



“氢”装上阵，安全高效

——500MW级全氢冷发电机研制及特点

演讲人：徐国俊

上海发电机厂



CONTENTS



目 录

- 01 研制历程
- 02 技术特点
- 03 产品业绩
- 04 发增调技术



STEP 01

研制历程

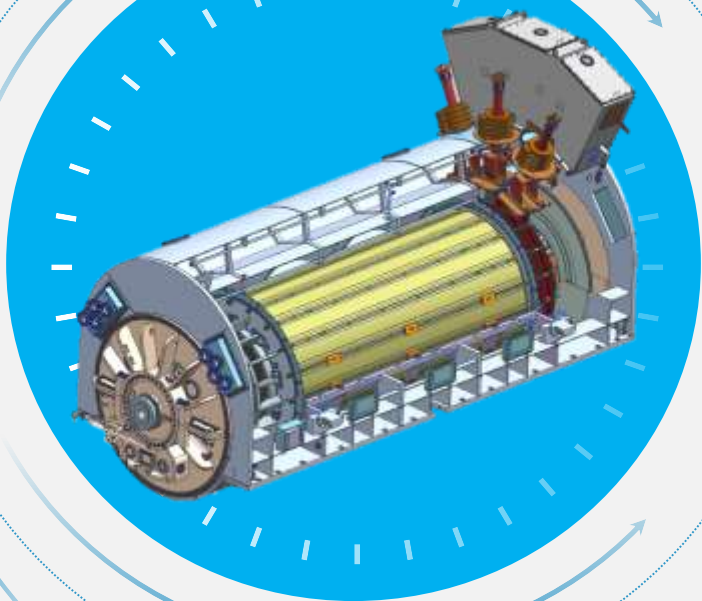


1 研制历程

高性能

高可靠性

高适应性



四大核心技术助力国际先进水平

- ❑ 宽负荷高效及灵活性运行优化技术
- ❑ 增强型发电机通风冷却技术
- ❑ 高电压、高场强、高导热的GVPI绝缘体系
- ❑ 定转子整体运输结构

当前世界上采用GVPI技术的最大容量全氢冷机型

1 研制历程

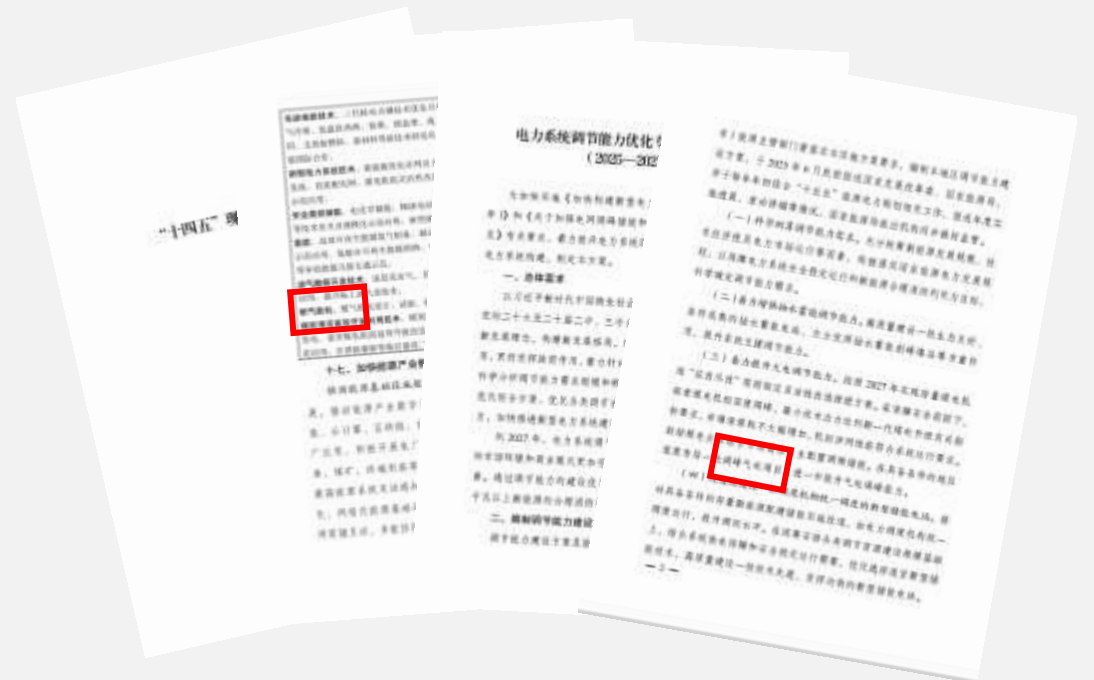
1.1 背景介绍



- 基于灵活调峰和高效环保等目标，“十三五”以来，全国联合循环燃气发电项目处于**稳定增长**状态，容量需求都是500MW级。
- 发电机是燃气机组的核心设备，也是机组技术水平和项目竞争力的重要组成部分。



我国新增气电装机容量 (万千瓦)



“十四五”能源规划和《电力系统调节能力优化专项行动实施方案 (2025—2027年)》支持发展燃气电站

1 研制历程

1.1 背景介绍

