

# 工业节能技术

GONGYE JIE-NENG JISHU

广东省科学技术情报研究所编

# 前 言

能源是一切生产活动、国防活动和人民生活的重要物质基础。能源的每一次转换（如二十世纪五十年代以消耗煤炭为主转向消耗石油和天然气为主）和能源科学技术的每一次重大突破（如十八世纪以来能源科学技术的三大突破：蒸汽机、电力和原子能的发明），都带来了经济的大发展。但随着能源消耗量的迅速增长（1750年到1850年全世界平均每年只消耗1亿多吨标准煤的能量，1850~1950年全世界平均每年消耗14.4亿标准煤的能量，1978年全世界一年就消耗94亿吨标准煤的能量，今后大概平均每十五年能源消耗量要翻一番），作为目前主要能源的石油、天然气等矿物能源，储量有限，终究要枯竭的。当前全世界每年的石油消耗量已大于每年的新发现量，据估计1990年前后全世界石油产量将达到顶峰，2000年前后石油产量将逐步下降，到2000年将耗完石油探明储量的87%，天然气探明储量的73%。而能量巨大的太阳能、地热能、海洋能、核聚变能等新能源的大规模开发利用，那是二十一世纪的事情。因此各国对节能工作都很重视，把节约能源称为煤、石油、天然气、原子能之后的第五种能源资源。

我国能源远景储量丰富，但已探明的可采储量并不乐观。目前我国能源的开采量已占世界第四位，总能耗量占第三位，仅次于美、苏，已高于日本，但日本的国民生产总值比我国高三倍。1978年我国总能耗约为6亿吨标准煤的能量（不包括农村用的生物能源），但有效利用率很低，仅有28%，72%即4.3亿吨标准煤的能量被当作废液、废气、废渣排入大地、空气和河流、海洋，既浪费了能源又严重污染了环境。目前日本的能源有效利用率已超过50%，但仍计划到1985年把能源有效利用率提高10.8%，1990年提高13.5%（与1973年比）。由此可见，我国节能潜力是很大的。

根据报道，国外节能工作大致分三步走，一是加强能源管理、杜绝浪费和小改小革；二是改造或淘汰能耗高的老设备、旧工艺，采用能耗低的新设备、新工艺、新材料；三是建立节能型企业。目前一些经济发达国家已进入第二步。

根据我国能源资源、经济力量和开发技术水平，近期内我国能源生产只能略有增加，这个期间我国能源工作的方针是开发和节约并重，并把节约能源工作放在优先地位。为配合节能工作的开展，特组织编译本专辑，着重介绍一些日刊刊载的新技术新设备。主要内容有各种电动机的节能运转、铸造、钢铁、水泥、陶瓷、化工等行业的节能措施，复合发电技术、新的照明器具、余热利用以及重油渗水乳化燃料的制备等。但由于水平所限，有错误之处，希望读者批评指正。

72  
107  
C.2

# 目 录

前 言 *26509/20* ( 1 )

余热利用..... ( 1 )

交流电动机的省能运转..... ( 6 )

直流电动机的节能运转..... ( 15 )

专用电动机的使用与节能..... ( 28 )

电动机与运转方式..... ( 43 )

铸造造型的节能问题..... ( 49 )

铸造工厂熔炼过程的节能动向..... ( 53 )

喷射熔炉的省能实例..... ( 58 )

感应炉的节能措施..... ( 64 )

铸钢电弧炉的节能..... ( 69 )

钢铁企业的节能措施..... ( 73 )

高炉炉顶压发电简况..... ( 80 )

乙烯设备的节能措施..... ( 82 )

水泥工业的节能措施..... ( 88 )

陶瓷工业的节能措施..... ( 94 )

采用新的拉默斯 ( Lummus ) 氨合成法的节能..... ( 96 )

省电式灯泡..... ( 97 )

省电式电子镇流器与新的照明器具..... ( 102 )

从节能看复合循环发电..... ( 105 )

重油渗水乳化燃料的制备..... ( 118 )

# 余热利用

1975年日本能源消耗总数折算成石油达3.9亿千升，其中24%用于发电、57%用于钢铁、化工等工矿企业。然而占总能耗48%的能源是作为废热而排放到大气、河川和大海的。只是工矿部门所排放的废热，就相当于日本国产石油、煤、木炭所能提供的能量的二倍。因此，有效地回收利用这些废热，在资源有限、能源价格昂贵的时代是非常必要的，是促进节能化的关键。

但是，所谓余热本来就是一种质量低的、有效地回收利用困难的热源。因此为了有效地利用余热，在技术上，经济上或社会上、制度上都有许多问题需要解决。下面简单介绍余热利用及其技术开发的现状和日本工业技术院进行的《余热利用技术装置》的研究开发。

