



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet



中石油（北京）数智研究院有限公司

工业互联网赋能能源化工行业 数字化转型研究报告 (2025年)

中石油（北京）数智研究院有限公司
工业互联网产业联盟（AII）
2025年5月



工业互联网赋能 能源化工行业数字化转型 研究报告 (2025 年)

中石油（北京）数智研究院有限公司

工业互联网产业联盟（AII）

2025 年 5 月

引 言

党中央、国务院高度重视数字化转型。党的二十大报告指出“坚持把发展经济的着力点放在实体经济上，推进新型工业化，加快建设制造强国、网络强国、数字中国”。《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》明确提出“健全促进实体经济和数字经济深度融合制度，加快推进新型工业化”。

能源化工行业是国民经济支柱产业，具有产业链条长、涉及领域广、技术含量高、经济带动性强等特点，工业互联网作为数字经济与实体经济深度融合的关键基础设施，正不断催生新产业、新模式、新动能，成为培育新质生产力和支撑新型工业化加速发展的重要驱动力量。通过工业互联网赋能能源化工行业数字化转型，是推动行业高质量发展、提高产业链供应链韧性和安全水平的重要抓手。当前能源化工行业企业普遍认识到数字化转型的重要性和紧迫性，探索开展了一系列面向科技研发、生产运营、经营管理等方面的实践探索，但仍存在实施路径不清晰，实施方法不明确等问题。

为引导能源化工行业深化数字化转型，本报告面向行业发展需求，探索工业互联网赋能能源化工行业技术架构，梳理依托工业互联网开展数字化转型的方法实践，为企业转型提供有益借鉴。

目 录

一、工业互联网发展现状	1
（一）工业互联网的内涵与意义	1
（二）全球工业互联网的发展	2
（三）工业互联网通用体系架构	4
（四）工业互联网技术产业发展趋势	5
（五）工业互联网特征优势	6
二、能源化工行业背景形势	7
（一）国家高度重视能源化工行业安全与转型发展	8
（二）我国能源化工行业向高端化、智能化、绿色化演进 ...	8
三、工业互联网赋能体系架构	10
（一）设备边缘层提供物联设备接入和边缘计算能力	10
（二）资源层提供底层基础设施支撑能力	12
（三）平台层提供基于数据模型贯通的技术服务能力	14
（四）应用层提供场景化解决方案服务能力	16
四、工业互联网赋能能源化工行业作用价值	17
（一）基于平台化的新型研发设计创新范式	17
（二）基于智能化的高效精益生产	18
（三）基于新兴技术的智慧经营决策	18
（四）基于网络化协同的销售营销新模式	19

（五）基于数字化绿色化协同的 HSE 管理升级	19
五、工业互联网赋能能源化工行业应用	20
（一）工业互联网驱动的智慧工程设计与建造	20
（二）工业互联网驱动的研发设计创新	23
（三）工业互联网驱动的生产运营优化	25
（四）工业互联网驱动的经营管理优化	28
（五）工业互联网驱动的营销销售变革	29
六、能源化工企业实施策略	31

一、工业互联网发展现状

（一）工业互联网的内涵与意义

近年来，数字经济浪潮席卷全球，新一轮产业变革蓬勃兴起，以未来网络、数字孪生、大数据、人工智能等为代表的新一代信息技术与工业技术加速融合，在一定程度上颠覆了传统的生产和商业运营模式。各工业大国凭借各自在信息技术领域的领先优势，加快实施一系列针对传统工业数字化转型升级的“再工业化”战略，谋求抢占新一轮竞争制高点。通过数字化转型保持长久活力和竞争力，已成为发展的“必答题”。工业互联网作为传统工业数字化转型的关键路径之一，正成为各国改造提升传统工业、塑造未来产业竞争力的战略选择。

传统工业 IT 架构采用垂直耦合的模式，易导致数据碎片化、信息孤岛化、技术异构化，负责不同业务环节或流程的子系统间彼此孤立，无法满足新形势下企业统筹规划、决策优化、高效管理及敏捷响应等新需求。在此背景下，以泛在互联、全面感知、智能优化、安全稳固为特征的工业互联网应运而生。工业互联网作为全新工业生态、关键基础设施和新型应用模式，通过新兴信息技术构建“人-机-物”的全面互联，基于规模化数据、先进算力与智能化算法，实现海量工业数据的实时采集、高效传输、精准分析和智能反馈，形成覆盖全产业链、全价值

链的新型工业网络协同制造与服务体系，推动传统产业加快转型升级、新兴产业加速发展壮大。

近年来，工业互联网在实体经济数字化转型中扮演着愈发重要的角色。作为数字经济与实体经济融合的重要载体，工业互联网深入能源、化工、交通等多个领域，提供强大的网络连接、计算处理和数据分析等新型能力支撑，通过优化资源配置和促进产业链协同，推动各行业研发模式创新与生产流程优化，助力传统工业制造体系和服务体系的重构。

如今，新一轮科技革命深入发展，技术创新进入了前所未有的密集活跃期，人工智能技术的崛起，特别是大模型的广泛应用为传统工业发展带来全新范式。汇聚了算力、数据、算法及知识的工业互联网，已经成为人工智能技术落地的重要载体。通过工业知识注入，实现工业机理与通用人工智能大模型的有机结合，一系列具备工业文本生成、知识问答、理解计算、代码生成及多模态处理等核心能力的工业大模型不断涌现，进一步助力实体经济的数字化转型。

（二）全球工业互联网的发展

工业互联网概念由 GE 公司于 2012 年首次提出。GE 将工业互联网定义为一个开放的、全球化的，将人、数据和机器连接起来的网络，核心要素包括智能设备、先进的数据分析工具以及人与设备的交互接口。2016 年，在工业和信息化部领导下，

由中国信息通信研究院牵头，联合相关企业成立了工业互联网产业联盟（AII），明确工业互联网定义“是新一代信息技术与工业系统全方位深度融合形成的产业和应用生态，是工业智能化发展关键的综合信息基础设施”。工业互联网是以机器、原材料、控制系统、信息系统、产品及人之间的网络互联为基础，通过对工业数据的全面深度感知、实时传输交换、快速计算处理和高级建模分析，实现智能控制、运营优化和生产组织变革。

放眼全球，各工业大国均出台了工业互联网领域的顶层战略，加快推动工业数字化转型与智能化发展，强化工业核心竞争力，抢占竞争制高点，夺取发展主动权。美国高度重视发展制造业，多年来持续并强化布局先进制造业，坚持市场化原则，依托其行业巨头强大的互联网技术和发达成熟的市场机制发展工业互联网，自 GE 提出“工业互联网”概念来，先后成立了工业互联网联盟（IIC），发布了工业互联网参考架构（IIRA）。德国是全球率先提出工业 4.0 概念的国家，自 2010 年起先后提出《高技术战略 2020》、《工业战略 2030》、《人工智能战略》和《德国新数字化战略》等一系列战略规划，依托制造业优势，在政策层面激励工业互联网平台技术创新。日本依靠自身高科技优势，明确提出日本产业新未来愿景“互联工业”概念，积极构建人、设备与系统相互交互的新型数字社会。近年来，我国陆续提出了“智能制造”和“工业互联网”建设目标。2018

