

国外机械工业基本情况

中小型电机

国家机械工业委员会上海电器科学研究所 编

884316

机械工业出版社

一九八六年

3.21
034

内容简介 《国外机械工业基本情况》中小型电机分册，主要介绍国外英、美、法等主要国家中小型电机七十年代末、八十年代初的发展概况。全书共五章，分别介绍了发展概况、行业公司企业产品结构性能、生产技术水平、一些典型制造工艺及各国科学研究动态，并对比了其发展动向和趋势。是关心国外中小型电机发展的广大工程技术人员、科研人员、企业管理和经营人员的一本有价值的参考资料。

中 小 型 电 机

国家机械工业委员会 编
上海电器科学研究所

*

国家机械工业委员会机械科学技术情报研究所 编辑

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·机械工业书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $16 \frac{1}{2}$ · 字数 398 千字

1987年9月北京第一版·1987年9月北京第一次印刷

印数 0,001—1,500 · 定价: 5.10元

*

统一书号: 15033·6948Q

出版说明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供技术装备的重任。为适应四化建设的需要,必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平,提高经济效益,是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训,了解国外机械工业的生产、技术和管理水平,以便探索我国机械工业具有自己特色的发展道路,我们组织编写了第三轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前两轮的基础上,更全面、系统地介绍了国外机械工业的行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况,着重报道了国外机械工业七十年代末和八十年代初的水平以及本世纪末的发展趋向。

第三轮《国外机械工业基本情况》共一百余分册,参加组织编写的主编单位包括研究院所、工厂和高等院校共一百余个,编写人员计达一千余人。本书是“中小型电机”分册,主编单位及人员是国家机械工业委员会上海电器科学研究所张家元、杨宝龙,主要参加单位有国家机械工业委员会第八设计院及有关高等院校、研究所、制造厂。主要执笔者是:顾希渭、秦和、殷国山、李嘉民、林倩英、章巽和、龚定章、游寿康、虞修忍、梁新昌、赵洪基、何鸮、赵连亚、沈林海、黄国治、王启栋、徐孝寅、李国衡、许采瑜、周韵笙、魏书慈、李登、江建中、胡康银、许实章、许大中、缪兰娣等;参加收集资料 and 清稿绘图等工作的主要同志是:向欧、张杰、陈瑞征、龚本云、倪佩娟、张金兰。

孙春煊同志参加了有关科学研究章节的审稿工作。责任编辑:王英华。

国家机械工业委员会机械科学技术情报研究所

目 录

第一章 发展概况	1
一、行业	1
二、产品	3
(一) 电子技术在电机产品上的广泛应用	3
(二) 采用新的绝缘结构, 提高电机的可靠性和充分利用有效材料	4
(三) 采用新结构	4
(四) 发展新品种	4
(五) 提高技术指标	5
(六) 进一步提高可靠性和方便维护检修	5
(七) 重视三化, 以适应自动化专业化	6
三、制造工艺	6
(一) 铸造工艺	6
(二) 冲片和铁心制造工艺	6
(三) 电工钢片	7
(四) 转子铸铝	7
(五) 机械加工和装配	8
(六) 绕线嵌线工艺	8
(七) 导体连接工艺	9
四、科学研究	9
(一) 电机的计算机辅助设计	9
(二) 交流电机绕组的研究	9
(三) 异步电机杂散损耗的研究	10
(四) 交流电动机调速的研究	10
(五) 通风冷却的试验研究	11
(六) 绝缘结构的研究和试验	12
(七) 电机测试技术的研究	13
(八) 电机噪声与振动的研究	13
第二章 行业及企业概况	15
一、概况	15
二、美国电机行业概况	16
(一) 电机行业本身的技术发展	17
(二) 节能的影响	18
(三) 条例与环境的影响	18
三、日本电机行业概况	20
(一) 产量	20
(二) 企业	21
(三) 劳动生产率	22
(四) 预测方法	24

四、典型企业简介	24
(一) 美国GE公司伊利 (Erie) 厂	24
(二) 法国CEM公司德希尼 (Décines) 电机厂	28
(三) 日本FANUC公司富士电机厂	33
(四) 日本三菱电机公司名古屋制作所	33
(五) 日本山洋电气公司步进电机厂	36
(六) 日本安川电机公司伺服电机厂	37
(七) 联邦德国AEG公司罗伊德 (Lloyd) 电机厂	38
(八) 美国西屋 (WH) 公司分马力电机厂	40
(九) 美国西屋 (WH) 公司中型电机制造厂	41
(十) 美国雷达泵厂 (Reda Pump Co.)	43
第三章 产品	46
一、低压三相异步电动机	46
(一) 低压三相异步电动机基本系列	46
(二) 高效率 (节能) 电机系列	57
(三) 交流力矩电动机	60
二、中型高压异步电动机	63
(一) 发展概况	63
(二) 系列水平	64
(三) 设计与科研	65
(四) 产品介绍	65
三、小型直流电机	80
(一) 发展概况	80
(二) 产品情况	81
四、中小型同步电机	86
(一) 概述	86
(二) 无刷同步发电机的产品性能	90
(三) 无刷同步发电机的励磁系统	90
(四) 无刷同步电动机	97
(五) 同步电机的转子结构	100
五、直线电动机	101
(一) 发展概况	101
(二) 产品情况	102
六、特殊电机及节能装置	110
(一) 振动电机	110
(二) 盘式电动机	115
(三) 潜油电机	120
(四) 电机节能装置——功率因数控制器	126
第四章 制造工艺	134
一、铸造工艺	134
(一) 日本三菱电机公司的旭工厂	134
(二) 美国西屋公司电机铸造厂	136
二、定转子冲片和核心制造工艺	137

