 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i8.11435

Optimization and Safety Management Strategies for High-Pier Slipform Construction Technology in Mountainous Highway Bridges

Ji'an Zhou

Overseas Engineering Branch of China Railway Fifth Bureau Group, Guiyang, Guizhou, 550003, China

Abstract

Mountainous highway bridge construction faces challenges such as rugged terrain, transportation difficulties, variable climates, and complex working environments, making high-pier construction a critical factor in ensuring engineering quality, safety, and project timelines. Slipform construction, characterized by continuous operation, high molding efficiency, and structural integrity, has been widely adopted in high-pier bridge projects. However, mountainous regions still present unique challenges including unstable formwork systems, sensitive concrete performance fluctuations, concentrated high-altitude risks, stringent machinery coordination requirements, and complex safety management. This study analyzes applicable conditions and key techniques for slipform construction, explores technical improvements in formwork system optimization, concrete mix ratio control, vertical transportation organization, measurement alignment, and construction schedule management, while proposing strategies for personnel deployment, equipment monitoring, edge protection, extreme weather response, and comprehensive risk control. The research emphasizes that mountainous high-pier slipform construction requires integrated consideration of structural stress, construction environment, equipment operation, and personnel behavior to achieve coordinated enhancement of quality, progress, and safety.

Keywords

mountainous road bridges; high pier construction; slipform technology

山区公路桥梁高墩滑模施工技术优化与安全管控

周冀安

中铁五局集团海外工程分公司，中国 · 贵州 贵阳 550003

摘　要

山区公路桥梁建设受地形起伏大、运输困难、气候多变及作业环境复杂等影响，高墩施工成为工程质量、安全和工期控制的关键环节。滑模施工因连续作业、成型效率高、整体性好，在高墩桥梁施工中广泛应用，但在山区仍面临模板系统稳定性差、混凝土性能波动敏感、高空作业风险集中、机械协同要求高及安全管理复杂等问题。文章分析滑模施工适用条件与关键工艺，探讨模板系统优化、混凝土配合比控制、垂直运输组织、测量纠偏及施工节奏管理的技术改进，并提出人员组织、设备监测、临边防护、极端天气应对和全过程风险管控策略。研究指出，山区高墩滑模施工应统筹结构受力、施工环境、设备运行与人员行为，实现质量、进度与安全的协同提升。

关键词

山区公路桥梁；高墩施工；滑模技术

1 引言

随着山区交通基础设施建设不断推进，跨沟谷、越河流和连接复杂地形的桥梁工程数量持续增加，高墩桥梁已成为山区公路建设中的常见结构形式。高墩施工不仅承担上部结构传力和整体稳定的重要功能，也因施工高度大、作业面狭窄、地质条件复杂而成为项目实施中的风险集中区。相较于翻模、爬模等方式，滑模施工技术依托液压提升系统和连续浇筑工艺，能够在保证结构整体性的同时提高施工效率，较适用于截面相对规则、施工周期要求较高的高墩工程。若技术组织不合理或安全控制措施不到位，极易引发墩身偏位、表观缺陷、设备失稳和高处坠落等问题。基于此，研究山区公路桥梁高墩滑模施工技术优化与安全管控，不仅有助于提升工程建设水平，也对山区桥梁施工风险防控具有重要现实意义。

【作者简介】周冀安（1982–），男，中国河北正定人，本科，高级工程师，从事路桥研究。

2 山区公路桥梁高墩滑模施工的特点与应用基础

2.1 山区桥梁高墩施工具有明显环境约束特征

山区公路桥梁施工环境与平原地区存在显著差异。受地形切割影响，桥位区域往往坡陡谷深，施工便道布设困难，

材料运输半径长且受天气变化影响明显。高墩施工平台通常需要依托狭窄场地临时布置，设备转运、垂直吊装和作业人员通行条件相对受限。同时，山区风速变化快、昼夜温差大、局部降雨频繁，容易对模板提升、混凝土凝结、测量放样及高空作业安全产生直接影响。尤其在百米级以上高墩施工中，风荷载、温差应力和视线条件都会放大施工偏差与管理风险。由此可见，山区桥梁高墩施工并不是常规桥墩施工的简单放大，而是一个受自然环境强约束的复杂过程，必须在技术组织和安全保障上进行专门设计。

2.2 滑模施工技术具备高墩快速成型的现实优势

滑模施工技术依靠液压提升装置使模板沿着已浇筑混凝土表面连续上升，实现钢筋绑扎、混凝土浇筑、振捣与模板提升同步进行。与传统分节段翻模施工相比，滑模施工可减少模板拆装频次，降低施工接缝数量，增强墩身整体性，并在一定程度上缩短工期。对于山区桥梁高墩工程而言，若能够保障原材料供应连续和设备运行稳定，滑模施工在减少高空重复作业、提升施工效率和改善外观质量方面具有明显优势。特别是对空心薄壁墩、等截面或变截面规律较明确的高墩结构，滑模技术的适应性较强。其连续作业特点还可减少间歇施工对结构表观和工序衔接造成的不利影响，有利于高墩混凝土成型质量的整体控制。

