

— 火力发电 —

超临界技术论文集

(上 集)

上海市经济委员会
超临界电站装备领导小组办公室
一九八九年十二月

目 录

1、超临界机组在中国发展的必要性和预测·····	能源部部长 黄毅诚 (1)
2、中国发展超临界机组的前景·····	华能国际电力开发公司总裁 汪德方 (4)
3、ABB——超临界透平机组的伙伴·····	ABB公司高级付总裁A、E 郝 恩 (6)
4、苏尔寿兄弟有限公司——150多年技术开发的开拓者, 愿更好地为用户服务 ·····	苏尔寿公司中国部 张忠誉 (8)
5、石洞口二厂引进设备中的技术引进·····	上海市经济委员会 王 素 (16)
6、ABB超临界600MW汽机的主要特点·····	上海汽轮机厂 张 立 (26)
7、ABB公司热力设计程序介绍·····	上海汽轮机厂 姚祖安 (35)
8、ABB转子动力学计算程序简介·····	上海汽轮机厂 张维楨、张 立 (42)
9、ABB焊接转子技术·····	上海汽轮机厂陶祖潜隋锡文 (53)
10、ABB大型教堂窗式凝汽器设计特点介绍·····	上海汽轮机厂 耿德荫 (62)
	海电站辅机厂 许天民 (62)
11、ABB公司调节级叶片及等截面 叶片的结构设计特点·····	上海汽轮机厂 王 欣 (72)
12、汽轮机制造中工具系统的发展趋势·····	上海汽轮机厂 陈连昌 (85)
13、ABB公司焊接转子质量控制·····	上海汽轮机厂 王纪根 (97)
14、西欧国家广泛采用球墨铸铁件·····	上海汽轮机厂 张汉泉 (102)
15、超临界变压运行直流锅炉水冷壁设计·····	上海锅炉厂 庄文贤 (104)
16、600MW超临界变压运行锅炉螺旋管圈 水冷壁的设计·····	上海锅炉厂 孙明兴 (117)
17、螺旋管圈支吊结构设计及疲劳分析·····	上海锅炉厂 钱章水 (131)
18、超临界60万千瓦锅炉的汽水分离器·····	上海锅炉厂 张理中 (142)
19、600MW超临界直流炉汽水分离器及螺旋水冷壁的应力分析 ·····	上海锅炉厂 吴如松 (150)
20、苏尔寿公司锅炉控制动态特性介绍及石洞口二厂600MW超临界机组部分动态特性分析 ·····	上海发电设备成套设计研究所 李 旭 (162)
21、苏尔寿直流锅炉机组汽机旁路系统的设计和运行特点 ·····	上海发电设备成套设计研究所 徐仁德 (176)
22、CE制粉系统特点及煤粉管道布置 ·····	上海发电设备成套设计研究所 陶邦彦 (189)
23、600MW超临界机组锅炉钢结构设计概况·····	上海锅炉厂 沈 新 (199)
24、石洞口二厂超临界机组水处理 ·····	华东电力设计院 王文锦 (204)

超临界机组在中国发展的必要性和预测

能源部部长 黄毅诚

(一)

世界上第一台具有实用价值的汽轮发电机于1883年问世。纵观火电设备一百年来来的技术发展史,可以看到,火电设备始终沿着不断提高机组的经济性、可靠性、负荷适应性以及燃料适应性的方向稳步发展。虽然在某些时候,这些技术经济指标会相互制约,但总的发展趋势仍然是水平的共同提高。从火电技术发展史中还可以看出一条基本规律,这就是每一次重大的发展总是先从提高机组热效率着手并取得突破,然后推动其它技术经济指标的进一步提高。可以说,提高机组效率,是促使火电机组发展的原动力,按中国的习惯说法,是龙头。其它技术经济指标都是为了使机组在所有的工作条件下(包括燃料、负荷、运行条件、维修等各方面),以最少的代价来保证机组寿命期内长期稳定地实现其设计热效率,从而得到最好的经济效益。

提高机组热效率的主要途径是:提高单机容量、提高蒸汽参数和优化热力系统。近十几年来,单机功率裹足不前,稳定在60~80万千瓦。尽管在热力系统的优化及新型热力循环研究上有一些进展,提高蒸汽参数,发展超临界机组仍然是提高机组热效率的主要手段。

世界上首台超临界12.5万千瓦机组在1957年投运以来,经过近三十年来许多国家的不断发展、完善,当前世界上240巴/540℃/540℃或240巴/540℃/566℃的参数已完全掌握,在不少国家这档参数是作为主力机组的参数而被广泛采用。超临界机组可用率达到亚临界机组的相同水平,单位千瓦造价增加不多,回收年限降低至5~6年。80年代中期投运的两班制、燃煤、滑压运行的超临界50万、60万千瓦机组性能良好,为超临界机组在各国的发展打开了新的局面。超临界机组的广泛采用,使一些国家全国平均供电煤耗降低到约330克/度,这是一个了不起的进步。

目前,几乎在所有先进的工业化国家中都开展了超临界机组的研制。240巴/540℃/540℃的超临界参数掌握后,在基本上采用现有材料,少量开发新钢种,发展310~350巴、566℃/566℃~566℃/593℃/593℃参数的机组是必然趋势。这种参数的机组预计90年前后可投入运行。这样把火电设备的技术推向一个新的阶段。

(二)

在讨论超临界机组在中国发展的问题之前,我想先简单介绍一下中国的电力工业。

1985年中国大陆的发电量为4085亿度,其中水电910亿度,火电3175亿度,分别占22.3%、77.7%。截止1985年底,中国大陆发电设备装机容量达8629万千瓦,其中水电设备2550万

