

磁滞合金手册
备战、备荒、为人民。

磁滞合金手册

《磁滞合金手册》编写小组

中国工业出版社

磁 滞 合 金 手 册

《磁滞合金手册》编写小组

中国工业出版社

本手册是在毛主席“抓革命，促生产，促工作，促战备”、“备战、备荒、为人民”的伟大方针指引下，为适应我国磁滞材料，特别是磁滞电动机生产发展的需要而编写的。

本手册编入了十六个牌号的最常用的磁滞合金。介绍了它们的组织结构，热处理工艺特点。并以图表形式介绍了这些合金的化学成分，磁滞电动机设计所需用的性能曲线及有关数据（饱和磁性，磁滞性能和物理性能）。还介绍了评价和选择磁滞材料的标准。可供从事磁滞电动机设计人员和磁滞合金生产人员参考使用。

磁 滞 合 金 手 册

《磁滞合金手册》编写小组

（凭证发行）

冶金工业部科技情报研究所书刊组编辑
产品标准

中国工业出版社出版（北京四新路36号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $4 \frac{1}{4}$ ·字数72,000

1970年9月北京第一版·1970年9月北京第一次印刷

印数0,001—7,195·定价（科四）0.50元

统一书号：15165·4548（冶金-683）

编 者 的 话

毛主席教导我们：“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”一九五八年，我国冶金战线广大革命工人和革命技术人员，在伟大领袖毛主席英明领导下，在三面红旗的光辉照耀下，发扬了敢想敢干的革命精神，研究试制成功了一批国家急需的磁滞材料。一九六〇年，苏修背信弃义地对我国进行的经济封锁，更激起了我国人民的无比愤慨。我国工人阶级在伟大领袖毛主席的“自力更生”、“艰苦奋斗”的伟大方针指引下，奋发图强，克服种种困难，经过几年的奋斗，已生产出很多种性能良好的磁性材料，为我国社会主义革命和社会主义建设事业作出了贡献。

磁性材料的生产是在尖锐、复杂的两个阶级、两条道路、两条路线的斗争中发展起来的。叛徒、内奸、工贼刘少奇及其在冶金战线上的代理人猖狂反对毛主席的无产阶级革命路线，拼命鼓吹“洋奴哲学”、“爬行主义”，推行“专家路线”。他们疯狂地抵制毛主席亲自批示的伟大的《鞍钢宪法》，妄图把我国社会主义工业引上复辟资本主义的道路，从而把我国刚刚建立起来的磁滞材料生产工业扼杀在摇篮中。在这场史无前例的无产阶级文化大革命中，广大革命工人紧跟毛主席的伟大战略部署，狠批了党内一小撮走资本主义道路的当权派，清算了他们推行修正主义办企业路线的滔天罪行。我国冶金战线广大工人正在《鞍钢宪法》的光辉旗帜的指引下，为“在一个不太长的历史时期内，把我国建

设成为一个社会主义的现代化的强国”而阔步前进。

遵照毛主席“抓革命，促生产，促工作，促战备”的伟大教导，为了配合磁滞合金标准的执行，为了促进磁滞合金生产更好地为社会主义革命、为社会主义建设事业服务，我们编写了这本《磁滞合金手册》。

由于我们活学活用毛主席著作不好，水平有限，《手册》中一定存在不少缺点错误，恳切希望革命的同志提出批评指正。

编 者

一九七〇年四月

毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。
指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

政治工作是一切经济工作的生命线。在社会经济制度发生根本变革的时期，尤其是这样。

备战、备荒、为人民。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

目 录

第一章 概述	1
第二章 磁滞电动机对磁滞材料的基本要求	3
第三章 磁滞材料特性的测量方法	12
第四章 各合金的组织结构, 性能变化与热处理制度	21
第一节 铁钴钒系合金	21
第二节 铁钴钼系合金	40
第三节 铁钴镍系合金	55
第四节 铁钴钨合金	64
第五节 铁钴钼钨合金	76
附录 1 各合金的饱和磁性, 磁滞性能和物理特性	80
附录 2 各合金的化学成分、磁滞电动机设计参考 数据与曲线	82
FeCoV13	82
FeCoV12	85
FeCoV11	88
FeCoV10	91
FeCoV9	94
FeCoV7	97
FeCoV5	100
FeCoV3.5	104
FeCoNiV	107
FeCoMo11	110
FeCoMo13	114
FeCoMo15	118

FeCoMo17	121
FeMnNi	125
FeCoW	128
FeCoMcW	132
附录 3 MKS制和 CGS 制磁学单位换算表	136
附录 4 名词解释	137

