

人体纵跳高度的间接测量方法

王坦¹ 傅水根² 吴平东¹

(1. 北京理工大学机械与车辆工程学院,北京 100081; 2. 清华大学机械工程学院,北京 100084)

摘要 为了准确测量人体的纵跳高度,对人体纵跳时的运动状态进行力学分析,提出了应用光电传感器对人体纵跳高度进行间接测量的新方法,设计并制造了间接式纵跳测试仪。实际测试结果表明,所设计的间接式纵跳测试仪结构简单、使用方便,测试结果较机械式直接测试方法准确,可以满足使用要求。

关键词 纵跳高度;间接测量;光电传感器

中图分类号 TB 18

文章编号 1007-4333(2003)06-0042-03

文献标识码 A

Study on measuring method for vertical jump height of human body

Wang Tan¹, Fu Shuigen², Wu Pingdong¹

(1. Department of Mechanism and Vehicle Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Mechanical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract In order to measure the vertical jump height of human body conveniently and accurately, the method of indirect measuring was put forward. The state of motion during vertical jump of human body was analyzed theoretically. The measuring results showed that the indirect measuring of using photosensor is more accurate.

Key words Vertical jump height of human body; indirect measuring; photosensor

原地纵跳是国家规定的体质测试项目之一^[1],它通过测试人体的纵跳高度来评价人体下肢的爆发力(以最短的时间,一般在 150 ms 内,以最大的加速度克服一定阻力的能力,称为爆发力)。能否科学准确地测试人体纵跳高度,关系到利用这一要素进行体质评价的可信性。

1 传统机械式测试方法

以往对纵跳高度的测试采用传统机械式直接测试方法^[2]。测试装置由滑尺、滑块和绳子组成(图 1)。测试时受试者将绳子系在腰上,人体跳起后,带动绳子,绳子拉着滑块滑动,滑块在滑尺上滑动的距离即为人体的纵跳高度。该测试方法存在的问题是:1)人体跳起后,绳子与身体的连接点随身体的动态变化而变化,影响了测试结果的准确性;2)人体起跳带动滑块快速移动,滑块在运动中必然产生一定的阻力,影响人体的上跳高度;3)滑块运动的惯性影响测试结果的准确性。

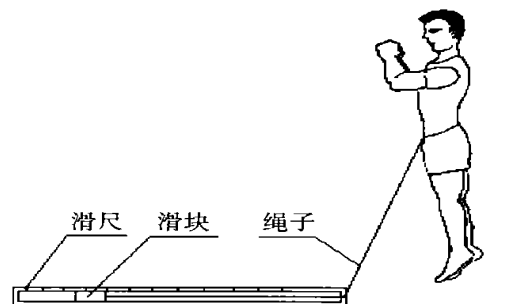


图 1 机械式测试方法的测试原理

Fig. 1 The principle figure of direct tester for vertical jump height

2 人体纵跳运动的力学分析

要准确测量人体的纵跳高度,需要对纵跳运动过程进行力学分析。人体进行纵跳运动时的各项参数及其物理意义见表 1。

如果将人体作为刚体进行分析,且不考虑人体运动过程中受到的空气阻力,根据能量守恒定律有

收稿日期:2003-02-26

作者简介:王坦,博士,主要研究方向为机械电子工程

表 1 人体纵跳运动各项参数及其物理意义

Table 1 The movement parameters and physics meaning of the vertical jump of human body

参数	物理意义
H	人体纵跳高度
t_1	人体上跳到最高点的时间
t_2	人体从最高点落下的时间
t	人体上跳并落下的总时间
a_1	上跳加速度
a_2	下落加速度
v_1	上跳起始速度
v_2	上跳终点速度
v_3	下落起始速度
v_4	下落终点速度
F	上跳时双脚对地面的反作用力
m	人体质量
I	上跳时的冲量
t	上跳时反作用力 F 的作用时间

$$\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = - m g H \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} m v_4^2 - \frac{1}{2} m v_3^2 = m g H \quad (2)$$

