



西门子能源氢燃机进展 与应用简介

“助力实现双碳目标，气电发展再出发”论坛

周业涛 西门子能源深圳创新中心

2021年5月珠海



目录



01 氢燃机在未来能源系统中的作用

02 西门子能源氢燃机技术及应用项目介绍

03 结论

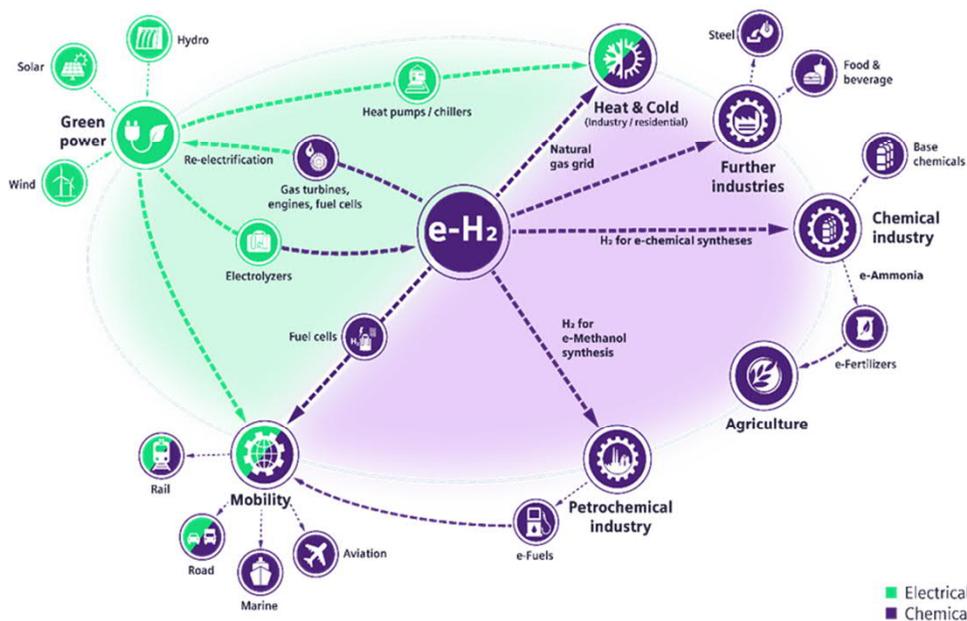




01. 氢燃机在未来能源系统中的作用

未来低碳能源系统以及产业板块耦合

产业融合发展



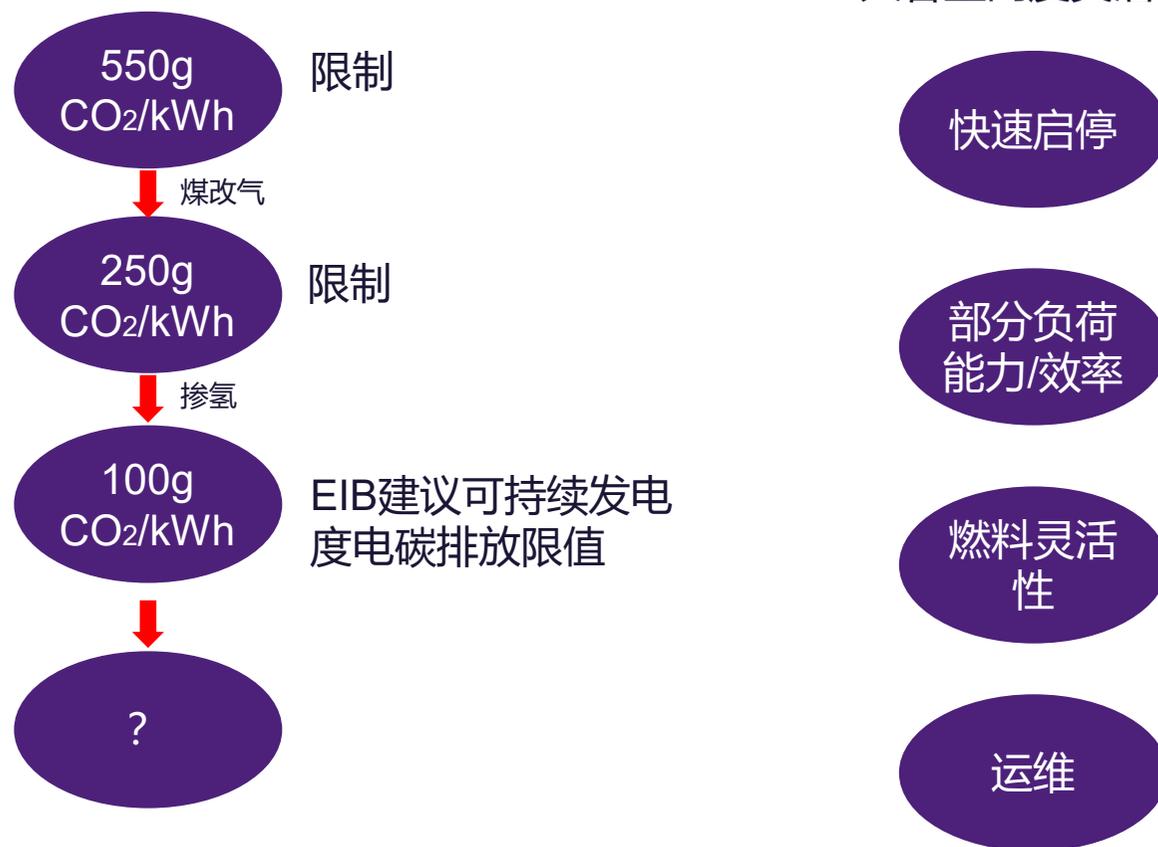
驱动力

- 减少二氧化碳排放
- 降低发电成本和制氢成本
- 减少能源进口
- 提高可再生能源利用率同时平复电网波动
- 推动技术革新，包括电解器，碳捕捉，基于CO2的合成甲醇技术，乙醇制烃
