

论数字化实验的三个发展阶段

李鼎

前言

“回顾近半个世纪的物理教育改革，最重要的成就是逐步确立了现代物理教学观。教学过程从强调论证知识的结论向获取知识的科学过程转化，从强调单纯积累知识向探求知识方向转变。重视科学过程和重视能力的培养，构成了现代物理教育的基本原则”（引自《面向 21 世纪上海市中学物理学科教育改革行动纲领》）。而物理学中，概念的形成、规律的发现、理论的建立，都有赖于实验。因此，强调重视实验、改进实验，成为上海市二期课改对物理教学的基本要求。

随着国家新一轮课程教材改革试点区——上海市在其《中学物理课程标准》中明确规定必须借助“数字化信息系统”（DIS）完成系列学生实验，“数字化实验”作为一种全新的实验方式开始引起教育界的重视。2002 年，上海二期课改高中物理教材（试验本）成为第一本将 DIS 作为骨干实验内容的教材；2003 年，人教社高中物理教材编写组率先将数字化实验纳入国家级新课标教材；随后，上海科技教育出版社、广东教育出版社等新课标高中物理教材也引入了大量数字化实验。几年间，数字化实验从“鲜为人知”迅速发展“众人皆知”，建设基于传感器的数字化实验室，成了全国不少省份的教育装备热点。

但是，数字化实验毕竟是一种新兴的实验方法，其教学应用规律正在逐步的摸索之中。为学校采购和配备数字化实验仪器设备仅仅是实验教学改革的起点，结合教材的要求和实验教学的特点，将数字化实验仪器设备用好、用足，才是广大教育工作者所真正关注的目标。

在上海市教委教研室、上海教育学会、中国教育学会物理教学专业委员会、人民教育出版社等机构的协助下，上海市中小学数字化实验系统研发中心针对如何发挥数字化实验的教学效益这一关键问题，通过近五年的探索和调研，在对实验教学大量案例进行系统分析的基础上提出了“数字化实验的三个发展阶段”理论。作者马利国来自教研一线，是数字化实验产品的资深用户和研究中心的特聘专家，李鼎则多年从事数字化实验产品的研究、开发、生产与推广，所形成的观点有一定的参考价值。

欢迎广大教育工作者批评指正。

关键词：

实验教学、传感器、数字化实验、基础实验器材、自主学习、教育测量和评价、人机工学

一、实验数字化，是实验教学的改进和发展的必然

教材是教学的基础，是教育评价的准绳。国家新一轮课程教材改革的核心，就是新课标教材的编写、修订和推广、应用。

长期以来，我们的教材存在以下“轻重”特征：重知识、结果，轻学习过程；重教师“教会”，轻学生学会；重演绎，轻归纳；重集束思维，轻发散训练；重操练、记忆，轻信息处理。教材的轻重偏颇加上应试的导向，形成了以教师为主导、以知识传授为目的、形式单一的课堂教学模式，和以大量的解题训练为基础的知识强化和巩固模式，以及以考试成绩为基准、以知识记忆和解题能力为考察对象的教育评价模式。上述三种模式结合，造就了中国特色的“应试教育”体系。

国家新一轮课程教材改革的基点是教育思想的深度变革。破除教育应试化的倾向，尊重教育的“人本思想和科学规律”是课改教材编写的根本要求。进而，将“知识、技能、过程、方法、情感、态度、价值观”作为教材的三维目标写入《课程标准》，成为教材改革的方向，也使得实验成为了撬动传统教育模式的重要杠杆。

综合上海二期课改高中物理教材和人教版、沪科教社、粤教社、鲁科社等不同版本的高中物理教材，我们可以看出：尽管上述教材风格、体裁、编排各有特色，但均大幅度增加了实验内容，丰富了实验方式，体现了通过实验将三维目标融会贯通的教材编写思想。

实验，作为科学探索的基础，不仅能验证规律、强化理解，还能够模拟科学发现的过程、锻炼动手能力、激发探究兴趣，进而培养科学精神，是连接教材三维目标、七个方面的重要纽带。对实验教学内容、方式和方法的强化，将起到改变教师教学方式和学生学习方式，变“被动教会”为“主动学会”的重要作用。

但是，相对于传统教材，课改教材中所设计的实验，从内容、方法到实验要求都有了大幅度的提升。具体表现如下：

- ▶ 有针对性地突出了观察、建模、抽象、应用四个实验环节，大量使用表格、图线方式记录实验数据，展示科学规律；
- ▶ 拓展了实验范围，要求师生在保证课堂实验的基础上积极开发日常生活中的小实验；
- ▶ 提高了实验精度要求，促进定性实验向定量实验的过渡；
- ▶ 将实验测量、实验验证、实验探究有机结合起来，强调过程分析；
- ▶ 将实验设计、制作和组装、调试和操作、测量有机地结合起来，强调学生自主实验和自主探究。

课改教材的上述要求，在必然促进实验教学发展的同时，也给几十年如一日的实验教学装备体系形成了巨大的压力。

从基础的力学实验出发,我们可以通过对弹簧秤的分析来研判一下课改教材的要求与传统实验装备之间的距离。

弹簧秤是中学物理实验中最常用的测力计。其本质是将力的测量转化成长度(弹簧伸长)的测量,因此对读数的要求苛刻——视线与刻度线相平,读数(含估读)过程也存在比较大的偶然误差。学生实验用弹簧秤量程一般为 $0\sim 5\text{N}$,最小分度值为 0.1N 。由于弹簧秤量程太小,学生在做实验时很容易就超量程,从而损坏弹簧秤。弹簧秤只能测量拉力不能测压力,限制了测力计在教学上的应用。弹簧秤只能测量静态力,像研究滑动摩擦力、最大静摩擦力、超重失重这类实验,用弹簧秤很难完成。弹簧秤的误差一般都大于 10% ,而且示值误差会随钩码质量的增大而增大。因此,弹簧秤只能完成定性或精度较低的定量实验。

上海二期课改高中物理教材中涉及力测量的实验分析:

No.	实验名称	实验类别	使用弹簧秤	实验效果不佳的原因
1	力的分解	演示实验	效果不佳	只能测拉力不能测压力
2	超重和失重	演示实验	无法完成	不能测量力的动态变化
3	力的相互作用	演示实验	效果不佳	精度差,分度低(0.1N),且无法验证运动状态下的力的相互作用规律
4	向心力研究	演示实验	无法完成	不能测量力的动态变化
5	变力做功的动能定理	拓展实验	无法完成	不能测量力的动态变化

仅上述5个实验,就占据了上海二期课改高中物理教材22个实验(含学生实验、演示实验、学习包和拓展实验)的近四分之一。如果使用弹簧秤这种传统实验工具完成课改教材实验,很难达到教材的基本要求。可见,一种实验手段的落后,足以影响课改的大局。

