

滑模技术在水利水电施工中的应用

潘曦阳

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610036)

摘 要 滑模技术具有整体成型、施工连续的特点,能有效减少施工缝、提升结构稳定性,在水利水电工程建设中展现出施工速度快、结构整体性强、成本投入低等明显优势。本文从应用意义、技术体系及优化措施三个方面对滑模施工中所涉及的主要问题进行了梳理,重点对滑升速度控制、混凝土配合比匹配及变形监测等关键工艺环节进行了分析,并结合水利水电工程环境复杂的特点,提出了相应的技术优化建议,以期类似工程的施工管理提供有益参考。

关键词 滑模技术; 水利水电; 混凝土施工; 连续浇筑; 变形监测

中图分类号: TV53

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.20.013

0 引言

水利水电工程涉及薄壁或截面规则的混凝土构筑物,传统翻模施工在这类结构中存在施工工序烦琐、施工缝多、施工效率低等问题,难以满足现代水工结构对整体性和耐久性的严格要求。滑模技术的引入,从根本上改变了这类结构的建造逻辑,其可以随混凝土连续浇筑而持续滑升,实现结构一次性整体成型,在提升施工质量的同时大幅压缩工期,成为推动水利水电工程高质量发展的关键施工技术之一。

1 滑模技术在水利水电施工中的应用意义

《水工建筑物滑动模板施工技术规范》是依据国家发展和改革委员会相关计划要求制定的水利行业标准,其制定背景源于对水电工程滑动模板施工经验的系统性总结,旨在将施工过程中涌现的“新技术、新工艺、新材料和新设备”纳入标准化管理轨道。该规范从总则、施工准备、滑动模板设计、滑动模板施工、质量控制到安全技术等九大板块,构建了完整的施工技术体系。

1.1 提升施工效率

水利水电工程中闸墩、调压井、溢洪道边墙等构筑物,一般都存在平面尺寸相对固定、竖向高度大的特点,传统分层支模方式在这些结构上反复拆装模板,不但浪费了大量的机械台班和人工,而且使施工节奏经常受到干扰。滑模技术将模板、操作平台和提升装置合成一个整体滑动系统,使浇筑作业可以在不间断的情况下持续进行,从根本上消除了因换模造成的工序等待时间^[1]。连续性并非只是速度的提高,而是施

工组织逻辑的根本性改变,从“浇一段等一段、再浇一段”的间歇式施工转变为以混凝土凝结速度为基准的持续施工,施工效率的提高才具有结构上的意义。

1.2 保障结构质量

水利水电工程对于混凝土结构的抗渗性、整体性要求比一般的工业民用建筑高,根本原因是水工结构长期受水头压力和干湿交替侵蚀,任何一个施工冷缝或者层间结合不好都会成为渗漏通道,从而危及结构的安全。滑模施工的核心工艺逻辑是将原本需要多次立模、多次浇筑才能完成的构筑物,用模板连续滑升一次整体完成,从工艺上消除了传统施工中难以避免的水平施工缝。该特点在高水头闸墩、压力管道外包混凝土等对抗渗要求极高的部位尤为重要,整体成型带来的质量保证不是靠施工人员技术水平和个体差异来实现的,而是工艺本身连续性的内在体现,也是滑模技术在水工领域不能被取代的根本原因。

1.3 降低水利水电工程建设成本

水利水电工程的建设周期一般受汛期窗口、水库蓄水计划和电力并网时序等外部条件的严格限制,工期延误会使整个项目的社会效益和经济效益受到影响。滑模技术在工期方面所具有的价值,不单是单个构筑物浇筑速度的提升,更在于它能有效缩短整个施工流程关键线路上的时间节点^[2]。以调压井或竖井类结构为例,采用滑模工艺后,原本需要数月才能完成的结构施工可以大幅缩短,释放出的工期余量可用于后续机电安装和联合调试的提前介入,对整个项目竣工投

