

基于智能网球弹性检测设备的研究

胡 敏

河北省产品质量监督检验研究院 河北石家庄 050227

摘 要: 网球的弹性是评定其质量的关键指标之一。本文针对现有球类弹性测试设备运球时间长、噪音大、人工测试效率低、测试数据无法真正实现量值溯源等问题,研制了一台高准确度、智能化的检测设备。采用电磁吸机械式落球装置和独特的自动上球和收球装置的机械结构设计,提高测试效率;采用高精度漫反射光电传感器,降低测试误差,同时留有计量接口;优化数据处理算法实现快速、准确的结果计算和分析。为网球的品质质量控制提供了技术支持。

关键词: 网球弹性 高准确度 智能化测试设备

一、研究背景

网球作为一项全球性的体育运动,对于球的弹性有着严格的要求。合适的弹性能够确保比赛的公平性、竞技性和观赏性。如果网球弹性过大或过小,都会影响球的飞行速度、轨迹和反弹高度,从而改变比赛的节奏和难度。而网球弹性测试仪的出现为网球运动提供了科学准确的测量工具。它能够检测网球是否符合相关的标准和规定,保证比赛中使用的网球具有一致性且恰当的弹性。

对于网球制造商而言,弹性测试仪有助于在生产过程中把控产品质量,性能符合比赛用球标准,确保每一批次网球的弹性稳定,提高产品的可靠性。在网球运动员的训练中,弹性测试仪也能发挥一定作用。运动员可以通过了解不同网球的弹性特点,选择更适合自己的技术风格和训练需求的球,从而提高训练效果。在网球运动的科研领域,弹性测试仪收集的数据能够为研究人员深入分析网球的运动规律、力学原理等提供重要依据,有助于推动网球运动技术和装备的发展创新。

当前,国内对于球类反弹高度的测试方法主要采用光电矩阵式,网球弹性是一项动态指标,因其运动时间短,原有设备设计没有预留计量接口,校准机构无法采集到动态的测试数据,只校准了落球高度的固定参数,并不能支持网球反弹高度测试数据的有效性。同时对现有网球弹性测试技术的市场调研,大部分采用气动式机械式落球装置,存在如运球时间长、噪音大及人工测试效率低等问题。此外,一些非标方法采用高速相机采集动态画面,需要人工不断调整视野、人工测试效率低、测试数据误差大以及网球测试后乱跑的现象。

网球的弹性是衡量其质量的关键指标之一,因网球直径存在差异,如何满足在“特定高度”落球和如何保证“垂直”的回弹高度,是网球弹性测试的关键。作为检测机构提供准确、有效的测试结果,是我们质检人义不容辞的责任。因此,研制一台高准确性、高效率、智能化的网球弹性测试设备具有重要的现实意义。

二、理论依据

依据 GB/T 22754-2008《网球》按适用范围分为比赛球和练习球;按性能要求分为快速球、中速球、慢速球、高原球,和 1、2、3 号软性球;按相对气压分为有压球和无压球。本次研究方法是按照该标准 5.6“弹性”项目测试要求:将网球从 2540mm 高度自由落体,测定其落在坚实平整的水平面上垂直的回弹高度(平面至网球底部的距离)。每个球应测量四次有效数据,计算平均值,方为弹性的判定值。再根据该标准表 1“比赛球性能”和表 2“练习球性能”对“弹性”值的不同进行判定。

参考 GB/T 14625.2-2008《篮球、足球、排球、手球试验方法第 2 部分:反弹高度测定方法》对落球高度和反弹高度要求,误差±2mm;对反弹板,酚醛树脂板的要求,硬度为邵氏硬度 HS80-HS90。

应用重力加速度物理定律。根据①速度公式: $V_2 = V_1 - gt$

②速度位移公式: $V_2^2 - V_1^2 = -2g(h_2 - h_1)$ ③位移公式: $h_2 - h_1 = V_1 t - 1/2gt^2$

推导: $h = h_2 + 1/8g(2 \Delta h/t - gt)^2$ $h(\text{mm}) = h(\text{m}) * 1000$

注: $h_1 = 0.491\text{m}$,表示中间第一排光电高度; $h_2 = 0.691\text{m}$,表示中间第二排光电高度; V_1 是网球在 h_1 处的速度; V_2 是

网球在 h_2 处的速度; t 是网球从 h_1 到 h_2 的时间, 单位: 秒;
 g 是重力加速度约 9.8m/s^2 ; Δh 两排光电的高度差; h 是计算的反弹高度, 单位: 米。

