



全面自主，“永”攀高峰

——全新一代F级G3燃气轮机自主研发

演讲人：唐健

上海汽轮机厂有限公司

上海电气



CONTENTS

目 录

- 01 应运而生-F级G3开发初心
- 02 厚积薄发-F级G3设计体系
- 03 开花结果-F级G3自主创新



上海电气版权所有



STEP 01

应运而生-F级G3燃机开发初心

上海电气

出版权所有



1 应运而生-G3燃机开发初心



新型电力系统的需要

- 2025年新能源装机占比将超过60%
- 急需灵活性电源进行快速调峰
- 绿色能源：宽负荷低排放、掺氢/氨燃烧等

国家能源安全的需要

- 产业链安全面临风险，需要具备保供能力
- 技术被“卡脖子”，影响两机产业长远发展
- 能源是国计民生的基本保障，必须自主可控

用户的需求

- 高效：更大的出力和效率等
- 灵活：快速启停、宽负荷运行、燃料适应性等
- 经济：供应链的自主可控，长协服务自主可控

燃机自主发展的需要

- 燃机技术逐步从消化吸收走到了自主研发创新阶段
- UGT300, G50, HGT51等自主燃机逐步推向市场
- 国内燃机研发体系、试验体系、制造体系等进步巨大

2 用户的需求 我们的方向



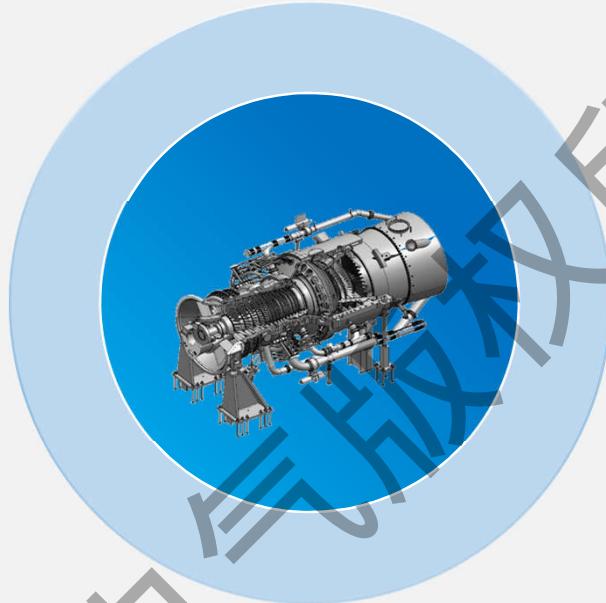
高效

- 更大的出力
- 更高的效率



灵活

- 快速启停
- 快速变负荷
- 燃料适应性高



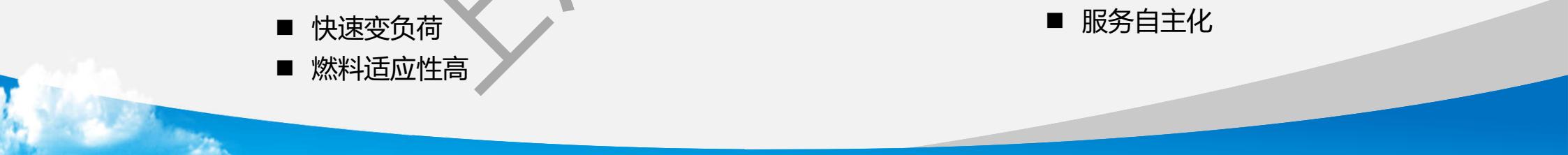
绿色

