

# 基于光纤光栅传感技术的测力球型支座的性能研究

熊高波 仇继好 韦瑜

(柳州东方工程橡胶制品有限公司 柳州 545006)

**摘要:**为获取球型支座的受力状况数据,便于监测和评估桥梁结构的运营状态,研究一种新型测力球型支座,采用光纤光栅传感技术检测支座的竖向承载力,通过测力试验证实,该新型测力球型支座能够方便真实地收集工程结构的实际受力情况,可为评估桥梁结构健康状况提供有效的科学依据。

**关键词:**球型支座 测力 光纤光栅

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2017.04.008

## 前言

随着桥梁事业的快速发展,为保证桥梁安全运行、避免事故发生,对桥梁结构进行健康监测是一项必不可少的工作。球型支座作为连接桥梁上部结构与下部结构的“关节”部件,是桥梁结构的重要组成部分,其性能优劣将直接影响整座桥梁甚至整条线路的运营状态及使用寿命。但是传统的球型支座没有测力功能,在使用过程中无法检测支座的受力状况、读取支座的竖向承载力,给支座的维护及结构监测带来很大的不便。当球型支座在运营过程中出现异常时,不能直观检测到支座的受力状况,从而无法判断桥梁上部结构的运营状态,不利于及时监测和评估桥梁结构的健康状况。目前市场上绝大部分球型支座为如下类型:

(1) 球型支座:没有有效的测力结构,不能直接检测到支座的竖向受力信息;

(2) 在球型支座的球冠钢衬板或凹球面板上布置应变测力系统:通过信号线连接至支座外部,从而读取垂直载荷应变,这种方法能有效的检测支座的竖向承载力,但结构加工复杂,可靠性不高,且维护和更换困难。

针对上述球型支座受力监测的不足,在球型支座上添加光纤光栅测力模块,开发出一种新型测力球型支座,新型测力球型支座由球型支座本体、光纤光栅测力模块以及外部的采集测试系统

组成,利用光纤光栅传感技术检测、读取支座的竖向承载力,可及时检测工程结构的实际受力情况,能够有效评估桥梁结构健康状况。本文主要针对该测力支座的主要结构及测力性能进行分析、总结,为测力球型支座的设计和制作提供参考。

## 1 光纤光栅测力模块

### 1.1 光纤光栅简介

1993年hill等人提出了位相掩模技术,它主要是利用紫外光透过相位掩模板后的 $\pm 1$ 级衍射光形成的干涉光对光纤曝光,使纤芯折射率产生周期性变化写入光栅,此技术使光纤光栅的制作更加简单、灵活,便于批量生产。1993年Alkins等人采用了低温高压氢扩散工艺提高光纤的光敏特性。这一技术使大批量、高质量光纤光栅的制作成为现实。

光纤光栅是利用光纤材料的光敏性,通过紫外光曝光的方法将入射光相干场图样写入纤芯,在纤芯内产生沿纤芯轴向的折射率周期性变化,从而形成永久性空间的相位光栅,其作用实质上是在纤芯内形成一个窄带的(透射或反射)滤波器或反射镜。在光纤光栅作为一种新型光器件,其技术发展迅速,具有很大的特点和优势,已经在越来越多的领域中得到应用,特别是光纤传感和光纤通信领域其技术应用已经相当成熟。

### 1.2 光纤光栅特点

光纤光栅传感技术是一种先进的技术,在很多领域中得到应用,具有很大的优势。光纤光栅采用光纤金属化激光焊接工艺和温度自补偿封装结构,光纤光栅测力模块内部压力敏感元件和传输线路均为单模光纤,不带电,不受电磁干扰影响,可以长期稳定工作于强电磁干扰及易燃易爆的危险环境。其核心测压结构工作原理采用高弹性金属膜片的方式,当压力作用于膜片时,产生微位移,由设置在膜片上的光纤光栅感受微小的变化引起反射波长的变化,通过分析波长变化数值达到测量的目的。光纤光栅测力模块较传统的应变测力模块有明显的优点。

