



云道资本  
SIX SIGMA CAPITAL



云点道林  
SIX SIGMA RESEARCH

完整系列深度研报请关注「云道资本」公众号

# 2023中国绿氨产业研究与前景展望

2023 Research and Prospect of China's Green Ammonia Industry

©2023.11 SixSigma Research

支持  
单位



合肥综合性国家科学中心能源研究院  
Institute of Energy, Hefei Comprehensive National Science Center.

企名片  
qimingplan.com

CCTC  
华夏气候技术中心

「云点道林 Sixsigma Research」为精品投资银行「云道资本」下属研究机构以专业的数据信息、敏锐的市场洞察和创造灼见的研究咨询服务赋能中国创业企业、产业

# Green Ammonia Industry

## 绿色化工 | 绿氨



云道资本  
SIX SIGMA CAPITAL

绿色化工必由之路，绿氢应用新方向，万亿级产业方兴未艾

摘要

一、氨的简介与产业概况

二、绿氨的定义

三、绿氨的制备工艺

四、绿氨的应用场景及前景

五、绿氨的制备成本与经济性分析

六、绿氨的政策环境与产业进展





### 绿色化工必由之路，绿氨应用新方向，万亿级产业方兴未艾

绿氨是无碳化的氨合成与生产，由绿电制取的绿氨与空气分离得到的氮经过一定的合成工艺合成为绿氨；绿氨在清洁动力燃料、清洁电力燃料（火电掺烧）、储氢载体等新应用场景与市场拥有极大的应用潜力，其渗透有望不断快速攀升，2030年全球年产量有望超**2000万吨**，2050年超**5.6亿吨**，成为全球新型清洁能源供应体系的重要一环。

**NH<sub>3</sub>**

氨是大宗基础化工品，具备原料、燃料双重属性，应用场景广泛、当前以生产化肥为主；合成氨属于能量密集型产业，是中国乃至全球碳排最高的化工产业，向绿色低碳转型势在必行，受资源禀赋及技术成熟度影响，各国家和地区向绿氨转型技术路径有所差异



由氨的碳足迹决定，氨的制备可分为灰氨、蓝氨、绿氨三类；绿氨—绿电制绿氨耦合合成氨生产，实现清洁零碳排放的高效合成氨工艺，技术工艺尚未定型，比较来看，柔性的低温低压法更适应绿氨的生产工况，有望成为大规模制取绿氨的主流技术路径



随着绿电电价下降与电解技术的成熟，绿氨成本将持续下降；中国绿氨经济性竞争力可期，制备成本有望在2050前后降至240美元/吨；细分场景来看，绿氨制备与船运燃料、氨储运等场景下，绿氨已具备一定的竞争力，火电掺烧场景短期内仍需依赖政策驱动



全球范围来看，各国家及地区关于绿氨的鼓励性政策持续出台，全球规划中的绿氨产能已超7000万吨；细分地区来看，澳洲及中东有望凭借成熟的合成氨产业基础以及丰富的风光资源成为未来全球最大的绿氨生产中心，日韩则为绿氨政策确定性最强的地区



# Part I

## 氨的简介与产业概况

---

氨是大宗基础化工品，具备原料、燃料双重属性，应用场景广泛、当前以生产化肥为主；合成氨属于能量密集型产业，是中国碳排最高的化工产业，向绿色低碳转型势在必行，受资源禀赋及技术成熟度的影响，各国家和地区向绿氨转型的技术路径有所差异



## 氨的简介与产业概况

# 氨一大宗基础化工品，原料、燃料双重属性，应用场景广泛、当前以生产化肥为主

氨，化学分子式为NH<sub>3</sub>，常温下是一种无色气体，易挥发、可燃、其强烈刺激性气味极具辨识度。氨目前是世界上生产及应用最广泛的基础化学品之一，具有原料和燃料双重属性。



原料用途



化肥



冷冻剂



炸药



污水处理



燃料用途



船舶动力



固定式发电

目前全球80%以上的合成氨用于生产化肥。就中国而言，目前合成氨主要有农业、工业、储能(新增用途)等三大类用途。从2020年的数据来看，农业用氨占比71%，工业使用占比29%，氨作为储能介质用途尚不成熟，占比不足1%；

### 中国合成氨的主要用途

71% 农业用氨

29% 工业用氨



# 氨的简介与产业概况

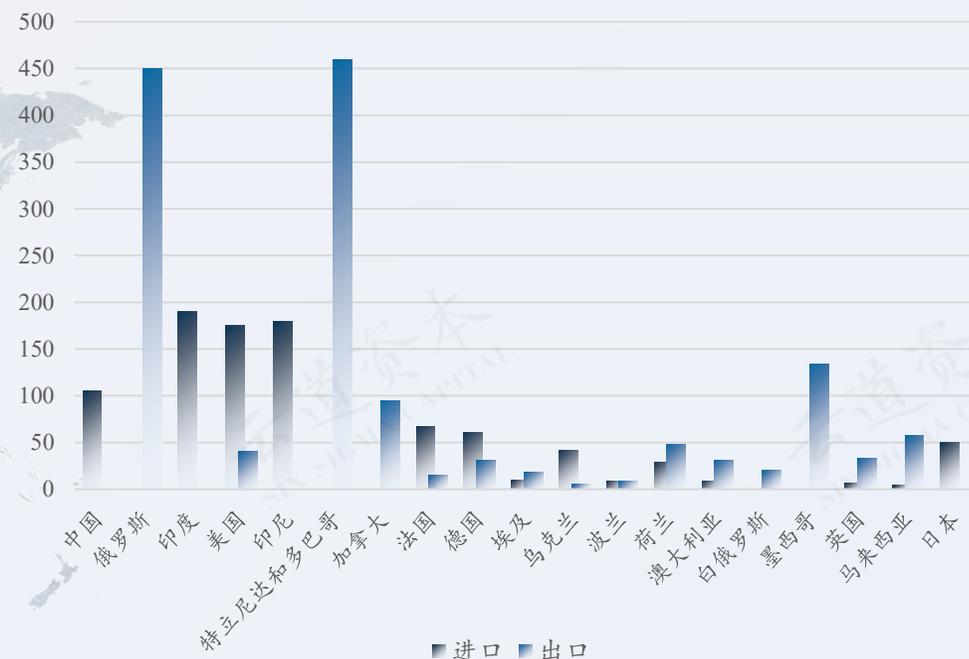
## 全球范围看，氨产能十分集中，贸易属性强，中国合成氨长期处于贸易逆差地位

目前，氨的生产目前主要是基于拥有一百多年历史的哈伯-博世法，该方法以煤炭、天然气等化石能源为原料，适用于连续、集中化、大体量的合成氨生产；基于这一成熟的工艺，全球每年合成氨产量为2.5亿吨左右，且产能分布主要受化石能源禀赋的影响，主要产自中国、印度、俄罗斯和美国四个国家；中国与印度虽然是合成氨产能大国，但由于农业化肥、工业消耗量大等原因，同时也是氨的主要进口国；俄罗斯则是全球主要的净出口国；全球范围来看约70%的合成氨用于进出口及国际贸易。

### 全球合成氨主要产能区域



### 合成氨进出口量（万吨）



数据来源：国家统计局、国际可再生能源署（IRENA）



## 氨的简介与产业概况

# 国内范围看，氨能的供给侧产能结构调整效果显著，产能集中且稳定，但仍需进口

总体上，中国是世界上最大的合成氨生产国和消费国，合成氨产业遍布全国，具有良好的产业基础。

自20世纪50年代来，中国合成氨工业不断发展壮大并已成为世界上最大的生产国，产量约占全球的30%；但2010年以来中国合成氨产能过剩率已超30%。2016年工信部印发《石化和化学工业发展规划(2016年-2020年)》明确原则上不再新建以无烟块煤和天然气为原料的合成氨装置，且行业主要以去产能为主基调。“十三五”期间，工业和信息化部要求合成氨行业淘汰落后以及过剩产能不得少于1000万吨，同时伴随着相关工艺的改良与成熟，产能有效利用率也在不断上升，因此近年来整体上中国合成氨产业呈现产能逐年减少、产量总体稳定、仍需进口填补缺口的局面。

### 中国合成氨产量（万吨）



数据来源：国家统计局

### 中国合成氨进口情况





## 氨的简介与产业概况

# 合成氨属于能量密集型产业，是碳排最高的化工产业门类，向绿色低碳转型势在必行

### 全球范围来看

合成氨工业属于能量密集型产业，近些年合成氨的能源消耗约占全球能源消耗的2%（最高时近10%）。

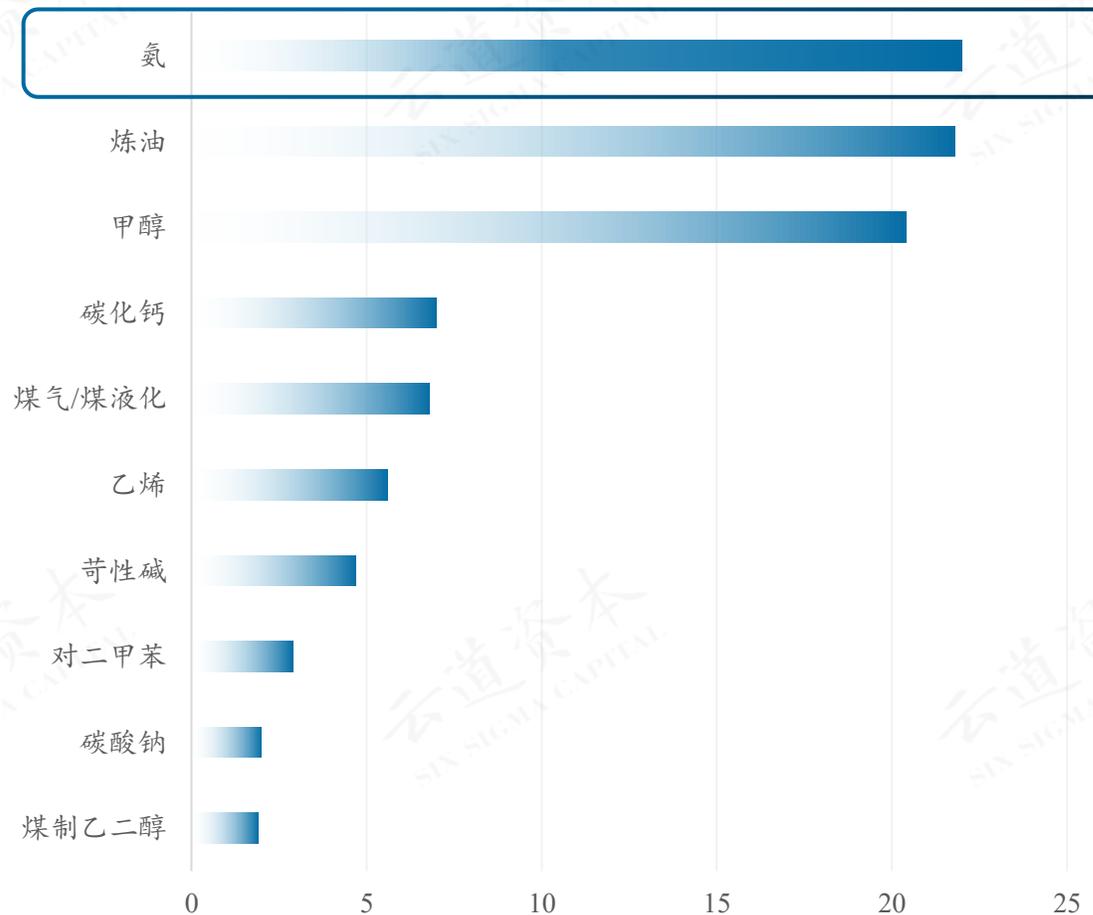
另外，合成氨生产过程中每年约有5亿多吨的二氧化碳排放，约占全球碳排放总量的1-2%、占化工行业CO2排放的15%-20%。通常每生产1吨氨，释放将近2吨的二氧化碳，合成氨行业的节能减排压力巨大，亟需进行绿色转型。

### 中国范围来看

中国合成氨主要是煤制合成氨，约占总产能的75.5%，其余主要为天然气原料，约占总产能的21.4%。碳排量巨大，目前合成氨行业已成为中国碳排最高的化工行业；

目前中国的国家政策也在大力鼓励绿色低碳技术生产合成氨，到2025年，合成氨行业能效产能比例将从2020年的7%提高到15%。未来随着行业技术的发展，我国合成氨将新增更多的绿色节能生产装置，行业产量也将不断增长。

中国化工产业不同行业年碳排放量（千万吨）

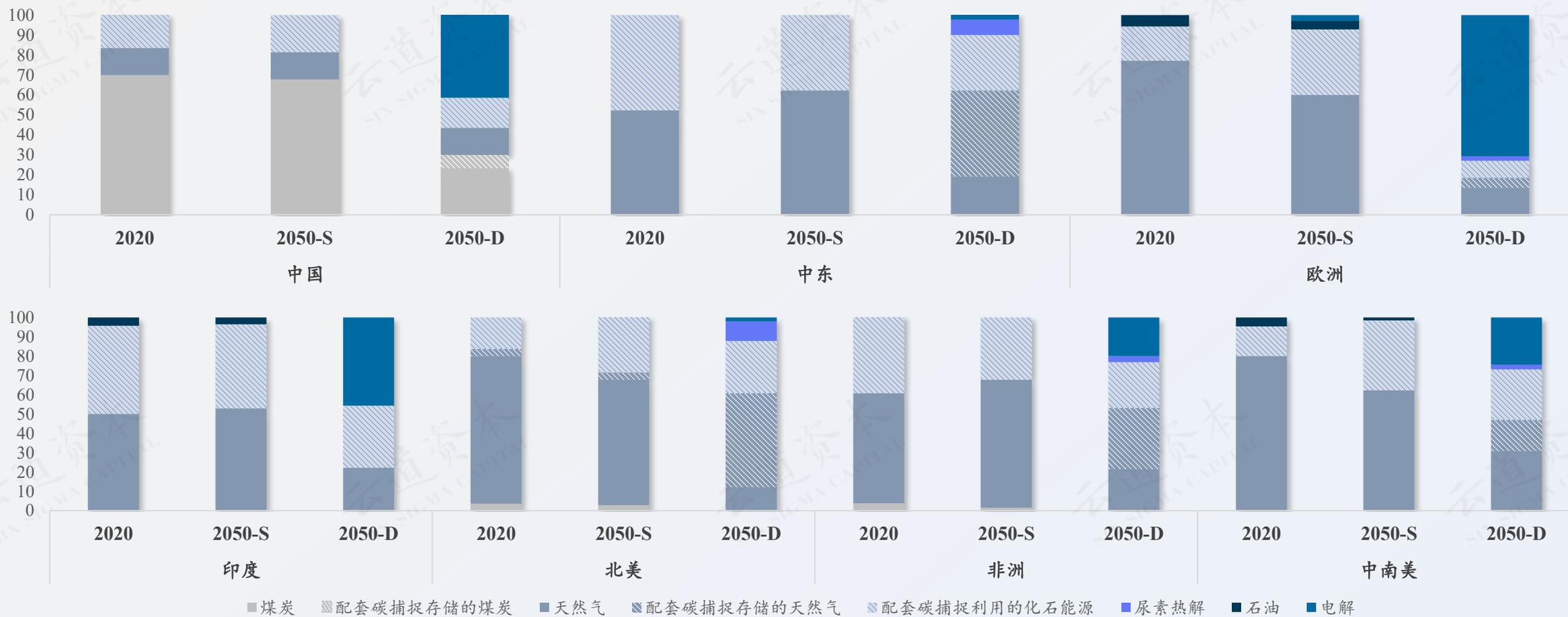




# 氨的简介与产业概况

## 全球各氨主产区受资源禀赋、技术成熟度等影响，向清洁制氨转型技术路径各有差异

### 各氨主产区的工艺路线和清洁生产方案



注：纵轴为百分比 (%)；2050S:既定政策条件；2050D:可持续发展条件（温控目标）

数据来源：国际能源署（IEA）



# Part 2

## 绿氨的定义

---

绿氨是无碳化的氨合成与生产，由绿电制取的绿氢与空气分离得到的氮经过一定的合成工艺合成为绿氨；根据最新的政策文件，完全绿氨的全链条所用网电不得超过1%-3%



# 绿氨的定义

## 绿氨—无碳化的氨合成与生产，完全绿氨的全链条所用网电不得超过1%-3%



绿氨，与传统氨的主要区别在于生产过程的无碳性质。

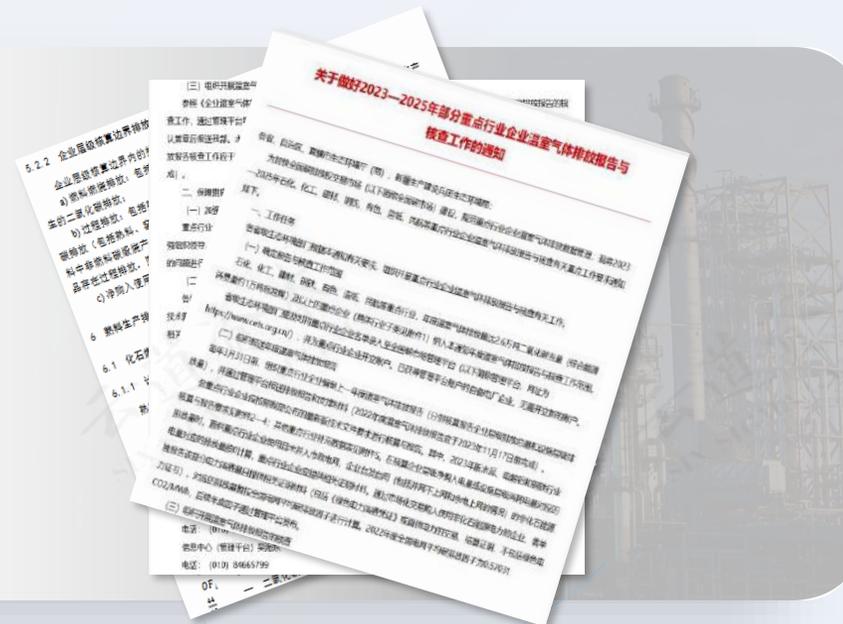
从原料输入的角度来看，绿氨由两个核心输入组成：氮气、氢气；可以拆分成：水、空气、可再生电力三个要素；首先，氢气由水经可再生电力电解产生，即绿氢；而氮气是从空气中分离出来得到；绿氢与氮通过哈伯-博世等合成氨工艺结合成氨。

