

电力节能译文集

河北省电力试验研究所

一九九一年十月

编 者 的 话

当今，能源已成为举世瞩目的重大政治经济问题。从我国的具体情况来看、能源利用水平是实现四个现代化的重要组成部分，我国已把能源列入国民经济的战略重点。尽管电力生产发展在能源工业中的进展较快，但供需矛盾仍很突出，节能已成为我国电力生产的一项长期战略任务。

为了提高我国的电力节能水平，引进和吸收国外先进的节能技术，我们组织力量选译了英（23篇）、日（20篇）、俄（8篇）、德（1篇）文版的国外17种电力期刊上有关电力节能的文章52篇，其中包括综合（14篇）、汽机（11篇）、锅炉（16篇）、电气（11篇）全书约40余万字、插图300余幅。文章的绝大部分是1988年至1990年发表的。我们衷心希望该文集能对我国电力系统节能工作有所帮助，对其他行业的科技人员和工人也能起到参考作用。借此机会我们向译者以及对本文集的出版发行给予支持和帮助的领导和同志们表示衷心的感谢。由于时间仓促再加上编者水平有限，文中难免还存在缺点和错误，希望广大读者给予批评指正。

一九九一年七月

目 录

(一) 综合部分

1. 风力发电作为商业化能源的前景.....王国先译(1)
2. 提高火力发电厂效率的技术.....吴国良译(6)
3. 集光式太阳能发电系统.....舒成兰译(19)
4. 煤气化复合发电技术研究动态.....高 嵩译(24)
5. 实现煤气化联合循环发电实证试验的目的.....荣世鸿译(29)
6. 热电联供与吸收冷却相结合以节约能源.....胡昌林译(36)
7. 再生能的可能性和限制.....陈 代译(38)
8. 性能监测系统可以降低运行成本.....胡昌林译(50)
9. 低温水热源热泵的开发.....刘育新译(54)
10. 新蓄热槽系统的功能及应用.....刘育新译(61)
11. 过程/动力结合为热电联产系统提供新机会.....翟若岩译(69)
12. 用绘制工厂需热量曲线的方法取得热电联产效益.....翟若岩译(76)
13. 保温.....陈 宁译(79)
14. 保温材料的选择.....王月枝译(92)

(二) 锅炉部分

15. 煤粉锅炉高效率燃烧技术.....高 嵩译(95)
16. 改善锅炉燃烧提高锅炉效率.....葛长勤译(110)
17. 关于锅炉燃烧的节能改善和运行管理.....吴国良译(115)
18. 露点值的测定有助于降低排烟温度.....刘 峰译(126)
19. 用余热回收锅炉的温度分布指导能量回收.....刘 峰译(129)
20. 降低热耗必须首先优化燃烧.....雷继尧译(133)
21. 通过改善锅炉启动时净化方法来降低启动损失.....荣世鸿译(137)
22. 飞灰可燃物监测仪能说明机组性能.....伊建明译(143)
23. 提高水力除灰碓系统的经济性和可靠性.....王俊昌译(147)
24. 烟气再循环在抛煤机式层燃炉上的成功应用.....王忠渠译(149)
25. 用改变电除尘器振荡波形的方式降低能耗.....王忠渠译(150)
26. 论提高汽水锅炉的可靠性、经济性及效率.....余广知译(152)
27. 有助于实现煤粉燃烧优化的检测仪表.....蒋晓晶译(159)
28. 关于提高平面火焰煤粉喷燃器的工作效率问题.....陈 代译(164)
29. 燃煤电厂低未燃份运行方式的试验研究.....李满林译(167)
30. 喷涂保温减少燃油储箱热损失80%.....陈冀平译(174)

(三) 汽机部分

- 31. 提高汽轮机效率的技术.....李满林译(179)
- 32. 1000MW汽轮机的效率改善.....舒成兰译(188)
- 33. 高压缸调节阀部分开启的300MW发电机组启动时的
燃料损耗.....宋明谦译(199)
- 34. 预测和改进冷却塔性能.....胡昌林译(202)
- 35. 热管在电厂空气预热中得到应用.....宋明谦译(206)
- 36. 通过改善大型水泵的运用节省发电机停机中厂内电力.....叶万勋译(209)
- 37. 延长给水加热器寿命——让经济学作为您的向导.....陈冀平译(217)
- 38. 对蒸汽管道保温的新的实际观点.....陈冀平译(225)
- 39. 蒸汽管道保温状态的红外线监督.....王俊昌译(231)
- 40. 凝结水过冷度影响机组性能.....帅春华译(232)
- 41. 优化放热系统运行增加机组净出力.....张荣佩译(235)

(四) 电气部分

- 42. 提高汽轮发电机效率的技术.....吴国良译(241)
- 43. 降低配电网电能损失措施效果的评价.....颜世亨译(255)
- 44. 电力系统网络每日电能损耗的结构分析.....王俊昌译(260)
- 45. 采用PAM方式极数变换马达来节能.....吴国良译(264)
- 46. 关于电动机的转数控制.....王月枝译(271)
- 47. 变压器冷却可变速控制方式的概要.....王月枝译(274)
- 48. 可编程序电容控制器可帮助降低系统损失.....赵德章译(282)
- 49. 监测导线温度提高变电线路容量.....赵德章译(284)
- 50. 高次谐波和无功电力瞬时补偿装置.....王月枝译(286)
- 51. 火力发电厂引风机驱动电能的节省.....陈代译(294)
- 52. 69千伏车载式电容器组灵活性强并可降低线损.....赵丽红译(296)

风力发电作为商业化能源的前景

Philip C. Cruver

80年代早期兴起的风能工业，1982年至1987年间在美国吸引了大约30亿美元的投资。作为最迅速增长的可重复使用的能源，风力发电技术在经济性和实用性方面取得了值得称赞的成果。这十年开始阶段所使用的风力涡轮机普通容量是25kW。现在风力涡轮机的普通容量正逐步增加到200kW的范围，而且每千瓦的成本由3000美元直线下降到1000美元以下。在加利福尼亚的风力发电站运转的15,000台风力涡轮机总容量为1400MW，1987年的发电量为17亿多kWh。这个数字相当于该州耗电量的1%，或者说为二十八万个家庭提供了充足的电力。（见图1和图2）