作者简介: 潘曦阳 (1991-), 男, 本科, 研究方向: 水利水电工程。

产时间的影响是系统性的。同时,连续作业模式减少了模板周转和劳动力重复配置,直接降低了施工成本,为滑模技术在经济上提供了明显的量化比较优势。

2 滑模施工技术体系及关键工艺解析

2.1 滑模系统的整体构成逻辑

随着工程建设标准体系更新,2022年10月31日发布、2023年6月1日实施的全文强制性国家标准《建筑与市政施工现场安全卫生与职业健康通用规范》(GB 55034-2022),明确废止了行业标准《液压滑动模板施工安全技术规程》(JGJ 65-2013)中的第5.0.5条、第12.0.7条两项强制性条文,标志着滑模施工安全管理已纳入统一的施工现场安全卫生与职业健康强制管控体系。现行工程建设相关规定与本规范不一致的,一律以本规范为准,充分体现了国家对施工现场安全要求的统一与升级。滑模系统不是单一的设备,而是由模板体系、支撑体系、操作平台和液压提升装置四个功能模块共同组成的集成化施工系统,四者之间的协调配合是整个系统稳定运行的前提。模板体系是直接形成混凝土表面的,一般由内、外两层钢模板组成,为了便于脱模,模板沿高度方向设有一定的收分锥度,该设计细节影响脱模阻力和混凝土表面质量。支撑体系是以穿入混凝土结构中的支承杆为主,液压千斤顶沿着支承杆向上爬升,将整套模板系统逐步提升^[3]。操作平台是施工人员连续工作的场所,其刚度及荷载设计要考虑浇筑时动荷载的叠加影响。理解滑模系统内在的构成逻辑,是后续工艺控制的前提——任何一个模块出现故障,都会导致滑升失稳或混凝土成型质量下降,而且往往是多种问题叠加的开始。

2.2 混凝土连续浇筑中的滑升节奏控制

滑模施工中最为核心的工艺矛盾是混凝土的凝结速率和模板滑升速度之间的动态平衡。混凝土在模板内必须达到一定的强度才能在脱模后自立,如果滑升过快,脱模时混凝土还处在塑性状态,出模后极易在自重作用下发生坍塌或者表面拉裂;如果滑升过慢,混凝土与模板之间黏结力由于强度的增长而急剧增大,造成提升阻力过大,轻则造成表面拉毛,重则造成整体滑升系统卡顿甚至损坏。因此,混凝土浇筑分层厚度、每层浇筑时间间隔和外加剂缓凝效果都要与预定的滑升速度相匹配。匹配不是一次性的设计,可以固定不变,必须根据施工现场温度变化及混凝土实测强度发展情况做动态调整。

2.3 滑升速度均匀性对结构几何精度的决定性影响

多点液压提升系统中各个千斤顶的实际出力并不相同,支撑杆刚度不同、地基局部沉降等都会造成不

同位置的模板出现滑升速度不同步的情况。不同步一旦积累起来,会直接导致模板平台倾斜,从而引起构筑物竖向轴线偏移。水利水电工程中竖井、闸墩等结构对轴线精度有严格的工艺要求,轴线偏差过大不但会影响结构受力,还会使闸门等机械设备安装精度受到影响^[4]。因此,滑升速度的同步控制不是简单的匀速推进,而是在施工过程中建立连续的监测反馈系统,通过各测点高差的实时对比,通过自动控制系统或者人工干预各组千斤顶油压进行差异调节,使累计偏差始终在允许范围内。

2.4 变形监测在滑模质量控制中的核心地位

滑模施工是动态推进的,结构几何形态的偏差在施工过程中会不断累积,而且随着高度的增加而增大,仅靠施工人员的目测判断不能有效地控制这种累积效应。系统性的变形监测就成为滑模质量控制的刚性要求,而不是可以随意选择的辅助手段。监测内容一般包含模板平台水平度、结构轴线垂直度、支撑杆受力状态这三个方面,三者之间存在着内在联系,任何一个指标超出标准范围,都会成为其他两个指标问题的征兆。监测数据的价值不是在于记录,而是要触发纠偏动作的及时性——当某一个测点的数据出现趋势性的偏移时,必须在偏差还小时进行调整,如果等到偏差已经非常明显时再处理,纠偏的难度会以非线性的方式增大。

3 滑模技术在水利水电施工中的应用优化措施

3.1 将安装精度控制作为系统稳定运行的前置条件

滑模系统诸多施工问题大多是由初始安装时精度出现偏差所引发的。支撑杆垂直度、千斤顶安装位置、模板拼装平整度,一起形成了整套系统几何精度的初始条件,这些初始误差在后续滑升过程中会不断被放大,而不会自然消解。因此,安装阶段不能以大致到位为验收标准,而应建立基于测量控制网的精度复核制度,对每一根支撑杆的垂直度、每一组千斤顶的安装标高进行逐一测量记录,并将超差点位在系统启动前彻底整改^[5]。将质量控制前移到安装阶段,远比在滑升过程中不断纠偏更经济有效,越接近工艺源头的控制措施,纠错成本越低,效果越好,同样适用于滑模施工全过程的管理。另外,在安装完毕之后还要进行整体系统联动校核,模拟滑升初期的受力情况来检验支撑体系和模板系统是否协调。关键节点可以用复测和交叉测量来保证数据的可靠性。同时还要建立安装偏差档案,为后续施工过程中趋势判断提供基础依据,从源头上降低系统运行不稳定风险。

