

# 大跨径连续桥梁施工控制技术研究

文 / 张 磊 中铁十一局集团西安建设有限公司

**摘要:** 依托某大跨径连续梁施工工程,在提出连续梁施工技术要点后制定了各施工阶段的监控量测方案,并测试了桥梁施工过程中梁体的应力及位移。监测结果表明:梁体受力状态及各阶段的位移结果与设计结果基本一致,均位于安全范围之内,达到了施工监控的目的,可为类似桥梁施工安全控制提供借鉴。

**关键词:** 大跨径连续桥梁; 技术要点; 应力监控; 线形监测; 安全控制

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.061

## Research on bridge construction control technology of long span continuous bridge

**Abstract:** Based on the construction project of a large-span continuous beam, the main technical points of continuous beam construction are put forward and the monitoring and measurement scheme of each construction stage is formulated. The stress and displacement of the beam during bridge construction are tested. The monitoring results show that the stress state of the beam and the displacement results in each stage are basically consistent with the design results. All of them are located within the safe range to achieve the purpose of construction monitoring. It can provide reference for similar bridge construction safety control.

**Keywords:** Long-span continuous bridge; technique essentials; stress monitoring; Linear monitoring safety control

### 引言

本文依托某大跨径悬臂连续梁施工工程,系统阐述连续梁施工技术要点,制定全面监控量测方案,测试梁体应力及位移,验证施工安全性,旨在为同类桥梁施工提供安全控制参考与借鉴。

### 一、工程概况

某铁路工程中有砟轨道(70.9+120+70.9)m双线预应力连续梁桥桥型布置图如图1所示。梁体为单箱单室、直腹板、变高度、变截面结构。箱梁顶宽12.2m,箱梁底宽6.8m;顶板厚度除梁端附近外均为450mm,按折线变化;腹板厚600~800~1000mm,按折线变化;底板厚由跨中的500mm按1.8次抛物线变化至根部的1000mm。全联在端支点、中跨跨中及中支点处共设5道横隔板,横隔板厚度分别为0.8m、1.75m和3m,横隔板设有孔洞,供检查人员通过。



图1 某双线连续梁桥上部结构图

### 二、大跨径连续桥梁施工技术要点

(1) 预应力张拉是大跨径连续桥梁施工中的核心技术之一,其对于提升桥梁的承载能力和稳定性具有至关重要的作用<sup>[1-3]</sup>。在进行预应力张拉时,首先需合理选择张拉设备,应选用高精度、高稳定性的张拉机械以确保张拉过程应力的精确控制。此外,需确保张拉设备处于良好的工作状态,定期开展张拉设备的检查、校准和维护工作。

(2) 预应力钢束的设置需严格按照设计图纸进行,确保钢束的布置位置、间距和数量符合设计要求。张拉过程中需严格控制张拉力的大小,采用逐级加载的

方式,逐步将张拉力传递至桥梁结构中<sup>[4-5]</sup>。同时,密切关注钢束的伸长量变化,及时调整张拉速度,确保张拉力的均匀传递。

(3) 钢束锚固前需对锚具和夹具进行全面检查,确保其完好无损,无锈蚀、裂纹等缺陷。锚固过程中需保持锚具和夹具的清洁和干燥,避免因杂质或水分影响锚固效果。此外,还应注意锚固方式的选择和紧固力度的控制,确保钢束能够牢固地锚固在桥梁结构中。

(4) 压浆前对孔道进行彻底清理和除湿处理,确保孔道内无杂物和积水,压浆过程中需控制浆体的流动性和压注压力等参数<sup>[6]</sup>。在封端前需清除梁体表面的灰尘和钢筋上的锈迹等杂质,以确保封端材料能够与梁体紧密结合。封端过程中需控制浇筑速度、振捣强度和封端材料性能等参数,确保封端材料的密实度和质量满足施工要求。

### 三、大跨径连续桥梁施工监测

本工程桥梁桥跨较大,同时考虑到施工进度及临近环境的影响,常会调整既定施工工序,导致桥梁预拱度控制难度较大,甚至导致成桥的内力状态也会出现较大变化。因此,在工程施工中,对桥梁的实际受力状态和成桥线形开展了长期监控,以期为施工动态调整提供科学依据。

