

国外机械工业基本情况

小功率电动机

机械工业部广州电器科学研究所 潘衍昌主编

5.61

机械工业出版社

1995年

出版说明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供实用、先进的技术装备的重任。为适应社会主义市场经济体制的发展要求,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在社会主义市场经济体制下自我完善的发展道路,我们组织编写了第四轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前三轮的基础上,围绕我国机械系统各行业和专业的发展战略,针对我国机械工业技术发展的实际要求,全面系统地介绍国外机械系统各行业、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 80 年代中后期到 90 年代初期的水平及至本世纪末的发展趋向。

第四轮《国外机械工业基本情况》共 60 多分册,编写人员达 500 余人。本书为《小功率电动机》分册,由机械工业部广州电器科学研究所潘衍昌主编,责任编辑:盛秀峰

机械工业部科技信息研究院

前 言

小功率电动机(曾称分马力电动机)是供各种小型机具使用的驱动装置,它是国民经济与人们日常生活不可或缺的产品与商品。随着工业、商业与农业的发展,人们物质文化生活水平的提高,以及家务电气化的普及,小功率电动机的前景无限广阔,其发展备受各工业发达国家的重视。

在机械工业部科技信息研究院的组织与安排下,作为全国小功率电动机行业归口单位,机械部广州电器科学研究所曾编写过第三轮《国外机械工业基本情况:分马力电动机》分册,对这一领域作过较系统的报导和论述。这次编写的是第四轮分册。我们着重搜集了80年代中后期到90年代前期的国外有关文献资料,经过消化分析,在力求全面系统反映国外小功率电动机行业新近进展与动向的基础上编写出这份综述,供广大读者参考。

本第四轮分册在广州电器科学研究所信息中心具体主持组织下,由该中心高级工程师潘衍昌编写,由中心主任、高级工程师于仁冲,高级工程师宋汉燧,以及助理工程师张福平与黄伟玲等提供部分资料,最后由副总工程师谭建成与机械工业部科技信息研究院审定后出版。

由于我们水平有限,本书错误与不尽之处在所难免,敬请广大读者赐教指正。

1995年6月

目 录

第 1 章 综述	(1)
1 行业与企业	(1)
2 生产技术与科学研究	(4)
第 2 章 行业概况	(10)
1 美国	(11)
2 日本	(13)
3 欧洲与其它地区	(17)
第 3 章 企业概况	(18)
1 美国典型企业介绍	(18)
2 日本典型企业介绍	(19)
3 前联邦德国典型企业介绍	(20)
4 瑞士典型企业介绍	(22)
5 其它典型企业介绍	(22)
第 4 章 产品	(26)
1 小功率异步电动机	(26)
2 小功率同步电动机	(37)
3 小功率直流电动机	(39)
4 小功率交流换向器电动机	(50)
5 规定用途小功率电动机	(52)
6 特定用途小功率电动机	(54)
7 其它类型小功率电动机	(60)
第 5 章 元 部件与材料	(65)
1 双层结构电刷	(65)
2 酚醛树脂基制动片	(66)
3 小型电动机用高速轴承及其润滑技术	(67)
4 工程塑料在小功率电动机中的应用	(69)
5 钕铁硼永磁材料	(72)
6 以铝代铜行得通否	(75)
7 以铁磁性绕组取代铜线绕组	(75)
8 电刷用材料	(76)
9 电动机用全自粘绝缘结构	(78)

第 6 章 制造工艺、生产设备及自动化生产线.....	(79)
1 生产环节的简介	(79)
2 介绍几种电机制造用的专用设备	(84)
3 典型自动化生产线介绍	(88)
第 7 章 测试技术与测试设备	(94)
1 概述	(94)
2 典型测试设备	(96)
第 8 章 科研工作	(99)
1 新原理、新产品与新设计的研究	(99)
2 新元件、新材料与新工艺的研究	(105)
3 其它方面的研究	(109)
第 9 章 科研机构.....	(112)
1 美国艾默生电动机技术中心	(112)
2 美国伊利诺斯大学电机、电力装置与电力电子学综合试验室	(113)
3 美国南卡罗里那大学新型电气机械装置教学试验室	(114)
4 前全苏电工研究院	(115)
5 前苏联埃里温工学院电机研究院	(116)
6 波兰电工技术研究所小功率电机研究室	(116)
主要参考文献.....	(118)

第1章 综 述

小功率电动机从本世纪20年代初以“分(数)马力电动机”的名称在美国问世以来,迄今业已经历了80多年的发展过程。当前,在国外主要工业发达国家里,小功率电动机以其产量大、产值高与应用广而备受电工技术与经济界关注,它已发展成为国民经济与人们日常生活不可或缺的产品与商品。随着工业、商业与农业的发展,人们物质文化生活水平的提高,以及家务电气化的普及,小功率电动机的发展前景更是无限广阔。但是,电动机工业本身是一个较为成熟的工业,目前国外不指望电动机的设计原理在看得见的将来会有革命性突破,故小功率电动机工业的发展还只能是一个持续渐进的过程。

近10年来,国外对“小功率电动机”这一标准术语的使用正日益普及。然而,原先沿用已久的“分马力电动机”、“亚分马力电动机”、“小电动机”与“微电机”等含义大同小异的术语,目前仍有使用。

1 行业与企业

综观10年来国外小功率电动机行业与企业发展状况,归纳起来有以下几个特点。

1.1 小功率电动机产量、销售额与进出口数额

小功率电动机产量、销售额与进出口数额的增加有大有小,有时也有下降,总趋势是逐步增加。

据联合国1989年发表的统计(联合国发表的正式数据与各国自己发表的多来源数据有所出入),全世界分马力电动机的总产量已从1980年的近3.3亿台增至1989年的逾4.8亿台。其中,从1980年至1982年的总产量连年减少,从1983年至1989年则连年增加(见表2-1)。另据来源说,90年代初,全世界微特电机的年产量约为30亿台,微特电机的年销售额占旋转电机总销售额200亿美元的32.7%。

