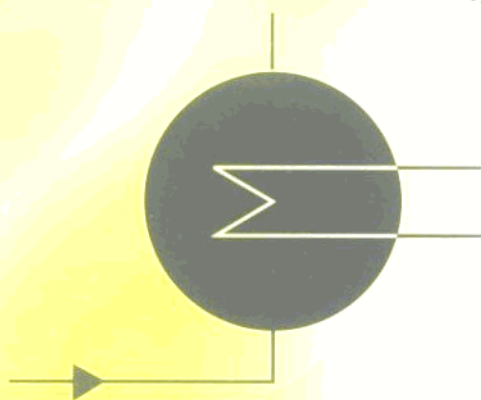
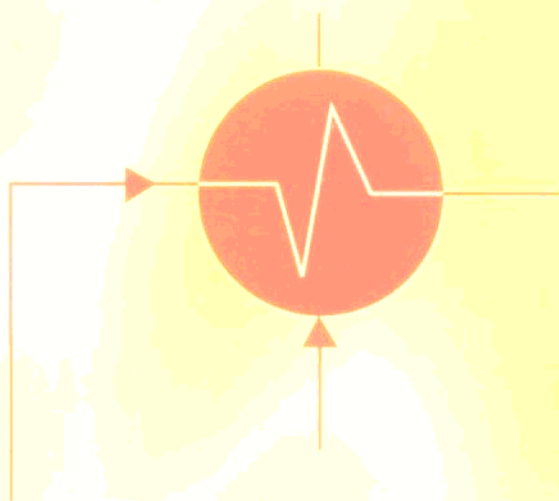


常用工业电器

北京市中专电类课研究会 编



机械工业出版社

TM5
L69

431591

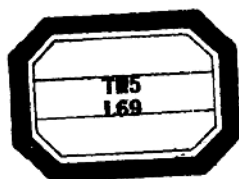
常用工业电器

北京市中专电类课研究会 编

主 编 刘连青
副主编 汪世明 熊伟林
编 者 朱中林 居永梅 郎 莹
主 审 阎英维



00431591



机械工业出版社

本书是配合《电路基础》、《电工基础》、《电工学》等基础课程的专业
技术教材。主要内容包括：常用电工材料、常用低压电器、常用电机及控制电
路、微电机及变压器原理、晶闸管可控整流电路及其调速系统、以及供配电
安全用电的基础知识。本书编写的内容力求简明扼要、重点突出、通俗易懂，
在有限的篇幅中包含较多内容以适应各专业的需要。

DV91/34

图书在版编目 (CIP) 数据

常用工业电器/刘连青主编. —北京: 机械工业出版社

1998.8

ISBN 7-111-06615-4

I. 常… I. 刘… II. 工业-电器-教材 N. TM5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 17413 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑: 郑文斌 版式设计: 李 悦 责任校对: 陈 光

封面设计: 张 伟 责任印制: 侯新民

北京大兴兴达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年8月第1版·1998年8月第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·10 印张·202千字

0 001—4 000 册

定价: 15.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

中等职业教育人才市场反馈的信息表明,目前工科毕业生走上技术岗位后,普遍对工业现场电气设备的使用缺乏了解,难以达到岗位要求。而学生在校期间的学习和训练,由于教学时数所限,很难将《电机拖动》、《电气控制》、《交流技术》等诸多课程全部修完。鉴于此,我们依据中专的培养目标,遵循“必须够用”的原则,提出开设《常用工业电器》课程的思路,并编写相应教材,旨在课程改革上做一点有益的尝试。本教材由北京中专电类基础课教学研究组织编写并推荐出版。

本教材强调以应用为目的,以生产第一线正在使用的技术所需的基础理论为主线,精选了相关课程的内容。通过本课程的学习,使学生对工业现场的各种电气设备、常用电工材料、交流技术及安全用电等知识有一个基本的了解,以适应职业教育岗位群的需要。

本书共八章内容,分别是:常用电工材料、磁路与变压器、常用电动机、特种电机、常用低压电器、电气控制电路的基本环节、交流调压与无源逆变器、供电配电和安全用电。本课程安排80~90学时为宜。课时分配建议如下:第一章6学时,第二章10学时,第三章15学时,第四章12学时,第五章16学时,第六章14学时,第七章8学时,第八章6学时。上述学时中应含不少于10学时的实验,建议电机部分4学时,电气控制部分4学时,交流部分2学时。

参加本书编写的有北京无线电工业学校刘连青、熊伟林、朱中林,北京市仪器仪表工业学校汪世明、郎莹,北京市交通学校居永梅。全书由刘连青主编,汪世明、熊伟林副主编,阎英维主审。

在本书的编写出版过程中,得到以上三所学校领导的热情帮助和指导。北京市仪器仪表工业学校蒋湘若高级讲师对全书的内容提出了许多宝贵意见。编者对上述单位和个人表示深切的谢意。

作为课程改革的新教材,本书在内容和结构上难免会有不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1998年6月于北京

目 录

前言

第一章 常用电工材料	1
第一节 绝缘材料	1
第二节 导电材料	3
第三节 磁性材料	8
思考题与习题一	14
第二章 磁路与变压器	15
第一节 磁路的基本概念	15
第二节 交流铁心线圈	19
第三节 变压器工作原理	24
第四节 变压器的铭牌	28
第五节 几种常见的变压器	30
思考题与习题二	33
第三章 常用电动机	36
第一节 概述	36
第二节 三相异步电动机工作原理	36
第三节 三相异步电动机的结构	39
第四节 三相异步电动机的运行特性	41
第五节 单相异步电动机	48
第六节 三相同步电动机	52
第七节 直流电动机	54
第八节 常用电动机的铭牌与选用	64
思考题与习题三	66
第四章 特种电机	67
第一节 概述	67
第二节 伺服电动机	67
第三节 测速发电机	72
第四节 自整角机	74
第五节 步进电动机	77
第六节 微型同步电动机	79
思考题与习题四	81

