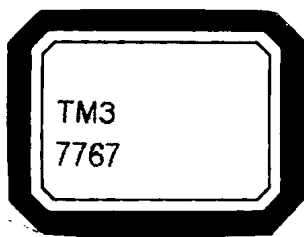


177237



高 等 学 校 教 材

电 机 学

第 三 版

东南大学 周鹗 主编

(京)新登字115号

1B

内 容 提 要

本书重点在于阐明电机的基本结构、基本工作原理和运行分析以及基本测试原理。全书共分五篇,包括:电力变压器;交流电机的共同理论;异步电机;同步电机;直流电机。针对重点内容附有例题、思考题和习题。

本书是高等院校电力自动化专业、继电保护与自动运动技术专业教材,也可供有关技术人员参考。

高等学校教材

电 机 学

第 三 版

东南大学 周鹗 主编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 30.75印张 694千字

1958年3月(上册)

第一版 1988年6月第二版

1959年10月(下册)

1995年5月第三版 1995年5月北京第三次印刷

印数 20061—27040册

ISBN7-120-02334-9/TM·607

定价17.25元

第 三 版 前 言

电力类专业教学委员会电机学教学组讨论决定,由东南大学电机教研组对原吴大榕教授所编电力类专业高等学校教材《电机学》进行再一次修订,作为第三轮高等学校电力类专业通用教材。

这次修订是按照能源部教育司核定的教学文件《电机学课程教学基本要求》进行的。

电机学是电气工程类各专业的一门主要专业基础课。课程的特点是概念多、理论性强、与工程实际联系密切。通过学习要使学生获得电机的基本理论知识、基本分析方法和基本实验技能;为进一步学习专业课和从事专业工作打下坚实的基础。这次修订的主要内容如下。

(1) 为便于学生理解、掌握电机学的基本内容,对教材中一些重点、难点问题,如交流绕组、异步电机、同步电机等基本原理的论述方法进行了改进,并结合电工技术发展修改了有关内容。

(2) 针对当前高等学校教学情况,为便于本课程教学,在绪论中增加了有关磁路的基本概念和原理等内容。

(3) 为便于自学,各章末增加一段小结;扼要提示本章的目的、主要内容、分析方法及编写思路等。

本书修订工作是在不断积累、总结本校教师在教学实践中的经验,并广泛吸取兄弟院校建议的基础上进行的。本次修订工作由周鹛教授主编,结论和直流电机部分由徐德淦教授修订,变压器部分由杜炎森副教授修订,交流电机共同理论部分由缪嘉鸿副教授和胡虔生副教授修订,异步电机部分由胡虔生副教授修订,同步电机部分由濮开贵教授修订。

本书承福州大学卓忠疆教授主审,并提出宝贵意见,在此表示衷心感谢。

编 者

1994年7月

目 录

第三版前言

第一章 绪论	1
第一节 电机在国民经济建设中所起的作用	1
第二节 电机发展简史及发展趋势	2
第三节 电机的主要类别	4
第四节 电机的基本作用原理	5
第五节 电机的制造材料	20
小结	22
思考题	23
习题	24

第一篇 变 压 器

第二章 变压器的类别和结构	26
第一节 变压器的主要类别	26
第二节 电力变压器的基本结构	27
第三节 变压器的额定值	31
第四节 变压器的发热和冷却	31
第五节 国产变压器简介	34
小结	35
思考题	36
习题	36
第三章 变压器电路理论及其运行特性	37
第一节 变压器空载运行	37
第二节 变压器负载运行	43
第三节 标么值	48
第四节 参数测定方法	49
第五节 电压变化率	53
第六节 变压器的效率	55
小结	58
思考题	58
习题	59
第四章 三相变压器的磁路和连接组	63
第一节 三相变压器的磁路系统	63
第二节 三相变压器的绕组接法	64
第三节 连接组别及标准连接组	64