美国是小功率电动机的生产与消费大国,其每年的产量、销售额与进出口数额均很大。1989年的货运量为3.3亿台。据1989年报导,以美国为基地的小功率电动机生产厂商约有150家。在美国,1hp以下电动机的数量占全部电动机数量的90%,全美1992年在役电动机总数为10亿台,1hp以下电动机的总用电量占各种电动机总用电量的8%。

80年代以来,日本小型电动机工业仍以发展为主,其中以向日本本土以外的发展较快。据1990年报导,日本小型电动机的大小生产厂商共有100多家,年产量为18.8亿台(包括其国内与国外企业),年增长率为7~10%,其小型电动机产量占世界总产量的2/3。

整个80年代,欧洲小功率电动机的年产量经历了前半期少量降低、后半期逐步增加的发展过程。至1989年,全欧年产量增至近1.1亿台,其中,前联邦德国7600万台,英国410万台(1988年),东欧1.2亿台。前苏联微电机的产量也很高,其产值达电机工业总产值的1/3。据联合国统计,前苏联1989年的电动机(0.25~100KW)年产量近1000万台。欧洲分马力电

动机 1989 年的销售额为 2 亿美元, 1991 年为 2.7 亿美元(仅为电动机生产厂估计销售数)。另一资料称: 全欧分马力电动机销售额 1991 年为 36 亿美元, 预计 1996 年将达 46 亿美元。

1.2 各国小功率电动机生产厂商之间的竞争加剧

当前, 国外小功率电动机市场正在走向全球化, 各大公司为了求得生存, 开拓市场, 相互间展开了剧烈的竞争。以美国为例, 它本身就是一个其国内厂商与各国厂商竞相开拓的大市场。近年来, 远东国家各公司以向这个大市场供应价格很低的电动机进行竞争。这就刺激美国国内厂商必须降低其利润幅度与致力于突出其提供的实惠——就近及时交货与工程协助。又例如, 欧共体也是一个大市场。为了同欧洲大厂商 ABB(Asea Brown Boveri)公司与西门子公司开展争夺欧洲市场的竞争, 美国小功率电动机主导厂商艾默生电气公司(Emerson Electric Co.)于 1990 年出资 4.8 亿英镑收购法国头号工业电动机公司勒鲁瓦-萨默公司(Leroy-Somer)后成为世界“电动机巨人”。即使在美国国内, 竞争导致其小功率电动机行业发生大改组: 企业兼并, 收购与放弃, 以及工厂合并。美国小型电动机制造商协会(SMMA)预见到竞争日益剧烈, 计划建立预竞争研究集团, 由参与厂商出资及吸纳补助金, 开展合作研究, 以开发出富有竞争力的电动机产品。总之, 国外小功率电动机行业在剧烈的竞争中得出一个信条: 任何电动机生产厂商要想在现今的全球化市场上求得生存与发展, 那它必须要有全球性竞争能力。

1.3 重视合作与通讯联络, 重视客户要求, 并向客户提供更多服务

为了加快电动机的设计与制造, 加快产品投入市场, 对驻国外公司成员间的合作很重视。美国 A. O. 史密斯公司(A. O. Smith Co.)为了促进公司内的通讯联络与加强协作, 每月召开一次由分散在各处的产品工程、制造与购销等人员参加的可生产性会议, 以便将可生产性设计入产品中。美国拉姆电气公司(Lamb Electric)一项吸尘器用电动机新产品推出计划之所以能在短短 9 个月内成功实现, 其重要因素就是重视公司内合作与公司内外的通讯联络。美国 ebm 实业公司(ebm Industrial Inc.)派至客户处的工作人员与本公司保持密切的业务联络, 有效地(省时、省旅差与省钱)开展工作。该公司与客户进行通讯联络的程序大致是: 日夜电子告示牌传出和接收计算机辅助设计(CAD)图纸与文件; 录象带显示各业务点的工作进展情况, 可让工作人员在不间断工作的情况下检查工具与生产线工作情况; 定期召开总公司与在其他国家的 4 个分公司的电话会议, 以便经常联系, 让每个人员知晓公司当前的活动与存在的问题。

随着电动机生产厂商与其主要用户电动器具制造厂的供求关系日益密切, 它们之间的合作也日益受到重视。法国一家家电用电动机供应商认为: 如果电动器具制造商不与电动机供应商一起讨论细节, 它就很难设计出具有新概念的电动器具。该公司还认为: 这种双方合作应扩大为包括电子器件厂在内的三方合作, 因为现今的电动机往往要使用电子器件。美国电力研究所(EPRI)在开发先进小功率电动机过程中也加强所内外紧密合作。该所认为, 研究所以智谋投资参与这种紧密合作会给研究所带来效益, 可获得新开发电动机的设计与应用专利权, 而电力事业与其他用户也将从中受益。英国两所大学 1993 年立题研究的 1KW 以下开关磁阻驱动装置就是由 22 家工业公司组成的集团, 出资 120 万英镑, 开展了研制工作。有意义的是, 该一合作集团内的某些成员本是直接的竞争对手。现今合作已成为一种设计趋势。

国外厂商现今对客户要求十分重视。有的公司已注意到从大批量生产转变到更经常改变设计型式, 要求研制周期较短的动向, 而开始强调电动机制造厂对客户的要求应作出较快反

应。美国诺思兰德公司(Northland)几乎每天在绘图板上有某些新设计出现。与此同时,增多服务项目的趋势也在发展之中。例如,美国通用电气公司(GE)的竞争战略就是,不但投资于自动化,而且投资于其提供的服务。该公司同客户密切合作,向客户提供的不仅是电动机,而且增添设施,向客户提供测试服务。此外,有的厂商还提供环保服务与把产品性能资料给客户分享等服务。

