



单相异步电动机 原理、计算与试验

郭五昌 编著

河北科学技术出版社

单相异步电动机
原理、计算与试验

郭五昌 编著

河北科学技术出版社出版 (石家庄市北马路45号)
河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32 12.25 印张 251,000 字 印数: 1—13,000 1984年12月第1版
1984年12月第1次印刷 统一书号: 15365·9 定价: 1.35 元

前 言

在驱动微电机中，容量从几瓦至几百瓦的单相异步电动机，广泛应用于工农业生产、科教卫生与民用电器各方面。目前，我国大力发展的家用电器和日用机电产品中，应用单相异步电动机作原动机的产品数量和规格日益增多。为此，对单相异步电动机的工作原理、运行特性、设计计算给予系统介绍很有必要。

本书以常用的单相电阻起动、电容起动、电容运转和罩极式电动机为重点，对驱动用单相异步电动机的工作原理、运行性能、起动特性、调速方法和参数测试等内容，进行了系统的理论分析，并导出了目前工厂通用的电磁设计程序中的一系列电磁计算公式；讨论了单相异步电动机绕组选择、设计特点、方案调整方法和试验测试问题；应用计算实例介绍了单相异步电动机的电磁计算程序和修理中的简化计算方法。书中还收录了设计工作中需要的有关图表和技术数据资料。

为便于自学，全书着重于讲述物理概念，力求通俗易懂，并自成系统。

本书可供从事单相异步电动机设计制造、试验研究和运行维修的工程技术人员阅读，并可作为高等院校和中等技术学校电类专业的教学参考书。

由于业务水平的限制，书中难免存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

在本书的编写过程中，承蒙么泰山副教授的热情指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

编 者

一九八三年十月

目 录

第一章 单相异步电动机的结构与类型	(1)
§1-1 概述	(1)
§1-2 单相异步电动机的结构	(2)
§1-3 单相异步电动机的类型	(5)
§1-4 主要系列与铭牌数据	(12)
第二章 单相异步电动机的绕组	(18)
§2-1 概述	(18)
§2-2 单层同心式绕组	(19)
§2-3 罩极式电动机绕组	(22)
§2-4 正弦绕组	(23)
第三章 单相异步电动机的磁势	(28)
§3-1 对称两相绕组的基波磁势 —— 圆形旋转磁势	(28)
§3-2 不对称两相绕组的基波磁势 —— 椭圆形旋转磁势	(32)
§3-3 两相绕组的谐波磁势	(38)
§3-4 正弦绕组的磁势	(46)
§3-5 正弦绕组的绕组系数计算	(55)
第四章 单相电容运转异步电动机	(63)
§4-1 概述	(63)
§4-2 理论分析	(64)
§4-3 性能计算	(74)
§4-4 获得圆形旋转磁场的条件	(94)
第五章 单相电阻起动及单相电容 起动异步电动机	(107)

§5-1	概述	(107)
§5-2	电流的对称分量	(108)
§5-3	等值电路	(110)
§5-4	工作特性计算	(113)
第六章	单相异步电动机的起动特性	(127)
§6-1	概述	(127)
§6-2	单相电容运转异步电动机的起动特性	(128)
§6-3	单相电容起动异步电动机的起动特性	(136)
§6-4	单相电阻起动异步电动机的起动特性	(145)
§6-5	产生同步附加转矩的谐波分析	(151)
§6-6	为削弱同步附加转矩应忌用的转子槽数	(157)
第七章	罩极式电动机的原理与计算	(170)
§7-1	工作原理	(170)
§7-2	理论分析	(172)
§7-3	性能计算	(188)
第八章	单相异步电动机的调速	(194)
§8-1	电抗器调速	(194)
§8-2	绕组抽头调速	(197)
§8-3	自耦变压器调速	(201)
§8-4	其他调速方法	(201)
§8-5	抽头调速电容电动机的特性计算	(205)
§8-6	调速电抗器的简化设计	(218)
§8-7	抽头调速的中间绕组简化计算	(227)
第九章	单相异步电动机的参数测试	(233)
§9-1	两相电源	(233)
§9-2	两相电源法测参数	(237)
§9-3	单相电源法测参数	(242)
§9-4	匝比 a 及移相电容 c 的测试	(251)
§9-5	调速匝数的测试	(254)
§9-6	主、副绕组有效匝数的测试	(256)