(1) 抗干扰能力强。一方面普通电磁辐射的频率比光波低很多,在光纤中传输的光信号不受电磁干扰的影响,另一方面普通光纤本身不受光波频率的影响,光纤光栅传感系统从本质上排除了各种光强起伏引起的干扰,例如,光源强度的起伏、光纤微弯效应引起的随机起伏、耦合损耗等都不可能影响传感信号的波长特性,因而基于光纤光栅的传感系统具有很高的可靠和稳定性。

(2) 可靠性高。因为光纤光栅测力模块的传感信号为波长调制,输出的是波长,光纤光栅测力模块内没有活动部件,也没有大规模集成电路和功率器件,光纤本身是由电介质构成的,无需电源驱动,只有一根经过特殊处理的普通光纤,结构非常简单,因此固有可靠性非常高。

(3) 传感结构简单、尺寸小(其外径和光纤本身等同),适合于各种应用场合,尤其是智能材料和结构,对结构的稳定性、安全性进行连续的实时监测。

(4) 光纤光栅是自参考特性使得在对光纤光栅进行标定后即可进行绝对测量,测量精度高,测量结果具有良好的重复性。

## 2 测力球型支座的主要结构

测力球型支座主要由支座的顶板、球冠钢衬板、凹球面板、底板、光纤光栅测力模块和解调仪组成,其结构如图1所示。

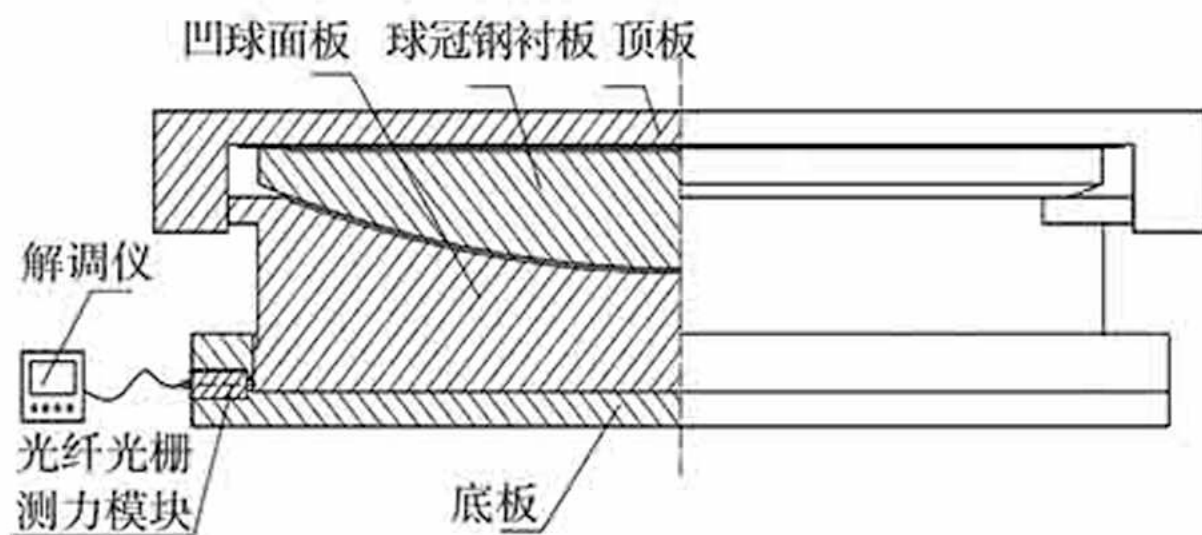


图1 测力球型支座的主要组成

## 3 工作原理

在支座上布置光纤光栅测力模块,光纤光栅测力模块与支座外围的解调仪通过光缆连接。当支座受到竖向承载力时,光纤光栅测力模块能准确感知压应力并传输到解调仪上显示出来。通过标定,解调仪就能准确地检测到球型支座所受的竖承载力。

## 4 测力试验及分析

### 4.1 试验条件<sup>[2]</sup>

温度: 20° C

湿度: 65%

大气压力: 95kPa

### 4.2 试件规格

本次试验用测力球型支座由柳州东方工程橡胶制品有限公司制作完成,共1个规格,代号为CQZ8SX。

### 4.3 测力试验

规格为CQZ8SX的测力球型支座,设计的竖向承载力为8000kN,在支座上安装1个光纤光栅测力模块。为了验证支座的测力效果,参照GB/T 17955-2009《桥梁球型支座》“附录A: 竖向承载力试验方法”进行试验,即支座试验载荷为设计承载力的1.5倍即12000kN。这里把12000kN分成10级加载,每级荷载为1200kN。做测力实验时先以连续均匀的速度预加载荷至设计8000kN,反复3次;正式加载时,以400kN作为初始载荷,然后逐级加载,每级荷载稳压2min后记录光纤光栅解调仪上的波长值,直至试验载荷12000kN,稳压3min后卸载,加载过程连续进行3次<sup>[1,2]</sup>,测试结果见表1,测试的曲线图见图2。

(下转第38页)

#### 4 结语

(1) 本文对典型的摩擦摆减隔震支座的结构和工作原理进行阐述和分析, 常规摩擦摆减隔震支座具有良好的减隔震性能, 结构简单, 能有效的延长结构的振动周期, 减小结构的地震反应, 保护结构安全。

(2) 在常规摩擦摆减隔震支座的基础上进行研发自适应多功能摩擦摆支座, 并对支座的结构、理论进行分析研究, 对试制的MSFP-3000进行了性能试验, 试验结果显示, 自适应多功能摩擦摆支座的屈服力、屈后刚度、阻尼比呈现出多级稳定的变化, 具有良好的自适应性, 设计值与试验值的偏差基本在允许的范围内。试验过程中观察到的各滑动面运行的先后顺序与分析结果一致。自适应多功能摩擦摆支座的滞回曲线比较饱

满, 形状比较规则, 说明具有良好的耗能能力。

(3) 自适应多功能摩擦摆支座的自适应特点, 能够给结构提供一个可根据多级性能目标和多级地震动的减隔震系统。经合理的设计, 可与“三水准”设计地震水平相适应, 符合我国目前“三水准”的抗震要求。

(4) 为使自适应多功能摩擦摆支座能应用到减隔震工程实践中, 笔者认为还应对支座的耐久性、支座的自复位能力、结合结构的动力时程分析等方面进行深入的研究。

#### 参考文献

- [1] 陈列, 胡京. 桥梁减隔震技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.11.
- [2] 桥梁球型支座[S]. JT/T 17955-2009.
- [3] 彭天波, 李建中, 范立础. 双曲面球型减隔震支座的开发及应用[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007. 2.
- [4] 陈永祁, 杨风利, 刘林. 摩擦摆隔震桥梁的设计及应用[M]. 工业建筑出版社, 2009年第39卷增刊.

(上接第34页)

表1 测试结果数据表

标准力值(kN)	第一次波长值(nm)	第二次波长值(nm)	第三次波长值(nm)	平均波长值(nm)	实际力值(kN)	误差%FS
400	1552.390	1552.391	1552.392	1552.391	410	0.008
1200	1552.33	1552.33	1552.331	1552.33	1227	0.2
2400	1552.237	1552.238	1552.237	1552.237	2479	0.7
3600	1552.153	1552.153	1552.153	1552.153	3615	0.1
4800	1552.059	1552.058	1552.058	1552.058	4890	0.8
6000	1551.974	1551.974	1551.973	1551.974	6030	0.3
7200	1551.88	1551.879	1551.878	1551.879	7305	0.9
8400	1551.83	1551.831	1551.832	1551.831	7952	-0.4
9600	1551.704	1551.703	1551.705	1551.704	9662	0.5
10800	1551.631	1551.631	1551.631	1551.631	10645	-1.3
12000	1551.532	1551.531	1551.531	1551.531	11988	-0.1