另外,上海二期课改高中物理教材中要求直接测量运动物体的动态位移、速度,要求基于速度求出其变化率——加速度,要求描绘弹簧振子的振动图像,通过对位移和速度的测量验证牛二定律、探究自由落体的规律等,而传统实验手段基本无法对运动物体的位移和速度进行直接、连续测量。再加上“研究通电螺线管的磁感应强度”、“微弱磁通量变化时的感生电流”、“单缝衍射中的光强分布规律”等新增实验,传统实验手段已明显无能为力。

国家新一轮课程教材改革固然给传统的实验教学装备出了个难题,但难题并非无解。其实,课改的另一项具体要求已经给出了实验教学装备更新换代的方向,即“信息技术与课程教材整合”。

以计算机科学、互联网、微电子为基础的信息技术在最近的二十年内迅速发展、日新月异,其广泛应用不仅显著改变了人类的生产、经营甚至生活形态,而且已经发展成为“效能倍增器”——传统产业只要和信息技术结合,就会迸发出空前的生机和活力。

向信息技术要教学效益!这就是课改为广大教育工作者指明的方向。既然社会已经发展到了“数字化生活”的阶段,那么为什么我们的实验仪器还要停留在百多年前的牛顿或卡文迪

许时代，拒绝数字化改造呢？上海二期课改高中物理教材编写组的专家们将目光瞄准了信息技术发展的典型代表——传感器。

传感器，是一类电子器件的统称。其功能首先在于“感”，即可将距离、速度、力、热、声、光、电、磁乃至酸碱度、电导率、气体含量等多种变化量转换成电信号，以电信号的变化体现对外界变化量的感知；其次在于“传”，电信号可被放大、转换、传输、编码、读取，可以通过数码管显示，也当然能够被“无所不能”的计算机加以处理。微电子工业的发展和各行业自动化的需求，已使得传感器家族空前庞大，功能日益完善，性价比不断提升。

专家们发现：如果使用传感器替代弹簧秤来测量实验中的力，不仅可以得到高精度、高分辨率的静态力的数值，更能够通过计算机控制下的连续采集获得动态力的数值！以此为基础，就可以用计算机绘出反映力的变化过程的图线，上面表格中弹簧秤造成的诸多限制都被克服。依此类推，各种实验数据都可以用“示波器”的形式表现出来。而这，正是多少年以来实验教学界梦寐以求的事情。

因此，随着课改的启动和新教材的推广，传统的实验室装备体系不得不进行大幅度的改造和升级。而实验的数字化，则是改造和升级的方向所在。

二、数字化实验的第一阶段——传感器的导入和应用

工具的革新成就了人类的进步。

2002年，时任上海市教委副主任的张民生先生提议成立了上海市中小学数字化实验系统研发中心，聘请特级教师、国内著名物理实验教学专家冯容士先生主持研发中心工作，开始了将传感器、计算机技术应用于实验教学的探索研究。

5年来，上海市中小学数字化实验系统研发中心开发了系列教学用传感器。

物理传感器：电流、电压、微电流、温度、压强、位移、力、光电门、声波、磁感应强度、光强分布、G-M（盖革-缪勒）等；化学传感器：pH、电导率、高温、色度等；生物传感器：氧气、二氧化碳、溶解氧、湿度、浊度等。

“传感器+计算机”，构成了《上海中学物理课程标准》中所要求的“数字化信息系统”，即DIS（所形成的的产品注册商标为朗威®牌，下同）。

2002年~2005年，上海市教委组织了为期三年的大规模DIS教学应用试验，涉及上海各区县试验校近百所，其中浦东新区全部四十所公立高中均于05年初加入了DIS教学应用试验行列。

以物理学科为例，教学应用试验结果表明，DIS实验具有：高精度、高密度、多模式、实时性的特征，不仅可做“点测量”，还能够支持连续测量；DIS实现了动态位移实时测量、受力状况实时测量、磁感应强度测量、声波测量、微小信号测量、多数据并行测量等，并显

著提高了实验精度和质量，能够完成传统实验装置很难完成的实验，还可以设计出很多借助传统实验装置想做而做不好的实验。如：使用位移传感器测量自由落体的加速度、使用温度和压强传感器进行查理定律实验、使用力传感器测量单导线切割磁力线的感生电流、使用磁传感器测量单导线直电流的磁场等。这种传统和现代的融合、渗透、支撑犹如为实验添上了双翼。

实验例一——使用力传感器描绘简谐振动图线

简谐振动图线的描绘历来是一个难题。传统实验方案之中，就有使用单摆加沙漏，在匀速拖动的纸带上撒沙子描图的“土”办法。DIS 的位移传感器可作为绘制简谐振动图线 ($S-t$ 图) 的有力工具(见《实验实例》)。但殊不知抛开位移传感器，力传感器同样具备描绘简谐振动图线 ($F-t$ 图) 的功能。原因很简单：任何简谐振动都是一个复杂的综合体，一般都包含着力、位移甚至角位移的周期变化。将其中的任何一个因素单抽出来，其“物理量—时间”关系图线都具备简谐振动的特征。

在这个实验中，只要将 DIS 力传感器如图 1 所示固定，在其测钩下方挂上弹簧和钩码，令钩码做简谐振动，就可以得到反映简谐振动过程的“ $F-t$ ”图线(图 2)。由于我们已经证明了在这个实验中弹簧受力与振子位移的同相性，所以“ $F-t$ ”图线可以等效替代“ $S-t$ ”图线。由此，学生领会到了科学研究的殊途同归，并学会了基于全面的分析选择适当的研究方法的技巧。

实验例二——用磁传感器测转速

说起转速测量，首先想到的工具是光电门等计时、计数装置。但基于 DIS 磁感强度传感器，上海二期课改高中物理教材总主编张越先生灵机一动，想出了一个用磁传感器测转速的创新实验，原理简单、设计新颖(图 3 上)，而且与很多汽车的转速表结构相符，令人大受启发。所获得的“磁感应强度—时间”图线清晰地展现了放磁铁的转盘逐渐减速的过程(图 3 下)。



图 1 用力传感器描绘简谐振动图像

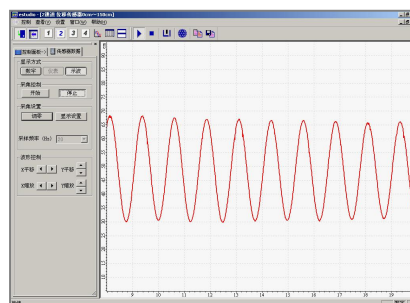


图 2 力传感器描绘出的简谐振动

DIS 传感器、计算机对实验数据的采集和处理进行了改进和优化,不仅对传统实验形成了很好的兼容,也为实验的研究和开发提供了技术支持。凭借先进的数据采集和处理方法,即便是传统实验装置很难做出的实验,如今也有了令人满意的解决方案。