千瓦，火电设备6079万千瓦，分别占29.5%、70.5%，发电量和装机容量均为世界第五位。仅次于美、苏、日、加拿大。

1985年度，中国大陆6000千瓦以上火电厂平均供电煤耗为431克/度，厂用电率7.7%，设备利用小时5748小时，线损率8.1%，火电燃料消耗中煤占约85%，耗用原煤约1.7亿吨，占原煤产量的约20.5%。

为实现我国工农业总产值到本世纪末翻两番的目标，电力工业也必须翻两番，即到本世纪末年发电量超过12000亿度，发电设备装机容量达到2.4~2.6亿千瓦。其中火电发电量为9000亿度，火电装机容量为1.8亿千瓦，火电的主力机组将是30万~60千瓦亚临界机组。火电厂的主要技术经济指标到本世纪末达到工业发达国家八十年代已普及的水平，即平均供电煤耗355克/度，可用率达88%。

根据我国的燃料政策，今后一般不新建燃油及燃天然气的电厂，并将逐步改造现有燃油电厂。本世纪末，原煤产量预计为14亿吨，火电燃料消耗中煤占约95%，将耗用4.2亿吨，占原煤产量的约30%。

1. 我国发展超临界机组的必要性

众所周知，我国拥有丰富的煤储量，已探明的储量为7700亿吨，但从长远来看，化石燃料是有限的，而且按人口平均我国拥有的煤储量水平在世界上属于中等。加上可开采及开采能力有一定限度，以及我国煤炭产地在西部，而用电负荷集中在东部沿海地区，要解决大量煤炭的长距离运输也是有困难的。因此，与世界其它国家一样，节约能源是我国的一项紧迫的任务。我国火力发电平均煤耗目前与世界先进水平相差约100克/度，以1985年为例，火电多耗煤3175万吨，折合约30亿人民币。这是一个十分可观的数字。因此，提高机组的热效率在我国已是刻不容缓。

提高我国火电机组热效率的途径首先是逐步以我国已掌握的30万~60万千瓦亚临界机组代替现在大批生产的高压和超高压机组，淘汰及改造一批中低压机组，同时积极发展超临界机组。我国目前煤和钢材比价不尽合理，随着对外开放，能源与原材料的价格与国际市场价格趋于一致，这将更进一步促进超临界机组在我国的发展。当然，对于燃用劣质煤的矿口电站等特殊情况，需从投资回收年限等角度作进一步的技术经济分析来确定机组的参数。

2. 我国发展超临界机组的可能性

我国发电设备制造业已有30多年的历史，形成了上海、四川、哈尔滨三大生产基地，建立了比较完整的发电设备生产和科研体系。已经能够生产20万~60万千瓦亚临界机组。1985年发电设备产量达512.8万千瓦。

生产超临界变压运行的机组关键是螺旋管圈直流锅炉的设计和制造。上海锅炉厂自60年代开始设计制造220吨/时螺旋管圈直流炉，十余年来运行情况良好，以后又设计、制造了400吨/时同类型直流锅炉及12台1000吨/时垂直管圈直流锅炉，经过不断完善，运行情况良好。同时，在上海和哈尔滨还制造了350大气压650℃温度12吨/时和5吨/时超临界试验锅炉，至今安装投运十多年启动180多次，运行情况良好。在我国还有一支相当力量的科技队伍，如发电设备成套设计研究所、焊接研究所、材料研究所等，都为研制发展超临界机组做了大量的科研试验工作。

以上说明我国在掌握亚临界制造技术的同时也为生产超临界机组作了必要的准备。

3. 超临界机组在我国发展的预测

近年来，超临界机组日趋完善，可用率达到亚临界机组相等水平。八十年代初期又有燃煤滑压运行的两班制超临界机组投入运行。至今普遍认为240巴/540℃/540℃及240巴/590℃/566℃二档参数的超临界机组属于已经掌握的成熟机组。同时许多工业先进国家都制定了一系列向更高参数发展的计划。我们为迅速掌握超临界机组的技术，决定在“七五”期间引进超临界机组的成套设备，包括石洞口第二电厂的二台60万千瓦超临界机组和苏联的50万千瓦超临界机组，要求在购买成套设备的同时带进与超临界有关的技术，并有部分合作生产，用五年左右的时间基本掌握超临界机组技术，在此基础上通过和国外的继续合作能在“八五”及以后的五年计划中，逐步增加超临界机组在我国电网中的安装比例，在电力工业的发展中增加应用超临界机组这一措施，使我国电力工业不适应国民经济发展的局面有所改观。我相信第一批超临界机组，特别是石洞口第二电厂二台超临界60万千瓦机组的建设将对我国超临界机组的发展产生深远的影响。希望通过我们的共同努力获得成功。

中国发展超临界机组的前景*

华能国际电力开发公司总裁汪德方

前 言

华能国际电力开发公司和上海市人民政府决定,在上海石洞口第二发电厂联合投资,建造两台 600 MW 的超临界压力火力发电机组。这将是 中国拟将建设的第一批超临界压力机组。华能国际电力开发公司亦拟在其他地区筹建 600 MW 超临界机组并从苏联进口 300 MW 和 500 MW 超临界机组。本文将阐述我们建造超临界压力机组的缘由和若干应给予特别重视的关键技术问题。

经济和可靠的超临界机组

一般而言,超临界机组的热效率约较亚临界机组高 2% 左右。以两台 600 MW 机组而论,这就意味着每年可节约 250 万美元左右的运行费用;换言之,十年内即节约 2500 万美元。这是节能方面颇具吸引力的收益,可观地降低了发电成本。

根据某些国家以往披露的统计数据,据称超临界机组强迫停役率较高,可用率较低,受此影响,我们的 600 MW 机组曾不拟采用超临界压力参数。例如,以往曾报导过,美国 400 ~ 799 MW 容量超临界锅炉在投运后的开初 5 年内较亚临界锅炉的可用率低 4.7% 左右,而强迫停炉率却高 3.6% 左右。这些统计数据使中国电力界人士颇感失望。

