

燃气轮机核芯大修及 压缩机内缸更换 良好作业实践

RANQILUNJI HEXIN DAXIU JI
YASUOJI NEIGANG GENGHUIAN
LIANGHAO ZUOYE SHIJIAN

叶冠群 主编



化学工业出版社

燃气轮机核芯大修及 压缩机内缸更换 良好作业实践

RANQILUNJI HEXIN DAXIU JI
YASUOJI NEIGANG GENGHUAN
LIANGHAO ZUOYE SHIJIAN

叶冠群 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以海上气田燃气轮机核芯交换和压缩机内缸更换良好作业实践为主线, 主要包括燃气轮机和压缩机概述、燃气轮机核芯交换项目和创新技术、燃气轮机压缩机内缸更换项目和创新技术、其他典型创新技术及良好作业实践案例汇编等内容。

本书内容丰富, 通俗易懂, 紧密结合实际, 可供从事油气田设备维修管理的研究和设计人员、施工人员、工程技术人员、运行管理人员使用, 也可供相关专业院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气轮机核芯大修及压缩机内缸更换良好作业实践/
叶冠群主编. —北京: 化学工业出版社, 2018.8

ISBN 978-7-122-32332-3

I. ①燃… II. ①叶… III. ①燃气轮机-核芯-检修
②压缩机-检修 IV. ①TK478②TH45

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第123709号

责任编辑: 刘 军 冉海滢
责任校对: 王 静

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装: 天津图文方嘉印刷有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张13 字数230千字 2018年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 168.00 元

版权所有 违者必究

本书编写人员名单

顾 问 唐广荣

主 编 叶冠群

副 主 编 刘向阳 熊永功

参编人员

曾庆军 吴建武 张志鹏 刘 军 付生洪

董 伟 张先喆 雷亚飞 陈文林 杨亚山

李卫团 杨 波 劳新力 张 龙 宫京艳

梁薛成

Preface

前言

东方作业公司是中海石油（中国）有限公司湛江分公司（以下简称为“湛江分公司”）下属的作业单位之一，主要负责莺歌海海域的天然气开发，所属气田包括东方气田群和乐东气田群。

东方气田群位于南海北部湾莺歌海海域，距海南省莺歌海镇约100km，距东方市113km，所处海域水深70余米。目前已建生产设施包括东方1-1CEPD中心平台、东方1-1WHPA井口平台、东方1-1WHPB井口平台、东方1-1WHPE井口平台、东方1-1WHPF井口平台、平台间管线和上岸管线等。乐东气田群位于南海西部海域莺歌海盆地，气田群所处海域平均水深约100m，气田群由乐东15-1气田和乐东22-1气田组成，乐东22-1气田西距乐东15-1气田21km，气田范围水深约96m。东方终端接收并处理来自东方气田群和乐东气田群的天然气和凝析油，处理后的天然气供给中海油化学公司、洋浦电厂等工业用户，并为海口市提供清洁的能源保障，处理后的凝析油直接销售。

在国内无任何成熟经验的情况下，依托多年积累的实战维修技能队伍和多项技术经验，东方作业公司首次在海油系统内成功实施燃气轮机核芯交换及压缩机内缸更换项目。通过“引进、消化、吸收、再创新”的方法，实现了进口关键设备自主维修，锻炼了海上气田设备维修力量，积累了大量实战经验，掌握了燃气轮机机组核芯交换和天然气离心压缩机维修技术，同时突破了国外厂家技术保护壁垒。

为了给类似项目的维修管理及运行管理提供经验，亟需相关的书籍，来总结燃气轮机核芯交换及压缩机内缸更换项目成果。为此，本书对燃气轮机核芯交换及压缩机内缸更换的关键环节进行了全面深入的总结，主要包括燃气轮机和压缩机概述、燃气轮机核芯交换项目和创新技术、燃气轮机压缩机内缸更换项目和创新技术、其他典型创新技术及良好作业实践案例汇编等。每个部分对理论依据、关键因素以及技术创新等进行介绍，以供同类型项目参考借鉴，助力湛江分公司的设备维修管理工作。

