

机械工程手册

第 37 篇 电力传动

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

-62

37

机械工程手册

第 37 篇 电 力 传 动

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

本篇主要介绍电动机的选择、电器控制线路、电力传动调速系统、常用机械的电力传动控制方案，并简要介绍了数字控制及计算机应用技术。

机 械 工 程 手 册

第 37 篇 电 力 传 动

(试 用 本)

天水电气传动研究所 主 编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $4 \frac{1}{2}$ · 字数 118 千字

1980 年 3 月北京第一版 · 1980 年 3 月北京第一次印刷

印数 00,001—29,000 · 定价 0.38 元

*

统一书号: 15033 · 4661

编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式, 数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区

的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中, 广泛征求意见, 发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第37篇, 由天水电气传动研究所主编, 许多单位对编审工作给予大力支持和帮助, 在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

n_s ——同步转速 r/min
 P ——电动机功率 kW
 P_N ——额定功率 kW
 ΔP ——电动机功率损耗 W
 p ——整流相数
 磁极对数
 Q ——单位时间电动机产生热量 kcal/s
 流量 m^3/s
 压缩机生产率 m^3/s
 R ——电阻 Ω
 运动物体旋转半径 m
 R_a ——电枢电阻 Ω
 R_b ——制动电阻 Ω
 R_N ——额定电阻 Ω
 s ——转差率
 行程 m
 s_b ——变压器容量 kVA
 s_{cr} ——临界转差率
 s_N ——额定转差率
 T ——电动机发热时间常数 s
 周期时间 s
 t_0 ——停歇时间 s
 t_b ——制动时间 s
 t_c ——允许接电时间 s
 t_s ——起动时间 s
 t_{st} ——稳态运转时间 s
 U ——电压 V

U_0 ——空载电压 V
 U_1 ——定子相电压 V
 U_a ——电枢电压 V
 $U_{d\alpha}$ ——控制角 α 时的整流电压 V
 U_N ——额定电压 V
 v ——运动速度 m/s
 x_1 ——定子电抗 Ω
 x'_2 ——折合到定子侧的转子电抗 Ω
 x_k ——短路电抗 Ω
 x_s ——同步电抗 Ω
 α ——滞后控制角
 α_0 ——起始控制角
 β ——超前角
 β_{min} ——最小超前角
 γ ——高次谐波分量的次数
 比重 kgf/m^3
 ϵ ——电动机负荷率
 η ——效率
 θ ——电势与电压的相角差
 λ_I ——允许电流过载倍数
 λ_M ——允许转矩过载倍数
 μ ——动摩擦系数
 μ_0 ——静摩擦系数
 ν ——畸变因数
 τ ——电动机温升 $^{\circ}C$
 Φ ——磁通 Wb
 ω ——角速度 rad/s

目 录

编辑说明

常用符号表

第1章 电动机的选择

- 1 电动机的工作状态与温升.....37-2
 - 1.1 电动机的机械特性.....37-2
 - 1.2 电动机工作制.....37-5
 - 1.3 电动机发热与温升.....37-5
- 2 电动机外壳结构形式的选择.....37-6
- 3 电动机类型选择.....37-6
- 4 电动机电压和转速的选择.....37-10
 - 4.1 电动机的电压选择.....37-10
 - 4.2 电动机的转速选择.....37-10
- 5 电动机容量计算.....37-11
 - 5.1 绘制负载图初选电动机容量.....37-11
 - 5.2 电动机过载能力和平均起动转矩.....37-13
 - 5.3 几种常用机械的电动机功率计算.....37-14
 - 5.4 电动机发热校验.....37-17
 - 5.5 电动机容量计算举例.....37-19

第2章 电器控制线路

- 1 有触点控制线路.....37-23
 - 1.1 有触点控制线路基本要求.....37-23
 - 1.2 常用控制线路.....37-23
- 2 常用低压电器元件选择.....37-24
 - 2.1 自动开关.....37-25
 - 2.2 熔断器.....37-25
 - 2.3 接触器.....37-26
 - 2.4 热继电器.....37-26
 - 2.5 磁力起动器.....37-26
 - 2.6 各种保护继电器.....37-26
- 3 电动机的起动.....37-27
 - 3.1 电动机起动时应满足的条件.....37-27
 - 3.2 电动机起动方式的有关计算.....37-28
- 4 电动机的制动.....37-29
- 5 无触点逻辑控制系统.....37-29

5.1 特点与分类.....37-29

5.2 应用举例.....37-29

6 顺序控制器.....37-33

6.1 特点.....37-33

6.2 分类.....37-33

6.3 应用.....37-34

第3章 电力传动调速系统

- 1 调速系统主要指标.....37-37
 - 1.1 调速范围.....37-37
 - 1.2 静差率.....37-37
 - 1.3 平滑性.....37-38
 - 1.4 经济性.....37-38
- 2 直流电动机调速.....37-38
 - 2.1 他激直流电动机的调速方式.....37-38
 - 2.2 他激电动机调电枢电压的调速系统.....37-39
 - 2.3 可控硅中小功率标准装置简介.....37-46
- 3 交流电动机调速.....37-47
 - 3.1 变极调速.....37-47
 - 3.2 变转差率调速.....37-48
 - 3.3 变频调速.....37-51
 - 3.4 无换向器电动机.....37-52
- 4 可控硅电力传动系统对电网的影响.....37-53

