

日本燃—蒸复合循环动力装置的应用及发展

臧述升

(哈尔滨船舶工程学院)

主题词 燃气轮机 复合循环 余热回收

一、日本燃—蒸复合循环的引入

八十年代以来,由于能源的紧缺使得能源的深度开发和利用逐步被人们所重视。在日本,为使能源进一步有效地利用,提高发电设备效率,积极地发展了节能技术。蒸汽发电装置因采用了再热循环等方式使机组形成超临界压力、大容量化,其热效率从1955年的30%提高到目前的40%。但是,由于蒸汽发电的主要设备(锅炉及透平)材料的高温强度限制,目前使用的蒸汽透平入口条件(246at, 538℃)已接近经济上的最佳值。因而,已不太可能期待这种高温高压装置的热效率再有大幅度的提高。图1是日本蒸汽发电装置的容量及效率的进展[1]。另外,随着近年日本工业的高速发展出现了日用电高峰变化幅度大大增加的状况,(如图2),这使蒸汽发电无法适应这种大幅度负荷变化。由于上述问题使得燃气轮机复合循环方式日益得到了人们的注目。

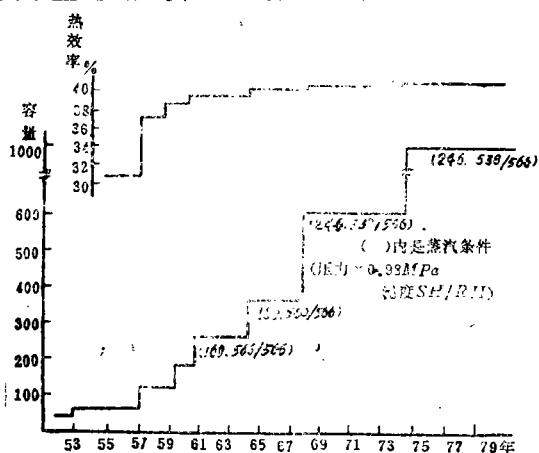


图1 蒸汽发电装置容量、效率进展

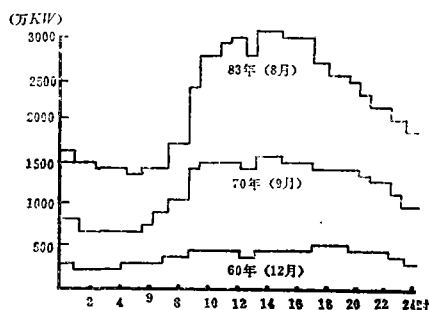


图2 日用电量变化

现在日本利用透平入口温度为1100℃的燃气轮机复合循环的热效率可达43%，比过

本文收到日期: 1987年7月24日

去燃用天然气的蒸汽发电装置节约燃料10%，比燃气轮机节约燃料30%。同时由于复合循环发电的负荷调整能力强，大容量机组可由多台小容量单机组组合而成，从而使起动、停止及急速负荷变化都比较容易，根据功率需要来决定投入运行的单机组合数，在部分负荷时仍可保持与额定输出同样高的热效率。另外由于近年来环境保护政策对 NO_x 的排量限制及对除硝技术的发展也促进了复合循环的发展。目前日本在该方面的应用及发展计划如表1[1]。

表1 日本复合循环装置应用及发展计划

	坂出1号机	川崎火力	京新泻火力	富津火力		四日市火力	新大分火力		七尾大田 火力 1号系列
		1号机	3号系列	1号系列	2号系列	4号系列	1号系列	2号系列	
所属	四国电力	国有铁路	东北电力	东京电力		中部电力	九州电力		北陆电力
功率	225MW	125MW	1090MW	1000MW	同左	560MW	690MW	870MW	550MW
型式	多轴型 废气再燃式	多轴型 废热回收式	多轴型 废热回收式	单轴型 废热回收式	同左	单轴型 废热回收式	单轴型 废热回收式	同左	多轴型 废热回收式
G/T台数	1台	1台	6台	7台	同左	5台	6台	同左	5台
S/T台数	1台	1台	2台	7台	同左	5台	6台	同左	5台
燃料		煤油	LNG	LNG	同左	LNG LPG	LNG	同左	LPG
运行(预定) 年 月	1971/7	1981/4	1984/12 1985/10	1986/11	(1988) /11	1986/12	(1987) /10	(1988) /10	(1987) /12