第四节 三相变压器绕组连接法及其磁路系统对电势波形的影响.....	67
小结.....	69
思考题.....	70
习题.....	70
第五章 变压器的并联运行.....	71
第一节 变压器并联运行的意义及应具备的条件.....	71
第二节 变压器并联运行负载分配的实用计算公式.....	72
小结.....	74
思考题.....	75
习题.....	75
第六章 三相变压器不对称运行.....	76
第一节 基本概念.....	76
第二节 对称分量法.....	76
第三节 三相变压器的正序阻抗、负序阻抗和零序阻抗及其等效电路.....	80
第四节 三相变压器Y, yn连接单相运行.....	84
小结.....	87
思考题.....	87
习题.....	88
第七章 变压器的瞬态过程.....	89
第一节 变压器的瞬态情况.....	89
第二节 次级侧突然短路时的瞬态过程.....	89
第三节 空载合闸时的瞬态过程.....	93
小结.....	95
思考题.....	96
第八章 电力系统中的特种变压器.....	97
第一节 三绕组变压器.....	97
第二节 自耦变压器.....	105
第三节 分裂变压器.....	109
第四节 电压互感器和电流互感器.....	114
小结.....	116
思考题.....	116
习题.....	116

第二篇 交流电机的共同理论

第九章 交流电机的绕组及其电势.....	119
第一节 交流绕组的基本概念.....	119
第二节 正弦磁场下绕组的感应电势.....	122
第三节 三相单层绕组.....	128
第四节 三相双层绕组.....	132
第五节 非正弦磁场下绕组的感应电势.....	134

第六节 谐波电势的消除和减小.....	137
小结.....	138
思考题.....	139
习题.....	139
第十章 交流绕组的磁势.....	140
第一节 单相绕组的磁势.....	140
第二节 脉动磁势分解成两个旋转磁势.....	145
第三节 对称三相电流流过对称三相绕组的基波磁势.....	147
第四节 不对称三相电流流过对称三相绕组的基波磁势.....	149
第五节 磁势的空间谐波分量.....	151
小结.....	154
思考题.....	154
习题.....	155
第十一章 电机的定额、发热和冷却.....	156
第一节 电机的额定容量.....	156
第二节 电机的发热和测定温度的方法.....	157
第三节 均质固体的发热理论.....	158
第四节 电机的散热.....	160
第五节 电机的冷却方式.....	161
小结.....	162
思考题.....	162

第三篇 异步电机

第十二章 异步电机的构造及其基本作用原理.....	163
第一节 异步电动机的用途及其特点.....	163
第二节 异步电动机的构造.....	163
第三节 异步电机的基本作用原理.....	168
第四节 异步电动机的铭牌和额定值.....	169
第五节 国产异步电动机简介.....	169
小结.....	170
思考题.....	170
习题.....	171
第十三章 三相异步电机运行分析及其工作特性.....	172
第一节 主磁通和漏磁通.....	172
第二节 转子不动时的异步电机.....	173
第三节 转子转动后的异步电动机.....	176
第四节 异步电动机等效电路及其简化.....	180
第五节 异步电动机的功率平衡式和转矩平衡式.....	182
第六节 电磁转矩及机械特性.....	186
第七节 最大转矩.....	188

第八节 稳态运行范围和过载能力	189
第九节 电磁转矩简化计算公式	190
第十节 高次谐波磁场所产生的谐波转矩及其对起动的影响	192
第十一节 异步电动机的工作特性	197
小结	198
思考题	199
习题	200
第十四章 异步电动机的起动、调速和制动	204
第一节 起动电流和起动转矩	204
第二节 鼠笼式电动机的全压起动和降压起动	206
第三节 线绕转子异步电动机的起动	209
第四节 深槽式异步电动机	211
第五节 双鼠笼式异步电动机	212
第六节 异步电动机调速方法概述	214
第七节 变频调速	215
第八节 变极调速	215
第九节 改变外施电压调速	217
第十节 线绕转子异步电动机调速	218
第十一节 异步电动机制动的概念	220
小结	222
思考题	222
习题	223
第十五章 异步电机的其它运行方式及单相异步电动机	224
第一节 异步发电机	224
第二节 三相异步电动机在不对称电压下运行	225
第三节 单相异步电动机	228
第四节 两相伺服电动机	234
第五节 交流测速发电机	236
第六节 自整角机	237
小结	238
思考题	238
习题	239

