

大跨径斜拉桥钢结构疲劳监测与评估

季云峰¹, 倪迪²

(1.同济大学桥梁工程系, 上海市 200092; 2.台州市路泽太高架快速路有限公司, 浙江 台州 318000)

摘要:以某大跨径斜拉桥为研究背景,基于钢箱梁的定期检测结果,研究了该斜拉桥的钢结构疲劳性能。在疲劳开裂较严重的顶板与U肋焊接细节、关键受力部位的底板与U肋焊接细节、索梁锚固区焊接细节布置传感器,测试各主要焊接细节的疲劳应力历程,基于雨流计数法获得疲劳应力谱。分析结果表明:苏通大桥目前的交通流量远大于2010年前的交通流量;钢箱梁底板与U肋焊接细节、索梁锚固区锚固板与外腹板焊接细节的疲劳寿命评估结果大于设计使用年限;若不计焊接初始缺陷与焊接残余应力,顶板与U肋焊接细节不会过早地发生疲劳破坏。

关键词:斜拉桥;钢箱梁;疲劳;监测;交通量

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)11-0107-03

0 引言

钢箱梁正交异性桥面板直接承受车辆荷载作用,主要焊接细节由于几何不连续和焊接残余应力的影响,局部应力状态和变形状态复杂,在车辆荷载反复作用下,极易发生疲劳开裂或破坏。由ASCE完成的一项调查显示,80%~90%的钢桥破坏均与疲劳和断裂问题有关。在钢桥构件的疲劳寿命评估中,疲劳应力谱的获取至关重要。通过在桥梁关键位置布置应变传感器采集应力历程,获得苏通大桥运营期间的疲劳应力谱是实现其疲劳状况评估的首要问题^[1-2]。本文通过对某大跨径斜拉桥钢箱梁正交异性桥面板主要焊接细节进行疲劳应力监测与疲劳寿命评估,掌握了该斜拉桥钢结构的疲劳状况,为大桥疲劳裂纹修复和加固提供技术依据。

1 工程概述

某双塔双索面钢箱梁斜拉桥,跨径布置为100 m+100 m+300 m+1 088 m(中跨)+300 m+100 m+100 m,主梁采用扁平流线形钢箱梁,顶板厚14~24 mm,顶板U肋厚8~10 mm;底板厚12~24 mm,底板U肋厚6~8 mm;横隔板标准间距400 cm,非吊点处厚10 mm,拉索吊点外腹板附近厚16 mm、中间厚12 mm;钢箱梁内设置两道

纵隔板,除竖向支承区、压重区和索塔附近梁段采用实腹板式外,其余均为桁架式。斜拉索在主梁上的锚固采用锚箱式,锚箱安装在主梁腹板外侧,并与其焊成一体。主梁采用Q370qD和Q345qD钢材,钢材屈服强度及其相关容许应力随板厚变化根据GB/T 714-2000规定执行。

根据大桥的设计计算、结构受力分析、交工阶段动静载试验^[3]和2009年疲劳应力监测结果^[4],并考虑测试的经济性,选择如图1所示的区域作为测试部位。其中,S1断面为中跨J21索处钢箱梁,拟在S1附近的NJ21和NJ22节段内纵桥向选择3个测试断面S1-1~S1-3。S1-1断面为NJ21节段靠近S1断面的位置;S1-2和S1-3断面为NJ22节段中2#梁段箱室内2 860 mm缝两端的两处位置。S2断面为边跨A23索处钢箱梁,选择NA23节段中1#箱室中间位置。S3断面为中跨J33索处(拉索应力变化较大)的下游钢锚箱,该索钢锚箱各部位(含联结腹板)的应力与计算应力水平相当;实际应力分布规律与现有理论分析模型的计算结果存在一定的差异;部分区域实际应力大于理论值。测点布置示意图如图2~图4所示(图中t和t1分别为顶板和顶板U肋的厚度,t2和t3分别为底板和底板U肋的厚度)。

2 监测结果与分析

2.1 监测结果

钢箱梁S1-3断面顶板和U肋顶板测点的应变历程如图5所示。

由图可知:24 h内钢箱梁顶板测点的最大应变为80 $\mu\epsilon$,这与2010年测得的最大应变有所减小,

收稿日期: 2020-08-12

基金项目: 浙江省公路管理局科研项目(ZJXL-SGL-201803); 台州市路泽太高架快速路有限公司研究项目(201807)

