



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

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



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

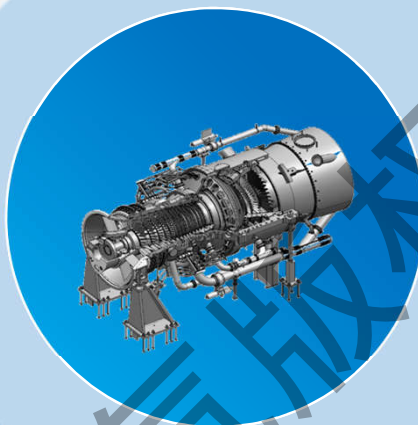


绿色

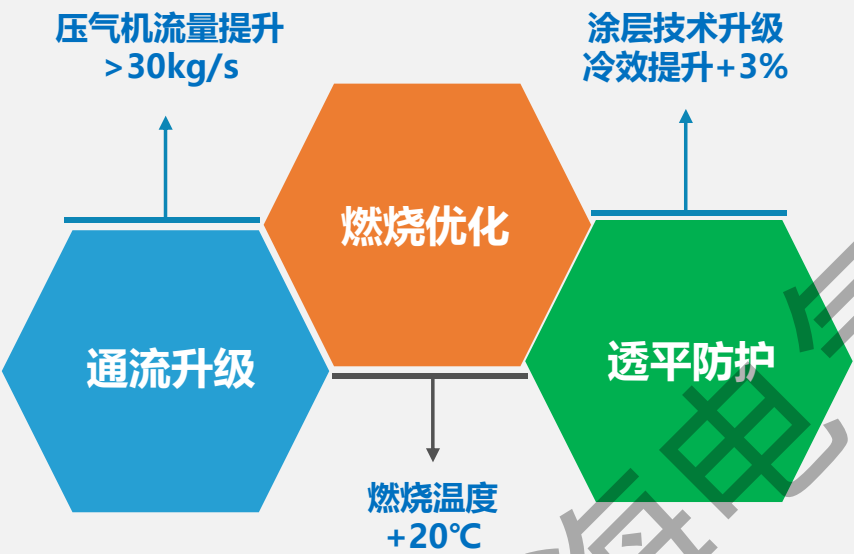
- 宽负荷段低NO_x
- 高比例掺氢燃烧

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

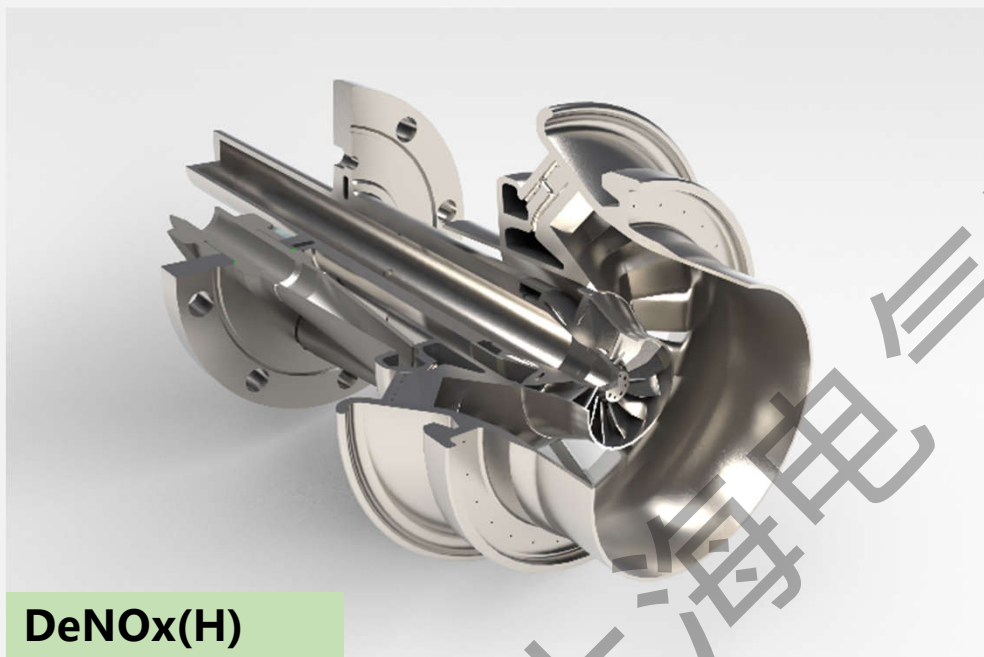


燃料适应性高

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%

NO_x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

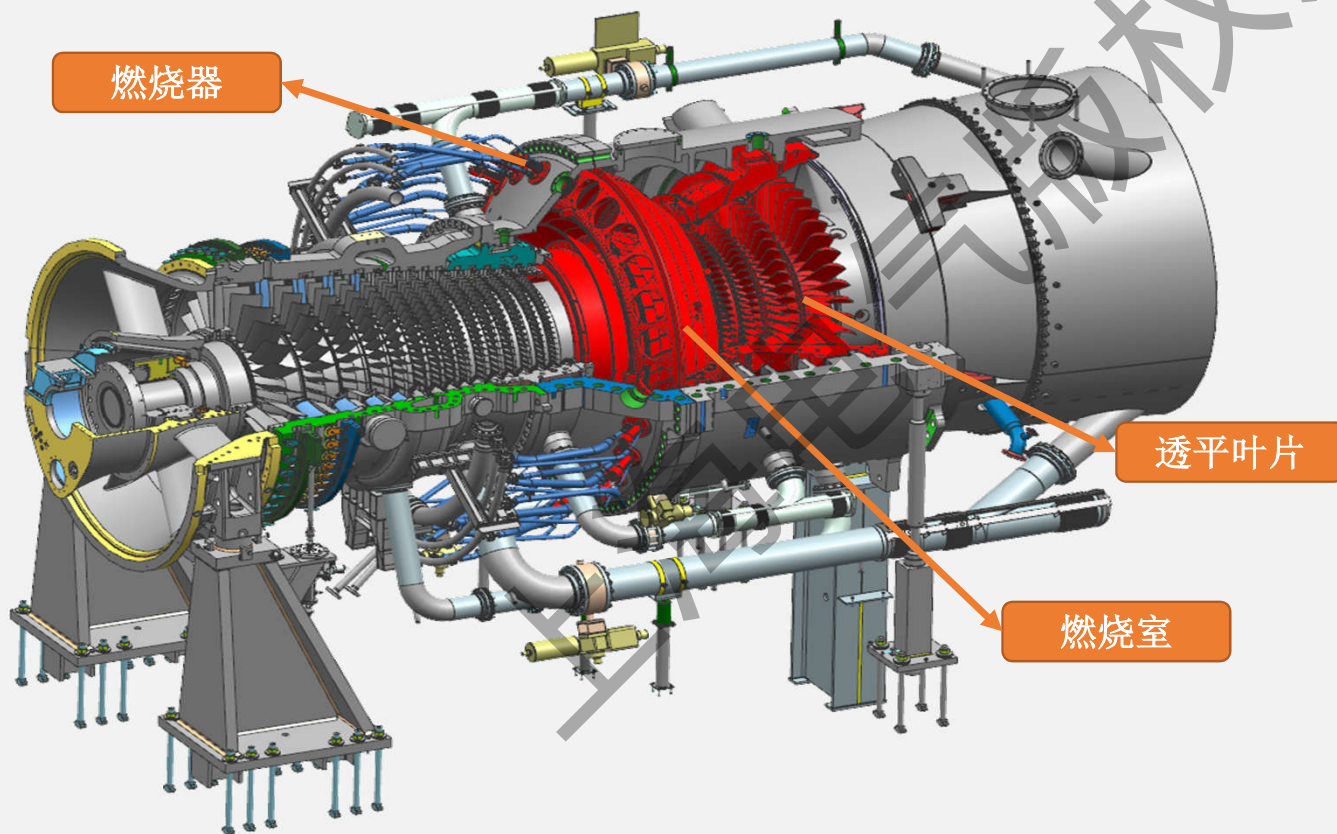
年

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



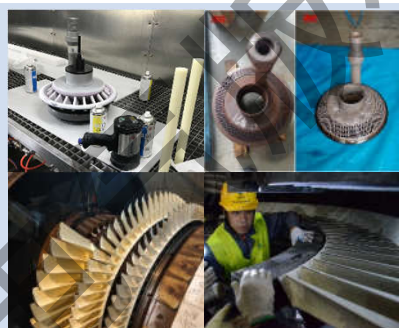
- ◆ 小修 / 中修 / 大修
- ◆ 保姆式长协

非计划检修



- ◆ 备件本地化，火速供应
