大跨度桥梁主梁施工监控关键技术探讨

李　彪
中铁十四局集团第三工程有限公司　山东　济南　250399

摘　要：本文以六律邕江特大桥主桥主梁施工监控为例，深入探讨了大跨度桥梁主梁施工监控的关键技术，包括工程概况、施工监控目标、施工监测过程、施工工况监测、监控成果精度要求、质量保证措施、安全保证措施及应急处置措施等方面。通过详细分析六律邕江特大桥主桥主梁施工监控的实施过程，总结了大跨度桥梁主梁施工监控的经验和教训，为类似工程提供了参考和借鉴。

关键词：大跨度桥梁；主梁施工监控；关键技术；六律邕江特大桥

引言

大跨度桥梁作为现代交通基础设施的重要组成部分，具有跨越能力强、结构复杂、施工技术要求高等特点。主梁作为大跨度桥梁的主要承重结构，其施工质量和安全直接关系到整个桥梁的使用性能和寿命。因此，在大跨度桥梁主梁施工过程中，必须采取有效的施工监控措施，确保施工质量和安全。施工监控技术涉及结构分析、测量技术、数据处理与反馈控制等多个领域，是大跨度桥梁施工中的关键技术之一。本文以六律邕江特大桥主桥主梁施工监控为例，对大跨度桥梁主梁施工监控的关键技术进行深入探讨。

1 工程概况

1.1 桥梁总体布置

六律邕江特大桥位于广西南宁市青秀区境内，桥梁中心里程DK16+949，全长1181.5米。主桥中心里程DK17+160，长度620米，为跨越邕江而设。主桥采用（40.75+109+320+109+40.75）米双塔双索面钢-混凝土部分斜拉桥结构，斜拉桥采用半漂浮体系，固定支座设置在17号塔。

1.2 主梁结构特点

主桥主梁采用单箱双室直腹板截面，桥面宽度15.2米，底板箱宽12.2米，中支点梁高14.5米，边支点梁高6米。主梁混凝土箱梁采用悬臂灌注施工方法，钢箱梁采用吊装拼接安装。桥塔为118米H型钢筋混凝土塔，实体矩形截面，采用爬模施工。斜拉索采用单丝涂覆环氧涂层钢绞线，双索面扇形布置，全桥设置13对52组拉索[1]。

2 施工监控目标

施工监控的主要目标包括三个方面：一是使主梁纵面线形平顺，使合拢后的主梁纵面线形符合设计和规范要求；二是分析各种偏差的原因及其后果，使施工过程中的每一阶段及其成桥后结构的荷载效应（即主梁、主塔、斜拉索的内力和应力）符合规范和设计要求；三是对合拢方案和重要的施工工序进行论证或优化，以降低造价，缩短工期。

3 施工监测过程

3.1 测量工作

六律邕江特大桥主桥的测量工作主要分为测点设施的布置和测点数据的采集。测点设施的布置包括梁应力监测断面的布置与断面应力监测仪器的设置、斜拉索索力测点布置、主梁标高测点布置、主梁中心线监测、温度场测点布置等。测点数据的采集即为在施工中适时对测点的数据进行采集。

3.2 应力监测

3.2.1 监测方法与仪器

主梁混凝土梁段用JMZX-215HAT埋入式智能弦式混凝土应变计及配套测试仪，钢箱梁梁段用JMZX-212HAT表贴型智能弦式应变计及配套测试仪。其原理是测钢弦频率变化得应变，钢弦振动频率f与张力T关系为$T = 4l^2p'f^2$（l为钢弦长，p'为单位长度钢弦质量），进而推导应变与频率关系，使用前需率定、使用时需温度修正。

3.2.2 测点布设

依施工计算控制截面及运营健康监测需求，选17个断面（如边跨跨中、合龙段等）为应力监测断面，每个断面纵桥方向布6个传感器，共102个，如图1所示。

3.2.3 监测频率

应变计安装后首次读数；浇筑砼48小时内二次读数；预应力张拉后三次读数；后续在梁段挂篮移位、浇筑砼、张拉预应力、斜拉索及吊装钢箱梁前后读数，尽量早晨进行并记录时间、天气和温度。

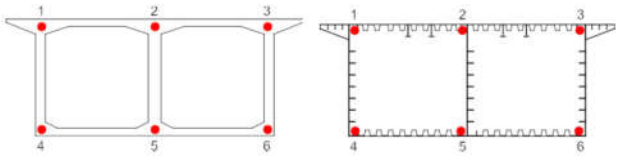

图1 主梁应力监测断面应变计布置示意图(左为混凝土梁，右为钢箱梁)

