

# 江苏省制造业智改数转网联 风电传动链行业实施指南

江苏省工业和信息化厅  
二〇二五年



# 目 录

一、 背景与现状 .....	1
1. 指南范围	1
2. 风电传动链行业概述	2
3. 智改数转网联现状	3
二、 目标与架构 .....	7
1. 指南总体目标	7
2. 实施架构	7
三、 基础能力 .....	10
1. 企业标识解析体系能力建设	10
2. 设备层-数据采集能力建设	12
3. 网络层-网络基础设施能力建设	14
4. 平台层-信息系统能力建设	17
5. 应用层-智能应用能力建设	20
6. 安全层-信息安全能力建设	22
四、 环节与场景 .....	25
1. 工厂建设	25
2. 产品设计	31
3. 工艺设计	38
4. 计划调度	42

5. 生产作业	47
6. 仓储物流	52
7. 质量管控	55
8. 设备管理	60
9. 安全管控	64
10. 能源管理	68
11. 环保管控	72
12. 营销管理	74
13. 售后服务	77
14. 供应链管理	82
五、路径与方法 .....	87
1. 实施路径	87
2. 相关政策及方法	103
六、愿景与展望 .....	119
附件 1 人工智能典型应用场景 .....	121
1. 高速齿轮箱生产中的人工智能应用	121
2. 风机运维中的人工智能应用	124
3. 设备状态评估与剩余寿命预测的人工智能应用	128
附件 2 投入改造清单及图谱 .....	131
附件 3 典型案例 .....	166

案例一 江苏金风科技有限公司	167
案例二 远景能源有限公司	170
案例三：南京高速齿轮箱制造有限公司	173
案例四 江苏天奇重工股份有限公司	176
案例五 常州天山重工股份有限公司	179
案例六 常州优谷新能源科技股份有限公司	183
案例七 常州神力电机股份有限公司	188
案例八 江苏振江新能源装备股份有限公司	191
案例九 江苏中车电机有限公司	195
案例十 南通通达砂钢冲压科技有限公司	198
附件 4 服务商目录 .....	201
附件 5 技术缩略语 .....	205
附件 6 江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引	213

# 一、背景与现状

## 1. 指南范围

风电传动链作为风力发电机组的核心动力传递系统，是连接风轮叶片与发电机的重要能量转换装置，其性能直接影响风电机组的发电效率与运行可靠性。作为全球能源转型的关键，风电传动链行业在提升风能利用效率、降低度电成本、推动绿色低碳发展等方面发挥着战略作用。加快该领域智能化改造、数字化转型和网络化连接，对江苏省构建新型能源体系、实现“双碳”战略目标具有重要意义。

风电传动链行业呈现纵向集成特征：上游主要包括轴承、齿轮、联轴器等精密零部件的铸造/锻造企业；中游涵盖主齿轮箱、发电机等核心部件的系统集成与智能装配；下游涉及风电整机制造、风电场智能运维及全生命周期管理服务。作为江苏高端装备制造领域重点培育的产业链，本省已形成从关键部件研发到整机总装的完整产业生态。

本指南聚焦风电传动链产业链上游铸件/锻件生产环节、中游齿轮箱生产环节、发电机生产环节及下游整机生产环节，既适用于具备全流程数字化基础的大型企业，也面向亟需突破工艺瓶颈、提升智造水平的中小型企业。本指南通过构建覆盖全产业链的智改数转网联实施方案，为省内企业提供涵盖智能工厂建设、设计工艺管理、智能生产应用、供应链协同优化等关键场景的转

型升级路径指引，助推江苏风电装备产业向高端化、智能化、绿色化方向高质量发展。

## 2. 风电传动链行业概述

近年来，全球风电市场规模持续增长，推动了风电传动链产业的快速发展。根据全球风能理事会(GWEC)发布的报告，2024年全球新增风电装机量预计增至131GW，同比增长12.8%。同时受原材料价格波动影响，传动链占整机成本比例或小幅上升至32%~35%。这一增长趋势预计将持续至2028年，全球风电累计装机容量有望增长至1812GW<sup>1</sup>。

随着风电场的建设成本和投资规模的扩大，我国风力发电累计装机容量整体呈现快速增长的趋势。国家能源局数据显示，2024年，全国风电新增装机容量8699万千瓦，同比增长9.6%。截至2024年12月，全国风电累计并网容量达到5.21亿千瓦，同比增长18%。其中，陆上风电4.8亿千瓦，海上风电4127万千瓦<sup>2</sup>，且我国海上风电累计装机已连续三年稳居全球第一位，超过第2—5名国家海上风电并网总和。

江苏省作为全国乃至全球风电传动链的重要基地，截至2024年全省风电传动链行业内相关企业数量超5200家，居全国首位，这些企业产值超2000亿元，产业链覆盖整机、齿轮箱、电机、

---

<sup>1</sup> 数据来源：GWEC发布《全球风能报告2024》

<sup>2</sup> 数据来源：中国可再生能源学会风能专业委员会发布《2024年中国风电吊装容量统计简报》

叶片、塔筒等关键环节<sup>3</sup>。未来，随着《江苏省“十四五”可再生能源发展专项规划》的实施，全省风电传动链行业将加速整合，预计 2025 年风电总装机容量突破 1.2 亿千瓦，年均复合增长率超 8%<sup>4</sup>。

### 3. 智改数转网联现状

为充分了解省内风电传动链行业智改数转网联发展情况，选取省内风电传动链行业省级及以上智能制造示范工厂和示范车间、省级及以上“专精特新”企业、省级“小巨人”企业等共计 28 家单位开展调研。

从产业链分布来看，调研对象企业包括铸件/锻件生产环节相关企业 7 家、齿轮箱生产环节相关企业 9 家、发电机生产环节相关企业 8 家以及整机生产环节相关企业 4 家，企业规模从 20 人以下到 1000 人以上不等，覆盖省内风电传动链行业内头部企业、规上企业、成长型企业和初创企业等。

首先联网化水平方面，根据调研数据显示约 89.2% 的受访企业组建了负责信息化或数字化的团队，其中 68% 的企业由企业高层（如副总级）分管，此数据显示江苏省风电传动链产业链上的企业普遍认识到智能化改造、数字化转型及网络化连接的重要性，并已具备转型基础部门条件与高度重视。绝大部分企业已完成关

---

<sup>3</sup> 数据来源：江苏省可再生能源行业协会发布《江苏省风电行业总体发展情况报告》

<sup>4</sup> 数据来源：《2025 年中国江苏省风力发电行业市场运行现状及投资战略研究报告》

键环节的智改数转改造，同时 70%企业处于集成提升阶段，将部分核心系统的关键数据实现贯通，但仅 17%的企业实现生产全流程数字化贯通，研发设计、供应链协同等环节的集成化智改数转改造，且大多集中于大型链主企业。

智能化装备水平方面，企业中 85%以上设备具备联网条件，且普遍设备接入数据率超过 50%，大部分企业已基本完成关键环节关键设备的数据接入。但同时由于老设备没有数字化功能或国外采购设备无法取出数据等原因，导致 71%企业仍存在生产数据碎片化问题。因此风电传动链行业中企业设备互联与数据价值释放存在瓶颈。

数字化水平方面，受调研企业中基础管理系统（ERP、OA）普及率超 90%，生产执行类系统（MES）应用率为 64%，智能仓储系统覆盖率为 53%，工艺管理（PLM）和高级排程系统（APS）渗透率不足 35%，质量管理体系（QMS）覆盖率仅 18%，省内风电传动链企业使用工业软件应用呈明显阶梯式分化。各系统内数据主要用于生产环节的各类设备监控（86%）与报表生成（72%），仅有 34%企业建立数据分析模型用于工艺优化，研发设计、供应链协同等环节的数据集成。

结合江苏省风电传动链行业内企业的调研实情，风电传动链产业链企业在实施“智改数转网联”过程中面临的重难点问题可以归纳为以下几点：

**技术壁垒与人才缺少。**对于传统制造业的风电传动链行业对涉及智能制造、大数据、云计算等前沿智能化技术的理解与应用存在较高的技术壁垒。企业需要引入智能制造、大数据、云计算等前沿技术，以实现风电传动链系统的智能化功能。然而，这些技术的深度应用需要企业具备相应的技术实力和人才能力，否则将难以充分发挥其优势。

**资金投入大与更新迭代快。**智能化改造和数字化转型初期需要大量的资金投入，包括设备购置、系统集成、软件开发、人才培养等多个方面。风电传动链行业研发投入通常占企业营收的8%~12%，而制造业平均研发投入约占企业营收3%~5%。以某齿轮箱企业为例，其智能工厂建设需投入高端数控机床、数字孪生仿真系统等设备，单条产线改造成本超5000万元。同时风电传动链产品因适配不同风电机型，定制化需求占比超60%，迭代周期缩短至12—18个月（注：传统工业设备迭代周期为3~5年）<sup>5</sup>，导致研发成本难以分摊至规模化生产。

**转型升级路径不清晰。**风电传动链企业在选择技术路线、实施方案时缺乏明确的指导，易走弯路。行业内无明确标杆或优秀供应商统一提供优质一体化解决方案，试错成本高。此外，企业间发展水平的差异也影响了转型升级路径的明确性。在风电传动链行业中，不同企业的技术实力、资金状况、市场定位等存在差

---

<sup>5</sup> 数据来源：《2025年中国风力发电设备行业市场深度分析及投资规划建议报告》与实际企业调研

异，这使得它们在推进“智改数转网联”时面临不同的挑战和需求。因此，很难形成一套适用于所有企业的统一转型升级路径。

**市场认知度有待提升。**尽管“智改数转网联”已成为制造业转型升级的重要趋势，但风电传动链部分企业对这一趋势的认识仍不够深入，市场认知度有待提升。一方面，一些企业可能受限于传统观念和业务模式，对“智改数转网联”所带来的变革持观望态度，缺乏主动转型的意愿和动力。这些企业可能未能充分认识到智能化、数字化和网络化对于提升产品竞争力、拓展市场份额的重要性。另一方面，尽管部分企业已经意识到“智改数转网联”的潜力，但由于缺乏成功案例的参考和示范效应的引导，它们在实施转型时可能感到迷茫和困惑。这种不确定性可能进一步阻碍了企业对“智改数转网联”市场认知度的提升。

## 二、目标与架构

### 1. 指南总体目标

《江苏省制造业风电传动链智改数转网联实施指南》以国家和江苏省“十四五”相关智改数转网联发展规划为纲领，聚焦风电传动链行业多品种小批量的离散制造特性，助力实现行业转型升级。该指南旨在推动风电传动链智能化深入改造实现生产效率与质量双提升，数字化转型覆盖研发设计、生产加工与制造、生产管理、运营管理全流程，网络化联接打通设备、系统、产业链数据壁垒，培育一批具备示范效应的智能工厂与标杆企业。

### 2. 实施架构

为推进江苏省风电传动链行业的智能化改造、数字化转型与网络化协同发展，构建高效、安全、可持续的产业生态，现提出以下实施架构。



图 2-1 风电传动链行业智改数转网联实施架构图

图 2-1 系统架构主要分为四个模块，描述的智能化改造数字化转型任务目标如下：

数字化研发设计：面对风电传动链行业多品种、小批量、快迭代的研发设计发展趋势，风电传动链行业生产需建立数字化协同创新集成设计体系，采用计算机辅助设计仿真软件 CAX( CAD、CAE、CAM、CAPP 等 ) 等研发设计工具和模型驱动 ( MBD )、数据管理 ( PDM )、集成开发 ( IPD ) 等开发管理工具，加强三维数字化设计能力、加快设计迭代、畅通模型传递、加强模型复用、提升仿真能力、提高设计效率、缩短研发周期并提高国产设计仿真工具自给率，以满足柔性化、数字化研发设计需求。

数字化生产加工与制造：面对风电传动链行业多品种、小批量、高标准、严交付的生产制造发展趋势，需要建立数字化敏捷响应精益制造技术标准体系，探索建立生产计划与排程 ( APS ) 标准、制造执行系统 ( MES ) 标准、质量管控系统 ( QMS ) 标准、数字化检测标准以及数字化生产线/车间/工厂建设标准，推动生产计划、生产调度、生产操作、生产检验等多层次生产业务的及时交互，企业、车间、生产线、单元设备等多层级的一体化协同生产，建立数字化生产智能管控系统、生产设备产能数字化协同和智能化仓储及物流执行系统等，以满足风电传动链行业多品种、柔性化、混线敏捷精益制造需求。

数字化生产管理：利用设备管理、能源管理、安全管理等系

统，构建全方位、一体化的生产管控体系。通过可视化大屏、移动端应用等载体，为管理层提供实时、精准的决策依据，形成安全可靠、高效稳定、绿色可持续的生产体系，助力企业在成本控制、交付效率与品牌形象上建立核心优势，显著提升市场响应能力与客户满意度，增强企业在风电行业的综合竞争力与可持续发展能力。

数字化运营管理：充分利用企业资源计划管理系统（ERP）、产品健康检测与运维系统（PHM）、采购与供应链管理系统（SRM/SNC）、客户关系管理系统（CRM）等平台工具软件、现代经营管理软件，建设数字化、网络化、科学化、智慧化运营管理和指挥决策能力，实现运营管理现代化和设计制造一体化、产供销协同一体化、运管维综合一体化。

### 三、基础能力

#### 1. 企业标识解析体系能力建设

标识解析体系是实现工业互联网互联互通和资源高效共享的核心技术之一，2024年1月21日发布的《工业互联网标识解析体系“贯通”行动计划》内明确阐述，标识解析体系通过为设备、系统、数据等分配唯一的标识符，并提供标准化的解析服务，实现了资源的精准定位和高效访问。在工业互联网环境下，这一体系能够突破传统网络架构的限制，为企业数字化转型和智能化升级提供强有力的技术支撑。

风电传动链行业将积极响应国家工业互联网标识解析体系建设的号召，构建适合本行业的标识解析体系。这包括制定行业统一的标识编码规则，建立标识解析节点，以及推动标识在产品的设计、生产、流通、服务等全生命周期的应用。通过标识解析，实现产品信息的可追溯性、供应链的透明化以及跨企业、跨系统的数据共享与交换，为行业内的智能化管理、精准营销和高效协同提供有力支撑。以下为某风电传动链企业标识解析体系的建设思路与方案。

##### （1）标识解析体系建设思路

标准化标识体系：基于国家工业互联网标识解析标准（如Handle、OID等），为风电传动链中的关键设备（齿轮箱、轴承、发电机）、零部件及生产流程赋予唯一数字身份标识，实现“一

物一码” “一过程一标识”。

**数据互联互通：**通过标识解析系统与企业现有 ERP、MES、PLM 等系统无缝集成，打破信息孤岛，形成覆盖设计图纸、工艺参数、质量检测、运维日志的全量数据关联。

**应用场景驱动：**聚焦风电传动链核心场景需求，如设备远程诊断、供应链追溯、预测性维护及设备租赁管理，通过标识解析实现跨系统、跨企业的数据共享与业务协同。

## （2）实施步骤

**标识编码规范设计：**制定企业内部标识编码规则，结合行业特点定义层级化标识结构（如“企业代码+产品线+序列号+时间戳”），确保唯一性与可扩展性。

**私有化标识解析节点部署：**搭建基于工业互联网平台的轻量化标识注册与解析服务系统，支持本地部署或云边协同模式，满足高实时性需求；同时对接国家顶级节点实现跨域互通。

**数据安全管理机制：**采用区块链技术增强标识数据可信存证，结合国密算法保障传输安全，并通过权限分级控制确保敏感信息仅对授权方开放。

**智能化应用开发：**基于标识解析数据构建设备健康度分析模型、供应链追溯看板及故障预警系统，利用 AI 算法优化生产排程与运维策略。

第一阶段完成核心设备标识赋码与基础解析服务搭建；第二

阶段实现与 ERP/MES 系统的深度集成；第三阶段拓展至供应链上下游企业协同。

目标成果：运维成本降低；实现零部件全生命周期溯源，质量追溯效率提升；支撑设备融资租赁等新模式，延长企业服务价值链。

## 2. 设备层-数据采集能力建设

### （1）非数字化设备的智能化改造

行业内企业由于各种原因普遍存在设备无法采集或读取数据，而此类设备往往会涉及工艺生产中的重要环节，这导致了关键节点的数据无法实时准确获取，对于智能化改造造成较大影响。此情况则需要为传统的非数字化设备部署先进的数据传感器。这一举措旨在实现对设备运行状态的全方位、实时且精准的采集与监测，使其能够持续捕捉并记录设备运行时的关键性能指标，如转速、温度、振动频率等，并将这些数据实时传输至企业的中央管理系统。

通过这一技术整合，曾经无法融入智能化管理的非数字化设备得以顺利接入企业的智能化管理体系，并深度嵌入其中。这一转变具有重要意义，不仅大幅拓展了设备状态监控的范围，将更多细节纳入管控视野，还为企业提供了前所未有的数据洞察与决策支持能力。企业能够凭借海量数据，精准分析设备的运行状况，快速定位问题核心。

通过对设备数据的深度挖掘与利用，企业能够在设备运行异常或潜在故障的早期阶段，精准识别问题，并采取预防性维护措施，从而有效避免非计划停机，降低运营风险。与此同时，设备的联网率与数据采集效率得到了显著提升，为企业的生产运营提供了坚实的数据基础，助力生产效率的提升与运营成本的优化。

## （2）孤岛设备整合接入企业网络

风电传动链行业企业信息化建设中，工业控制系统、专用工控设备等，往往因其特殊性而形成信息孤岛，对企业的统一管理和数据互通带来了诸多挑战。通过孤岛设备整合，可以实现资源共享、数据互通和业务协同，提升企业数字化转型效率。此过程通常包括网络拓扑调整、协议适配、安全防护等关键步骤，并需要兼顾系统兼容性与稳定性，确保在接入后的可靠运行。以下为常见的接入孤岛数据的方案。

**整合实施路径：**首先，为孤岛设备配置专属网络接口或子网，将其接入企业主网络，构建设备与其他网络资源的通信通道，消除物理连接壁垒。其次，针对孤岛设备采用的专有或非标准通信协议，部署协议转换器或网关，将数据格式转换为企业网络支持的 HTTP、MQTT、OPCUA 等标准协议，确保数据传输的兼容性与流畅性。

**安全保障机制：**在整合过程中，严格落实身份认证、数据加密与访问控制机制，构建企业网络与设备双向安全防护体系，有

效降低潜在安全风险，保障数据传输与系统运行的安全性。

数据价值释放：首先，设备数据接入企业网络后，通过长期沉淀与深度挖掘，可构建企业知识库与智能分析能力，推动决策模式从经验驱动向数据驱动转型。例如，通过设备全生命周期数据关联分析，精准识别设计薄弱环节与运维盲区，反向驱动产品迭代与服务创新。其次，规范数据资产的标准化管理与合规利用，为企业参与产业链协同、构建数字化生态奠定基础。企业可通过数据共享实现上下游质量追溯协同，或基于数据洞察开发增值服务，催生新商业模式。

