

赛迪研究院工业互联网系列白皮书之一

工业互联网平台赋能 重点行业数字化转型方法论白皮书

编写单位：中国电子信息产业发展研究院
信息化与软件产业研究所

2020年4月发布

编写人员

吴志刚

姚磊

袁晓庆

宋颖昌

张朝

徐靖

孙刚

管桐

王刚

前 言

一、白皮书编写背景

当前，以数字化、网络化、智能化为本质特征的第四次工业革命正在兴起。工业互联网作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物，通过对人、机、物的全面互联，构建起全要素、全产业链、全价值链全面连接的新型生产制造和服务体系，是数字化转型的实现途径，是实现新旧动能转换的关键力量。

党中央、国务院高度重视工业互联网发展。习近平总书记连续四年对推动工业互联网发展做出重要指示。今年2月21日，中央政治局会议再次强调，要推动工业互联网加快发展。3月4日，中央政治局常委会作出加快新型基础设施建设进度的重要部署。

当前，我国工业互联网建设已从概念界定阶段发展到垂直深耕阶段，如何推动工业互联网在垂直行业落地应用，正成为政府和企业共同关注的焦点问题。2020年3月17日，国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，并指出要依托工业互联网促进传统产业加快上线上云。2020年3月20日，工信部发布了《关于推动工业互联网加快发展的通知》，提出要深化工业互联网行业应用。

为理清不同行业的数字化转型趋势、典型应用场景和落地路径，在对50余家企业进行调研和访谈的基础上，我

们编制了《工业互联网平台赋能重点行业数字化转型方法论白皮书》，旨在为细分行业上云上平台提供一套方法论和整体解决方案，推动企业加速数字化转型步伐。

二、制造业数字化转型方法论参考架构

基于工业互联网平台的制造业数字化转型方法论参考架构包括价值视角、技术视角和业务视角三大视角。制造业数字化转型必须从价值、技术、业务三个视角统筹考虑，其中，价值重构是逻辑起点，技术支撑是工具，业务落地是内核，要以价值重构为主线，坚持技术支撑和业务落地双轮驱动，实现技术和业务双向迭代。

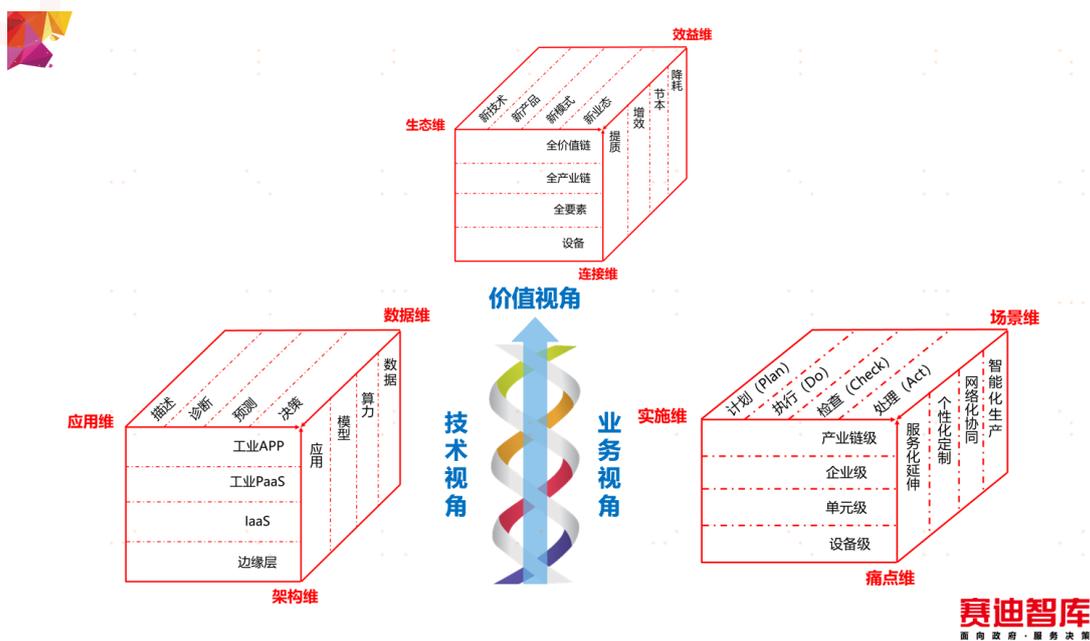


图 制造业数字化转型方法论参考架构

(一) 价值视角

价值视角是工业互联网平台建设的逻辑起点，基于工业互联网平台开展企业数字化转型，首先需要回答工业互

联网平台的价值究竟是什么。从价值视角看，工业互联网平台的本质是通过工业全要素、全价值链和全产业链的连接、解耦和重构，实现对企业成本、质量、效益的优化和新技术、新产品、新模式的培育。

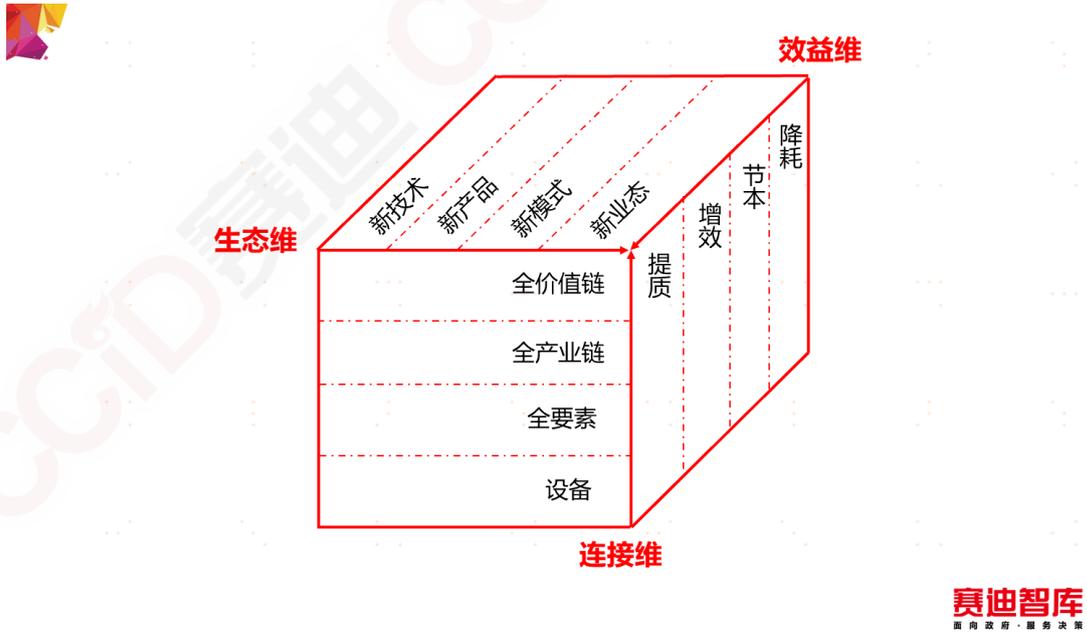


图 制造业数字化转型方法论参考架构：价值视角

（二）技术视角

技术视角是工业互联网平台建设的重要内容，基于工业互联网平台开展企业数字化转型，需要我们回答究竟建设什么样的工业互联网平台。从技术视角看，工业互联网平台包括边缘层、IaaS、工业 PaaS 和工业 APP，本质上是构建“数据+算力+模型+应用”的整体解决方案，提供描述、诊断、预测、决策不同应用深度的服务。

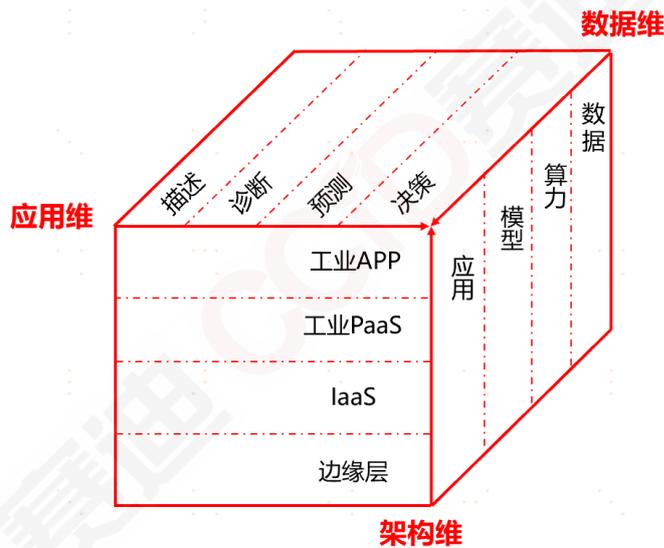
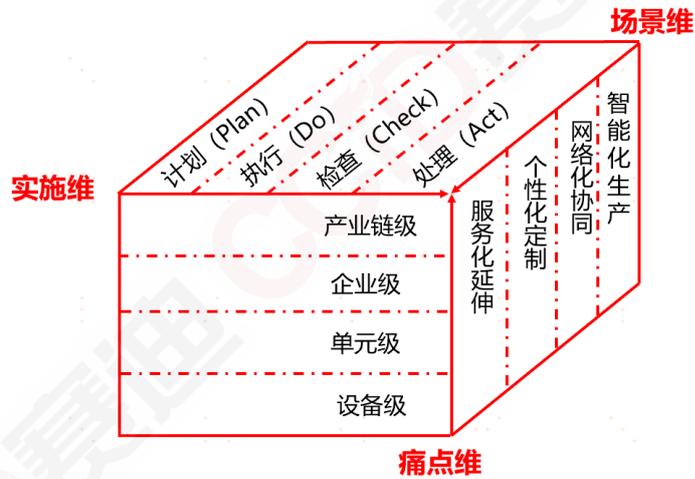


图 制造业数字化转型方法论参考架构：技术视角

（三）业务视角

业务视角是工业互联网平台建设的核心要义，基于工业互联网平台开展企业数字化转型，需要我们回答怎样去运用和落地工业互联网平台，切实解决企业的痛点问题。从业务视角看，工业互联网平台的落地要坚持分业施策、需求牵引、场景驱动，围绕行业数字化转型趋势，从传统行业自身痛点出发，找到传统产业上云上云的牛鼻子，基于“计划（P）—执行（D）—检查（C）—处理（A）”，对智能化生产、网络化协同、个性化定制和服务化延伸等应用场景解决方案进行迭代优化。



赛迪智库
面向政府·服务决策

图 制造业数字化转型方法论参考架构：业务视角

三、制造业数字化转型应用场景全景图

制造业门类众多、差异巨大，数字化转型的重点也各不相同。在对企业进行深入调研的基础上，我们形成了工业互联网平台垂直行业应用场景全景图，系统梳理了不同行业的行业特点、行业痛点、数字化转型趋势、典型应用场景和典型企业。

表 工业互联网平台赋能重点行业数字化转型应用场景全景图

行业	行业特点	行业痛点	数字化转型趋势	典型应用场景	典型企业
钢铁	生产流程长 生产工艺复杂 供应链冗长	设备维护低效化 生产过程黑箱化 下游需求碎片化 环保压力加剧化	设备管理由传统维护 向智能维护转变 生产工艺由黑箱式向 透明化转变 供应链体系由局部协 同向全局协同转变 环保管理由粗放型向 清洁型转变	设备全生命周期管 理 智能化生产 供应链协同 绿色化生产	东方国信、宝 钢集团、优也 信息、南钢集 团、酒钢集团

行业	行业特点	行业痛点	数字化转型趋势	典型应用场景	典型企业
石化	设备价值高 工艺复杂 产业链长 危险性高 环保压力大	设备管理不透明 工艺知识传承难 产业链上下游协同水平不高 安全生产压力大	设备管理从黑箱管理 健康管理转变 知识管理从纸质封存 向模型封存转变 供应链管理从企业内 向企业间协同转变 安全管理从人工巡检 向智能巡检转变	设备健康管理 智能炼化生产 供应链协同 安全监控	中石化燕山石化、中石化镇海炼化、中石化茂名石化、中石油云南石化、中石化九江石化、恒力石化、石化盈科、中油瑞飞
煤炭	工艺流程复杂 风险故障频发 资本设备密集 生产条件多变	生产风险高 设备管理难 物流成本高 环境污染大	煤炭开采由人工为主 向无人开采转变 矿山管理由分布管理 向集团总控转变 煤炭销运由被动排队 向智慧运输转变 生态保护由宏观设计 向精准计量转变	智能安全开采 矿山综合管理 煤炭智慧运输 生态资源保护	华为、神华集团、大同煤矿、山西焦煤、蒙草集团
航空 航天	研发周期长 产品种类多、 规模小 产业链特别长	数据源不统一 模型适配性不足 故障预测水平有待提升	研发设计由串行异构 到并行协同转变 生产制造由以数映物 到数物融合转变 生产管理由单点对接 到动态调整转变 运维服务由定期维护 到视情维护转变	基于MBD的研发设计 基于CPS的智能制造 基于大数据分析的 供应链管理 基于PHM的运营维护	商飞、西飞
船舶	零件数量级大 生命周期长 资本投入大 技术要求高等	接单难 交船难 融资难	研发设计由串行异构 向并行协同转变 生产制造由数字化向 智能化转变 供应链管理由重经验 向重需求转变 盈利模式由卖产品向 卖服务转变	基于三维模型的协同设计 基于CPS的智能制造 供应链协同 服务化延伸	江南造船、黄浦文冲、沪东中华造船、安世亚太、达索、

行业	行业特点	行业痛点	数字化转型趋势	典型应用场景	典型企业
汽车	产品精密复杂 生产工艺复杂 技术门槛高 供应链分散	研发设计周期长 下游需求碎片化 供应链管理困难 售后服务低效化	研发设计由独立分散 向网络协同转变 生产制造由大批量生 产向规模化定制生产 转变 产供销管理由信息孤 岛向全局协同转变 盈利模式由单一销售 向全方位服务转变	研发设计协同 规模化定制生产 产供销协同 服务化延伸	一汽集团、上 汽集团、广汽 集团、北汽集 团、东风汽车、 吉利汽车、长 安汽车
轨道 交通	集约化管理 系统相对封闭 运量大、要求 高	资源调配效率低 下 车辆运维困难 客户需求不断提 高	研发设计数字化 生产制造柔性化 产业链管理一体化 车辆运维智能化	研发仿真 协同制造 产业链管理 设备健康管理	中车四方、中 车株机、中车 浦镇
工程 机械	设备产品多样 化 生产过程离散 化 供应链复杂	资源调配效率低 下 机械设备运维困 难 金融生态不完善	设备维护按需化 备件管理精益化 产融结合在线化 解决方案服务化	设备预测性维护 备品备件管理 智慧施工 互联网金融	卡特彼勒、小 松、日立、徐工 集团、三一重 工、中联重科
家电	技术更新速度 快 产品研发周期 短 产品同质化程 度高	生产智能化水平 低 供应链协同效率 低 行业营收增速放 缓	生产方式由规模化生 产向规模化定制方向 转变 经营方式由生产型经 营向平台型经营转变 盈利模式由卖产品向 卖服务转变	柔性化生产 供应链协同 智能家居解决方案	海尔集团、美 的集团、海信 集团、格力电 器、松下电器

行业	行业特点	行业痛点	数字化转型趋势	典型应用场景	典型企业
电子	产品附加值高 技术迭代快 产品质量要求高	新产品生产周期长 设备管理精度不够 劳动力较为密集	设备管理由粗放管理向健康管理转变 生产制造从劳动密集向人机协同转变 产品质量由人工检测向机器视觉检测转变	设备健康管理 智能化生产 产品质量检测 供应链协同	富士康、腾晖光伏、华星光电、新华三、华为
风电	地理位置偏僻 资本技术密集 发电波动性大	风场设计周期长 设备维护成本高 并网协调效率低 弃风漏风较严重	数据采集由底层互联向全面感知转变 设备维护由人工调试向智能运维转变 风场管理由单场单管向虚拟集成转变	虚拟风场设计 设备预测维护 智慧风场管理 精准柔性供电	金风科技、远景能源、昆仑数据、明阳智能、华能集团

