

# 大跨度连续刚构桥梁施工控制关键问题分析与研究

李晓博

广东联检冠粤检测有限公司 广东广州 510800

**摘要:** 大跨度连续刚构桥梁在现代交通建设中占据重要地位,但其施工控制面临诸多关键问题,文章聚焦于此进行深入研究。施工控制中的线形控制、应力控制等是关键环节,且各环节会受结构自重、温度变化、施工工艺等诸多因素影响,要做好施工控制,需阐述对应的控制理论、方法以及监测手段并结合实际案例剖析其在施工过程中的应用及效果,通过对施工控制各关键问题全方位的剖析,旨在揭示各关键问题之间的关联性,进而提出有效的协同优化策略,最终为提升大跨度连续刚构桥梁施工质量、保障结构安全及耐久性提供参考依据。

**关键词:** 大跨度连续刚构桥梁; 施工控制; 线形控制; 应力控制; 协同优化

交通基础设施处于不断发展的态势,大跨度连续刚构桥梁凭借自身独特优势而被广泛应用,不过其结构复杂、施工周期长且受多种因素影响,使得施工控制成为确保桥梁质量与安全的关键所在,加之施工过程中的线形控制与桥梁外观以及行车舒适性密切相关,应力控制更是对结构承载能力与耐久性有着直接影响,同时在实际施工中还面临着诸如如何精准应对环境因素影响、怎样优化施工工艺以保障控制效果等诸多挑战,所以深入分析大跨度连续刚构桥梁施工控制关键问题具有重大意义且值得展开系统研究。

## 一、大跨度连续刚构桥梁施工控制理论基础

大跨度连续刚构桥梁由多个连续的刚构单元组成具备跨越能力强的优势,并且在受力方面需要承受自重、车辆活载、温度变化、风荷载等多种力的作用,致使结构内力分布复杂且相互影响,各部分必须协同受力来保证整体稳定性,其施工控制的基本原理是借助预先的理论分析与计算对桥梁施工各阶段的结构状态进行预测,再结合现场实测数据实时调整施工参数以确保桥梁最终达到设计要求<sup>[1]</sup>。基于该原理,施工控制有着线形控制旨在使桥梁成桥后的线形符合设计预期、保障行车舒适性与结构美观以及应力控制让桥梁结构在施工及运营阶段的应力处于安全合理范围、避免出现裂缝等结构损伤、保障桥梁的耐久性与安全性这样明确的目标,这些理论基础为后续精准开展施工控制工作提供了重要依据<sup>[2]</sup>。

## 二、案例桥梁工程概况

为了贯通区域交通网络、带动两岸经济发展,建设了一

座极为重要的大跨度连续刚构桥梁,该桥全长 888m,主跨径设计为 220m,边跨分别是 180m 和 168m,桥宽达 30m,凭借这样的宽度能够同时容纳双向六车道以及两侧的人行道。要保证桥梁稳固性并兼顾结构合理性,将主墩高度设为 95m 且墩身采用变截面的薄壁空心墩结构,借此结构形式既能减轻自重又可保证强度。考虑到承载能力等因素把梁体选定为预应力混凝土连续刚构,其混凝土强度等级确定为 C60,预应力钢绞线规格为 1860MPa 级别,按照公路 -I 级考虑设计荷载并依据抗震要求把抗震设防烈度设定为 7 度,而为了支撑起整座桥梁的重量,在基础部分采用桩径为 2.5m、桩长平均约 60m 的钻孔灌注桩,且一共布置了 16 根桩来发挥支撑作用。

## 三、线形控制关键问题分析

### (一) 线形控制影响因素分析

在梁体施工过程中,每节段混凝土理论浇筑量依据设计有相应标准,就拿该桥来说,每节段平均浇筑量设定为 45m<sup>3</sup>,然而实际施工时每节段会出现  $\pm 0.8\text{m}^3$  的偏差,而且混凝土容重约 25kN/m<sup>3</sup>,这便使得每节段自重产生  $\pm 20\text{kN}$  的差异,随着众多节段陆续浇筑,全桥自重偏差逐步累积,待到主跨合龙时,进而致使梁体整体线形相较于设计线形出现约 4cm 的竖向偏差,最终影响成桥后行车的舒适性以及线形的整体美观度。梁体属于预应力混凝土连续刚构且主跨径较大,混凝土收缩徐变的影响不容忽视,结合理论计算与过往类似工程经验预估,在建成后的 10 年内,混凝土收缩应变预计可达 350 微应变,徐变系数最终稳定在 2 左右,让

梁体在长期使用过程中产生较为显著的竖向变形, 最终预计主跨跨中累计下挠可达 10cm 左右, 要是施工前期未充分考量并预留恰当的调整余量, 那么必然会导致成桥后的线形与设计预期出现较大程度的偏离, 从而对桥梁的正常使用造成不利影响。