- 能源效率提升

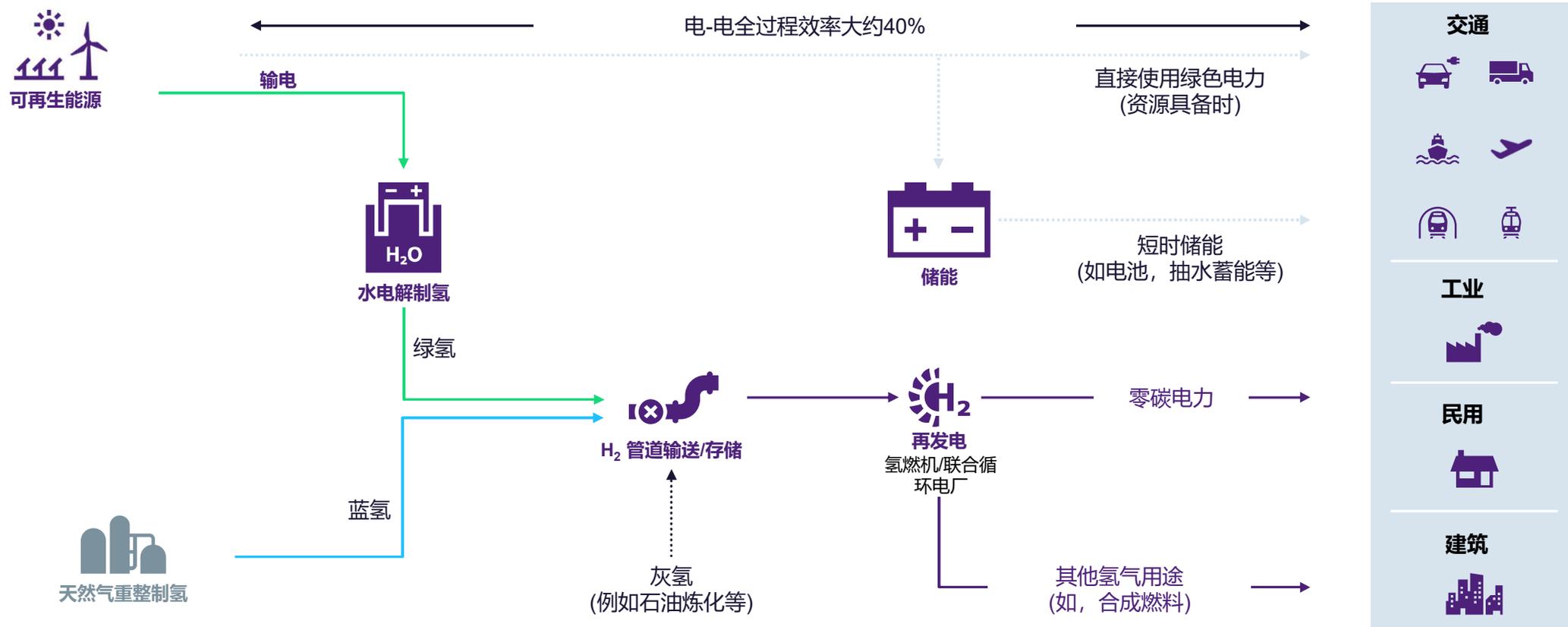
燃气轮机在未来能源系统中面临的挑战

碳减排压力(如: 欧盟)

大规模可再生能源并网需要
大容量高度灵活电源补充



可再生能源通过绿氢大规模长时存储，氢燃机零碳发电，可持续的、深度脱碳的能源结构



■ 西门子已有的产品

May 2021

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

Unrestricted © Siemens Energy, 2021



02. 西门子能源氢燃气轮机的技术与应用项目简介

氢燃烧系统实现零碳排放

燃气轮机燃氢和燃烧天然气的区别

氢气物理特性与化学属性^[1]

