

高速公路桥梁施工中的高墩施工技术应用研究

田 言

(四川公路桥梁建设集团有限公司机械化施工分公司, 四川 成都 610200)

摘 要 本研究针对复杂地形条件下高速公路桥梁高墩施工的技术难题, 系统分析了高墩施工的技术需求、工艺类别及实施路径, 提出翻模、滑模及爬模技术的差异化应用准则: 翻模工艺适用于截面规则的中低墩柱施工, 滑模技术可满足连续变截面高墩快速成型需求, 爬模体系则在高空大截面墩体施工中展现显著优势。并指出其核心在于模板系统刚度控制与垂直度动态调节, 施工过程中需建立基础预埋精度保障体系、混凝土温控养护机制及多源监测反馈网络, 重点解决墩身裂缝控制、几何偏差修正及环境荷载响应难题。

关键词 高速公路; 桥梁施工; 高墩施工技术

中图分类号: U445.559

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.041

0 引言

随着高速公路路网向地形复杂的山区延伸, 桥梁高墩作为跨越深谷与沟壑的核心承重结构, 其施工质量直接影响路网通行安全与全寿命周期性能。地质条件多变性、高空作业风险性及混凝土体积效应对施工工艺提出了复合型要求, 传统技术体系在墩身形控制、裂缝抑制及机械化协同等方面存在显著局限性。当前亟待构建融合精密测量、智能监测与绿色工艺的施工方法, 以应对抗震设防烈度 ≥ 8 度区域(如川滇地震带)需求与生态敏感区环保限制的双重压力。

1 高速公路桥梁施工技术需求

高速公路作为现代交通网络的核心载体, 其桥梁工程在跨越复杂地形、连接关键节点中承担着不可替代的作用。

随着我国高速公路建设向山区、深谷等复杂地貌延伸, 桥梁高墩施工技术面临更高的技术挑战。高墩施工需满足桥梁结构的高承载需求、复杂环境下的稳定性要求以及施工效率与安全性的平衡^[1]。从工程实践来看, 高墩施工需克服墩身高度大(墩身高度普遍为 40~80 m, 特殊地形下如深切峡谷, 可达 150 m 以上, 如贵州北盘江大桥墩高 162 m、四川腊八斤特大桥墩高 182.5 m)、施工周期长、资源消耗高、工序复杂等难题。高墩需具备足够的抗风、抗震及抗变形能力, 这对施工工艺的精度控制提出了严格要求。例如: 墩身垂直度偏差需满足 $\Delta \leq \min(H/3\ 000, 30\ \text{mm})$, 如 60 m 墩体允许偏差 20 mm, 100 m 墩体允许偏差 30 mm, 混凝土浇筑需实现分段连续作业以避免冷缝形成。

2 高墩施工技术的主要类别和运用要点

2.1 高墩施工技术的主要类别

在高速公路桥梁高墩施工中, 翻模、滑模与爬模技术因其工艺特点及适用场景的差异, 成为主流施工方法。翻模施工技术基于模板分层分段提升原理, 通过多节模板交替安装与拆卸实现墩身连续浇筑。其核心在于钢模板系统设计, 通常采用拉杆式钢模以增强模板刚度, 并通过塔吊或电动葫芦完成模板垂直运输。此项技术适用于截面规则、高度适中的墩体, 施工中需重点控制模板拼缝精度与混凝土振捣密实度, 避免错台与蜂窝缺陷。滑模施工技术则依托液压顶升系统实现模板连续滑升, 其优势在于施工连续性高、工期短, 尤其适用于等截面高墩^[2]。关键技术包括滑模平台的水平度控制、混凝土初凝时间匹配及千斤顶同步性调节, 需通过实时监测滑升速率确保墩身几何精度, 通常为 20~30 cm/h。爬模施工技术结合了翻模与滑模的优点, 利用锚固于墩身的导轨系统实现模板整体爬升, 适用于变截面或空心薄壁高墩。其工艺核心为埋件预埋精度与液压爬升系统的稳定性, 施工中需分阶段循环完成模板安装、混凝土浇筑及爬架提升, 并通过应力传感器监测墩身受力状态, 确保结构安全。三类技术均需依托高精度测量放样与高性能混凝土配比设计, 以应对高墩施工中的力学与材料挑战。

2.2 高墩施工技术的运用要点

高墩施工技术的有效实施需系统性统筹规划、精准控制与动态优化。第一, 施工前期需构建多维技术体系, 包括基于 BIM 技术的施工模拟、地质雷达探测及有限元力学分析, 以预判施工风险并优化方案。第二,

强化全过程精度管理,采用全站仪与倾角仪实时监测墩身垂直度与模板定位误差,结合GPS定位技术实现大跨度高墩的空间姿态控制。第三,动态化施工监测与反馈机制不可或缺,通过埋设光纤传感器或应变计对墩身温度场、应力应变进行实时采集,结合云计算平台实现数据驱动的工艺调整。第四,安全管理需贯穿全周期,包括高空作业平台的防风抗倾覆设计(如设置双层护栏与防坠网)、应急预案演练及智能预警系统部署,以降低坍塌、坠落等风险。第五,注重绿色施工与资源集约,通过预制拼装工艺减少现场湿作业,采用高性能减水剂降低混凝土用水量,并优化机械协同调度以减少碳排放。上述要点共同构成了高墩施工技术的系统性框架,旨在实现工程品质、效率与可持续性的协同提升。

