



中国氢能行业洞察 与数字化发展报告

摘要

在“双碳”和能源安全目标的引领下，能源领域技术、模式、业态的创新正在推动诸多新趋势的涌现：新型储能规模化布局助力风光大基地建设，能源产业与信息化、数字化的深度融合，新型电力系统支撑技术升级，先进电解槽与燃料电池技术的突破，电力多元化转换（Power-to-X）……这些领域的创新都将在能源变革中“各显神通”。

氢能作为清洁的能源载体和储能方式，配合可再生能源形成低碳能源体系，助力工业深度脱碳。本报告梳理了全球氢能行业发展现状和前瞻趋势，剖析了产业链技术布局和未来发展，并从数字化转型的角度，探讨数字孪生技术如何以低成本、高可靠性、高利用率地赋能氢能项目落地。

为了克服能源转型所带来的挑战，无论是新能源发电、电解制氢还是工业生产场景中，工程和运营团队拥抱数字化转型是大势所趋，赋能创新、敏捷性及协作，推动氢能产业迈向可持续、以人为本的未来。

目录

CONTENTS

1 氢能行业概览

p3-15

- 1.1 氢能行业发展前景 /3
 - 1.1.1 全球氢能行业发展现状 /4
 - 1.1.2 中国氢能行业发展现状 /5
- 1.2 氢能产业链分析 /7
 - 1.2.1 上游制氢 /8
 - 1.2.2 中游储运 /10
 - 1.2.3 下游应用 /11
 - 1.2.3.1 工业 /11
 - 1.2.3.2 电力及储能 /12
 - 1.2.3.3 交通 /13
 - 1.2.3.4 建筑 /14
 - 1.2.3.5 电力多元化转换 (Power-to-X) /14

2 氢能工厂全生命周期数字化发展洞察

p16-31

- 2.1 氢能行业的当前挑战 /17
- 2.2 数字化技术赋能氢能价值链 /18
 - 2.2.1 设计阶段：低碳能源场景的流程模拟 /20
 - 2.2.2 工程阶段：新一代工程设计与项目管理思路 /23
 - 2.2.3 运营阶段：数字化工厂的智能运营 /26

3 总结与展望

p32



1 氢能行业概览

氢能是一种来源丰富、绿色低碳、应用广泛的二次能源，能帮助可再生能源大规模消纳，实现电网大规模调峰和跨季节、跨地域储能，加速推进工业、建筑、交通等领域的低碳化，被誉为 21 世纪的“终极能源”。

氢能逐步成为全球能源转型发展的重要载体之一，亦是推进我国能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系，实现“碳达峰、碳中和”目标的重要途径。

1.1 氢能行业发展概况

1.1.1 全球氢能行业发展趋势

氢能将在减少温室气体排放中发挥关键性作用，拥有广阔的市场空间，这一点毋庸置疑。虽然现在很多机构都对氢能未来的市场空间作出的预测数据不一，但是都有一个共同的特征——从长期看来，未来氢能产业的发展空间巨大。

根据国际能源署预计，到 2050 年，氢能将满足全球 18% 终端能源需求，欧洲、美国、日本等国家纷纷将氢能作为能源技术革命的重要方向和未来能源战略储备的重要组成部分。到 2050 年，全球生产能源用氢的支出将达到 6.8 万亿美元，另外 1800 亿美元用于氢管道，5300 亿美元用于建设和运营氨解制氢终端¹。

图表 1 氢能发展主要国家（地区）产能预测

	2020	> 2025	> 2030	> 2050
中国	<ul style="list-style-type: none"> ● 氢气产量 3342 万吨 	<ul style="list-style-type: none"> ● 电解槽装机规模 10GW 左右 ● 工业副产氧提纯为主，绿氢试点运营 ● 高压气氢运输为主 	<ul style="list-style-type: none"> ● 全国氢气产量 3715 万吨 ● 电解槽装机 >35GW 	<ul style="list-style-type: none"> ● 氢气产量 9690 万吨 ● 电解槽装 >500GW ● 零碳排放制氢 ● 固定式发电装置产能 2 万台套 / 年，燃料电池系统产能 550 万台套 / 年
欧盟	<ul style="list-style-type: none"> ● 年产氢气 980 万吨 ● 电解槽 1GW，绿氢占比 1.4% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 电解槽 6GW，年产绿氢 100 万吨 	<ul style="list-style-type: none"> ● 电解槽 40GW ● 年产绿氢 1000 万吨，过剩可再生能源大规模制氢 ● 全部氢能生产中 1/3 为超低碳制氢 ● 大规模氢气发电示范项目 	<ul style="list-style-type: none"> ● 可再生制氢装机大规模部署 ● 占能源需求的 25%
美国			<ul style="list-style-type: none"> ● 实现绿氢年产能 1000 万吨 ● 电解槽成本 300 美元 /kW ● 氢输配成本 2 美元 /kg 	<ul style="list-style-type: none"> ● 占能源需求的 14%
日本	<ul style="list-style-type: none"> ● 4000 吨氧气 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低压、高压发电成本分别为 25 日元 /kWh，17 日元 / kWh 	<ul style="list-style-type: none"> ● 30 万吨氢气 ● 制氢成本 3 美元 /kg ● 发电成本 17 日元 /Wh 	<ul style="list-style-type: none"> ● 500-1000 万吨氢气 ● 成本 2 美元 /kg ● 发电成本 12 日元 /kWh

资料来源：《欧盟氢能战略》，美国《氢能计划发展规划》、日本《氢能利用进度表》《氢能基本战略》，《中国氢能产业发展报告 2020》

其中，欧盟 REPower EU 方案中提出，到 2030 年实现内部生产可再生氢能 1000 万吨，进口可再生氢能 1000 万吨，预计 2030 年欧盟可再生能源占能源供应的比例达到 45%，实现可再生能源装机 123600 万千瓦，光伏装机增加到 60000 万千瓦。

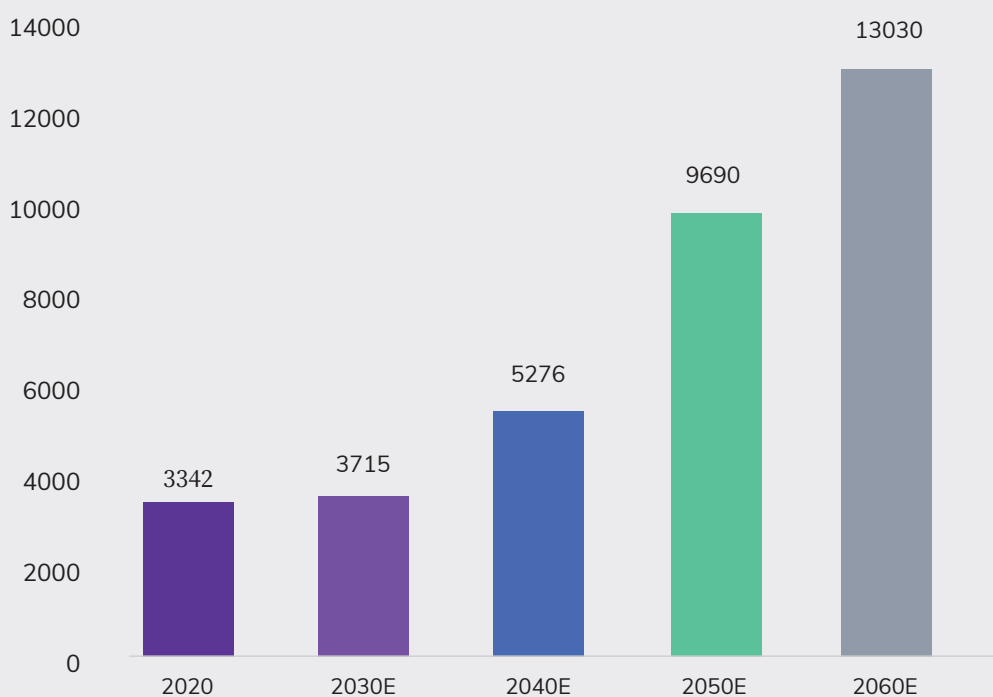
¹挪威船级社，2050 氢能展望报告

1.1.2 中国氢能行业发展概况

2022年3月，中国已发布氢能发展中长期规划，将氢能定位为未来国家能源体系重要组成部分和绿色能源转型载体，并计划在2030年前逐步建立完备的氢能产业体系。

根据中国氢能联盟的预测，在2030年碳达峰愿景下，我国氢气的年需求量预期达到3715万吨，在终端能源消费中占比约为5%；可再生能源制氢约为500万吨，部署电解槽装机约80GW。在2060年碳中和愿景下，我国氢气的年需求量将增至1.3亿吨左右²，在终端能源消费中占比约为20%。其中，工业领域用氢占比仍然最大，约7794万吨，占氢总需求量60%；交通运输领域用氢4051万吨，建筑领域用氢585万吨，发电与电网平衡用氢600万吨。

图表2 中国氢能需求量预测（万吨）

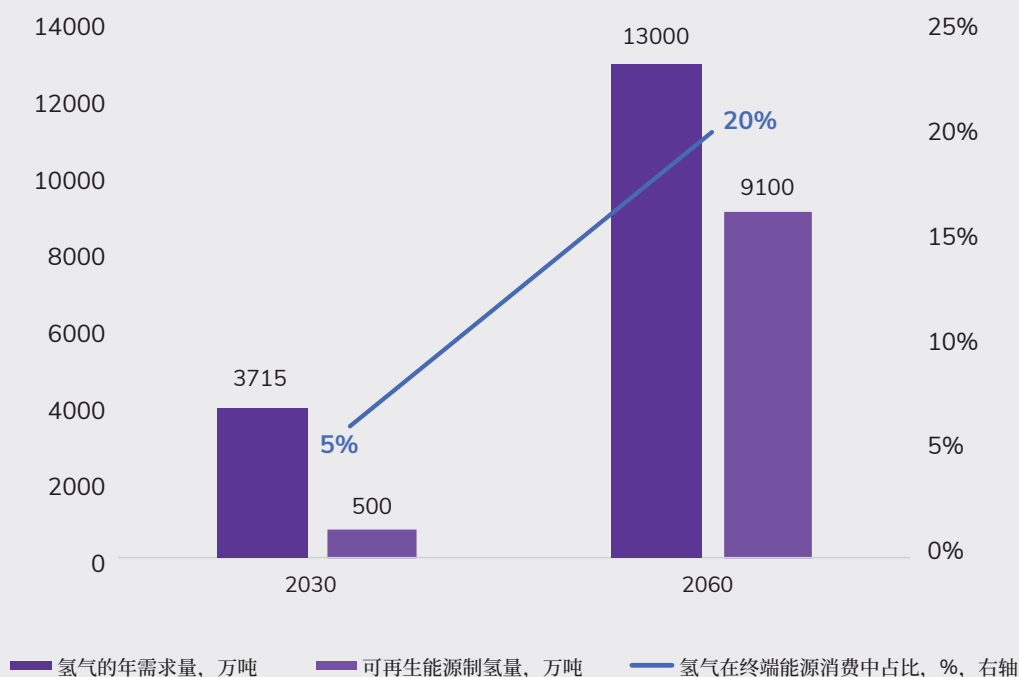


来源：中国氢能联盟

² 科尔尼，“氢”心相助碳中和

随着需求量的攀升,氢气的产量也将快速攀升,其中可再生能源制氢的产能预计到2060年可上升至9100万吨,这意味着电解水制氢占比将逐步取代化石能源制氢和工业副产氢,成为中国占比最大的氢气来源。