在整个绿氨的生产过程中，所有过程均由可再生电力（绿电）驱动，无二氧化碳的排放，满足此标准的生产过程生产出的氨为“绿氨”。

传统合成氨生产过程中每年约有5亿多吨的二氧化碳排放，约占全球碳排放总量的1-2%，也是中国碳排放最高的化工行业，将灰氨转成绿氨生产，是绿色化工转型、落地双碳政策的必由路径。

### 最新政策动向

根据2023年10月国家生态环境部最新发布的“关于做好2023—2025年部分重点行业企业温室气体排放报告与核查工作的通知”内容，氨所在的化工行业是中国接下来减排降碳的重点行业，并且文件中界定了中国电网的“网电”基本不属于“绿电”范畴的概念。这就使得真正完全绿氨的生产过程中的所用电力必须为风光离网电（按欧盟碳税的标准碳排折算，绿氨全生产链条的网电占比不超过1%-3%）。





# Part 3

## 绿氨的制备工艺

---

由氢的碳足迹决定，氨的制备可分为灰氨、蓝氨、绿氨三类；绿氨—绿电制绿氢耦合合成氨生产，实现清洁零碳排放的高效合成氨工艺，技术工艺尚未定型，比较来看，柔性的低温低压法更适应绿氨的生产工况，有望成为大规模制取绿氨的主流技术路径



# 绿氨的制备工艺

## 氨制备的工艺划分—灰氨、蓝氨、绿氨，由氢的碳足迹决定

20世纪初，德国化学家Fritz Haber和Carl Bosch等人提出了Haber-Bosch（哈伯-博世）法，在高温高压的条件下以氮气跟氢气1：3的比例合成氨，从而开启了合成氨大规模的工业化进程，为全球农业、工业的发展提供了稳定的原料供应。目前全球氨年产量约2.5亿吨，其中98%由化石能源制得，其碳排放占全球的2%，是全球碳排放“大户”。

随着全球气候变暖、各国加快降碳减排步伐，合成氨行业也出现了由“灰”向“绿”的转型趋势；与氢类似，根据原料中氢气的碳足迹，合成氨被分为灰氨、蓝氨和绿氨。灰氨中的氢气来源于天然气或者煤炭，由传统的 Haber-Bosch 高温催化工艺制备而成；蓝氨则是将灰氨生产过程中的二氧化碳进行捕集；绿氨是基于可再生能源提供能量来源的前提下，以水为原料提供绿氢，然后与氮气混合通过热催化或者电催化等新型低碳技术制备而成。

合成氨生产链路示意





## 绿氨的制备工艺

# 灰氨/蓝氨—工艺成熟、优化空间有限，中国以煤制合成氨为主，绿氨产能近乎为零

1913年9月，世界上第一座合成氨装置投产，其采用哈伯法发明的催化合成氨技术，被认为是20世纪催化技术对人类最伟大的贡献之一。经过百余年的发展，合成氨工业已经取得了巨大的进步，其反应压力持续降低，能耗随着降低。单套生产装置的规模已由当初的日产合成氨5t发展到目前的年产百万吨级，反应压力已由100MPa降到了10~15MPa，能耗也已接近理论能耗极限，未来哈伯法优化的空间较小。

蓝氨则是在灰氨的生产过程中耦合进碳捕捉（CCUS）技术及设施，作为灰氨的减排降碳措施。

### 中国合成氨-灰氨生产的现状



#### 技术工艺

- 8.0~22.0MPa 中低压合成技术为主
- 10万 Nm<sup>3</sup>/h 大型空分装置成熟
- 大型煤气化技术成熟
- 掌握30万吨/年以上大型合成氨装置技术

#### 产能结构

- 煤制合成灰氨--约占总产能 75.5%
- 天然气合成灰氨--约占总产能 21.4%
- 完全绿氨产能几乎为 0

#### 产能分布

- 山东 山西 河南  
湖北 四川 等地

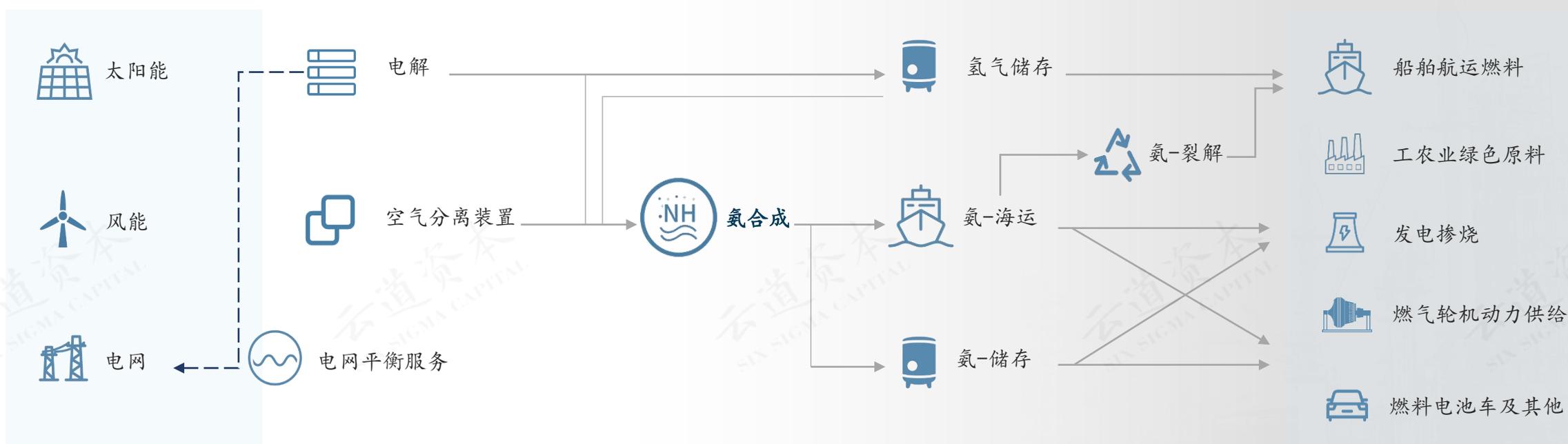


# 绿氨的制备工艺

## 绿氨—绿电制绿氢 耦合 合成氨生产，实现清洁零碳排放的高效合成氨工艺

绿氨（可再生氨）的生产工艺主要是指全程以风力、光伏发电等可再生能源为动力开展的电解水制氢及空气分离制氮再通过一定的合成工艺生产绿氨的过程，即通过绿电、绿氢制备绿氨。

### 绿氨产业链示意





## 绿氨的制备工艺

# 绿氨—远期需求将达亿吨级，目前已进入示范工程阶段，但技术工艺尚未定型

绿氨替代灰氨生产绿氨是化工行业的碳减排技术路径之一。根据国际可再生能源署 (International Renewable Energy Agency, IRENA) 估算，为了满足《巴黎协定》中全球气温上升控制在 1.5 摄氏度(°C)以内的目标，到2050年全球将新产生亿吨级的绿氨需求量。

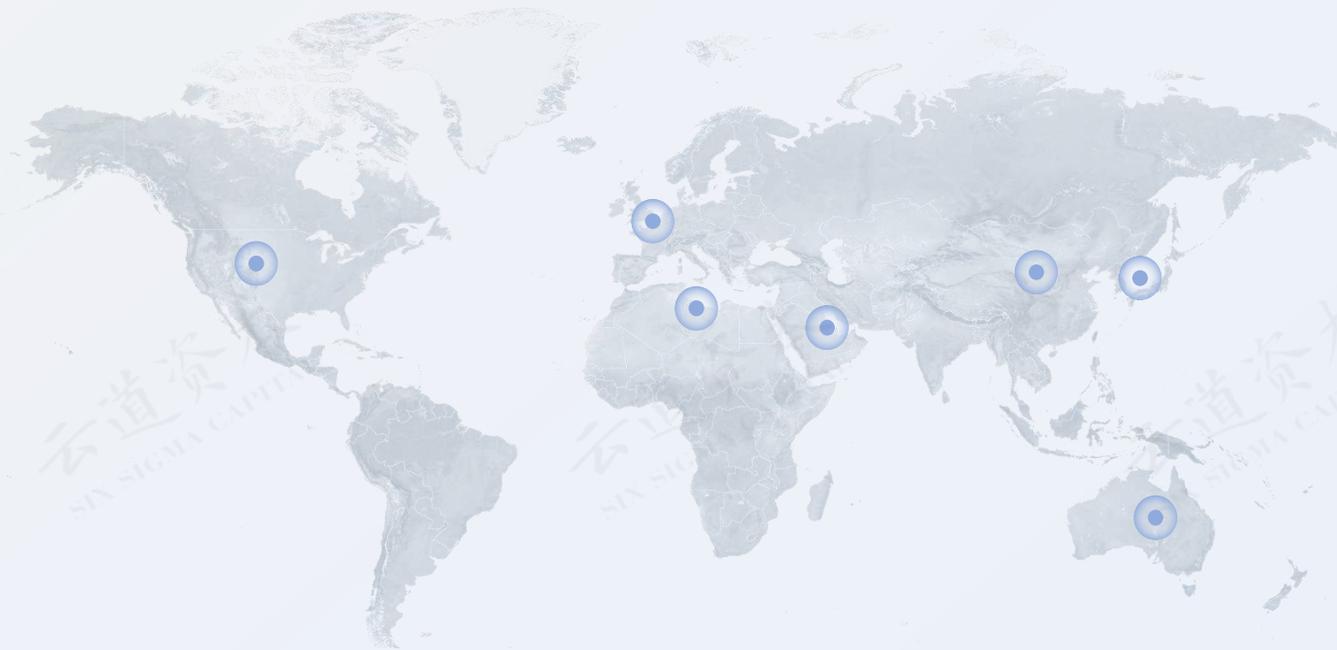
从全球范围来看，中国、中东、日韩等可再生能源体系发达、氨能需求大的国家及地区均已布局了绿氨的示范工程，但绿氨的主要技术工艺尚未完全定型，当前的绿氨制备工艺主要是基于传统的哈伯法进行改良。

### 全球开展绿氨示范的国家与地区



## SIEMENS

西门子在英国卢瑟福阿普尔顿实验室设计并建造了世界上第一个可逆绿氨示范工厂，该示范项目证明了使用绿电电解水制取绿氢、从空气中分离氮通过现有的灰氨主流生产工艺：哈伯-博世合成技术，生产绿氨在技术上是是可以实现的，商业化的绿氨生产就此拉开序幕。





# 绿氨的制备工艺

## 绿氨—三大合成工艺成熟程度不同，传统的“哈伯-博世法”是目前绿氨示范的主流

当前，绿氨核心的合成工艺主要可分为以下三大类路径，其中传统工艺哈伯博世法应用最为成熟

### I 传统工艺

--基于传统的哈伯-博世法（热催化+高温高压）耦合绿氢

### II 柔性工艺

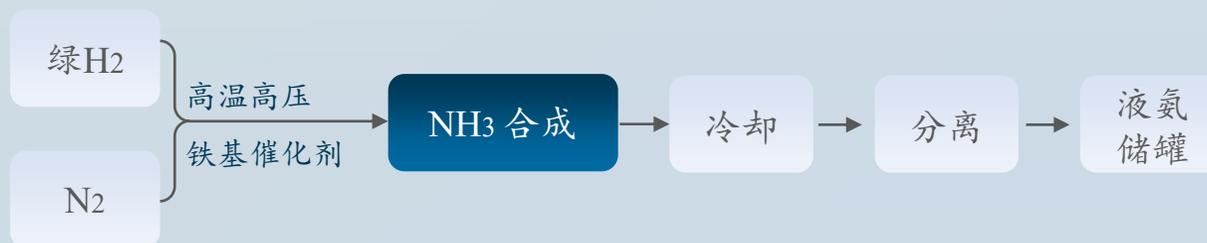
--热催化+低温低压法耦合绿氢

### III 新型工艺

--光催化/等离子体/电化学等耦合绿氢

### I 传统工艺

--基于传统哈伯-博世法（热催化+高温高压）耦合绿氢：反应压力20~50MPa，反应温度350~500°C，在铁基催化剂作用下，绿氢和氮气合成绿氨



哈伯法的合成氨装置一般由两部分组成，上面部分是接触室，装有粒状的铁基催化剂；下面部分为热交换器；

氮气和氢气的混和气体先进入热交换器预热，然后进入接触室经过热催化反应生成氨。从接触室里出来的NH3的温度较高，进入冷却器使氨液化；再将分离后的液氨进入储罐，未被液化的NH3和H2，循环进入合成塔。本路线可基于现有的合成氨装置，新建可再生能源发电（风电或光伏）和电解水制氢单元，配套一定的储能设施，生产绿色合成氨产品。

数据来源：国能、中海油石化、云道资本自行整理



传统的哈伯法是传统灰氨生产的主流成熟工艺，已有百余年的应用历史，从技术成熟度的角度来看，该工艺被认为是最有可能率先实现绿氨产业化技术路线。但**该工艺是按照化石燃料稳定持续的原料供应+连续生产要求进行优化迭代的，适用于传统中大型的合成灰氨工厂，作为绿氨合成的工艺，该方法尚存在以下几点难以解决的弊端，我们判断只能作为中短期内灰氨向绿氨过渡的有益尝试。**

1

受制于传统的哈伯-博世工艺限制，当前的合成氨工厂规模非常大，目前合成氨工厂平均每天产能就高达**500-1500吨氨**，超大型工厂产能已超过**3500吨/天**；高温高压的哈伯法能耗巨大，假如一个中小型合成氨工厂用绿氢取代500吨/天的传统灰氢原料，将需要**35-50万千瓦**的可再生电力消耗和类似大规模的电解设备系统与配套的储氢输氢设施等。而目前就全国范围来看，目前单个风光离网绿电项目不超过**200MW**，对于不能上网的绿电绿氢来说，难以满足集中化、大型化的合成绿氨的绿电消耗需求。

