应用朗威 DISLab 研究通电螺线管内部的磁感应强度分布规律

周欣仪

（重庆市第十一中学校　重庆　400061）

（收稿日期：2016－03－09）

摘　要：一般认为，在忽略边缘效应时，通电螺线管内部是个匀强磁场. 然而，教材中所呈现出来的通电螺线管内部磁场分布图像却未能予以充分证实. 本实验换用自行绕制的内径较小、长度较长的线圈进行实验，得到的实验图像较为准确地证实了这一结论. 并基于真实的实验操作过程，改进了实验装置，以便更加便捷高效地得到实验数据和图像.

关键词：数字化实验　通电螺线管　磁感应强度

1　引言

在学习有关磁的内容时，我们难以运用传统实验设备有效开展实验，从而不能形象直观地认知有关现象，就感到这一部分内容比较抽象，不可以用感官去直接体会磁场的存在. 本文借助朗威 DISLab，设计两种方案，提供了一种更为便捷地探究通电螺线管内部磁场强度分布规律的方法.

新课标人教版《物理·选修 3－1》教材在第 89 页的“做一做”栏目中介绍了用磁传感器研究磁场的相关内容，并明确指出可以运用磁传感器探究通电螺线管内部的磁感应强度 B 的分布规律. 在学习该部分知识时，我们一般认为通电螺线管内部是个匀强磁场（忽略边缘效应），但教材第 89 页图 3.3－14 中电脑显示屏中的图像（图 1）并未能说明这一点[1].

图 1　教材中通电螺线管内部磁场分布

查阅资料，我们发现在《朗威数字化信息系统实验室 V5.0 实验实例》（第 2 次修订版）手册中也有这一实验的具体内容，但得出的磁感应强度分布图形（图 2）依然不能看出通电螺线管内部是匀强磁场.

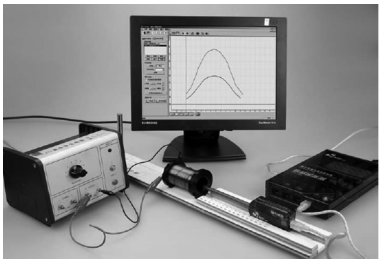

图 2　手册中通电螺线管内部磁场分布

实际上，当螺线管长度 L 远远大于螺线管半径 R 时，在其内部很大范围内磁场近于均匀[2]. 朗威 DISLab V5.0 配套实验器材中的螺线管的长度 L 为 9 cm 左右，半径 R 约为 0.7 cm，，因此不能使用朗威 DISLab V5.0 配套实验器材中的螺线管来研究通电螺线管内部是否是匀强磁场. 为解决这一问题，自行制作了一个长度近 20 cm，半径约为 0.7 cm 的螺线管，如图 3 所示.

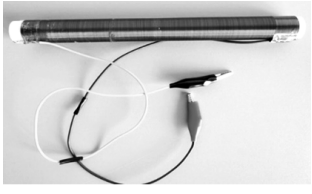

图 3　自行绕制的螺线管

2　朗威 DISLab 介绍

某网络多媒体有限责任公司研发的朗威数字化信息系统实验室开启了国内实验教学的数字化时代，该产品已被编入人教版、沪教版和粤教版等国内多家新课标物理教材，成为信息技术与物理教学理念整合的优秀载体[3].

朗威数字化信息系统实验室（简称朗威 DISLab）由传感器、数据采集器、软件和配套实验器材构成，如图 4 所示.

图 4　朗威 DISLab 系统构成

在研究通电螺线管内部的磁感应强度分布规律时，我们将用到磁传感器、位移传感器，并需要多用力学导轨、小车等配套器材.

3　应用朗威 DISLab 研究通电螺线管内部的磁感应强度分布规律

首先，我们可以依据《朗威数字化信息系统实验室V5.0实验实例》（第2次修订版）中有关该实验的操作步骤进行方案一的探究.

3.1　方案一

3.1.1　实验器材

朗威 DISLab，计算机，螺线管（自己绕制的线圈），直尺，稳压电源，导线，磁传感器等.

3.1.2　实验装置图

实验装置图如图 5 所示.

图 5　实验装置图

3.1.3　实验操作

（1）将磁传感器接入数据采集器，接通采集器电源，使磁传感器预热 4 min.

（2）螺线圈接入 6 V 稳压电源，调节磁传感器的高度使其探管正好在螺线管的轴心线上通过.

