



浅析燃气—蒸汽联合循环电厂 在“双碳”目标下的降碳路径和发展前景

王世宏

2021年5月



- **中国能源及天然气发展现状**
- **中国碳排放现状**
- **能源转型的路径和天然气在转型中的作用**
- **燃气—蒸汽电厂的降碳路径和发展趋势**

我国主要气候目标



2025年前
继续降低碳排放强度



2030年前
二氧化碳排放达峰

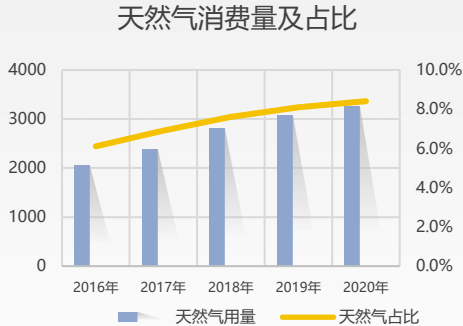
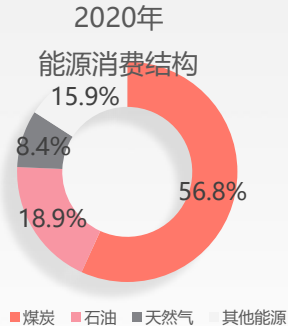


2060年前
实现碳中和

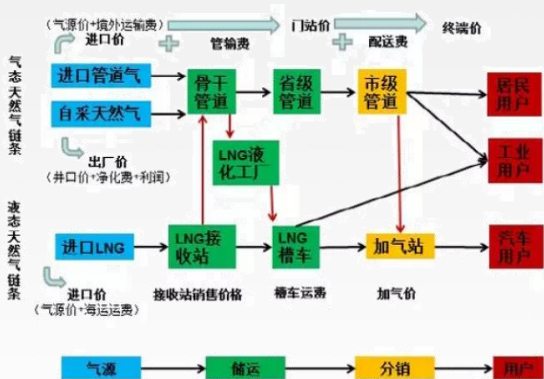
- 总书记关于“碳达峰、碳中和”系列重要部署为推动气候环境治理问题和可持续发展擘画出宏伟蓝图、指明了道路方向，彰显了我国坚持绿色低碳发展的战略定力和积极应对气候变化、推动构建人类命运共同体的大国担当。
- 目前，我国是世界上最大的发展中国家和碳排放国，我国在加速经济发展的同时，实现快速减排，需要能源体系安全平稳转型。“双碳”目标的实现任务艰巨。
- 燃气发电是电力领域中的重要角色，燃气轮机具有可用燃料广泛、发电灵活、供电稳定等特性，将在“双碳”目标的实现过程中发挥重要作用。



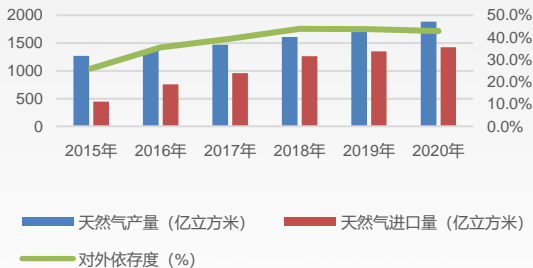
- **中国能源及天然气发展现状**
- **中国碳排放现状**
- **能源转型的路径和天然气在转型中的作用**
- **燃气—蒸汽电厂的降碳路径和发展趋势**



2020年，中国能源消费总量为49.8亿吨标准煤，比上年增长2.2%。天然气消费量3259.3亿立方米，比上年增长6.27%，占能源消费总量的8.4%，比上年上升0.3个百分点；煤炭消费量占能源消费总量的56.8%，比上年下降0.9个百分点。2010-2020年的十年间，我国煤炭消费占能源消费总量比重由69.2%降至56.8%，降低了12.4个百分点；天然气消费总量占能源消费总量比重由6.1%增长至8.4%，增加了2.3个百分点，能源消费结构持续向绿色低碳转变。



天然气产量、进口量及对外依存度



我国持续推进天然气市场化改革，上游环节放宽市场准入，激发勘探开发活力。中游环节实施运销分离，组建国家油气管网公司，下游环节深化天然气价格改革，实施减税降费，扩大天然气消费。产业链各环节发展格局较为稳定，从而推动了天然气行业的发展。对外依存度略有下降。

