

企业数字化转型蓝皮报告

——新 IT 赋能实体经济低碳绿色转型

中国信息通信研究院云计算与大数据研究所

2021 年 12 月

版权声明

本报告版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。
转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，
应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，
本院将追究其相关法律责任。

前 言

当今世界正经历百年未有之大变局，云计算、大数据、人工智能等为主的“新 IT”技术突飞猛进，不仅拉动形成一系列新业态，成为经济增长新动能，而且带来经济形态乃至人类社会形态的革命性变化。在此背景下，对于各行各业来说，数字化转型已不再是“选择题”，而是关乎生存和长远发展的“必修课”。同时，在推进数字化转型过程中，绿色低碳转型也是不可忽视的重要一环。在全球能源与环境问题越来越严重的当下，积极响应双碳战略同样是企业实现可持续发展与高质量发展的内在要求，也是推动构建人类命运共同体的必然选择。

本报告将聚焦石油石化、电力和制造行业三大典型高碳产业，围绕其数字化转型背景现状、碳减排工作开展情况、转型痛点难点等方面进行分析，对三大行业企业数字化转型涉及的“新 IT”技术、关键业务场景进行阐述，提出推进转型的路径并研提相关建议举措。本报告同时收录了部分数字化转型典型案例，希望以此为同行业企业提供转型参考示范。

目 录

一、 企业数字化转型的动因、目标与原则.....	1
(一) 5 大驱动因素共同加速中国企业数字化转型.....	1
(二) 各行业数字化转型的主要战略目标.....	5
(三) 企业实施数字化转型应把握 3 大原则.....	8
二、 数字化转型对实施“双碳”战略的促进作用.....	10
(一) “双碳”背景下企业应将节能减排作为数字化转型重要战略目标.....	10
(二) 数字技术应用有效减少全球碳排放.....	13
(三) 各行业积极运用数字技术推进碳减排.....	14
三、 石油石化、电力、离散制造行业数字化转型现状与重难点.....	23
(一) 石油石化行业数字化转型现状与重难点.....	23
(二) 电力行业数字化转型现状与重难点.....	30
(三) 离散制造行业数字化转型现状与重难点.....	37
(四) 小结.....	42
四、 推进行业数字化转型的路径.....	44
(一) “新 IT”是各行各业转型的数字基座.....	44
(二) 石油石化、电力、离散制造数字化转型技术重点.....	46
五、 推进数字化转型的建议举措.....	51
(一) 升级政策保障措施，为企业转型保驾护航.....	51
(二) 健全转型标准体系，帮助企业认清能力等级.....	52
(三) 沉淀成功转型经验，打造平台经济赋能产业.....	53
(四) 坚持绿色低碳发展，助力“双碳目标”达成.....	53
附录：重点行业数字化转型典型案例.....	55
(一) 石油石化行业案例.....	55
(二) 电力行业案例.....	58
(三) 离散制造行业案例.....	61

图 目 录

图 1	2020 年全球 GDP 内部结构.....	2
图 2	我国数字经济相关数据.....	2
图 3	疫情冲击下 3 个月内企业恢复正常的比例数据.....	5
图 4	数字化转型带来的降本增效成果.....	6
图 5	2030 年数字技术预计在主要行业的碳减排贡献值.....	14
图 6	2020 年石油石化行业企业碳排放量（单位：家，%）.....	15
图 7	双碳目标下，石油化工产业规划政策分析.....	16
图 8	中国石油和化学工业碳达峰与碳中和宣言.....	17
图 9	2014-2020 年前 2 月中国发电设备累计装机容量统计及增长情况.....	18
图 10	2020 年前两个月中国不同发电方式发电量占比统计情况.....	19
图 11	石油石化行业上中下游业务链.....	24
图 12	通过油气生产管控中心实现油气生产环节数字化.....	25
图 13	基于数据的智能决策.....	26
图 14	石油石化行业信息化、数字化阶段进程.....	29
图 15	电力行业上下游关键业务环节.....	30
图 16	电厂实景智能管理平台架构.....	32
图 17	我国电力数字化市场规模.....	35
图 18	研发设计协同解决方案缩短研发时间、提升产品质量.....	38
图 19	供应链协同优化全局资源配置.....	39
图 20	我国制造业 IT 应用市场预测.....	42
图 21	基于“端-边-云-网-智”的新 IT 架构图.....	45
图 22	云边协同在石油石化场景应用.....	47
图 23	人工智能、大数据等技术在管网巡检场景的应用.....	48
图 24	人工智能、物联网等技术在电力巡检中的应用.....	49
图 25	云边协同、5G 等技术在智慧仓储中的应用.....	49
图 26	基于云计算、大数据、人工智能的智能排产云平台.....	50
图 27	边缘计算、物联网技术在产线自动化场景中的应用.....	51
图 28	新 IT 指数（价值贡献度/技术先进性）二维方法论.....	53

图 29 智能化（油气）管道业务场景..... 56

图 30 工业数据采集方案流程..... 56

图 31 智能化（油气）管道方案四大优势..... 57

图 32 配电房智能监控解决方案..... 60

图 33 桐昆数智运营中心..... 63

图 34 联想智能制造体系框架..... 64

图 35 联想智能预测模型..... 66

图 36 人机仿真实例..... 66

图 37 联想仓储物流体系全景图..... 67

表 目 录

表 1 “碳达峰，碳中和”相关文件及会议表态..... 10

表 2 各行业碳减排成效和数字化减碳潜力对比（估算）..... 22

表 3 部分电力龙头企业数字化转型工作开展情况..... 36

表 4 重点行业数字化转型情况对比..... 43

一、企业数字化转型的动因、目标与原则

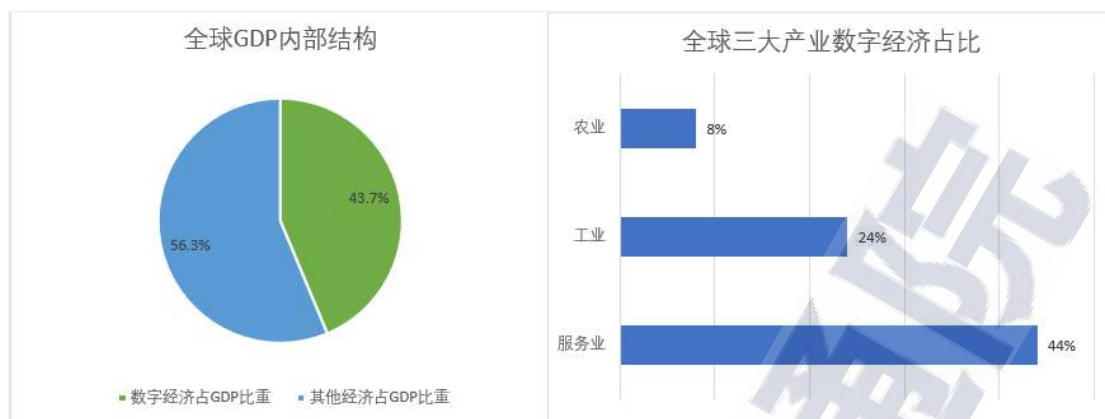
全球数字经济的浪潮下，开展数字化转型已成为各行业企业在谋求生存发展的必由之路。我国经济已经由高速增长转入低速增长和高质量驱动的阶段，在此阶段下，推动云计算、大数据、人工智能等新一代数字化技术与实体经济深度融合，大力推进建设数字中国、智慧社会，企业数字化转型势在必行。在面对产业结构调整、资源环境挑战、数字技术与创新带来的行业颠覆与机遇，我国各行业企业逆水行舟，不进则退。

企业数字化转型是企业与数字技术全面融合，全方位提升效率的转型过程，即利用数字技术，把企业各要素、各环节全部数字化，推动技术、业务、人才、资本等要素资源配置优化，推动业务流程、生产方式重组变革，从而提高企业经济效率，降低企业运营成本，通过将企业业务数字化，实现传统模式的转型升级，最终达到提高生产效率的一种转型过程。

（一）5 大驱动因素共同加速中国企业数字化转型

1. 数字经济腾飞

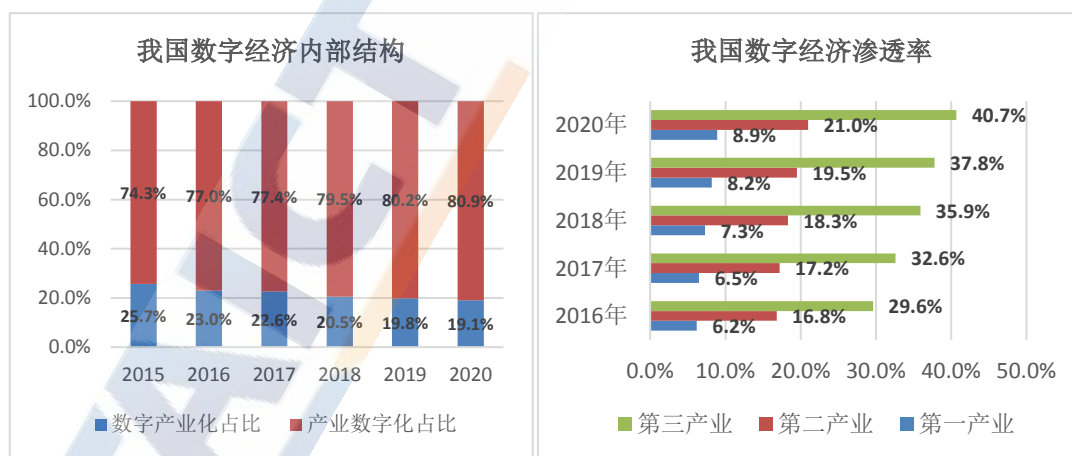
数字经济已成为各国促进经济复苏、重塑竞争优势和提升治理能力的关键力量。当前百年变局和世纪疫情交织叠加，世界经济进入动荡变革期，不稳定性不确定性显著上升。面对经济恢复、国际格局重塑等挑战，各主要国家加快完善数字经济布局。如图 1 所示，2020 年全球数字经济占 GDP 比重已经超过 40%，显而易见，数字经济已成为世界经济增长重要的动力来源。



来源：中国信息通信研究院

图 1 2020 年全球 GDP 内部结构

数字经济是中国实现高质量增长的重要推动力，传统行业的数字化转型势在必行。根据中国信通院发布的《中国数字经济发展白皮书（2021）》数据显示（如图 2 所示），2020 年我国产业数字化规模达 31.7 亿元，占数字经济比重 80.9%，占 GDP 比重 31.2%。农业、工业、服务业数字渗透率分别为 8.9%、21%和 40.7%，产业数字化转型提速，融合发展向深层次演进。



来源：中国信息通信研究院

图 2 我国数字经济相关数据

2.政策密集出台

从政策支持来看，有关企业数字化转型政策集中出台，为促进我国企业数字化发展提出指导意见和推进措施。2020 年 3 月，工业和信息化部发布《中小企业数字化赋能专项行动方案》鼓励以云计算、人工智能、大数据、边缘计算、5G 等新一代信息技术与应用为支撑，引导数字化服务商针对中小企业数字化转型需求。同年 4 月，国家发展改革委、中央网信办发布《关于推进“上云用数赋智”行动培育新经济发展实施方案》鼓励在具备条件和行业领域和企业范围内，探索大数据、人工智能、云计算新一代数字技术应用和集成创新。2020 年 9 月国资委印发了《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》，旨在促进国有企业数字化、网络化、智能化发展，增强竞争力、创新力、控制力、影响力、抗风险能力，提升产业基础能力和产业链现代化水平。《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，“加快数字化发展，建设数字中国”作为独立篇章，将打造数字经济新优势，坚持新发展理念，营造良好数字生态，列为“十四五”时期目标任务之一。

3. 供需市场波动

数字化能有效化解供需市场波动带来的风险，帮助企业形成以客户为中心的服务运营体系。企业生存必须要时刻应对供需市场波动带来的风险，传统的企业经营模式很难在大的供需市场波动面前获得生存的机会，数字企业能够综合运用云计算、大数据和人工智能等技术提前预判市场危机，合理作出应对措施，有效规避市场风险。数字化企业通过将业务与技术深度融合，利用完备的数字化平台底座，有效

整合多方资源共享，通过数据的高效利用，为企业内外客户提供更加精准、个性化、多元化、定制化、生态化的智能化服务，促使企业从以“产品为中心”向“客户为中心”转变，从而保证企业在未来竞争中保持不败的优势。

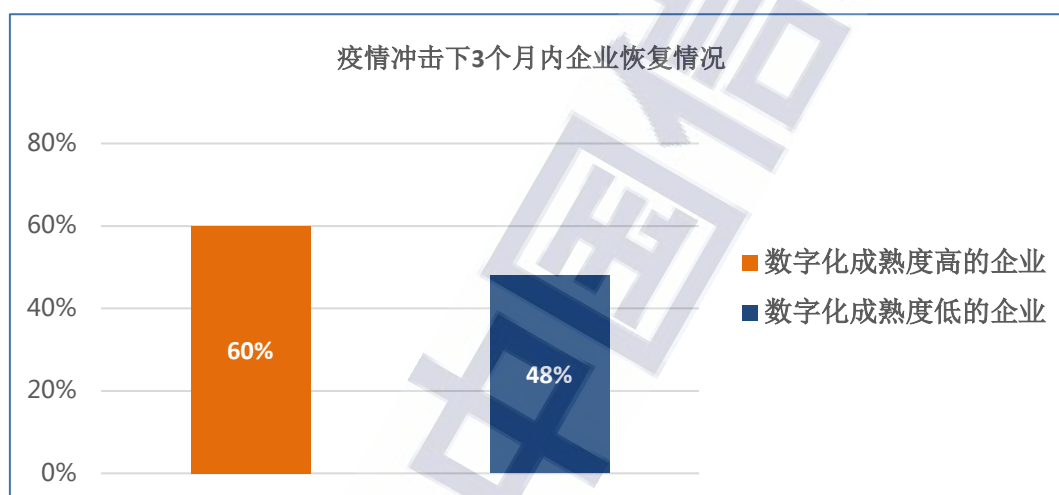
4.新 IT 技术发展

“新 IT”能为企业的发展带来质和量的提升，为企业避免不必要的资源浪费，是企业数字化转型的核心工具，有助于“降本增效提质”目标的达成。当前随着云计算、大数据、人工智能、5G 等数字技术的快速发展，以数字化、网络化、信息化和智能化为特征的数字化浪潮已经席卷全球。实体经济的数字化转型，关键要依靠数字化的基础设施，以“端（智能终端设备/物联网）-边（边缘计算）-云（云计算）-网（5G 和高速光纤网络）-智（行业智能）”为代表的“新 IT”，将推动数字化时代基础设施的代际革命。新 IT 赋能实体经济，能够深化实体经济与服务业的深度融合，革新生产组织形式，实现全产业链、全价值链、全场景的数字化，成为中国经济转型升级的引擎。