（3）打开“计算表格”，调节磁传感器探管前沿与螺线管一端相距 1 cm，并将磁传感器调零.

（4）增加变量“s”表示磁传感器移动的相对距离，记录当前的磁感应强度值，输入 s 值为“0”.

（5）将磁传感器探管推入螺线管，每次移动 0.5 cm，输入 s 值和对应的磁感应强度值，如表 1 所示.

表 1　磁感应强度 B 与相对距离 s 数据记录表（6.0 V）

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相对距离 s/cm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
磁感应强度 B/mT	0.01	0.14	0.42	0.66	0.81	0.88	0.91	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96
次数	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
相对距离 s/cm	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5
磁感应强度 B/mT	0.97	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.96	0.97	0.96	0.96

（6）打开“组合图线”，选择 X 轴为“s”，Y 轴为“B”，绘出基于实验数据的通电螺线管轴线上的磁感应强度与相对距离关系图线，如图 6 所示.

（7）点击“锁定”，锁定当前图线；将电源电压依次调整为4.5 V，3 V，重复步骤（3）～（6），得到另外两组数据（表 2 和表 3）及两条图线，如图 7 所示.

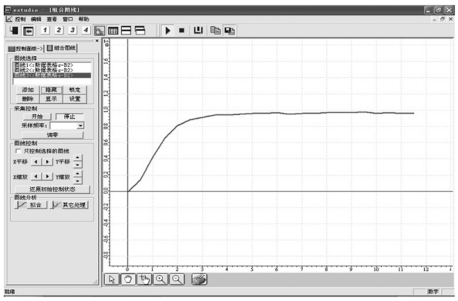

图 6　螺线管内部磁感应强度分布图线

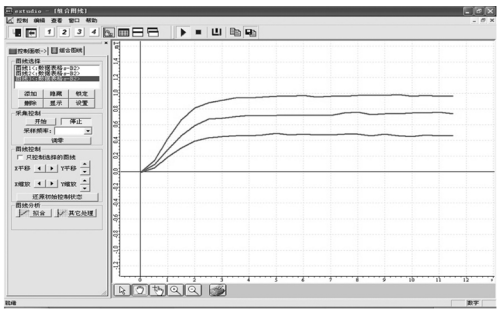

图 7　螺线管内部磁感应强度分布图线

表 2　磁感应强度 B 与相对距离 s 数据记录表(4.5 V)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相对距离 s/cm	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
磁感应强度 B/mT	0.01	0.09	0.28	0.46	0.59	0.67	0.68	0.7	0.72	0.71	0.72	0.72
次数	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
相对距离 s/cm	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5
磁感应强度 B/mT	0.72	0.72	0.72	0.75	0.76	0.73	0.74	0.74	0.75	0.75	0.76	0.74

表 3　磁感应强度 B 与相对距离 s 数据记录表(3.0 V)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相对距离 s/cm	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
磁感应强度 B/mT	0.01	0.05	0.19	0.30	0.39	0.43	0.45	0.46	0.46	0.47	0.49	0.47
次数	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
相对距离 s/cm	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5
磁感应强度 B/mT	0.48	0.47	0.47	0.48	0.48	0.46	0.48	0.46	0.45	0.47	0.46	0.46

(8) 由图 7 可知,距通电螺线管端口距离大约大于 3.5 cm 的中心轴线上磁场强度大小一样. 将磁传感器探管伸入螺线管内部,且距离端口的距离大于 3.5 cm,在中心轴线附近上下左右移动,发现磁感应强度大小数值基本不变. 在满足探管距端口距离大于 3.5 cm 的前提下,改变探管伸入的位置,多次重复实验,发现磁感应强度大小数值基本不变.

3.1.4　实验不足

在该实验中,磁传感器探管与螺线管间的相对距离是通过刻度尺读出来的,将传统实验器材与现代信息技术进行了融合. 但是,这样操作首先需要多次手动记录数据,读数误差较大且比较烦琐;其次,不能实时显示磁感应强度大小变化情况.

3.2　**方案二**

为了克服方案一的不足,本方案在实验中再组合运用位移传感器,不仅可以简化操作,还可以实时观察螺线管内部磁感应强度大小变化情况.

3.2.1　实验器材

朗威 DISLab,计算机,螺线管(自己绕制的线圈),直尺,稳压电源,导线,磁传感器,位移传感器等.