### 3. 网络层-网络基础设施能力建设

风电传动链工厂网络建设需区分内外网，并进行分级管理。下图为常见的风电传动链企业内外网环境架构示意图。

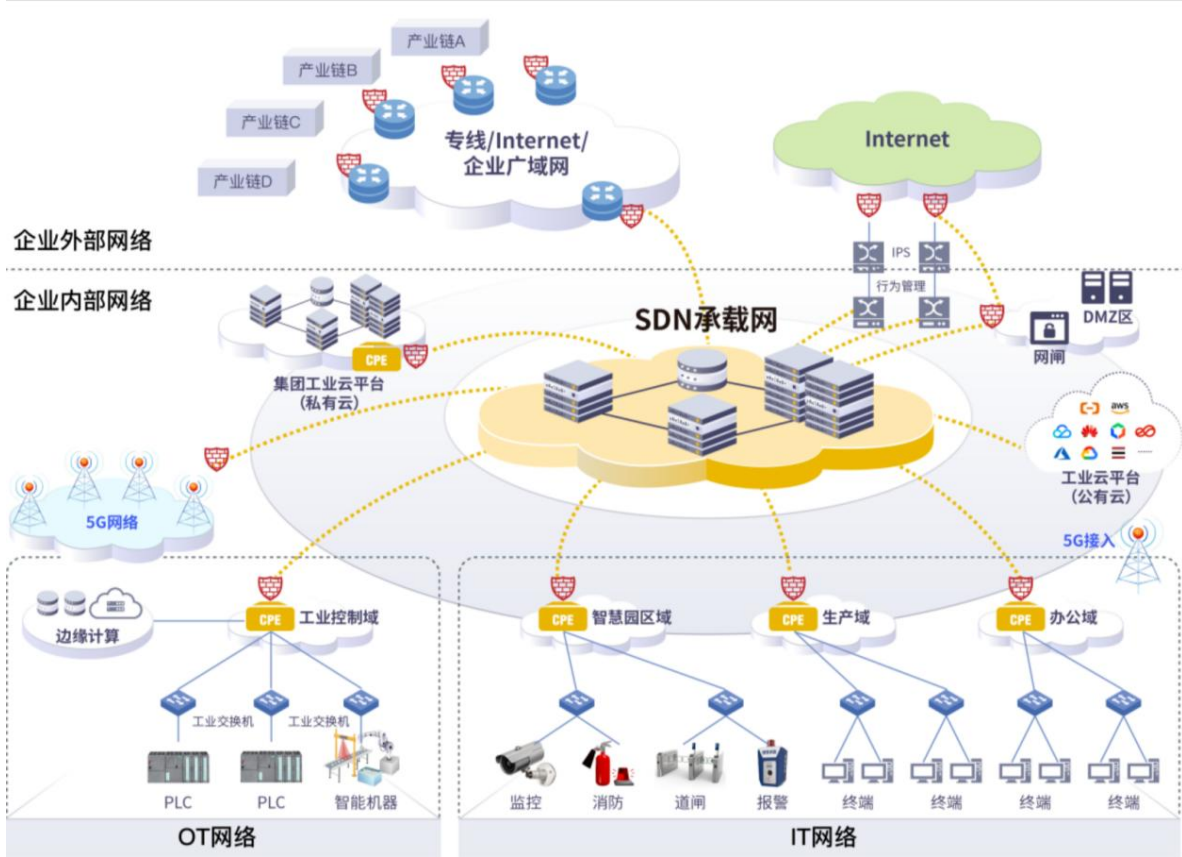


图 3-1 常见的风电传动链企业内外网环境架构示意图

### (1) 工厂内网建设

工厂内网是实现生产自动化、数据集成化及管理高效化的基础，其主要需求包括：

网络隔离：区分生产控制区（如生产线设备）与办公管理区，确保核心生产设备免受外部攻击；

数据实时传输：满足工业设备（PLC、传感器等）、MES系统及ERP系统的低延迟通信需求；

兼容性：支持传统工业协议（Modbus、OPC）与新兴物联网技术的融合；

安全防护:抵御网络攻击,保障关键数据隐私与生产连续性。

网络架构需先采用高性能工业交换机或 SDN (软件定义网络) 设备,实现跨区域流量的高速转发;同时划分 VLAN 隔离生产与办公网络,通过防火墙控制跨区域访问权限;在生产线部署 PoE 供电工业以太网或 Profinet 等协议,无线区域使用 Wi-Fi6 技术覆盖移动终端。

同时在内网安全方面需在厂区网络入口部署下一代防火墙 (NGFW) 与入侵检测系统 (IDS),阻断恶意流量;对 PLC 等关键设备实施白名单策略,限制非法指令执行,并通过加密协议 (如 OPCUAoverTLS) 传输数据;采用本地服务器+云灾备方案,定期全量/增量备份生产数据。

为了保留后续的可发展方向,也需预留边缘计算节点接口,支持未来部署 AI 质检、预测性维护等智能应用;

## (2) 工厂外网建设

工厂外网需在保障安全性的前提下支持业务扩展和远程协作。其设计应遵循“最小暴露面”原则,重点解决数据交互安全、远程访问控制、合规性要求、抗攻击能力。具体实施如下:

部署下一代防火墙 (NGFW) 和 Web 应用防火墙 (WAF),过滤恶意流量并拦截 OWASP Top10 攻击;将对外提供服务的服务器与内网隔离。同时要求所有内外部用户均需通过多动态权限分配才能接入。对远程运维通道采用 SSL/TLS 加密隧道或专用

工业协议(如 MQTT over TLS)。在异常问题处理层面部署 SIEM (安全信息与事件管理)系统,实时监控外网流量并分析异常行为(如异常登录、高频请求);

对敏感数据采用端到端加密技术,确保 ERP 系统与云服务商之间的备份数据不可逆破解。实施“数据分类分级”策略,对外共享的生产计划或客户信息需通过脱敏处理后传输。同时需预置快速断网预案,当检测到大规模攻击时可一键切断非核心业务的互联网连接。

#### 4. 平台层-信息系统能力建设

平台层作为企业智能化转型的中枢,承担着数据汇聚、系统集成与业务协同的核心职能。其建设需以业务需求为导向,通过标准化、模块化的技术架构,打通数据孤岛,实现从底层设备到顶层应用的全局联动。企业应遵循“数据贯通-系统集成-智能扩展”的递进路径,逐步构建灵活、可扩展的信息系统能力,支撑全价值链的效率提升与创新突破。

##### (1) 信息系统建设思路

企业应基于现有 IT 基础设施,选择适配的工业互联网平台或自建技术中台,避免盲目追求“大而全”的系统功能。例如,若企业已部署 MES 与 ERP 系统,平台层的首要任务是通过标准化接口实现两系统数据互通,而非重复建设新功能。同时,需预留足够的扩展性,确保未来新应用模块的平滑接入。

## （2）实施步骤

**数据标准化与治理：**企业需统一数据定义、格式与传输协议，建立覆盖设备、工艺、物料等实体的标准化数据模型。例如，为齿轮箱装配工序定义包含振动频率、扭矩值、温度阈值等字段的数据模板，确保不同设备采集的数据可直接比对与分析。对于历史数据，需通过清洗、补全与标签化处理，提升数据可用性。同时，建立数据治理组织，明确数据所有权、更新频率与质量校验规则，避免“脏数据”干扰决策。

**系统集成与接口开放：**在数据标准化的基础上，打通 MES、ERP、SCM 等核心业务系统。通过标准化接口，实现生产计划、库存状态、质量检测等数据的双向同步。例如，MES 系统实时采集的设备状态数据可自动同步至 ERP，支持财务部门精准核算生产成本；供应链系统的物料到货信息则触发 MES 自动调整排产计划。对于老旧系统，可通过中间件或定制适配器实现协议转换，避免大规模替换原有 IT 资产。

**构建统一业务协同平台：**在系统集成后，企业需开发统一的业务协同界面，将分散的系统功能整合为面向角色的操作门户。例如，生产管理人员可通过平台查看实时设备 OEE、订单进度与质量异常预警；工艺工程师则直接调取历史工艺参数库与仿真工具，快速验证设计方案。平台需支持低代码开发能力，允许业务部门自主配置报表、审批流等轻量化应用，减少对 IT 团队的

依赖。

**智能化功能扩展：**依托平台层的数据与算力资源，逐步叠加 AI 与大数据分析能力。例如，在质量管控模块中集成机器学习模型，实时分析检测数据并预测潜在缺陷；或在能源管理模块中部署优化算法，根据生产负荷动态调整设备运行模式，降低能耗峰值。智能化扩展需采用微服务架构，将算法封装为独立服务模块，通过 API 按需调用，避免平台功能臃肿化。

**安全与权限体系加固：**平台层集中了企业核心业务数据，需构建多层安全防护机制。通过工业防火墙隔离生产网与管理网，采用端到端加密技术保障数据传输安全；基于 RBAC（角色权限控制）模型，为不同岗位设置数据访问与操作权限，例如一线操作员仅能查看所属产线数据，工艺专家可编辑参数库但无权修改财务信息。同时，建立操作日志审计与异常行为监测机制，确保数据操作的全程可追溯。

**持续优化策略：**平台层建设建立动态优化机制，企业可定期评估平台性能指标，如数据响应延迟、系统稳定性、用户活跃度等，识别瓶颈并针对性升级。例如，某企业通过监控发现 ERP 与 MES 的数据同步存在 5 分钟延迟，导致排产计划滞后，遂将接口协议从 HTTP 升级至 MQTT，实现近实时数据同步。此外，鼓励业务部门提出功能需求，每季度迭代发布新模块，例如，新增供应链风险预警看板或碳排放计算工具，确保平台能力与业务

发展同步进化。

## 5. 应用层-智能应用能力建设

风电传动链企业的智能应用能力建设需以业务需求为牵引，以数据驱动为核心，分阶段构建从底层技术适配到顶层业务赋能的完整体系。建设过程应遵循“顶层规划-基础夯实-场景突破-生态协同”的递进逻辑，注重技术实用性与业务价值的平衡，避免盲目追求技术复杂度。

### （1）智能应用建设思路

企业需明确智能化改造的战略目标，结合自身在研发、生产、运维等环节的痛点，制定分阶段实施计划。例如，若核心瓶颈在于质量稳定性，可优先部署预测性维护与工艺优化系统；若亟需提升订单响应速度，则聚焦柔性生产与供应链协同能力。目标设定后，需系统梳理现有设备、数据与业务流程，识别数据断点与技术短板，例如老旧设备的数据采集能力不足、跨系统数据格式不统一等。在此基础上，规划技术架构时需兼顾兼容性与扩展性，优先选择模块化、低代码化的工具，降低对现有生产秩序的冲击。

### （2）实施步骤

**核心场景突破：**选择 1-2 个高价值场景进行优先突破。例如，在质量管控场景，可部署 AI 视觉检测系统，通过高精度工业相机与深度学习算法，自动识别齿轮齿面裂纹、装配错位等缺陷，将检测效率提升 3 倍以上；在生产调度场景，引入动态排产算法，

结合订单优先级、设备状态与物料库存,自动生成最优生产序列,减少换线时间与能源浪费。场景落地需采用“小步快跑”模式,先通过最小可行方案验证技术可行性,再逐步扩展功能模块。

**系统集成与优化:**在单点场景验证成功后,推动跨系统数据互通与功能协同。例如,将MES系统的生产数据与ERP的订单信息联动,实现从需求到交付的端到端可视化;或将质量检测结果实时反馈至工艺设计软件,自动优化加工参数。集成过程中需采用标准化接口,避免定制化开发导致的后期维护成本攀升。同时,建立数据治理机制,明确数据所有权、更新频率与质量校验规则,确保决策依据的可靠性。

**组织能力升级:**智能化转型离不开组织适配。企业需组建跨部门的数字化团队,涵盖工艺专家、数据分析师与IT工程师,通过定期协作会议打破部门壁垒。例如,生产部门提出设备利用率低的痛点,IT团队可开发设备OEE(综合效率)分析看板,工艺团队则基于数据优化维护策略。同时,建立全员参与的创新文化,通过培训提升一线员工的数据素养,例如指导操作工使用移动终端上报设备异常,并将经验转化为算法优化建议。

**生态协同拓展:**与供应链伙伴共建数据共享机制,提升产业链响应效率。例如,向核心供应商开放生产计划数据接口,使其能够动态调整零部件交付节奏;与客户共享设备运行数据,提供基于实际工况的预防性维护服务。协同过程中需通过契约明确数

据安全与隐私保护责任，采用区块链技术实现关键数据的不可篡改与可审计。

**持续迭代机制：**智能应用能力建设需建立持续优化机制，企业可设立数字化转型专项基金，每年投入一定比例利润用于技术升级；同时，构建效果评估体系，通过关键指标（如良品率、交付周期、能耗强度）量化转型成效，并根据反馈动态调整实施路径。例如，某企业每季度召开数字化转型评审会，基于数据看板分析各场景投入产出比，优先追加高价值场景的资源配置。

## 6. 安全层-信息安全能力建设

### （1）信息安全建设思路

风电传动链企业的信息安全能力建设需以风险防控为核心，构建覆盖设备、网络、平台、应用及数据的多层次防护体系。企业应遵循“评估-规划-实施-优化”的闭环路径，分阶段推进安全能力落地，确保技术措施与组织管理协同并进，为智能化转型提供可信保障。

### （2）实施步骤

**全面评估安全现状：**风电传动链企业需系统梳理现有安全基础，涵盖技术设施、管理制度及人员意识三方面。通过渗透测试、漏洞扫描等技术手段，识别设备接口暴露、网络协议脆弱性等风险点；结合员工问卷调查与流程审计，评估安全策略执行度与操作规范性。

制定分层防护规划：基于安全现状评估结果，构建短期修复与长期加固相结合的分层防护体系。短期以风险管控为核心，针对高风险领域实施精准防护，为关键设备部署工业防火墙，严格限制非授权访问；及时升级 PLC 控制系统安全补丁，关闭冗余端口，消除潜在漏洞；建立完善的数据分类分级标准，对设计图纸、工艺参数等核心数据，在存储与传输环节均采用加密技术，确保数据安全。长期规划则聚焦体系化安全能力建设，推动企业安全防护全面升级。

分阶段实施安全加固：对数控机床、传感器等终端设备进行安全改造，加装可信计算模块（TCM），确保固件完整性；在 PLC 与 SCADA 系统中部署白名单机制，仅允许授权指令执行。通过 VLAN 划分隔离生产网与管理网，采用 OPCUAoverTLS 协议保障数据传输安全；在工业互联网平台中集成 RBAC（基于角色的访问控制）模型，限制非授权用户的数据操作权限。对 MES、ERP 等业务系统实施代码审计，修复 SQL 注入、跨站脚本等漏洞；部署数据脱敏工具，确保测试环境中敏感信息不可还原。

攻防演练与压力测试：定期模拟勒索软件攻击、APT 渗透等场景，验证防护体系的有效性。例如，某企业通过红蓝对抗演练发现，边缘计算节点的日志留存周期不足，导致攻击溯源困难，随即延长日志存储并增设异地备份。

全员安全意识培养：针对不同角色设计定制化培训，如面向

操作员的“钓鱼邮件识别”实操课程、面向管理层的“安全合规与责任”专题讲座。建立安全知识库与在线考试平台，将培训完成率纳入绩效考核。

**动态评估与合规审计：**每季度开展安全体系内审，对照《工业控制系统信息安全防护指南》等标准，核查技术措施与管理流程的符合性；引入第三方机构进行差距分析，获取客观改进建议。

**技术创新与生态协同：**风电传动链企业需主动拥抱前沿安全技术，例如，在边缘侧部署 AI 驱动异常检测模型，实时分析设备流量模式，识别零日攻击行为。同时，联合产业链伙伴共建安全生态，例如，与供应商签订安全协议，要求其提供符合行业标准的零部件；参与行业信息共享与分析中心（ISAC），及时获取威胁情报并协同应对区域性风险。

## 四、环节与场景

风电传动链属于离散制造业，离散制造业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，在松散有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”是离散制造业数字化转型的重点。

本章聚焦产业链全生命周期中的核心环节与典型场景，系统梳理从工厂建设、产品设计到供应链管理的 14 项业务领域，深入剖析各环节的痛点需求与技术瓶颈，并提出针对性的解决方案与实施路径，同时将标识解析、信息安全、智能应用等基础能力与具体业务深度融合，实现数据驱动的流程优化、效率跃升与模式创新，为构建智能化、协同化、绿色化的产业新生态提供实践支撑。

### 1. 工厂建设

#### (1) 存在问题

##### 1) 数字孪生工厂建设难度大

首先，工厂规划存在物理与数字空间错位，传统工厂规划以物理产能为核心，未预留传感器部署空间（如振动监测点、温控节点），导致关键设备（如齿轮箱装配线）的 30% 以上数据无法采集，数字孪生模型精度不足 60%。其次，工厂网络拓扑架构缺失，早期厂房布线未考虑工业物联网需求，5G 基站、边缘计算

节点等设备难以部署，如某齿轮箱工厂因网络延迟（200ms）导致孪生模型与实际产线偏差达15%。

## 2) 数字基础设施集成困难

风电传动链企业普遍存在设备设计采购过程中考虑不充分，设备接口协议碎片化，导致设备数据采集和控制接入困难，江苏省风机制造商使用200余种私有协议（如ModbusRTU、Profibus等），导致数据采集失败率高达25%。例如，某企业齿轮箱装配线因协议不兼容，30%关键数据无法同步至孪生模型，导致故障预警延迟超4小时。其次，多数企业构建的工业互联网平台均存在大数据处理能力不足，多源异构数据整合困难等现象，导致数据无法协同对接，如设计端（SolidWorks）与生产端（STEP）模型精度差异达0.5mm，导致虚拟装配与实际偏差超0.5mm，能源、物流等系统未集成，能耗模拟误差达18%，且备件库存数据与运维需求脱节。

## 3) 工业技术软件应用落地不足

当前江苏省风电传动链企业的风电设计软件严重依赖国外闭源产品（如美国OpenFAST、瑞士KISSsoft等），核心算法与代码无法自主迭代。国外软件难以适配中国特殊工况（如台风、复杂地形），导致载荷仿真偏差达20%以上，且企业需支付高昂的版本更新费用，存在技术“卡脖子”风险。其次，风电传动链企业中除头部链主企业外，大部分企业的工业互联网平台不足以