3.2.4 测点布设及保护

埋入式应变计：搬运防剧烈撞击；安装对准轴线，绑扎钢筋并编号引出电缆；安装前后读数检查；浇筑防损；初凝后读数，异常则补救；保护插头及标签；读数仪检查电压，插拔插头注意保护，测试完套防水套筒。

表面型应变计：搬运防剧烈撞击；与受力方向同；安装模管保证标距129mm；打磨钢结构，点焊固定安装座；冷却后装应变计；保护插头及标签；读数仪检查电压；插拔插头保护，测试完套防水套筒[2]。

3.3 线形监测

3.3.1 监测方法

采用精密水准仪测量梁段挂篮定位控制点标高。先测砼浇筑前立模标高，再测后续工况梁顶控制点标高变化量，得出各工况梁段控制点绝对标高。主梁施工节段挂篮空载立模高程与预设值允许偏差±5mm，且不宜低于预设值。为消除日照温差影响，线形测量选在温度变化小、气候稳定时段，并缩短测量时间。每3个节段进行一次主梁轴线测量和各T构间高程联测，合龙前再进行一次高程联测。

3.3.2 监测仪器与测点布置

主梁标高监测采用几何水准测量法，用精密水准仪测量各梁段控制水准点绝对标高。在立模定位、混凝土浇筑、预应力筋张拉、斜拉索张拉前后、钢箱梁节段拼装前后、索力调整、二期恒载施工等阶段观测主梁标高。基准点设于塔梁相交处主塔柱上，定期复核标高。

混凝土梁段：测点布置如图2（左），横断面上1#、4#在梁顶板靠边腹板处，2#、3#在左右中线处，5#、6#在梁底板靠边腹板处；纵桥向测点在离块件前端10cm处，用不锈钢监测点与顶板上下层钢筋点焊牢固，垂直露出箱梁混凝土表面2cm，磨平并标编号。同时设6个临时标高观测点7-12#，用于当前梁段控制截面梁底标高，混凝土达强度后测1与11、4与12的高程关系，以便换算已浇梁段梁底标高。

钢箱梁段：测点布置如图2（右），1-4#均直接布置在顶板上。

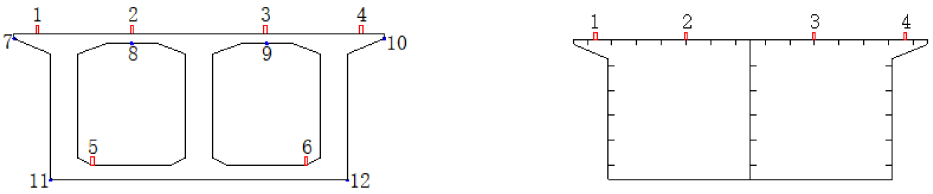

图2 主梁线形监测断面测点布置示意图(左为混凝土梁，右为钢箱梁)

3.3.3 监测频率

在主梁每个施工节段挂篮立模定位后、混凝土浇筑前后、预应力筋张拉前后、斜拉索张拉前后、挂篮前移前、钢箱梁节段拼装前后、索力调整前后、二期恒载施工阶段观测主梁标高，要求严格在凌晨时段完成观测，特别是挠度（高程）观测，记录开始和终了环境温度，观测超1小时每小时记录一次[3]。

3.4 温度场监测

3.4.1 测试方法与仪器

所有应力测点配备温度传感器，应力测试时用专用综合测试仪（如JMT-36D型温度传感器、JMZX-3001B型综合测试仪）同步进行温度监控。在主梁选取三个断面研究温度场，通过布置温度感应元获取温度场数据，为施工及运营阶段分析温度作用提供实测依据。温度场观测选在代表性天气，24小时内每小时测试一次。

3.4.2 测点布置

选取中跨L/8断面、L/4断面和钢箱梁1中间断面监测温度场。混凝土梁段断面布置44个温度传感器，钢箱梁断面布置13个，共101个。同时，主梁各应变测试断面的应变测点可同步测温度，实现全桥主梁温度监测。

3.4.3 测试频率

应变计上的温度传感器，温度测量时间与频率同应力测试。主梁专门布置的温度场测点，在混凝土浇筑完成后连续监测72小时，之后选代表性天气观测3次，获取不同天气下的温度场分布特征。

3.5 斜拉索索力监测

3.5.1 测试方法与仪器

采用压力传感器测试法和环境激励法获取索力。压力传感器测试法通过锚下预埋压力传感器（本桥锚固端安装CCT20磁通量传感器可实时监测）直接读数。环境

激励源自施工荷载和风力，利用高灵敏加速度传感器拾取斜拉索振动信号，经滤波、放大、频谱分析确定自振频率，再结合相关参数由专用系统自动计算索力，同时在张拉端安装压力传感器记录张拉值以标定关系。所用仪器为压力传感器和JMM-268型索力动测仪。

