

叶汝裕 编著

水泵风机的节电及 技术改造

样书

重庆大学出版社

内 容 简 介

全书共七章,包括常用拖动电机特性简介 水泵的节电与技术改造和通风机的节电与技术改造三方面主要内容。其中,简要地介绍了有关理论基础、有效的节能措施、简易的改造设计方法、运行效率的测定和离心叶轮的优化设计问题等。

本书可供广大从事矿山、冶金、电力、建材、城市供水和石油化工等部门工作的工程技术人员和有关专业的师生参考,也可作为培训节能工作人员的教材。

水泵风机的节电及技术改造

叶汝裕 编 著
责任编辑 蒋怒安

重庆大学出版社出版发行
新华书店 经 销
重庆大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 8.875 字数: 199千
1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷
印数: 1—2500

标准书号: ISBN 7-5624-0323-6 定 价: 1.77元
TH·17



前 言

水泵、风机是量大面广的用电设备，工农业生产、国防建设以及城乡人民生活都离不开它们。据统计，水泵和风机的用电量约为全国总用电量的30~40%，与水泵和风机配套的电动机容量也占全国生产电动机总容量的一半左右。

由此可见，普遍地开展水泵、风机使用状况的调查，大力降低其电能消耗，避免浪费，对我国的能源节约将有着举足轻重的意义。

为适应当前全国正在持续深入地开展的节电工作的需要，编者将此书奉献给读者，以期对节电工作尽点微薄的力量。

由于计算机技术的发展，正在推动着水泵、风机设计理论和方法的更新。风机、水泵的三元流设计和优化设计法的采用，为社会推出了一批批的节能产品。传输系统的优化设计和优化控制，使设备的运行状况达到了一个新的水平。变频及一些新型调速装置在国内的陆续问世，也为水泵、风机的节能运行提供了有效的手段。这些理论上和技术上的新成就，对于水泵、风机的研究设计制造部门和技术人员以及从事复杂而大型的供水、通风系统的设计者来说，无疑是重要的。近年来，在国内高等学校的某些专业中，已开设了这方面的课程，出版了教材，其应用成果在有关刊物上已有报导。鉴于这方面著作已陆续问世，为使内容尽量精简，本书只着重于广大的现有的系统和设备，向使用部门的技术人员提供一些于当前条件下切实可行而又效益显著的节电办法，并为此而介绍一些技术人员易于掌握的基础知识。

在完成书稿的过程中，得到了清华大学热能工程系张瑞

武副教授的热情支持，为书稿作了详尽的审查，并提出了许多宝贵的意见。在此，谨表衷心感谢。

由于水平有限，书中缺点错误在所难免，敬请读者批评指正。

叶汝裕

1989年11月

于昆明工学院

目 录

第一章 常用拖动电机特性简介	(1)
§1-1 常用拖动电机的主要型式及使用范围···	(1)
§1-2 异步电动机的机械特性.....	(2)
§1-3 异步电动机的工作特性和容量选择.....	(10)
第二章 水泵的节电与技术改造	(13)
§2-1 离心水泵的性能参数和性能曲线.....	(13)
§2-2 水泵的选择.....	(25)
§2-3 离心泵的调节.....	(40)
§2-4 水泵系统的蓄水能力在节能中的作用···	(54)
§2-5 泵系统的合理配置与节能控制.....	(56)
§2-6 离心泵的叶轮改造(单级).....	(59)
§2-7 管路改造.....	(63)
第三章 离心泵的改造设计	(69)
§3-1 理论扬程和能量损失.....	(69)
§3-2 离心泵叶轮的水力设计.....	(79)
§3-3 螺旋形涡室的水力设计.....	(99)
§3-4 渣浆泵的清水性能与渣浆性能参数间的 换算关系.....	(115)
第四章 通风机的节电与技术改造	(121)
§4-1 通风机的性能参数和性能曲线.....	(121)
§4-2 通风机的选择.....	(127)
§ 4-3 通风机的调节、调整和改造.....	(130)
第五章 通风机的改造设计	(142)
§5-1 通风机的相似设计计算.....	(142)
§5-2 离心通风机的变型设计计算.....	(145)

§5-3 轴流通风机叶轮的设计计算..... (152)

§5-4 通风机扩散器的设计计算..... (184)