(一) 提高硅钢片利用率	137
(二) 提高铁心质量的措施	137
(三) 高速自动冲床的进展	139
(四) 高速冲槽机的发展	140
(五) 提高铁心制造的自动化	144
三、电工钢片	147
四、转子铸铝	149
(一) 瑞士Buhler兄弟公司转子压铸自动机组	149
(二) 日本宇部兴产的AD-30 V全立式转子压铸机	153
五、机械加工和装配	154
(一) 日本新城分厂小电机的机械加工	154
(二) 计算机控制的电动机零部件加工自动线	155
(三) 换向器加工自动化	159
(四) 自动化电机制造厂的机械加工和装配作业	160
(五) 联邦德国AEG公司罗伊德电机厂直流电机零部件机械加工	161
(六) 机座“光止口”工艺在加工中应用	162
(七) 珩磨在电机零件加工中应用	162
(八) 电动机端盖柔性自动加工线	163
六、绕线嵌线工艺	164
(一) 减少导线和槽绝缘损坏的措施	165
(二) 提高生产效率的措施	166
(三) 同步电机线圈制造	167
(四) 直流机磁极线圈制造	168
七、导体连接工艺	169
(一) 冷压接	169
(二) 感应焊接	170
(三) 电阻焊接	171
(四) 压接接头质量评定标准	172
八、模具制造	173
(一) 模具设计结构的研究与发展	173
(二) 模具制造新工艺、新设备的研究与发展	174
(三) 模具钢材和热处理的研究	175
(四) 模具标准化与专业化生产	176
九、绝缘结构	177
(一) 低压特殊环境用电机绝缘结构	177
(二) 直流电机绝缘结构	178
(三) 同步电机绝缘结构	181
(四) 中型高压电机绝缘结构	181
(五) 几个共性问题	182
第五章 科学研究	188
一、交流电机绕组的研究	188
(一) 用“相位调制”实现反向法变极	188
(二) 六根出线的换相法变极的新发展	191
(三) 十二根出线的六相带换相法变极	193

(四) 从星、三角并联转换为串联星形而变极	195
(五) 关于Wanlass型双绕组异步电动机的分析和讨论	196
二、电机的计算机辅助设计	202
(一) 计算机辅助设计 (CAD) 的完整内容	202
(二) 自动制图系统	203
(三) 设计分析内容扩充及有限元法在电机设计上的应用	206
(四) 电机的优化设计	209
三、异步电机杂散损耗的研究	211
(一) 杂散损耗的分类与构成	211
(二) 杂耗对电机性能的影响	213
(三) 降低杂耗的方法	214
四、交流电机调速的研究	216
五、通风冷却的试验研究	223
(一) 基础研究	223
(二) 中小型电机通风发热技术发展动态	226
六、绝缘结构的研究和试验	233
(一) 绝缘的耐热性和鉴别	233
(二) 绝缘结构的功能性评定和鉴别	234
七、电机测试技术的研究	241
(一) 异步电动机的自动测试	241
(二) 电动机转速的测定	243
(三) 电动机转矩的测量	244
八、电机噪声与振动的研究	245
(一) 近年研究概况	245
(二) 振动噪声试验研究及定量分析	245
(三) 降低噪声振动的研究	252
(四) 电机振动噪声的自动诊断系统	254

第一章 发展概况

一、行 业

中小型电机是各行各业传动设备的主要配套产品，尤其是在工农业方面应用很广。就其年产量来讲，美国约 5300 万 kW(1982 年)，日本约 2524 万 kW(1983 年)，苏联约 5300 万 kW(1982 年)。发电设备产量与交流电动机产量之比，美国约 1:1.6(1978 年)，苏联约 1:2.6(1980 年)，日本约 1:1.4(1980 年)^[1]。

国外生产中小型电机的企业较多，产量也很集中。企业规模不一，趋向自动化生产、多品种小批量、从业人数少的方向发展。最大的工厂也不过 2000 人左右，规模较小的工厂一般几百人或几十人。从事电机制造业（包括生产发电成套设备）的人数逐年减少，原因是自动化等投资的奏效，改进工程管理作业使效率提高，针对市场需求减少的裁员措施，培训精良和调整员工配备，推进无人操作，外购比率的增加，机器设备的退役乃至劳动生产率的提高和合理化建议^[2]。

据 Predicasts, Inc.《工业研究》报道，1980 年美国电动机和发电机产值达 60 亿美元，自 1967 年以后的年增长率为 8.2%，若年增长率达到 12%，预计 1995 年产值将达 330 亿美元（见表 1-1）。

表 1-1 美国电动机和发电机产值和纯出口额

项目	年度	1967	1980	1995	年增长率(%)	
		年	年	年	过去	计划
美国电动机和发电机产值(亿美元)		21.51	59.81	334.00	8.2	12.1
其中整马力电机(亿美元)		6.46	16.89	92.70	7.7	12.0
分马力电机(亿美元)		9.23	26.56	142.10	8.2	12.1
美国电动机和发电机纯出口额(亿美元)		1.04	5.22	28.60	13.2	12.0

从纯出口额来看，1980 年占总产值的 9%，而 1967 年为 5%。美国的电动机和发电机工业高度集中于四大公司，即 G. E. 公司、Emerson 电气公司、Exxon(Reliance Electric)公司和 WH 公司，占美国总产值的 45%。美国约有 250 家公司在市场上进行竞争，但只有几家控制着市场^[3]。