第五章 常用低压电器	82
第一节 低压电器的基本知识	82
第二节 手动开关电器	87
第三节 熔断器	88
第四节 主令电器	90
第五节 接触器	93
第六节 继电器	96
第七节 低压断路器	100
思考题与习题五	101
第六章 电气控制电路的基本环节	103
第一节 电气控制系统图的基本知识	103
第二节 三相笼型异步电动机直接启动控制电路	109
第三节 三相异步电动机减压启动控制电路	112
第四节 三相异步电动机的调速控制电路	119
第五节 三相异步电动机的制动控制电路	120
第六节 直流电动机的运行控制	124
思考题与习题六	126
第七章 交流调压与无源逆变器	129
第一节 概述	129
第二节 晶闸管可控整流电路	130
第三节 晶闸管交流调压电路	133
第四节 变频器与无源逆变器	135
第五节 直流斩波器	136
思考题与习题七	138
第八章 供电、配电和安全用电	139
第一节 供电和配电	139
第二节 节约用电	143
第三节 安全用电	148
思考题与习题八	154

第一章 常用电工材料

按电工材料的特点和作用，可分为导电材料、绝缘材料、半导体材料和磁性材料。本章介绍常用的绝缘材料、导电材料以及磁性材料。

第一节 绝缘材料

一、绝缘材料的分类和耐热等级

绝缘材料的作用在于隔绝导体与外界的联系，以及隔离不同电位的带电导体，并使电流能按指定的方向流动。在某些场合，绝缘材料还兼起到机械支撑、保护导体及防晕、导热、灭弧等作用。

电工常用的绝缘材料按其化学性质不同，可分为无机绝缘材料、有机绝缘材料和混合绝缘材料。

(1) 无机绝缘材料 有云母、石棉、大理石、瓷器、玻璃和硫磺等。主要用作电机和电器绕组和线圈绝缘，开关的底板和绝缘子等。

(2) 有机绝缘材料 有矿物油、虫胶、树脂、橡胶、棉纱、纸、麻、蚕丝和人造丝等，大多用以制造绝缘漆、绕组和导线的被覆绝缘物等。

(3) 混合绝缘材料 由无机绝缘材料和有机绝缘材料经加工后制成的各种成型绝缘材料，用作电器的底座、外壳等。

电工绝缘材料按其在正常运行条件下允许的最高工作温度分级，称为耐热等级。其标准见表 1-1。

表 1-1 电工绝缘材料耐热等级

耐热等级	最高工作温度/°C	绝 缘 材 料
Y	90	木材、棉纱、纸、天然丝等纺织品（如纱、丝带、胶布带）和以这些材料作为覆盖物的制品，以及易于热分解和熔点较低的塑料及其制品（如塑料管、带）
A	105	工作于矿物油或浸渍过的 Y 级材料及其制品、油性漆等
E	120	聚酯薄膜和 A 级材料复合
B	130	经过树脂粘合或浸渍涂覆的云母、玻璃纤维、石棉、聚酯漆等
F	155	以有机纤维补强和石棉补强的云母制品、玻璃丝和石棉、玻璃漆布，以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品，复合硅有机聚酯漆，芳香族聚酰胺薄膜等
H	180	无补强或以无机材料为补强的云母制品、加厚的 F 级材料、复合云母、有机硅云母制品、硅有机漆、聚酰亚胺薄膜等
C	>180	不用任何有机粘合剂及浸渍剂的无机物如石英、石棉、云母、玻璃和陶瓷材料等

二、常用绝缘材料及绝缘制品

1. 绝缘漆

常用的浸渍漆分有溶剂漆和无溶剂漆两大类。有溶剂漆以醇酸类漆和环氧类漆应用最广

泛,常用的有溶剂漆见表 1-2 所示。有溶剂漆在使用时要特别注意掌握烘焙温度和时间,以及二者之间的关系。一般多采用多次浸渍、多次烘焙和逐步升温的方法。先低温干燥,温度不宜超过 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$,烘焙 $2\sim 4\text{h}$;然后高温干燥,温度在 110°C 左右,烘焙 $4\sim 8\text{h}$,这样可避免由于溶剂挥发过快使漆膜形成针孔或气泡而影响质量。

表 1-2 常用有溶剂漆的型号和用途

名 称	型 号	用 途
沥青漆	1010	浸渍不要求耐油的电机线圈
油性醇酸漆	1030	浸渍在绝缘油中工作的线圈和绝缘零件
丁基酚醛醇酸漆	1031	浸渍线圈,可用于湿热地区
环氧脂漆	1033	机械强度高,浸渍在湿热地区应用的线圈

常用的无溶剂漆有环氧型、聚酯型和环氧聚脂型。其品种有环氧无溶剂漆,型号为 110、9102、9101;环氧聚酯无溶剂漆 (1034);环氧聚酯酚醛无溶剂漆 (5152—2) 和不饱和聚酯无溶剂漆 (319—2)。

2. 沥青和电缆浇注胶

沥青绝缘胶是由沥青按一定比例掺入变压器油及松香脂等混合制成的。根据其耐冻性及电击穿强度,分有 5 个牌号,如表 1-3 所示。电缆浇注胶的型号有 1810、1811 和 1812 三种。1810 适用于浇注 10kV 以上的电缆接头盒和终端盒,1811 和 1812 适用于浇注 10kV 以下的电缆盒。

