

上海市工人业余学校课本

电 工

第 四 册
(试用本)

上海科学技术出版社

电 工

第 四 册

上海市工人业余学校教材编写组 编

(原上海人民版)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.375 字数 208,000

1979 年 3 月新 1 版 1979 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—35,000

书号: 15119·1995 定价: 0.54 元

目 录

第十一章 电动机的选择和控制.....	1
第一节 电动机的选择.....	1
第二节 三相异步电动机的调速.....	27
第三节 三相整流子变速电动机.....	36
第四节 三相异步电动机的制动.....	43
第五节 三相异步电动机的控制电路.....	54
第六节 控制电路实例.....	101
第十二章 工厂企业供电、安全用电和节约用电.....	141
第一节 工厂企业供电.....	141
第二节 开关设备的灭弧原理和电接触.....	155
第三节 低压供电工厂的配电所.....	170
第四节 6~10 千伏高压供电工厂的变电所.....	189
第五节 防止雷害.....	237
第六节 安全用电.....	253
第七节 节约用电.....	279
附录一 常用图形符号.....	292

第十一章 电动机的选择和控制在

第一节 电动机的选择

在工业生产上,电力拖动是用得最多的一种拖动形式,因为它和其他原动机如内燃机、蒸汽机等比较,具有效率高、价格低、操作简易和维护方便等优点。在生产过程自动化方面,电力拖动发挥了重要作用。但应用电力拖动,首先要正确选择电动机,才能保证电力拖动系统的经济性和可靠性。在选择电动机时,应满足以下几项基本要求:

(1) 在机械性能(如机械特性、起动性能和调速性能等)上,应完全适合生产机械的要求。

(2) 在结构上应能适合电动机所处的环境条件。

(3) 最大限度地利用电动机的容量,不应出现“大马拉小车”的现象。

选择电动机的主要步骤如下:

(1) 根据生产机械性能的要求,选择电动机的种类。

(2) 根据电源的情况,选择额定电压。

(3) 根据生产机械所要求的转速以及传动设备的情况,选择额定转速。

(4) 根据电动机和生产机械安装的位置和场所环境,选择电动机的结构和防护型式。

(5) 根据生产机械所需要的功率和电动机的运行方式,决定电动机的额定功率。

(6) 综合以上因素,根据制造厂的产品目录,选定一台合适的电动机。

下面介绍具体的选择方式和应考虑的一些问题。

一、电动机种类的选择

在选择电动机的种类时,必须从技术和经济两方面来考虑。首先要求电动机的机械性能完全满足生产机械的需要,在这一基础上,还要求电动机的构造简单、价格便宜、运行可靠、维护方便。现将常用的几种电动机的特点加以比较,见表 11-1。

表 11-1 电动机的特点比较表

		主 要 优 点	相 对 的 缺 点
三相异步电动机	鼠笼式	电源方便,维护容易,价格较廉,硬机械特性,起动步骤较简单,运行可靠,体积小,重量轻	调速困难,起动转矩较小,功率因数较低
	绕线式	电源方便,起动转矩比鼠笼式电动机大,可以在小范围内调速,起动电流较同容量的鼠笼式电动机小,硬机械特性	和鼠笼式电动机比较,构造较为复杂,故价格较贵,维护也较为困难,运行性能(效率、功率因数等)比鼠笼式的稍差
同步电动机		转速恒定,过载能力较强,可以改善功率因数	构造复杂,造价高,操作与维护均较复杂
直流电动机	并激式	硬机械特性,转速稳定,可在较大范围内均匀、平滑的调速,与交流电动机比较,起动转矩较大	需特备直流电源,电动机的结构较复杂,造价高,运行维护也较复杂
	串激式	软机械特性,起动转矩大,调速容易,且调速范围较大	需特备直流电源,电动机的结构较复杂,造价高,运行维护也较复杂。转速随负载变化很大,不能空载或轻载运行

根据这一比较表，我们对电动机种类的选择可提出下面一些原则：

(1) 首先是选用交流电动机还是直流电动机的问题，因为工业上最普遍的动力电源是三相交流电，从经济和维护方便出发，应该首先考虑选用交流电动机。

(2) 当选择交流电动机时，应首先考虑使用鼠笼式异步电动机。可根据生产机械起动静态反抗转矩的大小，选择适当的型式。例如起动静态转矩较小的生产机械，如离心式水泵、通风机等，一般可选用J系列异步电动机，对需要较大起动转矩和起动次数较多的生产机械，如空气压缩机、往复式水泵和冶金设备的辅助机械等，一般可选用JQ系列双鼠式异步电动机，对在繁重的负载下起动或每小时接通次数很多的重复短时工作的生产机械，如起重冶金方面的机械，一般可选用起动转矩较大的JZ系列异步电动机。

