

朗威®DISLab 与力学实验教学

物理学习是一个贯穿了实验、观察、归纳和抽象的过程。怎样引导学生从纷繁芜杂的物质世界中总结出规律，并鼓励学生掌握和完善总结出规律的方法，实际上是中学物理教学基本命题。

力学（含运动学、动力学）教学在中学物理教学中具有非同一般的挑战性，原因首先在于力学是整个物理学体系的根基，是学生学习物理的入门课；其次在于力学教学不仅仅是知识的传承过程，更是物理思维的训练过程和物理方法的形成过程。因此，力学教学的优化和改进就成了上海二期课改中学物理教学改革所面对的一项重要任务。

《面向 21 世纪上海市中学物理学科教育改革行动纲领》关于中外物理教学的比较研究结论，对于力学教学的改革具有重大指导意义。上海市中小学数字化实验系统研发中心在“数字化信息系统实验室”——朗威®DISLab 的研发过程中贯彻了《行动纲领》和《上海市中学物理课程标准》关于“强调学习过程、自主学习、现象的观察和归纳、发散思维训练、基于实验数据的分析和处理”的指导思想，通过现代化的实验手段为力学教学的改革提供了有力支撑。

一、实现力学实验手段的数字化

长期以来，我国中学力学实验手段一直相对落后于其他实验领域。为了能够在工具层面奠定力学教学改革成功的基础，上海市中小学数字化实验系统研发中心在朗威®DISLab 的研发过程中突出了力学实验教学的需求，抓住测量“力、距离（位移）和时间”这三个关键点，为力学实验教学打造了一系列数字化“工具”。

▲朗威®DISLab 力传感器 传统力学实验中，一般使用测力计进行力的测量。测力计价格低廉、形象直观，应用非常广泛。但其缺点也显而易见：仅适于静态而不适于动态测量；能测拉力而不能测量压力；支持“点测量”而不支持“线测量”，缺乏过程监控能力；另外，测力计本身的精度、读数容易形成偏差也限制了其实验应用。研发中心推出的朗威®DISLab 力传感器（P16 图 19）以工业级应变片为核心部件，将应变片受力后因微弱形变引发的电势差转换为数字信号，进而得出测量结果，并实时显示、记录受力值，描绘出“力—时间”图线，不会遗漏实验过程中的任何细节。

朗威®DISLab 力传感器采用手柄式构造，符合人机工学原理，便于持握，设有专门的固定孔位，与其他实验装置的组合使用方便（图 32）。图 33 为基于力传感器开发的电子天平，可用于实验中物体质量的称量。

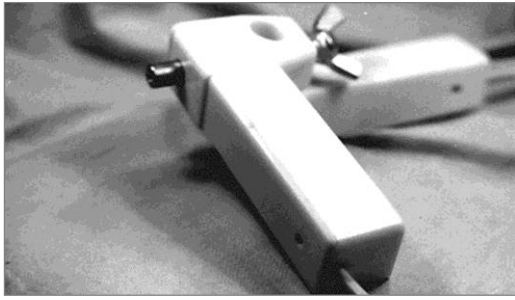


图 32 DISLab 力传感器的升级过程（自上而下，依次为 3.0 版、4.0 版和 5.0 版）

▲位移传感器 位移数据的实时测量是传统力学实验手段中的空白。受此限制，一些教学



图 33 使用 DISLab 构造电子天平

内容的导入比较困难。朗威®DISLab 位移传感器（P17 图 24）基于超声波测距原理，能够实时测量运动物体的位移数据，并可实时绘出“位移—时间”图线。朗威®DISLab 教材专用软件还提供了“速度—时间”、“加速度—时间”图线的转换功能，很好地解决了围绕位移的诸多测量、分析难题。

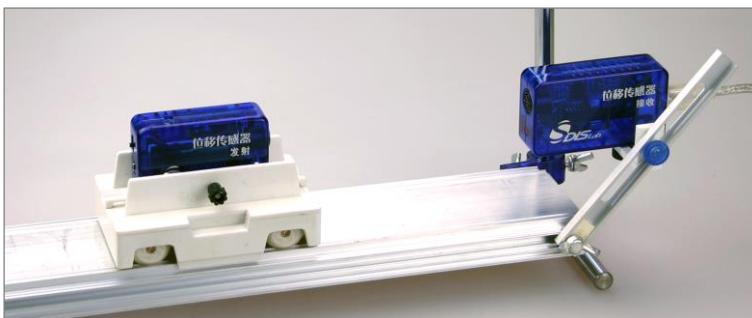


图 34 使用位移传感器研究匀速直线运动

朗威®DISLab 位移传感器采用收发分体构造，测量盲区远小于收发一体式位移测量装置。

▲光电门传感器 传统实验方法中,利用光电门进行力学实验的精度达到毫秒级,已经属于“高技术”了。但是,光电门测得数据后需手动记录和存储,方可导入计算、分析,影响了实验效率的提高。

