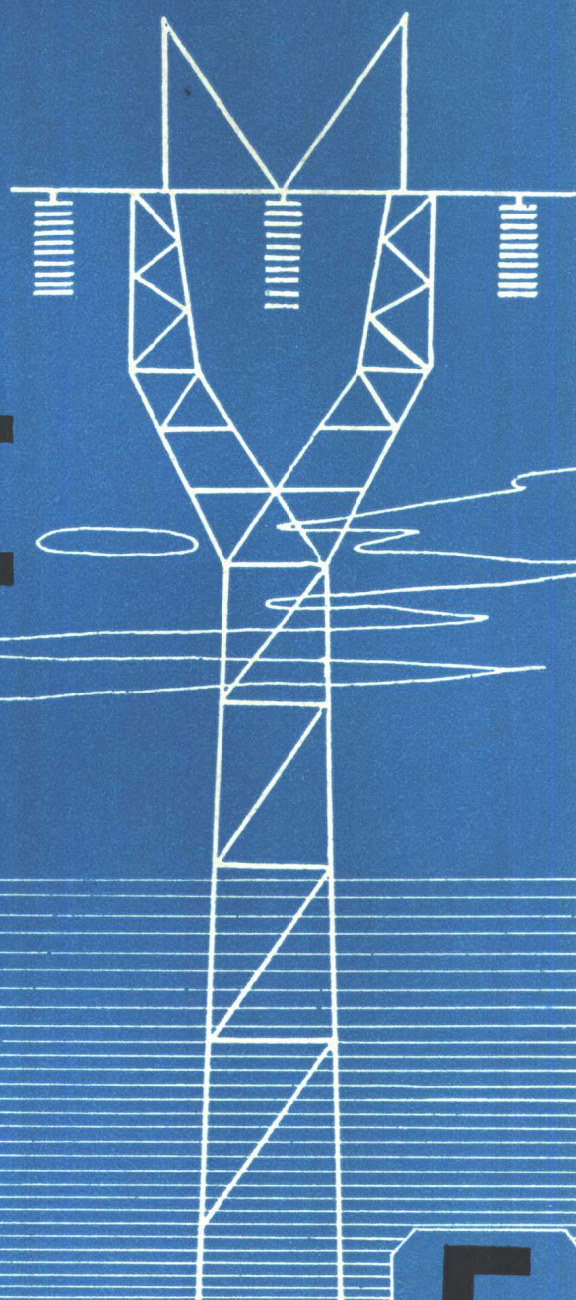


DIANGONG
JISHU

电工技术



科学技术文献出版社重庆分社

《电气传动自动化译丛》扩大订户启事

《电气传动自动化译丛》刊物已于80年7月15日由邮局正式公开发行。本刊系报道国外电气传动自动化技术刊物，内容丰富，涉及面广，在四化建设中将发挥重要作用。

本刊为双月刊，单月15日出版，每期72页，定价0.45元，欢迎各机关、工厂、矿山、高等院校、科研单位及广大读者个人到各所在邮局踊跃订阅，刊号为6—44。

另本刊每期均预留部分余量，需要者可直接向《天津市邮政局报刊发行科函购部》函购。具体办法，每册定价0.45元，函购时加收寄递手续费0.15元，每增加一份，加收0.03元，请通过邮局汇寄（勿寄现金或邮票）欲购从速，售完为止。

天津电气传动设计研究所

《电气传动自动化译丛》编辑部

1980年11月

电 工 技 术 (五)

中国科学技术情报研究所重庆分所	编 辑
科学技术文献出版社重庆分社	出 版
重庆市市中区胜利路91号	
四川省新华书店重庆发行所	发 行
科学技术文献出版社重庆分社印刷厂	印 刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 5.75 字数: 15万

1980年11月第一版 1980年11月第一次印刷

科技新书目: 182—141

印数: 12950

书号: 15176·440

定价: 0.60元

目 录

动向、水平

八十年代汽轮机(二)

——出国考察报告…姚福生……………(1)

能源的合理利用

配电设备的省能措施……………(7)

送、引风机节电措施及其实例……………(11)

荧光灯的节电措施……………(16)

电动机的节电……………(21)

电机与电器

新型AS电动机及其特性……………(24)

电机噪音的消除装置……………(29)

高压电气设备绝缘处理方法……………(31)

树脂浇铸小型电机的防烧损装置……………(32)

KДВ-10-1600-20真空灭弧室……………(33)

电动机过热保护的漏电保护器……………(35)

厂矿电气设备

通过油内气体分析进行变压器的维护……………(36)

玻璃钝化快速可控硅元件……………(45)

双向可控硅的控制装置……………(51)

靠磁力保持滚动轴承的润滑……………(52)

真空断路器在ЭКГ-8И电铲中的使用经验……………(53)

清洗电度表外表面用的自动装置……………(55)

浸渍和干燥电机用的压热锅……………(57)

励磁机极性变反及失磁分析

……………云南文山州电力公司赵小平(58)

机床无接点转换装置……………(59)

脉冲放大回路的防噪音装置……………(60)

如何防止电动机被工作机卡住……………(60)

日用电器

电动工具的故障现象和处理措施……………(61)

多用途电源装置……………(63)

有反接指示的蓄电池充电电路……………(64)

蓄电池无极性充电器……………(65)

测试技术

电动机引线的图解算法……………(66)

继电保护电流测量元件的变换器……………(67)

电杆和绝缘子串绝缘损坏的探测装置……………(70)

手表式防触电的报警器……………(72)

不用线规表求线径的方法……………(73)

简易定相法……………(73)

农用电气设备

农业地区电网最佳发展规划的选择……………(74)

相线断线时架空线的断开装置……………(75)

10千伏农用架空线路导线的固定……………(76)

监视和记录暂态过程的三通道转换器……………(77)

电动机最简单的综合保护……………(78)

畜禽舍有毒气体浓度的调节装置……………(79)

基础知识讲座

晶闸管在电力拖动中的应用

第五讲 晶闸管斩波器及其应用……………(80)

科技情报知识介绍

专利资料使用方法(四) 西德专利……………(86)

八十年代汽轮机(二)

——出国考察报告

姚福生

“八十年代汽轮机”国际会议的日程中，特邀世界著名透平机械学者W. Traupel教授作了“汽轮机的昨天、今天和明天”的专题报告，本文是该教授报告的摘录。

1. 序言

1883年G. de Laval和1884年C. A. Parsons建造了他们的第一台汽轮机时，并没有意识到它的前景。现代技术的标志是电力的广泛应用。没有汽轮机，要提供充裕的电能是不可能的。目前，世界上80%以上的电能是由常规火力和核能的汽轮发电机组提供的。G. de Laval最初是为了驱动牛奶分离机而设计了它的汽轮机，而C. A. Parsons虽然是为了驱动发电机而设计制造了汽轮机，但他也没有想到发电的重要性，所以也没有去考虑采用什么样的汽轮机功率和什么样的蒸汽循环。在早期开拓的年代里我们应该铭记Rateau, Curtis, Zoelly, Birger, Frederik Ljungström的名字，这里还必须提出Cunard Line的伟大先驱作用，他早在1904年就提出用Parsons汽轮机去装备Lusitania和Mauretania两艘最大和最快的横渡大西洋的邮船。

2. 早期的发展

回忆早期设计，许多汽轮机都是采用Parsons的鼓形反动式汽轮机模式，然而叶轮加隔板的冲动式汽

轮机也保持了它的发展道路。将书还回。径流式汽轮机采用了反转转子，这。

图1是一种典型的早期Parsons反动式汽轮机，细长鼓形转子上装了109级叶片以及配有奶头活塞以平衡轴向推力。与之相反，图2中的Zoelly冲动式汽轮机设计，光轴上有7只叶轮，其间有隔板和装在轴上的汽封。两者之间的差别主要表现在反动度上，虽然这是构成差别的主要原因，但究其根源，这些先驱者是完全从不同的想法进行汽轮机设计的。这类型式已经作为汽轮机设计的基础了。