5.新冠疫情推动

2020 年疫情“黑天鹅”事件，加速了各行业市场对数字化的迫切需求，开启了数字化的全方位赋能。对很多行业而言，已经进入了革命性重塑的阶段。其中，由新冠肺炎疫情带来了“无接触式”场景变化最为突出。从餐饮、购物、娱乐到办公、教育、医疗、金融、会议等各种过去线下的活动被大幅度线上化，重塑了人们对使用和消费的观念。人们的消费行为向线上转移，数字教育、数字医疗、数字娱

乐、数字金融、数字办公等数字化服务也都因此进行了革命性的重塑，形成了新业态新模式。在抗击新冠疫情的过程中，数字化的价值已得到十足体现。自动化程度高、数字化原生程度高、普及度广的行业在疫情期间表现较好普遍受创较低。根据中国中小商业企业协会数据显示（如图 3 所示），在疫情冲击下 3 个月内企业恢复正常业务运营的比例，数字化成熟度高的企业恢复比例可达到 60%。而数字化成熟度相对较低的企业该比例仅为 48%。



来源：中国中小商业企业协会

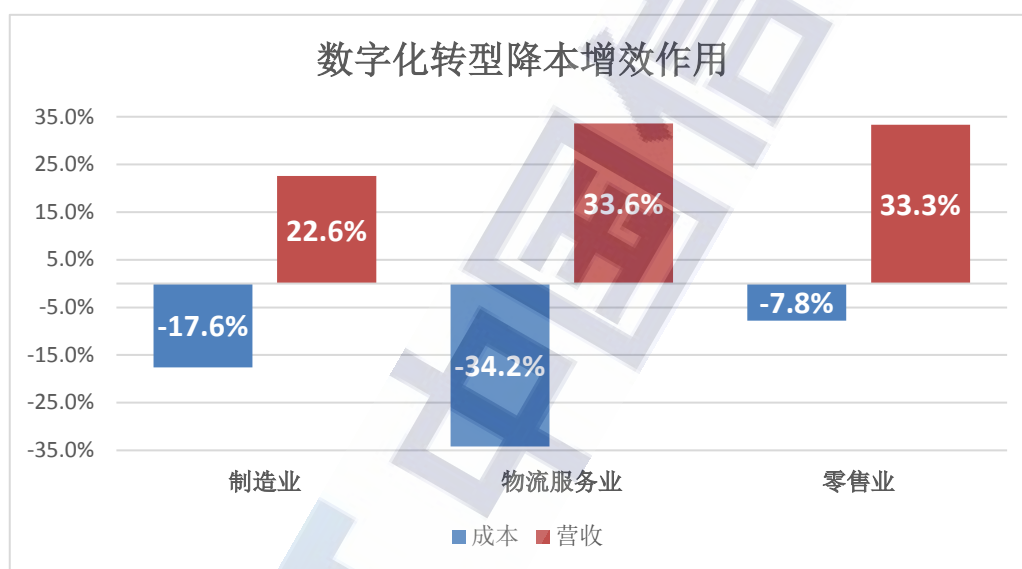
图 3 疫情冲击下 3 个月内企业恢复正常的比例数据

（二）各行业数字化转型的主要战略目标

1. “降本增效提质”，实现转型核心目标

企业转型升级核心目标是“降本增效提质”，数字化则是达成这一愿景的必由之路。企业利用新一代数字化、网络化、智能化技术打造工业化、自动化、数字化与智能化融合一体的综合性智能管理平台，对企业进行精细化管理，企业的“降本增效”也能取得显著成效。根据世界经济论坛发布的《第四次工业革命对供应链的影响》白皮书数

据显示（如图 4 所示），数字化转型使制造企业成本降低 17.6%、营收增加 22.6%，使物流服务业成本降低 34.2%、营收增加 33.6%，对于零售业，这两个数据则分别是 7.8%和 33.3%。在数字化的企业里，端到端的流程极大程度地降低了工作冗余，减少了整体的工作时间。同时，数字化工具还可以进一步打造数据可视化，使用者可以通过仪表盘实时监控和分析自己正在进行和未来规划的任务，有助于更好地掌控工作节奏，提高工作效率。



来源：世界经济论坛

图 4 数字化转型带来的降本增效成果

2.提高生产运营效率，重构组织管理方式

数字化技术大幅提高生产过程各环节效率的同时，带来新的管理工作方式，帮助企业实现持久性的改进。数字化转型并非仅强调削减成本，或要求团队使用更少的人力来执行现有流程，它使企业可以重新设计流程，实现流程自动化，在适当的节点捕获数据，向管理者传递相关信息。在企业的内部管理层面，通过数字化技术提升内部的运

营管理效率，以及经营和管理的精准性，带来全新的组织管理方式，甚至是新的生产运营方式，可以大幅度提高企业的生产运营效率。根据工信部近年来开展遴选的智能制造试点示范项目数据显示，相关制造企业在数字化、智能化转型后，其生产效率平均提升 37.6%，最高 3 倍以上；能源利用率平均提升 16.1%，最高达到 1.25 倍；运营成本平均降低 21.2%，产品研制周期平均缩短 30.8%，产品不良率平均降低 25.6%，数字化转型正向赋能作用显著。

3.有效应对市场波动，提升企业韧性

依靠数字化转型应对市场波动，提升韧性是企业在后疫情时代生存和发展的共识。受环境、资源、交通、技术等多重因素的影响，市场波动呈非周期性和不可预测性的趋势，这给企业发展和市场决策带来巨大的生存压力。面对当今的市场波动，传统企业如制造、石油、电力等，可以进行数字化转型来应对。企业可建立一体化数字化平台底座，建设数据运营体系，强化内外数据的采集、融合、分析、应用、治理能力建设，实现数据在应用系统、软硬件设备、生产设备以及人之间的实时、自由有序流动，达成“数据-信息-知识-智慧”的价值跃迁，通过数据资源为企业全面赋能，为企业产品研发、市场销售、经营管理等提供科学决策和精准执行，现运营智能化、设备远程控制、工厂全面可视化、产品趋势分析等功能，使领导和员工根据客户、工厂、市场的数据分析情况随时调整企业发展规划，了解企业运行现状以及未来发展宏图，从而提高产能，有效的应对市场波动。

4.驱动企业提升创新能力，保障市场竞争优势

对于企业来说科技创新能力是企业快速发展和提高核心竞争力的关键。近几年来，我国以企业为主体的技术创新体系正逐步完善，企业在创新资源配置中的主导地位日益凸显。在数字化的大浪潮中，随着新一代信息技术加速与经济社会各领域深度融合，对企业的边界、内部组织、竞争优势等产生了深刻影响，也将推动创新模式发生重大变革，传统企业为适应数字化时代的发展，应将技术创新作为其发展战略的基石，通过深化融合以“新 IT”为主的数字化技术，调整其运营策略和商业模式，实现自身创新变革，以保障自身在新时代下的市场竞争力。

（三）企业实施数字化转型应把握 3 大原则

1. 坚持长期主义

总体来看，企业数字化转型是一个长期、全面、具备共识性的行动。数字化转型是长期过程，不能用短时成败定义。转型不是把新一代的数字化技术引入到企业就能完成，而是在技术越来越深入之后，整个企业的组织架构、管理制度、人才结构和企业文化都要跟着调整。数字化转型成功率在不同行业各不相同，企业应在转型过程中注重积累经验。虽然企业通过数字化转型可以实现降本增效，但是转型并非易事。在信息化程度较高的行业，如高科技、媒体和电信，转型成功率不超过 26%；而在石油、天然气、汽车、基础设施和制药等较为传统的行业中，数字化转型更具挑战性，成功率仅在 4% 至 11% 之间。企业数字化转型至少需要 20 年~30 年的时间，企业数字化转型的成效，不应该简单用“成功”和“失败”来定义。

2. 打好数字基座

转型企业应充分应用“新 IT”技术，打牢数字化基础底座。现阶段，云计算、大数据、边缘计算、物联网、区块链、人工智能、5G 等新一代数字技术的持续发展突破，为企业数字化转型发展奠定了坚实的基础，但如何通过深度应用相关技术、发挥体系化价值还有很长的路要走。通过将云计算、大数据、人工智能、物联网等新一代数字技术为代表的“新 IT”融合集成，打造数字基础设施一体化平台，构建企业 IT 底座，有效整合资源，实现数字化基础设施能力的组件化、模块化封装，为企业业务创新提供高效、低成本的一体化服务支撑，满足海量多样化客户群体的个性化需求成为当前企业数字基础设施建设的重要基础方向。

3. 技术与业务深度融合

打破技术和业务的壁垒，实现业技融合是数字化转型的前提。企业数字化转型并不能只着眼于引入新的 IT 技术，期望通过“建平台、上系统”就完成数字化转型是不切实际的。企业数字化转型，尤其是业务层面的数字化转型应围绕企业价值链开展，将业务人员和技术人员形成合力，把业务运营管理经验和数字化技术充分结合起来，让技术在具体业务中落地应用。通过架构思维，整体、全面、结构化梳理业务场景，将独立业务解构拆分、跨业务单元的协同合作，深化运用云计算、大数据、人工智能等数字化技术，打造内外部业务流程贯通、企业内部管理和外部业务流程全生命周期全覆盖的数字化业务平台，优化企业业务链、价值链，充分实现业技融合。

二、数字化转型对实施“双碳”战略的促进作用

随着世界经济的不断发展，全球能源与环境问题越来越严重，气候变化深刻影响地球环境，这是人类共同面临的巨大挑战。我国作为主要的发展中国家，在推进企业数字化转型、大力发展数字经济的同时，应重视能源与环境问题，将绿色节能纳入高质量发展转型的重要战略目标中，积极开展低碳绿色模式探索，为世界发展积极贡献中国力量。

（一）“双碳”背景下企业应将节能减排作为数字化转型重要战略目标

碳达峰是指在某个时点 CO₂ 的排放不再增长达到峰值，在此之后逐步回落的过程。**碳中和**是指在一段时期内 CO₂ 的排放量，通过森林碳汇、人工转化、地质封存等技术加以抵消，实现 CO₂ “净零排放”。

为了应对全球气候变化，实现人类社会文明进步与地球生态系统的可持续发展，联合国提出在 2050 年左右达到 CO₂ “净零排放”的目标，也就是碳中和目标。我国政府在 2020 年 9 月提出双碳战略，即在 2030 年前实现碳达峰，争取在 2060 年实现碳中和。

表 1 “碳达峰，碳中和”相关文件及会议表态

发布时间	会议/文件	主要内容
2020 年 9 月	第 75 届联合国大会	提出中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。

2020 年 9 月	生态环境部常务会议	提出要研究制定二氧化碳排放达峰行动计划、国家适应气候战略等相关规划。
2020 年 10 月	中国共产党第九届中共 委员会 第五次全体会议	强调要加快推动绿色低碳发展,降低碳排放强度,支持有条件的地方率先达到碳排放峰值,制定 2030 年前碳排放达峰行动方案。
2020 年 12 月	中央经济工作会议	定 2021 年要抓好八项重点任务。其中包括做好碳达峰、碳中和工作。
2020 年 12 月	全国发展和改革工作会议	部署开展碳达峰、碳中和相关工作,推进长三角生态绿色一体化发展示范区制度创新,抓好长江经济带生态环境突出问题整改,推动黄河流域生态保护和高质量发展。
2020 年 1 月	《关于统筹和加强应对 气候变化与生态环境保 护相关工作的指导意见》	以二氧化碳排放达峰目标与碳中和愿景为牵引,全面加强应对气候变化与生态环境保护相关工作统筹融合。
2021 年 3 月	《2021 年国务院政府工 作报告》	扎实做好碳达峰、碳中和各项工作,制定 2030 年前碳排放达峰行动方案,优化产业结构和能源结构。
2021 年 4 月	国新办新闻发布会	各有关部门加快研究制定碳达峰行动方案和分行业分领域实施方案,加快构建碳达峰、碳中和政策体系。
2021 年 10 月	《关于完整准确全面贯 彻新发展理念做好碳达 峰碳中和工作的意见》	坚持系统观念,提出了碳达峰、碳中和具体的目标和措施,明确了碳达峰、碳中和的路线图。

来源：公开资料整理

碳达峰碳中和是有效控制全球气温快速升高，推动能源利用绿色转型，促进绿色、低碳等技术进步的重要途径，是推动世界经济发展和增长的新动力。数字技术的本质在于提高社会的信息化、智慧化水平，提升资源配置效率，在传统实体行业的结合中可以兼顾转型创新和节能减排的发展诉求。目前，全球高耗能行业普遍聚焦在工业、电力、能源、建筑、交通等行业，其中石油石化、电力、制造业为主的传统产业尤为突出。为了实现“双碳”目标，除行业自身的工艺优化、技术升级外，还可以通过数字化技术的赋能助力降低碳排放。大数据、人工智能、物联网、区块链等技术与传统实体行业的有机结合是促进降低碳排放的有力手段。一方面，数字技术能有效改进生产工艺流程、提高设备运转效率、提升生产过程管理的精准性，从而实现生产效率和碳减排的双提升。另一方面，数字技术能有效优化资源配置模式，通过云计算、大数据、物联网、人工智能等领域的数字基础设施实现各种资源要素在不同行业、不同企业间的共享，进一步提升配置效率。

当下，“双碳”目标正在重构我国的经济增长模式，推动各行各业通过数字化、智能化转型来提质增效，节能减排，实现高质量发展，其中科技企业对外输出智能化转型的解决方案，将极大地加速这一进程。石油石化、电力、离散制造等传统企业作为节能减排的主力军，应将绿色低碳作为数字化转型重要战略目标，在原有四大战略目标的基础上，充分将数字技术运用到各环节，促进供给侧和消费侧的协调，加速产业变革，实现整个产业链的效率提升。