- 市场对燃机发电机提出体积小、无漏水风险、维护便捷、适应频繁启停和调峰运行等需求。
- 上述市场需求与**全氢冷发电机**的特点**契合**。

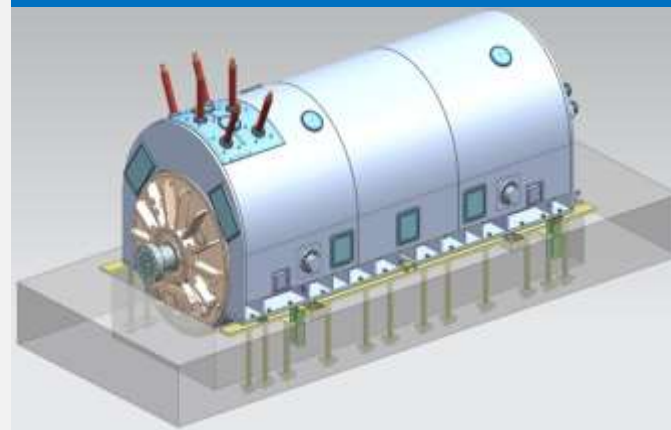
水氢冷发电机



- 体积较大
- 水氢双系统
- 运维启停复杂

VS

全氢冷发电机



- 体积较小
- 无漏水风险
- 运维启停方便

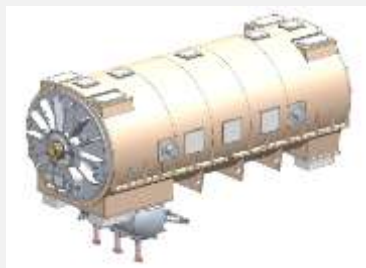
1 研制历程

1.2 全氢冷技术发展历程



1985

基于引进技术，试制**国产首台**
300MW级全氢冷发电机



2017

自主开发设计采用GVPI技术的
新一代250MW级全氢冷机型



2023

自主开发设计采用GVPI技术的
330MW级全氢冷机型



2024

全国首台采用GVPI技术的
500MW级全氢冷发电机

1 研制历程

1.3 500MW级全氢冷发电机研制历程



- ❑ 为适应市场上联合循环机组对于大容量全氢冷发电机机型的需求，启动本机型开发。
- ❑ 按照技术发展规划，在GVPI表冷系列发电机的基础上，上海发电机厂基于第三代发电机技术模块化、系列化开发平台，根据PDP产品开发流程，于2020年~2024年进行了500MW级全氢冷发电机的研制。



