

几何控制法在大跨度斜拉桥施工误差调整中的应用

朱小刚

(江苏东南工程咨询有限公司, 江苏 南京 210018)

摘要: 大跨度斜拉桥施工过程中的误差不可避免,常出现斜拉索过长或过短等现象,对于桥梁整体的完整状态和耐久性产生重要影响。文中采用几何控制方法,在综合考虑索力和无应力索长影响因素的前提下,对大跨度斜拉桥的施工过程误差进行调整,对比分析传统误差调整与几何控制法误差调整的效果,为大跨度斜拉桥的施工控制提供借鉴。

关键词: 桥梁;大跨度斜拉桥;施工误差;几何控制法

中图分类号:U445.4

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)06-0119-03

斜拉桥传统的误差调整法能对计算参数进行有效调整,保证桥梁结构的内力处于平衡状态。但实际施工中可能出现斜拉索长度过长或过短等问题,采用传统的控制法很难保证施工中的参数控制。目前斜拉桥施工误差调整方法较多,应用较广泛的是几何控制法。王学伟等基于几何控制法,对斜拉桥主梁制造夹角误差变化及传播规律进行分析,发现主梁刚度越大,主梁夹角引起误差传递的能力越强;黄灿、谢明志等通过对大跨度斜拉桥的分析,对几何控制法的参数敏感性进行对比,认为边跨索力及应力对参数的变化很敏感,中跨对线形变化最敏感。该文对传统误差调整和几何误差调整两种方法进行比较,对大跨度斜拉桥施工过程误差调整进行分析,为大跨度斜拉桥施工参数控制提供借鉴和指导。

1 误差分析

斜拉桥施工中通过现场实测和有限元模拟计算得到的参数常存在出入,即理论值与实际值之间存在误差。两者之间误差主要来自以下方面:1) 计算参数误差,包括荷载误差(由梁截面的重量误差和施工临时荷载误差造成)、几何设计参数误差(主要为钢梁长度、无应力拉索长度、拉索锚固点及索导定位偏差)、结构性能误差(包括单元的抗弯刚度、材料的弹性模量等偏差)。2) 环境因素引起的误差,如不同天气与气温的影响,这在理论计算时是难以预估准确的。3) 测量误差,由测量仪器和人为观测带来的偏差,最好的控制方法是通过提高测量仪器精度并对测量方法进行改进。4) 施工误差,主要由不正当操作或赶工期施工所引起,如养护时间太短、随意堆积临时荷载、技工操作不当等。

对误差进行调整,可使误差对桥梁结构完整状态的影响程度达到最小,同时使桥梁达到较好的定位和内力状态,对于桥梁的耐久性具有重要意义。误差调整成功与否直接关系到施工控制的成败。

2 几何控制法原理

传统的误差调控法以主梁标高和应力为控制参数,当出现较大误差时,必须重新计算主梁的安装高度和施工张力,对施工现场出现误差后的可调性较差。因此,采用几何控制法进行调整。该方法以成桥状态时无应力索长为主要控制参数,通过修正误差模型将成桥状态的索长调整至基准状态。

假设施工计算模型计算得到的无应力索长为 L' ,基准状态的索长为 L ,则误差 ΔL 为:

$$\Delta L = L' - L \quad (1)$$

由于索长误差也对应着索力误差,根据无应力状态法原理,可按下式对索力误差 ΔT 进行调整:

$$\Delta T = (EA \cdot \Delta L) / L \quad (2)$$

式中: E 为弹性模量; A 为界面面积。

对初张索力进行第一次调整,得到修正后的初张力 T_1 :

$$T_1 = T_0 + \beta \Delta T \quad (3)$$

式中: β 为系数,其值为 $-1 \sim 1$ 。

计算在 T_1 状态下无应力索长 L_1 ,并与基准状态的索长 L 进行比较,利用二分法理论对初张力进行第二次修正,得到 T_2 :

$$T_2 = (T_1 + T_0) / 2 \quad (4)$$

然后利用 T_2 计算无应力索长 L_2 并与 L 进行比较,如此反复进行索长修正,使误差达到精度要求。

该方法可有效避免传统误差只保证索力不变,

没有应力状态索长及原始状态无应力索长的局限性,对索长进行调整时,可同时满足应力状态自动找到基准状态,从而使钢梁的定位误差更小,既可降低施工过程中参数控制的难度,又能保证结构线形和应力状态控制精度。

