

t_k ——换向器片距
 U ——电压
 U_1 ——定子相电压
 U_N ——额定电压
 V_h ——转子磁滞材料的体积
 V_M ——磁钢体积
 W ——绕组匝数
 W_a ——副绕组匝数, 换向元件匝数
 W_m ——主绕组匝数
 W_s ——串激绕组每极匝数
 $W_{\phi 1}$ ——定子每相串联匝数
 x_1 ——定子绕组漏抗
 x_2 ——转子绕组漏抗
 x_{1a} ——副绕组漏抗
 x_{1m} ——主绕组漏抗
 x_{af} ——副绕组正序电抗
 x_{ab} ——副绕组负序电抗
 x_b ——负序视在电抗
 x_c ——电容器电抗
 x_d ——直轴同步电抗
 x_f ——正序视在电抗
 x_m ——激磁电抗
 x_{mf} ——主绕组正序电抗
 x_{mb} ——主绕组负序电抗
 x_q ——交轴同步电抗
 x_T ——总漏抗
 x_{Tm} ——主绕组等效总电抗
 x_{Ta} ——副绕组等效总电抗
 y_1 ——电枢绕组元件节距
 Z ——槽数

Z_1, Z_2 ——定、转子槽数
 Z_a ——电枢槽数
 Z_m ——主绕组槽数
 z ——阻抗
 z_{1a} ——副绕组阻抗
 z_{1m} ——主绕组阻抗
 z_b ——负序视在阻抗
 z_f ——正序视在阻抗
 z_{Ta} ——副绕组等效总阻抗
 z_{Tm} ——主绕组等效总阻抗
 α_p ——极弧系数
 δ ——气隙长度
 η ——效率
 λ ——长径比, 比漏磁导
 λ_s ——绕组端部比漏磁导
 λ_s ——绕组槽部比漏磁导
 λ_{ts} ——齿顶槽部比漏磁导
 λ_M ——磁钢长度对其直径之比
 ρ ——电阻率
 σ ——漏磁系数
 τ_p ——极矩
 τ_{me} ——机电时间常数
 ϕ ——磁通
 ϕ_0 ——空载磁通
 ϕ_a ——每极有效磁通
 ϕ_a ——沿磁极轴线脉振的激磁磁通
 ϕ_a ——沿极间中心线脉振的交轴电枢反应磁通
 ϕ_d ——气隙磁通
 ϕ, φ ——功率因数角

常用符号表

A ——面积, 线负荷, A 相	D_j ——定子轭外径
A_b ——电刷截面积	D_K ——换向器直径
A_c ——导线截面积	D_M ——磁钢直径
A_f ——轭截面积	d ——导线直径(包括绝缘)
A_M ——磁钢截面积	d_c ——导线直径(裸)
A_m ——主极铁心截面积	d_f ——激磁绕组导线直径(裸)
A_s ——槽面积	E ——电势
A_t ——齿截面积	E_0 ——空载电势
AJ ——电机热负荷	E_1 ——定子电势
α ——匝数比, 并联支路对数	E_a ——电枢电势
B ——磁通密度	e_a ——换向元件中电枢反应电势
B_f ——轭磁密	e_K ——换向元件中合成电势
B_{j1}, B_{j2} ——定、转子轭磁密	e_t ——换向元件中变压器电势
B_{ja} ——电枢轭磁密	e_x ——换向元件中电抗电势
B_M ——磁钢磁密	F ——磁势
B_m ——主极极身磁密	F_a ——电枢反应磁势
B_{t1}, B_{t2} ——定、转子齿磁密	F_{j1} ——定子轭磁势
B_{ta} ——电枢齿磁密	F_{ja} ——电枢轭磁势
B_δ ——气隙磁密	F_m ——主极极身磁势
$(BH)_{\max}$ ——最大磁能积	F_{ta} ——电枢齿磁势
b ——宽度	F_δ ——气隙磁势
b_b ——电刷宽度	f ——频率
b_K ——换向区宽度	f_N ——额定频率
b_N ——中性区宽度	H ——磁场强度
b_{01}, b_{02} ——定、转子槽口宽度	H_c ——矫顽力
b_{0a} ——电枢槽口宽度	H_{j1} ——定子轭部磁场强度
b_s ——槽宽	H_{ja} ——电枢轭部磁场强度
b_{t1}, b_{t2} ——定、转子齿宽	h ——高度
b_{ta} ——电枢齿宽	h_{01}, h_{02} ——定、转子齿顶高
C ——电容, 利用系数	h_{j1} ——定子轭部高度
C_A ——电机常数	h_{ja} ——电枢轭部高度
C_e ——电势常数	h_M ——磁钢高度
C_T ——转矩常数	h_p ——极靴高度
D_1 ——定子外径	h_{t1} ——定子齿高
D_2 ——转子外径	h_{ta} ——电枢齿高
D_a ——电枢外径	I ——电流
D_{j1} ——定子轭外径	I_1 ——定子相电流
D_{i1} ——定子内径	I_a ——电枢电流, 副绕组电流
D_{i2} ——转子内径	I_m ——主绕组电流
D_{ia} ——电枢内径	I_N ——额定电流

I_{st0} ——最初起动电流
 I_{st0}^* ——最初起动电流倍数
 J ——电流密度, 转动惯量
 J_B ——转子导条电密
 J_b ——电刷电流密度
 J_m ——主绕组电密
 J_R ——转子端环电密
 K ——换向器片数
 K_{at} ——安匝系数
 K_a ——绕组分布系数
 K_{a1} ——基波分布系数
 K_{ap1} ——定子绕组系数
 K_{apo} ——副绕组绕组系数
 K_{apm} ——主绕组绕组系数
 K_E ——压降系数
 K_e ——电势系数
 K_{Fe} ——铁心叠压系数
 K_f ——摩擦系数
 K_m ——过载系数
 K_p ——绕组短矩系数
 K_{p1} ——基波短矩系数
 K_s ——槽满率, 饱和系数
 K_T ——转矩系数
 k_{Fei} ——齿铁耗修正系数
 k_{Fof} ——轭铁耗修正系数
 k_T ——转矩损耗修正系数
 L_{j1} ——定子轭磁路长度
 L_{ja} ——电枢轭磁路长度
 L_m ——磁极磁路长度
 l ——长度
 l_1 ——定子铁心长度
 l_2 ——转子铁心长度
 l_a ——电枢铁心长度
 l_b ——电刷轴向长度
 l_k ——换向器长度
 l_M ——磁钢长度
 l_m ——磁极磁身长度
 l_p ——极靴长度
 m ——相数
 N_a ——电枢导线数, 副绕组总串联导线数
 N_s ——每槽导线数
 n ——转速
 n_0 ——空载转速
 n_N ——额定转速
 n_s ——同步转速
 P_1 ——输入功率
 P_2 ——输出功率
 P_{Al2} ——转子铝耗
 P_{ad} ——附加损耗
 P_{Cu1} ——定子绕组铜耗