3.2.2　实验装置图

实验装置图如图 8 所示.

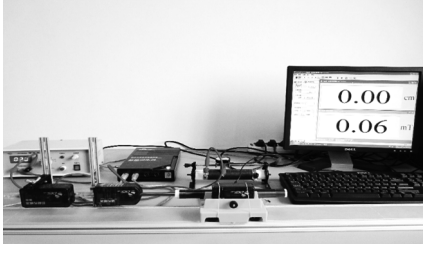

图 8　实验装置图

3.2.3　改进操作

(1) 将位移传感器、磁传感器接入数据采集器

(位移传感器与磁传感器前后并列排列).

(2) 将螺线管安装在小车上,并将位移传感器发射模块固定在小车上.

(3) 将位移传感器接收模块固定在支架上,调整其高度,使其与位移传感器发射模块基本在同一水平线上.

(4) 将磁传感器固定在支架上,调整其高度,使探管与螺线管中心轴线在同一高度.

(5) 接通电源,使磁传感器预热 4 min,并将螺线管接入 6.0 V 稳压电源.

(6) 调整螺线管位置,使其距磁传感器探管的距离为 1 cm.

(7) 打开教材通用软件,将位移传感器、磁传感器调零.

(8) 点击"组合图线",添加"$B-s$"图线,将采样频率设置为"50",打开"计算表格",点击开始.

(9) 推动小车移动,得到通电螺线管内部的磁感应强度与相对距离关系图线,如图 9 所示.

(10) 点击"锁定",锁定当前图线,将电源电压依次调为4.5 V,3.0 V,重复步骤(6)～(9),得到另外两条图线,如图 10 所示.

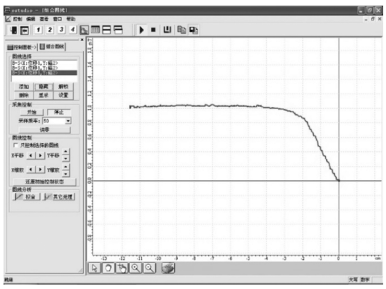

图 9　通电螺线管内部的磁感应强度与相对距离

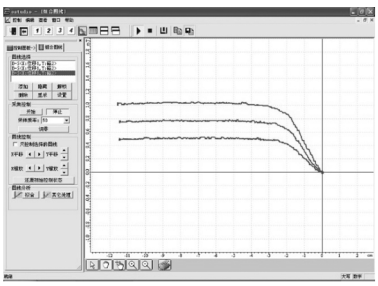

图 10　螺线管内部磁感应强度分布图线

3.2.4　实验结果

依据图 10,可以推知:在误差允许范围内,通电螺线管内部(除端口附近)是匀强磁场.如果我们把图 10 中的图线进一步放大,我们会发现比较明显的锯齿,如图 11 所示.乍一看,会认为不是匀强磁场.要回答这一问题,需要大致计算下相对误差.

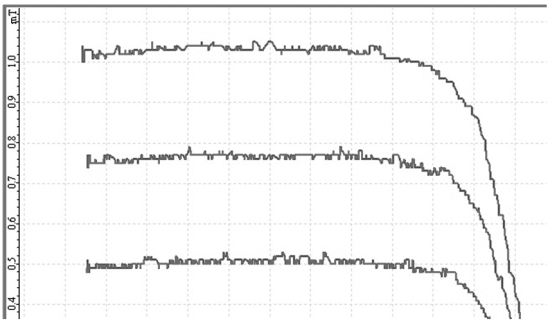

图 11　局部放大图

取 3 条图线中基本水平部分的最大值和最小值,求出差值,然后就可以知道对应的相对误差.

电源电压 6.0 V

$$\delta_1=\frac{\Delta B}{B}\times 100\%=$$

$$\frac{1.05-1.02}{1.03}\times 100\%=2.91\%$$

电源电压 4.5 V

$$\delta_2=\frac{\Delta B}{B}\times 100\%=$$

$$\frac{0.79-0.75}{0.77}\times 100\%=5.19\%$$

电源电压 3.0 V

$$\delta_3=\frac{\Delta B}{B}\times 100\%=$$

$$\frac{0.53-0.49}{0.51}\times 100\%=2.91\%$$

其平均值为 5.31%,在精度要求不高的情况下,我们可以认为通电螺线管内部(除端口附近)是匀强磁场.