1.4 在材料价格上涨的情况下,仍然重视质量与稳定产品价格,质量重于价格

据报导,在1987年与1988年,美国的器具用电动机工业面临材料价格失控的大挑战。这种失控以铜为主,也包括钢与滚珠轴承等。这促成产品价格上升。以铜为例,其增幅最大,当时在2.2美元/kg与3.3美元/kg之间浮动。这使电动机制造厂简直无法承受。这是问题的一面。问题的另一面是客户对价格十分敏感,他们要求质优价廉的产品。这两个方面迫使电动机制造厂不得不重视改进产品质量,降低生产成本。为此,电动机生产厂除了重视自动化外,还需采取其它措施,包括采用替代材料,以单一部件取代多个独立部件,采用新分析法以减少废品,以新产品取代老产品,重视标准化等。就提高质量与降低价格之间的轻重关系而言,美国有些厂商认为,前者重于后者。例如,美国阿米特克/兰姆公司(Amstek/Lamb)公司认为,它在产品销售尤其在产品出口方面取得成功的最主要原因是重视质量。

1.5 国外各工业发达国家的小功率电动机生产厂商纷纷向海外发展

近年来,世界经济的相互关系在发展、深化,市场向全球化发展,世界贸易出现保护主义倾向。在此背景下,美、日、欧的企业全球化势头正在明显增强。他们在海外开设分公司、分厂,设置代理商、分销商与经销商等。最为明显的是日本。他在亚洲新兴工业化国家与地区大量开设分厂,也在欧美寻求发展。据1993年日本小功率电动机业界人士预计,日本小功率电动机在海外生产的比率不久将超过其国内外总产量的70%。前联邦德国紧随其后,其小功率电动机主要厂商:EBM公司(Elektrobau Mulfingen GmbH)在世界各地拥有30多家子公司与代理商;格罗肖甫公司(Groschopp)在美国与爱尔兰各设一微型电动机公司,在欧洲设有20个制造厂、代理商与经销商;尼科尔电动机公司(Neckar Motoren)设有一个由在本国的销售代表与在欧洲十多个国家的代理商组成的密集网络。美国艾默生电动机公司在法国设有一个分公司,在墨西哥设有几个分厂,在委内瑞拉与韩国各设一个合资公司,在中国设有办事处。瑞士微型电动机公司(Minimotor SA)的大部分产品销往海外,在所有工业国家设有专门代表处……。

1.6 步步攀高的节能与生态要求,将促使电动机获得更大更快发展

多年来,能源危机已使国外电动机厂商十分重视节能要求,实际上也已取得了很大的节能效果。近年来,节能要求更高了。为此,美国已于1987年通过了“全国器具节能法案”。该法案要求电动器具制造商对其产品采取更有效的节能措施。据估计,按照此法案的要求,现有的54%房间空调器,75%冰箱与冷冻机须要重新设计,洗碗机与洗衣机等其它器具也存在重新设计问题。要达到新的节能要求的关键是提高器具使用的压缩机与电动机的效率。美国通用电气公司率先专为冰箱研制了节能的新型J机座电动机,其他厂商也不得不纷纷采取相应措施。不然的话,联邦节能法生效后,达不到节能要求的产品将不准出售。近年,美国新的能源政策法要求电动机符合1997年起生效的具体能源效率标准,也对测试、认证与标示规则作出了规定。这将迫使电动机制造商作出更大的努力去快速发展高效率电动机。

此外,英国、法国、前联邦德国、比利时与意大利等欧共体国家于1989年在比利时召开了电气运输专家研讨会。会议期间,这些国家制造的蓄电池驱动的公共汽车、运货车、轿车与电

电动自行车队在街道上作展示性行驶。会议展望了电动车的发展前景。与会专家认为,为了避免汽车废气给城市与森林造成污害,电动车的生态优点正开始超过其行程短、成本高的缺点,而且,由于电力比石油便宜,电动机的燃料费也低得多。另外,普通汽车使用的内燃机约有100多个活动件,而电动车采用的电动机只有一个部件,这使电动车的维修保养费比普通汽车低。专家们预言,到本世纪末,欧洲将出现几百万辆以电动机为动力的电动车辆,未来的车辆将全部由电动机驱动。由此预见,随着电动车的发展,其关键部件电动机将得到大发展。

2 生产技术与科学研究

综观十年来国外小功率电动机生产技术与科学研究发展状况,有以下几个特点:

2.1 不断重视新产品开发,产品向多样化、微型化发展,特种产品也在发展之中

为了适应国民经济各部门发展与人们日常生活水平提高的需要,国外小功率电动机工业对新产品的开发十分重视,它们致力于产品的多样化、微型化,也注意特种产品的发展。

美国电力研究所近年正在大力开发各种新一代高效电动机,供众多方面应用。其中主要有:5相永磁同步电动机,高速分马力永磁电动机,变磁阻电动机,永磁-变磁阻混合电动机与无刷双馈电动机,以及高温超导电动机。日本富士电机公司1991年宣布:该公司近年来开发出多种新产品,主要有,优力新系列三相异步电动机,新型高速电动机,永磁同步电动机,制动电动机,以及多种特定用途电动机与机床用冷却泵等。前苏联与前经互会国家合作开发的AM系列异步电动机目前已发展到第5代。前全苏电工研究院在过去30多年里共开发出4代无触点式直流电动机,供航空器的各个系统使用,也可供计算机、自动化生产系统、机床设备与日用电器等应用。前联邦德国尼科尔电动机公司生产产品种类繁多的小型精密电动机,其K系列单相电动机,D系列三相电动机,R系列同步电动机与G系列直流电动机等4个系列电动机各带有3种铁心长度,它们可构成12种基本组件,此12种基本组件按6种绕组方法可形成96种基本类型,用16种齿轮装置与96种基本类型组合可形成2万多个具有不同转矩、转速与机座号的标准派生品种。此外,国外许多厂商正在设计易于修改以适于不同产品装用的电动机,此种电动机使用同尺寸冲片,同样的换向器,只需改变转轴与线圈匝数就可满足不同的性能要求。

