strategy& 思略特

*Part of the PwC network*

# 氢能源行业前景分析与洞察

## 借鉴欧洲经验
## 打造低碳氢经济



# 联系方式

## 中国

**单小虎**
普华永道思略特中国主管合伙人
+86-10-6533-2166
tiger.shan@strategyand.cn.pwc.com

**冯昊**
普华永道中国能源行业咨询主管合伙人
+86-21-2323-2818
stanley.h.feng@cn.pwc.com

**钟肯**
普华永道思略特中国业务总监
+86-10-6533-7871
ken.k.Zhong@strategyand.cn.pwc.com

# 作者简介

**Laurent Saint Martin**是普华永道思略特在能源和公用事业领域的高管顾问。他常驻巴黎，是普华永道思略特合伙人，擅长战略转型规划、B2B数字化服务开发以及增长和产品战略，尤其侧重于低碳解决方案领域。

**Matthias Witzemann**常驻维也纳，是普华永道思略特奥地利合伙人。他为包括可再生能源、氢技术领域在内的全球能源客户提供战略驱动型转型服务。他擅长转型、运营和数字化项目，尤其是涉及整条价值链的各项重大运营卓越项目。

**Adrian Del Maestro**是普华永道思略特在油气以及低碳领域的专家。他擅长为企业提供战略建议，帮助企业实现能源转型并通过并购实现增长。他常驻伦敦，是普华永道英国执行总监，领导公司在全球能源领域的思想领导力。

**Guillaume Jean**常驻巴黎，是普华永道思略特法国执行总监。作为研发和创新领域的专家，他主要为能源和公用事业客户提供企业增长战略方面的咨询服务，专长包括并购目标筛选、运营改善、重组和成本优化。

**Frederic Delannoy**常驻巴黎，是普华永道思略特法国高级咨询顾问。他在发电行业拥有八年以上的工作经验，并曾担任管理职位。他为客户提供有关战略和大规模运营转型方面的咨询服务，尤其侧重低碳氢以及能源转型相关的话题。

**Simon Betz**是能源和低碳领域的专家，曾担任普华永道思略特德国项目经理。他侧重战略和大规模转型项目，在可持续发展、脱碳、氢战略和运营方面拥有丰富的经验。

普华永道英国执行总监Ronan O’Regan、普华永道思略特意大利执行总监Fabio Gungui和普华永道思略特荷兰经理Floris Jansen亦为本文做出贡献。

# 概述

**未来十年将是应对气候变化的关键时期。根据《巴黎协定》设定的1.5℃温控和净零排放目标，截止2030年前，全球目前每年约12%的脱碳速度，需要提高五倍[1]方可实现。打造低碳氢经济可以加速能源行业转型，在整个节能减排过程中发挥至关重要作用。**

由于氢可以代替碳氢化合物，特别是在难以实现减排目标的场景和领域中得到应用，公众将氢视为通向未来绿色能源的钥匙：氢分子可用于储能，接收可再生能源产生的间歇性能流；在无法电气化或电气化成本效益不高的情况下，氢气可作燃料使用；在发电和需要高温的工业加工领域（例如炼钢），氢气还可用作进料。

然而如何实现氢这种绿色能源的巨大潜力呢？尽管目前氢技术发展已较为成熟（燃料电池曾帮助人类首次登月），但整个氢行业和供应链仍处于发展起步阶段。建立低碳氢经济仍有很长的路要走，其中包括推动终端行业的应用、效仿天然气领域建立氢气全球贸易市场等，政府也需要通过强有力的监管体系提供支持，以实现低碳氢经济的目标。

1 普华永道零碳经济指数2020: https://www.pwc.co.uk/services/sustainability-climate-change/insights/net-zero-economy-index.html

# 氢市场的现状与潜力

低碳氢被广泛认为是一种蕴藏丰富、用途广泛、清洁方便的能源载体，已被视为能源行业转型的关键一环。数十年来，人类一直在考虑将氢气作为燃料源的可能性，但仍然开发有限。近年来，各国政府和国际组织对减排和实现净零排放的承诺、可再生能源装机容量的不断增长、可再生能源成本的不断下降，为大规模应用带来了可能性。对于可代替天然气的低碳氢而言，情况尤为如此（见下页，图1）。



**图1**

由于氢气与天然气属性相似，且二氧化碳排放量更低、自然蕴藏丰富，所以具有代替天然气的潜力

## 氢气属性

**氢气的特点**

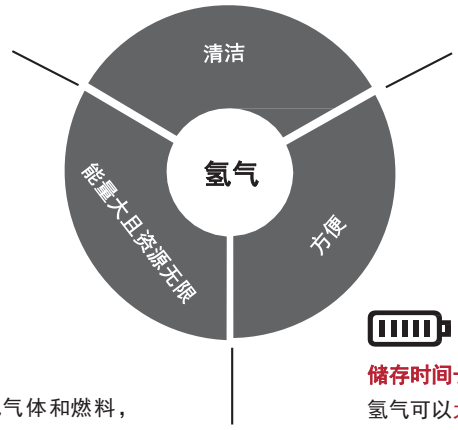
不含碳元素，消耗时不产生二氧化碳或污染物；在合适的生产方式下，可成为零碳解决方案

**实现能源终端消费脱碳的途径**

氢气可替代化石燃料或注入燃气管网与天然气混合，从而减少二氧化碳排放

**取之不尽**

氢是宇宙中蕴藏最丰富的元素




**可通过多种技术方案运输**

氢气在纯净状态下不易于运输，但可以混合或液化以实现大批量运输

**能量密度高**

氢气热值显著高于其他气体和燃料，可达到汽油的4倍

**储存时间长**

氢气可以大量长期储存

## 天然气属性

**温室气体排放**

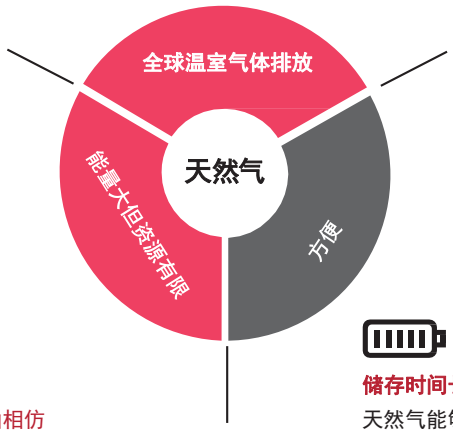
在天然气的钻探、提取以及管网运输过程中，作为天然气主要成分的甲烷会出现泄漏，而甲烷的吸热效应在100年的时间里是二氧化碳的34倍