2

受制于可再生能源的供应规模，该方法目前还是对合成氨部分传统产能的绿色化改造，其全生产过程的碳排放并非为零，并不是完全的绿氨生产工艺，该模式下产出的氨难以认证为真正的“绿氨”。

3

完全的绿氨生产面临的最大挑战是适应太阳能和风能等波动性可再生能源所需的生产工艺灵活性。现在的哈伯-博世生产工艺是按照化石燃料原料连续生产要求进行优化的，因此运行灵活性有限，难以适应分布式的风光绿氢绿电场景。该工艺如要适配具有波动性、间接性和不确定性的可再生能源，须配套一定量的储能设施、并对装置的工艺方案加以改造；且最大限度的保证绿电绿氢的稳定供应，一旦接入网电调峰支撑，则产出的氨不会被认定为“绿氨”。



### III 柔性工艺

#### --热催化+低温低压法 耦合绿氢

- 主要针对可再生能源“间歇性、波动性”的特点和氢气储运难的特点，该工艺下可将NH<sub>3</sub>发展为储氢介质，实现氢氨的融合发展；
- 该工艺主要通过对催化剂及流程工艺的革新，使得合成氨装置在较低的温度（400°C以下）下和较低的压力下（10MPa以下）仍能实现高效的氨合成过程，有效降低了能耗；
- 该方式通过降低工作温度与压力的限制将合成氨装置的小型化、灵活化变为可能，从技术和工艺流程角度看，该方式更容易实现大规模绿氨生产。

### IIII 新型工艺

#### --光催化/等离子体/电化学等 耦合绿氢

- 包括电催化、光催化、生物催化、电磁催化合成氨等，其中，电催化分为液态与固态电解质等不同路线，核心的难点是需要攻克高效可靠的催化剂。光催化合成氨是利用可见光下的空气与水发生氧化还原反应生成氨，同样面临需要开发高效稳定的催化剂的问题；而生物催化合成氨技术依赖于生物质原料暂不适用于规模化工业路径、电磁催化也尚未有工业化趋势的迹象；
- 总体上各类新型工艺尚处实验室研究迭代阶段、相关的催化剂材料与工艺流程尚不成熟，距产业化还有比较大的距离。

结合各技术路线的实现方式、特点及成熟度来看，我们认为对传统的哈伯法灰氨合成工艺加以改良仅能作为短期内灰氨向绿氨过渡的有益探索，但无法满足大规模绿氨的供应；灵活性更高的低温低压法有望成为未来大规模制取绿氨的主流技术路径



# Part 4

## 绿氨的应用场景与前景

---

绿氨在清洁动力燃料、清洁电力（火电掺烧）、储氢载体等新市场拥有极大的应用潜力，绿氨渗透有望不断快速攀升，2030年年产量有望超2000万吨，2050年超5.6亿吨，成为新型清洁能源供应体系的重要一环



# 绿氨的应用场景与前景

## 绿氨在清洁动力燃料、清洁电力、储氢载体等新市场拥有极大的潜力

合成氨传统应用市场主要集中在传统的农业与工业方面。农业领域，氨主要作为尿素、复合肥的原料。工业领域，氨则用于生产车用尿素和烟气脱硝等，其中近些年己内酰胺、丙烯腈、硝酸、烟气脱硝等细分工业应用市场对合成氨的需求均有较大增幅势头。但总体上，伴随着双碳下各项节能减排政策的驱动、传统的能源供应与使用体系重构下，氨的消费属性正逐渐变化，氨的能源属性和储能属性使其在清洁动力燃料、清洁电力和储氢载体等新市场及应用领域中具有极大的发展潜力，尤其是由可再生能源制取的绿氨。





# 绿氨的应用场景与前景

## 双碳战略目标愿景下，氨助力新的清洁能源体系构建，对低碳社会发展具有重要意义



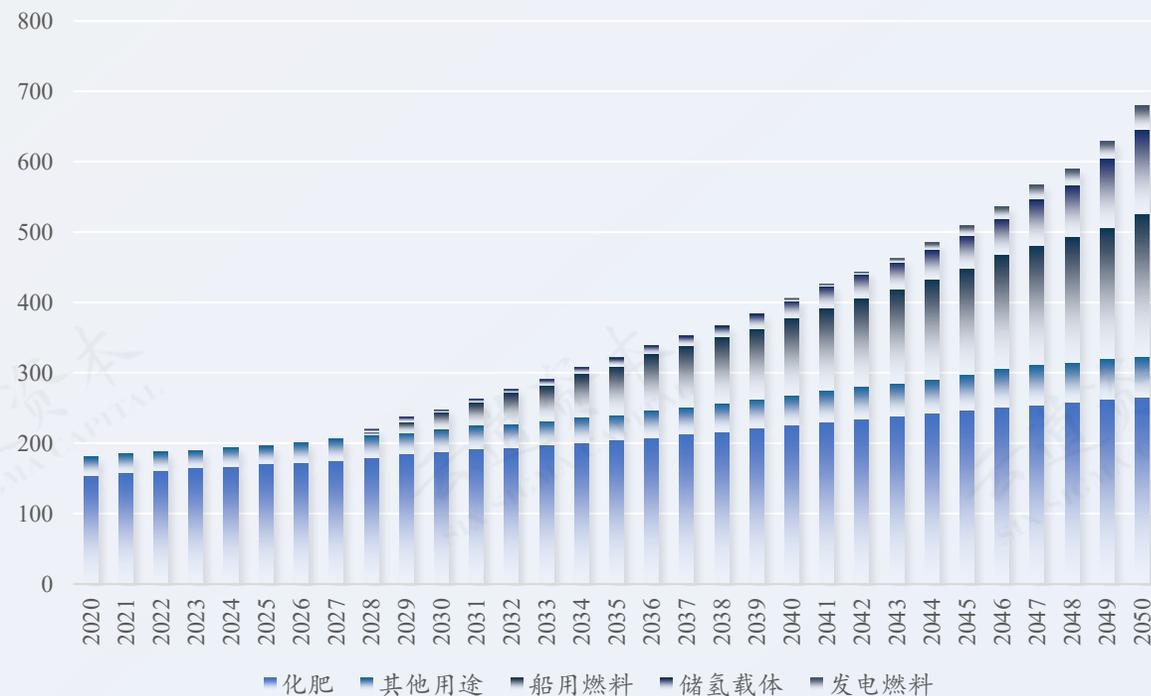
**氨-直接用于供能：**氨被认为在发电和重型交通运输领域具有脱碳应用潜力。氨直接燃烧或与常规燃料混燃用于发电，有利于构建清洁电力系统；氨用于发动机燃料，有利于解决交通运输领域的碳排放问题。

**氨-间接供能与储能介质使用：**氨作为储氢介质，利用催化能够实现氨氢转化，可打破传统氢储运方式，为发展“氨氢”绿色能源产业奠定基础。

### 中国不同产业合成氨用量预测（百万吨）



### 全球气温至2050年上升至1.5度的氨需求测算（百万吨）



数据来源：毕马威、国际可再生能源署(IRENA)、氨能源协会(AEA)

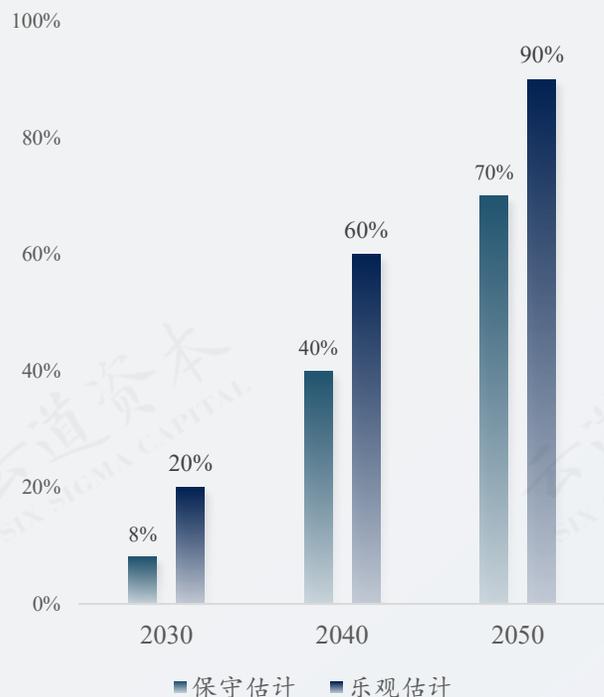


# 绿氨的应用场景与前景

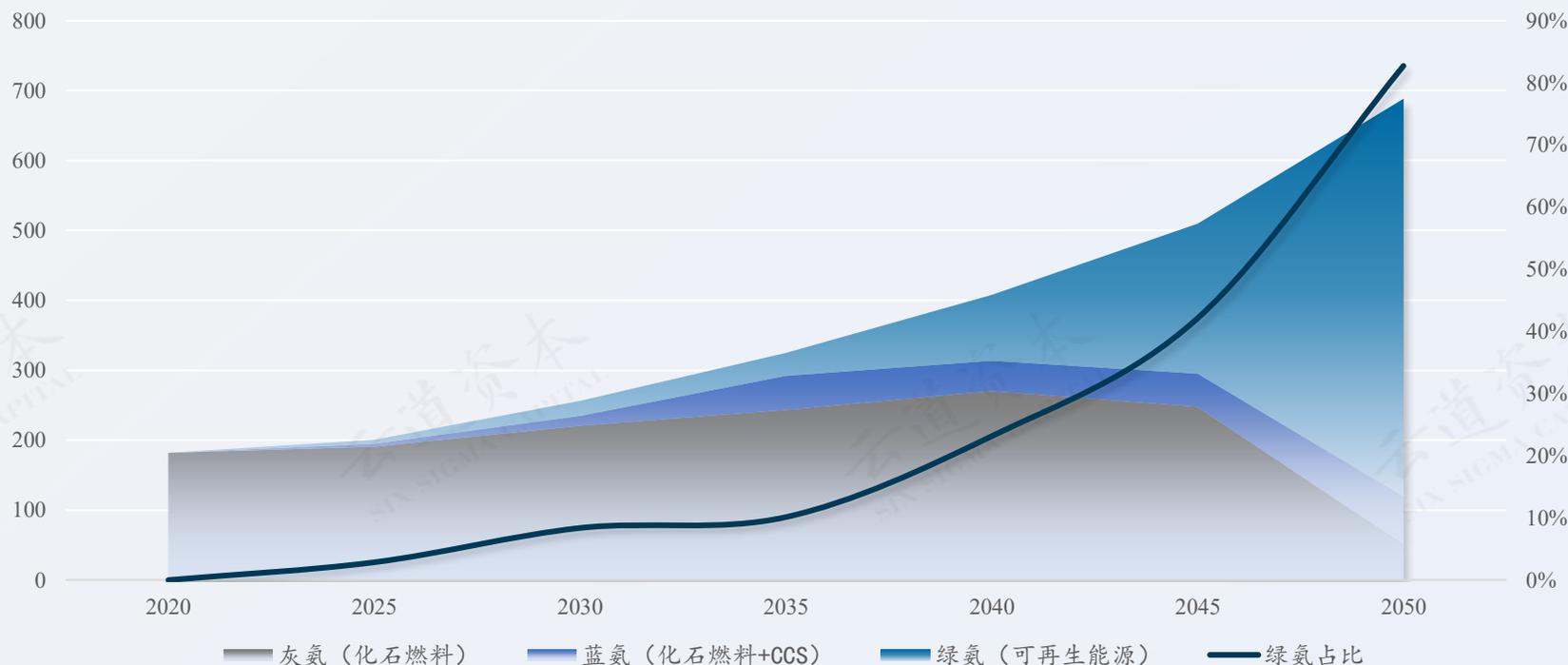
## 绿氨渗透有望不断快速攀升，2030年绿氨年产量有望超2000万吨，2050年超5.6亿吨

2050年全球对氨的需求预计将是2020年的三倍，且新增的氨供应大部分来自可再生能源生产的绿氨。目前，全球范围来看，大多数合成氨主要由天然气(72%)和煤炭(22%)生产。解决氨生产中的碳排放问题是实现化工和农业部门脱碳的关键因素，氨作为无碳燃料在交通运输、储能等行业的应用也将不断扩大；预计2030年，全球绿氨年产量将超过2000万吨；2050年将超5.6亿吨，占全球氨产量的80%以上。

### 绿氨占氨产量的比重预测



### 2020-2050年1.5°C情景下全球氨产量的预测(百万吨)



数据来源：国际可再生能源署(IRENA)、氨能源协会(AEA)



## 绿氨的应用场景与前景

# 无碳燃料—内燃机的清洁燃料，未来交通运输、尤其是航运业脱碳的确定性主力燃料

压燃式内燃机在重型卡车、船舶等交通运输领域和发电领域的年装机容量巨大，目前以燃油为主，产生的二氧化碳排放量占全球的3%~4%，碳减排需求显著。而氨作为清洁能源的一种，应用至内燃机领域作为无碳燃料使用，有利于解决交通运输、发电等领域的碳排放问题。

### 氨作为内燃机燃料的优缺点



- 氨的辛烷值高，抗震爆性好，可以通过更高的压缩比提高输出功率；
- 氨用作内燃机燃料时热效率高达50%，甚至近60%；



- 相对于汽油、柴油等燃料，氨燃烧时最小点火能量和层流燃烧速度均较低--需将氨与燃烧性能较好的燃料掺混来改善其燃烧；
- 由于燃烧不充分和氧化发生，容易导致氨燃料所含的氮元素转化成温室效应更强的NOx气体排放—需对燃烧和尾气进行一定处理；

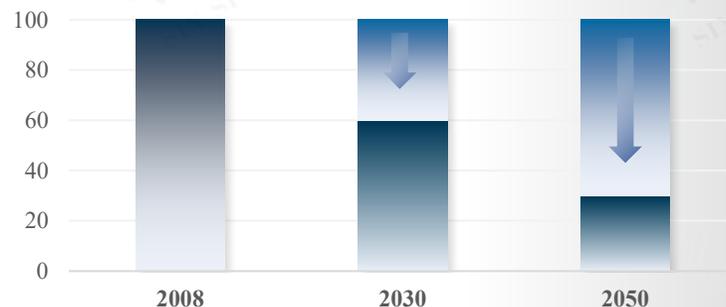
| 燃料品种  | 沸点（摄氏度） | 液态能量密度（MJ/m <sup>3</sup> ） |
|-------|---------|----------------------------|
| 绿氨    | -34     | 11440                      |
| 甲醇    | 65      | 22700                      |
| 天然气   | -162    | 20790                      |
| 液化石油气 | -42     | 27260                      |
| 氢气    | -253    | 10132                      |



## 绿氨的应用场景与前景

# 无碳燃料—内燃机的清洁燃料，未来交通运输、尤其是航运业脱碳的确定性主力燃料

船舶运输是当前国际贸易的主要货运形式,其承担了全球贸易运输总量的90%以上。船用动力机特别是远洋船舶,需要较大的功率输出,目前主要以燃油为主,会排放大量的二氧化碳。



国际海事组织2018年通过了减排初步战略,提出到**2030年全球海运碳排放与2008年相比至少下降40%,力争到2050年下降70%。**

- 远洋航行船舶载重吨位大、航程长、靠港频次低、燃料加注相对不便,需要使用能量密度较高的燃料和功率较大的动力装置。在目前关注度较高的零碳能源中,绿氨动力船舶能量密度大大高于氢气,且可利用现有氨供应链和基础设施,在集装箱船等大型船舶远航领域具有较好的推广应用前景。**航运业内普遍认为,绿氨是未来航运业脱碳的主力燃料之一。**
- 氨燃料的高体积能量密度属性可以提高船体空间利用率,并且仅需要对常规内燃机进行微小改动,改变压缩比和更换耐腐蚀的管线即可。**因此,氨被认为是一种适合应用于远洋船舶的清洁燃料。**