## 一、余热及其利用方法

余热通常是以固体、流体和气体显热的形式放出来的，其温度范围从液化天然气的 $-150^{\circ}\text{C}$ 潜热到高炉炉渣的 $1400^{\circ}\text{C}$ 高温显热。其形态是多种多样的（如表1）。

表1 余热的热量和余热的有效能量

	余热热量	余热的有效能量
燃烧废气	16.3%	56.8%
冷却水	76.3%	22.7%
其他（固体显热等）	7.4%	20.5%
	100%	100%

1975年大阪科学技术中心对关西地区的工厂余热进行了实际调查，调查报告称：大部分余热是以低质的低温冷却水的形式放出来的，余热的有效能量不超过7%。

产业不同所产生的余热的数量和形态也不同，电力工业余热最多，其次是钢铁工业。电力工业的大部分余热是以 $35^{\circ}\text{C}$ 以下的低质低温冷却水的形式放出来的，相反，钢铁工业比较多的是 $250^{\circ}\text{C}$ 以上的高温排气或 $35^{\circ}\text{C}$ 以上的高温冷却水等有利用价值的余热。

在广义上作为余热的利用方法，有热电联合生产、复合循环发电等多阶段、多目的热利用方法。

作为余热的具体利用方法，对于比较高温的余热，用热交换器、废热锅炉、空气预

热器等进行余热回收。对于钢铁工业，用高炉炉顶压透平回收高压能，用干法熄焦回收炼焦炉的余热。各产业部门的各种特有技术都在开发之中。

今后应力求使用过去不怎么被利用的 250℃ 以下的低温废气和 50℃ 左右的低温冷却水等比较低温的余热。因此，必须研究开发能够经济地回收低温余热的热管和用热管的高效率热交换器，以及从低温余热得到高温热水的热泵等各种余热回收利用技术。

此外，还研究利用低温冷却水加热土壤和养殖鱼贝类水产产品，有些已研究成功，用于生产。

图 1 概括表示正在考虑的各种余热回收利用方法。

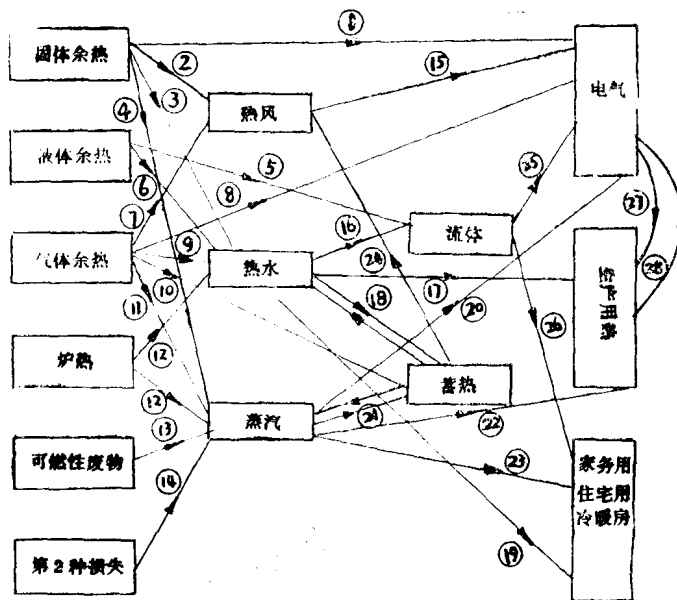


图 1 余热回收利用方法

注：

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| ①直接发电塞贝克（温差电动势）效应  | ⑮燃气轮机            |
| ②固体气体热交换 焦炭的干燥焯冷   | ⑯温水流体热交换         |
| ③固体液体热交换 制品的水冷     | ⑰染色、电镀、洗布等       |
| ④固体、蒸汽，热辐射传热，溶渣热回收 | ⑱定压式储能器          |
| ⑤液体、流体热交换          | ⑲温水暖房            |
| ⑥液体、液体热交换，排液的热回收   | ⑳蒸汽轮机发电          |
| ⑦气体、气体热交换，空气加热     | ㉑变压式储能器          |
| ⑧燃气轮机，斯特林发动机       | ㉒蒸汽浓缩、混炼、蒸煮      |
| ⑨废热温水器（热水器）        | ㉓蒸汽式冷暖房          |
| ⑩在格子砖、熔融金属中蓄热      | ㉔蓄热式空气加热         |
| ⑪废热蒸汽锅炉            | ㉕流体轮机发电          |
| ⑫炉体、运物小车等的冷却热回收    | ㉖热泵              |
| ⑬尘芥燃烧炉附属锅炉         | ㉗电气加热、感应加热、电介质加热 |
| ⑭热联合发电、锅炉的高压化      | ㉘电气暖房热泵、冷却器      |