多年来,国外小功率电动机厂商对缩小电动机的体积一直十分重视。随着办公自动化,家用电器与医疗器械小型化,各类用户越来越期望电动机厂商能提供体积小的电动机。世界直流微电机主要厂商、日本万宝至电动机公司(Mabuchi Motor Co.)看到了不断微型化是一种发展趋势,故十分重视其直流微电机产品的微型化。该公司新开发的一种小型电动机可使旅行用电动牙刷小到象一支钢笔那样供人随身携带。瑞士微型电动机公司新开发的供医疗器械使用的直流电动机小如蜜蜂。在美国的帕纳索尼克实业公司(Panasonic Industry)成功地开发出一种省空间的电动机系列。此种电动机很薄(采用扁平转子),适于装入不能容装常规长形电动机的空间内。

至于对特种产品的发展情况,介绍以下若干实例。

美国杜克(Duke)大学研制过直径小到1mm的超微电磁电动机。这种电动机小到可进入人体动脉与其它小部位开展工作。美国也正在用硅与氧化物沉积在底材上的方法研制细如发丝的极小型静电电动机。这种微电机在医疗通讯与制造(微装配)方面具有重大应用价值。它可灵敏地测量人体血液的化学状态;可用于切割血管内障碍物的螺旋形细刀;可用于精密装

置,以分选出人体的各个细胞(例如计算出白血球数量),从而可进行各种诊断化验。日本东芝公司研制出两类超微电动机:径向气隙电动机与轴向气隙电动机。前者的外径为3mm,全长为5mm;后者的定转子外径为0.8mm。日本松下技研公司制成直径只有1.4mm的电动机。这种毫米级电动机的转矩相等于是其10倍的小型电动机的转矩。德国一家微型技术研究所,最近展出了自称为世界上最小的电动机,其直径只有2mm。这一新展品具有足够的动力可带动其他机械,其转速可高达100万rpm,可用于外科手术和计算机技术中。美国法斯科(Fasco)电动机公司于1991年推出一种无清漆的罩极4极分马力电动机,供该公司生产的空气净化装置使用。该电动机的绕组无需涂清漆,运行时不会产生溶剂气味。此电动机可在防止溶剂挥发物对环境有害的低温与环境受控的特殊场合(诸如食品服务器具与保健器具之类)使用。日本三菱电机公司1988年宣布开发出宇宙用无刷电动机,可供宇宙机器人与视觉控制装置中的各种驱动机构使用。其额定转矩为98Ncm(A型)与19.6Ncm(B型),使用环境温度,高温70℃,低温-50℃。该电动机能经受宇宙真空的特殊环境。此外,美国、日本等国还在潜心研制超导电动机。据预言,超导体将会有朝一日对电动机工业带来重大影响,其在电动机中的应用可能确实存在,而超导电动机在电动器具中也有应用可能性。

2.2 重视能源效益,产品向高效率与高质量方向发展

电动机的效率要高,质量要优,这一直是小功率电动机制造厂商与广大用户所追求的目标。长期以来,国外为了达到这些目标作出了很大努力,并取得了较大成果。

为了使电动机减少能耗,提高效率,国外不少厂商从电动机的设计、用材与加工装配等各方面寻找可行的解决方法。他们也往往以重新设计整套电动机产品系列来全面考虑提高效率问题。综合来看,考虑的途径有,改进叠片设计、改进磁结构设计、改进定子-转子的磁性耦合、改进电容器与蒸发器设计、改进扇叶与叶轮设计、采用轻质材料、使用带铜更多的绕组、铜绕组槽满率提高到80%、铝绕组槽满率提高到85%、设计更有效的传动装置、在活动件匹配表面使用更光滑的涂层以及全面减少摩擦……等。美国厄普科(Uppco)公司开发的冰箱用罩极电动机的效率已从原先的15~20%提高到30~40%。此外,国外正在发展使用连续调速控制器的各种变速电动机来实现大幅度节省能源与提高效率的要求。

国外电动机工业通常把质量看成为头号目标。它们认为,“质量必须”。这首先反映在国外的“质量”(尤其是“优质”)概念在变化中。它们对质量的标准提高了。小功率电动机产品原先达到的质量水平,过了二、三年后就不再被人们接受了。用户要求更高的质量。“高质”的定义已从一个先进水平提高到另一个先进水平。现今的一个主要趋势是采用PPM(百万分率)质量检测。美国马洛里(Mallery)控制器公司对其电动机产品的可靠性指标规定为100PPM。美国厄普科公司已能使其电动机产品的零部件报废率降至500件/百万。该公司的计划是,1994年降至250件/百万,1995年降至100件/百万,目标是使不合格品为零。为了保证质量,厄普科公司运用激光传感器检查每一定子组件的完整性,对产品实施100%检测。此外,日益发展的自动化生产工艺本身在很大程度上可确保制造精确度,从而可确保产品质量。

2.3 使用计算机技术,采用加速设计方略,旨在缩短产品开发周期,加快新产品推出

为了加快电动机产品投入市场,降低研制过程的成本,减少人-小时的投入,国外电动机工业对加速电动机设计与缩短产品推出周期予以高度重视。他们使用计算机辅助设计、计算机辅助制造与计算机辅助工程(CAD、CAM、CAE)等计算机技术来加快与改进设计过程,缩短样

