

天然气长输管道燃压机组的机型选择及配置

高顺华¹, 陈仁贵²

(1. 中国石油西气东输管道公司, 上海 200122 2 中国石油塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要: 在天然气长输管道建设过程中, 燃压机组燃气轮机机型的选择和机组台数的合理配置十分重要。介绍西气东输一线工程燃驱站机组现状, 对装有 38 台功率为 30 MW 左右的轻型燃气轮机采用“1+1”和“2+0”或“2+1”的配置方法进行分析, 指出了存在的问题。分析结果表明, 在我国目前尚不具备生产轻型燃气轮机的条件下, 不宜一味选用轻型燃气轮机。每站的机组配置至少 3 台, 可以分期建设, 并留有扩建余地。这不仅直接关系到长输管道能否安全平稳运行, 而且对管道输气运营成本影响极大。根据理论和实际运行效果的分析, 就以上两个重大技术问题进行了深入研究和探讨。

关 键 词: 长输管道; 燃压机组; 机型; 配置

中图分类号: TK479

文献标识码: B

引 言

目前, 我国对天然气的需求量越来越大, 天然气长输管道建设正处于一个新的发展高峰期。在许多场合, 常常采用以燃气轮机为动力的“燃驱”增压方式。西气东输一线工程共有 19 座燃驱站, 装有 38 台功率为 30 MW 左右的轻型燃气轮机, 其中有 10 座站采用“1+1”机组配置, 其余站采用“2+0”或“2+1”的配置方法。

从 3 年多的运行效果看, 有些问题应该引起重视: 由于采用的是轻型燃气轮机, 其核心的燃气发生器每运行 2.5 万 h 必须要求返回英国或美国工厂进行维修。机组的可靠性和可用率也没有达到设计标准, 大小各类停机故障时有发生; 由于机组功率按夏季高峰输气量考虑, 使得多数机组常年处于低负荷运行状态, 机组热效率及管道总体运行成本不尽人意。另一方面, 一旦有一台机组出现问题, 就影响到正常输气。这些问题的出现, 在一定程度上是由于当初认识不足或过于理想化而导致在机型选择及台数配置不合理所造成的。

1 机型的选择

由于燃气轮机是经历了从航机到陆地的发展阶段, 因此产生了“轻型(航改型)”、“工业型”和“重型”等 3 种不同的机型。它们有各自的优点, 应用场合也有差异。

1.1 航改型燃机的主要优缺点

航改型就是由航空发动机改造而成。它的显著特点就是重量轻、启动快、效率高。但是, 为了追求高效率, 燃烧温度就尽可能高, 以致使用寿命较短; 而且它的技术要求很高, 大修时必须返厂。由于这些原因, 轻型燃机在陆上

应用的比例并不高, 在我国陆上燃机应用总数中只占 1/5 左右。

1985 年, 原石油部一次从国外某公司引进了 5 套以斯贝 1907 为核心机的轻型燃气轮发电机组, 分别安装在大庆萨中天然气处理厂和新疆泽普石化厂。这些机组运行一段时间后, 使用效果并不理想, 故障率太高。萨中的一台机组在运行中还发生了叶片和主轴折断的重大事故, 泽普石化厂的 3 台机组, 一个月内造成数次全网垮电, 这对该厂的正常生产影响很大。其次, 机组大修繁锁。当机组运行到 2.4 万 h 必须返厂到国外大修, 每大修一次, 时间至少半年, 价格也让人难以承受。

为解决这个突出矛盾, 原石油部和三机部决定在沈阳大修斯贝 1907。经过国内众多单位的联合攻关, 历时一年多, 终于完成了轻型燃机国内首次大修。在沈阳先后大修了 6 台这种机组, 解决了泽普石化厂的燃眉之急。

由于大修核心件仍需从国外进口, 价格也越来越贵, 机组每大修一次, 功率、效率都要有所下降。针对这些情况, 这 5 套斯贝机组于 2002 年前后提前报废, 使用寿命平均不到 10 年。

