

第五章 磁 路

前面各章只是对各种电路进行了分析和讨论,但在生产实践中有许多设备都是利用电磁现象及其规律制成的,如工程中应用的各种电机、变压器、控制电器和电工仪表等。这些设备中存在着电与磁的相互作用和相互转化,不仅有电路的问题,还有磁路的问题,因此我们还必须研究磁和电之间的关系,掌握磁路的基本规律。

本章先复习磁场的基本知识,介绍磁路的基本定律和铁磁性物质的磁化情况。在此基础上,再简要介绍交流铁心线圈的磁路中的交变磁通和功率损耗等问题。

5-1 磁场的基本物理量

由磁现象的电本质,我们知道在任何电流的周围(包括载流导线和分子电流)总会存在着磁场。磁路即磁通的路径,而它实质就是局限在一定路径内的磁场。常见的磁路如图 5-1 所示。



图 5-1 常见磁路的示意图

磁路中的磁通由励磁线圈中的励磁电流或永久磁铁产生,经过铁心或空气隙等通路而闭合。磁路中有空气隙,如图 5-1(a)、(b)、(c)。磁路的一些物理量和规律也是由磁场中的物理量和规律引出来的,为了分析计算磁路,本节先对磁场的基本物理量和基本性质作简要的介绍。

5-1-1 磁感应强度和磁通量

1. 磁感应强度

磁感应强度是用来描述磁场的最重要的物理量,它是一个矢量,用 B 表示。其方向可用小磁针 N 极在磁场中某点 P 的指向确定,也即磁场的方向。在磁场中一点放一段长度为 L 、电流为 I 并与磁场方向垂直的导体,如导体所受电磁力为 ΔF ,则该点磁感应强度的量值

$$B = \frac{\Delta F}{I \Delta L} \quad (5-1)$$

磁感应强度 B 的国际单位制为特[斯拉],符号为 T;而原来电磁单位制中磁感应强度的

单位为高[斯],符号为 Gs,它们的关系为:

$$1\text{T} = 10^4\text{Gs}$$

2. 磁感应线

在磁场中,当各点磁场的强弱或方向不同时,各点的磁感应强度矢量 B 也是不同的。为了更好、更形象地描述空间的磁场分布,我们引进磁感应线的概念:磁感应线是一族曲线,曲线上的每一点的切线方向,是沿着该点的磁感应强度 B 的方向。

磁感应线虽是为分析方便而人为假想的曲线,但却很有用处。我们不但可以用其方向,形象地表示出空间各点磁感应强度 B 的方向,而且还可以用其在空间分布的疏密程度来表示空间各点磁感应强度的大小。

3. 磁通量

磁感应强度矢量的通量称为磁通[量],用符号 Φ 表示。我们规定通过任一点上垂直于该点 B 的单位面积上的磁感应线的条数,等于该点上 B 的量值(严格的定义要用微分,即 $d\Phi$ 与 ds 的比值)。磁通是个代数量,有其参考方向,如果某平面 S 上的磁感应强度 B 是均匀的,方向与 S 面垂直且与 Φ 的参考方向一致,则通过 S 面的磁通为:

$$\Phi = BS \quad (5-2)$$

而 B 的量值又可表示为: $B = \Phi/S$

所以磁感应强度又可称为磁通密度。磁通的 SI 主单位是韦[伯],符号为 Wb;在早期的电磁单位制中,磁通的单位为麦[克斯威],符号为 Mx,此处 Wb 与 Mx 的关系也可表示为:

$$1\text{Wb} = 10^8\text{Mx}$$

5-1-2 磁场强度和磁导率

1. 磁场强度

人们很早就发现磁场和电流有着依存关系,并且磁场的强弱与激发它的电流有着正比例的关系,所以在物理学中引入了磁场强度矢量 H 这个物理量。在外磁场(如载流螺线管的磁场)作用下,物质会被磁化而产生附加磁场,不同物质(即不同磁介质)产生的附加磁场不同。这里引进的磁场强度只与线圈中通过的电流有关,而与磁介质无关,因此能较好地表征出磁场与电流的依存关系。磁场强度的 SI 主单位是安[培]/米,符号为 A/m。

2. 磁导率

以上叙述表明,空间各点磁场的强弱,除与相应电流有关外,还与各处磁介质的情况有着极大的关系,所以我们引进磁导率这个物理量,来衡量物质的磁性质。我们将物质中某点的磁感应强度与磁场强度量值的比值定义为物质的磁导率,即:

$$\mu = B/H$$

由于矢量 B 与矢量 H 一般方向相同,因此可以写出它们的矢量关系式:

$$B = \mu H \quad (5-3)$$

磁导率的 SI 主单位是亨[利]/米,符号为 H/m。

为了对各种物质的磁导率进行比较,我们选择真空作为比较的基准,可以导出或测得真空的磁导率为:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{H/m} \quad (5-4)$$

而各种物质的磁导率与真空中磁导率的比值又称为相对磁导率,可表示为:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \text{ 或 } \mu = \mu_r \mu_0 \quad (5-5)$$

显然相对磁导率只是代表一种比例系数,它本身是一个无单位的纯数。非铁磁性物质的相对磁导率接近于1,且均为常量;但铁磁性物质的相对磁导率远远大于1,且不为常量(如硅钢片 $\mu_r = 6\,000 \sim 8\,000$,而坡莫合金在某些时候,其 μ_r 可以高达几万到十几万)。这说明铁磁性物质具有高导磁性能,而且其性质上还具有非线性,对于它的这种特殊性质,我们将在下一节进行专门讨论。