

小型
异步
电机

周鄂 沈善圭 编著

基础理论与计算



江苏科学技术出版社

内 容 提 要

本书综合介绍家用电器中所用微型电机的类型、结构和基本工作原理, 论述小型异步电机的理论基础、基本概念、分析计算方法及有关设计程序, 并附有典型设计实例及所需数据、曲线及图表。

本书适用于大、专院校有关专业师生, 有关专业研究所的科研人员, 从事微型电机和家用电器研制、生产、维修的有关技术人员学习参考。

小型异步电机基础理论与计算

周 翥 沈善圭 编著

出版、发行: 江苏科学技术出版社

经 销: 江苏省新华书店

印 刷: 如皋县印刷厂

开本850×1168毫米 1/32 印张14字数344,000

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数1—1,500册

ISBN 7—5345—0817—7

TM • 10 定价: 5.70元

责任编辑 程增础

前 言

我国的家用电器工业是从70年代末开始起步的。当时与国外先进国家的水平相比约落后20~30年。但是在短短10年中,家用电器行业就出现了迅速发展并自成系统的局面,在国民经济和人民生活中占有举足轻重的地位。据统计,“六五”期间我国家用电器工业产值每年平均增长43.8%。其中洗衣机产量年增长104.6%,电冰箱产量年增长95.2%。在家用电器中,微型电机作为原动机得到了极为广泛的应用。

微型电机一般系指重量轻、体积小、能满足各种不同功能要求的小功率电机。按功用又可分为控制微电机和驱动微电机两大类。事实上,目前在微机控制电机运行、增量运动、变频调速、伺服系统、自动检测系统、柔性加工系统中,所采用的微电机常常具有“控制”与“驱动”双重作用,也就是说对这两种微电机,有时很难划出明确的界线。但是,为了适应我国现状,目前仍把它们分为两大类比较方便,对前者主要重视它们的起动和运行力能指标,对后者特别强调它们的性能精度和快速响应等。

在世界范围内,目前对驱动微电机的需求量很大,各发达国家每年小型电机的产量达数千万台。在我国,由于工农业发展的需要,近年来微电机的产量大,品种规格多,这一行业有了迅速发展。除家用电器外,汽车设备、电动工具、医疗设备、计时装置、各种自动装置也都需要小型电机,正是由于微电机具有如此重要的经济和技术意义,目前国内外对微电机的研究甚为重视。为开拓产品新局面,为保证产品质量,有不少理论和实际问题亟待解决,需要对基础理论、最优设计、先进工艺、测试方法及手段等进行深入的研究。为此,本书特别重视基础理论和基本概念

的阐述，注意对电机的基本设计方法进行论证和介绍，以便于读者的理解和应用。

本书主要由周鸷教授撰写，郑州轻工业学院沈善圭高级工程师参与了本书的编写工作，并着重对第五章作了整理和改编。初稿完成后，承蒙上海交通大学程福秀教授审阅，并提出了宝贵的意见。在编写出版过程中，轻工业部家用电器工业局陈祖勋总工程师、轻工业出版社姜申副主编及杨逊、刘树勤编辑等都给予了热情帮助和支持；南京工学院卜开贵副教授曾阅读书稿，林明耀讲师为书稿的整理付出了辛勤的劳动，在此一并表示诚挚感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处，欢迎读者指正。

编 者

1987年12月于南京

目 录

第一章 家用电器简介	1
§ 1-1 我国家用电器工业现状	1
§ 1-2 对家用电器的基本要求	4
§ 1-3 几种主要家用电器	5
一、洗衣机	5
二、电风扇	7
三、电冰箱	10
四、空气调节器	11
五、真空吸尘器	13
第二章 家用电器电动机	15
§ 2-1 概述	15
§ 2-2 直流电动机	19
一、结构类型	19
二、直流绕组	20
三、基本工作原理	25
四、直流电动机的使用	35
§ 2-3 交流换向器电动机	39
一、结构类型	39
二、交直流两用电动机	42
三、交流换向器电机的使用	44
§ 2-4 异步电动机	45
一、结构类型	45
二、交流绕组	49
三、磁场	64
四、异步电动机的使用	74