第十章 单相异步电动机设计要点 (262)

§10-1 电磁负荷的选择 (262)

§10-2 气隙 δ 的选择 (265)

§10-3 铁心尺寸的确定 (266)

§10-4 定、转子槽数的选择 (268)

§10-5 绕组型式的选择 (270)

§10-6 主、副相绕组的计算 (271)

§10-7 渐近计算法的应用 (276)

§10-8 电容电动机设计方案的调整 (280)

第十一章 单相异步电动机的使用

维护和起动元件 (292)

§11-1 概述 (292)

§11-2 单相异步电动机的使用维护 (294)

§11-3 单相异步电动机的故障分析 (296)

§11-4 单相异步电动机的起动开关 (299)

§11-5 起动用电解质电容器 (303)

第十二章 单相异步电动机计算实例 (307)

§12-1 单相电容运转电动机电磁计算 (307)

§12-2 单相异步电动机定子绕组重绕计算 (341)

附图 1 极弧计算系数 $\alpha_\delta = f(F_T)$ 波形系数 $k_B = f(F_T)$ (351)

附图 2 平底槽下部单位漏磁导 λ_L (352)

附图 3 圆底槽下部单位漏磁导 λ_L (353)

附图 4 梨形槽下部单位漏磁导 λ_L (354)

附图 5 轭部磁路长度校正曲线 (355)

附图 6 最大转矩时转子转差率 $S_m = f\left(\frac{r_{m2}}{x_{Tm}}\right)$ (356)

附图 7 起动时漏抗饱和系数 K_Z (357)

附表 1 漆包圆铜线常用数据表 (358)

附表 2	单相异步电动机机座号对应的 定子冲片外径	(360)
附表 3	单相异步电动机铁心主要尺寸(毫米)	(360)
附表 4	电容器的交流电阻 r_c 和 电抗 $x_c(f = 50\text{Hz})$	(360)
附表 5	电容起动和电阻起动电动机最大 转矩时转差率的近似值	(361)
附表 6	正弦绕组线圈分配表	(362)
附表 7	50 赫、0.5 毫米, D_{21} 硅钢片磁化曲线	(366)
附表 8	50 赫、0.5 毫米, D_{23} 硅钢片磁化曲线	(367)
附表 9	50 赫、0.5 毫米, D_{21} 硅钢片损耗曲线	(368)
附表 10	50 赫、0.5 毫米, D_{23} 硅钢片损耗曲线	(369)
附表 11	JZ 系列单相电阻起动异步 电动机技术数据	(370)
附表 12	JY 系列单相电容起动异步 电动机技术数据	(371)
附表 13	JX 系列单相电容运转异步 电动机技术数据	(372)
附表 14	BO 系列单相电阻起动异步 电动机技术数据	(374)
附表 15	CO 系列单相电容起动异步 电动机技术数据	(376)
附表 16	DO 系列单相电容运转异步 电动机技术数据	(378)
附表 17	新系列微型单相异步电动机电磁 设计主要数据汇总表	(380)
主要参考文献		(384)

第 一 章

单相异步电动机的结构与类型

§ 1-1 概 述

单相异步电动机具有结构简单、成本低廉、振动与噪声小、只需单相交流电源供电等一系列优点，在家用电器、文教卫生、科学研究及工农业生产中得到广泛应用。例如电风扇、洗衣机、缝纫机、电冰箱、吸尘器、记录仪、录音机、医疗器械等设备中，都需要单相异步电动机。

单相异步电动机仅仅是指由单相交流电源供电的异步电动机，并不表示电动机定子上只有一相绕组，因为这样的异步电动机不能产生起动转矩。为了产生起动转矩，单相异步电动机定子上必须安放两个绕组，一个称为工作绕组（又叫主绕组），用以产生主磁场；另一个称为起动绕组（又叫辅助绕组或副绕组），二者共同产生旋转磁场及其转矩，用以起动电机。这两个绕组在定子内圆槽中的放置可以隔开任何电角度，但为了得到更好的起动和运行性能，实际上总是使两个绕组的轴线在空间彼此相隔 90° 电角度。工作绕组在电机运行过程中总是接在电网上，而起动绕组只是在起动时接

