

【干货】氢气成本能降到几何？——制氢篇

氢能市场前景广阔，电解水制氢是未来发展重点，当期制氢方式主要有四种：**化石燃料制氢、工业副产物制氢、电解水制氢、生物质制氢**及其他。其中化石燃料制氢与工业副产物制氢凭借较低的成本占据制氢结构的主体地位，然而随着化石燃料产量下降、可持续发展理念的深化，氢能俱乐部氢能市场在远期（2050 年左右）将形成以可再生能源为主体、煤制氢+CCS（碳捕获）与生物质制氢为补充的多元供氢格局。为测算与汽油价格相比具有竞争力的氢气售价，本文将氢气的理想成本定为 **2.6 元/ Nm³**。

本文观点

电解水成本偏高，降成本主要依赖电价

由于电费占整个水电解制氢生产费用的 **80%**左右，因此水电解制氢成本的关键在于耗能问题。存在两条降成本途径：**一是降低电解过程中的能耗**，可通过开发 PEM（质子交换膜电解）及 SOEC（固体氧化物电解）技术来实现；**二是采用低成本电力为制氢原料**，关键在于依靠光伏和风电的发展。以大工业电价均价 0.61 元/ kW·h 计算，当前电解水制氢的成本为 **3.69 元/ Nm³**。当用电价格低于 0.50 元/ kW·h 时，电解水制备的氢气成本才可与汽油相当。光伏系统发电成本 0.5930 元/ kWh，风电度电成本约为 0.3656 元/ kWh，且在未来仍有一定的下降空间。



日本福岛县太阳能制氢项目（全球最大的光伏制氢项目）

天然气制氢是目前主要制氢方式，降成本应关注天然气价格

天然气制氢中的甲烷水蒸气重整（SMR）是工业上最为成熟的制氢技术，约占世界制氢量的 **70%**（IEA数据）。我国天然气价格受资源禀赋影响，天然气资源主要分布集中的中西盆地也是价格最低的地区。尤其是新疆、青海等地区天然气基本门站价格低至 1.2 元/千立方米左右。据测算，当天然气价格为 2 元/Nm³ 时，测算出制氢成本为 **1.35 元/Nm³**，相比电解水制氢具有明显的成本优势。



天津石化10万标立/时天然气制氢装置

煤制氢成本最低，降成本空间较小

我国煤炭资源主要的格局是西多东少、北富南贫。内蒙古、山西原煤产量领先，煤价也相对偏低。当煤炭价格为 600 元时，大规模煤气化生产氢气的成本为 **1.1 元/ Nm³**。如果在煤资源丰富的地区，当煤炭价格降低至 200 元 /吨时，制氢气的成本可能降低为 **0.34 元/ Nm³**。但由于煤炭价格下降空间有限，且煤气化制氢企业已形成较大规模，未来煤制氢降成本空间较小。



茂名石化投建的国内单产能力最大的煤制氢装置

丙烷脱氢和乙烷裂解副产制氢具有潜在产能

化工副产物制氢的成本难以单独核算。目前我国规划和在建的丙烷脱氢项目预计可以副产并外售 86.8 万吨氢。我国规划中的乙烷裂解产能达到 1460万吨，可以副产并外售的氢气达到 90.4 万吨。



中国化学工程第三建设有限公司承建的全球单套产能最大的
丙烷脱氢项目

氢能：未来动力系统的替代能源

三大优势支持氢能发展

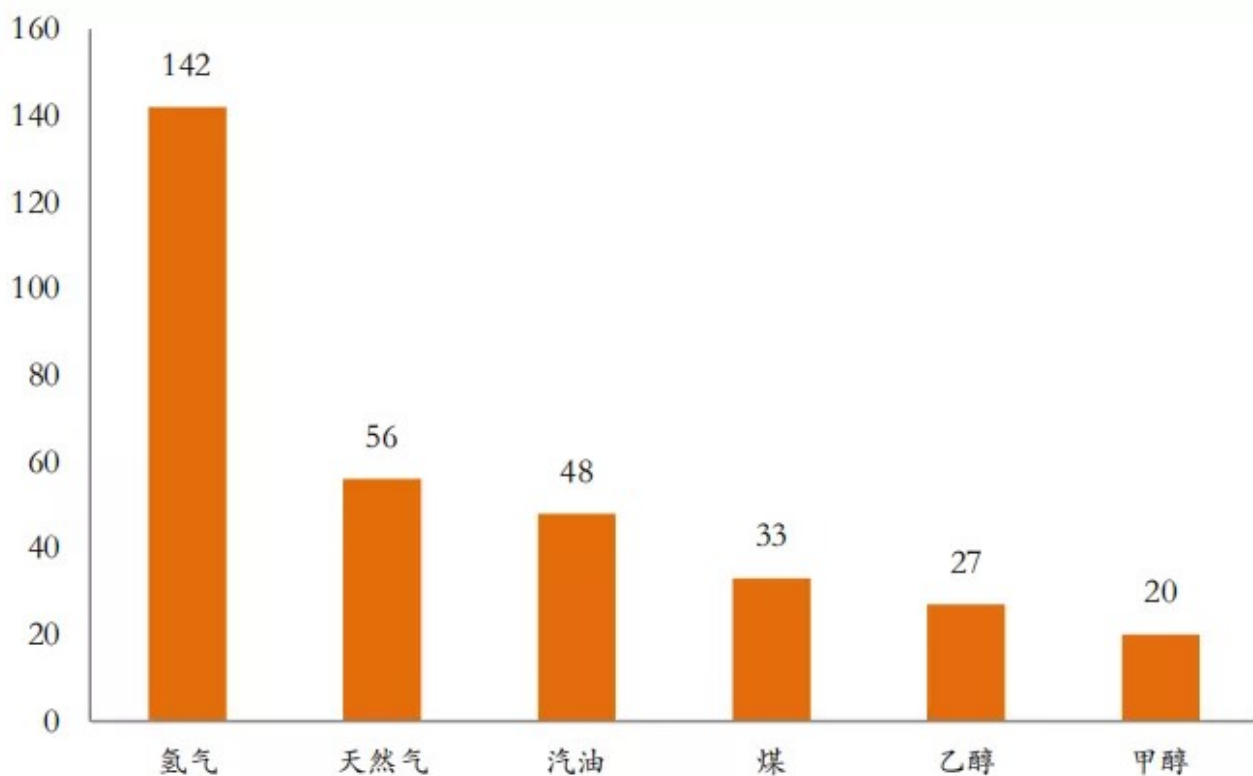
与传统化工燃料汽油、柴油相比，氢能具有三大优势。

一是较高的含能特性：除核燃料外，氢的燃烧热值据所有化工燃料榜首，燃烧 1kg 氢可放出 12MJ（28.6Mcal）的热量，约为汽油的三倍。

二是较高的能源转化效率：氢能可以通过燃料电池直接转变为电，过程中的废热可以进一步利用，其效率可达到 83%。氢气燃烧不仅热值高，而且火焰传播速度快，点火能量低，所以氢能汽车比汽油汽车总的燃料利用效率可高 20%。

三是碳的零排放：与化石能源的利用相比，氢燃料电池在产生电能的过程中不会产生碳排放，可以实现良性循环。

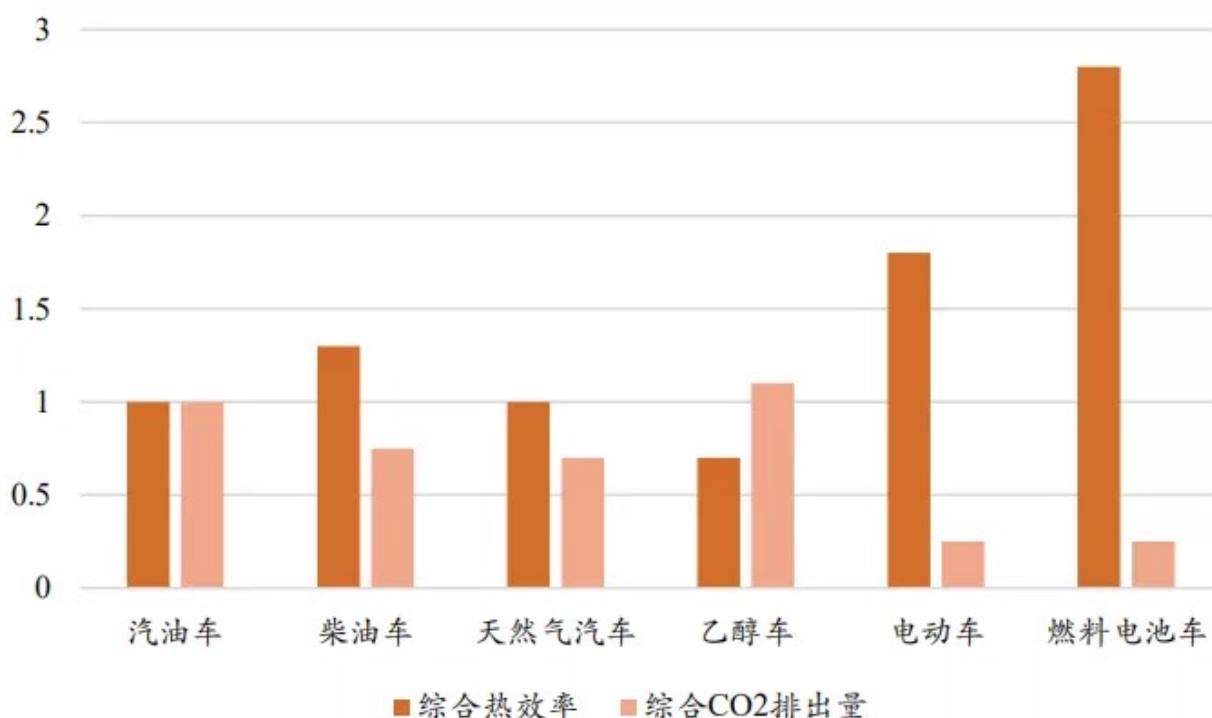
氢的燃烧热值居所有化工燃料榜首



资料来源：前瞻产业研究院、广证恒生

以汽油内燃机的综合热效率和 CO₂ 排放量为基准来对比。氢燃料电池的综合热效率最高，同时 CO₂排放量少，是替代石油供给车辆动力的最佳燃料。

氢燃料电池的综合热效率最高且 CO2排放量少



数据来源：《氢与氢能》、广证恒生

四种制氢方式各存优劣，天然气制氢是主要来源

目前以四类制氢方式为主：化石燃料制氢、工业副产物制氢、电解水制氢、生物质及其他制氢方式。虽然制氢方法多样，但各存优劣。

- **天然气制氢：**虽然适用范围广，但是原料利用率低，工艺复杂，操作难度高，并且生成物中的二氧化碳等温室气体使之环保性降低。
- **工业尾气制氢：**利用工业产品副产物，成本较低。但是以焦炉气制氢为例，不仅受制于原料的供应，建设地点需依靠焦化企业，而且原料具有污染性。
- **电解水制氢：**产品纯度高、无污染，但是高成本了限制其推广。