鉴于我国目前在燃机制造方面的能力, 要在国内大修世界级水平的轻型燃机, 不是一件简单的

事, 机组大修一定是受制于人。

1.2 工业型及重型燃机的优缺点

在充分吸收航空发动机一系列先进技术的基础上, 燃机制造商设计制造了各种型号的陆上工业型及重型燃机。它们不再以追求“轻、快、高”为主要目标, 而是以使用寿命更长、维修大修更方便为主要目的。为了延长使用寿命, 它们一般是适当降低了燃烧温度, 热效率也就相对低些。尽管如此, 工业型、重型燃机很受用户青睐, 目前国内这类机组已超过 300 台。

工业型燃机的大修寿命是 3~4 万 h 重型是 5 万 h 左右。例如, 塔里木油田目前在用的 28 台燃气轮发电机组均为工业型或重型, 它们的实际大修期均在 3 万 h 以上。特别是该油田有 3 个孤网燃机电站, 对供电的可靠性要求很高, 但它们运行得都很好。

MS000 系列重型燃机从 70 年代就进入中国市场, 没有一台是返厂大修的。它们大修所需的零部件, 常常是由国内航空发动机厂测绘制造, 在现场完成机组的大修, 这给用户带来很大的方便。



图 1 SGT-600 型重型燃气轮机的实物照片

工业型或重型机组产品系列很多, 如 SIEMENS 公司从 4~47 MW 的重型燃气轮机就有多个档级, 其 SGT-700 重型燃气轮机, 机驱功率为 30.1 MW, 效率为 37.3%。这与 RB 211 轻型燃机十分

相近, 但它的大修期是 4.8 万 h。图 1 为一台功率为 25.4 MW 的 SGT-600 重型燃机的实物照片, 它的气缸为水平剖分, 可以在现场开盖更换叶片等。

2 机组台数的选择分析

2.1 “1+1”配置

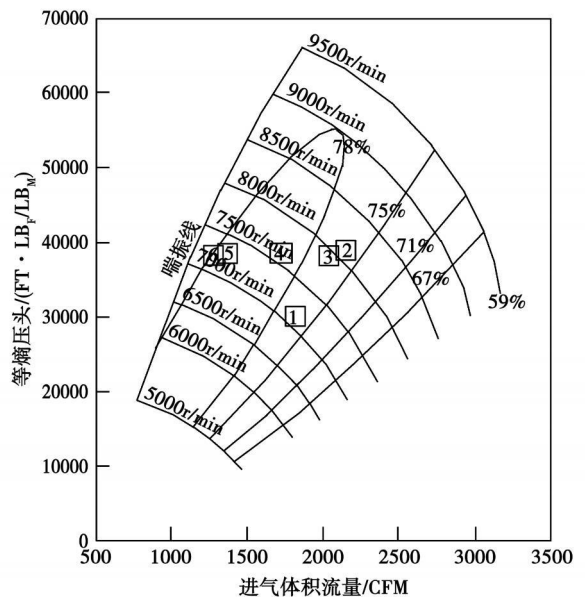
我们知道, 由于离心式压缩机的固有特性, 它的流量可调范围和工作高效区都十分窄小。任何一条输气管线, 从投产初期到满负荷运行都有一个时间过程, 即使在达到设计能力后, 每年不同时节的输气量也不尽相同。仅此一点, “1+1”的机组配置在理论上就是很不合理的, 况且 100% 的机组备用, 本身也是一种极大的浪费。

图 2 是某站配置的某型燃驱压缩机的工作特性, 它的设计能力为年输气 10.48~17.5 亿 m^3 , 共有 6 个设计工况点。其中

1、2、3 工况点是处于燃气轮机的高效区, 但处于压缩机的低效区; 4、5、6 工况点是处于燃气轮机的低效区, 但处于压缩机的高效区。在比较大的流量范围内, 要同时满足都在高效区一般较难。对该机型而言, 6 号工况点的喘振余量已接近设计极限值的 10%。当年输气量在 17.5~10.48 亿 m^3 之间变化时, 燃气轮机的负荷率为 93.07%~53.86%, 机组的总效率为 22.81%~18.77%, 非常不如人意, 同时, 每年 10.48 亿 m^3 已是该机组输气量的最低限。

