

电动机实用技术丛书

如何正确选用 电动机

周希章 周 全 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电动机实用技术丛书

如何正确选用电动机

周希章
周全 等编著



机械工业出版社

本书全面系统地阐述了如何选用电动机的方法,并提供了必要的技术数据和资料。主要内容有:选用电动机的原则方法;金属切削机床电动机的选用;起重电动机的选用;其他生产机械选用电动机的选择;特种电动机的应用和选择等。

本书是电气技术人员、中高级电工的实用参考书,并可从事电动机使用、维修人员及设备配套、供应、生产管理人员查阅、也可供大、中专院校的有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

如何正确选用电动机/周希章 周全等编著. —北京:
机械工业出版社, 2004.1
(电动机实用技术丛书)
ISBN 7-111-13085-5

I. 如... II. ①周...②周... III. 电动机—基本知识
IV. TM32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 085564 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:李振标 版式设计:冉晓华 责任校对:韩 晶
封面设计:姚 毅 责任印制:闫 焱

北京中加印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm $\frac{1}{32}$ ·12.875 印张·2 插页·342 千字

0 001—4 000 册

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、88379646
封面防伪标均为盗版

前 言

在国民经济和科学技术的各个领域以及人们的日常生活中，均需应用电动机。如何正确选用电动机，使其既能满足生产工艺要求，又能安全、合理、经济运行，是保证设备正常运行的重要环节。为此，我们参阅了有关的手册和资料，经过精心筛选，编写了这本《如何正确选用电动机》实用读物。

根据电机实用技术丛书的特点，我们力求使本书做到既简明扼要，又全面系统，并注意实用性，还提供了许多常用的技术数据和资料。内容包括基础知识、选用电动机的原则和方法、金属切削机床电动机的选用、起重用电动机的选用、其他生产机械配用电动机的选择、特种电动机的应用和选择等章节。

在本书编写过程中，承蒙上海电机（集团）公司南洋电机厂周芝中先生提供了不少资料，特此表示由衷的感谢。

参加本书编写的有周希章、周全、赵柳、周勇、时雨、赵晓华、董炳生、王奎成、文杰、王惠等，周希章负责全书统稿工作。

由于水平所限，书中难免有错误和不妥之处，恳切希望广大读者批评指正。

编著者

2003 年 6 月

目 录

前言

第一章 基础知识	1
第一节 一般介绍	1
一、电机的外壳防护型式	1
二、电机的发热和冷却	4
三、电动机的效率曲线和功率因数曲线	17
四、电机的安装方式	20
第二节 电机产品型号	35
一、型号编制原则	35
二、主要产品型号举例	39
三、新老电机产品型号	42
第三节 机械特性	62
一、生产机械的机械特性	62
二、电动机的机械特性	63
三、转动惯量和飞轮矩	63
第四节 电动机的工作制与定额	80
一、电动机工作制的分类	80
二、电动机定额分类	83
三、标志	85
第二章 选用电动机的原则和方法	88
第一节 电动机的工作条件	88
一、环境条件	88
二、电气条件	100
第二节 电动机类型的选择	102

一、电动机类型选择要求	102
二、交流电动机的选择	103
三、直流电动机的选择	108
四、小功率电动机的选择	112
五、特殊环境下电动机的选择	118
六、根据负载性质选择电动机	127
第三节 电动机转速和功率的选择	129
一、电动机转速的选择	129
二、电动机功率的选择	143
第四节 电动机外部结构型式的选择	150
一、电动机的外部结构型式	150
二、外部结构型式的选择方法	151
第三章 金属切削机床电动机的选用	154
第一节 概述	154
一、金属切削加工的几种主要型式	154
二、机床工艺时间的决定	155
三、机床负载图	157
第二节 金属切削机床电动机功率的确定	160
一、按机床切削力确定电动机的功率	160
二、短时工作制负载运行时电动机功率的确定	166
三、选择电动机功率的统计法	170
四、龙门刨床主拖动电动机功率的选择	171
第四章 起重用电动机的选用	179
第一节 概述	179
一、起重用电动机的特点	179
二、起重用电动机简介	180
第二节 起重用电动机功率的确定	181
一、起升机构电动机功率的确定	181
二、运行机构电动机功率的确定	188
三、回转机构电动机功率的确定	196

