

# 预应力锚杆张力无损检测方法影响因素及最优测试组合方式探究

田北平<sup>1</sup>, 吴佳晔<sup>1</sup>, 刘文方<sup>1</sup>, 季文洪<sup>2</sup>, 沈卓洋<sup>3</sup>

(1. 四川理工学院建筑工程学院, 四川 自贡 643000; 2. 上海建筑科学研究院, 上海 200032;  
3. 四川升拓检测技术有限责任公司, 成都 610000)

**摘要:**文章基于利用弦振动理论以及预应力锚杆张力与系统弹簧系数的关系来测试预应力锚杆张力的研究,通过试验测试预应力锚杆张力的影响因素,分析各个因素对测试结果的影响,并提出最优方案,提高预应力锚杆张力无损检测的测试精度。

**关键词:**预应力锚杆;张力;无损检测

**中图分类号:**TU757

**文献标识码:**A

## 引言

前期研究表明基于振动法,利用弦振动理论以及预应力锚杆张力与系统弹簧系数的关系来测试预应力锚杆张力的方法是非常有效和可行的。即是利用分析计算频率(主要是卓越频率,重心频率以及基础频率)来推定张力的方法。但是在实验室或工程实践中,也出现一系列问题,需要进一步研究。比如,激振能量的影响,传感器固定位置的影响,预应力索或锚杆露出长度的影响,测试对象的影响。最终在选择最有利的条件下,研究瞬间激励下系统响应的频率与作用系统的张力之间的关系,提高其测试精度。

## 1 影响因素探究

在对锚杆张力的研究过程中,开发了基于 PC 的采集测试系统,该系统包括激振子系统,采集子系统和数据分析子系统。研究过程中发现在作用于系统的张力一定的情况下系统的响应频率受激振子系统中采用不同激励装置、打击力度(激励能量)、采集子系统中的传感器方位、预应力锚索(杆)露出不同长度以及测试结构对象本身(锚具或承压板)等因素的影响。通过对影响

因素的分析选择最有利的条件下,研究瞬间激励下系统响应的频率与作用系统的张力之间的关系。

把传感器固定安装在测试对象的东西南北 4 个方位,研究传感器在不同方位、不同范围内打击力度的影响。并规定如下,N:传感器在测试对象的上方,激励在测试对象的下方;S:与 N 相反,传感器与激励的方向对调;E:传感器在测试对象的左侧,激励在测试对象的右侧;W:与 E 相反,传感器与激励的方向对调。对于锚索露出长度的影响研究主要分别从锚索露出不同长度(或不露出),在拉力(不同等级)作用下,经特制激励装置瞬间激励,对系统响应的影响。把传感器安装在不同方位,提高打击力度并激励于系统,研究对系统响应的影响以及传感器固定方位的影响。对系统中的锚具、圆形垫板等传感器与激励的对象分别进行测试,研究其对试验结果的影响。分析瞬间激励下系统响应的计算频率与不同拉力作用的关系,主要采用“双曲回归”的方法进行拟合。为了方便试验,按照图 1 所示标注并进行试验研究。其中:传感器固定方式:磁铁;激励装置:专制锤;激励方向:E、W、S、N;测试对象:对象 A:锚具,对象 B:垫板。

收稿日期:2010-09-08

基金项目:四川省教育厅科研项目(07ZC036);四川理工学院科研基金项目(2009XJKYL003)

作者简介:田北平(1963-),男,四川自贡人,教授,主要从事建筑结构方面的研究,(E-mail) tianbeiping@126.com

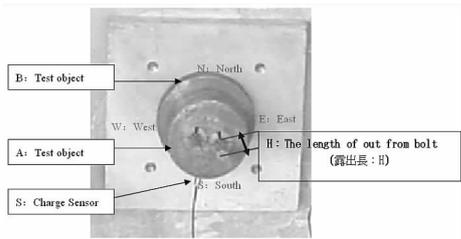


图1 测试对象(实物标注)

## 2 影响因素分析

### 2.1 传感器在不同方位因素的影响

把传感器固定在锚具的不同4个方向,分别进行测试研究。其测试结果如图2、图3所示。分析得到以下结论:

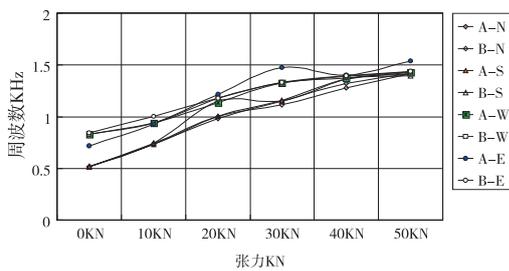


图2 锚索没有露出(H=0),不同方向测试的数据分析图

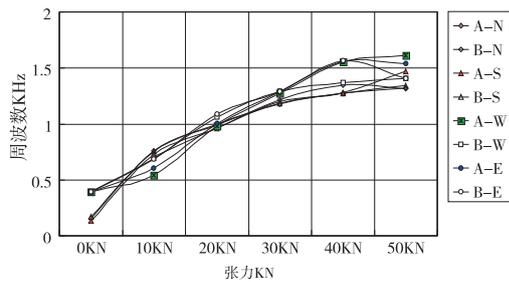


图3 锚索露出10cm(H=10)不同方向测试的数据分析图

(1) 计算频率伴随拉力的增强而增加。

(2) 传感器位置在N、S方向系列数据趋势线优于传感器位置在E、W方向数据趋势线。其原因是重力方向与传感器轴向方向(支点的振动方向)是一致,这也符合剪切型压电式传感器的构造和特性。对于圆形测试对象,固定传感器的磁铁接触面比较小,吸着力也相对较弱。传感器在横方向(E、W方向)会受到传感器以及引出电缆重量的影响,对测试数据的频率特性有一定的影响。

(3) 在低拉力情况下,同样的拉力,测试对象B的计算频率普遍高于测试对象A的计算频率;也说明了在低拉力情况下,若对测试对象B进行测试,容易诱导出高

频。

### 2.2 锚索露出长度因素的影响

在不同拉力(分阶段实施)作用下,对锚索露出10cm和不露出两种情况下,测试采集数据并分析,研究瞬间激励系统的响应。其测试结果如图4所示,结论如下:

(1) 张力(拉力在30KN以下)比较小的情况下,锚索露出长度对测试的计算频率有一定的影响。表现为锚索露出越长,响应频率越低的趋势。

(2) 张力大于30KN时,锚索露出长度几乎不受影响。

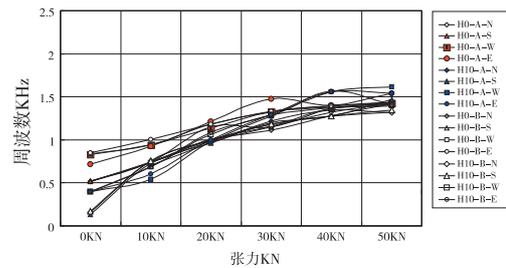


图4 锚索露出不同长度测试结果的分析图

### 2.3 不同打击力度因素的影响

本研究主要把传感器安装固定在不同方位下,提高激振打击力度(主要是采用了2倍和3倍)并激励下研究不同方位和打击力度对响应的影响。图5是在原来的力度上分别提高2倍和3倍的测试结果。

