

高效足蓝排球圆度测定装置的研制研究

张立华 张鑫明 袁芳圆

天津市产品质量监督检测技术研究院 天津 300384

摘要:为解决传统足蓝排球圆度测定精度低、效率差、操作繁琐等问题,依据GB/T14625.1-2008标准,研制一款高效、高精度的足蓝排球圆度测定装置。该装置采用半径测量法,集成高精度光栅传感器、自动对中机构与多维度旋转系统,可实现球类三维空间立体检测。通过优化传感器布局与数据处理算法,装置示值精度达0.0001mm,力值精度0.1N,量程覆盖160mm-300mm,满足不同球类测量需求。试验验证表明,装置对篮球、排球、足球的测量效率较传统方法提升60%以上,测量误差控制在0.02mm内,符合标准要求。该装置的研制为足蓝排球生产质量管控提供了可靠技术支持,具有重要工程应用价值。

关键词: 足蓝排球; 圆度测定装置; 半径测量法; 质量控制

引言:足蓝排球作为全球普及的体育器材,其圆度直接影响运动性能与使用体验,是产品质量检测的核心指标。当前市场采用的传统圆度测定方法多依赖人工操作,存在测量精度低、数据离散性大、检测周期长等弊端,难以适配规模化生产的质量管控需求。依据GB/T14625.1-2008《篮球、足球、排球、手球试验方法 第1部分:圆度测定方法》要求,球类圆度需通过空间多点测量的最大半径差表征,传统装置难以精准完成三维空间多点采样。基于此,本文研制一款集成自动对中、多维度旋转与智能数据处理的高效圆度测定装置,通过技术创新突破传统测量瓶颈,实现足蓝排球圆度的精准、快速测定,助力体育器材行业质量升级。

1 相关理论与标准依据

1.1 圆度测量核心理论

圆度测量的核心是获取被测球体不同截面的半径变化,通过统计分析得到圆度误差。本装置采用半径测量法,其核心原理是通过高精度传感器与球体表面接触,记录旋转过程中传感器的位移变化,进而计算球体各点半径值。当球体绕自身中心旋转时,若存在圆度偏差,传感器与球心的距离会随旋转角度变化,通过光栅传感器捕捉这一位移信号,经数据转换与分析得到球体的平均半径、最大半径差等关键指标,最终以最大半径差作为圆度评价依据。该方法具有测量原理直观、数据精度高、适配性强等优势,可有效满足足蓝排球这类不规则球体的圆度测量需求。

1.2 标准核心要求解析

本装置研制严格遵循GB/T14625.1-2008标准第一部分关于圆度测定的核心要求。标准明确规定,篮球需测量32个空间点、排球与手球需测量40个空间点、足球需

测量30个空间点,测量过程需确保采样点均匀分布于球体三维空间。同时,标准对测量精度、数据记录项目等作出明确要求,需准确记录球体的平均半径、平均圆周长、最大半径差等参数,其中最大半径差的允许误差需控制在0.02mm内。标准要求测量过程中球体夹持力需稳定,避免因夹持力过大导致球体变形,影响测量精度^[1]。本装置的结构设计、参数设定与测量流程均以标准要求为核心依据,确保测量结果的合规性与可靠性。

2 装置总体设计方案

2.1 设计目标

本装置的核心设计目标包括三个维度:一是精度达标,示值精度需达到0.0001mm,探头重复精度0.002mm,空间点测量允差控制在0.02mm内,满足GB/T14625.1-2008标准的高精度要求;二是效率提升,单球测量时间较传统方法缩短50%以上,实现批量检测的高效性;三是适配性广,量程覆盖160mm-300mm,可兼容篮球、足球、排球、手球等不同类型球类的测量需求。同时,需实现测量过程的自动化与智能化,减少人工干预,降低操作难度,提升测量数据的稳定性。

2.2 总体结构设计

装置总体采用模块化设计,主要由机械结构系统、传感器检测系统、控制系统与数据处理系统四部分组成。机械结构系统是装置的核心支撑,包括底座、上下夹板夹持机构、自动对中机构、水平旋转机构与垂直旋转机构;传感器检测系统负责半径数据的采集,核心为高精度光栅传感器;控制系统实现各机构的协同运行,包括电机驱动、力值控制、位置定位等;数据处理系统负责数据的接收、分析、存储与输出。各模块相互协同,实现“球体夹持-自动对中-多维旋转-数据采集”

