

磁性材料在稳恒磁场作用下所定义和测量得到的磁参数不计及磁化的时间效应，就是所谓的静态磁参数，或称直流磁参数。

若作用在材料样品上的外加磁化场强度  $H$  由零单调地增加，则被磁化的样品上的磁感应强度  $B$  也由零增加，两者构成的关系曲线就是起始磁化曲线。

若每增加一个磁场强度，强经反复换向而使样品的磁感应强度处在该状态下的稳定的数值上，实际性能测量时的这种反复换向的操作称为磁锻炼，这样得到的  $B$  和  $H$  之间的关系曲线就叫作基本磁化曲线，又称换向磁化曲线。

在很低的磁化场下，磁化是可逆的，即  $H$  减为零， $B$  也退为零，它们之间呈线性关系，没有滞后现象。这一低磁场的区域的大小随材料和材料的状态而异。在此区域中，磁导率（即表示磁化难易程度的一个磁参数）为常数，通常定义该磁导率为初始磁导率  $\mu_i$ ：

$$\mu_i = \lim_{H \rightarrow 0} (B/H) \quad (1)$$

在较高磁化场强度下，磁化场强度减为零，磁感应强度不再退为零，而保留有一定的剩余磁感应强度。在这个区域中测得的起始或基本磁化曲线上，过坐标原点  $O$  作直线与其相切，可得最大磁导率  $\mu_m$ （图 1）。磁化场强度再增加，磁感应强度也有增加。当磁化场强度到达饱和磁化场强度  $H_s$  时，对应此时的磁感应强度称技术饱和磁感应强度  $B_s$ ，在工程技术上就简称为饱和磁感应强度。此后，磁场强度再增大，磁感应强度虽有增加，但已与  $H$  成线性关系，这一阶段工程技术上用途不大。

若磁化场强度在  $+H_s$  和  $-H_s$  往返变化时，将形成通称的磁滞回线。不同的磁化场强度对应不同大小的磁滞回线。并且，磁化场强度从  $+H_s$  开始减少到零再反向增大所对应的部分磁滞回线称回线的下降支；而从  $-H_s$  开始绝对值减少到零再正向增大所对应的部分磁滞回线称回线的上升支。磁滞回线上对应于  $H=0$  的磁感应强度为剩磁  $B_r$ ，对应于  $B=0$  的反向磁化场强度为矫顽力  $H_c$ 。

上面所说的对应饱和时的正常磁滞回线又称极限磁滞回线。极限磁滞回线上的饱和磁感应强度  $B_s$ 、剩磁磁感应强度  $B_r$  和矫顽力  $H_c$ ，再加上基本磁化曲线上的初始磁导率  $\mu_i$  和最大磁导率  $\mu_m$ ，对某一具体材料的样品来说，都是唯一的。所以，常把这五个参数作为考核软磁材料静态磁性能好坏的主要参数。为测试方便，在我国，初始磁导率  $\mu_i$  对高导磁材料规定在磁化场强度为  $0.0796A/m$ 、对一般软磁材料规定在  $0.796A/m$  的数值下进行测量。在国外，不少国家则规定在磁感应强度为  $2mT$  时的磁导率为初始磁导率。

极限磁滞回线上第二象限或第四象限中的那段曲线称退磁曲线。退磁曲线有  $B-H$  和  $J-H$  曲线两种（图

2), J 为磁极化强度。B-H 退磁曲线上每点所对应的磁感应强度 B 和磁化场强度 H 的乘积称磁能积 (BH),

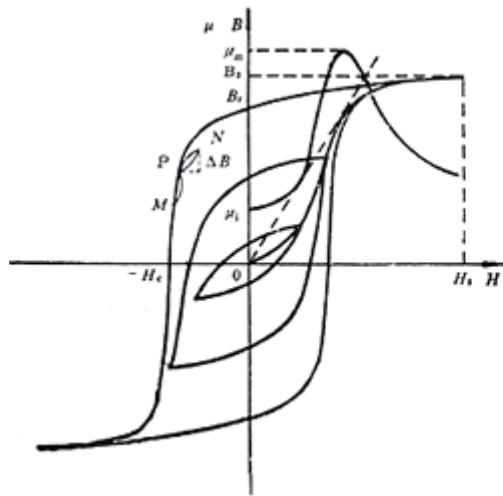


图 1 静态磁化曲线和磁滞回线示意图

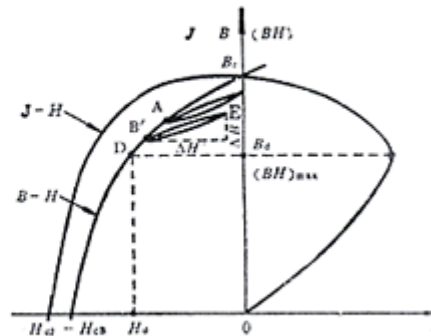


图 2 硬磁材料的 B-H、J-H 退磁曲线和 (BH) 曲线示意图

其中的最大者叫最大磁能积 (BH) max。于是, 退磁曲线上的剩余磁感应强度  $B_r$ 、矫顽力  $H_{cB}$  和最大磁能积 (BH) max 三者构成考核硬磁材料性能的主要磁参数。