表 1-3 沥青绝缘胶性能

牌号	软化点不低于/ $^{\circ}\text{C}$	冻裂点不高于/ $^{\circ}\text{C}$	电击穿强度不小于/ kV	用 途
1 号	$45\sim 55$	-45	40	用于浇灌户外高低压电缆终端盒
2 号	$55\sim 65$	-35	40	
3 号	$65\sim 75$	-30	45	
4 号	$75\sim 85$	-25	50	用于浇灌温度较高的户内高低压电缆终端盒及电机绝缘
5 号	$85\sim 95$	-25	60	

3. 变压器油

有 10 号、25 号和 45 号三种。10 号和 25 号用于变压器、油开关,起绝缘和散热作用;45 号油用于低温工作的油开关,起绝缘、散热和灭弧作用。

4. 其他绝缘材料

这些材料包括在电机和电器中作为结构、补强、衬垫、包扎及保护作用的辅助绝缘材料。其制品品种多,规格杂,以下介绍几个常用的品种。

(1) 绝缘纸和绝缘板 薄型的、不掺棉纤维的,称为青壳纸,主要用作绝缘保护和补强材料;硬钢板 (俗称反白板) 机械强度高,适宜做电机、电器的绝缘零件。

(2) 电工用热固性塑料 有粉压塑料和层压塑料,主要用于压制各种绝缘零件、绝缘板和绝缘棒等。

(3) 电工用热塑性塑料 ABS 塑料是象牙色的不透明体,有良好的综合性能,表面硬度较高,但耐热性和耐寒性较差,适宜做各种结构零件,如外壳、支架等;聚酰胺 1010 亦称尼

龙,呈半透明体,常温下具有较高的机械强度,耐油、耐磨,电气性能较好,吸水性小,尺寸稳定,宜做绝缘套、插座、线圈骨架、接线板等绝缘零件。

(4) 电工用橡胶 电工用橡胶分天然橡胶和合成橡胶两种。天然橡胶易燃、不耐油、容易老化,不能用于户外;但它柔软,富于弹性,主要用作电线、电缆的绝缘层和护套。电机和电器中使用的大部分是合成橡胶,普遍使用的是氯丁橡胶和丁腈橡胶,它们都具有良好的耐油和耐溶剂性能,但电气性能不高,只能用作绝缘结构材料和保护材料,如引出线套管、绝缘衬垫等。

(5) 绝缘包扎带 主要用作包缠电线和电缆的接头,其品种很多,如黑胶布带、黄腊带、黑腊带、橡胶带、聚氯乙烯带、聚四氟乙烯带等。常用的有黑胶布带和聚氯乙烯带。黑胶布带又称黑包布,用于低压电线和电缆接头的绝缘包扎;聚氯乙烯带的特点是绝缘性能较好,耐潮性及耐蚀性好,由于制成黄、绿、红、黑四种颜色,所以通常又称为相色带。

(6) 电瓷件 用各种陶瓷材料制成的输配电用的绝缘子、绝缘套管、灯座、开关和插座等零件,都是电瓷件。低压架空线路用的绝缘子有针式绝缘子和蝴蝶形绝缘子,用于电压为500V以下的交流和直流架空线路中作固定导线用,低压架空线路用针式绝缘子和蝴蝶形绝缘子的形状如图1-1所示。低压户内线路用的电瓷件有鼓形绝缘子、瓷夹板和瓷管等。用于电压为500V以下的交流和直流户内线路上作固定导线用。低压户内线路用的电瓷如图1-2所示。



图1-1 低压架空线路用绝缘子
a) 低压针式绝缘子 b) 低压蝴蝶形绝缘子

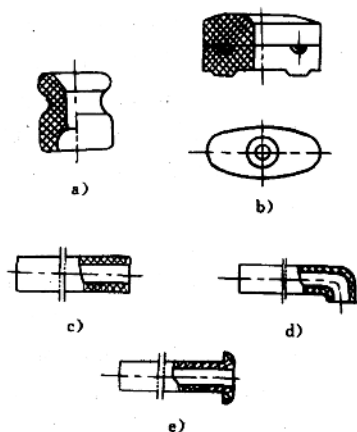


图1-2 低压户内线路用电瓷
a) 鼓形绝缘子 b) 瓷夹板 c) 直瓷管 d) 弯头瓷管 e) 包头瓷管

第二节 导电材料

一、常用导电材料及其特性

导电材料一般都是金属,但并非所有的金属都用来作导电材料。用作导电材料的金属必须同时具备以下五个特性:①导电性能好(即电阻率要小);②有一定的机械强度;③不易氧化和腐蚀;④容易加工和焊接;⑤资源丰富,价格便宜。

铜和铝是最常用的导电材料。另外,在某些特殊场合,也需要其他的金属或合金作为导电材料。例如:架空线需具有较高的机械强度,常选用铝镁硅合金;电热材料需具有较大的电阻率,常选用镍铬合金或铁铬铝合金;保险熔丝需具有易熔的特点,故选用铅锡合金;电

光源的灯丝要求熔点高，故选用钨丝作导电材料等。

铜导线的导电性能、焊接性能及机械强度都比铝导线好，因此，对要求较高的动力线、电气设备的控制线和电机、电器的线圈等，大部分采用铜导线。但由于铜的蕴藏量较小，而且价格较高，所以在一般情况下应尽量以铝代铜。铝导线的电阻率比铜导线大，但密度小，而且铝的资源丰富，价格便宜，采用铝导线可以降低成本，减轻所受重力。目前架空线路、照明线路、汇流排等很多均采用铝导线和铝排，变压器和中小型电机的绕组也有采用铝导线绕制的。由于铝导线的联接工艺较为复杂，因此还没有广泛使用。

