



# 第5篇

## 小功率电动机

---

# 第5篇

## 小功率电动机

---

**主编单位** 机械工业部广州电器科学研究所

**编写单位** 机械工业部广州电器科学研究所

**主 编** 林文硕

**编写人** 林文硕 徐惠珍 林棠华 叶建雄  
吴金方 谭建成 陈瑞华 庞启淮

**主 审** 汤宝流 陈永校

# 第 1 章 概 论

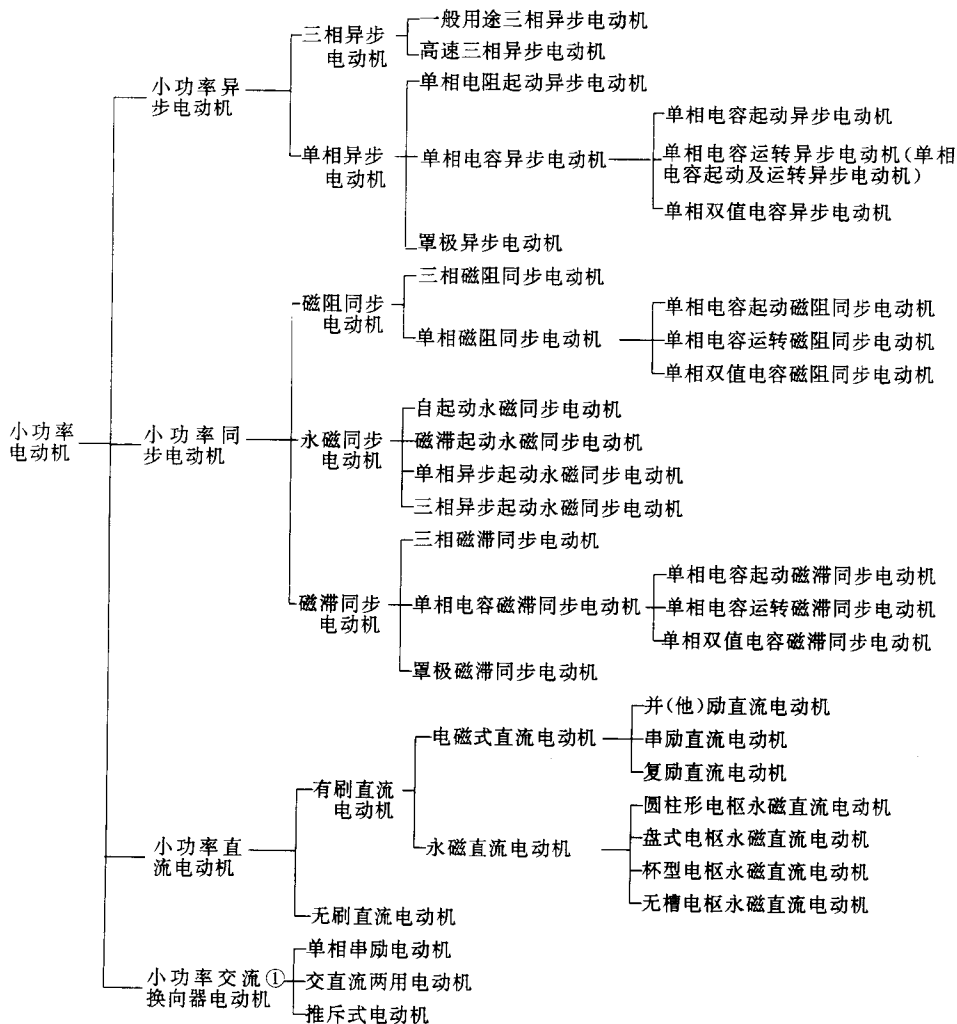
小功率电动机（分马力电动机）是指折算至 1500r/min 时最大连续定额不超过 1.1kW 的电动机。它作为小型动力，广泛应用于机械加工设备、农机产品、医疗器械、仪器仪表、音响影视设备、汽车、日用电器、电动工具、办公自动化设备、娱乐及健身器具等。它是一类产量大、使用面广、系列品种多、国际贸易交换量大，并有广阔发展前景的产品。

## 1 小功率电动机的分类、主要型式及技术数据

小功率电动机按工作原理可分为异步电动机、同步电动机、直流电动机和交流换向器电动机四大类。其主要类型及系列见表 5·1-1。

小功率电动机按产品用途，可分为一般用途电动机、规定用途电动机和特殊用途电动机。

表 5·1-1 小功率电动机分类表



① 小功率交流换向器电动机是另一类异步电动机

小功率电动机属旋转电机范畴。其基本技术要求符合国际电工委员会 IEC-TC-2 的标准。产品的生产和使用, 执行国家标准 GB755《旋转电机基本技术要

求》和 GB5171《小功率电动机通用技术条件》及 GB12350《小功率电动机的安全要求》的规定。其主要型式及技术数据见表 5-1-2。

表 5-1-2 主要型式及技术数据

项 目		技术数据或代号
额定电压 $U_N$ (V)	直流电动机	3, 6, 12, 24, 48, 60, 110, 220
	单相交流电动机	12, 24, 36, 42, 110, 220
	三相交流电动机	36, 42, 220, 380
额定功率 $P_N$ (W)		0.4, 0.6, 1.0, 1.6, 2.5, 4, 6, 10, 16, 25, 40, 60, 90, 120, 180, 250, 370, 550, 750, 1100, 1500, 2200, 3000, 3700
额定转速 $n_N$ (r/min)		400, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 4000, 5000, 6000, 8000, 10000, 12000, 15000, 18000, 20000, 25000, 30000
安装尺寸	机座号	36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90S, 90L, 100S, 100L, 112M, 132S, 132M
	凸缘号	FF55, FF65, FF75, FF85, FF100, FF115, FF130, FF165, FF215, FF265 FT55, FT65, FT75, FT85, FT100, FT115, FT130, FT165 BF10, BF14, BF16, BF22, BF28, BF32, BF36, BF40, BF45, BF50
轴伸直径 (mm)		2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 28, 32, 38
安装方式 IM		B3, B5, B14, B34, B30, B35 V1, V3, V5, V6, V18, V19, V36
外壳防护等级 IP		00, 01, 10, 21, 22, 23, 44, 54
冷却方式 IC		00, 01, 0041, 0141, 0151
工作制		S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9

## 2 小功率电动机的主要特点及基本技术要求

从小功率电动机各系列品种的性能指标、设计制造、主要用途、使用对象及环境条件等因素考虑, 小功率电动机的主要特点及基本技术要求为:

(1) 规定用途和特殊用途的产品居多。其技术条件、型式、基本参数与尺寸等, 随配套主机的要求不同而异。

(2) 产品多适用于单相电源及低压直流电源。

(3) 产品设计要适应自动化、大批量生产的要求, 并力求结构简单、体积小、质量小、价格低。

(4) 要求产品的振动、噪声小, 安全性好。

(5) 产品的制造与选用, 除了要考虑基本的和有关的特殊技术要求外, 还应综合考虑经济性、安全性及可靠性等问题。如吹发器配套用电动机有用交流串励电动机的, 也有用直流电动机的, 还有用单相异步电动机的。以上三种电动机都能实现吹发器需要的主要功能。但选用和制造哪一种最合理, 需要综合研究后确定。

另外, 同一类型的电动机, 按其选材不同, 可用于差异很大的配套产品。例如永磁直流电动机, 以高磁能积的材料, 如钕钴、钕铁硼等, 通过精细的工艺加工、装配的电动机, 可用于高级音响、影象设备以及航天设备等高新技术领域中; 当用低档的钕铁氧体作励磁, 并采用简单的结构和工艺制作的电动机仅用于电动玩具上。

## 3 小功率电动机的发展趋势

**1. 增加品种, 发展机电一体化产品** 随配套产品不断更新与发展, 对小功率电动机系列品种的发展提出了许多新的要求, 需要采取各种措施来增加品种, 以满足各种需求。其中, 以电机和电子技术结合为基础的机电一体化产品, 是现代小功率电动机发展的主要方向。这类产品与传统产品相比, 具有结构简单、耗能小、噪声低、可靠性高、寿命长等一系列优点。用于缝纫机的智能化离合器电动机、用于空调器的变频调速电动机、用电子换向的无刷直流电动机都是典型的机电一

体化产品的例子,在使用中都显示出优良的技术经济效果。因此,进一步开发此类产品并拓展其应用领域是十分必要的。

**2. 扩大应用计算机辅助设计及测试** 电子计算机在小功率电动机设计中的应用已越来越广泛和深入。计算机运算速度快、计算范围广,适应了小功率电动机花色品种多、更新变化快的发展特点。从设计的数学模型而言,已由经典的以“路”为基础的电磁计算公式中,引入用“场”计算的分析程序,使得诸如罩极磁路、异形槽磁路、起动性能及单相异步电动机电磁噪声等分析计算更加接近实际。从计算机辅助设计所涉及的面来看,已由性能验证计算发展到优化设计,并向集计算机辅助计算和辅助绘图,直至辅助制造为一体的CAD/CAM方向发展。

在小功率电动机性能测试方面,既需要进行综合性性能测试的智能化仪器,也需要与产品装配线相衔接的多工位自动检测装置,以满足高效大批量生产的需要。

**3. 采用新材料、新工艺、新结构** 采用新材料是实现产品更新换代、提高性能及降低成本的重要因素。近年来,用于电机制造的新材料发展很快,其中以低粘度快干浸(滴)渍绝缘漆、冷轧硅钢片和稀土永磁材

料较为突出,特别是稀土永磁材料在电机中的使用,引起了世界各国的注意,其发展潜力很大。目前钕铁硼材料,在温度稳定性和耐腐蚀方面的研究都已取得了进展,但尚需进一步研究与完善设计方法,以充分发挥其高磁能积的优点。

工艺进步与装备更新,推动了小功率电动机的迅速发展。采用带自锁机构级进冲模与高速冲床联用,可直接加工出定子和转子,实现了铁心制造过程自动化。少切削或无切削工艺以及注塑成型工艺的采用,可大大简化制造工序、提高工效、降低成本。

根据小功率电动机的特点,应组织专业化生产,提高经济效益。

**4. 进一步提高产品的安全性和可靠性** 小功率电动机使用广泛,大量应用于住宅、办公室、宾馆及娱乐场所。因而要求产品具有良好的耐热、阻燃等安全性或加装热保护器,以防火灾。再者,小功率电动机经常与人体接触,而一些缺乏用电知识者,也可能成为其操作者,因此,小功率电动机使用的人身安全性是不容忽视的。

鉴于不少小功率电动机属于不可修复的产品,因而其可靠性,应着重考虑失效前的工作时间或储存的平均时间,通常记作MTTF。

## 第2章 小功率异步电动机<sup>[1][2]</sup>

小功率异步电动机可分为三相异步电动机和单相异步电动机两大类。它们具有结构简单、造价低廉、运行可靠、噪声低、对无线电系统干扰小等优点,是小型机床、农业机械、医疗器械、日用电器、科研及教学设备、办公自动化设备的驱动动力。目前小功率异步电动机的使用已深入到千家万户。

小功率异步电动机的标准化、系列化、通用化程度很高,最具代表性的五大基本系列型号为:YS(三相)、YU(电阻起动)、YC(电容起动)、YY(电容运转)和YL(双值电容),它们的功率等级和机座号见表5·2-1。小功率三相异步电动机的基本原理和结构特点,参见第3篇。

表5·2-1 小功率异步电动机基本系列功率等级和机座号

机座号	铁心代号	YS系列				YU系列		YC系列			YY系列		YL系列	
		同步转速 (r/min)				同步转速 (r/min)		同步转速 (r/min)			同步转速 (r/min)		同步转速 (r/min)	
		3000	1500	1000	750	3000	1500	3000	1500	1000	3000	1500	3000	1500
		功率(W)				功率(W)		功率(W)			功率(W)		功率(W)	
45	1	10	10	—	—	—	—	—	—	—	16	10	—	—
	2	25	16	—	—	—	—	—	—	—	25	16	—	—

(续)

