

我国将制定氢能产业发展路线图！

前言

氢能被认为是最理想的新能源，最有希望成为能源的终极解决方案。氢能相比于其他能源方案有显著的优势：储量大、比能量高(单位质量所蕴含的能量高)、污染小、效率高、可贮存、可运输、安全性高等诸多优点，受到了各国的高度重视。氢能产业链三大环节，每个环节都有很高的技术壁垒和技术难点，目前上游的电解水制氢技术、中游的化学储氢技术和下游的燃料电池在车辆和分布式发电中的应用被广泛看好。

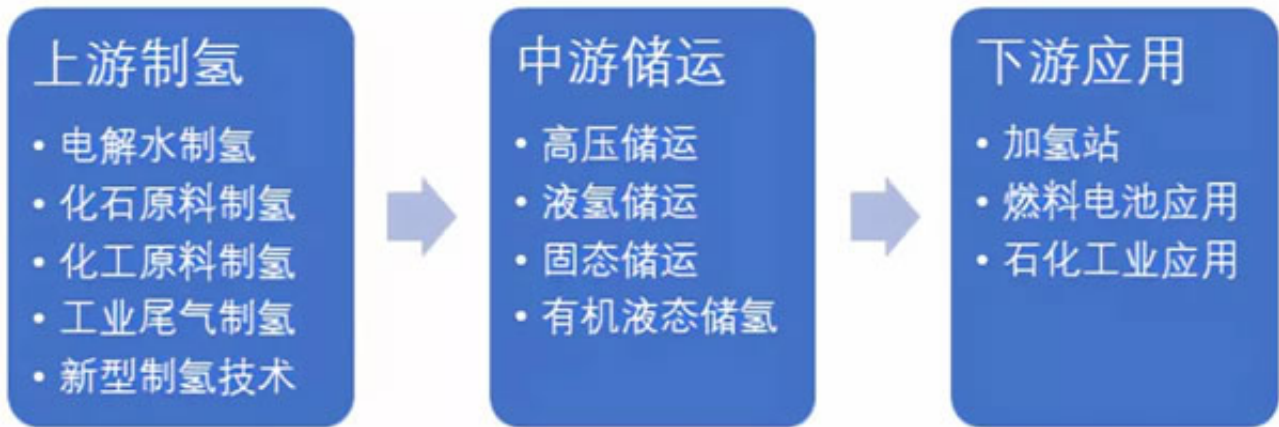


图1 氢能产业链

氢能的上游是氢气的制备，主要技术方式有传统能源的化石原料制氢、化工原料制氢、工业尾气制氢、电解水制氢、新型制氢技术；中游是氢气的储运环节，主要技术方式包括高压气态、低温液态、固体材料储氢和有机液态储运；下游是氢气的应用，氢气应用可以渗透到能源的各个方面，除了传统石化工业应用如合成氨、石油与煤炭深加工外，在新能源应用方面包括加氢站、燃料电池下游各种应用。产业链相关企业见下表。

表 1 氢能产业链相关企业

氢能产业链	企业	
上游制氢	Air Liquide S.A. Ally Hi-Tech Co., Ltd. Alumifuel Power Corporation Caloric Anlagenbau GmbH Taiyo Nippon Sanso Nuvera Fuel Cells, LLC Hy9 Corporation Hydrogenics Corporation	Iwatani Corporation Linde AG Messer Group GmbH Praxair, Inc. Proton Onsite Showa Denko K.K. Xebec Adsorption Inc.
中游储运	Air Liquide Linde AG Praxair Inc. Worthington Industries Inc. Luxfer Holdings Plc	McpHy Energy S.A. Hexagon Composites ASA HBank Technologies Inc. Inoxcva VRV S.P.A
下游加氢站	Air Products BOC Ballast Nedam Ebara Ballard General Hydrogen	Hydrogenics Linde AG Air Liquide Industrial H2 Frontier, Inc.