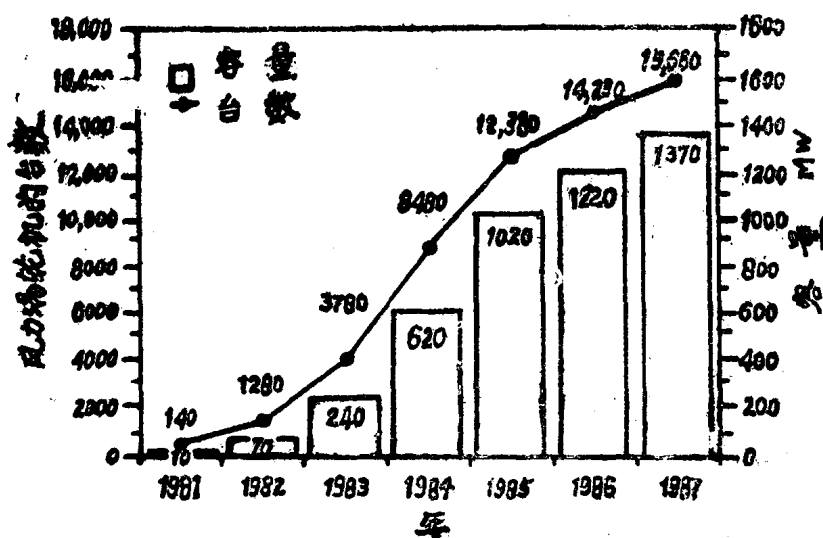


图1 以容量和风力涡轮机数表示风力发电的增长

注意到这样的事实是很有意义的。即在1987年安装15MW风力发电容量较1986年安装容量增加了12%，而1987年风力发电的发电量或者说千瓦时数比上一年多42%。在容量指数方面的增长显示了该产业的成熟。

风力发电的近期展望

关于风力发电的近期展望，两部分美国市场允许有限数量的风力开发者和制造商得以成功。这两种市场是：（1）研制超过现有公用事业合同规定容量的新型风力涡轮机。（2）以工程技术上的增强手段改造现有的风力涡轮机。

与加利福尼亚公用事业签订的4号标准价格（SO*4）电力购置合同比风能经济方面的税额减免更为重要，而且对在石油价格变动的条件下筹措信用贷款是必要的条件。SO*4合同是由纳税人津贴的，他们保证对最初十年中风力生产的电力提高价格。合同签订的尚

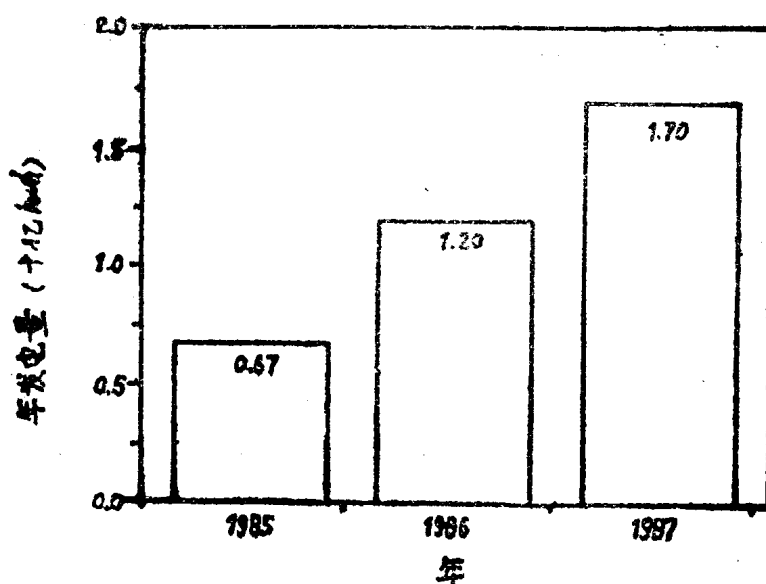


图2 加利福尼亚的风力发电量

待开发的约1000MW有价值的SO*4电力购置计划仍保留在加利福尼亚。他们将为在1989年以前安装大约5000台以上的风力涡轮机提供一个市场，而且在1989年以前所有这些机组必须投入运行。

SO*1合同根据公用事业实际避免的费用，与SO*4合同的7.5美分/kWh相比大约每千瓦时只支付3.0美分。在石油和天然气价格稳定，风力发电的经济性继续提高的情况下，SO*1合同足以吸引公用事业的资金用于风能投资。况且，由公用事业支付的价格超过电力购置合同头十年的价格的差额，在考虑30年的投资期时并不显著。风力资源的开发利用速度将在长时期中对风能事业的经济性产生最巨大的影响。

对安装在加利福尼亚的大约3000台风力涡轮机有一个更新改造的市场。由于存在有缺陷的部件、不完善的涡轮机设计或者说对当地的风力条件设计不适用，这些机组不能运转。这些风力涡轮机的更新改造将为今后数年提供一个可获利的市场并将引起创新的工艺技术改良以改善风力涡轮机的性能和效率。

在丹麦的风力涡轮机上，受到极大应力的重型旋转叶片正开始失效。工程技术专家们预言，以较重和较轻的叶片结构更新改造那些原有机器有5000万—1亿美元的市场。

在过去的五年中，有关翼面的特性以及对每一种风力工况选择最佳翼面和叶片结构的重要性已搞清楚了许多。例如，在装有4000台风力涡轮机的加利福尼亚的圣·戈泽尼亚派斯地区，已证明LS-1翼面对电力输出是最优越的。在导前边缘上的砂蚀和小缺陷的聚集不像使用NACA系列翼面的经验那样显著降低LS-1翼面的性能。最近太阳能研究院研制出的(SERI)翼面对低风力地区提高电力输出从理论上讲是很有希望的。论证工作仍在加利福尼亚进行着，而最后的结论性意见尚未发表。太阳能研究院声称：飞机翼面对气流分离控制的转输叶片并不适用，而新系列翼面将可增加发电量并减轻载荷。

可以想得到，风力涡轮机的更新改造和推广应用将包含分析研究和最佳翼面以使风力发电站电力生产达到最大限度。翼面和叶轮结构的最佳选择可排除向可变高度技术发展的流行趋势。其结果可降低设备制造费用和维修费用。

