

利用 Tracker 软件探究加速度与合外力及质量的关系

温雯露

(清远市第三中学 广东 清远 511500)

(收稿日期:2019-12-09)

摘要:利用 Tracker 软件的追踪和数据分析工具对小车做加速运动进行研究,分析小车加速度与合外力及质量之间的关系,验证当小车质量一定时,小车加速度与合外力成正比;当小车所受合外力一定时,小车加速度与质量成反比.

关键词:Tracker 软件 加速度 视频

探究加速度与合外力的关系多数版本的高中物理教材采用打点计时器,利用打点计时器记录小车的运动信息,从而计算小车的加速度.而本文利用 Tracker 软件的追踪功能,有效地追踪小车的运动过程,同步描绘位移—时间图像.利用 Tracker 软件的数据分析工具对小车位移—时间图像进行分析拟合,得出小车运动过程加速度.

1 实验原理及方法

牛顿第二定律是动力学基本定律之一,对于一定质量 m 的物体,其所受的合外力和物体所获得的加速度 a 之间满足关系

$$F = ma \quad (1)$$

在本实验中,将小桶和小车相连,若在小桶内加入砝码,小桶和砝码总质量为 $m_{\text{桶}}$,则系统所受的合外力为

$$F_{\text{合}} = m_{\text{桶}}g \quad (2)$$

将小桶、砝码、小车作为一个系统,则根据式(1)可以得到总质量为 M 的小车加速度为

$$a = \frac{F_{\text{合}}}{M + m_{\text{桶}}} \quad (3)$$

将式(2)代入式(3)可以进一步得到系统加速度理论值为

$$a_{\text{理}} = \frac{m_{\text{桶}}g}{M + m_{\text{桶}}} \quad (4)$$

在本实验中,我们采用控制变量法.首先保证小车质量不变,改变小桶质量(即小车受的合外力),测

量多组小车加速度;再保持小桶的质量(即小车受的合外力不变),改变小车的质量 M ,测量多组小车加速度.最后分析小车加速度与合外力及质量的关系.

2 利用 Tracker 软件探究加速度与合外力及质量的关系

2.1 实验仪器及步骤说明

2.1.1 实验仪器

实验需要的器材有塑料板、带定滑轮的长木板、小车(质量 141.9 g)、小桶(质量 3.7 g)、砝码、20 cm 长的软尺等,其中软尺起到定标尺的作用.因为长木板表面各处粗糙程度不一,平衡摩擦力难度较大,故将塑料板固定在长木板上.将长木板一侧垫高,轻推小车,让小车匀速下滑.

2.1.2 视频拍摄

用双面胶将软尺贴在桌子边缘,用自拍杆将手机架设好,录制时应注意保持水平,减少因拍摄带来的测量误差.每次实验让小车从静止开始运动并用手机拍摄.

2.1.3 利用 Tracker 软件分析小车运动视频

打开 Tracker 软件,选择菜单的“视频—导入”,将视频加载,通过视频剪辑对视频研究的起始帧和结束帧进行剪辑.并按下列基本步骤进行分析:

(1) 设定参考坐标.选择“轨迹—坐标轴”,在小车下滑的初始位置新建直角坐标系.

(2) 进行参考尺寸定标.在定标工具中对实验中预先测量好长度的软尺进行定标.

(3) 选择研究对象. 实验研究对象是小车, 点击工具栏中“创建 / 质点”, 选择小车为质点.

(4) 进行轨迹控制. 小车上贴有红色标识线, 播放小车运动视频, 按住 Ctrl, 同时用鼠标单击追踪小车运动轨迹, 如图 1 所示.

(5) 选择要测量的物理量: 位移和时间,

Tracker 软件描绘出小车位移 — 时间图像.

(6) 保持小车质量不变, 改变小桶的质量, 令小桶的质量分别为 3.7 g, 8.7 g, 13.7 g, 18.7 g, 23.7 g.

