降低传统支架体系对洞内空间的占用, 并提高混凝土浇筑连续性[11]。

该技术的优势主要体现在三个方面。第一, 滑模模体可提前加工和组装, 减少主体浇筑阶段模板安装时间; 第二, 滑模施工取消了大量反复支模、拆模和满堂支架搭拆工序, 有利于提高边墙混凝土施工效率; 第三, 连续浇筑和软脱模工艺可减少水平施工缝数量, 提高衬砌结构整体性[12]。然而, 该技术并非简单替代传统模板即可取得良好效果, 其实施效果取决于滑模系统刚度、千斤顶同步性、混凝土性能和现场连续供应能力之间的匹配。如果任何一个环节失控, 均可能导致模板偏移、粘模、冷缝或表观缺陷。因此, 对称式滑模更适用于结构高度较大、断面相对稳定、混凝土供应能力可靠且具备连续施工组织条件的地下廊道结构。

2.3. 滑模系统组成

本工程滑模系统由模板系统、操作盘、辅助盘、提升架、液压千斤顶、支撑杆及液压控制系统组成。模板系统决定混凝土几何成型精度和表面质量; 操作盘承担钢筋绑扎、混凝土入仓、振捣、测量观测及设备操作功能; 辅助盘服务于脱模后表面修整和养护; 提升架是荷载转换构件; 液压千斤顶及控制系统决定滑升同步性; 支撑杆则承担导向与受力传递双重功能。

从功能关系看, 滑模系统质量控制不能仅停留在构件加工精度层面, 而应关注各组成部分之间的协同。模板刚度不足会引起截面变形和表面错台; 千斤顶行程差异会放大模板局部高差; 爬杆偏斜会削弱滑升导向能力; 操作平台布置不合理会影响钢筋绑扎和混凝土入仓效率。为满足高边墙、大断面结构施

工要求, 本工程滑模模体采用钢桁架拼接形成整体钢结构, 其目的不仅是提高模体承载力, 更重要的是保证滑升过程中模板体系具有足够整体刚度和可重复使用能力。

3. 对称式滑模施工工艺

3.1. 滑模安装与系统调试

滑模安装质量直接决定后续滑升过程的稳定性。对于高边墙调压室结构而言, 滑模安装偏差不会局限于初始阶段, 而会在持续滑升过程中被不断放大。因此, 滑模安装的关键不只是完成构件拼装, 而是建立可靠的初始几何基准和受力状态。施工时, 应利用桥机、汽车吊或电动葫芦将滑模构件吊运至施工部位, 并依据测量控制线进行组装定位。对于底板不平或坡面部位, 应通过临时托架或局部找平保证模体初始水平状态, 避免启滑阶段因受力不均造成模板偏斜[13]。

模体组装完成后, 应重点复核模板平面尺寸、截面尺寸、模板锥度、接缝严密性、提升架垂直度和操作平台稳定性。模板锥度是影响滑升阻力和成型尺寸的重要参数, 锥度不足容易增加模板与混凝土之间的摩阻力, 诱发粘模; 锥度过大则可能影响结构尺寸精度。因此, 模板安装验收应同时关注“能否滑升”和“成型精度是否可控”两个目标。滑模组装现场如图3所示。



Figure 3. Site photo of slipform assembly
图3. 滑模组装现场图

液压系统调试的核心是控制千斤顶同步性。千斤顶行程差异会直接导致滑模平台局部高差, 进而引起模板扭转和爬杆附加受力。施工前应进行耐压、空载爬升和负荷爬升试验, 并按行程相近原则进行编组。正式启滑前应进行3~5个行程试滑升, 重点检查油路密封性、千斤顶同步性、支撑杆稳定性和模板运行阻力。只有当滑模系统能够在小行程试升中保持整体平稳, 方可进入正式混凝土浇筑阶段。千斤顶试验编组如图4所示。



Figure 4. Jack grouping and testing
图4. 千斤顶试验编组

3.2. 钢筋、爬杆与预埋件协同施工

钢筋、爬杆和预埋件施工是影响滑模连续性的关键交叉工序。传统分层支模条件下, 钢筋和预埋件安装可在相对静态环境中完成; 而滑模施工中, 模板持续上升, 钢筋绑扎、爬杆接长、预埋件固定和混凝土浇筑必须形成动态配合关系。若钢筋安装滞后, 会制约滑升速度; 若钢筋或预埋件位置控制不准, 则会影响结构成型质量和后续金结安装精度。钢筋绑扎、爬杆延长作业如图 5 所示。