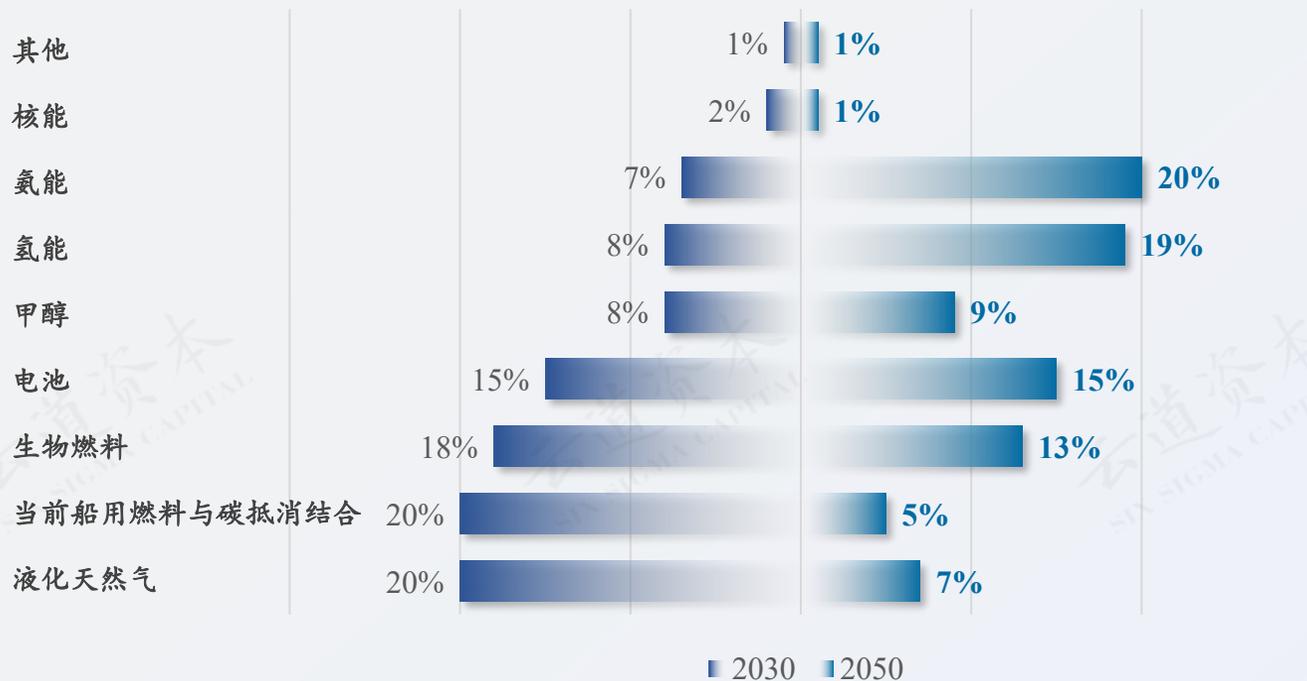


# 绿氨的应用场景与前景

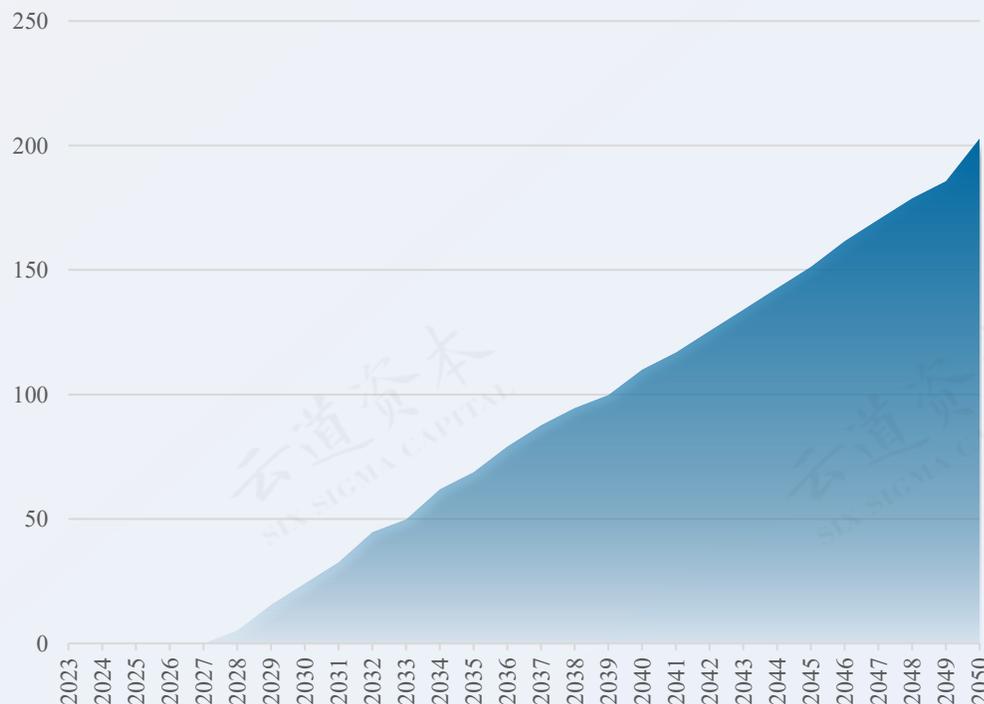
## 无碳燃料—内燃机的清洁燃料，未来交通运输、尤其是航运业脱碳的确定性主力燃料

据英国劳氏船级社预测，在2030-2050年间，氨能作为航运燃料的占比将从7%上升为20%，取代液化天然气等成为最主要的航运燃料；目前，日本、韩国和欧盟在绿氨混合燃烧和用于船舶燃料方面的技术研发、产研结合和商业化试点走在世界前列。其中，用于航运业的氨燃料动力船舶成为中国、韩国、日本和欧洲造船业共同关注和研究的焦点，中国船舶、川崎、现代重工等企业陆续宣布了氨动力船舶的研发和交付计划。

### 航运燃料中不同能源的使用占比预测



### 全球航运用绿氨需求量 (百万吨)





# 绿氨的应用场景与前景

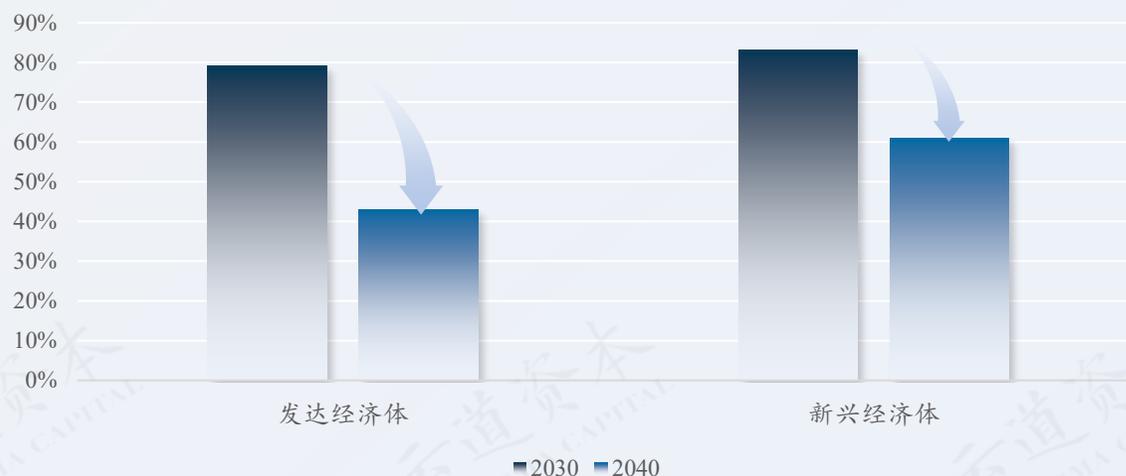
## 发电燃料--火电机组的掺氨或纯氨燃烧是发电领域碳减排的重要技术路径

火电一直是全球碳排的“大户”，中国“富煤、贫油、少气”的能源结构，致使煤电装机容量巨大。燃煤发电产生的二氧化碳占中国碳排放总量的35-40%，对其进行碳减排是顺利实现我国“双碳”战略目标的重要路径之一。二氧化碳捕集、利用与封存技术是其关键手段，但该技术存在捕集与封存或利用的输送距离远、建造投资成本高等问题。而氨燃烧的灵活性为电力部门实现大幅度降碳提供了一种新方案。

### 火电排碳量占全部碳排比



### 到2030/2040仍可使用的燃煤/气电厂设施比例



掺氨燃烧技术原理是利用可燃的氨气替代一定比例的煤粉，掺混后进入锅炉共同燃烧，并通过控制火焰的轴向温度和空燃比，抑制火焰内氮氧化物的生成。但氨掺烧技术尚未十分成熟，其不充分燃烧带来的氮氧化物排放与处理是当前该路径副作用的体现，需过燃烧分级、燃烧组织优化等方式进行调控；总体上，燃煤掺烧氨尚处于小规模示范阶段，扩大到实际燃煤机组容量规模的应用效果还有待进一步工业示范验证。



火电进行氨掺烧能够弥补一般可再生能源发电的不稳定性和间歇性，且使得大规模的火电设施能够延续使用，在向清洁能源转型过程中保障电力的安全与稳定供应。风电、光伏发电等新能源装机量的增加使得新能源发电的不稳定性和波动性也相应增加。氨燃烧性能良好，易液化、易储存，能够为电力系统提供与传统火电类型的可调节、可调度、可控制的电力电量支撑。

此外，火电进行氨掺烧为可再生能源生产条件不利（风光资源差、价格高、产能低）的国家（日本、韩国等）提供了可行性强的减碳替代方案。

### 日本

由于日本能源结构等因素影响，日本在氨能的开发利用上走在前沿，**掺煤燃烧发电技术研发主要由日本推进：**

- 2017年，日本水岛发电厂向155 MW燃煤锅炉中添加0.6%-0.8%，首次实现了氨煤共燃；
- 2021年10月日本启动的碧南1000 MW热电厂进行了20%混氨燃烧测试。积极加快推动电力系统的脱碳过程；
- 日本IHI已建成10 MW的掺氨燃烧示范装置，也在推进实施1000 MW规模的电厂掺氨实验，未来将实现20%混氨燃烧；
- 日本三菱重工正在开发40 MW氨燃气轮机将100%使用氨发电，并把选择性催化还原与新型燃烧技术相结合，降低氮氧化物排放。

### 中国

国内已经有两家单位率先实现了工程验证，标志着我国燃煤锅炉混氨技术进入世界领先赛道。

- **皖能集团、合肥能源研究院**联合开发的国内首创8.3 MW纯氨燃烧器在300 MW火电机组一次性点火成功并稳定运行2 h；
- **国家能源集团**搭建的40 MW燃煤锅炉燃烧实现世界最大比例的混氨燃烧（35%氨气）；

国家能源投资集团现有示范结果表明，在掺氨比例和氨注入位置一定的情况下，燃烧后生成的NO<sub>x</sub>污染比燃煤工况还要低。若现有煤电机组均实施35%混氨燃烧，每年可减少9.5亿吨CO<sub>2</sub>排放量。经相关测算，当煤价为2000元/t以上、碳价为500元/t时，掺氨发电经济性可与煤电相竞争。

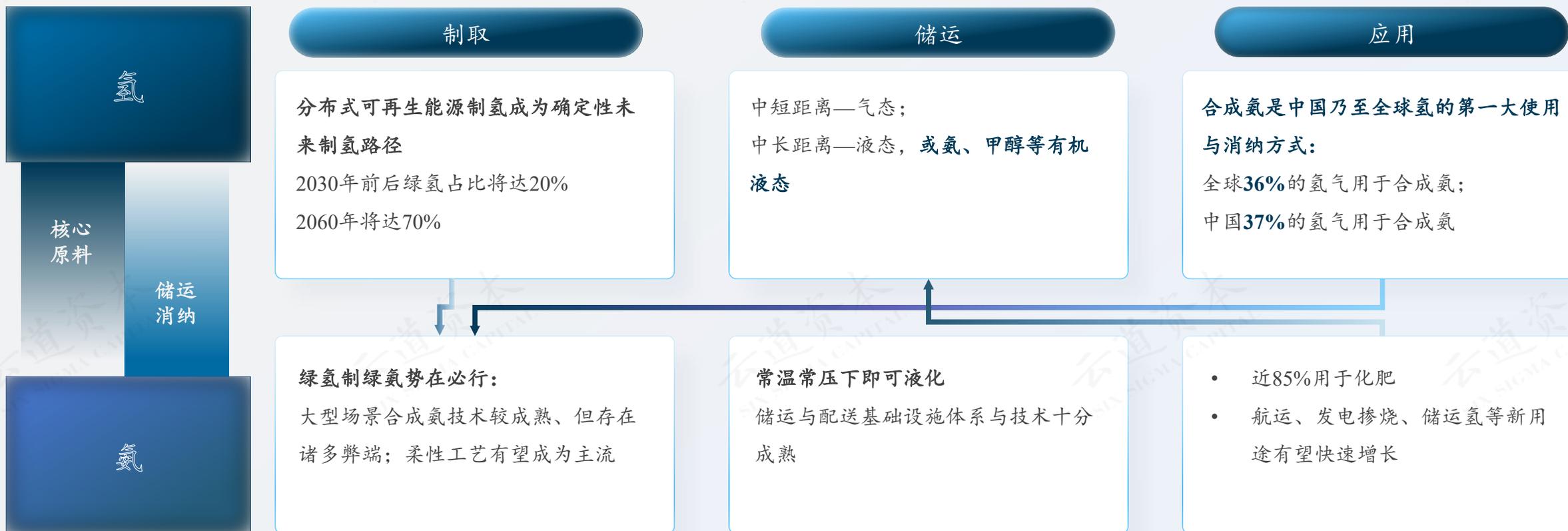


# 绿氨的应用场景与前景

## 氢氨融合—氨是氢最大的使用消纳用途、也是理想的远洋长距离氢储运方式

氢气被认为是最理想的清洁能源之一，但氢气制取成本高、储存及运输困难等问题是制约氢能产业发展的“瓶颈”，而氨被认为也是比较理想的储运氢的有机液态载体，**氢氨产业融合发展是解决氢能产业发展瓶颈、助力氨产业由灰转绿的有效途径。**

### 氢氨产业融合关系示意





# 绿氨的应用场景与前景

## 氢氨融合—氨是氢最大的使用消纳用途、也是理想的远洋长距离氢储运方式

### 氨作为氢载体的优势

以氢气为原料的液氨比液氢具有更高的体积能量密度，且氨比氢气更容易液化，常压下氨气在-33℃就可以液化，而氢气需要低于-253℃，且同体积的液氨比液氢多至少60%的氢。

氨的储运基础设施完善，氨的工业化生产和应用已经有百余年的历史，氨有管道、铁路、船舶、公路拖车和仓库等多种运输方式，相关的技术体系和储运基础设施完备。

液氨输氢的远洋运输成本仅为0.1-0.2美元，有望成为未来氢储运最佳选择之一

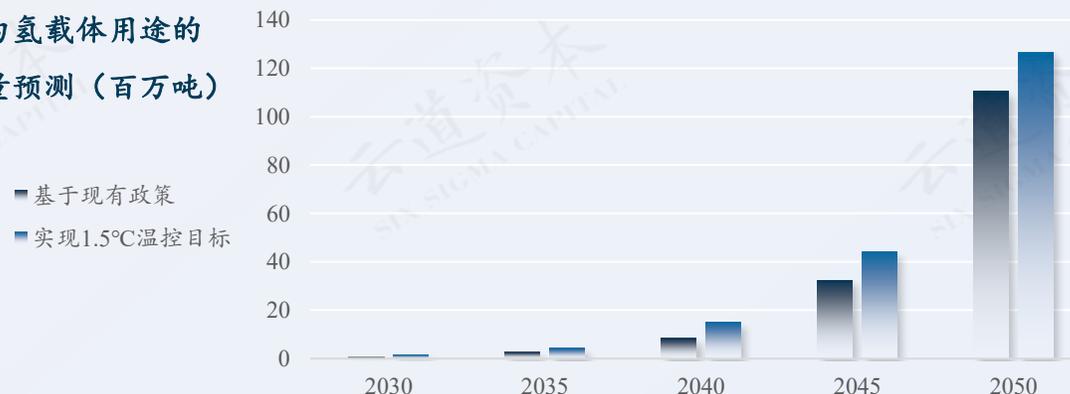
| 运输渠道   | 200-2000km     | 2000-3000km    |
|--------|----------------|----------------|
| 氢运输-管道 | 0.1-1.3 (美元)   | 1.3-2.1        |
| 氢运输-轮船 | 0.9-1.1        | 1.1-1.3        |
| 氨运输-管道 | <b>0.1-0.8</b> | <b>0.8-1.0</b> |
| 氨运输-轮船 | <b>0.1-0.2</b> | <b>0.1-0.2</b> |