本书可供从事油气田设备维修管理的研究和设计、施工人员、工程技术人员、运行管理人员使用，也可供相关专业院校师生参考。

编者

2018年5月

第1章 概况 001

1.1 气田群简介 / 001

1.2 燃气轮机和压缩机概述 / 002

1.2.1 燃气轮机的发展概况 / 002

1.2.2 离心式压缩机发展概况 / 008

1.2.3 海上气田燃气轮机和压缩机简介 / 012

第2章 燃气轮机核芯交换项目实施 039

2.1 项目背景 / 039

2.2 项目实施 / 040

2.2.1 准备工作 / 040

2.2.2 施工步骤 / 044

2.3 项目创新技术 / 074

2.4 项目实施效果 / 078

2.4.1 效益情况 / 078

2.4.2 推广分析 / 078

第3章 燃气轮机压缩机内缸更换项目实施 079

3.1 项目背景 / 079

Contents

目录

3.2 项目实施 / 080

3.2.1 准备工作 / 080

3.2.2 施工步骤 / 082

3.3 启机测试 / 139

3.3.1 启机测试注意事项 / 139

3.3.2 测试数据记录及分析 / 140

3.4 项目关键点控制及维修经验 / 141

3.4.1 项目关键点控制 / 141

3.4.2 项目维修经验 / 141

3.5 项目创新技术 / 144

3.5.1 打破国外技术保护壁垒，成功实现进口关键设备的自主维修 / 144

3.5.2 该项目校正了维保手册的部分参数 / 144

3.5.3 该项目改进了推力盘安装方法 / 145

3.5.4 该项目设计了压缩机对中计算表格 / 145

3.5.5 编写项目标准化施工程序 / 146

3.6 项目效益及推广 / 146

3.6.1 项目效益 / 146

3.6.2 推广分析 / 147

第 4 章

燃气轮机组典型创新技术及良好作业实践案例汇编

149

4.1 燃气轮机驱动压缩机良好作业实践 / 149

4.1.1 海上气田湿式压缩机转子结垢治理与防护研究 / 149

4.1.2	海上气田透平压缩机国产化解体维修实践	/ 153
4.1.3	海上气田燃气轮机压缩机机组辅助系列改造实践	/ 162
4.1.4	东方 1-1 平台透平压缩机出口管线及调速系统升级改造	/ 167
4.1.5	文昌 13-1/2 油田 LPG 蒸汽回流压缩机解体大修	/ 172
4.1.6	注气压缩机故障分析与解决措施研究	/ 175
4.2	燃气轮机驱动发电机良好作业实践	/ 181
4.2.1	海上气田温控阀改造良好实践	/ 181
4.2.2	海洋石油 116 燃气轮机 T5 温度不均匀故障检修实践	/ 183
4.2.3	透平发电机自主调试实践	/ 189
4.2.4	自主完成燃气轮机齿轮箱的解体维修实践	/ 191

参考文献

第1章 概况

1.1

气田群简介

东方作业公司是中海石油（中国）有限公司湛江分公司（以下简称为“湛江分公司”）下属的作业单位之一，主要负责莺歌海海域的天然气开发，开发设施包括三个海上气田及一个陆岸终端。

东方气田群位于南海北部湾莺歌海海域，距海南省莺歌海镇约100km，距东方市113km，所处海域水深70余米。目前已建生产设施包括东方1-1 CEPD 中心平台、东方1-1 WHPA 井口平台、东方1-1 WHPB 井口平台、东方1-1 WHPE 井口平台、东方1-1 WHPF 井口平台、平台间管线和上岸管线，生产设施完善。井口平台所产天然气与中心平台所产天然气在中心平台混合，经过脱水、增压和计量后，通过105km海底管道输送至海南东方终端处理厂。东方1-1气田于2003年8月1日投产，高峰期每年向海南输送天然气达数亿立方米，是海南省清洁能源的最大输送源头。

