



重庆朝天门长江大桥工程 设计创新要点

孟乙民, 唐国兵, 包雪巍

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 重庆朝天门长江大桥工程开创了国内外桥梁史上的多项之最。该项目以经典力学理论为基础, 通过“桥梁结构设计系统”、MIDAS、ANSYS及STS等计算机软件进行设计计算, 利用AutoCAD、3dsmax、Photoshop等绘图软件绘制完成。朝天门长江大桥的主要技术成就包括: 1) 为当前已建成的世界上跨度最大的拱桥; 2) 使用了当前世界上承载力最大的球型支座; 3) 主桁杆件选用3种不同材质、变宽度尺寸, 拼接板最大板厚达80 mm, 均属国内首创; 4) 国内首次在钢结构桥梁永久结构中采用预应力体系, 减少了钢材用量, 降低了工程造价; 5) 上下十线车道及两线轨道的交通载荷量、多箱隔室凯旋门式主墩及公轨两用先拱后梁施工难度均堪称世界第一。

关键词: 连续钢桁系杆拱桥; 无应力状态控制法; 纵横梁结构体系; 多肋飞燕式钢桁架拱式结构; 超大内横梁和分离式双箱结构

中图分类号: U 442.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972 (2013) S1-0178-05

Design innovations in Chongqing Chaotianmen Yangtze River Bridge project

MENG Yi-min, TANG Guo-bing, BAO Xue-wei

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: There are a lot of innovations in Chongqing Chaotianmen Yangtze River Bridge project. The design, analysis and calculation based on the theory of classical mechanics were carried out by the analysis software such as the bridge structure design system, MIDAS, ANSYS and STS, and the drafting software such as AutoCAD, 3dsmax and Photoshop. The main achievements are as following: 1) Being the arch bridge with the longest span among all the existed ones; 2) Utilizing the spherical support with the largest bearing capacity up to now all over the world; 3) Adopting three kinds of materials and variable widths for the main truss rods, with the maximum thickness of 80 mm for the splicing plate, both were the first applications in China; 4) Adopting the prestressed system in the steel bridge permanent structure for the first time in China to reduce the steel consumption and cut down the cost; 5) Overcoming the most difficult points in the world including the traffic load of upper-lower ten-lane road and two-lane track, the construction of multi-cellular triumphal arched main pier, and the road-track dual purpose & arch-girder, etc.

Key words: continuous steel-truss bracing arch bridge; non-stress controlling; stringer-girder system; multi-rib swallow-shape steel-trussed arch structure; super-large internal girder and separating double-box structure

地处重庆主城区长江上连接江北五里店和南岸弹子石的朝天门长江大桥, 自2004年12月29日

开工建设, 于2009年4月29日建成通车。朝天门长江大桥按市政桥梁建设, 全长1 741 m, 其中

收稿日期: 2010-08-18

作者简介: 孟乙民(1960—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事港口航道工程以及铁道工程规划设计工作。

主桥932 m, 由主跨552 m和两侧各190 m边跨的钢桁拱组成, 三跨连续结构; 两端引桥共计809 m, 为双向预应力混凝土箱梁连续结构; 分上下两层桥面, 双向总计十条车道和双线轻轨轨道(图1)。



图1 重庆朝天门大桥

重庆朝天门长江大桥工程从设计前期工作开始就已明确设计思想, 即: 不仅仅从工程学的观点出发, 而且必须具有新的设计理念——即集几何学、生理学、工程学、环境学、人文学、美学等多种学科的综合, 以实现结构安全、造型美观、节约资源、注重环保的绿色交通桥梁。

1 主要理论、方法

大桥钢桁拱(梁)设计计算采用经典力学(材料力学、结构力学)理论; 按照无应力状态控制法进行结构设计, 即主桁构件均按照无应力长度设计、制造, 结构最终受力状态不受安装过程影响(图2)。