入，当转速达到 75~80 %同步转速时，由离心开关（或继电器触头）将起动绕组从电源断开。

单相异步电动机的类型有多种，除凸极罩极式电动机的定子具有凸出的磁极外，其余各类的定子铁心和普通三相异步电动机相似。单相异步电动机的转子结构和三相电动机的鼠笼式转子完全一样。

与同容量的三相异步电动机相比较，单相异步电动机的体积较大，性能较差，因而单相异步电动机只做成小型的，功率范围多在 8~750 瓦。

单相异步电动机的定子绕组接到单相交流电源以后，由电源供给励磁电流，建立旋转磁势与旋转磁场，依靠电磁感应作用，使转子绕组感生电流，产生电磁转矩，以实现电能向机械能的转换。因其转子电流是由电磁感应作用而产生的，所以单相异步电动机也称为单相感应电动机。

§ 1-2 单相异步电动机的结构

单相异步电动机由静止的定子和旋转的转子两大部分组成。定子与转子之间有一个很小的间隙称为气隙。从功能上看主要的结构部件分为：

机座 它的作用是固定铁心并通过端盖与轴承支撑电机的转子；

铁心 它的作用是构成电机中的磁路；

绕组 其作用是感应电势并构成电机内部的电路；

转轴 固定电机的转子并传递转矩。

一、机座

机座的结构型式取决于电机的使用场合及冷却方式。单相异步电动机的机座型式一般分为开放式、防护式、封闭式等几种。开放式结构的定子绕组外露，由周围空气自然冷却，多用于一些与整机装成一体的使用场合，如洗衣机电机。防护式结构是在电机的通风路径上开些必要的通风孔道，而电机的铁心和绕组则被机座遮盖着。封闭式结构是整个电机采用密闭方式，电机的内部空气与外部隔绝，防止外界的浸蚀、污染，电机内部的热量由机座散出。当散热能力不足时，外部再加风扇冷却，这就是封闭外冷式。具体采用哪种结构型式，要根据用户的要求选择。

关于机座的材料，目前容量较大的电机多用铸铁，其次用钢板弯制焊接。容量较小的电机则采用铸铝机座。另有些专用电机，可以不用机座，直接把电机与整机装成一体，或是用 1.5~2 毫米厚的钢板固定，然后与整机组装。

单相异步电动机常用的轴承有滚动与滑动两种，小容量的电机都采用含油滑动轴承，结构简单，噪声小。轴承由轴承座支撑后装在端盖上，再与机座连成整体。由于单相异步电动机气隙非常小，仅在 0.2~0.3 毫米范围内，所以端盖轴承孔、端盖外圆以及机座止口，三者之间必须保证同心，端盖与机座间，则另用螺钉或螺杆固定。

二、铁心

异步电动机中定、转子铁心中通过的磁通，都是周期交

变的，因此，需要采用铁损耗小、导磁性好、厚度为 0.5 或 0.35 毫米的硅钢片叠成。定、转子铁心冲片上都均匀地开有下线槽，槽的形状应使齿保持等宽，以避免齿部出现过高的磁通密度。由于异步电动机气隙比较小，为了减小定、转子铁心开槽所引起的噪声和齿谐波附加转矩等的影响，定子槽口多采用半闭口形状，转子槽则为闭口或半闭口，并且还采用转子斜槽来降低定子齿谐波磁场的影响。

转子铁心靠铸铝鼠笼压紧、固定。定子铁心在压紧后，采用以下方式固定：①用长杆螺钉穿过铁心，拧紧螺丝固定；②在铁心外圆的沟槽中安放夹紧铁条。

罩极式单相异步电动机的定子铁心采用凸极形状，也是用硅钢片叠成的。

三、绕组

单相异步电动机的定子绕组，一般都采取两相绕组的形式，即主相绕组和副相绕组。主、副绕组的轴线在空间相隔 90° 电角度，两相绕组的槽数、槽形、匝数可以是相同的，也可以是不同的，应视各种电机的设计要求选定。

单相异步电动机中常用的定子绕组型式为单层同心式绕组、双层绕组和正弦绕组。罩极式电动机则为集中绕组。转子绕组通常都是鼠笼式的。

定子绕组的导线，根据电机的容量和绝缘等级，可以是纱包、丝包和高强度漆包线。线圈在线模上绕好后，嵌放在备有槽绝缘的定子槽内，经烘干去湿后浸漆，最后再烘干、固定成型。浸漆的作用是去除潮气、灰尘，使绕组耐腐蚀、