- **光解水与生物质制氢：**技术尚未成熟，实现商业化还需一定的时间。
-

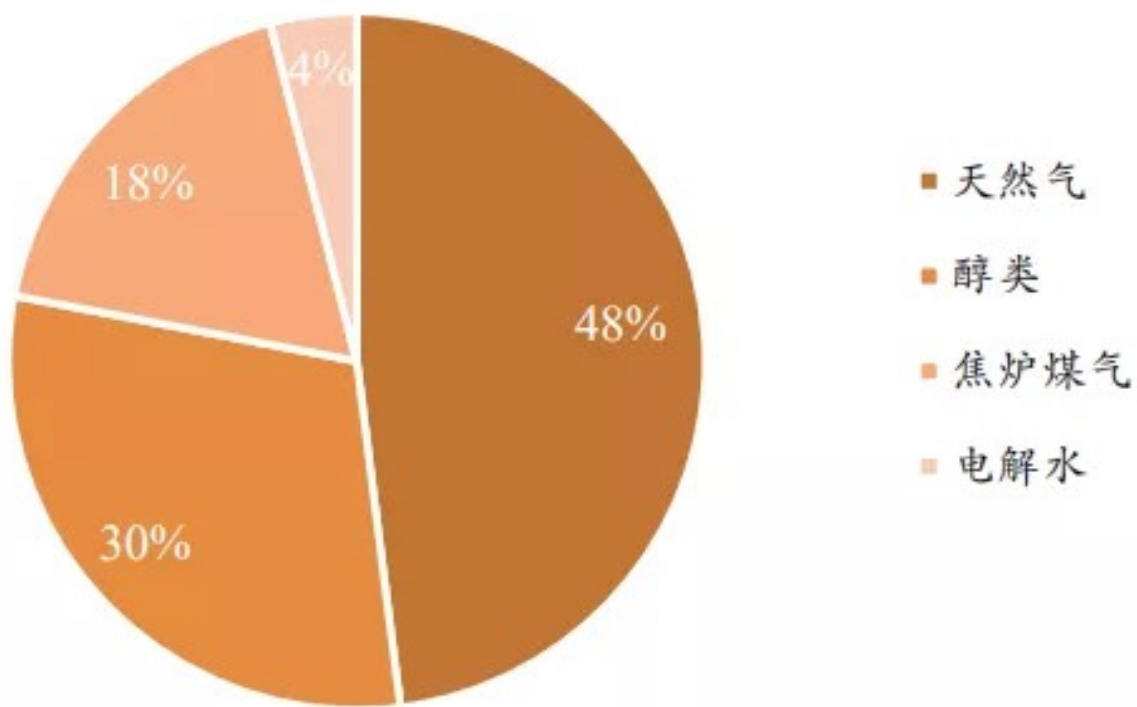
从制氢成本方面看，煤制氢和天然气制氢成本相对更低。就目前四类制氢方式来说，**天然气制氢经济性最显著。**

几种制氢方式对比

制氢方式		优点	缺点	能源效率	氢气价格 (美元/kg)	氢气成本 (元/NM ₃)
化石燃料制氢	天然气制氢	产量高，成本低	排放温室气体	83	0.75	0.6-1.2
	煤制氢	产量高，成本低，商业化技术成熟	排放温室气体	63	0.92	1-1.2
工业副产物制氢	焦炉气制氢	利用副产物，成本低	焦炉气具有污染性，建设地点受制于原料供应	-	-	1.2
	氯碱制氢	产品纯度高，原料丰富	建设地点受制于原料供应	-	-	1.3-1.5
电解水制氢		环保，产品纯度高	耗电量大，成本高	45-55	1.95	3-5
光解水制氢		无污染、零排放	技术不成熟，转化率低	10-14	4.98	-
生物质制氢		环保，产量高	技术不成熟，产品纯度低	40-50	1.21-2.42	-

数据来源：网络资料整理

目前，天然气制氢仍是我国最主要的制氢来源， 占总制氢量的 48%。醇类重整制氢及煤制氢也占有相当大的比重，来自电解水的制氢量最低， 仅为 4%。



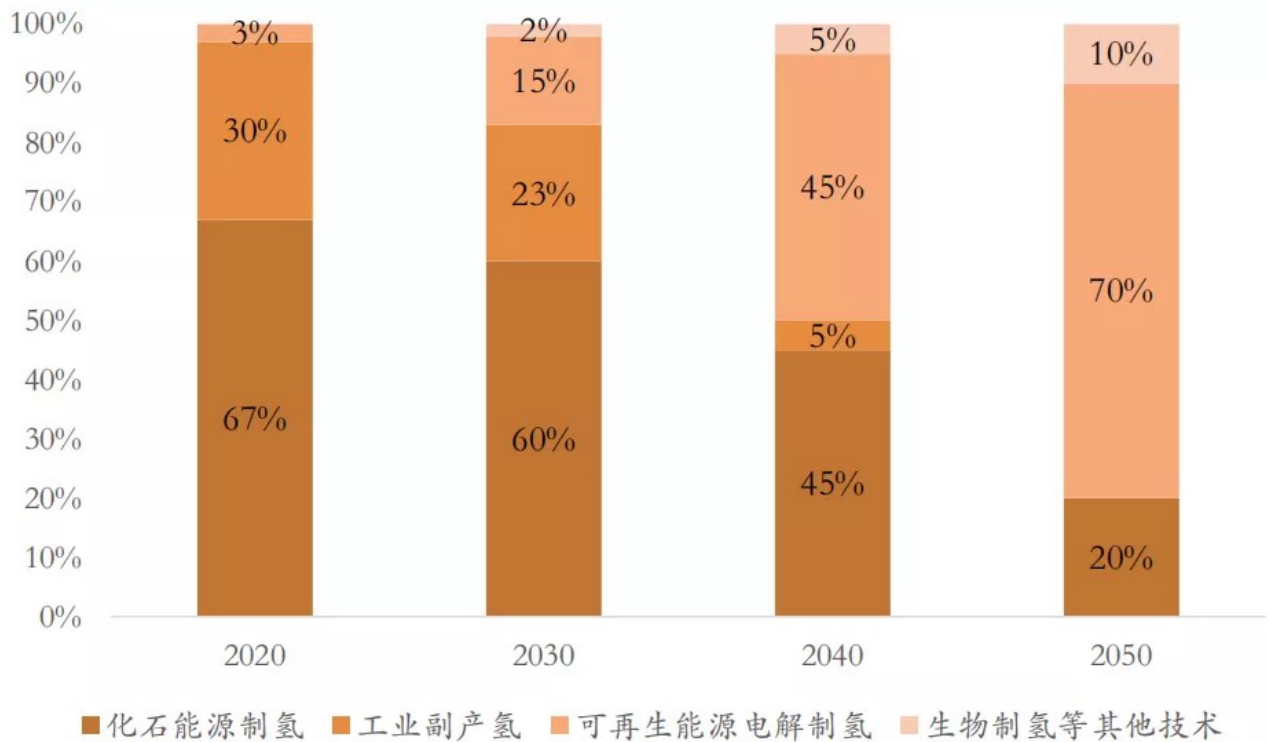
资料来源：中国氢能源网、广证恒生

未来供氢主体以电解水制氢为主

可再生能源电解水制氢将上升为未来供氢主体。在氢能市场发展初期（2020-2025 年），化石燃料制氢与工业副产物制氢凭借较低的成本占据制氢结构的主体地位，随着化石燃料产量下降，这两种方式占比逐渐下降；

到氢能市场发展中期（2030 年左右），煤制氢配合 CCS（碳捕获）技术、工业副产物、可再生能源电解水制氢将成为有效供氢主体，同时开发生物质制氢等其他技术；在氢能市场发展远期（2050 年左右），我国将形成以可再生能源为主体、煤制氢+CCS 与生物质制氢为补充的多元供氢格局。

中国氢气供给结构预测

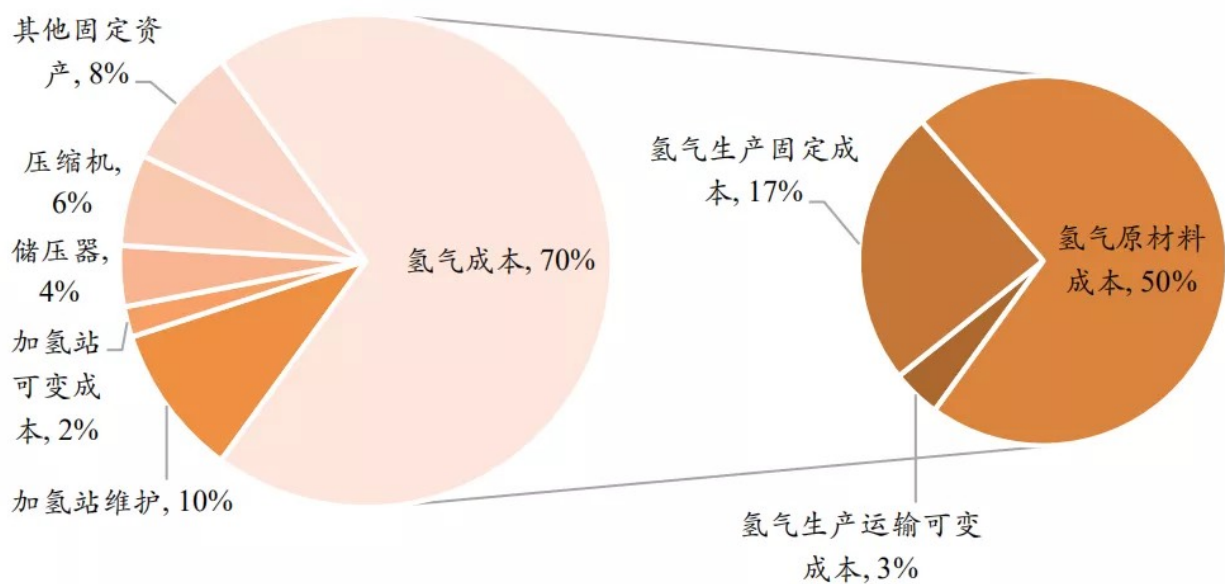


数据来源：2019 中国氢能源及燃料电池产业白皮书、广证恒生

氢气与汽油成本平衡性分析

氢气成本占加氢站氢气售价的 70%。制约氢能推广的一个主要原因是氢气相比汽油等传统能源更高的价格。加氢站销售的氢气价格中，包括制氢和储运氢气在内的氢气成本占70%，其中氢气原材料的价格为50%，是最重要的一部分，因此制氢环节能否降低成本是降低氢气售价的关键因素。