查阅文献[2]可知:细线密绕的通电螺线管在忽略螺线管中匝与匝间电流和磁场的波纹起伏,以及边绕边进时电流的纵向分量,建立如图 12 所示坐标系,则其内部轴线上某点的磁感应强度 B 大小为

$$B=\frac{\mu_0 n}{2}(\cos\beta_1-\cos\beta_2)$$

其中

$$\cos\beta_1=\frac{x+\frac{L}{2}}{\sqrt{R^2+\left(x+\frac{L}{2}\right)^2}}$$

$$\cos\beta_2=\frac{x-\frac{L}{2}}{\sqrt{R^2+\left(x-\frac{L}{2}\right)^2}}$$

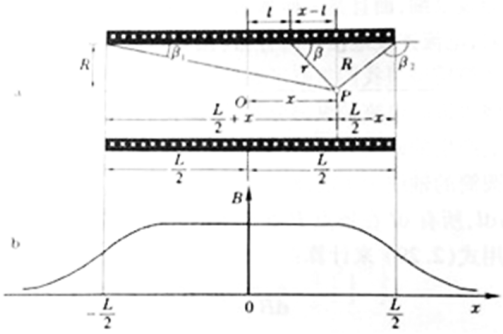

图 12　螺线管轴线上的磁场

由图 12 中曲线可以看出，当 $L \gg R$ 时，在螺线管内部中很大一个范围内磁场近于均匀，只在端口处附近 B 值才显著下降[2].

由于在本实验中，$\frac{L}{R}\approx 29$，也不是特别大，因此实验精确度并不是特别高.

3.2.5　优点与不足

虽然改进后的方案二避免了多次读数带来的偶然误差，实现了图像的实时生成，但本实验依然存在以下两个主要不足：

(1) 由于螺线管是自己绕制的，每圈之间的紧密度不是很高；

(2) 螺线管是通过橡皮筋固定在小车上的，并不是十分牢固，在运动过程中可能会产生扰动.

4　拓展与展望

应用朗威 DISLab 研究通电螺线管内部的磁感应强度分布规律时，只在螺线管轴线方向上应用位移传感器来研究其轴线上的磁感应强度分布情况，而在垂直于轴线方向上只是定性地说明磁感应强度大小基本不随到中心轴线的距离改变而变. 因此，可以进一步在垂直于轴线方向上结合使用位移传感器来定量地研究螺线管内部的磁场分布情况[5,6]. 这就需要进一步改进配套实验器材来重新设计这个实验.

此外，我们还可以进一步研究通电螺线管内部的磁感应强度与螺线管中的电流大小间的关系. 当然，亦可运用高等数学、电磁学等大学知识，从理论和实际结合的角度，用 Matlab 等软件来研究理论值和实际值间的偏差[4].

参 考 文 献

1　人民教育出版社，课程教材研究所，物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书物理(选修 3-1). 北京：人民教育出版社，2011

2　赵凯华，陈熙谋. 新概念物理教程电磁学. 北京：高等教育出版社，2011

3　陈燕. 应用数字化实验平台优化高中物理教学的实践研究：[硕士论文]. 苏州：苏州大学；2010

4　惠小强，陈文学. 有限长通电螺线管空间的磁场分布. 物理与工程，2004，14(2)：22 ～ 25

5　曾小明，李清华，曾国平. 用 DIS 实验探究通电螺线管中的磁场特性. 实验教学与仪器，2012(2)：30 ～ 32

6　彭斓，杨中海. 通电螺线管 2 维磁场有限元计算. 强激光与粒子束，2011，23(8)：2151 ～ 2156

Research on the Distribution Law of Magnetic Induction Intensity Inside Electric Solenoid by DISLab Long Way

Zhou Xinyi

(Chongqing No. 11 Middle School, Chongqing　400061)

Abstract: Generally speaking, we held that ignoring the edge effect, the electrified solenoid inside is a homogeneous magnetic field. However, the current teaching materials in the electrified solenoid magnetic field distribution image has failed to be fully confirmed. In this experiment, the experiment was carried out on the coil with smaller diameter and longer length, and the results obtained from the experiment are more accurate. Based on the experimental operation process, the experiment device is improved to get the experiment data and image will become more easy and efficient.

Key words: digital experiment; electric solenoid; magnetic induction intensity