第一章 概 述

磁滞材料是制造磁滞电动机转子的重要材料，其质量好坏直接影响着磁滞电动机的性能。由于磁滞电动机本身的一系列优点，随着新的磁滞材料不断出现，磁滞电动机在现代技术、特别是军事技术和工业自动控制中得到愈来愈广泛的应用。

在毛主席“独立自主、自力更生”伟大方针的指引下，我国磁滞电动机的生产获得了迅速发展。特别是近几年来，产量很快地增长，电机的型号，品种也日益增多。这就给磁滞材料的生产部门不断提出新的任务。

磁滞材料的种类很多，如马氏体钢、变形合金、FeNiAl系、铁氧体、钕铁氧体、钴铁氧体等。为了与有关标准相适应，这本《手册》只收入了变形合金中十六个牌号的磁滞合金。

这本《手册》中收入的磁性测量数据均系直流磁化状态下测得的数据。

这本《手册》中所述的材料的稳定性，均系在不同温度的工作条件下的温度稳定性。

《手册》系统介绍了收入的各种合金的化学成分、机械性能、物理性能、饱和磁特性、磁滞性能。并介绍了这些合金的组织结构及热处理工艺特点。

为了满足磁滞电动机设计人员的需要，介绍了每个牌号的合金在不同温度下的磁化曲线族以及在不同工作磁场和温度下磁滞损耗曲线和凸度系数曲线。

除磁滞材料的质量以外，磁滞材料的选择是否正确也是影响磁滞电动机性能的因素之一。为了帮助磁滞电动机的设计人员掌握合金的使用特点，《手册》中还试图阐述了选择磁滞材料的标准。

第二章 磁滞电动机对磁滞材料的基本要求

毛主席教导我们说：“不论做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”对待制作磁滞电动机的基本材料问题也和对待其它一切事物一样，必须根据磁滞电动机的功能与特性来考虑与其有关的因素。

磁滞电动机基本性能主要是由其转子有效部分的磁滞材料的特性来决定。因此，在对电动机作定量估计和设计时，了解和选择好磁滞材料及其工作点，是设计者所注意的问题。下面从材料的角度概述一下这类问题，使磁滞电动机的设计得到预想的结果，更好地为社会主义建设服务。

一、如何评价磁滞材料

我们知道，理想磁滞电动机的转矩一般可表示为：

$$M = \frac{dA_H}{d\varphi}$$

式中 dA_H 为转子围绕磁场转过 $d\varphi$ 角时转换成热能的磁滞功。

在各向同性的磁性材料中，磁滞功 A_H 与角 φ 成正比，因此，就得出一个稳定的，与转速和转角无关的磁滞转矩 M 。当需要获得大的 M 值时，在一定的磁体体积 V 中就要求有一个很高的单位磁滞功（或称比磁滞损耗）：

$$P_\mu = \frac{A_H}{V} \quad (1)$$

理想电动机在同步状态下传递的功率 N_{mech} 与单位磁滞功成比例即：

$$N_{mech} = fV P_{\mu} \quad (2)$$

f —— 旋转磁场频率。

从形式上看，上式似乎提供了一个评价材料的标准，即比磁滞损耗 P_{μ} 愈大的材料，原则上愈好。但实际上 P_{μ} 随工作磁场强度 H_m 增大而增大。因而对磁滞特性差异很大的材料可以在不同工作磁场强度 H_m 下获得相等的 P_{μ} 值。因此要评价磁滞材料的优劣问题，上述关系式并不能满足。若将工作场强 H_m 和 P_{μ} 结合起来考虑，亦即考察各种材料的单位场强的比损耗 $\frac{P_{\mu}}{H_m}$ ，原则上 $\frac{P_{\mu}}{H_m}$ 愈大的材料就愈好，故得出一个评定材料的指标。

$$\frac{P_{\mu}}{H_m} \rightarrow \text{最大} \quad (3)$$

在一定的磁场下，材料的比磁滞损耗 P_{μ} 最大，则表明在磁化磁场一定时，电动机的输出功率最大。效率 η 最高。若输出一定，则转子有效层的体积可达最小。从另一方面来看，比磁滞损耗 P_{μ} 与磁场强度 H_m 的比值最大，亦即当 P_{μ} 一定时， H_m 最小，相应所需的定子磁化电流 I_{μ} 亦最小，因此电动机的力能指标最高。因此用 $\left(\frac{P_{\mu}}{H_m}\right)$ 来评价材料的优劣是比较合适的。