作者简介: 季云峰(1977—),男,博士,从事桥梁健康监测、桥梁结构测试等研究工作。

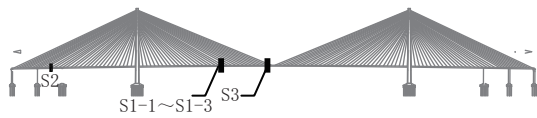


图1 测试断面布置示意图

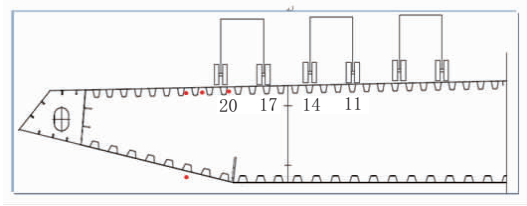


图2 S1-1~S1-3、S2断面钢箱梁顶底板测试对象位置示意图

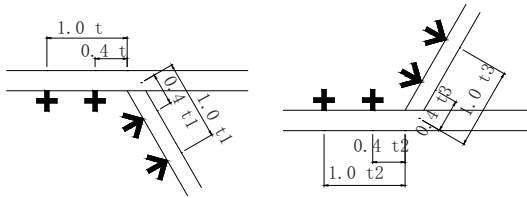


图3 S1-1~S1-3、S2断面板、底板和底板U肋测点布置示意图

表明目前大桥较刚通车时超重车有所减少。同时,车轮下对应的顶板测点应变一般大于两个车轮中间的顶板测点应变,突显出车辆荷载的局部应力集中效应。

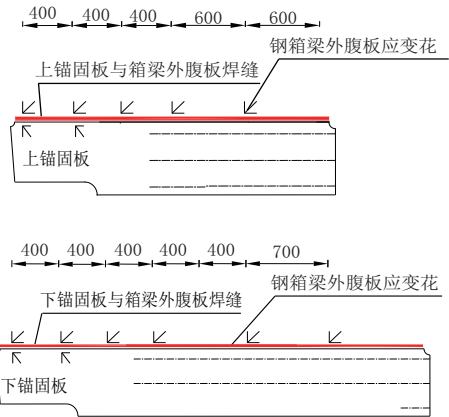
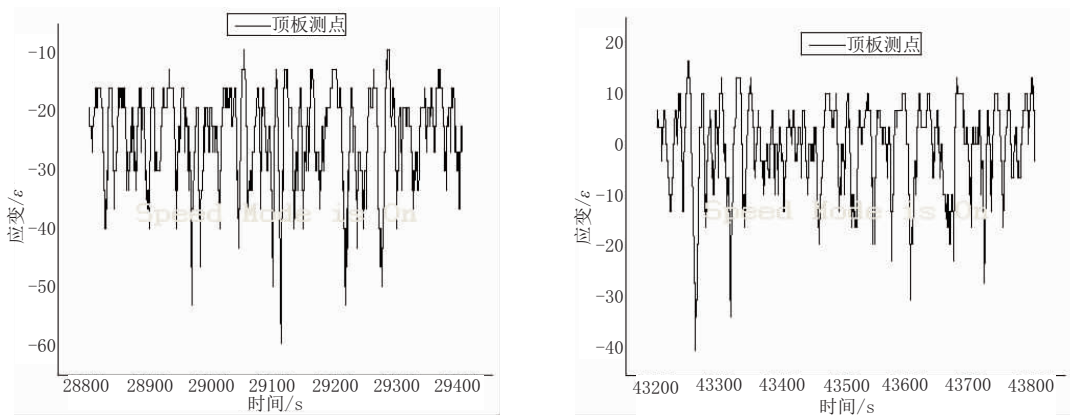


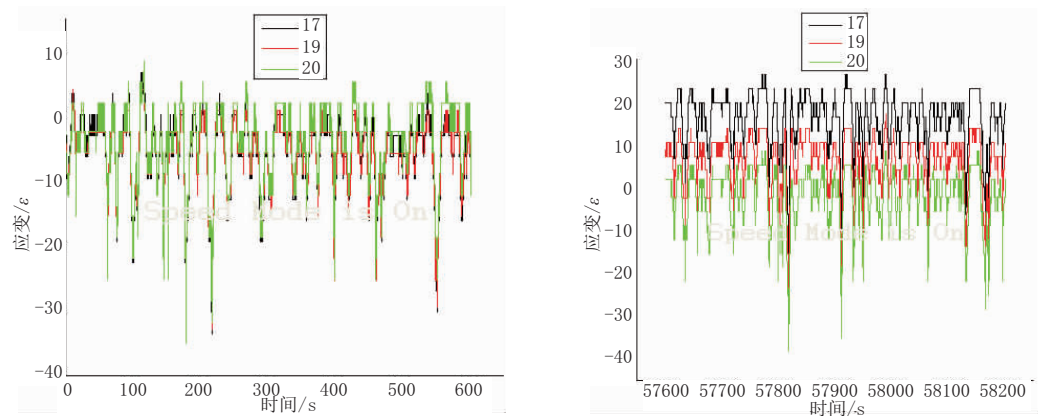
图4 S3断面上锚固板、下锚固板、外腹板测点布置示意图

2.2 应变时程分析

大桥正常运营期间钢箱梁和钢锚箱的应力谱雨流法统计结果和相应的循环次数见图6、表1。可见:(1)与2010年相比,钢箱梁和索梁锚固区主要测点在各级应力幅值循环作用下的循环次数总和明显增大,顶板应力幅值大于20 MPa的重车荷载作用下的疲劳应力循环次数更甚;(2)钢箱梁底板与U肋焊接细节、索梁锚固区锚固板与外腹板焊接细节的最大应力幅值超过了不发生疲劳损伤的极限值,但对疲劳开裂起主导作用的高值应力幅