二、目前日本燃—蒸复合循环动力装置的应用

燃气轮机复合循环发电方式从种类上大体可分为：(1)废热回收式；(2)排气助燃式；(3)排气再燃式；(4)增压锅炉；(5)给水加热等几种。其中以废热回收式最为简单，从表1中可以看出日本目前投入使用及计划中的多为此种形式，这已成为复合循环发电的主流。在燃料上只限于使用LNG（液态天然气）、LPG（液态石油气）或含硫极少的优质煤油。

在复合循环的组成上，由于燃气轮机目前可制造的最大容量为12万KW左右，所以大容量装置只好由小容量机组组合而成。在组合形式上分为单轴型和多轴型两种，单轴型即一台燃气轮机对应一台蒸汽轮机共轴带动发电机，多轴型是利用多台燃气轮机对应一台蒸汽轮组合而成。

通常单轴型具有低负荷效率下降少，运行容易的优点，而多轴型则因可采用大型蒸

汽透平,所以在额定功率下可保持较高的热效率。就此而言,对于负荷变化频繁地区适合利用单轴型,对于以额定功率稳定运行为主的地区则适合采用多轴型。此外,对已有燃气轮机或蒸汽轮机进行复合循环改造时亦适合采用多轴型。

在日本采用以上两种型式装置的典型代表是富津1.2系列和东新潟3系列复合循环发电装置,前者为单轴型后者为多轴型。这两个装置都是目前世界上容量较大的机组之一,其中东新潟3系列总容量为1090MW,是世界最大的机组。

三、两个典型的复合循环发电装置

1. 富津1.2号系列发电装置

该机组分为两个系列,每个系列由7个单轴型废热回收式复合循环发电机组组成,容量为10⁶kW。1号系列在1986年11月投入运行,2号系列计划1988年11月投入运行。由于采用了单轴型,蒸汽循环系统不受其它轴的相互影响,因而对运行轴数的增减限制较宽,这样就可负荷变化下维持高效率。同时,在定期检修时,轴与轴间不受影响,可单独进行,这样可以保证全年维持相同的功率输出。图3是该装置在除夏季外(夏季由于气温高,7轴都投入运行,以保证恒定功率输出),在顺序进行一轴检修情况下,整个装置全年最大功率的变化。从图中可见针对燃气轮机出力随大气温度变化较大的缺

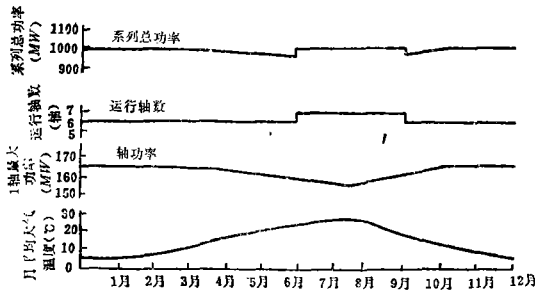


图3 复合循环发电装置最大功率全年变化
(7轴组成单轴型1000MW装置下)

点,可通过在夏季增加运行轴数来维持全年的稳定功率。

另外,该装置采用单轴燃气轮机,涡轮为3级冲动式,1、2级动、静叶内部均采用空气冷却,涡轮入口温度为1085℃,压气机为17级轴流式,压比约12,并因蒸汽轮机的出力减小,所以温排水量仅为同容量蒸汽轮机组的70%。

2. 东新潟3号系列发电装置[2]、[3]

该装置为多轴型废热回收式,由3台燃气轮机、3台废热锅炉和1台蒸汽轮机组合为一个子系列,两个子系列功率共为1090MW,3-1系列于1984年4月起动试验运行,同年12月投入正式营业运行。其热效率为44%(发电机端,高位发热量)所使用的燃气轮机(MW-701D型)涡轮入口温度为1154℃,其整个装置在容量、热效率及涡轮入口温度上都是目前世界上最大或最高的。此装置从计划到设计都是由日本东北电力公司、三菱重工、三菱电机三家公司于1980年7月至1981年11月共同调查研究确定的。其中许多地方采用了目前正在开发的新技术。

此装置在设计上有以下几个特征:

(1) 通过多台燃气轮机的适当变换可使装置在部分负荷时保持与额定负荷下的效率相同。

(2) 由于涡轮入口温度的提高，燃气轮机在结构上除采取了第一级动叶强化冷却外，在第二级也采取了冷却措施，同时为提高燃气轮机的热效率，在第四级动叶采用了长叶片。

(3) 通过采取多轴组合方式，装置的热效率比单轴型提高1.6%，在蒸汽透平上采用了双压，为减少排气损失采用了3000r/min、1016mm(40in)长叶片，也使热效率得到了提高。