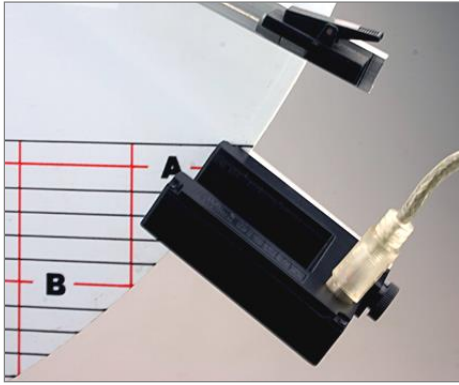


图 35 光电门传感器在机械能守恒实验中

朗威®DISLab 光电门传感器 (P18 图 26) 的优势,首先是测量、显示和记录的一体化功能,挡光结束后,实验数据即时呈现在软件计算表格之中。其次是便于计算和分析,计算表格内置编译器,可代入复杂公式参与运算并支持数据导出到 Excel、Metlab 等软件。另外,朗威®DISLab 光电门的精度高出传统光电门一个数量级,达到了微秒级,使实验教学的质量又获得了提高。

▲软件 朗威®DISLab 的软件是按照实验要求开发的人机接口。教材专用软件设置的力学实验软件中专门针对力、位移和光电门传感器的数据采集设定了最优化的采集频率。教材通用软件在设计开发过程中充分考虑到了力学实验的复杂性,提供了多数数据组合显示、离散点绘图、数据拟合、单独图线控制等分析功能,能够充分满足教学需要。

▲配套实验器材 根据笔者四十多年的物理教学经验,长期困扰力学实验教学的,除了测量工具以外,还有配套实验器材的质量和规范化问题。力学实验器材一方面更新缓慢,多年没有突破实验难关的新品出现;一方面质量普遍较差,像铁架台放不平、竖不直,轨道小车四个轮子不是一个面,力矩盘固定不牢靠,等等,不一而足。这样的器材产生的实验数据肯定是不过关的。因此,测量工具(传感器)越精确,依托这些器材的实验结果越差!如果只考虑改进测量工具而忽略配套器材,那好比开着奔驰轿车走泥路——不仅走不快,还会害了车。为此,笔者从朗威®DISLab 的性能特点出发,结合一线教学的要求,历经四年时间,开发出了朗威®DISLab 多用力学轨道、向心力实验器、力的合成分解实验器、平抛运动实验器、凸型桥实验器等多种力学配套实验器材(详见《朗威®DISLab 用户手册》第二次修订版),已形成了一个相对完整的器材系列,确保了实验数据的标准、规范,朗威®DISLab 精确测量、实时反应、综合分析的优势得以充分发挥。

二、促进物理现象和规律的可视化

物理现象大部分是可见的,但即便是可见的物理现象,有些也不是那么容易被我们的

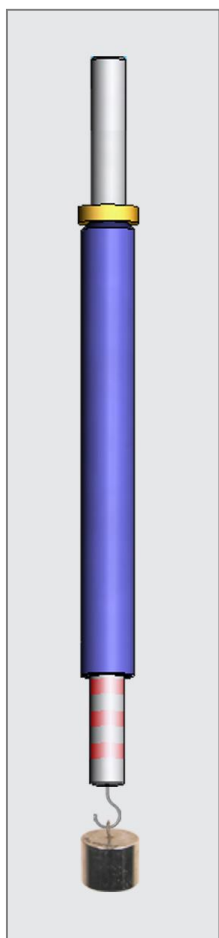


图 36 记忆测力计

目光捕捉。比如使用测力计进行最大静摩擦力实验时，随着逐步增加对物块的拉力，测力计的指针在发生移动。就在物块将动未动的那一瞬间，指针达到最大值。物块开始滑动之后，指针又马上回落并保持在一个常数。看清楚并记录测力计瞬间达到的最大值，是最大静摩擦力实验成败的关键。但我们很难保证学生每次都能看清“瞬间”的变化。力的相互作用、超重失重、碰撞等实验，也都存在观察和记录的困难。

物理实验教学的成功经验表明，把物理现象和规律纳入学生的可视化范围，让学生“看到现象”是必需的。为满足这一教学要求，广大教师做过不少尝试，也有所建树。笔者就曾设计过具有“记忆”功能的测力计