#### (一) 应力监测

施工过程中对本桥梁的应力状态进行了长期监测,应力监测元件采用了温度误差小且性能稳的钢弦式传感器,其具有应变累计功能,抗干扰能力强,适于应力长期观测,其安装及数据采集形式如图2所示。通过测试传感器的自振频率可得到钢弦的应变值,进一步依据等式(1)换算可知同位置处混凝土的应力值:

$$\sigma_c = E_c \varepsilon_g \quad (1)$$

式中： $\sigma_c$ 为混凝土结构应力； $E_c$ 为混凝土弹性模量； $\varepsilon_g$ 为钢弦传感器应变。



(a) 钢筋应力计安装 (b) 数据采集系统

图2 桥梁应力监测

应力测点的断面布设位置图3所示，分别选择边跨L/2，中跨L/8、L/4、3L/8、L/2、支点等关键截面进行钢筋应力监测，共布设10个测试断面，图4分别给出了主梁截面钢筋应力计的布设位置，具体布置在顶板上层钢筋和底板下层钢筋上，每个截面布置4个钢筋应力计。钢筋应力计按预定的测试方向（梁部结构为桥梁的纵桥向，梁墩为墩的竖向）焊接固定在主筋上，为防止焊接时温度过高损坏钢筋应力计，焊接过程中用纱布包裹住传感器元件。后续仅以典型断面位置处的结果开展分析。

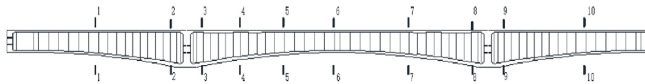
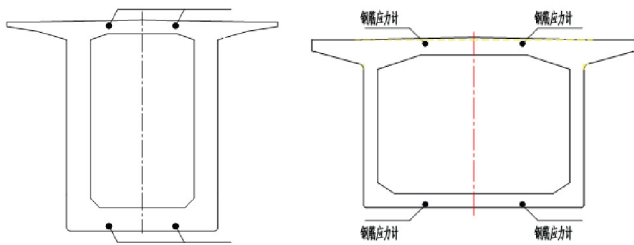


图3 梁部结构测试断面应力监测布置图



(a) 支点断面 (b) 跨中断面

图4 梁部结构支点及跨中断面应力监测布置图

由于应力测试数据中含有非荷载作用下混凝土应变的成分，所测数据不能真实反映结构的受力，在由测试钢筋应力计算混凝土应力时必须予以消除或进行应力修正，钢弦式传感器在t时刻所测的总应变 $\varepsilon(t)$ 如下式所示：

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_i(\tau) + \varepsilon_c(t) + \varepsilon_s(t) + \varepsilon_T(t) + \varepsilon_V(t) \quad (2)$$

式中： $\varepsilon_i(\tau)$ 为加载时初应变； $\varepsilon_c(t)$ 为时刻时的徐变效应； $\varepsilon_s(t)$ 为收缩应变； $\varepsilon_T(t)$ 为温度应变； $\varepsilon_V(t)$ 为构件体积几何尺寸变形引起的应变值。

为准确反映桥梁结构受力，通过在混凝土初凝时刻设定应力初值和早晨太阳辐射较小时读取数据以消除徐变、收缩以及温度对应力监测结果的影响，修正后的

$\tau_i$ 时刻，混凝土弹性应变结果如下式：

$$\varepsilon(\tau_i, \tau_0)_t = \frac{\sigma(\tau_0)}{E(\tau_0)} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma(\tau_i)}{E(\tau_i)} \quad (3)$$

式中： $\sigma(\tau_0)$ 为 $\tau_0$ 时刻施加的初应力； $E(\tau_0)$ 和 $E(\tau_i)$ 分别是龄期为 $\tau_0$ 和 $\tau_i$ 时的混凝土弹性模量； $\Delta\sigma(\tau_i)$ 为 $\tau_i$ 时刻所施加的应力增量，其可表示为：

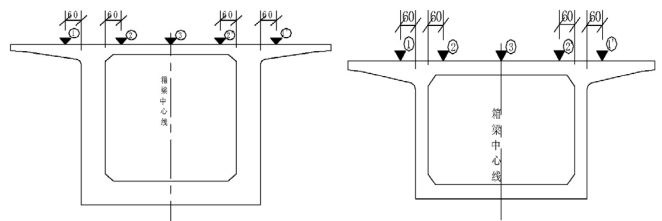
$$\Delta\sigma(\tau_i) = \{\varepsilon(\tau_i, \tau_0) - \varepsilon_s(\tau_i, \tau_0) - \frac{\sigma(\tau_0)}{E(\tau_0)} [1 + \varphi(\tau_i, \tau_0)] - \sum_{n=1}^{i-1} \frac{\Delta\sigma(\tau_n)}{E(\tau_n)} [1 + \varphi(\tau_i, \tau_n)]\} \cdot \frac{E(\tau_i)}{[1 + \varphi(\tau_i, \tau_i)]}$$