第四篇 同 步 电 机

第十六章 同步电机的型式和构造	241
第一节 同步电机的基本构造型式	241
第二节 汽轮发电机的构造特点	243
第三节 水轮发电机的构造特点	246
第四节 分数槽绕组	248

第五节 同步电机的发展和国产同步电机简介.....	254
小结.....	255
思考题.....	256
习题.....	256
第十七章 同步电机的基本原理和电枢反应	258
第一节 同步电机的基本原理.....	258
第二节 同步电机的空载磁势.....	259
第三节 对称三相负载时同步电机的电枢反应.....	261
第四节 不计磁路饱和时隐极同步发电机分析方法.....	266
第五节 凸极同步电机的电枢反应——双反应理论.....	270
第六节 不计磁路饱和时凸极同步发电机的分析方法.....	271
第七节 电枢反应磁势的折算.....	274
第八节 电枢绕组的漏抗.....	276
小结.....	277
思考题.....	277
习题.....	278
第十八章 同步发电机对称运行时的特性	279
第一节 同步发电机的基本特性.....	279
第二节 同步发电机的空载特性.....	279
第三节 同步发电机的短路特性.....	281
第四节 负载特性曲线.....	282
第五节 同步电抗的实验测定.....	284
第六节 短路比.....	286
第七节 漏抗的测定和保梯电抗.....	286
第八节 同步发电机的外特性和调节特性.....	289
第九节 求取电压变化率及额定激磁电流.....	290
小结.....	294
思考题.....	294
习题.....	294
第十九章 同步发电机在大容量电网上的运行、同步电动机	297
第一节 同步发电机的并联运行.....	297
第二节 同步发电机的整步.....	297
第三节 隐极式同步电机的功角特性.....	299
第四节 凸极式同步电机的功角特性.....	303
第五节 有功功率调节、静态稳定和动态稳定的概念.....	306
第六节 无功功率的调节和V形曲线.....	309
第七节 同步电动机的基本特性.....	313
第八节 同步电动机的起动.....	317
第九节 同步补偿机.....	320
第十节 同步电机各种运行情况小结.....	321

小结.....	322
思考题.....	322
习题.....	323
第二十章 同步发电机的不对称运行.....	327
第一节 同步发电机的不对称运行.....	327
第二节 同步电机的各序阻抗与等效电路.....	328
第三节 同步发电机的单相稳定短路.....	332
第四节 同步发电机的两相稳定短路.....	333
第五节 同步发电机的两相对中点稳定短路.....	335
第六节 同步发电机单相稳定短路时的电枢反应.....	338
小结.....	339
思考题.....	339
习题.....	339
第二十一章 同步电机的突然短路.....	340
第一节 磁链守恒原理和突然短路的物理概念.....	340
第二节 同步电机的瞬态电抗和超瞬态电抗.....	344
第三节 三相突然短路电流.....	348
第四节 时间常数.....	350
第五节 不对称突然短路的概念.....	354
小结.....	356
思考题.....	356
习题.....	357
第二十二章 同步电机的振荡.....	359
第一节 振荡的物理概念.....	359
第二节 转矩平衡方程式.....	360
第三节 同步电机的自由振荡.....	363
第四节 同步电机的强制振荡.....	365
小结.....	367
思考题.....	368
习题.....	368
第二十三章 同步电机的损耗和效率、发热和冷却以及励磁方式.....	369
第一节 同步发电机的损耗和效率.....	369
第二节 同步发电机的发热和冷却.....	370
第三节 同步发电机的励磁方式.....	375
第四节 励磁系统中的中频发电机.....	380
思考题.....	382

