

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2011.04.017

苏通大桥锚固区应力数据的分层去噪处理

张宁宁¹, 陈志坚¹, 戚闪坡², 边 磊³

(1. 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 中南电力设计院, 湖北 武汉 430071;

3. 山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013)

摘要:比较苏通大桥锚固区应力监测数据与气象资料后发现,气温对锚固区应力的影响显著.为了给锚固区传力机制分析提供准确的应力数据,结合同步气象观测资料,根据不同时段各噪声强度的差异,采用基于时段尺度的小波分层去噪方法逐级分离出气温对锚固区应力的不同影响.分析结果表明,该方法可基本消除气温对锚固区应力的影响,对类似索塔锚固区的高耸构筑物受力分析具有很好的工程应用效果.

关键词:苏通大桥 锚固区 应力 气温 时段尺度 小波分层去噪

中图分类号: TU196; TU398

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2011)04-0450-04

近年来,随着斜拉桥跨径的不断增大,索塔的高度也不断增加,相应的索塔锚固形式也越来越多.主跨为 1088 m 的苏通大桥,其索塔本身需承受强大的索力作用,为了更好地满足受力要求,苏通大桥主桥索塔锚固区采用了形式新颖、技术含量高的钢锚箱式的钢-混组合结构^[1].锚固区使用直径 22 mm、长 200 mm 的剪力钉,剪力钉的竖向间距为 15 cm、水平间距为 20 cm(两端为 15 cm),索塔塔壁为 C50 混凝土.钢-混组合结构的构造和受力状态均较为复杂,与法国诺曼底桥等以往的锚固方式不同,钢锚箱的传力机制也将有一定区别,甚至区别较大,需详细分析其作用力的传递机制、钢与混凝土各部分所分担的作用力大小,才能准确评估索塔锚固区及索塔本身的安全性.为此,进行了应力监测,监测区域为北索塔锚固区.

目前高频度的观测数据表明,施工过程中锚固区的应力除随施工荷载的变化而变化外,还受到气温、风力以及各种偶然噪声(如信号采集和传输设备的热、磁、电效应以及人为干扰等)的影响.对比气象观测资料可知,气温等气象因素对锚固区的干扰尤其明显,而且不同的气温变化引起的应力响应的形式和幅度存在一定差异.同时,大尺度时段的气温变化规律性较弱,而小尺度时段的气温变化规律性较强.为了给钢锚箱传力机制的研究提供更准确可靠的实测数据,本文结合同步气象观测资料,针对不同时段各噪声强度的差异,采用基于时段尺度的分层去噪方法逐级分离日照辐射和周期性气温变化等因素产生的噪声.

1 方 法

苏通大桥索塔锚固区施工安全监测是长期的实时在线监测,传感器数量较多,数据量非常大,加之监测信号包含了各种激励(如施工荷载和环境因素等)引起的结构响应,因而应力监测数据具有多尺度特征^[2-5].假设应力监测数据用 σ 表示,则

$$\sigma = \sigma_f + \varepsilon\sigma_n \quad (1)$$

式中: σ_f ——有效数据,通常为低频或一些比较平稳的信号; σ_n ——噪声信号,为 1 级高斯白噪声,通常表现为高频信号; ε ——噪声级,是一个大于 0 的常数.

小波分层去噪就是通过粗尺度将应力监测数据 σ 中的有效数据 σ_f 分解出来,以了解结构响应的趋势性变化,而高频信号 σ_n 则通过细尺度分解出来,将其置 0 后再进行重构,即得到去噪后的平滑信号和细节信号.然而,原始数据中的高频信号并不都是噪声所致,如果简单地将所有分解出来的高频信号全部去掉,将导

收稿日期: 2010-08-30

基金项目: “十一·五”国家科技支撑计划(2006BAG04B05) 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2002CB412707)

作者简介: 张宁宁(1980—),女,山东淄博人,博士研究生,主要从事岩土工程稳定与安全监测研究. E-mail: 260969413@qq.com

致信号失真.因此,去噪时需要根据信号和噪声的小波变换系数在不同尺度下的特性选择参数 λ (称之为阈值),并通过软阈值化处理,分层剔除噪声影响.

阈值选取和量化是噪声分离的关键.小波阈值法^[6-7]是一种非线性的方法,它可以通过在小波域内设定阈值来清除较小的噪声系数而达到去噪目的.由于信号和噪声在小波域内随尺度变化的规律不同,故在小波分层去噪时采用对每一层都设定不同阈值的软阈值处理方法,即

$$\lambda_j = \sigma_j \sqrt{2 \ln N} \tag{2}$$

式中: λ_j —— j 层阈值; N ——信号长度; σ_j —— j 层噪声标准差.由于各尺度下的噪声无法确定,故通常取各尺度下细节部分的标准差作为噪声标准差 σ_j 的估计值^[8-9].