支撑多源异构初级融合，设备协议碎片化、设计端与生产端模型精度差异最终导致数据孤岛出现，无法形成有效的数字化规则，AI模型优化与实际操作偏离明显。最后，在知识自动化层面，风电传动链企业普遍缺乏行业级知识图谱标准，故障案例、运维记录分散，制约智能诊断准确率提升，需构建工业软件解决知识沉淀难题。

## （2）解决方案

### 1) 风电传动设备制造数字孪生工厂建设

基于工厂实际物理特性进行场景梳理，包括设备、网络、数据链路、能源链路等，利用多种技术进行物理模型对应的数字孪生模型建立，基于激光扫描和点云技术重构厂房三维模型，结合CAD/CAE工具构建几何、物理属性及行为特性的高精度数字模型，如某齿轮箱工厂通过逆向建模补装传感器。应用CFD流体力学、有限元分析等技术模拟极端工况（如台风载荷），将应力模拟误差从15%压缩至5%，远景能源通过台风动态入流模型验证塔筒变形量 $<1\text{mm}$ ，优化结构设计。

### 2) 风电整机工厂数字接入方案

在设备与传感器层面，通过物联网（IoT）技术部署传感器、RFID标签等设备，实时采集设备状态、物料流动、环境参数等数据，支持秒级高频数据并发。例如，部署支持OPCUA协议的智能网关，兼容ModbusRTU、Profibus等200余种工业协议，

解决协议碎片化问题，数据解析成功率提升至 98%以上。在数据传输层面，采用工业无线网关与 5G 专网，确保数据低时延传输，同时保障数据的通信链路质量，确保数据具备断点续传机制。在数据处理与标准化层面，利用实时数据库（如 PISystem）对多源异构数据进行清洗、转换和整合，形成统一格式的高质量数据集，例如，通过数据中台实现设计端与生产端模型精度差异的校准，误差控制在 0.1%以内。

### 3) 风电传动知识图谱软件矩阵搭建

工业互联网平台搭建采用六层架构体系，包括设备层（振动传感器、RFID 标签）、网络层（工业 PON 组网+5G 冗余传输）、数据层（实时数据库 PISystem）、云服务层（弹性算力资源池）、应用层（预测性维护、智能排产）及安全层（国密 SM4 加密），数据治理与模型库要基于 Hadoop 框架构建多源异构数据中台，融合设计端（SolidWorks 模型）、生产端（MES 系统）及运维端（振动频谱）数据，实现数据融合处理。

知识自动化层面，采用风电传动知识图谱系统构建的方案，先实现多源数据整合，从 SCADA、DCS 等系统抽取设备实体（如齿轮箱、轴承）、属性（振动烈度、温度阈值）及关系（故障因果链），通过共指消解解决“同物异名”问题（如“主轴”与“驱动轴”统一编码），利用 Neo4j 图数据库构建实体—关系三元组（如“齿轮箱—包含-行星轮系”）的结构化数据，利用 NLP 技

术解析运维工单文本,提取故障描述与维修策略的非结构化数据,实现知识图谱的数据整合。定义四层树状编码结构(设备类型→部件→数据类型→数据码),例如,“FD-GB-001”表示“齿轮箱-行星轮系-振动频率”实现知识数据库设计,与工业互联网平台融合实现系统集成及可视化。

### (3) 典型应用场景

## 某发电机厂打造智能制造标杆工厂



目视化管理设计



高效车间布局



精益仓库规划



即时管理区域



E-SOP系统



精益团队建设

某发电机厂针对风电传动链“大型化、精密化、定制化”趋势，构建智能制造体系。车间设 32 米超宽通道与重型 AGV 转运系统，利用数字孪生技术将装配精度控制在 0.02mm。采用模块化布局，主轴加工区预留 10MW+ 机型扩展工位，齿轮箱装配区实现 3MW-15MW 机型共线生产。

数字化平台集成 PLM-MES-ERP 系统，实时采集 280 项参数，15 分钟闭环质量问题；ESOP 系统提升装配效率 12%。

## 2. 产品设计

### (1) 存在问题

#### 1) 设计软件未国产化

研发设计工具软件市场被国外三大设计（SolidWorks、Pro/ENGINEER、UG-NX）软件高度占据，国内软件存在核心技术依赖国外、功能与性能有差距、市场占有率低、生态系统不完善、研发投入不足、用户习惯与教育受限、国际化程度低以及政策支持与产业协同不足等问题，这些问题导致长期受制于人、难以满足高端需求、规模效应难成、技术突破困难、推广接受度低，难以在此基础上积累自主研发的工艺技术。这种高度依赖国外软件的情况还可能导致受限、受卡的风险。

#### 2) 产品设计资料未有效管理与利用

产品设计研发资料以及积累的优秀经验未能得到系统化管理。这大量的设计数据、研发文档、实验记录、创新思路以及在实际项目中积累的成功案例和失败教训都散落在各个角落，缺乏一个统一、高效的平台进行整理、存储和分享。

#### 3) 产品高度定制化

风电传动链行业特点情况描述，难以直接套用现有的设计模板或进行简单的变型。并且现有的设计工具和环境往往无法灵活地对设计模型进行变型设计。在面对客户需求变化或市场趋势调整时，需要重新设计，这增加了设计成本和时间成本。

#### 4) 中小企业设计瓶颈

风电传动链中小企业设计验证手段有限,难以构建起一个全面、稳定的设计验证环境。只能采用相对简单和基础的测试方法,这些方法无法覆盖到产品的所有关键性能和可靠性指标。难以模拟出真实的使用场景和条件。这导致企业无法准确评估产品在不同环境下的性能表现和可靠性水平,从而增加了产品在实际应用中出现故障或失效的风险,限制了产品的性能提升和可靠性增强,还可能使得产品在市场上缺乏竞争力。

以某风电传动链中齿轮箱制造中小企业为例,在设计一款新型风电齿轮箱时,由于设计验证手段有限,没有专业的多物理场耦合模拟软件,只能依靠简单的齿轮啮合强度测试台,对齿轮箱进行常规的扭矩加载测试。这种基础测试方法,无法模拟风电机组运行时复杂的振动、冲击以及温度变化等真实工况。

在实际运行中,风电机组会因风速的频繁变化、不同季节温度的大幅波动,使齿轮箱承受复杂的载荷。而该企业简单的测试方法,无法检测出齿轮箱在这种复杂环境下的疲劳寿命、润滑性能变化等关键性能指标。这就导致产品在实际应用中,容易因齿轮疲劳磨损、润滑不良等问题出现故障,不仅限制了产品性能的提升,在市场上也因可靠性存疑,难以与拥有完善设计验证体系的大型企业产品竞争。

## （2）解决方案

### 1) 风电传动设计软件国产化替代

风电传动链内中小企业在产品设计中应尽量尝试国产化软件，并持续学习。大型企业为推动行业持续发展应主动关注国产设计软件的研发与使用现状，帮助设计软件国产化。ZGCAD(齿轮箱设计软件)是国内功能较齐全的齿轮传动设计软件，涵盖常见齿轮传动设计方法，并针对风电齿轮箱开发了集成化系统，支持齿轮强度计算、修形参数优化，提升接触强度、弯曲强度及抗胶合能力，已被国内 600 多家齿轮制造企业使用，尤其在风电齿轮箱设计领域表现突出。精益传动软件是国内唯一拥有自主知识产权的综合型齿轮传动系统仿真设计与分析软件，支持各种场景下的模拟仿真，涵盖复杂齿轮传动系统建模，替代国外软件如 Masta、Romax。覆盖整机多学科耦合仿真（结构、气动、水动力、控制等），支持大叶轮、高塔架等复杂场景设计，通过 TÜVNORD 国际认证，打破国外垄断。

### 2) 风电传动产品设计资料管理

企业可根据自身情况灵活选择管理工具，例如，轻量级且成本较低的飞书云文档、腾讯文档等，或选择功能更加完善并灵活的 PLM（产品全生命周期管理）系统。

云文档工具操作简便，具备基本的文件存储、分类和共享功能，能满足简单的日常资料管理需求。例如，飞书云文档可创建

不同文件夹来分类存放设计数据、研发文档等，还支持多人在线协作编辑，方便团队成员随时共享和更新资料，可直接在对应官网平台进行注册使用或企业统一采购。

使用 PLM 系统中的产品数据管理功能实现产品文档的管理，从产品概念设计、研发、生产制造到售后服务及报废回收的全过程数据与流程，实现跨部门协同、优化资源利用并提升企业创新效率，将产品设计数据集中化存储，统一管理设计文件（CAD 图纸、BOM 清单）、工艺文档（APQP、FMEA）、测试数据等，支持结构化与非结构化数据分类存储，通过版本控制确保数据准确性与可追溯性。例如，系统可自动识别 SolidWorks 模型与 STEP 文件的精度差异（0.5mm 级误差），并校准为统一标准。其次，实现权限与安全控制，支持六维权限管理（功能、数据、分类、分页、视图、查询），按角色分配访问与编辑权限，确保敏感数据（如齿轮箱设计参数）仅限授权人员操作。最后，完成产品设计数据协同共享，通过集成 CAD、ERP、OA 系统，实现设计端与生产端数据实时同步，消除信息孤岛，如工艺部门可即时获取设计变更后的 BOM 清单，减少因数据滞后导致的物料浪费。

另外，合理利用云服务平台实现风电传承产品设计资料管理。当下有不少云服务平台提供产品设计资料管理软件服务。企业可根据实际业务需要按需选择云服务租赁方式。无需企业一次性投入大量资金购买软件和硬件设备，就能利用先进的工具实现产品

设计资料的有效管理与信息关联，全面提升产品设计资料的管理与设计效率。

### **3) 模块化定制风电产品设计方案**

企业对风电传动链的零部件进行拆解分析，将功能相近、结构相似的部分设计成标准化模块。当面对客户需求变化或市场趋势调整时，通过对不同模块的组合与调整，快速完成产品设计，而非从头开始。例如，将齿轮箱的输入轴、中间轴、输出轴等设计成不同规格的模块化组件，根据客户要求的传动比、扭矩等参数，灵活选择和组合模块，大幅缩短设计周期和成本。

同时收集整理过往的设计案例、客户需求以及设计过程中的经验教训，建立设计知识库。当面临新的设计任务时，设计师可在知识库中检索相似案例，参考已有设计方案进行优化和调整，避免完全重新设计。如某企业在设计新型风电增速箱时，从知识库中调取以往类似增速箱的设计方案，根据新的性能要求对关键参数进行修改，快速完成设计工作，降低设计成本和时间成本。

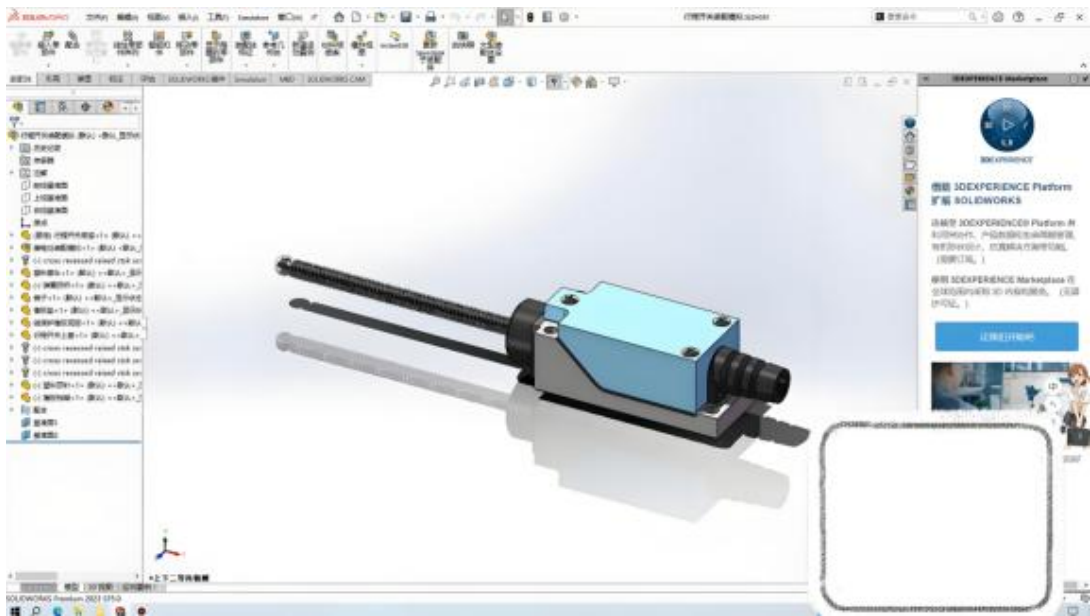
### **4) 多物理场耦合模拟软件共享平台**

多家风电传动链中小企业可探寻搭建共享的产品设计验证平台。多物理场耦合模拟软件共享平台的构建旨在通过整合云端资源、开源生态与模块化架构，实现跨领域、跨学科的高效协同仿真。以云庐科技发布的“云脑”平台为例，该平台基于云端部署，支持非线性多物理场耦合分析（如结构力学、流体力学、传

质传热等)，用户无需本地安装即可通过 Web 界面完成建模、求解与后处理。其核心采用多尺度组合网格算法，并集成有限元、有限体积法等数值方法，计算精度与国外主流 CAE 软件相当(线性误差<1‰，非线性误差<1%)，同时通过 AI 与大数据技术实现海量仿真样本库的智能诊断与风险预测，支撑交通、新能源等领域的数字孪生应用。此外，基于 FastCAE 平台开发的共享系统通过集成 OpenFOAM、CalculiX 等求解器，并利用 preCICE 中间件实现流固耦合数据交换，构建了包含前处理、适配器与求解器的分层架构，支持用户通过统一界面完成参数配置、流程调度与结果可视化。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业应用 solidworks 系统并与 PLM 系统共同搭建



该企业针对超大型定转子部件加工面临的数据繁杂、工艺文件多样、设计任务重及跨部门协同难等问题，企业构建专属 PLM 系统。该系统整合转子产品与模具的基础数据、工艺细节、新品研发流程、3D 模拟成果、工艺任务分配等信息，形成铸造工艺知识库，打破工艺设计与生产制造间的信息壁垒，实现工艺、生产、质量数据的全面集成，达成工艺全程仿真。

通过数据集成机制，企业实现定转子全生命周期数字化信息的实时管控。借助对制造工艺模拟结果的深度分析，提前识别并规避因参数偏差引发的缺陷，优化工艺设计。这一举措显著提升定转子制造的稳定性与一致性，缩短产品开发及试制周期，推动设计与生产环节高效联动。

### 3. 工艺设计

#### (1) 存在问题

##### 1) 工艺规划粗放导致生产效率降低

风电传动链的部分锻造、机加工企业在工艺规划上存在不足，缺乏精细化考量，致使工序安排不合理。

以锻造工序为例，设备吨位不足的问题较为突出。当面对大型齿轮坯料锻造需求时，现有设备无法一次性完成作业，只能采用多次锻造的方式。这不仅造成了材料的浪费，还极大地降低了生产效率。在机加工环节，机床精度欠佳，切削参数设置也不合理，最终导致加工精度难以达标，加工时间大幅延长。此外，各工序间的物流配送同样存在诸多问题，物料积压、等待时间过长等现象频繁出现，严重阻碍了整体生产效率的提升。

##### 2) 制造工艺落后导致产品质量不稳定

部分中小企业仍采用传统制造工艺，在关键工艺环节如齿轮加工工艺、热处理工艺等方面技术相对较落后。传统齿轮加工工艺下，齿轮齿面粗糙度、齿形精度难以满足高精度传动要求，影响传动效率与平稳性；在热处理工艺方面，风电传动链齿轮的热处理工艺控制不精准，成为影响产品质量的关键因素。例如，在对某批次 100 个风电传动链齿轮进行热处理后，检测其硬度发现，硬度值的波动范围过大。按照行业标准，此类齿轮的硬度应稳定在 HRC40-HRC45 之间，以确保良好的耐磨性与抗疲劳性能。但

实际检测结果显示，该批次齿轮硬度最小值为 HRC35，最大值达到 HRC48，硬度偏差高达 13HRC，超标的硬度偏差导致大量齿轮在后续模拟运行测试中，过早出现磨损现象。从韧性角度来看，依据相关标准，风电传动链齿轮的冲击韧性应不低于 50J/cm<sup>2</sup>。在对同一批次齿轮进行冲击韧性测试后，发现部分齿轮的冲击韧性低至 30J/cm<sup>2</sup>，与标准值相差甚远。这种韧性的不一致，使得在实际使用中，部分齿轮因无法承受冲击载荷而发生断裂，严重影响了风电传动链的可靠性与使用寿命。由此可见，热处理工艺控制的不精准，致使零部件硬度、韧性等机械性能一致性差，给风电传动链的生产质量带来极大隐患。

## （2）解决方案

### 1）锻造加工工艺规划改进方案

企业需从设备升级、工艺优化及流程协同三方面入手系统性解决。如在锻造环节优先评估现有设备能力与产品需求的匹配度，通过引入更高吨位液压机或热模锻压力机替代老旧设备，并结合计算机模拟仿真技术优化坯料预成型设计，减少多次锻造带来的材料损耗和时间浪费；机加工阶段则需建立刀具选型与切削参数数据库，基于工件材质、形状及精度要求制定标准化工艺路线，通过数控机床的智能化改造或增配高精度测量设备实现加工过程动态补偿，同时引入 SPC（统计过程控制）实时监控系統确保加工稳定性；针对物流瓶颈问题，可部署数字孪生技术构建车间

级生产仿真模型，识别物料流转中的阻塞点，并MES（制造执行系统）对各环节进度进行可视化管控，通过数据驱动的动态调度减少等待空档期。最终需配套完善工艺标准化文件与员工技能认证体系，确保技术改进落地的同时培养跨部门协作能力，形成持续改进的精益生产模式。

## 2) 齿轮箱精密加工与调试工艺提升应用

通过齿坯质量控制（如孔类齿轮精度达H6级、端面跳动 $\leq 0.017\text{mm}$ ）、高精度机床与刀具（如五轴联动数控加工精度达 $0.005\text{mm}$ ）及热处理优化（如渗碳淬火结合二次回火消除内应力）确保基础精度。引入数字化仿真工具（如RecurDyn与Particleworks联合仿真分析动力学、热变形及润滑性能，或KISSsoft、MASTA实现齿轮参数优化与系统级NVH分析）可提前预测并修正设计缺陷，减少试制迭代。在调试阶段，采用智能装配技术（如RFID实时追踪工件状态、模块化智能装配装置实现柔性化调整）结合自动化检测（如三坐标测量圆度误差 $\leq 5\mu\text{m}$ 、声学及振动分析）可提升装配一致性。此外，通过工艺闭环优化（如珩齿处理改善齿面粗糙度、AI驱动的切削参数动态调整）与实时数据监控（如智能决策系统整合装配过程数据）形成全流程质量闭环，最终实现加工精度提升8%~10%，装配效率提高10%以上。