液氨已经在全球范围内开展远洋贸易，全球满足液氨装卸的港口超过120个，2021年全球氨的出口约占总产量的10%。智利、中东、澳大利亚作为世界上可再生能源资源较为丰富地区已启动相关能源规划，利用风光发电制氢，之后利用氨作为氢的载体运输到美国、欧洲、日本等市场。

氢的产业化发展将带动绿氨的发展，绿氨的发展空间广阔。虽然目前氨运输方式不具有经济性，但是考虑到制氢成本的下降及技术创新，未来氨运输方式有望快速增长。根据国际可再生能源署（IRENA），氨作为氢的载体将从2030年的100-300万吨增加到2050年的1.1-1.3亿吨。

数据来源：国际可再生能源署（IRENA）

氨作为氢载体用途的需求量预测（百万吨）





# Part 5

## 绿氨的制备成本与经济性分析

---

随着绿电电价下降与相关电解技术、合成氨技术的成熟，绿氨成本将持续下降；中国绿氨经济性竞争力可期，制备成本有望在2050前后降至240美元/吨；细分场景来看，原料绿氨制备与船运、氢储运等场景下，绿氨已具备一定的竞争力，火电掺烧场景短期内仍需依赖政策驱动



# 绿氨的制备成本与经济性分析

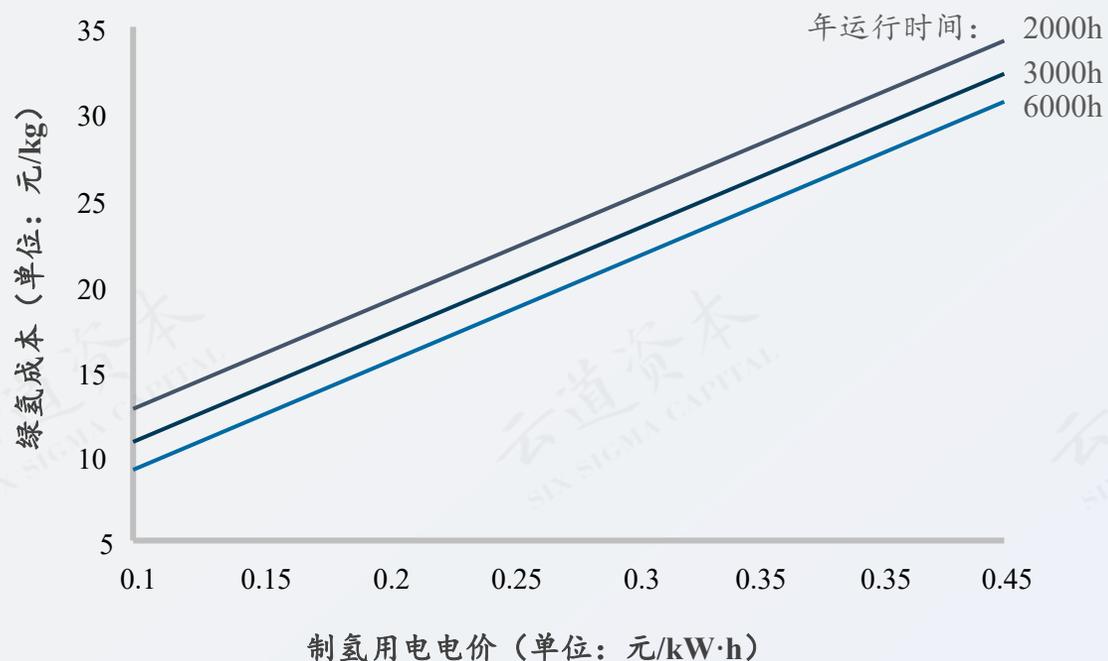
## 绿氨主要制备成本由绿氢决定，绿电电价及电解槽成本的降低将带来绿氨成本下降

绿氨（可再生氨）由电解水制取的绿氢与空分装置捕获的氮气经合成工艺而得，绿氨的成本主要取决于绿氢的成本，占氨生产成本的80%-90%。

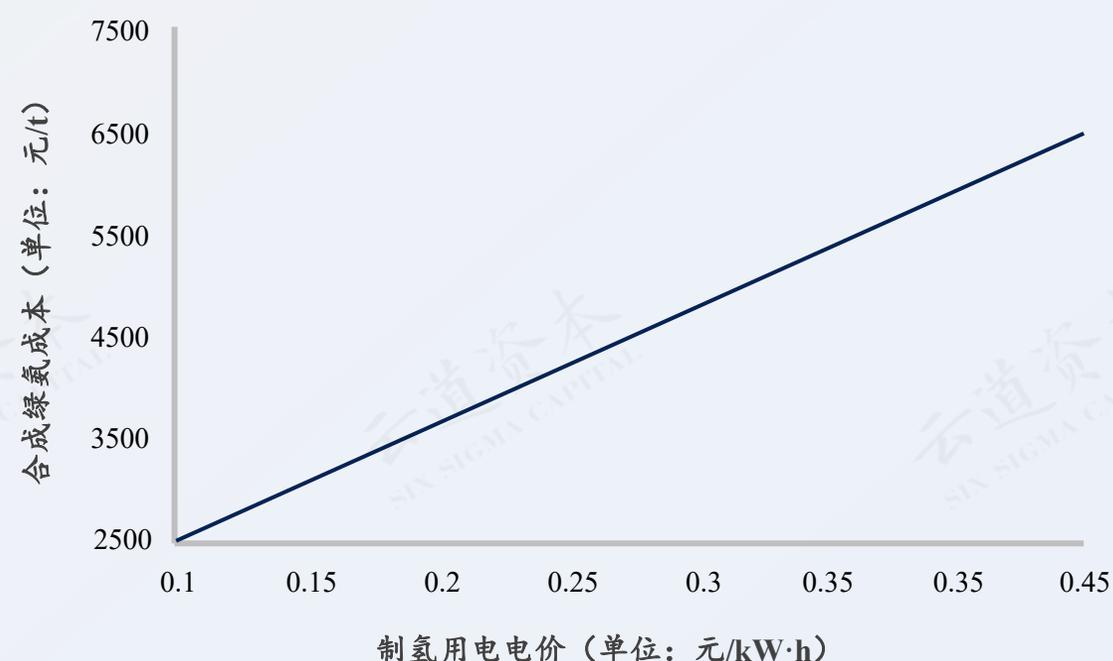
氨生产的另外两个重要步骤——氮气分离与净化和相关的合成工艺，只占目前总成本结构的一小部分。

从国内的示范项目来看，就目前技术条件下合成氨耗氢量约176kg/t，耗电量约1000kW·h/t。氢成本每降低1元/kg,绿氨成本可降低约176元/t。合成氨需要稳定电源，一般采用网电或配储绿电并配比网电（但难以认证为完全绿氨），电价每差异0.1元/kW·h，影响氨成本约100元/t。

### 绿氢成本价-电价对应图



### 合成绿氨成本-电价对应图



数据来源：《风电技术》



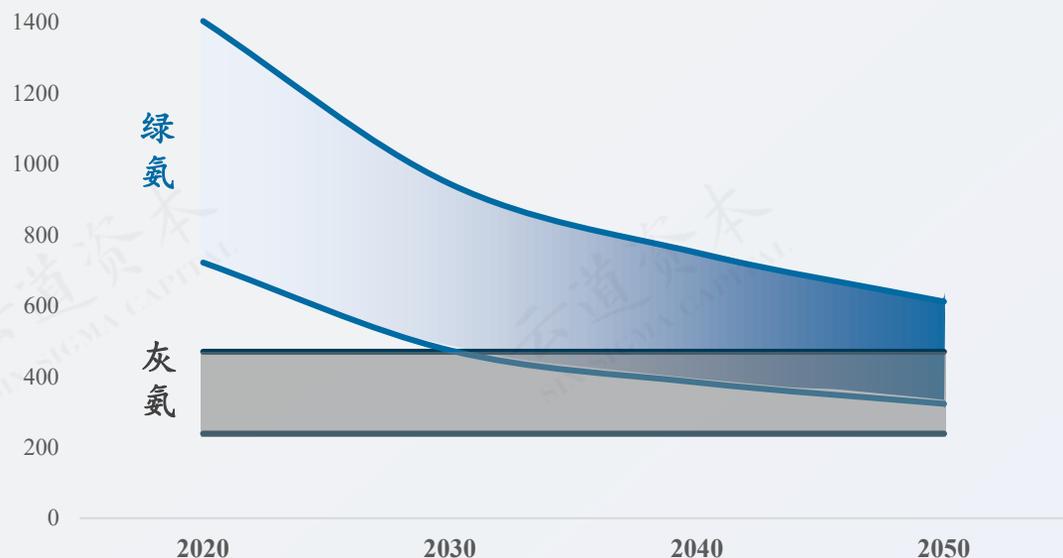
# 绿氨的制备成本与经济性分析

## 随着绿电电价下降与相关电解技术、合成氨技术的成熟，绿氨成本将持续下降

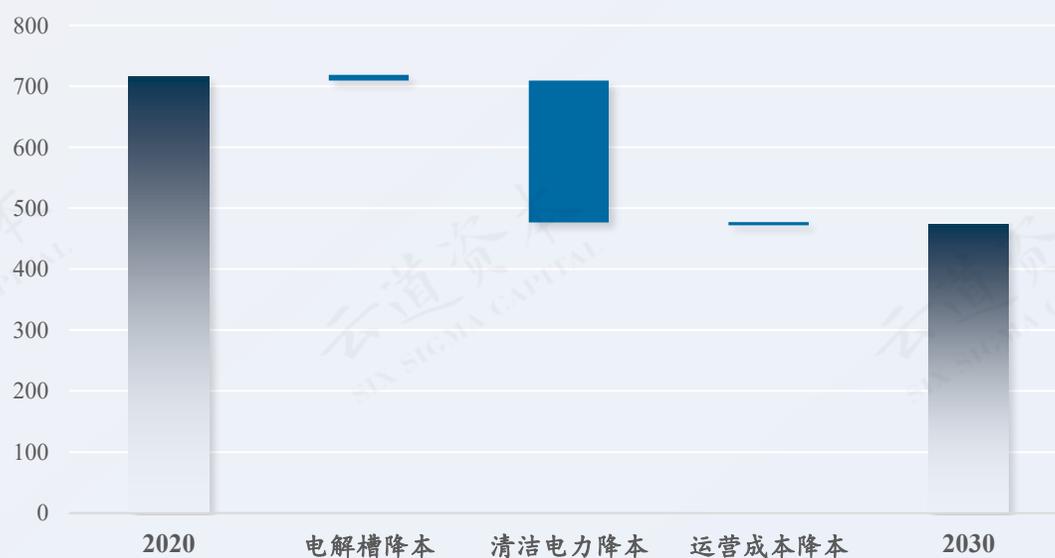
绿氨的降本空间主要来自于：绿氨电解槽成本的降低、清洁电力成本的降低以及Haber Bosch等氨合成工艺的优化、灵活性的提高等方面；此外，每年的运营时数（产能利用情况）对于绿氨的生产成本方面也发挥着关键作用。就全球平均水平来看，绿氨的生产成本目前在每吨720-1400美元之间，到2050年将降至每吨310-610美元。

现有的氨厂可利用现有的基础设施进行化石氨和绿氨的联合生产以降低成本，但需注意对相关的工艺进行改造并配备一定的储能设施以及完全绿氨的认证问题；对于这种联产工厂，其绿氨的成本到2025年估计为每吨300-400美元，到2040年有望降至每吨250美元左右。

### 绿氨制备的平均成本预测（美元/吨）



### 绿氨成本下探空间预测（美元/吨）



数据来源：国际可再生能源署（IRENA）

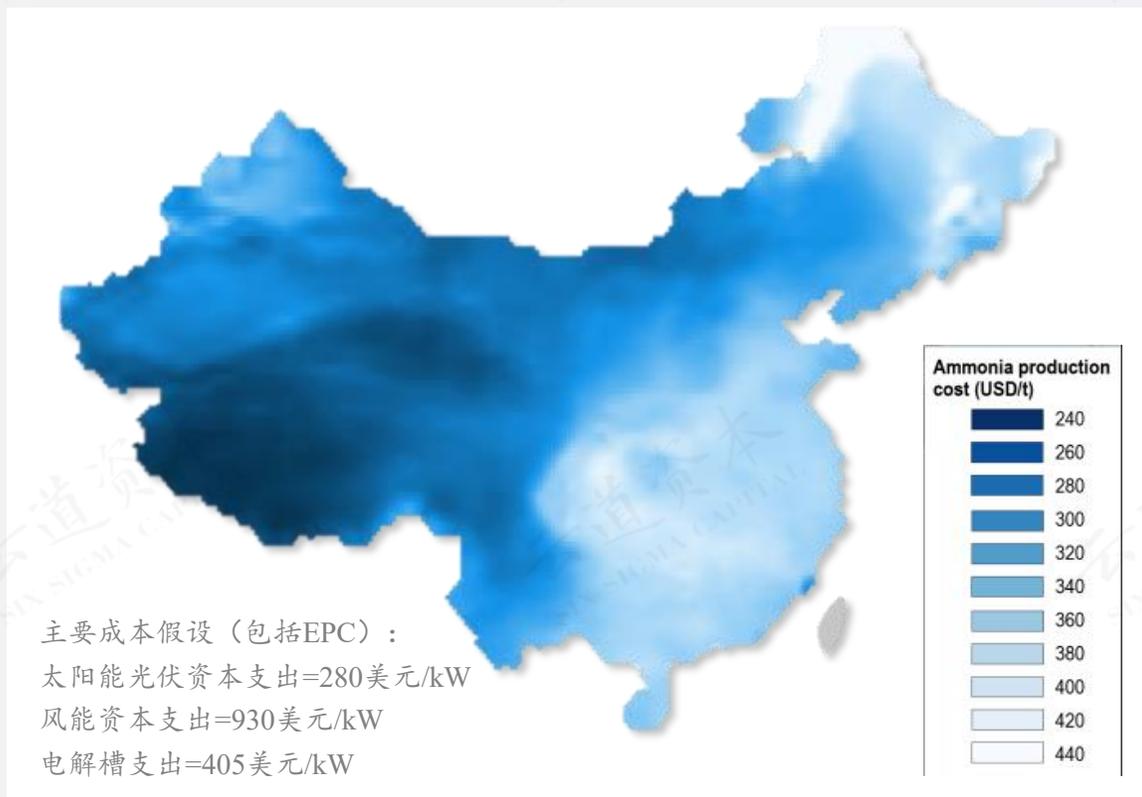


# 绿氨的制备成本与经济性分析

## 中国绿氨经济性竞争力可期，制备成本有望在2050前后降至240美元/吨

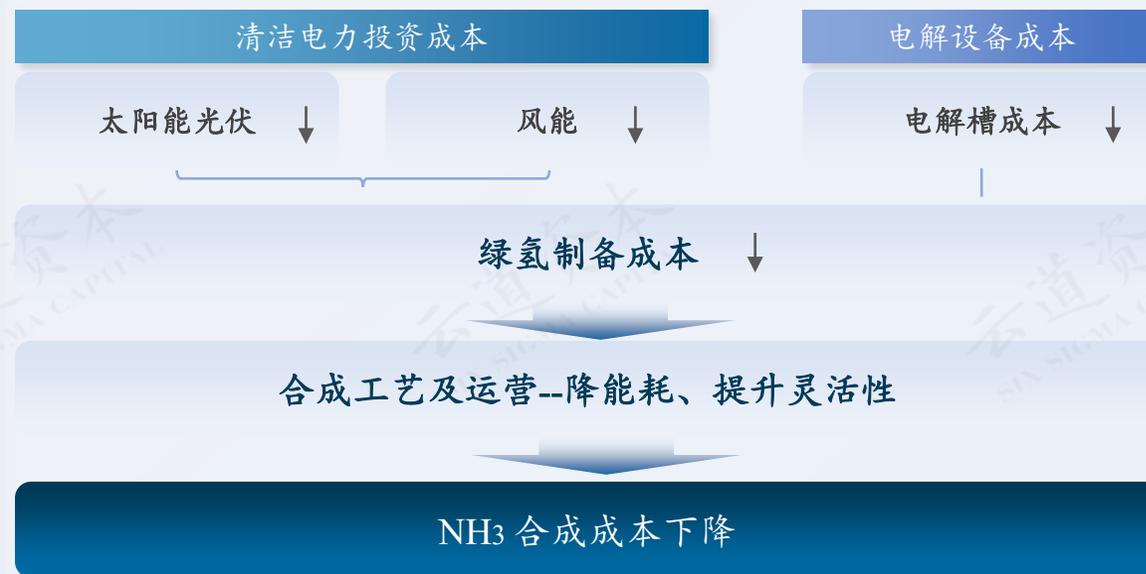
### 中国绿氨制备成本预测及评估

中国的传统合成氨价格受煤炭石油大宗价格及市场供需影响较大，2017-2021年市场均价在2768-3470元/t，2022年上半年市场均价飙升至在3758-5110元/t之间，至2023年10月合成氨价格围绕2500-3500元/吨区间震荡。而在绿电电价0.3元/kW·h水平时，国内绿氨成本约为4500-5000元/t；电价为0.2元/kW·h水平时，绿氨成本约为3500元/t，在碳税、政策端的压力下，绿氨与灰氨相比已拥有一定的竞争力。