四、普通臂架变幅机构电动机功率的确定	203
第三节 起重机电动机资料和计算实例	206
一、YZR 系列电动机在不同负载持续率 JC 和不同 CZ 时的允许 输出功率	206
二、计算实例	237
第四节 用平均损耗法校验电动机发热	244
一、简介	244
二、平均损耗法及其计算公式	245
三、计算实例	248
第五章 其他生产机械配用电机的选择	258
第一节 风机和泵驱动功率的计算	258
一、概述	258
二、风机类配用电机功率的计算	258
三、泵类配用电机功率的计算	259
四、压缩机类配用电机功率的计算	261
五、计算实例	262
第二节 轧钢电动机功率的计算	264
一、轧制力理论计算公式	264
二、电动机功率计算	265
三、能耗法计算功率	269
四、带飞轮的轧钢机（由绕线转子异步电动机传动）	272
五、轧机辅助机械的功率和静阻力矩计算	282
第三节 变频调速系统电动机的选用	292
一、普通笼型异步电动机变频调速运行时的特性	292
二、选用电动机时的注意事项	298
三、变频调速专用电动机	302
第四节 单相异步电动机的选用	341
一、概述	341
二、单相异步电动机按用途分类	341
三、常用的规定用途单相异步电动机简介	347
四、常用的特殊用途单相异步电动机简介	361

五、单相异步电动机的选用方法	363
第六章 特种电动机的应用和选择	365
第一节 伺服电动机的应用和选择	365
一、概述	365
二、直流伺服电动机的应用和选择	366
三、交流伺服电动机的应用和选择	373
第二节 步进电动机的应用和选择	379
一、概述	379
二、步进电动机的特性参数	380
三、步进电动机的应用范围	382
四、步进电动机的选择	382
五、步进电动机的技术数据	384
第三节 直流力矩电动机的应用和选择	390
一、概述	390
二、直流力矩电动机的特点	390
三、直流力矩伺服电动机的选择	393
四、直流力矩电动机技术数据	398
参考文献	402

第一章 基础知识

第一节 一般介绍

一、电机的外壳防护型式

1. 外机防护型式分类

电机按外壳防护型式,可分为以下几类:

(1) 开启式 电机除必要的支承结构外,对转动及带电部分没有专门的防护,通风散热条件较好,适用于干燥、无灰尘的场所。

(2) 防护式 电机机壳内部的转动部分及带电部分有必要的机械保护,以防止意外的接触,且能防止水滴、尘土、铁屑或其他物体从上方落入电机内部。它适用于灰尘不多、比较干燥的地方,但不能用于有腐蚀和爆炸性气体的场所。防护式电机按其通风口防护结构不同,又分为下列3种:

1) 网罩式。电机的通风口用穿孔的遮盖物遮盖起来,使电机的转动及带电部分不能与外物相接触。

2) 防溅式。电机通风口的结构可以防止与铅垂线成 100° 角范围内任何方向的液体或固体直接进入电机内部。

3) 防滴式。电机通风口的结构可以防止垂直下落的液体或固体直接进入电机内部。

(3) 封闭式 外壳完全封闭(但不是密封),所以散热条件较差,其冷却方式是靠自身风扇或外部风扇冷却,并在外壳带有散热片,适合于多灰尘、潮湿、水土飞溅及有腐蚀性气体的场所。