上游制氢

一、常用的制氢技术路线

制氢方法是将存在于天然或合成的化合物中的氢元素，通过化学的过程转化为氢气的方法。根据氢气的原料不同，氢气的制备方法可以分为非再生制氢和可再生制氢，前者的原料是化石燃料，后者的原料是水或可再生物质。制备氢气的方法目前较为成熟，从多种能源来源中都可以制备氢气，每种技术的成本及环保属性都不相同。主要分为五种技术路线：工业尾气副产氢、电解水制氢、化工原料制氢、石化资源制氢和新型制氢方法等。

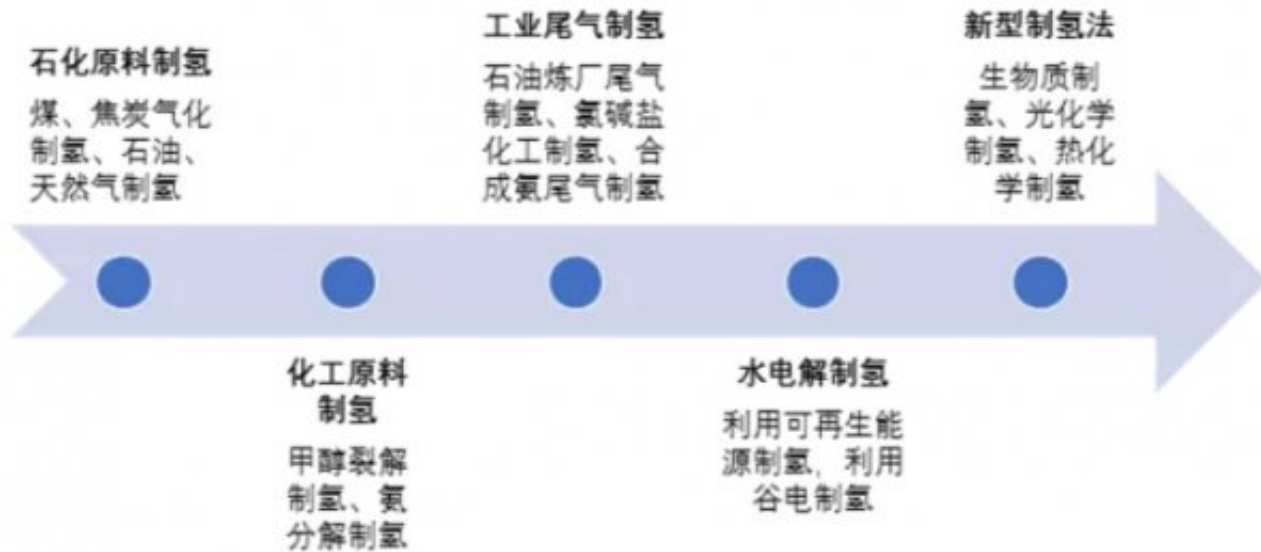


图2 常用制氢方法

电解水制氢，在由电极、电解质与隔膜组成的电解槽中，在电解质水溶液中通入电流，水电解后，在阴极产生氢气，在阳极产生氧气。

化石原料制氢，化石原料目前主要指天然气、石油和煤，其他还有页岩气和可燃冰等。天然气、页岩气和可燃冰的主要成分是甲烷。甲烷水蒸气重整制氢是目前采用最多的制氢技术。煤气化制氢是以煤在蒸汽条件下气化产生含氢和一氧化碳的合成气，合成气经变换和分离制得氢。由于石油量少，现在很少用石油重整制氢。

化合物高温热分解制氢，甲醇裂解制氢、氨分解制氢等都属于含氢化合物高温热分解制氢含氢化合物由一次能源制得。

工业尾气制氢，合成氨生产尾气制氢、石油炼厂回收富氢气体制氢、氯碱厂回收副产氢制氢、焦炉煤气中氢的回收利用等。

新型制氢方法，包括生物质制氢、光化学制氢、热化学制氢等技术。生物质制氢指生物质通过气化和微生物催化脱氢方法制氢，在生理代谢过程中产生分子氢过程的统称。光化学制氢是将太阳辐射能转化为氢的化学自由能，通称太阳能制氢。热化学制氢指在水系统中，不同温度下，经历一系列化学反应，将水分解成氢气和氧气，不消耗制氢过程添加的元素或化合物，可与高温核反应堆或太阳能提供的温度水平匹配。

二、主流制氢源自于传统能源的化学重整

全球来看，目前主要的制氢原料96%以上来源于传统能源的化学重整(48%来自天然气重整、30%来自醇类重整，18%来自焦炉煤气)，4%左右来源于电解水。日本盐水电解的产能占有制氢产能的63%，此外产能占比较高的还包括天然气改制(8%)、乙烯制氢(7%)、焦炉煤气制氢(6%)和甲醇改质(6%)等。

