

大跨径桥梁施工技术难点与应用对策

陈 伟, 卓应贤*

(四川三江交通建设工程有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘 要 大跨径桥梁是现代交通体系中的主要基础设施, 承载着区域互联互通功能, 还集中体现了土木工程领域的技术水平。本文总结了大跨径桥梁施工地基处理、混凝土温控、吊装流程、支架承载与索力监测等方面的主要技术难点, 并提出优化地基处理工艺、监控混凝土内部温度、规范吊装作业流程、控制支架基础承载与分级张拉控制索力等针对性应用要点, 以期形成系统化施工技术框架, 提升桥梁建造的科学性, 为保障工程质量提供理论参考。

关键词 大跨径桥梁施工技术; 基础施工; 大体积混凝土温控; 超长跨度钢结构吊装; 高墩施工

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.015

0 引言

大跨径桥梁的快速发展反映了现代土木工程技术的进步, 也提高了桥梁施工领域的复杂性。同时, 大跨径桥梁在当前交通网络中具有不可替代性, 其桥梁结构的稳定既依赖建筑材料性能, 又会受到施工阶段多因素的影响。系统认识这些施工影响因素, 并在施工过程中加以针对性应对, 已成为桥梁工程学科发展的核心, 也是保障大跨径桥梁安全的关键, 更成为当前大跨径桥梁建设亟待解决的重要课题。

1 大跨径桥梁施工技术难点

1.1 基础施工条件相对复杂

在大跨径桥梁施工过程中, 桥址地质条件具有显著差异, 由于此类桥梁施工多跨越江河、峡谷等地区, 其施工地质条件呈现多样性, 显著影响桥梁桩基或沉井施工的承载性能, 处理不当极易引发地基不均匀沉降^[1]。同时, 部分桥梁位于江河交汇处, 施工场地受水文条件制约, 施工组织复杂, 且在山区或城市狭小空间内, 当地复杂地形与交通环境也会增加施工布置难度, 进一步增加施工组织协调难度。这些因素叠加共同构成大跨径桥梁基础施工的突出技术难点。

1.2 大体积混凝土温控严格

大体积混凝土温度是影响大跨径桥梁施工结构耐久性的关键。大体积混凝土在水化过程中会释放大热量, 迅速拉升自身内部温度, 并在与外部环境温差过大时产生温度裂缝, 削弱大跨径桥梁整体结构承载力。同时, 大体积混凝土的温控措施受环境因素制约严重, 夏季高温施工或冬季低温环境均会加剧混凝土

温度梯度不均衡, 增加混凝土裂缝风险, 且大体积混凝土结构体积庞大、形状复杂, 难以内部散热。

1.3 超长跨度钢结构吊装难

大跨径桥梁施工的钢结构构件体积庞大且重量高, 对吊装设备起重能力、作业半径提出较高要求, 易出现安全隐患, 且该吊装过程受桥梁施工当前的风速与水域流态等环境因素影响明显^[2]。在跨江跨海桥梁施工中, 当地的高风荷载作用易导致桥梁吊装出现构件摆动等困难, 且大跨径桥梁的钢结构构件长度超出常规运输拼装条件, 需在高空多点同步吊装拼接, 对空间定位要求严格。

1.4 高墩施工稳定性压力大

高墩施工稳定性问题是影响大跨径桥梁建设结构安全的突出难点, 随着桥梁墩身高度不断增加, 其模板支架体系承受的自重与外部荷载也显著提升, 成倍增加施工风险, 易出现整体结构失稳等问题。桥梁高墩施工常采用爬模或滑模工艺, 虽能够提高施工效率, 但在混凝土浇筑及钢筋绑扎等过程中, 若未能保持垂直度, 也会显著影响桥梁结构受力性能。同时, 高墩处于高空作业环境, 受风荷载等外部因素影响显著, 施工人员操作难度高。

1.5 索塔与主缆张拉精度高

索塔与主缆的张拉精度在大跨径桥梁施工过程中是保证桥梁结构安全的核心。索塔作为桥梁受力枢纽, 其轴线偏差会直接影响桥梁的主缆与索力分布, 若产生偏移, 将造成全桥受力体系失衡, 增加结构变形风险。而主缆张拉涉及数以千计的钢丝股, 任何张力误差都

*本文通信作者, E-mail: 1075468494@qq.com。

会放大到整体结构中，影响桥梁的长期耐久性。且多在高空环境下进行张拉作业，易受到风荷载及结构自身弹塑性变形的干扰，增加桥梁施工不确定性。

2 大跨径桥梁施工技术应用要点

2.1 优化地基处理工艺，验证设计承载力

地基对于保障大跨径连续桥梁安全稳定施工、提升其稳定性与强度具有重要的作用。地基作为基础工程，在地基处理的过程中必须充分重视其强度与可靠性^[3]。基于此，施工过程中应采用深层搅拌桩、CFG 桩或高压旋喷桩等科学地基加固技术，以改善地基强度。施工过程中还必须结合现场地质勘测成果，动态调整施工方案，以避免出现桥梁地基不均匀沉降。在此基础上，施工人员还要定期使用静载试验，配合监测沉降量等指标验证桥梁地基情况，保证地基处理效果与设计要求一致。