3 高墩施工技术在公路桥梁施工中的应用

3.1 基础施工与预埋件安装阶段

高墩施工的基础阶段是整个工程的关键环节,其施工质量直接关系到上部结构的稳定性与安全性。根据工程实践,基础施工主要分为桩基施工、承台浇筑和预埋件安装三个关键步骤^[3]。在桩基施工环节,钻孔灌注桩因其适应性强成为主流选择。施工时需重点把控三个要点:一是精准定位,采用全站仪确保桩位偏差不超过1 cm;二是孔壁维护,通过泥浆护壁技术保持钻孔稳定;三是混凝土灌注质量控制,采用导管法连续浇筑,确保桩身完整性。特别在复杂地层施工时,需根据地质情况调整钻机参数和钻头类型。承台施工阶段的核心在于大体积混凝土的质量控制。采用“斜面分层、薄层覆盖”的浇筑工艺,每层厚度控制在50 cm以内,层间间隔不超过2 h。为控制温度裂缝,采取“双掺技术”(掺加粉煤灰和减水剂)配合冷却水管降温,将混凝土内外温差控制在25℃以内。钢筋绑扎采用标准化工艺,重点控制节点连接质量和保护层厚度。

预埋件安装是连接下部基础与上部墩身的关键环节。通过采用定型化定位架和三维坐标测量技术,确保爬模导轨、沉降观测点等预埋件的安装精度。其中,锚固螺栓的垂直度偏差需控制在1%以内,预埋支座安装后采用无收缩砂浆填充充实。在质量控制方面,建立“三检制度”:施工班组自检、技术员复检、监理终检。每道工序完成后,必须经测量复核合格后方可进入下道工序。通过这一系列措施,可确保基础施工的轴线偏差不超过3 mm,标高误差在2 mm以内,为高墩施工奠定坚实基础。

在新工艺应用方面,建议从以下几个方面进行优

化:(1)采用BIM技术进行施工模拟,提前发现可能存在的碰撞问题;(2)引入自动化监测系统,实时监控混凝土温度变化;(3)推广使用装配式定位架,提高预埋件安装效率;(4)应用智能养护系统,实现混凝土养护的自动化控制。

通过以上工艺优化和质量控制措施,既能保证施工质量,又能提高施工效率,为后续高墩施工创造有利条件。在实际工程中,还需根据具体情况进行适当调整,确保施工方案的可行性和经济性。

3.2 模板系统安装与垂直度调控阶段

在高墩施工的模板系统安装与垂直度控制阶段,合理选择施工工艺并确保墩身垂直度是保证工程质量的关键。目前工程实践中主要采用翻模、滑模和爬模三种施工工艺,各具特色且适用于不同工况。翻模施工采用标准化钢模板拼装,通过分层浇筑、逐层提升的方式完成墩身施工,具有模板可重复利用、成本较低的特点,但施工效率相对较慢,特别适合高度40 m以下的常规墩体施工,施工过程中需要重点做好模板拼缝的密封处理,防止漏浆影响混凝土外观质量。滑模施工通过液压系统实现模板连续滑升,施工速度较快,尤其适用于等截面高墩的快速施工,但对混凝土配合比要求严格,必须精确控制初凝时间,通常采用掺加缓凝剂的方法来调节混凝土性能。爬模工艺则结合了翻模和滑模的优点,通过导轨系统实现模板整体爬升,既保证了施工效率,又能适应变截面墩体的施工需求,因其机械化程度高、安全性好,已成为超高墩施工的首选方案。

为确保施工质量,需要建立完善的垂直度监控体系,施工前采用全站仪进行精准放样,确保模板初始定位准确;施工过程中采用全站仪+GNSS组合监测:(1)常规检测:每浇筑4 m进行一次三维坐标测量;(2)实时监测:GNSS系统动态跟踪位移,精度±3 mm;(3)风险段(如墩高>80 m)监测:增加倾角仪监测,频率1次/h;(4)发现偏差时立即启动纠偏程序,通过调整支撑系统或液压千斤顶进行及时修正。在质量控制方面,模板安装前要进行全面检查,确保表面平整无变形,拼缝处采用专用密封胶条防止漏浆,混凝土浇筑时要均匀布料避免单侧压力过大导致模板偏移,拆模后要及时检查混凝土表面质量。

随着技术的进步,新工艺不断涌现,包括推广使用重量更轻、拼装效率更高的铝合金模板,应用智能监测系统实时监控模板变形和垂直度变化,开发自爬升模板系统减少人工操作提高安全性,以及采用BIM技术进行施工模拟优化模板配置方案等创新举措。通