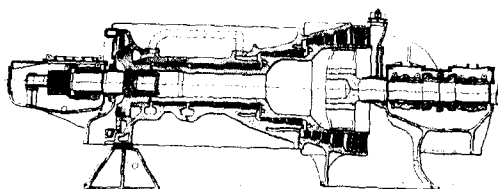


图1. 1980年设计的Parsons汽轮机，装在Sidney电厂，5000千瓦，每分钟750转

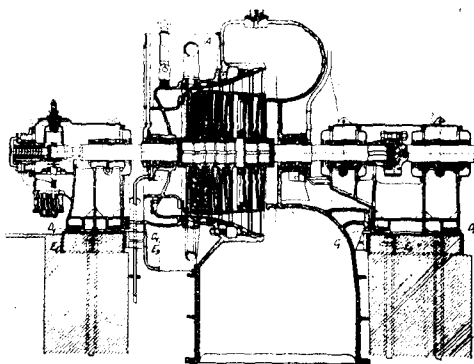


图2. 早期的Zoelly汽轮机，11000千瓦，3000转/分

用现代的汽轮机与它们中的任意一台相比较，例如图3给出了矿物燃料电厂的Parsons汽轮机，它也是鼓形反动式汽轮机，高压部份有一个冲动级和12个反动级，中压缸有13个反动级。高中压缸都采用双层缸结构。相应的冲动式汽轮机见图4，高压缸7级，中压缸为分流，各7级，转子采用叶轮式结构，叶轮间有隔板，轴设计得很厚，而叶轮则很单薄，与现在的冲动式汽轮机相比显得单薄，该汽轮机也采用双层缸结构。粗看这两种不同型式的汽轮机是有区别的，但比较他们两种低压缸叶片，特别是最后一级，冲动式和反动式的区别就消失了。历史所发展的道路，仍为事实所承认，冲动式和反动式两种型式的汽轮机至今仍占有各自的地位，许多制造厂不是制造冲动式就是生

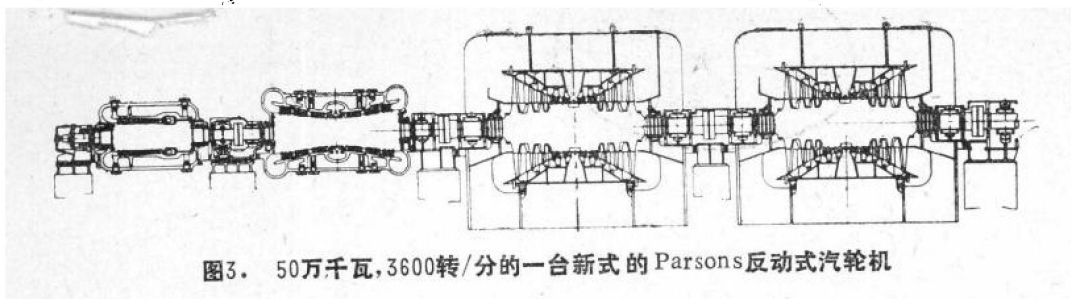


图3. 50万千瓦,3600转/分的一台新式的 Parsons反动式汽轮机

产反动式。Stodola 在他的著作中分别发展了这两种型式的汽轮机的理论 (Traupel 教授曾跟随 A. Stodola 工作十年)。在这里我想提一下 Stodola 教授, 汽轮机的发展不应忘记他的名字。虽然 de Laval 的先驱工作中已经理解临界速度的存在, 但转子也可以在超临界速度下或喷嘴出口汽流速度为超音速下工作, 这意味着汽轮机的进一步发展必须要有科学方法, 当时的机械工程对此是无知的。各国才有才干的工程师们都设法去建立这种基础, 然而起主导和最有影响的人物就是 Stodola, 就是在今天, 在热力透平中他的理论比之于其他动力机械, 其水平是最高的, Stodola 奠定了这个基础, 直至现在, 这些理论仍属经典著作。

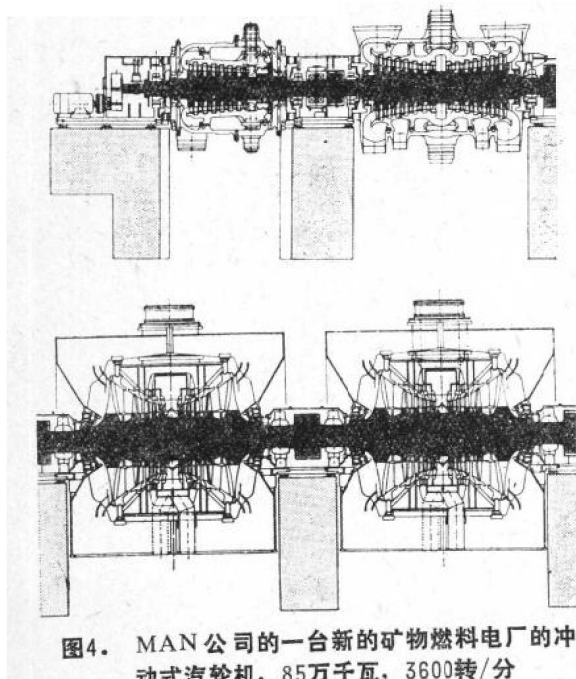


图4. MAN 公司的一台新的矿物燃料电厂的冲动式汽轮机, 85万千瓦, 3600转/分

3. 20年代

20年代, 蒸汽技术向高温、高压领域大胆地跨出了第一步。1922年 Stodola 写道: 在英国设计的动力厂将在压力为34巴, 温度370℃的参数下运行。Stodola 书的最后一版是在1924年, 书中的蒸汽焓熵图已经延伸到临界压力和500℃温度区, 这是从已知的试验数据

外插得到的。Stodola 还计算了蒸汽循环, 一直算到110巴和 500℃。早在1922年版中 Stodola 已经在研究给水加热的回热系统, 并讨论大于3级的抽汽回热, 这简直是相当可贵的。众所周知, 8级抽汽回热已成为标准了。回顾历史, 给水加热的想法在不同国家和地方都互不联系地同时发展起来, 1906年 Ferranti 取得专利, 他在蒸汽发生器中用预热的空气来加热给水组成了回热系统。Baumann 是英国 MV 公司的著名执行工程师, 也发展了同样的思想。1916 年在英国靠近 Newcastle 的 Blaydon-Burn 发电厂中首次采用了这种回热系统。

4. 30年代

大战期间, 大的蒸汽发电厂表现出很大的不同, 特别是各国相异, 所有蒸汽循环中的重大改进和引进现代化技术几乎都是在这时期内发展起来的。压力为30~50巴, 温度为400~450℃已经是常规参数。然而在相互隔绝的状态下, 这种数量级算是高的了。1926年瑞士 Esher Wyss 设计了一台176巴的高压汽轮机。30年代中德国大电厂已标准化, 见表1。表2则给出了在30年代中德国和美国最大机组的详细数据。特别应该提到的是为 Central State Line 由 GE 制造的 20.8 万千瓦汽轮机组, 该机组很长时间是世界上最大的机组, 据我所知, 在那时它的热效率也是最高的。

表 1

参 数	单 位	无再热系统	有再热系统 (蒸汽加热再热器)
汽轮机进汽压力	巴	70	110
汽轮机进汽温度	℃	485	485
给水温度	℃	190	200
给水加热器数目	只	4	4
最好的热效率 (包括锅炉) (冷凝压力0.04巴, 温度29℃)		28.1%	29.7%

30年代中汽轮机在应用流体力学理论方面开拓了新途径。Stodola 的理论是一元的流股理论, 并没有引进相似理论概念, 当然他的著作也有单独的两元流动的数学分析研究, 而在最后一版中曾利用了相似理论

和附面层, 可惜这些理论并没有引入汽轮机设计理论中去, 而且也没有直接用到他的计算中去。Ackert在Prandtl基础上进行了工作, 还有他的同事 Keller和Salzmann (在Esher Wyss) 想出了在透平机械领域中利用这种知识观念和空气动力学的试验方法。1934年出现了利用空气作为介质来探讨汽轮机设计文章。第一次的叶栅试验已经与汽轮机联系在一起了。而叶栅反作用力试验只能提供整体结果。叶栅流场测量利用测针, 其目的想了解损失的机理, 检测后设法减少这种损失。这个新学派的代表认为, 汽轮机通流部分的设计十分粗糙, 没有利用空气动力学的知识, 而应用他们试验方法的结果可以期待获得高效率。我想重新声明, 透平级的正确空气动力学设计, 它的效率至少可以达到95%, 而叶栅试验在这些方法中占有十分重要的地位, 这种期待是正常的。假如我们回顾那个时期, 不得不说明, 这项开发工作曾受到了重大的冲击, 因为戏剧性的改善没有成为事实, 这问题我们称它为“较大损失之谜”, 虽然空气动力学方法精确地被建立了, 那么为什么实际机器中的损失要比从模型试验中的大很多。要澄清这些矛盾需要深入到透平机械的流体力学中去。粗而言之可作如下解释: 流道中

表 2

德国: 最大机组 1926年 (AEG, BBC): 8.5万千瓦, 1500转/分, 13.2巴, 360℃
30年代的标准机组: 5.0万千瓦, 3000转/分
美国: 两次世界大战之间的最大机组:
Hell Gate 1929年造 (BBC, Westinghouse), 16.0万千瓦, 1800/1200转/分, 18.2巴, 320~370℃
State Line 1929年造 (GE), 20.8万千瓦, 3轴, 1800转/分, 41巴, 390℃, 再热温度260℃, 5级给水回热, 不包括锅炉的热效率为35%, 考虑锅炉后则为31.5%