2020年虽然面对新冠疫情冲击，中国天然气产业发展面临挑战，但是整体而言，天然气产业持续稳步发展的总基调不变，未来中国天然气产业将朝着高质量发展。



- **中国能源及天然气发展现状**
- **中国碳排放现状**
- **能源转型的路径和天然气在转型中的作用**
- **燃气—蒸汽电厂的降碳路径和发展趋势**



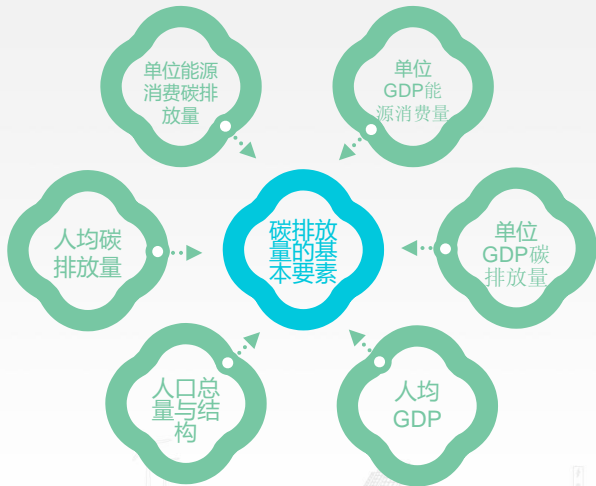
全球碳排放格局：

一、存在着已经实现二氧化碳排放量减少的国家和碳排放仍然在持续增加的国家。

二、全球近60%的二氧化碳排放量来自于中国、美国、印度、俄罗斯、日本。经济排名前10位国家的碳排放，全球占比达到67.7%，前30位国家的碳排放更是占到全球的87%。

三、中国以28.8%的全球占比，不仅位居首位，而且体量惊人。2019年中国的二氧化碳排放量，已经接近排名第2至第5位的美国、印度、俄罗斯、日本4个国家的总和。正因为如此，中国“努力争取2060年前实现碳中和”的承诺，意义重大，同时也任务艰巨。





当社会经济发展到一定水平后，首先会出现“单位能源碳排放量”和“单位GDP能源消费量”呈现下降趋势的拐点，人均碳排放量的峰值要相对滞后。然而只有人均碳排放量开始持续下降才意味着进入真正的转折点。

在2000-2019年期间，我国人均碳排放量增加了1.6倍。虽然单位能源碳排放量、单位GDP能源消费量、碳强度都已经通过拐点呈下降趋势，但是人均碳排放量还没有达到峰值。如何快速地达到人均碳排放量的拐点，并使其持续地下降是中国实现“争取2060年前实现碳中和”的关键。

中国碳排放交易重要事件

2010年

首次提出建立和完善碳排放交易制度



2011年

国家发改委批准7个省市试点碳排放交易



2013年

国内首个碳排放交易平台在深圳启动



2014年

国家发改委公布《碳排放交易管理暂行办法》



2017年

全国统一碳排放交易市场成立

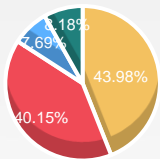


2020年

中国宣布“双碳”目标

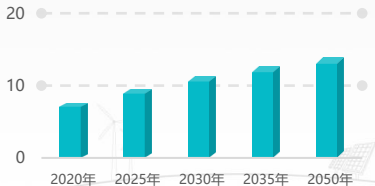


各行业排碳占比

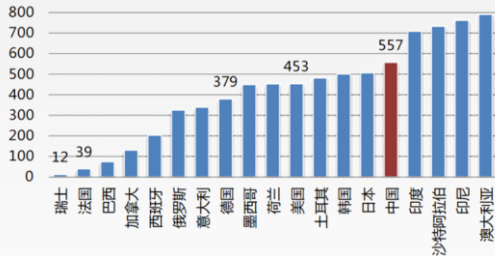


■ 电力排碳 ■ 工业排碳 ■ 交通排碳 ■ 其他行业

电力需求预测 (万亿千瓦时)



度电排放强度 (g/kWh)



我国电力行业碳排放总量最大，2020年排放超过45亿吨。
所以电力行业需要提前实现碳中和，为其他行业提供零碳能源。



- **中国能源及天然气发展现状**
- **中国碳排放现状**
- **能源转型的路径和天然气在转型中的作用**
- **燃气—蒸汽电厂的降碳路径和发展趋势**