数据来源：国际能源署（IEA）

左图为国际能源署针对可持续发展情景下，2050年中国通过风能和太阳能光伏的最佳组合进行电解生产氨的成本预测情况，在风光资源丰富的中国中西部，绿氨制备成本有望在2050年前后降低至240美元/吨。





# 绿氨的制备成本与经济性分析

## 随着绿电价格降低与碳价影响的叠加，绿氨具有一定经济性的竞争力与市场经济效益

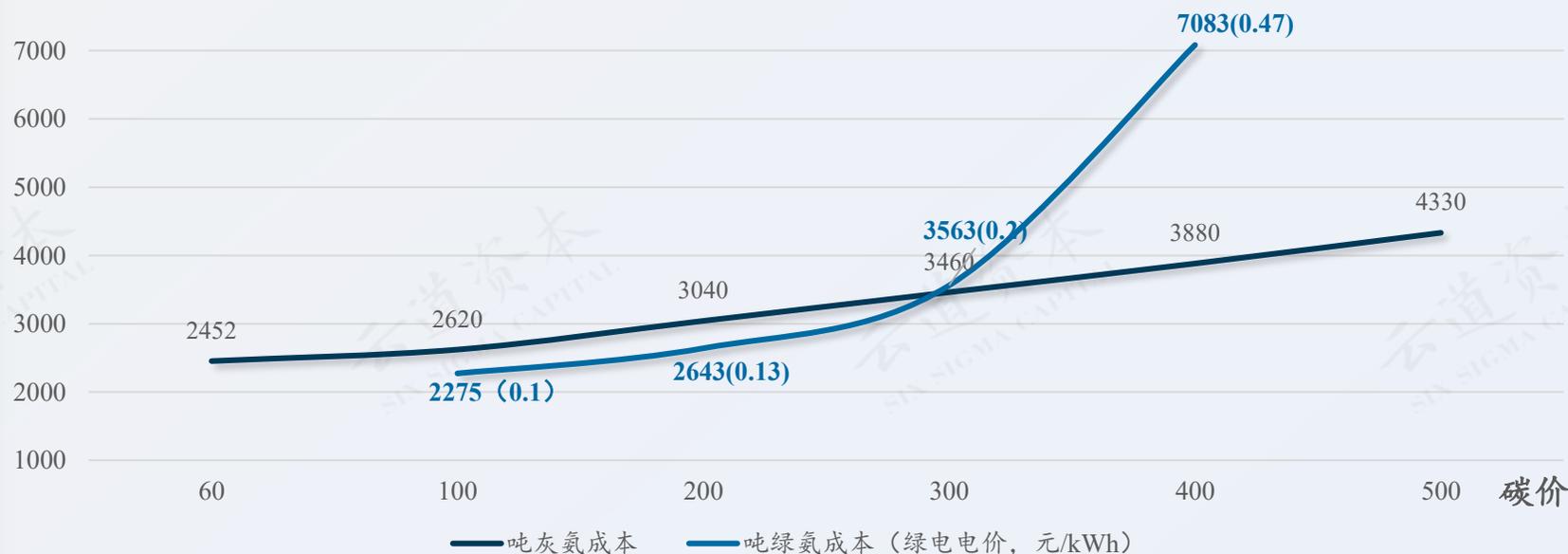
### 绿氨作为原料的经济性分析：

受制于中国“富煤、贫油、少气”的能源禀赋，中国化石能源制氨以煤制氨为主，中国煤制氨的吨产品碳排放量约为4.2t，在煤炭价格800元/t时，煤制合成氨的生产成本价约为2200元/t（不含碳价影响）；

从合成氨的市场售价方面来看，合成氨价格主要受煤炭价格波动的影响：2021年前基本在3200元/t上下小幅波动；2021年开始随着煤炭不断涨价，中国合成氨价格逐渐攀升，最高达到5300元/t；2023年来，合成氨价格又快速回落，当前液氨主产区处于3000元/t的市场价水平。

当碳价在60~500元/t 范围变化时，灰氨的总成本为2452~4300元/t；而新能源成本电价 0.13元/kWh 对应的绿氨成本为 2643元，与碳价为100元/t 对应的灰氨生产成本相当。所以，随着绿电价格的降低与碳价影响的叠加，绿氨与灰氨相比是具有经济性的竞争力与市场经济效益的。

### 绿氨考虑减碳效益与灰氨的竞争力对比（元/吨）



数据来源：国家能源投资集团-国能经济技术研究院、云道资本自主测算



## 绿氨的制备成本与经济性分析

# 氨在发电掺烧场景中短期内不具备经济性竞争力，主要依靠政策驱动替代燃煤发电

### 绿氨作为发电掺烧燃料的经济性分析：

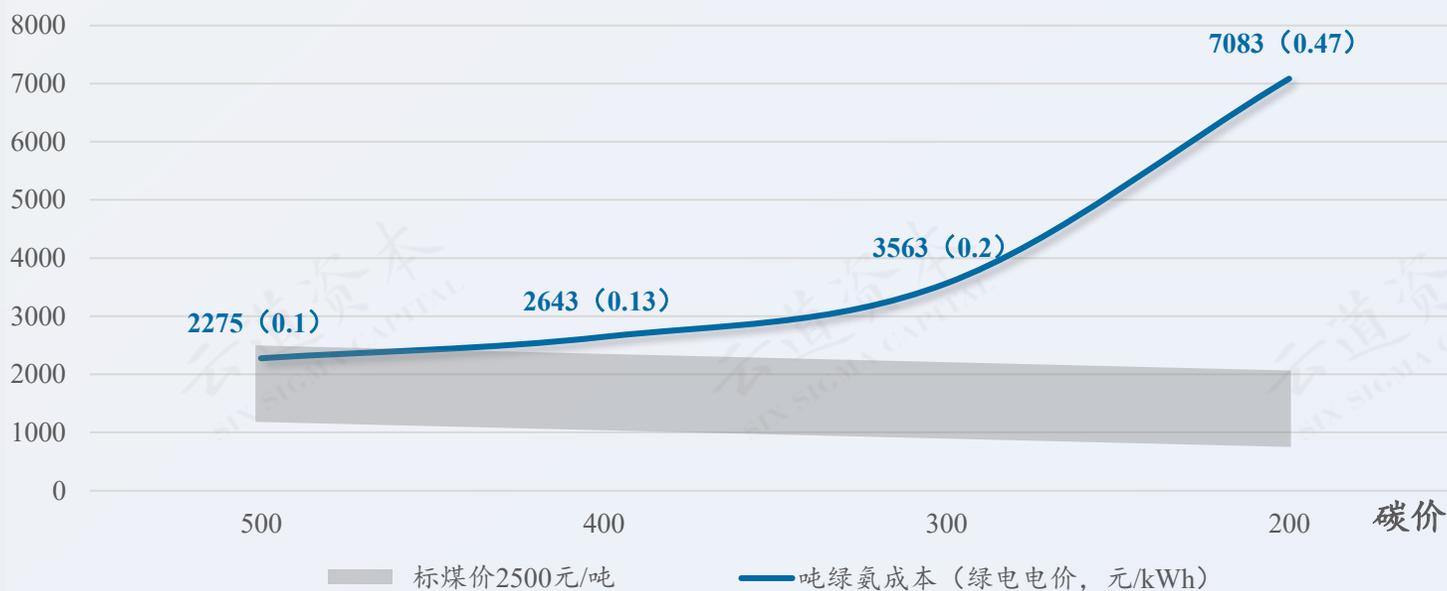
中国国家能源集团燃煤锅炉混氨燃烧技术在国际上首次实现 40MW 等级燃煤锅炉氨混燃比例为 35%的中试验证，研究已初步表明，燃煤锅炉混氨燃烧对机组运行的影响很小，燃料燃尽和氮氧化物排放可优于燃煤工况。

合肥综合性国家科学中心能源研究院、安徽省能源集团有限公司，在皖能电力所属的皖能铜陵发电有限公司300MW 燃煤机组中，大比例掺氨燃烧试验实现了最高掺氨 35%的平稳运行，氨燃尽率达到 99.99%，氨逃逸率低于 2mg/m<sup>3</sup>，氮氧化物浓度可控可降，锅炉效率与燃煤工况相当。

氨作为燃煤掺氨发电用的燃料时，吨氨热值对应的标煤量约为0.64t，碳排1.65t。

在绿电价格为0.1元/kWh时，绿氨的全成本为2275元/t（考虑税价），只有当标煤价达到2500元/t、且碳价为500元/t时，与吨氨热值对应的标煤价和碳价之和 2414 元/t；故燃煤掺氨在短期内尚不具备经济性方面的竞争力，短期内主要依赖政策驱动。

### 绿氨作为电厂燃料情景下考虑减碳效益与煤炭的竞争力对比



数据来源：国家能源投资集团-国能经济技术研究院、云道资本自主测算



## 绿氨的制备成本与经济性分析

# 绿氨作为零碳的船用替代燃料，经济性上与传统燃油相比拥有较强的竞争力

### 绿氨作为航运用燃料的经济性分析：

2022年，国际海事组织 IMO 根据吨位5000吨以上的国际贸易用船舶消耗情况推测出全球的燃油需求总量约2.189亿吨，如考虑进5000吨以下与国内航运的需求量，该数字还会有一定幅度增长。2.189亿吨的燃油按热值折算，对应绿色甲醇约为5亿吨、绿氨约为5.3亿吨，绿氨在远洋航运场景潜在应用空间巨大。

### 航运燃料：氨VS 甲醇

**减排降碳：**液氨燃烧不产生 CO<sub>2</sub>，属于零碳燃料，具备减排潜力；而甲醇的碳排仅略低于燃油，会导致大量的碳排；

**体积及效率：**为了获取等量的热值，液氨容积是燃料油容积的3.2 倍，质量是燃料油质量的 2.35 倍；而甲醇容积是燃料油容积的2.4倍，甲醇质量是燃料油质量的2.26倍；虽然从这些指标看甲醇略优于液氨，但在相同载货量下，甲醇船比传统燃料油船自重更大，需要消耗大量燃料，会导致排放大量的碳排问题；而液氨则无此问题；

**综合来看，液氨相较于甲醇是更为理想的航运燃料。**

| 项目                           | 燃料油           | 甲醇    | 液氨    | 甲醇 / 燃料油  | 液氨 / 燃料油 |
|------------------------------|---------------|-------|-------|-----------|----------|
| 碳含量                          | 86.3%         | 37.5% | 0     | 0.43      | 0        |
| 低位热值 MJ / kg                 | 43-46         | 19.6  | 18.6  | 0.43-0.47 | 0.4-0.43 |
| 密度 Kg / m <sup>3</sup>       | 840           | 791   | 617   | 0.94      | 0.74     |
| CO <sub>2</sub> 排放因子 Kg / GJ | 73.6-68.8     | 70.2  | 0     | 0.99      | 0        |
| 体积因子 M <sup>3</sup> / GJ     | 0.0277-0.0259 | 0.065 | 0.087 | 2.3-2.5   | 3.1-3.3  |

数据来源：国家能源投资集团-国能经济技术研究院、云道资本自主测算



# 绿氨的制备成本与经济性分析

## 绿氨作为零碳的船用替代燃料，经济性上与传统燃油相比拥有较强的竞争力

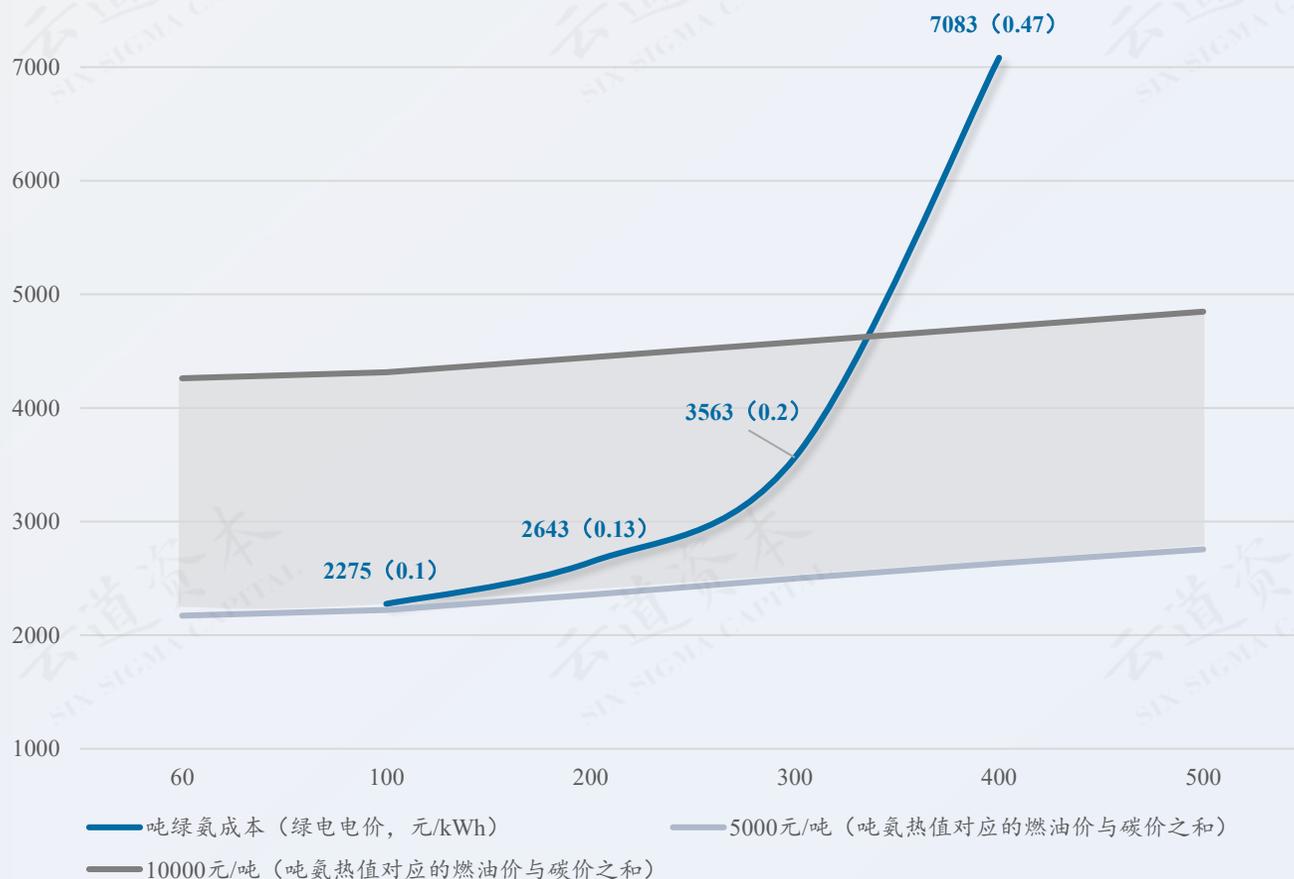
### 绿氨作为航运用燃料的经济性分析：

作为船用燃料，与吨氨热值对应的燃油量为0.418t，排放CO<sub>2</sub> 1.33t；

- 在燃油价为5000元/t、碳价从60~500元/t变化时，与吨氨热值对应的燃油价和碳价之和为2170~2756元/t；
- 新能源成本电价0.1元/kWh 对应绿氨成本为2275元，与碳价为100元/t对应的吨氨热值对应的燃油价和碳价之和相当；
- 新能源成本电价0.13元/kWh对应绿氨成本，与碳价为400元/t对应的吨氨热值对应的燃油价和碳价之和相当。

