

文章编号:1006-2106(2010)10-0074-04

大跨度斜拉桥索梁锚固结构力学行为研究^{*}

罗 鸣^{**}

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:研究目的:大跨钢梁斜拉桥的索梁锚固区是斜拉桥的关键区域,其结构受力复杂且作用荷载较大,仅依据有限元的仿真分析难以准确掌握锚固区的应力分布和传力机理,本文以珠江黄埔大桥(北汉桥)的索梁锚固区静载试验为基础,研究了锚箱式索梁锚固结构的应力分布规律和传力机理。

研究结论:珠江黄埔大桥(北汉桥)锚箱试验模型设计合理,能够反映实桥的受力行为;锚箱式索梁锚固结构传力流畅、结构安全,能够满足大跨度钢梁斜拉桥的功能要求。

关键词:索梁锚固;仿真分析;模型试验;锚箱;钢梁斜拉桥

中图分类号:U44 **文献标识码:**A

Research on Mechanics Behaviour of Cable - girder Anchor Structure of Long Span Cable - stayed Bridge

LUO Ming

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract; Research purposes: The cable - girder anchor zone of long span steel cable - stayed bridge is the key zone where bears giant cable forces with the complicated load - bearing situation. It is hardly to get the actual stress distribution and the mechanism of the stress transferring only by FEM analysis. Based on the static load test to the cable - girder anchor zone of the Huangpu Pearl River Bridge, this paper researches the stress distribution and the mechanism of the stress transferring of the anchor - box type cable - girder anchor structure.

Research conclusions: The design of the anchor - box test model for the Huangpu Pearl River Bridge is reasonable and the model can reflect the actual mechanical behavior of the bridge. The anchor - box type cable - girder anchor structure can transfer the stress smoothly and safely and it meets the functional requirement of the long span steel cable - stayed bridge.

Key words: cable - girder anchor; simulation analysis; model test, ; anchor box; steel cable - stayed bridge

1 概述

索梁锚固区作为钢梁斜拉桥的关键区域,一直以来就是设计工作者的设计重点,目前常用的索梁锚固形式有(1)锚箱式;(2)锚拉板式;(3)耳板式;(4)锚管式四种类型,其中锚箱式索梁锚固结构是应用最为广泛的一种,珠江黄埔大桥北汉桥就选用的该

种类型。本文将以珠江黄埔桥索梁锚固结构为研究对象,揭示锚箱式索梁锚固结构的应力分布规律和传力机理。

珠江黄埔大桥北汉桥桥梁全长2 480.5 m。主桥长705 m,采用独塔双索面钢箱梁斜拉桥,跨径组成为383 m+322 m,锚跨与主跨跨径比为0.840 7,为提高结构的刚度和改善主梁、索塔的受力条件,在锚跨布置

^{*} 收稿日期:2010-06-13

^{**} 作者简介:罗鸣,1977年出生,男,工程师。

2 个辅助墩,将锚跨分成 $197+2\times 62.5\text{ m}$ 三跨。主梁采用单箱三室扁平流线形全焊钢箱梁,斜拉索与钢箱梁的锚固采用锚箱式索梁锚固系统,锚固结构示意图如图 1 所示。

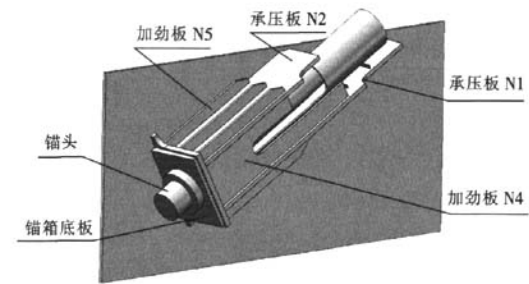


图 1 锚箱式索梁锚固结构

锚固结构中锚箱底板和承压板 N1、N2 为主传力构件,加劲板 N4、N5 为补强构件。斜拉索从锚箱底板中的圆孔穿过并锚固在锚箱底板上。为适应斜拉索的空间角度,在锚箱底板外侧设置一块楔形板。