当传统能源伴随时代走过高速发展的阶段，向高质量转型将成为当下时代的主基调。低碳化、智能化、电气化等路径都将加入未来的能源生态体系之中。

从高碳能源转向低碳能源，由低碳能源进入完全可再生能源，这是世界能源转型和发展的趋势。我们理应顺应这一趋势并尽可能缩短这个过程，但应尊重这一过程的客观规律，不应试图从高碳能源跨过低碳能源，而一步到位进入到完全可再生能源。



英国能源转型路径：

第一阶段：薪柴时代转向煤炭时代。1619年，英国煤炭消费占比达到49%，完成转型。

第二阶段：煤炭时代转向油气时代。1952年的伦敦烟雾事件导致英国开始关注能源利用对大气环境的影响，并转向以天然气替代煤炭。到2000年，油气消费占比达到74%，煤炭占比从1956年的80%降至16%。

第三阶段：化石能源向非化石能源转型。21世纪初，英国出台《可再生能源义务法》、《气候变化法案》等，大力推动可再生能源发展，实现从化石能源体系向绿色低碳的可再生能源体系转变。到2020年，英国可再生能源消费占比达16%，较2000年提高15个百分点。

第四阶段：2030年后进入非化石能源发展期。2019年6月，英国宣布将在2050年实现温室气体“净零排放”。



英国能源转型对我们的启发

“去煤”是实现“碳中和”的迫切任务，“去煤”要尽快完成

政策法规是实现“碳中和”的重要手段

天然气在能源转型中扮演了重要角色，是实现“碳中和”的重要抓手

实现“碳中和”不能一蹴而就，需要分阶段实施



节能技术：

- 降低工业能耗
- 降低消费电耗

减排技术：

- 大型火电厂降低煤耗
- 煤改气

电力能源碳中和技术

零碳技术：

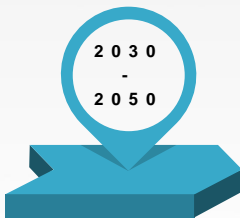
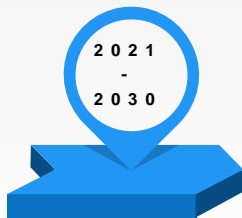
- 光伏发电+储能
- 风能发电+储能
- 核能发电
- 水力发电
- 氢能

零碳技术：

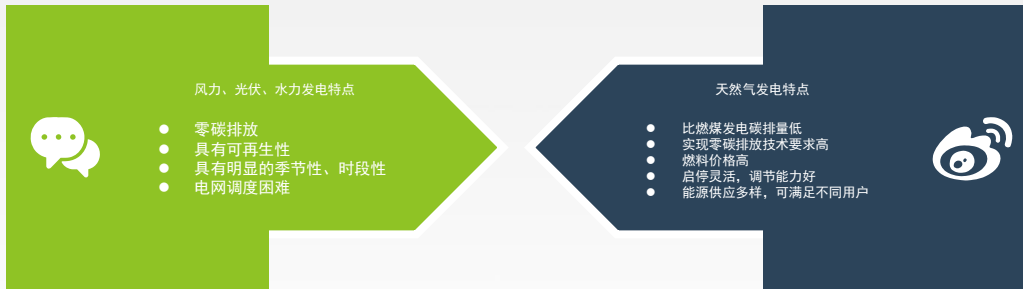
- 绿色氢能
- 化石能源+碳捕捉
- 生物质燃料

负碳技术：

- 生物质+碳捕捉



“2060碳中和”目标的实现需要全新的低碳发展转型战略，它将倒逼中国的能源转型，使其逐步摆脱对化石燃料、燃煤电厂的依赖，达到突破能源使用现状、颠覆已有技术、打破传统工业生态，实现社会经济体系、能源体系、技术体系的巨大转变。但也要意识到，作为世界最大的发展中国家和全球第一的碳排放大国，中国电力行业的减排和转型不仅需要强大决心，更需要行之有效的技术和战略策略，在保障能源供应的同时，突破现有减排瓶颈。



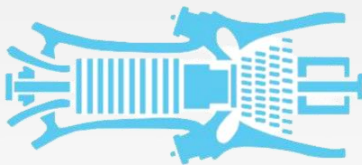
风、光可再生能源的自然属性，在“碳中和”零碳排放的背景下，优势明显，也是最终实现碳中和的主要技术路线。天然气发电启动快、可靠性高、调峰快速优势，能有效弥补风、光可再生能源调峰缺点，有效替代燃煤发电及供热，快速减少碳排放。

