

桥梁矩形高墩滑翻结合模板体系关键技术研究

熊 科

四川路桥华东建设有限责任公司 安徽 宣城 242606

摘 要：本文聚焦桥梁矩形高墩施工，针对现有翻模、滑模、爬模工艺存在的安全、质量、成本等短板，提出滑翻结合模板体系。该体系融合滑模与翻模的优势，通过BIM模拟优化空间布置、Midas验算结构、创新关键构件设计。研究施工工艺，明确流程规划、技术创新与质量控制要点。在安旌高速公路试点应用表明，该体系在效率、质量、成本、安全等方面优势显著，经改进完善形成施工手册，为高墩施工提供新思路与标准指导。

关键词：桥梁矩形高墩；滑翻结合模板体系；BIM模拟；施工工艺

引言：随着我国公路规划向内陆山区延伸，高墩桥梁占比日益增加，传统高墩施工工艺面临诸多挑战。翻模工艺高空作业风险高、外观质量差；滑模工艺速度与质量难以平衡；爬模工艺成本高昂。现有工艺无法同时满足低风险、高效率、优质量、低成本的施工要求，制约了山区高墩桥梁建设的发展。本文旨在研究桥梁矩形高墩滑翻结合模板体系关键技术，以解决传统工艺的不足，推动桥梁施工技术升级。

1 现有高墩施工工艺短板与立项必要性

1.1 现有工艺技术短板

当前国内桥梁高墩柱施工主要依赖翻模、滑模、爬模三种工艺，各工艺特性差异显著，均存在难以规避的短板：（1）翻模工艺，以3-4节钢模板循环翻升为核心，设备投入成本仅为爬模的50%，但需依赖塔吊频繁吊装模板，高空作业风险高，据行业统计，翻模施工安全事故发生率是爬模的2.8倍。同时，模板拼接处易产生错台，混凝土外观质量缺陷率超15%，后期修补成本增加项目造价。（2）滑模工艺，通过液压系统带动模板连续顶升，日均施工高度可达2.5m，较翻模提升40%，且安全防护体系封闭性好。但该工艺的核心矛盾在于“速度与质量的冲突”——为保证施工进度，模板需在混凝土初凝前（通常浇筑后4-5小时）爬升，模板与未完全凝结的混凝土表面摩擦产生划痕，导致混凝土外观质量合格率仅为80%，部分项目需额外投入3%-5%的造价用于外观修复。（3）爬模工艺，采用附着式升降架与定型模板结合，无需高空吊装作业，安全系数大幅提升，且爬升过程中模板与混凝土表面无摩擦，外观质量合格率超95%。但爬模设备购置与安装成本高，单墩施工成本约40-55万元，较翻模增加80%，对于高墩数量多的山区项目，经济性短板尤为突出。

1.2 立项必要性

解决山区高墩施工矛盾的迫切需求：我国公路规划向内陆山区延伸后，高墩桥梁占比显著提升，而现有工艺无法同时满足“低风险、高效率、优质量、低成本”的施工要求。以安旌高速项目为例，若采用爬模施工43个高墩，需额外增加成本约840万元；若采用滑模，混凝土外观修补费用将占项目总造价的3.2%；采用翻模板施工安全风险过大。滑翻结合模板体系可有效平衡四大目标，破解施工矛盾。（1）响应行业“降本、提质、增效”政策的必然要求：《公路工程施工安全技术规范》（JTGF90-2015）与《公路工程质量检验评定标准》（JTGF80/1-2017）对高墩施工提出更高要求，传统工艺已难以适配行业发展需求。研发滑翻结合模板体系，是推动桥梁施工技术升级、实现“绿色建造”的重要路径^[1]。（2）提升企业核心竞争力的现实需要：四川路桥华东建设有限责任公司作为公路工程施工总承包特级企业，在山区桥梁建设领域积累了丰富的经验。通过本项目研究，形成自主知识产权的核心技术，可进一步巩固企业在高墩施工领域的技术优势，为后续市场拓展提供支撑。

2 传统模板体系的局限性分析

2.1 翻模体系的不足

翻模由3-4层模板组成，通过逐层翻升施工，依赖人工拆装与吊装。其主要问题在于：一是安全风险高，施工人员需在模板外侧作业，防护措施简陋，高空坠落风险突出；二是施工效率低，每层模板拆装需8-10小时，且受天气影响大；三是模板拼接处易产生错台，混凝土表面平整度偏差较大，需后期打磨修补。在安旌高速前期试验中，采用翻模施工的65号墩，单墩施工耗时35天，且表面出现3处明显错台。

2.2 滑模体系的缺陷

滑模通过液压千斤顶带动模板整体爬升，连续施工能力强。但存在两大短板：一是混凝土外观质量差，模

板爬升时与未初凝的混凝土摩擦,形成纵向划痕,以往工地采用滑模施工后,表面划痕深度达2-3毫米,修补费用增加8万元;二是对混凝土坍落度控制要求极高,坍落度偏差易导致漏浆或卡模,施工过程容错率低。