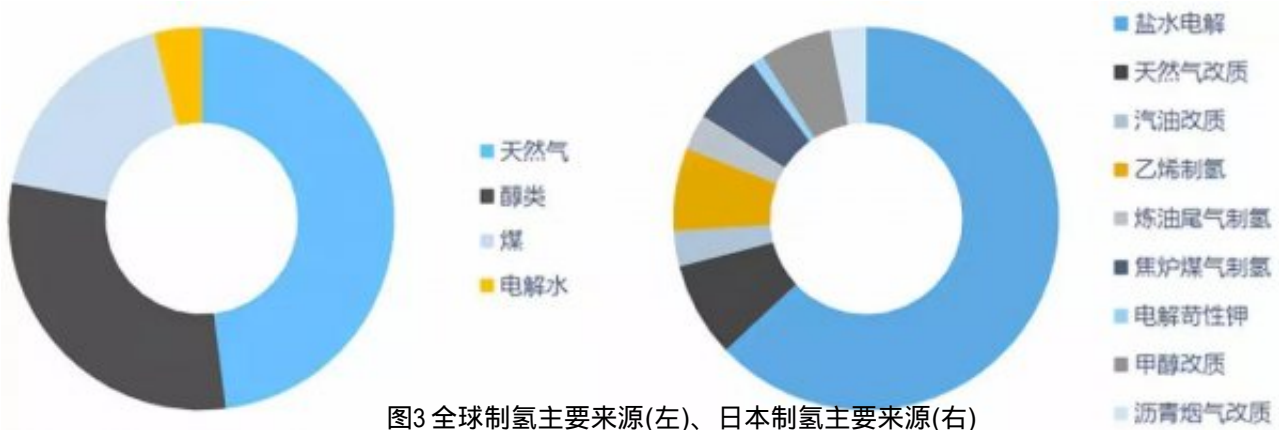


图3 全球制氢主要来源(左)、日本制氢主要来源(右)

三、煤制氢加碳捕捉将成为主流制氢路线

对比几种主要制氢技术的成本，煤气化制氢的成本最低，为1.67美元每千克，其次是天然气制氢2.00美元/千克，甲醇裂解3.99美元/千克，成本最高的是水电解，达到5.20美元/千克。相对于石油售价，煤气化和天然气重整已有利润空间，而电解水制氢成本仍高高在上。

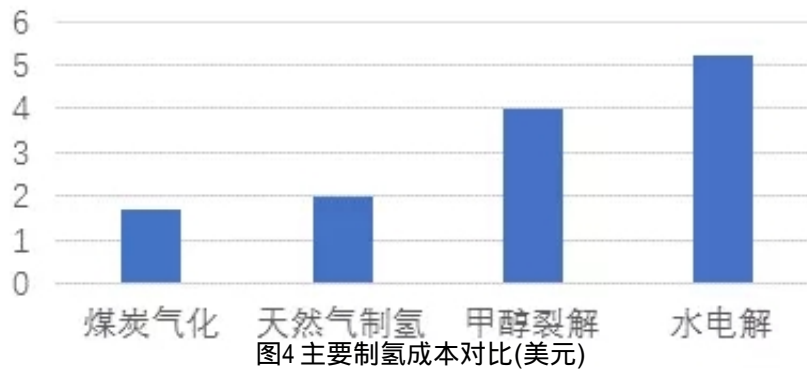


图4 主要制氢成本对比(美元)

中国煤炭资源丰富且相对廉价，故将来煤制氢很有可能成为中国规模化制氢的主要途径。但煤制氢工艺过程二氧化碳碳排放水平高，所以需要引入二氧化碳捕捉技术(CCS)，以降低碳排放。目前二氧化碳捕捉技术主要应用于火电和化工生产中，其工艺过程涉及三个步骤：二氧化碳的捕捉和分离，二氧化碳的输送，以及二氧化碳的封存。

四、光解水制氢技术看似理想实则困难重重

光解水制氢是一种理想的制氢技术。它的原理是直接利用太阳能，在光催化剂的协助下，将水分解产生氢气。这种方法直接利用一次能源，没有能源转换所产生的浪费，理论上简单高效。