氢气成本占氢气售价的 70%



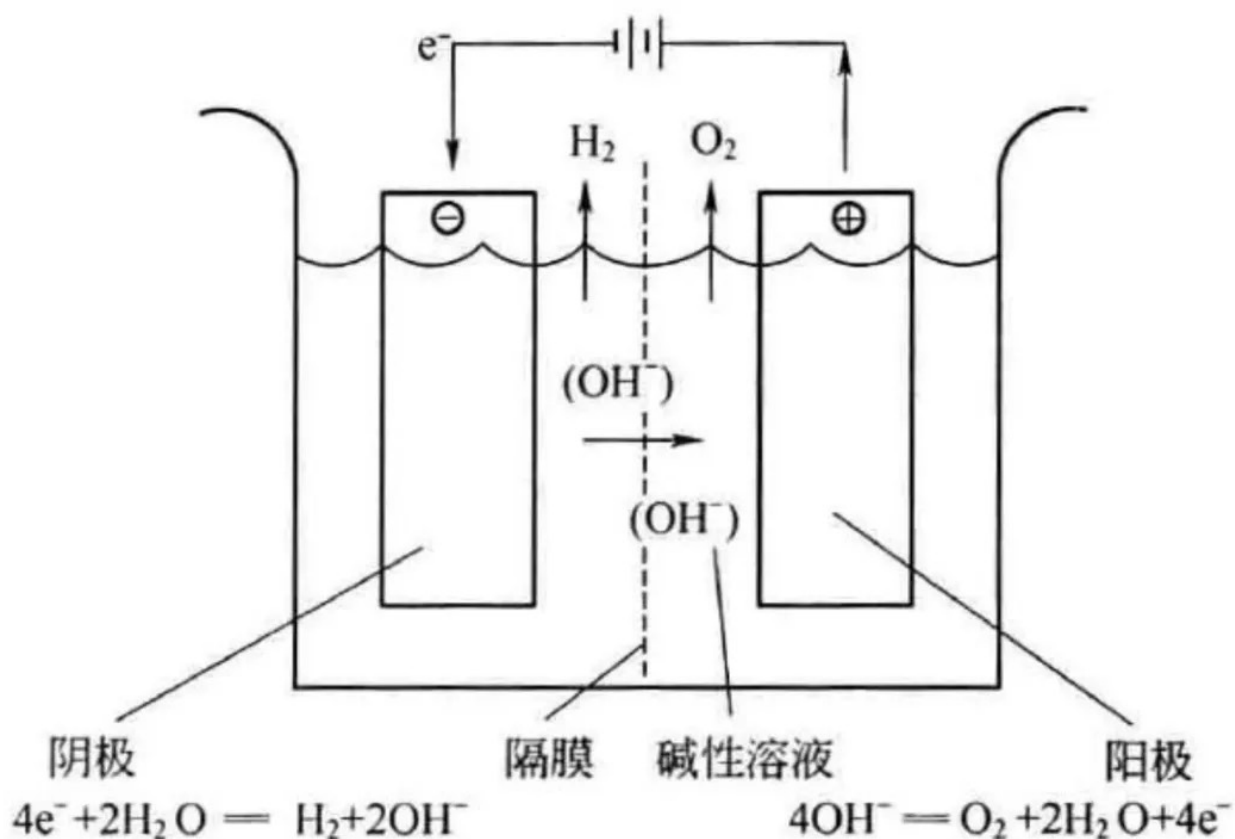
资料来源：《天然气化工》、广证恒生

2L 汽油车百公里耗油为 6-8 升，按照 7.3 元/L 的汽油售价，百公里燃料费用最多为 58.4 元。以丰田Mirai 氢燃料电池汽车为例，其百公里氢耗平均水平为 1kg，意味着氢气的售价需降到 58.4 元/kg 以下才可与汽油等同，说明氢气成本需降到 **29.2 元/kg**。由于氢气接近理想气体，根据理想气体方程 $PV=nRT$ 可估算出 1Kg 氢气约为 11.19Nm³。因此氢气的**理想成本大约是 2.6 元/ Nm³**。

一、电解水制氢

电解水制氢是通过电能给水提供能量，破坏水分子的氢氧键来制取氢气的方法。其工艺过程简单、无污染，制取效率一般在 75%-85%，每立方米氢气电耗为 4-5 kW·h。由于电费占整个水电解制氢生产费用的 80%左右，导致其竞争力并不高。更多干货请关注微信公众号：氢能俱乐部。因此水电解制氢成本的关键在于耗能问题。由此引出两条降成本的途

径：一是降低电解过程中的能耗，二是采用低成本电力为制氢原料。



电解水制氢过程

降本路径一：降低过程能耗，提高电解效率

目前主流的电解水制氢技术有三种类型：包括碱性电解水制氢、质子交换膜电解水(PEM)制氢和固态氧化物电解水(SOEC)制氢，其中碱性电解水制氢是最为成熟、产业化程度最广的制氢技术，但其电解效率仅为 60-75%，国外研发的 PEM 技术与 SOEC 技术均能有效提高电解效率，尤其是 PEM 技术已引入国内市场。

三种电解池性能对比

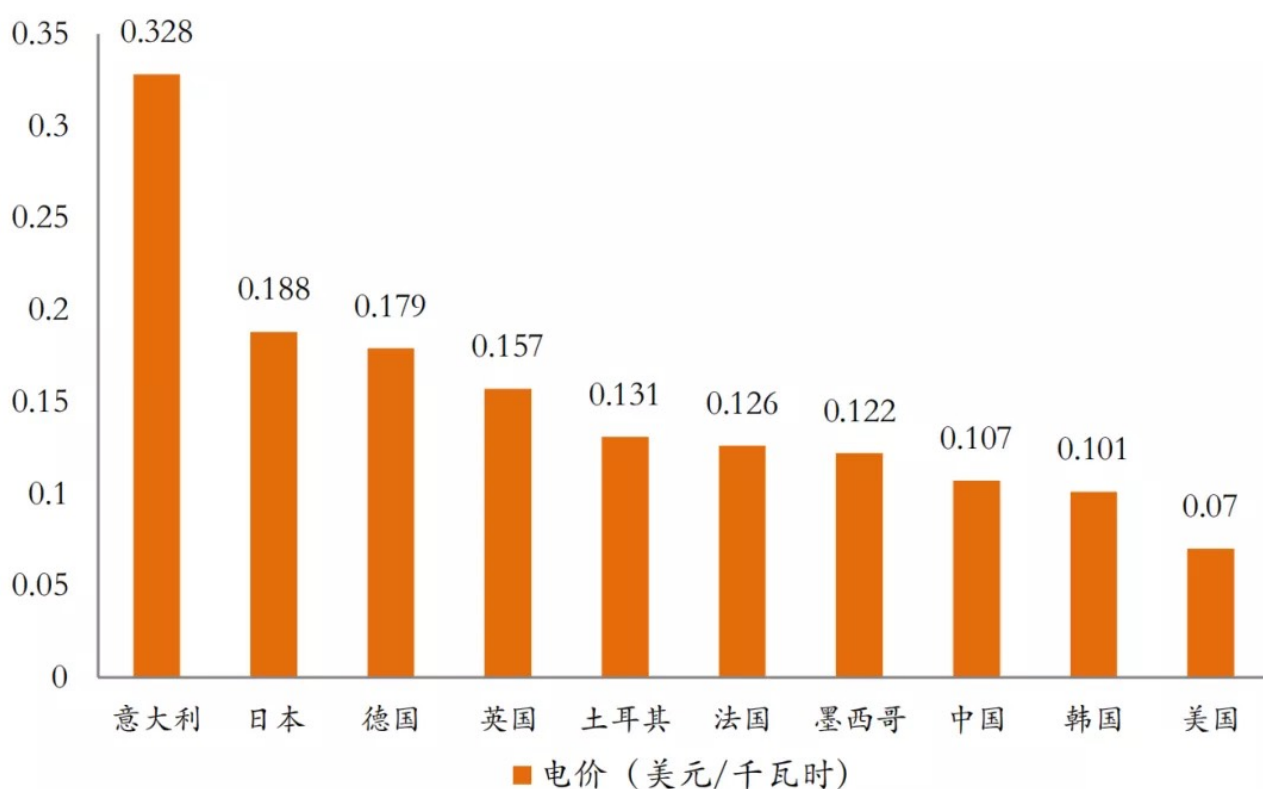
电解池类型	碱水电解池	固体氧化物电解池 (SOEC)	质子交换膜电解池 (PEM)
电解质	20-30%KOH	Y2O3/ZrO2	PEM (常用 Nafion)
工作温度℃	70-90	700-1000	70-80
电流密度 A/cm ²	1~2	1~10	0.2~0.4
电解效率	60-75%	85-100%	70-90%
能耗 Kwh/Nm ³	4.5-5.5	2.6-3.6	3.8-5.0
操作特征	启停较快	启停不便	启停快
动态响应能力	较强		强
电能质量需求	稳定电源	稳定电源	稳定或波动
系统运维	有腐蚀液体，后期运维复杂，成本高	目前已技术研究为主，尚无运维需求	无腐蚀性液体，运维简单，成本低
电堆寿命	可达到 120000h		已达到 100000h
技术成熟度	商业化	实验室研发	国外已商业化，国内处于研发走向工业化前期阶段
有无污染	碱液污染，石棉致癌	无污染	清洁无污染
电解槽成本 美元/kW	400-600	1000-1500	约 2000
特点	最为成熟，商业化程度最高，成本低	部分电能被热能取代，转化效率高，高温限制材料选择，尚未实现产业化	可再生能源适应性，无污染，成本高（质子交换膜和铂电极催化），产业化程度低
国外代表企业	法国 Mcphy 美国 Teledyne 挪威 Nel		Proton Hydrogenics
国内代表企业	苏州竞立制氢 天津大陆制氢 中船重工718所		中船重工718所 中电丰业 中科院大连化物所 安思卓 山东赛克赛斯氢能 中国航天科技507所

资料来源：《氢气生产及热化学利用》、高工锂电、广证恒生

降本路径二：以低成本电价为制氢原料

① 我国大工业电价低于世界平均水平，国内西北地区电价最低

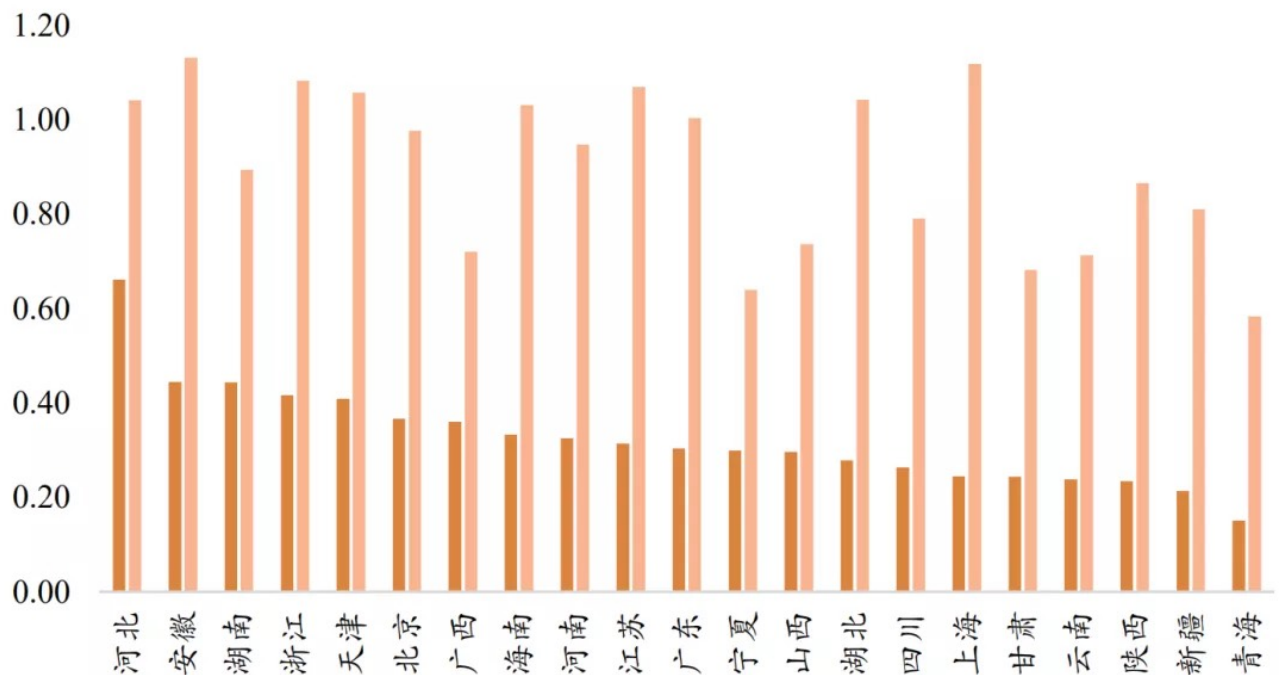
与其他国家相比，我国工业电价位于中低水平。根据 2016 年统计数据，我国工业电价平均为 0.107 美元/千瓦时，居世界第八，仅为第一名的三分之一。相对较低的电价为我国发展电解水制氢提供了有利条件。