四、白皮书主要内容

本白皮书重点介绍了钢铁、石化、煤炭、航空航天、船舶、汽车、轨道交通、工程机械、家电、电子、风电等 11 个垂直行业的数字化转型路径，涵盖原材料、消费品、电子和其他行业等不同门类。每个细分行业包含行业痛点和数字化转型趋势、典型应用场景、推进应用场景的着力点等三方面内容。

（一）行业痛点和数字化转型趋势

该部分内容主要回答每个细分行业的痛点和数字化转型趋势是什么？不忘初心，方得始终。制造企业开展数字化转型，其根本目的在于提质降本增效，提高企业核心竞争力。本白皮书认真梳理了每个细分行业的痛点问题，确保抓准行业数字化转型的出发点。

(二) 典型应用场景

该部分内容主要回答每个细分行业工业互联网平台应用场景是什么？制造行业，业业不同。制造企业开展数字化转型，需要针对不同行业找准基于工业互联网平台的应用场景，这是工业互联网平台建设和应用推广的重中之重。本白皮书给出了每个细分行业工业互联网平台典型应用场景，确保抓准行业数字化转型的切入点。

(三) 推进应用场景的着力点

该部分内容主要回答每个细分行业落地的整体解决方案是什么？数字转型，重在实施。制造企业开展数字化转型，除了在战略、组织、意识等方面需要转型之外，也需要在实施层面有明确的“施工图”。本白皮书从边缘层、PaaS层、应用层等方面的具体技术细节入手，给出了每个细分行业工业互联网平台落地应用的整体解决方案，确保抓准行业数字化转型的着力点。

目 录

一、钢铁行业	1
1.1 钢铁行业数字化转型趋势分析	1
1.1.1 设备管理由传统维护向智能维护转变	1
1.1.2 生产工艺由黑箱式向透明化转变	2
1.1.3 供应链体系由局部协同向全局协同转变	2
1.1.4 环保管理由粗放型向清洁型转变	2
1.2 钢铁行业工业互联网平台典型应用场景及实践	3
1.2.1 设备全生命周期管理	3
1.2.2 智能化生产	4
1.2.3 供应链协同	5
1.2.4 绿色化生产	6
1.3 推进应用场景落地的着力点	7
1.3.1 聚焦数据流通质量，打造高效边云协同体系	7
1.3.2 围绕工艺流程优化，提高机理模型供给能力	7
1.3.3 坚持行业痛点导向，完善特定场景解决方案	8
1.3.4 重视平台安全防护，建立高度可靠安全系统	8
二、石化行业	10
2.1 石化行业数字化转型趋势分析	10
2.1.1 设备管理：从黑箱管理向健康管理转变	10
2.1.2 知识管理：从纸质封存向模型封存转变	11
2.1.3 供应链管理：从企业内向企业间协同转变	11

2.1.4 安全管理：从人工巡检向智能巡检转变.....	11
2.2 典型应用场景及实践.....	12
2.2.1 设备管理.....	12
2.2.2 炼化生产.....	13
2.2.3 供应链协同.....	13
2.2.4 安全巡检.....	14
2.3 推进应用场景落地的着力点.....	15
2.3.1 加强底层数据分析，促进边云协同.....	15
2.3.1 梳理炼化工艺知识，研发工业模型.....	15
2.3.3 研发行业解决方案，推广典型应用.....	16
三、煤炭行业.....	17
3.1 煤炭产业数字化转型趋势分析.....	17
3.1.1 挖掘开采：由人机并用向无人生产转变.....	17
3.1.2 矿山管理：由人工向虚拟集成转变.....	18
3.1.3 煤炭运输：由被动排队向智慧运输转变.....	18
3.1.4 生态修复：由宏观设计向数据驱动转变.....	18
3.2 煤炭行业工业互联网平台典型应用场景及实践.....	19
3.2.1 智能安全生产.....	19
3.2.2 矿山综合管理.....	20
3.2.3 煤炭智慧运销.....	20
3.2.4 生态资源保护.....	21
3.3 推进应用场景落地的着力点.....	22

3.3.1	加速设备上云，夯实数据采集基础	22
3.3.2	聚焦产业协同，强化重点模型积累	22
3.3.3	加强攻关突破，优化解决方案供给	22
3.3.4	注重绿色安全，树立煤炭智能品牌	23
四、	航空航天行业	24
4.1	航空航天行业数字化转型趋势	24
4.1.1	研发设计由串行异构向并行协同转变	24
4.1.2	生产制造由以数映物向数物融合转变	25
4.1.3	生产管理由单点对接向动态调整转变	25
4.1.4	运维服务由定期维护向视情维护转变	25
4.2	航空航天行业工业互联网典型应用场景及实践	26
4.2.1	基于 MBD 的研发设计	26
4.2.2	基于 CPS（赛博物理系统）的智能制造	26
4.2.3	基于大数据分析的供应链管理	27
4.2.4	基于 PHM 的运营维护	28
4.3	推进应用场景落地的着力点	28
4.3.1	统一技术架构接口规范，保障数据融通	28
4.3.2	突破全生命周期机理模型，推动数物融合	29
4.3.3	构建多层次体系化平台，实现数据分级分类	29
五、	船舶行业	31
5.1	船舶行业数字化转型趋势分析	31
5.1.1	研发设计由独立设计向无缝设计转变	31

5.1.2	生产制造由数字化向智能化转变	31
5.1.3	供应链管理由重经验向重需求转变	32
5.1.4	发展模式由卖产品向卖配套服务转变	32
5.2	船舶行业工业互联网平台典型应用场景及实践	33
5.2.1	基于三维模型的协同设计	33
5.2.2	基于 CPS 的智能制造	34
5.2.3	供应链协同	36
5.2.4	服务化延伸	37
5.3	推进应用场景落地的着力点	37
5.3.1	夯实技术基础，建设数据流动快车道	37
5.3.2	推动边云协同，打通生产现场数据瓶颈	38
5.3.2	优化供应链配套，提高上下游信息共享水平	38
六、	汽车行业	39
6.1	汽车行业数字化转型趋势分析	39
6.1.1	研发设计由独立分散向网络协同转变	39
6.1.2	生产制造由批量生产向规模化定制生产转变	40
6.1.3	产供销管理由信息孤岛向全局协同转变	40
6.1.4	盈利模式由单一销售向全方位服务转变	40
6.2	汽车行业工业互联网平台典型应用场景及实践	41
6.2.1	研发设计协同	41
6.2.2	规模化定制生产	41
6.2.3	产供销协同	43

6.2.4 服务化延伸	43
6.3 推进应用场景落地的着力点	44
6.3.1 深化数据应用，完善数据流通体系	44
6.3.2 聚焦生产过程，强化机理模型供给	45
6.3.3 围绕行业痛点，推广解决方案普及	45
七、轨道交通行业	47
7.1 轨道交通行业数字化转型趋势分析	47
7.1.1 研发设计从实验验证向平台仿真转变	47
7.1.2 生产制造从大批量向柔性化转变	47
7.1.3 业务管理从以人为主向精益化转变	48
7.1.4 设备运维从定时维修向按需维修转变	48
7.2 工程机械行业工业互联网平台应用场景及实践	49
7.2.1 虚拟仿真	49
7.2.2 协同制造	49
7.2.3 产业链管理	50
7.2.4 设备健康管理	51
7.3 推进应用场景落地的着力点	51
7.3.1 进行生产车间改造，提高生产效率	52
7.3.2 开发智能业务系统，增强管理水平	52
7.3.3 提供车辆远程运维，确保运行安全	52
八、工程机械行业	54
8.1 工程机械行业数字化转型趋势分析	54

8.1.1	设备维护按需化	54
8.1.2	备件管理精益化	55
8.1.3	产融结合在线化	55
8.1.4	解决方案服务化	55
8.2	工程机械行业工业互联网平台应用场景及实践.....	56
8.2.1	设备预测性维护	56
8.2.2	备品备件管理	56
8.2.3	智慧施工	57
8.2.4	互联网金融	58
8.3	推进应用场景落地的着力点	59
8.3.1	关注数据采集，扩展信息获取渠道.....	59
8.3.2	紧扣模型开发，提高模型供给能力	59
8.3.3	聚焦解决方案，开发推广典型应用	59
8.3.4	深化服务能力，加强企业综合实力.....	60
8.3.5	拓展商业模式，加快数字转型步伐.....	60
九、	家电行业	61
9.1	家电行业数字化转型趋势分析	61
9.1.1	生产定制化	61
9.1.2	经营平台化	61
9.1.3	产品服务化	62
9.2	家电行业工业互联网平台典型应用场景及实践.....	62
9.2.1	柔性化生产	62

9.2.2 供应链协同	63
9.2.3 智能家居解决方案	64
9.3 推进应用场景落地的着力点	65
9.3.1 构建规模化定制生产能力，抢占用户数据主导权	65
9.3.2 构建平台化组织管理能力，整合供应链上下游资源	65
9.3.3 构建基于平台的产品生态，内生外延打造系统解决方案	66
十、电子信息行业	67
10.1 电子行业数字化转型趋势分析	67
10.1.1 设备管理从粗放管理向精密管控转变	67
10.1.2 制造生产从手工组装向人机协同转变	68
10.1.3 质量检测从人工检测向智能检测转变	68
10.2 电子行业工业互联网平台典型应用场景及实践	69
10.2.1 设备智能管控	69
10.2.2 研发生产管理优化	69
10.2.3 产品质量检测	70
10.2.4 供应链协同	71
10.3 推进应用场景落地的着力点	72
10.3.1 聚焦边缘数据，打造高效边云协同体系	72
10.3.2 聚焦模型开发，强化机理模型供给能力	72

10.3.3 聚焦应用场景，深化解决方案应用推广	72
十一、风电行业	74
11.1 风电行业数字化转型趋势分析	74
11.1.1 数据采集：由底层互联向全面感知转变	74
11.1.2 设备维护：由人工调试向智能运维转变	75
11.1.3 风场管理：由单场单管向虚拟集成转变	75
11.2 风电行业工业互联网平台典型应用场景及实践	76
11.2.1 虚拟风场设计	76
11.2.2 设备预测维护	76
11.2.2 风场管理优化	77
11.3 推进应用场景落地的着力点	78
11.3.1 关注底层数据采集，加速设备上云上链	78
11.3.2 夯实模型构建基础，强化重点模型培育	78
11.3.3 聚焦重点应用场景，深化解决方案应用	79
11.3.4 提升产业协同水平，加快服务模式创新	79
11.3.5 加强数据安全管控，筑牢网络安全防线	79

一、钢铁行业

钢铁行业作为我国重要的原材料流程制造行业，具备生产流程长、生产工艺复杂、供应链冗长等典型特征，当今正面临设备维护成本高、工业知识隐形程度高、下游需求日益个性化、环保压力增大等挑战，亟需围绕设备管理、生产管控、供应链管理、环保管理等方面开展数字化转型。连接全要素、全产业链、全价值链的工业互联网，正是钢铁行业进行数字化转型的首选路径，但是在落地应用中存在诸多问题。基于此，研究工业互联网平台如何在钢铁行业中规模化落地具有重要意义，有利于推动我国钢铁行业关键生产设备管理、生产工艺全过程管控、全产业链协同以及能耗管理向数字化、网络化、智能化转型升级，深化钢铁行业供给侧结构性改革，开创钢铁行业高质量发展新局面，实现从钢铁大国向钢铁强国的转变。

1.1 钢铁行业数字化转型趋势分析

1.1.1 设备管理由传统维护向智能维护转变

钢铁企业通常部署有高炉等众多高价值设备，以往只能采取事后维护或者基于主观经验判断和固定失效周期的定期维护，很难准确识别设备故障并维修，容易造成产线停滞和生产安全等重大问题。随着智能传感器和通信技术的兴起，实时监测高炉等设备的温度、压力、流量等各种工况数据成为了现实，基于此可实现设备故障的自感知、自分析和自决

策，做好设备的预测性维护，减少维护成本，提高设备的可靠性，并保障生产的通畅运转。

1.1.2 生产工艺由黑箱式向透明化转变

钢铁行业是典型的长流程行业，生产环节众多，生产工艺复杂，对工艺知识的依赖程度很高。很长一段时间，钢铁企业的冶炼工艺、冶炼配方、设备维护、经营管理等环节的正常运转，只能依靠隐形程度很高的人工经验，容易造成工人技术水平参差不齐和产品质量波动。随着信息技术在钢铁企业的深度渗透，隐形的生产经验被挖掘、提炼，并封装显性化软件模型，实现生产工艺透明化，更有效指导实际生产，提高生产效率和水平。

1.1.3 供应链体系由局部协同向全局协同转变

库存一直是钢铁行业的一大管理痛点，主要源于对上下游产业的信息盲区，并且家电、汽车等下游产业对钢材的需求日益个性化，加大了作出科学高效采销决策的难度。钢铁行业传统的供应链只能靠契约合同保障，信息孤岛化问题突出，物料信息难以在供应链中实现跨环节的自由流通，大大增加了企业运营成本。钢铁企业可将 ERP、SCM 等信息系统集成用于供应链整合，构建上下游信息流通渠道，结合产品需求、原料供给和产能配置，及时调整生产计划，提高产能利用率，减少库存积压，保障订单稳定到期兑现。

1.1.4 环保管理由粗放型向清洁型转变

作为我国支柱产业的钢铁行业也是高耗能、高污染、高排放的代表性行业，在国家大力治理环境污染时，行业面临的环保成本急剧上升。钢铁行业急需转变发展理念，重视环保管理水平提升，加快由以前单纯追求产量扩张的粗放型生产方式向追求优质低碳的清洁型生产方式转变。而物联网、大数据、人工智能等数字技术的出现，可以帮助钢铁企业实时采集、监测、分析各生产环节的能耗和排污情况，集中企业资源对重点环节进行工艺优化或设备升级，提高企业清洁型发展水平。

1.2 钢铁行业工业互联网平台典型应用场景及实践

1.2.1 设备全生命周期管理

钢铁行业工业互联网平台可实时采集高炉等高价值设备的运行数据，结合设备故障诊断模型，自动预警设备故障并确定最优设备维护方案，实现设备预测性维护。一是**设备状态监测**。钢铁企业通过工业互联网平台实时采集高炉等设备工作温度、工作环境和应力分布等状态数据，并做可视化处理，增强设备状态监测的可靠程度。二是**设备故障诊断**。综合利用采集的设备数据，结合设备故障诊断模型，对设备故障进行分析和预警，避免设备故障引发的生产停滞和安全问题。三是**设备维护仿真**。根据设备故障位置和重要性，利用工业互联网平台在赛博空间中仿真模拟维护方案，并选出可靠的维护方案，保障企业正常生产。四是**设备创新设计**。

将高炉等生产设备运行监测数据反馈至设备生产商，结合性能需求和应用环境，全方位模拟设备运行状态，确定最佳设备生产方案，形成良性的设备迭代优化闭环。

例如，宝钢集团面向钢铁行业设备远程运维建立了工业互联网平台，促进了设备维修实现从被动处理到主动管控、从单一数据专项分析到大数据综合分析、从基于经验的预防性维修到基于数据的预测性维修、从单纯反馈设备状态到提供整体解决方案的四个转变，为企业带来了显著经济效益，使设备运维成本降低5%以上、检修作业效率提升10%以上、设备整体效率提升5%以上、备件使用效率提升10%，并每年为企业带来基于平台增加的社会市场技术服务费约2000万元以上。

1.2.2 智能化生产

钢铁行业工业互联网平台可将生产工艺、生产过程管控、产品质量管理等领域涉及的工业知识显性化为工业机理模型，结合实际采集数据，实现智能化生产。一是**生产工艺优化**。工业互联网平台可应用人工智能技术等先进技术，在赛博空间对钢铁的工艺配方、工艺流程等方面进行全方位、超逼真的模拟仿真，得到产品最佳生产工艺方案，缩短产品上市周期。二是**生产过程管控**。工业互联网平台可将生产过程中涉及的工艺知识、工业经验等技术要素封装化并显性化为可调用的机理模型，结合采集的设备、环境、材料等参数，

