

# 核电技术的现状和展望(二)

吉桂明 李 捷

(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

### 3.3 核电站的汽轮机装置

正在运行、建造和研制的大多数核电汽轮机都属于饱和蒸汽汽轮机。在苏联,对于BB3P型水水动力反应堆核电机组中工作的饱和蒸汽汽轮机的设计初压为4.3的5.9 MPa,对于PEMK型大功率沸水堆核电机组

则为6.4 MPa。

苏联核电汽轮机的主要生产厂家是乌克兰的哈尔科夫汽轮机厂(XT3)和俄罗斯的列宁格勒金属工厂(JIM3)。苏联生产的核电汽轮机特性示于表5。

表6 凝汽装置的主要特性

汽轮机型号 名称	AK-70-11	K-240-44-2	K-220-44	K-220-44	K-500-65 /3000	K-500-60 /1500
凝汽器型号	K-3720	K-8170	K-10120	K-12150	K-10120	K-22550
冷却表面积, m <sup>2</sup>	3720	8170	10120	12150	10120	22550
真空度, kPa	3.92	2.94	3.43	5.1	3.92	5.88
冷却水:						
温度, °C	12	5	12	22	12	22
流量, m <sup>3</sup> /h	7650	18275	21970	22740	25740	45825
阻力, kPa						
蒸汽阻力	0.187	0.56	0.373	0.254	0.427	0.227
流体阻力	30.4	39.2	39.2	39.2	35.7	42.2
冷却管:						
外径/内径, mm	25/23	28/26	28/26	28/26	28/25	28/26
长度, m	7.5	9	9	9	9	10
数量	6380	10450	12930	15612	12930	25932
质量(干重), t	172	530	570	585	696	1070

\* 所表示的凝汽器质量值是针对具有双凝汽器的装置

### 3.4 核电汽轮机的凝汽装置

与具有同等功率、以超临界蒸汽参数工作的凝汽式汽轮机比较,核电汽轮机的蒸汽流量显著大于前者,因此核电站循环水的流量显著大于常规火力发电站的循环水量,所以应充分重视核电站供水系统和汽轮机凝汽装置的设计。苏联核电站常用凝汽器的主要

特性示于表 6。

### 3.5 核电汽轮机的汽水分离再热器

考虑到整个装置的构成和修理工作进行条件,构成了卧式或立式布置的汽水分离再热器。苏联的基本上是立式结构,其主要特性示于表 7。

表 7 汽水分离再热器主要的技术特性

名称 \ 型号	СПП-220-1	СПП-1000	СПП-500-1	СПП-750
汽轮机上 СПП 的数量	2	2 (K-500-60/1500)	4	4
		4 (K-1000-60/1500)		
装置的质量, (t):				
干重	110.2	128.0	119.0	157.0
充满水后的重量	207.3	213.6	187.5	259.0
尺寸, (mm):				
高度	13 980	13 350	9 050	13 500
壳体的内径	3440	3440	4130	3952
壳体的壁厚	20	20	20	24
分离装置的数量	16	20	20	25
带百叶窗的组件数量	80	120	60	125
蒸汽再热器管子的尺寸, (mm):				
长度	4600	4600	2000	9000
管径×壁厚	16×2	16×2	14×1.2	16×2
蒸汽再热器的数量	3478/3441	2960/3959	14 700/17 640	8420
蒸汽再热器的热功率, (MW)	28.2	51.5	33.1	48.1
加热蒸汽的参数:				
温度, °C	206/253	228/272	210/278	278
压力, MPa	1.94/4.40	2.81/5.94	1.98/6.52	6.44
流量, t/h	32.1/26.8	49.3/63.8	31.0/41.4	112.0

续表 7

名称 \ 型号	CTHT-220-1	CTHT-1000	CTHT-500-1	CTHT-750
被加热蒸汽参数:				
进口温度, °C	136/189	185/208	137/192	149
出口温度, °C	189/241	208/250	192/263	263
进口压力, MPa	0.32	1.19	0.35	0.49
进口处蒸汽的流量, t/h	488	1180	508	764
进口湿度, %	13.0	11.7	10.0	15.3
流体阻力与进口压力之比, % (不大于)	6	3	6	6

