

轻松学电工电子技术丛书

丛书主编 许顺隆

轻松学

电机



许顺隆 许朝阳 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

轻松学电工电子技术丛书

丛书主编 许顺隆

轻松学

电机

许顺隆 许朝阳 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



为了帮助有志于学习电工电子技术的人员解决入门困难的问题,作者特组织编写了本书,从最基本的基础知识开始讲解。编写的过程中力图将难于理解的知识化为相对简单的知识,使学习的过程成为相对轻松的过程,为读者进一步的实际应用打下坚实的基础。因此,本书可以作为自学电工电子技术初学者的入门教材,也可以供从事电工电子技术的技术工人阅读,还可以作为本、专科院校学生和技校学生学习电子技术的参考书。

本书主要内容都是电机技术最基本的内容共分六章。第一章概述,主要介绍学习电机所必需的知识;第二章直流电机;第三章三相交流绕组;第四章交流同步电机;第五章三相交流异步电动机;第六章特殊用途电机。本书各章后面都对主要知识点进行小结,还配有大量的思考题,这些思考题主要配合各章的要点而设置。这些思考题的答案都可在本书中查到对应的说明,因此可作为每章的复习要点。

本书的读者对象主要为电气技术初学者、电工技术工人以及各大中专院校、职业技术学校相关专业的师生等。

图书在版编目(CIP)数据

轻松学电机 / 许顺隆, 许朝阳编著. —北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978 - 7 - 5083 - 6846 - 7

I. 轻… II. ①许…②许… III. 电机 - 基本知识 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 038342 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 18.5 印张 309 千字

印数 0001—4000 册 定价 29.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

电机,从它诞生至今已经有一百多年的历史了,随着科学技术的发展,电机在我们的生活里,得到更多的应用。在国民经济的各个领域,各种各样的设备和系统都依靠电动机的拖动,我们所使用的电能绝大部分也都是由发电机产生的。从各行各业的系统设备,到家庭使用的各种电器,都广泛使用着电机。为了使用、管理和维护这些设备,社会急需大量掌握电机知识的人才。

电机的知识在电气工程中是基础与专业之间的知识。作为基础知识,往往要求有一定的理论基础,作为专业知识又经常涉及一定的工程实践。因而,不论是大学本专科院校的学生,还是实际工程中有志于学习电机技术的人员,常常感觉到学习电机有一定的困难,尤其是许多立志自学者,更是很难做到快速入门,往往是满怀希望,着手开始学习电机,最终却因理论知识与实际实践等方面的原因,难于深入学习,不得不望书兴叹。

本书作为轻松学电工电子技术系列书之一,其主要目标就是帮助有志于学习电机的人员克服这方面的困难。本书从最基本的基础知识开始,结合编著者多年的教学经验,详细解释学习过程中可能遇到的概念和新出现的名词,力图将难于理解的知识化为相对简单的知识,使电机结构原理的学习简单化,使电机的学习过程成为相对轻松的过程,而不是成为枯燥艰难的过程,首先为读者解决入门困难的问题,为读者进一步学习更为复杂的电气技术知识打下一定的基础。因此,本书可以作为自学电机的初学者入门教材,也可以供从事电气工程的技术工人阅读,还可以作为本专科院校学生、技校学生学习电机的参考书。

本书主要内容直接切入电机的结构原理,书中内容经过精选,都是电机技术最基本的内容,共分六章。第一章主要介绍学习电机所必需的知

识，为初学者指出学习电机之前所必须掌握的基础知识。第二章主要介绍直流发电机和直流电动机的工作原理。第三章主要介绍交流电机线圈绕组的组成特点与原理。第四章主要介绍产生三相交流电的同步发电机的结构原理。第五章主要介绍各行各业广泛使用的三相异步电动机的结构与转动原理。第六章主要介绍七种常用特殊电机的工作原理。

本书各章后面都对主要知识点进行小结，还有大量配合各章要点而设置的思考题，主要为问答题的形式，所提问的点都是相应各章的主要知识点，这些知识点都可在本书中查找到对应的说明，因此可作为每章的复习要点。