第六章 水泵、风机的调速和运行效率的

测定方法..... (191)

§6-1 水泵、风机的调速方法..... (191)

§6-2 水泵运行效率的测定方法..... (201)

§6-3 通风机运行效率的测定方法..... (222)

第七章 离心叶轮的优化设计问题..... (229)

§7-1 叶轮进口参数的优化准则与目标函数... (229)

§7-2 逆转捩准则及其在设计中的应用..... (239)

§7-3 选择出口参数与叶片数的优化准则
和目标函数..... (241)

§7-4 子午面成型准则..... (247)

§7-5 回转面成型准则与给定速度分布时
的目标函数..... (250)

附 录

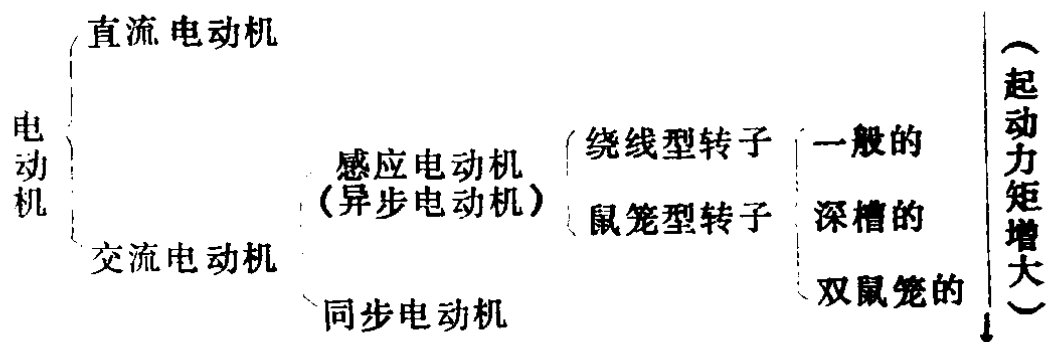
参考文献

第一章 常用拖动电机特性简介

§1-1 常用拖动电机的主要型式及使用范围

一、主要型式

常用拖动电机的主要型式作如下分类：



二、特点及使用范围

各型式电动机的特点及使用范围简介如下：

(一) 直流电动机

直流电动机的突出特点是：调速性能好，易实现无级调速及自动化，且调速范围大。

与异步电动机相比，其缺点是需增设直流电源；效率低于同容量交流电动机约 2 ~ 3%（励磁损耗及铜损增大）；重量大，附属设备多，投资大；主电路电流通过电刷和换向器，易损坏，维修费用大。

直流电动机一般使用于自动控制系统、电机车牵引、矿井提升机的拖动以及要求调速指标较高的各种工作机械上。

(二) 绕线型转子异步电动机

绕线型电动机与鼠笼型电动机相比,其价格约增加20%。它的转子可以通过滑环串接附加电阻,实现分段调速;或采用直流调阻,实现无级调速,但调速效率低。若采用串级调速,可提高电能利用率,但技术复杂,设备费用高。因有附属设备及电刷、滑环等,所以增加了维修量。

绕线型异步电动机一般用于调速要求及重载启动的场所。

(三) 鼠笼型异步电动机

鼠笼型异步电动机的优点是结构简单,造价便宜,效率高,运行可靠及维修方便,因而广泛地采用于国民经济的各部门。若有大启动转矩要求时,可选用深槽式或双鼠笼式电动机。若需调速,可选用多速电机或采用变频调速。也可选用高电阻转子(JLJ系列)力矩异步电机降压调速,但效率相应降低,且这种电动机一般功率较小。

(四) 同步电动机

同步电动机与其他电动机相比,价格贵,存在附属设备多、维修复杂等问题,但有改善功率因数的优点。一般300kW以上的大功率设备,宜选用同步电动机拖动。

由上可以看出,厂矿中大量使用的是异步电动机。下面着重介绍它的特性。

§1-2 异步电动机的机械特性

异步电动机的转矩方程为

$$M = \frac{3pU_1^2}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + \left(x_1 + x_{20}' \right)^2 \right]} \cdot \frac{r_2'}{s} \quad (1-1)$$

