

# 朗威®DISLab 与电磁学实验教学

电磁学是高中物理课程的重要组成部分，具有内容广泛、扩展性强、与现实结合紧密等特点。但电磁学研究的对象相对抽象，再加上受限于传统的实验手段和方法，使一些物理现象不能够清晰展现，影响了学生对物理规律的认识，特别是物理建模能力的培养。有的学生甚至因为电磁学的“艰深、晦涩”而失去了学习物理的信心。

随着上海市第二轮课程教材改革的深入，上海市中小学数字化实验系统研发中心和试点学校就朗威®DISLab 在电磁学实验教学中的应用进行了大量探索研究，并取得了一定的成效。

## 一、实验手段，明显改观

实验是物理教学的基础。纵观物理学发展史，多次出现实验手段的更新引发物理学革命的实例：牛顿棱镜与光学的进步、卡文迪许扭秤与万有引力定律的验证、“本生灯”和分光镜与光谱分析技术的发展，等等。上海二期课改要求从根本上提升物理教学的质量，也促使我们在实验手段和实验方法方面下功夫。

作为一个由传感器、数据采集器、计算机和实验软件构成的实验系统，朗威®DISLab 在电磁学实验方面提供了一些优于常规的实验手段和实验方法。

### 1、数据采集手段

朗威®DISLab 在电磁学实验方面现有电压、电流、微电流、磁感应强度等四种基本传感器（图 51）。这些传感器的应用方法与传统仪器仪表基本相同，比如电流传感器和微电流传感器串连于电路中，而电压传感器则并联于电路中。但使用传感器进行数据采集与传统仪器仪表的测量的显著区别，就在于传感器可以高频率、高密度连续采集并传送实验数据，实时展现实验过程中物理量的变化，我们称之为“线采集”。而传统仪表只能由人工操作进行“点采集”，无法展示实验的全过程和关键细节。从仪器的分度和测量的精度方面，朗威®DISLab 电磁学传感器也要高于传统仪器仪表。



图 51 自上而下，电流、电压、微电流和磁感强度传感器

## 2、数据显示和记录手段

如果将朗威®DISLab 看成一件仪器，则该仪器测得的数据既不是通过指针、也不借助数码管或阴极射线管，而是通过计算机屏幕显示出来。也正是因为计算机成为实验系统的一部分，借助其强大的功能可以让实验数据同时具备数字、指针和波形（图 52）等多种显示方式。尽管显示方式不同，但其基础都是实际测量到的实验数据。通用软件支持从“数据到图线”和“从图线到数据”的往复回溯。

波形图线具有暂停、回放和存储功能，可更好地体现物理过程，有助于在教学过程中进行关键细节的研究。



计算表格	$P1$	$T2$	$t$	$v$
1	104.1	15.4	12	2
2	104.0	15.4	12	3
3	104.1	15.4	12	4
4	104.0	15.4	12	5
5	104.1	15.4	12	6
6	104.1	15.4	12	7
7	104.0	15.4	12	8
8	104.1	15.4	12	9
9	104.0	15.4	12	10
平均值	104.0556	15.4000	12.0000	6.0000

图 53 DISLab 通用软件中的公式调用及数据计

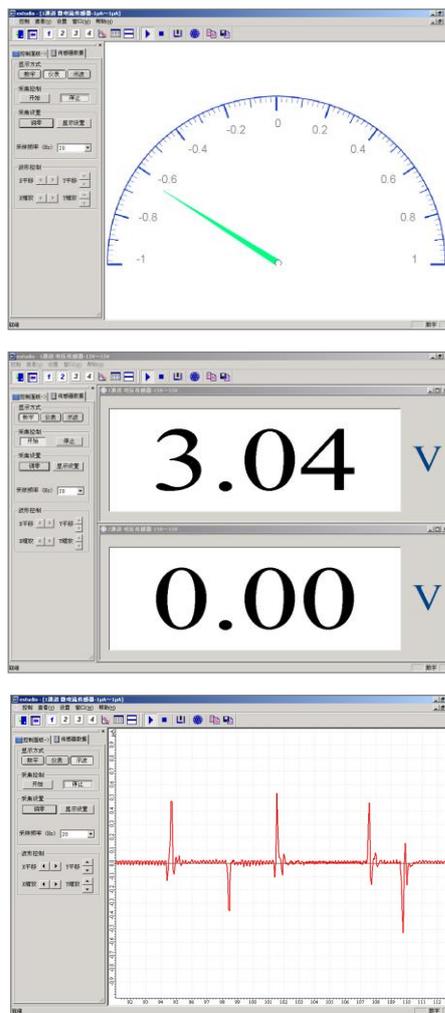


图 52 自上而下，指针、数字和示波显示

## 3、数据处理手段

图 53 DISLab 通用软件中的公式调用及数据计

朗威®DISLab 针对传感器测量到的真实数据进行分析和处理，这与虚拟实验软件功用大不相同。朗威®DISLab 的计算表格支持数据导出，方便了实验数据的跨软件使用。软件中设置了“波形回放”、“采集频率调节”、“组合（并行）显示”、“数据计算（包括函数计算和任意次方）”、“物理公式库调用”、“图线缩放”、“多项式拟合”、“求导”等多项功能（图 54）。可在实验坐