第4章 常用机械的电力传动控制方案

- 1 矿井提升机电气控制方案.....37-54
 - 1.1 提升机的交流电气控制方案.....37-54
 - 1.2 提升机的直流电气控制方案.....37-55
- 2 电梯电气控制方案.....37-56
- 3 钻机电气控制方案.....37-56
- 4 龙门刨电气控制方案.....37-57
- 5 风机、水泵的电气控制方案.....37-58
- 6 单斗电铲电气控制方案.....37-58

第5章 数字控制及计算机应用

1 数字控制系统	37-59
1.1 特点及分类	37-59
1.2 数字调速系统	37-59
1.3 数字位置控制系统	37-60
2 电子计算机在电力传动系统中的 应用	37-60

2.1 工业控制系统应用计算机的 基本条件和步骤	37-60
2.2 电子计算机语言	37-60
2.3 直接数字位置控制系统 (DDC- APC系统)	37-61
2.4 应用举例	37-62
2.5 电力传动系统的仿真试验	37-62
参考文献	37-63

常用符号表

A ——电动机散热率 $\text{kcal/s} \cdot ^\circ\text{C}$	I_{st} ——稳定电流 A
ΔA ——电动机能量损耗 $W \cdot s$	I_t ——堵转电流 A
A_d ——等温功 $\text{kgf} \cdot \text{m}$	环境温度为 t $^\circ\text{C}$ 时的电流 A
A_r ——绝热功 $\text{kgf} \cdot \text{m}$	I_{zd} ——自动开关瞬时动作整定电流 A
α ——电枢绕组并联支路数	I_Y ——高次谐波电流 A
加速度 m/s^2	i ——传动比
C ——电动机热容量 $\text{kcal}/^\circ\text{C}$	J ——转动惯量 $\text{kgf} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$
走行阻力系数	J_m ——机械轴上的转动惯量 $\text{kgf} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$
负载持续率折算系数	K ——整定系数
C_e ——电动机电势常数	K_e, K_m ——电动机结构常数
C_m ——电动机转矩常数	k ——余量系数
$\cos\phi$ ——功率因数	k_s ——加速系数
C_a ——电动机起动、制动过程中散热恶化系数	k_u ——电压波动系数
C_β ——电动机停转时散热恶化系数	l ——长度 m
D ——调速范围	M ——转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
d ——直径 m	M_b ——制动转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
E ——反电势 V	M_{cr} ——临界转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
运动物体的动能 J	M_D ——电动机转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
E_0 ——空载电势 V	M_{js} ——加速转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
FS ——负载持续率	M_l ——负载转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
f ——频率 Hz	M_m ——机械轴上的静阻转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
GD^2 ——飞轮转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}^2$	M_{max} ——瞬时最大负载转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
g ——重力加速度 m/s^2	M_{pt} ——引入转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
H ——压力 kgf/m^2	M_{ms} ——等效 (均方根) 转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
水头 m	M_s ——起动转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
I ——电流 A	M_{sav} ——平均起动转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
I_0 ——空载电流 A	M_{st} ——稳态转矩 $\text{kgf} \cdot \text{m}$
I_1 ——定子相电流 A	m ——相数
I_a ——电枢电流 A	质量 $\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$
I_b ——制动电流 A	N ——电枢绕组导体根数
I_c ——截止电流 A	n ——转速 r/min
I_l ——负载电流 A	n_0 ——空载转速 r/min
I_{max} ——最大电流 A	n_D ——电动机转速 r/min
I_N ——额定电流 A	n_m ——机械轴转速 r/min
I_R ——熔断器熔体额定电流 A	n_{max} ——最高转速 r/min
I_{rms} ——等效 (均方根) 电流 A	n_{min} ——最低转速 r/min
I_s ——起动电流 A	n_N ——额定转速 r/min

通过电动机把电能转换成机械能,驱动生产机械,按工艺要求完成其生产任务,叫做电力传动。由于它效率高、控制灵活、易于实现自动化,因此,在现代工业中获得广泛应用。

电力传动系统主要由电动机及控制设备组成。

按电动机型式,电力传动可分为交流传动和直流传动。

交流传动采用同步电动机或异步电动机。近年来,由于可控硅的应用,交流调压、串级、变频、转差离合器及无换向器电机等交流调速方式逐步完善,使交流传动获得了与直流传动几乎同样优越的调速性能。因此,交流传动的应用更加广泛。

直流传动采用各种型式的直流电动机。在六十年代前,用旋转式变流机组和汞弧整流器组成可调直流电源,进行调速。六十年代后,可控硅静止式可调直流电源逐步取代旋转式变流机组,形成了近代直流传动的基本形式——可控硅直流传动系统。该系统调速范围宽、调速平滑性好。响应速度快、效率高、无噪声、安装方便、控制灵活。且目前可控硅整流装置的功率已从几千瓦做到几千千瓦。因此,在调速性能要求较高的机床、轻工、矿山、石油化工、冶金、国防等领域,都获得了广泛的应用。