P_{ed} ——涡流损耗
 P_{em} ——电磁功率
 P_{Fe} ——铁耗
 P_{Fe1} ——定子铁耗
 P_{Fe2} ——转子铁耗
 P_{fbs} ——轴承摩擦损耗
 P_{f2} ——转子表面摩擦损耗
 P_{fo} ——风磨损耗
 P_{fw} ——机械损耗
 P_h ——磁滞损耗
 P_{mec} ——机械功率
 P_N ——额定输出功率
 p ——极对数, 比损耗
 p_μ ——比磁滞损耗
 Q ——无功功率
 q ——每极每相槽数
 r_1 ——定子绕组电阻
 r_{1a} ——定子副绕组电阻
 r_{1m} ——定子主绕组电阻
 r_2 ——转子绕组电阻, 转子电阻
 r_a ——电枢绕组电阻
 r_b ——负序视在电阻
 r_c ——电容器电阻
 r_f ——正序视在电阻
 r_{mb} ——主绕组负序电阻
 r_{mf} ——主绕组正序电阻
 r_{sa} ——电枢槽底半径
 r_{st} ——起动电阻
 r_{Tm} ——主绕组等效总电阻
 r_{Ta} ——副绕组等效总电阻
 s ——转差率
 s_{cr} ——临界转差率
 T ——转矩
 T_0 ——空载转矩
 T_2 ——输出转矩
 T_{as} ——异步转矩
 T_b ——负序旋转磁场产生的转矩
 T_E ——发电机转矩, 制动转矩
 T_{em} ——电磁转矩
 T_f ——正序旋转磁场产生的转矩
 T_h ——磁滞转矩
 T_K ——堵转转矩
 T_L ——负载转矩
 T_N ——额定转矩
 T_{pi} ——牵入转矩
 T_{st0} ——最初起动转矩
 T_{st0}^* ——最初起动转矩倍数
 t ——齿距、片距、时间
 t_1, t_2 ——定、转子齿距
 t_a ——电枢齿距

第1章 概 述

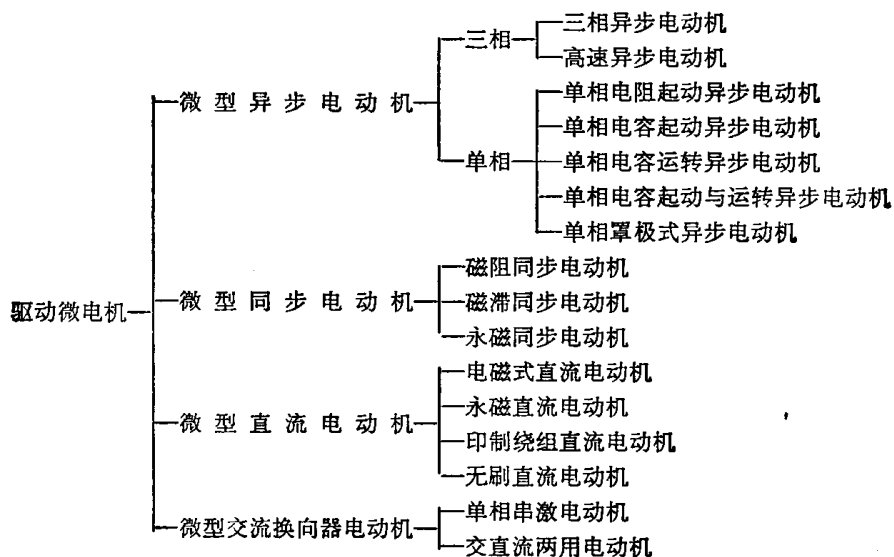
驱动微电机一般是指机壳外径不大于 160 毫米或轴中心高不大于 90 毫米的小功率电动机 $\ominus$ 。其功率从零点零几瓦到 750 瓦 $\ominus$ ，转速从每小时 1 转到每分钟 30 万转。它广泛应用于工业、农业、交通、以及新技术领域和日常生活的各个方面；例如，用作各种电动工具、日用电器、医疗器械、自动记录仪器、钟表、农业小型电动机械，纺织机械中传动锭子以及飞机、汽车、计算机、电视和无线电探测装置等设备中驱动各种小型运动体；有的还可用于自动控制系统，作为伺服元件。

在工业发达的国家里，这类电机的年产量均以数千万台计，其销售额分别占交流电动机和直流电动机销售总额的一半左右，甚至更高于此数。

1 分类、特点和典型应用

驱动微电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。它还可按相数、起动方式和结构型式等具体分类，如表 22·1-1 所示。各类电机的性能特点及其典型应用见表 22·1-2。其代号见附录 II。

表 22·1-1 驱动微电机分类表



2 结构特征

不同类型的驱动微电机的结构各有其不同的特征：

a. 微型异步电动机 微型三相异步电动机的结构与封闭式小型三相异步电动机相似。微型单相异步电动机的定子具有主绕组(即工作绕组)和副绕组(即起动绕组)，这两种电动机的铁心冲片可以通用。

