

大跨度桥梁悬臂浇筑施工关键技术应用探讨

王松杨

河南省水利第一工程局集团有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8186

[摘要] 本文聚焦于大跨度桥梁悬臂浇筑施工的关键技术，旨在深入探讨这些技术在实际施工中的应用要点与重要性。通过对悬臂浇筑施工基本原理的阐述，分析了模板工程、钢筋工程、混凝土工程以及挂篮施工等关键环节的技术应用，旨在为相关工程提供有益的参考，确保大跨度桥梁悬臂浇筑施工的质量与安全。

[关键词] 大跨度桥梁；悬臂浇筑；施工关键技术；应用分析

Discussion on the application of key technologies for cantilever pouring construction of long-span bridges

Wang Songyang

Henan Provincial Water Conservancy First Engineering Bureau Group Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the key technologies of cantilever pouring construction of long-span bridges, and aims to deeply discuss the application points and importance of these technologies in practical construction. Through the elaboration of the basic principles of cantilever pouring construction, the technical application of key links such as formwork engineering, reinforcement engineering, concrete engineering and hanging basket construction is analyzed, aiming to provide a useful reference for related projects and ensure the quality and safety of cantilever pouring construction of long-span bridges.

[Key words] long-span bridge; cantilever pouring; key construction technologies; Application analytics

引言

随着交通建设的快速发展，大跨度桥梁在跨越江河、峡谷等复杂地形中发挥着重要作用。悬臂浇筑施工方法因其独特的优势，如施工期间不影响桥下交通、适应性强等，成为大跨度桥梁建设中的常用方法。然而，悬臂浇筑施工涉及多个关键技术环节，任何一个环节出现问题都可能影响桥梁的整体质量和安全。因此，深入研究大跨度桥梁悬臂浇筑施工关键技术的应用具有重要的现实意义。

1 悬臂浇筑施工基本原理

悬臂浇筑施工是一种自平衡的施工方法，它以桥墩为中心，向两侧对称逐段浇筑混凝土梁段，待混凝土达到设计强度后，张拉预应力筋，使梁段通过预应力筋的连接形成一个整体。在施工过程中，通过挂篮作为移动模架，为混凝土的浇筑提供工作平台，随着施工的推进，挂篮不断向前移动，直至完成整个桥梁的浇筑。

2 大跨度桥梁悬臂浇筑施工的特点

2.1 分段施工，逐段延伸

悬臂浇筑施工采用分段浇筑的方式，从桥墩向两侧对称延

伸，形成悬臂结构。每完成一个节段，即张拉预应力筋，确保结构稳定性。该工艺无需额外支架，适用于深谷、河流等复杂地形，减少对地面条件的依赖。桥梁线形可通过施工控制动态调整，确保最终成桥符合设计要求。

2.2 结构受力与施工同步

施工过程中，桥梁结构体系逐步转换，从悬臂状态到合龙后的连续体系。每一阶段的荷载变化（如混凝土自重、施工设备）需精确计算，避免应力超限。施工时需通过临时锚固或配重平衡悬臂端力矩，确保抗倾覆安全。结构的最终内力状态与施工顺序密切相关，需通过仿真分析优化工序。

2.3 高精度控制要求

悬臂浇筑对线形和标高的控制极为严格。受混凝土收缩徐变、温度变化及预应力损失影响，需实时监测挠度与应力，并采用预测模型动态调整模板标高。施工中常采用全站仪、光纤传感器等技术，确保合拢精度（误差通常控制在毫米级）。此外，预应力管道定位、钢筋绑扎等细节均需精细化作业。

2.4 施工组织复杂

悬臂浇筑涉及多种工种协同，包括挂篮安装、混凝土浇筑、

预应力张拉等工序循环作业。挂篮设计需满足刚度、轻量化及可调性要求，移动时需平衡稳定性与效率。施工周期长，受天气影响显著（如大风、低温可能中断作业）。此外，跨中合拢段需选择低温时段施工，以减小温度应力对结构的影响。