电力传动控制系统可分为两大类:顺序控制(亦称开环控制)和反馈控制(亦称闭环控制)。其发展过程大体分:有触点控制系统;无触点逻辑控制系统;顺序控制系统;数字控制及电子计算机控制

等几个阶段。

有触点控制系统由继电器、接触器、按钮等组成。其初次投资小,初期故障率低,适于一般简单的控制系统。

无触点逻辑控制系统,由磁性、半导体等逻辑元件组成。半导体逻辑元件应用最普遍。适用于动作频繁、快速、要求防爆、无噪声及耐腐蚀的场合。

顺序控制是实现开关量自动控制的一种自动化装置,适用于单机和生产自动线的自动化控制。它比有触点控制系统、无触点逻辑控制系统通用性强,灵活性好。比电子计算机造价低,容易掌握,使用维护方便。

数字量控制的电力传动系统较模拟量控制的系统,精度大大提高,性能得到改善,易于同计算机配合实现自动化,但成本较高。电子计算机可对生产过程进行分级管理及控制,它具有多种逻辑功能,能够控制极其复杂的工艺过程,对各种工况进行综合分析,并作出数据处理,实现生产过程的自动化及实时最佳控制。

现代工业对电力传动提出了越来越高的要求,促进了电力传动与自动化技术的紧密结合。今后将广泛采用集成电路化模拟及数字控制单元,大力发展标准单元组合式大功率可控硅变流装置,并研制各种新型的交流、直流电动机,以适应可控硅变流装置供电的要求。顺序控制器、数字控制及电子计算机在工业中的应用和相应的控制理论,将迅速发展。

第1章 电动机的选择

电动机的选择,应综合考虑下列问题:

1) 根据机械的负载性质和生产工艺对电动机的起动、制动、反转、调速等要求,选择电动机类型。

2) 根据负载转矩、速度变化范围和起动频繁程度等要求,考虑电动机的温升限制、过载能力和起动转矩,选择电动机容量,并确定冷却通风方式。所选电动机容量应留有余量,负荷率一般取

0.8~0.9。

3) 根据使用场所的环境条件,如温度、湿度、灰尘、雨水、瓦斯以及腐蚀和易燃易爆气体等考虑必要的保护方式,选择电动机的结构形式。

4) 根据企业的电网电压标准和对功率因数的要求,确定电动机的电压等级和类型。

5) 根据生产机械的最高转速和对电力传动调速系统的过渡过程性能的要求,以及机械减速机构

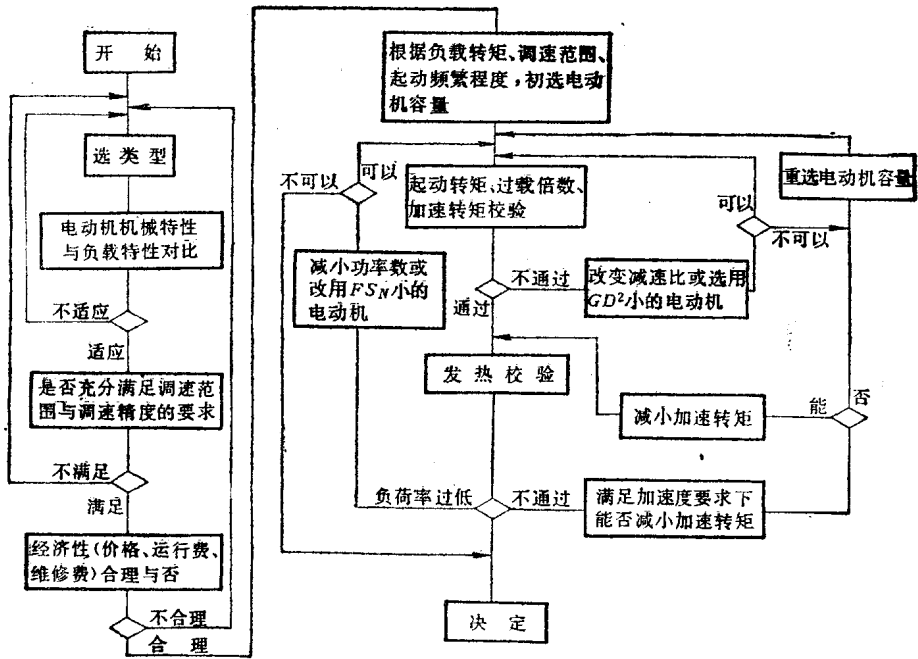


图37-1-1 电动机选择顺序

的复杂程度，选择电动机额定转速。

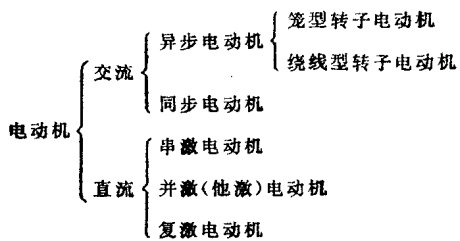
除此之外，选择电动机还必须考虑运行可靠性、备品备件通用性、安装检修的难易，以及产品价格、建设费用、运行和维修费用等各项经济指标。