但 1984 年在美国发表的文章指出,上述统计数据也包含了若干与超临界参数无关的因素。但如将增压炉膛锅炉排除在外,仅考虑最新设计的锅炉,那末超临界压力锅炉的平均可用率仅较亚临界压力锅炉低 2% (每年少发电约 7 天);而平均强迫停炉率则比亚临界锅炉还低 0.4%。因此,超临界和亚临界锅炉运行可靠性基本相同。

为了调研超临界和亚临界机组的实际运行经验,1986 年 7 月我们参观了装有 13 台超临界燃煤机组的 5 家美国发电厂。这些发电机组分别位于 MARSHALL、BELEWS、CREEK BOWEN、MONTICELLO 和 NAVAJO 等地,分属于盐河工程计划中的杜克电力公司、乔治亚电力公司和德克萨斯电力公司。这 13 台机组包括 $2 \times 575 \text{ MW}$ 、 $2 \times 630 \text{ MW}$ 、 $2 \times 100 \text{ MW}$ 、 $3 \times 750 \text{ MW}$ 、 $2 \times 880 \text{ MW}$ 和 $2 \times 1120 \text{ MW}$ 等机组。我们曾与电厂技术人员、制造厂和设计顾问公司的工程师们进行了技术讨论。

电厂运行工程师们都证实:超临界机组未产生过任何大的问题。有些人则称,如运行得当,超临界机组会更经济和更可靠。我们研究过机组的运行记录。如在 MARSHALL 电厂,一、二号机组为亚临界参数 ($2 \times 385 \text{ MW}$),而三、四号机组为超临界参数 ($2 \times 630 \text{ MW}$),1985 年,超临界压力锅炉的平均可用率为 83.7%,较亚临界压力锅炉高 5.3%。BE

LEWS CREEK 电厂装有 2 台 1120MW 超临界压力机组, 1985 年锅炉的平均可用率为 94.0 %, 创造了一个出色的运行记录。

据运行人员称, 超临界压力机组遇到的主要问题有: a) 过热器进出口部分管子的过度磨损和水冷壁管、再热器管的漏泄, 这些问题大多与燃料的含灰量和烟气流速有关。b) 汽机高压缸第一级叶片根部的磨蚀, 此种现象在机组投运约 6 ~ 8 年渐见严重, 蒸汽中的杂质是主要的原因。c) 高压阀门的漏泄问题。这与旁路系统、阀门设计及材料有关。然而, 运行人员证实, 上述这些问题业已解决。同时, 制造厂已采取所有必要的措施改进系统和设备的设计, 因此超临界机组能以可信赖的可靠性运行。

超临界锅炉系直流锅炉, 所以反应快而对负荷变动敏感。为了可靠地运行超临界机组, 所供设备的设计和制造均需精良。我们必需强调: a) 水处理设备的重要性, 以改善汽质和水质; b) 检测和控制设备的重要性, 以求与负荷变化时的快速反应相适应; c) 正规的职业培训使运行人员有广泛的技术知识, 使之熟悉超临界机组运行的特点。

超临界机组运行的关键技术问题

超临界压力锅炉的不可用率 (包括强迫停炉、维修与计划停役) 约为汽轮机、发电机和电站辅机的三倍。水冷壁管泄漏是锅炉方面的主要问题, 大部份是由于过热所致管壁结垢和水冷壁中质量流量过低所引起。缺少对全部凝结水除盐的设备或除盐设备的不完善往往是造成上述问题的原因。水化学 (水处理) 工况对于超临界机组的可靠运行颇为重要。BELEWS CREEK 电厂所确立的水化学标准为: 钠离子小于 3 PPb, 溶解氧小于 5 PPb, 硅小于 15 PPb, 含铁量小于 20 PPb, 导电度小于 0.2 微姆, PH 值为 9.2 ~ 9.5, 联氨为 20 ~ 50 PPb 这些标准值较亚临界机组更严格。

与锅炉相比, 汽轮机受超临界压力的影响较小。超临界汽轮机的主要问题是汽轮叶片和阀门受固体粒子的侵蚀; 严格控制汽水品质并采用内置式分离器基本上可解决上述问题。再者, 腐蚀可能促成叶片裂缝 (低压缸叶片), 造成强迫停役。业已明了, 含氧量高、PH 值低及钠、氯离子含量高均会降低 12% Cr 不锈钢叶片材料的疲劳强度。如循环水漏入凝汽器中的凝结水, 可能会增加氯化物和其他的污染; 再加上如果凝结水深度除盐装置运行不当, 则杂质就会经锅炉而进入汽轮机。因此, 汽水品质控制和防止冷凝器泄漏是重要的防范措施。

旁路系统是否设计得当, 对阀门的运行十分重要。机组启动期间, 阀门经受严酷的运行条件, 就可能引起问题。一般认为, 经过约 20 次启动后, 阀门需要检查、维护和修理。

用氯化处理和活性炭床处理, 防止供水中的有机物质进入锅炉。因为在锅炉运行温度下, 有机物会分解为酸性化合物, 对除盐装置中的树脂有害。

总之, 为确保超临界燃煤机组满意可靠地运行, 机组设备的设计和制造应有以实践运行经验为基础的成熟技术为依据; 运行时应实施严格的检测和投入控制系统; 很好地进行维护和停役保养。但最重要的是通过专业培训不断地提高运行人员的技术素质。我们将按此方向努力。

ABB——超临界透平机组的伙伴

ABB 公司 高级付总裁: A. E. 郝恩

电力开发是发展国家和提高人民生活水准的主要动力。工业化国家的史料表明,通常衡量生活水准的指标,即人均国民生产总值,与发电量直接相关。经验表明,一个国家的国民生产总值翻一番的目标,只有在电力生产增长2~3倍时才能达到。

