

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2021.12.039

栓接钢箱梁高强度螺栓病害分析

潘思彤¹, 夏天², 李泽新^{3,4}

(1.中电建路桥集团有限公司, 北京 100048; 2.武汉城市公共基础设施运营发展有限公司, 湖北 武汉; 3.桥梁结构健康与安全国家重点实验室, 湖北 武汉 430034; 4.中铁大桥科学研究所有限公司, 湖北 武汉 430034)

摘要: 某主跨 618 m 的栓接钢箱梁出现螺栓 439 套断裂、16 073 套严重锈蚀的现象。采用病害情况调查、金相分析、化学成分分析、有限元分析等方法从材质初始缺陷、加工工艺、应力腐蚀、受力性能、疲劳断裂等方面分析断裂原因。结果表明, 桥面积水从铺装破损处的连接接头渗入箱梁, 引起的应力腐蚀是该桥高强度螺栓断裂的主要原因。基于该分析, 对严重锈蚀和断裂的螺栓进行了更换, 对渗水点进行封堵, 高强度螺栓锈蚀断裂情况明显减少。

关键词: 斜拉桥; 栓接钢箱梁; 高强度螺栓; 锈蚀; 断裂
中图分类号: U448 **文献标志码:** B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0137-03

0 引言

桥梁上高强度螺栓断裂原因包括材质初始缺陷、加工工艺、应力腐蚀、疲劳断裂、受力性能等多个方面。而栓接钢箱梁由于结构形式特殊, 有必要在上述多种可能中找出高强度螺栓断裂的主要原因, 以便采取相应的维修措施, 保障结构安全运营。

1 概述

某跨江斜拉桥为双塔双索面半漂浮支撑体系混合梁桥, 跨径布置为 (50+180+618+180+50)m (图 1), 建成于 2000 年。钢箱梁部分长 904 m, 为双箱分离的扁平箱梁, 梁高 3 m、顶宽 29 m, 两侧设风嘴。节段间采用 M22 高强度螺栓拼接, 每标准节段用栓 4 332 套, 其中桥面顶板 1 484 套、斜腹板 752 套、底板 584 套、内腹板 300 套、外腹板 276 套, 中间顶板 U 肋 936 套。全桥高强度螺栓一共 363 888 套。高强度螺栓材质为 20 MnTiB, 性能等级为 10.9 s, 设计预拉力为 200 kN。高强度螺栓布置见图 2。

2019 年发现该桥高强度螺栓有 439 套断裂、16 073 套严重锈蚀, 影响结构安全, 因此有必要对螺栓锈蚀断裂原因进行分析, 并采取针对性维修措施。

2 病害情况调查

目前严重锈蚀螺栓数量为 16 073 套, 断裂螺栓

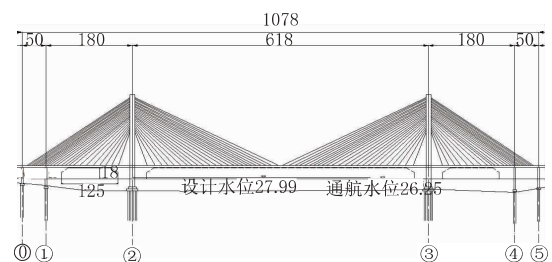


图 1 桥梁立面布置图 (单位: m)

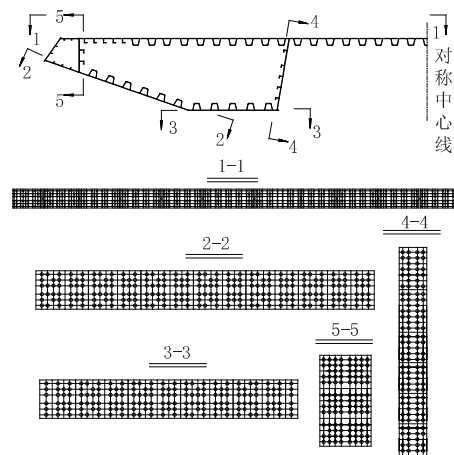


图 2 高强度螺栓布置图

为 439 套。高强度螺栓病害分布位置见表 1, 历年病害调查结果见表 2。高强度螺栓病害有如下规律: 一是断裂螺栓主要集中分布在底板和斜腹板, 底板占比为 69%, 腹板占比为 31%, 顶板螺栓未发现断裂。二是断裂螺栓的节段接头在钢箱梁各处随机分布, 普遍渗水严重, 且该类接头处的桥面铺装普遍损坏严重。三是历年检查结果表明, 断裂部位的高强度螺栓更换后容易再次断裂。四是很多严重锈蚀的高强度螺栓, 其截面上 95% 的部位已断裂, 剩余部位还残存连接