(4) 防水式 电机机壳的结构能够阻止具有一定压力的水进入电机内部。

(5) 水密式 当电机浸没在水中时, 电机机壳的结构能阻止水进入电机内部。

(6) 潜水式 电机在规定的水压下, 能长期在水中运行。

(7) 隔爆式 电机机壳的结构是以阻止电机内部的气体爆炸传递到电机外部而引起电机外部的燃烧性气体的爆炸。

2. 电机外壳防护等级的标志方法

电机产品外壳防护等级的标志, 采用国际通用的标志系统, 由字母“IP”(International Protection《国际防护》的缩写)及两个阿拉伯数字组成。第一位数字代表第一种防护(防触及和固体进入)等级, 第二位数字代表第二种防护(防水)等级。如只单独标志一种防护型式的等级时, 则略去数字的位置以 X 补充, 例如 IPX3 或 IP5X 等。对有些电机产品, 在数字后面加有附加字母, 如:

R——管道通风式电机;

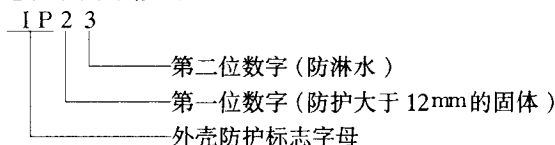
W——气候防护式电机;

S——在静止状态下进行第二种防护型式试验的电机;

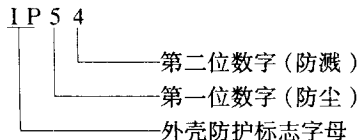
M——在运转状态下进行第二种防护型式的电机。

其中字母 R 和 W 标于 IP 和两个数字之间, 而字母 S 和 M 标在两个数字之后, 如没有标志字母 S 和 M 的, 则表示该电机是在静止和运行状态下都要进行试验的电机。

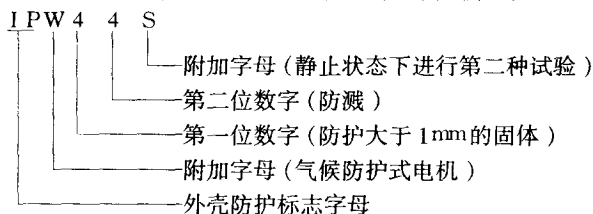
标志方法举例如下:



这样的标志方法, 表明电机能防止大于 12mm 的固体进入内部, 并能防淋水。



这样的标志方法，表明电机能防尘，并能防溅。



这样的标志方法，表明电机是既能防护大于1mm的固体，又能防溅，并在静止状态下进行第二种防护型式的气候防护式电机。

防护等级标志，一般都标在每台产品的铭牌上，或外壳的明显位置上，是表征产品性能的一项重要标志。

3. 防护等级的分级和定义

防护等级的分级和定义见表1-1和表1-2。

表1-1 电机防护等级（第一位数字）的分级和定义

防护等级 (第一位 数字)	简 称	定 义
0	无防护	没有专门的防护
1	防护大于 50mm的固体	能防止直径大于50mm的固体异物进入壳内。能防止人体的某一大面积部分（如手）偶然或意外地触及壳内带电或运动部分，但不能防止有意识地接近这些部分
2	防护大于 12mm的固体	能防止直径大于12mm的固体异物进入壳内。能防止手指触及壳内带电或运动部分 ^①
3	防护大于 2.5mm的 固体	能防止直径大于2.5mm的固体异物进入壳内。能防止厚度或直径大于2.5mm的工具、金属线等触及壳内带电或运动部分 ^{①②}
4	防护大于 1mm的固体	能防止直径大于1mm的固体异物进入壳内。能防止直径或厚度大于1mm的导线或片条触及壳内带电或运动部分 ^{①②}
5	防 尘	能防止灰尘进入达到影响产品正常运行的程度，完全防止触及壳内带电或运动部分 ^①
6	尘 密	能完全防止灰尘进入壳内，完全防止触及壳内带电或运动部分 ^①