- 宽负荷段低NOx
- 高比例掺氢燃烧

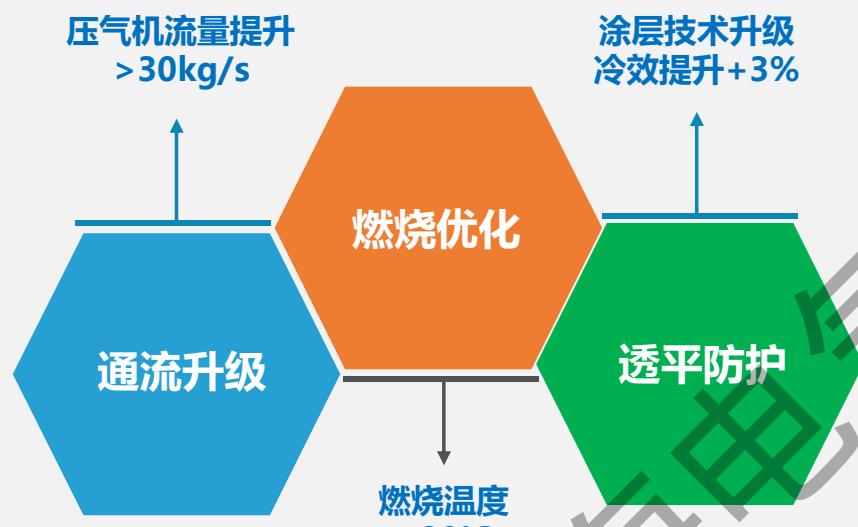


自主

- 自主研发设计
- 全面国产化
- 服务自主化



3 高效-技术升级实现性能提升



型号	F级G3
单机出力	340MW
单机效率	$>40\%$
联合循环出力	510MW
联合循环效率	$>60\%$

4 灵活-智能化适应新型电力系统要求



快速启停

燃机启动到满负荷<30分钟



快速变负荷

最大变负荷速率30MW/min



智能燃烧调整

自适应不同气候和燃料条件，
守护燃机运行安全

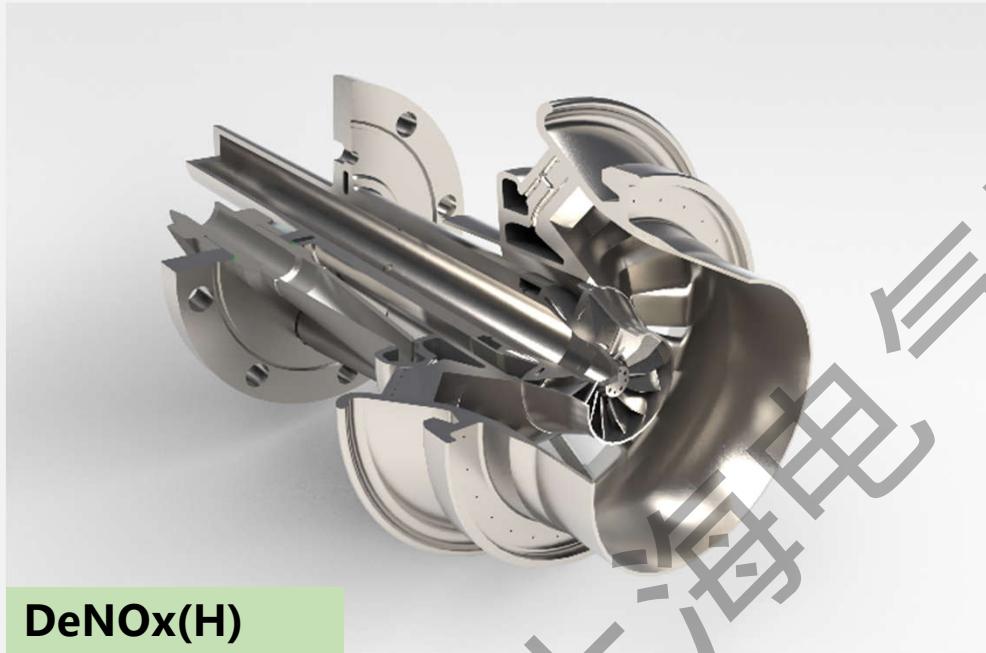


燃料适应性高

适用LNG、海气、天然气
等，覆盖34-50MJ/kg燃料



5 绿色-掺氢燃烧能力持续突破



掺氢水平

>30%

环保负荷

<30%

NOx排放

<30mg/Nm³

6 自主-从技术引进到自主研发



燃机性能

G3
G2
G1

G1 引进技术
1445°C 25ppm
310MW 39.8%

G2 联合开发
1460°C 25ppm
325MW 40.1%

G3 自主改进
国内首台商用
1480°C 15ppm
340 MW/40.3%
掺氢能力: 30%

F级G3于2025年6月成功商投



2014

2017

2025

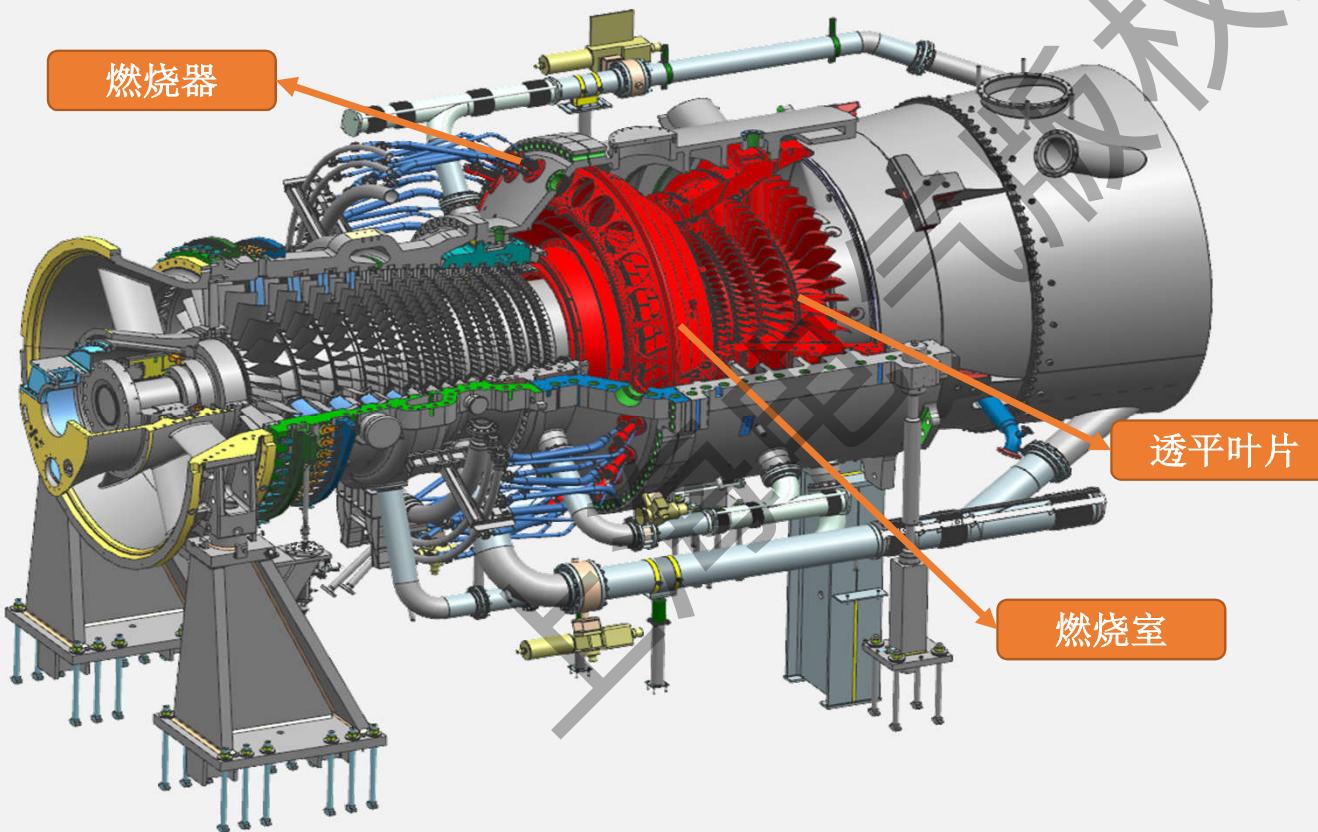
年

7 自主-燃气轮机核心部件国产化