3 关键技术应用

3.1 模板工程

模板工程是悬臂浇筑施工的关键环节，其质量直接影响混凝土梁段的外观、尺寸精度及整体结构性能。模板设计需综合考虑桥梁的线形、截面尺寸、施工荷载及环境因素，确保具备足够的强度、刚度和稳定性，以承受混凝土浇筑时的侧压力、振捣荷载及施工设备重量，避免变形或位移。模板表面需平整光滑，以减少混凝土表面的气泡、麻面等缺陷，保证梁段外观质量。此外，模板系统还需具备良好的密封性，防止漏浆影响混凝土密实度。在悬臂浇筑施工中，模板通常采用钢模板或钢木组合结构，以适应不同梁段的截面变化，并便于调整标高和线形。挂篮模板系统需与挂篮主体结构协同设计，确保整体稳定性，同时兼顾轻量化，以降低施工荷载。模板安装必须严格遵循设计要求，确保位置准确、拼接严密，避免错台或漏浆。安装前需对模板进行预拼装检查，确认尺寸、平整度及接缝质量符合标准。在悬臂施工中，模板的定位依赖于测量控制，需通过全站仪等设备精确调整，确保与已浇筑梁段的平顺衔接。模板支撑系统需稳固可靠，特别是在悬臂端部，需采取临时锚固或配重措施，防止浇筑过程中发生倾覆。混凝土浇筑前，需对模板系统进行全面验收，包括检查模板的垂直度、水平度、接缝密封性以及支撑体系的牢固性，确保施工安全及成型质量。模板拆除是模板工程的重要环节，需在混凝土达到规定强度后进行，避免过早拆模导致结构损伤或开裂。拆模顺序应遵循“后支先拆、先支后拆”的原则，并采用专用工具小心操作，防止对混凝土表面造成划痕或碰撞损伤。悬臂浇筑施工中，挂篮模板的拆除需与挂篮前移协调进行，确保施工效率与安全。拆模后需及时检查混凝土表面质量，如发现缺陷（如蜂窝、孔洞等），需进行修补处理。模板拆除后还需进行清理、涂刷脱模剂等维护工作，以提高模板的周转使用率并保证后续浇筑质量。在悬臂浇筑施工的模板工程中，预压程序是确保施工质量的关键环节，需在模板安装验收合格后、混凝土浇筑前实施。预压荷载需不小于1.1倍施工总荷载（如200吨混凝土段按220吨预压），采用砂袋或配重块分级加载（30%、70%、100%、110%），每级持荷30分钟以上，并通过全站仪监测悬臂端、跨中等关键部位的变形。通过分析荷载-位移曲线，消除非弹性变形并依据弹性变形调整预拱度，卸载后残余变形应控制在2mm以内。对于挂篮模板系统，需同步验证主桁架抗倾覆性能，预压数据应归档用于后续梁段线形优化。该程序能有效验证模板强度与稳定性，确保成桥线形精度，首段预压后同类梁段可简化流程但需抽检。

3.2 钢筋工程

钢筋工程作为桥梁结构施工的核心环节，其施工质量直接决定了桥梁的承载能力、抗震性能和使用寿命。在悬臂浇筑施工中，钢筋工程需要严格按照设计要求执行，确保结构安全性和耐久性达到标准。钢筋加工制作过程中必须依据设计图纸精确控制尺寸、形状和弯钩角度，所有钢筋材料在加工前需进行严格的除锈处理，采用专业机械调直确保材料平直度符合规范。加工完成的钢筋应分类堆放并做好标识，避免锈蚀和混用。针对大跨度桥梁的特殊要求，钢筋接头应采用机械连接或焊接工艺，确保连接强度和可靠性，焊接作业需由持证焊工操作并按规定进行质量检测。钢筋绑扎安装是形成结构受力的关键步骤，绑扎过程要求间距均匀、绑丝牢固，确保钢筋骨架在混凝土浇筑时不发生移位变形。施工人员需严格控制保护层厚度，选用高强度混凝土垫块或塑料定位卡，按照设计位置准确放置，尤其要注意悬臂根部、锚固区等关键部位的钢筋保护层控制。预应力管道定位直接关系到桥梁的受力性能，需采用专用定位钢筋网固定波纹管位置，管道坐标误差控制在规范允许范围内。在钢筋密集区域和预应力锚固区，要特别注意钢筋与管道的空间关系，避免相互干扰影响结构性能。钢筋安装完成后需进行隐蔽工程验收，重点检查钢筋规格、数量、间距、保护层厚度以及预应力管道位置，确保完全符合设计要求。悬臂浇筑施工中钢筋工程还需考虑施工荷载和阶段受力的特殊性，在挂篮移动和混凝土浇筑过程中要防止钢筋骨架变形。针对大跨度桥梁的温度应力影响，钢筋布置需考虑温度变形补偿措施。