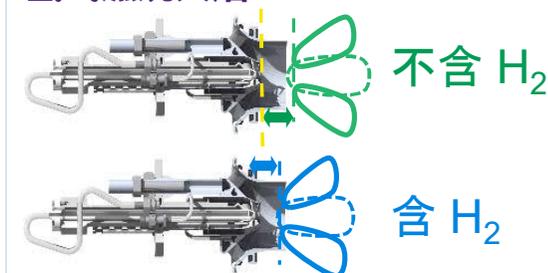
物性	氢气	甲烷
比重	0.07	0.55
单位质量热值[MJ/kg]	119.93	50.02
单位体积热值[MJ/m ³]	10.05	33.36
空气中的可燃极限[单位体积]	4%~75%	5.3~15%
自燃温度[oC]	585	540
空气中的最大绝热燃烧温度[°C]	2103	1950
空气中的最大层流燃烧速度[cm/s]	306	37.6
热扩散率 [mm ² /s]	153.26	23.69
动量扩散率 [mm ² /s]	105.77	16.81
空气中的质量扩散率 [mm ² /s]	78.79	23.98

[1] 室温和常压 20°C, 101.325kPa

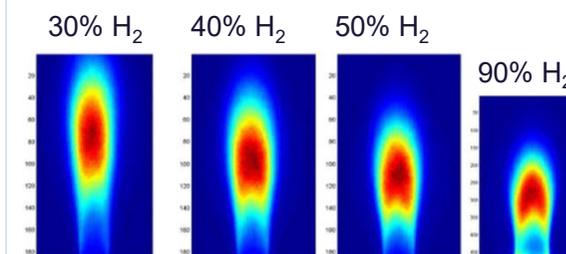
高氢含量对燃烧系统的影响

- 为达到同样的热负荷，燃料系统需要供应更大的燃气流量
- 氢气流动速度是天然气的三倍
→ 火焰快10倍
→ 快速形成易爆环境
→ 气体混合控制中，喷射后势能低，凝聚性低
→ 稳定火焰短，更靠近燃烧器喷
- 氢气具有腐蚀性，材料需要升级
- 氢气点火能小，点火浓度宽，极易点燃

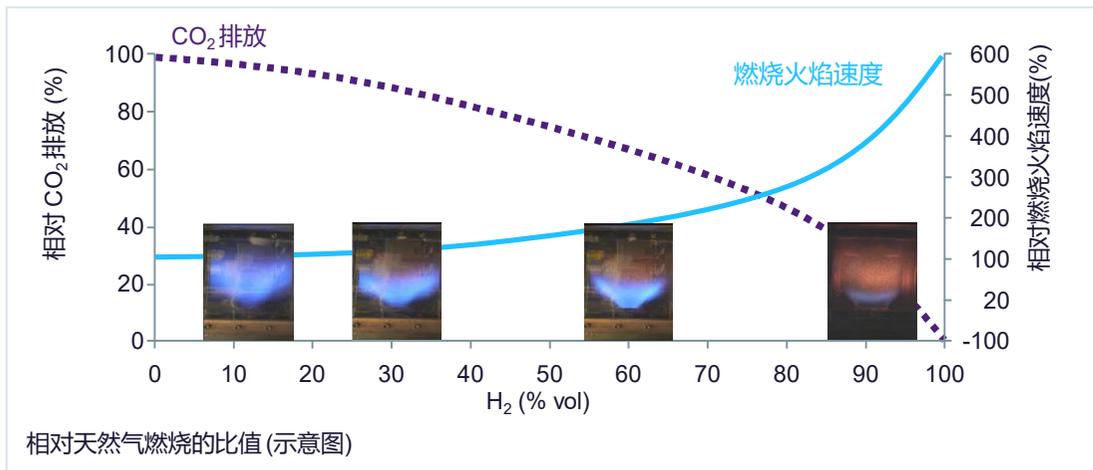
氢气燃烧火焰



火焰离燃烧器更近，增加回火风险

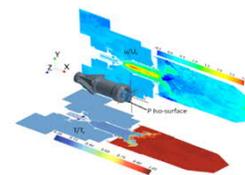


氢燃烧，零碳排放，快速设计试验验证应对氢燃烧系统设计的挑战



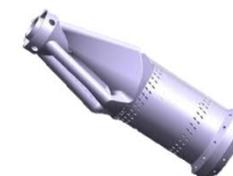
1. 高精度流体动力学仿真

高精度流体动力学仿真工具实现自动优化设计迭代



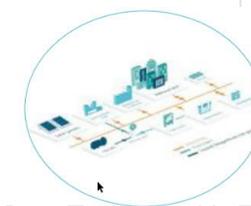
2. 快速3D打印原型制造

增材制造大大减少开发周期并实现更优设计



3. 整机运行工况高压试

位于柏林的高压燃烧试验验证，以及整机试验



德国柏林高压燃烧试验台

瑞典芬斯蓬零排放整机试验

挑战

- **极易扩散性**需要验证密封性能，材料升级到不锈钢材质 ...
- **低体积能量密度**需要大质量流量燃料系统
- **高活性**导致燃烧火焰更靠近喷嘴，增加燃烧回火风险
- **高燃烧温度**预混不均匀易导致燃烧温度不均匀从而产生局部热点，并且增加NO_x排放