机座号	铁心代号	YS 系列				YU 系列		YC 系列			YY 系列		YL 系列		
		同步转速 (r/min)				同步转速 (r/min)		同步转速 (r/min)			同步转速 (r/min)		同步转速 (r/min)		
		3000	1500	1000	750	3000	1500	3000	1500	1000	3000	1500	3000	1500	
		功率 (W)				功率 (W)		功率 (W)			功率 (W)		功率 (W)		
50	1	40	25	—	—	—	—	—	—	—	40	25	—	—	
	2	60	40	—	—	—	—	—	—	—	60	40	—	—	
56	1	90	60	—	—	—	—	—	—	—	90	60	—	—	
	2	120	90	—	—	—	—	—	—	—	120	90	—	—	
63	1	180	120	—	—	90	60	—	—	—	180	120	—	—	
	2	250	180	—	—	120	90	—	—	—	250	180	—	—	
71	1	370	250	180	90	180	120	180	120	—	370	250	370	250	
	2	550	370	250	120	250	180	250	180	—	550	370	550	370	
80	1	750	550	370	180	370	250	370	250	—	750	550	750	550	
	2	1100	750	550	250	550	370	550	370	—	1100	750	1100	750	
90	S	—	1500	1100	750	370	750	550	750	550	250	1500	1100	1500	1100
	L	—	2200	1500	1100	550	1100	750	1100	750	370	2000	1500	2200	1500
100L	1	—	—	—	—	—	—	—	1500	1100	550	—	—	3000	2200
	2	—	—	—	—	—	—	—	2200	1500	750	—	—	—	3000
112M	—	—	—	—	—	—	—	—	3000	2200	1100	—	—	—	—
132	S	—	—	—	—	—	—	—	3700	3000	1500	—	—	—	—
	M	—	—	—	—	—	—	—	—	3700	2200	—	—	—	—

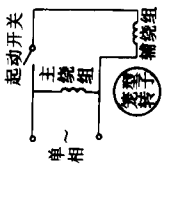
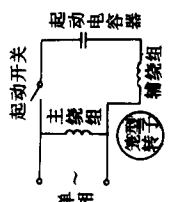
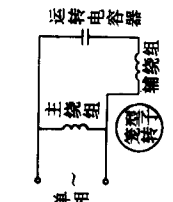
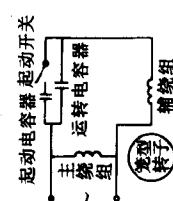
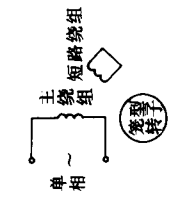
### 1 单相异步电动机的分类、结构特点及用途

单相异步电动机可分为电阻起动、电容起动、电容运转、双值电容、罩极式五种基本型式。它们的结构特点是：(1) 定子上通常有主、辅两个绕组，两绕组的轴

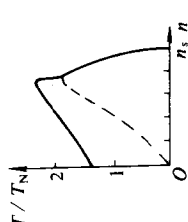
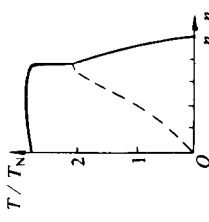
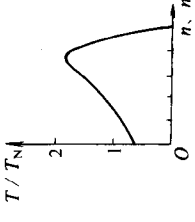
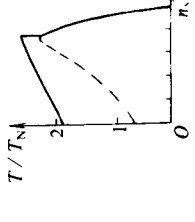
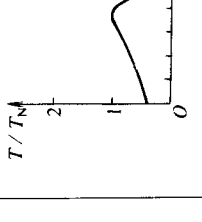
线在空间错开一定的位置。(2) 辅绕组电路常接入电容器和起动开关触头，起动开关的离心器(离心式)常套在转子轴上。(3) 转子上有笼型绕组。五种基本型式的单相异步电动机的结构特点、工作原理和典型应用见表5-2-2。



表 5-2-2 小功率单相异步电动机的结构特点、工作原理和典型应用

电动机类型	电阻启动	电容启动	电容运转	双值电容	罩极式
结构特点	接在单相交流电源上的主、辅两绕组，在空间错开 $\pi/2$ 电角度，主绕组电感较大，辅绕组电阻较大，辅绕组电路中串入启动开关触头，转子上有笼型绕组及启动开关（通常用离心开关）	接在单相交流电源上的主、辅两绕组，在空间错开 $\pi/2$ 电角度，主绕组电感大，辅绕组电路中串入启动电容器，转子上有笼型绕组及启动开关（通常用离心开关）	接在单相交流电源上的主、辅两绕组，在空间错开 $\pi/2$ 电角度，主绕组电感大，辅绕组电路中串入运转电容器，转子上有笼型绕组	接在单相交流电源上的主、辅两绕组，在空间错开 $\pi/2$ 电角度，主绕组电感大，辅绕组电路中串入两个并联的电容器，其中一个电容器与启动开关触头串联，转子上有笼型绕组及启动开关（通常用离心开关）	主绕组接在单相交流电源上，可为凸极集中绕组，亦可为隐极分布绕组，辅绕组为短路绕组（短路环），又称罩极绕组，一般在磁极面 $1/2 \sim 1/3$ 处开有一个或两个小槽，用以安置罩极绕组，转子上有笼型绕组
接线原理图					
工作原理	启动过程中，主、辅两绕组同时工作，当转子转速上升至 $70\% \sim 85\%$ 同步转速时，辅绕组被切除，由主绕组单独工作	启动过程中，主、辅两绕组同时工作，当转子转速上升至 $70\% \sim 85\%$ 同步转速时，辅绕组及启动电容器均被切除，由主绕组单独工作	启动及运行过程中，主、辅两绕组同时工作	启动过程中，主、辅绕组及两个电容器同时工作，当转子转速上升至 $70\% \sim 85\%$ 同步转速时，启动开关断开，切除启动电容器，其余部分始终参与工作	主绕组与罩极绕组在空间上有一定的相位差，其对应的磁通有一定的时间相位差，可形成椭圆磁场。两绕组始终同时工作
性能特点	具有中等堵转转矩，堵转电流较大	具有较高的堵转转矩，堵转电流中等	堵转转矩小，堵转电流小，有较高的效率及功率因数	具有较高的堵转转矩，较高的效率及功率因数，堵转电流中等	堵转转矩小，效率和功率因数低

(续)

电动机类型	电阻启动	电容启动	电容运转	双值电容	罩极式
机械特性曲线 $T/T_N = f(n)$ $T/T_N$ —输出转矩倍数 $T_N$ —额定输出转矩 $n$ —转速					
最大转矩倍数	$\geq 1.8$	$\geq 1.8$	$\geq 1.7$	$\geq 1.7$	$\geq 1.3$
堵转转矩倍数	$0.8 > 1.7$	$2.0 \sim 3.0$	$0.30 \sim 0.60$	$1.7 \sim 1.8$	$0.3$
堵转电流倍数	$6 \sim 9$	$4.5 \sim 6.5$	$4 \sim 5$	$4.5 \sim 6.5$	
功率范围 (W)	$60 \sim 1100$	$120 \sim 3700$	$6 \sim 2200$	$250 \sim 3000$	$4 \sim 8$
机座号	$63 \sim 90$	$71 \sim 132$	$45 \sim 90$	$71 \sim 100$	
额定电压 (V)	220	220	220	220	220
同步转速 (r/min)	1500, 3000	1000, 1500, 3000	1500, 3000	1500, 3000	1500, 3000
典型应用	适用于小型机床、鼓风机、医疗器械等	适用于小型空气压缩机、制冷压缩机、磨粉机、医疗器械及农业机械等需要高启动转矩的场所	适用于潜水泵、电影放映机等对启动转矩要求不高，而工作时间长，接近额定负载的场合	适用于机床、农副产品加工机械、空气压缩机、泵、医疗器械、建筑机械、日用电器等	适用于仪用风扇、电动模型及各种轻载启动的小功率电动机设备

