

基于正装迭代法的钢管砼拱桥吊杆初始索力计算

何炳涛

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 结合某钢管砼拱桥, 通过有限元软件 MIDAS/Civil 建立计算模型, 采用正装分析法计算成桥吊杆初始张拉索力, 并与实测成桥索力进行对比。结果表明, 采用正装迭代法计算所得控制截面的弯矩、吊杆索力与成桥状态下弯矩、吊杆索力基本吻合, 且计算较简单、快捷。

关键词: 桥梁; 钢管砼拱桥; 吊杆; 初始张拉索力; 正装迭代法

中图分类号: U448.22

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)03-0110-02

系杆拱桥主要由拱肋、纵梁、吊杆和桥面系组成, 结构外部静定、内部超静定, 受力复杂, 施工中主要通过分阶段多次调整索力使其达到理想受力状态, 如何控制和调整吊杆初始张拉索力成为施工控制成功与否的关键。计算吊杆初始张拉索力的方法主要有无应力状态法、正装迭代法、倒装法等。该文结合工程实例, 采用正装迭代法计算钢管砼拱桥吊杆初始索力。

1 正装迭代法的基本原理

正装迭代法先假定一个吊杆索力, 根据这个吊杆索力通过正装计算得到相应理想成桥状态下吊杆索力, 再对 2 组数据进行比较, 计算差值; 根据差值假定新的初始吊杆索力, 再次进行正装计算。如此循环, 直到 2 组数据差值最小为止。桥梁施工中, 采用正装迭代法能很好地考虑成桥过程中结构单元非线性因素及砼的收缩徐变。计算过程如下:

(1) 假定某个吊杆索力为 a 。

(2) 输入成桥索力 b , 进行第 i 次正装迭代, 得到计算索力 c 。

(3) 通过相应的影响矩阵进行有限元分析, 令 $b=a$, 求得吊杆索力 c 。

(4) 比较计算差值 $\|(a-c)/a\|$ 是否小于限制值, 如果小于限制值, 则 b 就是所求吊杆初拉力; 否则, 令 $b_0=a+b-c$ 。重复步骤 3~4, 直至 $\|(a-c)/a\|$ 小于限制值为止。进行最后一次迭代时, 计算所得 b_0 即为吊杆的初始张拉索力。

2 工程实例计算与分析

2.1 工程概况

广东佛山桂江大桥主桥为下承式预应力砼吊杆

钢管拱桥, 主跨跨径为 63 m、56 m, 主拱拱肋采用直径为 110 cm 的圆形钢管砼结构。主跨跨径为 56 m 的拱肋主线为 $y = -1/121.976(x-27.5)^2 + 12.4$ 的二次抛物线, 相应计算跨径为 55 m, 计算矢高为 12.4 m, 矢跨比为 1/4.44; 主跨为 63 m 的拱肋主线为 $y = -1/155(x-31)^2 + 12.4$ 的二次抛物线, 相应计算跨径为 62 m, 计算矢高为 12.4 m, 矢跨比为 1/5。主跨纵向每榀拱肋共设 11 根吊杆, 主跨 63 m 吊杆间距为 5 m, 主跨 56 m 吊杆间距为 4.3 m。吊杆与拱肋端部结合为整体现浇, 主梁采用整体现浇, 吊杆轴线和桥面按道路竖曲线实施。设计荷载等级为公路—I 级。主桥布置见图 1。

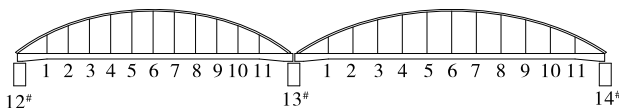


图 1 主桥跨桥布置示意图

2.2 主桥有限元模型

采用 MIDAS/Civil 建立该桥有限元模型(见图 2、图 3), 主梁和拱肋采用梁单元模拟, 吊杆使用桁架单元模拟, 吊杆和拱肋采用刚性连接。一期恒载有主梁、横隔板及拱肋等自重, 主梁自重按实际断面计算, 容重为 26 kN/m³; 横隔板使用集中荷载模拟。二期恒载有桥面铺装、灯柱、泄水管、调平层及防撞栏杆等, 按 70 kN/m 计算。活载为公路—I 级。

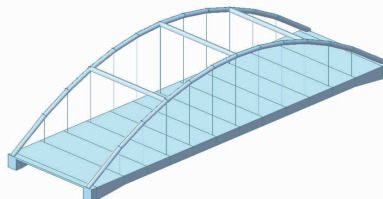


图 2 56 m 跨 MIDAS/Civil 计算模型

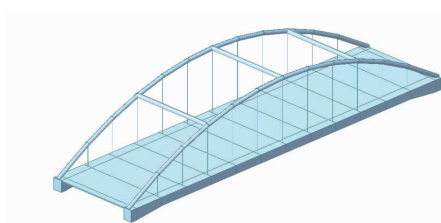


图3 63 m 跨 MIDAS/Civil 计算模型

2.3 正装迭代法计算分析

采用正装迭代法计算该桥在合理成桥状态下每个施工过程的受力情况,分析该桥施工过程中结构内力和变形。该桥每榀拱肋共设置 11 根吊杆,吊杆采用 PES(FD)7—61 低松弛镀锌平行钢丝索。主梁采用满堂支架施工,主梁及拱肋浇筑完成后进行第一次吊杆张拉,张拉至初始张拉力。