根据美国电机制造商协会(NEMA)报道，500 马力以上的电动机销售因受重型机械投资部门的不景气影响仍然没有出现活跃迹象，而 500 马力以下的电动机销售却有增加趋势。这反映了用户对节能和提高效率的要求，也显出了电动机行业符合需求的发展动向。

美国 Robbins & Meyer 公司的 Electro-Craft Motors 事业部为适应工厂自动化系统用直流电动机需求的增加，计划扩大生产，为此已研究建设第六个工厂。目前工厂自动化系统用直流电动机年产值为 5 万美元，只占该事业部生产总值的 15%，计划五年后将提高到 50%^[6]。

根据日本电机工业会的统计，1982 年电机工业的产值占日本机械工业总产值的 11.2%。从机械工业的生产指数来看，若以 1980 年为 100%，1982 年电机工业为 125.2%，比其他工业有较大的增长。再就旋转电机部分来看，1980 年前的年增长率为 12.5%，以后由于设

备投资的停顿,出口难以增加等原因,1981年增长4.8%,1982年增长4.2%,1983年虽出口有所回升,但由于国内需求不多,反而比上年减少3.4%。以1983年为例,交流电动机产值为上年的94.7%,出口为上年的86.9%,小型电动机产值为上年的128.5%。出口为上年的129.5%。交流电动机减少是因为设备投资不足和工业成套设备出口不多,小型电动机增加主要由于办公室自动化、工厂自动化机器、机器人、录象机用产品的顺利发展和出口增加所造成。就1982年的出口电机来看,交流电动机以及其他旋转电机(包括直流电机、旋转电机零部件在内)稍有减少,而交流发电机、小型电动机和柴油机发电设备稍有增加。1983年小型电动机向美国出口增加32%,向欧洲经济共同体出口增加36%。今后,电机行业不能期待获得用以增加生产能力的大量投资,而将以设备更新,节能和合理化为主。

1965年到1981年16年间电动机产量增加约两倍($530/189 \approx 2.8$),而标准三相异步电动机生产台数趋于下降($68\% \rightarrow 32\%$),非标准三相异步电动机生产台数趋向上升($32\% \rightarrow 68\%$)[7]、[8](见表1-2)。

表1-2 日本电动机生产发展趋势

(据日本通产省统计年报)

年度	标准三相异步电动机(万台)	百分比(%)	非标准三相异步电动机(万台)	百分比(%)	总计(万台)	为1965年产量的倍数
1965	128	68	61	32	189	
1969	261	56	206	44	467	2.5
1973	300	42	410	58	710	3.8
1977	200	38	322	62	522	2.8
1981	167	32	363	68	530	2.8

日本电动机劳动生产率的变化如下,1982年每台电动机(平均功率1.784kW)所需劳动时间(仅直接部门)为1.023小时,同1981年相比劳动生产率提高7.6%,1981年的劳动生产率比前一年提高9.0%。从工序来看,自动化程度较高的绕线下线工序(0.481小时)的劳动生产率提高8.9%,机加工工序(0.277小时)提高8.3%,装配工序(0.174小时)提高4.9%,钢板作业工序(0.090小时)提高4.3%,全部工序的劳动生产率都提高了。尤其是在机加工工序中,钢板机座和端盖加工的劳动生产率提高了13.5%。按每kW所需劳动时间来看,绕线下线工序提高8.8%,机加工工序提高8.3%,其他两道工序也有较多的提高[7](表1-3)。

表1-3 日本按工序划分每台电动机和每kW电动机所需劳动时间和劳动生产率的提高情况^[7]

劳动生产率 工序	每台电动机劳动生产率				每kW电动机劳动生产率			
	所需劳动时间(h)		劳动生产率提高(%)		所需劳动时间(h)		劳动生产率提高(%)	
	1981年	1982年	1981年	1982年	1981年	1982年	1981年	1982年
直接工序共计	1.107	1.023	9.0	7.6	0.620	0.573	- 6.0	7.6
机加工工序	0.302	0.277	9.0	8.3	0.169	0.155	- 5.6	8.3
(钢板机座和端盖加工)	0.178	0.154	14.8	13.5	0.213	0.204	- 3.4	4.2
钢板作业	0.094	0.090	7.8	4.3	0.053	0.051	- 8.2	3.8
绕线下线	0.528	0.481	8.7	8.9	0.296	0.270	- 6.5	8.8
装 配	0.183	0.174	10.7	4.9	0.102	0.098	- 3.0	3.9

联邦德国电机工业中央协议会统计,电动机和发电机的产值,1979年为47.9亿马克,1980年为50.2亿马克,1981年为51.3亿马克,占电机工业总产值941亿马克的9.8%,比上年增长2.1%。而出口,1979年为21.6亿马克,1980年为23.7亿马克,1981年为26.4亿马克,比上年增长11.7%,出口约占总产值的一半。投资的增长率也将上升到5~9%。销售纯利率前几年在2.2~2.8%之间,1982年降到1.2%,1983年降到1.6%。生产开工率1984年达到80%以上(1983年为78%),已恢复到满意的水平。雇用人数1983年为90万人,1984年底还将有所增加^{[9]、[10]}。

意大利有许多电动机制造厂,而国产电机在国内市场只占一半,进口电机来自经互会各国,法国、联邦德国、瑞典所占比重也较大。Ansaldo Motori公司(国营,属IRI集团,从业人员有1000人,年产650亿里拉)和Ercole Marelli Componenti公司(私营,800人,560亿里拉)为调整生产和销售而结成联合企业(Consorzio Componentistico Elettromeccanico)。前者专业生产大型电机,后者专业生产小型电机,两公司产品在国内市场(年130万台)上占25%,联合期限为8年,也允许其他公司加入^{[11]、[12]}。

