

DIANQI
JIE NENG
JISHU

电气节能技术

中国建筑东北设计院 李汝火等 编译

水利电力出版社

内 容 提 要

本书根据1981年日文版《电动设备节电技术》和《照明设备节电技术》两书编译而成,主要内容有:节能电动机及其调速系统、控制装置的节能原理及有效使用方法;对原有电动设备进行节能改造的方法及注意事项;十几种最新节能灯、灯具、调光装置及其节能效果和正确地使用方法;照明设计的合理配光;把原有灯换成节能灯的方法和注意事项;超级商场、百货商店、工厂、道路和体育设施节能照明的设计实例。

本书可供科研、设计部门和厂矿企业中从事电动设备和照明节能技术工作的广大工程技术人员参考,也可供有关的大专院校师生参考。

电 气 节 能 技 术

中国建筑东北设计院 李汝火等 编译

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京昌平建华印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 28.25印张 644千字

1987年2月第一版 1987年2月北京第一次印刷

印数0001—8100册 定价6.70元

书号 15143·6326

编译者的话

我国电力一直比较紧张，供不应求，然而电力浪费现象却相当严重。如果能对电动设备和照明设施进行节能改造和有效利用，将会对缓和我国电力的紧张局面，加速四化建设起到一定的作用。

本书是由日本的《电动设备节能技术》和《照明节能技术》两书编译而成的。原书系由日本有关单位专家撰写，由“电气书院編集部”汇编的电气节能技术专著。其特点是，论述通俗透彻、图文并茂、比较实用，对我国的节能实践有积极的参考价值。兹编译出版，供有关的电气工程技术人員参考。

原书的著者比较多，各人有各自独特的见解，因此，各章节有一定的独立性，所用的符号也各不相同，有时可能会引起误解。为了尽可能地减少混乱，对一些最常用的符号作了统一，如：空载速度用 N_0 、同步速度用 N_s 、起动时间用 t_{st} 、起动转矩用 T_{st} 、起动电流用 I_{st} 、效率用 η 、电费单价用 c ，别的符号以原书为准。

本书中的部分章节由陈世国、徐资庸、郑智华、曹晓临等翻译。“电动设备节能技术”部分由王绍孚校订；“照明节能技术”部分由甄文彬校订，刘成有和侯传启也参加了这部分的校订工作。在此一并表示衷心的感谢！

由于水平有限，书中错误之处在所难免，恳望读者批评指正。

编译者

一九八六年四月

目 录

编译者的话

第一篇 电动设备节能技术

第一章 总论	2
电动设备节能原则	2
第二章 节能方法的研究	11
第一节 采用节电型电动机的研究	11
第二节 改变调速系统及提高调速系统效率的研究	21
第三章 变速运转控制方法	29
第一节 电动机调速特点、注意事项及节能效果	29
第二节 变速运转的各种控制装置	40
第三节 变速运转对电源的影响及相应措施	49
第四章 各种节能电动机	62
第一节 高效电动机及其有效使用方法	62
第二节 高阻鼠笼型电动机及其有效使用方法	71
第三节 离合器电动机及其有效使用方法	80
第四节 齿轮电动机及其有效使用方法	90
第五节 变极电动机及其有效使用方法	97
第六节 电容电动机及其有效使用方法	108
第五章 满足负载特性要求的电动机选择方法	116
第一节 连续运转的电动机容量	116
第二节 间歇运转的电动机容量	126
第三节 适合递减转矩负载特性的电动机	138
第四节 适合恒转矩负载的电动机	149
第五节 适合恒输出功率负载的电动机	159
第六章 调节直流电动机速度的节能方法	170
第一节 损耗计算和节能方法	170
第七章 调节交流电动机速度的节能方法	178
第一节 涡流联轴器的有效使用方法	178
第二节 调压变频调速装置及其有效使用方法	185
第三节 改变绕线型电动机转子电阻调速及其有效使用方法	194
第四节 调整转子励磁调速及其有效使用方法	205
第五节 可控硅电动机组及其有效使用方法	216