## 2 单相异步电动机工作原理

### 2.1 气隙基波磁场和电磁转矩

#### 2.1.1 单绕组运行单相电动机

定子绕组通以单相交流电后产生的脉振磁动势可以分解为幅值相等、转速相等而转向相反的正序旋转磁动势和负序旋转磁动势。气隙中的正、负序旋转磁场分别切割转子导条，产生感应电动势和电流。正、负序磁场分别与转子电流作用，产生正向电磁转矩  $T_{emf}$  和反向电磁转矩  $T_{emb}$ 。

当转子静止时，正、负序磁动势对转子的作用相同，气隙磁场仍为脉振磁动势， $T_{emf} = T_{emb}$ ，转子上合成转矩等于零，电动机不能自启动。

电动机一旦以一定的转速向任一方向转动，正、负序磁动势对转子的转差率不同，转子磁动势对它们的去磁作用不同，因而正、负序磁场幅值不等而合成椭圆磁场，与转子同向（正向）的磁场和转子电流产生的电磁转矩  $T_{emf}$  大于反向电磁转矩  $T_{emb}$ ，电动机沿该方向继续转动，最终稳定在同步转速附近。转矩特性见图 5-2-1。

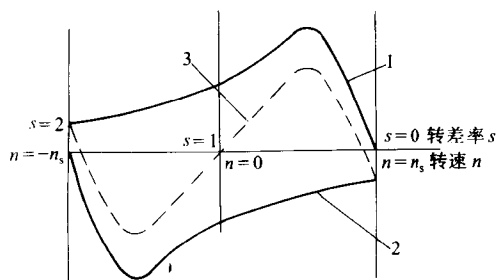


图 5-2-1 单绕组单相电动机转矩特性

- 1—正向电磁转矩  $T_{emf}$  2—反向电磁转矩  $T_{emb}$
- 3—合成电磁转矩（单绕组单相电动机转矩特性）

#### 2.1.2 具有两相绕组的单相电动机

当定子上放两个阻抗不同的绕组且空间相轴夹角为  $\theta$  时，通以单相交流电后，两相电流时间相位差角为  $\varphi$ ，分别产生脉振磁动势，且各自分解为一对正、负序旋转磁动势，将两个正序磁动势和两个负序磁动势分别相加，得到合成的正序和负序旋转磁动势。在一般情况下，正、负序磁动势幅值不等，最后合成为椭圆磁动势，见图 5-2-2。合成电磁转矩大于零，电动机可以自

启动并加速，最终稳定在同步转速附近。改变空间角  $\theta$  和时间角  $\varphi$  都会引起合成磁动势正、负分量及椭圆形状的变化。

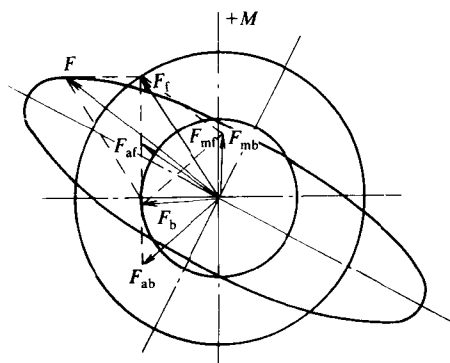


图 5-2-2 单相电动机的气隙合成磁场

所以，单绕组运行单相电动机只需要在启动时有一个绕组辅助它形成椭圆磁动势（单相电阻起动和电容起动电动机属此类）即可自行启动，当转速达到 70%~85% 同步转速时，单绕组单相电动机自身的椭圆磁动势正、负分量之差足够大，合成电磁转矩足以使电动机继续加速，辅绕组可以断开。

单绕组单相电动机气隙磁动势的椭圆度只决定于转速（图 5-2-3），而两绕组单相电动机的气隙磁场椭圆度还与对应转速下两绕组产生的磁动势幅值及相位

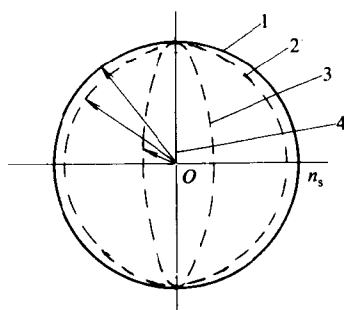


图 5-2-3 单绕组单相电动机的气隙合成磁场与转速的关系

- 1—同步转速时磁场矢量轨迹 2—满载转速时磁场矢量轨迹
- 3—半满载时磁场矢量轨迹 4—转子不动时磁场矢量轨迹

角差有关，可以通过调整绕组参数，改变绕组的电流幅值（磁动势幅值）和相位使负序磁动势幅值尽量减弱，最终使该转速下的气隙磁场由椭圆形接近圆形，从而改善电动机在该转速下的运行性能。因此，除了两相正交绕组外，还有两相非正交绕组，Y 联结三绕组，L 型联结主、辅绕组双抽头，T 型联结辅绕组抽头等绕组型式和异型槽定子冲片等单相异步电动机，型式不一，带来了计算方法和绕组制造上的差异，但最终达到了某

