

——高效低碳燃气轮机技术



二〇二一年五月

发电人

中国船舶集团有限公司第七〇三研究所

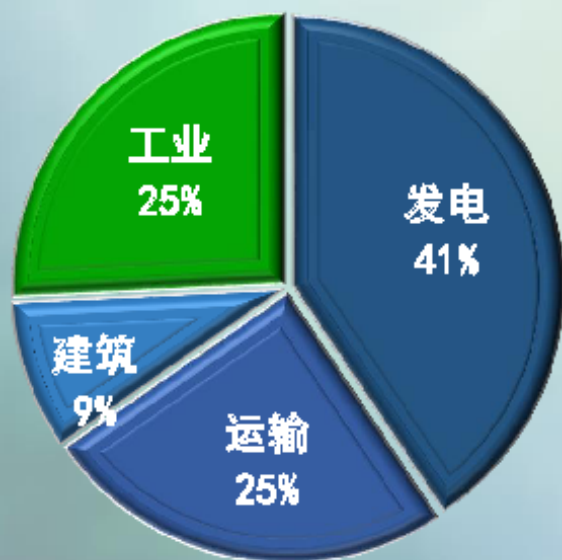
- 1 第一部分 概述
- 2 第二部分 燃气轮机燃氢技术
- 3 第三部分 燃气轮机燃氢技术

1

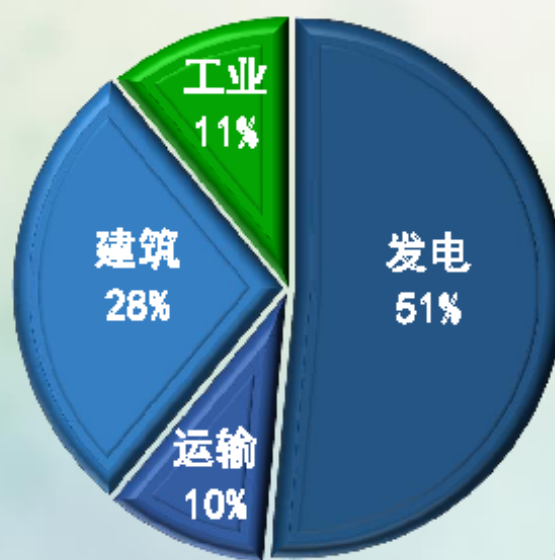
第一部分 概述

1、2020年碳排放来源

全球能源领域CO₂排放
(337亿吨)

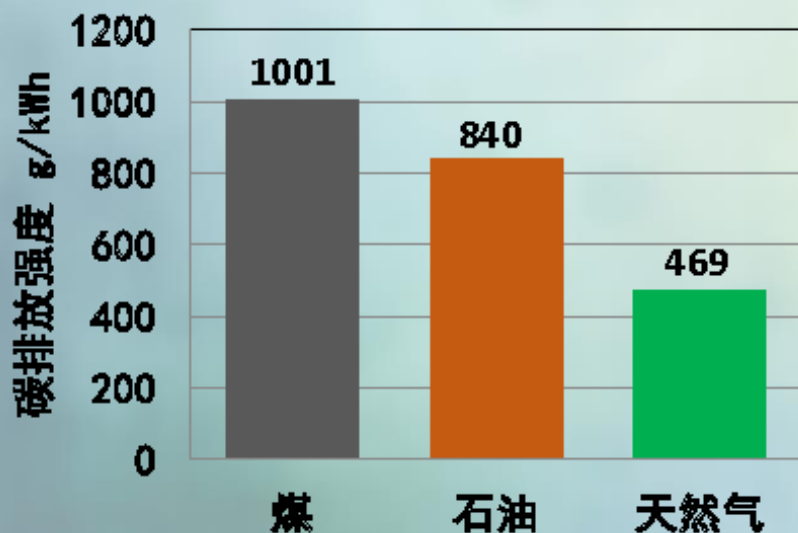


中国能源领域CO₂排放
(101亿吨)

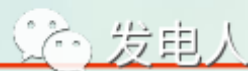
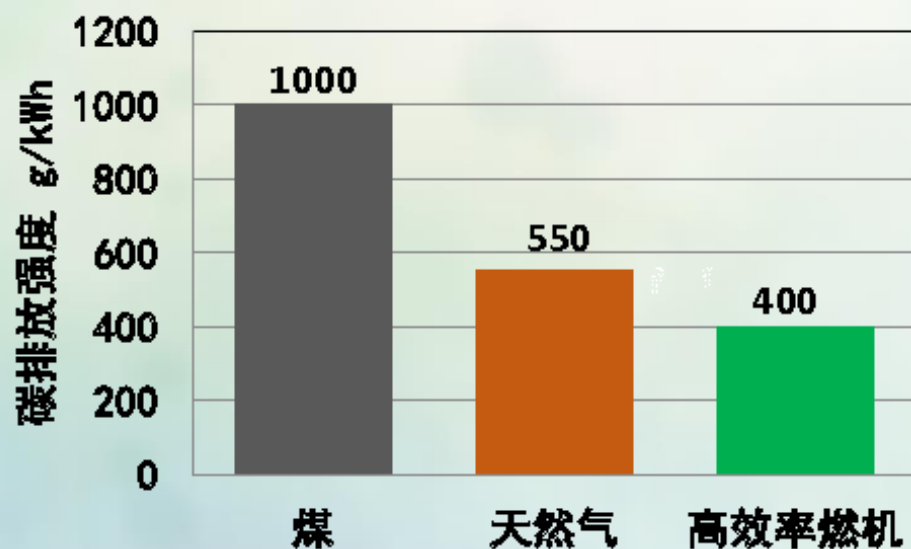


