

探究“蹲下站起”过程 演示“超重失重”实验

——“数字化”体重计的创新设计与发明

陈显盈¹ 尤爱惠² 谢作如¹

(1. 浙江省温州中学, 浙江 温州 325000; 2. 温州市南浦实验中学, 浙江 温州 325000)

摘要: 为了解决普通体重计在超、失重实验中效果不明显直观的问题, 将大量程压力传感器与数字化实验系统(DIS)相结合设计发明的“数字化”体重计, 不仅有效解决了现有物理数字化实验室中力传感器量程小的问题, 还可以定量探究人蹲下和站起过程中的超、失重现象.

关键词: “数字化”体重计; 压力传感器; 超重失重实验

“物理发明”是根据已有的物理知识和实际能力, 在学习(特别是物理学习)、生活、工作和劳动中, 对那些感到不方便、不称心的物体或过程加以改进、改革和创新的物体或方法. 在物理教学中渗透“物理发明”内容不仅符合 STEAM 的教育理念, 也有利于学生物理学科核心素养的培养. 为了解决普通体重计在超、失重实验中效果不明显直观的问题, 笔者根据大量程压力传感器和实验室配套的数字化实验系统相结合的方法, 设计发明了一款适合物理实验教学用的大量程“数字化”体重计.

1 发现问题——普通体重计存在不足之处

如图 1 所示, 人站在普通体重计上进行蹲下和站起动作来研究超重和失重现象时, 实验现象稍纵即逝, 无法进行仔细观察, 且不能动态显示力 F 随时间 t 的变化曲线. 目前生活中很难找到可以直接动态显示力 F 随时间 t 的变化曲线的体重计产品, 而教学中现有配套的力传感器量程较小, 一般只有几十牛, 远小于人体的重. 实际上, 市场上有很多量程较大的压力传感器, 如何将该类大量程压力传感器和原实验室配套的物理数字化系统(DIS)相结合设计发明出一款大量程“数字化”体



图 1 体重计上的超失重现象

重计呢?

2 分析问题——大量程压力传感器与数字化系统如何兼容

如图 2 所示, 现在淘宝网上有一些高速响应的压力传感器,^[1] 其最大量程在 500 N 到 50000 N 不等, 它能够快速感测各种动态、静态压力的大小并转换为电信号输出.

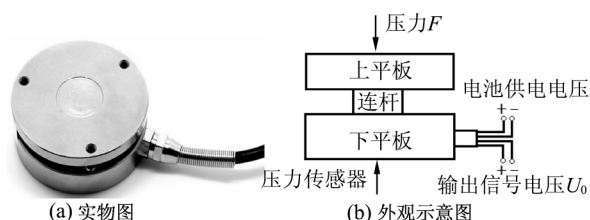


图 2 淘宝上的大量程压力传感器

该类压力传感器与数字化系统是否兼容需要考虑以下几个问题:^[2] (1) 供电电压是否匹配问题? 大量程压力传感器供电电源可与数字化实验系统的供电电源独立开来, 由外接电池提供. (2) 输出信号如何识别问题? 力传感器输出信号一般是电压信号, 可以用数字化实验系统中的电压或微电压传感器对其输出电信号进行识别. (3) 电压输出信号参数是否匹配问题? 对于压力传感器的输出信号电压一般是 mV 数量级, 可采用微电压传感器. (4) 电压信号电压 U_0 如何转化为压力 F 的大小显示值问题? 一般可通过数字化系统“通用软件”中的“自定义变量”功能中输入 F 和 U_0 的关系式即可得到“变量 F ”(像朗威、正方体

基金项目: 本文系 2019 年度温州大学面向基础教育课题“中学‘物理+发明’创新教育课程的开发与实践研究”(项目编号: WDZD201901); 2020 年度温州市教师教育课题“基于 STEM 的初中科学高阶思维命题的研究”(项目编号: WS2020007)阶段性研究成果.