(4)

式中： $\varepsilon_s(t, \tau_0)$ 为混凝土在t时刻的收缩应变； $\varphi(t, \tau_0)$ 为徐变系数，参考铁路桥规进行计算。联立等式(1)和(3)计算可得桥梁测点位置处混凝土的应力状态。

### (二) 线形监测

本桥梁工程为两边跨、一中跨结构，合拢阶段有边跨合拢和中跨合拢，结构在合拢顺序上不对称，合拢阶段张拉的预应力对悬臂梁端的位移有较大影响，可能造成合拢段两侧的累积位移不同，在施工阶段需要对合拢段两端的梁段设置不同的预拱度，若需设置的预拱度差值较大，会使线形控制的难度增大。因此，为确保桥梁线形满足工程要求，通过以0#块件高程数据为基准，采用如图5所示的位移监测形式对桥梁支点和跨中处的高程进行了长期监控量测。为减少温度对测量结果的影响，位移观测安排在早晨进行，每个施工阶段的变形测试时间根据施工阶段的进度来定。



(a) 支点断面 (b) 跨中断面

图5 梁部结构支点及跨中断面位移监测布置图

## 四、监测结果分析

### (一) 应力结果

图6为测点31#墩测点顶板位置处不同测点的应力监测结果，由图可知，随着时间的推移，顶板处应力整体表现为先增大后缓慢减小的变化规律，且在未开展后续作业前，应力峰值为12MPa左右。待后续作业继续进行，顶板混凝土又重新增大，且最终趋于平稳。其次，两测点处的结果整体偏差较小，这佐证了本次试验结果的可靠性和合理性。此外，通过与设计结果对比发现，实测结果与设计结果整体变化趋势一致，但幅值略小于设计值，尤其是在100d后二者差值逐渐增大，这也表明了桥梁顶板整体的应力分布满足设计要求，且存在一定富余。

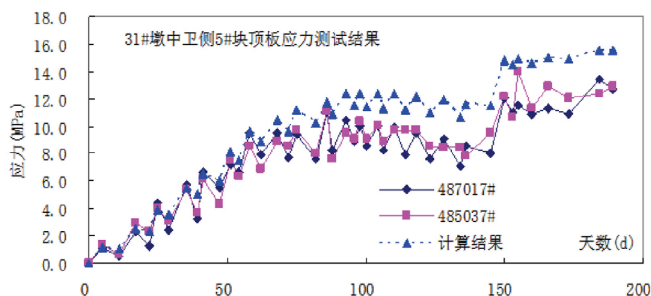
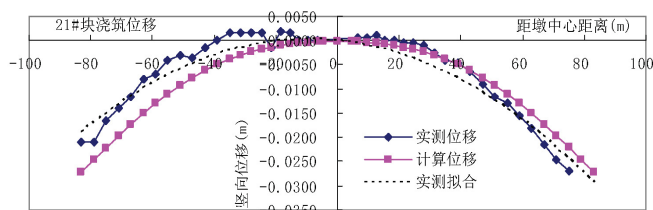


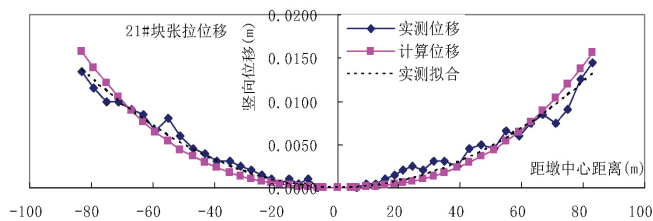
图6 顶板应力结果对比图

### (二) 位移结果

图7为21#墩测点处梁体在浇筑后和预应力张拉后梁体的位移结果，由图可以看出，混凝土浇筑完成后邻近墩身位置，梁体位移较小，随着距墩身中心距离的增大，梁体呈悬臂状态，在重力作用下梁体位移不断增大，近似呈抛物线形。当预应力张拉完成后，距离墩身中心距离越大，梁体向上挠度越大，上述变化规律符合桥梁正常变形特征，且通过与设计结果比对后发现，实测结果与设计结果基本吻合，这表明本桥梁的线形控制效果良好。



