



# 氢能突围遵循什么逻辑？

文 / 朱德权



氢的工业原料属性将拉动绿氢技术的进步，交通应用场景将拉动燃料电池技术的进步，二者合力推动氢能产业向着符合市场规律的方向前进。



2021年，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中，氢能与类脑智能、量子信息、基因技术、未来网络、深海空天开发等前沿科技一起，被共同规划为“未来产业”。多个省市相继在各自的“十四五”规划中提出发展氢能产业，资本市场上氢能概念股受到追捧。

氢能的发展前景及路径，可以从科学逻辑、工程技术逻辑和商业逻辑三个方面来分析：基于科学逻辑的氢能前景无限且尚无替代品，其工程技术进步的速度会降低产品的成本，进而决定氢能商业化的场景和进度。

## 科学逻辑：氢能无可替代

我国要在2060年实现碳中和目

标，意味着未来能源的生产和使用方式会发生重大变革。在供给侧，可再生能源会成为主流，其他能源成为补充；在需求侧，主流的能源消费方式会向电气化转变。

氢能在科学上是没有问题的。它是能源的载体和化学工业的原料。传统的化石能源时代，是煤炭、石油、天然气等化石能源产生电能并同时作为工业的原料；可再生能源时代，这个顺序要倒过来，是用电能生产氢气作为能源，同时氢成为过程工业深度脱碳的原料。氢和电都是能源的载体，未来社会应该是一个氢电混合的社会，宜电则电、宜氢则氢，不适宜

直接用电的领域，则是电能到氢（化学能）再到电能或直接作为工业的原料。

氢能的科学性在于，它可以解决当下我们面临的可再生能源使用的时空错配问题。能源使用的时空转换目前通过两种方式解决：电网传输和储能。

就现在的大规模储能方式而言，空气储能还没有实现规模化，抽水蓄能受资源条件的限制，无法在风力或者光照条件好的可再生能源集中区域配备。现在看，以新能源为主体的新型电力系统，联接的上游是可再生能源发电，联接的下游则是分布式的电气化应用场景，现有的体系显然不能满足未来发展的需求。新的能源传输网络应是宜电则电、宜氢则氢，靠



交通应用场景驱动燃料电池技术的进步，绿氢作为工业原料的使用驱动绿氢技术的进步，抓好这两点，中国的氢能就有希望了。

着空中电网和地上管网的融合，来解决当前能源供能端和用能端的时空不匹配问题。

锂电池的本质是储能装置，氢燃料电池则是发电装置。氢燃料电池技术进步很快，有许多锂电池无法企及的优点。

一是能量密度。对交通工具而言，能量密度越高越好，但即使是固态锂电池，其能量密度要实现500瓦

时/千克也是极困难的，远低于汽柴油的能量密度；而氢能的质量能量密度远高于汽柴油的指标。

二是续航里程。乘用车使用时间相对少，对充电的及时性要求不高，所以锂电池最先在乘用车领域推广；但商用车的用途决定了它对充电的及时性和能量密度要求很高，目前锂电池无法解决这个瓶颈，特别是对于中远程、中重型卡车以及大功率的船舶

等商用运载工具，理论上得依靠氢燃料电池来填补。

三是规模成本。锂电池使用了锂等有限矿产资源，这就决定了其在规模小的时候，成本还可控制，规模越大则受资源限制可能成本越高；氢燃料电池所用材料除铂催化剂外均是普通的金属和非金属材料，而铂催化剂并不消耗且回收方便，规模越大成本越低，在这方面相对锂电池优势明显。

理论上，氢能是一种完美能源，它的发展受三方面影响：一是化石能源价格，二是碳排放价格，三是氢能技术进步。

## 商业逻辑：会先在交通领域突破

气候变化对能源转型的急迫性要求，以及政策支持和补贴，使氢能发展明显提速。但补贴只是政府的短期行为，而非氢能产业长久发展之计。氢能要最终发展起来，还得走市场化路线，解锁更多的应用场景。

世界范围内，氢能的大规模商业化还是一片“无人区”。2022年乃至整个“十四五”期间，氢能还处在从0到1的过程，需要构建以应用场景为核心的氢能产业发展生态。

氢能的生态构建可以概括为“1+3”。“1”即一个氢供应链，包含制氢、储氢、运氢和加氢四部分。“3”即三个应用场景：第一是交通，即氢能在交通领域的应用；第二是工业，即氢产品的深加工，包括合成氨、绿氢炼钢、绿氢石化、二氧化碳捕集等；第三是建筑，以分布式能源

为主体。

一个新事物的产生，初期的价格通常较高，这就意味着它首先要应用在价值高的领域。就三大应用场景而言，交通领域对氢气的价格敏感度最低，其次是工业，最后是建筑领域。纵观历史，我们也发现能源变革一般会先发生在交通领域。“氢进万家”科技示范工程是氢能在建筑领域的应用，需要氢价格很低的时候才有商业化前景，其只能是个示范，当前尚无法大面积推广。

