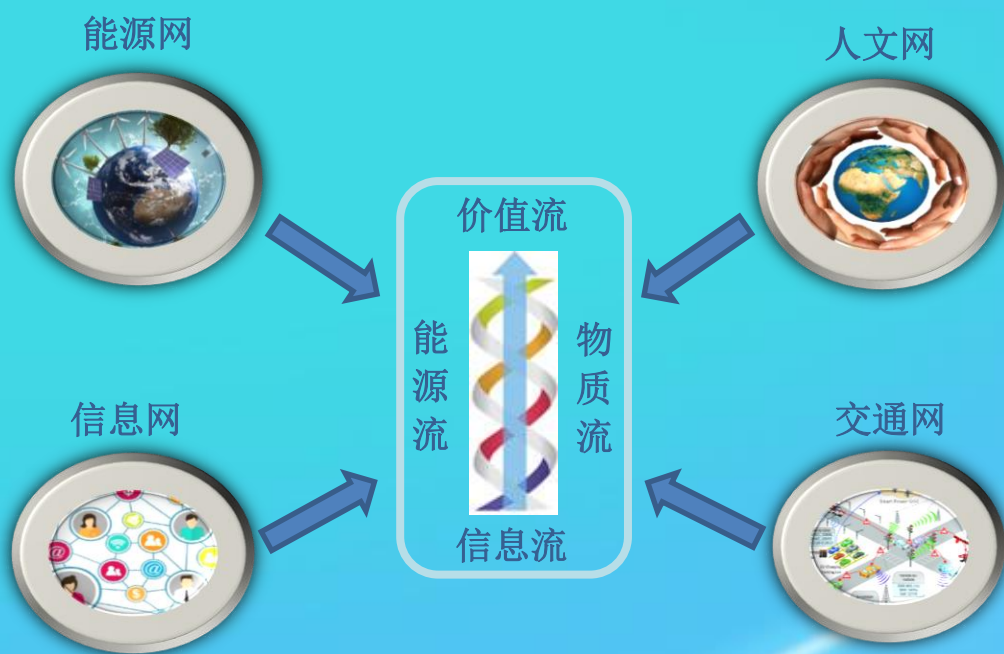


四网四流融合产业发展白皮书



2020 年 12 月



版权申明

本白皮书版权属于中国电机工程学会、中国通信学会、国家电力投资集团、华为技术有限公司共同所有，并受法律保护。转载、摘编或利用其他方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国电机工程学会、中国通信学会、国家电力投资集团、华为技术有限公司”。违反上述声明者，将追究其相关法律责任。

编写组

主编

- 陈清泉 中国工程院院士，英国皇家工程院院士，IEEE Life Fellow，香港大学教授，
世界电动汽车协会创始主席
- 周友 国家能源集团北京低碳清洁能源研究院主任研究员
- 孙福友 华为技术有限公司企业 BG 副总裁，全球能源业务部总裁
- 马俊礼 华为技术有限公司战略与产业发展总监

顾问委员会

- 张钹 中国科学院院士，清华大学计算机系教授，清华大学人工智能研究院名誉院长
- 舒印彪 中国工程院院士，国际电工委员会 IEC 主席，中国电机工程学会理事长，
中国华能集团董事长
- 高文 中国工程院院士，IEEE Fellow，北京大学教授，国家自然科学基金委前副主任
- 郭剑波 中国工程院院士，中国电机工程学会学术工作委员会主任委员，
国家电网公司副总工程师
- 彭中阳 华为技术有限公司董事，企业 BG 总裁，全球交通业务部总裁
- 肖然 华为技术有限公司战略与产业发展副总裁
- 李力 华为技术有限公司产业战略与政策部部长
- 饶宏 中国南方电网科学研究院董事长，南方电网公司首席科学家
- 孙宏斌 IEEE 能源互联网协调委员会主席，IEEE Fellow，清华大学电机系教授
- 张延川 中国通信学会副理事长兼秘书长，正高级工程师
- 李建伟 国家电投集团科技与创新部主任
- 李连荣 国家电投集团氢能公司董事长
- 缪平 国家能源集团北京低碳清洁能源研究院新能源中心主任

序言

数字生产力是第四次工业革命区别于前三次工业革命的典型特征，需要得到经济基础与上层建筑的共同支撑。其中，能源网、信息网、交通网是经济基础的三个支柱，而人文网是上层建筑的重要组成部分。通过四网（能源网、信息网、交通网、人文网）四流（能源流、信息流、物质流、价值流）融合，可以将人的主观能动性和能源革命、信息革命、交通（出行）革命联动起来，建立人—信息—物理系统形成的新的生产关系，发掘第四次工业革命的数据红利所能带来的巨大生产力，并在前三次工业革命生产力总和的基础上爆发出指数级的增长。

“四网四流”代表了第四次工业革命对于人类思维方式在哲学层面、科学层面与工程层面的根本性改变与影响，并提出了将哲学思想、科学理论与工程实践进行融会贯通的产业战略需求。从哲学思想上，需要建立全局思维，基于经济基础与上层建筑之间的互动，形成整体大于个体总和的优势。从科学理论上，需要探索出能源、信息和人的行为的互动规律，将废弃的能源变成有用的能源并促进碳中和。从工程实践上，需要将能源技术和信息技术结合，开发智慧能源操作系统，采用端边云的结构，将能源体系和人工智能/大数据体系结合，实现增值效益。

国家能源集团北京低碳清洁能源研究院根据我发现的人的行为、能源和信息的互动规律，开发了智慧能源操作系统。华为技术有限公司分别从信息、能源、交通与人文的角度，根据我提出的四网四流融合的理念，进一步明确了“四网四流”产业发展的战略框架，并将其核心内容形成此白皮书。

目前，“新基建”受到广泛关注，其中融合基础设施重点包括智慧能源基础设施与智慧交通基础设施。具体涉及新能源汽车充电桩、光伏建筑、分布式储能、氢能、边缘计算、物联网及区块链等多个创新领域的技术进步与融合。其本质都可以通过“四网四流”的技术理念进行统一的定义与规划。

“四网四流”产业发展战略框架的建立将加快物联网与人工智能技术在能源产业、信息产业、汽车交通产业的应用，促进技术创新过程中的跨界深度融合，有利于实现开放共享的智能化产业交流与合作平台。能源的网格化和信息的网格化相融合，分布式能源和分布式超算相融合，可以形成绿色产业链和生态链的新增长点，并孵化出新的技术、新的产业与新的商业模式。融合是深度的结合，并产生复利效益，因为整体的价值大于个体的总和。

第四次工业革命将从根本上改变我们和子孙后代的生活，重塑人类赖以生存的经济、社会、文化和环境。我们需要颠覆性地战略思考应对第四次工业革命。四网四流融合是以突破性的环形综合思维取代传统的线性思维，将能源革命、信息革命、汽车（出行）革命联动，将上层建筑的人文网和经济基础的能源网、信息网、交通网融合，从而产生颠覆性的经济效益和生态效益。作为“四网四流”理念的提出者，我非常高兴看到这一白皮书的面世，希望白皮书的发布能够进一步助推“四网四流”产业新生态的形成和发展，推进国家新基建战略，并希望我们能够抓住机遇，在第四次工业革命中，在数字经济的发展推进中，占领制高点。



陳清泉

中国工程院 院士

英国皇家工程院院士

世界电动汽车协会创始主席

评语

为了发展数字经济，落实国家新基建战略，信息基础设施、能源基础设施和交通基础设施的相互融合成为必然的发展趋势。“四网四流”的新思路就是在这个基础上提出的，它的目的是促进信息网、能源网、交通网与人文网等“四网”的深度融合，实现信息流、能源流、物质流与价值流等“四流”互动转化的增值服务效应，达到系统总体最大化收益。《四网四流融合产业发展白皮书》深刻地分析了“四网四流”的产生背景、发展战略、技术框架和应用等方面，材料殷实、论据充分，很有说服力。正如报告所指出，“四网四流”代表了第四次工业革命对于人类思维方式在哲学层面、科学层面与工程层面的根本性改变与影响，并提出了将哲学思想、科学理论与工程实践进行融会贯通的产业战略需求。实现了经济基础与上层建筑之间的高度融合。对于我国工业的未来发展有很好的指导意义和参考价值。

报告正确指出，可解释的自主人工智能，是第四次工业革命的核心内容，也是发展数字经济的关键。数字经济下的能源革命的本质就是人工智能与能源技术的结合。大家知道，人工智能 60 多年的发展历史可以划分为两个阶段，即以知识驱动为基础的第一代人工智能，以及以数据驱动为基础的第二代人工智能。尽管这两代人工智能均取得长足的进步，但它们都存在显著的局限性，远不能满足数字经济未来发展所提出的需求，因此发展可解释和稳健的第三代人工智能势在必行。报告正确指出要发展第三代人工智能，需要将知识驱动和数据驱动互相结合，强调知识在未来人工智能发展与应用中的重要作用。这些认识对于今后发展智慧工业、智慧能源、智慧交通和智慧城市都有重要的指导意义。



张钹

张钹

中国科学院院士

清华大学计算机系教授

清华大学人工智能研究院名誉院长

目录

序言.....	3
评语.....	5
1. 四网四流背景描述	8
1.1 能源革命本质.....	8
1.2 新基建的需求.....	9
1.3 产业人文概念.....	10
1.4 四网融合定义.....	12
2. 四网四流发展战略	15
2.1 基本特征	15
2.2 科学基础	16
2.3 融合关键.....	20
2.4 应用思路.....	21
3. 四网四流技术框架	24
3.1 融合路径.....	24
3.2 融合要素	26
3.3 融合方法	29
3.4 融合收益	31
4. 四网四流应用分析	32
4.1 智慧工业	34
4.2 智慧能源.....	39

4.3 智慧交通43

4.4 智慧城市47

5. 总结 51

6. 缩略语 52

7. 参考文献 53

后记..... 54

1. 四网四流背景描述

1.1 能源革命本质

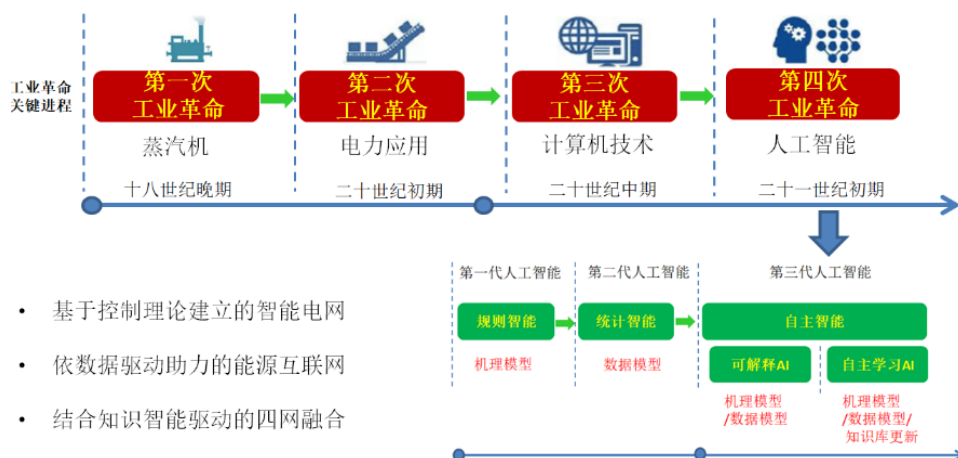


图 1-1 第四次工业革命与人工智能

第四次工业革命为中国带来了前所未有的机遇，同时也面临了巨大的挑战。不同于前三次工业革命分别以工业（交通）、能源与信息技术为突破口，第四次工业革命是在数字经济发展的背景下，通过人工智能技术的广泛应用，形成以服务为中心的新型产业形态。当前数字经济和实体经济深度融合的趋势，为能源行业带来了全新的机遇和挑战。结合新兴技术的创新应用，必将重塑生产力和生产关系，通过数字化转型为能源产业变革和创新注入新动能。



图 1-2 数字经济下的商业模式发展

能源行业的智能化正经历从机理模型、数据驱动到自主智能的发展阶段，表现出与信息行业和交通行业高度融合的趋势。因此，数字经济下的能源革命本质其实就是**人工智能与能源技术的结合**，并且在与信息革命和交通(出行)革命的互动中，延续了数字经济从电商模式、共享模式到“即服务”模式的发展历程。

1.2 新基建的需求

2020 年国家新基建明确提出了建设智慧能源融合性基础设施的要求，进一步促进了能源领域跨行业/跨技术的融合。能源行业涉及到能源生产、传输、分配与应用多个环节，受国家清洁能源政策影响较大。同时随着新能源交通、5G 基站与数据中心的推广应用，用户的用能需求呈现多元化与个性化趋势，这些挑战对能源行业的发展提出了三个方面的要求：

- 智慧能源融合性基础设施需要和信息设施高度融合，解决 5G 与数据中心的高能耗问题
- 能源技术创新过程需要与产业政策的更新加强匹配，解决常见的跨行业的联合创新问题
- 能源行业商业模式需要不断适应改革中的市场规则，解决常见的跨界融合的服务化趋势

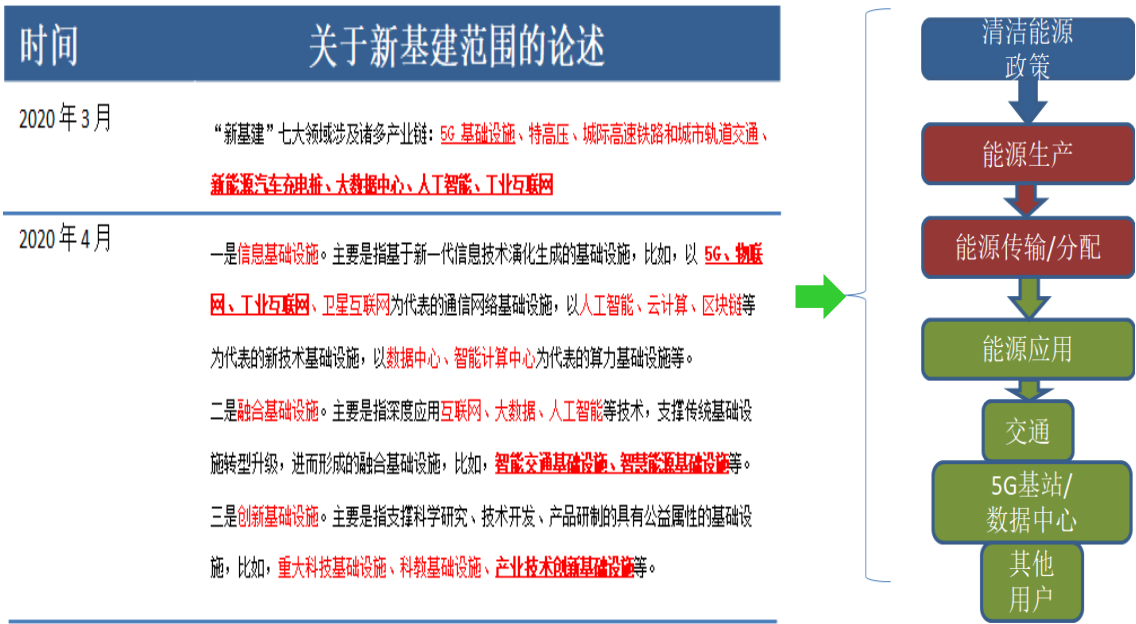


图 1-3 新基建促进智慧能源的发展

以近十年的储能技术发展为例，行业增长率的较大波动不仅与技术本身的发展相关，还同时受到能源政策、行业规范与市场准则等的影响。通过在产业联合创新方面建立相关的顶层设计与理论指导，可以进一步加强能源政策、行业规范与市场准则的连续性、一致性、因果性和可持续性。从本质上说，由于能源政策、行业规范与市场准则都属于人的主观能动性对于行业发展的直接影响，因此可以理解为人行为与产业及技术互动的结果。如果可以将这种互动过程数字化，即将能源政策、行业规范与市场准则以及领域知识等对于技术创新与产业发展的关联逻辑与因果关系进行数字化，可以通过建立

知识要素与已有的数据要素相融合模式，弥补目前能源产业发展中的不足与短板，有利于通过建立产业生态的联合创新，突破行业发展瓶颈，共同推动数字经济下的能源革命。



图 1-4 储能行业的发展过程^[1]

1.3 产业人文概念

通用的人文定义指的是人类文化中的先进部分和核心部分，即先进的价值观及其规范。文化是人类或者一个民族、一个人群共同具有的符号、价值观及其规范。符号是文化的基础，价值观是文化的核心，而规范，包括习惯规范、道德规范和法律规范则是文化的主要内容。移动互联网技术与数字社交网络应用的迅速发展，从根本上改变了人们消费与交往的生活方式，形成了新型的数字化消费人文网络。

本白皮书提出产业人文的概念，即产业人文就是产业生态中的先进部分和核心部分，即产业中先

进的商业模式及其产业规范。产业人文是产业参与方共同具有的产业技术方法、产业商业模式及其产业规范。产业技术方法是产业人文的基础，产业商业模式是产业人文的核心，而产业规范，包括技术规范、安全规范和法律规范与领域知识则是产业人文的主要内容。在万物互联的物联网驱动下，产业人文网络与消费人文网络共同组成了新型的数字人文网络，体现了数字经济下人与人、人与物以及物与物之间的新型生产关系，如何认识与理解这种新型生产关系对于新型数字生产力的促进作用与融合意义，是本白皮书讨论的关键。

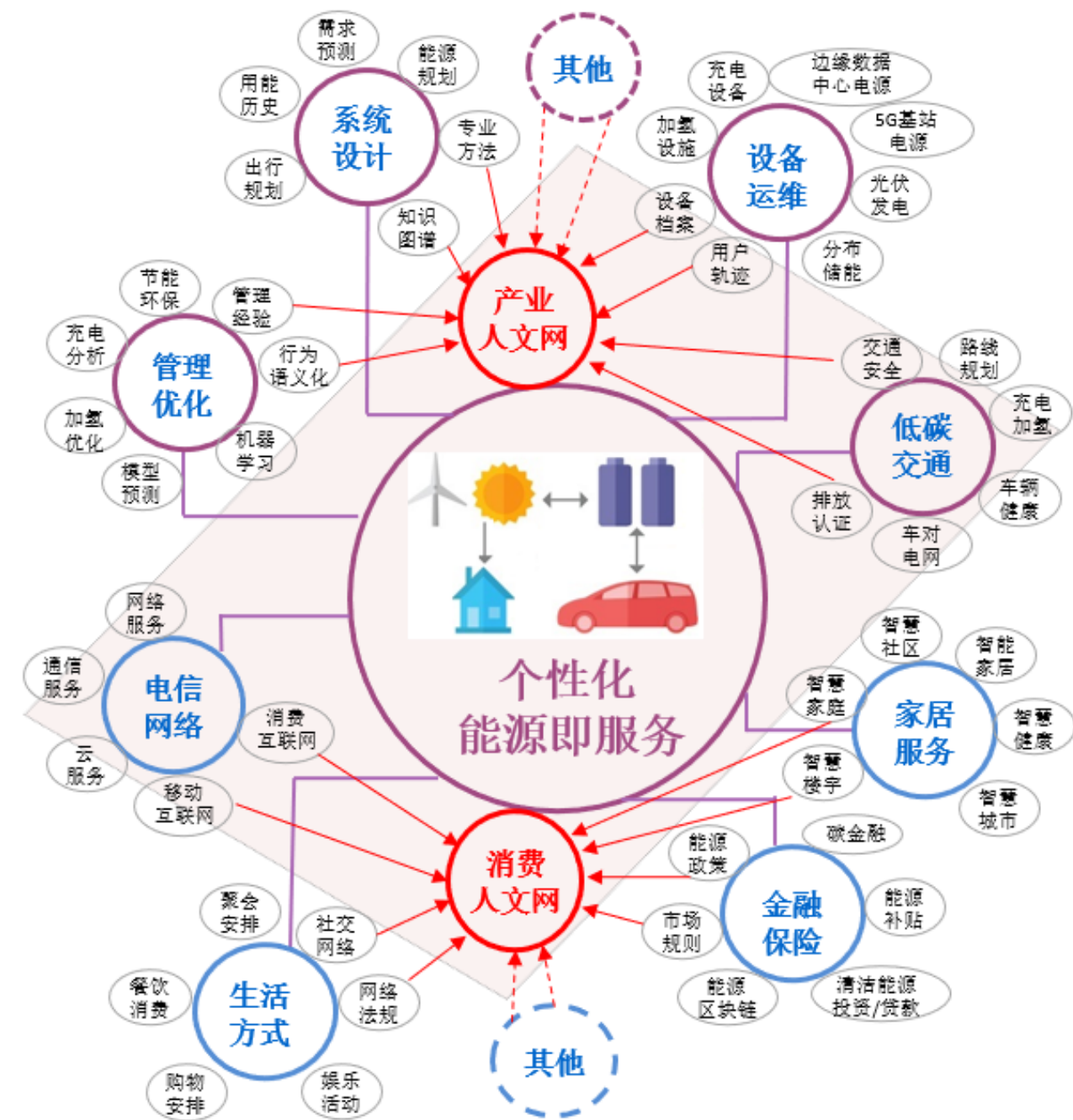


图 1-5 数字人文网络驱动的个性化“能源即服务”

数字人文的本质就是研究数字经济下的人-信息-物理系统之间形成的新型生产关系。以能源产业生态为例，就是人的行为、信息系统与能源/交通组成的物理系统之间的互动关系，以及通过这种关系建立智慧能源系统的规律。数字人文不能仅以发展基于用户行为的大数据为基础，还需要更多地建立以人为本的认知智能而形成数字人文网。因为商业模式、能源政策、行业规范、市场准则等与用户行为同等重要，体现了知识要素与数据要素的融合，这种融合是能源系统实现智能化的必要条件，也是本白皮书的核心思想。

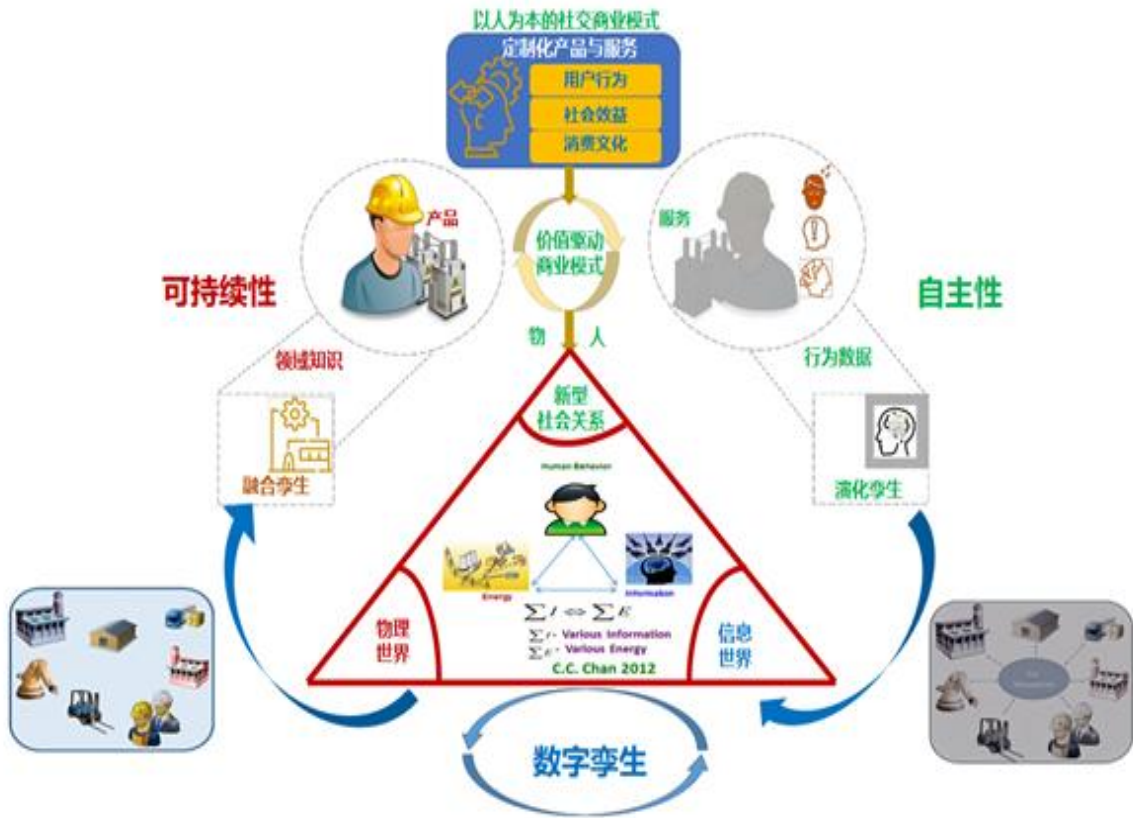


图 1-6 人-信息-物理系统形成的新型生产关系

1.4 四网融合定义

对于正在转型中的能源行业来说，数字人文网是联结能源网、信息网与交通网的关键纽带，并通过价值流驱动能源流与物质流的智能化耦合，耦合的智能化程度将通过信息流迭代、升级与演化，形成四网四流融合产业生态。