§ 2-5 家用电器电动机的选择.....	82
一、选择电动机的基本原则.....	82
二、电源参数.....	83
三、转速.....	83
四、运行方式(工作制).....	85
五、负载特性.....	89
六、转动惯量.....	92
七、电动机功率的选择.....	97
八、传动、安装方式和防护等级.....	99
第三章 微型三相异步电动机.....	108
§ 3-1 三相异步电动机的理论分析.....	109
一、变压器等值电路.....	109
二、异步电动机等值电路.....	112
三、异步电动机的相量图和简化等值电路.....	117
§ 3-2 三相异步电动机特性的计算.....	120
一、转矩和机械特性.....	120
二、工作特性计算.....	125
三、工作特性分析.....	130
§ 3-3 三相异步电动机参数的计算.....	135
一、漏电抗的计算.....	136
二、绕组电阻的计算.....	161
三、激磁电抗的计算.....	165
四、空载电流与空载损耗.....	166
第四章 微型单相异步电动机.....	169
§ 4-1 概述.....	169
§ 4-2 异步电动机不对称运行分析.....	175
一、三相电动机的对称分量分析.....	176
二、两相电动机的对称分量分析.....	183

§ 4-3 单相电容运转电动机	188
一、基本方式	190
二、工作特性分析	192
三、电容运转电动机工作特性计算实例	205
§ 4-4 电容起动和电阻起动电动机	211
一、单相异步运行状态分析	213
二、用旋转磁场法分析两相异步电动机	241
三、单相异步电动机的起动特性	249
四、副相绕组参数和附加元件的合理选择	252
§ 4-5 罩极式电动机	266
一、罩极式电动机的理论基础	268
二、罩极式电动机的运行特性	277
三、罩极式电动机的起动特性	285
第五章 微型异步电动机设计	292
§ 5-1 概述	292
一、电动机主要尺寸的确定	292
二、定子槽与转子槽的配合	293
三、槽形	295
四、空气隙长度	296
五、设计程序	296
§ 5-2 微型单相异步电动机的设计程序	297
一、基本数据和技术要求	297
二、铁芯几何尺寸	298
三、主绕组数据	304
四、参数计算	307
五、副绕组计算	319
六、起动计算	321
七、性能计算	326

§ 5-3 微型三相异步电动机设计程序	333
一、理本数据和技术要求	333
二、铁芯几何尺寸	333
三、绕组数据	333
四、参数计算	336
五、起动计算	336
六、性能计算	336
§ 5-4 与计算有关的若干问题	340
一、起动时磁路饱和的影响	340
二、正弦绕组的计算	343
三、有效匝数比及电容值的选择	355
四、波幅系数、极弧系数与漏磁系数	359
五、铁耗电流	360
§ 5-5 计算实例	364
§ 5-6 设计参数的调整	420

附表

主要参考文献

本书暂时并用单位与SI单位的换算关系

第一章 家用电器简介

§ 1-1 我国家用电器工业现状

19世纪初，奥斯特、法拉第先后发现电磁感应现象，并提出了电磁感应基本定律。在这一发现的基础上，为了生产和利用电能，人们致力于电力机械、输电线路的研究，从此，长期来作为动力源的蒸汽机械和水轮机械逐渐被电力机械所代替。100余年来，电力工业对于社会经济和人类生活的深远影响，已清楚地显示出来。

发展生产力需要能源。电力工业把自然界中的储能借助发电设备转换为电能，也就是说把一次能源转换为二次能源，然后再加以利用。

显然，电力工业的发展是以社会整个生产力的发展为基础的。反过来它供给工业、农业、国防等国民经济各部门所需要的动力，它与各个行业的机械化、电气化和自动化有着密切联系，它对社会生产力的发展有着重大的促进作用。