2 结果分析

苏通大桥索塔高 300.4 m,在塔的不同高度,气象条件和应力响应存在差异.分析数据取自高度 220.9 ~ 224.4 m 处底部南侧锚固区测点 a, b, c .测点 a, b, c 位置见图 1,与塔外壁的距离分别为 89, 44, 14 cm.

2007 年 1 月 1—31 日(该时段荷载保持不变)测点 a, b, c 的应力(σ_a, σ_b 和 σ_c)观测数据如图 2 所示.从图 2 可以看出,锚固区在不施加任何施工荷载的情况下,其应力仍然会有较大的波动,且小尺度时段的应力变化有一定的规律.这说明,气温对观测数据的影响显著.

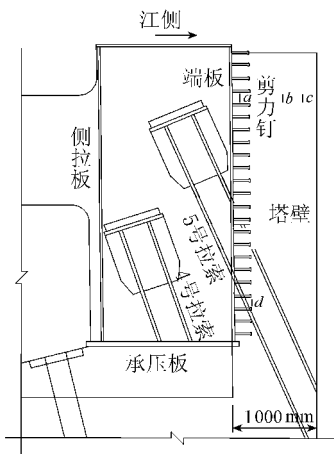


图 1 底部南侧锚固区应力测点布置

Fig. 1 Arrangement profile of monitoring points in south at bottom of anchorage zone

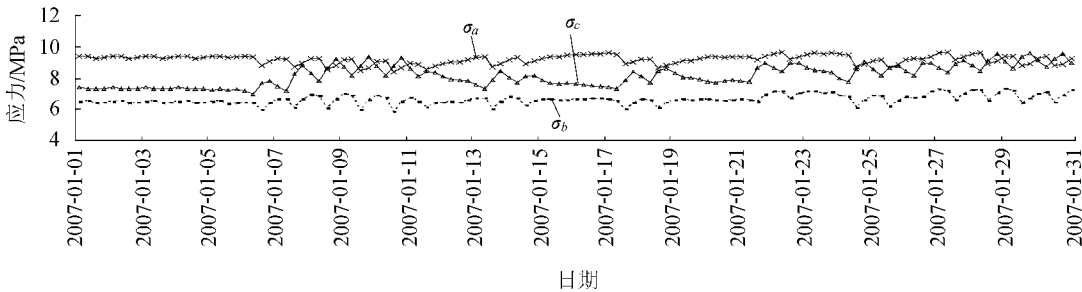


图 2 底部南侧锚固区应力时程曲线

Fig. 2 Stress time-history curves of monitoring points in south at bottom of anchorage zone

结合同步气象观测资料,选择气温变化不大而风速变化较大(0.6 ~ 16.8 m/s)的 2006 年 12 月 12 日 3 32—28 日 21 32(该时段荷载保持不变)的应力观测数据,分析气温对索塔锚固区不同部位应力观测数据的影响.为了便于分析气温与应力之间的关系,需对应力和温度数据进行标准化处理^[10],使两者具有相同的坐标系.标准化处理后的数据为

$$x'_i = (x_i - \bar{x}) / s$$

式中: x_i ——该组实测数据中的第 i 个数据; $\bar{x}$ ——该组实测数据的平均值; s ——该组实测数据的标准差.锚固区应力与温度标准化处理后的比较结果见图 3.其中: σ'_a, σ'_b 和 σ'_c 分别表示测点 a, b, c 的应力标准化值; t'_a, t'_b 和 t'_c 分别表示测点 a, b, c 的混凝土温度标准化值; t'_e 为环境温度标准化值.从图 3 可以看出,索塔外壁的混凝土温度对日照辐射的反应很敏感,而索塔内壁的混凝土温度对日照辐射的反应则比较迟钝.即使日照辐射较弱,锚固区应力对日照辐射的敏感性仍较强.其中,外壁测点 c 的压应力与温度呈正相关性,这反映日照辐射会产生温度应力;内壁测点 a 和 b 的压应力与温度呈负相关性,这反映高塔因日照辐射而向北倾斜产生的弯拉作用使南壁处于受拉状态.对于这一现象,可进一步说明如下:日照辐射在索塔南壁产生的应力由温度应力 $\Delta\sigma_t$ 和弯曲派生的应力 $\Delta\sigma_b$ 2 部分组成,即 $\Delta\sigma_t + \Delta\sigma_b$.由于本文规定压应力为正,故当气温上升时, $\Delta\sigma_t$ 为正, $\Delta\sigma_b$ 为负.索塔外壁温升大, $|\Delta\sigma_t| > |\Delta\sigma_b|$,压应力与温度呈正相关关系;索塔内壁温升不明显, $|\Delta\sigma_t| < |\Delta\sigma_b|$,压应力与温度呈负相关关系.这一变化充分说明,日照辐射使索塔产生了由南向北的倾斜变形^[11].