等品牌均有该功能)。

3 解决问题——“数字化”体重计的制作思路与发明原理

3.1 制作思路

需准备的器材：① 大量程压力传感器。笔者选用的是一款最大量程为 2000 N、直径为 5 cm 的压力传感器。② 两片边长为 25×30 cm 的长方形透明厚有机玻璃板。将其分别用螺纹固定在压力传感器的上下表面，方便踩脚。③ 供电电源。可选用一节

9 V 电池为压力传感器直接供电。④ 微电压传感器和无线发送器。其实时高速测量的数据可直接无线传送给无线数据采集器和平板电脑。⑤ 其他配套仪器：无线数据采集器及带数字化实验软件的平板电脑等。

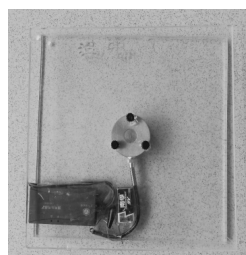


图 3 “数字化”
体重计的实物图

组装时，将电池、微电压传感器、无线发射器连接完毕后固定在两长方形透明厚有机玻璃板之间，安装完毕的“大量程数字化体重计”实物图如图 3 所示，实验时再结合无线采集器和带数字化实验软件的平板电脑进行操作即可。

3.2 发明原理

如图 4 所示，大量程压力传感器供电电压由 1 节 9 V 的电池提供，用实验室原配套的微电压传感器对压力传感器的电压输出信号进行识别并无线传送给计算机。在电源电压一定时，压力传感器输出信号电压 U_0 与其所受压力 F 成正比，可得 $F = kU_0$ 。连接好线路好后，一个已知重量为 G 的人站上去静止不动，测得此时的电压为 U_G ，则 $F = GU_G/U_0$ ，其中 G 、 U_G 可以通过实验得到。笔者通过实验可测得当 $G = 640$ N 时， $U_G = 4.28$ mV，可得关系式 $F = 150U_0$ 。通过数字化系统软件的“自定义变量”功能输入该关系式 $F = 150U_0$ ，便可得到“变量 F ”，从而可以显示 F 的大小，又可以通过“图像”功能设置动态显示 $F-t$ 图像。

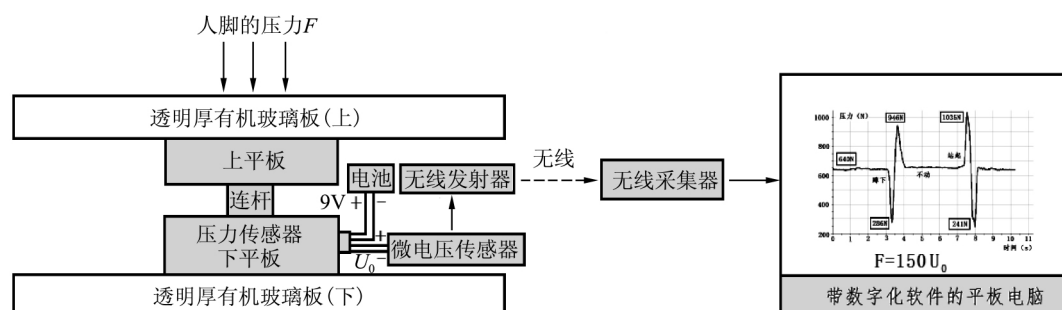


图 4 “数字化”体重计的原理示意图

4 实验研究——“蹲下站起”数字化实验

实验时，准备好实验器材，根据实验原理图连接器材。接通电源并打开数字化实验通用软件界面(笔者采用正方体品牌)，需设置的软件参数：(1) 微电压传感器：设置最大量程为 25 mV，每秒采集 50 次；(2) 自定义变量：输入 $F = 150 \times$ “电压”；(3) 图像：设置 $F-t$ 图像；(4) 传感器调零后开始采集：开始做实验，传感器开始自动采集并记录数据在表格中并实时动态显示 $F-t$ 图像。具体实验结果如下：

