

基于逐段安装线形的钢箱梁制造尺寸计算研究

陈思铭, 陈常松, 颜东煌

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为了确定钢箱梁的制造尺寸, 确保成桥后主梁线形满足设计线形要求, 以嘉鱼长江公路大桥为研究对象, 根据待悬拼梁段与相邻已安装梁段间的无应力关系, 由主梁安装线形推导了无应力线形的计算方法, 基于两种主梁拼装方式进行施工阶段分析, 确定了嘉鱼长江公路大桥钢箱梁制造尺寸。分析表明: 采用该文方法进行折线拼装迭代可精确高效求解钢箱梁制造尺寸。

关键词: 钢箱梁; 悬臂拼装; 制造尺寸; 无应力线形

大跨度钢箱梁斜拉桥一般采用分段悬臂拼装施工, 待拼装梁段在悬吊状态下与前一梁段精确匹配焊接, 循环往复至全桥合龙。在悬臂拼装施工过程中钢箱梁的受力状态不断发生变化, 钢箱梁在制造阶段、悬拼阶段和成桥阶段的线形并不一致, 而焊缝宽度留给施工过程中的调整余量非常有限, 在制造过程中若不考虑钢箱梁不同阶段下的尺寸差异, 待拼装梁段与前一梁段拼装时需调整焊缝宽度, 这种调整不可避免地会影响焊接质量, 从而影响主梁成桥线形。因此如何准确控制钢箱梁的制造线形, 满足梁段匹配拼接要求, 使主梁成桥线形满足设计线形要求, 是当今钢箱梁制造的关键技术之一。

随着近年大量斜拉桥的修建, 针对钢箱梁悬臂拼装施工提出了多种施工控制方法。无应力状态法的提出方便了钢箱梁斜拉桥的施工控制工作。该文基于无应力状态理论提出由逐段安装线形计算无应力线形夹角和长度的方法, 以嘉鱼长江公路大桥为研究对象验证该方法的实用性, 并给出相应的计算结果。

1 主梁的安装线形

钢箱梁的理想制造线形是一条连续光滑的曲线, 而实际梁段制造采用以直代曲, 分段制造。用分段直线近似曲线存在夹角 α , 夹角 α 为主梁制造无应力夹角。制造线形的本质是各梁段在无应力状态下的相互关系, 悬臂拼装的钢箱梁在荷载作用下变形较大, 制造线形与安装线形不一致。安装线形有两种定义方式,

第一种为节段悬拼中各节段吊装时前段(自由端)节点坐标连成的线形, 由于各节段在不同工况下安装, 因此由前段节点连成的线形显然是一条虚拟的线形; 第二种为各种工况下, 主梁各节点连成的线形, 这条线形是实际存在的且不同工况下线形是不同的。第一种定义的安装线形只有一条, 第二种定义的安装线形每个工况下有一条。

如图1所示, 梁段 i 安装时, 相邻梁段 $i-1$ 在荷载作用下发生了变形, 此时梁段 $i-1$ 的 i 端断面产生的转角变形为 θ_i , α_{i-1} 和 α_i 分别为 $i-1$ 梁段和 i 梁段与水平线的夹角。显然, β_i 为制造线形中 $i-1$ 梁段和 i 梁段间的夹角。若主梁制造时前后梁段间夹角为 β_i , $i-1$ 梁段和 i 梁段安装时保证其与水平线夹角为 α_{i-1} 和 α_i , 则前后梁段可实现无缝拼接, 后一梁段的定位标高自然满足施工控制要求。

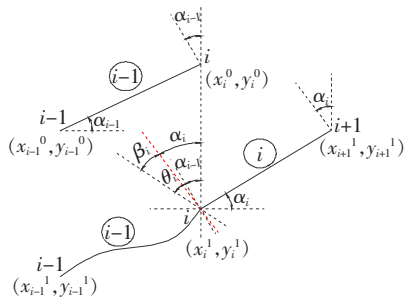


图1 梁段安装线形示意图

2 主梁制造线形计算

由上文可知, 在主梁悬拼时考虑已拼装梁段在荷

载下的转角位移 θ_i 的过程等同于将已拼装梁段恢复成无应力状态, β_i 即可表示前后梁段间的无应力状态关系。梁段预拼无应力夹角可通过施工全过程的分析结果求解,具体计算方法如下:

(1) 建立考虑施工全过程的全桥有限元分析模型,按照如图 2 所示的操作流程迭代求解安装线形。

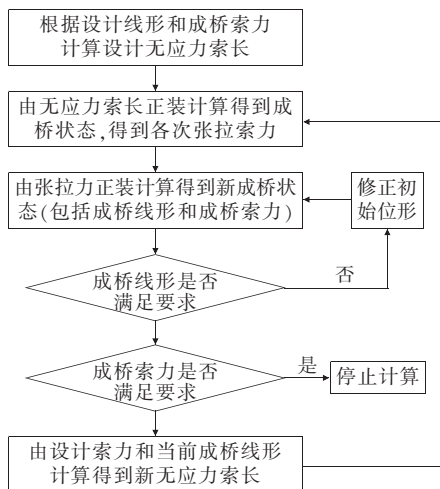


图 2 安装线形计算流程

(2) 获得梁段安装线形以及各阶段节点坐标的计算结果后,可通过式(1)~(4)计算无应力夹角。

$$\theta_i = \theta_i^1 - \frac{|(y_i^1 - y_i^0) - (y_{i-1}^1 - y_{i-1}^0)|}{L_{i-1}} \quad (1)$$

$$\alpha_{i-1} = \arctg\left(\frac{y_i^0 - y_{i-1}^0}{x_i^0 - x_{i-1}^0}\right) \quad (2)$$

$$\alpha_i = \arctg\left(\frac{y_{i+1}^1 - y_i^1}{x_{i+1}^1 - x_i^1}\right) \quad (3)$$

$$\beta_i = \theta_i + \alpha_{i-1} - \alpha_i \quad (4)$$

式中: θ_i^1 为梁段 i 安装时 $i-1$ 梁段 i 端转角位移; L_{i-1} 为梁段 $i-1$ 的长度; x 和 y 为主梁节点坐标,首次正装计算的主梁节点坐标取设计坐标,以后每次正装计算的节点坐标取前一次的制造线形坐标。

随着斜拉索不断张拉,钢箱梁段所承受的轴向力由无到有、逐渐增大,梁段的轴向长度不断减小,若不提前考虑对梁段长度的补偿,则会对梁段里程定位造成影响。第 n 号梁段压缩修正量可通过式(5)修正。

$$\Delta L_n = \Delta u_{n-1} - \Delta u_n \quad (5)$$

式中: Δu_{n-1} 为 $n-1$ 号梁段前端从 $n-1$ 号梁段拼装完成到成桥时的累计轴向位移值; Δu_n 为 n 号梁段前端从 n 号梁段拼装完成到成桥时的累计轴向位移值。

3 工程实例

3.1 工程概况

嘉鱼长江公路大桥为主跨 920 m 的空间双索面非对称混合梁斜拉桥,跨度组合为(70+85+72+73) m+920 m+(330+100) m,主桥北边跨采用预应力混凝土箱梁,中跨和南边跨采用钢箱梁。全桥钢箱梁共划分为 15 类,共 97 个梁段,标准梁段长 15 m。主桥布置图如图 3 所示。

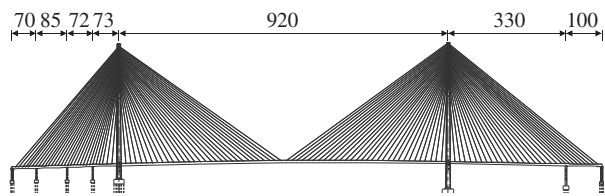


图 3 嘉鱼长江公路大桥主桥布置图(单位:m)

3.2 有限元模型的建立

嘉鱼长江公路大桥施工全过程分析采用长沙理工大学开发的桥梁非线性分析软件 CSBC 建立有限元分析模型,CSBC 能够按照无应力索长施加索力,自动迭代主梁的安装线形,迭代计算收敛后自动输出结构无应力参数。全桥共划分为 706 个单元,其中混凝土梁单元 78 个,钢箱梁单元 189 个,两端带刚臂的悬链线斜拉索单元 120 个。

在施工全过程分析中主梁新单元的安装主要有两种方式:①折线拼装法,待安装单元的前端节点随着已安装单元的前端节点平动,但不随其转动;②切线拼装法,待安装单元的前端节点随着已安装单元的前端节点平动和转动。

该文所述制造线形计算方法适用于主梁折线拼装,为进行数据对比,采用切线拼装法算得主梁制造尺寸数据。非线性分析软件 CSBC 具有主梁单元折线拼装的功能,迭代计算时主梁单元和自重按照施工过程逐阶段安装和施加;主梁单元切线拼装是通过调整梁单元激活次序实现,迭代计算时主梁单元(合龙段除外)一次安装完成,主梁单元自重按照施工过程逐阶段施加,相邻单元之间自然满足切线关系。

首轮迭代时以设计坐标为初始迭代坐标,根据设计成桥状态计算所得的无应力索长控制拉索张拉力,两种拼装迭代方式分别经过 8 轮和 10 轮迭代计算后收敛,成桥线形与目标线形误差在允许范围内。