(3) 如生产机械要求经常起动，且具有较大的起动反抗转矩，或要求在小范围内调速，可采用绕线式感应电动机，如起重机、卷扬提升机和电梯等。

(4) 在要求转速恒定或需要改善电力网的功率因数的情况下，对需较大功率的电动机的生产机械（例如不调速的连续式轧钢机、空气压缩机和大型鼓风机等），采用同步电动机是合理的，虽然初次投资大一些，但由于改善了功率因数，从节约运行费用的观点来看，还是经济的。

(5) 当生产机械要求进行平滑均匀、大范围的调速，交流异步电动机常用的调速方法不能满足时，可选直流电动机。

(6) 直流并激电动机具有硬的机械特性，常被用在起重机及龙门刨床等的电力拖动。对起动时反抗转矩极大的生产机械如电车等，可选用具有软机械特性的串激式直流电机。

(7) 在失去交流电源时要求仍能工作以保持生产安全的电动机,可采用直流电动机,如发电厂内汽轮机的备用电泵等。

二、电动机额定电压的选择

电动机的额定电压应根据使用地点的供电电压来选择,我国工厂内的交流供电电压: 低压一般为 380 伏, 高压一般为 6 千伏或 10 千伏。制造厂生产的电动机,其额定电压一般为 380 伏、3 千伏及 6 千伏。

从技术经济的观点来衡量, 常按容量的大小来选择额定电压。大容量电动机制成高压的, 可以节省有色金属, 并减小电动机的体积。

(1) 当高压为 6 千伏时, 200 千瓦及以上的电动机一般采用 6 千伏, 200 千瓦以下的电动机采用 380 伏。

(2) 当高压为 10 千伏时, 100 千瓦及以上的电动机一般采用 3 千伏 (此时需装置 10/3 千伏的电力变压器), 100 千瓦以下的电动机一般采用 380 伏。

(3) 380 伏的电动机, 其额定电压又有 220/380 伏 Δ/Y 接法和 380/660 伏 Δ/Y 接法之分。如果所选择的电动机需采用 $\text{Y}-\Delta$ 降压起动方式时, 就必须选择额定电压为 380/660 伏 Δ/Y 接法的一种。

(4) 车间的直流电源一般由旋转的变流机组、静止的整流器或蓄电池获得。直流供电电压一般为 110 伏、220 伏、440 伏等, 最常用的为 220 伏, 故直流电动机的额定电压也多选为 220 伏的, 但电车上的直流电动机则为 600 伏。

三、电动机额定转速的选择

从电动机的结构上来看, 同样功率的电动机, 若转速不

同, 则其体积与制造成本均不相同, 见表 11-2。

表 11-2 同容量电动机的转速与结构比较表

型 式	容 量 (千瓦)	转 速 (转/分)	重 量 (公斤)	参考价格 (元)
J2-61-2 鼠笼防护式	17	2910	131	582
J2-62-4 鼠笼防护式	17	1460	145	667
J2-71-6 鼠笼防护式	17	972	190	877
JO2-61-2 鼠笼封闭式	17	2940	146	662
JO2-71-6 鼠笼封闭式	17	970	236	1043
JR2-71-6 绕线封闭式	17	970	165	950
Z2-61 直流	17	3000	175	1600

由上表可见, 同样容量的电动机, 额定转速越高则体积越小, 售价也越低。这是因为转速高时其电磁转矩小, 因而其体积和重量均较小, 成本也相应降低。另一方面, 高速电动机和低速电动机比较, 具有较高的效率和功率因数, 这样看来, 岂不是选择额定转速越高的电动机就越经济吗? 但电动机是用来拖动生产机械, 而生产机械的转速一般是由生产工艺过程的要求所决定的, 它是多种多样的, 而电动机的额定转速却只有有限的几种, 往往不能适应生产机械的需要, 所以它们之间需要采用具有一定传速比的减速箱, 来保证生产机械获得所需要的转速。单从电动机而论, 高速的电动机虽然在各方面比低速的经济, 但如电动机的转速与生产机械的转速相差过大, 则必将增加减速箱的传动级数, 从而增加减速箱的造价和传动损耗。传速比与电动机额定转速的不同配合, 会影响电力拖动系统的工作性能质量以及技术经济指标, 这对经常起动、反转的电力拖动系统所产生的影响更为显著, 它不仅影响到过渡过程中的损耗, 而且也影响起动时间和制动时间, 从而影响生产机械的生产率。因此, 正确选择传速比和相应的电动机额定