的纯摩擦损失可称为“基本损失”, 这种损失可以从静叶栅试验中测得, 也可以从反作用力试验中精确确定, 而其它的许多损失称为“附加损失”。在目前十分重要的事实是, 基本损失我们过于重视, 而附加损失确被忽视。空气动力学学派的主要思想是设法减少基本损失, 但是他们的努力决不会带来突破。

在附加损失中, 间隙引起的损失比例最大。图5a是一种典型的冲动级 (长标准古典式), 隔板与轴之间装了尽可能多的汽封以减少漏泄, 在转子外端看起来有些不同。冲动式的信徒们深信, 他们机组中的反动度沿叶高大于零或者相当小, 所以设计时允许存在大的轴向间隙并不用转子外围的汽封。确实, 他们看到冲动式汽轮机的重大优点是在高转速外用不着闭式

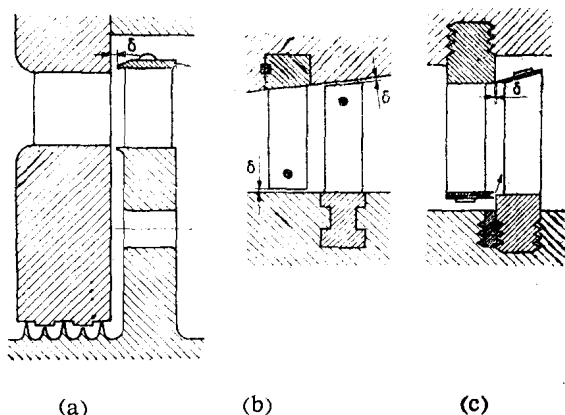


图5. 汽轮机典型级 (a) 冲动级 (b) 没有围带但有拉金的反动级 (c) 具有轴向闭式间隙的反动级 (Parsons)

间隙, 但是今天已经证实, 反动度沿叶片径向是逐渐增大的, 因此肯定会带来很大的漏泄损失。

原始的反动式级在叶顶是没有围带的, 见图5b, 长时期在很多机组中都采用, 乃至今天某些机组还在采用这种结构。通常, 叶片还用拉金穿住, 以抑制叶片振动, 径向间隙在保证运行安全可靠的前提下取得愈小愈好, 以减少十分严重的间隙漏泄损失。实践证明, 要从实验中获得这种损失的数值是相当困难的, 正如现在我们所知, 比Stodola所确定的要大2至3倍。Parsons很早就承认在反动式汽轮机中有很大的漏泄损失, 为了克服这缺点, 他在叶片顶端加了围带, 见图5c。机组开始采用大的轴向间隙, 运转后, 转子在轴向发生位移, 一直保持到最小间隙为止。然而这样处理并不理想, 首先气流进入速度很高, 会引起严重的扰动, 其次十分小的间隙不能维持连续运行, 特别不适用于多缸和分流的汽轮机。

现在的反动式汽轮机一般都在静子和转子上装了径向汽封, 象图6那样。为了这个目的每只动叶片顶

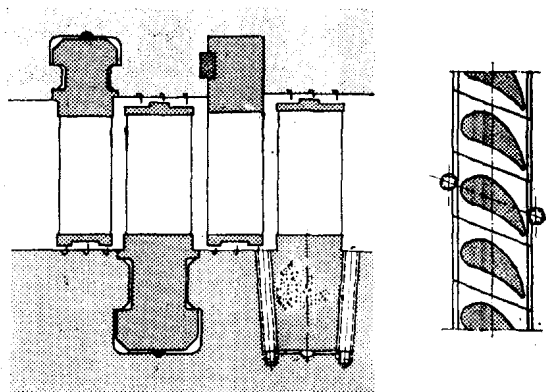


图6. 具有径向汽封并自带围带的新式反动级 (KWU)

端自带围带。

图7是一种现代的冲动式级,也是每只叶片自带围带并有轴封装置。在冲动式和反动式汽轮机中,采用径向汽封是保证转子在轴向移动时漏泄变化不大,这是一项提高效率的极为有效的措施,看来转子设计过渡到围带和径向汽封装置是必然的趋势,好的汽封在获得高的级效率方面是十分重要和必要的条件。

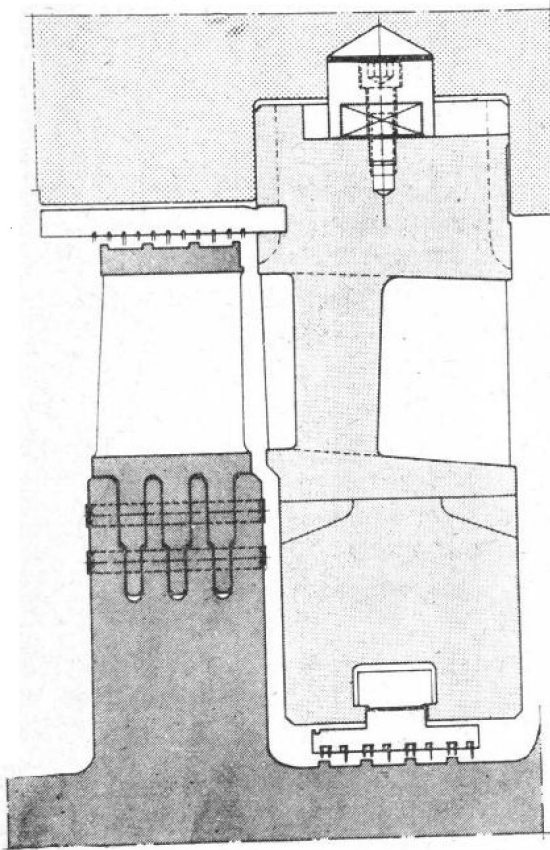


图7. 具有顶端径向汽封的新式冲动级 (MAN)

早期就承认,叶栅试验所获得的数据去预示效率是不精确的,纯粹地基于这种测量结果,其损失经常是估得过低。真正的数据只能从实物机组的试验中获得,至今这事实的影响是深远的。可靠的总体结果可以得到,但分析它们、讨论和寻找单独的损失根源是相当困难的。所以机组试验和试验方法是最主要的,不管试验研究中要化巨大的费用,在世界范围内这几十年来中都在进行这方面的工作。我们的基础知识仍很欠缺,其结果使我们所化的费用和成果之间相当不相称,因为在研究基础关系方面所取得的直接效果不太显著。

5. 战后期间

战后发展的第一个标志是继续提高压力和温度。欧州大陆大发电厂典型机组的参数是: 80巴, 520℃,

5.0万千瓦, 5级给水加热系统, 没有再热。

与老概念相比, 机组的设计开始采用一炉一机, 或者两炉一机形成自己单元, 它不与同一电厂中的其它机组连在一起。这时的机组采用烟道气体作为再热器的热源。早先的中间再热是无规则的, 一般只采用蒸汽加热再热器。这条道路现在可以清楚地看到, 是进一步提高初始压力或超临界压力的途径。

大概受燃气轮机的影响, 汽轮机在50年代尚是婴儿时期就很有魅力地将初温提高到 600℃, 某些极限场合已达 650℃, 这就要求采用奥氏体合金钢, 不但费用提高, 而且在设计和运行方面都带来了问题。所以提高初温并没有带来经济方面的好处, 反而使有效价值受到损害, 于是这条发展道路没有继续, 初温又重新降低下来, 并控制在不使用奥氏体钢范围内, 这个极限温度是565℃, 而且前标准则多采用525~540℃初温。

代之以提高蒸汽参数的办法, 50年代末期采取增加单机功率的措施, 所以在此期间单机功率急剧上升。今天50.0~60.0万千瓦机组在欧州矿物燃料电厂中已经相当普遍, 最大的已经达 130.0 万千瓦。提高单机功率, 必须进一步发展末级长叶片, 它涉及到机械和流体力学中十分复杂的问题。

图8是动力系统简图, 是一种比较典型的矿物燃料发电厂的动力系统图。机组有中间再热和高、中、低三个缸, 低压缸为分流结构。若排汽量大, 极限情况可达八个排汽口, 若需要, 高压缸和中压缸也可设计成分流结构, 给水加热抽汽点为 8 个, 最大压力根据需