2 试验研究

2.1 试验模型设计

为了保证锚箱模型试验的代表性,选取了 J18 拉索对应的锚箱及梁段作为试验模型模拟梁段。在模型的设计上按照抓住主要特征,忽略次要因素的原则,对实桥结构进行了简化模拟。试验模型按 1:1 尺寸从实桥结构中取出锚箱和附近箱梁板件,箱梁板件选取范围按圣维南原理及加载需要选取。由于模拟主梁的规模限制,其竖弯和横弯刚度以及扭转刚度均大大低于实际主梁,斜拉索产生的模型总体竖向和横向弯曲以及约束扭转效应必然造成腹板应力偏离实际结构应力。为减小这种误差,将模拟主梁的上下翼缘向锚箱侧延伸,使模型主梁横截面由槽型变为工字型,以使其横弯中性轴向拉索靠近,减少横弯应力至实桥水平,同时加强顶板及底板以加大竖向弯曲刚度,减小腹板竖弯应力。试验模型如图 2 所示。



图 2 试验模型照片

模型试件主体部分材料要求与实桥一致。模拟主塔采用 Q345C 钢板,钢锚箱采用力学性能和物理特性不低于低合金钢 Q345D 的耐候钢,其技术指标符合《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008)的相关规定。钢箱梁侧腹板结合锚箱受力特点,采用抗层状撕裂钢材—Q345D—Z25,即 Z 向钢板,磷、硫的含量均应小于 0.01%。其它力学指标及化学成份符合《厚度方向性能钢板》(GB 5315—85)的相关规定,试件由武船重型工程有限公司制造。

2.2 加载方案设计

由于研究的区域是索梁锚固区,而该区域的主要外荷载就是拉索索力,因此试验模型仅考虑拉索的索力。试验模型为加载自平衡系统,索力的施加是通过位于试验模型塔端 9 000 kN 的千斤顶张拉钢绞线来实现。试验荷载根据设计院提供的全桥最大索力(约 600 t)选取,采用最大设计索力作为模型加载工况 I,同时还采用 1.5 倍最大设计索力作为模型加载工况 II。加载荷载如下表所示。

表 1 静载试验加载工况

| 工 况 | 试验荷载/kN | 说明 |
|-------|---------|-------------|
| 工况 I | 6 000 | 1.0 倍最大设计索力 |
| 工况 II | 9 000 | 1.5 倍最大设计索力 |

试验加载过程如下:

2.2.1 预加载

采用工况 I 的 50% 最大设计索力进行预加载及卸载三次,以消除非弹性变形。

2.2.2 工况 I

用最大设计索力 20% 为增量级,加载到 1.0 倍最大设计索力;然后卸载。

2.2.3 工况 II

用最大设计索力的 20% 为增量级,加到 1.0 倍最大设计索力;用最大设计索力的 10% 为增量级,加载到最大设计索力的 1.3 倍;再用最大设计索力的 5% 为增量级,加载到工况 II 的设计荷载;然后卸载。

在各级荷载作用下,持荷 5 min,进行应变测量。在工况 I 时,测量承压板的位移。在设计索力及以上的荷载作用下,观察试件变形及焊缝是否异常或开裂。

2.3 测试方案设计

本试验应力的测试选用电阻应变计法,并选用 HQ-200 无线动静态桥梁监测仪进行应变数据的采集。试验共布置测点 104 个,其中应变花 52 个,单向应变片 52 个。分别布置于腹板,锚箱顶板 N1,底板 N2,端部承压板 N3,外侧加劲板 N4,加劲肋 N5 以及垫板 N9,其中承压板 N1、N2 的两端是研究的重点区

域,该部位的测点加密布设。

2.4 试验结果

2.4.1 模型最大应力分析

在工况 I 和工况 II 的试验荷载作用下,构件的最大应力如表 2 所示。

表 2 各构件最大应力测点列表

| 构件 | 测点 | mises 应力/MPa | |
|--------|------|--------------|---------|
| | | 工况 I | 工况 II |
| 腹板 | 1-16 | 102.7 | 133.8 |
| 承压板 N1 | 2-16 | 75.4 | 101.79 |
| 承压板 N2 | 3-11 | 62.4 | 87.36 |
| 垫板 N3 | 4-02 | 112.1 | 151.335 |
| 加劲板 N4 | 5-03 | 159.5 | 223.3 |
| 加劲肋 N5 | 6-09 | 45.2 | 67.8 |

