

# 大跨径斜拉桥施工监控技术

于立谦

中铁建大桥工程局集团第四工程有限公司 黑龙江 哈尔滨 150050

**[摘要]**大跨径斜拉桥是都高次超静定结构,其特点是设计与施工高度耦合,即斜拉桥所采用的施工方法、施工中斜拉索张拉的顺序和张拉力大小、施工节段的安装高程、材料性能以及施工过程中桥梁周围大气的湿度与温度都将直接影响到成桥状态的结构内力分布与成桥线型。由于主梁、塔墩及斜拉索三者之间刚度相差较大,受施工临时荷载、温度变化等因素的影响,使得受力与变形之间的关系非常复杂。如何通过施工的索力和高程的调整来获得预先设计的应力状态和几何线型,是斜拉桥施工中最为困难的问题之一。

**[关键词]**大跨径;斜拉桥;结构内力分部;成桥线型

**【DOI】**10.12252/j.issn.2096-6261.2021.11.674

## 1 引言

斜拉桥主梁在悬浇过程中,结构体系及荷载工况在不断变化,进而结构内力和线形也随之不断变化,为了确保施工过程中结构的受力状态和变形始终处于设计要求的安全范围内,以及成桥后的主梁线形和内力状态均符合设计期望、处于最优,不仅在施工之前对斜拉桥的每一个施工工况进行详细的分析和验算,从理论上保证结构在施工过程中和运营阶段的安全,而且在施工过程中还要对结构的反应进行跟踪监测并加以有效的控制<sup>[1]</sup>。

斜拉桥施工控制是在保证大桥安全施工的前提下,使结构塔、主梁线形和拉索索力、应力最大限度的满足设计要求,即达到成桥合理状态。前者保证大桥安全是第一位的,后者达到成桥合理状态是成果。结合番海大桥的特点,对该桥施工期间的线形、索力及应力等内容进行有效地控制和调整,保证实际结构在逐段施工过程中的受力和变形始终处于可控、安全及合理的范围内,并且由这些施工状态逐步演化到成桥后,结构内力和线形均符合设计要求并且与理论期望值的误差最小<sup>[2]</sup>。

随着桥梁施工技术的发展,桥梁施工监控的重要性逐渐被人们所认知,本文依托番海大桥工程实例的施工监控,在分析总结大跨度斜拉桥施工监控发展的趋势后,研究大跨度斜拉桥的施工控制理论和技术方法<sup>[3]</sup>。

## 2 工程概况

番海大桥主桥为塔梁固结的分幅单塔四索面预应力混凝土斜拉桥,跨径布置为(130+130)m,全长260m主桥中心桩号为K0+720.3。主梁采用DP断面预应力混凝土梁,梁宽分幅设置,单幅宽度28.15m。上塔柱外侧高70.315m,内侧高63.916m,下塔柱高9.4m(不含梁高);主塔承台以上直线段全高84.8m,采用半平行钢丝斜拉索。

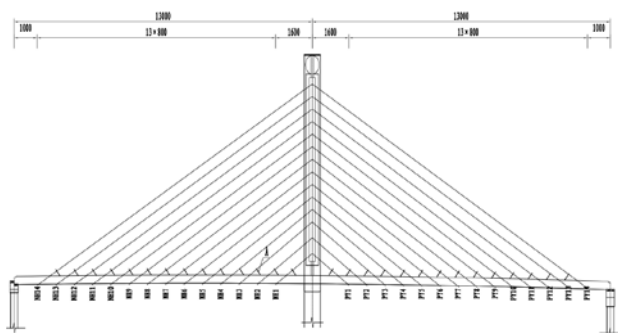


图1 全桥总体布置图(单位: cm)

## 3 施工监控结构分析

### 3.1有限元模型建立

本文利用有限元分析软件Midas/Civil2021对该桥进行结构分析,采用空间梁格法,按各构件实际位置等比例建立全桥有限元分析模型。全桥共划分459个节点,641个单元。单元和节点划分按照施工顺序由内向外逐渐递增,依据设计实际施工节段进行梁段划分,每一节段梁为8m长,使用梁格法<sup>[4]</sup>建立对应模型。