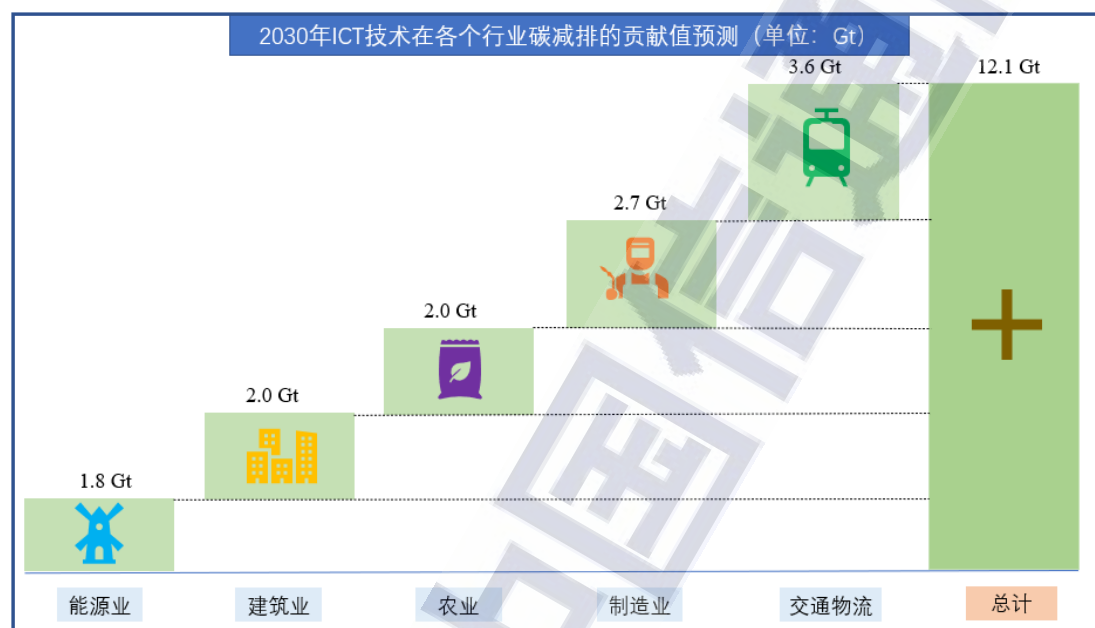
（二）数字技术应用有效减少全球碳排放

双碳目的本质是推动经济社会发展绿色低碳转型，在目前产业数字化转型背景下，ICT 技术在加速推动能源效率进一步提升、碳排放强度大幅降低以及清洁能源消费比例持续提高等方面发挥着重大作用，应用数字技术减少碳排放颇具潜力和发展前景。

首先，数字技术企业自身减碳效率处于较高水准。ICT 信息与通信行业本身并不是环境重污染行业，根据联想数据显示，2020 年全球 ICT 行业的碳排放仅占全球碳排放的 2.3%。此外数字技术产生的碳排放占全球碳排放的比例逐年下降，GeSI（全球可持续信息产业联盟）与德勤 2019 年联合发布的《SMARTer 2030》指出，到 2030 年 ICT 行业的碳排放量预计达到 1.25Gt，占全球排放量的比例降至 1.97%，各行各业受益于 ICT 技术所减少的碳排放量将达 12Gt，几乎是 ICT 行业自身排放量的 10 倍。

数字技术对各行业减碳效果和价值显著。世界经济论坛数据显示（如图 5 所示），到 2030 年各行各业受益于 ICT 技术所减少的碳排放量预计将达 121 亿吨。通过在能源、制造业等行业中应用 5G、云计算、物联网、人工智能等数字解决方案，可以减少高达 15% 的全球碳排放。由世界经济论坛和埃森哲咨询公司共同发布的《实现数字化投资回报最大化》显示，当公司将先进的数字技术融入生产时，其生产效率提升幅度可达 70%，而数字化部署较为缓慢的公司，其生产效率仅提高 30%。由此可见，数字技术不仅能够带来效率收益，更能助力低碳生产。对于科技企业而言，通过在产品服务的全生命周期内实

施绿色采购、推行生态设计、开发绿色产品、推进绿色制造、引导绿色消费等等，建立起一整套绿色供应链和绿色制造体系，并将自身绿色环保实践推广至上下游企业，助力产业链、供应链的低碳可持续发展。



来源：世界经济论坛

图 5 2030 年数字技术预计在主要行业的碳减排贡献值

（三）各行业积极运用数字技术推进碳减排

随着数字技术在能源和环境领域的深度融合与应用创新，其在实现碳中和目标中的作用日益凸显，直接或间接推进碳减排。数字技术引领的新业态、新模式变革还可以从不同方向助力我国碳达峰、碳中和目标的实现。作为碳排放能耗大户的石油石化、电力和制造业等传统行业，毋庸置疑成为运用数字技术推进碳减排、绿色发展的先锋队和主力军。以下从不同的方面来阐述上述行业碳排放现状，数字技术运用举措和未来规划，以展现数字技术在推进碳减排中的重要价值。

1.石油石化行业

石油石化行业作为我国的支柱产业，是碳排放的重要来源之一。

根据中国化工报数据显示（如图 6），截至 2020 年底，石油化工行业碳排放量超过 2.6 万吨的企业数量约 2300 家，碳排放量之和占全行业碳排放总量的 65%，占全国碳排放比重的 13%，占工业领域碳排放比例 17%，而在石油化工生产中的碳排放，85%是能源活动造成的，另有约 15%是工艺过程产生的。石化行业的碳减排压力，主要源于自身生产过程中的碳排放，目前国内石化企业正在积极开展低碳领域的相关探索。



来源：中国化工报

图 6 2020 年石油石化行业企业碳排放量（单位：家，%）

在双碳目标的新情况、新形势下，优化系统、工艺及设备节能提高效率被排在了减少碳排放的第一位。在石油炼化过程中，从原料到产品要经过一系列复杂的化学工艺，这就要求企业持续的技术创新，全球的绿色低碳转型也对分析技术提出了更高的要求。如图 7 所示，石油石化行业为了降低碳排放，实现绿色发展，围绕产业结构、差别化电价、节能化改造三个方面进行了相关调整。



图 7 双碳目标下，石油化工产业规划政策分析

石油石化行业在一系列碳减排举措中，数字化技术方法也扮演了重要的作用。数字解决方案逐步覆盖石油石化行业全流程，包括勘探、炼化、输配电、电控自动化、供应链管理等，初步形成智能化格局，在一定程度上降低碳排放。具体来说，借助数字孪生技术和 5G 通信技术的发展，可实现无人化、可视化精准勘探、开采和全方位智能监控，不仅显著提高开采效率，同时也降低对生态环境的破坏。此外，物联网技术在炼化过程中已经实现实时数据收集、处理和分析，云端通过对配电系统运行状态的实时监控，提供各类能耗报告，帮助用户提高运维效率寻找节能空间，助力实现双碳目标。例如，某石化行业龙头企业通过智能化技术，减少熟料煅烧过程波动，稳定性大幅度提高，生产效率提高 12%，柴油消耗降低 7%，减排二氧化碳 105 万吨。

2021 年 1 月，中国石油和化学工业联合会与 12 家主要石油化工企业、5 家化工园区联合签署并共同发布《中国石油和化学工业碳达峰与碳中和宣言》，力争 2025 年左右实现碳达峰。如图 8 所示，《宣言》提出以下六大方面倡议和承诺。



来源：公开资料整理

图 8 中国石油和化学工业碳达峰与碳中和宣言

虽然石油石化行业在碳排放方面低于电力、钢铁、水泥等行业,但现阶段由于没有明确的减排路径,依旧面临较大的减排压力。未来,石油石化行业通过大力发展绿氢炼化,不断提高原料低碳化比例,并深度采用数字技术推动整个产业数字化转型,持续提高工业电气化水平,相关数据预测到 2050 年实现在 2015 年基础上减少约 90%的排放量。

2. 电力行业

根据国际能源署(IEA)统计,2019 年中国碳排放总量 113 亿吨,能源领域碳排放量 98 亿吨,占全国总量的 87%。其中,电力行业碳排放 42 亿吨,占全国总量的 37%。中电联统计显示,2019 年中国发电量中火电的占比高达 72%,电力领域碳排放占全国碳排放总量的 30%以上。因此,我国要实现碳达峰、碳中和目标,电力行业将承担主力军作用。

从发电侧来看,国家经济增速放缓使得电力需求的增长速度放

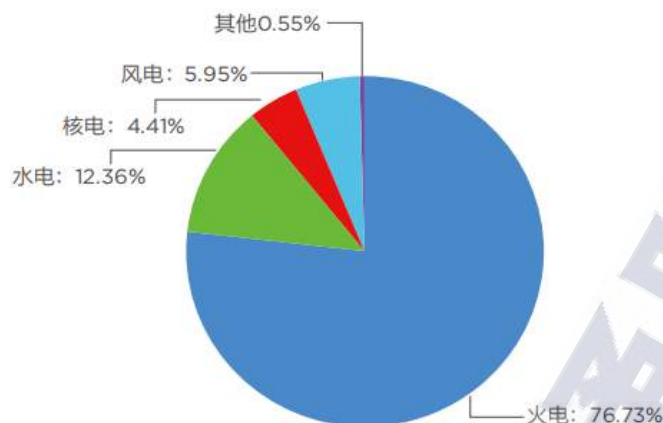
慢。国家能源局统计数据显示，2014-2019 年，中国电力工程建设中，发电装机容量持续提升，近年来增速有所放缓，2019 年，我国发电装机容量达 201066 万千瓦，同比增长 5.8%。2020 年 1-2 月，我国新增发电机装机容量为 790 万千瓦（如图 9），截至 2020 年 2 月底我国发电机装机容量达 201856 万千瓦。



来源：联想电力行业白皮书

图 9 2014-2020 年前 2 月中国发电设备累计装机容量统计及增长情况

从发电方式来看，我国仍以火力发电为主要发电方式，以煤炭为燃料的火力发电企业发电的环境成本最高，其排放的 CO₂ 是碳排放的主要来源之一。据中电联数据显示，2020 年 1-2 月，全国规模以上电厂火电发电量为 8427 亿千瓦时，占比 76.73%；水电发电量为 1357 亿千瓦时，占比 12.36%；核电发电量为 484 亿千瓦时，占比 4.41%；风电发电量为 653 亿千瓦时，占比 5.95%，其发电方式的发电电量统计如图 10 所示。



来源：联想电力行业白皮书

图 10 2020 年前两个月中国不同发电方式发电量占比统计情况

在电力行业，采用低碳能源与可再生能源、碳捕集、利用和封存技术(CCUS)等措施可以尽可能减少二氧化碳排放，数字技术也扮演重要作用。5G、云计算、AIoT 等数字技术能够对发电系统数据进行收集、存储、处理、分发，应用于变电站智能巡检、智能仓储等典型场景，通过精细化系统管理，更加精准的预测发电量和负荷变动趋势，帮助企业优化电力调度策略。此外，通过国家能源互联网建设，降低企业用电成本，减少火电机组调峰需求，实现国家级智能电网，降低电力碳排放。据相关统计，火电机组平均每发一度电实际消耗热值比理论值高 3500KJ，采用可视化能耗管理系统可以减少 30%能源浪费。据调查研究，雄安新区通过部署城市智慧能源管控平台，实现了横向“水、电、气、热、冷”多能互补控制，纵向“源、网、荷、储、人”高效协同，降低新区能耗成本 10%左右。

近年来，我国不断在电力低碳转型方面发力，并取得了显著成效。2006 至 2019 年通过发展非化石能源、降低供电煤耗和线损率等措施，电力行业累计减排二氧化碳约 159.4 亿吨，有效减缓电力行业

碳排放总量增长。国家电网公司发布碳达峰、碳中和行动方案，构建以新能源为主体的新型电力系统，在能源生产清洁化、能源消费电气化、能源利用高效化等诸多方面发力，实现“双碳”目标。未来，我国将致力于构建新型电力系统，充分利用数字技术和智慧能源技术，在传统电力系统基础上，增强灵活性和柔性，提高资源优化配置能力，实现多能互补、源网荷储高效协同，有效平衡新能源的波动性、随机性和不确定性，实现智能化升级。根据《中国 2030 年前碳达峰研究报告》数据，我国电力生产碳排放率先于 2025 年达峰，峰值为 45 亿吨，2030 年下降至 41 亿吨。

3. 离散制造行业

中国是全球制造业第一大国，随着制造强国战略的深入实施，中国制造业规模持续快速增长，成为了碳排放的另一个重要来源。根据 IPCC 报告显示，2017 年我国制造业碳排放量占中国碳排放总量的比例高达 53.27%。制造业子行业可分为高、中、低排放强度行业，根据相关数据显示，黑色金属冶炼和压延加工行业碳排放强度是计算机、通信和其他电子设备制造业的约 111 倍。离散制造业中纺织业属于中强度碳排放行业，据麦肯锡公司的估算，每生产 1 公斤纺织品平均排放 23 公斤温室气体。目前，全球每年与纺织品生产相关的温室气体排放总量约 12 亿吨，占全球总排放量的 4%，预计到 2030 年全球服装和鞋类的数量增加 80%，届时相关的温室气体排放量每年或达 27 亿吨。据艾伦·麦克阿瑟基金会的一份报告显示，2050 年时尚行业碳排放占全部排放的比例将达到 26%。相比较，在 2015 至

2018 年间，汽车制造业、电气机械及器材制造业的能源消耗强度稳定在 0.03 至 0.04 万吨/亿元，计算机、通信及其他电子设备制造业从 0.05 万吨/亿元增至 0.06 万吨/亿元，略有提高。虽然从规模体量上来看，离散制造业不是节能减碳的重点领域，但却为其他行业绿色发展提供了技术和装备支撑，是提高节能减碳能力的核心载体，也是下一步技术攻坚突破的重点方向。