调整每个阶段的张拉索力为每根吊杆的第二次张拉吊杆索力,以最终确定的合理成桥下吊杆索力为最终目标参数,进行正装迭代,每榀的张拉吊杆数量为 22 根。控制参数为合理成桥状态下控制截面的弯矩和成桥吊杆索力,控制参数数量 m 为控制截面和吊杆数量, $m=27$ 个。每次正装迭代后将计算结果和合理成桥下结果进行对比,根据两者差值进行调整并再次进行迭代。控制截面见图 4,最后一次迭代所得控制截面弯矩、吊杆索力与合理成桥阶段结果的对比见图 5~7。

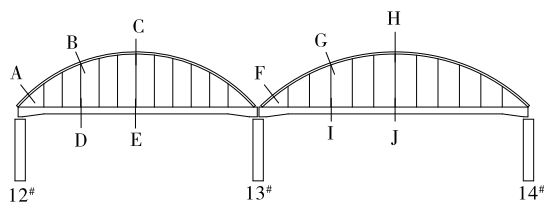


图4 控制截面示意图

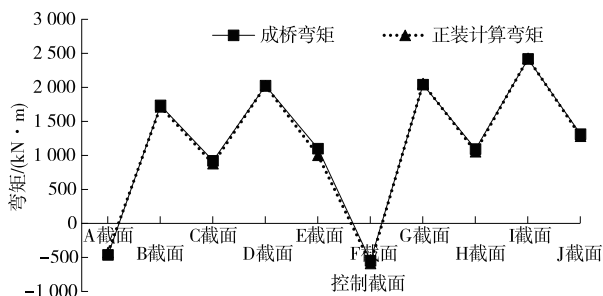


图5 控制截面弯矩对比

从图 5~7 可以看出:正装迭代计算所得控制截面弯矩、吊杆索力与成桥状态下弯矩、吊杆索力基本吻合;弯矩最大差值出现在 E 截面,相差 8.9%;吊杆索力最大差值出现在右侧 R13—8[#] 吊杆,相差 4.3%。

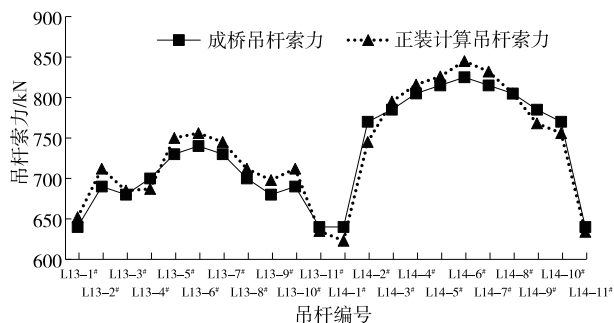


图6 左侧吊杆索力对比

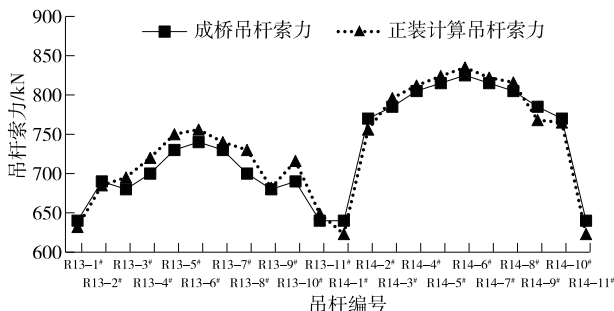


图7 右侧吊杆索力对比

3 结论

结合佛山桂江大桥,采用正装迭代法计算钢管砼拱桥吊杆初始索力,得到以下结论:

(1) 采用正装迭代法计算所得控制截面的弯矩、吊杆索力与成桥状态下弯矩、吊杆索力基本吻合,且计算较简单、快捷。

(2) 正装迭代计算所得控制截面的弯矩、吊杆索力与成桥状态下弯矩、吊杆索力的最大差值分别出现在 E 截面(相差 8.9%)和右侧 R13—8[#] 吊杆(相差 4.3%)。采用正装迭代法计算吊杆索力存在一定误差,建议进行多次迭代,提高计算精度。

参考文献:

- [1] 陈淮,董建华.中、下承式拱桥吊索张力测定的振动法实用公式[J].中国公路学报,2007,20(3):66—70.
- [2] 孙九春.拱式结构吊杆张拉索力计算方法综述[J].结构工程师,2008,26(4):154—159.
- [3] 陈淮,吴红升,唐军.蒲山系杆拱桥吊杆张拉力的空间计算分析[J].铁道科学与工程学报,2008,5(2):12—16.
- [4] 冯维,周敏.佛山市桂江大桥拓宽研究[J].城市道桥与防洪,2011(11):69—71+150.
- [5] 秦顺全.斜拉桥安装的无应力状态控制法[J].桥梁建设,2003,33(2):31—34.