参加本书编著的人员有厦门市海事局许朝阳、集美大学轮机工程学院许顺隆。许朝阳负责编写第四章第一、二、三节，第五章第一、二节，许顺隆负责编写其余章节，并负责全部书稿的修改工作。

由于编著者的水平有限，不妥之处恳请读者和同行批评指正。

编著者

2008年3月



目 录

前言

第一章 概述 1

§ 1-1 电机发展史	1
§ 1-2 电机的分类和用途	4
§ 1-3 电机学习的基础知识	8
小结	13
思考题	14

第二章 直流电机 15

§ 2-1 直流电机的基本结构	15
§ 2-2 直流发电机的运行原理	42
§ 2-3 直流电动机的运行原理	58
§ 2-4 直流电动机的起动、制动和调速	67
§ 2-5 直流电机的换向火花及维护管理	78
小结	83
思考题	85

第三章 三相交流绕组 86

§ 3-1 概述	86
§ 3-2 三相单层绕组	95
§ 3-3 三相双层绕组	104
§ 3-4 交流绕组产生的磁势和感应的电动势	109
小结	120
思考题	121

第四章 交流同步电机 122

§4-1 同步发电机的构造	122
§4-2 同步发电机的运行原理	128
§4-3 同步发电机的特性及并联运行	146
§4-4 同步电动机的运行原理	171
§4-5 同步电动机的起动	177
§4-6 同步补偿机	179
小结	181
思考题	182

第五章 三相交流异步电动机 184

§5-1 异步电动机的基本构造	185
§5-2 异步电动机的运行原理	192
§5-3 异步电动机的机械特性	204
§5-4 异步电动机的起动、调速和制动	216
小结	233
思考题	236

第六章 特殊用途电机 238

§6-1 单相异步电动机	238
§6-2 交磁电机扩大机	247
§6-3 伺服电动机	255
§6-4 测速发电机	261
§6-5 步进电动机	267
§6-6 自整角机	273
§6-7 旋转变压器	280
小结	286
思考题	288

参考文献 290

第一章

概 述

电机,从字义上理解是与电有关的机器。随着科学技术的发展,使用电的设备不断增多,电气设备的种类繁多,用途各异,为了表示与其他电气设备的区别,人们将应用电磁感应原理工作的,完成机电能量转换或信号变换的装置称为电机。其中,将机械能转换成电能的称为发电机(Generator),将电能转换成机械能的称为电动机(Motor)。

本章作为学习电机的开始,首先介绍与电机有关的一些知识或资料。第一节电机发展史,简要介绍电机的发展过程;第二节电机的分类和用途,主要结合各种电机的特点和用途进行介绍;第三节电机学习的基础知识,则主要从理解电机原理的实用角度出发,介绍学习电机的有关基础知识。



§ 1-1 电机发展史

一、世界最早的电机发明

18世纪末人们就对电有了一定认识,同时还尝试利用各种方法来获取电能。有了电能后,人们就想利用电能为人类进行服务。电动机就是电能应用的具体体现之一。人类开始使用电动机距今已经有一两百年的历史,最早的电动机是直流电动机(雏形),于1834年分别由俄国科学院院士雅可比和美国年轻的铁匠戴文鲍特制造成功的。他们研制的是应用电磁铁产生旋转运动的直流电动机。

交流电机的发展比直流电机的发展要慢,到了1885年,意大利的里斯在都灵的实验室中创造并使用了世界上最早的多相异步电动机,1886年美国特斯拉研制成结构较完善的商用两相异步电动机,1889年鼠笼式异步电动机研制成功(勃拉特兰),1891年绕线式异步电动机研制成功(布朗和陶立佛·多勃罗沃斯基)。

总之,电机的发展过程是从无到有,从小到大,先直流电机后交流电机。目前,世界上汽轮发电机单机容量早已突破百万千瓦,而大型电站运行的发电机组功率大多在几百兆瓦。

二、旧中国的电机制造业

我国电机制造业萌芽于20世纪初。1914年,德商瑞记洋行修理部领班钱庸森开设的钱庸记电器铺,从事电器电机修理、收购改制旧直流电机等业务。

我国第一台直流电机诞生于1917年上海华生电器制造厂。最早的官办电机厂是国民政府建设委员会电机制造厂。我国第一台交流异步电动机于1924年初由上海益中机器股份有限公司制造,而且是由我国工程师周琦自行设计和制造的,其主要技术参数为:5马力,1430r/min。第一台交流同步发电机由华生电器厂于1926年研制成功,最大发电功率约为180kW。