确定最优加工计划，提升生产效率。三是**产品质量管控**。通过在工业互联网平台部署生产质量分析模型，可采用机器视觉等技术，采集和分析产品全过程质量数据，持续迭代优化闭环控制体系，实现全流程产品质量跟踪及自动控制，提升产品质量控制精度。

例如，东方国信利用在机理模型和大数据分析领域积累的技术优势，开发了适用于炼铁行业的工业互联网平台，在工艺优化、生产管控和质量管理等环节为钢铁企业实现了降本增效的经济目标。酒钢集团在实施炼铁平台之后，铁水质量稳定性提高了 20%，单座高炉每年降低了成本 2400 万元，冶炼效率提升了 10%。

1.2.3 供应链协同

钢铁行业工业互联网平台可汇聚整理产业链物料信息和产能信息，结合下游实际需求和企业生产能力，制定科学的生产计划，满足零库存运营要求，实现供应链协同。一是**产业链物料流通协同**。通过工业互联网平台可与上下游企业建立互通互联的数据通道，动态监测上游原材料供给情况，辅助原材料采购决策；搜集整理下游企业订单和产品定制信息，自动生成生产计划，对产品进行个性化加工和精准化配送。二是**社会范围生产能力协同**。通过工业互联网平台整理订单信息和其他钢铁企业的基本信息，动态匹配产品性能要求和钢厂的生产工艺水平，通过订单共享实现产能共享，提

高钢铁行业产能利用率。

例如，南京钢铁积极适应下游个性化需求，通过构建面向供应链管理的制造云平台，提供“JIT+C2M模型的定制服务”，寻找“个性化定制”和“大规模生产”之间的最佳平衡点，使企业设计成材率提高 0.15%、每吨产品附加值提升近百元、整票合同兑现率提升至 98.94%、用户满意度提升至 94.26%。

1.2.4 绿色化生产

钢铁行业的能耗和环保问题日益突出，钢铁企业可采集各生产环节的能源消耗和污染物排放数据，找出问题严重的环节，并进行工艺优化和设备升级，降低能耗成本和环保成本，实现清洁低碳的绿色化生产。**一是节能降耗。**贯穿钢铁企业整个生产过程的工业互联网平台，通过建设能源管控中心，实现能源生产、能源消耗数据的自动实时采集、集中监视，并基于数据进行能源智能管理、能源供需平衡、能源预测优化，生成高效的能源利用方案，减少能耗成本。**二是治污减排。**钢铁企业可在各工艺设备的排污口设置智能监测传感器，将实时采集的排污数据传输至工业互联网平台，综合分析钢铁企业生产过程中的有毒有害物质的排放情况，确定工艺优化和设备升级方案，减少对生态环境的污染和破坏。

例如，酒钢集团是我国西部最大的钢铁联合企业，其原燃料主要依赖自产，原燃料质量差并且质量波动幅度大，高

炉类型多样化，因反应器“黑箱”特性，其能耗成本和环保成本一直居高不下。在实施了东方国信炼铁平台后，酒钢集团单座高炉每年减少碳排放 20000 吨。东方国信预期整个钢铁行业推行 Cloudiip 平台后，每年将为我国钢铁行业降低 100 亿元成本和 1000 万吨碳排放。

1.3 推进应用场景落地的着力点

1.3.1 聚焦数据流通质量，打造高效边云协同体系

一是增设智能传感器，通过在设备、车间等区域部署热成像仪、压力传感器、振动传感器、轨迹识别传感器等具备边缘计算能力的智能终端，提前过滤无用的冗余数据，精准采集数据。二是完善数据解析体系，面向钢铁企业中的关系数据、时序数据、文档数据、地理空间数据等海量异构数据，建立高效的数据解析体系，统一数据格式，实现数据跨领域流通。三是建立大数据共享中心，在云端汇聚设备、生产、供应链等数据资源，根据实际业务需求，通过跨领域数据的互相调用，激发数据资产活力，以数据的全局自由流动带动资源配置的全局优化。

1.3.2 围绕工艺流程优化，提高机理模型供给能力

一是围绕设备管理，开发钢铁行业设备状态监测类模型、设备故障分析类模型、设备维护类模型等，提高设备资产管理水平。二是围绕产线管理，开发钢铁行业物料管理类模型、质量管控类模型、生产工艺优化类模型、生产配方优化类模

型、全流程排程优化模型、节能降耗类模型等，优化生产过程管控能力。三是围绕企业经营管理，开发钢铁行业供应链管理模型、订单管理模型、财务管理模型等，构建高效供应链协同体系。四是开发模型综合管理平台，汇聚机理模型资源，实现模型的标签化管理、智能化搜索和精准化调用。

1.3.3 坚持行业痛点导向，完善特定场景解决方案

一是围绕设备全生命周期管理，梳理钢铁行业各机械设备在状态监测、故障分析、维护作业等环节的痛点，针对特定问题，综合调用机理模型，形成特定设备专用预测性维护方案。二是围绕智能化生产，挖掘钢铁行业在工艺设计、流程排程、质量管理等环节的痛点，按需调用机理模型形成特定场景的解决方案。三是围绕供应链协同，分析钢铁行业传统供应链中信息流通堵点和供需错配问题，结合企业硬件设施和运营环境，构建供应链管理解决方案。四是围绕绿色化生产，整合钢铁行业在能耗和排污方面粗放型管理的问题，明确环保监测、分析等环节的痛点，集成机理模型，形成提高环保管理水平的解决方案。

1.3.4 重视平台安全防护，建立高度可靠安全系统

一是夯实设施安全。围绕钢铁行业生产设备、服务器、主机等基础硬件设施的安全接入，部署网络安全协议和容灾备份系统。二是强化数据安全。明确钢铁行业设备数据、生产数据、供应链数据在收集、存储、处理、转移、删除等环

节的安全保护要求，通过应用数据安全模型强化防窃密、防篡改和数据备份等安全防护措施。三是建立安全管理体系，围绕钢铁行业工业互联网平台安全监督检查、风险评估、数据保护等方面建立健全安全管理制度，强化自检查、自纠正的安全管理闭环。

二、石化行业

石化行业是资产密集型行业，具有设备价值高、工艺复杂、产业链长、危险性高、环保压力大的行业特征，面临设备管理不透明、工艺知识传承难、产业链上下游协同水平不高、安全生产压力大等行业痛点，亟需加快基于工业互联网平台的数字化转型步伐，全面提升设备管理、生产管理、供应链管理、安全管理、节能降耗等环节的数字化水平。恒逸石化、恒力石化、石化盈科、中油瑞飞等企业以设备智能管控、生产协同优化为切入点，加速推动石化行业向全流程智能化方向加速转型。基于此，我们对石化行业基于工业互联网平台进行数字化转型解决方案进行了专题研究，深入剖析了石化行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，同时，该报告对其他化工行业数字化转型路径的探讨同样具有借鉴意义。

2.1 石化行业数字化转型趋势分析

2.1.1 设备管理：从黑箱管理向健康管理转变

石化行业的生产设备具有危险性，一旦设备在运行的过程中出现异常高温、高压、设备腐蚀泄漏的情况，会引发火灾或者爆炸事故，造成人员伤亡。过去，企业很难及时了解企业设备的情况，只能定期派人对设备检查和维护，浪费了大量的人力物力。在工业互联网平台应用的大背景下，基于传感器、自适应感知、精确控制与执行等数据采集技术，实

现设备全生命周期的实时态势感知、远程故障诊断和预测性维护。

2.1.2 知识管理：从纸质封存向模型封存转变

我国石化行业经过几十年的发展，积累了大量的工艺技术、实践经验和专家知识。它们大多在少数专家手中，碎片化现象严重，知识传播渠道以线下的培训为主，受时间和空间的诸多限制。在工业互联网平台应用的大背景下，聚焦炼化生产的工艺优化、质量管控、节能降耗场景，推动石化工艺知识以机理模型、业务模型、算法模型的形式共享、复用、传播，大幅降低石化知识创新的门槛。

2.1.3 供应链管理：从企业内向企业间协同转变

我国石化行业的原油和天然气进口依存度高。在国际原油价格大幅波动，供应链成本压力持续发酵的大背景下，我国石化行业需要提高供应链整体的敏捷性和灵活性，对市场变化快速做出反应，及时调整，统筹安排开采、外购、运输、生产和销售。因而，以工业互联网平台为连接枢纽，实现上游原油供应企业、中游炼化生产企业、下游产品分销企业之间的供应链协同成为大势所趋。

2.1.4 安全管理：从人工巡检向智能巡检转变

中国油气运输管线约 7 万公里，跨度大、范围广，部分管线处于地形地貌复杂、自然环境恶劣、环境敏感区域，输送介质危险性大。石油炼化生产的原料和产品大多是高温高

压、易燃易爆有毒的危险品，规模庞大，微小的事故就会造成灾难性危害。常规人工巡检速度慢、成本高、效率低、受自然和地理条件制约大。在工业互联网的大背景下，利用传感器、增强现实眼镜、无人机、智能机器人等工具，大幅提高了巡检的实时性、精准性和可视性，提高巡检效率。

2.2 典型应用场景及实践

2.2.1 设备管理

一是**设备状态检测**。通过对物理设备的几何形状、功能、历史运行数据、实时监测数据进行数字孪生建模，实时监测设备的各部件的运行情况。中石油青海油田对 10 万台口油气水井和 3000 余座场站的采油设备的运行数据自动采集，远程实时监测设备运行状态，实现了边远油田派遣人数和人工成本大幅下降。二是**远程故障诊断**。将设备的历史故障与维修数据、实时工况数据，与故障诊断知识库相连，利用机器学习和知识图谱技术，实现设备的故障检测、判断与定位。中油瑞飞工业互联网平台对中石油海外油田设备提供了跨国油田远程技术支持服务，结合专家远程诊断和工人维修指导，实现了 50% 以上的问题无需设备服务商到场解决非现场解决。三是**预测性维护**。构建设备数字孪生体，实时采集各项内在性能参数，提前预判设备零部件的损坏时间，主动、及时和提前进行维护服务。燕山石化建立了调节阀故障模型，通过对炼化装置流量控制阀进行数据分析和诊断，实现了对

控制阀的预测性维护，降低无效维修 50%以上，创造直接经济效益近 5000 万元。

2.2.2 炼化生产

一是工艺优化。在实际炼化生产前，对原油原料、工艺流程、炼化设备进行数字孪生建模，对工艺配方、工艺流程等全方位模拟仿真，优化原料配比参数和装置优化路径，得出最优的炼化生产方案。中石油云南石化对开工原油的炼化工艺流程进行模拟分析，明确各项操作参数，从而指导生产操作，实现了常减压装置 1 次开车成功，制氢联合装置核心设备投产 1 次成功。二是质量管控。实时采集和分析油品炼化全流程的质量数据，对各项质量指标进行在线动态分析和预测预警，实现炼化全流程质量跟踪及自动控制。中石化九江石化在炼化生产过程中，对各项质量指标进行实时监测和动态分析，实现了油品炼化质量的大幅提升，吨原油除成品油率提高到 82%，产出率提升 7 个百分点。三是节能降耗。通过对关键耗能设备和高耗能加工流程的数据采集，结合大数据、人工智能算法和专家知识库，分析耗能的关键因素，找出能耗最低的工艺参数来指导实际生产，提高关键耗能设备的维护精度。恒逸工业大脑通过对历年锅炉燃烧数据的深度学习，推算出最优的锅炉燃烧参数，燃煤发电效率提升 2.6%，在节煤方面增加了数千万元收入。

2.2.3 供应链协同

一是企业内供应链协同。实时采集和分析供应链运行情况，识别资源配置低效的环节，提出改进方案，提高企业内部资源配置效率。中石化镇海炼化将原油采购、资源配置、装置运行、产品结构、销售物流等进行全流程建模，系统分析供应链协同的重点难点和优化潜力点，测算了各类优化方案 637 个，累计创效 3.9 亿元。**二是企业间的供应链协同。**以工业互联网平台为连接枢纽，打通石化上游原油供应、中游炼化生产、下游产品销售各环节，优化全产业链资源配置。当前，我国石化产业链的供应链协同正处于探索应用阶段，新冠肺炎疫情期间，基于石化盈科 ProMACE 工业互联网平台，镇海炼化、恒力石化进行生产动态优化调整，提高防疫所需原材料的供给能力，同时与口罩、防护服生产企业实时对接、协同排产，实现了上下游医卫用品资源配置的动态优化，提升产业链协同效率。

2.2.4 安全巡检

一是生产安全监控。实时采集的炼化生产过程中的各类安全数据，结合安全生产监控模型，对生产异常状态和安全风险实时报警。中石化茂名石化基于工业互联网平台汇聚厂区内外的安全信息，结合安全风险诊断模型，实现了异常状态和安全风险的实时报警，发现并消除了 1800 多项生产异常问题避免了多起突发事件。**二是管道智能巡检。**在油气管道内外利用传感器、智能阴保桩、管道巡检机器人、无人机

等数据采集工具，以及连接地理、气象等环境数据，实现管道内外运行状态的全面感知和实时监测，对管道异常状况（如泄漏）快速定位。基于 ProMACE 工业互联网平台，石化盈科在中石化西北油田开展了原油管线泄漏视频智能识别应用，通过训练卷积神经网络，实现视频数据实时分析处理，巡检视频识别效率提高 70% 以上。

2.3 推进应用场景落地的着力点

2.3.1 加强底层数据分析，促进边云协同

一是边缘数据采集方面，安装传感器、无人机、摄像头、三维扫描仪等数据采集工具，利用泛在感知技术，采集油田地质勘探、钻井、开采、运输、炼化、销售领域的多源设备、异构系统、运营环境、人员等数据，实现对油田、运输管道、炼化工厂运行状态的全面感知。二是边缘数据分析方面，在原油开采装置、炼化重点装置、运输管道关键节点部署机器学习和深度学习算法，在边缘控制器上集成分析引擎，实现对装置的自动调整和优化。在设备管理、质量管控、智能巡检场景下，可以考虑将云端的机器学习模型和深度学习模型，部署在边缘设备端，在模型、数据、服务三方面实现边云协同。

2.3.1 梳理炼化工艺知识，研发工业模型

一是面向设备管理，重点研发炼化重点装置的运行状态监测模型、远程故障诊断模型和预测性维护模型。二是面向

炼化生产，重点研发炼化工艺流程模拟优化模型、聚合物反应模型、换热网络优化模型、公用工程系统优化模型以及能量系统优化模型、生产质量管控模型。**三是**面向供应链管理，重点研发原油进口供应链扰动缓解模型、供应链柔性作业模型、供应链均衡协调模型、成本和风险平衡模型、计划和调度模型等。**四是**面向安全管理，研发基于多源安全数据融合的火灾爆炸事故风险预警模型、高危设备监测和故障预警模型、危险源监测和预警模型、应急资源管理模型、安全应急调度模型。

2.3.3 研发行业解决方案，推广典型应用

一是打造设备管理解决方案。重点研发和推广炼化重点装置的状态监测、远程故障诊断、预测性维护解决方案，提升炼化装置管理水平。**二是打造**炼化生产解决方案。重点研发炼化生产装置流程模拟、智能化实验室、运营管理优化、生产质量管控等解决方案，实现炼化生产优化。**三是打造**供应链协同类解决方案。重点研发石化企业内部的供应链协同解决方案和企业间的供应链协同解决方案，实现石化供应链全流程的优化、资源合理利用以及价值的优化。**四是打造**安全管理类解决方案。重点研发炼化生产安全监管解决方案、管线漏失动态监测、钻孔破坏点精确定位、应急指挥解决方案，实现对炼化生产风险提前报警，对油气长输管道泄漏的实时检测和准确定位。

