

超声波测试法在高强螺栓轴力检测中的应用

郭勇¹ 王凯² 王富颀¹ 徐文城²

(1. 浙江嘉绍跨江大桥投资发展有限公司 绍兴 312366; 2. 中交公路规划设计院有限公司 北京 100120)

[摘要] 高强螺栓的轴力一直以来是运营期钢结构桥梁的重点关注与检测内容, 然而现有规范对于检测方法没有给出明确的规定。文章通过实验室测试与桥梁结构现场测试的综合性对比试验, 探讨了超声波测试法在高强螺栓轴力检测中适用性。结果表明, 超声波测试法用于螺栓轴力检测具有对螺栓结构无损坏、可重新测试、效率高等优点, 测试精度和稳定性均较好, 具有很高的推广价值。

[关键词] 超声波法; 轴力检测; 高强螺栓; 压力环; 压力机; 实验测试

1 引言

在钢结构桥梁的构件连接中, 高强螺栓是常用的一种连接方式。在桥梁结构过程中, 受到振动、材料蠕变、夹板材料变形等因素影响, 螺栓预紧力会产生一定的衰退, 当螺栓预紧力降低到一定程度会危及螺栓连接节点安全。因此, 对于重要的钢构件连接处, 需要定期进行螺栓预紧力检测。

目前, 高强螺栓预紧力的检测是在每年的大桥定检项目中进行的。对高强螺栓预紧力的检测主要依据《钢结构工程质量验收规范》(GB 502052001), 规定:“高强度大六角头螺栓连接副终拧完成 1h 后、48h 内应进行终拧扭矩检查。”检测方法有扭矩法和转角法, 其中扭矩法更为常用, 其方法是在螺尾端头和螺母相对位置划线, 将螺母退回 60°左右, 用扭矩扳手测定拧回至原来位置时的扭矩值。该扭矩值与施工扭矩值的偏差在 10%以内为合格。

扭矩法的基本原理是利用拧紧扭矩与螺栓预紧力的线性关系, 在弹性区进行拧紧控制。为了获得较高的安装预紧力精度, 需要控制扭矩系数的范围, 采用合适的液压扭矩扳手。采用扭矩拧紧法拧紧螺栓时, 拧紧力矩计算公式为:

$$M = K \cdot F \cdot d$$

式中: M —拧紧力矩, $N \cdot m$; F —预紧力,

kN ; K —扭矩系数; d —螺栓公称直径, mm 。

扭矩法参考的规范适用于钢结构新建工程, 而对于运营养护期的螺栓预紧力监测, 存在一些不足, 主要有:

(1) 在长时间运营过程中, 螺纹接触面的腐蚀状态、摩擦系数有所变化, 因此最初建设期的螺栓扭矩系数与当前运营期的扭矩系数也发生了较大变化, 这种扭矩间接测量高强螺栓预紧力的方式存在较大误差;

(2) 按照规范下限扭力系数计算的扭力值偏保守的, 采用计算得到的扭矩进行加载, 螺栓不转动不足以说明螺栓的预紧力满足设计标准值要求。有可能是摩擦力变大, 扭矩系数增加所致;

(3) 扭矩系数不明确的情况下, 若计算扭矩偏大, 易发生超拧现象, 造成螺栓损伤, 易发生延迟断裂, 留下安全隐患。

2 超声波测试原理

近年来, 随着传感测试仪器技术的发展, 出现了一种新型螺栓轴力检测方法—超声波测试法。超声波测螺栓预紧力是一种依据声弹性原理的间接测量方法, 通过获得螺栓轴向预紧力与超声波在螺栓中传递时间的变化关系, 实现螺栓预紧力的测量, 测量过程中螺栓不会出现扭转应力, 造成螺栓不利受力影响。