(7) 保持小桶质量不变, 改变小车的的质量, 令小车的的质量分别为 241.9 g, 291.9 g, 341.9 g, 391.9 g, 441.9 g.

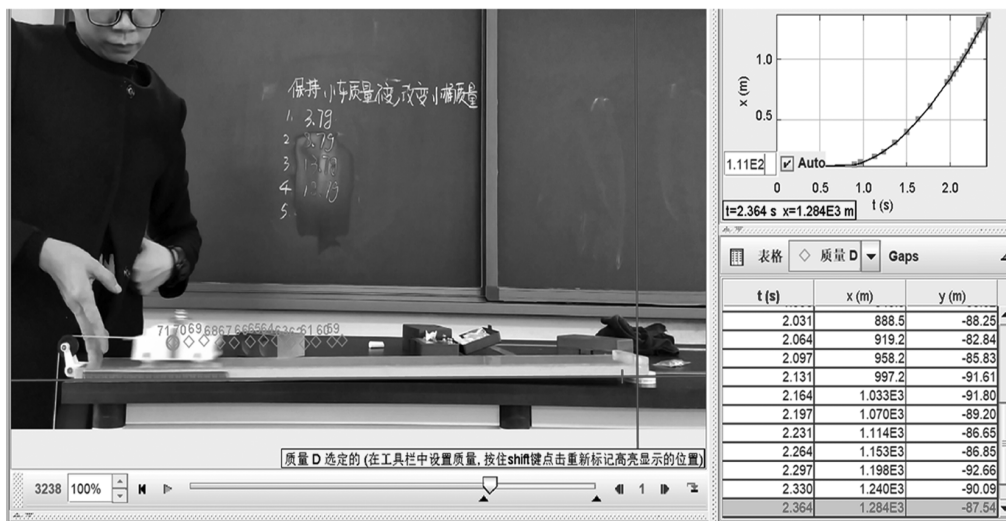


图 1 视频分析界面

2.2 实验数据收集及处理

小桶的质量分别为 3.7 g, 8.7 g, 13.7 g, 18.7 g, 23.7 g 时均对小车的运动进行拍摄, 根据所拍摄的视频绘制出小车对应的位移 — 时间图像, 对图像进行抛物线拟合, 如图 2 ~ 5 所示; 小车的的质量分别为 241.9 g, 291.9 g, 341.9 g, 391.9 g, 441.9 g 时均对小车的运动进行拍摄, 根据所拍摄的视频绘制出

小车对应的位移 — 时间图像, 选择软件进行抛物线拟合, 如图 6 和图 7 所示, 对图线用方程

$$x = At^2 + Bt + C$$

进行拟合, 在软件中读取 A 的值, 加速度 $a = 2A$. 依据 Tracker 可以读取方程中系数 A, B, C 的值, 图 2 ~ 7 分别读出 A 的值为 0.102 3, 0.236 1, 0.361 9, 0.605 9, 0.028 64, 0.022 63, 将数值填入表 1 和表 2.