些性能的改善或材料耗费降低的目的。它们的接线方法见图 5·2-4。异型槽冲片见图 5·2-5。

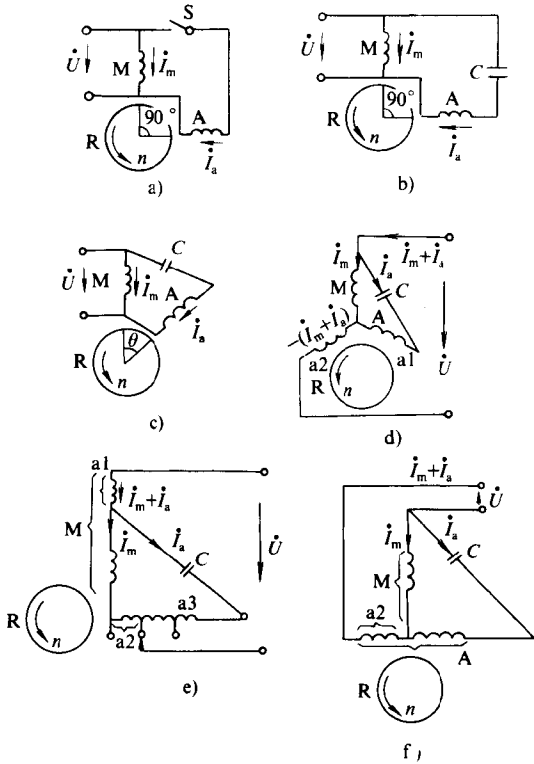


图 5·2-4 单相异步电动机绕组接线图

M—主绕组 A—辅绕组 C—电容器 S—起动开关  
R—转子 a) 单绕组异步电动机 b) 两相正交绕组异步电动机  
c) 两相非正交绕组异步电动机 d) Y型联结三绕组单相异步电动机  
e) L型联结主、辅绕组双抽头单相异步电动机 f) T型联结辅绕组双抽头单相异步电动机

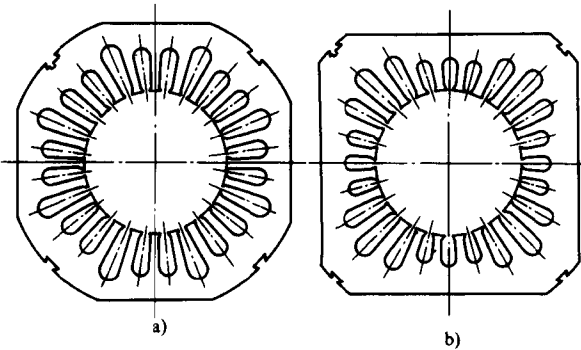


图 5·2-5 异形槽冲片

2·1·3 椭圆磁场的主要特点

(1) 任一瞬间，合成磁场的幅值为正、负序磁场相

量和，磁场在空间按正弦分布，对任一空间位置，磁场又是时间的正弦函数。

(2) 合成磁场幅值的大小随时间的推移沿圆周范

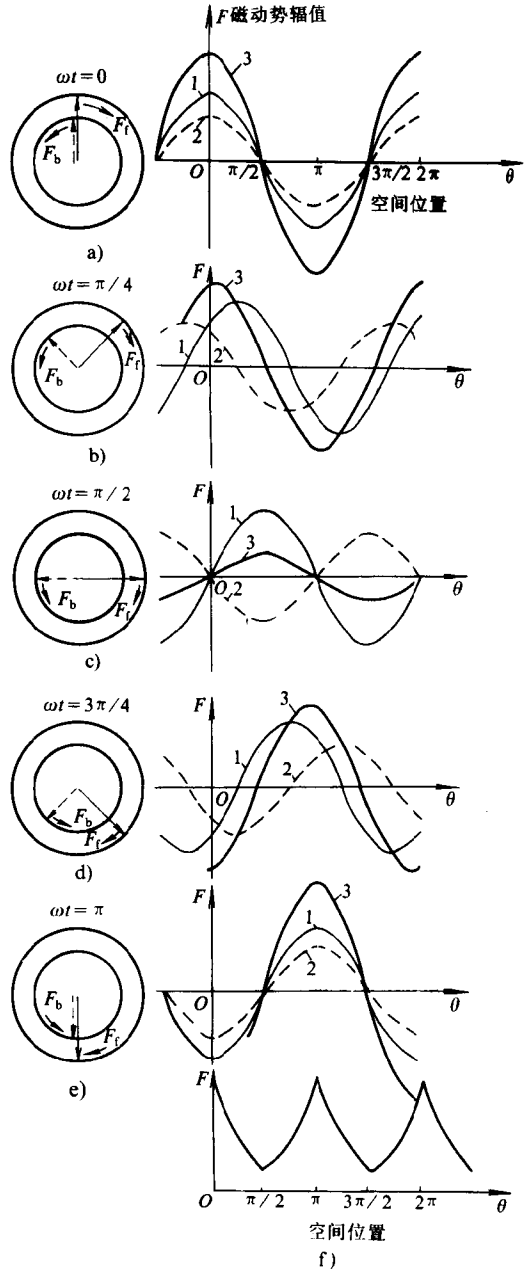


图 5·2-6 椭圆旋转磁场

a)  $\omega t=0$  b)  $\omega t=\pi/4$  c)  $\omega t=\pi/2$  d)  $\omega t=3\pi/4$   
e)  $\omega t=\pi$  f) 合成磁动势波幅值轨迹  
1—正序磁动势波  $F_{em1}$  2—负序磁动势波  $F_{em2}$  3—合成磁动势波  $F$

围内周期变化,若用相量表示合成磁场,相量端点的轨迹是一个椭圆,其长轴为正、负磁场幅值之和,短轴为正、负磁场幅值之差。

(3) 椭圆旋转磁场旋转的瞬时角速度以两倍电源频率周期变化,在短轴处角速度最大,长轴处角速度最小,见图 5·2-6。

### 2·2 气隙谐波磁动势

通以单相交流电的单绕组单相异步电动机定子脉振磁动势是个非正弦量,利用傅里叶级数分解,可以得到一系列奇次项正弦脉振磁动势,磁动势级次通式为  $\nu=4k+1$  ( $k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ),每一级次脉振磁动势都可以分解为一对幅值相等、转向相反、转速相等的旋转磁动势。当电动机旋转时,正序磁场幅值大于负序磁场幅值,两者又合成一个椭圆旋转磁场,因此,旋转的单绕组单相电动机气隙中有对应于每一级次脉振磁动势所形成的椭圆旋转磁场。

除了基波磁动势以外,其余的磁动势分量都称为谐波磁动势,显然单相电动机谐波含量比三相电动机的大得多,一是谐波的级次多(三相电动机不含有三及三倍频谐波),二是槽数少,谐波幅值大,因而对电动机的危害更为严重。尤其是:

(1) 引起较大的附加转矩,特别是起动时的同步附加转矩,给起动带来困难,严重时出现“死点”。

(2) 产生倍频转矩和较低次谐波的附加径向力波,因此,振动、噪声较大。

(3) 附加损耗增大,导致电动机效率低,温升高。

## 3 单相异步电动机的设计要点和主要参数

### 3·1 一般单相电动机设计要点

设计单相电动机时,要考虑它的气隙磁场的特殊性:一是椭圆形基波磁场;二是级次多、幅值大的谐波磁场。如何削弱或消除低次谐波,并增大基波磁场圆度,可采用以下措施:

(1) 两相绕组电流的时间相位差角接近  $90^\circ$ ,并且使两相磁动势安匝数接近相等。对于单绕组运行单相电动机,起动时是双绕组运行,此方法可改善起动性能。对于双绕组运行单相电动机,可根据使用要求及技术指标,使在特定工作点上运行时基本上实现上述要求,并有最好的运行性能。主、辅绕组有效匝数比  $a$  值的范围见表 5·2-3。

表 5·2-3 有效匝数比  $a$  值的范围

电动机类型	$a$ 值	备注
单相电阻起动异步电动机	0.4~0.7	功率增大, $a$ 值取大值 $a$ 值增加,辅绕组线径不变,则起动转矩降低,起动电流减小
单相电容起动异步电动机	0.7~1.2	功率增大, $a$ 值取大值 $a$ 值增加, $C$ 不变,则起动转矩、起动电流、电容器端电压增大
单相电容运转异步电动机	1.0~1.5	功率增大, $a$ 值取大值 $a$ 值增加, $C$ 不变,则起动转矩增加
单相双值电容异步电动机	1.2~1.6	功率增大, $a$ 值取大值

(2) 合理选择定、转子槽数的配合。通过谐波分析可以选择合理的定、转子槽数的配合,能有效地消除某些级次的谐波,避免由该次谐波产生的同步附加转矩,消除“死点”,消除或削弱低次谐波力波,降低噪声。定、转子槽数的选择见表 5·2-4。

表 5·2-4 定、转子槽数配合推荐表

极数	定子槽数	转子槽数	极数	定子槽数	转子槽数
2	12	8, 15, 18	6	36	48
2	16	10	8	24	36
2	18	12, 15, 21	8	36	40
2	24	18, 27, 28, 31	12	24	57, 58
4	8	17, 20, 22, 25, 26	14	28	36, 45, 48, 50
4	12	15	16	32	52
4	16	16, 17, 18, 22	18	38	48, 51
4	18	15	18	72	60
4	24	16, 17, 18, 22, 30	20	40	63, 65
4	36	26, 33, 34, 42, 44	24	48	67
6	24	30			

(3) 合理选择转子斜槽。要消除齿谐波磁动势,转子必须采用斜槽,对斜槽的要求:一是斜槽整齐;二是斜槽度要准确。根据需要削弱的齿谐波级次计算斜槽度。

(4) 合理选择气隙长度。可以削弱因齿槽引起的气隙磁导波。

### 3·2 罩极电动机设计要点

为了提高罩极电动机的出力及改善性能,通常应合理设计凸极的形状及罩极线圈的参数,常用极间带漏磁片或极间用磁分路两种方法,可扩展主极和罩极的极弧,增大两个时间相位不同的磁通轴线空间夹角,

降低两相绕组的不对称程度，同时又使空气隙趋于均匀，减少气隙谐波成分，降低因气隙不均匀而产生的磁阻转矩，使电动机性能全面提高。

### 3.3 主要参数选择

#### 3.3.1 电磁负荷

1. 磁通密度 单相电动机因其磁场的特殊性，磁

通密度应比三相电动机的低一些，以减小因磁通密度过高而引起的噪声大、温升高等不良情况。

2. 电流密度、电负荷 单相电阻起动异步电动机和单相电容起动异步电动机的辅绕组只在起动时才接通电源，通电时间极短，电流密度可取得高一些，而主绕组与双绕组单相电动机一样，长期通电，电流密度应取低一些（自冷式电机的电流密度可取得更低一些）。

电磁负荷选用范围见表 5·2-5。

表 5·2-5 单相异步电动机的电磁负荷选用范围

电磁负荷		选用范围	电 流 密 度		选用范围
气隙磁通密度 (T)		0.40~0.65	主绕组电流密度 (A/mm <sup>2</sup> )		4~8
定子齿磁通密度 (T)		1.30~1.60	电阻起动电动机辅绕组电流密度(A/mm <sup>2</sup> )		60~70
转子齿磁通密度 (T)		1.30~1.60	电容起动电动机辅绕组电流密度(A/mm <sup>2</sup> )		30~50
定子轭磁通密度 (T)		1.20~1.55	电容运转电动机辅绕组电流密度(A/mm <sup>2</sup> )		4~8
转子轭磁通密度 (T)		0.70~1.50	双值电容电动机辅绕组电流密度(A/mm <sup>2</sup> )		4~8
电负荷 (A/cm)		100~150			

#### 3.3.2 定子绕组型式

一般来说，为节省层间绝缘，提高槽利用率，可选用单层绕组；为简化工艺，节省下线工时，可采用集中绕组。

从改善电动机性能出发，可以采用正弦绕组，以消

除或削弱磁动势谐波幅值。

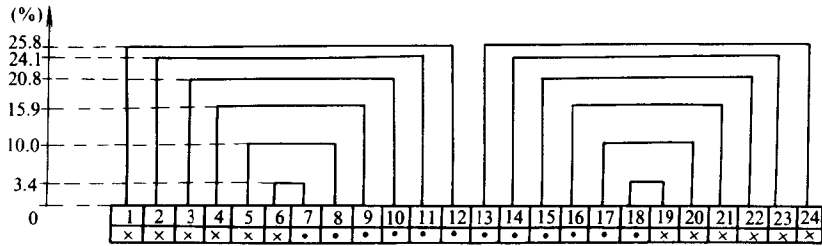
正弦绕组，就是使各槽内导体数在空间按余弦规律分布，从而取得接近正弦分布的磁动势波。从结构上看，正弦绕组是一种每槽导体数不等的同心式绕组。正弦绕组每槽导体数分配见表 5·2-6。磁动势沿空间分布见图 5·2-7。