随着工农业生产的不断发展，人民生活水平正在逐步得到改善。为满足人们普遍增长的物质和文化生活需要，减轻繁重的家务劳动，家庭生活用具和文娱设备也将会逐渐实现电气化、电子化，家用电器工业必然会出现迅速发展的局面。

家用电器的门类和品种很多，按其作用原理，可分为电动类、电热类、电子类及照明类等几个方面。家用电器涉及的科学技术的面很广，几乎包括所有的机、电、声、光、热等物理知

识，它们的制造与机械、电机、电子、化工、材料、艺术等行业都有密切关系。其中与微型电机有密切关系的器具在家用电器中所占比重很大，例如，电动类家用电器均以电动机为动力，象洗衣机、电风扇、吸尘器、打蜡机、厨房电动器具（洗碗机、果汁机、搅拌器等）、整容器具、电唱机、电动缝纫机、电钟以及电动工具等。电冰箱、房间空调器等家用制冷器具同样以电机为动力。电子类家用电器中的录放音机及录放像设备等亦用微电机驱动磁带，其要求比较特殊。

在一些技术先进的国家中，50年代以来，家用电器工业已成为国民经济中的重要产业部门。在一般家庭中，家用电器已相当普及。每一个家庭在家用电器中使用的微电机数量，平均可达30（日本）~50（美国）台。

从70年代以来，我国家用电器工业发展迅速。电视机、收录机、电唱机等音响设备已相当普及，洗衣机、电冰箱也成为家庭日常用品。

我国几种主要家用电器产品产量的统计见表1-1。

表1-1 我国家用电器产量统计

单位: 万台						
品 名	家 用 洗 衣 机	家 用 电 冰 箱	空 调 器	电 风 扇	吸 尘 器	
1978年全 世界产量	2804.8	3929.9	1473.3	约4000	3171.0	
中 国	1957年	0	0.07	0	3.6	0
	1962年	0	0.09	0	13.0	0.04
	1970年	0	0.38	0	35.0	0.50
	1976年	0.01	2.21	0.09	77.1	0.50
	1978年	0.04	2.89	0.15	112.5	0.41
	1979年	1.81	4.6	0.85	233	0.56

(续表)

品名		家用 洗衣机	家用 电冰箱	空调器	电风扇	吸尘器
中国	1980年	24.53	4.87	1.27	723.7	1.60
	其中轻工	20.4	3.7	0.63	357	1.48
	1981年	128.1	5.56	1.6	1050	
	1982年	253.94	9.99	2.6	918.64	
	1983年	365.85	18.85		1045.70	4.19
	1984年	578	54.7		1771	9.10
	1985年	883	139		3109	
	1981年城市普及率	5%	0.22%		广州87% 上海17% 沈阳5%	

由以上统计数字可以看出，我国家用电器中一些主要产品的产量近年来增长速度很快。家用电器的普及，对帮助人们摆脱繁重家务劳动，丰富文化生活，陶冶情操，都起了重要作用。

关于家用电器工业今后的发展，也受到各方面普遍的关心和重视。为加强对有关企业生产的管理，改善经营，增强生产预见性，需要了解市场近期和长远的动态。多年来，国家有关部门积极开展了对市场的调查预测。例如，1983年在轻工部对家用电器市场调查后所提出的市场预测报告中指出：到1990年，全国对电风扇的需求量将略有增长。从一个家庭来看，正向一户多台及一室一台发展。对洗衣机的需求量将会逐年增加。在品种上，技术比较先进的半自动、全自动洗衣机的产量将有较大幅度增长。

对市场进行科学调查预测，提出有根据有分析的判断，对新兴家用电器工业发展甚为重要，如果计划不周，一拥而上，盲目生产，质量差，竞争力弱，势必造成人力、物力和国家资源的严重浪费。另一方面，国外发展家用电器工业的历史经验也可予以

借鉴。如组织专业化协作，实现现代化大生产，保证产品质量，提高生产效率，降低成本，组织统一设计、联合攻关，实现产品系列化、通用化、标准化等。此外，还应研究开发中国式的、省电、耐用、价廉、物美的家用电器新产品。

