

用于体育科研的铅球三维测力仪研制*

宋光明¹ 宋爱国¹ 黄惟一¹ 葛运建²¹(东南大学仪器科学与工程系 南京 210096)²(中国科学院合肥智能机械研究所 合肥 230031)

摘要 在体育科研领域,针对铅球投掷项目的动力学数据采集手段和设备目前十分匮乏。提出了一种新的动力学数据采集方法,并依此研制了一种新型的体育运动训练指导仪器—铅球三维测力仪。铅球测力仪能够在三维空间实时感知铅球运动员投掷过程中的发力状态,在接近真实训练比赛环境下对运动员的技术动作进行基于力信息的诊断。详细介绍和探讨了铅球测力仪的结构设计、测力原理以及相关的实验情况。对铅球运动员的实测结果验证了测力原理的正确性和仪器系统的有效性。

关键词 铅球测力仪 三维 体育科研 E型膜片

中图分类号 TH7 **文献标识码** A **国家标准学科分类代码** 460.4020

The Development of a Novel Smart Shot-put Sensor for Sports Researches

Song Guangming¹ Song Aiguo¹ Huang Weiyi¹ Ge Yunjian²¹(Department of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)²(Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract In the sports research area, it is short of dynamics data acquisition methods and devices for the shot-put event now. A new method aiming to solve this problem is proposed and a novel instrument for shot-put training is developed. It is able to measure the three-axis forces acted on the shot in real time during the shot-put process. Based on the acquired force information, it can also make a complete technique diagnosis of the athlete in near-real competition circumstances. The mechanical design, force-measuring principle and field experiment of the instrument are discussed in detail. Experiment results show that the force-measuring method is feasible and ideal for sports researches in shot-put.

Key words Shot-put sensor Three-axis Sports research E-type plate

1 引 言

目前,随着体育运动竞技水平的不断提高,体育科研与科学训练的重要性日益突出。对于田径运动的铅球投掷项目来说,准确获得投掷过程中运动员的运动学数据和动力学数据,研究运动员发力状态与运动成绩的关系,具有重要意义^[1]。各级教练员和体育科研人员借助具体的数据分析不但可以直接用于指导教学,及时纠正错误技术动作,而且还可以对高水平运动员进行技术分析诊断,尽快提高运动成绩,提高训练的技术含量,摆脱

以往完全经验主义的作法。但与现今国内外十分发达先进的体育运动学影像采集技术与仪器相比,相应的动力学数据采集仪器和相关技术显得落后不足,国内状况尤其明显^[2]。若要采集铅球运动员投掷过程中的动力学数据用于指导运动员训练,目前还没有很理想的专用仪器设备,严重制约了体育科研工作的深入开展。

为了解决针对铅球投掷项目的动力学数据采集手段和设备的匮乏问题,提出了一种新的动力学数据采集方法,并依此研制了一种新型体育科研与训练仪器—铅球三维测力仪。它的核心是一种电阻应变式三维力传感器,质量 7.26kg,直径 130mm,具有国际标准男

* 本文于 2004 年 11 月收到,系 973 计划(2002CB312102)、国家自然科学基金(60504031)、(60475034)和江苏省博士后科研资助计划资助项目。

子铅球的外形尺寸和重量,能够在三维空间实时感知铅球运动员投掷过程中的发力状态,可以保证运动员在接近真实训练比赛环境下进行实测。教练员或体育科研人员用这种球形传感器替代普通铅球对运动员进行投掷训练和测试,能够方便准确地采集到运动员投掷过程中手对铅球的作用力。再借助数据分析软件的帮助,教练员或体育科研人员可以直观地对铅球运动员的发力技术动作进行量化评价,及时准确地做出有针对性的技术诊断和错误动作纠正。