b. 微型同步电动机 其结构特征见表 22·1-3。

c. 微型直流电动机 不同类型微型直流电动机

机的结构特征见表 22·1-4。

d. 微型交流换向器电动机 其结构与一般小型直流电动机结构相似，但其定子一般为凸极冲片叠成。

3 基本技术要求

根据负载性质与使用场合的不同需要，对驱动微电机的设计制造，除各有某些不同的特殊技术要

$\ominus$ 驱动微电机机座号与轴中心高和机壳外径对照表可参见附录 I

$\ominus$ 高速驱动微电机的功率可到几个千瓦。

表 22-1-2 各类电机的性能特点及其典型应用

类 别		性 能 特 点	典 型 应 用
三相异步电动机		起动转矩大 ($T_{st}^*/T_N^* > 2.2$), 力能指标高, 可逆转	适用于有三相电源的场合, 例如小型机床、泵、手电钻
高速异步电动机		转速高 ($n = 6000 \sim 300000 \text{ r/min}$), 温升低	适用于要求高速运行的场合, 例如磨床、铣床、钻床、砂轮机、医疗器械、纺织机械
单相电阻起动电动机		中等起动转矩 ($T_{st}^* = 1.1 \sim 1.6$), 起动电流大 ($I_{st}^* = 6 \sim 9$), 可逆转	适用于低惯量负载, 不经常起动、负载可变而要求速度基本不变的场合, 例如小型车床、鼓风机、医疗器械
单相电容起动电动机		起动转矩大 ($T_{st}^* = 2.5 \sim 2.8$), 中等起动电流 ($I_{st}^* = 4.5 \sim 6.5$), 可逆转	适用于满载起动场合, 例如空气压缩机、泵、电冰箱循环泵
单相电容运转电动机		起动转矩小 ($T_{st}^* = 0.35 \sim 0.6$), 振动噪声小, 力能指标高, 可逆转, 可调速	不能空载或轻载运行, 适用于直接与负载连接并要求低噪声的场合, 例如风扇、通风机、录音机
单相电容起动和运转电动机		起动转矩大 ($T_{st}^* > 1.8$), 力能指标高, 可调速	适用于带负载起动和低噪声的场合, 例如小型机床、泵、家用电器
单相罩极异步电动机		起动转矩小 ($T_{st}^* < 0.5$), 力能指标低, 不能逆转, 可调速	适用于对起动转矩要求不高的场合, 例如小风扇、电动模型、排气机
磁阻同步电动机		转速恒定, 力能指标较低, 起动性能好 ($T_{st}^* = 2 \sim 3.5$)	适用于大容量转速恒定的场合, 例如音响设备、摄影、记录、通信装置
磁滞同步电动机		转速恒定, 力能指标低	适用于小容量转速恒定的场合, 例如电钟, 时间继电器、陀螺仪
永磁同步电动机		起动性能差 ($T_{st}^* > 1.2$), 稳定性好, 力能指标高	适用于转速恒定的场合, 例如化纤纺织设备、自动化设备
电磁式直流电动机	并(他)激直流电动机	机械特性硬, 中等起动转矩, 可调速, 可逆转	适用于要求转速变化不大的场合
	串激直流电动机	机械特性软, 过载能力高, 起动转矩大, 转速高, 调速范围宽	适用于要求转速随负载大小而变化的场合
	复激直流电动机	起动转矩大, 机械特性较硬, 可调速	适用于要求转速变化不大的场合
永磁直流电动机		机械特性硬, 效率高, 中等起动转矩 ($T_{st}^* = 2 \sim 5$), 可调速, 可逆转	适用于小容量、低电压、高转速以及要求转速变化不大的场合, 例如计算机、摄影机、录音机
印制绕组直流电动机		机械特性硬, 转矩正比于电枢电流, 机电时间常数小, 换向火花小, 调速范围宽	适用于需要机电时间常数小的场合, 其结构多为盘式, 特别适用于扁平安装空间, 例如记录仪、电视电影放映机、割草机、刮雨器、采茶机
无刷直流电动机		噪声低, 无换向火花, 可调速	适用于要求低噪声和无换向火花的场合, 例如摄影机、人造卫星
交流换向器电动机		机械特性软, 起动转矩大 ($T_{st}^* = 1.5 \sim 6$), 过载能力高, 转速高 ($n = 4000 \sim 12000 \text{ r/min}$), 调速范围宽	适用于转速随负载大小而变化的场合, 例如手电钻、吸尘器

表 22-1-3 微型同步电动机结构特征

类 别		结 构 特 征	
		定 子	转 子
磁阻同步电动机		与笼型异步电动机定子基本相同	一般在笼型转子基础上开有反应槽
磁滞同步电动机		同 上	转子一般为隐极式的光滑圆柱体,分内转子式和外转子式,其磁滞层有整体的和由片料制成两种,磁滞层内的套筒有非磁性的与磁性套筒两种
永磁同步电动机	自 起 动	罩极定子由机壳、爪极和一组单相线圈组成。非罩极电动机的定子由机壳、前后端盖、大极片、小极片和线圈组成	转子由转子环、转子支架和轴组成,转子环为铁氧体制成。非罩极式电动机设有由一对棘轮组成的定向装置
	异步起动	与一般异步电动机相似	转子的磁系统分径向结构和轴向结构两类,径向结构的转子一般由转轴、星形磁钢转子环、笼型导条和轮毂组成,功率较大的电动机可做成带有极靴的永磁钢凸极结构,其极靴较宽,极间空隙小。轴向结构可按功率的大小或匀速的要求制成不同的结构型式
	磁滞起动	同 上	转子为永磁材料,呈星形或筒形,转子上套有以磁滞材料制成的磁滞环,当永磁钢为星形时,极间间隙填以铝或其他合金

表 22-1-4 微型直流电动机结构特征

类 别		结 构 特 征	
		定 子	转 子
电磁式直流电动机		与一般直流电动机相似,其定子磁极有可卸的与不可卸的两种,可卸式磁极有整块的或叠片的,机壳由无缝钢管或钢板卷制而成;不可卸磁极同磁轭连成一体,由叠片组成。一般为铝机壳	
永磁直流电动机		定子磁极结构型式与采用的永磁材料性质有关,有圆筒式、端面式、瓦块式和凸极式等几种,磁极由铝镍钴系合金或铁氧体制成,无激磁绕组	与一般小型直流电机相似
印制绕组直流电动机		凸极定子,一般为永磁式,也可制成电磁式;采用铝镍钴磁钢时,磁极上常附有充磁线圈	电枢呈盘形,也有呈空心杯形,其绕组为印制绕组
无刷直流电动机		由电动机、位置传感器和电子换向器开关电路三部分组成。电动机的主定子与交流电动机相似,定子机壳内还装有位置传感器定子;电动机转子为永磁钢转子,轴上还装有位置传感器转子	

求外,一般均应符合以下的基本技术要求:

- (1) 在各种运行条件下,电机工作有充分的可靠性。
- (2) 具有适当的工作特性指标(例如合适的效率、相应的功率因数)。
- (3) 有较大的起动转矩对其额定值的倍数和一定的过载能力;在作伺服元件时具有较小的时间常数。
- (4) 在任何工作状态下,微型直流电动机与交流换向器电动机有良好的换向性能,能抑制工作时所产生的无线电干扰。
- (5) 振动、噪声低,外形尺寸和安装方式经济合理。

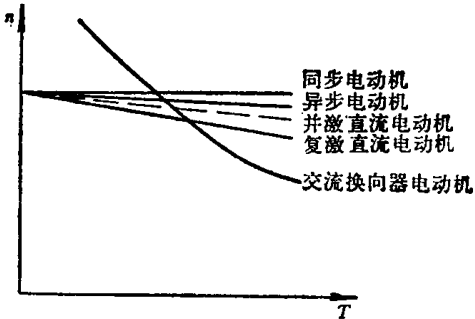


图 22-1-1 驱动微电机的机械特性

图 22-1-1 为各类驱动微电机的机械特性。在选用微电机时,除了要考虑上述基本的和有关的特殊技术要求外,还应考虑电机机械特性与负载机械特性的匹配以及电机价格、运行费用等经济性问题。

第 2 章 微型异步电动机

1 分类、用途及其结构特点

微型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、成本低廉、噪声小、对无线电系统干扰小等优点,广泛用于日用

电器和小型机床、设备。
微型异步电动机基本系列的功率为 8~750 瓦,电动机的额定功率与机座号的对应关系见表 22-2-1。
不同类型单相微型异步电动机的容量范围分别

表 22-2-1 微型异步电动机额定功率

系 列			AO		BO		CO		DO	
			2	4	2	4	2	4	2	4
机座号	80	2①						750		
		1					750	550		
	71	2		750		370	550	370		
		1	750	550	370	250	370	250		
	63	3②	550	370	250	180	250	180		
		2	370	250	180	120	180	120		180
		1	250	180	120	90			180	120
	56	2	180	120	90	60			120	90
		1	120	90	60	40			90	60
	50	2	90	60					60	40
		1	60	40					40	25
	45	2	40	25					25	15
		1	25	15					15	8

