

超临界参数火电机組 譯文集

机械工业部 发电设备行业科技情报网
哈尔滨电站设备成套设计研究所

1985.12

驗所

4

目 录

正确评价超临界机组	(1)
燃煤电站的现状及其未来应用的可能性	(5)
常规电站热效率的改进	(19)
超高压、高温火力发电装置的技术展望	(37)
斯拉维扬斯克国家区域电站首批80万千瓦动 力机组制造和运行的经验	(48)
CKP—100 机组热力和起动系统的特点	(55)
超临界压力电站的检测及控制系统	(61)
九州电力公司丰前2号超临界压力机组的自动化	(66)
关于超临界锅炉技术交流的总结	(79)
高蒸汽参数电厂的燃煤锅炉	(88)
超临界锅炉的设计准则和运行经验	(99)
超临界压力锅炉热力系统计算特性	(119)
超临界压力直流锅炉水冷壁系统	(124)
垂直管圈水冷壁滑压运行的直流锅炉	(130)
超临界压力煤粉锅炉垂直水冷壁水动力系统的可靠性	(133)
超临界半尖峰锅炉的研究	(138)
目前大容量汽轮机的技术动向	(140)
国外超临界压力机组的汽轮机	(147)
提高汽轮机单机功率和蒸汽参数的前景	(154)
超高压、高温透平的研制	(162)
提高汽轮机、发电机效率的技术	(168)
美国160万千瓦高参数两次中间再热大型汽轮机的研究	(175)
200万千瓦3000转/分单轴汽轮机组的研制	(185)
超临界参数大功率汽轮机配汽型式的选择	(191)
超临界压力大功率汽轮机及其冷凝器和给水加热器	(196)
带有混合式低压加热器的30万千瓦汽轮机装 置回热系统的静力试验	(211)
哈尔科夫涡轮发电机厂制造的K—300—240型汽轮机 凝汽器除氧能力的提高	(215)
按转子的热应力状态控制K—300—240型汽轮机的起动	(218)
超临界压力机组低压加热器中冷凝水的最佳PH值	(225)

超临界发电站的管道.....	(227)
现代电站建造中的管道.....	(230)
高蒸汽参数电厂的管道.....	(235)
高蒸汽参数发电机组用热强钢的选择.....	(241)
超高参数蒸汽管道用X16H9M2钢.....	(245)
编 后 语.....	封三

正确评价超临界机组

美国动力年会上，北美电力安全委员会发电可用率信息系统助理理事米歇尔，克莱介绍，芝加哥——电力公司由于考虑到大容量超临界发电机组的性能差而影响其声誉，因而舍弃了超临界机组，这样做可能犯了一个错误。

克莱报道，在60年代和70年代期间，各电力公司安装了144台机组运行于超临界参数（大于3203.6磅/时²，705.44F）。这些机组容量代表了那个时期总容量的大部份。平均压力为3500磅/时²。

设计较高的温度和压力的目的是使其比亚临界机组有更好的热效率。直流炉超临界机组也被认为是实现大容量燃煤机组的最好途径。

但是，七十年代末，电力工业开始从超临界机组转变方向。克莱报道，1979年只有1台机组投入商业性运行，1980年4台，1982年又增加1台。在那同时期的五年内，每年平均有13台亚临界机组投入运行。

“为什么电力工业改变了它的主意？”“这种改变是正确的吗？”

克莱查阅了北美电力安全委员会发电可用率信息系统的大量数据，进而研究超临界机组由于可用率低而影响其声誉的真实情况。

他分析了所有燃用煤粉的40万——80万千瓦发电机组在开始运行的五年内可利用率的记录数据，这些机组占总发电容量的45%。

总的统计数据证实一般的概念：超临界机组的等值可用率和强迫停机率实际上比亚临界机组差。

更进一步地观察这些数据，发现了某些意外的结果。克莱将超临界机组群分为两种类型，较早一代的设计和较近一代的设计。分析者声称其分类是基于与锅炉制造厂的讨论和对技术论文的评论。他指出其中有些时间上的重叠，即有些锅炉制造厂生产的属于较早一代设计的机组其并网时间在另一些锅炉制造厂生产的属于较近一代设计的锅炉之后。大部分较早一代超临界机组在1967——1973年期间起动，最后一台于1974年并网。较近一代机组大部份在1970到1976年期间起动。67台较近一代超临界机组（包括不在分析之列的燃油和燃气机组）均列于表内。

克莱又根据炉膛通风型式，正压炉膛或平衡通风炉膛进行分类。大部份较早一代超临界机组是正压炉膛，而较近一代机组只有一半是正压炉膛。较早一代和较近一代机组中一部份已从正压炉膛改为平衡通风型炉膛。