包括整个圣戈泽尼亚派斯在内的大多数具有风资源的地区，风速随高度增加而按指数规律增加。风力涡轮机制造商们正把塔高增至48.8米（160英尺），以便在此高度上增加30%以上的有效功率。

做成高塔的想法具有另一优点：即在良好的风力场地上将矮塔风力涡轮机和高塔风力涡轮机结合，可布置得更为紧凑，从而最节省地，最恰当地使用昂贵的变电所和现行的很有价值的SO⁴电力购置合同。一家风力涡轮机制造商正设计一座97.5米（325英尺）向下倾斜的高塔以便在有正向剪切风的场所使风力资源潜能达到最大限度。向下倾斜的特点使涡轮机维修更容易，利用这个特点在世界上那些狂风产生的风力超过设计负荷的地区保证机器安全可靠。

公用事业对作为商品化能源的风力发电的兴趣在美国的一些地区正增长着。设立在加利福尼亚的一家大型风能公司同弗吉尼亚电力公司最近就位于西弗吉尼亚的1.5MW示范性风力发电厂签订了一个协议。纽约州一家主要公用事业公司花费了相当数量的资金以评估它提供服务的地区内的风力资源。该公司正计划建立一个100MW的风力发电站。

由于建立一般电厂的费用快速增长的冲击和外加环境保护控制需要的资金与基本投资的比例变得愈加明显可观，因而增加风力发电的活动遍及美国。因为风力涡轮机的成本下降到建立每千瓦容量只需500美元并可避免其它费用增加，有风力资源的地区如怀俄明州、蒙大拿州、得克萨斯州、俄克拉何马州和东北部多山地区将成为吸引风能开发者的地区。

美国能源部预测（1987能源保障报告）：风能发电容量到1995年将增加10倍，到2005年将增加70倍。如果这个估计准确的话，那么在进入下个世纪的时候，有70,000MW以上或者说美国发电容量的10%将由风力发电提供。

国际上的发展情况

加利福尼亚风力发电的成功已影响到拥有丰富风力资源的许多海外国家的能源政策制定者。当下一能源危机成为现实时，石油输入国肯定会重视风力发电和其它可重复使用的能源技术。

丹麦的风力涡轮机制造商们对欧洲的公用事业在风力发电方面的利益起着促进作用。目前丹麦具有一个加利福尼亚之外的最大的独立的风力发电市场，尽管丹麦的发电量仅占欧洲全部电力消费的2%，但建立在丹麦的风力发电容量却占欧洲的70—80%。1600台风力涡轮机（100MW以上）生产的电力略低于全国消费电量的1%。丹麦认为在丹麦获得的风力发电经验可转让给其它具有发达电力网的欧洲国家。丹麦政府把7千5百万美元的资金投资于印度的能源规划，其大部分用于风力发电。丹麦的商行在希腊和西班牙积极地促成风力发电项目。

据估计，英国20%的电力可由风力发电产生。风能的效能和经济性普遍地得到肯定和检验，将推动英国和其它欧洲国家在今后数年中由研究开发阶段进入商品化阶段。英国的风力涡轮机制造商们在全球范围已销售了容量从50W至3MW，价值6,000万美元的风力涡轮机。

轮发电设备。目前有25台以上的风力涡轮机在环绕该国家的一些重要场所运转。

荷兰政府拨出1千万美元用于建设合计容量为25MW的5个风力发电站。另外有23台涡轮机的风力发电站正在运行并计划年发电量为8百万千瓦小时。

印度工业最集中邦之一的古尤内特邦，由于电力短缺而被困扰着，邦政府坚决地把决心下在能为将来提供干净、低成本、高效能的风力发电上。一个典型的风力发电站自1986年1月就已投入运行，邦电力委员会正制定能源金融政策，此构思允许一个电力的工业机构在邦内建立一风力发电站并将电力供入电网。将这个机构消费的电力作下记录，由它的风力发电站发的电补偿。

美国国际开发署（USAID）已为红海边上的内斯格拉布开发1MW风力发电站提供资金。这个5台风力涡轮机示范工程项目将证实为埃及提供电力需求的风力发电的可行性和经济性。（图3）。

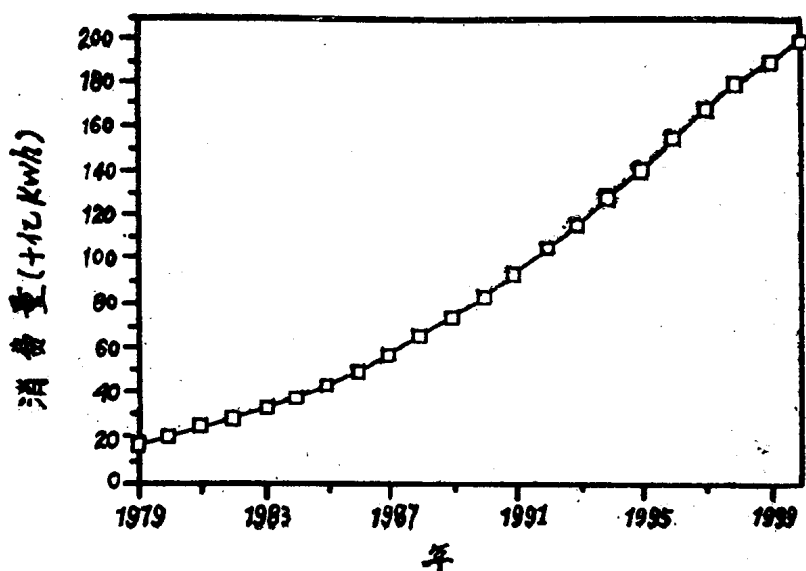


图3 埃及电力消费量的计划增长情况

埃及国防部在与利比亚的边界附近正试验1MW风/狄塞尔内燃机混合系统。5台200kW风力涡轮机取代这个军用电站的昂贵的狄塞尔内燃发电设备。联合国开发计划署（UNDP）已为一风力驱动反向渗透制冰项目提供资金。因为在该地区一加仑水的费用超过一加仑狄塞尔内燃机燃料的费用，故此项目具有引人注意的经济性。

