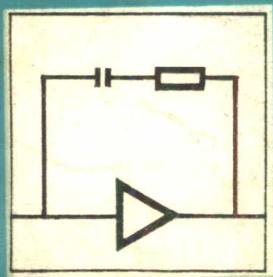
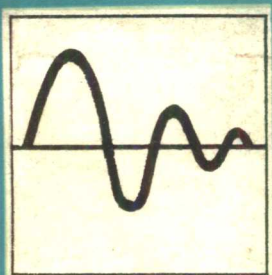
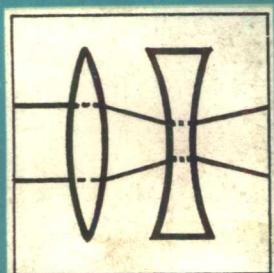


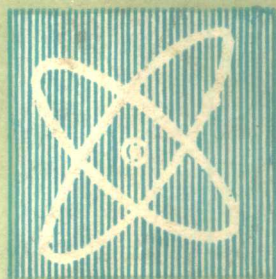
高等学校试用教材



电机设计

上册

西安交通大学陈世坤 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

电机设计

上册

西安交通大学陈世坤 主编



机械工业出版社

电 机 设 计

上 册

西安交通大学陈世坤 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117号)

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 19 · 字数 463 千字

1982 年 1 月北京第一版·1983 年 10 月北京第三次印刷

印数 8,501—15,300 · 定价 1.95 元

*

统一书号: 15033 · 5084

前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会精神, 和 1978 年 6 月在长沙召开的电机专业教材会议制订的《电机设计》编写大纲进行编写的。

全书共分十四章。前十章为基础理论部分, 包括电机的电磁计算, 冷却和发热计算, 结构设计和机械计算, 噪声和振动以及电子计算机在电机设计中的应用; 后四章分别叙述直流电机、异步电机、凸极同步电机及隐极汽轮发电机的电磁设计方法。本书在理论联系实际的同时, 注意加强了基础理论的阐述, 并力求做到阐明物理概念。为了尽可能满足高等院校教学和电机专业工程技术人员的需要, 本书中适当增添了一些既结合我国生产实际, 又反映国内外新技术、新动向的内容, 如电子计算机在电机设计中的应用、电机的噪声和振动、单双层绕组、Y- Δ 混合联接绕组、永磁电机设计原理、单绕组多速电机的设计特点等。书中把一些比较深入的内容如交流电机定子绕组的换位、异步电机的槽配合、磁饱和对气隙磁场波形的影响、轴电流产生的原因和防止措施以及电机中载流导体所受到的电磁力等等, 有的编入附录, 有的为了照顾系统性仍编入本文, 由读者结合需要选读。另外在附录内还编入了应用电子计算机进行设计时必需的数值计算的基本方法, 以供参考。

全书分上、下两册出版, 上册包括前十章, 下册包括后四章及附录。

本书由西安交通大学副教授陈世坤主编, 华中工学院林金铭教授主审。参与编写的有: 哈尔滨电工学院黄士鹏和何琰同志, 武汉工学院李学婧同志, 西安交通大学宋文谦、周希贤、邱贤锟、丁梵林和沈官秋等同志。

书稿编写的分工如下: 丁梵林同志编写第一、二、八章及附录 IV; 邱贤锟同志编写第三章; 周希贤同志编写第六、七章; 沈官秋同志编写第九章; 何琰同志编写第十章及附录 I; 李学婧同志编写第十一、十四章; 黄士鹏同志编写第十二章; 宋文谦同志编写第十三章及附录 II; 陈世坤同志编写第四、五章及附录 III, 并对全书作了统稿修改。本书还承华中工学院林金铭教授进行了仔细审阅, 在此表示深切谢意。