- ◆ 抢修高效，为用户赢得时间

升级改造



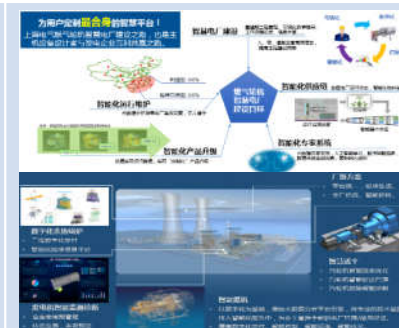
- ◆ 机组扩容/升级优化
- ◆ 低氮改造/延长检修间隔

远程监测与诊断



- ◆ 上海远程中心
- ◆ 定期运行数据采集
- ◆ 定期出具运行改进报告

智能化解决方案



- ◆ 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

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

四会—国内首台AE94.3A

江门—国内首台AE64.3A

上庄—国内首台AE94.2

高要—首次自主调试项目

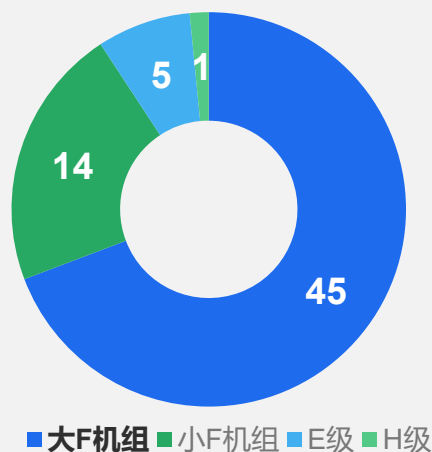
闵行—国内首台GT36



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



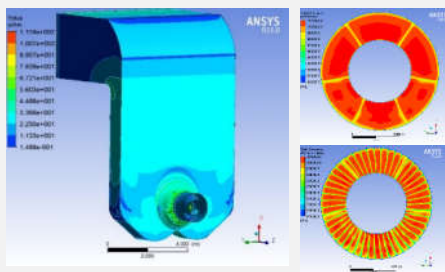
1 先进可靠的压气机设计体系



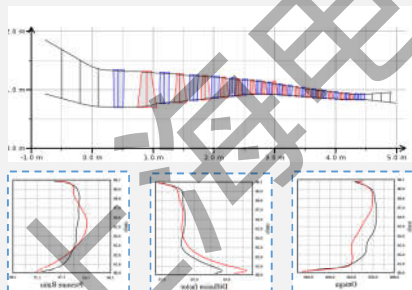
完整的设计体系，可靠的设计工具：

- 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

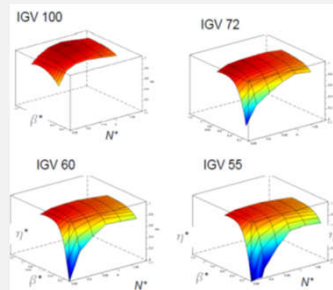
进气系统优化提高压气机进气均匀性



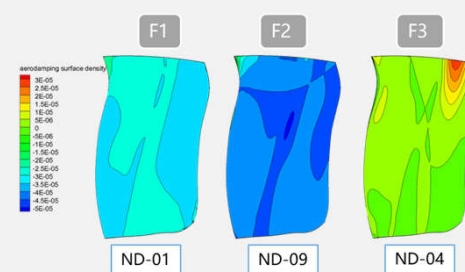