各国工业电价

西北地区大工业电价偏低。分省份来看，波谷、波峰电价在全国排名第一的分别是河北省和安徽省，青海省无论是波峰还是波谷电价均为最低，全国波谷电价平均为 0.33 元/千瓦时，波峰电价平均为 0.90 元 /千瓦时。西南地区、西北地区

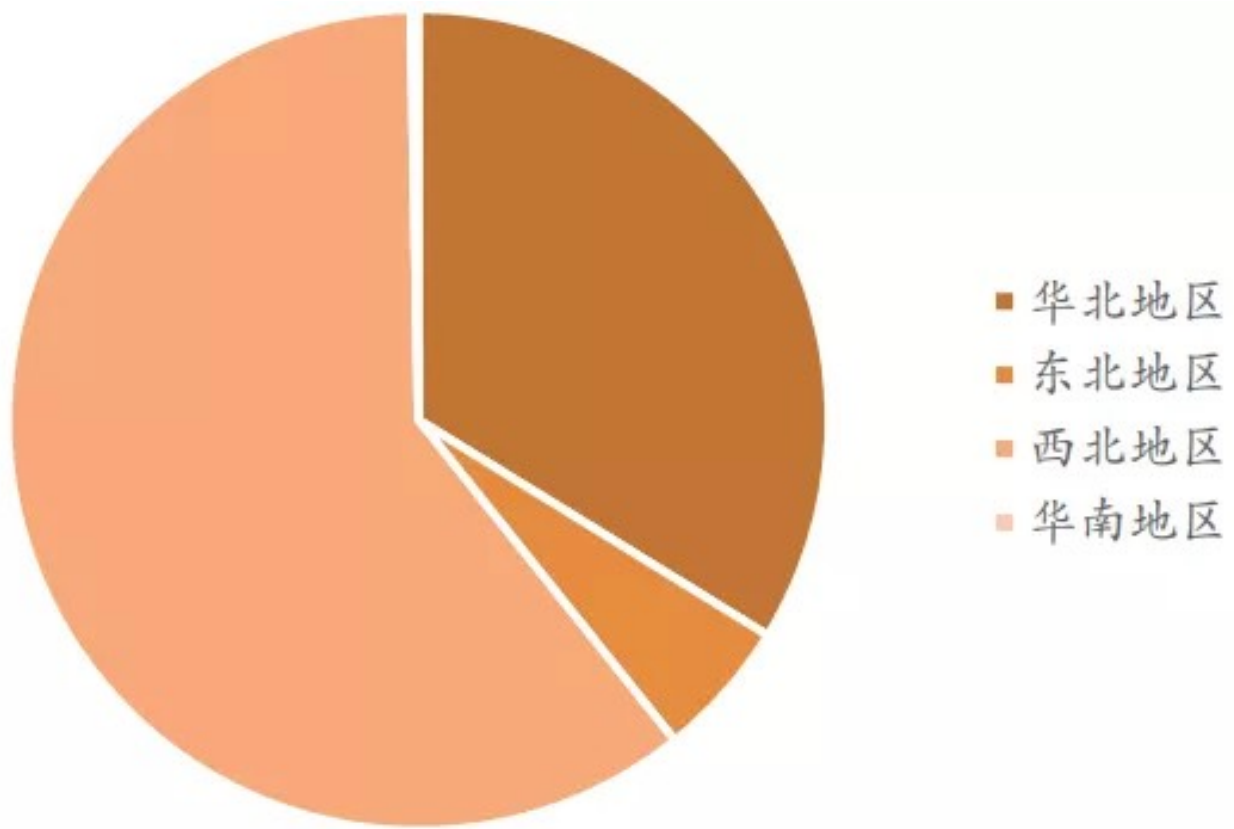
的大工业用电价格普遍在全国平均线以下，对于发展电解水制氢节约能耗更为有利。



西北地区省份大工业电价偏低

② 西北地区弃风弃电可用于电解水制氢

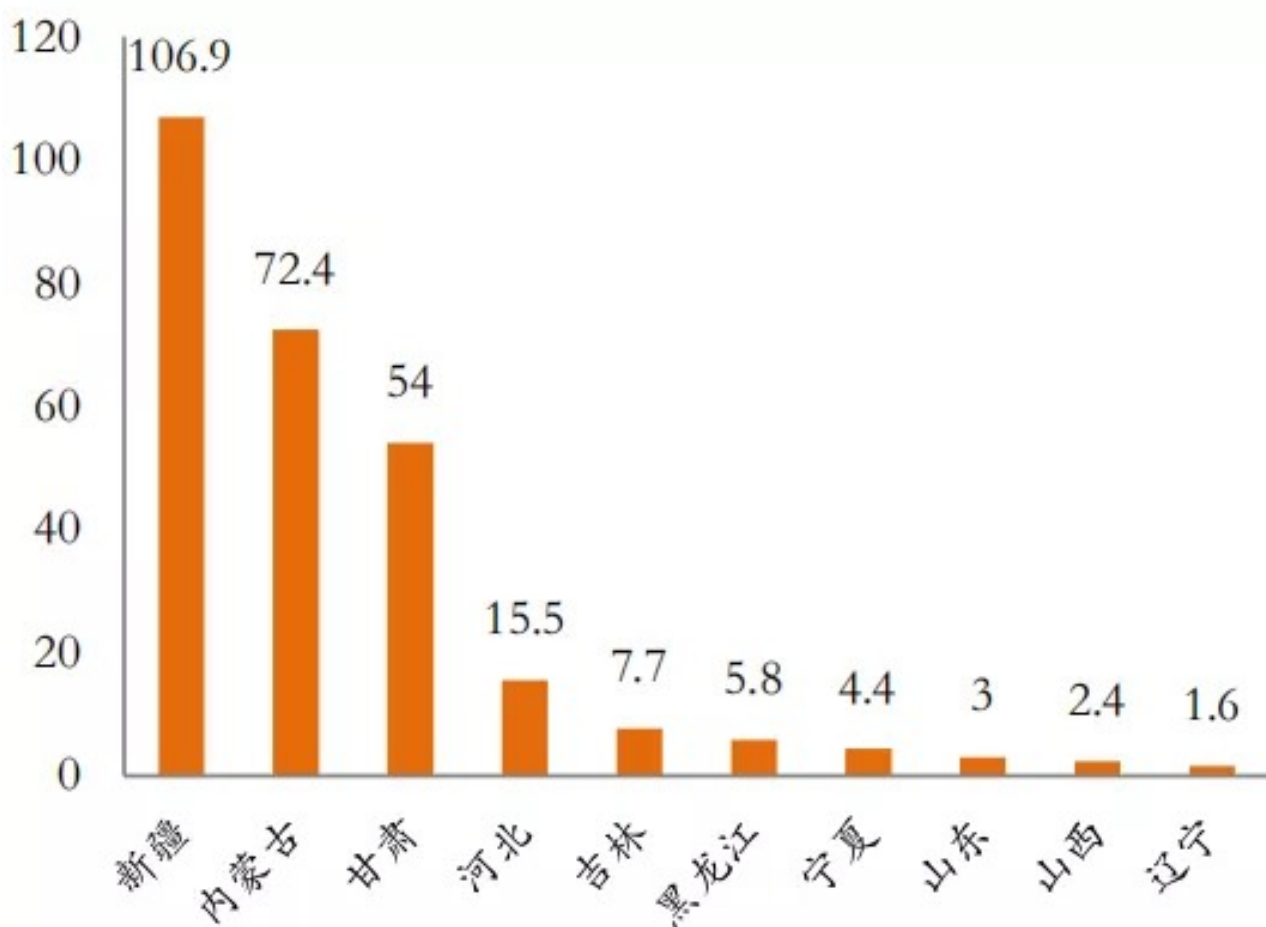
我国弃风弃电问题突出，利好电解水制氢。近年来，新能源的持续快速发展已经远远超过电网承载能力，新能源消耗矛盾十分突出。弃风、弃水电量呈逐年增加趋势。我国目前正大力推进可再生能源，由大量弃风、弃水产生的弃电是发展电解水制氢的有利条件。



各地区弃风电量比例

西北地区弃风弃电量居首位。随着我国可再生能源装机量逐年增长，每年可再生能源弃电量惊人。2018年我国全国弃风弃电量 277 亿千瓦时，其中西北地区为 166.9 亿千瓦时，占全国的 60.25%，其次是华北地区（占全国 33.68%），东北地区占少量份额（全国 5.45%）。如果按照每立方氢气耗电 5 千瓦时来计算，全国弃风电量可生产 55.4 亿立方高纯度氢气。

2018年各省弃风量（亿千瓦时）



2018 年弃风弃电量排名前三的省份分别为新疆、内蒙古和甘肃，全国平均弃风弃电率为 7%，这三个省份均超过了 10%。由于可再生资源丰富，**西北省份也是电价最低的地区。**

③ 长期来看，低成本电力主要来自光伏和风电

虽然我国每年产生大量的弃风弃电，但由于弃风弃电产生的电压不稳定、难以大规模推广等原因，其终究不是解决电解水制氢成本问题的最优选择。**长期来看，光伏和风电是电解水制氢企业获得低成本电力的主要来源。**

电解水制氢成本测算

为测算电解水制氢的成本，假定制氢规模 1000 Nm³/h，年产氢 100 万 Nm³。测算过程及假设如下表：

项目		数值（万元）	基本假设
初始投资	设备成本	1200	
	设备安装费用	48	取设备价格的 4%
	土建工程	162	
	总投资	1410	
成本估算	用电费用	2700	按照 1 Nm ³ 氢气消耗 4.5 kW·h 电力计算，电价取 2018 年各省波峰波谷价格平均值 0.6 元/kW·h
	用水费用	3.2	按照 1 Nm ³ 氢气消耗 0.8 吨水计算，水费取 4 元/吨
	设备及土建折旧	132.9	设备按 10 年折旧，土建按 20 年折旧，采用直线折旧法
	维修费	24.9	取设备成本与安装费用的 2%
	人工及管理费	60	按 5 个工作人员计算
	财务费用	33	按总投资 70% 贷款，年利率为 6%，等额本息法 10 年还贷估算
	合计	2954	
对应每标方氢气成本（元/Nm ³ ）		2.95	
对应每标方氢气售价（元/Nm ³ ）		3.69	假设毛利率为 20%