## 4. 计划调度

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 生产模式与产品特性难题

风电传动链产品具有高度定制化特征，涉及齿轮箱等精密部件，需依据不同风电机组型号以及复杂多变的环境进行定制生产，这使得产品研制与生产多同步开展。由此衍生出多品种、小批量的生产模式，对生产线的灵活性提出极高要求，极大地增加了生产管理的难度，具体体现在生产流程规划、设备调度、人员安排以及质量管控等多个环节。

#### 2) 生产计划干扰问题

生产过程中频繁遭遇临时插单，打破了原本既定的生产计划，生产部门需要在短时间内重新调整生产顺序、分配设备与人力资源，以应对临时插单带来的生产任务变动，这对生产管理的及时性与准确性提出了更高要求。

### (2) 解决方案建议

中小企业：

#### 1) 主轴/轴承锻造生产计划的轻量级软件应用

中小企业在生产管理信息化建设过程中，无需投入大量资金购置复杂的企业资源计划（ERP）系统，可选择轻量级、功能聚焦的生产管理软件，这类软件能有效满足其生产管理的基本需求。例如，企简信息、镭电云MES、宏讯软件等，它们具备订单管

理、生产排程、库存管理等核心功能。

以一款简单的云端生产管理软件为例，当销售人员将订单信息录入系统后，生产管理人员能够借助系统中实时呈现的设备状态、人员排班以及物料库存等信息，迅速制定生产计划，并可实时跟踪订单的生产进度。此类软件操作便捷，成本相对较低，对于资金与技术资源相对有限的中小企业而言，既能实现生产流程的数字化，又不会造成过高的成本负担，切实助力中小企业提升生产管理效率。

## 2) 齿轮箱弹性生产计划制定

中小企业建立生产过程管理软件工具系统，可尝试摒弃僵化的生产计划模式，预留一定的产能缓冲空间。例如，每周预留10%~15%的生产时间作为弹性时段。当遇到临时插单时，可优先将其安排在弹性时段内。若临时订单工作量较大，超出弹性时段承载能力，可依据订单优先级和紧急程度，合理调整原有生产任务的顺序。如某风电传动链企业接到一笔紧急风电齿轮箱订单，原计划当周正在生产另一型号的传动链部件。经评估，新订单优先级更高且客户要求交货时间紧迫，于是企业将原计划中可稍作延迟的部分生产任务向后调整，优先安排临时插单产品的生产，确保紧急订单按时交付。同时成立专门的应急调度小组，成员包括生产、采购、销售等部门骨干人员。快速调取生产系统数据评估订单需求、现有生产进度、物料库存等情况，以便快速决策完

成生产计划调整。

大型企业：

### **1) 风电传动设备生产大数据平台构建**

大型企业应搭建综合性大数据平台，全面收集过往风电传动链产品的设计方案、生产工艺数据、设备运行数据，以及不同风电机组型号与环境下的定制需求信息。例如，收集各类齿轮箱从设计到生产的全流程数据，包括设计图纸中的参数、实际加工工艺步骤、设备运行时的能耗及效率数据等。利用机器学习算法，依据订单的定制要求、设备当前负荷状态、人员技能分布和物料库存情况，对生产流程进行智能优化。当接到新型号风电机组传动链订单时，算法可快速评估每个生产环节的最佳执行顺序与时间安排，比如确定先进行齿轮加工还是轴类零件加工，以及各环节的合理耗时，确保生产流程高效、顺畅，减少不必要等待时间与资源浪费。面对多品种、小批量的生产任务，借助智能调度算法工具，利用生产大数据管理系统，根据生产订单的优先级、设备可用性和生产效率等因素，自动为每个生产任务分配最合适的设备。对于高精度齿轮加工任务，算法优先筛选精度高、稳定性好且当前空闲或负荷较低的设备，以提高设备利用率与产品加工质量。

### **2) 风电整机生产资源调度系统搭建**

当生产计划因临时插单需调整时，运用大数据分析与 AI 算

法，依据临时插单的生产需求和各类资源的实时状况，智能调配生产资源。例如，根据临时订单对特定设备的加工要求，结合设备实时运行数据，精准安排最合适的设备承接任务；根据员工技能数据库和当前工作负荷，合理调配具备相应技能且工作负荷较低的员工参与临时插单生产；同时，根据物料库存与采购周期，确保临时插单所需物料的及时供应，如优先调配库存物料，若库存不足则迅速启动紧急采购流程，并依据运输大数据优化采购路径与运输方式，保障物料按时到货。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业计划调度—车间智能排产系统



某企业为应对风电传动链“多品种、小批量”生产特性，联合专业信息科技有限公司研发智能调度管控系统。该系统集成设备物联网技术，实时监测生产设备运行状态与作业流程，精准捕捉生产过程中的各类扰动因素。

系统运用大数据分析技术，深度挖掘海量历史数据，学习不同扰动下的最优策略，构建多扰动因素主动容错纠错机制，提升生产调度的灵活性与准确性，攻克智能调度技术难题。系统可进行物料齐套性检查，保障物料及时供应，并实现滚动 N+1 天排产，为生产计划制定提供数据支撑。其中，APS 核心模块自动生成精准生产计划，MES 据此指导作业，产品完工后数据实时同步至 WMS 供应链管理系统，实现生产全流程高效协同与数据贯通。

## 5. 生产作业

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 产品大且订单多批量小

风电传动链产品具有显著特殊性即单个个体庞大,且种类丰富多样,但单生产批量的数量较小,并且随着市场需求的演变,其个体体积还在不断增大。现常见的风机装机容量已从 2-5 兆瓦提升至 10-20 兆瓦。在此情形下,当前生产线的柔性化能力明显捉襟见肘。这些生产线普遍缺乏必要的自动化与智能化辅助设备。关键设备的缺位,致使生产线的数字化与智能化水平处于较低层次,这不仅阻碍了现代制造技术优势的充分施展,也严重制约了生产效率的提高以及产品质量的进一步提升。

#### 2) 生产过程挑战

风电产品性能要求高、结构复杂,致使生产过程冗长、工序转换频繁多样。工序转换时零件基准定位困难,易致定位不准影响加工质量,造成设备资源浪费,增加运营成本;同时,生产复杂性和频繁转换使人为误操作风险大增,易引发严重后果。此外,风电传动链产品单件生产耗时数月,其间零件受温度、湿度、振动等因素影响,出现颤振、变形、精度漂移等问题,增加加工难度,影响产品性能与可靠性。

### (2) 解决方案建议

中小企业:

## 1) 风电离散加工的轻量化生产管理

鉴于锻造、铸造、发电机、齿轮箱部件等离散型加工中小企业资金有限，可借助 MES/MOM 系统实现部分生产环节的数字化管控。通过模块化架构与云端技术实现制造业的智能化升级，其核心功能涵盖实时数据采集与可视化看板、生产工单自动化调度、质量管理与全流程追溯，以及设备维护与资源优化。相较于传统系统，轻量化方案具备快速部署（上线周期缩短 50%以上）、低成本投入（无需昂贵硬件）、灵活扩展（按需增减模块）等优势，并支持远程协作与移动端管理。建议先从工艺规划入手，通过系统制定灵活的工艺路线，以适应风电传动链产品种类繁多的特点。同时，引入低成本的自动化设备，如半自动上下料机械臂，并将其接入 MES/MOM 系统，实现简单的自动化操作，降低对人工的依赖，逐步提升生产线柔性。

## 2) 风电离散加工生产过程可视化管理

在工序转换方面，借助 MES/MOM 系统制定标准化操作流程，通过可视化界面指导工人操作，提高零件基准定位准确性。针对零件受环境因素影响的问题，在系统中设置环境参数监测模块，当温度、湿度等超出适宜范围时，系统自动发出预警，提醒工人采取防护措施，减少零件质量问题，提升产品可靠性。

大型企业：

## 1) 定制化风电传动生产作业系统管控

可考虑构建专业化生产作业管理系统如定制化MES系统等，结合管理系统功能实现生产作业过程管控。全流程实时监控与可视化，通过传感器实时采集齿轮箱振动频谱、主轴转速、轴承温度等关键参数，结合可视化看板动态展示设备利用率、OEE指标及环境数据（如温湿度、真空度），解决生产透明度低问题。三维数字孪生与远程巡检，基于激光扫描构建传动链生产三维模型，模拟设备运行状态（如塔筒沉降轨迹、齿轮箱磨损热力图），结合VR/AR技术实现虚拟拆装培训，降低人工巡检风险与成本。生产工单自动化排程，根据设备负载、物料库存动态调整生产计划，优化资源分配，如金风MES系统通过算法生成工具与人员配额，减少计划偏差率（从15%降至5%）。条码/RFID实现生产全生命周期追溯，精准追踪齿轮箱、联轴器等大部件的生产批次、装配参数及质检记录，解决质量问题追溯难问题。SPC质量分析与预警，集成统计过程控制工具，实时分析热处理温度、齿轮啮合精度等参数偏差，触发预警并生成改进建议，如远景能源通过阈值监控减少质量事故20%。同时，引入先进的柔性制造系统，通过构建自动化上下料系统、自动换装装置、自动转运设备以及自动测量系统等，形成全自动化、智能化的生产线。

## 2) 风电整机跨平台协同调度系统构建

针对风电整机设备工序转换频繁和零件基准定位困难的问题，采用高精度的视觉识别定位系统，配合自动化设备实现零件

的精准定位与快速转换。跨系统数据整合与告警，集成 SCADA、ERP、PLM 等系统数据，通过 OPC 协议实现风机监控、变电站与气象数据的多维度分析，将 API 接口联动 ERP 与仓储系统，实现工单、物料、设备的实时匹配，如某风电整机生产管理 ERP 通过数据整合降低库存成本 30%。投入研发资金，开发智能监测与预警系统，实时监测设备运行状态、零件加工过程以及环境因素，提前预测设备故障和零件质量问题，及时进行干预，减少设备资源浪费和人为误操作风险，确保产品性能与可靠性。增加远程系统与移动管理系统功能，支持手机/平板查看生产报表、设备告警及维护建议，三一重能“数字元平台”使异常响应速度提升 14%。构建 VR/AR 远程指导能力，通过虚拟仿真技术模拟设备拆装流程，结合维护知识库培训运维人员，降低人工操作失误风险。

### (3) 典型应用场景

**某企业落地生产过程管理系统**



某企业构建了齿轮箱生产的综合组织体系,涵盖了从生产到检测的多个关键环节,包括各阶段的制造设备、自动化检测系统、三坐标测量机以及先进的自动化立体仓库系统(含一座自动化立体库及激光导航自动导引车 AGV)。

车间内部实现了 ERP (企业资源规划)、MES (制造执行系统)、WMS (仓储管理系统)、激光导航 AGV 及 LES (物流调度系统) 的高效联动,融合了质量管理、设备管理、物料管理、仓储物流管理以及数据自动采集等多重功能。这一整合不仅促进了车间流程的信息化管理,还实现了生产数据的自动化采集、工艺设计的智能化升级、产品质量的数字化控制、仓储物流的自动化运作,以及大数据的深度应用分析与运营管控。此外,中控室的大型屏幕工厂虚拟仿真系统为车间提供了实时的监控与反馈。

## 6. 仓储物流

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 产品体积及重量大

风电传动链产业作为重型装备领域的重要分支，其核心零部件如大型基础铸件、多级齿轮箱总成、兆瓦级风机主轴及百米级复合材料叶片等，在制造与仓储流转环节普遍存在体积庞大（动辄数十立方米）、重量超吨（可达数百甚至上千吨）的特性。当前行业内普遍采用叉车或吊车作为主要搬运载体，虽能满足基础运输需求，但受限于设备本身的物理特性，其灵活性在复杂场景中显著不足，例如，在狭小车间通道或高密度仓储区，叉车转向半径大、操控精度低的特点易导致路径规划困难；同时，依赖人工驾驶的调度模式存在两大核心痛点，一是人力成本随搬运频次线性增长，二是人为操作误差可能引发货物碰撞、定位偏差等问题，造成额外返工与安全隐患。更关键的是，在推进仓储智能化改造过程中，传统叉车与吊车系统难以与自动化立体仓库（AS/RS）、智能仓储管理系统（WMS）实现数据互联，导致“信息孤岛”现象频发，例如，某陆上风机齿轮箱制造企业，在运输直径3米、重达12吨的行星架铸件时，需依赖叉车进行车间与仓储间的转运。由于铸件形状不规则且重心偏移，每次吊装均需两名操作员配合调整平衡，并反复测量定位坐标以避免倾覆风险，单次搬运耗时超过40分钟；更因叉车通道宽度限制，大型

部件出入立体仓库的频次被迫压缩至每日 3 批次以内，导致仓储区常出现物料积压。

## （2）解决方案建议

### 1) 风电传动设备多级分类仓储构建

构建分类储存策略，建立多级仓储网络协同管理。建立总库（中央库）、区域库、现场库三级体系，实现备件联储联备和跨库调拨。据物料属性划分存储区域，高位重型货架区存放齿轮箱、液压部件等规则重型物料（3—5 吨），通过堆垛机实现垂直存储，地堆区存放塔筒、大型钢结构等不规则大件，通过二维码定位管理，低位轻型货架区存放电气元件等小型物料，支持人工快速拣选。其次，基于仓储体系调整，开展智能硬件改造，物联感知网络采用抗金属 RFID 标签和 PDA 扫码设备，解决大型金属部件识别难题，实现无纸化操作，部署重载堆垛机（载重 3.4—3.7 吨）、AGV/RGV（自动导引车）等设备，提升重型物料搬运效率。最后，构建全流程数字化管理，建立仓储优化管理系统，基于 AI 算法动态分配出入库任务，紧急维修订单自动插单处理，出库效率大幅提升，记录物料维修历史、质保期限，支持从领用、返修到报废的全流程追踪，大大缩短故障件返修周期。

在路径规划方面，结合 GIS 地理信息系统建立数字孪生仓库模型，通过预设的行驶路线拓扑结构（如采用环形+放射状复合布局），配合动态避障算法实现多设备协同导航。

## 2) 风电设备零部件系统管理

针对关键零部件管理，电子台账系统须具备全生命周期追溯能力。除记录系统出入库时间、操作人员等信息外，应整合 RFID 标签与 GPS 轨迹数据，构建数字化档案。例如，对重达 8 吨的轮毂组件而言，系统可自动关联其不同工序间的搬运频次、停留时长及温湿度环境参数，并通过颜色编码预警异常滞留情况。

在系统集成层面，需确保 ERP、MES 与智能仓储平台间的数据闭环流通。例如，当 MES 下达生产工单时，自动触发 WMS（仓库管理系统）的物料调拨指令，叉车调度算法同步接收需求并生成最优路径；同时采购模块可基于历史消耗数据与实时库存水位，自动生成补货建议。

同时基于叉车运行日志（含速度曲线、急刹次数）、生产计划排程与库存周转率等数据结合 AI 模型、机器学习等方式，可预测未来 24 小时的峰值作业时段并提前部署设备资源。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业引入 WMS (智慧仓储) 管理系统



某风电企业为应对市场需求扩张与供应链复杂化，引入 WMS 智慧仓储管理系统，推进数字化转型与绿色供应链建设，实施分需求分析、流程适配、数据迁移与培训、上线优化四阶段。

需求分析时，企业结合风电传动链零部件特性，联合多部门梳理库存积压、拣货混乱等痛点，明确实时监控、智能分拣及系统集成目标，选定标领 WMS 以满足精细化管理需求。开发适配阶段，重构仓储流程，针对核心零部件存储要求设库位分区与预警，开发动态拣货算法；经多轮测试，优化出入库流程。数据迁移前，清洗超 2 万条物料编码，确保准确率超 99.8%，同时，分层培训员工，设立导师制提升操作水平。

## 7. 质量管控

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 大量人工检测导致效率低与质量数据缺失

风电传动链行业因其产品尺寸庞大、结构复杂且工艺环节高

度精密化，在质量管控领域存在检测手段依赖人工经验的突出问题。由于大型零部件（如兆瓦级齿轮箱、百米级风机叶片）的空间尺度与装配精度要求远超常规工业品，多数企业仍沿用人工检测方法作为核心质检手段。这种质量控制模式存在显著局限性：一方面，人工检测易受主观因素干扰（如疲劳状态、视觉误差），难以对微观形貌缺陷（如亚毫米级铸造气孔、涂层附着力异常）进行精准识别；另一方面，缺乏数字化检测设备导致质量数据采集不系统、存储碎片化，关键参数（如表面粗糙度波动曲线、装配间隙分布直方图）无法形成结构化数据库。

以某沿海风电齿轮箱制造企业为例，其年产能达 300 台套的行星轮系生产线长期采用人工配合游标卡尺检测齿面接触斑点分布的传统方法。质检人员需通过肉眼观察涂色试磨后的齿面着色区域，并辅以经验判断啮合精度是否合格。2021 年某批次产品在客户现场出现异常振动问题时，企业仅能提供纸质版的抽检记录与手写判定结论，无法调取检测过程中原始数据（如接触斑点覆盖率、偏载程度）。这种质量信息断层导致根本原因追溯耗时长达 47 天，且最终仍未能精准定位是热处理变形还是装配偏差所致。此类案例凸显出人工检测模式在质量数据分析与持续改进层面的系统性缺陷——当质量问题发生时，企业既无法通过历史数据对比锁定工艺波动节点，也无法利用统计过程控制（SPC）方法优化检测频次和标准阈值，最终导致质量管控始终停留在被

动应对阶段。

## （2）解决方案建议

### 1) 齿轮箱质量视觉监测

需在关键工序的关键检测环节上实现智能检测装备对人工检测的替代，部署机器视觉+激光测量复合系统。例如，齿轮啮合间隙检测采用 3D 线阵相机（精度  $\pm 0.005\text{mm}$ ）替代人工卡尺测量，接触斑点分析引入 AI 图像处理算法（如 U-Net 网络模型），实现检测效率提升 30%且数据自动结构化。建立质量管理体系整合所有检测相关数据，如 PLC、传感器及检测设备数据流，建立包含材料特性（如晶粒度、残余应力）、工艺参数（热处理温度曲线）、检测结果（粗糙度 Ra 值、硬度梯度）的全要素数据库，并将所有的检测过程与结果数据录入系统，便于质检数据与经验的累积。

### 2) 风电传动设备产品质量诊断追溯系统构建

构建产品质量诊断分析系统，实现实时监控与预测性维护，通过部署传动链在线振动监测系统（CMS），实时采集主轴、齿轮箱、发电机等关键部件的振动数据，结合自适应阈值算法和 AI 诊断模型，实现故障早期预警（如轴承剥落、齿轮断齿等），准确率可达 95%以上。整合油液监测、温度传感器、应力检测等数据，构建整机健康度指标（HI），通过 HMI 界面实时推送报警信息并生成维修工单。数据分析与智能诊断层面，采用频谱分

析、小波分析等工具，从振动信号中提取故障特征（如滚动体裂纹、润滑不良等），并通过机器学习优化诊断模型，基于历史数据构建可靠性模型，预测关键部件（如主轴承）的剩余寿命，指导备件采购和维修计划。

建立全生命周期质量追溯体系，利用条码/RFID 追踪，通过“一物一码”对零部件从供应商到安装、维修的全流程跟踪，实现故障件批次溯源。实现维修记录数字化，集成 EAM（设备管理系统）记录维修历史、质保期限，并与工单系统联动，自动触发备件更换或返修流程。利用 AI 驱动开展质量优化，通过 AI 图像识别技术自动审核现场作业照片，比对工艺标准（如螺栓扭矩值、涂层厚度），合规性判断准确率达 98%。远景能源开发的 AI 模型可自动识别 12 类质量风险点，审核效率提升 30%。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业引入先进智能检测装备并进行质量分析

The screenshot shows a web-based quality management system interface. On the left is a sidebar menu with various quality control options. The main content area is titled '工序检验单信息' (Process Inspection Form Information) and contains several input fields and dropdown menus for recording inspection data.