标内直接点出实验数据点（离散点），并支持基于离散点的图线绘制、拟合及计算。从某种意义上讲，朗威®DISLab 实验软件就是一种新的实验数据处理工具。

由于实验手段的改进和提高，电磁学实验数据记录、计算和处理效

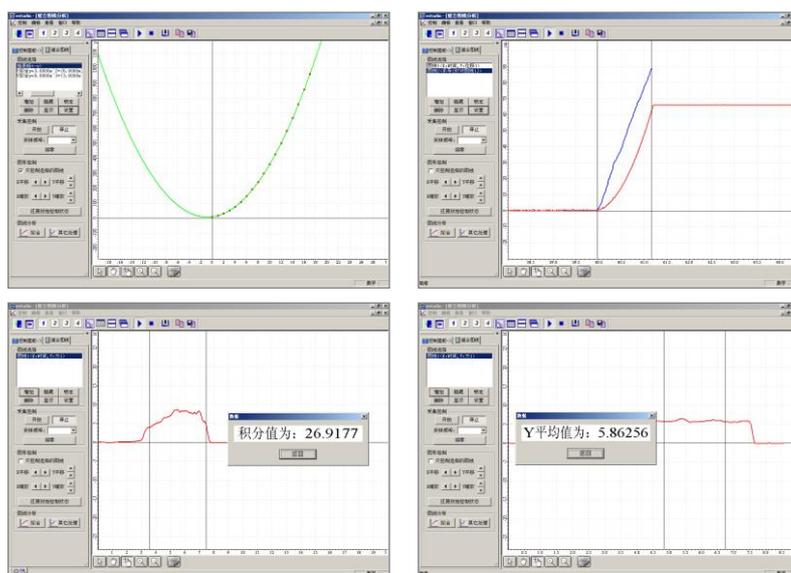


图 54 DISLab 通用软件的拟合、求导、积分和求平均功

率大大提高，实验操作方面的重复劳动减少，实验现象的展示更加丰富、全面和直观，教师和学生得以将大部分时间用于理解物理学本身上。

## 二、突破局限，弥补不足

在电磁学教学过程中，明确要求学生建立“电—磁”关系模型，并理解磁现象的电本质。此类实验对仪器设备有特殊要求：不仅需要测量正常实验范围内的电流电压，还需要能够测量微安级的微小电流信号；不仅需要测量电信号，还需要测量磁场的磁感应强度。而传统实验仪器在这方面恰恰存在欠缺。朗威®DISLab 提供的微小电流信号及磁场强度的探测手段，使“器材制约实验”的局面得以改观。

例如，导体切割磁力线感生电流实验中，最理想的实验方案是使用单根导线。原因在于单导线结构最为简单，最符合教材中对导体切割磁力线感生电流的描述，学生不存在认知困难。但由于传统实验中测量微小电流信号的灵敏电流计只能达到毫安级，再加上单根导线切割磁力线的感生电动势很小，得到的感生电流相当微弱，导致灵敏电流计指针偏转很不明显。因此在教学实践中，根据导线垂直切割磁力线公式—— $\varepsilon = BLV$ ，有时采取增强磁场（如采用钕铁硼磁铁）、增加导线在磁场中的有效长度  $L$  的方法，或直接使用微电流放大电路。采用这些措施虽然取得了一定效果，但由于对器材提出了较高要求，实验准备复杂，加重了教师负担。教师往往只能退而求其次，使用多匝线圈代替单根导线，使得学生在认知过程中增加了将多匝线圈视为单一导体的“头脑转弯”工作。

朗威®DISLab 微电流传感器将实验精度由灵敏电流计的毫安计提升到了微安级，从而能够清晰地观察单根导线切割磁力线感生的电流，许多教师多年的设想得以实现（图 55）。不仅如此，微电流传感器提供的多模显示方式使得感生电流的呈现方式更加符合教学的要求：在“示波显示”方式下，学生不仅可以观察到感生电流现象，还可以在导线的运动与“电

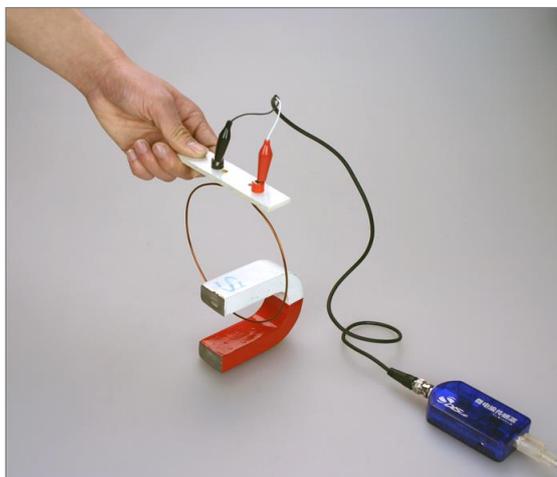


图 55 使用微电流传感器进行单导线切割磁力线感生电流实验

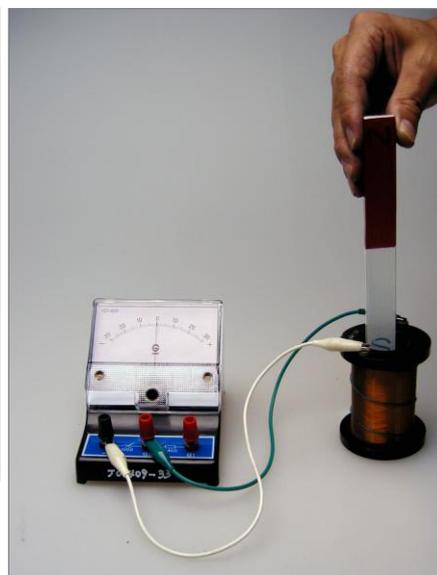


图 56 传统的楞次定律实验装置

流一时间”图线之间建立对应关系。实验数据图线的模型意义开始凸现。

以往在做楞次定律实验时，因电流计的灵敏度较低，故只得使用多匝线圈，一般多达数百匝（图 56）。采用朗威®DISLab 微电流传感器，即使使用单匝线圈也能取得满意的实验效果（图 57）。借助实时绘出“电流-时间”图线，可清晰地观察到感生电流的大小和方向变化（图 58）。