光解水制氢技术始自1972年，由日本东京大学Fujishima A和Honda K两位教授首次报告发现TiO₂

单晶电极光催化分解水从而产生氢气这一现象，从而揭示了利用太阳能直接分解水制氢的可能性，开辟了利用太阳能光解水制氢的研究道路。

随着电极电解水向半导体光催化分解

水制氢的多相光催化的演变和TiO₂

以外的光催化剂的相继发现，兴起了以光催化方法分解水制氢(简称光解水)的研究，并在光催化剂的合成、改性等方面取得较大进展。

然而，这种制氢方法面临的技术仍然面临很多问题。制氢效率低(不到4%)是最主要的问题，所以它离实际应用还有相当长的距离。光催化材料的带隙与可见光能量匹配，光催化材料的能带位置与反应物电极电位匹配，降低光生电子-空穴的复合率是克服这一困难的三大待攻克技术难关。

五、随着电价下降，将有利于电解水制氢技术发展

电解水制氢成本主要来源于固定资产投资、电和固定生产运维这四项开支，其中电价高是造成电解水成本高的主要原因，电价占其总成本的78%。因而电价的下降必将带来氢气成本的大幅下降。同时技术发展、规模化效应，都会使氢气成本下降。

表 2 电解水制氢成本构成

	2011	2015	2020 (预测)
固定资产投资	0.6	0.5	0.4
电价	3.2	2.3	1.4
固定生产运维	0.2	0.1	0.1
其他	0.1	0.1	0.1
Total	4.1	3.2	2

虽然目前水电解制氢成本远高于石化燃料，而煤气化制氢和天然气重整制氢相对于石油售价已经存在利润空间。但是用化石燃料制取氢气不可持续，不能解决能源和环境的根本矛盾。并且碳排放量高，煤气化制氢二氧化碳排放量高达193kg/GJ，天然气重整制氢也有69kg/GJ，对环境不友好。而电解水制氢是可持续和低污染的，这种方法的二氧化碳排放最高不超过30kg/GJ，远低于煤气化制氢和天然气重整制氢。

表 3 典型制氢工艺中各类能源转换效率与 CO₂ 排放

制氢工艺	原料	能源	能量密度 (MW/km ²)	能量转化率 (%)	CO ₂ 排放量 (kg/GJ)
重整	烃类	天然气	750	76	69
煤化物	煤炭	煤炭	750	59	193
	生物质	太阳能	120	0.24	25
电解	水	核能	500	28	17
		水力	5	70	15
		潮汐	1	70	20
		风能	4	70	18
		太阳能	120	10.5	27
光催化	水	太阳能	120	4	27
热化学循环	水	核能	500	50	28

我国可再生能源丰富，每年弃水弃风的电量都可以用于电解水。我国拥有水电资源3.78亿千瓦，年发电量达到2800亿千瓦时。水电由于丰水期和调峰需要，产生了大量的弃水电能。我国风力资源也非常丰富，可利用风能约2.53亿千瓦时，相当于水力资源的2/3。但风电由于其不稳定的特性，较难上网，因此每年弃风限电的电量规模庞大。如果将这部分能源充分利用起来，有利于电解水制氢的发展。

中游储运

氢是所有元素中最轻的，在常温常压下为气态，密度仅为0.0899kg/m³，是水的万分之一，因此其高密度储存一直是一个世界级难题。氢能的存储有以下方式：低温液态储氢、高压气态储氢、固态储氢和有机液态储氢等，这几种储氢方式有各自的优点和缺点。氢运输又分为气氢输送、液氢输送和固氢输送。



图5 典型储氢技术

一、低温液态储氢不经济

液态氢的密度是气体氢的845倍。液态氢的体积能量密度比压缩状态下的氢气高出数倍，如果氢气能以液态形式存在，那它替换传统能源将水到渠成，储运简单安全体积占比小。但事实上，要把气态的氢变成液态的并不容易，液化1kg的氢气需要耗电4-10千瓦时，液氢的存储也需要耐超低温和保持超低温的特殊容器，储存容器需要抗冻、抗压以及必须严格绝热。所以这种方法极不经济，仅适用于不太计较成本问题且短时间内需迅速耗氢的航天航空领域。

二、高压气态储氢产业应用最为成熟，致命缺点是体积比容量小

高压气态储氢是目前最常用并且发展比较成熟的储氢技术，其储存方式是采用高压将氢气压缩到一个耐高压的容器里。目前所使用的容器是钢瓶，它的优点是结构简单、压缩氢气制备能耗低、充装和排放速度快。但是存在泄露爆炸隐患，安全性能较差。