2、碳排放强度

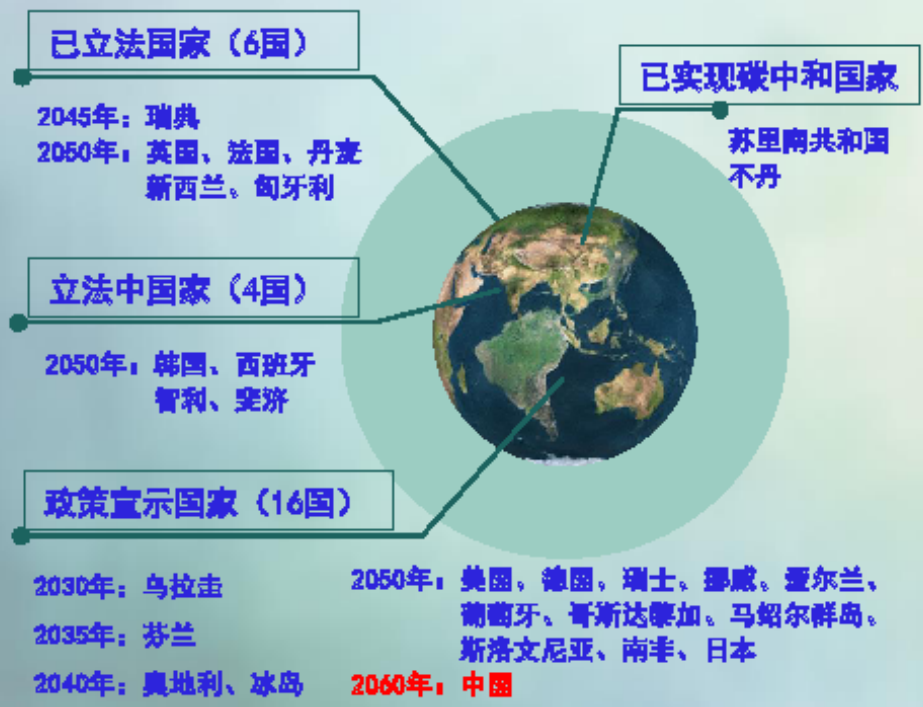
中国



全球



3、碳中和时间表



世界碳中和基本在2050年左右；我国将在2030年前碳达峰、2060年前碳中和



2

第二部分： 燃气轮机燃氢技术

1、掺氢与纯氢燃烧技术

氢燃料高效燃气轮机CO₂减排量



1、掺氢与纯氢燃烧技术

干式低排放燃烧室对H₂含量的适应性

物性	CH ₄	H ₂
热值 (MJ/Nm ³)	35.7	10.8
火焰温度 (°C)	1963	2107
层流火焰速度 (cm/s)	34	265
自燃点 (°C)	537	400
最小点火能量 (mJ)	0.28	0.011
爆炸极限	5-15%	4.7-75%

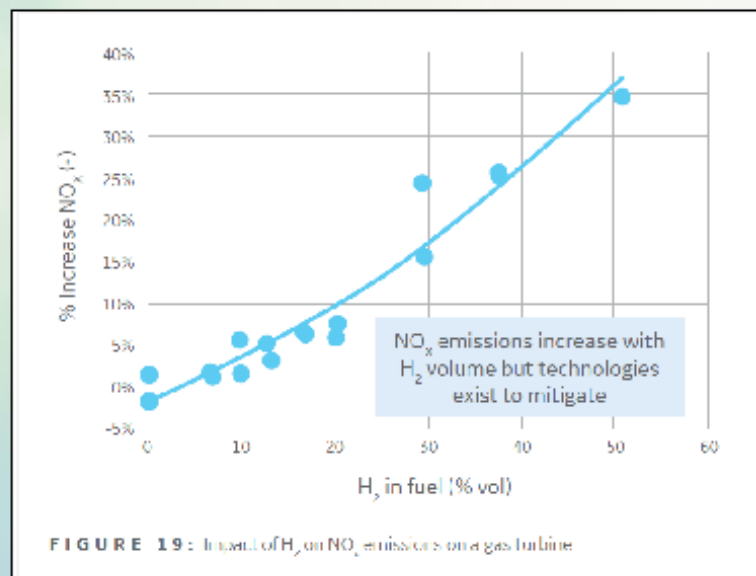
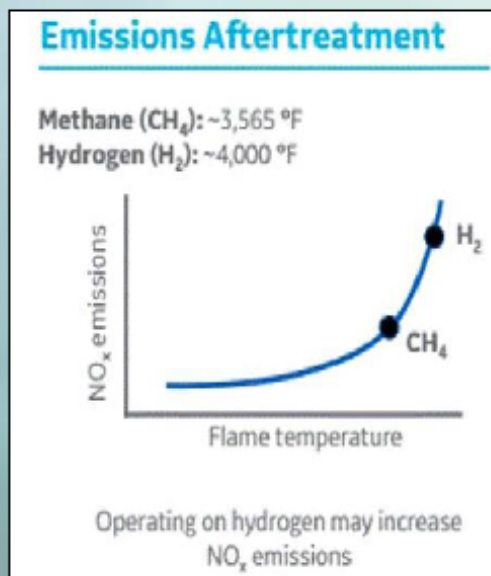