全世界大约70%的电力是由热电厂产生的,其余的30%是由水电站产生的。

热电厂中,作为在锅炉(或核反应堆)中燃烧的初级能源,采用煤、天然气、油或核燃料。蒸汽发生器中产生的蒸汽成为透平机组(蒸汽透平加上发电机)的动力。从而使燃料的热能通过发电系统——锅炉、蒸汽透平、发电机——而最终转化成电能。

初级能源是有限的。因此,本世纪工程技术的任务就是要不断地改善锅炉中的燃烧过程,并大大提高热电站主要设备的热效率。提高热效率的一种措施是提高新蒸汽的压力和温度,另一个措施是采用再热或甚至两次再热蒸汽透平。在世界上最有名的提供可靠而高效电站设备的公司中,ABB处于领先地位。在电站技术中,ABB率先推出了许多新的项目。

中国具有远见的领导者和工程师们于1987年做出了决定,认为在中国引进最先进蒸汽电站技术的时机已经成熟。石洞口第二发电厂工程(2×600MW)选定建设一座超临界电站。该电厂的效率将大大超过40%。

华能国际电力开发公司(HIPDC)从众多国际强劲竞争者中选定瑞士的ABB公司中标。1987年10月ABB获得了向石洞口第二发电厂提供超临界透平岛的订单。

HIPDC之所以选中ABB,除了经济原因外,还由于在大型超临界蒸汽透平领域中,ABB具有杰出的技术和卓越的声誉。

—ABB的首台超临界透平机组于50年代末投运,其蒸汽压力约为300巴。

—ABB已拥有美国、欧洲,现在已包括中国在内的33台超临界机组的订单。24台透平机组正在成功地运行,其中有些机组的运行时间已超过10万小时。

—ABB的超临界蒸汽透平系列中包括单机功率为1300MW的世界上功率最大的透平机组,其中在美国的九台机组已运行了5万到10万小时。

其中一台1300MW(美国电力公司的蒙太尼尔电站)创造了连续不停机运行607天的世界记录。

HIPDC与ABB就石洞口超临界电厂所签的合同是一个包括设备和技术转让的综合性合同。透平、发电机以及辅机的某些部件日前正按ABB技术在上海制造(上海汽轮机厂,上海电机厂,上海电站辅机厂)。在ABB所属工厂设计和制造设备时,来自我们的上海伙伴工厂的中国工程师在ABB的瑞士和西德工厂中进行了培训。这些培训将有助于将ABB的技术转让到中国,而且将加强我们与中国伙伴厂之间的进一步合作关系。就总体而言,它将对中国的电站发展作出重要贡献。

ABB正尽最大努力使石洞口第二超临界电厂成为先进的电站技术的样板。

我代表ABB和ABB的全体同事，对中国伙伴与我们公司之间的良好合作表示深切的关心和感谢。

我确信，这一先进电厂的技术和经济性能会对所有为这项有远见的工程作出贡献的人们作出报答。

1989年7月

苏尔寿兄弟有限公司——150多年技术开

发的开拓者，愿更好地为用户服务

苏尔寿公司中国部 张忠普

1. 序 言

一百五十多年来，苏尔寿公司一直致力于能源领域内的活动，不仅在设计、制造方面，也包括随着市场要求发展的持续的技术开发及技术转让工作。本文将简要地介绍苏尔寿在超临界锅炉技术上所取得的成就，其中包括锅炉本体，锅炉给水泵及阀门和控制系统。特别用了较大篇幅将阀门和控制介绍给读者。

2. 苏尔寿的锅炉技术

1841年苏尔寿制造出第一台锅炉用于瑞士温特扎尔中学，锅炉容量为300公斤/时，压力1.3巴。从苏尔寿第一台锅炉问世以来，苏尔寿和他的许可证厂家已制造出7000多台使用各种不同燃料的各种型号、性能、压力和温度的锅炉，总的蒸汽出力达到400,000吨/时，其中350,000吨/时为直流锅炉配备在总装机容量为420,000MW机组上，相当于350座类似于石洞口二厂这样规模的电站。直流锅炉是由苏尔寿公司开发出来的，1937年建成第一台电站直流锅炉用于西德Mannheim电站。1954年接到第一台超临界直流锅炉的订货。当前正在为石洞口电厂制造的二台超临界直流锅炉容量为1910吨/时。而苏尔寿曾提供的最大一台容量为3150吨/时（在许可证厂家制造）。

市场上反映出来的用户要求，过去和现在仍是推动主要技术进步的力量。随着燃料供应及价格的多变，提高装置效率对电厂业主来说变得越来越重要，其含义即为降低热耗及提高电厂蒸汽循环的参数（图1），用户也一直要求下列的运行特点：

- 可靠及灵活的运行
- 装置可能的最高效率
- 负荷变化范围尽可能最宽
- 对不同运行的方式变化，例如基本负荷，二班制运行，调峰运行等所采取有计划的措施。

苏尔寿开发的具有滑压运行方式及超临界蒸

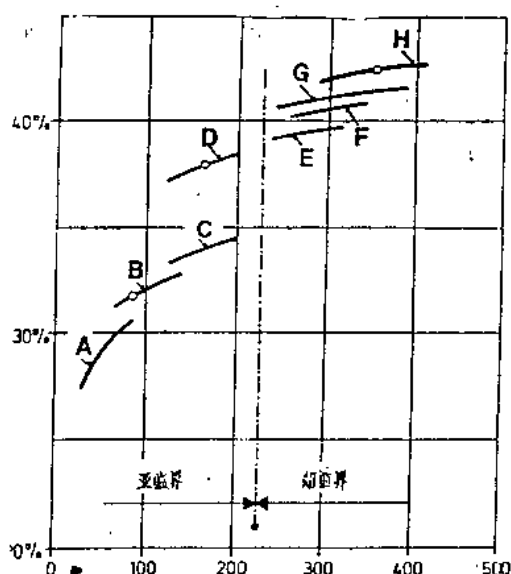


图1 电站热效率与绝对工作压力的关系

- A, B, C. 电站无再热器 (蒸汽温度约500°C)
D. 电站有一再热器 (蒸汽温度约600°C)
E, F. 电站有一再热器 + 超临界压力 (蒸汽温度约650°C)
G, H. 电站有双再热器 + 超临界压力 (蒸汽温度约650°C)