① 表中除 63 机座号外,其余机座号电机按铁心序号均分为 1、2 两种。
② 63 机座号电机按铁心序号分为 1、2、3 三种。

与起动电流、起动转矩、效率和功率因数等有直接联系。电阻起动电动机的容量上限受到起动电流的限制；电容起动电动机起动电流较小，容量可做得大些。当冲片尺寸太小时，定子槽数和槽配合等方面受到约束，将使性能变坏，制造质量不易稳定，因此它们的容量下限受到限制。电容运转电动机起动转矩小，尤其是在容量较大时，其起动转矩与额定转矩的比值更小，故容量一般做得较小。电容起动和运转电动机具有较好的起动性能以及较高的效率和功率因数，因此容量范围一般较大。罩极式电动机起动转矩小，效率和功率因数低，因此其容量上限受到限制。

微型三相和单相异步电动机的结构，与一般小型三相异步电动机相似。转子为笼型。在系列设计时，微型三相和单相异步电动机的铁心冲片、转子、端盖和机座都是通用的。多数单相异步电动机定子铁心上有主绕组和副绕组，两者的轴线在空间相距 90° 电角度，并接在同一单相电源上。这些电机的接线原理图、性能、结构特点及适用范围见表22-2-2。

2 基本工作原理

2.1 微型三相异步电动机

微型三相异步电动机的工作原理参见第20篇。

2.2 微型单相异步电动机

单相异步电动机仅一相定子绕组通入单相交流电时，将产生一个脉振磁势，它可以分解为大小相等、转速相等而转向相反的两个旋转磁势，即正序磁势 F_f 和负序磁势 F_b 。气隙中的正、负序磁场分别切割转子导体产生转子感应电势和电流。正、负序旋转磁场和相应的转子电流相互作用产生正向转矩 T_f 和反向转矩 T_b 。转矩随转差率的变化关系见图22-2-1。

由图22-2-1可知：

(1) 转子静止时， $T_f = T_b$ ，转子上合成转矩为零，电动机不能自行起动。

(2) 电动机一旦以一定的转速向任一方向转动， $T_f \neq T_b$ ，电动机将沿该方向继续转动。

为使单相异步电动机有一定的起动转矩，气隙中应有一个圆形旋转磁场，或至少有一个椭圆旋转磁场。

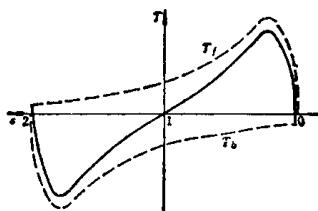


图 22-2-1 单相异步电动机一相定子绕组通电时机械特性曲线 $T=f(s)$

两个时间、空间不同相的脉振磁势在电动机气隙中合成一个椭圆旋转磁场，见图22-2-2。

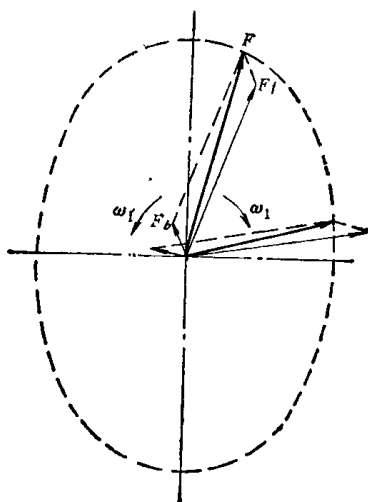


图 22-2-2 单相异步电动机气隙合成磁场—椭圆磁场

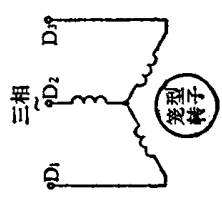
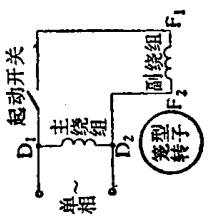
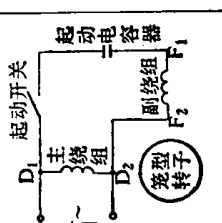
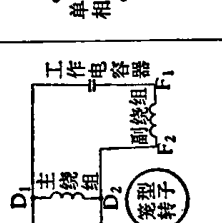
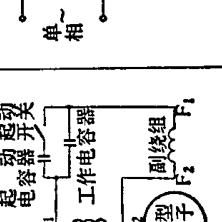
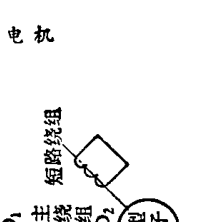
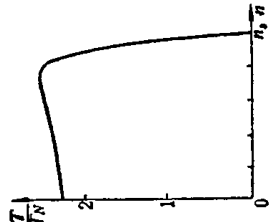
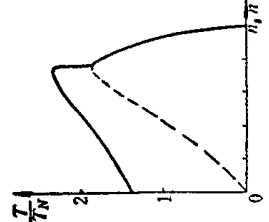
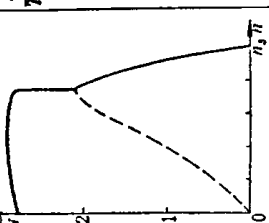
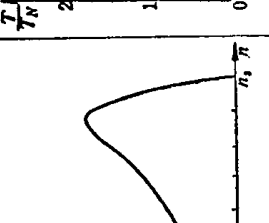
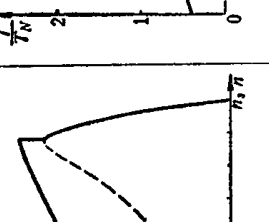
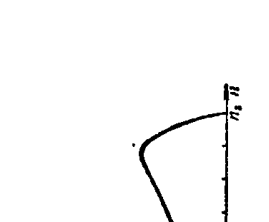
由表22-2-2可以看出，几种单相异步电动机除罩极式电动机外，其余4种（电阻起动、电容起动、电容运转及电容起动和运转）电动机在起动时都具有由两个空间相距 90° 电角度的绕组共同产生的椭圆旋转磁场。由于副绕组回路（指副绕组和附加阻抗）的电阻和电抗比值不同，引起主、副两相电流相角差 $(\theta_m - \theta_a)$ 大小不同，椭圆旋转磁场的扁平度不同，电动机性能就有差异。对照图22-2-3可知：

单相电阻起动电动机起动时电流相角差 $(\theta_m - \theta_a)$ 为 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，椭圆旋转磁场较扁平，因此具有中等起动转矩和较大的起动电流。

电容起动电动机起动时电流相角差 $(\theta_m - \theta_a)$ 接近 90° ，旋转磁场近似圆形，因此有较大的起动转矩倍数和较小的起动电流。

电容运转电动机主、副绕组长期参与运行，电动机参数的选择保证了额定负载时磁场近似圆形，起动时磁场为椭圆，因此电动机效率和功率因数较高而起动转矩较低。

表 22.2-2 微型异步电动机的分类、特性和应用

电动机类型	微型单相异步电动机					罩极式
	微型三相异步电动机	电阻启动	电容启动	电容运转	电容启动和运转	
基本系列代号	AO	BO	CO	DO		
接线原理图						
机械特性曲线 $\frac{T}{T_N} = f(n)$ $\frac{T}{T_N}$ —输出转矩倍数 T_N —额定输出转矩 n —转速						
最大转矩倍数 T_{max}^*	>2.4	>1.8	>1.8	>1.6	>2	
最初启动转矩倍数 T_{st0}^*	>2.2	$1.1 \sim 1.6$	$2.5 \sim 2.8$	$0.35 \sim 0.6$	>1.8	<0.5
最初启动电流倍数 I_{st0}^*	<6.0	$6 \sim 9$	$4.5 \sim 6.5$	$5 \sim 7$		
功率范围 W	15~750	40~370	120~750	8~180	8~750	15~90