收稿日期: 2021-05-27

作者简介: 潘思彤(1985—), 女, 硕士, 主要从事道路桥梁隧道科技创新科技项目与科研平台管理工作。

的情况,肉眼观察不易发现,需用小锤敲击才能发现。五是螺栓年断栓率约为0.05%,随着运营环境的恶化,有继续增长的可能。

表1 高强度螺栓病害分布位置

典型连接接头(高强度螺栓反复断裂)	检测时间	断裂数量
M7~M8(中跨L/4附近)	2006	10
	2008	15
	2017	13
	2019	22
M8~M9(中跨L/4附近)	2006	14
	2008	19
	2017	15
	2019	29
M12~M13	2006	11
	2008	13
	2017	16
	2019	27
M13~M14(中跨L/2附近)	2006	13
	2008	17
	2017	19
	2019	32

表2 历年病害调查结果

位置	病害位置	锈蚀数量(套)	断裂数量(套)	病害所占比例
腹板	上游斜腹板	1 032	21	31%
	上游内腹板	1 131	31	
	下游斜腹板	1 012	51	
	下游内腹板	903	32	
底板	上游底板	5 241	202	69%
	下游底板	3 346	102	
顶板	上游顶板	802	0	0
	顶板U肋	712	0	
	下游顶板	918	0	
合计		16 073	439	

可以看出,高强度螺栓锈蚀断裂与渗水引起的腐蚀有着密切的关系。小锤敲击法是检查螺栓锈蚀最直接可靠的方法。

3 高强度螺栓金相分析

3.1 断口宏观分析

439套断裂螺栓断口表现为应力腐蚀断裂特征明显的有415套,占总数的94.6%,断口表现为一般脆性断裂的有24套,占总数的5.4%。可以推断,螺栓断裂的原因主要是高应力状态下的应力腐蚀,少量有初始缺陷的一般脆性断裂破坏的高强度螺栓。详见图3。

3.2 断口金相及电镜分析

选取部分断裂螺栓进行金相分析和电镜扫描。金相分析图谱表明断裂螺栓均为索氏体,具有良好



图3 典型高强度螺栓断口

的综合机械性能,说明螺栓热处理工艺满足要求。

电镜扫描图谱(见图4、图5)表明断裂螺栓具有应力腐蚀特征,能从图像中分辨出断裂的缺陷源区、缺陷发展区等一系列断裂发展形态。



图4 典型高强度螺栓断口金相图谱

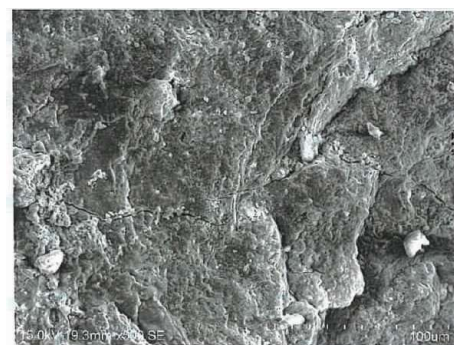


图5 典型断裂螺栓电镜扫描图谱

5 高强度螺栓接头检测

从桥上卸取了8块高强度螺栓接头拼接板进行摩擦系数试验,实测摩擦系数为0.58~0.67,均大于规范最低限值0.45,满足规范要求。选取了460套螺栓进行扭矩测试,其中实测扭矩与设计值偏差在10%以内的有448套,占97.0%,偏差超过10%的有12套,占3%。

高强度螺栓接头摩擦系数和扭矩基本满足规范要求,说明该桥高强度螺栓断裂与超拧联系不大,施工基本规范。

6 高强度螺栓接头受力分析

建立钢箱梁局部有限元模型(图6),计算箱梁中跨1/4截面附近处的底板和顶板应力幅值。采用板壳

单元 shell181 建模,一共划分 67 646 个单元。在模型端部一端约束 X、Y 和 Z 向位移,在有斜拉索处约束竖向位移,对称面上采用对称约束,模型的另一端施加整体模型计算得到等效内力幅值,计算最大轴力工况和最小轴力工况下箱梁局部应力幅值。



图6 钢箱梁局部有限元模型

在最大轴力幅值作用下,底板的平均应力幅值为 80 MPa(见图 7、图 8);在最小轴力幅值作用下,底板平均应力幅值为 60 MPa。可以看出,底板的应力幅值基本在 60~80 MPa 之间变化,综合考虑可取底板应力平均值 70 MPa,以此作为计算该底板螺栓应力幅值的标准。