数字技术进一步推动制造业绿色低碳发展，在降低生产设备能耗、改善工艺流程、原料废料再利用、能源综合管理等方面起到重要作用。5G、物联网、边缘计算为代表的技术以数据为核心，基于传感器集中收集的海量数据，结合软件平台和大数据分析技术实现工业自动化控制、智慧化管理。例如，通过在生产设备中嵌入智能传感器，结合高级数据分析以优化传统产业的生产制造流程，更加精准和动态地预测用户或企业的需求，从而改善服务的响应能力，实现最优的过程控制，对碳减排具有至关重要的作用。以联想制造业为例，2017 年，其在 PC 制造业务中使用了低温锡膏(LTS)制造技术，这项工艺可以将印刷电路板组装工艺的能耗和碳排放量减少 35%。通过自身和供应链的数字化和智能化，达成绿色化和低碳化。

近年来，我国离散制造业节能减碳取得一些成效。随着政策不断调控颁布，通过产业结构调整、能源结构优化以及市场机制完善等关键举措，在制造业领域，中国绿色制造体系初步形成，截至目前已建设完成绿色工厂 2121 家、绿色工业园区 171 家、绿色供应链企业 189 家，绿色产品推广近 2 万种，据相关统计，制造业主要产品中约有

40%的产品能效接近或达到国际先进水平。未来依靠技术创新、管理创新、改善能源结构等方式，离散制造行业依托智能制造战略，实现制造的数字化、网络化、智能化，贯穿产品、制造、服务全生命周期各个环节，不断提升企业的产品质量、效益、服务水平，推动制造业创新、绿色、协调、开放、共享发展。

4.小结

综合对比石油石化、电力、离散制造三个行业，可以看出：

电力行业碳排放量占比最大，碳减压指数基准线较高，目前碳减排取得一定成效，但仍有较大减碳空间，未来伴随着 5G、云计算、物联网等技术进一步与传统电力系统融合，“智能电网”等方案将加速电力行业碳减排进程。

离散制造业碳排放占比相对较低，能源消耗处于较低且基本稳定的水平，随着我国“智能制造”深入推进，工业互联网等技术将在一定程度上提升碳减排成效。

石油石化行业碳排放主要来自用能排放和工艺排放，目前虽发展清洁或可再生能源达到一定程度减碳效果，但成本较高，并且产品种类复杂，缺少清晰减碳路径，数字化技术作用短期有限，仍处于探索阶段。

表 2 各行业碳减排成效和数字化减碳潜力对比（估算）

行业	碳排放量占比	碳减压指数	减碳成果	数字化减碳潜力
石油石化	13%	中	★★★☆☆	★★☆☆☆
电力	40%	高	★★☆☆☆	★★★★☆

离散制造	8%	低	★★★☆☆	★★★☆☆
------	----	---	-------	-------

来源：公开资料整理、估算

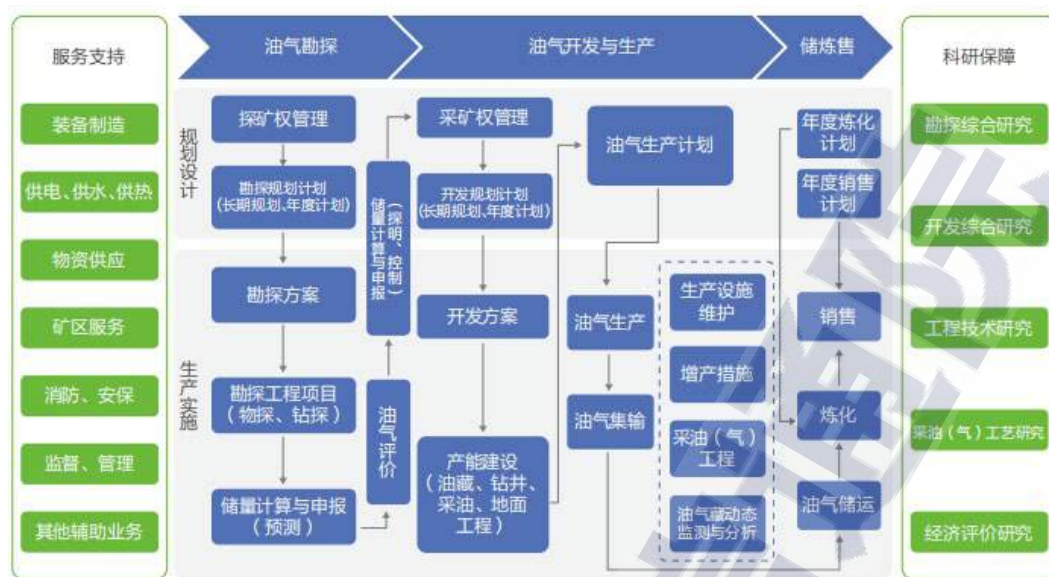
三、石油石化、电力、离散制造行业数字化转型现状与重难点

作为碳排放能耗大户的石油石化、电力和制造业等传统行业，毋庸置疑，绿色低碳是企业发展的核心前提，也是企业践行双碳目标的首要责任。随着新一代数字技术的发展，越来越多的企业将数字化转型和低碳减排工作结合，在通过数字化技术提高生产力，降低运营成本的同时，在关键环节通过数字技术的赋能作用实现能耗节约，同步推进低碳工作开展。

（一）石油石化行业数字化转型现状与重难点

1. 行业数字化转型背景

石油石化行业作为我国国民经济的支柱产业之一，承担着保障国家能源安全的重要责任。石油石化行业产业链长，涉及面广，从业务上分为上、中、下游，其中上游主要包括原油/天然气的勘探开发业务，中游包括油气的存储与运输，下游主要为炼油、化工、天然气加工和成品油（气）的销售业务等方面。同时，除了主营业务外，为保障企业主营业务生产和经营活动的顺利开展，相关业务环节还涉及服务支持和科研保障业务，具体业务链环节如图 11 所示。



来源：联想石油石化行业白皮书

图 11 石油石化行业上中下游业务链

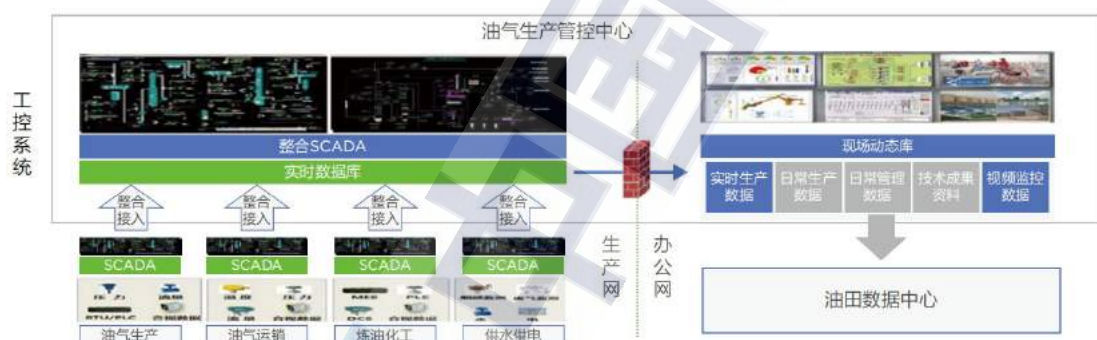
近年来，由于原油开采成本增高、炼油利润空间缩小以及成品油销售市场竞争加剧等原因，石油化工行业在生产、经营和决策等方面面临较大挑战。在面对国际油价大幅波动以及“双碳目标”对能源行业节能减排带来的挑战和生存压力，石油石化行业逐渐意识到数字化转型的必要性，将数字化转型作为企业发展的重要战略之一。但显而易见的是，由于石油化工行业企业的业务链条非常长，一般具有高投入、高技术、高风险、高排放等特点，且上中下游各环节业务特点各异，涵盖了传统采矿业、流程制造业、运输业和批发零售业务等不同业务属性，在开展数字化转型过程中应全面统筹考虑，根据自身业务需求，从核心关注点切入，以切实提升企业价值和核心竞争力。

2. 行业数字化转型重点

石油石化行业通过综合运用云计算、大数据、人工智能、物联网

等新一代数字化技术，建设智能感知、智能控制、全面协同、智能分析、智能预警、科学决策等方面的能力，实现降本增效提质、绿色低碳发展是转型重点关注方向。

一是油气生产自动化数字化升级。如图 12 所示，基于物联网、自动控制等先进数字化技术，结合油气生产工艺，建立一体化生产运行管理、监控和指挥环境，加强油气田生产数据自动采集能力，减少数据手工录入，并对生产过程进行实时监测、预警、自动控制与生产优化，提升气田生产自动化水平与安全管控能力，优化生产管理流程，降低生产成本，提高生产效率。



来源：中国信息通信研究院

图 12 通过油气生产管控中心实现油气生产环节数字化

二是业务管理流程化精益化转型。利用 workflow、业务流等流程化管理技术，通过业务切实主导，各方高度协同，促进石油石化企业信息化与业务管理深度融合，实现对油气勘探、开发、生产等各领域业务管理的规范化和流程化，打破相关业务间管理壁垒，促进公司管理创新和流程优化，提升业务协同能力和工作效率。

三是勘探开发科研协同化。通过建立勘探开发数据库、协同科研平台等数字化平台工具，整合石油石化企业相关技术数据、集成专业

应用软件，实现与研究支持单位、服务单位的数据共享和业务协同，满足一体化协同研究需要，提升研究工作效率，提高研究成果应用水平，促进相关业务管理和决策的精准性。

四是决策分析智能化。基于人工智能、数据仓库、大数据分析等信息技术，建立专家辅助的决策管理体系和快速反应的自动决策系统，决策人员可以利用专家经验和决策模型，综合相关业务信息，制定行动方案，模拟分析决策效果，并对决策执行的过程进行跟踪和管理，降低决策风险，提高宏观决策能力（如图 13 所示）。例如对钻井数据分析辅助决策，提升钻井作业效率降低成本，或者对勘探开发数据、岩层数据进行分析，帮助油气工程师发现新油气田、生成备选开发方案等方面的应用。



来源：中国信息通信研究院

图 13 基于数据的智能决策

3.行业数字化转型难点

石油石化企业受制于企业性质、管理制度以及相关生产业务实际所处的地理和自然条件等方面的因素，在实际开展数字化转型过程中仍存在很多痛点难点，主要表现在以下几个方面。

在安全保障层面，石油石化企业相关业务一般具有作业分散、业

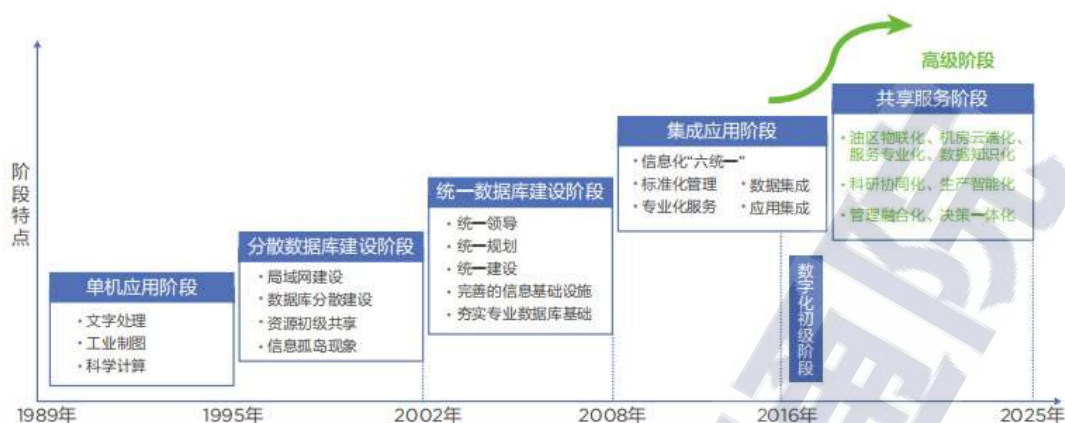
务复杂、突发事件影响范围大、处理时效性要求高等特点，对安全生产要求很高。利用传统安全管理模式进行 HSE（健康（Health）、安全（Safety）和环境（Environment）三位一体的管理体系）存在决策分析速度慢、应急指挥联动效率低等诸多困难。同时，石油石化行业由于其业务特性，很多生产作业都发生在地形地貌复杂、自然环境恶劣的地区，常规人工巡检成本高、效率低、时效性差，受自然和环境制约非常大。因此，在安全保障环节，石油石化行业迫切需要通过数字化技术手段，充分利用各种软硬件资源，基于物联网、传感器等智能设备采集多种实时数据和准实时数据，形成覆盖勘探现场、办公场所和移动办公等环境的多级生产监控与指挥平台，以提高生产指挥调度、应急管理、井场/管网巡检等环节的效率和及时性，保障安全生产。

在油气生产层面，石油石化行业与传统制造类企业一样，也面临柔性生产的需求，如何通过技术帮助业务的灵活应变是行业的难点之一。以油气勘探开发环节为例，在油气勘探和开发过程中，存在大量的钻井施工作业，而在钻井施工作业过程中，钻井井场会根据作业需要，进驻钻井、录井、测井、试油等作业队伍及相关的甲方监督，这些作业队伍之间、甲乙双方之间均存在大量的数据共享和业务协同工作。现阶段，这些数据共享和业务协同工作普遍存在较大困难，导致作业队数据重复录入情况非常严重，制约了工作效率和质量提升，亟需通过数字化手段，构建钻井井场层面的智能化应用环境和数字化平台，以提升钻井智能化管理水平，提高生产效率。

在供应链协同层面，从价值链可以明显看出，石油石化行业上下游环节覆盖面非常广，涉及原油采购、运输、炼化生产、仓储物流、销售等多个环节。根据相关数据显示，目前我国石油石化行业的原油和天然气目前进口依存度较高，在当前国际原油价格大幅度波动、供应链成本压力持续加大的背景下，石油石化企业需要提高供应链的敏捷型和灵活性，以实现上下游市场的变化做出快速响应。传统信息化阶段，大部分石油石化企业通过建设传统的供应链平台或系统，基本可以实现对部分环节/业务的管理，但是相关业务流程存在不完整、不连贯的现状，造成了供应链链条上各业务部门需要分别执行各自的流程，业务流程和业务数据整体来看处于割裂状态，运行效率较低，无法在当前油价波动、成本压力提升的市场情况下，保障企业内部业务部门间以及油气行业生态链各企业间的全局供应链协同和优化，产业链协同效率有待提升。