资料来源：《天然气制氢、甲醇制氢与水电解制氢的经济性对比探讨》、广证恒生

测算据测算，水电解制氢设备、安装、土建及其他总投资 1410 万元，每年用电等费用为 2700 万元，每年成本合计 2954 万元，对应氢气成本 3.69 元/Nm³。现分别计算不同制氢成本情况下，对应的用电价格，如下表所示。

氢气成本（元/Nm ³ ）	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
用电价格（元/kW·h）	0.17	0.26	0.37	0.48	0.59	0.71	0.82	0.93	1.04

资料来源：广证恒生

测算氢气成本与用电价格成正比关系，如果要求氢气成本低于 2.6 元/Nm³，则用电价格要低于 0.50 元/kW·h。

二、天然气制氢

天然气制氢方法中甲烷水蒸气重整最为成熟

天然气的主要成分是甲烷（体积含量大于 85%），因此一般说的天然气制氢就是甲烷制氢。甲烷制氢方法主要有**甲烷水蒸气制氢（SMR）**，**甲烷部分氧化（POX）**和**甲烷自热重整（ATR）**。其中**甲烷水蒸气重整（SMR）是工业上最为成熟的制氢技术，约占世界制氢量的 70%**，因此本文重点针对此方法进行降成本测算。

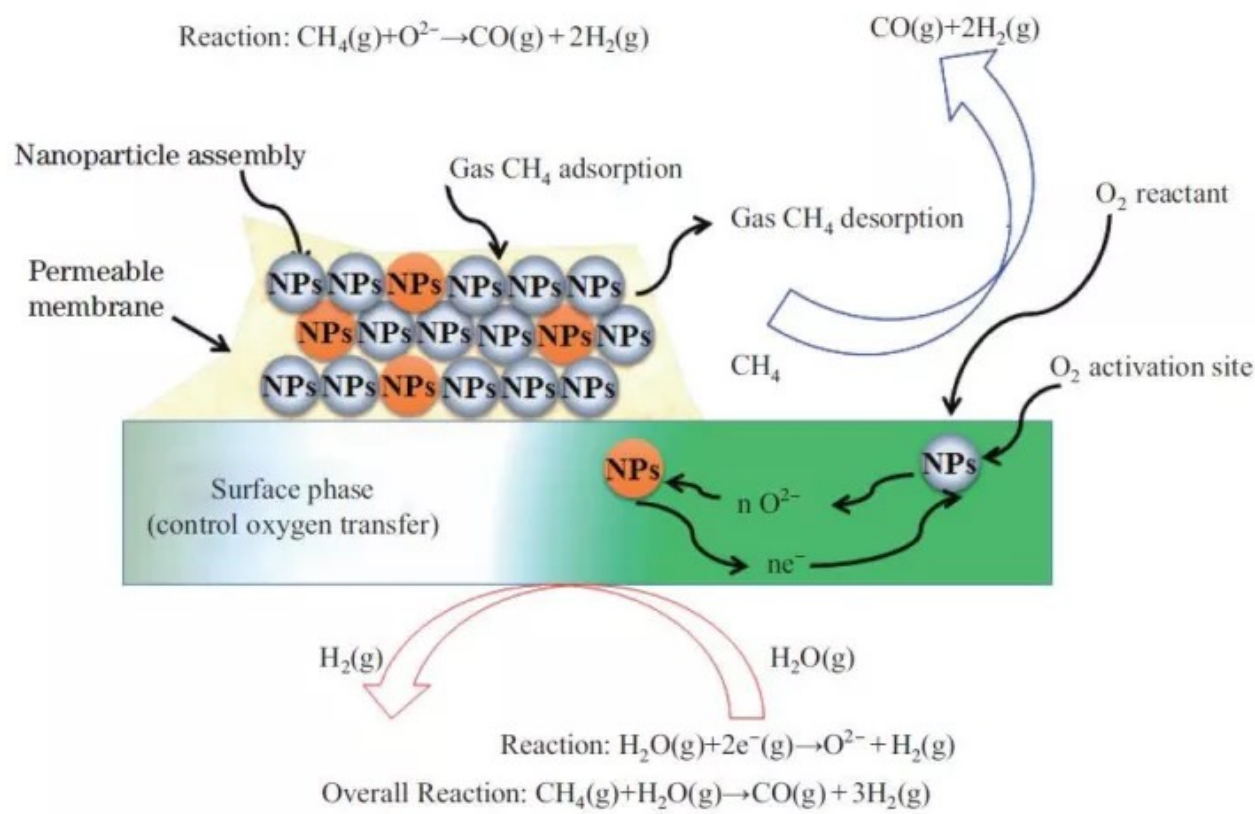
制氢技术	优点	缺点
甲烷水蒸气重整	应用最为广泛；无需氧气；反应温度最低；对于制氢而言，有最佳的 H ₂ /CO 比例	通常需要过多蒸汽；设备投资多；能量需求高
自热重整	需要低能量；比部分氧化过程的温度低；H ₂ /CO 比例很容易受到 CH ₄ /O ₂ 比例的调整	商业应用有限；通常需要氧气
部分氧化	給料直接脱硫不需要蒸汽；较低的 H ₂ /CO 比例，常用于比例小于 20 的场景	不适用于 H ₂ /CO 需求比例大于 20 的场景；操作过程所需温度高；通常需要氧气

资料来源：《氢与氢能》、广证恒生

甲烷水蒸气重整是指在催化剂存在及高温条件下，使甲烷与水蒸气发生反应生成合成气。为防止催化剂中毒，原料天然气需进行脱硫预处理至硫的质量分数小于 1×10⁻⁷，然后经过重整反应制备合成气，再经过水煤气变换反应将 CO 进一步