上海电气一直致力于燃机国产化推进

实现供应链的自主可控
构建健康的供应链生态



- 热端核心部件：
 1. 燃烧室 ✓
 2. 燃烧器 ✓
 3. 透平叶片 (含毛坯、精加工、特种加工) ✓
 - 能源局创新示范项目：
 1. 国家电投吴淞江项目 (小F) , 已并网发电;
 2. 江阴燃机项目 (大F) , 正在调试;
 3. 华电望亭项目 (大F) , 正在调试。
- F级燃机国产化率：100%

8 自主-燃气轮机全生命周期服务自主



灵活、定制化的品质服务

计划检修	非计划检修	升级改造	远程监测与诊断	智能化解决方案
<ul style="list-style-type: none">◆ 小修 / 中修 / 大修◆ 保协式长协	<ul style="list-style-type: none">◆ 备件本地化, 火速供应◆ 抢修高效, 为用户赢得时间	<ul style="list-style-type: none">◆ 机组扩容/升级优化◆ 低氮改造/延长检修间隔	<ul style="list-style-type: none">◆ 上海远程中心◆ 定期运行数据采集◆ 定期出具运行改进报告	<ul style="list-style-type: none">◆ 智能控制 (燃烧/模式切换)◆ 智能优化 (性能寻优)◆ 数字化 (备件物联)

- 服务范围: 全轴系、全生命周期
- 服务模式: 总包/督导/菜单
- 服务理念: 为用户检修人员定制专业培训课程, 开放共赢

9 上海电气重型燃气轮机产品订单



燃机订单 (2014年至今)