汽循环的直流锅炉是满足上述要求的最好方式。

3. 苏尔寿锅炉给水泵技术

用户的需求也一直影响着苏尔寿用在超临界锅炉上的锅炉给水泵的发展。电站锅炉要求的蒸汽参数在过去五十年内有了迅速的提高,因此要求给水回路内所有泵的压头及流量也相应地大大增加,从而导致锅炉给水泵设计上的重大变化(图2)。

值得注意的是级数较少(压头集中越高)的趋势,从平衡盘到平衡活塞及推力轴承的变化及架座轴承到法兰轴承的变化。

尽管锅炉给水泵的功率输入与汽轮发电机的出力相比要小,但整个电站的出力取决于锅炉给水泵的可用率。根据美国统计,见图3。电站设备的可用率常因锅炉给水泵发生故障而减小,这大多是由气蚀,水力不稳定和叶轮动力故障所致。因此,我们重点研制下列事项:

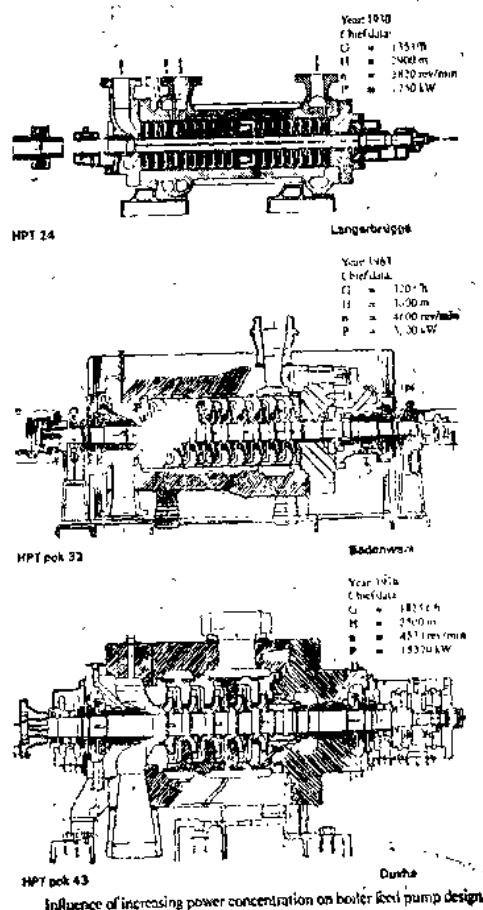
- 液流稳定性;
- 稳定特征
- 高效率
- 泵元件规格最优化
- 气蚀
- 叶轮动力学
- 材料
- 周期运行之影响
- 泵的可用率

根据我们的经验,超临界电站锅炉给水泵要注意的运行的问题包括:

机械问题—必须仔细地考虑迷宫环及轴向推动平衡装置的设计和机械特性以避免停泵期间的扭曲及卡住。

— 从转子,叶轮的固有频率及泵底板引起的振动。

水力问题—要注意轴向推动的平衡,特别在雷诺数高的情况



(图2)

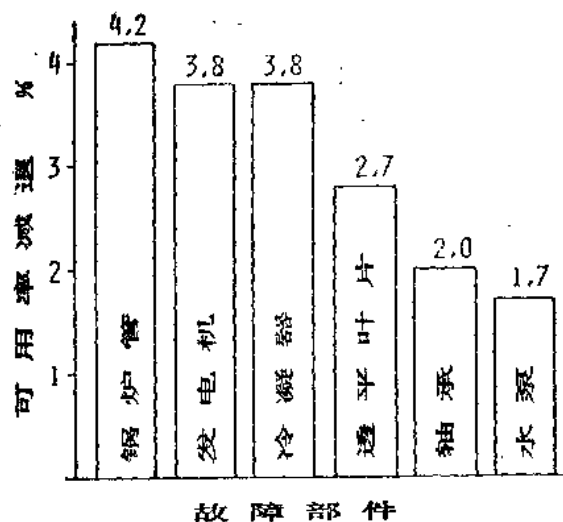


图3

下。

一由于在叶轮入口处圆周速度太高而引起的气蚀损坏。

一由于在一定转速上叶轮的固有振动引起的叶轮断裂。

通过执行美国电力研究所 (EPRI) 委托我们的1500万美元科研合同的科研工作及我们自己科研工作的开展, 我们的研究成果已使我们能制定可靠的锅炉给水泵设计的新的准则。特别注意到转子动力学、气蚀、水力稳定性、变工况运行和给水泵系统问题。

到目前为止, 苏尔寿已在全世界出售了1000多台高温高压锅炉给水泵, 其中包括中国大港、元宝山、珞璜、江油电站的锅炉给水泵、苏尔寿与中国主要的泵厂也有密切的合作关系。

4. 苏尔寿的阀门和控制

4.1 AVb控制系统

本世纪三十年代, 苏尔寿在发展高参数大容量电站直流锅炉技术的同时也发展了专用于电站的自动化系统及相应的阀门和执行机构, 苏尔寿始终坚持这个观点: 锅炉制造厂有责任设计锅炉自动控制系统及供应相应的自动化设备, 使阀门及控制系统与锅炉装置作为一个整体, 从而使锅炉运行性能达到最佳, 也保证各种阀门的正确和最佳运行。锅炉制造厂家和控制系统设计及阀门制造厂家在同一部门, 这种组织形式在世界上是独一无二的。自那以来, 苏尔寿公司就开始开展系统性的锅炉动态特性研究, 一直持续到如今。根据长期积累的丰富经验, 目前已建立起一套完整的精确的锅炉动态模型, 为发展当前新的控制结构打下了基础。

