

各种节能型电气装置 性能与使用方法

〔日〕电气与管理编辑部 编

解焕民 陈次昌 于富禄 译
李学俭 孙再兴
于志成 校



机械工业出版社

(京) 新登字 054 号

内 容 提 要

本书介绍常用节能型电气装置的性能与使用方法,其中包括电动机、变压器、照明设备、空调设备、电梯和焊接装置等。书中还特别提供了以上电气装置的一些节电实例,能启发读者在更广阔的领域内进一步研究和开发节能技术。

本书可供电气设备的管理人员、工程技术人员及从事节电工作的研究人员参考。

各种节能型电气装置性能与使用方法

〔日〕电气与管理编辑部 编

解焕民 陈次昌 于富禄 译 于志成 校
李学俭 孙再兴

*

责任编辑:孙 瑞 封面设计:昔 麟

责任校对:霍 同 版式设计:倪炯明

*

机械工业出版社 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版营业许可证出字第 0117 号)

人民交通出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 ·印张: 11 1/2 ·字数: 262 千字

1992 年 8 月北京第 1 版·1992 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 0 001~2 650 ·定价: 15.00 元

*

ISBN 7-111-03163-6/TM · 395 (X)

目 录

原 序

第一章 电动机	(1)
1.1 节能型电动机的种类和用途	(1)
1.2 通过对电动机的速度控制减少损耗(1)	(17)
1.3 通过对电动机的速度控制减少损耗(2)	(33)
1.4 通过对电动机的速度控制减少损耗(3)	(51)
1.5 调速电动机的用途及其特点	(62)
第一章的启示和实例	(76)
1. AS 电动机和感应电动机二次 电阻控制的效率比较	(76)
2. 配水场节电一例	(77)
第二章 变压器	(80)
2.1 节能型变压器的种类和用途	(80)
2.2 模制式变压器的特点及其损耗的降低	(90)
2.3 节能变压器的选择	(102)
第二章的启示和实例	(114)
1. 低损耗型柱上变压器损耗的降低	(114)
2. 用模制式变压器降低损耗	(116)
3. 非晶态金属的启示和实例	(117)
第三章 照 明	(119)
3.1 节能型照明光源、灯具的种类和用途	(119)
3.2 白炽灯的性能和用法	(133)
3.3 荧光灯的性能和用法	(143)
3.4 高辉度放电灯 H I D 的性能和用法	(152)

3.5	工厂用高效照明器的性能和用法	(161)
3.6	办公大楼用的高效照明器的性能和用法	(169)
3.7	调光装置的性能和用法	(175)
第四章	空调机和空调设备	(188)
4.1	节能型空调机和空调设备的种类与用途	(188)
4.2	各种热泵的性能和用法	(212)
4.3	吸收式制冷机的性能和用法	(227)
4.4	太阳能朗肯循环供冷—供暖设备的性能和用法	(242)
4.5	太阳能集热器的性能和用法	(268)
4.6	全热交换器的性能和用法	(279)
第五章	升降机	(300)
5.1	节能型升降机的性能	(300)
5.2	从节能的角度选择电梯	(316)
第六章	焊接机械及其装置	(330)
6.1	节能型电焊机的性能和用法	(330)
	参考文献	(359)

第一章 电动机

石油危机以来,能源的重要性已被各界人士广泛认识,如何保障能源得到高效、合理的利用,这已经成为举国研究的课题。纵观日本的能源现状,在重工业(包括钢铁、化工及其它矿产工业)中,使用了大约 50% 的能源,而其中的一半用在电动机上。

使用电能的电气机械设备的节能工作,可从以下三点加以考虑:

- (1) 电动机的效率。
- (2) 电动机规格的合理化。
- (3) 运行调度的最佳化。

由于上述因素相互关系错综复杂,彼此牵制,所以必须制定一个与产品生产工艺和经营状况相适应的最佳节能计划。

虽然在电动机中包括直流电机和交流电机,在交流电机中又包括感应电动机和同步电动机等,但在一般工业体系中,往往只以常用的感应电动机为中心来研究电动机本身效率的提高及电动机对负载做最佳运行等方面的节电、节能的方法。