最近一代超临界机组

年份	机 组 名 称	电 力 公 司
65	Bull Run *1	Tennessee Valley Authority
66	Wilson *1	Mississippi Power & Light Co
67	Fost Martin *1	Monongahela Power Co
67	Mountain Creek *8	Dallas Power & Light Co
67	Ritchie *2	Arkansas Power & Light Co
68	Keystone *2	Pennsylvania Electric Co
68	Parish *4	Houston Lighting & Power Co
69	Brunner island *3	Pennsylvania Power & Light Co
69	Genoa *3	Dairyland Power Coop
69	Marshall *3	Duke power Co
70	Conemaugh *1	Pennsylvania Electric Co
70	Marshall *4	Duke Power Co
70	Mohave *1	Southern California Edison Co
70	Morgantown *1	Potomac Electric Power Co
70	Watarec *1	South Carolina Electric & Gas
71	Barry *5	Alabama Power Co
71	Bowen *1	Georgia Power Co
71	Conemaugh *2	Pennsylvania Electric Co
71	Mohave *2	Southern California Edison Co
71	Montour *1	Pennsylvania Power & Light Co
71	Morgantown *2	Potomac Electric Power Co
71	Ninemile Point *4	Louisiana Power & Light Co
71	Wateree *2	South Carolina Electric & Gas
72	Gorgas *10	Alabama Power Co
72	Harrison *1	Monongahala Power Co
72	Pittsburg *7	Pacific Gas & Electric Co
73	Amos *3	Appalachian Electric Power Co
73	Coneville *4	Columbus & So Ohio Electric
73	Harrison *2	Mononghela Power Co
73	Montour *2	Pennsylvania Power & Light Co
73	Ninemile Point *5	Louisiana Power & Light Co
73	Williams *1	South Carolina Electric & Gas
73	Willow Glen *5	Gulf States Utilities Co
74	Andrus *1	Mississippi Power & Light Co

年份	机 组 名 称	电 力 公 司
74	Belews Creek *1	Duke Power Co
74	Bowen *2	Georgia Power Co
74	Bowen *3	Georgia Power Co
74	Gaston *5	Alabama Power Co
74	Gavin *1	Ohio Power Co
74	Harrison *3	Monongahela Power Co
74	Michigan City *12	No Indiana Public Service Co
74	Monros *4	Detroit Edison Co
74	Riverside *1	Public Service Co of oklahoma
74	Sabine *4	Gulf states utilities Co
74	Sca Hergood *3	L.A.Dept of water & power
74	Stuart *4	Davton Power & Light Co
75	Belews Creek *2	Duke Power Co
75	Bowen *4	Georgia Power Co
75	De Cordova *1	Texas Power & Light Co
75	Gavin *2	Ohio Power Co
75	Gibson *2	Public Service Co of Indiana
76	Gibson *1	Public Service Co of Indiana
76	Mansfield *1	Ohio Edison Co
76	Riverside *2	Public Service Co of oklahoma
76	Schahfer *14	No Indiana Public Service Co
76	Wanstey *1	Georgia Power Co
77	Cardinal *3	Ohio Power Co
77	Mansfield *2	Ohio Edison Co
78	Pleasants *1	Monongahela Power Co
78	wanstey *2	Georgia Power Co
79	Northeastern *3	Public Service Co of oklahoma
80	Mansfield *3	Ohio Edison Co
80	Mountaineer *1	Appalachian Electric Power Co
80	Northeastern *4	Public Service Co of oklahoma
80	Pleasants *2	Monongahela Power Co
82	Gitson *5	Public Service of Indiana

来源：1984年美国动力年会，克莱（G.M.Curley）发表的“超临界机组——它们运行得怎么样”？

像亚临界机组一样好

克莱报道,根据设计阶段和炉膛通风两种因素,将全部机组分类后,其结果出现“引人注意的变化”。单从平衡通风机组看,较近一代超临界压力机组锅炉及其辅机的五年平均等值可用率只比亚临界机组低百分之二,而两种机组的等值强迫停机率实际上是相等的。

分析结果表明,只有较早一代具有正压炉膛型的超临界机组才是差的。较近一代具有平衡通风的超临界机组与类似容量的亚临界机组一样好。

由于大容量是与超临界机组有关的一个重要因素。克莱也注意到大于80万千瓦的机组。其结论与其它的发现是一致的。大于80万千瓦的超临界机组的等值可用率高于亚临界机组。

克莱在会议上说,“增大容量并不意味着可靠性的降低”。

这些发现与一般对大容量超临界压力机组实践所持有的概念相矛盾。

为了研究这些概念,克莱对10个电力公司进行了调查研究,这10个电力公司共有60台超临界机组在运行,既有较早一代的也有较近一代的设计,既有正压炉膛,也有平衡通风炉膛。少数电力公司报道,他们对自己的超临界机组满意,但通常他们所运行的为平衡通风、燃煤、燃气或燃油机组。克莱补充说,但是大部份电力公司对他们的超临界机组不完全满意。认为维护费用过高,并且机组的可用率和效率都小于预计值。

克莱提出,由于大部份电力公司重视可用率的程度超过热效率,这些概念促使他们在未来的计划中削减超临界机组的数量。

电力研究所对超临界机组的看法

电力研究所电厂系统和性能部经理托尼·爱蒙也在美国动力年会上提出看法,支持超临界机组的设计。他说,电力研究所的许多研究已经表明,与亚临界机组相比较,认为超临界机组的可用率降低所增加的费用抵消它们的效率上的收益,这是不确切的。

他说:“统计数字表明,直流炉和汽包炉的可用率没有很大的区别,更进一步地说,在设计超临界机组时,不存在一个导致可用率降低的固有因素。”

爱蒙断言:“关于可用率的争论已经缓和下来了。”

他提到费城电力公司埃迪斯顿电站于1959年并网运行的一台5000磅/时²机组可作为超临界压力机组的“里程碑”。尽管其运行压力稍有降低,但该机组二十五年来一直在4800磅/时², 1000°F下运行,公司计划这台机组将继续运行到2005年。