图表3 2030年和2060年中国氢能需求量及可再生能源制氢量



资料来源：中国氢能联盟

目前各地政府都把氢能看作未来经济发展的重要发展产业,产业园区作为区域经济发展、产业调整和升级的重要空间聚集形式,担负着聚集创新资源、培育新兴产业、推动城市化建设等一系列的重要使命,氢能产业园成为城市发展氢能的重要体现。具备地方政府政策支持、有实力雄厚的企业牵头建设、有廉价经济的氢源提供的地区建设氢能产业园的进度尤其迅速。在已公开的2023年省级重点项目名单,多个省份重点项目均包含氢能产业园项目。据不完全统计,截至2023年2月,规划在建或已运营的氢能产业园已经超过70个,呈现“遍地开花”的局势。

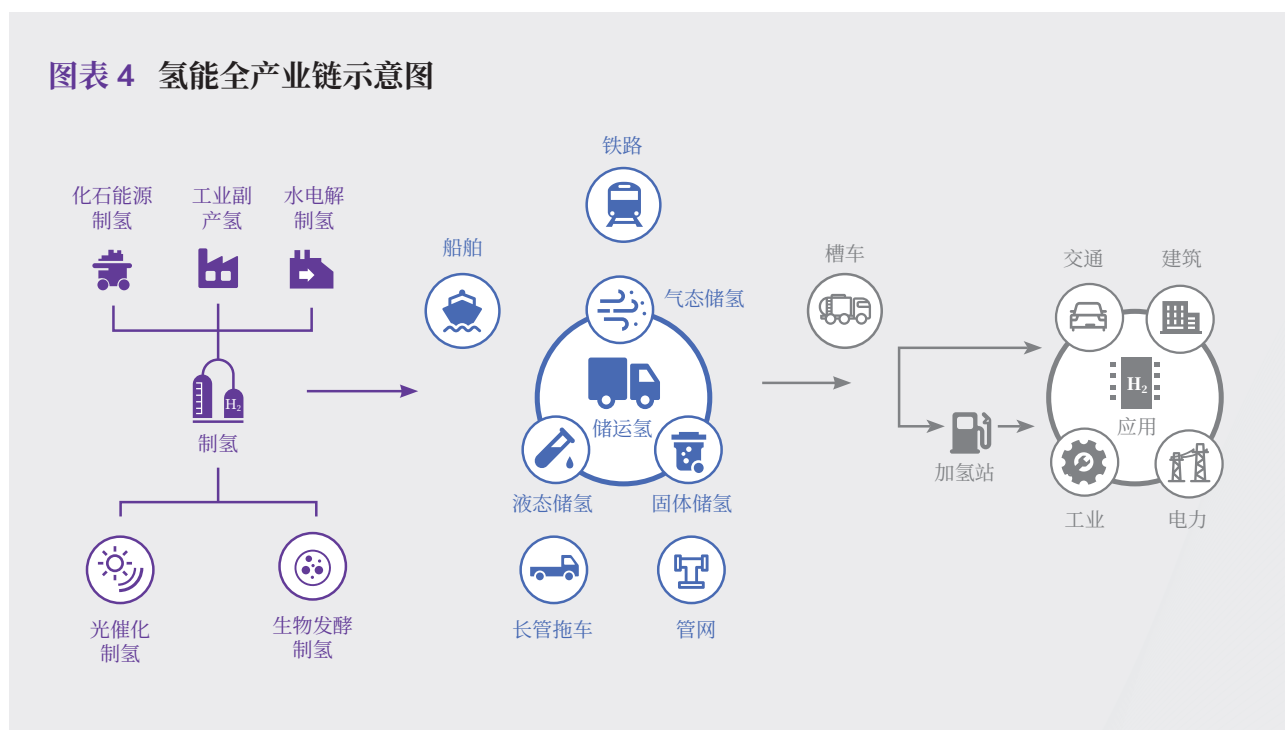
五大氢能产业示范群——京津冀城市群、上海城市群、广东城市群、河南城市群和河北城市群辐射城市及浙江、江苏等地氢能产业园建设力度较大,集群式发展氢能的“中国模式”有助于地区统筹资源,集中力量助推氢能产业链条有序发展完善。

1.2 氢能产业链分析

氢能产业链大致可以划分为上游制氢、中游储运、下游应用三个环节，产业链条比较长、难点多。目前，中国氢能产业链已趋于完善，已初步掌握氢能制备、储运、加氢、燃料电池和系统集成等主要技术和生产工艺，在部分区域实现燃料电池汽车小规模示范应用。

目前，超过三分之一的中央企业已经在制定制氢、储氢、加氢、用氢等全产业链布局，取得了一批技术研发和示范应用成果，例如中石化在“十四五”期间的发展目标是建设全国最大的加氢站网络、可再生能源制氢产量累计超百万吨，同时聚焦氢能交通领域和绿氢炼化。

图表 4 氢能全产业链示意图



数据来源：中国氢能联盟

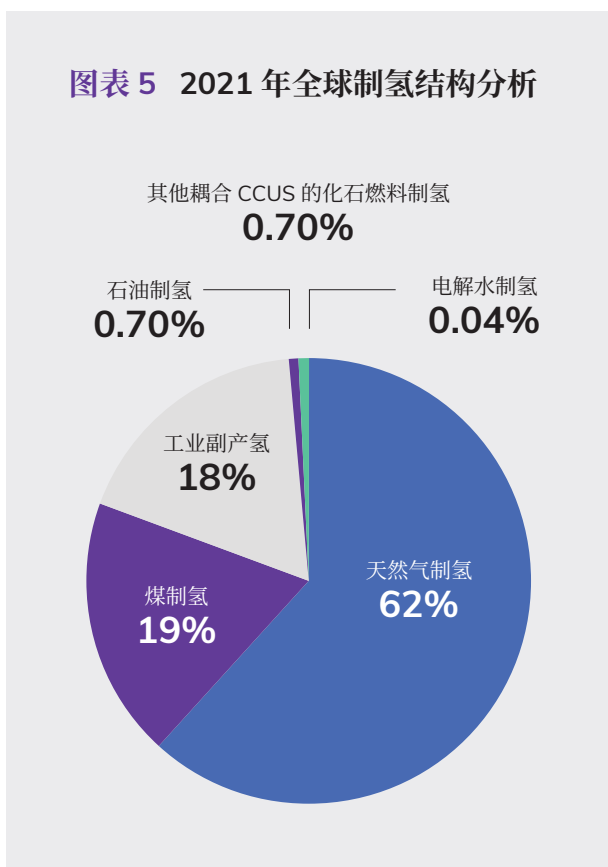
1.2.1 上游制氢

目前根据制取方式和碳排放量的不同将氢能按颜色主要分为灰氢、蓝氢和绿氢三种：

- (1) **灰氢**：通过化石燃料（天然气、煤等）转化反应制取氢气。由于生产成本低、技术成熟，也是目前最常见的制氢方式。由于会在制氢过程中释放一定二氧化碳，不能完全实现无碳绿色生产，故而被称为灰氢。
- (2) **蓝氢**：在灰氢的基础上应用碳捕捉、碳封存等技术将碳保留下来，而非排入大气。蓝氢作为过渡性技术手段，可以加快氢能行业的发展。
- (3) **绿氢**：通过光电、风电等可再生能源电解水制氢，在制氢过程中将基本不会产生温室气体，因此被称为“零碳氢气”。

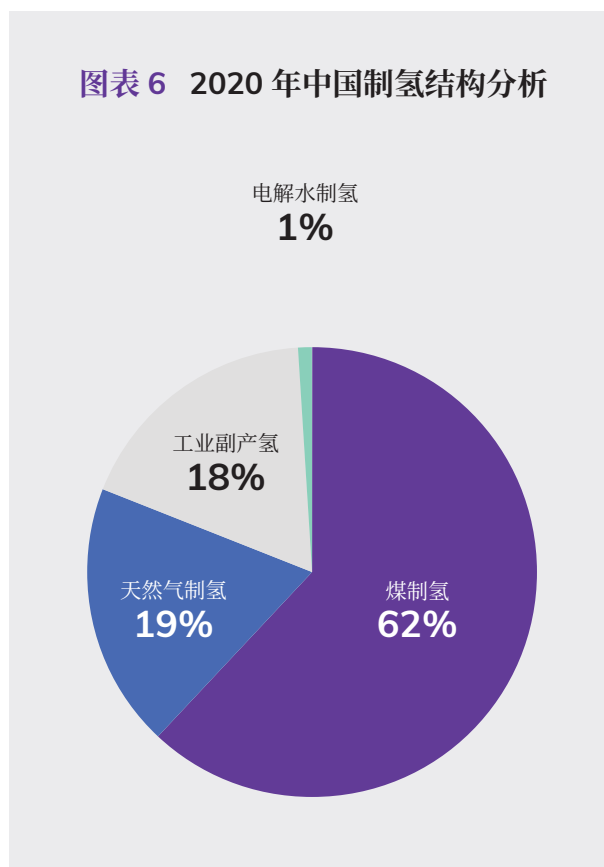
2021年，全球9400万氢气产量主要来源于化石能源制氢，占比高达81%，其中天然气制氢全球占比高达62%，其次为煤制氢，占全球产量的19%；石油制氢占比为0.7%；低碳排放制氢占比仅0.7%，电解水制氢产量仅3.5万吨，占比0.04%。从我国制氢结构来看，由于我国天然气紧缺依赖进口，煤炭资源丰富，我国氢能生产来源主要以煤炭为主，2020年我国煤制氢占比高达62%，天然气制氢占比19%，工业副产氢占比18%，电解水制氢占比达1%。

图表 5 2021 年全球制氢结构分析



来源：IEA, Renewable hydrogen for the chemical industry

图表 6 2020 年中国制氢结构分析



来源：中国煤炭工业协会

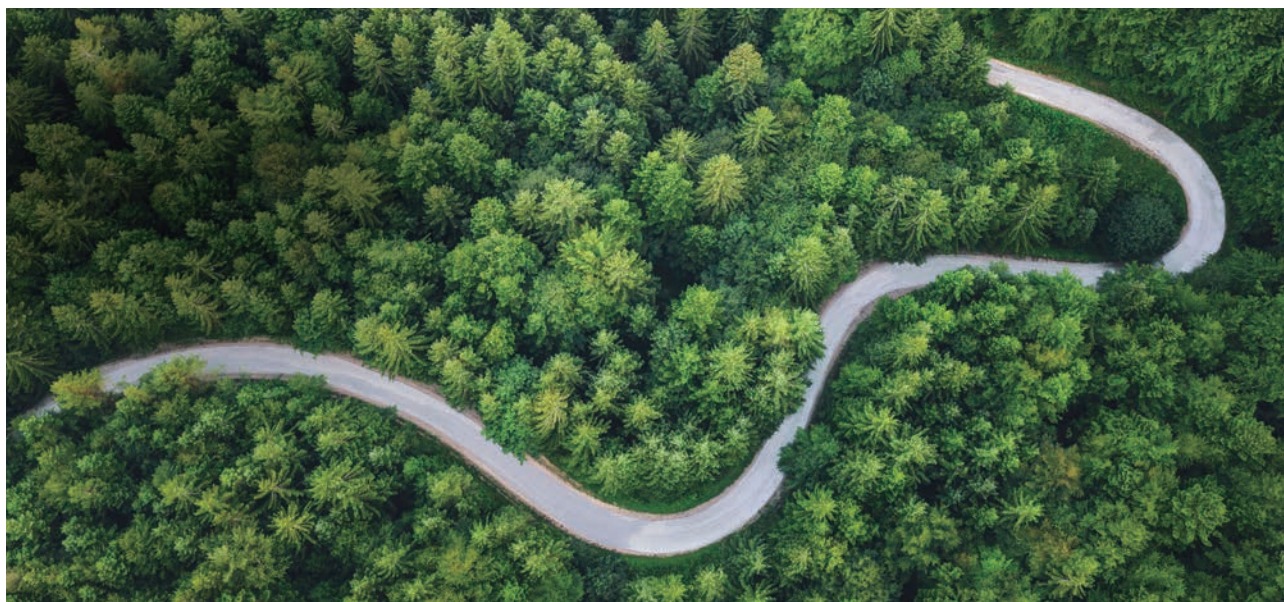
绿氢是氢能利用最理想的形态，但目前受制于技术门槛和较高的成本，实现大规模应用还有待时日。可再生能源制氢未来将是提高可再生能源应用比例，构建清洁低碳、安全高效能源体系的最有效途径之一，有望成为最主要的制氢方式，市场前景广阔。