说明:以分式形式表示的数据中,分子给出 CTHT 第一级的值,分母给出 CTHT 第二级的值。

## 4 今后的工作

核动力现在获得的成就表明,在最近的展望中没有什么能源能代替核动力。核电机组运行经验亦已证明它们的高效率,并且它们还是所有仍在实际应用的载能体中唯一不会导致向大气排放 CO<sub>2</sub>,从而不会促进温室效应的载能体。但是,核能的潜力和优点远未被充分利用、核电技术也有待于更进一步完善。为此,世界各国都在努力开展工作,以期使核能更好、更安全地转换出更多的电能和热能,更完善地造福人类。

### 4.1 现行核电机组的现代化改造

核电机组设计的使用寿命通常为 30—40 年。在此漫长的岁月中,随着科技的进步,对其进行适时的现代化改造是各国正在进行的工作。现代化的目标是改进机组效率、增加输出功率和提高安全性,从而也延长机组的使用寿命。

例如,通过实施一系列现代化措施,已在 1993 年使西班牙 Vandellós-2 核电站压水堆电功率从 996 MW 提高到 1004 MW,保加利亚科兹拉杜伊核电站 6 号核电机组的汽轮机

功率增加 11.7 MW、乌克兰查波罗什核电站 4 号核电机组的 K-1000—5.9/2.5-2 型汽轮机效率增加 2% 多。

### 4.2 提高核电站的安全性

由于 1986 年 4 月乌克兰切尔诺贝利核电站发生事故并造成较为严重的后果,国际核社会极为关注苏联和东欧国家(核电站多数装用苏联 BBEP 型核电机组)核电站运行的安全性。

在通过国际间合作改进上述核电站运行安全性的同时,各国也对核电机组安全可靠地运行给予了更多注意,竞相研制更先进的核电机组安全保护系统。对于核电站安全性问题形成了共识,倾向于最大程度地利用被动手段保证核反应堆控制系统的安全性,并保证在故障保护装置动作后剩余放热排出系统的安全性。

### 4.3 研制新一代更先进的反应堆

当前,世界各国都在加紧研制新型核反应堆。美国通用电气公司正在设计电功率为 1300 MW 改进型沸水堆核电机组。西屋公司正在设计电功率为 600 MW 的 AP600 改进型水冷反应堆核电机组。美国今后的核电站将装用改进型轻水堆核电机组。

日本也正在研制并装用一些功率为1300—1500 MW的大功率轻水堆核电机组。如柏崎刈羽核电站6号和7号核电机组(改进型沸水堆,1356 MW)就是在日本日立和东芝公司参加下由美国通用电气公司设计的。这二台机组计划分别于1996年12月和1997年7月投运。

苏联也正在研制功率为500和1100 MW的新一代BBЭP型水水动力反应堆核电机组。

改进型压水堆、可靠的快中子增殖反应堆和高温反应堆的研制工作也在进行。

#### 4.4 中小功率核电机组

由于其技术维护和运行费用均较现行核电站低,美国等一些国家正在研制中小功率核电机组,建设中小功率核电站。例如,美国正在研制的AP600改进型水冷反应堆,日本三菱重工业公司研制的MS—600型反应堆。阿根廷正在制定建造装有单机电功率为25—150 MW压水堆核电机组的CAREM计划。这些经济的中小功率装置可用于生产电力、工业用蒸汽、海水淡化、城市供热等。

#### 4.5 热电联产核电站和供热反应堆

苏联彼里涅斯基热电联产核电站可为该边远地区提供电力和住房供暖。

在2000年前将在我国大庆油田建造一个城市供热用的200 MW供热反应堆。

与核电站比较,这些反应堆较小,不配额外的安全设备并能利用核电站通常废弃或要被冷却的热量。

#### 4.6 核燃料利用和核废料处理

随着核电装机功率的迅速增加,对核燃料的需求更为迫切。在开采量下降,需求量上升的情况下,各核电国家将进一步提高核燃料的利用率。其措施包括使核燃料的烧尽深度从目前的28—35提高到50 MW·昼夜/kg、把核反应堆内得到的钚再处理成混合氧化的核燃料、借助于在核反应堆结构中以更