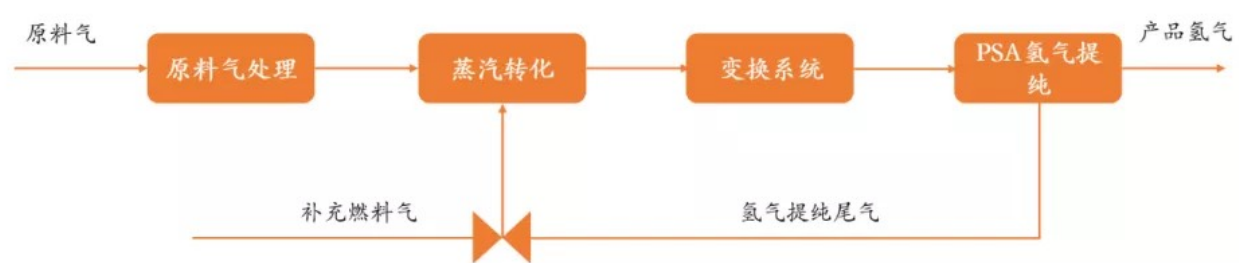
转化为氢气和 CO₂，最后将 CO₂ 通过变压吸附（PSA）脱除得到氢气。

甲烷水蒸气重整示意图



资料来源：《从碳到氢能源：昨天、今天、明天》、广证恒生

甲烷水蒸气重整制氢工艺流程

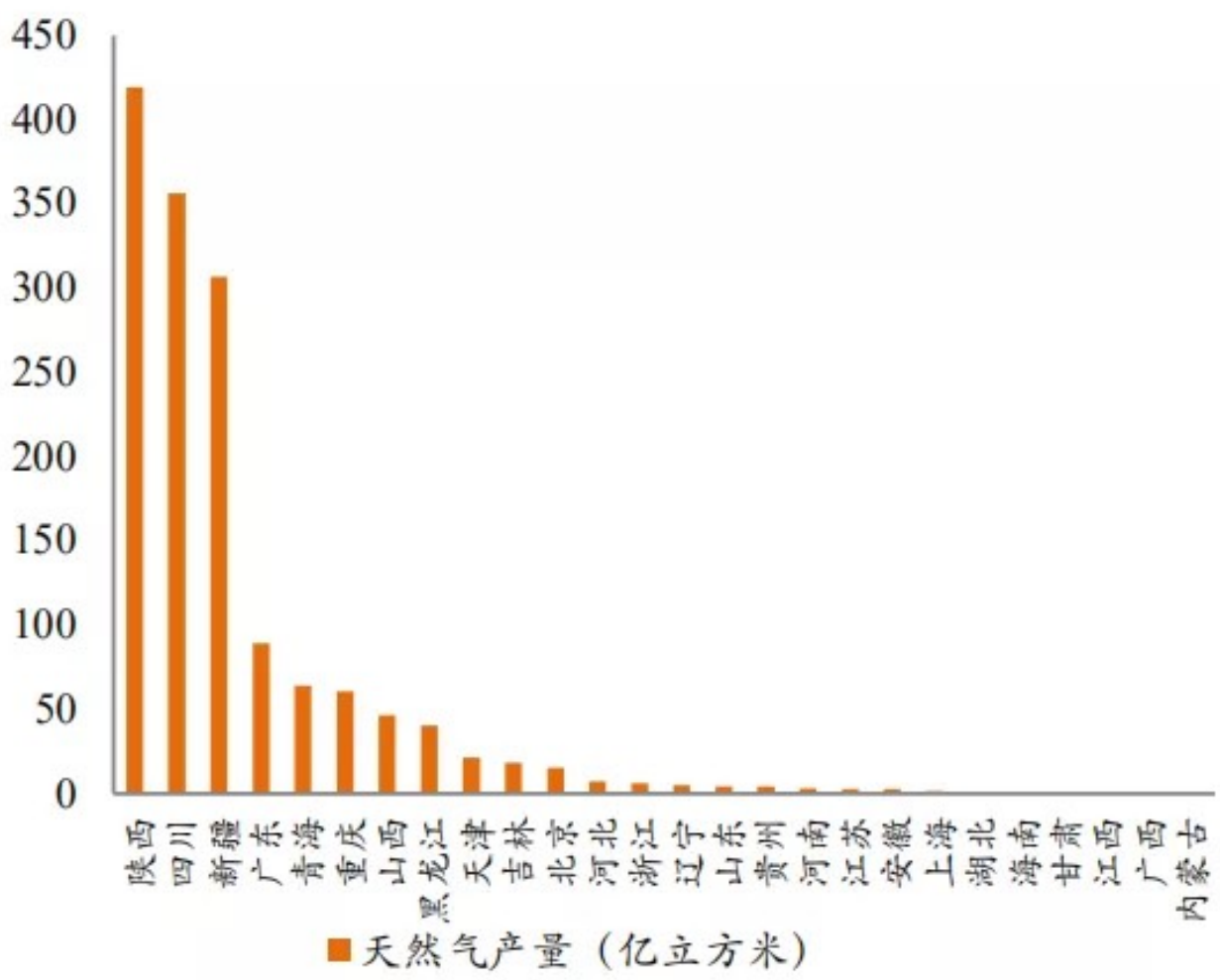


降成本应从天然气价格入手，中西部地区具备价格优势

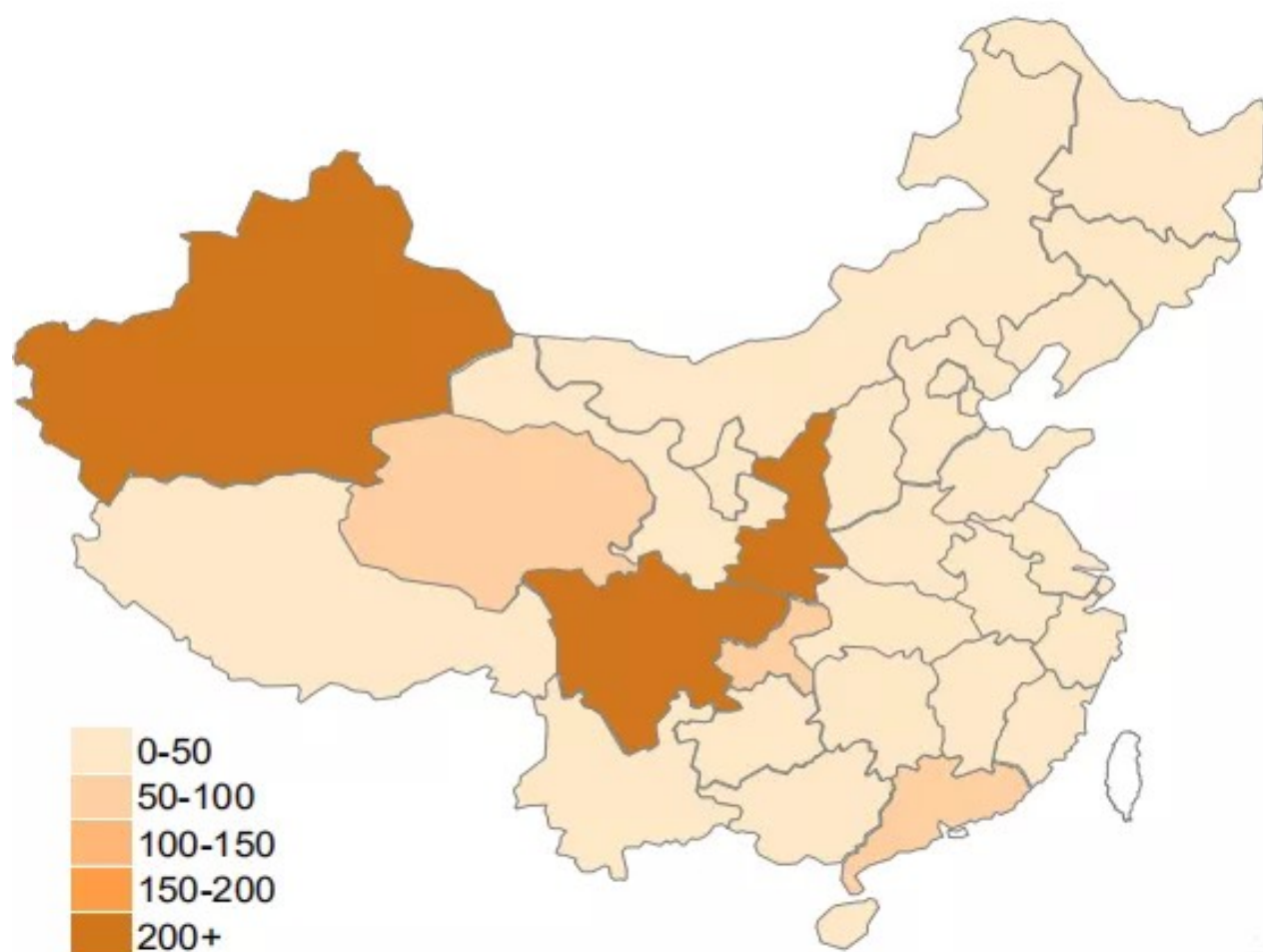
对于天然气制氢来说，天然气成本是占比最大的部分，约占生产成本的 45-75%（IEA）。因此其降成本策略应首先关注天然气价格。

我国天然气资源主要分布在中西盆地。受地质条件影响，地下天然气通常呈聚集区分布，我国天然气探明储量的 80 %以上分布在鄂尔多斯、四川、塔里木、柴达木和莺—琼五大盆地。从 2017 年天然气产量分布数据来看，陕西、四川、新疆三个省份的天然气产量占全国的 73%，天然气气源分布十分集中。

2017 年各省份天然气产量



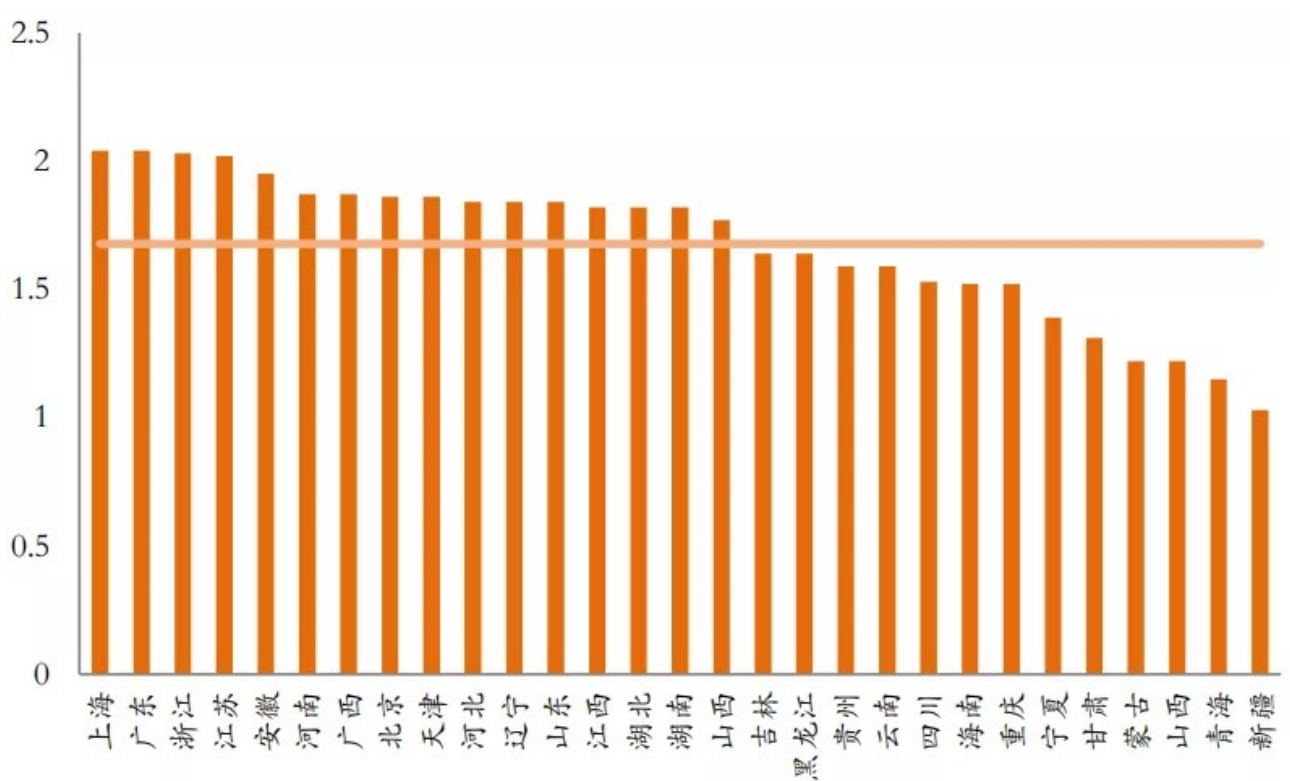
2017 年各省份天然气产量分布图



资料来源：同花顺 iFind、广证恒生

沿海地区天然气价格偏高，西北地区价格最低。天然气价格很大程度上受资源禀赋的影响，天然气资源丰富的地区，价格相应偏低。非居民天然气价格目前正在逐步市场化。2019年3月27日，国家发改委宣布调整各省天然气基本门站价格，经价格调整后，上海、广东、浙江等东南沿海地区天然气价格普遍高于平均价 1.68 元/千立方米，新疆、青海等西北地区价格则低至 1.2 元/千立方米左右。

各省天然气基本门站价格表（元/m³）



资料来源：国家发改委、广证恒生

天然气重整制氢成本测算

假定制氢规模 1000 Nm³/h，年产氢 100 万 Nm³。测算过程及假设如下：

天然气制氢成本测算

项目		数值（万元）	测算假设
初始投资	设备成本	1300	包括天然气重整制氢及纯化设备
	设备安装费用	52	按设备价格的 4%
	土建工程	176	
	总投资	1528	
成本估算	天然气费用	672	假设生产 1Nm ³ 氢气需要 0.4Nm ³ 天然气，天然气价格取 1.68 元/Nm ³
	循环水费用	20	假设生产 1Nm ³ 氢气需要 0.02 吨循环水，循环水价格取 1 元/吨
	脱盐水费用	3.5	假设生产 1Nm ³ 氢气需要 0.00035 吨循环水，循环水价格取 10 元/吨
	用电费用	60	假设生产 1Nm ³ 氢气消耗 0.1 千瓦时，电价取 0.6 元/千瓦时
	设备及土建折旧	144	设备按 10 年折旧，土建按 20 年折旧
	维修费	27	按设备成本+安装费的 2% 计算
	人工及管理费	120	按 9 个工作人员计算
	财务费用	36	按总投资 70% 贷款，年利率为 6%，等额本息法 10 年还贷估算
	合计	1082.5	
对应每标方氢气成本（元/Nm ³ ）		1.08	
对应每标方氢气售价（元/Nm ³ ）		1.35	假设毛利率为 20%

资料来源：《天然气制氢、甲醇制氢与水电解制氢的经济性对比探讨》、广证恒生

天然气制氢设备、安装、土建及其他总投资 1528 万元，每年天然气费用为 672 万元（占总成本的62.11%），每年成本合计 1082.4 万元，对应氢气成本 **1.35 元/Nm³**。现分别计算不同制氢成本情况下，对应的天然气价格：

氢气成本（元/Nm ³ ）	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60
天然气价格（元/Nm ³ ）	0.22	0.64	1.06	1.47	1.89	2.31

三、煤制氢

煤气化制氢是最常用的一种煤制氢手段

2013 年，我国超过美国成为世界第一大能源消费国，其中煤炭产量为 38.74 亿吨标煤，之后几年煤炭产量略微走低至 2017 年的 35.2 亿吨，但 2018 年煤炭产量有所回升至 36.8 亿吨标煤。