从现在中国的能源结构到实现碳中和需要较长的转变过程，天然气发电作为低碳清洁能源，是能源结构从高碳到低碳再到零碳过渡的重要桥梁。



- **中国能源及天然气发展现状**
- **中国碳排放现状**
- **能源转型的路径和天然气在转型中的作用**
- **燃气—蒸汽电厂的降碳路径和发展趋势**

燃烧前降碳



燃烧后降碳

使用不含碳或者碳中性的燃料：

灰色氢（利用化石燃料制取，分离出的碳未进行捕捉）

蓝色氢（利用化石燃料制取，并捕捉分离出的碳）

粉色氢（利用核能电解水）

绿色氢（利用可再生能源电解水）

可再生甲烷

氨

从废气中去除碳：

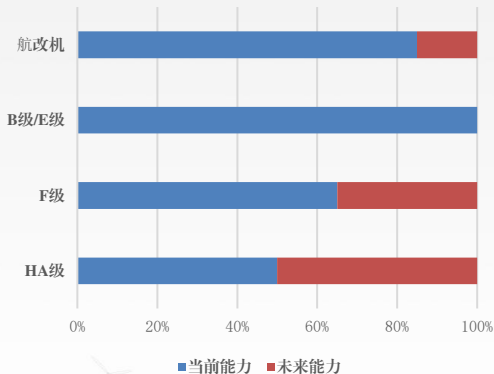
利用液体溶剂分离

利用固体吸附剂吸附

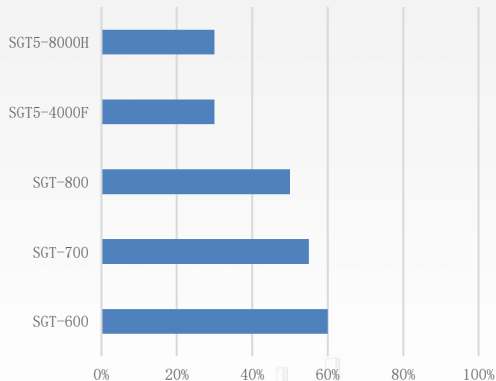
氧气循环燃烧




GE各型号燃机燃氢能力（体积比）



西门子各型号燃机燃氢能力（体积比）



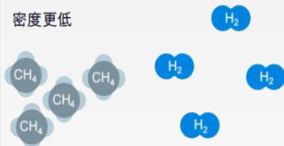
氢气与甲烷主要参数对比



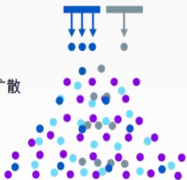
	氢气	甲烷
气态密度	0.089kg/m ³	0.717kg/m ³
液态密度	70.79kg/m ³	460kg/m ³
沸点	-252.76℃	-161.5℃
热值	120.1MJ/kg	55.9MJ/kg

氢气物理特性

密度更低



更易扩散

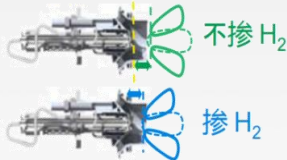


● H₂ ● CH₄ ● O₂ ● N₂

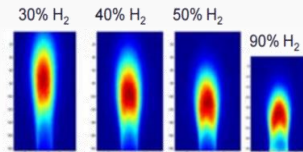
H₂ 氢气含量对燃机的影响

- 为了达到同样热负荷，燃气轮机燃气系统需要更大的燃气流量
- 氢气流动速度是天然气的三倍
→ 火焰传播速度 ~快10倍
(氢气: ~4.8m/s, 天然气: ~0.43m/s)
→ 快速形成爆炸性气体环境
(氢气: 4.15~75%, 天然气: 5~15%)
- 火焰更靠近燃烧器喷口, 难以控制预混, 增加NO_x排放
- 氢气点火能小, 点火浓度宽, 极易点燃
- 氢气具腐蚀性, 材料需升级

