

文章编号: 1002-0268 (2010) 09-0082-03

红岛航道桥斜拉索叉耳连接件耐久性设计

姜美文¹, 华剑平², 于 坤¹, 孙海波¹

(1. 山东省交通规划设计院, 山东 济南 250031; 2. 柳州欧维姆机械股份有限公司, 广西 柳州 545005)

摘要: 阐述了青岛海湾大桥红岛航道桥斜拉索锚固特点, 着重从构造措施、疲劳性能和防护措施等方面, 论述了红岛航道桥斜拉索叉耳连接件的耐久性设计。

关键词: 桥梁工程; 青岛海湾大桥; 红岛航道桥; 叉耳连接件; 疲劳; 防腐; 耐久性

中图分类号: U441⁺.4

文献标识码: A

Durability Design of Fork Connector for Cables of Hongdao Channel Bridge

JIANG Meiwēn¹, HUA Jianpíng², YU Kūn¹, SŪN Hǎibō

(1. Shandong Provincial Communications Planning and Design Institute, Jinan Shandong 250031, China
2. Liuzhou OVM Machinery Co., Ltd., Liuzhou Guangxi 545005, China)

Abstract: The cable anchorage features of Hongdao Channel Bridge in Qingdao Bay Bridge were elaborated. And the durability design of fork connector for cables of Hongdao Channel Bridge were discussed, focusing on the structural measures, fatigue properties and protective measures and so on.

Keywords: bridge engineering; Qingdao Bay Bridge; Hongdao Channel Bridge; fork connector; fatigue; corrosion prevention; durability

0 概述

青岛海湾大桥横跨胶州湾海域, 是我国北方寒冷冰冻地区的首座特大型海上桥梁集群工程, 海湾大桥设计寿命为 100 a, 为双向六车道高速公路, 工程全长 35.4 km, 分期实施, 一期工程全长 28.880 km, 其中海域段 27.089 km, 陆上段 0.827 km。大桥主要由 3 座通航孔桥、2 座海上互通立交和非通航孔桥组成, 通航孔桥加劲梁均采用钢结构型式。

结构耐久性是青岛海湾大桥的一个重要课题, 在大桥设计过程中, 结构耐久性一直是广大设计人员高度关注的方面。

影响桥梁结构耐久性的因素有水分、冰冻、空气污染、除冰盐水等环境作用及车辆的疲劳荷载、振动和磨损等力学作用。力学作用对桥梁耐久性的影响可通过结构设计计算来保证, 环境作用对桥梁耐久性影响则可通过原材料、配合比 (混凝土结构)、防护和一些细部构造设计等来解决。

红岛航道桥是海湾大桥的三座航道桥之一, 采用独塔钢箱梁稀索斜拉桥。斜拉索是斜拉桥的重要承重构件, 所以斜拉索及其配套系统的耐久性是保证斜拉桥正常使用的关键之一。本文主要从构造设计、受力性能和防腐措施等方面来介绍红岛航道桥斜拉索叉耳连接件的耐久性设计。

1 环境条件及腐蚀等级

青岛海湾大桥位于胶州湾北部, 处于北方寒冷海域, 濒临黄海, 属季风气候区, 气候季节变化较明显。冬半年 (10 月至翌年的 3 月) 呈大陆性气候特点, 气候干燥、温度低; 夏半年 (4 月至 9 月) 受东南季风影响, 空气湿润, 雨量充沛, 日温差小, 呈现海洋性气候特征。每年 1~2 月份水温为 1~5℃, 8 月份最高约 28℃, 海域含盐度为 31‰。青岛站海域表层的海水中溶解氧数量 (年平均值) 为 5.53 mL/L, 海水 pH 值为 8.2~8.5, 海水和大气环境腐蚀严重。

收稿日期: 2010-08-18

作者简介: 姜美文 (1976—), 男, 江西广昌人, 硕士, 工程师, 研究方向为公路桥梁结构。(jmw513@163.com)