## 二、废热利用现状

日本已实现的余热利用实例，多是利用焚烧垃圾的余热。如札幌市厚别副都心、大阪市森之宫住宅区利用焚烧垃圾的热量获得蒸汽用于暖房，在大阪市和东京都的八个清洁工场利用垃圾焚烧发电，并把电力供给电力公司。

利用工厂废热供热的实例有日本化成公司的小名浜工厂，利用余热一年向小名浜市街道提供 $260000\text{米}^3 55^\circ\text{C}$ 的热水（1975年），每 $\text{米}^3 290$ 日元。以区域供热为目的热电联合生产的实例有神户市东部食品联合企业和鹿岛（南、北）共同发电厂等。

利用余热进行区域供热的主要障碍是余热源和热需要的平衡问题，热回收、贮藏和输送技术尚待开发，供热方的供给责任，系统的研究和经济性等，今后需解决的问题还多。

关于产业本身利用余热的问题，许多行业正在普遍使用蓄热器和余热锅炉。

钢铁工业是占日本总能耗17%左右的有代表性的大能耗企业。但由于积极地进行技术革新，单位能耗（粗钢吨当量）年年在减少，在余热回收方面也在不断地努力进行。

表2表示现在钢铁工业所使用的各种余热回收装置。

钢铁工业现在可望回收余热的30%，相当于纯能量使用量的14%，今后将进一步推进节能化。

其他的实用例有仙台火电厂利用温排水养殖鲍鱼，东京电力公司北新桥变电所利用变压器余热进行空调等。国外利用余热供热发电的例子也很多。

利用液化天然气潜热的实例有东京液化氧气公司用空气液化分离制造液化氧气，日本超低温公司用于低温仓库，今后还将进一步加以利用。

## 三、工业技术院「余热利用技术装置」的研究开发

通商产业省工业技术院以有效地回收钢铁工业等排出的余热，对其工厂周围的企业、人民生活等能够有效地综合利用的系统作为开发的目标，现在作为大型项目的「余热利用技术装置」正在研究开发。该项目作为明年以后的节能技术研究开发制度（光月计划）的一环，将更进一步加以研究开发。

该项目的目标是研究热回收、热交换、热输送、热贮藏等各种关键技术，同时研究、设计综合利用这些技术的全系统。

### 1. 热回收、热交换技术

#### （1）低温用热管的研究开发

为了从温度比较低（ $30\sim 60^\circ\text{C}$ ）而容量很大的余热源有效地回收热能，研究开发不带油绳等复杂内部机构的高性能热管。

#### （2）高温气体用的热交换器的研究开发

为了从高温（ $600\sim 800^\circ\text{C}$ ）排气中有效地回收热能，研究开发不仅能够回收对流传热而且也能回收辐射传热的高温气体用的热交换器。

表2

钢铁工业已有的废热回收装置

回收对象	回收装置	设备对象	废能温度		回收能源
			装置入口	出口	
燃烧排气	① 同流换热器	热风炉	250	160	燃烧用空气的预热
		均热炉	850~1200	400~600	
		加热炉	800~1000	400~550	
		热处理炉	700~800	400~450	
的显热	② 蓄热室 ③ 余热锅炉 ④ 排气喷流预热装置	锅炉	250~300	150~200	燃烧排气的再预热 燃烧用空气及燃料的预热
		烧结工厂	160~400	120~180	
		炼焦炉	1000	200	
		加热炉	450~500	350~400	
		加热炉	500~550	400~450	钢材的预热
付产气体	⑤ BFG回收 ⑥ COG回收 ⑦ LDG回收 ⑧ 转炉废热锅炉 ⑨ 转炉气回收—气体冷却锅炉	高炉	160	BFG	BFG COG LDG 蒸汽 LDG蒸汽
		焦炉	750	常温	
		转炉	1600		
		转炉	1600	150~200	
		转炉	1600	常温	
焦炭 烧结炉 条(圆)形团矿 红热板坯	⑩ 焦炭干式灭火设备(C·D·Q) ⑪ 成品冷却热风利用 ⑫ 成品冷却热风利用 ⑬ 板坯冷却锅炉	焦烧	1000~1050	150~200	蒸汽 燃烧用空气预热、烧结排气的再 预热 燃烧用空气的预热、原料预热 蒸汽
		烧结工厂	450	常温	
		条(圆)形团矿工厂	1000	常温	
		开坯工厂	1000~1050	500	
BFG	⑭ 高炉炉顶发电	高炉			电力

### (3) 工业炉热回收技术的研究开发

为了有效地回收从工业炉中放出来的余热(300~1200℃), 研究开发用高温热介质的自动循环式热回收装置。

### (4) 用压缩式热泵的热回收技术的研究开发

为了从比较低温(30~60℃)的温排水中回收热能, 得到100℃以上的水, 研究开发高温用螺旋压缩器、新式蒸发器、冷凝器等, 以及热泵的主要部件, 同时研究把这些装置组合起来的高性能高温用压缩式热泵。

