

大跨度桥梁施工监控技术与变形控制研究

李炎 420114199301201213

摘要

大跨度桥梁工程结构体系复杂，施工阶段受环境温度、材料特性、荷载作用等多重因素影响，易出现结构变形超出设计允许范围的问题，直接影响桥梁施工安全与成桥后的使用性能。本文梳理了大跨度桥梁施工监控的核心内容与常用技术方法，分析了变形控制的关键影响因素，结合工程实践总结了变形控制的实施路径，研究成果可为同类大跨度桥梁工程的施工管控提供参考，有助于提升大跨度桥梁施工的安全性及成桥精度。

关键词：大跨度桥梁；施工监控；变形控制；结构精度

一、引言

随着我国交通基础设施建设的快速推进，大跨度斜拉桥、悬索桥、连续刚构桥等桥型的应用范围不断扩大，这类桥梁的跨度通常超过一千米，结构体系柔性大，施工过程中各阶段的受力与变形状态会直接影响最终成桥的线形与内力分布。不同于中小跨度桥梁，大跨度桥梁施工多采用分节段拼装、悬臂浇筑等工艺，施工周期长，受日照温度变化、风荷载、材料收缩徐变等因素的干扰更为显著，一旦某一施工节段的变形超出控制范围，后续施工环节的误差会不断累积，最终导致成桥线形不符合设计要求，甚至引发结构安全风险。因此，建立完善的施工监控体系，精准控制施工过程中的结构变形，是保障大跨度桥梁工程质量与安全的核心环节，也是当前桥梁工程领域研究的重点方向之一。

二、大跨度桥梁施工监控的核心内容

2.1 结构应力监控

大跨度桥梁施工过程中，结构的实际内力分布与设计预期存在偏差，应力监控的核心目标是通过实时监测关键截面的应力变化，判断结构受力状态是否处于安全范围内。在悬臂施工过程中，主梁根部、0号块、斜拉桥索塔锚固区等都是应力监控的关键部位，需要在施工前预先埋入应力传感器，采集不同施工阶段的应力数据，对比设计计算值，及时发现应力异常问题，避免出现结构开裂或者应力超限的安全事故。

2.2 结构变形监控

变形监控是大跨度桥梁施工监控的核心内容，直接决定成桥后的线形是否满足设计要求。变形监控的主要对象包括主梁竖向变形、索塔水平偏位、桥梁轴线偏位、悬索桥主缆线形等，不同桥型的监控重点存在差异：斜拉桥需要重点监控主梁悬臂端的下挠变形和索塔的纵横向偏位，悬索桥需要重点监控主缆架设过程中的线形变化和加劲梁拼装过程中的高程偏差，连续刚构桥需要重点控制主梁各节段的竖向挠度，避免合龙阶段出现过大的高差。

三、大跨度桥梁施工监控的常用技术

3.1 几何监测技术

几何监测技术是获取结构变形数据的核心手段，当前大跨度桥梁施工中常用的几何监测技术包括全站仪测量、GNSS 实时定位测量、连通管沉降监测、三维激光扫描等。全站仪测量精度高，成本较低，是当前施工变形监测中应用最广泛的技术，能够精准测量关键点的三维坐标，获取主梁高程、轴线偏位等数据；GNSS 技术可以实现全天候实时监测，不需要通视条件，适合大跨度桥梁主梁悬臂端的连续变形监测，但是容易受到施工现场电磁干扰和多路径效应的影响，精度略低于全站仪；连通管监测技术适合进行多点沉降的连续监测，精度稳定，成本较低；三维激光扫描技术可以快速获取整个结构的点云数据，实现全区域的变形分析，在桥梁合龙阶段的线形测量中应用越来越广泛。

3.2 应力监测技术

当前常用的应力监测技术包括振弦式应变计监测、光纤光栅应变监测等，振弦式应变计性能稳定，价格较低，抗干扰能力强，是大跨度桥梁施工应力监测中应用最多的传感器；光纤光栅应变计精度更高，能够实现分布式监测，可以同时监测温度，适合复杂结构的应力监测，但是成本相对较高，对安装工艺的要求也更高。