式中 p ——电动机定子磁极对数；
 U_1 ——定子绕组的外加相电压；
 f_1 ——定子电流的频率；
 r_1 、 x_1 ——分别为定子绕组的电阻和漏电抗；
 r'_2 ——转子绕组电阻的折算值；
 x'_2 ——转子不动时，转子绕组的漏电抗的折算值；
 s ——转差率。 $s = (n_1 - n)/n_1$ ；
 n_1 ——旋转磁场转速。 $n_1 = 60f_1/p$ ；
 n ——转子转速。

根据式(1-1)，可绘出电动机的转矩与转差率的关系曲线，即 $M \sim s$ 曲线，如图1-1所示。由于 $s = 1 - \frac{n}{n_1}$ ，因此， $M \sim s$ 曲线也代表异步电动机的机械特性曲线，只不过在选

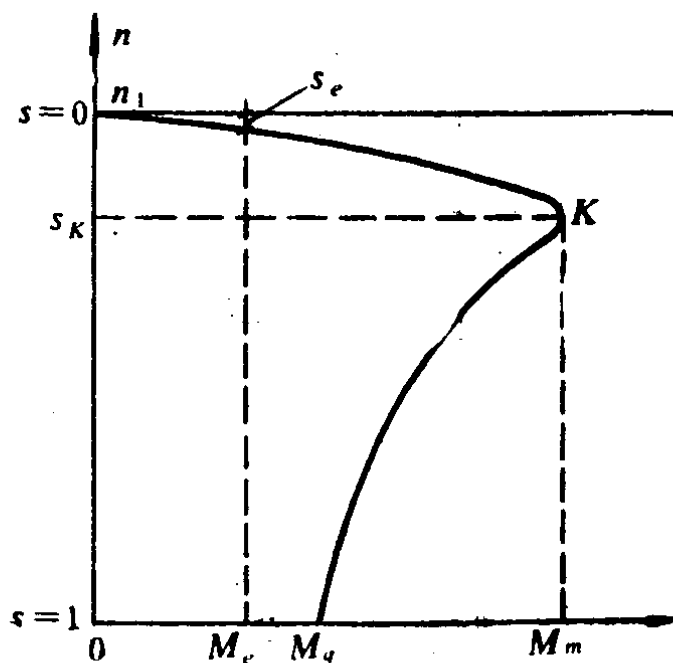


图1-1 一般异步电动机的 $M \sim s$ 曲线（机械特性）

取坐标轴上有所不同。

$M \sim s$ 曲线被 K 点分为两段。 K 点的转差率 s_K 称为临界转差率；此处的转矩为最大值 M_m 。令 $dM/ds = 0$ ，可得

$$s_K = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_{20})^2}} \quad (1-2)$$

及

$$M_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{3pU_1^2}{2\pi f_1 \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_{20})^2} \right]} \quad (1-3)$$

M_e 为额定转矩，相应的转差率 s_e 为额定转差率。一般异步电动机， $s_e = 0.02 \sim 0.06$ 。最大转矩 M_m 与额定转矩 M_e 之比 K_m 称为过载倍数，即 $K_m = \frac{M_m}{M_e}$ ，其值一般在 $1.8 \sim 2.5$ 之间，特殊用途如起重、冶金用异步电动机（如 JZR 型），过载倍数可达 $3.3 \sim 3.4$ 或更大。

M_q 为启动转矩，启动转矩倍数定义为 $K_q = \frac{M_q}{M_e}$ 。令式 (1-1) 中的 $s = 1$ (即 $n = 0$)，得

$$M_q = \frac{3pU_1^2 \bar{r}'_2}{2\pi f_1 \left[(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_{20})^2 \right]} \quad (1-4)$$

因 $r_1 \ll r'_2$ 及 $x_1 \ll x'_{20}$ ，故

$$M_q \approx \frac{3pU_1^2 r'_2}{2\pi f_1 (r'^2_2 + x'^2_{20})} \quad (1-5)$$

一般异步电动机的启动转矩倍数 K_s 在 $0.95\sim 2.0$ 之间，但特殊用途的电动机如JZ、JZR型电动机，这个比值可达 $2.6\sim 3.1$ 。