乐东气田群位于南海西部海域莺歌海盆地，气田群所处海域平均水深约100m，气田群由乐东15-1气田和乐东22-1气田组成，乐东22-1气田西距乐东15-1气田21km，气田范围水深约96m。两个气田生产的天然气通过105km海底管线和69km陆地管线输送到海南东方终端处理厂。2009年8月28日，乐东22-1气田成功试生产。2010年9月6日，乐东15-1气田成功试生产。乐东气田群每年向海南输送天然气20亿立方米。该气田群的开发进一步提升了湛江分公司油气总产量，为湛江分公司的快速发展注入新的活力。

东方终端位于海南省东方市罗带乡，占地面积380亩（1亩=667m²）。东方终端接收并处理来自东方气田群和乐东气田群的天然气和凝析油，处理后的天然气供给中海油化学公司、洋浦电厂等工业用户，并为海口

市提供清洁的能源保障，处理后的凝析油直接销售。同时，东方终端还具有对海上气田设施的远程监控功能，在台风期间人员撤离海上气田后，可以在东方终端实现对平台的遥控操作，保证天然气的连续生产。

1.2

燃气轮机和压缩机概述

1.2.1 燃气轮机的发展概况

燃气轮机广泛应用于发电、船舰和机车动力、管道增压等能源、国防、交通领域，是关系国家安全和国民经济发展的高技术核心装备，属于市场前景巨大的高技术产业。燃气轮机技术水平是一个国家科技和工业整体实力的重要标志之一，被誉为动力机械装备领域“皇冠上的明珠”。正是基于燃气轮机在国防安全、能源安全领域占据的重大地位，发达国家高度重视燃气轮机的发展，世界燃气轮机技术及其产业发展迅速，目前已基本形成重型燃气轮机以 GE、西门子、三菱、ALSTOM 等公司为主导，航空燃气轮机（包括工业轻型燃气轮机）以 GE、P&W、R&R 等航空公司为主导的格局。

我国燃气轮机的发展虽然已经有 50 年的历史，但 30 年的发展断层让我国燃气轮机技术错过了国外高速发展的时期，迅速与国际水平拉大了差距。随着我国天然气资源大规模开发利用，西气东输、近海天然气开发、液化天然气（LNG）引进、可燃冰开发、煤层气的综合利用、分布式电源建设等工程的发展，国家能源结构调整已进入实施阶段，燃气轮机在我国迎来了前所未有的发展机遇。

1.2.1.1 燃气轮机技术发展现状

（1）国际燃气轮机技术发展现状

70 年来，重型燃气轮机燃气温度由早期的 550℃ 提高到 1600℃，单循环效率由 17% 提高到 40%，单机功率由 1.5MW 提高到 460MW，实现了巨大的技术跨越。世界重型燃气轮机制造业目前已形成了高度垄断的局面，基本形成了以 GE、西门子、三菱、ALSTOM 公司为主的重型燃气轮机产品体系，基本代表了当今世界燃气轮机制造业的最高水平。

（2）国内燃气轮机产业技术发展现状

总体来说，60 年来我国重型燃气轮机行业呈“马鞍形”发展。中国

燃气轮机的发展现状是：起步不晚，进展不快；性能不高，拐棍难扔；投入不大，摇摆不定；机型不少，所占市场份额不大。

① 我国重型燃气轮机产业技术发展现状 国内重型燃气轮机产业分别以哈电集团、上电集团、东方电气集团、南京汽轮电机（集团）有限公司为核心，形成了相应的燃气轮机制造产业群，目前全行业具备了年产四十套左右燃用天然气的F级和E级重型燃气轮机以及与之配套的燃气-蒸汽联合循环全套发电设备的能力，可以满足我国电力工业的市场需求。