根据 Statista 数据，国际能源组织（IEA）预测，到 2050 年全球的绿氢产量将远远高于蓝氢。IEA 预测 2030 年电解水制氢及生物质制氢等绿氢产量占比将达 34%，2050 年全球绿氢产量将达 3.23 亿吨，较蓝氢产量高 58%。至 2060 年，几乎全部氢气需求都将由低排放技术满足，其中近 80% 是电解水制氢，届时电解水制氢将成为具有成本竞争力的制氢工艺，耦合 CCUS 的化石能源制氢产量则将满足 16% 的氢气需求³。

发展绿氢将带动上下游产业，提供经济增长强劲动力，从产业角度来看，氢能产业链条长，涉及能源、化工、交通等多个行业。氢能产业的快速发展必将带动氢能产业链上下游零部件商、原材料商、设备商、制造商、服务商快速发展。根据中国氢能联盟数据，氢能产业链的建立能充分带动经济增长和产业的发展，创造约 1.6 万亿的市场产值和超过 1 万亿的基础设施投资空间（根据固定成本投资和运营费用加总计算）⁴。

目前，全国已有 22 个省市公开发布到 2025 年的氢能规划，风光大基地就地消纳，配套制氢项目密集开建，在地方相继出台氢能产业政策后，国内能源公司纷纷布局风光一体化绿氢耦合项目，例如新疆光伏制氢、内蒙风电制氢等，为规模化生产清洁低碳氢能奠定了良好产业基础。

截至 2023 年 2 月，我国规划年产绿氢超过 2 万吨的大规模绿氢示范项目近 20 个，其中由于内蒙古具备发展可再生能源大规模制氢的良好条件，潜在制氢产能超过 330 万吨。绿氢产量的增加，将帮助作为氢能的头部消费国与生产国的中国在氢能市场乃至双碳领域中扮演更为重要的角色。



³ 国际能源署（IEA），中国耦合 CCUS 制氢机遇

⁴ 中国氢能联盟研究院，开启绿色氢能新时代之匙：中国 2030 年“可再生氢 100”发展路线图

1.2.2 中游储运

氢的高密度储运是氢能发展的一个重要环节，同时也是中国氢能发展的瓶颈之一。在储氢方面，根据氢的状态不同，可以分为高压气态储氢、低温液态储氢、固态储氢、有机液态储氢等形式。

如今，高密度、轻量化、低成本、多元化的氢储运体系逐步建立。液态储氢（液氢、液氨、甲醇）和管道运输成本对距离不敏感，均适用于长距离储运，气氢拖车对距离较为敏感，更适用于短距离。高压气态储运技术相对成熟，在成本方面具备优势，是中国市场中短期内储氢的主流方案，液态储运和固体材料储运有望逐步商业化。

低温液氢储运装备正在逐步国产化，未来中期将实现长管拖车气氢运输与液氢运输相互配合的输氢格局。液氨载氢为气氢向液氢过渡阶段的替代，可在常温常压下长距离运输。但长期看，大规模下其运氢成本高于液氢，因而液氨载氢可成为中短期内在液氢设备成熟前的长距离氢能储运过渡技术。

管道输氢经济性最强，是未来氢能储运的终极方向。管道纯氢运输方式由于前期管道建设投入大，在当下用氢规模较小且分散的情况下经济性有限；由于全球天然气管网建设相对健全，因此天然气掺氢可作为中短期管道输氢降本较为有效的方式；从长期看，氢能产业较为成熟、用氢规模大且集中稳定时，纯氢管道运输将成为主流输氢方式。

图表 7 4 种储氢方式的优缺点和应用比较

储氢方式	优点	缺点	应用
高压气态储氢	<ul style="list-style-type: none"> ● 技术成熟 ● 结构简单 ● 充放氢速度快 ● 成本及能耗低 	<ul style="list-style-type: none"> ● 单位体积储氢密度低 ● 安全性能较差 	<ul style="list-style-type: none"> ● 普通钢瓶：少量储存轻质 ● 高压储氢罐：多用于氢燃料电池
低温液态储氢	<ul style="list-style-type: none"> ● 单位体积储氢密度大 ● 安全性相对较好 	<ul style="list-style-type: none"> ● 氢液化能耗大 ● 储氢容器要求高 	<ul style="list-style-type: none"> ● 大量、远距离储运 ● 主要用于火箭低温推进剂
有机液态储氢	<ul style="list-style-type: none"> ● 液氢纯度高 ● 单位体积储氢密度大 	<ul style="list-style-type: none"> ● 成本高，能耗大 ● 操作条件苛刻 	<ul style="list-style-type: none"> ● 实验研发阶段
固体材料储氢	<ul style="list-style-type: none"> ● 单位体积储氢密度大 ● 能耗低，安全性好 	<ul style="list-style-type: none"> ● 技术不成熟，单位质量储氢密度低 ● 充放氢效率低 	<ul style="list-style-type: none"> ● 热电联供、储能 ● 车载燃料电池氢源系统等领域

来源：高工氢电

1.2.3 下游应用

作为一种用途广泛的二次能源，氢能可以在多个生产和消费环节作为替代能源和原料进行使用，在工业、交通、建筑、电力行业中均有不同的应用场景。

1.2.3.1 工业

作为一项深度脱碳技术，**氢能化是电气化的最佳替代方案**。在那些无法电气化、难以减排，或对电池有较高限制、电气化成本收益不高的应用场景中，氢能是最佳的能源脱碳解决方案，主要场景包含钢铁、化工等领域。氢气是重要的工业气体，氢元素的强还原性被用于多种化学反应，是众多化合物的基础元素之一。化工行业需要用氢制备甲醇、合成氨等多种产品，冶铁需要利用氢气作为还原剂，多种高端材料的制造在生产流程中均需使用氢气进行加工。



具体的脱碳路径主要根据使用场景进一步选择。例如，在钢铁生产环节，氢能化实现脱碳的重要路径，氢气主要用作还原气，将金属氧化物还原成金属，在高温锻压一些金属器材时，经常用氢气作为保护气，以使金属不被氧化。使用绿氢和过渡性的富氢气体（如天然气）直接还原，再结合 CCS/CCU 转向一级钢生产，与高炉途径相比，全绿氢模式可将二氧化碳减排潜力提高到 95%⁵。利用氢气炼钢，省去了炼焦等高污染炼铁环节，助推钢铁行业有效脱碳，其效用高于煤炭 CCUS，是未来 5 年行业的机遇所在。目前，已有部分企业发布了明确的碳减排拆解指标，直接还原铁工艺升级是其关注重点。

⁵ 中德能源转型研究项目，《绿氢在部门耦合中作用》

1.2.3.2 电力及储能

随着能源行业供给清洁化、消费电气化、利用高效化趋势深入，天然气掺混氢气燃烧发电在环保效益、调峰调频、维护电网安全运行、缓解天然气供应压力等方面的优势逐步凸显，可在推动天然气发电由低碳加速迈向零碳以及全球发电转型变革中持续发挥重要作用。

相比燃煤发电，同等出力下，掺氢燃气发电具有大幅减少二氧化碳和常规污染物、100%可调节、建设周期短、运行流程和操作方式相对简单灵活等优势。与可再生能源直接发电相比，掺氢燃气发电具有供电持续性高、安全可靠力强、调节性能出色等特点，可以相应地弥补可再生能源电力间歇性、随机性和反调峰的不足。**尽管掺氢燃气发电在全球尚属前沿领域，但其代表着未来清洁低碳发电的新趋势。**

此外，在发电领域，**氢能可用于替代天然气作为补偿电源。**风、光、水等可再生能源电力有季节性波动，可在风、光、水、电过剩时电解水制氢，并在岩穴（譬如采空的盐矿）和采空的天然气田等处低成本存储；在风光水电有较长时间的短缺时，用氢能通过燃料电池或燃气轮机发电或热电联供，这样可再生能源电力制氢及氢能发电就成为碳中和时代电力系统中储能容量最大的储能模式⁶。

氢储能的大规模发展将加速电力系统形态演进，促进新型电力系统建成。电解制氢、储氢和氢燃料电池发电可构建微电网系统，进行热、电、氢多元能源联供，有效解决偏远地区清洁用能的问题，并提高微电网在电力系统中的渗透率，增强新型电力系统的抗风险能力。**氢储能系统可以作为能源枢纽之一，在源侧、荷侧实现多能源互补。**在电源侧，氢储能可以促进“风光氢储一体化”“风光水火储氢一体化”等多能互补综合能源基地建设，在用户侧，制氢加氢一体站可以与加油站、加气站和充电站进行合建，形成综合能源服务站。



⁶ 赛迪智库，氢能的安全应用研究

1.2.3.3 交通

在交通运输领域，氢气可以显著减少卡车、公共汽车、飞机和船舶排放的温室气体，以改善空气质量。根据 IEA 和中国氢能联盟的数据分析，到 2060 年，交通运输业对于氢能需求量的增长贡献最大。

燃料电池车能量密度高，加注燃料便捷、续航里程较高，未来市场前景广阔，有望与纯电动汽车形成互补并存的格局。国内对氢燃料电池汽车在交通领域中的定位也达成了一定共识，业内认为，燃料电池汽车技术是部分商用车型的终极技术选择，例如牵引车这类需要单日行驶超过 500 公里的长途商用车⁷。

加氢站是氢能源下游应用发展的重要基础设施，也是氢能产业建设布局的重点。中国加氢站建设和运营企业多元，但市场集中度较高，截至 2022 年年末，全球部署的加氢站数量已超过 1000 座，我国已建成加氢站共 310 座⁸，居全球第一。

我国氢能在交通领域的应用呈现氢燃料电池商用车先发展，氢燃料电池乘用车后发展的特点。据中国汽车工业协会发布的数据显示，2022 年全年燃料电池汽车产销分别达到 3628 辆与 3367 辆，创下有史以来的最好成绩。当前氢燃料电池汽车的主要示范应用集中在物流、客车等领域。随着质子交换膜燃料电池的技术突破与规模效应带来的成本下降，氢燃料电池重卡、乘用车等车型的市场化进程将加快。氢燃料电池商用车将率先实现产业化的应用与运行，除了政策的激励效应之外，**氢燃料电池客车、物流车、重卡等车型将在 2030 年前取得与纯电动车型相当的全生命周期经济性⁹**。



