

# 大跨径连续钢箱梁桥大节段吊装施工监控技术研究

刘元铨

(青州市公路事业发展中心 山东 潍坊 262500)

**摘要:**为了保证连续钢箱梁桥在中跨大节段吊装合拢过程中的位移以及各项力学性能满足要求,本文以浙江杭宁高速改扩建工程新展桥的重建为工程背景,采用有限元软件 MIDAS/Civil 对桥体进行建模分析,通过有限元模型以及钢箱梁既定的施工方案、块段参数对钢箱梁的施工过程整体进行模拟。以此可以清晰的计算出钢箱梁桥在施工过程中个施工阶段下结构的挠度应力等数据变化,并以此为依据构建施工监控方案,通过理论数据与实际施工过程中产生的应力变形数据相互对比,以保证合拢顺利,并确保施工过程中桥体的安全稳定性。

**关键词:**钢箱梁;施工控制;大节段吊装;大跨度

【中图分类号】U445.72 【文献标识码】A

【DOI】10.12293/j.issn.1671-2226.2022.27.002

近年来,随着国家基建事业的发展,钢箱梁桥以其高强度、自重轻、抗弯刚度及抗扭刚度大等特点,在桥梁建设比例中不断加大,现已成为了我国大跨径桥梁的主要构造形式<sup>[1]</sup>。我国钢箱梁桥发展起步较晚,但依托于国家政策支持,发展速度较快,伴随着当下改扩建工程的兴起,越来越多的新建桥梁采用了钢箱梁的形式。

大节段吊装技术在钢箱梁桥的施工中被广泛应用,而随着钢箱梁桥跨径的不断增大,施工的技术难度也随之加大,因此对施工过程的控制显得尤为重要<sup>[2-4]</sup>。施工监控作为项目实施不可或缺的重要环节,行之有效的施工控制能够有效地保证桥梁建设的安全。桥梁施工技术的基本理论指导整个施工过程,利用计算机对各工况桥体的应力应变进行各施工阶段模拟,同时在现场实时收集各环节的实测数据<sup>[5-7]</sup>。由于受到各种外部因素影响,桥梁模型与桥梁实际情况势必有着一定的差异,随着施工过程的进行,需要进行不断调整改进有限元模型,以模型计算值作为理论依托,在重要施工阶段前后进行现场数据采集,并与理论值进行对比,保证数据偏差在安全范围内,必要时叫停施工。总之,桥梁控制系统是保障桥梁安全建设的重要工具<sup>[8,9]</sup>。

## 1 工程概况

新展桥主桥跨度布置为(50+70+50)m,采用变高度连续钢箱梁,钢箱梁全长为169.8m,箱梁两端各留10公分端部施工

缝,钢箱梁(线路中心线处)立面处在半径为12000m的竖曲线上,线路中心线处的平曲线半径为8661.971m,左幅箱梁中心线处的平曲线半径为8653.221m,右幅箱梁中心线处的平曲线半径为8670.721m,左幅位于曲线内侧,上部结构分左右两幅布置,单幅桥宽16.5m,桥墩利用现有桥墩进行改造,承台和基础维持原结构不变。

钢箱梁采取多段预制,现场逐段焊接的形式。考虑到运输以及吊装拼接的方便,单幅箱梁在厂内分节段制作与分块件制造,中跨大节段吊装前在选取合适的场地进行总拼,形成大节段,为保证主梁成桥后的线形,对主桥边跨和中跨的钢箱梁分别进行预拱度设置。对于边跨钢箱梁的分块考虑分为5块,单块的长度在10米左右,重量在90t左右,墩顶设置一个块段,长度约为5米,重量约80t;跨中设置对称的悬挑段两个,长度约为5米,重量约为54t,中跨合拢大节段长度为54.54米,重量约为542t。

## 2 监控系统布设

### 2.1 有限元模拟

施工过程的模拟计算分析采用midas Civil软件,根据前述施工步骤,钢箱梁的施工可按照三个大的施工阶段进行模拟。第一阶段为边跨钢箱梁的吊装滑移,第二阶段为中跨悬挑段的吊装,第三阶段为中跨大节段的吊装。

钢箱梁模拟计算的主要内容为各施工阶段应力及位移,

以及中跨大节段吊装时的抗倾覆稳定性。严格按照拟定的施工方案进行模型的建立,对各施工阶段进行准确模拟,使计算结果最大限度地接近桥梁真实状况,桥梁整体模型如图 2.1。