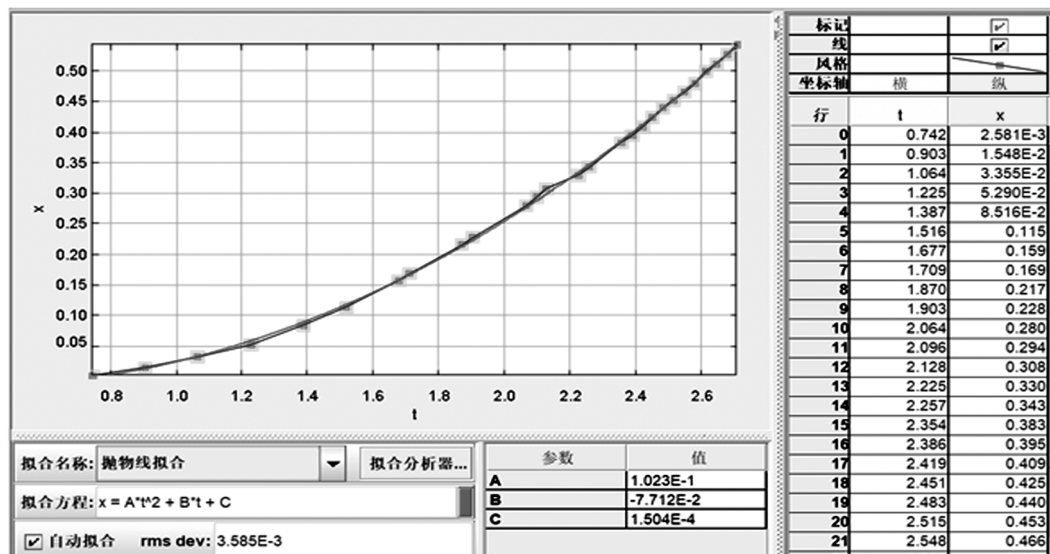


图 2 小车 $x-t$ 图 (小桶质量 3.7 g)

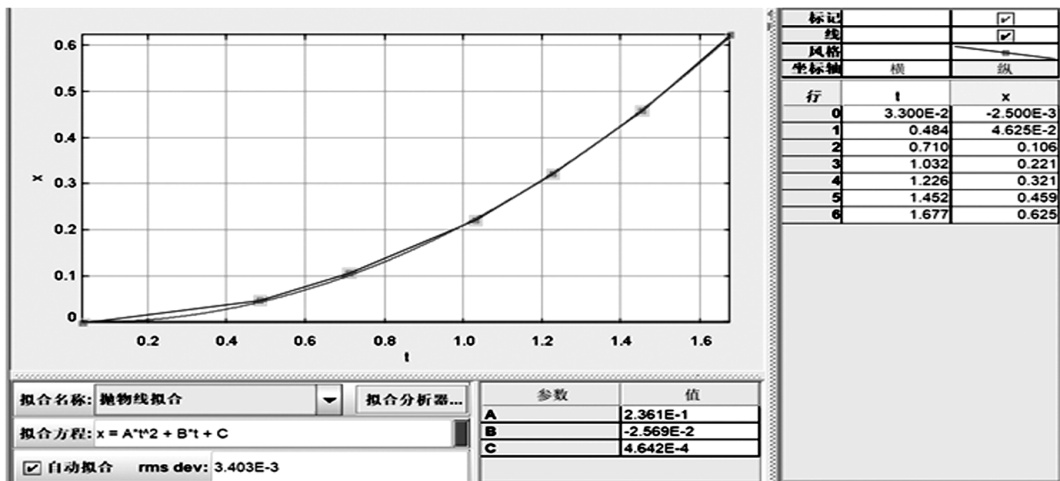


图 3 小车 $x-t$ 图(小桶质量 8.7 g)