电力研究所的人员将二十五年的老埃迪斯顿机组的依然先进的蒸汽参数与波音707飞机的性能作比较,后者也是二十五年前被采用的,并且长期以来已被更先进的喷气式飞机所替代。

爱蒙建议,订购新容量的有关电力公司,应研究超临界压力、蒸汽参数为4500磅/时², 1050/1050/1050°F热力循环的可能性。他说,今天已有26台二次再热的超临界压力机组在美国运行,因此这样的热力循环已不再需要发展任何新技术。现在,这种热力循环机组在日本已有订货。

爱蒙报道,超临界设计下一步发展将是适中的一步,4500磅/时², 1100/1100/1100°F,这样仅需要在材料和设计方面作少量的技术改进。爱蒙说,一台上述蒸汽参数的75万千瓦燃用煤粉的机组,其热耗为8420(包括烟气脱硫装置),基本投资为1105美元/千瓦(1981年美元),将在1992年投入运行。这种将煤转变为电能的方法与其它许多已发展的方法,例如,沸腾燃烧、燃气联合循环,硫流体发电相比是比较有利的。

他补充道,电力研究所已签订了一个合同,研究美国现有的超临界机组(根据爱蒙统计,有157台超临界机组在运行),作为开始进行的超临界研制计划的一部份。电力研究所对那些拥有超临界机组的电力公司作了初步调查,发现大部份公司仍然想挑选超临界机组,这点和北美电力安全委员会的调查略有出入。

爱蒙说,苏联是仅有的另一个有大量超临界机组在运行的国家,大约有250台左右。电力研究所已经研究了苏联的经验,但迄今为止的资料表明,只有很少的进展是超过美国的。

目前,在超临界压力设计的技术领域中处于领先地位的国家是日本,它的技术基础是从美国买来的。

注意到,在美国为了满足从现在起到2000年规划中的负荷增长,可能要订购几百台新机组。爱蒙说:“看来,从经济性考虑,这些机组中有许多将是超临界蒸汽参数的机组,更进一步地说,采用4500磅/时²、1100°F的热力循环是一个技术上稳妥可靠,经济上可行的选择”。

孙天月 译自Electric Light & Power 1984, No7

李奎曾 校

燃煤电站的现状 及其未来应用的可能性

A. 巴尔德等

导 言

在哥本哈根召开的VGB(大电厂运行者协会)“1977年度电站会议”上,笔者曾在《从当今燃料价格行情论化石燃料电站的设计》报告中指出,在“廉价燃料的十

年”期间，凡酝酿设计电站之前首先考虑的是资金利用率问题，而目前电站设计人员又必须重新对提高电站效率问题予以特别重视。

当时报告中预测和提出的一些措施，如把新汽压力在亚临界区从165巴提高到190巴，在超临界区从240巴提高到260巴，以及改善“循环冷端”的利用等，早已在诸如日本和西德等燃料价格昂贵的国家广泛采纳。在提高蒸汽压力的同时，多数情况下还适中地或大幅度地把新汽温度和中间再热温度从530/530℃提高到540℃或560℃。

在贝格卡门电站的A、B两台75万千瓦机组的设计上就可清楚地反映出这种发展趋势（图1）。机组A于1976—1977年间开始设计并于1981年投入了运行。机组B不久也即将订货，计划于1986—1987年间投运。

在新汽压力从190巴提高到245巴的同时，新汽和中间再热温度也从530℃提高到540℃或560℃；此外，通过8级给水回热系统使给水终温从258℃提高到285℃。为了更好地利用“循环冷端”，把真空度从0.065巴改为0.056巴，并通过汽轮机的具体改进，可使机组效率至少提高5.2%；而作为附加效果，在锅炉热功率大致不变的条件下，机组出力可从74.7万千瓦提高到78万千瓦。

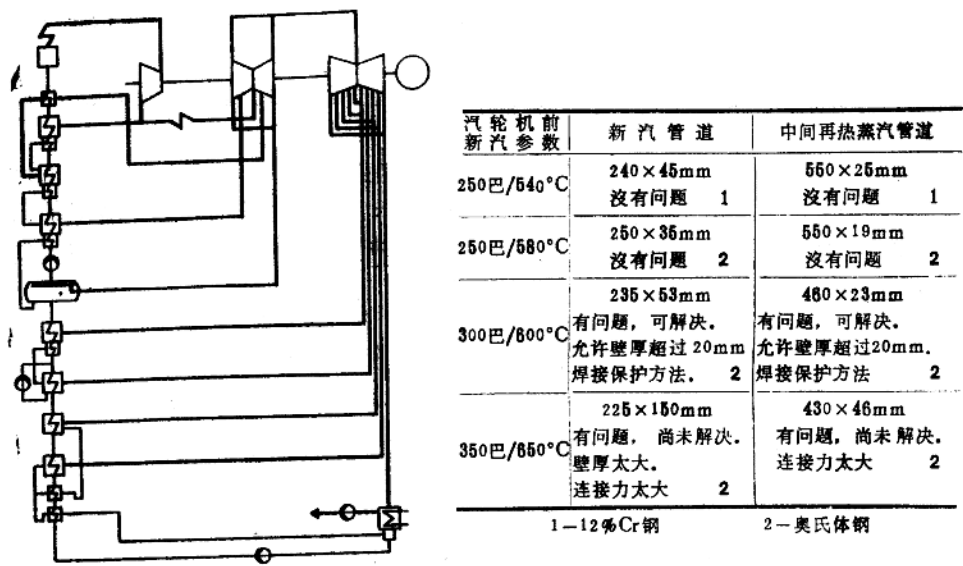


图1 贝格卡门公用电站机组A和B的设计数据比较

那么，在当前采用高蒸汽参数和多数采用一次中间再热系统的常规蒸汽电站的情况下，是否还会进一步发展采用更高的（或特高的）蒸汽参数来提高效率呢？这样发展的理论技术可能性能否被运行部门所接受而且经济效益是否明显呢？