富氢/纯氢面临主要问题

- (1) 高NO_x排放问题
- (2) 回火问题
- (3) 燃烧不稳定问题 (脉动)
- (4) 预混区自燃问题

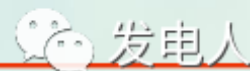
1、掺氢与纯氢燃烧技术

◆ 高NO_x排放问题



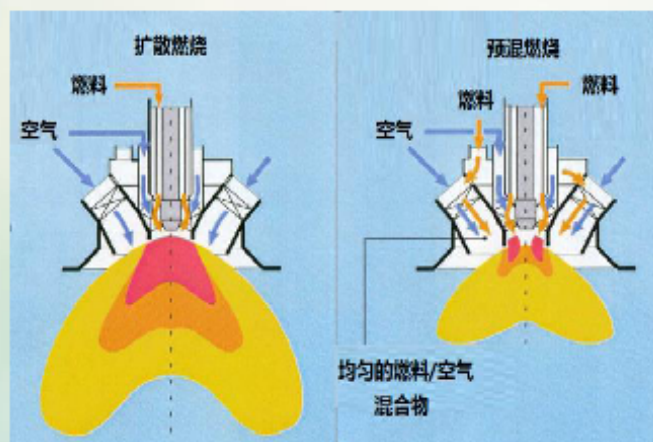
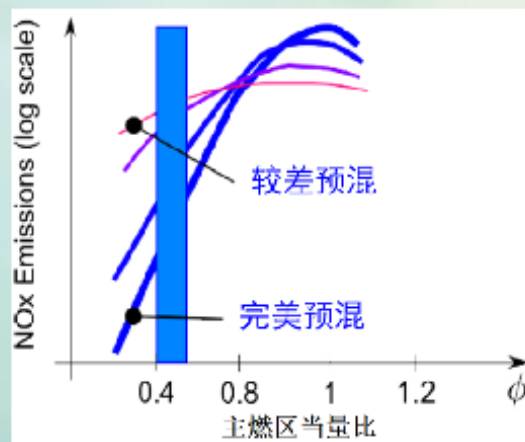
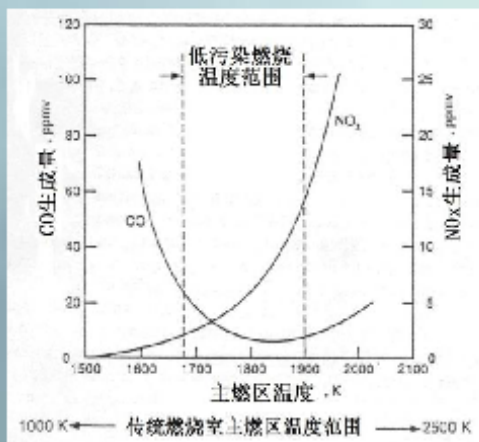
当量比下的H₂燃烧温度高于CH₄

随H₂含量增加，NO_x排放上升



1、掺氢与纯氢燃烧技术

◆ 高NO_x排放问题



要点一: 控制主燃区当量比, 使温度处在1670~1900K。

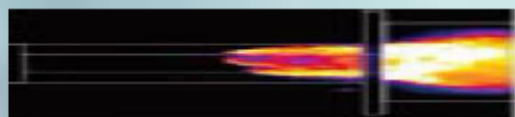
采用预混燃烧技术, 可有效降低NO_x

要点二: 控制主燃区的燃料与空气混合时空均匀性。

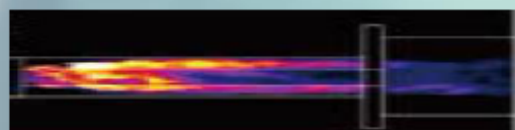


1、掺氢与纯氢燃烧技术

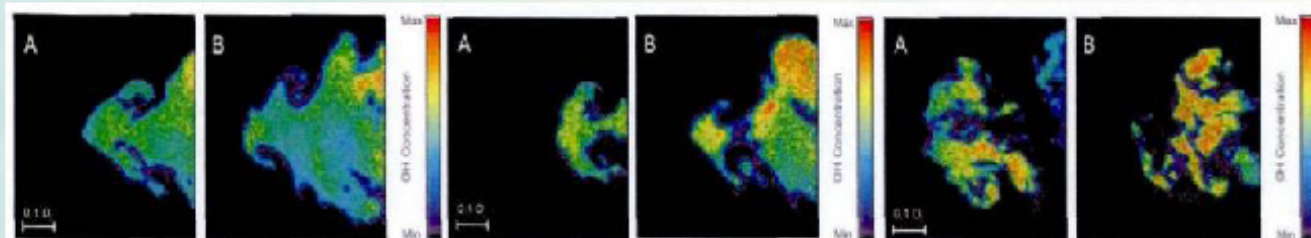
◆ 回火问题



甲烷: 34cm/s

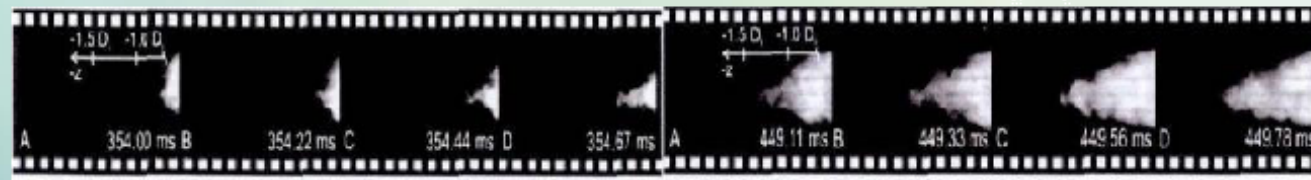


氢气: 265cm/s



(1) 轴线附近形成针状火焰 (2) 预混段内发生涡破碎 (3) 火焰附着在破碎的涡上

发生燃烧诱导涡破碎回火时OH分布随时间变化



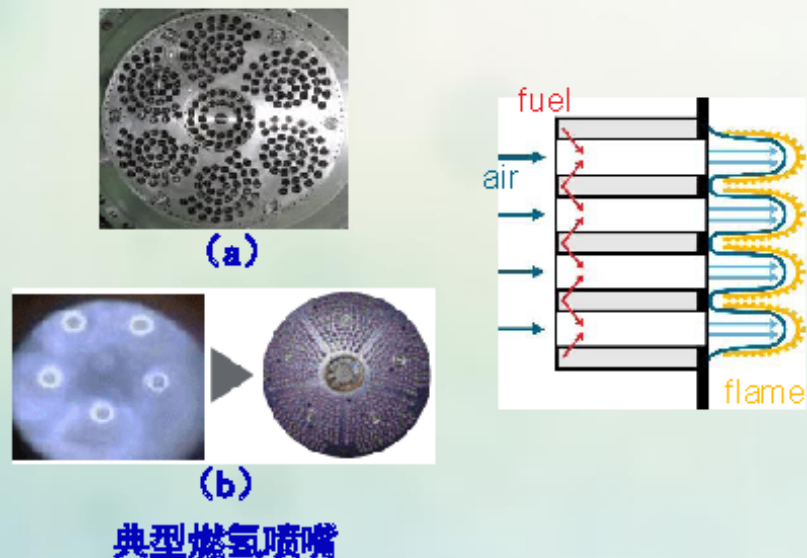
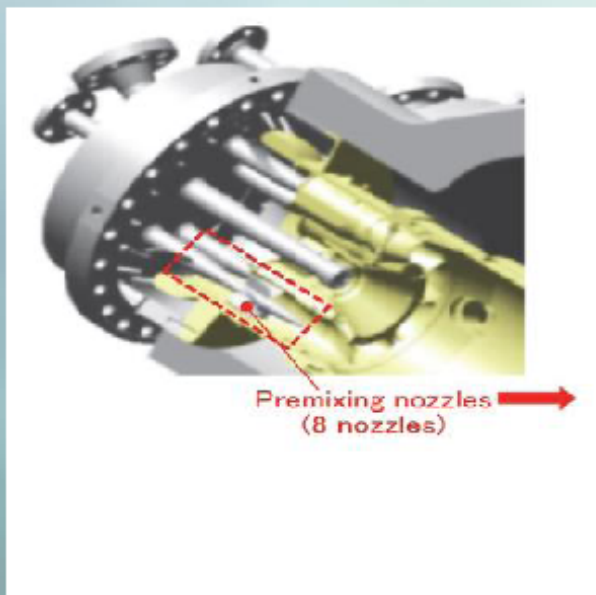
高速摄像机记录火焰向上游传播过程