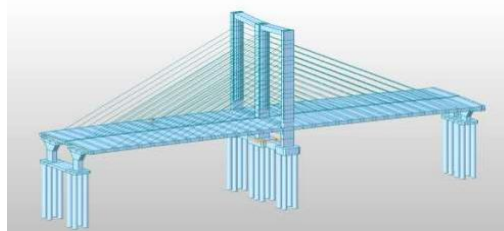


图2 番海大桥模型图

### 3.2施工节段划分

悬臂现浇过程挂篮重2200kN,混凝土湿重取25,按照挂篮位置将支承点设置在前两节段梁横隔板处,使用工字钢截面梁单元建立挂篮模型,挂篮重和湿重作为节点力施加在挂篮悬臂段1/2跨处,挂篮布置见下图,图中较深色位置即为挂篮。为了计算的精确性,将挂篮的抗弯刚度放大500倍,即使得挂篮中段不发生局部下挠。

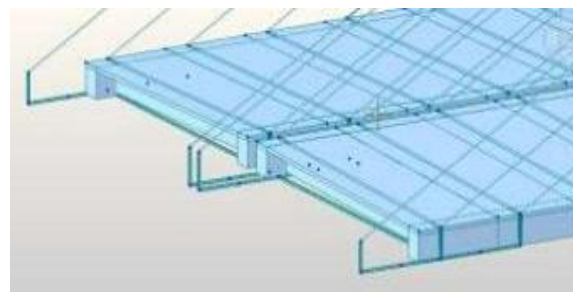


图3 番海大桥主桥挂篮示意图

## 4 有限元模型分析结果

### 4.1施工阶段

#### 4.1.1梁段重量

因梁格法单元中有一定的重叠位置,梁段重量与设计有一定差异。设计图纸标准梁段重4200kN,本次建模梁段均略重于设计值。

#### 4.1.2斜拉索初张力与成桥索力

主跨梁段采用挂篮悬臂浇筑的施工方法，在悬臂浇筑每一梁段的过程中，斜拉索分三次张拉完成，斜拉索的第一次张拉是为了调整挂篮标高及受力情况，第二次张拉为浇筑部分混凝土，前两次张拉均属于短暂过程，因此施工阶段索力保证结构安全即可。成桥索力依据设计图纸提供的弹性伸长量计算，其值由设计单位提供。成桥索力系指第1阶段（即二期恒载施工后）的索力。

#### 4.1.3斜拉索套管倾角修正

拉索受到自重垂度影响，实际上的空间线形为一斜置的悬链线，若按弦向安装拉索导管，则会导致拉索轴线与拉索导管不同轴，使得拉索受弯，需对拉索导管倾角按拉索悬链线的切线方向进行修正。

#### 4.1.4塔端锚固点预抬高

塔柱在拉索张拉力的竖向分力作用下发生弹性压缩，并且在混凝土成型后有一定程度的收缩徐变，因此拉索锚固点的放样坐标与设计锚固点坐标（成桥状态）不完全重合，施工塔柱时应应对锚固点进行预抬高。

拉索锚固点预抬高包括弹性压缩和收缩徐变两项，由于各拉索锚固点的标高不同，对应位置的弹性压缩和收缩徐变也不相同，理论上每一处锚固点的预抬高值都不同，预抬高值应根据施工过程的实际情况分析确定。

#### 4.1.5各施工阶段梁段预抬高值

斜拉桥采用悬臂浇筑施工，通过调整挂篮前端模板的立模标高，达到对施工过程中主梁线形的控制，选取悬臂端截面的三个标高点控制立模标高。依据斜拉桥施工的实际工序，综合考虑混凝土收缩、徐变，施工荷载，斜拉索垂度效应等因素，进行正装模拟计算。由于正装计算时节点位置是以成桥设计标高为初始值，施工过程中结构的位移不断变化，因此确定斜拉索的初拉力之后，经过正装计算和运营阶段活载位移计算可得到主梁施工立模标高<sup>[5]</sup>。

#### 4.1.6施工阶段应力计算

施工阶段中主梁的最大应力和最小应力见图4，图4为最长悬臂状态下结构的法向应力分布情况，根据图例可知最大应力为0.58MPa，最小应力为-18.27MPa，符合规范规定。