额定电压 V	380	220	220	220	220	220
同步转速 r/min	1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000
结构特点	与小型封闭式三相异步电动机相似	定子具有主绕组和副绕组, 它们的轴线在空间相差 90° 电角度。电阻值较大的副绕组经起动开关与主绕组并接于电源 当电动机转速达到 $(75 \sim 80)\%$ 同步转速时, 通过起动开关将副绕组脱离电源, 由主绕组单独工作 为使副绕组得到较高的电阻对电抗的比值, 可采取如下措施: 1. 用较细铜线, 以增大电阻 2. 部分线圈反绕, 以增大电阻减少电抗 3. 用电阻率较高的铝线 4. 串入一个外加电阻	定子主绕组、副绕组分布与电阻起动电动机相同, 但副绕组导线较粗。副绕组和一个容量较大的起动电容器 C_1 串联, 经起动开关与主绕组并接于电源 当电动机转速达到 $(75 \sim 80)\%$ 同步转速时, 通过起动开关将副绕组脱离电源, 由主绕组单独工作	定子具有主绕组和副绕组, 它们的轴线在空间相差 90° 电角度。副绕组串接一个工作电容器 C (容量较起动电容器小得多) 后, 与主绕组并接于电源, 且副绕组长期参与运行	定子绕组与电容运转电动机相同, 但副绕组与两个并联的电容器串联。当电动机转速达到 $(75 \sim 80)\%$ 同步转速时, 通过起动开关将起动电容器 C_1 脱离电源, 而副绕组和工作电容器 C_2 继续参与运行 电容量 C_2 大于电容量 C_1	一般采用凸极定子, 主绕组是集中绕组, 并在极靴的一小部分上套有电阻很小的短路环 (又称罩极绕组)。另一种是隐极定子, 其冲片形状和一般异步电动机相同, 主绕组和罩极绕组均为分布绕组, 它们的轴线在空间相差一定的电角度 (一般为 45°), 罩极绕组匝数少, 导线粗
	比单相异步电动机有较高的力能指标, 相同体积时有较大的出力, 适用于小型机床、泵等	具有中等起动转矩和过载能力, 适用于小型车床、鼓风机、医疗机械等	具有较高起动转矩, 适用于小型空气压缩机、电冰箱、磨粉机、水泵及满载起动机械等	起动转矩较低, 但有较高的功率因数和效率, 体积小重量轻, 适用于电风扇、通风机、录音机及各种空载或轻载起动的机械	具有较高起动性能、过载能力、功率因数和效率, 适用于家用电器、泵、小型机床等	起动转矩、功率因数和效率均较低, 但结构简单, 成本低, 适用于小型风扇、电动模型及各种轻载起动的小功率电动机设备
典型应用						

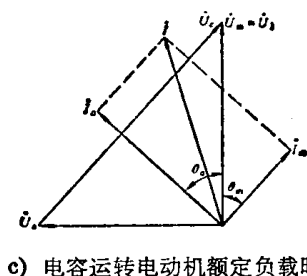
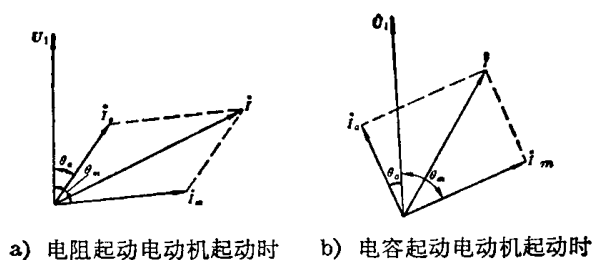


图 22-2-3 单相异步电动机电流相量图

电容起动和运转电动机克服了电容运转电动机的弱点，即起动时因副绕组回路串入电容器 C_s 而使磁场也近似圆形，所以电动机效率、功率因数和起动转矩都较高。

罩极式电动机分为凸极式和隐极式两种，其工作原理与上述的电机工作原理基本相同。这种电动机的结构和相量图分别如图 22-2-4、图 22-2-5 所示。

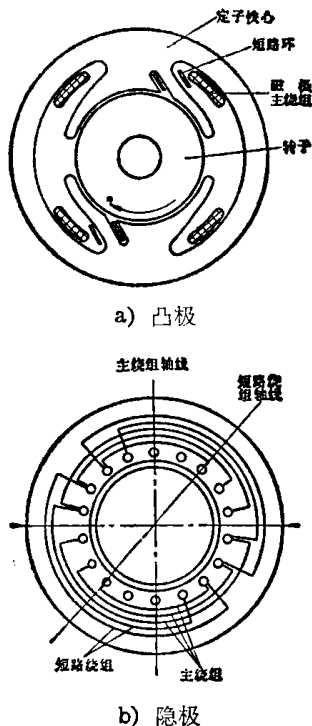


图 22-2-4 罩极式电动机结构

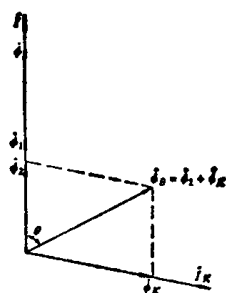


图 22-2-5 罩极式电动机相量图

主绕组电流 I 在磁极中产生脉振磁通 ϕ ，设穿过短路环(罩极)的磁通为 ϕ_2 ，穿过磁极其余部分的磁通为 $\phi_1 = \phi - \phi_2$ ， ϕ_1 与 I 在时间上同相。 ϕ_2 在短路环中产生感应电流 I_K ，由 I_K 产生的磁通为 ϕ_K ，因此短路环中的合成磁通 $\phi_B = \phi_2 + \phi_K$ 。由于短路环的作用， ϕ_1 和 ϕ_B 在时间上有一相位差 θ ，它们的空间轴线也有相位差，这样两个脉振磁通，在电动机气隙中构成一个椭圆旋转磁场，产生一定的起动转矩，使电动机起动和运转。这种电动机的转向是从领先的磁通 ϕ_1 的轴线转向 ϕ_B 的轴线，因此电动机只能单方向旋转。

2.3 等值电路

微型三相异步电动机的等值电路可参见第 20 篇。

电阻起动和电容起动单相异步电动机(简称单相分相异步电动机)的副绕组切除前、后的等值电路是不同的。当电动机以转速 n 转动时，转子对正序

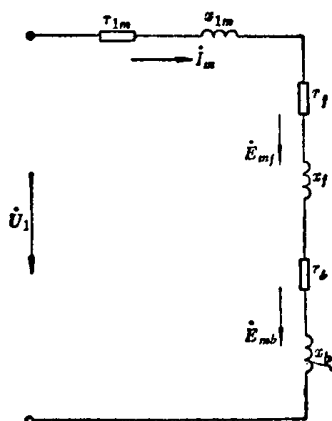


图 22-2-6 单相分相电动机副绕组

切除后的简化等值电路

r_f, x_f —正序视在电阻、电抗 r_b, x_b —负序视在电阻、电抗 E_{mf} —正序磁场在主绕组中的感应电势 E_{mb} —负序磁场在主绕组中的感应电势 r_{1m}, x_{1m} —定子主绕组的电阻、漏抗 $\dot{U}_1$ —电源电压