约旦王国同加利福尼亚能源委员会有450万美元的联合技术转让计划。这个计划要求在约旦以4百万美元建立一个25台风力涡轮机的风力发电厂和以50万美元安装监控设备。

美洲国家开发银行和加勒比开发银行分别为巴巴多斯和蒙特塞内特的风力发电计划提供资金。加勒比银行还为安提瓜的风力示范项目提供资金，该项目已自1984年开始发电运行。

加拿大国际开发局为土耳其和开戈斯公用事业公司的50kW直轴式风力涡轮机示范工程提供资金。风力涡轮机是由在派姆斯普林斯、加利福尼亚和北海角、普林斯爱迪乌岛建立和试验500kW模型机组的同一家公司制造。

风力发电在发展中国家

美国能源部和世界银行最近对发展中国家做了广泛的调查研究。研究发现,经济地开发风能资源以补充他们各自的电力系统的潜力是很明显的。研究开始阶段对世界范围内所有发展中国家的有关风力资源现有的资料和发电装置资料进行了分析研究。发现13个国家具有开发经济的商业风能的巨大潜力。这些国家是:约旦、印度、巴基斯坦、中国、毛里塔尼亚、摩洛哥、智利、斯里兰卡、牙买加、叙利亚、也门、P.D.R、罗马尼亚和坦桑尼亚。

这个研究的第二阶段将进一步调查发展中国家对风能的需要。更深入的估计将会发现更多的潜在需要。这些需要由于第一阶段的弃置标准而被忽略。

例如埃及在该研究中就没有计入,因为它的天然气储量丰富,可制造天然气涡轮机作为将来另一个可供选择的最低发电成本方案。然而,国家的天然气储量(估计在5.5万立方英尺)在未来的电力生产中能起多大作用尚不清楚。根据联合国开发计划署(UNDP)的报告,这些储量还没有大到足以保证一个配电系统的耗资。另一方面,可提供给埃及未来电力需求的风力发电的潜力可与加利福尼亚的风力发电潜力相匹敌。在红海上两年积累的资料表明它有风速超过加利福尼亚的圣果刚尼亚派斯的风力资源。美国国际开发署(USAID)预测,到本世纪末埃及对电力的需求将由6,000MW增加到18,000MW。估计指出,在这个期间中埃及的电力消费量将以年增长率约15%的速度从约600亿kWh增加到2,000亿kWh。

埃及政府也考虑建设原子能和燃煤发电厂。但是烧煤的环境问题以及为进口煤所花费的硬通货使40亿美元的燃煤发电厂计划成为危险的财政问题。预期6至8个原子能电站系列也需要进口铀并同样要花费大量投资。而原子能电站在为埃及电网提供第一瓦电力前可能需要十年时间,何况还要取决于规章条例和环境保护等限制。因此埃及正计划在今后几年建设500MW的风力发电容量以满足其对电力的需求。

技术认可

随着国际市场的开发和国内风力发电的实施,证明风力发电的成本效益经济性,具有工业实力和强大风力资源的国家将需要在国内制造和装备风力发电系统,以维护本国的硬通货。被证实具有成功经验的风力涡轮机制造商正批准在许多国家建立制造厂的方案。

一些重要的风力涡轮机制造商提供的风力涡轮机的保证性能,已证明了风力发电工业的成熟。例如,一家日本的联合企业,住友重工正制造一台建设费用少于1000美元/kW的200kW风力涡轮机。此外,这家公司还保证在一良好的风力状况20年以上的使用期中,生产成本可在3美分/kWh以下。

风力发电的经济性

电力研究院(EPRI)估计,风能使用期间的发电成本为12美分/kWh。然而这个数字是基于良好的风力资源和1700美元/kW的建设投资的基础上。强大的风力资源和建设费用是上述费用一半将降低风力发电成本使之低于电力科学院为将来设想的具有竞争力的

电力生产方案成本。

加利福尼亚能源委员会在题为“电的相对成本”的报告中预计，作为新发电设备最低费用选择之一的风力发电投资按1987年美元计算，其发电成本为3—5美分/kWh。

英国风力能源委员会在1987年6月公布的形势报告中声称：“…风力发电目前是以国家水平上新发电方式的最便宜的发电方式”——比煤、石油或原子能发电便宜3美分/kWh。

加利福尼亚煤气和电力公司提出的风力涡轮机最新经济分析估计，目前风力发电估计成本为5.4美分/kWh，这个成本与以石油为燃料的发电成本相比是很具竞争性的，而实际上比煤气和电力公司自己的迪埃波罗峡谷原子能电站的发电成本11.3美分/kWh低得多。

环境问题

推动选择将来电源的因素不仅仅是经济性。常规电源，特别是燃烧煤、石油等矿藏的电厂，其对环境的影响现今处在极严格的监视之下，并将受到更加严格的控制。

公用事业公司对大型燃煤或原子能电厂目前已无定货。而现在那些运行的电厂提供了全国电力的三分之二，这样在全国许多地区预计早至1992年就会出现严峻的电力不足。因为还没有另外的电力规划，在本世纪末之前可能导致美国经济的消退和混乱。

风力涡轮机利用不需花钱的资源作为发电动力。而风力资源早就为美国的草原地区提供了独一无二的动力，好几个世纪以来就是利用风来抽水和脱谷。近来税额减免已刺激了企业家把风力发电厂作为公用事业电源的兴趣。现在，从技术上讲，为公用事业建设20%电网容量的风力发电是可能的，可以预见到，今后的十多年，在许多具有强大风力资源的国家可获得最大的风力发电量。下一个能源危机、未来对电力的需求和环境保护的利害关系在今后十年毫无疑问将为风力电源的兴起创造条件。

河北电研所王国先 译自《Power Engineering》1988.12

提高火力发电厂效率的技术

〔日〕星野和贞 等

1. 绪言

火力发电厂所需的燃料费用是巨额的。例如，在负荷率为60%的1000MW火力发电厂假定按电厂热效率为40%，燃料单价为2 ¥/4186.05J(10^3 Kcal)来单纯地计算，一年内燃料费用高达约230亿日元。因此，如果能改善相对值为1%的热效率，一年内就可节约2亿日元以上。由此可知，效率提高技术是何等重要。