以常见河床冲积层为例，其土层多为粉质黏土与细砂夹层，天然承载力不足 120 kPa，无法满足大跨径桥墩荷载传递需求。为保证承载力满足 200 ~ 300 kPa 以上的桥梁承载设计值，施工中应选用高压旋喷桩加固，保证桩径为 0.6 m，桩间距 1.5 m，并根据勘探结果控制桩长在 15 ~ 20 m 范围内。施工完成后，还要及时进行单桩静载试验与复合地基载荷试验验证桥梁地基的承载力，需检测结果显示沉降控制 10 mm 以内，才能说明地基加固效果符合大跨径桥梁要求。在地基处理优化过程中，施工技术要点主要体现在选择施工工艺与检测反馈等方面。在工艺选择方面，需充分考虑土层类型与施工环境，在软黏土中适合采用 CFG 桩，砂土中可使用深层搅拌桩，而承载要求更高的深厚软土层则要结合桩基与地基加固复合方式。同时，桥梁施工还要控制桩体垂直度、桩间搭接率及浆液注入量的均匀性。

为进一步说明，可从常用地基处理工艺与承载力提升效果角度比较，如表 1 所示。

2.2 监控混凝土内部温度，控制裂缝强度

大跨径桥梁施工需要足够的大体积混凝土，但大体积混凝土在水化反应过程中会释放大量热量，其内部与外部温差若超过 25 ℃，易诱发温度裂缝，削弱桥梁整体结构完整性^[4]。为此，施工人员需优化混凝土

材料性能，配合分层浇筑、冷却水管降温盖等施工工艺，控制混凝土裂缝宽度在 0.2 mm 以内，满足桥梁结构设计寿命要求。

混凝土浇筑施工需要以分层、分段的方式连续展开，在特殊情况下需要中断混凝土浇筑时，要极力减少混凝土浇筑的中断时间。同时控制每层厚度在 1.5 m 左右，采用间歇浇筑方式降低混凝土内部瞬时水化热，且配合冷却水管预埋措施，控制冷却水温在 10 ~ 15 ℃。在此基础上，施工人员还能通过循环降温降低混凝土内部峰值温度 5 ~ 8 ℃，减小温度梯度。外部养护阶段，则要结合保温覆盖与表面喷雾，减缓混凝土表面温度骤降可能，且保持足够的湿润环境，避免干缩引发混凝土裂缝。另外，若混凝土温度升降速率超过 0.5 ℃/h，施工人员还需立即调整冷却水循环频率或增加保温层厚度，有效控制混凝土内部与外部温差，为桥梁全寿命周期安全提供保障。

2.3 规范吊装作业流程，保证构件拼装精度

在大跨径桥梁施工中，施工人员需结合构件重量、吊点布置及起重机性能设计吊装流程，避免设备超载导致桥梁构件变形。在大部件吊装过程中，还可采用多点同步提升与分级张力调整技术，保证高空定位中桥梁构件的稳定性，控制桥梁构件偏差在 ≤ 5 mm 允许范围内，保证整体桥梁结构的安全性。

在大跨径桥梁钢结构施工中，施工人员需先基于桥梁钢构件重量与施工场地调整吊装方案。例如：单件钢梁重量超 100 t，而起重设备额定起重量不足时，施工人员需采用双机抬吊或缆索吊方式，合理布置吊点位置，均匀构件受力情况，避免局部弯曲。在操作过程中，则采用多点同步吊装施工工艺。当吊装高度超过 50 m 或跨度超过 200 m 时，高空的环境风速会显著影响桥梁吊装的稳定性。在施工过程中，一般规定吊装作业风速应低于 10 m/s。若必须吊装，则可以使用多机协同及牵引缆控制等技术，降低风荷载影响，并在构件两端安装导向装置，以防止吊装过程中构件姿态出现偏差。

除此之外，拼装精度是吊装作业能否达到大跨径桥梁建设预期效果的关键。常用控制指标包括轴线偏差、接缝错台与焊缝间隙等。其中轴线一般要求在 ±3 mm 以内，接缝错台不大于 2 mm，焊缝间隙不超过规定值，

表 1 地基处理工艺与施工要点

地基处理工艺	适用土层类型	处理深度（m）	单桩承载力提升幅度	施工要点
CFG 桩	粉质黏土、填土	10 ~ 18	150% ~ 200%	保证桩体连续性，控制振动影响
深层搅拌桩	软黏土、淤泥层	8 ~ 15	100% ~ 150%	均匀搅拌，确保水泥浆与土体充分融合
高压旋喷桩	砂土、夹层地基	15 ~ 20	200% ~ 250%	控制喷射压力与流量，避免土体扰动

若偏差超标,则应使用千斤顶、调整索力等方式二次校正。

为便于比较,不同吊装与拼装控制措施在精度与适用性方面的特点如表 2 所示。

设计索力的 40% ~ 50%,主要消除构件间的间隙。接着进入中间张拉,逐步提高索力至 70% ~ 80%,并结合结构实时数据,评估主梁、索塔等的应力分布情况。最后为终张拉,调整索力到预设值,必要时二次校正,

