



高海拔电网稳定守卫者

——重型燃机高海拔解决方案

演讲人：左德权

上海汽轮机厂有限公司



CONTENTS



目 录

01 项目背景及挑战

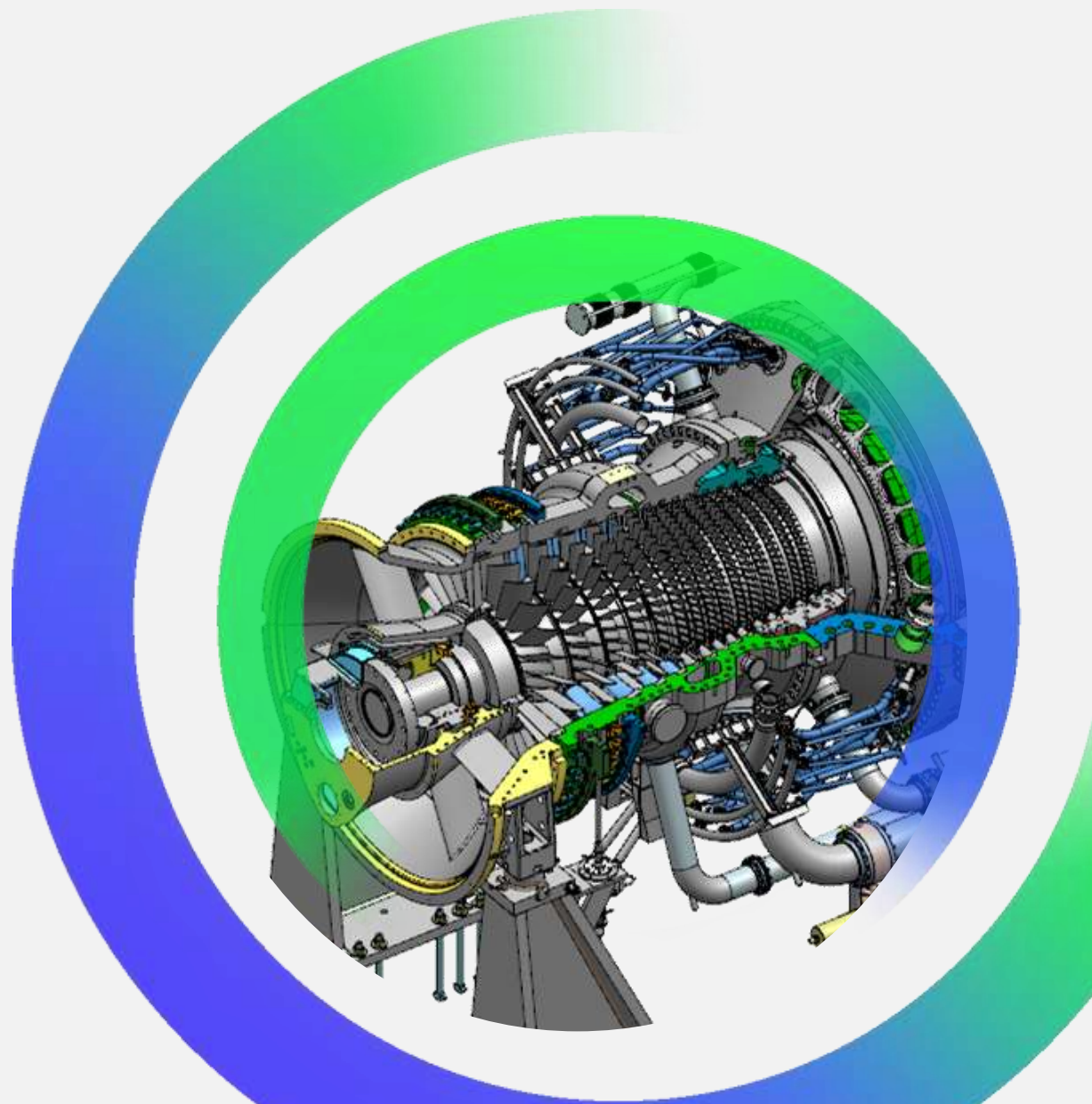
02 高海拔燃机技术

03 极端环境试验



STEP 01

项目背景及挑战



- ◆ 构建风光燃储调弱电网能源站，助力高原经济发展。
- ◆ 全球海拔最高的重型燃机项目，填补能源领域空白。



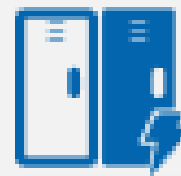
200MW
风电



300MW
光伏



80MW燃气轮机
2×小F级



1120MWh
混合储能



综合能源
调度

新型电力系统支撑

为弱电网区域提供新型电力系统支撑

源网荷储控一体化

通过整合源网荷储，调动供电侧及负荷侧调节能力，实现智能微网动态平衡

产业链自主可控

国产化率100%，技术自主可控

需求及痛点