1.1 节能型电动机的种类和用途

1.1.1 电动机的高效率运行

(1) 电动机的效率

连续运行的电动机的节能问题,说到底是一个如何提高电动机的效率的问题。所以,应该设法采用高效率电动机。高效率电动机适合于节能的需要,它的效率高于目前被广泛使用的三相感应电动机的效率,其节电效果显著。近年来受到人们普

遍关注，其关心程度是前所未有的。

电动机的效率 η (%) 可由下式给出：

$$\eta = \frac{\text{输出}}{\text{输入}} \times 100\% = \frac{\text{输出}}{\text{输出} + \text{损耗}} \times 100\%$$

从上式可以看出，要提高电动机的效率，只须尽量减小电动机内部的电损耗和机械损耗即可。

如图 1-1 所示，电机损耗包括一次铜损，二次铜损，铁损和机械损。对一般中小型电动机来说，它们的比例如图 1-2 所示。

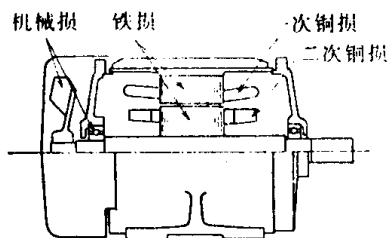


图 1-1 电动机的损耗

要提高电动机效率，一般可以采用下列措施：

- (a) 一次铜损 可增加铁心厚度，气隙适中，线圈合适。
- (b) 二次铜损 导体截面积要适中，一次线圈匝数要合适。
- (c) 铁损 可增加铁心厚度，气隙适中，采用优质铁心材料。
- (d) 机械损失 转子直径要适当，冷却风扇要适当，要改善冷却结构。

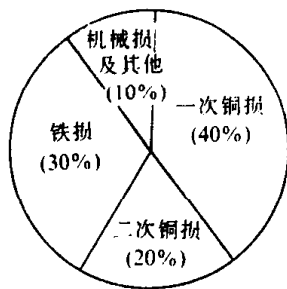


图 1-2 损耗的比例

采用上述措施，可把电动机效率提高 3%~5%，但也会导致材料消耗的增加，采用造价较高的材料也将提高产品的造价。

电机制造厂家历来都把研究的重点放在如何缩小电机体积，如何增加单位重量的输出功率上，在此，一定要考虑效率问题，以便设计出性能最佳的电动机。

采用高效率电动机后的效果如图 1-3 所示。如前所述,采用高效率电动机时,创办成本虽然高于标准电动机,但因运行成本比较低,尽管在不同的负载条件下有所不同,但是,在连续使用的场合,大约经过一年半到两年后,便可达到盈亏平衡点,此后,不仅会给用户带来利益,还会对节能工作做出很大的贡献。

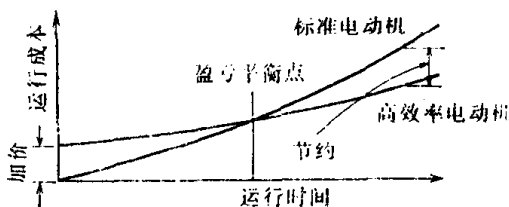


图 1-3 盈亏平衡

下面,我们将以 110kW 的电动机为例进行计算。

节约的运行费用可由下式算出:

$$A = \alpha \times P \times \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right) \times 100 \times T$$

式中 A ——能节约的运行费用 (日元);

α ——电费 (日元/kW · h);

P ——所用动力 (kW);

η_1 ——标准电动机的效率 (%);

η_2 ——高效电动机的效率 (%);

T ——运行时间 (h)。

现在假设二者的效率分别为 93% 和 91%, 效率差为 2%, 设运行时间为每年连续运行 8000h, 电费为 15 日元/(kW · h)。则

$$A = 15 \times 110 \times \left(\frac{1}{91} - \frac{1}{93} \right) \times 100 \times 8000 \approx 312 \text{ 千日元}$$