机试制周期。他们采用的方法与措施较多,其中之一是采用加速设计方略。美国阿米特克/兰姆公司与 A. O. 史密斯公司均采用并行工程法来达到目的。前者要求开发项目在开始阶段就要有深思熟虑的产品开发规划,足够的资源配置,有确定项目各个方面能在规定的时间内完成的计划。该公司最近参加的一项要求九个月完成的采用新材料的电动机设计计划,就是施行了并行工程法来满足客户的要求。后者则实行并行处理项目的工程,将设计部门、制造部门与客户在研究过程之初就集中在一起开展工作,发挥 CAD 的作用,让工程技术人员可即时参考任一电动机设计与鉴定每一个编入的参数。该公司称此法可提高其提交首台样机就符合要求的能力,使新产品在短短 4 周内就可设计好并投产。美国艾默生电动机公司为加速产品开发而采用的新技术,包括:用 CAD 技术设计冲片,用激光器剪切冲片,用人工智能法缩短工程周期。该公司于 1993 年采用一种立体平板印刷机。该机能以液态聚合物制出复杂的模型,且可加快原型机的制作时间。工作人员可将由计算机制作的三维固态模型加载于立体平板印刷机上,几小时后就可获得一个实用零件。该零件可以是功能模型,可予检测,或作美学观测。这就无需制作模子。美国 A. O. 史密斯公司运用一种较缜密的方法(例如 Taguchi 法)加速设计电动机。这种方法粗看起来似乎同快速将产品投入市场的要求有矛盾。但是,实际上,它可使产品开发过程更为有效。例如,该公司最近就使用此法重新设计其 56 机座电容器电动机,来降低其振动噪声。该法的实质在于,开发人员必须遵循每一步的要求,不贪图简化,一开始就走上正确的道路,减少走弯路。

2.4 采用新型材料

在小功率电动机中大力采用可取代金属材料的工程塑料与稳步应用高性能钕铁硼永磁材料。

在国外,工程塑料在电动机中的应用正在快速发展。由于工程塑料具有较高的强度、刚性、韧性与可注塑性,重量比金属轻,不需二次加工与去毛刺,不导电,寿命长等一系列优点,使它日益成为取代金属材料的理想材料,可应用小功率电动机中。工程塑料可分为热塑性工程塑料与热固性工程塑料两种类型。它们在小功率电动机中各有其应用特点。目前,国外在电动机中应用工程塑料取代金属材料的过程一般可分为三个阶段:第一阶段是,设计的塑料件看起来很象原来的金属件,但却是塑料制成的;第二阶段是,当人们确立起塑料能够替代金属的信心后,就可以塑料为基础设计电动机产品;第三阶段是,如果此电动机不采用塑料制作,就根本无法生产出来。

国外很多厂商正以各种方法在小功率电动机中尝试或正式应用工程塑料。到目前为止,他们可以应用工程塑料制成的电动机零部件与组合件计有端盖与机座、定子绝缘、转子绝缘、机壳、凸缘、轴承座、刷座、换向器与换向器片、座圈、压指、接线盒、电容器盒、风扇罩、扇叶、齿轮装置与制动片等。其中,美国杜邦公司大力帮助不少厂商将该公司的工程塑料产品应用于小功率电动机,日本松下电气公司新开发的家电用塑封电动机与汽车用塑封电动机采用了该公司自行开发的工程塑料,以及日本电动机研究开发中心近年开发出一种采用工程塑料的制动片供该中心生产制动电动机使用等几例较为突出。

小功率电动机应用工程塑料取代金属材料其优点有:降低成本,缩小尺寸,减轻重量,降低振动与噪声,有利于设计、制造、加工与装配,减少使用零部件,减少库存,便于采用双

重绝缘以提高用电安全性等。

据目前情况,已有供低温场合使用的工程塑料,但供高温场合应用的工程塑料还不见实际应用。预计,工程塑料在小功率电动机中的应用还会不断发展与扩大,以塑料取代其它材料的发展趋势将需逐步推进。

几年来,国外永磁材料的发展很快,其中尤以1983年问世的高性能钕铁硼永磁材料的发展最快,最为引人注目。据报导,1990年西方世界在永磁微电机中使用的钕铁硼烧结永磁材料共1245t,其中欧洲65t,美国360t,日本用量最大,达820t。美国通用汽车公司与日本住友特殊金属公司是两个率先开发出钕铁硼永磁材料的公司,也是多年来世界钕铁硼永磁材料的主要供应商。美国通用汽车公司还想争取在十年内使该公司的钕铁硼永磁材料成为世界上占支配地位的永磁材料。由于钕铁硼永磁材料具有优异的磁特性,它在电动机中的应用颇具吸引力。采用钕铁硼永磁材料制造的电动机具有转矩高、效率高、动力性能好以及体积小、重量轻等特点,十分适应现代化电器与电子设备向轻、薄、小以及高效方向发展的需要。目前,钕铁硼永磁材料在小功率电动机中的应用主要表现在直流电动机与同步电动机领域,其在无刷直流电动机与交流永磁伺服电动机中的应用取得了突破性发展,在其它类型电动机中的应用也在逐步取得进展。钕铁硼永磁材料在性能上还存在两大缺点,使其在小功率电动机中的应用受到限制。其缺点是磁性能在高温时会退化,容易生锈。此外,它的成本虽比问世初期有所降低,但目前仍为价格过高。国外正大力开展研究以克服上述缺点。随着制造方法的改进而提高性能,降低价格,钕铁硼永磁材料在小功率电动机中的应用范围还会不断扩大。

2.5 积极开展技术革新,大力促进生产加工自动化

为了配合小功率电动机生产持续发展的需要,多年来,国外厂商对小功率电动机制造工艺与设备的发展作出了大量投入。他们使用计算机辅助制造、计算机综合制造系统与计算机辅助工程(CAM、CIM、CAM)等计算机技术,开展技术革新,大力促进生产加工自动化。尤其是,只要力所能及,就采用成套自动化生产线。

近年来,国外对技术革新与自动化生产的意义的认识正在更新。过去,人们认为技术革新与自动化生产的意义主要表现在提高生产率,降低生产成本与解放劳动力,现今,这一意义已扩大,它还包括提供均一、高质产品,免去培训需要高技能的操作人员与加快投资的回收等。美国厄普科公司认为,如果生产出来的电动机有缺陷,这不单有电动机报废所带来的成本问题,而且也有浪费时间,使组件中其它部件得不到使用,以及浪费管理费等问题。解决这些问题乃是开展技术革新与促进生产自动化的重要方面。