第五篇 直 流 电 机

第二十四章 直流电机的作用原理和构造.....	384
第一节 直流电机的工作原理.....	384

第二节 直流电机的基本结构.....	385
第三节 电枢绕组概论.....	389
第四节 叠绕组.....	393
第五节 波绕组.....	396
第六节 电枢绕组的感应电势和电磁转矩.....	401
小结.....	404
思考题.....	405
习题.....	405
第二十五章 空载磁场和电枢反应.....	408
第一节 空载时直流电机的磁场.....	408
第二节 主磁路计算的基本原理.....	409
第三节 电枢电流产生的磁势.....	419
第四节 有负载时空气隙中的磁势和磁场.....	422
第五节 交轴电枢反应和直轴电枢反应.....	425
第六节 电枢反应对电机运行的影响.....	426
小结.....	429
思考题.....	429
习题.....	430
第二十六章 直流发电机.....	432
第一节 直流电机按励磁方式的分类.....	432
第二节 自励发电机的电压建起过程.....	432
第三节 直流发电机的电压、功率和转矩平衡方程式.....	435
第四节 他励发电机的特性.....	438
第五节 并励发电机的特性.....	439
第六节 串励发电机的特性.....	441
第七节 复励发电机的特性.....	442
小结.....	444
思考题.....	445
习题.....	445
第二十七章 直流电动机.....	448
第一节 直流电动机的电压、功率和转矩平衡方程式.....	448
第二节 机械特性及稳定运行条件.....	449
第三节 直流电动机的工作特性.....	451
第四节 直流电动机的起动.....	457
第五节 直流电动机的调速.....	461
第六节 直流电动机制动的概念.....	463
第七节 各种直流电动机的应用范围.....	464
小结.....	464

思考题.....	465
习题.....	466
第二十八章 直流电机的换向.....	469
第一节 换向的基本概念.....	469
第二节 换向电路分析.....	470
第三节 换向时刷面下火花的分析.....	474
第四节 改善换向的方法.....	476
小结.....	479
思考题.....	479
习题.....	480

第一章 绪 论

第一节 电机在国民经济建设中所起的作用

电能是能量的一种形式。电的现象很早就已发现，但是电能工业及人类生活中的广泛应用，还是从19世纪初，奥斯特、法拉第先后发现了电磁感应现象，提出了著名的电磁感应定律开始的。人们为了生产和利用电能，积极致力于电机和电力工业的研究开发，由不知到知，由初级到高级，在19世纪末期，已初具规模。与各种形式的能量相比，电能具有明显的优越性，它适宜于大量生产、集中管理、远距离传输和自动控制。各种电机的类型和性能很不相同，但是它们都是一种能量转换装置。例如把煤炭、天然气、水力、风力等自然界中的储能释放出来，转换成机械能，再用电机就可以把机械能转换为电能；反之，在有电源供电情况下，电机也能将电能转换为机械能。一百多年来，电机和电力工业的发展历史说明，电机工业在国民经济建设中具有重大意义，它在电力工业、各类工矿企业、农业、国防、交通运输、日常生活各个方面都占有重要地位。

电力工业的发展是以电机制造业的发展为基础的。例如在热力发电厂中，锅炉使燃料中的能量释放出来，对水加热，产生高压高温蒸气；蒸气进入汽轮机，使热能变为机械能，带动发电机转子旋转，而发电机则把机械能转换为电能。显然，没有发电机，就没有电能的大规模生产，它是电力系统中最关键的电气设备。此外，发电厂一般多位于燃料或水力资源开发区域，地处偏僻，这样，就需要把大量电能远距离地输送出去，这时需要用变压器将电压升高，以利经济运行，为了安全用电，在用电区域又要用变压器将电压降低。电力系统及电网需要变压器的总容量，达发电设备总容量的7~8倍。

