

桥梁工程大跨双塔钢混组合梁施工控制技术分析

王小杰

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：在桥梁工程领域，大跨双塔钢混组合梁桥因兼具钢结构的跨越能力与混凝土结构的刚度优势，成为跨越复杂地形与大跨度水域的重要桥型选择。然而，其施工过程涉及多工序协同、结构体系转换及复杂受力变化，施工控制的精准性直接决定桥梁最终的结构安全与使用性能。本文围绕大跨双塔钢混组合梁施工控制技术展开深入分析，从结构变形控制、内力监控、施工精度调控三个维度，剖析关键控制技术的原理与实施要点，进而探讨施工过程中常见的控制难题及应对策略，最后结合工程实践特性总结优化方向，为同类桥梁施工控制提供技术参考，旨在提升大跨双塔钢混组合梁桥施工的稳定性与可靠性。

【关键词】：大跨双塔桥梁；钢混组合梁；施工控制；变形控制；内力监控

DOI:10.12417/2811-0536.26.01.065

引言

随着交通基础设施建设向复杂地理环境延伸，大跨双塔钢混组合梁桥凭借其在跨度适应性、结构经济性与耐久性上的综合优势，应用愈发广泛。此类桥梁的施工阶段是结构形态与受力状态逐步形成的关键过程，受材料特性差异、施工工序衔接、外部环境干扰等多重因素影响，易出现结构变形偏差、内力分布不均等问题，若控制不当，不仅会增加后期调整难度，还可能埋下结构安全隐患。因此，开展有针对性的施工控制技术研究，实现施工全过程的精准调控，是保证桥梁建设质量的核心环节^[1]。

1 大跨双塔钢混组合梁施工关键控制技术

1.1 结构变形控制技术

结构变形控制是大跨双塔钢混组合梁施工控制的主要内容，应结合施工工序特点，采用“预控+监测+调整”的动态控制模式，针对施工阶段的变形规律，提出针对性措施。钢主梁吊装阶段的变形控制主要是减少吊装过程中的主梁挠曲变形与平面偏移。钢主梁多采用节段式预制，在吊装过程中由于自重作用容易产生挠曲，如果不加以控制就会造成节段拼接处的错台^[2]。施工中多采用“临时支撑预抬升”技术，在临时支架顶部按主梁节段自重计算理论挠曲值，设置预抬升量，使主梁吊装就位后在自重作用下正好达到设计高程。同时，应在塔顶装置导向装置，并在主梁平面时刻监测，利用牵引装置微调节段轴线，保证节段轴线和设计轴线一致。另外，温度也是引起钢主梁变形的重要因素，钢材热膨胀系数较大，昼夜温差或日照不均都会引起主梁长度与高程的变形，因此需要在温度比较稳定的时段进行吊装作业，并在监测数据中剔除温度影响，才能保证变形

控制的精准性。在混凝土桥面板浇筑阶段，应着重对待混凝土收缩及水化热引起的变形。混凝土浇筑后，会发生初凝、终凝，伴随着体积收缩，若收缩不够均匀，就容易使桥面板产生裂缝，而收缩变形还会传递给钢主梁，引起主梁二次变形。施工中多采用“分块浇筑+后浇带”技术，将桥面板分成若干个独立浇筑块，块间设置后浇带，通过控制浇筑块大小与浇筑顺序，减少混凝土收缩产生的拉应力；同时在混凝土配合比设计中掺入膨胀剂，补偿收缩变形，降低裂缝风险^[3]。此外，混凝土的水化热也会引起内部温度升高，形成内外温差，产生温度应力与变形，要通过预埋温度传感器对混凝土内部温度进行监测，采用覆盖保温材料、通水冷却等措施控制温差，防止因温度变形引起结构开裂。在体系转换阶段，变形控制的重点是实现荷载的平稳传递。在大跨双塔钢混组合梁施工中，多采用临时支撑体系承受施工荷载，待结构形成整体后，拆除临时支撑，完成体系转换。在这一过程中，支撑拆除顺序不当，容易引起结构荷载突变，引起过大变形。施工中一般采用“对称分级拆除”技术，按照设计确定的拆除顺序，对称拆除临时支撑，每拆除一级支撑，监测结构变形与内力变化，待变形稳定后，再进行下一级拆除，确保荷载平稳传递至永久结构。

1.2 结构内力监控技术

结构内力监控是保证大跨双塔钢混组合梁施工安全与内力状态符合设计要求的关键措施，通过合理地布设监测点、选择适宜的监测设备，实现对关键部位内力的实时监测与分析。双塔作为桥梁的主要承重结构，它要承受竖向荷载、水平荷载以及弯矩作用，在施工过程中塔柱内力随着主梁施工进度逐步变化。内力监控要重点监测塔柱的轴力、弯矩与剪力，通常在塔柱不同高度处预埋应力传感器，传感器要与塔柱混