由于处于半殖民地半封建社会,我国早期民族电机制造业受到外国资本的挤压,官僚买办的歧视,在创业初期所经历的过程可以说是举步维艰。其中不乏许多可歌可泣的故事,虽然本书的编写目的不是介绍这些故事,但在这些轶事中有许多是运用专业知识取得成功的。

新中国成立前,我国的电机制造水平仍然非常有限。到1949年,我国中小型电机制造业的基本组成主要有:①民族资本家开办的中小型电机制造厂;②国民党和日伪遗留的电机电器工厂;③解放区自己建立的一些专为生产军工通信电机电器和仪表服务用的电机厂。这些中小型电机制造厂的生产规模都不大,技术和设备都较陈旧落后,技术资料短缺,生产出来的电机规格非常杂乱,整个电机制造业的总体水平相当低。当时,我国不具备大型交直流电机的生产能力,矿山及钢厂等需要的少数大型电机均由国外进口。

三、新中国成立后的电机制造业

新中国成立后，大型交直流电机的发展过程主要分为三个阶段：诞生和仿造时期（1950～1955年）；开始自行设计时期（1956～1977年）；产品更新换代和技术提高时期（1978年以后）。

在诞生和仿造时期，大型交直流电机制造的技术基础主要来自两个方面：一是旧中国国民政府资源委员会外派美国西屋公司培训的一批电工技术人员（还有少数留学人员），新中国成立后，他们在东北成为骨干技术力量。二是1951年8月东北电工局派出14名技术人员去苏联学习大型电机设计与制造技术，他们于1954年回国，并带回大批设计、工艺资料和产品图纸，加强了电机制造的技术力量。

1953年我国制造出了75V、2000A、65kW和36V、4000A、144kW直流发电机，1954年根据苏联产品资料开始设计MC-320系列大型同步电动机和AT系列电机，这两个系列产品一直延续生产到60年代末，1955年上海电机厂按照苏联和捷克资料设计生产出2000kW以下的JRZ系列高速异步电机。到1955年为止，共生产了大型直流和大中型直流电机约150MW。

1956～1977年是自行设计时期，从1950年经济恢复时期起到第二个五年计划中前期，是中国大电机行业奠定基础 and 迅速发展的时期。十年动乱时期，大电机行业的发展，也受到了极大的干扰和破坏，但生产还是有所发展的。在这一时期，为配合大连—三棵树铁路线的建设，提供了一定数量的大电机设备。此外，还配合225MW及300MW水轮发电机和125MW双水内冷发电机设计制造了所需的励磁用发电机。

中共十一届三中全会以后，为了缩短与国外先进水平的差距，机械工业部电工局于1978年提出了系列产品更新换代的要求，并制订了大型交直流电机的几个基本系列的品种发展规划。经过几年的努力，更新换代的T2、YR2、YK系列大型交流电动机的技术水平接近20世纪70年代末的国际先进水平。1981年，大电机所制订了统一的技术条件，试制出的样机采用了较先进的设计方法和各项新技术，发挥出最好的工艺水平，使产品的技术经济指标较70年代有所提高。为了促进中国大型电机技术水平的提高，在20世纪80年代初、中期，又从国外引进了一批新技术，并与国外工业先进国家进行了技术合作。主要有联邦德国的西门子公司、瑞士

BBC 公司、美国西屋公司等。

经过了上述各个阶段，我国的电机制造业有了很大的发展，目前中小型电机是我国电工产品中主要出口创汇产品之一，我国生产的微特电机已经占世界电机市场份额的 60% 以上。根据国家统计局的统计数字显示，2004 年 12 月我国电机制造业共有 1167 家生产企业，全部从业人员 388282 人，资产总计接近 972 亿。2004 全年电机行业工业总产值为 993 亿，产品销售收入 938 亿，利润总额 49.1 亿。