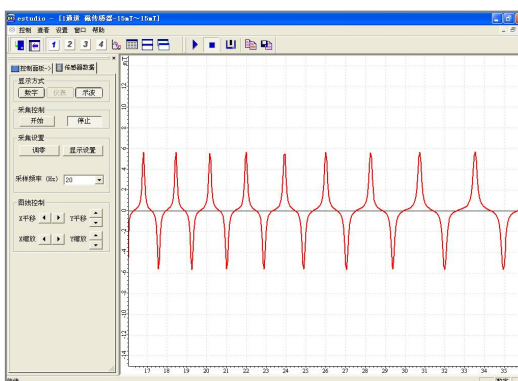
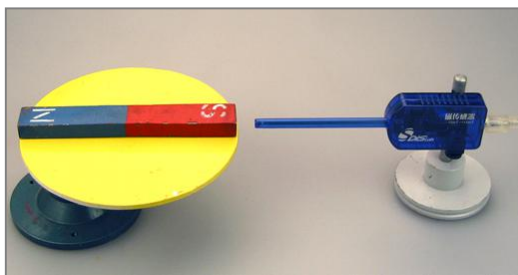


图3 用磁传感器测量转速实验装置及实验

三、数字化实验的第二阶段——基础实验器材的创新和完善

传感器的应用固然解决了传统实验仪器做不了和做不好的实验问题,但相对于上海市二期课改高中物理教材编写组的要求,研发中心的任务还没有完成:不少难度并不大的实验做起来却不理想,有些实验仅凭传感器还是做不出来,而这些实验都是上海二期课改基础型教材和拓展型教材所明确要求的。

是传感器有毛病还是软件不过关?在各课改试点学校的配合下,上海市中小学数字化实验系统研发中心对上述实验进行了深入研究。最终却发现,是基础实验器材拖了后腿。

为节省教育开支、充分发掘传统实验器材的潜力,研发中心初期在实验设计中坚持将传感器与传统配套实验器材结合使用的原则。事实证明,传统实验器材普遍存在设计、材料和工艺缺陷。在定性实验为主的年代,上述缺陷并不明显。当使用传感器和计算机实现了实验的高精度和实时性之后,实验器材的缺陷开始“大白于天下”。而此时的高精度传感器,反而成了“误差放大器”。

此外,由于传感器出现之前测量仪表的局限,不少实验数据无法采集,相应的实验器材也无从谈起。导致如今有了传感器,却没有信号源可供采集。

部分受限于实验器材的实验:

实验名称	应用的传感器	应用的传统器材	存在的问题	产生原因
用 DIS 测量位移、速度	位移传感器	轨道、小车	数据不稳,图线波动	轨道及小车运动不平滑
牛二定律	位移传感器	轨道、小车	数据不稳,误差大	轨道及小车运动不平滑
瞬时速度与平均速度	光电门	轨道、小车、挡光片	数据不稳,误差大	轨道及小车运动不平滑
动能大小的比较	光电门	轨道、小车、挡光片	数据不稳,误差大	轨道及小车运动不平滑
微弱磁通量变	微电流传感器	螺线管	实验数据不明	螺线管直径

化时的感生电流			显	过小
向心力研究	光电门、力	无	实验无法完成	无法同步采集 ω 与 F 数据
研究机械能守恒定律	光电门	无	实验无法完成	缺乏固定装置
斜面上力的分解实验器	力 $\times 2$	无	实验无法完成	缺乏适合安装传感器且可调倾角的斜面
变力做功的动量定理	光电门、力	轨道、小车、弹簧片	实验误差过大	轨道、小车工作不平滑
匀强磁场研究	磁传感器	螺线管	匀强现象不明显	螺线管匝数和长径比不符合要求

至于受限于器材的非教材要求的拓展型实验，数量就更多了。

分析上表可以看出，因轨道和小车工作不平滑导致的实验问题占了一半以上。这一方面说明轨道和小车构成的运动学实验系统在中学物理实验中举足轻重，另一方面也说明传统的轨道和小车的确存在很大的缺陷。

传统的轨道多为铝制（部分为木质），通过表面的两条筋固定小车的运动方向。小车多为铸铝，轮轴为“顶针式”固定，工艺相对粗糙。正是“轨道+小车”系统存在的先天设计缺陷——轨道表面平滑度不够、小车轮子摩擦力较大构成了运动学实验的误差来源。如果全面换用气垫导轨，虽然精度大幅度提高，但价格昂贵、维护复杂，且存在能耗大、噪音大的缺点。

针对运动学实验对高水平轨道系统的迫切需求，研发中心总结国内外轨道设计经验，采用先进的铝镁合金拉伸成形技术，试制出了平整度极高的DIS力学轨道（图4）系统；该轨道系统的另一个亮点是引进国外精密微型轴承，应用航空技术加以安装的低摩擦、低阻力运动小车（图5）。此外，基于力学轨道系统需要承载的各个实验的具体要求，研发中心为该系统配备了种类齐全、配套完善的附件：支架、挂架、磁碰缓冲片、滑轮、配重片、挡光片、固定栓、紧固螺栓、摩擦块等。