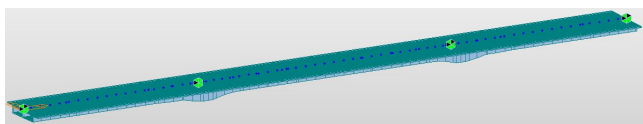


图 2.1 钢箱梁整体有限元模型

### 2.2 监控断面选择及测点布置

在不同的施工阶段,钢箱梁的内力分布发生很大的变化,因此在不同的施工阶段应选择不同的截面进行应力及位移监测。

#### 第一施工阶段,边跨钢箱梁滑移拼装阶段

由于本阶段梁段均系在支架上进行拼装,拼装过程中梁段应力及变形均较小,本阶段施工监控的重点是严格控制梁段接头处的标高及平面坐标。因此,本阶段不进行应力监控,只进行拼装时的线形监控,控制截面为各梁段的拼装截面。监控指标为高程、中线偏位及横坡,轴线偏位及高程控制误差均为  $\pm 5\text{mm}$ 。新展桥边跨共划分为 6 个梁段,监控截面为 0-0 至 6-6 截面。

#### 第二施工阶段,中跨悬挑段吊装阶段

中跨悬挑段吊装时边跨支架仍未拆除,吊装过程中,箱梁应力及变形均很小,因此此阶段监控的主要任务是控制悬挑段拼装时的线形,监控断面为墩顶梁段与悬挑段的拼装截面,监控指标为高程、中心偏位及横坡。

悬挑段拼装完成后拆除边跨支架,此时边跨受力模型为单悬臂梁,承受的荷载为箱梁自重及桥面吊机自重,箱梁出现较大的应力变化及变形,但总体应力水平仍不高,因此仅选择应力较大的跨中截面作为应力监测截面,变形监测截面仍取各梁段的分界截面。

#### 第三阶段:中跨大节段吊装阶段

本阶段边跨钢箱梁受力模型为单悬臂梁,承受的外部荷载为吊机自重、中跨大节段吊装荷载。中跨大节段吊装时边跨总体应力水平仍较低,因此选取边跨跨中截面布设应力测点,选取各梁段分界截面作为变形监测截面。

本阶段中跨大节段的制作过程为先分段制作,各梁段制作完成后在再胎架上进行拼装,新展桥中跨大节段划分为 4 个梁段。由于梁段拼装在胎架上进行,拼装过程中各梁段的应力及变形均很小,因此此阶段监控的重点是拼装线形。监控截面仍选择梁段分界处,监控指标为高程、中线偏位及横坡。

中跨大节段在吊装过程中由自重引起的应力及变形均较大,此阶段选择跨中截面作为应力监测截面,线形监测仍选择梁段分界处。

## 3 监控结果分析

### 3.1 线形监测结果分析

本文以各节段焊接为重要节点,对于焊接前后采集数据与模拟的理论值分析对比,篇幅有限,文中只给出悬臂末端的 1# 块和 2# 块的数据(该数据均使用美国天宝 DIN13 精密水准仪测得),如表 3.1 所示。

表 3.1 钢箱梁拼装线形监测结果一览表

| 块段编号 | 测点桩号          | 项目  | 高程 (m) |        |        | 横坡度 (%) | 中线偏位 (mm) |
|------|---------------|-----|--------|--------|--------|---------|-----------|
|      |               |     | 外侧     | 中线     | 内侧     |         |           |
| 1#   | K2226+234.554 | 设计值 | 11.107 | 11.219 | 11.331 | 2       | -3        |
|      |               | 实测值 | 11.110 | 11.222 | 11.335 | 2.01    |           |
|      |               | 偏差值 | 0.003  | 0.003  | 0.004  | 0.01    |           |
|      | K2226+244.309 | 设计值 | 11.204 | 11.316 | 11.428 | 2       | -4        |
|      |               | 实测值 | 11.209 | 11.318 | 11.431 | 1.98    |           |
|      |               | 偏差值 | 0.005  | 0.002  | 0.003  | -0.02   |           |
| 2#   | K2226+244.429 | 设计值 | 11.209 | 11.321 | 11.433 | 2       | -4        |
|      |               | 实测值 | 11.212 | 11.325 | 11.438 | 2.02    |           |
|      |               | 偏差值 | 0.003  | 0.004  | 0.005  | 0.02    |           |
|      | K2226+253.890 | 设计值 | 11.279 | 11.391 | 11.503 | 2       | -2        |
|      |               | 实测值 | 11.280 | 11.387 | 11.507 | 2.03    |           |
|      |               | 偏差值 | 0.001  | -0.004 | 0.004  | 0.03    |           |