燃气轮机作为应急电源，在提供安全、稳定、绿色、低碳、低成本的电力保障方面有着极其重要的作用。



为什么选择燃机？

燃机是风光等可再生能源的有力支撑



充分利用自然资源

规模效应，成本低

促进能源转型

电网接入输送难

间歇性

不稳定性



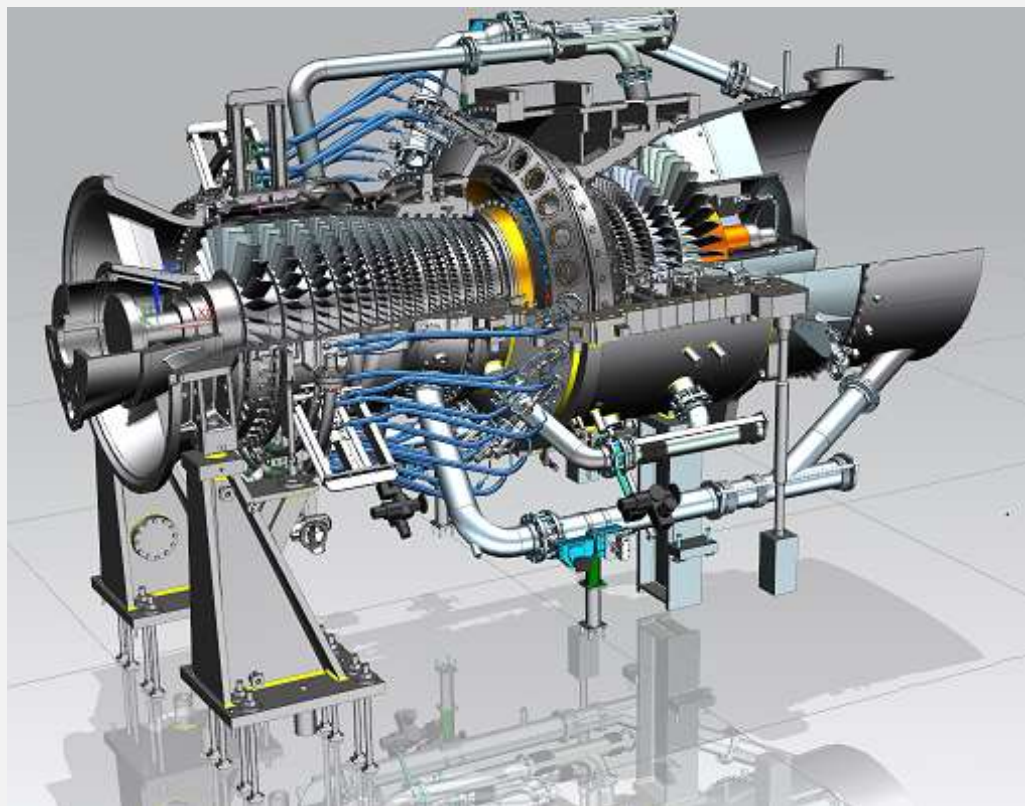
节能环保，低碳高效

具有传统能源的稳定性

快速启停，灵活调峰

为什么选择燃机？

燃机相比于柴油机的优势



得益于先进的干式低排放燃烧技术，NO_x排放低于50mg/Nm³。相较于柴油机，更为环保。



单机功率

在尺寸类似的情况下，燃气轮机的工质流量远大于柴油机，功率相应的也更大，使得燃气轮机具有体积小、重量轻、功率密度高的特点。



运行灵活



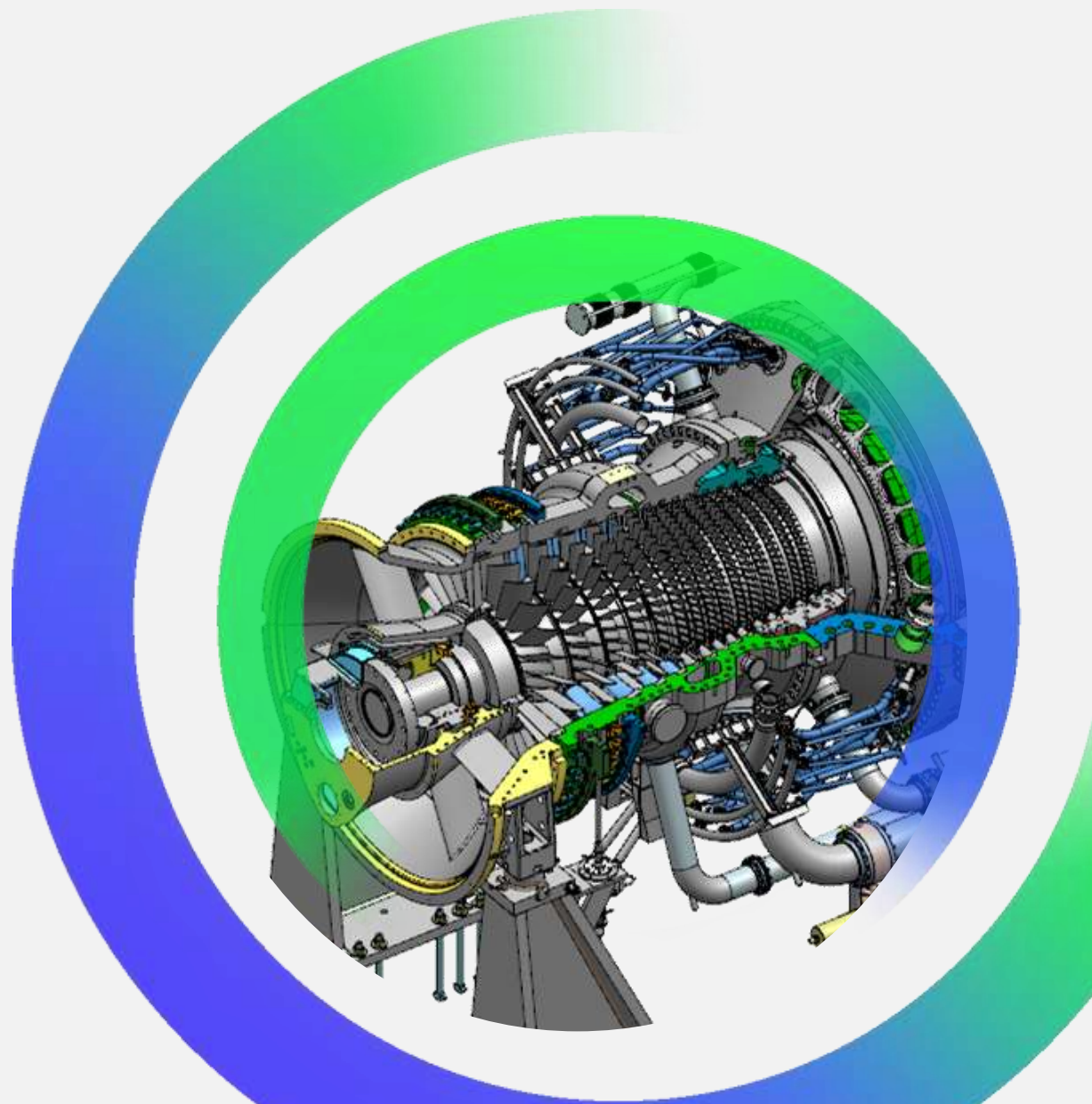
燃气轮机部件更为轻巧，因此启动速度快，能够快速响应电力需求的变化，为电网提供稳定支撑。