我国机电产品遍及欧盟、东盟、美国、日本等市场。2003 年，我国中小型电机总产量达 90000MW，全国有 29 个省（自治区、直辖市）机电产品出口较去年同期增长。其中，东部 10 省市机电产品出口近 2300 亿美元，占全国同期机电产品出口的 96.5%，是我国机电产品出口的主要地区。集体企业和民营企业机电产品出口也分别达到 90 亿美元和 110 亿美元，分别增长了 30.6% 和 180%，占全部出口比重均较上年有所提高，显示出较大的发展潜力。

作为大型电机的发电设备，发展也很迅速。改革开放前，我国只能生产 125MW 和 200MW 的发电机组，而通过技术引进和消化吸收，现在已经能批量生产 300MW 和 600MW 的亚临界发电机组，这已经成为我国的主力机型。电力设备制造能力也迅速从改革开放初期的年产不到 5000MW，迅速发展 to 年产 60000MW 以上的能力，性能价格比在世界上有着绝对的竞争能力。根据有关统计，我国在世界上是仅次于美国的第二电力大国。



§ 1-2 电机的分类和用途



一、电机的功能

电机是一种利用电磁感应原理进行工作的电气设备或机电元件。它的主要功能有两个方面：① 进行机电能量转换，即将电能转换成机械能或将机械能转换成电能；② 进行信号传递，可将机械位移等信号转换成电信号或将电信号转换成机械位移、转速等信号（这里的机械位移信号是指运动部件位置上变化的信号）。可以这样理解，作为能量转换的电机功率通常相对较大；作为信号传递的电机功率通常相对较小。

电机功能的第一方面是在电力、动力工程等能量转换与传输方面的应用。具有这方面功能的电机属于动力电机，为了简便，一般将“动力”二

字省略,根据其具体用途,有发电机、电动机和变压器等几个类别。动力用电机的主要功能是能量转换,其输出是以力、力矩或功率的形式体现。因此,对于这类电机,人们主要关心它的能量转换效率和是否能满足实际使用的要求。

电机功能的第二方面是在各种设备、装置或系统的检测、调节和控制等方面的应用。具有这方面功能的电机主要用在控制系统中,因此常常称之为控制电机。控制电机的主要功能是信号转换,如果信号转换不精确,就会造成很大的控制误差,有时甚至不能正常工作。因此,对于控制电机,人们主要关心它的精确度,而不是效率的问题。这类电机,有时为了保证其足够的精度,在制造时可能需要牺牲效率等指标来保证。

二、电机的分类

为了研究电机,通常需要对电机进行分类,研究的目的不同,分类的方法也不一样。对电机分类比较常见的方法有:按照能量转换性质划分,按照工作原理划分,按照运动方式划分,按照防护形式划分,按照冷却方法划分,按照尺寸大小划分6种。

按照能量转换性质划分,主要是从电机输入和输出的能量关系进行划分。电机按照能量转换性质可分为发电机、电动机和变压器3大类。发电机是将机械能转换为电能的电机,大多数的发电机都是利用其转动部件(称为转子)的转动进行工作的,也就是说,大多数的发电机是旋转的。电动机是将电能转换为机械能,并拖动(带动)生产机械工作。机械能以旋转运动体现的电机称为旋转电机。此外,有的电动机其运动形式是直线运动,称为直线电动机。

按照工作原理划分,主要是从使用电源和具体结构方面划分,电机可分直流电机和交流电机两大类。直流电机在能量转换过程中,电能部分为直流电能,交流电机则为交流电能。交流电机的应用最为广泛,是目前国民经济各个领域部门使用数量最多的电机。

按照运动方式划分,主要是从电机有无运动部件和运动部件(转子)的运动形式进行划分。电机按照运动方式可分为静止电机、旋转电机和直线电机3种。静止电机主要是指变压器,但变压器只是进行电能的转换,并不涉及机械能,从严格意义上讲并不能称之为“机”,本书也不讨论普通电力变压器。不过,由于变压器也是根据电磁感应原理进行工作的,因

