



基于DIS的物理创新实验拓展

黄俊华¹, 陈 帅², 陈 平²

1. 重庆市松树桥中学校, 重庆 401147

2. 西南大学物理科学与技术学院, 重庆 400715

摘 要:目前DISLab多用于演示课本实验,较少进行改进和创新。本文基于“惠斯通电桥平衡条件”“平衡刚体的支持力探究”和“输液中的物理知识解析”三个实验,实现了DISLab在物理实验中的创新应用,拓展了物理实验的设计思路。

关键词:数字化信息系统;中学物理实验;创新实验

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

文章编号:1003-6148(2016)10-0028-7

1 研究背景

近年来,信息技术已渗透到了各个领域,用“传感器采集、计算机处理”数据的实验方式,不仅迫切而且有实施的可能。由上海市中小学数字化实验系统研发中心按照《课程标准》和教材要求研发设计的DISLab是一种将传感器、数据采集器和计算机组合起来,共同完成对物理量测量的装置,集物理测量、自动控制、数据记录、数据分析和结果显示于一体的综合性实验平台^[1];该系统能实时测量和动态显示实验数据,具有小型、简便、快捷等特点;该系统通过计算机处理实验数据,借助图表、图线等的具体分析,解决了数据分析和处理的难题。此外,该系统又填补了实验过程的空缺,具有很大的发展前景。DISLab实验系统本身作为新生的实验平台,具有很大的应用和前景,也是物理实验创新的首选。

DISLab是信息技术与传统实验课程整合的重要载体。基于传感器的计算机实时数据采集和基于计算机数据处理软件的计算机建模和图像分析等技术是DISLab两大技术支撑,也是实验面向信息化,提升档次的途径之一^[2]。笔者查阅文献,结合实践总结了其四大特点,即数据采集“智能化”、数据处理“智能化”、实验设计“重点化”和实验过程“可视化”^[3]。

2 实验设计背景

2.1 验证性实验介绍

验证性实验“是在学习物理规律之后进行的,其目的在于验证物理规律的正确性,巩固和加深对物理规律的理解”。在验证性实验过程中,思维比较聚合,实验中需要测量的物理量可以直接从验证的结论中获得,指向性比较清楚。因此,这类实验关键在于物理量的测量,从测量数据的分析中验证结论,认识物理规律。

在物理教学中,验证性实验对学生认识物理规律、理解物理知识起到了重要的作用。但是,很多传统验证性实验存在不足,一些物理信号(如:声音信号、电磁信号)是无法看到的,学生很难在头脑中形成清晰的物理图景。而DISLab能在计算机上呈现出各种信号,便于学生理解。

本文利用DISLab系统,为“惠斯通电桥平衡条件”实验提供了创新实验思路。惠斯通电桥又称单臂电桥(如图1),是一种用比较法测电阻的精密仪器。当电路满足电桥平衡条件,电桥达到平衡时,通过电桥的电流为零。利用惠斯通电桥的平衡条件能方便准确地测量电阻,这是高中物理电学教学中一个很有用的知识点。然而,学生对电桥平衡的理解总停留在理论分析层面,缺乏感性体验。另外,由于传统实验仪器的测量精度不够,也为本平衡条件的验证增添了障碍。

收稿日期:2016-07-10

作者简介:黄俊华(1987-),女,中学一级,重庆市松树桥中学物理教师,主要从事高中物理教学工作。

通讯作者:陈平(1986-),男,副教授,西南大学物理学院教师,主要担任本科师范生中学物理实验技能训练方面的教学。

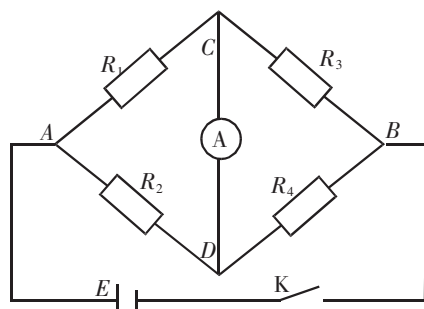


图1 惠斯通电桥

2.2 探索性实验介绍

探索性实验“是为探寻物理性质及规律进行的,以发现和解决问题为核心,其目的在于建立物理概念及规律,理解和掌握物理知识,并培养学生的能力和学习方法”。在探索性实验过程中,思维比较发散,实验设计和实验方案都需要实验者自主进行,突出自主性^[4]。这类实验更加注重实验设计和实验过程。