② 我国轻型燃气轮机产业技术发展现状 我国轻型燃气轮机在研制开发方面，具备初步配套的部件性能、强度和各系统、整机试验设施以及相应的测试手段，基本可满足轻型燃气轮机试验的需要。在制造方面，基本具备了研制生产航改机和轻型燃气轮机的能力，但同类机型在主要性能指标上与国外仍存在较大差距。我国燃气轮机工业的轻型燃气轮机集中在航空系统，发展了5大类自主燃气轮机：

a. 航机改工业燃气轮机，有WP6G、WJ5G、WJ6G、WZ6G等。20世纪60年代的技术水平，已经生产上百台。

b. 专利生产航机改工业燃气轮机，有斯贝和WZ8，其中斯贝的两种改型燃气轮机没有完成研制。另有引进生产许可证的GT25000舰用燃气轮机。

c. 合作生产燃气轮机，有FT8、QD10B、QY40等。

d. 正在改进中的航机改燃气轮机，有QD128、QD70、QD185等。

e. 863燃气轮机专项，R0110重型燃气轮机和微型燃气轮机。

1.2.1.2 国内燃气轮机产业与国外燃气轮机产业的技术差距

我国燃气轮机产业发展走的是一条分散、重复、曲折而艰难的道路，缺乏产业发展基础，尚未形成科学的产业体系。其差距主要表现在以下方面：

（1）燃气轮机产业研发技术较弱

由于历史原因，我国至今没有掌握具有自主知识产权的燃气轮机的设计与制造技术。虽然我国发电设备制造业通过招标与合资引进天然气重型燃气轮机发电机组制造技术，但外方坚持不转让燃气轮机设计技术和高温部件制造等技术，燃气轮机的核心关键技术目前还受制于人。

① 重型燃气轮机研发和技术 目前我国重型燃气轮机总体水平与国外相比差距依然较大，具体表现在：一是未掌握F级/E级燃气轮机热端部件制造与维修技术以及控制技术，热端部件依赖进口；二是未形成完

善的研发体系，更不具备 G 级 /H 级燃气轮机以及未来级燃气轮机产品研发能力和技术。

② 轻型燃气轮机（包含微型燃气轮机和中小型燃气轮机）研发和技术 与国外相比，我国中小型工业燃气轮机行业存在较大差距，具体表现为：一是中小型燃气轮机研制处于起步阶段，虽然研制了几种产品，市场尚未认可，国内市场被国外燃气轮机垄断；二是尚未完全掌握工业燃气轮机的关键技术，特别是低排放燃烧室、多种燃料燃烧室和高温涡轮冷却叶片等设计技术，未形成工业燃气轮机研发体系；三是微型燃气轮机还未完全建立设计、制造和运行的完整体系，微型燃气轮机部分关键技术尚未取得突破，产品尚未开始应用，高性能微型燃气轮机目前完全依赖进口。

（2）燃气轮机产业能力相对较弱

燃气轮机的开发需要具备一套完整的设计、制造和试验体系。燃气轮机开发体系需要基础科学能力、制造工艺水平、材料研发能力以及试验技术的支撑。这些支撑，是燃气轮机研发所必须具备的能力条件。我国发展燃气轮机产业的基础力量相对薄弱，在设计能力、试验能力、加工能力和材料四大要素中，薄弱的环节是设计能力、试验验证能力、高温合金材料体系和能力，相对较好的是加工能力，但是也缺乏关键核心部件的加工能力。

（3）燃气轮机产业配套体系不全

为满足核心企业燃气轮机产品制造的需求，我国对燃气轮机产业部分配套能力进行了发展，主要集中于燃气轮机制造配套能力建设方面，以冷端部件制造需求和辅助系统需求方面为主。但是已形成的配套能力中，均不具备关键核心热部件原材料、锻件、加工制造配套能力，不具备完整的燃气轮机研发设计配套体系，不具备完整的燃气轮机材料配套体系。与发达国家相比，存在巨大的差距。