综合所有的应用场景，结合氢燃料电池相对于锂电池的优势，商用车是最容易被突破的。氢燃料电池汽车具有行驶里程长、燃料加注时间短、能量密度高、耐低温等优势，这就意味着中远程、中重型卡车会是氢燃料电池首先使用的对象。目前可以看到的两个最有前景的应用：一是冷链物流车，二是重卡。

成本是商业化推广的关键。目前氢燃料电池电堆的商业成本在250美元/千瓦左右，若年生产规模从千台级扩张到10万台级，则成本可降至60美元/千瓦，就能与现在的柴油机和汽油机进行全面竞争。

除了是能源载体，氢还是工业应用原料，非能源用途的氢比能源用途的氢使用量更多，使用范围也更广。氢的工业原料属性会拉动绿氢技术进步。此前，绿氢相对蓝氢和灰氢，没有价格优势，但碳市场的建立加速了氢的商业化进程，碳价格的加持，加上制氢技术的进步和可再生能源成本的进一步降低，绿氢的成本优势未来

氢能产业还是一片“无人区”，其发展路径会是先有创新链，再产生价值链，最后形成供应链。



会非常明显。

综合而言，“十四五”时期，氢能的应用场景主要是交通燃料和工业原料。交通应用场景驱动燃料电池技术的进步，绿氢作为工业原料的使用驱动绿氢技术的进步，抓好这两点，中国的氢能就有希望。

## 工程技术逻辑：决定商业化进程和时机

氢能产业的发展逻辑：技术突破会推动应用场景的商业化，随着规模扩大成本逐渐降低，继而解锁更多的应用场景带动技术进步，如此循环，推动产业良性发展。

工程技术是关键，是科学逻辑和商业逻辑的链接，它决定了当下从业者该做什么、不该做什么。这是个时机问题，做早了成先烈，做晚了就变成追赶者。目前来讲，氢能领域的工程技术创新应聚焦在一个系统八个零部件和以电解槽为核心的绿氢生产成套装备上。

氢能推动交通领域变革的核心是氢燃料电池。氢燃料电池要实现商业化应用，涉及几个关键问题：电池寿命的提高、效率的提升，以及一个系统八个零部件产业链的建立。

这几个问题是氢能“十四五”发展必须要解决的问题，唯有此，氢能才能在交通领域的应用场景才能真正做起来。要达到商业化应用的要求，对工程技术而言，提高电池寿命的难度最低，效率次之，产业链的构建最难也最关键。

科学理论讲的是可能性和预期。

理论而言，氢燃料电池效率是百分之百。现在车用燃料电池发电效率多为55%，与柴油机和汽油机相比尚不具备竞争力。待到发电效率达到70%乃至80%，氢燃料电池的竞争力会大幅提升。这个过程就是工程技术上的突破。

一个系统八个零部件产业链长而复杂，质量体系是车规级的要求，难度最大。一个系统即氢燃料电池动力系统，八个零部件即电堆、膜电极、质子交换膜、碳纸、催化剂、双极板、氢气循环系统、空气压缩机。目前国内的一个系统八个零部件整体质量尚不稳定，可靠度不高，服务还比较耗时，距离成熟的产业链还有相当大的差距。

一个系统八个零部件产业链，越靠近上游，技术差距越明显，尤其是催化剂、气体扩散层及质子交换膜这三大核心材料。质子交换膜一旦发生改变，下游的零部件都需要跟着做调整，且质子交换膜现在基本依靠进口。三大核心材料也是降成本的关键，膜电极的成本占电堆成本的60%以上，而催化剂、气体扩散层、质子交换膜三大核心材料占膜电极的60%以上。

如何迅速形成、攻破一个系统八个零部件产业链，把系统成本快速降下来，是推动氢能发展的核心。

现在国家提出要“加快形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局”，打造氢燃料电池一个系统八个零部件的产业链，可以加强对外合作，借助国际前沿的

技术力量，尤其是在三大核心材料方面。

氢气价格和整车价格共同构成了解决方案的成本，当下我们可以使用蓝氢甚至灰氢让交通应用场景运转起来，促进氢燃料电池产业的发展。但没有最终绿氢的使用，氢能产业也就失去了初心和发展的源动力，因此可再生能源和水电解一体化的绿氢生产成套装备也不可或缺，要重点发展和支持。

我们过去的很多产业都是从低端制造业到高端制造业，再到自主创新，发展路径基本是从供应链崛起，质量提升后进入价值链，最后尝试进入创新链。氢能产业还是一片“无人区”，其发展路径会是先有创新链，再产生价值链，最后形成供应链。创新就意味着挑战和不确定性，氢能产业要在不确定性中把握确定性。

从目前中美商贸关系看，我们被制裁的领域主要集中在高端制造业，对应的是价值链。我们现在说的“卡脖子”，是指技术落后、价值链这个环节被卡住了，归根到底还是科学水平没跟上。解决“卡脖子”难题，关键是要解决“卡脑子”问题，也就是要打造创新链。国家间的竞争，还是要依赖创新链，重要的是“脑子”不要被人卡住。创新链对应的是人才，核心还是在教育，要通过教育把基础研究能力搞上去。氢能产业要发展，同其他产业一样，有赖于基础研究的支撑。■

（作者系北京清华工业开发研究院副院长）