① 对用同轴外风扇冷却的电机，风扇的防护应能防止其风叶或轮辐被手触及，在出风口，手插入时，其直径为50mm的护板不能通过。

② 不包括泄水孔，泄水孔应不低于2级的规定。

表 1-2 电机防护等级（第二位数字）的分级和定义

防护等级 (第二位 数字)	简 称	定 义
0	无防护	没有专门的防护
1	防 滴	垂直的滴水应不能直接进入电机内部
2	15°防滴	与铅垂线成 15°角范围内的滴水，应不能直接进入电机内部
3	防淋水	与铅垂线成 60°角范围内的淋水，应不能直接进入电机内部
4	防 溅	任何方向的溅水对电机应无有害的影响
5	防喷水	任何方向的喷水对电机应无有害的影响
6	防海浪 或强加喷水	猛烈的海浪或强力的喷水对电机应无有害的影响
7	浸 水	电机在规定的压力和时间下浸在水中，其进水量应无有害影响
8	潜 水	电机在规定的压力下长时间浸在水中，其进水量应无有害影响

电机最常用的防护等级有 IP11、IP21、IP22、IP23、IP44、IP54、IP55 等。

二、电机的发热和冷却

1. 电机的发热

从电机学的理论可知,电机的发热与散热过程比较复杂,因为电机不是一个均匀物体。为研究电机的发热和散热过程,假定:

1) 电机为一均匀物体,各点的温度一样;各构成部分的热容都相同;各部分表面的散热系数也相同;热容和散热系数均为常数,不随温度的高低而变化。

2) 散热量与电机和周围温度差成正比,且不受温度本身数值影响。

根据能量平衡关系,电机的发热微分方程式具有下列形式

$$\Phi dt = A\tau dt + C d\tau \quad (1-1)$$

式中 Φ ——热流量,即电机单位时间内发出的热量,单位为 W,或 J/s;

A——电机的散热系数,即当电机温度与周围环境温度相

差 1K 时, 每秒钟散发到周围环境的热量, 单位为 J/sK;

τ ——电机的温升, 即电机的温度超过周围环境的温度值, 单位为 K;

C ——电机的热容, 即电机温度升高 1K 所需的热量, 单位为 J/K。

上述方程式表示, 电机在每一单元时间内发出的热量, 一部分散发给周围环境 ($A\tau dt$), 一部分用来升高电机温度 ($Cd\tau$)。解此方程式得

$$(\Phi - A\tau)dt = Cd\tau \quad (1-2)$$

$$\text{即} \quad dt = \frac{Cd\tau}{\Phi - A\tau} \quad (1-3)$$

将式 (1-3) 两边积分, 即得

$$t = -\frac{C}{A} \ln(\Phi - A\tau) + K \quad (1-4)$$

式 (1-4) 中的 K 是由初始条件决定的积分常数, 假定在 $t = 0$ 时, 温升 $\tau = \tau_0$, 显然

$$K = \frac{C}{A} \ln(\Phi - A\tau_0)$$

将 K 值代入式 (1-4) 后得

$$t = \frac{C}{A} \ln \frac{\Phi - A\tau_0}{\Phi - A\tau} \quad (1-5)$$

$$\text{或} \quad \frac{\Phi - A\tau_0}{\Phi - A\tau} = e^{\frac{A}{C}t} \quad (1-6)$$

由式 (1-6) 可得出

$$\tau = \frac{\Phi(e^{\frac{A}{C}t} - 1) + A\tau_0}{Ae^{\frac{A}{C}t}}$$

$$\text{即} \quad \tau = \frac{\Phi}{A} (1 - e^{-\frac{t}{C/A}}) + \tau_0 e^{-\frac{t}{C/A}} \quad (1-7)$$

设 $T = C/A$, 称作电机发热时间常数, 单位为 s。则式 (1-7) 可变为

$$\tau = \frac{\Phi}{A}(1 - e^{-t/T}) + \tau_0 e^{-t/T}$$

即

$$\tau = \frac{\Phi}{A} - \left(\frac{\Phi}{A} - \tau_0 \right) e^{-t/T} \quad (1-8)$$

由式 (1-8) 可以看出, 电机发热过程中的温升是时间的指数函数。从理论上讲, 只有在时间为无限大时, 电机的温升才能达到稳定值。实际上, 在 $t = (4 \sim 5) T$ 时 (见图 1-1), 即可认为已经达到稳定。