⁷ 国际清洁交通委员会 & 中国电动汽车百人会，驱动绿色未来：中国电动汽车发展回顾及未来展望

⁸ 氢燃料电池行业研究机构，香橙会氢能数据库

⁹ 电车资源行业研究院，氢能源在商用车领域的应用分析

1.2.3.4 建筑

氢能与建筑融合，是近年兴起的一种绿色建筑新理念。建筑领域需要消耗大量的电能和热能，已与交通领域、工业领域并列为我国三大“耗能大户”。在不考虑气源碳排放的情况下，向天然气中掺入 5% 比例的氢气大约减少 2% 的碳排放，如果将掺混比例提高到 20% 将最多减少 7% 的碳排放¹⁰。如果在燃烧过程中使用绿氢，可使燃料的热效应减少 50%–75%；如果将绿氢用在燃料电池中，则减少量可达 90%。

在碳中和背景下，各国政府将天然气掺氢项目作为氢能应用场景探索大力推广，例如，英国将从 2025 年起禁止新建住宅使用燃烧化石燃料的燃气和燃油锅炉，必须使用低碳供暖技术，在主电网覆盖地区，电力热泵或为首选解决方案，但是在制氢设施附近的人口稀疏地区，氢能或将发挥重要作用。

在建筑领域，也可以通过分布式能源供应实现热电联供。在氢气运输至建筑终端方面，可借助较为完善的家庭天然气管网，以小于 20% 的比例将氢气掺入天然气，并运输至千家万户。

根据国际氢能委员会预测，2050 年全球 10% 的建筑供热和 8% 的建筑供能将由氢气提供，每年可减排 7 亿吨二氧化碳。

1.2.3.5 电力多元化转换（Power-to-X）

Power-to-X 技术是指利用风、光等可再生能源，通过电解转化为长期储存的氢或甲烷等化学能源的技术，为航空、重型运输和工业生产等无法直接实现电气化的领域供能，这项技术将在能源转型中发挥关键作用，为交通运输、化工、钢铁等碳密集型行业提供极具发展潜力的脱碳方法；还能帮助改善空气质量并加强能源安全。

最直接的 X 是氢能，**通过以 100% 可再生电力（风能和太阳能）为动力的电解槽生产氢气，温室气体排放量或其它污染为零，并且通过并网的可再生能源电力制氢，还可优化电力构成的结构，增加能源系统的灵活性，更好地将如风能、太阳能等可再生能源纳入能源系统。由于目前在氢储运技术方面的瓶颈，越来越多的项目将绿氢进一步转化为氨、甲醇、甲烷、合成气等易储运和应用广泛的原料和能源介质。**

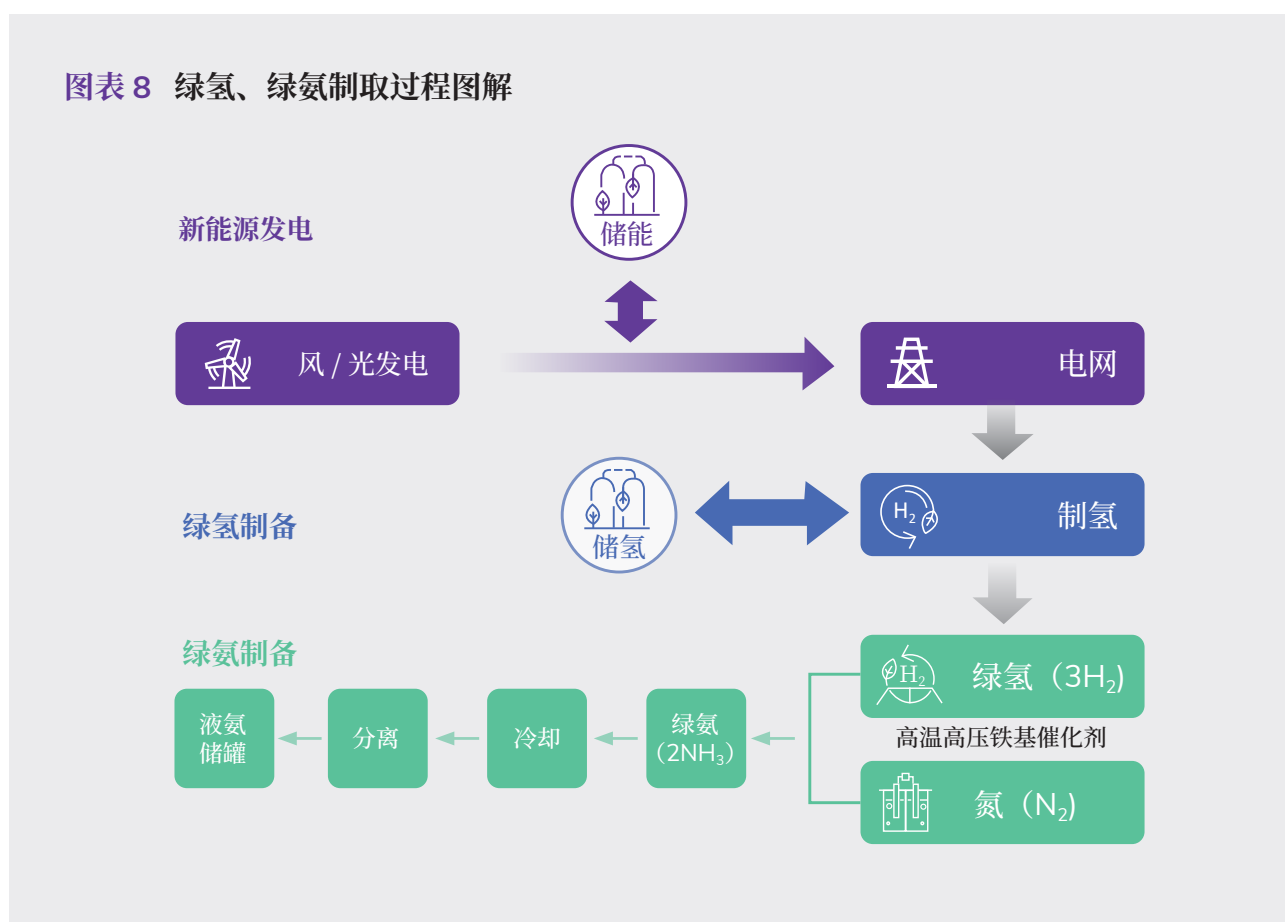
¹⁰ IEA, Cross-cutting : Hydrogen

以氨为例，氨比氢气更易液化，且同体积液氨含氢量比液氢多至少 60%，储运基础设施方面，氨具备管道、船舶等运输方式，更加完善，可作为储运氢的载体，助力实现氢的低成本远洋长输，有望突破氢气利用瓶颈运输成本。

储能用氨将在 2030 年后进入快速发展期，2050 年应用占比将达到 50%，预计 2030 年全球绿氨市场规模达到 54.8 亿美元，年均复合增长率高达 74.8%，市场发展前景广阔¹¹。截至 2022 年，全球已布局超过 40 个绿氢绿氨项目，规划总产能超过 1500 万吨/年。

随着“绿氢+”模式的推广，从制氢的源头开始，在运输、应用环节将会呈现“多点开花”的局面，从而加速氢能全产业链的完善和成熟。作为综合能源系统的基本组成部分，氢能和 Power-to-X 的重要性将不断提高。

图表 8 绿氢、绿氨制取过程图解



资料来源：公开信息，毕马威分析

¹¹ 毕马威，固碳、储氢、航运燃料、掺混发电：绿氨行业概览与展望



2 氢能工厂全生命周期数字化发展洞察

就目前而言，中国氢能产业仍处于发展初期，相较于国际先进水平，仍存在产业创新能力不强、技术装备水平不高、支撑产业发展的基础性制度滞后，产业发展形态和发展路径尚需进一步探索等问题和挑战。

面对新形势、新机遇、新挑战，需要包括氢能供应链、技术、商业模式在内的整个生态系统联动发展，加强顶层设计和统筹谋划，进一步提升氢能产业创新能力，不断拓展市场应用新空间，引导氢能产业健康有序发展。除了整合产业链资源和上下游价值链，能源行业数字化转型是大企业瞄准的新蓝海。根据 IDC 的最新预测，2021-2025 年，中国能源企业数字化转型支出将以每年 15% 的速率增长，生产运营数字化将成为企业重要减碳发力点。

2.1 氢能行业的当前挑战

当前，我国可再生能源装机居全球第一，绿氢产业发展潜力巨大，“以绿电制绿氢”成为氢能产业可持续发展的行业共识。减少成本，降低风险，提升灵活性，实现安全高效的运营、这些都是绿氢发展中的关键，然而过程中面临着以下诸多挑战。

1

供需不确定，技术路径多，发展成熟度不一，投资决策难

为了满足市场需求，企业或相关部门需要新建、扩大或改进他们的绿氢工厂。然而，基于有限的市场数据和该领域的低成熟度，从工厂设计到建设和运营端到端的绿氢系统面临诸多未知因素，导致项目成本高且周期漫长。此外，许多大型绿氢设施建在现有的产业集群内，这就需要在设计规划时增加设计维度，把在向绿氢过渡期间对现有运营的影响降至可控的最低水平。投资回报率的未知性或低回报率都会制约氢能产业的发展。

2

技术跨度大，工程设计投入大，规模化建设难

生产绿氢及其供应链的公司需要克服重大的工程挑战，才能有效控制投资风险，成功实现大规模商业化和部署，包括厂房设计、氢的储存、氢的运输和分配、氢在智能电网发展中的整合、实现低成本和可持续的燃料电池等。氢能企业作为技术密集型新兴高端装备制造企业，在进一步实现工程化、产业化发展的过程中都面临着信息化研发和管理的痛点。一方面，氢能产品比较复杂，涵盖电化学、机械等专业技术，另一方面，企业存在跨部门流程缺乏结构化设计、统一稳定的产品数据匮乏造成产品经验难以积累等问题。另外，在行业技术不断迭代、企业研发团队人员流动快的背景下，缺乏行业数据标准，缺乏统一的数据交换规定，积累整合零散的研发数据、保持产品的稳定与先进，需要先进的数字化工具的支撑。

3

氢能利用效率偏低，能源损失高，工艺和设备成本高，运营盈利难

绿氢在供应链的每个环节都会出现大量的能量损耗。据统计，在电解过程中，大约有 30%-35% 用于生产氢气的能量会损失掉；将氢气液化或转化为其他载体，例如氨，会导致 13%-25% 的能量损失；运输氢气需要额外的能量输入，通常相当于氢气自身能量的 10%-12%。在燃料电池中使用氢气将导致额外的 40%-50% 的能量损失。如果不优化，将需要大量的可再生能源部署。

4

产业链长，环节多，透明度低，上下游协调不足

氢能产业覆盖制氢、储氢、运氢到用氢等环节，在当前氢能发展初期，产业链中的各环节、各地区发展不协调的问题比较突出。以加氢站的氢气供应为例指出，如果氢能企业可通过数字化信息平台预测每个加氢站的氢气日需求量，以此制定氢气供应方案，将氢气的制储运加用各个环节连接起来，形成统一的调度系统，将有利于产业高效发展。如果在氢燃料汽车、加氢站以及储运氢等各环节，能够进行即时、全面的数据采集，并建立数据库，通过专业化的工具进行数据的收集整理，将大大提高相关企业生产、管理和研发效率。