在工矿企业和农业生产中需要大量的电动机。机械工业中各种工作母机都须由一台或多台不同容量的电动机来拖动和控制，磨床用电机的转速可达每分钟数万转，甚至更高，有些机床需用多速可控电动机；冶金工业中高炉、转炉和平炉都需用多台电动机来驱动，大型轧钢机要用5000kW或更大功率的直流电机；化学工业要用几百千瓦的异步机或同步机拖动压缩机。对特定用途电机的性能与对一般用途电机的要求不同。例如：石油、煤矿中的电机要防爆、防腐蚀；轻纺工业中用的电机要防尘、防潮；化工中的电机要防碱、酸及各类气体的腐蚀等。显然，各种不同的工作机械要求有不同容量、不同电压、不同起动性能和不同调速性能的电机。各类企业中的车间供电、运输传送、吊车起动、抽水鼓风、粉碎搅拌；交通运输中的城市电车、铁道列车牵引；农业中的电力排灌、农产品加工等无一不需要电机来驱动。随着工业企业电气化、自动化、电脑化的发展，还需要众多的各种容量的精密控制电机，作为整个自动控制系统工作中的重要元件。

第二节 电机发展简史及发展趋势

一、电机的发展简史

电机的发展可以分为二个时期，第一个时期是从发现电磁感应现象开始，直到19世纪末和本世纪初，当各种电机和变压器的基本型式已经具备时为止。第二个时期是从本世纪初直到现在。前者可称为电机初期发展时期，后者可称为近代发展时期。前期又可分为四个阶段，即：①电磁感应定律的发现；②直流电机的发展；③单相交流电的应用；④三相交流电的应用。

（一）电磁感应定律的发现

18世纪中叶开始了第一次世界工业革命，这之前由于地理上的大发现，世界市场日益增大，以手工业为基础的工场工业已远远不能满足市场的需要，为了利润及扩大生产，必须进行技术革命。这次变革是在当时生产最发达的英国首先发生的，从棉纺织业开始，影响各个行业，波及各国。主要是以机器大生产代替工场手工业，把社会推进到机器时代，而它的主要标志是蒸气机的广泛使用。

随着生产力的发展，由于蒸气动力在输送和管理上的不便，它已不能满足进一步发展的需要，迫使人们寻找新的能源和动力。在这一时代背景下，电磁学得到了兴起和发展。人们已长期积累了有关电磁现象的丰富知识，在此基础上，1821年，法拉第表演了电流位于磁场中产生机械力的实验，发现了电动机作用原理，不久就制成了原始型式的电动机。之后，1831年法拉第提出了电磁感应定律，出现了各种各样原始型式的发电机。人们掌握了电能和机械能可以互相转换的规律，使得在生产中大规模地使用电能有了可能。

（二）直流电机的发展

电能工业上最早的应用是供给照明和电化学工业的需要，所以，最初发展的电机是直流发电机。在19世纪40年代到70年代期间，直流发电机发展很快。在励磁方面，1845年就用电磁铁代替永久磁铁，而在1867年就制成了自励发电机。在电枢结构方面，1870年就制成了环形电枢，到1873年发展为鼓形电枢，至此，直流电机的结构已具备了现代直流电机的基本型式。

直流电动机最初由电池供电，后来改为直流发电机供电，由于电源问题，它的发展受到限制。在1882年建成了第一条直流输电线路，虽然系统的容量、电压等级和输送距离都很有限，但是它指明了广泛应用电能的宏伟远景。

（三）单相交流电的应用

为了把较大的电功率输送至较远的距离，在19世纪70年代人们就尝试用交流电传输电能，1876年，交流电已被应用于照明装置。不久有原始型式的同步发电机及变压器相继出现，都为单相交流系统的发展奠定了基础。当时，变压器的磁路是开启式的，直到1884年，闭合磁路的变压器制成，并得到推广使用，使单相交流电的应用得到了迅速发展。