3.2 针对性设计混凝土配合比

水利水电工程的施工环境温度差大、湿度变化大,对滑模施工用混凝土的凝结性能有更高的适应性要求。通用配合比设计不能满足这样的环境变化,必须进行滑模工艺的专项配合比设计,其主要目的是在保证结构强度和耐久性的同时,使混凝土的凝结时间与设计滑升速度形成稳定的匹配区间。缓凝剂掺量要依照现场温度实测结果做阶段性的调节,而不是全程使用固定的掺量,骨料级配优化可以降低混凝土内摩擦阻力,减少滑升过程中脱模阻力,改善表面成型质量。高海拔或者严寒地区施工时,混凝土早期强度发展缓慢的效应更加明显,配合比设计要将此因素考虑进去,防止因为脱模时间判断失误而造成质量事故。应根据试拌试验结果对不同环境区间形成配合比调整曲线,使材料参数具有动态响应的能力。还可以采用外加剂复配技术来改善和易性和保水性,减少离析、泌水现象的发生,利用建立起来的材料性能同滑升参数之间的联系模型,可以改善配合比设计的针对性和可预测性。在配合比优化过程中,要严格控制胶凝材料用量与水泥比,在满足强度指标的前提下适当降低水化热峰值,避免滑模施工中因水化热集中释放导致表面裂缝。结合水利工程抗渗、抗冻要求,合理掺入粉煤灰、矿粉等矿物掺合料,提升混凝土体积稳定性与耐久性能。针对仓面暴露时间长及水分蒸发快的特点,配合比中需兼顾保塑性及初凝节奏,防止滑升过程中出现黏膜、拉裂等问题。

3.3 进行动态环境管理

水利水电工程的施工现场大多处在山区河谷地带,地形复杂、风力多变、昼夜温差大,这些环境因素对滑模施工的影响是持续的、动态的,静态的施工方

案不能很好地应对这种变化。以风荷载为例,施工高度超过某个限值之后,操作平台的风振效应会对支承体系造成附加偏心荷载,如果施工方案中没有对不同高度阶段的风速限制以及临时加固措施做出明确规定,遇到突发大风时系统安全会面临严峻考验。温度对混凝土凝结有影响,夏季高温使混凝土凝结速度加快,若不及时调整滑升速度,容易造成混凝土带模过长、脱模困难。冬季施工时保温措施的好坏决定着混凝土能否在脱模前达到足够的强度。施工环境适应性管理的本质是将现场监测的数据变成即时的工艺调整指令,使施工决策一直和现场的实际状况相匹配。施工过程中需布设环境监测点位,实时采集风速、气温、湿度及日照强度等数据,建立环境参数与施工参数的联动控制机制。遇大风天气及时降低滑升速率并加固

模板体系,防止模板偏移与混凝土外观缺陷;高温时段采取仓面喷雾保湿、调整缓凝组分等措施,延缓混凝土初凝速度。低温环境下增设保温棚、覆盖保温被等防护设施,严控混凝土内外温差。

3.4 提升建设工艺水平

滑模施工对于操作人员的技术要求比常规模板施工高得多,它不单是设备操作规程的熟悉程度问题,更是对混凝土凝结过程、滑升力学机制以及质量偏差原因有系统认识的问题。在实际工程中,很多滑模质量问题并不是由于设备本身存在故障,而是由于施工人员对于关键控制节点的判断出现失误所导致的,即错误地估计脱模时间、忽略早期测量数据中的偏移趋势、在遇到异常情况时采取了错误的应急处置方法等都是能力短板的直接反映。因此,技术能力建设不能只是在岗前培训的形式上进行,而应建立起施工全过程的技术交底和问题复盘机制,重点针对施工的关键工序操作人员和现场技术负责人展开模拟工况训练及历史案例剖析活动,从而促使其具备较强的工艺判断能力,将技术规程转化为施工队伍的行动习惯而不仅停留在纸面的参考文献中。

4 结论

滑模技术在水利水电施工中的应用价值,从根本上取决于其固有工艺逻辑能否在复杂工程环境下得到完整落地执行。连续滑升带来的质量优势并非自动生成,需依托多环节协同管控方能实现。本文所论述的技术要点与优化思路,核心指向一个关键结论:滑模施工的核心竞争力并非单纯依赖设备硬件实现,而是建立在对工艺过程的深度理解之上。随着自动控制技术在建筑施工领域的应用不断深化,滑模系统的信息化集成度将持续提升,既可为水利水电工程复杂结构的施工提供更可靠的技术支撑,也对现场从业人员的综合技术素养提出了更高要求。

参考文献:

- [1] 陆景威.水利水电工程施工中的滑模技术应用[J].中国科技纵横,2025(22):143-145.
- [2] 刘卓宇.基于滑模技术在水利水电工程施工中的应用研究[J].水上安全,2023(10):175-177.
- [3] 吴宝阁.水利水电工程施工中的滑模技术应用[J].低碳世界,2022,12(05):61-63.
- [4] 马晓琳.浅析滑模技术在水利水电施工中运用[J].新型工业化,2022,12(04):107-110.
- [5] 杨立兵.滑模技术在水利水电工程施工中的应用[J].工程建设与设计,2022(05):120-122.