销售业绩共计 97 台

H级 1 台

国电投闵行

E级 7 台

孟加拉锡莱特

京能上庄

山东昊阳 中山民众

低热值机组 1 台

辽宁本钢

四会—国内首台AE94.3A

江门—国内首台AE64.3A

上庄—国内首台AE94.2

F级 55 台

国家电投闵行 申能奉贤 国家电投周口 伊朗出口项目

华兴张家港 深能樟洋 中电四会 京能钰海 中盛镇江 大唐高要

河北迁安 江西小蓝 大唐佛山 大唐万宁 大唐海口 汕特 国家重燃

皖能合肥 淮矿滁州 无锡西区 浙能镇海 江阴热电 华能南山

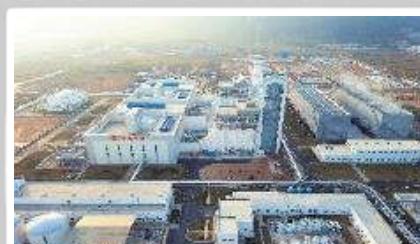
湘投衡东 华电望亭 华能泰安 恒运知识城 河北建投抚宁 淮河能源芜湖

小F级 33 台

华电江门 河北迁安 国电投揭东 江西小蓝 塞尔维亚 丹阳华海

协鑫高淳 深能源甘露 深能源凤泉 国电投开平 国电投吴淞江

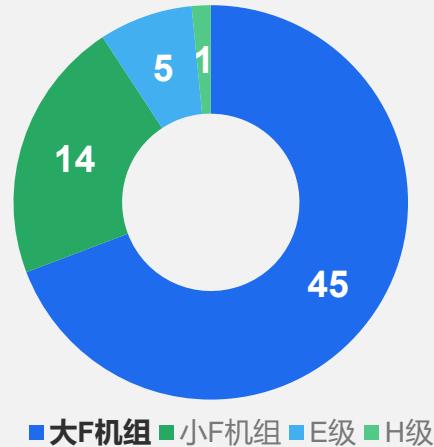
惠生发电船 佛燃三水 国能清远 华能清远 万向萧山



10 上海电气燃机长协服务业绩



- ✓ 具备燃机长协检修及技术改造等全方位自主服务能力；
- ✓ 全面实现E、小F、F、H各等级燃机服务订单突破；
- ✓ 长协订单数量持续增长，累积达到65台。



大F机组
宜兴项目
实现二期长协突破



STEP 02

厚积薄发-F级G3设计体系



上海电气版权所有

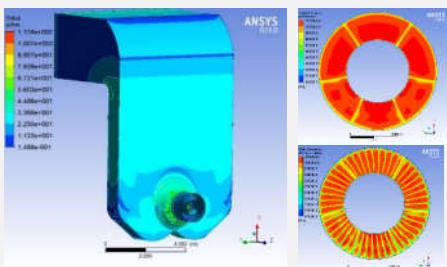
1 先进可靠的压气机设计体系



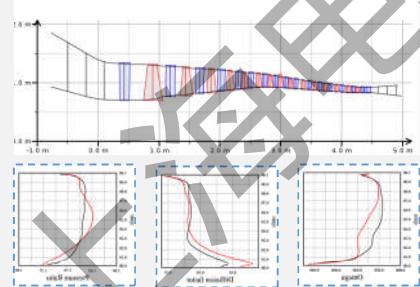
完整的设计体系，可靠的设计工具：

- 全三维CFD仿真设计工具+非定常大涡颤振评估工具：完成跨音级长叶片设计、全工况性能分析等工作
- 丰富的设计经验：设计工具使用工程测试数据进行了校准，能够准确的评估压气机性能和安全工作裕度