国外厂商对小功率电动机生产的技术革新与自动化采取了很多措施。美国厄普科公司设计的所有加工方法均考虑到大量自动化与大批量生产。这使该公司近年的日产量提高20%~30%。例如,该公司对轴承座实施全自动加工,使进入轴承的油量可加以控制。美国格洛勃产品公司(Globe Products)对其简易换向器放置器加以改进后可采用线性矩阵摄影机观测系统对换向器进行定位。这是一种高度精确的换向器定位方法。为了生产具有世界水平的电动机,美国梅格内蒂克公司(Magnetek)在其最新加工机械中采用计算机与机器人控制。在美国的奥丹沃拉自动化公司(Odawara Automation)生产的电动机绕线装置业已从专一的生产系统发展到可在30min内随铁心高度改变而改变的,在90min内随整个机座号改变而改变的。系统。

该公司指出,一台电枢绕线机只是由电动机、飞轮与线匝计数器组成而已的时代已属过去,现今,它还装有可编程机器人与交互等离子按键荧光屏,现有一种高技术定子绕线机可运用易编程机器人进行引线连接操作。这几年,国外对绕线嵌线工序自动化的发展较快,但继这一工序之后的线圈/铁心加工、测试、浸渍与烘焙,以及再测试等4个工序仍以手工操作为主。为了解决后4个工序所带来的“瓶颈”问题,使其也相应自动化,美国弗尔普斯·道奇磁线公司(Phelps Dodge Magnet Wire)生产出一种万能自粘性磁线粘合装置。该装置可将后4个工序同前一个工序组合起来实施自动化。

至于采用自动化生产线,可提及以下两例。美国伊莱克特罗勒克斯公司(Electrolux)耗资2500万美元对其吸尘器生产设施进行全面大改建,其中专门拨出150万美元用于建造一条高度自动化的吸尘器用电动机自动装配线。该装配线采用机器人,可以每10s生产一台电动机。装配线对流过自动系统的部件的均一性要求高,自动装置不接受非一致部件,故电动机废品率很低,在1%以下。日本安川电机公司为其H系列全钢板小型异步电动机建造了一条机座自动生产线。该生产线也采用机器人,其生产能力达到2~2.4万台/月,生产品种约200种/月,生产出来的机座质量高而稳定,它可使交货时间缩短到不超过3天,仅需一个女工操作(兼作材料准备)。

2.6 具有发展潜力与前景的几种小功率电动机

2.6.1 无刷直流电动机

无刷直流电动机或叫电子换向电动机,是近年来随着电子技术的快速发展而发展起来的一种新型电动机,是一种具有崭新结构、能顺应高科技发展要求的创新电动机。其最大特点是没有由换向器与电刷组成的机械接触机构,因此没有磨擦,没有换向火花与无线电干扰,寿命长,运行可靠,无需维修。它可在世界各地不同的电网电压与频率下工作。无刷直流电动机的应用获得了很大的进展。在美国,1981年这种电动机的消耗量达560万台,1991年增至2650万台(预测数),年增长率为37%。它的应用已渗透到美国五大部门:计算机与办公室自动化,消费品,工厂自动化,军事与宇宙空间,以及仪表。在日本,中小功率无刷直流电动机已达到大批量生产与应用阶段。据1990年报导,日本无刷直流电动机的年产量已达8000万台。早期阻碍无刷直流电动机发展的一个关键因素是其成本过高。近年来,由于电子技术的新发展,促使这种电动机的成本大幅度下降。美国尼德克公司(Nidec)提供的无刷直流电动机的成本可降至每台16美元。该公司开发的一种新型轴流风扇就应用了此种电动机。无刷直流电动机会随着电子控制器成本的不断下降及较精密电动机需求量的增加而得到进一步发展。据预测,它将有可能在今后十多年内取代有刷直流电动机。

2.6.2 开关磁阻电动机

开关磁阻电动机是一种机电一体化的新型调速电动机。其结构很简单,可靠性好,效率高与调速性能好。十年来,对这种电动机的研究与开发一直是国际电工界的热门课题,国外不断有新产品与系列产品问世。其中经济型分马力开关磁阻电动机具有广阔的市场。由开关磁阻驱动技术发明者创建的英国开关磁阻驱动装置公司(S. R. Drives)认为,随着机电一体化技术的发展,此种电动机已可与由三端双向晶闸管开关控制的交直流两用电动机在成本上进行竞争。该公司1987年展出的一种洗衣机,其中应用了该种开关磁阻电动机,该公司是在不

牺牲电动机性能的情况下将其体积缩小为其它同功率洗衣机电动机的一半。1993年英国耗资120万英镑立题研究开发1KW以下开关磁阻装置,准备供家用电器与汽车零部件之类规模市场销售。同目前广泛应用的调压调速单相异步电动机相比,经济型开关磁阻装置更具有价值与生命力,它是一种具有发展潜力与发展前途的电动机。

2.6.3 汽车用小功率电动机

汽车用小功率电动机的数量在年年增长。现今,一辆小汽车要使用20多台电动机,一辆高级轿车要使用50多台电动机。趋势是每辆汽车的电动机使用量还会进一步增长。这主要由于它采用的电动与自动装置增加了,采用电动机装置取代习用装置以及采用新机构与新装置等。随着各国汽车工业的发展,庞大的世界汽车总市场对小功率电动机需求量之大无疑将是一个惊人的数字。

2.6.4 钕铁硼永磁电动机

近年来,由于发现了钕铁硼永磁材料的磁特性与物理特性优越于铁氧体、铝镍钴与钕钴稀土等几种永磁材料,而且其成本低,原材料来源较有保证,因此各主要工业发达国家对其开发应用非常重视,对其在电动机中应用排在前列。随之而来的是,对各种钕铁硼永磁电动机的开发与应用也非常重视。经过多年研制活动后,各国预测这种电动机的应用领域将日益广泛,从一般厨房用具至较大的工业设备,均有应用潜力与前景,例如可应用于风扇,小型加工设备,家用器具,汽车用起动机、散热器、加热风扇、电动窗户、电动座位与远控镜,机械激振器,圆盘传动装置的磁头,光栅扫描器,雷达追踪系统,移动式机器人,叉车,以及电动车等。而且,此种电动机将会在其中某些领域中起主导作用。

