

文章编号: 0451-0712(2006)01-0024-05

中图分类号: U448.25

文献标识码: B

自锚式悬索桥拱形桥塔 施工过程及桥塔横梁优化研究

李 杰¹, 郑凯锋¹, 谢尚英^{1,2}, 文曙东¹, 栗怀广¹

(1. 西南交通大学土木工程学院 成都市 610031; 2. 西南交大土木工程设计有限公司 成都市 610031)

摘 要: 广州猎德大桥是新光快速路规划中跨越珠江的一座大型桥梁, 本桥的亮点在于其独特的桥塔设计。猎德大桥塔身外观为两个贝壳状弧形壳体相扣, 其内外轮廓为椭圆弧段组合而成, 单肢塔柱截面类似梯形。整个结构采用预应力混凝土结构, 外部包钢壳。结构的多变使桥塔在施工过程中的受力变形分析较为复杂。本文应用组合有限元的方法, 采用三维实体单元、板壳单元以及杆单元等详细模拟桥塔施工过程, 并对比计算两个初步设计方案, 对结构的受力变形给出相对精确的结果。

关键词: 自锚悬索桥; 桥塔横梁; 施工分析; 组合有限元

1 概述

广州猎德大桥是新光快速路规划中跨越珠江的一座大型桥梁, 桥址位于广州大桥与华南大桥间。桥址位于规划中的广州新城的中轴线上, 所以在桥梁设计中, 对外观造型、城市文化内涵做了深入探讨和研究。经过全国性公开方案设计竞赛最终选择了独塔双索面自锚式悬索桥方案, 见图 1 所示。猎德大桥的亮点在于其独特的桥塔设计, 塔高 131 m, 其中主体结构高 106 m, 顶部装饰高 25 m, 塔身外观为两个贝壳状弧形壳体相扣。



图 1 猎德大桥效果

收稿日期: 2005-07-20

等到鞍罩安装完毕后, 整个主缆从理论上说应该已处于全封闭状态。为了检查整个主缆涂装敛缝后的气密性, 就必须进行一次送气试验。试验可以分段进行, 基本方法是在送气罩进气口外接一个风机往主缆内送气, 而在排气罩的出气口罩上 1 只塑料袋并密封好。如果气密性好的话, 送气开关打开后, 短时间内排气罩出气口的塑料袋就会鼓起来。然后派人沿着主缆在主缆表面及索夹、送排气罩端部及咬合部涂抹肥皂水, 如果漏气就会有吹泡现象。在漏气位置做上明显标记, 以方便日后修补。

4.3 除湿机及主缆上配管的安装

在南北塔柱上横梁内、南北锚室内及跨中和端部的钢箱梁内, 分别安装有除湿风机并由配管连接到送气罩进气口。配管安装在主缆检修安装完后进

行。安装时一定要注意将配管连接处密封好, 以防漏气。除湿风机连上电源后, 即可开始对整个系统吹干燥空气除湿。

5 结语

由于国内是首次采用该防腐新技术, 其效果如何还有待于日后验证。但从该技术在日本国内使用的情况来看, 效果还是很理想的。

参考文献:

- [1] 江苏省交通规划设计院, 北京建达道桥咨询公司. 润扬长江公路大桥南汉悬索桥施工设计图[Z].
- [2] 中国路桥集团第二公路工程局. 润扬长江公路大桥南汉悬索桥上部结构安装施工组织设计[Z].

桥塔外观上的优美造型必然要对设计和建造提出很高的要求。猎德大桥桥塔的内外轮廓分别为椭圆弧段组合而成,塔身为0.75~2.0 m变厚度变截面空心弯曲双塔柱,桥塔横梁施工后,整个桥塔结构为弯曲双柱的闭合框架。单肢塔柱横断面呈类梯形,塔柱截面为单箱单室预应力混凝土结构,根部设有15 m实体渐变过渡段。塔顶横梁高10 m,为单箱三室预应力混凝土结构。在主鞍座对应位置设置