表 2 中所列各测点是剔除异常测点后取得的测试最值。根据各测点的数值可以看出,锚箱各构件在设计最大索力作用下,其应力水平均能满足规范要求,并具有一定的安全储备。

2.4.2 板件应力分布分析

在工况 I 作用下,钢梁腹板和锚箱承压板的应力分布趋势如下图所示:

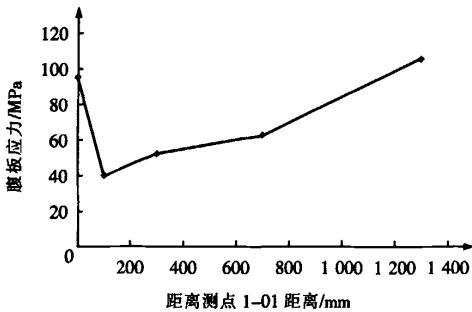


图 3 腹板应力分布规律图

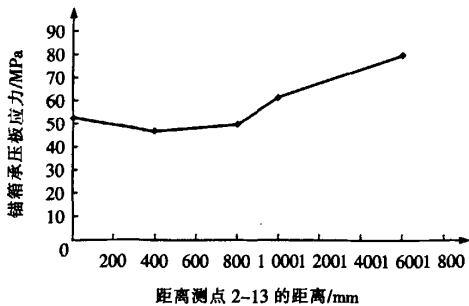


图 4 锚箱承压板应力分布规律图

从试验结果可以看出:

(1) 腹板在锚点附近应力水平较高,沿着拉索向塔的方向,应力水平先降后升。

(2) 锚箱承压板的受力趋势与腹板基本一致,在承压板的尾端应力水平最高。

(3) 锚板 N3 应力分布为在开孔周边和 N3 板与腹板焊接位置应力水平较高外,其余位置应力水平较低。

(4) 加劲板 N4 在与锚板 N3 相交位置附近应力水平较高,在最大设计索力作用下,等效应力达到了 160 MPa。

(5) 加劲肋 N5 总体应力水平较低,普遍应力测点的等效应力小于 50MPa。

3 理论值对比

采用通用有限元软件 ansys 分别建立了试验模型的有限元分析模型和实桥的分析模型,索梁锚固区构件均采用 ansys 中的 SHELL63 单元进行离散。实桥的分析模型共划分单元 49 420,节点 45 123 个,试验模型的有限元模型共划分 27 218,节点 26 866 个。试验模型及实桥的有限元模型如图 5、图 6 所示。

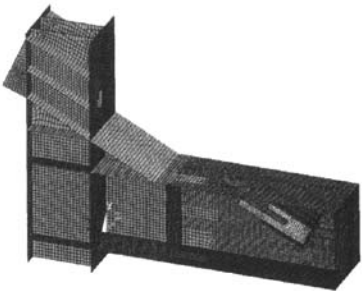


图 5 试验模型的有限元离散图

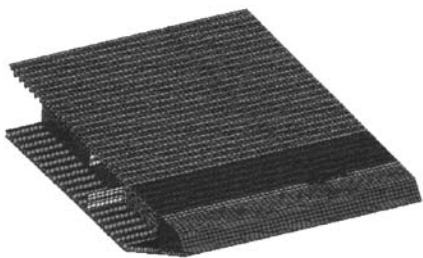


图 6 实桥梁段有限元离散图

两个有限元分析模型的分析结果表明,两种模型的索梁锚固区应力分布基本一致。下面将试验测试值与有限元分析的结果进行对比,对比结果如表 3 所示。

对比分析结果表明:

(1) 测试结果与有限元分析结果的应力分布规律是一致的,大部分结果能够较好的吻合。

(2) 腹板上的部分测点,由于试验模型与实桥梁段的差异(如截面的封闭形式、梁段端部的约束等),

表 3 测试值与理论值对比分析表 (单位:MPa)

| 构件 | 测点 | 试验结果 | 试验模型 FEM 分析 | | 实桥模型 FEM 分析 | |
|----|------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | FEM 值 | 与试验 相对误差 | FEM 值 | 与试验 相对误差 |
| 腹板 | 1-16 | 102.7 | 91.4 | -11.0% | 121.3 | 18.1% |
| N1 | 2-16 | 75.4 | 69.1 | -8.4% | 67.2 | -10.9% |
| N2 | 3-11 | 62.4 | 66.3 | 6.3% | 64.7 | 3.7% |
| N3 | 4-02 | 112.1 | 127.5 | 13.7% | 131.1 | 16.9% |
| N4 | 5-03 | 159.5 | 101.4 | -36.4% | 107.3 | -32.7% |
| N5 | 6-09 | 45.2 | 44.3 | -2.0% | 42.1 | -6.9% |