耐振动，并提高绕组的机械强度和导热性能。

§ 1-3 单相异步电动机的类型

根据起动方法或运行方式的不同，单相异步电动机分为不同的类型。

一、单相电阻起动异步电动机

定子上放置有工作绕组 M 和起动绕组 A ，它们的轴线在空间相隔 90° 电角度。电阻值较大的起动绕组经起动开关与工作绕组并接于单相电源。当电动机转速达到 $75\sim 80\%$ 同步转速时，通过起动开关 K 将起动绕组切离电源，由工作绕组单独工作。

为使起动绕组得到较高的电阻对电抗的比值，通常采用下列措施：①选用较细的导线，以增大电阻；②使部分线圈反绕，以增大电阻，减小电抗；③选用电阻率较大的铝线；④串入一个适当的外加电阻。

单相电阻起动异步电动机的接线原理和起动时主、副相的电流相量关系如图 1-1 所示。

我国 BO 系列单相电阻起动异步电动机的主要技术数据为：额定电压 220 伏，最大转矩倍数 $T_{max}^* > 1.8$ ，最初起动转矩倍数 $T_{st}^* = 1.1\sim 1.6$ ，最初起动电流倍数 $I_{st}^* = 6\sim 9$ ，功率范围为 $40\sim 370$ 瓦，其机械特性曲线如图 1-2 所示。

单相电阻起动异步电动机，具有中等起动转矩和过载能力，适用于低惯量负载、不经常起动、负载可变而要求转速

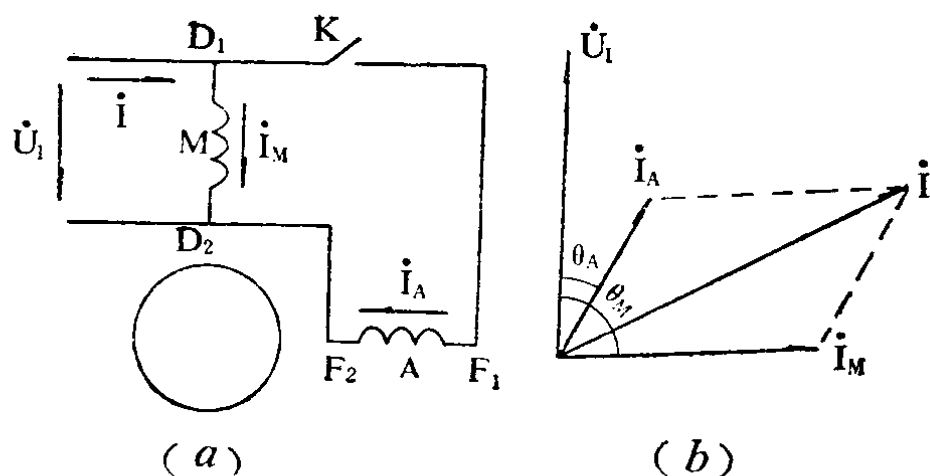


图 1-1 单相电阻起动异步电动机的接线原理与电流相量

(a) 接线原理

(b) 电流相量

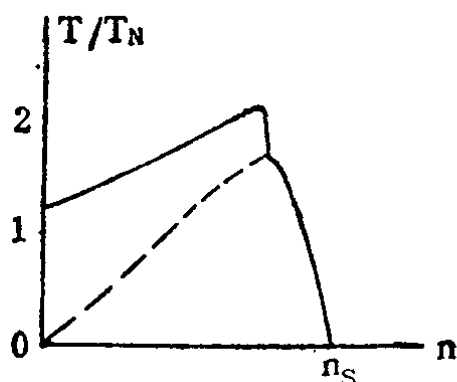


图 1-2 单相电阻起动异步电动机的机械特性

基本不变的场合，如小型车床、鼓风机、医疗器械等。

二、单相电容起动异步电动机

定子上具有工作绕组 M 和起动绕组 A ，其轴线在空间彼此相隔 90° 电角度。起动绕组导线较粗，且和一个容量较大的起动电容器 C_{st} 串联，经起动开关与工作绕组并接于单