叶片通流设计与分布规律



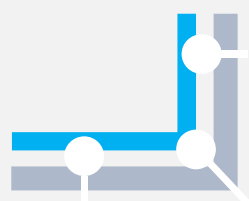
全工况三维CFD仿真，评估压气机性能



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

A

稳态数值分析

B

瞬态数值分析

C

热声震荡

D

燃烧试验

✓ CH₄化学机理

✓ 网格标准化

□ CO/H₂化学机理

□ 后处理体系升级

□ SOLES 燃烧瞬态仿真平台

✓ 危险频率增长因子评估

□ 热声分析技术开发

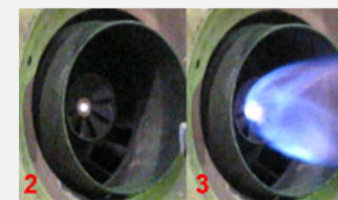
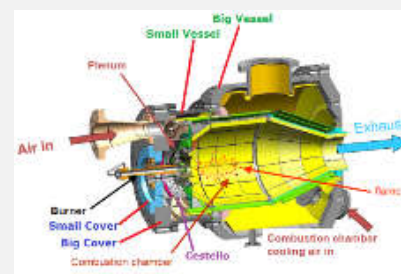
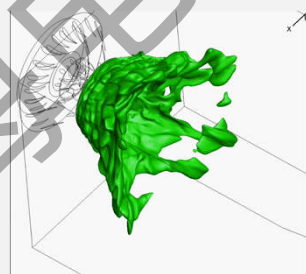
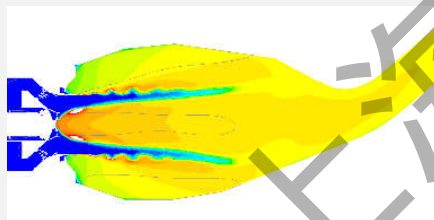
□ 热声被动控制研究

✓ 全压、常压试验建设

✓ 燃烧器优化准则

□ DOE正交试验设计

□ 热声测量试验技术



4 高温材料试验体系



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

工业级金相显微镜
Leica DM ILM



- 操作简便，适用于快速的试样观察与试验抛磨效果评估

体视显微镜
Leica M165C



- 适用与较大景深试样的宏观拍照与分析

热场发射扫描电镜
MIRA 3 XM (附EDS&EBSD)