鉴于篇幅有限，笔者对这些复杂而困难的问题只能作一概括介绍。此外，这些论述的依据是1979—1981年BMFT（联邦德国科学技术部）研究课题《通过改用更高的蒸汽参数来提高燃煤电站的效率》的总结报告

考虑到结构可能性，该研究工作针对100万千瓦容量等级的机组进行。但是，当容量超过75—80万千瓦时，其成本实际并不能下降，所以上述报告中的论述和结论可以应用

于经过实践验证的75万千瓦容量的机组。

在同一时期内,美国和日本均进行了可对比的研究。其研究结果已在1981年度EPRI (美国电力研究所)年会上予以介绍,并在1981年度VGB电站会议上作了简介。

遗憾的是,其中未能探讨有关在整个电站范围内具体改进各零部件和系统以提高效率的大量较小的不太引人注目的意见。下列意见同样也有价值,应在相应的出版物中予以评述。如:通过增加设计和制造费用来提高汽轮机效率;改善“循环冷端”的利用;设计新的加热器、冷却器、减温器及其连接系统;采用新的低耗功的给水泵驱动装置并进一步减少其它厂用电,尽量减小管系压损;减小炉膛中的过剩空气量;采用低损失的中间再热调节系统;采用脱硫装置后烟气最佳加热系统等。这些措施过去很少有人设法实施,而今天已显示出其可行性。

这些措施也适用于热电联供机组,因为能明显提高燃料利用率。鉴于对此已人所周知,笔者在此不作过多的论述。

关于在熟知的蒸汽燃气联合循环中采用各种煤气化方法的研究工作也已在进行。尽管在燃气轮机发展方面采用1200—1400℃的初温,预期同样也会使其效率有可观的提高,但是这种机组尚存在一系列有待解决的问题(比如燃气净化系统),需建立其雏型首先解决电站适用性问题。

燃煤电站的未来应用范围

笔者认为,本文开头对燃煤电站在未来电力事业中的应用问题提出一些基本设想是

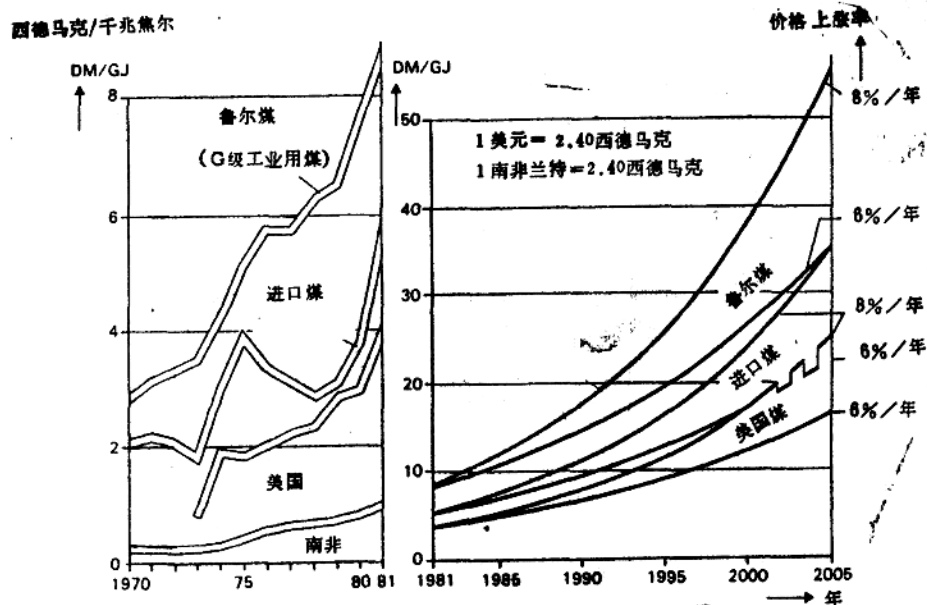


图2 电站用煤的价格发展趋势

必要的,这样就可以从现实的经济性问题及与实践有关的方面来探讨技术上的最大可行性。

目前,对于煤价较高的国家(比如西德)以及烧进口煤的国家(比如日本);用核电机来承担基本负荷,其经济性上的优点已无可争辩,因其燃料费用低。对于燃料很便宜或者目前相对来说还比较便宜的国家(比如美国、南非、澳大利亚等),上述优点就不甚明显;但是从中期和长期来看,这些国家也无法摆脱世界煤炭市场价格的影响(图2)。