所有测点高程实测值与设计控制值偏差值均介于  $-4\text{mm}\sim 5\text{mm}$  之间,均满足不超过  $\pm 5\text{mm}$  的设计要求;横坡度偏差均介于  $-0.02\%\sim +0.03\%$  之间,均小于  $\pm 0.15\%$  规范限值;中

线偏位介于 -2mm~-4mm 之间,均满足不超过 ±5mm 的设计要求。

### 3.2 应力监测结果分析

为了观察和考核整个提升施工系统的工作状态,在正式提升之前,进行提升试验。试提升采用分级加载的方式,按照 20%、40%、60%、70%、80%、90%、95%、100% 分级加载,直至结构全部离地,在空中停滞一段时间后结束提升试验。通过对提升试验过程的监测,可得出吊装过程中各控制截面应力及变形的实际数值,是保证吊装安全的重要环节。可根据之前布置的监测点进行数据监测,采用 JMZX-3001 型应变采集仪对应力进行采集,由于监测的部位较多,文章篇幅有限,本文以中跨大节段吊装阶段边跨跨中截面为例进行展示,分级加载应力数据见表 3.2。由数据监测可以看到,在桥体应力实时监测过程中,测得压应力的最大值不足 19MPa,满足钢箱梁的强度极限值。此外,应力实测值与有限元计算的理论值之间存在一定的误差,除个别点偏差略大外,实测值与理论值基本相符。误差来源主要来源于温度影响和建模误差:有限元建模采用梁单元代替实体单元,选取材料参数时采用的实际材料的理论值,由于施工材料特性的差异导致了理论值存在些许误差;外部环境也是影响测量的重要因素,此外, JMZX-3001 型应变采集仪在安装、信号传输及灵敏度等方面也存在一定的误差。

表 3.2 新展桥分级荷载作用下监测截面理论应力值

| 荷载分级 | 20% | 40%  | 60%   | 70%    | 80%    | 90%    | 95%    | 100%   |        |
|------|-----|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 边跨跨中 | 上缘  | 2.74 | 5.48  | 8.22   | 9.59   | 10.96  | 12.33  | 13.015 | 13.7   |
|      | 下缘  | -3.7 | -7.40 | -11.10 | -12.95 | -14.80 | -16.65 | -17.58 | -18.50 |

### 4 结论

本文依托于新展桥工程项目,按照结构尺寸、设计参数以及施工流程建立有限元仿真模型,监控方案围绕钢箱梁成桥线型及应力问题展开研究,将仿真数据与现场实测数据分析对比后,最终得出以下结论:

利用 Midas/Civil 有限元软件建立仿真模型,比对理论与实

测数据并做出分析,得出有限元软件模拟数据与实测值之间差值在容许误差范围内,可以有效指导实践,证明了该方法的科学性。本文依托该工程,详细分析钢箱梁特点建立了较全面的控制量测方案,采集各监测点实时数据并分析比对,参考相关规范,证明此方案是行之有效的。对各施工阶段测得的应力应变值处理分析,结果表明,实测值始终在规范允许的误差范围内浮动,与模型理论值相差较小,表明施工质量达标。

### 参考文献:

[1]. 陈绍游,大跨度钢箱梁的制作与分段吊装技术研究与应用,2005,重庆大学. 153.

[2]. 张苒,大型钢箱梁桥施工监控技术分析,2011,河北工程大学. 64.

[3].孙晓迈,大跨径宽幅钢箱梁施工技术难点及关键技术.四川建筑,2022. 42(01): 179 ~ 182.

[4]. 杨红兵与闫荣伟,浅谈大跨度钢箱梁顶推施工技术方案分析.科技与创新,2022(01): 85 ~ 87.

[5].张太科周小蓉,大跨度桥梁钢箱梁设计要素简述.中外公路,2005(04): 139 ~ 141.

[6].杜义祥,付元元与刘光焰, MIDAS 建模技术和最小二乘法在桥梁施工监控中的应用.四川建筑,2021. 41(03): 85 ~ 88.

[7].申更新,桥梁施工监控的目的及相关措施研究.交通世界,2020(16): 154 ~ 155.

[8]. 张运涛,大跨钢箱梁桥顶推施工安全控制研究,2014,长安大学. 71.

[9] Jones R , D Horner, Sullivan P , et al. A methodology for quantitatively assessing vehicular rutting on terrains [J]. Journal of Terramechanics, 2005, 42(3-4):245-257.