该桥所处地区气候条件多变, 年温差可达 40℃, 昼夜温差约为 15℃, 经过现场温度监测与有限元模拟分析表明, 在夏季高温时段, 当气温较平均气温升高 20℃时, 会造成主跨跨中位置向上拱起约 8cm, 而在冬季低温时, 气温降低同样幅度, 就会致使相应位置向下挠曲约 8cm, 并且昼夜温度的周期性变化也会使梁体持续产生微小的反复变形, 倘若对线形控制缺乏精确把握, 这些变形不断累积, 就会严重破坏线形的平顺性, 进而影响桥梁的结构受力状态与外观效果。在悬臂浇筑施工中, 所采用的挂篮自重约为 80t, 通过荷载试验可知, 其满载时的弹性变形平均可达 6cm, 非弹性变形处于 1-2cm 区间, 在每一节段施工时, 若不能精准预估并有效补偿这些变形, 那么梁体在纵向就容易出现明显的阶梯状线形偏差, 从而极大地破坏桥梁整体线形的流畅性与连贯性, 最终影响桥梁的美观和行车体验<sup>[3]</sup>。在预应力钢绞线张拉时, 规定的张拉控制应力为 1395MPa, 实际施工过程中, 若应力偏差超过允许值  $\pm 5\%$ , 就会导致梁体产生不正常的起拱或下挠现象, 例如在边跨某节段施工时, 张拉设备故障致使预应力施加应力偏差达到了 8%, 造成该节段梁端较设计线形上拱了 3mm, 后续节段施工时就需要采取额外的调整措施来纠正这一偏差, 以此保障线形的准确性和连贯性。

## (二) 线形控制理论与方法应用

该桥梁存在特定的结构特点与施工要求, 对此建立涵盖梁体、桥墩、基础等全桥结构且将梁体划分为 200 个单元、节点数量达 240 个, 同时全面考虑材料非线性、几何非线性以及施工过程动态模拟的精细有限元模型, 准确输入像混凝土弹性模量、施工各阶段荷载以及边界条件等关键参数, 能够较为精准地预测各施工阶段以及成桥后的线形情况, 进而让预测线形与设计线形的误差得以控制在  $\pm 3\text{cm}$  以内, 从而为施工过程中的实时调整提供坚实的理论支撑。而要保证在施工过程中可以及时察觉线形偏差并采取相应调整措施, 在施工现场沿着桥梁纵向每隔 5m 布置一个测量控制点, 运用高精度全站仪开展线形数据采集工作, 其测量精度能达到

$\pm 1\text{mm}$ , 并且在诸如每个节段混凝土浇筑完成后、预应力张拉前后等关键施工节点的关键时段, 都会进行多次重复测量, 同时结合水准仪、GPS 定位系统等多种测量手段进行数据复核, 以此确保采集到的数据真实、准确、可靠。一旦出现实测线形与理论预测线形存在偏差的情况, 就需要及时采取有效的调整手段, 比如当某节段发现下挠偏差达到 5 厘米时, 基于要使最终成桥线形最大偏差控制在设计要求的  $\pm 5$  厘米范围内, 确保桥梁线形符合预期标准, 保障桥梁的使用性能和结构安全这一目的, 便可通过每次调整 2-3mm 的后续节段立模标高, 并结合对预应力大小的适度微调, 来逐步纠正线形偏差<sup>[4]</sup>。

## (三) 案例桥梁线形控制实施过程与结果分析

在基础施工阶段, 钻孔灌注桩的桩位偏差以及垂直度偏差会对后续施工产生重大影响, 要严格把控其桩位偏差在  $\pm 5\text{mm}$  以内、垂直度偏差控制在 1/100 以内, 以此为后续的墩身、梁体施工提供精确的基准。而墩身施工需要高精度保障, 施工时借助高精度的模板以及激光铅垂仪等先进设备来确保墩身的垂直度误差不超过  $\pm 3\text{mm}$ , 进而为后续梁体施工奠定良好基础。到了梁体悬臂浇筑阶段, 每节段施工时立模标高的准确性对线形控制起着关键作用, 便每节段施工前依据之前的实测数据和理论计算结果精细调整挂篮的立模标高且在施工过程中实时监测挂篮变形、混凝土浇筑质量等关键要素, 全方位确保线形按既定计划得到有效控制。不过, 暴雨天气这一突发情况致使混凝土原材料含水率大幅波动, 进而影响了混凝土的性能, 最终导致某节段梁体自重出现偏差, 使得线形出现了 3cm 的偏差, 为纠正这一偏差, 施工团队迅速分析原因, 基于问题所在在后续施工中加强了原材料的检测频率与含水率监控, 同时针对出现问题的节段通过增加临时配重、微调后续节段立模标高等针对性方式进行纠正, 从而使线形回归到可控范围之内。经过线形控制工作, 这座桥梁最终成桥线形与设计线形的吻合度较高, 最大偏差控制在  $\pm 4\text{cm}$  以内, 满足了设计和使用要求。

