

SGT800工业燃气轮机技术及市场分析

Technology and Market Analysis of SGT800 Industrial Gas Turbine

■ 魏佳明 周灵敏 余沛垌 李祎曼 谢健 闫志勇 何成/杭州汽轮动力集团有限公司

德国西门子公司的SGT800工业燃气轮机广泛用于简单循环、联合循环和热电联产等领域，截至目前已有超过325台套机组销往世界各地。2017年，西门子公司与杭州汽轮机股份有限公司签订了SGT800技术转移协议，这次技术转移使得SGT800燃气轮机在中国市场的前景有了更多的期待。

德国西门子公司的SGT800工业燃气轮机（见图1）的前身为GTX100燃气轮机，是瑞士ABB公司为了补充功率等级产品目录而研制的40MW级工业燃气轮机，GTX100从1994年开始研制，1997年完成第一台产品。1999年，ABB公司将燃气轮机业务整体转让给了法国阿尔斯通公司。2004年，阿尔斯通公司又将小型工业燃气轮机业务出售给了德国西门子，GTX100燃气轮机更名为SGT800。2003年，SGT800简单循环机组的输出功率提升至45MW，与此同时，基于经验和已经获得认可的设计方案，西门子公司逐步对SGT800进行改进和开发，以追求更高的功率和可靠性。2010年，德国西门子公司宣布将SGT800升级到50.5MW。2017年，SGT800功率输出升级到57MW。

SGT800结构和性能特点

SGT800燃气轮机的转子结构为单轴，由15级轴流式压气机和3级轴流式涡轮组成。

SGT800的压气机是采用最新空气动力学设计的跨声速结构，受控扩散叶型（CDA），压比为20：1，

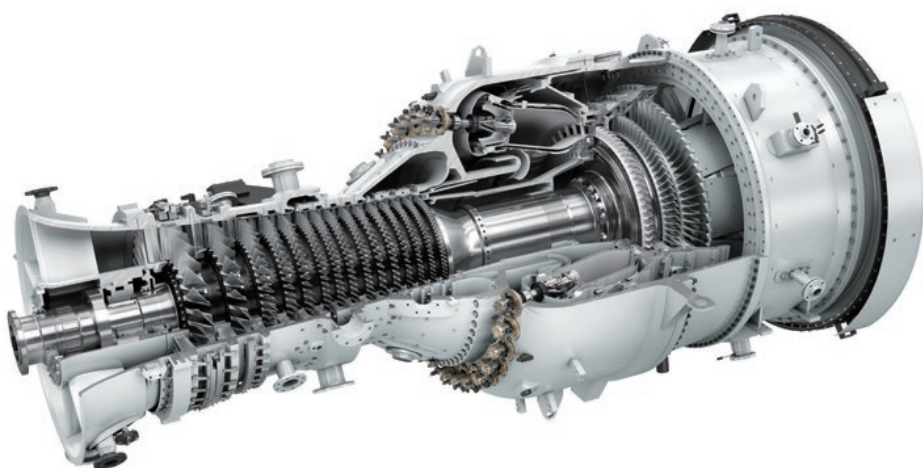


图1 西门子公司的SGT800燃气轮机总体结构

前3级采用了可变导流叶片设计，设置放气孔来确保机组在不同负荷范围和环境工况下能够稳定运行。为使叶尖漏气降至最低，使用了可磨蚀密封材料。

SGT800的燃烧室结构配有30个第三代干式低排放（DLE）双燃料燃烧器，在50%~100%负载水平时，其排放性能为 NO_x 体积分数 $\leq 15 \times 10^{-6}$ （使用柴油燃料时 NO_x 体积分数 $\leq 25 \times 10^{-6} \sim 42 \times 10^{-6}$ ）和CO体积分数 $\leq 5 \times 10^{-6}$ ，无须注水或者蒸汽^[1]。

