

基于正装迭代法的斜拉桥初始张拉索力计算

贺辉

(西洞庭管理区交通运输局, 湖南 常德 415110)

摘要: 以某双塔双索面预应力砼斜拉桥为背景,在既定施工工序下为了使成桥后结构内力和线形达到预定合理成桥状态,利用正装迭代法基本理论,以合理成桥状态下关键参数作为目标函数、索力作为施调向量,求解斜拉索的初始张拉力。结果表明,基于正装迭代法计算的斜拉桥施工状态下初始张拉索力较精确,可达到合理成桥状态,且计算简洁、快速。

关键词: 斜拉桥;合理成桥状态;初始张拉索力;施工安装计算;正装迭代法

中图分类号:U441

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)01-0095-03

斜拉桥是以斜拉索、索塔、主梁作为主要受力结构的多点弹性支撑的多次超静定结构,在基本结构已确定的情况下,可通过斜拉索索力调整达到理想结构受力状态。国内外专家学者对于斜拉桥施工阶段初始张拉力提出了许多计算理论,其存在各自的优缺点。秦顺全认为桥梁结构的每个构件都有固定的无应力长度和无应力曲率,如果将一个结构按照其组成构件拆开,保证其固有特性不变,则无论通过何种方式将结构重新组合都可以回到原有结构状态,斜拉桥计算中根据其组成构件的固有特性和原有结构之间的联系可求解出施工阶段斜拉索初始张拉力。但对于现浇挂篮施工的砼斜拉桥,采用无应力状态法会由于多方面的非线性因素导致重新组合后结构内力不闭合,计算索力与合理成桥索力存在偏差。辛克贵等提出斜拉桥倒拆分析法,该方法将已设定好的合理成桥状态作为初始状态,按照正常施工工序的反向过程对结构进行拆分,每拆分一个施工阶段记录一次现阶段的结构内力和线形等关键参数,以倒退的方式计算斜拉索的初始张拉力,然后按照该初始张拉力进行正装计算。该方法理论上合理可行,但对于实际工程特别是砼斜拉桥,由于倒拆分析中没有考虑砼收缩、徐变等非线性因素,可能导致计算出的索力在成桥后与合理成桥状态索力存在较大偏差。

正装迭代法以合理成桥状态下结构内力和线形等参数作为目标函数,大致拟定一组初始张拉力,按照一定的不等式条件构建非线性方程,通过迭代计算得到初始张拉索力。计算中可同时考虑结构非线性和索垂度影响,能更真实地模拟斜拉桥的施工过程,且成桥后结构内力与合理成桥状态内力吻合较

好。该文以某双塔双索面预应力砼斜拉桥为工程背景,运用 MIDAS/Civil 建立全桥有限元模型,采用正装迭代法进行初始张拉力计算。

1 正装迭代法的基本原理

先假定一组初始张拉索力,按照这组张拉索力进行正装计算得到一个成桥状态;然后将该成桥状态下结构内力、线形和索力与事先预定好的合理成桥索力进行对比,利用最小二乘法使两种成桥状态相差最小,以此调整初始张拉索力,得到一组新的张拉索力;再以新的初始张拉力进行新一轮正装迭代运算。这样循环多次,使最终成桥状态与合理成桥状态的差值达到最小(见图 1)。

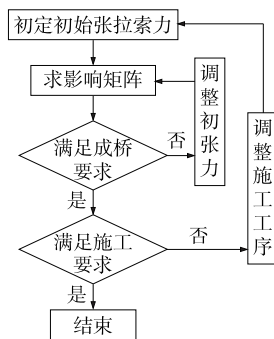


图 1 正装迭代法的计算流程

设定调整张拉索力的数量为 n , 关心结构的目标参数为 m 。假定一组初始张拉索力 $\{T\}_{n \times 1}$, 正装计算后的成桥索力为 $\{T_1\}$, 关心截面成桥参数为 $\{F\}_{m \times 1}$ (参数可以是主梁和索塔的弯矩、斜拉索索力、支座反力等)。

索力调整过程中,每根拉索索力的改变都会引起结构内力和其他拉索索力变化,假设 j 号索索力

改变引起 i 号索索力(或其他控制参数)的变化量为 a_{ij} , 所有变化量组合在一起即构成以下影响矩阵:

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix}$$

假设合理成桥状态下关键目标参数的值为 $\{F_0\}_{m \times 1}$, 则按照正装计算的成桥状态 and 合理成桥状态目标参数的差值为:

$$\{b\} = \{F_0\} - \{F\} \quad (1)$$

假设初始张拉索力的调整量为 $\{x\}$, 则:

$$[a] \{x\} = \{b\} \quad (2)$$

由于斜拉索的数量固定, 而控制参数不仅可选取斜拉索索力, 还可选取结构关键部位的内力和支反力, 且仅按照拉索数量构建的线性方程组没有意义, 其计算结果没有实际作用。因此, $m > n$ 。式(2)为超静定方程组, 可通过最小二乘法求解出索力调整量 $\{x\}$, 则下一次迭代计算的初始张拉力为:

$$\{F_2\} = \{F_1\} + \{x\} \quad (3)$$

2 工程概况

某双塔双索面对称预应力砼斜拉桥桥跨布置为 $(150+328+150)$ m, 索塔高度为 128 m, 采用空心箱形单室断面, 主梁截面为 PK 形。边、中跨主梁共分为 22 个节段, 其中 0# 块采用支架现浇, 边跨 1#~16# 采用前支点挂篮现浇, 17#~22# 采用支架现浇, 中跨全部采用前支点挂篮现浇。边、中跨斜拉索位置和数量对称分布, 共 44 对, 全桥共 88 对、176 根斜拉索。全桥总体布置见图 2。

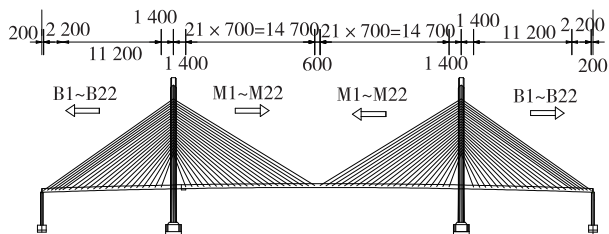


图2 桥型布置示意图(单位:cm)

3 计算与分析

3.1 有限元模型建立

采用 MIDAS/Civil 建立全桥有限元模型, 按照正装施工过程对每个施工阶段进行模拟。索塔和主梁采用梁单元模拟, 主塔底桩基采用土弹簧约束, 墩底固结约束; 梁端及辅助墩处竖向约束, 纵向不约

束; 主梁与主塔竖向、横向约束; 斜拉索采用桁架单元模拟, 斜拉索与索塔采用刚性连接, 与主梁采用刚臂(刚度无限大的无重量单元)连接。预应力钢束根据施工图中横弯和竖弯在全桥主梁和索塔输入并分解到每个施工阶段。有限元模型见图 3。

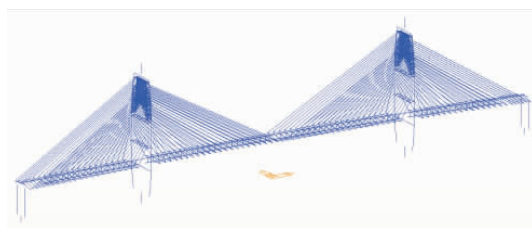


图3 全桥有限元模型

3.2 施工正装分析计算

以已确定的合理成桥状态下索力和边墩反力作为目标参数, 利用正装迭代法, 按照施工方案的施工工序进行施工过程正装计算分析。该桥砼主梁采用前支点挂篮现浇施工, 主梁分 2 层浇筑, 每次浇筑 1/2 砼, 在 0# 块浇筑完成后上空挂篮进行索力第一次张拉, 张拉力为初始张拉力的 40%; 再进行主梁第一层砼浇筑, 索力第二次张拉, 张拉力为 70% 初始张拉力; 之后浇筑最后一层砼, 进行索力第三次张拉, 张拉到初始张拉力。

控制张拉索力为各索的本梁段第三次张拉力及 4 对尾索(19#、20#、21#、22# 索)的第四次张拉力, 张拉索力的数量 $n=48$; 控制参数选取合理成桥状态下边墩反力、成桥索力及关键截面的弯矩, 目标参数 $m=78$ 。第一组初始张拉力按照竖向分力等于每个梁段重量来推算, 第一次迭代计算后将正装计算结果与合理成桥状态的结果对比, 然后求出调整张拉力进行第二次迭代。最后一次迭代计算的弯矩、索力与合理成桥状态的对比见图 4、图 5。

