

实验五 亥姆霍兹线圈磁场分布研究

【实验目的】

1. 测量单个通电圆线圈的三维磁感应强度；
2. 了解亥姆霍兹线圈的原理及应用；
3. 测量亥姆霍兹线圈轴线上各点的三维磁感应强度。

【实验原理】

1. 载流圆线圈磁场

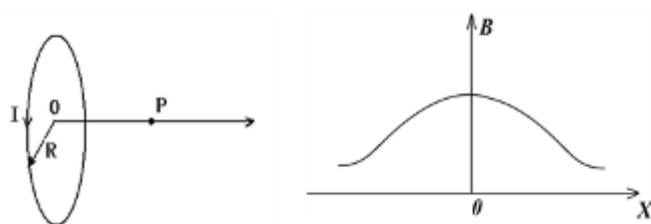


图7.1 载流圆线圈轴线上的磁场分布示意图

根据毕奥—萨伐尔定律，载流线圈在轴线(通过圆心并与线圈平面垂直的直线)上某点的磁感应强度为：

$$B = \frac{\mu_0 R^2 N I_M}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (7-1)$$

式中 I_M 为通过线圈的励磁电流强度， N 为线圈的匝数， R 为线圈平均半径， x 为圆心到该点的距离， μ_0 为真空磁导率。可得出圆心处的磁感应强度 B_0 为：

$$B_0 = \frac{\mu_0 N I_M}{2R} \quad (7-2)$$

2. 亥姆霍兹(Helmholtz)线圈

在实验室中，常采用亥姆霍兹线圈产生所需要的均匀磁场。它是由一对匝数和半径相同的同轴载流圆线圈组成，两线圈间的距离正好等于圆形线圈的半径 R 。设 Z 为亥姆霍兹线圈中轴线上某点离中心点 P 的距离，则亥姆霍兹线圈轴线上任点的磁感应强度为：

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 R^2 N I_M}{2} \left\{ \left[R^2 + \left(\frac{R}{2} + Z \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[R^2 + \left(\frac{R}{2} - Z \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (7-3)$$

而在亥姆霍兹线圈轴线上中心 P 处， $Z=0$ ，所以磁感应强度 B_P 为：

$$B_P = \frac{\mu_0 N I_M}{R} \cdot \frac{8}{5\sqrt{5}} \approx 0.716 \frac{\mu_0 N I_M}{R}$$

在两个线圈的圆心 O_1 、 O_2 处，磁感应强度相等，大小都是：

$$B_O = \frac{\mu_0 N I_M}{R} \cdot \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\right) \approx 0.677 \frac{\mu_0 N I_M}{R}$$

在两线圈之间的轴线上其它各点，磁感应强度的量值均介于 B_O 与 B_P 之间，由此可见，P点附近轴线上的磁场基本是均匀的。

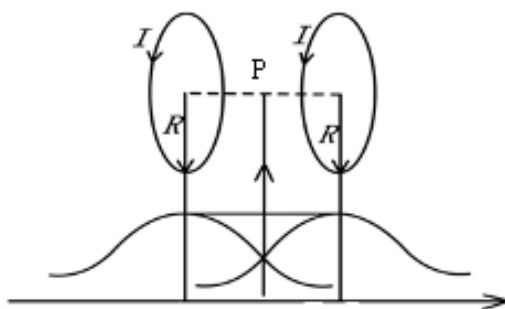


图7.2 亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布示意图

【实验仪器】

DH4501S型三维亥姆霍兹线圈磁场实验仪(1套, $N=500$, $R=0.100\text{m}$)、导线(3根)。



【实验内容】

一 测量单个通电圆线圈轴线上的磁感应强度

先将 Y 向导轨、Z 向导轨均置于 0，并紧固相应的螺母，使霍尔元件位于亥姆霍兹线圈轴线上。将左边圆线圈移至 R 处，铜管位置至 R 处。测量前用连接线将励磁电流 I_M 输出端连接到待测圆线圈，霍尔传感器的信号插头连接到测试