SGT800的涡轮通过先进的空气动力学设计和基于3D分析的通流部

分优化设计，使得转子叶尖间隙最小。涡轮前2级叶片的冷却设计沿用西门子先进的冷却技术，且第一级转子叶片采用了单晶材料，以确保耐久性和长寿命。涡轮静子采用压气机空气进行冷却，以减小间隙，改善效率。

SGT800转子结构、压气机结构、燃烧室结构及涡轮结构如图2所示。

SGT800不仅具备非常高的简单循环效率，而且由于出口扩压器的排气温度较高，尤为适合联合循环和热电联产。在联合循环下，SGT800与可利用废气热量的余热锅炉（HRSG）

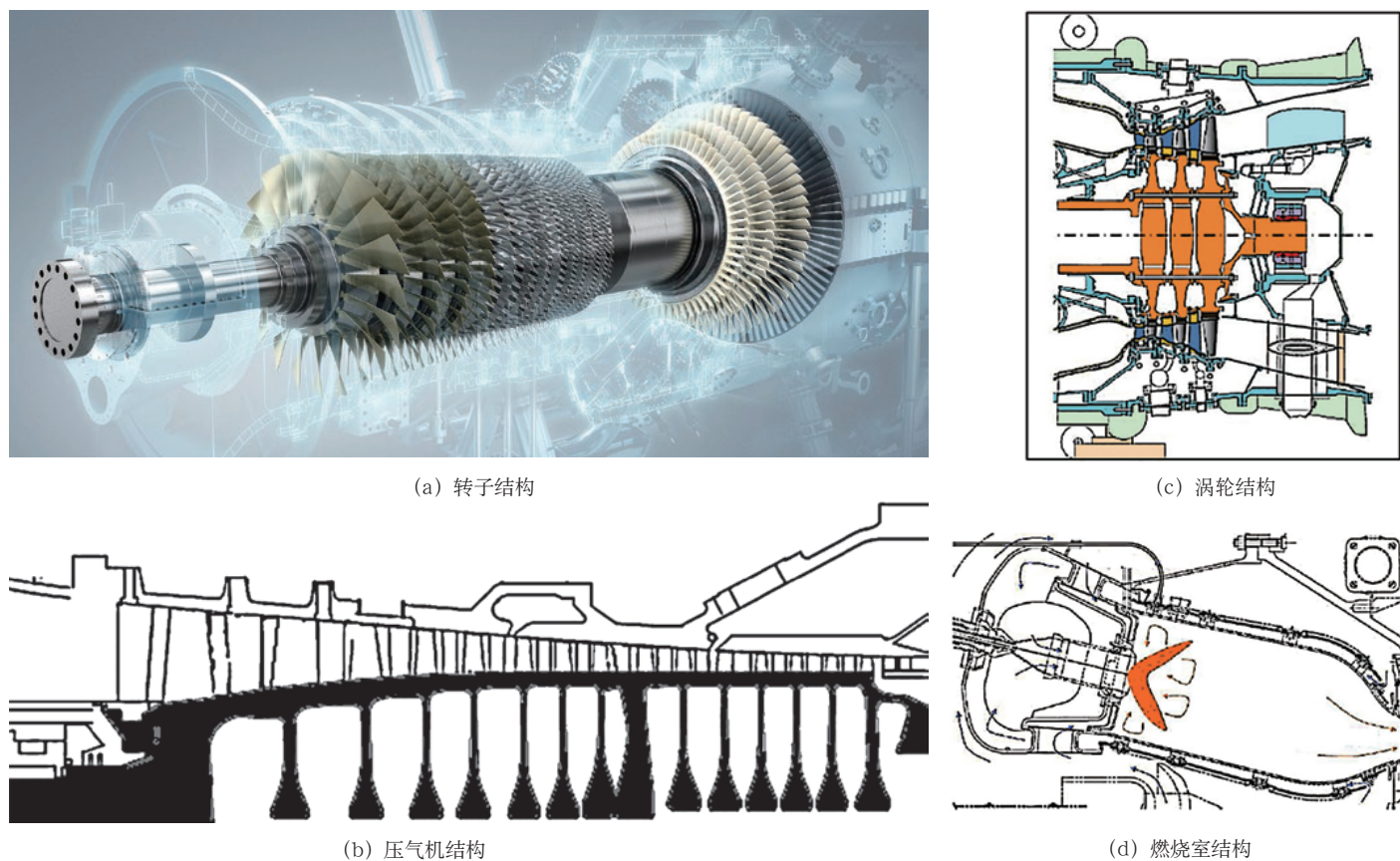


图2 SGT800燃气轮机各部位结构特点

一起组合使用，由双压的余热锅炉向蒸汽轮机供汽。对于较大的功率，可安排2台SGT800，每台燃气轮机均连接一台余热锅炉，为一个公用的蒸汽轮机供汽。简单循环和联合循环性能参数如表1所示。

同等功率等级燃气轮机对比

目前，主流的50MW级燃气轮机除了SGT800以外还有2款机型，分别是三菱日立电力系统株式会社的H25和美国GE航空集团的6F.01。三菱日立在为GE航空集团多年代加工和制造实践的基础上，独立开发了高效率燃气轮机H25^[2]，其初始输出功率为28MW，之后陆续升级到32MW、35MW和42MW。GE航空集团的50MW级的6F.01则传承了GE航

空集团的F级燃气轮机技术。现就SGT800、H25和6F.01机组总体结构、性能参数、热部件材料和运行维护进

行对比。

总体结构

3款燃气轮机的总体结构都是水

表1 SGT800简单循环和联合循环性能参数

简单循环				
输出功率/MW	47.5	50.5	53	57
发电效率/%	37.7	38.3	39.0	40.1
热耗率/(kJ/(kW·h))	9557	9407	9231	8970
涡轮转速/(r/min)	6608	6608	6608	6608
压比	20.4 : 1	21.1 : 1	21.4 : 1	21.8 : 1
排气温度/℃	541	553	551	565
氮氧化物排放(干式低排放, 依15%O ₂ 干基折算)/(10 ⁻⁶ V)	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 20
联合循环 2 × 1				
输出功率/MW	135.4	143.6	149.9	163.1
效率/%	54.7	55.4	56.2	58.6
热耗率/(kJ/(kW·h))	6583	6494	6406	6143