本书可作为高等院校电机专业的试用教材, 也可供研究生及有关工程技术人员参考。

25886

N

电
机
设
计
上
册

统一书号: 15033 · 5084

定 价: 1.95 元

目 录

上 册

第一章 概论	1	§ 3-5 磁极漏磁系数与磁极磁位降的 计算	41
§ 1-1 电机制造工业的近况与发展趋势	1	一、磁极漏磁系数	41
一、我国电机制造工业的发展概况	1	二、磁极磁位降的计算	43
二、国外电机制造工业的近况与发展 趋势	3	§ 3-6 励磁电流和空载特性计算	43
§ 1-2 电机设计的任务与过程	7	一、感应电势和气隙磁通	43
一、电机设计的任务及设计时给定的 数据	7	二、每极励磁磁势	44
二、电机设计的过程和内容简介	8	三、励磁电流和空载特性	44
§ 1-3 国家标准	9	§ 3-7 齿部与轭部磁位降对气隙磁场 分布的影响	45
第二章 电机的主要尺寸	10	一、齿部磁位降对气隙磁场分布的影响	45
§ 2-1 电机主要尺寸和额定功率及转 速间的关系	10	二、齿联轭磁位降对气隙磁场分布的 影响	47
§ 2-2 电机中的几何相似定律概述	13	§ 3-8 永磁电机磁路计算的特点	49
§ 2-3 电磁负荷的选择	14	一、永磁材料的特性	49
一、电磁负荷对电机性能和经济性的 影响	14	二、永磁电机磁路系统简介	51
二、电负荷 A 和气隙磁密 B_g 的选择	16	三、磁钢的一般工作状态——工作点	52
§ 2-4 电机主要尺寸比的选择及主要 尺寸的确定	17	四、外磁路空载工作线与负载工作线 的具体决定方法	54
一、主要尺寸比的选择	17	五、小结	55
二、主要尺寸的确定	19	第四章 参数计算	57
§ 2-5 系列电机及其设计特点	20	§ 4-1 绕组电阻的计算	57
第三章 磁路计算	24	一、直流电机	58
§ 3-1 概述	24	二、异步电机	58
一、磁路计算所依据的基本原理	24	三、同步电机	60
二、电机中常用的磁性材料	25	§ 4-2 电抗的一般计算方法	60
§ 3-2 空气隙磁位降的计算	25	§ 4-3 主电抗计算	61
一、计算极弧系数 α_p 的确定	26	§ 4-4 漏抗计算	64
二、电枢或气隙的轴向计算长度 l_{ef}	28	一、槽漏抗计算	64
三、气隙系数 K_g	30	二、谐波漏抗计算	70
四、极轭间残余气隙磁位降的计算	32	三、齿顶漏抗计算	73
§ 3-3 齿部磁位降的计算	32	四、端部漏抗计算	74
一、齿磁密 B_t 的计算	32	§ 4-5 漏抗标么值	77
二、齿的磁路计算长度 L_t	36	§ 4-6 挤流效应对电机参数的影响	78
§ 3-4 轭部磁位降的计算	37	一、概述	78
一、极联轭磁位降的计算	37	二、交流电机定子绕组考虑挤流效应 后的参数修正系数	79
二、齿联轭的磁位降计算	37	三、异步电机鼠笼绕组的挤流效应	85

四、直流电机电枢绕组的挤流效应	86	§ 6-3 风扇	124
§ 4-7 饱和对电机参数的影响	87	一、概述	124
§ 4-8 斜槽漏抗计算	89	二、理想的离心式风扇所产生的压力	124
第五章 损耗与效率	92	三、理想的离心式风扇的外特性	127
§ 5-1 概述	92	四、实际离心式风扇的外特性和功率	128
§ 5-2 基本铁耗	92	五、离心式风扇的计算要点	130
一、磁滞损耗	92	六、轴流式风扇的工作原理	131
二、涡流损耗	93	七、轴流式风扇的外特性	132
三、轭部(齿联轭)及齿部的基本铁耗	94	八、风扇的联合运行	133
§ 5-3 空载时铁心中的附加损耗	96	§ 6-4 径向通风系统中转子上其它风 压元件参数的近似计算法	134
一、直流机及同步机整块(或实心) 磁极的表面损耗	97	§ 6-5 电机通风系统的计算举例	135
二、叠片磁极及异步机中的表面损耗	99	一、概述	135
三、异步机齿中的脉振损耗	100	二、计算举例	135
§ 5-4 电气损耗	101	第七章 发热计算	139
一、绕组中的电气损耗	101	§ 7-1 电机允许的温升限度	139
二、电刷接触损耗	101	一、概述	139
§ 5-5 负载时的附加损耗	102	二、我国采用的电机温升限度	139
一、凸极同步电机负载时的附加损耗	102	§ 7-2 传热的基本定律	142
二、异步电机负载时的附加损耗	106	一、概述	142
三、直流电机负载时的附加损耗	109	二、热传导定律	142
§ 5-6 机械损耗	109	三、热传导方程	144
一、轴承摩擦损耗	109	四、对流和辐射散热	146
二、通风损耗	110	五、牛顿散热定律和散热系数	147
三、轴承摩擦和通风损耗 p_{fw}	110	§ 7-3 电机稳定温升的计算	148
四、电刷(与换向器或集电环间的)摩擦 损耗	112	一、电机中的温度分布	148
§ 5-7 效率	113	二、用热路法计算电机的平均温升	150
第六章 电机的冷却	114	三、用简化法计算电机的平均温升	154
§ 6-1 电机的冷却方式	114	§ 7-4 电机不稳定温升的计算	155
一、概述	114	一、概述	155
二、空气冷却系统	114	二、一个等温发热体不稳定温升的计算	156
§ 6-2 关于流体运动的基本知识	116	三、二个等温发热体不稳定温升的计算	158
一、概述	116	第八章 结构设计和机械计算	161
二、流体运动中常用名词介绍	117	§ 8-1 电机的基本结构型式	161
三、理想流体的运动方程(伯努利方 程)	118	一、总体结构的分类	161
四、毕托管测量流速的原理	119	二、主要类型电机的典型结构简述	163
五、实际流体在管道中运动时的损耗	119	§ 8-2 结构设计的基本内容、原则和方法	182
六、管道的流阻和风阻	121	一、结构设计的基本内容和原则	182
七、流阻或风阻的串联和并联	122	二、结构设计的方法	183
八、流体通过管道所需的功率	123	§ 8-3 机座的机械计算	184
		一、概述	184
		二、机座的刚度计算	185