(4) 为了保护环境，在提高热效率的同时在燃烧室内注入水或蒸汽以减少NO_x的排量，并采用了新式的预混合型燃烧室，同时设置了干式脱硝装置，使燃气轮机出口处的NO_x值从60~75ppm降低到10~15ppm，消音壁边界噪音低于60dB。由于辅机种类减少，所以电站内动力比率比过去火电站减少50%（实测值比预估值还少1.3%），且因燃气轮机出力占总功率的2/3，使该装置的湿排水量为过去火力装置的80%。

在性能设计上该装置着重考虑了环境温度对燃气轮机的影响，针对东新潟地区的天天气温度特性（年平均气温15℃）选定了额定容量及机组形式。其热流见图4。图5为该装置的功率特性。在此特性基础上，燃气轮机、废热锅炉及蒸汽透平都是以新潟地区冬季最低气温-1℃为基准设计的。这样，若各台燃气轮机定期检修安排在冬季，则可使装置的出力下降最小。

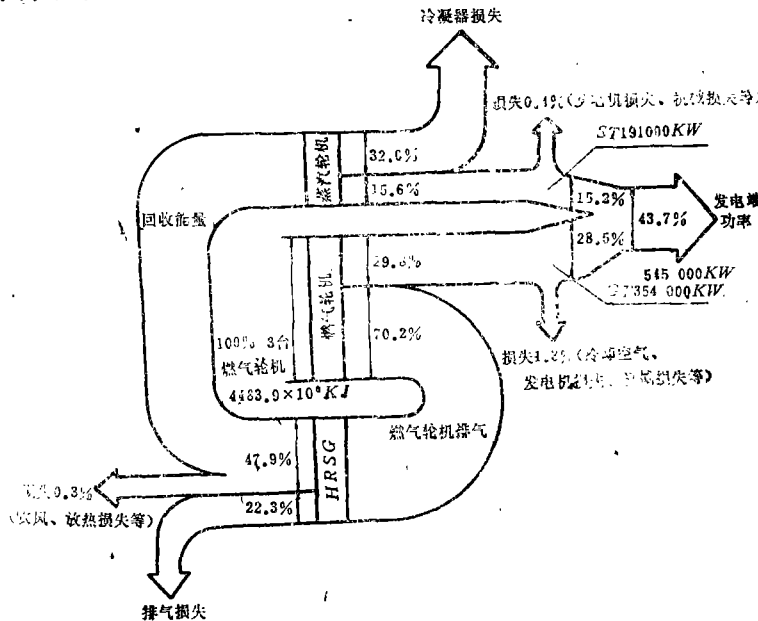


图4 装置额定输出时的热流图

废热锅炉是复合循环中的一个主要部件，在设计该装置的废热锅炉中着重注意以下几个方面。

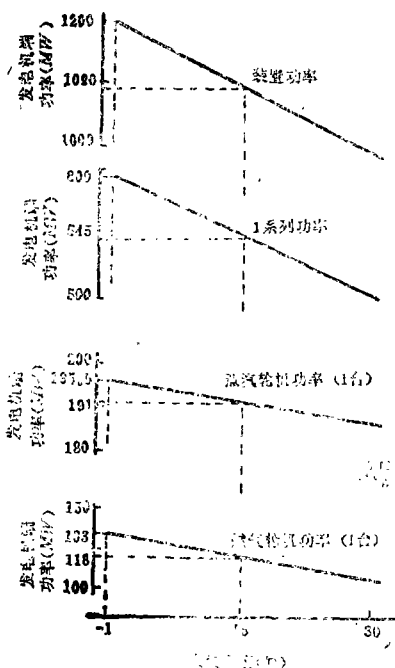


图5 装置功率特性

(1) 考虑到维修合理化而选定的锅炉形式为横流式, 这种锅炉的炉内气流无弯曲部分, 从而减少了气侧阻力, 并且有良好的耐震性。另外还具有除硝装置媒介更换容易的优点。

(2) 配置最佳传热面

在锅炉设计上采用了废气与蒸汽及水逆流形式, 使各温度区域都保持最佳的传热效率。节点温差及逼近温差的选取是在考虑了装置总体的经济性及燃气侧气流偏离等因素后确定的。同时, 在燃气轮机变负荷时, 逼近温差变小, 为使其保持在一定值以上, 该装置采用了 economizer 再循环系统, 来防止沸腾的发生。可见逼近温差在锅炉设计中同节点温差一样地重要, 它直接关系到运行的可靠性。