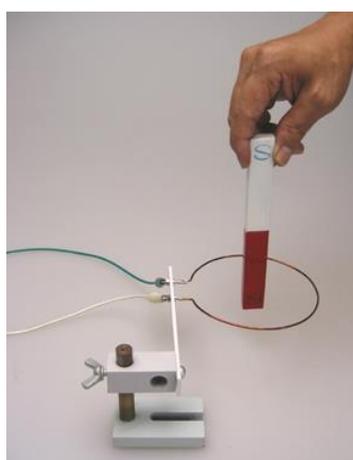


图 57 使用 DISLab 的单匝线圈楞次定律实验

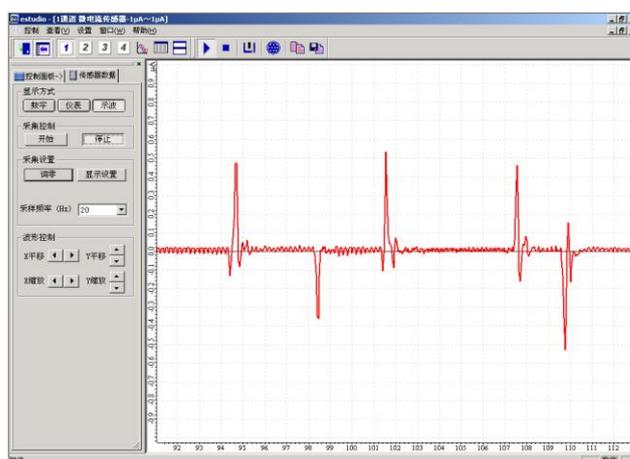


图 58 单匝线圈楞次定律实验中获得的“电流-时间”关系图线

利用图 57 所示的实验装置，可将楞次定律实验做进一步的升华：使单匝线圈与实验台面平行，将条形磁铁的一端置于实验台面上，保持条形磁铁与实验台面和线圈的垂直，使之做水平运动（图 59），此时没有感生电流出现；倘若使单匝线圈与实验台面产生一个夹角，

则令磁铁做同样的运动即可观察到感生电流的出现。鼓励学生在这个对比实验的基础上深入分析其成因，无疑具有较高的教学价值。

再如，“直线电流的磁场”是验证电磁关系的另一个重要实验。但在使用传统方法进行实验时困难重重。其中首先面临的困难，是缺乏磁现象的量化测量手段。当年笔者挖空心思使用量角器加小磁针自行构造测量装置，仅能勉强实现量化（图 60）。其次是直线电流的获取问题。如果把一根直长导线直接接在电源上，就会形成短路并损坏电源；如果联入电阻器，在减小电流的同时磁场也随之减小，实验现象又会变得不清晰。笔者也曾采用过电容放电和触发通电方式。像图 60 中使用导线绕成一个数十匝的线框，将其一边用作直导线，实属不得已而为之。

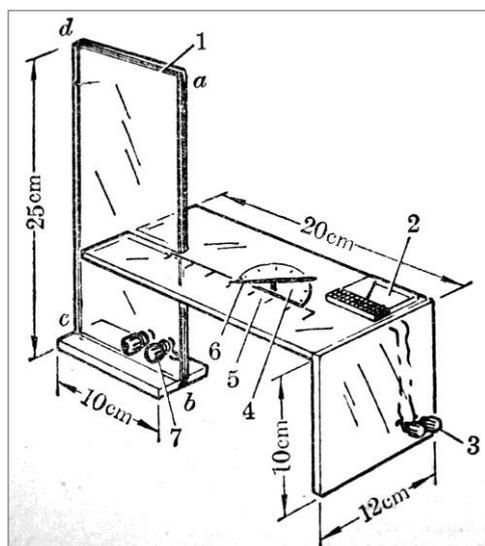


图 60 笔者多年以前开发的直线电流磁场实验装置

因朗威®DISLab 的应用，“直线电流的磁场”实验变得简单易行，而且从定性观察上升到了定量分析层面，实验质量和教学效果得到了提升。

由上述实验可知，凭借微电流和磁感强度传感器，朗威®DISLab 有

效解决了微小电、磁信号的测量问题，为传统的疑难实验带来了令人满意的新做法。同时，

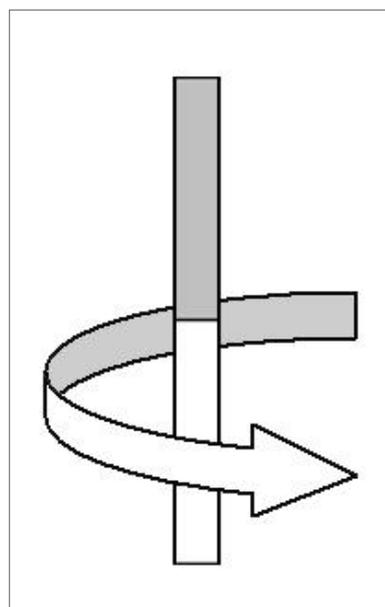


图 59 磁铁做垂直于线圈的水平运动

而朗威

®DISLab 磁感强度传感器不仅实现了磁场现象的量化测量，而且其灵敏的感测功能使得直线电流的获取变得格外方便：可按照图 61 所示，选择一根粗铜丝，将其串联在滑线变阻器上，接上学生电源（额定电流 3A）。将朗威®DISLab 磁感应强度传感器水平固定在粗铜丝同一个平面内，传感器指向与粗铜丝垂直，进行软件调零。接通学生电源，可获得粗铜丝周围的磁感应强度测量值。改变传感器与粗铜丝之间的距离，发现随着距离的减小，磁感应强度增大。保持传感器与粗铜丝之间的距离不变，调节滑线变阻器改变通过粗铜丝的电流，发现随着电流的增大，磁感应强度也增大。

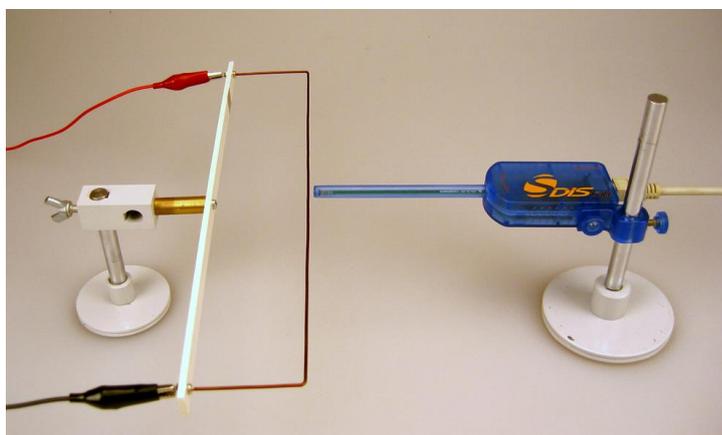


图 61 使用 DISLab 磁感强度传感器进行直线电流磁场实验

硬软件的有机结合增加了实验的深度，拓展了电磁学实验的广度，众多极为精彩、对学生有很大启发、必须通过微小信号测量才能够完成的拓展型实验，如人体导电、大地电流、水果电池、纯水导电、热电偶等，得以进入实验室和课堂。学生可以全方位地拓展实验空间，广泛研究身边有趣的电磁现象，而这正是信息技术与物理教学整合的目的所在。