三、设备设计

3.1、设备原理

关键控制 1: 利用高精度的位移传感器定位下落高度 2540mm, 同时与网球底部的对射光平行, 才能确保网球底部至反弹板的距离 2540mm 高度。

关键控制 2: 采用“双向双磁吸夹板”确保网球垂直下落, 反弹板水平, 才能确保网球垂直回弹。

关键控制 3: 网球落地遮挡住光电传感器电信号采集到第一次反弹时间, MCU 程序通过时间重力加速度数值计算网球弹性实际高度, 系统计算公式: $h = h_2 + 1/8g(2\Delta h/t - gt)^2$
 $h(\text{mm}) = h(\text{m}) * 1000$ 。

3.2、设备结构解析

1. 设备外观结构及操作流程

1.1 设备外观结构 (见图 1、2 设备)

包括: 1. 入球口、2. 出球口、3. 打印机、4. 私服电机上升模组、5. 电磁铁夹球、6. 高度对射光电、7. 漫反射反弹高度数据采集光电、8. 收球装置、9. 上位机软件反弹数值。



图 1. 设备结构图

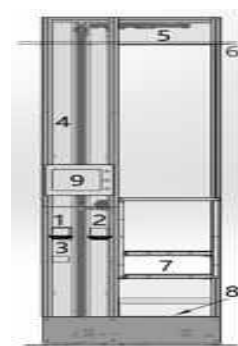


图 2. 设备实物图

1.2 设备结构设计

1.2.1 机械结构

拥有稳固的支架和平台, 保障测试过程中设备的稳定性; 配备精确的高度调节装置, 准确设定网球下落的初始高度 (见图 1 编号 6); 采用“双向双磁吸夹板” (见图 1 编号 5) 确保网球垂直下落, 精准投放, 同时保持跌落面水平, 降低系统误差; 配备自动上球 (见图 1 编号 4) 和收球装置 (见图 1 编号 8), 减少人工干预, 提高测试效率。

1.2.2 传感器技术

运用高精度的位移传感器定位网球下落的初始高度和漫反射光电传感器毫秒级时间采集 (见图 1 编号 7), 利用重力加速度的公式和网球的下落高度, 精确计算出网球的回弹高度, 时间误差必须保证在 $\leq 6\text{ms}$, 才能保证反弹高度误差在 $\pm 2\text{mm}$ 。经过测试网球反弹所需响应时间范围是 (40-60) ms, 采用漫反射光电传感器, 响应时间 2ms, 可以满足网球反弹的响应时间。

1.2.3 数据采集与处理

配备高性能的数据采集卡, 迅速、准确获取传感器信号; 采用专用软件处理和分析采集的数据, 计算网球弹性数值并生成测试报告 (见图 1 编号 9)。

1.2.4 控制系统

采用单片机、PLC 或计算机控制系统, 实现测试过程的自动化控制; 具备人机交互界面, 方便操作人员设置参数和查看结果 (见图 1 编号 9)。

1.2.5 可操作性

操作流程简洁明了, 一键式完成测试 (见图 1 编号 9), 降低对操作人员专业技能的要求。

1.2.6 实现量值溯源

预留U口和计量接口(见图3)与设备电源同侧,计量时可同步采集第一次反弹时间信号,确保动态指标测试结果的准确可靠。



图 3. U 口及计量接口图

测试时间:2024.06.17 22:05:46
第一次测试结果(mm): 1419.38
第二次测试结果(mm): 1452.92
第三次测试结果(mm): 1419.38
第四次测试结果(mm): 1419.38
第五次测试结果(mm):
第六次测试结果(mm):
第七次测试结果(mm):
第八次测试结果(mm):
最终的测试结果(mm): 1427.765 合格

图 4. 结果测试数据图

2. 设备操作流程

首先把电源插头插好,接通漏电保护器,打开设备总开关,按动电脑开关,开机后打开检测软件,进行系统自检,自检结束软件会有提示,自检完成。

待自检结束后,再把待测网球放入测球口,点击开始检测,设备开始进行自动测量:

上球、落球、收球,每个网球循环测试4次,软件自动评判4次有效值为本次测试网球合格,4次内达不到有效值自动循环测试至8次,待满足4次有效值,测试完毕。将网球自动推出至出球口,上位机显示4次有效数据的平均值(见图4),如果不满足4次有效值要求则显示不合格,点击打印按钮,打印本次测试结果。测试结果会自动保存到固定文件夹下,存储期限30天,30天内的测试结果可随时查看打印,还可以U盘拷贝。

3. 问题解决

研发过程中始终围绕降噪声、确保测试数据准确、可靠等关键环节进行不断改进和创新,以下是改进的六个主要问题:

问题一:上升装置由链条改为皮带传动。原因是链条

式使用久了需上油保养,且噪音大、高度误差大。解决方案为更换皮带传动,其无需后期保养,高度误差小且静音。

问题二:电机由步进电机改为伺服电机。原因是步进电机精度低,高度2540mm较高,步进电机扭矩小,扭矩大的电机尺寸较大。解决方案为更换伺服电机,其精度高,误差范围达到(0.01-0.001)mm,有效保证每次测量高度,扭矩98N足以满足上升时配件的重量要求。

问题三:确保网球在2540mm下落。解决方案是增加顶部2540mm高度的两个对射光电,实现自检功能。当网球升到2540mm高度时,光电1可检测到网球已达顶部,光电2保持在稳定高度2540mm,可观察到网球底部与光电2对射光平行。若以上2组对射光电任意其中一个不满足要求,设备将停止测试,从而确保每次测试条件满足标准要求,测试数据准确可靠。

问题四:底部4个光电改为中间两组20个光电。原因是底部光电需检测两次球反弹计算反弹高度,由于网球生产本身存在胶条和接缝,当有胶条一面落地会导致第二次网球反弹偏离,无法有效采集到实际反弹高度。解决方案为更换中间两组光电,仅采集网球反弹一次,通过第一组和第二组的时间计算网球的实际反弹高度,每组10个光电检测范围,确保每次检测数据更加精准。

问题五:收球装置由风扇吹改为电机带动拨杆。原因是风扇吹动噪音较大。解决方案为更换电机带动拨杆把球收进装置内,噪音小,并具有测试地板清扫功能。

问题六:不透明外壳改成透明外壳。原因是具有观赏性。解决方案为更换透明外壳,测试后可实时观看内部运行状态,更具观赏性。

4. 技术指标及功能实现

(1)落球高度:2540mm±2mm;

(2)回弹高度:平面至网球底部距离,测试范围(900-1500)mm±2mm,最小示值0.01mm;

通过计量接口实现,校准标准器可采集到第一次网球反弹时间,实现了动态参数的校准。利用重力加速度的公式和网球的下落高度,精确计算出网球的回弹高度,时间误差必须保证在≤0.06ms,才能保证反弹高度误差在±2mm。所以传统设备是无法保证测试±2mm的误差。

(3)反弹板,酚醛树脂板,硬度为邵氏硬度为82.5HD;

- (4) 噪声：41-75dB；
- (5) 测试工作时间：四次循环测试需用时 5min；
- (6) 测试完成后网球处理方式：收球装置及上球装置；
- (7) 测试结果存储及打印功能。

四、创新点

本设备的研制实现了对网球弹性的准确测量，对网球的质量评定提供科学有效的技术支持，具有以下创新点：

(1) 采用红外对射光电传感器（检测范围宽度 1mm - 10mm），准确定位初始高度。

(2) 采用电磁吸机械式落球装置：“双向双磁吸夹板”设计，通过电磁吸装置控制机械夹球、确保垂直落球，无需气泵。其优势在于节能（装置功率 3W）、节省空间（装置面积 0.03 m²）、无噪音、无需等待首次气泵加压且无需后期保养。

(3) 采用漫反射光电传感器：通过扩大传感器释放检测范围（检测范围宽度可达 1mm - 150mm），设计在网球回弹面边缘，能精准检测网球触地，有效采集每次检测数据。

(4) 自动化程度高：网球放入设备后可一键自动循环测试。设备带有自动收球和自动上球测试装置，网球能自动循环测试 4 次，4 次的测试结果和平均值均显示在设备屏幕上，还可根据不同种类网球的技术指标做出“通过”和“不通过”判定。

五、结语

本设备的研制达到了网球弹性的国家标准要求，通过大量实验，所得数据准确、可靠，有效地解决了现有设备存在的测试误差大，不能有效校准等问题，显著提高了测试效率和准确性，实现了一键式智能化操作的快速、精准检测。此次研发对 MCU 技术进行了有益的尝试，为我国发展网球运动的生产企业的质量控制和网球运动员了解网球性能提供了技术支持。

参考文献：

- [1] GB/T 22754-2008《网球》
- [2]《体育用品(网球)GB/T22754-2008 网球可靠性、质量、弹性、球面和内包装项目测量检测》，中国标准出版社，2009
- [3] 郑勇, 赵婷婷, 胡长斌, 等, 控制理论虚拟仿真实验教学软件开发门 1. 电气电子教学学报, 2023, 45(04)
- [4] 梁卫成. 智能技术在电气工程自动化控制中的应用 [1. 模具制截图 (Alt + A) 造, 2024, 24(05)

作者简介：

胡敏，1975 年 3 月，女，汉，河北省博野县，本科，高级工程师，电子电器产品检测、质量管理

基金项目：

本文受河北省市场监督管理局科研项目智能网球测试仪的研制（项目编号：2024ZC29）资助