选择电动机的顺序可参见图 37-1-1。

1 电动机的工作状态与温升

1.1 电动机的机械特性

常用驱动电动机根据电源种类、运行原理、转子结构以及激磁方式的不同，分类如下：



电动机机械特性是指电动机的转矩和转速之间的关系，它表示电力传动性能的主要特性。一般，转矩的增加都将导致电动机转速的下降。由转速下降程度的不同，电动机的机械特性分为硬特性和软

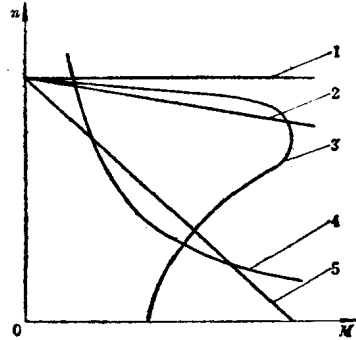
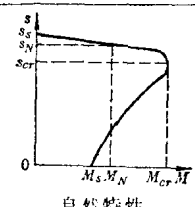
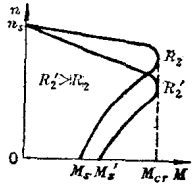
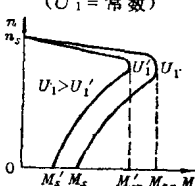
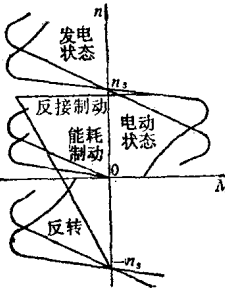
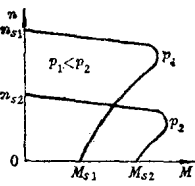
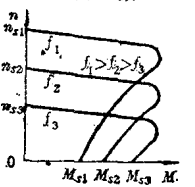


图37-1-2 电动机机械特性

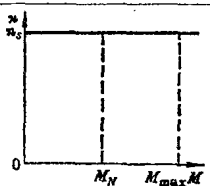
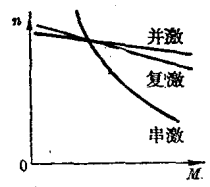
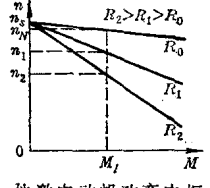
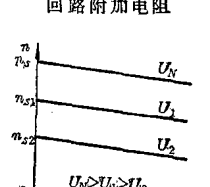
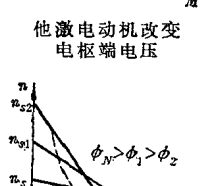
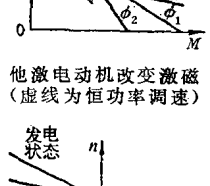
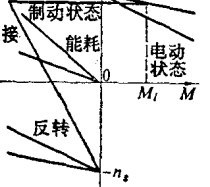
特性两类，如图 37-1-2 所示。同步电动机（曲线 1）、直流并激电动机（曲线 2）、一般交流异步电动机（曲线 3）都属于硬特性，即负载转矩在允许范围内变化时，电动机转速变化不大。其中同步电动机，当负载转矩在允许限度内变化时，其转速保持恒定。直流串激电动机（曲线 4）、交流绕线型异步电动机转子回路串电阻的特性（曲线 5）都属于软特性，即随负载转矩的增加，电动机转速显著下降，但是它们的起动转矩大。