1.5 m厚横隔板,其余位置设置1.0 m厚横隔板,共设4道。根据施工受力需要塔柱和横梁在不同阶段分批张拉预应力束。桥塔内外包钢壳,外钢壳厚为16 mm,内钢壳厚为12 mm。钢壳为受力结构,并在施工过程中作为模板。阶段间的钢壳用法兰盘连接,内外钢壳间设置角钢联接系,钢壳与混凝土接触面有钉式剪力键,桥塔有限元分析模型见图2所示。

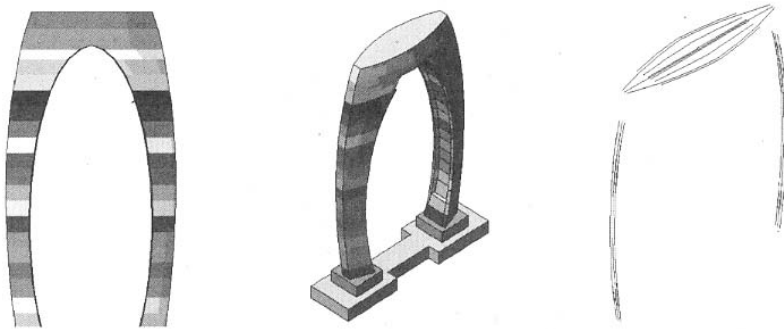


图2 桥塔有限元模型

2 桥塔施工过程的组合有限单元分析方法

所谓组合有限元就是包含有不同单元类型的组合有限元模型。组合有限元法作为全桥结构仿真分析的技术核心,摒弃了多年来桥梁计算所采用的人为假设(如假设计算体系或计算平面的划分与组合、假设构件平截面变形、假设连接形式为铰接或刚接、假设计算模型的边界条件等),并克服这些假设带来的不足,建立完整、统一的整座桥梁的结构分析模型。所建模型准确模拟构件的空间位置、尺寸、材料特性、连接形式、荷载作用、初始内力和初始变形,运用限制变形—还原内力原理确定结构仿真分析的初始形态,在此基础上,进行大规模的全桥结构效应计算与分析,由此得到相对详尽、精确、可靠的分析结果。

组合有限元法针对桥塔结构的不同构件分别采用不同单元模拟,例如对混凝土构件采用三维实体元,混凝土中的预应力筋采用杆单元模拟,内外包钢壳采用板单元建立详细的分析模型。依据施工过程,定义各阶段工况,并定义不同构件单元的材料属性:未施工及未浇注的构件单元重量为零,弹性模量亦为零(分析中可设定为一小值);该阶段施工的钢壳按照材料实际属性定义,混凝土施工考虑湿重(模量减小为1/100);而前阶段已施工的构件单元在该阶段没有重量仅有实际模量,以此考虑该阶段施工对

先前阶段施工好构件的影响。从材料属性可以看出,对于未施工的构件仅被动地做刚性位移,构件本身不产生任何变形和内力;正在施工构件对未施工及已施工构件产生相应影响;对已经施工的结构,将由于本阶段正施工的构件而产生变形和内力。分别计算各工况,应用叠加原理依次叠加计算结果,即可得到在该施工阶段时结构构件的内力和变形,同时还可以得到该阶段施工的构件对先前已建构件内力位移的影响。

3 桥塔施工阶段分析

3.1 预应力束对桥塔的影响

根据初步设计,将桥塔分为21个阶段,塔身分段见图3所示。从整体上看,桥塔为一偏心受压构件,所以塔身中的预应力束是否需要张拉需要分析,图4为计算了塔身不张拉预应力束时各个施工阶段塔身的最大应力变化曲线。施工阶段1~16时,塔身最大应力出现在塔底内侧,最大达到1.22 MPa,可以满足C50混凝土强度要求,所以内侧预应力束可以取消。而对于施工阶段17~19,塔身最大应力出现在塔身中部的内侧,最大值达到3.77 MPa,已经超出了混凝土的承载极限,所以塔身外侧的预应力束必须张拉,以克服偏压在塔身外侧产生的拉应力。

