

桥梁施工中悬臂桥梁施工技术探究

梁 博

山西路桥建设集团有限公司 山西 太原 030000

摘要：桥梁施工中悬臂桥梁施工技术通过从桥墩或桥塔向两侧对称逐段浇筑或拼装混凝土梁体，实现大跨度桥梁的无支架施工。该技术核心在于利用挂篮或吊装设备进行标准化循环作业，结合预应力体系平衡悬臂段受力，具有施工灵活、对桥下通行影响小、结构整体性强等优势，特别适用于跨越深谷、河流等复杂环境的桥梁工程，是现代大跨度桥梁建设的关键技术。

关键词：桥梁施工；悬臂桥梁；施工技术

引言：随着交通基础设施建设的快速发展，大跨度桥梁需求日益增长，传统支架施工法因场地限制、成本高昂等问题逐渐难以满足工程需求。悬臂桥梁施工技术凭借其无需大型地面支架、适应性强、跨度突破能力显著等优势，成为跨越江河、山谷等复杂地形的重要解决方案。该技术通过平衡悬臂浇筑或拼装工艺，结合预应力体系与智能监控手段，有效提升了施工精度与结构安全性，对推动桥梁工程技术创新具有重要意义。

1 桥梁施工中悬臂桥梁施工技术概述

1.1 悬臂桥梁结构类型与特点

(1) 悬臂桥梁主要分为连续梁桥、T型刚构桥、斜拉桥等类型。连续梁桥采用多跨连续结构，兼具刚性与柔性，行车平顺性好；T型刚构桥以桥墩为中心向两侧延伸形成悬臂梁，结构简洁、受力明确；斜拉桥通过拉索将桥面荷载传递至桥塔，结合悬臂施工可实现超大跨度跨越。(2) 悬臂体系的力学特性表现为梁体悬臂段需承受弯曲、剪切及扭矩作用，通过桥墩或拉索平衡荷载。适用场景广泛，尤其适用于跨越江河、山谷等复杂地形，以及城市桥梁中需减少地面支架占用的工程，可实现大跨度无支架施工。

1.2 悬臂施工技术的核心原理

(1) 平衡悬臂施工法（挂篮法）的基本原理是利用已浇筑完成的梁段作为支撑，通过可移动的挂篮承载模板、钢筋和混凝土重量，对称向两侧逐段浇筑梁体，确保施工过程中结构受力平衡。(2) 零号块作为悬臂施工的起始基准段，需在桥墩顶部精准浇筑，为后续悬臂段施工提供稳固支撑。对称浇筑是维持力学平衡的关键，通过控制两侧浇筑速度、混凝土用量一致，避免结构因偏心荷载产生变形或开裂。(3) 预应力体系在悬臂施工中起到核心加固作用，通过在梁体内部预设预应力筋，张拉后产生预压应力，抵消悬臂施工及运营阶段产生的拉

应力，提升梁体承载能力和刚度，控制结构变形^[1]。

1.3 悬臂施工技术的优势与挑战

(1) 优势突出且贴合工程实际需求：一是无需搭建大型地面支架，大幅降低复杂地形施工难度，减少场地占用与周边环境破坏；二是适应性强，可应对不同跨度、截面形式及地质条件，灵活适配各类跨越工程；三是跨度突破能力强，相较于支架施工可实现更大跨度桥梁建设；四是施工分段推进，便于质量管控与进度调节，可平行开展多工序作业。(2) 技术挑战集中于精准控制：线形控制难度大，悬臂段逐段累加易产生偏差，需实时监测调整；合龙精度要求严苛，合龙段作为桥梁受力关键节点，其高程、轴线偏差直接影响整体结构性能；应力监测贯穿全程，需精准把控施工各阶段梁体应力变化，避免局部应力集中导致结构损伤，对监测技术与数据解读能力要求极高。

2 桥梁施工中悬臂桥梁施工关键技术分析

2.1 挂篮设计与应用技术

(1) 挂篮常见类型包括菱形、三角形、斜拉式等。菱形挂篮结构轻盈、受力明确，适用于中小跨度桥梁；三角形挂篮稳定性强，承载能力较高，适配大跨度施工；斜拉式挂篮通过拉索分担荷载，可减少挂篮自重，适合超大跨度悬臂施工。选型需依据桥梁跨度、梁体截面尺寸、施工荷载及现场地形条件，综合考量经济性、安全性与施工便捷性。(2) 挂篮受力分析需覆盖浇筑混凝土、施工人员设备等全部荷载，重点核算主梁、吊带、底模架等关键构件的强度、刚度与稳定性。稳定性控制核心在于优化结构支撑体系，设置可靠的抗倾覆装置，严格控制挂篮拼装精度，避免因结构变形或局部受力超限导致安全隐患。施工中需实时监测挂篮变形数据，及时调整受力状态^[2]。(3) 挂篮安装需以零号块为基准，精准定位轨道、主梁等构件，采用高强螺栓连接确保节点牢固，完