（图 36）计开力描力描置。

计”由成，长拉上的擦力动的

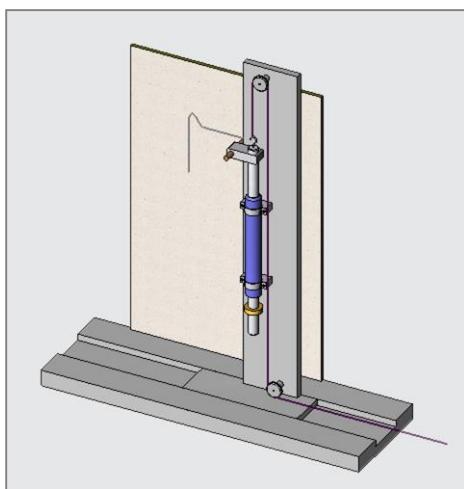


图 37 基于记忆测力计的最大静摩擦力描绘器

36），并使用记忆测力计发出了“最大静摩擦绘器（图 37）”和“冲绘器（38）”等实验装置

其中，“记忆测力木棒、套管和弹簧组利用受力时弹簧的伸动木棒，使套在木棒指示环移动并因为摩擦的缘故停留在木棒移最远处，从而记录下

测力计的最大示数。该记忆测力计的特点是既可测量拉力，又可测量压力。

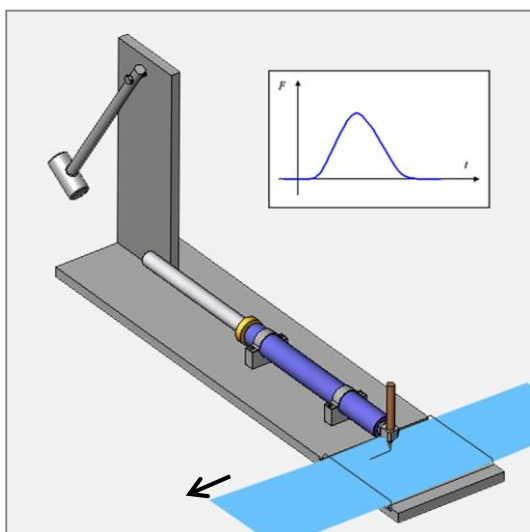


图 38 基于记忆测力计的冲击力描绘器

“最大静摩擦力描绘器”，则是将记忆测力计置于滑块上，通过滑轮系统将施加在滑块上的拉力同时作用于记忆测力计。拉动滑块，牵拉套管内的木棒上升，套在木棒上的笔架和指示环同时移动，在装置侧面的立屏上绘出摩擦力图线。拉力克服摩擦力使滑块开始移动后，即可通过图线的峰值清晰地观察到最大静摩擦力现象，并通过指示环的位置读出最大静摩擦力数值。

“冲力描绘器”，是将记忆测力计连同笔架水平放置，在木槌下落的同时匀速拉动纸带，测力计受到木槌的冲击带动笔架产生位移，就在纸带上绘出了冲力的变化图线，并获得了冲力的最大值。

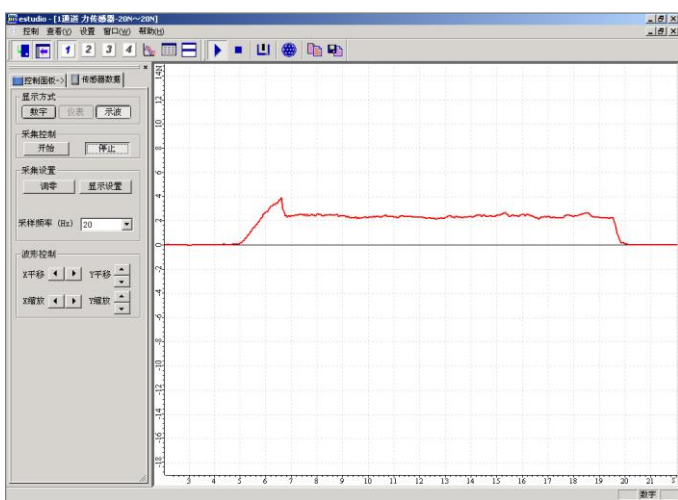
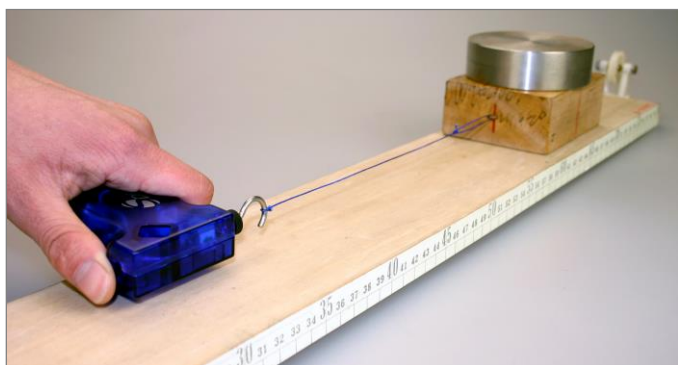