某企业引入了先进的智能检测装备，对生产过程中的各个环节进行实时监测。这些装备能够精准捕捉产品的各项参数，确保每一道工序都符合既定的质量标准。同时，企业还建立了一套完善的产品质量追溯系统，该系统能够记录产品从原材料采购、生产加工到最终交付使用的全过程信息。一旦产品出现质量问题，企业可以迅速追溯到具体的生产环节，及时采取措施进行纠正。

此外，该企业还充分利用质量数据进行分析。通过对大量数据的挖掘和整理，企业能够发现生产过程中的潜在问题，并据此优化产品设计和生产工艺。例如，企业发现某一批次的产品在特定工况下容易出现磨损，便立即对产品设计进行了调整，增强了产品的耐磨性。同时，企业还对生产工艺进行了优化，提高了生产效率和产品质量。

这些举措不仅显著提升了产品的合格率，降低了质量损失率，还增强了企业的市场竞争力。

## 8. 设备管理

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 设备数据化管理改造困难

风电传动链企业部分设备在最初的设计及选型阶段并未考虑到数据化管理需求，未配备支持数据采集的接口，这使得后续若要搭建智能化的设备管理系统，就必须对设备进行改造。然而，设备改造不仅涉及复杂的技术难题，还涉及较高的成本投入，包括硬件更换、软件适配以及人力成本等诸多方面阻碍了设备信息化管理进程。

#### 2) 设备管理大多依赖线下

设备的运维记录通过人工线下记录，大量关键信息缺失，如设备的维修历史、更换零部件详情、日常巡检数据等，这使得管理人员难以全面了解设备过往状况，无法为后续为维护决策提供有效依据。同时，现阶段仍多采用纸单化管理模式，纸质记录易损坏、易丢失，查询检索极为不便，效率低下。这也导致了支撑设备管理的数据库与知识库建设不完善，未能充分整合设备资料、故障案例、维修经验等宝贵信息，无法实现知识共享与快速复用，极大制约了设备管理水平的提升。

### (2) 解决方案建议

#### 1) 风电传动生产设备数字化改造

完成设备的传感器部署与设备联网。建立多维度感知网络，

在齿轮箱、轴承、叶片等关键部件安装振动、温度、应力、油液状态等传感器，实现每秒 10-40kHz 的高频数据采集。例如，采用抗金属 RFID 标签解决金属部件干扰问题，并通过边缘计算设备（如 PLC）实时存储采样数据，避免传统文件存储导致的数据同步性差问题。开展设备联网升级，将老旧设备通过加装工业网关（如倍福风电专用控制器）实现协议转换，支持 Modbus、OPCUA 等工业协议，并与 SCADA 系统、CMS 状态监测系统互联。采用 MQTT 协议实现设备数据发布/订阅模式，取代传统轮询方式，解决风电场数据采集周期长（秒级）、同步性差的问题。例如，通过 QoS 分级机制保障关键数据的可靠传输（如故障预警数据采用 QoS3 级加密传输）。

建立设备管理软件系统。首先，实现实时监控与数据采集，通过传感器实时采集传动链关键部件（如齿轮箱、轴承、叶片）的运行数据，包括振动、温度、转速、油液状态等参数，并结合 SCADA 系统实现远程监控。其次，针对设备开展故障诊断与预测性维护，利用 AI 算法（如机器学习、频谱分析）对历史数据和实时数据进行建模，预测部件剩余寿命，并提供故障原因分析。例如，舍弗勒 WinCheck 平台通过振动特征识别轴承早期失效风险。

## 2) 风电生产设备数字化管理系统建设

建立标准化运维记录体系，设计一套标准化的设备运维记录

模板，明确规定需要记录的关键信息，包括设备维修历史（维修时间、故障现象、维修措施、维修人员等）、更换零部件详情（零部件名称、型号、更换时间、供应商等）、日常巡检数据（巡检时间、巡检项目、检测结果等）。通过信息化系统强制要求维护人员按照模板填写记录，确保信息的完整性和准确性。采用设备数字化管理工具，实现设备维护管理与工单优化，自动生成维护计划，支持预防性维护、工单分配及备件库存管理。系统结合设备状态和备件库存智能推荐维护优先级。通过条码/RFID记录零部件的生产、安装、维修全流程数据，支持批次追溯。例如，金风科技系统实现故障件溯源至供应商。与 ERP（采购、库存）、EAM（设备台账）、MES（生产工单）等系统无缝对接，实现数据互通。例如，科箭 WMS 云与 SAP 集成优化库存调度，打破信息孤岛，提升跨部门协作效率。

采用移动设备应用程序，方便维护人员在现场进行运维记录的实时录入。维护人员可通过手机或平板电脑扫描设备二维码，直接进入对应的设备运维记录页面，快速填写相关信息并上传至服务器。这样不仅提高了记录的及时性，还减少了人工记录后再录入电脑的烦琐流程，降低了出错概率。

推进数字化管理平台建设，摒弃纸单化管理模式。该平台应具备设备档案管理、运维计划制定与执行、故障报修与处理、数据分析统计等功能模块。将设备的所有信息（包括纸质文档资料

进行扫描数字化处理)集中存储在平台数据库中,实现设备信息的集中管理和快速检索。

建立设备管理数据库,对设备的技术参数、运维记录、故障数据等进行结构化存储,以便于数据分析和挖掘。运用数据挖掘算法,对设备故障数据进行分析,找出故障发生的规律和潜在原因,为预防性维护提供数据支持。

搭建设备管理知识库,鼓励维护人员和技术专家将设备维修经验、故障案例解决方案等知识上传至知识库。对知识库内容进行分类整理和索引,方便用户快速查询和检索所需知识。同时,建立知识审核与更新机制,确保知识库内容的准确性和时效性。通过知识共享,提高企业整体的设备管理水平和故障处理能力。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业构建集控与 EAM 聚合的资产管理平台

设备类型	设备名称	设备编码	设备状态	最近点检时间	最近巡检日期	最近维保日期	最近维修日期	规格型号
共用设备	水泵	QY-58-025	正常运行		2024-05-11			QW50-15-25-2.2
生产设备	清洗机	SC-QX-024	正常运行	2023-11-05 23:04:52	2023-11-27	2023-11-02	2023-11-01	TECH-25
生产设备	清洗机	SC-QX-023	正常运行	2023-11-05 23:08:29	2023-11-07			ASKOJET-120B
生产设备	磨板	SC-ZG-022	故障报警		2024-05-11	2023-10-05	2023-11-01	GMN121-6000
生产设备	磨板	SC-ZG-021	故障报警		2024-05-11		2023-11-02	GMN121-4500
生产设备	切割机	SC-QZ-019	正常运行	2023-09-28 10:58:40	2023-09-07	2023-06-10		PLN-900
生产设备	磨板机	SC-XF-012	停用		2024-05-11			MUL200
生产设备	切割机	SC-QZ-011	停用		2024-05-10			PLK-2000
生产设备	磨板机	SC-XF-010	正常运行	2023-11-07 09:51:48	2024-05-02			MUL200
生产设备	切割机	SC-QZ-009	正常运行	2023-11-07 11:23:01	2023-11-07		2024-01-17	PLN 900

某企业针对传统资产管理中设备监控分散、运维滞后、能效粗放等问题，融合集控系统 with EAM 构建数字化平台。通过“顶层设计 - 技术整合 - 场景落地 - 生态扩展”路径，实现设备全生命周期智能管理。

系统集成阶段，利用边缘计算与 5G 采集 2000 余个传感器数据，搭建“设备健康画像”，以算法实现 12 类故障 89%准确率预警。

## 9. 安全管控

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 重点危险区域未实现智能化管理

风电传动链企业在生产过程中存在众多不同类型的重点危险场景，如生产设备运行中或运输途中的机械伤害风险；润滑油、

切削液泄露或明火导致的易燃易爆风险；车间有电机、电焊机、配电柜等各类电气设备，长期使用与维护不善时，易出现绝缘老化、短路问题，比如电机长时间高负荷运转，绕组绝缘损坏会导致漏电，使操作人员触电的风险等等。此外，大量分布在车间角落用于供电和控制的电气线路，若敷设不合规，像未穿管保护、接头松动，极易引发漏电、短路事故，潮湿环境或有腐蚀性液体泄漏区域，线路安全性更受威胁。这些存在重点安全隐患其余部分企业目前仍以人工巡检、纸质台账等线下方式实现管理，未实现智能化自动化管理。

## （2）解决方案建议

企业需建立安全防护设备安装，保障工厂内的人与设备安全。如选取靠近大型机械、电气控制柜以及物料传输起始端等关键区域，安装高清摄像监控设备。

### 1) 风电传动生产车间安全监控系统构建

建立工厂智能安全监控管理系统，开展人员行为智能监控，通过 AI 视觉识别技术，实时监测作业人员是否规范佩戴安全帽、工作服和安全带，支持对未佩戴或佩戴不规范行为触发报警。例如，在风机塔筒入口、传动链设备检修区域等关键点位部署摄像头，结合深度学习算法（如 CNN）实现精准识别，对吸烟、攀爬动作异常等危险行为进行识别，避免因违规操作引发安全事故。检测人员倒地、剧烈运动或跌落等异常状态，并通过声光报警或

移动端通知管理人员。集成人脸识别技术,对进入高风险区域(如齿轮箱维修区、发电机测试台)的人员进行身份核验,仅允许授权人员操作。系统自动将包含违规时间、地点、信息的详细违规记录通过安全防护智能监控系统推送至车间管理人员手机端,方便管理人员随时了解车间安全态势,及时采取进一步的教育、惩处等跟进措施。

## 2) 风电传动生产工厂电气安全管理

在电气安全层面,针对车间内配电柜、配电箱、大型用电设备等重点电气设施,加装专业的安全监测传感器并接入安全防护智能监控系统。温度传感器实时监测电气设备关键部位的运行温度,一旦温度超出正常阈值,立即触发本地声光报警,并向车间管理人员手机及监控中心发送预警信息,提示可能存在的过载、接触不良等故障隐患,以便及时安排断电检修。电流传感器精准测量各支路电流大小,通过与预设正常电流范围比对,快速发现短路、漏电等异常电流波动,自动切断故障电路,防止事故扩大。漏电监测传感器全天候监测电气设备外壳及线路漏电情况,当检测到漏电电流时,能够在安全防护智能监控系统及时报警,精准定位漏电部位,辅助维修人员迅速排查修复,有效降低电气事故风险,保障车间生产活动的安全、稳定、有序开展。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业构建安全防护智能监控系统



某企业引入融合前沿视觉、高精度图像识别技术与深度学习算法的员工安全防护智能监控系统。员工进入生产区域时，系统即实时精准监测安全帽佩戴等安全防护细节。一旦发现员工护具穿戴不规范，系统智能语音警示模块将立即发出清晰指令，明确指出问题并指导纠正。

该系统还进一步拓展监控功能，针对上班玩手机、非吸烟区吸烟等违规行为，利用持续优化的深度学习模型与精准图像采集分析，实现高效识别、实时预警与及时制止。这些行为不仅易分散员工注意力、降低生产效率，还存在重大安全隐患，系统通过智能监控有效保障企业生产运营安全，规范员工作业行为。

## 10. 能源管理

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 缺乏及时有效的能耗监管

当前省内多数企业对生产全流程的能源消耗实时监测覆盖率不足，关键环节设备的能耗参数缺乏连续性数据采集，导致设备（如注塑成型机、热处理炉）能源异常无法识别增加无故的能源损耗，如真空淬火工艺电加热器 30 分钟/次的无效空载运行若无实时的能耗监测无法通过人工有效发现。

#### 2) 节能改造场景挖掘能力不足

企业未能通过全链条分析识别高潜力节能领域（如余热回收、工艺参数优化等），仅依赖局部改进或经验决策，导致改造方向偏离核心痛点。在选择节能技术时缺乏对设备特性、生产流程及地域环境的综合考量，例如，未结合江苏沿海高湿度、强风沙特点设计防潮/抗腐蚀方案，影响技术实施效果。同时也未能整合多工序能耗数据与工艺参数（如温控系统与生产设备联动），导致局部节能反而引发其他环节的能源浪费或效率损失。

#### 3) 对数字化节能工具的应用滞后

多数企业仍依赖人工记录能耗数据，无法重点回路的实现自动化采集与实时可视化展示。现有系统多停留在基础数据统计层面，缺乏高级分析功能（如设备健康度评估、改造方案模拟、异常模式识别等），难以支撑精准决策。

## （2）解决方案建议

### 1) 建立实时能耗监管系统

明确监测范围（如齿轮箱、发电机等高耗能设备）、能耗类型（电力、液压油、热量）及管理目标（降低单位发电能耗、优化维护周期），需结合企业 SCADA 系统数据与传动链运行特性制定基准指标。首先，完成传感器选型及安装，在齿轮箱润滑泵、发电机定子/转子等关键点安装电能传感器，监测瞬时功率与累计能耗，针对液压系统部署压力传感器和流量计，跟踪能量转换效率，集成振动监测系统（CMS）数据，分析设备异常能耗与机械故障的关联性。构建能耗实时监控看板，可视化展示各机组能耗趋势、设备能效排名及异常告警（如齿轮箱油温异常导致的能耗激增）。建立能效分析工具，通过散点图、三维频谱图分析能耗与转速、载荷的关联性，识别低效运行区间，结合振动数据与能耗异常模式，预测设备潜在故障（如轴承磨损导致的摩擦损耗增加）。

### 2) 轴承、齿轮箱生产节能改造挖掘

通过振动监测（CMS）与油液监测数据，分析齿轮箱、主轴等关键部件的摩擦损耗异常，识别轴承磨损、齿轮断齿等导致能效下降的故障模式，例如，齿轮箱输入轴振动频谱异常可能表明润滑效率降低，需优化冷却系统运行逻辑。结合 SCADA 系统采集的功率、转速、油温等参数，构建能效基线模型（如 LSTM 时

序预测)，动态监测实际能耗偏离基线的程度。基于 PHM（预测性健康管理）平台，将设备健康度评分与能耗数据关联，识别维护延迟导致的能耗上升（如轴承轻微磨损导致的摩擦功耗增加）。构建传动链数字孪生模型，模拟不同控制策略下的能量流分布，验证节能改造方案的可行性。例如，优化齿轮箱润滑系统压力设定值以减少液压泵能耗。引入第三方专业团队（如江苏省工信厅推荐的风电传动链行业“智改数转”服务商），对工厂生产流程进行热力学分析，识别高能耗节点（如齿轮加工系统、轴承淬火工序）。对生产全流程进行热成像检测，定位高能耗设备（如淬火炉、喷涂烘干线）的热量散失点，并量化改进潜力。

生产环节中的废热（如淬火油冷却、熔融金属处理）通过换热器或热交换装置，将高温废气/液体的热量传递给低温介质，产生蒸汽或热水。形成废热循环利用，提高能源使用效率。

### **3) 建立工厂精益能源管理系统**

基于能耗监测系统构建更为深层次的精益能源管理系统，包含实时能效诊断、设备状态诊断、班粗班次能耗分析、产品单耗分析、生产节拍诊断、异常用能预警、多维度数据统计分析等。确定覆盖范围包括生产中的高耗能环节、蒸汽管网、其他介质用能、电力分配网络等公用设施。

按照工艺流程分阶段实施，优先在能耗占比最高的区域（如熔炼炉、蒸汽锅炉）部署高精度仪表与数据采集装置。将不同设

备的原始信号（4~20mA、RS-485等）通过边缘网关转换为标准工业协议（OPCUA、MQTT），传输至精益能管平台，建立企业级能耗数据模型。

### （3）典型应用场景

#### 某企业打造精益能源管理平台



某企业引入精益能源管理系统，构建全域、车间、设备三级能耗管控架构。针对加工中心等高能耗设备，配备独立智能电表进行精准计量，将能耗数据实时传输至电能监控系统，详细记录各设备用电、用水情况，为能耗分析提供数据基础。

企业基于系统开展单耗分析，通过科学数据优化设备产能分配，精准核算生产成本，明确改进方向。借助对能源耗用规律的深度剖析，持续优化能源调配策略，实现能源实时优化调度。同时，结合历史数据与实时动态，精准预测能源供需平衡，保障生产高效、有序进行，推动企业能源管理精细化、科学化发展。

## 11. 环保管控

### (1) 存在问题及需求

废弃物排放数字化管理困难。省内风电传动链企业需通过江苏省固体废物管理信息系统记录工业固体废物的种类、数量、流向、贮存、利用、处置等信息，并实时更新。转移固体废物需运行电子转移联单，禁止擅自倾倒或非法处置。同时产生废弃物的单位需采取防渗漏、防扬散等措施，危险废物贮存设施需符合《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001），包括防渗层、泄漏液体收集装置等。贮存设施建设也需避开地震带、洪水区等高风险区域，远离居民区和敏感环境。同时防渗要求需满足基础防渗层需为至少 1 米厚黏土层（渗透系数 $\leq 10^{-7}\text{cm/s}$ ）或 2 毫米高密度聚乙烯（渗透系数 $\leq 10^{-10}\text{cm/s}$ ）。可见省内对于废气排放物的管理规范与严格。现大部分企业已建立危险废物管理台账，通过国家危险废物信息管理系统申报种类、产生量、流向等信息，但由于成本、精力等原因未在厂内实现废弃排放物信息的数字化管理，实现节能减排与精准的环境监控。