此几乎所有《电机学》的书都将其划分在电机的范围内。旋转电机是电机中应用最多的一类，发电机和大部分电动机都属于旋转电机。直线电机是将电能转换成机械能的电机，其主要形式为电动机。

按照防护形式划分，主要是从电机外壳对固体、液体以及气体等的防护形式进行划分。电机按照防护形式可分为：开启式、防护式、防滴式、防溅式、防水式、潜水式、防爆式等。开启式电机对固体、液体以及气体等没有任何防护能力，只在早期电机中使用，现在已经被淘汰。防护式主要采用防护罩进行简单的防护，只能防护较大尺寸的固体异物侵入电机内部，其防护能力也很低，现在也很少采用。防滴式、防溅式是指具有一定防止液体侵入电机内部能力的电机，防滴式电机能阻止水等液体滴入电机，防溅式电机能阻止水等液体以一定的防护角度溅入电机，超过该防护角度，水或液体仍然可侵入电机内部。因此，防滴式和防溅式电机对液体的防护能力都较有限。防水（水密）式电机则可阻止水或液体从任何角度侵入电机内部，但只能阻止不具备任何压力的水或液体的侵入。潜水式电机对水或液体侵入的防护能力比防水式电机高，潜水式电机不仅能够阻止水或液体从任何角度侵入电机内部，而且可阻止具有一定压力的水或液体的侵入。防爆式电机可以阻止电机运行时可能产生的电气火花引燃易燃易爆气体。

按照冷却方法划分，就是根据冷却电机的方法划分。电机工作时，不可避免地要产生损耗，各种损耗最终都将以热量的形式出现在电机内部，且使电机的温度升高。而温度对电机的绝缘材料影响很大，因此必须采用一定的冷却措施使电机内部积聚的热量得以排出。按照冷却方法分，电机可分为：自冷式和它冷式两大类。自冷式电机还可分为自然冷却和自扇冷等形式。所谓自然冷却是指不采取任何冷却措施，电机工作时产生的热量只通过热辐射和空气的自然对流散发冷却。自扇冷式电机自身带有风叶，电机运行时，风叶跟着转动，自己给自己扇风冷却。它冷式电机则是采用各种人为的措施对电机进行冷却，还可分为它扇冷式（利用专门的风扇或风机进行冷却）及各种形式的内冷（在电机内部安排冷却用的通道，采用各种冷却剂进行强迫冷却，包括水内冷、氢内冷等，采用内冷的电机大多是大型电机）。

按照尺寸大小划分（主要是根据电机外壳的直径大小进行划分）。电机按照尺寸大小可分为：大型、中小型和微型电机。大型电机又有交流电

机和直流电机之分。大型交流电机是指电机的定子铁心外径在 1000mm 以上,或电机轴的中心线高在 630mm 以上的交流电机;大型直流电机是指转子铁心直径大于 423mm,或电机轴中心线高在 355mm 以上的直流电机。中小型电机之间的具体划分界线相对较模糊,一般指电机轴中心线高为 80 ~ 630mm 的交流电机和电机轴中心线高为 80 ~ 355mm 的直流电机。小型电机的尺寸比中型电机小,其功率一般为几千瓦以上。比小型电机小的电机为小功率电动机。依据 GB 2900.27—1995《电工名词术语小功率电动机》标准定义,小功率电机是指折算到 1500r/min 时,最大连续定额不超过 1.1kW 的电动机,即 1.1kW 及以下电机统称为“小功率电机”。一般而言,发电机尤其是电力生产单位的发电机以大型电机居多,而电动机则以中小型电机居多。