发电机开发技术发展阶段



PDP流程

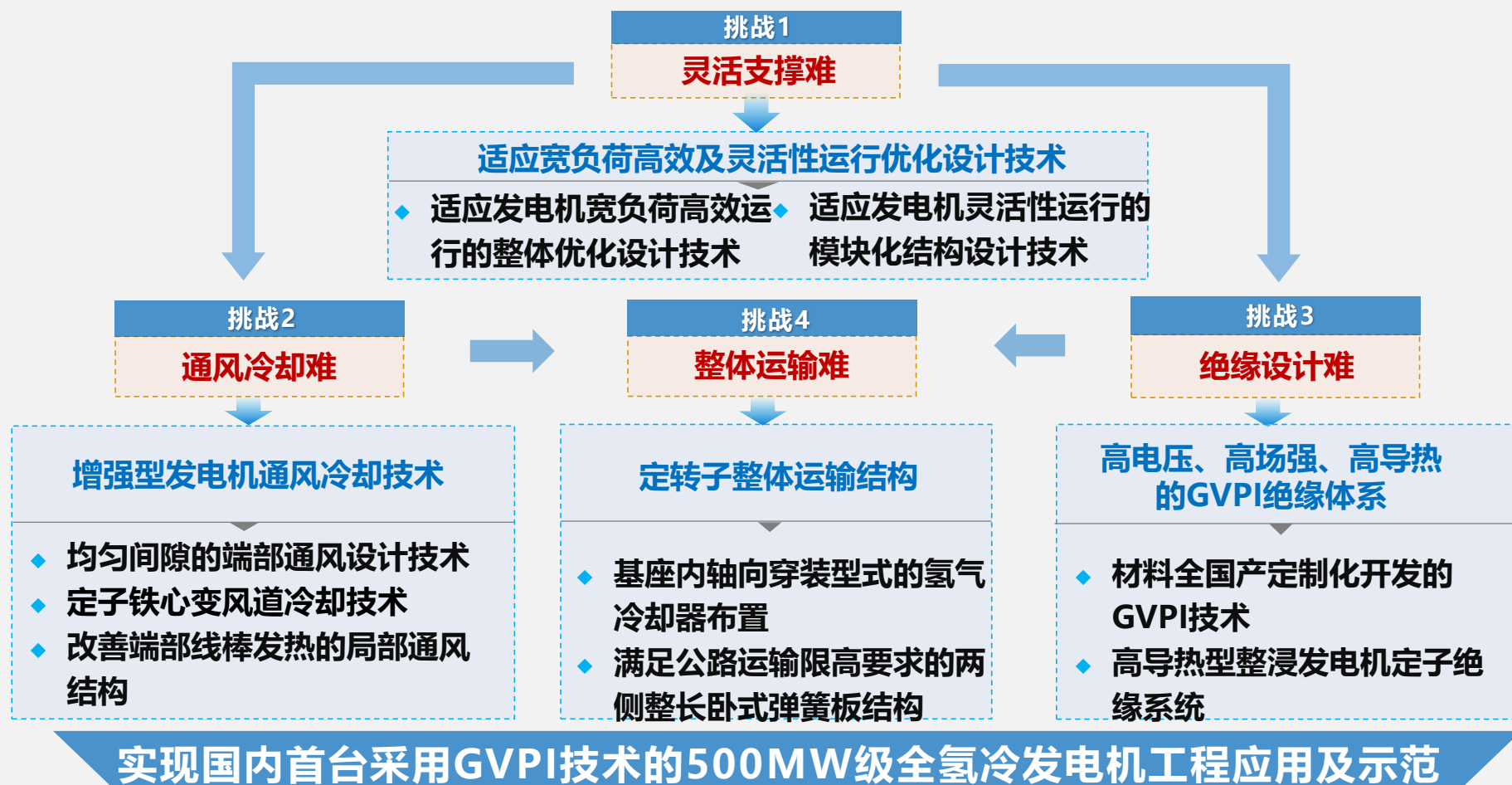
STEP 02

技术特点



2 技术特点

2.1 技术难点及创新性应对策略



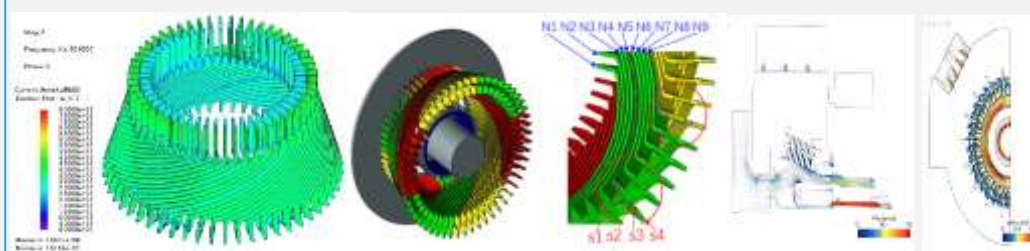
2 技术特点

2.2 主要技术特点



- 出力能力强，额定工况效率**99.01%**，在30%深度调峰工况效率**98.56%**；
- 运行方式灵活，完全满足联合循环快速变负荷率的需求，满足**1万次以上**启停要求。