凝土或钢结构紧密结合，使监测数据能真实反映塔柱内力状态^[4]。例如，在钢筋混凝土塔柱施工中，在主筋上绑扎钢筋应力计，浇筑混凝土后，利用应力计测定主筋应力，通过应力计换算塔柱截面内力；在钢塔柱施工中，将应变片粘贴在塔柱壁板重要部位，利用应变数据计算内力。同时，还要结合塔柱位移监测数据，分析内力与变形的关联性，若发现内力异常，及时排查原因，调整施工方案，避免塔柱内力超限。钢混组合梁主梁的内力分布直接影响结构受力性能，需重点对主梁跨中、支座处、节段拼接处的弯矩与剪力进行监测。对钢主梁部分，可在主梁腹板，翼缘板关键部位粘贴应变片，监测钢材应变，换算内力；对于混凝土桥面板，可在板底预埋混凝土应力计，监测桥面板受力状态。另外，在主梁悬臂施工阶段，应注意每一节段施工完成后主梁内力变化趋势，如果发现内力偏差在允许范围之内，则应分析是否因施工荷载偏差，节段安装位置不当，进而通过调整后续节段施工参数如预抬升量，对浇筑顺序进行修正。又如，当监测发现主梁某截面弯矩过大时，可以适当调整下一节段吊装高程，通过改变主梁线形来优化内力分布。拉索是连接塔柱与主梁的关键受力构件，其内力的变化将直接影响整体结构的受力平衡。拉索张力监测要采用专用索力监测设备，如振弦式索力传感器、磁通量传感器等进行实时监测。施工中应在拉索安装时同时布置传感器，要保证传感器与拉索的连接牢固，避免因振动导致传感器脱落或数据失真。同时要结合主梁与塔柱的变形监测数据，分析拉索内力与结构变形的匹配性，当拉索内力偏差过大时，须通过张拉设备调整索力，保持结构受力平衡。又如，某根拉索张力过小，会导致主梁该位置高程偏低，需通过张拉增加索力，从而提高主梁高程，同时优化塔柱内力状态。

1.3 施工精度调控技术

精度调控是实现施工控制目标的保证，应结合施工工艺特点，从测量控制、工序衔接、设备精度三个方面着手，提高施工精度。在测量控制方面，要建立高精度的测量控制网，为施工提供精准的测量基准。大跨双塔钢混组合梁桥施工范围广、施工周期长，测量控制网必须具有稳定性与可靠性，通常采用全站仪、GNSS（全球导航卫星系统）建立平面控制网，采用水准仪建立高程控制网，并定期对控制网进行复测，消除沉降、温度变化对控制网的影响。在主梁节段安装测量中，通过“三维坐标法”实时监测节段的平面位置与高程，通过全站仪采集节段关键点位的三维坐标，与设计坐标比较，计算偏差值，指导节段调整^[5]。

同时，还要选择清晨或傍晚等较为适宜的测量时段，对测量数据进行温度修正，以减少大气折光，温度变化对测量精度的影响。工序衔接精度调控大跨双塔钢混组合梁施工工序多，工序衔接精度直接影响整体施工质量。再如钢主梁节段拼接与混凝土桥面板浇筑的衔接，就需要保证钢主梁拼接结束后桥面板钢筋与钢主梁预埋件的对接，避免出现对接偏差而导致钢筋无法安装。施工中通常采用“工序预对接”技术，在钢主梁节段预制时，加工预埋件位置准确，在节段吊装前，通过模拟拼装，验证预埋件与桥面板钢筋的对接精度；混凝土桥面板浇筑前，对钢筋位置进行复测，如有偏差，及时调整，保证工序衔接顺畅。另外，在体系转换工序时，临时支撑拆除的时间与顺序要控制好，结合内力与变形监测数据，确定好每一步拆除操作的时机，以防止因工序衔接不当造成结构问题。在设备精度调控方面，施工设备的精度直接影响施工质量，应对关键施工设备进行定期的校准与维护。另外，施工过程中，要根据设备运行状态实时调整参数。