**清洁电厂**

燃气发电厂能实现较高的能源利用率（60%以上），但仍然会产生大量的二氧化碳

**资源有限**

鉴于当前产量和已探明储量，储采比约为52.8年




**易于大批量运输**

天然气已从世界范围内发达的大型物流网络中受益

**能量密度高**

天然气的能量密度与汽油相仿

**储存时间长**

天然气能够以液态形式运输和储存

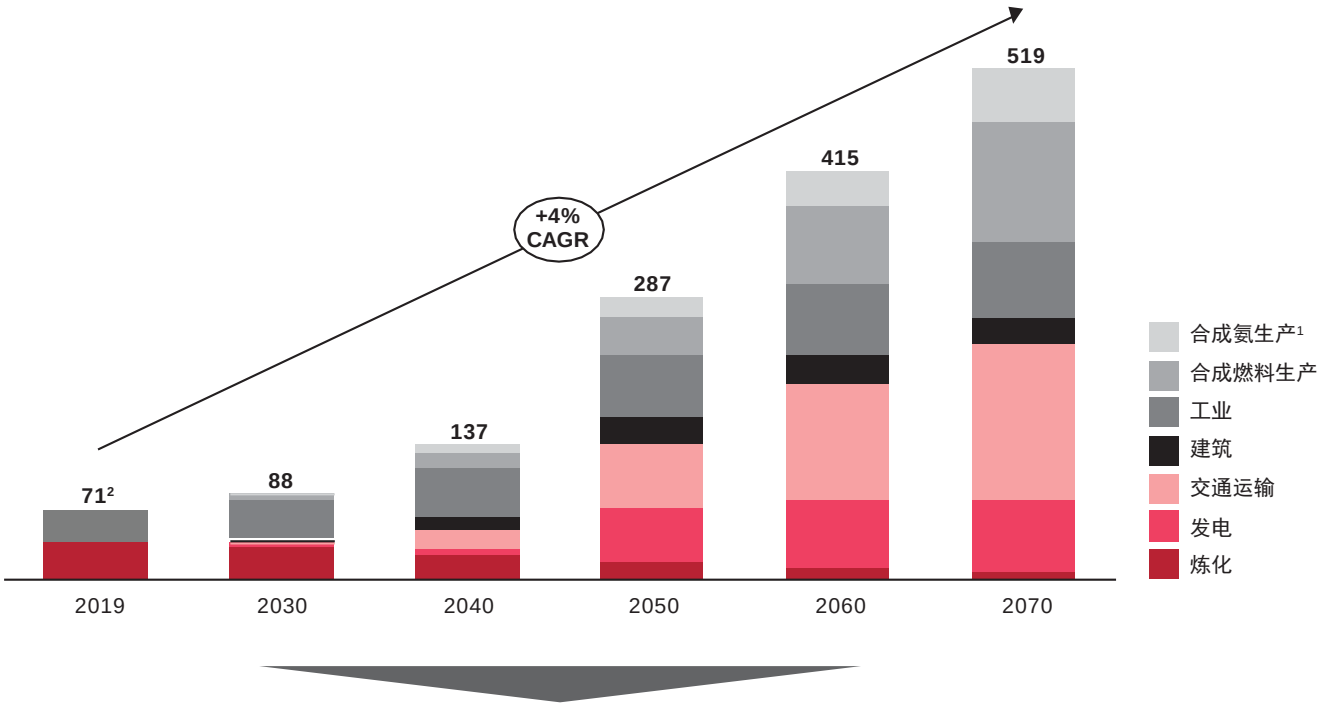
优势
劣势

资料来源：普华永道思略特分析

根据国际能源署可持续发展情景预测，到2070年，全球对氢气的需求预计将在2019年7,000万吨的基础上增长7倍，达到5.2亿吨（见图2）。如果化石燃料相应减少，叠加氢气的低碳化生产因素，全球能源行业和工业加工领域有望在2070年时实现碳中和[2]。

**图2**
在可持续发展情景下，到2070年，全球对氢气的需求有望增长7倍，达到5.2亿吨

**可持续发展情景下全球不同行业对氢气的需求（2019-2070年，百万吨）**




**2070年时氢气在各行业的用途**

- **在可持续发展情景下，到2070年，全球对氢气的需求增长7倍，达到5.2亿吨，其中：**
  - **交通运输**（汽车、卡车、船舶）占30%
  - **合成航空煤油生产**占20%
  - **工业**（钢铁、化工品）占15%
  - **发电**占15%
  - **合成氨生产**占10%
  - **建筑**（空间和水暖）占5%
  - **其他用途**（炼化）占<5%
- 所有经济体的二氧化碳减排目标共同推动氢需求的增长

1. 合成氨生产系指航运行业的燃料生产；用于工业氨生产的氢气包括在工业类别中
2. 另有4,500万吨未与其他气体分离的氢气用于工业用途
资料来源：国际能源署，普华永道思略特分析

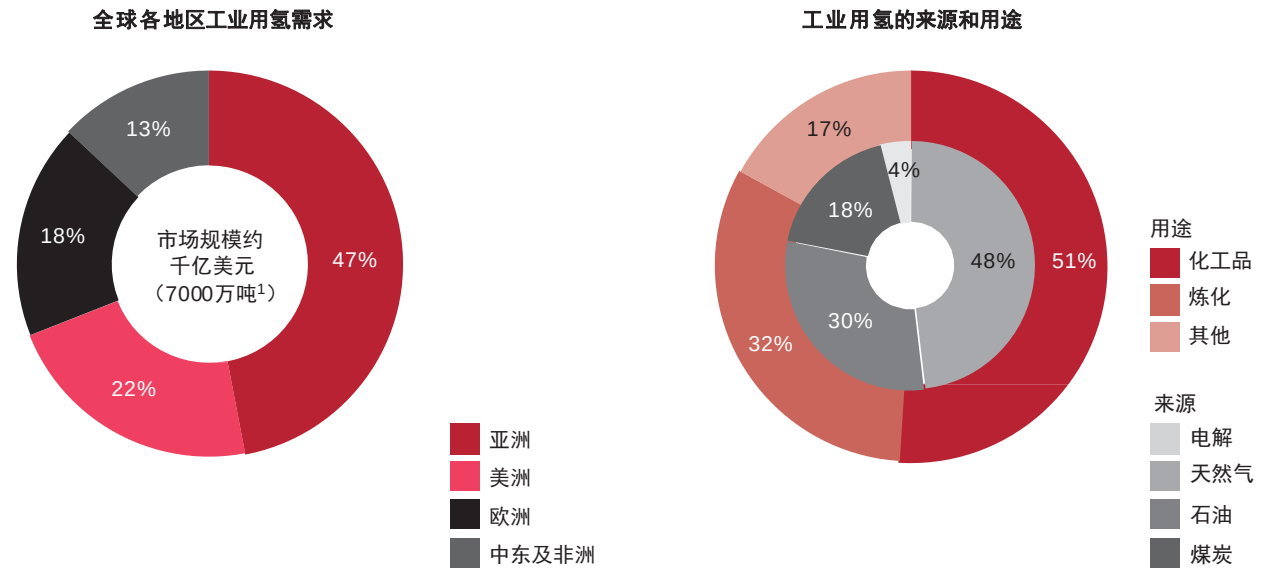
氢气的应用并不是新生事物。目前，氢气的年产量为7,000万吨，市场规模约为千亿美元（见图3）。亚洲是最大市场（48%），美洲（22%）和欧洲（18%）紧随其后，而工业企业则是最大的使用群体，八成以上的需求来自炼化和化工行业。炼油厂使用氢气来降低柴油中的硫含量，全球范围内较高的柴油消耗量，加之更严格的硫含量法规要求，一直维系着市场对氢气的需求。

在化工行业，氢气用于生产氨和甲醇，它们是两种用途广泛的基础化合物，其中氨是化肥行业的主要原料。

目前的难题在于，如今消耗的氢气几乎95%均来自于化石燃料，通过两种最常见的方法——煤炭气化和蒸汽甲烷重整进行生产。在生产过程中，化石燃料（即煤或天然气）进料与蒸汽反应，生成一氧化碳、二氧化碳和氢气。每生产1公斤氢气将释放约10公斤二氧化碳，如果不能及时捕获、利用或封存生产过程中产生的二氧化碳，此类传统的制氢方法将对环境造成巨大影响。

因此，只有在生产环节中尽可能减少碳排放，氢气才有助于全球经济实现可持续脱碳的目标。实现这一目标主要包括的途径有：利用风能、太阳能、水能等可再生能源以及沼气和核能，或是采用常规的化石燃料能源加上碳捕获与封存技术，从而实现低碳氢的大规模生产。而刺激需求和应用则是发展氢经济的首要任务之一。

**图3**
2020年全球氢气市场需求规模约为1000亿美元




1. 7000万吨氢气相当于约2亿吨油当量
资料来源：国际可再生能源机构，彭博社，Afhypac，法国对外贸易部，国际能源署，普华永道思略特分析

# 要素一

## 刺激低碳氢需求

随着越来越多的国家和行业将低碳氢视为燃料源和原料，氢的用户群体有望越来越多样化。基于低碳氢生产技术的成熟度、与现有工艺结合的复杂性，以及现行法规和经济鼓励政策，不同行业有各自的脱碳路径和时间表。替代性技术和竞争性技术的可用性也将是刺激因素之一（轻型乘用车的电气化就是很好的例子）。

各国政府在发展低碳氢经济的过程中，需要集中精力、遵循主体原则，而不是试图覆盖众多行业：

- 聚焦脱碳难、有规模效应（规模大的多元化企业）、可利用现有基础设施（例如管网）的产业集群；
- 产业集群如果位于港口和海岸线附近，则能更好地对接不断增长的国际氢气物流终端；
- 希望建立氢能力、共同承担投资成本和风险的企业，可建立合作伙伴关系；为推动氢解决方案赋能，地方政府也可以发挥作用。