二、电线电缆

电线电缆的品种很多，应用较广泛的有裸线、电磁线、绝缘电线和电缆等。

1. 裸导线和裸导体制品

这类产品只有导体部分，没有绝缘和护层结构。分软接线、圆单线、型线和裸绞线四种，安装电工常用的是后三种。

(1) 圆单线 主要用作各种电线、电缆的导电线芯，也可以直接作为产品用于架空的通讯广播线等。常用的有TY型硬圆铜线、TR型软圆铜线、LY型硬圆铝线及LR型软圆铝线。

(2) 型线 非圆形截面的裸导线称为型线。它主要用于安装配电设备及其他电工制品，如输配电的汇流排等，常用的为矩形截面的TMY型钢排和LMY型铝排。

(3) 裸绞线 它是将多根圆单线绞合在一起的绞合导线，这种线较软并有足够的机械强度，所以架空电力线路都用裸绞线架设。常用的有LJ型硬铝绞线、LGJ型钢芯铝绞线和TJ型硬铜绞线等。

2. 绝缘电线及电缆

电气装备内部的安装联接、电气装备与电源间的联接，以及电力的输配等，都要使用各类绝缘电线及电缆。绝缘电线和电缆一般由导电线芯、绝缘层和保护层构成。

(1) 导电线芯 按使用要求可分为硬型、软型，以及用于移动式电线和电缆芯线的特软型几种结构；按导线的线芯数分有单芯、双芯、三芯和四芯等。

(2) 绝缘层 主要作用在于防止漏电和放电。一般由包裹在导电线芯外的一层橡胶、塑料或油纸等绝缘物构成。

(3) 保护层 主要起机械保护作用，保护绝缘层。可分为金属的和非金属的保护层两种。绝缘电线通常用纤维编织物、塑料等作为保护层；固定敷设的电缆多采用金属保护层，有铅套、铝套、绞纹金属套和金属编织套等。在金属保护层外面还有外被层，用以保护金属护层免受外界机械和腐蚀等的损伤；移动电缆多采用非金属护层，有橡胶、塑料等。

绝缘电线的品种很多，常用的绝缘电线的型号，见表1-4所示。

表 1-4 常用绝缘电线的型号

型 号	名 称	主要用途
BX	铜芯橡胶线	固定敷设用
BLX	铝芯橡胶线	
BV	铜芯聚氯乙烯塑料线	
BLV	铝芯聚氯乙烯塑料线	
BVV	铜芯聚氯乙烯绝缘、护套线	
BLVV	铝芯聚氯乙烯绝缘、护套线	

(续)

型 号	名 称	主要用途
RVS	铜芯聚氯乙烯绞型软线	灯头、收音机等引线
RVB	铜芯聚氯乙烯平型软线	

3. 导线截面的选择

导线的使用，通常按导线的载流量、线路允许的电压损失、导线的机械强度等来选择导线的截面。在不需考虑允许的电压损失和导线机械强度的情况下，可只按导线的连续允许通过电流（安全电流或称安全载流量）来选择导线的截面。导线具有电阻，在通过持续负荷电流时会使导线发热，使导线的温度升高，一般导线的最高允许工作温度为 $+65^{\circ}\text{C}$ ，若超过这个温度，导线的绝缘层将加速老化，甚至变质损坏，引起火灾。按工作环境的温度，使导线通过的电流在安全电流之内，就可避免导线在工作时出现温度超过最高允许值的情况，保证导线的安全运行。导线因敷设方式和使用环境的不同，其散热条件也不同，所以同样的导线，明敷和暗敷时其安全载流量就不相同；同样的敷设方式，也会因导线数量不同，其安全载流量也不同，如导线穿管敷设时，情况就是这样。导线使用场所的环境温度越高，其安全载流量就越小，因此要准确确定导线的安全载流量，就要全面考虑以上各种因素的影响。

导线的允许温升，是指导线的最高允许工作温度与环境温度之差。例如，当环境温度为 25°C 时，导线的允许温升为 $65^{\circ}\text{C}-25^{\circ}\text{C}=40^{\circ}\text{C}$ 。

常用的500V铝芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量，如表1-5所示。500V铜芯绝缘线长期连续负荷允许载流量如表1-6所示。表中的 25°C 、 30°C 表示使用环境温度为 25°C 和 30°C 。500V塑料绝缘塑料护套线在空气中敷设的长期连续负荷允许载流量，如表1-7所示。

另外，利用口诀和一些简单心算方法，也可直接求得导线截面的估算值，而且并不影响使用。铝芯绝缘导线载流量与截面倍数的关系口诀如下：

10下5，100上二；
25、35，四、三界；
70、95，两倍半；
穿管、温度，八、九折；
裸线加一半，铜线升级算。

此口诀以铝芯绝缘导线明敷、环境温度为 25°C 的条件为准。口诀对各种截面导线的载流量(A)，用“截面积(mm^2)乘以一定的倍数”来表示，为此，要熟悉导线芯线截面排列，把口诀的“截面积与倍数关系”排列起来，表示为：