第七章 附录 电动机运转效率测试仪的使用方法	225
------------------------------	-----

第二篇 照明节能技术

第八章 照明和节能	232
第一节 照明节能概述	232
第二节 室内的舒适性和节能	240
第三节 照明与空调系统	250
第九章 节能荧光灯的效果及其使用方法	257
第一节 三菱节电型荧光灯及其使用方法	257
第二节 节电型、三波长发光型、U形荧光灯及其使用方法	263
第三节 快速起动节电型荧光灯及其使用方法	274
第十章 HID灯节能效果及使用方法	281
第一节 高效高压钠灯、金属卤化物灯及其使用方法	281
第二节 节能型放电灯及其使用方法	290
第三节 金属卤化物灯及其使用方法	298
第四节 高显色性高压钠灯及其使用方法	305
第十一章 节能型照明灯具的效果及使用方法	310
第一节 节能荧光灯镇流器及其使用方法	310
第二节 节能反射罩及有效使用方法	317
第十二章 照明设计的节能实践	324
第一节 最新调光器及其有效的使用方法	324
第二节 从节能角度考虑照度方法	332
第三节 选择光源的节能方法	339
第四节 有效利用新型照明灯具	347
第五节 照明控制装置及其使用方法	354
第十三章 改进照明设备的节能措施	363
第一节 从节能观点考虑的改进要点	363
第二节 换灯节能	373
第三节 改变电路节能	385
第四节 节电量推算方法	393
第十四章 节能照明设计实例	402
第一节 超级商店、百货商店的照明节能设计	402
第二节 工厂照明节能设计	415
第三节 道路照明节能设计	428
第四节 体育照明节能设计	434

第一篇 电动设备节能技术

第一章 总 论

电动设备节能原则

电是经过精炼的二次能源。目前的电力，主要是由水力或煤、石油等资源转化而成，转化效率很低。即使现代化火力发电厂的转化效率也只有40%，若把输电损耗考虑在内，则只有35%左右。与其他能源相比，可以说电是高价的贵重能源。油价上涨，电费也随之增加。但是就应用来说，与其他能源相比，电具有稳定、无公害、高效率、便于输送、便于控制、准确度高等优点。因此，电的使用范围很广，从家庭到采矿、动力、产热、化学、电子等工矿企业，需要电就如同需要空气和水一样重要。其中，在采矿和动力（汽车等除外）方面，电的应用独占鳌头，其用电量占总用电量的70~80%；在基础工业中，除电炉、电解用电外，在普通工厂的总用电量中，动力用电占70~80%；以电灯为主的商店或办公楼，因为最近用电采暖制冷，动力耗电也在50%以上。因此，电动设备的节能占电气节能的一大半。

1. 全面改进电动设备

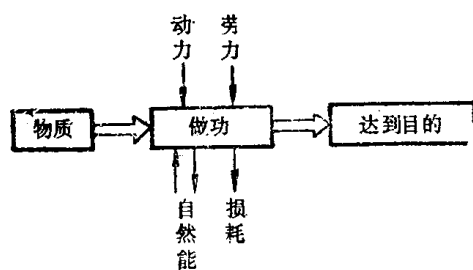
一提起电动设备，往往就会想到电动机，但电动设备不仅是电动机本身，而是以电动机作动力的全部机械设备，电动机只是设备的动力源。因此，改进电动设备，除改进电动机这重要的一项以外，还要改进整个设备，使之合理化。

电动设备包括的范围非常广泛，形式各种各样，难以一一说明。因此，可根据工作性质和目的不同进行分类，如表1-1所示。

表 1-1 电 动 设 备 分 类

工作名称	物 态	电 动 设 备
输 送	固 体	皮带机、吊车、卷扬机、提升机、自动电梯、装卸机等
	液 体	泵 等
	气 体	鼓风机、风扇、压缩机等
压 缩	固 体	压力机、锻压机、轧钢机、模具等
	液 体	泵 等
	气 体	压缩机、真空泵等
混 合	固 体	混合机等
	液 体	搅拌机等
	气 体	风 机 等
分 离	固、液 体	分离机、选分机
加 工	固 体	机床、轧钢机、成形机、卷扬机、纺纱机、纺织机、缝纫机等

电动设备的工作机理如图 1-1 所示。



如图 1-1 所示，物质由电动设备做功，即输送和加工。为了达到生产目的，投入的主要能量是动力（电气）和劳力，要尽可能地将劳力转换成动力（电气），以节省劳力。在做功过程中，还可加入各种形式的自然能（包括热、重力、气体等）。由于加入能量的方法不同，所得效果也不同。例如，有的将促进做功增加能的效率，也有的为达到做功目的还要加入

能量而减低能的效率，此外，还有加入的能量没有做功反而损耗掉的。损耗有下列几方面：

- (i) 电动机损耗；
- (ii) 动力传递损耗（打滑、摩擦等）；
- (iii) 多余做功损耗（过量、修正）；
- (iv) 控制损耗。

因此，电动设备的节能就是要减少损耗，而且要使包括自然能在内的能量有效地做功。

(1) 改进电动设备的重点

以上述内容为标准，改进电动设备的重点可举出下列几方面：

- (i) 关于省力和节能方面的劳力和动力的配置是否良好；
- (ii) 设备容量是否适合所需的工作量；
- (iii) 自然能是否有效地得到利用；
- (iv) 主要能量的动力源是否合适；
- (v) 控制损耗是否少；
- (vi) 动力传递方法是否合适。