年以来，工业互联网连续 8 年写入政府工作报告，“十四五”规划和 2035 远景目标纲要明确提出要“加快建设新型基础设施...积极稳妥发展工业互联网”。经过多年的发展，我国工业互联网从无到有、从小到大，具有一定影响力的工业互联网平台达数百家，国家、省、企业三级协同联动的技术监测服务体系基本建成，有效带动企业“上云用数赋智”。

（三）工业互联网通用体系架构

2017 年，工业互联网产业联盟在工信部指导下组织编写《工业互联网平台白皮书》，其中指出“工业互联网平台是面向制造业数字化、网络化、智能化需求，构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系，支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台”。其通用体系架构如下所示：

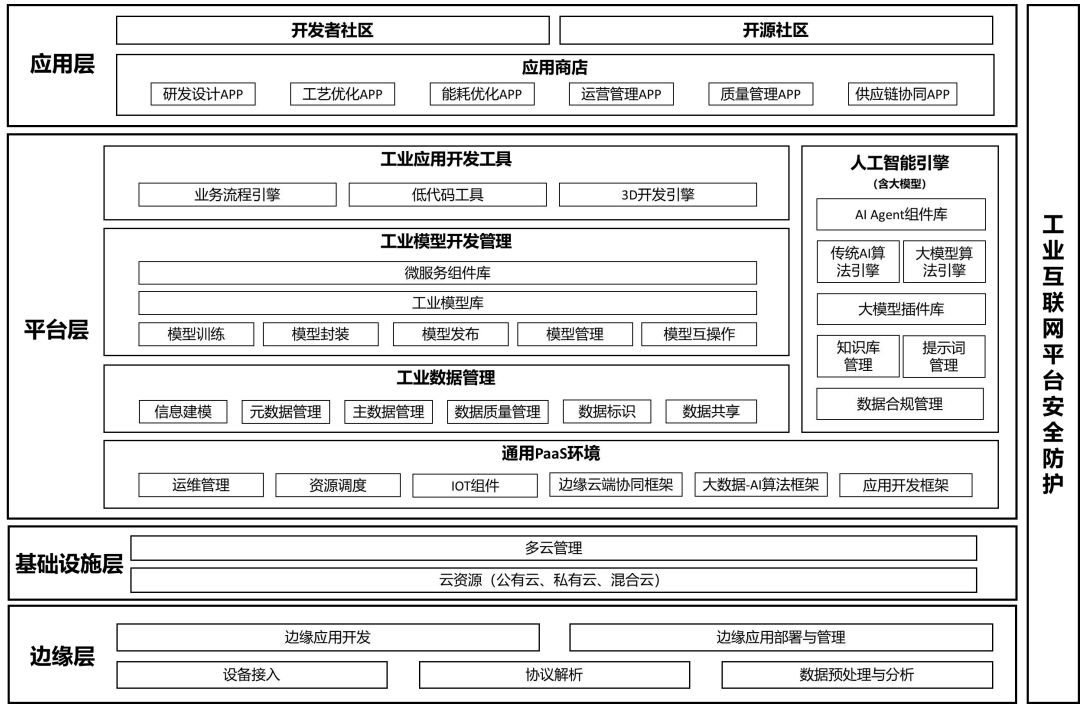


图 1 工业互联网通用体系架构

边缘层通过各类通信手段实现对各类设备、传感器、PLC、控制系统等的海量数据采集，依托协议转换实现多源异构数据的标准化，利用边缘计算实现底层数据的汇聚处理。**基础设施层**以公有云、私有云、混合云等云资源的方式提供可弹性调度的计算、存储和网络资源，并对云资源进行统一编排，智能监控和优化资源分配，同时保障数据传输过程中的安全。**平台层**提供工业数据管理能力，将技术、知识、经验等资源固化为可移植、可复用的工业微服务组件，构建应用开发环境，实现工业软件的快速研发。**应用层**聚焦数据科学与工业机理的深度融合，形成各类工业软件，为设计、生产、管理、服务等各业务环节提供数字化服务。

（四）工业互联网技术产业发展趋势

网络、平台、安全作为传统工业互联网三大核心，重点服务于工业数据互联互通的需求。随着数字技术与工业体系深度融合，工业互联网产业边界向传统工业技术服务业渗透，传统装备、自动化、工业软件产业加速升级，智能装备、新型工业软件等新兴产业涌现并发展壮大，成为工业互联网体系中不可分割的组成部分，推动实现更大范围、更高效率的工业大数据采集、连接与汇聚，进一步催生了海量智能决策分析的需求，工业智能产业随之崛起，工业互联网产业体系进一步延伸。

当前，工业互联网正处于融合应用与技术变革的交织阶段，能源化工行业已开展初步应用，实现能源化工、大数据、人工智能等技术交叉系统性突破，针对共性问题形成了面向能源化工行业的解决方案，构建新型工业应用，加速核心技术创新。国内外工业软件巨头已依托平台开展全链条工业软件云化重构，加快上云迁移，变革型技术产品不断涌现，并持续向高价值场景适配验证。数据集成能力进一步加强，工业互联网集成技术向更深层次的模型集成和更广范围的数据主线演进，为数据和模型融合决策提供底座支撑，使更深层次的互联互通互操作成为可能。识别类、数据建模类、知识推理决策类以及组合优化类等传统工业智能由简单感知识别向深度认知演进，随着应用认知水平依次递升，应用范围加速由质检、巡检等外围环节向工艺优化、设备运维等核心环节演进。

（五）工业互联网特征优势

泛在感知。通过遍布厂区的传感器、智能设备和物联网技术，工业互联网能够对生产环境中各种参数实现实时感知，全天候监测如温度、压力、流量、化学成分等关键参数，并统一汇聚到中央控制系统，实现生产过程中每个参数的高可视性、高透明度，确保潜在风险与异常情况及时发现和响应。

网络协同。通过工业互联网实现各个生产环节和部门之间的高效协作。利用网络将不同地点的数据和计算资源进行整合

和治理，实现跨部门、跨区域的实时数据共享，各部门可以实时获取生产数据和信息，协调生产活动，从而提高生产效率和响应能力，减少信息孤岛，增强生产过程整体协调性和灵活性。

智能分析。利用大数据、人工智能等新兴技术对收集到的大量数据进行深入挖掘和建模。通过对海量数据的处理和分析，揭示出生产过程中的模式和趋势，根据历史数据预测未来的生产情况，减少设备故障和停机时间，优化生产工艺，提高资源利用率，推动生产过程的整体智能化升级。

知识复用。利用工业互联网实现对生产运行中的数据、机理、专家经验、工业模型等工业知识的沉淀和重构，提高工业知识的利用效率和复用水平，构造工业知识创造和传播新体系，降低创新成本和风险，提高研发效率。

应用创新。依托开放平台和 API 集成技术，提供可扩展的环境，允许第三方开发者基于现有的数据和功能进行创新，创建适应行业需求的定制应用。通过 API 集成，工业互联网平台能够与其他信息系统进行无缝对接，扩展其功能和应用场景。企业可以依托平台，基于已沉淀行业知识、应用新兴技术，开发新工业应用，不断提升生产过程的智能化和灵活性，为企业提供丰富的创新空间，推动新技术和新应用的不断涌现。

