

實驗七 磁滯現象

一、目的：

量測鐵磁性物質的磁滯曲線。

二、原理：

(一)磁性物質：

存在自然界中，最簡單的磁性結構為磁偶極矩(magnetic dipole)，其可以想像成一個被磁化成有 N 極和 S 極的長形物體，可藉由此兩極形成一個封閉的環場磁場，正如一個磁性體永遠存在成對的 N 極和 S 極，而至目前為止磁單極是不存在的。若這些磁偶極矩在外加磁場作用下產生磁場，則此材料帶有不同的磁性，因此可將物體區分成三類：順磁性(paramagnetism)、反磁性(diamagnetism)及鐵磁性(ferromagnetism)。

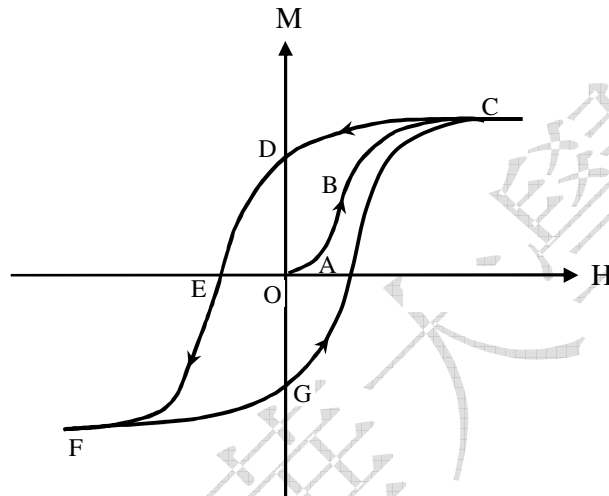
1. 順磁性物質：出現於含有過渡元素、稀土元素和銅系元素的材料中。當在外加磁場中，順磁性物質所產生的微弱磁化量的方向與外加磁場方向相同。
2. 反磁性物質：出現於一般材料中。當在外加磁場中，反磁性物質所產生微弱磁化量的方向與外加磁場方向相反。
3. 鐵磁性物質：是鐵、鈷、鎳及其合金。當在外加磁場中，鐵磁性物質會產生極強之磁化量且方向與外加磁場方向一致。

(二)磁滯現象：

若將未帶磁性的鐵磁性物質(例如：鐵、鈷、鎳及其合金)放入通電的螺線管內，其所產生的磁場可以將此材料磁化，使之帶有磁性，但外加磁場去除後，鐵磁性物質的磁性不會馬上消除，仍保有磁性，此即為磁滯現象。

將鐵磁性物質存在於一外加磁場時，當外加磁場由零(A 點)逐漸增大時，鐵磁性物質之感應磁場也隨之增大，而外加磁場增大到某一程度後，無論磁場再如何加大，鐵磁性物質之感應磁場也不再變化，此即達到飽和(C 點)。此時，在逐漸減小外加磁場時，鐵磁性物質之感應磁場亦隨之緩慢減小，其路徑並不沿原磁化曲線(magnetization curve)CBA 返回，而是沿著另一曲線 CD 變化，直到外加磁場降為零，而鐵磁性物質仍保有磁性，此點(D 點)所具有的磁場稱為該磁性物質之殘磁量(residual induction; B_r)。若欲使該磁性物質之感應磁場趨於零(E 點)時，則需外加一反向磁場此作為去磁效果，此時，E 點之反向磁場稱為物質之抗磁力

或矯頑磁力(coercivity)，或稱之為抗磁場強度(coercive field intensity)。相同於正向磁場之效應，反向磁場大到某一程度後，鐵磁性物質磁化強度亦會達到飽和(F點)，減小反向磁場至零點(G點)，鐵磁性物質仍具磁性。再通以正向磁場，磁化曲線會沿著曲線 GC 到達 C 點而形成依各封閉曲線，此封閉曲線即為磁滯曲線，如圖一所示。



圖一 磁滯曲線

(三)由細長磁棒所產生的磁場：

假設由鐵磁性物質所做成的細棒被磁化後，其磁化強度(magnetization)為 M 。我們可以想像成磁性是由許多個小磁偶磁矩 μ 所組成的，若鐵磁性物質的體積為 V ，體積內的原子數目為 N ，因此磁化強度 M 與磁偶磁矩 μ 之間的關係為 $M = N\mu/V$ 。

由一個磁偶磁矩 μ 所產生的磁場為

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3\hat{r}(\hat{r} \cdot \mu) - \mu}{|r|^3} \quad (1)$$