### (5) 用吸收式热泵的热回收技术的研究开发

研究从低温排水(30~60℃)和比较低温的排气(150~300℃)中, 有效地获得80℃左右的热水或-15℃左右的冰、冰水等可以两用的吸收式热泵。

### (6) 从含有腐蚀性气体的排气中回收热能的热交换技术的研究开发

研究从含有SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>等腐蚀性气体的排气中有效地回收热能, 同时研究具有蓄热机能的高性能热管式热交换器。

### (7) 高效率小型回转式热交换器的研究开发

为了使热交换器高效小型化, 研究利用热管的回转式低温排气(150~300℃)用的热交换器。

### (8) 研究用于式灭火法回收焦炭固体显热的技术

为了回收难于进行热回收的高温赤热焦炭(约1000℃)的显热, 研究用惰性气体的环形炉栅型干式灭火法, 有效地连续地回收焦炭的固体显热的技术。

### (9) 直接接触法热回收技术的研究开发

研究开发把比较高温(60—90℃)的热排水等和低沸点工质直接接触, 得到可用作动力源的高压气体的技术。

### (10) 利用废热的高压气体发生技术的研究开发

为了从比较低温(150~300℃)的排气中有效地回收热能, 研究用中间热介质进行热回收, 把热介质和低沸点工质直接接触, 得到可用作动力的高压气体, 进行发电的技术。

## 2. 热输送、热贮藏技术

### (1) 利用化学能等的热贮藏技术的研究开发

研究开发用金属氢化物等, 回收并贮藏余热, 同时能够把该热能随时取出使用的技术。

### (2) 利用化学能等的热输送技术的研究开发

研究金属氢化物、粉体等传热物质的特性, 同时研究利用加热炉等的余热(300~1200℃)形成二相流体的热虹吸管热水输送技术。

### (3) 全系统的研究开发

对上述各种主要技术进行评价, 把回收的余热有效地用于工厂周围的企业和人民生活的全系统进行概念设计。

该研究项目从1976年开始, 时间为四年。总经费约30亿日元。

杨家琪取自日《电气评论》78.63(3) 289—293



# 交流电动机的省能运转

在改善交流电动机的驱动方法以图省能方面，主要研究下列二种方法。

1. 把定速运转电机改为变速运转电机。

2. 使用比过去所使用的变速电机效率更高的变速电机。作为省能的驱动方法，变速电动机的使用已成基准。本文概述了电动机转速控制方式、选择、省能效果以及随着转速控制所产生的问题。

## 一、交流电动机有代表性的转速控制方式

交流电动机的转速控制方式，从省能的观点看可实用化的如表 1，下面对各种方式加予简单的说明。

—鼠笼式感应电动机—	— 一次频率控制 (VVVF)
	— 涡电流接头控制
	— 流体接头控制
—线绕式感应电动机—	— 二次阻抗控制
	— 二次励磁控制 (静止谢菲尔毕斯装置)
	— 二次励磁控制 (超同步谢菲尔毕斯装置)
—同 步 电 动 机—	— 一次频率控制 (VVVF)
	— 无整流子电动机 (可控硅电动机)

### 1. 鼠笼式感应电动机的一次频率控制

这是用调压调频变流器或循环变流器改变附加于鼠笼式感应电动机的电压和频率来控制转速的方式。电压与频率之比控制在大体一定的值，用VVVF还能控制线绕式感应电动机或同步电动机。作为VVVF有电压形和电流形。(图 1 a)

### 2. 涡电流接头控制

把涡电流接头直接连接于鼠笼式感应电动机，通过控制涡电流接头的励磁电流，控制传动转矩来控制负荷的转速。接头内产生转差率损失。(图 1 b)