2.6.5 以电池为电源的低压电动机

随着越来越多的电动机装入各种电动器具产品之中,随着新型电池的发展,低压电动机正在不断取得新的市场地位。例如,日本万宝至电动机公司生产大量低压电动机,提供个人电子器件使用。该公司指出,可再充电的手持真空吸尘器数量在增长之中,可再充电的手持搅拌器、剃刀、牙刷、便携式音响设备,甚至便携式放象机正在发展之中,一个无线电源时代正在到来,以电池为电源的低压电动机将有无限广阔的发展前途与应用前景。

2.6.6 超声波电动机

近年来出现与发展的超声波电动机受到了人们的重视。超声波电动机分为行波型与振簧型两种。日本松下电器公司研制开发的行波型超声波电动机,其效率可达45%,静止扭矩为 $10\text{N}\cdot\text{m}$,可用来驱动照相机自动聚焦、软盘和硬盘以及打印机等。日本电气公司和东京工业大学合作开发了一种高转矩超声波电动机。这种超声波电动机与传统的行波型超声波电动机相比,在直径相同时,前者的转矩要大20~30倍,这使其可应用于人造卫星的天线控制、办公室自动化设备、汽车用料装置与工业机器人等。美国帕纳索尼克实业公司推出了USM-40D型压电驱动超声波电动机(振簧型)。该电动机的输入电压为直流12V,输出功率为1W,转速为330rpm,额定转矩为 2.94Ncm 。由于超声波电动机具有结构简单(不需绕线),体积小,重量轻,控制性能佳,转矩大,响应快,机械时间常数小,不产生磁噪声,不会因磁性而引起故障等一系列特点,人们预料它将作为低功率驱动元件而获得广泛的应用。

第2章 行业概况

多年来,随着国外小功率电动机工业持续的发展,业已形成的小功率电动机行业也跟着发展,其中以美国、日本与欧洲各主要工业国家的发展占主导地位。由于竞争致使美国的小功率电动机行业发生大改组,日本的小型电动机生产厂商纷纷向国外发展。由于世界市场发展的总趋势是走向全球化,故各主要工业国家的主要厂商除了继续在各自的国内求得发展外,其中不少厂商已把发展注意力转向海外。就生产量而言,据联合国正式统计,全世界生产小功率电动机的20多个主要国家(不计中国)其总产量已从1980年的3.3亿台增至1989年的4.8亿台。其中,日本与美国的产量位居前列(见表2-1与表2-2)。以下按国家与地区介绍行业情况。

表2-1 1980年至1989年各国小功率电动机年产量 (千台)

国家或地区	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
非洲	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
北美	200058	202872	180243	213354	235433	235506	230734	275931	312023	331910
墨西哥	2511	2819	2419	1288	345	418	469	478	646	
美国 ²	197547	200053	177824	212066	235088	235088	230265	275453	311377	331565
南美	4928	4473	4013	4471	4471	4471	4471	4471	4471	4471
巴西	4928	4473	4013							
亚洲	19994	13312	19115	20804	25272	25778	24035	27428	30390	29264
日本 ³	19446	17693	18556	20026	24233	24721	22371	25305	28340	27060
巴基斯坦 ¹	25	28	25	28	28	38	40	44	46	35
土耳其	523	591	534	750	1011	1019	1624	2079	2004	2169
欧洲	88912	73308	72582	77265	84482	96694	105563	106420	108083	106400
欧共体	71198	56348	54995	58766	64997	74235	77046	78027	79560	81952
丹麦	515									
前联邦德国	64265	50568	49630	53178	59480	68018	70599	71643	74326	76177
希腊 ⁴	77	5	4	5	4	3	1			
西班牙	535	960	448	539	524	926	1196	1142	607	
英国	5807	4301	4399	4530	4475	4774	4736	4727	4112	
欧洲自由贸易区	4130	3713	4022	3880	4224	4882	5230	4897	5388	5278
奥地利	1911	1648	2035	1831	2004	2656	2867	2452	2979	2822
瑞典	2219	2065	1987	2049	2220	2226	2363	2445		
东欧	10672	10475	10349	10926	10993	12041	12520	12681	11829	11975
捷克斯洛伐克 ⁵	3433	3499	3495	3247	2635	2801	2941	3023	3268	3299
前民主德国	5852	5542	5600	6406	6880	7619	8044	7995	7107	7199
匈牙利	1387	1434	1254	1273	1478	1621	1535	1663	1454	1477
欧洲其它	2912	2772	3216	3693	4268	5536	10767	10815	11306	7195
南斯拉夫	2912	2772	3216	3693	4268	5536	10767	10815	11306	7195
前苏联 ⁶	9412	9617	9571	10115	9751	9773	9953	9826	9936	9530
大洋洲	3378	3659	3460	2278	2358	2161	1961	2150	2388	3076
澳大利亚 ⁷	3378	3659	3460	2278	2358	2161	1961	2150	2388	13076
总计	326683	312242	288985	328288	361768	374384	376718	426227	467292	484652

注: 1. 包括 1hp 及以上电动机; 2. 发货量; 3. 包括 35W 以上单相交流电动机; 4. 包括 1/4hp 以下电动机; 5. 包括 1KW 及以下电动机; 6. 包括 0.25~100KW 交流电动机; 7. 到每年 6 月 30 日为止的 12 个月。

表 2-2 1980 年至 1989 年各国小功率电动机年产量

(×1000KW)