该技术还有一个致命的弱点就是体积比容量低，DOE的目标体积储氢容量70g/L，而钢瓶目前所能达到最高的体积比容量也仅有25g/L。而且要达能耐受高压并保证安全性，现在国际上主要采用碳纤维钢瓶，碳纤维材料价格非常昂贵，所以它并非是理想的选择，可以作为过渡阶段使用。

表 4 储氢气瓶分类

类型	简称	优势	生产商
钢瓶	I型	重容比大，安全性差	美国的 Quantum 公司和 Lincoln Composites 公司、加拿大的 Dynetek 工业公司、法国的 Mahytec 公司
纤维环向缠绕钢瓶	II型		
金属内胆纤维全缠绕复合材料气瓶	III型		
塑料内胆纤维全缠绕复合材料气瓶	IV型		

三、固态储氢，储氢密度大，极具发展潜力

固态储氢方式能有效克服高压气态和低温液态两种储氢方式的不足，且储氢体积密度大、操作容易、运输方便、成本低、安全等，特别适合于对体积要求较严格的场合，如在燃料电池汽车上的使用，是最具发展潜力的一种储氢方式。固态储氢就是利用氢气与储氢材料之间发生物理或者化学变化从而转化为固溶体或者氢化物的形式来进行氢气储存的一种储氢方式。

储氢材料种类繁多，主要可分为物理吸附储氢和化学氢化物储氢。其中物理吸附储氢又可分为金属有机框架(MOFs)和纳米结构碳材料，化学氢化物储氢又可分为金属氢化物(包括简单金属氢化物和简单金属氢化物)，非金属氢化物(包括硼氢化物和有机氢化物)。



物理吸附储氢材料是借助气体分子与储氢材料间的较弱的范德华力来进行储氢的一种材料。纳米结构碳材料包括碳纳米管、富勒烯、纳米碳纤维等，在77K下最大可以吸附约4wt%氢气。金属有机框架材料(MOFs) 具有较碳纳米材料更高的储氢量，可以达到4.5wt%，并且MOFs的储氢容量与其比表面积大致呈正比关系。但是，这些物理吸附储氢材料是借助气体分子与储氢材料间的较弱的范德华力来进行储氢，根据热力学推算其只能在低温下大量吸氢。

化学氢化物储氢的最大特点是储氢量大，目前所知的就有至少16种材料理论储氢量超过DOE 最终目标7.5wt%，有不下6种理论储氢量大于12wt%。并且在这种储氢材料中，氢是以原子状态储存于合金中，受热效应和速度的制约，输运更加安全。但同时由于这类材料的氢化物过于稳定，热交换比较困难，加/脱氢只能在较高温度下进行，这是制约氢化物储氢实际应用的主要因素。



图7 固体储氢材料分类

目前各种材料基本都处于研究阶段，均存在不同的问题。金属有机框架(MOFs)体系可逆，但操作温度低;纳米结构材料操作温度低，储氢温度低;金属氢化物体系可逆，但多含重物质元素，储氢容量低;二元金属氢化物体系可逆，但热力学和热力学性质差;复杂金属氢化物储氢容量高，局部可逆，种类多样;非金属氢化物储存容量高，温度适宜，但体系不可逆。实现“高效储氢”的技术路线主要是要克服吸放氢温度的限制。

四、有机液体储氢近年来备受关注

有机液体储氢技术是通过不饱和液体有机物的可逆加氢和脱氢反应来实现储氢。理论上，烯烃、炔烃以及某些不饱和芳香烃与其相应氢化物，如苯-环己烷、甲基苯-甲基环己烷等可在不破坏碳环主体结构下进行加氢和脱氢，并且反应可逆。

有机液体具有高的质量和体积储氢密度，现常用材料(如环己烷、甲基环己烷、十氢化萘等)均可达到规定标准;环己烷和甲基环己烷等在常温常压下呈液态，与汽油类似，可用现有管道设备进行储存和运输，安全方便，并且可以长距离运输;催化加氢和脱氢反应可逆，储氢介质可循环使用;可长期储存，一定程度上解决能源短缺问题。