### 3. 流体接头控制

这是把鼠笼式感应电动机和流体接头组合起来，通过控制传动转矩来控制转速。流体接头的基本构造是把驱动轴转子和被驱动轴的油槽相对地配置，其内部充入流体

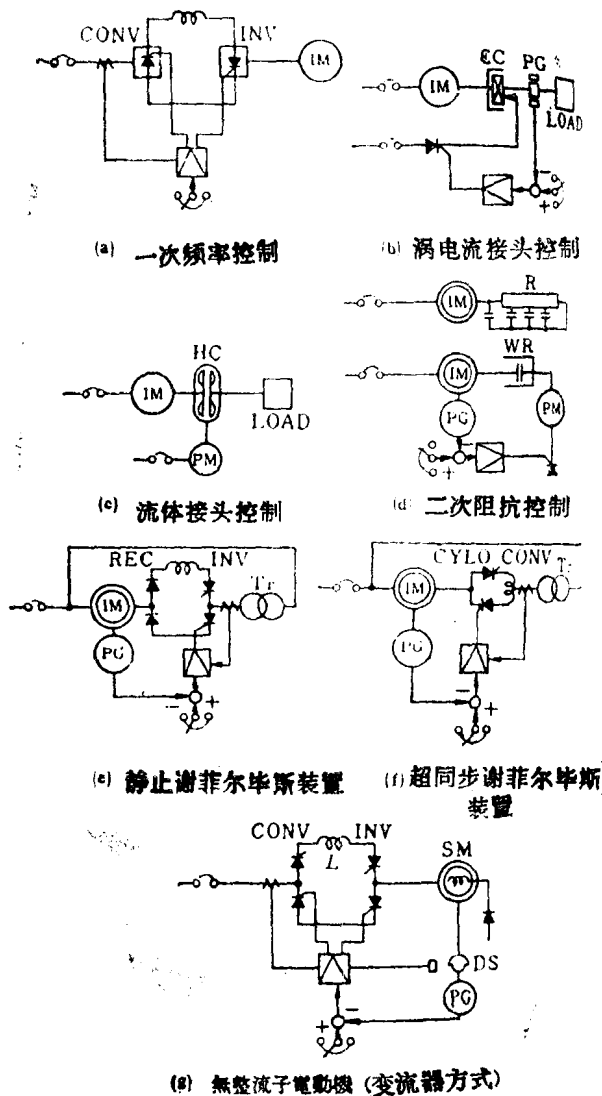


图 1

(油)。一旦把驱动轴的动力变为流体的速度能后，把动力传给被驱动轴。用抄取管加减油量，可以控制传动转矩。这种方式也产生转差率损失。(图 1 c)

#### 4. 二次阻抗控制

调节线绕式感应电动机的二次电阻，由比例推移特性代替转矩特性来进行转速控制。在二次阻抗器内产生转差率损失。作为二次阻抗器，使用金属阻抗器或液体阻抗器。(图 1 d)

#### 5. 二次励磁控制

二次励磁控制有把线绕式感应电动机的二次转差率电功率变为机械能作为轴出力利用的方式(克雷默方式)和作为电能返回电源的方式(谢菲尔毕斯方式)，但多数使用

谢菲尔毕斯方式。谢菲尔毕斯方式有静止谢菲尔毕斯方式和超同步谢菲尔毕斯方式二种。静止谢菲尔毕斯方式是把二次转差率电力整流成直流电，由他励变流器返回电源。转速控制是由他励变流器的可控硅点弧相位控制改变变流器的直流电压也就是二次励磁电压来控制二次电流，从而改变所产生的转矩来进行的。（图1e）

超同步谢菲尔毕斯方式在原理上和静止谢菲尔毕斯方式相同，但作为二次励磁装置，由于使用可逆电力变换装置（例如循环变流器），使线绕式感应电动机在同步速度左右连续控制转速。（图1f）

### 6. 同步电动机的一次频率控制

参照二（1）。

### 7. 无整流子电动机（可控硅电动机）

在同步电动机上附有检测转子磁极位置的配电器，由配电器信号控制变流器或循环变流器的频率。配电器使直流电动机的整流子工作，转速控制与直流电动机的渥特——勒奥那多控制一样，是通过电枢电压来进行的，有直流式（变流器式）和交流式（循环变流器）二种（图1g）。