图 39 使用力传感器研究最大静摩擦力（实验装置与 $F-t$ 图线）

律的可视化方面取得了一定进展，引发了实验教学方法的变革。

在使用朗威®DISLab 进行最大静摩擦力实验时（图 39 上），正是靠上述功能，使学生“看到”了最大静摩擦力现象的全部细节（图 39 下）。其中，图线的峰值明确显示了最大静摩擦力的存在，及最大静摩擦力出现后摩擦力趋于常数的物理规律。很多学生反映，正是依靠这段图线，才真正看到了力，理解了什么是摩擦力，什么是最大静摩擦力。与笔者多年前进行的尝试相比，虽有异曲同工之处，但效率和精确度显然不可同日而语了。这就是技术进步、工具发展的力量。

使用朗威®DISLab 传感器进行牛顿第三定律教学，更取得了令人满意的效

上述努力虽然说不上“重大发明”，但当时也解了实验教学的燃眉之急。故面对信息技术与物理教学整合的成果——朗威®DISLab 的时候，颇有“久旱逢甘霖”之感。

朗威®DISLab 基于实验数据自动化采集的实时图线功能，在促进物理现象和物理规

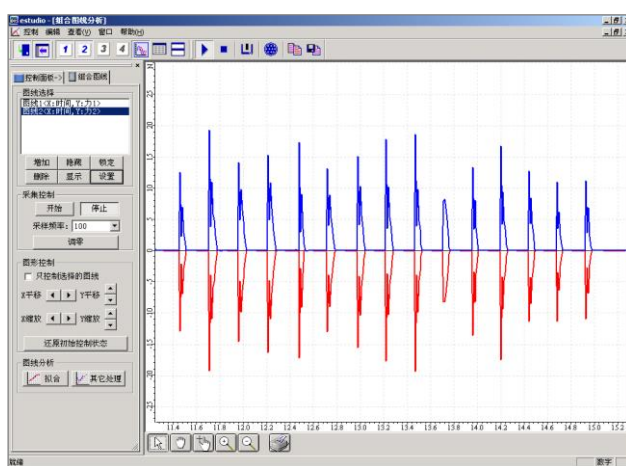
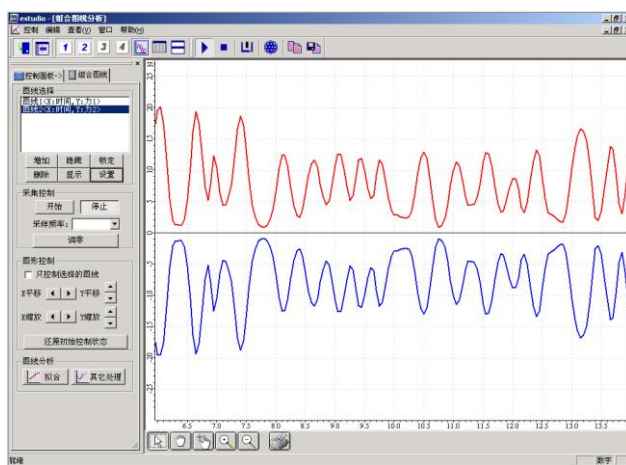


图 40 使用力传感器研究牛三定律（实验装置与对拉和对敲 $f-t$ 图线）

果。实验中，通过软件分别将两只传感器的“力—时间”图线定义为红色和蓝色。两手各持一只力传感器，向相反方向拉（图 40 上）。观察获得的图线，发现两条图线基本重合，表示两力的大小是相等的；将其中一个传感器的图线设为“镜像显示”后重复实验，可获得以时间轴为中心上下对称的两条图线（图 40 中）；保持“镜像显示”，轻轻地让两传感器对敲，获得的两条图线仍然以时间轴为中心上下对称（图 40 下），清晰展现了牛三定律。

据调查，自 2002 年 9 月朗威®DISLab 开始在上海二期课改试点学校试用以来，牛顿第三定律实验被学生们公认为“最有趣”的实验。这意味着实验技术和实验手段的进步不仅让学生“看到”了物理现象，帮助他们总结出了物理规律，还唤起了学生对物理学的兴趣，而这种兴趣正是决定学生在科学探索的道路上能走多远的关键因素。

与力相仿，位移也是一个动态变化的物理量值。怎样实时测量位移的动态变化，比实时测量力更让物理老师头痛。朗威®DISLab 不仅能让**学生看到力**，还能够**看到并测量位移**。在观察弹簧振子的振动图像的实验中（图 41 左），直接将运动发射传感器作为弹簧振子固定在演示装置上，并与位移接收传感器位置相对，使之水平振动，就可以观察到振动图像（图 41 右）。经过研发中心的不断拓展，朗威®DISLab 位移传感器的实验教学应用不仅扩展到了力学、运动学的各个领域，甚至在电磁学实验中也有了用武之地。