§ 8-4 转轴的机械计算	187	§ 9-4 直流电机的电磁振动和噪声	225
一、概述	187	§ 9-5 电机定子和转子的固有振动特性	227
二、单边磁拉力	188	一、电机定子的固有振动频率的计算	227
三、转轴的挠度计算	190	二、定子转矩振动特性的计算方法	229
四、轴的强度计算	194	三、电机转子的固有振动特性	232
§ 8-5 换向器的机械计算	195	四、电机轴系的扭振	235
一、概述	195	§ 9-6 电机的机械振动和噪声	237
二、拱形换向器的机械计算	196	一、转子机械不平衡产生的振动和噪声	237
三、塑料换向器的机械计算	206	二、轴承的振动和噪声	238
第九章 噪声和振动	209	三、端盖的轴向振动和噪声	239
§ 9-1 电机噪声的一般知识	209	四、电刷装置的振动和噪声	239
一、什么是噪声	209	§ 9-7 电机的空气动力噪声	240
二、噪声的物理量度	209	一、风扇噪声	240
三、噪声的测量	212	二、转子旋转所产生的噪声	241
四、噪声的容许标准	213	三、电机通风噪声级的估算	241
§ 9-2 异步电动机的电磁振动和噪声	214	第十章 电子计算机在电机设计计算中	
一、定子绕组和转子绕组的磁势	215	的应用	243
二、气隙磁导	216	§ 10-1 概述	243
三、气隙磁场	216	§ 10-2 曲线和图表的数学处理方法	245
四、气隙磁场产生的径向力	217	一、曲线和图表的近似表达式	245
五、异步电动机槽数的选择	219	二、插值法及其应用	247
六、斜槽对电磁振动和噪声的影响	219	三、齿饱和时, 齿槽并联磁路的计算	252
七、气隙偏心对电磁振动和噪声的影响	219	§ 10-3 电机设计的框图与源程序的编制	256
八、磁路饱和对电磁振动和噪声的影响	220	一、数学公式的整理	256
九、二倍转差频率的电磁振动和噪声	221	二、框图的作用和编制原则	259
§ 9-3 同步电机的电磁振动和噪声	223	三、变量的确定, 已知数据输入和方案选择	263
一、气隙主波磁场产生的电磁振动	223	四、电机设计的框图和说明	264
二、凸极电机中 $q = \text{分数}$ 时, 定子次谐波磁场与转子主波磁场相互作用产生的电磁振动	223	五、根据框图编写源程序	265
三、凸极电机中 $q = \text{整数}$ 时, 因定子和转子高次谐波磁场相互作用而产生的电磁振动	224	§ 10-4 设计的最优化	273
四、凸极电机空载时的电磁振动	224	一、电机设计的数学模型	273
		二、最优化的数学方法	275
		三、用直接法解非线性最优化问题	283
		四、约束非线性最优化问题概述	292

第一章 概 论

§ 1-1 电机制造工业的近况与发展趋势

一、我国电机制造工业的发展概况

解放前,我国电机制造工业极端落后。解放后,在党中央的英明领导下,电机工业获得了迅速发展,产品的品种、数量不断增加,技术水平逐步提高。五十年代以仿制国外产品为主,六十年代开始即走上自行设计的道路;五十年代初期只能生产一般中小型电机,不久即能制造大型发电设备和特殊用途电机。与此同时,新技术、新材料、新结构和新工艺的应用日益广泛;电机工业的布局也更加合理,不仅沿海地区的电机工业有了发展,内地也陆续新建了一批电机工厂。下面简要介绍我国电机制造工业的发展概况。

(一) 产品品种、规格不断增加,单机容量迅速增长,技术经济指标逐步有所提高

以发电设备而言,继第一台 6000 千瓦空冷汽轮发电机(56 年)、10000 千瓦空冷水轮发电机(55 年)和 12000 千瓦双水内冷汽轮发电机(58 年)诞生之后,先后制成 100 兆瓦双水内冷(60 年)和氢内冷(66 年)、125 兆瓦(69 年)与 200 兆瓦双水内冷(72 年)、200 兆瓦水氢冷(72 年)和 300 兆瓦双水内冷(72 年)汽轮发电机,以及 225 兆瓦空冷(64 年)、300 兆瓦双水内冷(72 年)与空冷(77 年)水轮发电机,并正在研制 600 兆瓦汽轮发电机。国产汽轮发电机在不长时间内,就从空冷、氢冷发展到双水内冷和水氢冷,从而掌握除全氢冷以外,大型汽轮发电机各种主要冷却方式的应用。其次,通过大小水电站的兴建,基本掌握了各种主要类型水机组的设计和制造技术,其中产量较多、发展较快的是混流式机组,最大单机容量已达 300 兆瓦;转桨式机组最大则达 170 兆瓦。此外还生产了 12500 千瓦冲击式、15000 千瓦斜流式、1600 千瓦贯流式和 15000 千瓦蓄能机组等。