为了达到做功目的，要对以上各条进行研究。

(2) 对各项目的看法

(a) 标准 对节能的研究不是笼统的，而应看其效果如何。为此，用数字表示节能的效果是很必要的。对于电动设备来说，电力输入是比较容易测定的，并可准确地进行计算，但还要把它转换成机械功。这种情况，做功量 J/s（焦/秒）可用 W（瓦）或 kW（千瓦）表示。图 1-1 中“达到目的”不是简单的机械做功量，而是要以各种不同的形式表现出来。因此，作为标准要求用单位用电量、电能成本进行比较是合适的，即

$$\text{单位用电量} = \frac{\text{总用电量}}{\text{生产量}}$$

$$\text{电能成本} = \text{单位用电量} \times \text{电能单价}$$

$$\text{电能单价} = \frac{\text{支付电费}}{\text{总用电量}}$$

(b) 关于省力和节能方面的动力和劳力配置 在机械工业发展以前, 做功都以劳力为主。特别是第二次世界大战后, 由于机械工业的迅速发展以及计算机的出现, 不仅减轻了体力劳动的强度, 而且在某种程度上也减轻了脑力劳动的强度, 出现了劳力向动力转化的省力化局面。由于用动力代替劳力可减轻劳动强度, 所以动力用量随之增加了。但适当地、正确地管理机械运转所需的劳力是必要的, 管理的好坏, 会使电动设备的能力和效率大不相同。

(c) 设备容量是否适合于工作量 设备容量不足, 产量马上会减小; 设备容量过大, 往往会造成意想不到的、巨大的浪费。设备过大, 效率低下; 若一部分设备容量过大, 总设备容量也要增大, 还会增加电能成本。

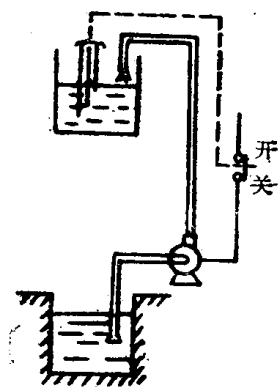


图 1-2 扬水装置

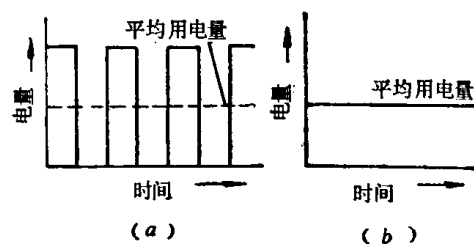


图 1-3 不同容量扬水装置的负载曲线

(a) 装置容量过大; (b) 装置容量合适

现以扬水泵为例。如图 1-2 所示, 过大的扬水装置A与正合适的扬水装置B, 用开关控制运转时的负载曲线如图 1-3 所示。此时, 做功量A、B一样, 平均用电量A和B也相同, 总用电量(平均用电量×时间)也不变。从而单位用电量也不变, 但最大用电量A是B的二倍, 而且供电电源设备也要增加一倍。由于设备费和电费增加, 提升每升水的电能成本将显著增加。实际上, 由于设备过大, 水泵与电动机的效率都下降了, 电源配线损耗和变压器的损耗增加, 从而提升每公斤水的单位用电量也增加, 电能成本(单位用电量×电能单价)随之增加。因此, 对于做功来说, 最合适的容量, 就是能维持一定的速度和一定的负载连续运转的容量。在工厂, 能维持正常生产的电动设备, 不仅仅能使单件设备运转, 而且能使许多设备互相连成整体进行作业。对全部生产设备来说, 研究各电动设备应取多大容量是很重要的。

(d) 自然能的有效利用 自然能, 即太阳能、风力、势能(落差)等。其中, 有的可以利用, 达到节能的目的; 但有的却会起反作用, 造成很大的能量损失。有效利用自然能与发生相反作用的自然能之间, 效果相差二倍。