探索性实验是新课改着重提出需要加强的一类实验,却在中学物理课堂极少出现,许多教师认为其探究过程复杂,浪费课堂时间。由于DISLab的引入,能够快速呈现物理过程,以其强大的数据处理功能,使得中学物理课堂可以更容易实现实验探究。

在DISLab的基础上,更多的实验可以实现数字化定量研究,即数字化应用。

力矩平衡以其广泛的实用性,在物理知识体系中占据很大的分量,力矩平衡条件的应用在中学教学中也很重要。然而,学生理解处于力矩平衡的刚体时,多数只能从力的合成与分解入手,简单地理解为力的平衡,例如:二力平衡,三力平衡。而对力矩平衡的理解较难,对力矩平衡条件的理解,也停留在定态的思维中。同时,关于力矩平衡时刚体不同处支持力会发生变化也是一个高中物理拓展教学的内容。由于支持力的变化很难用测力计显示,又因该知识点原本是一教学难点,因此,学生在理解上存在困难。

2.3 趣味性物理介绍

物理来源于生活又高于生活,它是一种从生活中抽象出来的理论,与生活息息相关。从生活中,我们可以找到许多物理知识^[5]。从生活这一角度出发,增添了物理现象的趣味性,加深了对物理知识的理解及物理规律的掌握;物理知识存在于我们生活的方方面面,生活化的物理为其自身增添了普适性。

生活中的物理有其自身特点,即物理知识内容大部分比较简单,但物理模型过于生活化,不易应用。因此,抽象模型和测量数据成了这类实验的共同点。采用物理模拟原理抽象模型之后,将DISLab用于数据测量,一方面解决了测量上的难题,同时提高了测量精度;另一方面由于容易获得大量数据,通过对多组数据的分析处理,增加了实验结果的可信程度。

生活知识是物理的基础,同时也是物理实验的来源。静脉输液是常见的医疗手段,与我们的生活息息相关。除却专业的医疗知识外,其中也包含了很多物理知识,例如:大气压强的知识,液体压强的物理原理以及为气体的量化研究和化学分析奠定了基础的波意耳定律。

在高三物理习题中,也有这样一个联系生活的实际问题,即双瓶连续输液问题:思考输液过程中两瓶中的药液如何变化,哪一瓶药液先输完?并说明理由。对此问题的传统教法只停留在定性的理论分析上,学生理解时总存在一定困难。

3 实验设计展示

3.1 物理规律,验证性实验:惠斯通电桥平衡条件

本实验主要结合“物理转化原理”的设计思想^[6],通过测量电桥桥臂部分电压和桥上电流,验证电桥平衡条件。实验在原有实验电路上稍加改动,即将部分桥臂上的电阻以滑动变阻器代替。从验证惠斯通平衡条件入手,帮助学生理解规律。

[实验目的]

利用DISLab验证惠斯通电桥平衡条件,强化对物理规律的认识。

[实验原理]

在图2所示的电桥中,有电桥平衡条件, $R_1:R_2=R_3:R_4$, $U_{CD}=0$,则C、D电势相等(D为滑片),C、D间无电流通过。

[实验器材]

电压传感器2个,电流传感器1个,数据采集器,计算机,变阻箱2个(定值电阻10Ω、15Ω各1个),0~20Ω滑动变阻器,学生电源(电池组),开关,导线等。

[实验装置]

如图2所示,将两个变阻箱与滑动变阻器连成电桥,调节 $R_1=10\Omega$, $R_2=15\Omega$;在C点与滑片D间接入电流传感器,在电阻 R_1 和电阻D、A两端分别接入电压传感器测量 U_{AC} 和 U_{AD} 。