下面介绍提高火力发电厂效率的历史、蒸汽轮机、燃气轮机提高效率技术的开发，通过采用联合循环技术来提高效率等内容。

2. 提高火力发电厂的效率

图 1 示出了火力发电设备的单机容量以及效率提高的变迁过程。由图可知，从1955年

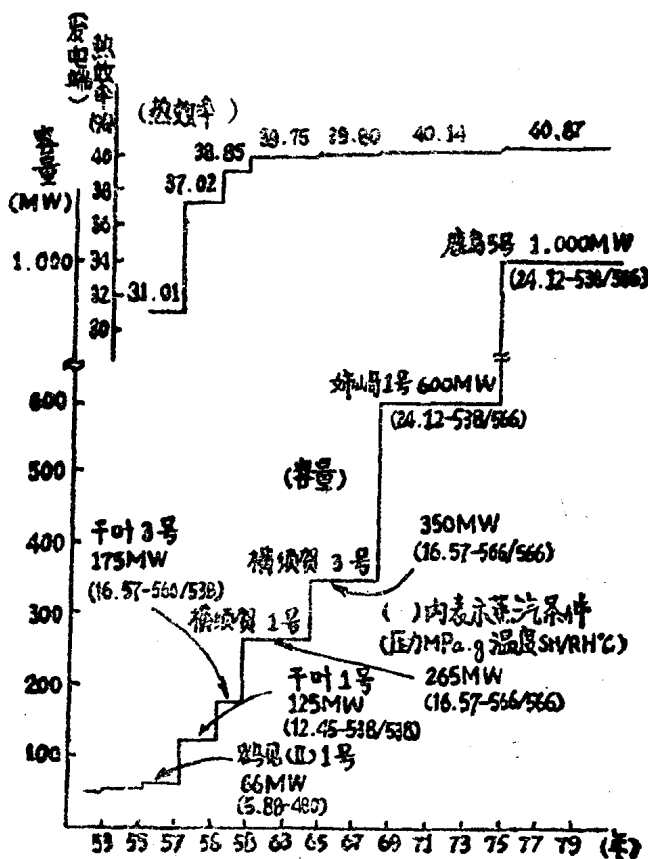


图 1 火力发电设备的单机容量及效率提高的变迁过程

以后直到现在，随着电力需要的增长，追求增大单机容量和提高效率的技术开发工作在不断地进行。提高效率，主要是通过主蒸汽参数的高温、高压化来实现，目前正进一步向开发超超临界压力汽轮发电设备推进。如图 2 所示，与目前水平相比在30.99MPa.g (316 atg) 级 2 级再热汽轮机中，其效率可望提高 3~5%，而34.52MPa.g (352 atg) 级 2 级再热式汽轮机可望提高 7~8% (两者都是相对百分数)

同样，燃气轮机的效率提高是通过提高气轮机入口气体温度来完成。提高效率的技术开发工作，主要是向着开发高温耐热材料、高温冷却技术的方向努力，此外，还引进飞机发动机所使用的技术，目前，该技术正以日新月异的速度前进。

3. 提高蒸汽轮机的效率

(1) 改善汽轮机的内部效率

在企业用火力发电厂，提高几个百分数的热效率就可带来较大的节能效果，因此，各方面都在努力改善电厂的效率。对这种工厂的效率改善，改善主要设备——汽轮机的内部

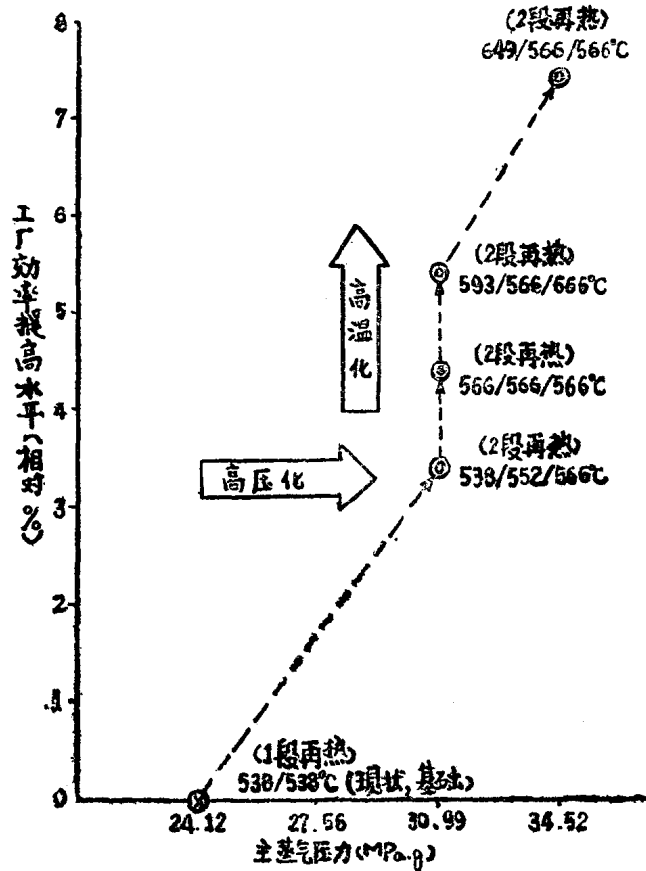


图2 超超临界压力蒸汽发电设备的开发计划

效率最为有效。通过对喷嘴、动叶等蒸汽的通流部份作最佳化调整，尽力降低流体损耗，结果可使以往所用的机型提高内部效率2~3%。

蒸汽通路形状最佳化的主要技术有：①由非固定损耗、叶根混合损耗、动叶迎角损耗以及2次流损耗等各种损耗而引起复杂变化的段内3元流，本公司正确模拟了这种段内3元流，通过自己开发的计算机程序HI—STEAM作喷嘴、动叶等主要要素的最佳构成配置（图3）；②与原叶片相比，考虑压缩性的影响，采用了可降低后缘混合损耗和2次流损耗的BALANCE动叶（图4）；③采用级反动度和通流角作最佳化处理的调节涡流喷嘴等（图5）。可应用这些新技术的汽轮机出力范围为30~1000MW，现有的火力发电用汽轮机都有可能使用，而提高热效率所带来的节能效果极为显著。这些新技术，无论是对于新设计的汽机还是已投产汽机，作为提高效率技术而都在被采用。

（2）开发长叶片汽轮机

以汽轮机最末端叶片为主的长叶片是决定汽轮机出力、性能最重要的部分。特别是最末端叶片，由于蒸汽体积比大，从该末端叶片所排出蒸汽的速度能量全部损耗掉了。所以为了提高热效率，希望尽可能使用长叶片。