（四）三相交流电的应用

在单相交流电源供电情况下，单相交流电动机无法自行起动，必须用其它方法起动，

然后才能自行产生转矩,继续运转。不久,两相电流能产生旋转磁场的原理被发现,1885年制成了二相交流异步电机的模型,后来也得到了一定的应用。但是直到1889~1897年,经一系列的研究与实验,才终于制成了三相电动机和三相变压器,建成了第一个三相交流输电系统。它的优越性立即被公认,很快取代了两相制,由此奠定了交流三相制在工业上被广泛应用的基础。接着,交流三相制发电厂迅速发展起来,高速运转的汽轮发电机也就代替了以蒸气机为原动机的发电机。19世纪后半叶,由电磁学的发展所引起的一连串重大的科学技术成就,把社会生产力推进到电力时代,在社会进步史上称之为第二次技术革命。

交流输电系统的建成,是电力工业、电机工业发展的一个重要阶段。进入20世纪以后,在电气化基础上,大型工业企业不断集中,并且发展迅速,要求传输的功率不断加大,距离延伸,电气设备在不断经历着巨大的变革。

二、电机的发展趋势

电机的近代发展及今后发展的主要趋势有以下几个方面。

(一) 单机容量不断提高

随着科学技术水平不断提高,电力工业不断发展,发电机和变压器的单机容量不断增大,这是电机制造工业中的重要趋势。一台发电机的重量、所需材料、损耗和造价等与电机本身的容量并不是成正比例的。机组容量大时,单位容量的用料省、损耗小、造价低。同时,单机容量大,电站机组数就少,工作人员也少,厂房面积也可缩小,又可节约基建投资及维护费用。

二十世纪以来,发电机单机容量不断提高的情况可以用汽轮发电机为例加以说明。在1900年,不超过5MVA;到1920年,转速为3000r/min的电机容量达25MVA,转速为1000r/min的达6MVA。1937年应用空气冷却的电机达100MW。氢气冷却在1928年初次用于同步补偿机,在1937年推广到汽轮发电机,应用氢冷后,转速为3000r/min的电机容量上升到150MW。之后,冷却技术继续发展,采用了导体内部用气体或液体冷却的措施,单机容量可以大为提高。1956年制成了定子导体水内冷、转子导体氢内冷的208MW汽轮发电机,1960年容量上升到320MW。目前,世界上汽轮发电机的单机容量已突破1000MW。定子和转子都采用水内冷的技术首先在我国取得了重大成果,以后,不少其它国家也研制过。

水轮发电机和电力变压器的发展也有类似情况。

单机容量的提高与冷却技术的发展,绝缘、硅钢片、转子钢材等有效材料和结构材料性能的改进,设计和工艺水平的提高等都有密切关系。今天,超导技术在发展,这对单机容量限制的突破会起重要作用。

(二) 中小型电机技术和经济指标不断改进

当前,已广泛应用计算机对电机进行设计和分析。计算机辅助设计可以大大缩短计算时间,在优化设计基础上可以得到最佳设计方案。计算机计算时,可以建立足够精确的电机数学模型,使计算结果与电机实际性能很接近,这可以减少样机试制工作量,加速新产品开发。除设计技术进一步完善外,新工艺和新的测试方法不断出现,生产过程自动化受

到很大重视，新型磁性、绝缘等材料的研制，都可以促进电机性能指标和产品经济效益的提高。

我国在中小型电机生产方面，解放以来已从过去的仿制转入自行设计和进一步发展阶段，建立了研究机构，形成了比较完整的工业体系，完成了各类中小型电机的系列设计。

（三）应用范围不断扩大

为适应各种不同工作要求，电机的系列和品种也愈来愈多。除一般用途电机外，还有特定用途电机，如潜水电机、防爆电机、船舶电机、纺织用电机、矿用电机、林业用电机等。它们常在某些特定的环境条件下运行，例如易燃易爆、有腐蚀性气体和粉尘、辐射、虫蛀等，或者电源为非标准的，电机负载呈周期性变化等。还有特殊用途电机，如高速电机、计时电机、陀螺电机等，以及在控制系统中用作检测或伺服元件的各种微型控制电机等。后者的工作特性较为特殊，一般对它们的性能精度和动态特性等要求较高，在体积和重量方面也有严格限制。此外，一些新型结构电机，如印制绕组电机、无刷电机、各类永磁电机等也都在迅速发展。世界上对小型驱动电机需要量很大，各工业发达国家每年生产量达数千万台，甚至上亿台。这一方面显示了社会生产发展的需要，另一方面也说明日常生活所用微型电机的数量猛增。