> “在不久的将来，首先面临的挑战是通过开发补贴来刺激需求，用鼓励而不是强制的方式，使终端应用行业转向绿氢。”
>
> **欧洲行业代表**

许多行业都可以畅想低碳氢的未来。个别行业的应用可能发展得更为迅猛，尤其是那些目前尚未有可行替代技术加速脱碳的行业。鉴于此，行业的优先次序可能如下：

## 1 炼化行业

以低碳氢代替通过煤炭和天然气生产的常规氢为切入，随后探索用低碳氢和捕获的碳来生产合成燃料等不同的应用方式；现行可再生能源法规（欧盟第II可再生能源指令）的要求和经济激励措施可加速这一转变。

## 2 钢铁行业

据世界钢铁协会数据，在传统的高炉炼钢方式下，每生产1吨钢铁会产生1.85吨二氧化碳。利用氢气直接从固态铁矿石中除掉氧气，是钢铁行业前景有利的脱碳途径。钢铁制造商已通过示范项目测试了该技术，并有望在2025年左右发展成熟，然后得到推广（见第10页，图5）。

## 3 发电行业

纯净氢气或氢气与天然气的混合气可为燃气轮机提供动力，从而实现发电行业的脱碳。燃气轮机制造商目前正在解决因氢燃烧而带来的火焰传播速度快、二氧化氮排放量高等技术难题，争取在2030年前能够开发出与氢完全兼容的轮机。此举将为发电企业开辟新的脱碳途径，加快脱碳步伐，并规避由于排放法规趋紧而导致的设备搁置、无法使用等风险（见第9页，图4）。

## 4 水泥行业

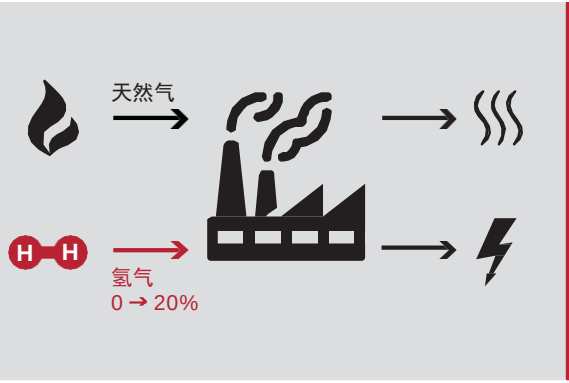
该行业三分之一的二氧化碳排放来自于加热过程和触发煅烧反应所需的燃料源，在这种情况下，氢气可用作主要的燃料源；其余三分之二的二氧化碳排放来自于煅烧过程本身。水泥行业已经发现了多种碳减排的手段，包括提高能效、降低熟料混合比、使用添加结合材料、捕获生产过程中排放的碳，长期封存或利用。最后一点对于水泥行业而言机会规模尤其巨大：绿氢加上水泥生产商捕获的碳，可用于生产氨或甲醇等化合物，这也凸显了低碳氢市场中跨行业合作的潜力。

## 5 交通运输行业

货运等重型交通运输提供了大量使用氢燃料的市场机会，其消费量足以产生规模效应。大型车队和固定规划的运输路线有助于避免在短时间内大规模建设加氢站网络。尽管部分汽车制造商对轻型汽车进行了大量投资，但仍然面临巨大挑战，例如在私家车领域，更便宜的低碳电动车已经面市。由于汽柴油成本通常高于其他行业中使用的天然气成本，因此氢气有望在交通运输领域率先获得成本优势。随着氢和合成燃料逐步成为车用燃料，各国政府可能改变现行的从汽柴油销售环节中征税的方式，转而对氢征税，从而减弱氢的成本优势。但思略特认为，政府无意延缓交通运输业脱碳的步伐，只有当氢气确立其燃料源的地位后，这种情况才会发生。