3.3 制造线形计算结果

图4为两种拼装方式求解钢箱梁制造线形的计算结果。

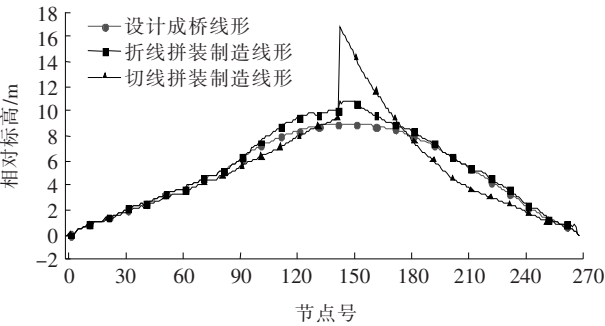


图4 嘉鱼长江公路大桥钢箱梁制造线形

由图4可知:①制造线形与成桥线形相比存在差别,由于南北两岸主梁悬臂长度不一致,主梁在正装计算时成桥累计位移存在差异,因此制造线形在合龙口处出现一定程度的标高突变;②折线拼装的处理方法与实际悬拼过程一致,能真实反映梁段的安装状态,因此制造线形较为平缓,大体接近设计成桥线形;③切线拼装制造线形相对设计成桥线形存在较大差异,这是由于切线拼装对误差非常敏感,较小的误差,尤其是转角误差,在悬拼过程中将急剧放大,从而导致制造线形与设计线形差别较大,中跨主梁制造线形出现跳跃。

3.4 制造尺寸计算结果

计算时程序提取相应阶段的主梁节点轴向位移,进而计算梁段轴向压缩补偿量。两种拼装方式求解的补偿量如图5所示。

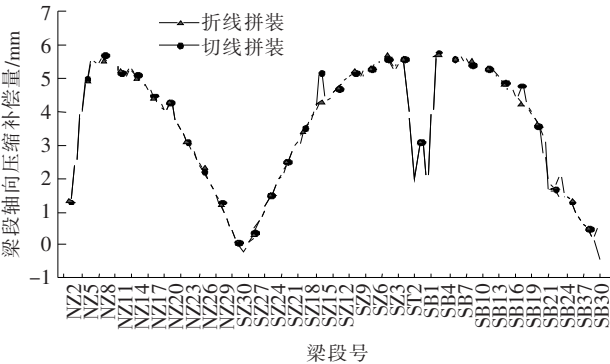


图5 梁段轴向压缩补偿量

由梁段理论水平投影长度和轴向压缩补偿量可得梁段制造长度,该长度为节段梁顶面长度且已考虑钢箱梁纵坡影响,制造长度见表1(限于篇幅,只列出主梁跨中部分结果。下同)。

提取相应阶段的节点位移,由式(1)~(4)计算求得主梁节段间的无应力预拼夹角,根据夹角与设计中心

心梁高(3 800 mm)计算得到顶底板缝宽差值。预拼无应力夹角及缝宽差值见表2,夹角为正代表接缝朝下张口,缝宽差值为正表示拼接缝下缘间隙大。

表1 主梁制造长度

拼装方法	梁段	设计长度/mm	轴向压缩修正/mm	桥面纵坡修正/mm	制造长度/mm
折线拼装	NZ29	15 000.0	0.4	0.2	15 000.6
	NZ30	15 000.0	0.1	0.2	15 000.3
	ZH1	4 400.0	0	0	4 400.0
	SZ30	15 000.0	0	0.1	15 000.1
	SZ29	15 000.0	0.3	0.1	15 000.4
切线拼装	NZ29	15 000.0	0.5	0.2	15 000.7
	NZ30	15 000.0	0.1	0.1	15 000.2
	ZH1	4 400.0	-0.3	0	4 399.7
	SZ30	15 000.0	0	0.1	15 000.1
	SZ29	15 000.0	0.4	0.1	15 000.5

表2 预拼夹角及缝宽差值

拼装方法	梁段	预拼夹角/(°)	缝宽差值/mm
折线拼装	NZ29—NZ30	-0.013	-0.862
	NZ30—ZH1	-0.431	-28.585
	ZH1—SZ30	0.010	0.663
	SZ30—SZ29	0.027	1.791
切线拼装	NZ29—NZ30	-0.002	-0.133
	NZ30—ZH1	-2.746	-182.122
	ZH1—SZ30	-0.004	-0.265
	SZ30—SZ29	0.019	1.260

由表1、2可知:两种拼装迭代方式求解的主梁制造长度差异非常小,预拼夹角及缝宽差值仅在合龙段出现较大差异,切线拼装的缝宽差值达182.122 mm,在实际拼装焊接中缝宽差值过大会加大焊接难度,影响焊接质量,甚至出现无法焊接的情况。