由图 4 和图 5 可知: 按正装计算的成桥索力和弯矩与合理成桥状态下索力和弯矩基本吻合; 索力最大相差 4.8%, 出现在跨中 19#、20# 索, 原因为合

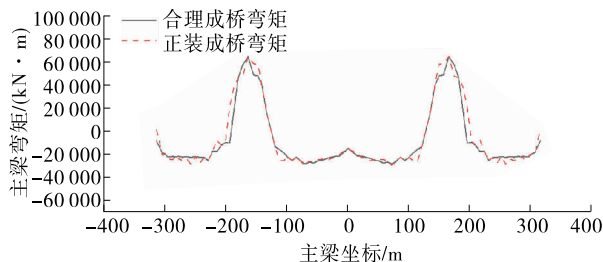


图4 合理成桥状态与正装成桥弯矩对比

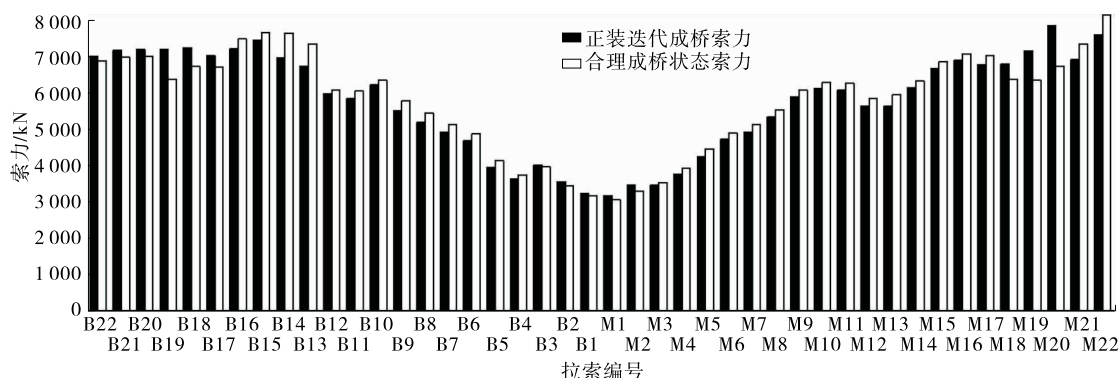


图 5 合理成桥状态与正装成桥索力对比

龙后合龙段配重和体系转换导致尾索索力产生一定变化,但基本符合施工索力误差要求;主梁弯矩吻合较好,仅部分梁段有一定误差,满足施工成桥要求。

4 结论

采用适合于砼斜拉桥的正装迭代法,结合实际工程进行预应力砼斜拉桥施工期索力计算,主要结论如下:

(1) 正装迭代法可方便快捷地计算砼斜拉桥施工阶段的初始张拉力,且能和施工工序同步进行实时调整和修正。

(2) 选取的目标参数不同对计算结果的影响不大,理论上关键内力参数的选取越多越有利于提高计算结果的精确性。

(3) 正装计算后部分索力存在误差,可利用影响矩阵法在合龙后进行局部索力调整。

参考文献:

- [1] 邵旭东.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 林元培.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,1994.
- [3] 秦顺全.无应力状态控制法斜拉桥安装计算的应用[J].

桥梁建设,2008,38(2).

- [4] Chaolin Song, Rucheng Xiao, Bin Sun. Optimization of cable pre-tension forces long-span cable-stayed bridges considering the counterweight [J]. Engineering Structures, 2018, 172.
- [5] 陈明生.大跨度斜拉桥几何非线性变形和受力状态的影响[J].中国公路,2018(12).
- [6] 辛克贵,冯仲.大跨度斜拉桥的施工非线性倒拆分析[J].工程力学,2004,21(5).
- [7] 林驰.基于非线性正装迭代法的三塔结合梁斜拉桥施工索力确定[J].武汉理工大学学报,2012,34(9).
- [8] 黄春亮.正装迭代法求解矮塔斜拉桥初张索力研究[J].公路与汽运,2017(1).
- [9] 王新征,王宗华.正装迭代法在确定斜拉桥成桥状态索力中的应用[J].公路工程,2015,40(2).
- [10] Leandro Arosio. Canonical models for the forward and backward iteration of holomorphic maps [J]. The Journal of Geometric Analysis, 2017, 27(2).
- [11] 车鑫,刘旭.部分斜拉桥动力特性及颤振稳定性分析[J].公路交通科技:应用技术版,2018(10).
- [12] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].

收稿日期:2019-04-07

(上接第 84 页)

学性能及耐久性研究[J].混凝土,2016(8).

- [10] 李中华.寒冷地区道路混凝土抗盐冻剥蚀性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [11] 孙长征,朱凡凡,赵同峰,等.超细矿物掺合料混凝土

抗盐冻性能的试验研究[J].混凝土,2016(10).

- [12] 倡传铭.聚合物改性水泥砼力学性能及耐久性能研究[J].公路与汽运,2018(6).

收稿日期:2019-04-25

(上接第 94 页)

- [11] 左敏,江克斌.转体桥平转球铰转体过程应力计算方法研究[J].铁道标准设计,2015(12).

- [12] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].

- [13] 唐清明.大跨度超宽变截面不平衡配重连续梁转体施工控制[J].施工技术,2017,46(5).

收稿日期:2019-02-26