我国人口众多，有一个极大的潜在市场，从这一情况出发，在相当长的时期内，家用电器工业仍将以内销为主。另一方面，家电工业也应积极扩大出口，密切国际贸易往来。这样，既可换取外汇，增加积累，也可了解各国市场动向，引进先进技术，扩大产品品种，从而加速我国家电工业的发展进程。

§ 1-2 对家用电器的基本要求

家用电器与人们的工作和生活关系十分密切，并且常常要与人体接触，因此，对家用电器产品的要求与对一般电器产品的要求比较有所不同，其中主要为：

(1) 应特别注意家用电器产品的安全可靠，即使发生故障，也应保证不致对人身或设备造成危害。

(2) 产品应不产生对周围环境的干扰或污染，例如要求产品噪声低、振动小、无电磁干扰、无微波污染等。

(3) 产品应构造简单，操作方便，不需要专门技术也能使用、维护。

(4) 造型要新颖美观，价格及运行费用低廉。

(5) 产品及零部件应高度标准化、通用化、系列化，以利于普及推广。

对于各类家用电器的安全可靠性问题，国际电工委员会(IEC)制订了许多具体规定，其中IEC335-1(1976)第一部分《家用和类似用途电器安全的通用要求》可供参考。现将其主要内容简述如下：

(1)防人身触电的安全措施。如限制产品对地的泄漏电流；采用外壳接地；尽量采用双重绝缘或加强绝缘结构；使用安全电压；保证电源连接线的耐折断能力，以防止发生损坏、脱接现象；防止由于电容器放电发生触电危险等。此外，针对不同使用场合，还规定不同的防触电保护等级，以满足相应的用电安全要求。

(2)防引起火灾的安全措施。如提高绝缘性能，以防止电气击穿及绕组短路故障；对泄漏电流、温升、火花等严加限制；有关零部件采用耐燃性材料；对要求防爆、防腐蚀、防火、防溅等特殊用途产品，作出有关规定等。

(3)防人身伤害的安全措施。如电器外表不应有尖角；运动件不外露；正确规定重心位置，防止翻倒；严格限制有害辐射线、微波等的泄漏值，以免伤害人体；接触食品的器具应符合卫生条例，不得有毒性或污染等。

(4)保证使用可靠性。在机械强度、超速运转、起动、异常运行、温升、耐湿热诸方面作出有关规定，以保证电器的可靠使用。例如，关于电源电压波动范围，规定在85%额定电压下仍能可靠起动等。

§ 1-3 几种主要家用电器

一、洗衣机

在人们生活中，洗衣是一项繁重、费时、经常性的家务劳动。洗衣机可以使洗衣过程机械化、电气化，节省时间和精力。日本的家用电工业就是从发展洗衣机生产着手的。在我国，国务院已把它列为大力发展的十大件日用机电产品之一。

洗衣机的品种很多，按结构型式，可以分为波轮式、滚筒

式、搅拌式和喷流式四种。按自动化程度，可以分为简易型、普通型、半自动型和全自动型四种。在欧美以生产滚筒式、搅拌式和喷流式洗衣机为主。这些类型洗衣机的特点是衣服磨损率低。在我国，从多数家庭的消费水平和节约电力的角度出发，目前在市场上以普通波轮式洗衣机为多。它的结构紧凑，洗净率高，洗衣时间短，耗电少，成本低，经济实用。技术经济指标比较合理的滚筒式洗衣机，比较先进的双桶半自动洗衣机以及套桶全自动洗衣机，也正在积极发展，以满足市场需要。