苏尔寿公司专用于电站的自动化系统从全液压系统发展到硬布线逻辑的电子控制系统 AV3, AV4, AV5, AV5—M。中国的元宝山、姚孟电厂就是采用当时先进的 AV5 及 AV5—M 系统。目前已发展到带有总线结构的可编程的数学式分布控制系统 AV6。AV6 系统是以微型计算机为基础的具有分级结构及分布智能的系统, 该系统具有综合性调节控制、顺序控制和数据采集的功能。系统的基础是强有力的可自由组态的独立的微处理器模块。

AV6 系统的主要特点如下:

A、先进性。

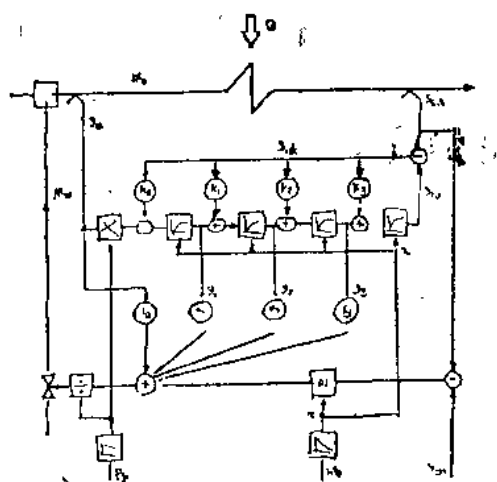


图4 状态调节器

a) 是世界上首次在电站中应用现代控制理论建立起智能控制结构——带有观察器的状态调节器替代已使用半个多世纪的常规PI及PID调节器(图4), 这是电站自动化中的一个飞跃, 从而克服常规调节器的不足之处, 使调节品质及调节精度均达到最佳。这种智能控制结构并不是有了微机就能实现, 重要的是必须给微机提供足够的信息, 包括:

- 过程的基本动态性能, 线性及非线性性能。
- 尽可能多的被测工艺过程参数, 在被测工艺过程参数不足场合, 可通过过程模型—状态观察器计算。

然后通过对工艺过程及控制参数的最佳判断作出控制决策。

b) 采用面向模块的编程语言, 使程序编制极其方便。

B、高可靠性。

a) 分级结构。

系统分成耦合级、功能组级及控制级三级。当高级功能因出现故障而不能正常运行时, 低一级功能仍能继续正常运行。除分级划分外, 还根据工艺要求的相互联系组成自动化站, 各自动化站尽可能独立, 即各自动化站之间尽可能减少信息交换。每个自动化站内的调节控制、程序控制仍保留严格的分级顺序。

b) 调节控制回路采用单回路完整性的设计原则, 所以若某一回路出现故障不是所有控制器都切换到手动操作, 而是只影响故障回路。

C 安全性。

a) 有一套强有力的综合诊断系统支持。万一程序或控制器有故障能协助运行人员迅速分析及排除故障。

b) 无论在任何运行工况下, 均给运行人员提供足够的信息。

c) 控制台上除了有CRT屏幕显示, 键盘操作系统作为运行人员进行软操作的手段外, 还配备常规的手动/自动操作及显示站以供运行人员备用。

D 灵活性。

a) 可编程的控制结构。可通过手提式终端装置或带有键盘的CRT终端装置进行编程。

b) 各控制级的参数可进行修改及读出。

c) 有支持的软件系统, 使即使在调试及运行期间也可进行在线调试、组态及参数调整。

苏尔寿在八十年代开发的AV6数字式分布控制系统(图5), 已广泛应用于电站控制中, 最近我们又接到南朝鲜500MW超临界机组锅炉的订货。我们将再次为该台锅炉的整个控制系统提供我们的AV6数字式分布控制系统。

4.2 阀门和执行机构。

控制蒸汽发动机的阀门是苏尔寿公司的一大发明。一个半世纪以来, 苏尔寿公司从生产蒸汽机车的小阀门开始, 发展到目前生产的核电站主蒸汽快速关闭阀, 在技术上独树一帜, 在国际市场上享有很高的声望。

本公司能为锅炉配套所有的以水或蒸汽为介质的阀门。控制阀是阀门中的主要品种之一, 它直接影响到锅炉的安全运行和自动化设备投入运行的可能性。其基本问题是阀门受磨损气蚀, 寿命短, 调节性能差, 振动噪音大。苏尔寿针对这些问题开展了一系列试验研究工作, 目前已基本弄清并解决了这些问题, 并在试验研究基础上又不断发展新型控制阀。

在五十年代, 苏尔寿为第一代超临界机组—Eddystone电厂1、2号机组配套的控制阀至今仍运行极好。六十年代初期, 随着第二代超临界直流锅炉开发的同时, 本公司也开发了配备第二代超临界直流锅炉的控制阀, 特别是用于锅炉启动系统中的控制阀。其中有些阀, 如BE型阀, 即使通过非全流量也必须承受非常高的压差(达200巴), 因此是一个非常高的应力阀。七十年代, 为适应第三代超临界直流锅炉的需要及满足当时电站新的技术规范,