成后需进行加载预压以消除非弹性变形。行走工艺需保证两侧同步移动,通过液压驱动系统控制行走速度,行走过程中实时监测轴线偏差。拆除需遵循“对称、分级、有序”原则,从外端向零号块方向逐步拆解,优先拆除非承重构件,最后拆除主梁与轨道,全程做好防坠防护。

2.2 预应力施工技术

(1) 预应力筋布置需结合梁体受力特点,在悬臂段、合龙段等应力集中区域加密布置,采用曲线或折线布置方式适配梁体弯矩分布。张拉顺序优化需遵循“对称、分批、分级”原则,先张拉纵向预应力筋,再张拉横向与竖向预应力筋,避免张拉过程中梁体产生偏心受力变形。大跨度桥梁需采用两端对称张拉工艺,确保预应力分布均匀。(2) 真空辅助压浆技术通过抽真空使孔道内形成负压,减少压浆过程中气泡产生,提升浆体密实度。施工中需严格控制真空度在 $-0.06 \sim -0.1\text{MPa}$,选用专用高性能压浆材料,确保浆体流动性与凝结时间符合要求。质量控制重点在于孔道清理、密封效果检查及压浆压力与时间管控,压浆完成后需及时封堵孔道,养护期间监测浆体强度发展。(3) 预应力损失主要包括锚具变形、钢筋松弛、混凝土收缩徐变等,需针对性采取补偿措施:选用低松弛预应力筋与高效锚具,减少锚固损失;采用超张拉工艺补偿钢筋松弛损失;优化混凝土配合比,加强养护控制收缩徐变。同时设置应力监测点,实时跟踪预应力变化,通过二次张拉等方式弥补损失,确保梁体预应力满足设计要求^[3]。

2.3 混凝土浇筑与养护技术

(1) 高性能混凝土配合比设计需兼顾强度、耐久性与工作性,选用优质骨料、高效减水剂与矿物掺合料,减少水泥用量以降低水化热。针对悬臂施工特点,混凝土需具备良好的流动性与保水性,初凝时间控制在 $6 \sim 8$ 小时,确保浇筑过程连续顺畅。配合比需经过多次试配优化,满足不同施工环境温度下的性能要求。(2) 分段浇筑需遵循“对称、均衡”原则,两侧悬臂段浇筑进度偏差控制在 $1 \sim 2$ 个节段内,同一节段浇筑从腹板向顶板、从中间向两侧推进。时间间隔控制需结合混凝土初凝时间,相邻节段浇筑间隔不宜超过7天,避免新旧混凝土结合面产生收缩裂缝。浇筑过程中需分层振捣密实,振捣深度不超过振捣棒长度的 1.25 倍,防止漏振或过振。(3) 温控措施核心是降低混凝土内外温差,采用低热水泥、预埋冷却水管循环降温,夏季搭建遮阳棚、采用低温水搅拌,冬季采取保温覆盖措施。裂缝防治需从配合比优化、振捣控制、早期养护三方面入手,浇筑完成后 12 小时内覆盖保湿,养护时间不少于 14 天,大体积混凝土养护延长至 28

天,同时监测混凝土内部温度,温差控制在 25°C 以内。

2.4 线形控制与合龙技术

(1) 施工监控中常用的线形预测模型包括灰色理论、BP神经网络等。灰色理论适用于数据样本较少的场景,通过对施工过程中收集的线形数据进行累加生成,建立GM(1,1)模型预测后续节段线形偏差;BP神经网络具备强大的非线性拟合能力,可综合考虑温度、荷载、材料特性等多因素影响,精准预测梁体线形变化,为施工调整提供依据。(2) 合龙段施工工艺需严格把控:先安装劲性骨架锁定合龙口,限制梁体相对位移,劲性骨架采用型钢焊接,确保连接牢固;通过配重调整使合龙口两端高程一致,配重重量与合龙段混凝土重量相当,浇筑过程中同步卸载配重;合龙段混凝土浇筑采用微膨胀混凝土,增强结合面密实度,浇筑完成后及时张拉预应力筋锁定结构。(3) 合龙温度与时机选择直接影响结构受力性能,最优合龙温度为设计要求的年平均温度,通常控制在 $10 \sim 25^\circ\text{C}$,避开高温时段与温差剧烈变化时段。合龙时机需结合梁体线形监测数据,确保两侧悬臂段高程偏差、轴线偏差均在允许范围内,同时避开大风、暴雨等恶劣天气,保障合龙施工精度与结构稳定性^[4]。

2.5 施工安全与风险控制

(1) 高空作业安全措施包括:施工人员必须佩戴安全带、安全帽,挂篮作业平台设置防护栏杆与安全网;搭设专用施工通道,禁止违规攀爬;作业平台荷载严格控制在设计范围内,严禁超载堆放材料;定期检查高空作业设备的安全性,设置防坠器、救生索等应急防护设施。(2) 临时墩与支座体系稳定性分析需核算施工荷载、风荷载、温度应力等综合作用下的承载能力,临时墩采用钢管桩或混凝土桩基础,确保地基承载力满足要求;支座需精准安装,设置限位装置限制梁体水平位移,定期检查支座受力状态与变形情况,及时调整支座高程,避免局部受力过大导致体系失稳。(3) 极端天气条件下的应急预案需针对性制定:暴雨天气提前清理排水系统,暂停高空作业,加固施工现场临时设施;大风天气(风力 ≥ 6 级)停止挂篮行走与浇筑作业,将挂篮固定锁定;高温或严寒天气调整施工时间,采取防暑降温或防冻保温措施;同时配备应急救援队伍与物资,定期开展应急演练,提升突发情况处置能力。