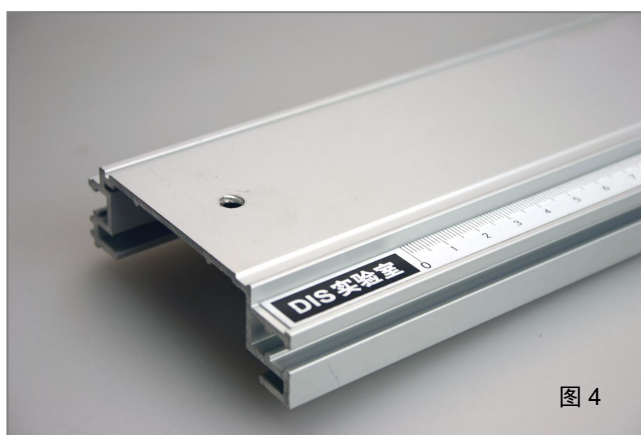


图4

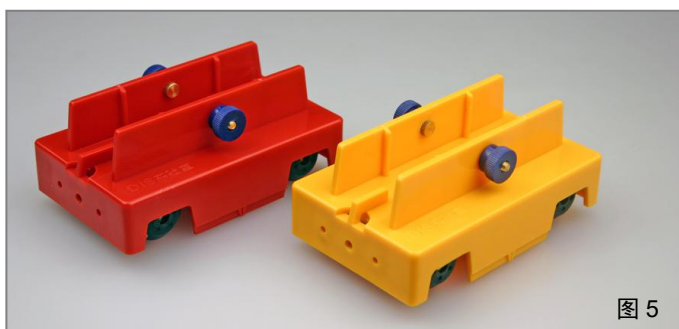


图5

DIS 力学轨道设计精湛，小车在轨道上运行相当平稳滑顺，阻力很小，故该轨道可在某种程度上替代气垫导轨，且能避免气垫导轨的噪声和能耗，因此用途极为广泛。使用 DIS 力学轨道能够完成的力学实验包括：动能大小的比较、研究匀速直线运动、从 $v-t$ 图求加速度、瞬时速度测定、加速度与质量、拉力的关系即牛二定律（图 6）、动量定理（变力）、动能定理（变力）、简谐振动、阻尼振动、受迫振动等，另有法拉第电磁感应定律、磁阻尼、涡电流等电学实验也依托 DIS 力学轨道获得了良好的实验效果。

实验例三——受迫震动

物质系统在外界策动力作用下所作的振动，叫做受迫振动。如果策动力

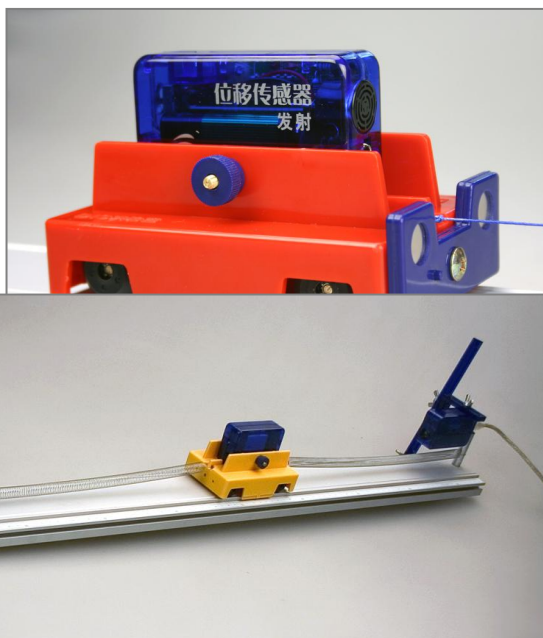
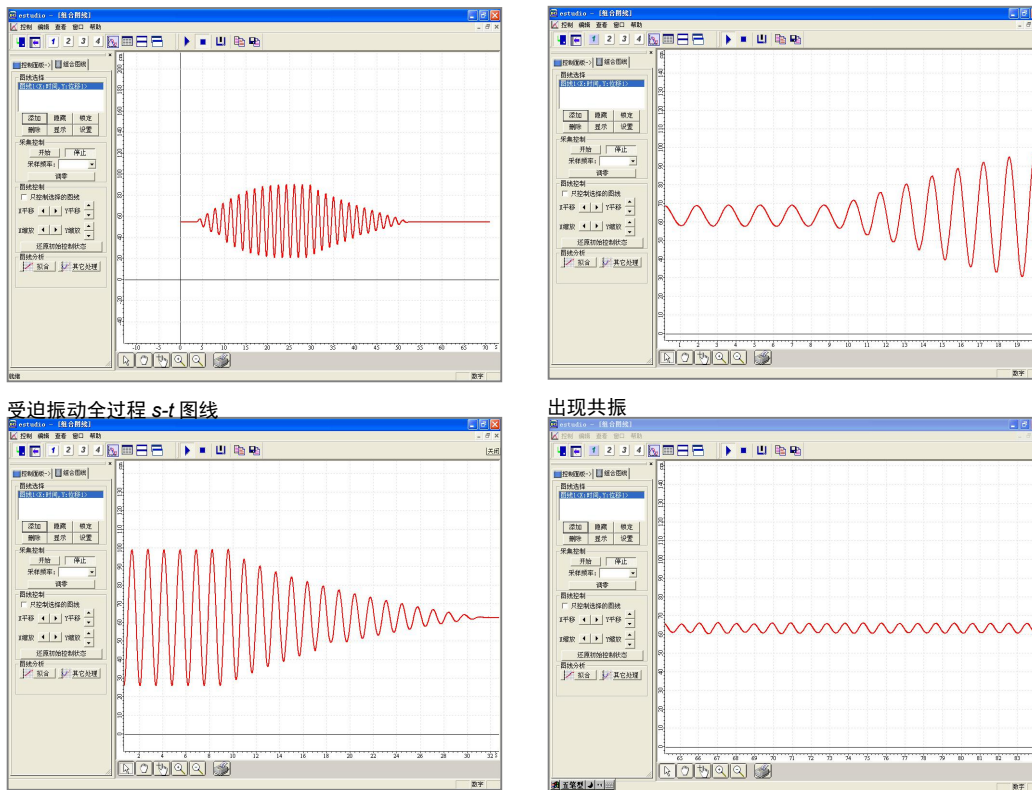


图 7 用位移传感器研究受迫振动

是简谐力，系统将做简谐振动。在稳定状态下，振幅不变，振动频率即为策动力频率，跟它的固有频率无关。当策动力的频率跟振动系统的固有频率接近或相等时，就会导致振幅急剧增大的共振现象。当策动力消失，系统受阻力影响，呈现为振幅越来越小的阻尼振动。

我们使用 DIS 力学轨道、小车、弹簧、支架和策动电机构成了振动体系（图 7），将 DIS 位移传感器安装在小车上实时测量物体的位移并描绘其 $S-t$ 图，即振动图像（图 8 左上）。



策动力消失，呈现阻尼振动

计算策动力频率

图 8 受迫振动实验结果及图线分析

实验表明：当小电机的转动频率为某一值时，系统出现共振，表现为 $S-t$ 图的振动幅度最大（图 8 上右）。电机的转动频率大于或小于该值，振幅都会减小。在系统进入共振后，关闭小电机电源，系统转而做阻尼振动，振幅越来越小，直到停止振动（图 8 下左）。

利用波形个数除以时间方法计算出策动力的频率，计算结果为：低速时为 0.588Hz、中速时为 0.727Hz、高速时为 1.032Hz（图 8 下右）。

完成该实验，固然需要综合应用 DIS 的传感器、数据采集器、教学软件等系列研发成果，但配件齐全、便于扩展、材料过硬、工艺精良的 DIS 力学轨道是不可或缺的组成部分。细数一下图 8 下左中阻尼振荡的周期，足有 16 个之多，这也从一个侧面证明了“轨道+小车”系统运行的平顺性能。