宽负荷高效运行



端部电磁场与流体场耦合分析

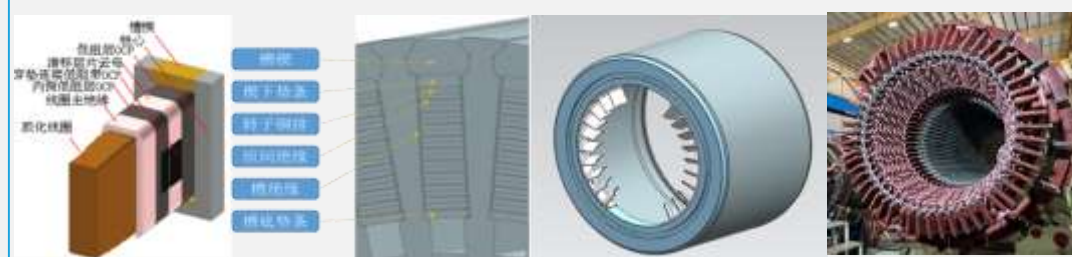


定子铁心变风道

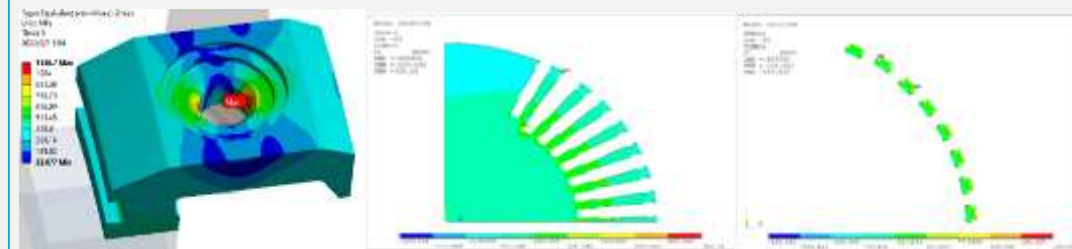
加通风槽

效率曲线

灵活性运行



适应灵活性运行的结构设计



超速工况下的应力云图

发电机性能优良，适配联合循环机组运行

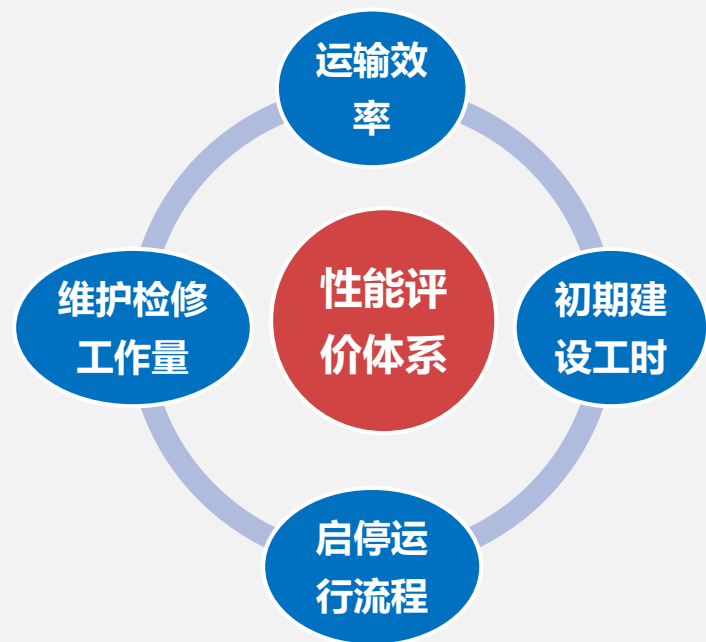
2 技术特点

2.2 主要技术特点



- 定转子**整体运输结构**，可满足**公路运输限高**要求；
- 全氢冷系统杜绝机内漏水风险，**节约**长期运维检修方面**投入**，日常巡检时间减少约**40%**。

