

KA-13D 燃气轮机注水系统应用

龙献林¹, 贾希龙¹, 叶建雄²

(1. 德胜电厂有限公司, 广东 顺德 528300; 2. 沙口发电厂有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 结合电厂几年运行经验, 分析了在联合循环运行时向燃气轮机燃烧室注水及不注水情况下对燃烧室热部件耐热瓦及后循环的影响, 阐述在联合循环运行时向燃气轮机燃烧室注水及不注水情况下优缺点。

关键词: 燃气轮机; 燃烧室; 联合循环; 耐热瓦

中图分类号: TK473.2 文献标识码: B

1 引言

顺德德胜电厂引进的是瑞士 ABB 公司联合循环机组(见图 1)。

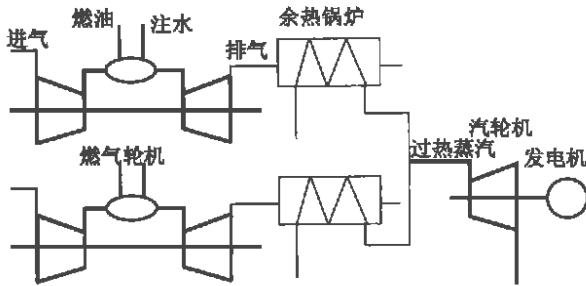


图 1 系统流程图

整个联合循环包括两台燃气轮发电机组和一台蒸汽轮发电机组。两台燃机是单轴立式单筒燃烧室烧重油机组。1994 年 5 月第一台燃机正式投产, 1995 年 10 月联合循环投入商业运行。

2 燃机注水运行

KA-13D 型燃机额定功率 97.5 MW, 是按照向燃烧室注水来实现的, 注水量可以调节, 但注水质量与燃油质量之比最大 $F=1.3$, 不得高于 1.3。

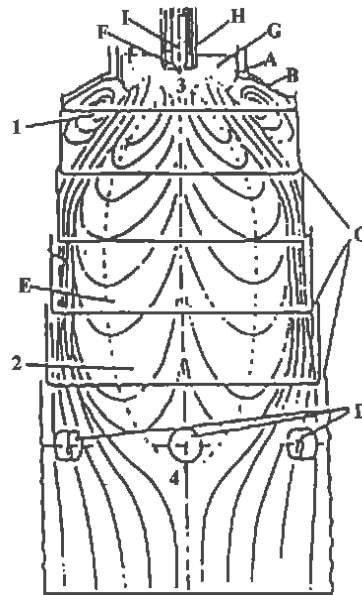
在机组满负荷注水时, 一方面作功的介质燃气量增加, 机组负荷同时增加; 另一方面是燃烧室中心火焰区温度的降低, 燃气中 NO_x 含量也就减少了。在机组低负荷注水运行时, 主要降低 NO_2 含量生

成。

表 1 在标准大气压力和环境温度下, KA-13D 型燃机负荷与涡轮进口参数的关系

	不注水								注水
涡轮进口温度/°C	650	700	750	800	850	900	950	990	990
涡轮进口压力/MPa	0.94	0.96	0.99	1.02	1.06	1.09	1.12	1.15	1.17
负荷/MW	20	32	43	54	65	75	85	90	97.5

3 燃机注水运行对燃烧室热部件的影响



A—主流压缩空气; B—上顶盖流入冷却空气; C—耐热瓦流入的冷却空气; D—二次混合空气喷嘴; E—内回流区; F—小旋流器; G—大旋流器; H—丙烷气喷嘴; I—燃油喷嘴; 1—外回流区; 2—旋流空气; 3—上驻点; 4—下驻点

图 2 燃烧室流场分布图

额定工况下, 涡轮进口温度为 $990\text{ }^\circ\text{C}$, 燃油进入燃烧室内进行燃烧, 靠近火焰区的燃烧室壁面自然承受的温度最高, 燃烧后的燃气与大量的二次空气混合成设定温度的燃气进入涡轮作功。为了安全运行和方便检修, 燃烧室内壁面承受高温的部件设计成易于拆卸的瓦块结构, 俗称耐热瓦。KA-13D 燃机燃烧室耐热瓦分为五级, 第一级至第五级耐热瓦的数量分别为

59、61、64、67、71。耐热瓦是否更换, 要通过在燃机热通道检查时判定是否满足下面 4 个技术参数: (1) 耐热瓦裂纹的长度、宽度、位置; (2) 烧蚀区域的大