在大型交直流电机方面,已制成的重大产品有:6300 千瓦、2 极笼型转子异步电动机,4000 千瓦、2 极绕线转子异步电动机,2000/1250 千瓦、3 千伏、370/295 转/分大型变速异步电动机;16000 千瓦、16 极同步电动机,6300 千瓦、1500 转/分整块(或称实心)磁极同步电动机,3000 千瓦、40 极立式同步电动机及 250 兆伏安双水内冷同步调相机;4600 千瓦、70/120 转/分、额定转矩为 627.8 千牛·米的单枢可逆转直流轧钢电动机,5000 千瓦、500 转/分直流发电机,8000 千瓦、40/60 转/分双枢可逆转直流轧钢电动机,3300 千瓦、500 转/分矿井卷扬直流电动机,4600 千瓦、80/160 转/分、额定转矩为 549.4 千牛·米的单枢非逆转直流轧钢电动机,6500 千瓦、90/180 转/分双枢非逆转直流轧钢电动机,600 千瓦、12000 安、50 伏真空电弧炉用低压直流发电机,480 千瓦、330 伏、3000 转/分高速直流电动机,470 千瓦、280 伏、3000 转/分高速直流励磁机,以及 25000 千瓦、460 伏、54300 安、368 转/分、 3×0.3 秒定额大型冲击直流发电机。

自从 1953 年进行第一次全国统一设计后,我国中小型电机的生产开始摆脱过去的混乱局面,走上统一和系列化的道路。据初步统计,到 1974 年止,我国已有 72 个中小型电机系列共 531 个品种,其中除一般电机或基本系列外,还有防爆、船用、潜水、单绕组多速、力

矩、起重冶金、高起动转矩、辊道、电磁调速、热带型、屏蔽电机、磁阻式同步电动机及永磁电机等许多派生系列和专用系列。个别系列采用了铝线绕组，例如不少地区生产了JO2铝线异步电机，上海地区生产定子采用铝线的Z3系列直流电机；JS2、JR2系列（低压部分）中型铝线异步电机也已进行了样机试制。此外，还研制了中小型无槽直流电机、可控硅供电直流电动机、潜油电机、钻探电机、谐波励磁同步发电机等多种新产品。目前除某些特殊品种外，中小型电机已能基本上满足国民经济各部门的需要。中小型电机的技术经济指标也明显提高，例如正在试制的JS2、JR2系列（低压部分）比老系列（JS、JR）平均节省硅钢片23%、转子用铜量22%，相同功率电机可缩小一个机座号。小型同步发电机新的T2系列采用了可控硅励磁装置，与原有的72系列比较，效率（绝对值）平均提高1.18%，总重量降低约35%，有效材料节省10%以上。

（二）积极采用新技术、新材料、新结构和新工艺

我国在发展电机工业时，十分注意新技术、新材料、新结构和新工艺的采用。

在采用新技术方面，首先是应用电子计算机来进行电机的电磁计算以及磁场、温度场计算和零部件机械计算。其他像异步电机中基于极幅调制概念的单绕组多速绕组和 Δ -Y混合联接绕组，同步电机的无刷励磁、静止半导体励磁、谐波励磁和整块磁极，直流电动机的可控硅供电和无槽电枢，以及双水内冷技术、直线电机等也都先后正式用于生产。

在绝缘材料方面，目前我国生产的电机中，主要采用E、B两级（其中E级约占三分之二左右），F、H级仅在少数要求较高或特殊用途的电机上应用，但前者正积极地分别向B、F级过渡。环氧玻璃粉云母带和无溶剂浸渍漆、聚酰亚胺、DMD复合绝缘（中间为涤纶薄膜，两面为涤纶纤维纸）、涂敷用环氧粉末和适形材料（由涤纶纤维毡涂上一一定的胶粘剂制成，可用于汽轮发电机和水轮发电机端部及槽部固定）等新型绝缘材料中不少已在电机上大量应用。在导磁材料方面，除一般热轧与冷轧取向硅钢片外，无硅低炭电工钢片和半冷轧无取向硅钢片已在部分电机中采用。此外，用玻璃钢（即高强度玻璃纤维增强塑料）制造汽轮发电机转子护环以代替价格昂贵的非磁性钢护环方面进行了一系列研究，并已在—台3000千瓦电机上试用。在25、50和75兆瓦汽轮发电机上采用玻璃钢定子端盖也获得较好效果。近年来，我国还在氢冷汽轮发电机上应用了液体塑料密封材料，以代替传统的橡胶皮条等固体密封材料，改进了密封性能。

随着群众性技术革新运动的广泛开展，我国电机工业的工艺水平和机械化、自动化程度正不断提高。小型电机的机座与转轴加工、静电喷漆、总装试验等自动线均已正式采用；级进式冲模、大型压铸机、定子绕组自动下线机、插槽绝缘机、端部整形机、自动绕线机等新设备及真空压力浸渍、中型异步电机转子导条环氧粉末涂敷、机座射压造型等新工艺的应用，也都使工效大大提高，电机质量有所改善。

（三）标准化、系列化和通用化程度不断提高

53年以后多次组织了电机产品的改型设计和新系列统一设计，使我国从发电设备、大型交直流电机一直到种类繁多的中小型电机，绝大多数都有了自己的系列。不但建立了若干量大、使用面广的基本系列，还建立了许多应用场合比较特殊的派生系列和专用系列。在电机零部件和安装尺寸、机座号等的标准化、系列化、通用化（简称“三化”）方面也进行了大量工作，已形成自己的体系，还制订了电机专业的许多国家标准，并正逐步向国际电工委员会的标准过渡，使产品的标准化、系列化、通用化水平不断提高。例如在J2、JO2基本