由于西气东输一线工程有许

多站是采取了“1+1”的机组配置, 为了让燃压机组满足各个输量台阶时期的运行要求, 不得不采取压缩机“换芯”的方法。目前, 全线共有 16 种不同的机芯, 并且已经“换芯”14 台次, 这在工程投资上本身就是一个很大的浪费。同时难免使燃气轮机长期处于“大马拉小车”的运行状态, 热效率很低。



数据说明: 1 000 CFM=0.472 m^3/s (横坐标);
10 000 $\text{FT} \cdot \text{LB}_f / \text{LB}_M = 29.889 \text{ kJ/kg}$ (纵坐标)

图 2 某型离心式压缩机特性曲线

2.2 “2+0”或“2+1”配置

从机组运行维修及可靠性角度考虑, “2+0”的配置显然是不行的。如果机组功率选择不当, 即使是“2+1”的配置方式, 其经济性也不好。

表 1 是某公司提供的 KQH 站增输后各种工况条件下机组的实际负荷率、机组总效率的运行参数。KQH 站原来采用 2+0 的运行方式, 目前正在实施“2+1”扩建。扩建前存在的主要问题是: 开一台机组, 机组有时负荷不够; 开两台机组, 不仅机组负荷率很低, 而且没有备机。

表 1 PGT25+各种工况下的运行参数

年输量 /m ³ · a ⁻¹ (× 10 ⁸)	工况代号	进气温度 /°C	单台燃机运行参数			机组总效率 /%
			环境温度 /°C	有效功率 /kW	负荷率 /%	
170	KQH-170S	22.0	40.0	19 950	85.7	30.81
	KQH-170S	22.0	26.3	24 087	71.0	31.18
	KQH-170W	14.0	-8.5	30 662	50.0	31.08
	KQH-170A	18.0	11.6	27 166	60.0	31.13
150	KQH-150S-W	24.0	28.3	22 867	44.1	26.57

虽然机组的燃气轮机在 ISO 条件下热效率为 41%，但从表 1 看出：在夏季，它的负荷率为 85.7%，机组的效率为 30.81%；在冬季，机组的负荷率为 50%，机组的效率为 31.08%；在年平均温度条件下，机组的负荷率为 60%，效率为 31.13%；当机组运行在 XD150 工况时，机组的负荷率为 44.1%，效率仅为 26.57%。

燃气轮机的输出功率和热效率与海拔、负荷率和进气温度有直接关系，而长输管道沿线各站一般是海拔和气象条件差别很大。在这种情况下，一般不能以海拔最高、气温最高这两个极限条件来选择燃机的额定功率。在夏季气温比较高的站，可以采用蒸发冷却的方法来降低燃机的进气温度，这不仅大幅提高燃机的输出功率，而且还能提高燃机的热效率。

表 2 工作压力为 5.5 MPa 压气站技术经济定额指标

机组	功率 /MW	压缩机组数			
		3(2+1)	4(3+1)	5(4+1)	6(4+2)
工程造价 (千 · 卢布)					
T-6-750	6	3 936	4 710	5 484	6 258
TK-10	10	4 980	6 102	7 224	8 346
TK-16	16	7 425	9 362	11 299	13 236
TK-25	25	10 194	13 054	15 941	—
每台机组运行费用 (千 · 卢布 /年)					
T-6-750	6	339	301	282	243
TK-10	10	475	431	409	350
TK-16	16	740	721	704	563
TK-25	25	1 083	1 006	969	—

2.3.3 3台以上配置

我们认为 3 台以上配置是更为合理的配置方案。某种意义上说，机组多，可能会增加工程投资；但是机组多，它的运行费用会较低。机组数量的选择首先要把安全可靠放在第一位，同时也要考虑到整个管道寿命期内的运行成本。事实上，适当增加机组数量，其经济性及灵活性往往更好。表 2 给出前苏联《管道设计手册》中有关燃压站的技术经济定额分析。