二、产 品

为了提高电机产品的国际竞争能力,并满足用户的多样化要求,国外各大公司都在继续加强理论研究和新技术、新材料、新工艺等的应用研究,发展新品种、进行产品更新换代,使中小型电机的技术有显著的提高,主要特点和趋势概述如下:

(一) 电子技术在电机产品上的广泛应用

1. 利用电子计算机的辅助设计和辅助制造

应用计算机进行辅助设计日益广泛,小型异步电动机采用计算机进行电磁设计,作多种方案比较或进行优化设计。从而提高了计算精度,改进了设计性能,缩短了设计周期。计算机程序是在试验研究及总结生产经验基础上由各公司的技术专家编制。大多数公司已摆脱了“经验设计”的局面,进入“开发性设计”阶段。有些公司在设计时采用计算机绘制施工图、工具图、特性曲线等,还可将图纸数据输入计算机,加工时控制数控机床加工,实现用计算机进行辅助制造。

高压中型异步电动机利用计算机计算起动时导条的温升和上下部的温差以及由此产生的热应力。

日本明电舍公司研制的振动电动机,电磁设计和机械结构设计利用计算机来完成。计算机连接X-Y记录仪以提供各种特性曲线,计算机辅助设计完成一个规格只需5~10分钟。

日本东洋电机公司采用计算机对直流电机进行辅助设计,包括电磁、结构、工艺编码和加工程序在内,都自动进行,每一规格的全部设计仅需两小时。表达直流电机重要性能的无火花换向区也能用计算机进行计算和描绘。

联邦德国AEG公司劳伊德电机厂采用计算机辅助设计后,设计人员减少一半。

2. 电子技术和电机产品密切结合,形成电机系统、机电一体化

安川电机公司的THYBRID-G型产品就是机电一体化的实例,它把三相交流电源、开关、控制柜、整流器和自动控制组件以及直流电动机组装成一体,用于需要无级调速传动的各工业领域。

在异步电动机的节能方面,功率因数控制器(PFC)值得注目,它是把零电流周期引入

电机电流波形,使相位差和电流有效值降低。同时,针对轻载时功率因数的恶化(相位差从 30° 增到 80°),以检测电流的相位滞后并降低电机电压进行补偿。从而降低电机功率消耗,提高效率。尤其是电机轻载时,作用显著,节电可达60%。

据报道,美国Chesebrough-Pond's公司开发了单相及三相电动机用的新型控制器,它以微处理机为基础,能在标准电压下使用,使电动机获得最高效率。采用这种控制器,单相电动机可节能20~50%,三相电动机可节能5~10%,称之为节能的“时髦”电动机。

(二) 采用新的绝缘结构,提高电机的可靠性和充分利用有效材料

BBC公司的中型电机采用Micadur-Compact绝缘结构, Siemens公司采用Micalastic绝缘结构,强度高,密封性好。日立公司的HIPACT F级绝缘,采用耐热性绝缘性较好的Capton、Nomex,线圈铁心整体浸渍耐湿性耐药品性较好的环氧漆,绝缘性能极其可靠。大功率电动机还采用预浸环氧漆的云母材料,电机可在 180°C 下连续运行。

Siemens公司的DURIGNIT2000绝缘用于直流电动机,采用F级绝缘材料使电机能可靠地运行于湿热带条件下。

从总的趋势来看,不论交流电动机或者直流电动机,采用新的绝缘材料,薄型槽绝缘(以Nomex为主)和无溶剂漆,使F级绝缘日益扩大应用范围。例如,AI全系列小型三相异步电动机采用F级绝缘, H132以下机座还按B级温升考核,温升有 $20\sim 30^\circ\text{C}$ 的裕度。

目前国外直流电动机已广泛采用F级和H级绝缘。以耐高温的芳香族聚酰胺纤维纸为主要材料,电枢线圈采用聚酰胺或聚酯亚胺漆包圆铜线或扁铜线,电枢采用真空压力浸渍或滴落环氧或不饱和聚酯无溶剂漆,使电机具有更高的可靠性。

(三) 采用新结构

小功率电机采用高强度铝合金机座或钢板机座,大功率电机采用钢板焊接机座。电机风叶和风罩均采用高强度耐高温塑料压注而成。

直流电机趋向采用多角形、八角形或方形机座,以充分利用空间,使电枢直径加大、定子磁极扁而宽。小型直流电机采用线圈直接绕在磁极铁心上,以提高冷却效果。电枢铁心有轴向通风孔,根据磁场分析和通风散热分析的数据,决定通风孔的合理分布。电枢用浸漆玻璃丝带绑扎代替镀锡钢丝,进而取代槽楔。整个电机定子倾向于采用全迭片方形或八角形结构,因为这比圆形机座能充分利用空间,有利于缩小电机体积或加大电枢直径,增加电机功率和转矩。换向器采用收缩环型或内紧圈式结构,升高片和绕组的连接采用TIG焊接。小型直流电机还采用塑料换向器。中小型直流电机迭片机座或轭部迭片还采用带钢卷绕成形法。AEG的4系列电机底脚在两端盖下部,有利于减少振动。电枢采用斜槽,以降低噪声以及改进换向和波形。

潜油电动机的保护器是关键部件之一,美苏都在加紧研究争相改进结构,因为它直接关系到电机的运行可靠性和检修期。八十年代初相继推出胶囊保护器(沉淀式和连接式),使检修期间隔增加到500天以上。