60年代以来，由于电力电子学的迅速发展，大电流耐高压晶闸管的出现，促使许多大容量同步电机的励磁改用晶闸管励磁系统。这类装置体积小、质量轻、效率高，发电系统的性能和可靠性也得到提高。当前，国内外都有高压直流输电线路在运行，在直流和交流系统连网处的换流站，需要用整流逆变装置。此外，利用晶闸管可做成可控大容量直流电源或可控变频装置，在电动机调速和控制系统中应用，有利于电机的平滑、宽范围、高效率的调速运行。采用电子线路控制后，交流异步机的调速性能可得到很大改进。电力电子技术的发展，为电机运行、电力驱动开辟了新的途径。

显然，电机学科历史悠久，有系统的理论和丰富的工程实践。长期以来，它在国民经济建设中起着重大的作用，随着生产的发展和科学技术水平的提高，它本身的内容也在不断地深化和更新。

第三节 电机的主要类别

电机本身是转换能量的装置，必须一方面有能量输入，另一方面才会有能量输出。电机的容量即以该机在每单位时间里所能传递的能量来量度。每单位时间内所输入的能量称为输入功率，每单位时间输出的能量称为输出功率，功率的单位通常用W、kW或MW来表示。当功率通过电机时，不可避免地要有一些内部损耗。因此，任一电机的输出功率总比输入功率小。设以 P_1 表示电机的输入功率， P_2 表示电机的输出功率，则其比值 $\eta = P_2/P_1$ ，就称为电机的效率。

电机的基本作用原理在于电磁感应，所以在任何电机中都必须有一闭合的磁路和两个或两个以上的电路相交链。电机中的功率传递，就是通过有关电路中磁链的变化来

成的。

和机械功率有关的电机都必须有机械运动，通常是旋转运动。发电机把机械功率转变为电功率，电动机把电功率转变为机械功率，它们统称为旋转电机。旋转电机都有一静止部分，叫做定子；又有一旋转部分，叫做转子。既然有相对运动，定子和转子之间必须有一空气隙。在空气隙中的磁场分布和变化规律与电机中的功率转换和传递有着密切关系。为了解各种电机的运行特征，对于空气隙中的磁场在空间如何分布，随时间如何变化，以及随负载如何改变等，都必须充分了解。关于各种电机空气隙磁场的变化情况，在讨论到各种电机时再详细说明。

按照电机在应用中的职能来分，电机可以分为下列各类。

- (1) 将机械功率转换为电功率——发电机。
- (2) 将电功率转换为机械功率——电动机。
- (3) 将电功率转换为另一种形式的电功率，又可分为：①输出和输入有不同的电压——变压器；②输出与输入有不同的波形，如将交流变为直流——变流机；③输出与输入有不同的频率——变频器；④输出与输入有不同的相位——移相器。
- (4) 不以功率传递为主要职能，而在电气机械系统中起调节、放大和控制作用的各种微型控制电机。

按照所应用的电流种类，电机可以分为直流电机和交流电机。

电机还可按同步速度来分，同步速度决定于该电机的极数和频率，同步速度的确切意义将在后文说明。电机按速度分类如下。

- (1) 没有固定的同步速度——直流电机。
- (2) 静止设备——变压器。
- (3) 作为电动机运行时，速度永远较同步速度为小，作为发电机运行时，速度永远较同步速度为大——异步电机。
- (4) 速度等于同步速度——同步电机。
- (5) 速度可以在宽广范围内随意调节，可以从同步速度以下调至同步速度以上——交流换向器电机。