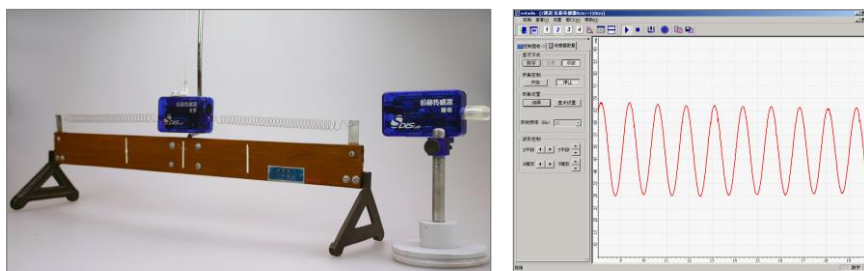


图 41 使用位移传感器描绘弹簧振子的振动图像（实验装置及 s-t 图线）

三、在实时实验的基础上完善实验研究的量化

力学教学中广泛应用了数学方法，数理知识的交互使用促进了学生认识的逐步深化，最终通过数学运算实现了对物理现象和规律的表达。而受限于传统的实验手段，大量的人工读数和记录工作使得从“实验—数据—计算”之间存在一系列的停顿。根据认知心理学的研究，这种停顿势必影响学生头脑中建立“现象与规律”之间的关联。

朗威®DISLab 综合运用多种先进的软、硬件技术，具备了实时采集、显示和记录实验数据的功能。以教材通用软件为例，打开“计算表格”，可分行逐次记录实验数据（每次最多可同时记录四种相同或不同的数据），并分列设置各种变量、参数和公式，因此，实验操作进行的同时，实验数据即可由朗威®DISLab 记录下来并输入计算表格，代入公式后点击“计算”图标即可由计算机瞬间完成针对实验数据的计算，随即得出实验结果。整个实验数据处理过程快捷、高效，不仅不会分散学生的精力，而且还有助于学生将注意力集中在物理现象和物理过程之上，从而强化对物理知识的认知。

在以往使用光电门、数字毫秒计进行的动力学实验中，因数据量大、有效数据位多，且读数、记数、计算、绘图的工作全由人工完成，故实验耗时费力，课堂时间利用率低下，学生很难轮得到独立操作，学习效果不甚理想。而在使用朗威®DISLab 进行的加速度测量实验中，“U”型挡光片（两前沿距离为 0.03m）依次通过两光电门的挡光时间 t_1 、 t_2 自动记入数据

	t_1	t_2	$T=t_2-t_1$	$v_1=0.03/t_1$	$v_2=0.03/t_2$	$a=(v_2-v_1)/t$
1	0.06775	0.04618	0.71982	0.4428	0.6496	0.2873
2	0.09382	0.05236	0.88855	0.3198	0.5730	0.2850
3	0.09254	0.05198	0.87943	0.3242	0.5772	0.2877
4	0.06577	0.04548	0.70403	0.4561	0.6596	0.2891
5	0.07580	0.04846	0.77675	0.3958	0.6191	0.2876
6	0.08265	0.05010	0.82120	0.3630	0.5988	0.2872
7	0.06794	0.04627	0.72137	0.4416	0.6484	0.2867

图 42 自动记录+输入公式+自动运算，得出加速度测量实验结果

表格后，即可根据计算表格的“自由表达式”功能输入“初速度 v_1 ”、“末速度 v_2 ”、“加速度 a ”的计算公式“ $v_1=0.03/t_1$ ”、“ $v_2=0.03/t_2$ ”、“ $a=(v_2-v_1)/t$ ”，重复实验得出多组数据的同时，即可获得上述数据对应的加速度测量结果（图 42）。

在用类似方法研究加速度与拉力关系的实验中，逐次增加配重片的质量使其对滑块施加的拉力逐步增大，在计算表格中增加代表小钩码与配重片质量的变量“ X_0 ”并输入相应数值，输入“拉力”的自由表达式“ $f=9.8*X_0/1000$ ”，即可得出计算结果（图 43）。

	t_1	t_2	X_0	$T=t_2-t_1$	$f=9.8*X_0/1000$	$a=(0.03/t_2-0.03/t_1)/t$
1	0.12472	0.07317	4.5	1.2624	0.0441	0.1342
2	0.07249	0.04328	10	0.7472	0.0980	0.3739
3	0.08054	0.03954	15	0.7376	0.1470	0.5236
4	0.05632	0.03221	19	0.5659	0.1862	0.7046
5	0.06014	0.03132	22	0.5713	0.2156	0.8037
6	0.04963	0.02803	26	0.4952	0.2548	0.9408