系列的基础上,可以派生出20多个系列产品,零部件的通用化程度达到50%以上。

(四) 积极开展电机理论、测试技术和新型发电方式的研究

近年来,我国对电机绕组、附加损耗、附加转矩、电机冷却、大型电机的端部磁场、电机测试技术以及超导电技术在电机中的应用等方面开展了一系列研究,取得不少成果。此外,我国还对原子能、磁流体、地热、太阳能、风力和燃气轮机用于发电方面进行了一系列试验研究工作,已建成一座试验性的地热发电站及制成若干燃气轮发电机组。

由上可见,解放以来,我国电机工业由于正确执行党中央制订的“自力更生、艰苦奋斗”等一系列方针政策,经过电机行业广大干部、工人和科技人员的刻苦钻研与辛勤劳动,取得了可喜成绩,体现了我国社会主义制度的优越性。但因我国工业基础比较薄弱,电机产品品种还不能完全满足国民经济的需要;在产品质量方面,除少数达到世界先进水平外,多数与国外先进水平相比还存在一定差距;在产量、单机容量、新材料供应和劳动生产率等方面,和国外先进水平的差距也较大。因此,我们一定要坚决按照党中央提出的“把全党工作的着重点和全国人民的注意力转移到社会主义现代化建设上来”的要求,力争早日改变我国电机工业的面貌。

二、国外电机制造工业的近况与发展趋势

(一) 发电设备

一个国家的电机工业发展水平,常以它能为电力工业提供多少发电装备来作为主要衡量标志之一。1960~1970年间,全世界电站的总装机容量增长了1.1倍,也就是十年间翻了一番以上,这不仅表现于发电设备的产量,还表现于单机容量。今将国外发电设备制造方面的近况与发展趋势简介如下:

1. 汽轮发电机

近年来,一些发达国家可开发的水力资源日趋枯竭,而火电站一般又有建厂快、投资少这一优点,因而大多数国家目前多以建设火电站为主,而石油能源问题的日益尖锐,则又迫使某些国家迅速发展原子能电站,这都促使汽轮发电机的生产蒸蒸日上。在产品方面:五十年代,单机容量主要为100~200兆瓦,六十年代增至300~600兆瓦,七十年代起,已先后制成800~1300兆瓦的机组。国外已投入运行和在制汽轮发电机的大致水平可见表1-1。

表1-1 国外汽轮发电机的制造水平(单机容量兆瓦)

国 别	运 行	制 成	在 制
美 国	800(2极)	1200(4极) 1305(4极) 1100(2极)	1250以上(4极)
苏 联	800(2极)	1200(2极)	1000(4极) 1200以 上
西 德	630(2极) 1006兆伏安(4极)	670(2极) 1500兆伏安(4极)	1930兆伏安(4极) 1560兆伏安(4极)
瑞 士	1100(4极) 1300(4极双轴)	700(2极) 1175(4极)	1300以上
日 本	1000(2极) 920兆伏安(4极)		
英 国	500(2极) 660(2极)		1200
法 国	600(2极)	850(2极,供应美国)	970(4极) 1250(4极,供应美国)
加 拿 大	500(2极)	670兆伏安(2极)	

2. 水轮发电机

六十年代以前,水轮发电机的最大单机容量接近 200 兆瓦,六十年代为 200~500 兆瓦,七十年代起开始制造 600 兆瓦以上的机组。目前水轮发电机定子绕组大多采用水内冷技术;部分国家对转子绕组也采用水内冷,多数则采用强迫空气冷却。表 1-2 表示国外已投入运行和在制水轮发电机的大致水平。

表1-2 国外水轮发电机的制造水平(单机容量兆瓦)

国 别	运 行	制 成	在 制
美 国	343(蓄能电站用,日本进口) 402(蓄能电站用,西德进口) 600		700
苏 联	508		104(165千伏) 640 800
日 本	260 343(蓄能电站用,供应美国)		805兆伏安(供应委内瑞拉)
加 拿 大	475		700(供应美国)
西 德	402(蓄能电站用,供应美国)		660(蓄能电站用) 825兆伏安(蓄能电站用,双速)
瑞 士	190兆伏安		
法 国	500兆伏安		
英 国		165	300

国外发电设备制造的主要趋势是:在巩固 60~70 年代已制大型机组及其采用的某些新材料、新结构的基础上,在充分保证可靠性和希望取得足够运行经验的前提下,稳步地发展更大机组;在此同时,努力寻求更佳的绝缘材料和结构,以提高电机的电压等级,并采用更佳的励磁系统与冷却系统,以提高运行稳定性和在可供应的转子锻件范围内提高单机容量等等。

