

# 独塔斜拉桥的空间杆系结构研究

高宁妥 覃巍巍 王瀚德 覃磊 邱敏

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

**摘要:**部分斜拉桥是由多根斜拉索、塔、梁和墩通过杆件相互联结共同组成的空间杆系结构,本文通过对某部分斜拉桥的空间杆系结构的研究,运用ANSYS软件构建部分斜拉桥的空间杆系结构模型。根据该桥最不利的横向载荷工况,对该桥空间杆件结构进行静力载荷分析,进一步验证该部分斜拉桥的空间杆系结构的稳定性。

**关键词:**部分斜拉桥 空间杆系结构 静力载荷

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2017.02.003

## 1 概述

某部分斜拉桥的推荐方案为 $2 \times 123\text{m}$ 独塔单索面预应力混凝土方案,全跨长 $246\text{m}$ 。斜拉索在塔上以索鞍的形式连续通过,梁段锚固在主梁中间箱室内。采用塔、梁、墩固结体系。桥墩外壁为正八边形截面,桥墩高 $156.6\text{m}$ 。为了高墩稳定需要,桥墩沿墩身纵横向同比例向下放大,经过仔细比选,确定采用墩顶内切圆直径 $10\text{m}$ ,墩底内切圆直径 $16\text{m}$ ,内壁为圆形截面,壁厚 $0.9\text{m}$ ,墩身外廓线为二次抛物线的桥墩形式。由于QJX等平面杆系结构分析程序较难准确分析成桥状态结构横向受约束时的内力和位移情况,这里对大桥横向荷载最不利组合——组合1:恒载+汽-超20级+横向风+温度(横向最不利情况)——建立空间杆系结构模型,进行静力分析计算,以得到较准确的分析结果。

## 2 计算模型及结果

部分斜拉桥的空间杆系结构的极限承载力分析一直以来都利用有限元进行分析,利用通用有限元分析程序ANSYS建立空间杆系结构计算模型,并进行静力分析。采用Beam188单元(三维线性有限应变梁单元)建立分段变截面模型模拟结构,单元的划分主要根据悬臂施工阶段进行,单元长度基本在 $2\text{m} \sim 4\text{m}$ 间,采用Link10单元(只承拉或只承压的杆单元)模拟斜拉索,采用Mass21单元(结构质量单元)模拟横隔板和二期恒载的质量。全桥共划分193个单元(不包括质量单元),195个节点<sup>[1]</sup>。其中,索在主梁上的锚

固按其实际位置模拟,锚固点与主梁顶板节点之间的连接用刚臂模拟;二期恒载按单元附加质量处理,以便较好的模拟结构的质量分布;墩底为完全固结;两端桥台处考虑施加竖向和横向线位移约束及绕主梁轴线的扭转约束。

桥墩外廓线符合抛物线形式

$$x=3x(y/156.6)^2+5.$$

其中,坐标原点为桥墩上底面的形心, $x$ 轴沿主梁纵向; $y$ 轴沿竖向,向下为正。

此外,主梁、桥塔和桥墩都采用C50号混凝土,材料参数为:弹性模量 $E=3.50E+6\text{t}/\text{m}^2$ 密度 $\rho=2.6\text{t}/\text{m}^3$ ,泊松比 $\mu=0.16667$ 。

斜拉索采用索鞍形式穿过桥塔,钢索材料选用 $37-7\phi 5$ ,索重 $81.548\text{kg}/\text{m}$ ,面积为 $0.01036\text{m}^2$ ,泊松比 $\mu=0.3$ <sup>[2]</sup>。

结构在荷载组合1的最不利情况下的受力形式如图1:

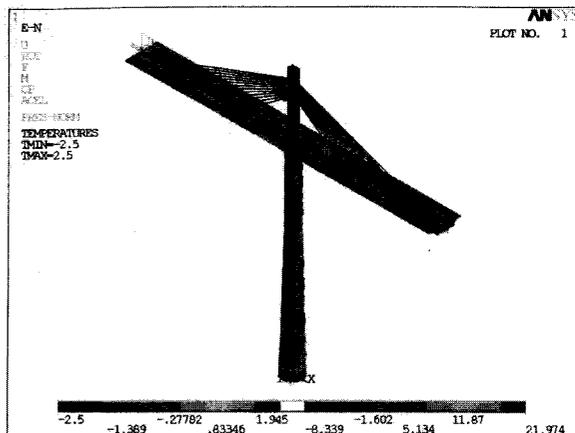


图1 组合1:恒载+汽-超20级+横向风+温度(横向最不利情况)

结构横向受温度影响的荷载梯度见图2、图3:

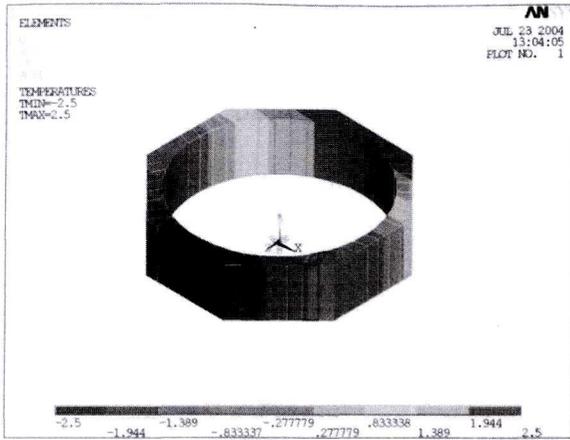


图2 桥墩截面温度梯度

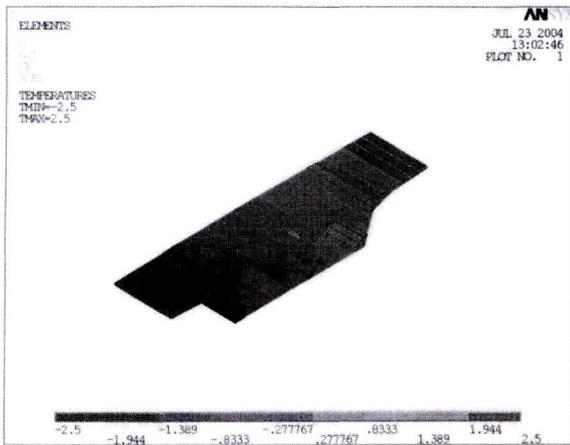


图3 主梁截面温度梯度

主要截面的内力和应力分布情况见表1。其中,桥墩最大压应力发生在1/2墩高附近高90m处,最大应力值为9.884MPa;主梁最大拉压应力均发生在主梁根部附近距桥墩、塔中心线7.5m处,最大拉应力值为6.940MPa,最大压应力值为11.11MPa<sup>[3]</sup>。这些应力都在结构的容许应力范围之内,因此,从强度的角度来说,在组合1的最不利情况下结构是安全的。

表1 主要截面的内力和应力值

截面位置	轴力 P(kN)	剪力 Q(kN)	弯矩 M(kN·m)	截面压应力 (MPa)	
				最大值	最小值
塔底	1.13E+05	584.82	16249	7682.8	4465.6
墩顶	2.39E+05	716.48	48403	8703.1	7215.2
1/2墩高	3.01E+05	1354.7	1.29E+05	9852.1	7023.8
墩底	3.85E+05	1744.9	2.84E+05	8535.1	5983.2

注:轴力以压力为正,剪力和弯矩的方向与所加载的方向一致为正,截面应力均为压应力。

在组合1的最不利情况下结构的位移分别为:主梁和墩顶横向位移0.0266m,塔顶横向位移0.0405m,它对行车舒适度的影响很小。

计算得到结构主要截面的内力分布见图4、图5、图6、图7,其中截面上最大、最小应力分别用MX、MN示于图中:

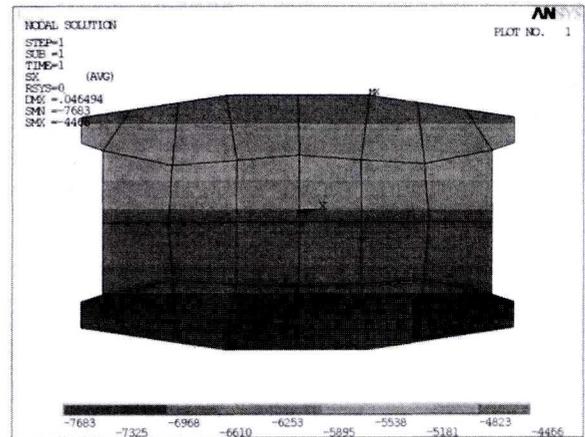


图4 塔底截面应力分布

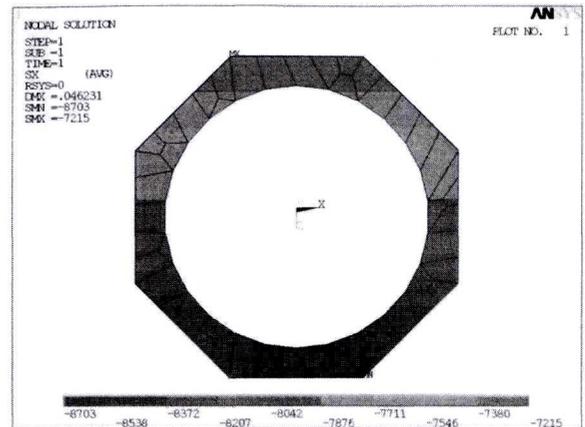


图5 塔顶截面应力分布

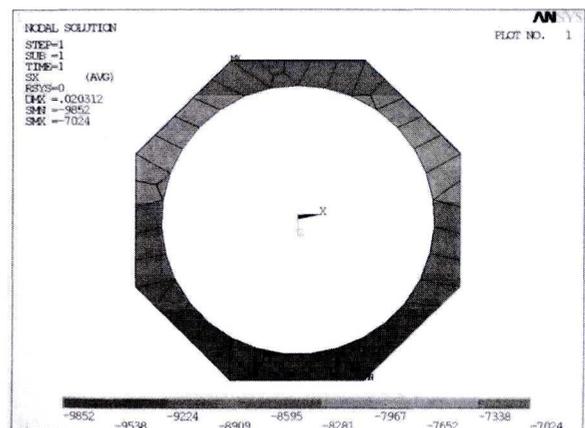


图6 1/2塔高截面应力分布

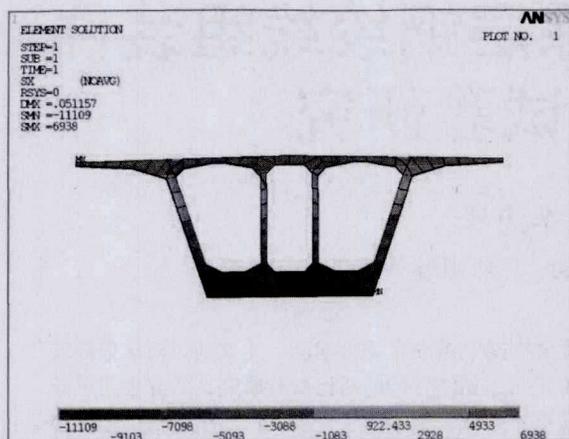


图7 主梁最大应力截面应力分布

### 3 结论及建议

(1) 分析表明, 推荐方案在组合1的横向最不利荷载作用下截面应力满足截面强度的设计要

求。其中, 桥墩最大应力出现在1/2墩高附近, 主梁最大拉压应力均出现在主梁根部附近。

(2) 建议在施工图详细设计时结合抗震分析和稳定性分析进一步优化桥墩的截面形式和尺寸。确保结构在满足稳定性和静力合理受力状态的要求, 并具有良好的抗震能力的条件下, 达到最优的结构形式。

#### 参考文献

- [1] 戴公连, 李德建. 桥梁结构空间分析设计方法与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] .G. Fei, A. Q. Li, Dynamic Finite Element Model Updating Using Meta-Model and Genetic Algorithm[J]. Journal of Southeast University (English Edition), 2006, 22(2):213-217
- [3] 葛俊颖, 王立友. 基于ANSYS的桥梁结构分析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007:18-20

(上接第8页)

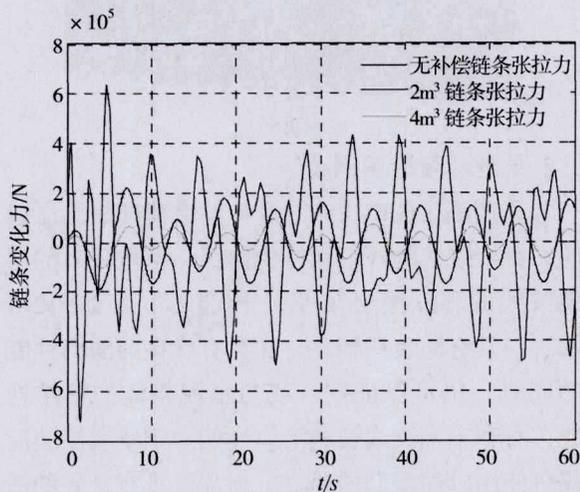


图6 第1组提升设备的链条力值变化曲线

### 4 结论

通过MATLAB/Simulink对模型进行仿真, 并对仿真结果进行分析发现, 所设计的被动式波浪补偿系统对驳船的升沉运动进行了良好的补偿, 减小了驳船升沉运动对沉船打捞的影响, 使得沉船提升变得更为稳定、可靠; 补偿效果随着蓄能器气体体积的增大而显著。

#### 参考文献

- [1] 黄志鹏. 大吨位沉船打捞链式同步提升平台设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- [2] 关新宇. 打捞“库尔斯克号”核潜艇[J]. 建设机械技术与管, 2005, 18(1):37-39.
- [3] 李兴奎, 吴志勇, 戴义平等. 基于液压同步牵引的沉船打捞技术[J]. 建筑机械化, 2010, 31(3):25-29.
- [4] LIU S, LI L. Control Performance Simulation on Heave Compensation System of Deep-sea Mining Based on Dynamic Vibration Absorber[C]. International Conference on Digital Manufacturing and Automation. IEEE, 2010:441-445.
- [5] 侯交义, 韩雪, 张增猛等. 沉船提升被动型液压升沉补偿系统仿真研究[J]. 液压与气动, 2015(10):27-30.
- [6] 乐源. 基于液压同步提升技术的船舶负载及系统运动分析[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- [7] HUSTER A, BERGSTROM H, GOSIOR J, et al. Design and Operational Performance of a Standalone Passive Heave Compensation System for a Work Class ROV[C]. Oceans.IEEE, 2009:1-8.
- [8] 权凌霄. 基于管路效应的气囊式蓄能器数学模型与实验研究[D]. 北京: 燕山大学, 2005.
- [9] HUSTER A, DAYANI A, Design Lo D. and Testing of a Snap Load Alleviator for a Submarine Rescue Vehicle Handling System[C]. Oceans. 2007:1-9.