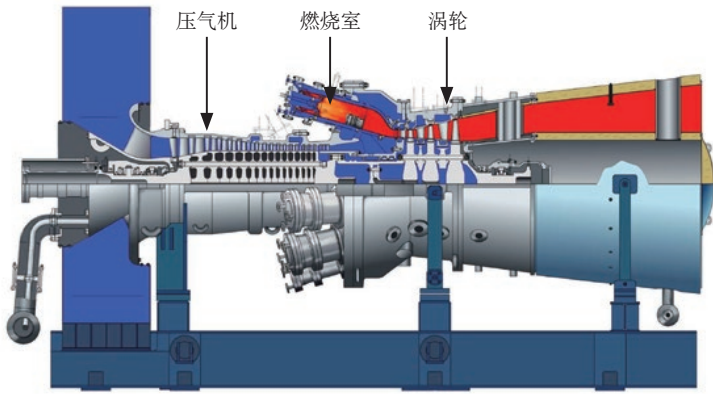


图3 三菱日立电力系统株式会社的H25燃气轮机结构

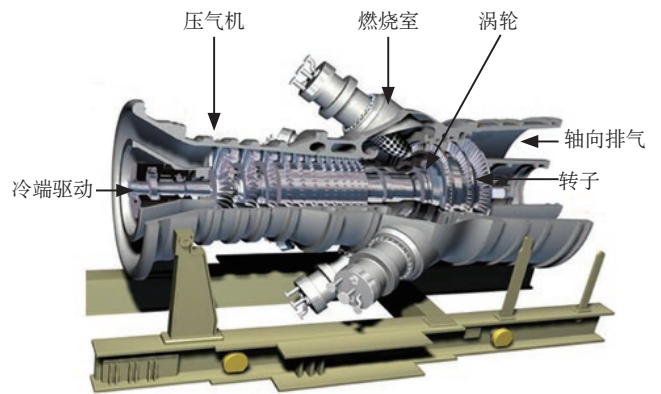


图4 GE航空集团的6F.01燃气轮机结构

平中分式缸体，单轴式结构，轴向排气，冷端驱动，两轴承设计，H25和6F.01的总体结构如图3和图4所示。3款燃气轮机结构的区别具体如表2所示。

性能参数

3款燃气轮机性能参数如表3所示，其排气温度高于500℃，燃气轮机简单循环和联合循环效率也很高，3款燃气轮机都适合联合循环发电和热电联产，但SGT800简单循环和联合循环的效率都是最高的，6F.01次之，H25相对最低，较高的燃气轮机循环效率可以有效降低发电燃料成本，更具有市场竞争力。

热部件材料

3款燃气轮机涡轮静叶都采用等轴晶材料，其中SGT800和6F.01静叶材料采用镍基高温合金，而H25采用钴基合金，静叶材料的持久强度大小为：IN792 > IN939 > GTD111 > GTD222 > FSX-414。

SGT800和6F.01的第一级转子叶片都采用单晶材料，H25使用定向结晶材料。转子叶片材料的持久强度大小为：单晶（CMSX4）> 定向（GTD111/RM02B）> GTD111 > IN738。由于SGT800和6F.01涡轮入

表2 3款燃气轮机总体结构对比

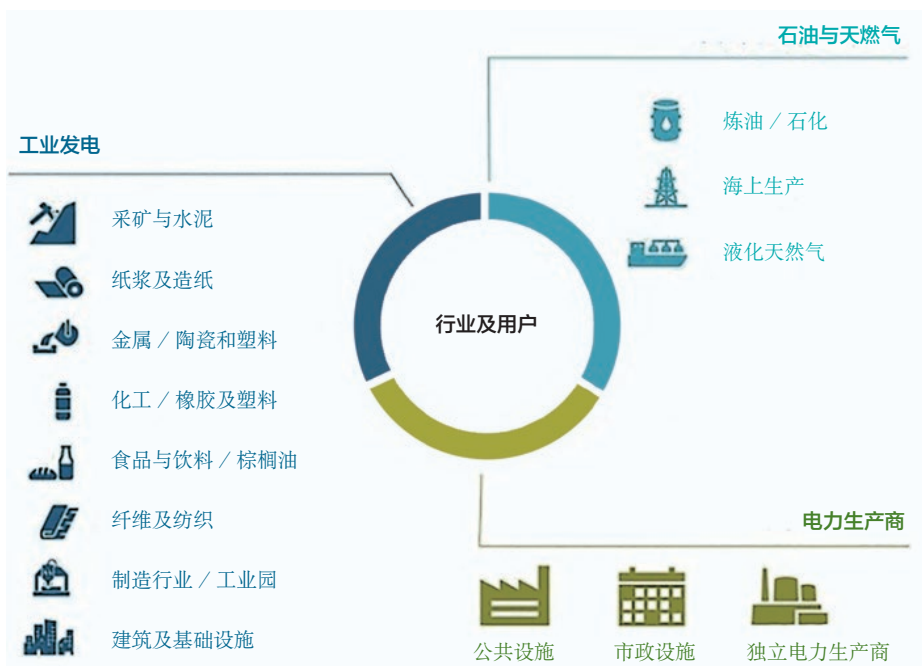
燃气轮机型号	SGT800	H25	6F.01
压气机	轴流式15级 前3级可调入口导叶 压比为21:1	轴流式17级 第1级可调入口导叶 压比为15:1	轴流式12级 前3级可调入口导叶 压比为20.9:1
燃烧室	环形燃烧室 30个干式低排放双燃料燃烧室	环管形燃烧室 10个干式低排放燃烧室	环管形燃烧室 6个干式低排放双燃料燃烧室
涡轮	轴流式3级 前2级空气冷却	轴流式3级 前2级空气冷却	轴流式3级 前2级空气冷却