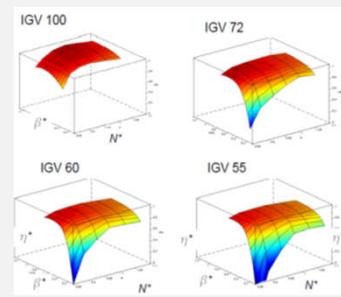
进气系统优化提高压气机进气均匀性



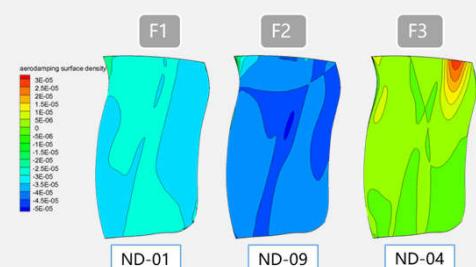
叶片通流设计与分布规律



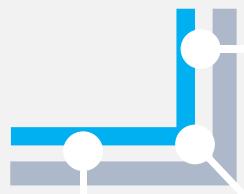
全工况三维CFD仿真，评估压气机性能



非定常颤振特性大涡模拟工具

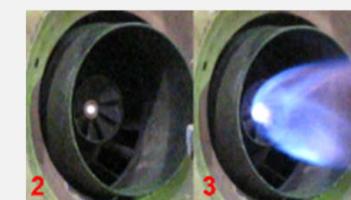
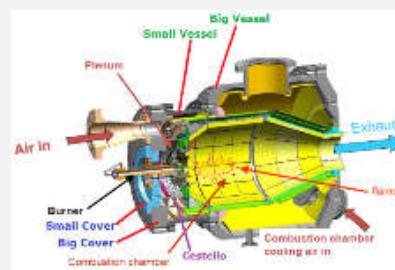
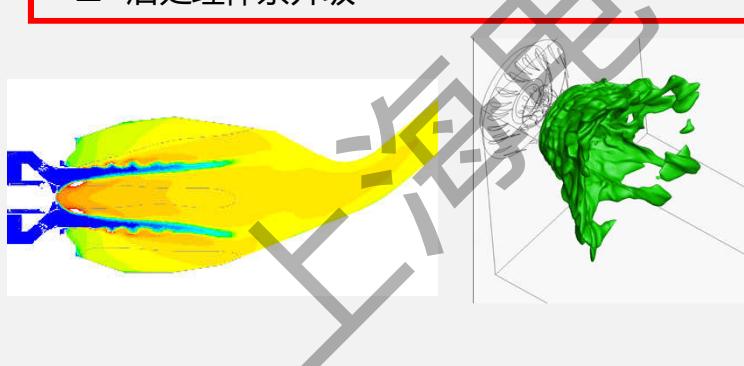
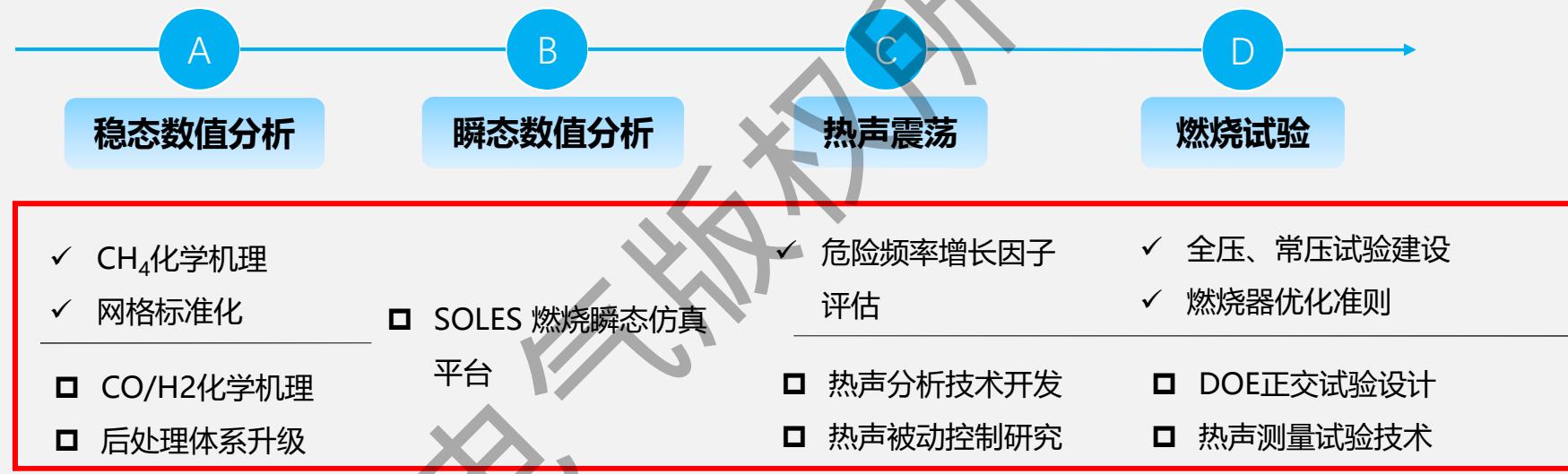


3 燃烧器全生命周期开发体系



工具体系

宽度扩充



4 高温材料试验体系



热场发射扫描电镜
MIRA 3 XM (附EDS&EBSD)



体视显微镜
Leica M165C



工业级金相显微镜
Leica DM ILM



研究级金相显微镜
Leica DMI 8C



- 放大倍数高，适用于金相试样的精细分析与拍照
- 操作简便，适用于快速的试样观察与试验抛磨效果评估

- 适用与较大景深试样的宏观拍照与分析
- 高放大倍数，可进行材料形貌、组织、织构的精细分析，同时进行化学成分的定性分析

1300°C静态氧化炉
纳博热



- 适用于高温合金与热障涂层的中高温时效/氧化试验

1600°C静态氧化炉
纳博热



- 适用于陶瓷隔热瓦块的时效和热循环试验

1600°C管式炉
纳博热



- 适用于热障涂层的循环氧化试验

1500 °C循环氧化炉
卡博莱特



- 适用于热障涂层的热腐蚀试验



燃气轮机高温材料实验室

Gas Turbine High-temperature Materials Lab

上海电气燃气轮机有限公司

Shanghai Electric Gas Turbine Co., Ltd.