国家或地区	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
亚 洲	5125	3881	4416	4943	6774	6770	6224	6502	7037	6834
日 本 ¹	5125	3881	4416	4943	6774	6770	6224	6502	7037	6834
欧 洲	9402	8404	8761	8389	7690	7610	8417	9903	11213	11213
欧共体	6395	5902	5485	4937	5103	5545	5094	6254	7179	6101
法 国 ²	6395	5902	5485	4937	5103	5545	5094	6254	7179	
东 欧	705	774	785	775	736	791	802	820	895	890
捷克斯洛伐克 ³	497	525	596	583	511	538	562	590	651	645
匈 牙 利	208	249	189	192	225	253	240	230	244	245
欧洲其它	2302	1728	2491	2677	1851	1274	2521	2829	3139	4222
南斯拉夫	2302	1728	2491	2677	1851	1274	2521	2829	3139	4222
前苏联 ⁴	39859	40552	40721	45308	45771	46541	47301	46632	48152	46921
总 计	54386	52837	53898	58640	60235	60921	61942	63037	66402	64968

注：1. 包括 35W 以上单相交流电动机；2. 发货额；3. 包括 1KW 及以下电动机；4. 包括 0.25~100KW 交流电动机。

1 美国

在 80 年代，美国由于经济不景气，国内市场需求疲软与情况捉摸不定，尤其是基础制造业的萧条，致使其大量使用小功率电动机的工业领域以及制冷、采暖与服务设备等主要行业增长很少，从而使美国小功率电动机工业长期处于不稳定状态，其产量、销售额与货运额增长减缓，有时甚至下降。据联合国统计，美国小功率电动机的年产量从 1980 年的近 2 亿台经几年发展（有减、有增）后至 1989 年达 3.3 亿台（见表 2-1）。美国小功率电动机是同许多种机械一样成套单独销售的，但大部分又是出售给主机制造厂的。自 1982 年以来，由于主要受到计算机畅销的刺激，办公设备与计算机市场每年增长 12% 以上，从而促使该行业购买了美国所销售的全部小功率电动机的 12%。不过，这种增长情况随着计算机硬件市场的成熟而有所减缓。有关 80 年代美国小功率电动机的销售情况见表 2-3。与此同时，从 1982 年至 1987 年，美国小功率电动机工业受到了外国竞争者的沉重打击，其贸易状况大为恶化，贸易赤字每年增长 30%，1987 年的累计贸易赤字超过 5 亿美元。在这些年里，其进口量每年增加 18% 以上，超过 8 亿美元。1987 年，国外主要出口商向美国出口了价值 2.75 亿美元的小功率电动机。向美国出口小功率电动机的主要国家有日本、墨西哥、韩国与加拿大。

表 2-3 1983 年至 1988 年美国小功率电动机销售量

(百万美元)

电动机类型	1983	1984	1985	1986	1987	1988	增长率(%)
小型电器配套用	445	496	538	570	584	571	5.1
大型电器配套用	659	724	777	804	807	786	3.6
空调器和制冷设备配套用	325	394	441	466	463	451	6.8
加热装置配套用	70	81	84	86	87	88	4.7
工业、汽车、计算机及其它配套用	2386	2750	3035	3260	3403	3389	7.3
电动机总计	3885	4471	4902	5211	5369	5311	6.5

进入 90 年代以来,随着美国最终用户工业(主要是主机制造厂)境况的改善,致使分马力电动机需求量的增加以及进口增长减缓,美国有关分马力电动机的生产厂商的货运额逐渐复苏。此外,分马力电动机产品设计的不断革新,电子技术的发展及其应用范围不断扩大,稀土磁铁的进一步发展,以及替换性需求的增加等,都在推动着美国分马力电动机工业的增长。

据 1989 年报导,以美国为基地的小功率电动机生产厂商约有 150 家。不过,美国小功率电动机工业是由几家大企业所控制的。其国内市场的剧烈竞争环境,加上外国竞争对手在美国市场上日益增多,导致美国小功率电动机工业发生大改组。其特点是企业兼并、收购与放弃以及工厂合并。在美国,汽车行业是小功率电动机的最大市场,消费业次之。

展望 90 年代,美国弗里多尼亚集团公司(Freedonia)发表过 1988 年编写的美国分马力电动机调查报告。报告列出了到 2000 年为止的美国分马力电动机年增长率与年货运额 1977、1987、1992 年的实际统计数与 2000 年的预测(见表 2-4),该报告预计 2000 年的货运额将逾 90 亿美元。

表 2-4 到 2000 年止美国分马力电动机年增长率与货运额 (百万美元)

货 名	货 运 额				年增长率(%)	
	1977	1987	1992	2000	87/77	92/87
分马力电动机	2475	4065	5645	9115	5.1	6.8
直流电动机	610	1015	1450	2425	5.2	7.4
交流与通用电动机	1090	1675	2175	3055	4.4	5.4
交流运行控制器	275	515	725	1215	6.5	7.1
其它分马力电动机与部件	500	860	1295	2420	5.9	8.5

美国《器具制造商(AM)》期刊于 1993 年向选用电动机具有影响力的 1000 名决策人士作过问卷调查。结论是以 112 名(回复率 11%)回复者为基础而得出的。《器具制造商》认为:

1. 现今的电动机很可靠,其效率比 5 年前提高了 15%,5 年后的效率将比现今提高 15%;
2. 最大限度地降低成本比最大限度地提高能源效率更重要;
3. 器具的年电动机使用量将继续增加;
4. 尽管许多回复者说,今后使用的电动机中将包括无刷直流电动机与噪声值较低的电动机,但大多数厂商打算继续使用技术条件与上述电动机相同的一般电动机;
5. 使用直流电动机的回复者表明,其主要使用无刷永磁电动机与步进电动机;
6. 交流电动机仍然占支配地位;
7. 3/4 回复者使用的电动机中,大多数购自外界供应商,17%购自分销商,仅 7%使用自产电动机。

美国小型电动机制造商协会,于 1990 年,就其 118 个成员单位,在其总销售额中各自投入的研究开发费用所占比例问题作过问卷调查。有 27 家厂商给予答复。调查结果见表 2-5。