二、能源化工行业背景形势

（一）国家高度重视能源化工行业安全与转型发展

构筑能源安全防线。当今世界正经历百年未有之大变局，全球能源体系加速转型、国际政治秩序深度调整，能源安全面临前所未有新挑战。我国积极实施“四个革命、一个合作”的能源安全新战略，推动能源消费革命、能源供给革命、能源技术革命及能源体制革命，全方位加强国际合作，实现开放条件下的能源安全。

推进清洁能源转型。我国深入推进能源生产和消费方式变革，全面提升能源供给保障能力，能源绿色低碳发展实现历史性突破，有力保障经济社会高质量发展，清洁能源发展驶入快车道。未来将聚焦增强能源生产能力弹性、优化能源结构、提升清洁能源比重等方面，推动绿色低碳转型，强化煤电清洁改造，减少化石能源依赖，提高能源利用效率。依托技术创新与国际合作，弥补技术短板，增强国际竞争力，并通过跨国合作共促绿色能源发展，为经济社会高质量发展提供坚实的能源支撑。

（二）我国能源化工行业向高端化、智能化、绿色化演进

强化高端化、差异化品牌建设。持续加大技术研发投入，提升产品的技术含量和附加值，从而持续推出高端化、差异化的产品。通过先进生产工艺的引入和产品结构的优化，满足市场对高品质、高性能产品的需求，巩固行业竞争优势。从产品

物理特性、功能用途、设计理念、客户服务等多层面实现多元化差异，为高端化产业链的建立奠定基础。

加速技术创新与智能制造升级。以国家战略需求为导向，集聚力量开展原创性、引领性科技攻关，坚决打赢关键核心技术攻坚战，突破关键核心技术瓶颈，加速推进新型关键技术的研发和科技成果的高效转化。加大新能源、新材料及节能环保技术研发投入，强化智能制造与绿色低碳技术协同发展。深化供给侧改革，优化产业结构，全面淘汰落后产能，实现绿色化、生态化及高质量发展。

深化数字化转型、智能化发展。为应对市场与技术的迅速变革，通过构建数字化基础设施，实时感知、收集和分析生产数据，实现从原材料采购到产品销售的全流程运营优化，开展生产过程中的精准控制与优化调度，提升全流程产业链的数字化、智能化水平，为行业的可持续发展注入新动能。

推进绿色低碳转型。绿色低碳转型不仅是对全球可持续发展目标的积极响应，也是行业自身转型升级、实现高质量发展的内在需求。通过数字技术实现资源的优化配置和高效利用，降低传统化石能源的消耗，优化碳排放。

开展产业链协同布局。产业链协同是能源化工行业优化资源利用、提升市场竞争力的重要途径，通过上下游企业的紧密合作与信息共享，行业内资源得以高效调配，形成全产业链一

体化的协同体系，不断推动生产流程和技术优化升级，保证能源供应的稳定性和安全性。

三、工业互联网赋能体系架构

工业互联网赋能能源化工行业转型体系架构的关键是以平台为核心，在通用体系架构的边缘层、资源层、平台层、应用层四层体系基础上，结合能源化工行业特征和业务需求，开展各功能模块的优化与创新，推动能源化工行业智能化、协同化、个性化、服务化等行业新生态，如图 2 所示。

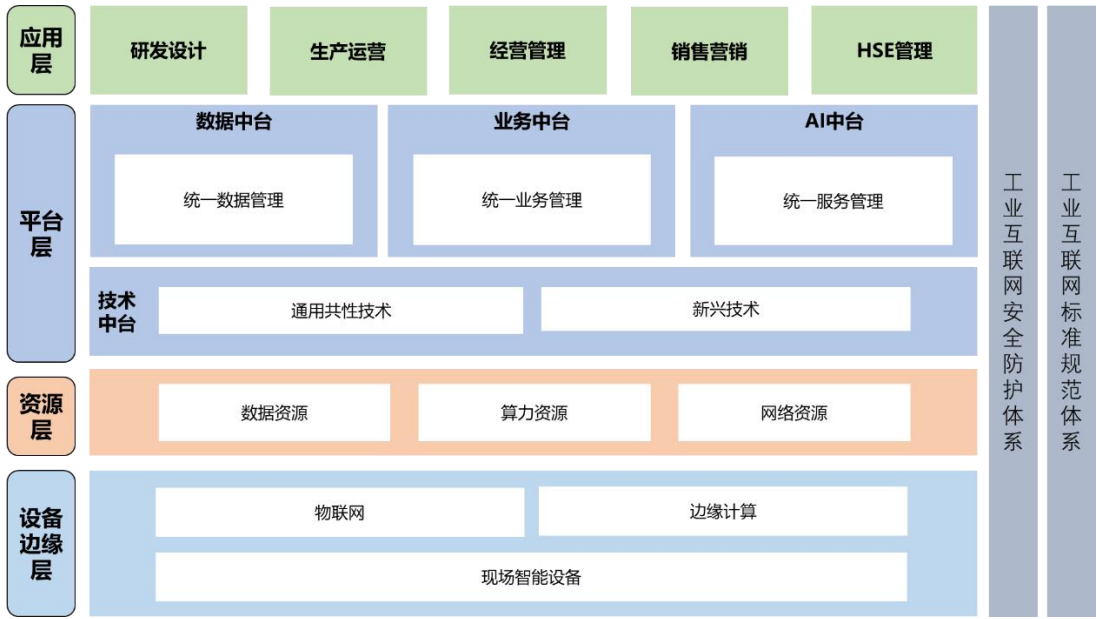


图 2 工业互联网赋能能源化工行业数字化转型体系架构

（一）设备边缘层提供物联设备接入和边缘计算能力

设备边缘层为工业互联网提供数据基础，通过部署于生产现场的智能物联设备，实现对生产现场物料、设备、环境、人员等各类关键信息的实时采集、连接与传输。设备边缘层主要涵盖物联网和边缘计算等模块。在物联网感知设备方面，借助

集散控制系统（DCS）、可编程逻辑控制器（PLC）、远程终端单元（RTU）等精准控制生产流程，智能仪器仪表精确采集实时数据，联合智能机器人、无人机等智能设备及其他端侧设备等共同构成设备边缘层的感知网络。物联网通过构建各类感知设备与平台层的连接，接入各类型智能设备，具备复杂多样的异构网络协议解析能力；利用物模型等技术，抽象化描述设备的物理特性和行为逻辑，为资源层提供了统一、标准的物联数据接入接口。边缘计算为设备边缘层提供数据处理与分析能力，与云计算相互补充有效解决传统云计算模式下的数据传输延迟、带宽瓶颈以及隐私安全等问题。边缘计算节点接收物联网系统收集的数据，并利用节点管理平台对边缘节点进行监控与管理，确保边缘计算体系的稳定运行。节点侧的智能模型开展数据处理和分析工作，并将数据上传至轻量数据湖，对关键数据进行存储与管理，降低了数据传输的延迟与成本，提升了数据处理的效率与准确性，为实时决策与智能控制提供了支持。