旋转磁场的转差率 $s_f = \frac{n_s - n}{n_s} = s$; 对负序旋转磁场的转差率 $s_b = \frac{n_s + n}{n_s} = 2 - s$ 。由于电动机转动时, $s_f \neq s_b$, 正序和负序磁场对应的激磁电抗、转子电阻及在绕组中的感应电势都不相等。

a. 单相分相电动机副绕组切除后的等值电路 (见图 22-2-6) 电动机的转速为 n , $s_f < s_b$, 正序阻抗大于负序阻抗, $E_{mf} > E_{mb}$, 转子对正转磁场的去磁作用, 小于转子对负序磁场的去磁作用, 使正、负序磁场幅值不等, 合成一个在空间沿正转方向旋转的椭圆磁场。

等值电路参数 r_f 、 x_f 、 r_b 、 x_b 的计算见表 22-2-3。

表 22-2-3 等值电路参数的计算

参 数	计 算 公 式
正序视在电阻	$r_f = \frac{1}{2} \frac{\frac{r_2}{s} x_m^2}{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + (x_2 + x_m)^2}$
负序视在电阻	$r_b = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{r_2}{2-s}\right) x_m^2}{\left(\frac{r_2}{2-s}\right)^2 + (x_2 + x_m)^2}$
正序视在电抗	$x_f = \frac{1}{2} \frac{x_m \left[\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2(x_2 + x_m)^2 \right]}{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + (x_2 + x_m)^2}$
负序视在电抗	$x_b = \frac{1}{2} \frac{x_m \left[\left(\frac{r_2}{2-s}\right)^2 + x_2(x_2 + x_m)^2 \right]}{\left(\frac{r_2}{2-s}\right)^2 + (x_2 + x_m)^2}$
正序视在阻抗	$z_f = r_f + jx_f$
负序视在阻抗	$z_b = r_b + jx_b$

注: r_2 、 x_2 —转子折算到定子边的电阻、漏抗, x_m —激磁电抗。

表 22-2-4 单相分相电动机主要性能参数计算

项目	功率因数 $\cos \varphi$	主绕组电流 I_m A	输入功率 P_1 W	机械功率 P_{mec} W	输出功率 P_2 W	效率 η
计算式	$\cos \varphi = \frac{r_T}{z_T}$	$I_m = \frac{\dot{U}_1}{z_T}$	$P_1 = U_1 I_m \cos \varphi$	$P_{mec} = (1 - s_N) (P_{emf} - P_{emb})$	$P_2 = P_{mec} - (P_{Fe} + P_{fv})$	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$
备注	$r_T = r_{1m} + r_f + r_b$ $x_T = x_{1m} + x_f + x_b$ $z_T = \sqrt{r_T^2 + x_T^2}$			s_N —电动机轴上输出功率为额定值 P_N 瓦时对应的转差率 $P_{emf} = I_m^2 r_f$ W $P_{emb} = I_m^2 r_b$ W	P_{Fe} —铁损耗 W P_{fv} —风磨损耗 W	

b 单相分相电动机副绕组切除前的等值电路 电动机副绕组切除前相当于一台两相电动机, 其等值电路与单相电容运转电动机的等值电路相同, 见图 22-2-7。

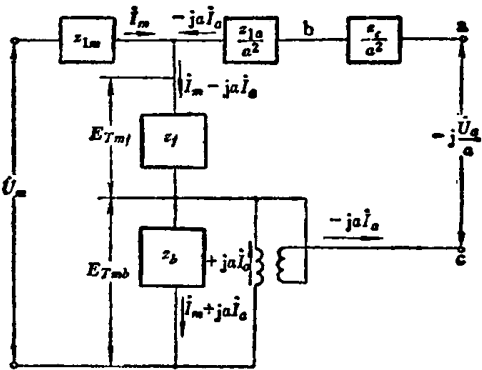


图 22-2-7 单相电容运转电动机的等值电路

$\dot{U}_m$ —主绕组输入电压 $\dot{U}_a$ —副绕组输入电压 z_{1m} —主绕组阻抗 ($z_{1m} = r_{1m} + jx_{1m}$) z_{1a} —副绕组阻抗 ($z_{1a} = r_{1a} + jx_{1a}$) z_c —电容器阻抗 ($z_c = r_c + jx_c$) z_f —正序视在阻抗 ($z_f = r_f + jx_f$) z_b —负序视在阻抗 ($z_b = r_b + jx_b$) E_{Tmf} —合成磁场正序分量在主绕组中的感应电势 E_{Tmb} —合成磁场负序分量在主绕组中的感应电势 r_{1a} 、 x_{1a} —定子副绕组电阻、电抗 r_c 、 x_c —电容器电阻、电抗

c. 单相电容运转电动机的等值电路 电动机的气隙磁场是一个椭圆扁平度与转差率 s 有关的旋转磁场, 其正序、负序磁场分量幅值一般不等, 对应的激磁电抗、转子电阻及绕组中的感应电势均不等。等值正序、负序电阻、电抗 r_f 、 x_f 、 r_b 、 x_b 的计算与分相电动机一相定子绕组通电时相同, 见表 22-2-3。

3 主要性能参数及其计算

微型三相异步电动机主要性能参数计算见第 20 篇。

表 22-2-5 单相电容运转电动机主要性能参数计算

项 目	计 算 式	备 注
起 动 时	主相最初起动电流 $\dot{I}_{m(st0)}$ A	$\dot{I}_{m(st0)} = \dot{U}_1 / z_{mf}$ $z_{mf} = (r_{1m} + 2r_f) + j(x_{1m} + 2x_f)$
	副相最初起动电流 $\dot{I}_{a(st0)}$ A	$\dot{I}_{a(st0)} = \dot{U}_1 / z_{af}$ $z_{mb} = (r_{1m} + 2r_b) + j(x_{1m} + 2x_b)$ $z_{af} = (r_{1a} + r_s + 2a^2 r_f) + j[a^2(x_{1m} + 2x_f) - x_c]$
	最初起动转矩倍数 T_{st0}^*	$T_{st0}^* = \frac{1.87 C_R r_2 a I_{m(st0)} I_{a(st0)} \sin[\theta_{m(st0)} - \theta_{a(st0)}]}{P_2}$ $z_{ab} = (r_{1a} + r_c + 2a^2 r_b) + j[a^2(x_{1m} + 2x_b) - x_c]$
运 行 时	主绕组电流 $\dot{I}_m$ A	$\dot{I}_m = \dot{U}_1 \frac{(z_{af} + z_{ab}) + ja(z_{mf} - z_{mb})}{z_{mf} z_{ab} + z_{mb} z_{af}}$ $C_R = \frac{\left(\frac{x_m}{x_m + x_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{r_2}{x_m + x_2}\right)^2}$
	副绕组电流 $\dot{I}_a$ A	$\dot{I}_a = \dot{U}_1 \frac{(z_{mf} + z_{mb}) - j\frac{1}{a}(z_{af} - z_{ab})}{z_{mf} z_{ab} + z_{mb} z_{af}}$
	线电流 I A	$= \sqrt{I_m^2 + I_a^2 + 2I_m I_a \cos(\theta_m - \theta_a)}$
	输出功率 P_2 W	$P_2 = [(I_m^2 + a^2 I_a^2)(r_f - r_b) + 2a I_m I_a (r_f + r_b) \times \sin(\theta_a - \theta_m)](1-s) - (P_{fo} + P_{Fe})$
	电容器电压 U_c V	$U_c = I_a \sqrt{r_c^2 + x_c^2} \approx I_a x_c$