- 从创新角度看，通过产业人文网的融合，可以建立产业上下游直接的互通互联，形成产业知识库，为形成产业联合创新提供必要思路、方法、模式与平台；
- 从商业模式看，通过产业人文网的融合，可以研究用户行为习惯来满足个性化需求，由此带来新的服务类型与用户体验，并通过其产生的新型市场元素，形成市场的规模化增长效应；

- 从产业发展看，人文网是上层建筑，能源网、交通网与信息网是经济基础，四网融合体现了数字经济下新的生产力（能源、交通与信息）与新的生产关系（数字人文）之间的互动与融合，可以更好地推动与释放数字生产力的巨大潜能。

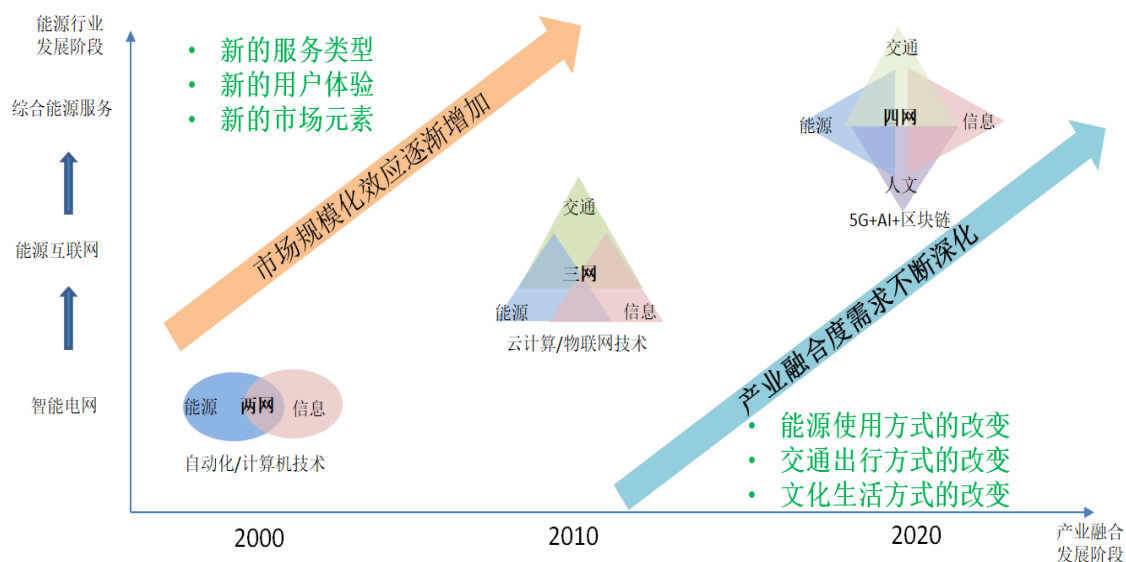


图 1-7 能源行业智能化发展路径

目前，能源行业正在基于大数据智能向认知智能发展，需要解决从传统的感知智能向决策智能转变的痛点，由于大数据算法缺乏完整的可解释性，大多数高安全工业应用较难形成真正意义上的决策闭环，大大限制了人工智能在产业中的深度应用。另外，能源行业还存在大量交叉并存的产业政策与技术规范，其更新速度往往滞后于技术创新的节奏，由于相互之间缺乏及时的可追溯关联逻辑与因果关系，在一定程度上也影响了行业的发展，成为目前工业互联网及能源互联网应用中遇到的瓶颈。

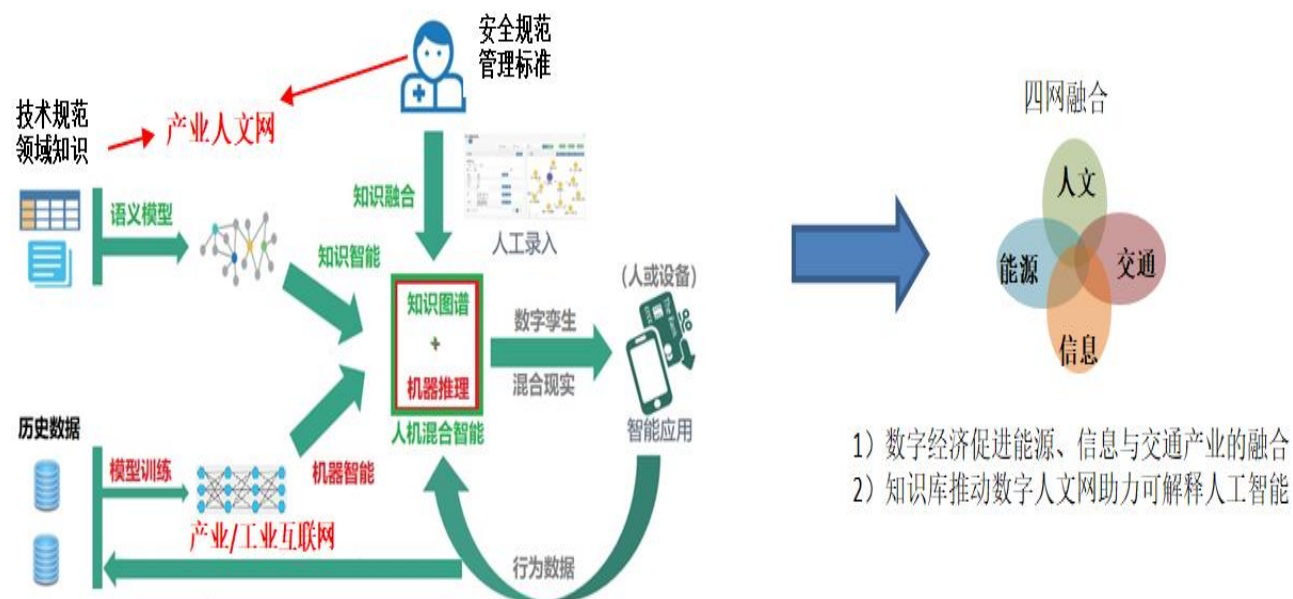


图 1-8 融合产业人文网络的四网融合

通过四网融合，基于上文提出的产业人文概念建立相关的产业人文网，可以把技术规范、领域知识、安全规范与管理标准等通过语义模型自动转化形成知识图谱与知识库，形成基于专家知识/行业规范的**知识智能**，并实现与基于大数据的机器智能之间的融合。其重要意义在于，由于可以形成**人机混合智能**的技术框架与方法，这为实现可解释人工智能的技术突破提供了可能，并为**通过数据向知识转化以建立自主智能**指明了方向。

图 1-9 融合数字人文网络的智慧城市

2. 四网四流发展战略

2.1 基本特征

在云计算、大数据与物联网等技术的驱动下，四网融合产业发展是建立在四流融合的机理上的，并体现出以下网流互动的基本特征：

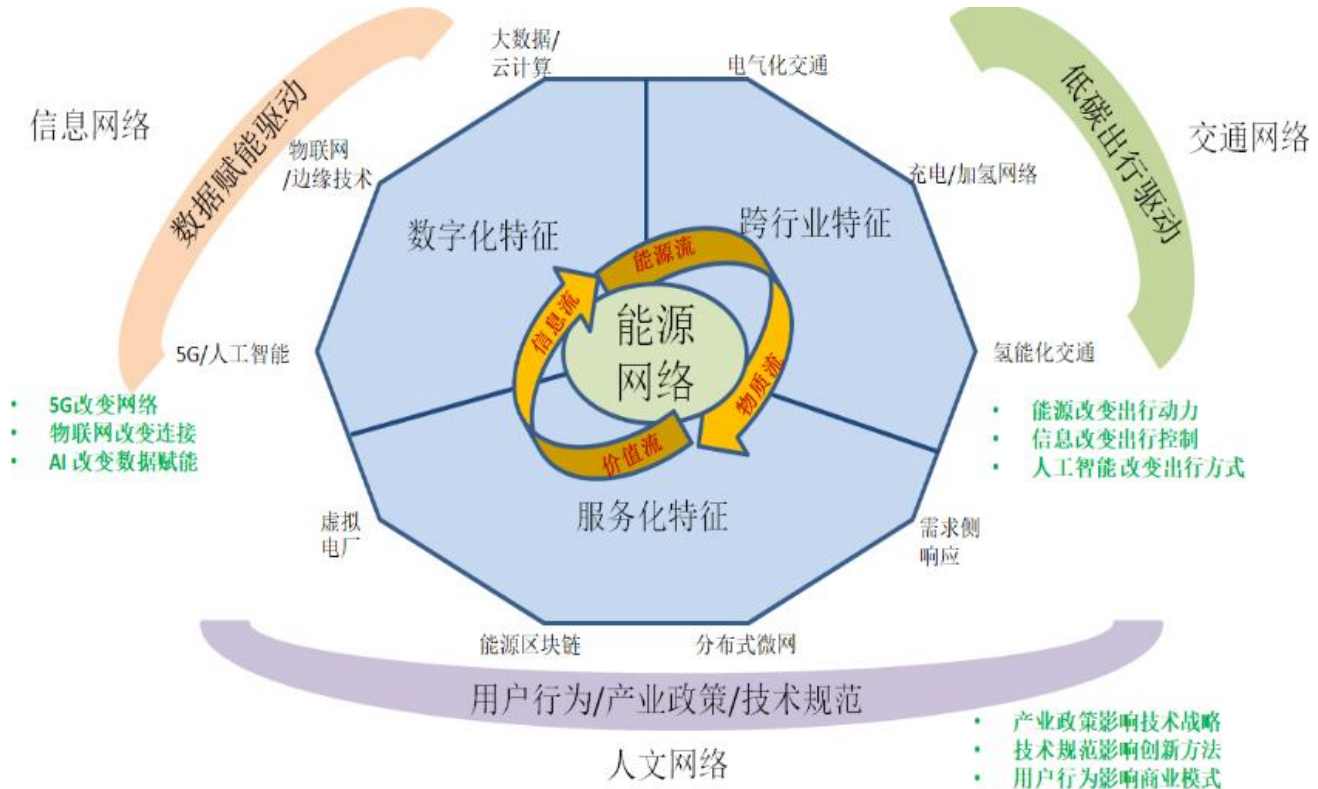


图 2-1 四网四流融合的基本特征

- 1) 基于能源流与信息流的融合，形成了数据赋能与知识驱动的数字特征：
 - a) 能源大数据平台已经大量建设并广泛地与云计算相结合，但还缺乏数据到知识的有效转化手段。
 - b) 传统能源设备进行边缘计算的升级以便实现物联网接入，但仍面临数据中心耗能不断增加挑战。
 - c) 5G 网络开始得到大力发展以全面推动人工智能的应用，但仍面临网络高定制化与高耗能挑战。
- 2) 基于能源流与物质流的融合，形成了低碳出行驱动的跨行业特征：
 - a) 从燃油车到电动车，是能源领域融合交通电气化的前沿应用，但仍面临电池技术的多种挑战。
 - b) 从电动车到燃料电池车，是能源融合交通氢能化的前沿应用，但仍面临燃料电池的多种挑战。
 - c) 充电/加氢网络是能源与交通低碳化的重要融合基础设施内容，但仍面临充电/加氢多种挑战。
- 3) 基于价值流的融合，形成了用户行为驱动的服务化特征：

- a) 发电侧主体可以通过虚拟电厂模式优化多种能源资产联合运行，但仍面临产业政策方面挑战。
- b) 需求侧用户可以通过需求侧响应优化能源终端高性价比运行方法，但仍面临用户参与度挑战。
- c) 端侧能源管理方可以通过建设微网形成区域能源优化解决方案，但仍面临经济运行多种挑战。
- d) 能源系统参与方可以通过能源区块链可信网络自主形成能源交易，但仍面临安全性多种挑战。

以上特征都说明，能源行业的转型发展已经不能仅仅依靠能源企业内部的技术创新进行突破，必须依托产业生态的协同创新，从全新的角度来建立适应于产业融合发展的战略。在四流融合机理化与四网融合工程化的推动下，行业间形成的融合创新将成为产业新生态，这一点在储能与新能源汽车的领域得到了充分的体现。

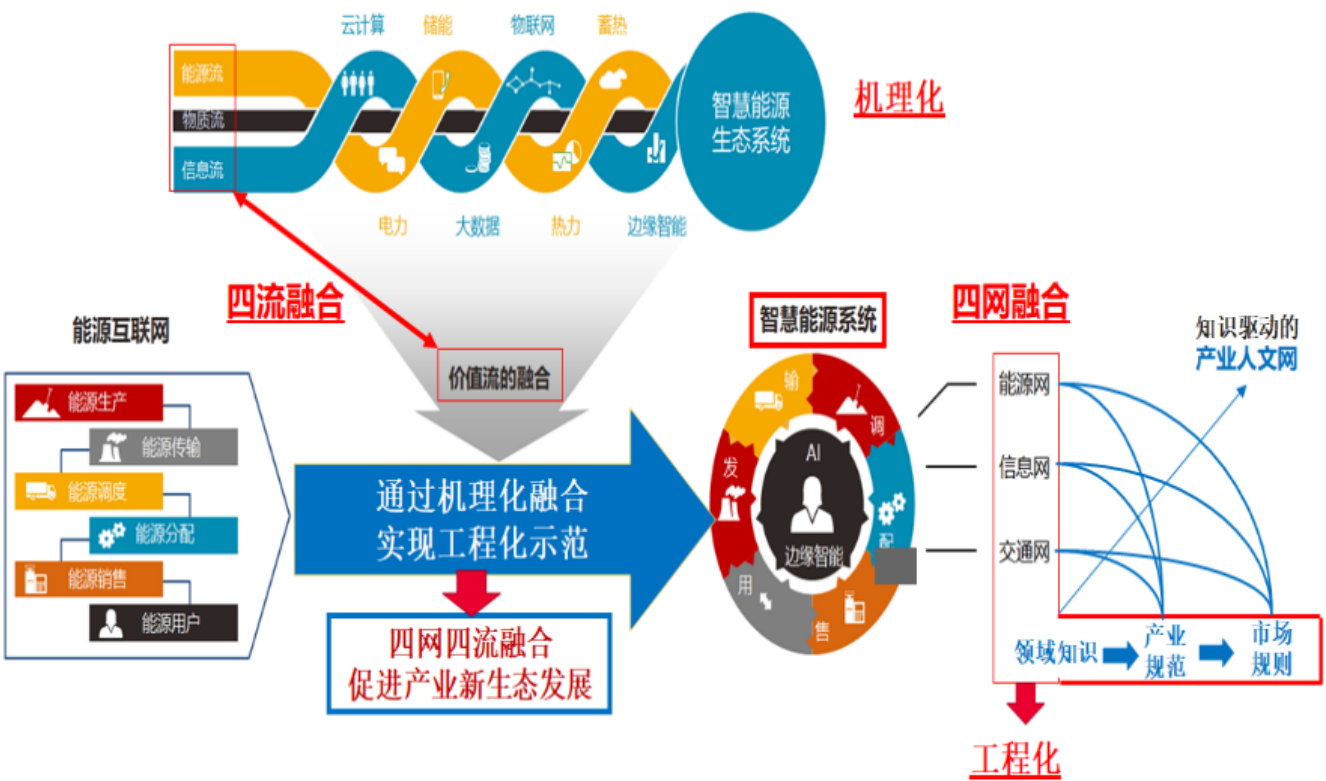


图 2-2 四网四流融合的智慧能源

2.2 科学基础

通过数据与知识的融合形成数字生产力，是第四次工业革命突破人工智能在工业领域应用的关键。由于工业场景的数据量有限，传统消费互联网的“云服务+大数据”模式不可持续，基于“端边云+小数据+大知识”的模式将成为主流。其中的“大知识”来源于产业人文网络的融合。

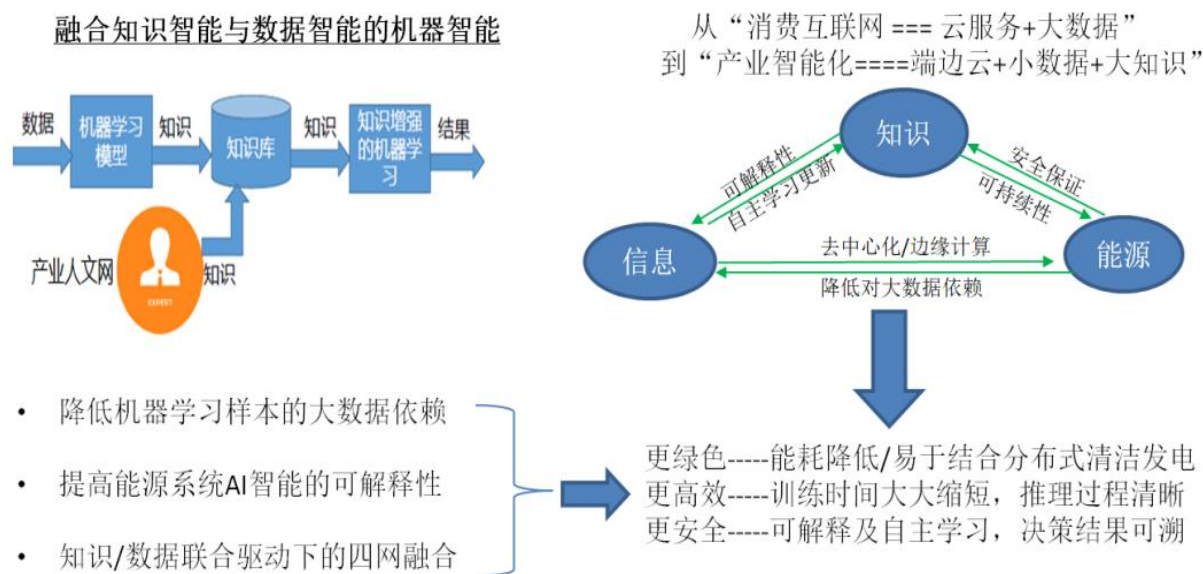


图 2-3 知识智能与数据智能的融合

由于可以降低机器学习样本对于大数据的依赖，融合知识智能技术的**信息网络**可以更绿色、更高效和更安全，也更容易与去中心化的分布式清洁**能源网络**以及新能源绿色**交通网络**相融合，形成助力第四次工业革命**释放巨大数字生产力的四网融合模式**。

四网四流代表了第四次工业革命在哲学层面、科学层面与工程层面对于融合性思维方式的根本性改变与影响，包含了三大发现，**将哲学思想、科学理论与工程实践融会贯通的产业创新战略思路**。

1) 从哲学层面上说，需要建立从单纯线性思维到全局环形思维的改变，形成整体大于个体总和的增值效果。**能源流与物质流通过耦合，可以实现价值转化**，这是生态系统可持续发展的基本属性，体现了整体大于局部叠加的哲学思想。即单独能源流的局部转化或者单独物质流的局部使用都会降低自身价值，但如果从整体上将二者耦合起来，整体价值可以得到提升。

- 通过不断**重复迭代**“能源-物质-能源-物质”的自相似价值转化过程，可以从**时间/空间/类型**三个维度实现**可持续循环生态**，等效于用能源/物质耦合手段以解决**能源存储**问题。
- 可持续循环生态通过将**系统局部的熵增过程转化为总体的熵增过程**，即**局部价值递减过程转化为总体价值递增过程**，可以不断提高**能源智能度**，即系统将无用资源转化为有用的能力。
- 基于纳网、微网、配网到区域能源网的自相似网络，四网四流系统方法可以模拟自然界生态系统的自组织分形结构，即移动交通网络类似于动物群落，低碳建筑网络类型于植物群落，然后通过彼此交换能量与物质，不断地**循环迭代与演化递进**，形成城市智慧能源生态系统。

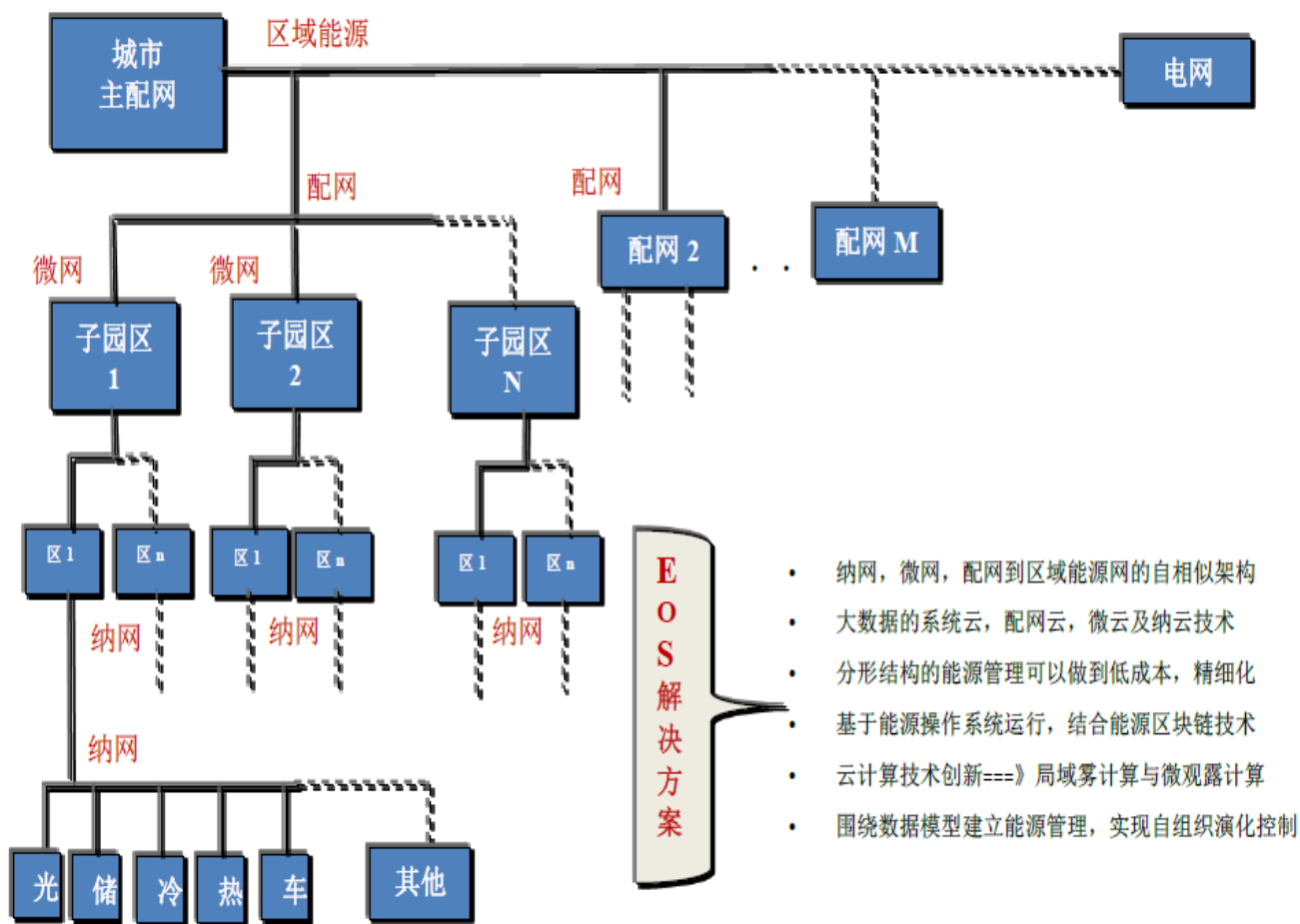


图 2-4 能源网络系统的自相似特征

2) 从科学层面上说，四网四流揭示了能源、信息与人的行为之间互动的内在规律，体现了能源与信息的基本关系。类似于爱因斯坦通过质能方程揭示了质量与能量的同一性，陈清泉院士在 2013 年提出并发展了通过研究能源与信息的内在关联度^[2]建立智慧能源发展路径^[3]的思路，并指出，人的互动行为（人文网）是能源/信息载体成为智能融合体的关键，其典型场景就是电气化与氢能化的智能交通应用即车联网与自动驾驶应用。