西门子氢燃机-为了可持续发展的未来 目标2030年实现100%燃氢助力“碳达峰”



燃机机型	出力 ¹	燃氢能力 体积含量 %	CO2 减排 ²
50Hz	SGT5-9000HL	595 MW	23%
	SGT5-8000H	450 MW	11%
	SGT5-4000F	329 MW	11%
	SGT5-2000E	187 MW	11%
60Hz	SGT6-9000HL	440 MW	23%
	SGT6-8000H	310 MW	11%
	SGT6-5000F	215 to 260 MW	11%
	SGT6-2000E	117 MW	11%
50Hz or 60Hz	SGT-A65	60 to 71/58 to 62 MW	5 / 100%
	SGT-800	48 to 62 MW	47%
	SGT-A45	41 to 44 MW	100%
	SGT-750	40/34 to 41 MW	17%
	SGT-700	33/34 MW	47%
	SGT-A35	27 to 37/28 to 38 MW	5 / 100%
	SGT-600	24/25 MW	47%
	SGT-400	10 to 14/11 to 15 MW	3 / 36%
	SGT-300	8/8 to 9 MW	11%
	SGT-100	5/6 MW	11 / 36%
	SGT-A05	4 to 6 MW	1 / 5%

所示数据为新机机组的参考数据，具体取决于项目现场条件和要求。于此同时，具备100%天然气运行能力以确保全部燃料灵活性。可能会需要一些运行限制和特殊硬件及以及燃机成套的调整