3 工程应用分析

3.1 工程背景

某钢箱梁斜拉桥总长 2 680 m,桥面最大纵向坡度设计为 0.45%,桥梁主塔最大高度约为 172 m,从中间塔向两边侧向塔逐渐降低,单向通道从外向内依次分为锚固区、栏杆、紧急停车带、四机动车道、路缘带、中心花园等。全桥设置 576 根斜拉索,每个塔的左右分别设置 48 根,共 6 个塔。塔、索布置见图 1。斜拉索材料为抗拉标准强度为 1 670 MPa 的平行钢丝,其中最长斜拉索为 233.8 m,单根最大重量约为 19.1 t,设计应力上限值为 $0.45f_{pk}$,设计应力幅值为 200 MPa。

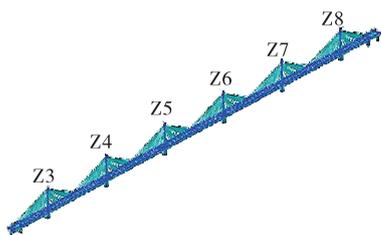


图 1 塔、索的布置形式

3.2 荷载误差对成桥状态的影响分析

以临时荷载误差为例,对比分析施工过程中采取误差控制的优越性。原设计基准状态中,计划采用自重 115 t 的起重机进行施工,但实际施工中采用自重为 134 t 的起重机,重量比原设计基准状态高约 18%,即施工临时荷载将产生误差。两种起重机械在空载和施工时对标准梁截面钢梁前后支点产生的应力见表 1。

表 1 两种工况下前后支点的反力 kN

工况	项目	基准状态	实际状态
空载	前支点反力	-1 719.3	-1 609.6
	后支点反力	463.2	177.5
起吊	前支点反力	-4 157.0	-4 513.1
	后支点反力	1 953.2	1 919.5

将基准数值和实际数值代入相关公式,计算得到荷载误差对索力和无应力索长的影响。图 2 为基准状态及临时荷载增加 18%后成桥索力与无应力

索长的误差。

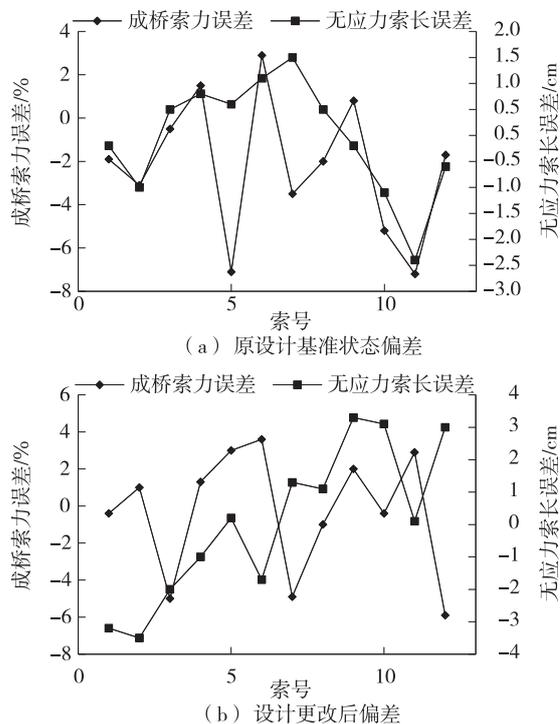


图 2 基准状态和实际状态偏差分析

从图 2 可看出:在原设计基准状态下,成桥索力最大减小-7.2%,最大增加 2.9%,无应力索长的最大误差为 2.4 cm;实际施工中更改为自重为 134 t 的起重机后,成桥索力最大减小-5.9%,最大增加 3.6%,无应力索长的最大误差为 3.8 cm。可见,如果在施工过程中出现临时荷载的重大改变,而在计算模型中又没有给予充分考虑和调整,则实际成桥状态和理想成桥状态之间必然产生较大偏差,严重时甚至会导致停工。