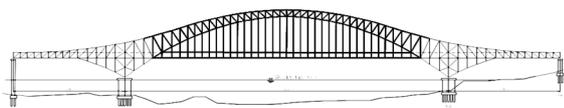


图2 主桥成桥三跨连续结构

主桥下部及引桥上下部按钢筋混凝土结构进行设计。为加强整体性, 在两钢筋混凝土空心薄壁墩身之间直接设预应力横梁, 按小偏心构件设计桥墩; 利用主墩结构的对称性, 把主桥墩身依照设计文件的几何尺寸按1/2建立几何模型; 有限元模型采用10节点四面体单元, 共计85 122个单元, 132 218个节点; 上层桥面板受桥面超宽以及净空限制, 需设置较大内横梁, 采用横向预应力, 按预应力A类构件设计(图3)。

采用色彩分析法, 从现场的区域背景中提取色彩做为分析的背景色, 体现重庆“高亮度低彩

度”的用色习惯。



图3 主墩墩身顶预应力横梁连接

2 主要计算、绘图软件

主桥钢桁拱(梁)平面计算采用中铁大桥勘测设计院有限公司自编的SCDS—2004《桥梁结构设计系统》计算; 结构空间受力分析采用通用结构分析软件MIDAS; 结构动力特性、静力稳定性和抗震分析采用通用结构分析软件ANSYS; 灯架及桥名牌钢结构采用STS计算软件(图4)。

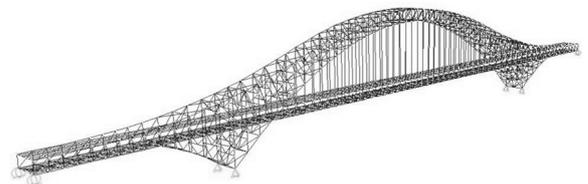


图4 建立主桥整体结构计算模型

主桥墩计算采用ANSYS程序进行有限元分析; 引桥主梁采用桥梁博士进行计算, 采用MIDAS 2006进行复核计算, 局部计算时采用ANSYS程序进行有限元分析, 并采用MSC.NASTRAN软件进行复核; 引桥桥墩采用桥梁博士进行计算, 基础采用桥梁通进行计算。

绘图采用AutoCAD、3dsmax、Adobe Photoshop绘图软件。动画演示采用Flash软件。

3 主要技术特点和创新点

1) 朝天门长江大桥主桥采用190 m+552 m+190 m连续钢桁系杆拱桥, 实现古典桥型与现代建桥技术的完美结合, 是目前世界上已建成的跨度最大的拱桥, 有利地推动了我国大跨度钢桁拱桥的技术进步。

2) 主桥中间支点采用QZ145 000 kN铸钢球型铰支座, 是当前世界上投入使用的承载力最大的球型支座, 有利地推动了我国桥梁球型支座的技术进步(图5)。



图5 安装就位后的主墩支座

3) 结合主桁不同部位杆件杆力水平相差悬殊的特点, 主桁杆件选用了不同材质, 采用了变宽度杆件, 打破了以往国内钢桁梁(拱)桥全桥杆件单一材质、同宽度的传统。杆件材质有Q420qD、Q370qD和Q345qD 3种, 杆件宽度有1 200 mm和1 600 mm 2种, 使截面选择和结构设计更趋于合理, 节省了材料, 降低了造价。

4) 主桁结构构件中, 所采用的最大板厚达80 mm, 是目前国内钢桁梁(拱)桥中最厚的。

5) 主桥下系杆采用“钢制杆件+辅助系索”的组合式系杆, 相当于“预应力钢结构”系杆, 是国内首次在钢结构桥梁永久结构中采用预应力体系。通过预应力索的作用, 可以有效降低刚性系杆杆件内力, 减小构件规模, 以满足目前的材料供应条件, 同时减少了钢材用量, 降低了工程造价(图6)。