长叶片设计的难点用如图6所示的指标来表示。如该图所示，在3000转/分机中，可用长至40英吋、在3600转/分机中，可用长至33.5英吋的12Cr系列钢制造叶片。而比这更

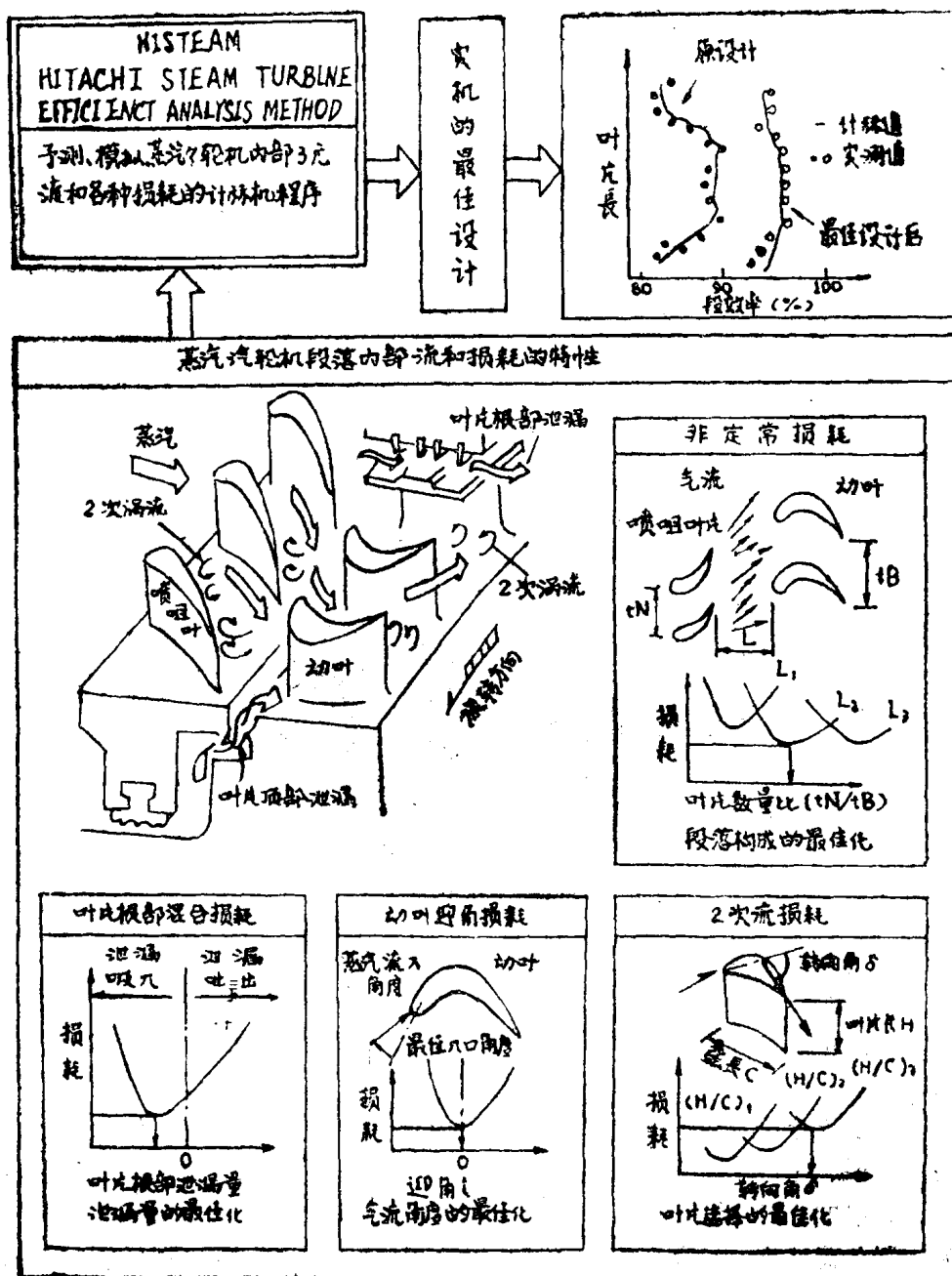


图3 通过使用HITEAM的3元最佳设计来提高效率

长的叶片，则用比重小、可减小离心力的钛合金制成。今后，对叶片的进一步加长，钛合金的应用还将扩大。另外，在1500转/分，1800转/分机叶片应用中，目前欧洲已使用长达57英吋级叶片。在日本，还继续使用52英吋叶片，但正在研究60—63英吋级的长叶片。

对于增加叶片长度所带来的热性能方面的好处，以1100~1400MW级原子能电厂为例，对同一原子炉热出力大约可增加数万KW，其效果极为显著。此外，就是在基本相同

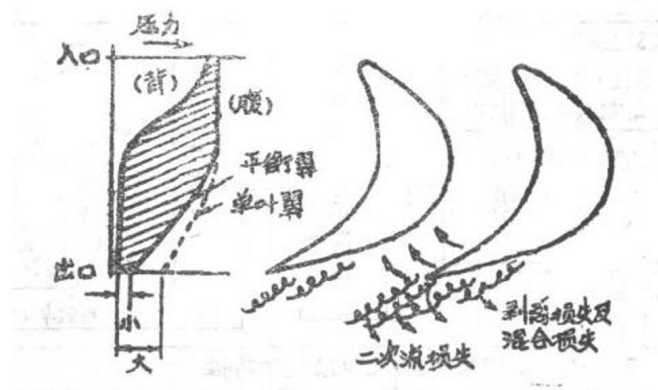


图4 BLANCET叶

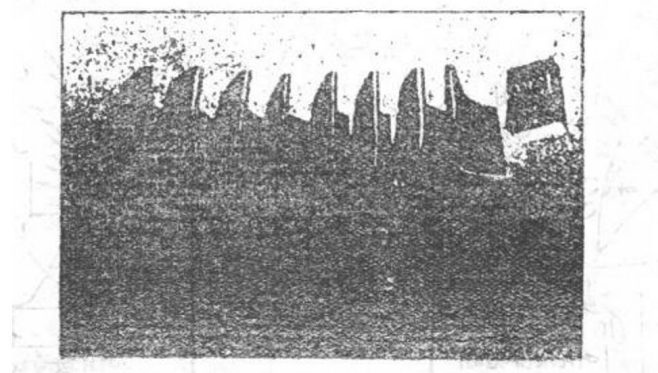


图5 调节涡流喷嘴

的热效率下，也可能通过降低汽缸数等方法以实现小型化。

另一方面，随着叶片的加长，其运行环境，存在下述倾向：①随着叶片的增大、增长，其离心力也增大，同时，各种共振力的影响增大。②随着中容量汽轮机的调峰应用等，频繁的负荷变化将更加严重。