按照标准金属材料在青岛地区的腐蚀速度等级, 青岛海湾大桥大气环境的腐蚀严酷性等级属于 4 级, 属腐蚀严重等级。

2 斜拉索叉耳连接件设计

红岛航道桥塔柱截面较小, 传统的钢锚箱和钢锚梁等斜拉索锚固型式在本桥无法应用, 因而采用由钢锚箱和钢锚梁两者派生出来的钢锚板式钢混组合锚固型式。根据塔上锚固特点, 设计了一组叉耳连接件, 将斜拉索锚固在塔上, 斜拉索塔上锚固构造如图 1 所示。斜拉索塔上锚固途径为: 上端锚杯与叉耳通过螺纹拧紧, 叉耳通过销轴与塔上钢锚板外露的耳板连接。

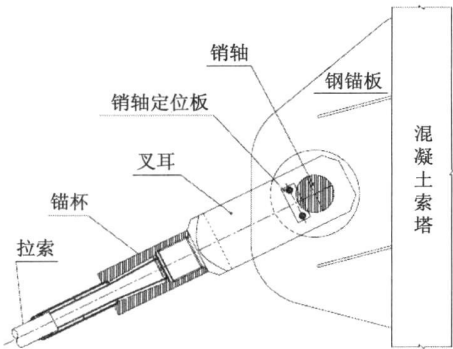


图 1 斜拉索塔上锚固构造

Fig 1 Structure of anchorage on cable-stayed bridge pylon

斜拉索叉耳连接件是斜拉桥索塔锚固结构中一个极其重要的部件, 巨大的索力由它传递给主塔, 其结构由双耳板 (即叉耳)、销轴、销轴定位板等组成, 如图 2 所示, 具有构造简洁、便于加工、易于维护等优点。但斜拉索叉耳连接锚固结构, 叉耳受力集中、应力状态较为复杂, 接触应力和车辆动荷载引起的疲劳问题比较突出。目前, 对于大中型斜拉桥, 由于斜拉索叉耳连接锚固结构的部分区域应力集中严重, 疲劳可靠性不明确等问题, 在一定程度上限制了其应用与推广, 近些年, 国内仅有深圳湾公路大桥、杭州湾跨海大桥、桃天门大桥几座大中型斜拉桥有应用先例^[1]。

斜拉索叉耳连接锚固结构, 销轴与耳板圆孔相接触的地方, 产生强大的接触应力, 按照经典的 Hertz 接触理论, 可采用半径为 R_1 及 R_2 的两轴平行的圆柱体与圆柱凹面接触形态的最大接触压应力公式推出接触面上的理论解。只不过, 目前对销轴与耳板接触问题的理论研究都是基于一定的假设, 如假设材料受力处于其弹性极限内, 接触区域无摩擦等, 以简化数学模型的求解过程, 因而可能与实际

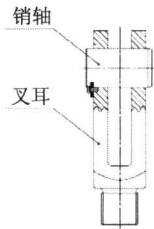


图 2 叉耳连接件构造

Fig 2 Structure of fork connector

情况尚有一定出入。采用 ANSYS 有限元仿真分析时, 由于接触问题属于边界条件非线性问题, 与接触体的刚性有关, 因而, 分析模型中网格密度、接触界面类型及接触刚度等参数的设定, 对分析结果有较大影响, 也即另一个分析模型和工程问题的近似程度的困扰。

此外, 对于大中型斜拉桥, 由于斜拉索叉耳连接锚固结构的应用实例少, 疲劳可靠性不明确等问题也急需验证。所以, 进行实桥足尺试件进行疲劳性能试验验证已成为本桥所必须。

3 斜拉索叉耳连接件疲劳性能

斜拉索叉耳连接件疲劳试验委托重庆公路工程技术检测中心进行, 试件选取本桥最大规格 PES7-283 斜拉索配套的叉耳连接件, 按 1:1 的足尺尺寸, 由柳州欧维姆机械股份有限公司制作, 具体试验情况如下。

3.1 疲劳试验基本参数

本次疲劳试验的基本参数如表 1 所示。

表 1 疲劳试验主要参数表

Tab 1 The main parameters for fatigue test

项目	参数值
试验组件编号	YPQCP2009-010-3#
配套试验索规格	PES () 7-283
疲劳试验预加载荷	8 730 kN
疲劳试验载荷波形	正弦波
疲劳试验加载频率	1.65 Hz
疲劳试验载荷上限	7 275 kN
疲劳试验载荷下限	5 093 kN
疲劳试验循环次数	200 万次