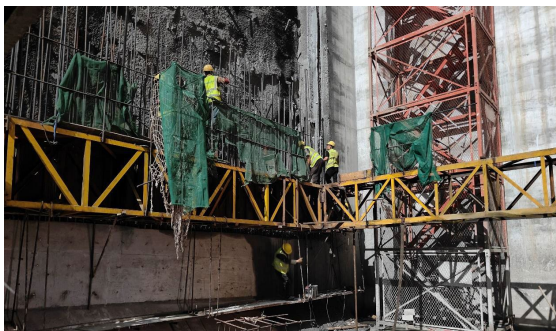


Figure 5. Reinforcement tying and climbing rod extension
图 5. 钢筋绑扎、爬杆延长作业

爬杆是滑模体系的导向和承载构件, 其控制重点包括底端固定、垂直度、接头平顺性和自由长度。爬杆接头若不顺直, 千斤顶通过时容易出现卡阻; 接头焊接不足, 则会削弱竖向受力连续性; 自由长度过大, 则可能产生局部失稳。因此, 爬杆接长不能仅作为一般连接工序处理, 而应作为滑模稳定控制的重要环节。当千斤顶距爬杆顶端小于规定距离时, 应及时接长爬杆, 接头焊接后应打磨平顺, 并在千斤顶通过后及时补焊或帮焊加固。

预埋件、止水带、门槽构件等细部结构应随滑模施工同步安装。安装前, 技术人员应根据设计高程和测量控制线提前标识预埋件位置, 施工人员在滑模上升过程中及时进行安装、固定以及复核。对于闸门门槽等复杂部位, 可采用直埋云车和对称式液压滑模协同施工。门槽云车布置在门槽内, 不占用滑模空间, 除模板搭接外, 其结构和运行不与滑模直接联系, 通过协同性上升实现对滑模施工的配合。这种施工方式能够减少门槽二期施工干扰, 提高门槽和边墙混凝土同步成型质量。

3.3. 混凝土浇筑与模板滑升控制

滑模混凝土应具有良好的和易性、可泵性、抗离析性和适宜凝结时间。坍落度过小会影响泵送和振捣密实, 坍落度过大则易产生离析、泌水和脱模后变形; 初凝时间过短会增大滑升阻力, 初凝时间过长则会造成脱模强度不足, 影响混凝土表面成型质量。因此, 泵送混凝土坍落度宜控制在 16~18 cm, 初凝时间宜控制在 8~10 h。混凝土入仓应分层、均匀、对称进行, 正常浇筑时每层厚度宜控制在 30 cm 左右, 严禁局部集中下料或一次堆料过厚[14]。对称式滑模体系两侧边墙或相邻施工面应尽量同步下料, 防止局部混凝土侧压力过大导致模板受力不均、偏移或变形。振捣采用插入式振捣器, 振捣点应均匀布置, 插入深度以保证上下层混凝土良好结合为宜, 振捣过程中应避免直接碰撞模板、爬杆、钢筋和预埋件, 模板滑升时应停止振[15]。

初滑阶段是判断混凝土性能与滑升时机是否匹配的重要环节。首次浇筑后, 应通过小行程试滑观察脱模混凝土状态。若混凝土表面平整、不坍落、不粘模、不拉裂, 说明脱模强度和滑升时机基本适宜; 若出现流淌、掉角、表面拉裂或粘模, 应及时调整等待时间、混凝土性能或滑升速度。进入正常滑升后, 应根据现场温度、供料能力、钢筋绑扎进度和脱模状态动态调整滑升节奏。日均滑升高度控制在 2.5~3.0 m

时, 能够在施工效率和成型质量之间取得较好平衡。

停滑处理是滑模施工中容易被忽视的风险点。长时间停滑会破坏混凝土连续成型状态, 并增加粘模和施工缝风险。若因送料、设备或停电原因必须停滑, 应根据停滑时间采取不同措施。短时间停滑时, 应保持模板界面清洁, 必要时轻微提升或活动模板; 较长时间停滑时, 应按施工缝要求处理仓面, 重新启滑前复核混凝土表面状态、模板粘结情况和液压系统运行状态。

3.4. 滑升观测、表面修整与停滑拆除

滑升观测的作用不只是记录施工过程, 而是为偏差识别和纠偏决策提供依据。对称式滑模体系在连续上升过程中, 模板中心线、垂直度、水平度、高程、千斤顶行程和爬杆受力状态均可能发生变化。若观测滞后, 局部偏差会在持续滑升中累积放大。因此, 应将滑升观测作为过程控制手段, 根据初滑阶段、正常滑升阶段和结构变化部位设置不同观测频率。