转速,成为设计电力拖动系统的一个重要环节。下面就不同的运行情况来讨论选择传速比和电动机额定转速的一些原则。

1. 长期运转和很少启动、反转的电力拖动系统

对于这一类电力拖动系统,因为它很少启动和反转,所以传速比对生产率和过渡过程中的损耗等方面的影响并不起主要作用,只是加大传速比要增大减速箱的设备费用,多占面积,增加减速箱中的损耗和加重对减速箱的维护工作;但另一方面,由于增高电动机的额定转速而降低了电动机的价格。因此必须进行全面比较,才能确定最合适的额定转速。

2. 经常启动、反转的电力拖动系统

(1) 启动时间和制动时间的大小对生产率没有影响的情况:例如高炉的装料设备,其生产率主要是由高炉的炼铁能力所决定的,而每次装料的启动时间和制动时间的大小,并不影响生产率,对这一种情况,除应考虑最初设备投资以外,主要是根据使过渡过程(即启动和制动过程)能量损耗最小的条件来选择传速比和额定转速的。

拖动系统中转动部分所储藏的功能,主要是储藏在电动机的电枢或转子及生产机械的转动部分上(减速箱的齿轮上所储藏的功能较小,在分析中暂予忽略),通过实践可知,这种储藏的功能与转动部分的飞轮惯量 GD^2 * 和转动角速度 ω 成正比。

* 由物理学可知:物体的转动惯量 J ,等于其质量 m 与对转轴的惯性半径 ρ 的平方的乘积,即 $J = m\rho^2$,又知物体的质量等于其重量 G 除以重力加速度 g ,即 $m = \frac{G}{g}$,物体的惯性半径等于其惯性直径的一半,即 $\rho = \frac{D}{2}$,所以 $J = m\rho^2 = \frac{G}{g} \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{GD^2}{4g}$ 。我们称 GD^2 为物体的飞轮惯量。

由此可见，减小储藏功能的途径是减小转动部分的飞轮惯量 GD^2 及转动角速度 ω ，然而在一般情况下生产机械的 GD^2 和 ω 已由生产机械本体所决定，不容改动，所以要减小储能，只有设法减小电动机的 GD^2 和 ω^2 。如以 n 来表示电动机每分钟的转数，则是要减小 GD^2 和 n^2 的乘积，才能使储能减小。因此在选择电动机的额定转速时，要通过不同方案的比较，以寻求最小的 $GD^2 \cdot n^2$ 值。举例如下：

〔例 11-1〕 某一生产机械所需要的电动机容量是 55 千瓦，转速为 100 转/分。采用 Z2 型直流电动机，问应选取何种额定转速为宜？

〔解〕 根据电动机的产品目录，得知有下列四种转速可供选择：

型 号	容 量 (千瓦)	转 速 (转/分)	飞 轮 惯 量 GD^2 (公斤-米 ²)
Z2-91	55	1500	5.9
Z2-101	55	1000	10.3
Z2-102	55	750	12
Z2-111	55	600	20.4

算出相应的传速比 i 和 $GD^2 \cdot n^2$ 的值如下：

型 号	传 速 比 i	$GD^2 \cdot n^2$ [公斤-米 ² (转/分) ²]
Z2-91	15	13.3×10^6
Z2-101	10	10.3×10^6
Z2-102	7.5	6.75×10^6
Z2-111	6	7.34×10^6

由以上的计算可知，在四种电动机中，当选择额定转速为 750 转/分时 (Z2-102)，可获得 $GD^2 \cdot n^2$ 的最小值，选择 Z2-102 型 55 千瓦、750 转/分电动机，可以使过渡过程的损耗最小，故最为经济。