各种类型电动机的机械特性和主要性能见表 37-1-1。

表37·1-1 电动机的机械特性

类型	特性公式	符 号	特性曲线	性 能
交流异步电动机	$P = m_1 U_1 I_1 \cos \phi$ $M = \frac{m_1}{9.81 \omega_s} \cdot \frac{U_1^2 r_2' s}{(r_1 s + r_2')^2 + s^2 x_h^2}$ $s_{cr} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_h^2}}$ $x_h = x_1 + x_2'$	P —电磁功率 kW m_1 —相数 U_1 —定子相电压 V I_1 —定子相电流 A	 自然特性	笼型电动机： 简单、耐用、可靠、易维护、价格低、特性硬，但起动和调速性能差，轻载时功率因数低。一般无调速要求的机械广泛采用。在可变频电源供电下可平滑调速。变极数多速电动机，可分级变速调节，但体积大，价格较贵
	$M_{cr} = \frac{m_1 U_1^2}{2 \times 9.81 \omega_s (\sqrt{r_1^2 + x_h^2} - r_1)}$ $M = \frac{2 M_{cr} (1 + q)}{\frac{s}{s_{cr}} + \frac{s_{cr}}{s} + 2q}$ $s_{cr} = s_N (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1})$ $\lambda_M = \frac{M_{cr}}{M_N}$	$\cos \phi$ —功率因数 M —电磁转矩 kgf·m r_1 —定子相电阻 Ω	 不同转子电阻 $(U_1 = \text{常数})$	
	$M_s = \frac{m_1}{9.81 \omega_s} \cdot \frac{U_1^2 r_2'}{(r_1 + r_2')^2 + x_h^2}$ $s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$ $\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60}$ $n_s = \frac{60 f_1}{p}$ $q = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_h^2}}$	r_2' —折算到定子侧的转子相电阻 Ω x_1 —定子电抗 Ω x_2' —折合到定子侧的转子电抗 Ω x_h —短路电抗 Ω s —转差率 s_N —额定转差率 s_{cr} —临界转差率	 不同电源电压 $(R_2 = \text{常数})$	
	$M_{cr} \approx \frac{m_1 U_1^2}{2 \times 9.81 \omega_s x_h}$ $M \approx \frac{2 M_{cr}}{\frac{s}{s_{cr}} + \frac{s_{cr}}{s}}$ $M_s \approx \frac{m_1}{9.81 \omega_s} \cdot \frac{U_1^2 r_2'}{r_2'^2 + x_h^2}$	λ_M —转矩过载倍数 M_N —额定转矩 kgf·m M_{cr} —临界转矩 kgf·m M_s —起动转矩 kgf·m ω —角速度 1/s ω_s —同步角速度 1/s n_s —同步转速 r/min f_1 —供电频率 Hz p —磁极对数 q —系数	 各种运行状态	
绕线式电动机			 不同极数	绕线式电动机： 因有滑环，比笼型电动机维护较麻烦，价格也稍贵，但由于它起动转矩大，起动时功率因数高，且可进行小范围的速度调节，控制设备简单，故广泛用于各种生产机械，尤其是电网容量小，起动次数多的机械，如提升机、起重机及轧钢机械等
			 不同供电频率 $(\frac{U_1}{f} = \text{常数})$	

(续)

类型	特性公式	符 号	特性曲线	性 能
交流电动机	$n_s = \frac{60f}{p}$ $M_s = \frac{0.975m_1 U_1 E_0}{n_s x_s} \sin \theta$ $M_{max} = \frac{0.975m_1 U_1 E_0}{n_s x_s}$	E_0 —空载电势 V θ —电势与电压的相角差 M_s —同步转矩 kgf·m x_s —同步电抗 Ω		恒转速, 功率因数可调节, 价格贵, 一般只在不需调速的高压、低速、大容量的机械上采用, 能提高功率因数
直流电动机	$E = K_e \phi n = C_e n$ $K_e = \frac{pN}{60a}$ $M = K_m \phi I_a \approx C_m I_a$ $K_m = \frac{K_e}{1.03}$ $n = \frac{U - I_a(R_a + R)}{K_e \phi}$ $n_s = \frac{U}{K_e \phi}$ $n = \frac{U}{K_e \phi} - \frac{R_a + R}{K_e K_m \phi^2} M$ $M_N = 975 \frac{P_N}{n_N}$	E —反电势 V ϕ —磁通 Wb K_e —电机结构常数 K_m —电机结构常数 N —电枢绕组的导体总数 a —电枢绕组的支路对数 I_a —电枢电流 A U —电枢电压 V M —电磁转矩 kgf·m R_a —电枢电阻 Ω R —电枢回路附加电阻 Ω M_N —额定转矩 kgf·m M_l —负载转矩 kgf·m P_N —额定功率 kW C_e —电机电势常数 C_m —电机转矩常数	     	调速性能好, 范围宽, 采用电子控制下, 能充分适应各种机械负载特性的需要, 但它的价格贵、维护复杂, 且需直流电源, 因此只在交流电动机不能满足调速要求时才采用它。串激电动机的特点是起动转矩大、过载能力大、特性软, 适用于电力牵引机械和起重机等 复激电动机的起动转矩和过载能力比并激电动机大, 但调速范围稍窄。接成积复激时, 适用于起动转矩很大, 负载具有强烈变化的设备上 他激电动机改变电枢回路附加电阻 他激电动机改变电枢端电压 他激电动机改变激磁 (虚线为恒功率调速) 发电状态 制动状态 能耗 电动机状态 反接 反转 他激电动机各种运行状态