绿色环保

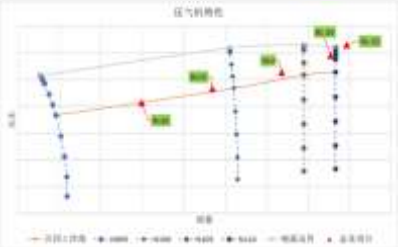


STEP 02

高海拔燃机技术

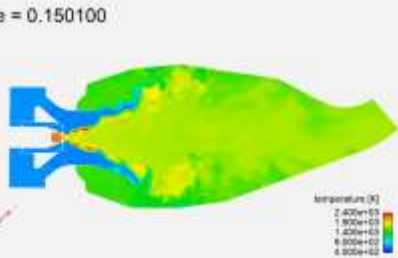


高海拔燃机技术-整体解决方案



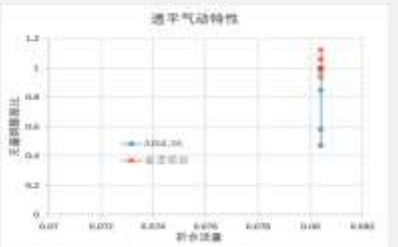
压气机气动

压气机喘振裕度评估；
压气机低速状态气动性能评估。



燃烧系统

采用高空试验台进行燃烧试验，验证优化高海拔环境下燃烧工况参数。



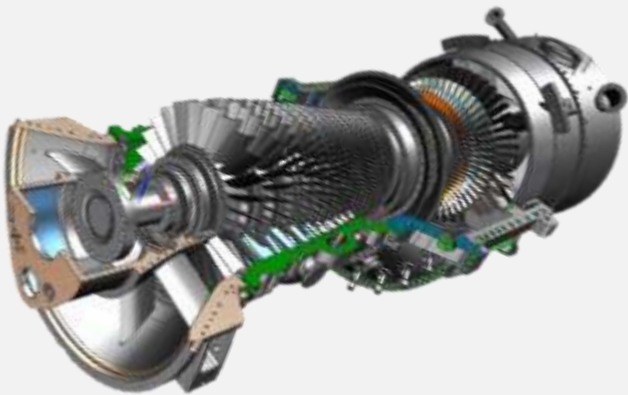
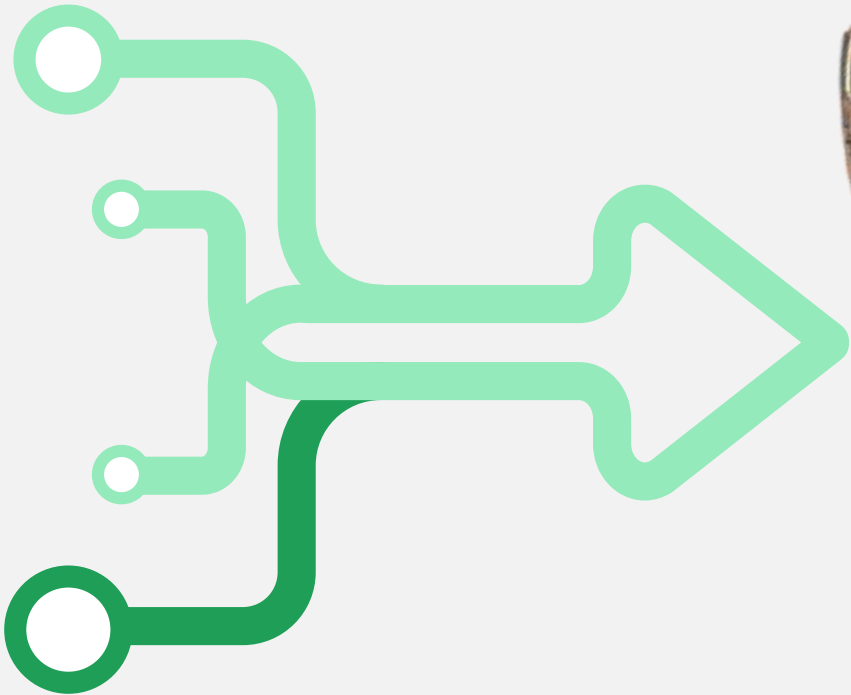
透平气动