收稿日期: 2021-12-23

作者简介: 郭勇 (1972-), 男, 高级工程师, 主要从事桥梁工程设计工作。

超声波方法检测螺栓的轴力，其原理是采用超声波再螺栓中传播时间的变化来计算螺栓轴力的变化，计算所采用的公式是同批同类型的螺栓在标准压力机上标定的生时差曲线，测试原理图如下所示：

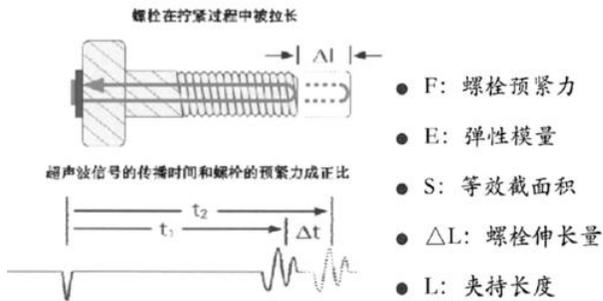


图 2-1 螺栓轴力的超声波测试工作原理示意图

螺栓预紧力 F 与伸长量 ΔL 的关系为：

$$F = \frac{E \cdot S \cdot \Delta L}{L}$$

式中： F —预紧力，kN； L —螺栓夹持长度，mm； ΔL —螺栓变形伸长量，mm； E —弹性模量，Mpa； S —螺栓应力截面积， mm^2 。

3 试验方案

本文以嘉绍大桥刚性铰处的小箱梁固定端为例，通过实验室与桥梁结构现场螺栓的综合性对比试验来验证超声波法测试螺栓轴力的可行性与精确性，试验思路如下：

(1) 选取嘉绍大桥钢箱梁小箱梁固定端处代表性的高强螺栓 4 根（规格为 M24-10.9s），更换为新批次的加长螺栓，同时夹板上安装压力环螺栓轴力传感器。压力环采用超薄定制的压力环，每个压力环周边内置 5 个应变计，厚度为 1.5cm，双侧分布式钢垫板 5mm，压力环外径是内径的 3 倍。压力环出厂前进行了压力机标定，测试精度在 3% 以内。



图 3-1 超薄定制压力环设备

(2) 参考《钢结构高强度螺栓连接技术规程》(JGJ 82-2011) 中的表 6.4.13 中规定，四颗 M24-10.9s 螺栓采用扭矩扳手拧紧至 250kN。

(3) 声弹性曲线标定

新更换的四颗螺栓，同一批次的螺栓在压力机上同时缓慢增加轴力，配合进行超声波生时差测试，获取生时差-螺栓轴力标定曲线。超声波试验器材测量方式为 E-E 模式，螺栓长度测量精度为 0.05um，具有自动温度补偿修正功能，采集频率为 10HZ。