设备边缘层与云侧、端侧设备协同工作，构成工业互联网的完整生态体系。在此体系中，云端作为数据处理与分析的中心，负责存储大量数据、运行各类算法以及提供全局优化决策；设备边缘层则负责实时处理和分析靠近数据源的关键数据，减轻云端的负担，同时确保数据的实时性与准确性；端侧设备作为数据采集与反馈控制的终端，通过物联网技术与边缘计算层

紧密连接，实现了数据的快速传输与智能响应。云边端的协同工作，提升了工业互联网的性能与效率。在具有高噪声、强干扰、动态性强且不稳定性强的复杂网络环境下，工业边缘设备连接上层云端设备和底层工业终端设备的协同管控、平衡传输、实时计算技术，是未来工业互联网设备边缘层的核心技术。

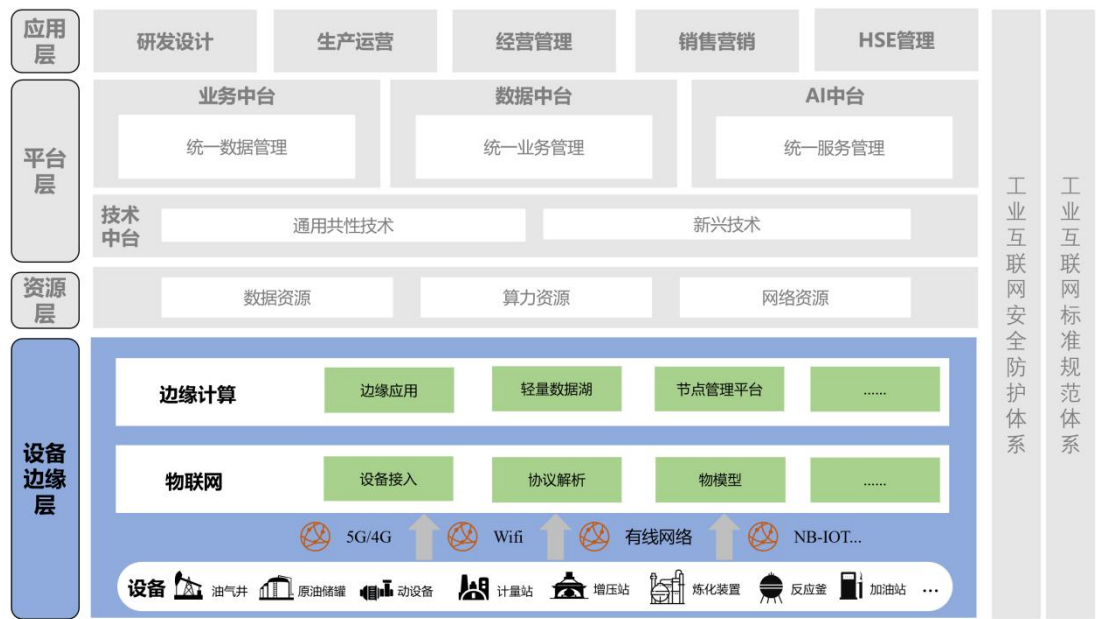


图 3 工业互联网赋能能源化工行业体系架构—设备边缘层

（二）资源层提供底层基础设施支撑能力

资源层统一管理工业互联网平台所需的基础设施资源，包括数据资源、算力资源和网络资源等，以确保平台的高效、稳定与安全。

数据资源包括以数据仓库、数据湖为代表的新型数据管理技术能力，通过对企业级、专业领域级等不同范围、不同类别的数据开展汇聚和治理，形成完整的数据生命周期管理体系，构建全域数据地图，打造数据要素基础。

算力资源指由通用算力、超算算力和智算算力构成的计算能力矩阵，通用算力支持企业日常运营中的普通算力需求，处理广泛的计算任务，如业务处理、数据分析等；超算算力凭借其浮点运算能力，专注于解决大规模数值计算、复杂物理模拟等科学计算问题；智算算力则聚焦于人工智能和机器学习领域，通过定制化的深度学习框架、高效的模型训练与推理引擎，加速人工智能应用的开发与部署。

网络资源包含局域网、广域网及数据中心网络。局域网包括办公网及生产网，两者通过科学机制进行互相隔离，确保生产安全。广域网包括企业内部应用的内网，专供海外业务应用的海外网络，以及针对特定应用场景的卫星网络。网络资源还涵盖了外部连接能力，包括高速互联网接入、跨地域的数据中心互联等，为工业互联网提供了广泛的连接与访问能力。

资源层通过对数据资源、算力资源和网络资源的全面整合，为工业互联网构建了一个坚实、灵活且安全的基础设施环境。

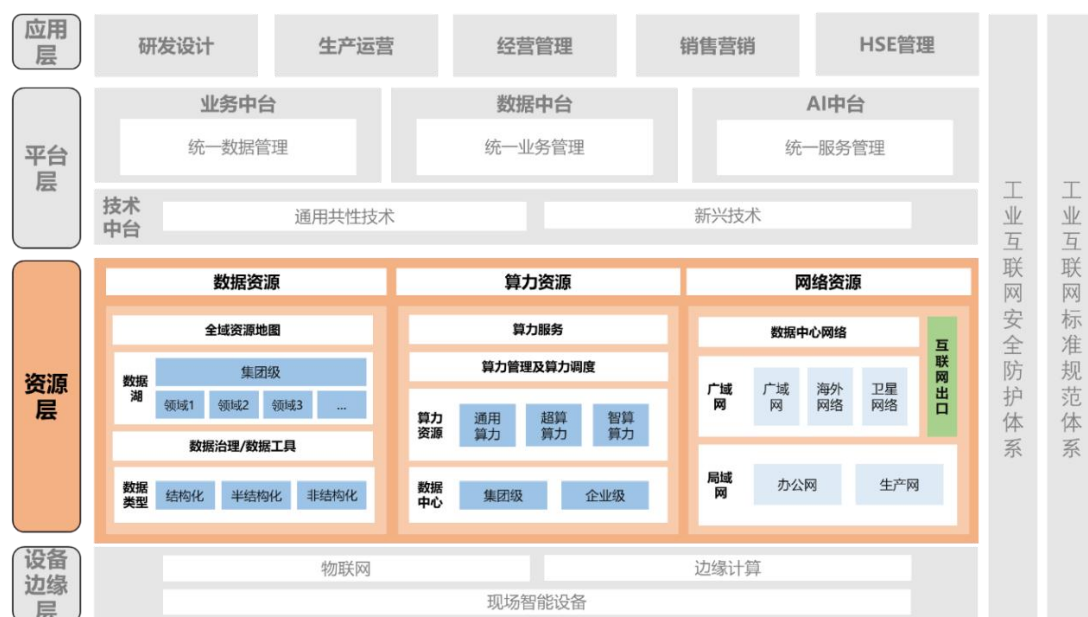


图 4 工业互联网赋能能源化工行业体系架构—资源层

（三）平台层提供基于数据模型贯通的技术服务能力

平台层是工业互联网体系的关键核心，涵盖技术中台、数据中台、业务中台和 AI 中台。平台层通过整合技术、数据、业务流程等，封装集成企业大量垂直行业知识经验，并基于此构建大量可复用的低代码开发模块和工业原理模型组件，为工业创新应用提供良好基础，推动企业运营效率和资源配置优化，进一步增强企业在复杂市场环境中的竞争力与应变能力。