4.行业数字化转型进度及成果

如图 14 所示，石油石化行业的信息化、数字化工作起步于上个世纪 80 年代，经历了单机应用、分散建设、集中建设、集成应用等不同历史阶段后，截止到“十二五”末，行业内相关企业基本建成了覆盖勘探、开发、生产、储运、炼化、销售全业务链的信息化支撑体系，大部分业务实现了从集团公司到地区公司、二级版块以及生产作业现场的垂直管理，基本达到了数字化初级阶段。



来源：中国信息通信研究院

图 14 石油石化行业信息化、数字化阶段进程

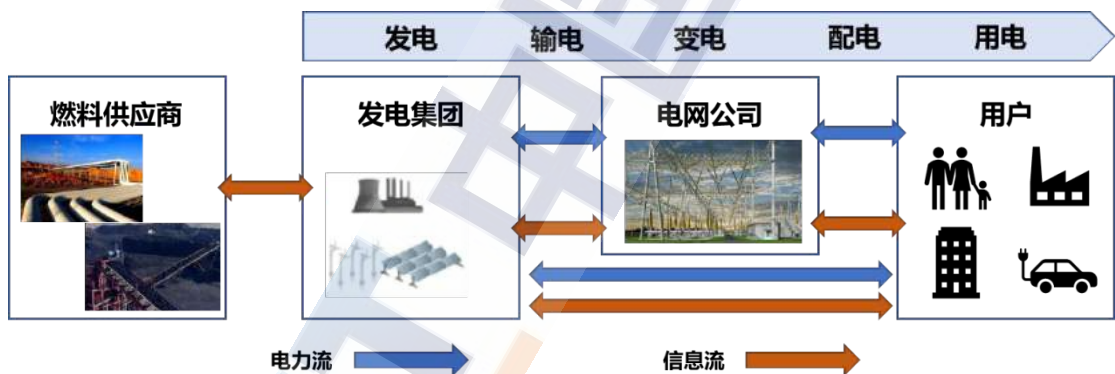
十三五期间，以“三桶油”为代表的石油石化相关企业依托云计算、大数据、物联网、边缘计算等新一代数字技术发力数字化转型，向以“油区物联化、数据知识化、科研协同化、生产智能化、决策一体化”等典型场景为代表的数字化转型高级阶段进阶。

中国石油经过长时期的统一信息化建设，目前已经基本建成涵盖生产管理、经营管理、综合管理、基础设施和网络安全等各方面的数十个集中性 IT 系统，实现信息化从分散向集中、从集中向集成的两次阶段行跨越；中国石化以智能制造为主攻方向，初步打造了“石化智云”工业互联网平台，实现全产业的生产运营数字化发展，推动组织、流程、技术、管理四大维度全面升级，提升自身的数字化、网络化、智能化水平；中国海油在 IT 基础设施建设、智能油田建设、打造经营管理信息系统、加强网络信息安全等方面发力，遵循“业务驱动、IT 引领”的方针推进自身向现代化、数字化、智能化转型升级。

（二）电力行业数字化转型现状与重难点

1. 行业数字化转型背景

电力行业是关系到国计民生的基础能源产业，是国民生产生活、经济运行的基本保障。整体来看，电力行业的上下游业务链条包括发电、输电、变电、用电等多个环节，参与方涉及上游燃料供应商、发电集团、电网公司以及终端用户等多方角色（如图 15 所示）。在数字化历史背景以及电力企业着力打造“平台经济”“共享经济”“绿色电力”的宏伟目标下，相关企业纷纷意识到数字化转型是自己实现上下游价值链整合，打造能源生态服务，实现绿色低碳转型的必经之路。



来源：中国信息通信研究院

图 15 电力行业上下游关键业务环节

随着经济发展、社会进步和能源转型，电力的应用领域不断拓展，电力服务的需求和终端用户的消费理念日益个性化、多元化、绿色化。电力行业的新业态和新模式也在不断的涌现。在面对能源结构变化、用电需求波动、业务运营环境复杂多变等行业挑战，如何全面、深化应用“云大物移智”等数字化技术，对业务进行优化重构，实现生产、

管理、经营全过程的业务优化重构，支撑电力企业向“能源生态服务商”“能源运营商”转型升级是一项重大研究课题。

2. 行业数字化转型重点

伴随云计算、大数据、物联网、人工智能、边缘计算等数字化技术的快速发展和深化应用，电力行业数字化、智能化转型进入了快车道，通过在“发、输、变、配、用”各环节有机结合新一代数字化技术，可将电力行业全业务链条的业务流程和数据有机整合，将传统的能量流单向传输转变为可点对点的网络化的能源交互，最终形成能源流、业务流和数据流的三流合一的能源互联网。

生产数字化是电力行业转型核心。通过融入云计算、大数据、物联网、人工智能、5G、数字孪生等新一代数字化技术，打造智慧电厂、智慧电网是电力行业各业务环节开展数字化转型的重点工作。以发电环节为例，如图 16 所示，传统电厂的生产管控工作存在监控系统独立分散、集成度低，应用系统操作流程复杂、信息数据不直观，设备运维单纯依靠人工、工作效率低、预测性维护能力不足等方面的问题。通过建设电厂智能管理平台，为电厂提供安全防控、应急处理、生产管理、数据运营、远程巡检全环节的数字化工作平台，为电厂企业开展厂区管理、综合决策、态势感知、协调指挥等环节提供支撑，助力电厂提质增效、节能减排、低碳发展。



来源：联想电力行业白皮书

图 16 电厂实景智能管理平台架构

管理数字化助力电力企业实现管理精益化。在传统信息化建设基础上，进一步推进供应链、人力资源管理、财务管理、客户营销、风控等管理环节深化应用新一代数字化技术，通过构建覆盖企业运营管理全环节的一体化、数字化管理平台，实现管理流程重构再造和组织结构优化，打通人、财、物等职能部门边界和信息壁垒，促进跨部门、跨系统、跨层级的高效协同；围绕数字化办公场景打造智慧办公平台，推动企业员工日常办公、沟通、协作模式的转变，提升工作效率和办公体验，推动内部管理运营全过程的数字化、智能化，实现管理工作化繁为简，提升企业管控能力、组织能力、协同能力以及决策能力，实现电力企业管理“精益化”转型。

服务数字化提高企业服务效率，拓宽生态边界。通过建设智能电表、智慧营业厅、智能客服、智能营销等，构建面向用电客户的一站式数字化供电服务体系，推进数字化技术深度融入用户服务的全业

务、全流程，打造流程简单、响应迅速、灵活定制的应用服务，提高服务效率和用户体验。同时，基于新一代数字技术打造面向政府机构、产业上下游企业、用户等产业链各参与方的统一数字化业务平台，在满足用户多元化、差异化、个性化需求的同时，为产业上下游各方提供平台服务，实现产业各方共生、共享、共赢的目标，赋能电力企业开展能源产业的价值链整合，拓宽服务边界，打造生态体系。

3.行业数字化转型难点

电力行业信息化工作开展较早，数字化转型基础较为牢固，然而随着新技术的不断引入和新业务的陆续拓展，通用面临着诸多转型难点亟需攻破。

一是安全建设迫在眉睫。以电网为例，随着云大物移智等新一代数字化技术在电网领域的逐渐深化应用，在实现业务数字化转型升级的同时，带来了一系列全新的安全问题。首先，随着海量异构设备接入，在给用户带来便利服务体验的同时，也造成了网络边界模糊的问题，例如智能电表、充电桩、智能巡检设备、监控摄像头等具备边缘计算能力的终端，目前很多都处于不受防护的“裸奔”状态，现有的安全防护体系尚无法完全应对当前逐步升级的攻击手段。其次，随着电力行业信息化、数字化程度的不断提升，越来越多的企业经营数据、用户核心数据经由网络进行交互传输，电力系统愈发成为黑客们高价值的攻击目标，多样复杂的恶意代码、病毒、网络攻击对电力行业造成威胁愈发严重。

二是数据共享互通能力待加强。电力生产运行是一个非常复杂的

过程，包含“发、输、变、配、用”等多个环节。随着行业数字化、智能化建设不断深入，电力设备监测、电网运行、企业经营管理等各个环节产生的数据呈指数级增长。面对爆炸式增长的数据，通过大数据技术指导电力企业开展生产、运营、管理决策的需求愈发旺盛。然而，目前我国电力行业在大数据方面的应用尚处于起步阶段：首先，电力行业各环节涉及众多各自独立的信息系统，系统架构、数据模型各异，不同系统间数据资源难以共享；同时，由于管理体制等原因，诸如企业内跨层级/部门、同环节不同企业（例如国网与南网）、不同环节（例如电网企业与发电企业）之间的数据共享能力还有待实现。如何打通内部业务数据，实现外部渠道对接，充分挖掘数据价值是电力行业相关企业数字化转型的重要挑战。

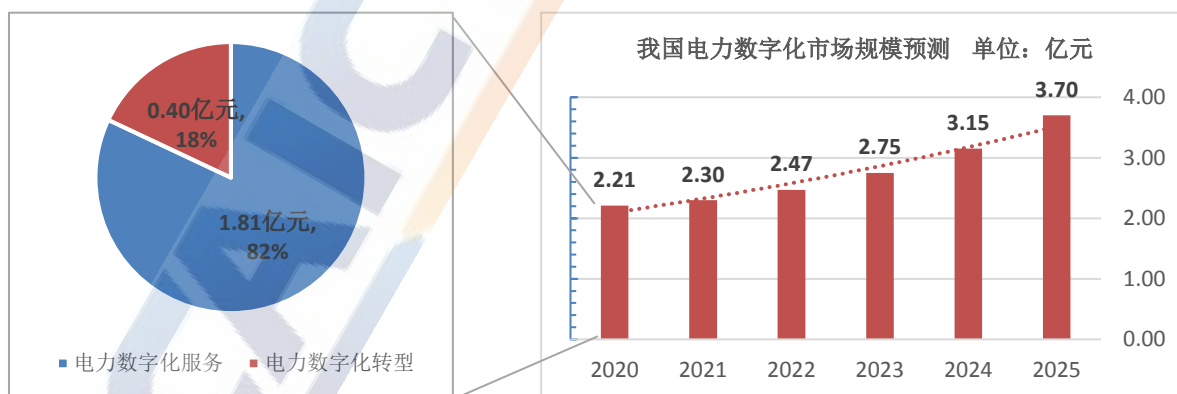
三是业务创新能力不足。随着新一代数字化技术的日益普及，仅掌握传统 IT 技术的人才已不能满足企业数字化转型发展的需要，横跨多领域、学习能力更强、综合素质更高、既懂业务又懂技术的复合型人才成为各大企业开展转型的人才队伍建设优选。电力行业对数字化人才的需求同样呈现爆发式增长，但由于电力行业大部分也传统央企国企为主，相较于互联网和高科技企业，相对劣势的收入待遇使得数字化人才缺口日益扩大。同时，由于央国企普遍存在体制复杂、工作方式保守等现状，鼓励创新试错的氛围缺失，导致新技术在企业内部的推广应用受到一定的限制，企业对于新技术的吸纳和引入周期较长，部分环节（例如智能巡检、无人化作业等场景）的数字化技术应用尚处于内部验证阶段，且多为外部引入，企业自建团队的新技术应

用和业务创新能力仍需加强。

4. 行业数字化转型进度及成果

我国电力企业信息化工作起步较早，且一直是国家重点关注并持续投入的领域。整体来看，我国电力行业数字化转型在前期打下的工作基础较好，处于传统行业中的领先地位；聚焦行业内的情况，目前输电和配电环节数字化进展相对较快。

从市场数据来看，根据图 17 数据显示，受数字化技术推广以及电力企业数字化服务开展影响，2020 年我国电力数字化市场规模超过 2200 亿元，其中电力行业数字化服务市场占比超过 82%，涉及智能电网、自动化控制、巡检运维、能源管理等多个环节领域；电力企业数字化转型升级占比约为 18%，覆盖云计算、大数据、人工智能、区块链等新一代数字化技术的应用改造。预计到 2025 年，我国能源电力领域的数字化市场规模将增长至约 3700 亿元，年复合增长率超过 10%。



来源：亿欧智库

图 17 我国电力数字化市场规模

从行业龙头企业的工作开展情况来看，各大电力央企在 2021 年将数字化转型工作当作重点发力方向，希冀通过数字化转型推动自身和整个电力行业的高质量发展，部分转型工作如表 3 所示。

表 3 部分电力龙头企业数字化转型工作开展情况

序号	企业	数字化转型工作开展情况
1	国家电网	高度重视数字化转型工作开展，在前期信息化基础上，通过夯实数字化基础设施、推进业务数字化转型、积极拓展数字产业化、提升数字化保障能力等方面，全面推动数字化转型发展。
2	南方电网	通过建设数字电网，促进能源资源畅通循环；通过打造数字企业，融入国家治理体系和治理能力现代化；通过升级数字服务，全面满足美好生活的电力需要；通过发展数字产业，助力提升能源产业链竞争力。
3	国家能源集团	以建设智慧国家能源为目标，积极探索智能生产，赋能全产业链提质增效；系统布局智慧管理，引领全要素效能提升；创新实践智慧运营，推进全链条价值重塑。
4	中国华能	积极推进数字技术与产业发展的深度融合，一是在行业率先建设工业互联网；二是积极开展产业智慧化探索；三是搭建“华能智链”平台；四是加强数字化管理能力建设。
5	中国大唐	提出了“打造数字大唐，建设世界一流能源企业”的数字化愿景，通过数字化提升集团经营管控质量，加强战略引领；通过数字化提升集团运营生产效率，支持深化改革；通过数字化推动企业持续创新发展，推进高质量发展。
6	中国三峡集团	围绕主营业务，深入开展数字化创新实践：深化技术创新，引领工程建设数字化；深化技术融合，促进电力生产与流域调度数字化；深化技术赋能，推进长江生态保护数字化；深化管理融合，提升经营管理数字化。

来源：公开资料整理

（三）离散制造行业数字化转型现状与重难点

1. 行业数字化转型背景

人类进入工业社会之后，制造业逐渐成为一个国家经济能力乃至综合国力的基石。当前全球经济普遍面临转型压力，作为经济体系的稳定器，制造业迎来了前所未有的发展机遇，同时也面临着多重挑战。市场层面，越来越多的行业面临全球性产能过剩问题。市场竞争激烈，需求从过去的大批量、规模化，逐渐转向小规模、个性化定制的新型模式；社会层面，随着就业人口不断下降和劳动力成本的急剧上升，现有环境资源负担沉重，整个社会生产组织方式面临转型升级压力；技术层面，在普遍自动化的基础上，云计算、大数据、人工智能、物联网、边缘计算等新一代数字技术的发展为制造业的进一步升级提供了强大的技术支撑，同时也提出了更高的管理要求。数字化转型成为世界各国、各制造行业企业展开新一轮竞争的主要战场。

2. 行业数字化转型重点

从组织形式和生产过程差异来区分，制造业大体可分为流程制造和离散制造两大类。其中，流程制造的核心是工艺，其生产过程相对高效但产品和交付模式单一，天然具备“人、机、料、法、环”紧密耦合的特性；离散制造的核心是对需求进行匹配，其过程相对灵活多变，不可避免牺牲了生产效率。通过融入数字化技术，在松散无序的离散制造中引入“秩序”，实现各生产要素、生产环节之间的紧密配合，完成离散制造业的“流程化改造”是离散制造行业数字化转型的重点。

一是研发设计协同与优化。在研发设计环节，以汽车制造业为例，汽车的研发设计通常包括车型外观、结构强度、内饰布局等多个维度，覆盖众多专业领域。传统的研发设计模式中，各环节设计部门各自为营开展工作，难以实现环节之间的协调，易造成设计工作的反复修改率。基于产品的几何、工艺、功能、质量、运行环境等参数，构建基于数字孪生模型、虚拟仿真的协作设计平台，为各设计部门提供基于虚拟模型的设计研发工作，通过“零成本”试错的虚拟环境即可完成等同于传统模式下的产品功能、工艺、性能、结构强度等方面的验证，有效提高研发设计协同水平，缩短产品上市周期（如图 18 所示）。



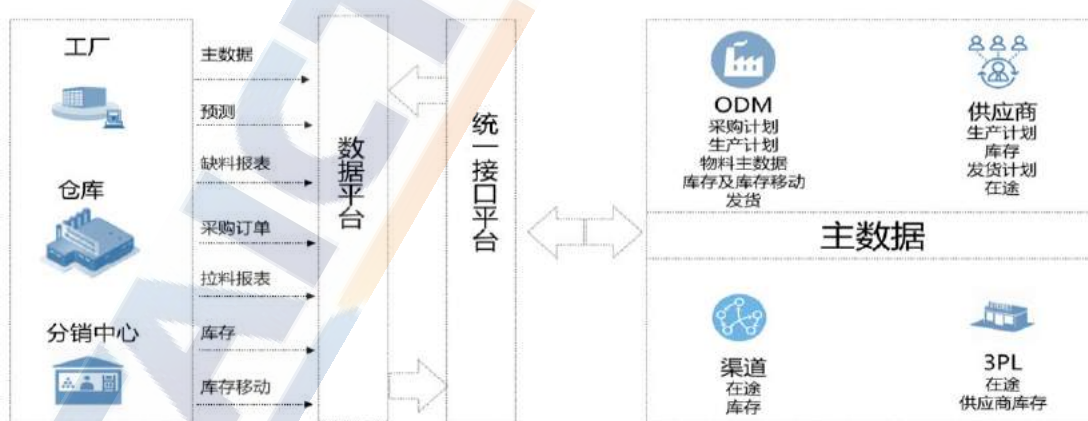
来源：联想智能制造白皮书

图 18 研发设计协同解决方案缩短研发时间、提升产品质量

二是设备管理智能化升级。以电子制造业为例，随着 ICT 技术和产业的快速发展，电子产品向精密化、集成化、微型化演进，这给电子制造工艺的精度、质量、速度等方面都提出了更高要求。首先，通过物联网、传感芯片等对生产设备的温度、电压、电流等状态数据的实时采集监测，实现设备全面实时准确的状态感知成为关键；其次，

通过大数据、人工智能等技术对生产设备产生的海量数据进行挖掘分析，建立故障诊断模型，可以有效精准定位设备故障，使覆盖生产设备全生命周期的实时态势感知、远程故障诊断、预测性维护等成为可能，有效延长生产设备寿命、降低设备运维成本、预判潜在风险，从而提高产品生产质量。

三是供应链生态协同。依旧以电子制造业为例，电子制造企业需要与众多零配件供应商、工厂、经销商、仓库进行沟通协调，以保障电子产品从原材料采购、生产、运输到销售全环节的通畅。传统电子制造企业在上下游供应链各环节的信息孤岛较为严重，难以支撑车企数字化转型过程中对于跨部门、跨企业间产供销一体化协同的需求。如图 19 所示，通过建立贯穿全产业链的平台，打通产供销端流程和数据，通过数字化技术平台实时监测上游原材料/零配件供给情况以及下游产品需求信息，灵活动态调整库存、产线，实现柔性生产、产供销协同是电子制造业在数字化转型中的发力重点。



来源：联想智能制造白皮书

图 19 供应链协同优化全局资源配置

3.行业数字化转型难点

离散制造业的数字化转型难点主要集中在异构生产设备集成难、数据安全问题、数据开放共享水平不足等方面。

生产环境复杂，IT 与 OT 融合成问题。保守估计，一座中小型规模的工厂至少拥有数十至上百台独立生产设备，由于早期分批次采购分时段建设等历史原因，不同生产设备的自动化水平、软硬件平台、通信协议等均不相同，这为工厂现场级的 OT 设备统一整合、接入管理带来了非常大的困难。同时，制造业作为传统行业，OT 团队作为核心生产部门与相对边缘的 IT 团队相对独立，历来缺乏协同工作的模式，在面临数字化转型打通 IT 与 OT 之间技术标准边界，实现 IT 与 OT 深度融合的趋势时，仍有大量工作需要开展。

生产运行类数据安全问题不容忽视。制造业相关生产类数据的涵盖生产线设备、产品、运营、用户等多个方面，随着数字化转型工作的持续推进，越来越多来自研发、设计、生产、管理、经营等方面的企业核心业务数据分布运行在各个终端、移动端和网络中，企业内部网络与外部的边界正在逐渐消失，传统的数据安全保障手段以无法完全作用于现存的安全问题。相比较其他行业，网络攻击给制造行业带来的危害尤其突出，轻则设计图纸、核心专利等敏感数据泄露、知识产权被窃取；重则给工厂和设备造成永久性损害，导致生产中断，甚至让制造企业破产，数据安全问题成为制造业企业推进数字化转型工作中不容忽视的重要环节。

数据开放与共享水平有待提高。数据采集共享一直以来都是困扰制造业转型的痛点，一方面，由于生产线涉及的自动化设备品牌、类

型繁多，建设年份早晚各异，不同设备的通信协议、数据接口五花八门，部分老旧设备甚至没有数据接口对外开放，仅能依靠人工手抄录入数据，各类因素造成企业内部数据采集困难；另一方面，随着数字化转型工作持续推进，制造企业对外部数据的需求呈现不断上升趋势，包括产业链上下游企业信息、政府监管信息、终端用户信息等方面。现阶段，产业各方力量布局建设工业互联网平台，但是实质接入和共享的公共数据相对有限，制造业企业通过统一服务平台获取外部公共数据的机制、方式和渠道待进一步建设。

4.行业数字化转型进度及成果

整体来看，我国离散制造业数字化转型进度参差不齐，转型水平和企业规模大小呈现正相关。**对于头部企业而言**，其资金、技术、人才优势明显，普遍已经建立了覆盖“研-产-供-销-服”等环节的完整数字化系统，转型效果明显。根据世界经济论坛（WEF）近期发布的最新一期全球制造业领域“灯塔工厂”名单后，全球“灯塔工厂”累计为 90 家，其中我国数量达 31 家，占据全球 1/3 以上，其中不乏三一重工、海尔、美的等大批离散制造企业。**对于中型企业而言**，普遍尚未构建完整的 ERP 系统，更多聚焦在人财物领域的狭义内部管理数字化建设层面。在车间现场级信息化系统和数字化应用建设处于起步阶段，系统间集成、数据共享能力较弱，部门墙隔阂较为明显。**对于小微企业而言**，由于其业务相对不成熟且不稳定，多以直接采用 SaaS 服务为主，以支撑企业采购、营销、客户管理、在线办公等方面的内部管理信息化需求，数字化转型直接赋能生产业务作用甚微。

不过，在新基建和双循环等政策环境以及数字化技术飞速发展的驱动下，我国制造行业的数字化转型工作正在稳步推进开展。根据工信部相关数据显示，“十三五”期间我国制造业数字化转型全面提速，重点领域关键工序数控化率由 2012 年的 24.6% 提高到 2020 年的 52.1%，数字化研发设计工具普及率由 8.8% 提高到 73%。根据 IDC 发布的《IDC 2020 年制造业 IT 支出指南》报告预测（如图 20 所示），2024 年，中国制造业 IT 市场相关投资规模将达到 258.2 亿美元，其中 IT 应用的市场规模将达到 103.9 亿美元，2019-2024 年复合增长率为 10.2%。



来源：IDC 中国，2020

图 20 我国制造业 IT 应用市场预测

(四) 小结

1. 三大重点行业数字化转型现状与重难点一览

由本章前三小节可以看出，目前石油石化、电力、离散制造等行业的数字化转型工作和趋势由于行业特色、信息化基础、数字化技术

应用程度等，呈现出不同的情况：

石油石化行业历经三十余年的信息化工作，基本达到了数字化初级阶段。由于行业垄断性强，涉及企业较少，内部转型差异度较低。也正是因为其央企国企的企业性质，自身数字化技术的应用的研发能力相对较弱，数字化转型仍有较大提升空间。

电力行业信息化工作起步较早，数字化基础较为牢固，目前已经取得阶段性成效。由于行业“发输变配用”涉及环节和企业较多，信息化数字化阶段存在一定的内部差异度。

与石油石化和电力行业明显不同的是，离散制造业涉及企业众多，且 90%以上为中小微型企业，信息化水平层次不齐：头部大型企业数字化转型成果显著，获评“灯塔工厂”的标杆案例不在少数，同时也有大量的小微企业尚处在信息化初级阶段，内部差异度较大。

表 4 重点行业数字化转型情况对比

行业	转型重点	数字化转型难点	进度	内部差异度	成果
石油石化	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 油气生产自动化 ❖ 业务管理流程化精益化 ❖ 勘探开发科研协同化 ❖ 决策分析智能化 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 传统安全保障能力不足 ❖ 生产效率、质量待提升 ❖ 供应链协同能力弱 	■ ■ ■ □ □	低	★★★★☆☆
电力	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 全环节生产数字化 ❖ 管理运营数字化 ❖ 生态服务数字化 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 安全建设迫在眉睫 ❖ 数据共享互通能力弱 ❖ 业务创新能力不足 	■ ■ ■ ■ □	中	★★★★★☆☆
离散制造	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 研发设计协同优化 ❖ 设备管理智能化升级 ❖ 供应链生态协同 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ IT 与 OT 融合难 ❖ 工业数据安全不容忽视 ❖ 数据开放共享有待提高 	■ ■ ■ □ □	高	★★★★☆☆

来源：公开资料整理、估算

2.三大重点行业数字化转型共性分析

不难看出，对于石油石化、电力、离散制造这三类传统行业来说，数字化转型的落地开展中存在一定的共性问题和工作重点值得我们分析归纳。由于上述三类都是以实体经济为主、重资产的传统产业，研发生产环节、企业内部管理以及供应链和上下游生态共享等方面都是数字化转型工作中的重点发力方向。同时，也正是因为三者都是关系国民经济的传统产业，且多以央国企为主，因此如何在数字化转型过程中建设安全保障体系、实现数据开放共享也是三种共同需要解决的问题。

四、推进行业数字化转型的路径

实现企业的数字化重塑，首先需要从数字化基础设施着手，构建完整的一体化 IT 架构。虽然都是数字化转型发展，但由于聚焦的场景不同，转型切入点和路径各不相同，数字化转型要以客观实际为依据，走出一条独具特色的转型发展之路，从转型价值与成效结果来看，绿色低碳是依然是各个行业数字化转型的核心目标。

（一）“新 IT”是各行各业转型的数字基座

“新 IT”数字基础设施是各行业开展数字化转型工作的首要工作。人类社会正在从信息化时代加速迈入数字化、智能化时代。企业的数字化转型需要的不再仅是硬件设备，而是包括物联网设备、基础设施和智能应用在内的全套解决方案，需要的是包含实施、运维在内的全方位服务。与此同时，5G 的发展极大地促进了数据的增长和算力的发展，加速了行业智能化变革的进程，但也让原来的“云-管-端”IT 架构变得力不从心，从而催生出“端-边-云-网-智”新 IT 架构。如图

21 所示，“新 IT”是基于“端-边-云-网-智”技术架构赋能各行各业实现数字化、智能化变革所需要的技术、服务与解决方案。企业进行数字化过程中，只有打牢企业的“新 IT”技术底座，不断的进行技术迭代更新，才能为企业持续创造商业价值。“新 IT”数字基础设施是各行业开展数字化转型工作的重要选择。



来源：公开资料整理

图 21 基于“端-边-云-网-智”的新 IT 架构图

“新 IT”是企业降本增效的核心生产工具。云计算、物联网、边缘计算、人工智能等新一代信息通讯技术的应用促使业务流程持续优化，减少不必要的浪费，企业上下游系统和内部各部门之间的协同性增强，借助系统实现信息共享，极大的降低沟通成本、信息处理成本，提升物流、资金流和信息流的流转效率。人工智能的深度应用使企业朝着无人少人的方向发展，企业持续向自动化、智能化方向发展，生产效率进一步提升，产品质量与稳定性得到保障，人力成本进一步压缩。

“新 IT”是企业打造敏捷化服务的基础。在科技持续赋能业务创新发展的时代背景下，要求科技基础能快速满足敏捷、高效的业务

创新需求和高度灵活、可扩展的开发运维需求。传统技术架构和开发运维模式越来越难以适应未来企业业务的发展要求。以云技术为基础的“新 IT”平台底座，融合微服务、容器化、DevOps 等最新理念，集成了多种开源技术，通过深入分析选型、定制化开发改造，组件式搭建敏捷开发运维平台。为企业用户提供更多个性化、智能化以及定制化的服务，支持业务持续快速创新。同时，利用平台灵活、可靠、通用、便捷的基础服务，发现、沉淀、并复用 IT 能力，简化了平台合作对接，提升了技术、服务、产品的输出能力。