在高海拔极端的运行工况下，利用数值分析及试验的方法对关键透平叶片进行校核。



整机热力匹配

针对高海拔地区环境工况，基于压气机、透平的部件特性，开展整机热力参数匹配研究。



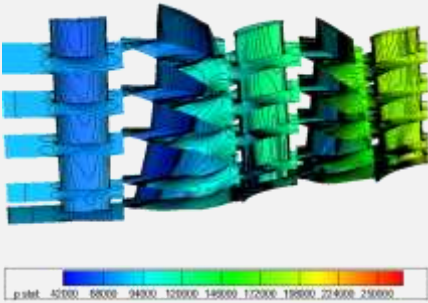
- 单机功率大
- 启停迅速
- 运行效率高
- 节能环保

高海拔燃机技术-压气机



◆ 压气机变工况性能评估及叶片材料性能分析

- 高海拔低温环境下压气机变工况气动特性数值模拟，保障运行工况的喘振裕度
- 模拟低温环境对叶片材料进行性能测试，并开展适应性分析

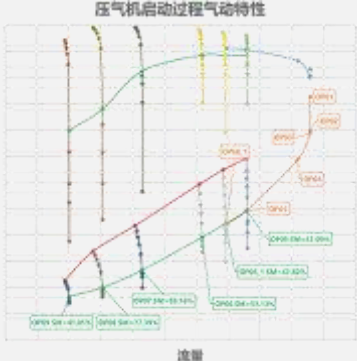
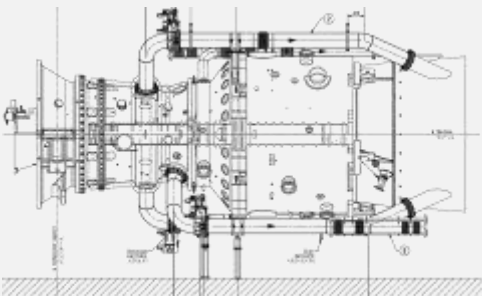


性能
分析

在线
监测

◆ 压气机启动性能分析

- 压气机在高海拔环境下的启动特性评估
- 优化启动策略，为点火试验提供数据支撑

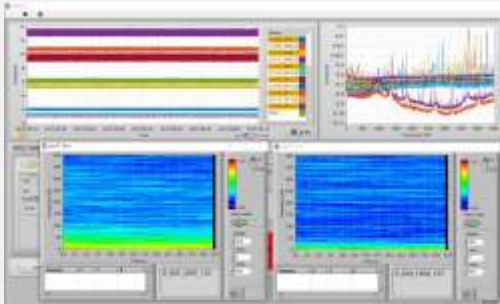
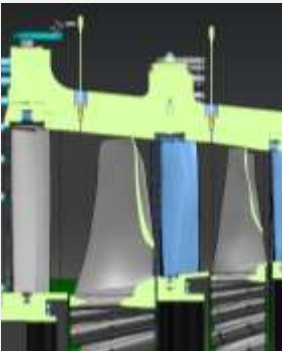