建设运维评价指标



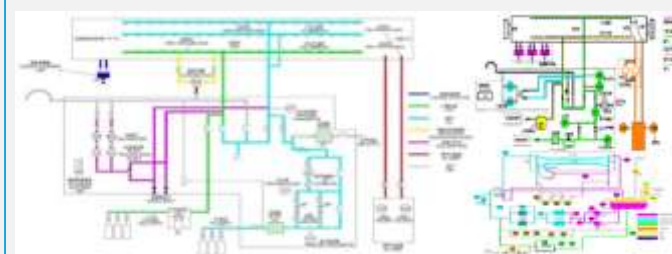
定转子整体运输结构



氢气冷却器安装 定子整体运输

定子运输尺寸
10544×5197× 4960

辅助系统助力高效运维



全氢冷发电机冷却系统



在线监测系统 机器人智能检测

运输建设效率高，运行维护经济便捷

2 技术特点

2.2 主要技术特点



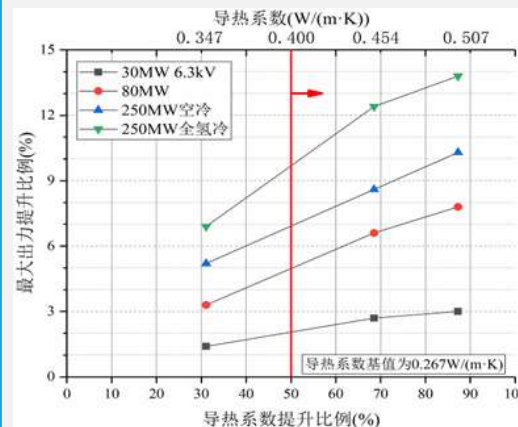
- GVPI绝缘体系，**抗冲击能力强**，生产周期**缩短16%**，可承诺**定子终身免维修**；
- 新型定子高导热主绝缘，导热系数比传统主绝缘**提高25%**。