图 3-2 超声波测试试验器材套件

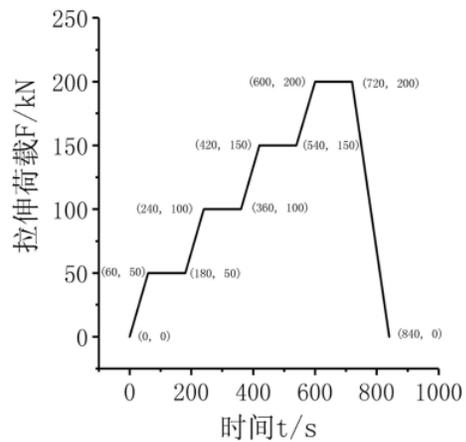


图 3-3 标定试验加载示意

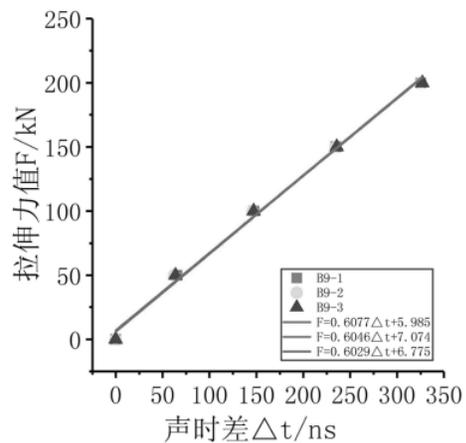


图 3-4 标定结果生时差曲线

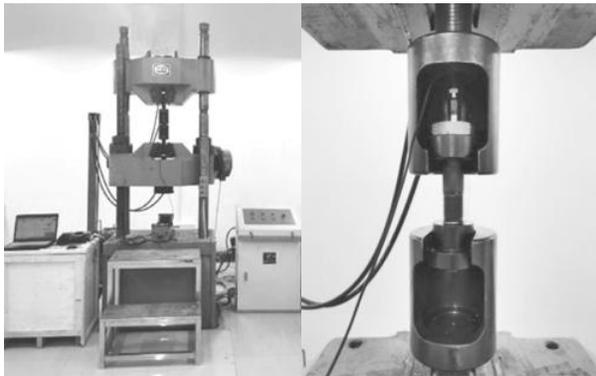


图 3-5 压力机试件装置

(4) 超声波生时差现场测试

测量桥上四颗新更换螺栓的超声波声时差，同时采集压力环测量到的螺栓轴力，进行对照。



图 3-6 大桥现场超声波测试与压力环同步轴力采集照片

4 试验结果

在超声波检测轴力的过程中，检测温度与螺栓超声基准的采集温度不同，因此需要对其进行修正，修正后，超声波监测轴力结果和压力环的测量结果如下：

表 4-1 超声波测量轴力与压力环对比

螺栓序号	基准温度 / $^{\circ}\text{C}$	检测温度 / $^{\circ}\text{C}$	温补声时差 / ns	声时差 / ns	预紧力 / kN -轴向拉伸	预紧力 / kN -扭转拉伸	压力环数据 / kN
1	19.54	12.50	488.38	488.42	281.59	274.98	287.54
2	19.45	11.64	376.87	376.94	217.72	212.55	206.94
3	19.59	12.01	466.37	466.40	268.98	262.64	232.73
4	19.59	12.50	488.15	488.42	281.59	274.98	232.23

超声波和压力环数据对比

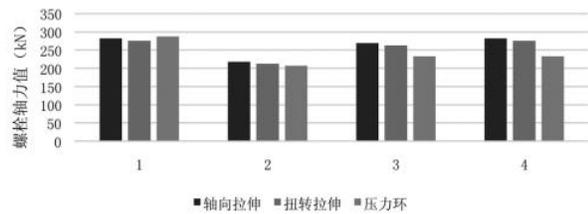


图 4-1 超声波与压力环测量数据对比

如上图所示，超声波测试法获取的现场螺栓轴力与压力环数据对比，发现超声波的通过两种不同方法标定的螺栓轴力基本相同，说明超声波测量螺栓轴力同压力环直接测量法有相同的精度。

5 结论及展望

本文中综合实验室压力机试验与桥梁结构现场试验，得出如下结论：

(1) 在实验室条件下，螺栓轴力与超声波法测试的生时差具有很强的线性关系，采用此生时差标定曲线来进行螺栓轴力反算可保证测试结果的稳定性。

(2) 大桥结构现场螺栓超声波轴力测试结果同压力环直接测试法数据结果吻合度较高，说明超声波测试法具有较高的现场测试精度。

(3) 超声波测试法属于原位测试方式，具有不损坏螺栓等优点，可以反复测试，相对于传统的扭矩法检测方法，更具科学性，具有较高的推广价值。

参考文献

- [1] 孙国峰. 基于超声波技术的螺栓紧固轴力测量应用研究 [M]. 浙江工业大学, 2012.
- [2] 蒋靖, 郭涛, 杨轶, 刘楚达. 风电机组叶根螺栓超声波预紧力监测技术研究 [J]. 2021.
- [3] 刘家斌. 超声波螺栓应力自动标定试验系统研制 [M]. 西南交通大学, 2020.