



中国氢能供应链发展要点

韩红梅

石油和化学工业规划院

氢能作为21世纪人类可持续发展的清洁可再生能源，受到全球范围的高度重视，在我国吸引了广泛关注。

《能源技术革命创新行动计划2016—2030》、《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》、《“十三五”国家科技创新规划》将氢能与燃料电池技术创新列为重点方向；《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书(2016)》描绘了氢能产业发展蓝图；2019年政府工作报告纳入氢能内容。

我国氢能和燃料电池领域正在起步。部分氢燃料电池关键技术已有成果；燃料电池电堆、氢燃料电池大巴、公交车和叉车开始批量生产；区域化氢能社会示范项目逐步推广，珠三角、长三角、京津冀等氢能产业集群正在形成。

我国氢能产业发展也面临着诸多挑战。氢燃料电池核心技术和关键材料尚未国产化，氢燃料电池电堆关键组件制造工艺和氢燃料电池汽车技术有待提升，氢能基础设施建设刚刚起步。无论是技术还是资金，均需大量投入才能支撑氢能产业发展。

上游

中游

下游

		制 备	储 存	运 输	加 注
化石能源	一次能源	天然气制氢	高压气体	管道	车用能源基础设施 / 加氢站
		煤制氢			
		石油类燃料制氢			
	二次能源	甲醇制氢	低温液体	铁路火车	
		工业副产氢			
		焦化焦炉气制氢			
		冶金高炉气制氢			
		氯碱副产气制氢			
		丙烷脱氢副产气制氢			
		乙烷裂解副产气制氢			
可再生能源	一次电力	电	化学材料	公路汽车	
		水电			
		核电			
		太阳能发电			
		风能发电			
生物质发电	电解水制氢	金属材料	水路船舶		

燃料电池

燃料电池应用

燃料电池电堆

膜电极（催化剂/气体扩散层/质子交换膜）

双极板

密封圈

紧固件

燃料电池动力系统

燃料电池电堆

系统零部件

空压机/加湿器/氢气循环泵/储氢瓶/散热器
电控系统FCU DC/DC/泵/阀件等

燃料电池发电系统

燃料电池储能系统

交通

汽车

船舶

轨道交通

叉 车

固定式应用

分布式电力系统

家庭热电联产

备用电源

军用领域

未来军用便携电源

传感器
无人机

附属电力系统

舰艇动力系统

航天领域

氢氧火箭发动机

本报告重点结合车用氢能需求，介绍上游氢能供应研究成果

一. 氢能生产

二. 氢能储运

三. 加氢站

四. 车用氢能供应链展望

化工原料氢气和氢能的区别



氢气是石化化工生产过程的重要中间原料，主要存在于石油化工、天然气化工、煤化工、焦炉气化工、氯碱化工等生产过程。炼厂一般有独立的制氢装置，其他大多作为混合物料与其他气体一起直接进入下游装置。

化工原料氢气不能直接用作燃料电池氢能，必须经过分离、纯化，满足燃料电池氢气的产品质量标准，才能使用。

《氢气 第一部分 工业氢》（GB/T 3634.1-2006）

《氢气 第二部分 纯氢、高纯氢和超纯氢》（GB/T 3634.2-2011）

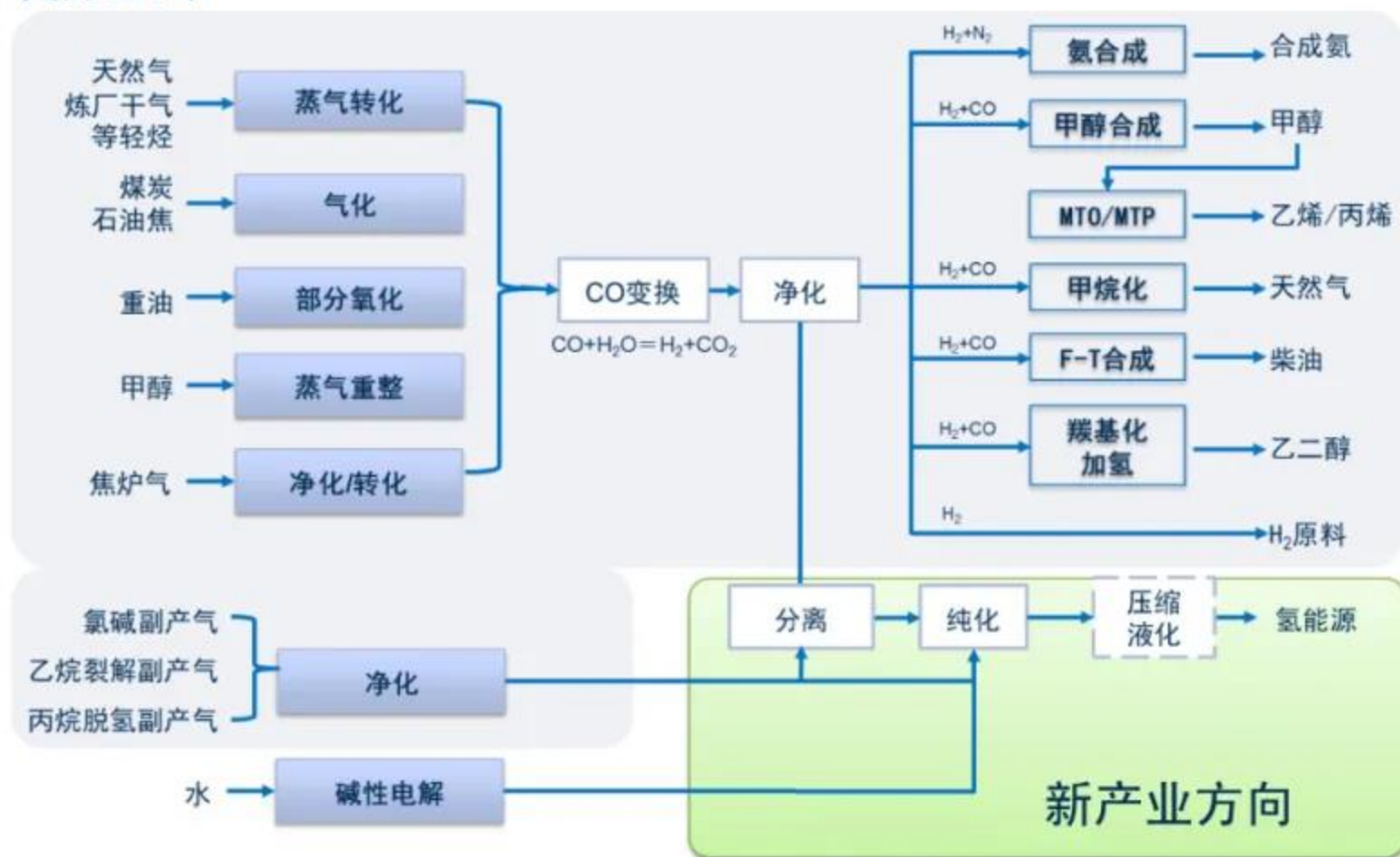
《燃料电池汽车用氢气》（GB/T 37244-2018）



化工原料氢气——制氢路径多样



我国石化化工产业规模位居世界前列。氢气生产原料广泛，既有天然气、干气等轻烃原料，也有独具中国特色的煤炭、焦炉气、甲醇等原料，形式多样，经济性好，为我国氢能产业发展提供了良好基础。

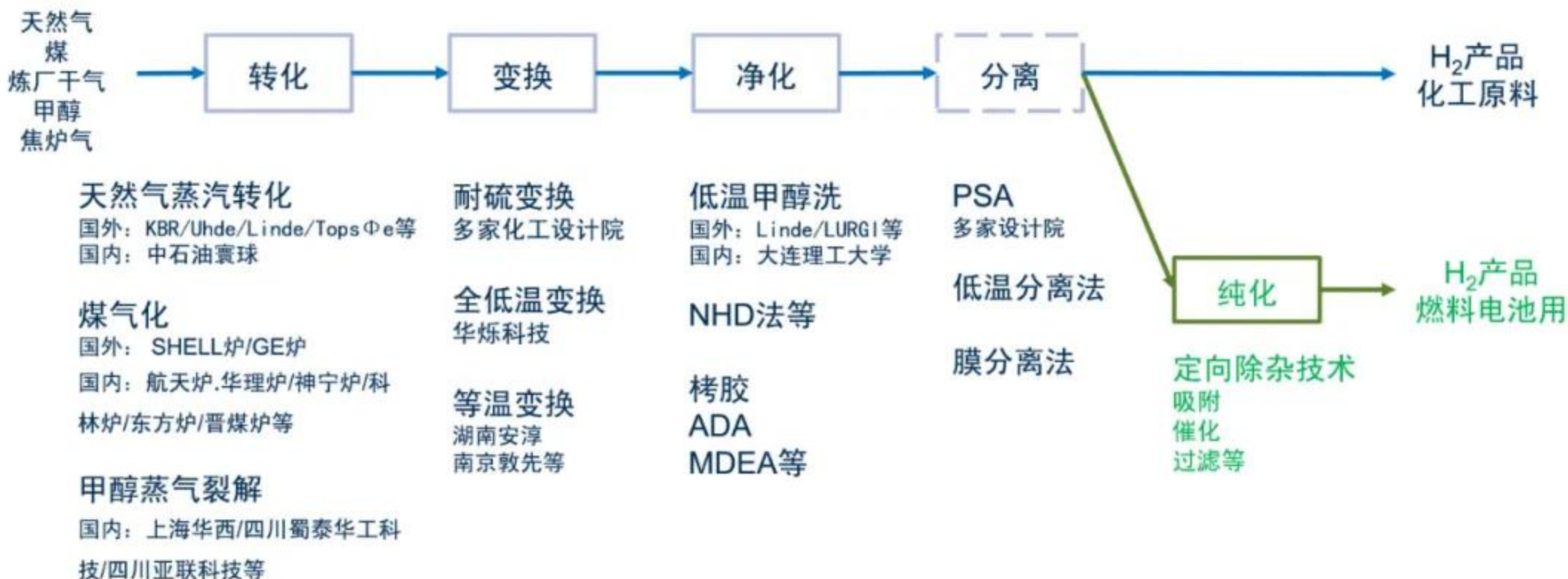


化工原料氢气——制氢技术成熟



我国石化化工产业制氢技术成熟，关键的原料转化、变换，净化、分离等均有先进、成熟、可靠的自主技术，整体技术和装备能够实现国产化。

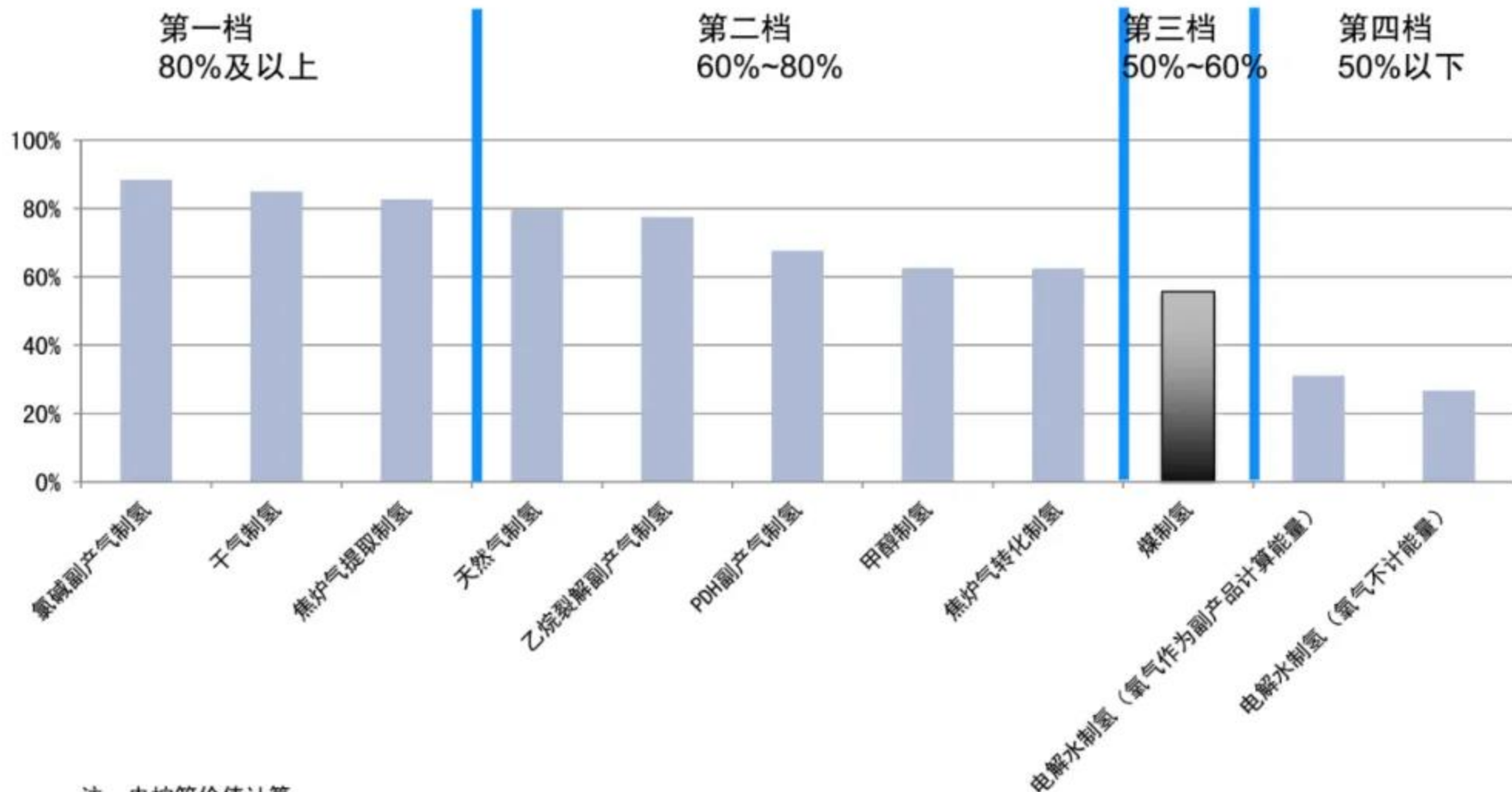
从化工原料氢气到氢能的纯化技术和装备有待开发和加强。



不同制氢路径存在四大差异



① 能效



注：电按等价值计算

② “三废”排放

排污强度由大到小：

煤制氢 > 天然气制氢 ~ 甲醇制氢 ~ 副产气制氢 > 电解水制氢

煤制氢典型项目执行大气达标排放时

SO₂ 166 g/kg

粉尘 18 g/kg

废渣 ~2 t/kg

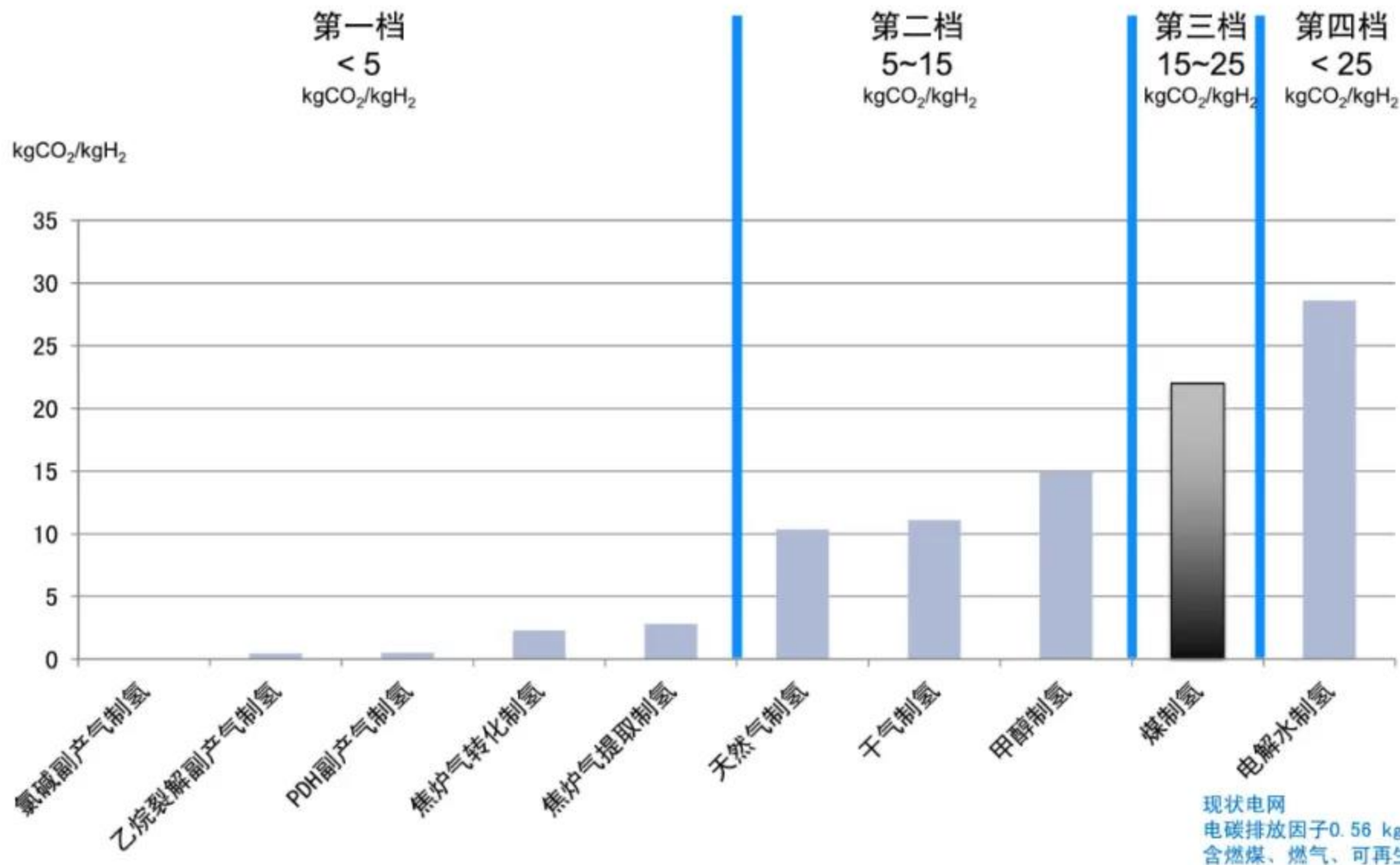
需要注意：

- ◆ 在化石能源的能源利用路线中，制氢过程的污染物排放仅为燃烧利用排放的1/5~1/10（考虑燃烧尾气脱硫脱硝），属于更加清洁的化石能源利用方式
- ◆ 从全生命周期角度，化石能源转化为氢也是污染物排放最低的利用方式

不同制氢路径存在四大差异



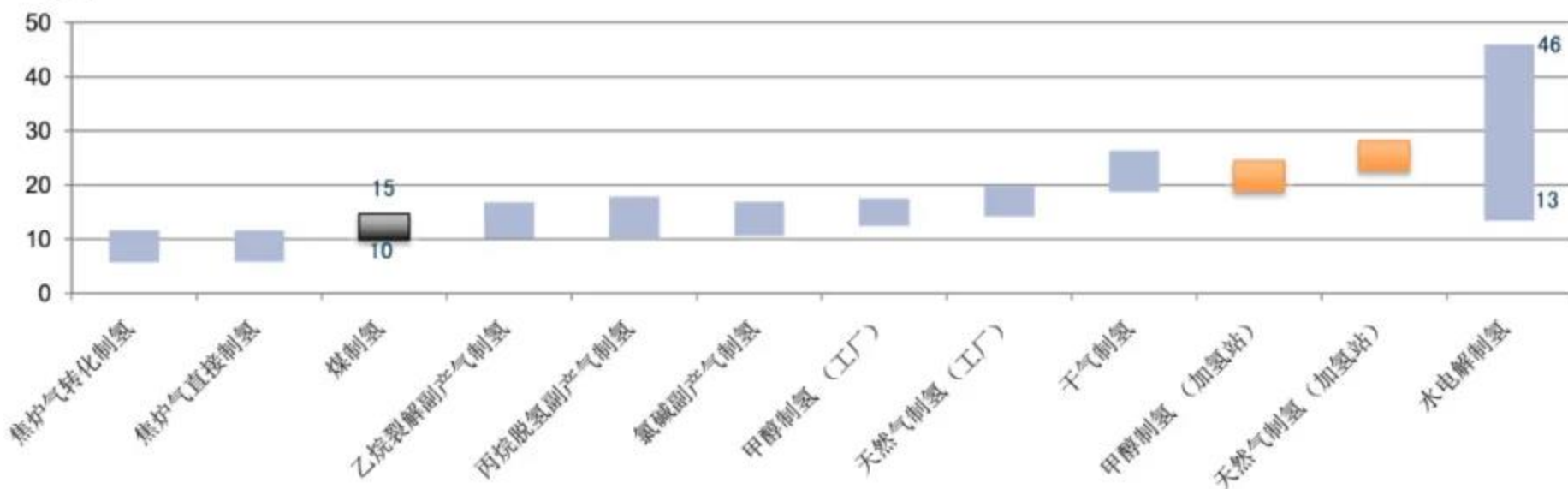
③ 碳排放



不同制氢路径存在四大差异

④ 经济性

元/kgH₂



焦炉气	原煤	乙烷裂解副产气	PDH副产气	氯碱副产粗氢气	甲醇	天然气	干气	甲醇	天然气	电
0.3	300	0.7	0.6	0.8	2000	1.0	3480	2000	2.0	0.10
0.8	800	1.2	1.1	1.3	3000	2.0	5800	3000	3.0	0.65
元/Nm ³	元/t	元/Nm ³	元/Nm ³	元/Nm ³	元/t	元/Nm ³	元/t	元/t	元/Nm ³	元/kwh

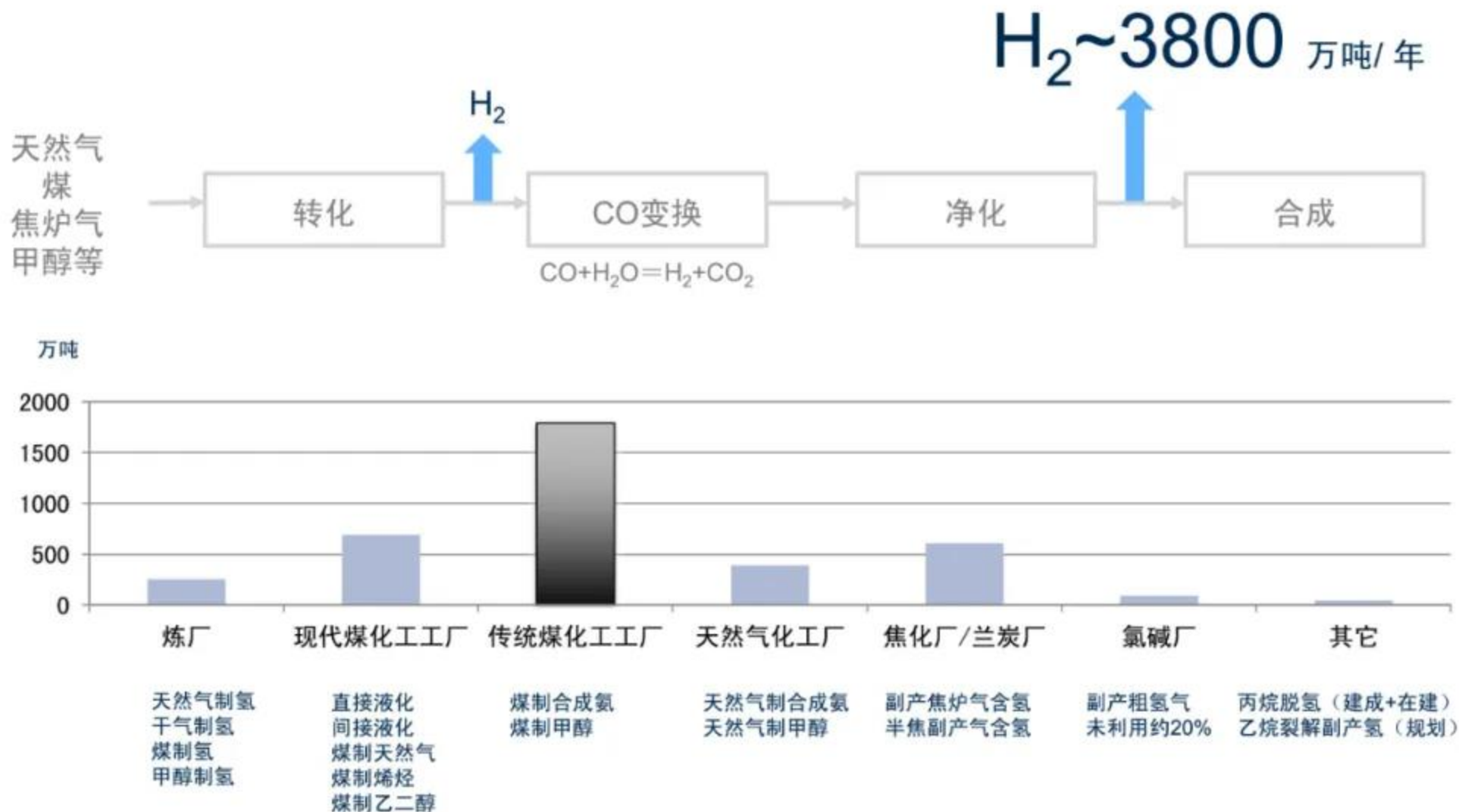
- ◆制氢成本与原料价格关系最大，控制氢能价格需要控制原料成本
- ◆因地制宜，选择合适的原料，可使氢气生产价格控制在15元/kg以下
- ◆工厂制氢已实现大型工业化，通过技术改进降低成本的空间不大

低电价情景：
 弃风弃水弃电
 部分资源地自发电
 燃煤电厂边际成本
 部分省份谷电



我国氢气产能大，分布广泛

石化化工产业的氢源可分为两个层次。一是原料转化后的混合气中氢气，二是经变换、净化进入合成装置前的氢气。变换反应大幅提高了氢气产量。



依托现有工厂制氢即可满足氢能需求



合成氨工厂
30万吨/年
中间氢气量的5%
加工成氢能



出租车 500辆
公交大巴 700辆
物流车 500辆



甲醇工厂
50万吨/年
中间氢气量的5%
加工成氢能



出租车 600辆
公交大巴 800辆
物流车 500辆



焦化厂
200万吨/年
外送焦炉气的5%
加工成氢能



出租车 100辆
公交大巴 300辆
物流车 100辆



同等条件下，氢能可接受价格高于化工原料氢价格，化工厂有动力转产氢能。



氢能供应的发展要点（一）

1. 氢能产业导入期，建议优先利用副产氢，允许采用天然气制氢、甲醇制氢、煤制氢，鼓励采用可再生能源制氢。
2. 各地方发展氢能产业，宜因地制宜，优先利用周边资源，不强求制氢路线的统一。
3. 东中部地区能源相对短缺，环境约束要求高，经济承受力强，可选择工业副产氢、甲醇制氢等，例如山东使用氯碱副产气制氢，山西使用焦炉气制氢；或由现有工厂抽出一股原料氢气纯化后供氢，例如山东的合成氨工厂、甲醇工厂、地炼厂等，河南的合成氨工厂、甲醇工厂等。
4. 西北地区有大量煤化工工厂、焦化工厂、氯碱工厂，西南地区有大量天然气合成氨、天然气甲醇工厂，也有煤化工工厂，均可成为氢源。
5. 现场制氢，原料运输路径成熟，运费较低，有条件时可进行示范。
6. 加强纯化技术和装备开发，控制纯化成本。

一. 氢能生产

二. 氢能储运

三. 加氢站

四. 车用氢能供应链展望

不同行业储氢特点



领域	消费特点	供应方式	储氢特点
化工	用量大 连续性要求高	基本全部为工厂内自产 以天然气、煤、甲醇等为原料，少量利用周边副产氢源	直接进下游装置 不需中间储存
加氢站	用量小 间断性需求	外部运输 现场水电解制氢、甲醇制氢等	储存要求较高 气态、液态均可
航天	用量小 间断性需求	外部运输 现场水电解制氢、甲醇制氢等	储存要求较高 液氢储存
电厂	用量小 间断性需求	外部运输 现场水电解制氢	储存要求一般 气态储存即可

储氢形式多样，技术水平不断提高



高压气瓶	低温液态	有机液态载体	金属材料
<p>技术成熟</p> <p>国外70MPa 我国35MPa</p> <p>目前采用第三代全复合纤维缠绕储氢容器</p> <p>未来高压碳纤维复合材料储氢容器</p> <p>压缩过程： 1.5MPa→20MPa</p> <p>电耗 1.6~1.7kwh/kg</p> <p>能效 ~95.3%</p> <p>碳排放 1.6~1.7kgCO₂/kg</p> <p>费用 4.6~4.7元/kg</p>	<p>发展较快</p> <p>国外：法液空公司、日本川崎重工、千代田等公司，国内：航天101所、中科富海公司</p> <p>关键装备：透平膨胀机、液氢调节阀等国产化水平低</p> <p>液化过程： 常压，-253℃</p> <p>电耗 10~15kwh/kg (理论4 kwh/kg)</p> <p>能效 70%~75%</p> <p>碳排放 10.6~14.3kgCO₂/kg</p> <p>费用 12~14元/kg</p>	<p>产业示范阶段</p> <p>国外：日本千代田以甲苯为介质，储氢量6.23wt%，理论脱氢焓占储氢热值的27.7%</p> <p>国内：武汉氢阳以多种物质混合组成的有机液体为介质，储氢量5.7wt%，理论脱氢焓占储氢热值的25.3%</p>	<p>产业化前期</p> <p>国内外重点关注 镁基固态储氢材料</p>



高压储氢设施



高压储氢设施

注：电价0.5元/kwh

运氢方式多样，随需求优化升级



	高压气氢	液氢	材料储氢
公路	长管拖车	槽罐车	容器
铁路		槽罐/罐式集装箱	容器
管道	中低压氢气		
轮船		槽罐	容器

公路长管拖车



管束：储氢容器
9个 $\Phi 0.5\text{m}$ 、长 $\sim 10\text{m}$ 钢瓶
设计工作压力：20MPa
环境温度： $-40\sim 60^\circ\text{C}$
充装体积：3500~4000 m^3
充装率：约80%
运氢质量：234~334kg/车
充气时间：1.5~2.5小时/车
卸车时间：1.5~3.0小时/车

