

若干天然气联合循环电站实例的经济性

赵 振, 陈瑞娟

(中国联合工程公司 机械工业第二设计研究院, 浙江 杭州 310022)

摘 要: 通过若干工程实例的建设规模、投资估算和技术经济分析, 阐明天然气联合循环电站的投资较小, 建设工期短; 但由于天然气价格相对较高, 导致发电成本较高, 盈利能力偏低, 并得出天然气发电仍然需要政府适当扶持的结论。文章还从天然气资源、天然气发电设备等多方面对天然气电站建设的可行性及存在问题进行讨论, 提出供气保障及安全问题并提出相应的解决办法。

关 键 词: 天然气发电; 联合循环电站; 投资及经济性分析

中图分类号: TM611.3 文献标识码: B

1 前 言

1994 年底世界天然气探明可采储量 141×10^{12} m^3 , 我国约占 1.2% 左右。天然气资源在世界的分布很不均衡, 约 80% 的天然气分布在前苏联、中东、东南亚、大洋洲一带。我国周边地区拥有丰富的天然气资源, 为我国发展天然气工业创造了得天独厚的有利条件。

我国天然气在一次能源消费总量中仅占 2% 左右, 目前发电在天然气消费中的比重大体占 14%, 随着西气东输工程的推进以及海上气田的开发, 今后这一比例将上升到 30% 以上。粗略估计, 在“十五”期间我国天然气发电装置的总装机容量将接近 $1\ 000 \times 10^4$ kW, 在 2010 年前后可能达到 $2\ 000 \times 10^4$ kW。

目前, 天然气发电基本上都是采用燃气轮机联合循环的方式, 国外“FA”、“3A”型新产品, 燃气轮机初温已经达到 $1\ 300\ ^\circ C$, 压比达到 30, 燃气轮机功率达到 25×10^4 kW, 燃气轮机单循环效率已经达到 38%, 联合循环效率已经达到 58%; 应用燃气轮机联合循环发电技术已经完全成熟。

同燃煤(油)电站相比, 天然气联合循环发电具有环境保护、发电热效率高、耗水量少、电厂占地面

积小、运行维护方便、人员费用较低、建设工期短和厂用电率低等特点。

由于天然气发电具有以上诸多的优点, 配合国家天然气开发工程的实施, 建设一批天然气燃气轮机电厂, 既是改善地区环境、优化能源结构、实现可持续发展的需要, 也是电力工业自身发展的需求。因此天然气发电在我国的发展前景是十分广阔的。

2 典型天然气联合循环电站实例的经济性分析

为了详细说明天然气联合循环发电机组的投资及收益, 列举了不同时期设计的 3 个不同规模的工程实例, 通过分析实例中的发电成本以及投资收益率等关键数据, 就能够和普通燃煤电厂进行经济效益比较。

表 1 技术经济分析基本依据数据

	陕西某燃气轮机电厂	杭州某燃气轮机电厂	湖州某燃气轮机电厂
天然气价 /元· m^3	1.00	1.45	1.24
生产用水价 /元· t^{-1}	0.10	0.25	0.20
生活用水价 /元· t^{-1}	0.10	1.60	1.32
综合电价(不含税) /元·(MWh) $^{-1}$	490.00	581.20	512.82
热价 /元· GJ^{-1}	18.00	—	—
年运行小时数 /h	5 040.00	4 000.00	4 200.00
自有资金比例 /%	20.00	30.00	30.00
贷款年利率 /%	5.85	5.31	5.31
电力产品增值税 /%	17.00	17.00	17.00
企业所得税 /%	33.00	33.00	33.00
项目计算期 /a	21.00	21.00	20.00
建设周期 /a	1.00	1.00	1.50

收稿日期: 2005-05-07; 修订日期: 2005-06-28

作者简介: 赵 振(1971-) 男, 山东单县人, 中国联合工程公司工程师。

首先介绍了陕西某燃气轮机电厂、杭州某燃气轮机电厂、浙江湖州某燃气轮机电厂 3 个联合循环电站都配置主厂房及中央控制楼, 天然气增压站及输送系统, 110 kV 屋内配电装置, 化学水处理站, 循环冷却水泵房及冷却塔, 综合水泵房及水池等, 并对其电站的基本数据进行了经济分析(见表 1)。

2.1 陕西某燃气轮机电厂(1999 年)

2.1.1 建设规模

本工程机组配置为 1 套 39.62 MW(GT)+1 套 15 MW(ST), 总设计容量为 50 MW 级, 供热能力为 50 t/h, 供热参数 1.275 MPa、300 °C。有关技术指标见表 2。