**图4**
能源行业正加大电力和热力用燃料的氢气用量

**能源 — 电力和热力领域正加大氢气使用（部分案例）**

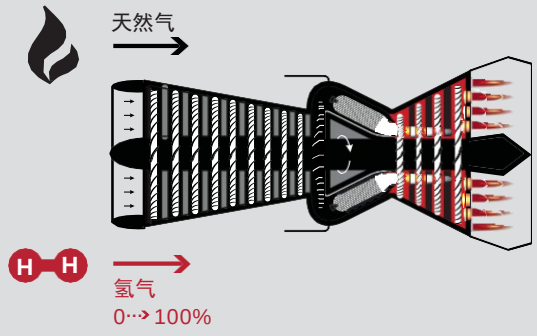



**天然气输配系统运营商：氢气混合**

天然气输配系统运营商已成立工作组，正开展提高天然气中氢含量的实验，计划到2030年将氢气含量提高至10%，此后再提高至20%。

此举是为了动员设备制造商和下游用户参与其中、评估向管网注入氢气的经济可行性、整合基础设施开发需求、制订和实施氢产业集群试验和运行框架。

法国的GRYDH和Jupiter是用于概念测试的两个示范项目。

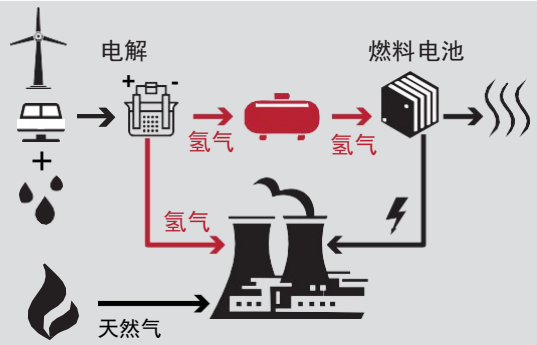



**燃气轮机制造商：燃氢比例**

通用电气、西门子等燃气轮机制造商正开发具有燃料灵活性的新机型，以适应低碳混合能源，确保其业务在无碳能源生态体系下的可持续发展。

考虑到氢气的特定属性，将需要对燃气轮机硬件进行改进：氢气的火焰速度比天然气快10倍左右，要提供与天然气相同的能量，氢气的体积流量需要高出3倍。

行业机构EUTurbines的成员企业已签署提高轮机燃氢比例的承诺，到2020年时将比例提高到至少20%，到2030年时提高到100%。




**Verbund：Hotflex中试厂**

奥地利梅拉赫中试厂从电网获得过剩的风能和太阳能，并通过高温电解生产氢气，然后将这种绿氢（40标准立方米/小时）与天然气混合，驱动两台燃气轮机。

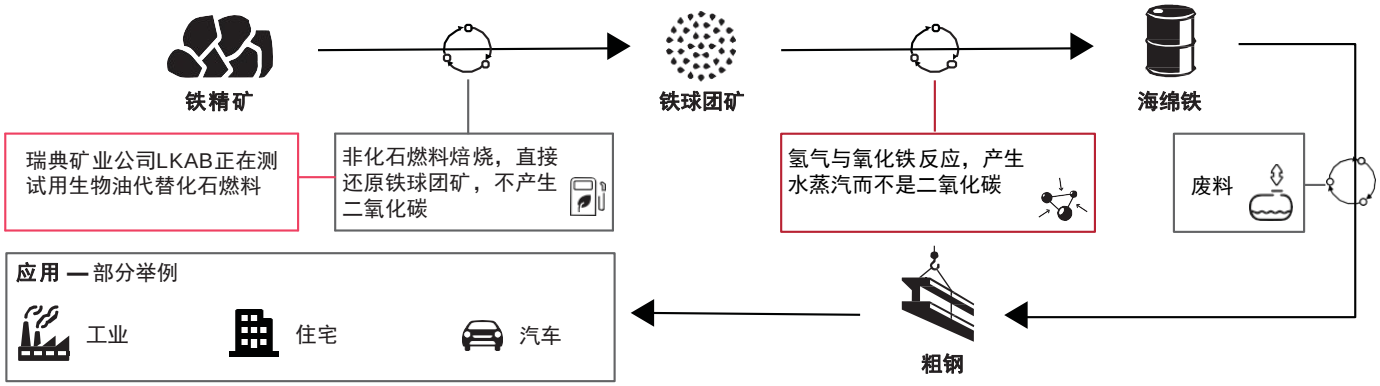
该工厂的特点是自身可作为燃料电池反向运行，能够发电和供热。

Verbund将测试这种燃料电池运行模式，探索作为电厂自备电源或应急电源的可能性。

资料来源：GRTGaz官网，西门子官网，通用电气官网，普华永道思略特分析

**图5**

经测试，绿氢可替代焦炭和煤炭，助力钢铁行业脱碳






**安赛乐米塔尔用例**

跨国钢铁生产商安赛乐米塔尔与弗赖堡大学合作，在汉堡开发建设使用氢气还原铁矿石的工厂。

尽管测试中使用灰氢和蓝氢，但该公司计划随着绿氢的逐步普及而最终过渡到绿氢。

通过变压吸附工艺，从现有工厂的废气中分离出纯度高达97%的氢气。

预计氢直接还原铁矿石项目示范规模约为11万吨。

氢技术只是该公司2.5亿欧元碳减排投资的一部分。

预计2023年投产。



**HYBRIT项目：**
突破式氢炼铁技术

HYBRIT项目由瑞典钢铁制造商SSAB、矿业公司LKAB和能源公司Vattenfall等三家公司发起。

项目旨在探索钢铁生产中使用由可再生电力生产的氢气，以无碳氢代替焦炭[1]和煤与氧化铁反应。

2018年夏，HYBRIT中试厂在瑞典吕勒奥的SSAB基地开工建设，瑞典能源署提供了4400万欧元的资金援助。

试点阶段预计将持续到2024年，2025年至2035年将为示范阶段。

1. 焦炭是一种近乎纯净的硬质多孔碳产品，通过在隔绝空气的情况下加热煤而制得；　焦炭在高炉中既是燃料又是还原剂，燃烧时会生成一氧化碳
资料来源：企业网站，普华永道思略特分析



# 要素二

## 刺激低碳氢供应

为了加快低碳氢的发展，推动高能耗行业中低碳氢替代碳氢化合物，在成熟的碳排放技术与更清洁的新型氢技术之间，如何缩小两者的价格差成为当务之急。目前，电力成本占绿氢可变成本的60%-70%，因此，获得成本低廉、供应充足的可再生能源为电解槽提供电力显得至关重要。思略特访谈的专家表示，当可再生能源的成本降至20美元/兆瓦时以下时，绿氢将具有成本竞争力。随着世界各国加大对可再生能源投资力度，以及平准化能源成本的降低，规模效应有望于2030年实现。

与此同时，电解槽制造商正在努力提高电解槽的效率并实现规模效应，从而降低可变成本。思略特预计，聚合物电解质膜（PEM）技术的效率将高于碱性（ALK）技术，从而更进一步降低成本。

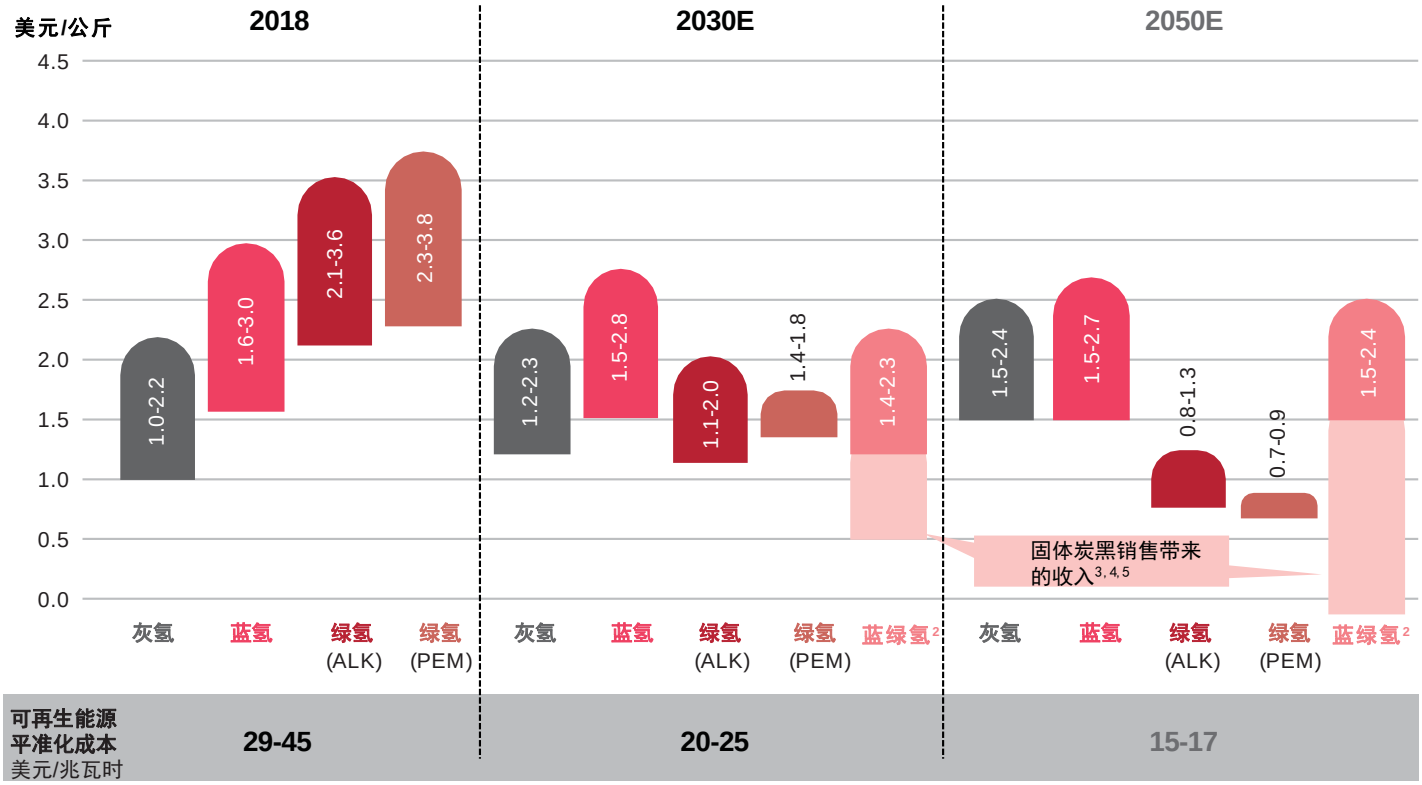
如今，生产1公斤氢气所消耗的电力大约为55千瓦时。随着电解技术日趋成熟，设备投资有望进一步降低。但需要注意到，由于亚洲生产的电解槽相对便宜（<500美元/千瓦），与欧洲生产的电解槽相比，两者的设备投资支出可能存在显著差异。技术的不同是造成差异的原因，采用聚合物电解质膜技术的电解槽要比采用碱性技术的电解槽的设备投资支出更高（见下页，图6）。

> “氢气的可变成本主要取决于电力的成本。”
>
> **电解槽制造商**

**图6**

鉴于成本优化和二氧化碳价格上涨，到2030年时绿氢将具有成本竞争力

**思略特全球氢气成本演变模型，按技术划分[1]**




**主要成本洞察**

- **绿氢：**
  - 成本结构主要取决于电解槽的运营性支出（当地电价），绿色电力有望更便宜（约33美元/兆瓦时），电解槽效率有望更高（约50千瓦时/公斤氢气），从而降低运营性支出
  - 累计产量约每两年翻一番，可能实现高达70%的降本（资本项支出改善）
  - 二氧化碳的价格预计将升至约50美元/吨（相应地，天然气至少为7美元/吉焦），从而使得绿氢更具竞争力
- **蓝氢：**
  - 天然气脱碳需承担55-80美元/吨二氧化碳的额外成本
- **蓝绿氢：**
  - 利用熔融金属热解技术从天然气中制氢
  - 出于政策或地质条件而不适用碳捕获、利用与封存技术的地区具备优势，但仍处于发展的早期阶段（例如巴斯夫的试点）

1. 基于新建项目的成本假设，不包括电解槽和建筑制冷所需成本
2. 蓝绿氢成本主要取决于天然气价格
3. 固体炭黑的当前价格为400欧元-2000欧元/吨
4. 假设碳黑收入为500欧元-700欧元/吨，可零成本生产蓝绿氢
5. 炭黑用例：轮胎、橡胶、建筑材料

资料来源：彭博新能源财经 (2019)，国际能源署 (2019)，《能源转换和管理》 (2020)，普华永道思略特研究 (2020)

绿氢需求的激增将有力推动可再生能源装机容量的增长。到2030年时，以电解方式生产1000万吨氢气将消耗约550太瓦时的可再生能源（以目前生产1公斤氢气约消耗55千瓦时的电力计算），这一数字已超过法国全年用电量：2020年法国全年电力消费总量为460太瓦时。