材料全国产化的GVPI技术



GVPI整浸定子

高导热主绝缘技术



导热系数提升



业内首台高导热型发电机制造下线

GVPI绝缘体系安全可靠，性能优良

2 技术特点

2.3 技术优化



- ❑ 厂内耐压试验中发生主绝缘击穿，团队精准分析，及时定位问题；
- ❑ 通过全面优化设计，攻克了定子端部绕组发热和冷却难题。

耐压试验结果排查分析

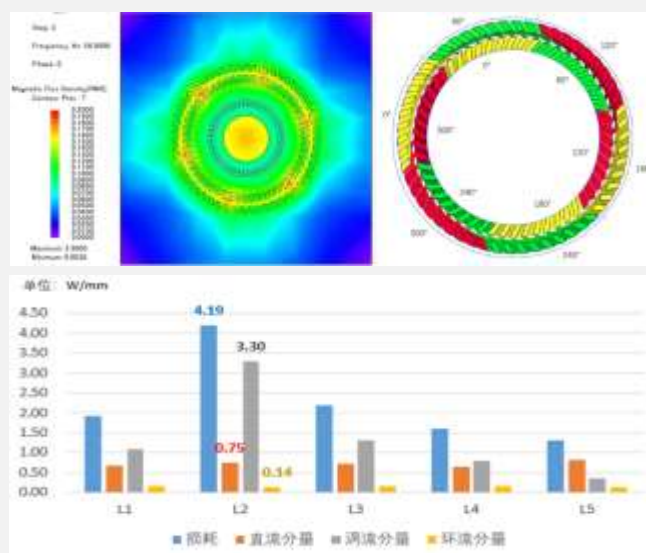


定子线棒击穿位置示意图



排查分析技术路线图

多场耦合有限元仿真计算



短路工况下的损耗计算

优化设计技术路线及成效



端部线棒单位长度损耗对比

精准分析定位问题，全面优化快速迭代

2 技术特点

2.3 技术优化



- 高效调配资源，克服各环节挑战，推动优化设计方案**尽早落地**；
- 通过了**项目技术评价会议**，发电机综合性能达到**国际先进水平**。

优化设计评审会



我厂专家做汇报



评价意见

“500MW级全氢冷发电机优化设计方案科学合理，性能优良，结构、工艺可靠，满足相关发电机标准，产品可长期安全运行。”

优化设计方案推进落地



车间作业与吊运现场

项目技术评价会议



会议现场



评价意见

“采用GVPI技术的500MW级全氢冷发电机性能优良、结构可靠，主要指标优于国内外标准要求，综合性能达到国际先进水平，是发电机行业的重大突破。”

推动优化方案落地，达到国际先进水平

2 技术特点

2.4 产品特点



出力大

有功功率

515MW



效率高

额定工况效率

99.01%



温升低

**定子绕组RTD
最高温升**

49.2K



漏氢少

漏氢量

10m³/day

2 技术特点

2.4 产品特点



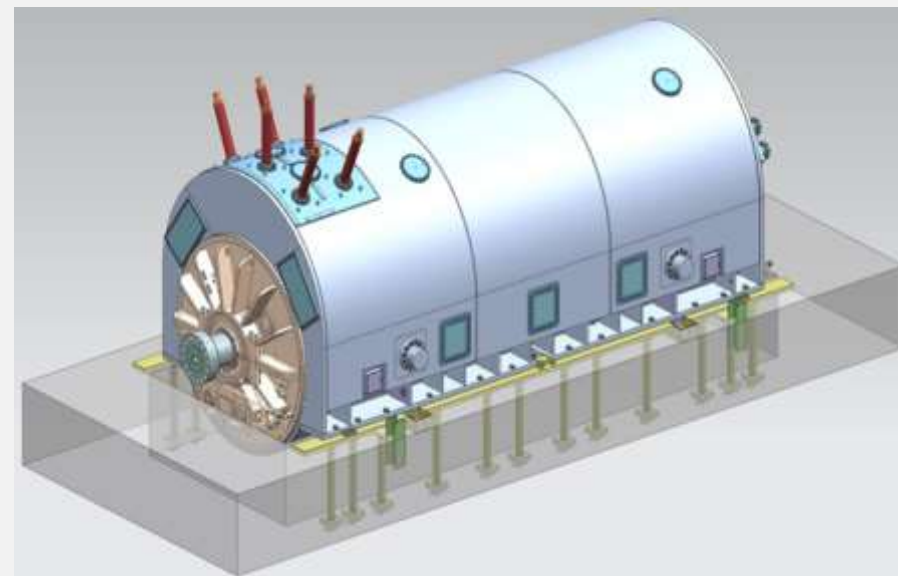
项目关键技术与国内外同类技术比较

关键指标	本项目 (上海电气)	国际先进公司 (德国西门子)	国内先进同行	
			东方电气	哈尔滨电气
效率 (%)	99.01	98.93	98.90	98.92
绝缘体系	GVPI (100%国产化)	GVPI	SVPI	SVPI
主绝缘导热系数(W/m*K)	0.290	0.266	0.234	0.234
技术来源	自主研发	自主研发	引进技术	引进技术