燃烧诱导涡破碎回火 (CIVB) 是燃氢燃烧室主要回火形式。



1、掺氢与纯氢燃烧技术

◆ 回火问题



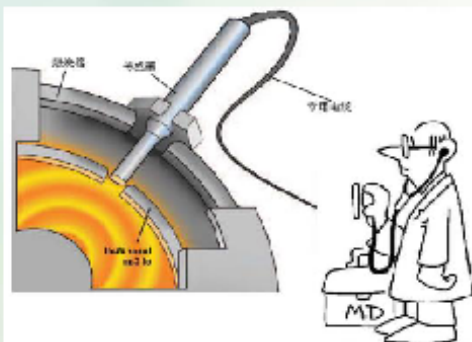
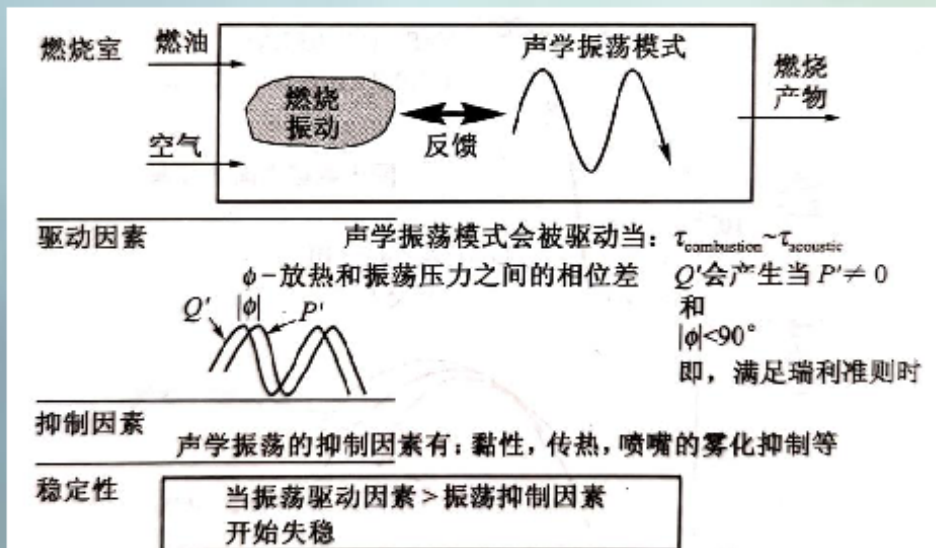
常规预混燃烧技术，中心流速低，易回火。

采用微孔预混燃烧技术，可防止回火。



1、掺氢与纯氢燃烧技术

◆ 燃烧不稳定问题



获取燃机“心电图”