.....10	16~25	35~50	70~95	120.....以上
五倍	四倍	三倍	二倍半	二倍

此外，口诀中的“穿管、温度，八九折”是指导线不明敷，温度超过 25°C 较多时才予以考虑。若两种条件都已改变，则载流量应打八折后再打九折，或简单地一次以七折计算（即 $0.8 \times 0.9 = 0.72$ ），口诀中的“裸线加一半”是指按一般计算得出的载流量再加一半（即乘1.5）；口诀中的“铜线升级算”是指将铜线的截面按截面排列顺序提升一级，然后再按相应的铝线条件计算。

三、熔丝

熔丝俗称保险丝，低压熔丝适用于交流500V或直流440V以下各种熔断器和电器内作熔

表 1-5 500V 铝芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量表

导线 截面 /mm ²	线芯结构		导线明敷设		橡胶绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A						塑料绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A					
					25℃			30℃			25℃			30℃		
	股 数	单芯 直径	成品 直径	外皮 材料	25℃			30℃			25℃			30℃		
					穿金属管	穿塑料管	穿金属管	穿塑料管	穿金属管	穿塑料管	穿金属管	穿塑料管	穿金属管	穿塑料管	穿金属管	穿塑料管
2.5	1	1.76	5.0	27	25	25	23	21	19	16	19	17	16	20	18	15
4	1	2.24	5.5	35	32	33	30	28	25	23	25	23	22	27	24	22
6	1	2.73	6.2	45	42	42	39	37	34	30	33	29	26	35	32	28
10	7	1.33	7.8	65	59	61	55	52	46	40	44	40	35	49	43	37
16	7	1.68	8.8	85	80	79	75	66	59	52	58	52	46	62	55	49
25	7	2.11	10.6	110	105	103	98	86	76	68	77	68	60	80	71	64
35	7	2.49	11.8	138	130	129	121	106	94	83	95	84	74	99	88	78
50	19	1.81	13.8	175	165	163	154	133	118	105	120	108	95	124	110	98
70	19	2.14	16.0	220	205	206	192	165	150	133	153	135	120	154	140	124
95	19	2.49	18.3	265	250	248	234	200	180	160	184	165	150	187	168	150
120	37	2.01	20.0	310	—	290	—	230	210	190	210	190	170	215	196	177
150	37	2.24	22.0	360	—	336	—	260	240	220	250	227	205	241	224	206

注：导线芯最高允许工作温度+65℃。

表 1-6 500V 铜芯绝缘导线长期连续负荷允许载流量表

导线 截面 /mm ²	线芯结构		导线明敷设				塑料绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负电流/A					
	股 数	单芯 直径	25℃		30℃		25℃			30℃		
			橡	塑	皮	料	穿金属管		穿塑料管		穿金属管	
							2根	3根	4根	2根	3根	4根
1.0	1	1.13	21	19	20	18	15	14	12	11	14	13
		4.4										
1.5	1	1.37	27	24	25	22	20	18	17	16	19	17
		4.6										
2.5	1	1.76	35	32	33	30	28	25	23	22	26	24
		5.0										
4	1	2.24	45	42	42	39	37	38	30	33	35	31
		5.5										
6	1	2.73	58	55	54	51	49	43	39	43	46	40
		6.2										
10	7	1.33	85	75	79	70	68	60	53	59	64	56
		7.8										
16	7	1.68	110	105	103	98	86	77	69	76	80	72
		8.8										
25	19	1.28	145	138	135	128	113	100	90	100	106	94
		10.6										
35	19	1.51	180	170	168	159	140	122	110	125	131	114
		11.8										
50	19	1.81	230	215	215	201	175	154	137	160	163	144
		13.8										
70	49	1.33	285	265	266	248	215	193	173	195	201	180
		17.3										
95	84	1.20	345	320	322	304	260	235	210	240	241	220
		20.8										
120	133	1.08	400	—	374	—	300	270	245	278	280	252
		21.7										
150	37	2.24	470	—	440	—	340	310	284	320	306	290
		22.0										

注:1. 导线最高允许工作温度+65℃;

2. 25mm²及以上铜芯导线穿管时应用“(2)”型结构产品。

表 1-7 500V 护套线 (BVV、BLVV) 在空气中敷设, 长期连续负荷允许载流量 (A)

截面 /mm ²	一 芯		二 芯		三 芯	
	铝 芯	铜 芯	铝 芯	铜 芯	铝 芯	铜 芯
1.0	—	19	—	15	—	11
1.5	—	24	—	19	—	14
2.5	25	32	20	26	16	20
4.0	34	42	26	36	22	26
6.0	43	55	33	49	25	32
10.0	59	75	51	65	40	52

注: 线芯最高工作温度 +65°C, 周围环境温度为 +25°C。

体用, 如装在插入式熔断器、胶盖刀开关、铁壳开关等上面, 可防止线路上因超过负载所造成的危害。

1. 熔丝的额定电流和熔断电流

每一种规格的熔丝都有额定电流和熔断电流两个参数。通过熔丝的电流若小于或等于其额定电流时, 熔丝不会熔断。当通过熔丝的电流超过其额定电流并达到其熔断电流时, 熔丝才会熔断。电流超过熔丝的额定电流越大, 熔丝熔断就越快。一般通过熔丝的电流为其额定电流的 1.3 倍时, 熔丝应在 1h 以上熔断; 通过额定电流的 1.6 倍时, 应在 1h 内熔断; 电流达到 2 倍额定电流时, 熔丝应在 30~40s 后熔断; 当电流达到 8~10 倍额定电流时, 熔丝应瞬间熔断。熔丝对于过载是很不灵敏的, 当设备轻度过载时, 熔丝要很长时间才会熔断, 甚至不熔断。因此, 熔丝主要用于短路保护。熔丝的熔断电流一般是额定电流的 2 倍。