三、煤炭行业

煤炭行业为我国经济社会发展提供了 60% 以上的基础能源保障，是国家工业的支柱性产业，具有工艺流程复杂、故障风险较高、资本设备密集、生产条件多变等特征，面临着生产风险高、环境污染大、设备管理难等行业痛点，亟需加快基于工业互联网平台的数字化转型步伐，全面提升生产挖掘、综合管理、销售运输、生态保护等环节的数字化水平。发展煤炭工业互联网前景广阔、恰逢其时。华为集团、榆北煤业、蒙草集团等企业以安全生产、无人生产为切入点，积极开展工业互联网解决方案探索，推动煤炭产业围绕生产无人化、管理集成化、运输联网化、环保数字化等方向加速数字化转型。基于此，我们对煤炭行业工业互联网平台解决方案进行了专题研究，深入剖析了煤炭行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，对其他采矿业数字化转型路径的探讨同样具有一定借鉴意义。

3.1 煤炭产业数字化转型趋势分析

3.1.1 挖掘开采：由人机并用向无人生产转变

煤炭产业长期面临瓦斯积聚、矿井涌水、地质灾害等突发情况，具有较大的生产风险。随着开采技术的革新特别是新一代信息技术的运用，井下机器人、智能传输机等智能设备的使用显著减少了人力使用需求，机器视觉、深度学习等技术提高了设备执行率与准确率，使得无人生产、少人巡视、

远程操作成为可能，有利于煤炭企业减少用人成本，提高运营利润。

3.1.2 矿山管理：由人工向虚拟集成转变

煤矿管理涵盖采煤、掘进、运输、提升、排水、通风等复杂流程，需解决矿机、矿车、矿工等大量系统综合协调问题，管理要求高、范围广、难度大。当前，部分煤炭企业信息化和智能化水平仍然较低，部分流程还处于纸质单据时代。通过数字孪生、虚拟现实等技术打造虚拟矿山，将直观展现矿山的地形环境、地表地物、井下矿道等情况，还原煤矿的复杂环境和生产状态，为生产工艺优化、远程系统管理、应急救援指挥等提供有效支撑。

3.1.3 煤炭运输：由被动排队向智慧运输转变

一方面，传统煤炭运输物流成本较高，相较快递电商领域运输成本平均在 0.15 元/吨公里，煤炭行业运输成本高达 0.3 元/吨公里。另一方面，部分煤炭物流园区缺乏场站管理，车辆混乱无序。通过集成 NB-IoT、RFID、GPS、智能识别等技术，为汽车搭载智能模块，动态监测矿车运载、排队等情况，有利于提升排队管控、分流调度、称车过磅、装载卸料的智能化、自动化水平，有效减少偷煤换煤、以次充好、车队拥挤等事件发生，节约运输成本，提高运输效率。

3.1.4 生态修复：由宏观设计向数据驱动转变

煤炭厂区一般位于气候干旱、降水量少、生态环境脆弱

的地点，煤炭开采带来的环境污染和生态破坏问题日益突出。生态修复不仅能重建被退化的生态系统，本身更存在广阔的产业化空间。有研究认为，生态修复在未来将成为和旅游产业并驾齐驱的世界十大产业之一。通过综合运用大数据、人工智能等新一代信息技术，有利于梳理总结生态修复经验，动态调整修复方案，由粗放式修复向数据驱动的精细化、科学化生态修复转变。

3.2 煤炭行业工业互联网平台典型应用场景及实践

3.2.1 智能安全生产

依托工业互联网平台动态采集边缘侧数据，结合井下机器人、智能传输机等设备，利用机器视觉、深度学习等技术实现无人生产或少人生产，切实提高煤炭安全生产能力。一是**智能自主生产**。企业可依托工业互联网平台，通过“边缘数据+云端分析”实现采煤机、传输带、化煤机等设备的自动识别、自主判断和自动运行。二是**故障辅助诊断**。结合机器视觉技术对皮带、煤仓、电机等易故障设备进行自动巡检，帮助维修人员及时调整设备状态。三是**风险预警管理**。实时采集空气成分、设备震动等数据，结合瓦斯浓度、设备寿命等模型分析，实现煤矿事故风险提前预警，提高事故灾害防控能力。

例如，华为依托华为云构建“煤矿大脑”，以“云+边+端”一体化方式打造“全感知-全链接-全智能”的智慧煤矿，实时

风险实时识别率达 98%，煤矿有效工时提高 10%，设备运维成本下降 65%。

3.2.2 矿山综合管理

通过工业互联网结合 AR/VR、虚拟仿真等构建数字矿山，在数字孪生空间实现对物理矿山映射的基础上，为挖掘设备、运输设备、能源设备的使用、维护、修理、升级等提供辅助决策与操作支持。一是**少人值守**。基于工业互联网围绕堆煤管理、人员巡检等场景提供在线监管服务，及时干预、纠正问题，进而提升煤矿管理水平。二是**集成控制**。依托工业互联网平台集成工作面视频监控、远程集中控制等，打破数据孤岛，提升信息共享层次，提高管理层决策效率。三是**辅助决策**。结合 VR/AR 等进行应急模拟体验与特殊工种培训，基于 3D 矿山仿真模拟建立应急救援方案库，根据具体情况自动生成救援方案。

例如，榆北煤业搭建智慧矿山系统，对煤炭开采、运输、销售、设备维修、备品备件、人力资源管理等在内的各种需求作出智能响应与快速决策，1 秒能够完成一次矿区人员位置信息的刷新，25 毫秒可以远程启动矿区任何一台设备，3 秒可以对所有矿区生产系统完成全面巡检。

3.2.3 煤炭智慧运销

聚焦准点、安全、廉价等煤炭运输需求，通过工业互联网平台汇聚车队数据，推动运营管理精细化、销售运输一体

化、运输安全可控化，打造煤炭智慧供应链。一是**车队动态管理**。基于工业互联网平台加快车辆上云，根据园区装载、排队、交通等实际情况动态调整运输部署，打造煤炭精准运力池。二是**销售运输协同**。建立运输价格数据库，结合煤炭产品个性化需求对运输方式进行运价比对，最大限度保证运输效益、减少运输成本。三是**智能辅助驾驶**。依托机器视觉、深度学习等技术自动甄别疲劳驾驶，超速，车道偏离等危险场景并对司机进行及时提醒，降低运输事故率。

例如，G7 智联依托平台动态监控故障事故、司机行为等事件，每 5 分钟更新一次风险判别，推动企业运输效率提升 5 倍，运输成本下降 10%，安全指数提升 2 倍。

3.2.4 生态资源保护

工业互联网平台作为大数据管理、决策与研究载体，集成无人机、三维虚拟仿真、多维度数值模型分析及现场实时监测等技术，能够为开展生态修复提供技术系统支持。一是**解决方案储备**。利用工业互联网平台可储存数以百万计的水、土、气、草、畜等生态基础信息，收录各地乡土植物种质资，自动生成生态恢复组合库，丰富生态恢复方案。二是**辅助个性化定制**。通过平台收集地区历史生态数据资料，追溯原生植物、分析搭配群落、探寻演变规律，因地制宜实施决策辅助。三是**生态实时监控**。基于工业互联网汇聚监测点信息，汇总分析环境土壤的 PH 值、光、湿度、气压等等生态数据，支

撑精准、实时的监测指挥。

例如，蒙草集团打造矿山生态大数据平台，目前已动态监测 3000 万个有效信息点，存储 500 多万文字的标准说明，实现生态数据指挥“一张图”，科学管理“一张网”，精准服务“一平台”，有效支撑矿山修复构建。

3.3 推进应用场景落地的着力点

3.3.1 加速设备上云，夯实数据采集基础

一是以“三机一架”为突破口，推动重点设备上云，加快基于数据驱动的产品设计优化，推动共性技术、关键技术的协同攻关。二是依托工业互联网平台打通业务环节间数据链接，构建实时、透明的煤矿采、掘、机、运、通、洗选等数据链条，实现煤矿生产全流程智能化运行。三是依托工业互联网平台连接产业链上下游各个环节点，以价格指数、交易数据为核心提供加快商业模式创新。

3.3.2 聚焦产业协同，强化重点模型积累

一是针对液压锚杆钻车、破碎机、皮带机、煤矿机器人等设备开发寿命预测、故障诊断等模型，加强设备管控效率。二是优化皮带空载、轨道安全行车、探放水作业等场景模型，提高识别准确率。三是围绕无人矿车驾驶、供应链协同等跨学科、跨企业领域建立模型。

3.3.3 加强攻关突破，优化解决方案供给

一是基于工业互联网探索推动应急救援、安全监测、风

险预警等安全领域解决方案推广应用，深化 GPS、视觉感知等技术应用，提高企业核心竞争力。二是开发智能开采、资产管理、能源管理、员工管理等集成服务解决方案。三是凝练出可复制、可推广的煤炭工业互联网开发模式、技术路径、管理经验等，向类似企业进行推广应用。

3.3.4 注重绿色安全，树立煤炭智能品牌

一是依托工业互联网平台加快充填开采、保水开采等绿色开采技术应用，积极推进绿色矿山建设。二是对照数据管理能力成熟度模型（DCMM）开展贯标，制订数据分类分级管理标准，加强数据安全保障。三是举办深度行、现场会等宣传推广活动，铸造企业品牌，提高企业影响力。

四、航空航天行业

航空航天行业具有长周期、多种类、小批量、高可靠的行业特征，面临数据源差异大、模型适配性不足、管理调度效率低下、故障预测能力欠缺等行业痛点，急需加快基于工业互联网平台的数字化转型步伐，全面提升研发设计、生产制造、供应链管理、运营维护等环节的数字化水平。GE、欧特克、劳斯莱斯、商飞、西飞等国内外企业正以网络化协同为切入点，向基于平台的设计、制造、管理、服务一体化转型。基于此，我们对航空航天行业基于工业互联网平台进行数字化转型解决方案进行了专题研究，深入剖析了航空航天行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，同时，该报告对其他高端装备行业和离散行业数字化转型路径的探讨同样具有借鉴意义。

4.1 航空航天行业数字化转型趋势

4.1.1 研发设计由串行异构向并行协同转变

传统航空航天行业研发设计二维、三维辅助软件混用，在工具、模型、数据、API、操作规范等方面差异较大，研发设计流程冗长复杂，研发成本较高。随着业内基于MBD研发设计模式的应用推广，将三维模型作为唯一数据源进行几何、工艺、质量和管理等属性标注，有利于统一标准，改善数据差异问题，打破研发设计的空间、时间、组织限制，降低跨专业、跨部门、跨企业协同研发设计门槛。

4.1.2 生产制造由以数映物向数物融合转变

在传统生产制造过程中，将研发设计模型转化为生产制造模型需消耗大量人力物力，零部件加工主要以常规加工为主，生产质量管控成本较高。在图纸到实物的转化中，因缺乏三维空间信息，过度依赖操作工人的理解、经验和技能水平。随着数字孪生技术在生产制造环节的应用，助力企业依据统一模型、统一数据源进行制造，解决 CAD 到 CAM 的集成问题，实现生产过程可预测、可调整、可追溯，降低生产成本。

4.1.3 生产管理由单点对接向动态调整转变

相较传统离散行业，航空航天对材料供应和资源调配都具有极高要求，既要求尽量采用灵活的零部件管理来降低运营成本，又需要保证交付的速度。传统数据交换模式以单点管理为主，缺乏节点间统筹管理，无法适应复杂场景下的动态调整需求。工业互联网聚焦人、传感器、生产设备和云端等节点的互联互通，打通研发、生产、管理等环节“数据孤岛”，可有效构建大协作、大配套的生产管理体系。

4.1.4 运维服务由定期维护向视情维护转变

传统运维以基于经验和规律的定期检修为主，不同零件、组件在制造工艺、故障类型和生命周期等方面差异化巨大，维护成本高昂。通过在飞机维修领域引入大数据、人工智能等新一代信息技术，有利于开展故障溯源、辅助设计和工艺

改进，提高设备描述、仿真诊断、预测维护的精密度和准确率，达到治未病，自感知，自决策的效果。

4.2 航空航天行业工业互联网典型应用场景及实践

4.2.1 基于 MBD 的研发设计

企业依托工业互联网平台开展基于 MBD 的研发设计，以三维统一数据源作为唯一依据，缩短研发周期，提高效率。一是信息交互。优化信息的传输、操作和管理,大幅减少由理解差异产生歧义的问题。二是工艺审查。分析可制造性、可装配性和结构合理性。三是工艺规划。规划零部件装配顺序和运动路径。四是工艺编制。计算关键部件工艺容差，合理分配资源。

例如，波音公司构建全球化的研发体系，波音 777 项目实现了全球 238 个 DBT 团队，总成员 8000 余人协同研发，减少了 90%的设计更改，设计周期缩短一半。运-20 研制中，我国首次建设异地协同设计、制造和管理信息平台，开创一航商飞、一飞院两地、四个主机厂、十九家国外供应商协同研制模式。

4.2.2 基于 CPS（赛博物理系统）的智能制造

结合 CPS、AR/VR 等技术推动数据源、模型的统一，加快数据有效流通，构建基于工业互联网的异地多厂协同制造体系。一是分布式生产。将整机组装厂、零部件生产厂等资源整合，以信息管理为整个制造网格系统提供行动依据，形

成网络化制造系统。二是**个性化生产**。针对不同型号的飞机制造需求，制定个性化的组装方案。三是**柔性化生产**。根据市场、厂区、库房的动态信息，及时调整生产所需的人、机、料、法、环等配套供给。

例如，我国在新飞豹的研制中，全面采用数字样机技术，实现全机 51897 个零件、43 万个标准件、487 个关键件的三维数模直接用于数字化生产。西飞通过资源、信息、物料和人的高度互联，确保工艺流程的灵活性和资源的高效利用，成功将整机制造周期压缩到 15 个月左右。

4.2.3 基于大数据分析的供应链管理

企业借助工业互联网平台对供应链信息进行收集、整合、优化，通过数据分析，及时发现仓储物流、产品质量、制造工艺等方面的问题，提高供应链调整能力，保障产品质量。一是**物流管理**。通过业务需求，动态调整备品备件预计划，改善供应链库存状况、降低系统库存总成本、提高准时交付率。二是**质量管理**。运用大数据技术评测生产制造能力、质量保障能力、交付进度、合格率等指标，健全质量管理体系，完善质量追溯制度，实现对各环节产品质量的精确管控。

例如，商飞构建基于工业云的飞机研制系统平台，推动全球近 150 个一级供应商之间进行数据交互，实现基于统一数据源的设计、制造、供应一体化协同。西飞公司按生产计划实时更新装配进度信息和配套缺件动态信息，将计划、库

房、缺件结合起来，航材备件月结库存时间，由原来的 1 天缩短为不到 4 小时。

4.2.4 基于 PHM 的运营维护

基于 PHM 的运营维护建立航空产品故障和维护维修的数据库，支持多部门、多专业协同进行运营维护。一是**状态实时监测**。航空航天企业通过工业互联网平台实时采集发动机、飞行器等设备工作温度、工作环境和应力分布等状态数据，并进行可视化呈现，保障设备状态监测可靠性。二是**故障诊断预测**。对历史积累的海量数据进行高效处理，生成运维模型，诊断产品在不同使用条件下出现故障的概率和时间。三是**维修辅助决策**。基于故障预测结果，辅助制定维修方案，远程指导工程师现场执行，降低人工操作错误产生的返工，有效避免信息传递缺失的问题。

例如，西飞运用数字化技术，对飞机和航空产品的使用性能、功耗、能耗等进行过程监控，并根据对运行数据的分析，预先制定改进方案，及时更换老化零部件，进行健康管理、维修，提高了航空产品服务的安全性和数据采集的多样性。GE 在 Predix 平台上开发了 DRAI（人工智能超差处理）算法，用于检测飞行器叶片故障隐患，自动抓取，生成维护报告，识别率和报错率在 95%和 97%以上。

4.3 推进应用场景落地的着力点

4.3.1 统一技术架构接口规范，保障数据融通

一是规范数据类型，以基于 MBD 的三维模型作为设计、制造、管理、维护的唯一依据，推动信息传递媒介由二维向三维转变。二是夯实数据基础，对高价值、高可靠、高能耗设备，实时采集其全生命周期数据，提升采集数据深度、广度和精度，并运用大数据分析开展关联性研究。三是建设通用设计 CAD 软件标准零件库、技术注释库和材料库，对 CAD 建模软件进行二次开发，建立企业基于 MBD 的全三维设计支持系统。