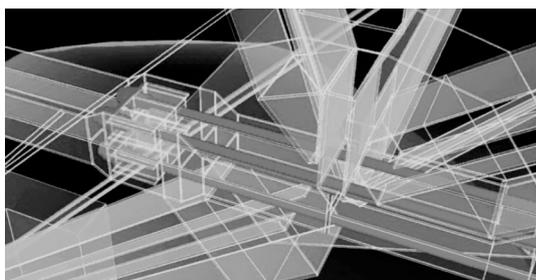


图6 预应力索锚固方式

6) 结合大桥交通功能的需要, 下层桥面采用了组合式桥面系, 中间为纵横梁结构体系, 两

侧为正交异性钢桥面板(图7)。



图7 正交异性钢桥面板(靠右)及纵横梁结构(靠左)

7) 钢梁安装采用80 t拱上爬行式架梁吊机, 以适应钢桁拱桥上弦变化的要求, 该吊机是目前国内同类型吊机中起重能力最大的。吊机回转角度 $\pm 50^\circ$, 最大起吊能力80 t \times 25 m, 采用卷扬机牵引的方式爬坡前移, 最大坡度 20° (图8)。



图8 作业中的架梁吊机

8) 主桥主跨安装时采用双层扣索塔架辅助悬臂架设, 塔架高度98 m, 下端与主桁节点铰接, 扣索最大控制索力16 000 kN(图9)。



图9 正在安装临时扣塔

9) 结构的受力状态变化较大, 要进行多次受力体系转换, 从简支梁、悬臂梁、连续梁、斜拉体系、悬索体系、有推力拱, 最后形成无推力

拱的设计成桥状态, 集桥梁的所有结构体系于一体, 是桥梁技术的综合体现 (图10)。

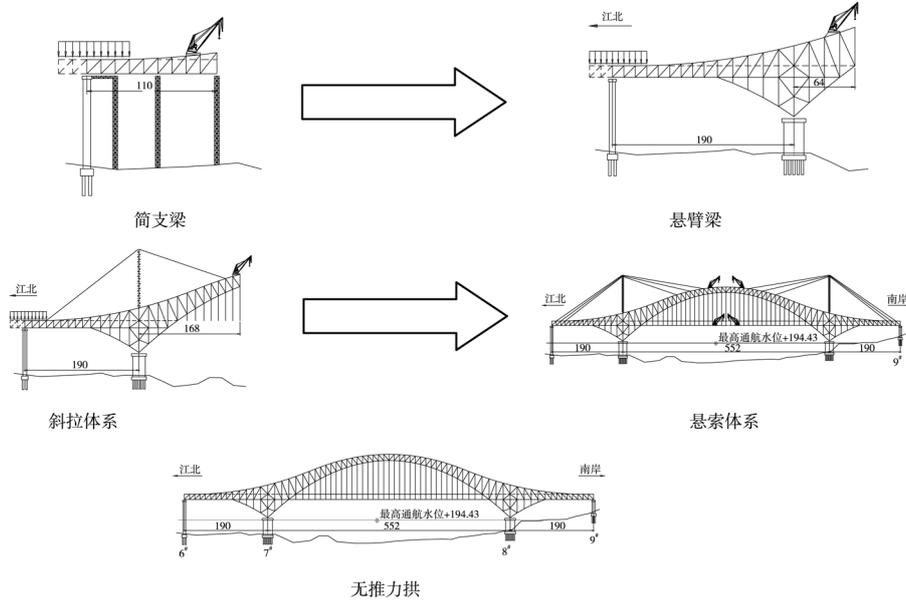


图10 结构体系多次转换 (单位: m)

10) 夜景灯饰采用国际新型节能光源LED及T5管做为主要光源, 体现工程环保节能的设计理念。

11) 桥型世界唯一、上下十线车道再加两线轨道交通载荷量世界第一; 多箱隔室凯旋门式主墩世界第一; 公轨两用先拱后梁施工难度世界第一。

12) 设计理念创新, 在全桥前期规划、结构构思、大桥设计等方面, 均以“顺畅、优美、安全、创新、经济”为设计目标, 以技术创新为设计思想, 以“全寿命周期成本”的新理念考虑大桥的建设投资, 按照“以人为本”的设计原则进行总体设计。全桥设计中, 对于关键结构与构件全面采用了三维仿真分析。