- 实现能源流与物质流的价值转化需要克服两点，一是热力学第二定律的熵增限制，二是如何通过不断增值保证系统的可持续性。
- 通过耦合信息流建立能源流与物质流的开放特征，可以将封闭局部系统的熵增，转化为开放融合系统的熵增，即将无用的能源变为有用，并通过价值通证化实现工程化。
- 产业生态各个环节的价值梯度是驱动能源流与物质流耦合的关键，二者的价值转化总是指向价值梯度增加的方向。
- 产业生态的价值梯度受到产业政策、行业规范、市场准则与领域发展等多方面影响，需要通过产业联合创新共同推进。

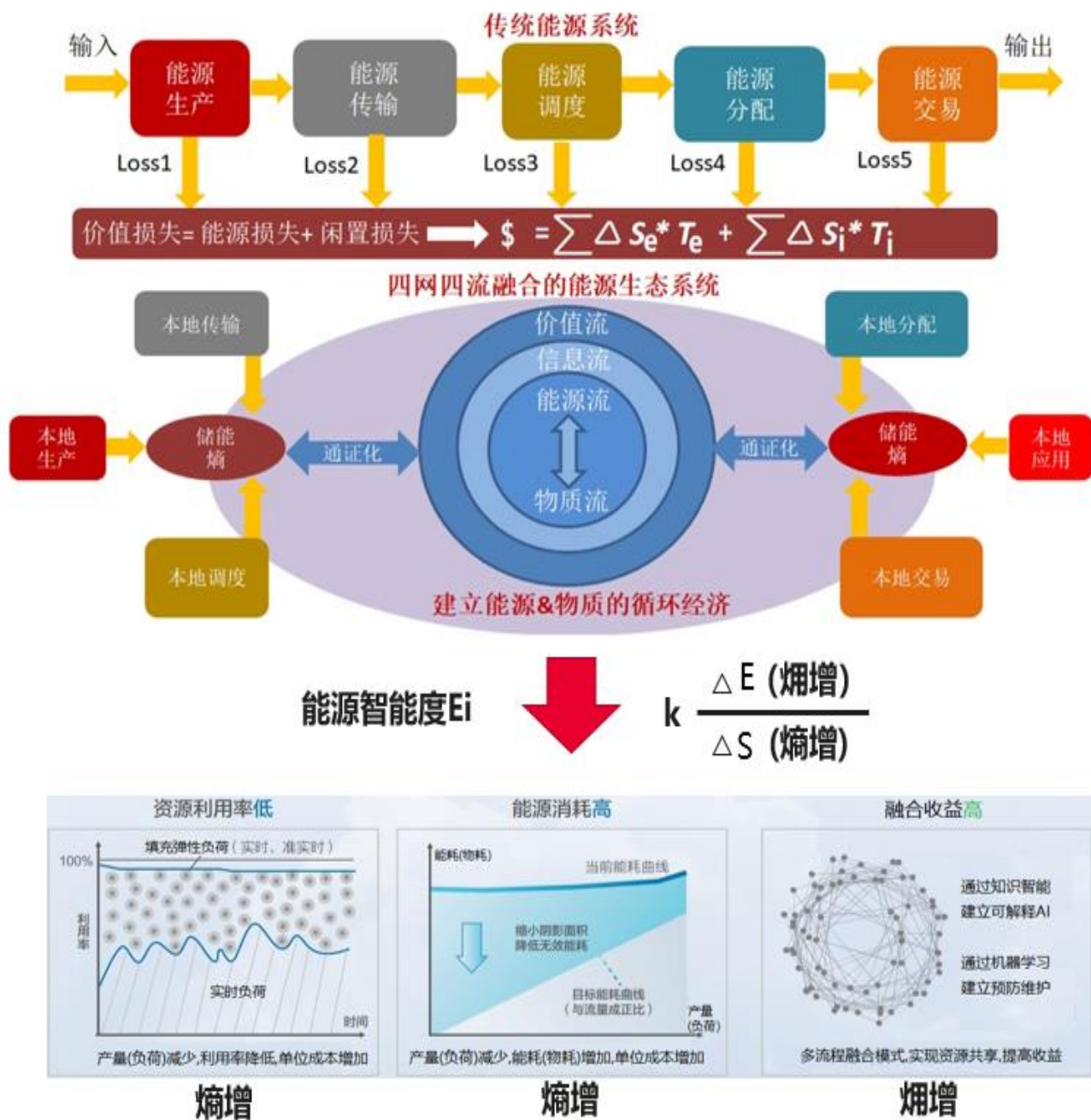


图 2-5 通过能源与信息耦合的储能熵概念建立四流融合机理

3) 从工程层面上说, 将能源技术和信息技术结合, 通过建立智慧能源操作系统平台, 采用端-边-云架构, 将能源体系和人工智能/大数据体系结合。实现能源网格化和信息网格化的融合, 获得产业协同的最大收益。其核心思想是将四网融合的产业联合创新流程进行操作系统化, 即在驱动层完成单一技术领域自身的创新研发, 侧重于数据智能, 然后通过内核层形成多种技术的协同创新融合, 侧重于知识智能, 再到应用层完成相关场景的生态应用创新, 侧重于认知智能。

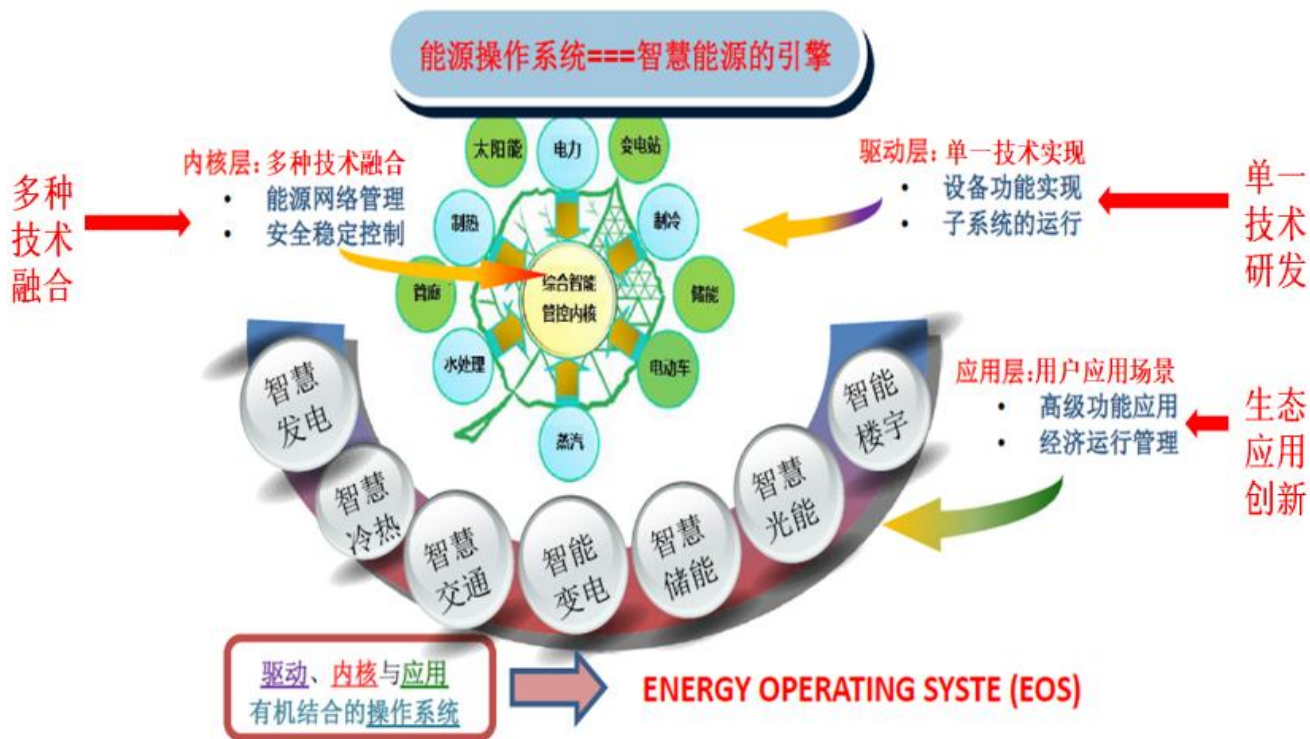


图 2-6 基于操作系统化思路的工程化应用方法

- 四网融合思路的优点是可以在微观与宏观都形成自相似的操作系统化结构，有利于系统的定制化与容错性需求，在性价比最优的情况下实现复杂的产业生态联合创新。
- 其结果是通过设备、技术、网络、产业、生态的多级自相似融合，可以在去中心化的框架下完成系统的自循环演化创新过程，进而实现可解释与自主学习的人工智能融合应用。
- 智慧能源操作系统等效于生态系统可持续发展内生基本框架与规则，是人机智能融合的平台。
- 由于智慧能源操作系统的自相似结构与特征，人机智能融合基本实现可以发生在边侧或云侧。
- 智慧能源操作系统是“人-信息-物理”融合的数字映射与载体，是实现智慧能源的引擎。

2.3 融合关键

数字化在当前时代的内涵，是以数据为中心的思想理论体系、方法论和技术架构体系，其本质是向数据要生产力。就数字化转型而言，数字化是方向和趋势，转型是路径和手段，是基于软件和服务驱动的变革，必然伴随着生产关系的重塑。

1) 四网融合的关键是建立产业革命中新型生产关系与生产力的互动融合。生态系统中人-机-环境的融合，在能源系统中表现为人-信息-能源-交通的融合。

- 能源/交通的智能化代表了数字经济下所形成的新型生产力，人与信息物理系统的融合则代表了数字经济下所需要的新型生产关系。只有通过建立人的智能与机器智能之间的新型生产关系，才有可能充分发掘与释放能源/交通融合所蕴含的巨大生产力潜能。

- 由于人与机器的融合可以建立**数据与知识联合驱动的新型生产关系**，数字经济下的新型生产力才有了可持续发展的可能。这是因为，纯粹依靠大数据的人工智能缺乏可解释性，并且由于能耗的不断增加而导致不可持续。

2) 四流融合的关键是建立**能源流与物质流的融合**，这也是数字经济下建立可持续产业生态的必然需求和基础。

- 数字经济的目标是不断创造新的产业价值，通过智能化不断积累巨大的社会财富；
- 数字经济通过信息流在不同行业与领域之间的互通互联，形成产业生态联合创新模式，实现产业价值最大化；
- 价值的发掘需要在产业内外建立能源流与物质流的新型互通互联模式，最大化降低能耗并提高物质资源的利用率。

3) 因此，四网四流融合的关键在于突破能源与交通智能化过程中遇到的**可持续发展问题**。一是人工智能的可解释与自主性，二是人工智能的可持续能源需求。

- 四网四流融合可以通过感知智能与认知智能的融合，解决人工智能的可解释性问题，并将数据智能不断更新为知识智能，实现自主学习的人工智能；
- 四网四流融合可以通过数据智能与知识智能的融合，降低人工智能的大数据要求，通过基于边缘计算的小数据/大知识结构，融合去中心化的清洁能源/低碳交通，降低大数据处理的能耗需求，最终实现未来人工智能的可持续性应用。
- 未来生产关系的重塑，需要有相应的方法论支撑，把复杂的问题降维解耦，确保转型有效落地。

2.4 应用思路

目前，“四网融合”的发展形式在智慧能源与智慧交通的实践中已经逐渐体现，但其价值并未受到广泛的认可与关注。“四网融合”的机理与方法未能在系统规划、建设与运营过程中得到主动的采纳与利用。

大多数情况下，多类型系统结合的智能化集成都需要付出更多的成本来满足个性化的功能需求，造成系统投资回报率不高而无法得到有效的应用。其主要原因就在于我国的能源系统同时存在四大矛盾，很难在信息不对称的非开放模式下，在产业创新中形成实质性的突破。因此，如果能够通过四网融合的主动应用，基于能源政策、行业规范、市场规则与领域知识的密切相关性，建立能源产业生态图谱，可以将各个环节融合创新的主要矛盾暴露出来，并通过知识智能推动数据智能不断优化路径，解决能源发展的四大矛盾。

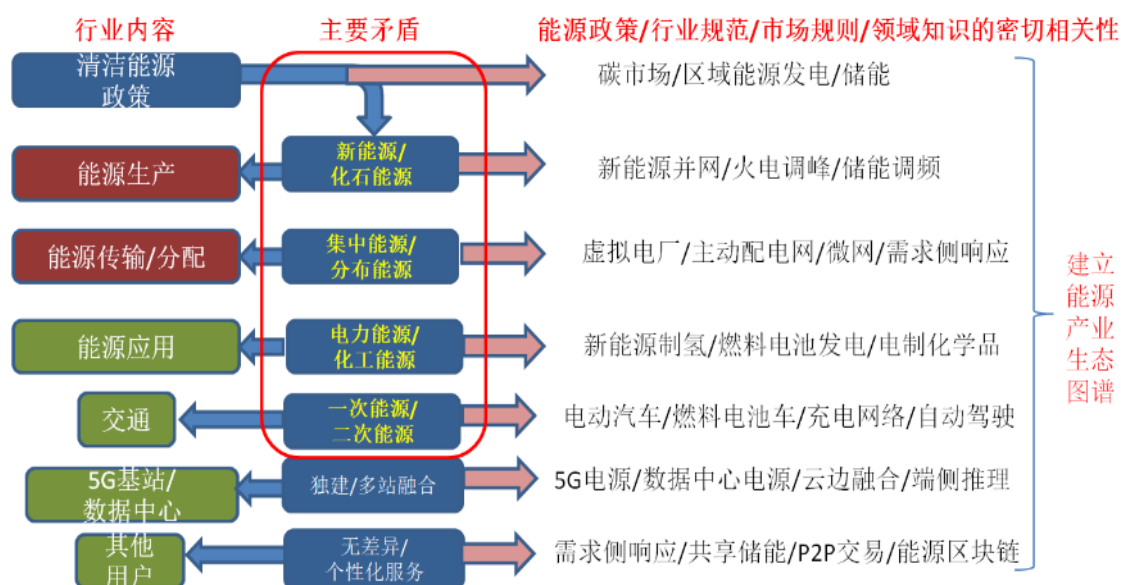


图 2-7 建立能源产业生态图谱的必要性

2020 年，华为与中国石化双方联合开展智慧加油站业务创新，尝试通过 AI、大数据技术的支撑提升加油站服务质量、营销效率和安全监控能力。其中“AI 车牌付”可 AI 识别车牌、客户实时支付；通过手机 APP 可查看加油站客户进站排队、等待、支付等环节的耗时信息，也能看到柴油、98 号、95 号油枪的加油效率信息，为规范加油站服务体验，提高进站率、通过率、加满率及回头率提供数据支撑；通过数据+AI，还能管控偷税漏税等灰色地带，营造公平、透明的营商环境。随着四网融合的推进，能源、交通等行业的数字化、智能化未来拥有巨大的想象空间。

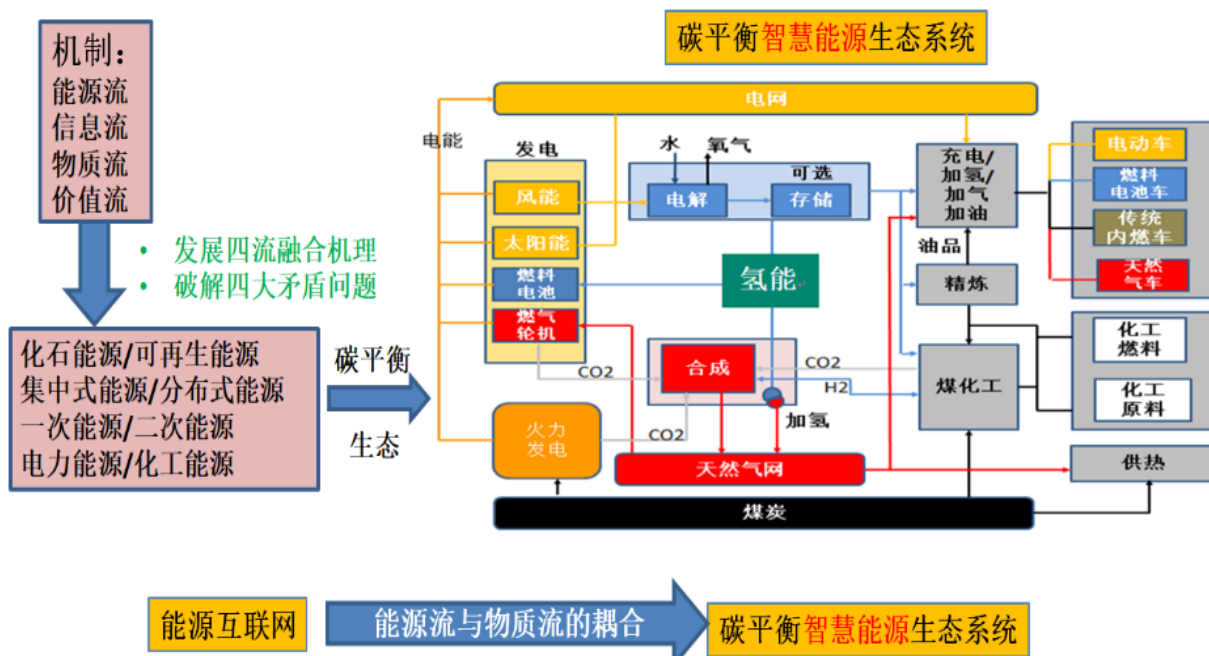


图 2-8 碳平衡(中和)智慧能源生态系统

通过四网四流融合的产业战略不但可以打破行业内外各个环节之间的壁垒，还有助于从顶层设计推动能源生态系统的智能化，以实现能源行业向服务化转型的目标。例如依托终端侧“光储氢充”的四网融合优化运行，实现智慧城市中交通/建筑耦合的零碳能源生态运行模式。

1-光伏削峰, 2-光储一体化, 3-储能削峰, 4-储能备用, 5-储能充电,
6-电动车对电网, 7-光伏充电, 8-储能制氢, 9-氢能备用, 10-加氢实现

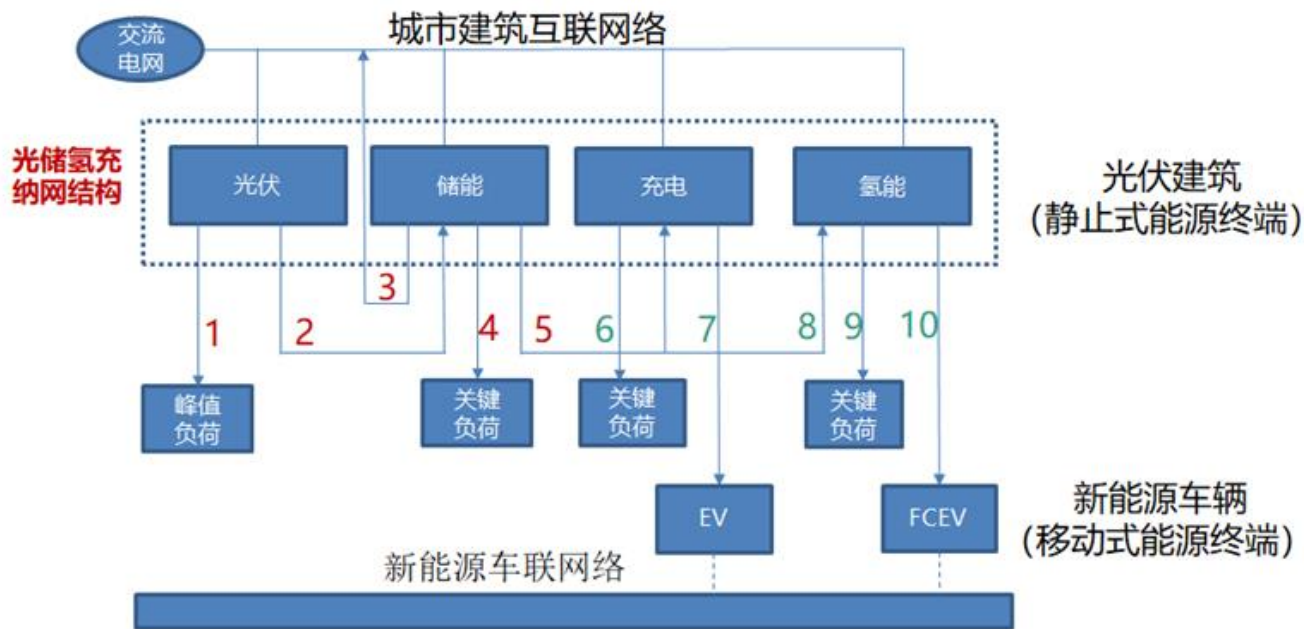


图 2-9 基于光储氢充的四网融合优化

3. 四网四流技术框架

3.1 融合路径

5G 技术的发展，从三个层级为数字经济的全面发展带来了网络、产业与生态的融合。

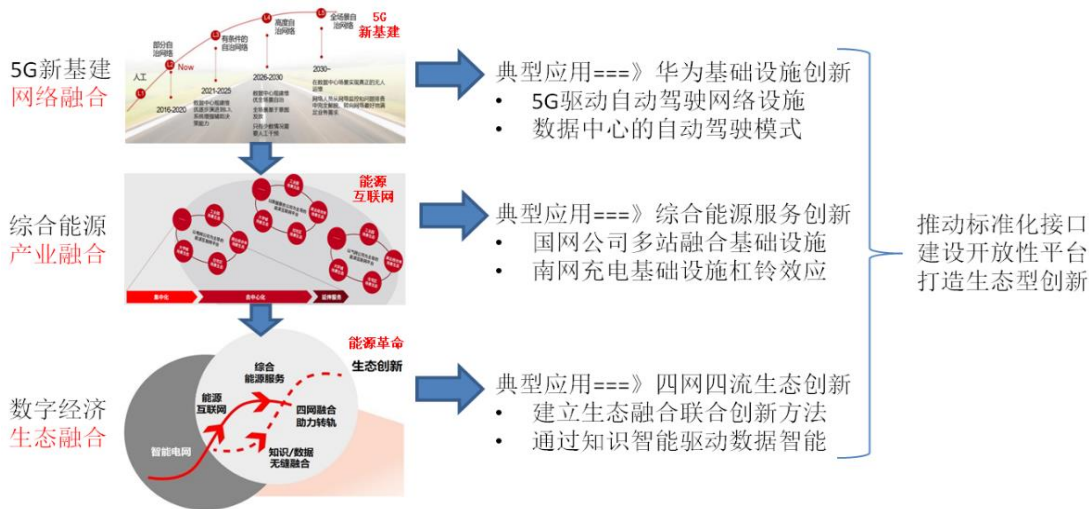


图 3-1 网络融合、产业融合与生态融合

首先，5G 通信与数据中心基础设施的发展，促进了网络融合的信息基础设施建设需求，华为公司因此提出了自动驾驶网络^[4]与数据中心的自动驾驶模式，按照不同层级的人机融合度定义了未来网络与数据中心逐步建立自组织智能的路径。其中，自动驾驶模式虽然源自于交通，但具有全产业赋能的重要意义。