例如, 势能(落差)为 $9.8 \times \text{质量} \times \text{高度}$ 。有效地利用势能, 即从高处向低处输送物体时, 几乎不需要动力, 如图 1-4 (a) 所示; 相反, 如图 1-4 (b) 所示, 当从低处向高处输送时, 则

$$\text{所需动力} = \text{输送动力} + \text{势能}$$

这是谁都明白的。但是, 因为这是司空见惯的事, 往往引不起注意, 不难设想这可能是节

能的一个方面。

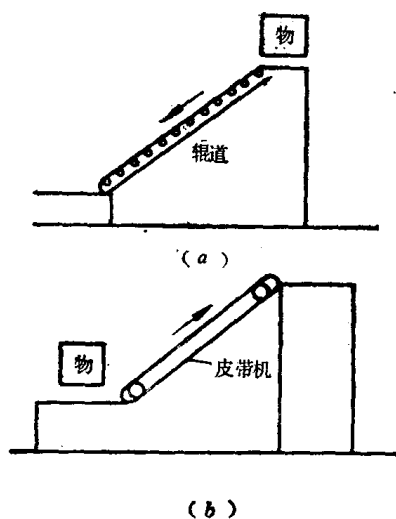


图 1-4 搬运物体时势能的影响
(a) 向下搬运; (b) 向上搬运

(e) 动力源的电动机是否适当 电动设备的主要动力源是电动机, 电动机种类很多, 各有各的特性。表 1-2 列出了电动机大致的分类。

关于选择的电动机是否合适, 可以从下列几方面考虑:

(i) 对于特定机械和作业特性是否是最合适的;

(ii) 容量是否适合于 60~100% 负载;

(iii) 转速是否适当;

(iv) 形式及安装方法是否合适;

(v) 动力传递方法, 负载控制是否适当。

在最佳状态下, 使用对特定作业最合适

表 1-2

电动机的种类和特性

电 源	种 类	形 式	特 性
直 流	直流电动机	永 磁 并 励 复 励	速度可在很大范围内调节 速度在一定范围内可调 具有上述两种特性
交 流	整流子电动机	以直流为准	以直流为准
	感应电动机	鼠 笼 型	速度一定, 几乎不可能变速
		绕 线 型	在某一范围内, 可由转子电阻调节速度
	同步电动机		恒速时, 速度准确

适的电动机是很重要的。

(f) 适当的控制方法 电动设备需要控制的情况有下列两种:

(i) 负载性质的变化, 常常需要改变速度时的控制;

(ii) 平常以一定速度运转, 由于负载状态的变化, 为了调整输出功率而进行的控制。

对于第 (i) 种情况, 可根据调速范围, 采用各种控制方法; 对于第 (ii) 种情况, 一般使用应用范围最广的三相感应电动机, 因为这种电动机速度一定, 变速困难, 所以常常在负载侧对负载进行调整, 这样往往把能量浪费在进行负载调整上。在这种场合, 如果进行的是最佳设计, 则第 (ii) 种控制就不需要了, 但实际上因下述理由, 一定要改变负载。

(i) 因生产变化使负载变化;

- (ii) 因气温、季节变化使负载变化;
- (iii) 因原材料变化使负载变化;
- (iv) 因时间分段使负载变化。

因此, 不改变负载是不可能的。从而, 对于在这种负载变化时输出功率的调整, 需要由负载变化的频度和变化量而定, 要尽可能考虑经济的调整方法。其次, 在负载侧进行调整时, 调整方式及存在的问题有如图 1-5 所示的几种。此外, 关于电动机的调速方法, 如表 1-3 所示。

(g) 动力传递方法的探讨 以电气为动力源的设备, 传递动力的方法有以下几种。

(i) 由皮带传递:

- ① 皮带因打滑、摩擦损耗多, 效率低;
- ② 改变皮带轮直径, 容易改变速度;
- ③ 负载急剧变化时, 因转差可缓和振动。

(ii) 直接连接: 电动机的旋转可直接传递出去, 效率高。

(iii) 电磁耦联: 能控制速度, 联接器大, 设备费高。

(iv) 齿轮连接:

- ① 电动机转矩可不变地传递, 冲击小;
- ② 改变齿轮可以改变速度。

(v) 离合器连接:

- ① 有转差损耗, 效率低;
- ② 由于转差可缓和冲击;
- ③ 动力可自由接脱。

(vi) 油压、气压传递:

① 因为把动力变成油压和气压传递, 需要转换装置;

- ② 在细小复杂的部分, 用软管传递比较容易;
- ③ 可用小型装置输出较大的转矩;
- ④ 有漏损, 要认真管理。

如上所述, 传递方法种类繁多、各有优缺点, 需要由最适合设备的方法传递。最近, 多用油压和气压传递动力, 其优点很多, 新开发的机种也多。但对改成油压、气压的理由, 以及其优点和转换损耗等要加以认真考虑, 这一点也很重要。

2. 制定改造设备的方针

以上从节能观点出发, 对改进电动设备和存在问题分别作了说明。接着, 应制定改造方针, 然后再进行改造。在这种情况下, 虽然找出了存在的问题, 但还要考虑从哪方面、采用什么方法进行改造等问题, 如:

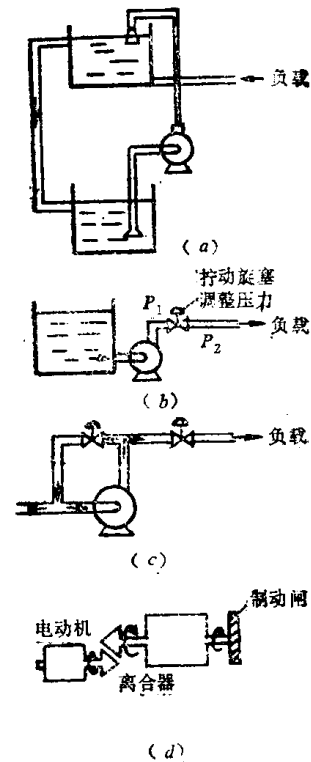


图 1-5 负载侧的调整方式及存在的问题

(a) 只有循环量考虑不进去; (b) 只有 $(P_1 - P_2) \times$ 负载流量(压力差)考虑不进去;
 (c) 只有循环量考虑不进去; (d) 只有用制动闸控制部分考虑不进去

表 1-3

电动机调速概要

电动机	调速方法	特 性
直流电动机	改变励磁电流调速	调速范围大
感应电动机	变极调速	分级调速
	变频调速	可进行细小的调速, 设备费贵
	差动调速	差动联接, 调速范围相当大, 联接损耗大, 设备费贵
	改变绕线型转子电阻调速	在10~20%范围内调节, 电阻损耗大
	谢菲尔毕斯调速方式*	根据绕线型转子电阻变化, 电阻损耗部分由电源回收
	克雷默调速方式**	根据绕线型转子电阻变化, 电阻损耗部分作为动力回收
	渥特—勒奥那多调速方式***	把交流变成直流调速, 能精确地调速

* 谢菲尔毕斯调速方式, 我国称为串级调速;

** 克雷默调速方式, 我国称为变流机组电机串级调速;

*** 渥特—勒奥那多 (Word—Leonard) 调速方式, 即发电机—电动机调速方式——译注。

(i) 由于需要设备投资, 预算上的问题;

(ii) 改造后, 效果确实提高了, 但还存在技术上的问题。

(iii) 不停产进行改造, 与何时进行的问题等。

对于这些问题的决定要有自信和勇气, 因此, 把存在的许多问题加以清理是必要的。清理问题之后, 确定改造方针的方法要从图1-6所示的纵横两个方向考虑。

· 纵向考虑 (参见图1-6)

原料→加工→成品, 循此程序确定目标, 制定方针。

【例】成品A的单位用电量降低10%。

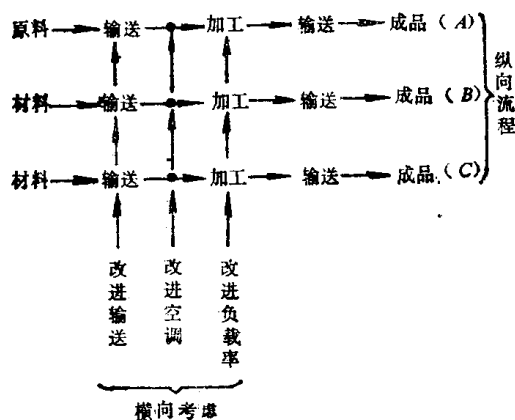


图 1-6 制定改造方针

· 横向考虑 (参见图1-6)

原料→加工→成品这种纵向流程, 有的几条集中在一个工厂中, 生产成品A、B等。

把这些纵向流程联系起来, 确定一个共同项目, 确立目标, 制定方针。

【例】如工厂空调用电量减小10%, 输送用电量减小10%等。

关于这种确定方法, 纵横方向各有长短, 随各企业的性质而异。

· 另外, 为使全部人员参加改造, 加快速度, 也可考虑纵横方向同时进行。

【例】横向改造, 由能源管理者负责; 纵向改造, 由制造部门负责等。

(1) 确定重点改造项目的方法

检修设备，可找出存在的许多问题，为了解决这些问题，应考虑如何进行改造。若要全部改造，就要考虑效果以及是否会半途而废。对存在的问题中，要确定这次改什么、进行到什么程度等问题，制定重点集中的目标，需要作出改造计划。关于确定重点的方法，可考虑以下几个方面。

(a) 要从现存问题最大的部分、生产上关键部分、认为效果较大的部分进行改造。这种场合，要从企业整体的目的出发，不能有任何差错，如果弄错了，就成为不符合要求的改造，也就成为没有效果的改造。