1.2.1.3 燃气轮机发展趋势

世界重型燃气轮机技术发展遵循热效率提高的路线，正由当代级（E/F）向先进级（G/H）、未来级（J）发展，部分国外燃气轮机制造商的燃气轮机技术已达到 H 级水平。

（1）燃气轮机技术发展趋势

提高燃气轮机参数（燃气初温和压气机压缩比），提高燃气轮机的效率，燃气初温的下一个目标是 1700°C 。拓宽燃料适应范围，进一步降低 NO_x 等污染物排放。燃气透平要求进气温度更高、透平气动效率更高、

功率更大、材料高温性能优越,采用更先进、更复杂的冷却技术。压气机向着级数少、压比高、效率高、运行稳定性高、喘振裕度大及流量大的方向发展。燃烧室要耐更高温度的燃烧反应,提高燃烧效率,减少污染排放,减小尺寸。

(2) 燃气轮机功率发展趋势

无论是简单循环还是复杂循环,世界燃气轮机的功率与效率逐步提高,耗油率不断降低。简单循环燃气轮机主要通过提高压比、提高涡轮进口温度、提高部件效率等措施,提高功率与热效率并降低耗油率。

(3) 燃气轮机沿着适应环保要求的趋势发展

目前,燃气轮机主要采用低污染物排放燃烧技术,新型低排放燃烧室的采用,将会大大降低 NO_x 、CO和颗粒物等的排放量,随着节能减排要求的提出也将会逐步应用于舰船燃气轮机上。

(4) 燃气轮机产品向系列化、谱系化发展

以基准航空发动机为基础,燃气轮机设计与制造商改型研制不同类型和不同功率的燃气轮机,充分体现了“一机为本、衍生多型、满足多用、形成谱系”的特点,不仅赋予航空发动机顽强的生命力,达成更新换代的良性发展态势,也保证了燃气轮机的可靠性、先进性,周期短、风险低、成本低。

1.2.1.4 燃气轮机进气冷却技术

(1) 气温对燃气轮机性能的影响

① 气温对燃机出力的影响 由于压气机是定容设备,即在既定的转速下运送恒定容量的空气,其质量流量与空气温度成反比,随着环境大气温度升高,压气机进气在容积流量不变的情况下,质量流量将降低,燃机燃料消耗量减小,燃机透平工质相应减少,燃机出力随之降低。对燃机而言,环境温度每升高 1°C ,出力将下降 $0.5\% \sim 0.9\%$ 。以GE公司PG9351FA燃机为例,燃机出力随着压气机进气温度的升高而降低。如图1-1所示,PG9351FA燃机进口气温从性能保证工况的气温 15.6°C 升至 40°C 时,燃机出力从253.83MW(100%)降低至209.06MW,出力下降幅度达到17.6%。进气温度每降低 1°C ,燃机出力可增加1.834MW。

② 气温对燃机热耗的影响 随着大气温度升高,压气机耗功增加,在燃机输出功率降低的同时,燃机热效率随之降低,热耗增加。环境温度每升高 1°C ,热耗将增加 $0.2\% \sim 0.3\%$ 。燃机热耗随着压气机进气温度的升高而升高,尤其是在高温情况下更为明显。如图1-2所示,PG9351燃机进气温度从性能保证工况的 15.6°C 升至 40°C 时,燃机热耗从 $9744\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$

增加至 $10360\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，即热耗增加 6.3%。因此，燃机在夏季高温条件下运行，已不能满足设计进口气温的要求，造成燃机热耗率增加，最大增加 6% 左右，而且机组出力严重受限，最多下降超过 17%，使机组经济性大幅降低。在夏季用电高峰期间出力下降严重，削弱了其调峰能力，也影响了企业的经济效益。