启动
评估

运行
优化

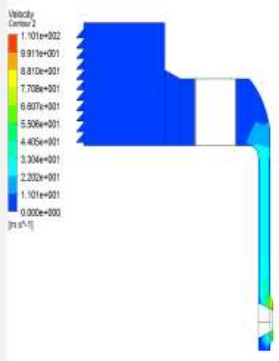
◆ 气流稳定性在线监测

- 对调试及运行过程中气流的动态压力响应进行实时监测，确保运行安全稳定



◆ 可调进口导叶及进气加热系统

- 优化进口导叶控制策略，配合进气加热系统，保障机组适应极端低温环境



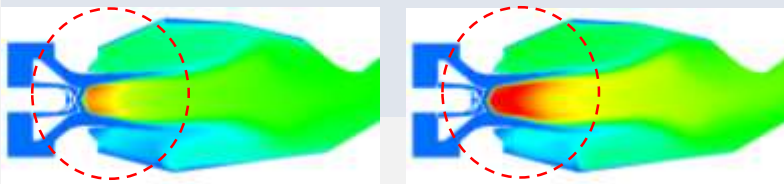
高海拔燃机技术-燃烧技术



- ◆ 根据高海拔环境需求，开展燃烧器研发
- ◆ 针对负压低温极端条件，开展技术研究，并完成燃烧性能验证试验

01 数值模拟筛选燃烧器

根据高海拔环境条件参数，通过数值模拟优选燃烧器形式



数值模拟
分析优化

核心难点
针对研究

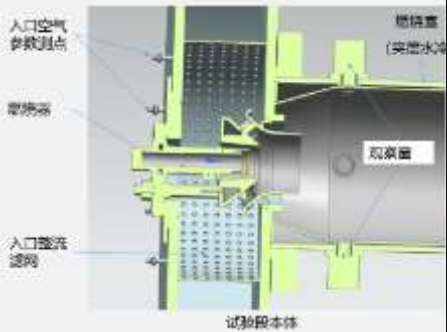
性能试验
全面验证

03 全压燃烧试验

在高原低压低氧环境开展全温全压全尺寸燃烧试验，真实模拟实际机组运行性能，为现场燃机运行提供大数据支撑。

02 燃烧点火性能验证

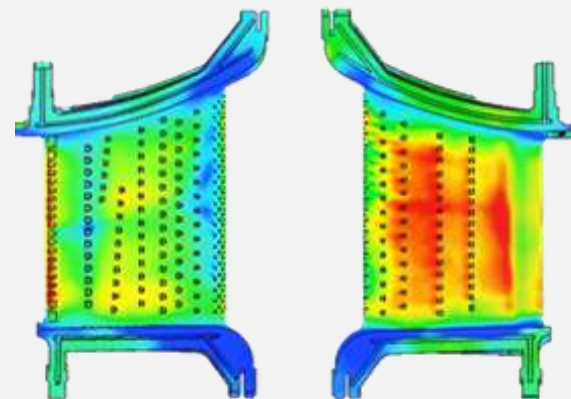
针对高原低压低氧低温环境，定制化设计点火试验，保障燃机启动性能。



透平叶片 热分析

高海拔环境影响