(2) 起动和制动时间的大小影响生产率的情况：对于经常起动和制动的机械，如轧钢机的辅助机械、起重机和龙门刨床等，由于要经常起动、制动、反转等，起动和制动时间在整个工作中占有相当大的比重，如果缩短起动和制动时间，就能使生产率显著提高。通过计算，我们可以知道决定起动和制动时间的关键因素仍是电动机的飞轮惯量和额定转速，亦即 $GD^2 \cdot n^2$ ，所以欲使生产机械的生产率最高，亦即起动时间和制动时间最短，则应在不同的配合方案中，根据最小的 $GD^2 \cdot n^2$ 的数值来选择电动机的额定转速。电机制造厂也很重视这一问题，他们专门设计了 GD^2 较小的特殊类型的电动机，例如冶金起重用的 ZZ 型直流电动机和 JZ、JZR 型异步电动机，这种电动机的结构特点是电枢或转子较长而直径较小，这使 GD^2 的数值大为减小。

电动机的功率和它的主要部分尺寸有下列关系：

$$P_{\text{额定}} = CD^2 l n_{\text{额定}}$$

式中：P——功率；

C——机器常数；

D——电枢或转子的直径；

l——铁心的有效长度。

电动机电枢或转子的重量大致与 $D^2 l$ 成正比，其飞轮惯量 GD^2 则与 $D^4 l$ 成正比。在设计电动机时，如选取较大的长度 l ，则 D^2 即相应减小，结果使飞轮惯量 GD^2 更为减小。因此对于经常起动、制动和正反转的冶金起重用电动机，一般都是按这一原则设计的。

有些生产机械(如轧钢机、龙门刨床等)如需产生很大的加减速速度，

常采用双电动机拖动或制成双电枢电动机。因为在总容量相同的条件下, 两台小电动机的飞轮惯量要比一台大电动机的飞轮惯量小得多, 例如采用两台飞轮惯量各为 22 公斤-米²的 ZZ-62 型、46 千瓦、220 伏、580 转/分的电动机来代替一台飞轮惯量 101 公斤-米²的 ZZ-82 型、100 千瓦、220 伏、475 转/分的电动机, 则双电动机拖动系统的飞轮惯量比容量大致相同的单电动机拖动系统的飞轮惯量小一半以上。

四、电动机容量的选择

1. 概述

电动机容量的选择, 在满足生产机械的要求下应能恰到好处。如果容量选得太小, 就不能保证生产机械的正常运行, 不但降低生产率, 且电动机将因严重过负荷而过分发热, 从而缩短电动机的使用年限, 甚至于使电动机烧毁; 如果容量选得太大, 首先增加了设备投资, 其次当电动机的容量大时, 其铁心损耗和机械损耗也必增大, 对异步电动机来说, 在“大马拉小车”的情况下, 还要使功率因数变低, 不利于电力网, 所以从各方面来看是不经济的。因此正确选定电动机容量应根据下列原则:

(1) 电动机应能胜任生产机械的负载和所需的起动转矩。

(2) 电动机在工作时, 其发热应接近其许可的工作温度, 但不得超过。

(3) 电动机需有一定的过载能力, 以保证在短时过载情况下能正常运行。

对于以上几个原则, 在选择电动机容量时应如何运用, 下面将加以说明。

2. 生产机械的静功率

电动机拖动生产机械正常工作，首先要克服生产机械的静功率，由于生产机械的工作情况不同，它们所需要的静功率也各不相同。这里举几个常用的生产机械为例，说明它们的静功率计算方式。

(1) 水泵：水泵所需的机械功率可由下式决定：

$$P = \frac{Q\gamma H}{102\eta_{\text{泵}}\eta_{\text{传}}} \text{ (千瓦)}, \quad (11-1)$$

式中：Q——水泵的排水量(米³/秒)；

γ ——水的重量， $\gamma = 1000$ 公斤/米³；

H——扬程(米)；

$\eta_{\text{泵}}$ ——泵的效率，其数据如下：

型 式	效 率 $\eta_{\text{泵}}$
活 塞 式 泵	0.8~0.9
高压离心式泵	0.5~0.8
低压离心式泵	0.3~0.6

$\eta_{\text{传}}$ ——电动机与泵中间的传动装置的效率，联轴器传动约为 0.95~1，皮带传动约为 0.9；

102——把公斤-米/秒化成千瓦的变换常数。

(2) 风机：风机所需的机械功率可由下式决定：

$$P = \frac{QH}{102 \times 3600 \eta_{\text{风}}\eta_{\text{传}}} \text{ (千瓦)}, \quad (11-2)$$

