

# 用振动试验方法测定羽毛球拍杆的刚度

王 猛\* 郑梅生\*,<sup>1)</sup> 田联军\* 林 青†

\*(南京林业大学机械电子工程学院, 南京 210037)

†(南京林业大学体育部, 南京 210037)

**摘要** 将羽毛球拍杆简化为单自由度弹簧质量系统, 用振动试验方法测出系统的固有频率, 用于计算羽毛球拍杆的抗弯刚度, 并以此作为评定羽毛球拍杆软硬度的指标. 振动试验方法方便、准确, 可用于代替现行弹性测试法, 作为测定羽毛球拍杆软硬度的标准.

**关键词** 羽毛球拍杆, 软硬度, 刚度, 振动试验

中图分类号: O321 文献标识码: A DOI: 10.6052/1000-0879-12-331

## A VIBRATION TESTING METHOD FOR DETERMINING THE STIFFNESS OF BADMINTON ROD

WANG Meng\* ZHENG Meisheng\*,<sup>1)</sup> TIAN Lianjun\* LIN Qing†

\*(College of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

†(Sports Department, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract** In this paper, a vibration testing method to determine the stiffness of the badminton rod is presented. The badminton rod is simplified as a mass-spring system of a single degree of freedom, the natural frequency of which is measured by the vibration testing method. Then the stiffness parameter of the rod can be calculated by the frequency formula. The suggested vibration testing method is more convenient and accurate than the current flexible test method, and can be used as a standard method of judging the soft and hard degree of a badminton rod.

**Key words** badminton rod, soft and hard degree, stiffness, vibration testing

### 前 言

羽毛球运动是一项全身运动的体育项目, 运动量可以根据个人的年龄、性别、体质、运动水平和场地环境的特点而定. 长期进行羽毛球锻炼, 可以使参与者心肺功能增强, 神经反应加快, 肌肉协调性提高, 力量和速度素质进一步提升<sup>[1]</sup>. 目前, 在国内和国际比赛中使用的羽毛球拍品牌主要有 YONEX, VICTOR, RSL, 李宁等. 羽毛球拍的性能与其结构尺寸、材料、工艺等因素密切相关. 在羽毛球拍的性能指标中, 软硬度是评价球拍性能的一项重要指标. 生产实际中运用力学理论与现代测试手段对球拍杆进行科学的设计、测试尤为重要.

目前, 羽毛球拍杆的软硬度测试方法为弹性测试法 (QB/T2770-2006)<sup>[2]</sup>, 其测试方法为: 取 230 mm 间距, 于中点处施加 300 N 力, 测量中点位移, 根据位移大小确定拍杆的软硬度. 此方案的缺点是产生的位移距离难以测准, 若以抗弯刚度  $EI$  来标定羽毛球拍杆的软硬度, 力学概念明确且能综合考虑杆的结构尺寸、材料性能等. 本文将羽毛球拍杆简化成一个单自由度弹簧质量系统, 通过实测系统的固有频率, 运用振动力学和材料力学理论推导出羽毛球拍杆的抗弯刚度公式, 计算出抗弯刚度值. 用此方法代替弹性测试法, 更为方便、准确, 可作为测定羽毛球拍杆软硬度的标准.

本文试验选用 3 支羽毛球拍, 分别为 VIC-

2012-08-06 收到第 1 稿, 2012-10-10 收到修改稿.

1) 郑梅生, 1962 年生, 男, 教授, 主要研究方向为三螺杆泵的型线和刀具设计及螺杆泵综合性能试验研究, 高速泵临界转速计算、测试及转子动力学研究. E-mail: zmslp@njfu.com.cn

TOR36, 亮剑 09, 尖峰 MS80, 其简化模型如图 1 所示.

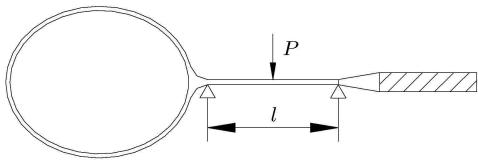


图 1 羽毛球拍软硬度测试示意图

## 1 力学模型

羽毛球拍杆在力的作用下会发生弹性变形. 为了获得羽毛球拍杆的刚性系数  $k$ , 现将其简化成质量为  $m$  的单自由度弹簧质量系统<sup>[3]</sup>, 其简化模型如图 2 所示. 由文献<sup>[4]</sup>知, 单自由度弹簧质量系统的振动频率为

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

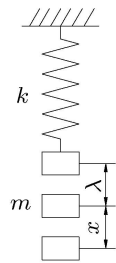


图 2 力学模型

则拍杆的刚度系数为

$$k = 4\pi^2 f^2 m \quad (2)$$

由文献<sup>[5]</sup>知, 等截面简支梁中点作用载荷  $P = mg$ , 梁中点的静挠度为

$$\Delta = \frac{mgl^3}{48EI} \quad (3)$$

则羽毛球拍杆的刚度系数为

$$k = \frac{P}{\Delta} = \frac{48EI}{l^3} \quad (4)$$

令式(2)与式(4)相等, 得羽毛球拍杆的抗弯刚度公式

$$EI = \frac{mf^2\pi^2 l^3}{12} \quad (5)$$

因此只要测出弹簧质量系统的固有频率, 就可以计算出羽毛球拍杆的抗弯刚度  $EI$ .

## 2 系统频率测定

弹簧质量系统的固有频率用振动试验法测量<sup>[6]</sup>.

测量仪器设备为: 随机信号及系统分析软件 SSA V7.0, 信号调理仪 AT04R, 数据采集器 NI9215A, 加速度传感器 CA-YD-115, 力锤 5113 型力传感器, 试验台架, VICTOR36, 亮剑 09, 尖峰 MS80 羽毛球拍, 质量  $m = 5 \text{ kg}$  配重, 米尺.

试验方法: 将配重挂在拍杆跨度  $l = 200 \text{ mm}$  的中点, 用力击发配重, 通过加速度传感器、数据采集器、信号及系统分析软件等, 可方便获得时域和频域信号. 测得 VICTOR36, 亮剑 09, 尖峰 MS80 羽毛球拍杆的固有频率为  $f_1 = 10.63 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 8.75 \text{ Hz}$ ,  $f_3 = 9.06 \text{ Hz}$ . 测试系统及频域信号如图 3 ~ 图 5 所示.



图 3 测试系统



图 4 测试系统

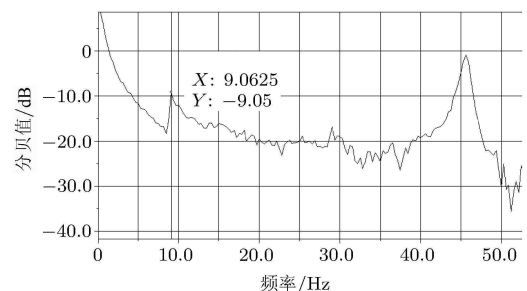


图 5 尖峰 MS80 杆功率谱图

根据测出的固有频率, 由式 (5) 求得 VICTOR36, 亮剑 09, 尖峰 MS80 拍杆的抗弯刚度值, 如表 1 所示.

表 1 三只球拍抗弯刚度  $EI$  的测试结果

	VICTOR36	亮剑 09	尖峰 MS80
$EI/(N \cdot m^2)$	3.70	2.52	2.70

### 3 羽毛球拍杆软硬度标定

由现行《中华人民共和国轻工行业标准——羽毛球拍 (QB/T2770-2006)》可知羽毛球拍杆的软硬度标准: 拍杆中心挠度变形 115~120 mm 为硬; 120~125 mm 为稍硬; 125~130 mm 为适中; 130~135 mm 为稍软; 135~140 mm 为软. 此测试方案涉及羽毛球拍杆的结构尺寸、材料等因素; 而且试验要求跨度  $l = 230$  mm, 载荷  $P = 300$  N, 导致绝大部分拍杆产生大挠度变形, 且试验载荷已接近破坏时的临界载荷, 试验难度很大. 由式 (3)  $\Delta \propto 1/EI$  可知, 抗弯刚度综合考虑杆的结构尺寸、材料性能等因素, 而且试验过程中拍杆的变形为小挠度变形. 用振动试验法测量羽球杆软硬度方便、准确, 可用于代替弹性测试法, 作为测定羽毛球拍杆软硬度的标准.

### 4 结论

本文以振动试验法和抗弯刚度测试来标定羽毛球拍杆的软硬度, 不涉及拍杆的截面形状和尺寸, 可回避杆内径尺寸的测量难题, 并解决弹性测试法中拍杆变形难以测准, 以及拍杆的大挠度变形等问题. 此方案科学、准确、简单. 建议今后作为测试和标定羽毛球拍杆软硬度的行业标准.

试验所需羽毛球拍由施建平 (原江苏羽毛球队退役运动员) 提供, 特表感谢.

### 参考文献

- 1 林青, 金强. 羽毛球拍质量及性能评价指标. 中国体育运动材料与装备, 2010, 24(1): 28-29 (Lin Qing, Jin Qiang. The research about the evaluating indicator system of badminton rod quality & performance. *China Sports Material & Equipments*, 2010, 24(1): 28-29 (in Chinese))
- 2 中华人民共和国国家发展和改革委员会. QB/T 2770-2006, 中华人民共和国轻工行业标准——羽毛球拍, 2006
- 3 Rui LM, Zheng MS. The determination of dynamic stiffness of dish-shaped metal corrugated pipe by use of random vibration method. *Advanced Materials Research*, 2012, 468-478: 1393-1397
- 4 扈英超. 线性振动. 北京: 高等教育出版社, 1983
- 5 刘鸿文. 材料力学. 北京: 高等教育出版社, 2004
- 6 刘习军, 贾启芬. 工程振动与测试技术. 天津: 天津大学出版社, 2005

(责任编辑: 胡 漫)



读者·作者·编者

《力学与实践》编辑部:

日前我拜读了贵刊 2012 年第 34 卷第 3 期的文章. 发现其中一篇“全长粘结锚杆在岩质边坡中的受力形式分析”文章存在严重的错误, 特在下面指出, 请返给作者做出改正或解释. 问题是在第 19 页公式 (4) 以下的分析是错误的. 公式 (4) 的方括号中有 3 项, 其中第一项的分母带有绝对值且在  $x = l$  处具有奇异性, 这 3 项是不可能通过简单的坐标变化简化为 (5) 式的. 请作者做出详细推导过程. 其次方程 (6) 是一个定积分, 定积分是不能对变量  $x$  求导的. 除非公式 (6) 改为不定积分, 而这样做又必须证明方程的正确性. 事实上方程 (6) 是错误的, 因为等式右边括号内的第一项  $Q$  无穷积分是不存在的, 因为被积函数是常数. 作者用自己得到的解  $\tau$  代到方程 (6) 中去检验一下就会发现问题了. 请作者做出进一步解释和说明. 另外公式 (2) 的表述也有问题, 方括号内第一项和第二项可以合并, 为什么要分成两项? 下面一行上又提到  $R_1$  在公式 (2) 中根本没有出现, 是否此处  $R_1$  应改为  $R$ .

此致敬礼!

黄永念

2012 年 7 月 2 日