当 $t = \infty$ 时, 由式 (1-8) 得到电机温升的稳定值为

$$\tau_s = \frac{\Phi}{A} \quad (1-9)$$

于是电机的发热方程式可表示为

$$\tau = \tau_s - (\tau_s - \tau_0) e^{-t/T} \quad (1-10)$$

若最初温升 $\tau_0 = 0$, 即电机温度和周围环境温度相同, 则式 (1-10) 可变为

$$\tau = \tau_s (1 - e^{-t/T}) \quad (1-11)$$

设 $t = T$, 代入式 (1-11) 中, 得 $\tau = 0.632 \tau_s$ 。由此可知, 发热时间常数 T 为电机温升从零开始上升到稳定值的 63.2% 所需时间。

由式 (1-10) 和式 (1-11) 所得的发热曲线如图 1-1 所示。

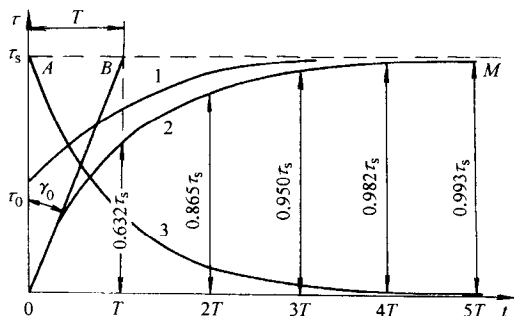


图 1-1 电机发热和冷却曲线 $\tau = f(t)$

1— $\tau = \tau_s - (\tau_s - \tau_0) e^{-t/T}$ 2— $\tau = \tau_s (1 - e^{-t/T})$ 3— $\tau = \tau_s e^{-t/T}$

按曲线 2 用图解法可求出电机发热时间常数 T ，这只需求函数 $\tau = \tau_s (1 - e^{-t/T})$ 在 $t=0$ 处的导数。即

$$\begin{aligned} \left. \frac{d\tau}{dt} \right|_{t=0} &= \frac{\tau_s}{T} \\ \frac{dt}{d\tau} &= \frac{T}{\tau_s} = \operatorname{tg} \gamma_0 \end{aligned} \quad (1-12)$$

式中 γ_0 ——通过坐标原点和曲线 2 相切的切线与纵坐标所夹的角。

$$\text{故} \quad T = \tau_s \operatorname{tg} \gamma_0 \quad (1-13)$$

由此可知，电机发热时间常数 T ，可由图 1-1 线段 AB 的长度来决定，而 AB 是由稳定温升 τ_s 的直线 ABM 和曲线 2 的通过原点的切线相交求出的。

2. 电机的温升和输出功率的关系

电机的发热是由于工作时，在其内部产生的损耗造成的。现假定电动机在恒定负载下运转，从电源输入功率为 P_1 ，而在轴上输出功率为 P_2 ，则功率损耗为

$$\Phi = \Delta p = P_1 - P_2 = \frac{P_2}{\eta} - P_2 = P_2 \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \quad (1-14)$$