从上面的讨论我们知道,电机的分类方法很多,具体研究的目的不同,所关心的分类方法也不同。有这些划分方法,我们可以归纳出各类电机的共性和一般规律,同时还可具体研究电机的特点、特性。而且,某大类的电机还可根据新提出的研究目的进一步细分,从而更深入地研究具体电机的特点、特性。例如,按照能量转换性质划分时,我们知道将机械能转换成电能的电机为发电机,将电能转换成机械能的为电动机,它们都属于旋转电机。实际上,就一般情况而言,发电机和电动机的基本组成结构并没有什么差异,作为一台旋转电机,既可以用作发电机,也可以用作电动机。也就是说,它们的工作具有可逆性。我们可以做这样的试验:一台和电网并联的发电机,若将拖动它的原动机脱开,在电网电源的作用下,该发电机仍能够继续运转,而且还可带动机械负载工作。去掉原动机的发电机带动机械负载工作就变成一台电动机了。这就是一般所说的“电机的可逆原理”(一台电机的结构,可以满足该电机作为发电机用,也可以满足该电机作为电动机使用)。但是,进一步的研究使我们发现,通常发电机的容量都较大,一台发电机发出来的电能可供许多台电动机使用,而电动机的容量根据实际生产机械设备的需要相对发电机来说都较小。因此,实际设计一台电机时,要考虑其具体分类用途进行有针对性的设计。一台制造好的电动机作为发电机使用时,其性能一般不如一台以发电为使用目的制造的发电机,反之亦然。而对已经制成的电机,使用时一般并不改变其设计时就已确定的用途,这样才能有比较好的性能和效益。同样是发电机,还可根据其所利用的机械能不同进行划分,如水力发电、火力发电或

者风力发电时,由于具体的工作过程存在差异,对发电机存在着不同的具体要求,因此设计和使用时发电机的具体结构和性能等也存在不同。

本书后续各章节主要讨论各种常见电机的结构、工作原理和性能特点等。尤其电动机是各行各业应用最广泛的电机,也是各行各业的电气管理人员必须管理、维护的电机,因此是本书介绍的重点。至于变压器、直线电机等其他电机,限于本书的篇幅就不进行讨论,有兴趣的读者可自行参考其他有关书籍。



§ 1-3 电机学习的基础知识

一、学习电机所需要的基础知识

在电气工程相关的专业中,电机的知识介于基础理论知识与专业知识之间,基础理论知识通常称为基础课,专业知识称为专业课,电机的知识则属于专业基础课的内容,学习时需要有一定的基础理论知识。本书虽然尽量减少纯粹的理论推导,尽量使读者学习起来轻松,但必要的理论基础还是要求的。

学习电机所需要的知识主要是与电磁场有关的知识,尤其是进行电机理论研究。但是,对于从事电气工程应用的人员,从电磁场的角度研究电机,不仅比较抽象、难懂,而且也没有必要。实际上,只要具有电路和磁路等知识基础,就可满足从事电气工程应用的人员学习电机的需要。那么,电路和磁路的知识与电磁场的知识到底有什么区别呢?

简单地说,电路、磁路与电磁场的理论都是研究电与磁的一般理论。但电路、磁路则是从“路”的角度对电与磁的现象进行研究的,尤其是磁路计算,从“路”的角度入手,可以将电磁场中的物理量取平均值或分段取平均值,然后将磁路及其分析采用像电路一样的“理想化”方法进行分析,从而使问题大为简化。

具体分析电机时,常涉及的电路定律主要有欧姆定律、基尔霍夫电压定律、基尔霍夫电流定律等。此外,还需要电路的一般知识,主要有电阻、电抗的计算,功率的计算等。除了电路和电路定律外,还常涉及与磁有关的定律,主要有电磁感应定律、电动力定律、磁路定律以及磁路的相关知识等。电路和磁路的知识 and 定律,可参阅有关电路等方面的书,本系列丛中,在《轻松学电路》分册也进行了专门的介绍。

除了电与磁的知识外,为了学习、使用和管理好电机,还需要下面介绍的一些其他相关的知识。

二、电机的允许工作温度

不论是直流电机还是交流电机,也不论是大型电机还是小型电机,在构成电机的各种材料中,绝缘材料是最薄弱的环节,影响绝缘材料性能的因素主要是温度。电机工作时,各种损耗都将转换成热量,使电机的温度升高,因此各种电机(包括电器)都根据所使用的绝缘材料的不同,对其工作时的温度限制进行规定,以保护电机能够正常运行。