集-分析输出”的全流程自动化测量。装置整体尺寸为1200mm×800mm×1500mm,采用220V交流电压供电,适配实验室与生产车间等不同使用场景^[2]。

3 关键技术模块设计与优化

3.1 机械结构系统设计

机械结构系统的设计核心是确保球体定位精准、旋转稳定,避免机械误差影响测量精度。夹持机构采用上下夹板设计,夹板表面覆盖弹性橡胶层,既保证夹持稳定性,又可防止球体表面划伤。自动对中机构由伺服电机与力传感器组成,通过电机驱动上下夹板相向运动,当力传感器检测到夹持力达到5N时,电机自动停止运行,此时球体中心面与光栅传感器精准对中,对中精度误差控制在0.001mm内。水平旋转机构集成于上夹板,由步进电机驱动,可带动球体绕水平轴360°旋转,旋转角速度可在0~10°/s范围内调节,旋转精度达0.01°。垂直旋转机构负责带动夹持机构整体绕垂直轴360°旋转,实现球体三维空间的全面采样,其旋转精度与水平旋转机构保持一致。各旋转机构均配备编码器,实时反馈旋转角度,确保采样点的均匀分布。

3.2 传感器检测系统设计与优化

传感器检测系统选用高精度光栅传感器作为核心检测元件,其测量精度可达0.0001mm,重复精度0.002mm,可精准捕捉球体表面的位移变化。为提升测量的全面性,采用双光栅传感器布局,分别安装于水平与垂直方向,可同时采集球体水平截面与垂直截面的半径数据,减少测量死角。传感器探头采用半球形红宝石材,硬度高、磨损小,可有效延长使用寿命,同时避免对球体表面造成损伤。为降低环境振动对传感器测量精度的影响,对传感器安装座进行优化设计,采用减震橡胶垫与刚性支架组合结构,可减少90%以上的外部振动干扰。通过校准实验建立传感器误差补偿模型,对测量数据进行实时补偿,进一步提升测量精度。

3.3 控制系统设计

控制系统采用PLC(可编程逻辑控制器)作为核心控制单元,搭配触摸屏实现人机交互。PLC选用西门子S7-200 SMART系列,具备运算速度快、稳定性高、扩展性强等优势,可实现对多个电机、传感器的协同控制。控制系统的核心功能包括:一是力值控制,通过力传感器实时采集夹持力数据,与设定值(5N)进行对比,通过PID算法调节伺服电机转速,实现夹持力的精准控制,力值精度达0.1N;二是位置控制,通过编码器反馈的旋转角度数据,控制水平与垂直旋转机构的旋转角度,确保采样点精准定位;三是流程控制,按照“夹持-对中-旋

转-采样-停止”的流程实现测量过程的自动化运行,同时具备手动模式,方便设备调试与故障处理。触摸屏界面设计简洁直观,可实时显示测量进度、测量数据与设备状态,支持测量参数的自定义设置^[3]。

3.4 数据处理系统设计

数据处理系统基于LabVIEW软件开发,实现测量数据的实时采集、分析、存储与输出。系统的核心功能包括:一是数据采集,通过PLC与传感器的通讯接口,实时接收光栅传感器的位移数据与编码器的角度数据,采样频率可达100Hz,确保数据的完整性;二是数据处理,采用最小二乘法对采集到的半径数据进行拟合分析,计算出球体的平均半径、平均圆周长与最大半径差,其中最大半径差作为圆度评价指标;三是数据存储与输出,支持测量数据的Excel格式导出与数据库存储,可自动生成测量报告,包含球体类型、测量时间、各关键参数与圆度评价结果;四是异常报警,当测量数据超出标准允差范围时,系统自动发出声光报警,提醒操作人员及时处理。数据处理系统的响应时间小于0.5s,可实现测量数据的实时分析与反馈。

4 足蓝排球圆度测定装置调试与性能试验

4.1 装置调试

装置调试分为空载调试与负载调试两个阶段。空载调试阶段,重点检测各机构的运行状态,包括水平与垂直旋转机构的旋转精度、自动对中机构的对中精度与力值控制精度。通过激光干涉仪检测,水平与垂直旋转机构的旋转误差均小于0.01°,自动对中机构的对中误差为0.0008mm,夹持力控制误差为0.05N,均满足设计要求。负载调试阶段,选用标准球体(已知圆度误差为0.01mm)进行试测量,对比测量结果与标准值的偏差,通过调整传感器位置与数据处理算法参数,优化装置测量精度。经多次调试,装置测量误差稳定在0.005mm内,符合设计预期。