有机液体储氢也存在很多不足：技术操作条件较为苛刻，要求催化加氢和脱氢的装置配置较高，导致费用较高;脱氢反应需在低压高温非均相条件下，受传热传质和反应平衡极限的限制，脱氢反应效率较低，且容易发生副反应，使得释放的氢气不纯，而且在高温条件下容易破坏脱氢催化剂的孔结构，导致结焦失活。

国内富瑞特装公司的常压有机液态储氢材料目前取得实质性进展，该储氢材料能有效降低脱氢温度，具有非常优异的技术指标：(1)稳定性好，熔点约-20℃；(2)加氢产物蒸汽压低，具有良好的实用性与安全性；(3)储氢重量密度6.0wt%，高于美国能源部2015年技术指标；(4)储氢体积密度约每升60克，高于700大气压下的高压气态储氢密度(约每升39克)；(5)加氢后的储氢载体熔点低于-50℃，沸点约310℃，闪点约150℃；(6)加、脱氢可逆性好，无副反应发生，脱出氢气纯度达到99.99%；(7)加、脱氢产物无明显毒性；(8)加、脱氢过程调控可通过温控和催化剂实现。公司将形成年产3万吨液态氢源材料生产能力。

五、运输--气态和液态运输最为常见

按照氢在输运时所处状态的不同，可以分为气氢输送、液氢输送和固氢输送。其中前两者是目前正在大规模使用的两种方式。根据氢的输送距离、用氢要求及用户的分布情况，气氢可以用管道网络，或通过高压容器装在车、船等运