致使试验模型腹板的受力与实桥存在一些误差。

(3) 试验模型抓住了实桥锚固结构的受力特性,能够反映实桥索梁锚固区的力学行为。

4 结论

根据对珠江黄埔桥北汉桥索梁锚固区的静载试验可以得到以下一些结论:

(1) 试验模型能够真实反映实桥索梁锚固结构的受力行为,模型设计是合理的。

(2) 在 1.0 倍最大设计索力作用下,锚箱各构件的应力水平满足规范要求,在 1.5 倍的最大设计索力作用下,锚箱结构没有发生破坏,结构的承载安全系数较大。

(3) 锚固区腹板的应力分布规律是沿斜拉索向桥塔方向,腹板的应力水平是先减后增,在锚箱承压板与腹板交线的尾端达到最大值。

(4) 锚箱承压板的应力分布与焊缝附近腹板的分布规律是一致的,沿斜拉索向桥塔方向,应力水平是先降后升。

(5) 锚板在锚头附近存在应力集中,但区域较小,不影响结构承载安全。

(6) 锚箱结构传力明确,索力的传递过程是:索力直接作用在锚板上,然后大部分索力会传递到锚箱的承压板上,小部分则直接由锚板与箱梁腹板的焊缝传递到腹板上,而承压板上的力则通过两条主焊缝(承压板与腹板的焊缝)传递到箱梁腹板上,然后依次由箱梁的腹板传递给箱梁的顶底板和横隔板。

参考文献:

[1] 严国敏. 现代斜拉桥[M]. 成都:西南交通大学出版社, 1995:63-67.
Yan Guomin. Modern Cable-stayed Bridge[M]. Chengdu:Southwest Jiaotong University Press,1995:63-67.

[2] 王嘉弟,赵廷衡. 斜拉桥钢箱梁索梁锚固区域应力应变分析[J]. 桥梁建设,1997(4):20-25.

Wang Jiadi, Zhao Tingheng. Analysis of Stress-strain at Anchorage between Box-shaped Steel Beams and Cables in Cable-stayed Bridge[J]. Bridge Construction, 1997(4):20-25.

[3] 李小珍,蔡靖,强士中. 大跨度钢箱梁斜拉桥索梁锚固结构形式的比较研究[J]. 土木工程学报,2004(3):73-79.
Li Xiaozhen, Cai Jing, Qiang Shizhong. Studies on Models of Cable-girder Anchorage for Long Span Cable-stayed Bridges with Steel Box Girder[J]. China Civil Engineering Journal, 2004(3):73-79.

[4] 满洪高,李乔,唐亮. 钢斜拉桥锚箱式索梁锚固区合理构造型式研究[J]. 中国铁道科学,2005(4):23-27.
Man Honggao, Li Qiao, Tang Liang. Preliminary Study on the Reasonable Pattern of Cable-girder Anchorage for Steel Cable-stayed Bridges. China Railway Science,2005(4):23-27.

[5] 朱劲松,肖汝城,曹一山. 杭州湾跨海大桥索梁锚固节点模型试验研究[J]. 土木工程学报,2006(10):68-73.
Zhu Jinsong, Xiao Rucheng, Cao Yishan. Model Test on the Cable Anchorage of the Main Girder of the Hangzhou Bay Bridge[J]. China Civil Engineering Journal, 2006(10):68-73.

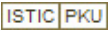
[6] 万臻,李乔. 大跨度斜拉桥拉索锚固区三维有限元仿真分析[J]. 中国铁道科学,2006(2):41-45.
Wan Zhen, Li Qiao. 3D Finite Element Analysis of Cable-girder Anchorage Zone for Long Span Cable-stayed bridge[J]. China Railway Science,2006(2):41-45.

[7] 刘庆宽,王新敏,强士中. 南京长江二桥南汉桥索梁锚固足尺模型试验研究[J]. 土木工程学报,2001(2):50-54.
Liu Qingkuan, Wang Xinmin, Qiang Shizhong. Full Scale Model Test on Anchorage Zone of the Second Yangtze River Bridge at Nanjing[J]. China Civil Engineering Journal, 2001(2):50-54.