## 三、转速控制方式及其特征比较

在第二节中简单叙述了交流电动机有代表性的转速控制方式，从省能的观点比较各方式时，必须兼顾运行电费（运行成本）和设备费（最初投资）。

### 1. 运行电费的比较

若把运行电费用所谓的综合效率来比较，那么，由于容量、转速不同，综合效率也有些差异，但大体上可区分以下：

（1）产生转差率损失，转速越来越低，效率极端下降的方式：

（a）涡电流接头方式

（b）流体接头方式

（c）二次阻抗控制方式

这些方式的转差率损失（ $P_1$ ）是：

在负荷转矩和转速的二次方成比例の場合（转矩自乘负荷）。

$$P_1 \approx P_0 (1 - S)^2 \cdot S = P_0 \cdot n^2 \cdot (1 - n)$$

在负荷转矩一定、与转速无关の場合（定转矩负荷）。

$$P_1 \approx P_0 \cdot S = P_0 \cdot (1 - n)$$

$P_0$ ：额定功率  $S$ ：转差率（ $P$ 、 $u$ ）  $n$ ：转速

综合效率、损失、输入、出力特性以图2图3图4图5所示。

（2）连续控制全转速的效果良好的方式：

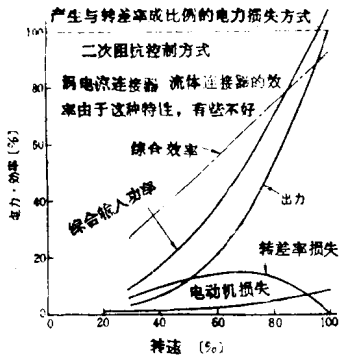
（a）一次频率控制方式

（b）二次励磁控制方式

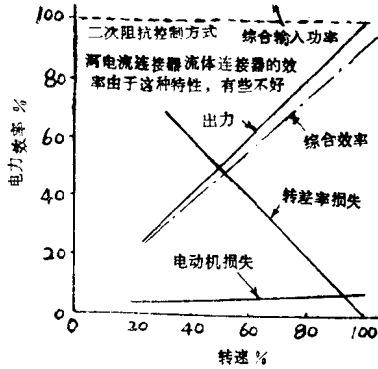
（c）无整流子电动机

这些方式在原理上不产生损失，综合输入功率和轴出力成正比。

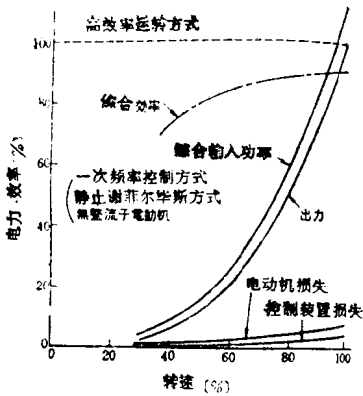
产生与转差率成比例的电力损失方式



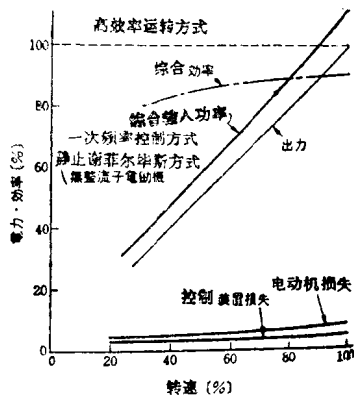
图二、转矩自乘负荷的特性



图三、定转矩负荷的特性



图四、转矩自乘负荷的特性



图五、定转矩负荷的特性

## 2. 设备费用的比较

### (1) 初投资和运行成本

一般效率差的装置初投资费用少，但运行成本高。相反，效率良好的装置初投资费用高，运行成本比较便宜。

若只从省能考虑，当然应该采用效率高的装置，但考虑到设备预算，有必要进行充分的研究。

### (2) 转速控制范围和控制装置的成本

控制装置的容量（价格）有根据电动机额定功率的大小来决定的方式和电机额定功率的大小加上转速控制范围来决定的方式。

#### ① 控制装置的价格只由电机额定功率的大小来决定的方式

(a) 一次频率控制

(b) 无整流子电动机

若要达到100%的转速控制，就要有与电动机额定容量相适应的可控硅变换装置。但鼓风机、泵等转矩自乘的负荷，装置容量与转速的三次方成比例地减少，只是在低速

范围进行控制才是经济的（参照四—2）。

②转速控制范围对控制装置价格影响大的方式。

- (a) 二次励磁控制方式
- (b) 涡电流接头方式
- (c) 流体接头方式
- (d) 二次阻抗控制方式

若以二次励磁控制方式的静止谢菲尔毕斯装置为例，二次可控硅变换装置的容量（KVA）是：

$$KVA \propto S_{max} \cdot Kw_0$$

$S_{max}$ ：转速控制范围的最大转差率

$Kw_0$ ：电动机额定功率

所以，静止谢菲尔毕斯装置的转速控制范围以高速用途为经济。通常在50~100%转速范围内控制才能发挥其特长。超同步谢菲尔毕斯装置，因为在同步速度左右运转，变换装置容量约为静止谢菲尔毕斯装置的1/2为好，但因为使用循环变流器，容量越低越不便宜。这种方式在30~100%的宽广转速范围内进行控制是特别有效的。

涡电流接头、流体接头，二次阻抗控制的场合，装置容量随负荷转矩的不同而不同。转矩自乘负荷，在装置内产生的转差率损失最大，转差率在33%时，将产生15%左右的额定功率损失，所以这些装置要使用适应于该损失的有冷却能力的设备。