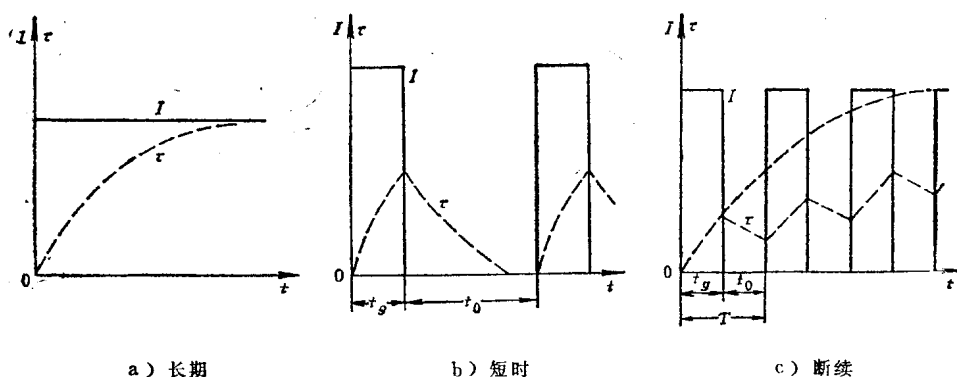


图37-1-3 电动机恒定负载运行状态示例

1.2 电动机工作制

电动机负载运行状态,可分为长期运行、短时运行和断续运行三种状态,而各种状态的负载情况又可分为恒定负载和变化负载两种。图37-1-3为恒定负载下的三种运行状态。

为适应电动机不同负载运行状态对电动机发热与温升的不同影响,将电动机分为长期、短时及断续三种工作制。

长期工作制:运行时间长, $t_g > (3 \sim 4) T$ (t_g 为工作时间; T 为电动机发热时间常数),电动机达到稳定温升而又不超过允许值。在额定温升下运行的电动机,不允许过载。

短时工作制:运行时间短 $t_g \leq (2 \sim 4) T$,电机未能达到稳定温升;停歇时间长,电动机能完全冷却到周围环境的温度。在不超过额定温升下,允许一定的过载。这种电动机短时定额分15、30、60、90分钟四种。

断续工作制:工作时间 t_g 和停歇时间 t_0 相交替,周期性重复。工作时间短,电机温升来不及达到稳定值;停歇时间不长,电机也来不及完全冷却到周围环境的温度。重复运行的周期 T ($T = t_g + t_0$) 不大于10分钟,大于10分钟的一般按长期工作制考虑。这种工作制通常用负载持续率 FS 表明其特点。

$$FS = \frac{t_g}{T} \times 100\%$$

标准断续工作制电动机的标准持续率分为15%、25%、40%及60%四种。这种电动机名牌标示的额定数据通常是指 $FS = 25\%$ 时的。

1.3 电动机发热与温升

电动机运行过程中有能量损耗,可分为固定损耗和可变损耗。固定损耗包括铁损及机械损耗,与负载无关,一般型电动机此项数值较小。可变损耗主要是铜损,它与电枢电流的平方成比例。

损耗导致发热,热平衡时电机温度与环境温度之差称电动机的温升。电动机热平衡方程式为

$$Qdt = C d\tau + A \tau dt$$

式中 Q ——单位时间内电动机所产生的热量,

$$Q = 0.24 \Delta P \quad \text{kcal/s}$$

ΔP 为电动机功率损耗 kW

C ——电动机热容量,即使电动机温度升高 1°C 所需的热量 $\text{kcal}/^\circ\text{C}$

A ——电动机的散热率,即电动机与周围环境温度相差 1°C 时,单位时间内电机散发到周围空气中的热量 $\text{kcal}/\text{s}\cdot^\circ\text{C}$

τ ——电动机温升 $^\circ\text{C}$

在 $t = 0, \tau = 0$ 的初始条件下:

$$\tau = \tau_{st} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

$$\tau_{st} = \frac{Q}{A}$$

$$T = \frac{C}{A}$$

式中 τ_{st} ——电动机温升稳定值 $^\circ\text{C}$

T ——电动机发热时间常数 s

看出,温升按指数规律随时间的增加而逐渐趋于稳定值。

Q 的大小主要取决于铜损 ($I^2 R$), 也即主要决

定于负载的大小。 T 与电机的构造尺寸有关。小型电动机一般为0.5小时左右,大型电动机一般为3~4小时。电机的冷却时间常数为发热时间常数的2~3倍,采用强迫通风时,两者相等。

电动机的允许温升,主要取决于所采用的绝缘材料。电动机的绝缘等级与允许温升见表37·1-2。

表37·1-2 电机绝缘等级与其绕组的允许温升(电阻法)

绝缘等级	允许工作温度 °C	环境温度为40°C时 允许温升值 °C
A	105	60
E	120	75
B	130	80
F	155	100
H	180	125

电动机名牌标示的额定功率,应理解为,当电动机在额定条件下长期运行时,因发热而升高的温度恰好达到制造厂所规定的允许温升(即额定温升)数值。

电动机的选择与使用,都以不超过额定温升为原则。

2 电动机外壳结构形式的选择

电动机外壳结构形式及其保护方式见表37·1-3。

电动机外壳结构形式应按环境条件选择:

1) 在正常介质的室内,一般采用防护式电动机,在保证人身和设备安全的条件下,宜采用开启式电动机。

在使用地点可能有水滴落、飞溅时,应采用防滴、防溅或封闭式电动机。

2) 在湿热带地区应尽量采用湿热带型电动机。如采用普通型电动机,应在设计或运行中采取适当的防潮措施。

3) 在空气中经常存在腐蚀性气体或游离物的地点,应尽量采用化工防腐型电动机或管道通风式电动机(引入干净的冷却空气);在加强对场所通风和电动机维护的情况下,也可采用封闭式或防护式电动机。