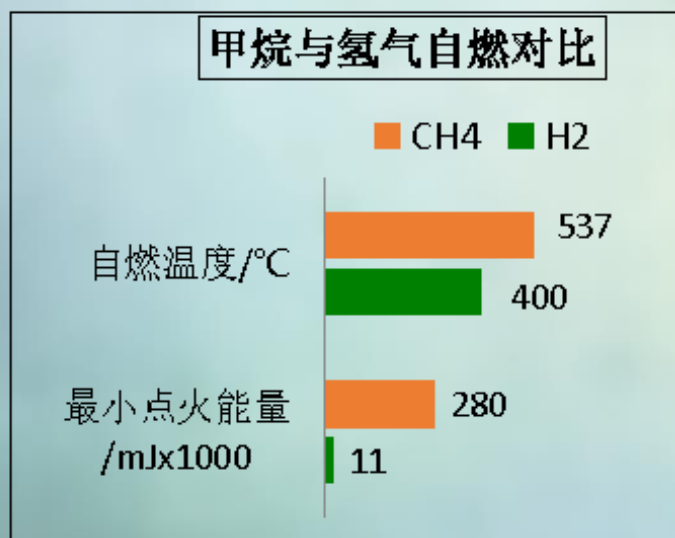


被动抑制：采用赫姆霍兹共振器；

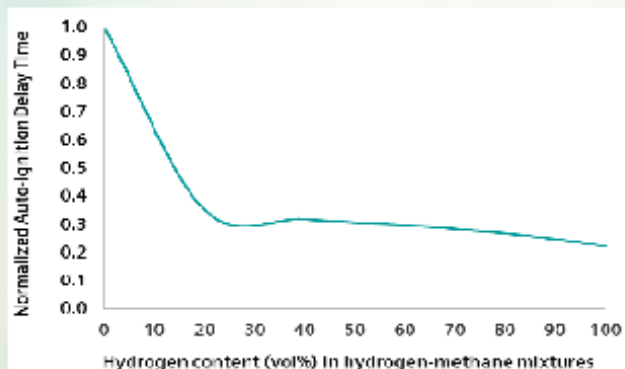
主动抑制：实时检测振荡信号，应用一定的控制策略，驱动作动器进行抑制。 发电人

1、掺氢与纯氢燃烧技术

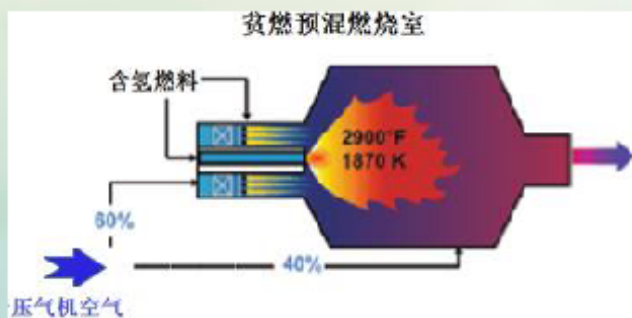
◆ 自燃问题



着火延迟时间



甲烷中含氢比例

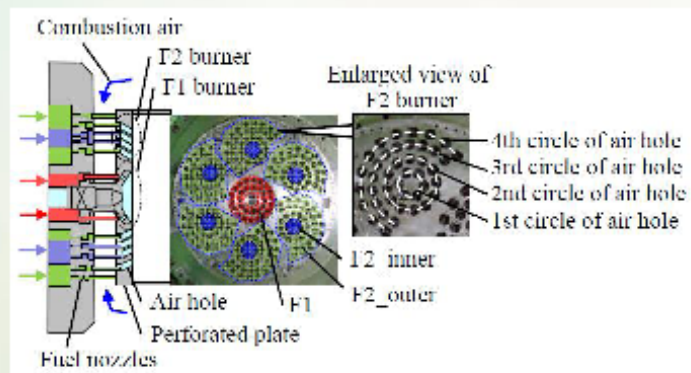
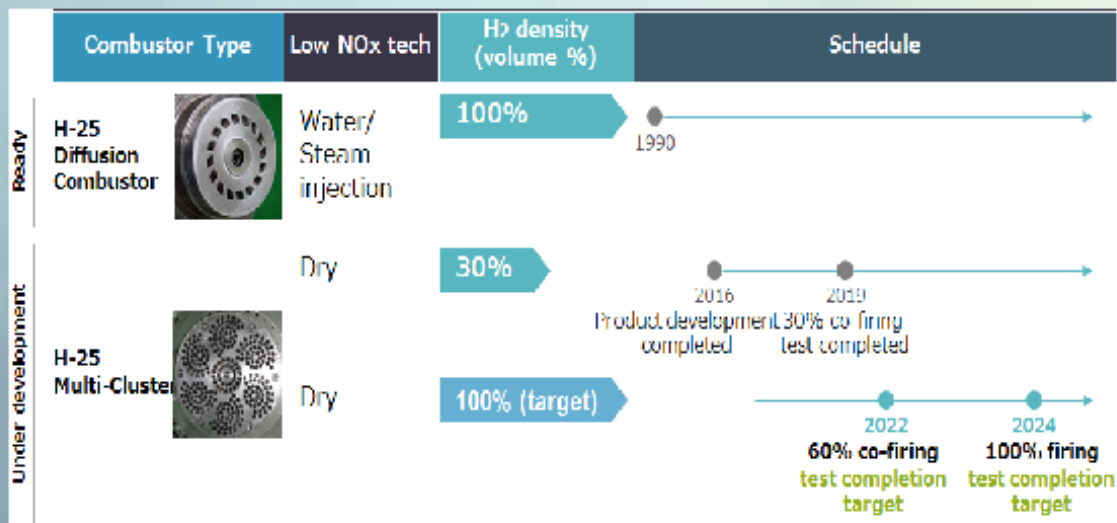