近年来,原子能电站用 4 极汽轮发电机、蓄能电站用水轮发电机或变极变速发电电动机、燃气轮发电机和燃气-蒸汽联合循环发电设备,得到了比以往更快的发展。

对于大型汽轮发电机采用超导电技术的可能性,目前许多国家都在积极进行研究,已制成容量达 20 兆瓦的样机,并正在制造 300~500 兆瓦的半超导汽轮发电机。

能源危机及环境污染的影响,使国外大力开展利用各种能源进行发电的研究。例如磁流体发电、太阳能发电、地热发电、潮汐发电、风力发电、波浪发电、海水温差发电与燃料电池等,其中有些已进入样机试验阶段,但除磁流体发电、燃料电池与传统电机根本不同外,其它发电方式所用发电机多数均与传统电机大同小异。

(二) 大型交、直流电机

1. 大型交流电机

大型交流电机在国外已成系列生产。能反映国外水平的大容量同步和异步电机的生产情况见表 1-3 所示。

国外大型同步电机采用与汽轮发电机或水轮发电机相似的结构。例如传动高炉鼓风机用的高速 2 极大容量同步电动机,其结构与汽轮发电机相似;七十年代前后发展起来的大型单

表1-3 国外大容量同步电机和异步电机的制造水平 (单机容量: 千瓦)

电 机 种 类	容 量	极 数	用 途	生 产 国 家
同步电动机	70000	2	高炉鼓风机	日 本
	30000	4		瑞 士
	25000	6		瑞 士
	50700	8	压缩机	英 国
	60000	10		日 本
	31500	12		瑞 士
	15400	14		日 本
同步调相机	345000千伏安	8		瑞 典
柴油发电机	31280	56		西 德
冲击发电机	4250000千伏安 (短路容量)	8	试验用	西 德
绕线转子异步电动机	6000	2	压缩机	日 本
	24000	4	压缩机	日 本
	12000	6		日 本
	18000	8	鼓风机	日 本
	10070	10		英 国
	26500	12	压缩机	美 国
笼型转子异步电动机	5900	2	压缩机	日 本
	16400	4		英 国
	15700	6		英 国
	20000	20		日 本
	9600	24		美 国
同步感应电动机	25000	6	风道排气机	英 国

纯蓄水式水泵站中采用的立式同步电动机, 结构与水轮发电机类似。

此外, 近年来还先后出现和发展了带可控硅变频装置的低速同步电机, 户外电动机, 低噪声电动机以及与中小型电机类似的大型电机等多种产品。

2. 大型直流电机

近年来, 在一些先进的工业国家中, 直流电动机已普遍使用可控硅供电, 直流发电机主要只用于那些不宜采用可控硅供电的系统中。表 1-4 和表 1-5 分别为当前国外制造的大型低速可逆转和非逆转轧钢用直流电动机的主要数据, 轧钢用直流电动机通常代表一个国家的直流电机制造水平。

此外, 英国生产的 8200 千瓦、76 转/分、额定转矩为 1033 千牛·米的矿井卷扬用直流电动机, 是目前世界上这类电机中最大的。大容量高速直流电动机, 日本已造至 2250 千瓦、1800 转/分。大容量直流测功机国外已造到 1800 千瓦; 测功机的最高转速达 1800 转/分 (日本、捷克)。

国外还出现一些新型直流电机, 例如用可控硅和硅二极管来代替换向器, 并把电机和整流装置分开安装, 使直流电机的极限容量提高数倍。

3. 中小型电机

六十年代初以来, 一些主要工业国家相继发展了中小型电机的新系列, 或对原有系列进

表1-4 大型低速可逆转轧钢用直流电动机的主要数据

国 别	制 造 厂	容 量 (千瓦)	转 速 (转/分)	额 定 转 矩 (千牛·米)	备 注
英 国	EEC	9300	50/110	1775.6	双 枢
苏 联	电力厂	8840	65/90	1304.7	
西 德	西门子	8000	50/100	1530.4	可控硅供电, 与日本富士公司合制
比 利 时	ACEC	7200	50/100	1373.4	可控硅供电
日 本	东 芝	7000	50/90	1339.1	
日 本	三 菱	6700	40/80	1604	双 枢 F 级
法 国	Alsthom	6500	52/120	1196.8	

表1-5 大型非逆转轧钢用直流电动机的主要数据

国 别	制 造 厂	型 式	容 量 (千瓦)	转 速 (转/分)
法 国	Alsthom	单 枢	11200	62/180
日 本	三 菱	单 枢	5000	225/720
苏 联	电 力 厂	单 枢	5000	340/500
日 本	日 立	双 枢	8100	116/232
美 国	西 屋	双 枢	6600	125/312

行了改型。它们的共同特点是:

(1) 应用电子计算机进行设计, 从而提高了计算精度, 缩短了设计周期, 并为获得最佳方案创造了有利条件。

(2) 功率等级和安装尺寸尽量向国际电工委员会的标准接近。

(3) 由一向注意“小型轻量化”(减轻重量、降低中心高) 转为注意“省能化”和“无公害化”, 也即提高效率和降低噪声等。

(4) 积极采用新材料。例如绝缘材料方面, 目前B级绝缘的电机所占比重日益增大, E级的逐渐减少, 而且已呈现出向F级过渡的趋势。有些国家为了提高电机的使用寿命和可靠性, 把F级当作B级, 留有较大的温升裕度; 有的国家在同一系列中, 按电机温升高低或机座号大小, 分别采用E、B、F级绝缘。磁性材料方面, 无硅低碳冷轧电工钢片、半冷轧无取向硅钢片和磁性槽楔等已普遍采用。导电材料方面, 有些国家也发展铝线电机新系列, 例如瑞典的MK系列(4极的最大功率为280千瓦), 电机为B级, 所用漆包铝线和浸渍漆均系F级。美国在分马力电机生产方面, 铝线电机已多于铜线电机。