3.3 传统误差调整结果

传统误差调整主要以索力为接近目标,选取 Z3 塔单幅外侧 24 根拉索的索力(由第二张拉索力确定)进行分析,结果见图 3。

从图 3 可看出:采用传统误差调整法对索的初始张力进行调整,能使成桥索力有效贴近于设计索力;靠河侧的索力略小于靠岸侧的索力;成桥索力最大绝对误差为 2.72%,平均绝对误差为 1.53%。通过索力变化对索长进行计算并与设计基准状态下索长进行对比,无应力索长最大误差为 5.2 cm,且靠岸侧的索长普遍减小,靠河侧索长普遍增大。虽然锚索螺母在一定程度上可起到调节长度的作用,但调节量毕竟有限,加上施工中其他误差因素的影响,可能导致锚索出现过长或过短的现象,对施工产生

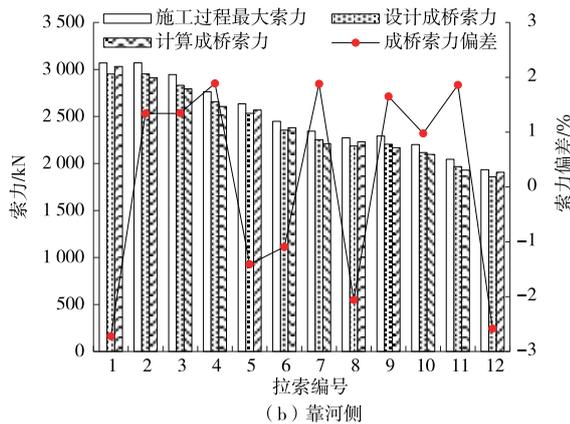
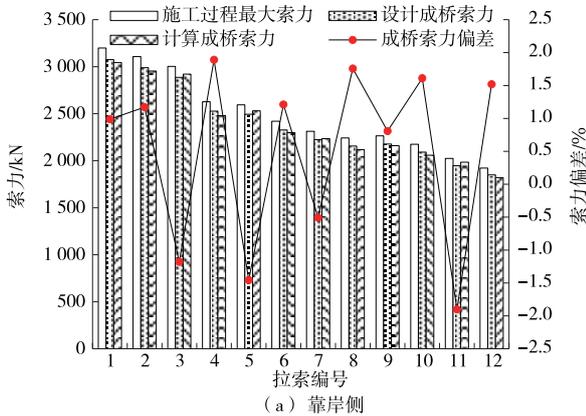


图 3 传统调整法误差结果

不利影响。

3.4 几何误差调整结果

采用几何误差调控法(β 取 0.6)对成桥索力进行二分法运算,得到第一组索力 T_1 ,在减小成桥索力误差的情况下继续进行第二次二分法运算,得到 T_2 ,以此类推共计算得到 3 组索力。3 组索力下无应力索长与基准状态下无应力索长的误差见图 4。从图 4 可看出:第一组计算索力误差波动较大,特别是 Z4 塔靠河侧,整体误差较大,并在 Z5Z12 处产生误差突变;第二组张拉力计算误差波动也较大,只是计算误差与第一组时变化相反;经过 3 次二分法运算后,无应力索长(第三组张拉力)的误差计算结果大部分控制在 1 cm 以内,最大误差出现在桥的中心位置,仅为 4.9 cm。可见,几何误差法在调控索长方面具有一定优势。