根据式(1-1)至式(1-4)可得出以下结论：

1. 当电网频率 f_1 及电机参数不变时， M_m 、 M_s 均与 U_1^2 成正比，而 s_K 与 U_1 无关，因此改变定子电压时，机械特性如图1-2a所示。这实际上便是降压启动时电动机的机械特性。图1-2b为采用自耦变压器改变 U_1 的馈电原理图。

降压启动可减少启动电流，但相应地 M_s 也小了。降压运行时间不能长，因这时转子电流 I_2 过大，会使转子发热。

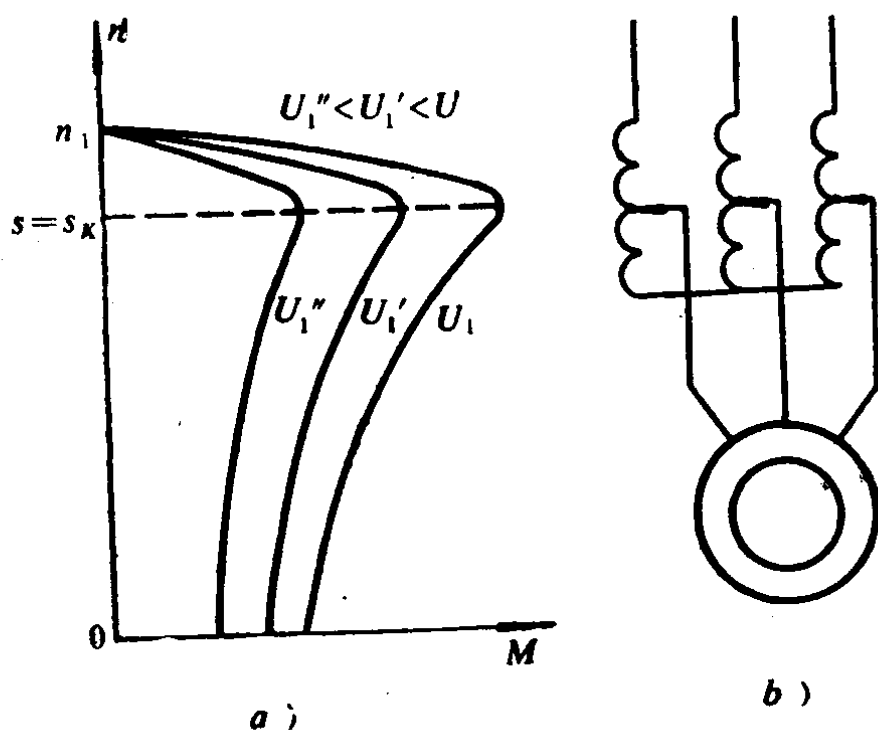


图1-2 异步电动机改变 U_1 时的机械特性

a) 不同 U_1 下的 $M\sim n$ 曲线 b) 改变 U_1 的馈电原理图

2. 当电源电压及频率不变时， M_m 与转子电阻 r_2' 无关， s_K 与 r_2' 成正比， M_s 随 r_2' 的增加(也即随 r_2 的增加而增大)，因此改变转子电阻 r_2 时的机械特性如图1-3a所示。实际上，