当出现模板偏移、局部高差或千斤顶不同步时, 应优先分析偏差来源, 而不是单纯进行机械纠偏。常见原因包括局部下料不均、千斤顶行程差异、爬杆偏斜、模板摩阻力不均和混凝土凝结状态差异。纠偏宜采用调整局部千斤顶行程、控制混凝土浇筑厚度、改变下料顺序、加强爬杆固定等措施, 并遵循“小幅、多次、渐进”的原则, 避免一次性纠偏过大造成模板变形或混凝土表面损伤。混凝土衬砌表面修整及养护如图 6 所示。

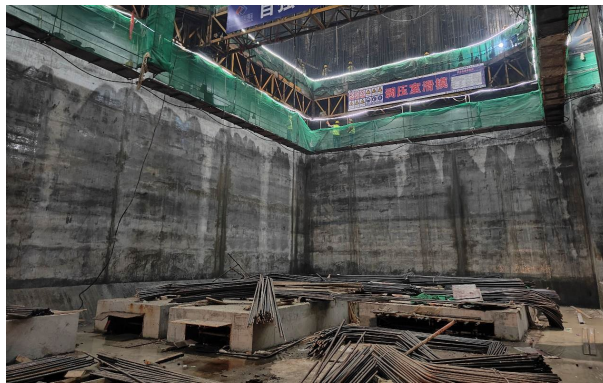


Figure 6. Surface finishing and curing of the concrete lining
图 6. 混凝土衬砌表面修整及养护

脱模后的表面修整和养护直接影响外观质量和早期抗裂性能。滑模施工虽然能够减少施工缝, 但若脱模后修整和养护不及时, 仍可能出现砂眼、麻面、停顿横纹和早期收缩裂缝。因此, 辅助平台不应仅被视为作业通道, 而应作为脱模质量控制平台。混凝土脱模后应及时修整表面缺陷, 并通过洒水养护保持表面湿润, 降低早期收缩风险。滑模达到设计高程后, 应先使模板适当滑空, 防止模板与混凝土长时间粘结。拆除前应确保模体可靠固定, 并按照分段、对称、有序原则拆除液压系统、操作平台和钢结构模体。拆除过程同样应服务于后续周转复用, 避免因粗放拆除造成模体变形, 从而影响下一施工区段安装精度。

4. 质量控制措施

4.1. 滑模系统质量控制

滑模系统质量控制的目标并非单纯保证各构件加工合格, 而是保证系统在连续滑升过程中的整体稳定性和几何控制能力。模板及桁架构件加工前, 应根据结构尺寸、混凝土侧压力、施工荷载和重复使用

要求进行强度、刚度和稳定性验算[16]。对于高边墙结构而言, 模板刚度不足会导致局部鼓胀、错台和线型偏差; 提升架刚度不足会导致千斤顶荷载分配不均; 支撑杆布置不合理则可能削弱滑模体系的导向能力。

模板组装时应重点控制模板尺寸、锥度、垂直度、水平度和节点连接质量。模板锥度与滑升阻力和成型精度直接相关, 是防止粘模和控制截面尺寸的重要参数。液压系统方面, 应通过千斤顶试验编组降低行程差异, 通过油路检查保证压力传递稳定, 通过试滑升验证系统同步性。由此可见, 滑模系统质量控制应从“单构件验收”转向“系统协同验收”, 即同时检查模板、提升架、千斤顶、爬杆和操作平台之间的匹配关系。

4.2. 外观质量与结构整体性控制

长廊式调压室边墙属于大型水工混凝土衬砌结构, 其外观质量和整体性不仅取决于模板质量, 也取决于混凝土性能、浇筑节奏、滑升控制和脱模养护的协同。对称式滑模施工通过连续浇筑和软脱模工艺, 可减少传统分层支模形成的水平施工缝, 有利于提高衬砌结构整体性。但滑模施工并不意味着施工缝风险完全消除, 一旦供料中断、停滑时间过长或滑升节奏失控, 仍可能形成冷缝或表面缺陷[17]。

外观质量控制应围绕缺陷形成机理开展。蜂窝、麻面多与混凝土和易性不足、漏振或模板漏浆有关; 砂眼和气泡与振捣不均、模板表面状态及混凝土泌水有关; 停顿横纹与滑升间隔不均或停滑处理不当有关; 表面拉裂则常与脱模强度不足或滑升时机过早有关。因此, 外观质量控制不能仅依赖脱模后修补, 而应前移到混凝土性能、分层厚度、振捣方式和滑升节奏控制阶段。