除少数国家外,燃煤电站因燃料费用高而基本投资少,从中期和长期来看,将主要承担电网的中间负荷,每年的全负荷利用小时数约为2000—4000小时。在实际评价时,除个别情况外,也将不考虑用于燃料费用极高的情况,即不考虑在燃料价格高的条件下用于承担基本负荷。

通过提高新汽和中间再热蒸汽参数 或通过远距离供热改善电站效率的可能性

在前面提及的BMFT研究项目中,根据最佳设计的“循环冷端”以及考虑到汽轮机可能达到的不同效率,总共计算了约200个热力循环方案,这些方案中的新汽压力、新汽温度、中间再热蒸汽参数和给水加热终温的组合情况各不相同。在预测时研究了下一步的压力和温度极限及其组合情况对电站效率的影响,其结果汇总于图3(实际情况还要复杂得多)。该图示出,以185巴/530℃的蒸汽参数为起点,在压力分别为250、300和350巴,典型温度分别为565、580、600和650℃,以及一次和两次中间再热的条件下,净热耗的可能改善情况。

根据研究结果可以得出如下结论:

——单纯把压力提高到超过目前已实用的250巴时所得的收益很小,在进一步提高到350巴时,热耗仅降低0.5%(一次中间再热)或1.2%(两次中间再热)。

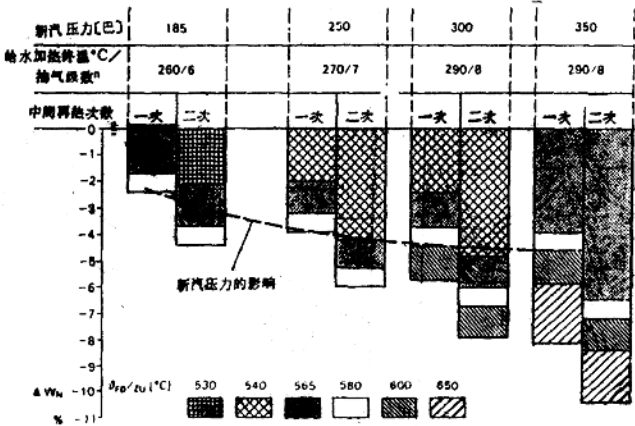


图3 不同的蒸汽参数对净热耗的影响

——在250巴压力下采用565℃和580℃的温度在技术上没有太大的问题，相对于迄今常用的设计参数185巴/530/530℃来说，效率可提高4%（一次中间再热）或6%（两次中间再热）。

——若把温度从580℃提高20℃，达到600℃，则效率还可提高1.2—1.4%；若再进一步提高50℃，达到650℃，则还可使效率提高2—2.2%。

——在现用250巴压力条件下，若采用580℃的温度以及两次中间再热，效率可以提高6%；此效果相当于采用300巴/600℃参数和一次中间再热的机组。

——采用600℃和两次中间再热的机组，其效率可提高8%，此效果相当于采用650℃和一次中间再热的机组。

根据各地区气候条件的不同，采用热电联供机组也能提高能源利用率，而且其效果很好，也不存在什么技术问题。

图4所示是凝汽工况下的全负荷利用小时数与供热程度对能源利用率的影响曲线。

当供热功率与电功率之比为0.3时，能源利用率就已经能够达到43—47%；而当上述比值为0.6时，能源利用率甚至能够达到45—55%。不过应考虑到，在可比的凝汽式电站中由于供热使流量损失，必然会导致电功率的相应减少。这种有效的节能措施已在西德最大程度地加以采用，具体数据如下：从1976年到1982年，有17座总电功率为630万千瓦的凝汽式燃煤电站能供热2900兆焦/秒（290万千焦/秒），平均至少占46%的电功率。如能充分加以利用，则意味着能源利用率可从38%左右提高到约50%。

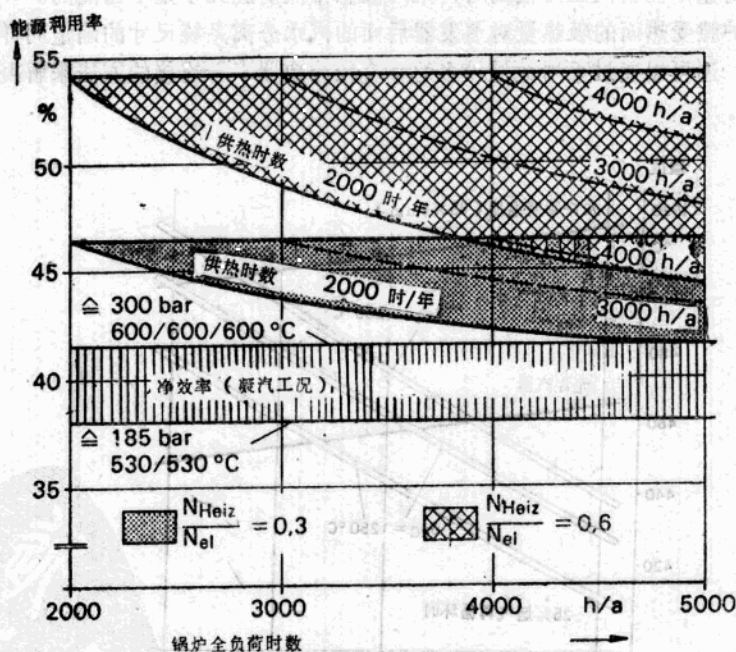


图4 供热对能源利用率的影响

不同的蒸汽参数对锅炉、 汽轮机和管道的设计和结构的影响

西德在超高参数机组方面已拥有20年以上的运行经验（图5略）。这些机组的容量均在10万千瓦以下，而且除一台例外，其余机组或是仅新汽压力超过300巴，或是仅新汽温度超过600℃。但是，这些宝贵经验对本文提及的研究工作的参考价值有限，因为本文研究的是大容量、高压力和高温同时存在的新课题。