- 空气物性参数（温度、压力、密度）变化；
- 透平叶片主流及冷气**边界条件**变化；
- **换热变化**，影响叶片温度水平。



透平叶片热分析计算

- 采用仿真方法开展**高原极端工况**下透平叶片**温度场**计算；
- 对比研究平原与高原环境的叶片温度场差异，评估其安全性。

透平叶片冷效试验验证

- 根据高原极端工况，开展透平叶片**冷效试验**；
- **验证仿真结果**，确保了透平叶片在高海拔环境下的可靠性。



高原环境适应性设计

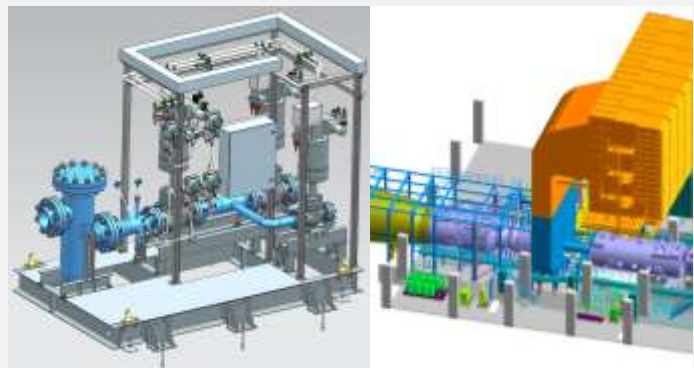
材料升级

- ◆ 所有室外布置的材料升级为耐低温钢材



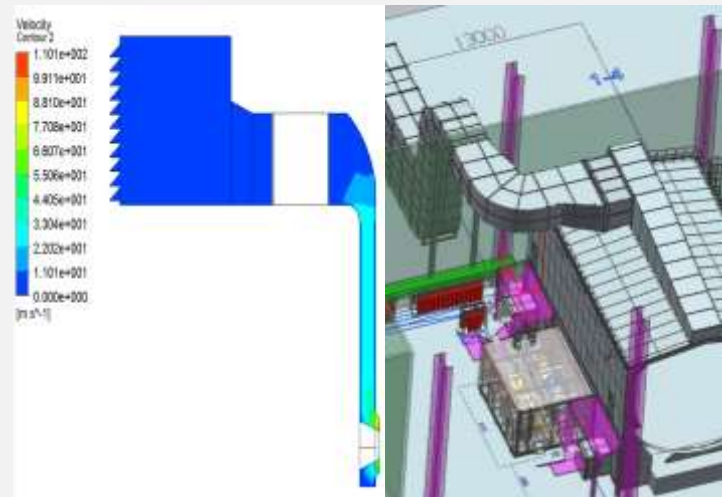
进气加热

- ◆ 进气加热系统，保证燃机本体不受低温影响



低温

低气压



进气系统

- ◆ 针对高海拔低压条件对进气系统开展进气流场分析及优化设计



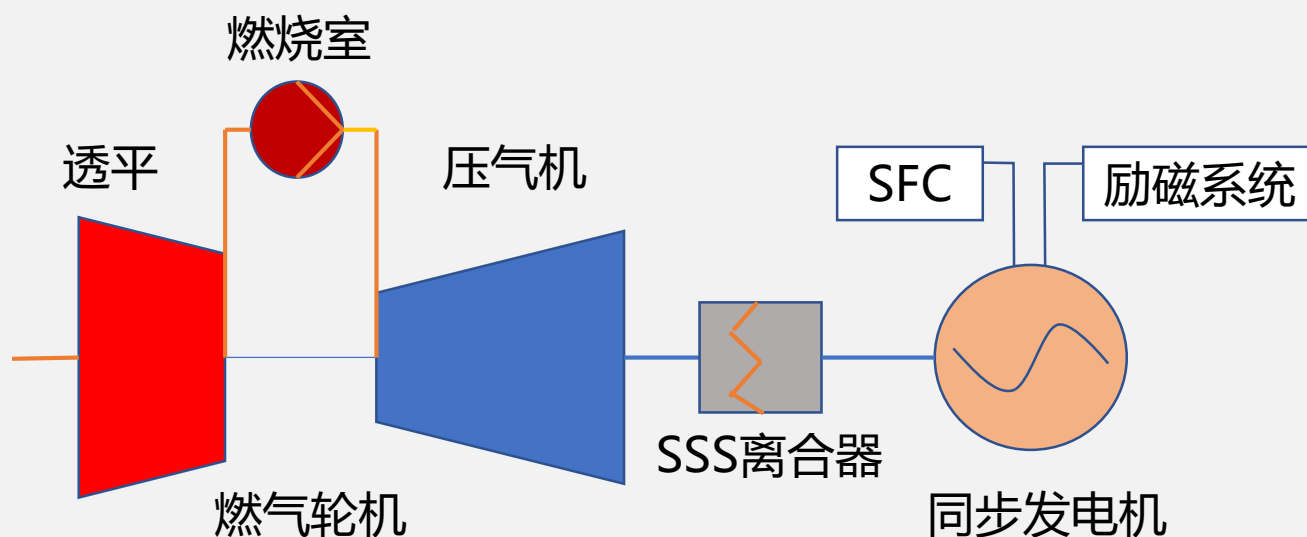
通风设计

- ◆ 通风系统优化，提高罩壳风机风量和风压



高海拔燃机技术-调相机方案

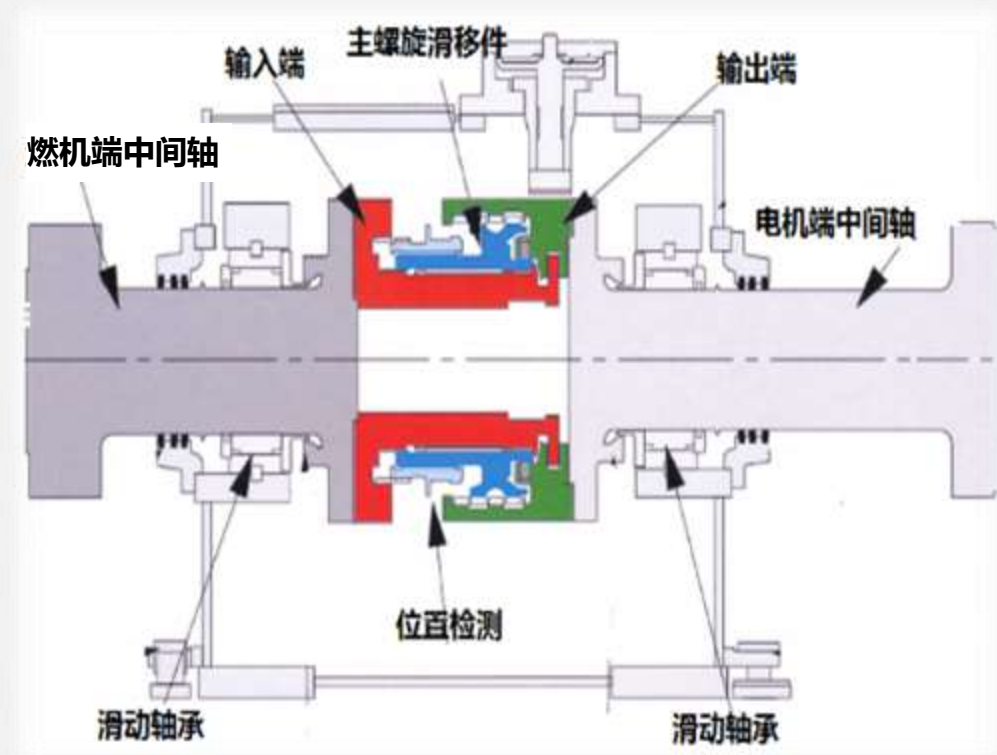
“一芯两用”，调峰调相 适配高海拔薄弱电网的选项方案