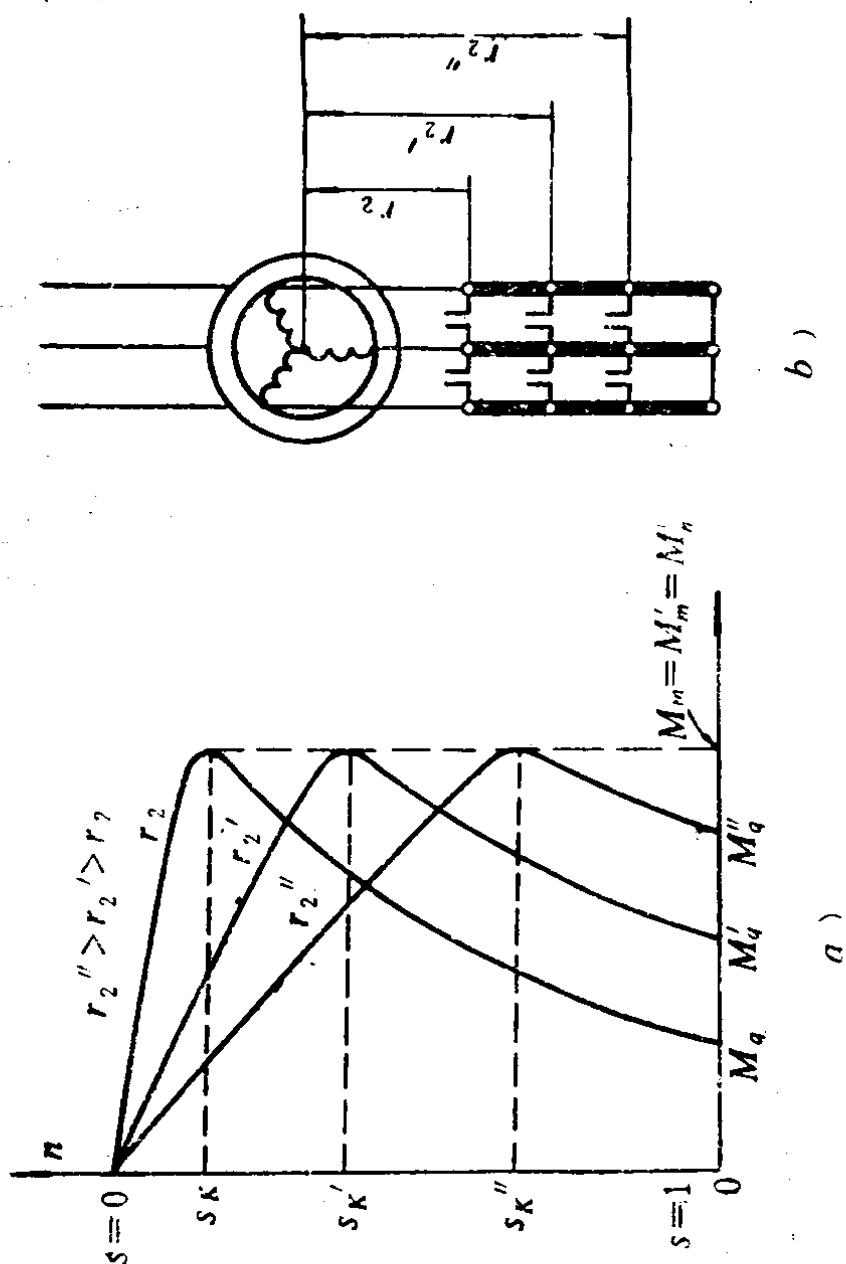


图1-3 异步电动机改变 r_2 时的机械特性
a) 不同 r_2 下的 $M \sim n$ 曲线 b) 异步电动机转子串电阻原理图

此为绕线型异步电动机转子附加电阻调速的机械特性。其优点是可提高启动转矩 M_a ，限制转子和定子的启动电流；缺点是转子铜损过大，效率低。为提高机组效率，可采用可控硅逆变器串级调速，其原理图如图1-4所示。转子在不同转速下感应出转差频率电势，经二极管整流后加至三相有源逆变器上，三相逆变器将直流电压逆变成三相交流电压，再经过变压器，把转差功率 sP 回输到交流电网，从而可大大提高