## 四、应力控制关键问题分析

### (一) 应力控制影响因素分析

荷载作用方面存在诸多影响因素, 像恒载影响显著, 桥梁自身结构自重产生的恒载应力不容忽视, 主跨径大致使梁体跨中部位恒载产生的压应力可达 10MPa 左右且让墩身承受巨大竖向压力, 进而要求对薄壁空心墩截面应力分布进

行精细把控,同时活载按公路-I级设计荷载要求会使梁体应力产生复杂动态变化,重型卡车通过主跨时跨中截面下缘拉应力增量可达2MPa左右。不同车道、车辆组合情况各异使得活载应力叠加复杂,还有悬臂浇筑时挂篮、施工机械等临时荷载的存在会改变结构应力分布并容易造成应力集中影响结构安全,以及材料特性方面混凝土强度等级为C60,其弹性模量等材料参数有取值范围,材料性能存在离散性,一旦混凝土实际弹性模量比设计值低5%,在荷载作用下就会使梁体变形增大进而出现应力重分布情况甚至可能超出安全范围<sup>[5]</sup>。再加上施工环节方面存在特定的施工过程及操作要求,在体系转换过程中主跨合龙时因临时约束解除和结构刚度变化会使梁体和墩身应力突变,控制不好易引发结构损伤,预应力施加时规定张拉控制应力为1395MPa,实际施工中应力偏差超过允许范围就会使梁体应力状态失衡,像张拉应力过大时梁体上缘压应力过高、下缘拉应力储备不足,最终影响结构耐久性与承载能力,这些因素综合起来会给桥梁结构应力带来相应变化及安全隐患。

## (二) 应力控制的监测手段与技术

为了全面准确地获取应力数据,选用应变片、光纤光栅传感器等对应力进行监测,在梁体的关键截面需沿纵向、横向和竖向合理布置8-10个传感器,同时墩身沿高度方向每隔5m布置相应传感器。只有获取到准确可靠的数据才能掌握结构应力状态,对此要搭建自动化的数据采集系统,设定合适的采集频率,对采集到的大量原始数据进行滤波、去噪以及剔除异常数据等处理,再借助分析软件将应变数据转换为应力数据,以此实现实时掌握结构应力状态。要判断结构应力是否安全合理,需依据设计规范和理论计算的应力允许值,拿实测应力数据与之对比,比如梁体混凝土拉应力不应超过2MPa,压应力需控制在16MPa以内,一旦发现应力超限情况,就要及时采取相应措施进行调整。

## 五、线形控制与应力控制的关联性及协同优化

在桥梁相关工作中,线形的变化会引起应力重分布,像梁体一旦出现不合理的下挠或上拱,就会改变结构内力,致使应力超出安全范围,而且应力状态也会对线形产生影响,

倘若应力控制不佳,出现过拉应力引发裂缝等情况,便会破坏结构整体性,进而影响线形的平顺性,对此需要进行协同优化,协同优化具体是指建立统一的控制模型,将线形、应力控制目标同时涵盖在内,借助有限元分析等手段在施工各阶段预测二者变化情况。在施工过程中,实测的线形和应力数据,若发现某节段存在线形偏差,那么调整时就必须兼顾应力变化,否则纠正线形就可能使应力超出限定范围,同理,当应力出现异常时,采取的调整措施也不能破坏已设定好的线形控制目标,只有通过这样的协同优化,才能够保障桥梁在施工以及运营阶段既拥有符合要求的外观线形,又具备合理安全的应力状态,从而达到提升桥梁整体质量与性能的效果。

## 六、总结

大跨度连续刚构桥梁施工中结构自重、温度变化、施工工艺等因素对线形与应力有着显著影响,需要对其施工控制关键问题展开全面分析与研究,以明晰线形控制、应力控制等方面的重难点及相互关联,并且要应对这些影响因素就必须依靠科学的理论方法、精准的监测手段以及合理的协同优化策略,能够保障桥梁质量、安全及使用性能。要满足日益增长的交通需求以及更好地推动大跨度连续刚构桥梁建设发展,未来仍要不断探索改进并结合新技术进一步提升施工控制水平。

## 参考文献:

- [1] 黄卫雄. 大跨度连续刚构桥梁施工控制关键问题分析[J]. 交通世界, 2021,(20):140-141.
- [2] 曾祥红. 大跨度连续刚构桥梁施工控制关键问题分析与研究[J]. 四川建材, 2018,44(07):143-144.
- [3] 刘东霞. 大跨度连续刚构桥梁标准施工控制关键问题分析[J]. 中国标准化, 2016,(15):202-203.
- [4] 熊业会. 大跨度连续刚构桥梁施工控制关键问题分析与研究[J]. 黑龙江交通科技, 2016,39(06):117+119.
- [5] 梁蕴飞. 大跨度连续刚构桥梁施工控制关键问题分析与研究[J]. 交通世界(运输·车辆), 2015,(12):68-69.