密集的栅状配置燃料元件使轻水堆(包括压水堆和沸水堆)内天然铀的利用率从现在的0.6%增加到1.2%。

#### 4.7 加强国际间合作

切尔诺贝利核电站事故后,为提高苏联和东欧国家核电站的安全性,各国加强了合作并在上述机组现代化改造和核电站人员培训方面积极提供帮助。

一些国家也在联合研制更为先进的核反应堆。例如,法国Framatome公司和德国西门子公司正联合设计电功率为1450 MW的新一代改进型压水堆。

## 5 结论

综上所述,本文归纳的结论如下:

1 40多年来核电技术日臻完善,核电事业取得了巨大的成果。核电正在世界各国健康、顺利地发展。

2 我国核电事业已经起步,并且正以更快的速度、更大的规模推进核电事业。

3 对现行核电机组进行现代化改造、研制新一代更先进的反应堆、进一步提高核燃料的利用率,提高核电站的安全性是当前各核电国家工作的重点。

## 参 考 文 献

- 1 Гришман М. П. ... Совершенствование тепловых схем турбоустановок АЭС с ВВЭР. Тяжелое Машиностроение, 1993(3)
- 2 Вирченко М. А. ... Пути совершенствования турбоустановок АЭС. Теплоэнергетика, 1991(11)
- 3 Котов Ю. В. ... Оборудование атомных электростанций. Москва: Машиностроение, 1982
- 4 Фролов К. В. ... Конструкции и методы расчета водородных энергетических реакторов. Москва: Наука, 1987

(下转 72 页)

$R = 0, .99999$	时,	$S_{qw}^* \sim N(304.54, 12.183)$	MPa
$R = 0, .9999$	时,	$S_{qw}^* \sim N(336.72, 13.469)$	MPa
$R = 0, .999$	时,	$S_{qw}^* \sim N(375.64, 15.026)$	MPa
$R = 0, .99$	时,	$S_{qw}^* \sim N(425.20, 17.005)$	MPa
$R = 0.95$	时,	$S_{qw}^* \sim N(472.56, 18.908)$	MPa

性假设过大,应参考机械结构可靠性设计方面的专著,使参量的分散性同实际统计出的相符;其次是没有考虑许用安全倍率的分散性。《准则》中 $[A_0]$ 的取值是人们从大量统计中得到的安全倍率界限值,一般推荐值较保守,给出的 $[A_0]$ 值偏高。实际上许用安全倍率亦是服从一定统计分布的随机变量。在叶片可靠性设计和评审时,一旦安全倍率已随机化处理,许用安全倍率也应作为随机变量。

描述叶片的安全倍率  $A_0$  和许用安全倍率 $[A_0]$ 的分散度最好参数是变异系数,尤其是叶片的初步可靠性设计,变异系数的取值很重要。至于变异系数的精确取值,还有待于试验和实践经验的总结。

### 5 结论

本文介绍的可靠性安全系数法,对实际叶片的可靠性设计和评审起到促进作用。它一方面综合考虑了影响叶片安全运行的各种随机因素;另一方面,兼顾了安全系数法的简单化、适用化的优点,易于被设计人员接受,