“新 IT”是企业实现“双碳目标”的重要途径。随着以大数据、云计算、人工智能为代表的新一代数字技术，广泛运用于生产、消费、传输、运营、管理、交易等各环节和链条，数字化转型正成为驱动产业绿色低碳改造、实现节能降耗减排的重要引擎，正成为促进能源效率提升、能源结构优化的重要动力，正成为推动企业发展模式绿色低碳转型、实现人与自然和谐共生的重要手段。协同推进数字产业化和产业数字化转型是节能减排的重要方向。据研究表明，在制造行业，对生产线实施数字化、智能化改造，可以提高 30%左右的能效水平；在油气行业，通过运用云计算、大数据等手段进行产业数字化、绿色化改造，能够有效提升能源利用效率，实现“减排不减产，增收不增耗”的可持续发展。

（二）石油石化、电力、离散制造数字化转型技术重点

1. 石油石化行业数字化转型技术重点

（1）云边协同/物联网

针对石油石化企业在油气田生产作业现场、长输管道、油库、炼油厂等多地多环节的生产业务，通过云边协同和物联网相关技术和解决方案，有效建立覆盖井、站、管线的统一数据管控平台和监控网络，支撑设备巡检、管线巡护、场站无人值守、突发事件应急处理等多方面工作开展，实现现场生产数据自动采集、实时监控、远程支持、生产预警和智能分析等，促进业务流程优化和生产管理模式创新，有效提升企业经营管理效率（如图 22 所示）。

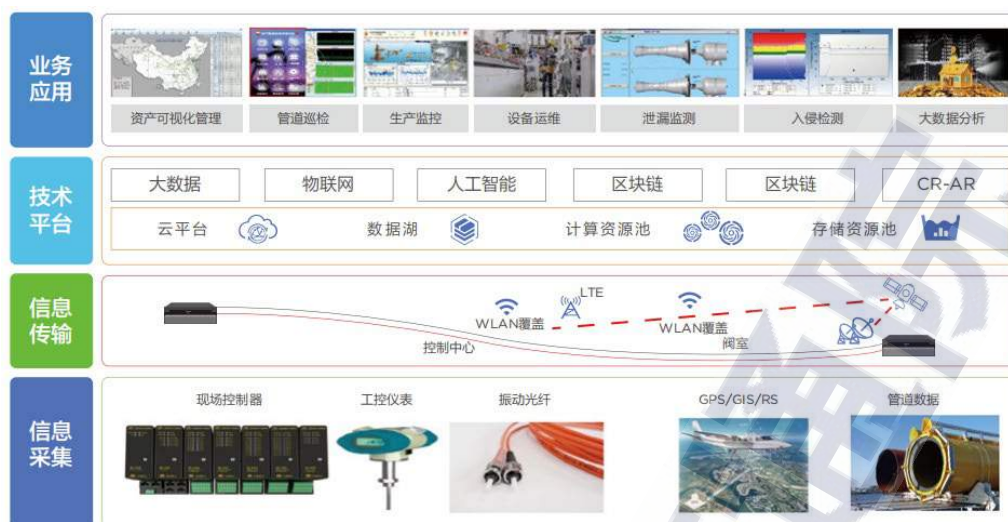


来源：中国信息通信研究院

图 22 云边协同在石油石化场景应用

（2）大数据/人工智能/无人机

油气管道是能源行业的血管，对整个石油石化行业的稳定和发展具有重要意义。目前我国油气管道十数万公里，跨度大、范围广，且部分处于地貌复杂、环境恶劣的地区，传统人工巡检成本高、效率低，受自然和地理条件约束大。通过综合运用大数据、人工智能、物联网、无人机等技术和解决方案，建设智能油气管道巡检平台（如图 23 所示），可以有效提升油气管道的可视化管理、设备运维、生产监控效率，基于大数据分析和人工智能算法模型，可以对管道、设备等进行预测性维护，大大降低生产作业风险。



来源：联想电力行业白皮书

图 23 人工智能、大数据等技术在管网巡检场景的应用

2. 电力行业数字化转型技术重点

(1) 人工智能/物联网/增强现实(AR)

变电站是电力系统中对电压和电流进行变换的场所，是电网的核心枢纽，变电站的安全稳定运行是电网安全生产稳定运行的关键。传统模式中，变电站巡检维护人员通常采用听、嗅、看、测相结合的方式对变电站运行设备进行监视，人员成本高、工作效率低且安全问题无法得到保障。如图 24 所示，依托物联网、人工智能、AR 等技术，结合智能传感器、高清摄像头、红外摄像机、巡检机器人/无人机等感知手段打造变电站智能巡视系统，可以有效提升设备状态感知能力、主动预测预警能力、辅助决策能力和现场管控能力，保障电网设备安全运行，提高巡检工作效率，降低人员成本的同时减少现场巡检可能带来的人身伤害风险。



来源：联想电力行业白皮书

图 24 人工智能、物联网等技术在电力巡检中的应用

（2）云边协同/5G/增强现实(AR)

电力企业仓储管理是物资管理的核心。传统的仓储管理在物资出入库、仓储盘点、货物运输、仓库监控等方面存在人员成本高、自动化率低、货物码放运输准确度不足等问题。通过融合 5G、云边协同、AR 智能眼镜打造的智慧仓储平台，可以为仓储管理人员提供数据采集、数据汇聚、智能分析等方面的能力，提升出库、入库、盘点等环节的准确性和工作效率，提高物流仓储和分拣配送的智能化管理水平（如图 25 所示）。



来源：联想电力行业白皮书

图 25 云边协同、5G 等技术在智慧仓储中的应用

3. 离散制造行业数字化转型技术重点

（1）云计算/人工智能/大数据

基于云计算、人工智能、大数据等技术，打造智能排产云平台，可以将下游的产品需求和上游的原材料供应计划以及库存容量等数据有效关联起来，将生产作业计划转变成柔性、连续的过程，合理安排产能、优化生产计划、提高生产效率，在提高组织内部生产运营效率的同时，有利于增强企业与上下游合作伙伴之间的数据互联互通，实现减少成本、促进成单、准时交付等（如图 26 所示）。



来源：联想智能制造白皮书

图 26 基于云计算、大数据、人工智能的智能排产云平台

（2）边缘计算/物联网

传统离散制造企业多为人力密集型的生产组装方式，对于工人数量、稳定性以及技术水平依赖较大。通过人机结合的方式实现产线自动化是当前时代高度柔性生产线的典型场景：结合物联网和边缘计算的协作机器人可以在柔性产线上和人工操作密切配合，形成更加灵活

的生产方式。如图 27 所示，由人工完成相对复杂、多变且需要体力较轻的工作，由机器人完成重复性的、稳定的、需要重体力的工作，以满足单一工作站和产线对不同品类、工序、标准的生产要求。



来源：联想智能制造白皮书

图 27 边缘计算、物联网技术在产线自动化场景中的应用

五、推进数字化转型的建议举措

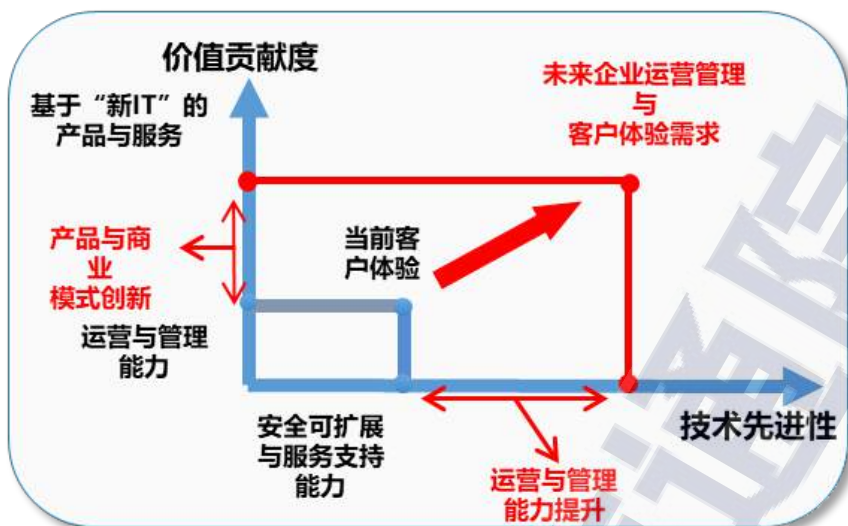
（一）升级政策保障措施，为企业转型保驾护航

在推进石油石化、电力、制造等传统高碳排行业的数字化转型工作中，政府的政策保障和支持力度至关重要。一方面，政府主管部门应统筹现有各类数字化专项政策，进一步加大对传统企业转型的政策支持力度，通过创新资金使用和项目管理方式，充分发挥财政政策引导和资金扶持作用，统筹考虑政府和市场协同，出台推进传统产业数字化的政策举措，培育政策环境。另一方面，政府积极应引导各行业企业进行数字化转型顶层设计，持续推进行业平台系统的搭建。推进新 IT 技术在石油石化、电力、制造等传统领域的深度融合应用，搭建

数字化转型公共基础设施和公共服务平台，形成集“政府部门-平台企业-行业龙头企业-行业协会-中小微企业”一体的跨域、联合推进和业务协同机制。

（二）健全转型标准体系，帮助企业认清能力等级

标准机构、行业协会等组织机构应充分发挥第三方机构的“牵线搭桥”平台作用，联合产业各方共同健全推进企业数字化转型的标准体系。现阶段，相关第三方机构在该方面已经开展相关工作，为指导赋能重点行业企业转型发展发挥了一定的作用。其中，中国信通院联合众多行业龙头企业，推出《企业 IT 数字化能力和运营效果成熟度模型（IOMM）》，以六大能力和六大价值为评判依据，从治理战略、业技融合、平台云智、数据价值、运营生态、风控横贯 6 方面的能力和价值考量企业转型效果。中国计算机用户协会工业互联网与大数据应用分会与钛媒体研究院共同研究推出“新 IT 指数”，采用了独特的二维坐标将企业数字化能力给予准确定位。其中横坐标为“技术先进性”用以评价企业的新 IT 技术水平，纵坐标为“价值贡献度”（如图 28 所示），体现了新 IT 技术对企业发展的真实价值。帮助企业建立数字化的系统观和系统性思考，让企业对自己数字化能力有一个清晰的认知，进而提高数字技术落地的效率，将技术与价值贡献联系起来。



来源：新 IT 指数方法论

图 28 新 IT 指数（价值贡献度/技术先进性）二维方法论

（三）沉淀成功转型经验，打造平台经济赋能产业

企业在开展自身数字化转型工作中，应注重自身能力的沉淀，积极对外赋能，助力各行业转型发展。随着数字化转型的持续深入开展，数字原生程度高的企业在转型过程中走在了前列，经济全球化的世界对于企业来讲很难做到独善其身，企业在对外赋能的过程也是检验企业产品方案和自身能力的过程，这对转型者和赋能者企业来说是双赢的结果。因此，各行业企业在通过将“新 IT”技术与生产经营关键环节深度融合，实现自身的数字化、智能化转型升级的同时，将自身成功经验进行梳理沉淀，推进企业级数字基础设施能力和业务服务的整合与共享开放，建立跨界融合的数字化生态，赋能产业链上下游的生态合作伙伴共同打造数智化转型发展的新模式。

（四）坚持绿色低碳发展，助力“双碳目标”达成

产业各方坚持生态优先、绿色低碳的高质量发展，是实现“双碳”

目标和绿色转型的必经之路。保护生态环境就是保护生产力，改善生态环境就是发展生产力。实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，需要产业各方力量的共同努力，石油石化、电力、制造等传统行业，以及云计算、大数据、人工智能等“新 IT”服务商等各方力量的参与都是必不可少的一环。产业各方在开展自身转型工作，以及对外输出服务能力赋能上下游产业链开展转型升级的过程中，应该持续秉承“绿水青山就是金山银山”的理念，坚持走绿色可持续发展之路，以创新为驱动，为实现我国“碳达峰、碳中和”目标，满足人民日益增长的优美生态环境的需要做出积极表率作用。

附录：重点行业数字化转型典型案例

（一）石油石化行业案例

1. 企业概述

中石化石油工程建设有限公司（以下简称石工建）是中国石化集团公司的全资子公司，全权负责新气智能化管道的建设和应用。在双碳目标和数字化技术的驱动下，石工建积极结合自身的行业优势，深度应用云计算、大数据、物联网等数字化技术，在管道工程数字化上进行一系列建设。

2. 数字化转型业务挑战

石工建的信息化建设由于受自然条件、历史、经济、管理等相关因素影响，在实际运行和应用过程中仍然存在很多痛点难点，主要表现在以下几个方面：**首先**，长输管道生产运营过程中仍存在隐患，管道工程的生产运营安全中的数字化技术应用大多数还是点状，仍有很大的优化空间。**其次**，石工建的管理层面存在痛点。上游企业的管理模式目前还是条块式的管理，而且管理制度形成的数据孤岛、烟囱问题很明显。**此外**，石工建缺乏复合型人才，如 ICT+OT 技术融合人才。

3. 数字化转型解决方案

（1）油气管道工程建设

石工建与联想开展相关合作，依托联想大数据、物联网、人工智能等技术平台建立了智能化管道，实现“油气流、信息流”的一体化融合（如图 29 所示）。



来源：联想石油石化行业白皮书

图 29 智能化（油气）管道业务场景

加强管道焊接质量，利用数字化技术对焊接过程实时检测。石工建与联想通过合作工业数据采集方案，如图 30 所示，建立了半自动焊机数据采集终端和中石化管理焊接的管理平台，实现焊接数据的自动采集和一体化管理。



来源：中国信息通信研究院

图 30 工业数据采集方案流程

4.数字化转型价值

（1）智能化（油气）管道

智能化（油气）管道解决方案的应用给石油工程建设公司带来了四个方面的优势，如图 31 所示，第一，石油工程建设公司对先进技术应用更加广泛。第二，长输管道的安全管控能力更可靠。第三，长输管道整体的智能化水平更出众。第四，长输管道工程的生产运营效率更加高效。