更高的氢气含量需依据具体项目情况进行讨论



■ DLE燃烧器 ■ WLE燃烧器 ■ 扩散燃烧 (未考虑降低NOx排放)
● 重型燃气轮机 ● 工业型燃气轮机 ● 航改型燃气轮机

¹ ISO, 基荷, 天然气, 2021年5月 ² 与100%天然气运行相比

从60%H2到100H2: CO2 减排翻倍

600MW CCGT, 10%H2 @6000小时: CO2 年减排2.7%计126万吨

2021年5月7日欧盟碳排放权配额12月期货价格 **49.51欧元/吨** 数据来源: 上海证券报

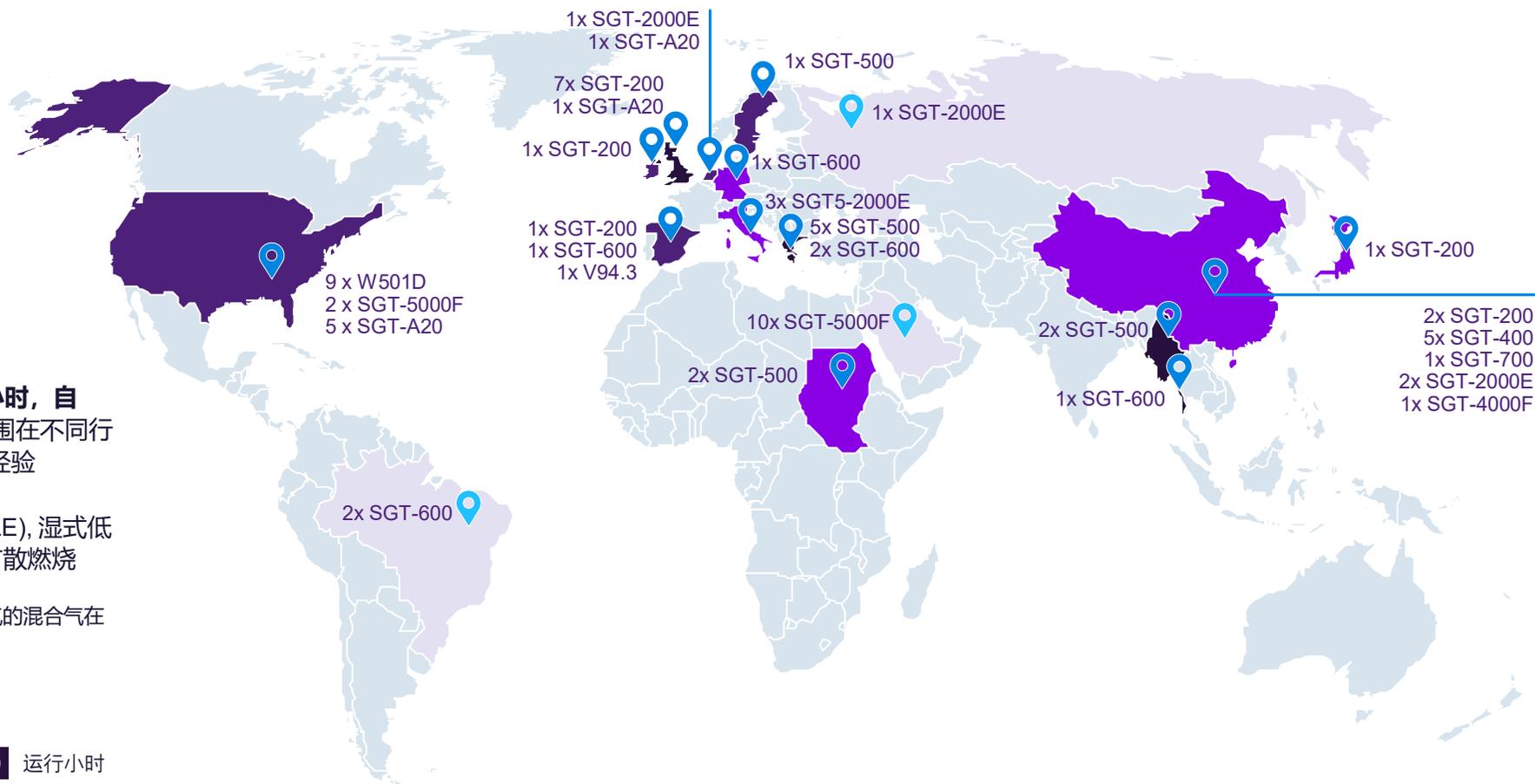
2021年5月25日广东碳交易所 **40.01元/吨**

全球石化与钢铁冶炼以及其它化工行业的高氢合成气机组运行经验



- 超过**53台机组250万小时**，自**1979年以来**，全球范围在不同行业和功率范围的运行经验
- 燃烧：干式低排放(DLE)，湿式低排放(WLE)，无衰减扩散燃烧