这就是说,这笔款项体现了采用高效率电动机后,虽增加了投资金额,却也发挥了设备投资的效果。不言而喻,运行时

间越长，其效果也越大。何况今后的电费仍将继续涨价，可以预期，那时将会取得更大的效果。

1.1.2 提高在轻负载下工作时的电机效率

为了使电动机在高效率的状态下运行，在提高效率的同时，应使电动机具有如下特性，即在轻负载的状态下的运行效率高于满负载状态下的运行效率。在日常使用的负载条件下，一般都要考虑电动机的过负载和速度，所以很少在电动机的铭牌所标注的容量下连续使用，通常都在80%~90%的负载系数下使用。

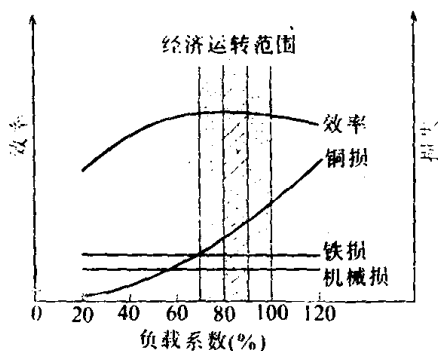


图 1-4 损耗、效率—负载特性

然而，早期的标准电动机的设计思想是使电动机的各种性能在标准容量下达到最佳，近来是在轴端实际输出功率点，即在85%~90%的轻负载下，使电动机的各种性能最佳。效率特性在最近的设计技术中可能是各种各样的形式，充分了解实际负载特性曲线，掌握在平均负载系数下效率最高的使用方法当然是很理想的，但是由于难以逐个地按照负载的种类及负载特性曲线进行设计和制造，所以规定电动机应该具备在80%~90%负载系数下效率最高的特性。经常在这一经济运行范围（恰当负载）内运行，就能实现电动机的高效率运行。

电动机的损耗和效率如图 1-4 所示。

损失包括铁损、铜损和机械损耗。

(1) 铁损 由于铁的磁化而造成的损耗，与负载无关，只

取决于所加的电压。

(2) 机械损耗 冷却风扇和转子在转动中形成的风损与负载大小无关，只取决于电机转速。

(3) 铜损 绕组中流过电流和绕组本身的电阻所产生的损耗是与负载电流的平方成正比。

所以，损耗将随着负载的变化而变化，从而，效率也将随着负载的变化而变化。

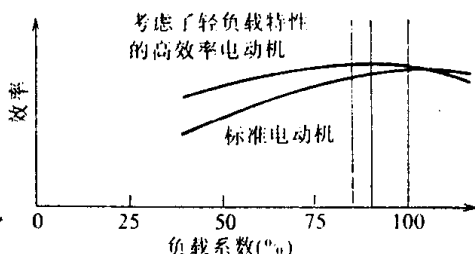


图 1-5 高效率电动机与标准电动机负载—效率特性的比较

此外，在图 1-5 中示出了早期的标准电动机和考虑了轻负载特性的高效率电动机的效率—负载特性的对比。

1.1.3 符合使用条件的机型的选定

(1) 确定容量的方法

(a) 负载固定 电动机的容量(输出功率)一般应该大于它所带动的机械(负载)所需要的动力，虽说是负载固定，但考虑到拖动机械的负载变动并留有余量，还是选用容量略大一些的电机为好。但是，如果选用电机的容量过大，则空载电流就会加大、效率和功率因数都会变坏，这样就不经济。

综上所述，电机容量应选为正常负载所需动力的约 110%~115%。

(b) 负载周期性变动 如图 1-6 所示，在短期之内，负载周期变动的场合，可用下式确定电机容量：

$$\text{输出功率 } P = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + (P_2^2 + P_3^2 + P_2 P_3) \times \frac{t_2}{3} + P_4^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