2.3 爬模体系的弊端

爬模以墙体为支撑,通过爬升架带动模板升降,安全性与质量保障性较好。但其经济性差,每套爬模设备购置成本约50万元,是翻模的3倍;且爬升架安装复杂,前期准备时间长,在工期紧张的项目中适用性受限。安旌高速可行性研究显示,若全部采用爬模,仅模板费用就会增加800多万元。

3 滑翻结合模板体系设计研究

3.1 体系整体设计思路

滑翻结合模板体系以“滑模的爬升体系、翻模的模板体系”为核心,优化合并后协同施工作业:整套模板及爬升体系,靠液压系统匀速滑升模板体系,在混凝土初凝前完成循环浇筑工作,构建初始结构,缩短工期、减少接缝;混凝土浇筑工艺采用改进型翻模工艺,以液压提升装置整体顶升外侧平台系统,提升模板并翻模后验收浇筑,所有作业均在施工平台内完成,规避高空拆装风险,降低劳动强度。该体系由模板系统、液压爬升系统、防护系统及支撑系统四部分构成:模板系统采用模块化设计;液压爬升系统通过同步控制确保模板平稳提升;防护系统集成全封闭安全网与宽幅操作平台,保障高空作业安全;支撑系统采用高强度钢架体,确保整体稳定性^[2]。体系设计兼顾滑模的高效性与翻模的经济性,适用于高墩、大跨桥梁等复杂工况。

3.2 基于BIM的空间布置优化

运用Revit软件构建墩柱与模板体系的1:1BIM模型,通过三维可视化技术精准还原结构尺寸与空间关系。利用碰撞检测功能对模板拼接节点、液压千斤顶及架体布局进行优化,提前发现并解决构件干涉问题,减少现场返工。针对矩形墩柱棱角部位易产生气泡的缺陷,设计弧形过渡模板,通过流线型结构改善混凝土浇筑时的流动性,有效减少表面缺陷。基于BIM模型自动生成模板面板、肋板及连接件的加工图纸,明确尺寸公差与焊接要求,将加工误差控制在2毫米以内。通过BIM与数控加工设备的联动,实现模板的精准制造,提升模架整体装配质量,为后续施工提供可靠保障。

3.3 基于Midas的结构验算

采用MidasGen软件对模板体系进行非线性结构分析,模拟最不利工况下的受力状态:一是混凝土浇筑时产生的侧压力,按C40混凝土坍落度180mm计算,侧压力

取值48kN/m²;二是模板爬升过程中的自重与施工荷载,总荷载按2.5kN/m²考虑。验算结果表明:模板面板在侧压力作用下最大挠度为1.8毫米,远小于规范允许的3毫米限值;液压千斤顶最大受力为120kN,选用额定起重重量150kN的千斤顶,安全系数达1.25;架体立杆稳定系数为2.3,高于规范规定的1.5,满足强度、刚度及稳定性要求。通过结构验算,验证了模板体系在极端工况下的可靠性,为施工安全提供理论支撑。

3.4 关键构件优化设计

模板面板选用6mm厚Q235钢板,表面经抛光处理后粗糙度降低至 $Ra \leq 6.3\mu m$,显著减少混凝土粘连,提升拆模后表面质量;肋板采用8#槽钢,按300mm间距横向布置,形成网格化加强结构,使面板抗弯刚度提升40%。液压爬升系统引入同步控制技术,通过PLC控制器实时调节4个千斤顶的爬升速度,误差控制在0.5mm/s以内,有效避免模板倾斜或卡滞。防护系统设置全封闭阻燃安全网与1.2米宽钢制操作平台,平台周边配备双道防护栏杆及防坠落装置,形成立体化安全防护体系。模板连接件采用高强螺栓与销轴组合设计,既保证连接强度,又便于快速拆装,全面提升施工效率与安全性。

4 滑翻结合模板施工工艺技术研究

4.1 施工流程规划

施工流程整体严谨且有序,共划分为六个关键步骤。第一步是与承台衔接处施工缝处理,需进行精心处理,严格按照“凿、清、润、刷”施工流程进行规范施工,施工缝质量关乎墩柱与基础之间连接的紧密型。第二步进行起步实心段及倒角段滑翻模施工,先专业安装滑模爬升系统及模板体系,之后连续浇筑混凝土,同时同步实现滑翻模爬升,高效完成下部5米的施工任务。第三步是标准段模板安装,先拆除内模倒角模板,再安装标准段内模,并细致调试液压装置,确保后续施工顺利进行。第四步混凝土浇筑采用泵送方式,分层浇筑,每层厚度严格把控在300mm,振捣时运用插入式振捣棒,且振捣时间精准控制在20-30秒。第五步模板翻升,待混凝土强度达到2.5MPa后,启动液压系统带动模板整体翻升,单次翻升高度为1.2米。第六步养护与验收,采用洒水养护,养护时间不少于7天,每完成4层便进行一次全面质量验收^[3]。