3.3 仿真计算与预测技术

施工监控的核心是提前预测下一施工阶段的变形，通过预先调整施工参数实现变形控制，当前主要采用有限元仿真计算结合灰色预测、卡尔曼滤波等算法开展变形预测。有限元软件可以按照实际施工步骤建立计算模型，分阶段计算结构的内力与变形，结合参数识别结果修正模型后，计算精度可以满足工程要求；灰

色预测算法能够利用少量的实际监测数据，对后续施工阶段的变形进行预测，适合小样本情况下的变形预测；卡尔曼滤波算法可以融合监测数据与计算结果，不断修正预测误差，提升变形预测的准确性，在大跨度悬臂施工桥梁中应用效果较好。

四、大跨度桥梁变形控制的关键影响因素

4.1 设计参数与施工误差

设计阶段采用的材料参数与实际工程中的材料参数存在偏差，比如混凝土的实际弹性模量、容重与设计取值不同，会导致计算变形与实际变形存在偏差；同时施工过程中，节段浇筑的重量偏差、模板定位误差等施工误差也会累积，导致结构变形逐渐偏离设计预期。

4.2 温度效应

温度变化是影响大跨度桥梁结构变形的重要因素，日照作用下，主梁上下缘会形成温度差，导致主梁产生挠曲变形，索塔向阳面与背阴面的温度差会引发索塔水平偏位，这种温度变形随时间不断变化，如果监测过程中没有考虑温度影响，会导致变形测量数据出现偏差，影响变形控制的精度。一般来说，大跨度桥梁变形监测需要选择在凌晨温度相对稳定的时间段开展，减少温度变化对监测结果的影响。

4.3 混凝土收缩徐变

大跨度桥梁多采用混凝土结构，混凝土的收缩徐变会随时间不断发展，引发结构的长期变形，在施工阶段，已浇筑节段的收缩徐变会对后续施工节段的变形产生影响，尤其对于跨度较大的连续刚构桥，收缩徐变引发的主梁下挠是影响成桥线形的重要问题，因此在变形计算与控制过程中，需要按照规范要求考虑收缩徐变的影响，合理修正计算模型。

五、大跨度桥梁变形控制的实施策略

大跨度桥梁变形控制一般采用预拱度设置结合施工过程中实时调整的方法，核心思路是通过预测变形提前调整施工立模标高，在施工过程中根据监测数据不断修正后续节段的施工参数，最终实现成桥线形符合设计要求。首先，施工前需要根据设计文件建立精细化的有限元计算模型，按照实际施工顺序分阶段计算，结

合同类工程经验确定各个施工节段的预抛高值，得到初始立模标高；其次，每个节段施工完成后，及时开展变形与应力监测，采集实际变形数据，对比计算预测值，识别参数误差，修正计算模型，重新预测后续节段的变形，调整后续节段的立模标高；对于合龙段施工，需要提前监测合龙段两端的线形与温度变化，选择在温度稳定的时间段开展合龙施工，必要时采用顶推装置调整合龙口偏差，保证合龙精度。

六、结论

大跨度桥梁施工监控与变形控制是保障工程质量与施工安全的核心工作，当前我国大跨度桥梁建设已经积累了丰富的实践经验，施工监控技术也不断成熟，但是由于大跨度桥梁结构复杂，影响变形的因素较多，仍然需要结合具体工程特点，建立完善的监控体系，选择合适的监控技术，优化变形预测与控制方法，才能保障成桥线形与内力满足设计要求。未来随着传感技术与计算技术的发展，大跨度桥梁施工监控将会朝着智能化、实时化的方向发展，变形控制的精度也会不断提升，为我国大跨度桥梁建设提供更可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [2] 葛耀君. 大跨度桥梁施工控制[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [3] 秦顺全. 桥梁施工控制中的无应力状态法理论与实践[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.