- 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



5 公司获得的设计资质和科技资质



上海市高新技术企业

2017年首次申请，后续2020年、2023年连续通过高新技术企业复评

2017.11.07

上海市科技小巨人

颁发单位上海市科委，资助金额150w

2018.11.12

上海市专精特新中小企业

22年11月获闵行区专精特新称号，23年5月获上海市专精特新，资助金额20w

2023.5.30

2017.09.18

闵行区专利工作示范单位

颁发单位闵行区科委，资助金额10w

2017.11.10

闵行区研发机构

颁发单位闵行区科委，资助金额50w

2018.11.22

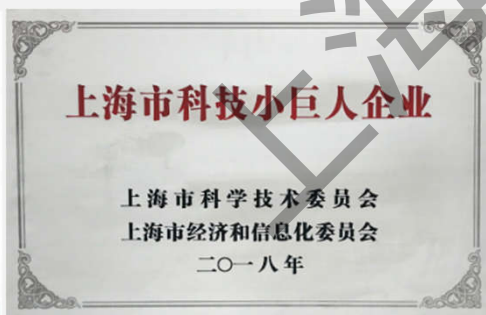
上海市企业技术中心

2018年首次申请，后续2019年，2021年，2023年通过技术企业评价，保持资质

2025.7.4

上海市设计创新中心

2024首次申请并获得授牌



STEP 03



开花结果-F级G3自主创新



1 F级G3产品开发历程

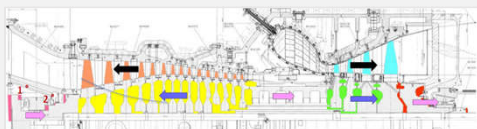


研发全流程管控：成熟的产品开发流程，完善的评审机制，严谨的产品试验验证

方案设计

2021.07

确定各部件方案



详细设计

2022.10

工程图纸完成



加工装配

2024.11

首台机组总装下线



商投

2025.06

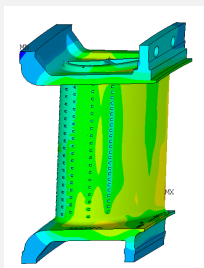
168小时商业运行考核



项目可行性研究

2021.05

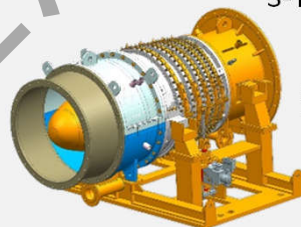
概念设计



各部件设计定型

2022.01

初步设计



DeNOx燃烧器全压试验

压气机部件试验

S-TBC考核试验

2023.01

部件实验



采集燃机数据

2025.04

现场测试



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