额定转矩负荷的场合，在装置内产生的转差率损失和转差率成比例，在最低速度点损失最大，因此，控制装置要具有能够处理在最大转差率点所产生的损失的容量。

#### 四、把定速运转改为变速运转以省能

过去鼓风机、泵等多采用定速交流电动机，用气闸或阀门来控制而得到所需的风量、流量。但这种控制能量损失大，从省能的观点看，用转速控制风量、流量被引起重视。

以鼓风机的转速控制为例，风量（Q）、风压（H）、转速（N）、轴功率（P）之间有如下关系

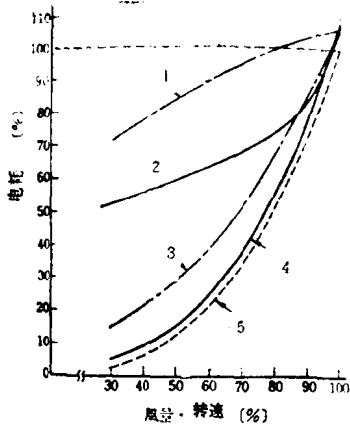
$$Q \propto N \quad H \propto N^2 \quad P \propto N^3$$

就是说轴功率和转速的三次方成比例地减少，省能是有希望的。

图6是额定轴功率为100%时用百分比表示的用各种方法控制鼓风机风量时的电耗。若把气闸控制和转速控制进行比较，在高风量区，是没有什么差别的，但随着风量下降消耗电力的差别很大，显示了转速控制省能效果大。即使在转速控制方式中，由于有在原理上不产生损失的方式和产生转差率损失的方式，也有比较大的差别。

##### 1. 省电效果的估算

表2表示轴功率为1000千瓦的鼓风机用各种方式控制风量时一年电耗计算实例。一般100千瓦以上的容量，在额定容量80%以下，运转时间长的用途上，用转速控制最初投资增加，运行成本减少，一、二年就可回收投资费用。



1. 100%转速出口气闸控制输入功率
2. 100%转速入口气闸控制输入功率
3. 产生转差率损失的转速控制方式输入功率（二次阻抗控制）
4. 高效率运转方式的转速控制输入功率
5. 转速控制时的轴功率

图六 各种风量控制方式的电耗特性

表2 各种风量控制方式的运转电力费用

控制方式	阻抗气闸控制	入口气闸控制	用产生转差率损失方式的转速控制	用高效率运转方式的转速控制
一年耗电量	$7.66 \times 10^6$ 度	$6.29 \times 10^6$ 度	$5.18 \times 10^6$ 度	$4.54 \times 10^6$ 度
一年耗电费用	7660万日元	6290万日元	5180万日元	4540万日元
一年耗电费用差额	+3120万日元	+1750万日元	+640万日元	0

条件是：

轴功率：1000千瓦（100%转速）

负荷转矩特性：与转速的二次方成比例

一年运行时间：8000小时

其中：100%转速33.4%

75%转速33.3%

50%转速33.3%

根据图6，各方式的电耗是：

电力费用：10日元/度

阻抗气闸控制：

$$1000\text{KW} \times (1.06 \times 0.334 + 0.97 \times 0.333 + 0.84 \times 0.333) \times 8000\text{小时} = 7.66 \times 10^6 \text{度}$$

入口气闸控制：

$$1000\text{KW} \times (1.06 \times 0.334 + 0.71 \times 0.333 + 0.59 \times 0.333) \times 8000\text{小时} = 6.29 \times 10^6 \text{度}$$

度

产生转差率损失的方式（二次阻抗控制）：

$$1000\text{KW} \times (1.6 \times 0.334 + 0.59 \times 0.333 + 0.29 \times 0.333) \times 8000\text{小时} = 5.18 \times 10^6 \text{度}$$

高效率运转方式:

$$1000\text{KW} \times (1.08 \times 0.334 + 0.47 \times 0.333 + 0.15 \times 0.333) \times 8000\text{小时} = 4.54 \times 10^6$$

度。

## 2. 低风量区转速控制装置

研究象图7那样的用一次频率控制和用商用电源运转的系统。在接近100%的高速区用商用电源进行定速运转,并用气闸控制,只是在低风量区用一次频率控制,由于可控硅变换装置的容量和风量(转速)的三次方成比例地减少,可以作成小容量的装置,是经济的,能构成效率高的风量控制系统。

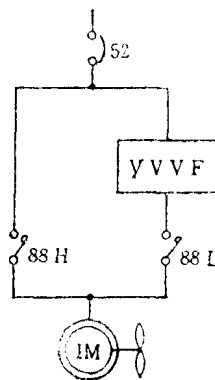


图7 低风量区的转速控制装置

## 五、把效率差的变速电动机改为效率高的电动机。

尽管基本投资费用高一些,但从省能的观点出发,把效率差的转速控制方式转换成高效率方式的倾向明显增加。

从有代表性的挤出机的研究来看,挤出机通常在初期用10—20%转速运行,约30分钟后,在处理原料的同时,用50—100%转速长时间地运转。

挤出机负荷转矩特性,是一般的定转矩特性,在低速范围内运转时,是产生转差率损失的方式,产生较大的电力损失。

过去挤出机的转速控制,多使用设备费比较便宜的涡电流接头方式,但大范围控制转速时,有必要考虑采用高效率的运转方式。

表3表示轴功率为1000千瓦的挤出机一年耗电费用的估算实例。

表3 定转矩负荷运转电力费用估算实例

控制方式	电力损失与转差率成比例的转速控制	用高效率运转方式的转速控制
一年耗电量	$8.51 \times 10^6$ 度	$6.8 \times 10^6$ 度
一年电力费用	8510万日元	6800万日元
一年电力费用差额	+1710万日元	0