磁滞材料的比损耗实际上等于其磁滞回线的面积。

假设在实际情况下旋转磁场的场强波形曲线是正弦形。则材料中的磁感应可用付立叶级数表示。比磁滞损耗可按下式积分得出：

$$P_{\mu} = \varphi B d H = \pi H_m B_m \sin \varphi_1$$

式中 H_m 、 B_m 分别为磁场强度和磁感应基波的幅值。

代入 (2) 式得: $N_{mech} = f \pi V H_m B_m \sin \varphi_1$

由上式可知, 为了获得电动机的最佳输出功率, 在电动机结构一定的条件下, 在保证尽可能大的位相差的同时, 要求 B 和 H 基波的幅值愈大愈好。图 1 表明了这种关系。在图中以角 φ 标出的位相差, 肯定会与按 B 的调和分析得出的位相差角 φ_1 在数值上有所差别。但是 φ 和 φ_1 之间的差别一般是很小的, 其中主要是由测量和计算上的误差所造成的由于定子和转子之间不可避免的气隙。致使磁通势和磁感应之间的相位差总是小于 φ 。故用关系式:

$$\sin \varphi = \frac{B H_c}{H_{\max}}$$

可作为进一步评价磁滞材料的依据。

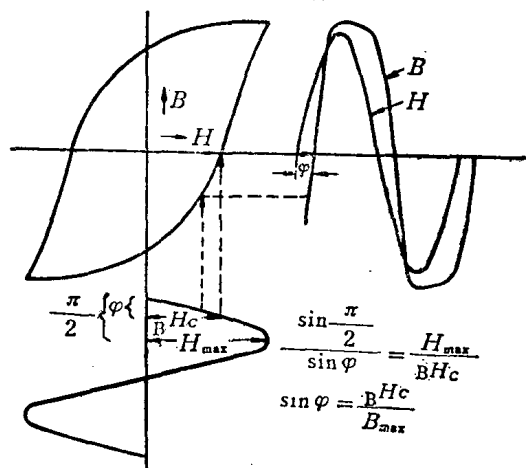


图 1 磁滞材料 H 和 B 的相位差关系

因为磁场强度的有功分量决定了磁滞损耗、电动机电流中的有功分量和电磁功率。而无功分量则决定了电流中的无

功分量和电动机的无功功率。如果磁场强度超前磁感应一个角度 φ ，那么磁场强度有功分量的幅值等于 $H_m \sin \varphi$ ，而无功分量的幅值则等于 $H_m \cos \varphi$ 。 $\sin \varphi$ 愈大，磁场的有功分量也就愈大，而磁场强度的无功分量则愈小。 $\sin \varphi$ 愈大，电动机电流的磁化分量就愈小，而效率和功率因数 $\cos \varphi$ 就愈大。 $\sin \varphi$ 的值与磁滞回线的形状有关。当 $\sin \varphi = 1$ 时磁滞回线与 B 轴成对称椭圆或者至少呈矩形，这两种情况实际上都是不能实现的。而对每一种材料都需绘出相应于不同场强下的磁滞回线，以确定最佳的工作磁场强度。在此工作场强度下 $\sin \varphi$ 愈大愈好。

此外，从文献中看来已愈来愈多地采用凸度系数 K_w 作为评价材料的又一个指标：

$$K_w = \frac{P_\mu}{4B_m H_m} \rightarrow 1 \quad (4)$$

凸度系数是定量说明实际的磁滞回线与矩形回线的差异程度。在其他条件相同的情况下， K_w 愈大 磁滞回线的形状愈接近矩形，材料也就愈好。

磁滞材料的磁化曲线可作为又一个衡量的指标即：

$$B = f(H) \quad (5)$$

如果不同材料的磁滞回线具有大致相同的横截面形状，则在使用工作磁感应高的磁滞材料时，会相应地提高铁心的磁感应，从而在电机中同时也会提高与转子无关的铁损。另一方面，要是采用工作磁感应较低的磁滞材料，则为激发转子的一定磁滞功，就需要凸度系数较高的材料。否则就必须采用较大的工作磁场，这样就会使定子中的铜损增大。

在确定电动机的损耗（转变成热能的功率损耗）功率关系时得出最后一个评价材料的依据即：数值指标的稳定性。

如果数值指标显著地受温度波动的影响或者甚至出现不可逆的效应，必然会导致电动机工作不稳定。

二、设计时对材料的基本要求

从上面的叙述中可以得出评价磁滞材料的好坏主要由三组参数来决定即： $\frac{P_{\mu}}{H_m}$ 、 K_w 、 $B=f(H)$ 。因此在设计电动机