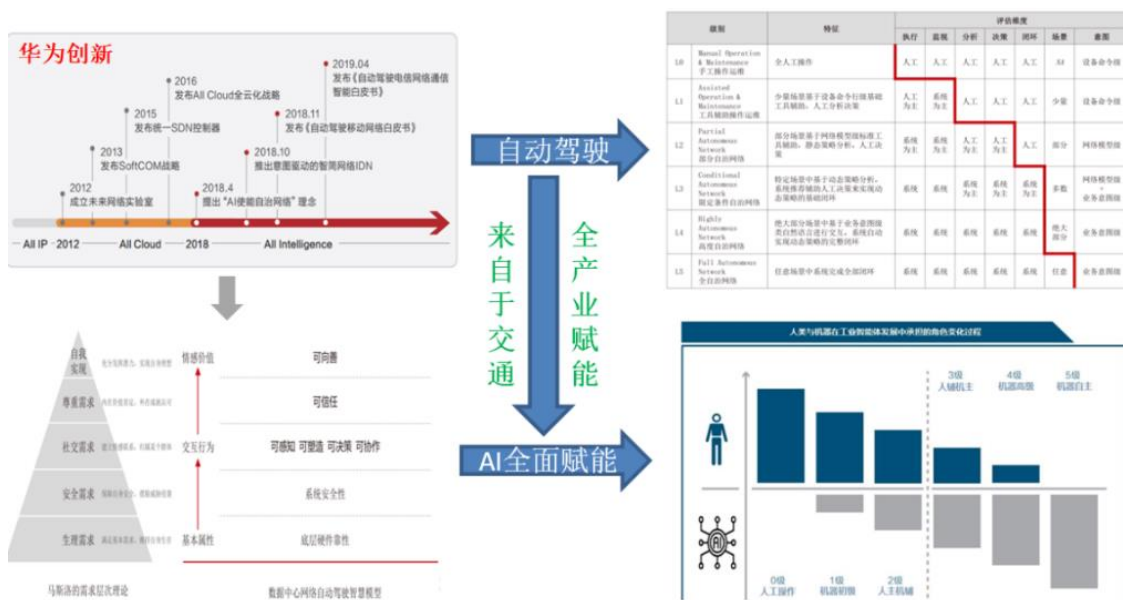


图 3-2 自动驾驶模式的全产业赋能^[4]

其次，国网与南网公司分别提出了智慧能源与智慧交通的融合型基础设施框架，其中国网公司提出的多站融合基础模式^[5]与南网公司提出的充电基础设施^[6]都体现了典型的产业化融合趋势。

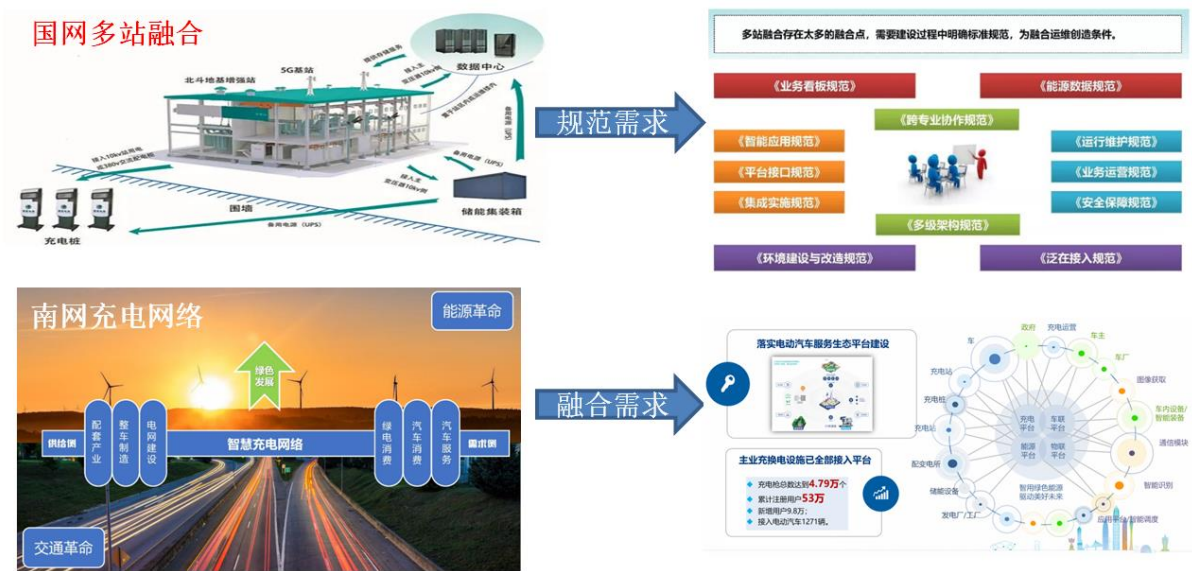


图 3-3 智慧能源^[5]与智慧交通^[6]的融合型基础设施

最后，基于陈清泉院士关于人的行为、能源与信息互动^[2]的四网四流理念，本白皮书提出了基于四网四流融合的产业生态联合创新模式，通过建立生态融合的联合创新方法，形成知识智能与数据智能联合驱动的数字经济发展模式。

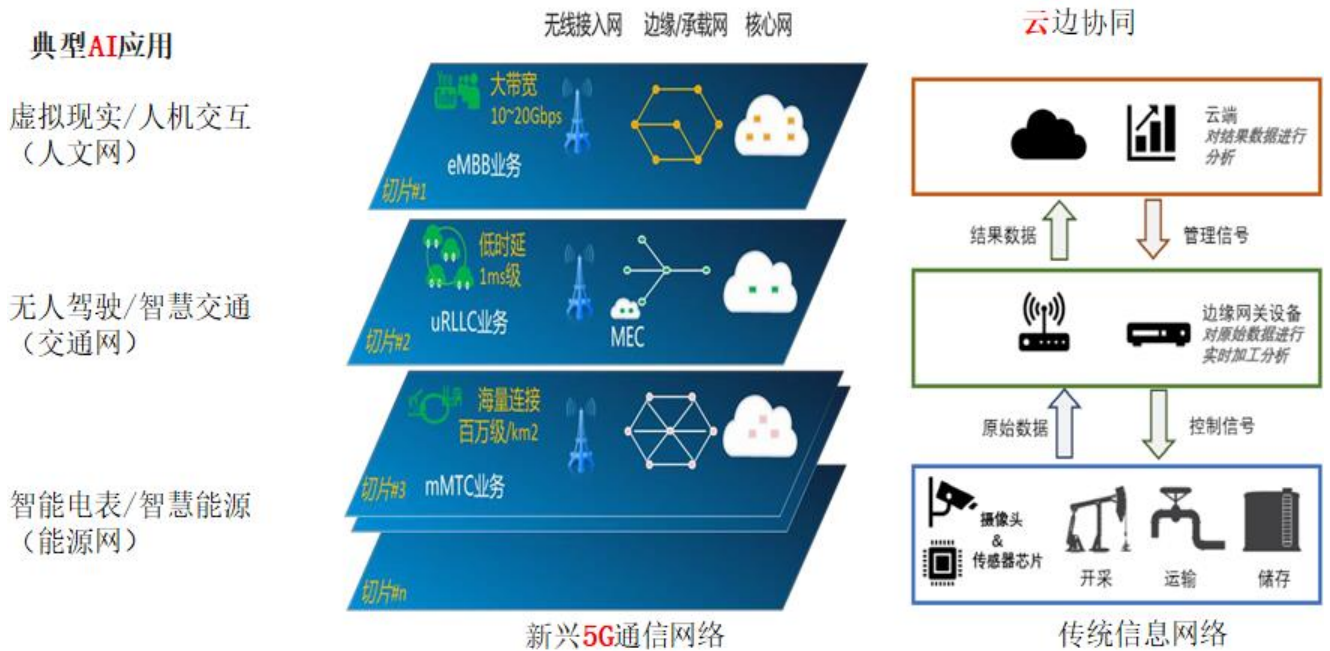


图 3-4 通过 5G/Cloud/AI 建立基于四网融合的产业生态创新

3.2 融合要素

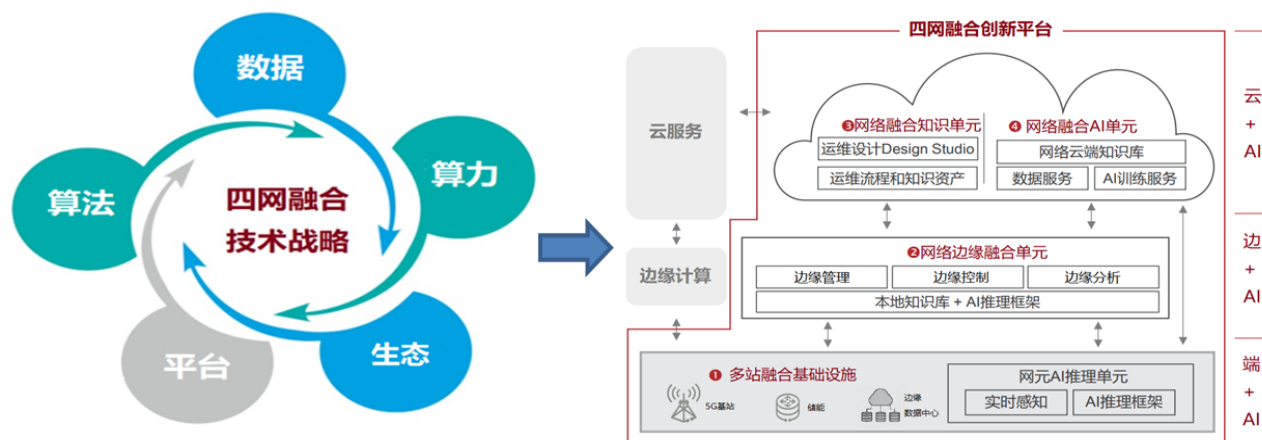
5G 技术的高速率、大容量、低时延特点，可以在人、设备、传感器之间实现真正意义上的互通互联，这为产业应用的全面智能化升级提供了可能。扩展现实(XR)作为融合人-机-物的下一代移动计算平台，包括了增强现实（AR）、虚拟现实（VR）与混合现实(MR)，正在促进现实世界与数字世界的融合，从而彻底改变人类工作、生活、学习和娱乐的方式。



图 3-5 不同时代的协作关系对于人文网络演变的影响

- 过去两百年的工业时代，企业竞争优势的来源是规模效应，基于线下人与人沟通的人文网络。
- 过去二十年互联网时代，竞争优势的来源是网络效应，基于线上人-机交互的信息化人文网络。
- 未来人工智能时代，竞争优势的来源是**融合效应**，基于体验式人-机-物融合产业化人文网络。

四网四流融合要素包括数据融合、算法融合、算力融合、平台融合与生态融合五个方面。



- 数据融合 ----- 非结构化数据 & 结构化数据
- 算法融合 ----- 机理模型&数据模型
- 算力融合 ----- 云计算 & 边缘计算
- 平台融合 ----- 操作系统 & 应用市场
- 生态融合 ----- 生态开放系统 & 区块链共享机制

图 3-6 四网四流融合的基础要素

- 1) 数据要素的融合：工业大数据具有典型的物联网数据特征，传统 OT 系统的实时数据库在测点数暴涨、数据采集频次不断提高的场景下，逐渐暴露出水平扩展能力缺乏、技术架构陈旧、数据分析能力弱及不支持云服务部署等多种问题；而传统 IT 系统的关系型数据库又会出现开发效率低、运维复杂、运行效率及应用推向市场慢等多种瓶颈。因此，需要采用底层以结构化数据管理为主，上层以非结构化数据管理为主的技术融合架构，以保证数据管理的高效与经济。
- 2) 算法要素的融合：四网融合产业中能源与交通的设备层具有典型的机理规律特征，而应用调度层与用户行为紧密相关，具有典型的数据统计特征，因此四网融合产业发展需要同时关注机理模型与数据模型的开发，最终的应用算法必须建立在物理规律产生的数据基础上，因此将体现出算法应用的深度融合，以保证结果的可解释性。
- 3) 算力要素的融合：四网融合产业中能源与交通将产生海量的实时性数据，随着时间的推移，将很快超过传统云计算平台的增长速度与处理能力，边缘计算已经成为公认的发展方向。四网融合基础设施是建立在未来 5G 信息网络的“端一边一云”分布式架构基础上的，因此在很大程度上依赖于边缘计算的技术发展与应用水平。其在算力分配上必须采用云边协同的融合策略。通过将云计算功能转移到了边缘侧，可以节约大量的数据传输与通信资源，满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。
- 4) 平台要素的融合：四网融合产业的发展，体现了传统互联网与新型物联网产业的深度融合。企业的竞争力模式出现了很大的改变。由于价值分配已超脱传统行业界限，传统行业重资产至上的优势逐渐被互联网平台化战略所形成的竞争格局所打破，这种模式在消费互联网与移动互联网领域已经得到多次验证。平台应用的融合战略逐渐成为企业获取竞争力的关键。从数字计算机、工业自动控制到移动互联网手机应用，以及 BAT 与华为公司推出的各种应用场景的操作系统，都体现了平台化战略的重要性。AI 生态应用的建立，是平台应用融合战略的关键，通过建立面向 AI 开发者的一站式开发平台，可以完成海量数据预处理及半自动化标注、大规模分布式训练、自动化模型生成及端-边-云模型按需部署能力，帮助用户快速创建和部署模型，管理全周期 AI 工作流。
- 5) 生态要素的融合：四网融合产业发展的目的是建立创新产业生态以适应未来竞争性的新型社交化商业模式。通过在人、产品、系统、资产和机器之间建立实时的、端到端的、多向的通讯和数据共享，每个产品和生产流程都可以自主监控，感知了解周边环境，并通过用户、专家、品牌、AI 定义内容与客户和环境的不断交互自我学习，从而创造出越来越有价值的用户体验。企业也能实时地了解客户的个性化需求，并及时做出反应。这种基于数据的智能化给传统产业带来的变化不仅是生产效率的提升，还会在传统的 product 之外衍生出新的产品和服务模式，开辟全新的增长空间，传统产业的运营模式和竞争力会被重新定义。借助物联网产生的数据，企业能

够为客户提供动态、个性化的智能服务。这些服务与传统的售后服务的本质区别在于其通过物联网收集到的数据，以更加动态的、系统的方式实时、持续地分析并预测客户需求，根据分析结果自动对服务进行优化和调整，乃至能自动地适应环境，自主决策，为客户提供高度的个性化体验。同时，对于数据的可信度和安全性提出了更高的要求，区块链技术的应用将解决数据共享的关键问题。此外，企业还可以通过物联网进一步创造出新的服务模式，比如开放自己的制造能力，为其他企业提供生产服务；根据客户的需求，提供 C2B 的定制服务；为客户提供基于物联网数据的融资和保险服务。对那些行业龙头企业来说，他们还可以搭建基于物联网的平台，成为行业生态的中心。

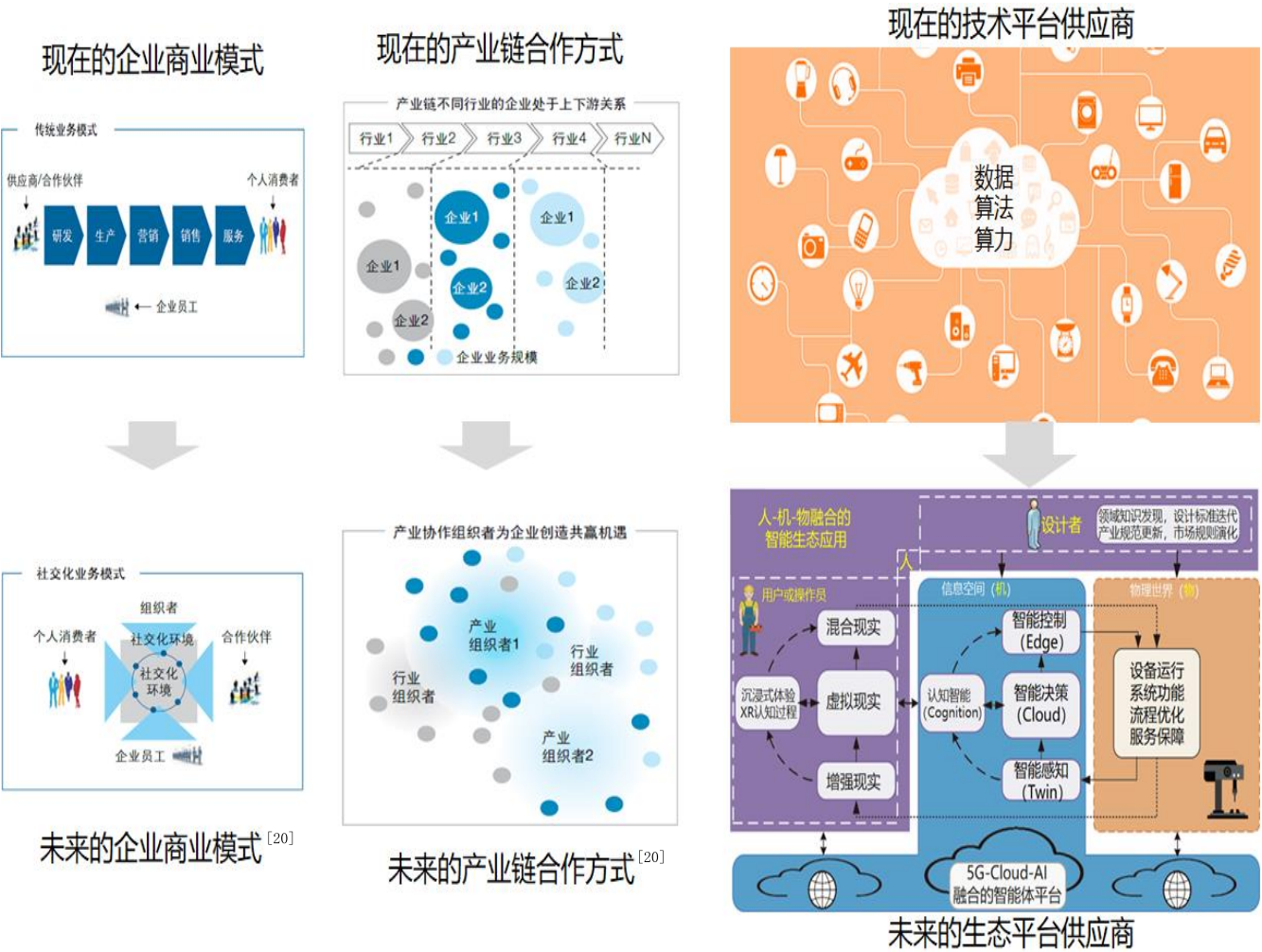


图 3-7 四网融合的智能体平台与智能生态应用

3.3 融合方法

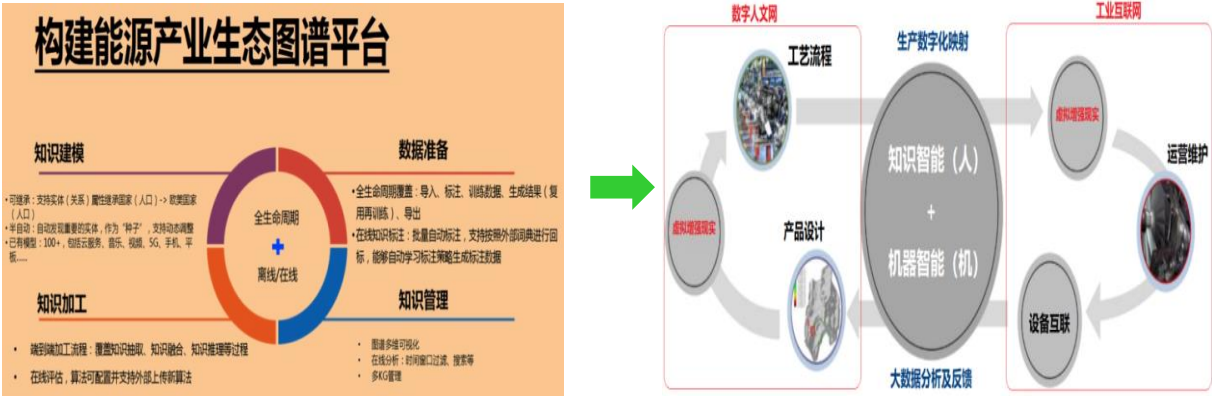


图 3-8 能源产业生态图谱平台的架构

四网四流融合的核心方法是要**推进能源产业生态图谱**的认可、建立及推广应用。从以下几个方面来建立产业的融合创新生态，实现产业的联合创新：

- 通过将产业人文内容的知识化，推广自动构建产业知识体系的数字人文生态体系
- 打破产业内外的信息孤岛，通过知识与数据的互通互联，实现可解释性决策智能
- 充分融合产业内外的数据信息与产业相关生态知识图谱，克服能源产业发展瓶颈

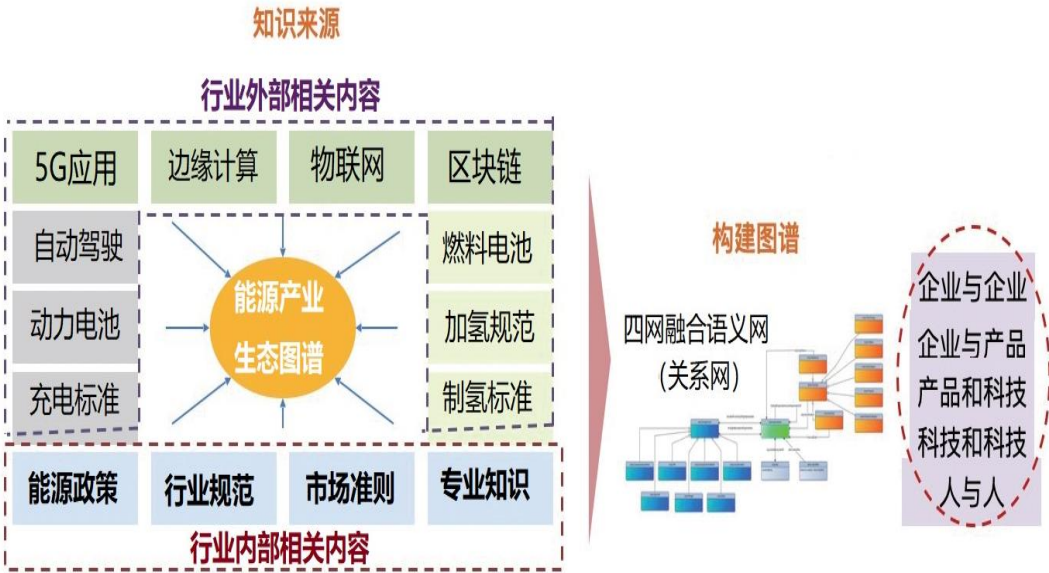


图 3-9 能源产业生态图谱平台的方法

在具体实施方面，可以考虑从以下几个方面开始：

- 相关方共同建设四网融合产业技术创新基础设施，建立产业生态融合创新平台。
- 参与方共建科研示范与商业化项目，加速能源生态领域人工智能技术推广应用。
- 依托 5G 自动驾驶网络的 AI 技术体系，形成产业互动与生态融合的创新解决方案。