因此，对于长叶片的性能，可靠性来说，更为严格的设计、解析技术、验证技术比以往显得更为重要。在长叶片开发时，从低压汽轮机的基本设计开始，接着蒸汽通流部分的热性能设计，强度、振动等可靠性设计，并通过各种要素试验来验证，通过实物叶片作超速试验及实际负荷试验，经这一系列工作开发出高性能、高可靠性的长叶片。这一系列试制研究需要各种工程学技术，将长叶片开发中长年积累的经验以最新计算机及其应用技术的发展为背景的各种最新解析法组合在一起，构成统一的设计系统。图7示出了最近开发的长叶片及其适用范围。

4. 提高燃气轮机的效率

作为提高燃气轮机热效率的手段，已经想了很多办法，但是，根据最近的情况又提出了不仅要提高燃气轮机单独的效率，而且还要提高联合循环的效率，从这一观点来看，提

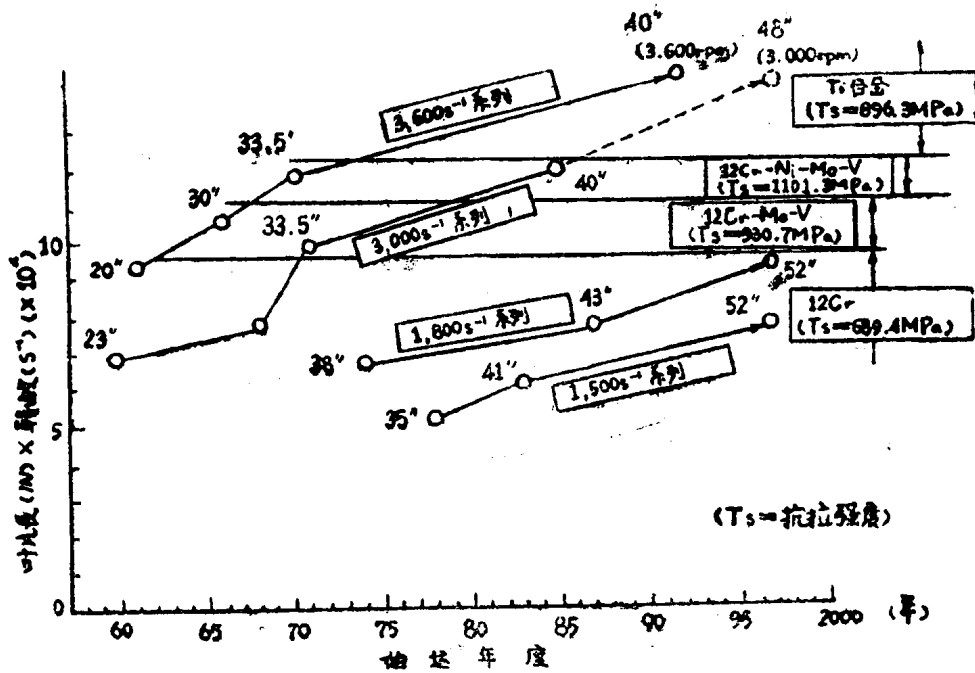


图6 长叶片强度喷嘴

高燃气轮机入口温度（燃烧气体温度）的方法作为最有效的手段而比以往更受重视。为了实现这种高温化，在现有材料中开发具有良好耐热性能的合金材料及高温部分使用材料的冷却技术是必不可少的。在此，介绍本公司正在开发的高温用喷嘴材料、护罩材料以及改

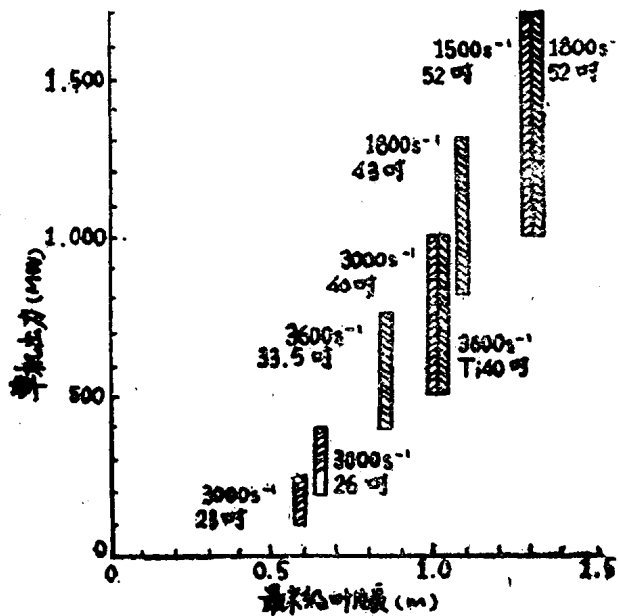


图7 最近开发的长叶适用范围

善冷却方式的方法。

(1) 燃气轮机用的新材料

(i) 开发新的喷咀材料

在燃气轮机最高温度部位所使用的喷咀材料中, 叠加了由燃气轮机的反复起动、停止而引起的热应力和运行中的恒定应力, 长期运行后, 有时在喷咀阀部位会产生裂缝, 这时可修补后再使用。这种现象在温度越高时发生越频繁。为了防止这种现象, 应开发对热疲劳现象和蠕变现象有良好防止作用的材料。

在这次开发中, 与以往所用的钴基合金材料不同, 采用了高碳素材料, 以企求改善热疲劳性。此外, 还开发了含有新高炭素钴基合金, 在这种合金中复合添加了Nb, Ti, Zr用以提高蠕变特性及断裂特性。这种开发材料的组织结构为: 碳化物是分散在基底金属中的结构。经与这些析出物的固溶强化, 来获得高温强度的提高。此外, 还给出了模拟起动及停止的温度周期, 比较调查裂纹发生前的周期及裂纹个数的结果, 可知新开发材料与原材料相比, 周期是其2.5倍, 裂纹数是其1/4, 显示出良好的特性。这种材料即使对高温低周期疲劳现象也有较高的疲劳强度。