### 三、读懂图线、认识规律

随着对朗威®DISLab 研究和应用的深入，我们认识到：朗威®DISLab 提供的实验数据图线具备物理模型的意义。通过图线展示物理现象的过程，也是让学生开始学习建模，并从物理现象的模型中寻找物理规律的过程。此外，读懂图线、认识规律不仅是物理教学要实现的目标，同时也是一个认识社会、适应社会的基本素养。

在电磁学教学中，朗威®DISLab 的图线功能发挥了相当大的作用。实时描绘“物理量—时间”图线，即可建立物理现象与物理规律之间的对应。获得实验数据后，还可以在坐标中

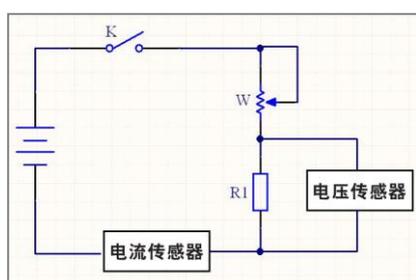


图 62 欧姆定律电原理图

使用朗威®DISLab 的欧姆定律实验(电原理图见图 62)，比较全面地展示了朗威®DISLab 的“数据—图线”功能的教学作用：

将多次改变滑动变阻器后测量的电压、电流值记入计算表格，在表格的公式列中输入  $R=U_1/I_2$ ，点击“计算”，根据结果可以看出，电压与电流的比值  $U_1/I_2$  基本上为一常数，表明二者成正比关系。启动“坐标绘图”，选择 X 轴为“ $U_1$ ”，Y 轴为“ $I_2$ ”，可见坐标系内数据点呈直线排列。点击“直线拟合”，得出一条基于数据点的直线，同样反映了电流电压的正比关系(图 63 上)。

在计算表格的公式列内输入公式“ $Y=I/R$ ”与“ $U=I_1 * R$ ”。得到计算结果后启动“坐标绘图”，首先定义 x 轴为“R”，y 轴为“ $I_1$ ”，观察发现坐标系内的数据点排列呈现双曲线特征(图 63 中)，表明电阻与电流之间有可能存在反比关系。为了验证反比关系的存

在坐标中点出数据点(离散点)、进而拟合绘图。这样，学生就可以将数据、数据点、图线之间关联起来，并开始在海

中逐步构建物理模型。

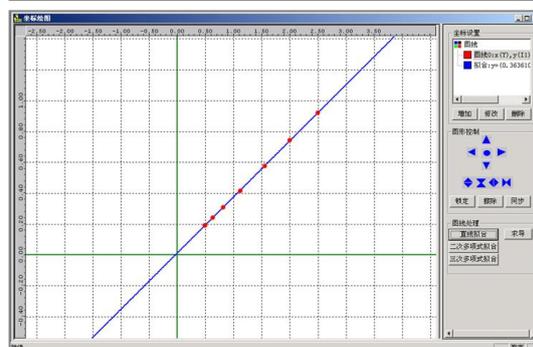
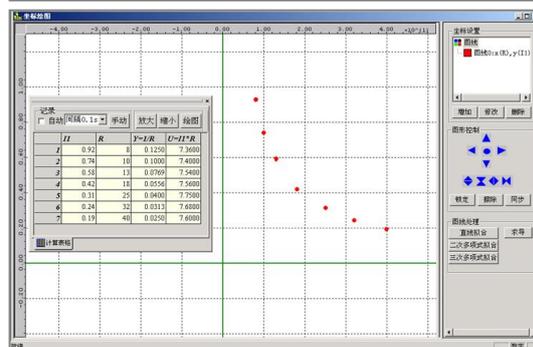
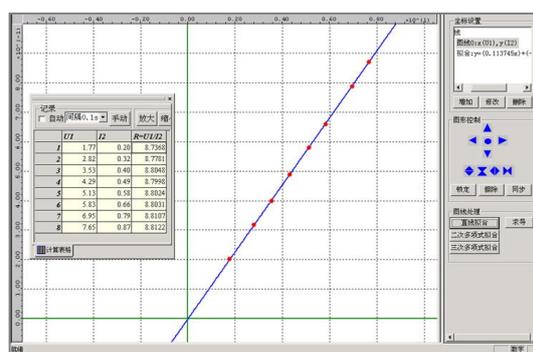


图 63 DISLab 通用软件数据计算和图线分析功能在欧姆定律实验中的的综合使用

在，将  $x$  轴定义为  $Y$ ，即“ $1/R$ ”（电阻的倒数），可见数据点呈直线排列，点击“直线拟合”，得出一条过原点的直线（图 63 下），说明电阻与电流倒数之间为成正比关系，从而验证了电阻与电流之间的反比关系。

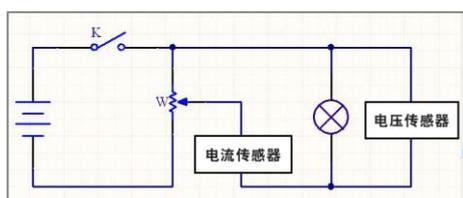


图 64 小灯泡伏安特性曲线实验电原理图

在使用朗威®DISLab 电流和电压传感器和教材专用软件进行描绘小灯泡  $U-I$  特性曲线实验（电原理图见图 64，实验装置图见图 65 上）时，首先记录下多组电压以及对应的电流值，接着通过软件的绘图功能描绘出电流与电压关系图线（图 65 下）。该实验还可以进一步扩展：如果在

图 64 所示的电路中用电阻替换小灯泡，重复实验得到的电流电压关系图线与欧姆定律实验中的类似。组织学生讨论是什么原因造成了两图线差异，可导出本实验的关键：小灯泡的温度变化改变了灯泡电阻，且此时其阻值变化规律呈现相对复杂的非线性特征。