图 43 自动记录+输入公式+自动运算，验证牛顿第二定律

快速获得计算结果，并不是实验的终结。基于实验数据的图线分析是物理实验教学常用的工具，而绘图则是朗威®DISLab 软件的强项。利用图 43 中的数据，启动软件的“坐标绘图”功能，选择 X 轴为“ F ”，Y 轴为“ a ”，即可在坐标系中绘出实验数据对应的点。观察发现这些数据点基本呈线性分布，点击“直线拟合”，即得到一条直线

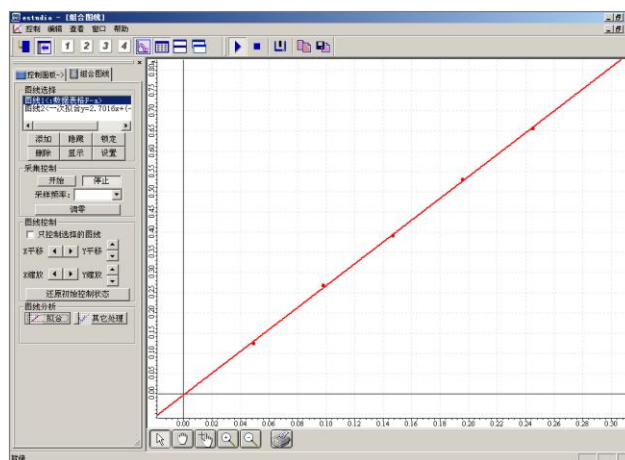


图 44 利用直线拟合功能，快速绘出 F - a 关系图线

（图 44）。由于该直线通过原点，说明在质量不变的情况下，拉力 F 与加速度 a 成正比。

在使用朗威®DISLab 研究加速度与质量关系的实验中，光电门挡光时间自动记录到计算表格当中，随后根据输入的公式得到计算结果（图 45）。

计算表格	t_1	t_2	$t_1 t_2$	m	s	$a=(s/t_2-s/t_1)/t_1 t_2$	$F_x=l/m$
1	0.13363	0.04805	1.21392	0.2200	0.020	0.2196	4.5455
2	0.17551	0.05315	1.47202	0.2705	0.020	0.1782	3.6969
3	0.20383	0.05699	1.65551	0.3210	0.020	0.1527	3.1153
4	0.21974	0.06155	1.74008	0.3715	0.020	0.1344	2.6918
5	0.27559	0.06517	1.97547	0.4220	0.020	0.1186	2.3697

图 45 加速度与质量关系实验的原始数据及输入公式后的计算结果

启动“坐标绘图”功能，选择 X 轴为“ m ”，Y 轴为“ a ”，在坐标系内得到的数据对应的离散点（图 46 上）。

观察发现，数据点在坐标系中的排列体现出明显的双曲线特征（图 46 中）。为验证观察猜想，可将 X 轴定义为“ $1/m$ ”，发现所测实验数据在坐标系中基本呈线性排列。点击“直线拟合”，得到一条接近原点的直线（图 46 下），说明加速度 a 与滑块的总质量 m 的倒数成正比，即加速度 a 则与滑块质量 m 成反比。随后，还可以分析直线与原点之间的存在距离的原因，引出实验误差的概念，并寻找误差产生的原因，进而研究减小误差的方法。

可见，有了朗威®DISLab 软件系统基于实验数据的图线分析功能，实验结果可以变换为更为清晰明了的图线方式，教师和学生可以令实验向全面揭示物理规律的目标迈进。

在上述实验过程中，朗威®DISLab 将实验原始数据实时填入软件的计算表格，根据输入或调用的公式进行计算，实时提供了计算结果，成为使用数学公式揭示物理规律的有力工具。由于数据的记录、计算、绘图均交由计算机完成，实验过程格外紧凑，中间干扰明显减少，教师和学生得以将注意力集中在物理知识本身，这同样是实验技术和手段带来的进步。