2. 熔丝的选择

为使线路装置、电机和电器等得到应有的保护, 除应正确选择熔断器 (熔断器的额定电压应等于或大于线路的工作电压, 额定电流应等于或大于被保护用电器的额定电流), 还要正确选择熔丝。熔丝的选择, 按其保护对象可分为以下三个方面:

(1) 对变压器、电炉及照明等负载的短路保护 熔丝的额定电流应略大于负载的额定电流。

(2) 对一台电动机负载的短路保护 熔丝的额定电流应大于或等于电动机额定电流的 1.5~3 倍。

(3) 对几台电动机的同时保护 熔丝的额定电流应大于或等于其中最大容量一台电动机的额定电流的 1.5~3 倍加上其余电动机额定电流的总和。

第三节 磁 性 材 料

磁性材料广泛用于电气技术中, 正象高电导率的铜、铝在电气设备中形成电路一样, 高磁导率的磁性材料构成磁路, 是电气设备中不可缺少的重要组成部分。本章就磁性材料的分类及特点、工程上常用磁性材料的基本知识及选用等问题给予介绍。

一、磁性材料的分类和特点

根据磁导率的大小磁性材料可分为三类。第一类叫反磁物质, 它们的相对磁导率小于 1, 如铜、银等; 第二类叫顺磁物质, 它们的相对磁导率稍大于 1, 如空气、锡、铝等; 第三类叫

强磁物质，又叫铁磁物质，它们的相对磁导率远远大于1，如铁、镍、钴及其合金等。

由于反磁物质和顺磁物质，磁性表现均很微弱，相对磁导率都近似等于1，不能作为磁性材料使用，只有强磁性物质在工程上才有实用价值。因此，工程上提到的磁性材料，均系指强磁性物质而言。

磁性材料可按其特性与应用情况，分为软磁材料、硬磁材料和特殊性能的磁性材料三大类。

1. 软磁材料

是指磁滞回线很窄的铁磁材料，其特点是磁导率 μ 很大、剩磁和矫顽力都很小，容易磁化和去磁，因而磁滞损耗小。在工程上主要用于减小磁路磁阻，增大磁通量。属于这类材料的有：电工纯铁、硅钢片、铁镍合金、软磁铁氧体等。它们各有不同的品种和特性，能满足各种不同的用途和需要。

2. 硬磁材料（也称永磁材料）

是指磁滞回线较宽的磁性材料，其特点是：必须用较强的外磁场才能使它们磁化。但一经磁化，取消外磁场后磁性就不易消失，具有很强的剩磁，能长期保持磁性基本不变，而且矫顽力很大。主要用途是制造各种形状的永久磁铁和恒磁（如喇叭磁钢）。属于这类材料的有：合金碳钢、铝镍钴、稀土钴、硬磁铁氧体等。

3. 特殊性能的磁性材料

随着科学技术的发展，工程上需要很多的特殊性能的磁性材料。属于这类材料的有：矩磁材料、压磁材料、恒导磁合金、磁温度补偿合金等。

二、磁性材料的基本性能

磁性是物质的基本属性之一。磁化曲线和磁滞回线是反映磁性材料基本磁性能的特性曲线。铁磁材料在外磁场的磁化作用下，都会表现出它们特有的磁化曲线和磁滞回线。同时由这两种特性曲线，就能确定材料本身的一些重要特性：磁导率 μ 、饱和磁感应强度 B_s 、矫顽力 H_{CB} 、剩磁感应强度 B_r 以及铁损 P_{Fe} 等。

1. 铁磁材料的磁化性和导磁性

(1) 磁化性 铁磁材料常态下不显示磁性，在外磁场作用下，铁磁物质内部杂乱无章的“磁畴”方向，会转到与外磁场基本一致方向上来，从而产生了附加磁场，使外磁场大大加强。我们把这种原来没有磁性的材料，在外磁场作用下产生磁性的性质叫做磁化。凡铁磁物质都能被磁化，且易于磁化。

(2) 高磁导率 铁磁材料具有很高的磁导率，与非磁性材料相比可大到数百、数千、甚至数万倍。因此，铁磁材料具有很强的导磁能力。磁导率是衡量磁性材料的一个重要参数。工程上通常用相对磁导率表示，其符号为“ μ_r ”。相对磁导率表示某物质的磁导率 μ 与真空中的磁导率 μ_0 之比，叫做某物质的相对磁导率（ $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ ）。几种铁磁材料的相对磁导率见表1-8。

表1-8 几种铁磁材料的相对磁导率

材料名称	相对磁导率	材 料 名 称	相对磁导率
铸 铁	200~400	锰锌铁氧体（用于1MHz以下）	300~5000
铸 钢	500~2000	镍锌铁氧体（用于1MHz以上）	10~1000
硅 钢 片	7000~10000	坡 莫 合 金	20000~200000

图 1-3 表示了磁感应强度、磁导率与磁场强度的关系曲线。

图上的 $B-H$ 曲线是基本磁化曲线。它是确定软磁材料工作点的依据。

图上的 $\mu-H$ 曲线是磁导率与磁场强度的关系曲线。 μ_m 和 μ_i 分别表示最大磁导率和初始磁导率,软磁材料要求有高的 μ 值。在一定磁场强度下, μ 值越高,传递等量磁通所需的材料愈少。 μ_i 是在低磁场下使用的软磁材料的一个重要参数。当磁场极低时, μ_i 更能恰当地反映出材料在工作情况下的磁性能。