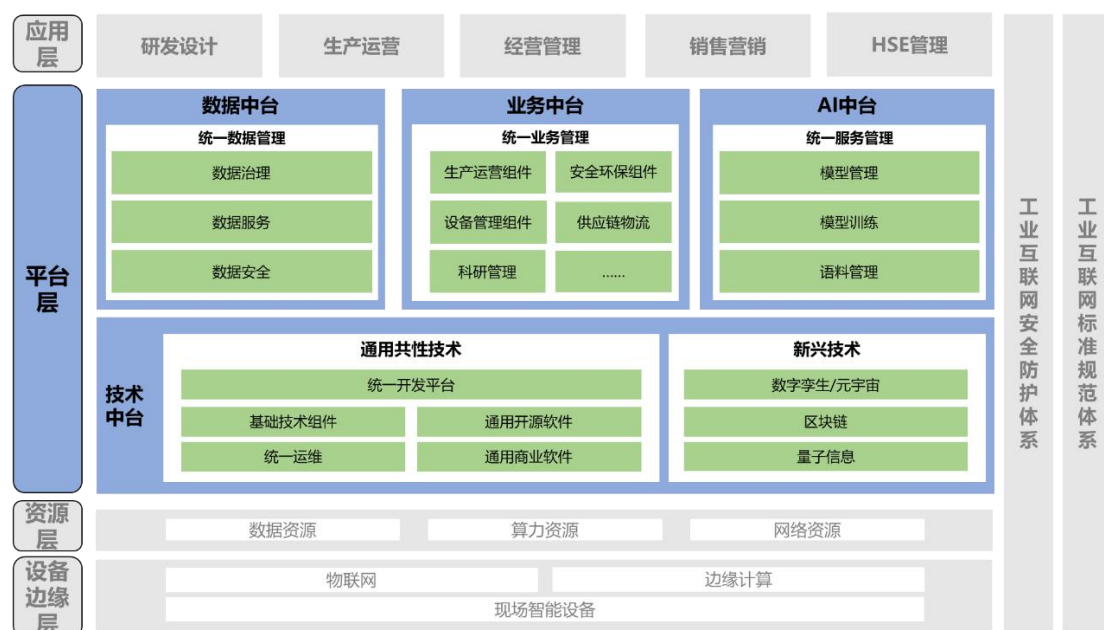


图 5 工业互联网赋能能源化工行业体系架构—平台层

技术中台是工业互联网平台的基础，为中台服务提供高度模块化的“零件库”和“武器库”，包括操作系统、中间件、数据库等，快速稳定响应开发需求，加速应用开发和部署过程。通用共性技术能够建立起覆盖研发全生命周期的技术能力支持，为不同领域、不同部门的技术人员提供一致的开发环境，通用的开源及商业软件，提高开发效率和代码复用率。

随着科技的不断进步，新兴技术逐渐成为数字化转型的重要抓手。在能源化工行业，数字孪生、区块链、量子信息技术等前沿技术的应用正逐渐改变传统行业的运作模式。通过新兴技术平台，为用户提供统一的技术服务，可降低新技术的应用成本，快速推进新兴技术落地应用，加速场景普及。

数据中台是工业互联网平台的重要组成部分，通过数据中台，实现对企业内部和外部海量数据的有效治理、整合、分析和处理，利用大数据等新兴技术，通过模型对业务数据进行价值提炼，形成企业数据资产，提供决策知识，服务业务应用，确保企业能有效利用数据进行业务创新、决策优化及风险防控。

业务中台是工业互联网平台的核心，通过业务中台将专业模型、专家经验等以服务的形式沉淀为应用开发所需的业务知识，是敏捷构建工业应用的直接支撑。不同业务人员可针对特定业务问题，快速灵活调用资源构建解决方案。能源化工行业涉及多个复杂的业务领域，如生产管理、设备维护、供应链管理、能源管理等，业务中台通过统一的管理框架，促进企业内部协同，提高整体业务流程的透明度和运营效率。

AI 中台是工业互联网平台应用智能化的支撑，实现对大模型和传统人工智能模型的统一模型管理、迭代更新和服务发布。通过 AI 中台提供大模型应用开发框架，支撑“语料从收集到处理，模型从训练到推理，应用从推理到发布”的流水线开发，面向业务用户提供通用模型服务，面向开发用户提供应用服务调用 API 接口，助力大模型应用生态构建和运营。

（四）应用层提供场景化解决方案服务能力

应用层是工业互联网最终价值体现。新工业应用依托于工业互联网，面向研发设计、生产运营、数字经营、平台经济等

特定工业场景，基于平台沉淀的技术引擎、资源、模型和业务组件，将工业机理、技术、知识、算法与最佳工业实践进行组合封装而形成，与传统工业软件、信息系统相比，具备体量小、易操作、松耦合、功能专一、响应灵活等特点。

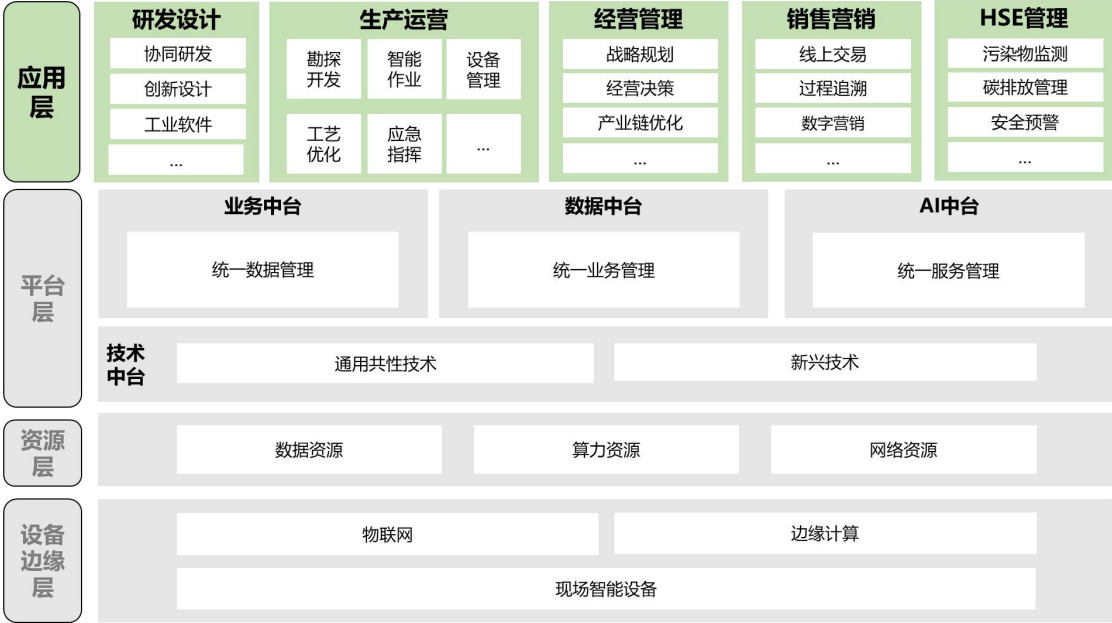


图 6 工业互联网赋能能源化工行业体系架构一应用层

四、工业互联网赋能能源化工行业作用价值

（一）基于平台化的新型研发设计创新范式

通过工业互联网强大的数据存储能力、云计算资源和高效的数据处理技术，推动能源化工行业研发设计创新的全面升级。通过统一的工业互联网技术体系，依托数字化协同平台，聚合不同领域的研发资源与知识，打破传统研发模式中的部门壁垒和地域限制，实现跨行业、跨学科、跨部门的信息共享，实现研发流程的高效协同管理。通过持续优化协作流程和智能化支