(5) 扩大了原来的功率划分范围, 例如小型异步电机的功率范围已扩大到原先属于中型异步电机的低压部分, 有的甚至还包括一部分中型3千伏级的功率; 中型异步电机新系列中, 6千伏4极的功率已做到3000千瓦以上。

(6) 改进结构, 提高通用化程度, 注意使用维修方便。例如中小型同步电机和异步电机都大量采用箱型结构或通用定子。小型电机改用密封轴承, 出厂前一次加油, 使用过程中一般不再换油, 直至轴承损坏。中型电机采用不停机添加润滑脂的滚动轴承, 并有甩油盘自动排除废油。其他像恒压刷握的采用(可不需调整弹簧压力), 以及使用径向尺寸较大的电刷(可延长调换电刷的周期)等。

除基本系列外, 近年来国外还发展了下列一些特殊用途的中小型电机:

- 1) 中型防爆电动机;
- 2) 交流变速电动机及调速机组: 包括单绕组多速异步电动机, 由绕线转子异步电动机与整流器、逆变器组成的交流串激调速机组, 由笼型转子异步电动机与电磁转差离合器组成的电磁调速机组等;
- 3) 机械-电机组合式机组: 例如合成氨循环泵组合式机组与密封型冷冻机组组合式机组等;
- 4) 无刷励磁同步电机;
- 5) 磁阻式同步电动机;
- 6) 低转动惯量直流电动机: 包括无槽直流电动机、杯形转子直流电动机(转子绕组埋在用玻璃丝补强的塑料内)和盘形转子直流电动机(电枢绕组贴敷在绝缘圆盘上组成电枢, 圆盘, 两侧为定子磁极)等;
- 7) 永磁直流电动机;
- 8) 无换向器电动机;
- 9) 潜水、潜油和钻探电动机。

§ 1-2 电机设计的任务与过程

一、电机设计的任务及设计时给定的数据

(一) 电机设计的任务与对设计人员的要求

电机设计的任务是根据用户提出的产品规格(如功率、电压、转速等)、技术要求(如效率、参数、温升限度、机械可靠性要求等), 结合技术经济方面国家的方针政策和生产实际情况, 运用有关的理论和计算方法, 正确处理设计时遇到的各种矛盾, 从而设计出性能好、体积小、结构简单、运行可靠、制造和使用维修方便的先进产品。

从事电机设计工作的人员要认真贯彻“独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勤俭建国”, “洋为中用”, “标准化、系列化、通用化”等一系列方针政策, 并注意所设计电机的经济性和可靠性。既要使产品努力满足用户要求, 又要尽可能降低生产成本。

在设计前和设计过程中, 设计人员还应进行认真的调查研究, 注意理论与实际、设计与工艺相结合。例如深入现场、访问用户和查阅有关技术资料等等, 以便对所设计电机的技术要求、现状、发展趋势、生产经验与现有加工条件等有所了解, 从而为具体设计打下坚实的基础。

电机设计是个复杂的过程, 需要考虑的因素和确定的尺寸、数据很多, 这就难免会遇到错综复杂的矛盾。因此设计人员必须全面地、相互联系地看问题, 并能因时因地制宜, 针对具体情况采取不同的解决方法。例如电机的各项性能之间以及技术指标和经济指标之间, 经常存在矛盾。当采取措施改善某个性能时, 常会使其他一些性能变差, 因此必须全面照顾。又如在设计电机时, 不能片面追求体积小和材料省, 因为这样做的结果容易导致性能指标, 特别是效率降低, 加工工时增加, 而使运行费用或制造成本上升, 并造成能量浪费。此外, 设计人员在调查研究阶段及设计过程中, 应认真听取有关人员的正确意见和建议, 集思广益, 尽量减少设计中的缺点和差错。

(二) 电机设计时给定的数据和对电机的主要技术要求

电机设计时通常给定下列数据:

- (1) 额定功率: 发电机为电枢线端输出的电功率 (千瓦或千伏安); 电动机为轴上输出的机械功率 (千瓦); 同步调相机为线端超前电流下输出的无功功率 (千伏安)。
- (2) 额定电压: 对交流电机均指线电压 (伏或千伏), 对直流电机指电枢端电压 (伏)。
- (3) 相数及相间连接方法。
- (4) 额定频率 (赫)。
- (5) 额定转速或同步转速 (转/分)。
- (6) 额定功率因数。