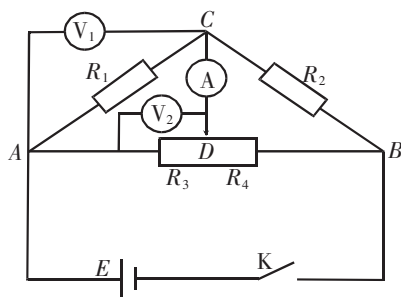


图2 电桥实验电路

[实验过程]

(1)按照实验装置图,连接实物图,如图3。

(2)将电压传感器与电流传感器接入数据采集器,连接至计算机。

(3)启动 DISLab, 点击“通用软件”, 打开实验设置, 分别设置电压和电流传感器的采样频率; 选择组合图线, 横坐标为时间, 纵坐标依次显示传感器示数。

(4)传感器调零, 打开学生电源, 将电压调为6 V; 闭合开关, 点击“开始”, 传感器开始采集数据。

(5)将滑动变阻器滑片D自右向左缓慢移动至左端, 同时得到“电压-时间”“电流-时间”图线, 停止程序运行并保存实验数据图线。

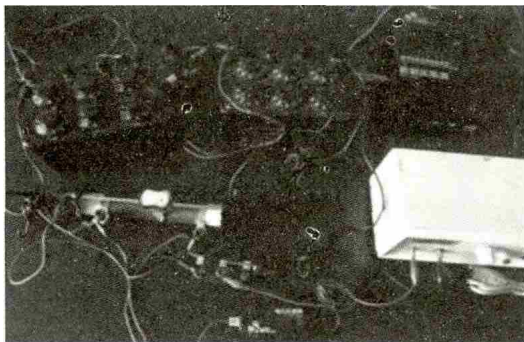


图3 电路实物连接

[数据分析]

(1)如图4, 滑片D在右端时, $U_{AC}=4.32\text{ V}$, $U_{AD}=4.40\text{ V}$, $I=0.33\text{ A}$; 即 $U_{CD}=0.08\text{ V}$, 因 $U_C > U_D$, 故桥上有电流 0.33 A , 且电流从C流向D。

(2)当滑片D缓慢向左移动时, U_{AC} 和 U_{AD} 均逐渐减小, 而 $U_C > U_D$, 但两者逐渐接近, 即 U_{CD} 逐渐变小, 桥上电流随之减小, 且方向从C流向D。

(3)当滑片D移动至某一位置时, $U_{AC}=U_{AD}=2.30\text{ V}$, $I=0.00\text{ A}$ 。即 $U_{CD}=0$, 此时电桥上电流为零, 电桥平衡。

(4)当滑片D再缓慢向左移动时, U_{AC} 和 U_{AD} 均逐渐减小, 而 $U_C < U_D$, 但两者逐渐远离, 即 U_{CD} 逐渐变大, 桥上电流随之变大, 且方向从D流向C。

(5)当滑片D在左端时, $U_{AC}=0.40\text{ V}$, $U_{AD}=0.32\text{ V}$, $I=0.30\text{ A}$; 即 $U_{CD}=-0.08\text{ V}$, 因 $U_C < U_D$, 故桥上有电流 0.30 A , 且电流方向从D流向C。

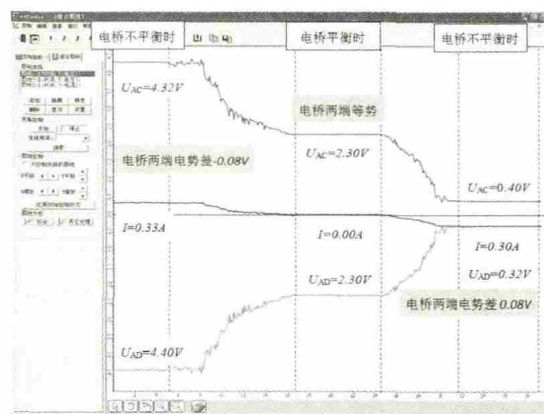


图4 实验数据分析

[理论推导]

当 $U_{AC}=U_{AD}=2.30\text{ V}$ 、 $I=0$ 时,

由 $U_{AC}+U_{CB}=6.0\text{ V}$, $U_{AD}+U_{DB}=6.0\text{ V}$,
得 $U_{CB}=3.70\text{ V}$, $U_{DB}=3.70\text{ V}$ 。