- 滑压运行
- 高效率的部分负荷运行
- 快速变负荷能力
- 夜间停炉及快速热态启动

- 频繁启停及变负荷情况下有足够的寿命
- 启停时操作简便可靠

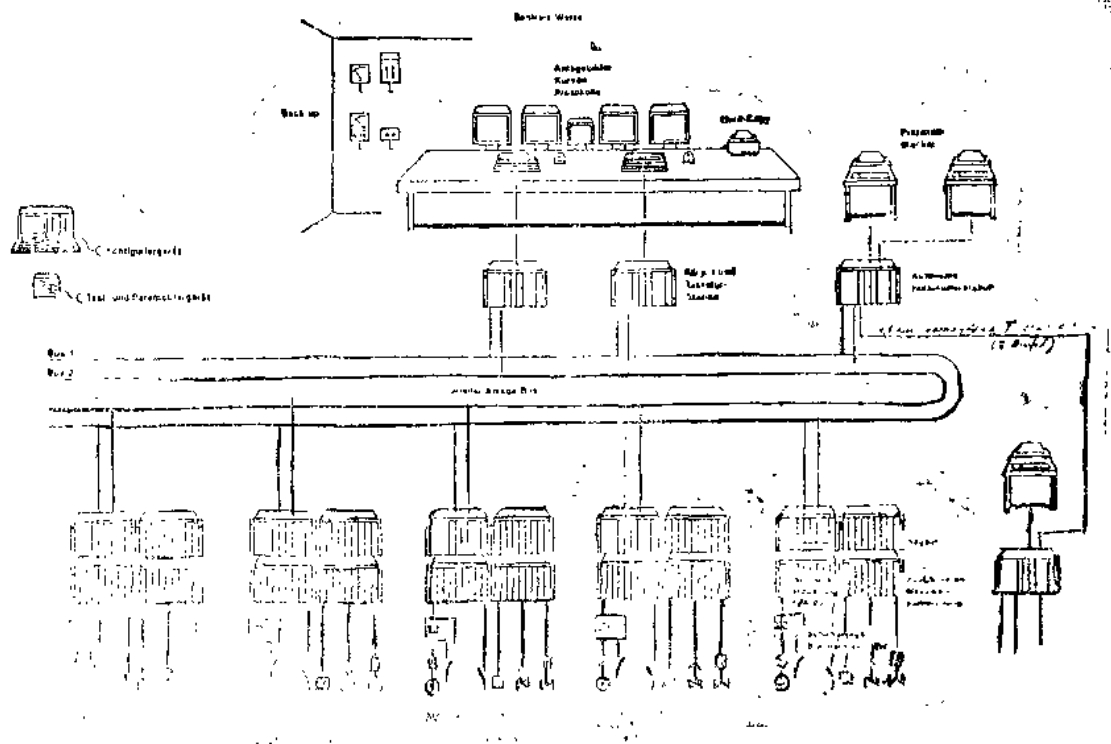


图5 AV6数字式分布控制系统

等要求下,研制成功一系列新型阀门及修改型阀门,如DRS型阀等。目前在已开发的阀门的基础上,正在开展今后阀门的试验研究工作,如在高超临界压力运行下阀门的试验研究。这种阀门不仅要承受内部的高蒸汽压力而且要承受温差引起的应力。研究的目的是为了对高应力阀即温度 650°C ,压力超过300巴的阀得出比较精确的材料寿命和可能的循环次数。试验持续了四年,阀门承受了1100次以上的循环没出现裂缝,目前已停止该试验并正在对阀门材料进行金相检查以证实材料的损伤程度。根据运转的循环次数和材料的损伤程度决定材料的剩余寿命和可能的循环次数,然后根据试验结果及相应理论按需要的启停和变负荷循环次数对阀门进行最佳设计。这意味着承受极高压力阀门的设计又向安全及优化方面进了一步。当然在试验期间也证明整个阀门的优良性能(图6)。

若不配备执行机构或执行机构不满足锅炉系统及阀门的具体要求,则最好的阀门也几乎没什么价值。所以苏尔寿除开发阀门外还开发了与之相匹配的安全执行机构。一九六〇年前采用全液压执行系统,由于电站机组容量及阀门和执行机构规格的增大,又开发了电动及电液执行机构。

ASM型为电液执行系统(图7)包括:提升力从10~1000千牛顿的执行机构油缸,OV型供油装置,ST型伺服阀,BL型闭锁装置,APL型步进式控制伺服阀,SSB型安全控制装置及SBE型安全旁路装置。

