

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.04.033

# 混凝土拱桥悬臂浇筑法施工扣塔偏位对拱肋高程的影响研究

吴平琴, 潘荣斌, 郭吉平

(贵州路桥集团有限公司, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:**在采用悬臂浇筑法施工的大跨度混凝土拱桥中,高程控制是保证施工质量的关键,而扣塔偏位对各节段拱肋高程往往会产生一定影响。该文以贵州沙坨特大桥为依托,利用几何分析的方法,分析施工过程中扣塔偏位对各节段高程的影响,同时利用 Midas 建立有限元模型对结果进行验证。分析表明:扣塔偏位对拱脚处节段高程影响较小,而对于靠近拱顶节段的高程影响较大,同时拱顶处节段对扣塔高度的变化较为敏感,应加强施工控制。

**关键词:**悬臂浇筑法; 混凝土拱桥; 扣塔偏位; 节段高程

## 1 引言

拱桥造型优美,曲线圆润,受力合理,在中国已有悠久的历史,其中混凝土拱桥在中国拱桥中的应用最广泛,积累了丰富的设计与施工经验。目前中国一般采用缆索吊装、转体施工、劲性骨架法等方法进行混凝土拱桥的施工,而悬臂浇筑法则在国外的拱桥施工中应用较为广泛。混凝土拱桥使用悬臂浇筑法施工过程中,高程控制是保证施工质量以及桥梁结构体系顺利合龙的关键,扣塔偏位会对各节段高程产生影响,从而影响成拱线形,但目前中国国内关于扣塔偏位对拱肋高程的影响分析较少。赵云鹏等分析了悬臂法施工时,温度变化对高程的影响,得出温度对高程影响较显著的结论;董旭通过温度—挠度—时间试验研究,得出温度变化引起的连续梁桥挠度变化规律。

该文以贵州沙坨特大桥为依托工程,从几何分析的角度建立悬臂浇筑混凝土拱桥扣塔纵向偏位对悬臂节段施工拱肋高程影响的解析计算公式,考虑不同扣塔高度下不同偏位的影响程度,并利用杆系有限元模型的施工步分析对计算结果进行验证。

## 2 扣塔偏位对拱肋高程影响的几何分析

扣塔、扣索与锚索示意图如图 1 所示。

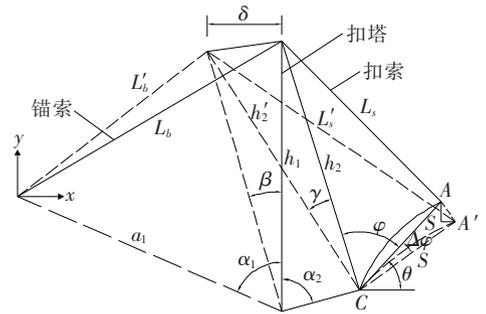


图 1 扣塔、扣索与锚索示意图

假定扣塔向锚索方向产生偏位  $\delta$ 。其中  $h_1$  为扣塔高度;  $L_b$ 、 $L_s$  分别为产生偏位前锚索、扣索的长度;  $L_b'$ 、 $L_s'$  分别为产生偏位后锚索、扣索的长度;  $h_2$ 、 $h_2'$  分别为产生偏位前、后塔顶到节段底部的距离;  $S$  为节段的弦长;  $\theta$  为产生偏位前节段弦长与水平线之间的夹角。

利用几何方法可得:

$$\cos\alpha_1 = \frac{a_1^2 + h_1^2 - L_b^2}{2a_1h_1} \quad (1)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{\delta}{h_1}\right) \quad (2)$$

$$L_b' = \sqrt{a_1^2 + h_1^2 - 2a_1h_1\cos(\alpha_1 - \beta)} \quad (3)$$

$$\cos\alpha_2 = \frac{a_2^2 + h_1^2 - h_2^2}{2a_2h_1} \quad (4)$$

$$h_2' = \sqrt{a_2^2 + h_1^2 - 2a_2h_1\cos(\alpha_2 + \beta)} \quad (5)$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{2\delta}{h_2 + h_2'}\right) \quad (6)$$

$$L_s' = L_b + L_s - L_b' \quad (7)$$

$$\cos\varphi = \frac{h_2^2 + S^2 - L_s'^2}{2h_2S} \quad (8)$$

$$\cos(\gamma + \varphi + \Delta\varphi) = \frac{(h_2')^2 + S^2 - (L_s')^2}{2h_2'S} \quad (9)$$