相电源。当电动机转速达到75~80%同步转速时，通过起动开关 K 将起动绕组切离电源，由工作绕组单独工作。

起动电容器 C_{st} 的电容量的选择必须合适，以使起动时两绕组的合成磁场基本上为圆形旋转磁场，达到降低起动电流，提高起动转矩的目的。单相电容起动异步电动机的接线原理和起动时主、副相的电流相量关系如图 1-3 所示。

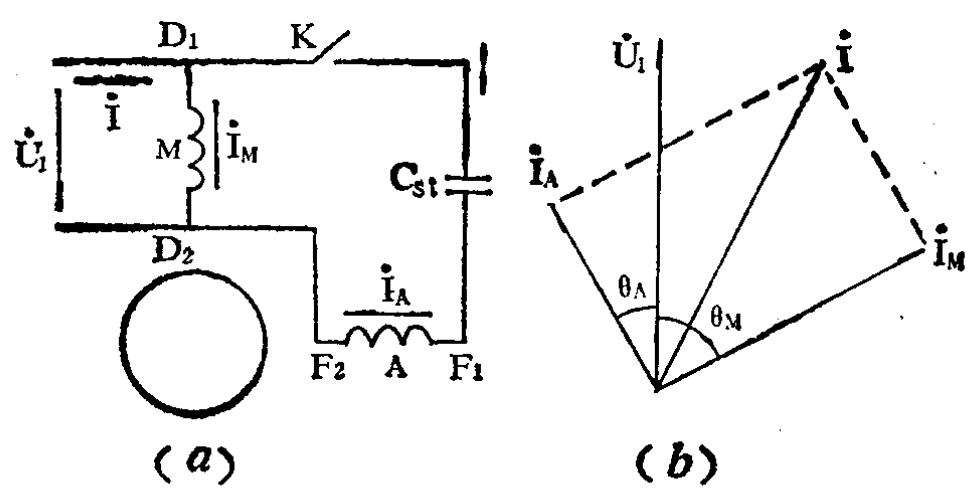


图 1-3 单相电容起动异步电动机的接线原理与电流相量
(a) 接线原理 (b) 电流相量

我国 CO 系列单相电容起动异步电动机的主要技术数据为：额定电压 220 伏，最大转矩倍数 $T_{max}^* > 1.8$ ，最初起动转矩倍数 $T_{st}^* = 2.5 \sim 2.8$ ，最初起动电流倍数 $I_{st}^* = 4.5 \sim 6.5$ ，功率范围为 120~750 瓦，其机械特性曲线如图 1-4 所示。

单相电容起动异步电动机，

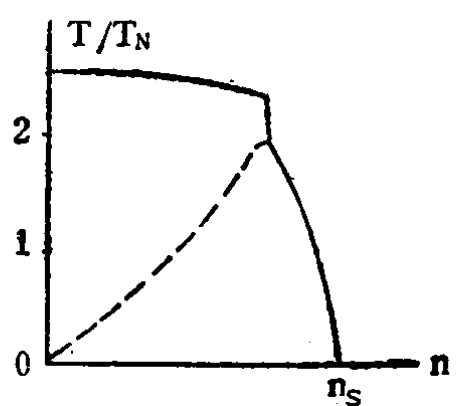


图 1-4 单相电容起动异步电动机的机械特性

具有较高起动转矩，适用于满载起动场合，如小型空气压缩机、电冰箱、水泵及其他满载起动的机械。

三、单相电容运转异步电动机

工作绕组 M 与辅助绕组 A 的轴线在空间相隔 90° 电角度。辅助绕组串接一个工作电容器 C （其电容量较起动电容器 C_{st} 小得多）后，再与工作绕组并联于单相电源，且辅助绕组长期参与运行。单相电容运转异步电动机的接线原理与电流相量关系如图 1-5 所示。