2.3 高墩滑模施工对系统组织能力要求较高

滑模施工虽然效率较高，但对施工系统的协同性要求远高于一般模板工艺。模板平台、液压系统、钢筋安装、混凝土供应、测量监控和垂直运输必须形成严格匹配，一旦某一环节衔接中断，就可能影响整体施工节奏，甚至引发质量和安全问题。山区工程中，这种系统协调难度更为突出。比如，混凝土运输时间受便道条件制约，材料供应稍有波动就会导致滑升节奏失衡；高空平台空间有限，多工种交叉作业若组织不当，容易产生拥挤、干扰和危险源叠加。与此同时，滑模施工过程中的线形控制、模板变形控制和设备荷载平衡需要持续监测，管理人员必须具备较强的现场统筹与动态调整能力。因此，滑模技术的有效应用不仅依赖工艺本身，更依赖项目整体组织水平。

3 山区公路桥梁高墩滑模施工中的关键技术问题

3.1 模板系统稳定性与滑升同步控制问题

滑模施工的核心在于模板系统稳定运行。高墩施工高度增加后，模板平台的自重、施工荷载和风荷载叠加作用更加明显，若液压提升系统受力不均或千斤顶同步性不足，容易引发平台倾斜、模板局部卡阻和墩身线形偏差。山区桥位常伴有阵风和峡谷风效应，这使得模板系统在提升过程中更易受到横向扰动。若提升速度过快，混凝土早期强度不足，模板可能拉裂表层；若提升速度过慢，则可能造成粘模、表面拉毛甚至施工冷缝。因此，模板系统不仅要具备足够的刚度和稳定性，还必须通过液压控制、平台配重、导向限位和实时校核等手段实现整体同步运行。模板提升与混凝土凝结速度之间的匹配，是高墩滑模技术成败的关键因素之一。

3.2 混凝土性能与连续浇筑质量控制问题

高墩滑模施工要求混凝土在较短时间内具备适宜的可塑性和早期承载能力，这对原材料选配、坍落度控制、外加剂使用和运输时间管理提出了较高要求。山区施工中，气温、湿度和运输距离波动较大，容易导致混凝土和易性不稳定。若坍落度过大，混凝土易出现流淌、塌边和表面泌水，影响成型质量；若坍落度过小，则振捣困难，可能造成蜂窝、麻面和孔洞。连续滑升工艺还要求混凝土供应保持连续稳定，一旦中断，前后层混凝土衔接质量将受到影响。对于空心高墩而言，内外模板间混凝土振捣均匀性尤为重要，若局部振捣不足或过振，既影响表观，也可能削弱结构密实度。因此，混凝土性能控制不是单纯配合比问题，而是与供应节奏、现场温控和振捣工艺共同构成的系统问题。

3.3 高空测量纠偏与结构线形控制问题

高墩施工高度越大，累计误差越容易放大。滑模施工为连续上升作业，一旦偏差在早期未被及时发现并纠正，后续调整难度会明显增加。山区施工中，视距受地形遮挡影响，风振和温差变化也会干扰测量精度，导致墩身垂直度、截面尺寸和预埋件位置控制难度加大[1]。高墩线形控制不仅涉及墩身整体垂直度，还关系到支座垫石位置、上部结构安装精度及桥梁受力体系完整性。若测量系统设置不合理，或纠偏方法滞后，可能导致墩身偏位超限、模板姿态失衡和结构附属构件安装困难。由此可见，高墩滑模施工中的测量放样与动态纠偏，必须与模板提升同步开展，形成连续监测、快速反馈和及时修正的闭环控制机制。

4 山区公路桥梁高墩滑模施工技术优化路径

4.1 优化模板平台与液压提升系统配置

要提高高墩滑模施工质量与效率，模板平台系统必须在设计阶段就充分考虑山区环境影响和高墩结构特征。模板结构应在满足强度和刚度的基础上兼顾自重控制，避免因平台过重增加液压系统负担。围圈、提升架和操作平台之间应形成稳定受力体系，关键连接节点需进行专项验算，防止高空反复荷载作用下出现松动和局部变形。液压提升系统应采用分区控制和同步校验机制，对千斤顶油压、行程和提升速率进行动态监控，尽可能减少不同点位间的高差积累。对于山区风力较大的桥位，可增设导向装置、抗风拉结和临时稳定措施，以增强平台抗扰动能力。通过模板平台与液压系统一体化优化，可显著提升滑模施工稳定性。

4.2 优化混凝土配合比与施工节奏管理

滑模施工混凝土应以满足连续成型和早期稳定为核心目标。配合比设计需兼顾可泵性、和易性、凝结时间和早期强度增长规律，结合山区气候条件合理选择水泥品种、骨料

级配和外加剂类型。施工组织中应通过试验段验证混凝土在不同气温和运输条件下的适应性，明确最佳坍落度区间和滑升速度范围。浇筑过程中，应严格控制分层厚度、振捣时间和模板提升节奏，避免因节奏失衡导致表面缺陷或内部质量问题[2]。对于昼夜温差大的山区项目，还应根据时段变化动态调整出机温度和外加剂掺量，必要时采取保温、遮阳或雾化降温措施，减少环境变化对混凝土性能的干扰。只有将材料性能控制与施工节奏控制紧密结合，滑模施工质量才能保持稳定。