4.3.2 突破全生命周期机理模型，推动数物融合

一是突破设计仿真、工艺流程、装配流程等研发设计模型，助力研发设计数据自由流动。二是突破工业机理、业务流程、生产质量等生产制造模型，加快工业知识沉淀。三是突破业务流程、供应链管理等生产管理模型，推动供需两侧互联互通。四是突破故障诊断、故障预测、零部件寿命预测等运营维护模型，提高运营维护精度。

4.3.3 构建多层次体系化平台，实现数据分级分类

一是推动供应链上公有云，鼓励主机厂商建立公有云，促进供应商业务流程的规范化、标准化，与主机厂实现计划、技术、采购和质量的协同。二是推动集团内设计上私有云，推动集团内研发设计部门和系统级供应商依托私有云开展协同研发，以三维统一数据源消除数据传递过程中的不确定性。三是推动企业生产制造上专有云，引导整机组装厂、零

部件生产厂借助专有云对生产工艺、设备运行、产品质量等数据进行存储、分析，实现生产制造过程协同管控，提高产品质量稳定性。

五、船舶行业

船舶行业属于劳动密集、资金密集、技术密集的离散制造业，具备零件数量多、生命周期长、资本投入大、技术要求高等典型特征，正面临接单难、交船难、融资难等痛点。江南造船、黄埔文冲、沪东中华等企业以网络化协同和服务化延伸为切入点，从设计协同化、制造智能化、管理精益化、融资在线化、产品服务化等方向进行数字化转型。基于此，我们对船舶行业基于工业互联网平台进行数字化转型解决方案进行了专题研究，深入剖析了船舶行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，同时，该报告对其他高端装备行业和离散行业数字化转型路径的探讨同样具有借鉴意义。

5.1 船舶行业数字化转型趋势分析

5.1.1 研发设计由独立设计向无缝设计转变

船舶行业研发设计环节复杂，涉及数十个专业分工。传统船舶行业使用独立设计模式，在设计环节联通、跨专业对接、设计模型变更等方面存在数据交流不畅、企业协同水平不足等问题。随着业内无缝设计模式的应用推广，基于MBD理念使用唯一数据源进行属性标注，有利于统一标准，改善数据差异问题，打破研发设计的空间、时间、组织限制，降低跨专业、跨部门、跨企业协同研发设计门槛。

5.1.2 生产制造由数字化向智能化转变

船舶构造复杂精密,大型豪华游轮零件数量超过 2500 万个,包括钢材预处理、零件加工、装配焊接、试验下水等诸多环节,对制造工艺、工序的要求较高。在传统船舶生产制造过程中,零部件加工需大量人力,不利于保障产品质量的稳定性,整体质量管控成本较大。随着数字孪生技术的发展应用,助力船舶企业依据统一模型、统一数据源进行生产制造,解决 CAD 到 CAM 的集成问题,实现生产过程可预测、可调整、可追溯,有效提升产品质量,提高用户体验,增加企业收益。

5.1.3 供应链管理由重经验向重需求转变

在传统船舶产业链管理体系中,船舶配套、船舶建造、货物生产运输、航运市场等环节的运营都是独立的、单向的。企业之间无法实现信息共享,各企业在制定供应链计划时更多依仗工作经验,导致产业链供需双方信息不对称,无法针对需求动态调整,缺乏供应链成本优化及纳期有效控制。工业互联网聚焦人、传感器、生产设备和库房、物流等节点的互联互通,打破数据、知识、能力、成本等束缚,推动供需双方相关数据互联互通,以信息流加速物流、资金流、技术流有效流动,加快经验导向到需求导向的模式转变,推动船舶制造企业向价值链、产业链高端跃升。

5.1.4 发展模式由卖产品向卖配套服务转变

目前,全球船舶运力和制造能力存在过剩现象,造船市

场需求出现结构性不足，散货船等常规船型需求乏力，高技术船舶和海洋工程高端装备需求旺盛，传统船舶制造业，依靠生产要素投入和廉价劳动力转化的盈利模式难以为继。随着工业互联网在船舶行业的应用推广，有利于提升船舶制造整体配套服务水平，打造“船舶+智能系统+配套服务”的整体产品方案，提高用户粘性，构建技术迭代升级、用户体验友好的新型船舶工业服务体系。

5.2 船舶行业工业互联网平台典型应用场景及实践

5.2.1 基于三维模型的协同设计

一是**数字孪生仿真**。船舶企业可通过在工业互联网平台部署 CAE、CAD 等功能模块，在赛博空间对船舶模型进行碰撞仿真、结构仿真和流体仿真等测试，降低样品试制成本，并缩短产品研发周期。二是**并行协同设计**。船舶企业可应用工业互联网平台集成船舶的外观、结构、性能和电器分布等数据，实现各项设计工作在跨部门、跨企业、跨区域的同步进行，保障设计方案的协调与适配，提高研发效率。三是**工艺设计优化**。利用工艺设计仿真等功能模块，在数字空间模拟船舶零部件的加工、船舶部件的焊接与组装等制造过程，减少人工试错的次数，优化制造工艺，降低生产错误率。四是**基于三维模型的可视化检验**。基于工业互联网，建立面向船东、船检的在线检验平台，基于可移动、旋转的三维数字孪生模型，直观展示船舶检验数据，提高船舶检验的实时性，

保障产品质量。五是船舶工业建设的数字化设计。在船厂数字化、网络化、智能化升级改造项目中，经过布局规划、仿真，验证船厂生产能力，优化车间物流和设备配置。

例如，中船江南造船、中船黄埔文冲基于达索三维体验平台，实现了大型航标船、支线集装箱船等产品生产设计全流程、全专业、全三维交付，设计差错率大幅降低，提升产品的制造质量。外高桥造船在豪华邮轮设计方面建立了全球大型协同设计平台，实现和国外设计公司统一平台上的全球化协同设计，实现了和船东之间的图纸送审协同，提高设计效率 30%。沪东中华使用自主研发的 SPD 三维设计制造系统，支持船舶船机电全专业设计建模及工艺完整性定义，通过在计算机上虚拟造船，融合各专业并行开工，减少船体建造过程中的错误率。黄埔文冲构建了基于工业互联网的云检测平台，实现了基于船体三维模型的焊缝设计、生产、检验信息在线查询与展示，确保相关方能在全世界任何地点能够实时掌握船舶焊接工作状态。中船九院开发船厂工艺敏捷设计咨询系统，通过开发系列高效的工艺计算、船厂方案参数化布局、工艺仿真验证，以及设计成果发布等工具软件，持续不断地进行设计迭代以达到船厂客户的需求。

5.2.2 基于 CPS 的智能制造

一是关键生产环节的装备自动化，依托工业互联网平台控制智能机器人开展型钢上料、自动切割、智能焊接、

材料输送等生产流程，缩短生产周期，提升生产效率，降低人力成本。二是**造船厂域生产要素的泛在互联**。在造船企业大尺度离散生产场地与车间范围，部署基于北斗、RFID等技术多层次、多粒度定位系统，建立面向切割、焊接、吊装、驳运等核心装备的状态采集与控制网络，实现造船全流程核心生产要素的泛在互联。三是**基于边缘计算的关键工艺敏捷管控体系**。在切割、焊接等造船核心工艺环节，组建车间层级边缘智能管控网络，建立造船离散作业环境下的人、机、件的融合统一，实现近装备端的敏捷质量监督、缺陷预警与节能管控。四是**基于数字孪生车间的智能管控**。建立零件加工、分段制造、船台船坞等三维数字模型，构建生产工位、生产线及生产车间逻辑模型，实现基于物联网的核心生产要素状态监控及作业状态管控，及基于实时状态数据的生产过程动态分析、决策与调度。

例如，依托工业互联网，中船黄埔文冲建立了基于北斗的厂域物流装备定位及管控网络，结合车间制造执行系统，建立面向船体分段作业的数字孪生车间，实现了生产作业的精细化管理。沪东中华、黄埔文冲等建立数控焊机管控边缘网络，推动焊机联网，实现了焊接指令及工艺在线下发、作业跟踪与自适应启停控制，有效提高了焊接的质量，降低了能耗。中船第十一研究所依托工业互联网平台研发工艺规划、

车间管控、吊装仿真等软件，积极投身船厂生产线联网改造，实现关键工位国产化替代，与船厂一起打造数字化车间。中船信息致力于研制新型工业互联网 APP，打造智能制造 SaaS 云服务，为船厂及供应链上下游提供设备接入、生产协同、设备管理、能耗管理、安全预警等智能化服务，帮助企业低成本上云、上平台。

5.2.3 供应链协同

一是**供应链管理**。通过工业互联网平台进行船舶配套资材、供应商、资材配送等精益化管理，保障供应链配套均衡、有序，有效提高物流周转效率。二是**供应链金融**。通过工业互联网平台进行融资租赁，将资产由流动性较差的固定资产向流动性最强的现金资产转变，改善企业现金流，降低企业融资成本，优化公司资本结构。

例如，中船黄埔文冲搭建标识解析船舶行业二级节点，推动供应链上下游开展基于工业互联网平台的外协外购产品一码协同制造、配送、入库，节约配送人员与成本，提高物流效率。外高桥造船依托工业互联网建立了供应链协同平台，把船厂内部管理向供应商端延伸，通过设计协同、计划协同，降低物资库存量、提升供应及时率。中远海运依托通过布局供应链金融，借助大数据分析把控风险借助供应链金融，利用区块链技术创造可信环境有效降低企业融资成本，船融比例达到 80%。

5.2.4 服务化延伸

一是船舶节能运营。将智能检测设备连接工业互联网，实现能耗查询、分析、统计和管理等功能，减少海运碳排放量，降低船舶运营成本。**二是航路智能规划。**搭建船岸、船船信息传递网络链路，实现了船岸、船船之间大数据的互通与共享。实现开阔水域辅助驾驶，提高了船舶航行安全。**三是设备预测维护。**实时获取关键设备的状态参数和健康状态，使用大数据技术预测状态发展趋势和剩余寿命，并采用合理的维修或维护保障措施。

例如，中船集团打造船舶安全运营管理系统（SOMS），实现航线优化决策、设备健康预警、船舶能效管理等功能，应用该系统的智能船与传统船型相比，推进效率可提高约3%，日均油耗可降低约4%。

5.3 推进应用场景落地的着力点

5.3.1 夯实技术基础，建设数据流动快车道

一是推动新一代信息技术应用，加快大数据、虚拟仿真、系统协同、人工智能等技术协同，打破数据仅在本地计算机、局域网流动的范围限制。**二是**加大船舶智能制造总体技术、工艺设计、智能管控、智能决策等技术的研发投入力度，聚焦数据的搜集、积累并加快相关知识转化，指导产品生产制造。**三是**加快船舶行业知识沉淀、封装、固化，打造数字中台，构建船舶行业工业软件支撑体系，通过加快数据自由流

动有效解决行业问题。

5.3.2 推动边云协同，打通生产现场数据瓶颈

一是核心产线智能改造，依托边缘智能计算、大数据分析，实现云对边智能控制，缩短核心零部件制造周期，有效降低不良品率，提升生产效率。二是生产计划动态调整，实时监控现场状态参数，在工业互联网平台综合分析场地、设备、人员等数据，制定负荷均衡的作业计划。三是生产模式组织优化，借助大数据、人工智能等技术，保障制造流程精益化、实时化和生产节拍的有序、流畅，降低制造成本。

5.3.2 优化供应链配套，提高上下游信息共享水平

一是依托工业互联网加强上下游企业生产需求计划的对接，减少交期提前或拖期现象。二是建立云端数字化库存管理机制，逐步推广“需求拉动计划、仓储动态调整”的自由型库存控制模式。三是布局基于工业互联网的供应链金融，着力解决垫资、交付延期、订单取消等因素引起的资金链断裂问题。

六、汽车行业

汽车行业是典型的大型离散行业，具有供应链高度分散、生产工艺复杂、产品结构精密等特征，面临研发设计周期长、供应链管理低效、下游需求碎片化、服务要求高端化等行业痛点，亟需加快基于工业互联网平台的数字化转型步伐，全面提升研发设计、生产制造、产供销管理、经营模式等环节的数字化水平。海尔、上汽、北汽等企业以网络化协同设计和规模化定制生产为切入点，加速推动汽车行业向协同化、定制化、柔性化方向转型。基于此，我们对汽车行业基于工业互联网平台进行数字化转型解决方案进行了专题研究，深入剖析了汽车行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，对加快打造我国汽车新型制造体系具有重要意义。

6.1 汽车行业数字化转型趋势分析

6.1.1 研发设计由独立分散向网络协同转变

汽车的研发设计通常包括车形外观、结构强度、内饰摆放和电器布置等方面，涉及众多专业领域，采用传统的烟囱化设计业务系统，难以实现各方面设计的协调性，容易导致后期较高的设计修改率。伴随着虚拟仿真和云协作平台等技术的出现，可以保障各设计部门基于唯一虚拟模型进行设计开发，实现成员间“点对点”的信息交流，提高研发设计协同化水平，缩短产品上市周期。

6.1.2 生产制造由批量生产向规模化定制生产转变

我国汽车产品同质化问题严重、市场竞争激烈，诸多车企呈现销售下滑等颓势，并且下游消费者需求日渐碎片化，使得传统少品种、大批量生产模式难以适应市场变化，加大车企的生存压力。随着大数据等新兴技术的应用，车企可以全方位获取消费者的需求数据，结合企业生产能力和产线转换能力，动态调整生产计划，实现规模化定制生产，提高企业竞争优势和消费者满意程度。

6.1.3 产供销管理由信息孤岛向全局协同转变

传统车企需要与众多零配件供应商和汽车经销商进行沟通协调，保障汽车产品从生产到销售过程的通畅运行，而以往汽车产业链的信息孤岛问题严重，大大增加了车企对产供销链条的管理成本。通过建立数据流动渠道，打通汽车行业产供销端的信息管理通道，为产业链各环节的企业制定科学采销决策提供重要支撑，通过保障物料信息在产业链全链条中的自由流动，带动物料资源自由流通，实现产供销端的高效协同。

6.1.4 盈利模式由单一销售向全方位服务转变

传统汽车行业只能依靠销售汽车进行盈利，盈利渠道单一，容易受市场环境影响，韧性较差。而随着汽车产品高度智能化和通信技术的快速发展，汽车企业可以更容易获取围绕人、车、城市生成的娱乐数据、车机数据、驾驶行为数据、

电商数据以及场景化数据等重要数据资产，并用于汽车精准投保、预测性维护、智能营销、出行服务等新兴业务场景，有力拓宽车企盈利渠道。

6.2 汽车行业工业互联网平台典型应用场景及实践

6.2.1 研发设计协同

一是**模拟仿真**。汽车企业可通过在工业互联网平台部署CAE等功能模块，在赛博空间对汽车模型进行碰撞仿真、结构仿真和流体仿真等，降低样品试制成本，并缩短产品研发周期。二是**设计数据交互**。汽车企业可应用工业互联网平台集成汽车的外观、结构、性能和电器分布等数据，实现各项设计工作跨部门、跨企业、跨区域的同步进行，保障设计方案的协调与适配，提高研发效率。三是**工艺设计优化**。利用工艺流程仿真等功能模块，全方位、超逼真模拟汽车加工、焊接、涂装、整装等工序，确定最优工艺方案，保障产品质量。

例如，长安汽车在美洲、欧洲、亚洲等地都建立了研发中心，通过建立以三维数字化设计和全球协同设计为核心的汽车产品智能化研发云平台，与海外设计中心进行24小时全天候产品联合开发，实现了跨部门、跨企业、跨区域的产品协同设计，支撑产品研发周期从36个月缩短至24个月。

6.2.2 规模化定制生产

一是**用户深度参与**。汽车行业搭建的工业互联网平台可

以为消费者参与定制生产提供入口，协调研发部门、生产部门和采销部门根据客户定制信息，确定生产方案，实现以客户为中心的定制生产模式。二是**全流程排产**。汽车行业可通过工业互联网平台建立客户定制产品 BOM，并结合生产能力和时间要求，自动生成高效且可执行的生产计划。三是**柔性化生产**。汽车行业可以利用工业互联网平台，依据定制产品生产方案，及时切换产线布局，并协调指挥 AGV 满足不同产线的物料需求，实现规模化定制生产。