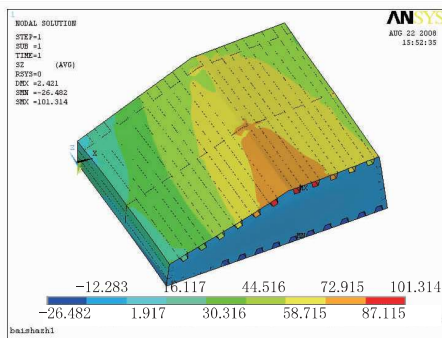


图7 最大轴力作用下底板应力图

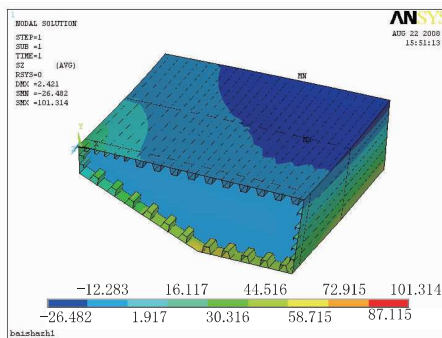


图8 最大轴力作用下顶板应力图

计算结果表明,钢箱梁在活载作用下,底板的应力幅大于顶板的应力幅,因此底板螺栓的受力较顶板螺栓受力更为不利,加上底板积水使高强螺栓易发生锈蚀的共同作用,易引发螺栓应力腐蚀进而疲劳断裂,与检测发现的钢箱梁拼接接头的高强度螺栓断裂主要发生在箱梁底板上这一现象吻合。

7 高强度螺栓应力幅值及疲劳强度分析

采用实体单元 solid45 和预紧单元 prets179 建模,进行高强度螺栓连接的接触分析。拼接板与芯板之间采取摩擦接触连接,通过定义接触面的摩擦系数,达到在拼接板与芯板之间的内力传递。

计算得到活载作用下螺栓的拉应力幅值为 12.33~15.06 MPa。而 M22 摩擦型高强度螺栓连接常幅疲劳强度在 50% 保证率下为 123.7 MPa,在 97.7% 保证率下为 100.0 MPa(其疲劳抗力方程式为: $\lg N + 4 \lg \sigma = 15.0$),均大于 15 MPa,满足规范要求。详见图 9、图 10、图 11。

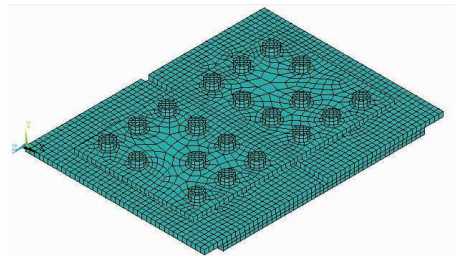


图9 底板高强度螺栓连接有限元计算模型

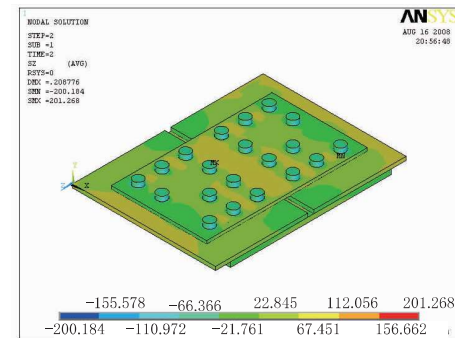


图10 底板沿拉力方向(Z向)应力云图

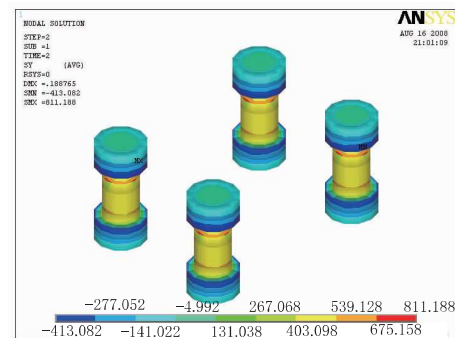


图11 高强度螺栓轴向应力云图

8 结论

(1)螺栓断裂的原因主要是桥面铺装损坏导致积水渗入箱梁引起的应力腐蚀,偶发因素为有初始缺陷的高强度螺栓的脆性断裂破坏。

(2)在维修桥面排水系统并采用防水胶对箱梁内部渗水点进行封堵后,高强度螺栓锈蚀和断裂情况

(下转第 143 页)