时仅仅给出一般永磁材料的评定参数 B_r 、 H_c 及 $(BH)_{max}$ 显然是很不够的，必须给出以下三组基本曲线：

1. 不同温度下的磁化曲线族： $B=f(H \cdot T)$
2. 磁滞损耗随工作磁场及温度变化的曲线族：

$$P_{\mu}=\varphi(H \cdot T)$$

3. 凸度系数随磁场和温度的变化曲线族：

$$K_w=\psi(H \cdot T)$$

本手册收入的磁滞合金的上述曲线列入附录 2。

“世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。”

所以在评价磁滞材料时，除上述三族基本磁滞特性曲线外，还应考虑下列因素。

1. 材料的导电性能：因为导电性能对选用转子材料是很重要的，如果要想一方面为获得很高的起动力矩要求材料有良好的导电性，而另一方面却增加了脉冲损失的涡流部分。其原则是，在解决主要矛盾的基础上，也不忽视次要矛盾。

2. 磁性指标的稳定性：因为电动机要在各种不同的环境和条件下进行工作，要求磁性指标不受各种环境和条件的影响，确切地说就是要求材料在温度，冲击，振动，辐射等情况下具有良好的稳定性，否则会导致电机工作的不稳定。

3. 材料抗腐蚀性能：有的电机气隙很小，若选用耐蚀性差的磁滞材料来作转子的有效层，那么由于锈蚀会影响电机的有效工作年限和寿命。因此应当使磁滞材料有一定的抗大气腐蚀性能。

4. 材料的膨胀系数：电动机工作时转子温度会有较大的波动。为使转子在工作时不致损坏，给出膨胀系数，以供选取轴套时参考。

5. 材料机械加工特性，一般要求材料有良好的机械加工性能，易于切削加工。否则，在制作磁滞材料元件时，增加工艺上的困难。

6. 材料的生产工艺稳定，成品热处理工艺易于控制。各批产品的性能重复性要好。这样才能保证成批生产的电机性能稳定，废品少。

7. 国家的资源情况和材料的价格：从立足于国内和经济效果方面来考虑这是一个非常重要的问题。毛主席教导我们说：“我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。”我们必须坚决贯彻毛主席“独立自主、自力更生”，“勤俭建国”的伟大方针，应尽量采用我国富有资源而易于制取的原材料。

三、材料和最佳磁性工作点的选择

选取工作点对材料是很重要的。如果工作点选的不好，尽管材料很好仍不能达到所预期好的效果。

在不同情况下使用的电动机有各种不同的要求，在选取材料时应各有其侧重，但从电动机的经济效果和力能指标来考虑，选取材料和其最佳磁性工作点时，按上节的叙述，通常认为具有最大凸度系数的材料是最佳的材料。而磁滞材料的最佳磁性工作点则认为是在 $K_w = \psi(H)$ 曲线上相应于 K_w

最大值的那一点。换言之,即若把定子的磁化场强度设计在所选用的材料相应于 K_w 最大值的那一点时,则材料的这一点就是最佳磁性工作点。

一般说,具有最大凸度系数和最大旋转磁滞损耗的工作点就在材料的矫顽力值附近。根据一些实验结果表明,各种材料的旋转磁滞损耗 P_{rot} 在零磁场和饱和磁场区域内等于零,而在相应于其矫顽力的磁场附近达到最大值。凸度系数 K_w 随磁场强度的增加而增加,开始迅速上升,而后下降,亦在相应于该材料的矫顽力的磁场附近达到最大值。所以从材料来说,定性地判断其最佳磁性工作点,则矫顽力是一个很重要的参数。

但是这种仅就材料本身来考虑工作点问题是不全面的。因为任何事物都不是简单和孤立的而是互相依赖的。要比较全面地考虑材料和最佳磁性工作点的选择问题,还必须研究在恒定的功率损失下,磁滞电动机的各部分损失与磁性材料特性的关系。下面介绍一种利用各种材料的 $B=f(H)$ 和 $K_w=\psi'(B)$ 曲线来确定材料和其最佳磁性工作点的方法。目前对磁滞电动机各部分损失与磁性材料的特性的关系作精确的计算,在数学上尚存在一定困难。为此必需先作如下的简化:

1. 假定磁滞层中的磁感应和磁场强度在转子的半径方向是恒定的。从而可用磁感应 B_m , 磁场强度 H_m 和凸度系数 K_w 的平均值来计算。同时假设不存在旋转磁滞,只有纯交变磁滞。

2. 电动机的总损耗可简化为铜损 N_{Cu} 和铁损 N_{Fe} 。转子中的摩擦损耗和脉冲损耗认为是恒定的。

3. 定子中的铁损 N_{Fe} 与 f^2 与 B^2 成正比。即 $N_{Fe}=K_3 f^2 B^2$ 。