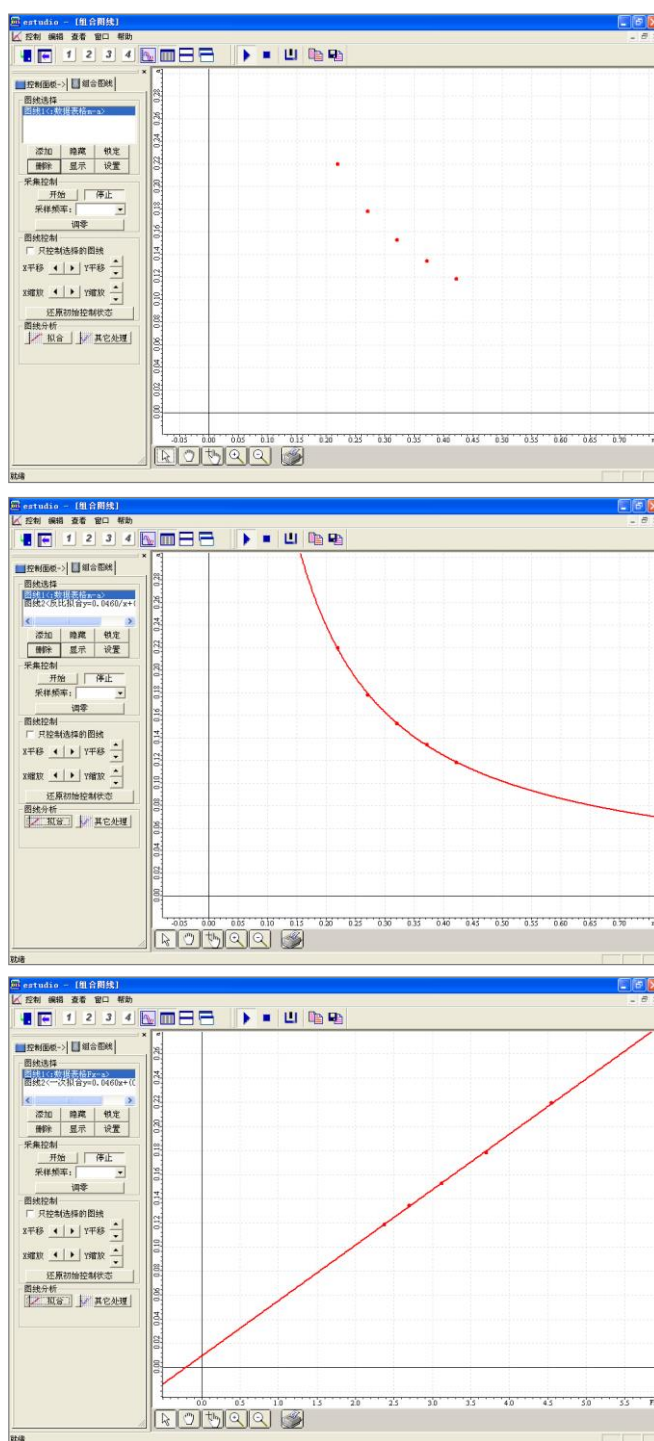


图 46 加速度与质量关系实验的图线分析过程

四、尝试物理模型的图线化

当今世界，图线因能够形象、直观地反映事物发展变化的规律，已被社会各个领域广泛

应用。物理教材中关于物体运动规律，象牛顿定律、振动和波，热学中的气体性质、电学定律的描述等等，都大量应用了图线。但受限于传统的实验方法，教师和学生实验中获得的图线相对繁琐费时，反而导致在物理学习中疏于应用图线，图线作为认知工具的强大功能没有得到充分的发挥。随着朗威®DISLab的研究和开发，研发中心有计划地逐步加强朗威®DISLab软件系统的图线功能，使之操作简便、显示及时，并增加了基于图线进行进一步分析研究的功能。

超重失重实验就是一个应用朗威®DISLab图线分析、图线建模功能的鲜活案例。

2005年12月11日，广东省高中物理新课标教材培训在深圳市罗湖区滨河中学举行。该校别开生面地推出了由学生主导的、基

于朗威®DISLab的十余堂探究实验课，其中就包括超重失重研究。学生手持吊有砝码的力传感器在垂直方向加速运动（图47上），即获得了清晰的“ $F-t$ ”图线（图47下），从中观察到超重、失重现象。在学生分析和讲解超重失重现象时，就是将实验获得的“ $F-t$ ”图线作为模型加以分段研究，从而清晰而透彻地阐明了物理规律，实现了既定的教学目标，博得了与会代表的一致好评（图48）。

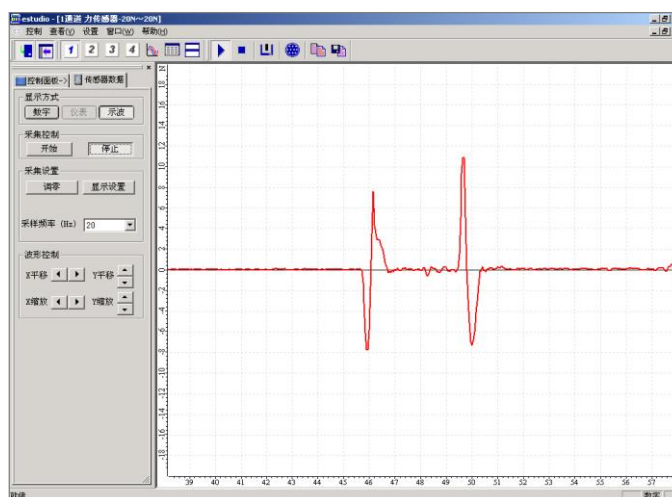


图 47 超重失重实验的操作及实验结果 ($F-t$ 图线)