表 2 主要技术经济指标

	指标
装机容量 /MW	54
电厂静态投资 /万元	26 919.68
单位造价 /元·kW ⁻¹	4 985.1
年发电量 /kWh·a ⁻¹	258.96×10 ⁶
年供热量 /GJ·a ⁻¹	362.26×10 ³
厂用电率 /%	2.79
小时耗天然气量 /m ³ ·h ⁻¹	14 487
年耗天然气量 /m ³ ·a ⁻¹	70.232×10 ⁶
年利用小时数 /h	5 040
全厂热耗率 /kJ·(kW ^h) ⁻¹	9 101.5
全厂气耗率 /m ³ ·(kW ^h) ⁻¹	0.282
电厂热效率 /%	62.87

投资估算如下: 静态投资: 26 919.68 万元; 动态投资: 27 622.46 万元; 铺底生产流动资金: 83.02 万元; 建设项目计划总投资: 27 705.48 万元。

以上投资包括项目所需的建筑工程费、设备购置费、安装工程费和其它费用的投资, 特批项目费用 3 000 万元, 不包括厂外热力网工程投资。

2.1.2 技术经济分析

按 21 年为计算期、基准收益率 10% 考虑, 并根据全部投资、自有资金的现金流量情况分别进行测算, 其测算结果见表 3。

表 3 测算结果

	全部投资	自有资金
净现值 /万元	739	2 853
投资回收期 /a	8.92	11.45
内部收益率 /%	10.46	13.78

通过分析可以看出, 本项目生产后在电价 490 元 /10³ kWh(含税价 573 元 /10³ kWh)的条件下, 可实现销售收入 12 666 万元; 利润总额(平均)2 178 万元, 内部收益率为 10.46%, 贷款偿还期 9.87 年, 经济效益是可行的。

2.2 浙江杭州某燃气轮机电厂(2004 年)

2.2.1 建设规模

本期工程拟建 1 座装机容量为: 123.25 MW(即 2 套 GT41.625 MW 燃气轮机+2 套 ST20 MW 汽轮机发电机组)的燃气—蒸汽联合循环发电装置及其相应的配套设施。2 套 PG6581B 型 41.625 MW(ISO 工况, 燃用天然气)燃气轮机配 2 套 72.3 t/h, 3.82 MPa(G)/445 °C 双压非补燃自然循环余热锅炉和 2 套 20 MW 蒸汽轮发电机组。

表 4 主要技术经济指标

	春秋工 况(15 °C)	夏季工 况(28.5 °C)	冬季工 况(4 °C)
燃气轮机发电量 /MW	41.89×2	38.539×2	45.032×2
燃气轮机热耗率 /kJ·(kW ^h) ⁻¹	11 258	11 483.2	111 145.5
天然气低位热值 /kJ·m ⁻³	33 812	33 812	33 812
燃气轮机耗气量 /m ³ ·h ⁻¹	13 947×2	13 088.6×2	14 843.8×2
汽轮机发电量 /MW	19×2	17×2	21×2
全厂热效率 /%	46.5	45.2	47.4
运行小时数 /h	1 480	1 260	1 260
年运行小时数 /h		4 000	
年总耗气量 /m ³		1.117×10 ⁸	
年总发电量 /kW		4.86×10 ⁸	
厂用电率 /%		3.5	
年总供电量 /kW		4.69×10 ⁸	
发电气耗率 /m ³ ·kW ⁻¹		0.23	

投资估算如下: 静态投资: 50 995.21 万元; 动态投资: 52 079.56 万元; 铺底流动资金: 573.45 万元; 本期工程计划总资金: 52 653.01 万元。

总估算包括本工程需要的建筑工程费用、设备

购置费用、安装工程费用、其它费用以及接入厂外电力网工程投资。

2.2.2 技术经济分析

按 21 年为计算期、基准收益率 10% 考虑, 并根据全部投资及自有资金两种现金流量情况进行测算, 其测算结果见表 5。

表 5 测算结果

	全部投资	自有资金
净现值/万元	22 068.2	24 566.7
投资回收期/a	6.33	7.08
内部收益率/%	16.9	22.1

通过对项目财务盈利能力、清偿能力和不确定性分析可知, 在保证电价和年利用小时的基础上, 本项目经济效益较好, 可新增销售收入 27 121 万元, 销售税金 3 005 万元, 利润总额 8 231 万元。此外, 本项目投资利润率、内部收益率、投资回收期、盈亏平衡点等指标均能满足有关要求, 且项目具有一定的抗风险能力, 因此项目在财务上是可行的。

2.3 浙江湖州某燃气轮机电厂(2004 年)

2.3.1 建设规模

1 台 PG6581B 型 41.625 MW 燃气轮机配 1 台 72.3 t/h、3.82 MPa(G)/445 °C 双压非补燃自然循环余热锅炉(自带整体式除氧器)及 1 台 20 MW 的蒸汽轮发电机组, 燃气轮机燃料选用管道天然气。