4.2 核心施工技术创新

该工艺在技术方面实现诸多创新突破,其一为同步爬升控制技术,此技术借助位移传感器,能够实时精准监测模板倾斜度。一旦倾斜量超过3mm,PLC控制器便会迅速自动调整千斤顶转速,实现精准纠偏,确保模板在爬升

过程中始终保持稳定状态,极大提升施工的精准度与安全性。其二为混凝土浇筑时机控制,通过回弹仪精准检测混凝土强度,只有当混凝土强度达到设计要求后,才进行模板翻升操作,有效避免因过早翻升导致混凝土表面损伤,保障结构质量。其三是模板接缝处理技术,采用优质橡胶密封条填充模板缝隙,在浇筑前仔细涂刷脱模剂,这些措施可有效减少漏浆与粘连现象,使混凝土表面更加平整光滑,提升工程外观质量与整体性能。

4.3 施工质量控制要点

施工质量控制贯穿整个施工流程,在多个关键阶段都有明确要点。在模板安装阶段,利用高精度的全站仪校正模板位置,严格控制轴线偏差在10mm以内,确保模板安装精准。混凝土浇筑阶段,需严格把控坍落度与浇筑速度,坍落度不符合要求或浇筑速度过快过慢,都可能导致混凝土出现离析或过振问题,影响结构强度与耐久性。模板翻升阶段,安排专业人员仔细检查液压系统运行状态,保证各千斤顶同步工作,避免因不同步造成模板变形或损坏。养护阶段,保持墩柱表面持续湿润至关重要,这能有效防止因水分过快蒸发而出现裂缝。同时,建立完善的“三检制”,即自检、互检、交接检,每道工序只有验收合格后,方可进入下一道施工工序,从制度层面保障施工质量。

5 使用效果验证研究

5.1 工程应用概况

为充分验证滑翻结合模板施工工艺技术的实际效果,在安旌高速公路AJLJ-02标段精心选取了67号、68号、86号三个具有代表性的矩形高墩开展试点应用。这三个墩高差异显著,分别为35米、42米、50米,能全面反映该工艺在不同高度高墩施工中的适用性。在应用过程中,对施工周期、混凝土质量、成本消耗等关键指标进行了全方位、实时的监测。同时,为客观评估该工艺的优势,将其与传统的翻模、爬模工艺进行细致对比^[4]。通过这种方式,能够准确获取滑翻结合模板施工工艺在实际工程中的表现,为后续的技术改进和推广提供坚实的数据支撑。

5.2 应用效果分析

从施工效率维度分析,86号墩采用滑翻结合体系施工,仅耗时25天,相较于翻模工艺缩短20天,比爬模工

艺也缩短5天,施工速度大幅提升,有效缩短了工程工期。在混凝土质量方面,三个试点墩柱表现优异,表面平整度偏差均严格控制小于3mm,且无划痕、错台等质量缺陷,外观质量评分高达95分以上,远超滑模施工的75分。成本方面,每套滑翻结合模板体系成本约25万元,相比爬模节省50%,三个墩柱施工总成本比采用爬模工艺减少170万元,经济性优势极为突出。安全性上,整个施工过程未发生任何安全事故,高空作业防护达标率达到100%,优于翻模工艺,为施工人员提供可靠的安全保障。

5.3 技术改进与完善

在应用实践中也发现了一些问题。模板翻升时导向精度不足,影响了施工的精准度。通过增设导向轨进行改进后,偏差大幅减少至1mm以内。另外,液压系统在低温环境下运行不稳定,更换耐低温液压油后,成功适应了山区昼夜温差大的复杂环境。针对这些问题,项目团队进一步优化技术方案,最终形成完善的施工技术手册,为该工艺的广泛应用提供标准化的指导。

结束语

桥梁矩形高墩滑翻结合模板体系关键技术研究,成功突破传统工艺局限,实现了施工效率、质量、成本与安全性的多维度提升。通过试点应用验证,该体系优势显著,为山区高墩桥梁建设提供了高效、经济、安全的解决方案。经技术改进与完善形成的施工手册,为该工艺的广泛推广提供标准化依据。未来,随着技术的不断进步,滑翻结合模板体系有望在更多桥梁工程中应用,推动行业向绿色、智能建造方向发展,助力我国交通基础设施建设迈向新台阶。

参考文献

- [1]邵明龙.基于高墩施工技术的高速公路桥梁施工方法[J].汽车周刊,2024(12):135-137.
- [2]熊凌云.高墩施工技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].交通世界,2021(35):137-138.
- [3]张海腾.高墩施工技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].价值工程,2020,39(06):192-193.
- [4]王维杰.公路桥梁施工中的高墩施工技术探讨[J].产品可靠性报告,2025,(3):127-128.