又 $R_1=U_{AC}/I_{ACB}$, $R_2=U_{CB}/I_{ACB}$, $R_3=U_{AD}/I_{ADB}$, $R_4=U_{DB}/I_{ADB}$,

得 $R_1:R_2=U_{AC}:U_{CB}$, $R_3:R_4=U_{AD}:U_{DB}$,

得电桥电阻平衡条件,

即 $R_1:R_2=R_3:R_4$ 。

[实验结论]

通过实验验证, 当电桥平衡时, 电桥两端电势相等, 桥上电流 $I=0$ 。即 $R_1:R_2=R_3:R_4$ 为电桥平衡条件。

[实验小结]

(1)体现“物理转化原理”的设计思想——电桥状态的改变, 伴随着电压与电流的变化, 通过对部分桥臂电压和桥上电流的测量, 分析电桥的状态。

(2)改进实验电路的设计创新——在传统实验电路基础上, 将部分桥臂以滑动变阻器代替, 实现电桥从不平衡到平衡之间的动态过程。

(3)结合 DISLab 实验系统的技术创新——电桥从不平衡到平衡之间的动态变化过程, 因 DISLab 实验系统的引入, 实现了数字化的实时动态显示及测量。外加上简便的理论推导, 使学生在感性体验与理性分析两方面均有收获。

3.2 物理教材, 探索性实验: 平衡刚体的支持力探究

本实验主要结合“物理转换原理”的设计思想^[6], 当刚体处于不同的力矩平衡状态时, 其支持

力也会发生变化。现利用力传感器设计实验来定量显示支持力的大小,探究力矩平衡时刚体不同处支持力的变化,通过实时测量和动态显示,加深对力矩平衡条件的理解,填补教学中的实验空白。

[实验目的]

探究刚体平衡时不同处所受支持力的变化,加深力矩平衡条件的理解。

[实验原理]

刚体平衡时,外力的合力矩为零,即 $\Sigma M=0$ 。

[实验器材]

力传感器3个,数据采集器,计算机,方木块,铁架台(铁夹)金属杆。

[实验装置]

如图5所示,在铁架台上用铁夹将金属杆固定在水平位置。将两个力传感器倒置在金属杆上,测力钩竖直向上并在同一水平位置。将长方体木块对称地放在两测力钩上,木块保持竖直,背面轻轻靠近铁架台杆但无挤压。在木块上方套一根细绳,方便力传感器施加水平拉力。

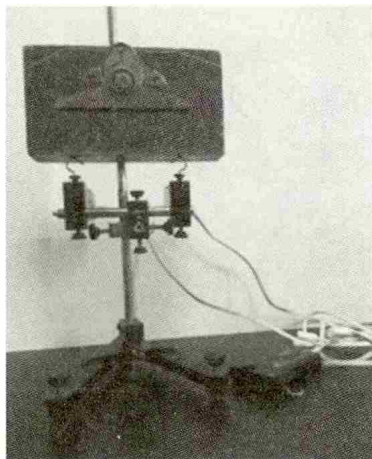


图5 实验装置图

[实验过程]

(1)按照实验装置图,组装实验仪器。

(2)将力传感器接入数据采集器,然后连接至计算机。

(3)启动 DISLab,点击“通用软件”,打开实验设置,设置力传感器的采样频率;选择组合图线,横坐标为时间,纵坐标依次显示传感器示数。

(4)点击“开始”,两个力传感器采集所受木块的压力值;仔细调节木块的位置,使图中左右两力传感器的压力 F_1 和 F_2 的示数尽可能相等,完成后停止程序运行。

(5)点击“开始”,让两个力传感器测定支持力约10s,然后用第三个力传感器测钩钩住木块

上的细绳,给木块施加一水平向右的拉力 F_3 ;改变拉力的大小,观察两个力传感器的示数变化,停止程序运行,同时保存拉力、压力-时间图线。

[数据分析]