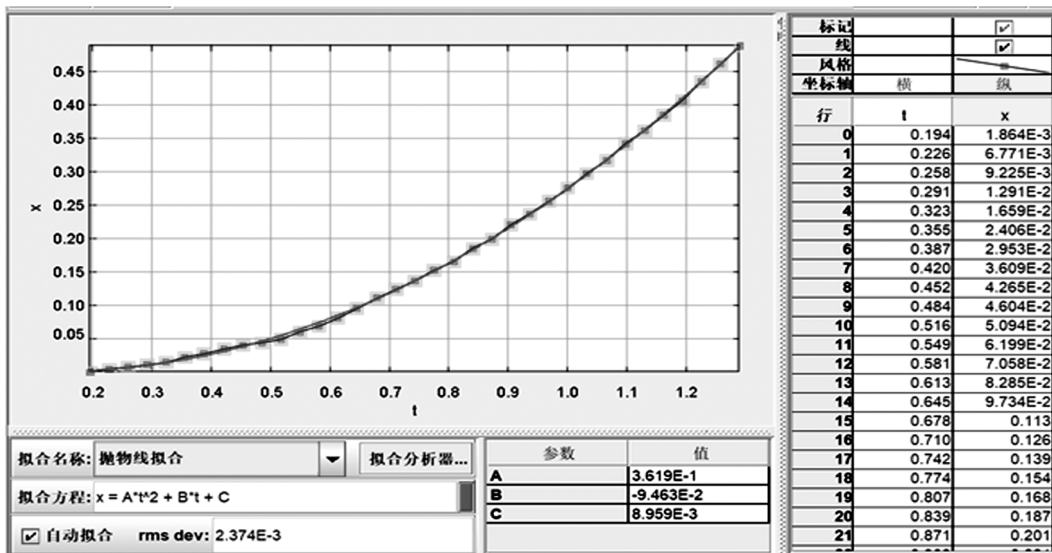


图 4 小车 $x-t$ 图(小桶质量 13.7 g)

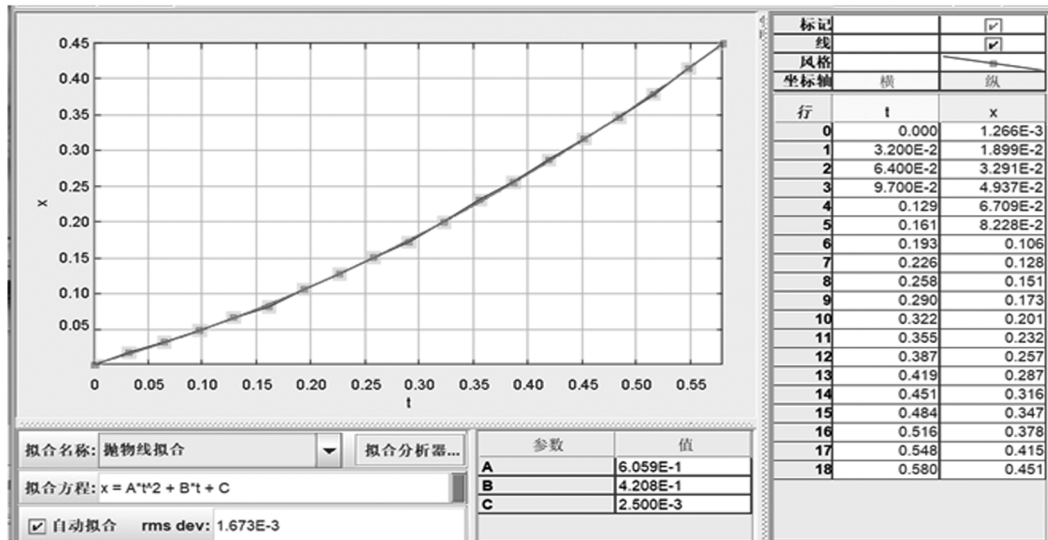


图 5 小车 $x-t$ 图(小桶质量 23.7 g)