[8] 周绪红,吕忠达,狄瑾,等. 钢箱梁斜拉桥索梁锚固区极限承载力分析[J]. 长安大学学报,2007(3):47-51.
Zhou Xuhong, Lu Zhongda, Di Jin, etc. Analysis of Ultimate Bearing Capacity on Cable-girder Anchorage Zone of Cable-stayed Bridge with Steel Box Girder[J]. Journal of Chang'an University, 2007(3):47-51.

[9] 涂杨志. 斜拉-拱组合桥索梁及索塔锚固区局部应力分析[J]. 铁道工程学报,2009(2):64-68.
Tu Yangzhi. Analysis of the Local Stress in Cable-beam and Cable-tower Anchorage Zone of Cable-stayed Arch Combined Bridge[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(2):64-68.

(编辑 赵立兰)

作者: [罗鸣](#), [LUO Ming](#)
作者单位: [中铁二院工程集团有限责任公司, 成都, 610031](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2010(10)

参考文献(9条)

1. [严国敏](#) [现代斜拉桥](#) 1995
2. [王嘉弟](#); [赵廷衡](#) [斜拉桥钢箱梁索梁锚固区域应力应变分析](#) [期刊论文] - [桥梁建设](#) 1997(04)
3. [李小珍](#); [蔡靖](#); [强士中](#) [大跨度钢箱梁斜拉桥索梁锚固结构形式的比较研究](#) [期刊论文] - [土木工程学报](#) 2004(03)
4. [满洪高](#); [李乔](#); [唐亮](#) [钢斜拉桥锚箱式索梁锚固区合理构造型式研究](#) [期刊论文] - [中国铁道科学](#) 2005(04)
5. [朱劲松](#); [肖汝城](#); [曹一山](#) [杭州湾跨海大桥索梁锚固节点模型试验研究](#) [期刊论文] - [土木工程学报](#) 2006(10)
6. [万臻](#); [李乔](#) [大跨度斜拉桥拉索锚固区三维有限元仿真分析](#) [期刊论文] - [中国铁道科学](#) 2006(02)
7. [刘庆宽](#); [王新敏](#); [强士中](#) [南京长江二桥南汉桥索梁锚固足尺模型试验研究](#) [期刊论文] - [土木工程学报](#) 2001(02)
8. [周绪红](#); [吕忠达](#); [狄谨](#) [钢箱梁斜拉桥索梁锚固区极限承载力分析](#) [期刊论文] - [长安大学学报](#) 2007(03)
9. [涂杨志](#) [斜拉-拱组合桥索梁及索塔锚固区局部应力分析](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2009(02)

本文读者也读过(7条)

1. [翟旭东](#), [彭立敏](#), [ZHAI Xu-dong](#), [PENG Li-min](#) [列车荷载作用下岩溶段连拱隧道基底累积变形研究](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2010(10)
2. [陈伟庆](#), [张强](#) [南京长江二桥索梁锚固区模型试验分析](#) [期刊论文] - [西南交通大学学报](#) 2001, 36(2)
3. [万臻](#), [李乔](#), [毛学明](#), [WAN Zhen](#), [LI Qiao](#), [MAO Xue-ming](#) [大跨度斜拉桥钢箱式索梁锚固结构空间有限元模型比较研究](#) [期刊论文] - [四川建筑科学研究](#) 2006, 32(1)
4. [吴冲](#), [韦杰鼎](#), [曾明根](#), [苏庆田](#), [WU Chong](#), [WEI Jie-ding](#), [ZENG Ming-gen](#), [SU Qing-tian](#) [上海长江大桥斜拉桥索梁锚固区静力试验研究](#) [期刊论文] - [桥梁建设](#) 2007(6)
5. [李的平](#) [梁拱组合桥吊杆成桥索力优化分析](#) [期刊论文] - [黑龙江科技信息](#) 2010(14)
6. [肖勃](#) [嘉悦大桥索梁锚固区模型试验研究](#) [学位论文] 2010
7. [刘好正](#), [LIU Hao-zheng](#) [压力分散型锚索在向莆铁路的应用](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2010(10)

引用本文格式: [罗鸣](#), [LUO Ming](#) [大跨度斜拉桥索梁锚固结构力学行为研究](#) [期刊论文] - [铁道工程学报](#) 2010(10)