(b) 从容易着手的设备进行改造。虽然问题弄清楚了，但要进行改造，还需要设备投资，其结果能否取得投资效果，还有各种担心；另外，在技术上也要充分慎重的研究。因此，作出决定要有很大勇气，而且，过分考虑结果也会什么都决定不下来。如果从容易着手的设备开始，循序渐进地改造，再根据积累的经验还可提出下一步的改造措施，最后往往能达到预期的目的。

(c) 在研究经济效益的基础上，实施有效的改造计划。对于改造的效果，要研究需要多少改造资金，以及能在几年内回收投资效果，一定要进行有经济效益的改造。

在这种情况下，计算投资效果是很重要的。如果得不到效果，可以停止改造；若计划不能一次完成，就把目标放低一点，再次研究经济效益，直到能得到效益的时候再修改计划。因此，在这个范围实施计划是很重要的。

设备改造一旦完成，与新设置时相比，改造费用总是比较高的，然而，按当初想象的形式改造是相当困难的。但如果完成第一阶段后，再循序渐进地研究第二阶段的改造，最后往往能够实现当初的目标。

(2) 改造时间

改造项目决定后，就要计划何时进行改造。

关于改造时间可从长期和短期两方面考虑，考虑内容如下：

(i) 长期考虑：

- ① 损耗量和改造效果的大小；
- ② 设备使用年限和折旧年限；
- ③ 生产情况；
- ④ 年投资预算的估算。

(ii) 短期考虑：

- ① 工厂作业情况和改造停机时间；
- ② 季节变化；
- ③ 机器交付期。

下面对上述各项作如下说明。

(a) 损耗量与改造效果的大小。每天每小时都会发生损耗，其量很大。每天都有巨额资金的东西损耗掉，希望能早一天采取改变这种状态取得巨大效果的措施。如果投资金额和利息能在一年内回收，就应该尽快进行改造。

(b) 设备使用年限和折旧年限。设备都是有寿命的，使用一定时间后，效率也会下

降, 若用图表示, 就如图1-7 (a) 所示。假定设备的使用寿命为10年, 10年后当然要更

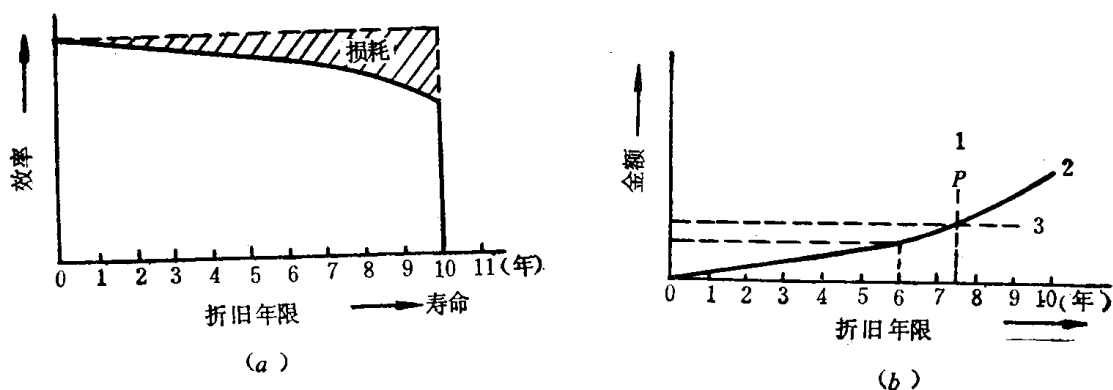


图 1-7 设备改造的时间

(a) 设备效率与折旧年限的关系; (b) 损失的金额与折旧年限的关系
1—改造时间 P ; 2—由于效率下降造成的损耗; 3—改造时, 一年的费用

新, 这10年是设备改造的最长时期; 此外, 由于损耗, 损失的金额随效率降低而增大, 如图1-7 (b) 的曲线所示。另一方面, 设备改造的每年费用 (设备投资金额的折旧费+投资金额的利息-改造效果的效益), 如图1-7 (b) 的虚线所示。因此, 若现有设备效率下降的损耗金额, 大于设备改造每年费用, 则在这时进行改造设备费用小, 这是有利的; 改造设备时间就是图1-7 (b) 的损耗曲线和改造费用曲线的交点, 即图中 P 点。只要改造效果大, 设备改造费用就小, 其交点就越短。

(c) 生产情况 从长期生产设想来看, 假定设备能力不足, 就需要增加设备能力, 增加设备的时刻就是改造时间。常有这样的例子, 由于改造设备, 增大了设备能力, 因此, 就不需要增加设备了。