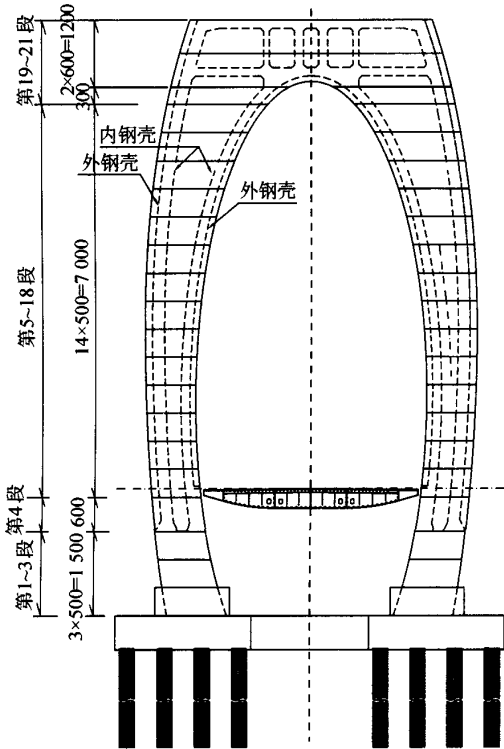


图3 塔身分段示意

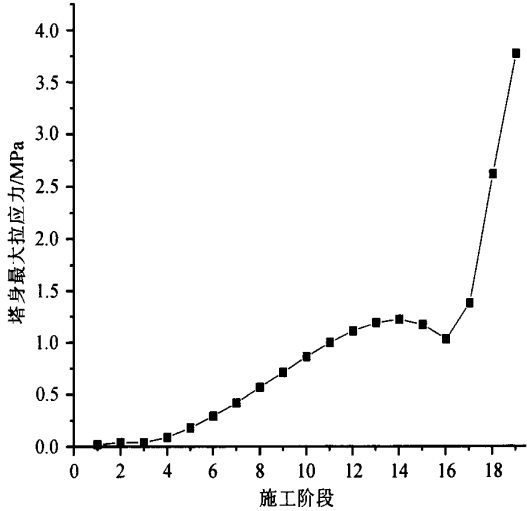


图4 塔身不张拉预应力束时各施工阶段塔身最大拉应力

3.2 桥塔横梁隔板优化分析

初步设计中,将塔身横梁设置为如图 5 所示的三箱三室,其中,鞍座下面设置竖直隔板厚为 1.5 m。按照施工过程对三箱三室桥塔进行分析,汇总张拉预应力束时的分析结果列于表 1。第 32 阶段桥塔计算结果见图 6 所示。

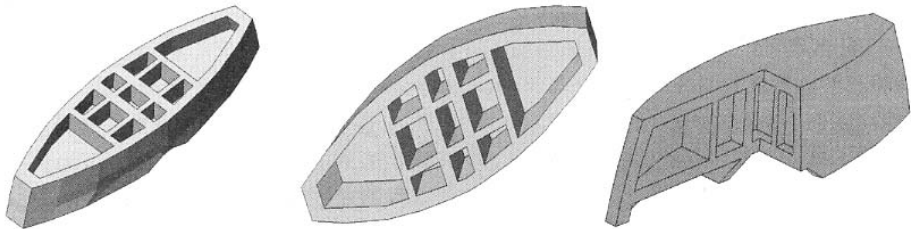


图5 桥塔横梁有限元模型(一)

表1 三箱三室桥塔部分工况计算结果汇总

施工阶段	施工内容	位移/mm			塔身混凝土最小应力/MPa		塔身混凝土最大应力/MPa	
		竖向	横向	纵向	横梁	塔身	横梁	塔身
19	张拉塔身外侧部分预应力束	-10.63	7.1	0.96	—	-6.26	—	1.32
21	张拉塔身外侧部分预应力束	-11.93	8.07	1.01	—	-6.56	—	1.33
23	张拉塔身外侧部分预应力束	-13.92	16.59	1.02	—	-6.89	—	1.78
25	张拉塔身外侧剩余预应力束	-17.18	34.71	1.02	—	-7.51	—	1.69
31	张拉横梁内部分预应力束	-54.39	46.87	1.32	0.31	-9.43	-0.12	0.58
32	横梁剩余预应力束+6 800 t	-63.53	47.45	1.36	-14.43	-15.73	13.17	6.98