整体来看，在绿电价格0.1~0.2元/kWh 时，绿氨成本处于燃料油价格5000~7000元区间竞争范围内。综上，绿氨作为零碳减排的替代船用燃料路线，与传统燃油相比也是具有一定的经济竞争力的。

### 绿氨作为船用燃料情景下考虑减碳效益与燃料油的竞争力对比



数据来源：国家能源投资集团-国能经济技术研究院、云道资本自主测算



# Part 6

## 绿氨的政策环境与产业进展

---

全球范围来看，各国家及地区关于绿氨的鼓励性政策持续出台，全球规划中的绿氨产能已超7000万吨；细分地区来看，澳洲及中东有望凭借最成熟、规模最大的合成氨产业基础以及丰富的风光资源成为未来全球最大的绿氨生产中心，日韩则为绿氨政策确定性最强的地区



## 绿氨的政策环境与产业进展

# 中国—绿氢制氨、氢氨融合发展是中国氢能发展、工业降碳的确定性路径

中国绿氨相关政策持续推出，绿氢制氨、氢氨融合发展是中国氢能发展、工业降碳的**确定性路径**；绿氨在作为**无碳燃料发电、氨储能、海上风电消纳**等场景拥有巨大潜在应用市场。

| 时间      | 政策文件名称                                 | 相关内容                                                                                                                                                      |
|---------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2022.1  | 《“十四五”新型储能发展实施方案》                      | 拓展 <b>氢(氨)储能应用领域</b> ，开展依托可再生能源制氢(氨)的储能试点示范，满足长周期、多时间尺度的储能应用需求；                                                                                           |
| 2022.2  | 《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南》                | 优化 <b>合成氨</b> 原料结构，增加绿氢原料比例；加强 <b>可再生能源生产氨</b> 技术研究，降低合成氨生产过程碳排放；                                                                                         |
| 2022.2  | 《合成氨行业节能降碳改造升级实施指南》                    | 合成氨行业节能降碳改造,可开展 <b>绿色低碳能源制合成氨</b> 技术研究和示范；                                                                                                                |
| 2022.3  | 《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》              | 积极引导合成氨等行业由高碳工艺向低碳工艺转变，促进高耗能行业绿色低碳发展，探索开展 <b>可再生能源制氢在合成氨等行业替代化石能源</b> 的示范；                                                                                |
| 2022.4  | 《国家重点研发计划“先进结构与复合材料”等重点专项2022年度项目申报指南》 | 提出包括 <b>分布式氨分解制氢技术与灌装母站集成、氨燃料电池到掺氨清洁高效燃烧</b> 等与氨有关的技术；                                                                                                    |
| 2022.8  | 《工业领域碳达峰实施方案》                          | 扩大绿色低碳产品供给。大力发展绿色智能船舶,加强船用混合动力LNG动力、 <b>电池动力、氨燃料、氢燃料</b> 等低碳清洁能源装备研发；                                                                                     |
| 2023.10 | 《国家能源局关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》            | <b>海上能源岛示范</b> 。主要支持结合 <b>海上风电</b> 开发建设，融合区域储能、制氢、海水淡化、海洋养殖等发展需求，探索推进具有海上能源资源供给转换枢纽特征的海上能源岛建设，建设包括但不限于 <b>海上风电、海上光伏、海洋能、制氢（氨、甲醇）、储能</b> 等多种能源资源转换利用一体化设施； |

数据来源：云道资本整理



# 绿氨的政策环境与产业进展

## 中国近两年已开建二十余个绿氨合成示范项目，规划绿氨年产能超400万吨

中国近两年（2022.1-2023.9）投建的绿氨示范项目梳理：

| 序号 | 项目方                            | 主导方    | 地点     | 项目备案/启动时间 | 项目规模                                                                                                                                                                                                          |
|----|--------------------------------|--------|--------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 风光制氢与绿色灵活化工一体化绿氨制绿氨项目          | 国家电投   | 内蒙古-包头 | 2022年3月   | <b>10万吨绿氨项目</b> ，主要包括200兆瓦风电、200兆瓦光伏，预计年发电量12.5亿千瓦时；采用风光电解制氢，年制氢1.78万吨；再以氢气和氮气为原料合成液氨产品， <b>年产10万吨</b> 。                                                                                                      |
| 2  | 大安风光制绿氨合成氨一体化示范项目              | 国家电投   | 吉林大安   | 2022年10月  | 总投资63.32亿元，安装PEM制氢设备50套，碱液制氢设备36套，制氢能力46000Nm <sup>3</sup> /h，储氢装置60000Nm <sup>3</sup> 氢气， <b>1套18万吨合成氨装置</b> 。                                                                                               |
| 3  | 国际氢能冶金化工产业示范区新能源制氢联产无碳燃料项目     | 明拓集团   | 内蒙古-包头 | 2022年4月   | 规划建设500万千瓦风力发电、150万千瓦光伏发电和30万吨电解水制绿氢项目；2*55万吨直接还原铁和80万吨铁素体不锈钢绿色冶金项目以及 <b>120万吨绿氨化工项目</b> 。                                                                                                                    |
| 4  | 乌拉特中旗甘其毛都口岸加工园区风光氢氨一体化新型储能示范项目 | 国家能源集团 | 内蒙古-兴安 | 2022年7月   | 计划总投资23.54亿元，配套规划新能源装机容量110万千瓦，其中风电80万千瓦，光伏30万千瓦。利用风光发电分解水制取高品质氢气，再用于 <b>生产30万吨绿氨</b> ，供蒙西地区工业园区化工生产使用。                                                                                                       |
| 5  | 风光储氢制绿氨项目                      | 北京能源   | 内蒙古-多伦 | 2022年8月   | 合力推进风光储氢制绿氨项目实施进程，利用锡林郭勒盟南部区域可再生能源资源生产绿电并电解制绿氢， <b>绿氢转化为绿氨后供应国内外市场</b> 。项目建成后，预计电解制氢规模日产300吨， <b>年产绿氨规模达60万吨</b> 。                                                                                            |
| 6  | 中国能建辽宁台安县新能源制氢制氨项目             | 中国能建   | 辽宁-铁岭  | 2022年11月  | 年产5.6万吨电解水制氢、 <b>30万吨绿氢制绿氨</b> ，总规划投资额108.85亿元。                                                                                                                                                               |
| 7  | 甘肃酒泉风光氢储及氢能综合利用一体化示范工程         | 中国能建   | 甘肃-酒泉  | 2022年12月  | 绿氨年产量1.7万吨、 <b>绿色合成氨年产量3.9万吨</b> 以及配套工程，总投资76.25亿元，其中一期规划建设高压气态氢年产7000吨、液氢年产量330吨、合成氨装机2万吨并配套建设风电85兆瓦、光伏130兆瓦，一期投资23亿元。                                                                                       |
| 8  | 兰州新区氢能产业园项目（一期）                | 中国能建   | 甘肃-兰州  | 2022年8月   | 项目一期总投资30亿元，主要建设年产2万吨制氢能力和10万标方储氢能力的绿氢供应基地，以年产 <b>6万吨绿氨</b> 和氢能交通应用为核心的示范应用中心，以年产3000套氢燃料电池系统为核心的氢能装备制造中心等。                                                                                                   |
| 9  | 松原氢能产业园（绿色氢氨一体化）项目             | 中国能建   | 吉林-松原  | 2023年3月开工 | 项目总投资296亿元，建设新能源发电制氢和绿氨合成氨一体化项目， <b>年产绿色合成氨60万吨</b> ；配套建设年产50台套1000Nm <sup>3</sup> /h碱性电解水装备生产线和4座综合加能站。一期工程投资105亿元， <b>建设20万吨绿氨合成氨</b> ，包括：85万千瓦直供电新能源，电化学储能，年产3.7万吨电解水制氢装置、 <b>20万吨级低压合成氨装置</b> 、空分装置及公辅设施。 |

数据来源：云道资本整理



# 绿氨的政策环境与产业进展

## 中国近两年已开建二十余个绿氨合成示范项目，规划绿氨年产能超400万吨

| 序号 | 项目方                              | 主导方     | 地点       | 项目备案/启动时间 | 项目规模                                                                                                                            |
|----|----------------------------------|---------|----------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | 绿电制氢与年产20万吨绿氨及燃料电池产业研究院一体化示范项目   | 广东省能源集团 | 陕西-榆林    | 2023年2月   | 投资52.8亿元，拟建设60000m <sup>3</sup> /h电解水制氢项目、一座500kg/日示范加氢站、 <b>20万吨/年绿色合成氨项目</b> 、燃料电池产业研究院及电池储能系统制造等多个项目。                        |
| 11 | 三一重能乌拉特中旗风光氢储氨一体化示范项目            | 三一重能    | 内蒙古-兴安   | 2023年4月   | 项目总投资42.7亿元，建设400MW风电、100MW光伏、电化学储能建设40MW/80MWh，年生产绿氢3.6万吨、 <b>绿氨15万吨</b> 。                                                     |
| 12 | 深能北方鄂托克旗风光制氢一体化合成绿氨项目            | 深能北方    | 内蒙古-鄂托克旗 | 2023年6月   | 该项目总投资38亿元，新建年产2万吨绿氢电解水制氢站及配套的500兆瓦风力发电场和长约60公里220千瓦输电线路工程；新建5兆瓦离网光伏发电柔性直流制氢科技创新项目； <b>下游新建配套年产15万吨绿氨合成氨装置及加氢加油加气充电桩综合站一座</b> 。 |
| 13 | 中煤离网型风光制氢合成绿氨技术示范项目              | 中煤集团    | 内蒙古-鄂尔多斯 | 2023年6月   | 规划建设 <b>50万吨/年离网型风光制氢合成绿氨</b> ，项目总投资约245亿元，计划2024年4月开工建设，2026年3月全面投产，规划制氢产能9万吨/年。                                               |
| 14 | 国能阿拉善高新区百万千瓦风光氢氨+基础设施一体化低碳园区示范项目 | 国家能源集团  | 内蒙古-阿拉善  | 2023年7月   | <b>配套14万吨绿氨合成氨项目</b> 。该项目总投资50.8225亿元，拟建电解水制氢5.2万Nm <sup>3</sup> /h，1座空压制氨站，14万吨绿氨制绿氨装置。                                        |
| 15 | 中核科右前旗风储制氢制氨一体化示范项目              | 中核集团    | 内蒙古-科右前旗 | 2023年7月   | 该项目总投资45亿元，建设500MW风电、电化学储能50MW/100MWh，储氢27.5万标方，年生产绿氢2.16万吨， <b>下游生产绿氨</b> 。                                                    |
| 16 | 远景通辽风光制氢氨醇一体化项目                  | 远景集团    | 内蒙古-通辽   | 2023年8月   | 该项目总投资98.4亿元，计划分三期建设300000Nm <sup>3</sup> /h电解水制绿氢装置， <b>60万吨/年绿氨制合成氨装置及30万吨/年绿甲醇装置</b> 。                                       |
| 17 | 中船通辽市50万千瓦风电制氢制氨一体化示范项目—制氢制氨项目   | 中船集团    | 内蒙古-通辽   | 2023年9月   | 总投资20.5亿元，风电场规划总容量50万千瓦，项目年制氢量约2.26万吨，全部用于制氨， <b>年产12.83万吨合成绿氨</b> 。                                                            |
| 18 | 张掖绿氨合成氨一体化示范项目                   | 中国能建    | 甘肃-张掖    | 2023年9月   | 项目总投资4.8亿元，建设4000标方每小时电解水制氢站、 <b>年产约1.6万吨合成氨工厂</b> 以及相关附属设施。                                                                    |

数据来源：云道资本整理



## 绿氨的政策环境与产业进展

# 日本—绿氨是其可再生能源发展及社会化应用方向的首要选择，绿氨进口需求强

日本由于可再生能源较贫乏，电力行业脱碳需要依靠一方面大力发展可再生能源，另一方面则通过将氨与煤炭进行混烧，并逐步提高氨比例，最终实现氨纯烧发电。《第六次能源基本计划》已明确提出在2030年前实现燃煤掺烧20%氨的目标，要实现该目标未来需要大量进口绿氨或蓝氨。

### 七国集团 燃煤火电占比情况

与其他发达国家相比，日本的电力结构对于燃煤火电的依赖程度更高

德国可再生能源在电力供应结构占比在21年已经达到42%，日本则仅有22%；德国计划通过迅速增加可再生能源的比例来实现电力系统脱碳，于2022年淘汰核电，于2030年淘汰燃煤火电；



日本不能像德国或者中国那样大规模引进可再生能源，同时发电成本也无法降低，因此明确了“通过可再生能源淘汰燃煤火电”行不通。

因此日本式的解决方法除了推广可再生能源，还需要采取其他措施，即把氨作为燃煤与煤炭混烧，并逐步提高掺氨比例，最终实现氨专烧发电。

目前，用于火力发电的燃料氨成本的确很高。日本综合资源会议上表示目前，1标方氢气热量当量的各燃料的价格分别是：煤炭约为7日元（约合0.35人民币），LNG约为13日元（约合0.64人民币），而灰氨约为20日元（约合0.99人民币）。

为缩小与现有燃料的成本差距，日本支持开发清洁氨电解合成技术以取代“哈伯-博世”工艺。另一方面加强与如澳大利亚等氨资源大国的合作，打造低成本、低价格的供应链。



# 绿氨的政策环境与产业进展

## 日本—绿氨是其可再生能源发展及社会化应用方向的首要选择，绿氨进口需求强

日本在对外上形成资源丰富的多边国家合作协议，同时在国内达成对氨燃料重要性的广泛共识。日本经济产业省的《中期报告》中涵盖了包括氢能、氨能、海上风电、蓄电池、核能、碳捕集和回收、可持续航空燃料等诸多范畴，其中位列名单之首的便是氨能，氨能的发展与规模化应用可以说是日本政府在可再生能源发展及社会化应用方向的首要事项。

### 日本政府氨能发展规划概览



数据来源：日本经济产业省（METI），国家能源科技资源中心，毕马威



## 绿氨的政策环境与产业进展

# 韩国—氢氨混合发电技术为先，力求打造全球第一大氢气和氨气发电国

韩政府宣布将**2022年作为氢气氨气发电元年**，并制定发展计划和路线图，力求打造**全球第一大氢气和氨气发电国**。政府将投入400亿韩元用于有关设备基础设施建设，并于2023年前制定“氢气和氨气发电指南”，推广有关技术在LNG发电站使用。

为推动氢气氨气混合发电技术发展，韩国加强电力国企和民企合作，开展无碳环保氨气发电技术联合研发，斗山重工、现代重工和乐天精密化学等企业将参与合作。此外，韩国南部发电计划2023年起利用**氢气氨气混合发电技术**，并在2024年后推动**氢气氨气混合发电技术商用化**。