注：高氢合成气与纯氢-天然气的混合气在燃烧特性上有些不同之处



0 750,000 运行小时

在建机组

商运机组

May 2021

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

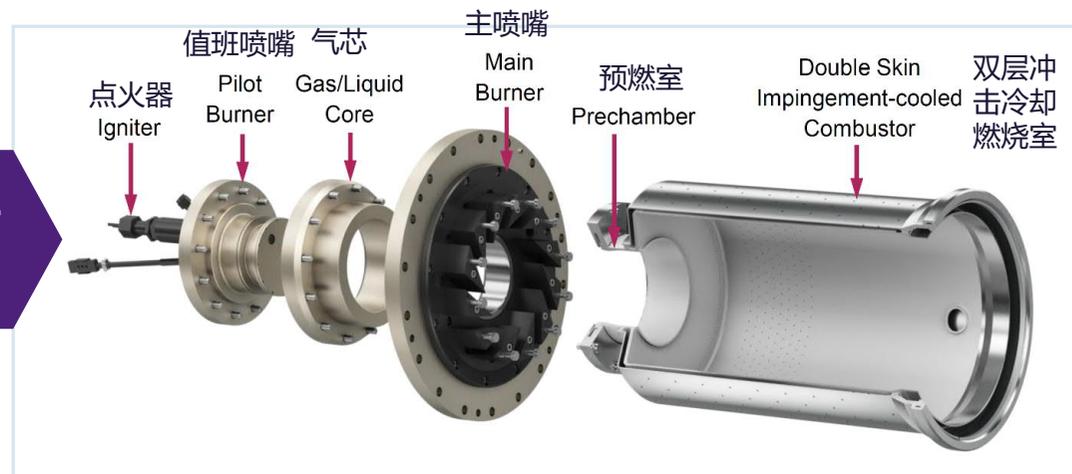
燃机机群持续不断的开发奠定了西门子氢燃烧的丰富可靠的经验



小型燃机 SGT-100 至 SGT-400

掺氢能力的稳步提升，是基于DLE干式低排放燃烧器设计的持续优化升级

SGT-100/-300/-400
全部配备了相同设计的DLE燃烧器

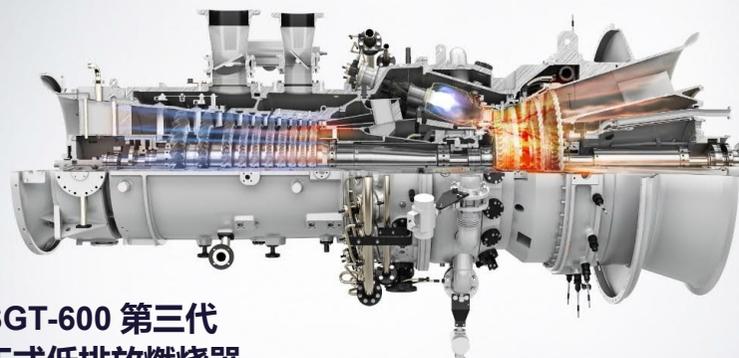


第三代干式低排放燃烧器的燃氢能力 基于机群的持续经验积累



第三代DLE燃烧器适用范围

- 掺氢燃烧
- 富氢燃料
- 富氢化工副产气
- 工业尾气



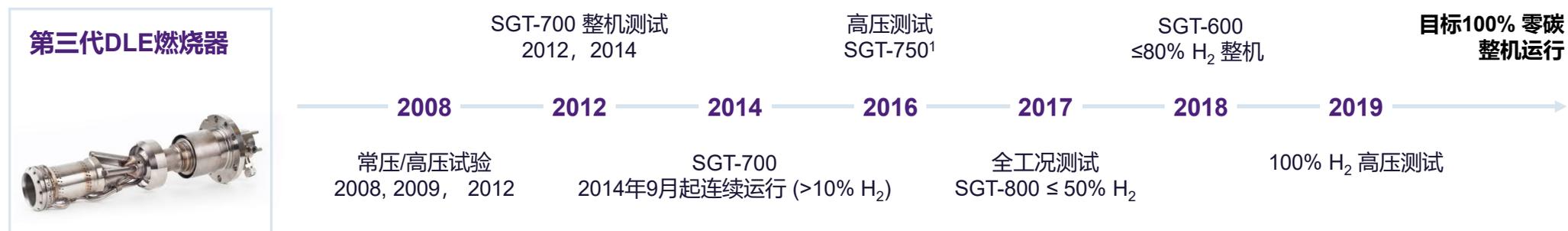
SGT-600 第三代
干式低排放燃烧器

第三代DLE燃烧器掺氢能力 满足 ≤ 25 ppm NOx

- SGT-600 60% H₂
- SGT-700 55% H₂
- SGT-750¹⁾ 40% H₂
- SGT-800 50% H₂

中型燃机 SGT-600, -700 and -800 配备第三代DLE燃烧器

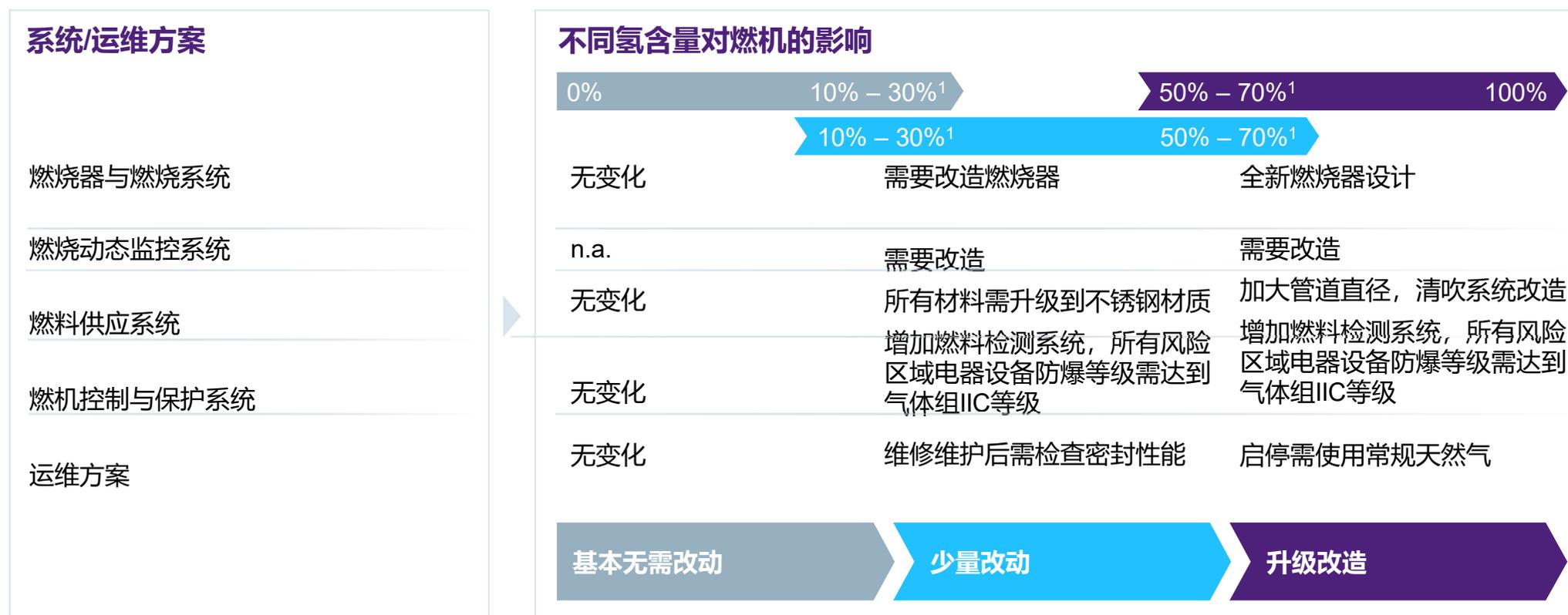
持续提升DLE燃烧系统的设计及测试验证，提升氢气混合燃烧能力



¹ The SGT-750 is already equipped with a 4th generation Dry Low Emission burner design