13) 桥梁形式创新——国内外首创多肋飞燕式钢桁架拱式结构桥梁。为了实现这一构想, 对美国、澳大利亚以及其它国家已建成的各种桥梁进行集合分析, 提出总体设计构思——实现概念设计; 同时吸收了澳大利亚悉尼大桥和我国大量飞燕拱桥的特点, 结合公轨两用桥的特点, 吸收日本和香港等地著名大桥的断面布置形式, 确定了重庆朝天门长江大桥的构造形式。

14) 多箱隔室凯旋门式主墩的设计创新——

实现支撑QZ145 000 kN的支座压力, 保证结构的安全, 满足施工主梁大位移的需要, 同时节约建设经费, 且外型美观。

15) 由于上下十线车道再加两线轨道交通的构造, 下层引桥净空要求特殊, 造成上层引桥31 m的桥面不能设置外横梁, 设计创新采用超大内横梁和分离式双箱结构 (图11)。引桥桥墩考虑了汽车与轻轨对墩身产生的耦合效应。



图11 单室分离式双箱梁与其内横梁

4 结语

桥梁发展到今天, 已不单单是跨越沟谷、连接道路、供人车马通行的建(构)筑物, 而是被更多地赋予历史文化的内涵, 以展示时代的风姿与烙印, 已经成为一个符号, 一种象征。建设一

座既保留古典元素又具有现代风格的桥梁是广大桥梁设计者的追求，也是时代的要求和桥梁建设发展历程的必然结果。只有认真总结，传承桥梁建设经验，挖掘桥梁技术及其蕴藏的文化，创新设计思想，勇于实践，才能促进桥梁设计不断进步。

设计创新需要一批精通专业并热爱设计的职业人执业，需要提供宽松的政策环境和有效性的激励机制，也需要参建各方积极支持与配合，朝天门长江大桥工程在此方面作出一些探索，集中了国内外优秀设计团队和骨干人员，开展多项用于指导设计的科研项目、多项用于验证设计成果的试验和多项遵循设计的施工监控。实践表明：仅仅依靠设计创新还不能实现工程创新，还需要施工创新、工程管理创新等，设计创新只是必

不可少的条件。只有建立创新体系，确立创新目标，在工程进程中的每一个阶段、每一个环节落实创新关联的目标责任，制定创新保障措施，加强监督检查，及时纠正偏差，才能确保做成创新工程。

参考文献：

- [1] 李军. 重庆朝天门长江大桥设计总结[R]. 重庆: 重庆交通科研设计院, 2007.
- [2] 段雪炜. 关于朝天门长江大桥设计总结的函[R]. 武汉: 中铁大桥勘测设计院有限公司, 2007.
- [3] 杨全民. 朝天门长江大桥工程景观设计纪要[R]. 厦门路桥景观艺术有限公司, 2007.

(本文编辑 郭雪珍)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评：

作者以专业的视角，介绍了大桥的工程概况和大桥设计中采用的结构分析理论和软件工具，为读者了解桥梁设计理论和技术现状提供了案例。文中以精炼的语言，全面概括总结了重庆朝天门长江大桥的15项技术创新和特征，使读者得以在了解重庆朝天门长江大桥这一世界最大跨度钢拱桥的同时，通过该工程实例，快速了解了我国桥梁建设领域的技术前沿和发展动态。

李增军
2012年12月

评委简介：

李增军，教工，中交第一航务工程局有限公司技术质量部副经理。

参加多项技术研发项目，“离岸深水港建设关键技术研究与应用”荣获中国水运建设行业协会科学技术奖特等奖。