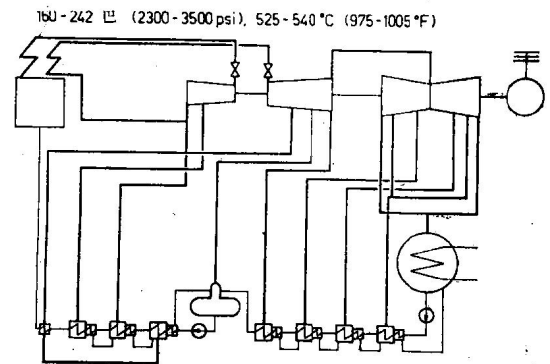


图8. 新式矿物燃料发电厂热力系统图, 中间再热, 8级给水加热, 汽轮机有高、中、低三个缸

临界领域。现代大功率汽轮机的例子见图3和图4。目前, 大功率机组的热效率已达40%, 其中包括锅炉损失, 当然热效率与机组功率和冷却水温度有关。这是经过十年艰苦奋斗而达到的水平。汽轮机组电厂热耗与柴油机相比是值得骄傲的。从热动力学观点

看，在许多年内其它热机是无法与之比拟的。

6. 核动力

五十年代反应堆技术的高速发展，对汽轮机结构设计是一个新挑战。众所周知，轻水堆型在世界范围内占绝对优势，这就需要发展一种大容量汽轮机与之适应，因为引至汽轮机中去的蒸汽是饱和蒸汽状态，带来了末级湿度达到不能接受的程度。在现在的核发电厂中采用在高压缸膨胀后将蒸汽引出，接到一台外部汽水分离器中去除水份，然后在全压下将饱和蒸汽再热，将其引进中压和低压缸继续作功。这样，最终的蒸汽湿度可以维持在10%以下，而高压缸排汽湿度可达15%。核电厂热效率（汽轮机组）一般与冷却水温度有关，典型数值是34%左右，图9是这类机组的简图。

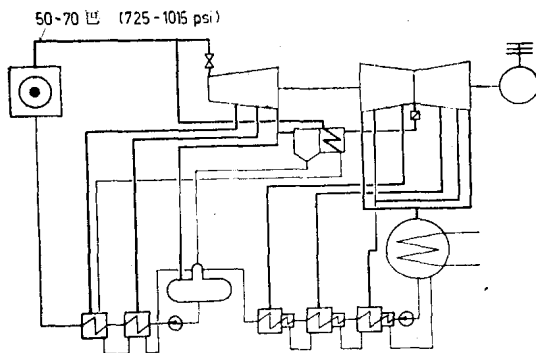


图9. 核电厂热力系统图，轻水堆，新汽为饱和蒸汽，汽轮机为高、低压两部份，其间有外部汽水分离器以及用新汽加热的再热器，具有6级给水加热系统

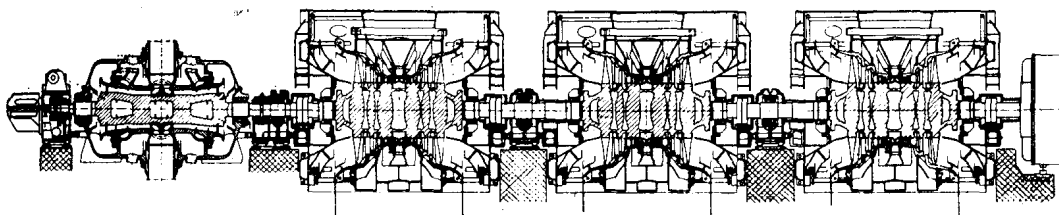


图10. 100万千瓦，1800转/分的核电厂汽轮机(BBC)

图10是一台半转速 100 万千瓦核电厂汽轮机组剖面图。在开发这台机组时，高压湿蒸汽透平是一种新颖的结构，对于缺乏经验的情况下，从水蚀和损失角度衡量，这是一种有利的结构设计。理论和观察指出，其平均水滴尺寸是较小的，所以有害效应要比低压透平少。高压缸下游的汽水分离器经常与再热器放在一起的设计模式是一种完善的设计。众所周知，核发电厂对安全性的要求非常高，同样也对汽轮机严格要求。图11是一个例子，它是一台半转速低压透平，转子应力分布情况，用有限元法计算得到。应力是以 $\sigma_{0.2}$ 作分母，在200%转速下计算的结果。这就是说，假定在正常控制和超速保护失灵情况下转子也不会飞裂，只有在极限情况下，发生了局部的塑性变形，但也不会达到破裂状态。

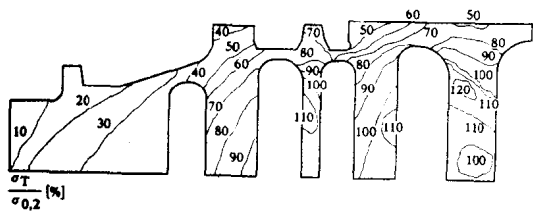


图11. 两倍于正常转速下的1800转/分低压汽轮机转子中应力分布图(BBC)，应力以 $\sigma_{0.2}$ 作分母所表示的数值

7. 今后发展

假如我们设想未来汽轮机的发展，得到的回答将是，要精确预言这20年中的技术发展是不可能的。原文作者引证Stodola的陈述，他在1921年时写道“由于对大小汽轮机运行可靠性和经济性方面不断地进行艰苦的改善工作，在燃料和润滑油消耗达到完善水平中，预见将来大功率发电机组将会占据统治地位”。Stodola的这一结论是十分正确的，而我们现在的工程师们甚至变得更节制。然而当我们展望未来，我们在任何事情面前都将面临着运行可靠性和有效性的问题。

每一次功率的增长，不但涉及到不危害运行可靠性情况中的热力动力学和流体力学的改进问题，而且还必须适应提高可靠性的问题，从这方面讲，下述问题应是首要的：

叶片振动问题仍是停机的最频繁原因，这方面需要知道十分精确的激振力数值，例如在理论上我们将此精确数值称为“激振因子 (Stimulus)”以及叶片固定的阻尼和挠性数据。

在控制转子运动稳定性方面，进展是公认的，而气流激振振动和轴承的阻尼和挠性方面要求更深入地研究。

在高温区域中的低周疲劳的知识是不完全而含糊其事。在湿蒸汽区域中与材料疲劳同时发生的重要腐

蚀问题知识也是不足的。

这些是研究人员必须考虑到尚不十分全面的问题梗概。然而必须指出,单独研究是不够的——这是年轻工程师们在实践中要记住的真理。但是成果又取决于所有设计者,他们要根据试验的结果去设想结构图。

众所周知,在未来的十年中,世界范围内燃料的短缺已成事实。因此要求机组能比现在所能达到的能源利用水平还要高。达到此目的,我们要做些什么事呢?

采用传统的蒸汽循环来提高热效率的可能性十分有限。从完善化部套以外,还可以增加压力和温度和引入两次中间再热。将来参数为250~300巴,550~565℃以及两次中间再热可能成为烧矿物燃料电厂的标准模式。对于采用流动床燃烧方面讲,我们现在的蒸汽锅炉设计,其条件要比五十年代好。这种流动床燃烧,热传导区域将大大减少,同时腐蚀也大大减小。对于过热器采用高合金钢是不经济的来由,此外复杂运行问题和高的透平造价会随之而来。这些问题在小机组上是比较容易解决的,这就是为什么在小机组上,例如船舶汽轮机中采用很高的温度,高压透平部分在采用高合金钢性能所带来的问题是容易解决的,但是造价太贵,不能与之平衡。

轻水堆在未来时代中仍旧是核发电厂占统治地位的型式。直到现在,我们在湿蒸汽透平中有关流动过程的知识是不够的,对这种流动中十分深奥的物理理解,能对湿蒸汽透平进行改善。

所有传统蒸汽动力厂的循环或部套的改善,在减少热消耗方面只有百分之几的数量级。大约热动力学的改善只能依靠联合循环,众所周知,与燃气轮机联合组成的循环可能很多。较大热动力学方面的收益只有在燃气轮机工作在很高温度下获得。燃气轮机要求有洁净的燃料,例如天然气。洁净气体并通入燃气轮机燃烧必须使气体发生器和洁净装置与燃气轮机组成联合循环,这样肯定会带来气化和漏汽以及排入大气时热力学损失,所以它的潜热是损失于周围环境,并作为漏泄热。这样的动力厂就必须限制,并减少排污物排入大气,以使其具有较高的经济性。燃烧清洁燃料的必要性,是避免烟灰对叶片的腐蚀。这类与高温燃气轮机联合的蒸汽循环,是用水冷却的燃气轮机。

双蒸汽循环代表着另一种联合循环方式,本世纪初这种循环一次再次地被提出。有一种建议是采用另外的工质——阿莫尼亚或氟利昂²¹,这样可使循环的低温部分避免有很大的低压透平,同时有开发冬天低环境温度的可能性。除去由于使用区别于空气和水的