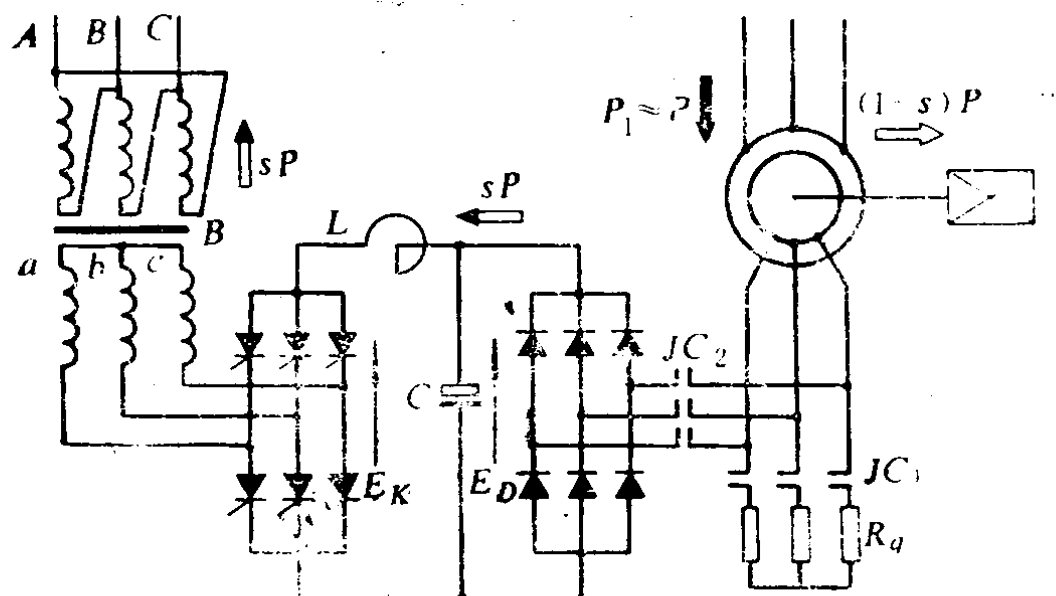


图1-4 绕线型异步电动机串级调速原理图

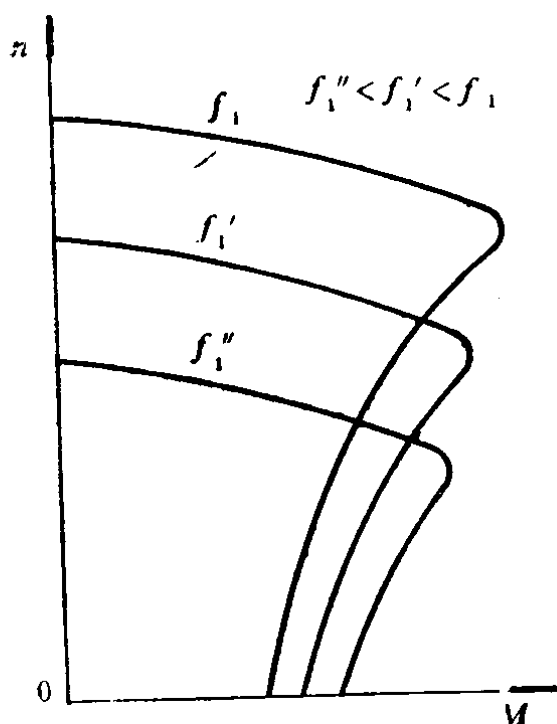


图1-5 不同 f_1 下电动机的机械特性

系统的效率。

改变逆变器中可控硅的逆变角 β ，就可改变外加电势 E_K 的大小，从而使电动机转速得到调节。

3. 当电源频率改变时，电动机的机械特性如图1-5所示。根据一些学者的研究，如果电动机运行在不同的频率而有实际上不变的效率、功率因素、过载能力和转差率

时，那么在磁路不饱和的条件下，将得到电压、频率及力矩间的关系如下：

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \sqrt{\frac{M'}{M}} \quad (1-6)$$