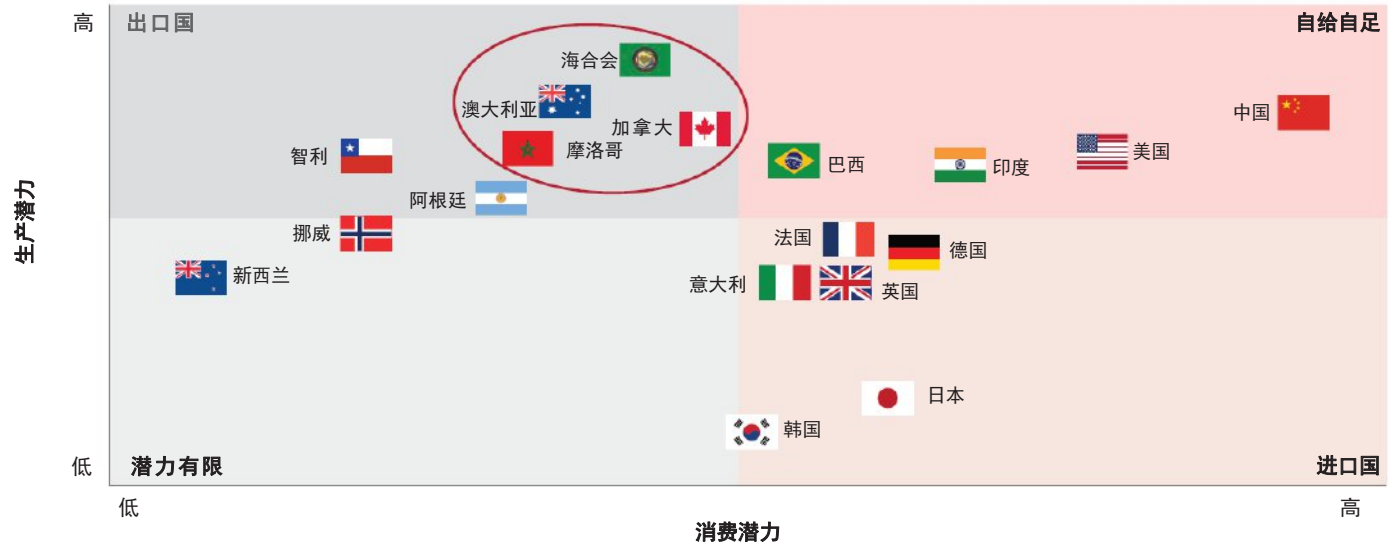
部分可再生能源潜力巨大的国家既可以提供绿色能源为电解槽供电，也可以生产绿氢并出口到其他国家（未来全球氢气贸易市场的主要潜在出口国和进口国，见图7）。

水是电解所需的另一个重要资源。生产1公斤氢气需要大约22升水，因此用水需求量巨大。在密集的工业区中，获得足够的水资源用于电解并满足工业需求可能并不容易。

最后是蓝氢（使用碳捕获技术，用天然气生产的氢气）的供应和扮演的角色。尽管以可再生能源生产清洁氢气是市场供应的终局，但蓝氢的重要作用也不容忽视：在绿氢实现大规模生产前，蓝氢将作为过渡技术，生产足量的低碳氢。思略特在荷兰、英国等国家都观察到了这种情况，挪威国家石油公司Equinor、德国能源巨头Uniper与十多家合作伙伴共同成立了零碳联盟（Zero Carbon Humber），使用碳捕获技术用天然气制氢，并将二氧化碳出口封存在北海的海底。

**图7**
海合会[1]、澳大利亚、加拿大和摩洛哥具备向亚洲和欧洲国家大量出口氢气的潜力

**各国的绿氢气生产和消费潜力**




1. 海合会：海湾合作委员会是区域性政府政治经济联盟，由波斯湾的所有阿拉伯国家组成，包括巴林、科威特、阿曼、卡塔尔、沙特阿拉伯和阿拉伯联合酋长国
资料来源：普华永道思略特分析

# 要素三

## 拉通供需：输配和储存

氢气输配是拉通供需的关键环节。

利用现有的天然气基础设施输配氢气是方案之一。根据欧洲天然气输配系统运营商的估测，可以在没有任何技术挑战的情况下将10%的氢气混入天然气进行输配。如果对输配管网进行小幅调整，氢气混合的比例最高可达20%，但建设氢气专用基础设施的成本效益将会更高。

然而氢气天然气混合气的经济模型仍比较模糊，将昂贵的氢气混入廉价的天然气会造成价值的损失。使用氢气供热的技术，在部分项目上得到了论证：例如英国电网公司计划在2030年建成该国的第一个氢气小镇。

考虑到今后天然气用量可能减少，用天然气管网输配氢气可防止输配系统运营商陷入资产搁浅的困境。欧洲11家天然气输配系统运营商联合发布了一篇欧洲氢气主干网络研究，展望了氢气输配基础设施的发展：在氢枢纽周边区域管网的基础上，逐步发展到2040年总长度2.3万公里的泛欧洲管网，其中约75%由现有的天然气基础设施改造而成，另外25%为新建的氢气专用管网，建设总成本约为640亿欧元（见下页，图8）。

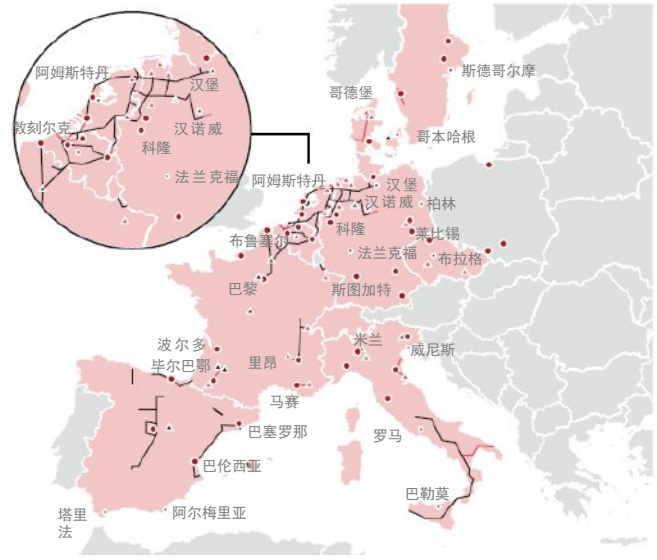
> “从2025年起，区域内的输配基础设施需要连接氢产业集群和生态体系。”
>
> **欧洲领先的管网制造商**

**图8**

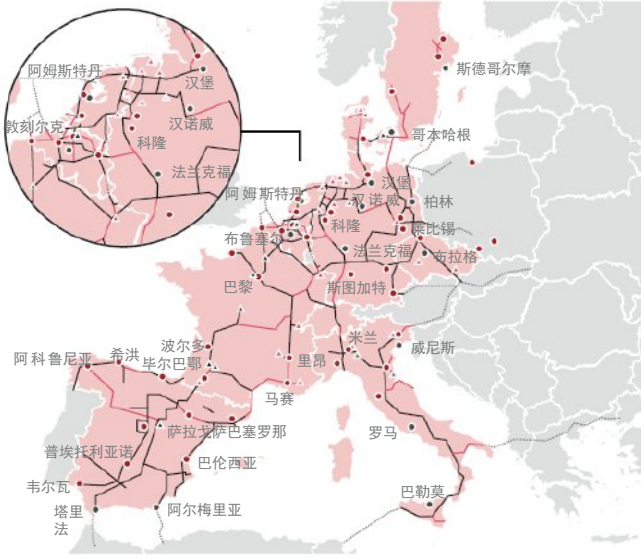
## 基础设施是支撑氢市场发展的关键要素，预计到2040年投资将高达640亿欧元

### 拉通供需的欧洲氢气主干网发展

**2030年约6800公里**




**2040年约2.3万公里**




- 改造现有天然气管网用于输配氢气
- 新建氢气管网
- 可能的其他路线
- 研究范围内的国家
- 研究范围外的国家

- 潜在的氢气储存点：现有/新的岩盐溶腔
- 潜在的氢气储存点：含水层
- 潜在的氢气储存点：枯竭的气田
- 产业集群
- 用于定位用途的城市（如果不是产业集群所在的城市）