来源：中国信息通信研究院

图 31 智能化（油气）管道方案四大优势

（2）半自动焊机焊接智能管理系统

管道焊接质量的保证，对管道工程意义重大。联想 DIBG 为石工建提供的半自动焊机焊接智能管理系统，为传统场景的非智能化设备提供基于物联网的智能化改造服务，实现业务智能化的升级。焊接智能管理系统给石工建带来的效益具体以下 4 个方面：

焊机适应性强，通过对各类焊机进行充分兼容，可满足复杂工况数据采集需求，可通过 WIFI、4G 等方式进行数据传输，满足多用户、多场景需要。**焊接数据全面**，该系统可以实时监测焊接质量相关的重

要参数，有效解决了工程建设现场缺少有效实时监控手段的难题，实现了焊接主要工艺参数及焊接轨迹的全过程实时采集。**焊接数据智能化应用方面**，该系统能够利用人工智能技术实时监测焊接数据，能够根据工艺进行焊接预警/报警，提高管道焊接质量及其可追溯性。**降本增效绿色发展方面**，该系统可以节省传统管道工程建设后期所需要的管道探伤以及所需要的专业设备和专家费用，为客户节约了大量投资。此系统首批成果转化就带来了 350 万元的产值，并为石油工程建设公司各施工建设单位节省设备投资费用近 200 万，在提质增效的同时，降低生产环节能耗，为石油工程建设公司实现绿色低碳发展助力。

（二）电力行业案例

1. 企业概述

国家电网有限公司（简称国家电网）作为中国最大的电网企业，承担着保障安全、经济、清洁、可持续电力供应的基本使命。国家电网在 2021 年互联网专业工作会议明确提出要大力推动全业务、全环节数字化转型，全面支撑能源互联网企业建设。**国家电网战略目标落地实施，重要的内容是推动电网智能化升级和公司数字化转型。**

2. 数字化转型业务挑战

目前，国家电网的数字化建设有着良好的机遇，也面临着诸多挑战。**一方面**，国家电网的电厂信息化建设难以满足电厂日益增长的安全生产和经济效益提高的需求，电厂须进行智慧升级。目前电厂安全管控方面存在系统资源共享不足、业务应用效果不佳、视频应用不够先进等问题。**另一方面**，国家电网电厂的生产安全问题也是其数字化

转型的难点。国家电网认识到电厂在提升工厂管控需求、工厂应用效能、工厂智能水平的道路上还有很长一段路要走。除此之外，国家电网作为能源行业的主力，有来自“双碳”目标的压力。在践行“双碳”战略的目标驱动下，国家电网迫切希望解决二氧化碳排放问题以实现节能减排。

3.数字化转型解决方案

（1）电厂实景智能管理平台

对于国家电网电厂发展的需求，联想推进电厂实景智能管理平台的落地建设，通过构建实景式、网格化立体防控系统，实现在统一门户下完成厂区重点区域的安保防控。

（2）配电房智能监控解决方案

国家电网通过使用联想提供的以配电房为中心、以电力物联网为手段的配电房智能监控解决方案（如图 32 所示）。智能监控提升了配电站管控效率与准度，消除了配电环节的安全隐患，降低了能耗，对实现绿色低碳发展具有积极的促进作用。



来源：联想电力行业白皮书

图 32 配电房智能监控解决方案

4.数字化转型价值

国家电网将加快数字化转型进程，整合资源、消除孤岛、挖掘数据价值、开展综合能源服务作为数字化转型的战略重点。

（1）联想电厂实景智能管理平台

联想电厂实景智能管理平台的建设，为国家电网的电厂带来了多方面的效益。直观性上，联想电厂实景智能管理平台是最自然、全景式、实体化、融合的视频实景应用，它能够真实地描述和反映厂区相关信息，可满足不同用户需求。同步性上，联想电厂实景智能管理平台能够对厂区的生产状态、生产环境等信息都进行查询，实现同步运行。精准性上，联想电厂实景智能管理平台可以提供精确的实体、位置和层级描述，提供准确的全景展示。智能性上，此平台可以实现各类业务系统集成，为厂区安保管理和生产运营管理提供联动应用，

达到信息的充分共享。

（2）配电房智能监控

配电房智能监控解决方案不仅解决了国家电网的安全生产问题，还让配电环节更加高效。安全性方面，此方案通过连续热监测、绝缘监测、断路器设置监控等功能，可以及时发现安全隐患，保护人员和财产安全。可靠性方面，此方案可以实现配电监控与报警、电源事件分析、电能质量监测、容量管理等功能，其中一些功能之前是人工处理，现在的智能化优化了业务的连续性所以相对于人工更加精准、及时、可靠。高效性方面，此方案可以配置和调测效率、对能源使用进行分析、对运营成本进行优化，最大化提高运营和部署效率，有效降低配电调配、监报告警环节的能耗，对实现绿色低碳发展具有积极的促进作用。

（三）离散制造行业案例

1. 桐昆集团案例介绍

（1）企业概述

桐昆集团股份有限公司是一家以 PTA、聚酯和涤纶纤维制造为主业的大型股份制上市企业。作为化纤行业的龙头企业，桐昆集团按照“全局可视、全局可析、全局智能”的数字化转型三步走战略，在全公司范围内开展数字化转型，建设了多家智慧工厂，目前已经取得第一阶段“全局可视”的成果。

（2）数字化转型业务挑战

桐昆集团在数字化转型过程中面临诸多的业务挑战，主要包括以下三个方面：**第一，信息化为点状化，缺乏统一架构。**桐昆集团作为化纤行业中规模最大的企业，数字化转型也是最大、最彻底的，但依旧缺乏统一架构平台。**第二，数据采集效率低，数据积累程度欠缺。**桐昆集团的数据报表部分是依靠人工进行数据填写与整理，导致效率不足。**第三，企业对数字化理解欠缺，内部人员数字化思维仍停留在信息化。**桐昆企业员工以及管理者对数字化认识程度和深度不一样。

（3）数字化转型解决方案

桐昆将数字化转型整体分为实现企业的全局可视、各业务链条全局可析、全局智能三个阶段，每个阶段都针对性的完成解决数字化转型的痛点难点，使得企业朝着数字化方向发展。其中，第一阶段通过建设**数字化平台实现生产制造和经营管理的全局可视**。联想为桐昆集团构建集团级数智运营中心平台，通过数字化方式展示企业生产制造和经营管理各个环节的实时情况，达到监控、预警和及时处理的管理目标，该平台也因此被列为省级重点平台项目。

（4）数字化转型价值

1) 智慧工厂

智慧工厂的建设为桐昆集团带来了巨大的效益。桐昆集团投资 4 亿元打造了恒邦二期智慧工厂，其工厂年生产能力为 20 吨。其新产品研发周期较其他厂区缩短 15%，工厂的库存周转率提高 30%，能源利用率提高 7%，关键工序数控化率达到 80%，有力推进桐昆集团绿色低碳转型。

2) 数智运营中心平台

数智运营中心平台的成立给桐昆的生产制造和经营管理带来了巨大的变革，主要体现在三个方面。一是实现全域数据采集，此平台在桐昆集团的主工艺流程 971 条产线和 21 家分工厂车间都建设了相应的数据平台进行数据收集。二是打造数智运营中心，如图 33 所示，此平台的建设基于使能技术新架构设计，并且它是一个面向未来的高可扩展平台和统一企业级数据资产平台。三是实现全局可视，此平台实现了对桐昆集团生产制造和经营管理的全局可视化，通过车间运营看板、厂端监控看板、职能线看板、集团集中监控中心大屏等对生产流程和企业管理进行实时监测。数智运营中心平台的建设，大幅度降低管理运营环节的技术、人员成本，有效提高全范围工厂车间的管控运行效率，降低能耗，为节能减排、践行低碳发展目标打好基础。



来源：中国信息通信研究院

图 33 桐昆数智运营中心

2. 联想智能制造案例介绍

（1）企业概述

联想集团作为全球规模巨大的智能设备制造商，始终以智能制造为核心，通过推进供应链交付智能化、工厂智能化和物流智能化，构建高效的供应链体系（如图 34 所示）。联想基于自身在相关领域的实践和认知总结，提炼总结出指导制造智能化转型的体系框架，为行业赋能转型，完成对于整个智能制造体系生态圈的转型。



来源：联想智能制造白皮书

图 34 联想智能制造体系框架

（2）数字化转型业务挑战

联想智能制造水平在国内处在领先的水平，但在智能制造整体流程中仍有很多数字化转型的痛点难点。在生产运营方面，由于用户需求与市场变化给生产运营带来成本、供应、安全等多方面的压力。在市场预测方面，市场预测准确度是复杂业务场景供应链管理的关键环节，企业如何提高预测准确率，始终是供应链管理中的关键命题。在

产品制造方面，制造过程复杂带来众多质量问题，同时考验生产线的柔性制造能力。在仓储物流管理方面，单个客户订单数量向小批量方向发展，由此带来仓储压力和物流管理的难度变大。

（3）数字化转型解决方案

1) 生产运营

联想大力推进生产过程的数字化和智能化,形成了生产过程自动化解决方案,数字孪生解决方案, MES 生产系统解决方案, LCD 自动检测方案, 生产归因分析解决方案等可在业界进行推广的解决方案,有效解决用户需求与市场变化给生产运营带来成本、供应、安全等多方面的问题。

2) 市场预测

联想集团在多年的 IT 建设中,积累了良好的数据基础,产品团队通过建立智能预测模型,如图 35 所示,可基于各个维度统计展示预测数据,同时它提供灵活配置,可以及时根据实际市场行为和业务部门反馈升级模型。此外该系统部署在联想自有大数据平台,可以灵活扩展,高效计算,并保障数据的安全性和可靠性。

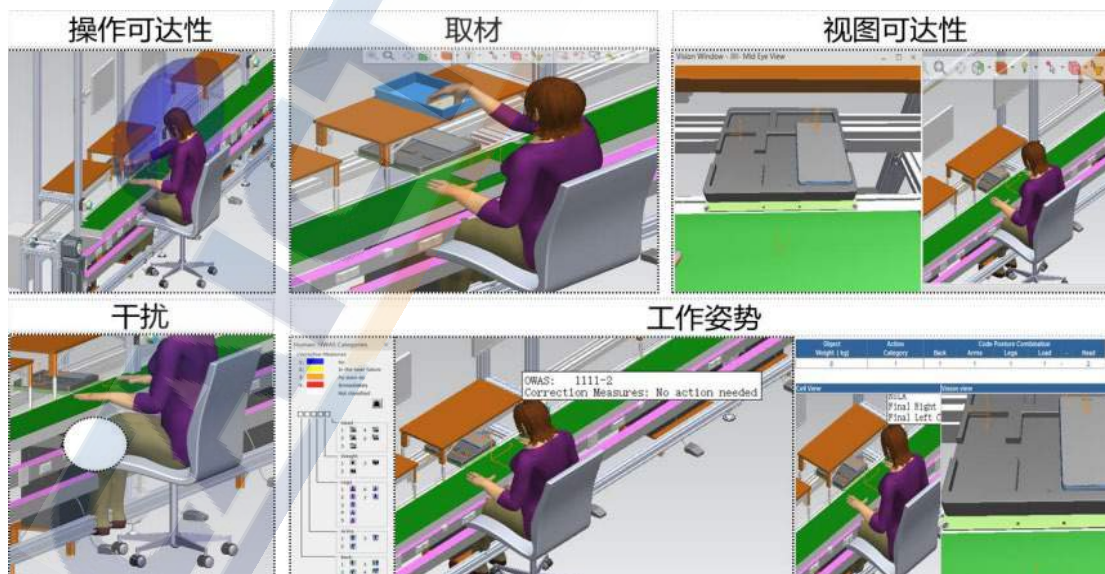


来源：联想智能制造白皮书

图 35 联想智能预测模型

3) 产品制造

如图 36 所示，为了应对产品制作过程复杂和客户对产品需求提高等问题，联想制作了仿真软件资源库以及自带脚本语言，可以模拟实现各种复杂的生产系统和控制策略，不需要实体产线的投入即可对系统和策略进行评估。



来源：联想智能制造白皮书

图 36 人机仿真实例

4) 仓储物流管理

联想针对仓储物流问题开发了基于物联网硬件设备为基础以及仓储物流管理系统为工具的多个智能仓储和物流解决方案（如图 37 所示）。通过联想仓储及物流云平台，提供更科学的智能决策推进业务变革，辅以 AR/VR 技术给客户的全物流过程的多感官与多模式体验。



来源：联想智能制造白皮书

图 37 联想仓储物流体系全景图

5) 绿色低碳供应链

联想通过“绿色生产+供应商管理+绿色物流+绿色回收+绿色包装”等五个维度和一个“绿色信息披露（展示）平台”来打造公司绿色供应链体系，为实现双碳目标作出巨大努力。

（4）数字化转型价值

在互联互通方面，联想利用工业物联网技术对主板产线进行实时联网监控，在网上实现及时预警和处理设备故障，并根据生产状况进

行自动补料。在柔性制造方面，联想在台式机生产基地惠阳工厂实现了柔性制造的应用，通过打造自动化工艺为主的柔性线体，实现产能提升。在虚实结合方面，通过虚实结合将数字仿真落地的数字孪生技术，提高设计质量，降低新设备投入失败的风险。在闭环质量管理方面，联想将闭环质量能力运用在联宝工厂，实现了提前 24 小时精准预测货物到港信息，自动生成检验报告以及闭环联动管理，减少了来料检验的时间，入库效率提升了 50%，检验人员缩减了 20%。在智能决策方面，联想自主开发智能排产系统，利用大数据和人工智能的技术，基于多维度绩效优化得出最优化排产结果，排产时间由原来的 9 小时缩短到现在的不到 1 小时。在产品环节，联想设计了竹浆纤维包材，新型竹浆纤维和自锁底纸箱结构包装，带来了显著的经济及环保效益。在制造环节，联想探索绿色制造工艺，实现了低温锡膏的应用，将印刷电路板组装工艺的能耗和碳排放量减少 35%。在采购环节，联想供应链致力于向上游供应商推广低碳转型的理念，鼓励供应商们制定自己的科学减排计划（SBTi），为社会早日完成双碳目标贡献一份力。

中国信息通信研究院 云计算与大数据研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300557

传真：010-62300557

网址：www.caict.ac.cn