对应退磁曲线上最大磁能积那点的磁感应强度和磁化场强度的坐标值通常用  $B_d$  和  $H_d$  来表示。在永磁磁路的设计中, 磁体的静态工作点都选在 (BH) max 点, 即图 7-2 的 D 点上, 以便使磁体处于最佳工作状态。设因某种原因, 磁体的工作点处于 B' 点, 一外加干扰磁场  $DH$  使磁体的状态由 B' 到达 E 点, 磁感应强度改变了 B (图 2)。H 变化一周, 构成一个小的磁滞回环, 称回复曲线, 由  $\Delta B / \Delta H$  称回复磁导率  $\mu_{rec}$ ,  $\mu_{rec}$  也被称为可逆磁导率。显然,  $\mu_{rec}$  越接近于 1, 硬磁材料的磁性能越佳。在永磁材料, 特别是超高矫顽力的稀土永磁材料的研制中, B-H 退磁曲线常不满足需要, 而要求测量 J-H 退磁曲线, 这时可根据公式  $B = \mu_0 H + J$ , 由测得的 B-H 曲线求得 J-H 曲线。

除上述两类软磁和硬磁材料的静态磁参数外, 尚有若干结合材料具体应用而提出的磁参数。其一是衡量材料磁滞回线方形程度的矩形比

$$\alpha = \frac{B_r}{B_s} \quad (2)$$

很明显,  $\alpha$  的最大值为 1。在要求铁心具有矩形回线的场合, 例如磁放大器、磁调制器的设计中,  $\alpha$  是很重要的一个参数。并要求  $\alpha$  趋于 1。相反地, 在用作单极性脉冲变压器的铁心中, 又要求  $\alpha$  趋于 0, 即要求磁滞回线扁平, 同时要求剩磁增量磁导率  $\mu_{\Delta}$  有较大的值, 定义  $\mu_{\Delta}$  如下:

$$\mu_{\Delta} = \frac{(B_n - B_{r_n})}{H_n} \quad (3)$$

式中,  $B_n$ 、 $H_n$  和  $B_{r_n}$  各为样品基本磁化曲线上第 n 点所对应的磁感应强度、磁化场强度及剩余磁感应强度。

其次为微分磁导率  $\mu_d$ ，它定义为以磁化曲线或磁滞回线上任一点 P 为出发点（图 1），每增加或减少一个磁化场强度  $H$ ，可得相应的磁感应强度改变量  $B$ ，则  $\mu_d$  可表示为：

$$\mu_d = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{dB}{dH} \quad (4)$$

第三是磁滞回线的面积  $A_1$ ，实际上它是磁化一周，外加磁化场强度为克服磁性物体中存在的各种阻滞作用而消耗掉的能量，称磁滞损耗  $W_h$ ，单位为  $J/m^3$ ：

$$W_h = \oint H dB \quad (5)$$

是沿磁滞回线的一个面积分。设  $A_1$  的单位为  $cm^2$ ， $H$  坐标每厘米代表  $H_0 A/m$ ， $B$  坐标每厘米代表  $B_0 T$ ，则式（5）的积分值为

$$W_h = A_1 B_0 H_0 \quad (6)$$

在分析软磁材料的损耗组成时， $W_h$  是必要的参数之一。而对在磁滞电机中用的铁心，则要求测量对应最大磁导率  $\mu_m$  点的磁滞回线面积  $A_1 \mu_m$  与对应该点的磁感应强度  $B \mu_m$  和磁化场强度  $H \mu_m$  乘积的 4 倍之比称凸度系数  $K_r$ ：

$$K_r = \frac{W_{h \mu_m}}{4 B_{\mu_m} \cdot H_{\mu_m}} \quad (7)$$

由式可见， $K_r$  越接近于 1，材料在  $\mu_m$  点处的磁滞回线就越方，用这样的材料制成的磁滞电机的性能就越好。