式中 Φ ——热流量，单位为 W ，或 J/s ；

η ——电动机的效率。

电动机的稳定温升，不能超过电动机绝缘材料的最高允许温升 τ_m ，即

$$\tau_s \leq \tau_m \quad (1-15)$$

根据式 (1-9)，可将式 (1-15) 写成下列形式：

$$\tau_m \geq \frac{\Phi}{A} \quad (1-16)$$

或

$$\tau_m \geq \frac{\Delta p}{A\eta} \quad (1-17)$$

将式 (1-14) 代入上式可得

$$\tau_m \geq \frac{P_2(1-\eta)}{A\eta}$$

或
$$P_2 \leq \frac{\tau_m A \eta}{1 - \eta} \quad (1-18)$$

如电动机的额定功率为 P_N ，额定效率为 η_N ，则式 (1-18) 为

$$P_N \leq \frac{\tau_m A \eta_N}{1 - \eta_N} \quad (1-19)$$

式 (1-19) 说明，对于同样大小尺寸的电动机来说，如果想提高其输出功率，可以从以下三个方面采取措施：

- 1) 设法降低电动机的损耗，提高效率。
- 2) 加强散热，提高散热系数 A 值。
- 3) 采用高一级的绝缘材料，提高其允许温升值 τ_m 。

电机常用绝缘材料的耐热等级见表 1-3。

表 1-3 绝缘材料的耐热等级

耐热等级	最高允许工作温度 /℃	相当于此等级的主要绝缘材料
Y	90	未浸渍过的棉纱、丝及纸等材料或其组合物所组成的绝缘结构；有机填料的塑料
A	105	浸渍过或浸在液体绝缘材料中的棉纱、丝及纸等材料或它们所组成的绝缘结构，如漆布、绸、管等；聚酰胺薄膜；浇注用聚酰胺树脂等
E	120	聚酯薄膜及其纤维；漆包线的绝缘漆；以纤维素纸和布为底料的层压制品、环氧、聚酯和聚酰胺的树脂和胶类
B	130	以云母片和粉云母纸为基础的材料，以及纸和布作衬垫的云母制品、玻璃漆布和玻璃漆管；以玻璃布为底料的层压制品；以无机物为填料的塑料
F	155	玻璃漆布、漆管；以玻璃布和石棉纤维为基础的层压制品；以无机绝缘材料为衬垫的粉云母制品；玻璃丝和石棉绝缘导线的绝缘
H	180	无机绝缘材料为衬垫的云母制品；玻璃丝导线的绝缘、玻璃漆布、漆管；以玻璃漆布和石棉纤维为基础的层压制品；以无机物为填料的塑料；聚酰亚胺薄膜的复合制品；橡胶制品
C	180 以上	云母、玻璃和玻璃纤维材料；陶瓷、石英、玻璃云母模压制品；聚四氟乙烯、聚酰亚胺或耐高温有硅漆包线的绝缘

3. 电机的冷却过程分析

电机的冷却过程是发热过程的逆过程。当电机已经发热，达

到稳定温升，而后停止供给热量，即 $\Phi = 0$ ，电机开始冷却，冷却方程式为

$$\tau = \tau_s e^{-t/T} \quad (1-20)$$

式 (1-20) 所决定的关系表示在图 1-1 中的曲线 3。比较曲线 2 和 3，可见它们对横坐标和稳定温升直线 ABM 的中线互为镜像的。横轴成为冷却曲线的渐近线。

需要指出的是：同一台电机，它的发热过程的发热时间常数和冷却过程的散热时间常数的数值并不一定相同，对于外力通风的电机可以认为一样，但对于自然通风的电机，由于冷却时散热条件变坏，散热系数 A 减小，冷却时的散热时间常数，一般要比发热时的发热时间常数大 1~2 倍。

从上面对电机的发热和冷却过程的分析看出，电机温升曲线的确定，依赖于温升的起始值、稳态值和发热时间常数三个要素。分析热过渡过程，目的不在于定量计算，而是要定性了解热变化过程的物理概念，为正确理解和选择电机容量建立理论基础。

4. 异步电机通风冷却方式

异步电机通风冷却方式有以下几种：

(1) 空气冷却

1) 自冷式。电机仅依靠表面的辐射和空气的自然流动获得冷却。

2) 自扇冷式。电机由本身驱动的风扇，供给冷却空气，以冷却电机表面或其内部。

3) 他扇冷式。供给冷却空气的风扇不是由电机本身驱动，而是独立驱动的。

4) 管道通风式。冷却空气不是直接由电机外部进入电机，也不是直接由电机内部排出电机，而是经过管道引入或排出电机，管道通风的电机可以是自扇冷式或他扇冷式。

(2) 液体冷却 电机用液体冷却。

(3) 闭路循环气体冷却 冷却电机的介质在电机和冷却器的