如果说力学轨道的出现只是显著改善了运动学实验的效果，提升了实验质量，那么向心力实验器（图 9）、机械能守恒实验器（图 10）、力的分解合成实验器（图 11）、逻辑电路实验器（图 12）、环形线圈（图 13）、匀强磁场螺线管（图 14）、远红外加热器（图 15）等装



图 9

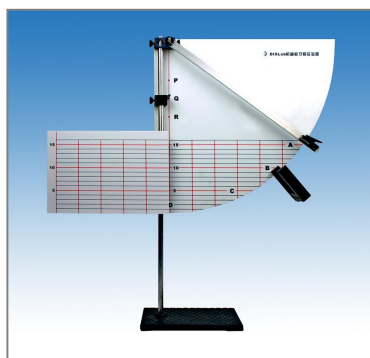


图 10

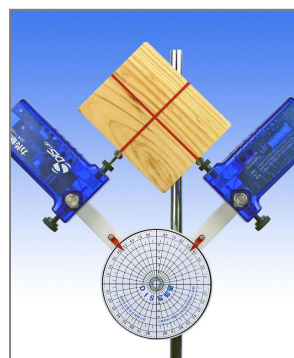


图 11

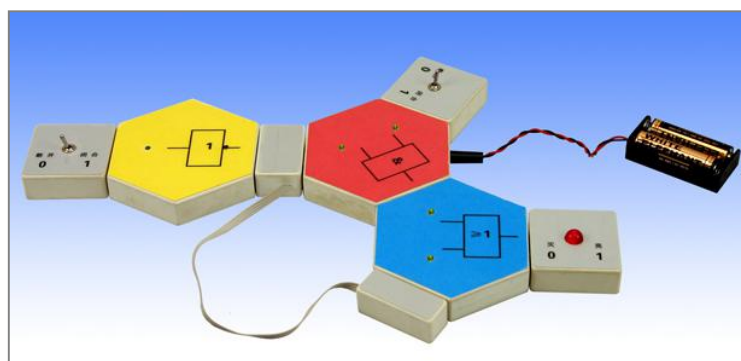


图 12

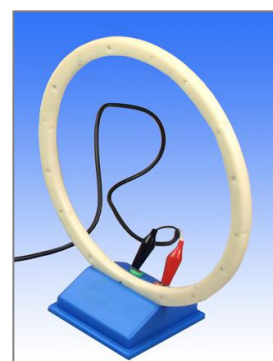


图 13

置的出现则是从根本上解决了整整一个类别实验从无到有的问题，填补了多年来实验教学的空白。

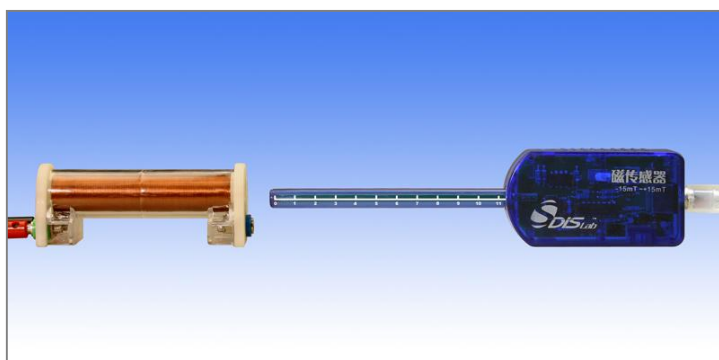


图 14



图 15

圆周运动，是高中物理力学实验的重点和难点。之所以将其视作重点，在于圆周运动是宇宙中最常见的运动方式，所包含的角速度、角位移乃至角动量概念是普通物理、工程力学和天体物理的基础；之所知将其视作难点，就在于配套实验器材的局限。历年来，国家组织的“自制教具大赛”中均有大量作品围绕圆周运动而设计，也从一个侧面反映了圆周运动标准实验器材的缺失。圆周运动实验器材的设计困难有二：首先是向心力和角速度的测量手段落后——以弹簧秤为代表的测力手段难以测量动态变化的力，传统的光电计时器/数字化毫秒

计只能测量挡光时间，无法将其转化成研究圆周运动所需的角速度；其次是圆周运动模型构造困难，已有产品无论材料还是工艺均难以达到定量实验的要求。

在拥有了力传感器和光电门传感器的基础上，上海市中小学数字化实验系统研发中心的专家组历经三年研发，不仅开发出了理想的圆周运动实验平台——向心力实验器（图 9），还综合运用软硬件技术，实现了向心力数据和角速度（由挡光杆挡光时间和挡光杆宽度计算得出）的同步测量。由此，困扰国内中学物理实验界多年的圆周运动系列实验迎刃而解。

实验例四——向心力研究

◆实验目的 研究向心力与质量、半径和角速度的关系。

◆实验原理 $F=mv^2/r$ 。

◆实验过程与数据分析

1、将光电门传感器和力传感器分别接入数据采集器，按实验装置图把两个传感器固定在向心力实验器上，对力传感器调零；

2、打开 DIS 通用软件“计算表格”窗口，点击“开始”，转动实验器的悬臂，记录 F 、 t 数据（图 16）；

3、点击“公式”，输入计算线速度和角速度的公式；

4、点击“绘图”，选取 X 轴为“ ω ”，Y 轴为“ F_2 ”得到数据点在坐标系内的分布图（图 17）；

5、观察可见：数据点的分布具有明显抛

计算表格	t1	F2	v=0.005/t1	w=v/0.14	q=w^2
1	0.00108	3.09	4.6296	33.0636	1093.5323
2	0.00111	2.90	4.5045	32.1750	1035.2306
3	0.00114	2.81	4.3860	31.3286	981.4812
4	0.00117	2.66	4.2735	30.5250	931.7756
5	0.00120	2.52	4.1667	29.7621	885.7826
6	0.00124	2.42	4.0323	28.8021	829.5610
7	0.00127	2.27	3.9370	28.1214	790.8131
8	0.00131	2.15	3.8168	27.2629	743.2657
9	0.00135	2.03	3.7037	26.4550	699.8670
10	0.00139	1.90	3.5971	25.6936	660.1611
11	0.00143	1.81	3.4965	24.9750	623.7506
12	0.00147	1.70	3.4014	24.2957	590.2810
13	0.00152	1.61	3.2895	23.4964	552.0808
14	0.00157	1.54	3.1847	22.7479	517.4670
15	0.00162	1.43	3.0864	22.0457	486.0129
16	0.00167	1.35	2.9940	21.3857	457.3482
17	0.00173	1.26	2.8902	20.6443	426.1871
18	0.00179	1.18	2.7933	19.9521	398.0863
19	0.00185	1.12	2.7027	19.3050	372.6830
20	0.00192	1.03	2.6042	18.6014	346.0121
21	0.00199	0.97	2.5126	17.9471	322.0984
22	0.00207	0.90	2.4155	17.2536	297.6867
23	0.00215	0.79	2.3256	16.6114	275.9386
24	0.00224	0.76	2.2321	15.9436	254.1984
25	0.00234	0.70	2.1368	15.2629	232.9561
26	0.00244	0.64	2.0492	14.6371	214.2447