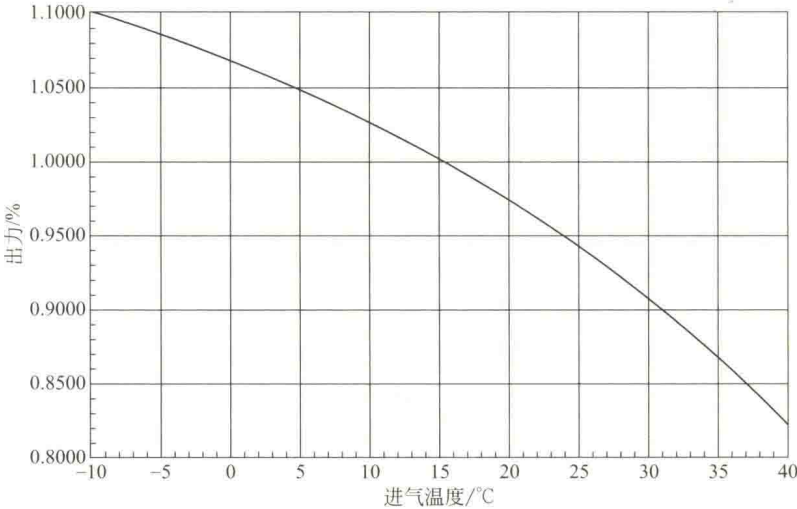


图 1-1 PG9351FA 燃机出力与压气机进气温度关系示意图

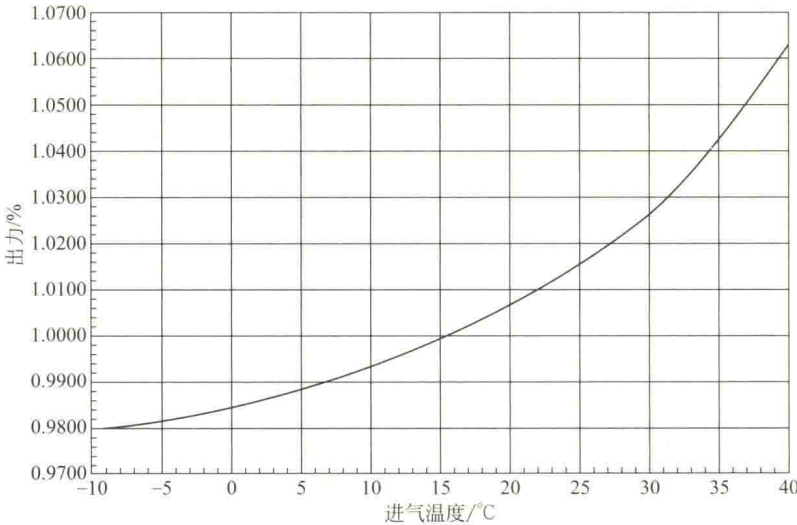


图 1-2 PG9351 燃机热耗与压气机进气温度关系示意图

(2) 几种进气冷却技术分析

燃气轮机出力随进气温度升高而降低的问题可以通过冷却燃气轮机压气机进气来解决，特别是高温天气条件下运行的燃气轮机发电机组的

压气机加装进气冷却装置是增加其出力的最有效的方法。燃机进气冷却技术分为蒸发式冷却和制冷式冷却两大类。前者根据冷却器的结构不同分为介质式蒸发冷却和喷雾式冷却，后者根据冷源的获取方式不同分为压缩制冷冷却、吸收制冷冷却、蓄冷冷却和 LNG 冷能冷却。