表 6 主要技术经济指标

	春秋季工 况(15 °C)	夏季工 况(28.0 °C)	冬季工 况(3.9 °C)
燃气轮机发电量 MW	41.89	38.539	45.032
燃气轮机热耗率/kJ·kWh ⁻¹	11 258	11 483.2	11 145.5
天然气低位热值/kJ·m ⁻³	33 812	33 812	33 812
燃气轮机耗气量/m ³ ·h ⁻¹	13 947	13 088.6	14 843.8
汽轮机发电量 MW	19	17	21
全厂热效率/%	46.5	45.2	47.4
运行小时数/h	1 680	1 260	1 260
年运行小时数/h		4 200	
年总耗气量/m ³		0.586 25×10 ⁸	
年总发电量/kW		2.468×10 ⁸	
厂用电率/%		3.5	
年总供电量/kW		2.381 5×10 ⁸	
发电气耗率/m ³ ·kW ⁻¹		0.238	

投资: 24 049.8 万元; 铺底流动资金: 95.5 万元; 项目计划总投资: 24 145.3 万元。

以上工程投资包括项目所需的建筑工程费用、设备购置费用、安装工程费用和其它费用的投资, 还包括接入电力网工程费用和征地费用。

2.3.2 技术经济分析

按计算期 20 年、基准收益率 8% 考虑, 并根据全部投资现金流量情况进行测算, 其测算结果见表 7。

表 7 测算结果

	指标
净现值/万元	2 556
投资回收期/a	9.57
内部收益率/%	9.67

通过对本项目财务盈利能力分析可知, 在电价按 512.82 元/10³ kWh(含税价为 600.00 元/10³ kWh)的前提下, 本项目经济效益是好的。其中销售收入为 12 091 万元, 销售税金 1 118 万元, 利润总额 1 943 万元, 贷款偿还期为 8.86 年。

3 天然气联合循环发电存在的问题及建议

通过以上分析可见, 由于我国煤炭储量相对丰富, 且煤炭价格低廉, 在同等上网电价的条件下, 利用天然气发电经济上无优势可言。然而以天然气为燃料的联合循环发电厂尽管对大气的污染物排放甚少, 有利于环境保护, 社会效益明显, 如果没有政府部门的协调和大力提倡, 并出台有利于环境保护的政策, 一般企业涉足天然气发电的风险还是很大的。

另外, 天然气电站的建设还应考虑以下各方面的不利因素:

(1) 天然气供应的可靠性: 为保证电站的可靠运行, 天然气项目的气源储量、年生产能力和可供气年限等必须十分可靠, 从上游气田开发到下游发电厂和其它用气项目的运作必须同步进行。如果采用进口天然气, 那么天然气供应国的社会稳定、国际关系等也会直接影响天然气供应的可靠性。

(2) 安全性: 天然气增压站、液化天然气接收站以及天然气输送管道等建设都具有很高的安全性要求, 尤其是站址周边环境、地质条件、距离电站的距离等都有严格的要求, 站址选择的安全性直接影响到电站的可靠运行。

(3) 外汇需求: 大型天然气发电项目从建设期的设备购置到运行后的设备维修均需外汇, 这将增加

投资估算如下: 静态投资: 23 637.7 万元; 动态

国家外汇平衡上的负担。

针对以上问题,在天然气发电建设中建议采取以下对策:

(4)充分利用天然气电站的环保优势和调峰优势,争取国家和政府的政策扶持。

(5)多气源供气:对区域性用户采取多气源、环路供气方案,可以大大提高不同气源对该地区供气的灵活性、效率和可靠性。以华东地区为例,在“西气东输”工程实施的同时,应有计划地进行管网建设,加快东海天然气开发力度(华南地区则是南海天然气)等,建立多气源供气系统,以保证长期安全稳定供气。

(6)建储气蓄能电站:地下储气库是保证供气可靠性的主要方式之一,它可用于调峰、紧急备用气源、能源战略储备等。

(7)选用先进机组:燃气轮机技术的飞速发展,

使新型燃气轮机具有更大的单机容量、更好的性能和更高的效率,采用先进机组不但可以降低发电成本,也减少了污染物的排放。

(8)加快国产燃气轮机组的研发和国内外合作生产的国产化步伐,以进一步降低设备成本,并减轻国家外汇负担。

参考文献:

- [1] 林汝谋,金红光.燃气轮机发电动力装置及应用[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [2] 张秋耀,董旭,杨凌.燃机热电厂一期工程初步设计[R].杭州:机械工业第二设计研究院,1999.
- [3] 黄土炎.浙江京兴天然气发电有限公司可行性研究报告[R].杭州:中国联合工程公司,2004.
- [4] 袁旭岭.杭州余杭燃气发电一期工程可行性研究报告[R].杭州:中国联合工程公司,2004.