(d) 每年投资预算的估算 任何企业设备投资所需的费用, 不是没有限制的。因此, 要根据企业年度预算的多少, 估计能在哪些方面进行改造, 确定轻重缓急, 有必要逐年依次按计划进行。

以上是从长期考虑的。其次, 对于在年预定计划中, 应确定今年哪些设备需要改造, 以及什么时候进行改造, 并应对一年的短期改造想法加以说明。

(e) 工厂作业情况和停产改造时间 工厂是靠经常运转而提高生产的, 停止作业, 损失是非常大的。例如, 每月产值为 P 的工厂, 如果停产1天, 就损失 $P/30$ 。此外, 停产期间的耗费加上劳务费、日常经费等, 损失就更大, 这些就成为改造所需的费用。因此, 要尽可能减小损失, 仔细研究年生产计划, 并进行定期检查。另外, 还要调查作业区的停产时间, 充分研究符合计划步调的改造项目、交付日期和改造程序等。

(f) 季节变化 例如对制冷设备的改造, 如果在制冷期结束的9月进行, 此设备在来年7月使用。因此, 在使用前9个月改造完了, 改造效果要到来年7月才能表现出来。这样, 9个月的投资就白白浪费掉了, 设备投资偿还费和利息 (即成本) 提高了, 改造的效果就减小了。所以, 在即将使用之前, 尽可能实施改造计划也是很重要的。

(g) 机器交付日期 设备改造时，改造设备所需的机器，有的进货时间要花一年以上。为此，对何时进行工程改造、在何时订货以及何时完成设计等，需要作出完成改造目标的周密的进度表，并使之符合改造进度的计划。

以上是关于改造时间的说明，但改造最佳时间是新建或增加设备的时候。因为旧设备改造花费大，即使有相当大的改造效果，经济上也不合算。而新建和增加设备是从零开始，怎么改造都行，只要不失去改造时机就能实现设备合理化。但若到了改造时机，再急急忙忙筹划，即使好方案也不易实现，因此，要经常掌握问题的发展，有意识地进行研究是很重要的。

3. 设备改造的经济效益研究

改造方案出来后，应进行经济核算，作为决定改造意向的资料。其最简单的方法是计算 n 年能回收改造的费用，可用式子表示为

$$\text{工程费回收期} = \frac{\text{改造投资金额}}{\text{改造后1个月的收益}}$$

更详细的研究如下：

(1) 改造效果

改造后减小的电费 $[\text{kWh} \times c(\text{电费单价})]$

改造后增产金额

改造后减小的劳务费

(+)其他效果换算金额

改造效果 合计(日元/1年)

(2) 改造的投资金额

直接改造的设备投资额

(+)改造时停产损失

改造所需的投资总额

(3) 改造工程增加的年费用

$$\text{改造工程折旧费} = \frac{\text{改造工程投资金额}}{\text{折旧年限(约10年)}}$$

利息 = 投资金额 $\times$ 利率(约0.1)

修理费 = 投资金额 $\times$ 利率(约0.1)

(+)附加税 = 投资金额 $\times$ 税率(约0.1)

改造工程增加的总经费

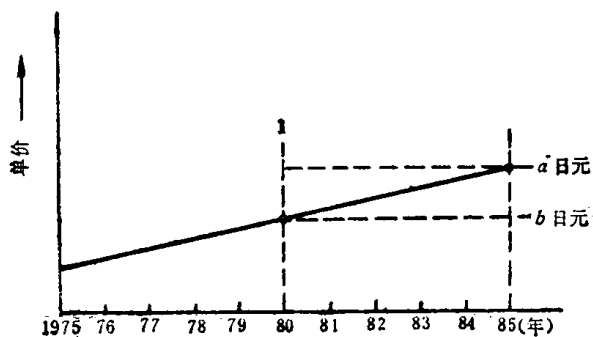
(4) 改造效益(日元/年)