对于高性能高压比燃机，燃烧室入口空气温度已超500℃，H₂较CH₄更易自燃。

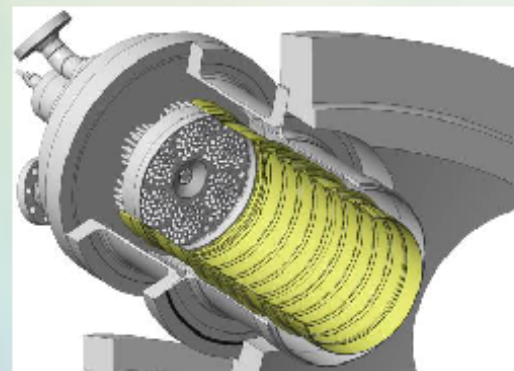
提升燃料喷射速度、减小预混长度，可避免H₂在预混区自燃。



2、燃氢燃机进展（三菱H25）



微孔预混结构燃气喷嘴



H25燃机燃氢发电人

H25已具备30%燃氢能力，2022年具备60%燃氢能力，2025年前具备燃烧纯氢能力。

3、H25燃气轮机引进

2019年3月28日，三菱日立电力系统株式会社（MHPS）和七〇三所签署了H-25燃气轮机技术转让合同。

2020年12月1日，国产H-25燃机项目已被国家能源局列入能源领域首台（套）重大技术装备项目。

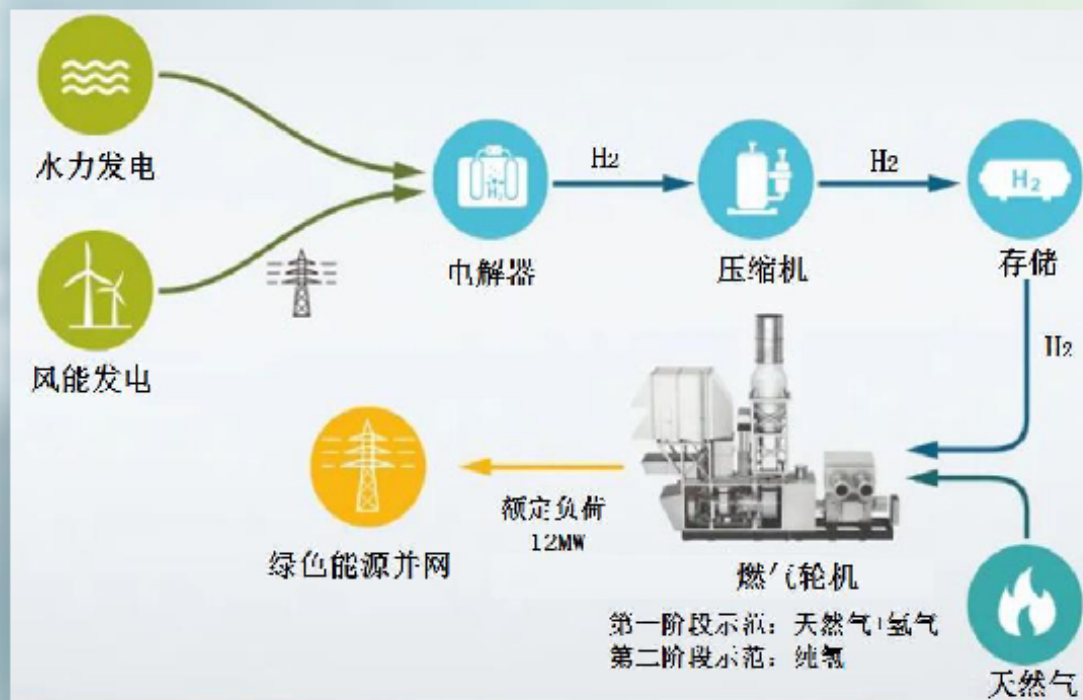
➤ 全部制造技术+售后维修

性能：

- H-25 (32) : 32MW, 36.8%
- H-25 (42) : 42MW, 37.6%
- H-25 (32) 和H-25 (42) : NO_x排放25/15ppm



4、氢燃料燃气轮机工程示范



- **2020年:** 欧盟委员会资助, 全球第一个装备先进氢气燃气轮机的工业级规模示范项目;
- **地点:** 法国维埃纳河畔赛拉的工厂;
- **目标:** 验证从可再生能源电力中制氢和储存氢, 并添加到热电联产电厂使用的天然气中, 最高可实现100%燃料用氢。
- **效益:** 每年可减排6.5万吨的二氧化碳。
- **2023年:** 100%使用过剩绿色氢能。

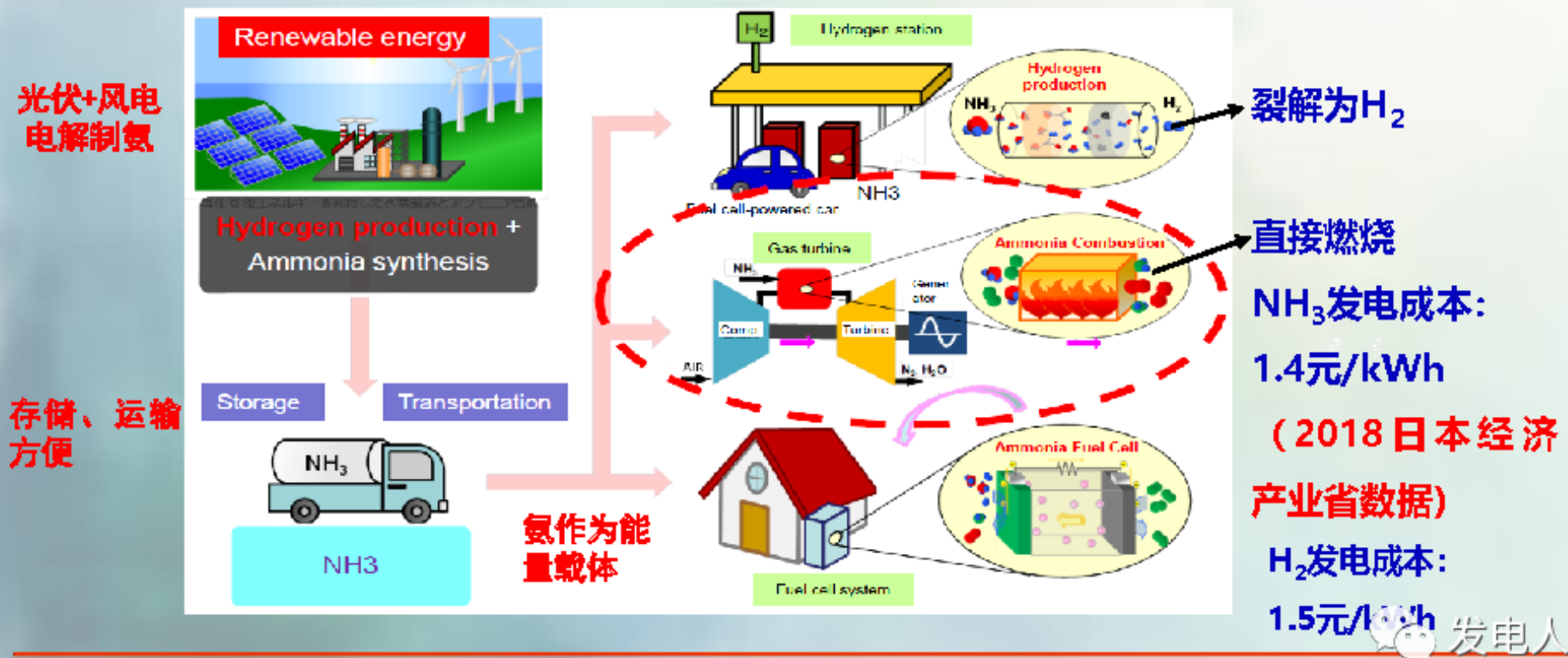


3

第三部分：

燃气轮机燃氨技术

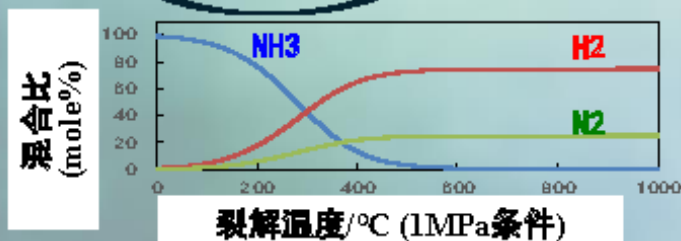
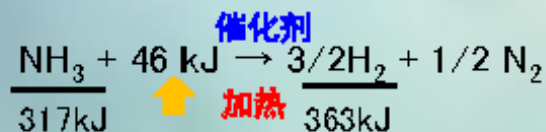
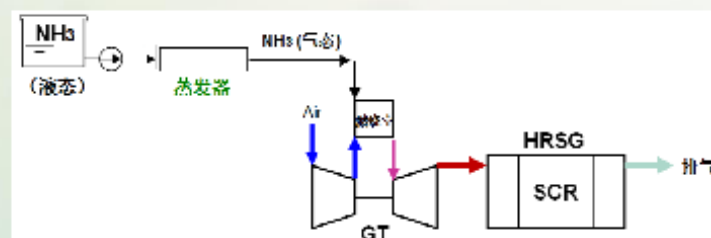
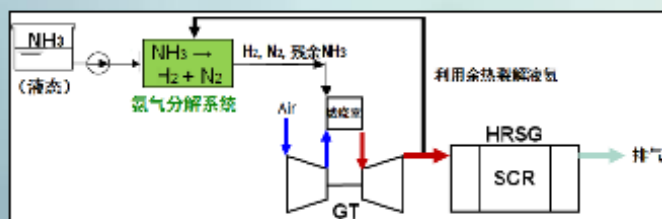
1、氨的制取和利用方式