如图6所示。

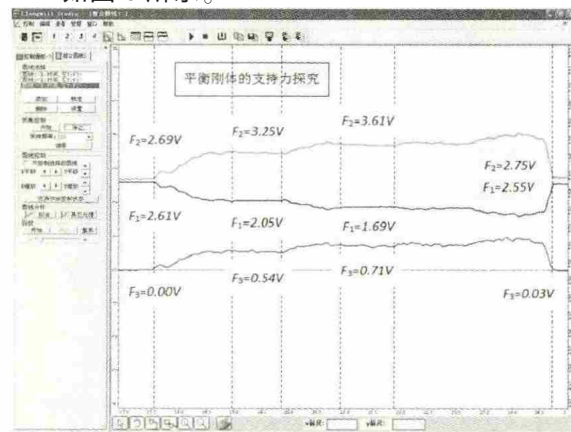


图6 实验数据分析

(1) $F_3=0$,未施加水平拉力时,力传感器测的压力分别为 $F_1=2.61\text{ N}$, $F_2=2.69\text{ N}$ 。

(2) F_3 增大,当水平拉力逐渐增大时,左侧力传感器的示数 F_1 逐渐减小,而右侧力传感器的示数 F_2 逐渐增大,如图7。且任一时刻两个力传感器压力示数之和为定值,如图7。

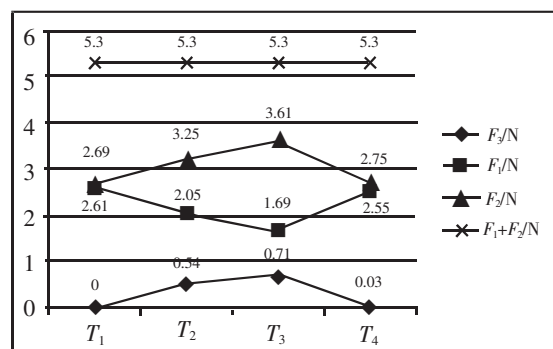


图7 实验数据分析

(3)实验过程中木块始终处于力矩平衡状态,即 $M_{\text{顺}}=M_{\text{逆}}$ 。

其理论推导如下:如图8,设右侧力传感器测力钩与木块接触点为转动轴,两个力传感器测钩间的距离为 L ,右侧细绳离木块底部的高度为 h ,则有:

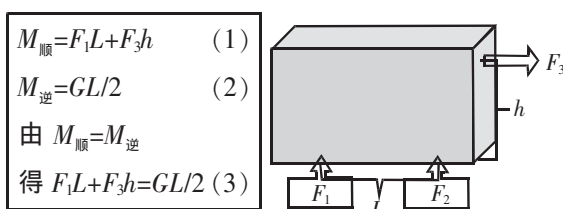


图8 模拟力矩平衡时刚体

实验结论:对于任一确定的水平拉力 F_3 ,在上述理论推导中,通过测量具体的 h 、 L 值,由(3)式可以求得 F_1 、 F_2 的对应理论值。当水平拉力变化时,刚体不同处所受弹力是变化的,变化过程则由实验图线得以清晰地实时显示,如图6。

[实验小结]

(1)转换实验测量的操作创新——本实验将刚体用两个传感器支撑,使得刚体所受支持力能被方便测量,从而达到探究刚体平衡条件下不同处所受支持力的目的。同时,将刚体所受外力(摩擦力、重力、桌面的支持力)的力矩关系,合理地转换为刚体的重力和支持力(两个)的力矩关系,因摩擦力力矩为零。

(2)结合 DISLab 实验系统的技术创新——力传感器的使用,可以及时测量得到两支持力随拉力发生变化,准确地揭示不同处弹力的变化规律,结合理论推导,强化刚体平衡和力矩平衡的概念。同时,本实验为高中力矩平衡时刚体不同处支持力的变化的教学提供了一个全新的实验支持。

(3)提供创新多元化的设计思路——在这一类实验设计中,创新主要体现在实验设计上,对于处于力矩平衡的刚体,除了可以测量支持力,还可以测量拉力、摩擦力、电磁力等。该思路可运用到其他实验中。

3.3 联系生活,趣味性实验:输液中的物理知识解析

本实验主要结合“物理模拟原理”的设计思想,合理模拟静脉输液,利用压强传感器,实时测量和动态显示瓶内气体压强,从而认识其中蕴含的物理知识。

[实验目的]