式中，电动机的最大输出功率必须大于。最大负载，并且电动机的起动转矩也必须大于起动时负载的反转矩。

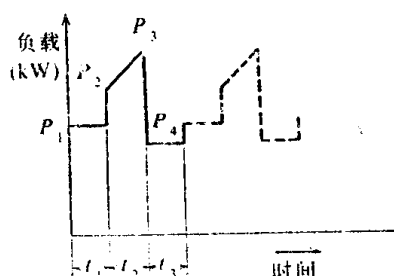


图 1-6 负载变动特性曲线

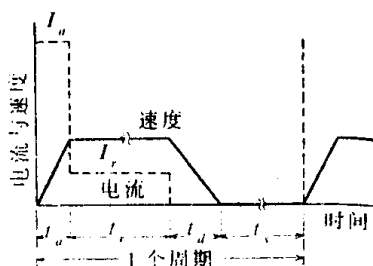


图 1-7 运行状态

用上式算出的数值最好等于电动机铭牌中标志容量的 85%~90%。

(c) 加有断续负载 诸如卷扬机、起重机之类，加有断续负载的情况，电动机的容量取决于热量和转矩。因此，不仅要考虑机械转矩，还必须考虑运行状态。

在图 1-7 所示的运行状态下使用连续定额的电动机时，电动机的额定电流应该大于用下式求出的电流 I_e 。

$$I_e = \sqrt{\frac{\sum I_a^2 t_a + \sum I_r^2 t_r + \sum I_d^2 t_d + \sum I_s^2 t_s}{\sum a_1 t_a + \sum a_2 t_r + \sum a_3 t_d + \sum a_4 t_s}}$$

式中 I_e ——等价满负载电流 (A)；

I_a ——加速时的电流 (A)；

I_r ——全速时的电流 (A)；

I_d ——减速时的电流 (A)；

I_s ——停止时的电流 (A)；

t_a ——加速时间 (s)；

t_r ——全速时间 (s)；

t_s ——停止时间 (s)；

a_1 ——加速时的冷却系数；

a_2 ——全速时的冷却系数；

a_3 ——减速时的冷却系数；

a_4 ——停止时的冷却系数。

此外，冷却系数还与通风方式及防护方式有关，一般可采用表 1-1 中所列数值进行计算。

表 1-1

型 式	a_1	a_2	a_3	a_4
开启式防滴型	0.6	1	0.6	0.3
全封闭外扇型	0.7	1	0.7	0.45
全封闭型	0.8	1	0.8	0.6

1.1.4 电动机的额定电压和输出功率

正确地选用电动机的额定电压和输出功率，对充分发挥电动机的效能，经济地设置和经营动力设备，并进行高效率的运行都是十分重要的。

例如在高额定电压下运行的小容量电机和低额定电压运行的大容量电机都会使原始成本增加，这绝对不是高效率的使用方法。有些国家也把电动机的容量与电压的关系在规格中规定下来。

以德国的 VDE0530Teil1/1.66 为例，规定电压与电机容量的关系如表 1-2 所示。

表 1-2

电 压	最小容量 (kW 或 kVA)
$2\text{kV} < E \leq 3.3\text{kV}$	100
$3.3\text{kV} < E \leq 6.6\text{kV}$	200
$6.6\text{kV} < E \leq 11\text{kV}$	1000

在日本，虽然在规格中加以规定，但在 6kV，3kV，400V，200V 等额定电压下，适用的容量范围如图 1-8 所示。

图中用黑框圈定的是比较经济的容量范围，而且在制造时不存在技术上的困难。用斜线标出的范围表示在某种程度上可以忽视经济性时，在技术上可以制造出来。至于在上述电压等级中应该选用哪一种电压，则应在对变压器、电线、电动机底座等的经济性进行比较之后，再来确定，对电动机来说，在图 1—8 中所表示的范围就是最经济的划分范围。