持，进一步增强协作的灵活性与精准度，促进工业软件研发和复杂生产过程优化，推动创新成果的快速转化与应用。

（二）基于智能化的高效精益生产

通过大数据、人工智能等新技术的深度应用，在油气勘探、炼化化工、存储运输等核心环节中不断优化生产流程和资源配置，提升能源化工行业生产效率和资源利用率。依托一体化协同平台，生产计划能够根据实时数据动态优化调整，确保精准按需生产并减少浪费。智能传感器与自动化控制系统借助人工智能技术在工艺参数优化中降低设备负载压力，同时开展预测性维护，保障设备高可用性，两者协同减少人工干预，使生产效率、资源利用率与设备综合效能同步提升。生产系统通过深度学习技术持续自我优化，提升生产效率，在降低能耗的同时保持高效稳定的运行。数字孪生技术的引入，助力设备的精细化监控，为资源的精准调度与配置优化提供了强有力的技术支撑。

（三）基于新兴技术的智慧经营决策

借助 AI Agent 等的部署，使企业能够在经营管理中获得更强的智慧决策支撑。一是强化数据共享和综合分析，应用人工智能技术对企业内部的生产数据、市场趋势、供应链状况等进行实时监控和深度分析，提供动态感知、预测预警和快速响应的能力，根据历史数据和当前环境自动调整优化策略，持续改

进预测模型的准确性。二是助力企业更精准地识别潜在风险和机会，实现跨部门协同优化和策略自动调整，在复杂的商业环境中保持灵活性和竞争优势，打破传统管理模式中信息孤岛的壁垒，提升决策效率，并基于大数据洞察，实现精细化的资源配置和风险管控。

（四）基于网络化协同的销售营销新模式

通过工业互联网强化企业内部及全产业链协同，改造能源化工行业传统销售和客户服务模式，基于各类在线平台建设，实现精准的线上询价、成交、结算和支付，并统筹物流与供应链配送，优化交易流程，提升交易的透明度与灵活性，从而实现线上线下一体化，打造新的商业模式，形成新的业务增值点。通过远程监测、大数据分析等技术，可对产品的全生命周期进行管理，从出厂到使用到维护，提供全方位的产品服务保障。

（五）基于数字化绿色化协同的 HSE 管理升级

通过智能物联网实时感知污染物排放浓度、能源消耗、设备运行等关键数据，精准识别潜在的环境风险和安全隐患，及时采取预防措施，避免事故发生。通过自动化检测与数据分析，使 HSE 管理摆脱人工检查的依赖，实现实时反馈和智能预警，提高生产的本质安全水平和环境管理的精准度。将能源及碳排放优化融入生产经营管理，不仅提升企业应对复杂环境挑战的

能力，还推动 HSE 管理模式创新，实现行业的绿色低碳可持续发展。

五、工业互联网赋能能源化工行业应用

（一）工业互联网驱动的智慧工程设计与建造

1、依托仿真建模打通工程设计全环节，实现可视化展示

当前工程设计智能化程度持续提升，基于集成化数字孪生技术，打通工程设计从需求分析到验证的全流程，通过统一平台整合 Building Information Modeling (BIM) 三维建模、虚拟现实 (VR) 及增强现实 (AR) 技术，实现设计全环节可视化协同。利用参数化建模工具自动生成三维构件模型，结合仿真工具验证设计性能，并通过云端数据平台集成设计工具链，实时同步多专业数据。部署轻量化渲染引擎快速生成高精度三维可视化模型，支持 VR 沉浸式评审与 AR 现场叠加比对，同时引入 AI 算法自动识别设计冲突并推荐优化方案。中国石化（亦庄）智能制造研发生产基地项目利用 BIM 技术为基坑方案演示、模板设计、管线综合、砌体排布、幕墙深化等进行图纸和方案深化优化，并对全程管理进行 BIM 平台化支撑，借助 BIM 技术对计划与工期、设计与技术、施工质量、合约采购等过程与阶段进行精益管理。国家电网利用数字模拟仿真、矢量分析等技术，绘制电网一张图，分析测算资源开发潜力、架设线路寻优、充电站设施可利用土地范围，同时结合网架运行信息、区域充电

需求预测数据、配网承载力测算信息，进一步从供应分析、区域概况、潜客分析等方面筛选可利用土地，支持新能源接入、充电站选址等规划。

2、通过数据集成一体化管理，实现工程统一交付

面对工程项目中数据互通不畅、交付碎片化、监理难度大等问题，依托工业互联网构建从设计到运维的数字主线，利用物联网感知设备实时采集施工现场进度、质量、安全等关键数据，并通过边缘计算和云平台完成数据融合、建模和优化分析，确保不同系统间的数据互联互通，形成可追溯的全链条信息流。中石油工程建设西南分公司数字化作业平台成功打通了总承包项目的一体化数据链，覆盖了项目设计、采购、仓储、施工、运行和维护的全生命周期，项目各阶段关键数据得以无缝连接和共享，以数字化协同设计为基础打造施工焊缝管理系统，实时采集焊缝、检测、试压的施工数据进行工效、资源匹配度、质检合格率等综合分析，提升管理精细化水平，显著提高了项目的整体效益和执行力。

3、基于数字孪生强化工程运行监测，实现远程运维

由于工程建设数据难以有效集成，不同地区的工程师之间难以协作，影响建造及后期运维效率。通过多源数据融合与仿真，形成可视化模型，对关键设备、结构状态及环境参数进行持续监测，使运维管理从静态巡检转向动态预测，基于实时采

集的运行数据，结合人工智能分析和历史趋势对潜在风险进行预警，提高设备维护的前瞻性和精准性。远程运维则依托云边协同计算，实现专家在线诊断、智能工单调度与远程故障处置，降低现场作业频次，提高维护效率。国家管网集团上线工程一体化管控平台，实现对管网工程建设全链条、全流程、全生命周期的线上管理，数字化协同全面嵌入油气储运各类设计规则、算法，支持在二、三维设计无缝转换的基础上通过智能算法对设计方案提出优化建议。中石油管道局设计院在工程建设阶段构建数字孪生体，实现以站场为中心的数字化交付，提高后期运维效率。采用无人机倾斜摄影与三维建模技术，采集油气管道现场的关键数据进行建模展示，通过综合管理平台 WisEPC 调取挂接管道实体的设计、采办、施工、项目管理等数据，设计线路定位，实现设计成果与施工成果的对比分析，节省工程建造成本，提高建设效率。挪威国家石油利用 Echo 数字孪生解决方案搭建项目建设现场三维仿真模型，基于历史数据优化设计方案，并实现工程师远程协同，利用新的协同和交流工具提升建设过程中的安全性和效率。