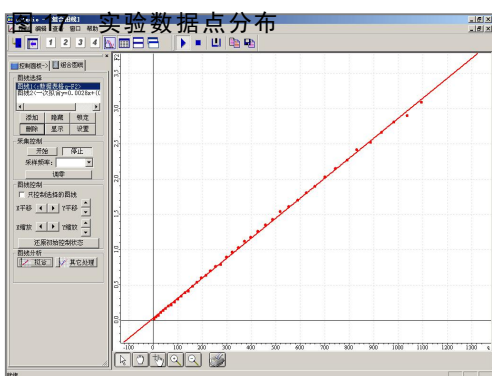
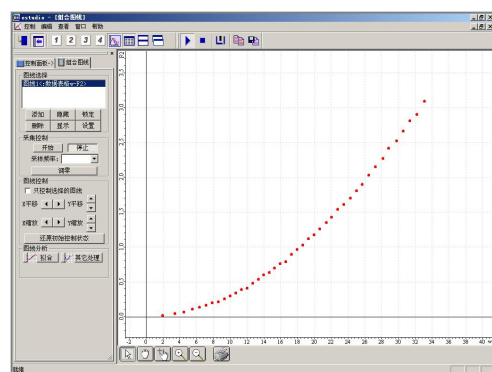


图 19 向心力与角速度的平方关系

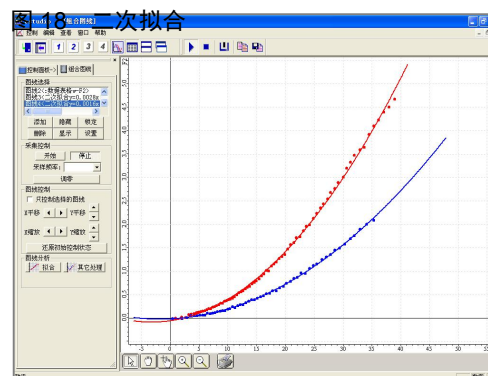
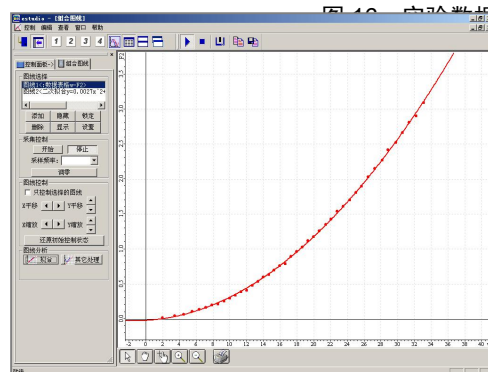


图 20 半径不同的向心力图

物
线
（
二
次
曲

线)特征。点击“二次多项式”拟合,发现数据点与拟合线基本重合,验证了事先的猜想,说明 F 与 ω 之间系二次方关系(图 18);

6、在数据表格中,输入计算角速度平方的公式,点击“绘图”,选取 X 轴为“角速度平方”,Y 轴为“ F_2 ”,得到数据点在坐标系内的分布图,点击“线性拟合”,拟合图线为过原点的直线(图 19),说明向心力与角速度平方成正比;

7、改变将砝码的转动半径,重复上述步骤,得到另一条实验图线(图 20 下方图线),用软件“显示坐标”功能,比较 ω 相同时两条图线 F 的大小;

10、重新设置砝码的转动半径为 m ,更换砝码的质量,获得两条实验图线(图 21),软件“显示坐标”功能,比较 ω 相同时两条图线 F 的大小;

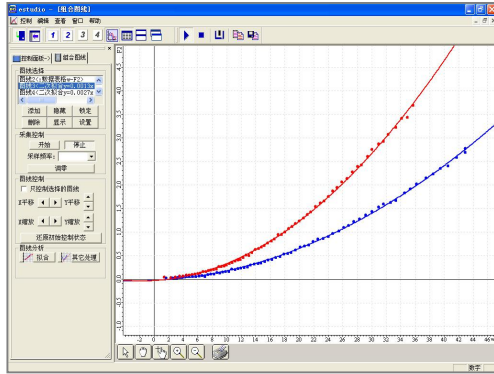


图 21 质量不同的向心力图

11、根据上述结果,总结 F 与 ω 、 m 之间的关系。

除了完成上述实验要求外,通过自行输入相应的计算公式,向心加速度等拓展型实验也可以轻松完成。本实验也可使用 DIS 教材通用软件来做,并可借助软件预设的“一次”、“二次”和“三次”拟合工具加深学生的认识。

由上述实验例可以看出,仅有传感器还是远远不够的。没有创新、优质的新型实验器材,就等于没有可供传感器采集的信号源。没有测量对象和研究模型,再好的测量工具也只能是无本之木。如果认识到了传感器本身的特点,发挥其与计算机平台的联通优势,根据实验要求大力开发基于传感器的实验器材,无疑将极大地推动实验教学的创新和完善。

在长期的研究开发工作中,上海市中小学数字化实验系统研发中心也在不断地改进和完善自己的实验器材设计思路。包括 DIS 多用力学轨道在内,图 9~图 15 所示的配套实验器材基本上都是通过创新或优化来构造实验所需的物理模型,设计的重点是如何将传感器与物理模型匹配起来。但是,研发中心 07 年推出的一款新型配套实验器材却与上述设计迥然不同。这就是 DIS 斜面上力的分解实验器(图 22)。

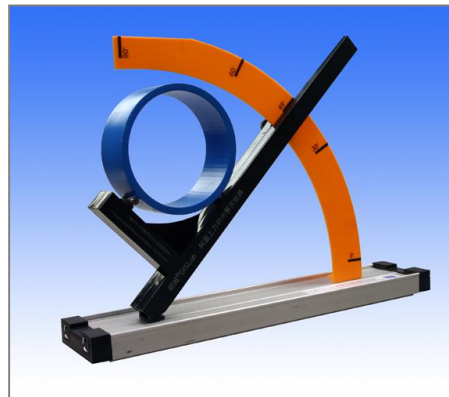


图 22 DIS 斜面上力的分解实验器

该实验器直接将两个力传感器内置到实验器材中,师和学生看到并操作的只是器材,但却是智能化的器材——通过两条数据线,该实验器测量到的力的数据即可上传到数据采集器和计算机。传感器在哪里?怎么安装和固定?