小、位置；(3) 耐热瓦变形、弯曲的程度；(4) 耐热瓦挂钩磨损量。由于耐热瓦是耐高温部件，价格昂贵，其寿命对机组经济运行有着重要影响。

电厂两台燃机在不同时期耐热瓦检查更换情况见表 2、表 3。

表 2 1 号燃机的耐热瓦使用情况

检查日期	距上次检查运行 时间/h	距上次检查等值 运行时间/h	一级耐热瓦 (更换数量)	二级耐热瓦 (更换数量)	三级耐热瓦 (更换数量)
1995-01-20	1 439	4 629	0	6	0
1995-06-07	795	1 935	3	全部更换	0
1995-09-04	1 011	1 587	1	3	6
1995-12-20	1 245	1 500	2	13	0
1996-05-27	1 600	1 800	0	9	0
*****	*****	*****	*****	*****	*****
1999-04-14	1 856	1 927	0	0	0
1999-09-04	2 442	2 554	0	0	0
1999-11-05	1 164	1 347	0	0	0

表 3 2 号燃机的耐热瓦检查情况

检查日期	距上次检查运行 时间/h	距上次检查等值 运行时间/h	一级耐热瓦 (更换数量)	二级耐热瓦 (更换数量)	三级耐热瓦 (更换数量)
1995-09-12	885	1 510	1	6	0
1995-11-29	1 137	1 398	2	26	0
1996-04-15	998	1 245	1	3	0
*****	*****	*****	*****	*****	*****
1999-01-19	1 765	1 809	0	0	0
1999-05-09	1 324	1 479	0	0	0
1999-11-02	3 032	3 240	0	0	0

在 1995 至 1996 年度，电厂运行方式为一台燃机加汽机，燃机大部分时间注水运行。而在 1999 年，电厂运行方式为一台或两台燃机加汽机，尝试采用燃机不注水运行。从表中可以看出：一、二级耐热瓦在注水运行方式下较不注水运行方式时承受温度高，以至于产生裂纹、变形、弯曲等现象。1996 年 2 月，我们结合 ABB 公司研究技术，试图将引导主流压缩空气进入燃烧室的大旋流器向下移动 40 mm，以期改变燃烧室内温度场的分布，降低第二级耐热瓦受热温度，经对燃机热通道检查发现，情况有所好转，但未能取得预期的效果。

4 燃机注水运行对后循环的影响

后循环系统是指余热锅炉、汽轮发电机组部分。两台余热锅炉为双压强制循环不补燃型，高压过热蒸汽主要用于汽机发电，低压饱和蒸汽用于给水除氧和预热，汽机为纯汽式。联合循环机组全部投入运行时，额定参数如下：

余热锅炉进烟：495 °C，排烟：172 °C，给水温度：150 °C。

高压蒸汽温度：475 °C，流量：42.88 kg/s，压力：3.77 MPa；
 低压蒸汽温度：152 °C，流量：9.7 kg/s，压力：0.51 MPa；
 汽机进汽压力：3.6 MPa，温度：473 °C，负荷：87 MW。

在一台燃机加一台汽机(一拖一)实际运行时，余热锅炉排烟温度大约 161 °C，给水温度大约 149 °C，除氧器为定压运行方式，运行压力 0.48 MPa，低压饱和蒸汽不能满足给水除氧要求，需由高压过热蒸汽节流降压后补充；在两台燃机加一台汽机(二拖一)运行方式中，余热锅炉排烟温度大约 169 °C，给水温度大约 155 °C，除氧器为滑压运行方式，运行压力 0.55 MPa 左右，也就是说，除氧器最低运行压力为 0.48 MPa，当压力大于 0.48 MPa，除氧器为滑压运行方式。

由于地方调峰电厂在整个电网中的位置，以及烧重油燃机必须周期性进行停机后清洗涡轮叶片，实际上机组有一半时间为一拖一运行方式。根据这一情况，可以通过降低给水温度来降低锅炉排烟温度，从而提高机组效率。考虑到低温受热面的腐蚀，