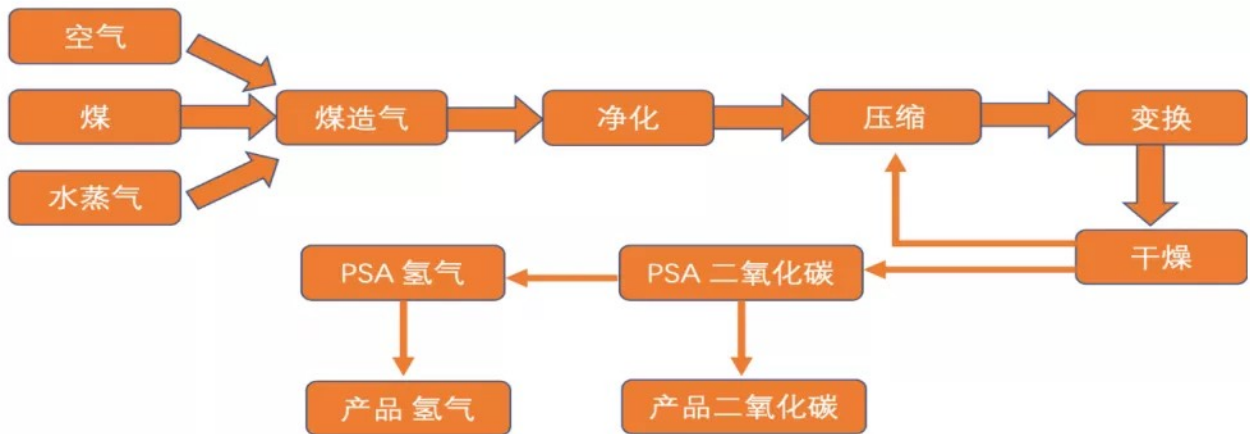
煤炭可以用于制备多种工业产品，其中煤制气的产能由 2017 年的 51 亿立方米/年同比增长 0.1%至2018 年的 51.05 亿立方米/年。更多干货请关注微信公众号：氢能俱乐部。在此我们主要对煤制氢的方法和成本进行讨论。煤是我国制氢的主要原料之一，可以通过多种方式制取氢气，但目前在我国氢气生产中占据主要地位的还是煤气化制氢。

三种煤制氢方法的比较

制氢技术	过程	产品
煤间接制氢	将煤转化为甲醇，再由甲醇重整制氢	
煤焦化制氢	煤经过干燥、预热、软化等过程被炼制成焦炭，副产品的焦炉煤气中含有氢气	焦炉煤气中氢气含量 55~60%，其余是甲烷、一氧化碳等气体
煤气化制氢	煤炭先与氧气反应，后和水反应，得到以氢气和一氧化碳为主要成分的气态产品，脱硫净化后，一氧化碳和水蒸气反应生成更多的氢气，最后分离提纯得氢气。	变压吸附提纯后，氢气纯度可以提高到 99.9%以上

资料来源：《氢能与制氢技术》、广证恒生

煤气化制氢工艺流程简图

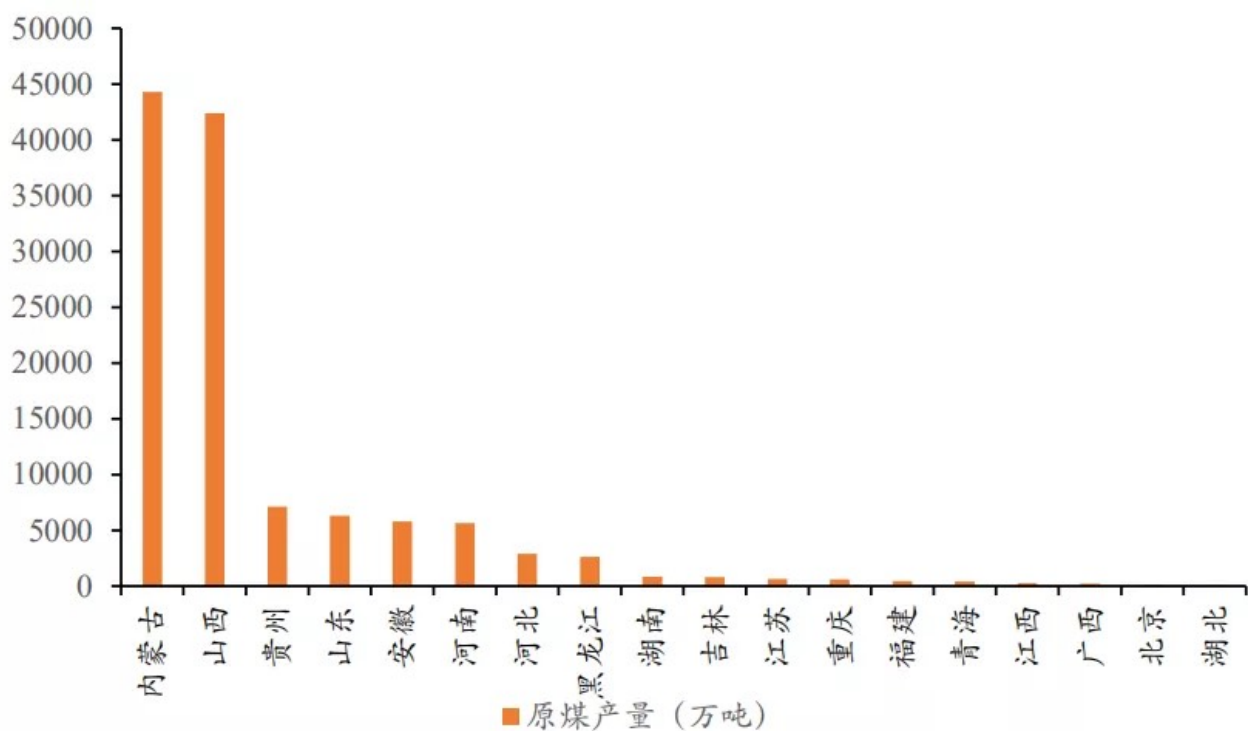


资料来源：《制氢工艺与技术》、广证恒生

降低成本应该从煤炭价格入手，西北部具有地区优势

对于煤气化制氢来说，煤炭成本占比最大，能够占到总成本的 40%-45%左右，因此在制氢设备价格较为固定，流程中所需条件难以大幅度改变的基础下，降低煤气化制氢成本应该从降低煤炭价格入手。

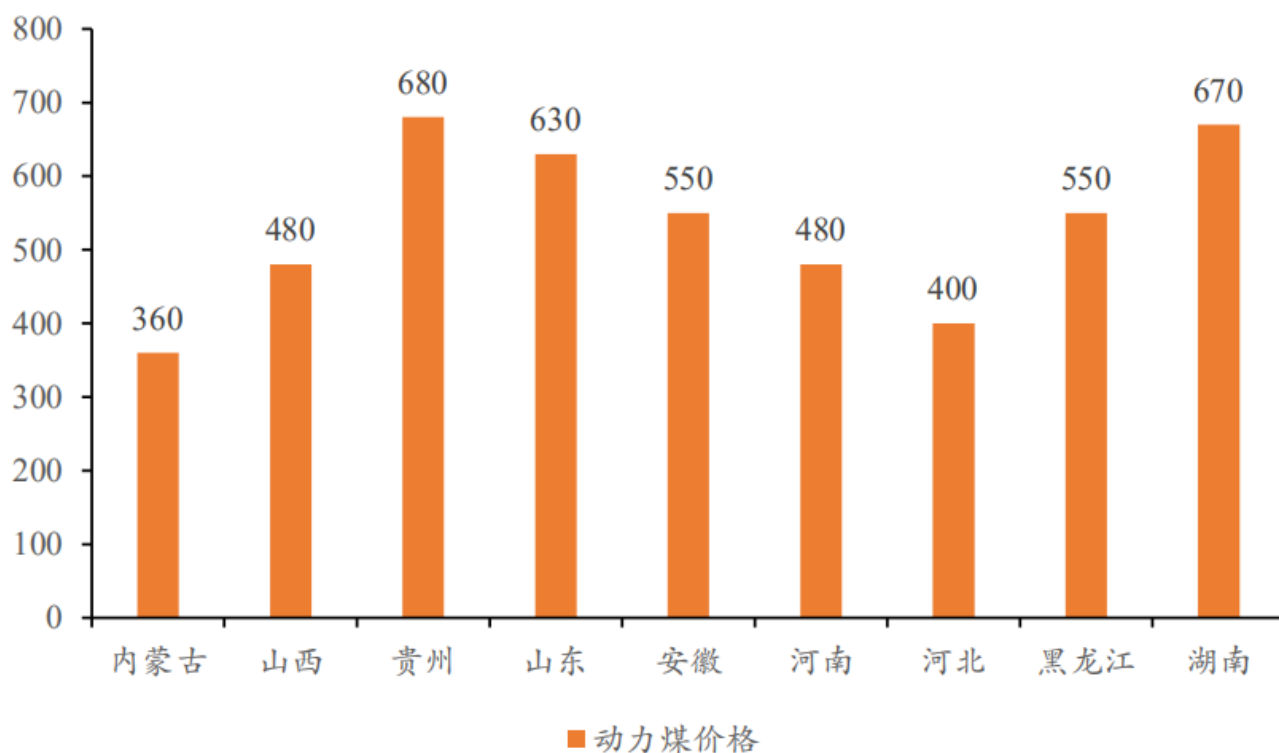
我国煤炭资源较为丰富且分布广泛，全国 32 个省市（除上海外）都有煤炭资源，但是区域分布极不均衡，主要的格局是西多东少、北富南贫。其中山西、内蒙古、陕西、新疆、贵州等五省煤炭探明储量占全国比重达到 81%以上，且这些地区的煤质普遍较好。由 2018 年上半年全国各省分原煤产量也可以看出，内蒙古、陕西、山西三个省市产量占全国的 68%，由此可见西北部煤炭产量具有明显优势。



资料来源：国家统计局、广证恒生

由于不同种类的煤价格有别，在这里我们主要考察各省份动力煤的价格，可以发现在煤炭储量和产量较多的地区比如内蒙古、山西等省份，相同种类煤炭的价格也相对其他省份较低。根据中国煤炭市场网发布的截至到 2019 年 1 月的数据，全国部分省份动力煤价格如下，其中需要重点关注的是内蒙古动力煤价格仅为 360 元/吨，而混煤的价格是 170 元/吨。

内蒙古和山西动力煤价格偏低



资料来源：中国煤炭市场网、广证恒生

煤气化制氢成本测算

在对煤气化制氢成本的测算中，参考中石化经济技术研究院 2015 年对煤气化制氢成本的分析，在中石化经济研究院的成本分析中假定煤炭的价格是 600 元/吨，水煤浆制氢装置为 12.4 亿元，生产的氢气规模为 $9 \times 10^4 m^3/h$ 。我们假定：

- 直接工资成本每年以 9% 的速度增长
- 辅助材料和装置投资等其他部分以每年 5% 的速度增长
- 煤炭价格依旧为 600 元/吨，但是由于技术进步使得单位产量增加
- 虽然副产品中的二氧化碳可以注入油田来减少对其的加工处理，但是该应用由于运输方面等问题还未得到大规

模的应用。同时近几年国家对于排放废气的标准越来越严，因此假定副产品费用不改变

煤气化制氢成本测算

成本项目	价格（元/吨）
原材料	3690
辅助材料	108
燃料及动力	4535
直接工资	219
装置投资	3187
成本合计	11739
扣除副产品	-446
单位生产成本	12185
单位生产成本（元/Nm ³ ）	1.1

资料来源：中石化经济技术研究院、广证恒生

通过上述测算，我们可以发现**当煤炭价格为 600 元时，大规模煤气化生产氢气的成本为 1.1 元/Nm³**。如果将制氢场所定在内蒙古，煤炭价格降低为 200 元时，制氢气的成本可能降低为 0.34 元/Nm³。