实验 1：蹲下后不动再站起的实验。

实验时，人站在“数字化”体重计上完成蹲下动作后不动再站起的动作，观察计算机采集的图像，某次实验结果见图 5。图 5 前半部分直观地呈现了蹲下过程中压力传感器的示数随时间变化的曲线，人的重量为 640 N，在蹲下过程中示数先变

小(最小 286 N)，后变大(最大 946 N)，再变小，最后基本保持 640 N 不变。图 5 后半部分呈现的是站起过程中的变化曲线，示数先变大(最大为 1035 N)，后变小(最小 241 N)，再变大，最后基本保持 640 N 不变。

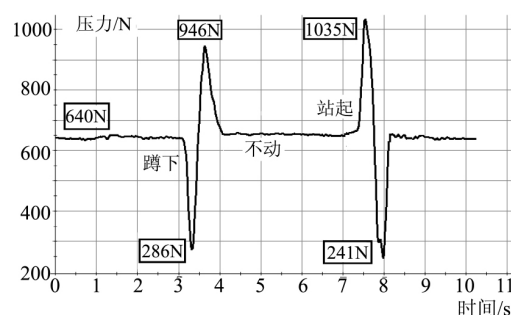


图 5 蹲下后不动再站起的实验

(下转第 59 页)

切线, 根据椭圆性质有 $PZ // DK // HI$ 、 $\angle SPR = \angle H P Z$ 进而有 $\angle P I H = \angle P H I$ 、 $P I = P H$, 故 $\overline{P E} = \frac{\overline{P H} + \overline{P S}}{2} = \overline{A C}$. 再因 $\overline{Q R} = \overline{P x}$, 可得

$$\frac{\overline{Q R}}{\overline{P v}} = \frac{\overline{A C}}{\overline{P C}}. \quad (2)$$

根据椭圆共轭直径的几何性质^[2]有 $\frac{\overline{Q J}^2}{\overline{C P}^2} + \frac{\overline{Q v}^2}{\overline{C D}^2} = 1$, 结合 $\overline{J W} = \overline{C P}$ 、 $\overline{Q J} = \overline{J W} - \overline{Q W}$ 、 $\overline{Q W} = \overline{P v}$ 、 $\overline{C P} = \frac{\overline{G v} + \overline{P v}}{2}$, 可得 $\frac{(\frac{\overline{G v} + \overline{P v}}{2})^2 - (\frac{\overline{G v} + \overline{P v}}{2} - \overline{P v})^2}{\overline{C P}^2} = \frac{\overline{Q v}^2}{\overline{C D}^2}$, 进一步整理得

$$\frac{\overline{G v} \cdot \overline{P v}}{\overline{C P}^2} = \frac{\overline{Q v}^2}{\overline{C D}^2} \Leftrightarrow \frac{\overline{G v} \cdot \overline{P v}}{\overline{Q v}^2} = \frac{\overline{C P}^2}{\overline{C D}^2}. \quad (3)$$

由 $\angle P E F = \angle Q x T$ 、 $\angle P F E = \angle Q T x$ 可知 $\triangle P E F \approx \triangle Q x T$, 得 $\frac{\overline{Q x}}{\overline{Q T}} = \frac{\overline{P E}}{\overline{P F}}$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$, Q 点趋近于 P 点, 有 $\overline{Q x} = \overline{Q v}$, 故当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时有 $\frac{\overline{Q v}}{\overline{Q T}} = \frac{\overline{P E}}{\overline{P F}} = \frac{\overline{C A}}{\overline{P F}}$, 根据椭圆所有共轭直径端点所围成的平行四

边形面积相等^[3]可知 $\overline{D K} \cdot \overline{P F} = \overline{B N} \cdot \overline{A C}$, 得 $\frac{\overline{C A}}{\overline{P F}} = \frac{\overline{D K}}{\overline{B N}} = \frac{\overline{D C}}{\overline{B C}}$, 故当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时有

$$\frac{\overline{Q v}}{\overline{Q T}} = \frac{\overline{D C}}{\overline{B C}}. \quad (4)$$