应用起来方便。由于可靠性理论在叶片设计中应用还不成熟,该方法值得推广。同时,还可以应用到透平动力装置的其它零部件的设计中去。

### 参 考 文 献

- 1 李超赞. 用概率设计方法进行叶片可靠性设计初探. 热力发电, 1992, (1)
- 2 Shi Jinyuan. Reliability design of steam turbine blades. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1991, 4(1)
- 3 E. B. 豪根. 机械概率设计. 机械工业出版社. 1983, 4
- 4 张骏华. 结构可靠性设计与分析. 宇航出版社, 1989, 9
- 5 汤松. 叶片振动应力的计算与试验研究. 动力工程
- 6 钱季平等. 扁平绕带容器可靠性初探. 机械强度. 1990, 12(3)
- 7 徐源. 疲劳强度设计. 机械工业出版社. 1981
- 8 徐源. 机械强度的可靠性设计. 机械工业出版社. 1984, 2
- 9 桑国光, 张圣坤. 结构可靠性原理及其应用. 上海交通大学出版社. 1987, 1
- 10 卡帕 K C, 兰帕森 L R. 工程设计中的可靠性. 机械工业出版社. 1984, 2
- 11 一机部, 水电部. 汽轮机叶片振动强度安全准则(试行). 1977

(上接 68 页)

- 5 Two advanced reactors selected for detailed development. Mod. Power Syst., 1993, 13(2)
- 6 Taylor G M. A status report on the next generation. Nucl. News(USA). 1992, 35(1)
- 7 Joint Franco-German design partly unveiled. Nucl. News

(USA), 1992, 35(10)

- 8 平川清纯, 小原胜昭. 中国の原子力事情 核燃料サイクル—その現状と経緯. 火力原子力发电. 1992, 43(8) (续完)

编辑 李乡复

# JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER

1995 Vol. 10 No. 2

△ The Present status and Future Prospects of Nuclear Power Generation Technology.....Ji Guiming, Li Jie (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 65~68

△ The Reliability/Safety Factor design Method of Steam Turbine Blades.....Zha Changsong (*The Resident Military Representative Office at No. 425 Shippard*), Liu Deming and Xu Yigui (*Naval Engineering Academy*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 69~72

Based on the current design criteria of vibration strength for steam turbine blades, the authors present a reliability/safety factor design method. Some calculation formulas are given along with a brief description of the application of the above-cited design method to turbine blade design. **Key words:** *reliability design, safety factor*

△ A Thermo-economic Method for the Determination of the Thermal Power Plant Heat Supply Cost.....Yang Yongping, Wang Jiaxuan (*Beijing Graduate Department under the North China Institute of Electrical Power Engineering*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 73~77

This paper describes an analytical model for determining thermal power plant heat supply costs, which has been established by utilizing the basic theoretical method of thermo-economics. A relevant computer software has been prepared. With the 200 MW heat supply unit of Shijingshan Thermal Power Plant being taken as an example the authors have presented the main technico-economic indexes of the said unit. The thermo-economic method features objectivity and precision as well as ease of processing by a computer. **Key words:** *thermal Power plant, cost, thermo-economics*

△ The Treatment of Economic Factors in "Unit Consumption Analysis" .....Song Zhiping (*Graduate Department under the North China Institute of Electric Power Engineering in Beijing*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 78~83

In accordance with the "unit consumption analysis" proposed on the basis of recent advances in exergy and exergy economics a product cost can be divided into four kinds of appended costs including a theoretical minimum cost and irreversible additional cost. An analysis is made of these costs with respect to the sensibility of decision variables. The author has come up with the conception of cost reduction effect and time/space distribution, which can serve as a basis for guiding and monitoring operations, thereby fostering the engineering application of exergy economics. **Key words:** *unit consumption, cost reduction, exergy, second law analysis, energy saving*

△ An Exploratory Study of the drum Internals of a Natural Circulation Hot-water Boiler ..... Zhu Qinyi, Zhao Guangbo, Hao Manjin, Yang Minxin (*Harbin Institute of Technology*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 84~88

By the use of a simulation method an experimental study is made of the effect of the drum internals of a natural circulation hot-water boiler on the downcomer inlet water temperature. Also given is a method for designing the drum internals. **Key words:** *natural circulation hot-water boiler, boiler drum internals*

△ A Modification Design Version Involving the Addition of a Superheater to a KZL Type Boiler ..... Zhao Yan, Lu Chengqing, Wang Fa (*Heilongjiang Provincial School of Machine Building*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2); 89~91