架后面板的专用插座。其它连接线一一对应连接好。为了消除地磁场的影响，测量前应将 X、Y 和 Z 向显示值调零。

1. 调节 $I_M=0.5A$ ，移动 X 向导轨，测量左圆线圈(1)通电时，轴线上各点处磁感应强度的 X、Y 和 Z 向分量与合成量 $B_{(1X)}$ ，可以每隔 10mm 测量一个数据(-150mm ~ 50mm)。将测量的数据记录在表格中，并绘出 $B_{(1X)}-X$ 图，即圆线圈(1)在 X 轴线上的磁场强度分布图。注意，由于传感器探头 0 位置与圆线圈(1)的中心位置差 $R/2$ ，所以圆线圈(1)在 X 轴线上 B 的分布图的中心位于 $-R/2$ 位置。
2. 待测线圈换为右线圈(2)，重复内容 1，每隔 10mm 测量一个数据(-50mm ~ 150mm)并绘出 $B_{(2X)}-X$ 图。注意，圆线圈(2)在 X 轴线上 B 的分布图的中心位于 $R/2$ 位置。

二 测量亥姆霍兹线圈轴线上各点的磁感应强度

测量前将亥姆霍兹线圈的距离设为 $R(100mm)$ ；将铜管位置调至 R 处。Y 向导轨、Z 向导轨均置于 0，并紧固相应的螺母。将左右两圆线圈同向串联，连接到励磁电流 I_M 输出端。

3. 调节励磁电流 $I_M=0.5A$ ，移动 X 向导轨，测量亥姆霍兹线圈通电时，轴线上各点处的霍尔电压，可以每隔 10mm 测量一个数据(-100mm ~ 100mm)。将测量的数据记录在表格中，并绘出 $B_{(R)}-X$ 图，即亥姆霍兹线圈 X 向轴线上 B 的分布图。选取亥姆霍兹线圈轴线上几个点，将测得的磁感应强度与理论公式(7-3)计算的结果相比较。
4. 将实验内容 1 和 2 测得的 $B_{(1X)}$ 和 $B_{(2X)}$ 值按 X 向的坐标位置相加，比较 $B_{(1X)}+B_{(2X)}$ 与 $B_{(R)}$ 的值，验证是否符合公式 $B_{(1X)}+B_{(2X)}=B_{(R)}$ 。

三 拓展内容（任选）

1. 测量反向串联的两通电圆线圈 ($O_1O_2=R$) 轴线上的磁感应强度。
2. 测量串联的两通电圆线圈 ($O_1O_2=R/2$) 轴线上的磁感应强度。
3. 测量串联的两通电圆线圈 ($O_1O_2=2R$) 轴线上的磁感应强度。
4. 测量单个通电圆线圈任一位置的三维磁感应强度：选择仪器允许的空间任一位置，测量圆线圈在该点的三维磁感应强度分量及合成量。在磁感应强度的 X、Y 和 Z 分量构成的三维数学坐标内，可以计算出该点的三维数学坐标，即各向的数值和角度，该点的矢量方向即为该点磁感应强度的矢量方向。有

条件的可以在计算机上用三维绘图软件辅助绘图。

【思考题】

1. 何谓亥姆霍兹线圈？需要具备哪些条件？
2. 亥姆霍兹线圈中心轴线上的磁场方向与轴线以外的磁场分布有什么不同？
3. 磁场是矢量还是标量？如何通过实验的方法来判定磁场的性质？
4. 亥姆霍兹线圈中的两圆线圈间距小于线圈的半径，两线圈中心区域内的磁场分布会怎样？（作图表示）
5. 亥姆霍兹线圈中的两圆线圈间距大于线圈的半径，两线圈中心区域内的磁场分布又会怎样？（作图表示）