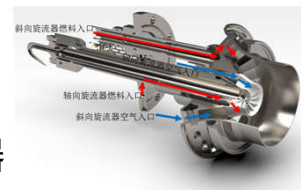
- 高性能全三维动叶片
- 流量和效率全面提升

低排放环形燃烧室

- 新型DeNO_x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

5%
压气机流量

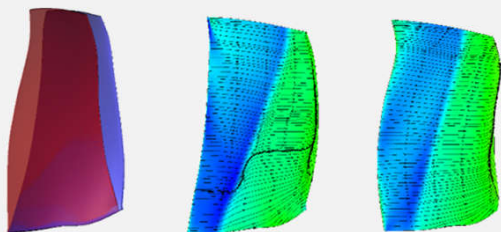


0.6%
压气机效率



原设计

升级后



动叶采用复合弯掠设计

原设计

升级后

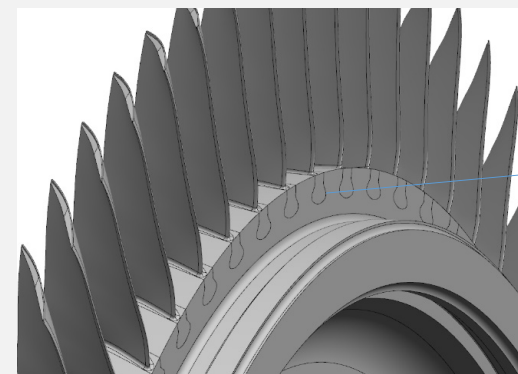
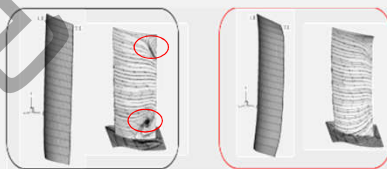


端弯设计

静叶片端弯设计

原设计

升级后



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

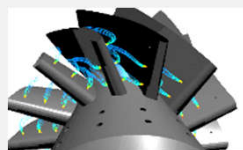
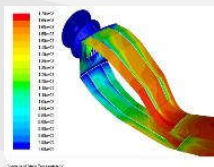
7 新一代DeNOx燃烧器升级



方案设计 2022年

- 15ppm超低排放
- 燃烧温度提升20℃
- 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燃烧器全压试验



新机应用 2025年

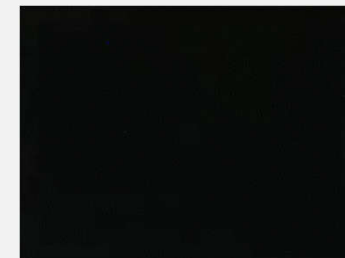
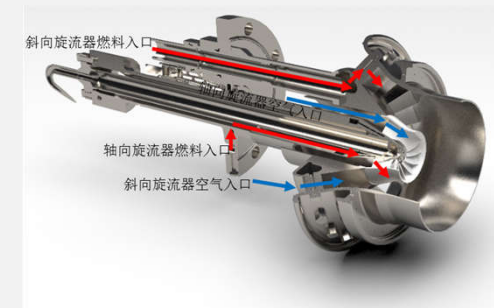
商投

- 大F级DeNOx自主研发，成功商投，实现了超低排放目标

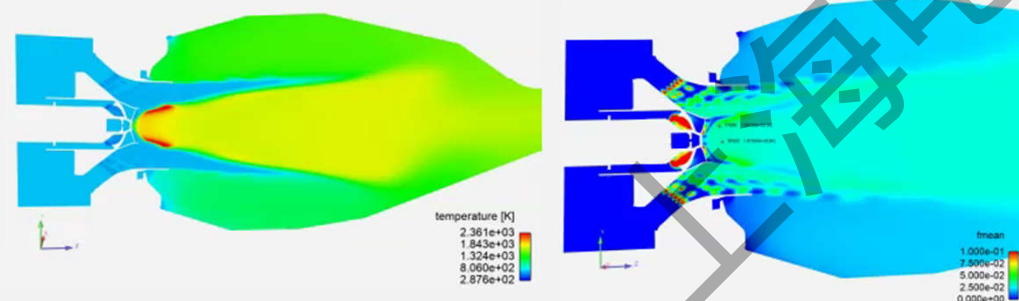
进取

8 新一代DeNO_x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NO_x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 NO_x<15ppm**