计算条件:

轴出力: 1000千瓦(100%转速)

负荷转矩特性: 与转速无关,转矩一定

一年运转时间: 8000小时

其中: 100%转速33.4%

75%转速33.3%

### 50%转速33.3%

各方式的电力消费,根据图3和图5

电力费用:10日元/度

电力损失与转差率成比例的方式(二次阻抗控制)的电耗(度)

$1000\text{KW} \times (1.08 \times 0.334 + 1.06 \times 0.333 + 1.05 \times 0.333) \times 8000\text{小时} = 8.51 \times 10^6$   
度

高效率运转方式的电耗(度)

$1000\text{KW} \times (1.12 \times 0.334 + 0.85 \times 0.333 + 0.58 \times 0.333) \times 8000\text{小时} = 6.80 \times 10^6$ 度

## 六、转速控制应注意的事项

把原来定速运转的设备,改变成转速控制时有必要研究下列事项。

### 1. 反复离心应力和疲劳破坏

若改变转速,随着转速变化;在旋转部分产生的离心应力也变化,但由于频度和变化幅度不同,在机械系统有产生疲劳破坏的可能性,所以事前有必要加予充分的研究。

### 2. 危险速度(临界速度)

除二极电机驱动的高速机外,机械系统的临界速度,约为额定速度的1.2倍以上,在额定转速以下进行转速控制时,临界速度不在控制范围内,是没有问题的,但为慎重起见,也有必要预先进行研究。

### 3. 电动机的冷却

电动机在低速时冷却效果变差,冷却效果是否充分,有必要预先研究,对于定转矩负荷要特别注意。转矩自乘负荷,冷却效果更降低,因此事前也要进行研究。

### 4. 脉动转矩的影响

使用可控硅转速控制方式,因为产生反复转矩脉动,对机械系统有可能引起扭转振动,事先对机械强度有必要加予充分的研究。还有,使可控硅变流器多重化从而减少脉动转矩等对策也是有效的。

### 5. 高谐波电流的影响

由可控硅装置输出的高谐波电流,估计会引起下面所指的故障,事前有必要进行研究。

- (1) 对其他机器的异常输入
- (2) 感应故障
- (3) 由于和电源系统并联共振而产生异常电压。

## 七、各转速控制方式的问题和特征

不管是新设备或原有的设备,在适于转速控制的场合,对该方式的问题和特征有必要充分认识。

### 1. 涡电流接头方式和流体接头方式



(1) 无论是原有的鼠笼式电动机或线绕式电动机都能适用。  
(2) 只是接头的转差率降低最高的转速, 使出力降低, 要注意。  
(3) 由于在电动机上加上接头, 轴方向的长度变长。在原有设备上加上接头, 不必要大幅度的基础改造工程。

(4) 设备的基本投资费比较便宜, 但省能效果不大。  
(5) 冷却水系统的保养和循环油系统的保养是必要的。

## 2. 二次阻抗控制方式

(1) 适用于原有线绕式感应电动机, 但电刷和滑环有必要改造成连续额定的  
(2) 基本投资费便宜, 但省能效果不大。  
(3) 电刷周围要保养

## 3. 静止谢菲尔毕斯控制方式

(1) 在原有线绕式电动机的场合是有效的方式, 但电刷和滑环有必要改造成连续额定的。为了把整流装置连接于二次线圈, 电动机功率因数变差, 约增加 10% 的弱电流, 要注意。

(2) 轴电压容易损坏轴承, 有必要采取轴绝缘或安装接地电刷等措施。  
(3) 控制装置的构造复杂, 要有大的安装场所。  
(4) 省电效果大, 仅在高速区进行控制, 基本投资费也比较便宜。

## 4. 一次频率控制方式

(1) 无论是原有的鼠笼式电动机或线绕式电动机都适用,  
(2) 轴电压比谢菲尔毕斯方式更大, 要注意,  
(3) 控制装置构造较简单, 安装场所小。

## 5. 无整流子电动机

(1) 不能利用原有电动机, 要更换电动机, 改造费用大, 改造时间长,  
(2) 对要求单独检修的设备特别有效。

关于交流电机的省能运转, 转速控制是有效的方法, 转速控制方式中, 使用可控硅的高效率控制方式(谢菲尔毕斯方式和一次频率控制方式等)是省能的强有力武器。

杨家琪摘自日《电气计算》70.46(7)130—135