选取 Z3 塔单幅外侧 24 根拉索索力进行分析,结果见图 5。从图 5 可看出:采用几何控制法,以索力和索长为控制参数,能有效消除误差,使无应力索长很快接近目标索长,并能将基本状态下的完整索力控制在最大值附近;靠河侧的误差略低于靠岸侧,且波动更小;最大无应力索长误差为 2.12%,平均绝

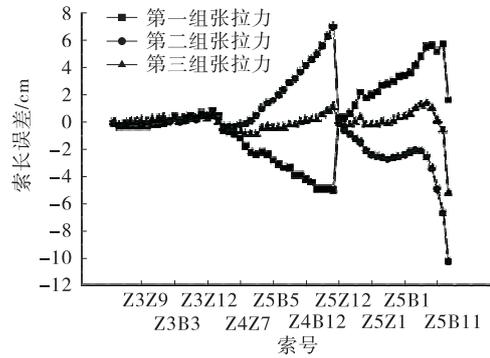


图 4 几何误差法调控无应力索长误差变化

对误差仅为 1.37%。可见,几何控制法在控制误差精度上也具有一定优势。从误差减小速度和精度上考虑,几何控制法均优于传统误差控制法,能在大跨度斜拉桥施工控制误差调整中发挥重要作用。

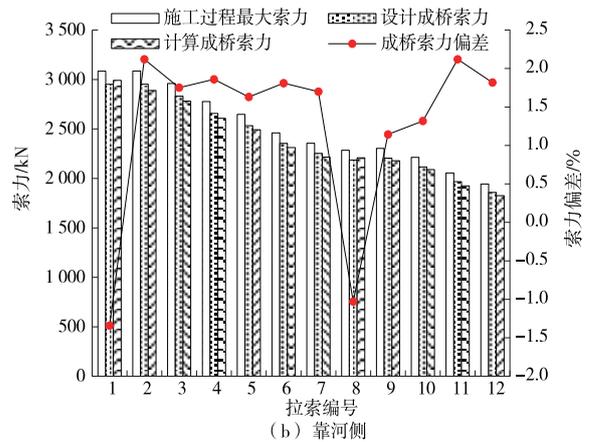
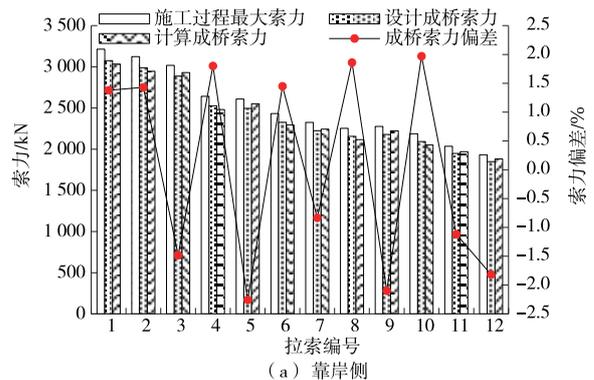


图 5 几何误差调整法索力误差结果

4 结论

(1) 传统误差调整法侧重于对桥梁内力的调整,可达到成桥索力有效接近基准状态的目的。但对无应力索长调控效果不佳,可能在施工过程中出现索长过大或过小的现象,影响正常施工。

(下转第 148 页)

表3 旧涵洞挖除重建时通车运营1年后地基沉降量

与涵洞中线的距离/m	老涵洞至新涵洞方向的沉降量/mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0	1.8	2.9	10.4	10.7	10.7	10.7	10.6	10.5	10.4	3.0	1.9
0.5	2.4	4.1	8.6	10.3	10.7	10.8	10.6	10.1	8.0	4.7	2.5
3.0	2.1	3.9	6.3	9.7	12.1	12.9	12.1	9.7	6.4	4.0	2.1