其中， \hat{r} 為由磁偶磁矩 μ 所在的位置指向測量點的單位向量； $|r|$ 為這兩點之間的距離。

在圖二中，我們將磁棒 S 極置於原點，而 N 極置於 $+\hat{z}$ 軸上之 P 點，待測點則在 $+\hat{x}$ 軸上之 R 點，在磁棒上 dz 長度內的磁偶磁矩數目為 $\frac{N}{V} Adz$ ，因此由這些磁偶磁矩所產生的磁場為

$$dB = \frac{N}{V} Adz \frac{3\hat{r}(\hat{r} \cdot \mu) - \mu}{r^3}$$

將(3)式代入(2)式，可得磁化強度 M 為

$$M = \frac{B_E(QR)^2}{A \left[1 - \left(\frac{QR}{PR} \right)^3 \right]} \tan \phi = a \tan \phi \quad (4)$$

其中， $a = \frac{B_E(QR)^2}{A \left[1 - \left(\frac{QR}{PR} \right)^3 \right]}$ 為一常數。

因此，由 $\tan \phi$ 與 I 之關係圖可得到各種鐵磁性物質之磁滯曲線圖。

三、儀器：

螺線管 2 個、交流電源供應器、直流電源供應器、磁力計、換向器、連接線數條、待測軟鐵棒及鋼鐵棒。

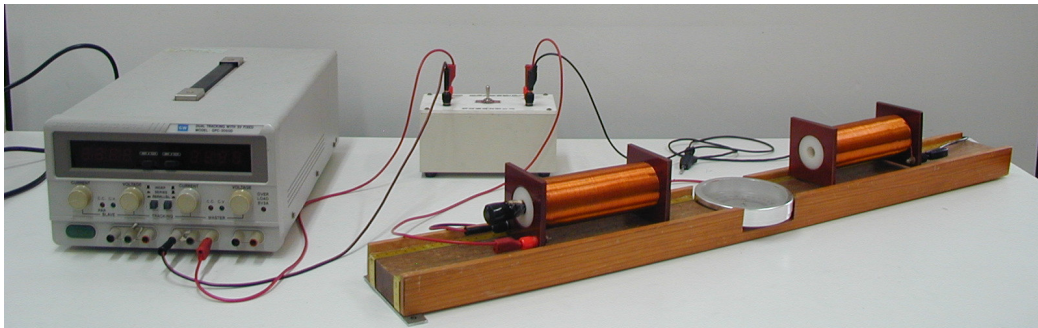
注意事項：

1. 實驗開始前，請先將待測鐵棒做去磁動作。
2. 花蓮地磁大小 $B_E = 3.6083 \times 10^{-5}$ tesla。
3. 螺線管線圈匝數：116/0.149 匝/m。

四、步驟：

(一)待測鐵棒去磁的方法：

1. 實驗裝置圖如三。
2. 將待測鐵棒放入螺線管內，並通以交流電，將電壓調高 2A 後再緩緩降至為零。
3. 將待測鐵棒拿出，改另一方向置入螺線管內，重複步驟 1。
4. 利用霍爾探針測試是否還有磁場存在，若仍有磁場，請重複步驟 1~2。



圖三 實驗裝置圖

(二)測量磁滯曲線：

1. 旋轉羅盤刻度之位置，使其與磁力計底座垂直(磁力計上羅盤歸零之動作)。
2. 調整磁力計底座的方向，讓指南針垂直於底座的方向(以抵消地磁垂直方向的磁力)。
3. 將兩個螺線管相對放置於磁力計底座之兩側。
4. 利用連接線，將兩個螺線管同方向串聯，並通以直流電源。由於螺線管是相對的，所以產生的磁場方向是相反的。注意：兩個螺線管之距離不可太近，以免偏轉角度過大而導致量測值不準確，因此須調整兩螺線管之距離，使得當電流調至最大值時，其偏轉角度在 60° 以內。
5. 調整其中一個螺線管的位置，使得指針可以再次歸零；亦即讓指針所受兩個反向的磁場之大小恰好可以互相抵消。
6. 利用交流電源，將待測鐵棒去磁。
7. 將直流電源歸零，再將待測鐵棒插入螺線管內；使螺線管通以 0.1 安培之電流 I ，等 30 秒至 1 分鐘後，紀錄其偏轉角度 ϕ 。
8. 逐漸增加直流電源(磁化磁場)的電流大小 I ，每次增加 0.2 安培，並依次記錄指針偏轉的角度 ϕ ，直到量測角度達到飽和值(此時電流約為 2 安培)。
9. 再將電流遞減至零，記錄指針偏轉的角度 ϕ 。
10. 利用換向器，改變螺線管電流方向(磁場方向)，重複步驟 6~7。
11. 再切換一次換向器，重複步驟 6~7。
12. 利用所得之數據繪出 I 與 $\tan \phi$ 之圖形及 M 與 B_0 之圖形。

五、問題：

1. 請針對此實驗裝置試修正公式(2)。
2. 在實驗中，若電流一下調整太大，對實驗結果有何影響？原因為何？
3. 在實驗中，當每增加 0.2 安培電流所停留的時間長短對實驗結果是否有影響？會有何種現象產生？
4. 兩螺線管上所通的電流為何採用串聯方式，而不分別由兩個直流電源供應器提供？

六、討論：