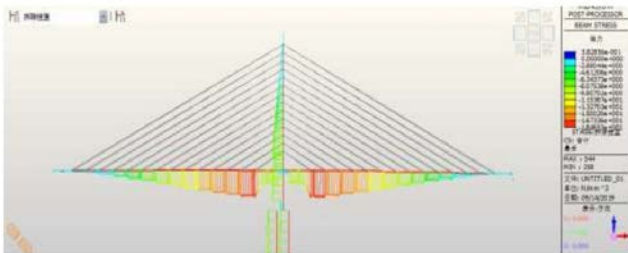


图4 最长悬臂状态下单元法向应力（单位：Mpa）

#### 4.1.7施工阶段应力计算

成桥状态下索力达到设计索力，添加二期恒载，整体结构竖向位移如图5，在未添加可变作用情况下，跨中最大下挠约-128mm。

成桥状态结构应力图，由于拉索的纵向水平分力，0#段所受压应力较大，全梁各截面基本处于受压，其中所受最大压应力为18.26MPa，拉应力为0.755MPa。

主梁截面的最大法向压应力出现在两侧S1梁段，压应力值为18.26MPa，小于22.85MPa，满足规范要求。截面的法向最大拉应力出现在S1梁段的桥面板处，最大值为0.755MPa，不超过3.15MPa，因梁格法将梁肋与桥面板拆分成多块，整体

性较弱，因此在两端1号拉索拉力的作用下引起桥面板发生向上的挠曲，实际施工中由于横隔板、桥面板及梁肋共同浇筑完成，拉应力将减小。

#### 4.2持久状况正常使用阶段

##### 4.2.1作用设计荷载组合

设计说明给出了2种荷载组合，于MIDAS/CIVIL 中手动输入2种荷载组合，计算斜拉桥的位移、应力等参数。

在车道和人群荷载作用下，主桥跨中的竖向位移最大值为-169mm，满足L/500（本桥为260mm）的要求。

索塔的倾斜度应控制在H/3000以内，本桥承台以上塔高为86.5m，因此塔顶水平偏位不应超过28mm，塔顶在车道荷载和人群荷载作用下水平位移，最大值为26.1mm，偏向南海侧。

##### 4.2.2持久状况正常使用极限状态下的截面法向应力

主梁截面的最大法向压应力为15.29MPa，位于1号梁段截面，满足不大于17.75MPa的要求；主梁截面的最大拉应力为0.0026MPa，位于13号梁段截面（最大悬臂状态外伸梁段），满足不大于1.918MPa的要求。

主梁截面的最大主压应力为16.12MPa，位于1号梁段截面，满足不大于21.3MPa的要求。

## 5 结论

斜拉桥施工监控技术，在成桥桥梁质量控制等方面具有重要的作用，现已成为施工过程中必不可少的工作。番海大桥的施工监控工作主要结论如下：

1. 项目组系统应用和实施了施工监控理论和方法，针对番海大桥的工程特点提出了一个完备、科学的施工控制方案并对它进行了详细的实现；
2. 在施工过程中，分别对主梁及索塔线形进行了监测，主梁标高与理论标高拟合良好，总体线形平顺，线形满足规范要求；各梁段横坡满足规范±0.3%要求；索塔偏移在施工过程与成桥阶段均满足控制要求，符合规范设计；
3. 实测应力变化规律与理论计算结果比较吻合，左幅最大压应力为-16.91MPa，出现在番禺侧1/4跨内侧底板处，右幅最大压应力为-14.67MPa出现在番禺侧外1/4跨外侧底板处，应力值均未超过规范和设计文件要求的拉压应力限值；
4. 在成桥以后实测桥梁结构的线形和内力满足设计和规范的要求，索力较为合理，斜拉索实测索力与理论索力均控制在5%以内，整体结构安全，达到施工控制的各项预期目标。

## 参考文献

- [1]施志勇，大跨度斜拉桥施工监控技术研究. 华中科技大学硕士学位论文，2005[J]
- [2]颜东煌.斜拉桥合理设计状态确定与施工控制[D].长沙：湖南大学博士学位论文，2001.
- [3]韩大建，苏成，王卫峰.崖门大桥施工监控的技术流程与主要成果.桥梁建设，2003.1
- [4]（英）汉勃利（E. C. Hambly）著；郭文辉译.桥梁上部构造性能[M].北京：人民交通出版社.1982.
- [5]谭红霞，陈政清，.大跨度斜拉桥施工阶段主梁的立模标高研究.湖南大学学报（自然科学版），2007.8

### 作者简介：

于立谦（1972-），男，黑龙江省佳木斯市人，高级工程师，研究方向：路桥隧道施工与管理。