2、氨燃料燃烧技术

(1) 液氨裂解为H₂和N₂燃烧：燃烧稳定性较好。

(2) 液氨气化直接燃烧：燃料热值低，点火困难，燃烧不稳定，NO_x排放偏高。



燃料	NO _x 类型
氨气 (NH ₃)	在高温条件下，空气生成 热力型 NO _x $\text{N}_2 (\text{air}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_x$
	燃料与氨气结合生成 燃料型 NO _x $\text{NH}_3 (\text{fuel}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_x$

发电人

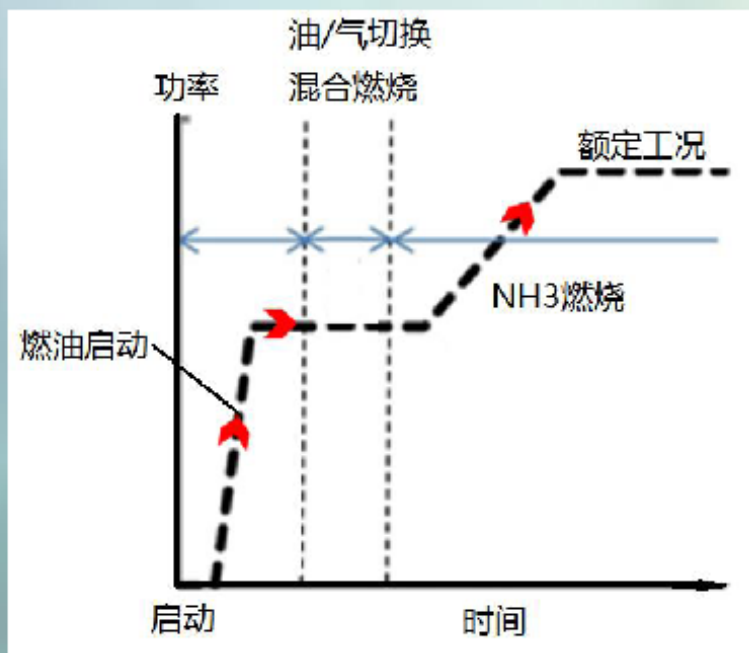
3、氨燃料燃烧特点

物性	CH ₄	H ₂	NH ₃
热值 (MJ/Nm ³)	35.7	10.8	14.0
自燃点 (°C)	537	400	651
层流火焰速度 (cm/s)	34	265	7
可燃极限	5-15%	4.7-75%	15-28%
最小点火能量 (mJ)	0.28	0.011	8

与氢燃烧相比，氨燃烧的特点：

- (1) 自燃温度高：不易自燃
- (2) 火焰传播速度低：不易回火
- (3) 可燃极限窄：安全性好
- (4) 点火能量大：点火困难（辅助燃料启动）
- (5) 燃料中含氮元素：易产生燃料型NO_x

4、氨燃料燃烧启动点火解决方案

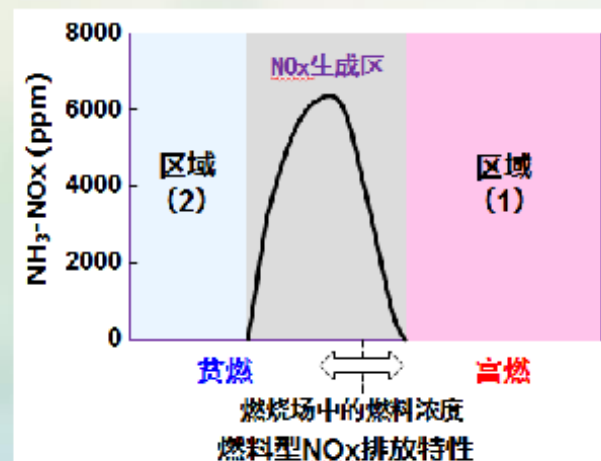
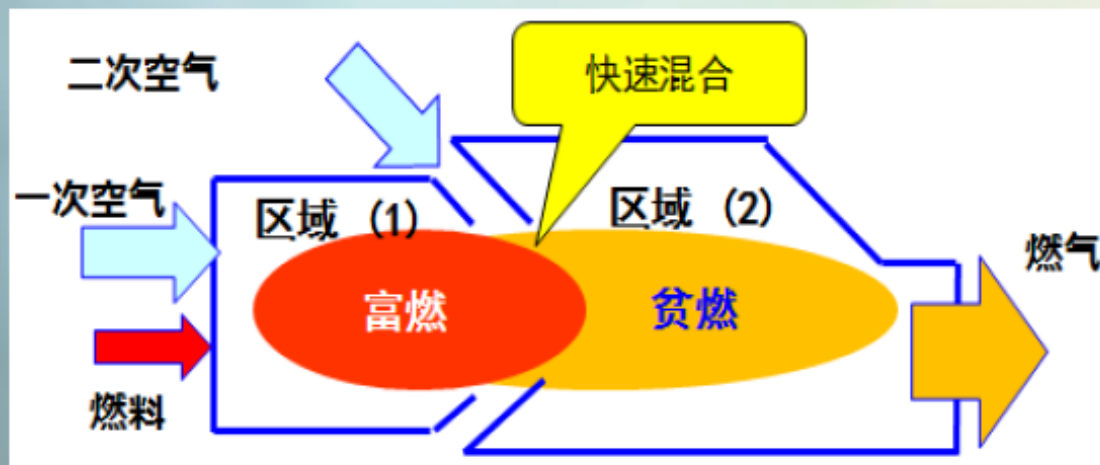