4) 在空气中经常存在较多灰尘的地点,宜采用封闭式电动机。

5) 在露天场所,宜采用户外型电动机,如有

表37·1-3 电动机外壳结构分类

结构形式	保 护 方 式
开启式	转动及带电部分无专门的保护
防护式:	外壳和轴承座的结构可以防护带电及转动部分免受机械损伤而不显著妨碍通风
网罩式	通风口有穿孔遮盖物,使带电与转动部分不能与外物直接接触
防滴式	通风口结构可以防止垂直下落的液体或固体物,直接进入电机内部
防溅式	通风口结构可以防止与垂线成100°角以内的任何方向的滴水或固体物进入电动机
封闭式:	外壳全封闭,可以防止注水或固体物及灰尘进入电动机
自然冷却式	靠外壳表面(有的带散热片)自然冷却,无附带冷却装置
自扇冷却式	在本身转轴上(封闭部分以外)装有风扇,以冷却机身
管道通风式	有特殊通风口与通风管道相联接,电动机靠外通风冷却
防爆式	系全封闭型,机壳有足够的强度,能抵抗内部气体的爆炸而不致传到外部的可燃性气体

防止日晒、雨雪、风沙等措施,可采用封闭式或防护式电动机。

6) 安装在爆炸、火灾危险场所和矿井下等特殊场所的电动机,按有关规范选择。

3 电动机类型选择

生产机械的负载特性,即静阻转矩和转速的关系 $n = f(M)$,大致可以分成如表37·1-4所列的三类。

选择电动机类型,必需适应机械负载特性、平稳或冲击程度、运行状态、调速范围以及起动、制动的频繁程度等要求。

1) 恒转矩和通风机负载特性的机械,选用机械特性为硬特性的电动机较为适宜;恒功率负载特性的机械,选用调激磁的变速直流电动机或带有机变速的交流异步电动机均能适应。

2) 无调速要求的机械,包括长期、短时、断续等各种运行状态的机械,应尽量采用交流异步电动机。

负载平稳且对起动、制动无特殊要求的长期运行的机械,宜采用普通笼型电动机。如容量较大,

表37·1-4 生产机械负载特性 $n=f(M_t)$ 分类

负 载 类 别	负 载 特 性	基 本 特 性 图	机 械 举 例
恒 转 矩 负 载	反抗性 $M_t \propto n^0$ $M_t = \text{常数}$		切削加工、外圆切削、金属压延、平移运动
	位势性 $P_t \propto n$ $M_t \propto n^0 $		起重、提升机械
通风机负载	$M_t \propto n^2$ (不计空载转矩下) $P_t \propto n^3$		风机、水泵、油泵
恒功率负载	$M_t \propto n^{-1}$ $P_t = \text{常数}$		恒张力卷取、端面车削加工

应尽量采用同步电动机。

带周期性变动负载的机械（如带飞轮）或起动条件沉重时，大中功率的应采用绕线型电动机；对小功率的经过载能力及起动条件校验，可采用高转差率电动机。单纯因起动条件沉重的机械，经起动条件校验，可采用双鼠笼型或深槽型电动机。若因起动校验不能通过，或起动时电网电压降过大，应采用绕线型电动机。

某些断续运行的机械虽无调速要求，如采用交流电动机在发热、起动、制动特性等方面不能满足需要或技术经济指标过低时，亦可采用直流电动机。

3) 需要调速的机械，视调速范围和连续平滑程度的需要而选择电动机。

只要求几种转速的小功率机械，可采用变换定子极数的多速（双速、三速、四速）笼型电动机。

对调速平滑程度要求不高、且调速比不大时，

宜采用绕线型电动机。

当调速范围在 1:3 以上，且需连续稳定平滑调速的机械宜采用直流电动机。需要起动转矩大的机械（如电车和牵引机车等），宜采用直流串激电动机。

在某些特殊场所（如要求防爆）又需要平滑调速时，可采用由变频电源供电的笼型电动机。

某些要求调速范围不大（1:2 左右）的大功率机械，如风机、水泵以及无频繁起制动要求和无冲击性负载的机械，亦可采用带有串级调速装置的绕线型电动机，这样可使电能回馈电网，以提高经济指标。

要求调速范围很大的，且具有恒功率负载特性的机械，采用机械电气联合调速时可以节省电动机装机容量。

电动机类型选择，可参见表 37·1-5。常用电动机性能及应用范围，可参见表 37·1-6。

表37-1-5 电动机类型选择参考表

序号	负载性质		生产机械工作状态					选用电动机类型				
	平 稳	冲 击	长 期	短 时	断 续	调 速	飞 轮 储 能	异步电动机		同 步 电动机	直流电动机	
								笼 型	绕 线 型		他 激	串 激
1	√		√					②	√	①		
2	√			√				√				
3	√				√			√			√	√
4		√			√						√	
5		√					√		√			
6		√				√			③		√	⑤
7	√					√		③④	③		√	√