式中， U_1' 和 M' 是当频率为 f_1' 时的电压和力矩，而 U_1 和 M 是频率为 f_1 时的电压和力矩。

对于不同性质的负载， $M \sim f_1$ 有不同的函数关系，因而得 $U_1 \sim f_1$ 关系如下：

1) 当负载不随转速而变，即 $M = \text{常数}$ 时，由式(1-6)得

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \quad (1-7)$$

即电压与频率成正比。

2) 当功率 $P_2 = \text{常数}$ 时，电动机电矩与转速成反比，也即与频率成反比，即

$$\frac{M'}{M} = \frac{f_1}{f_1'}$$

由此得

$$\frac{U_1'}{U_1} = \sqrt{\frac{f_1'}{f_1}} \quad (1-8)$$

即电压应与频率的平方根成正比。

3) 当转矩与转速的平方成正比，即 $\frac{M'}{M} = \left(\frac{f_1'}{f_1}\right)^2$ 时，由式(1-6)得

$$\frac{U_1'}{U_1} = \left(\frac{f_1'}{f_1}\right)^2 \quad (1-9)$$

即电压应与频率的平方成正比。

4. 利用改变电动机的极对数 p ，也可改变其转速 n 及最大转矩 M_m 。因异步电动机在正常运行情况下的转速 $n = n_1(1$

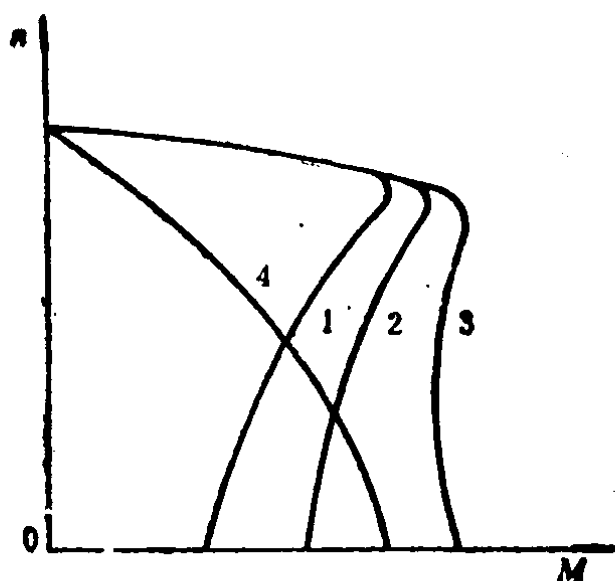


图1-6 几种鼠笼型异步电动机机械特性比较

- 1—普通鼠笼型 2—深槽式鼠笼型
3—双鼠笼型 4—鼠笼型力矩电动机

$-s$)。转差率 s 一般很小,因而 n 决定于同步转速 n_1 ($n_1 = 60f_1/p$)。这便是多速电动机的变速原理。但这种电动机结构复杂,价格较贵,速度等级有限且级差很大,因而在使用上受到一定的限制。

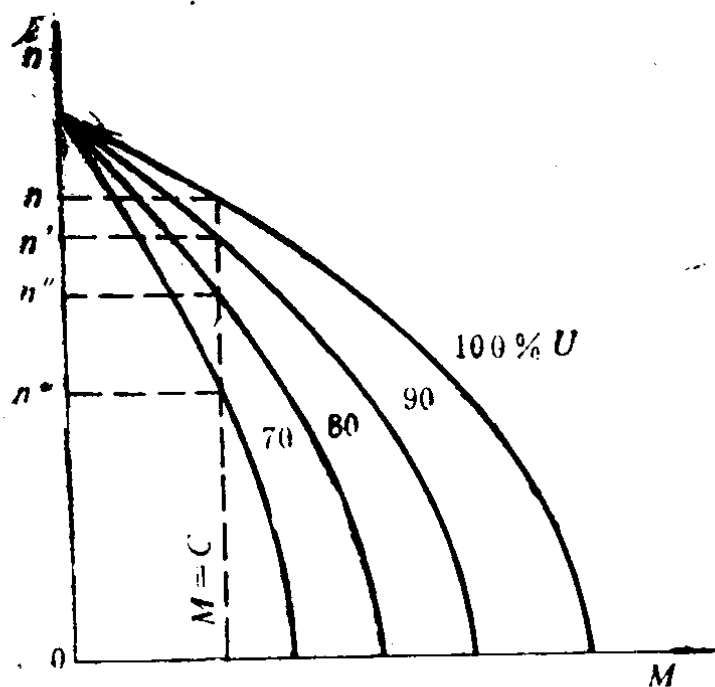


图1-7 鼠笼型力矩电动机的降压机械特性及调速原理

因鼠笼型异步电动机具有一系列优点,因此除了产量很高的能满足一般要求的鼠笼型电动机外,还有用以满足不同要求的特种鼠笼型电动机,它们是深槽式鼠笼型电动机、双鼠笼型电动机及鼠笼型

力矩电动机等。这几种鼠笼型电动机在机械特性上的差别如图 1 - 6 所示。

其中鼠笼型力矩电动机的转子绕组采用电阻率较高的材料制成，最大转矩 M_m 发生在零转速附近，如图 1 - 6 中的线 4 所示。它的这一特性可简易地利用一调压装置，调节电机的输入电压，以调节其转速（如图 1 - 7 所示）。这种电动机因利用转差率来调速，因而效率较低，转子发热量大，为此须采用强迫通风形式冷却电机，由安装在电动机后端盖上的离心式风机鼓风。