式中：Q——风机的流量(米³/时)；

H——风机的总压头(毫米水柱)；

$\eta_{\text{风}}$ ——风机的效率；

$\eta_{\text{传}}$ ——传动效率(直接传动一般取 0.98)。

(3) 运输皮带：运输皮带所需的机械功率可由下式决定：

$$P = \frac{1}{\eta_{\text{传}}} (5.5kLV + 1.5QL + 27.6QH) 10^{-4} \text{ (千瓦)}, \quad (11-3)$$

式中: $\eta_{\text{传}}$ ——传动效率, 一般取 0.88;

L ——皮带长度(米);

V ——皮带前进速度(米/秒);

Q ——输送量(吨/时);

H ——垂直高度(米);

k ——与皮带宽度有关的系数, 其值如下:

皮带宽度 (毫米)	500	650	800	1000	1200	1400
k 值	26	32	40	52	70	85

(4) 起重用吊车: 起重用吊车以一定速度提升重物时, 所需的机械功率可由下式决定:

$$P = \frac{(G + G_0)V}{102 \times 60 \times \eta_{\text{传}}} \text{ (千瓦)}, \quad (11-4)$$

式中: G ——起重量(公斤);

G_0 ——吊钩及钢索重量(公斤);

V ——起重速度(米/分);

$\eta_{\text{传}}$ ——传动效率。

〔例 11-2〕 今有一台高压离心式水泵, 其排水量为 90 米³/时, 扬程为 25 米, 水泵的效率为 0.78, 传动效率为 0.95, 试求此泵所需的机械功率?

$$\text{〔解〕} \quad P = \frac{Q\gamma H}{102 \eta_{\text{泵}} \eta_{\text{传}}} = \frac{\frac{90}{3600} \times 1000 \times 25}{102 \times 0.78 \times 0.95} = 8.3 \text{ 千瓦}。$$

〔例 11-3〕 今有一桥式起重机, 其起重量为 10 吨, 提升速度为 10 米/分, 吊钩及钢索重 300 公斤, 传动效率为 0.88,

试求其满载提升时所需的机械功率？

$$\begin{aligned} \text{〔解〕} \quad P &= \frac{(G+G_0)V}{102 \times 60 \times \eta_{\text{传}}} = \frac{(10000+300) \times 10}{102 \times 60 \times 0.88} \\ &= 19.1 \text{ 千瓦。} \end{aligned}$$

知道生产机械的静功率，还不能直接选定电动机的容量。因为静功率相同的生产机械，如果运行状态不同（连续运行，短时运行，间断运行），它们所需要电动机的容量也不同，这主要是由于运行状态不同时，电动机带上负载后发热的情况不同。下面讨论电动机的运行状态和发热方面的问题。

3. 电动机的发热和耐热能力

电动机在运转的过程中，不可避免地要在电机内部产生损耗。这些损耗的主要来源有以下几方面：

- (1) 绕组中的铜损耗。
- (2) 磁路中由涡流和磁滞所引起的铁损耗。
- (3) 轴与轴承间的摩擦、运动部分和空气之间的摩擦所引起的机械损耗。

在电动机的损耗中，铜损耗与电流的平方成正比，因此它随负载的情况而变化，铁损耗和机械损耗则几乎是不变的。这些损耗最后都转变为热量，其中一部分发散到周围的媒质中，另一部分使电动机的温度逐渐升高。然而电动机允许的温度升高是有一定限度的，这主要由绕组绝缘材料的耐热能力决定。

用不同等级绝缘材料制成的电动机，具有不同的耐热能力。通常规定环境温度为 40°C ，对于使用 A 级绝缘材料的电动机，其允许温升为 65°C ，对于使用 B 级绝缘材料的电动机，其允许温升为 90°C 。由此可知，在尺寸相同的电动机中，采用耐热性较高的绝缘材料可获得较大的容量。

图 11-1 是电动机在拖动一定负载时的发热曲线。我们称电机与周围环境的温度差为温升, 所以图 11-1 也可叫做温升曲线, 它是通过实测而画出来的。横坐标代表时间 t , 纵坐标代表温升 τ 。当电动机接通电源开始运转时, 它的本体温度与周围空气温度相同, 即温升 τ 为零。由于电动机一般是由铜、铁和绝缘材料所构成, 它们都有一定的热惯性, 因此电动机温度的升高不可能突变,