输工具上进行输送。管道输送一般适用于用量大的场合，而车、船运输则适合于量小、用户比较分散的场合。液氢、固氢运输方法一般是采用车船输送。

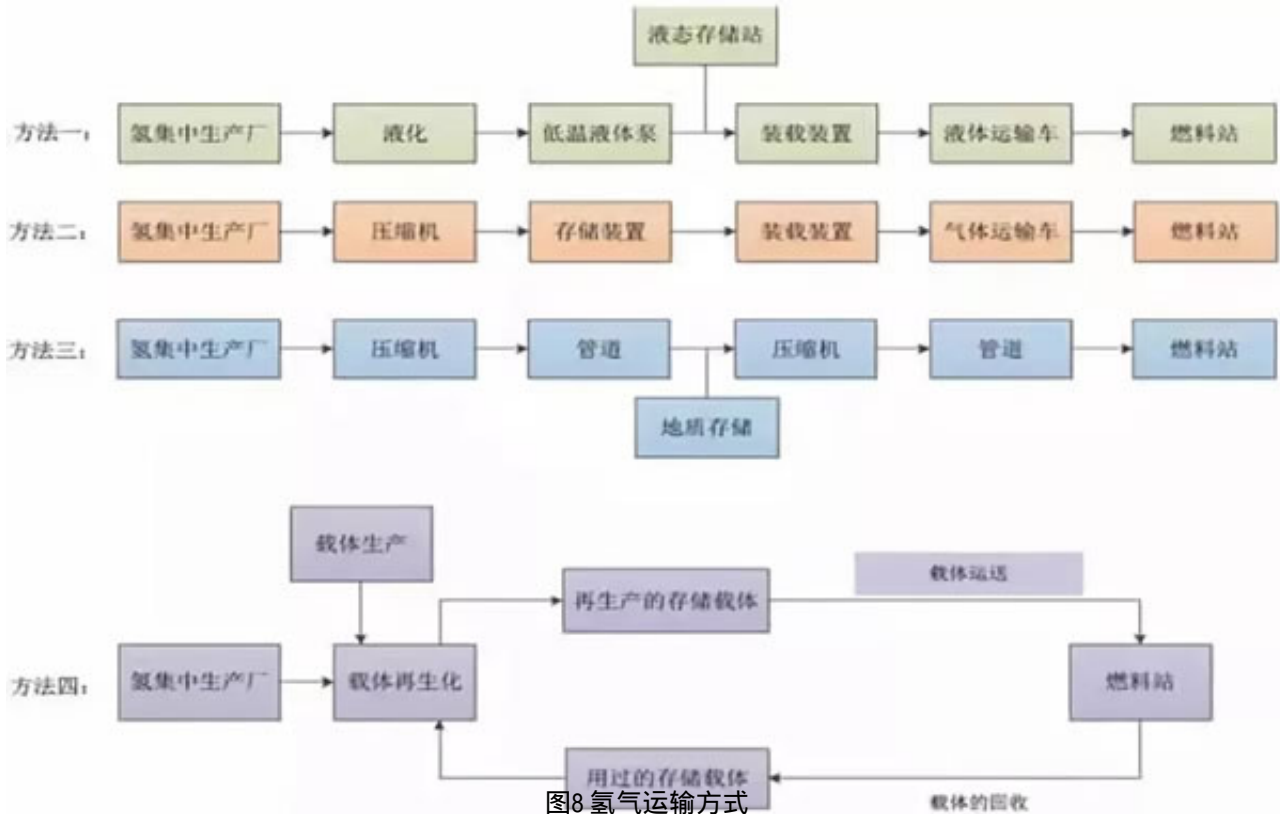


图8 氢气运输方式

下游应用

氢能产业链下游应用包括加氢站、燃料电池的各种应用(包括车辆、固定式电站、便携式电子、分布式发电等)、传统石化工业应用。石化应用是目前氢的主要应用，据统计氢60%被用于合成氨，38%用于炼厂石油和煤炭的深加工，这部分不属于本报告研究范畴。而燃料电池的各种应用在燃料电池产业链章节做进一步分析。

一、世界各地加氢站建设如火如荼

世界各地都在大力推进加氢站的建设，国内加氢站运营指日可待。加氢站的建设至关重要，对于汽车企业来说，没有能源站，就没办法卖车。据LBST于2017年2月21日发布了第9期全球加氢站统计报告，2016年全球新增92座加氢站，创增长数新高。截止到2017年1月，全球正在运营的加氢站达到274座，其中有4座是2017年初开放。

新增的92座加氢站中，有83座是对公众开放的，其余9座则是专门为公交车或车队客户提供服务。日本凭借新增45座位列加氢站增长数榜首。而在北美新开放的25座加氢站中，有20座位于加利福尼亚州。欧洲新增22座，其中6座位于德国，德国公共加氢站总数增至22座。另外，德国还有29座加氢站正在建设或即将开放，超过美国，后者正在建设的加氢站有24座。

目前全球正在运营的274座加氢站中，有106座位于欧洲，101座位于亚洲，64座位于北美，2座位于南美，1座位于澳大利亚。其中188座加氢站向公共开放，占全球总加氢站数的2/3。去年，有几座仅用于示范项目的旧加氢站也被新的公共加氢站所替代，这表明氢基础设施的商业化正在逐渐开展。



二、新型加氢站成为有效补充和扩展

新型加氢站之一--太阳能加氢站将相比大型加氢站具有两个显著优点：

其一，体积小，甚至可以直接安装在家中花园或门口，对于建设用地和氢气储藏设施没有额外特殊要求；其二：节能环保，通过太阳能电池的电力，来电解水提取氢，并且在制造氢时不会产生CO₂。基于此，太阳能加氢站可以铺设成数量更大、更广泛的临时加氢网，以便满足氢燃料电池汽车的临时性加氢需要。

新型加氢站之二--移动加氢车，汽车家族的充电宝。2015年12月，丰田公司与Air Products公司合作，在加州新建设的加氢站建成前，为消费者提供氢气。Air Products公司的移动加氢车使用蓄电池以及太阳能发电制氢，加氢车每次可以为Mirai加注半个罐氢气，提供150英里的续航里程。移动加氢车的储氢能力为85kg，每罐可以满足30多辆车的加氢需求。

三、规模效应有望使加氢站建设成本显著下降

目前一个新的加氢站的建设成本在200-500万美元左右。日本建设一座中型加氢站(300Nm³/h)投资在500-550万美元；在美国，约需要280-350万美元。与国外相比，在国内建立一座加氢站具有成本方面的优势，国内建设一座加氢站(35Mpa)的投资在200-250万美元之间。随着加氢站建设数量的增多，势必出现规模效应，加氢站的建设成本将有效下降。