### (2) 解决方案建议

#### 1) 风电整机涂装 VOCs 监测系统

硬件设备部署与系统集成。在关键污染节点安装物联网传感器、在线监测仪器和智能电表等终端设备，覆盖废气排放口、污水处理设施、高能耗生产线等区域。例如，在涂装车间部署 VOCs

实时监测装置，同步接入能源管理模块以追踪设备用电效率；通过数据采集与监控系统（SCADA）整合多源信息，并对接企业现有 ERP 或 MES 系统，实现环境数据与生产数据的联动分析。实时感知+智能分析，通过传感器网络和 AI 模型动态捕捉污染源与能耗变化，快速定位问题环节（如某台设备单位产能耗电量异常），推动精细化调整；数据驱动决策，基于平台生成的碳足迹报告、污染物排放趋势图等可视化成果，制定针对性减排目标（如优化涂装工艺减少 VOCs 排放量 15%）；闭环管理机制，将监测结果与生产调度、设备维护等环节联动，例如，自动降低高污染工序负荷或触发清洁技术替代方案。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业实现环境数据与碳统一管理



某企业构建智慧环境管理系统，融合物联网与大数据技术，以“预防性环境治理”为核心理念，实现废弃物全生命周期监管与碳排放轨迹追踪的数字化整合。系统搭建全链条环境监测体系，实时监控 36 类关键指标，形成动态环境数字孪生模型。

在可视化交互层面，系统借助三维地理信息看板直观展示环境数据，打破信息壁垒，助力管理者实时掌握碳足迹、环境成本等信息。

## 12. 营销管理

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 销售渠道管理效能低下

风电行业依赖多元化渠道（如整机厂合作、第三方运维服务商、直客模式），但渠道冲突、价格体系混乱等问题频发。例如，部分企业缺乏对渠道商的动态监控机制，导致跨区域窜货或低价竞争，损害品牌信誉。同时，线上流量碎片化趋势加剧，企业难

以通过传统营销模式高效触达目标客户。

## **2) 定制化服务与成本控制矛盾突出**

客户对传动链设备的技术定制需求高（如齿轮箱载荷优化、主轴润滑系统改造），但定制化涉及工程设计、生产流程调整等高成本环节。企业常面临“服务灵活性”与“成本超支”的两难困境，尤其在小批量订单中难以平衡利润率与客户满意度。

## **3) 品牌建设 with 数据驱动能力薄弱**

在专业化程度高的风电领域，品牌技术实力是客户决策的核心考量，但部分企业缺乏系统性品牌建设。例如，未能通过技术白皮书、行业研究报告等高质量内容输出强化专业形象，或未利用数字化工具实时展示产品性能数据（如齿轮箱故障率、传动效率对比）以提升客户信任。此外，内部数据孤岛问题导致营销策略缺乏数据支撑，难以量化市场投入产出比。

### **(2) 解决方案建议**

#### **1) 构建风电整机客户全生命周期数字化管理平台**

整合 CRM 系统与 ERP、SCADA 数据，建立风电项目客户档案库，涵盖历史订单、设备运行状态（如振动监测数据）、服务记录等，实现从上机挖掘到售后维护的全流程跟踪。例如，销帮帮 CRM 通过合同、报价、跟进记录等数据沉淀，帮助风电企业将客户资料转化为可复用的资产。开展 智能需求预测，利用大数据分析客户采购周期、项目规划等行为数据，预判需求并动

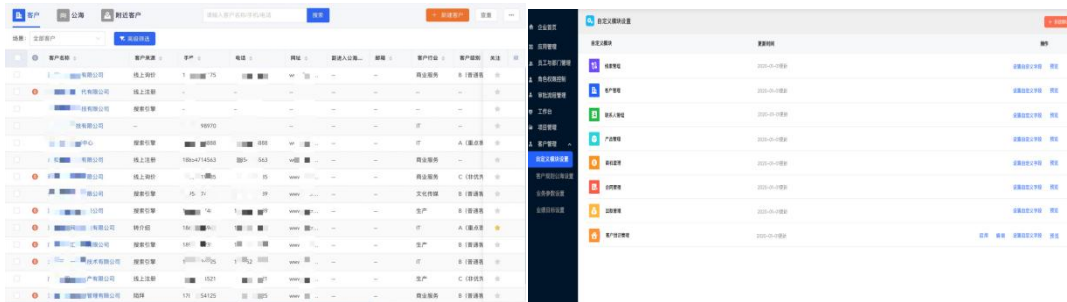
态调整营销策略。例如，某企业通过分析风电场选址数据与客户技改计划，精准推送齿轮箱升级方案。

## 2) 风电传动设备数据驱动的智能决策系统

使用多源数据融合分析，整合 SCADA 设备运行数据、CMS 振动监测数据与市场外部数据（如政策补贴、竞品动态），构建能效—成本—风险多维模型，例如，通过对比不同区域机组的能耗数据，识别高价值客户群并优化资源投放。建立 AI 辅助营销策略，应用机器学习算法分析历史订单与市场趋势，生成动态定价建议或服务套餐推荐，例如，针对老旧机组客户推送“传动链延寿+能效优化”组合方案。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业引入 CRM 系统并集成 EMS 系统



客户名称	客户类型	客户地址	客户电话	客户邮箱	客户行业	客户规模	客户等级	客户状态
上海某某有限公司	线上注册	上海市浦东新区	138001375	shanghai@xxx.com	制造业	B	普通	正常
江苏某某有限公司	线下注册	江苏省南京市	189001375	nanjing@xxx.com	制造业	B	普通	正常
浙江某某有限公司	线上注册	浙江省杭州市	151001375	hangzhou@xxx.com	制造业	B	普通	正常
广东某某有限公司	线上注册	广东省广州市	139001375	guangzhou@xxx.com	制造业	B	普通	正常
山东某某有限公司	线上注册	山东省济南市	158001375	jinan@xxx.com	制造业	B	普通	正常
河南某某有限公司	线上注册	河南省郑州市	137001375	zhengzhou@xxx.com	制造业	B	普通	正常
湖北某某有限公司	线上注册	湖北省武汉市	136001375	wuhan@xxx.com	制造业	B	普通	正常
四川某某有限公司	线上注册	四川省成都市	135001375	chengdu@xxx.com	制造业	B	普通	正常
陕西某某有限公司	线上注册	陕西省西安市	134001375	xian@xxx.com	制造业	B	普通	正常
湖南某某有限公司	线上注册	湖南省长沙市	133001375	changsha@xxx.com	制造业	B	普通	正常
安徽某某有限公司	线上注册	安徽省合肥市	132001375	hefei@xxx.com	制造业	B	普通	正常
江西某某有限公司	线上注册	江西省南昌市	131001375	nanchang@xxx.com	制造业	B	普通	正常
福建某某有限公司	线上注册	福建省福州市	130001375	fuzhou@xxx.com	制造业	B	普通	正常
广西某某有限公司	线上注册	广西壮族自治区南宁市	129001375	nanning@xxx.com	制造业	B	普通	正常
云南某某有限公司	线上注册	云南省昆明市	128001375	kuming@xxx.com	制造业	B	普通	正常
贵州某某有限公司	线上注册	贵州省贵阳市	127001375	guiyang@xxx.com	制造业	B	普通	正常
重庆某某有限公司	线上注册	重庆市	126001375	chongqing@xxx.com	制造业	B	普通	正常
海南某某有限公司	线上注册	海南省海口市	125001375	haikou@xxx.com	制造业	B	普通	正常

某企业研发订单管理系统，通过系统集成全面提升业务流程效率。该系统与 OA 系统无缝对接，销售团队录入订单时，可智能匹配客户资料 and 产品信息，缩短订单创建时间，保障信息准确性。

同时，订单管理系统与 MES 集成，实现企业内部高效协同。新订单生成后，信息自动同步至 MES 系统，MES 随即启动智能化生产计划，完成生产排期与资源分配，确保生产活动精准响应订单需求，紧密衔接销售与生产环节。

通过多系统集成，企业打破信息壁垒，强化内部协同，大幅优化从订单处理到产品生产的全业务流程，有效提升整体运营效率，增强市场竞争力。

## 13. 售后服务

### (1) 存在问题及需求

#### 1) 运维中孤岛数据

当前江苏省风电传动链制造企业在数字化转型进程中，虽已

普遍开展智能化远程运维平台建设工程，但在技术融合与系统集成方面仍存在显著提升空间。多数企业通过部署工业物联网设备与数据脱敏系统，已初步实现核心设备运行参数（如振动频谱、扭矩载荷、温升曲线等关键性能指标）的实时采集与安全传输，但在数据全生命周期管理层面仍面临系统性挑战。具体表现为：传动链设计端、生产端、运维端的多源异构数据尚未形成统一标准接口，各业务模块间的数据孤岛现象突出，导致设备健康状态评估模型难以获取全维度数据支撑，无法构建端到端的预测性维护体系。

## **2) 运维服务智能化较弱**

风电传动链行业运维决策系统过度依赖人工经验判断，缺乏基于机器学习的智能诊断算法与知识图谱技术应用，致使故障预警准确率与客户个性化需求匹配度不足；同时数据资产商业转化机制尚未健全，设备运行大数据与市场动态信息的关联分析能力薄弱，导致企业难以及时捕捉行业需求变化趋势。

### **(2) 解决方案建议**

#### **1) 风电整机全生命周期数据管理**

建立设备数字孪生与健康档案，基于 SCADA、CMS（状态监测系统）等设备运行数据，构建传动链（齿轮箱、主轴等）的数字孪生模型，动态映射物理设备的健康状态，例如，慧环传动通过弹性支撑位移监测、应力波检测等技术，实现潜在故障的早

期预警与健康评估， 所需系统功能包括仿真建模、动态数据可视化、故障模式库。完成 跨系统数据整合，集成 ERP（备件库存）、CRM（客户需求）、工单系统（维修记录）等多源数据，建立统一数据湖，例如，安维士通过 A-PHM9000 平台整合振动、油液等数据，实现故障精确定位。

## 2) 齿轮箱智能化故障诊断与响应

开展 AI 驱动的预警与原因分析，采用频域—时域联合分析技术（如频域-时域联合分析法）快速定位失效区域，结合机器学习算法（如随机森林、LSTM）预测故障演化趋势。例如，金风科技通过 AI 算法优化齿轮箱维修方案，将诊断准确率提升至 95%以上， 所需功能包括多传感器数据融合分析、AI 模型训练与部署、自动化报告生成。开展 远程协同与移动端支持，通过移动端 APP 实现现场工程师的实时签到、故障照片上传、维修进度反馈，并与总部专家远程协作，例如，云售后系统支持移动端工单处理与知识库调用。

## 3) 风机预防性维护与增值服务

动态维护策略优化，基于设备健康评分与能耗数据关联分析，制定差异化维护计划，例如，慧环传动通过在润滑油中添加纳米修复剂实现磨损自修复，延长部件寿命 30%。 所需功能包括维护周期智能推荐、成本—效益模拟工具。推行 客户定制化服务包，根据风电场机型、运行年限等生成“延寿改造+能效优

化”组合方案，例如，安维士针对老旧机组推出齿轮箱替代设计服务，降低下塔率。

建立智能运维管理平台，具备工单自动化，支持微信扫码报修、智能派单（按地理位置/技能匹配）、进度实时追踪。提供

AR 远程协助，工程师通过 AR 眼镜与专家实时共享视野，缩短故障处理时间。构建 知识库与故障库，集成典型失效案例、维修 SOP，支持语义搜索与智能推荐。建立资源协同与供应链管理模块，实现备件智能调配，基于库存数据和维修需求预测，自动触发备件采购申请，支持 VMI（供应商管理库存）模式，整合第三方维修商能力数据，实现服务资源动态调度。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业自主开发了风电售后运维系统



某企业在风电设备部署传感器及采集装置，实时采集温度、风速、设备运行状态等关键数据，经无线通信传输至远程监控中心。通过大数据与人工智能算法深度分析数据，提前预判设备故障与异常，支持运维人员主动服务。

该平台集成远程监控、预警及操作功能。Web 界面实时展示设备数据，当参数超预设阈值时，立即通过电话、短信等方式向运维人员发出预警。运维人员可远程访问设备控制系统，进行调试、程序传输等操作。

此外，平台还具备智能化运维管理能力，自动生成作业工单、总结及日志，并提供任务分配建议，优化运维流程，提升工作效率，实现风电设备全流程智能化管理。

## 14. 供应链管理

### (1) 存在问题及需求

由于风电传动链行业中供应链交付、采购均以实际产品进行交付并最终由链主企业整机装配交付客户后统一运维管理，供应链计划、供应链采购与交付、供应链服务环节未进行详细拆分，统一由供应链相关人员与系统管理，故指南中将供应链计划、供应链采购与交付、供应链服务环节整合为供应链管理环节进行统一阐述。

#### 1) 供应链需求预测与计划脱节

风电项目订单呈现“短、平、快”特点，但企业缺乏对客户需求的深度分析能力，中长期资源规划缺失，导致生产计划被动响应，库存冗余与缺货并存。现行业中部分企业虽已采用 SCM 或 ERP 系统进行供应链管理，但这些系统缺乏动态优化能力。信息沟通多依赖人工，造成信息传递延迟或丢失。SCM 或 ERP 系统通常仅限于企业内部使用，与外部供应商的信息协同较差，供应链上下游企业间的数据共享主要通过邮件、Excel 表格或纸质单据完成，缺乏自动化采集与系统对接。关键信息如订单状态、物流追踪、库存数据需手动录入，导致效率低下且易出错。

#### 2) 供应商管理与协同不足

供应商分散、采购流程冗长（如依赖招标模式），且缺乏差异化策略，导致交货周期长、成本不可控。能源价格上涨加

剧供应商垄断风险,企业议价能力弱,难以保障原材料稳定供应。

### 3) 库存与物流成本高企

备件库存管理粗放,未建立基于设备健康状态的动态补货模型,造成资金占用和仓储资源浪费。多品种小批量生产模式下,柔性不足导致物流成本攀升。

#### (2) 解决方案建议

##### 1) 风电整机供应链计划优化系统

建立“自上而下+自下而上”的双向预测机制,结合市场全局数据与销售提报信息,提升预测准确性,整合市场数据、客户订单及设备运行数据(如齿轮箱故障率、主轴维护周期),采用运筹算法优化中长期资源分配,例如,上海电气风电通过“风链”项目建立双层主计划体系,实现物料、产能、物流资源的全局匹配,订单交付率提升13%。打造S&OP(销售与运营计划)协同功能,支持多部门协同制定产销平衡方案,通过可视化看板展示产能利用率、库存周转率等关键指标,辅助管理层快速决策。通过算法驱动的主计划模型(如运筹优化算法),平衡资源约束与客户需求,实现订单级交付承诺。

##### 2) 风电零部件供应链执行与调度系统

开展智能物流与仓储管理,基于数字孪生技术模拟物流路径,优化运输方式(如海上风电大型部件运输路线规划),降低物流成本7%~13%。支持实时监控运输状态,结合GPS和IoT数据

动态调整承运商资源。实施全链路可视化监控，覆盖从采购订单到吊装验收的 23 个节点，提升执行透明度。进行 动态排产与柔性生产控制，针对风电设备多品种小批量生产特点，支持多工厂协同排产，并根据紧急订单优先级自动调整生产序列，提升交付敏捷性。

### 3) 风电传动零部件供应链服务与协同系统

构建供应商协同门户，实现电子招投标、合同管理、绩效评估等功能，支持供应商分级管理（如战略供应商优先合作），缩短采购周期 30%。例如，金风科技通过科尔尼采购创值法优化供应商谈判策略，降低通用物资采购成本超 10%。提供 设备健康驱动的备件管理，集成 CMS 振动监测数据与油液分析结果，预测备件需求并触发自动补货，结合 VMI（供应商管理库存）模式降低库存成本 15%。搭建供应商绩效数据库，实施 ABC 分类管理，优先与核心供应商建立战略联盟。通过 AR 远程协作与移动端工单系统，实现故障快速响应，减少现场服务成本。

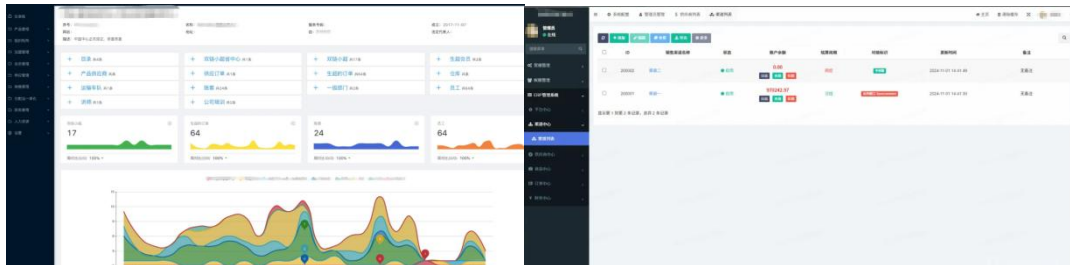
### 4) 风电零部件采购智能决策优化

利用多源数据融合分析，整合 SCADA 运行数据、市场政策动态及供应商绩效数据，构建能效—成本—风险多维模型，辅助制定动态定价和服务套餐策略。AI 驱动的采购策略优化，采用 BOM 拆解与成本回归分析，识别高价值物料降本空间。例如，某企业通过 QDA（成本回归分析）和 ERA（电子反向拍卖）实

现关键部件成本优化,该企业利用科尔尼采购创值法优化供应链策略,降低物流综合成本 7%~13%,并通过数字化仓储将库存压降 10%。

### (3) 典型应用场景

#### 某企业引入并成功实施供应链管理系统



江苏省某风电传动链制造企业针对传统供应链管理痛点，依托数字化转型实现效能突破。受行业多批量、小批次生产特性制约，企业面临三大瓶颈：采购端人工沟通效率低导致供应商交货信息不透明；仓储管理粗放引发库存周转失衡；生产计划刚性难以动态响应市场需求，致使订单交付延迟率达 15%。通过部署模块化供应链管理系统（SCM），企业构建起三大核心能力：一是搭建供应商协同平台，实现交货进度与质量数据的可视化共享；二是运用 AI 算法建立“订单-计划-采购”闭环体系，动态优化生产排程；三是集成 IoT 设备打造智能仓储，通过实时库存监控与自动补货机制提升周转率。系统与 ERP、MES 深度集成后，采购周期缩短 30%，库存成本降低 25%，订单准时交付率提升至 98%，客户投诉率下降 60%。该转型实践为装备制造行业供应链智能化升级提供了可复制样本。