这些问题都不需要教师和学生分心关注，他们只需要在这个具有典型意义的物理模型上做实验就可以了！DIS斜面上力的分解实验器开创了国内外智能化实验器材的设计先河，已成为实验手段服务于实验教学的最好例证。

以下是部分DIS配套实验器材及应用上述器材后支持的新型实验。

DIS 实验器材名称	对应上海基础型教材实验	对应上海拓展型教材实验
多用力学轨道	用DIS测位移和速度、用DIS测定瞬时速度、用DIS测定加速度、用DIS研究加速度与力和质量的关系、动能大小的比较	用DIS验证动量守恒定律、动量定理的实验验证、动能定理的验证
向心力实验器	向心力研究	向心加速度研究
机械能守恒实验器	研究机械能守恒定律	
力的合成分解实验器	力的合成与分解	力的平行四边形法则
逻辑电路实验器	逻辑电路学习包	自动控制原理
环形线圈	微弱磁通量变化时的感生电流	电磁波学习包、验证楞次定律、研究电磁感应规律
匀强磁场螺线管	通电螺线管的磁感应强度	匀强磁场研究
远红外加热器	晶体的熔化和凝固、比热容	查理定律
平抛运动实验器		平抛运动及抛体运动
斜面上力的分解实验器	力的分解	
EXB系列电学实验板	小灯泡的U-I曲线描述	测定电源的电动势和内阻、探究电源电动势和电路外电压、内电压的关系、伏安法测干电池的电动势和内阻、交流电波型

由上表可以看出，上海二期课改中学物理教材（含初中）所列出一半以上的实验需要DIS配套实验器材的支撑。

因此，我们可以认为：导入传感器实验后，基础实验器材面临的全面升级改造不仅是必须，而且已经成为必然。

四、数字化实验的第三阶段——工具的进步引导教学思想的飞跃

传感器的导入和基础实验器材的更新，所改变的不过是实验教学的物质基础。如何把良好的实验物质基础蕴涵的教学潜力释放出来，关键还是要促进教师教学思想的飞跃，并通过教学活动把这种飞跃传递到学生身上，让传统实验课堂演变成培养学生动手能力和创新思维

的天堂。

在这个方面，上海市中小学数字化实验系统研发中心综合运用教育学、教育心理学、行为科学方面的理论，借助国际先进的教育测量与评价领域手段，先后指导了上海市十余次市级实验教学公开课，积累了大量教学科研数据，获得了基于数字化实验进行创新教育的宝贵经验。

以下是部分基于 DIS 及其配套实验器材的创新实验名录：

实验课题名称	实验学校	主持人
研究滑动摩擦力和接触面积的关系	浦东进才中学	王肇铭等
模拟电梯中的超重	浦东进才中学	王肇铭、徐海燕
利用压强传感器测不规则小物体的体积	浦东东昌中学	蔡刚
用减压法验证波意尔定律	浦东三林中学	张辉
测大米的密度	华东师大二附中	物理组
再现赫歇耳发现红外线的过程	浦东三林中学	周秀华、薛莲
模拟研究输电距离、负载大小对输电效率的影响	浦东三林中学	邓志文、金辉
设计机械能内能转换演示器	建平实验学校	初三物理组
摆动中悬线受力图像分析	闵行中学	周琰
《动能》教学模式的整合及其实验的改进	宝山区教师进修学院、淞浦中学	唐黎明、赵霞
研究斜面上物体的重力分解	延安中学	徐惠良
利用 DIS 研究气体做功与其内能的关系	青浦高级中学	沈献明
研究单摆摆长和周期的关系	大同中学	李梁
巧用 DIS 实验突破运动图像教学难点	大同中学	江凌云
用电唱机改制向心力实验器的探索	卢湾高级中学	沈计春
动能势能转化研究	比乐中学	物理组
DIS 实验系统的图像分析功能	松江二中	李凯军
闭合电路外电阻与其所消耗功率的关系	松江二中	朱红兵
研究弹簧振子的振动周期跟振子质量、弹簧劲度系数的关系	周浦高级中学	物理组

上海市中小学数字化实验系统研发中心主任，实验教学专家冯容士先生一直倡导将创造性思维的培养与实验教学紧密结合起来。在 DIS 传感器、配套实验器材相对完善之后，冯容士先生着力总结了“传感器的扩展应用与发散思维训练”、“多元研究手段与创新实验开发”等成功经验，推出了著名的“鱼骨理论”和“鱼骨思维导图（图 23）”，并通过上海市的系列教研活动向全市教师进行了深入推广。

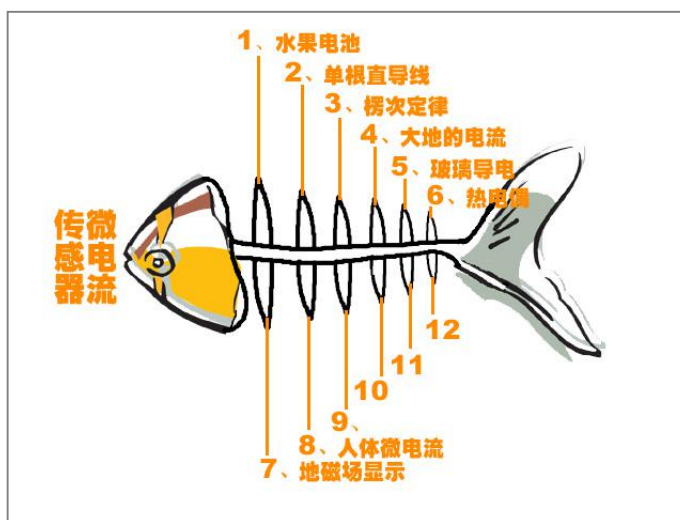


图 23 微电流传感器实验应用的“鱼骨”思维导图

在冯容士先生的启发下，上海民办中学张溶菁老师等进一步将“鱼骨思维”做了扩展和推广，并形成了“DIS 实验创新六大系列”思维导图；市西中学林勤副校长更是将基于 DIS 的实验创新归结为“DIS 头脑”。依托 DIS 的优质平台，上述两位教师主导的上海市静安区物理实验创新活动有声有色，已形成大量教学成果。

上海市首批示范校——进才中学的王肇铭特级教师系浦东新区物理学科带头人。在浦东新区全面装备 DIS 之后，王老师与进才物理组、实验室的老师在“自制教具与 DIS 实验开发”领域创新不辍，先后自制各类实验器材、教具近 30 件，与冯容士先生的工作遥相呼应，并一举荣获 2006 年度全国自制教具大赛的一等奖。