5 公司获得的设计资质和科技资质



STEP 03

开花结果-F级G3自主创新

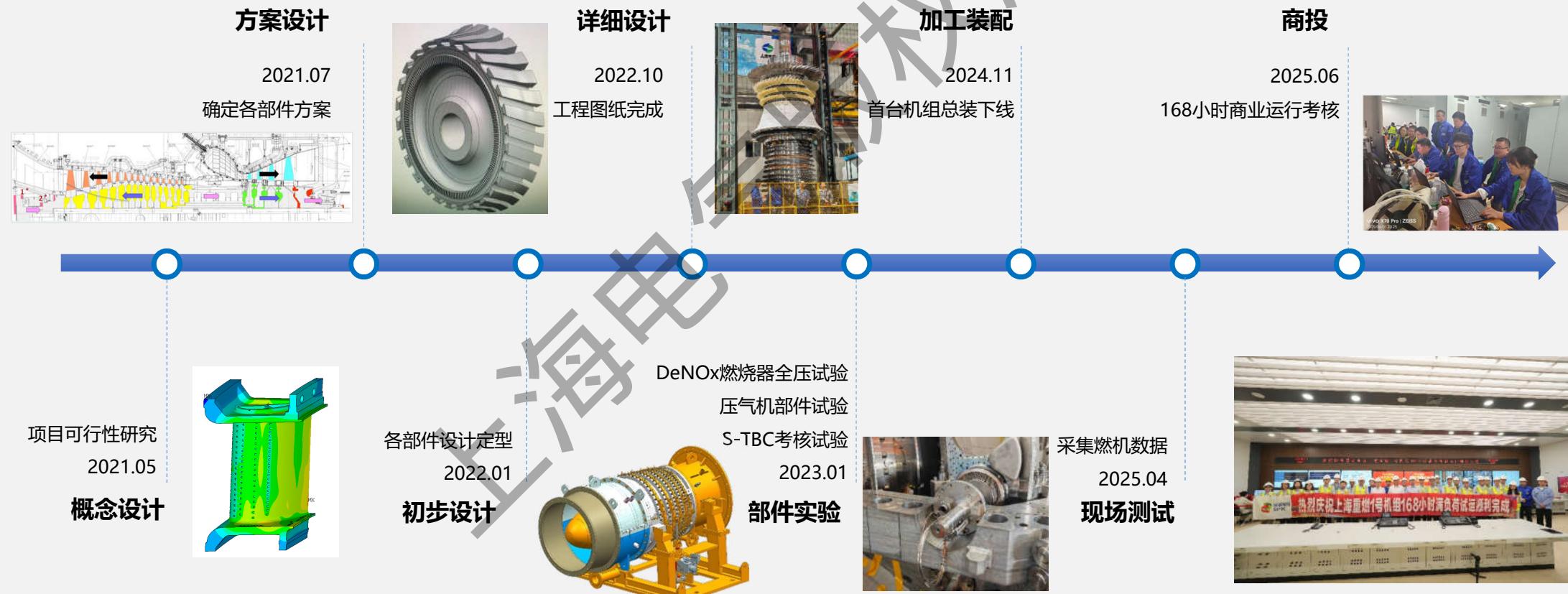


上海电气版权所有

1 F级G3产品开发历程



研发全流程管控：成熟的产品开发流程，完善的评审机制，严谨的产品试验验证



2 F级G3产品升级



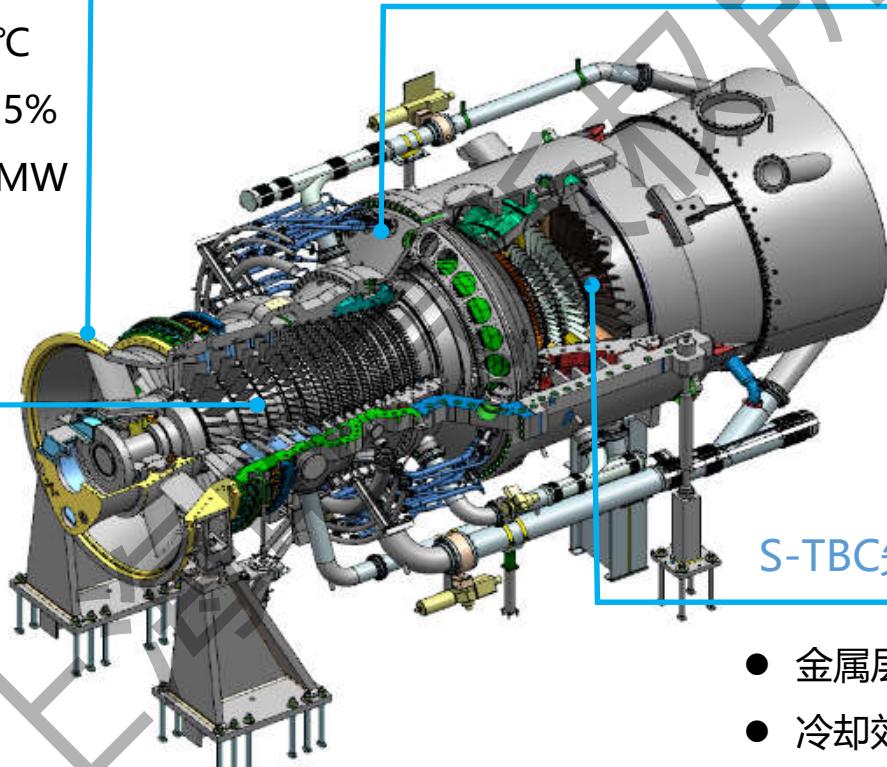
整机效率出力提升

- 透平进口温度提升20℃
- 联合循环效率提升0.35%
- 联合循环出力提升30MW



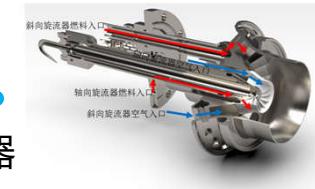
先进高效压气机

- 高性能全三维动叶片