过综合运用这些技术措施,可将高墩施工的垂直度偏差控制在规范允许范围内,同时确保混凝土外观质量达标。在实际工程应用中,需要根据墩体高度、截面形式和具体施工条件等因素,选择最适合的模板施工工艺,在确保施工质量的前提下,实现施工效率的最优化。

3.3 混凝土浇筑与养护控制阶段

在高墩混凝土施工中,确保浇筑质量和养护效果是保证结构耐久性的关键环节。针对高墩混凝土的特殊要求,施工中主要采用分层连续浇筑工艺,通过控制每层浇筑厚度在合理范围内,并严格把握层间间隔时间,可以有效避免冷缝产生^[4]。在振捣作业时,要注意均匀布点,既要保证混凝土密实度,又要防止过振导致材料离析。对于大体积混凝土,温度控制尤为重要,通常采用预埋冷却水管配合外部保温的双重措施,将内外温差控制在规范允许范围内,这样可以显著减少温度裂缝的产生。养护阶段采用自动化喷淋系统保持混凝土表面湿润,在冬季施工时还需增设保温措施确保养护温度。

为提高混凝土抗裂性能,可在拌合时掺入适量聚丙烯纤维,这种材料能有效抑制塑性收缩裂缝的发展。施工缝处理是另一个需要重点关注的环节,采用机械凿毛确保接缝面粗糙度达标,并配合专用界面剂增强新旧混凝土的粘结强度。拆模后要及时进行表面检查,对发现的裂缝采用注浆等方法进行修复。随着技术进步,一些新工艺正在推广应用,如基于物联网的智能养护系统可以实时监测混凝土温湿度变化,自动调节养护参数;纳米材料添加剂能显著改善混凝土的微观结构,提高抗渗性和耐久性;新型养护剂的应用简化了养护工序,提高了施工效率。在实际工程中,需要根据结构特点和环境条件,选择最适合的施工方案,既要保证工程质量,又要兼顾经济性和可操作性。通过优化配合比设计、改进施工工艺、加强过程控制等措施,可以确保高墩混凝土的施工质量满足设计要求和使用寿命。

3.4 墩身监测与质量验收阶段

在高墩施工的质量控制过程中,监测与验收环节发挥着至关重要的作用。为确保墩身施工质量,需要建立全过程的质量监控体系,通过实时数据采集和分析,及时发现并解决施工中出现的問題^[5]。在几何形态监测方面,采用高精度全站仪对墩身各关键部位进行定期测量,重点监测墩身的垂直度和轴线偏位情况。通过设置合理的监测频率和点位布置,可以全面掌握墩体的变形趋势,当发现偏差超出允许范围时,立即

采取相应措施进行调整。应力监测是另一个重要环节,通过在墩身关键位置埋设传感器,实时监测混凝土内部的应力变化,这些数据经过专业分析后,可以评估结构的安全状态。环境因素对施工质量的影响也不容忽视,特别是风速变化可能对高空作业安全构成威胁,因此需要安装专业的风速监测设备,根据风速大小分级采取不同的安全措施。在质量验收阶段,采用科学的检测方法对混凝土强度和耐久性进行评定,回弹法结合钻芯取样的方式可以准确评估混凝土的实际强度,而电磁感应技术则能有效检测钢筋保护层厚度是否符合设计要求。随着技术进步,一些新的监测手段正在推广应用,如基于物联网的远程监控系统可以实现施工过程的实时可视化,无人机巡检技术能够快速获取墩身整体形态数据,三维激光扫描技术则可以建立高精度的数字模型用于质量分析。这些新技术不仅提高了监测效率,也大大增强了质量控制的可靠性。在实际工程应用中,需要根据项目特点和施工条件,选择合适的监测方案,既要保证数据的准确性,又要考虑经济性和可操作性。通过建立完善的监测体系和严格的验收标准,可以确保高墩施工质量满足设计要求和使用寿命,为桥梁结构的安全性和耐久性提供有力保障。

4 结束语

高墩施工技术的系统性应用表明,通过精准预埋定位、模板协同调控与混凝土性能优化,可有效提升墩身结构完整性。多参数监测网络与动态反馈机制的实施,实现了施工偏差的实时修正与风险预控。标准化作业流程与信息化管理平台的结合,将高墩垂直度误差压缩至毫米级,墩身表面裂缝宽度控制在 ≤ 0.15 mm,关键受力区 ≤ 0.1 mm,裂缝深度不超过保护层厚度 $1/3$,为山区高速公路桥梁建设提供了可参考的技术路径,对推动桥梁工程向精细化、智能化方向发展具有显著的实践价值。

参考文献:

- [1] 张宏宣. 高速公路桥梁施工中的高墩施工技术要点分析[J]. 交通科技与管理, 2024, 05(14): 95-97.
- [2] 李守巨. 超高墩液压爬模施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2022, 52(03): 88-94.
- [3] 王建国. 山区桥梁高墩施工监控技术研究[J]. 施工技术, 2021, 50(18): 45-49.
- [4] 交通运输部. 公路桥梁抗震设计规范: JTG/T B02-01-2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [5] 刘树生. 高墩施工技术要点及其在高速公路桥梁施工中的应用[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(06): 119-121.