(四) 发展新品种

经互会成员国共同设计了统一的AI新系列低压三相异步电动机,全部符合IEC标准。美国WH公司的Life-Line系列电机对堵转时的温升作了新的规定。

日本各大公司适应新标准,发展了新系列。安川电机公司发展了FEO系列($0.2\sim 200\text{kW}$),三菱电机公司发展了J、K新系列低压三相异步电动机($0.2\sim 200\text{kW}$),日立制

作所也发展了EFOA新系列(0.2~132kW),东芝公司发展了M800C系列。并在此基础上发展了变极变速电机,增安防爆电机、户外用电机,高效电机,高滑差电机和低温环境用电机等派生系列产品。

联邦德国西门子公司发展了1LA5系列(H56~H160)和1LA6系列(H180~H400)三相异步电动机,并在两个基本系列基础上派生了防爆型EEXd(1MJ6系列),增安型EEEx(1MA6系列),绕线转子型(1LS6系列),起重冶金用(1LT6系列)以及制动电机(1LC5系列)等品种。

日本安川、神钢、明电舍和联邦德国Friedrich等公司都在生产振动电动机,以满足各工业部门的需要。

日本的荻原工业、东电舍、藤井精密旋转机械,英国的AEI,美国的LnLand等公司以及苏联都生产力矩电动机来满足各方面的特殊需求,因为它有起动转矩大,起动电流小,机械特性较软等优点。

美国的REDA、CENTRILIFT、KOBÉ等公司生产潜油电机,主要用于1000米以上的深井工作。井温高达150℃,高压、天然气和原油以及水的混合液作用等,使环境条件变得极其严酷。苏联也是大量采用潜油电机的国家之一。

发展极调速电动机以满足工业和电站等场所的变速需求。

(五) 提高技术指标

从节能角度考虑,尤其重视效率指标的提高。美国的NEMA标准甚至规定1~125hp电动机效率测试优先采用测功机法(即B方法)。经互会国家的AИ新系列电机效率比苏联的4A系列提高1~1.5%。

噪声指标也是反映电机制造水平的标志之一。以1.5kW4极的异步电动机为例,AИ系列为58dB(A),Siemens和AEG的产品为56dB(A)。

直流电动机的过载能力,200%过载15s,电流变化率 di/dt 在200ups以上。

美国GE、WH、Reliance等公司都设计生产了高效率电动机系列,据美国预测,1985年125hp以下的节能电机可达33%,1990年可达74%。因电费上涨率为7%,都考虑采用节能电机。

日本的日立、三菱、东芝等公司都有高效率电动机系列投入市场。节能电动机的总损耗均控制在比基本系列低20~30%。

交流电动机采用功率因数控制器(PFC),改善功率因数的同时,节约电能提高效率,以达到节能的目的。

(六) 进一步提高可靠性和方便维护检修

包括自动化系统在内的各种工业设备,都要求电机能可靠地运行,以适应各种恶劣的环境,同时要考虑维护检修的方便和无需维护。因此,电机的更新换代首先考虑可靠性和使用维护方便。

1. 加强绝缘使电机更加可靠

采用优质绝缘材料和等级较高的绝缘结构,以增强电机的运行可靠性。例如,采用F级绝缘,按B级温升考核,给温升留有较大的裕度。尤其是频繁起动、正反转、快速调速的起重冶金用电动机更是如此。

2. 采用无刷结构简化维护

随着功率电子器件的日益发展,采用旋转整流元件或晶闸管代替过去的电刷和换向器或集电环。出现了无刷励磁机、无刷直流电机等,因取消了电刷和换向器或集电环,减少了维护并提高了电机的可靠性。

3. 采用优质轴承保证运行

材料用真空除气钢,使用寿命增加60%。大功率电机也采用滚动轴承,可不停机加油,轴承寿命达50000小时以上。采用脉冲冲击法(SPM)检测轴承,以及时发现轴承毛病,确保电机的运行可靠。

4. 提高防护等级

电机的防护等级也是涉及到其运行可靠性的关键一环,防滴式多制成IP23,封闭式电机为IP44或IP54。接线盒甚至设计成IP54或IP55的也不在少数。

(七) 重视三化,以适应自动化专业化

中小型电机的生产方式以少品种大批生产转变为多品种小批生产,以满足用户的日益专业化需求。电机的功率等级和安装尺寸趋向国际标准化,小功率机座(H160以下)部分,各国已趋向一致。由于联邦德国DIN42673标准在世界市场上目前影响极大,经互会成员国的АИ新系列电机和日本修订的新标准都考虑了和DIN标准的通用问题。各公司在生产基本系列电机的同时,积极考虑提高和派生系列产品的通用化程度。АИ基本系列和20多种派生系列的零件通用化系数已达80~95%。1983年日本造标准电动机和非标准电动机之比为1:3,联邦德国BBC公司也达1:2.3,这就迫使各制造厂在开发新系列电机时,考虑派生系列电机的技术设计和通用化问题,甚至专业化问题。再加上柔性加工系统的日益推广,为适应电动机生产的自动化和专业化,就必然要提高三化程度。例如,法纳克公司的富士电机厂,从业人员总共60人,采用101台机器人,机械加工自动化达90%,装配作业自动化达65%,主要生产伺服电机和主轴电机,月产10000台,产品三化程度也很高。

三、制 造 工 艺

近几年来,国外许多公司的电机厂为扩大市场推销产品而组织多品种小批生产,特别重视中小型电机零部件的标准化和通用化。在管理和设计以及制造等方面积极采用电子计算机,在装备上大量采用数控机床和自动化设备,进行技术改造或新建车间,并采用新工艺。在保证产品质量的同时,满足用户日益增多的各种要求,并提高生产率和降低成本。概况如下:

(一) 铸造工艺

无箱挤压造型和金属模铸造均未用于大批生产,较常见的仍是震实造型工艺。电子技术广泛用于铸造设备。三菱电机公司的旭铸造厂和西屋公司的阿底卡铸造厂设备较为先进,机械化自动化程度和生产效率高,铸件尺寸精密准确,加工余量小,外观质量好。它们主要生产中小型电机的机座、端盖、接线盒以及风扇等铸件。旭厂每人每天平均生产铸件480kg。阿底卡厂砂处理能力为150吨/小时,可造砂型(28×38in)260个/小时。

(二) 冲片和铁心制造工艺

中小型电机定子冲片和铁心制造工艺已相当成熟,装备亦较完美。国外多数仍采用高速自动冲床多工位级进冲。较大直径的中等批量冲片采用复式冲,中型电机的小批量冲片采用高速冲槽机单槽冲。

许多公司改进工艺,多着眼于提高材料利用率、铁心冲片质量、自动化水平和生产效率、采用计算机控制等。采用宽幅卷料套裁工艺,如加拿大GE公司从一卷重15000磅的卷料落下九条成型卷料。苏联采用计算机进行冲片排料,降低消耗5~15%。采用错位工艺消除硅钢片同板差对冲片迭压成铁心的质量影响,如三菱电机公司名古屋制作所迭装冲片时,一半正装,一半转180°反装。西门子公司纽伦堡厂使相邻坯料的键槽位置顺次错开120°,再以键槽定位、冲槽、迭片。BBC公司比尔厂也实现了冲片错位。西屋公司使每次上料的坯片顺次转动45°。还有为补偿板厚差采取冲出小凸台的工艺。八十年代的高速自动冲床已达到800次/分,其制约因素主要是冲模寿命、冲片卸料和传送速度。用于大直径冲片的多工位自动冲槽机是把高速冲槽机按工艺要求配以相应的辅机而构成,生产效率达1000片/小时;滑块行程次数达1200次/分。在批量为25万片时,采用扇形冲片数控高速冲槽机比复式冲模加工要经济些。配以辅机或机械手、机器人可实现工件的自动传送。国外还出现了“冲剪中心”,它能自动地更换模具,有数控分度装置、由冲槽机自动加工的冲剪站、装卸装置以及传送装置等,通过计算机中心来指挥。富士通公司研制的全自动系统,包括带料送进、级进冲、迭压、压轴等一系列工序,使原来每个转子从1.2分钟缩短到0.13分钟。还有一种无钉自锁结构用于冲片自动迭压紧固铁心,它是把每片冲片的小凸台压入相邻冲片的小凹腔中,藉以自锁紧固,抗拉力在18kgf以上。安川电机公司的7.5kW以下电机铁心均用此结构。巧妙利用此结构的冲头,不仅能冲出V形凸台结构并进行迭片,而且还能实现计数分台、转子斜槽扭偏等功能。

(三) 电工钢片

优质热轧硅钢片已发展到铁耗($P_{10/50}$)在0.9W/kg以下。冷轧无取向硅钢片最近未开发出新品种,仅有一些小型电机用的低牌号无硅电工钢片。普遍采用的仍是取向硅钢片,即沿轧向有非常好的磁性。冷轧硅钢片和热轧硅钢片相比,磁感大大提高,铁耗降低不少,表面质量好。0.3mm冷轧硅钢片最低铁耗($P_{15/50}$)可达到0.87W/kg。高磁感取向硅钢片“ORIENCORE HI-B”的铁耗($P_{17/50}$)为0.99~1.05W/kg。取向硅钢片利用低热膨胀系数的磷酸盐涂层提高磁感,降低铁耗和磁致伸缩。无取向硅钢片采用树脂涂层提高冲剪性能和改进焊接性能。目前取代晶体硅钢片用作电机铁心材料的是非晶金属材料,优点是铁耗低,磁感高,厚度薄。1980年以来美日等国用非晶薄带研制了2极、230伏、10.3hp三相异步电动机,与0.35mm硅钢片定子相比,60Hz时铁心损耗降低80%。实验室里还研制出0.1~0.5mm厚、6.5%Si-Fe超细晶窄带,0.3mm厚、3%Si-Fe带,两种新材料都适合作铁心材料。

(四) 转子铸铝

小型异步电动机的转子铸铝,国外基本上采用压铸机。卧式压铸机有意大利TRIULZI公司Castmatic系列压铸机,瑞士BUHLER公司的自动压铸机,法国Corpet Louvet公司的CFR系列压铸机。全立式压铸机有TRIULZI公司的Rotorcast系列,日本宇部兴产的AD-30V和东芝机械公司的DR系列等。

1. BUHLER公司的转子压铸自动机组由主机和下列辅机组成。a、转子铁心自动分离和传送装置; b、工件装卸装置; c、压铸模型腔涂料喷涂装置; d、切浇口和退心轴装置; e、模具补偿和排气装置。其特点是采用组合压模,以便换批调整,换模时间为20分钟。

2. 日本宇部兴产的 AD-30V 全立式转子压铸机, 铁心迭压、工件传送、脱模、浇口处理实现了机械化、冲片迭装、工件装卸、放置石棉纸等仍为手工操作。

(五) 机械加工和装配

1. 三菱电机公司的新城厂专门生产 H80~132 异步电动机, 月产 40000 台。机座加工有四条自动线, 加工带底脚机座的自动线由一台组合机床、一条七工位自动线和两台专用机床组成。端盖是在四工位的机床和一台专用机床组成的自动线上加工。轴加工自动线有四条, 每条线有 14 个工位。全线由 2~3 名工人监控。