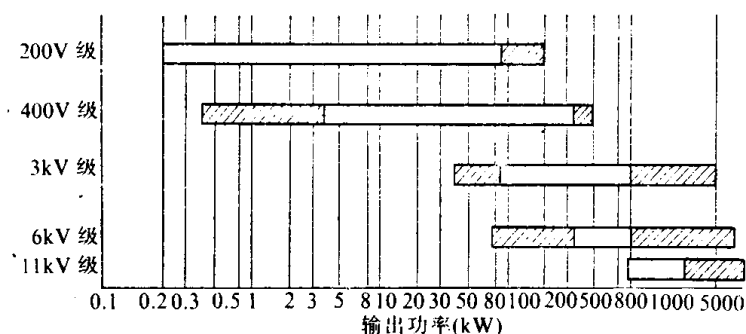


图 1—8 电动机在不同电压等级下的最佳输出功率范围

1.1.5 关于电压的变动

电动机的额定电压和最佳容量，应根据电压降、一次控制盘、变压器等的价格等因素，作为整个系统加以选定，其大致标准如图 1—9 所示。

这里仅就额定电压与运行时的端电压加以论述。电压变动对电动机的影响如表 1—3 所示。

一般说来，能够影响电动机特性的因素是铜损和铁损。当负载转矩保持一定时，电动机电流大致上与端电压成反比，而铜损则与电流的平方成正比。因此铜损的变动，大致上与电压的平方成反比。另一方面，铁损的增减大致上与电压的平方成正比。因此，如果铜损与铁损大小相近，则综合损耗几乎不受电压变动的影响。然而，一般说来，铜损所占的比例较大，因

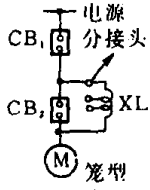
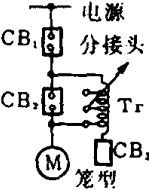
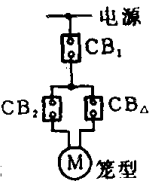
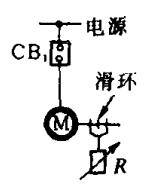
起动方式	电抗器起动	补偿起动	—△起动	绕线式二次电阻起动
比较项目				
电 路				
电动机的 起动电压 (%)	50、65、80	50、65、80	57.5	100
电动电流 以起动时 为100	50、65、80	25、42.2、64	33.3	18~40 范围 内的任意值
起动转矩 以起动时 为100	25、42.2、64	25、42.2、64	33.3	80~200 范围 内的任意值
起动电压 的变化	随着转速的升 高而增加	在起动过程中 保持不变	在起动过程中 保持不变	在起动过程中 保持不变
适用的电 动机容量	无特殊限制	无特殊限制	低 压 5.5 ~ 160kW	没有特殊限制
适用负载	象风扇、泵 那样，随着转 速的增加， 负载转矩也 加大的负载	对起动转 矩比较重 视的负载	轻负载起 动的负载	在重负载 下起动， 对起动电 流有较大的 限制
按设备费 高低为序	3	2	4	1

图 1—9 电动机的起动方式

此还是端电压较高时的效率较高，在温度升高时较为有利。然而，由于励磁电流（滞后于有功电流 90° ）的增大与电压成正比，因此端电压越高时，功率因数就越低。

当负载系数较低时，铁损所占比例，较之铜损大，因此把

电压降低一点可以同时改善效率和功率因数，在考虑节电的场合，提高负载系数，在额定电压附近运行才称的上是高效率的使用方法。

表 1—3 电压变动对电动机的影响

		电 压 变 动		
		90%电压	与电压的比例	110%电压
起动转矩 最大转矩		-19%	V^2	+21%
同步转速		不 变	稳 定	不 变
转差率%		+23%	$1/V^2$	-17%
满负载速度		-15%	同步转速转差率	+1%
效 率	满负载	-2%	—	略有增加
	3/4 负载	实际上不变化	—	实际上不变化
	1/2 负载	+1%~2%	—	-1%~2%
功 率 因 数	满负载	1%	—	-3%
	3/4 负载	+2%~3%	—	-4%
	1/2 负载	+4%~5%	—	-5%~6%
满负载电流		+11%	—	-7%
起动电流		-10%~12%	✓	+10%~12%
满负载时的温升		+6~7℃	—	-1~2℃
磁隙噪声		略微减少	—	略有增加

1. 1. 6 型式的确定

(1) 笼型还是绕线转子

在感应电动机中，根据转子的不同结构，可大致分为两种类型——笼型和绕线转子。笼型电动机的转子是将棒形的导体插入铁心的槽内，利用短路环将其两端短路起来，所以在结构上比绕线转子电动机的转子简单些，机械强度高，故障少，维修起来也比较简便。由于以上特征，使得笼型电动机的应用十分普遍，然而，不宜用在下述场合。