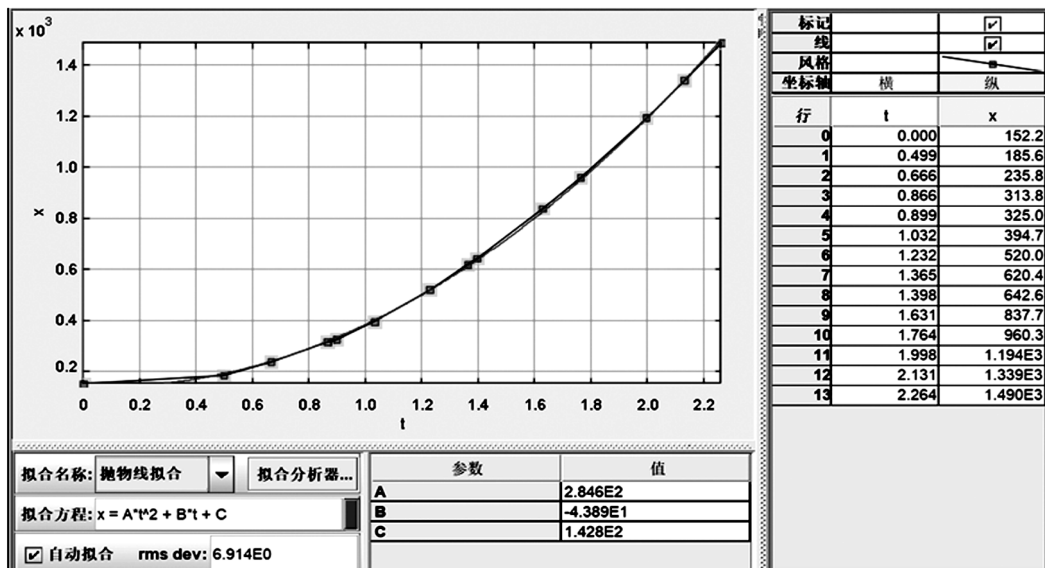


图 6 小车 $x-t$ 图(小车质量 291.9 g)

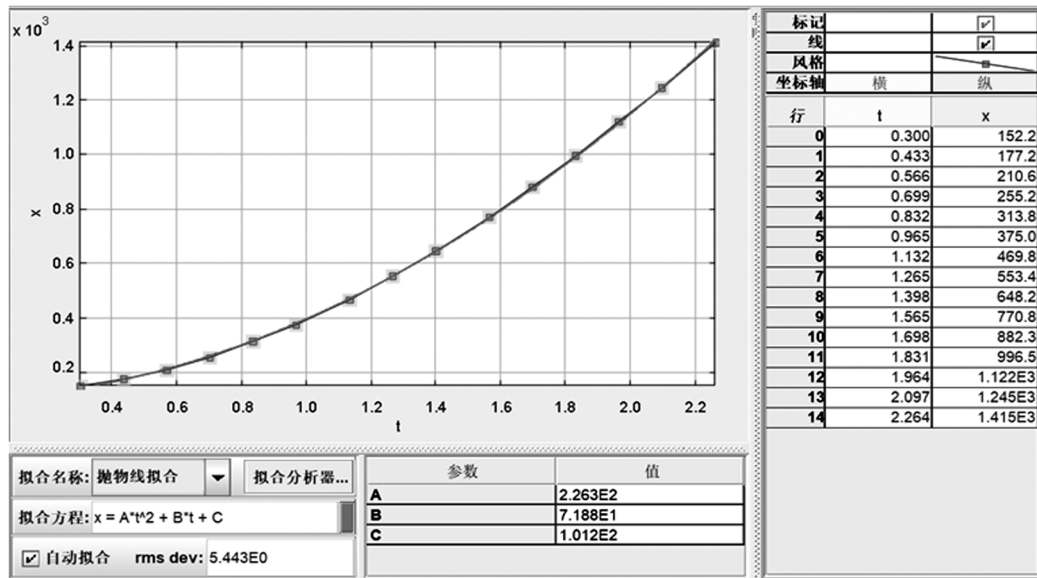


图 7 小车 $x-t$ 图(小车质量 341.9 g)

由图分析得到的保持 M 恒定 F 不同时所对应的加速度值填入表 1.

表 1 保持 M 恒定 F 不同时所对应的加速度

实验次数	小桶总质量 $m_{桶}/g$	$F/(\times 10^{-2} N)$	系数 A	$a/(m \cdot s^{-2})$
1	3.7	3.7	0.102 3	0.204 6
2	8.7	8.7	0.236 1	0.472 2
3	13.7	13.7	0.361 9	0.723 8
4	18.7	18.7	0.392 2	0.784 4
5	23.7	23.7	0.605 9	1.211 8

由图分析得到的保持 F 恒定 M 不同时所对应的加速度值填入表 2.

表 2 保持 F 恒定 M 不同时所对应的加速度

实验次数	小车质量 M/kg	$\frac{1}{M}/kg^{-1}$	系数 A	$a/(m \cdot s^{-2})$
1	0.241 9	4.133 9	0.030 23	0.060 46
2	0.291 9	3.425 8	0.028 46	0.056 92
3	0.341 9	2.924 8	0.022 63	0.045 26
4	0.391 9	2.551 7	0.021 46	0.042 92
5	0.441 9	2.263 0	0.020 59	0.041 18

探究加速度与合外力和质量关系如图8和图9所示.