例如，荣成康派斯公司依托海尔 COSMOPlat 工业互联网平台“SINDAR 幸达”智慧房车露营生态解决方案，通过构建交互定制平台、创新设计平台、模块化采购平台、智慧售后服务平台等，让用户直接参与到房车生产的全生命周期，实现房车的大规模定制化生产，取得了良好经济效益，综合采购成本降低 7.5%，交付周期从 35 天下降到 20 天，订单同比增长 62%，一次性交检合格率达到 95%。

上汽大通开发了包括“我行 MAXUS 大数据平台”在内的 7 个数字化平台，可以为用户参与、用户制造提供接口，整合和匹配用户的多样化汽车配置，统一调配各生产车间协作，实现在线选配、日历订车、订单跟踪等智能定制功能，支撑实现规模化定制生产模式，助力产品上市周期减少 35%，产品交付期缩短 20%以上，加工及产线切换时间缩短 30%，并实现了 99.8%的配置精确度。

6.2.3 产供销协同

一是“进销存”精准管理。汽车行业通过工业互联网平台可建立贯穿全产业链的沟通渠道，实时监测上游原材料供给情况和下游产品需求信息，根据精益管理要求，动态调整企业库存策略，在保障企业正常运转的基础上，实现“进销存”精准管理。二是质量追溯体系。汽车企业可基于工业互联网平台，采集汽车零配件和生产工艺信息，进行标签化处理，对产品进行全生命周期的质量管理，准确识别质量问题，并进行溯源管理，找到质量问题环节，提高产品质量保障水平。

例如，广西汽车集团通过工业互联网大数据平台搜集销售、生产、采购、物流各环节的数据，搭建起了企业全流信息化平台，实现了供应商供货—工厂生产—客户配送全程数字化，实现了产供销端的协同化，使物流作业效率平均提高35%，单据错误率降低85%，数据及时性提高50%。

6.2.4 服务化延伸

一是预测性维护。汽车企业基于工业互联网平台实时采集生产设备参数设置、应力分布等状态数据，利用故障诊断大数据分析模型，实现设备故障预警，通过实施预测性维护方案，减少非计划停机时间。二是智能营销。汽车行业可将工业互联网平台数据接口扩展至社会范围内的大数据体系，精准识别客户信息，完整刻画客户肖像，通过智能汽车等终

端进行个性化推送，提升营销水平。三是个性化保养。汽车行业工业互联网平台可结合车联网实现与客户的互联互通，采集客户驾驶习惯、车况数据等信息，通过故障预警分析模型，为客户提供个性化保养方案，优化客户服务体验。四是出行服务。汽车行业工业互联网平台可通过实时监测汽车产品，动态匹配客户用车需求，简化汽车租赁流程，为客户提供完整的出行解决方案，打造高质量出行服务生态体系。

例如，一汽基于工业互联网平台实时监测总装车间电机设备状态，通过对总装电机的预测性维护，有效避免因非计划停机造成的损失，实现了显著的经济效益，总装电机故障预测准确率提高至 90% 以上，预测周期提前 7—90 天，非计划停机时间减少 10%—20%，电机维护成本节约 5%—15%。

北汽福田汽车基于 iTink 云平台通过车联网实现与客户的互联，为客户提供预测性维修保养和车队管理等高端服务，并通过打通与其它行业数据体系的流通渠道，形成包含汽车金融、ETC 管理等围绕客户 360° 的服务生态体系，采取打标签的方式，精准用户画像，并依据大数据标签精准推送，进行有针对性的服务，使回客率提高 20% 以上。

6.3 推进应用场景落地的着力点

6.3.1 深化数据应用，完善数据流通体系

一是完善数据解析体系。面向汽车行业设备运行状态信息、实时工艺参数信息、产品质量信息、生产计划信息等大

量异构数据，建立高效的数据解析体系，释放数据资产活力。二是建立大数据共享中心，在云端汇聚汽车行业全要素、全价值链、全产业链等数据资源，激发数据规模效应，以数据自由流动带动资源配置的全局优化。三是深化数据挖掘。积极探索与保险、银行等大数据平台间的沟通与协作，实现数据跨领域的自由流动，为汽车行业新模式新业态提供数据支撑。

6.3.2 聚焦生产过程，强化机理模型供给

一是围绕个性化定制，开发完善用户信息反馈模型、方案选择模型、产品可视化模型等，降低用户参与定制的门槛，并提高用户参与的积极性。二是围绕柔性化生产，开发完善产线监测模型、AGV调用模型、生产排程模型等，满足企业根据客户定制信息高效开展混线生产。三是围绕工艺质量管理，开发完善质量缺陷检测模型、质量溯源模型、工艺优化模型等，保障生产流水线中的产品质量。四是开发模型综合管理平台，汇聚机理模型资源，实现模型的标签化管理、智能化搜索和精准化调用。

6.3.3 围绕行业痛点，推广解决方案普及

一是围绕企业生产管理，梳理汽车行业在研发设计、生产制造环节中的痛点问题，综合利用机理模型，形成特定场景解决方案。二是围绕企业经营管理，挖掘汽车行业在供应链和销售渠道中的信息流通堵点和供需错配问题，结合硬件

设施和运营环境，构建企业经营解决方案。三是围绕企业服务化延伸，整合汽车行业在智能营销、预测性维护、出行服务、汽车金融等方面的痛点环节，按需调用机理模型，形成支撑新模式新业态的解决方案。四是围绕安全防护，分析汽车行业在生产制造、实际驾驶、运营维护等领域的安全需求，集成机理模型，实现安全感知、安全决策等功能，保障企业生产安全和客户驾驶安全。

七、轨道交通行业

轨道交通行业具有安全性能要求高、集约化管理、供应链系统相对独立、产品种类多、专业化程度高的行业特征，面临资源调配效率低下、车辆运维困难、客户需求不断提高等痛点，亟需加快基于工业互联网平台的数字化转型步伐，提升企业综合实力。中车四方、中车株机、中车浦镇等企业正以车辆远程运维为切入点，加速推动轨道车辆向研发设计数字化、生产制造柔性化、产业链管理一体化、车辆运维智能化等方向转型。基于此，我们开展轨道交通行业数字化转型路径研究，深入剖析了轨道交通行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，希望对行业发展有借鉴意义。

7.1 轨道交通行业数字化转型趋势分析

7.1.1 研发设计从实验验证向平台仿真转变

轨道车辆行业传统研发设计是基于实地实验验证的，每种新的零部件都需要经过大量的实际线路试验检测、数据提取、统计分析来确定它的安全性、可靠性，期间耗费大量的人力、物力、财力，且效率较低。基于工业互联网平台构建虚拟仿真环境，在赛博空间构建轨道车辆数字孪生体，通过工况设置、参数输入等进行虚拟仿真，不断迭代优化，将持续推动产品研发完善，缩短研发周期，降低研发成本。

7.1.2 生产制造从大批量向柔性化转变

近年来，我国轨道车辆行业正处在快速发展时期，国内的需求量猛增、订单量巨大，轨道车辆供应商规模持续扩大、供给能力不断提升。但是，随着市场趋向饱和，地铁等多样性城市轨道交通的兴起，轨道车辆的产业需求逐渐升级，倒逼轨道车辆供应商积极寻求转型，从单纯的车辆制造商逐渐转变为基于车辆制造的服务商，探索车辆制造车间智能化改造，加速向柔性化生产的方式转变。

7.1.3 业务管理从以人为主向精益化转变

轨道车辆行业传统的管理模式以人为主，具有变动性太大、作业管理混乱、管理无法落地且追溯性差等弊端，管理效率较低。基于工业互联网平台对业务流程进行实时把控，有利于打通部门之间、人机之间、设备之间的数据壁垒，实现以节拍式拉动、看板式管理、流水化作业和标准化工位等精益化管理模式，推动生产制造透明化、部门合作协同化、资源调配高效化，节约管理成本、提高管理效率。

7.1.4 设备运维从定时维修向按需维修转变

轨道交通行业的车辆设备安全性能要求高，必须严格保障车辆运行过程中的健康水平。传统的高速铁路车辆运维建立了一套按照里程数维修的制度，每当车辆运行到标准里程数，必须进行健康水平检测，大大增加了运维的时间成本、经济成本。基于工业互联网平台在线采集车辆运行实时数据信息，经过算法统计和模型分析，有利于发现车辆运行过程

中的健康状态和存在的问题，安排维修计划，保障车辆运行效率。

7.2 工程机械行业工业互联网平台应用场景及实践

7.2.1 虚拟仿真

轨道交通行业基于工业互联网平台搭建虚拟仿真平台，构建车辆数字孪生体，在线上虚拟空间中进行工况模拟，可以实现研发设计迭代式优化。一是**建立仿真模型**。通过赛博空间和物理空间的映射，构建车辆系统虚拟模型，用来展示车辆系统实时状态。二是**进行工况模拟**。设立不同的线路，输入工况参数，进行虚拟空间实验，确定数字孪生体的车辆性能，为物理实体提供参照。三是**进行设计优化**。依托虚拟仿真得到的大量数据，经过统计分析，可以促进研发设计环节迭代更新。

例如，中车株洲机车使用 ESI 集团 IC.IDO 3D 仿真分析平台进行实时优化设计，为客户提供 1:1 3D 虚拟样机审查设计并实时传达修改，节省了大量的开发时间和成本。中车四方基于工业互联网平台协同仿真，提升资源利用率和研发仿真验证效率。

7.2.2 协同制造

基于工业互联网全要素、全产业链、全价值链连接能力，打通人与机器之间、机器与机器之间、产线与产线之间的信息壁垒，实现生产过程最大化的协同平衡。一是**人机协同**。

基于工业互联网平台，对机器设备进行远程监测、指挥、维护，实现人机协同作业。二是**设备协同**。基于平台采集生产过程数据信息，通过大数据分析优化，对生产线进行智能化改造，实现生产设备最优布局，让设备发挥最大效能。三是**产线协同**。基于平台数据的计算分析、智能决策，统一调配生产要素，推动跨产线协同制造。

例如，中车株机基于轨道交通行业工业互联网平台，建设转向架智能制造车间，实现人员、AGV设备、物料、产线全部数字化对接，解决了智能制造产线之间的协作问题。11条子生产线可达到最大化的协同平衡，转向架的构架、车轮和车轴3条生产线之间的相互等待时间基本为零。同时，基于平台开展柔性化生产，使小批量试制与大批量投产同步进行，推动人员成本减少50%，生产效率提升30.1%。

7.2.3 产业链管理

轨道交通作为一个综合性产业，其产业链十分丰富，基于工业互联网平台实现产业链的有效管理，将促进轨道交通行业资源配置优化、服务能力提升。一是**供应链管理**。建立供应商关系维护、对接、交流平台，严密把控市场动向，确保零部件高效供应，保障生产维修需求。二是**制造链管理**。加强生产制造过程的实时监测、数据采集、智能分析，提高生产车间的洞察力。三是**服务链管理**。建立客户对接平台，积极交流，根据客户不断升级的需求推出个性化产品，提高

企业服务能力，塑造综合竞争力。

例如，中车信息技术有限公司结合中国中车供应链产业升级需求，优化整合中车电商平台和中车供应链采购管理资源，建设“中车购”供应链电子商务协同平台，加强供应链管理。截止到2017年7月，平台交易总规模超过640亿元，合格供应商用户总数超过20000家。

7.2.4 设备健康管理

基于工业互联网平台对轨道车辆设备进行深刻洞察、设备故障精准预测、事故风险有效评估，按需安排维修计划。

一是**状态监测**。通过传感器等感知设备，采集车辆运行过程中的状态数据，实时进行状态监测，确保车辆安全运行。二是**建模仿真**。利用虚拟仿真平台，进行不同工况的状态模拟，从而不断优化车辆性能。三是**大数据分析**。结合工作日志、历史故障、运行轨迹、实时位置等海量数据进行挖掘分析，判断可能出现故障的时间和部位，实现预测性维护。

例如，中车株机使用先进的联网技术、传感器技术，搭建数据采集和分析平台。及时了解机车的健康参数，确保车辆在安全可控的状态下运行。中车四方和国信会视合作，基于工业互联网平台建设了轨道交通装备智能运维平台，实现列车状态数据的实时采集和处理。对列车状态进行监控和故障快速告警，降低列车运维成本，保障列车的健康安全运行。

7.3 推进应用场景落地的着力点

7.3.1 进行生产车间改造，提高生产效率

一是依托工业互联网平台，对车间全要素进行连接，实现生产数据可视化、生产过程透明化的制造全过程动态管控。二是基于大数据分析，对生产车间资源进行智能化调配，实现产线协同，提高生产资源利用率。三是基于工业互联网平台，结合 5G、人工智能、大数据等新一代信息技术，对车间进行智能化改造，提高生产制造数字化水平。

7.3.2 开发智能业务系统，增强管理水平

一是生产安全管理，对生产车间进行实时监测，对历史数据进行统计分析，对应参照，排查安全隐患，提供安全报警服务。二是质量管理，利用传感器、摄像头等设备，对各工序进行质量数据采集，进行数据分析，完善不合格品处理、质量分析、售后质量信息处置等工作，三是业务管理，开发基于平台的一体化管理系统，打通供应商、服务商、经销商等合作伙伴间的信息壁垒，提高管理效率，降低管理成本。

7.3.3 提供车辆远程运维，确保运行安全

一是建立实时状态感知系统，利用各种传感器探测、采集车辆运行过程中的参数信息，将收集的数据进行有效转换和传输。二是建立车辆实时监控系统，结合数字孪生技术，直观展示线上所有运行列车的速度、状态、运营等参数，有效提升车辆的统筹、调度、管理效率。三是建立故障预警系统，依据历史数据建立各参数变化与故障损伤的概率模型，

结合当前车辆运行参数，进行健康状态判断、趋势分析与异常情况自动报警，降低运维成本。

八、工程机械行业

工程机械行业具有设备产品多样、生产过程离散、供应链复杂的行业特征，面临设备价值增值水平不高、供应链资源调配效率低下、金融生态不完善等行业痛点，急需加快基于工业互联网平台的数字化转型步伐，全面提升研发设计、生产制造、供应链管理、远程运维、客户服务等环节的数字化水平。徐工集团、三一重工、中联重科等国内企业和 uptake 等国外企业以远程运维为切入点，日本小松以智慧施工为切入点，加速推动工程机械行业向设备维护智能化、综合解决方案“交钥匙化”方向加速转型。基于此，我们对工程机械行业基于工业互联网平台进行数字化转型解决方案进行了专题研究，深入剖析了工程机械行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，同时，该报告对其他高端装备行业数字化转型路径的探讨同样具有借鉴意义。

8.1 工程机械行业数字化转型趋势分析

8.1.1 设备维护按需化

传统以预防为主的定期维修无法有效处理潜在或突发的异常故障，也会产生诸多不必要的拆卸和安装，造成过高的设备维护维修费用和额外的磨合损耗，甚至导致新的故障。基于工业互联网平台，在线采集设备性能、状态参数等数据信息，经过一系列的统计算法和分析，可以及时发现设备运行过程中的健康状态和存在的问题，按需求进行设备维护，

节省人力物力，保障设备运行效率。

8.1.2 备件管理精益化

传统的仓储模式能够缓解一定的备件需求压力，但是相应的产生了包括存储空间、物流调配、流转资金等高昂的仓储成本，还需要进行备件管理，耗费人力物力。运用物联网、云计算、大数据等新一代信息技术，加强供应链管理，能够提高备件流通效率，快速响应生产和维修需求，即时调配、按需调配、智能调配，从而提高了生产和维修效率，节省现金流。

8.1.3 产融结合在线化

由于工程机械设备单价高、行业金融体系不完善等原因，下游中小企业往往存在着资金短缺的问题，严重制约了行业生态的发展。依托工业互联网平台进行设备连接、数据采集、统计分析能力，可以实现制造设备运行过程透明化，有利于金融机构做出实时评估，控制金融风险，在线提供快速融资、贷款服务。