(3) 启动时气鼓水位膨胀现象的处理

燃气轮机启动后, 废热锅炉在短时间内流入大量较高温度的排气, 因而蒸发器内流体急速膨胀使水位急速上升。该装置采取了以下措施加以消除: a、选用大容量汽鼓, a、选用可排泄增加水量的调节流量阀, c、启动时选用较低汽鼓水位。

(4) 主蒸汽温度控制方法

该装置的高压蒸汽温度控制是采用将过热器出口蒸汽与蒸汽汽鼓出口饱和蒸汽相混合的方式, 即过热器旁通方式。利用此方式必须保证过热器旁通系统的压力损失要小于过热器压力损失, 以使蒸汽均匀混合, 这一点很主要。

(5) 运行的方式

在装置中, 随燃气轮机与蒸汽透平运行台数组合不同及燃气轮机的负荷变化, 废热锅炉的出口压力也随之变化, 高压在 2.942~5.884 MPa (30~60 kgf/cm²), 低压在 0.294~0.490 MPa (3~5 kgf/cm²) 范围内变化, 即所谓浮压运行。这时对应压力变化, 汽体比容变化率极大, 故在废热锅炉各部配管的尺寸、数量的选定上要给予注意, 以适应整个负荷变化。

四、发展前景

上述两个装置采用了不同的单轴和多轴型式, 它们标志着目前日本在复合循环应用方面的水平, 并在这种大容量装置的设计制造中已取得了初步经验。

在这种大容量复合循环应用的同时, 在日本中型燃气轮机复合循环的应用也很活跃, 以中、小型燃气轮机为特色的川崎重工、目前已有 5 种用于热电联供装置, 其功率范围

从600~2400KW^[4]，而且在燃料上也正在积极研究开发煤气化的应用，同时燃气轮机也在向更高初温方向发展，另外程氏循环的出现已引起了日本燃气轮机界的重视，正准备向实用化发展^[5]

参 考 文 献

- [1] コンベインドサイクルの概要，《火力原子力発電》，Vol.35 No.5—84。
 [2] 矢吹雅男等，东北電力(株)东新潟火力発電所第3系列，1090MWコンベインドプラントの設計运转实际，《三菱重工技报》Vol.22 No.3(1985—5)
 [3] 桥爪保夫等，大容量ガスタビン排ガスタボイラ的设计と试运转实绩，《三菱重工技报》Vol.22 No.3(1985—5)
 [4] 渡男昭男，ガスタビンによるコ-ジェネレ-ション，《内燃機関》，Vol.24 No.308(1985)
 [5] 今井兼一郎，工業用ガスタビン，《内燃機関》，Vol.24 No.306(1986)



新技术新产品信息

№R88—3 散煤炉 该炉集正、反烧技术于炉，可以直接燃用散烟煤，既消烟，火力又旺，主要用于家庭及单位。专利申请号：87213156，专利申请日：870904，

№R88—12 冷空气单级模型涡轮试验台 该试验台能承担燃气涡轮、汽轮机级的试验研究，涡轮级参数的优化设计，涡轮级的三维流动等研究。试验涡轮的通流部分可根据试验要求而变动，其最大外径为560mm，最小内径为280mm，最大叶高为140mm。水力测功器能吸收的最大功率为800千瓦。在试验台上能进行详细的级前、级间、级后流动参数的测量。

№R88—24 新型立式热风炉 能连续提供清洁、新鲜的热空气，风温：常温~600℃，可供各种经济作物和轻工产品烘干用，亦可用于房屋、塑料大棚取暖。该炉特点是结构先进、紧凑、热效率高、安

全可靠、操作方便、价格便宜，可燃烧劣质煤和杂料，亦可手烧和机烧。目前已安全运行的有0.42~2.52GJ/h(10~60万大卡/时)等多种型号产品。服务方式：提供产品、技术转让和技术咨询，也可为用户专门设计。

№R88—30 聚氨酯硬质泡沫塑料应用 这种新型材料是近年来国内外发展较快的高分子合成的微孔泡沫材料。把它作为供热工程地下无补偿直埋管道的保温材料，又得到迅速的发展。采用此项新技术后，与传统的管沟敷设工艺相比，使工程造价降低30~50%。现已在东北和内蒙古地区广泛应用。服务方式：1.采用该项新技术的供热管网设计。2.聚氨酯硬质泡沫塑料现场发泡技术咨询服务；3.耐高温型聚氨酯硬质泡沫塑料的应用技术咨询服务。

(如需以上技术请与编辑部联系)