根据动量定理有

$$I = F \cdot t = m v_1 \quad (3)$$

按实际情况, 将 $v_2 = 0$, $v_3 = 0$ 代入式(1)和(2), 整理得

$$v_1 = v_4 \quad (4)$$

$$v_1 = \sqrt{2 g H} \quad (5)$$

$$I = F \cdot t = m v_1 = m \sqrt{2 g H} \quad (6)$$

人体起跳后只受到重力的作用, 则有

$$m g = m a_1 = m \frac{v_1}{t_1} \quad (7)$$

下落时(不考虑空气阻力), 人体的运动应是自由落体运动, 则

$$m g = m a_2 = m \frac{v_4}{t_2} \quad (8)$$

比较式(7)和(8)得

$$t_1 = t_2 = \frac{1}{2} t \quad (9)$$

由式(5)和(7)得

$$H = \frac{1}{2} g t_1^2 \quad (10)$$

将式(9)代入(10)

$$H = \frac{1}{8} g t^2 \quad (11)$$

由式(6)可知, 反映人体下肢爆发力的冲量 I 不仅与人体的纵跳高度 H 有关, 而且与人体质量有关, 简单地认为纵跳高度反映人体下肢的爆发力是不准确的。例如, 跳同样高度的 2 个人, 体重大的人其下肢的爆发力大。受试者起跳时产生的冲量可以反映人体下肢的爆发力, 间接测试人体的纵跳高度, 用式(6)即可计算人体的爆发力。

由式(11)可知, 纵跳高度 H 与纵跳时人体在空中停留的时间成一定的比例关系。因此, 只要测试人体在空中停留的时间, 即可间接得出人体的纵跳高度。间接式纵跳测试仪就是根据这一原理而研制的。

3 间接式纵跳测试仪的研制

3.1 间接测试方法的选择

测试人体在空中停留时间常用的方法有 2 种: 1) 用力传感器感应人体起跳与落下时力的变化, 从而测定人体在空中的停留时间; 2) 用光电传感器测试人脚在起跳与落回时的时间间隔, 从而测定人体在空中停留的时间。

力传感器的造价较光电传感器高, 且控制较复杂。因此本研究中采用光电传感器进行测试。

3.2 间接式纵跳测试仪的设计

间接式纵跳测试仪由测试部分和控制系统组成(图 2)。测试部分包括纵跳垫和光电传感器箱。光电传感器箱安装在纵跳垫的一侧, 其高度稍高于纵跳垫。当垫上站有人时, 光电传感器接收到反射信号, 通过连接在后级的单片机系统就可以测量出人体的腾空时间。光电传感器的放置应尽量靠近地面, 以保证测试结果的准确性, 但同时必须与地面有一定的距离, 以免受地面或纵跳垫的影响产生误信号。

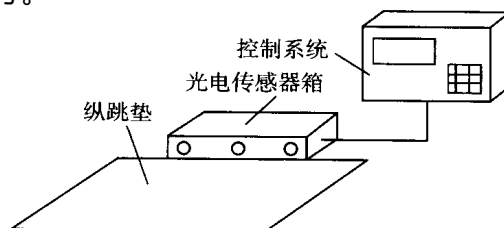


图 2 间接式纵跳测试仪结构简图

Fig. 2 The structure of indirect tester for vertical jump height measurement

光电传感器的工作原理(图3):发光二级管HG发光,光敏三级管3DU有光照时其自身电阻非常小,电流经R₂电阻使BG₁导通,输出低电平;光敏三级管3DU无光照时,其自身电阻非常大,电流不能经R₂电阻使BG₁导通,输出高电平。测试时,如果受试者的鞋子挡住了光电传感器,自反射式光电传感器就会输出一个低电平信号。