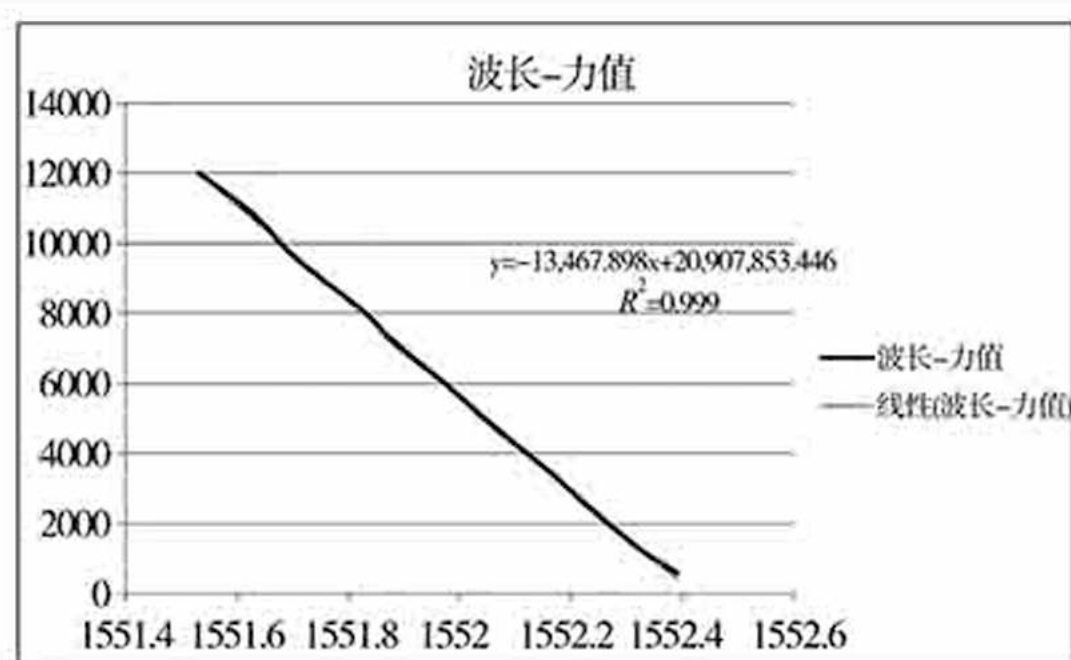


图2 竖向承载力-波长值曲线图

#### 4.4 分析及结论

(1) 在球型支座上布置光纤光栅测力模块, 用来测试支座的竖向承载力是可行的。

(2) 测力球型支座CQZ8SX竖向承载力的力值与光纤光栅波长值之间的线性度和重复性很好, 综合误差仅为1.3%FS, 可靠性较高。

(3) 新型的测力球型支座能有效的检测、

读取支座的竖向承载力, 为结构的健康监测提供科学数据, 拓展了传统人工检测内容, 实现预警、预测维修, 提高管养水平。

#### 5 结语

本文在球型支座上增加了光纤光栅测力模块制成测力球型支座, 通过标准压力机对支座施加竖向承载力, 读取对应的光纤光栅波长值, 得出力值与波长值之间线性函数关系, 实现对球型支座竖向承载力的检测功能。该测力球型支座采用光纤光栅压力传感技术得到支座竖向承载力的测试数据, 能够为桥梁工程结构的健康运营、安全评估和科学分析提供有效的科学依据, 具有很好的市场应用前景。

#### 参考文献

- [1] 压力传感器(静态)检定规程[S]. JJG860-94.
- [2] 压力传感器性能试验方法[S]. GB/T15478-1995.