其他工质,所有这种型的系统都有基本弊病。采用双工质循环,热必须由一个回路向另一回路传递,这就要求有一只巨大和高价的热交换器,因此不可避免地会带来温差,于是产生了损失。最近研究已经在进行二次循环,乃至三次循环系统,前面的级采用钾(Potassium),中压级采用导热姆换热剂(二苯及二苯氧化物的混合物)(Dowtherm),在低压部分则采用蒸汽。钾的蒸发温度接近900℃,其相应的压力为3.26巴,热效率可期望达到56%。这方案假定,已达冶金学领域的临界点了。有一件事不应忘记,适合这种情况的特殊材料的极大部分,在制造时不能太贵。钾透平的尺寸接近常规汽轮机的中压部分。

电能和热能联合的发电装置有获得极高热效率的希望最大。它们不但能提供热力学上的最好能量利用,而且能获得重大的经济性。目前小功率的这类机组已在许多工业部门的工厂中使用十多年了。在公用能供应方面,将来使用的机组尚会受到限制,但是已经在迈步。图12是一台9.0万千瓦电能和供热的联合机组。用两级将热传给加热系统中的加压水以代替冷凝。将来核发电机组动力厂也有可能从某一级抽汽供地区采暖用。

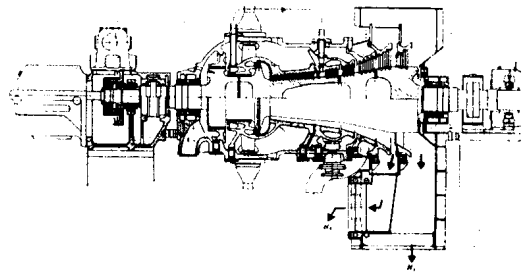


图12. 背压式供热发电机组,功率9.0千瓦,热输出为17.5万千瓦(150Gcal/h)(BBC)

也有打算将大的动力厂与海水淡化工厂联在一起。

在发展高温反应堆与发电厂联合、热输送(对于合成过程)以及与地区供热等联合所产生的问题都应进行研究。

8. 结束语

所有这些联合装置都要求透平结构师们去寻找相适应的设计解决办法,这些工作不但是—次性解决,而且还要求设计工作者更上一层楼,因此汽轮机的设计制造,将不断地向科研、设计和规划工程师们提出挑战。

W. Traupel教授报告后还进行了热烈讨论和提问。

配电设备的省能措施

佐久间 秀男

提高变压器的运行效率、改善功率因数、改进配电方式等，均可作为配电设备的省能措施来考虑。本文以提高变压器运行效率和改善功率因数为基点，介绍变压器的特性和省能的效果。

一、对变压器省能的看法

配电设备省能的有效办法是提高变压器的运行效率。

变压器不同于其它电气设备，它是一种高效率设备，要想进一步大幅度提高其运行效率是不可能的。但是变压器效率稍有提高，长时间连续运行累积起来，省能的效果就很可观了。

1. 变压器的损耗和效率

变压器的损耗大体上可分为空载损耗和短路损耗两种。空载损耗是由一次线圈激磁所产生的，它与负载大小无关，通常是一定的。短路损耗是一次和二次线圈电阻损耗之和，它与负载电流平方成正比，故也叫作负载损耗。这两种损耗没有变成有效被利用的功率，而是在变压器内部以热的形式白白浪费掉了。变压器效率同损耗和功率的关系可由下式计算：

$$\text{效率} = \frac{\text{功率(瓦)}}{\text{功率(瓦)} + \text{空载损耗(瓦)} + \text{短路损耗(瓦)}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

标准效率是以在额定二次电压、额定频率、额定负载、功率因数为100%条件下的损耗值表示的，这叫作额定效率。变压器的负载容量和功率因数一变化，变压器效率也随之变化。

2. 影响变压器效率的主要因素

(1) 与负载容量的关系

如果变压器额定容量以P(千伏安)、负载率以x、负载功率因数以 $\cos \theta$ 表示，则负载有功功率为 $x \cdot P \cos \theta$ 。变压器一激磁，就会有空载损耗 W_i 发生，它与负载大小无关。如果额定电流下的短路损耗以 W_c 表示，则短路损

耗与在其他电流下的负载率x的平方成正比，即为 $x^2 W_c$ ，所以变压器效率 η 可用下式表示

$$\eta = \frac{x P \cos \theta}{x P \cos \theta + W_i + x^2 W_c} \times 100$$

$$= \frac{P \cos \theta}{P \cos \theta + \frac{W_i}{x} + x W_c} \times 100 (\%) \quad (2)$$

这样，变压器效率随着负载的大小而变化，当 $(W_i/x + x W_c)$ 为最小时，即当 $x = \sqrt{W_i/W_c}$ 时，效率为最大。换句话说，在一定电压和负载功率因数下，当空载损耗与短路损耗相等的负载容量时，变压器效率为最大。这种关系如图1所示。

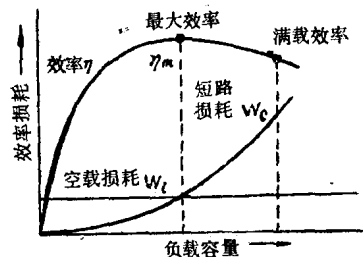


图1 负载容量与效率损耗的关系

现在制造的变压器，最大效率的负载容量一般是在额定容量为50~65%的时候。所以变压器运行负载通常为额定容量的65%左右时，空载损耗与短路损耗相等，变压器效率最大，而损耗最小。变压器效率之所以在额定容量的50~65%和较轻负载时为最大，是由于变压器铁心采用了优质方向性硅钢片，从而降低了铁心损耗，以及改进制造工艺的结果。

(2) 与功率因数的关系

在一定的负载容量下，负载功率因数变化时，虽然变压器损耗没有变化，但由于二次端所得到的有功功率发生了变化，所以功率因数降低，变压器效率也下降。

这种情况从公式(2)中也可以明显地看出来。功率

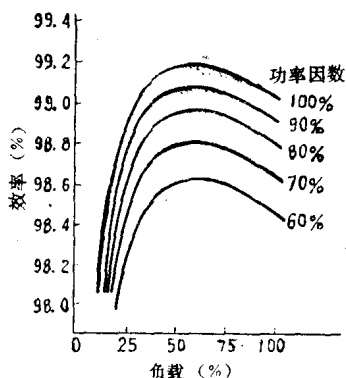


图2 负载功率因数与效率的关系

因数与效率的关系如图2所示。

二、变压器的高效率运行

1. 变压器容量的探讨

要使变压器长时期保持最大效率，最好根据负载

$$\text{全天效率} = \frac{1 \text{ 天内功率 (千瓦小时)}}{1 \text{ 天内功率 (千瓦小时)} + 24 \times \text{空载损耗 (千瓦小时)} + 1 \text{ 天内负载损耗 (千瓦小时)}} \times 100 (\%) \quad (3)$$

2. 多台变压器组合数目的探讨

如上所述，由于空载损耗（与负载无关）是一定的，所以轻载时损耗相对地变大了，对于这一点，作为省能措施是不能忽视的。譬如，像夜间和休息日的轻载时，为了减少损耗，可采取切断轻载变压器、控制变压器投入运行的台数或者换接到小容量变压器等几种办法。采用这种运行方式，在多台变压器组合系统中必须配置能够切换变压器的设备。

如果从变压器效率来考虑，由于把变压器分为多台组合，单台变压器容量变小了，从而降低了效率，所以变压器组合台数应尽量减少，单台容量应尽量增大。

但是，有的负载随季节或在夜间定时地停止运行，在这种情况下若负载在变压器容量的40%以下时，由于效率的降低，需考虑到负载降低率和停止负载的时间长短等因素，研究采用多台变压器组合系统。

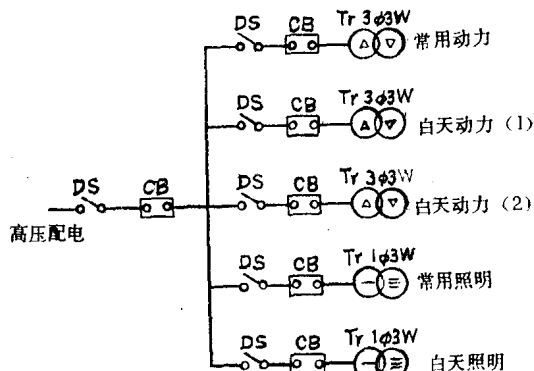


图3 变压器系统接线方式 (1)

容量平均值应为变压器容量的50~65%的原则选择变压器。可是，只考虑高效率来决定变压器的容量，就要选择比一般情况更大的容量。

上面已经介绍过，在理论上，变压器50~65%的容量为负载容量时，其运行效率最大，但是负载即使在40~100%时，效率也基本不变。从设备方面来看，按80~90%负载选择变压器是有利的。这样选择变压器容量，变压器过载运行的可能性也变大了，在某一容量范围内短时过载是十分可能的，最大效率的负载容量就不一定坚持了。