① 蒸发式冷却 蒸发式冷却是利用水在未饱和空气中蒸发时吸收潜热，从而降低空气温度。

a. 介质式蒸发冷却技术 介质式蒸发冷却主要由冷却水泵、喷嘴、用以形成水膜的介质、除水板、水箱等组成。将水膜式蒸发冷却器置于空气过滤器后，燃机进气与水膜接触从而达到降温加湿的目的。经冷却后的空气，相对湿度可达 95%。该方式的缺点是进气阻力大，安装时进气道要进行较大的改造，停机时间长。

b. 喷雾式冷却技术 冷却器将水高细度雾化后，直接喷入空气气流中，液态水在汽化过程中吸收汽化潜热，从而降低空气温度，接近湿球温度，可将空气冷却至饱和点附近（相对湿度达 100%），并利用水雾化后表面积急剧增大的特点来强化蒸发冷却的效果，具有很高的冷却效率，且进气阻力小，安装时无需对进气道进行改造，停机时间短。

② 制冷式冷却 制冷式冷却是在燃机压气机进口处设置翅片式表面换热器，空气在管外翅片侧流动，冷源在管内流动。这种换热器要考虑空气中冷凝水的分离、收集与排放。

a. 压缩式制冷技术 压缩式制冷采用压缩制冷循环，向燃机压气机进口的盘管冷却器提供冷源，冷源的获得以消耗机械功（电力）为代价，燃机压气机进气在换热器内被冷却水或吸收剂冷却。压缩制冷系统简单，可以获得较低的制冷温度，但最大的缺点是需要消耗电力，燃机进气冷却多发电的 25% ~ 30% 要用于驱动该系统，大大影响增加出力的效果。

b. 吸收式制冷技术 吸收式制冷利用电厂余热驱动制冷机，向燃机进气提供冷源，通过表面式热交换器降低燃机进气温度，达到增加出力、提高效率的目的。吸收制冷根据其结构有单级和双级之分；根据所采用的制冷剂不同分为氨吸收制冷和溴化锂吸收制冷两种型式。氨吸收制冷虽可获得较低的制冷温度，但设备占地面积大、造价较高且防爆等级要求较高，运行管理成本高。

c. 蓄冷冷却技术 蓄冷冷却技术是充分利用电网的峰谷差电价，即在电网低谷时，利用低价电驱动压缩制冷机制冷，把获得的冷量储藏在蓄冷装置中，待电网高峰期，制冷装置停止运行，再把蓄冷装置储藏的冷量释放出来，用以冷却燃机进口空气，降低进气温度，增加出力、提高效率。该方式一方面可以增加低谷期用电量，增加高峰期发电量，起

到调整电网负荷的作用；另一方面蓄冷用的是低价电，节约成本。

d. LNG 冷能冷却技术 LNG 的温度是 -160°C ，使用前必须在 LNG 接收站再气化为天然气，在气化过程中释放的大量冷能是可以回收利用的。其主要方式是利用中间传热介质（乙二醇水溶液）通过两级换热器将 LNG 冷能传递给燃气轮机入口空气，达到冷却燃机进口空气的目的。

已有的国内外运行经验表明，这些进气冷却技术已经比较成熟，几种冷却方式各有其特点，对于不同地区不同运行条件的燃气轮机，应根据实际条件选择进气冷却方式。蒸发式冷却直接接触式投资小，施工工期短，但冷却能力较小，特别适用于资金相对短缺、干燥炎热的地区。LNG 冷能利用需要与 LNG 接受站统一协调考虑。蓄冷式制冷与压缩制冷、吸收制冷的投资相当，蓄冷制冷特别适用于电网峰谷电价差较大的地区，而溴化锂吸收制冷能充分利用电厂余热、冷却能力较大。

1.2.2 离心式压缩机发展概况

当前国际能源的危机已影响到各国国民经济的发展。因此，各国对能源的开发与利用，都选择最优的工艺方式进行，并选择具有先进综合指标的设备。如：美国 IR 公司生产的流程用压缩机、气体摩托式压缩机、燃气透平等；库佩尔公司生产的燃气透平、离心式压缩机、摩托式往复压缩机；索拉燃气轮机公司生产的离心式压缩机等；这些产品已广泛地应用在美国阿拉斯加、加拿大、荷兰、德国、英国、阿尔及利亚、俄罗斯等国家和地区的油气田及化工厂。这些设备都具有指标先进、安全可靠、自动控制等特点。其中有些产品也被我国油气田所采用。如大庆油田购买的美国库佩尔公司的摩托式往复压缩机，以及美国克拉克公司原油稳定成套设备的离心式压缩机；南海西部油气田购买的索拉燃气轮机公司的离心式压缩机等。