本文仅研究有关锅炉、汽轮机和管道三个主要方面的问题，至于其他设备，如高压加热器或给水泵等，可以以现有的结构为基础。

锅 炉

锅炉方面的主要问题是其炉墙、厚壁部件及高温腐蚀。蒸汽出口温度随炉膛压力的升高而升高。当炉膛出口烟气温度定为1250℃时，还有一个蒸发器流量减小的影响问题。从上述两方面考虑，当新汽压力为280巴左右时，用13CrMo44钢来制造38×8毫米的管子，其强度已达到极限（图6）。若再进一步提高压力，则蒸发器必须用12%CrMoV钢或奥氏体钢制造。由于在这方面尚无经验，就必须减小蒸发器受热面的吸热量。为此存在着各种不同的可能措施。在美国和日本广泛应用的烟气再循环系统就是其中之一。但是，很明显，在新汽压力很高时，采用液态排渣炉膛几乎是不可能的。

减小炉膛受热面的吸热量对蒸发器后面的汽水分离系统尺寸的确定同样也是有利的。此外，还可以通过采用数量较多的小直径分离器平行连接的方法来解决管壁厚度问题。

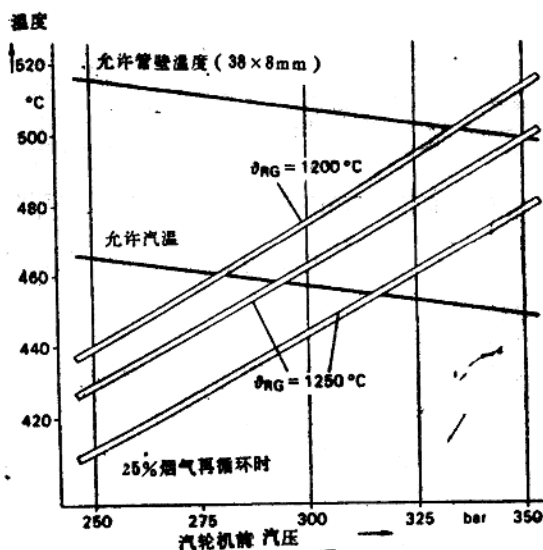


图6 锅炉炉膛出口烟气温度与13CrMo44钢的使用范围

当炉墙的压力成为设计中的薄弱环节时，首先在过热器及其出口集箱的温度方面遇到了困难（图7）。结果，在出口汽温为565℃的方案中就必須采用奥氏体钢。

利用目前使用的奥氏体钢制造蒸汽参数高达300巴/600℃而又具有所要求壁厚的新汽集箱时的技术问题是可解决的。为此，冶金部门推荐了一种X3CrNiMo N1713不稳定奥氏体钢。这种钢虽然经过比较简单的处理可以变为接近稳定的钢，但是壁厚太大。

按目前锅炉制造业的水平，350巴/650℃的方案还不能实现，因为这时的炉膛炉墙必須用奥氏体钢制造，而壁厚很大的新汽集箱的焊接技术尚未掌握。此外，尾部过热器管子的壁厚需达10毫米。