微型单相异步电动机主要性能参数计算见表 22-2-4、表 22-2-5。各项性能与电动机电磁参数的关系可参见表 22-2-19。

4 设计要点

4.1 设计特点

微型异步电动机的主要技术参数有：额定输出功率 P_N (瓦)、额定电压 U_N (伏)、额定电流 I_N (安)、额定频率 f_N (赫)、额定转速 n_N (转/分) 和相数 m ，其力能指标有：效率 η 、功率因数 $\cos \varphi$ 、最小转矩倍数 $T_{\min}^*$ 、最大转矩倍数 $T_{\max}^*$ 、最初起动转矩倍数 T_{st0}^* 和最初起动电流倍数 I_{st0}^* 。常见微型异步电动机系列的技术数据见附录 III。

设计特点：

(1) 微型异步电动机的电磁负荷 A 、 B_s 、 J ，一般较中、小型异步电动机的低，参见表 22-2-6。

(2) 微型单相异步电动机设计，应注意合理选择副绕组对主绕组的匝数比 a 以及电容量 C 的匹配。

(3) 单相电容运转电动机设计，应注意气隙大小对圆形旋转磁场的影响。若调整气隙时，必须相应调整匝数比 a 和工作电容量 C_1 ，以保证额定运行时气隙磁场呈圆形。

(4) 设计低噪声、低振动的微型电机时，主要的

措施是降低电磁负荷，取消外风扇，同时相应降低容量等级，采用滑动轴承结构和摇篮式底座，选用正弦绕组，选择合理的槽配合和斜槽等。

4.2 主要参数选择

a. 电磁负荷 当电动机输出功率一定时，提高电磁负荷可缩小电动机体积，节省有效材料（如铜、硅钢片）。但电磁负荷的提高受到电动机散热条件、绝缘材料耐热性能和导磁材料饱和等因素的限制，同时某些电动机性能指标将因电磁负荷的提高而变坏，因此必须合理选择电磁负荷。由于微型单相异步电动机存在负序电流和负序旋转磁场，使空载电流的无功分量较激磁电流大得多，故气隙磁密 B_g 不能选得太大。

采用 D2 硅钢片和铜导线时，电磁负荷的选择可参考表 22-2-6。

随着导电、导磁材料及绝缘性能的改善以及电机通风结构的改进，电磁负荷可适当提高。目前不少国家普遍采用高导磁、低损耗的冷轧无硅低碳钢片，采用 B 级或 F 级绝缘材料以提高电动机使用寿命。

b. 铁心主要尺寸 铁心主要尺寸指定子冲片外径 D_1 、冲片内径 D_{i1} 、铁心长度 l_1 和气隙长度 δ 。

当机座号确定后，可根据机壳厚度确定最大冲片外径，系列设计时其尺寸应接近优先系数值，并尽

表 22-2-6 微型异步电动机电磁负荷选用范围

电 磁 负 荷	选 用 范 围	计 算 公 式	备 注
气隙磁密 B_δ G	4000~6500	$B_\delta = \frac{\sigma' \phi_a}{\alpha_p \tau_p l_1}$	ϕ_a —每极有效磁通 Mx σ' —漏磁系数估算值 α_p —极弧系数 τ_p —极距 cm
定子齿磁密 $B_{\delta 1}$ G	13000~16000	$B_{\delta 1} = \frac{t_1 B_\delta}{0.95 b_{\delta 1} K_p}$	l_1, l_2 —定、转子铁心长度 cm t_1, t_2 —定、转子齿距 cm
转子齿磁密 $B_{\delta 2}$ G	13000~16000	$B_{\delta 2} = \frac{t_2 B_\delta}{0.95 b_{\delta 2}}$	$b_{\delta 1}, b_{\delta 2}$ —定、转子齿宽 cm $D_{\delta 1}$ —定子内径 cm
定子轭磁密 B_{j1} G	10000~13000	$B_{j1} = \frac{\phi_a}{2h_{j1} l_1}$	$W_{\phi 1}$ —定子每相串联匝数 W_m, W_a —主、副绕组匝数 I_1 —定子电流 A
转子轭磁密 B_{j2} G	10000~13000	$B_{j2} = \frac{\sigma' \phi_a}{2h_{j2} l_2}$	I_m, I_a —主、副绕组电流 A A_c —导线截面积 mm ²
线负荷(极数 $2p=2$ 时) A A/cm	105~125	三相电动机 $A = \frac{6W_{\phi 1} I_1}{\pi D_{\delta 1}}$ 单相分相电动机 $A = \frac{2W_m I_m}{\pi D_{\delta 1}}$	A_{cm}, A_{ca} —主、副绕组导线截面积 mm ² a —并联支路对数 a_m, a_a —主、副绕组并联支路数 I_B, I_R —转子导条、端环电流 A J_B, J_R —转子导条、端环电流密度 A/mm ²
线负荷(极数 $2p=4$ 时) A A/cm	120~165	单相电容运转电动机 $A = \frac{2(W_m I_m + W_a I_a)}{\pi D_{\delta 1}}$	h_{j1}, h_{j2} —定、转子轭高 cm
三相电动机定子绕组电密 J_1 A/mm ²	6~8	$J_1 = \frac{I_1}{a A_c}$	
单相电动机主绕组电密 J_m A/mm ²	6~8	$J_m = \frac{I_m}{a_m A_{cm}}$	
单相分相电动机副绕组电密 J_a A/mm ²	BO 系列: 60~90 CO 系列: 30~50	$J_a = \frac{I_a}{a_a A_{ca}}$	
单相电容运转电动机副绕组电密 J_a A/mm ²	6~10	$J_a = \frac{I_a}{a_a A_{ca}}$	
单相电容运转电动机转子导条电密 J_B A/mm ²	3~5	$J_B = \frac{I_B}{A_B}$	
单相分相电动机转子导条电密 J_B A/mm ²	2~3	$J_B = \frac{I_B}{A_B}$	
转子端环电密 J_R A/mm ²	(0.6~0.8) J_B	$J_R = \frac{I_R}{A_R}$	