各种控制电机可分别归入以上各类中。

从理论体系来看，后一种分类方法较为合理，因为依据电机可逆性原理，发电机和电动机并不能作为不同类别，而只是同一电机的两种不同运行方式。

第四节 电机的基本作用原理

电机是通过电磁感应原理来实现能量变换的机械，因此，电和磁是构成电机的两大要素，缺一不可。电在电机中主要是以路的形式出现，即由电机内的线圈、绕组构成电机的电路。电机电路的理论未超出先修课“电路”的内容，这里就不再重复了。磁在电机中是以场的形式存在的，一般工程分析计算时，为了方便，才将磁场简化为磁路来处理。与电路相比，无论是磁路或磁场，同学们相对接触较少，比较生疏。因此，有必要在先修课的

基础上, 对它们作一简要回顾并给以适当的延伸。

一、磁场、磁感应强度

运动电荷(电流)的周围空间存在着一种特殊形态的物质, 人们称之为磁场。磁场可由位于该空间的载流导体所受到的一种力——洛伦兹力来确定它的存在及了解它的性质。具体说来, 上述洛伦兹力 dF 可表示为

$$dF = IdlB \quad (1-1)$$

式中: I 表示载流导体中的电流, A; dl 是导体微小单元长度, m; dF 为该微小导体单元上受到的电磁力, N; 而 B 是我们定义来说明导体单元 dl 所在空间的磁场性质的一个基本物理量, 称为磁感应强度, 它是一个矢量。

二、磁感应线、磁通量

在给定的磁场中某一点的磁感应强度 B 的大小和方向都是确定的。若设想用假想存在的曲线来表示磁场的分布, 则应规定曲线上的每一点的切线方向就是该点的磁感应强度 B 的方向。这样的曲线叫做磁感应线或磁力线、 B 线。要注意, 磁感应线是人为地设想出来、画出来的, 并非磁场中真的有这种线存在。

图1-1表示了长导线、环形导线和螺线管载流时的磁感应线的图形, 由图可见, 磁感应线具有以下特性。

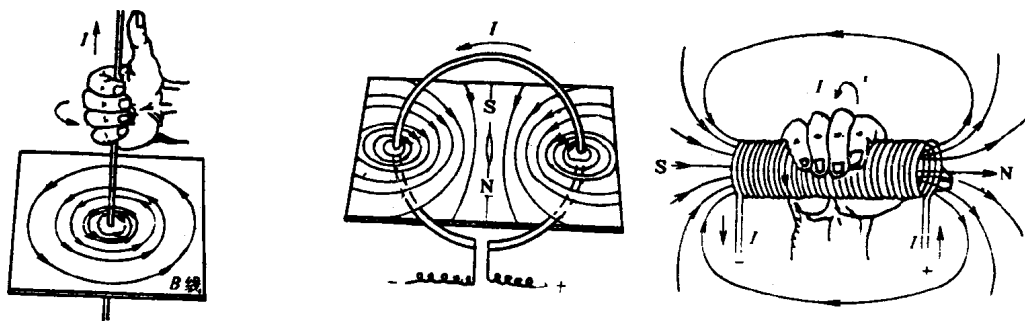


图 1-1 载流长导线、环形导线和螺线管的磁感应线

- (1) 磁感应线的回转方向和电流方向之间的关系遵守右手螺旋法则。
- (2) 磁场中的磁感应线不会相交, 因为磁场中每点的磁感应强度的方向是确定的、唯一的。
- (3) 载流导线周围的磁感应线都是围绕电流的闭合曲线, 没有起点, 也没有终点。

为了使磁感应线不但能表示磁场的方向, 而且能描述磁场各处的强弱, 人们以磁感应线的疏密程度来表示该处磁感应强度 B 的大小, 对磁感应线的密度规定如下: 通过磁场中某点处垂直于 B 矢量的单位面积上的磁感应线数目(磁感应线密度)等于该点 B 的数值。因此, 磁场强的地方, B 大, 磁感应线密; 磁场弱的地方, B 小, 磁感应线稀。对均匀磁场来说, 磁场中的磁感应线相互平行, 各处的磁感应线密度相等; 对非均匀磁场来说, 各条磁感应线相互不平行, 各处的磁感应线密度不相等。