上述两个实验的操作，使学生经历了“数据采集→计算→描点→画线(拟合)→增加变量→再采集→计算→描点→画线(拟合)”的过程，最终基于实验数据、数据点和图线，归纳出了电流与电阻之间的关系。学生通过获得并处理实验数据，不仅认识到了图线的由来，而且开始初步认识到图线背后的模型意义：数据点呈直线排列，反映的是成正比关系；数据点呈双曲线排列，反映的则是反比关系；而小灯泡伏安特性曲线实验中获得的实验结果图线，既非直线，也非双曲线、抛物线，其数学表达式难以给出。上述实验结果既反映了物质世界的规律性，又揭示了其复杂性，对学生认识水平的提高无疑有巨大的帮助。

#### 四、捕捉细节，突破难点

在电磁学实验教学过程中，一些物理现象持续时间很短，可以说稍纵即逝，比如自感现象、电容充放电等，均属于这类“暂态信号”。基于传统仪器，物理现象的表现不过是小灯泡的瞬间明灭或电流表/电压表指针的快速摆动，学生的感观捕捉不到仪器的瞬间变化，思维来不及跟随，实验效果受到影响。因此，怎样捕捉暂态信号，并且能将其展示在学生面前，一直令教师们很伤脑筋。

朗威®DISLab 具备实时图线功能，可以记录物理信号全过程变化。由于采集频率很高，

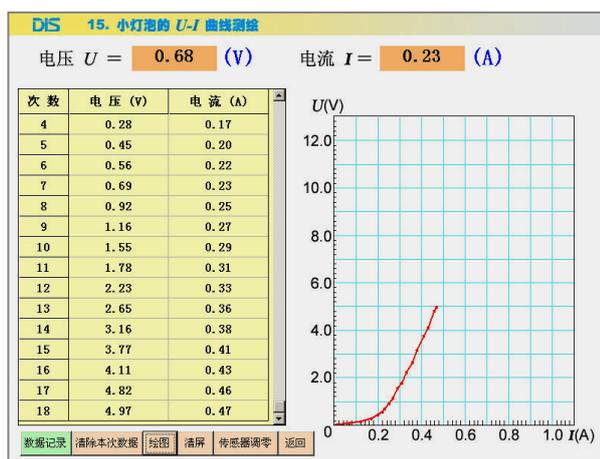
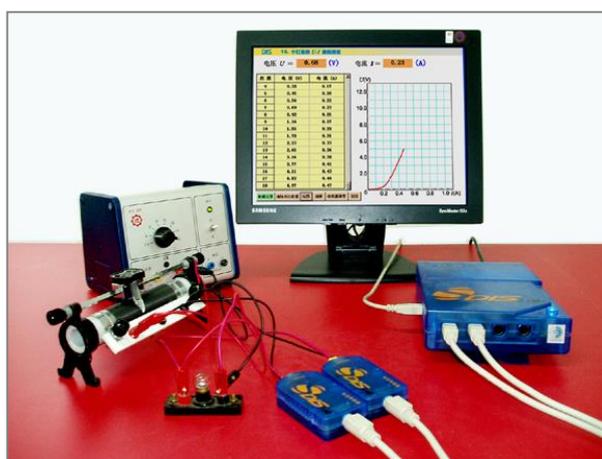


图 65 小灯泡伏安特性曲线实验装置及实验结果（教材专用软

所采集到的每个数据点之间的间隔很小,因而可以保证实时绘出的图线能够反映物理信号变化过程中的每一个细节。再加上图线存储、回放和放大观察功能,就相当于给教师们提供了一台高灵敏存储示波器,对于解决电磁学实验中暂态现象的观察和记录提供了一种很好的方案。

电容充放电就是一个典型的暂态现象实验。传统条件下,使用小灯泡或电流表来观察电容充放电现象,实验电路的电原理如图 66A、B 所示。

其中 A 方案使用小灯泡看似简单,实际却包含很多要点:电源的电动势、电容容量及灯泡的电阻必须搭配适当,电源的内阻必须很小,否则不能保证小灯泡随着电容的充电、放电呈现足够的亮度,而且容易造成灯泡烧毁。B 方案使用电流计相对较好,能够在观察到电流变化的同时显示出电流的方向。但两种传统实验方法的共同缺陷,是无法展示电容充放电引起的电流变化的全过程。虽然可借助示波器,但根据笔者的经验,该实验对示波器的参数和使用操作的要求也很高:要求示波器扫描时间 1~3 秒,还需具备触发及存储功能;充电时要将示波器触发置于“内+”,而放电时则置于“内-”;另需保证“y”的增益要很大,否则无法形成触发。鉴于上述情况,电容充放电实验一直存在实验手段的“瓶颈”。