5

氢能安全管控难题待解

氢气具有易燃性、易爆性、易发生氢脆等特点，在氢能制取、储存、运输、加注和应用全产业链都存在一定的危险性。另外，由于氢气很容易扩散，以目前的技术设施往往难以检测到，因此，加氢站存在氢气泄漏、火灾等风险。对于氢能产业的发展，安全问题受到业界的高度关注，在中长期发展进程中，确保行业在安全的“航线”内健康发展至关重要。氢能行业也需要不断完善行业标准，保障安全和稳定的生产和维护。

2.2 数字化技术赋能氢能价值链

氢能产业链条长、业务场景多、协同难度大，数据孤岛多，未来必然需要通过先进的数字化技术来实现上下游协同效率、降本增效，产生新的业务组合，提升全产业链核心竞争力。这其中，**数字孪生技术、人工智能和大数据分析、实时监测和自动化控制**等将起到核心作用。

■ 数字孪生

数字孪生是现实世界中的实体资产的数字化形式。数字孪生可以是模拟新建资产或重建现有资产的模型。数字孪生包括三大要素：

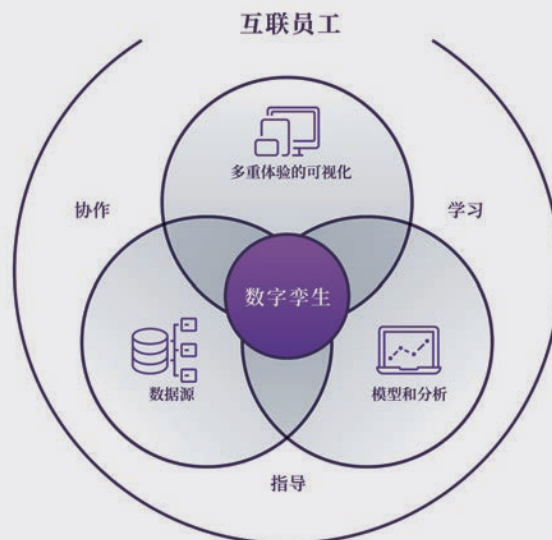
数据：工程设计数据和实时工厂数据

数字模型：基于物理的模型、数据分析模型和混合模型等

可视交互：全方位多角度的可视化工具和协作系统。

在氢能行业，数字孪生可加快工艺技术的创新和扩展，根据项目 KPI 快速评估设计概念、优化产能、盈利能力和碳排放流程，实现跨部门和企业的工程师间协作，通过以数据为中心的工程信息方法降低项目风险，顺利开车运营，并建立一支随时待命的员工队伍，将全面的数字孪生移交给运营部门、实现持续的决策支持和卓越运营。

图表 9 数字孪生赋能互联员工



■ 人工智能和大数据分析

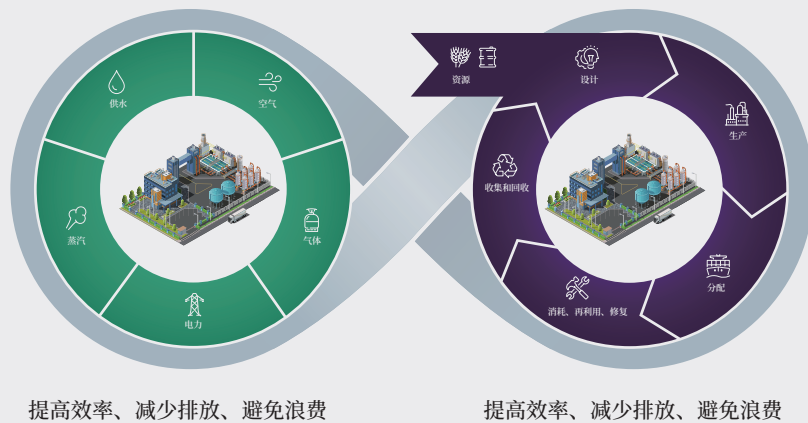
数据将发挥重要作用，因为优化绿氢生产依赖于整个价值链上各个环节的可见性。一个利益相关者的决策（比如何时使用风力发电来制氢），可能跟另一个利益相关者面临的情况（比如钢铁或氨的价格变化）息息相关。这些决策可以实时做出，但必须依据整个生态系统共享的数据。对于绿氢产业，通过来自工厂、储罐、管道、能源采购商等的数据进行分析，可以将资本支出优化 10%-15%，同时将风险降低 30%-50%，同时降低不必要的运营支出。

■ 实时监测和控制

能源消耗、工厂性能、生产率和纯度是制氢的关键性能指标，需要可见性以确保高效生产。通过对工厂运营和资产健康状况的实时监控，甚至天气的数据进行整合、分析和学习，以及高级分析的应用可以提供纠正措施建议，以最大限度地提高产量。可以通过预测故障和优化电解槽正常运行时间来防止能量损失，从而增加收入并降低运营成本。

总之，数字化解决方案可以为氢能项目投资决策提供可见性，以端到端、一体化工程减少成本损耗并最小化碳足迹，释放绿氢的运营与环境效益。为了克服氢转型所带来的挑战，无论是新能源发电、电解制氢还是工业生产场景，工程和运营团队都必须全面拥抱数字化转型，从而赋能产业链创新和协作。

图表 10 数字化转型的可持续发展效益



- 根据项目 KPI 快速评估设计概念，加快工艺技术的创新和扩展
- 实现跨部门和企业的协作，借助数据驱动的工程信息方法，统一数据交换标准，降低风险
- 顺利开车运营，优化产能，提高可靠性，灵活性和盈利能力
- 提升产业链透明度，增强上下游整合和协作效率，提升运营韧性
- 赋能员工队伍，保障安全稳定的生产，支持可持续的决策和卓越运营

下文将按照氢能项目生命周期来阐述数字化解决方案如何帮助氢能企业促进创新、规避风险、降低成本、提高运营韧性。

2.2.1 设计阶段：低碳能源场景的流程模拟

氢能作为一个新兴独立的行业，一方面存在着与多个传统行业（如电力、化工）的技术交叉，另一方面各种技术创新层出不穷，导致其技术路径多样性高但成熟度偏低。因此，借助数字化手段在项目早期敏捷评估各种工艺方案，高效验证概念设计，并给出可靠的结果，对项目的成功与经济性至关重要。

AVEVA 工艺数字孪生平台 AVEVA Process Simulation（以下简称“APS”），能够高效完成包括灰氢、蓝氢、绿氢工艺在内的全氢价值链的仿真和模拟计算，帮助企业实现工艺侧的数字孪生。传统的流程模拟软件往往用途单一、模型无法复用，限制了设计阶段各专业的协作，AVEVA 重新架构、全新开发的 APS 将多种计算目的在一个统一的建模环境中予以实现，支持稳态模拟、动态模拟、水力学计算模式的自由切换，用同一个模型服务于项目的全生命周期。同时打破壁垒，与 AVEVA PI System 实时数据库集成，支持运营端的应用，结合经济核算、碳排放统计对工厂的效益与可持续指标予以追踪与优化。

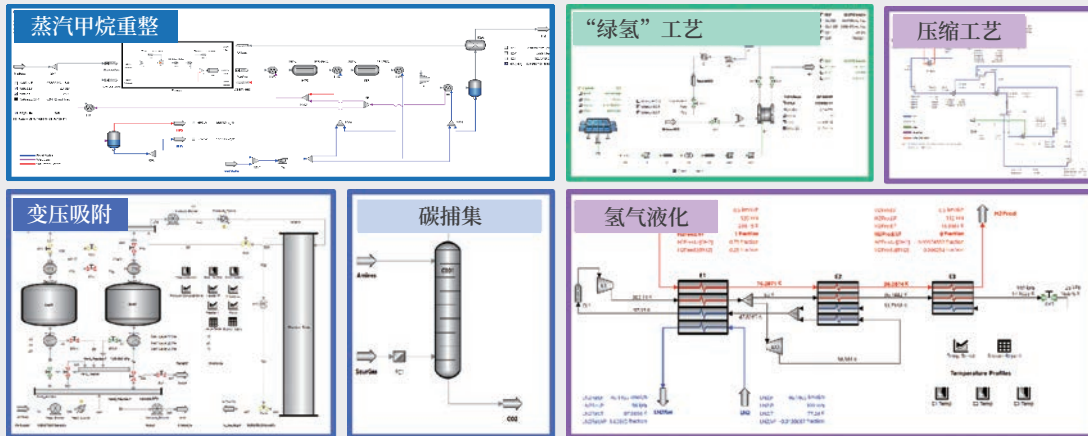
APS 能够支持同步敏捷开发，实现对市场趋势和新技术的快速响应，近年来不断拓展 CCUS 与清洁能源领域模型库。不仅如此，得益于开放的架构与便捷的模型编写环境，用户可以查看 APS 中所有模型的方程，甚至基于数学语言修改或自定义模型，从而验证新技术与新设计。

图表 11 AVEVA Process Simulation 的功能示意图



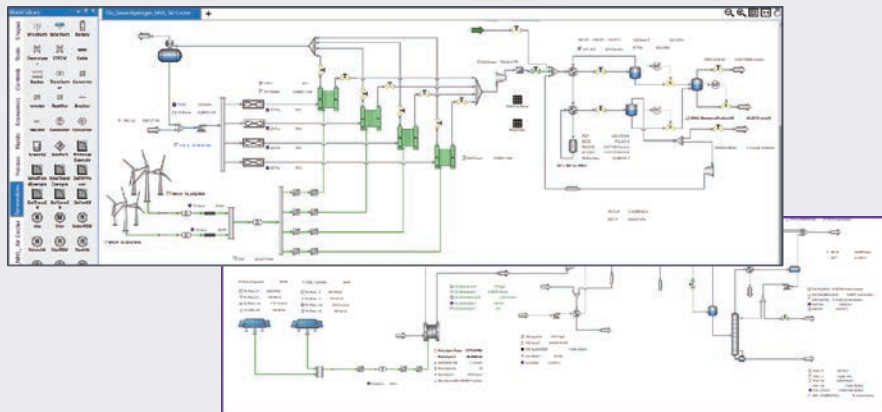
如今，APS 不仅在推动氢能生产和应用领域大有可为，适用于整个氢能价值链，可覆盖太阳能光伏和风力发电、蒸汽甲烷重整或水电解制氢、氢气液化 / 压缩工艺、酸气处理、PSA 变压吸附等氢气处理的工艺设计。其工艺模型还可以在整个项目生命周期中重复使用，在设计 and 运营阶段的模拟工艺工况，为工程师与企业决策者提供卓越洞察力。

图表 12 通过 APS 模拟氢能工艺的各个环节



举例来说，利用 APS 的模拟计算，企业能够在短时间内对多种制氢工艺方案进行比较，以确保获得工艺最优、能耗最低、原料最省的最佳设计方案。在绿氢项目中，借助于 APS 创新的可再生能源模型库以及稳态动态一体化的建模环境，企业还可以获得需要配置的电解槽数量、可再生电力供给动态预测、制氢制氨产能波动及能源需求、氢气缓冲罐容积等数据，为早期决策提供支持。再结合 APS 传统强势对于化工工艺的覆盖，对 Power to X 项目进行联合模拟，从而全面评估清洁能源综合转化利用项目的可行性与经济性，高效设计可持续的绿色工厂。