8.1.4 解决方案服务化

我国工程机械行业的技术、产能、效率近几年获得了飞速的发展，为应对越发紧缩的市场环境，响应用户端需求的升级变化，工程机械行业正呈现出制造业服务化趋势，即以产品制造商向解决方案提供商转变，从单纯的生产加工向提供设备运营维护、支撑业务管理决策、满足个性化定制需求

等服务环节延伸，增加产品附加价值，塑造企业综合优势。

8.2 工程机械行业工业互联网平台应用场景及实践

8.2.1 设备预测性维护

工程机械行业基于工业互联网平台的建模仿真、数据分析、评估诊断能力，有效评估设备健康水平，实现预测性维护。一是**设备状态监测**。实时采集温度、电压、电流等数据，提高设备状态洞察力，避免机械设备突发故障。二是**设备建模仿真**。构建设备数字孪生体，通过输入参数、工况等数据，进行模拟仿真，优化维护方案。三是**设备故障诊断**。对设备工作日志、历史故障、运行轨迹、实时位置等海量数据进行挖掘分析，判断可能出现故障的时间和部位，安排维修计划。

例如，卡特彼勒基于 Uptake 开发的设备联网和分析系统，采集设备的各类数据信息，联网监控，分析预测设备可能发生的故障，实现了 300 多万台运转设备的统一管控。日立基于 lumada 工业互联网平台推出 consiteoil 解决方案，通过传感器将远程的故障预警率提高到 58%。徐工集团基于汉云工业互联网平台，为每一台设备做数字画像，将可能损坏的零部件进行提前更换，使设备故障率降低一半。

8.2.2 备品备件管理

备品备件的管理一直以来都是工程机械行业不可忽视的重要部分，基于工业互联网平台，可以有效促进企业备品备件管理迈向智能化。一是**备品备件标识管理**。以物联网技

术连接备品备件，运用标签化管理、智能化检索等手段实现备品备件的监督、跟踪和协调。**二是备品备件部门协同。**基于工业互联网平台，打通各部门信息壁垒，推动跨部门协作，促进备品备件高效流通。**三是备品备件供应链管理。**建立零部件供应商对接交流平台，在保障生产和维修需求的前提下，实时、定量采购，降低库存量，节约现金流。

例如，徐工集团基于汉云工业互联网平台，实现备品备件的计划、采购、库存、供销、追溯功能一体化，通过大数据分析持续优化备品备件管理体系，打破生产商和分销商信息孤岛，提升分拣效率 8%，提升仓库利用率 6%，降低备件库存 8%，提高库存周转率 5%。

8.2.3 智慧施工

工程机械行业正从设备本身的解决方案向现场的解决方案转变，将机器和工人连接，优化施工方案，辅助操作施工，实现智慧施工。**一是现场施工数据采集。**通过传感器、无人机、三维扫描仪等方式对施工对象、施工场景、外在环境等因素进行高精度感知，掌握现场施工状态。**二是施工方案模拟仿真。**建立虚实映射的数字孪生体，输入设立不同的施工条件，进行工况模拟迭代，不断优化施工方案。**三是现场施工现场指挥调度。**建立反馈响应系统，根据设备动态变化，实时修正、调整施工方案并指挥现场施工。

例如，小松提出和实施 smart construction 即智能施工解

决方案。通过无人机+边缘盒子+小松云，聚焦高精度测量、设计图和测量图对比(Skycatch)、小松云模拟确定施工计划、施工可视化等环节，实现了建筑工程状态感知、实施分析、科学决策、精准执行的闭环，从而实现远程操作服务。

8.2.4 互联网金融

基于工业互联网平台实现工程机械设备的深刻洞察、设备故障精准预测、事故风险有效评估，促进基于平台的产融模式创新。一是在线贷款。银行、金融机构通过线上平台监测施工队作业情况、承包商贷款情况和经营情况，针对性给与贷款、融资等服务。二是融资租赁。工程机械企业依托独立运作、与银行合作、与融资公司合作等方式，开始租赁业务。加快资金的流通，降低融资成本，缓解资金压力，帮助中小企业迅速做大做强。三是精准投保。保险公司依托工业互联网平台对机械设备的监测、管理能力，综合评估工程机械设备施工风险，从而实现针对性投保、按需投保、精准投保等保险服务。

例如，中联重科成立融资租赁公司，实现了设备的扩大销售，获得的营业额将占集团总收入的20%以上。三一集团基于树根互联根云工业互联网平台，通过融资租赁或者经营性租赁运营超过50%的设备，每年管理超300亿的在外贷款；同时与久隆、三湘银行展开合作，开发用于精准定价与风险选择的数据产品，帮助久隆保险完成UBI保险产品及延保产

品的定价。

8.3 推进应用场景落地的着力点

8.3.1 关注数据采集，扩展信息获取渠道

一是加强施工现场数据采集，通过传感器、无人机，摄像头、三维扫描仪等感知设备，采集现场施工环境和施工对象信息。二是加强设备端数据采集，基于平台采集和整合工程机械设备设计数据、运行数据、运维档案和地理位置等数据，实现对机械设备的深刻洞察。三是加强客户端数据采集，采集客户需求、反馈等数据信息，形成对市场的理解和认识。

8.3.2 紧扣模型开发，提高模型供给能力

一是面向业务运营管理，构建资源调度模型、安全管理模型、供应链管理模型等，实现管理优化。二是面向设备远程运维，构建状态监测模型、预测预警模型、健康评估模型、故障诊断模型等，实现机械设备智能化运维。三是面向生产制造，构建加工工艺模型、质量管控模型、组装装配模型等，提高生产质量和效率。

8.3.3 聚焦解决方案，开发推广典型应用

一是设备智能运维解决方案，基于平台的数据沉淀和模型应用，开发部署运行监测与分析工业 APP，提供智能运维解决方案。二是现场施工解决方案，实时监控现场施工设备运行状态，基于工业互联网平台大数据分析能力，提供现场施工解决方案。三是供应链管理解决方案，依托工业互联网

平台开发集中采购、供应商管理、柔性供应链、智能仓储、智慧物流等云化应用服务。

8.3.4 深化服务能力，加强企业综合实力

一是进行反馈式设计，发挥机械设备在制造和使用过程中获得的数据、经验和智慧，返回到产品设计中，促进产品设计迭代式创新。二是进行柔性化生产改造，对产品按照其功能进行划分而进行模块化设计，内部实现零部件的标准化、通用化，采用多功能机械手，实现了多品种生产组装的快速切换。三是开展精益化管理，有效整合备品备件、机械设备、生产线、供应链、客户端信息，优化管理模式，提高产业链协同能力。

8.3.5 拓展商业模式，加快数字转型步伐

一是实施平台化战略，搭建工业互联网平台，汇聚产业链上下游优势资源，对接优质客户、供应商、经销商开展商业合作。二是开展服务型制造，探索基于产品研发设计的增值服务、基于产品效能提升的增值服务、基于产品交易便捷化的增值服务、基于产品集成整合的增值服务以及从基于产品的服务到基于需求的服务。三是开展产业链金融创新，积极对接金融机构、保险公司、银行等，共同开发金融产品，提高金融服务能力。

九、家电行业

家电行业具有技术更新速度快、产品研发周期短、产品同质化程度高等特征，面临市场趋于饱和、生产智能化水平低、供应链协同难度大等痛点，海尔等家电企业正以个性化定制和供应链整合为切入点，加速向生产方式柔性化、经营管理平台化、产品服务生态化等方向数字化转型。研究工业互联网平台如何在家电行业落地，对探索传统行业数字化转型具有重要意义。

9.1 家电行业数字化转型趋势分析

9.1.1 生产定制化

家电行业中消费者对产品的需求日趋多样化，这对企业智能化生产能力提出了更高的要求。规模化定制作为一种新的生产模式，依托工业互联网平台使用户参与到从产品设计到成品生产的全过程，并将用户需求直接转化为生产排单，实现以用户为中心的个性定制与按需生产，在全面综合成本、质量、柔性和时间等竞争因素的前提下，有效地解决需求个性化与大规模生产之间的冲突，成为大多数龙头家电企业转型的方向。

9.1.2 经营平台化

家电行业竞争的实质是供应链竞争，供应链的运作能力是家电企业不可或缺的核心竞争力和战略制高点。传统家电企业的供应链响应周期长、响应速度慢、协同管理手段缺失，

导致供应链整体运行效率低，形成过重的渠道库存，影响产品的交付周期和用户满意度。在这种背景下，基于信息化手段，依托工业互联网平台提高各环节协作效率，实现企业内外部供应链协同优化，成为家电企业数字化转型关注的焦点。

9.1.3 产品服务化

随着宏观经济增长放缓，家电消费需求增速明显回落，家电企业通过不断丰富产品功能，优化产品结构，加速向附加值更高的产业链上游转移。随着新一代信息技术的快速迭代和不断成熟，家电产品正从单纯的功能性产品向智能化服务系统转变，借助先进的传感器、互联网、人工智能、自动控制等技术，实时感知用户信息，通过平台化统一管理和信息交互，为用户提供全方位、定制化的家居体验，推动企业由卖产品向卖解决方案转型，形成新的竞争优势。

9.2 家电行业工业互联网平台典型应用场景及实践

9.2.1 柔性化生产

家电行业工业互联网平台能够快速响应用户需求，促进生产环节与用户需求的深度交互，实现柔性化生产。一是**产品设计优化**。通过工业互联网平台建立定制化产品设计体系，使用户全流程参与需求交互、产品设计、生产制造、物流交付等产品全过程，形成基于用户数据驱动的闭环设计系统，提升产品设计效率。二是**采购供应优化**。通过工业互联网平台采集汇聚传感器、设备控制器、立体仓库、AGV、物流机

机器人等设备数据，开展生产进度、物料管理、企业管理等深度分析，实现排产、仓储、运输和追踪的按需调度和优化。

三是生产过程管控。通过工业互联网平台可与生产制造各环节建立互通互联的数据通道，通过构建生产设备、产线、材料、工艺等数字模型，利用现场数据驱动模型运行，按需优化控制生产环节、加工环节、装配环节的工艺流程、路径规划、控制参数及生产系统结构和控制程序，实现智能化生产。

例如，**海尔集团**依托 COSMOPlat 平台打造了 15 家互联工厂，形成以用户需求驱动的按需即供、弹性部署、横向扩展的柔性生产能力。以胶州互联工厂为例，其中：生产效率提升 60%；开发周期缩短 50%以上；交货周期缩短 50%以上；运营成本下降 20%。**美的集团**通过打造 M.IoT 工业互联网平台，构建以数据为驱动的全价值链运营，实现传统家电制造工厂到精益制造、再到智能精益制造的转型升级。以美的南沙工厂为例，其中：原材料和半成品库存减少 80%；整体制造效率提高 44%；产品交付周期由 20 多天降到最多 3 天。

9.2.2 供应链协同

家电行业工业互联网平台可打通产业链上下游各环节，实现跨部门间、跨企业间、企业与社会间的数据互联互通，促进资源优化配置和开放共享。

一是企业内部供应链协同。通过工业互联网平台可实时获取设备、工具、物料、人力等生产资源信息，跟踪现场物料消耗，结合库存情况进行精准

配货，实现生产、库存的动态调整优化，有效降低库存成本。

二是企业间供应链协同。通过工业互联网平台实时采集物联网数据、生产操作数据、供应商数据、用户感知数据和企业经营数据，通过边云协同实现供应链数据的横向集成和纵向集成，推动设计、制造、供应、服务等环节的并行组织和协同优化，形成集中采购、协同设计、电商销售、智慧物流、金融科技等创新服务。例如，**海尔集团**依托平台整合研发资源、供应商资源、用户资源，构建了基于平台的共创共赢生态，为企业和用户提供包括互联工厂建设、协同制造、设备资产运维、供应链金融等服务，形成平台上供应商、企业、用户全链条的价值增值，实现由制造型企业向平台型企业的转型，其中：平台集聚供应商资源 390 万家；服务企业数量 4.3 万家；生态收入超过 151 亿元。

9.2.3 智能家居解决方案

家电行业工业互联网平台利用在产品上增加智能模块实现产品联网与家居环境感知，并利用大数据分析提供智能家居解决方案，推动企业由卖产品向卖服务拓展，有效延伸价值链条，扩展利润空间。**一是智能家电解决方案。**通过将边缘计算、网络通信等技术引入到家电产品中，使其具有自感知、自适应功能，基于平台实现健康节能等服务。**二是家居整体解决方案。**通过将各种家庭设备进行云端连接，依托平台对设备的环境数据、运行数据及用户设置数据等进行智

能分析，实现家居环境控制、空气质量管理、家庭安全防护等综合服务。例如，松下电器以智能家电作为用户数据入口，向附加值更高的产业链上游转移，通过打造基于平台的 Ora 智能家居解决方案，为用户提供从智能单品到智能家居、从智能家居到家庭装修的一体化综合服务，实现企业由“卖产品”向“卖服务”转型。其中，“家电 DNA”已延伸至住宅、美容健康、车载、系统解决方案和 B2B 业务等领域；打造的“住空间”系统解决方案，预计 2021 年营收将达到 600 亿元。

9.3 推进应用场景落地的着力点

9.3.1 构建规模化定制生产能力，抢占用户数据主导权

一是聚焦用户需求，通过引入用户参与生产全流程，依托平台实现需求数据在研发设计、生产制造、物流销售等环节的流通，形成用户需求的深度挖掘、实时感知、快速响应和及时满足的能力。二是聚焦生产过程，通过在智能设备群、产线、车间等工业现场部署具备边缘计算能力的智能终端，实时对生产数据进行分析与反馈，实现整个生产过程的动态管控优化。

9.3.2 构建平台化组织管理能力，整合供应链上下游资源

一是聚焦企业层面，利用平台打通设计、管理、供应链等各环节数据，推动企业内顶层决策到底层生产的端到端集

成，基于大数据、人工智能等技术进行挖掘分析，实现扁平化管理和决策优化。二是聚焦产业层面，构建基于平台的数据共享机制，实现供需信息、制造资源、创业创新资源的汇聚，通过基于数据分析的重新组织，实现产业链上下游资源优化配置与协同，形成新模式、新业态和新的利润增长点。

9.3.3 构建基于平台的产品生态，内生外延打造系统解决方案

一是聚焦智能单品，通过置入微处理器、传感器、网络通信等装置，使家电产品可监测、可控制、可优化，形成单元级的产品服务系统，依托平台提供状态监测、故障诊断、预测预警、健康优化等智能服务。二是聚焦智能家居，以家庭场景为中心，通过在家居设施中配置通用智能模块，实现智能硬件间、智能硬件与平台间的互联和集成，通过对用户家居全场景实时感知和智能控制，形成系统级的产品服务系统，提供智能一体化的家居服务。

十、电子信息行业

电子信息行业是国民经济的战略性和基础性行业，具有产品种类多、技术含量高、产品质量要求高、生产周期要求短、技术更新速度快的行业特征，面临设备管理精度不够、不同产品间的生产排产切换慢、生产管理效率低、产品质量管控不够等行业痛点，亟需加快基于工业互联网平台的数字化转型步伐，全面提升设备管理、生产研发生产管理、产品质量管理、供应链管理等环节的数字化水平。富士康、华为、新华三、华星光电、腾晖光伏等企业以产品质量检测、生产管理优化为切入点，加速推动电子行业向“研发—生产—管理—运维”的全环节智能化方向加速转型。基于此，我们对电子信息行业基于工业互联网平台进行数字化转型解决方案进行了专题研究，深入剖析了电子信息行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案。

10.1 电子行业数字化转型趋势分析

10.1.1 设备管理从粗放管理向精密管控转变

传统电子信息制造业的流水线方式需要依赖于大量的生产设备，因设备管理不善导致生产停机、贵重设备提前报废、产品质量隐患等问题将对企业造成巨大损失。特别是对产品一致性和可靠性要求高的电子元器件领域、对加工精度要求高的精密零组件和精密模具领域，生产设备的微小偏差都会造成产品质量的大幅下滑。随着新一代信息技术的应用