一般来说, 低温受热面的壁温高于烟气露点约 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是安全的。在 1998 年, 我们通过电力试验研究所测量了实际烟气露点, 测定时 2 号燃机满负荷注水 ($TIT=990\text{ }^{\circ}\text{C}$; $F=1.3$) 运行, 烟气露点为 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 号燃机满负荷不注水 ($TIT=990\text{ }^{\circ}\text{C}$; $F=0$) 时烟气露点为 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, 根据测定结果, 我们将除氧器工作压力由 0.48 MPa 改为 0.38 MPa 相应地给水温度由 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降为 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, 也就是说, 燃机不注水运行, 烟气露点降低了 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 才有可能将除氧器工作压力由 0.48 MPa 改为 0.38 MPa 来实现给水温度的降低, 经过一段时间运行实践, 系统安全稳定。

表 4 相同环境条件下几种运行工况数据比较

	除氧器压力		除氧器压力
	0.048 MPa		0.38 MPa
	满负荷不注水	满负荷全注水	满负荷不注水
余热锅炉进烟温度/ $^{\circ}\text{C}$	500	500	500
余热锅炉排烟温度/ $^{\circ}\text{C}$	161	161	152
汽机负荷/MW	42	44	43

可以看出: 在燃机注水情况下, 汽机负荷增加是因为燃气流量变大从而增加余热锅炉蒸汽蒸发量, 而在燃机不注水情况下, 我们改变除氧器压力相应改变给水温度, 这时余热锅炉排烟温度降低, 余热锅炉效率得以提高, 从而联合循环效率也提高。

5 燃机不注水运行对联合循环效率及环境保护的影响

自从 1995 年电厂联合循环全面投入商业运行, 电厂的运行成本逐年降低, 每度电 (1 kWh) 的重油油耗 1999 年比 1996 年下降了 5% , 一方面表明电厂运行管理已逐步完善, 另一方面是尝试采用燃机不注水运行方式及在一台燃机加汽机不注水运行情况下采用降低除氧器压力技术完善措施。

电厂在确保经济效益的同时, 积极采取各种措

施满足社会效益。购买低硫、矾金属的优质重油, 降低废气中的 SO_2 含量, 通过技术分析研究和试验调整燃烧室进气的大旋流器的位置来改变燃烧室内温度场的分布降低废气中 NO_x 含量, 并指出在采取措施后燃机不注水运行废气中 NO_x 含量仍比注水运行废气中 NO_x 含量高。

6 结论

(1) KA-13D 燃气轮机注水运行, 燃机以及后循环出力增加, 但整个联合循环效率有所降低。作为地方调峰电厂在整个电网中的位置, 负荷经常受到限制。珠江三角洲地区的大部分燃机电厂发电量占总容量 $70\% \sim 80\%$ 左右, 在此情况下, 采用燃机不注水运行方式, 整个联合循环效率增加, 耐热瓦寿命大大提高, 降低成本, 延长燃机热通道检查的间隔时间, 缩短每次检查时的维修时间, 提高了燃机利用率和可靠性。随着电量需求增大, 可以通过相关技术改造如进气冷却或压气机入口喷水等措施来增加燃机及整个联合循环出力。

(2) 由于烧重油燃机必须周期性进行停机后清洗涡轮叶片, 有不少时间处于一台燃机加汽机运行状态, 在燃机不注水情况下, 我们可以降低除氧器压力来提高余热锅炉效率, 能进一步提高后循环与联合循环效率。

(3) 燃气轮机不注水运行, 废气中 NO_x 含量增加, 我们采取调整燃烧室进气的大旋流器的位置来改变燃烧室内温度场的分布, 废气中 NO_x 含量有所降低, 但含量仍然比燃气轮机注水运行时高。

参考文献:

- [1] 沈维道. 工程热力学[M]. 北京: 高等教育出版社 1988.

(辉 编辑)

中国向乌克兰订购燃气轮机

据《Diesel & Gas Turbine Worldwide》2000 年 10 月号报道, Mashproekt—乌克兰燃气轮机研究和开发公司, 最近和中国船舶工业集团公司(CSSC)签订了一项金额为 1 560 万美元的合同。按照合同条款, Mashproekt 将向中国交付 4 台 GT25000 型 25 MW 船舶燃气轮机。这些机组将用于 CODAG(柴燃并车使用联合)推进装置中, 用于中国海军二艘新型的舰船。这些燃气轮机计划于 2001 年 6 月(第一对)和 2001 年 12 月(第二对)交付。