结构整体性控制的关键是保证连续浇筑条件。施工组织中应保证混凝土供应能力、泵送能力、钢筋绑扎速度和滑模提升速度相匹配。对于必须设置或不可避免形成的施工缝, 应严格进行凿毛、冲洗、湿润和铺浆处理, 避免形成薄弱界面。总体而言, 对称式滑模质量控制应从“事后修补”转向“过程预防”, 通过滑升参数和混凝土状态的动态匹配减少质量缺陷发生。

5. 结论与展望

本文结合硬梁包水电站长廊式调压室施工实践, 对对称式液压滑模施工技术进行了总结。结果表明, 该技术适用于断面大、边墙高、混凝土浇筑量大以及地下空间受限的调压室混凝土衬砌施工, 能够减少满堂支架搭设和模板反复支拆工作量, 提高混凝土连续浇筑效率。对称式滑模施工的关键在于滑模系统稳定性、千斤顶同步性、爬杆接长质量, 以及混凝土性能和滑升速度之间的匹配。施工中应重点控制模板组装精度、模板锥度、爬杆垂直度、坍塌度、初凝时间、分层厚度以及滑升节奏。通过分层浇筑、对称下料、均匀振捣和适时滑升, 可减少粘模、冷缝、表面拉裂以及模板偏移等问题。后续可从滑模标准化设计、液压同步控制和滑升偏差自动化观测等方面进一步开展优化。

参考文献

- [1] 谢昌亚, 朱龙飞, 白齐健, 等. 抽水蓄能电站引水竖井与调压井结合布置有限元分析[J]. 水电能源科学, 2025, 43(10): 159-163.
- [2] 黄鑫, 李艳玲, 郑园媛. 泸定水电站大型长廊式调压室合理施工通风散烟时间研究[J]. 长江科学院院报, 2013, 30(7): 122-126.
- [3] Liu, X., Yan, P., Chen, M., Luo, S., Lu, A., Lu, W., *et al.* (2021) Optimization Analysis of Excavation Procedure Design of Underground Powerhouses under High in Situ Stress in China. *Applied Sciences*, **11**, Article No. 10252. <https://doi.org/10.3390/app112110252>
- [4] 华天波, 高尚, 廖文潇, 等. 锦屏二级水电站闸门井弹性滑模施工技术[J]. 中国农村水利水电, 2016(10): 128-131+133.

- [5] 陈志权, 许嘉琪. 输水隧洞圆形调压井混凝土衬砌滑模施工技术[J]. 广东土木与建筑, 2025, 32(8): 97-101.
- [6] 王志. 某枢纽地下厂房通风竖井混凝土衬砌滑模施工措施[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(S2): 215-220.
- [7] 张昆, 杨社亚, 张睿, 等. 整体滑模技术在调压井混凝土施工中的应用[J]. 西北水电, 2021(1): 45-49+53.
- [8] Zayed, T., Sharifi, M.R., Baci, S. and Amer, M. (2008) Slip-Form Application to Concrete Structures. *Journal of Construction Engineering and Management*, **134**, 157-168. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2008\)134:3\(157\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2008)134:3(157))
- [9] 刘红岩. 去学水电站调压井滑模设计[J]. 四川水力发电, 2015, 34(S1): 66-67+73.
- [10] 双永安. 大直径竖井混凝土衬砌滑模施工技术[J]. 云南水力发电, 2014, 30(S1): 6-9+15.
- [11] 周伟, 王忠祥, 赵斌, 等. 漫湾水电站尾水调压井井身混凝土滑模施工[J]. 水力发电, 2007(5): 75-77.
- [12] 杨永强, 王达, 史立新, 等. 滑模技术在大兴水利枢纽工程调压井混凝土施工中的应用[J]. 水利水电工程设计, 2019, 38(3): 41-44.
- [13] 康建荣, 朱发银. 液压滑模施工技术在瓦屋山水电站调压井混凝土施工中的应用[J]. 四川水力发电, 2011, 30(3): 64-68+176.
- [14] 詹祥生, 钟富林, 张迎斌. 叶巴滩水电站尾水调压室洞室混凝土衬砌施工分析[J]. 水电站设计, 2025, 41(3): 38-42+85.
- [15] 李奇, 李影, 张晓龙. 滑模技术在调压井混凝土施工中的应用[J]. 水利规划与设计, 2013(1): 40-43.
- [16] 刘凤丽. 白石水库电站竖井衬砌混凝土滑模设计与施工技术[J]. 水利规划与设计, 2017(5): 138-140.
- [17] 魏存兰. 竖井混凝土衬砌滑模设计及施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2009(8): 54-56.