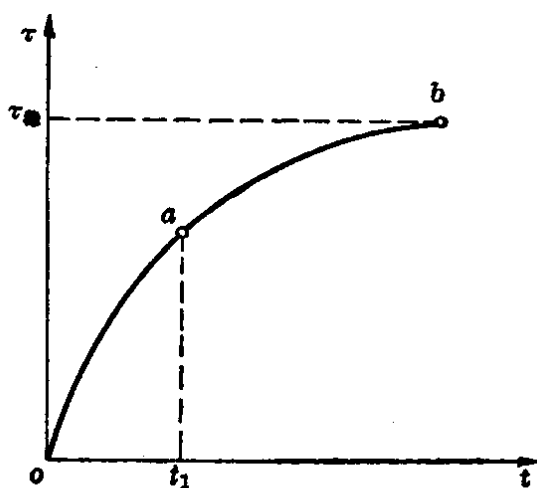


图 11-1 电动机的发热曲线

而是需要一段时间逐步升高。我们先看曲线的起始 oa 一段, 因为电动机刚刚开始运转, 又由于热惯性的关系, 温升不大。由于热量的散发与物体的温升成正比, 在 t_1 的时间内, 只有较少的热量被散发到周围的空气中, 大部分热量被电动机本体所吸收, 因而使电动机本体的温度逐渐升高, 亦即温升随时间而迅速增长, 所以曲线在 oa 一段是较陡的。当电动机温升逐渐增长之后, 散发到空气中的热量逐渐增加, 而被电动机吸收的热量则逐渐减少, 结果使电动机的温升速度逐渐缓慢, 如曲线中的 ab 一段所示。当温度升高到一定数值时, 与之相应的温升使电动机在每秒内散发出去的热量正好等于电动机在每秒内由于损耗所产生的热量, 此时电动机本体不再吸收热量, 温度不再升高, 亦即温升达到稳定。不同容量的电动机, 达到稳定温升所需的时间不同, 在计算电动机的发热中常引用一个发热时间常数 $T_{\text{发热}}$, 即当电动机不向周围空气散发热量时, 其温度达到稳定值所需的时间, 实际上可以认为经过 $t = (3 \sim 4) T_{\text{发热}}$ 的时间, 温升 τ 已达到稳定温升 τ_{∞} 了。电动机的

发热时间常数和电动机的构造和容量有关，对十几千瓦的小容量电动机，发热时间常数约为 15~30 分钟，对 100 千瓦以上中等容量的电动机，发热时间常数则在几小时以上。

为了使电动机在工作时不超过允许的温升值，而又最大限度地利用其容量，应使电动机的稳定温升 $\tau_{\text{稳}}$ 接近于允许的温升值。我们知道电动机的稳定温升与其发热量成正比，而发热量是随着负载的增大而增高的，负载越大，它的稳定温升值也越高。所以在不同负载时，电动机的发热曲线也不同，如图 11-2 所示。由此可知，电动机的允许温升决定了电动机在长期连续运转时所能输出的最大功率。这个功率称为电动机的额定功率。例如一台 A 级绝缘的电动机在环境温度为 40°C 时，拖动一个负载长期连续运转，而其稳定温升恰为 A 级绝缘材料所能承受的额定温升 65°C ，则这个负载就是该电动机长期连续运转的额定负载，也就是电机制造厂在电机铭牌上注明的额定功率。

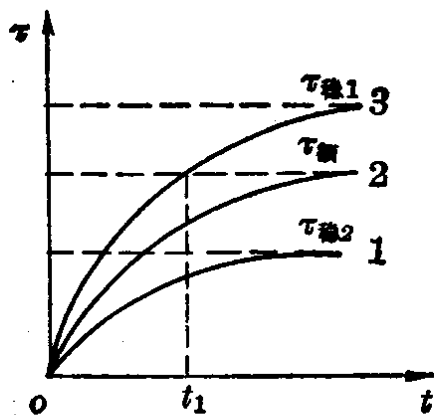


图 11-2 不同负载时的发热曲线

1—轻载；2—额定负载；3—过载

上升不会超过额定温升值，对电动机的绝缘寿命没有什么影响。由此可知，电动机在不同的运行状态下，温升的过程是不同的。例如短时运行，就可以拖动较大的负载。此外，温升受

在图 11-2 中还可看到，电动机在过载运行时，其稳定温升将从额定值增长到 $\tau_{\text{稳}1}$ ，这当然是绝缘材料所不能承受的。但由于电动机在发热过程是有热惯性的，温度由开始上升到稳定温升，需要相当一段时间，往往达数小时，因此如过载运行的时间不长（不超过图 11-2 中的 t_1 ），则温度的