从表 2 可以看出：(1) 设计上就没有 1+1 或 2+0 的配置模式；(2) 备用功率越大，单位功率造价越高；(3) 机组越多，年运行费用越低，随着燃料气价格的上涨，这种差距将会越来越大。它从设计角度反映了燃压机组配置台数及其技术经济性的基本规律。

3 结论和建议

(1) 在我国目前尚不具备生产轻型燃气轮机的条件下，不要一味选用轻型燃气轮机，而应考虑包括重型机在内的多机型结合配置方案。

(2) 每个站的机组配置至少 3 台，可以分期建设，并留有扩建余地。

(3) 机组的综合热效率除与燃机在 ISO 工况下的热效率有关外，更与燃机负荷率的大小、压缩机的最佳工况点、燃机的进气温度等许多因素有关。设计时应综合考虑这些因素的影响，并采取相应的技术措施。

(4) 对西气东输一线而言，已建的“1+1”、“2+0”或即将扩建的“2+1”站，机组负荷率和效率偏低。要改变这种状况，一方面要面对现实，优化并科学执行不同工况下压气站机组投切及负荷计划；另一方面，在新建燃压站时，有条件时可将部分机组作适当调整，换上一台小机组，尽量使大小机组都能运行在高效区。这样不仅能降低工程投资，而且能大幅降低运行费用，节省宝贵的天然气资源。

参考文献：

[1] 王志昌. 输气管道工程 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
 [2] 阿加普金 B M 管道设计手册 [M]. 许靖全, 译. 北京: 石油工业出版社, 1991
 [3] 倪维斗. 燃气轮机 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1978

(编辑 伟)

旋转状态下燃气涡轮叶片内部冷却的研究进展 = Recent Advances in the Study of Inner Cooling of Gas Turbine Blades in a Rotating State [刊, 汉] / DAIPing (College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, China, Post Code: 266061), LN Feng (CSC (China Shipbuilding Industrial Corporation) Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25(4). — 363 ~ 368

In modern high-performance gas turbine engines with gas temperatures before turbines ever increasing, the rotating turbine blade cooling problem has received growing and unremitting attention. Among numerous cooling technologies, the inner cooling enjoys a conspicuous edge and relatively brilliant prospects for engineering applications. A survey of recent research results concerning the gas turbine blade inner cooling technologies in the rotating state was given. Summarized were the recent research findings regarding the influence of smooth wall surface rotation on the flow field and heat transfer, the influence of rotation on impingement cooling as well as the heat transfer of cooling media in the passages formed by turbulent rotation-flow type ribs. The advances in the study of the mutual influence of inner and air film cooling in a rotating state were described. Finally, it should be noted that the further optimization of inner flow passage structures, the influence of the rotation on the flow and heat transfer in the turbulent flow column passages and the in-depth exploration of the mechanism governing the mutual influence of inner flow and external air film cooling will be the focal point of future studies. Key words: gas turbine; cooling blade; inner flow; cooling; convection; heat transfer; rib; rotation

医疗废物热解焚烧处理研究 = A Survey of Medical Waste Pyrolysis and Incineration Treatment [刊, 汉] / MENG Qingmin, CHEN Xiaoping (College of Energy Source and Environment, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25(4). — 369 ~ 373

Nowadays, the study on medical waste pyrolysis and incineration technologies is mainly focused on the aspect of thermodynamics, including an analysis of the pyrolysis process and influencing factors, as well as the establishment of a dynamic model with an even higher precision. From such aspects as physicochemical characteristics of medical wastes, dynamic characteristics of reactions in the pyrolysis and incineration process, miniature test scale study and numerical simulation etc., described were the recent advances in the study of medical waste pyrolysis and incineration treatment technologies. It should also be noted that the law governing the influence of material characteristics and pyrolysis and incineration conditions obtained from a fixed bed test stand on the above process in a relatively large quantity of materials and establishment of a material bed layer model involving a single particle model will be the problems to be solved further in future studies. Key words: medical waste; pyrolysis; incineration; physicochemical characteristics; numerical model