图表 13 通过 APS 模拟 PTX (绿氨 & 绿色甲醇) 工艺



不仅如此，APS 与 AVEVA 剑维软件的工程设计平台进行数据流的双向同步，大大提高数据的完整性和一致性，提高前端工程设计（FEED）阶段的效率，并节省项目前期投资。APS 拥有的碳排放计算模块，可以提供绿氢从光伏发电到制氢和下游制氨或制甲醇工艺的全过程碳追踪方案，帮助氢能行业客户更好地模拟和优化碳中和要求下的工况，打造净零目标的工艺设计，助力企业实现绿氢低碳、低成本生产。

目前，APS 不仅被广泛应用于科思创（Covestro）、赢创（EVONIK）、拜耳（Bayer）、三菱化学（Mitsubishi Chemical）、伊士曼（Eastman）、壳牌（Shell）、埃克森美孚（ExxonMobil）等能源化工头部企业中，也被用于低碳与清洁能源领域，既有老牌工业集团蒂森克虏伯（Thyssenkrupp），又有技术创新公司如 Airbridge，为用户打造显著的差异化优势。综合来看，APS 不仅能够加快氢能工程周期，解决传统工艺设计、工程和模拟方面低效率的问题，更能为可持续性、产品可行性以及保障高质量结果提供强大支持，助力高效设计和打造出可持续的流程和工厂。

案例

蒂森克虏伯

使用 AVEVA Process Simulation 搭建了满足需求的工艺模拟库来设计绿氢工厂，进行稳态和动态模拟，把可再生能源的波动性考虑在设计中，来满足工厂灵活运营的需求。

案例

澳大利亚 CCUS 公司 Airbridge

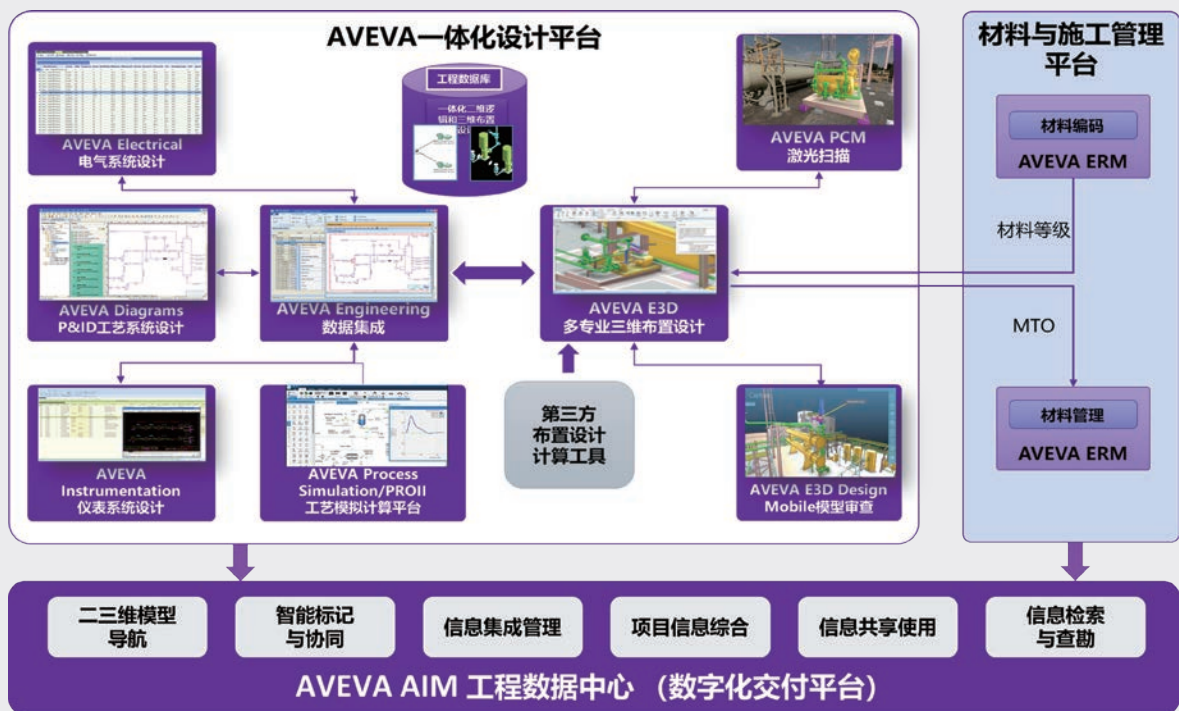
使用 AVEVA Process Simulation，创建全新碳转化设施的准确试验数据模型，包括详细的电解质热力学特征，使其团队能够准确预测化学反应，还可以模拟化学过程循环来预测二氧化碳回收率。

2.2.2 工程阶段：新一代工程设计与项目管理思路

对于氢能行业而言，客户越来越需要高效的、以数据为驱动的绿色工程设施。因此，为了改变新工厂以及在役工厂陈旧的设计、建造和运营方式，无论是业主运营商，还是工程设计、采购和施工（EPC）企业，都需要制定更明确的战略，以提高工程设计效率和运营敏捷性。

为克服氢能行业数字化转型中的重重挑战，除了在工艺模拟层面借助新兴的数字化技术外，工程团队还必须在概念设计、工程设计、项目执行、开车和运营的方方面面，贯彻和全面推行数字化转型的理念。在这一领域，AVEVA 提供一揽子一体化氢能工程设计与交付解决方案，可以广泛集成 1D&2D&3D 工程设计工具，为氢能企业提供横跨项目全生命周期的洞察。

图表 14 一体化工程设计、材料与施工管理以及工程数据中心的系统解决方案



在工程设计层面,AVEVA Unified Engineering (一体化工程设计平台,以下简称“AVEVA UE”)覆盖了概念设计、前端工程设计以及详细设计,除了上文中提到的流程模拟,还包含从电气仪表设计、2D&3D 设计解决方案的组件:

● AVEVA Electrical 和 AVEVA Instrumentation

可以为电气仪表设计提供先进的图形用户界面和高级电缆铺设功能,允许使用设计规则及目录来完成数据创建,最大限度地增强工作流的灵活性。

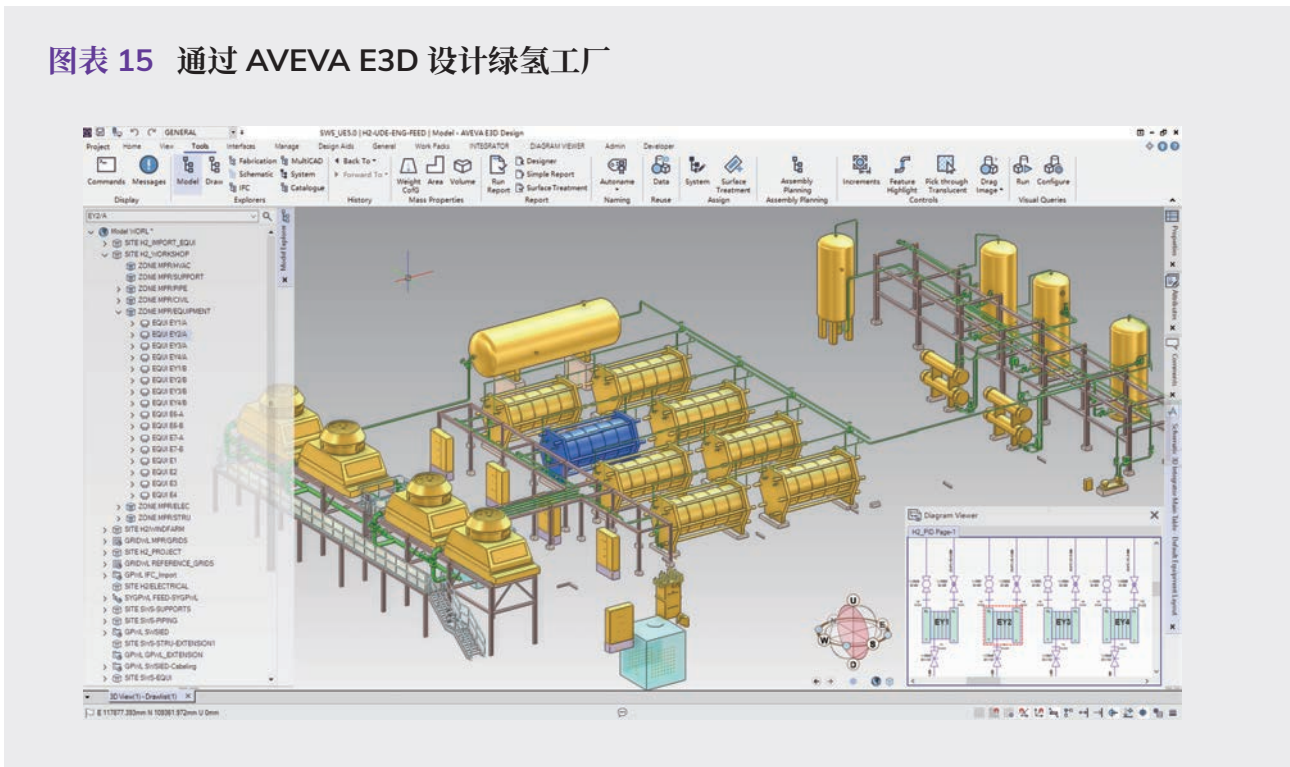
● AVEVA Diagrams

可以为项目创建 2D 的 P&ID 图提供快速、高效的解决方案。在不同设计阶段、不同要求,选择不同的检查项运行检查,同时,在多专业共同参与的项目中,有效传达变更,并对变更的传达过程施以有力控制,进而在成本、质量和工期层面为氢能客户创造价值。

● AVEVA E3D Design

可以为三维协同设计提供准确的出图和材料统计,减少浪费,通过多专业协同设计工具,大大提高工作效率,加速制氢工厂的设计环节。该平台对安装、碰撞、干涉检查的模拟,可以大大减少后期施工返工时间。不仅如此,以 AVEVA E3D Design 为核心的一体化工程方案,还可以打通 EPC 设计、采购、施工,并且和工艺计算、材料编码系统等数据进行轻松集成,让工程师能够更好地进行协作和创新。