注:6 800 t 为活载在鞍座上产生的荷载,下同。

由表 1 并综合图 6,可以看出张拉塔身内侧预应力束后,塔身混凝土的最大拉应力水平较低。在成桥

阶段,对于横梁为三箱三室的桥塔,预应力束张拉使整个桥塔应力水平降低的同时,局部拉应力水平却

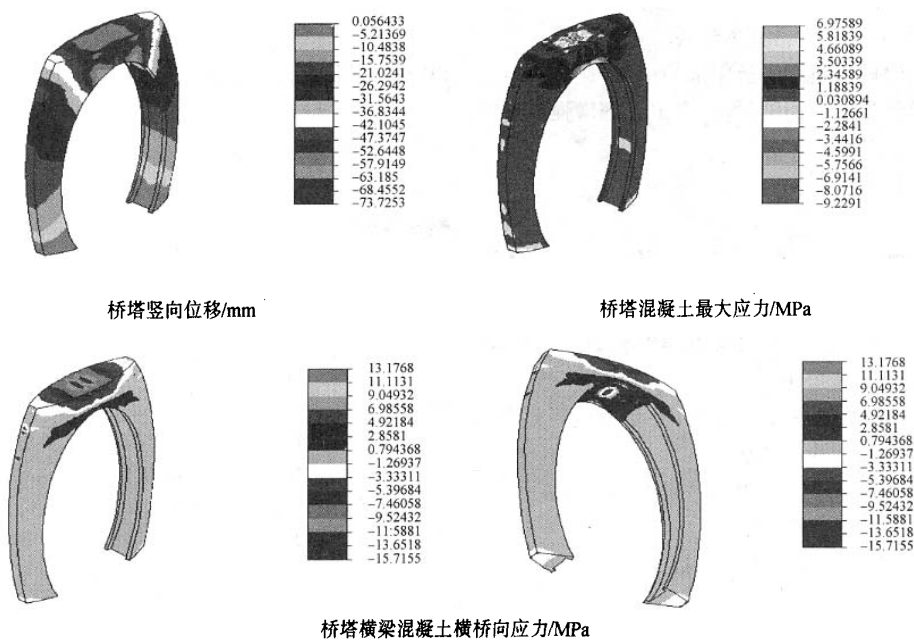


图 6 第 32 阶段桥塔计算部分结果

增大了。产生该结果的原因是由于横梁中预应力束张拉过量,横梁中部刚度较大,弯起束引起横梁呈“山”字形变形,那么对横梁下缘有下挠趋势的斜板而言,会使该斜板的底部拉应力增加更多。

在图 6 中,应力最大值出现在横梁底板以及内

侧塔身上。为了使横梁的传力途径更加明晰,将鞍座下隔板斜置,同时减少横梁中隔板数量,将桥塔内侧伸出板不作为受力部分,并在横梁底板与塔身内侧交接处加梗腋,如图 7 所示。按照施工过程对此塔进行分析,汇总张拉预应力束时的分析结果见表 2。

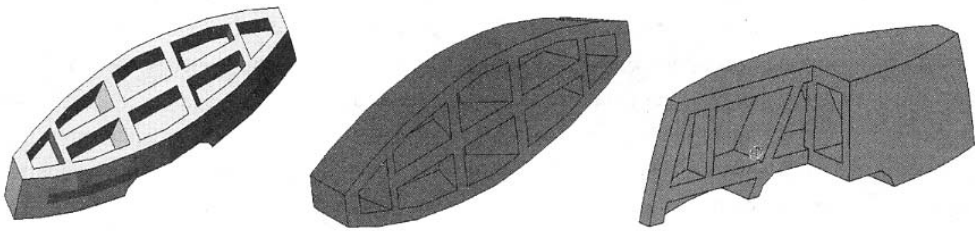


图 7 桥塔横梁有限元模型(二)