2. 计算机控制的电机零部件生产线

(1) GE 公司伊利厂生产牵引电机机座的柔性加工系统, 采用小型计算机和各种专用机床, 劳动生产率比技术改造前提高 2.4 倍。

(2) 加工轴和转子的直接数控生产线, 富士电机公司铃鹿厂生产 30kW 以下的异步电动机及其配套件。由于产品趋向多品种小批生产, 轴加工自动线采用直接数控系统 (ELME3000)。加工线的节拍为 1~2 分钟。全线五台机床和三架装料机均为数控, 它们构成直接传递主计算机信号的所谓直接数控, 全线控制用 C180-A 微型计算机。铃鹿厂还建立了小型通用电动机的直接数控转子加工和装配线, 生产率比原来提高五倍, 操作人员由 11 名减到 2 名。

(3) 换向器加工的自动化, 安川电机公司的八幡厂加工换向器采用机械手和三台机床、两台工件存放器相互配合, 实现了工件搬运装卸和加工的自动化。

(4) 法纳克公司的富士厂共有职工 60 名, 其中技术人员和技术工人各 30 名, 采用 18 台加工中心, 42 台数控机床, 101 台工业机器人和许多部无人搬运车以及其他自动化设备, 在一楼机加工车间组成 60 个加工单元, 在二楼装配车间组成 25 个装配单元, 厂房后面为自动仓库, 月产电机 10000 台。机加工自动化达 90%, 装配自动化达 65%。

3. AEG 公司的 Lloyd 电机厂的机加工, 机座采用加工中心进行机加工。它的刀库可存 60 把刀具, 刀具作三维运动, 程序均显示在荧光屏上。端盖用自动车床加工, 钻孔采用数控多轴立式钻床加工。铣床用于铣底脚平面, 并有数字显示。轴加工采用数控车床、立铣、外圆磨床、铣削滚花等, 在压入电枢冲片前全部完成加工。

4. 机座光止口工艺作为保证电机定转子气隙均匀度的措施之一, 应用日益广泛。无论机座加工自动线或组合机床都有精车两端口和端面的专用机床或相应的工位。

5. 珩磨工艺, 在加工端盖止口的同时, 还往往采用珩磨加工轴承室内孔。定子铁心内圆应用珩磨加工的范围仍有限, 目前仅用于定转子气隙小、均匀度要求高的电机。日本三洋电机公司的产品是采用珩磨工艺的一例。

6. 东芝公司的三重厂, 在柔性自动生产线上加工端盖, 利用计算机控制。还采用自动更换工夹具、涡流探伤、自动计测、图形识别等新技术。

(六) 绕线嵌线工艺

绕线嵌线的机械化自动化程度是衡量电机制造工艺水平的重要标志之一。国外各电机制造公司都广泛采用自动绕线、嵌线和配套设备 (包括插槽绝缘机、端部整形机、绑扎机等) 以及自动生产线。微型计算机已广泛应用于绕线机和自动线上。生产周期不断缩短, 同时还有数字显示。异步电机一般采用拉入式嵌线工艺, 它和直绕法相比, 优点是嵌线槽满率高, 生产效率高。而同步电机和直流电机往往采用直绕法, 把导线直接绕在磁极上。在这方面, 自动化程度较高的是联邦德国的 DIETZ 电机厂和日本三菱电机公司的新城厂。

(七) 导体连接工艺

导体端头采用冷压接法连接,优点是工艺简单连接可靠,无噪声,不污染,不耗用贵金属。国外压接端头都已定型,压模结构简单,容易脱模,压钳均已系列化。感应焊接主要用于上下层线圈间的并头连接和鼠笼转子导条与端环的连接,常用含银焊料,还采用超声波无损探伤法检验质量。电阻焊用于转子接头或换向器升高片和绕组端头的连接,焊接时进行局部风冷或用石棉绳绝热来保护绝缘层。氩弧焊也普遍采用。

四、科学研究

国外各大公司都设有研究所或科技中心,直属总公司领导,主要任务是研究基础理论和面向公司所属单位的应用技术。它们具有专业门类较全的科技人员,先进的自动化测试设备,在进行模拟试验和寿命等试验时普遍采用电子计算机。进行基础研究,也进行应用技术的研究,还能提供完整技术资料为制造产品和成套设备创造有利条件。工厂的技术开发部或研究所,一般都设有产品、工艺、材料等研究室或试验室,为开发新产品、新工艺、新材料服务。大专院校也接受政府、公司、工厂、研究所的委托,承担一些基础理论研究任务,对电机产品的发展也有一定的影响。为了发展电机品种和进一步提高电机水平,各国机械工业部门的科研单位都在加强研究工作,目标是加速产品的更新换代,推出先进的成套设备,提高在国际市场上的竞争能力,对电机技术理论、新材料、新工艺以及其应用作出更大的贡献。

(一) 电机的计算机辅助设计

1. 计算机辅助设计(CAD)的完整内容是指CAD系统除绘图以外,通常还可做构造几何模型、特性分析计算、运动学研究和模拟技术等工作。若把数控程序和有关生产特点与这些功能相结合,还可形成CAD/CAM系统。2. 自动绘图系统,三菱电机公司的MEL-CAD-MD系统和苏联的EC系统都能实现人机对话以及绘图仪和计算机的联机运行。系统还有查询以及提供信息输入和修改部分,供管理操作该系统的设计人员使用。3. 设计分析内容的扩充及有限元法的应用,国外许多厂家用计算机对电机进行发热预测、临界转速、轴承负载、轴挠度、转动惯量、材料重量、瞬变现象、磁场研究、扭矩分析、脉动负载分析等工作。西门子公司对高压电机所做的工作比较彻底。用有限元法进行电磁场分析,对开发和改进电机十分有用,GE公司和日立公司在这方面也做了许多工作。4. 电机的优化设计,有增量探索法、罗森布鲁克法、博克斯复合形法和间接方法,国外盛行优化设计。