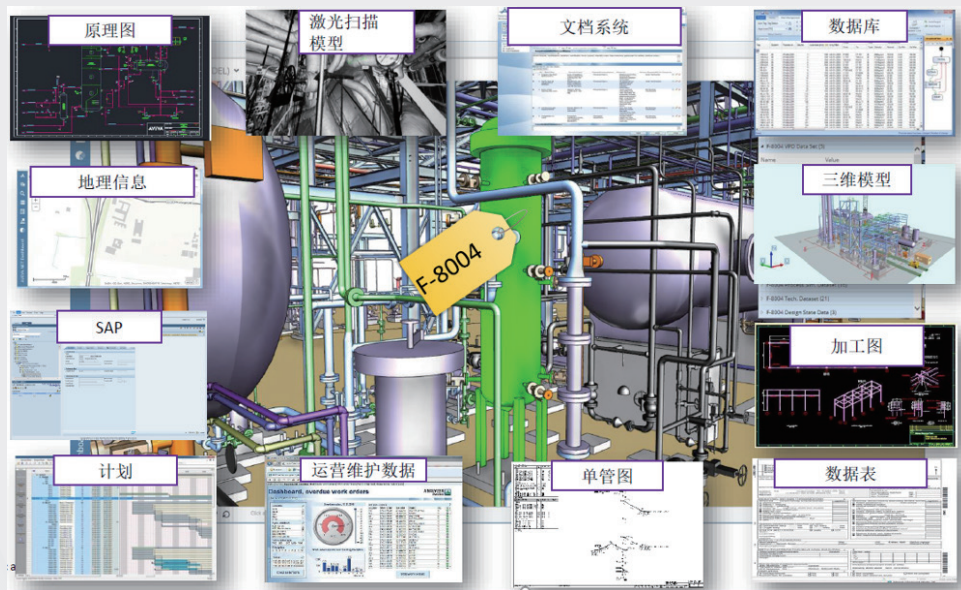
图表 15 通过 AVEVA E3D 设计绿氢工厂



在材料和施工管理层面，AVEVA Enterprise Resource Management（材料与施工管理平台，简称“AVEVA ERM”）也可以为氢能企业打造强劲的数字项目管理引擎。AVEVA ERM 拥有直观且先进的图形化用户界面，能够为企业精准监控进度和成本，进一步确保氢能工厂正确的材料、文档的准时准确交付，以持续改进材料使用、工厂效率，降低基建项目的时间、成本和风险，进而减少工厂碳排放。基于丰富的等级库和编码库，可为项目启动提速 30%，并为企业降低散装材料成本，降低记建筑人工成本，最终为氢能工厂工程项目节省 4%~8% 的总安装费用（TIC）。

在数据管理层面，AVEVA Asset Information Management（资产信息管理平台，以下简称“AVEVA AIM”），为客户大幅提升敏捷性和协作性的同时，也创建了数字孪生的工程数据中心，为实现氢能工厂的数字化交付打下坚实基础。在实际数字化交付过程中，AVEVA AIM 也将让客户获得对工厂全生命周期内资产信息，以及施工流程的完全控制权，助力客户设计、建设和交付行业领先的氢能项目和工厂。

图表 16 通过 AVEVA AIM 管理工厂工程数据示例图



宏观来看，AVEVA 提供一揽子一体化工程设计与交付解决方案可以让氢能企业在概念设计和 FEED 阶段创建的模拟数据，随时用于详细设计，并能接受实时检查和验证，从而打破数据孤岛，大幅提高设计质量，提高工程效率。作为能全面控制采购、施工过程的一体化解决方案，可以优化材料使用、减少浪费。利用所创建工程数据中心，氢能企业不仅能对资产进行优化设计，提高材料使用效率，更高效地利用能源，还能够快速查找工程信息，最大限度地降低工程和维护风险，并减少碳足迹和碳排放。

案例

澳大利亚新能源公司

利用 AVEVA UE、ERM 和 AIM 解决方案帮助客户构建了新的氢能项目蓝图。通过在绿氢工厂设计中使用 AVEVA UE，团队可以使用内置的模板功能优化运营设计。其中，AVEVA E3D Design 提供的可视化工具，可在整个材料和设计流程中大大提高工程效率、改善跨部门协作，推动项目成功执行。

2.2.3 运营阶段：数字化工厂的智能运营

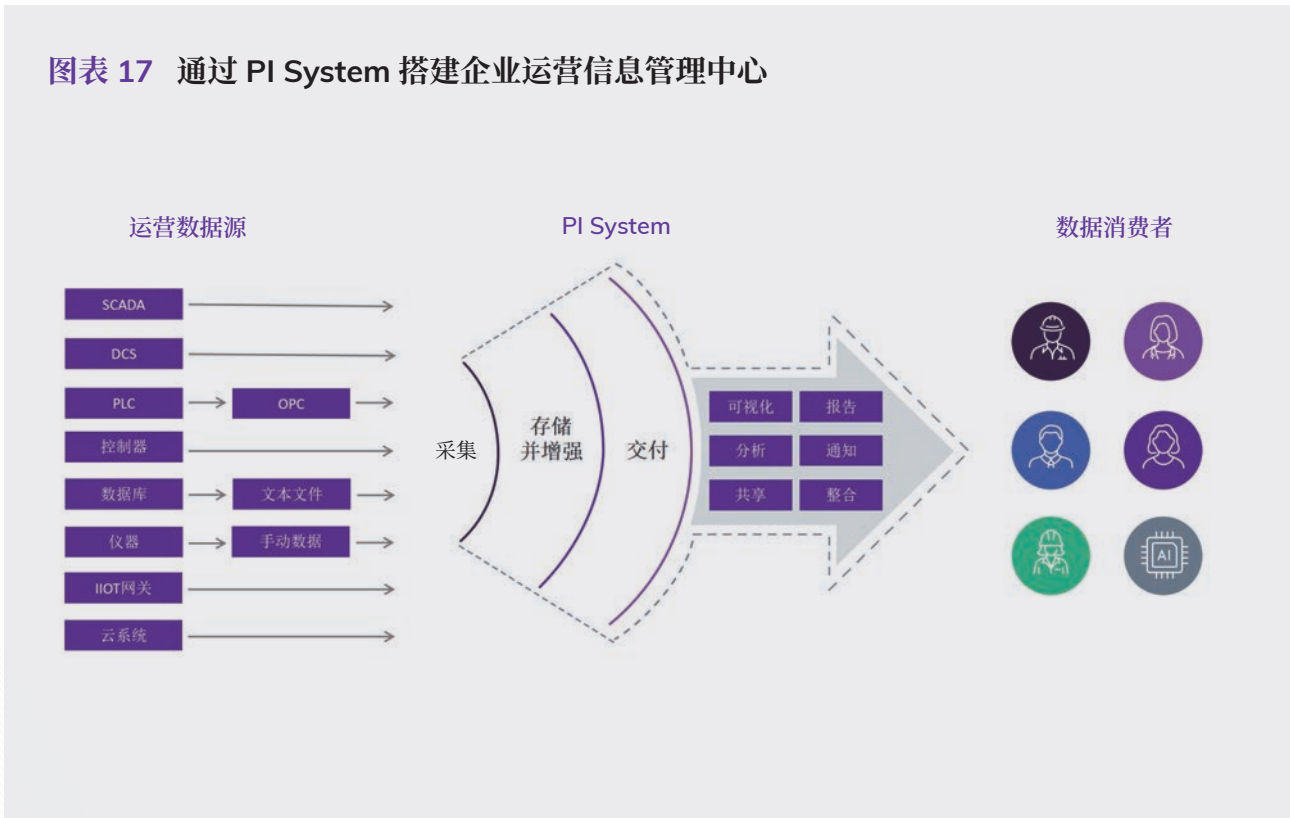
对于任何行业而言，数字化转型都是一个循序渐进的过程。当一座现代化的氢能工厂完成工艺模拟、工程设计环节，建造完毕并步入运营阶段后，伴随着大量实时运营数据的产生，企业也将面临更多的困难和不确定性。毫无疑问，运营阶段不仅是一座工厂持续优化改进的过程，亦是保障企业提高生产与运行效率、创造更大经济效益的关键所在。

一直以来，加强运营、确保安全、降低成本和提高质量是企业发展不变的目标，而如何改善内部运营，并持续优化运营成本是其保持竞争力的关键因素。在大数据时代，越来越多的氢能企业开始将数据视为企业的重要资产，并期望借助数据的力量来优化流程，以提高运营效率和盈利能力。为应对生产环境和市场需求日新月异的变化，氢能企业需要对运营中产生的数据进行高效率的实时分析、利用、反馈，以不断改进流程、持续优化管理运营、落实数字化服务，实现数据价值的闭环利用，并确保资产的正常运行时间。

在这一领域，AVEVA 提供一体化氢能工厂运营解决方案，涵盖了数据管理、生产优化、运营一体化和设备智能运维等方面，为降低氢能工厂运营成本，提高灵活性、可靠性和利润率。

在数据管理方面, AVEVA PI System 实时数据库能为氢能客户提供支撑, 建立企业的运营信息管理中心(OIM), 与上文提及的一体化工程设计中的工程数据中心(AIM)相结合, 形成通过 AIM 和 OIM 数据“双底座”的聚合应用, 构建企业级的工业数据底座, 确保信息的合规性、正确性和一致性, 为企业提供可信的数据来源。

图表 17 通过 PI System 搭建企业运营信息管理中心



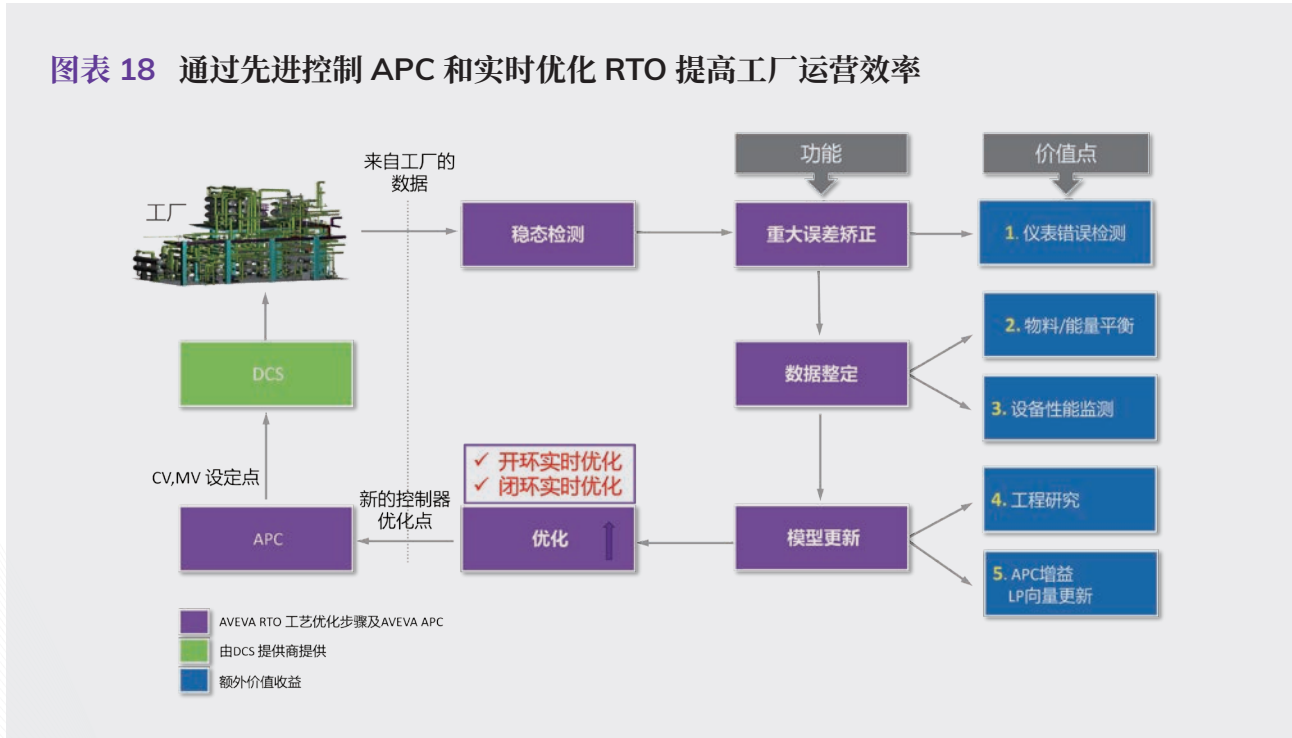
案例

EDF 可再生能源公司

采用 PI System 管理其位于北美 16GW 规模的风力和太阳能发电装置。EDF 的运维工程师根据 PI System 提供的风机实时数据和结合当地的天气情况进行更好的运维策略, 据估计每年节省两百万美元的维修费用。