一般来说，在工厂、大厦、旅馆等地方，变压器上所安装的电气设备负载是经常变动的，一天中负载不一样是普遍的事。所以考虑变压器每个时候的效率也是没有意义的，最好以一天用电量为基准考虑综合效率。下式为全天效率，如果把每天负载变动作为一个典型运行条件，则耗电量为最小，全天的效率为最大。

变压器系统接线方式见图3、图4和图5。

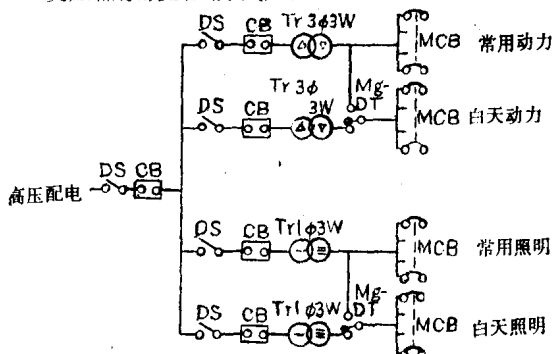


图4 变压器系统接线方式 (2)

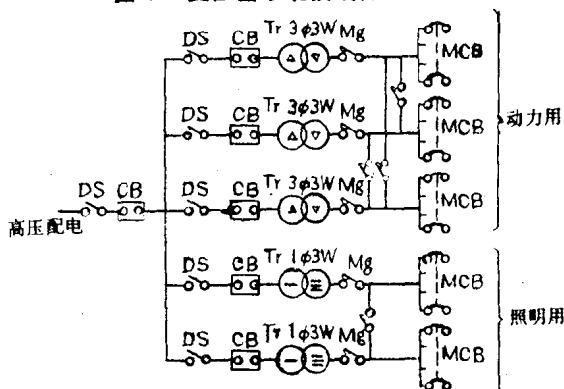


图5 变压器系统接线方式 (3)

(图3、图4和图5上的字母符号：
DS—隔离开关，CB、MCB—断路器；
Tr3φ3W—变压器3相3线；
Tr1φ3W—变压器单相3线；
Mg、MgDT—电磁铁接触器)

图3所示系统是按用电时间分别设置变压器,非用电时间切除相应的变压器,以此减少空载损耗的接线方式。用单纯切换二段和三段变压器的方式是降低损耗的。

图4所示系统是配置2台容量大小不等的照明和动力共用的变压器,分别按重载和轻载切换变压器,以减少空载损耗的接线方式。用电磁铁接触器切换变压器二次侧控制二段变压器。

图5所示系统是对照明和动力的负载安装2台以上的变压器,根据负载变动情况选择效率最大的变压器组合,其余的变压器从线路上切除的一种接线方式。这时,一方面,由于在变压器的二次侧与任意变压器都可以组合运行,所以供电灵活了,对于所承担的负载运行也无特殊的约束。此外,与一般情况相比,变压器单台容量变得相当小了,因为是多台的组合,所以总的空载损耗比一台大容量变压器的要大一些。因此,安装2台以上的变压器,要想提高运行效率,需根据一天24小时内使空载损耗为最小的原则,决定投入的变压器容量和组合台数。这样一来,变压器二次侧的线路结构变得复杂了,除在操作上应注意以外,初投资费用也是一个值得考虑的问题。

三、高效率变压器的选择

在配电设备中,变压器耗能是相当大的。所以安装损耗小的变压器是一项有效的省能措施。

变压器分油浸式变压器、H级绝缘干式变压器和浇注式变压器。其中浇注式变压器的特性优良,符合省能要求。

因为这种浇注式变压器利用了环氧树脂,绝缘性能优良(为空气绝缘强度的10倍),采用了合理的线圈绝缘结构和选择了紧凑的浇注线圈,所以这是一种铁心和线圈损耗都小的电气设备。

与过去采用的浸渍清漆的H级绝缘干式变压器相比,损耗降低40%左右,与油浸式变压器相比,降低30%左右。

如以3相6千伏500千伏安变压器为例计算,变压器运行10年的电力损耗费用,比H级绝缘干式变压器节约400万日元左右,比油浸式变压器节约300万日元左右。在各种典型负载下,变压器损耗的比较如表1所示;在各种典型负载下,浇注式变压器10年运行的经济效果如表2所示。

四、功率因数的改进

在电力负载中,电动机、感应炉、电焊机等电气设备,除消耗有功功率以外,还消耗相当数量的无功

功率,所以这些设备投入电力系统中,使线路的功率因数变坏。

表1 变压器损耗耗电量的比较(以3相50赫6千伏或3千伏500千伏安变压器为例)

一天中的运行条件	浇注式 变压器	H级绝 缘干式 变压器	油浸式 变压器
24小时100%负载	1.0 (基准值)	1.703	1.484
12小时80%负载+ 12小时50%负载	0.61	0.94	0.816
12小时100%负载+ 12小时切除变压器	0.5	0.852	0.742
12小时80%负载+ 12小时切除变压器	0.374	0.604	0.525

表2 耗电量降低的经济效果(以3相50赫6千伏或3千伏500千伏安变压器为例)

一天中的运行条件	富士浇注 式电力变 压器比H级绝 缘干式变 压器的节约 额	富士浇注 式电力变 压器比油浸 式变 压器的节 约额
24小时100%负载	552万日元	380万日元
12小时80%负载+ 12小时50%负载	260万日元	162万日元
12小时100%负载+ 12小时切除电压器	276万日元	190万日元
12小时80%负载+ 12小时切除变压器	181万日元	119万日元

注 1. 表内节约额是以10年为期的运行累计数;

2. 电费每度按14日元计算。

因此,在这样系统中,电源供给的电流变大。

随着电流变大,出现电力损耗增大、电压降增加或者线路上电气设备的额定电流容量增加以及总电气费用增加等缺点。

如果在这样的系统中安装上电力电容器,就会提高线路功率因数,控制无功功率,从而可以防止上述的弊病。

1. 电容器容量的计算方法

用安装电容器的方法,将负载容量W(千瓦)的功率因数 $\cos\theta_0$ 改善为 $\cos\theta_1$ 。为此,所需容量 Q_c (千伏安),可以用下式计算(参见图6)。

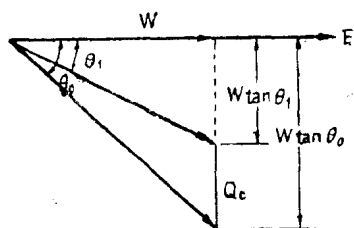


图6 决定电容器容量的向量图

$$Q_c = W(\tan\theta_0 - \tan\theta_1)$$

$$= W \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_0} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_1} - 1} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\therefore \frac{Q_c}{W} = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_0} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_1} - 1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

或将 $W = P \cos\theta_0$ 式代入得

$$\frac{Q_c}{P} = \cos\theta_0 \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_0} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_1} - 1} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

上式计算结果如图7所示。图7a是需要改善的 电容器容量以千瓦负载百分率画出的曲线图，图7b是以 千伏安负载百分率画出的曲线图。现在若将负载容量 506千瓦的功率因数75%改善为功率因数90%，求 所需要的电容器容量，也可用下式计算出来。图7中，超 前功率因数75%的横轴与改善后的功率因数90%的曲 线交点的横轴为40%，因此所需要的电容器容量为：

$$Q_c = 500(\text{千瓦}) \times 0.4 = 200(\text{千伏安})$$

所以电容器的容量选为200千伏安。

2.改善功率因数的效果

(1) 电力损耗的降低

a) 线路损耗的降低

若损耗以 I^2R 表示，当有功功率一定时，损耗降低 率 α 由下式确定：

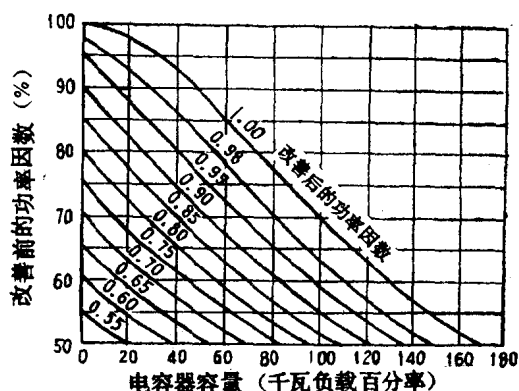
$$\alpha = 1 - \left(\frac{\cos\theta_0}{\cos\theta_1} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

b) 变压器短路损耗的降低

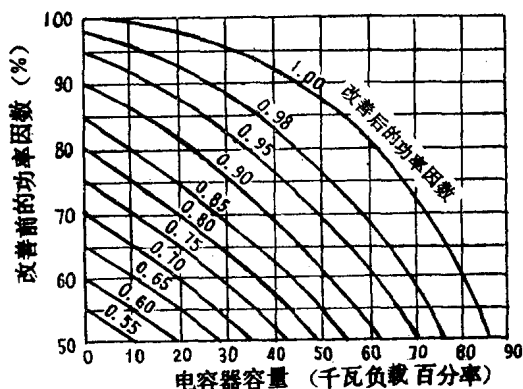
由于功率因数的改善，降低了短路损耗，所降低

的电力损耗 L (千瓦) 可由下式求得：

$$L = \left(\frac{100}{\eta} - 1 \right) \frac{2}{3} \cdot T \left(\frac{W}{T} \right)^2 \left(1 - \frac{\cos^2\theta_0}{\cos^2\theta_1} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$