3 桥梁施工中悬臂桥梁施工技术的发展趋势与建议

3.1 技术创新方向

(1) 智能化施工监控技术升级。以BIM+物联网融合应用为核心,构建全生命周期智能化监控体系。通过BIM技术搭建桥梁三维模型,整合施工图纸、力学参数等数

据；借助物联网传感器实时采集挂篮变形、预应力应力、混凝土温度等关键数据，传输至智能管控平台实现数据可视化分析。同时结合大数据与人工智能算法，精准预测线形偏差与结构风险，实现施工过程的动态调整与智能决策，大幅提升施工精度与效率。(2) 新型材料的研发与应用推广。重点推进超高性能混凝土(UHPC)等新型材料在悬臂施工中的应用，其具备超高强度、高耐久性与良好韧性，可减少梁体截面尺寸、降低自重，为大跨度桥梁施工提供材料支撑。此外，研发高性能预应力筋、环保型压浆材料等，提升结构承载能力与耐久性，同时降低材料损耗与环境影响，推动悬臂施工材料体系的升级优化^[5]。(3) 绿色施工与节能减排技术落地。推广低碳施工工艺，采用节能环保型施工设备，减少施工过程中的噪音与废气排放；优化混凝土配合比，利用工业固废掺合料替代部分水泥，降低碳排放。同时建立施工废弃物回收利用体系，对钢筋、模板等材料进行循环利用；加强施工扬尘控制与水资源节约，通过雨水回收系统用于混凝土养护与现场降尘，实现生态环保与施工效率的协同发展。

3.2 行业规范与标准化建议

(1) 完善悬臂施工技术标准体系。结合智能化施工、新型材料应用等技术创新成果，修订现行施工规范与质量验收标准，明确BIM应用流程、新型材料施工工艺参数、智能化监控指标等关键内容。细化不同跨度、不同环境下悬臂施工的技术要求，统一施工工艺、质量控制与安全评估标准，为行业施工提供科学依据，提升悬臂施工技术的规范化水平。(2) 加强施工人员培训与资质管理。建立分层分类的培训体系，针对技术管理人员开展智能化施工、新型材料应用等前沿技术培训，提升其统筹管理与技术创新能力；对一线施工人员强化挂篮操作、预应力张拉等核心工艺培训，确保施工操作的规范性与安全性。同时严格施工人员资质审核，推行关键岗位持证上岗制度，定期开展技能考核与继续教育，提升行业从业人员整体素质。

3.3 未来研究方向

(1) 大跨度悬臂桥梁的抗风与抗震性能研究。针对超大跨度悬臂桥梁在复杂风场中的气动稳定性问题，开展风洞试验与数值模拟研究，优化桥梁气动外形设计，研发高效抗风装置。同时加强抗震性能研究，结合不同地震烈度区的地质条件，优化结构抗震体系，提升悬臂桥梁在地震作用下的耗能能力与抗倒塌性能，保障极端工况下的结构安全。(2) 复杂环境下的悬臂施工适应性技术攻关。聚焦高原、高寒、强腐蚀等复杂环境，研究悬臂施工的特殊技术方案。例如在高原地区，研发适应低气压、低气温环境的混凝土浇筑与养护技术，解决材料性能衰减问题；在强腐蚀环境下，开展防腐材料与防护工艺研究，提升结构耐久性。同时探索跨江跨海等复杂水文地质条件下的施工技术，突破环境限制，拓展悬臂施工技术的应用场景。

结束语

悬臂桥梁施工技术作为现代桥梁工程的核心手段，通过平衡悬臂施工法、预应力体系优化及智能化监控等创新，实现了大跨度桥梁的高效、安全建造。其无需大型支架、适应复杂地形的优势显著降低了施工难度与环境影响，而新型材料与节能技术的应用更推动了行业可持续发展。未来，随着抗风抗震性能提升及复杂环境适应性研究的深化，悬臂技术将在超大型桥梁建设中发挥更大作用，为交通基础设施高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]蔡广德.悬臂挂篮技术在桥梁施工中的应用[J].汽车画刊,2024,(11):140-142.
- [2]张沈.悬臂挂篮技术在桥梁施工中的应用分析[J].工程技术研究,2024,9(7):56-58.
- [3]肖章杰.桥梁工程中的悬臂桥梁施工技术[J].交通世界(下旬刊),2021,(12):14-15.
- [4]陈晋军.高速公路桥梁工程中的预应力连续梁桥悬臂施工技术[J].智能建筑与工程机械,2024,6(7):19-21.
- [5]张建辉.悬臂现浇箱梁挂篮法施工技术在桥梁工程中的应用[J].交通世界,2024,(17):125-127.