在北京，国家级重点高中——北京四中则在数字化实验室的管理、应用方面创出了一条新路。2004 年，该校 DIS 实验室的建成之后，四中物理组就在校领导的支持下把 DIS 实验室变成了全校共享的开放实验室。只要先行输入自己的学号，四中任何年级、班级的学生均可在中午和下午放学后使用该实验室，而只要有学生在场，均有实验室管理员的陪同。四中的创举在很大程度上破除了师生们对数字化实验的陌生感，在全校营造了“自主学习、实验为先”的气氛，此举在 07 年教师节前夕受到了温家宝总理的高度评价。

首都师范大学附中，是 DIS 实验研究和教学应用的另一处“圣地”。该校王帮平老师、邹兆泽老师等经过多年深入研究，在数字化实验与课堂教学的深度整合方面积累了大量实践经验，并通过巧用 DIS 实验的“可视化”效果，吸引了学生的注意力、提高了学生的领悟力。2006 年，该校物理组成功举办了“京津沪数字化实验教学研讨会”，引起了教育部、中国教育学会的高度重视。事后，《中国教育报》以“变不可见为可见”为题对该校的 DIS 实验创新进行了深度报道。

经过全国各地 DIS 用户的努力工作，数字化实验终于为理科教学带来了前所未有的生机和活力。对于复杂的教学过程来说，不仅教师开阔了思路、丰富了手段，学生更是成了实验

教学数字化改造最大的受益者。在这方面，上外附属大境中学魏慧军等很多一线教师在通过 DIS 创新实验教学培养学生创造能力方面开展了有益的探索。魏老师还通过专题调查研究和统计分析，在大量调查数据的基础上证明了 DIS 创新实验对学生思维品质的有效提升。

魏老师的调查显示，通过 DIS 创新实验教学：

1、使学生对物理实验的兴趣大幅度提高

有 52.1% 的学生愿意使用 DIS 做物理实验，41.7% 的学生非常愿意使用 DIS 做物理实验。这说明 DIS 给学生提供一种变化快、技术新的学习环境的同时增强了学生的兴趣，提高了学生的关注程度，相信该系统也能相应地提高学生对概念的认知、理解、掌握等方面的能力；同时，学生的视野开阔了，能更全面的掌握物理概念；另外，一旦学生对 DIS 充满好奇心，就能充分挖掘学生的潜能，有效培养学生的创新能力。

2、培养了学生各方面能力

针对这项调查，学生和教师的观点有所区别，但对 DIS 做物理实验能提高学生多方面能力这个观点都持肯定意见（图 24、25）。

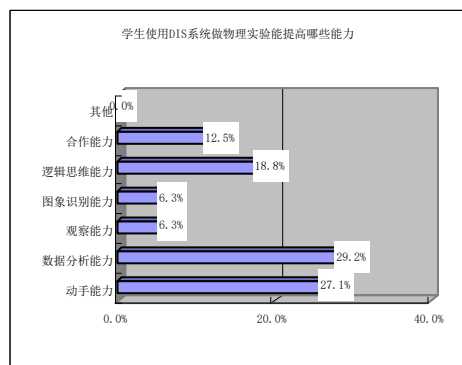


图 24 学生答案

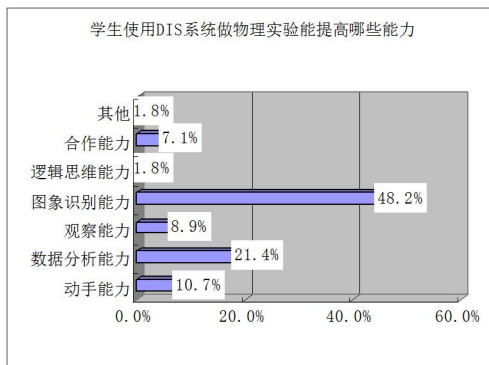


图 25 教师答案

观察能力 传统实验侧重于培养细致、认真、耐心等观察品质的培养，DIS 物理实验则侧重于培养学生在观察中思考，从而提高探究能力。

动手能力 提高了学生使用传统实验器材和计算机结合的操作技能，有利于学生利用现代化信息技术学习的能力，为终身学习创造条件。

数据分析能力 DIS 使学生很容易地得到各种图像，如作用力和反作用力的图像，声波的振动图像等等，剩下的更多时间是让学生对数据进行分析，对图像进行理解，从而培养学生的数形结合能力；实验中的各种函数拟合功能，有助于培养学生处理信息推测答案的能力，以及根据信息构建物理模型的能力。传统实验在这方面则很难达到。

逻辑思维能力 逻辑思维能力是建立在观察能力和数据分析能力基础上的，反过来，逻辑思维能力又能体现在观察能力和数据分析能力中。使用 DIS 做物理实验要求学生了解各种传感器的使用方法，会选择合适的传感器进行数据的采集，并且要考虑读数、精确度等的参

数设置情况，并能对数据进行科学地分析。

合作能力 学生在设计、操作 DIS 实验，分析实验现象及物理规律的总结等多方面都要与同学合作、交流，多个成员组成的小组实验必然能培养学生的合作能力。

其它能力 例如，与传统实验比较，使用 DIS 做物理实验更能拓展学生的想象空间，增强他们的联想和逻辑判断能力，以及学生对知识和规律的探究能力。

以上教学和教研成果说明：教学手段进步得越快，教育工作者越应该保持理性和判断。单有传感器是不够的；有了传感器和配套器材还是不够的；怎样让先进的技术手段为教学所用？这就是上海市中小学数字化实验系统研发中心正在深入研究的课题。

愿越来越多的有识之士加入我们的队伍，用我们的努力推动中国教育现代化的进程！

后记

2006 年 5 月 11 日，国家课标组成员、人教社物理教材编委、著名物理教学专家黄恕伯先生亲临上海东昌中学参加上海市 DIS 物理教学经验交流会。在观摩了三堂 DIS 公开课后，黄先生语重心长地说：“看来 DIS 的确是物理教学所需要的东西。但要想把 DIS 用好，接下来就要研究 DIS 的人机工学问题了！”

人机工学！多么点题的一句话啊。DIS 是工具，工具的使用者是教师和学生。DIS 怎样被教师和学生所用，不正是典型的人机工学课题嘛？也正是这句话，使得我们建立了对数字化实验发展的三阶段认识，即：有了传感器，还要有适应传感器实验的器材，更要有适应传感器实验的教学思想、教学方法和教学过程。经历了上述三个发展阶段，DIS 的装备和使用才能够做到物有所值，数字化实验的巨大潜力才能真正转化成教学效益，千千万万莘莘学子才能从教育装备的更新中获得终身受益。

2007-9-15