由此可知,点 A 到 A' 的竖向位移  $\Delta y$  为:

$$\Delta y = S\sin\theta - S\sin(\theta - \Delta\varphi)\sqrt{b^2 - 4ac} = S\sin\theta - S\sin\theta\cos\Delta\varphi + S\cos\theta\sin\Delta\varphi \approx S\sin\theta - S\sin\theta + (S\Delta\varphi)\cos\theta = S\Delta\varphi\cos\theta$$

式中: $\cos\Delta\varphi \approx 1$ ;  $\sin\Delta\varphi \approx \Delta\varphi$ 。

### 3 沙垵特大桥扣塔偏位对各节段高程的影响

#### 3.1 工程概况

沙垵特大桥位于贵州省铜仁市沿河县淇滩镇境内。大桥全长为 626.8 m,主跨为 240 m 钢筋混凝土箱形拱桥,主拱圈采用挂篮悬臂浇筑法施工工艺,大桥立面布置图见图 2。

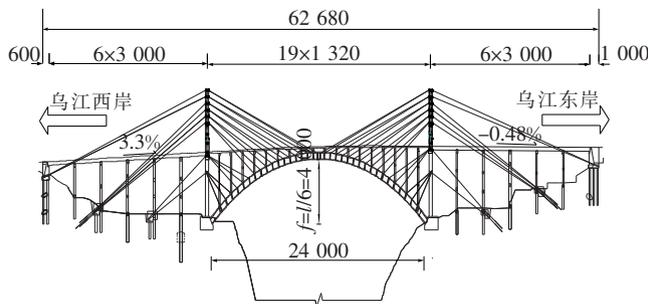


图 2 沙垵特大桥立面图(单位:cm)

大桥主拱圈为等高度悬链线钢筋混凝土箱形截面,净矢高为 40 m,净矢跨比为 1/6,拱轴系数为 1.85,箱形截面宽为 10 m、高为 4.5 m,主拱圈采用挂篮悬臂浇筑进行施工。拱圈纵向共分为 37 个节段,其中两岸拱脚位置 1# 节段为支架现浇段,拱顶设一个吊架浇筑合龙段,其余 34 个节段为悬浇段,拱圈的节段划分如图 3 所示。

利用 Midas 建立有限元模型,模型共有 2 053 个节点,2 661 个单元,31 个施工阶段,扣塔及拱圈各节段为梁单元,扣索锚索用桁架单元模拟,锚索锚点处约束所有平动自由度,扣塔底部为固结,拱脚节段以固结模拟,扣索与拱圈单元采用弹性连接进行约束,扣锚索与锚箱之间同样利用弹性连接约束。计算过程中采用强制位移的方式施加扣塔偏位。

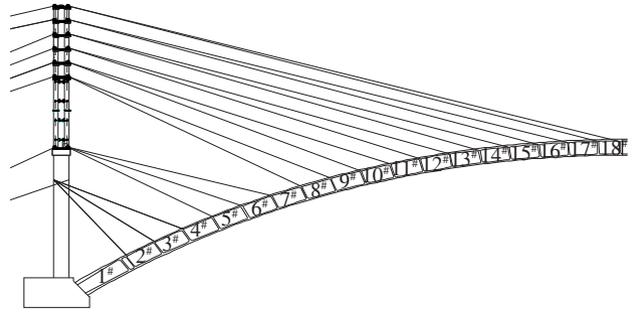


图 3 沙垵特大桥拱圈节段划分示意图

#### 3.2 扣塔偏位对各节段高程的影响

分别计算 3#、6#、10#、14#、18# 节段施工过程中在不同扣塔偏位作用下高程的变化,并与有限元分析结果进行对比,如图 4~8 所示。

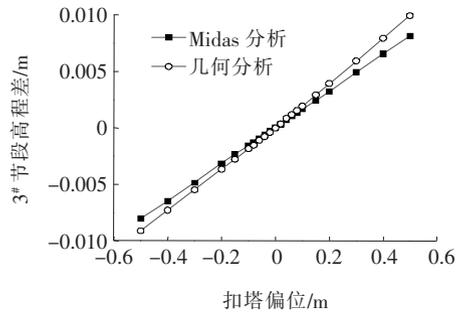


图 4 沙垵特大桥扣塔偏位对 3# 节段高程的影响

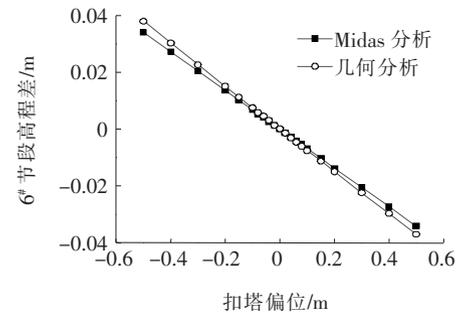


图 5 沙垵特大桥扣塔偏位对 6# 节段高程的影响

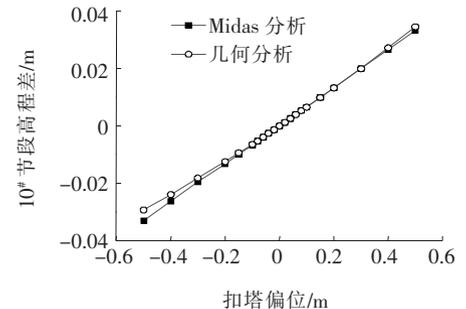


图 6 沙垵特大桥扣塔偏位对 10# 节段高程的影响

由图 4~8 可以看出:采用几何分析和有限元分析两种方法得出的结果大致相同,几何分析方法具有一

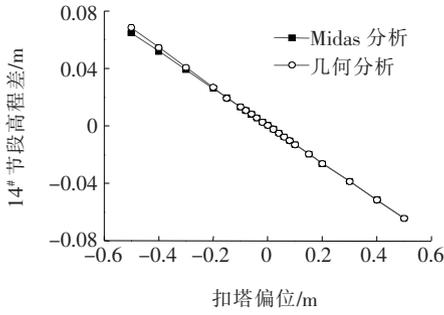


图7 沙垞特大桥扣塔偏位对14#节段高程的影响

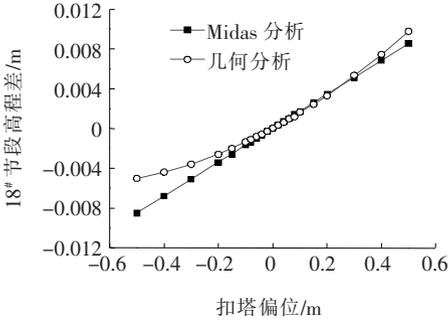


图8 沙垞特大桥扣塔偏位对18#节段高程的影响

定的准确性。分析结果显示,当扣塔向锚索方向产生偏位时,6#节段和14#节段高程下降,3#、10#、18#节段高程上升。

扣塔偏位对3#、18#节段影响较小,当扣塔偏位控制为0.5 m时,对节段高程的影响仅为8.1 mm;而对14#节段高程的影响较大,应加强施工控制。

### 3.3 扣塔高度不同时扣塔偏位对各节段高程的影响

在保持其他参数不变的情况下,将扣塔高度增加30、10、5、-5、-10、-20 m,分别计算各节段在不同扣塔高度下节段高程相对初始高度下高程的变化值,结果如图9~13所示。

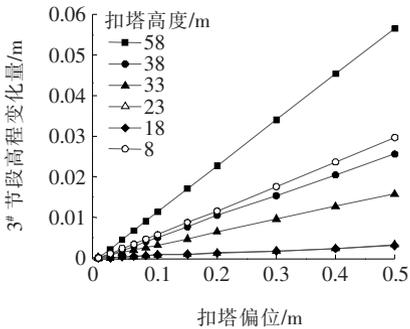


图9 扣塔高度对3#节段高程的影响

由图9~13可知:随着扣塔高度增大,扣塔偏位对节段高程的影响都不断增加,其中14#和18#节段高程对扣塔高度的变化较为敏感。

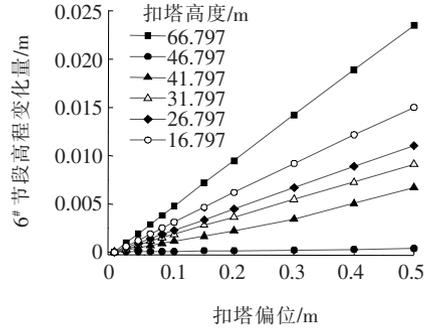


图10 扣塔高度对6#节段高程的影响

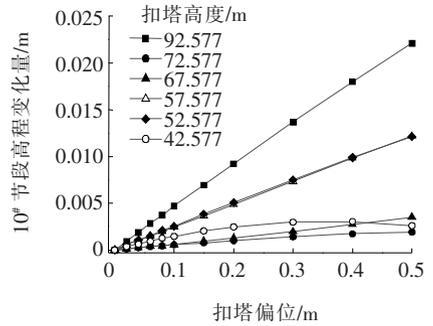


图11 扣塔高度对10#节段高程的影响

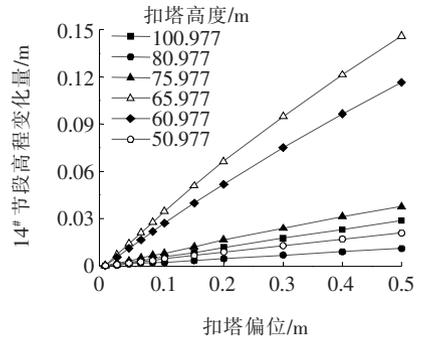


图12 扣塔高度对14#节段高程的影响

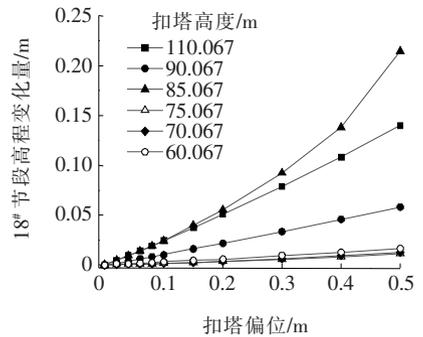


图13 扣塔高度对18#节段高程的影响

此外,对各节段在不同塔高和塔偏均为0.5 m的情况下进一步分析,分析结果如表1所示。

表1表明:拱顶处14#和18#节段高程对扣塔高

表1 塔偏为0.5 m时扣塔高度对各节段高程的影响

扣塔高度改变量/m	各节段高程改变量/m				
	3# 节段	6# 节段	10# 节段	14# 节段	18# 节段
+30	0.056 6	0.023 5	0.022 1	0.028 8	0.140 1
+10	0.025 6	0.000 4	0.001 9	-0.011 0	0.058 3
+5	0.015 7	-0.005 4	-0.003 5	-0.037 6	0.214 8
+0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
-5	-0.003 2	-0.009 1	-0.012 2	-0.145 9	0.011 6
-10	-0.003 0	-0.011 0	-0.012 1	-0.116 6	0.013 0
-20	-0.029 7	0.015 0	-0.002 6	-0.020 8	-0.016 6

度的变化较为敏感。扣塔高度的改变对节段高程影响较大,故在进行施工设计时需要充分考虑塔高的影响,合理选择扣塔高度。

### 3.4 施工建议

扣塔偏位对拱顶和拱脚处节段高程影响较小,可忽略不计;对于中间节段的高程影响较大,扣塔偏位为0.5 m时高程变化最大值为0.214 8 m,应加强施工控制。扣塔高度的改变对拱顶处节段有较大影响,扣塔高度增加30 m节段高程增加14 cm,即拱顶处节段对扣塔高度变化较敏感,在进行施工设计时应选择合适的扣塔高度。

## 4 结语

混凝土拱桥在悬臂浇筑施工过程中,高程控制是保证桥梁结构体系顺利合龙和成拱线形的关键,当扣塔高度较大时,扣塔偏位对高程的影响不可忽略。该文以沙垵特大桥为例,采用几何分析的方法进行计算,探究各施工阶段扣塔偏位对拱肋高程的影响,同时采用有限元分析进行对比,表明几何分析法具有较高的准确性。分析结果表明:扣塔偏位对拱脚处节段影响较小,但对靠近拱顶节段影响较大,这是由于靠近拱顶处节段长度较大,与水平方向的夹角较小,扣塔偏位产

生的节段竖向位移更大。同时在保证其他条件不变的情况下,增加扣塔高度会使扣塔稳定性降低,从而增大扣塔偏位对节段高程的影响。

### 参考文献:

- [1] 郑皆连. 我国拱桥发展及技术进步[C]. 湖北省公路科技创新高层论坛论文集,2006.
- [2] 陈宝春,叶琳. 我国混凝土拱桥现状调查与发展方向分析[J]. 中外公路,2008(2).
- [3] 陈淑红. 缆索吊装钢筋混凝土拱桥的施工技术研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文,2011.
- [4] 程飞,张琪峰,王景全. 我国桥梁转体施工技术的发展现状与前景[J]. 铁道标准设计,2011(6).
- [5] 高玉峰,蒲黔辉,李晓斌,等. 悬臂浇筑法在国外大跨度混凝土拱桥施工中的应用发展[J]. 世界桥梁,2008(1).
- [6] 孙程海,张国伟. 陶赖昭松花江特大桥悬臂浇筑阶段高程控制[J]. 森林工程,2003(5).
- [7] 赵云鹏,王金峰,余诗泉,等. 肇松松花江特大桥高程监控中温度影响的探讨[J]. 森林工程,2006(5).
- [8] 董旭. 预应力混凝土连续梁桥施工控制研究[D]. 西安建筑科技大学硕士学位论文,2015.
- [9] 常星. 大跨钢筋混凝土箱形拱桥悬臂浇筑技术[J]. 中外公路,2019(6).