（二）工业互联网驱动的研发设计创新

1、依托能源化工行业大模型沉淀核心工艺知识，提升科技研发效率

基于人工智能行业大模型，可将工程经验、实验数据、模拟仿真结果等多源异构数据进行深度学习与知识图谱构建，形成可复用的行业知识库，实现工艺优化、参数预测和研发辅助决策，结合工业互联网的分布式计算能力，可对复杂工艺流程进行多变量实时分析，优化装置运行条件，提高能效与产品收率。中石油发布能源行业昆仑大模型，通过人工智能中台提供大模型服务，并基于行业大模型开展场景大模型构建。研发形成多个能源化工行业代表性场景，在油气勘探领域，地震正反演求解效率提高 10 倍、解释效率提高 9 倍，储层流体识别准确率提升至 90%。在炼油化工领域，常减压等装置外操人员劳动强度降低 50%，丁腈橡胶质检效率提升 20%。在装备制造领域，输送管焊缝缺陷识别效率提升 40%，石油管材及装备失效影像检测诊断效率提升 80%。中国海洋石油“海能”人工智能模型平台接入 DeepSeek 系列模型，通过私有化部署方式面向全集团提供开放服务，可以辅助构建企业知识库，助力业务系统智能化，实现复杂地质数据处理，有效提高工作效率。埃克森美孚应用人工智能模型，可从初始混合物中预测聚合物膜的渗透性

能，提升材料分离效率，降低初步分离步骤的能源消耗，实现新材料研发的快速迭代。

2、通过产业链全环节研发数据互联，提高协同研发效率

针对信息孤岛、沟通不畅等问题，通过数据互联打通跨部门、跨地域研发资源，提高协同研发效率，针对流程行业研发链条长、实验数据分散、跨地域协作受限等问题，通过实时数据同步、智能分析与远程仿真，打破信息壁垒。巴斯夫打造 BASF Research Network (BRN) 平台，通过数字化手段将巴斯夫全球范围内的研发中心、大学和研究机构无缝连接，实现跨部门、跨学科的高效协作，支持化学、材料科学、数据科学等多领域的交叉研究，通过共享实验数据、模型和分析工具，研究人员可以利用该平台进行远程实验设计、数据仿真和实时协作，优化研发流程，推动创新研发效率的显著提升。英国石油通过云托管油井数据平台 Argus 存储其全球 99.5% 的现存油井信息，可在数秒内向研发工程师及工作人员提供油井传感器数据，进行监测和价值优化。

3、基于数字孪生开展虚实融合，推动工业软件研发与验证

数字孪生技术为能源化工行业带来变革，在生产过程的模拟、优化和预测等方面，推动工业软件的深度创新与研发。通过构建物理设施、生产过程和整个工业系统的虚拟模型，使得设备及产线在虚拟空间中实时运行与监控，实现对整个生产周

期的掌控，并通过构建工艺流程模型，针对性优化关键工艺参数，实现对复杂工况模拟，降低测试成本。沙特阿美公司通过数字孪生技术与 Open Subsurface Data Universe (OSDU) 平台，构建了井筒模型，涵盖地质层位、钻井路径、井筒结构等关键要素，完整再现了实际施工中的复杂条件，工作人员可在虚拟环境中模拟井筒施工的全流程，从地质变化到设备操作，深入分析每个环节的细节，大幅减少了传统测试中所需的物理资源和实验成本。

（三）工业互联网驱动的生产运营优化

1、依托人工智能强化复杂数据分析，提升油气勘探精度与效率

当前油气勘探、生产预测及安全管理中，传统方法效率低、精度有限，且难以应对复杂环境变化，而人工智能分析可实现此过程的高度智能化。在勘探过程中，利用人工智能技术对地球物理数据的特征提取和模式识别可提高数据分析效率，提升勘探精度。在产量预测中，通过历史数据建模，可解决传统预测方法中因环境和生产因素导致的偏差问题。壳牌在墨西哥湾深海勘探和油气生产中应用人工智能算法，处理和分析大量地震数据，提高作业效率和速度，增加产量和勘探成功率。人工智能方式可将勘探时间从 9 个月缩短至不到 9 天，使用比常规更少的地震数据扫描来生成地下图像，加快勘探工作流程，节

省高性能计算成本。哈里伯顿通过与 Core Lab 合作，实现地质数据可视化，在岩样分析过程中，进行切片等处理后，借助 AI 进行分析，将岩样分析所需时间从 90 天缩短至约 1 周，大幅缩短勘探作业工期，降低作业成本。

2、通过油气产业链各环节共享联动，实现多层次协同优化

市场开放带来的企业竞争压力增大，通过生产优化实现降本增效成为企业发展的重要举措，但生产各单元、各环节的局部优化不等同于企业整体优化，通过打通原油采购、炼制调度、装置优化及产品调配的全链条协同，实现生产过程一体化管控，融合实时生产数据、设备运行参数及市场动态，实现数据互联互通与决策联动，推动优化策略从单点改进向系统协同转变。中国石油基于工业互联网架构，打造炼厂生产运行协同优化平台，实现各生产环节开发数据高度共享、业务紧密联动以及价值协同一致。该平台承载计划优化、调度优化、装置流程模拟、装置实时优化等各层级模型，实现业务一体化协同运行，优化资源配置，降低生产成本，在试点炼厂应用预计可实现 2-6 元/吨原油增效。

3、基于大数据监控设备运行状态，降低生产及维护成本

传统的油气生产管理面临实时数据不足、设备运行状态监测困难等问题。随着大数据分析技术的发展，油气生产智能化水平显著提升，可通过实时监控，结合历史运维数据与设备运

行模型，识别异常工况并预测故障趋势，优化检维修策略，从被动维护转向预测性维护，降低非计划停机损失。挪威国家石油采用基于机器学习的设备维护解决方案，依托算法和模型预测和预防设备故障，帮助工程师减少大量的重复性监测工作，它可以识别图片、声波和其他数据集中的复杂模式，数小时即可完成过去数周才能完成的工作，年节省成本约 3000 万美元。壳牌石油基于人工智能和资产完整性软件 IMS 打造“虚拟腐蚀工程师”，通过基于风险的检查提高资产可用性，从而减少停机时间，提升生产率，实现检测成本降低 20%，周转时间缩短 30%。国家电网依托电网实时分析引擎，处理覆盖生产控制大区内各类要素的流式数据，实现每秒百万计以上测量数据的高性能、低延时、可拓展处理，有效提升电力系统状态监测和运行效率，为电网安全稳定运行提供支撑。