## 五、路径与方法

### 1. 实施路径

针对风电传动链行业智改数转网联的实施路径,首先明确大中小企业在产业链中的不同定位与需求,细化出若干能力子域如智能制造、数据分析、供应链协同等,并依据企业规模与资源条件设定优先级。随后,按照优先级顺序,分阶段、有重点地推进大中小企业在智改数转网联方面的实施工作,确保资源高效配置,促进整个产业链向智能化、数字化、网络化方向协同发展。

#### (1) 异同分析

针对大中小型企业 在转型过程中的路径与困难进行以下分析总结:

##### 1) 共性分析

**业务需求融合:**大中小企业都需要将业务管理技术与数字化技术进行完美融合,以实现业务流程的优化和效率的提升。

**公司决策支持:**公司管理者的全力支持是数字化转型成功的关键,无论企业规模大小,都需要高层领导者的积极推动和决策。

**业务发展战略:**将业务发展战略作为数字化转型的顶层设计,确保转型方向与业务目标保持一致。

##### 2) 差异性分析

**IT 能力:**大型企业通常具有较强的 IT 能力,能够自主研发或合作开发数字化系统;而中小企业 IT 能力相对较弱,更倾向

于采用外包模式进行数字化系统的设计和提供。

**切入点选择：**大型企业往往面临信息系统孤岛问题，需要解决信息架构的割裂问题；而中小企业则更注重解决当前面临的业务和管理痛点，切入点更聚焦在特定的数字化模块上。

**定制化需求：**大型企业由于业务复杂程度高，对数字化系统的定制化需求较高；而中小企业则更倾向于采用通用化的成熟系统，以降低转型成本和风险。

## （2）中小型企业实施路径

**需求评估与规划：**对企业现有的生产流程进行详细且全面地梳理与分析。深入了解从原材料投入、零部件加工、产品组装、质量检测、成品包装出货到售后运维的整个生产流程，明确各环节之间的衔接方式、信息流传递途径以及存在的潜在问题。例如，生产流程中是否存在工序冗余、作业等待时间过长、生产节拍不协调等问题；各生产环节之间的物料配送是否及时、准确、高效；生产过程中的质量控制手段是否有效，是否存在质量隐患等。

对企业的设备状况进行系统评估。包括设备的类型、数量、使用年限、技术性能、维护保养状况等方面。了解设备的自动化程度、智能化水平以及与现有生产工艺的匹配程度。例如，评估现有设备的生产能力是否满足市场需求；设备的运行稳定性、可靠性如何；设备的能耗水平是否过高；设备是否具备数据采集与传输功能，能否实现远程监控与管理等。

对企业的管理模式进行深入剖析。分析企业的组织架构、管理流程、决策机制、绩效考核体系等方面。了解管理模式是否适应企业的发展规模和业务需求，是否存在管理层次过多、信息传递不畅、决策效率低下、绩效考核不合理等问题。例如，组织架构是否合理，部门之间的职责划分是否清晰，是否存在职能重叠或缺失的现象；管理流程是否烦琐，是否存在过多的审批环节，影响工作效率；决策机制是否科学，是否存在“一言堂”或决策依据不足的情况；绩效考核体系是否能够有效激励员工的工作积极性和创造性等。

对企业的信息化水平进行综合评估。了解企业现有信息系统的类型、功能、应用范围、数据集成度等方面。评估信息系统是否能够满足企业的业务需求，是否存在信息孤岛、数据不一致、系统兼容性差等问题。例如，企业是否拥有生产管理系统（如 ERP、MES 等）、供应链管理系统（如 SCM 等）、客户关系管理系统（如 CRM 等）等；这些信息系统之间的数据是否能够实现无缝对接和共享；信息系统的操作界面是否友好，使用是否便捷；信息系统的安全性、稳定性如何等。

通过以上多维度的全面评估，深入挖掘企业在智能化、数字化和网络互联方面的需求和痛点。例如，风电传动链企业可能存在生产流程不优化、设备智能化程度低、信息化水平不足等问题，这些问题可能导致生产效率低下、产品质量不稳定、成本过高、

市场响应速度慢等痛点。

同时根据全面评估的结果，紧密结合企业的发展战略和市场需求，制定智改数转网联的短期和长期规划。在短期规划中，明确近期内需要重点解决的问题和实施的项目，制定具体的实施步骤和时间表。例如，短期内可能需要对关键生产设备进行智能化升级改造，优化部分生产流程，实施基础的信息化系统（如 ERP 系统）等，以快速提升企业的生产效率和管理水平。

在长期规划中，绘制企业未来 3~5 年甚至更长时间内的智能化、数字化和网络互联发展蓝图，明确企业的战略目标和发展方向。例如，长期内企业可能计划建设智能工厂，实现生产过程的全自动化、智能化和数字化管理；打造工业互联网平台，实现产业链上下游企业之间的信息共享和协同创新；构建大数据分析中心，实现对市场需求、生产运营、客户行为等数据的深度挖掘和分析，为企业的决策提供科学依据等。

在规划制定过程中，明确每个阶段的阶段性目标和关键指标。例如，在设备智能化升级改造阶段，设定设备利用率、生产效率、产品合格率等指标的提升目标；在信息化系统实施阶段，设定信息系统的覆盖率、数据准确率、系统运行稳定性等指标的目标；在智能工厂建设阶段，设定工厂的自动化率、智能化水平、能源利用率等指标的目标。同时，制定相应的保障措施和风险应对策略，确保规划的顺利实施。

**生产环节智能化改造：**在生产环节智能化改造的过程中，对关键生产设备进行智能化升级是至关重要的一步。首先，为这些设备安装高精度、高性能的传感器，这些传感器能够实时感知设备的温度、压力、振动、转速、电流、电压等各种运行参数。例如，在风电传动链的加工设备上，安装温度传感器可以实时监测设备关键部件的温度变化，安装振动传感器可以及时捕捉设备的振动频率和幅度，安装电流电压传感器可以了解设备的能耗和电力供应情况。

安装先进的控制器，控制器能够接收传感器传来的数据，并根据预设的算法和逻辑对设备的运行状态进行实时分析和判断。例如，当传感器检测到设备温度过高、振动异常或电流电压不稳定时，控制器能够迅速做出反应，调整设备的运行参数，如降低转速、减少负载、调整加工工艺等，以确保设备的安全稳定运行。

数据采集系统也是智能化升级的重要组成部分。数据采集系统能够将传感器和控制器产生的数据进行实时采集、存储和传输，为后续的数据分析和处理提供基础。通过数据采集系统，企业可以将设备的运行数据上传到云端服务器或本地数据中心，利用大数据分析技术和人工智能算法对这些数据进行深入挖掘和分析，以发现设备运行的规律和潜在问题。

通过安装传感器、控制器和数据采集系统，实现了对设备运行状态的实时监测。企业的管理人员和技术人员可以通过电脑、

手机等终端设备随时随地查看设备的运行状态，了解设备的工作情况。例如，通过远程监控系统，即使在千里之外，也能实时掌握设备的运行参数和工作状态。

故障预警功能是智能化升级的另一重要成果。基于对设备运行数据的实时分析和处理，当设备的运行参数出现异常，达到预设的预警阈值时，系统会自动发出故障预警信号，提醒相关人员及时采取措施进行处理。例如，如果设备的振动频率超过正常范围，系统会立即发出预警，通知维修人员进行检查和维护，避免故障的进一步扩大。

远程控制功能则为设备的管理和维护提供了极大的便利。当设备出现故障或需要进行调整时，技术人员可以通过远程控制终端，对设备进行远程操作，如远程启动、停止、调整参数等，无需亲临现场，大大提高了工作效率，降低了维护成本。例如，在设备出现轻微故障时，技术人员可以通过远程控制功能，对设备进行简单的参数调整和故障排除，避免了因等待维修人员到达现场而造成的生产中断。

为了进一步提高生产过程的自动化水平，降低人工劳动强度，企业需引入一系列先进的自动化生产设备。其中，小型自动化装配线是提高装配效率和质量的重要手段。小型自动化装配线可以根据产品的装配工艺和要求，自动完成零部件的输送、定位、装配、紧固等操作。例如，在风电传动链的装配过程中，自动化装

配线可以将齿轮、轴、箱体等零部件自动输送到装配工位，通过机械臂或自动化装配工具进行精确装配，确保装配质量的一致性和稳定性。

除了小型自动化装配线和机器人焊接设备，企业还可以引入自动化加工设备、自动化检测设备、自动化包装设备等，实现生产过程的全自动化。例如，自动化加工设备可以根据预设的加工程序，自动完成零部件的加工工作；自动化检测设备可以对产品的尺寸、形状、性能等参数进行自动检测，确保产品质量；自动化包装设备可以对成品进行自动包装，提高包装效率和质量。

通过引入这些自动化生产设备，不仅可以提高生产效率，降低人工劳动强度，还可以提高产品质量，减少人为因素对产品质量的影响。同时，自动化生产设备的应用还可以降低企业的生产成本，提高企业的市场竞争力。

**供应链数字化协同：**由于风电传动链中小企业不具备牵头进行供应商数字化协同的能力，建议积极响应大型企业的供应商数字化协同的系统建设。在生产过程中，可实时、快速地根据上游的订单、需求信息与下游的库存、生产信息进行排产的灵活调整与成本控制。

**组织保障：**为了确保智改数转网联项目的顺利推进和有效实施，成立专门的智改数转网联专项工作小组势在必行。该工作小组建议由企业负责人或高层领导亲自挂帅担任组长，以体现企业

对于此项目的高度重视和坚定决心。各部门负责人作为小组成员，能够充分发挥其在各自领域的专业知识和管理经验，为项目的实施提供全方位的支持。

工作小组的职责至关重要，需要负责整个项目的统筹规划。这包括对项目的目标、任务、时间节点、资源需求等进行全面的梳理和设计，制定出详细、科学、合理的项目计划和实施方案，为项目的实施提供明确的方向和指导。

在组织实施方面，工作小组需要协调各部门之间的工作，调配企业内部的人力、物力、财力等资源，确保项目按照预定计划有序推进。同时，工作小组要及时解决项目实施过程中出现的各种问题和困难，如技术难题、资源短缺、部门之间的协调不畅等，确保项目的顺利进行。

工作小组需要建立完善的监督评估机制，对项目的进展情况、实施效果、资源使用情况等进行定期的检查和评估，及时发现项目实施过程中存在的问题和不足之处，并采取相应的措施进行改进和优化，确保项目能够达到预期的目标和效果。

**资金保障：**资金是智改数转网联项目实施的重要物质基础。因此，企业需要合理安排内部资金，设立专门的智改数转网联专项资金，为项目的实施提供稳定的资金支持。在资金的分配和使用上，要根据项目的实施计划和实际需求，合理确定资金的投向和使用额度，确保资金能够用在刀刃上，发挥最大的效益。

同时,企业还应积极拓展资金来源渠道,争取外部资金支持。一方面,企业要密切关注政府出台的相关产业政策和扶持措施,积极争取政府补贴,以降低项目的实施成本。例如,针对智能制造、数字化转型、工业互联网等领域,政府通常会出台一些专项资金扶持项目、税收优惠政策、贷款贴息政策等,企业应积极申报和争取这些政策支持。

另一方面,企业可以与银行等金融机构加强合作,争取银行贷款。通过向银行展示项目的可行性、发展前景和预期收益,争取获得银行的信贷支持,为项目的实施提供充足的资金保障。此外,企业还可以吸引社会投资,通过引入战略投资者、风险投资基金等方式,为项目的实施筹集资金。

**人才保障:**人才是智改数转网联项目成功实施的关键因素。为了满足项目实施对于人才的需求,企业需要采取多种措施加强人才保障。

首先,加强内部员工的培训和再教育是提高员工素质和能力的重要途径。企业可以根据项目的实施需求和员工的实际情况,制定系统的培训计划和课程体系,通过内部培训、在线学习、外出进修、实践锻炼等方式,提高员工的信息化素养和技能水平。培训内容可以包括信息技术知识、数字化管理理念、智能制造技术、工业互联网应用等方面,使员工能够掌握项目实施所需的知识和技能,更好地适应项目实施的要求。

其次，由于中小企业信息化专业人才的短缺问题尤为突出，外部承包也是引进人才的重要方式。企业可以根据项目的需求，通过联系专注制造业转型的高端猎头公司、咨询机构，定向寻找具备“工业互联网+风电装备”复合背景的技术顾问，或参与中国智能制造大会、世界物联网博览会等专业活动，通过人才洽谈会直接接触深耕风电装备行业的智改数转领域专家。专家作为智改数转关键角色，建议拥有丰富的制造企业信息化实施经验，熟悉风电传动链工艺痛点。根据企业所属传动链不同环节的特点，需对生产有深刻理解，如熟悉铸造缺陷检测、热处理参数优化等场景的建模逻辑。同时对中小企业的IT架构局限有深刻认知，能提出轻量化解决方案。

### （3）大型企业实施路径

**设备智能化升级：**对现有的生产设备进行全面的智能化改造。为设备安装高精度的传感器、性能卓越的控制器以及高效的数据采集系统，以此来实现设备的自动化运行、实时的状态监测以及精准的故障预警功能。以风电齿轮箱加工设备为例，通过安装智能刀具监测系统，能够对刀具的磨损情况进行实时且精确地监测，从而可以在刀具磨损达到一定程度时及时进行更换。这一举措能够有效避免因刀具磨损而导致的产品质量问题，确保产品的高精度和高质量。此外，在生产设备的智能化改造过程中，还需要对设备的控制系统进行升级优化，使其能够根据生产工艺的要求自

动调整设备的运行参数，提高设备的生产效率和稳定性。

除了对现有设备进行智能化改造，还需积极引进先进的智能化生产设备，如工业机器人、自动化生产线等，以此大幅提高生产过程的自动化水平。例如，引入先进的自动化装配生产线，用于实现风电传动链的自动装配。通过自动化装配生产线的应用，不仅能够提高装配效率，缩短产品的生产周期，还能够有效减少人为因素对装配质量的影响，提高产品的装配精度和一致性，从而显著提升产品的整体质量和可靠性。此外，工业机器人的应用还能够实现一些复杂工序的自动化操作，如焊接、喷漆等，提高生产过程的安全性和环保性。

**生产流程智能化优化：**充分运用工业互联网、大数据和人工智能等先进技术，对整个生产流程进行全面、深入地建模和仿真分析。通过这种方式，能够精准地找出生产流程中的瓶颈环节和存在的优化空间，为生产流程的优化提供科学依据。以下为在风电传动链行业中各个产业链环节中生产流程智能化优化的参考案例。

在铸件生产环节，通过对铸造全流程进行数字孪生建模及工艺参数采集，利用 AI 算法对熔炼、浇注、冷却等关键工序的数据进行深度分析，识别出传统依赖人工经验的模具温度控制和材料配比存在较大波动性，导致铸件内部缺陷率较高且能耗偏高。通过建立基于机器学习的智能工艺优化系统，实时调整合金成分

比例，并结合物联网传感器动态监控模具热场分布，自动生成最优冷却曲线；同时引入视觉检测设备对铸造毛坯进行表面缺陷自动识别与分类，实现问题环节的精准回溯和工艺参数迭代。

在齿轮箱生产环节，通过对整个生产流程进行仿真分析，结合大数据的 AI 智能分析，发现热处理环节中人工无法有效识别的生产效率问题。通过优化热处理工艺参数和合理调整设备布局等措施，能够显著提高热处理环节的生产效率和产品质量。

在发电机生产环节，通过构建全流程数字孪生模型并整合传感器实时采集的工艺参数（如绕组绝缘温度、磁极装配精度等），结合 AI 算法分析历史生产数据，发现传统依赖人工监控的绝缘处理工序存在工艺窗口控制不稳定问题，导致局部过热或绝缘材料浪费现象频发。针对此，通过开发智能工艺控制系统实现动态优化：利用机器学习模型预测最佳固化时间和温度曲线，并联动工业机器人自动调整绕线张力与磁极对准角度。

在整机生产环节，通过集成全流程数字孪生平台与工业物联网实时数据采集系统，结合 AI 算法对装配、测试及物流调度等关键流程进行深度分析，识别出传统人工主导的叶片与轮毂对接工序存在精度匹配、多设备协同效率等人工无法有效识别的细微问题。

在找出生产流程中的优化空间并进行相应的优化之后，需要基于优化后的生产流程，开发功能强大的智能化生产管理系统。

该系统能够实现生产计划的自动排程、生产过程的实时监控和灵活调度。例如，通过智能化生产管理系统，能够根据订单的需求和设备的实际状态，自动生成科学合理的生产计划。在生产过程中，系统能够实时监控生产进度和设备运行状态，及时发现生产过程中出现的问题和异常情况，并根据实际情况及时调整生产计划和调度资源，确保产品能够按时交付，满足客户的需求。

**建立数字化设计平台：**引入先进的三维设计软件、有限元分析软件和仿真软件等数字化设计工具。运用三维设计软件，设计人员能够精确地进行产品建模，从各个角度和维度构建出产品的虚拟形态，直观呈现产品的外观和结构。通过这种方式，不仅可以提前发现设计中的潜在问题，还能够为后续的分析 and 优化提供基础模型。

建立产品数据管理系统（PDM）对于实现产品设计数据的集中管理和共享至关重要。PDM 系统能够将产品设计过程中产生的各类数据，如设计图纸、文档、模型、分析报告等进行统一地存储和管理。

通过 PDM 系统，设计人员可以快速、准确地检索和调用所需的产品设计数据。无论需要查找某个零部件的设计图纸，还是查看某个项目的设计文档，都能够在 PDM 系统中轻松实现。同时，PDM 系统还支持设计数据的版本控制功能。在产品设计的过程中，随着设计方案的不断优化和改进，设计数据会产生多个

版本。通过版本控制，能够清晰地记录设计数据的变更历史，便于追溯和管理。此外，PDM 系统为设计人员提供了协同设计的平台。不同专业、不同地区的设计人员可以在同一个平台上进行设计工作，实时共享设计数据和设计思路，共同完成产品的设计任务，从而有效缩短产品设计周期，提高设计效率和质量。