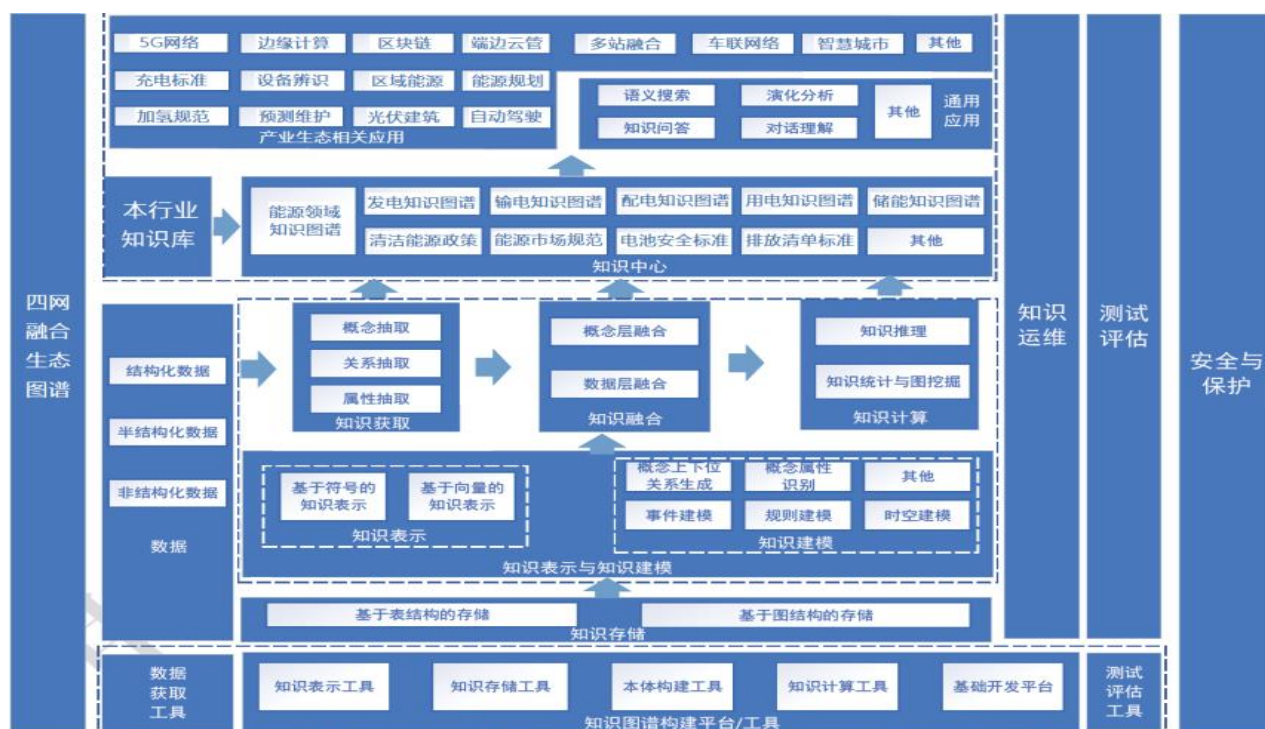


图 3-10 能源产业生态图谱平台的内容^[17]

其中，四网融合生态图谱的建设需要考虑如何建立新的知识体系以及在已有知识库上更新的区别，在更好地保护参与方的知识产权前提下，有效地实现知识共享与知识创新。

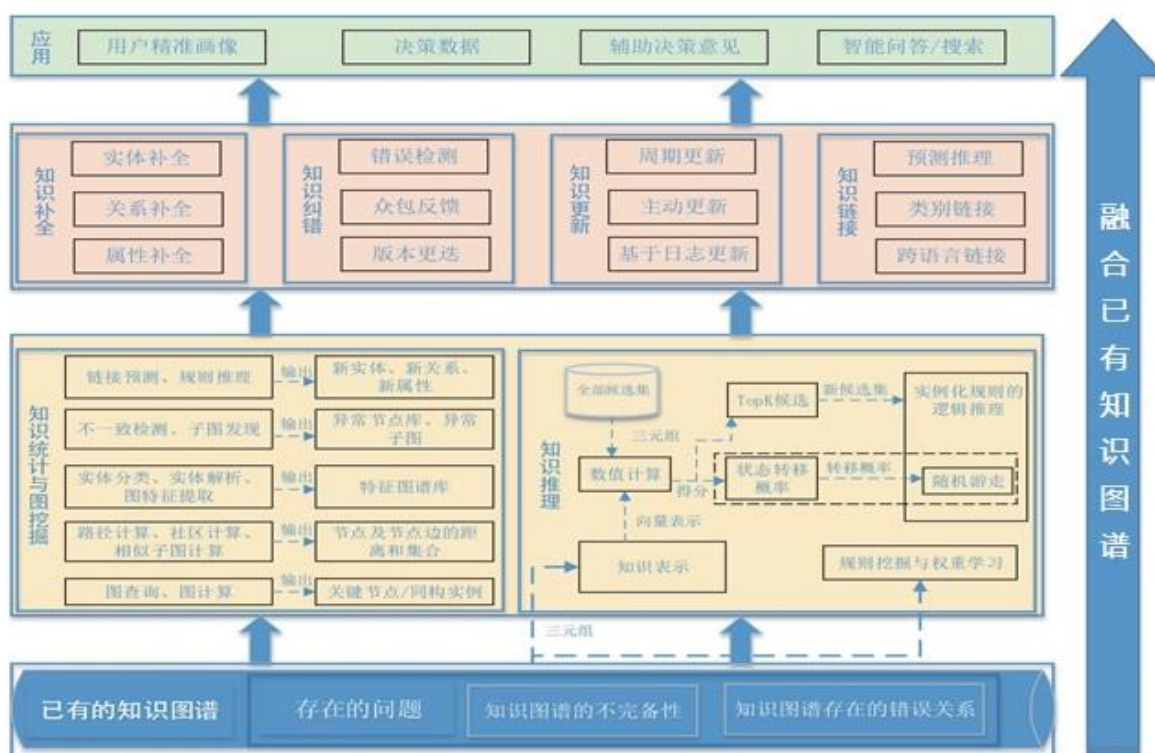


图 3-11 能源产业生态图谱平台的演化^[17]

3.4 融合收益

5G 带来的变革绝不仅仅是网速和容量的提升，而是将掀起一场颠覆式的产业变革，5G 网络本质上是一种自动驾驶网络，即可以实现自组织优化、学习与升级的新型智能网络系统。



图 3-12 四网四流融合的发展趋势与收益

四网融合本质上是 5G 网络的自动驾驶模式在能源产业链上的进一步拓展与延申，主要表现为以下几个方面：

- 产业端-----5G 时代能源产业生态边界愈发模糊，出现多角色扮演与跨界竞争的生态格局。
- 消费端-----能源服务更加多元与去中心化，并将成为系统智能与互联的可演化升级产品。
- 数据权-----能源消费者也将更加强调数据的主权、安全和隐私，促进企业同步思考应对策略。
- 合法性-----能源安全与可靠方案的 AI 应用更加深入，同时带来合法性问题，推动可解释 AI 发展。
- 服务化-----能源网络到产品都可以切片服务，软件定义能源成为主流推进“能源即服务”模式。
- 可持续-----知识智能降低了对大数据过度依赖，降低能耗，促进边缘云与分布式能源深度融合。
- 可自主-----知识智能提高了 AI 可解释性，促进数据智能对知识智能迭代更新，形成自主学习智能。

4. 四网四流应用分析

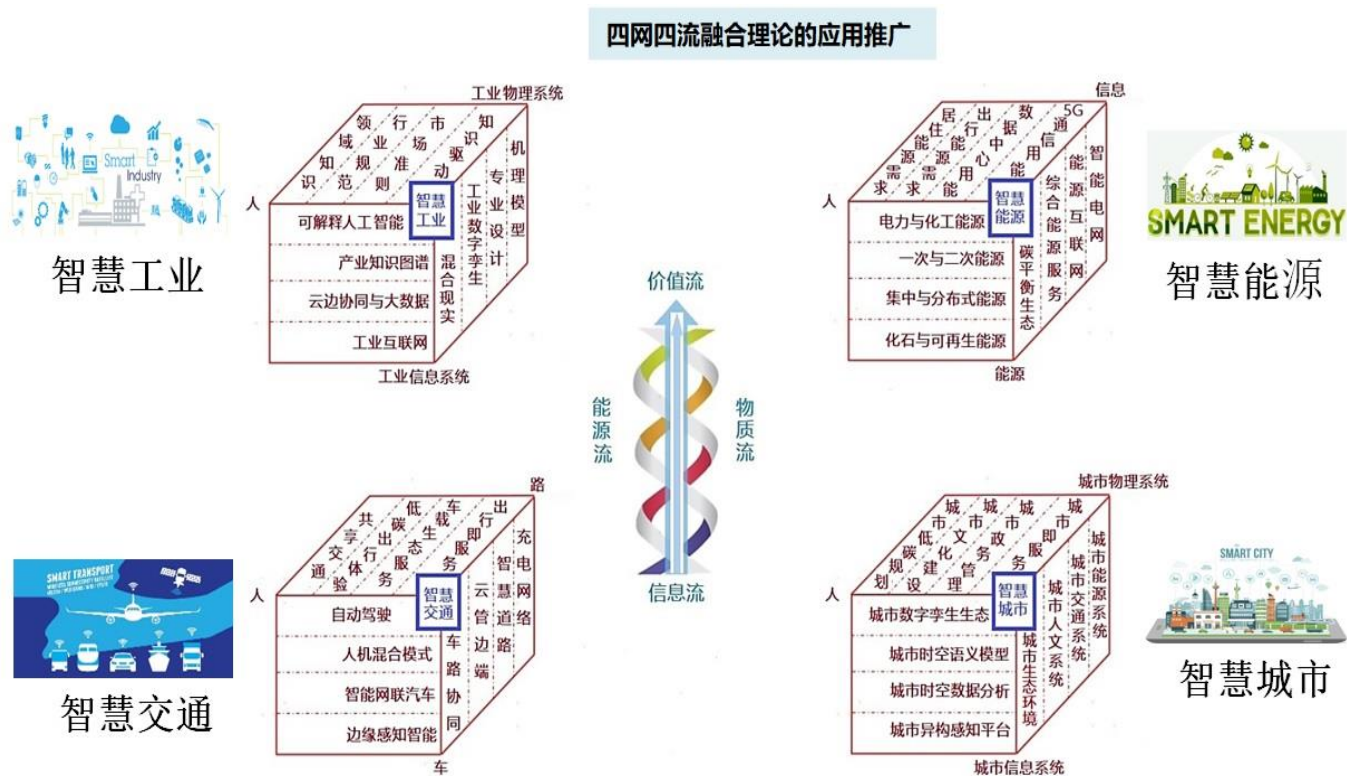


图 4-1 基于人-机（信息）-环境（物理系统）的四网四流融合应用

四网融合的核心是“人-机-环境”生态系统下人文网的融合，体现了新基建背景下发展数字经济的顶层设计思维，即建立人-信息-物理系统融合发展的方法。这一点在智慧工业、智慧能源、智慧交通与智慧城市的应用中均有所体现。

其中，智慧工业是人-工业信息系统-工业物理系统三位一体的融合，智慧能源是人-能源-信息三位一体的融合，智慧交通是人-车-路三位一体的融合，智慧城市是人-城市信息系统-城市物理系统三位一体的融合。

当前，5G 已成为数字经济发展战略的重要支撑和产业数字化竞争的重要焦点，并促进了信息革命、能源革命与交通（出行）革命的深度融合。智能化与网联化已经成为数字经济产业生态的典型特征。四网四流战略将有利于进一步推动知识智能与数据智能在智慧工业、智慧能源、智能交通与智慧城市应用中的融合。

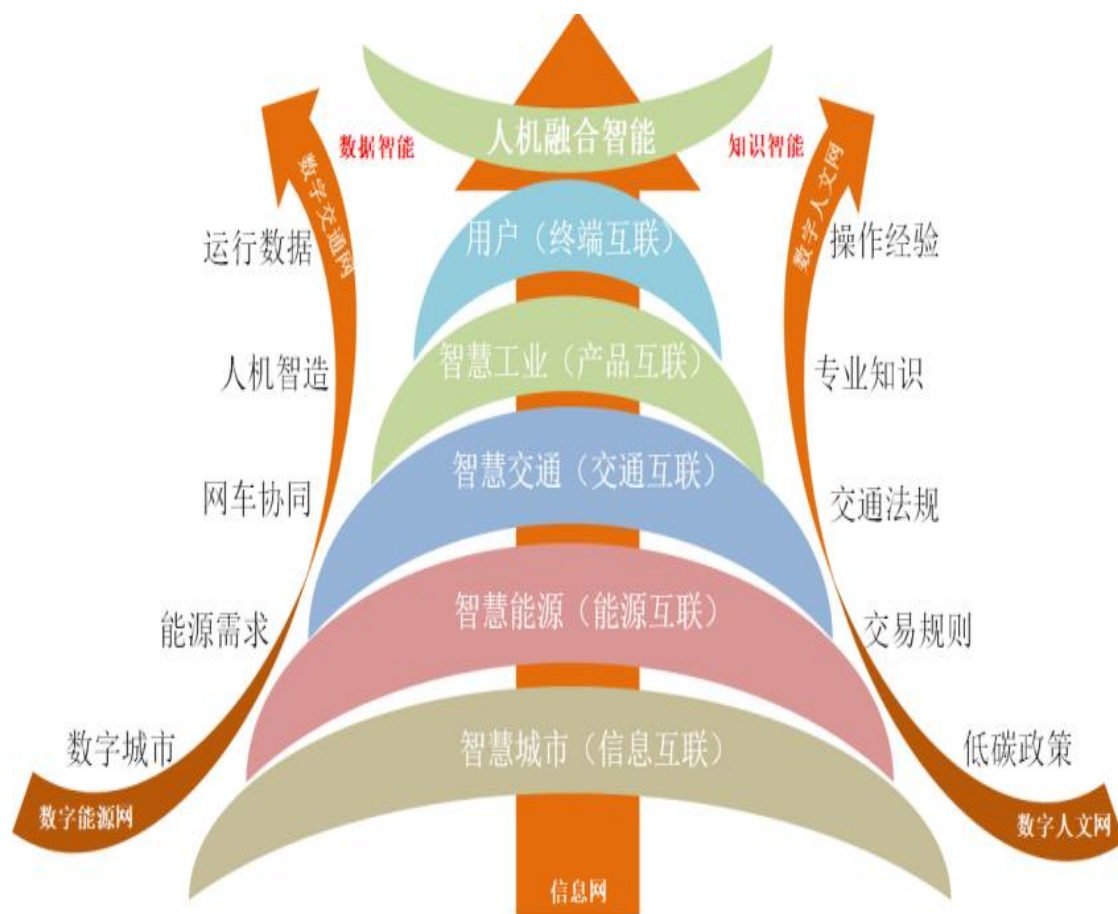


图 4-2 四网四流驱动的人机融合智能体

智能升级是未来每个行业构筑核心竞争力的关键，为了实现这一目标，华为推出了首个云网边端协同的一体化智能系统参考架构“智能体”，与行业应用深度融合，实现“能感知”、“会思考”、“可执行”、“能进化”。智能体由智能交互、智能联接、智能中枢、智慧应用四层组成。智能中枢的核心是应用使能、数据使能、AI 使能、开发使能以及集成使能；数据作为生产要素，打通全价值链；算力作为引擎，为智能升级提供澎湃动力。

华为“智能体”具有四大特征：

- 分层解耦：统筹规划、分步实施，开放合作、拥抱客户和生态，明确界定业务范围和能力边界；
- 多云异构：提供灵活的多供应商策略，用户可结合场景选择合适平台；
- 混合算力：支撑信息创新解决“卡脖子”问题，围绕业务战略助力客户达成国产自主可控的战略目标，服务客户业务战略；
- 性能指标：按需提供不同性能指标的产品和服务，协助制定行业标准。

4.1 智慧工业

随着 5G 的发展，工业互联网建设已经成为产业智能化的重要手段，其所依托的工业园区一般体现出以下特征：

- 具有城市配电的一般特点-----范围类似于城市分区，多用户统一管理
- 拥有相对独立的配电管理权-----大工业园区内部的中低压配电独立性高
- 工业负荷安全性要求高-----重要区域与负荷双回路供电，利用率低
- 工程车辆电气化需求强-----工程车辆使用频繁/数量众多/路况简单
- 电动车推广的充电需求-----利用存量配电设施资源满足增量电能需求
- 重型车辆氢能化需求强-----利用分布式发电资源满足就地的制氢需求
- 5G+工业互联网能源需求-----利用本地发电储能资源满足增量建设需求
- 端边侧基本以结构数据为主-----采用物联网数据库效率提高一个数量级
- 端边侧大量分布式智能需求-----采用端边微型数据中心解决端边侧需求

基于四网融合理念，可以进一步将工业园区的端侧变电站、5G 基站、充换电站（加氢站）、储能站和数据中心集于一体，推广更加微型化的工业互联网多站融合应用，实现智慧工业中四网融合模式的共建、共享、共治和共赢。这种智慧工业园区超级融合站能够实现能源流与信息流协调互励，一方面电力+新能源+储能为 5G 基站、数据中心提供可靠安全的能源保障，支持连接、传感、计算等数据业务；另一方面 5G 基站和数据中心承载为能源系统提供关于能源供应、电力需求、客观环境信息的感知、流通、计算、判断，为能源系统提供更为优势的调度逻辑和性能优化，实现能源流和信息流的互利共赢。

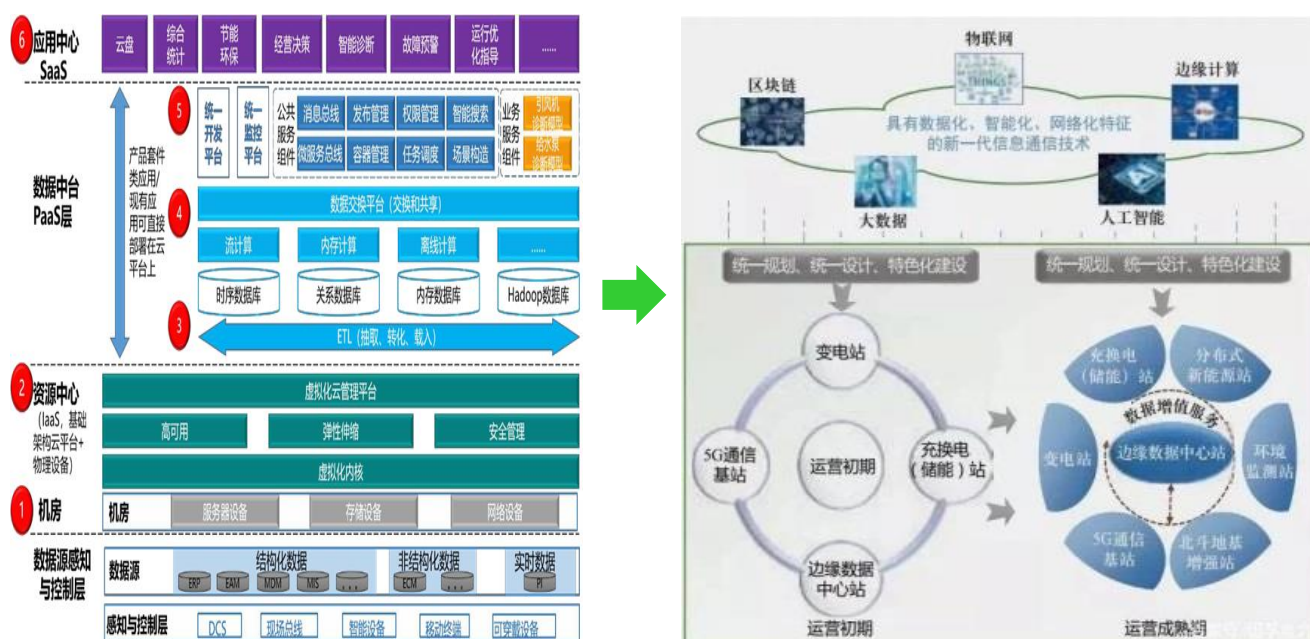


图 4-3 基于四网融合的工业互联网架构^[7]

从产业价值链演化的角度来看，智慧工业的价值正在从过去以产品为中心的模式，转变为以场景为中心的即服务生态模式。为实现这一目标，融合知识图谱的工业互联网应用^[8]成为重要的创新手段，其中，通过融合产业人文网为细分行业建立可持续更新的知识库，将成为智慧工业推广智能化应用的有效方法。

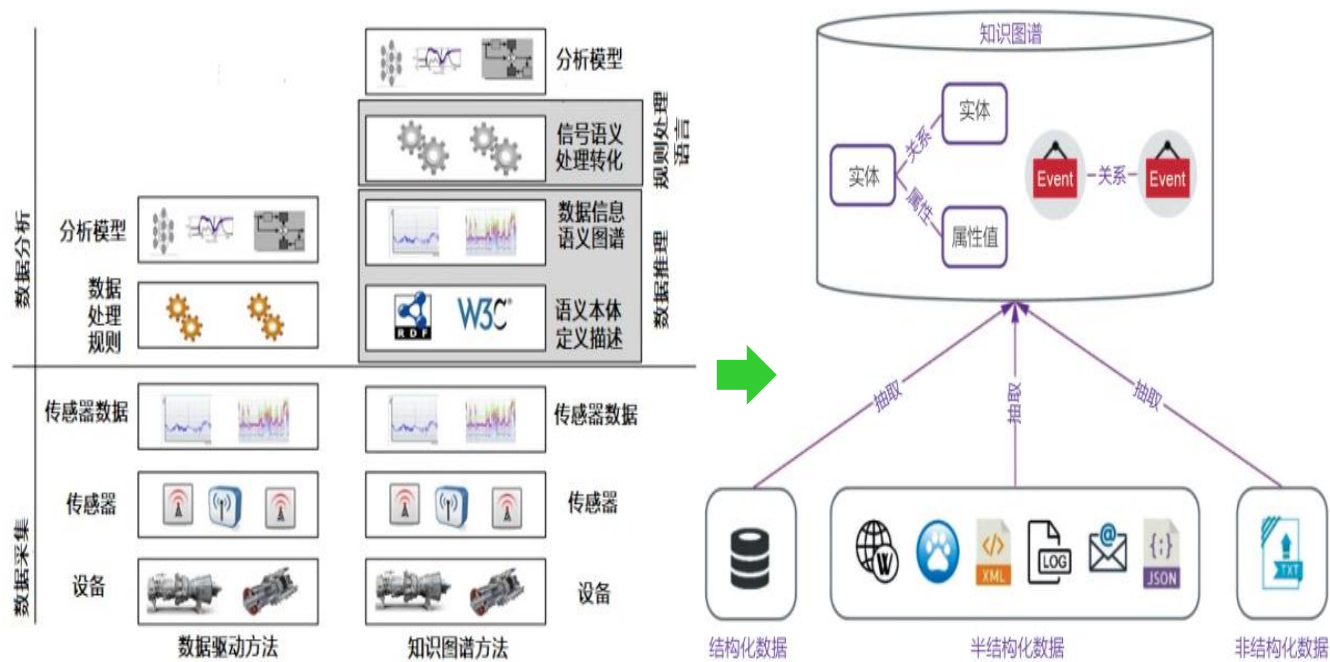


图 4-4 基于知识融合的工业互联网架构

“机器人即服务”就是一种最典型的人工智能与物联网技术相结合的结果，并体现了移动功能、能源供应、边缘智能与人机交互的四网融合发展趋势。下图标识了机器人结构，与一般设备相同，都是由输入设备，控制器，输出设备组成。从这个角度来说，机器人算是一种高度集成了各式设备的机器，是一个体现了四网融合的边缘智能体。