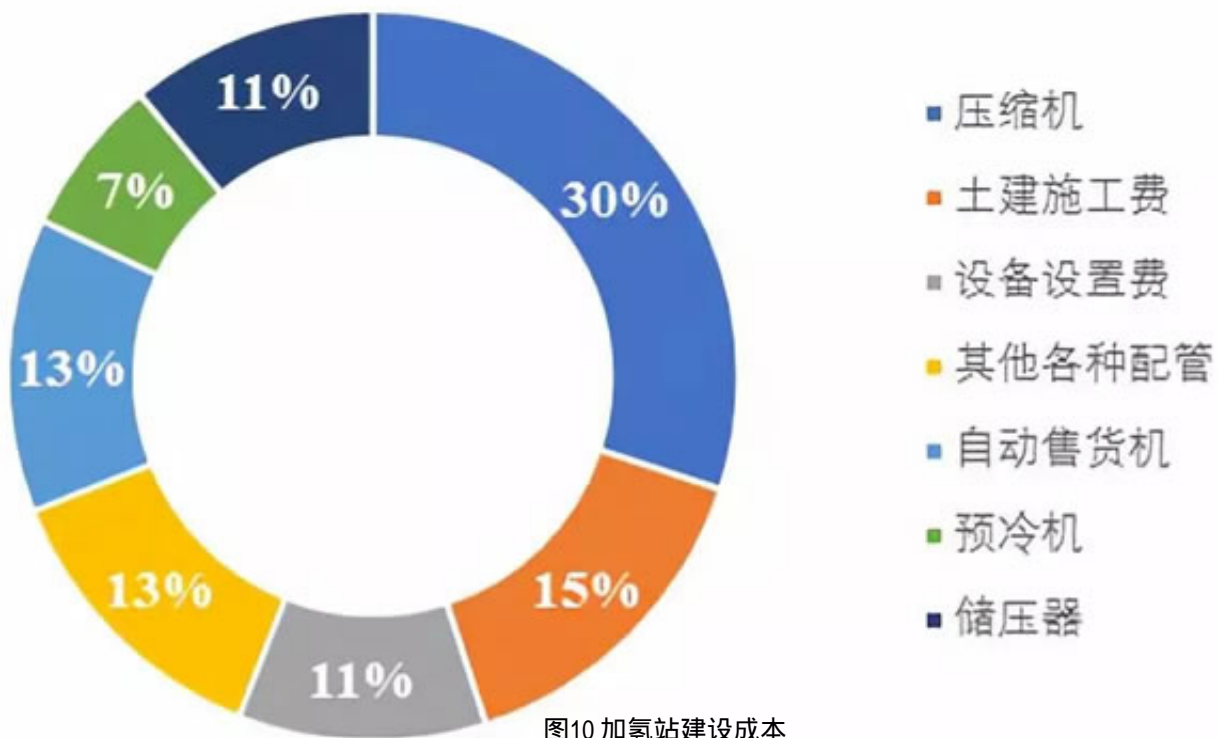


图10 加氢站建设成本

加氢站的主要设备：包括储氢装置、压缩设备、加注设备、站控系统等，其中压缩机占总成本较高(约30%)。目前设备制造的发展方向主要是加速氢气压缩机的国产化进程，从而降低加氢站的建设成本，促进氢能产业链的发展。

表 5 加氢站的主要设备

设备	介绍
高压储氢装置	一般两种方式，一种是用具有较大容积的气瓶，该类气瓶的单个水容积在 600L ~ 1500L 之间，为无缝锻造压力容器；另一种是采用小容积的气瓶，单个气瓶的水容积在 45L ~ 80L。从成本角度看，大型储氢瓶的前期投资成本较高，但后期维护费用低，且安全性和可靠性较高。
氢气压缩设备	常用的氢气压缩设备为隔膜式压缩机，该型压缩机靠金属膜片在气缸中作往复运动来压缩和输送气体。氢气压缩机在加氢站中占据重要地位，目前我国加氢站所采用的氢气压缩机仍需外购。未来国内加氢站与生产压缩机的外资企业加强合作以及加快国产化速度的情况下，有望将压缩机的成本减少 50%以上。
氢气加注设备	氢气加注设备与天然气加注设备原理相似，由于氢气的加注压力达到 35Mpa，远高于天然气 25Mpa 的压力，因此对于加氢机的承压能力和安全性要求更高。根据加注对象的不同，加氢机设置不同规格的加氢枪。如安亭加氢站设置 TK16 和 TK25 两种规格的加氢枪，最大加注流量分别为 2kg/min 和 5kg/min。加注一辆轿车约用 3-5 分钟，加注一辆公交车约需要 10-15 分钟。
站控系统	作为加氢站的神经中枢，站控系统控制着整个加氢站的所有工艺流程有条不紊的进行，站控系统功能是否完善对于保证加氢站的正常运行有着至关重要的作用。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/news/132266.html>