(a) 以千瓦负载作基准时



(b) 以千伏安负载作基准时

图7 电容器容量与改善后的功率因数的关系

式中 η —变压器效率； T —变压器的额定容量 (千瓦 安)； W —变压器的运行容量 (千伏安)。

(2) 电力费用的降低

改善功率因数带来的降低损耗的效果，除用户得

表 3 基本费用的减价率和加价率

合同类别	电 力 范 围	总用电费用	基本费用的减价率和加价率
低 压 电 力	电力合同 < 50 千瓦	基本费用 + 电费	功率因数85%以上时，减价5% 功率因数85%以下时，加价5%
业务用电力	50 千瓦 ≤ 电力合同	基本费用 + 电费	功率因数85%以上时，每高于1% 减价1%
高 压	50 千瓦 ≤ 电力合同 < 500 千瓦	基本费用 + 电费	功率因数85%以下时，每低于1% 加价1%
电 力	500 千瓦 ≤ 电力合同 < 2000 千瓦	基本费用 + 电费	
超高压电力	2000 千瓦 ≤ 电力合同	基本费用 + 电费	

到各种收益外,电力公司也能得到不少好处:降低送电端(发电站)到安装电容器地点的线路损耗,提高发电机和变压器运行效率,提高各种设备实际利用率等。为了合理地使用设备,对用户实行了基本费用的功率因数减价和加价制度。就是说,标准基本费用是以功率因数85%时为基准确定的,功率因数高于85%时实行减价,低于85%时实行加价(参见表3)。

(3) 设备容量实际利用率的增加

电容器能供给超前无功电流并减少流入负载的滞后无功电流。因此,配电设备和配电线路的实际负载减少了,使电源设备的容量有了富裕。

〔范思纯译自《省エネルギー》,1980,22, №1, 65—69, 潘宏详校〕

送、引风机节电措施及其实例

井 官 敏 彦

一 送引风机节电

本文只介绍炼钢厂在生产上和除尘方面使用的一般送引风机的节电措施及其实例。

依使用条件之不同,送引风机采用下述各种节电装置和措施。要点是:

1) 必须充分注意送引风机的规格和所要求的条件是否吻合。过去,为安全计,裕量往往取得过大,规格也过大。

2) 切实掌握送引风机的使用条件。在流量、压力变动时,必须考虑采用连续或间歇运行及其控制方法等。

3) 上述两种情况下,都要提高送引风机效率。

本文介绍用下列两种方法改造现有风机的效果。

① 风量控制方法;

② 提高低效送引风机的效率。

二、风量控制方式

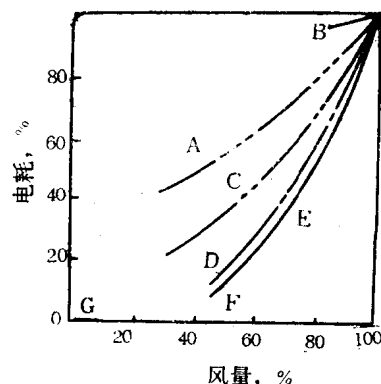
集尘装置的大容量引风机,尽管烟尘间歇产生,它却连续运行。因而希望按烟尘发生量来配风,而且仅在必要的时间运行,以节省电力。控制必要风量的方式有两大类:

(1) 挡板控制方式(图1曲线A);

(2) 转数控制方式

1. 适于风量特性曲线的控制方式

图2为决定控制方式的程序。将评定项目进行综合比较后,从最适于风量特性曲线的诸控制方式中,决定一个最佳节电方式。



- ① 液力连接器(图1曲线B)
- ② 液压联轴器(图1曲线C)
- ③ 二次电阻控制(图1曲线C)
- ④ 极数变化(1:1/2, 图1曲线F)
- ⑤ 开关控制(图1曲线G)
- ⑥ 静压谢菲尔巴斯方式(图1曲线D)
- ⑦ 频率控制(图1曲线E)

图1 各种方式电耗比较

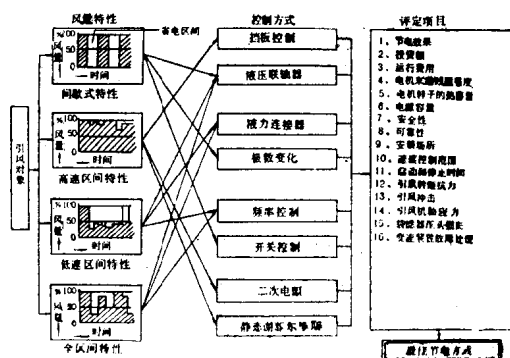


图2 控制方式的决定程序

2. 实例 (1)

介绍高炉浇注工段集尘引风的应用例。其引风规格列于表 1, 设备布置和发生烟尘的特性曲线示于图 3。

上述经济性和技术分析得到表 2 所列结果, 所以

表 1 引风装置规格

	风量 米 ³ /分	风压 毫米汞柱	马达千瓦	集尘 式方
1号引风	2000	430	330(6P)	袋滤器
2号引风	1500	550	300(6P)	袋滤器

表 2 控制方式比较表

控制方式 项 目	开关控制 (补偿70%)	频率控制	极数变化	液压联轴器	挡板控制
启动时的 机械应力	马达启动时的机械应力为28倍; 无马达热容量问题; 启动电流368%。	启动时机械应力为1.5倍; 加速时有同步电流产生。	启动时机械应力为56倍; 启动电流750%。	加速中的热量, 采用油、水冷, 无问题。	无
速度控制范围%	0, 100	0~100	50, 100	20~100	
安 全 性	高压开关接点 马达定期检修	线路复杂	高压开关接点 马达定期检修	维护油、水、衬垫	无
特 征	最适于间歇运行 节电	能连续自动 进行速度控制	在引风减速 50%时, 电力减少到 $(1/2)^3 = 1/8$	须维护液压联轴器的油压系统和冷却塔	用启动挡板能节电, 但节约量不大。
适用情况	装有启动器的情况(中)	装有控制装置的情况(大)	不必要(小)	装有液压联轴器油压系统和冷却塔的情况(大)	
可 靠 性	定期检修, 毋须担心马达绝缘损坏	因通有启动电流, 马达的应力小	定期检修, 毋须担心马达绝缘损坏	液压联轴器发生故障时, 能直接与轴连接运行	
经济性(回收年月)	2年11个月	5年6个月	3年10个月	1年10个月	

节电方式采用液压联轴器。

3. 液压联轴器的原理、结构和特征

变速联轴器由湿式多板联轴器、油压活塞与控制其动作的油压回路, 以及联轴器板的冷却回路构成。油压活塞把作用在多板联轴器上的、与工作油压成比例的压力, 以转矩的形式传递出去。这种情况下, 当出力侧的负荷转矩达到一定的油压值时, 联轴器结为一体, 传递转矩; 而油压降低于这一数值时, 联轴器则滑动, 同时传递转矩。所以, 改变油压能够起到无级变速的作用。

联轴器板滑动时, 板间形成非常薄而强力的油膜,

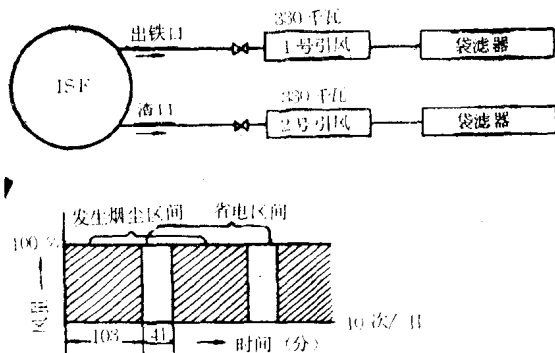


图3 设备布置和发生烟尘特性曲线 (均衡操作实测情况)

因为在设计上考虑了联轴器的所有负荷条件, 留有足够的裕量, 其耐久性和可靠性都高。联轴器发生的热量, 由充裕的冷却油来冷却。

作用在油压活塞上的工作油压, 由出力侧的测速发电机、控制台和控制阀来控制, 能自动控制, 也能遥控。

4. 应用例 (2)