➤ 模式切换

- 机组做发电机运行时，燃机与发电机联接；
- 机组做调相机运行时，燃机与发电机脱开，发电机向电网发出或吸收无功，同时电网拖动发电机旋转。

燃机与发电机之间，增设离合器、轴承及轴承座

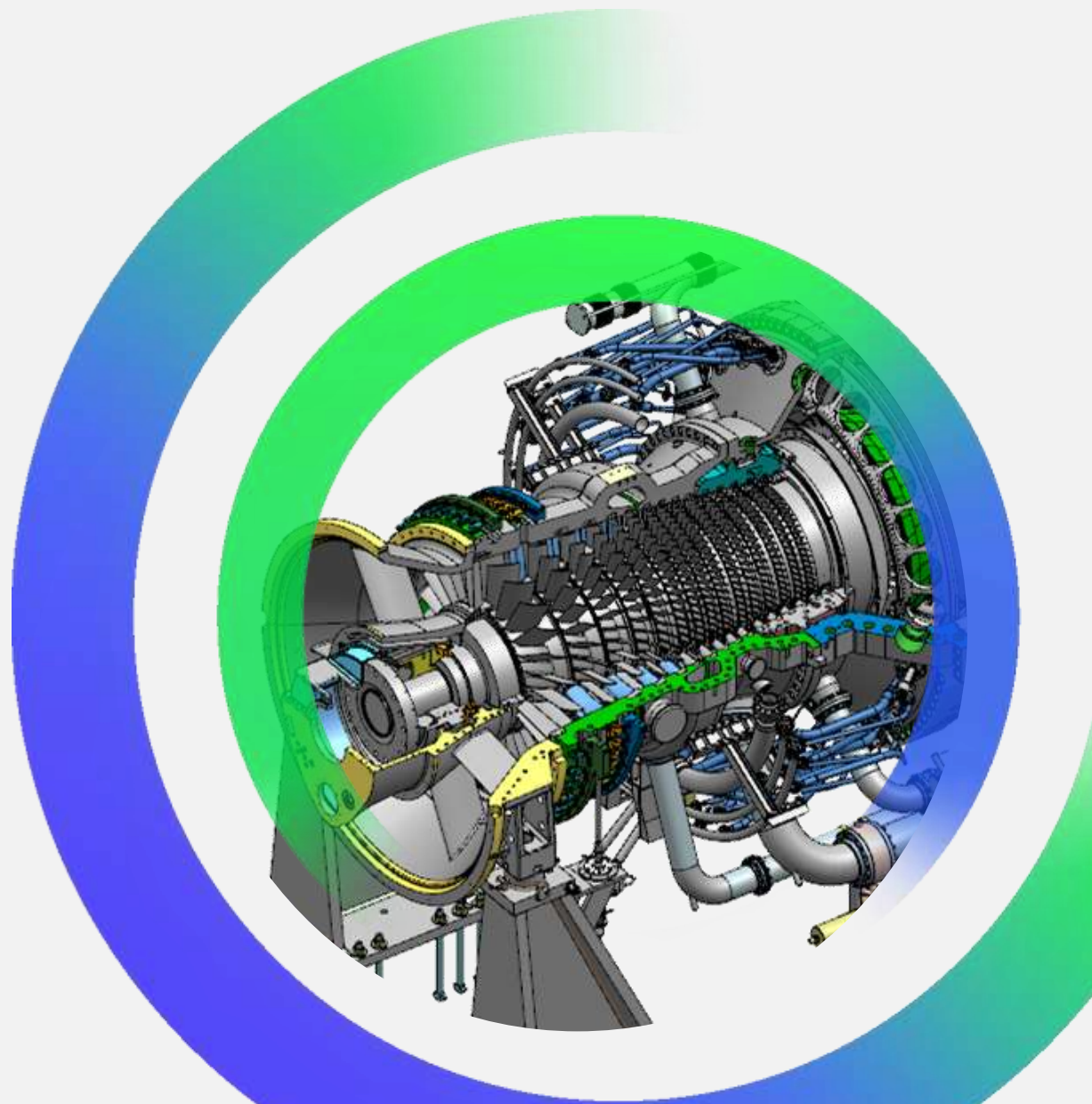


降低调相机建设投资

强化电网系统稳定性

STEP 03

极端环境试验



极端环境燃烧试验

◆ 依托全流程燃烧器开发验证体系，构建两大试验方案

1

燃烧器设计

通过理论计算设计适用于高原环境的燃烧器
结合已有机群运行数据，设计模拟点火试验方案和全压试验方案

2

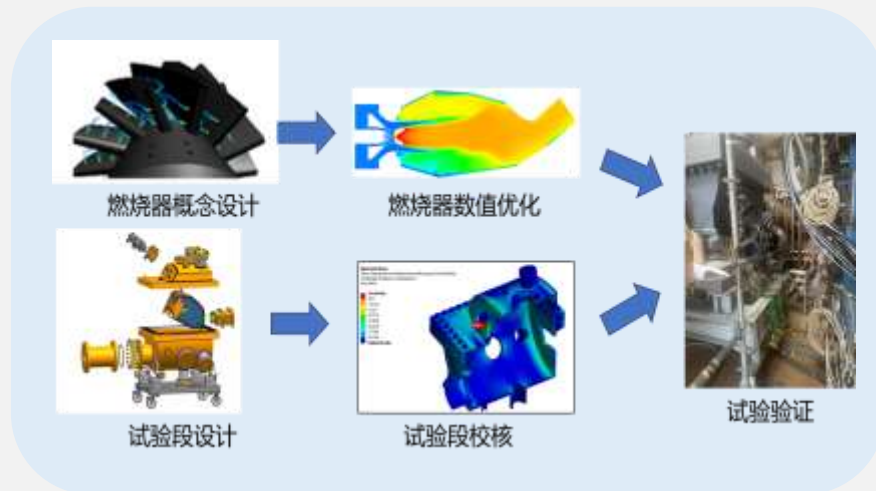
试验资源规划与实施

国内国际寻找合适资源，开展试验规划
定制化设计试验系统改造

3

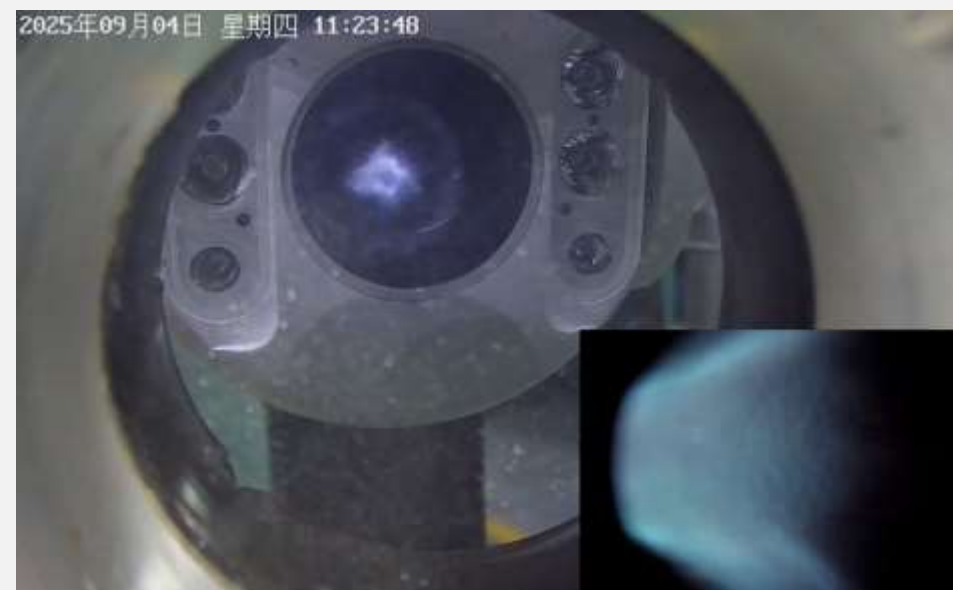
试验方案设计和试验

结合已有机群运行数据，设计模拟点火试验方案和全压试验方案
利用国内一流试验资源机构联合开展技术攻关



极端环境燃烧试验

◆ 模拟负压环境点火试验

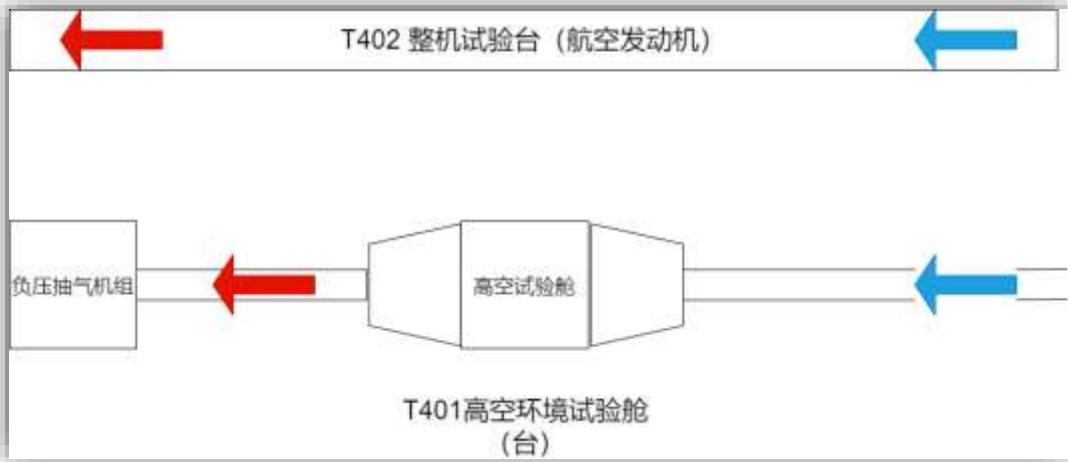


高空试验仓点火实拍画面