SMR型及SMF型为电动执行系统,SMR型执行系统(图8)是由一组高效齿轮系组成,

该齿轮系通过万向联轴机构将电动机的旋转运动转为推力或直线位移，这种执行机构的推力为320千牛顿，行程为100毫米。

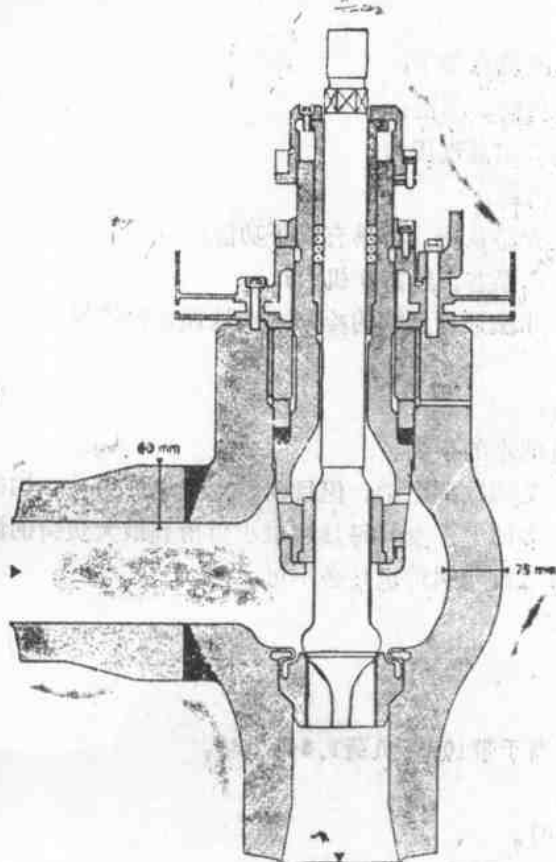


图6 试验阀门

液压原理图

1. ANM 型执行机构油缸
2. 01V 型换向装置
3. S11 型伺服阀
4. 10L 型伺服装置
5. AM 型半溢流控制阀
6. 平衡板
7. 平衡器油缸
8. S11 安全控制装置
9. S11 安全旁路装置



图7 电液执行机构

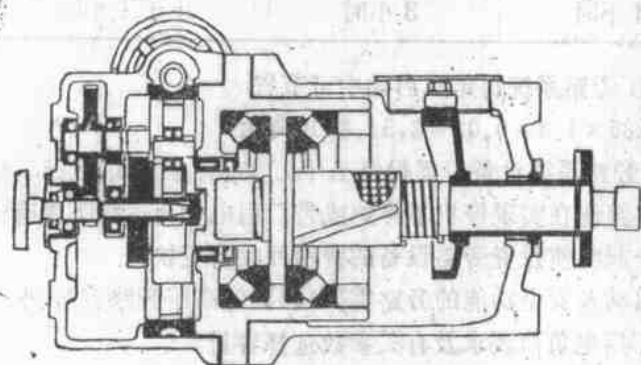


图8 SMR型执行系统

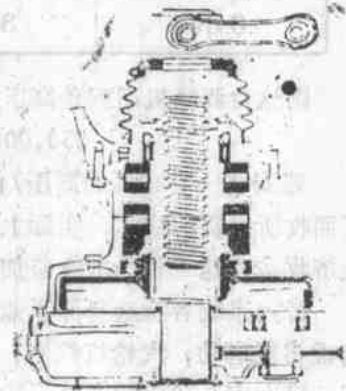


图9 SMF型执行系统

SMF型执行系统是由一只或二只电动机传动三只正齿轮，最后带动蜗轮，这种执行机构的推力可达1600千牛顿。

4.3 旁路系统。

安全、旁路组合阀是苏尔寿的一大特色，其特点如下：

- 在包括滑压运行的任何负荷工况下，避免锅炉超压；
- 启动、停机及汽机跳闸和甩负荷时，调节主蒸汽压力；
- 启动、停机及负荷变化时通过喷水调节汽温；

这种阀及控制系统，液压系统组成的汽机旁路系统，将具有以下功能：

- 以滑参数方式迅速和最佳地启停（冷态，温态，热态）机组；
- 汽机跳闸，实现停机不停炉方式运行，并保证有足够的冷却蒸汽量保护再热器；
- 电网故障，实现带厂用电负荷运行；
- 安全阀排汽不排入大气，因而降低噪音；
- 在长时间排汽情况下，避免了已处理过的水的损失。

众所周知，旁路系统起源于与直流锅炉有关的欧洲电站，但目前，由于电厂用户结构的变化，核电带基本负荷的容量，燃料考虑及更多的电厂参与每日从最小负荷到最大负荷的调峰运行，旁路系统的采用不仅对直流锅炉而且对汽包锅炉也是必不可少的。

以下将举例说明安装旁路系统的经济收益。

例如，旁路系统在启动中的经济收益。

假定：• 350MW机组，燃煤汽包炉。

- 用高压/低压旁路系统的节能相当于带100%负荷1.3个小时。
- 每年平均热态/温态启动285次。
- 燃料煤的成本：0.02美元/吨小时。
- 带及不带高压/低压旁路系统的启动时间：

启动时间			
不带高压/低压旁路		带高压/低压旁路	
冷态启动	温/热态启动	冷态启动	温/热态启动
6小时	3~4小时	3小时	小于1小时

则这台调峰机组配备高压/低压旁路系统每年从启动中可节省

$$350,000 \times 285 \times 1.3 \times 0.02 = 2,54,8000 \text{ 美元}$$

若安装一套40%的高压/低压旁路系统设备，需投资五十万美元，则机组运行二年后即可回收所投资的成本，实际上旁路系统在实现停机不停炉或带厂用电负荷运行下也有一定的经济收益，这二种经济收益加在一起将使投资旁路设备的费用回收得更快。

旁路系统容量选择除了兼有启动及安全功能的旁路需要100%的高压旁路容量外，其他情况将视启动，汽轮机跳闸，带厂用电负荷要求及有关参数选择容量。

带有安全功能的旁路系统不再需要常规的安全阀及蒸汽泄放管路与消音器。安全、旁路组合阀的优点如上所述。根据我们总成本计算，带有安全功能的高压旁路系统并包括主蒸汽

管道和冷端再热管道之间有关管路成本一起与常规安全阀，蒸汽泄放管路及消音器的成本相同，所以若选择100%容量带有安全功能的旁路系统，实际上旁路系统的投资仅在低压旁路部份。

苏尔寿旁路系统已有二十几年的设计、安装及运行经验，是世界上在该行业的绝对领导公司，而且是世界上唯一能提供整套包括阀门、控制系统、液压系统（采用电液执行系统主要是考虑到提升力大及快速）等设备及掌握系统设计技术的公司。过去二十年内，苏尔寿已为世界上350多家电厂提供了旁路系统，总装机容量已超过125,000MW，自从1972年苏尔寿为中华人民共和国提供第一套旁路系统以来，至今已为十八家电厂提供了三十几套旁路系统，除了元宝山电厂由于运行原因引起阀门内的笼罩过早损坏外，其他电厂均运行良好，得到用户的好评。

5. 结 束 语

从上所述，可看出苏尔寿在能源领域内所积累的丰富经验。瑞士是个小国，人口仅上海的一半，所以瑞士总是积极地将他们的技术转让给国外以扩大市场。苏尔寿是将技术转让给中国的最早的外国公司之一。目前中国国内有近十家厂家拥有苏尔寿的许可证或与苏尔寿有技术合作协议。在电站设备行业中苏尔寿已将超临界压力锅炉技术及旁路阀门技术转让给上海锅炉厂及上海电站辅机厂。超临界机组技术在中国还是孕育阶段，同时苏尔寿和中国电站设备行业的合作也是在孕育阶段，愿他们能迅速成长。