



氢气成本能降到几何？——储运篇

2019.08.19

司伟（分析师）	于栋（分析师）
电话：020-88832292	020-88836136
邮箱：si.wei@gzgzhs.com.cn	yu.dong@gzgzhs.com.cn
执业编号：A1310518080001	A1310518100001

● 目前物理储氢技术最为成熟，化学储氢技术是未来重要发展方向

从整体发展情况看，目前国内的储氢技术发展相对落后，高压气态储氢技术落后较大，储氢量低得多，目前其质量储氢密度大约为 4.0~5.7%。具体表现在，国外已经将 70MPa 的储氢罐已应用到燃料电池汽车上，而国内的储氢罐关键材料仍依赖进口；低温液氢技术、吸附储氢技术与国外先进水平存在较大差距，产业化相距甚远，其质量储氢密度大于 5.7%。

从技术成熟方面来看，高压气态储氢最成熟、成本最低，是现阶段主要应用的储氢技术，在基本能与传统加油方式相媲美，但对于更高的车载储氢要求如储氢量、安全性等，高压气态储氢技术难以满足需求。

从质量储氢密度上看，有机液体储氢质量储氢技术密度相对较高，大于 5.7%且最高可达到 67%，但目前存在成本高等问题。从成本方面来看，金属氢化物储氢及有机液体储氢成本均较高，还处于攻克研发阶段，不适合目前小批量的应用。

预计化学方法储氢是未来重要的发展方向，除此之外，复合储氢技术，如低温高压储氢技术和高压金属氢化物储氢罐，也逐渐被企业考虑和使用。

● 当前运输方式以气氢拖车为主，远期将转向低成本的管道运输

运氢方式主要有：气氢拖车运输、气氢管道运输和液氢罐车运输。

气氢拖车运输技术成熟，是国内最普遍的运氢方式，但运输效率仅为 1-2%，适用于小规模、200km 内的短途运输。一台长管拖车的成本约为 160 万元。当运输距离 100km 时，运输成本为 8.66 元/kg。随着距离增加，运输成本受人工费和油费推动显著上升。若国内运输压力标准由 20MPa 提升至 50MPa，100km 的运输成本可降至 5.60 元/kg。

气氢管道运输适合大规模、长距离运氢，但初始投资较大，每公里管道投资额 584 万元。当前国内氢气管网数量有限，将氢气混入天然气管道中进行运输可解决基础设施不足的问题，德、法、西班牙等国家已有应用。运输距离 100km 时，管道运输成本仅为 1.20 元/kg，在三种方式中成本最低。但其成本受运能利用率影响，当运能利用率低于 20%时将不具备成本优势。

液氢槽车运输效率高，同样适用于大规模、长距离运氢，与管道运输相比灵活性更高。一台液氢槽车的投资额为 50 万美元。由于液化成本占总成本的 60~70%，因此距离变化对成本影响不明显。运输距离为 100km 时，液氢罐车的运输成本为 13.57 元/kg，距离增加至 500km 时成本为 14.01 元/kg。虽然国外应用广泛，国内由于缺乏民用标准，该方法仅少部分应用于航天领域。标准完善后该方法将成为长途运输的主力之一。

● 投资建议

迎合未来发展趋势的企业将有发展潜力，建议关注国内领先的液氢生产、储运企业国富氢能，积极布局氢能产业链、研发固态储氢技术的加氢站企业上海氢枫。

风险提示：政策变化不及预期、氢能源储运安全性风险

相关报告

- 1、氢气成本能降到几何？——制氢篇
- 2、燃料电池任重而道远，降成本是未来发展关键
- 3、机遇已至——解析 IEA《氢能的未来》

广证恒生

做中国新三板研究极客





目录

目录	2
图表目录	3
1. 储氢：控制氢气成本的重要环节	4
1.1 物理储氢技术：目前高压气态储氢应用最广泛	4
1.1.1 高压气态储氢：技术最成熟、使用最广泛	4
1.1.2 低温液态储氢：未来重要发展方向	5
1.2 化学储氢技术：处于技术攻克阶段	6
1.2.1 有机液态储氢：优点明显但技术难度高	6
1.2.2 其他化学储氢技术：研发难度大但极具前景	7
1.3 其他储氢技术	7
1.3.1 吸附储氢技术：技术待提高，发展前景好	7
1.3.2 水合物法储氢技术	8
2. 运氢：不同运输方式成本差异大	9
2.1 长管拖车运输：当前主流运氢方式，经济性受距离制约	10
2.1.1 长管拖车是最普遍的运氢方式，但运输效率不高	10
2.1.2 长管拖车运氢成本测算	11
2.1.3 提高管束工作压力可降低运氢成本	12
2.2 管道运输：具有发展潜力的低成本运氢方式	13
2.2.1 我国氢气管网发展不足，建设提速	13
2.2.2 氢气管道造价高、投资大，天然气管道运氢可降低成本	14
2.2.3 管道运氢成本测算	15
2.3 液氢罐车运输：适合长距离运输，国内外应用差距明显	17
2.3.1 液氢运输相比气氢效率更高，但国内应用程度有限	17
2.3.2 液氢槽车运输成本测算	17
2.4 发展趋势：成本最低的管道运输是未来发展方向	19
3. 重点关注标的简介	19
3.1 国富氢能：国内领先的液氢生产、储运企业	19
3.2 上海氢枫：依托加氢站业务优势，积极布局产业链上下游	19



图表目录

图表 1 部分储氢方法优缺点	4
图表 2 储氢瓶类型及相关数据	5
图表 3 低温液态储氢罐	6
图表 4 常用的有机液体储氢材料及其性能	6
图表 5 常用金属合金储氢材料及特点	7
图表 6 常用碳质材料储氢特点	8
图表 7 不同水合物平衡条件区间	9
图表 8 部分储氢技术成本对比	9
图表 9 不同运氢方法对比	10
图表 10 北京加氢站内的长管拖车	10
图表 11 长管拖车运氢工作流程	11
图表 12 长管拖车运氢成本测算	11
图表 13 运输成本随距离增加显著上升，百公里运输成本下降	12
图表 14 人工费与油费是推动成本上升的主要因素（单位：元/kg）	12
图表 15 管束工作压力提高时成本下降（单位：元/kg）	13
图表 16 美国、欧洲氢气管道最为发达（单位：km）	13
图表 17 国内两条氢气管网参数对比	14
图表 18 其他国家天然气管道中混合氢气的体积限制在 10%以内	15
图表 19 管道运氢成本测算	15
图表 20 管道运氢成本与运输距离呈正相关（单位：元/kg）	16
图表 21 运能利用率下降时管道运氢成本显著上升	16
图表 22 北京特种工程研究院 45m ³ 液氢储槽车	17
图表 23 液氢槽车运输成本测算	18
图表 24 液氢槽车运输成本在距离变化下变动幅度很小（单位：元/kg）	18
图表 25 管道运输在三种方式中成本最低（单位：元/kg）	19

1. 储氢：控制氢气成本的重要环节

氢气有望在未来成为我国重要的能源之一，使用范围较广。储氢技术作为氢气从生产到利用过程中的桥梁，是指将氢气以稳定形式的能量储存起来，以方便使用的技术。不同的储氢技术对氢气的运输方式和使用成本都有重要影响，下面我们将不同的储氢技术进行介绍。首先我们将主要的储氢方式分为物理储氢技术、化学储氢技术和其他储氢技术。

图表1 部分储氢方法优缺点

储氢技术	质量储氢密度 (wt%)	优势	劣势
高压气体储氢	4.0~5.7	成本低、能耗少、放氢速度快、发展较成熟	体积储氢密度极低
低温液化储氢	>5.7	体积比容量大，储氢容器体积小	能耗高，设备要求高成本高，国内民用还未形成
金属吸附储氢	1~4.5	储氢体积密度大，体系可逆，运输方便，成本低	热交换较困难，加加/脱氢需在较高温度下进行
有机液体储氢	>5.7	储氢量大，运输安全方便，可循环使用，能耗低	装置费用高，技术复杂，脱氢温度高，效率低，有副产物

资料来源：EVTank、香橙会研究所、广证恒生

1.1 物理储氢技术：目前高压气态储氢应用最广泛

物理储氢技术是指单纯的通过改变储氢条件提高氢气密度，或通过物理吸附作用将氢气储存在金属合金等储氢材料中的技术。其中，高压气态储氢是目前发展最成熟、应用最广泛的物理储氢技术。

1.1.1 高压气态储氢：技术最成熟、使用最广泛

高压气态储氢技术是指在高压条件下，将氢气压缩并注入储氢瓶中，让氢气以高密度气态形式储存的一种技术。国外研究表明，氢气质量密度随压力增加而增加，在30~40MPa时，氢气质量密度增加较快，而压力70MPa以上时，氢气质量密度变化很小。因此大多储氢瓶的工作压力在35~70MPa范围内。

目前，高压气态储氢瓶根据其材料不同主要分为四种类型：纯钢制金属瓶(I型)、钢制内胆纤维缠绕瓶(II型)、铝内胆纤维缠绕瓶(III型)和塑料内胆纤维缠绕瓶(IV型)。由于前两种储氢瓶的质量储氢密度较低，且氢脆问题严重（氢脆是溶于钢中的氢，聚合为氢分子，造成应力集中，超过钢的强度极限，在钢内部形成细小裂纹的现象），难以满足车载储氢系统的要求。因此车载储氢瓶主要是用后两种类型的储氢瓶。III型、IV型瓶由内胆、碳纤维强化树脂层及玻璃纤维强化树脂层组成，气瓶质量较轻，单位质量储氢密度有所提高。目前国外已经实现IV型储氢瓶在车用领域70MPa的应用，但国内IV型储氢瓶使用受到限制。国内目前主要以35MPa III型瓶为主，但70MPa III型瓶的使用标准已经在2017年发布的GB T 35544—2017《车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶》中有所规定，并开始在轿车中小范围的使用。

固定式高压气态储氢主要应用在固定场所，如制氢厂、加氢站以及其他需要储存高压氢气的地方。目前主要使用大直径储氢长管和钢带错绕式储氢罐来储氢。

大直径储氢长管方面，石家庄安瑞科气体机械有限公司2002年在国内率先研制成功20/25MPa大容积



储氢长管，并应用于大规模氢气运输。继而开发的45MPa储氢瓶组，已成功用于国内众多加氢站。长管气瓶材料为铬钼钢4130X，强度高，具有良好的抗氢脆能力。

钢带错绕式储氢罐目前有45Mpa和98Mpa两种型号，如浙大与巨化集团制造生产的两台国内最高压力等级98MPa立式高压储罐，安装在江苏常熟的丰田加氢站中。

尽管高压气态储氢是目前使用最广泛且技术最成熟的技术，但其缺点在于储氢量少，体积比容低。即使是太空用的钛瓶，其储氢重量也仅为瓶重量的5%。并且高压气态储氢受压力和储氢瓶材料影响较大，且安全性能相对较差，有泄漏、爆炸等安全隐患。

图表2 储氢瓶类型及相关数据

	I 型	II 型	III 型	IV 型
材料	纯钢制金属瓶	钢制内胆纤维缠绕瓶	铝内胆纤维缠绕瓶	塑料内胆纤维缠绕瓶
工作压力	17.5~20MPa	26.3~30MPa	30~70MPa	70MPa 以上
介质相容性	有氢脆 有腐蚀性	有氢脆 有腐蚀性	有氢脆 有腐蚀性	有氢脆 有腐蚀性
重容比 (kg/L)	0.9~1.3	0.6~0.95	0.35~1	0.3~0.8
寿命	15 年	15 年	15~20 年	15~20 年
成本	低	中等	最高	高

资料来源：北京市氢燃料电池发动机工程技术研究中心、广证恒生

1.1.2 低温液态储氢：未来重要发展方向

低温液态储氢是将氢气压缩后冷却到-253摄氏度以下，使之液化并存放在绝热真空储存容器中的一种储氢技术。由于液态氢具有很高的密度，在常温、常压下液氢的密度是气态氢的800倍以上，因此将氢气液化后能够使得储运简单，且体积比容大。但其缺点在于，将气态的氢气转化成液态的氢气较困难，根据一览众咨询的调研，要液化1kg的氢气需要消耗4-10千瓦时的电量，并且为了储存液态氢气，需要能够耐受和保持超低温的特殊容器，因此成本高昂。

目前，国外有70%左右的氢气通过液态形式运输，日本、美国、德国等国家已经将液氢的运输成本降低到高压氢气的八分之一左右，然而目前国内技术还未成熟、设备成本高且暂时缺乏液氢相关的技术标准和政策规范，因此国内布局液氢的企业较少，应用还仅限于航天行业，在民用方面还未实现使用。但根据国外已有经验，低温液态储氢将是未来重要的发展方向，且发展空间大。

为了避免或减少氢气的蒸发损失，低温液态储氢技术不仅对液态储氢罐的材质有要求，还需要配套的严格的绝热方案和冷却设备，因此低温液态储氢罐容积一般较小，氢气质量密度为10%左右。液态储氢罐一般分为内外两层，内胆承装低温的液氢通过支撑物放置在外壳中心，支撑物可由玻璃纤维带支撑，具有良好的绝热性能。夹层中间填充多层镀铝涤纶薄膜，以减少热辐射，在薄膜之间可以放绝热纸来增加热阻同时吸附低温下的残余气体。之后用真空泵抽取夹层内的空气制造高真空状态来避免气体对流漏热。一般情况下，储氢罐内胆使用铝合金、不锈钢等材料制成，外壳使用低碳钢、不锈钢等材料，也可以使用铝合金材料来减轻容器重量。目前，世界上最大的低温液态储氢罐位于美国的肯尼迪航天中心，其容积高达1120000L。

图表3 低温液态储氢罐



资料来源：特莱姆官网、广证恒生

1.2 化学储氢技术：处于技术攻克阶段

化学储氢技术是利用储氢介质在一定条件下能与氢气反应生成稳定化合物，再通过改变条件实现放氢的技术，主要包括有机液体储氢、液氨储氢、配位氢化物储氢、无机物储氢与甲醇储氢。

1.2.1 有机液态储氢：优点明显但技术难度高

有机液态储氢技术基于不饱和液体有机物在催化剂作用下进行加氢反应，生成稳定化合物，当需要氢气时再进行脱氢反应。常用的不饱和液体有机物及其性能如下。

图表4 常用的有机液体储氢材料及其性能

介质	熔点/K	沸点/K	储氢密度/%
环己烷	279.65	353.85	7.19
甲基环乙烷	146.55	374.15	6.18
吡啶	517.95	628.15	6.7
乙基吡啶	341.15	563.15	5.8
反式-十氢化萘	242.75	458.15	7.29

资料来源：储氢技术研究现状及展望、广证恒生

有机液体储氢技术具有较高储氢密度，通过加氢、脱氢过程可实现有机液体的循环利用，成本相对较低。同时，常用材料(如环己烷和甲基环己烷等)在常温常压下，即可实现储氢，安全性较高；催化加氢和脱氢反应可逆，储氢介质可循环使用。该方法便与大量的储存和运输，安全性能好。

然而有机液体储氢也存在很多缺点，例如，必须配备的加氢、脱氢装置成本较高；脱氢反应效率较低且易发生副反应使氢气纯度不高；脱氢反应常在高温下进行，催化剂易结焦失活等问题。并且由于冷启动和补充脱氢反应能量需要燃烧少量有机化合物，因此该技术很难实现“零排放”目标。

有机液体储氢技术在中国已有所成就,2017年,中国扬子江汽车与氢阳能源联合开发了一款城市客车,利用有机液体储氢技术,加注30L的氢油燃料,可行驶200km。并且有机液体储氢技术的理论质量储氢密度最接近DOE的目标要求,提高低温下有机液体储氢介质的脱氢速率与效率、催化剂反应性能、改善反应条件、降低脱氢成本是进一步发展该技术的关键。

1.2.2 其他化学储氢技术：研发难度大但极具前景

液氨储氢技术是将氢气与氮气反应生产液氨，将液氨作为氢能的载体进行利用。液氨在常压、400℃条件下即可得到氢气，常用的催化剂包括钌系、铁系、钴系与镍系，其中钌系的活性最高。2015年，液氨首次作为直接染料用于燃料电池中，其燃烧发电效率为69%，与液氢系统效率70%相近。液氨储氢技术优点在于，液氨燃烧产物为氮气和水，对环境无害且液氨的储存条件较为温和；其缺点在于，有报告称，体积分数仅为 1×10^{-6} 的未分解液氨混入氢其中，就会造成染料电池的严重恶化。

配位氢化物储氢是利用碱金属与氢气反应生成离子型氢化物，之后在一定条件下分解出氢气的技术。最初的配位氢化物是由日本研发的氢化硼钠和氢化硼钾，但这两种氢化物存在脱氢过程中温度较高等问题，因此进一步研发了以氢化铝络合物为代表的新一代配合物储氢材料。目前主要的研发方向是改善配位氢化物低温放氢性能和对材料进行回收再利用。

甲醇储氢技术是指将一氧化碳与氢气在一定条件下反应生成液体甲醇，将其作为氢能的载体进行利用。在一定条件下，甲醇可分解得到氢气用于燃料电池，同时，甲醇还可直接用作燃料。2017年，北京大学的科研团队研发出一种铂-碳化钨双功能催化剂，可以使甲醇与水反应，释放出甲醇中的氢并活化水中的氢，从而得到更多的氢气。此外，甲醇的储存条件为常温常压，方便运输。

1.3 其他储氢技术

除了常见的物理储氢技术和化学储氢技术外，还有一些其他类型的储氢技术，在这部分主要介绍吸附储氢和水合储氢两种储氢技术。前者是利用吸附剂与氢气作用，实现高密度储氢；后者是利用氢气生成固体水合物，提高单位体积氢气密度。

1.3.1 吸附储氢技术：技术待提高，发展前景好

吸附储氢所利用的吸附材料主要包括金属合金、碳质材料和金属框架物等。

金属合金储氢是利用吸氢金属A和对氢不吸附或吸附量较小的金属B制成合金晶体，在一定条件下，金属A作用强，氢分子被吸附进入晶体，形成金属氢化物。之后通过改变条件，减弱金属A的作用，实现氢分子的释放。其中A金属多为镁、钛或稀土元素，B金属多为铁、钴、镍和铜铝等。金属合金储氢的特点是氢以原子状态储存于合金中，安全性较高。但这类材料的氢化物过于稳定，热交换比较困难，加氢和脱氢过程只能在较高温度下进行。相同体积下，固态低压合金储氢装置，压力降低为高压气瓶的1/7，有效储存的氢气质量为高压气瓶的3倍。常用的金属合金类型及其代表物如下。

图表5 常用金属合金储氢材料及特点

类别	代表合金	优点	缺点	储氢密度/%
A_2B	Mg ₂ Ni	储氢量高	条件苛刻	3.6
AB	FeTi	价格低	寿命短	1.86
AB_5	LaNi ₅	压力低、反应快	价格高、储氢密度低	1.38
AB_2	Zr基、Ti基	无需退火除杂、适应性强	初期活化难、易腐蚀、成本高	1.45

$AB_{3\sim 3.5}$	LaNi ₃	易活化、储氢量大	稳定性差、 寿命短	1.47
------------------	-------------------	----------	--------------	------

资料来源：储氢技术研究现状及展望、广证恒生

除此之外，碳质材料也可以作为氢气的吸附材料。一些碳质材料，如表面活性炭、石墨纳米纤维、碳纳米管等，在一定条件下对氢的吸附能力较强，因此可以用于吸附储氢。碳质材料由于具有较大的比表面积以及强吸附能力，氢气质量密度普遍较高。同时，碳质材料还具有质量轻、易脱氢、抗毒性强、安全性高等特点。但目前碳质材料吸附还存在缺点，例如机理认识不完全、制备过程较复杂、成本较高等。预计未来的研究方向主要集中在相关机理的研究；制备、检测工艺的优化；高储量、低成本碳材料的探索以及生产过程的大规模工业化等方面。常用的碳质材料及其储氢特点如下。

图表6 常用碳质材料储氢特点

类别	缩写	温度/K	压力/MPa	质量密度/%
活性炭	AC	77	2~4	5.3~7.4
		93	6	9.8
石墨纳米纤维	GNF	室温	7.04	3.8
		25	12	67
碳纳米纤维	CNF	室温	11	12
		室温	10	10
碳纳米管	CNT	80	12	8.25
		室温	0.05	6.5

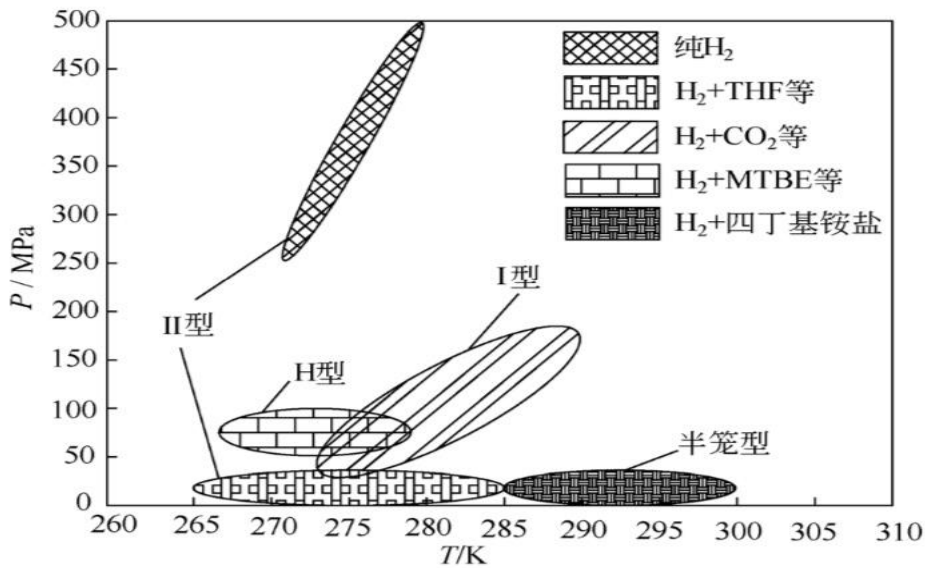
资料来源：储氢技术研究现状及展望、广证恒生

1.3.2 水合物法储氢技术

水合物法储氢技术是指将氢气在低温、高压的条件下，生成固体水合物进行出巡。由于水合物在常温、常压下即可分解，因为，该方法的脱氢速度快且能耗低。同时，水作为其储存介质，具有成本低、安全性高等特点。不同类型水合物储氢所要求的压力和温度都不相同，具体实践时需要区分操作。

然而水合物法储氢技术虽然在理论上可行，但实验结果表明其储氢密度未达到预期。

图表7 不同水合物平衡条件区间



资料来源：储氢技术研究现状及展望、广证恒生

根据上述对于物理、化学和其他储氢方法的讨论，从整体发展情况来看，我们认为目前国内的储氢技术发展相对落后，高压气态储氢技术落后较大，储氢量低得多，具体表现在，国外已经将70MPa的储氢罐已应用到燃料电池汽车上，而国内的储氢罐关键材料仍依赖进口；低温液氢技术、吸附储氢技术与国外先进水平存在较大差距，产业化相距甚远。

从技术成熟方面来看，高压气态储氢最成熟、成本最低，是现阶段主要应用的储氢技术，在基本能与传统加油方式相媲美，但对于更高的车载储氢要求如储氢量、安全性等，高压气态储氢技术难以满足需求。从质量储氢密度上看，有机液体储氢质量储氢技术密度相对较高，但目前存在成本高等问题。从成本方面来看，金属氢化物储氢及有机液体储氢成本均较高，还处于攻克研发阶段，不适合目前小批量的应用。

预计未来化学方法储氢是重要的发展方向，除此之外，复合储氢技术，如低温高压储氢技术和高压金属氢化物储氢罐，也逐渐被企业考虑和使用。

图表8 部分储氢技术成本对比

储氢技术 (元/GJ)	固定成本	能耗	使用成本	总成本
高压气态储氢 (20MPa)	56	12	6	74
低温液化储氢	16	106	10	132
金属氢化物吸附	54	37	4	95

资料来源：EVTank、伊维智库、广证恒生

2. 运氢：不同运输方式成本差异大

氢气从制氢厂到加氢站需要经历运输环节。氢气的运输方式可根据氢气状态不同分为气态氢气(GH2)输送、液态氢气(LH2)输送和固态氢气(SH2)输送。选择何种运输方式，需基于以下四点综合考虑：运输过程的能量效率、氢的运输量、运输过程氢的损耗和运输里程。在用量小、用户分散的情况下，气氢通常通过储氢容器装在车、船等运输工具上进行输送，用量大时一般采用管道输送。液氢运输多用车船等运输工

具。

图表9 不同运氢方法对比

运氢方式		运输量	应用情况	优缺点
气态	集装箱	5~10kg/格	广泛用于商品氢运输	技术成熟，运输量小，适用于短距离运输
	长管拖车	250~460kg/车	广泛用于商品氢运输	技术成熟，运输量小，适用于短距离运输
	管道	310~8900kg/h	国外处于小规模发展阶段，国内尚未普及	一次性投资高，运输效率高，适合长距离运输，需要注意防范氢脆现象
液态	槽车	360~4300kg/车	国外应用较为广泛，国内目前仅用于航天及军事领域	液化能耗和成本高，设备要求高，适合中远距离运输
	有机载体	2600kg/车	试验阶段，少量应用	加氢及脱氢处理使得氢气的高纯度难以保证
固态	储氢金属	24000kg/车	试验阶段，用于燃料电池	运输容易，不存在逃逸问题，运输的能量密度低

资料来源：《加氢站氢气运输方案比选》、网络资料整理、广证恒生

虽然氢气运输方式众多，但从发展趋势来看，我国主要以气氢拖车运输 (tube trailer)、气氢管道运输 (pipeline) 和液氢罐车运输 (liquid truck) 三种运氢方式为主，本文将主要分析这三种方式的成本。

2.1 长管拖车运输：当前主流运氢方式，经济性受距离制约

2.1.1 长管拖车是最普遍的运氢方式，但运输效率不高

长管拖车由动力车头、整车拖盘和管状储存容器 3 部分组成，其中储存容器是将多只（通常 6-10 只左右）大容积无缝高压钢瓶通过瓶身两端的支撑板固定在框架中构成，用于存放高压氢气。

图表10 北京加氢站内的长管拖车

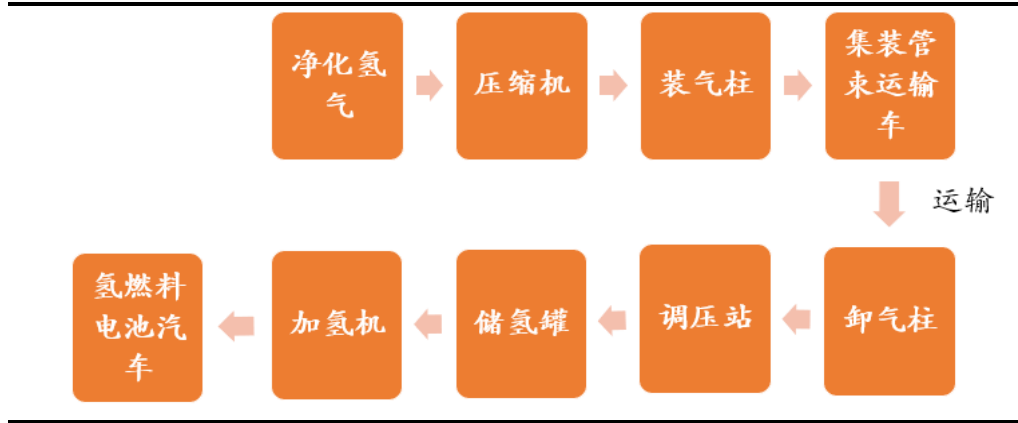


资料来源：亿华通官网、广证恒生

长管拖车是国内最普遍的运氢方式。这种方法在技术上已经相当成熟。但由于氢气密度很小，而储氢容器自重大，所运输氢气的重量只占总运输重量的 1~2%。因此长管拖车运氢只适用于运输距离较近(运输半径 200 公里)和输送量较低的场景。

其工作流程如下：将净化后的产品氢气经过压缩机压缩至 20MPa，通过装气柱装入长管拖车，运输至目的地后，装有氢气的管束与车头分离，经由卸气柱和调压站，将管束内的氢气卸入加氢站的高压、中压、低压储氢罐中分级储存。加氢机按照长管拖车、低压、中压、高压储氢罐的顺序先后取出氢气对燃料电池车进行加注。

图表11 长管拖车运氢工作流程



资料来源：《集装管束运输车在氢气运输中的应用》、广证恒生

该方法的运输效率较低。国内标准规定长管拖车气瓶公称工作压力为 10-30MPa，运输氢气的气瓶多为 20MPa。以上海南亮公司生产的 TT11-2140-H2-20-I 型集装管束箱为例，其工作压力为 20MPa，每次可充装体积为 4164Nm³、质量为 347kg 的氢气，装载后总质量 33168kg，运输效率 1.05%。

国内生产长管拖车的主要厂商有中集安瑞科、鲁西化工、上海南亮、浦江气体、山东滨华氢能源等。

2.1.2 长管拖车运氢成本测算

为测算长管拖车运氢的成本，我们的基本假设如下：

- (1) 加氢站规模为 500kg/天，距离氢源点 100km；
- (2) 长管拖车满载氢气质量 350kg，管束中氢气残余率 20%，每日工作时间 15h；
- (3) 拖车平均时速 50km/h，百公里耗油量 25 升，柴油价格 7 元/升；
- (4) 动力车头价格 40 万元/台，以 10 年进行折旧；管束价格 120 万元/台，以 20 年进行折旧，折旧方式均为直线法；
- (5) 拖车充卸氢气时长 5h；
- (6) 氢气压缩过程耗电 1kwh/kg，电价 0.6 元/kwh；
- (7) 每台拖车配备两名司机，灌装、卸气各配备一名操作人员，工资 10 万元/人·年；
- (8) 车辆保险费用 1 万元/年，保养费用 0.3 元/km，过路费 0.6 元/km；

根据以上假设，可测算出规模为 500kg/d、距离氢源点 100km 的加氢站，运氢成本为 8.66 元/kg。测算过程如下表：

图表12 长管拖车运氢成本测算

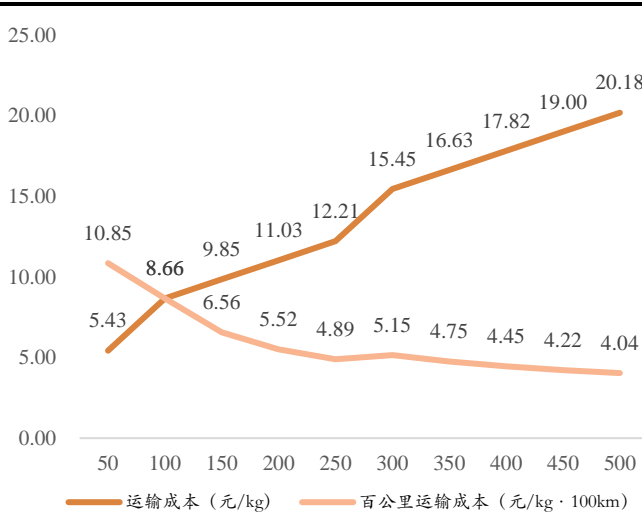
项目		数值 (元/kg)
固定成本	设备折旧	1.10
	人工费	3.29
	车辆保险	0.05

变动成本	油费	1.25
	压缩过程中的电费	0.60
	车辆保养	0.21
	过路费	0.43
合计成本		6.93
运输价格（毛利率 20%）		8.66

资料来源：氢云链、《加氢站氢气运输方案比选》、广证恒生

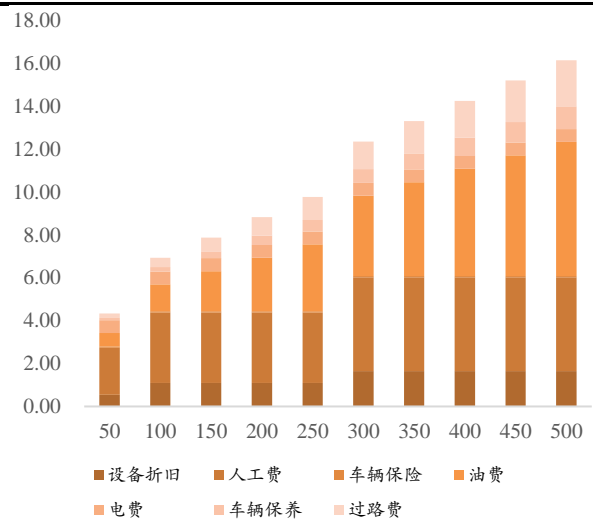
运输成本随距离增加大幅上升。当运输距离为 50km 时，氢气的运输成本 5.43 元/kg，随着运输距离的增加，长管拖车运输成本逐渐上升。距离 500km 时运输成本达到 20.18 元/kg。考虑到经济性问题，长管拖车运氢一般适用于 200km 内的短距离运输。

图表13 运输成本随距离增加显著上升，每百公里运输成本下降



资料来源：广证恒生

图表14 人工费与油费是推动成本上升的主要因素（单位：元/kg）



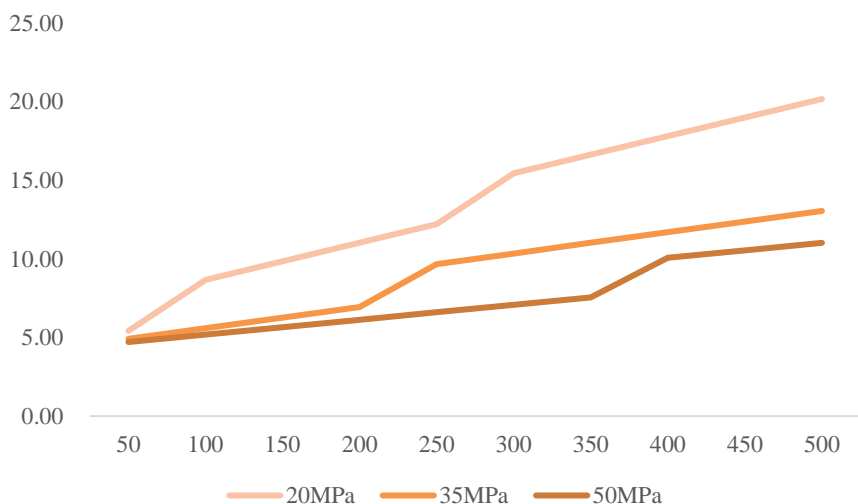
资料来源：广证恒生

从拆分的成本结构来看，人工费与油费是推动成本上升的主要因素。固定成本占运输成本的 40%-70%，随着距离增加，其占比逐渐下降。为保证氢气供应量，加氢站所需拖车数量随着距离增加也相应增加：当距离小于 50km 时，仅需 1 台拖车便可满足当日氢气供应，50~300km 的距离需要 2 台拖车，超过 300km 后则需要 3 台拖车。每增加一台拖车，折旧费与人工费会有明显提升。除此之外，油费也会随距离增加显著上升，占比由 20% 上升至 40%，是推动成本上升的第二大因素。

2.1.3 提高管束工作压力可降低运氢成本

由于国内标准约束，长管拖车的最高工作压力限制在 20MPa，而国际上已经推出 50MPa 的氢气长管拖车。若国内放宽对储运压力的标准，相同容积的管束可以容纳更多氢气，从而降低运输成本。**当运输距离为 100km 时，工作压力分别为 20MPa、50MPa 的长管拖车运输成本为 8.66 元/kg、5.60 元/kg，后者约为前者的 64.67%。**

图表15 管束工作压力提高时成本下降 (单位: 元/kg)



资料来源: 广证恒生

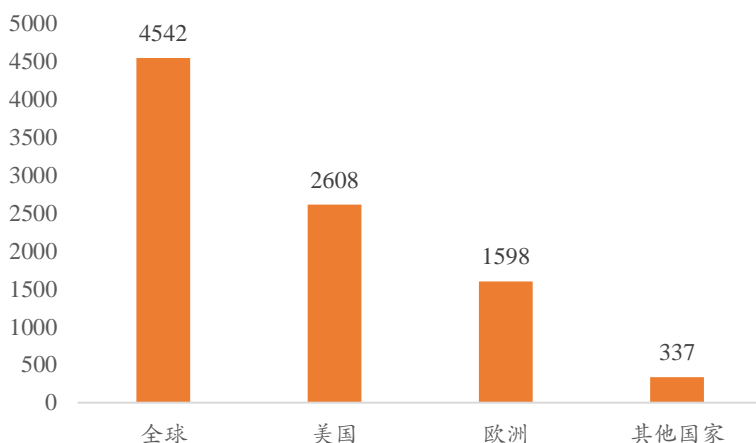
2.2 管道运输: 具有发展潜力的低成本运氢方式

2.2.1 我国氢气管网发展不足, 建设提速

低压管道运氢适合大规模、长距离的运氢方式。由于氢气需在低压状态(工作压力1~4MPa)下运输, 因此相比高压运氢能耗更低, 但管道建设的初始投资较大。

我国布局氢气管网布局有较大提升空间。美国和欧洲是世界上最早发展氢气管网的地区, 已有70年历史。根据PNNL在2016年的统计数据, 全球共有4542公里的氢气管道, 其中美国有2608公里的输氢管道, 欧洲有1598公里的输氢管道, 而中国仅有100公里。随着氢能产业的快速发展, 日益增加的氢气需求量将推动我国氢气管网建设。

图表16 美国、欧洲氢气管道最为发达 (单位: km)



资料来源: Pacific Northwest National Laboratory、广证恒生

国内氢气管网建设提速。我国的输氢管道主要分布在环渤海湾、长三角等地, 目前已知有一定规模的管道项目有两个: 济源-洛阳(25km)及巴陵-长岭(42km)两个。根据《中国氢能产业基础设施发展

蓝皮书（2016）》所制定的氢能产业基础设施发展路线，到 2030 年，我国燃料电池汽车将达 200 万辆，同时将建成 3000 公里以上的氢气长输管道。该目标将有效推进我国氢气管道建设。

图表17 国内两条氢气管网参数对比

管道名称	巴陵-长岭	济源-洛阳
建成时间	2014 年 4 月 20 日	2015 年 8 月 31 日
全长 (km)	42	25
设计管径 (mm)	350	508
年输氢量 (万吨)	4.42	10.04
设计压力 (MPa)	4	4
投资额 (亿元)	1.90	1.46
单位投资额 (万元/km)	452.38	584.00

资料来源：网络资料整理、广证恒生

2.2.2 氢气管道造价高、投资大，天然气管道运氢可降低成本

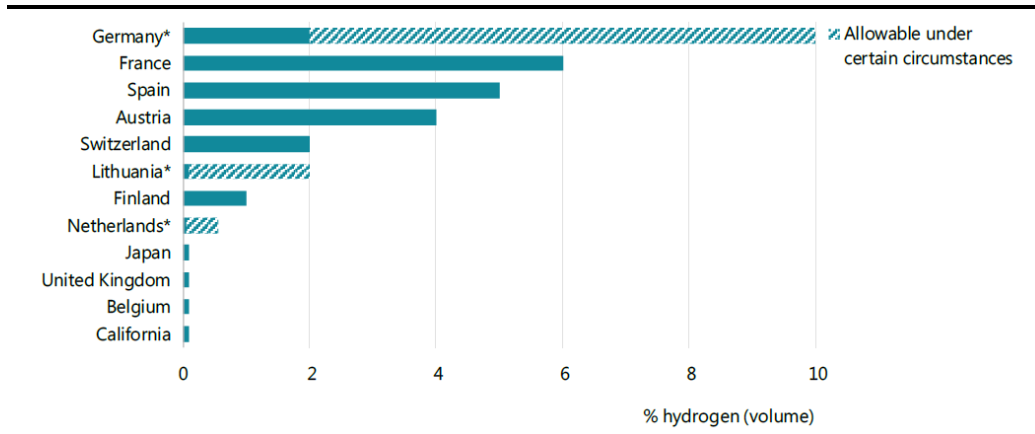
天然气管道相比氢气管道更为发达。天然气管道是世界上规模最大的管道，占世界管道总长度的一半以上，相比之下氢气管道数量很少。据 IEA 报告，目前世界上有 300 万公里的天然气管道，氢气管道仅有 5000 公里，现有的氢气管道均由制氢企业运营，用于向化工和炼油设备运送成品氢气。

运氢管材的特殊性使氢气管道造价高于天然气管道。由于管材易发生氢脆现象（即金属与氢气反应而引起韧性下降），从而造成氢气逃逸，因此需选用含炭量低的材料作为运氢管道。美国氢气管道的造价为 31~94 万美元/km，而天然气管道的造价仅为 12.5~50 万美元/km，氢气管道的造价是天然气管道造价的两倍以上。

氢气的输送成本高于天然气。虽然氢气在管道中的流速是天然气的 2.8 倍，但由于氢气的体积能量密度小，同体积氢气的能量密度仅为天然气的三分之一，因此用同一管道输送相同能量的氢气和天然气，用于押送氢气的泵站压缩机功率高于压送天然气的压缩机功率，导致氢气的输送成本偏高。

在氢能发展初期，可采用天然气管道输送氢气以降低成本。氢气输运网络基础设施建设需要巨大的资本投入和较长的建设周期，管道的建设还涉及占地拆建问题，这些因素都阻碍了氢气管道的建设。研究表明，含 20% 体积比氢气的天然气-氢气混合燃料可以直接使用目前的天然气输运管道，无需任何改造。在天然气管网中掺混不超过 20% 的氢气，运输结束后对混合气体进行氢气提纯，这样既可以充分利用现有管道设施，出于经济性考虑，也能降低氢气的运送成本。目前国外已有部分国家采用了这种方法。

图表18 其他国家天然气管道中混合氢气的体积限制在10%以内



资料来源：IEA、广证恒生

2.2.3 管道运氢成本测算

为测算管道运氢的成本，我们参考济源-洛阳氢气管道的基本参数，做出如下假设：

- (9) 管道长度25km，总投资额1.46亿元，则单位长度投资额584万元/km；
- (10) 年输氢能力为10.04万吨，运输过程中氢气损耗率8%；
- (11) 管线配气站的直接与间接维护费用以投资额的15%计算；
- (12) 氢气压缩过程耗电1kwh/kg，电价0.6元/kwh；
- (13) 管道寿命20年，以直线法进行折旧。

根据以上假设，可测算出长度25m、年输送能力10.04万吨的氢气管道，运氢价格为0.86元/kg。测算过程如下表：

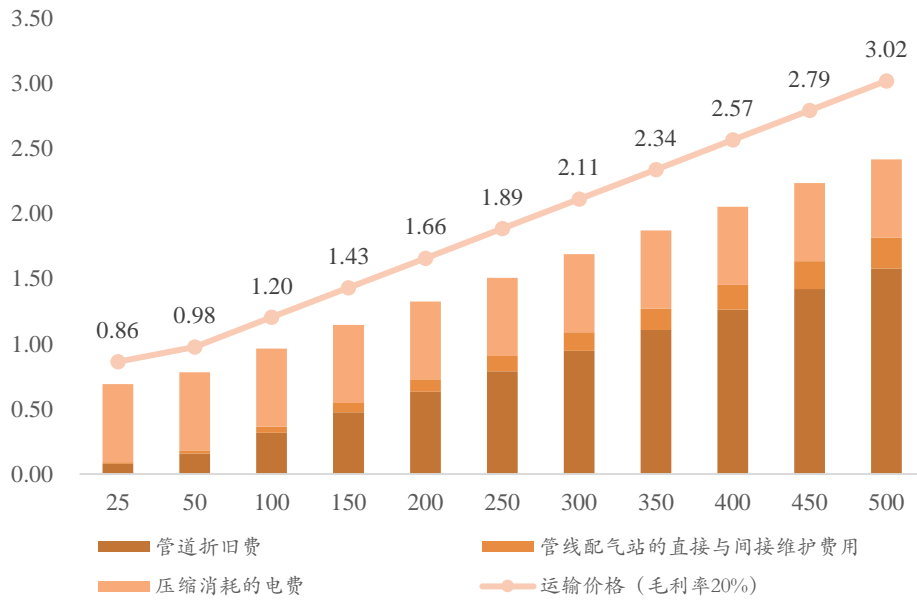
图表19 管道运氢成本测算

项目		数值 (元/kg)
固定成本	管道折旧费	0.08
	管线配气站的直接与间接维护费用	0.01
变动成本	压缩消耗的电费	0.60
合计成本		0.69
运输价格 (毛利率20%)		0.86

资料来源：氢云链、《加氢站氢气运输方案比选》、广证恒生

氢气管网相比长管拖车具备成本优势。由于压缩每公斤氢气所消耗的电量是一定的，管道运氢成本增长的驱动因素主要是与输送距离正相关的管材折旧及维护费用。当输送距离为100km时，运氢成本为1.20元/kg，仅为同等距离下气氢拖车成本的1/5，通过管道运输氢气是一种降低成本的可靠方法。

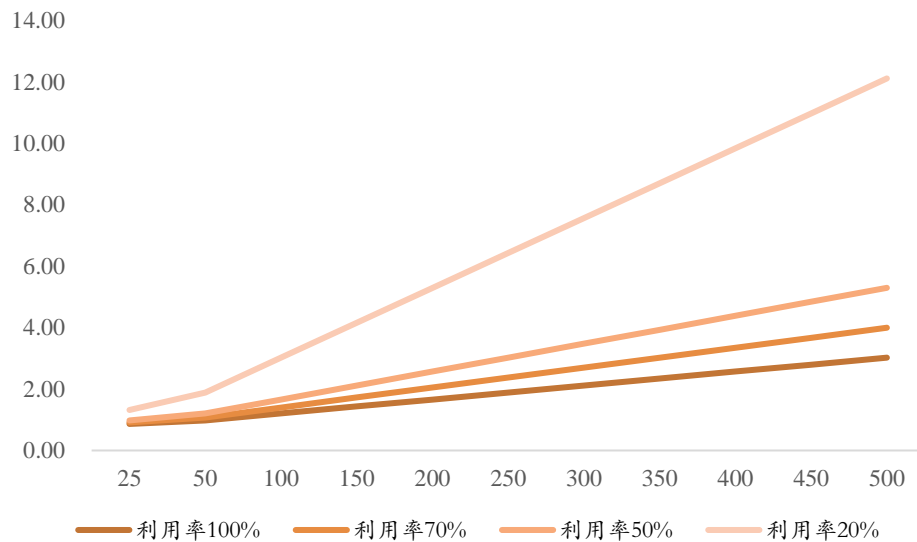
图表20 管道运氢成本与运输距离呈正相关（单位：元/kg）



资料来源：广证恒生

管道运氢成本很大程度上受到需求端的影响。虽然测算结果显示管道运氢成本较低，但达到该成本的前提是管道的运能利用率达到 100%，即加氢站有足够的氢气需求。运氢成本随着利用率的下降而上升，当运能利用率仅为 20% 时，管道运氢的成本已经接近长管拖车运氢。在当前加氢站尚未普及、站点较为分散的情况下，管道运氢的成本优势并不明显。但随着氢能产业逐步发展，氢气管网终将成为低成本运氢方式的最佳选择。

图表21 运能利用率下降时管道运氢成本显著上升



资料来源：广证恒生

2.3 液氢罐车运输：适合长距离运输，国内外应用差距明显

2.3.1 液氢运输相比气氢效率更高，但国内应用程度有限

液氢罐车运输系统由动力车头、整车拖盘和液氢储罐 3 部分组成。由于液氢的运输温度需保持在 -253°C 以下，与外部环境温差较大，为保证液氢储存的密封和隔热性能，对液氢储罐的材料和工艺有很高的要求，使其初始投资成本较高。

图表22 北京特种工程研究院 45m^3 液氢储槽车



资料来源：公司官网、广证恒生

液氢罐车运输具有更高的运输效率，但液化过程能耗大。液氢罐车运输是将将氢气深度冷冻至 21K 液化，再将液氢装在压力通常为 0.6 兆帕的圆筒形专用低温绝热槽罐内进行运输的方法。由于液氢的体积能量密度达到 8.5 MJ/L ，液氢槽罐车的容量大约为 65 m^3 ，每次可净运输约 4000 kg 氢气，是气氢拖车单车运量的 10 倍多，大大提高了运输效率，**适合大批量、远距离运输**。但缺点是制取液氢的能耗较大（液化相同热值的氢气耗电量是压缩氢气的 11 倍以上），并且液氢储存、输送过程均有一定的蒸发损耗。

国外已有广泛应用，国内标准缺失掣肘液氢发展。在国外尤其是欧、美、日等国家，液氢技术发展已经相对较为成熟，液氢在储运等环节已进入规模化应用阶段，某些地区液氢槽车运输超过了气氢运输规模。而国内目前仅用于航天及军事领域，这是由于液氢生产、运输、储存装置等标准均为军用标准，无民用标准，极大地限制了液氢罐车在民用领域的应用。国内相关企业已着手研发相应的液氢储罐、液氢槽车，如中集圣达因、富瑞氢能等公司已开发出国产液氢储运产品。

液氢标准出台指日可待。2019 年 6 月 26 日，全国氢能标准化技术委员会发布关于对《氢能汽车用燃料液氢》、《液氢生产系统技术规范》和《液氢贮存和运输安全技术要求》三项国家标准征求意见的函。液氢相关标准和政策规范形成后，储氢密度和传输效率都更高的低温液态储氢将是未来重要的发展方向。

2.3.2 液氢槽车运输成本测算

为测算液氢槽车运输的成本，我们的基本假设如下：

(14) 加氢站规模为 500kg/天 ，距离氢源点 100km ；

- (15) 槽车装载量为 15000 加仑（约 68 m³，即 4000kg），每日工作时间 15h；
- (16) 槽车平均时速 50km/h，百公里耗油量 25 升，柴油价格 7 元/升；
- (17) 液氢槽车价格约为 50 万美元/辆，以 10 年进行折旧，折旧方式为直线法；
- (18) 槽车充卸液氢时长 6.5h；
- (19) 氢气压缩过程耗电 11kwh/kg，电价 0.6 元/kwh；
- (20) 每台拖车配备两名司机，灌装、卸载各配备一名操作人员，工资 10 万元/人·年；
- (21) 车辆保险费用 1 万元/年，保养费用 0.3 元/km，过路费 0.6 元/km。

根据以上假设，可测算出规模为 500kg/d、距离氢源点 100km 的加氢站，运氢成本为 13.57 元/kg。测算过程如下表：

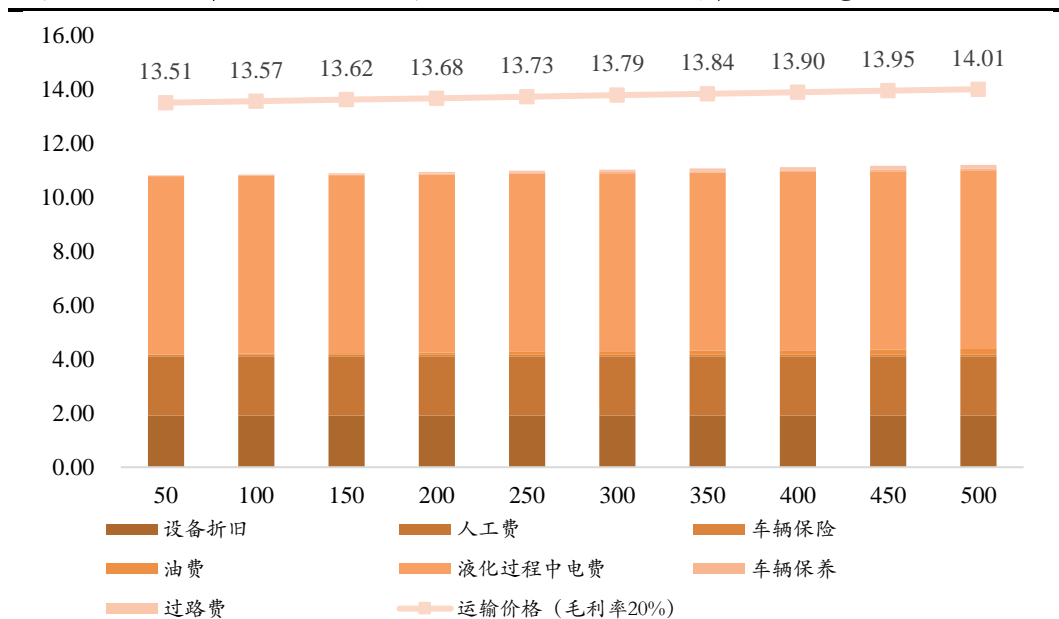
图表23 液氢槽车运输成本测算

项目		数值 (元/kg)
固定成本	设备折旧	1.92
	人工费	1.32
	车辆保险	0.05
变动成本	油费	0.04
	液化过程中电费	6.60
	车辆保养	0.02
	过路费	0.03
合计成本		10.85
运输价格 (毛利率 20%)		13.57

资料来源：氢云链、《加氢站氢气运输方案比选》、广证恒生

液氢罐车成本变动对距离不敏感。当加氢站距离氢源点 50~500km 时，液氢槽车的运输价格在 13.51~14.01 元/kg 范围内小幅提升。虽然运输成本随着距离增加而提高，但提高的幅度并不大。这是因为成本中占比最大的一项——液化过程中消耗的电费（约占 60%左右）仅与载氢量有关，与距离无关。而与距离呈正相关的油费、路费等占比并不大，液氢罐车在长距离运输下更具成本优势。

图表24 液氢槽车运输成本在距离变化下变动幅度很小 (单位：元/kg)

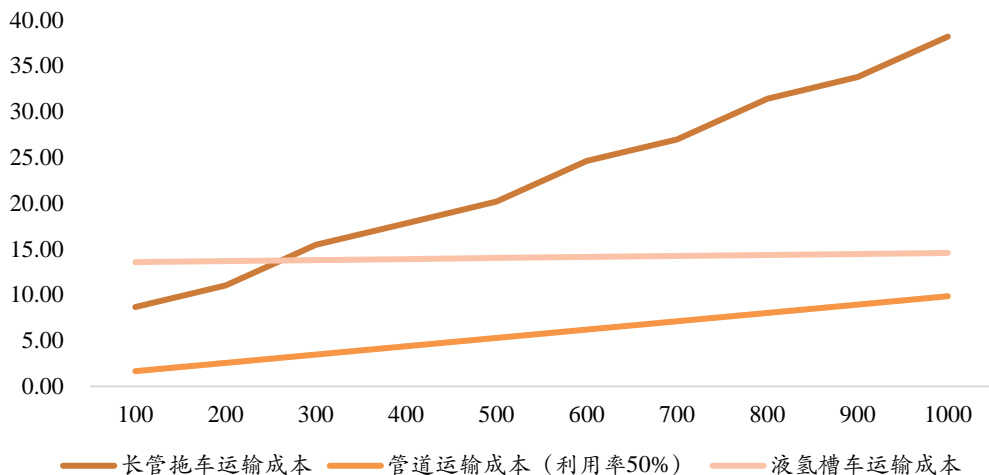


资料来源：广证恒生

2.4 发展趋势：成本最低的管道运输是未来发展方向

将上述测算结果进行对比发现：在 0~1000km 范围中，管道运输的成本最低。运输距离在 250km 内时，长管拖车运输成本低于液氢槽车，超过 250km 则后者更具成本优势。