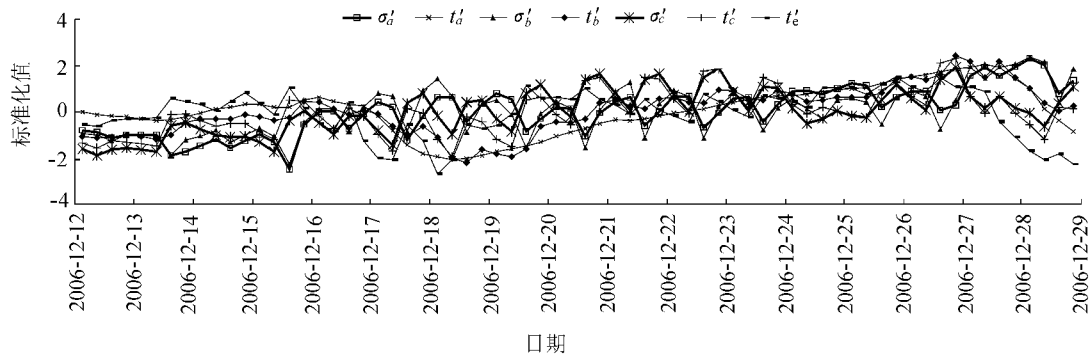


图 3 底部南侧锚固区应力与温度标准化值时程曲线

Fig. 3 Time-history curves of standardized stress and temperature in south at bottom of anchorage zone

日照辐射对锚固区应力产生的影响不可忽视,周期性和季节性气温变化产生的温度应力也同样不可忽视.为了分离出气温对锚固区应力的影响,借助 MATLAB 软件,对各种小波函数去噪效果进行了对比^[12-13],最终选用 db4 小波,根据不同时段各噪声强度的差异,选择合适的阈值,对 2006 年 11 月 12 日 2:32—2007 年 7 月 17 日 11:00 的应力监测数据进行分时段的小波分层去噪处理.从图 4 可知,σ_d(测点 d 的应力)与 t_e 有很好的负相关性,并且 t_e 对 σ_d 的影响与图 3 中 t_e 对 σ_a 的影响一样(因为测点 d 与测点 a 到塔壁的距离相同).由于 2006 年 11 月 12 日 2:32—

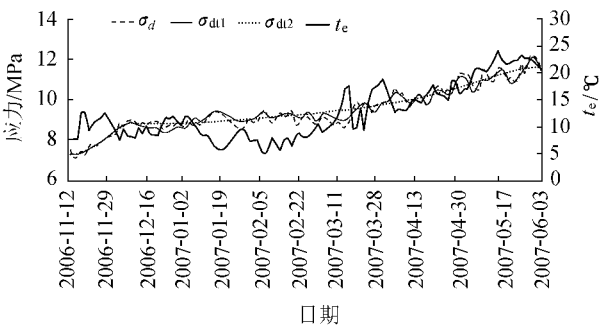


图 4 分层去噪结果

Fig. 4 Separate stress by layered de-noising

12 月 12 日 21:32 为 4~6 号索的安装和张拉时间,底部锚固区应力以较快速度增大,且温度主要受日照辐射影响,故只需对应力监测数据进行 1 层去噪处理.而 2006 年 12 月 12 日 21:32—2007 年 6 月 2 日 0:00 为钢箱梁吊装阶段,底部锚固区应力缓慢增大,所以对应力监测数据进行了 3 层去噪处理,得到了消除日照辐射影响的 σ_{d1},但 σ_{d1} 仍然与 t_e 呈负相关性.为此,对应力监测数据进行了 5 层去噪处理,得到了消除周期性气温变化影响的 σ_{d12}.σ_{d12} 基本反映了 7~34 号索力在底部锚固区产生的应力响应.但是,σ_{d12} 仍然包含频率更低的季节性气温变化产生的温度应力.由于该时段气温总体处于上升阶段,所以难以用小波去噪方法进行分离.

3 结 论

- a. 气象因素对苏通大桥索塔锚固区应力的影响很大.其中气温对苏通大桥索塔锚固区应力的影响强烈并具有一定的规律性.分析结果表明,气温对索塔锚固区应力的影响方式有 3 种,即日照辐射、周期性气温变化和季节性气温变化,并且这 3 种影响方式对索塔锚固区应力产生的影响相互交织在一起.
- b. 与一般构筑物相比,高耸构筑物受环境影响更加严重,监测数据包含的大量噪声严重干扰了构筑物实际受力情况的分析和预测.将小波分层去噪法应用于高耸构筑物的典型代表苏通大桥索塔监测数据的处理,取得了较好效果,为这种特殊构筑物的安全性评价提供了科学依据.