### 韩国政府氢能发展规划概览



数据来源：韩国产业通商资源部，毕马威



## 绿氨的政策环境与产业进展

# 澳大利亚、中东：氨产业基础与风光条件发达，有望成为未来全球最大绿氨生产中心

**澳大利亚：**年均生产大约1.75亿吨氨，是全球的主要氨生产供应国家，其中大部分用于合成肥料。

### 澳大利亚政府绿氨政策重点方向：



加强政府与行业之间的合作关系  
发挥好政府与行业在氨能发展中的作用



大力发展氨在远洋航运场景的应用  
为氨动力船舶税收开设安全培训课程



行业和政府共同出资设立氨生产技术研发中心  
持续推动氨相关技术的发展迭代



与日本、韩国和新加坡等国建立绿氨有关的能源安全合作  
加强氨能的多边合作关系建设

### 进展案例：澳大利亚已和韩国合作建立180万吨绿色氨绿色能源走廊

澳大利亚向韩国出口绿色氨的首批重大项目，组建的韩澳氨联盟由澳大利亚的方舟能源(Ark Energy)及其母公司Korea Zinc、韩华Impact和SK Gas等韩国企业组成。澳方的北昆士兰拟议的大型项目每年将生产高达180万吨的绿色氨，并将支持方舟能源公司Collinsville绿色能源中心高达4.5GW的可再生能源项目建设。

数据来源：云道资本整理

**中东：**各国积极布局绿氨产业，将其作为能源转型的重要技术路径：



**沙特：**沙特阿美目标是到2030年蓝氨产量达到1100万吨/年。其子公司沙特基础工业公司(SABIC)正在利用其基础设施生产蓝氨，以帮助满足全球对可持续解决方案日益增长的需求。此外，沙特阿美联合美国空气产品公司等沙特投资**50亿美元的旗舰项目NEOM绿氨/绿氨项目**已进入全面执行阶段，计划于2026年投产。



**阿联酋：**目前，阿布扎比化工衍生品公司(Ta'ziz)牵动了至少**50亿美元**相关投资。Ta'ziz公司目前处于开发阶段的主要项目，是与Fertiglobe、三井商事和GS能源公司合作的一个世界级规模的蓝色氨厂。三井商事和GS能源公司计划从该工厂购买大量低碳氨，以满足日本和韩国日益增长的需求。



**阿曼**国有能源公司OQ在与美国空气产品公司和ACWA电力公司积极合作推进的绿氨和绿氨项目。

印度清洁技术公司ACME和挪威可再生能源生产商Scatec也正计划在阿曼杜库姆经济特区建设绿氨项目。该项目第一阶段将生产10万吨/年绿氨，第二阶段完成后该项目绿氨总产能预计将提高到110万吨/年。



## 绿氨的政策环境与产业进展

# 产业端看，目前已有60余个项目落地，各国能源巨头企业积极布局绿氨市场

目前国际能源巨头均在积极布局着绿色氢氨项目，当前全球已布局超过60个成规模的绿氨项目：如美国能源部 REFUEL计划、智利 Trammo100万吨绿氨项目、丹麦5000吨绿氨示范项目、葡萄牙绿/绿氨项目、澳大利亚AREH项目等

**SIEMENS**

西门子能源公司在2018年便开始布局了绿氨项目，并在英国卢瑟福阿普尔顿实验室设计并建造了世界上第一个可逆绿氨示范工厂，使用较为成熟的哈伯工艺法，证明了该技术路线的可行性

**AIR  
PRODUCT**

美国空气产品公司（AP）近两年在绿色制氨方面进行了超大规模投资和布局。2020年与沙特国际电力和水务公司和NEOM新城签署全球最大无碳氢项目，并联合托普索公司（Topsoe）将生产出口到全球市场的绿色氨

**YARA** **Statkraft**

2021年，全球最大氨生产商挪威Yara国际公司与挪威可再生能源巨头Statkraft以及可再生能源投资公司AkerHorizons宣布要在挪威建立欧洲第一个大规模的绿色氨项目；

**ExxonMobil**

2022年，埃克森美孚与3家绿色能源科技公司签署合作备忘录，计划在其位于挪威斯拉根的港口设施启动绿氨和绿氢生产项目研究，将斯拉根港打造为绿氨和绿氢生产销售枢纽；

**MITSUBISHI** **Shell**

2022年，日本三菱公司正推进在美国得克萨斯州建立世界上最大的氨气生产设施之一，还考虑与壳牌在加拿大合作一个氨生产项目；

**uni  
per** **e-on**

2022年，德国能源巨头尤尼珀公司和意昂集团宣布，均与加拿大恒风公司合作，确定未来将每年从加拿大进口100万吨绿氨，加拿大恒风公司正在积极推进的绿氨绿氢项目预计2025年初投产



# 绿氨的政策环境与产业进展

## 全球各国积极布局绿氨示范项目，规划中的绿氨产能已超7000万吨



国际可再生能源署统计的全球（不含中国）投入运营/规划中的绿氨项目统计清单（2022年），产能合计超7000万吨：

| 位置   | 主导企业                                                      | 开始时间                | 规模 (万吨/年)         | 电解技术       | 电力来源     |
|------|-----------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|------------|----------|
| 佩鲁   | Enaex                                                     | 1965                | 1                 | ALK        | 水电       |
| 新西兰  | Balance Agri-Nutrients, Hiringa Energy                    | 2021                | 0.5               | / (未披露)    | 风能       |
| 西班牙  | Fertiberia, Iberdrola                                     | 2021-2025 (二期)      | 0.61-5.7 (二期)     | /          | 太阳能、电池   |
| 阿曼   | ACME, Tatweer                                             | 2021 待定             | 待定 77             | /          | 太阳能      |
| 澳大利亚 | H2U, Mitsubishi, Government of South Africa, ThyssenKrupp | 2022 待定             | 4-70.5-141        | ALK        | 风能、太阳能   |
| 挪威   | Yara                                                      | 2022-2025-2026      | 0.5-50            | ALK        | 水电       |
| 丹麦   | Skovgaard Invest, Vestas, Haldor Topsøe                   | 2022                | 0.5               | /          | 海上风电、太阳能 |
| 日本   | Tsubame BHB                                               | 2022                | 待定                | /          | 风能、太阳能   |
| 摩洛哥  | Fusion Fuel                                               | 2026                | 18.3              | PEM        | 风能、太阳能   |
| 澳大利亚 | Yara                                                      | 2023-2026-2028-2030 | <0.8-4.8-16-48-80 | AIK or PEM | 海上风电、太阳能 |

| 位置   | 主导企业                           | 开始时间      | 规模 (万吨/年) | 电解技术 | 电力来源     |
|------|--------------------------------|-----------|-----------|------|----------|
| 美国   | CF Industries, ThyssenKrupp    | 2023      | 20        | /    | 网电       |
| 西班牙  | Fertiberia, Iberdrola          | 2023-2027 | 6.2-10    | /    | 太阳能      |
| 德国   | Haldor Topsøe, Aquamarine      | 2024      | 10.5      | SOEC | 海上风电     |
| 荷兰   | Yara, Ørsted                   | 2024-2025 | 7.5       | ALK  | 海上风电     |
| 智利   | Enaex, ENGIE                   | 2024-2030 | 1.8-70    | /    | 太阳能      |
| 阿联酋  | KIZAD, Helios Industry         | 2024-2026 | 4-20      | ALK  | 太阳能      |
| 沙特   | NEOM, Air Products, ACWA Power | 2025      | 120       | ALK  | 海上风电、太阳能 |
| 挪威   | Varanger Kraft                 | 2025      | 9         | /    | Wind     |
| 澳大利亚 | Origin                         | 2025      | 42        | /    | / (未披露)  |
| 澳大利亚 | H2U                            | 2025      | 175       | /    | /        |
| 澳大利亚 | Fortescue                      | 2025      | 25        | /    | /        |
| 肯尼亚  | Maire Tecnimont                | 2025      | 4.5       | /    | 太阳能，地热   |

数据来源：国际可再生能源署（IRENA）、云道资本整理



# 绿氨的政策环境与产业进展

## 全球各国积极布局绿氨示范项目，规划中的绿氨产能已超7000万吨

国际可再生能源署统计的全球（不含中国）投入运营/规划中的绿氨项目统计清单（2022年），产能合计超7000万吨：

| 位置    | 主导企业                                                             | 开始时间 | 规模 (万吨/年) | 电解技术 | 电力来源     |
|-------|------------------------------------------------------------------|------|-----------|------|----------|
| 澳大利亚  | Queensland Nitrates, Incitec Pivot, Wesfarmers JV, Neoen, Worley | 待定   | 2         | /    | 海上风电、太阳能 |
| 澳大利亚  | 待定                                                               | 待定   | 17-45     | /    | /        |
| 澳大利亚  | BP, GHD, ARENA                                                   | 待定   | 2<br>100  | /    | 风电、太阳能   |
| 澳大利亚  | HyEnergy                                                         | 待定   | 30        | /    | 海上风电、太阳能 |
| 澳大利亚  | Countrywide Energy, Glenelg Shire Council, Port of Portland      | 待定   | 5.6       | /    | /        |
| 苏格兰   | Eneus Energy                                                     | 待定   | 0.7       | /    | 风电       |
| 老挝    | Tsubame BHB                                                      | 待定   | 待定        | /    | 水电       |
| 阿联酋   | TAQA Group, Abu Dhabi Ports                                      | 待定   | 120       | /    | 太阳能      |
| 挪威    | Horisont Energi                                                  | 待定   | /         | /    | 风能       |
| 毛里塔尼亚 | CWP                                                              | 待定   | 1142.5    | /    | 风电、太阳能   |
| 埃及    | ThyssenKrupp                                                     | 待定   | 待定        | /    | /        |
| 巴西    | AmmPower                                                         | 待定   | 待定        | /    | /        |
| 美国    | Maire Tecnimont                                                  | 待定   | 8.4       | /    | 海上风电、太阳能 |

| 位置   | 主导企业                                             | 开始时间         | 规模 (万吨/年)      | 电解技术         | 电力来源     |
|------|--------------------------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------|
| 挪威   | Grieg Edge, Arendals Fossekompan                 | 2025         | 待定             | /            | 风电       |
| 加拿大  | Hy2Gen                                           | 2025         | 18.3           | ALK 或 PEM    | 水电       |
| 智利   | AustriaEnergy, Ökowind                           | 2026前<br>待定  | 待定<br>85-100   | /            | 海上风电     |
| 丹麦   | Copenhagen Infrastructure Partners, Maersk, DFDS | 2026         | 65             | /            | 海上风电     |
| 阿曼   | DEME Concessions, OQ                             | 2026<br>待定   | 15<br>52       | /            | 风电、太阳能   |
| 澳大利亚 | InterContinental Energy                          | 2030<br>2035 | 300<br>990     | ALK、PEM、SOEC | 海上风电、太阳能 |
| 澳大利亚 | MRHP, Copenhagen Infrastructure Partners         | 2028         | 190            | PEM          | 海上风电、太阳能 |
| 阿曼   | OQ, InterContinental Energy, EnerTech            | 2028<br>2038 | 待定<br>950-1140 | /            | 海上风电、太阳能 |
| 澳大利亚 | Province Resources, Total-Eren                   | 2030前        | 240            | /            | 海上风电、太阳能 |
| 澳大利亚 | Austrom Hydrogen                                 | 待定           | 112.5          | /            | 太阳能      |
| 澳大利亚 | InterContinental Energy                          | 待定           | 2000           | /            | /        |
| 澳大利亚 | Dyno Nobel, Incitec Pivot                        | 待定           | 6              | /            | 太阳能      |
| 丹麦   | Energifonden Skive                               | 待定           | 待定             | /            | 风电       |

数据来源：国际可再生能源署（IRENA）、云道资本整理



# 绿氨的政策环境与产业进展

## 绿氨有望在澳洲、中东、东亚率先起量，海上风电将成为其主要的绿电供应方式之一

### 全球绿氨产能规划分布



■澳洲 ■中东 ■非洲 ■亚洲 ■欧洲 ■南美 ■北美

### 绿氨清洁能源供给方式

1/4的绿氨项目



50%+的绿氨产能

能源供给涉及到“海上风电”

### 全球绿氨产能规划分布示意图





## 版权声明

本报告为中国精品投资银行「云道资本」及其下属产业研究智库「云点道林」联合「合肥综合性国家科学中心能源研究院」等单位制作，由「云道资本」及「云点道林」向市场及客户提供信息参考所用，其版权归属于「云道资本」、「云点道林」，其他组织及个人在引用本报告数据、文字或图表等内容时应当注明信息来源。未经正式书面许可授权，任何组织及个人不得以任何形式复制、再版、发布、披露或输出至中华人民共和国境外。任何未经正式授权使用本报告的相关商业行为都将违反《中华人民共和国著作权法》和其他相关法律法规以及有关国际公约的规定，「云道资本」、「云点道林」团队及公司有权保留法律追究并要求经济赔偿的权利。

## 免责条款

本报告由中国精品投资银行「云道资本」及其下属产业研究智库「云点道林」联合「合肥综合性国家科学中心能源研究院」等单位制作，本报告中的行业数据、企业数据及市场数据预测等信息为「云道资本」、「云点道林」行业研究团队基于从国家政府机关网站、企业官网、行业研究协会网站等渠道获取的市场公开信息与行业专家访谈、企业访谈内容，通过桌面研究、访谈整理、市场调查等方式得出。

受数据获取资源与研究方法等方面的限制，「云道资本」、「云点道林」对报告内该等信息的准确性、完整性或可靠性作尽最大努力追求，但不作任何保证；「云道资本」、「云点道林」不保证本报告所含信息保持与市场最新状态，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的观点均不构成任何商业决策及投资建议，仅为市场及客户提供信息参考，本公司对该报告的数据和观点不承担任何法律责任。

注：「云道资本」相关工商主体：上海久挚管理咨询有限公司、北京云道未来企业管理有限公司



## 关于云道

# 云道资本 | 云点道林—中国新能源领域领先的精品投资银行与产业研究机构



### 关于云道：

「云点道林」为精品投资银行「云道资本」下属研究机构，观云卷 · 听风吟 · 道成简，「云点道林」以专业的数据信息、敏锐的市场洞察和创造灼见的研究咨询服务为中国创业企业、行业赋能。

云道资本成立于2020年，是一家由业内资深人士组建的精品投资银行与股权投资机构，云道资本始终秉持“为顶尖创业者而生”的服务理念与“创造Innovation、正直Integrity、灼见Insight”的行动准则，为创业者提供资金直投、投资银行、研究咨询三大板块业务，彼此协同赋能。

云道资本重点关注新能源、新材料、先进制造、人工智能等前沿科技方向，长期稳居新能源领域财务顾问机构前五名，并曾荣获“中国最具产业成长力精品投行TOP10”

“中国股权投资领域财务顾问机构综合榜TOP13”“中国股权投资领域财务顾问机构活跃榜TOP11”等多项荣誉，团队累计融资成交额达数十亿美元。

### 联系云道：

北京办公室：北京市 朝阳区 光华路15号 亿利生态广场308A

上海办公室：上海市 浦东新区 长泰国际金融大厦 2008

官网网址：[www.6sigmacapital.com](http://www.6sigmacapital.com)



「云道资本」公众号



创业者&投资者关系 负责人



关于 合肥综合性国家科学中心能源研究院

合肥综合性国家科学中心能源研究院—中国能源领域的一流大型综合型研究基地

云道  
资本  
SIX SIGMA CAPITAL

关于 合肥综合性国家科学中心能源研究院：



**合肥综合性国家科学中心能源研究院**

Institute of Energy, Hefei Comprehensive National Science Center.

合肥综合性国家科学中心能源研究院〔以下简称“能源研究院”〕依托中国科学院合肥物质科学研究院、安徽理工大学、中国科学技术大学、合肥工业大学等单位建设。

对标国家战略、瞄准世界前沿，结合国家能源中长期发展规划，集聚国内外能源领域创新资源，积极探索新型机制体制，遵循“军种组建、战区主战、以战领建”管理模式，建成突破型、引领型、平台型一体化的具有“一流的研究设施、一流的核心技术、一流的研究团队、一流的科研成果”的大型综合型研究基地，占领未来能源技术发展的战略制高点，为解决我国能源发展问题提供强大理论和技术支撑。

重点部署煤炭清洁高效利用、磁约束聚变、可再生能源以及智慧电力电网四个研究方向，统筹加强基础研究、应用基础研究、技术创新，带动能源领域科研力量优化布局和自主创新能力跃升，形成在能源技术发展领域拥有重要话语权和影响力的战略科技创新力量，打造面向世界科技前沿的“航母级”研究平台。

能源研究院 官网：<https://ie.ah.cn/>