2. 铁磁材料的磁饱和性

铁磁材料磁化时产生的磁场,随外磁场增大而加强,但不能无限增强,一旦铁磁材料内所有的“磁畴”完全转向且排列整齐,即使外磁场再增加,它的附加磁场也不再增强,趋于某一饱和值,这种现象叫磁饱和。这时的磁感应强度叫饱和磁感应强度,用 B_s 表示,其相应的磁场强度为 H_s ,通常要求磁性材料有高的 B_s 值。各种材料的 B_s 值不同,磁性能也各不相同,它决定着铁磁材料的磁性质。

3. 铁磁材料的磁滞性和剩磁性、剩磁比、铁损耗和矫顽力

如图 1-4 所示材料的磁滞回线,若铁磁材料在强度为 H_1 的磁场下,磁化至 a' 点时,再减小磁场,磁感应强度不是沿着 Oa' 曲线下降,而是沿另一条曲线 $a'b'$ 下降,如图 1-4 所示。显然 B 的变化滞后于 H ,这个现象称为磁滞。由于磁滞引起的损耗叫磁滞损耗。若 H_1 由 $H_1 \rightarrow O \rightarrow -H_1 \rightarrow O \rightarrow H_1$ 缓慢的变化一周时,由于磁滞原因, B 随 H 变化为一闭合曲线 $a'b'c'd'e'f'a'$,称为磁滞回线。在磁化曲线 Oa 上任一点所对应的磁场强度变化一周,都可得到相应的磁滞回线。随着磁场强度增加,磁滞回线包围的面积也随着增大。当磁化到饱和时,再增大磁场强度,磁滞回线的面积基本不变,这时的磁滞回线叫极限磁滞回线,如图 1-4 中的 $abcdefa$ 回线。由极限磁滞回线可以看出,当饱和磁场强度 H_s ,由 H_s 降为零时,磁感应强度并不回到零,而下降到 b 点。从图上看到的 B_r 值,称为剩余磁感应强度,简称剩磁。若要将 B_r 降为零,必须加一反向磁场,这个反向磁场强度的绝对值称为磁感应的矫顽力,简称矫顽力。用 H_{CB} 表示。剩磁 B_r 和饱和磁感应强度 B_s 之比称为剩磁比。剩磁比表征了矩磁材料磁滞回线接近矩形的程度。

综合上述图形的分析,可以得出铁磁材料如下几点性质:

(1) 磁滞性和磁滞损耗 铁磁材料在反复磁化过程中,磁感应强度 B 的变化,总滞后于磁场强度 H 的变化,这种现象叫磁滞。这种性质叫铁磁材料的磁滞性。

在交变磁场作用下,铁磁材料会因磁滞而引起的功率损耗叫磁滞损耗。

(2) 剩磁性 铁磁材料在外磁场作用下被磁化,当除去外磁场后,磁感应强度并不为零,

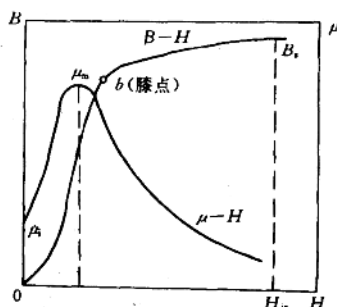


图 1-3 磁感应强度、磁导率与磁场强度的关系

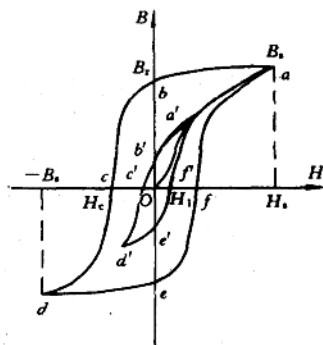


图 1-4 磁滞回线

总保持一定的磁性称剩磁。

(3) 剩磁比 铁磁材料在磁场作用下被磁化, 不断增加外磁场, 使其磁感应强度达到饱和值 B_s , 然后去掉外磁场, 材料保留有剩磁 B_r 。剩磁 B_r 与饱和磁感应强度 B_s 之比, 称为剩磁比。

(4) 铁磁材料的功率损耗 (简称铁损) 单位重量的磁性材料, 在交变磁场作用下被磁化, 所消耗的功率称为铁损。

铁损主要包括磁滞损耗和涡流损耗两部分。磁滞损耗的大小与磁滞回线的面积成正比。

磁性材料的铁损, 既决定于材料本身的固有磁特性, 同时还取决于磁性材料工作场所的磁场频率 f 和磁感应强度 B 值。所以在标注材料的这项损耗指标的数值时, 必须同时注明工作频率和磁感应强度值。

(5) 矫顽力 铁磁材料具有剩磁性, 为了克服剩磁, 将其降为零, 必须加以反向磁场, 这个反向磁场的绝对值称为矫顽力, 用 H_{cb} 表示。

三、软磁材料

软磁材料是易于磁化和去磁的一类磁性材料, 其特点是具有很高的磁导率和很小的剩磁和矫顽力, 在电气工业中用量最大。其主要功能是用来减小磁回路的磁阻, 增强回路的磁通量, 改善交流磁路和直流磁路的功能。

1. 软磁材料的性能指标

衡量软磁材料的重要指标有: 最大磁导率 μ_m 、初始磁导率 μ_0 、饱和磁感应强度 B_s 和铁损 P_{Fe} , 用这些指标可以确切地说明材料的性能、质量和用途。