4 结语

根据斜拉桥主梁安装线形推导无应力线形的计算公式,确定了嘉鱼长江公路大桥钢箱梁制造尺寸的计算方法。基于两种主梁拼装方式进行施工阶段分析,结果证明采用该文方法进行折线拼装计算可精确高效求解钢箱梁制造尺寸。该文方法在嘉鱼长江公路大桥上的顺利应用,验证了该方法的实用性。

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.02.020

多元分布代表点法在服役锈蚀梁可靠性分析中的应用

蔡俊华^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 三明市交通建设集团有限公司)

摘要: 为了高效率、高精度地对服役锈蚀梁可靠性展开研究, 该文基于数论方法中的多元分布代表点提出了一种新的可靠度计算方法。首先, 介绍了多元分布代表点的定义和生成方法, 以及多元随机变量函数特征值(均值及标准差)的计算方法; 随后建立了服役锈蚀梁的抗弯承载力及可靠度计算模型; 最后基于多元分布代表点法对服役锈蚀梁的承载力及可靠性进行分析, 并将分析结果与 JC 法及 Monte Carlo 方法得到的计算结果进行对比。同时基于不同混凝土保护层厚度和强度下锈蚀梁抗弯承载力的退化规律, 对结构抗弯承载力进行敏感性分析。研究表明: 该文提出的方法具有较好的计算效率及较高的计算精度, 能大幅减少样本的数量, 适应于工程实际运用。同时混凝土保护层厚度及强度的合理增大均能有效提高锈蚀梁在服役过程中的抗弯承载力。

关键词: 多元分布代表点法; 锈蚀梁; 承载力; 可靠性; 蒙特卡洛法

在钢筋混凝土(RC)构件服役期间, 由于氯离子侵蚀等外界环境的影响, 钢筋及混凝土的几何特性、材料力学性能、钢筋混凝土之间的黏结程度均会发生一定的改变, 从而导致结构承载力和可靠性下降, 最终带来较大的人员伤亡和财产损失。近年来, 部分学者对锈蚀构件承载力及可靠性进行了大量研究。张克波针对多片梁的正截面抗弯承载力进行对比试验, 结合已有研究成果, 给出了极限状态下锈蚀 RC 的应力应变关系, 并给出了一种锈蚀 RC 梁抗弯承载力的计算分析方法; 牛荻涛等在国内外研究基础上, 提出了锈蚀 RC 梁抗弯承载力计算方法, 给出了锈蚀梁的抗力衰减随机模型; 秦权在考虑退化结构功能函数随机过程和 3 种不同的活载过程基础上, 推导出一个时段内的时变可靠度公式, 并用算例验证。目前大部分学者在计算

服役结构承载力或可靠度时均采用 Monte-Carlo 法, 虽然此法得到的结果精度较高, 但其计算复杂、计算成本高昂, 不利于作为实际工程可靠性分析的常规方法。

在锈蚀梁承载力分析中, 选择适当的分析方法计算承载力均值及标准差函数直接影响着可靠性分析的准确性。目前越来越多的学者关注结构可靠性的分析方法。王国萍基于桥梁结构抗力分析, 运用中心点法、JC 法、映射变换法和实用分析法对结构可靠指标进行计算, 给出了计算迭代步骤, 并对比分析了以上方法的优劣; 汪新槐等通过传统的蒙特卡罗方法和 GLP 点集法对多维数值积分的计算进行对比分析, 得出数论方法具有传统方法不可比拟的高精度, 并使用数论方法对结构的可靠度分析进行计算; 崔维成等利用改进的 Rosenbluth 法对现有计算随机变量函数均值与标准

参考文献:

- [1] 葛耀君. 分段施工桥梁分析与控制[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 何畏, 唐亮, 强士中, 等. 大跨度焊接钢箱梁斜拉桥施工控制技术及应用[J]. 桥梁建设, 2002(5).
- [3] 陈常松, 颜东煌, 陈政清. 超大跨度斜拉桥的自适应无应力构形控制法[J]. 中外公路, 2008(1).
- [4] 但启联. 基于无应力状态控制法的分阶段成形桥梁结构线形控制理论及应用[D]. 西南交通大学博士学位论文, 2017.
- [5] 陈太聪, 苏成. 桥梁悬臂拼装施工中钢箱梁制造尺寸的确定[J]. 中国公路学报, 2011(4).
- [6] 赵雷, 贾少敏, 杨兴旺. 悬拼施工中钢箱梁制造尺寸的确定[J]. 西南交通大学学报, 2014(5).
- [7] 梁鹏, 冯汝诚, 徐岳. 超大跨度斜拉桥的安装构形与无应力构形[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2006(4).
- [8] 吴朴, 邹黎琼. 无应力长度参数正装迭代法工程应用[J]. 中外公路, 2018(2).

收稿日期: 2019-11-23(修改稿)

作者简介: 蔡俊华, 男, 博士研究生, 高级工程师. E-mail: smcjh626@163.com