- 流量和效率全面提升



低排放环形燃烧室

- 新型DeNOx燃烧器
- 增材制造旋流器
- 15ppm超低排放



S-TBC先进陶瓷涂层技术

- 金属层+双陶瓷涂层组合
- 冷却效率提升

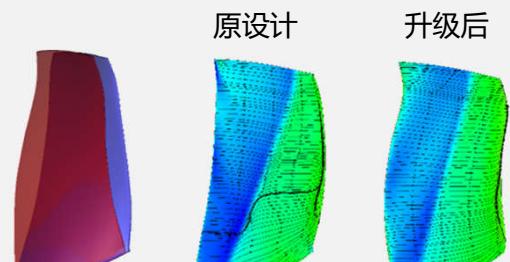


3 新一代压气机升级

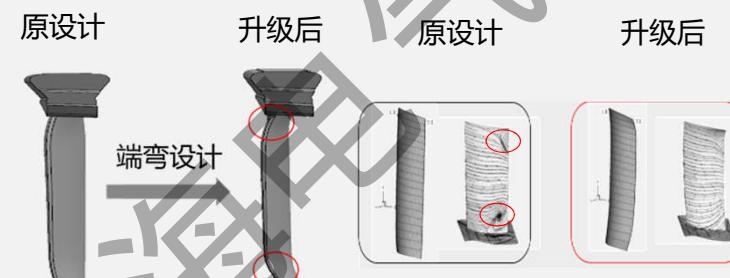


● 借鉴航空发动机设计，F级燃机最高流量压气机：

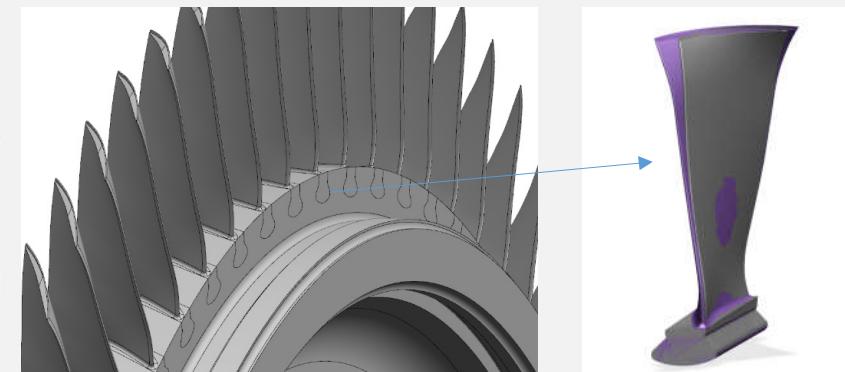
- ✓ 可调叶片优化，提升流量调节范围
- ✓ 复合弯掠设计，降低激波损失
- ✓ 静叶端弯设计，改善端区流动