另一方面, 在蠕变断裂强度方面也如图8所示, 开发材料尤其是在高温、长时间方面具有良好的耐久特性。通过这一点还可明了, 冷却空气量的减少等对效率提高有很大的作用。

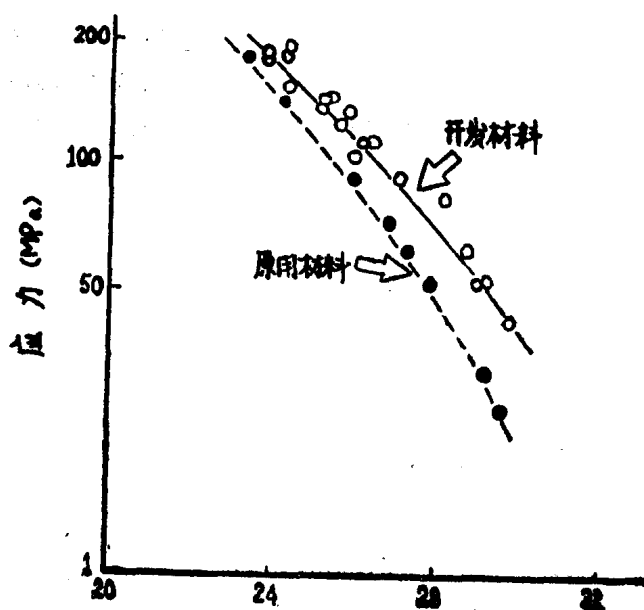


图8 新喷咀材料和老材料的蠕变断裂强度比较

$$P = T(\log tr + C) \times 10^{-2} \quad C: 20 \quad T: ^\circ C + 273$$

其中: P:

T: 温度 (K)

tr: 断裂时间 (h)

C: 常数, 20

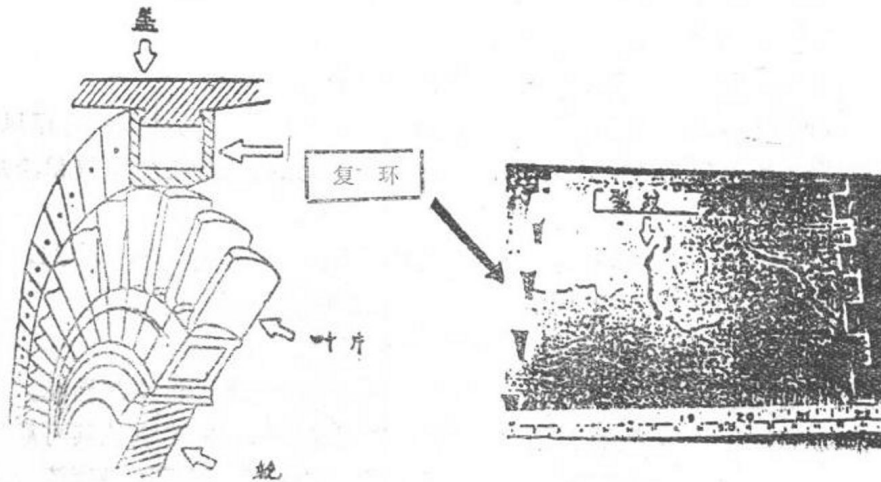
图9 (略) 示出了新开发的精密铸造的燃气轮机用喷咀一例。作为喷咀材料, 就是在所要求的其他各种特性 (铸造特性、焊接特性、耐腐蚀性、长期组织稳定性、加工特性等) 方面, 也被确认高于原钴基合金材料的水平, 它作为高温燃气轮机, 用喷咀材料已付诸实用。

(ii) 开发新复环材料。

复环材料也如喷咀材料完全一样, 因使用在高温区域, 故在它上面叠加了反复的热应力和恒定应力, 而且, 还经常发现: 由于脆金属间化合物 (σ 相) 析出引起的组织变化间的相乘效应而产生裂缝 (图10)。

这次开发的材料, 阻止了这种脆金属间化合物的析出, 以使组织长时间稳定, 而且还开发了

有良好蠕变断裂特性的铁基合金套筒材料,进入了实用化阶段。这种新开发的材料,调整了C, Ni, Si及Cr的含量,以使组织更加稳定,而且因添加了Nb, Ti而改善了蠕变特性



13 复环扇形体的安装位置及其裂缝情况

(图11)。

此外,既使在所给的与喷嘴材料相同温度周期的试验结果中,与原来的材料相比也大幅度地抑制了断裂的发生,这是一种热疲劳性能很好的合金。

(2) 开发气轮机要素(主要是叶片的冷却)

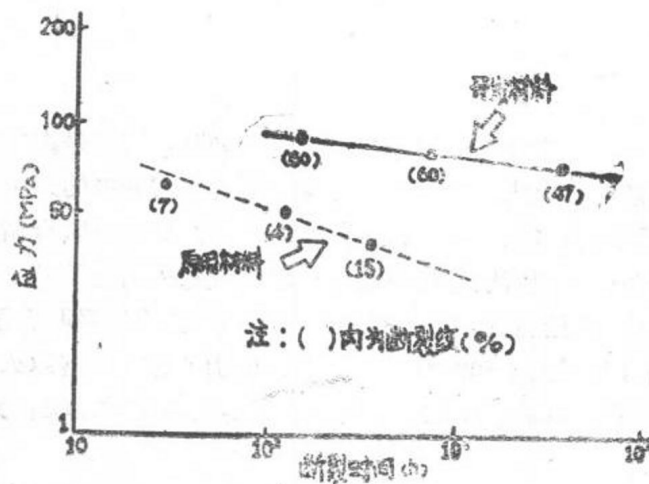


图11 新护罩材料和老材料的蠕变断裂强度比较

燃气轮机追求如前所述的气机入口温度的提高,进一步通过提高压缩机的高压比来提高热效率、比出力,但提高温度和压力对气轮机叶片等高温部件来说,冷却条件愈趋严格。所以,应有不损害循环寿命的高冷却效率的冷却技术。

同时,在气动力性能,冷却性能,耐热材料,强度可靠性上取得平衡的综合设计技术是重要的。为此,应从下述观点进行要素研究: