

# 大倾角、无下横梁“人”字型景观桥塔 精细化施工过程仿真计算

沙仁智 林明 徐溢滨

中国铁建大桥工程局集团有限公司

**摘要：**索塔、主梁和斜拉索共同组成斜拉桥，索塔作为斜拉桥的主要受力构件，一般由塔冠、塔柱、横梁、塔座等几部分组成。塔身受自重以及通过拉索传递给塔的水平荷载和竖向荷载（活载）。常规的斜拉桥索塔施工常采用翻模施工或移动脚手架爬模施工工艺，采用落地式支架施工横梁，而“人”字型索塔由于塔身倾斜度大、斜率过渡次数多及缺少下横梁的原因，往往需要进行详细的仿真计算，并结合有限元分析结果在施工阶段对塔身进行预偏，以达到理想的线型期望。本文依托巢湖大桥归纳总结了大倾角、无下横梁“人”字型景观桥塔精细化施工过程仿真计算。

**关键词：**斜拉桥；索塔；仿真分析；线型控制

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.11.064

## 一、工程概况

巢湖大桥是湖光路与巢湖的交叉工程，位于市区西郊，是巢湖市“两环三横三纵”的关键性工程，工程范围为西坝路~亚父路，桩号范围K2+530~K4+679.266，线路全长2149.66m，其中桥梁长度1122m，北岸接线长309.5，南岸接线长717.766m。大桥设计为双塔组合梁协作体系斜拉桥，全桥跨径布置为：54m+216.5m+460m+216.5m+65m+55m+55m。

大桥采用双塔空间双索面组合梁协作体系斜拉桥方案，主梁采用钢-混凝土组合钢板梁；主塔采用“人”字形桥塔，全桥共设两座主塔（N0主塔和S0主塔），由于地面地形和道路线性不对称，两个主塔塔高也不相同，N0塔高143.8m，S0塔高146.6m。两座主塔桥面至边索锚点塔柱长度均为114.4m，其与跨径比值为0.25，全桥共98对拉索，呈空间双索面扇形布置，塔上基本索距为1.9m-2.2m，每座桥塔设置两个下塔柱牛腿和两道横梁，牛腿位于桥面靠下位置，中横梁位于桥面以上约64.5高度处，上横梁位于塔顶。

## 二、计算模型

根据索塔结构特点、中下塔柱、中上塔柱、中上横梁位置，以及钢锚梁、索导管安装的合理性，按照最大节段4.5m的要求，将索塔划分为33个（北岸32个）施工节段。

主塔结构计算利用Midas Civil软件，将整个桥塔结构划分为130个单元，共计131个节点。结构计算模型见图1。

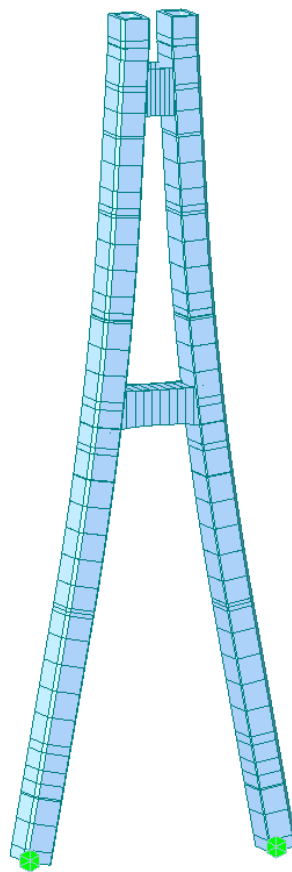


图1 主塔计算模型图

## 三、施工过程仿真计算

### （一）关键工况

为便于展示和说明施工阶段全塔受力情况和变形情况，本次计算将列出以下13个关键工况分析计算结果：

(1) 计算工况一：塔柱第6节段混凝土浇筑后，第一道临时横撑未安装前，爬模位于第6节段上（施工阶段6）

(2) 计算工况二：第7节段混凝土未浇筑前，第一根临时横撑安装顶推后（施工阶段7）

(3) 计算工况三：塔柱第17节混凝土浇筑后，第三道横撑为安装之前，爬模位于第17节段上（施工阶段19）

(4) 计算工况四：第18节段混凝土未浇筑前，第三根临时横撑安装顶推后（施工阶段20）

(5) 计算工况五：中横梁支架现浇完成后，应力钢束张拉之前（施工阶段23）

(6) 计算工况六：中横梁现浇支架拆除后，下一阶段为浇筑之前（施工阶段25）

(7) 计算工况七：塔柱第30节混凝土浇筑后，第六道横撑为安装之前，爬模位于第30节段上（施工阶段41）

(8) 计算工况八：第24节段混凝土未浇筑前，第六根临时横撑安装顶推后（施工阶段42）

(9) 计算工况九：上横梁现浇支架拆除后，第一至第六临时横撑未拆除之前（施工阶段45）

(10) 计算工况十：拆除全部临时横撑，全桥塔施工完成（施工阶段46）

## (二) 关键工况计算结果

### (1) 关键工况一：塔柱第6节浇筑

塔柱第六节浇筑工况下，塔柱内力基本由自重产生，塔柱根部外侧受拉，该处对应最大拉应力为0.7MPa（截面外侧），本工况下塔柱变形：最大水平位移为1.7mm（向内）。

### (2) 关键工况二：第一根临时横撑安装

第一道内撑管安装后，已施工塔柱截面内、外侧均受压，截面内侧最大压应力为0.7MPa，截面外侧压应力为0.6MPa；本工况下塔柱变形：最大水平位移为1.8mm（向外）。

### (3) 关键工况三：第17节塔柱施工

该阶段塔柱截面内侧受压，最大压应力为3.0MPa；第二道横撑处塔柱外侧最大拉应力为1.2MPa，本工况下塔柱最大水平位移为10.4mm（向外）。

### (4) 关键工况四：第三根临时支撑安装

第三道内撑管安装后，已施工塔柱全截面受压，最小压应力为0.1MPa，靠近塔柱上端；本工况下塔柱最大水平位移为12.4mm（向外）。

经过计算分析可以看出，第三道横撑顶推后，对主塔应力改善较明显，主塔外侧由1.2MPa的拉应力改善为0.8MPa的压应力。主塔应力图见图2。

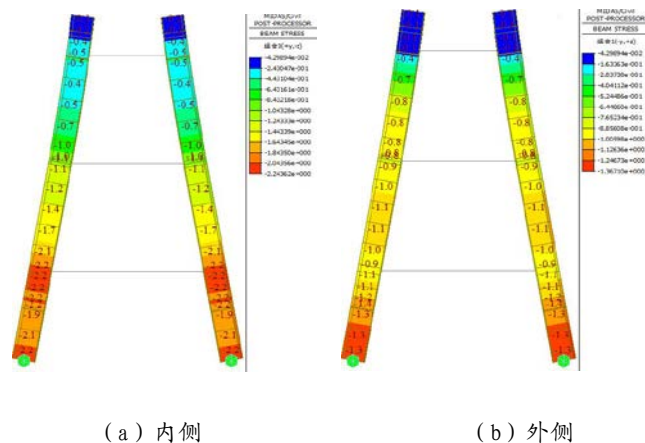


图2 主塔应力图（单位：MPa）

### (5) 关键工况五：中横梁支架现浇

中横梁浇筑的重量使得当前阶段塔柱顶部的0.1MPa拉应力改善为0.1MPa的压应力，本工况下塔柱变形：最大水平位移为12.3mm（向外）。

### (6) 关键工况六：中横梁脱架

当前阶段塔柱截面外侧的最大压应力为2.8MPa，位于塔底；塔柱变形：最大水平位移为12.1mm（向内），中横梁全截面受压，最大压应力为1.5MPa，中横梁最大向下位移2.1mm。

### (7) 关键工况七：第30节塔柱施工

当前工况下，塔柱全截面受压，最大压应力为4.2MPa；最大水平位移为11.4mm，中横梁全截面受压，最大压应力为1.3MPa。

### (8) 关键工况八：第六根临时支撑安装

第六道内撑管安装后，已施工塔柱全截面受压，最小压应力为0.1MPa，靠近塔柱上端；本工况下塔柱最大水平位移为11.8mm（向外）；中横梁最大向下位移7.8mm，中横梁全截面受压，最大压应力为1.3MPa、最小压应力为0.5MPa，位于横梁的跨中。

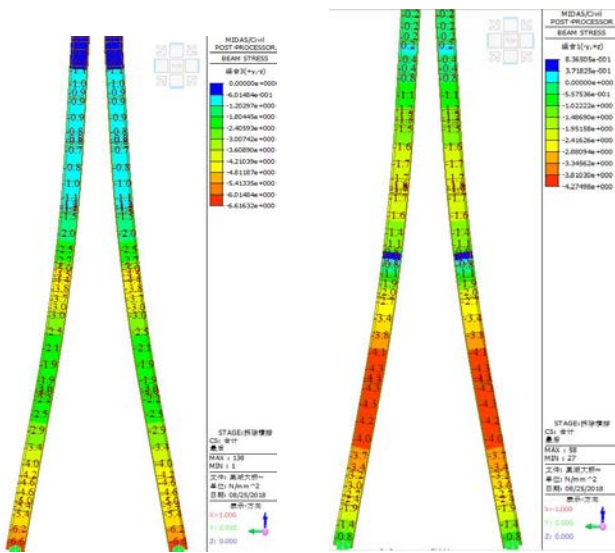
### (9) 关键工况九：上横梁浇筑

随着上塔柱浇筑完成，在上塔柱轴压作用下塔柱全截面受压，最小压应力为0.2MPa；最大水平位移为

11.8mm，中横梁最大向下位移7.8mm，中横梁全截面受压，最大压应力为8.6MPa，上横梁下缘受拉，最大拉应力为0.2Mpa。

(10) 关键工况十：全桥塔施工完成

全桥塔施工完成后，拆除全部临时横撑，桥塔全截面受压，但是桥塔根部压应力储备较小，仅为0.8Mpa；最大水平位移为11.1mm（向外），中横梁全截面受压，最大压应力为2.2Mpa；上横梁下缘有0.2Mpa的压应力。本工况下塔柱及横梁应力及变形图如图3图4所示：



(a) 内侧 (b) 外侧

图3 本工况下主塔应力图（单位：MPa）

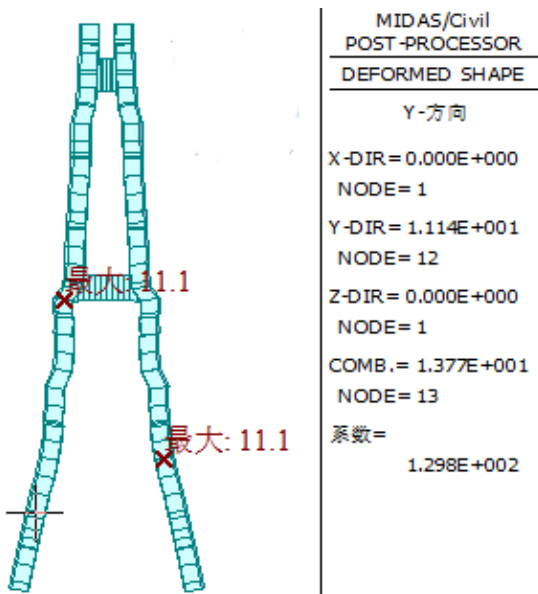


图4 主塔水平累积位移图（单位：mm）

临时横撑拆除前，六道横撑给塔柱向外的顶推力，塔柱向外弯曲变形。横撑拆除后，塔柱向外的弹性变形恢复，致使塔柱向外的位移减小。

#### 四、计算结果

本报告通过建立Midas Civil模型，对巢湖大桥工程主塔进行了施工阶段全过程模拟计算。计算分析结论如下：

(1) 塔柱在施工全过程中，关键控制断面下塔柱出现的最大拉应力为1.6MPa（外侧），出现在塔柱第12节段施工后，位于第一道临时横撑支撑处；其次，第17节段施工完成后，在第二道横撑位置处截面外侧有1.2MPa。直至中横梁完成施工后，塔柱基本上全截面受压。

(2) 中横梁在施工全过程中，全截面受压，最大压应力为1.9MPa，出现在塔柱第23节段施工后，均满足规范要求；上塔柱最大拉应力为0.2MPa。

(3) 塔柱与横梁在施工全过程，位移水平较小，竖向累积位移均小于10mm，水平累积位移最大为14.4mm。

#### 五、结论

通过开展精细化施工过程仿真分析明确施工全阶段塔身受力变化情况。在施工过程中应结合有限元计算成果对主塔进行预抬，同时采取成套措施保证塔身定位、安装线型。塔柱、下横梁、钢锚梁、索导管等各部分结构的倾斜度、外形几何尺寸、平面位置、高程采取合适方式进行监控量测。

#### 参考文献

[1] 常付平, 汤虎, 邵长宇. 巢湖大桥主桥设计[J]. 桥梁建设. 2020, 50 (06): 91-96.

[2] 胡可, 汪正兴, 王胜斌, 等. 全飘浮体系斜拉桥斜置阻尼约束体系研究[J]. 桥梁建设. 2018, 48 (04): 22-26.

[3] 邵长宇, 陈亮, 汤虎. 大跨径组合梁斜拉桥试设计及力学性能研究[J]. 桥梁建设. 2017, 47 (04): 101-106.

[4] 徐溢滨. 基于BIM的高难度斜拉桥施工控制技术[J] 智能城市. 2020, 6 (12): 182-183.