(1) 采用燃油/天然气等高热值燃料启动点火。

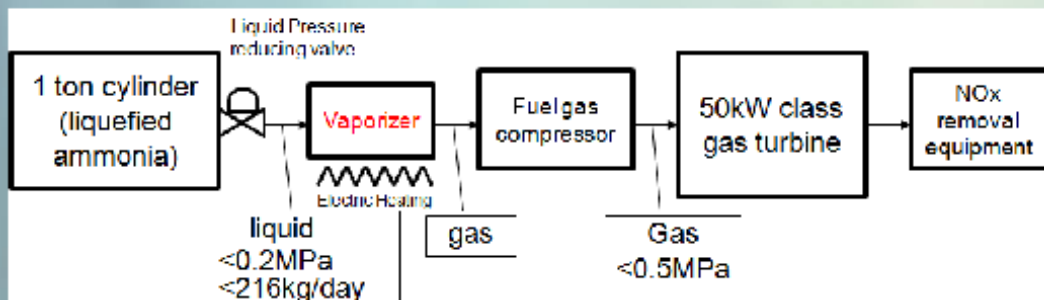
(2) 启动成功后，由启动燃料切换为NH₃。

5、氨燃料燃烧降NO_x技术

降NO_x技术手段：采用分级分区燃烧技术，控制燃料/空气配比在低NO_x区。

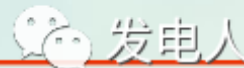


6、氨燃料燃烧技术应用

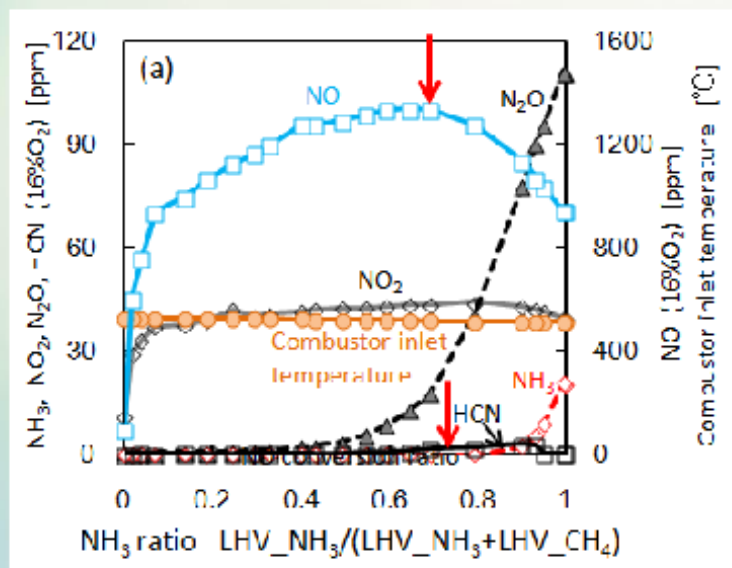
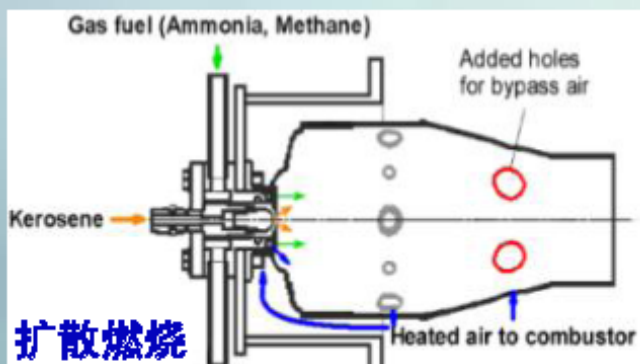


日本工业技术研究所 (AIST)：光伏/风电制氨，航空煤油点火，50kW燃机电站示范应用（2013至2014年研制，2015年试验示范）。

- (1) 液氨蒸发，增压后直接燃烧；
- (2) 扩散燃烧，需用脱硝装置；
- (3) 机组达到41.8kW；
- (4) CO₂实现零排放；
- (5) 下一步开发低NO_x燃烧室。



6、氨燃料燃烧技术应用




NH₃/NO/NO₂/N₂O随燃料中NH₃比例的变化

发电人

6、氨燃料燃烧技术应用



FY	2021	2022	2023	2024	2025
Compressor development	████████████████████			████████████████████	
SCR development	████████████████████			████████████████████	
System study	████████████████████			████████████████████	
Demonstration				████████████████████	
Commercialization					████████████████████

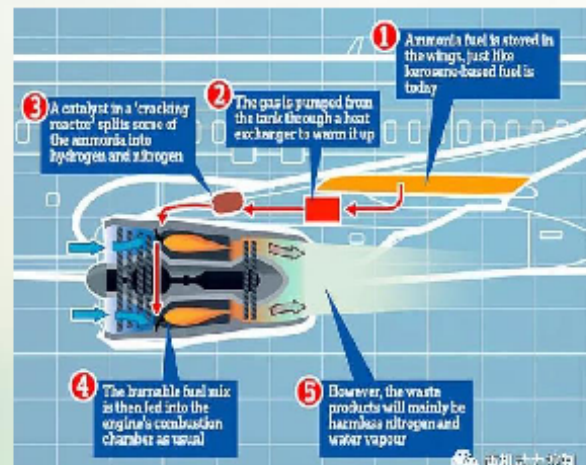


Test facility

三菱电力：2025年燃纯氨燃机进入商业化。



石川岛重工：已实现 70%液氨 +30%天然气稳定燃烧，并通过2MW级燃机测试，2025年进入商业化阶段。



英国Reaction Engines公司：提出在航空发动机上燃氨方案，以实现零碳排放。





谢谢！

作者：中国船舶重工集团公司第七〇三研究所 林枫（来源：中国电机工程学会燃气轮机发电专业委员会、中国船舶集团，版权归原作者所有，侵权请联系小编删除。本文旨分享，非商用。）