普通波轮式洗衣机的传动装置不甚复杂，一般由定时器控制的单相电容运转电动机按一定规律工作，再通过皮带使波轮转动，旋转速度一般为300~900转/分。波轮表面有隆起的肋筋，以加强对洗涤剂的搅拌作用，使水溶液呈现涡流。滚筒式洗衣机的滚筒旋转时，离心力使衣服紧贴筒内壁，衣服被带动上移，至一定位置，衣服重力大于离心力，衣服落回洗涤液中。然后，再次被带动上移，不断重复。滚筒旋转速度最佳时，可使衣服被带至最高位置再落下，这时洗涤效率最高。最佳转速与衣料的品种、厚薄等有关，一般为45~60转/分。

洗衣机的额定功率一般是指电机的输出功率，但有时也指输入功率，这时需要特别加以说明。

普通波轮式洗衣机电机的功率一般有70、90、120、180、250瓦。同步转速通常为1500转/分。双缸半自动洗衣机脱水用电机的功率较小，为25~45瓦，转速较高（同步转速3000转/分）。在全自动洗衣机中则多用变速机构以实现洗涤和脱水两种功能，所用电动机的功率较大。滚筒式

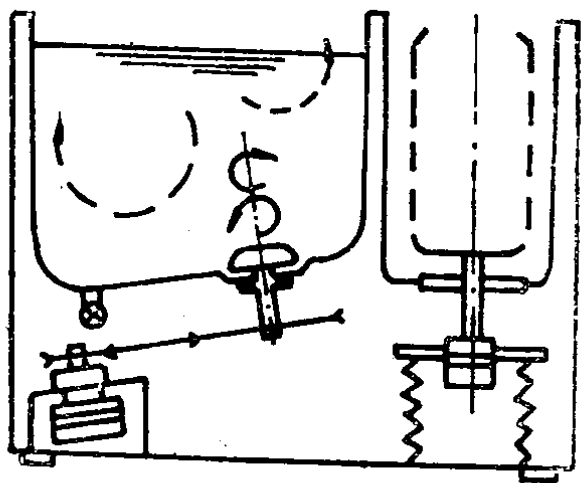


图1-1 波轮式双缸洗衣机示意

全自动洗衣机则常用双速（2极/12极）电动机。

波轮式双缸洗衣机的原理示意图1-1。

二、电风扇

电风扇是一种最常见的家用电器。电风扇的品种可分为台扇、落地扇、吊扇、壁扇和排气扇等。图1-2所示为台扇的外形。

电风扇电机驱动风叶鼓风，因此，电机负载转矩约与转速平方成正比。风叶自身所需起动转矩不大，而连杆、蜗轮、轴承等的摩擦阻力矩较大。电风扇一般多采用罩极式电机或电容运转式电机为驱动电机。

电扇的调速方法一般有两种，即串接电抗器法和绕组抽头法。在电源至电动机的输入线路中串接电抗器，电抗器有抽头，与调速开关的各档相对应，以此来改变电动机的端电压，达到调速的目的。绕组抽头法是改变定子主绕组匝数，以改变电机气隙中旋转磁场的椭圆度，这样也能达到调速的目的。抽头法用料省，耗电少，但与调速开关之间的联线多，制造工艺较复杂，因而它的应用受到限制。