利用 DISLab 测量模拟双瓶连续输液装置中两瓶内的气体压强,定量揭示输液中的物理知识。

[实验原理]

当温度一定时,气体的压强与气体体积及气体质量有关,即 $PV=C$ (T 恒定)。

[实验器材]

压强传感器2个,数据采集器,计算机,自制模拟连续输液装置等。

[实验装置]

本装置可以分别模拟单瓶输液与双瓶连续输液,如图9所示。自制模拟双瓶连续输液装置如图10所示,由上下两端均开一个圆孔的两个塑料瓶组成,塑料瓶固定在铁架台上,右瓶为输

液主瓶,左瓶为输液副瓶。瓶上端孔用橡皮塞塞紧,橡皮塞中的胶管与压强传感器相连;瓶下端孔也用橡皮塞塞紧。如图9主瓶下端橡皮塞中插入一根医用输液管 a (管中有观察液滴的小窗口及控制输液速度的小压轮),其下端置于相当于人体静脉的烧杯中;两橡皮塞中由一根胶管 b 将双瓶药液连通,副瓶下端孔橡皮塞中插一细管 c (截面略小于 b 管), c 开口向上与大气相通。主、副瓶中装入大半瓶的红色水代表药液。

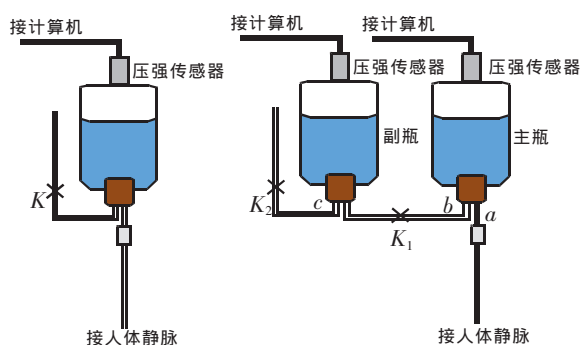


图9 模拟输液装置

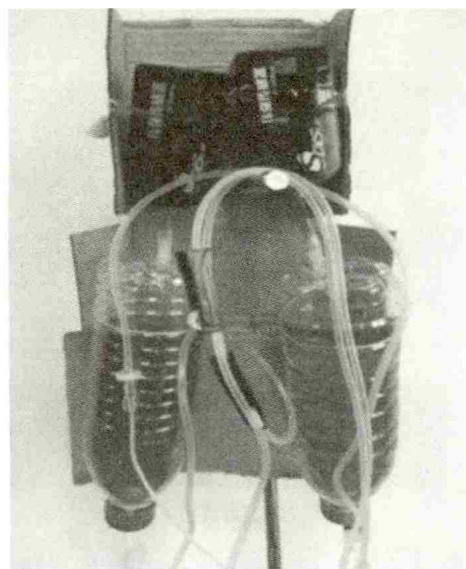


图10 自制输液装置

[实验过程]

- (1)按照实验装置图,组装实验仪器。
- (2)将两个压强传感器接入数据采集器,然后连接至计算机。
- (3)启动 DISLab,点击“通用软件”,打开实验设置,设置压强传感器的采样频率;选择组合图线,横坐标为时间,纵坐标依次显示传感器示数。

(4)模拟单瓶输液实验:

- ①将插在副瓶下端孔橡皮塞中的 b 管拔出、开口向上置于大气中,由主瓶单独模拟单瓶输液实验。

②将 a 管用小压轮压住,用夹子 K 夹住 b 管;在主瓶中装入模拟药液的红色水,并将主瓶上端孔用连着胶管和压强传感器的橡皮塞塞紧。

③点击“开始”,压强传感器测量输液前瓶内的气体压强。

④旋松 a 管小压轮,通过 a 管滴液小窗口观察到主瓶药液快速流出,同时记录瓶内药液上方的气体压强。

⑤当压强变化到一定值时,输液基本停止;松开 b 管夹子 K ,使进气管与大气相通,通过 a 管滴液小窗口观察主瓶输液状态,同时记录瓶内药液上方气体压强的变化。

⑥一段时间后,停止数据采集,并保存“压强-时间”图线;见图 11。

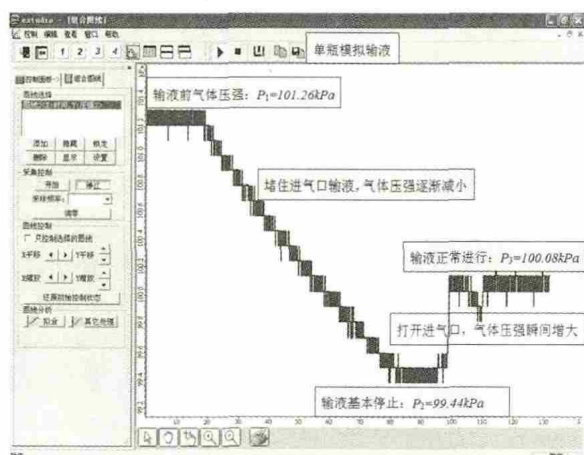


图 11 实验数据分析

(5)模拟双瓶连续输液实验:

①让 b 管恢复连接主副两瓶, c 管开口向上置于大气中,由主副两瓶共同模拟双瓶连续输液实验。

②将 a 管用小压轮压住,用夹子 K_1 、 K_2 分别将副瓶下端孔橡皮塞中的 b 管和 c 管夹住;在主副瓶中装入模拟药液的红色水,并将主副瓶上端孔用连着胶管和压强传感器的橡皮塞塞紧。

③旋松 a 管小压轮,通过 a 管滴液小窗口观察到主瓶药液,开始较快流出后滴速变慢,最后输液基本停止。

④点击“开始”,压强传感器分别测得两瓶内的气体压强;同时松开 b 管和 c 管的夹子 K_1 、 K_2 ,通过 a 管滴液小窗口观察主瓶输液状态,同时观察主副瓶内液面的变化,并记录瓶内药液上方气体压强。

⑤一段时间后,停止数据采集,并保存“压

强-时间”图线;见图 12。

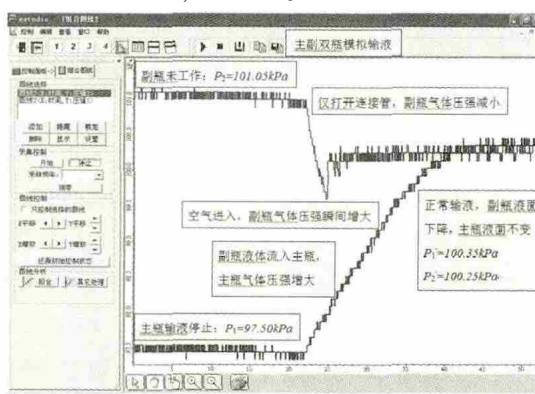


图 12 实验数据分析

[数据分析]

(1)模拟单瓶输液实验,由图 11 可知:

①模拟输液前,主瓶内气体压强 $P_1=101.26\text{ kPa}$;堵住进气口、旋松小压轮后,由于瓶内药液减少,使气体体积变小,气体压强变小;一段时间后,系统平衡,药液基本停止流出,此时气体压强 $P_2=99.44\text{ kPa}$;利用玻意耳定律可计算,气体体积相对增加量约为 1.83%。

②松开 b 管夹子 K_1 后, b 管与大气相通,瓶外空气迅速进入瓶中,可观察到大量气泡从液体内冒出;气体温度与体积几乎不变时,因气体质量增大使压强瞬间增大,药液重新开始流出;此后以正常速度输液时,气体质量不断缓慢增加,液面缓慢下降,在实验测定短时间内气体压强保持在 $P_3=100.08\text{ kPa}$ 不变。

③ $P_1=101.26\text{ kPa}$, $P_3=100.08\text{ kPa}$; P_1 与 P_3 之差约为 1.18 kPa,相当于 12.04 cm 高水柱产生的压强,实测此时瓶内液面与进气管 b 处液面高度差约为 12.0 cm。

(2)模拟双瓶连续输液实验,由图 12 可知:

① b 管被夹住时,压强传感器 1 所测主瓶内气体压强为主瓶已停止输液、体积增大时的压强值 $P_1=97.50\text{ kPa}$;压强传感器 2 所测气体压强为副瓶未工作时气体压强值 $P_2=101.05\text{ kPa}$ 。