而采用 C 方案,即使用朗威®DISLab 电流(或电压)传感器进行电容充放电实验(图 67,配套选

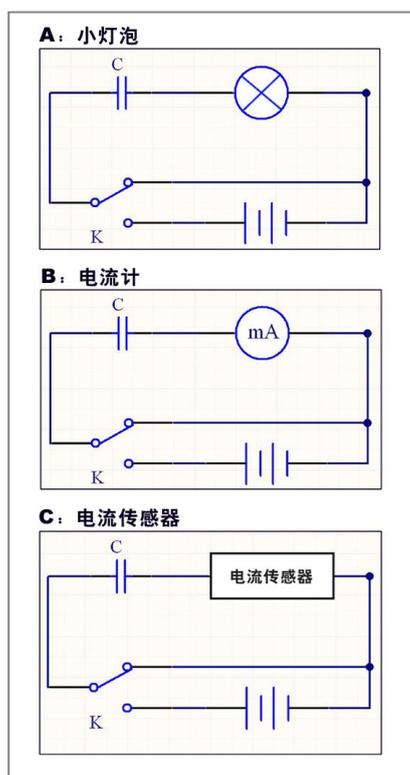


图 66 电容充放电实验电原理图

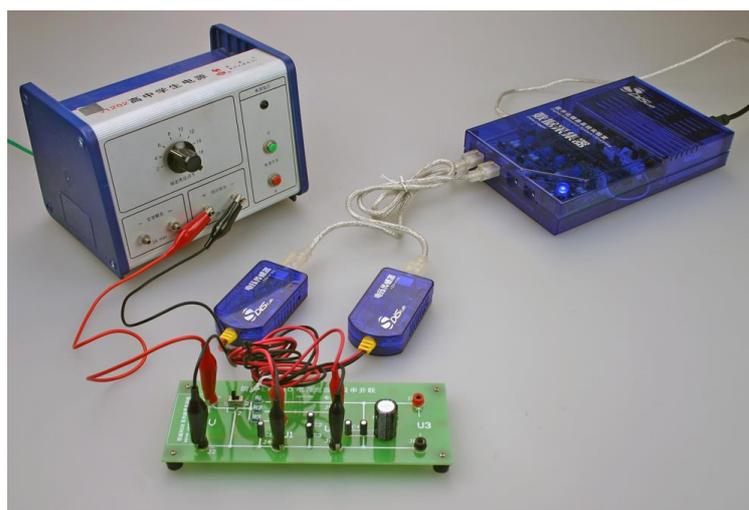


图 67 使用朗威®EXB 系列电学实验板进行电容充放电实验

用朗威®EXB 系列电学实验板),首先可以选择“示波显示”方式相对容易地描绘出反映充放电过程中电流/电压随时间变化的图线(图 68 上),让学生对该物理过程有一个基本了解。接下来,可使用朗威®DISLab 计算表格的“自动记录”功能,调节采集频率(数据点时间间隔),可获得充/放电过程中的电流/电压数据,进而通过“坐

标绘图”描绘出实验数据对应的离散点(图 68 下)。教师引导学生对离散点的排列规律进行

观察，并与实时绘出的充放电图线加以对比，一方面可以强化对充放电规律的认识，另一方面可以使学生理解图线背后的实验数据基础，掌握殊途同归的研究方法。有了图线和离散点图像，教师再将电容充电时电流/电压的变化规律总结为具有“指数特征”的图线，学生也就能理解和接受了。

相对于电容充放电实验，自感现象实验的“暂态”特征更突出，实验的难度更大，对观察和分析手段的要求更高。自感现象实验的关键，在于让学生对通电、断电之后，两个支电路（其中一个连接自感线圈）电流的变化情况产生区别（图 69）。而产生区别的原因，则在于

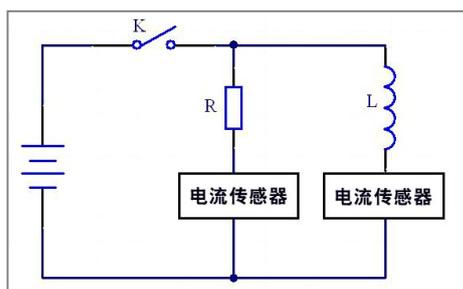


图 69 使用 DISLab 进行自感现象实验的电原理图

亮度变化识别能力的差异，致使该实验方法的可靠性较差。再者，小灯泡仅能通过亮度变化显示电流的有无、强弱，不具备指示自感电流方向的功能。因此，使用该方法，很难把实验做深、做透。

使用朗威®DISLab 进行自感现象实验时（图 70，配套使用朗威®EXB 系列电学实验板），可选用两只电流传感器，分别替代传统实验电路里的小灯泡或电流表。启动“坐标绘图”，定义两条图线—

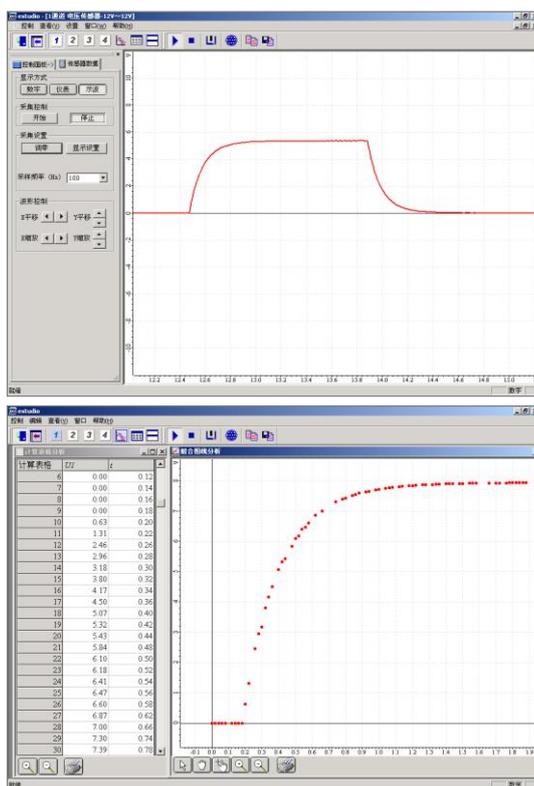


图 68 电容充放电实验数据及图线结果

自感线圈之于电流的阻碍作用。笔者对此常用的比喻是：“就像稻田里的淤泥，下脚时不让你一下踩到底，拔脚时又吸住你不放”。

以往的教学实践中，为让学生看到这种变化，一般采用在电路中串接小灯泡的方法。但由于决定小灯泡亮度的因素并非只有电流，加上人眼对

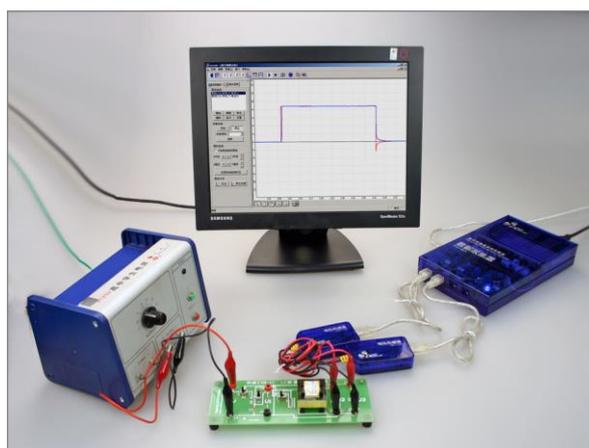


图 70 使用朗威®EXB 系列电学实验板进行自感现象实验

—“ $I_1$ —时间”与“ $I_2$ —时间”。拨动开关，使电路通电、断电后，通过坐标缩放功能适当将记录的图线放大，即可得到两条清晰展示通电自感与断电自感现象全过程的图线（图 71）。