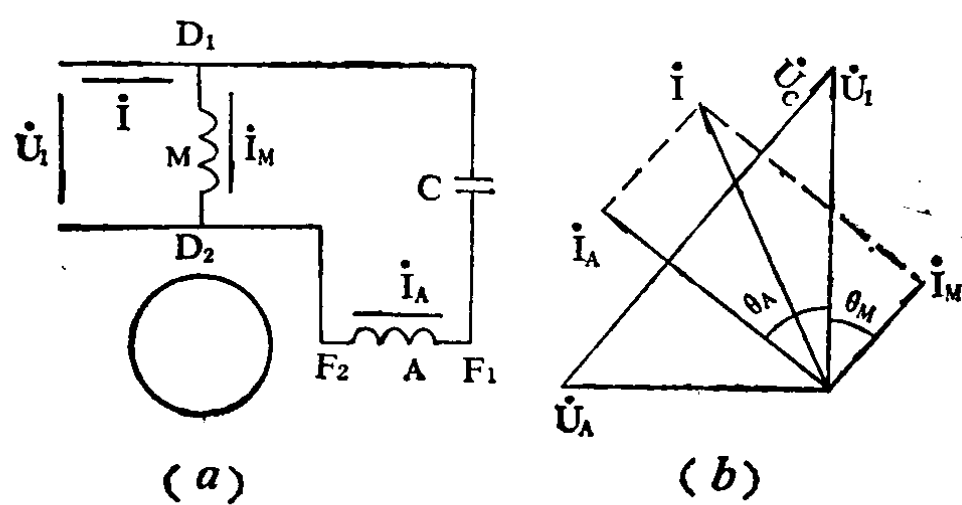


图 1-5 单相电容运转异步电动机的接线原理与电流相量
(a) 接线原理 (b) 电流相量

我国 DO 系列单相电容运转异步电动机的主要技术数据为：额定电压 220 伏，最大转矩倍数 $T_{max}^* > 1.6$ ，最初起动转矩倍数 $T_{st}^* = 0.35 \sim 0.6$ ，最初起动电流倍数 $I_{st}^* = 5 \sim 7$ ，功率范围为 8~180 瓦，其机械特性曲线如图1-6所示。

单相电容运转异步电动机，
 起动转矩较低，但有较高的功率
 因数和效率，体积小，重量轻，
 振动与噪声小，可逆转，可调速。
 适用于直接与负载连接并要求
 低噪音的场合，如电风扇、通风
 机、录音机及各种空载或轻载起
 动的机械，但不适用于空载或轻
 载运行。

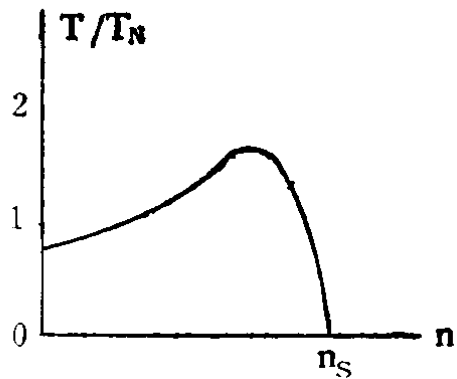


图 1-6 单相电容运转
异步电动机的机械特性

四、单相电容起动和运转异步电动机

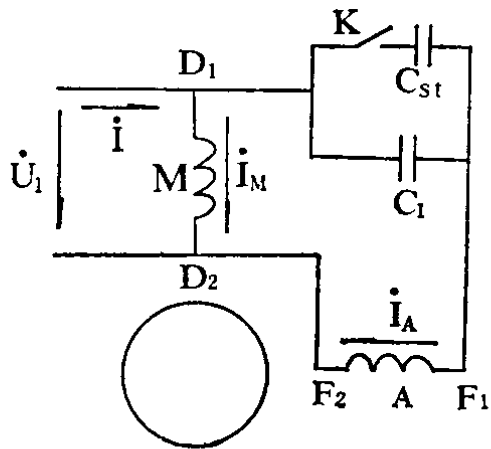


图 1-7 单相电容起动和
运转异步电动机接线原理

工作绕组 M 与电容运转
 电动机相同，但辅助绕组 A
 与两个并联的电容器串接。当
 电动机转速达到75~80%同步
 转速时，通过起动离心开关 K
 将起动电容器 C_{st} 切离电源，
 而辅助绕组与工作电容器 C_1
 继续参与运行。电容量 C_{st} 大
 于电容量 C_1 。

单相电容起动和运转异步
 电动机的接线原理如图 1-7 所示。

我国 E 系列单相电容起动和运转异步电动机的主要技术
 数据为：额定电压 220 伏，最大转矩倍数 $T_{max}^* > 2$ ，最初起
 动转矩倍数 $T_{st}^* > 1.8$ ，功率范围为 8~750 瓦，其机械特性曲