②同时松开 b 管和 c 管的夹子 K_1 、 K_2 ,开始时副瓶气体压强大于主瓶,药液从副瓶流入主瓶,主瓶内气体体积变小、压强变小;在外界空气尚未经 c 管进入时,副瓶中气体压强变小,最小为 99.60 kPa;之后外界空气经 c 管进入副瓶,副瓶气体压强瞬间增大,而主瓶气体则因体积继续变小,压强继续变大。

③当正常输液时,主瓶内液面位置不变,气体

体积不变,压强不变,气体压强为 $P_1'=100.35\text{ kPa}$;副瓶药液流入主瓶,液面下降,外界空气不断进入,在实验测定时间内,气体压强为 $P_2'=100.25\text{ kPa}$ 不变。

④ $P_1'=100.35\text{ kPa}$, $P_2'=100.25\text{ kPa}$; P_1' 与 P_2' 之差约为 0.10 kPa , 相当于 1.02 cm 高水柱产生的压强,实测此时副瓶内液面比主瓶内液面低约 1.0 cm 左右。

[实验结论]

(1)单瓶输液时,进气管作用十分重要,药液输入人体静脉时,瓶内气体的压强因体积增大而减小;由于外界空气通过进气管及时进入,使瓶内气体质量增加,因而气体压强能在相当一段时间内保持基本不变,从而使输液正常进行。

(2)双瓶连续输液时,主瓶输出的药液由副瓶补充,主瓶内液面位置不变,气体体积与压强均保持不变;副瓶中药液不断流向主瓶,外界空气经进气管进入副瓶,在一定时间内,气体质量增加而保持压强不变;在整个输液过程中,待副瓶内的药液全部输完后主瓶才开始输液。双瓶连续输液的优点在于能自动补充药液,减轻医务人员的工作量,提高输液效率。

[实验小结]

(1)体现“物理模拟原理”的设计思想——通过自制模拟连续输液装置,一方面锻炼学生的设计能力和操作能力,另一方面突显模型在物理学习中的重要地位,而模型化也是物理学习的思想之一。

(2)选取气体压强作为研究——在输液过程中,药液上方气体压强值的变化,能够间接反映装置的输液状态。结合实验观察,也对学生从实

例中认识玻意耳定律,有一个更直观的感受。

(3)结合 DISLab 实验系统的技术创新——首次用 DISLab 结合自制模拟连续输液装置,通过单瓶与双瓶两次模拟输液实验,借助于压强传感器精确测定输液过程中药液上方气体压强值的变化规律,解决了长期以来的技术难点,取得理想的实验效果。

4 结 语

基于 DIS 的物理实验创新,作为数字化技术与传统实验的整合,其本身就是一种创新。冯容士先生指出:“实验教学承载着创新性教育的重任,将实验教学中的创新予以归纳,上升到理论和技法的高度,反过来再用以指导实验的创新,其本质是学生思维品质的提升和科研素养的积累。而这正是培养创造型人才的必需^[7]”。这正是其主要特点,即对学生创新能力的培养以及创新思维的激发。

参考文献:

- [1]朗威数字化信息系统实验室 V6.0 用户手册[Z].上海:上海市小学数字化实验系统研发中心,2007,1.
- [2]张公政.传感器实验与高中生创新能力的培养[D].武汉:华中师范大学硕士学位论文,2008.
- [3]朱目强.数字化实验的特点概述[Z].人民教育出版社课程教材研究所“新课程在线”,2008.
- [4]陈灵,彭成红.加强研究性实验教学提高学生的创新能力[J].实验室研究与探索,2010,29(8):202.
- [5]曹志芬.生活中的物理知识——论初中物理教学[J].新课程·中学,2015(6):66—67.
- [6]李松岭,李明雪.物理创新性实验的六大设计原理[J].物理与工程,2007,17(06):19—21.
- [7]张溶菁.中学物理数字化实验研究——DIS 校本课程开发与实践[M].上海:上海教育出版社,2009.

(栏目编辑 邓 磊)