教学实验课上，教师可以引导学生基于图 71 所示的组合图线对电流的变化过程进行分段研究，并按时间顺序对两条图线加以解读。通过对通电瞬间、通电后、断电瞬间和断电后四个阶段的观察、分析，不难得出结论：电感与电阻在电流增大或减小过程中对电流的阻碍作用不同。在电流稳定时，阻碍作用相同；电感对

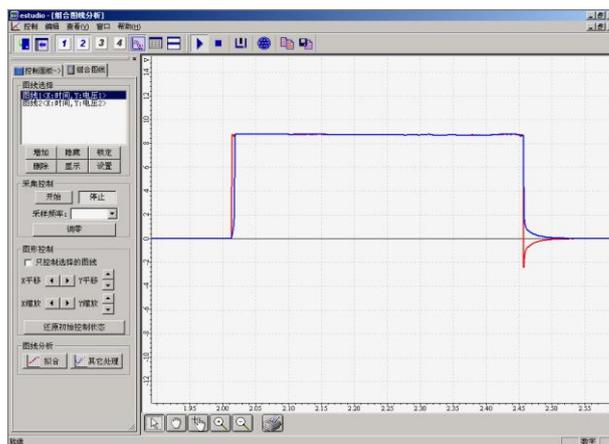


图 71 自感现象实验结果

电流的增大或减小（电流的变化）有阻碍作用，其作用体现在延长了电流变化的时间；断电时，存储在线圈里的电能随即释放，致使电流在电感与电阻形成的回路中流动，表现为通过电感的电流缓慢回落而电阻的电流方向瞬间反向。

此时，有经验的教师会再次启用传统的自感现象演示器，展示两只小灯泡的亮度变化，学生普遍对灯泡亮度变化这一表象背后的原因已经了然于胸。此举无疑还将加深学生对图线所揭示的电流变化过程的理解。在 04 年全国物理教学创新大赛的公开课上，北京十一学校秦建云老师就按照上述程序完成了自感现象的教学过程，并勇夺大赛一等奖第一名。

上述两个实验说明，在暂态现象的测量实验中引入朗威®DISLab，可以捕捉并放大物理过程中的瞬间变化。而“看到”物理现象，正是学生理解和认识物理规律的第一步。这也不由得引人思考：如果仅仅凭借传统仪器，学生对物理规律的理解能有这么透彻吗？

## 五、创新实验、启发探究

在评判某一种工具的作用和意义时，其中一项指标就要看这种工具能否支持使用者进行创新和创造。根据二期课改的理念，物理实验教学所承载的教育功能不仅仅是让学生学会物理知识本身。这就对实验仪器设备提出了新的要求：必须有助于培养学生良好的学习习惯和思维品质，能够对学生的自主学习和自主探究形成有力的支持。

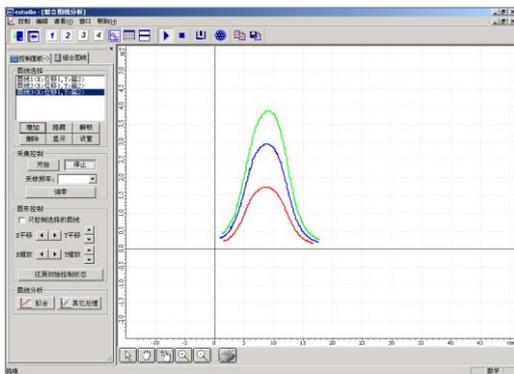
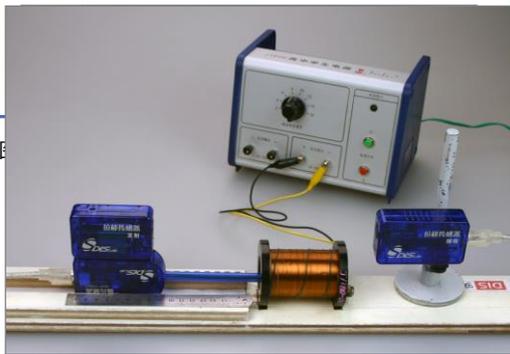
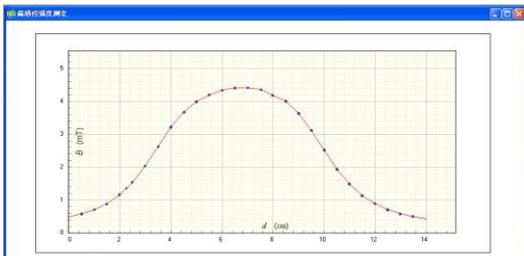
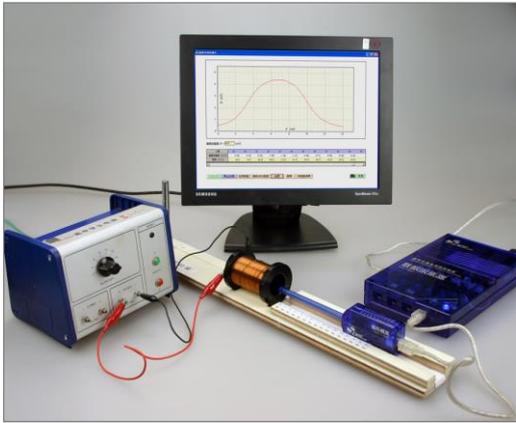


图 73 同时使用位移传感器与磁传感器研究通电螺线内部磁场分布实验装置及实验结果 (DISLab 教材通用软件)

在使用磁感应强度传感器研究通电螺线管磁场的时候，给定的实验方法是将通电螺线管置于在标有刻度的座板上(图 72 上)，按照固定间隔把传感器逐步推进螺线管内部，每推动一次记录下当前的位移和磁感强度数值，从而绘制出通电螺线管磁场分布图线(图 72 下)。

从教学实践来看，学生对此方法掌握得很快，教学效果也很好。但是通过深入课堂教学，发现有的学生并不满足于给定的实验设计，开始自己异想天开地“鼓捣”，而且居然弄出了“名堂”：他们根据高一阶段对朗威®DISLab 位移传感器功能的了解，提出了将磁感应强度传感器与位移传感器组合使用的创意。如图 73 (上) 所示，组合后的新装置能够实时描绘出“位移—磁感强度”关系图线，进一步提高了实验效率。然而，学生的创新还没有停步。他们在控制变量法的指导下，改变电流强度，依次获得了多条“位移—磁感强度”图线，并依托朗威®DISLab 教材通用软件的并行显示功能，将多条图线放在同一坐标系里加以对比，清晰展示了电流强度与磁感应强度之间的关系(图 73 下)。这些创意在上海市和全国公开课上获得了专家们的好评。

