



东方所先进技术说明书

桥梁索力智能监测技术

文件编号 CT6002.1
V1.0 2014-9-5

保密级别：无

北京东方振动和噪声技术研究所

东方所技术说明书
文件编号 CT6002.1
保密级别：无

修订记录

版本	修订日期	修订内容	制作	校核	批准
1.0	2014-09-05	初始完成	陈辉,沈松	沈松	应明

COINV 智能桥梁索力监测技术

北京东方振动和噪声技术研究所(COINV)

主要内容

- 1 简述
- 2 核心技术 1 — 精确算法
- 3 核心技术 2 — 智能定阶
- 4 专用桥梁索力监测仪

本技术适合悬索桥、斜拉桥等形式桥梁的索力长期在线监测。

一 简介

COINV 智能桥梁索力监测技术，使用振动法实现，采用先进的算法实现复杂环境下的索力准确测量和自动化监测，解决了短索计算误差大、信号微弱、各种干扰信号丰富、主频阶数难以确定等难点。

1 本技术在确保长期监测过程中的数据准确性和可靠性方面，使用了两项东方所独创的核心技术：

- 国际领先的精确索力计算处理算法
- 综合多种因素确定弦索的多阶优势频率和相应阶次，自动智能剔除干扰频率

2 在使用上，提供了丰富在线实时监测功能

- 功能完备的监测配置功能，管理员级别人员控制监测设备启停，测量分析时间长度设定，弦索索力报警区间设定及索重、索长设定等
- 实时波形与频谱显示，自动主频捕捉
- 在线实时计算处理弦索振动信号，自动计算索力值，智能剔除无效计算结果
- 多通道列表/量值实时索力值显示，以及预设的超限报警指示
- 自动保存索力计算结果；可配置自动保存原始波形和频谱，方便后续进一步详细分析

3 具备专业的离线后处理分析功能

- 丰富多样的索力结果查询功能，主要包括原始振动波形数据下载，索力报警查询，索力监测结果历史趋势查询，以及数据报表，可提供日报，周报，月报及年报
- 更多功能强大的信号处理功能，主要包括时域分析，频谱分析，相关分析等等

4 丰富多样的解决方案

- 专门针对索力监测进行设计的专用桥梁索力监测仪，最精确，最高效，最方便
- 基于 B/S 架构的云智慧监测系统，包含多种类型信号监测，索力监测就是其中一种
- 基于 C/S 架构的 Dasp 远程或本地监测系统，内置固化东方所积累多年的工程经验
- 功能完备的二次开发接口，丰富的 API 说明文档

二 核心技术 1 — 索力精确计算算法

索力，即桥梁悬索或拉索的内力，一般通过测量索的自振频率来计算，并且假设两端固支，不考虑索的抗弯刚度，其计算公式如下：

$$T = \frac{4ml^2 f_n^2}{n^2} \quad \text{-- 常规计算公式，假设两端固支}$$

但是，实际中的拉索，其两端的边界条件并非完全的固支，也不是铰支，而是处于固支和铰支之间的某一种状态，因此上述公式就可能产生误差。

抗弯刚度 EI 对索力计算有较大的影响，特别是短索，抗弯刚度 EI 的影响可能非常明显。即使是长索，若使用高阶频率计算索力时，抗弯刚度 EI 的影响也不可忽略。

另外，对于有多股细绳组合成的粗绳，如果将多股细绳看成一体化，将得到最大的抗弯刚度；将多股细绳看成无任何粘接，将得到最小的抗弯刚度。而实际的抗弯刚度位于两者之间，接近最大抗弯刚度。换言之，这时实际的抗弯刚度是不能直接得到的，和两端的边界条件一样，也需进行识别。

对于短索的情况，其误差尤为明显。

那么，如何准确识别实际桥梁上拉索的两端边界条件呢？索的抗弯刚度有多大影响呢？

东方所给出了符合实际的力学模型，并提出了精确索力算法，有效地解决上述问题。

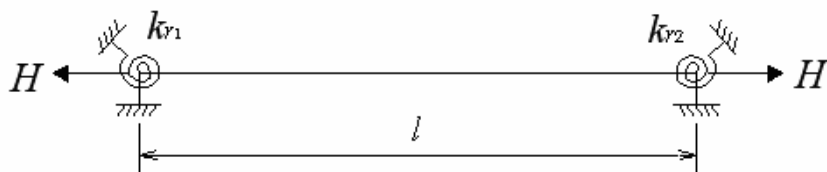


图 1 东方所使用的拉索力学模型，其两端既考虑固支约束，又考虑铰支约束

若假设两端为固支时，索的各阶自振频率与阶数成比例关系，但实际中的非固支状态时，各阶自振频率直接就没有这个规律了。

东方所精确算法同时利用了索的多阶固有频率，在这些看似没有规律的频率中，找出实际的规律，从而得到准确的索力，同时还可得到索的抗弯刚度等参数。

实验室验证实例：

同济大学实验室中的某实验索，使用规格 $\Phi 15.24$ 的镀锌钢绞线，钢绞线由 7 根 $\Phi 5$ 高强钢丝拧成，该索的长度为 2.035 m，单位索重为 1.1 kg/m，通过振动法测量其各阶固有频率如下：