公路液氢槽罐车



容积：45~65 m^3
按单车单罐65 m^3 、
充装率80%~85%计
单车单次可运液氢
3.7~4.0吨

氢气专用管道

① 湖南巴陵至长岭的氢气管道

全长42公里，跨越了市区、乡镇，穿越了铁路、高速公路、省道和河流

② 河南济源至洛阳的氢气管道

氢气与天然气混输的国际判定通常为X52钢级及以下安全，我国需开展“一线一策”研究

低温液氢铁路槽车

水平放置的圆筒形低温绝热槽罐

容积：120~200 m^3

单罐运氢能力可达7.4吨以上

第三代液氢罐式集装箱，容积更大，经济性更好，已具备生产能力

氢能储运环节具备成本降低空间



公路运输：时速低、路桥费高

- ◆ 长管拖车载氢容量420kg
100~200公里运费 9~12元/kg
- ◆ 液氢槽罐载氢容量4000kg
300~500公里运费14~15元/kg

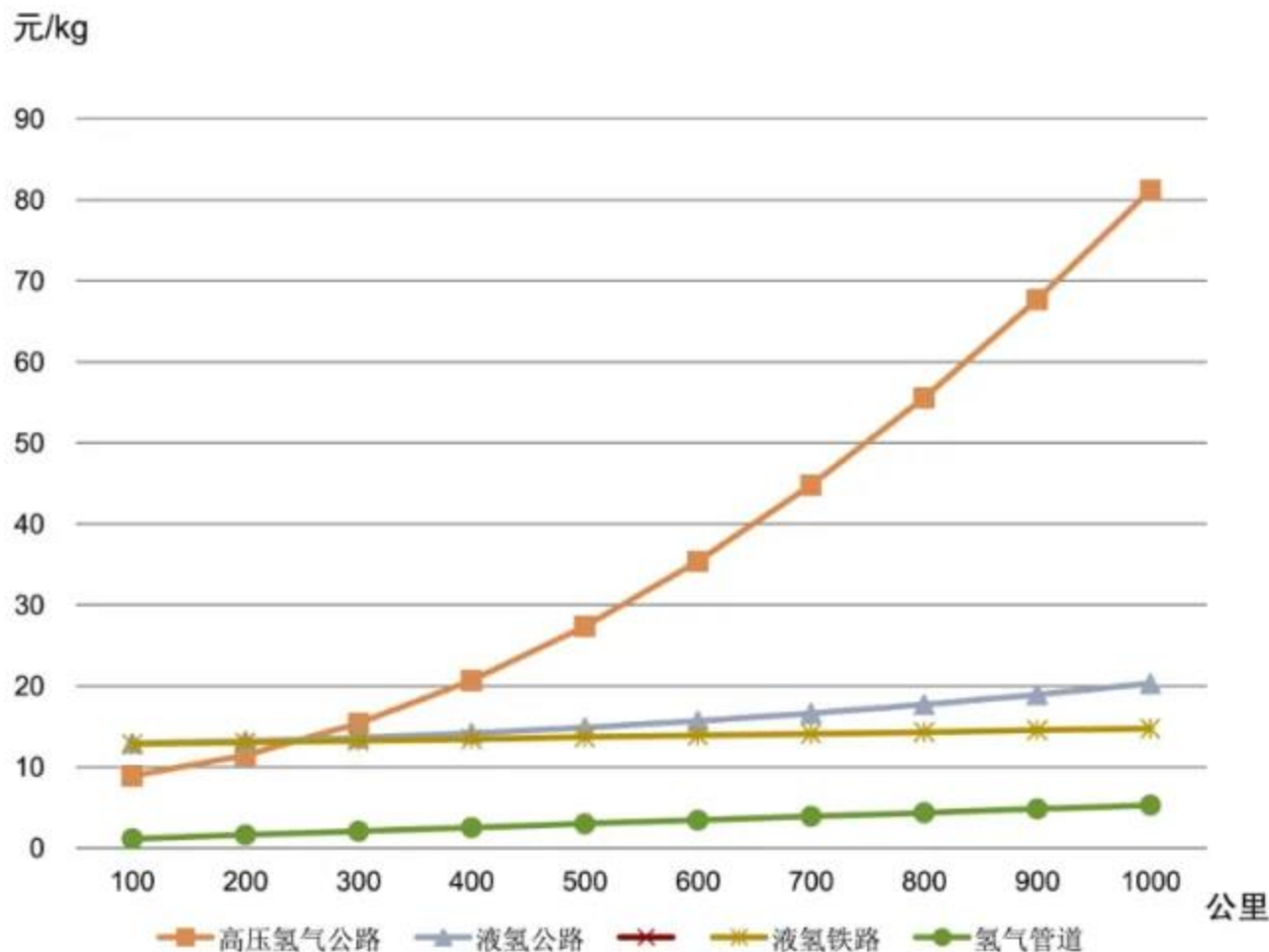
铁路运输：时速快、按整车计价

- ◆ 液氢新一代集装箱载氢容量
8400kg
100-1000公里运费 13-15元/kg

管道运输：规模经济和较高负荷时

1000公里运费可在 6元/kg以下

(分析条件：10万吨/年、负荷75%以上)



注：含压缩、液化费用

氢能供应的发展要点（二）



7. 氢能产业导入期，短距离可采用长管拖车；研发大容量高压力复合长管集装箱，提高单次运氢量。
8. 铁路运液氢已在航天领域积累了成熟经验，可推向民用领域，适时推进使用液氢新一代集装箱，发展铁路运氢。
9. 中长距离管道输氢技术成熟，并有跨越市区、乡镇，穿越铁路、高速公路、省道和河流的经验。氢能用量达规模后，适时布局氢气管道。
10. 氢气与天然气混输在我国还需针对天然气管线情况开展“一线一策”研究。
11. 优化储运形式，提高单次运氢量，氢能储运环节具有较大的降本空间。

一. 氢能生产

二. 氢能储运

三. 加氢站

四. 车用氢能供应链展望

加氢站建设要求



加氢站技术规范和技术要求

《加氢站技术规范》（GB 50516-2010）

《加氢站用储氢装置安全技术要求》（GB/T 34583-2017）

《加氢站安全技术规范》（GB/T 34584-2017）

加氢站形式

外供氢（off-site）加氢站

站内供氢（on-site）加氢站

加氢压力

35MPa

70MPa

加氢站的等级划分

等级	储氢罐容量（kg）	
	总容量	单罐容量
一级	$4000 < G \leq 8000$	≤ 2000
二级	$1000 < G \leq 4000$	≤ 1000
三级	$G \leq 1000$	≤ 500

加氢加气合建站的等级划分

等级	储氢罐容量（kg）		管道供气的加气站储气设施总容量（m ³ ）	加气子站储气设施总容量（m ³ ）
	总容量	单罐容量		
一级	$1000 < G \leq 4000$	≤ 1000	≤ 12	≤ 18
二级	$G \leq 1000$	≤ 500		

加氢加油合建站的等级划分

加油站油罐体积 加氢站等级	$120 < V \leq 180 \text{m}^3$	$60 < V \leq 120 \text{m}^3$	$30 < V \leq 60 \text{m}^3$	$V \leq 30 \text{m}^3$
一级	×	×	×	×
二级	×	一级	一级	一级
三级	×	一级	二级	三级

加氢站建设进展



据不完全统计，截至2019年1月底，我国运行中的加氢站共19座，最大连续加注能力合计达6200kg/d以上

序号	地区	最大连续加注能力 kg/d	加注站名称	现状
1	北京	200	北京永丰加氢站	运营
2	上海	350	上海安亭加氢站	运营
3	上海	750	江桥嘉氢实业	内部运营
4	郑州	200	郑州宇通加氢站	运营
5	大连	400	同济-新源加氢站	运营
6	佛山	500	佛罗路加氢站	运营
7	佛山	350	瑞晖佛山加氢站	运营
8	佛山	100	国鸿三水加氢站	运营
9	云浮	200	思劳加氢站	运营
10	云浮	400	罗定1#加氢站	运营
11	中山	1000	中山沙朗加氢站	运营
12	成都	400	郫都区加氢站	运营
13	新宾	40辆加注	辽宁新宾	运营
14	如皋	200	南通百应加氢站	运营
15	十堰	500	湖北十堰加氢站	运营
16	常熟	-	丰田TMEC加氢站	运营
17	武汉	300	武汉中极氢能	运营
18	张家口	50辆加注	亿华通加氢站	运营
19	台湾	350	台中加氢站	运营
	合计	6200		