2 施工控制中常见问题与对策

2.1 温度变形干扰问题

温度变化是大跨双塔钢混组合梁施工控制中常见的干扰因素，由于钢材与混凝土的热膨胀系数差异较大，昼夜温差，日照不均会导致结构产生不规则变形，如不加以消除，就会影响监测数据的准确性，造成控制决策偏差。比如，在夏季施工中，当日照强烈时，钢主梁表面温度升高，引起主梁伸长，引起高程上升，此时测高程，易将温度变形认为是结构本身变形，调整方向。一是建立温度影响监测与修正机制，在结构的关键部位安装温度传感器，对环境温度和结构表面、内部温度进行实时监测，分析温度变化与结构变形的关联性，建立温度变形预测模型，将监测变形数据扣除温度变形影响得到结构真实变形值。其次，应优化施工时段的选择，对温度敏感的工序如主梁节段拼接、测量调整等，应选择温度相对稳定的时段进行，如夜间或阴天进行，减少温度变化对施工精度的影响。此外，在结构设计与施工中，还可采用温度补偿措施，如在钢主梁与混凝土桥面板之间设置温度缝，采用低热膨胀系数材料等来减少温度变形对结构的影响，如在钢主梁与混凝土桥面板之间设置滑动支座，允许二者因温度变化产生相对位移，避免产生附加内力。

2.2 施工荷载偏差问题

由于施工荷载偏差是导致结构内力与变形偏离设计目标的重要原因，在大跨双塔钢混组合梁施工中，

施工荷载包括施工人员、设备重量、材料堆载，临时支撑自重等，荷载实际值与设计计算值偏差过大，将导致结构内力超限或变形过大。又如在混凝土桥面板浇筑过程中，材料堆载过于集中，引起主梁局部受载过大，引起主梁挠曲变形的增大，塔柱弯矩荷载增加等。一是加强施工荷载动态监测与管控，在施工中实时监测施工荷载分布与大小，采用称重设备对材料堆载进行计量，使堆载重量达到设计要求；对施工设备进行统一调度，避免多台重型设备在同一区域集中作业，实现荷载均匀分布。其次，优化施工荷载计算模型，在施工前根据实际施工方案，细化施工荷载组成，考虑荷载的动态变化，如材料运输过程中的临时荷载，建立更切合实际的荷载计算模型，提高内力与变形预测的准确性。此外，发现施工荷载偏差导致结构内力或变形超限，应及时调整。

2.3 体系转换过程中的内力突变问题

大跨双塔钢混组合梁施工过程中，临时支撑拆除是体系转换的重要环节，在该环节，结构荷载传递路径发生变化，若临时支撑拆除顺序不当或拆除速度过快，易引起内力突变，使结构变形过大或裂缝产生。例如主梁跨中临时支座拆除后，再拆除支座附近支座，则跨中荷载集中，会引起主梁跨中弯矩急剧增大，可能超过设计限值。首先需要有科学的体系转换方案，在方案设计中，通过结构计算软件模拟不同拆除顺序下的结构内力与变形变化，确定最优拆除顺序，通常

为对称的、从支座向跨中或从跨中向支座的分级拆除顺序，明确每一步拆除的时间间隔与监测要求。其次，应加强体系转换过程中的实时监测，在临时支撑、主梁、塔柱关键部位布设变形与内力监测点，每拆除一级支撑，立即采集监测数据，分析结构内力与变形变化趋势，如有内力突变的现象，立即停止拆除作业，排查原因，调整拆除方案。此外，可以采取临时加固措施，在体系转换前，对结构薄弱部位如主梁跨中、塔柱根部进行临时加固，增加结构刚度，提高结构抵抗内力突变的能力，待体系转换完成后，再拆除临时加固设施。

3 结论

大跨双塔钢混组合梁施工控制技术是桥梁建设质量与安全的生命线，其核心是通过动态监测与精准调控来实现结构几何形态，内力状态与设计目标的一致性。本文从施工控制核心目标出发，对结构变形控制、内力监控、施工精度调控三大关键技术进行了深入分析，对温度变形干扰、施工荷载偏差、体系转换内力突变等常见问题的应对策略进行了研究，研究认为：施工控制要结合钢混组合梁的材料特性与施工工序特点，采用“预控+监测+调整”的动态模式，注重各技术环节的协同配合，才能有效地提升控制精度；同时要针对施工中的干扰因素与风险点，制定针对性应对措施，确保施工过程的安全稳定。

参考文献：

- [1] 彭志明.桥梁工程大跨双塔钢混组合梁施工控制技术研究[J].中国设备工程,2024,(21):5-7.
- [2] 任重.双塔斜拉大桥桥梁载荷试验研究[J].工程建设与设计,2024,(10):73-75.
- [3] 陈思艳.桥梁工程大跨双塔钢混组合梁施工控制技术研究[J].建筑技术开发,2024,51(01):111-114.
- [4] 张远征.大跨双塔钢混组合梁斜拉桥施工控制关键技术[J].工程与建设,2022,36(06):1766-1768.
- [5] 冯鑫.大跨双塔钢混组合梁斜拉桥施工控制技术研究[D].山东大学,2021.