发展，基于传感器、自适应感知、精确控制与执行等数据采集技术，使得覆盖设备全生命周期的实时态势感知、远程故障诊断和预测性维护成为可能，有效降低设备运维成本，提高产品质量和生产可靠性。

10.1.2 制造生产从手工组装向人机协同转变

我国是电子信息产品制造第一大国，但是从国际产业价值链分工来看，我国仍处于全球价值链中的中低端，以生产组装为主。虽然我国电子信息制造业自动化水平比较高，但是组装环节仍需要大量人力。以富士康为例，作为苹果手机、平板的主要代工制造商，其在深圳有超过 20 万名生产制造员工。在工业互联网平台上，人的知识和经验以机理模型的形式被共享、复制、传播，赋予机器人人类的智慧，有利于推动人的认知性、灵活性等特点与机器的高精准、高效率有效结合起来，提升人与机器的协同合作水平，降低人力成本，提高生产效率。

10.1.3 质量检测从人工检测向智能检测转变

随着电子信息技术的飞速发展，电子产品加速向小型化、精密化、集成化演进，对电子制造工艺的速度、精度、可靠性提出了更高的要求。提出了高速率、高精度、高可靠的要求。传统人工检测方法存在主观性强、精确度低等问题，基于机器视觉、深度学习等技术，对产品开展智能质量检测，不仅可以排除主观因素干扰，还能够对这些指标进行定量描

述,减小了检测分级误差,提高了生产率和分级精度。

10.2 电子行业工业互联网平台典型应用场景及实践

10.2.1 设备智能管控

一是**设备状态监测**。基于工业互联网平台采集温度、电压、电流等数据,直观展示设备实时状态,实现设备全面、实时、精确的状态感知。二是**设备故障诊断**。利用大数据分析技术,对设备工作日志、历史故障、运行轨迹、实时位置等海量数据进行挖掘分析,基于专家库和自学习机制建立故障智能诊断模型,实现设备故障精准定位。三是**预测性维护**。基于工业互联网平台分析预测设备关键部件变化趋势、产品寿命和潜在风险,提前预判设备零部件的损坏时间,主动提前进行维护服务。

例如,富士康基于 BEACON 工业互联网平台实时采集精密刀具状态数据,结合智能调机深度学习算法,实现了刀具的自感知、自诊断、自修复、自优化、自适应,使刀具寿命延长 15%,减少刀具成本 15%,刀具崩刃坏刃预测的准确率达 93%,产品良率提升超过 90%,稼动率提升超过 90%。

10.2.2 研发生产管理优化

一是**研发设计**。基于产品的几何、工艺、功能、质量、检测、运行环境等参数,构建产品的数字孪生模型,开发者不需要实际试验测试,即可验证产品在真实环境中的性能。基于数字孪生“零成本试错”的研发创新可以有力促进我国

电子信息产业的研发创新，目前我国在该领域仍处于探索应用阶段。**二是智能排产。**在新产品实际投入生产之前，利用数字孪生预先对生产计划排程、订单管理、质量管理、物料管理和设备管理进行建模测试，找出最优方案，可帮助企业缩短新产品导入周期，提高产品交付速度。**三是精益管理。**通过对企业的人、机、料、法、环的数字化、模型化、代码化，实时监控企业运行情况，发现不合理和低效的管理流程，提出改进方案，提高组织管理效率。

例如，腾晖光伏基于自建的工业互联网平台，打通企业内部设备、产线、生产、运营的数据链，结合光伏行业工业经验知识模型，对数据实时汇聚和分析挖掘，实现生产全流程优化，企业整体运营成本降低18%，单位产值能耗降低5%，采购成本降低5%，产品良率提高5%，生产效率提高19%，产品设计周期缩短20%。

10.2.3 产品质量检测

一是产品质量检测。在产品生产过程中，实时采集质量检测点的检测数据，利用机器视觉、人工智能技术，结合产品质量分析模型，及时发现潜在质量问题，消除质量管理环节漏洞，实现异常品快速响应。**二是产品质量全流程追溯。**基于工业互联网平台，打通原料供应、元器件生产、零部件生产、组装加工、集成销售、运维等产品全生命周期的质量数据，结合质量追溯模型，实现产品全生命周期的质量跟踪，

提升产品质量控制精度。

例如，华为基于 FusionPlant 工业互联网平台，实时采集检测点的手机电芯、电池、单板的数据，结合华为云 EI 服务的视觉检测模型实现柔性质检，使成品率提升到 99.55%，员工重复劳作降低 48%。华星光电基于腾讯云，运用深度学习、缺陷分类和知识图谱技术，构建面板检测模型并使用实际生产数据优化模型，使质量缺陷识别速度提升 10 倍，缩短生产周期 40%，缩减人力 50%。

10.2.4 供应链协同

一是企业内部供应链协同。基于工业互联网平台，实时采集企业内的设备、工具、物料、人力等数据，实时跟踪现场物料消耗，结合库存情况安排供应商进行精准配货，实现生产、库存的动态调整优化，有效降低库存成本。二是企业间供应链协同。以工业互联网平台为连接枢纽，实时采集供应链上下游企业的排产、生产、库存、质量、物流方面的运行数据，结合供应链协同模型，优化全供应链资源配置，实现供应链动态、精准协同。

例如，新华三基于 UNIPower 紫光工业互联网平台，整合供应链上下游的设备、加工、质量、工艺、物流等数据，结合供应链协同排产模型、库存优化模型、质量检测模型，实现跨区域、跨企业、跨部门的供应链协同。驻外包制造工厂的现场管理人员和工程师减少了 20%，外包工厂的生产操

作类质量问题数则减少了 40%以上。

10.3 推进应用场景落地的着力点

10.3.1 聚焦边缘数据，打造高效边云协同体系

一是在边缘数据采集方面，安装智能传感器、摄像头、三维扫描仪等数据采集工具，利用泛在感知技术，采集研发、生产、销售环节的多源设备、异构系统、运营环境、人员等数据，实现对企业运行状态的全面感知。二是边缘数据分析方面，将云端机器学习和深度学习算法，部署在生产设备端，在边缘控制器上集成分析引擎，实现设备的自动调整和优化，在模型、数据、服务三方面实现边云协同。

10.3.2 聚焦模型开发，强化机理模型供给能力

一是围绕设备管理，开发电子行业设备状态监测、设备故障分析、设备自主维护、设备自主控制等模型，提高设备智能管控水平。二是围绕企业生产全环节，开发电子行业研发设计、预先排产、生产过程优化、精益管理等模型，优化企业研发生产管理各环节提质增效。三是围绕产品质量管理，开发电子行业产品质量检测、产品全生命周期质量追溯等模型，提高产品质量管控精度。四是围绕供应链协同，开发企业内和企业间供应链协同模型，优化资源配置。五是构建知识图谱，开发模型管理引擎，实现模型标签化管理、智能化搜索和精准化调用。

10.3.3 聚焦应用场景，深化解决方案应用推广

一是围绕设备管理，基于平台的数据沉淀和模型应用，研发设备状态监测、故障诊断、预测性维护、自主控制等解决方案，提高设备智能管控水平。二是围绕企业生产管理，面向电子行业自主研发能力弱、不同产品间的生产排产切换慢、生产管理效率低的痛点，按需调用机理模型，打造研发创新、预先排产、精益管理等解决方案，优化企业生产管理。三是围绕产品质量管理，面向电子产品质量要求高、质量检测效率低的矛盾，打造产品质量检测、产品全生命周期质量追溯等解决方案，提高产品质量管控精度。四是围绕供应链管理，面向电子行业在供应链上下游的信息流通堵点和供需错配问题，打造企业内和企业间的供应链协同解决方案，提高供应链整体的资源配置效率。

十一、风电行业

风电行业具有风场设计周期长、设备维护成本高、并网协调效率低、弃风漏电压力大等痛点问题，制约着风电产业的发展壮大。工业互联网平台作为新一代信息技术与制造业融合发展的产物，正结合风电产业地理位置偏僻、资本技术密集、发电波动性大等特征，以设备智能化运维、风场数字化管理、精准柔性供电等场景为切入点，加速风电行业数字化转型。基于此，我们对风电行业基于工业互联网平台进行数字化转型解决方案进行了专题研究，深入剖析了风电行业数字化转型趋势、平台应用场景以及业务落地解决方案，同时，该报告对其他新能源行业数字化转型路径的探讨同样具有借鉴意义。

11.1 风电行业数字化转型趋势分析

11.1.1 数据采集：由底层互联向全面感知转变

数据采集是风电产业设计、生产、运营的关键基础，传统数据采集周期长、成本高、精度低，难以满足风场精细化设计和运营需求，容易造成投资方损失。随着智能传感器和通信技术的兴起，更加实时、全面、精细的数据采集成为可能，能够为风场设计建立更加精密的风资源图谱，为设备运行建立齿轮、轴承等更加微观细致的数字模型，为风场管理提供准确有效的气象、能源等数据输入以应对雷击、台风、雾霾等不同场景需求，从而为智能选址设计、生产性能提升、

管理决策优化等提供有效数据支撑。

11.1.2 设备维护：由人工调试向智能运维转变

风场一般处于人烟稀少、位置偏僻、环境恶劣的地区，不适宜维护人员长期驻扎。特别对于海上风电来说，后期运营维护费用占到总成本的一半以上。此外，由于风电行业前期跳跃式发展、参与方良莠不齐、缺乏统一标准等原因，导致风电机组在实际运维中容易存在运行不稳、故障频发等问题。目前国内风电运维仍然以纠正型运维为主，后期设备维护成本较高。结合 5G 无人机、巡检机器人等智能产品远程巡检设备运行情况，有利于在云端对设备运行与环境数据进行大数据分析，开展预测性维护与备品备件管理，减少设备停机维护带来的损失，提高运维数字化、智能化水平。

11.1.3 风场管理：由单场单管向虚拟集成转变

一方面，随着国家能源局做出新能源电价调整的战略决策，风电和火电价格将趋同保持一致，压缩风电利润空间，倒逼企业提高生产效能。另一方面，由于缺乏系统规划、风预测精度低、电网不配套等原因，风电产业限电弃风压力较大，容易造成资源浪费。通过综合运用数字孪生、VR 等技术构建“数字风场”，对大气环境、设备运行、电力输送等建立虚拟模型，有利于依托大数据分析开展集群运行参数优化，助力实现风电产量精准预测，为管理者直观反馈风场运行情况，优化运行控制策略执行，提高风场发电效率。

11.2 风电行业工业互联网平台典型应用场景及实践

11.2.1 虚拟风场设计

依托工业互联网平台设计虚拟数字风场，有利于提高设计精度，缩短设计周期，有效降低了风场建设设计过程中的不确定性。一是**宏观辅助选址**。基于互联网平台的计算能力与地理信息资源，结合激光雷达、无人机等勘探技术建立三维仿真模型，实现宏微观地理选址与场区推荐。二是**机群优化排布**。通过定制化风场仿真建模实现机组最优排布、集群尾流优化、工程精准计划等自动化设计，合理利用不同密度的风力资源。三是**风场个性定制**。依托平台针对风场特有的风况特征、地形条件等进行定制化设计，节约工程建设成本，控制风电场投资风险。

例如，金风科技依托金风云平台打造风场数字化设计系统，围绕环境、风机、道路等建立高精度三维仿真模型，实现“分钟级”集电线路自动规划与“秒级”智能选址，缩短了设计周期，提高了设计精度，推动风电场投资回报率提升1%~3%，投资估算误差小于3%。

11.2.2 设备预测维护

树根互联、东方国信、徐工集团等工业互联网企业将减少设备停机检修损失、开展预测性维护作为切入点，以风机为核心实现覆盖风电设备全生命周期的故障预测和主动维修，有效降低平准化维护成本。一是**精准故障定位**。依托平

台建立故障智能诊断模型，基于专家库和自学习机制，缩减人工挑选有用变量的成本与时间，快速实现设备故障定位。二是**设备预测维护**。基于平台分析预测风机关键部件变化趋势、产品寿命和潜在风险，对零部件库存、运输和更换开展主动管理，抢占维修窗口期，减少风机停机、飞车倒塔等损失。三是**虚拟辅助维修**，基于数字孪生技术打造风机故障实验模拟平台，通过数字样机积累设备维护知识库与解决方案检索库，提高故障处理效率。

例如，巴盟风电整合风力发电设备的设计、环境、运行、运维档案等数据资源，建立设备健康管理模型，打造具备故障诊断预测、产品健康管理和寿命预估等功能的综合管理系统，使关键零部件故障可提前 72 小时预警，次生事故可降低 90%，减少直接和间接损失近千万元。

11.2.2 风场管理优化

企业依托工业互联网平台建立场级运行管理模型，有利于精确预测发电区间，优化电网功率负荷，探索分布式能源管理，提升风场管理水平。一是**发电效能提升**。依托通过调整风机控制提高机组出力，带动风场整体效能提升。二是**集约管理优化**。基于工业互联网平台整合风电开发产业链，汇聚前期工作、工程建设和生产运营等环节关键要素，提高风场管理水平，支撑风电规模化发展化。三是**柔性协调供电**。基于大数据精准预测发电量区间，与火电、太阳能等能源实

现协同增效，降低供电整体波动性。

例如，昆仑数据与国网青海电力联合打造“绿能互联”工业互联网平台，接入负荷侧大用户并开展能耗监测业务，通过对风机集群进行动态监测、状态纠偏与参数优化，推动电厂发电量提升 1%-5%，新能源电厂人员成本降低超过 20%，电厂备件消耗平均降低 10%。

11.3 推进应用场景落地的着力点

11.3.1 关注底层数据采集，加速设备上云上链

一是以业务需求为导向，建立底层数据协议转换机制，实现升压站、风电机组、静止无功发生器等设备上云与动态监控。二是依托区块链技术，加快传动链、轴承、齿轮箱等关键部件运行数据上链，为后续的备件生产和维修策略制定提供安全、稳定的数据支撑。三是完善风电企业内网体系，打通电力输送、变电管理等关键业务数据流通网络，拓展数据采集方式，提高数据采集效率。

11.3.2 夯实模型构建基础，强化重点模型培育

一是综合考虑地理、气候、运输等因素建立风力资源模拟、集群影响分布、虚拟风场设计等模型，降低设计与建设的不可确定性。二是与高等院校、科研院所加强合作，针对风机螺旋载荷、叶片结冰预警、轴承寿命预测等建立重点应用模型库，三是培育积累能源错峰分布、集群效率提升等管理模型，加快运营管理经验沉淀并实现模型的标签化管理、

智能化搜索与精准化调用。

11.3.3 聚焦重点应用场景，深化解决方案应用

一是打造设备级解决方案，围绕叶片结冰预警、轴承健康管理、齿轮故障预测等领域培育一批稳定高效的杀手级工业 APP。二是打造场级解决方案，围绕风场功率预测、气象变化应对、风场能量分布等场景建立风电解决方案库，加快风场生产效率提升。三是打造产业链级解决方案，整合地方风电产业各方资源，打造新能源错峰调配、风电消纳扩容等综合场景解决方案，提升风力资源应用整体效率。

11.3.4 提升产业协同水平，加快服务模式创新

一是提高风场性能实时监控与预测能力，探索打造风光互补、风水互补等区域分布式能源体系，实现供电、售电、用电协同运营。二是依托平台充分挖掘数据潜在价值，探索开展信用担保、数据交易、融资租赁等商业模式创新，打造平台务服务型风电企业。三是探索售电辅助决策，开发智能报价、交易模拟、数据报告等功能，形成客户分级管理、特色供电套餐等营销模式，推动收益利润增值。

11.3.5 加强数据安全治理，筑牢网络安全防线

一是鼓励编制平台网络攻击应急预案与运行指导手册，引入工业防火墙、网闸等工控安全产品，定期开展相关培训与应急演练。二是引导企业对照数据管理能力成熟度模型（DCMM）开展贯标，制订数据分类分级管理标准，按照系

统特性定期异地备份数据。三是全面排查数据访问漏洞，完善电力数据管理体系，确保满足电网横向隔离、纵向加密的安全要求。