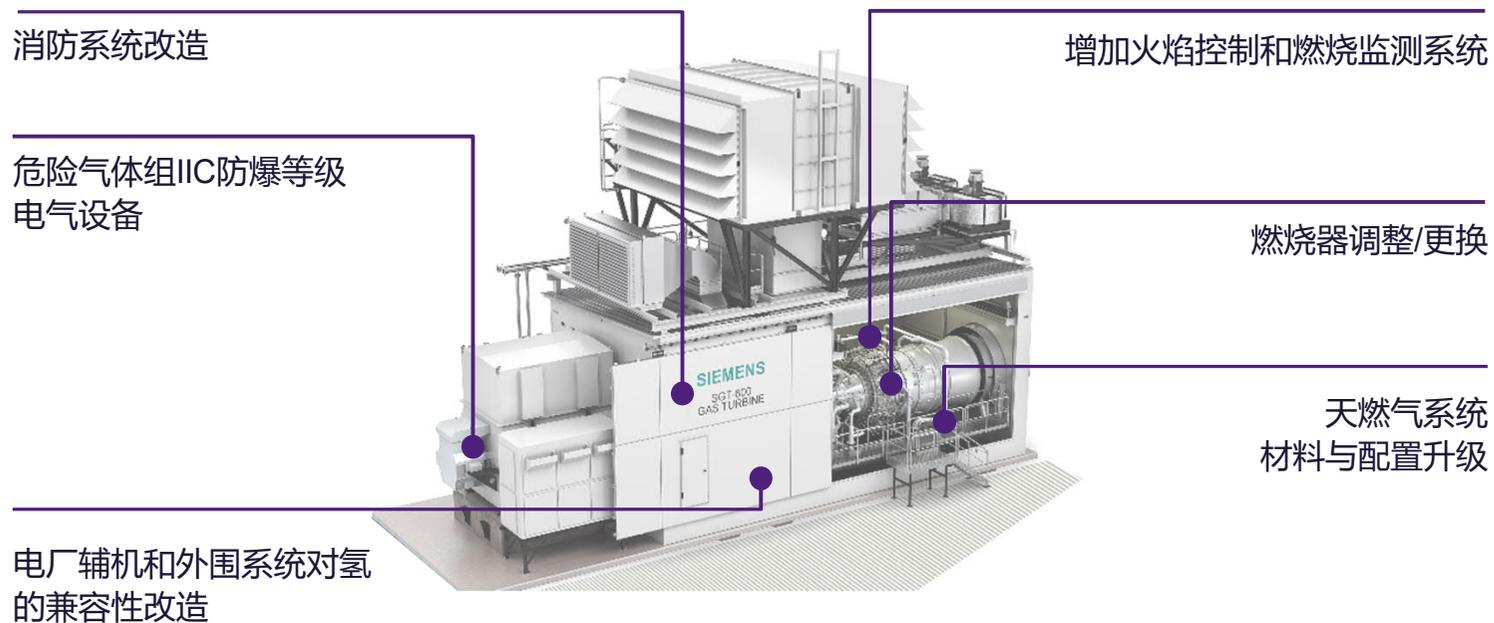
针对不同氢含量的解决方案 改造内容

氢燃机燃烧器与标准天然气燃机燃烧器的设计不同点



¹ 针对不同机型和不同排放要求, 氢含量要求可能有所不同

高氢比例掺混工业燃机燃烧器调整/更换以及主要系统升级



影响和解决方案

- 基于具体项目对需要的修改做评估和决定
- 控制出力以确保符合氮氧化物排放水平要求
- 启动和关机时可能需要常规/非氢燃料
- 可能需要在相应的权威机构重新认证

“H2 Ready” 电厂 减少掺氢改造成本

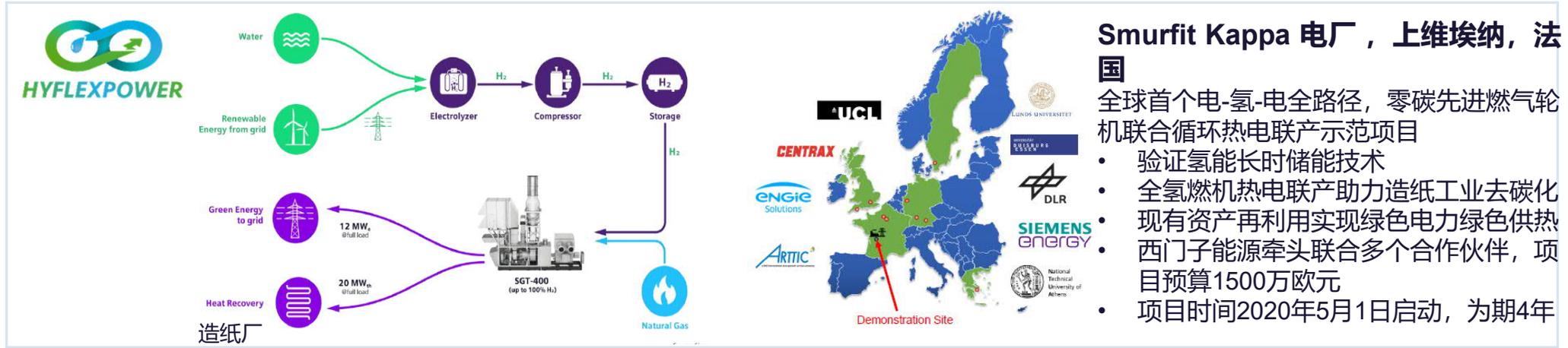
- 针对不需要立刻投入掺氢运行模式的新建联合循环电厂，优化配置方案，考虑将来切换掺氢模式。（“H2 ready电厂”）
- 在不增加太多前期投资的情况下，为将来最小代价切换掺氢燃烧做好准备
- 基于掺氢时间表和比例要求，优化设备配置方案