(a)顶板测点



(b)U肋顶板测点

图5 钢箱梁 S1-3 断面顶板及 U 肋顶板测点的应变历程

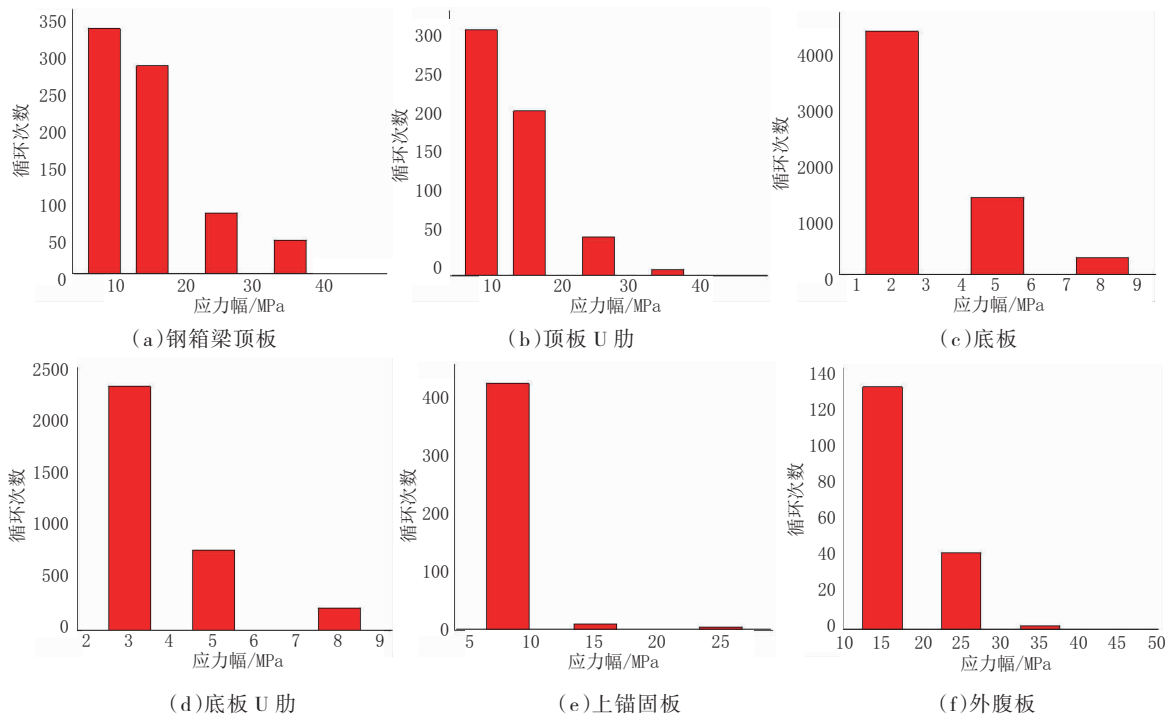


图6 钢箱梁顶板、底板、U肋、上锚固板和外腹板测点横向应力谱图

的循环作用次数很少;(3)钢箱梁底板与U肋焊接细节、索梁锚固区锚固板与外腹板焊接细节的疲劳寿命评估结果大于设计使用年限。

表1 钢箱梁顶板、底板、U肋、上锚固板和外腹板测点横向应力幅频次

应力幅 /MPa	顶板	顶板 U肋	底板	底板 U肋	上锚固板	外腹板
6~10	342	310	5 870	3 087	423	1 380
10~20	290	208	315	218	11	132
20~30	85	49	8	4	6	42
30~40	47	8	0	1	1	2
40~50	2	0	0	0	0	0

3 顶板与U肋焊接细节疲劳寿命计算

使用S-N曲线评估焊接细节疲劳寿命,首先需确定焊接细节所属的类型。对于焊接钢桥,BS5400规范、AASHTO规范和Eurocode规范都对不同的焊缝形式和焊接构造的细节进行了分类。但不同规范对同一焊接细节的S-N曲线的规定差别较大。例如对于钢箱梁正交异性桥面板顶板和纵向加劲肋的贴角焊缝,BS5400将其视为W级,疲劳极限为25 MPa,而Eurocode规范认为该焊接细节的疲劳极限值介于50~71 MPa之间。考虑到大桥在设计时是参照BS5400规范^[5]进行钢箱梁正交异性桥面板疲劳验算的,结合《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)对疲劳验算的规定,分别采用英国BS5400规范和《公路钢结构桥