大量教学经验说明：在实验之前，教师首先引导学生基于猜想，给出某种运动状态下产生图线的基本特征；随后进行实验，再根据已经获得的图线，推出该图线的某一个区段所表征的运动状态。这不仅符合学生的认知规律，而且这种交互式的教学，还促进了学生以物理学的思维方式去读懂图线、建立模型。在这一过程中，朗威®DISLab 将发挥不可或缺的作用。



图 48 深圳滨河中学的学生自主讲解超重失重实验探究过程

本着这一思想，笔者配合上海二期课改物理教材编写组对高中物理教材中的实验进行了精心设计和编排。高一年级第一个实验

是利用学习使用朗威®DISLab 位移传感器，接着就是使用位移传感器研究匀速直线运动。在这个实验的专用软件界面中，首次展示了“物理量-时间”图线，即 $S-t$ 图和 $v-t$ 图。待学生对图线的意义有了基本了解之后，类似图线在随后的“从 $v-t$ 图求加速度”、“牛顿第二定律”等实验中反复出现。这些实验注重物理方法的导向，强调图线的功能模型和利用图线解决问题的能力，使学生借助图线这一模型对物理概念的理解在层次上不断递进和扩展。



图 49 DISLab 向心力实验器的构成

在使用朗威®DISLab 进行向心力实验时，我们继续尝试以图线促进学生构建物理模型，进一步强化了图线的教学功能。根据朗威®DISLab 力传感器和光电门传感器基于向心力实验器（图 49）采集的向心力和角速度数据，在教材专用软件坐标系中实时绘出“ F 和 ω ”关系数据点。观察数据点的排列规律，鼓励学生依据各组数据点排列的共同特征展开猜想—— F 和 ω 之间到底是怎样一种关系？随后，学生可以把通过软件拟合工具绘出的一次、二次和三次图线与数据点的排列状况进行比对，最终根据最接近的图线，判定 F 和 ω 之间是二次方关系（图 50 上）。依照“控制变量法”，逐次改变砝码的质量和圆周运动的半径，可获得多组数据点（图 50 下），使用拟合工具加以分析，可以发现不同组数据点的排列都符合二次方关系。

教学实践证明，基于朗威®DISLab 的向心力实验课生动、有趣，学生动手积极、发言踊跃、思路开阔。课后学生反映：头脑中数据图线和物理规律之间已经开始“搭界”，图线不再仅仅是对物理现象的直观描述，而已经发展成为表达物理规律的模型和验证实验结果的工具。

有了在朗威®DISLab 教材专用软件中运用图线工具建立物理模型的成功经验，研发中心在朗威®DISLab 教材通用软件的功能设置中进一步强化了图线绘制和分析功能，支持了图线的教学应用。

在力学教学过程中，朗威®DISLab 的应用不仅改进了实验条件，还通过图线功能为学生开始学习建模，并理解模型所代表的物理现象与物理规律之间的关联提供了一定帮助。本文中，我们特别强调了模型对于物理教学的特殊意义，以及观察现象、提炼要素、建立模型、研究模型、验证理论、掌握规律、实施推理，这是物理学习、物理教学均应遵循的必要步骤。

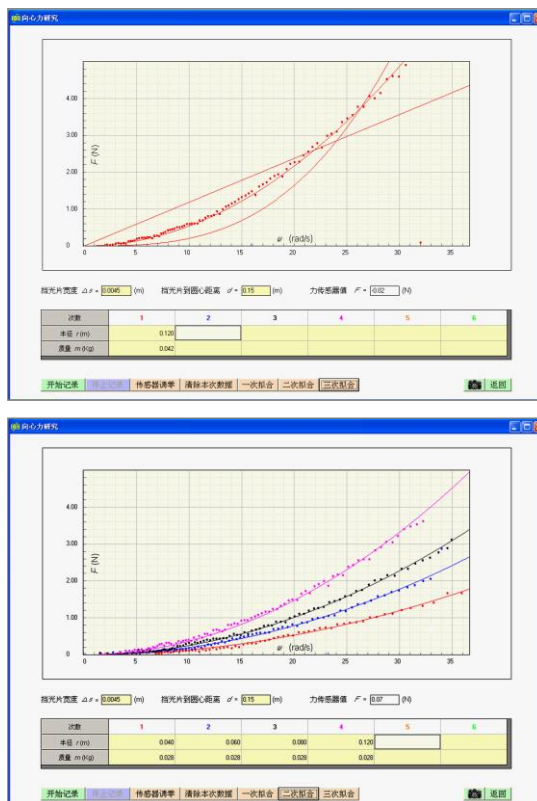


图 50 向心力实验数据分析过程（教材专用软件）

（原载于《物理教学》2004 年 11 月号）