(a) 混凝土浇筑后



(b) 预应力张拉后

图7 不同施工阶段梁体位移结果

图8为二期横载完成后梁体的线形分布结果，由图可以看出，施工完成后全桥整体线形呈现为上拱趋势，且在桥梁中部位置处上拱度达到了最大值，约9cm。通过与设计预拱度对比可知，二者间的结果近似吻合，且成桥线形与设计线形整体误差在+1.5cm和-0.5cm之间，满足施工要求。

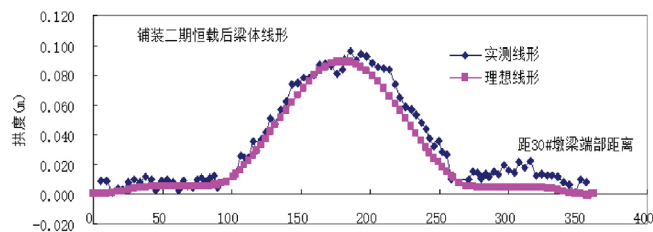


图8 二期恒载铺装后全桥线形对比图

### 五、安全控制

安全是桥梁施工的首要任务。在大跨径连续桥梁施工过程中，必须建立完善的安全管理体系，确保施工全过程的安全可控。

首先，需对施工过程中可能存在的安全风险进行全面评估，制定针对性的控制措施。这包括施工机械的安全操作、高空作业的安全防护、临时设施的稳定性等多个方面。加强安全教育与培训是提高工人安全意识与应对能力的有效途径。通过定期举办安全知识讲座、应急演练等活动，增强工人的安全意识与自我保护能力。严格按照规范要求进行施工是安全控制的基本前提。施工过程中，必须遵循国家及行业相关标准与规范，确保施工工艺与操作流程的合规性。设置安全监测与预警系统是及时发现并预警安全风险的重要保障。通过安装视频监控、烟雾报警等设备，实时监测施工现场的安全状况，一旦发现异常情况立即启动应急预案进行处理。最后，建立应急预案体系是应对突发情况的关键。针对可能发生的各类安全事故制定详细的应急预案，明确应急响应流程、救援措施与责任分工等内容，确保在突发情况下能够迅速、有效地进行应对与处置。

### 结论

本文以某大跨径连续梁施工为例，在论述了大跨径连续梁施工技术要点后，着重分析了桥梁施工过程中应力监测及线形控制技术，具体结论如下：

(1) 在大跨径预应力桥梁施工中，应重点关注张拉机械选择、预应力钢束张拉、预应力钢束锚固、孔道压浆及封端等作业流程及施工要点，确保桥梁施工质量满足工程要求。

(2) 梁体顶板处混凝土应力分布规律与设计结果接近，且相较于设计结果存在一定的富余；不同施工阶段梁体的位移结果与设计值基本吻合，成桥后的最大拱度为9cm，且均位于安全范围之内。

(3) 大跨径连续桥梁的施工技术要点及质量控制是一个复杂而精细的过程，需要设计、施工、监测和管理等多方面的协同努力。通过精准设计、精细施工、严格监测和全面管理，可以确保大跨径连续桥梁的建设质量与安全性能达到设计要求。

### 参考文献

- [1] 李文. 大跨径连续桥梁施工技术要点及质量控制分析[J]. 产品可靠性报告, 2024, (4): 92-93.
- [2] 王宏宾. 高墩大跨径钢结构桥梁施工技术及其质量控制要点探析[J]. 工程建设与设计, 2024, (2): 176-178.
- [3] 蔡亚峰. 大跨径连续桥梁施工技术要点及质量控制措施分析[J]. 运输经理世界, 2023, (8): 72-74.
- [4] 陶凯辰. 大跨径连续桥梁施工技术要点及质量控制研究[J]. 珠江水运, 2023, (4): 89-91.
- [5] 文明高. 大跨径连续桥梁施工技术要点及质量控制措施分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(14): 77-79.
- [6] 王东. 大跨径连续桥梁施工技术在桥梁施工中的应用[J]. 江西建材, 2021, (4): 123-124.