3 结论

(1) 涵洞单侧加宽时,地基整体沉降量主要发生在新填路基一侧,涵洞底部地基在新路基填筑完成和通车运营1年后的最大沉降量分别约为25、35 mm,最大值出现在涵洞拼接处,且沉降由洞口至拼接处逐渐增大。

(2) 涵洞挖除重建时,涵洞底部地基在新路基填筑完成和通车运营1年后的最大沉降分别约30、40 mm,最大值出现在新老路基结合部左侧附近。

(3) 与单侧加宽相比,涵洞挖除重建时路基整体沉降出现小幅度增加,新旧路基差异沉降减小。

(4) 采用旧涵洞单侧加宽时,填筑期沉降量为25 mm,通车期沉降量为10 mm;采用旧涵挖除重建时,填筑期沉降量为30 mm,通车期沉降量为10 mm。表明涵洞与路基的自重应力对道路沉降的影响远大于行车荷载对道路沉降的影响。受涵洞自身重力与新填筑路基的影响,地基沉降最大区域出现在路基中线偏新路基方向一侧。

参考文献:

- [1] SUN L, HOPKINS T C, BECKHAM T. Load reduction by geofam for culvert extension; Numerical analysis[C]//American Society of Civil Engineers, Geo-Congress 2006. American Society of Civil Engineers, 2006:1-5.
- [2] 吴萍.洛三高速公路改扩建桥涵设计要点[J].中外公路,2011,31(5):164-167.
- [3] 罗火生.佛开高速公路改扩建工程总体扩建方案研究[J].公路,2012(2):4-9.
- [4] 余常俊.高速公路扩建工程小型结构物拼接技术[J].中外公路,2007,27(1):17-20.
- [5] 杨亮.高速公路大跨度拓宽涵洞搭接部差异沉降研究[J].四川建材,2018,44(2):165-166.
- [6] 王超.高速公路改扩建项目新旧涵拼接处受力和变形研究[J].北方交通,2018(3):61-64.
- [7] 姚红伟.运营条件下既有铁路涵洞改造施工技术[J].工程建设与设计,2018(7):224-227+230.

收稿日期:2020-03-16

(上接第121页)

(2) 几何控制法从索长和应力两个角度并采用二分运算法对误差进行调整,可最大程度消除误差的影响,同时减少施工现场索长过大或过小的现象。

(3) 从误差调控速度和调控精度来讲,几何控制法均具有一定优势,建议在大跨度斜拉桥施工控制误差调整中推广运用。

参考文献:

- [1] 叶雨山,母涛,郑文通,等.斜塔斜拉城市景观桥梁施工监控应变测试误差分析及修正方法研究[J].施工技术,2015,44(11):56-59.
- [2] 陈泉.桥梁施工控制误差调整分析方法[J].江西建材,2018(4):144-145.
- [3] 李辉.公路桥梁施工状态误差及其标准分析[J].交通世界,2016(27):72-73.
- [4] 敬莉蓉.大跨度连续桥梁施工控制关键问题解析[J].四

- 川水泥,2016(8):36.
- [5] 范燕来,杨才宝.大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术的应用[J].交通世界,2016(1):74-75.
- [6] 王志诚,许春荣.大跨度钢连续梁线形几何控制法[J].公路工程,2012,37(5):156-160.
- [7] 王学伟,祝兵,卜一之,等.基于几何控制法的斜拉桥主梁制造夹角误差变化及传播规律研究[J].四川建筑科学研究,2016,42(3):124-129.
- [8] 黄灿,卜一之,翁方文.多塔斜拉桥几何控制法的参数敏感性分析[J].中外公路,2013,33(5):81-84.
- [9] 谢明志,卜一之,张克跃,等.特大跨度混合梁斜拉桥几何控制法参数敏感性[J].长安大学学报(自然科学版),2014,34(3):66-73.
- [10] 张慧,王文科,陈楚龙,等.考虑施工误差的大跨度混合梁斜拉桥全过程施工可靠性分析[J].青海交通科技,2019(6):101-108.

收稿日期:2020-04-07