氢气火焰

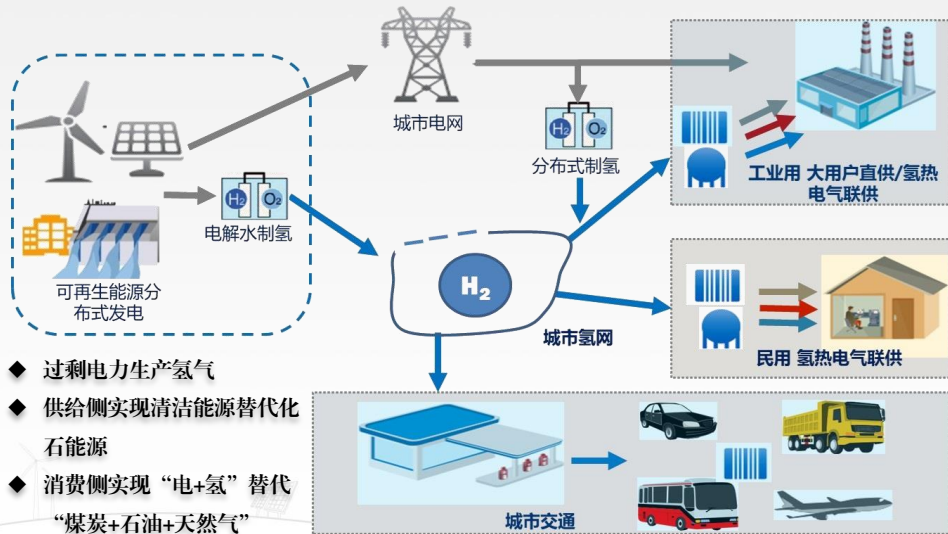


火焰离燃烧器更近: 增加回火风险



电解制氢技术比较

电解池类型	碱水电解池	固体氧化物电解池	PEM纯水电解池
电解质	20-30%KOH (氢氧化钾)	三氧化二钇/ 二氧化锆	PEM (Nafion等)
工作温度 (°C)	70-90	700-1000	70-80
能耗 (kWh/m ³)	4.5-5.5	2.6-3.6	3.8-5.0
操作特征	启停较快	启停不便	启停快
技术成熟度	商业化	实验室研发	国外商业化
有无污染	碱液污染	无污染	无污染



- ◆ 过剩电力生产氢气
- ◆ 供给侧实现清洁能源替代化石能源
- ◆ 消费侧实现“电+氢”替代“煤炭+石油+天然气”



燃气电厂的减碳效果：

目前最先进的1000MW燃煤机组发电标煤耗256.8g/kWh，每燃烧1t标煤排放CO₂约2.493t，单位电量的CO₂的排放为640.2g/kWh。燃气电厂以F级机组为例，发电标气耗0.198Nm³/kWh，单位电量的CO₂排放量353.1g/kWh。在不掺烧氢气的情况下，燃气电厂的度电碳排放量比燃煤电厂低44.8%。

而且，燃气电厂可以通过燃料中掺烧氢气的方法从源头降低碳排放量。2020年，发电用天然气量约600亿立方，如掺烧30%氢气，可减少碳排放3465万吨，减碳效果明显。



当前，全世界约有50个国家实现了碳达峰。其中，欧盟基本上在20世纪90年代实现了碳达峰，其峰值为45亿吨；美国碳达峰时间为2007年，峰值为59亿吨。据估计，我国实现碳达峰的预测峰值约为106亿吨。从实现碳达峰到实现碳中和，欧美发达国家基本都经历了50年到70年。我国从碳达峰到碳中和的目标期限仅为30年，再考虑到中国现有以高碳为主的能源消费结构、超100亿吨的年碳排放量、高耗能产业去产能化的艰巨任务等现实情况，我国经济发展的能源增长需求与减排降碳巨大压力将同时存在。

与燃煤电厂相比，燃气电厂在碳排放量方面有巨大的优势，目前，燃气轮机掺烧氢气的技术不断发展，国外已经有掺烧60%氢气的项目投入运行。由于氢气可以通过电解水制取，制氢的过程也为光伏、风电、水电等清洁能源的消纳提供了解决方案。



感谢聆听



把绿色能源带进生活

Bringing Green Power To Life



协鑫集团官方微信

协鑫（集团）控股有限公司
www.gcl-power.com

苏州

地址：江苏省苏州工业园区新庆路28号协鑫能源中心
电话：86-512-6853 8285
传真：86-512-6983 8989

上海

地址：上海市浦东新区世纪大道100号环球金融中心68楼
电话：86-21-6857 9688
传真：86-21-6877 8699

香港

地址：香港九龙柯士甸道西一号环球贸易广场17楼
电话：852-2526 8368
传真：852-2526 7638