改造效益(日元/年) = 改造效果(日元/年) - 改造工程增加的经费

(5) 改造工程实施的起点

改造效果 $\geq$ 改造工程用经费增加额

(6) 计算改造效果用的电能和石油等单价决定方法



$$\text{平均估计单价} = \frac{a - b}{2} \text{ 日元}$$

图 1-8 平均估计单价
1—现在单价

近年来，石油和电能单价逐年上涨。在这种情况下，用现在的单价也行，但为了更精确的计算，可延长过去单价上升曲线，算出估计单价，就比较精确（参见图 1-8）。

以上介绍了电动设备节能的想法和进行节能的方法，但很不全面。由于考虑方法不同，也会有各种不同的意见，很可能有独创之嫌，但是笔者只陈述自己的看法，仅供参考。

第二章 节能方法的研究

第一节 采用节电型电动机的研究

作为动力源的电动机，从家用电器到钢铁、汽车、化学、造纸以及生产上下水道设备等工矿企业中使用得非常广泛，将来会使用得更广泛。

电是由水力、石油、煤炭、铀等能源（一次能源）转变而成的二次能源，约占能源总需要量的30%。特别是在维持日本繁荣的电动设备上应用的电动机耗电量，约占产业部门耗电量的60%。因此，合理用电是企业经营上对付电费上涨及供电不稳定局面的非常重要的措施。本节论述在计划、设计电动设备时使用的节电型电动机，供将来从事节电工作的人员参考。

1. 节电要点

电动设备节电的具体做法有以下几方面：

- (i) 采用高效机器减小耗电量；
- (ii) 改进控制方式，提高运转效率；
- (iii) 提高功率因数，节省电费；
- (iv) 改变驱动容量，达到最佳运转状态；
- (v) 防止空转，减小不必要的耗电量；
- (vi) 改善动力传递方式，提高运转效率。

应对以上这些方面进行综合分析研究，决定实施方法。关于 (iii) ~ (v) 项，往往要由各用户充分研究后实施。

在 (i) 项中，就电动机来说，与标准电动机相比，效率高的电动机就相当于节电型电动机。(ii) 项指电动机变速运转，有改变定子频率调速（例如，东芝小型晶体管逆变

器VFPAK)、调节定子电压调速等等方法。

2. 感应电动机的损耗

图2-1示出感应电动机的构造。由电源供给的电能一部分变成热能消耗在电动机内部。这种不能作为电动机输出功率的能量叫做损耗。损耗越大,电动机温度上升越高,这不仅缩短了绝缘寿命,还浪费了电能。

输入功率和输出功率之比称为电动机的效率,可用下式表示,即

$$\text{效率} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} \times 100 = \frac{\text{输出功率}}{\text{输出功率} + \text{损耗}} \times 100 (\%) \quad (2-1)$$

此式表示电动机把电能变成机械能的有效程度。

由式(2-1)可见,要提高效率、力求节电,应尽可能地减小损耗。电动机内部产生哪些损耗,现分述如下。

(1) 损耗的种类

(a) 固定损耗 指铁损和机械损耗,与负载大小无关,可以看作是固定损耗;即使空载(例如空转)时,也有这种损耗。

(b) 负载损耗 是随负载大小而变的,是电动机输入电流在其导体内产生的损耗。其中,有定子电阻损耗(定子铜损)和转子电阻损耗(转子铜损)。

(c) 杂散负载损耗 指负载时,导体(定子绕组、转子绕组)和铁芯产生的损耗,不包括在负载损耗内。

(2) 损耗组成

(a) 铁损(W_i) 指电动机的定子铁芯及转子铁芯内产生的损耗,即铁损由磁滞损耗(W_h)和涡流损耗(W_e)造成,可由下式表示为

$$W_i = W_h + W_e = k_1 f B^{1.6} + k_2 (t f B)^2 \quad (\text{W/kg}) \quad (2-2)$$

式中 f ——电源频率(Hz);

B ——磁通密度(T);

t ——铁芯材料薄片厚度(mm);

k_1 、 k_2 ——常数。

由上式可知,铁损是由与磁通密度的二次方成比例的磁滞损耗以及与磁通密度的1.6次方成比例的涡流损耗产生的。而磁滞损耗与频率成正比,涡流损耗与频率和铁芯材料薄片厚度的二次方成比例。

(b) 机械损耗(W_f) 指轴承的摩擦损耗和冷却风扇、转子等旋转时产生的风损等的总和。一般来说,摩擦损耗与旋转速度成正比,风损与旋转速度的三次方和旋转体标

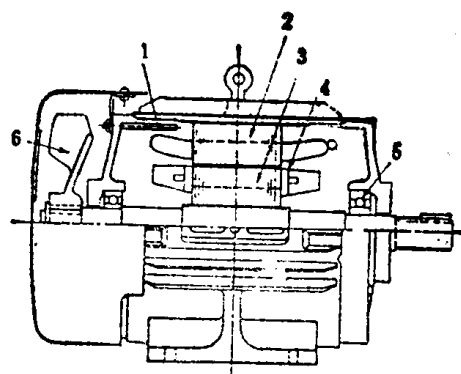


图 2-1 感应电动机的损耗

1—定子导体(定子铜损); 2—定子铁芯(铁损);
3—转子铁芯(铁损); 4—转子导体(转子铜损);
5—轴承(机械损); 6—冷却风扇(机械损)