2. 软磁材料的主要性能

由于工作场合的不同, 主要性能要求也不一致, 现加以分述。

(1) 软磁材料在强磁场下使用, 主要性能要求具有低的铁损和高的磁感应强度。低铁损可以降低产品总损耗, 提高产品经济指标; 磁感应强度高可以缩小铁心体积, 减轻产品重量; 同时也可节省导线, 降低导体电阻引起的能量损耗, 而且由于铁心和导线的节省, 使产品成本随之降低。

(2) 在弱磁场下使用的软磁材料, 着重要求它具有高的磁导率和低的矫顽力。由于高的磁导率在线圈匝数一定的情况下, 通以不大的激磁电流就能产生高的磁感应强度, 并得到高的输出电压; 又由于矫顽力 H_{cb} 低, 磁滞回线面积窄小, 铁损亦小, 因而有助于缩小产品尺寸, 提高灵敏度。

(3) 高频或较高频下工作的软磁材料, 随频率的增高涡流损耗将愈趋严重。因此, 在高频场合下使用的软磁材料, 除要求磁导率高、矫顽力小外, 还必须考虑材料具有大的电阻率, 以降低材料的涡流损耗。铁氧体就是典型的高频软磁材料。

(4) 满足特殊要求的软磁材料。如恒导磁软磁材料、矩磁材料、特高磁导率材料等。

软磁材料可分为金属软磁材料、铁氧体软磁材料和磁介质三大类。其中金属软磁材料又分为电磁纯铁、硅钢片、铁镍合金、铁铝合金等四类。

磁介质是最早的高频软磁材料, 自铁氧体材料问世以后, 随着新材料新工艺的改进, 已逐渐代替了磁介质。软磁材料的分类见表 1-9。

表 1-9 软磁材料的种类、特点和应用范围

种 类	主 要 特 点	应 用 范 围
电磁纯铁	碳的质量分数在 0.04% 以下, 饱和磁感应〔强度〕大, 冷加工性好。但电阻率小, 铁损大, 有磁时效现象	一般用于直流磁场
硅钢片	与电工纯铁相比, 电阻率增大, 铁损减小, 磁时效基本消除。但热导率降低, 硬度增大, 脆性增大	电机、变压器、继电器、互感器、开关等产品的铁心
铁镍合金	与其他软磁材料相比, 在弱磁场下, 磁导率大、矫顽力小, 但对应力比较敏感	频率在 1MHz 以下, 弱磁场中工作的器件
铁铝合金	与铁镍合金相比, 电阻率大、密度小, 但磁导率小, 随含铝量的增加, 硬度和脆性加大, 塑性变差	弱磁场和强磁场下工作的器件
软磁铁氧体	是金属氧化物经陶瓷工艺形成的烧结体, 电阻率极大, 涡流损耗极小。缺点是饱和磁感应〔强度〕比较小, 温度稳定性也较差	高频或较高频率范围内、功率不太大的磁性元件
磁 介 质	是由金属软磁材料的粉末经绝缘材料胶合而成, 涡流损耗小, 稳定性好、价高	低频或高频范围内弱磁场下工作的器件

四、硬磁材料

硬磁材料又称永磁材料。是用以制作永久磁体的一类磁性材料, 如电声器件的永磁体、继电器和仪表中的永磁体等, 都是由硬磁材料制成。

硬磁材料必须用较强的外磁场才能使其磁化, 但一经磁化后, 去掉外磁场磁性也不易消失, 具有很强的剩磁和很大的矫顽力, 且有宽大的磁滞回线特性。剩磁仍能在磁体以外的空间产生长久不变的磁场。因此, 在磁性器件中常用这类材料作为磁源来使用。

硬磁材料的基本特征是: 在工作气隙中产生尽可能大的磁能。因此, 饱和剩磁感应强度 B_r 大、矫顽力 H_{CB} 大, 最大磁能积 $(BH)_{\max}$ 大, 是硬磁材料的主要特点, 也是衡量永磁材料性能优劣的主要因素。

常用硬磁材料, 根据制造工艺和应用上的特点, 硬磁材料可分为以下几类。

1. 铸造铝镍钴系硬磁材料

这类硬磁材料的优点是剩磁感应强度值较大, 磁感应温度系数小, 居里温度高, 矫顽力和最大磁能积在硬磁材料中达到中等以上水平, 结构稳定、性能可靠, 是目前电机工业中普遍采用的一种硬磁材料。缺点是硬脆, 不易加工成形状复杂尺寸精确的磁体。

这种硬磁材料按其制造工艺和合金组分, 可分为三种系列。

(1) 各向同性铝镍型和铝镍钴型系列, 这一系列材料的磁性能在铸造铝镍钴系硬磁材料中是最低的, 但制造工艺比较简单, 成本比较便宜, 所以是一种普及型的硬磁材料。它可制成体积大或有多对磁极的永磁体, 用在永磁电机、微电机、里程表等多种电磁设备中。

(2) 热处理各向异性铝镍钴和铝镍钴钛型系列, 这一系列材料的剩磁和最大磁能积比各向同性系列大得多, 但制造工艺较为复杂。由于材料的各向异性, 且具有最优的磁性方向, 而垂直于最优磁性方向上的磁性能很差, 因此, 使用这类各向异性的材料时, 应考虑它的最优磁性方向。这类材料多做体积较小或尺寸比 (L/D) 比较小的永磁体 (L 为有效磁路长度, D 为有效磁路截面的等效直径)。用于精密磁电式仪表、永磁电机、流量计、传感器等。

(3) 定向结晶各向异性铝镍钴和铝镍钴钛型, 这是硬磁材料铝镍钴系中磁性能最优的品种, 但制造工艺复杂、脆性大、易折断, 加工困难。使用时, 永磁体的磁极轴线与最优磁性方向一致。