天然气长输管道燃压机组的机型选择及配置 = Machine Type Selection and Configuration for the Gas Turbine/compressor Unit of a Natural Gas Long-distance Transmission Pipeline [刊, 汉] / GAO Shunhua (China Petroleum West & East Gas Transmission Pipeline Company, Shanghai, China, Post Code: 200122), CHEN Renhui (China Petroleum Tarim Oil Field Sub-company, China, Post Code:) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25(4). — 374 ~ 376

During the construction of a natural gas long-distance transmission pipeline, gas turbine type selection for a gas turbine/compressor unit and rational configuration of the number of units are very important. The current status of the units in the gas turbine-driven stations of the west & east gas transmission front line project was described. The "1+1" and "2+0" or "2+1" configuration methods of 38 light type gas turbines having a unit power output of about 30 MW were analyzed and the existing problems pointed out. The analytic results show that under the condi-

tion that our country currently has not yet made available necessary conditions for producing any light type gas turbines, such type of turbines should not be chosen as far as possible. Each station shall be provided with at least three gas turbines and can be built in phases or stages with space being reserved for the extension project. This not only relates to the safe and smooth operation of the long distance transmission pipeline but also has an extremely big influence on its operation cost. On the basis of an analysis of theoretical and actual operation effectiveness, the authors have studied and explored in depth the foregoing two major technical problems. Key words: long distance transmission pipeline; gas turbine/compressor unit machine type configuration

变几何燃气轮机性能的计算分析 = Calculation and Analysis of the Performance of a Variable Geometry Gas Turbine [刊, 汉] / QIU Cha, SONG Hua-fen (College of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4). — 377 ~ 380

To analyze the performance of a unit when its turbine is being geometrically changed, proposed was a new method for studying the performance of variable geometry gas turbines based on a small deviation equation. By using the method, the unit performance was calculated when the relative change of different turbine flow path areas is within $\pm 5\%$ and a theoretical analysis has been performed. The analytic results show that in simple cycle units, whether a HP turbine, LP turbine or geometrically changed power turbine is used, it will have little influence on the cost effectiveness of the system but will affect the equilibrium operating lines of the compressor. Among others, the variable geometry of the LP turbine will have a relatively big influence on the equilibrium operating lines of the LP compressor while that of both HP and LP turbine will also exercise a relatively big effect on the same operating lines of the HP compressor. Key words: small deviation equation; variable geometry gas turbine; performance study

燃气轮机控制室中央空调自控系统的设计与应用 = Design and Application of a Central Air Conditioning Automatic Control System in a Gas Turbine Control Room [刊, 汉] / WANG Qi-xiang, XIE Xian-gang, SONG Chun-hua, et al (School of Maritime Affairs and Harbor Navigation, Guangdong Traffic Vocational Technical College, Guangzhou, China, Post Code: 510800) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4). — 381 ~ 384

Designed was a configuration software based automatic control system for the central air conditioning in a gas turbine control room. With PLC (Programmable Logic Controllers) and configuration software serving as a core, the system employed distributed remote modules to accomplish data acquisition and transmission of control signals. The operation results show that depending on the correlation among the transducers, transmitters, PLC and actuators in the automatic control system, the authors have employed a man-machine friendly interface to set and reflect the control parameters of the system, facilitating the setting operation and management of relevant parameters, thus optimizing the distributed control system of central air conditioners. Key words: gas turbine control room; PLC (Programmable Logic Controllers); central air conditioning automatic control; configuration software

高温升蒸发型燃烧室的设计 = Design of a High-temperature Rise Evaporation Type Combustor [刊, 汉] / LI Ming, WU Er-ping, TANG Ming (College of Power and Energy Source, Northwest Polytechnic University, Xi'an, China, Post Code: 710072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(4). — 385 ~ 388

To meet the requirement of a combustor in a ground surface test facility for a high temperature rise, designed was an evaporation type combustor with a temperature rise of 1350 K. According to the overall structure of the combustor, its main components were designed. Through the aerodynamic and thermodynamic calculation of the combustor, the