图表25 管道运输在三种方式中成本最低（单位：元/kg）



资料来源：广证恒生

《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》提出了未来氢能运输环节的发展路径：在氢能市场渗入前期，氢的运输将以长管拖车、低温液氢、管道运输方式因地制宜、协同发展；中期（即 2030 年），氢的运输将以高压、液态氢罐和管道运输相结合，针对不同细分市场和区域同步发展；远期（即 2050 年）氢气管网将密布城市、乡村，成为主要运输方式。

3. 重点关注标的简介

3.1 国富氢能：国内领先的液氢生产、储运企业

江苏国富氢能技术装备有限公司成立于 2016 年，公司业务覆盖氢能液化、储运、加氢站和车载储氢全产业链，重点布局氢的液化和液氢储运核心装备。公司发力布局液氢产业链技术与装备，是国内目前唯一一家通过液氢储运容器企业标准评审备案和正在进行安委会技术评审的特种设备企业。

2018 年 5 月，国富氢能与同创基金、浙江海天气体有限公司三方合资成立了江苏氢源天创新能源有限公司，其中国富氢能控股 55%。该公司具备俄罗斯航天氢气液化技术，是国内首家具备大型氢气液化能力的公司，专注于大型氢液化工厂的投资建设和运营、液氢的物流运输和液氢加氢站建设，为燃料电池汽车规模化运营提供基础设施保障。

3.2 上海氢枫：依托加氢站业务优势，积极布局产业链上下游

上海氢枫能源技术有限公司成立于 2016 年 5 月，公司自成立以来，一直致力于加氢站投资、建设和运营的发展。目前，氢枫能源已建成加氢站 6 座，占中国已建成加氢站数量的 42.86%，市场份额处于第一位，成为加氢站建设行业的龙头企业。2018 年收入超过 2000 万元，预计在 2019 年收入超过 1.5 亿元。在



当前国内燃料电池企业越来越多，专业从事加氢站行业公司数量极少的背景下，氢枫企业有巨大的发展潜力。

公司在加氢站投资、建设、运营三个方面都有所投入。与车辆运营公司等使用端合作，聚焦北上广等政策支持较好的地区，确保自建成的加氢站有固定的使用者；重资产自建结合轻资产承建加氢站，计划向行业顶级设计公司和关键设备供应商发展；建立全面的氢气管理平台，横纵向结合建立专业的运营体系。

2019年，公司在原有加氢站业务的基础上，向产业链上下游延伸，布局氢气装备和镁基材料氢气储运：设备制造方面，氢枫能源联合如皋政府旗下相关产业建立江苏氢枫能源装备公司，与荷兰 SHAPPY 等企业签约共同完成装备制造；储运环节，氢枫能源与上海交通大学材料学院丁文江院士团队一同合作，共同投资设立氢储（上海）能源科技有限公司，依托上海交通大学氢科学中心的平台和全球领先的技术实力，从事固态储氢技术及产品的研发、制造和销售。

风险提示：政策变化不及预期、氢能源储运安全性风险。

数据支持：王雪婷、卢琦



新三板团队介绍：

在财富管理和创新创业的两大时代背景下，广证恒生新三板构建“研究极客+BANKER”双重属性的投研团队，以研究力为基础，为企业量身打造资本运营计划，对接资本市场，提供跨行业、跨地域、上下游延伸等一系列的金融全产业链研究服务，发挥桥梁和杠杆作用，为中小微、成长企业及金融机构提供闭环式持续金融服务。

团队成员：

袁季（广证恒生总经理兼首席研究官）：长期从事证券研究，曾获“世界金融实验室年度大奖—最具声望的100位证券分析师”称号、2015及2016年度广州市高层次金融人才、中国证券业协会课题研究奖项一等奖和广州市金融业重要研究成果奖，携研究团队获得2013年中国证券报“金牛分析师”六项大奖。2014年组建业内首个新三板研究团队，创建知名研究品牌“新三板研究极客”。

赵巧敏（新三板研究总监、副首席分析师）：英国南安普顿大学国际金融市场硕士，8年证券研究经验。具有跨行业及海外研究复合背景，曾获08及09年证券业协会课题二等奖。具有多年A股及新三板研究经验，熟悉一二级市场运作，专注机器人、无人机等领域研究，担任广州市开发区服务机器人政策咨询顾问。

温朝会（新三板副团队长）：南京大学硕士，理工科和经管类复合专业背景，七年运营商工作经验，四年市场分析经验，擅长通信、互联网、信息化等相关方面研究。

黄莞（新三板副团队长）：英国杜伦大学金融硕士，具有跨行业及海外研究复合背景，负责教育领域研究，擅长数据挖掘和案例分析。

司伟（新三板高端装备行业负责人）：中国人民大学管理学硕士，理工与经管复合专业背景，多年公募基金从业经验，在新三板和A股制造业研究上有丰富积累，对企业经营管理有深刻理解。

魏也娜（新三板TMT行业研究员）：金融硕士，中山大学遥感与地理信息系统学士，3年软件行业从业经验，擅长云计算、信息安全等领域的研究。

胡家嘉（新三板医药行业研究员）：香港中文大学生物医学工程硕士，华中科技大学生物信息技术学士，拥有海外知名实业工作经历，对产业发展有独到理解。重点研究中药、生物药、化药等细分领域。

田鹏（新三板教育行业研究员）：新加坡国立大学应用经济学硕士，曾于国家级重点经济期刊发表多篇论文，具备海外投资机构及国内券商新财富团队丰富研究经历，目前重点关注教育领域。

于栋（新三板高端装备行业研究员）：华南理工大学物理学硕士，厦门大学材料学学士，具有丰富的一二级市场研究经验，重点关注电力设备及新能源、新材料方向。

史玲林（新三板大消费行业研究员）：暨南大学资产评估硕士、经济学学士，重点关注素质教育、早幼教、母婴、玩具等消费领域。

李嘉文（新三板主题策略研究员）：暨南大学金融学硕士，具有金融学与软件工程复合背景，目前重点关注新三板投资策略，企业资本规划两大方向。

联系我们：

邮箱：huanguan@gzgzhs.com.cn

电话：020-88832292



广证恒生：

地址：广州市天河区珠江西路5号广州国际金融中心4楼

电话：020-88836132, 020-88836133

邮编：510623

股票评级标准：

强烈推荐：6个月内相对强于市场表现15%以上；

谨慎推荐：6个月内相对强于市场表现5%—15%；

中性：6个月内相对市场表现在-5%—5%之间波动；

回避：6个月内相对弱于市场表现5%以上。

分析师承诺：

本报告作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰、准确地反映了作者的研究观点。在作者所知情的范围内，公司与所评价或推荐的证券不存在利害关系。

重要声明及风险提示：

我公司具备证券投资咨询业务资格。本报告仅供广州广证恒生证券研究所有限公司的客户使用。本报告中的信息均来源于已公开的资料，我公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，不保证该信息未经任何更新，也不保证我公司做出的任何建议不会发生任何变更。在任何情况下，报告中的信息或所表达的意见并不构成所述证券买卖的出价或询价。在任何情况下，我公司不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的担保。我公司已根据法律法规要求与控股股东（广州证券股份有限公司）各部门及分支机构之间建立合理必要的信息隔离墙制度，有效隔离内幕信息和敏感信息。在此前提下，投资者阅读本报告时，我公司及其关联机构可能已经持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，或者可能正在为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。法律法规政策许可的情况下，我公司的员工可能担任本报告所提到的公司的董事。我公司的关联机构或个人可能在本报告公开前已经通过其他渠道独立使用或了解其中的信息。本报告版权归广州广证恒生证券研究所有限公司所有。未获得广州广证恒生证券研究所有限公司事先书面授权，任何人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。如引用、刊发，需注明出处为“广州广证恒生证券研究所有限公司”，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。

市场有风险，投资需谨慎。