对异步电机通常给定 (1)~(5), 同步电机给定 (1)~(6), 直流电机给定 (1)、(2)、(5)。

除上述一般额定数据外, 有时还给定某些其他数据。例如: 对水轮发电机、内燃机驱动的同步发电机或负载具有脉动转矩的同步电动机, 常再给定惯性矩的数值; 对水轮发电机, 还需给定飞逸转速倍数 K_f 的数值; 飞逸转速是指机组在最高水头运行, 突然甩掉满负荷 (例如与电网解列), 而水轮机的调速系统及其它保护装置失灵、导水机构发生故障致使导叶开度在最大位置时, 机组可能达到的最高转速。

对电机的技术要求通常在有关的国家标准或技术条件中规定, 其内容视具体电机而异, 读者可参看有关标准, 原则内容见 § 1-3。

二、电机设计的过程和内容简介

(一) 准备阶段

通常包括两方面内容: 一是熟悉国家标准, 收集相近电机的产品样本 (或样机) 和技术资料 (包括试验数据), 并听取生产和使用单位的意见与要求; 然后在国家标准有关规定及分析相应资料的基础上, 编制技术任务书或技术建议书。

如果没有适当的国家标准, 便需要编制所设计产品的技术条件。技术条件在一定程度上可以看作是制造厂与用户间的一种技术协议, 它是指导全部设计工作和产品验收时的技术依据。技术条件可按单个产品制订, 也可根据整个系列或某种型式的电机来制订。附带提到, 对于定型的系列产品, 其技术条件在经过生产实践的检验后, 也可能作为部一级的国家标准。

(二) 电磁设计

本阶段的任务是根据技术条件或技术任务书 (技术建议书) 的规定, 参照生产实践经验, 通过计算和方案比较, 来确定与所设计电机电磁性能有关的一些尺寸和数据, 选定有关材料, 并核算其电磁性能。

(三) 结构设计

结构设计的任务是确定电机的机械结构、零部件尺寸、加工要求与材料, 包括必要的机械计算及通风和温升计算。所需考虑的原则和设计方法详见 § 8-2。

通常, 首先根据技术条件或技术任务书 (技术建议书) 中规定的防护型式、安装方式与冷却方式, 再考虑电磁计算中所选负荷的高低, 来选取合适的通风冷却系统; 然后安排产品的总体结构, 绘制总装配草图。最后分别绘制部件的分装配图和零件图。一般在绘制这些图时, 要随时注意“三化”并对总装配草图进行必要的修改。

结构设计和电磁设计是相辅相成的, 它通常在电磁设计后进行, 但有时也和电磁设计平行交叉地进行, 以便相互调整。对于新产品或重大产品, 根据需要, 设计过程还可再细分成

若干小阶段，例如在准备阶段之后，增加初步设计或扩大初步设计阶段。

§ 1-3 国家标准

电机的国家标准是国家有关部门在总结以往电机设计、制造和使用经验的基础上，从当前实际情况出发，并考虑今后发展需要而对各种型号电机提出一定要求的文件。它是电机生产的依据，也是评定电机质量优劣的准则。国家标准所规定的各项要求，是综合考虑了产品的实用性、技术上的先进性、经济上的合理性、使用上的可靠性和生产上的可能性而提出的。这些要求之间是密切相关、不可分割的。因此生产部门应力求使所设计、制造的电机全面满足国家标准规定的各项要求。

我国关于电机的国家标准有国家颁发（代号为 GB）和中央各部颁发的（例如第一机械工业部颁发的标准代号为 JB）两种，后者也称为“部颁标准”。就内容讲，它们大体上可归为下列三类：

第一类是属于对电机的一般规定和技术要求。这一类如国家标准《GB755-65 电机基本技术要求》，它规定了适用于各类电机的技术要求、试验项目与试验方法、名牌及线端标志等；《GB760-65 电机安装尺寸和外形尺寸的代号》规定了适用于各类电机的安装尺寸和外形尺寸的代号。这类标准应用范围较广，是带基本性的标准。

第二类是属于某一类型电机的技术条件。例如：第一机械工业部标准《JB742-66J2、JO2 系列三相异步电动机技术条件》、《JB1104-68Z2 系列小型直流电机技术条件》，它们分别对有关电机的额定数据、使用条件、性能指标及允许偏差（容差）、安装尺寸、试验方法、验收规则，以及标记、包装、保管等作了详细而明确的规定。性能指标之所以规定容差是考虑到大量生产时，由于材料性能和工艺参数等的允许波动，各种测量方法与仪表的允许误差以及各厂具体生产条件的不同，会使实际产品的性能指标不可能绝对准确地达到技术条件所规定的保证值。

第三类是各种电机的试验方法。例如：国家标准《GB1032-68 中小型三相异步电动机试验方法》对中小型三相异步电动机型式试验和检查试验的方法、测量仪器选择等，在《GB 755-65 电机基本技术要求》的基础上进一步作了具体规定与说明。

国家标准通常是依据一定时期中，国民经济发展的需要和生产技术水平制定的，因而在一定历史条件下是先进、合理的。但随着科学技术和生产的不断发展，对电机产品的要求会逐步提高或改变，于是国家标准也就需要随之修订，而提出更高或更适合新情况的要求。

我国电工产品的国家标准，准备有计划地逐步和国际电工委员会（IEC）的标准靠近，以便更好地与世界各国进行技术交流和开展我国的外贸事业。