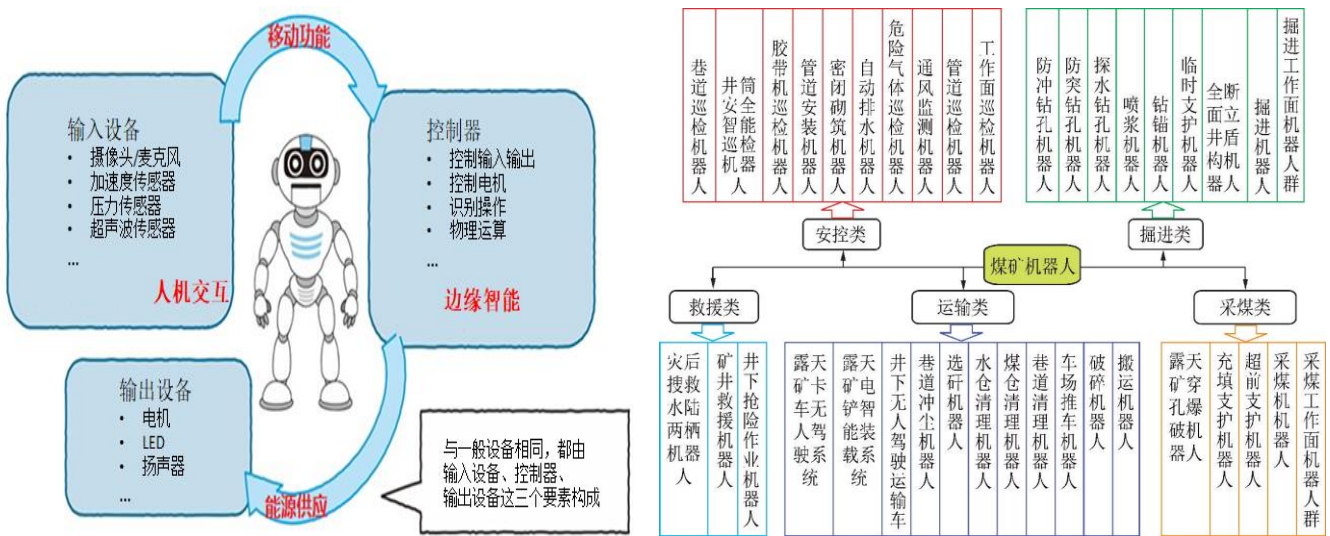


图 4-5 基于四网融合的边缘智能体—工业机器人

以智慧矿山的煤矿智能化为例，煤炭开采地质条件复杂，其探测感知、信息传输以及矿山开采一直处于信息不透明、行为不确定、系统不关联的状态，造成了矿山生产预测难、监控难、效率低、安全事故多等问题。

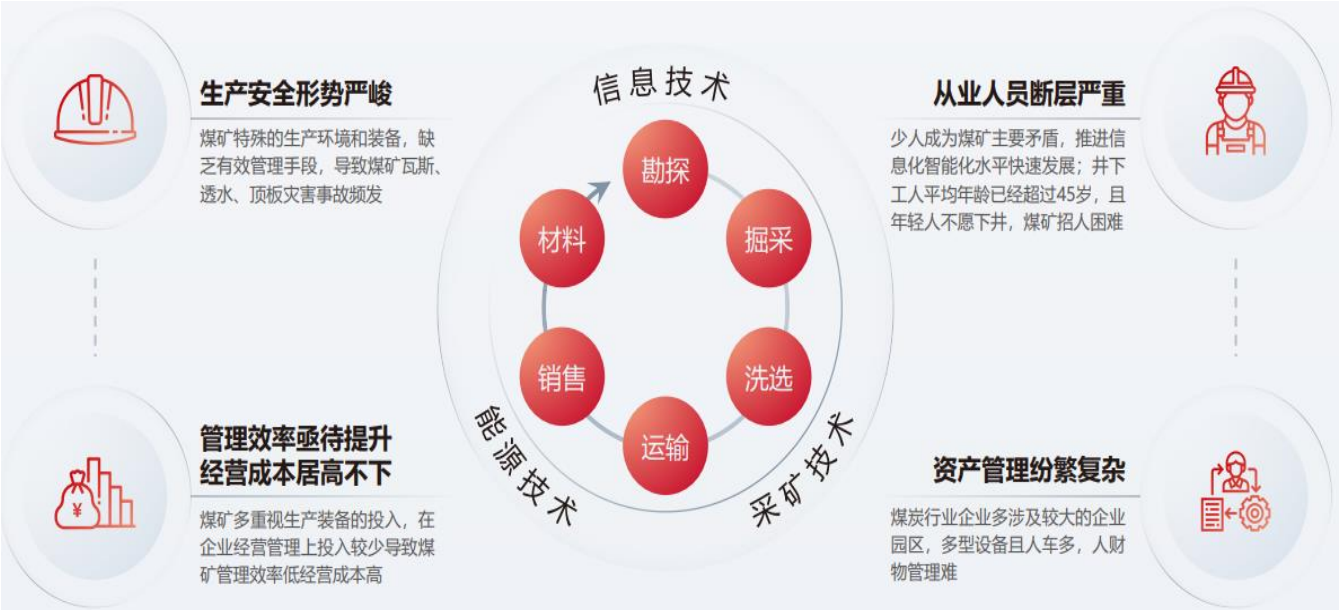


图 4-6 智慧矿山领域知识与能源/信息技术的融合应用^[9]

通过引入知识图谱技术，可以建立煤矿知识计算模型以解决三个基本问题^[10]：

一是信息关联层次不清晰,基于“规则”的方法只是建立了数据间的“表象”关联状态,未进行深度有效的挖掘,矿山生产预测难、监控难、效率低、安全事故多等问题一直不能有效解决。 如何实现矿山大规模、多层次、非线性的时间、空间信息的耦合及关联,并以此支撑资源的安全、高效开采活动成为了矿山工程领域发展过程中面临的科学难题;

二是框架结构不完善,现阶段仍然是以数字矿山的数据获取为核心的架构,而不是以数据利用为核心的架构。 智慧矿山缺乏系统的信息关联机制、知识发现策略和统一的逻辑模型和再现方法,现有数字矿山的框架体系更多的演变成为智慧服务的基础支持体系;

三是缺少智能决策依据及有效控制方法。 利用现代机械、电气及人工智能技术解决矿山装备控制难题、实现智能无人开采是智慧煤矿发展的核心目标之一。 虽然突破了液压支架跟机自动化、采煤机记忆截割、运输系统煤流平衡、远程遥控、一键启停等多项关键技术,实现了简单地质条件下的设备协同联动自动运行。 然而,这些技术主要是从开采系统内部或单个环节取得的技术突破,无法组合起来实现更为复杂地质条件下的连续稳定开采。 必须从系统级开展多种技术、数据的融合集成研究,解决数据不利用、信息不关联、控制不智能的问题,从根本上提升煤矿的开采水平、生产效率及人员与设备安全保障能力。

通过建立煤矿知识计算平台，可以在不同层级形成相应的知识融合策略与手段，加速智慧矿山到智慧煤炭产业的演化过程。

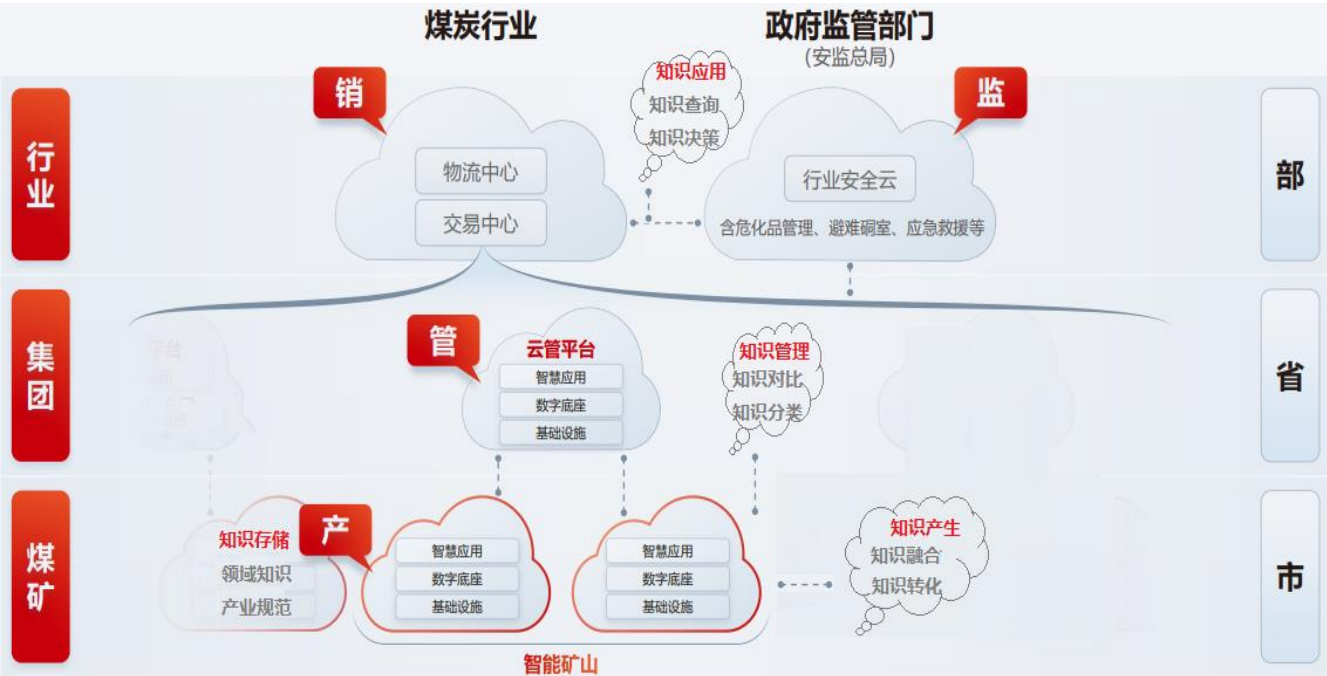


图 4-7 知识与数据的融合促进智慧矿山到智慧煤炭的演化

以智慧发电的火电运行优化过程为例，采用基于深度学习的数据分析方法，虽然可以在一定程度上优化锅炉燃烧在运行点附近的预测与模拟，但对于更大范围的运行区间则需要耗费更长的数据预处理过程及大量的调参时间与成本，往往达到的效果很难满足整个区间的要求，并且存在控制行为不可解释的安全风险。



图 4-8 传统数据驱动的方法在智慧火电应用的问题

因此，基于引入知识图谱与语义网等相关技术，可以将设计手册和运行经验等静态知识与动态运行数据相结合，进行动态知识的学习、获取与产生，分别在发电厂级与集团层面形成可以迭代升级逐渐演

化的知识计算平台，为集团的智能决策提供科学的保障，其中，传统的火电厂数字孪生将升级为融合孪生，并进一步形成演化孪生。

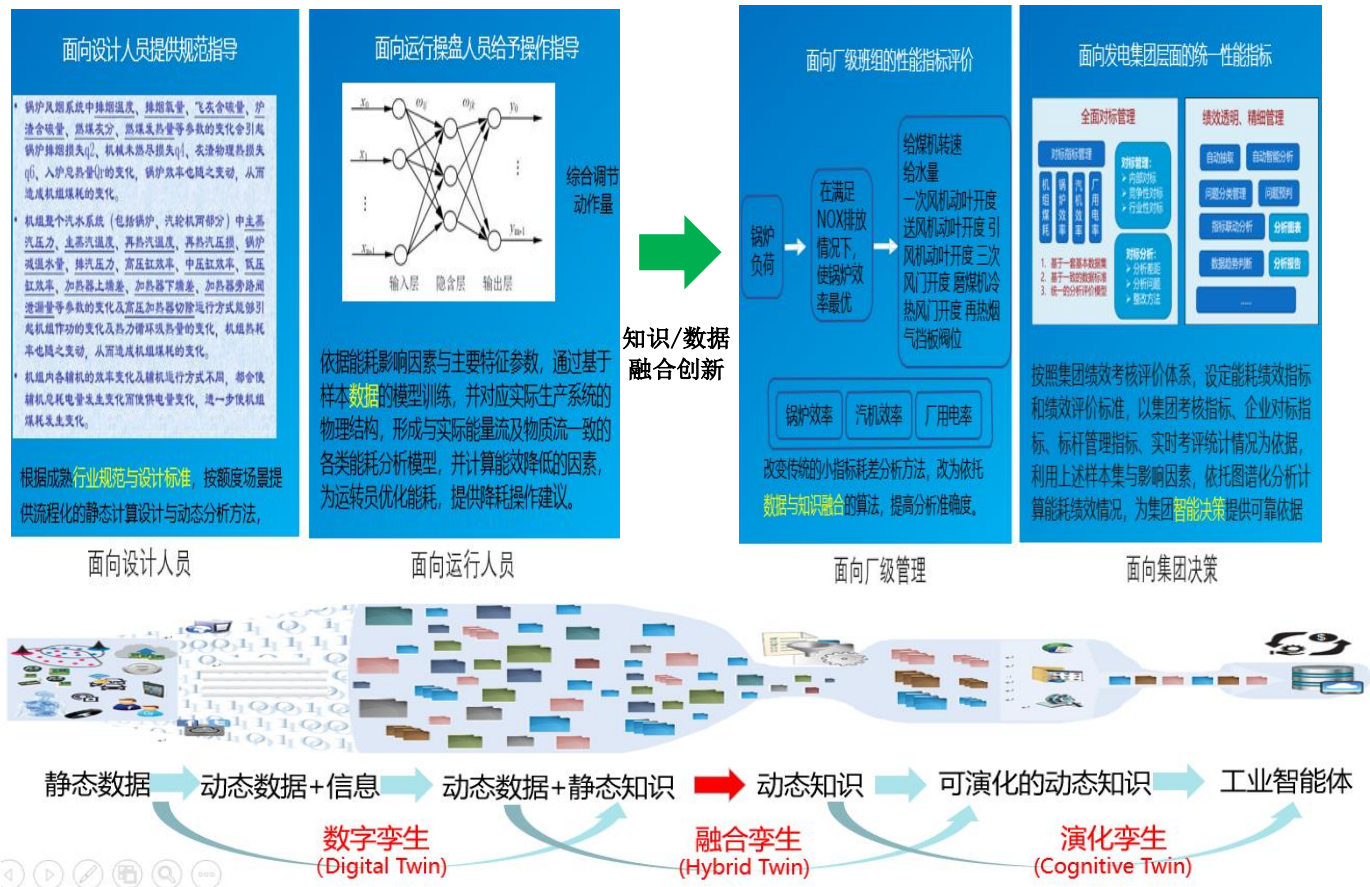


图 4-9 智慧发电知识智能与数据智能的融合应用^[11]

数据中心自动驾驶		
运维	运营	自动驾驶级别
完全依赖人工，手工记录	完全无优化	L0
电子化和数字化运维数据，减少人工巡检内容	能源效率基础监控和可视	L1
通过 AI 技术识别设备状态，基本免除日常巡检	基于规则的 PUE 优化	L2
通过 AI 技术对设备运行过程中出现的问题进行智能诊断，免除人工分析	基于 AI 的 PUE 能效自动优化，人工可手动干预	L3
通过 AI 技术对设备健康状态进行预测，预防性维护	基于强化学习的能效优化；业务预测，辅助商业决策	L4
完全自治运行，对系统故障自行修复	完全无需干预，自动达成最优运行状态	L5

图 4-10 数据中心的自动驾驶模式

数据中心也是一个典型的应用场景，在传统模式下，能源流、信息流各自为政，存在很大的改善空间

间，将多流融合后，信息流为能源流提供全局视角的优化策略，对能源流的环节设备进行实时“体检”，实现更可靠的运行保障。在数据中心的运营过程中，节能减排是最重要的考核指标。通过人工智能等信息流技术，对数据中心运行信息进行采集、分析，动态建模，实时推理出最佳制冷策略以及供电策略，同时结合上层数据流的算力需求，实现数据中心整体能效最佳。在数据中心日常运维过程中，也可以利用人工智能，结合运行数据对关键设备进行预测性维护，最终达成数据中心的“自动驾驶”。

工业领域多年沉淀的大量行业知识，可以很好地解决定性问题，但在很多场景下，这些机理模型还不能精确地匹配工况的波动，工业过程仍是“黑盒”。此外，工厂老师傅和匠人具备的大量隐性知识，需要被传承和复制。为解决以上问题，工业智能体成为行业智能化升级新引擎，通过基于知识图谱的智能认知引擎、基于 AI 模型的智能预测引擎以及基于运筹规划的决策优化引擎，实现从信息-物理系统驱动的数字孪生到人-信息-物理系统驱动的演化孪生，让过去诸多难以落地应用的技术应用到工业场景，助推工业智能化升级。

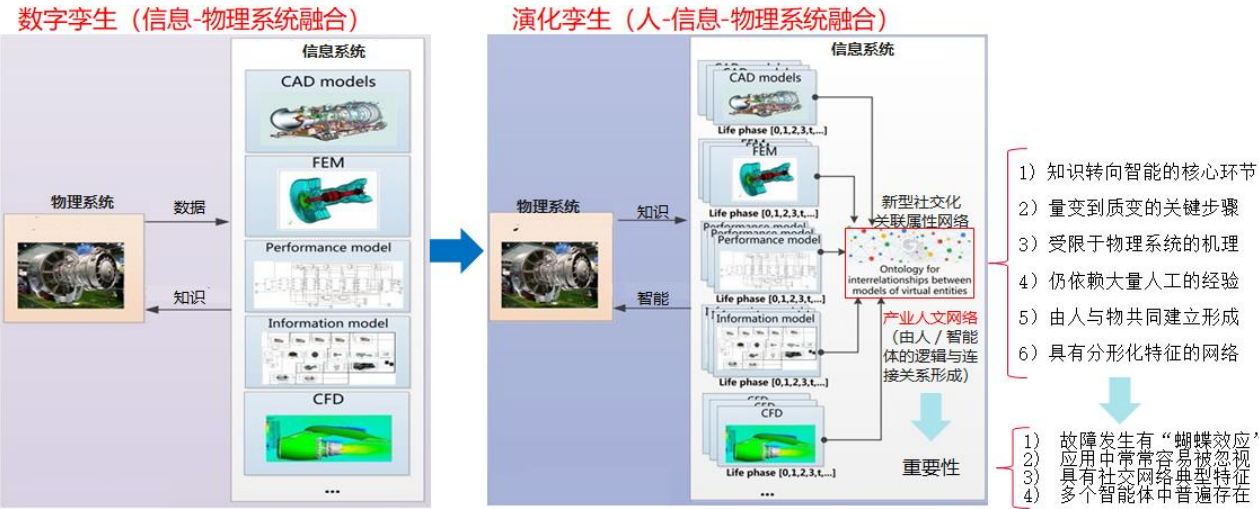


图 4-11 基于人-信息-物理系统演化的智慧工业应用

目前，工业智能体应用于能源、矿业、电力、水泥、化纤等多个工业领域。例如，华为云与中国石油合作，使用工业智能体认知引擎来辅助识别测井油气层，将油气层识别时间下降 70%；华为云与三联虹普合作，使用工业智能体的智能预测引擎，让客户需求匹配率提升了 28.5%；华为云与鑫磊集团合作，使用工业智能体的智能优化引擎，将 AI 能力引入配煤环节和焦炭生产质量预测，让配煤准确率超过 95%，每百万吨焦炭节省成本超过 1000 万元。2020 年 7 月，华为宣布将在超过 20 个工业细分行业，征集 50 家领先的行业专有技术伙伴，共同探索和实践 100 个工厂智能化升级项目。

4.2 智慧能源

能源行业生态圈正在被新的跨界竞争者重塑，为避免在未来的价值分配体系中被边缘化，各大能源企业纷纷提出向能源即服务转型的战略，布局成立综合能源服务公司，加强对用户和数据的把控，以期

占据新生态的核心地位。国国家能源集团北京低碳清洁能源研究院提出了**碳平衡（中和）的氢基智慧能源生态系统**^[12]架构与技术路径。国家电力投资集团^[13]与国家能源集团在燃料电池与加氢站的具体技术上都进行了产业化布局。

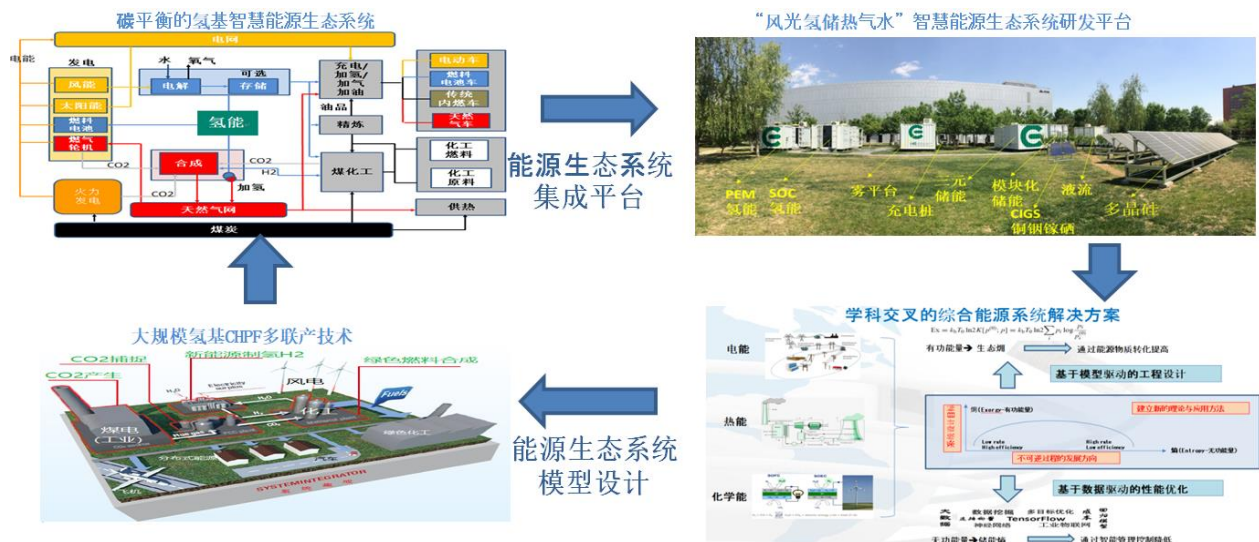


图 4-12 基于多领域知识融合驱动的智慧能源生态系统

通过建立学科交叉的能源生态系统模型设计方法，将电能、热能与化学能做为能源产品类型与服务进行联合规划，通过氢能将可再生能源与化石能源进行耦合，在电力生产、热力供应、和绿色化工之间产生多类型融合的新型产业形态，建立**多领域知识融合驱动**的大规模氢基 CHPF（Combined Heat、Power & Fuel）多联产技术路径。其中，基于高温共电解技术的系统集成研究进一步推动了能源生态系统的理论发展，在工程实践中为实现我国煤炭清洁化的 IGFC（Integrated Gasification Fuel Cell）技术路线提供了知识积累与优化的技术基础。