注：圆圈内数字含义：

- ① 对于小功率机械，或起动次数较多而电网容量不大易受冲击时，不推荐采用同步电动机。
 ② 对于大中型机械，当电网容量不大时，不宜选用笼型电动机而选用绕线型电动机。
 ③ 异步电动机需带调速装置（一般为转子外接电阻方式，还有采用滑差离合器、涡流制动器、串级或变频等方式）。
 ④ 指小功率机械只要求几级速度时，采用多速笼型电动机。
 ⑤ 需要起动转矩大的机械（如电车、牵引机车等）采用串激直流电动机。

表37-1-6 常用电动机性能及应用范围

型 号	名 称	容量范围 kW	转速范围 r/min	电 压 V	结构形式及性能	应 用 范 围
J ₂ ①	防滴式笼型异步电动机	7.5~125	580~2950	380	能防止水滴及其他杂物从垂直方向落入电动机内部	一般用途，可用以传动在起动及性能上无特殊要求的机器与设备，如水泵、鼓风机、金属切削机床及运输机械等
JO ₂ ①	封闭自扇冷式笼型异步电动机	0.6~100	580~2950	380	能防止灰尘、铁屑或其他杂物侵入电动机内部	与J ₂ 型用途相同，此外还能适用于灰尘多、水土飞溅的场所，如球磨机、碾米机、脱谷机及其它农业机械、矿山机械等
JQ ₂ ③ JQO ₂ ③	高起动转矩笼型异步电动机	13~100	720~1470	380	系J ₂ 、JO ₂ 系列的派生产品，结构形式与J ₂ 、JO ₂ 相同，起动转矩较大	适用于需要起动转矩较大的静止负载或惯性负载的机械，如压缩机、粉碎机及某些小型起重运输机械
JHO ₂ ③	高转差率笼型异步电动机	0.6~100	653~2730	380	系JO ₂ 系列的派生产品，具有高起动转矩、低起动电流以及额定负载转差率提高的特性	适用于传动飞轮转矩较大，冲击性负载以及起动、逆转次数较多的机械，如冲床、剪床、电镀、锻冶机械等
JZ ₂ ①	起重冶金用笼型异步电动机	2.5~125 (FS=25%)	690~910	380	结构为封闭、外部自扇冷式有较高的转差率，转矩过载能力较大	适用于起重机械及冶金设备中辅助机械

(续)

型 号	名 称	容量范围 kW	转速范围 r/min	电 压 V	结构形式及性能	应 用 范 围
JS①	双鼠笼型异步电动机	45~410	490~1480	380、3000、6000	防护式、或管道通风式, 起动转矩较大	传动通风机、压缩机、水泵、破碎机、磨煤机、切削机床、运输机械
JSQ①		140~1250	485~1485	3000、6000		
JSZ(YL)②	高压笼型异步电动机	250~2500	369~993	3000、6000	一般为开启式, 也可制成封闭或管道通风式, 起动转矩小	传动通风机、水泵、发电机组等
JDO ₂ ①	变极式多速异步电动机	0.3~50	480~2900	380	系JO ₂ 的派生系列, 有双速、三速、四速三种类型	主要用于各种万能和专用切削机床、木工机床, 也适用于分级调速的一般机械上, 如印染机、印刷机
JR① JR ₂ ①	防护绕线型异步电动机	10~100 2.8~13	700~1450	220/380	防滴式结构	适用于需要小范围调速的设备上, 或配电容量不足, 采用笼型电动机起动条件不适当时也可用
JRZ(YR)②	高压绕线型异步电动机	250~2500	241~993	3000、6000	一般为开启式、也可制成封闭或管道通风式	用以传动轧钢机、提升机、水泵、通风机、发电机组及其他通用机械
JZT③	电磁调速异步电动机	0.6~100	580~2960	220/380	系交流恒转矩调速电机, 由封闭式异步电动机和电磁转差离合器组成, 无制动转矩	用于纺织、印染、化工、造纸、船舶等要求调速而不需要电气制动的机械
Z ₂ ④	直流电动机	0.4~200	600~3000	110、220	防护自扇冷式, 通用产品	用于一般直流调速电力传动
ZO ₂ ④	直流电动机	0.4~13	750~3000	110、220	封闭自扇冷式	用于多尘及金属切削等场所
Z ₃ ④	直流电动机	0.25~200	600~3000	110、180、220、440	防护自扇冷式	普通用, 惯性小, 适用于可控硅传动
ZT ₂ ④	广调速直流电动机	0.3~55	300/1200~750/3000	110、220	防护自扇冷式	弱磁调速1:3, 1:4两种
ZZY④	起重冶金用直流电动机	1.9~43	540~1750	220	封闭自冷式	断续、短时工作方式, 适用于冶金工厂辅助设备及起重机械
ZBD④	龙门刨床用直流电动机	60	1000	220、440	防护式, 自带鼓风机强迫通风	龙门刨床刨台传动用
ZD② ZJD②	大型直流电动机	150~4600	25~750	500~1000	防护式及管道通风式	用于大型轧机及矿井提升机, 可逆转的调磁调速比为1:1.6~1:2.6, 非逆转的调磁调速比为1:1.6~1:3.5, 矿井卷扬电动机, 基速为25~60r/min