GT25000 船舶燃气机的额定功率为 28 MW。取决于动力涡轮的方案和应用形式, 三轴 GT25000 效率高达 37% ; 9 级高压和 9 级低压压气机, 压比为 23.6:1; 可供应用的动力涡轮具有不同的方案, 用于不同的转速和旋转方向; 发动机重 16 吨。该燃机的其它应用包括电力生产和天然气泵送。

此外, 按照 Mashproekt 的说法, CSSC 正有兴趣于 Mashproekt 其它型号燃气轮机。CSSC 计划使用 GT10000—额定功率为 10 MW, 热效率为 36% 的新型船用燃气轮机, 供中国新型的水翼旅客渡船用。(思 娟 供稿)

tube connected in series. An experimental study was conducted with air and water serving as working mediums. The results of the study indicate that the pressure drop characteristics of the vertical descending Venturi tube in a ring-shaped flow zone have been found to be more approximate to the calculation results of the uniform-phase flow model. Under the proposed method the relative error of measurement within the range of dryness given in the paper is smaller than $\pm 10\%$.

Key words: gas-liquid two-phase flow, mass gas-content rate, dryness, measurement

“煤气化—无烟燃烧技术”的原理及其应用 = **Basic Theory of “Gasification—Smoke-free Combustion Technology” and its Application in the Technical Modification of Boilers** [刊, 汉] / SUN Dong-hong (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), HAO Zhi-jing, WANG Qing (Northeast Electric Power Institute, Changchun, China, Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 325 ~ 327

An analysis is given of the present status of development of Chinese industrial boilers. On this basis briefly covered in this paper is the topic “gasification— a smoke-free combustion technology” and its application in the technical modification of industrial boilers. The implementation of that technology has opened up a new approach for the technical retrofit of industrial boilers, which can contribute not only to smoke-free and low-ash combustion but also to significant energy savings.

Key words: gasification, smoke-free combustion technology, industrial boiler, technical modification or retrofit

低 NO_x 高温空气燃烧技术 = **Low NO_x Combustion Technology of High-temperature Air** [刊, 汉] / ZHU Tong, LIU Min-fei (Thermal Energy Engineering Department, Tongji University, Shanghai, China, Post Code: 200092), RAO Wen-tao (Equipment Research Institute under the Baoshan Iron and Steel Corporation-affiliated Research Academy, Shanghai, China, Post Code: 201900) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 328 ~ 330, 321

By organically integrating traditional low NO_x combustion technology of high temperature air with a high-temperature thermal-storage type combustion system, the resulting low NO_x high-temperature air combustion technology features a high thermal efficiency, a uniform distribution of temperature within the furnace, and low NO_x emissions, etc. The present paper deals with the high-temperature air combustion technology with a focus on the analysis of basic principles of low NO_x emissions specific to the high-temperature air combustion technology. In addition, also depicted are two types of low NO_x high-temperature air combustors incorporating respectively gas recirculation and graded combustion technology. **Key words:** low NO_x , high-temperature air combustion, thermal storage type combustor, combustion technology

KA-13D 燃气轮机注水系统的应用 = **The Application of a Model KA-13D Gas Turbine Water Injection System** [刊, 汉] / LONG Xian-lin, JIA Xi-long (Desheng Electric Power Plant Co. Ltd., Shunde, Guangdong Province, China, Post Code: 528300) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 331 ~ 333

On the basis of the operating experience of a power plant over the years an analysis was conducted of the influence of water injection or no water injection on the heat resistant pad of combustor components as well as on the components of a post-cycle. The water injection has been applied to the combustor of a gas turbine operating under combined cycle power plant conditions. In this context, expounded are the merits and demerits of employing water injection or no injection into the combustor of the above-mentioned gas turbine. **Key words:** gas turbine, combustor, combined cycle power plant, heat resistant pad

200 t/h D 型锅炉设计技术特点 = **Technical Features of the Design of a 200 t/h D-shaped Boiler** [刊, 汉] / YUAN Mei-yan, LI Jing-shi (Harbin Boiler Works Company, Ltd., Harbin, China, Post Code: 150090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(3). — 334 ~ 335

Presented in this paper is the brief description of a 200 t/h D-shaped boiler, highlighting the structural layout of the boiler proper, the system flow path, low steel consumption, high thermal efficiency and water circulation head of the boiler.

Key words: structural design, boiler system, water circulation head of boiler