(何静芳 编辑)

新技术

提高小功率燃蒸联合循环 航改型燃气轮机装置效率的新途径

据《Теплоэнергетика》2005年6月号报道,借助于补充地把水喷入压气机后的压缩空气,并回热加热空气蒸汽混合物,按照具有在压气机内湿压缩的燃蒸联合循环工作的燃气轮机装置保证高的参数值,与简单方案燃气轮机比较,效率增加10%~15%(绝对值),比功提高到1.5~1.8倍;与回注蒸汽的蒸燃联合装置比较,所探讨系统允许实现更深度的回热,从而可以达到更高的效率值。按照所述的燃蒸联合循环,燃气轮机装置的热力方案现代化保证可以提高航改型动力装置的经济性。

在空气回热加热的情况下,把水喷入压气机是把水喷入燃气轮机装置回路最有效的方法。这时,在对发动机结构方案进行最小改变的情况下较小的喷水量就可使小功率燃气轮机装置的效率从24%提高到32%(在 $T_0=727\text{ }^\circ\text{C}$ 下)。

在宽广的部分负荷范围内(到45%额定功率),按照具有湿压缩和回热方案工作的燃气轮机装置的效率和比功较简单循环方案燃气轮机装置同样参数降低得更少,并处在80%~85%相应额定值水准。在外部空气温度提高时,这些指标也保持自身高的数值。

(吉桂明 供稿)

若干天然气联合循环电站实例的经济性= **The Cost-effectiveness of Several Engineering Projects Featuring Natural Gas-fired Combined Cycle Power Plants** [刊, 汉] / ZHAO Zhen, CHEN Rui-juan (China United Engineering Co. under the Second Design Research Academy of Machine-building Ministry, Hangzhou, China, Post Code: 310022) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, — 2005, 20(6). — 632 ~ 635

Through the tech-economic analysis of several specific projects, including their construction scale and estimated capital investment it is expounded that natural gas-fired combined cycle power plants require a relatively small capital investment and involve a shorter construction period. However, the relatively high price of natural gas has led to a higher power generation cost and an excessively low profitability, showing that proper support from government authorities is still necessary for the development of natural gas-based power generation. Furthermore, from the viewpoint of natural gas resources and relevant equipment requirements, etc discussed are the feasibility of natural gas power plant construction and some existing problems. The issues relating to natural-gas supply assurance and safety operation are also mentioned with appropriate measures for solving them being proposed. **Key words:** natural gas-fired power generation, combined cycle power plant, investment and economic analysis

燃气轮机余热锅炉饱和蒸汽减温时过热器热力计算特点= **Superheater Thermodynamic Calculation Features in the Case of Saturated Steam Attenuation in a Gas-turbine Waste Heat Boiler** [刊, 汉] / ZHENG Xin-wei, WANG Ji-rui (Institute of Power and Nuclear Energy Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), SONG Yan (Heihe City Technical Quality Supervision Bureau, Heihe, China, Post Code: 164300) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, — 2005, 20(6). — 636 ~ 638

On the basis of building a desuperheating model the attenuation performance features are analyzed along with an assessment of their impact on the superheater thermodynamic performance and the layout of its heating surfaces. Alongside with the description of the thermodynamic calculation method of the superheater under this model a formula has been derived for calculating the major thermodynamic data, which are put to use in a planned engineering project. In conjunction with the analysis of the calculation results for an engineering example the role played by the method under discussion is expounded, pointing out that during the assignment of calculation operating conditions for the gas-turbine waste heat boiler the features of the variation of local atmospheric parameters should be taken into account. This is essential to ensuring the comprehensiveness of the operating conditions being calculated. **Key words:** gas-turbine waste heat boiler, attenuation of saturated steam, superheater thermodynamic calculation, specific features

镇江发电厂 600 MW 超临界锅炉稳压冲管参数分析= **An Analysis of the Parameters of Stable-pressure Steam Purging for a 600 MW Supercritical Boiler at Zhen Jiang Power Plant** [刊, 汉] / CHEN Zhi-bing, ZHANG Hai-chao, HUA Mao-lai (Jiangsu Provincial Test & Research Institute of Electric Power, Nanjing, China, Post Code: 210036) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, — 2005, 20(6). — 639 ~ 642

The separator pressure of stable-pressure steam purging for a No. 5 600 MW supercritical once-through boiler at Zhenjiang Power Plant has been selected at 5.0 MPa to 5.5 MPa. During the steam purging when pressure is boosted for ignition the feedwater flow rate in a startup system of the atmospheric flash-off type was raised from 600 t/h to 800 t/h. The recovered water flow rapidly diminished with a rise in the separator pressure. The water level of the separator at the time of va-