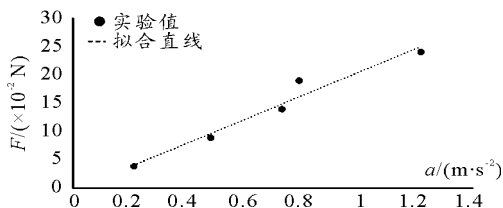


图8 $F-a$ 图像

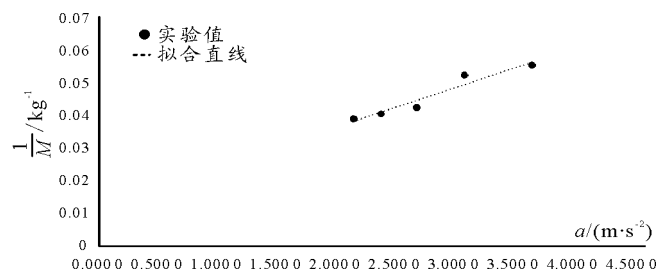


图9 $\frac{1}{M}-a$ 图像

2.3 实验结论

从图8可以得出结论,当小车质量一定时,小车加速度与所受合外力成正比,从图9得到结论,当小车所受合外力一定时,小车加速度与质量的倒数成正比,即小车加速度与质量成反比.

2.4 实验误差分析

2.4.1 系统误差

本实验用小桶和砝码重力代替小车受到拉力,实际上小车受到的拉力小于小桶和砝码的重力,该实验方法造成的误差无法消除,可以尝试利用力的

传感器直接测出小车所受拉力大小,优化实验,减小误差.

2.4.2 偶然误差

(1) 测量误差;在 Tracker 软件中定义 20 cm 的长度,然后利用软件分析得出小车位移变化,在定义 20 cm 时会产生偶然误差;

(2) 在 Tracker 软件中确定质点位置时不够准确,拟合得到的 a 产生偶然误差;描点作图存在偶然误差;

(3) 平衡摩擦力不准确造成的误差.

3 结束语

通过以上研究,利用手机拍摄实验过程,可以多次回放,帮助学生检查自己的实验过程是否存在操作不当之处.利用 Tracker 软件较精确地记录小车运动轨迹,直接对小车运动位移进行数据采样分析,从而验证小车质量一定时,加速度与所受合外力成正比,小车所受合外力一定时,小车加速度与质量成反比.该方法直观、高效,测定结果误差较小,有利于教师课堂开展实验,也有助于学生课外自主探究,值得推广.

参考文献

- 1 陈鸿翔. DIS 辅助验证牛顿第二定律并分析 $a-F$ 图像的误差率[J]. 物理通报, 2019(8): 113 ~ 118
- 2 卢海洋, 顾锋. 关于验证牛顿第二定律实验改进的思考[J]. 湖南中学物理, 2017(6): 59 ~ 62

(上接第 97 页)

Information Technology Application on Marking the Data Processing of Experimental Reports

Shao Yufei

(Department of General Study, Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105)

Abstract: Basic physical experiment is an important compulsory basic course for colleges of science and engineering. Writing and grading of lab reports are the main focuses of teaching and assessment content. The traditional manual review mode is inefficient and error-prone, and it is difficult to meet the needs of large-scale and high-quality student training. This article introduces an automatic digital system for grading these lab reports. It can not only check the accuracy of the data for teachers, but also overcome the problem of checking data format, so that it can output complete review reports efficiently and accurately. Practice in nearly three years has shown that the task of reviewing 1,300 experimental reports takes less than 30 minutes. The success of this system is benefit for other colleges aiming at teaching reforms of basic physical experiment.

Key words: basic physical experiment; data processing; grading; information technology