- 预计将在发展领先的氢气供需枢纽或“氢谷”及其周围（例如产业集群、港口、城市、试点项目和商用氢开发）形成区域骨干网
- 如今，欧洲有约1600公里的小型专用氢气管网，用于在产业集群之间运输基于化石燃料的灰氢

- 到2040年，氢主干网总长将达2.29万公里，由现有天然气基础设施改造的管网占75%，新建的氢气管网占25%
- 到2040年，管网应能够满足欧洲每年1130太瓦时的氢气需求（激进情景）

**2040年时所需的资本性支出和运营性支出**

| 资本性支出（十亿欧元） | 低[1] | 高[1] |
|---|---|---|
| 管网成本 | 17 | 28 |
| 压缩成本 | 10 | 36 |
| 总投资 | 27 | 64 |

| 运营性支出（十亿欧元/年） | 低 | 高 |
|---|---|---|
| 运维成本 | 0.7 | 1.1 |
| 电力成本 | 0.9 | 2.4 |
| 运营性总支出 | 1.6 | 3.5 |

- 270亿-640亿欧元的一揽子投资包括氢气管网建设和天然气管网改造的全部成本，只占数千亿欧元绿氢生产投资总额的一小部分
- 75%的管网由改造后的基础设施组成，占到资本性支出总额的50%
- 经营性支出包括假设负载因子为5000小时/年的管网和压缩站运维成本，并考虑了电费成本

1.低和高取决于天然气输配系统运营商在天然气管网投资和维护方面的经验，并类推到氢气

资料来源：Guidehouse欧盟氢气主干网报告，普华永道思略特分析

对于无法通过管网连接的区域，可以采用其他方案。运输压缩氢气可以满足出行市场的需求。但由于氢的能量体积密度低，只能少量运输，难以满足各行各业日益庞大的能源需求。

液化氢是在短时间内运输或储存氢气的另一种方案。但由于成本高昂且需要存储在零下253摄氏度的环境，因此液化氢更可能用作航空航天（例如中短途飞行和火箭推进）的燃料。

甲基环己烷或甲醇等液态有机氢载体也是长距离散装运输氢的方法，与现有的运输方式完全兼容、可重复使用，并且可以在室温和大气压下操作，但缺点是消费时需要加热分离氢气，且需要一定的时间进行化学反应。

氨也是长时间大批量储存氢气的便捷手段。氨具有较高的能量密度，无需进一步转化即可广泛用于工业领域，也可以直接用作燃料为燃气轮机或轮船提供动力。氨拥有成熟的供应网络和运输基础设施，但缺点是毒性高、燃烧过程中会排放氮氧化物。与液态有机氢载体相比，氨在成本方面具有微弱的优势。

除运输外，氢气也需要存储，以确保大批量、不间断地供应工业用户。氢可以通过氨、液态有机氢载体或液态氢的形式存储为液态，但成本远远高于以气态形式储存。岩盐溶腔和枯竭的气田是大批量储存的最佳方案，成本分别不高于0.30美元/公斤和2美元/公斤。但这些储存点地理位置偏远，并不是匹配供需最有效的方法。目前，含水层存储之类的替代方案仍在研究中，但面临着气体体积损失、与细菌的化学和微生物反应导致井眼腐蚀等技术和操作层面的难题。



图9

案例研究：2020年9月，沙特阿拉伯与日本之间开展了世界上首批蓝氨运输

**通过能源载体和循环碳经济实现可持续的氢利用**

| | |
|---|---|
| **项目名称** | 沙特-日本蓝氨供应示范 |
| **年份** | 2017年启动合作<br>2020年实现首批运输 |
| **涉及利益相关方** | 沙特阿美　沙特阿拉伯　日本经济产业省<br>日本电气学会　沙特基础工业公司 |
| **介绍** | 运输40吨高纯度蓝氨用于零碳发电 |
| **目标** | • 将碳氢化合物转化为氢，再转化为氨<br>• 捕获的二氧化碳排放：<br>– 30吨二氧化碳稍后将运往沙特基础工业公司旗下的国家甲醇公司用于生产甲醇<br>– 20吨二氧化碳用于沙特阿美乌德曼尼亚油田提高石油采收率<br>• 在日本的零碳电厂中使用氨发电<br>• 作为循环碳经济的一部分，树立了成功的跨国多行业伙伴关系 |
| **最终用途** | 能源 |

资料来源：项目网站，普华永道思略特分析



# 要素四

## 监管框架为市场提供支撑

尽管供应、需求、输配储存是氢经济的核心支柱，但这些支柱需要建立在强有力的政策和监管框架内。各国政府应该发挥关键作用，确保制定目标明确的氢战略，配合战略性投资和财政鼓励，从而释放正确的市场信号，鼓励民营投资参与。英国在促进海上风电产业发展的过程中，就采取了这种方式。英国制订了成为全球海上风电产业领导者的宏伟愿景，确定了发展目标，并通过差价合约鼓励投资。自21世纪初启动以来，英国海上风电装机容量在2020年已达10吉瓦左右，且正朝着2030年达到40吉瓦的目标迈进。

欧洲各地也有类似的氢经济发展举措。欧盟的氢发展路线图（见第20页，图10）和部分国家最近制定的国家级氢战略（见第21页，图11）是确保充分发挥绿氢市场潜力的重要一环，为市场提供了长期的可预见性，使得供需两侧的利益相关方都能开展必要的投资。各国之间的合作与协调对于确保公平竞争至关重要。

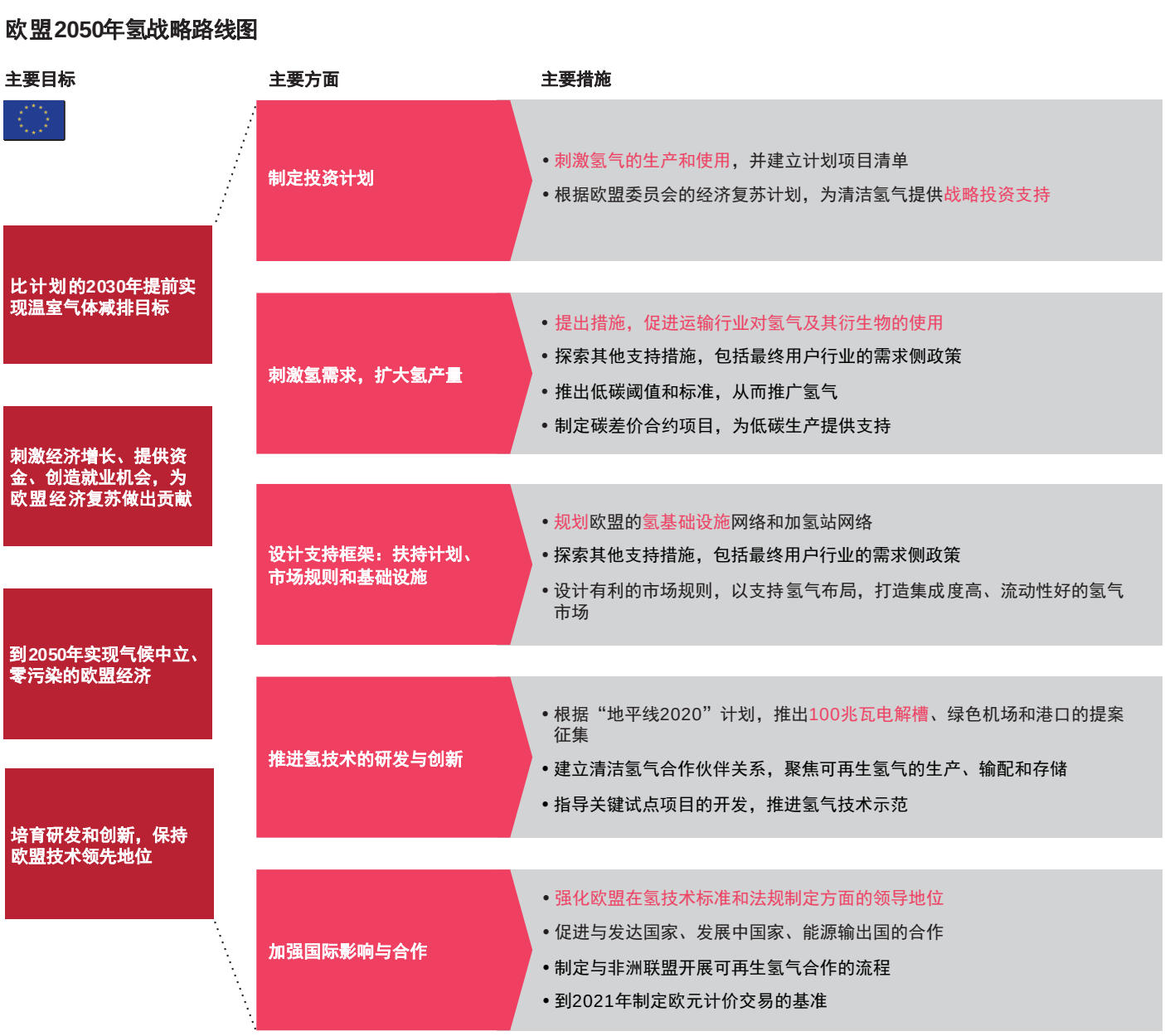
政府也需要为处于起步阶段的绿氢市场提供财政支持，为生产商和用户提供适当的激励，鼓励其转为使用低碳氢技术。激励可采取多种形式，或是对资本性支出或运营性支出提供直接财政补贴，或是采取补偿机制。2020年12月，欧洲达成建立氢项目的协议，将为实现欧盟氢战略[3]中设定的电解槽产能安装目标提供真正的推动力。