表 5·2-6 正弦绕组每槽导体数分配和基波绕组因数  $K_{dp1}$

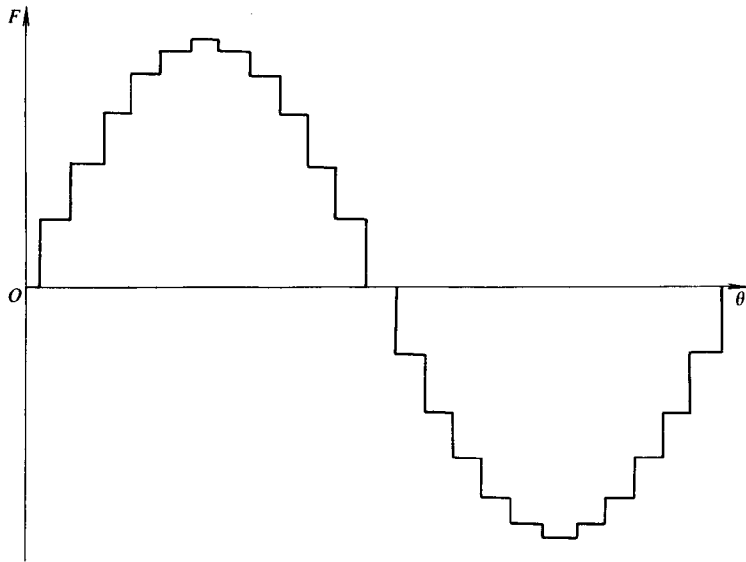
每极槽数	每槽导体数百分比 (%)																		节距数	基波绕组因数 $K_{dp1}$	编号
	跨槽数																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
4		60.8		39.2															2.78	0.822	1
		58.6		41.4															2.83	0.829	2
6	13.5		36.5		50.0														3.73	0.776	3
		26.8		46.4		26.8													4.00	0.804	4
			42.3		57.7														4.15	0.856	5
				63.4		36.6													4.73	0.914	6
8		15.3		28.0		36.8		19.9											5.23	0.795	7
			23.5		35.1		41.4		23.5										5.36	0.828	8
				33.1		43.4		54.1		23.5									5.81	0.879	9
					45.9		64.8		35.2										6.08	0.911	10
9																			6.7	0.95	11
		12.1		22.7		30.6		34.6											5.75	0.793	12
			18.5		28.3		34.7		18.5										6.06	0.821	13
				25.7		34.8		39.5		22.7									6.28	0.855	14
					34.7		42.6		52.2		22.7								6.76	0.893	15
12																			7.05	0.929	16
																			7.69	0.961	17
		3.4		10.0		15.9		20.8		24.1		25.8							7.59	0.783	18
			6.8		13.2		18.6		22.8		25.4		13.2						7.73	0.789	19
				10.3		16.5		21.4		25.0		26.8							7.83	0.806	20
					14.1		20.0		24.5		27.3		14.1						8.15	0.829	21
						18.3		24.0		27.8		29.9		16.4					8.39	0.854	22
							23.3		28.5		31.8		36.6						8.83	0.883	23
							29.3		34.1		41.4		21.4					9.15	0.910	24	
								37.2		48.2		51.8						9.68	0.936	25	
																		10.04	0.959	26	
																		10.68	0.977	27	

(续)

每极槽数	每槽导体数百分比 (%)																		节距数	基波绕组因数 $K_{dp1}$	编号
	跨槽数																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
16			5.8	7.9	9.4	11.3	12.7	14.4	15.4	17.2	17.6	18.9	19.2	20.0	19.9	10.3			10.34	0.797	28
				10.0	11.3	13.4	14.4	16.4	17.2	18.7	18.7	20.4	20.4	21.1	10.3			10.58	0.812	29	
					12.4	13.4	15.7	16.4	18.2	20.8	20.8	22.6	21.8	23.5	11.1			10.79	0.829	30	
						14.9	17.9	18.2	21.1	24.5	23.4	26.5	24.9	27.6	12.7			11.14	0.848	31	
							21.4	21.1	25.7	31.1	24.5	28.5	30.3	27.6	15.5			11.43	0.868	32	
								25.7	31.1	38.4	31.1	33.8	30.3	27.6	15.5			11.87	0.889	33	
																		12.21	0.910	34	
18			4.6	6.3	7.5	9	10.2	11.6	12.5	13.8	14.5	15.7	16	17	17.1	17.8	17.6	9	11.58	0.794	38
				7.8	9.6	10.6	11.5	12.4	13.2	14.7	15.2	16.7	16.8	17	17.9	18.9	18.5	9.6	11.83	0.808	39
						9.6	11.5	12.4	13.7	14.2	15.2	16.5	18.2	18.1	19.5	20.9	20.1	10.6	12.01	0.820	40
							13.7	16.1	16.4	18.6	18.4	20.8	20.0	22	24.3	22.7	10.6	10.6	12.33	0.835	41
								18.9	18.6	21.3	21.3	24.6	23.2	26.2	29.9	27.0	12.3	12.3	12.61	0.854	42
									22.2	25.3	22.2	25.3	24.6	28.6	26.2	29.9	27.0	15.2	13.00	0.873	43
																			13.36	0.892	44
																		13.80	0.909	45	
																		14.16	0.927	46	
																		14.68	0.944	47	



a)



b)

图5.2-7 正弦绕组每槽导体数分配及磁动势空间分布  
 a) 导体数分配示例 b) 对应的磁动势空间分布 %—每槽导体数比例  $F$ —磁动势幅值  $\theta$ —每槽对应的电角度

## 3.3.3 电容量 C 的选配 (表 5.2-7)

表 5.2-7 电容量选配推荐值

电容起动电动机	额定功率 (W)	120	180	250	370	550	750	1100	1500	2200	
	起动电容量 ( $\mu\text{F}$ )	75	75	100	100	150	200	300	400	500	
电容运转电动机	额定功率 (W)	6	10	16	25	40	60	90	120	180	250
	运转电容量 ( $\mu\text{F}$ )	1	1	2	2	2	4	4	4	6	8
双值电容电动机	额定功率 (W)	250	370	550	750	1100	1500	2200	3000		
	起动电容量 ( $\mu\text{F}$ )	75	75	75	75	100	200	300	300		
	运转电容量 ( $\mu\text{F}$ )	12	16	16	20	30	35	40	50		

## 3.3.4 转子导条截面积及导条材料的选择

转子电阻的大小决定了电动机转矩—转差率特性,单相电动机转子电阻增大,堵转转矩增大,最大转矩倍数减小,最大转矩及额定转矩对应的转差率都随之增大。因此,可以根据所需要的特性选择导条的材料或适当调整转子槽面积的大小。

## 4 起动开关及电容器

## 4.1 起动开关

单相电阻起动、电容起动及双值电容单相异步电动机都必须附加一个起动开关。起动开关触头串接在辅绕组电路中,与主绕组并联接至电源,当转子转速上升到一定值时,起动开关将辅绕组切除,但对双值电容电动机仅切断了起动电容器。常用的起动开关有离心开关、电磁式起动继电器、PTC 元件和电子开关四种。