3.3 混凝土工程

混凝土工程作为悬臂浇筑施工的核心环节，其施工质量直接决定着桥梁结构的整体性能和使用寿命。在配合比设计阶段，必须综合考虑桥梁结构的设计要求、施工现场环境条件以及水泥、骨料等原材料的物理化学性能，通过科学的试验配比确定最优参数。配合比设计需要重点保证混凝土的强度等级满足设计要求，同时兼顾耐久性指标如抗渗性、抗冻性、抗碳化性能等，并确保混凝土具有良好的工作性和可泵性以适应悬臂施工的特殊要求。实验室需进行多组配合比对比试验，通过调整水胶比、掺合料比例和外加剂种类来优化混凝土性能参数，最终确定满足强度发展规律、体积稳定性和施工和易性的最佳配合比方案。混凝土浇筑施工必须严格执行分层分段浇筑原则，每层浇筑厚度控制在30~50厘米范围内，以保证振捣作业的有效性。浇筑过程需保持连续性，合理控制浇筑速度，避免因间隔时间过长形成冷接缝。对于大体积混凝土构件，应采取斜面分层推进的浇筑方式，并预留散热管等温控措施。振捣作业采用插入式振捣器按“快插慢拔”原则操作，确保混凝土充分密实，特别注意钢筋密集区和预应力锚固区的振捣质量。浇筑过程中应实时监测模板变形情况，及时调整挂篮受力状态，保证施工安全。针对悬臂端部的混凝土浇筑，需特别注意对称施

工，严格控制两端荷载平衡。混凝土养护是保证其力学性能和耐久性的关键环节，在初凝后应立即开始养护作业。养护方式应根据环境温度、湿度和风速等气候因素合理选择，高温干燥季节宜采用土工布覆盖配合自动喷淋系统保持湿润，低温季节则需采用保温保湿养护。养护持续时间不少于14天，重要结构部位需延长至28天。养护期间要定时监测混凝土芯部与表层温差，控制温差不大于25℃以防止温度裂缝。拆模后混凝土表面应及时涂刷养护剂或继续覆盖养护，防止水分过快蒸发。通过全过程精细化控制，确保混凝土强度稳定增长，内部结构致密，最终达到设计要求的各项性能指标。

3.4 挂篮施工

挂篮作为悬臂浇筑施工的核心设备，其设计选型和施工工艺直接关系到工程质量和施工安全。在挂篮设计阶段，必须综合考虑桥梁跨度、节段重量、施工荷载等关键参数，通过精确计算确保挂篮体系具备足够的强度、刚度和稳定性。设计时要特别注重结构的轻量化与施工便捷性，合理设置锚固系统、行走系统和模板支撑系统，同时预留足够的施工操作空间。挂篮选型需结合工程特点、施工环境和经济效益进行多方案比选，常见的有菱形挂篮、三角形挂篮等结构形式，每种形式都有其适用的工况特点和技术优势。挂篮安装过程需要严格按照专项施工方案执行，先进行墩顶预埋件的精确定位安装，再分阶段吊装主桁架、底篮、悬吊系统等组件。所有高强螺栓连接必须达到设计扭矩值，关键焊缝需进行无损检测。安装完成后必须进行系统调试和分级预压试验，通过等效加载消除非弹性变形并检验承载性能，同时测定弹性变形量作为施工控制的依据。行走系统调试时要重点检查液压推进装置或牵引设备的同步性，确保行走过程平稳可靠。挂篮行走是施工中的高风险作业，需选择风力较小的时段进行，行走前解除所有约束并检查轨道状况。行走过程中实施全程监测，随时调整两侧行走速度保持同步，防止发生偏位或卡阻。定位后要立即进行锚固，并通过精密测量仪器调整挂篮空间位置，确保模板定位精度满足节段浇筑要求。在施工全周期内，要定期检查挂篮结构的焊缝、螺栓和关键受力部件，及时消除安全隐患。通过科学的挂篮施工管理，既能确保施工安全，又能提高悬臂浇筑的精度和效率。