在生产装置和关键设备的先进控制与运营优化层面，绿氨或者绿甲醇等相关企业，还可以利用 AVEVA APC 先进过程控制解决方案，以及 AVEVA RTO 实时优化解决方案，动态监测水、电、煤、汽等能源的实时消耗量，随时掌握和能耗相关的原料使用和设备运转情况，从而提高质量、增加产出并减少燃料使用，并助力企业识别和挖掘生产过程中的节能契机，提升流程的盈利能力，显著降低高能耗企业的碳排放。

图表 18 通过先进控制 APC 和实时优化 RTO 提高工厂运营效率



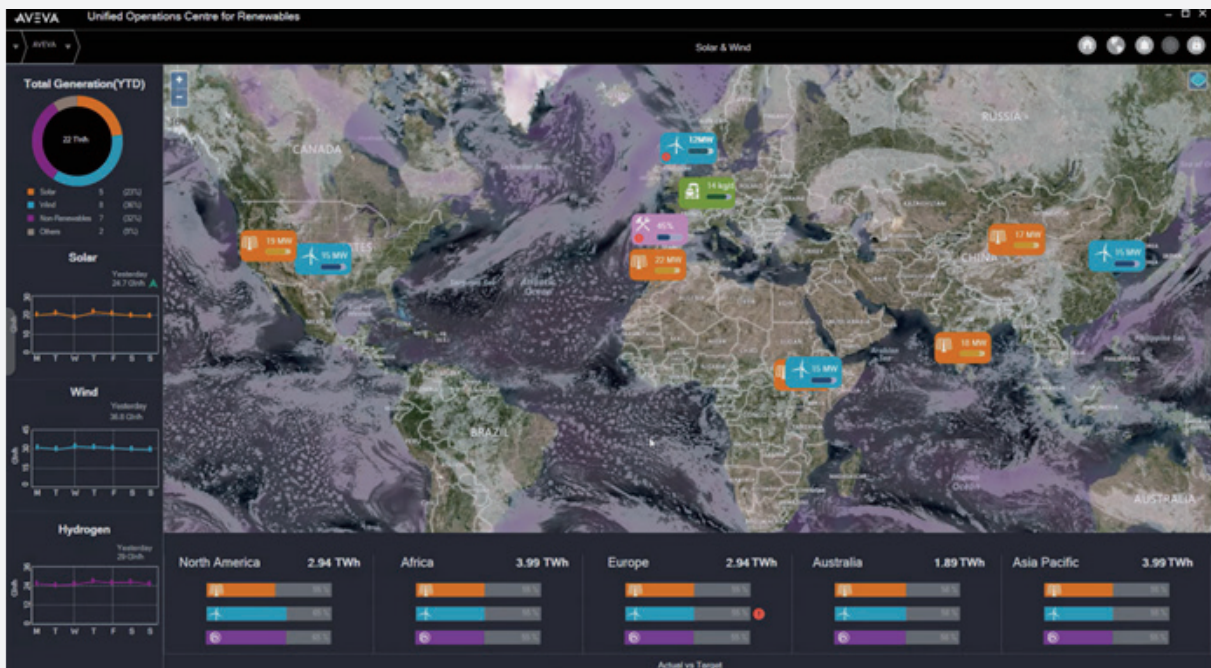
案例

北美大型化肥企业

该企业在合成氨和尿素的工艺流程中采用了 AVEVA APC 解决方案，提升了装置利用率和效率，据统计每吨产品降低 0.75% 能耗，产量提升 2%。

在运营一体化方面，AVEVA Unified Operation Center（一体化运营中心，简称“AVEVA UOC”）能够为发电到绿氢、绿氨工程的运营集成提供帮助，帮助企业打造管理资产信息和运营信息的统一平台，打破功能模块和数据的壁垒，从而提高跨部门、跨业务单元的协作，优化整个资产和运营生命周期，并利用虚拟现实对实体设备和资产建立数字孪生。值得一提的是，AVEVA UOC 能与任何大型工具、技术提供商和现有供应商的硬软件产品轻松集成，无需拆除和更换产品，极大的通用性提供灵活的架构、技术和业务模型，透明与协作数据的全面可见性和态势感知，保证各岗位人员都能使用同一版本的数据。

图表 19 通过一体化运营中心监控分布式能源（氢能）的运营示例图



案例

9REN 西班牙太阳能电力公司

9REN 采用 AVEVA 软件构建了专属的太阳能发电实时监控平台，可与 SCADA 数采与监控系统、操作 HMI 交互终端，以及 MES 生产执行系统集成形成一体化的可再生能源管控系统，大大提升运营效率，优化设备在线率，降低了运营成本。9REN 的技术服务经理 Antonio Placios 评价道“AVEVA 解决方案让我们可以实时触达所有的发电厂，仅需一个人就可以控制旗下 568 个发电厂。”

在智能运维方面，AVEVA Predictive Analytics 预测性维护 解决方案使用户能够在问题严重影响氢能工厂运营之前将其予以解决，减少如电解槽、风机等关键资产的意外停机，预防设备故障，降低维护成本，提高资产利用率，延长设备寿命，从而更轻松地实现可靠性、性能和效率目标。

图表 20

通过 AVEVA Predictive Analytics 预测性分析监测风机性能并在 PI Vision 中展示的示例图



案例

ENEL 意大利国家电力公司

ENEL 借助 AVEVA Predictive Analytics 预测性维护软件，迈向流程自主性，历经新冠疫情时期，仍然保障电厂的正常运转，满足生产生活用电。

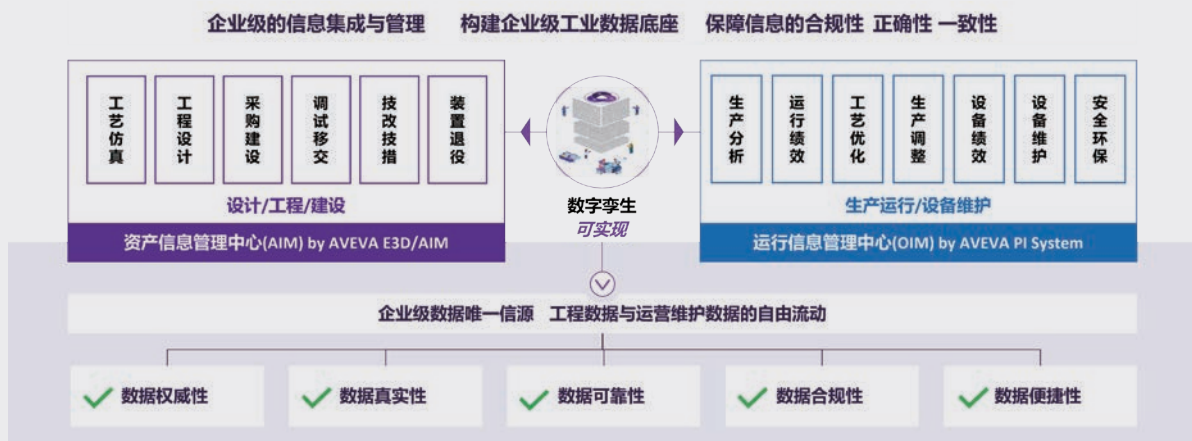
案例

法国液化空气集团

在 AVEVA Predictive Analytics 软件中建立了超过 3500 个预测模型，监控着全球 140 个运营站点，使团队能及时处理全球的设备问题，帮助其客户建立更好的合作伙伴关系。

综合来看，AVEVA 的解决方案可以涵盖工厂工艺设计、工厂建造、工程交付、运营维护与升级，能够为工业企业提供从 Capex（资本性支出）到 Opex（运营性支出）的全生命周期解决方案，包括一体化设计平台、统一数字化交付、资产绩效管理、先进过程控制与实时优化、数字化运营中心等，助力客户的数字化转型。

图表 21 数据双底座支撑可持续发展的数字化发展



案例

沙特阿拉伯能源公司

利用 AVEVA Process Simulation 构建绿氢工艺模拟模型，并首次执行了将数字孪生技术应用贯穿到从工艺仿真，到工程设计，以及运营和维护的全生命周期之中。



3 总结与展望

中国，是全球氢能发展的重要参与者、创造者和领跑者之一，产业链集聚效应已初步显现，并探索出多领域协同发展路径，向着更广阔的应用场景、更高效的工业脱碳等领域延伸。在全产业链成本居高不下，技术仍有卡点的当下，如何实现氢能的大规模应用，推动能源和工业领域快速向绿色低碳转型，考验着每一位拥趸者的智慧。

当前，我们正处在数字化与绿色化交汇的路口，伴随人工智能、大数据、物联网、云计算等新一代数字化技术的日渐成熟，氢能产业在这场没有硝烟的“智能革命”中前行。从价值链重塑到赋能产业转型，从设计规划到实施运营层面的全生命周期，在数字化技术的加持下，期待氢能产业在高质量发展的浪潮中，实现越来越多的突破，为实现“双碳”目标激发磅礴动力。

关于《流程工业》编辑部

《流程工业》是机械工业信息研究院旗下服务流程行业市场的媒体品牌，专注于油气、能源、化工、制药、食品、环保水处理等专业领域，深度报道工程装备、生产工艺、创新技术和产品等最新趋势和应用案例。

在中国本土运营的 25 年里，《流程工业》通过丰富的专业期刊、数字平台、会议与活动等整合传播方式，为业内提供高品质的技术信息和服务，以流程行业的专业视角，助力工业领域知识分享，商业拓展和影响力提升。

关于剑维软件

AVEVA 剑维软件是工业软件全球翘楚，致力于激发工业创造力，推动高质量地使用全球资源。AVEVA 剑维软件的安全工业云平台和应用程序使企业能够利用信息的力量，并改善与客户、供应商和合作伙伴的协作。

100 多个国家 / 地区的 20,000 多家企业依靠 AVEVA 剑维软件帮助他们为用户提供生活必需品：安全可靠的能源、食品、药品、基础设施等。AVEVA 剑维软件将人类洞察力与信息技术和人工智能相结合，助力团队能够高效地进行工程设计并优化运营，推动业务增长和可持续发展。

AVEVA 剑维软件被评为全球最具创新力的公司之一，为客户提供开放式解决方案和专业知识。AVEVA 剑维软件在全球拥有 6,400 多名员工、5,000 家合作伙伴和 5,700 名认证开发人员。AVEVA 剑维软件的总部位于英国剑桥，在全球各地开展业务。

作者与鸣谢

感谢参与撰写《中国氢能行业洞察与数字化发展报告》的各位作者，感谢他们基于对行业发展和相关技术应用洞察，提出的独到见解和前瞻看法。



胡静

机械工业信息研究院
《流程工业》主编



张翼

AVEVA 剑维软件
中国区流程模拟售前技术顾问



朱文婷

AVEVA 剑维软件
可持续发展部产品项目经理

联系我们

AVEVA 剑维软件市场部

400-056-6288 info.china@aveva.com

《流程工业》编辑部

010-63326095 process@vogel.com.cn



@2023 年 6 月，《流程工业》编辑部和 AVEVA 剑维软件版权所有。我们重视合作，旨在通过分享知识和见解来加速能源转型，欢迎感兴趣的各方分享和引用报告。

www.aveva.cn
chem.vogel.com.cn