(下转第 134 页)

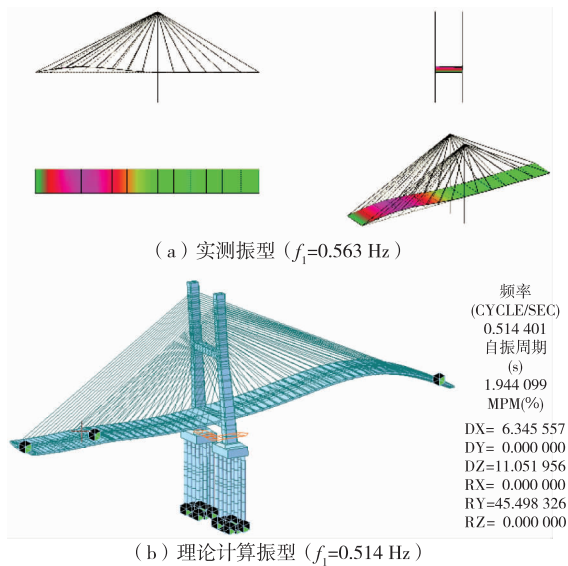
(b) 理论计算振型 ($f_1=0.514$ Hz)

图 11 竖向 1 阶振型对比

表 9 无障碍行车时不同行车速度下第 11 跨冲击系数

速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	$f_{\text{dmax}} /$ mm	$f_{\text{dmin}} /$ mm	冲击 系数	理论冲 击系数
10	9.516	9.978	0.025	0.05
20	9.609	9.609	0.005	0.05
30	9.054	8.962	0.008	0.05
40	8.685	8.777	0.013	0.05
50	8.926	8.869	0.009	0.05

注: f_{dmax} 为最大动挠度幅值; f_{dmin} 为与 f_{dmax} 对应的挠度波谷值。

第 11 跨实测冲击系数均小于理论冲击系数, 结构冲击效应无明显异常。

(2) 有障碍行车试验。采用弓形板模拟桥面坑洼进行有障碍行车试验。采用 2 辆约 35 t 的重车匀速并排同步越过桥面测试截面 7 cm 高的弓形板, 利用跨中布置的振动测点对结构振动响应进行测试。采用 10~30 km/h 的行驶速度进行测试。不同速度下冲击系数见表 10。由表 10 可知: 第 11 跨在 10~30 km/h 有障碍行车试验中的最大冲击系

数为 0.042, 大于无障碍行车试验的 0.025, 说明桥面坑槽、不平顺等会加大车辆对桥梁的冲击作用。

表 10 有障碍行车时不同行车速度下第 11 跨冲击系数

速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	$f_{\text{dmax}} /$ mm	$f_{\text{dmin}} /$ mm	冲击系数
10	5.728	6.190	0.041
20	4.435	4.527	0.015
30	5.451	5.081	0.042

5 结论

(1) 该桥在静载试验各主要控制工况下的校验系数及残余变形、主塔塔顶水平位移、索力增量等均满足规范要求, 试验桥跨工作状况良好, 主要受力构件处于弹性工作状态。

(2) 在试验荷载作用下, 试验桥跨实测振型与理论计算振型基本相符, 实测频率大于理论频率, 结构实际刚度大于理论刚度; 实测冲击系数小于理论冲击系数, 桥面平整度良好, 桥跨结构在受力时抵抗弹性变形的能力强。

(3) 该桥在荷载作用下结构稳定, 受力合理, 工作状况正常, 承载能力满足设计荷载要求。

参考文献:

- [1] 长安大学. 公路桥梁荷载试验规程: JTG/T J21—01—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [2] 中交公路规划设计院有限公司. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [3] 刘士林, 王似舜. 斜拉桥设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [4] 宋一凡. 公路桥梁荷载试验与结构评定[M]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [5] 何炳涛. 独塔四索面斜拉桥交工检测中动载试验研究[J]. 公路与汽运, 2022(2): 133—135.

收稿日期: 2021—07—14

(上接第 111 页)

- [6] 肖汝诚, 郭文复. 结构关心截面内力、位移混合调整计算的影响矩阵法[J]. 计算力学学报, 1992, 9(1): 91—99.
- [7] 汤柠郡. 型钢混凝土组合结构施工模拟分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [8] 张志飞. 龙湾斜拉桥索力的确定及控制[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.

- [9] 赵光明, 陈科昌. 系杆拱桥调索工序时机选择[J]. 中南公路工程, 1997, 22(11): 28—31.
- [10] 颜东煌, 刘光栋. 确定斜拉桥合理施工状态的正装迭代法[J]. 中国公路学报, 1999, 12(2): 59—64.
- [11] 王鹏, 吴迅, 石雪飞, 等. 自锚式悬索桥施工控制[J]. 结构工程师, 2008, 24(1): 92—95.

收稿日期: 2021—06—15