1.2.2.1 离心式压缩机发展现状

离心式压缩机的发展历程要晚于活塞式压缩机，在 19 世纪活塞式压缩机几乎是唯一的一种压缩机，但由于活塞式压缩机存在着油耗量大、个体笨重等一系列的缺点，使其应用受到了很大的限制。同时，随着材料科学、气体动力学等一系列基础学科的发展和制造工艺的提高，离心式压缩机得到了迅速的发展。目前，大功率（最大功率已达 52900kW ）高压离心式压缩机一般用高速工业蒸汽轮机拖动，多数采用单列串联或两列串联驱动。它的出口压力可达 $150 \sim 850\text{kg/cm}^2$ ，最高可达 420kg/cm^2 ；转速为 $10000 \sim 16000\text{r/min}$ ，最高可达 25000r/min ；连续运转时间可达

18个月以上。在高压离心式压缩机上则成功地采用了高压液体浮环式密封,多油楔径向轴承、浮动式止推轴承等结构。在工艺方面,对于叶轮轮出口较宽的压缩机则广泛采用全焊接结构代替铆接结构,对于狭流道叶轮的制造则使用电蚀加工。对转子动平衡的要求更高:在设计上合理地考虑转子的轴向推力平衡,多缸的临界转速和提高转子刚度,以及根据工质的不同性质来选择各零部件的材料等问题,并且正在逐步提高小流量级的空气动力性能和采用二元叶轮以及摸清高压下实际气体的性质,对于高速运转时的振动和压缩气体的性能试验和换算也是当前应被重视的问题。值得注意的是,国外正在研究试制压力为 $2500 \sim 3200 \text{ kg/cm}^2$ 的超高压离心式压缩机,以适应高压聚乙烯生产的需要。此外,随着交通运输、国防等事业的发展,在小功率燃气轮机中的离心式压气机上广泛采用高强度的材料,其小级压比一般已达 $4.5 \sim 6.5$,并正在试制研究单级压比为12、转速为 130000 r/min 、级效率更高的离心式压气机级。

1.2.2.2 国内外离心式压缩机产业的技术差距

我国燃气轮机压缩机的技术经过几十年的发展,到目前为止,已能制造出石油工业亟需的集气外输、油气加工、注储干气、气举采油、注气和原油稳定等不同用途的压缩机十多个系列,七百多个品种。但从国内压缩机生产厂家向石油工业市场提供的产品来看,在产品品种、数量、性能(包括易损件寿命)、震动、噪声、可靠性、配件互换性、变工况适应性等,以及成套水平、交货期和售后服务上存在着一系列问题,具体表现为如下几个方面:

(1) 科研、试验体系不完善

国内燃气轮机压缩机的开发是在其他类型产品的间隙中发展起来的。绝大部分产品是改型、变形产品,没有充分考虑天然气的特殊性。国内目前还没有燃气轮机压缩机的试验台,无法进行以天然气为介质的性能试验。制造厂在性能试验及交付试验时均以空气为介质,因而与实际工况相差甚远。

(2) 产品可靠性差

国内在用的几百台燃气轮机压缩机很大程度上存在着可靠性差、寿命短的问题,对油气田正常生产影响较大。

① 设计不尽完善,制造水平低,压缩介质带液严重,级间分离效果差,装配技术达不到要求。在制造鉴定样机上不惜工本精心制作,批量生产时放松管理,使正式产品与鉴定样机的质量相差甚远。有些压缩机无故障运转时间仅达 $200 \sim 500 \text{ h}$,就需检修。为保证油气田生产相对稳