表3 3款燃气轮机性能参数对比

燃气轮机型号	SGT800(57)	H25(42)	6F.01(50)
GT输出功率/MW	57	42	50
GT效率/%	40.1	37.2	37.9
热耗率/(kJ/kW·h)	8970	9664	9499
联合循环出力/MW	80.7 (1×1)	59.1 (1×1)	73 (1×1)
联合循环效率/%	58.6	51.4	55
转速/(r/min)	6608	7280	7250
排气温度/℃	565	556	597

表4 3款燃气轮机部件材料对比

燃气轮机型号		SGT800	H25	6F.01	
涡轮	静子叶片	S1	IN792	FSX414	GTD-111
		S2	IN792	FSX414	GTD-111
		S3	IN939	FSX414	GTD-222
	转子叶片	R1	CMSX4 (单晶)	RM02B (定向)	GTD-111 (单晶)
		R2	IN792	RM02B (定向)	GTD-111(定向)
		R3	IN792	IN738	GTD-111
燃烧室	火焰筒	Hastelloy X	Ni基合金	N-263	
	过渡段	Hayness230	Ni基合金	N-263	



口初温更高，因此SGT800和6F.01使用的静子、转子叶片材料性能也相对更好。表4为3款燃气轮机部件材料对比。

机组运行维护

燃气轮机的运行维护一般包括燃烧室检修、热通道检修和大修3个阶段，3款燃气轮机的运行维护时间如表5所示，其中检修周期时间为等效运行时间，燃料为天然气。SGT800燃烧室检修间隔时间相对另外两款燃气轮机增加了1倍，达到30000h，这也体现出了环形燃烧室后期运行维护的优势。

SGT800工业燃气轮机的市场

西门子公司的SGT800被广泛应用于石油与天然气、工业发电以及电力生产等领域，如图5所示。

在全球范围来看，SGT800遍布欧洲、美洲、亚洲、大洋洲。截至目前已有超过325台套机组销往世界各地，累计等效运行时间超过700多万小时。而在亚太地区，SGT800的业绩最为突出，有超过100台SGT800的用户位于亚太地区。其中泰国成为最大市场，有超过70台SGT800在泰国服役。2015年8月，泰国TPS公司与西门子公司签署了18台SGT800的购买

表5 3款燃气轮机运行维护时间对比

检修类型	SGT800	H25	6F.01
燃烧室检修时间/h	30000	16000	16000
热通道检修时间/h	30000	32000	32000
大修时间/h	60000	64000	64000

及长期服务协议，其中6台额定功率为53MW，12台额定功率为50.5MW。这18台燃气轮机被用于9座燃气蒸汽联合循环热电联产电厂中。

SGT800进入中国市场的时间相对较晚。2016年2月，西门子在中国获得了首份4台SGT800订单，用于山西国新能源在保德和昔阳的分布式能源项目。2017年8月，西门子公司与杭州汽轮机股份有限公司签订了SGT800技术转移协议，这次技术转移使得SGT800燃气轮机在中国市场的前景更为光明。

结束语

SGT800燃气轮机设计灵活，支持基本负载、中间负载和电网，可以满足各种效率、可靠性和环保要求，主要应用于联合循环、热电联产系统。杭州汽轮机股份有限公司通过借鉴西门子的工业燃气轮机技术、设计、制造与运行维护方法的丰富经验，可进一步加强在燃气轮机领域的自主研发能力。

航空动力

(魏佳明，杭州汽轮机动力集团有限公司，工程师，主要从事燃气轮机热部件结构强度以及可靠性设计)

参考文献

- [1] Shukin S, Annerfeldt M, Bjorkman M. Siemens SGT800 industrial gas turbine enhanced to 47MW design modifications and operation experience [C]. ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea, and Air, 2008.
- [2] Urushidani H, Sasada T, Wada M, et al. Development of a new 25MW high efficiency heavy-duty gas turbine h-25[C]. ASME International Gas Turbine & Aeroengine Congress & Exposition, 1990.