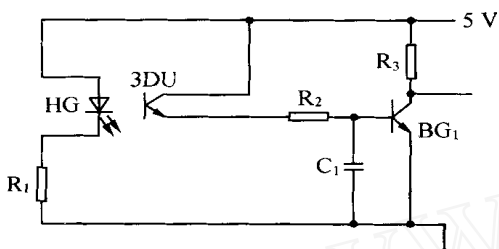


图3 光电传感器工作原理图

Fig. 3 The principle figure of photosensor

控制系统应满足测试功能要求,且工作可靠、操作方便、成本合理。控制核心选用MCS-51系列单片机,增加必要的扩展,构成控制系统^[3]。控制系统硬件组成见图4。根据测试控制流程设计控制软件。控制系统软件由初始化程序、监控程序、测量与控制程序、中断处理程序等程序组成^[4],其组成见图5。

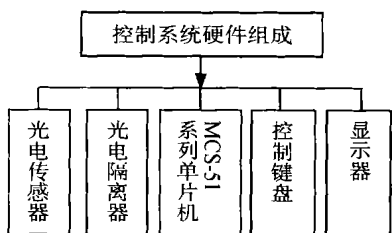


图4 间接式纵跳测试仪控制系统硬件组成框图

Fig. 4 The flow chart of indirect tester for vertical jump height measurement

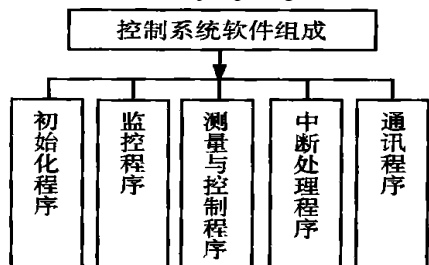


图5 间接式纵跳测试仪控制系统软件组成框图

Fig. 5 The flow chart of the software of indirect tester for vertical jump height

4 测试结果及验证

用计算机成像法对所设计的间接纵跳测试仪的

测试准确性进行验证。目前计算机成像法是公认的测试人体纵跳高度最准确的方法,但因设备价格较贵,无法普及应用。验证时,关键问题是参考点的选择。根据前面的分析可知,参考点应是人体的重心。测试人体纵跳高度时,准确测定人体的重心是比较困难的。因此从工程学的角度考虑,依据人体测量学的原理,选取人体胸部上方的一个替代点作为重心点进行测试。机械式直接测试方法、间接式纵跳测试仪和计算机成像法测试结果见图6。

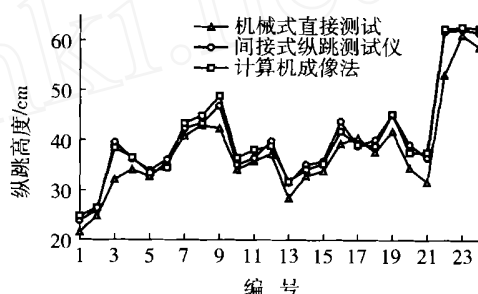


图6 3种测试纵跳高度方法测试结果的对比

Fig. 6 The comparison of test results for the three method of measuring the vertical jump height of human body

由图6可见,间接式纵跳测试仪测试结果与计算机成像法的结果比较接近,相对误差均小于5%,说明间接式纵跳测试仪的测试精度高于机械式直接测试的精度。

5 结论

1) 纵跳高度不直接反应人体下肢的爆发力,而起跳时产生的冲量可以反映人体下肢的爆发力。间接测试人体的纵跳高度,再根据冲量公式 $I = m \cdot \sqrt{2gh}$ 计算人体的起跳冲量,就可以衡量人体下肢的爆发力。

2) 利用光电传感器对纵跳高度进行间接测量,测试结果较机械式直接测试准确,可以满足使用要求。

参考文献

[1] 中国国民体质监测系统课题组. 中国国民体质监测系统的研究[M]. 北京:北京体育大学出版社,2000. 197~198

[2] 邢文华,赵秋蓉. 体育测量评价[M]. 北京:人民体育出版社,2000. 177~178

[3] 张积东. 单片机 51/98 开发与应用[M]. 北京:北京电子工业出版社,1994. 35~55

[4] 周航慈. 单片机程序设计基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1997. 1~33