电扇常常用风叶的直径来标称。在台式风扇中，常见的有

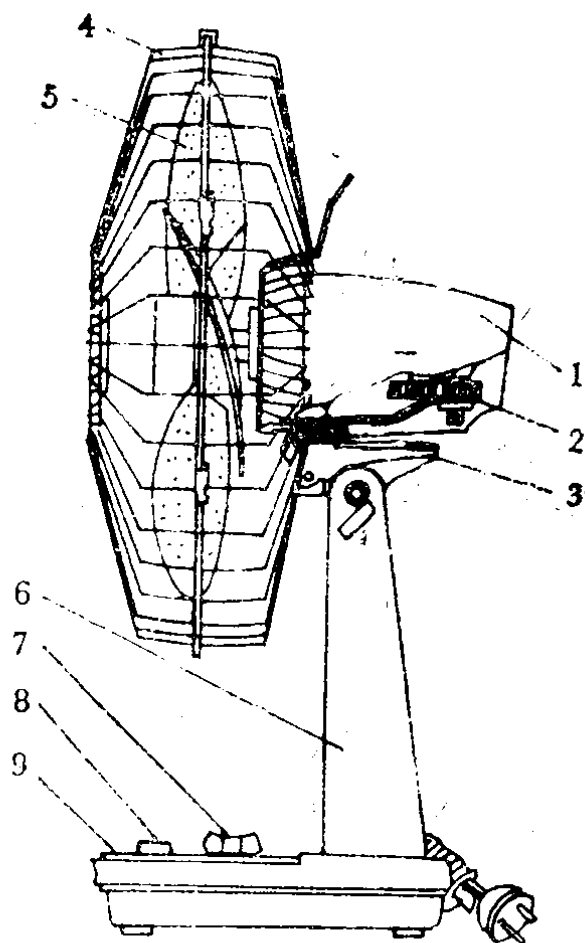


图1-2 台 扇

- 1—电动机； 2—摇头装置； 3—连接头；
4—网罩； 5—风叶； 6—底座；
7—摇头控制开关； 8—调速开关； 9—面板

200毫米（8英寸）、250毫米（10英寸）、300毫米（12英寸）、350毫米（14英寸）及400毫米（16英寸）等几类。

简易型风扇没有摇头和调速装置。普通型风扇有摇头装置，可使风扇在固定角度范围内摆动，一般在60°~80°之间，同时还有调速装置。高档风扇的摇头装置，可使风扇的摆动角度在一定范围内调节，一般为50°~75°~100°，并有多级调速，甚至可无级调速。有的风扇中还装有定时装置、温控装置、感应停转装置等。

风扇的主要性能指标有：风量、风速、输入功率、功率因数、使用值以及耐压、绝缘电阻、起动性能、调速比、噪音等。其中的使用值为风扇在额定电压、额定频率下全速运转时，其总风量除以输入功率所得之值。

台扇的几个主要性能指标，见表1-2。

表1-2 台扇的主要性能指标

风叶直径 (毫米)	风 量 (米³/分)	使用值(米³/分·瓦)		平均风速 (米/分)	输 入 伏 安	输出功 率参考 值(瓦)
		电容式	罩极式			
200	16以上		0.50以上	100以上	55以上	
250	24以上	0.77以上	0.55以上	130以上	65以上	4
300	34以上	0.75以上	0.65以上	160以上	75以上	9
350	46以上	0.85以上	0.70以上	180以上	95以上	15
400	60以上	0.90以上	0.75以上	220以上	115以上	22

吊扇的风叶直径有900、1200、1400、1500毫米等几种。它的几个主要性能指标，见表1-3。

表1-3 吊扇的主要性能指标

风叶直径 (毫米)	最小输出风 量(米 ³ /分)	最小使用值(米 ³ /分·瓦)		输出功 率 参考值(瓦)
		电 容 式	罩 极 式	
900	140	3	2	17
1200	215	3.4	2.4	24
1400	270	3.5	2.7	30
1500	300	4	3	

排气风扇一般指安装在墙壁上作排气通风用的轴流式排气风扇。有的用单相电容运转电机驱动，额定电压为220伏；有的用三相异步电机驱动，额定线电压为380伏。其风叶直径用单相电源时有400、500毫米等；用三相电源时有400、500、600、750毫米等。其主要性能指标见表1-4。

表1-4 排气扇的主要性能指标

风叶直径 (毫米)	400				500				600		700
同步转速 (转/分)	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1000
最低转速 (转/分)	1350	900	1350	900	1350	900	1350	900	1350	900	900
最小风量 (米 ³ /分)	48	33	95	65	145	115	230				
电机相数	单	三	单	三	单	三	单	三	三	三	三
最大输入 功率(瓦)	150	130	75	65	350	300	145	125	600	330	850
功率因数	0.84	0.61	0.8	0.5	0.86	0.69	0.82	0.55	0.71	0.65	0.7
输出功率 参考值(瓦)	75		25		150		50				