(1) 在拉力( $\le 20$ KN以下)很小的情况下,打击力对计算频率有一定的影响。打击力越强,测试的计算频率有增加的趋势。

(2) 在高拉力作用下,打击力度的影响小,力度越大趋势向更好的方向发展,并且传感器的固定方向对测试结果的影响不大。

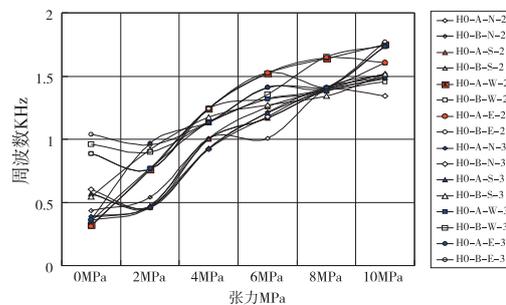


图5 不同打击力度对测试结果影响的分析图

## 3 结论

(1) 作用于系统的响应频率(卓越频率、重心频率、计算频率)随系统拉力增加而增大。

(2) 传感器安装固定位置,最好在测试对象的上下(南北)方向,符合传感器的压电效应原理;为了操作性更强,建议传感器安装在测试对象的下部,激励在对侧的上部。

(3) 测试对象最好选择在安装有夹片的锚具上,不仅利于测试数据的稳定,还有利于传感器的安装和激励装置的发振。

(4) 锚索露出长度对系统响应的影响仅仅在低拉力范围内,伴随拉力(大于 20 KN)的增加,这种影响减弱。

(5) 打击力度对系统响应的影响也主要存在于低拉力范围内,力度越大越容易激励高频信号,计算频率偏高。但是伴随拉力的增加,这种影响减弱。值得说明的是系统的响应需要有一定能量的行为来激励,只有充分的激励,系统的响应才是不变的、稳定的。因此,要求有一定冲击力度的打击能量来激励。

基于以上结论,综合各因素的影响,按照表 1 最优方式进行试验,其结果如图 6、图 7 所示,说明计算频率与拉力有很好的相关性。

表 1 最优测试组合方式提案

项 目	方 法
测试对象	对象 A(安装有夹片的锚具)
传感器	磁铁固定,固定方向(测试对象的下部)
激励力度	需要一定的打击力度,在测试对象的上部激励
锚索露出长度	在低拉力区(20KN 以下):需要关注露出长度的影响;在高拉力区(超过 20KN):露出长度可以忽视

参 考 文 献:

[1] 建设省土木研究所砂防部地すべり研究室:湛水地すべり地におけるアンカー工の設計に関する調査,土木研究所資料第 3244 号,1995.3.

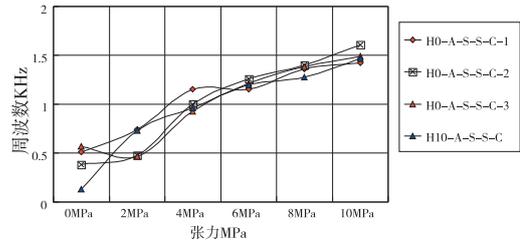


图 6 最优测试方式,测试结果的分析图(计算频率)

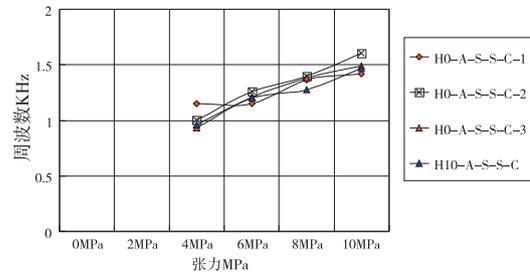


图 7 最优测试方式,测试结果的分析图(拉力大于 10KN)

[2] Sten G A Bergmann. Nondestructive field test of cement-grouted bolts with the boltometer[A]. In: Proc. of 5th Int. Congr. Rock Mech[C]. Melbourne: A. A. Balkema, 1983, 10-15.

[3] Stephen C Tadolini. Evaluation of ultrasonic measurement systems for bolt load determinations[R]. [s. l.]: Int. BU of Mines DGH PA29264, 1990, 1-9.

[4] 赵光宙,舒勤. 信号分析与处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.

[5] 田北平,吴佳晔,季文洪,等. 不同预应力下锚头振动特性的测试分析[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2010, 23(1): 4-6.

## Research on the Influence Factors and the Optimal Test Combination of the Non-destructive Testing Methods of Prestressed Bolt Tension

TIAN Bei-ping<sup>1</sup>, WU Jia-ye<sup>1</sup>, LIU Wen-fang<sup>1</sup>, JI Wen-hong<sup>2</sup>, SHEN Zhuo-yang<sup>3</sup>

(1. School of Architecture Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China;

2. Shanghai Research Institute of Building Sciences Co. Ltd., Shanghai 200032, China;

3. Sichuan Central Inspection Technology Co, Ltd., Chengdu 610000, China)

**Abstract:** The article based on the relationship between bolt tension and calculating frequency through the numerical simulation and experimental approach and non-destructive testing method which can calculate bolt tension according to calculating frequency. This article research the factors of testing pre-stressed bolt tension by experiment and propose the optimal solution to improve the accuracy.

**Key words:** pre-stressed bolt; strain; non-destructive testing