动叶采用复合弯掠设计



静叶片端弯设计



动叶片叶根不变，叶身升级

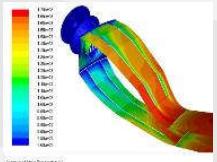
压气机的气缸和轮盘不变，动静叶片叶根保持不变，可对在役机组升级和改造

7 新一代DeNOx燃烧器升级

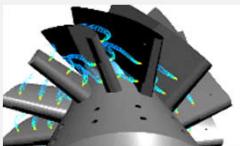


方案设计 2022年

- 15ppm超低排放
- 燃烧温度提升20°C
- 全预混值班的多种方案设计



设计



全预混值班

燃烧部件试验 2023年

试验

- 第一轮DeNOx燃烧器全压�试验



燃烧部件试验 2024年

试验

- 第二轮DeNOx燃烧器全压测试



新机应用

2025年

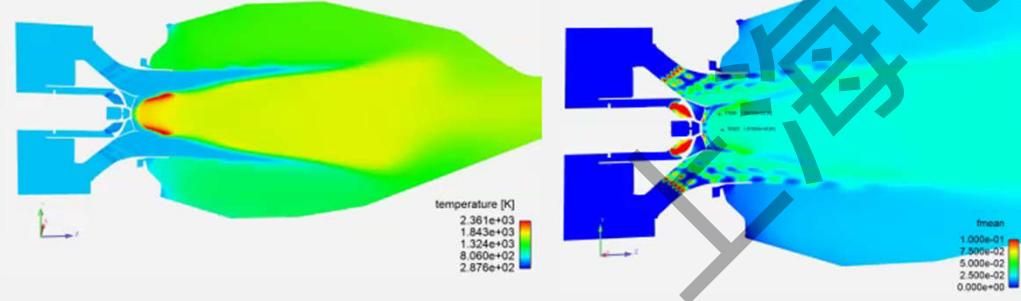
商投

- 大F级DeNOx自主研发，成功商投，实现了超低排放目标

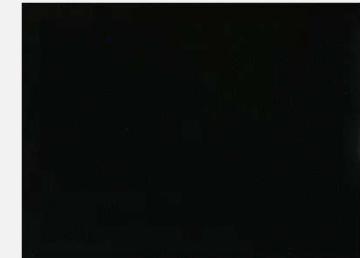
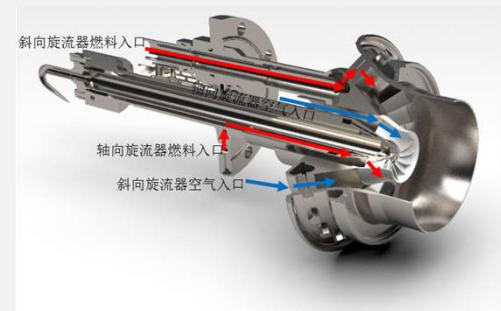
进取

8 新一代DeNOx燃烧器试验

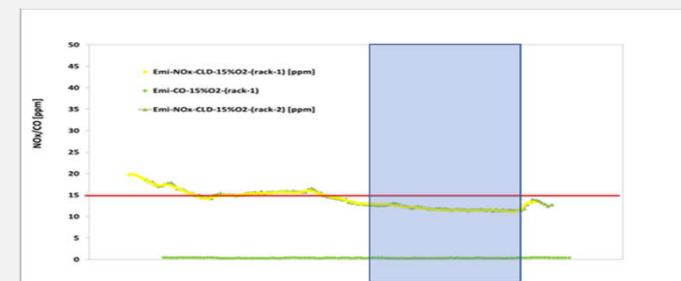
- 采用超级计算机进行高精度全三维燃烧数值仿真
- 更科学的优化燃烧组织，消除NOx生成红区
- 经过全温全压全尺寸燃烧试验考核验证
- 试验结果：**50%-100%负荷下 NOx<15ppm**



高精度三维燃烧数值仿真



火焰可视化监测



燃烧器全压实验结果



9 先进S-TBC陶瓷涂层升级

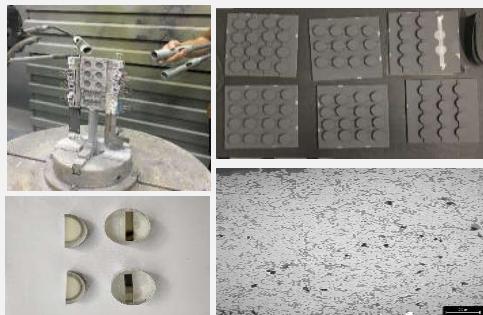


2022

新涂层材料
开发



- 材料筛选
- 粉末开发



2022

试样级别工艺
开发



- 试样喷涂
- 喷涂质量评估

2023

试样级别性能
测试



- 热循环性能测试
- 热震性能测试

2024

叶片喷涂工艺
开发



- 贴片喷涂
- 叶片喷涂

2025.06

叶片应用

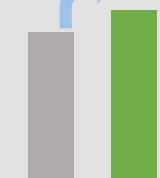


提升超过20°C



透平进气温度提升

提高超过3%



冷却效率

下降超过10°C



叶片基材温度下降

总结



型号	F级G3	性能更优：整机出力效率全面提升
单机出力	340MW	绿色低碳：更高出力下达到15ppm排放
单机效率	>40%	自主设计：部件设计+部件实验+整机验证
联合循环出力	510MW	
联合循环效率	>60%	持续研发：更高性能燃机的技术开发



上海电气 与创造者共创未来

SHANGHAI ELECTRIC CREATE OUR FUTURE TOGETHER