加氢站补贴政策



在车用氢能导入期，加氢站尚未实现商业化运营，很多地方都出台了补贴政策。

省市	文件（发布时间）	日加氢规模（kg/d）	补贴金额（万元/站）
江苏如皋	《如皋市扶持氢能产业发展实施意见》 (2018.10)		对70MPa加氢设施建成运营后，给予加氢设备额20%补贴
广东佛山	《佛山市新能源公交车推广应用和配套基础设施建设财政补贴资金管理办法》 (2018.11)	固定站 350（含）-500（不含）	300
		固定站500（含）-1000（不含）	500
		固定站 ≥1000 撬装站 ≥200	500 150
江苏张家港	《张家港市氢能产业发展三年行动计划（2018-2020年）》（2018.12）	达到500（35MPa）或达到200（70MPa）	按加氢站设备投入金额30%补助，最高不超过300万元
		达到1000（35MPa）或达到400（70MPa）	按加氢站设备投入金额30%补助，最高不超过500万元
山东济南新旧动能转换先行区	《促进产业发展十条政策》（2019.3）		最高900万元
安徽六安	《六安市氢燃料电池产业发展意见》（征求意见稿）（2019.4）	达到400（35MPa）或达到200（70MPa）	按加氢站设备投入金额30%补助，最高不超过200万元
		达到1000（35MPa）或达到400（70MPa）	按加氢站设备投入金额30%补助，最高不超过400万元
河南	《河南省加快新能源汽车推广应用若干政策》（2019.5）		按主要设备投资总额的30%给予奖励
重庆	《关于印发重庆市2019年度新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》（2019.6）	固定站 500及以上	200
		固定站 350~500（不含）	100
		撬装站 不低于300	100
上海嘉定	《嘉定区鼓励氢燃料电池汽车产业发展的有关意见》（2019.6）	加氢压力≥70MPa（含兼容35MPa）	500
		加氢压力≥35MPa	200
浙江嘉兴	关于加快嘉兴氢能产业发展的若干意见（2019.7）		对加氢站（固定式）实际设备投资（经审计确认的不含税投资额）一次性20%补助

加氢站数量和经济性预测



预
测

			2020年	2025年	2030年
《节能与新能源汽车技术路线图（2016）》	车辆规模	台	5000	50000	1000000
	加氢站	座	100	300	1000
	车辆型式				
	公交车、大巴	台	60%	25%	20%
	重卡30吨	台		5%	8%
	轻卡4.5吨	台	40%	20%	12%
	出租车	台		45%	45%
	私家车	台		5%	15%
	合计	台	60%	25%	20%
	行驶里程、百公里氢耗				
	氢能需求	万吨	1.2	9.1	157
	加氢站配置			二级站 三级站为主	一级站为主 或达2000个
	加氢站运行费用 (含合理利润)				10~13元/kg (外供氢模式)

推荐加氢加油合建站 或 加氢加气合建站，二级站、三级站为主

12. 加氢站布局以大中型城市为主，以合建站为主，尽可能与周边氢源相结合，缩短运输距离。
13. 深入研究合建站的布局、现有加油站、加气站的技术升级改造、投资、运行费用、管理方式等。
14. 一个城市是否发展适合发展氢能产业，应综合考虑氢源和用户消费能力，运用高效储运方式，以尽快实现产业链商业化运行为目标。

一. 氢能生产

二. 氢能储运

三. 加氢站

四. 车用氢能供应链展望

就近获取氢源

化工厂



焦炉气直接提氢/转化制氢
氯碱副产气制氢
丙烷脱氢副产气制氢
合成氨厂/甲醇厂
甲醇制氢

优化储运方式

导入期就近 长管拖车



中长期规模化氢气管道



中长期大容量储罐 铁路



加氢站商业化运营

加氢站
35MPa升级至70MPa



车前能效
52%~77%

H₂价格
< 35 元/kg
当前价格体系

FCV车端决定着车用氢能发展速度和程度



车辆成本:

当前FCV车处于初期发展阶段，车辆成本普遍偏高

例：某FCV乘用车 价格50万元，行驶里程15万公里（受燃料电池寿命所限）

VS 同档次汽油乘用车 价格17万元，行驶里程60万公里

某9米FCV客车 价格170万元，行驶里程12万公里（受燃料电池寿命所限）

VS 同档次柴油客车 价格55万元，行驶里程40万公里

发展方向：购车费用大幅下降，燃料电池使用寿命延长

运行费用:

按当前汽柴油价格水平计算，FCV乘用车与汽油乘用车的竞争价格约57元/kg

FCV公交车与柴油客车的竞争价格约37元/kg

氢气价格低于上述价格时，FCV车具备运行费用竞争力

发展方向：优化储运加注体系，加速氢源和储运畅通，提高加氢站运行负荷

车用氢能供应链的投资领域



我国氢能产业刚刚起步，未来发展空间大，有待发展的领域众多。建议以商业化运营为初心和目标，选择适合自身特长和需要的领域，适时、适度投资。

制备：

氢气纯化定向除杂技术、装备和技术服务

氢气质量检测技术、设备和技术服务

储运：

氢气管道设计、运行和工程服务

大容量储罐技术和装备制造

新一代液氢集装箱技术和装备制造

新一代车载储载瓶及相关材料的生产

基础设施：

加氢站建设相关技术、设备、设施、工程服务

现有加油加气站改造技术、设备、设施、工程服务

供给：产能充分，技术成熟，形式多样，分布广泛，成本较低，宜因地制宜，不强求统一；工厂制氢成本与原料价格紧密相关，技术进步带来的节本空间不大

储运：形式多样，技术水平不断提高，日益满足便利性、安全性、经济性要求
具备成本下降空间

应用（车用氢能）：车用氢能正在快速起步

燃料电池和燃料电池车的技术进步决定着车用氢能的发展速度和程度

加氢站基础设施应统筹布局，以合建站为主

产业定位建议：氢能作为新型的清洁高效低碳能源利用路线，稳步推进技术开发和产业化