4、依托工业机器人，提升日常巡检效率

能源化工行业生产运营日常巡检中涉及劳动密集型任务和危险环境工作，当前巡检主要由人工完成，导致效率低、成本高、风险高等问题。工业机器人通过融合机器视觉、红外成像、声波分析等多模态传感技术，可精准检测设备运行状态，可进入危险区域进行长时间作业，替代人工作业后能够提高巡检效率，降低风险和事故发生率。壳牌石油将无人机用于多用途、跨专业场景，包括建筑检测、应急管理、现场安全、项目规划、

排放监测等。通过将不同专业不同频次的业务活动需求进行整合，无人机巡检的成本和价值得到了更好的平衡。挪威国家石油利用足式机器人、无人机、海底无人机在海陆空全面代替人工作业，在 3D 扫描、绘图、管道监测和运维等场景得到深入测试和广泛应用。英国石油通过 Spot 四足机器人执行异常扫描、跟踪腐蚀或检查仪表等任务，减少人工长距离巡检工作和潜在的危险。员工可远程操作机器人，通过收集和分析机器人上传的传感器数据获得设施的气体泄漏、设备震动等动态信息，提高巡检效率和安全性。

（四）工业互联网驱动的经营管理优化

1、依托模型融合打通油气全产业链数据，实现整体优化

油气产业链链条长、业务变化频繁、各环节相互关联密切，面对日益复杂的国际和国内市场变化形势，为实现产业链生产经营提质增效，可利用运筹优化、人工智能等技术，将业务问题转化为覆盖产业链上下游各环节的一体化优化模型，并对模型进行微服务封装，通过智能一体化平台，实现数据、模型、知识共享和流程协调，最大化产业链整体效益。中石油规划总院构建了覆盖“产、运、炼、销、储、贸”的原油产业链一体化优化模型，涵盖 15 家油田生产、7 个口岸原油供应、27 家炼化企业 900 余套装置、33 个销售公司的成品油外采和销售、近 1500 余条原油成品油运输路线，为中石油集团生产经营整体优

化及计划制定、产业链各环节科学衔接、产业链运行政策研究实施等方面发挥了重要作用，提升了产业链韧性和稳定性。

（五）工业互联网驱动的营销销售变革

1、依托人工智能精准预测市场趋势，优化销售策略与客户体验

随着市场变化加快，预测愈发困难，消费者需求趋向多元化并快速更迭。面对复杂多变的市场环境，人工智能技术可在产品销售环节优化销售策略和客户体验。基于机器学习与自然语言处理技术，构建市场预测与客户交互的双引擎智能系统。通过时间序列分析挖掘历史销售、舆情及宏观经济数据中的潜在规律，融合包含社交媒体趋势、供应链波动等在内的多源异构数据，生成高置信度的市场需求预测报告，动态优化定价策略与库存分配。同时，部署预训练语言模型、驱动的智能客服系统，结合知识图谱生成准确、有针对性的回复，提供个性化的客户支持。沙特阿美发布 2500 亿参数 Aramco Metabrain 大模型，通过分析历史数据、市场动态和地缘政治因素，实现精确的价格预测和市场洞察。在下游业务中，整合全球经济指标和实时新闻数据，预测成品油价格趋势和区域供需变化，协助企业优化供应链网络，提高资源配置效率，减少因市场波动带来的不确定性。阿布扎比国家石油公司发布首个针对全球能源转型的智能体解决方案 Energy AI，该智能体可预测零售燃料

需求，将历史和实时数据与深度学习神经网络、集成方法和预测技术相结合，预测准确率达 95%，基于预测结果优化配送计划，减少燃料卡车总排放量 10%。百度智能云推出的能源 AI 中台通过集成生成式 AI 技术，智能分析能源化工行业企业需求，为企业提供智能营销解决方案，为客户提供智能客服解决方案，帮助企业快速响应客户的咨询，提供个性化服务，提高客户满意度的同时，通过智能化服务优化了企业的运营效率。

2、基于智能机器人先进传感与识别，升级加油服务

加油站大多为人工操作，人力成本高且一定程度存在误操作风险。智能加油机器人基于多模态感知与自主决策技术，集成激光雷达、毫米波雷达与 3D 视觉传感器，通过深度学习模型实时识别车辆轮廓、车牌及油箱盖特征，结合 SLAM（即时定位与地图构建）算法实现厘米级车辆定位导航。加油机器人搭载六轴协作机械臂与柔性夹爪，采用自适应控制算法动态调整加油枪姿态，精准对接异形油箱口，同时与油机控制系统联动，实现加油量闭环校准，提高加油站运营效率和安全性。中石油销售公司在加油站试点引入智能机器人，提供包括自动加油、商品推荐、信息查询等在内的一站式智能服务，提升了加油站的服务效率，大幅改善了顾客的加油体验。通过智能机器人，顾客可以享受到更为便捷和个性化的服务，快速完成加油，并根据个人需求获得商品推荐和即时信息查询，机器人还可实

时与顾客互动，提供多样化的增值服务，推动加油站向更加智能、现代化的方向发展。

六、能源化工企业实施策略

工业互联网驱动的数字化转型将为能源化工行业带来巨大的发展机遇，推动行业向高效、智能、绿色、可持续的方向发展。企业应明确战略策略定位，结合自身需求，聚焦重点场景差异化推进，重视标准规范建设，积极依托新兴技术推进创新驱动。

能源化工企业应明确数字化转型战略策略定位。企业应立足自身制定数字化转型长期愿景，在数字化转型战略定位上既不好高骛远，也不只看当下，加强现状研判，综合考虑业务及技术发展趋势，持续更新数字化转型目标和任务，统筹推进场景数字化改造和业务数字化升级，实现数字化转型螺旋式提升。同时企业要加强内部人员宣贯，推动文化变革，确保员工对数智赋能战略有清晰认识和理解。

能源化工企业应聚焦重点场景差异化推进数字化转型。企业应开展数字化转型痛点挖掘，明确企业当前数字化转型的成熟度等级和发展阶段，识别关键业务场景与亟待补充的基础数字能力，依托工业互联网平台架构，制定数字化转型的“施工图”，分层次、分梯度开展转型方案规划和建设项目设计，并

定期开展转型绩效评价，梳理总结转型成绩和不足，形成数字化转型样本，持续迭代升级优化。

能源化工企业应重视数字化转型标准规范建设。企业应建立纵横一体的数字化转型标准体系，形成共性的数据、技术及模型等的标准规范，并借助统一工业互联网平台实现专业应用建设，解决大型企业中各单位间数字化建设不统一、平台架构不一致等问题，以数据、流程、业务的标准化推进管理规范，为公司各层级数字化转型奠定基础。

能源化工企业应通过技术创新引领数字化转型。科技兴则企业兴，科技强则企业强。企业应积极探索和应用人工智能、大数据、云计算等新兴技术，夯实高速网络、数据中心等新型数字化基础设施，积极关注新技术发展趋势和市场动态，及时调整数字化工作方向和重点，深化数字技术为业务赋能，开展设备、工艺、模式等多层次创新，确保企业在数字化转型过程中保持技术领先优势，引领业务发展。