表 2 斜置鞍座下隔板桥塔部分工况计算结果汇总

施工阶段	施工内容	位移/mm			塔身混凝土最小应力/MPa		塔身混凝土最大应力/MPa	
		竖向	横向	纵向	横梁	塔身	横梁	塔身
15	张拉塔身外侧部分预应力束	-6.55	9.28	0.15	—	-3.12	—	0.56
17	张拉塔身外侧部分预应力束	-9.58	10.7	0.12	—	-3.43	—	0.92
19	张拉塔身外侧部分预应力束	-11.21	8.29	0.27	—	-4.42	—	0.90
21	张拉塔身外侧部分预应力束	-15.18	10.55	0.37	—	-5.15	—	0.92
25	张拉横梁部分预应力束	-32.43	39.09	1.31	-1.17	-5.73	0	0.03
27	张拉横梁部分预应力束	-35.35	37.69	1.36	-1.86	-7.08	0.30	0.30
28	6 800 t+ 横梁剩余预应力束	-44.55	38.24	1.37	-4.47	-11.81	-2.45	0.81

从表2中看出,张拉预应力束各阶段的混凝土应力可以满足施工要求。将拱形桥塔横梁鞍座下的隔板斜置,同时取消横梁底板中部伸出板,避免其参与受力,并且设置加劲梗腋,可以看出局部增强效果是明显的。

4 小结

通过上面的分析计算,有以下几点结论:

(1)组合有限元的方法可以详细精确地对桥梁的施工过程做结构分析;

(2)猎德大桥桥塔造型新颖,但受力变形复杂,受施工方案及技术影响很大;

(3)塔身预应力束对改善混凝土桥塔施工过程中应力和变形有重要作用;

(4)塔身内侧预应力束可以取消,塔身外侧预应

力束不能取消;

(5)将塔身分5 m左右一段进行施工,钢壳可以充作模板,并在成桥后参与受力,该方法是可行的;

(6)横梁鞍座下隔板斜置对改善桥塔整体受力效果明显。

参考文献:

- [1] 郑凯锋,陈宁,张晓翘.桥梁结构仿真分析技术研究[J].桥梁建设,1998,(2).
- [2] 郑凯锋,陈亚新,王勇.全桥结构仿真技术在拱箱吊装分析中的应用研究[J].铁道工程学报,1998,(4).
- [3] 万鹏,郑凯锋.组合有限元法在T形梁桥荷载横向分布分析中的应用[J].公路,2003,(8).
- [4] 西南交大土木工程设计有限公司.广州市猎德大桥工程初步设计.2005.

Construction of Arc Tower of Self-Anchored Suspension Bridge and Optimal Analysis for Bridge Tower Thwart Beam

LI Jie¹, ZHENG Kai-feng¹, XIE Shang-ying^{1,2}, WEN Shu-dong¹, LI Huai-guang¹

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Southwest Jiaoda Civil Engineering Design Co. Ltd, Chengdu 610031, China)

Abstract: Guangzhou Liede bridge is a long span bridge in the plan of Xinguang Express Road. The highlight is particular design of the bridge tower. The figuration of tower is made of two shells buckled each other. Both sides of its outling are composed of two ellipse segments and the cross-section of the tower column is similar to a trapezium. The construction is prestressed concrete and is coated with steel shell. The bridge tower stress and displacement are very complex when it is erected. The paper applies integrated element 3D entity-element, plate-element and bar-element to exhaustively simulate the construction in comparing two schemes of the primary design and comparatively accurate results are got.

Key words: self-anchored suspension bridge; bridge tower thwart beam; construction analysis; integrated element

成都县县通高速公路

随着成彭、成温邛高速公路的建成通车,成都市高速公路通车里程达437 km,高速公路密度达到每万平方公里353 km。县县通高速公路在成都由梦想变成现实。

“十五”期间,成都市形成了以绕城高速公路为环,由成绵、成彭、成灌、成温邛、成雅、成乐、成渝、成南、机场等9条放射状高速公路共同组成的“环+放射”状高速公路网,实现了从中心城区到周边区(市)县都通达高速公路。

县县通高速公路目标的实现,大大缩短了成都市区与区(市)县之间的时空距离,方便了群众出行,改善了投资环境,提升了城市形象,有利于富裕农民、繁荣农村、发展农业,促进了社会经济聚集和辐射效应,推动了城乡经济一体化发展。现在,成都市大邑县、金堂县农民到成都市区只要一个多小时就能来回走一趟,而过去要坐三四个小时的车才能到。