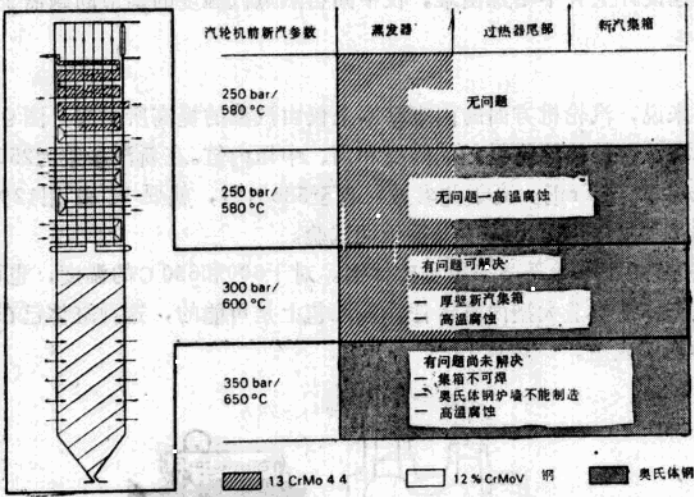


图7 锅炉材料在不同蒸汽参数下的应用范围

图8所示是高蒸汽参数及由此要求的烟气再循环系统对锅炉结构和所用材料的影响

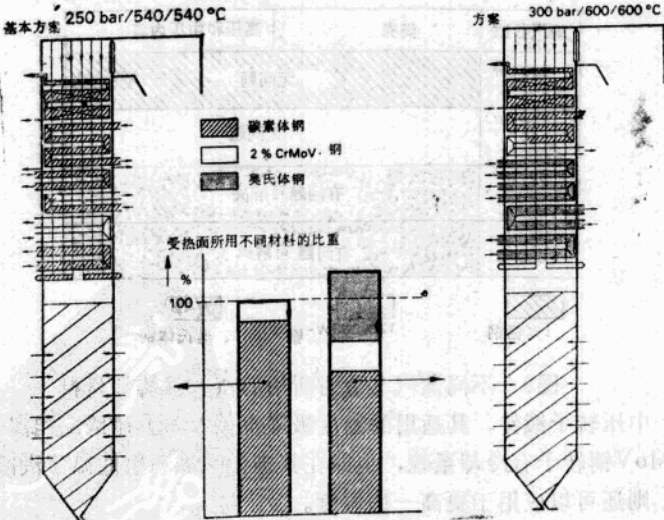


图8 不同蒸汽参数的锅炉所用材料的对比

响。由图可见,从250巴/540℃过渡到300巴/600℃时,所用12%CrMoV钢和奥氏体钢的比重将从6%左右增加到45%左右。

第三个问题是高温腐蚀。众所周知,在燃煤锅炉中,壁温较高的奥氏体钢受热面会产生腐蚀,而腐蚀程度与煤粉的成份以及飞灰的温度也有关。经常启停会增加材料的腐蚀程度,因为奥氏体钢和氧化层的热膨胀不同,当温度变化时,会引起氧化层的剥落。尽管通过结构设计措施可以减少材料腐蚀,但是温度特高的机组应用于承担中间负荷还是很棘手的。

过渡到两次中间再热时,虽然锅炉的受热面将明显增大,烟气再循环系统只能移至低汽压区,但是在设计上并不增加困难。仅中间再热蒸汽温度的调节问题需予以高度重视。

汽轮机

相对于锅炉来说,汽轮机方面的困难基本上仅由汽温的提高所引起。图9所示是用于直接受高温影响部件的铸件材料,如阀壳和高、中压内缸。在新汽参数为250巴/540℃的基本方案中采用了1%Cr钢。高于此参数,直至580℃时,就要求采用12%CrMoV钢。目前正在对这种材料的大型铸件进行长期试验。

仅在汽温超过580℃时才需要采用奥氏体钢。对于600和650℃的温度,也可以采用这种材料。用奥氏体钢制造大型内缸铸件,在工艺上是可能的,这种缸体已在燃气轮机和核反应堆上得到了应用。

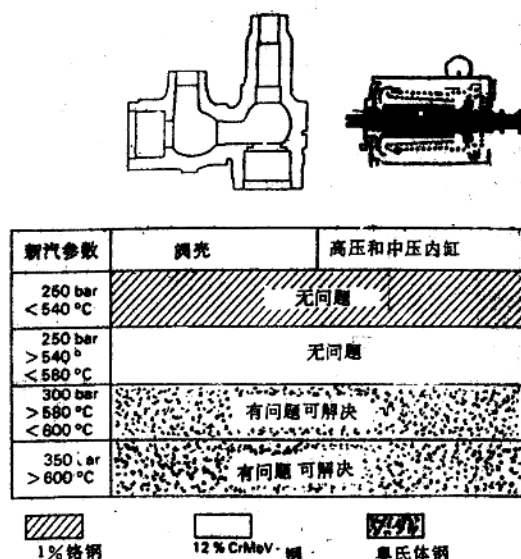


图9 不同蒸汽参数时所用的汽轮机铸件材料

对于高、中压转子锻件,其适用的温度极限也基本与上述情况相同(图10),但是如果12%CrMoV钢转子有冷却系统,也即在其进汽区域利用低温蒸汽冷却使之达到允许使用范围,则还可以应用于更高一档温度。

目前能制造的奥氏体钢转子的锻件重量大约为15吨(不超过18吨),而高压转子的

重量比较小。制造奥氏体钢转子的经验不久便可加以利用。图11同时示出了用于超导发电机的奥氏体钢转子。

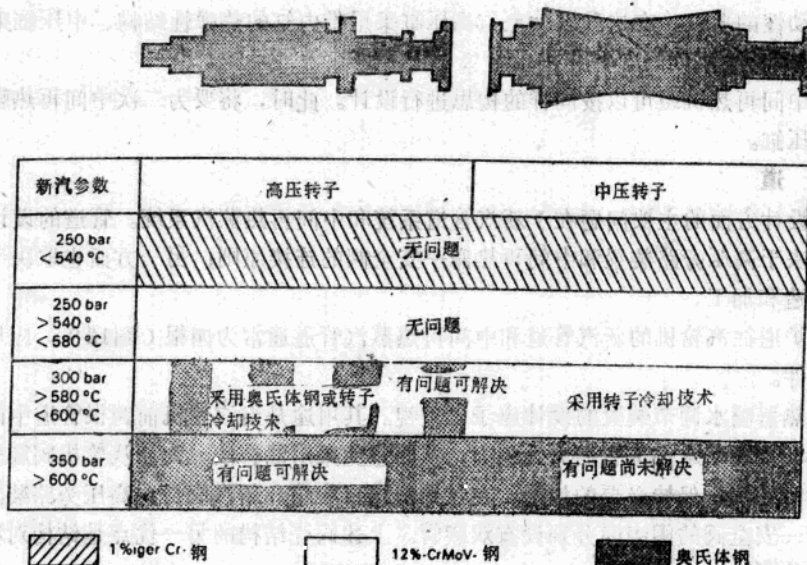


图10 不同蒸汽参数时所用的汽轮机锻件材料

用奥氏体钢制造如中压转子之类重量更大的转子是有困难的。只有在充分利用了转子冷却技术的可能性之后，才有必要过渡到采用奥氏体钢整锻转子或奥氏体钢组合转子。不过到目前为止，用于具有所需尺寸和重量的中压转子的奥氏体钢锻件还不能制造。