2 测力仪结构设计

2.1 测力仪整体结构

铅球测力仪通过弹性体连接上下外壳构成一个整体,其他数据采集与处理电路、电源及重力补偿块,都紧密安装于铅球测力仪内部的空腔中。铅球测力仪整体结构的三维造型如图1所示。由于内部空间有限,需要仔细考虑和计算各部件的安装位置和尺寸,以保证整体结构的稳固性和拆卸方便。为了保证与国际标准男子用铅球相同的重量和手感,我们通过使用重力补偿块,可以把铅球测力仪调整到标准重量,且能够补偿原来由于结构不对称造成的质心偏离,使质心回到球心。



图1 铅球测力仪整体结构爆炸图

图2是铅球测力仪样机与国际标准男子用铅球实物对比照片。从图中可以看出,两者的外形尺寸基本一

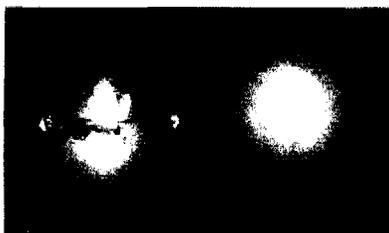


图2 铅球测力仪样机与国际标准男子用铅球对比

致。本铅球测力仪的主要技术指标为:数据采集时间5s,量程 F_x 、 F_y 和 F_z 皆为10~40kg力,测量精度为2%F.S.,过载能力200%。

2.2 弹性体设计

铅球测力仪的测力敏感元件是一种采用E型膜片结构的弹性体,它的三维造型如图3所示。这种结构的弹性体属于力-应变变换型,采用优质的合金结构钢材料,具有较高的弹性极限和冲击韧性,而且机械加工和热处理性能亦十分理想。它简化的力学计算模型是一种均布或集中载荷作用下的带硬中心的平膜片,而在集中载荷作用下,一些关键力学性能参数需要计算,比如挠度和应力,以确定在正常工作量程范围内弹性体的变形是否超出了弹性范围,为弹性体的结构优化设计提供准确的参考。



图3 弹性体三维造型

图4就是弹性体在几何中心处外加集中载荷情况下的简化计算模型。在如图所示的受力状态下,膜片的最大挠度和最大应力都出现在其硬中心的边缘,最大挠度和最大应力的具体计算方法分别如公式(1)和(2)所示^[3]:

$$w_{\max} = \frac{3(1-\mu^2)FR^2}{4\pi Eh^3} \cdot \left[1 - \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \frac{1 - \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 + 4\ln^2\left(\frac{r_0}{R}\right)}{1 - \left(\frac{r_0}{R}\right)^2} \right] \quad (1)$$

$$(\sigma_r)_{r=r_0} = \frac{3F}{2\pi h^2} \left[-\frac{2\ln\frac{r_0}{R}}{1 - \left(\frac{r_0}{R}\right)^2} - 1 \right] \quad (2)$$

式中: F ——外加集中载荷;

h ——膜片厚度;

r ——膜片任意位置处半径;

r_0 ——硬中心半径;

R ——膜片半径

μ ——膜片材料的泊松比;

E ——膜片材料的弹性模量。

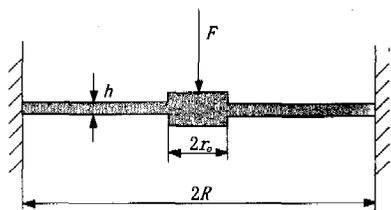


图 4 弹性体外加集中载荷时的简化计算模型

3 测力系统工作原理

铅球测力仪能够实时感知投掷过程中人手对铅球的作用力,可同时检测三维空间三个方向的力信息。它的数据采集系统的硬件原理如图 5 所示。整个数据采集系统由数字电路和模拟电路两大部分构成,其中数字电路部分由 AT89C52 单片机、与上位机的 USB 接口电路以及必要的外围器件组成;模拟电路部分由信号调零电路、运算放大电路、模拟滤波电路以及电源组成。