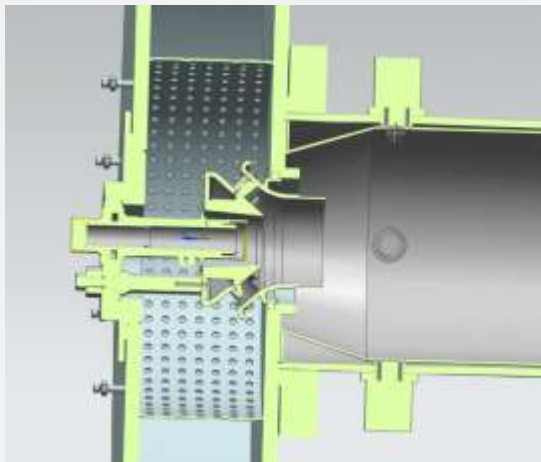
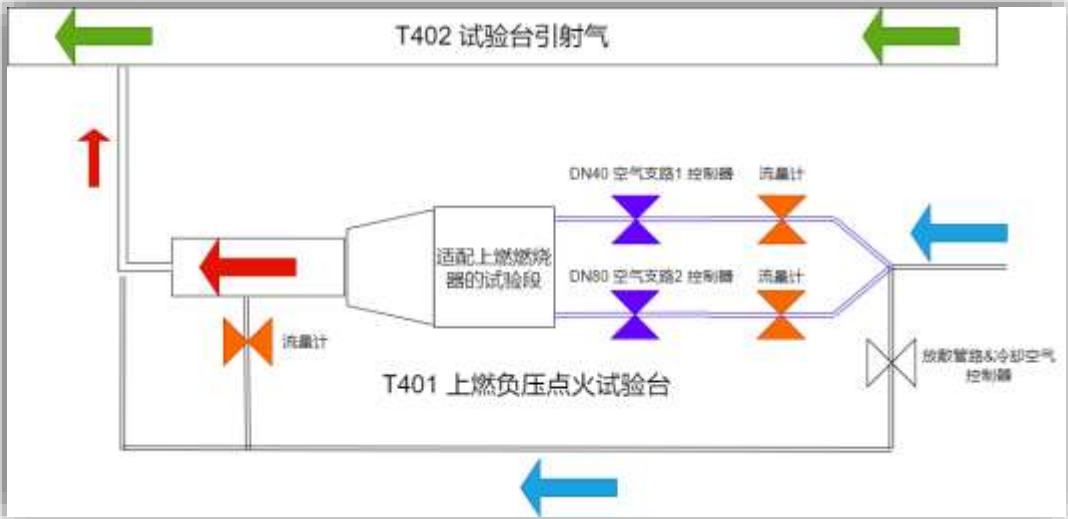
极端环境燃烧试验

◆ 模拟负压环境点火试验

改造前



改造后



改造后试验舱能力:

- ✓ 模拟高海拔环境:
-55kpa, -36°C
- ✓ 支持点火和持续燃烧
- ✓ 温度、压力、动压
可视化测量集成

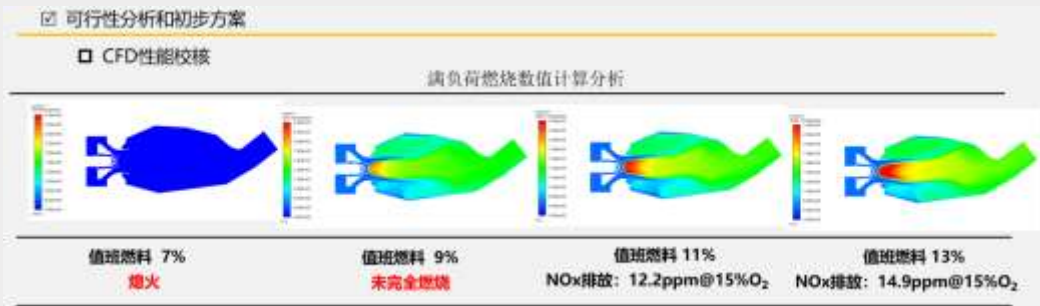
15度点火

新型燃烧器完美适配高海拔下低温低气压环境
-30°C时试验台观察窗已结冰，仍可顺利点火

◆ 全压燃烧性能试验

全面的理论计算分析

采用CFD全面模拟关键负荷点燃烧状态，为试验方案指导方向。



燃烧试验段设计改造

试验系统和试验段定制化设计改造，为后续试验构建硬件基础；

全面的燃烧试验测试

按真实机组运行参数开展燃烧性能试验，从点火到满负荷真实体现燃烧状态；
关键负荷段多维度燃烧调整测试，为机组运行调试指导方向，保驾护航



上海电气 与创造者共创未来



自主技术
勇攀高峰

试验验证
克服高反

共筑
世界屋脊
能源长城



上海电气 与创造者共创未来

SHANGHAI ELECTRIC CREATE OUR FUTURE TOGETHER