介绍烧结矿石用的集尘送风机。其规格列于表3, 设备布置示于图4。该设备不管需要风量的变化, 老是以额定参数连续运行。其发生烟尘特性曲线列于图5。

从烟尘发生特性曲线看来, 适于需要风量的控制

表 3 送风装置规格

设备名称	风量 米 ³ /分	风压 毫米汞柱	马 达 千 瓦	集 尘 方 式
3BF 烧结矿石 集尘引风机	700	550	鼠笼式 150 (4P)	袋滤器

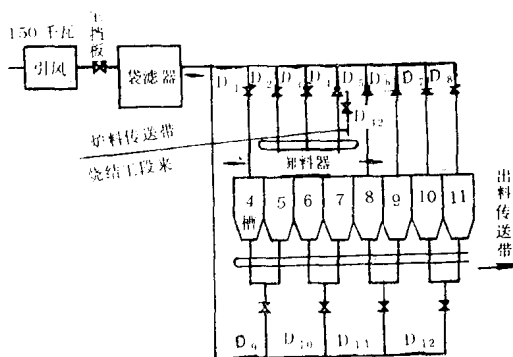


图4 设备布置

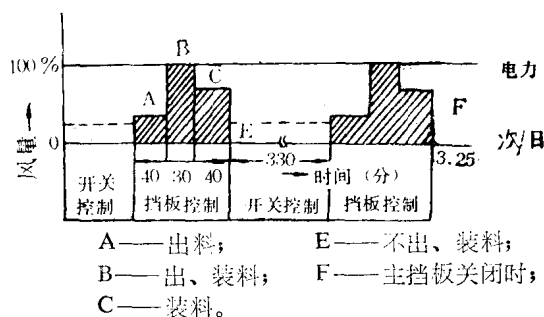


图5 烟尘发生特性曲线

方式有下列两种：

- ①调节鼓风机入口挡板的开度（挡板控制）
- ②开关控制

方法①单独使用，在需要风量为E时不经济；方法②单独使用，则在需要风量为A、C时不经济。将两种方式组合起来最省电。于是研制出图6所示控制装置。

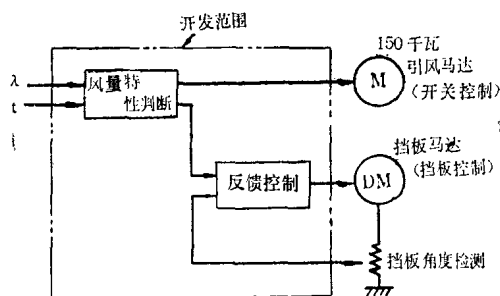


图6 风量特性判断装置

这种方式根据风量特性曲线，来判断采用开关或挡板控制。此外，在挡板控制时，还设有选择挡板角

度的装置。上述组合控制方法，可能付诸实际应用。

三、提高送引风机效率的措施

神户钢厂的送引风机，大部分是连续运行的。若能提高其效率，则能取得很大的节电效果，但增高了引风机的改造费用。若拖长改造周期，则投资效率低，妨碍生产。

所以，利用现有风机的外壳，同时尽量利用其他部件，只另备叶轮轴和变更叶轮形状，以提高效率。

1. 叶轮类型和效率

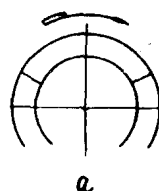
1) 类型和效率

- ①后弯叶片
- ②径向叶片
- ③多翼叶片
- ④旋转扩散叶片

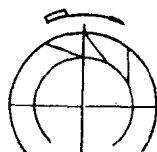
图7—10分别示出其形状和效率。



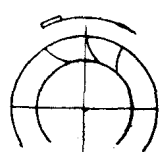
a



a



b



b

- (a) 曲线后弯叶片（涡轮，效率72~82%）
- (b) 直线后弯叶片（涡轮，效率72~82%）

图7 后弯叶片

- (a) 径向叶片（板式，效率65~75%）
- (b) 径向叶片（怀特式，效率67~77%）

图8 径向叶片

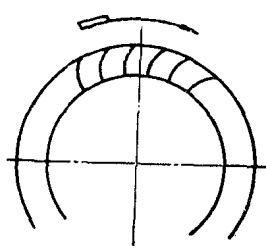


图9 多翼叶片（非洲热风式，效率60—70%）

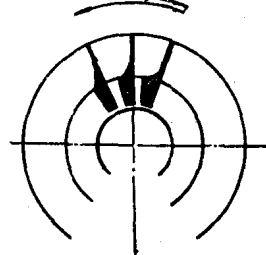


图10 旋转扩散叶片（效率82—89%）

2) 叶片特性

图11为代表性的后弯叶片、径向叶片和多翼叶片的特性曲线的比较。比较时以用百分率表示的最高效率点的风量、压力和轴动力作为基准。这些特性的特征列于表4。

表4 离心送风机的特性比较

	后弯叶片	径向叶片	多翼叶片
压力曲线	有峰	较平坦	有谷
轴动力曲线	在大风量区有一最高值	随风量增大而直线增加	大风量区显著增加
相同叶片外径时	升压最低	升压约为后弯叶片的1.3倍	升压约为后弯叶片的2倍
相同风量和压力时	大型	约为后弯叶片的0.9倍	约为后弯叶片的0.7倍
特征	效率高, 压力曲线的右下方稳定	尘土不易附着, 容易解决磨损问题	适用于大风量低压力

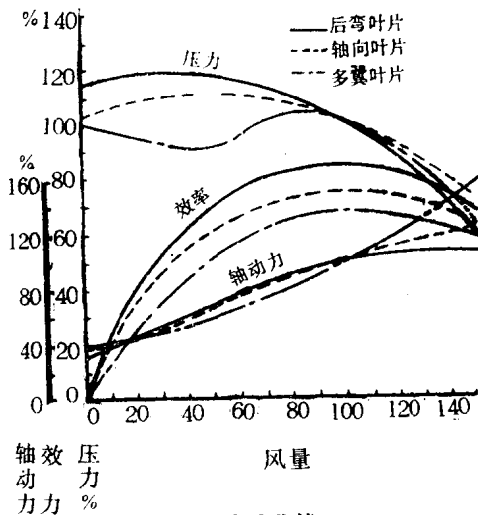


图11 特性曲线

2. 叶轮改造应用例

烧结车间的主引风机 (MB)，如图12所示，与升压风机 (BB) 串联布置。1978年7月将原有的后弯叶片 (图7a)，换成旋转扩散式 (图10)，能提高效率。

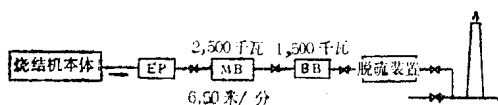


图12 烧结车间1号机引风系统

表5 改造前后的规格

	改造前		改造后
	安装时规格	改造前实况	
送风机型式	后弯涡轮	同左	旋转扩散式
拖动马达	感应电动机 1180转/分 2500千瓦 (6P)	同左	同左
风量, 米³/分	6500	6500	6500
升压, 毫米汞柱	1400	1450	1450
烟气温度, °C	120	120	120
耗电, 千瓦	2370	2130~2360	1950
效率, %			
叶轮外径, 毫米	2960		2960
叶轮重量, 吨	13		8.8
叶轮惯性, (GD²)-米²	27		14

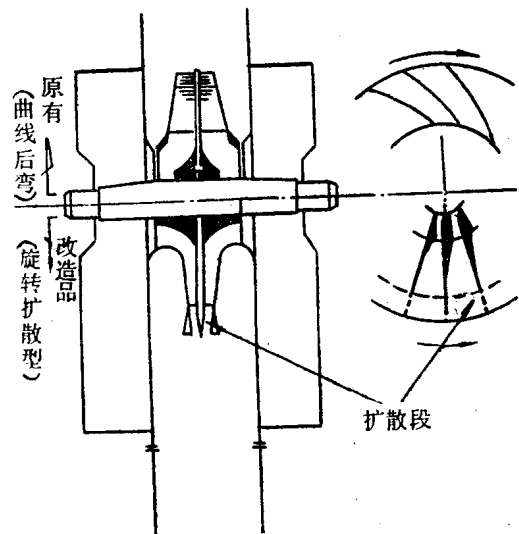


图13 改造前后的叶轮形状比较

改造前后的规格列于表5。

1) 改造前后叶轮形状

图13上半部为改造前的后弯涡轮，下半部为改造后的旋转扩散式叶片，其它零件尽可能留用。下面再列举旋转扩散式叶片的几个特征：

- ①效率高；
- ②叶片形状，在进气部份为轴向式，系三元结构，所以烟气由轴向流动平滑地转变为离心运动；
- ③叶片端部为扩散式，升压平滑；