- ❑ 端部涡流损耗与流场耦合分析技术达到**国际领先水平**;
- ❑ 材料全国产化的GVPI技术达到**国际先进水平**;
- ❑ 高导热主绝缘技术达到**国际先进水平**;
- ❑ 基于光纤测温的铜温直测技术达到**国际先进水平**。

项目关键技术水平总结

- ❑ 本项目形成的关键技术总体水平达到**国际先进水平**。



STEP 03

产品业绩



3 产品业绩

□ 已在**华能南山电厂**、**浙能镇海发电公司**、**华电望亭电厂**、**湖南湘投国际**等燃机项目中投运。

华能南山电厂气电扩建项目

南山电厂外景



用户使用意见书



- 世界首台采用GVPI技术的500MW级全氢冷发电机
- 满足海南南部区域电力负荷需求

浙能镇海天然气发电燃机项目

168小时试运行成功 用户使用意见书



- 自投运以来，发电机各项性能参数均优于合同要求
- 高性能、高可靠性、高适应性

感谢信任，共创精品。继往开来，守正创新！

3 产品业绩

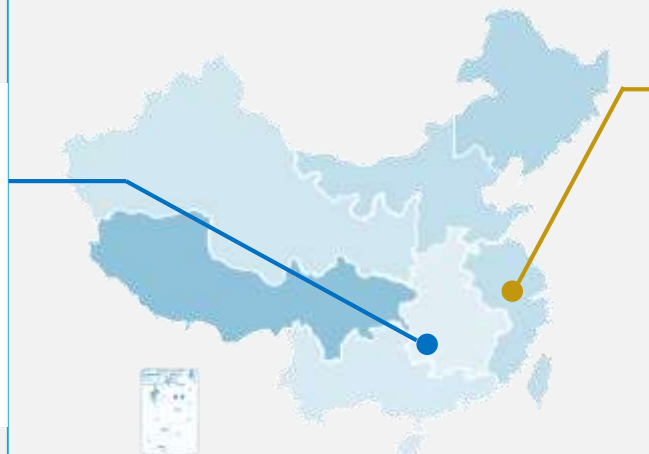
□ 已在**华能南山电厂**、**浙能镇海发电公司**、**华电望亭电厂**、**湖南湘投国际**等燃机项目中投运。

湖南湘投国际燃机调峰发电项目

168小时试运行成功 用户使用意见书



- 为后续项目提供标准化支撑
- 在安全性和经济性上具有明显优势



华电江苏望亭发电厂二期燃机项目

168小时试运行现场 用户使用意见书



- 国家首批燃气轮机创新发展示范项目
- 30分钟内完成20%-100%负荷变动
- 日常巡检工作降低40%

感谢信任，共创精品。继往开来，守正创新！

STEP 04

发增调技术



4 发增调技术

4.1 发增调政策背景



电网“稳定器”——调相机大有可为。



传统能源发电优点

依赖机组的短路容量，电网电压稳定。
依赖机组的旋转惯性，电网频率稳定。



新能源（风、光）发电特点

基本无短路容量	无功支撑弱
无惯量或惯量被解耦	负荷不可控

NEW ENERGY RESOURCES

新能源入网问题

- ◆ 送端系统暂态过电压问题
- ◆ 系统短路容量支撑不足
- ◆ 系统转动惯量不足

- 提供必要惯量和短路容量支撑。
- 新能源发电单元升压变低压侧的多场站**短路比不应低于1.5**，且新能源并网高压侧的多场站**短路比不应低于2.0、宜高于3.0**。