火焰可视化监测



高精度三维燃烧数值仿真



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

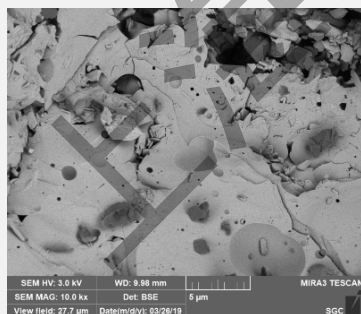
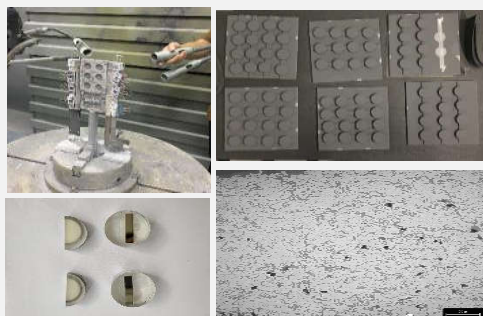
2024

叶片喷涂工艺
开发

- 贴片喷涂
- 叶片喷涂

2025.06

叶片应用



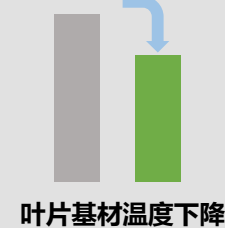
提升超过20°C



提高超过3%



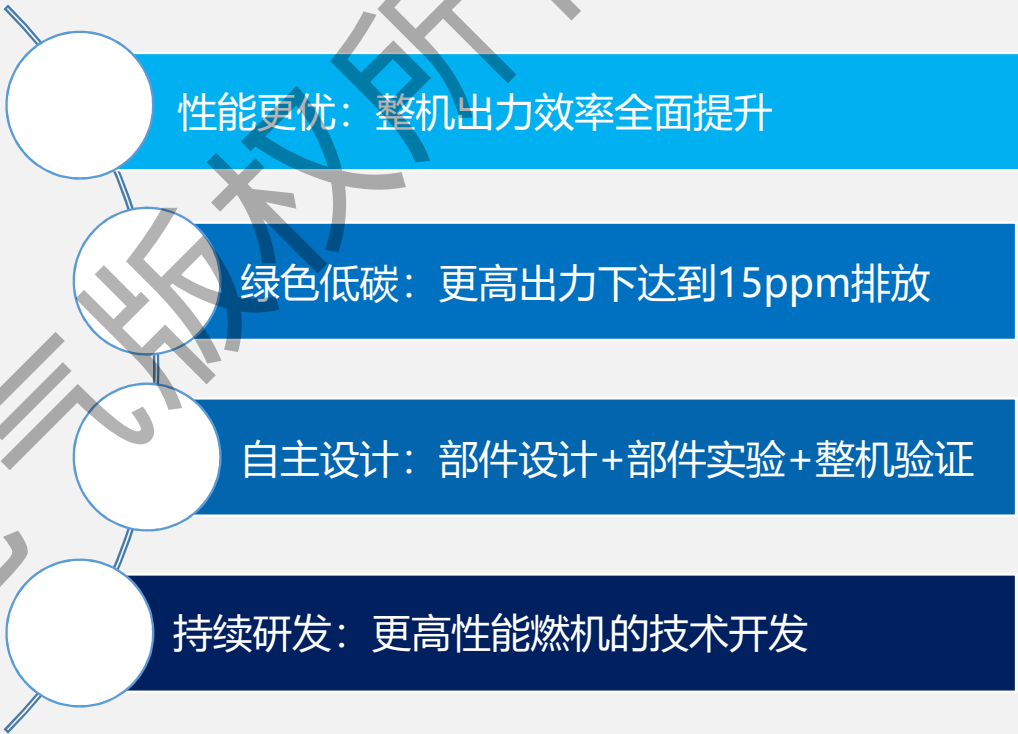
下降超过10°C



总结



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%





上海电气 与创造者共创未来

SHANGHAI ELECTRIC CREATE OUR FUTURE TOGETHER