联合(1)~(4)式可得 $\frac{l \cdot \overline{Q R}}{\overline{Q T}^2} = \frac{2 \overline{P C}}{\overline{G v}}$, 当 Q 趋近于 P 时有 $2 \overline{P C} = \overline{G v}$, 得 $l \cdot \overline{Q R} = \overline{Q T}^2$, 等式两边同时乘 $\frac{\overline{S P}^2}{\overline{Q R}}$, 得 $l \cdot \overline{S P}^2 = \frac{\overline{S P}^2 \cdot \overline{Q T}^2}{\overline{Q R}}$, 结合(5)式可得 $F \propto \frac{1}{l \cdot \overline{S P}^2}$, l 为椭圆通径, 是定值, 故 $F \propto \frac{1}{\overline{S P}^2}$, 证毕.

参考文献:

- 1 范长杰. 曲径通幽处——一个圆锥曲线结论的再证明[J]. 数学学习与研究, 2019(20): 122.
- 2 李长, 江罗毅. 椭圆共轭直径的几组性质[J]. 数学通讯, 2015(18): 36-39.
- 3 杜山, 卢伟峰. 椭圆共轭直径的一组性质[J]. 数学通讯, 2008(15): 19-20.

(收稿日期: 2020-03-05)

(上接第 56 页)

实验 2: 蹲下后马上站起的实验.

如图 6 所示, 重量为 640 N 的人站在“数字化体”重计上完成蹲下动作后马上站起的动作, 压力传感器的示数先变小(最小 301 N), 后变大(最大 1017 N), 再变小(最小 418 N), 接着再变大, 最后由于人有晃动, 在 640 N 附近有微小振荡变化.

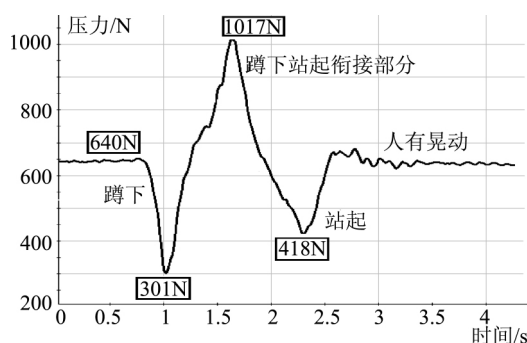


图 6 蹲下后马上站起的实验

5 总结归纳——“数字化”体重计的优点

可见, 大量程“数字化”体重计, 作为一种物理

实验教学用仪器, 将大量程压力传感器与物理数字化实验系统相结合, 原理巧妙, 操作方便实用. 改进后的体重计不仅有效解决了现有数字化实验室中压力传感器量程小的问题, 还可以定量探究人体蹲下和站起过程中的超、失重现象, 实时动态地显示 $F-t$ 图像, 有利于学生直观形象地认识超重和失重现象. 另外, 大量程“数字化”体重计还可以应用到其他物理数字化实验中, 可以定量研究人站在电梯中的超、失重实验, 也可以定量研究举重过程的压力变化情况, 还可以研究重物下落碰撞时的压力变化情况等各种需要用到大量程压力传感器的数字化实验.

参考文献:

- 1 https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z09.2.0.0.1d6b2e8d5Eso7j&id=524192874946&__u=d2m9s2vpf729 (淘宝网网址).
- 2 陈显盈, 尤爱惠. 大量程力传感器与数字化实验系统的结合——以牛顿第三定律数字化实验为例[J]. 实验教学与仪器, 2014(10): 31-33.
- 3 陈显盈, 葛慧媛. 自制塑料瓶漏斗型教具开发低成本物理实验[J]. 物理教师, 2015(11): 45-48.

(收稿日期: 2020-02-04)