氢燃机需要考虑的设备与系统：

燃料供给系统：材料，尺寸，测量，辅助系统。。。
消防系统：消防保护设计，系统尺寸
余热锅炉：材料，温度，清吹要求
仪控电气：IIC气体防爆设计
安全：安全完整性水平定义与设计
认证：认证要求



欧盟HYFLEXPOWER 示范项目 全球首个工业级零碳电-氢-电转化全氢燃机示范应用



电解制氢、储氢和供气设备
示范项目现场安装



从新能源存储到100%全氢零碳发电全路径示范演示

May 2020

合同签署
项目工程开发启动

2021

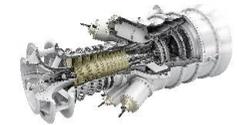


2022

燃气轮机安装、掺氢燃烧调试
开始项目掺氢演示

2023

(CO₂减排65000吨/年)



Source: <http://www.hyflexpower.eu/>

May 2021

Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.

西门子能源: 项目总负责, 燃机, 水电解槽
Engie solution: 电厂投资运营商, 制氢工厂, 储氢设施等
欧盟政府: 欧盟地平线2020资助计划
Centrax: 燃机成套与安装
Athens/Stuttgart大学: 经济性社会效益分析与技术研究

Unrestricted © Siemens Energy, 2021

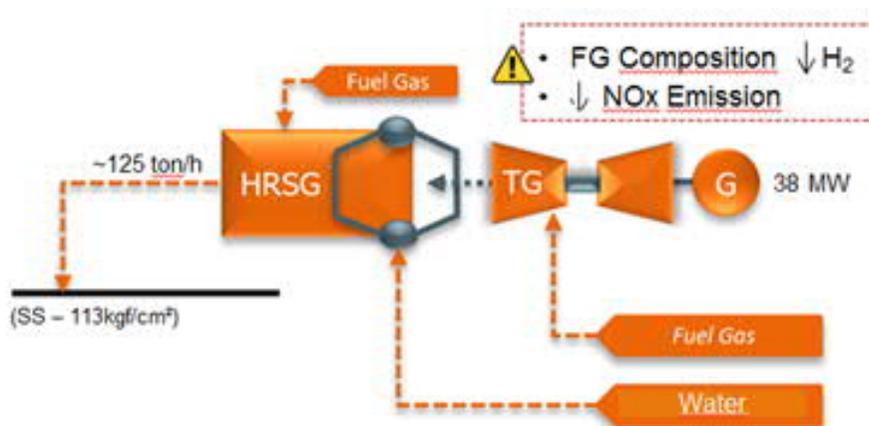
高氢客户实际应用案例：巴西最大石化企业燃用60%氢气燃料



Braskem 是巴西的一家石化企业，总部位于圣保罗。该企业是拉丁美洲规模最大的石化企业，也是国际石化市场的领导者之一。

Braskem 主要驱动因素

- 减少天然气消耗, 提高氢气利用率
- 减少电网能源消耗
- 燃气电厂的高可用性和可靠性



燃气轮机配置

- 型号: 2x SGT-600(掺氢能力80%)
- 燃料: 氢气含量60%
- 排放: <25ppm NO_x
- 氢气: 化工副产氢
- 为终端用户提供电力和蒸汽

CCPP-495 – 27%掺氢联合循环发电工程总包项目 下卡姆斯克石化, TAIF 集团, 俄罗斯



“西门子能源”EPC联合循环燃机电厂

- 出力: 495 MW
- 燃机: 2 x SGT5-2000E
- 汽机: 1 x SST-600
- 发电机: 3 SGen5-100A
- 控制系统: SPPA-T3000

氢气体积含量: 27%

2021年商投



Nizhnekamskneftekhim,
TAIF Group,
Tatarstan Republic, RF,
Commissioning
in 2021 (plan),
EPC "Siemens Energy"





03. 结论

Together for a carbon-free future

siemens-energy.com



Siemens Energy is a registered trademark licensed by Siemens AG.



绿氢燃料、零碳燃机发电



提高燃料灵活性同时适用氢气和天然气



氢燃机使现有资产和未来投资在未来碳中和目标下得到保障

联系信息



周业涛

西门子能源有限公司深圳创新中心

yetao.zhou@siemens-energy.com

siemens-energy.cn