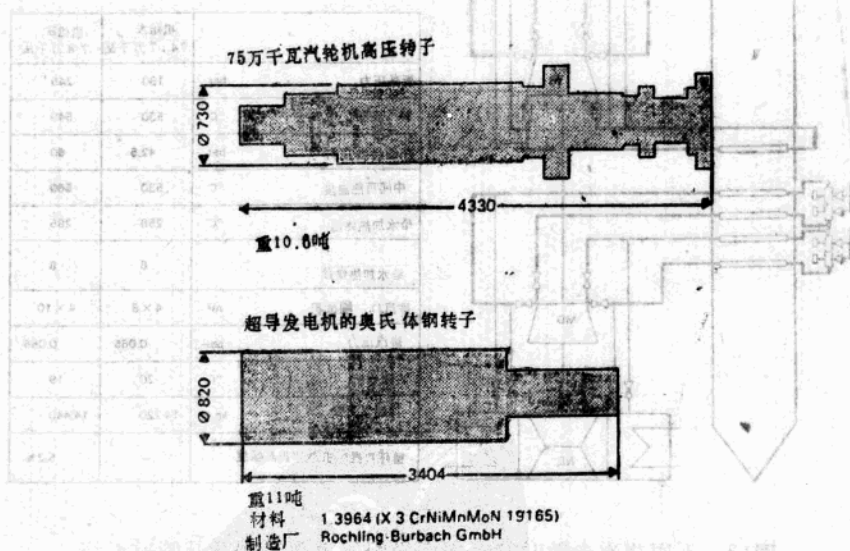


图11 奥氏体钢转子的尺寸和重量

鉴于可用率相当重要，故按我们研究的结果，在具有一定（冷降）膨胀段的单轴多缸机组上可沿用已经过实践验证的KWU（电站设备联合公司）结构（图12略）。为满足运行机动性的要求，在这种设计上，高压缸采用带内缸的热弹性结构、中压缸采用分流式结构特别合适。

两次中间再热机组可以按同样的构思进行设计。此时，将要为二次中间再热膨胀段另设一中压缸。

管 道

管道设计方面的主要问题在于新汽管道系统和中间再热蒸汽系统。管道的设计极限一方面取决于高压旁路装置和中间再热器—安全阀的连接原则；另一方面也取决于厚壁管道的制造和加工。

由锅炉通往汽轮机的新汽管道和中间再热蒸汽管道通常为四根（图13），应尽量避免采用铸件。

对过热器喷水调节装置的设计应予以重视。其用途是当汽轮机前四根管道中的汽温不均衡时，通过喷水保证它们大致相同，从而避免采用混合法。为使汽轮机阀和安全阀开度不同时的汽压保持必要的均衡，在过热器出口集箱和新汽阀门、高压旁路装置及中间再热器—安全阀的阀壳间分别设有双联管。上述阀壳结构的另一优点是结构对称，具有良好的热弹性。

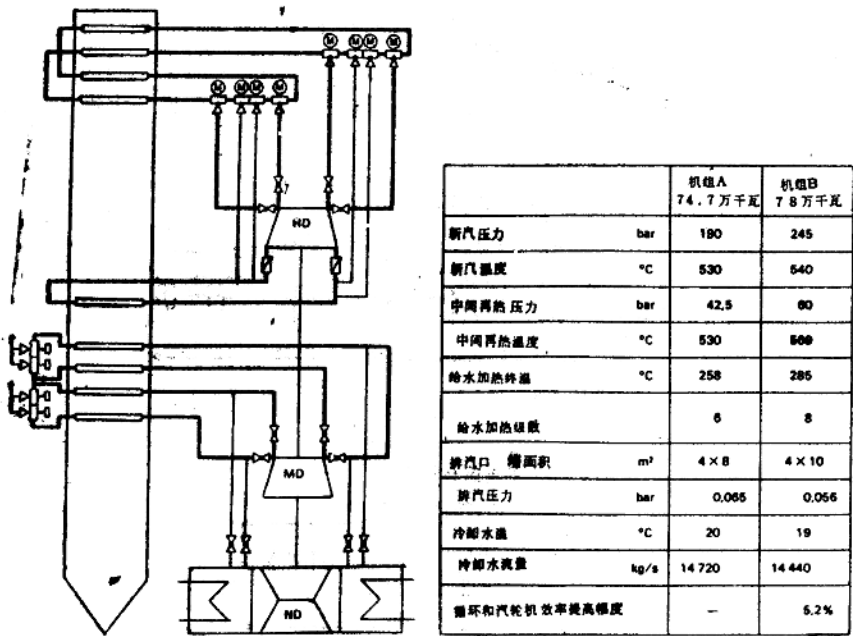


图13 不同蒸汽参数时75万千瓦机组的主要数据及其管道系统

当汽温为540℃时，上述两种管系的材料是X20CrMoV121。当汽温为560℃时，采