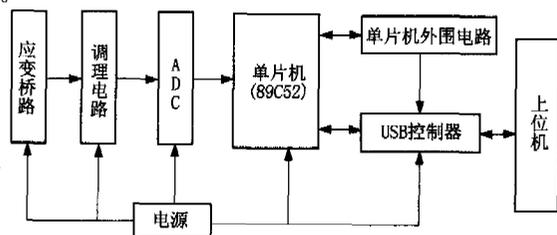


图 5 铅球测力仪数据采集系统

铅球测力仪的核心部件是一种电阻应变式三维力传感器。多组电阻应变片按一定的方向粘贴于铅球测力仪内部弹性体的相应位置,构成三路惠斯通全桥电路。由于采用了特殊的组桥方式,这种传感器可以作到自动解除维间耦合,线性度、灵敏度、温度特性和抗过载能力都很好,能够满足铅球测力仪的正常工作需要。三路惠斯通桥路分别感应 X、Y、Z 3 个方向的应变,并将应变片的几何形变转换为电压变化并输出。此电压变化经放大器放大后,再经滤波电路滤波,用 ADC 的 3 个通道同时采样并进行 A/D 转换,最后送入微处理器进行处理,存储在外部存储器中。完成测试后,由上位机通过可热插拔的 USB 接口读取铅球测力仪中的全部数据,进行分析处理^[4]。

图 5 是铅球测力仪与国际标准男子用铅球实物对比照片。从图中可以看出,两者的外形尺寸基本一致。本铅球测力仪的主要技术指标为:数据采集时间 5s,量程 F_x 、 F_y 和 F_z 皆为 10~40kg 力,测量精度为 2% F.S.,过载能力 200%。

4 实验测试

用研制成功的铅球测力仪对河北师范大学体育学院运动员进行了现场实测,运动员采用的是侧向滑步投掷技术。铅球测力仪把每次运动员试投的数据都暂存于静态 RAM 中,测试完毕后,由上位机通过 USB 接口读取铅球测力仪记录的三维力数据,并绘制曲线图,再做其它进一步的分析。图 6 就是上位机数据分析软件主界面截屏图及其中一组三维力数据的曲线图形,横坐标的单位为秒。借助 PC 机强大的软件功能,并结合图像解析系统采集的图像动作,同时参考体育运动和生物力学专家的经验知识,就可以确定铅球投掷过程中从预摆、滑步、最后发力到推球出手等各个阶段人体对铅球的力作用情况,从而可以对运动员的技术动作纠正及改进提供可靠的参考与指导。

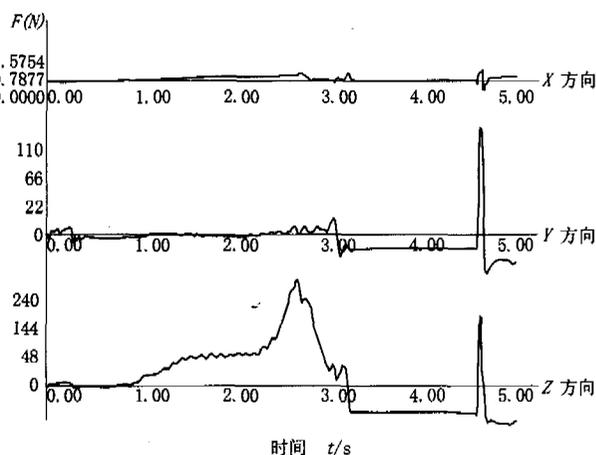


图 6 铅球测力仪数据分析软件的实测曲线图

通过对 3 个方向的力曲线图进行分析,可以看出,在铅球出手前 Z 向力的变化比较大,而 X、Y 方向的要小得多。Z 向力对运动员成绩起到了主要作用,因此我们重点对 Z 方向曲线进行分析。分析结果表明,铅球运动员在滑步阶段身体呈扭转状,随着时间的推移,运动员身体逐渐转向侧向投掷方向,左脚腾空状态,这段时间内,铅球所受的作用力有所增加,但是增幅不是很大。在最后用力期间,铅球所受的作用力明显增大,并在运动员左脚踏地瞬间,铅球受力达到最大。将人体与铅球看作一个系统,由于左脚有一个明显的蹬地动作,所以大地给这个系统的反作用力也明显增大,即人体和铅球收到一个很大的外力作用,致使铅球受力达到出手前的最大值。人体左脚踏地的动作只是瞬间,之后