- 同步调相机是一种具有快速动态无功调节和短时过负荷能力的同步电机，属于一种特殊运行工况的同步电机，可以向电网发送无功功率或者吸收无功功率。

4 发增调技术

4.2 发增调技术特点



在现有基础上，将发电机组进行适应性调整，改造后可在**发电**和**调相**两模式下切换。

实现目标

- 发电机和调相机双重属性，有功支撑和无功支撑功能可转化
- 具备动态响应同步调相机的性能指标
- 300MW机组发增调无功输出范围：
-150MVar~180MVar
- 500MW机组发增调无功输出范围：
-220MVar~240MVar

运行原则

- 发电和调相两种模式独立运行能力
- 并网接入方案不变
- 对燃气轮机系统进行**适应性优化调整**
- 对发电机本体开展调相机**适应性优化调整**
- 燃气轮机、汽轮机、余热锅炉及其辅助系统**维持备用**，并在调相机运行期间**隔离保养**

4 发增调技术

4.2 发增调技术特点

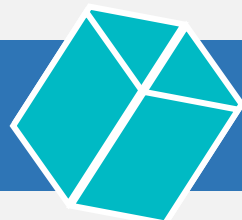


在现有基础上，将发电机组进行适应性调整，改造后可在发电和调相两模式下切换。

技术方案

- 发电机增加调相机功能的调整，主要包括以下工作内容：
- 1) 对集电环转子增加轴向止推结构；
 - 2) 将发电机侧的集电环轴承调整为带轴向止推功能的轴瓦；
 - 3) 对SFC增加调相机运行模式的控制要求；
 - 4) 增大励磁系统、励磁变选型；
 - 5) 对同期、保护系统等装置增加相关控制、保护要求；
 - 6) 对润滑油系统等辅助系统进行调整，以适应调相机运行工况下仅发电机部分运行的情况。

名称	适应性优化改造后数据		国网新型快速动态响应调相机要求
运行模式	发电模式	调相模式	
有功功率	500MW	0	无
无功功率	310Mvar	240Mvar	无（注：调相机容量 S_n ）
功率因数	0.85（滞后）	0（滞后）	0（滞后）
进相运行能力	额定有功下-220Mvar	-220Mvar	$ Q_{lead} \geq 50\% S_n$ （注：调相机进相无功 Q_{lead} ）
频率变化范围	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$	$\pm 4\%$
电压变化范围	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 7.5\%$
短路比	0.48	1.09	≥ 0.55
直轴暂态开路时间常数 $T'd0$	7.3 s	7.3 s	宜 $\leq 8s$ ，最大 $< 9s$
直轴暂态短路时间常数 $T'd$	1.101 s	1.101 s	$< 0.95s$
直轴瞬变电抗饱和值 $X'd$	0.402 p.u	0.164 p.u	$< 0.22p.u$
直轴超瞬变电抗饱和值 $X''d$	0.343 p.u	0.140p.u	$< 0.14p.u$
总损耗与容量比值	-	1.09%	$< 1.4\%$
定子过负荷能力	1.5倍30s	3.5倍15s	3.5倍15s
转子过负荷能力	1.25倍60s	2.5倍15s	2.5倍15s
负序能力	$I_2/I_N \geq 10\%$	$I_2/I_N \geq 10\%$	$I_2/I_N \geq 10\%$
	$(I_2/I_N)^2 \cdot t \geq 10s$	$(I_2/I_N)^2 \cdot t \geq 10s$	$(I_2/I_N)^2 \cdot t \geq 10s$



运行模式切换

01

拆除联轴器
及更换集电
环转子及轴
承



02

保护、控制
等辅助系统
调整



03

机 组 通 过
SFC 装 置 变
频启动



04

机组投励磁
建压及惰速
并网

发
电
机
运
行

调
相
机
运
行

系统恢复时间：7-10天

4 发增调技术

4.4 成功案例



国家能源局发布第四批能源领域首台（套）重大技术装备



南阳鸭河口电厂2号机发增调

2022.06



华润古城电厂1号机发增调

2024.06

汇报完毕，请批评指正！



上海电气 与创造者共创未来

SHANGHAI ELECTRIC CREATE OUR FUTURE TOGETHER