由于目前煤炭资源几乎全部掌握在国家手中，煤炭价格难以有大幅度的下降。并且现今煤气化制氢的规模已经较大，在人工费用逐渐增长的情况下，未来很难通过规模效应来减少每立方米氢气的生产成本。因此虽然目前通过测算所得的煤

气化制氢的成本较低，但未来煤气化制氢成本的下降空间有限。

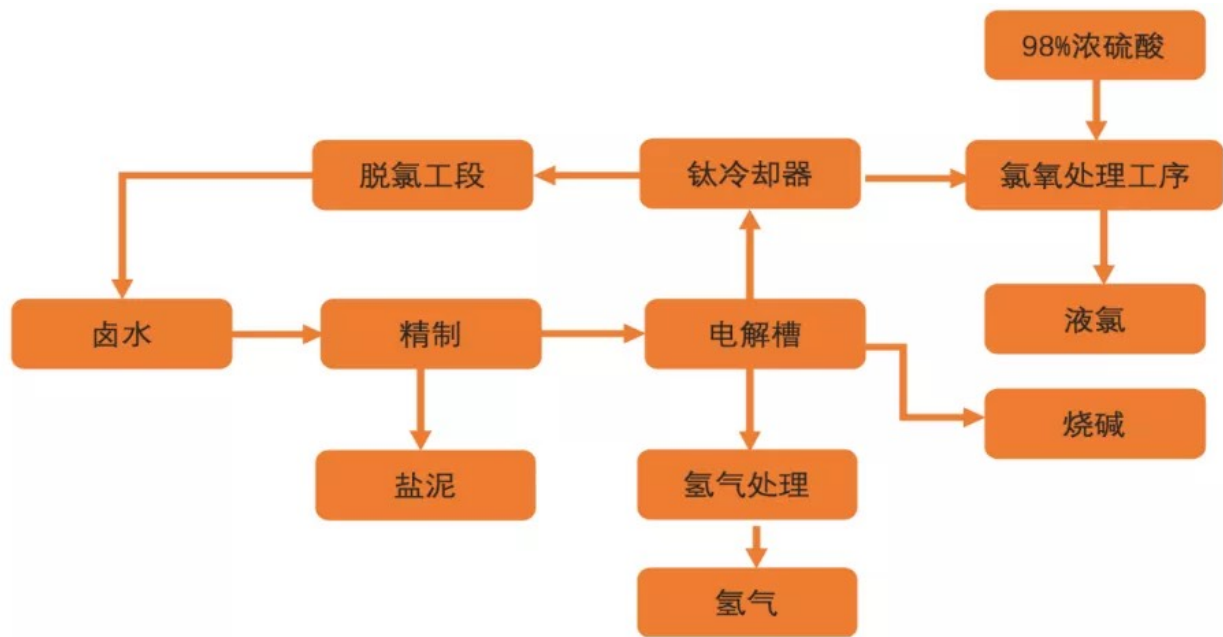
四、化工副产品制氢

氯碱制氢为主要生产方式，降本可从节能降耗方面入手

化工副产品制氢主要可以分为焦炉气制氢、氯碱副产品制氢、丙烷脱氢和乙烷裂解等几种方式，其中氯碱副产品制氢的由于工艺成本最为适中且所制取的氢气纯度较高等优势，成为目前化工副产品中较为适宜的制氢方式。

氯碱制氢是以食盐水（NaCl）为原料，采用离子膜或者石棉隔膜电解槽生产烧碱（NaOH）和氯气，同时得到副产品氢气的工艺方法。之后再使用 PSA 等技术去除氢气中的杂质即可得到纯度高于 99%的氢气。

氯碱制氢工艺简化流程



资料来源：中国产业信息网、广证恒生

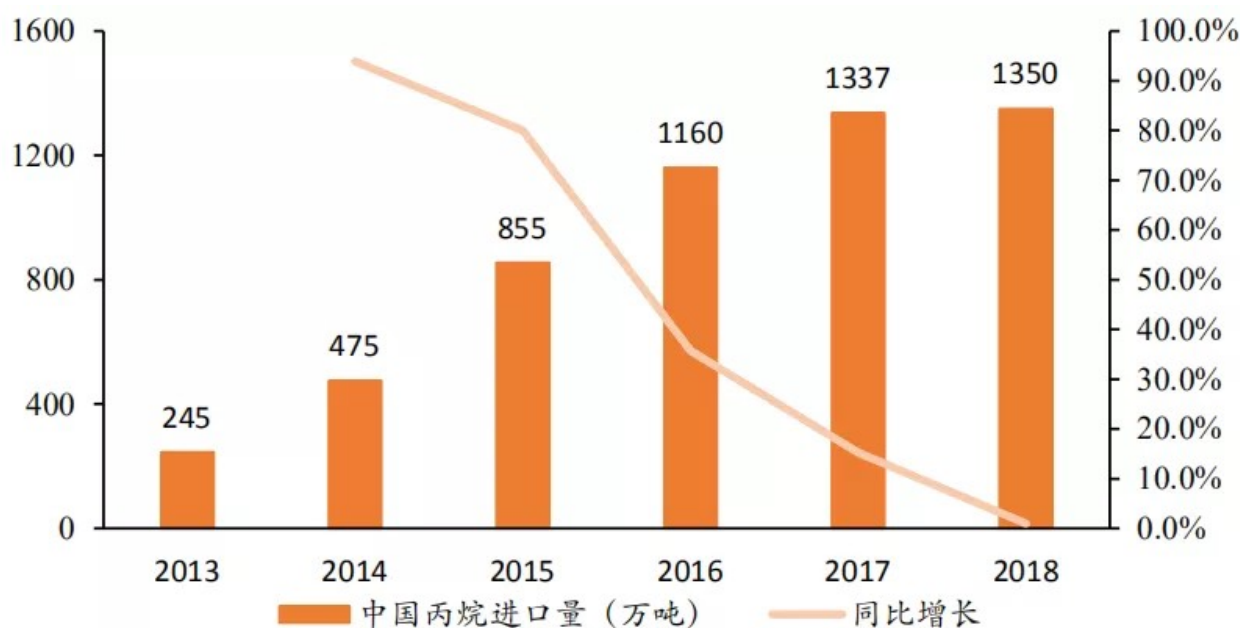
国家统计局的数据显示，2018 年氯碱厂的产量为 2620.5 万吨，根据氯碱平衡表，烧碱与氢气的产量配比为 40:1，理论上 2018 年氯碱副产品制氢产生了 65.5 万吨氢气，即 73.8 亿 Nm³ 的氢气。

目前氯碱工业中成本最高的部分是用电成本，使用离子膜法生产烧碱所需的电耗 2150~2200 kWh/t。上面电解水部分已经对我国电价的基本情况进行了介绍，这里就不做赘述。

丙烷脱氢和乙烷裂解副产制氢有未来潜在优势

2013 年，丙烷开始作为化工原料被大规模使用，当年中国进口丙烷数量为 245 吨，其后进口量逐年上升至 1350 万吨。与此同时，丙烷脱氢项目也在不断发展。截止 2019 年 1 月，我国已经建成的丙烷脱氢项目共计生产能力 467 万吨/年，其中山东和江苏两个省份处于领先地位。行业内已经公布的规划和在建的丙烷脱氢项目共计 45 个，涉及生产能力 2605 万吨/年。**若规划和在建的丙烷脱氢项目都已完成，预计可以副产并外售 86.8 万吨氢能**，未来发展空间巨大，丙烷脱氢副产的氢气成为未来潜在具有优势的燃料电池车用氢源选择之一。

中国丙烷进口量增长迅速



资料来源：中国海关总署、广证恒生

乙烯是中国需求量最大的烯烃之一，是合成塑料、纤维和橡胶的基础原料。根据中国产业信息网的信息，过去十年我国的乙烯表观消费快速增长，从 2008 年的 1096 万吨增长到 2017 年的 2143 万吨，年均复合增长率为 8%。随着乙烷裂解技术的逐渐成熟，国内企业开始布局乙烷裂解的大规模生产，预计到 2021 年，乙烷裂解生产乙烯的乙烯产量将占比接近 41%，而氢气作为乙烷裂解的副产品之一，也会随着乙烷裂解技术的不断进步而产量快速增长。**目前我国规划中的乙烷裂解产能达到 1460 万吨，可以副产并外售的氢气达到 90.4 万吨。**所以乙烷裂解副产品制氢同丙烷脱氢制氢相同，都是未来潜在最具优势的燃料电池车用氢源选择之一。

五、相关企业简述

苏州竞立：最早进入电解水制氢设备行业

苏州竞立制氢设备有限公司成立于 1993 年，是一家集研发、生产、销售水电解制氢设备、气体纯化、回收设备及各种类型的氢能专业设备于一体的高新技术企业，在国内水电解制氢设备市场排名领先，并参与多个国家项目和参与制定多项国家标准。

作为国内最早一批进入水电解制氢设备行业的企业，苏州竞立成立二十多年以来，始终坚持技术创新，成为国内制氢设备顶尖技术的典型代表。公司研制的水电解制氢设备产量范围从 0.3m³/h 至 1000m³/h，其主要产品大型制氢设备（1000m³/h）主要用于电转气的市场需求，可有效解决弃风、弃光等问题。

在可再生能源制氢领域，苏州竞立正在承担由某国际知名油气企业和国内企业合作可再生能源制氢项目。苏州竞立在原有设备基础上做了改进，使之能够承受正常电流 20%-110% 的变化，以适应可再生能源的波动性需求，目前设备已经做了一段时间的模拟测试，接下来会到风电场进行实地测试。

巨正源股份：丙烷脱氢项目具有发展潜力

公司成立于 1999 年，是广东省广物控股集团有限公司（广东最大的省属国有企业之一）的控股企业，公司的业务范围

包括成品油及化工品贸易、燃油及化工品储罐、燃料油船运、码头运作业务等。

东莞巨正源科技有限公司是深圳巨正源的全资子公司，也是 120 万吨丙烷脱氢制高性能聚丙烯项目的实施主体。近日，该项目在沙田镇立沙岛精细化工园区完成了产品分离塔吊装仪式，标志着项目建设全面进入攻坚阶段。该项目投资 105 亿元，用地面积 984 亩，是广东省重点建设项目，按计划，该项目分为两期建设，一期项目每年可产氢气 2.8 万吨，二期项目建成后可形成 15-20 万吨/年的氢气产能，可以保障广东省全省氢能源汽车的能源供应。

联悦氢能：华南最大制氢企业之一

广东联悦氢能有限公司于 2017 年 6 月 30 日在广东省云浮市注册成立。公司是南中国地区较大的、专注于氢气产品生产和销售能源气体公司，拥有行业先进、领先的设备和工艺，在制氢、运氢领域拥有较强的技术优势和多年积累的丰富经验。公司占地面积 5000 平米，每小时产能可达 1000M3，是华南地区最大的氢气专业生产经营企业之一。目前已经在江门、赣州、郴州和云浮分别投资建设了 4 座氢气工厂。

来源：广证恒生，新三板高端装备专题报告-《氢气成本能降到几何-制氢篇》，分析师：司伟，于栋。