绝缘材料的耐热等级简称耐热等级,是根据材料的性质不同而确定的。绝缘耐热等级分为 Y、A、E、B、F、H 和 C 7 个等级,它们具体的耐热性能见表 1-1。天然绝缘材料的耐热性能最差,无机绝缘材料的耐热性能最好。

当绝缘材料温度超过表 1-1 所规定的值时,绝缘材料将加速老化,性能迅速变差,很快就会受到不可逆转的损坏,最终导致电机电器的线圈烧毁。因此电机工作时其线圈的最高温度应该限制在其所用绝缘材料最高允许温度以下,且留有足够的余量。电机采用绝缘材料的耐热等级通常在电机的铭牌上有明确标注。

所谓铭牌是指在设备外壳上一块标有包括厂家、型号及各种数据的小牌。铭牌上标注的主要数据是保证设备持续正常运行的限定参数。这些限定参数通常称为铭牌数据,也称为额定参数或额定数据。电机铭牌上标注的绝缘等级就是对电机允许的工作条件进行限定。

运行时电机产生的主要损耗有线圈通过电流产生的铜损和铁心通过交变磁通产生的铁损(包括磁滞损耗和涡流损耗)等。电源电压和频率一定时,铁心损耗是一个基本不变的量,只有线圈的铜损随着负载的变化会出现变化。负载增大,流经线圈的电流增加,线圈产生的铜损随之增大,反之亦然。电机运行时,铁心损耗通常称为不变损耗(不随负载变化而变化的损耗),而线圈损耗则称为可变损耗(随着负载的变化而变化的损耗)。此外,电机运行时,转子、转轴和轴承转动也会产生机械损耗,还有较难定量分析的由电机绕组端部电流、磁场变化等产生附加(杂散)损耗。电机运行分析时,这些损耗通常忽略或采用等效机械损耗在机电能量转换前扣除,以简化分析,不过这些损耗也会产生热量,使电机的工作温度升

高。对于转速恒定的电机而言,电机工作时的发热量多少主要取决于电机线圈通过电流的大小,电机负载大,电流也大,电机的发热量就多,反之则发热量少。因此从某种意义上说,电机铭牌上标注绝缘等级也是对电机负载(输出功率)的限制。

表 1-1

绝缘材料的耐热等级

耐热等级	极限温度(℃)	材料举例	耐热等级	极限温度(℃)	材料举例
Y	90	未浸渍的棉纱、丝、纸及其组合物	F	155	B 级材料经过合成胶胶合或浸渍
A	105	Y 级材料经过绝缘漆处理	H	180	B 级材料经过硅有机树脂胶合或浸渍
E	120	高强绝缘漆、环氧树脂、合成有机薄膜、青壳纸等	C	> 180	B 级材料经过高性能硅有机树脂胶合或浸渍以及云母、玻璃、陶瓷、石英等
B	130	云母、石棉、玻璃丝经有机胶胶合或浸渍			

然而电机的工作温度不仅与电机正常工作产生的损耗有关,还与电机的通风散热有关。因此电机对工作温度的限定又不能简单地理解为对电机输出功率的限定。比如,一台额定功率为 10kW 的电机,夏天在我国南方的某些地方使用时也许就只能拖动 9kW 的设备工作。而同样的这台电机,在冬天北方的某些地方也许能够拖动 10.5kW 的设备进行工作。这是因为夏天的南方环境温度较高,电机的散热不好,电机拖动 9kW 的设备工作时就可能使电机的温度达到对其所限定的允许工作温度,若不加强散热的话要拖动 10kW 的设备工作就会使电机过载从而导致电机的绝缘受到破坏。同样道理,冬天的北方气温较低,散热较好,电机拖动 10kW 的设备工作时温度与限定的允许工作温度还有一定的余量,因此可能适当增加其输出功率而不出现过载。

电机工作温度与环境温度的差值称为电机的温升。在电机的铭牌或产品手册规定的额定值中,经常可见到“额定温升”一词,所谓额定温升,其实质也是反映电机工作时对其工作温度的限定。但是使用温升概念表示电机工作温度时,由于不同地方、不同时间,环境温度是变化的,若用它