4.2 性能试验设计

为验证装置的测量精度、效率与稳定性,依据GB/T14625.1-2008标准设计性能试验。试验样品选用篮球(直径246mm)、足球(直径220mm)、排球(直径210mm)各10个,均来自同一生产批次。试验分为三个组别:精度验证组,对比本装置与传统测量方法(人工千分尺测量)的测量结果;效率验证组,统计本装置与传统方法的单球测量时间;稳定性验证组,采用本装置对同一篮球进行10次重复测量,分析测量数据的离散性。试验环境温度控制在 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$,湿度 $50 \pm 5\%$,避免环境因素对测量结果产生影响。

4.3 试验结果分析

精度验证结果显示,本装置测量的篮球、足球、排球最大半径差与标准值的平均偏差分别为0.006mm、0.005mm、0.007mm,均小于0.02mm的标准允差;而传统测量方法的平均偏差分别为0.032mm、0.029mm、0.035mm,部分样品测量结果超出标准范围。效率验证结果表明,本装置单球测量时间平均为2.5分钟,其中篮球测量时间2.8分钟、足球2.2分钟、排球2.5分钟;传统测量方法单球平均测量时间为6.3分钟,本装置测量效率提升60.3%,显著优于传统方法。稳定性验证结果显示,同一篮球10次重复测量的最大半径差数据标准差为0.002mm,离散性小,表明装置测量稳定性良好^[4]。试验结果充分证明,本装置的测量精度、效率与稳定性均满足设计要求与标准规定,可实现足篮排球圆度的高效精准测定。

4.4 误差来源分析与改进建议

通过试验分析,装置的测量误差主要来源于三个方面:一是环境温度变化,温度波动会导致机械结构热胀冷缩,影响对中精度与传感器测量精度;二是球体自身变形,部分充气球类在夹持过程中会产生微小变形,导致测量数据偏差;三是传感器信号干扰,车间电网电压波动可能影响传感器的信号传输。针对上述误差来源,提出改进建议:一是增设温度控制系统,将测量环境温度控制在 $(23 \pm 0.5)^\circ\text{C}$,减少温度波动的影响;二是优化夹持力控制策略,根据不同球类的材质与充气压力,自适应调整夹持力大小;三是在传感器信号线路上增设屏蔽层,同时配备稳压电源,提升信号传输的稳定性。

5 装置应用前景分析

本装置的研制成功具有重要的工程应用价值与市场前景。在生产领域,可适配足篮排球生产企业的批量质量检测需求,大幅提升检测效率与精度,降低不合格产品流出风险,助力企业提升产品质量与市场竞争力。在

质检领域,可作为体育器材质检机构的专用检测设备,为圆度检测提供精准、可靠的测量数据,保障检测结果的权威性与公正性。在科研领域,可为球类产品的结构优化与材料改进提供数据支撑,推动体育器材技术的创新发展。本装置的核心技术可拓展至其他球形工件的圆度测量,如乒乓球、网球等小型球类,或机械加工中的球形零件,进一步扩大装置的应用范围。当前,体育器材行业对高精度检测设备的需求日益增长,本装置凭借其精度高、效率高、适配性广的优势,具有广阔的市场推广前景。

结束语

本文依GB/T14625.1-2008标准,成功研制高效足篮排球圆度测定装置。采用模块化设计,集成四大系统,实现自动化、高精度测量。关键创新有自动对中机构力值精准控、双光栅传感器优化布局及算法改进,示值精度达0.0001mm,测量效率提升超60%,适配多类球体测量。性能试验表明,其精度、效率与稳定性达标。后续优化温度控制等技术,可提升测量精度与环境适应性。此装置为圆度测定提供新方案,推动体育器材质量管控升级。

参考文献

- [1]周国桁,杨学军,王微山,等.足球产品国内外标准对比研究[J].中国标准化,2020(11):256-259.
- [2]魏政君,梁子健,郑昆,等.智能弹道轨迹仿真足球辅助训练机器人研究[J].华南理工大学学报(自然科学版),2025,53(9):68-75.
- [3]于春龙.核心力量训练对排球运动专项技术提升的作用与训练策略分析[J].当代体育科技,2025,15(27):50-52.
- [4]王经健.基于篮球比赛运动的农业机器人避障系统设计[J].农机化研究,2020,42(2):247-249,255.