在国家层面，新冠疫情期间用于刺激经济的资金将成为强有力的经济杠杆，为项目示范、氢技术开发、刺激供需提供资金支持。在2030年绿氢的成本优势形成前，这种支持需要不断继续。

监管也是推动向绿氢转型的关键。增加碳税、设定工业过程中使用氢的约束性目标或强制性配额，都将有助于实现创造大量氢需求并支撑市场高速发展的目标。

3 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301

图10
2020年欧盟氢战略正促进氢能的开发和合作，从而到2050年实现宏伟目标




资料来源：气候中立欧洲的氢战略，普华永道思略特分析

图11
欧洲各国对氢的关注日益增加，多数国家都发布了国家级氢战略
（部分欧洲国家）

| | 德国 | 英国 | 意大利 | 土耳其 | 法国 | 荷兰 | 西班牙 | 马耳他 | 比利时 | 奥地利 | 葡萄牙 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2018年天然气消费量（太瓦时） | 950 | 880 | 769 | 530 | 475 | 399 | 350 | 208 | 193 | 96 | 65 |
| 国家对氢气的关注度 | 高 | 中 | 中 | 低 | 高 | 中 | 高 | 中 | 中 | 中 | 高 |
| 国家承诺的投资（欧元） | 2030年90亿欧元 | N/A | N/A | N/A | 2030年70亿欧元以上 | 到2025年的定性计划 | 2030年约90亿欧元[1] | N/A | N/A | N/A | 2030年70亿欧元 |
| 国家战略的发布年份 | 2020 | 即将发布 | N/A | N/A | 2020 | 2020 | 2020 | 即将发布 | N/A | 即将发布 | 2020 |
| 脱碳的主要聚焦领域：能源 | | | | ✓ | | | | ✓ | | | |
| 脱碳的主要聚焦领域：工业 | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| 脱碳的主要聚焦领域：建筑 | | ✓ | | | | | | | | | |
| 脱碳的主要聚焦领域：出行 | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| 主要目标 | 2030年电解槽装机容量达5吉瓦，计划到2035年增加到10吉瓦 | 在2021年11月前发布国家战略；聚焦蓝氢和绿氢 | 聚焦在生产、存储、风电制氢和监管；氢相关项目多 | 希望利用当地煤炭资源，专注于生产蓝氢 | 2030年电解槽装机容量达6.5吉瓦 | 2030年电解槽装机容量达3-4吉瓦 | 2030年电解槽装机容量达4吉瓦 | 2030年电解槽装机容量达2-4吉瓦 | 地方政府在等待国家整体战略的同时，率先发展氢能 | 国家层面的氢能战略有望很快发布 | 2030年电解槽装机容量至少达1吉瓦，境内70%的现有管网已做好输送氢气的准备 |

高
中
低
已制定国家级氢战略
仍在制定国家级氢战略

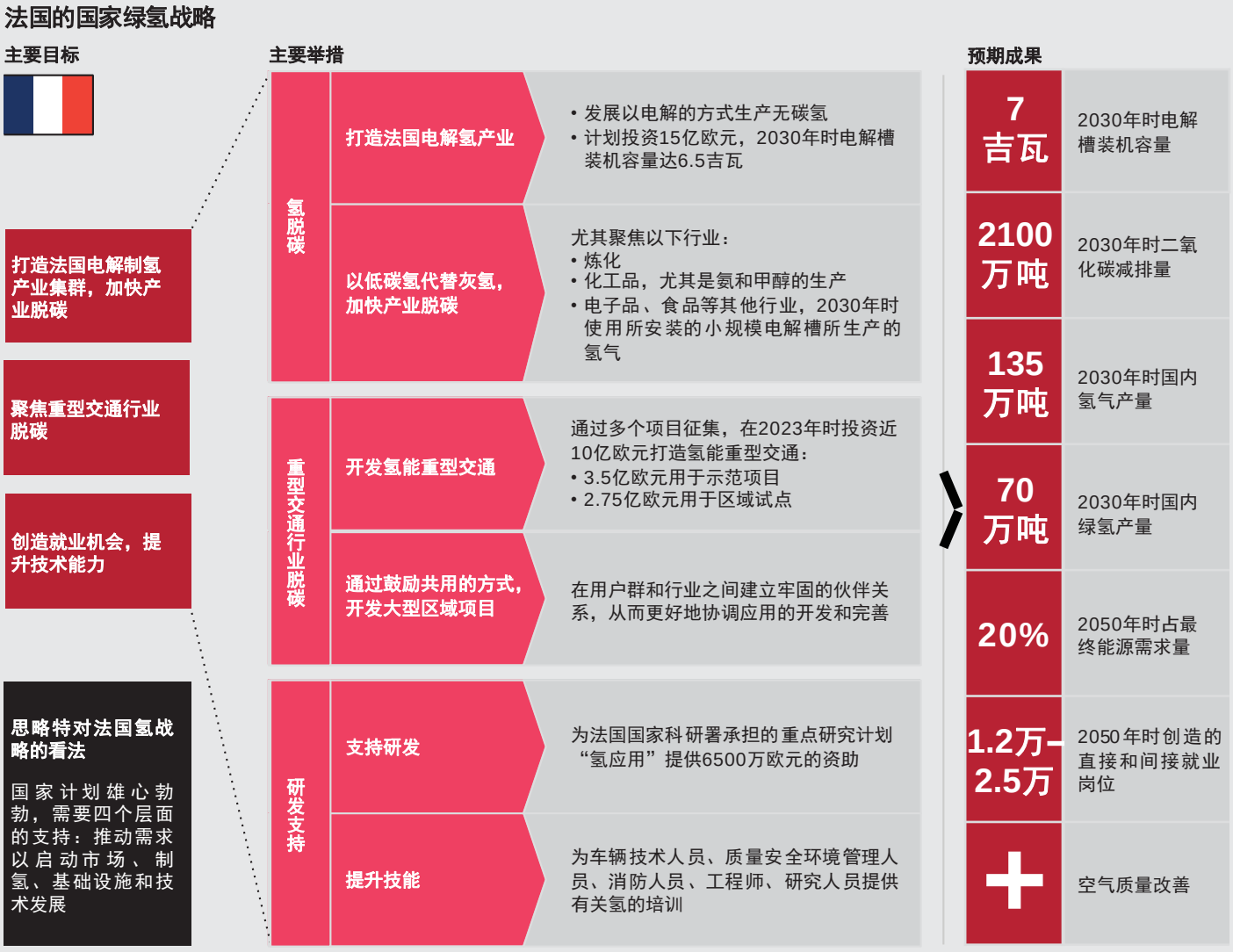
1. 公共资金与民间资金共同投资，其中大部分来自民间资金
资料来源：政府及当地协会网站，普华永道思略特分析

# 各国氢战略解析

随着各国建设氢经济步伐的加快，政府必须制定详细的国家氢战略。法德两国已经阐明了各自所将采取的方法（见图12及下页图13），值得其他国家政府学习借鉴，从而强化氢推广的监管框架。

需要注意的是，国家战略必须保持一致，切勿采取有违市场规则的措施，来区别化对待应用行业。如图10所示，欧盟正致力于设定广泛的目标和重点领域，以协调各成员国的推广工作。