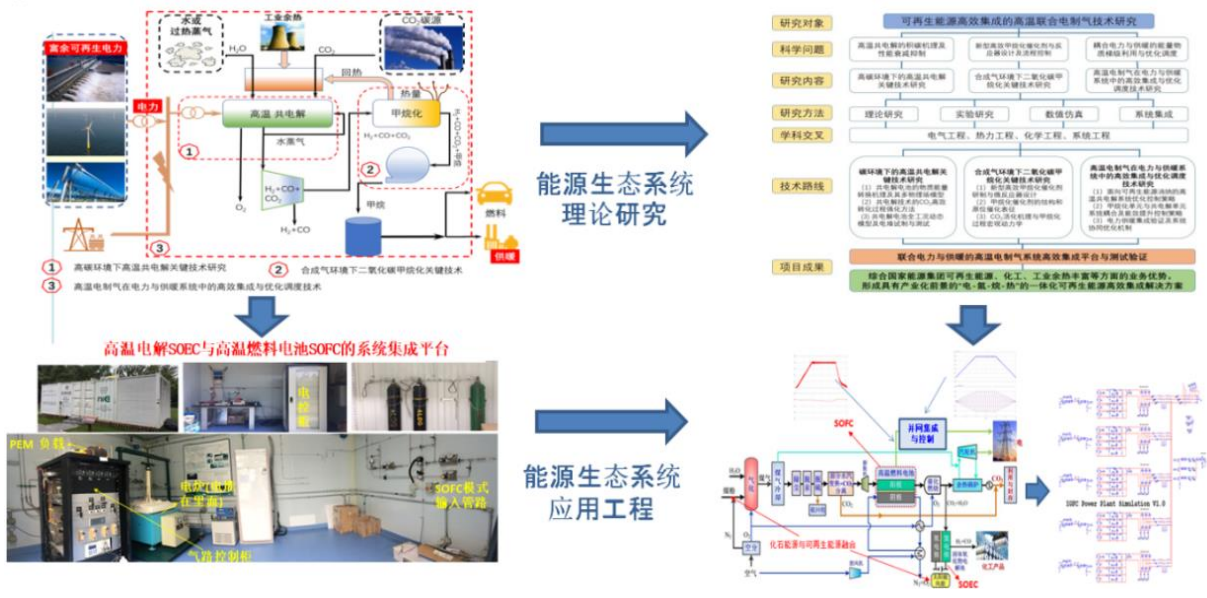


图 4-13 碳平衡（中和）智慧能源生态系统的相关研究

通过建设微电网可以将传统的模式向新能源发电就地化和去集中化模式转变，同时就近发电和高效利用绿色可再生能源对于输配电网供电的稳定性和降低成本提出了更高的要求，而且给输电网和配网运营带来了许多新的挑战。可以基于电力系统的科学研究和运行调度经验，建设一个独立的负责区域能源调度的配电系统运行中心（DSO）作为关键机制来协同电力系统配电网运行，并适应微电网内即时多变的各种因素，进而支撑基于区块链技术的碳证交易和能源交易中心。负责区域能源调度的配电系统运行中心（DSO）包括：微电网分析、计算、协调和低压用户用电监控及其商业保险服务等应用，起到对分布式能源的消纳、分配、存储进行有效的管控作用，以获得微电网的最大价值。

比如靠近用户侧的一种典型微网应用是光储充一体化，微网同时扮演能源生产者与消费者角色，微网内部通过终端用电侧中低压的直流化和数字化，实现能源流调度管理。配电网和充电网统一智能管理，实现“光储充”一体化智能协同，电动汽车充放电更高效、碳排放更低。微网外部与其他微网或上层能源网等多流互动，传递能量供应裕度与需求空间信息，进行微网能量在时间与空间上的迁移。基于 AI 对市场价格和趋势精准判断，以及对园区的负载持续学习，可以对未来用能实现精准判断，积极参与电网的智能调频调峰。这个微网还成了联接智慧交通和智慧能源的纽带，将千万级别数量的电动车上携带的移动储能智能化地融入“四网”超级系统中。能源的流动变成双向的，表现出 V2G，V2H，V2V，V2B 等 V2X 丰富的场景。同时可以考虑与通信基站、数据中心融合部署，电随网进，扩大微网地域范围和应用场景，迭代升级，服务更多行业和个人。

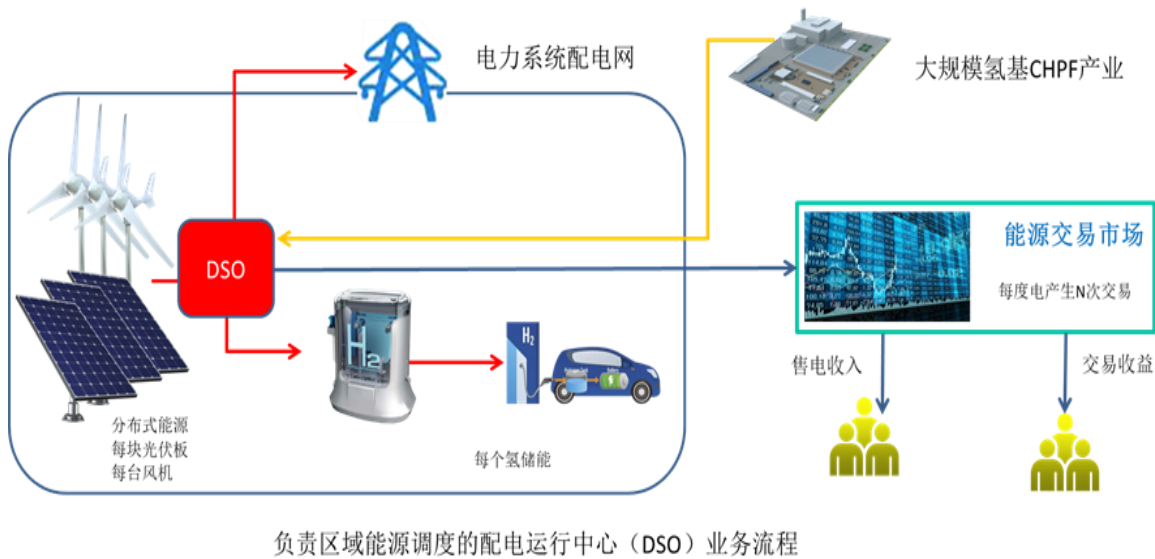


图 4-14 能源生态系统的分布式网络规划

通过建立与边缘计算相融合的自相似能源网络结构----纳网研究平台与微网示范工程，可以基于操作系统化方法（NICE_EOS）将能源服务的本地化运行与能源系统的网络化管理（NicerNet）结合，并通过虚拟私有云（NICE_CLOUD），边缘计算（NICE_FOG）与端侧网关（NICE_MIST）架构进行实现。



图 4-15 能源生态系统的分布式运行设计

最后，通过 NICE_EOS 与 NicerNet，可以建立能源产业的知识库平台，直接与自相似的区域能源系统运行优化相融合，通过与系统运行数据的互动，基于能源生态图谱，建立数据-信息-知识-智能的演化过程，形成碳平衡（中和）能源生态系统。

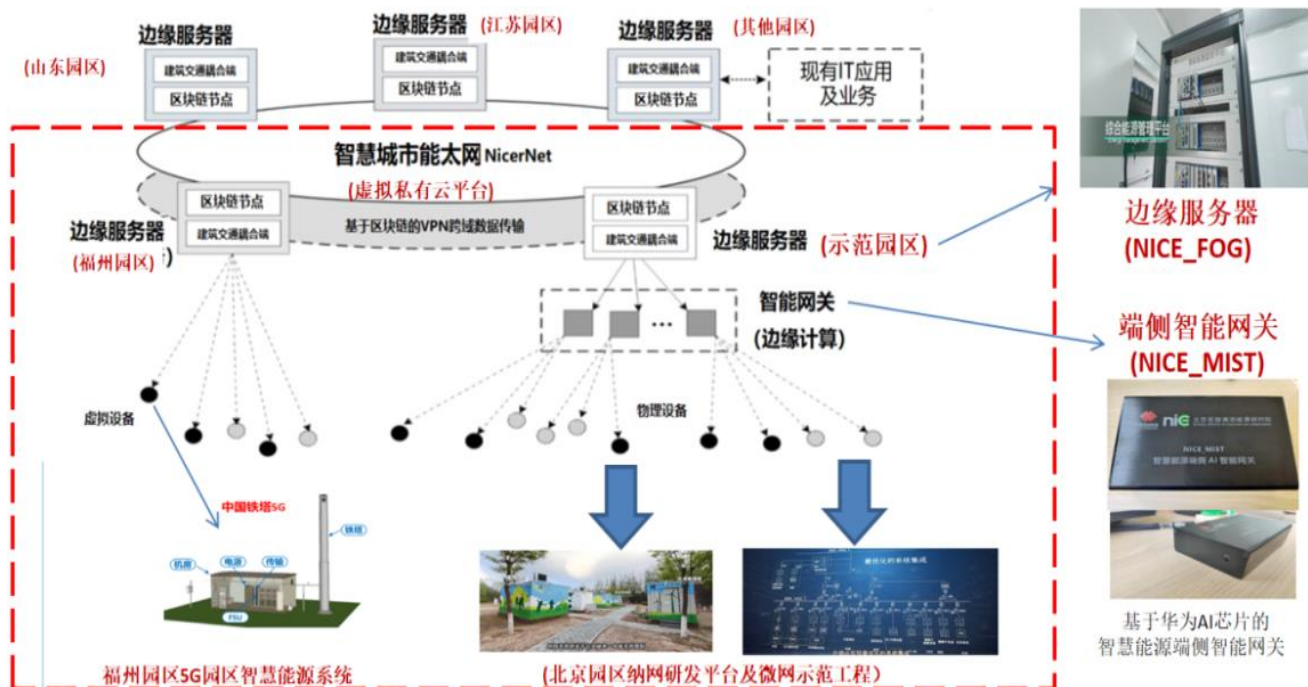


图 4-16 碳平衡（中和）能源生态系统的分布式运行实现

华为携手青海能源大数据中心构建了全国首个具备 AI 和大数据能力的新能源大数据平台，提供更准确的功率预测与网源协调规划服务，提升调度交易计划精准度以及新能源消纳能力，通过数据挖掘助力 2019 年实现连续 15 天 100% 新能源供电。华为与中国石油合作，历经一年时间对 20 多个油气场景的 AI 应用进行研究，最终采用 ModelArts 人工智能平台，开发初至波自动拾取、测井油气层识别、油机井工况诊断、地震层位解释、单井产量递减和含水预测等 5 个 AI 模型。在勘探领域，AI 模型综合物探、测井资料等数据，将参数预测误差降低 20%，极大地提升勘探研究的准确度和效率。

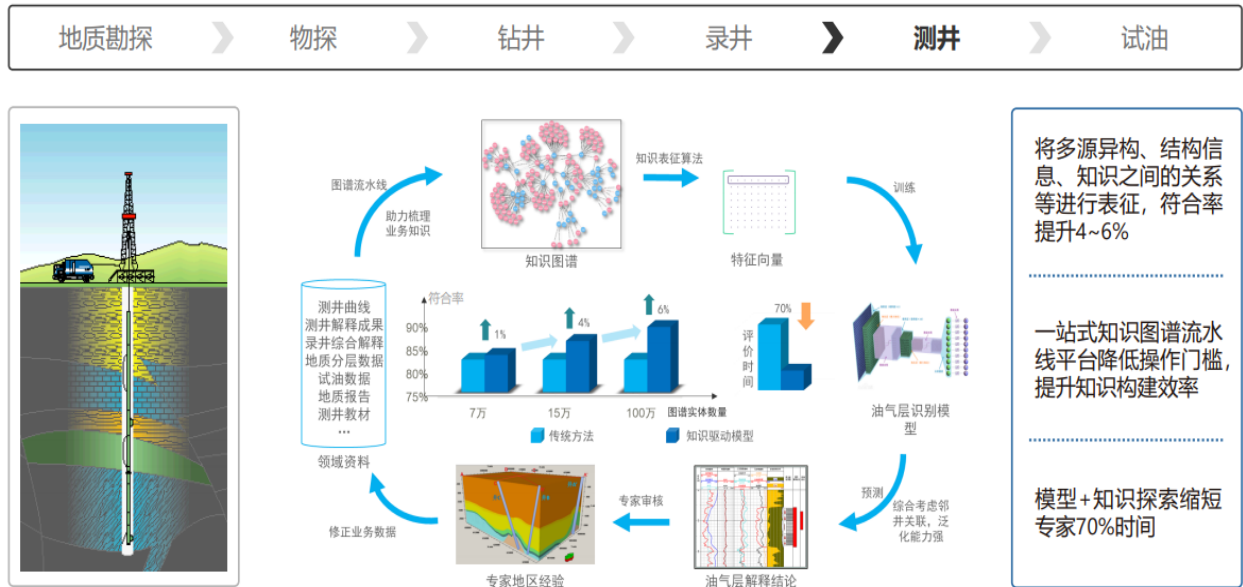


图 4-17 基于知识计算的油气层识别^[14]

4.3 智慧交通

交通业指国民经济中专门从事运送货物和旅客的社会生产部门，包括公路、铁路、航空、水运等运输部门。目前与新能源行业耦合度最高的是电动车、燃料电池汽车与车联网技术的发展，铁路的高速化与电气化也得到大力推动，航空与水运的燃料低碳化逐渐受到关注。

以出行路径为主线，通过物联网实现不同交通工具的互通互联，“出行即服务”模式将成为城市化进程中缓解城市交通的关键。出行即服务的实现需要实现四个方面的融合--出行需求（交通用户）、出行载体（生产厂商）、出行路线（政府规范）、出行条件（运营环境）。目前在不同的交通载体都有所体现，例如车联网（人-车-路-环境），智慧地铁，高铁网络，智慧机场等。未来有必要实现不同交通载体系统之间的连接融合，以提供最个性化的智慧交通服务，同时满足产业链参与方的不同需求。

“出行即服务”是一种以人为本的商业模式与出行文化，其本质是要实现门到门的出行智能管理。可以连接海、陆、空等多种模式，并且要满足可持续的发展目标。因此，这种与出行文化创新紧密结合的智能交通模式从根本上改变了汽车等交通载体本身的产品定义与价值链体系。

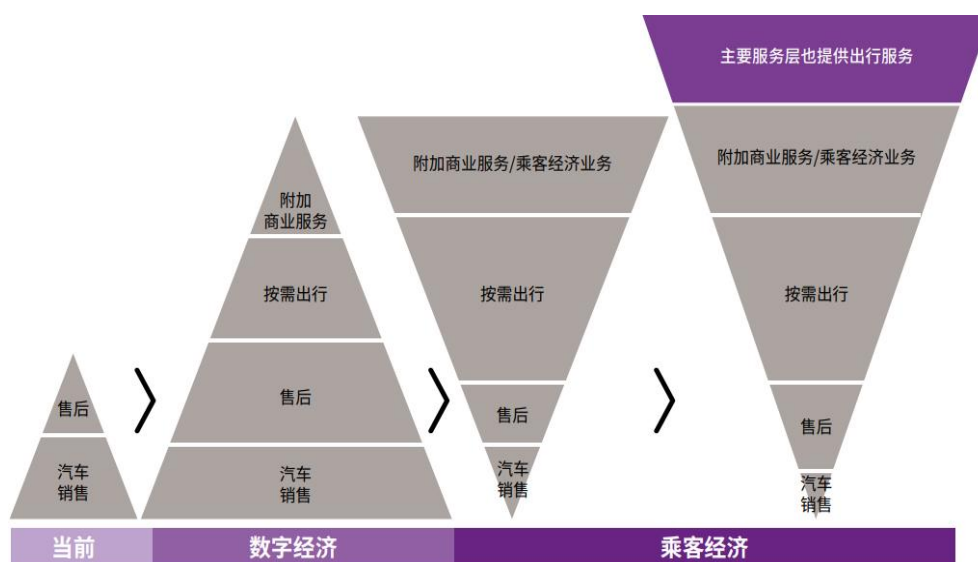


图 4-18 新一代智能交通体系的核心要素^[15]

以车联网为例，上图显示在数字经济下，汽车已从机械产品转变为软件定义的数字化产品，而在乘客经济的发展阶段，汽车进而会发展成为用户终端服务的附属。因此，整车厂不但需要从现在就要适应传统的车型和发动机向数字化产品的转变，更重要的是，在产业链整合的过程中，要重新认识与理解数字化产品背后的真正服务性需求。这种需求的变化主要体现在三个方面：

1)技术战略与产品定位层面：单一技术发展模式开始向多功能平台转变，如算法和云计算对在自动驾驶领域由摄像头和激光雷达等收集的大量数据进行处理，从而进行多种仿真分析，实现多种功能；基于云边协同模式，通过软件远程更新使得车辆的产品性能具备了迭代升级与功能演化的可能，汽车已经成为软件定义升级的产品，这种模式在飞机等其他交通载体上已经沿用多年。

2)产业协同与用户需求层面：产业从单纯制造和销售产品的线性产业链，逐步转型为多方协同、共同参与的以用户为核心的运营商模式，借助移动互联网的新技术，贯穿营销、销售和用户体验各阶段，持续地提供更好的产品以及服务，更高效便捷地实现用户个人价值。围绕用户移动互联的消费路径，在其购买阶段（信息流）、支付阶段（价值流）、服务阶段（能源流）、线下体验阶段（物质流）实现线上线下打通全路径数据（四流融合），完成以用户为中心（人文网）的精准产品营销和售卖，从而把握以上“四流融合”向客户提供最便捷的服务。

3)商业模式和生活方式层面：在车桩网协同的模式下，充电桩按需充电，和电动车电池管理系统形成预约、互动，降低车主充电等待时间，优化电动车电池健康。基于云边协同，用户可以更自由地选择生活和出行方式，充电便利性提升，里程和充电焦虑降低。电动车作为移动的能源存储更可以与智慧园区、微电网互动，主动参与能源流商业过程。

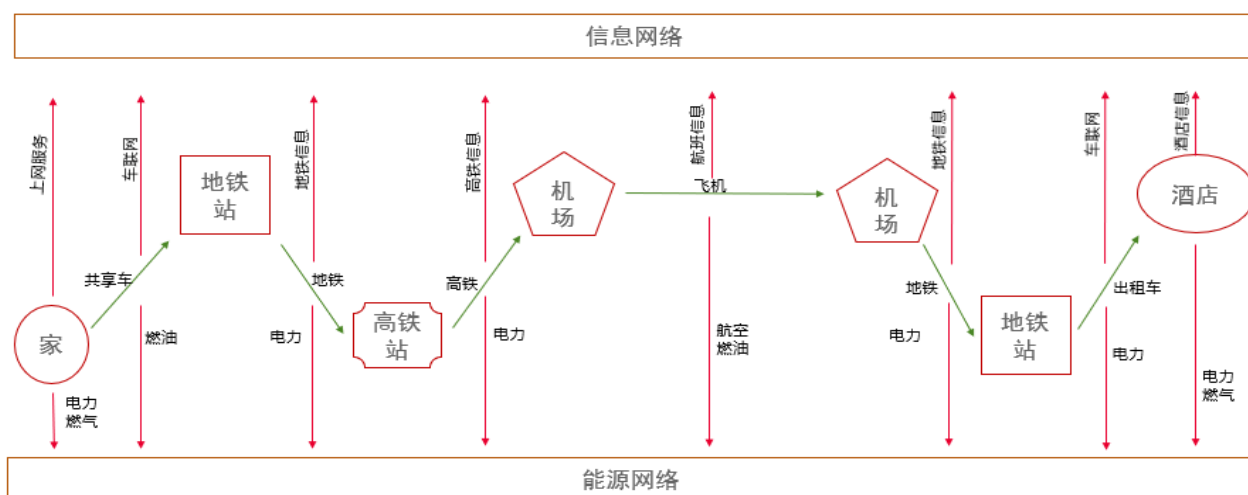


图 4-19 传统的出行和物流向软件定义交通的模式转变

5G 车联网不仅是实现车路协同，更是实现“人-车-路-网-云”五维高度协同。当需要耦合多种交通工具实现出行或物流方案时，通过建立最优化的门对门服务路径，融合人的出行（或物流）需求、多模式交通网络、信息网络、能源网络就成为一种必然。其中，人（或物）方面，以出行即服务为核心，为消费者（或物流）提供一站式的出行服务，让消费者成为智能出行终端的使用者；交通载体（车）方面，未来的交通工具（车）不仅是数据发送和接收方，还是计算节点，更是数据分享节点，并将成为分布式数据中心；交通路径（路）方面，将兼具各类通讯方式、具备集成路侧交通信息采集发布、具备本地边缘计算能力等，通过一体化路侧智能设施打造智慧的移动物联平台；网方面，5G 网络两大核心能力，移动边缘计算和网络切片将构建灵活的移动物联网络；云方面，将构建一体化开放数据公共服务平台和云控平台，同时通过云边协同形成强大的云服务基础设施。

为了实现“人悦其行、物优其流”的目标，华为推出了“交通智能体”。其针对旅客出行、货物运输、载具运行等全业务流程，通过整合联接、云、AI、计算、应用等多种 ICT 技术，融合全域数据，沉淀行业资产，实现交通业务在价值流、能源流、交通流、信息流的融合，提升交通安全、运行效率和旅客服务体验。

2017 年，华为与深圳机场战略合作推动机场数字化转型，对准关键业务流程，有效提升“航班流一张图”的运行效率和“旅客流一张脸”的服务体验。通过“端边云协同”、大数据、视频、AI 等“一体化”技术打通数字化，数据资产化实现“数据-信息-知识-智能”的体系构建，统一架构与平台，一张蓝图干到底。“智能机位分配”系统融合了多个 IT 系统/OT 操作的数据，将 60 多条业务规则数字化后，再利用大数据建模和 AI 机器学习技术，大幅度提升运行效率，将之前 4 小时耗时费力的人工分配“进化”为 1 分钟的自动分配，机位和廊桥周转率提升 5%，每天有 90 多架次航班可以停靠廊桥，相当于 250 万旅客可以无需再坐摆渡车。“可变滑行时间”预测算法也利用大数据、AI 算法，通过精准预测，提高复杂场面的态势感知和协同，能够缩短地面滑行时间 1-2 分钟，航油能耗节省就达 2000 万/年。

的结果，而基于知识图谱等技术手段实现四网融合，可以进一步助力智慧交通的升级演化。

如上图所示，出行即服务的模式体现了多产业融合发展的趋势，成为四网融合产业发展的典型应用场景。“人-车-路-网-云” 多维协同发展，将赋能 5G 车联网探索个人服务、行业服务和公共管理服务。华为在深圳机场的数字化转型应用，一定程度上验证了“四网融合” 产业发展对个人服务、行业服务和公共管理服务所带来的赋能作用。