(下转第 318 页)

建模的新方法,它用遗传算法良好的全局搜索能力来弥补神经网络在全局搜索上的缺陷。该方法不但能克服局部寻优而易陷入局部极值、遗传算法虽全局优化而局部搜索速度不快的缺点,而且还利用了FLNN结构简单,能使加速度传感器动态数学模型可用简单的差分方程表示等优点。实践证明,这种动态建模具有精度高、鲁棒性强及收敛性好等优点。

参考文献

- [1] 才海男,周兆英,李勇,等. 加速度传感器的动态特性软件补偿方法研究[J]. 仪器仪表学报,1998,19(3): 263-267.
- [2] 徐科军. 传感器动态特性的实用研究方法[M]. 合肥: 中国科技大学出版社,1999.
- [3] 黄俊钦. 静、动态数学模型的实用建模方法[M]. 北京: 机械工业出版社,1988.
- [4] 陈俊杰,卢俊,黄惟一. 基于遗传神经网络的传感器系统的非线性校正[J]. 仪器仪表学报,2003,24(2): 201-204.
- [5] PRTRA J C, PAL R N. A functional link artificial

neural network for adaptive channel equalization. *Signal Processing*, 1995, 43(2): 181-195.

- [6] PRTRA J C. An artificial neural network based smart capacitive pressure sensor. *Measurement*, 1997, 22(3/4): 113-121.
- [7] PRTRA J C, PANDA G, BALIARSINGH R. Artificial neural network based non-linearity estimation of pressure sensor. *IEEE Trans. Instru. Meas.*, 1994, 63(6): 874-881.
- [8] 殷铭,徐科军,戴先中. 基于FLANN的传感器动态特性研究方法[J]. 东南大学学报, 1999, 29(4): 103-108.
- [9] 徐丽娜. 神经网络控制[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999.

作者简介

俞阿龙 男 1964年生 博士 副教授 主要研究方向为智能机器人 测试理论及应用
E-mail: yuelong3@sina.com.

(上接第309页)

人体并没有明显的蹬踏动作,故大地对人体的反作用力也相应的较踏地时刻减少很多,不过随着运动员手臂伸直、手指做出鞭挞动作,铅球受力有所增加,但是增幅不是很大。铅球出手后就只有重力和空气阻力的作用了,这阶段已不在此研究范围内。

5 结 论

原理分析与实验表明,铅球三维测力仪结构设计合理,外形尺寸及重量符合男子用铅球国际标准,各项技术参数完全达到设计要求,使用效果良好。用这种新型仪器测得的多维力信息对指导铅球运动员的科学训练起到了关键作用。如果以后再进一步针对高水平运动员进行大样本数据采集,并结合图像解析方法,相信铅球三维测力仪在铅球运动员数字建模与仿真及运动

员训练指导系统等领域将发挥更大作用。

参考文献

- [1] HUBBARD M, DE MESTRE N J, SCOTT J. Dependence of release variables in the shot put. *J. Biomech.*, 2001, 34(5): 449-456.
- [2] 葛运建,张建军,戈瑜,等. 无所不在的传感与机器人感知. *自动化学报(增刊)*, 2002, 28(12): 125-133.
- [3] 袁希光. 传感技术手册. 北京: 国防工业出版社, 1989.
- [4] Philips Semiconductors. PDIUSB12 data sheet. 2002.

作者简介

宋光明 男 1974年生 博士 主要研究方向为智能传感器 传感器网络 web 测控技术
E-mail: mikesong@seu.edu.cn