## 4.1.1 离心开关

离心开关结构简单、使用可靠、价格便宜,是最常用的起动开关。它由离心器和开关两部分组成,离心器装在转轴上,开关装在端盖上。当电动机起动时,离心器跟随转子旋转,当转速达到同步转速的 70%~85% 时,离心器上离心块的离心力足以克服弹簧力甩开,使滑动件在轴上移位,从而打开了开关上的常闭触点,达到脱离辅绕组或起动电容器的目的。

各种类型的电动机应根据同步转速及辅绕组的电流来选配合适的离心开关,见表 5.2-8。

## 4.1.2 电磁式起动继电器

电磁式起动继电器有电流型、电压型和电流电压

表 5.2-8 离心开关的选配

离心开关型号	额定电流 (A)	配用电动机型号及机座号
L14	10	BO2-63、YU-63
L17	15	BO2-71、CO2-71、YU-71、YC-71
L22	20	BO2-80、CO2-80、YU-80、YC-80
L25	20	CO2-90、YC-90
L20	25	YC-90
L20	30	YC-100
L20	50	YC-112
L28	65	YC-132

差动型三种。它主要用在专用电动机上,例如冰箱压缩机电动机采用电流型继电器,其继电器线圈与电动机主绕组串联,当电动机起动时,主绕组电流很大,使继电器动作,触头闭合,随着转速上升,主绕组电流下降,当吸引力小于继电器电磁铁心的重力及弹簧反作用力时,继电器复位,切断了辅绕组电路。由于同一个规格的电动机,绕组电流值有一定的差别,因而断开转速分散性较大,往往需要配合电动机逐台调整线圈匝数。同样,电压型继电器也因电机电流的分散性,使继电器电压线圈的电压值波动,最终造成断开转速的分散性。因而这两种型式都有局限性。

差动式继电器有电流和电压两个线圈。当电动机起动以后,主绕组电流减小,电流线圈的作用减小,配合电压线圈的作用力使串联在辅绕组电路中的常闭触头断开,脱离辅绕组。

起动继电器与电动机的接线原理见图 5.2-8。



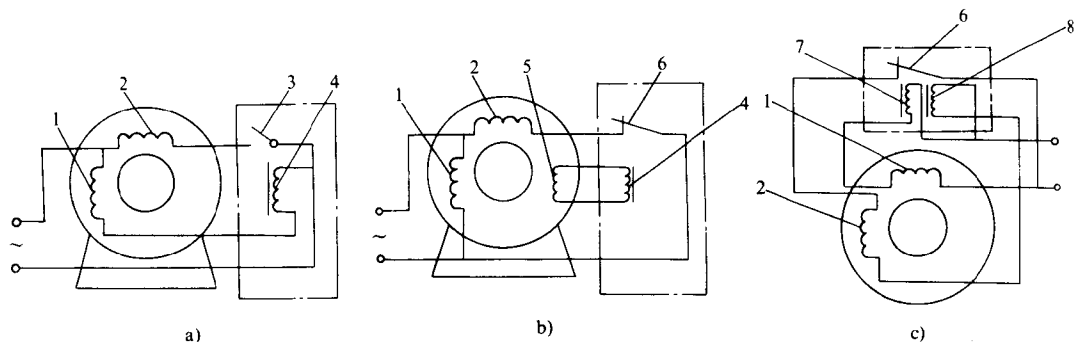


图 5·2-8 电磁式起动继电器示意图

a) 电流型 b) 电压型 c) 差动型

1—电机主绕组 2—电机辅助绕组 3—继电器常开触点 4—继电器线圈 5—附加感应线圈 6—继电器常闭触点 7—继电器电流线圈 8—继电器电压线圈

### 4·1·3 PTC 电阻元件

PTC 电阻元件是一种具有独特的电阻温度特性的钛酸钡陶瓷元件,其起始电阻为  $3\sim 6\Omega$ 。将 PTC 元件串联在辅绕组电路中,当电动机起动时,辅绕组电流很大,元件迅速发热,电阻值成千倍地增大,足以限制辅绕组的电流,相当于辅绕组开路。这种型式的缺点是因辅绕组电路中始终串联了电阻,影响了起动性能,其次是需考虑元件的冷却时间(约 2min),不宜用在起动次数太频繁的场所。

### 4·1·4 电子开关

电子开关是由舌簧开关、时限控制器、转速传感器、霍尔传感器等组成,结构复杂,价格较贵,目前尚

未大量推广应用。

### 4·2 电容器

单相电容起动电动机需要起动电容器,电容运转电动机需要运转电容器,双值电容电动机需要起动电容器及运转电容器。电容器主要技术参数见表 5·2-9。

起动电容器的选配除应使电动机达到技术条件规定的起动转矩外,必须保证起动过程中电容器两端电压不超过其允许的最高电压值(约为 1.25 倍额定工作电压)。运转电容器的选配除应保证电动机从空载到满载运行时电容器端电压都不超过其额定工作电压外,电容量的选配应使电动机具有较高的效率和功率因数,并使电动机其他各项指标都符合要求。

表 5·2-9 电容器主要技术参数

电容器种类	额定工作电压 (V)	电容量允许误差 (%)	使用环境温度 (C)	环境相对湿度 (%)	耐湿热时间 (d)	损耗角正切值 $\tan\delta$	大气压力 (MPa)	电容器类型
起动电容器	250	10	$-10\sim 70$	93	4, 10, 21, 56	0.08~0.15	0.046~0.107	电解电容器
运转电容器	250, 400 (450), 500, 500 (630)	5	$-40\sim 100$	93	4, 10, 21, 56	$<0.004$	$<0.01$	金属箔电容器、金属化薄膜电容器

## 5 高速异步电动机

高速异步电动机是指额定转速为  $(0.6\sim 30)$  万 r/min 的异步电动机,其转速的提高是依靠供电频率的增高而达到的,供电频率为  $100\sim 5000\text{Hz}$ 。

### 5·1 高速异步电动机的电源

采用中频机组或晶闸管静止变频器作为供电电

源,但使用晶闸管静止变频器时,电动机转速变化太快,由于发电效应使电子器件反向充电而损坏,因而不能适用于需快速应变的场合。而中频机组既笨重,又昂贵,因此,高速电动机的发展因电源问题受到影响。我国最新研制成功的变频控制装置是采用新一代电力电子技术制作的新型变频供电系统,通过对大功率电子器件的变频和锁相技术,可适应快速应变,为中频电动机提供了良好的控制。