(a) 带负载启动

在需要很大的启动转矩，且需限制启动电流有场合，应该选用绕线转子电动机。

(b) 飞轮力矩很大，启动时间很长

启动时间 t 可用下式表示，则

$$t = \frac{GD^2 \times RPM}{375 \times T_a}$$

式中 GD^2 ——飞轮力矩 ($\text{kgf}^{\text{①}} \cdot \text{m}^2$)；

RPM ——全速时的转速 (r/min)；

T_a ——加速转矩 ($\text{kgf} \cdot \text{m}$)。

在以送风机等 GD^2 较大的机械为负载时，应选用经过特殊设计的笼型式绕线转子电动机。

(c) 变压器的容量较小、启动电流受限制：

特殊笼型电动机的启动电流与额定电流相比的百分数，如表 1—4 所示。

表 1—4 特殊笼型电动机的启动电流

极数 类别	2	4	6	8	10	12
开启型 1 类	550%	475%	475%	450%	450%	450%
开启型 2 类	600%	525%	525%	500%	500%	500%
全封闭外 扇型 1 类	600%	500%	500%	475%	475%	475%
全封闭外 扇型 2 类	650%	550%	550%	525%	525%	525%

变压器的容量较小，难以承受较大的启动电流时，可以采

① $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$ 。

用降压起动器，把起动电流限制在全压启动时的 25%~60% 左右。对于那些要求起动电流更小，而起动转矩较大的场合，可以采用绕线转子电动机。

(d) 对电动机进行速度控制

在为了节电而控制电动机转速的场合，可根据负载的性质而选用行之有效的西尔毕斯运行方式，二次电阻控制方式及其它方式、详细内容将在 1.2 节讲述。

(e) 频繁起动

笼型电动机的起动频度，以每天的起动次数为准，即使是特殊设计的，每天起动十几次也就是最高限度了。超过这一频度时，为满足高频度起动的需要并减少对电源的影响，就必须采用绕线转子电动机。

近来为了节电，采用 ON-OFF 控制（即高起动频度）的机会增多了。但在采用笼型电动机时，必须注意监视电动机的定子绕组及转子短路条的温升。

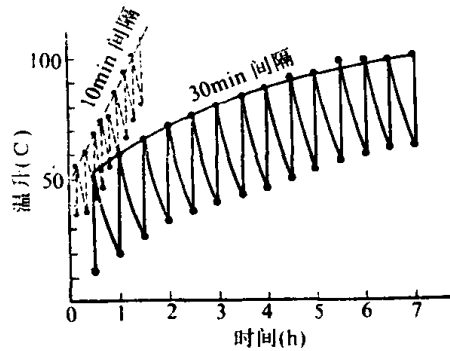


图 1-10 间歇运行时的
转子棒温度

在图 1-10 上示出了高起动频度下使用时转子短路的温升特性。

1.1.7 通过提高功率因数来节约电能

若能积极采用提高功率因数的电力电容器来提高电动机的功率因数，不仅能减少线路和变压器的电力损耗，还能提高用电设备的利用率。

此外，功率因数高了电费还会折价，按照这种规定，还能取得大幅度节省电费的效果。

(1) 通过提高功率因数来节省电费

若能提高各电气用户的负载的功率因数，就能减少供电局的发电、供电及配电设备的损失，提高设备的利用率。因此各供电局均设有基本电费的功率因数折价制度，用来鼓励各用电单位提高功率因数。这就是说，把功率因数为 85% 时的电费定为标准基本电费，当功率因数高于这个数值时，就降低基本电费。当功率因数低于这个数值时，就提高基本电费。

根据不同的供电合同，基本电费的变动情况如表 1-5 所示。

表 1-5 电费按功率因数而浮动的规定

合同类别	基本电费的浮动百分率
低压电力	功率因数超过 85% 时，基本电费降低 5%；功率因数不到 85% 时，基本电费增加 5%
生产用电、 高压用电、 超高压用电	功率因数超过 85% 时，功率因数每超过 1%，基本电费就降低 1%。 功率因数不到 85% 时，功率因数每降低 1%，基本电费就增加 1%

不难看出，装上补偿电容，使功率因数提高之后，每月的电费要便宜得多。这样一来，很容易收回设置补偿电容所支付的的资金。

(2) 通过设置补偿电容来提高功率因数

流入电动机的电流并不全部转换为功，除有功电流外，还流过无功电流。其中，有功电流做功，而无功电流是不做功的。也就是说：

$$\text{有功功率} = \text{电压} \times \text{有功电流}$$