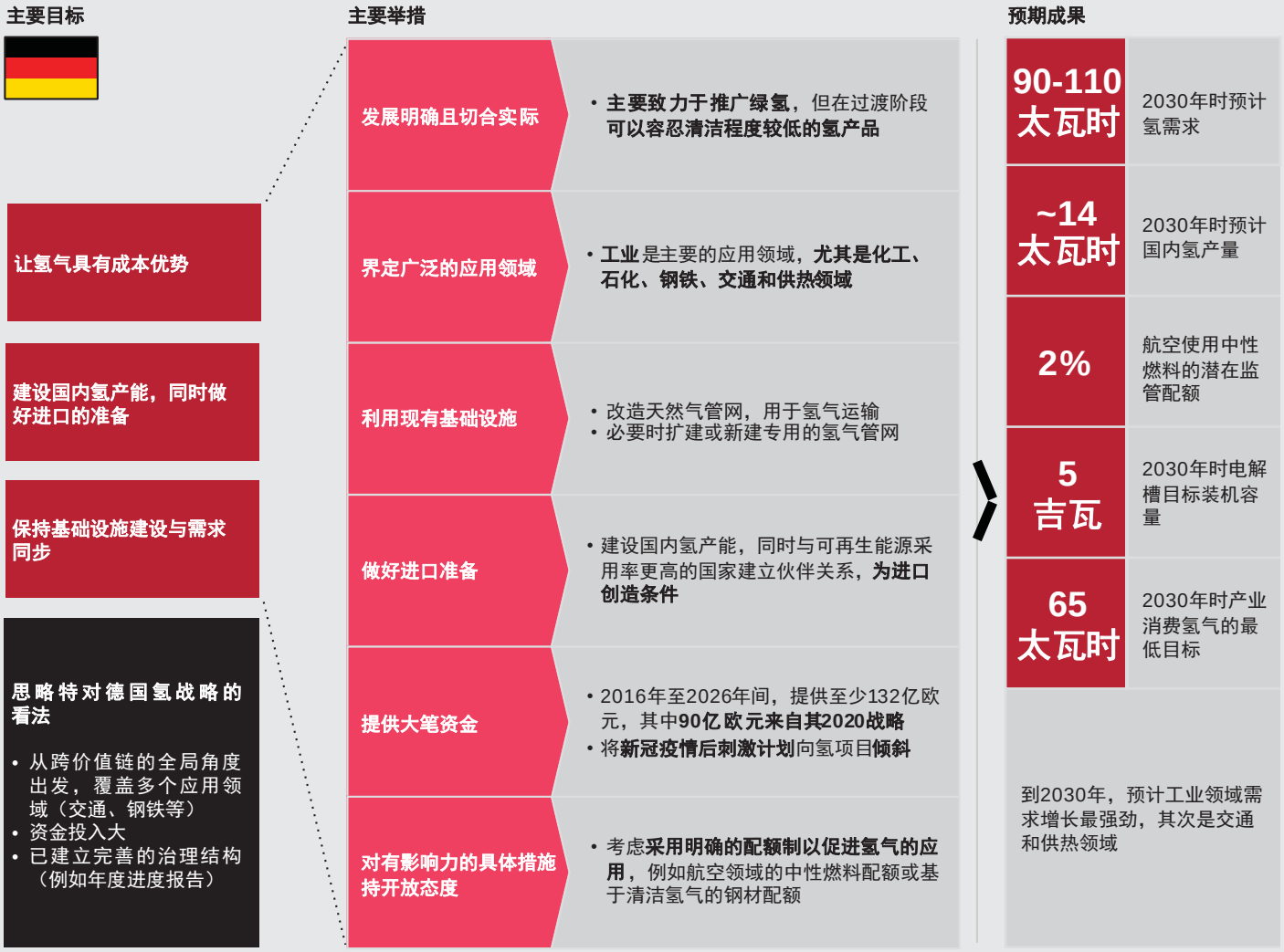
**图12**
法国的氢战略聚焦产业脱碳、重型交通以及提升技术领先地位




资料来源：www.ecologie.gouv.fr，普华永道思略特分析

图13
德国氢战略的重点是基础设施完善、成本竞争力以及从伙伴国家的进口

## 德国的国家氢战略




资料来源：德国政府，世界能源理事会，普华永道思略特分析

# 对中国的借鉴意义

2021年，“碳达峰”和“碳中和”在两会上作为中国的战略目标，首次被写入政府工作报告，彰显了中国坚持走低碳发展道路的决心。氢能作为一种绿色环保能源也遇到了前所未有的发展机遇。中国氢能联盟数据显示，2018年中国氢气产量约为2,100万吨，占终端能源总量的2.7%；预计到2030年和2050年，需求量分别将达到3,500万吨和6,000万吨，终端能源占比分别达5%和10%以上。

尽管发展前景光明，但氢能的技术路线仍不够成熟，许多技术难题有待解决，离大规模市场化还有很长一段路。为了促进市场在未来十年真正起飞，中国需要借鉴欧洲市场的经验，在以下多个方面采取行动：

1. **战略引领：**尽快推出国家层面的氢战略和路线图，以实现碳中和、碳达峰为原则，确立氢能在长期能源战略中所应发挥的作用，设定明确的阶段性目标，引导和鼓励氢能源的广泛应用和可持续发展，加快中国能源结构调整的步伐，实现市场起飞。

2. **降本增效：**提高低碳氢的成本竞争力，一方面鼓励和推进光电风储示范项目建设，加大可再生能源在氢气生产中的比重，从而实现制氢的规模效益，降低低碳氢的生产成本；另一方面，加大公共资金对氢能技术研发的投入，同时鼓励和吸引企业积极开展创新，实现燃料电池、氢燃料、电解槽和配套设备等的降本增效。

3. **需求挖掘：**积极探索炼化、钢铁、交通运输等重点行业内的脱碳机会，并通过创新刺激需求；同时鼓励在能源生产和工艺流程转型过程中逐步加大以蓝氢或低碳氢作为燃料和原料的占比，为实现低碳氢的广泛应用奠定基础。

4. **协作共赢：**推进跨行业协作和国际合作，尤其是在标准体系建设、先进技术和最佳实践分享、基础设施建设等领域，实现氢能源产业链的不断发展和完善；同时通过融资模式创新，以风险共担、利益共享的形式，打消先行者的顾虑，鼓励私营领域加大对氢能源领域的投资。

在正确的引导和扶持下，刚起步的低碳氢市场有望在2030年迎来爆发和腾飞，并在十年内变得具有成本竞争力。全球许多国家都制定了雄心勃勃的绿氢计划，而中国凭借丰富的可再生能源、水资源等独特优势，具备引领低碳氢经济的机会。通过抓住绿氢产业机遇，中国政府和企业能够在脱碳大趋势下奠定经济增长的基础，并在低碳发展领域内建立起持续的影响力。

# 有关思略特

思略特是一家定位独特的全球战略咨询公司，专注于协助客户成就美好未来：根据客户的差异化优势，为其量身定制战略。

作为普华永道网络的一员，我们一直致力于为客户构建核心成长的致胜体系。我们将远见卓识的洞察与切实的专业技能相结合，帮助客户制定更好、更具变革性的战略，从始至终，一以贯之。

作为全球专业服务网络中的唯一一家规模化的战略咨询团队，思略特结合强大的战略咨询能力与普华永道顶尖的专业人士，为客户制定最合适的战略目标，并指引实现目标必需做出的选择，以及如何正确无误地达成目标。

思略特制定的战略流程，足够强大以助企业捕获无限可能，确保务实并有效地交付。正是这种战略让企业得以顺应今日的变化，重塑未来。思略特助您将战略愿景变为现实。

更多资讯，请浏览：https://www.strategyand.pwc.com/cn-s/home

strategy& 思略特

*Part of the PwC network*

www.strategyand.pwc.com

© 2021 普华永道版权所有。普华永道系指普华永道网络及或普华永道网络中各自独立的成员机构。详情请进入www.pwc.com/structure。文中提及的思略特（Strategy&）系指普华永道全球网络中的战略管理咨询团队，详情请访问 www.strategyand.pwc.com。未经普华永道书名许可，不得全部或部分复制文章内容。

免责声明：本文件内容仅作提供信息之用，不能用于替代专业咨询顾问提供的咨询意见。