量符合电工钢片最经济的落料条件。 D_1 的选取可参考表22·2-7,铁心主要尺寸的选取可参考表22·2-8。

c. 定、转子槽配合和槽形 微型异步电动机常用的定、转子槽配合见表22·2-9。

为了减少齿谐波和噪声,转子通常采用斜槽,一般使槽斜度等于一个定子齿距或一个转子齿距。

槽形设计与中小型三相异步电动机相似。

d. 绕组型式及计算

(1) 绕组型式的选择,应注意消除或削弱磁势曲线中的空间高次谐波所引起的附加转矩分量,改

善机械特性 $T=f(s)$ 。绕组型式的选择可参考表22·2-10。

(2) 微型异步电动机的基波绕组系数可由表22·2-12的计算式求出,也可直接由表查得。三相异步电动机的基波绕组系数可由表22·2-13的 K_{p1} 与表22·2-14的 K_{d1} 相乘而得,单相正弦绕组的基波绕组系数可由表22·2-11查得。

(3) 定子绕组计算:主要是计算每相串联匝数,选择绕组线规,主、副绕组匝数比和槽满率的校核,可参见表22·2-15。

表 22·2-7 微型异步电动机机座号对应的定子冲片外径(参考值)

机 座 号	45	50	56	63	71	80
定子冲片外径 mm	71	80	90	102	120	138

表 22·2-8 微型异步电动机铁心主要尺寸

mm

铁 心 尺 寸	选 取 范 围	备 注
定子冲片外径 D_1	参见表 22·2-7	单机生产时,参考相同类型、极数、相似容量的电动机定子冲片外径
定子冲片内径 D_{d1}	极数 $2p=2$ 时, $D_{d1}=(0.5\sim0.54)D_1$ 极数 $2p=4$ 时, $D_{d1}=(0.58\sim0.62)D_1$	一般情况下,增大 D_{d1} 可改善功率因数,但效率降低
定子铁心长度 l_1	$l_1=(0.7\sim1.2)D_{d1}$	系列设计时,若一机座号内有两种长度,长铁心取上限,短铁心取下限
气隙长度 δ	$\delta=0.2\sim0.3$ 罩极电动机 $\delta=0.3\sim0.4$	两极电动机 δ 可加大 0.05 mm,采用滑动轴承时, δ 可加大 (10~20) %

表 22·2-9 常用的定、转子槽配合

极 数	定 子 槽 数	转 子 槽 数
2	12	15, 8
2	18	15, 12
2	24	18, 27, 28, 31
4	24	18, 22, 30
4	36	34

表 22·2-10 微型异步电动机常用的绕组型式

电 动 机 类 型	绕 组 型 式	端 部 联 接 方 式
三相异步电动机	单层绕组	$q=2$ 时,采用链式绕组; $q=3$ 时,采用交叉式绕组; $q=4$ 时,采用同心式绕组
单相异步电动机	正弦绕组	双层同心式绕组,主绕组置于槽下层,副绕组置于槽上层。各层导线数分配百分比见表 22·2-11

表 22.2-11 正弦绕组每槽线数分配和基波绕组系数

每极 槽数	每 槽 线 数 百 分 比 %												平 均 跨槽数	基波绕 组系数
	跨 槽 数												y	K _{ap1}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
4		60.8 58.6		39.2 41.4									2.78 2.83	0.822 0.829
	13.5		36.5		50.0								3.73 4	0.776 0.804
6		26.8		46.4		26.8							4.15 4.73	0.856 0.914
			42.3		57.7								4.15 4.73	0.856 0.914
8		15.3		28.0		36.8		19.9					5.23 5.36	0.795 0.828
			23.5		35.1		41.4						5.81 6.08 6.7	0.87 0.911 0.95
9		12.1		22.7		30.6		34.6					5.75 6.06 6.28	0.793 0.821 0.855
			18.5		28.3		34.7		18.5				6.76 7.05 7.69	0.893 0.929 0.961
12	3.4		10.0		15.9		20.8		24.1		25.8		7.59 7.73 7.83	0.783 0.789 0.806
		6.8		13.2		18.6		22.8		25.4		13.2	8.15 8.39 8.83	0.829 0.854 0.883
12			10.3		16.5		21.4		25.0		26.8		9.15 9.68	0.910 0.936
				14.1		20.0		24.5		27.3		14.1	10.04 10.68	0.959 0.977
12				18.3		23.3		28.5		31.8		16.4	10.04 10.68	0.959 0.977
							29.3		34.1		36.6		9.15 9.68	0.910 0.936
12								48.2		51.8		34.1	10.04 10.68	0.959 0.977
									65.9				10.04 10.68	0.959 0.977

表 22-2-12 微型异步电动机基波绕组系数

绕组名称	基波绕组系数计算式	备 注
双层绕组	三相异步电动机: $K_{dp1} = K_{d1}K_{p1} = \frac{0.5 \sin \frac{\beta\pi}{2}}{q \sin \frac{30^\circ}{q}}$	K_{d1} —基波分布系数 K_{p1} —基波短距系数 q —每极每相槽数 Z_1 —定子槽数 ($q = \frac{Z_1}{2mp}$) p —极对数 β —相对节距 Z_{mp} —单相分相电动机主绕组每极槽数
	单相电容运转电动机 ($m=2$): $K_{dp1} = K_{d1}K_{p1} = \frac{0.707 \sin \frac{\beta\pi}{2}}{q \sin \frac{45^\circ}{q}}$	
单层绕组	单相分相电动机 ($m=1$): $K_{dp1} \textcircled{1} = K_{d1}K_{p1} = \frac{\sin \left(Z_{mp} \frac{p\pi}{z_1} \right) \sin \frac{\beta\pi}{2}}{Z_{mp} \sin \frac{\beta\pi}{z_1}}$	
	三相异步电动机: $K_{dp1} = K_{d1}K_{p1} = \frac{0.5}{q \sin \frac{30^\circ}{q}}$	
单层绕组	单相电容运转电动机 ($m=2$): $K_{dp1} = \frac{0.707}{q \sin \frac{45^\circ}{q}}$	

① 表中单相分相电动机基波绕组系数计算式亦适用于单层绕组。

表 22-2-13 绕组的短距系数 K_{p1}

$Z_1/(p/2)$ 节距	12	11	10	9	8	7	6
1~13	1.000	0.990	0.951	0.866	0.707		
1~12	0.991	1.000	0.988	0.940	0.831		
1~11	0.966	0.990	1.000	0.985	0.924	0.782	
1~10	0.924	0.960	0.988	1.000	0.981	0.901	
1~9	0.866	0.910	0.951	0.985	1.000	0.975	0.866
1~8	0.793	0.841	0.891	0.940	0.981	1.000	0.966
1~7	0.707	0.756	0.809	0.866	0.924	0.975	1.000
1~6	0.609	0.655	0.707	0.766	0.831	0.901	0.966
1~5			0.588	0.643	0.707	0.782	0.866
1~4					0.570	0.624	0.707

表 22-2-14 绕组分布系数 K_{d1}

每极每相槽数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	无限
3 相 60° 相带	1.000	0.966	0.960	0.958	0.957	0.956	0.956	0.956	0.955	0.955