3.2 疲劳试验步骤:

- 1) 准备: 安装试验单元, 进行加载前调试;
- 2) 预拉伸: 疲劳试验前对试验索施加 8 730 kN (0.48 倍配套斜拉索破断索力) 的载荷并持荷 10 min 卸载后检查各构件状态;
- 3) 疲劳试验: 按照试验载荷上限 7 275 kN 试

验载荷下限 5 093 kN的要求进行 200万次疲劳试验,在疲劳试验过程中保证加载力上限不小于峰值 7 275 kN 加载下限力不大于谷值 5 093 kN 确保满足国标 GB/T 18365—2001规定的荷载要求。加载波形为正弦波形, 加载频率为 1. 65 Hz

3. 3 疲劳试验结果:

- 1) 试验中试验单元恒载、动载稳定, 未发现叉耳组件出现异常情况;
- 2) 试验完成后对组件各组成构件进行检查, 未发现疲劳裂纹及由此导致的承载力降低或失效情况;
- 3) 完成疲劳试验对组件进行拆解后, 各构件包括叉耳、销、连接锚杯, 均未发生明显塑性变形或损伤;
- 4) 连接锚杯保持原状, 内螺纹完好, 旋合正常。

4 斜拉索叉耳连接件防护体系

结合红岛桥防腐耐久性要求实际, 在设计斜拉索叉耳连接件防护体系时, 主要考虑了连接件表面防腐处理和接合面防腐处理两方面的问题。

叉耳采用重点考虑防腐可靠性的环氧富锌重防腐体系, 防腐方案如表 2 所示。销轴由于表面以配合面为主, 采用控制尺寸精确兼顾防腐可靠性的电镀锌结合油漆涂装的防腐体系。

表 2 叉耳及定位板表面涂装方案
Tab 2 Coating scheme for fork connector and fastness plate

涂装工序	涂装用料	道数	干膜厚度 / μm
表面处理	除尽油污、铁锈等杂物, 以喷砂法进行处理后达到 GB8923—88《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》Sa2. 5~Sa3级, 表面粗糙度 35 ~75 μm		
底漆	环氧富锌防锈漆	1	80
中间漆	环氧云铁防锈漆	1	100
面漆	脂肪族聚氨酯可复涂面漆	2	2 $\times$ 40

表 3 销轴表面涂装方案
Tab 3 Coating scheme for pins

涂装程序	涂装用料	涂装道数	干膜厚度 / μm
镀锌	镀覆 Fe/Ep: Zn20~40 $^{\circ}$ c2C		
封闭漆	环氧富锌防锈漆	1	80
中间漆	环氧云铁防锈漆	1	100
面漆	脂肪族聚氨酯可复涂面漆	2	2 $\times$ 40

接合面防腐处理方面, 叉耳与连接锚杯的接合面, 设置一道密封腻子 and 一道 O形橡胶圈密封, 以有效杜绝水的侵入。斜拉索塔柱锚板与叉耳、销的配合间隙采用涂抹油脂的防腐设计, 油脂采用建筑工业行业标准 JG 3007《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》中的 II号防腐润滑脂, 该油脂在常温下不沾手、滴点不小于 160 $^{\circ}$ C、低温 (−40 $^{\circ}$ C) 性能稳定; 由于该处间隙很小, 且为铰接结构的转动区域, 为保证润滑脂良好的附着性, 在销轴等处缠绕麻絮。

5 结束语

斜拉索配套组件的耐久性直接影响到斜拉索的耐久性和安全性。红岛航道桥斜拉索塔侧锚具直接暴露在大气中, 极易受到周围环境的影响而发生腐蚀, 从而降低其耐疲劳的性能和静力性能, 影响桥梁的长期使用。本文主要介绍了红岛航道桥斜拉索塔侧叉耳连接件构造设计、疲劳试验、疲劳性能及其防护体系, 以供今后相应体系的安全性和耐久性的设参考借鉴。

参考文献:
References

[1] 许宏亮, 苏善根, 徐军. 斜拉桥销连接连接锚固形式初探 [J]. 公路, 2002 (6).
XU Hongliang SU Shangan XU Jun The Original Research for the Axes Connection Anchorage of Cable-stayed Bridges [J]. Highway 2002 (6).