梁设计规范》规定的S-N曲线,对钢箱梁正交异性桥面板顶板与U肋焊接细节进行疲劳寿命计算。根据实测的疲劳应力谱,计算得到的钢箱梁正交异性桥面板顶板与U肋焊接细节的疲劳寿命按BS5400规范为113年,按《公路钢结构桥梁设计规范》为124年。

4 结论

(1)与2010年相比,钢箱梁和索梁锚固区主要测点在各级应力幅值循环作用下的循环次数总和明显增大,顶板应力幅值大于20 MPa的重车荷载作用下的疲劳应力循环次数更甚。

(2)钢箱梁底板与U肋焊接细节、索梁锚固区锚固板与外腹板焊接细节的最大应力幅值超过了不发生疲劳损伤的极限值,但对疲劳开裂起主导作用的高值应力幅的循环作用次数很少。钢箱梁底板与U肋焊接细节、索梁锚固区锚固板与外腹板焊接细节的疲劳寿命评估结果大于设计使用年限。

(3)对于钢箱梁顶板与U肋焊接细节,假如不存在焊接初始缺陷和不考虑焊接残余应力对焊接细节疲劳寿命的影响,则即使以目前的交通量,顶板与U肋焊接细节也不会过早地发生疲劳破坏。

参考文献:

- [1] Eurocode 3: Design of steel structures[J]. The European Standard EN 1993-1-9.2005.
- [2] Department of Energy. Offshore Installation: Guidance on Design and Construction[J]. Department of Energy, London, UK (1990).

严重需清除的路段,可采用提取旧路沥青混合料的骨料作为垫层材料使用,回填压实至新建路面结构水稳基层底。

2.6 防裂贴施工技术要求

铺设防裂贴是防止反射裂缝的重要措施。防裂贴应骑缝铺设于接缝或裂缝上,宽度为1m,沿缝隙对称铺设。自黏性防裂贴铺设前应对基层进行检查,施工时接缝或裂缝两侧基层必须坚固、平整,不能有松散、凹坑或凸起,否则需补平或磨平。应对基层做必要的清扫,保证基层表面整洁,无灰尘、杂物和油污。

铺设过程中不得有皱褶和拱起,摊铺后应立即用滚筒压紧,卷材端头搭接应交错排列,并满足搭接尺寸8~10cm的要求。搭接处可用胶锤轻捶接口,或用专用器械压实,使其相互间粘接牢固。防裂贴铺贴后,严禁车辆在其上转弯、掉头。同时应尽快摊铺其上层沥青混凝土,以免铺设的卷材损坏。

2.7 施工期间交通组织

现状道路两侧地块开发成熟、交通繁忙,施工期间应尽量减少对交通的影响。可选择通过路网引导交通分流、半幅施工等措施,尽量不缩减现有通行车道数,并做好施工期间的交通引导、纠察工作。施工期间应按如下要求实施:

(1)采取半幅封闭施工的做法,保留半幅车行道宽不小于7m,可供车辆双向通行。

(2)施工期间设置临时交通标志。整个交通设施保障区域分为警告区、上游过渡区、缓冲区、作业区、下游过渡区和中止区。同时利用作业区上游可变信息板显示“前方正在施工”等内容进行提示。施工区域与通行区域采用护栏分隔。

(3)施工期间施工路段遇有公交过境站点,需就近在未施工路段设置公交临时站牌。过境公交尽可能安排绕行。

(4)对交叉口进行翻挖后,基层养护期间铺设钢板,保证车辆通行。

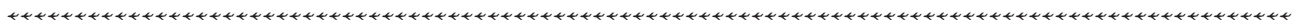
(5)施工期间需保证道路沿线单位及居民区出入口通畅,同样在基层养护期间铺设钢板,保证车辆出入。

3 结 语

城市沥青混凝土路面大修技术已经日渐成熟,并随着新技术、新材料的不断出现,施工工艺不断革新,这项技术更能得到完善。随着城市的不断发展,对道路要求不断提高,城市沥青混凝土路面大修技术必将越来越广泛地得到应用。

参考文献:

[1] DG/TJ08-92-2013,城市道路养护技术规程[S].



(上接第109页)

[3] 苏通长江大桥动静载试验报告[R].上海:上海同济建设工程质量检测站,2008.

[4] 张启伟.苏通大桥斜拉桥运营阶段的结构静力性能测试与研究

报告[R].上海:同济大学桥梁工程系,2008.

[5] 英国标准学会疲劳设计实用规则[M]//钢桥、混凝土桥及结合桥(英国标准 BS5400).成都:西南交通大学出版社,1987.