表 2 各类吊装与拼装控制措施的使用要点

吊装与拼装措施	精度控制指标	适用条件	技术要点
单机起吊	偏差 $\leq 5\text{ mm}$	中小构件吊装	严控起重量,布置合理吊点
双机抬吊	偏差 $\leq 3\text{ mm}$	大型构件或超重构件	两机同步,实时监测受力分配
缆索吊	偏差 $\leq 5\text{ mm}$	跨度 $> 200\text{ m}$ 桥梁施工	控制缆索张力,适应风荷载变化
多点同步提升	偏差 $\leq 2\text{ mm}$	超长构件或高空吊装	分级加载,保持受力均匀

2.4 控制支架基础承载,保障支架搭设精度

支架基础的承载能力直接决定了大跨径桥梁施工的上部结构施工安全性。桥梁支架基础承载力不足易引发桥梁局部失稳,导致梁体姿态出现偏差甚至整体倒塌^[5]。同时,后续混凝土浇筑或钢结构拼装过程中会放大桥梁支架精度误差,严重影响桥梁结构几何尺寸。因此,施工人员在搭设桥梁支架过程中应控制其误差在 5 mm 范围内,以保障施工质量。

在实际施工技术应用中,技术人员应综合考虑自重、施工荷载与混凝土浇筑荷载等因素,计算支架承载力。以常见现浇箱梁为例,其单跨施工荷载常超过 2×104 kN,需设计 200 kPa 以上的支架基础承载力,且预留 10% ~ 15% 安全储备系数。若地基土层为粉质黏土或砂性土,还需采取换填或加设桩基等方式加固。在施工工艺管理中,还需严格控制支架立杆间距、横杆布置,一般立杆间距在 1.0 ~ 1.5 m,横杆间距在 1.2 m 左右,以形成稳定空间框架。同时,基础垫层厚度在 0.3 m 以上,并使用混凝土垫块实现均匀传力,防止局部出现沉陷。不同措施在承载力与精度控制方面各具优势,其中桩基加固能提供稳定控制效果,而换填与均匀垫层则在普适性上较为突出。因此,在大跨径桥梁施工中,多采用“前期地基加固+施工中监测调整”组合方式,有效保证承载力可靠性。支架基础承载是桥梁施工中承上启下的重要环节,也是保障大跨径桥梁施工安全性的关键。

2.5 分级张拉控制索力,监测索力结构形变

分级张拉是大跨径桥梁索力施加的重要工艺,主要是逐级加载与分步校核,可有效避免一次性张拉带来的冲击效应。这种分级张拉还有助于减小桥梁结构突变内力,保证桥梁在张拉过程中过渡至设计状态。同时,施工单位还应实时监测桥梁张拉过程,动追踪总主缆与斜拉索力学情况,保证桥梁成桥线形精度。

在分级张拉技术应用中,一般采用“分阶段、分批次、分工况”的方式,先是以初张拉为目标,施加

保证成桥状态下结构线形与设计一致。同时,监测结构变形也是分级张拉中的关键,在大跨径桥梁中,一般要求主梁挠度在设计值的 $\pm 10\text{ mm}$ 以内,塔顶水平位移不超过 20 mm。若在张拉过程中发现梁体下挠量超过预定界限值,则施工人员需及时重新分配索力,保证大跨径桥梁受力状态逐步接近设计形态,且保持几何线形稳定。为增强施工可控性,常用液压千斤顶实现多点同步加载,控制误差在 2% 以内。这种同步张拉技术还有助于避免单点加载可能带来的不均匀受力等问题,减少桥梁局部构件附加应力。

3 结束语

大跨径桥梁施工涉及复杂地质环境、大体积混凝土、超长跨度钢结构、高墩与索塔等多环节,其施工过程既考验施工单位的工程技术水平,也对施工组织提出更高要求。其中,桥梁地基的基础处理直接影响桥梁整体稳定性,混凝土温度控制决定桥梁耐久性,钢结构吊装则关乎桥梁受力体系,高墩施工稳定性更是控制桥梁施工风险的核心,而索力张拉准确性也是桥梁结构成败的关键。在施工实践过程中,唯有坚持科学的全过程质量管控,才能有效保障施工精度,实现桥梁工程的整体效益。

参考文献:

- [1] 左勇丽.大跨径连续桥梁施工技术在桥梁工程中的应用研究[J].中国住宅设施,2025(07):242-244.
- [2] 高欣.探析大跨径连续桥梁施工技术的应用[J].汽车周刊,2025(08):76-78.
- [3] 赵东军.大跨径连续桥梁施工技术的应用分析[J].汽车周刊,2025(05):143-145.
- [4] 黄宏波,包火明,王中宽.大跨径连续桥梁施工技术难点与应用要点分析[J].工程技术研究,2023,08(07):69-71.
- [5] 刘存喜.大跨径连续梁桥施工技术探讨[J].西部交通科技,2020(08):145-146,150.