3.5 预应力施工

预应力施工是确保大跨度桥梁结构承载力和耐久性的关键工序，其施工质量直接影响桥梁的长期使用性能。在预应力筋下料环节，必须依据设计图纸精确测量切割长度，采用专用切割设备避免损伤钢绞线表面，下料后立即对切口进行防锈处理。编束作业需要将多根预应力筋平行顺直排列，使用专用梳束板定位，每隔1-1.5米用铁丝紧密绑扎，保持整束预应力筋的几何形状一致，特别注意避免钢绞线相互缠绕或交叉，确保

后续张拉时应力均匀传递。对于大吨位预应力体系，还需采用专用导向装置保证穿束顺畅。预应力张拉作业必须严格按照设计规定的张拉顺序和分级加载程序实施，采用经过标定的千斤顶和配套油压系统。张拉过程实施双控管理，既要控制油压表读数达到设计张拉力，又要监测实际伸长值与理论值的偏差不超过±6%。对于长束预应力筋，需采取分段张拉工艺消除摩擦损失。张拉作业区要设置完善的安全防护措施，操作人员必须经过专业培训，张拉过程中严禁人员站在千斤顶后方。对于悬臂浇筑施工，要特别注意平衡对称张拉，控制结构受力状态。孔道压浆是保护预应力体系的重要工序，必须在张拉完成后48小时内完成。采用专用压浆料，水胶比控制在0.26-0.28之间，流动度保持在30-50秒。压浆前要彻底清洗孔道，从低处压浆口注入，高处排气孔出浆后稳压3分钟确保密实。对于大跨度桥梁的竖向孔道，需采用真空辅助压浆工艺提高饱满度。压浆后要及时封锚，采用微膨胀混凝土密封锚具，并进行不少于7天的保湿养护。整个预应力施工过程要建立完整的质量记录，包括每束预应力筋的张拉参数和压浆情况，确保施工质量可追溯。

结束语

大跨度桥梁悬臂浇筑施工是一项复杂的系统工程，涉及模板工程、钢筋工程、混凝土工程、挂篮施工以及预应力施工等多个关键技术环节。在施工过程中，要严格按照设计要求和施工规范进行操作，加强对各个环节的质量控制，确保施工质量和安全。同时，要不断总结施工经验，积极推广应用新技术、新工艺，提高大跨度桥梁悬臂浇筑施工的技术水平，为我国交通建设事业的发展做出更大的贡献。

[参考文献]

- [1]王磊.大跨度预应力现浇箱梁菱形挂篮悬臂施工技术研究[J].四川建材, 2025, 51(04): 151-153+181.
- [2]廖文成.大跨度桥梁菱形挂篮悬臂浇筑施工技术研究[J].运输经理世界, 2024, (27): 49-51.
- [3]韦苏斌.大跨度连续梁桥挂篮悬臂浇筑设计及施工技术研究[J].企业科技与发展, 2023, (10): 62-65.
- [4]冯天奇.大跨度桥梁施工中的悬臂施工技术[J].工程建设与设计, 2019, (09): 223-225.
- [5]杨春.铁路大跨度连续梁桥施工工艺研究[J].居舍, 2018, (06): 58.
- [6]胡惜亮.大跨度桥梁悬臂浇筑状态下应力测试分析与预测[J].公路与汽运, 2016, (02): 191-194.
- [7]孟海滨.大跨度桥梁悬臂浇筑施工技术[J].中华建设, 2013, (12): 160-161.