表 1：实验索的实测频率

阶数	1	2	3	4
频率/Hz	77.42	156.45	240.04	325.12

使用直接测量的方法，测量其索力为 101.3KN，将该数据作为真实值；

使用常规索力计算公式，假设其两端为固支，计算结果为 109.2 KN

使用东方所精确索力算法，计算结果为 99.5 KN。

表 2：结果比较

计算方法	直接测量	常规算法	东方所精确算法
结果/KN	101.3	109.2	99.5
误差	0	7.8%	-1.8%



图 2 使用东方所的精确算法计算结果，同时还能得到所的 EI=263.6 Nm²

三 核心技术 2 — 自振频率智能定阶

不论使用常规公式，还是精确算法，首先需要正确确定各阶自振频率对应的阶数。

有的时候，各频率的阶数一目了然，但有时却非常难以判别，尤其是振动微弱、干扰明显的情况下。而对于桥梁监测而言，能否在无人参与的情况下智能识别频率阶数，就变得非常关键。



图 3 振动频谱图上的频率阶数非常清晰

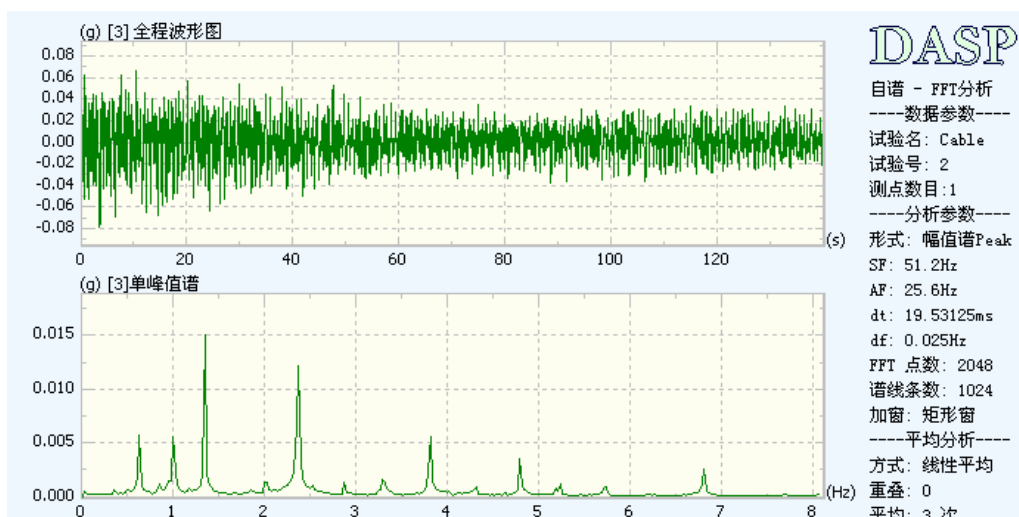


图4 振动频谱图上难以判定各频率阶数

东方所研究了频率的智能定阶技术，该方法同时读取频谱图上若干个最大主峰，为消除 FFT 的频率分辨率误差，使用了 INV 频率计技术计算各主峰的精确频率，然后寻找各主峰频率之间的内在关系，智能确定出各个主峰频率对应的阶数。

此外，该技术还允许使用经验数据来提高识别准确率，例如在桥梁监测实施初期，对各条拉索进行人工测量，以获取其初始经验值。在日后的长期监测过程中，该技术可自动跟踪索的频率变化，以准确识别振动的各频率阶数，并提供给精确索力算法的输入参数。

四 专用索力监测仪

INV3060S(C)型索力监测仪

基于先进的分布式云智慧采集仪技术，专门针对桥梁索力监测设计，内置 ARM 嵌入式系统、DSP 实时处理模块和 24 位高精度数据采集模块，自动完成桥梁索力的振动信号测量、信号预处理、智能定阶、精确计算等一系列处理，实时将索力结果通过 3G/4G 等网络发送至互联网和云中心，是目前最精确、最高效的专用索力监测设备。



图5 专用索力监测仪

[END]