3.5.2 测点布置

所有斜拉索施工时均进行索力测试。压力传感器测试法精度高但成本高，本桥仅在部分索布置（如图3所示8.11，若已装磁通量传感器则省去此部分）。

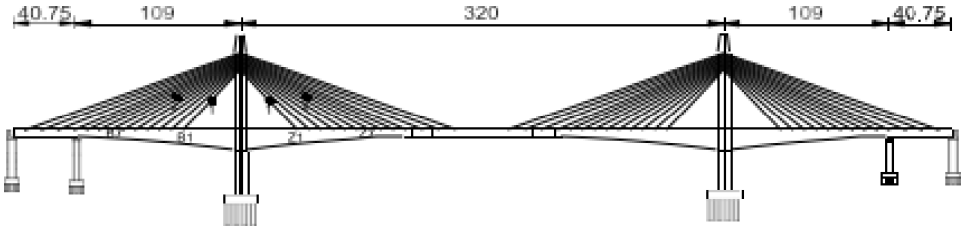

图3 斜拉索压力传感器布置示意图

4 施工工况的监测

4.1 主梁施工工况的划分

混凝土梁段施工工况划分为挂篮立模定位、混凝土浇筑前、混凝土浇筑完毕、预应力张拉前、预应力张拉后、斜拉索张拉至安装索力等六个工况。钢箱梁段施工工况划分为吊机就位、钢箱梁完成、斜拉索张拉至安装索力等三个工况。

4.2 主梁各施工工况的监测实施

对每个施工工况进行详细的监测实施，包括测试内容、测试要求等。例如，在挂篮立模定位工况中，施工方按施工监控指令表中的立模标高进行挂篮定位，然后通知监理和监控方检测其标高值，立模标高误差要求小于±5mm。测试内容包括主梁标高、索力、应力等。要求确保空挂篮状态，施工方确保挂篮处于合理支承状态，检测时间避开局部温差影响。

5 监控成果精度要求

本桥施工控制的最终目标是使成桥后的线形、应力、索力与设计的线形应力、索力在各测点的误差均控制在规范规定和设计要求的范围之内。根据《高速铁路桥涵工程施工质量验收标准》（TB10752-2018）和《高速铁路桥涵工程施工技术规程》（Q/CR9603-2015）要求，制定了如下的误差控制水平：混凝土梁挂篮立模标高误差±5mm；混凝土梁段标高误差-5mm~+15mm；钢箱梁定位标高误差±2mm；主梁轴线偏差±15mm；主梁合龙误差±20mm；斜拉索索力误差±2%；塔顶偏位塔高的1/3000且不大于30mm。

6 质量与安全保证措施

6.1 质量保证措施

监控单位建立了一套合理、完善的质量控制体系，覆盖了监测实施过程中可能产生的一切与质量控制相关的活动。通过人员管理程序和人员培训管理程序，确保员工理解岗位职责的重要性和相关性，保证管理人员和技术人员综合素质满足监测岗位要求。对仪器设备进行严格管理，确保其技术指标和功能满足监测要求，并在投入使用前经过法定检定单位检定或校准。

6.2 安全保证措施

遵循“安全第一、预防为主、综合治理”的方针，建立健全安全生产管理体系，落实安全生产责任制。加强对安全工作的统一领导，成立以项目经理为首的安全管理小组，逐级签订安全包保合同，明确职责范围与安全目标。对现场监测人员进行安全生产知识和安全操作规程等方面的教育培训和学习，未经安全生产教育和培训合格的人员不得上岗作业。同时，加强现场安全检查和隐患排查工作，及时发现和消除安全隐患，确保施工监控工作的安全进行。

结语

大跨度桥梁主梁施工监控是确保桥梁施工质量和安全的关键环节。通过六律邕江特大桥主桥主梁施工监控的实践，本文深入探讨了大跨度桥梁主梁施工监控的关键技术，包括工程概况、施工监控目标、施工监测过程、施工工况监测、监控成果精度要求、质量保证措施、安全保证措施等方面。未来，随着桥梁建设技术的不断发展，大跨度桥梁主梁施工监控技术也将不断完善和创新，为桥梁建设事业的发展做出更大的贡献。

参考文献

[1]吴腾飞.大跨度桥梁施工监控技术及应用[J].内江科技,2024,45(12):60-61.

[2]丁荣鹏.预应力混凝土连续桥梁施工线形监控分析[J].科技与创新,2024,(20):80-82.

[3]张利.桥梁施工监控措施研究[J].交通世界,2023,(21):176-178.