§ 1 - 3 异步电动机的工作特性和容量选择

一、工作特性

异步电动机工作时，其电流 I_1 、转矩 M 、转速 n 、效率 η 、

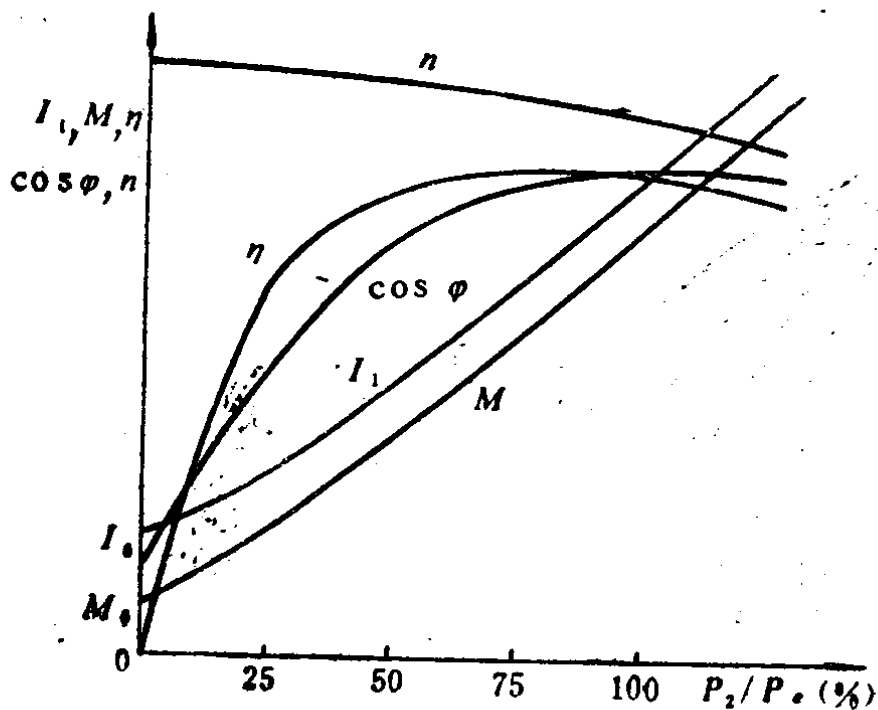


图 1-8 异步电动机的工作特性曲线

功率因素 $\cos\varphi$ 与负载 P_2 的关系如图1-8所示。在这些关系中，对节电最有意义的是 $\eta=f_\eta(P_2)$ 和 $\cos\varphi=f_\varphi(P_2)$ 曲线。由图可见，当异步电动机在空载和轻载时，效率 η 和功率因数 $\cos\varphi$ 都很低，而接近满载，即 $P_2=(0.7\sim 1)P_e$ 时（ P_e 为额定功率）， η 和 $\cos\varphi$ 都较高。某一异步电动机的 η 和 $\cos\varphi$ 随 P_2/P_e 而变化的数值关系如下表：

负 载 率 $P_2/P_e(\%)$	0	25	50	75	100
功 率 因 数 $\cos\varphi$	0.20	0.50	0.77	0.85	0.89
效 率 η	0	0.78	0.85	0.88	0.875

为了提高电动机在轻载下 η 和 $\cos\varphi$ 的值，可将电动机定子绕组的“ Δ ”形接法换用为“Y”形接法。图1-9中的曲线表示了这两种接法下， η 、 $\cos\varphi$ 、 I_1 随 P_2/P_e 的变化关系。由图可见，在轻负载率下，将“ Δ ”形接法换为“Y”形接法，能收到很好的节能效果。

应当指出，当电动机在轻载下运行（俗称“大马拉小车”）时，采用降低定子供电电压的方法来与之相适应，对于提高电动机的运行效率和改善功率因数都是有效的。“ $\Delta \rightarrow Y$ ”转换接法只是降压措施中最简单的一种。

二、电动机的容量选择

为使电动机安全可靠地运行而又避免“大马拉小车”，则应合理地选择电机容量。

1. 对于持续不变的负载，应选用额定容量等于或稍大于负载功率的电动机，不宜过大，以免“大马拉小车”而使 $\cos\varphi$ 和 η 过低。

2. 对于重复短时负载，可根据等效功率选择电动机，最后校验其启动转矩和过载能力是否满足要求。