参考文献:

[1] 冯凌云,苏庆田,吴冲.大跨度斜拉桥混凝土索塔钢锚箱的计算模型研究[J].现代交通技术,2005,2(4):26-29. (FENG Lingyun,SU Qing-tian,WU Chong. Calculation method of concrete pylon with steel anchor box in long-span cable-stayed bridge[J]. Modern Transportation Technology,2005,2(4):26-29. (in Chinese))

[2] 夏平,覃琴.基于多尺度分析的数字通信系统降噪[J].广西师范大学学报:自然科学版,2005,23(1):13-16. (XIA Ping,TAN Qin. Noise-filtering of digital communications systems based on wavelet multi-resolution analysis[J]. Journal of Guangxi Normal University,2005,23(1):13-16. (in Chinese))

[3] CHEN Y. Multi-resolution analysis,its link to the discrete parameter wavelet transforms and its initialization[J]. IEEE Trans Signal

Processing,1996,44(4):1001-1006.

- [4] 郭健,孙炳楠.基于小波变换的桥梁健康监测多尺度分析[J].浙江大学学报:工学版,2005,39(1):114-118.(GUO Jian,SUN Bing-nan.Multi-scale analysis based on wavelet transform in bridge health monitoring[J].Journal of Zhejiang University:Engineering Science,2005,39(1):114-118.(in Chinese))
- [5] 郭昱昆.苏通大桥超高索塔监测技术与数据处理研究[D].南京:河海大学,2007.
- [6] MALLAT S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1989,11(7):674-693.
- [7] DONOHO D L. De-noising by soft-thresholding[J]. IEEE Transactions on Information Theory,1995,41(3):613-627.
- [8] 朱云芳,戴朝华,陈维荣.小波信号消噪及阈值函数的一种改进方法[J].中国测试技术,2006,32(4):28-30.(ZHU Yun-fang,DAI Chao-hua,CHEN Wei-rong.Wavelet denoising and a modified thresholding algorithm[J].China Measurement Technology,2006,32(4):28-30.(in Chinese))
- [9] 朱鲁,张振勇,陈香菱,等.小波阈值去噪方法在矿井电法数据处理中的应用[J].山东科技大学学报:自然科学版,2010,29(1):1-4.(ZHU Lu,ZHANG Zhen-yong,CHEN Xiang-ling,et al. Application of wavelet threshold noise-deadening method in mine electrical data processing[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology:Natural Science,2010,29(1):1-4.(in Chinese))
- [10] 刘文淑,林咸志,薛涛,等.基于小波变换的钢箱梁应力监测多尺度分析[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(4):407-410.(LIU Wen-shu,LIN Xian-zhi,XUE Tao,et al. Multi-scale analysis of stress monitoring of steel box girders based on wavelet transform[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences 2010,38(4):407-410.(in Chinese))
- [11] 许昌,岳东杰.基于RTK-GPS技术的高索塔振动试验与分析[J].振动与冲击,2010,29(3):134-136.(XU Chang,YUE Dong-jie.Ambient vibration test of high pylon based on RTK-GPS technology[J]. Journal of Vibration and Shock,2010,29(3):134-136.(in Chinese))
- [12] 郑治真.小波变换及其MATLAB工具的应用[M].北京:地震出版社,2001:55-60.
- [13] 刘天佑,吴招才,詹应林,等.磁异常小波多尺度分解及危机矿山的深部找矿—以大冶铁矿为例[J].地球科学:中国地质大学学报,2007,32(1):135-140.(LIU Tian-you,WU Zhao-cai,ZHAN Ying-lin,et al. Wavelet multi-scale decomposition of magnetic anomaly and its application in searching for deep-buried minerals in crisis mines—a case study from daye iron mines[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences,2007,32(1):135-140.(in Chinese))

Wavelet layered de-noising process of stress data of anchorage zone for Sutong Bridge

ZHANG Ning-ning¹, CHEN Zhi-jian¹, QI Shan-po², BIAN Lei³

(1. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing, 210098, China ;

2. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China ;

3. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Corp, Ltd, Jinan 250013, China)

Abstract : Comparing the stress monitoring data of the anchorage zone for Sutong Bridge with the meteorological date, it is found that the stress in the anchorage zone is obviously influenced by temperature. In order to provide accurate and reliable stress data for the analysis of force transfer mechanics, according to the difference of noise intensity at different times and the synchronous meteorological data, the different influences of temperature on the stress in the anchorage zone were separated step by step using the method of wavelet layered de-noising based on the time scale. The results show that the method can eliminate the influence of temperature on the stress in the anchorage zone, and has a good application in the force analysis of topping structures in the cable-tower anchorage zone.

Key words : Sutong Bridge ; anchorage zone ; stress ; temperature ; time scale ; wavelet layered de-noising