安培力实验综合运用了电磁学的相关知识，并展示了电磁相互作用的结果，可为电动机等课程的导入做好铺垫。以往限于实验手段，多数实验侧重于定性演示安培力的存在，并证明安培力的大小与电流强度、磁场强度以及处于磁场内的导线长度相关。若要对安培力进行定量研究，一般要依靠“电流天平”对  $F$  进行间接测量，进而使用多变量复合的方法，得到实验结果。因电流天平可靠性的限制，验证  $F \propto BIL$  的难度较大。

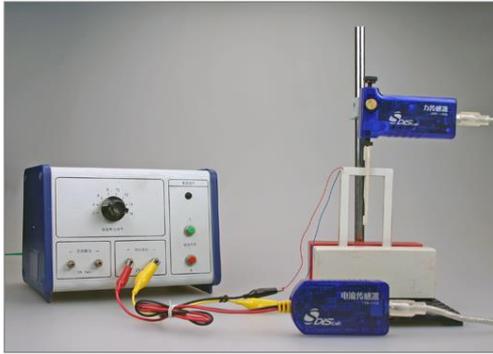


图 74 同时使用力传感器与电流传感器进行安培力实验

采用钕铁硼磁铁构造了实验用强磁场。其次，使用朗威®DISLab 力传感器和电流传感器作为实验的测量工具，发挥了信息技术工具的教学功能。

实验中，首先将导线框的短边置于磁场中，设定导线长为  $L_1$ ，点击记录相应的  $F$  和  $I$ 。定义  $x$  轴为  $I$ ， $y$  轴为  $F$ ，获得基于实验数据的离散点。观察可见这些数据点的排列具有线性特征，对其进行直线拟合，得一条过原点的直线（图 75 上），证明  $F$  和  $I$  之间系正比关系。接下来，改变导线框在吊架上的固定位置，使其长边置于磁场中，使导线长度  $L_2 = 2L_1$ 。重复上述实验步骤，得出实验数据离散点拟合图线（图 75 中）。

将两条图线置于同一坐标系内观察，可见其斜率不同，两条图线的斜率之比近似于导线长度之比（图 75 下）。由此可验证  $F \propto BIL$ 。

在上述实验中，各种传感器、配套实验装置进行了有效的组合，从而在积累了一定信息技术知识的基础上，根据特定要求构造出了具有完整结构和有效功能的全新测量和研究单元。创造的成果固然令我们激动，但同时也使得我们反思：如果学生手中的工具不具备组合、扩展和再创造的功能，他们又有多大的舞台可以施展，他们乐于创造的天性又能保持多久呢？

笔者根据朗威®DISLab 的特性和安培力实验的教学要求，进行了一系列的创新创造：首先开发出了“安培力”实验装置（图 74）。该装置由专门设计的吊架和一个长宽比为 2:1 的导线框构成，吊架上设有两个固定点，导线框在两个点固定的时候，分别使长边和短边恰好处于磁场的同一位置。为使实验效果更明显，

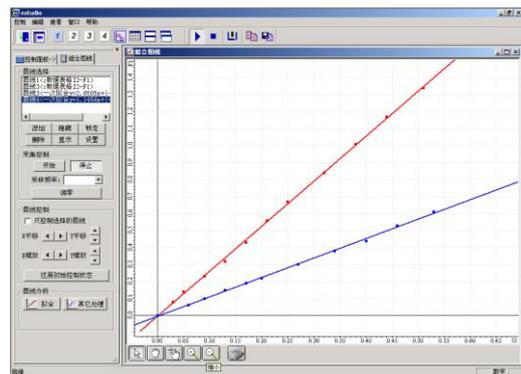
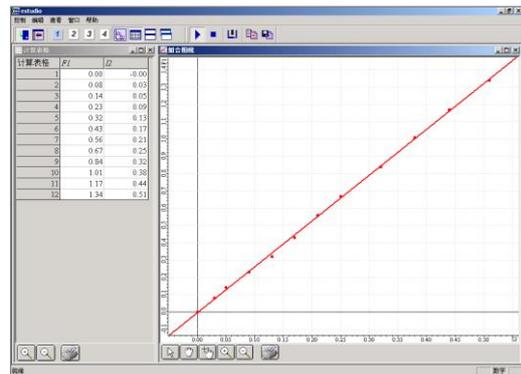
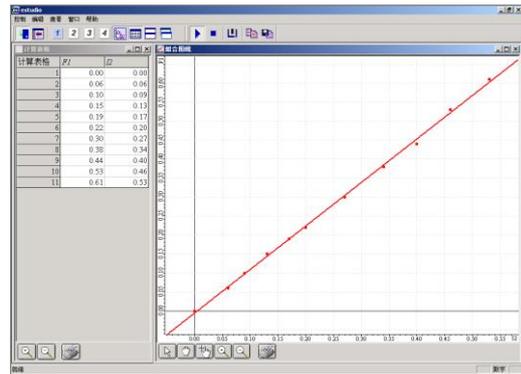


图 75 矩形线框短边、长边分别处于磁场中时的获得的“ $F-I$ ”图线及两图线在同一坐标系内的组合显示比较

使用朗威®DISLab 进行电磁学实验的过程，贯穿了从数据到规律、从现象到本质的归

纳，充满了猜想和验证，这使得学生可以非常容易地建立起“实验数据→物理现象→物理本质”之间的基本思维模型。这不仅是朗威®DISLab——数字化信息系统实验室的操作要求，更是对上海二期课改关于改变学习方式总体要求的贯彻，是一个完全符合认知规律的、趋于理想化的学习过程。

中学物理教学的另外一项重要的使命，就是激发学生的创新精神、培养学生的创新能力。但创新必须借助某种物化的载体，该载体既要与物理教学紧密相关，又要具备可供创新使用的结构和功能。从以上实验来看，朗威®DISLab 已经初步实现了这一目标。

（原载于《物理教学》2004年12月号）