(二) 交流电机绕组的研究

国外对交流电机绕组的研究主要集中在变极绕组方面,其次是有关降低损耗、提高效率的节能绕组。其实,变极绕组也多是为了变速节能。有下列主要内容:

采用相位调制实现反向法变极,其特点是改变调制点(改变调相波和被调波的相对位置)能获得较多的方案。尤其是当变前极和变后极都采用非正规接法绕组时,相位调制很容易获得所需变极方案。但缺点是有时难以调制出反向法的变极方案。六根出线的换相法变极的新发展出现了新接线法,并且突破了 P_2 为3倍数的限制而用于其他极数比中。例如4/6极电动机、10/8极电动机,优点是绕组系数和气隙磁密比都较高,而且按槽矢量分析,三相绕组都对称。十二根出线的六相带换相法变极的特点是绕组系数高,并且谐波含量低。例如,8/6极电动机就采用一个值得提倡的变极法。从星-三角并联转换为串联星形而变极的实例2/10极电动机,试验表明这种接法的电动机具有较好的机座利用率,并在双速下的额定

转矩、起动转矩和最大转矩分别接近相等,很适合带恒转矩负载。Wanlass型双绕组异步电动机是1978~1983年间在全世界,尤其是在美国电工界引起兴趣和争论的课题。它有两套三相单层绕组,主绕组每相串一电容再接电网,控制绕组直接并入电网。两套绕组在空间上同相位,但其端点所受电压在时间上相差 60° 。通过各种分析、研究和试验,对Wanlass型三相异步电动机所作的结论也为大家所赞同。主要结论是它并无新物理现象;效率也不优越;所选电容并非对所有运行点最佳;原效率差的电动机经重绕提高效率不足为奇;在传统型异步电动机定子端并联电容也能提高功率因数。极幅调制法(PAM)用于换相法变极。采用星-三角混合接法可降低铜耗以及减少谐波含量。

(三) 异步电机杂散损耗的研究

国外对杂散损耗的研究从未间断过,在指导生产实践方面也取得一定进展。杂散损耗按产生根源分为基波杂耗和谐波杂耗,基波漏磁产生的杂耗按产生位置分为槽漏的、绕组端部的和斜槽引起的。谐波杂耗分为表面的、体积的和绝缘造成的。按产生位置不同在铁心导体中分为14个分量。据报道,转子槽少于定子槽的配合时,铁心杂耗占较大比重。其中定子齿和轭的脉振杂耗分量最大,其次是转子表面杂耗。斜槽转子杂耗和绝缘横向杂耗都很重要,两者约占39~45.5%。高压电机基波杂耗占8%,槽口高频杂耗占50%,磁场谐波高频杂耗占42%。随着电机功率的增大,杂耗对温升的影响增加。杂耗及其寄生转矩在电机旋转时降低输出转矩,在电磁制动时提高它的转矩。按1978年美国标准,在 $S=1$ 时谐波对转矩的作用估计为10%。按生产160kW水冷机壳和端盖电动机经验,杂耗增一倍,绕组温升增 43°C ,事故率增加5.5倍。频繁起动电机的杂耗使转矩不稳、起动慢、发热、可靠性差。降低杂耗措施在综合平衡设计、工艺、成本和效果后采取。苏联4A系列电机的方法可借鉴。

(四) 交流电动机调速的研究

国外水泵、风机配上调速电动机取代阀门、挡板调节流量的传统方式,节约大量能源,经济效益显著。富士电机公司有整套调速装置系列。最近几年来,主要研究内容如下:

1. 尤其是自关断功率器件的发展,推出了新一代容量大性能好的调速装置;2. 随着集成电路技术和功率器件模块化以及冷却技术的进步发展,使调速装置体积更加缩小;3. 脉宽调制型逆变器的推广应用又使调速技术向前迈进了;4. 采用微机控制的调速系统日益普遍,异步电动机的矢量控制得到了推广应用。目前都是测量异步电机的电压、电流和转子的瞬间位置,再经过运算建立所谓磁通观测器,作为矢量控制的依据。把定子输入电流按磁通方向分成有功(转矩)分量和无功(磁场)分量,分别进行控制,使异步电动机具有类似直流并励电动机的特性。还出现了状态观测器,用于改善机组的动态特性。

目前半导体功率器件的水平已达到:两极管和晶闸管,4kV,1kA以上(冲击20kA以上,50Hz一周);用于斩波器的逆导晶闸管,同上水平,关断时间30 μs ;用于逆变器的快速管,2.5kV,400A, $dV/dt=700\text{V}/\mu\text{s}$;GTO,2.5kV,1kA, $di/dt=200\text{A}/\mu\text{s}$;GTR,1kA,200~400A。采用大功率晶体管的斩波器用于异步电动机的调速已达到30~280kW,优点是系统简单,设备价格低廉,电机输入电流波形好,对电网谐波干扰少。为适应大功率电机调速的研制需要,发展了光触发晶闸管,很有发展前途。为缩小交流电动机调速装置的体积,还常采用逆导晶闸管,它是把快速晶闸管和反并联快速两极管造在一块硅片上的复合元件。

微型计算机也成功地应用于改善绕线型异步电动机晶闸管串级调速系统的功率因数。晶