4.4 智慧城市

智慧城市的建设在全球已从培育期进入了快速成长期。越来越多的系统、平台和数据中心被建立起来，各种大数据在城市里悄然而生。四网融合所推进的**认知智能与数据智能互动模式**也为新型智慧城市的**城市智能计算**提供了可能。城市智能计算通过对多源异构数据的整合、分析和挖掘，来提取知识和智能，并结合行业知识来创造“人文生活 - 环境（能源/交通） - 城市信息”三赢的局面^[18]。

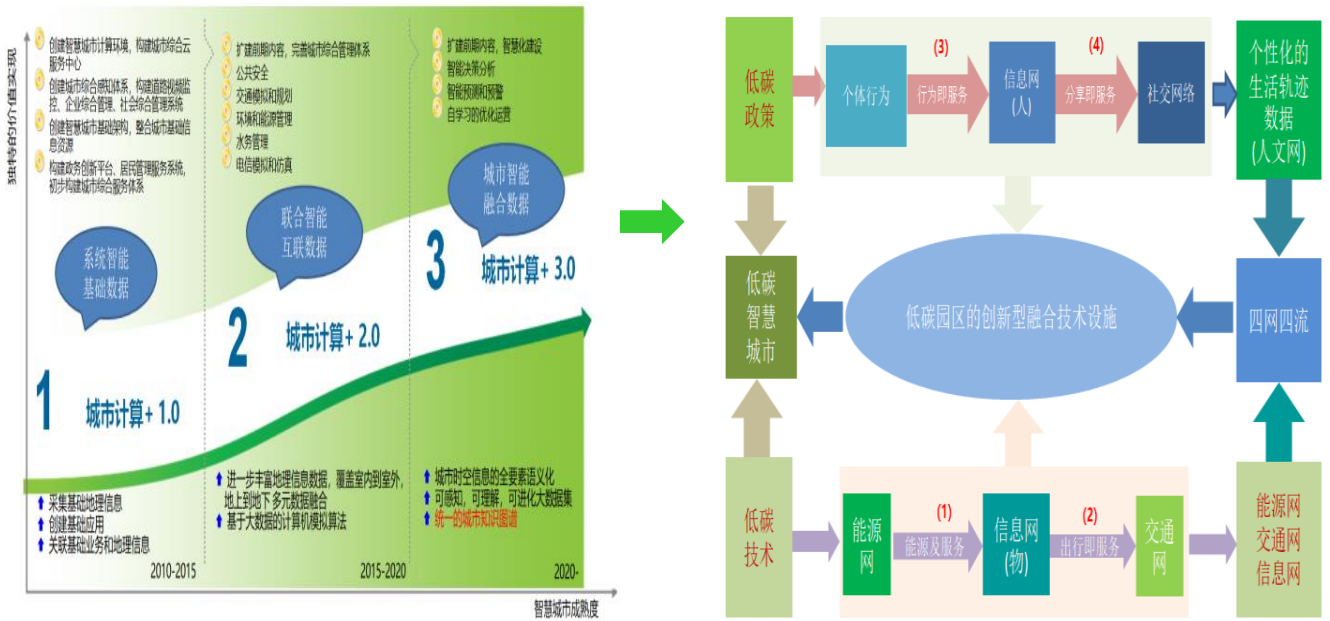


图 4-22 城市智能计算的应用体系

城市智能计算涉及复杂系统具体的研究问题、挑战、体系结构、方法论和应用场景，强调用城市大数据和时空语义图谱的**人机融合策略**来解决城市面临的各种具体问题。它关系到人类未来的生活质量和可持续发展，也是我国未来人工智能发展的抓手和战略制高点。城市智能计算的基本框架，包括城市感知语义化、城市数据管理知识化、城市数据分析图谱化、城市服务融合化多个环节^[18]。

1) 在城市感知层面，我们可以通过联接人、物、流程与应用的感知平台，形成相关主体的轨迹数据来不断追踪相关主体的状态模式，也可以收集发布在社交媒体上的信息进行更新。

a) 这些大量的非结构化数据如果可以通过城市语义信息模型进行语义化，就可以把相关主体产生的大规模轨迹和社交媒体数据高效地组织和管理起来，以供后续实时分析和挖掘。

- b) 当城市出现异常时，我们可以根据这些轨迹的语义数据较为准确地确定异常发生的空间范围和时间区间。因为，当异常发生后，相关主体的状态属性以及关联方的选择与反馈都会发生改变。
- c) 我们可以有针对性地利用与这些地方及时间段相关联的（而不是全部）社交媒体或其他社交化商业行为来分析异常出现的起因。
- d) 最后，这些信息会被及时地传递到主体授权的城市管理部门和关联方，以快速处理异常避免出现主体的进一步状态失调，同时为系统未来决策提供依据。

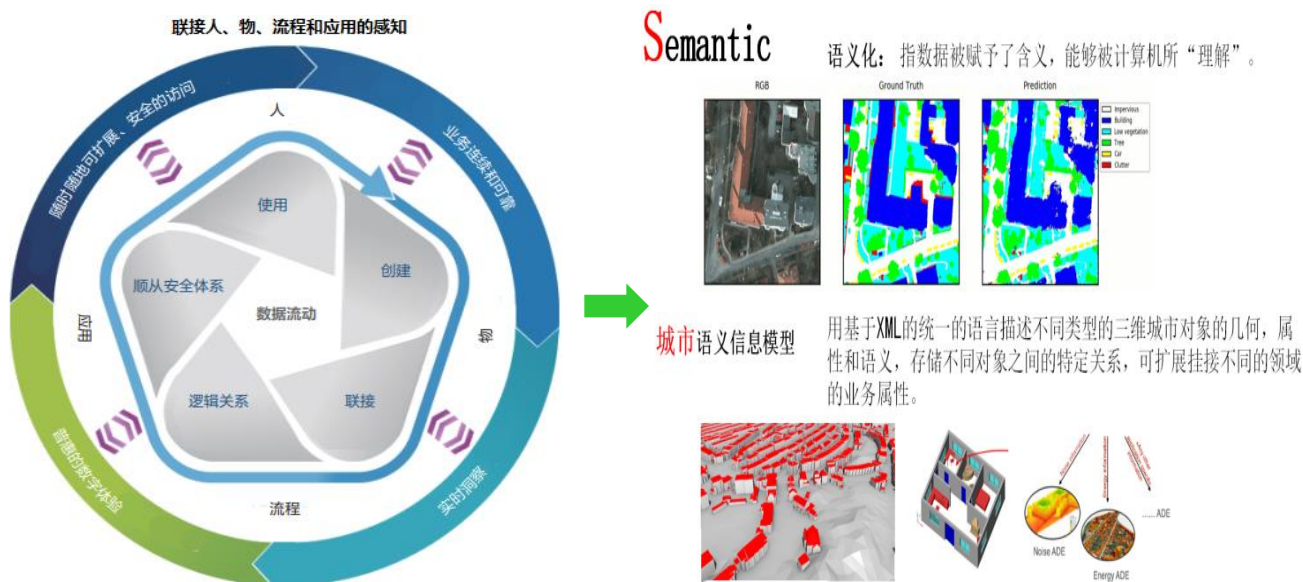


图 4-23 基于联接的智慧城市感知与语义信息模型

2) 在城市数据管理方面，城市中的数据规模大、种类繁多、变化快，而带有很强的时空属性，通常被称为时空大数据^[18]。数据管理平台存在两个方面的挑战：一是数据管理方面，二是数据中心基础设施本身。



图 4-24 智慧城市时空语义平台^[18]

- a) 从数据管理方面看，现有的云平台并不能很好地支持大规模时空数据的管理。要依靠时空语义平台技术对大数据进行结构化关联以建立数据科学知识与行业背景知识相融合的维度向量，这种结合使得数据融合在解决实际问题时非常有效，可以节约大量数据检索与知识查阅的时间，形成数据资源总体优化。



图 4-25 智慧城市时空语义平台

- b) 从数据中心基础设施方面看，数据中心承载数据的存储和计算功能，而基础设施建设周期长、资源消耗大、运维成本高、安全挑战大。未来的智慧城市需要极简、绿色、智能、安全的数据中心提供数字底座，在建设和运维层面，可采用先进的模块化和智能化技术。如利用预制化、模块化技术实现工程预制化，大幅降低业务上线时间，模块化设计实现了按需部署，即插即用；人工智能实现数据中心的预测性维护，能效大幅提升。

- 2) 在城市数据分析方面，城市数据分析是指利用人工智能技术挖掘和融合城市大数据中的知识，直观地展现结果，并最终解决行业问题。

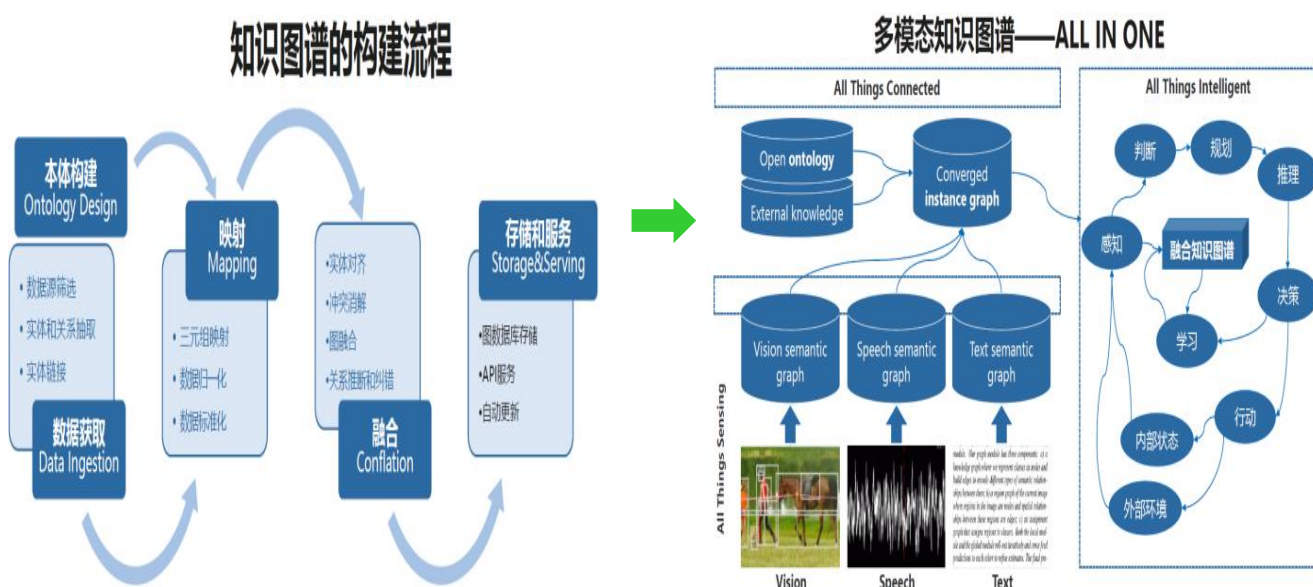


图 4-26 智慧城市知识图谱的构建

在城市智能计算的分析场景里，由于数据科学家和行业从业者有着各自的知识体系，双方鲜有交集。因此必须通过知识图谱把行业专家纳入数据挖掘的环节中来实现人与机器的智能融合。其中，多模态知识图谱是进一步融合的发展方向。

3) 在城市服务提供方面，按照服务的行业划分城市智能计算涵盖城市交通和规划、城市能源、城市环境、城市商业、公共安全、教育、医疗、社交和娱乐等。在服务提供层面，需要融合行业知识和数据科学，将已有架构与新增系统无缝连接，并保证可开放数据与隐私数据的相容性。数据科学家要深知各种数据背后蕴含的知识，而不是仅仅停留在数据的格式和表征上。例如，路面上出租车的导航定位轨迹既反映了路面的速度和流量信息，也反映了人们的出行规律。大量相关的出行数据进一步反映了一个区域的功能，而区域的功能又影响到这个区域的能耗、经济和环境等。

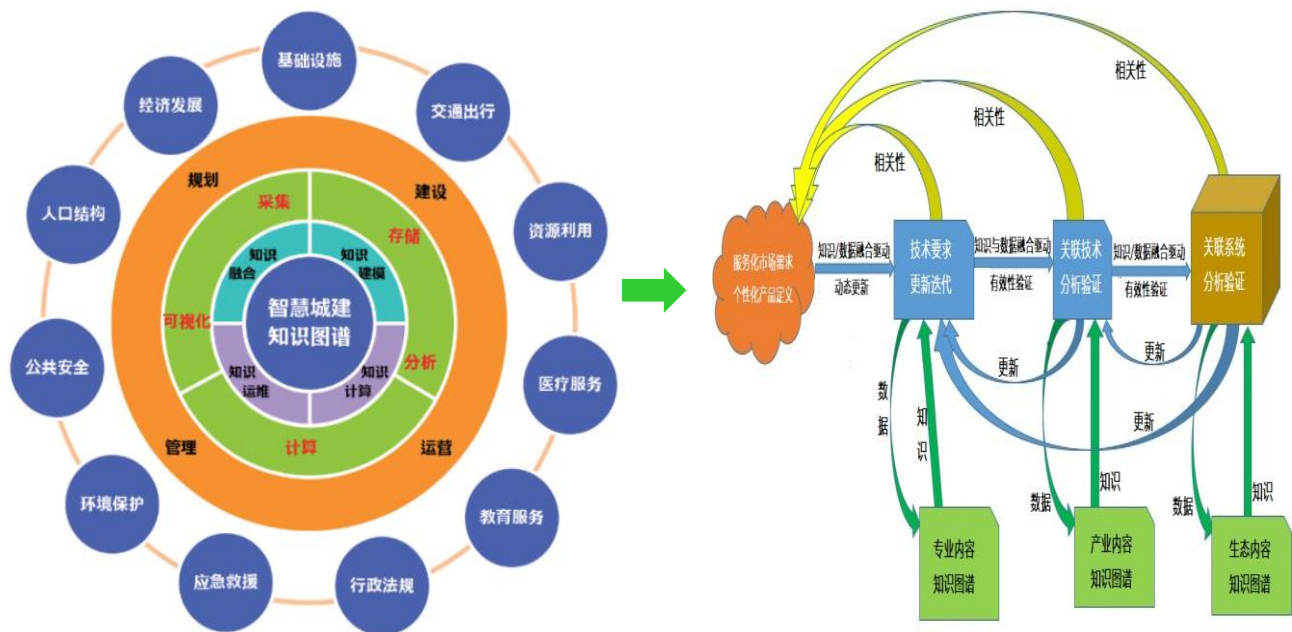


图 4-27 智慧城市知识图谱的应用^[17]

基于四网融合的城市智能计算是智慧城市 AI 应用的有效方法，以城市为背景，与信息、交通、能源、及城市人文（规划、环境、社会学和经济学等学科）深度融合。具体而言，城市智能计算是一个通过不断获取、整合和分析城市中多源异构的大数据来解决城市所面临的挑战的过程。城市智能计算将无处不在的感知技术、高效的数据管理和强大的机器学习算法，与图谱化的知识智能相结合，致力于提高人们的生活品质，保护环境和促进城市运转效率，帮助我们理解各种城市现象的本质，甚至预测城市的未来

[18]。

5. 总结

在以人为本的数字经济驱动的智能社会中，第四次工业革命从根本上改变了科学、工程与人文的融合发展，并促进了物理世界三大革命的基础设施与人文网的进一步融合。**能源革命改变了物理世界的形态，使得人类生活的可持续性成为可能；信息革命改变了物理世界的秩序，缩短了人与人之间的时间距离；交通革命改变了物理世界的连接，缩短了人与人之间的空间距离。**万物互联时代的物联网技术进步，形成了人与人、人与物以及物与物之间互动连接的新型生产关系，使得在企业内部与外部的行业生态中基于这种连接关系建立数字化产业人文网成为可能。用户行为驱动的即服务（XaaS）生态创新模式应运而生，并促进了**信息网、能源网、交通网与人文网**的深度融合，实现了**信息流、能源流、物质流与价值流**互动转化的增值服务效应，达到系统总体最大化收益。

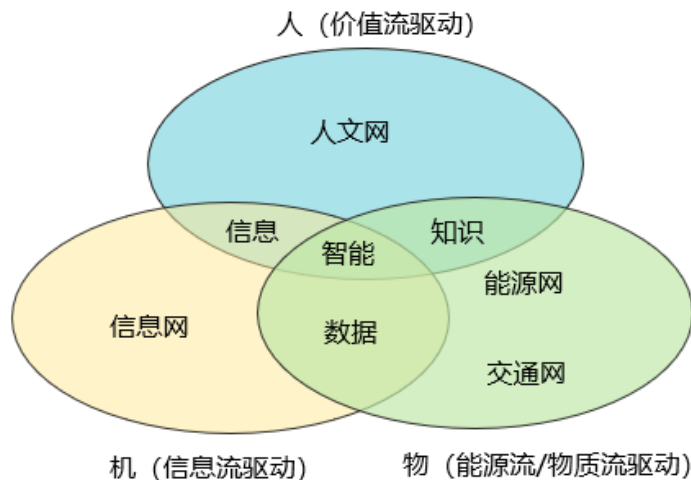


图 5-1 数字经济下的四网四流融合

实现人机融合的可解释人工智能，是第四次工业革命的核心内容，也是发展数字经济的关键。其中，数字人文网所包括的领域知识、行业规范与市场规则/商业模式，需要采用行业设计方法与标准、成熟运行管理经验，以及参与者的行为数据与特征三个层面的知识与数据融合手段来实现。通过引入数字人文网，四网四流产业战略可以产生基于数据、算法、算力、平台与生态五个融合要素的技术框架，推动感知智能与认知智能之间的互动，以保障能源与交通领域人工智能应用的可解释性与安全性，突破传统工业数字化过程中机理模型与机器学习深度融合的瓶颈，并将其核心**“人-机-环境”融合的概念**进行推广。

四网四流融合和产业战略需要建立跨行业合作机制以建设新基建中提到的产业生态创新平台基础设施，其本质是**能源与信息**的融合创新。希望通过此白皮书抛砖引玉，与相关产业生态伙伴共同努力，推动数字经济的发展。

6. 缩略语

缩写	全称
AI	Artificial Intelligence 人工智能
5G	5th generation mobile network 第5代移动通信网络
XaaS	X as a service 即服务模式
OT/IT	Operational Technology 运行技术
IT	Information Technology 信息技术
DSO	Distributed System Operator 配电系统运行
EOS	Energy Operating System 能源操作系统
NicerNet	Nicer Net 能太网
BAT	Baidu, Alibaba, Tencent 百度, 阿里巴巴, 腾讯
PHM	Prognostics and Health Management 故障预测与健康管理
C2B	Customer to Business 消费者对企业
CHPF	Combined Heat Power Fuel 热电燃料联产
IGFC	Integrated Gasification Fuel Cell 集成气化燃料电池
CLOUD	CLOUD 云计算
FOG	FOG 雾计算
MIST	MIST 露计算
AR/VR	Augmented Reality 增强现实技术/Virtual Reality 虚拟现实技术
MR/XR	Mixed Reality 混合现实技术/ Extended Reality 扩展现实技术
V2G/V2H/V2B	Vehicle to Grid / Vehicle to Home / Vehicle to Building
V2V/V2X	Vehicle to Vehicle / Vehicle to Everything

7. 参考文献

- [1] NICE 全球储能市场调查研究, 中关村储能联盟, 2019 年 12 月
- [2] C.C. Chan, F.C. Chan and Dan Tu, "Energy and information correlation: towards sustainable energy", Journal of International Council on Electrical Engineering, vol. 5, no. 1, 2015, pp. 29-33.
- [3] George You Zhou, C.C.Chan, Ding Zhang et al. "Smart Energy Evolution Road-map Based On the Correlation Between Energy and Information." Energy Procedia 158 (2019): 3082-3087.
- [4] 华为技术有限公司《自动驾驶网络解决方案白皮书》2020 年 5 月
- [5] 国电南瑞,《国家电网基于泛在电力物联网的多站融合建设思路与思考》2019 年 5 月
- [6] 南网电动,《智慧充电桩物联网白皮书》2020 年 10 月
- [7] 国家能源集团国华电力公司《火力发电大数据集成应用暨工业互联网示范工程》
- [8] 工业互联网产业联盟《工业智能白皮书》2020 年 4 月
- [9] 华为技术有限公司《华为智能矿山联合解决方案》2020 年 7 月
- [10] 任怀伟,王国法,等,智慧煤矿信息逻辑模型及开采系统决策控制方法,煤炭学报, 2019 年 9 月
- [11] 国家能源集团信息公司《人工智能技术在火电能效优化的应用》2020 年 10 月
- [12] 国家能源集团北京低碳清洁能源研究院,《基于碳平衡的氢储能生态系统》, 2018 年 11 月
- [13] 国家电力投资集团 氢能公司,《氢能社会与燃料电池技术进展》2020 年 10 月
- [14] 华为技术有限公司《企业级知识计算平台的技术解读和案例实践》2020 年 3 月
- [15] 埃森哲咨询公司,《出行即服务--绘制面向未来汽车行业新生态体系的成功之路》, 2018
- [16] 华为技术有限公司《深圳智慧机场数字化转型白皮书》2019 年 12 月
- [17] 中国电子技术标准化研究院,《知识图谱标准化白皮书》, 2019 年
- [18] 郑宇, 城市计算: 用大数据和 AI 驱动智能城市, 中国计算机学会通讯. 2018 年 1 月, 14 卷第一期
- [19] 华为技术有限公司,《智能体白皮书》2020
- [20] IBM 商业价值研究院,《社交化业务重构产业格局》, 2013
- [21] 赛迪研究院,《工业互联网平台赋能重点行业数字化转型方法论白皮书》2020 年 4 月

后记

众所周知，5G、云、AI 等新 ICT 技术正在重塑世界，未来二三十年，智能社会的深度广度将远超我们想象。产业数字化浪潮席卷而来，新动能、新价值正在生成。传统的发展范式，已经不能满足社会诉求，迫切需要将所有要素重新编排、重新组合，构建数字新范式，从而迸发新的生产力。在这样的大背景下，陈清泉院士融会贯通，提出了四网四流融合的创新理念，代表了第四次工业革命在哲学层面、科学层面与工程层面对于融合性思维方式的根本性改变与影响，正是数字新范式的标杆代表，具有开创性的意义。

本白皮书既继承了陈清泉院士的哲学思维高度，也从观念和方法上诠释了四网四流的产业发展创新战略，将哲学思想、科学理论与工程实践融会贯通，从产业创新、技术协同、生态发展的角度，提出建立产业革命中新型生产要素的跨领域融合发展，促进生产关系的深层次重塑。四网四流融合的关键，首先要紧紧围绕产业需求、产业发展痛点，通过场景化创新来创造；其次，需要越来越依靠多技术协同，将行业基础设施数字化、业务流程数字化，实现数字孪生，打开产业发展的无限可能。最后，数字经济下需要建立可持续的产业生态，不断地循环迭代与演化递进，实现价值共生共创共享。

2020 年，华为公司做出重大战略决策，升级面向能源、交通行业的业务战略定位。这意味着未来五年、十年、二十年，华为的资源将持续不断地聚焦到能源、交通等领域，助力行业数字化、智能化，其中方法论与战略是华为高度关注的，与白皮书的思想高度吻合。

融合是科技进步的主题，数字化为融合发展创造了无限的机会，融合过程将催生无限的创新。希望借助本白皮书的发布，让我们在更高的维度看世界，一起去拥抱变化，构建产业数字新范式，共创伟大未来！



彭中阳

华为技术有限公司董事，
企业 BG 总裁，
全球交通业务部总裁