4.3 优化测量监测与动态纠偏技术体系

高墩滑模施工中的测量控制应从静态放样转向动态监测。项目应建立由控制网复核、平台姿态观测、墩身轴线跟踪和高程校核组成的综合测量体系，确保每一提升阶段都能及时掌握模板位置与结构偏差变化。可结合全站仪、激光垂准仪和数字化传感设备，对墩身垂直度、模板水平度和平台沉降进行连续观测，并形成数据分析机制。一旦发现偏差趋势，应在早期通过调整千斤顶行程、模板限位和局部荷载分布进行微调，而不是等到偏差累计明显后再集中纠偏。动态纠偏的关键在于“早发现、缓调整、持续控”，这样既可避免剧烈调整影响成型质量，也能提高墩身线形控制精度。对于复杂山区桥位，这种实时化、系统化的测量监测尤为必要。

5 山区公路桥梁高墩滑模施工的安全管控策略

5.1 强化高空作业风险识别与人员行为管控

高墩滑模施工本质上属于高风险高处作业，平台边缘、孔洞口、爬梯通道和吊装区域都是事故易发部位。山区环境下风力变化快、作业平台相对狭小，人员稍有疏忽就可能引发坠落、碰撞或物体打击事故。因此，安全管理必须将作业行为控制放在突出位置。施工前应针对滑模平台、钢筋绑扎、混凝土浇筑、设备检修等不同工序开展风险辨识，明确岗位责任和防护要求。作业人员进入高墩平台前必须经过专项培训和安全技术交底，重点掌握平台通行规则、防坠设施使用方法和应急撤离流程。施工中应严格限制无关人员上平台，落实安全带高挂低用、工具防坠落和临边防护全覆盖等措施。通过强化人员行为管控，可显著降低高处作业事故概率。

5.2 强化设备运行监测与临时结构安全管理

滑模施工安全不仅取决于人员操作，还高度依赖液压系统、模板平台、垂直运输设备和临时支撑结构的稳定性。高墩施工时间长、设备连续运转强度大，若缺乏检查维护，极易出现油路泄漏、千斤顶失灵、连接件松动和吊装设备异常等问题。对此，应建立设备日检、班检和专项检修制度，对液压系统油压变化、平台变形、焊缝状态和关键螺栓紧固情况进行常态化检查。对于临时支撑、操作平台、脚手通道和防护围栏，应按专项方案进行搭设、验收和使用管理，严禁边使用边整改[3]。山区施工材料补给相对困难，更不能抱有“带病运行”的侥幸心理。只有把设备与临时结构纳入严格的状态监测体系，才能从源头上保障滑模平台安全。

5.3 强化极端天气应对与全过程应急管理

山区桥梁施工受天气影响明显，大风、暴雨、雷电和低温都会直接威胁高墩滑模施工安全。特别是在高空连续作业状态下，极端天气可能导致平台摆动、吊装中断、作业面湿滑和混凝土性能突变，因此必须建立完善的气象预警与应急响应机制。项目部应结合施工区域气候特征，明确停工风速、降雨强度和低温控制标准，并将预警信息及时传达到每一作业班组。一旦达到停工条件，应迅速执行滑模暂停、设备锁定、材料固定和人员撤离措施，避免在风险边缘继续作业。除此之外，还应针对高空坠落、机械故障、平台倾斜和突发停电等情形制定专项应急预案，定期组织演练，提高现场处置能力。全过程应急管理的价值，不只体现在事故发生后的响应，更体现在通过预案约束提高日常施工的风险意识与组织严密性。

6 结语

山区公路桥梁高墩滑模施工是一项集结构施工、机械控制、材料组织与高空安全管理于一体的复杂系统工程。相较于一般桥墩施工，其技术难点更集中，环境干扰更明显，安全风险也更具叠加性。滑模施工技术在提升高墩成型效率、增强结构整体性和缩短工期方面具有明显优势，但其应用效果取决于模板平台稳定性、混凝土连续供应能力、动态测量纠偏水平以及全过程安全管理质量。面向今后的山区桥梁建设，应坚持技术优化与安全管控同步推进，在模板系统、液压控制、材料性能、施工节奏和监测手段等方面不断完善配套措施，同时通过人员培训、设备维护、极端天气管理和应急体系建设提升风险防控能力。只有形成“技术可靠、组织有序、监测及时、安全可控”的施工体系，才能更好发挥高墩滑模施工技术在山区公路桥梁建设中的综合效益。

参考文献

[1] 罗新.公路桥梁高墩液压滑模施工技术研究[J].运输经理世界,2024,(31):91-93.

[2] 杨学.液压滑模施工技术在高速公路桥梁高墩台施工中的应用[J].时代汽车,2024,(08):26-28.

[3] 李晓婷.山区公路桥梁高墩现浇箱梁支架施工技术研究[J].四川建材,2021,47(04):160-161.