**搭建企业内部工业互联网集成平台：**搭建企业内部工业互联网集成平台是实现企业智能化、数字化转型的重要基础。通过这一平台，能够打破设备、系统和人员之间的信息壁垒，实现全面的互联互通。工业互联网平台能够将企业内部的各种生产设备、传感器、控制器、MES 系统和 ERP 系统等有机连接在一起，形成一个完整的信息网络。在生产车间中，各类生产设备都配备了传感器和控制器，这些设备通过工业互联网平台与企业的中央控制系统相连，实现了数据的实时采集。传感器能够收集设备的运行状态、生产参数、能耗等数据，控制器则根据预设的程序或中央控制系统的指令，对设备进行实时的调整和控制。同时，MES 系统和 ERP 系统也接入到工业互联网平台中，实现了生产管理数据和企业资源数据的实时传输和共享。通过这种方式，企业能够实时掌握生产过程中的各种信息，实现对生产过程的精细化管理和优化。

工业互联网集成平台还能够对采集到的数据进行分析 and 处理，为企业的决策提供数据支持。通过对设备运行数据的分析，

企业可以提前发现设备的潜在故障，及时进行维护和保养，降低设备故障率，提高设备的利用率；通过对生产过程数据的分析，企业可以优化生产工艺和流程，提高生产效率，降低生产成本；通过对市场需求数据和销售数据的分析，企业可以及时调整产品结构和生产计划，提高市场响应速度，增强企业的市场竞争力。

**供应链数字化协同：**通过与上下游企业的平台对接，能够实现信息的快速传递和共享，提高产业链的协同效率和整体竞争力。风电传动链行业内的大型企业应牵头进行产业链上下游的数字化供应链协同梳理，建立统一管理平台，将上下游企业库存、产能等信息打通。如与风电整机企业的工业互联网平台对接，可以实现订单信息、生产进度和质量数据的实时共享。在订单下达阶段，整机企业的订单信息能够通过工业互联网平台快速传递到传动链企业，传动链企业可以根据订单要求及时安排生产计划；在生产过程中，传动链企业的生产进度和质量数据能够实时反馈给整机企业，整机企业可以根据这些信息及时调整生产计划和装配方案，确保整个风电机组的按时交付和质量稳定。此外，通过产业链上下游企业的工业互联网平台对接，还能够实现研发设计、供应链管理、售后服务等方面的协同创新，共同推动产业的升级发展。

**推进 5G 技术应用：**5G 网络具有高速率、低延迟、大容量等特点，在风电传动链行业的高精度，部署分散的特点下，能够

为企业内部的智能化设备和系统提供高效、稳定的网络支持。

利用 5G 网络可实现工业机器人的远程控制。在传统的工业生产中，工业机器人的控制通常需要通过有线网络连接，限制了机器人的活动范围和灵活性。而通过 5G 网络，操作人员可以在远离生产现场的地方对工业机器人进行远程控制，实现对机器人的实时操作和监控。同时，5G 网络的低延迟特性能够确保控制指令的实时传输和执行，提高机器人的控制精度和响应速度。此外，5G 网络还能够实现设备的实时监控。通过在生产设备上安装 5G 通信模块，设备的运行状态、参数等数据能够实时传输到监控中心，工作人员可以随时随地通过移动终端查看设备的运行情况，及时发现和解决设备故障，提高设备的维护效率和运行稳定性。

探索 5G 在产品远程运维、智能物流等领域的应用，对于提高企业的服务质量和运营效率具有重要意义。通过 5G 网络实现风电传动链的远程运维服务。在风电场中，风电传动链的运行环境较为恶劣，设备故障时有发生。通过 5G 网络，运维人员可以在远程监控中心实时获取传动链的运行数据和故障信息，及时对故障进行诊断和处理。同时，运维人员还可以通过 5G 网络对传动链进行远程调试和维护，提高运维效率，降低运维成本。此外，利用 5G 网络实现智能物流车辆的调度和管理。在物流运输过程中，通过 5G 网络将物流车辆的位置、行驶状态、货物信息等数

据实时传输到物流调度中心，调度人员可以根据这些信息对物流车辆进行合理的调度和安排，提高物流车辆的运行效率和货物的配送速度。同时，5G网络还能够实现对货物的实时监控和追溯，确保货物的安全运输。

## 2. 相关政策及方法

### (1) 智能工厂梯度培育政策

申报网址：<https://www.miit-imps.com> 智能制造数据资源公共服务平台。具体申报要求可关注每年发布的申报通知。

贯彻落实国务院办公厅印发的《制造业数字化转型行动方案》，按照《“十四五”智能制造发展规划》任务部署，构建智能工厂、解决方案、标准体系“三位一体”工作体系，打造智能制造“升级版”，开展智能工厂梯度培育行动。

鼓励制造业企业参考智能制造能力成熟度评估结果制定智能工厂建设提升计划。依据 CMMM 标准开展智能制造成熟度现场评估，清晰定位智能制造发展阶段，识别能力短板弱项，厘清转型升级需求；根据现场评估结果，自上而下建立智能工厂顶层规划，自下而上提出制造环节能力建设需求，系统推进智能工厂建设。梯度培育体系包含基础级智能工厂、先进级智能工厂、卓越级智能工厂、领航级智能工厂四个等级。对符合条件的入选 2024 年度国家卓越级智能工厂的企业予以 100 万元定额奖励。同时上一年度综合评价前十名工业互联网平台企业按不超过

2024 年度平台企业营业收入的 10% 予以奖励，最高不超过 500 万元。

### 1) 基础级智能工厂典型特征

开展数字化网络化基础能力建设，围绕智能制造典型应用场景部署必要的智能制造装备、工业软件和系统，实现核心数据实时采集、关键生产工序自动化、生产与经营管理信息化，开展点状智能化探索。

工厂智能制造能力成熟度水平对标 GB/T39116-2020《智能制造能力成熟度模型》达到二级及以上水平。

### 2) 先进级智能工厂典型特征

提升数字化网络化集成能力，面向智能制造典型应用场景广泛部署智能制造装备、工业软件和系统，实现生产经营数据互通共享、关键生产过程精准控制、生产与经营协同管控，在重点场景开展智能化应用。

工厂智能制造能力成熟度水平对标 GB/T39116-2020《智能制造能力成熟度模型》达到二级及以上水平。

### 3) 卓越级智能工厂

强化数字化网络化持续优化能力，面向智能制造典型应用场景体系化部署智能制造装备、工业软件和系统，实现设计生产经营数据集成贯通、制造装备智能管控、生产过程在线优化，开展产品全生命周期和供应链全环节的综合优化，推动多场景系统级

智能化应用。

工厂智能制造能力成熟度水平对标 GB/T39116-2020《智能制造能力成熟度模型》达到三级及以上水平。

#### 4) 领航级智能工厂

推动新一代人工智能等数智技术与制造全过程的深度融合，实现装备、工艺、软件和系统的研发与应用突破，推动研发范式、生产方式、服务体系和组织架构等创新，探索未来制造模式，带动产业模式和企业形态变革。

工厂智能制造能力成熟度水平对标 GB/T39116-2020《智能制造能力成熟度模型》达到四级及以上水平。

#### (2) 智能制造能力成熟度模型 (CMMM)

线上评估网址：<https://www.c3mep.cn/>智能制造评估评价公共服务平台。

智能制造能力成熟度模型 (China Manufacturing Maturity Model)，简“CMMM”，出自 GB/T 39116-2020《智能制造能力成熟度模型》和《智能制造能力成熟度评估方法》(GB/T 39117-2020)，是一个能全面评估企业智能制造能力的框架，涵盖了企业的人员、技术、资源和制造的各个环节，通过模型中的 20 个能力子域，对照各个能力子域的能力条款，就能帮助企业发现问题、制定改进措施，提升智能制造水平，实现可持续发展。为企业提供一套描述智能制造能力提升阶梯及要素的方法论，用

于指导企业智能工厂建设，并评估企业现有工厂的信息化、数字化、智能化能力等级。



图 5-1 智能制造能力成熟度模型图

依据该模型可对风电传动链企业的智能制造能力水平进行客观评价，是风电传动链企业识别智能制造现状、明确改进路径的有效工具，也是各级主管部门掌握智能制造产业发展情况的重要抓手。企业应根据评估结果，有针对性地进行技术升级、流程优化和人才培养，不断提升智能制造能力，抢占未来制造业发展的先机。

本模型由成熟度等级、能力要素和成熟度要求构成，其中，能力要素由能力域构成，能力域由能力子域构成。

能力要素给出了智能制造能力提升的关键方面，包括人员、技术、资源和制造。人员包括组织战略人员技能 2 个能力领域。技术包括数据、集成和信息安全 3 个能力域。资源包括装备、网络 2 个能力域。

制造包括设计、生产、物流、销售和服务 5 个能力域。设计包括产品设计和工艺设计 2 个能力子域，生产包括采购、计划与调度、生产作业、设备管理、仓储配送、安全环保、能源管理 7 个能力子域，物流包括物流 1 个能力子域，销售包括销售 1 个能力子域，服务包括客户服务和产品服务 2 个能力子域。

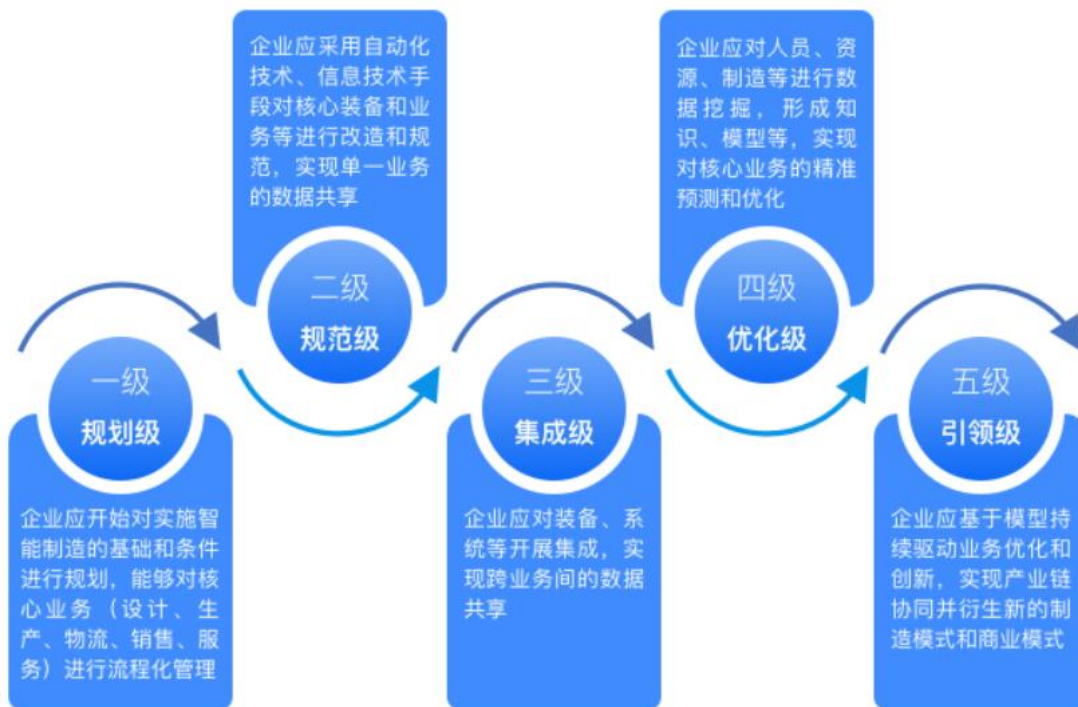


图 5-2 成熟度等级图

成熟度等级规定了智能制造在不同阶段应达到的水平。成熟

度等级分为五个等级，自低向高分别为一级（规划级）、二级（规范级）、三级（集成级）、四级（优化级）和五级（引领级），如图所示。较高的成熟度等级要求涵盖了低成熟度等级的要求。

（一级）规划级：企业应开始对实施智能制造的基础和条件进行规划，能够对核心业务活动（设计、生产、物流、销售、服务）进行流程化管理。

（二级）规范级：企业应采用自动化技术、信息技术手段对核心装备和核心业务活动等进行改造和规范，实现单一业务活动的数据共享。

（三级）集成级：企业应对装备、系统等开展集成，实现跨业务活动间的数据共享。

（四级）优化级：企业应对人员、资源、制造等进行数据挖掘，形成知识、模型等，实现对核心业务活动的精准预测和优化。

（五级）引领级：企业应基于模型持续驱动业务活动的优化和创新，实现产业链协同并衍生新的制造模式和商业模式。

### （3）数据管理能力成熟度评估（DCMM）

线上评估网址：<http://www.dcm.org.cn> 全国 DCMM 评估公共服务平台。

DCMM（Data Management Capability Maturity Assessment Model），即数据管理能力成熟度评估模型，是我国在数据管理领域首个正式发布的国家标准，其全称为《数据管理能力成熟度

评估模型》GB/T 36073-2018。DCMM 旨在为企业、政府机构和其他各类组织提供一个科学、系统化的框架，以评估其数据管理能力的现状，明确提升路径，并通过持续改进推动数据资源的有效利用与价值释放。它帮助企业利用先进的数据管理理念和方法，建立和评价自身数据管理能力，持续完善数据管理组织、程序和制度，充分发挥数据在促进企业向信息化、数字化、智能化发展方面的价值。

机构进行 DCMM 评估。评估流程如下图：

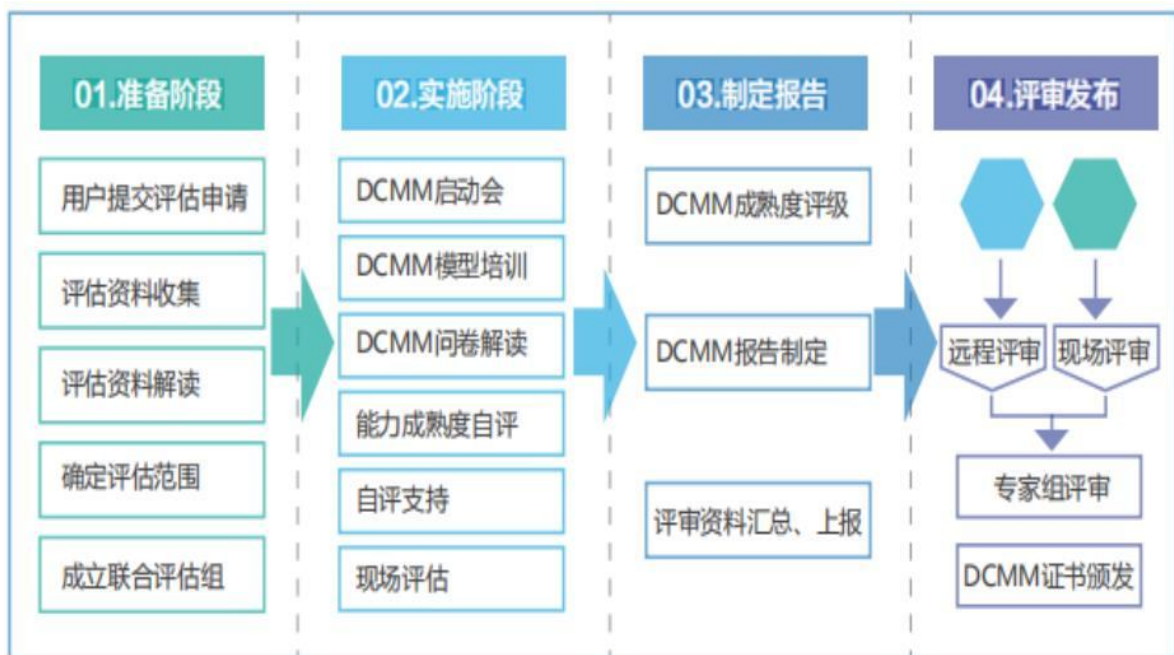


图 5-3 DCMM 评估流程图

DCMM 模型构建于八个核心能力域之上，这些能力域涵盖了数据管理全过程的关键环节，相互关联且互为支撑，共同构成一个完整、立体的数据管理体系。具体包括：

数据战略：组织对数据资源的战略规划、愿景设定以及与业

务目标的紧密融合。它确保数据管理活动与组织整体战略方向一致，引导数据投资决策，并建立清晰、可行的数据战略，以支持业务创新与增长。

**数据治理：**制定并执行数据相关政策、流程、角色与责任，以实现数据资产的有效管控。它确立数据治理框架，协调各方利益相关者，解决数据冲突，确保合规性，并形成良好的数据治理文化，提升数据决策效率，降低数据风险。

**数据架构：**设计和维护数据的逻辑与物理结构，包括数据模型、存储、集成与交换机制。它优化数据资产布局，促进数据共享与复用，支持跨系统数据一致性，并构建灵活、可扩展的数据架构，以支撑业务需求变化和技术演进。

**数据应用：**开发、部署和维护数据驱动的应用程序和服务，以支持决策、运营和创新。它将数据转化为业务价值，通过数据分析、挖掘、可视化等手段赋能业务，并提升数据应用水平，增强数据驱动决策的能力，助力业务绩效提升。

**数据安全：**保护数据免受未经授权的访问、泄露、篡改或破坏，确保数据隐私与合规。它实施数据安全策略、技术措施与应急响应机制，保障数据全生命周期安全，并建立完善的数据安全保障体系，以降低数据安全风险并赢得用户信任。

**数据质量：**确保数据的准确、完整、及时、一致和适用，满足业务需求与决策要求。它实施数据质量监控、评估、改进措施，

以提升数据可用性和可靠性，并持续提高数据质量水平以支撑高质量决策并提升客户满意度。

**数据标准：**制定并推行数据相关的术语、分类、编码、格式等标准规范，以确保数据一致性。它统一数据语言以减少数据冗余并简化数据集成，支持数据交换与共享，并建立有效的数据标准化体系以降低数据管理成本并提升数据资产价值。

**数据生存周期：**从数据产生、处理、使用到销毁的全过程管理，以确保数据有效存档、更新与退役。它合理规划数据生命周期各阶段的活动以优化存储资源并遵守法规要求，并遵循法规以高效管理数据资产、降低成本并保护历史记录与知识遗产。

**DCMM** 将数据管理能力成熟度划分为五个等级，自低向高依次为：

**初始级（Level 1）：**数据管理处于无序状态，缺乏明确的战略和规划。

**受管理级（Level 2）：**数据管理开始受到重视，有基本的制度和流程，但缺乏系统性和完整性。

**稳健级（Level 3）：**数据管理已经建立起较为完善的体系和流程，能够支持业务的发展和创新。

**量化管理级（Level 4）：**数据管理实现了量化控制和优化，能够为企业提供精准的数据支持。

**优化级（Level 5）：**数据管理达到最高水平，能够持续创新

并为企业带来显著的竞争优势。

省工信厅和各设区市工信局将对参与 DCMM 评估的企业，给予服务或奖补支持。2022 年度扶持政策公布于省工信厅网站，网站内搜索：《关于开展第三批〈数据管理能力成熟度评估模型〉贯标单位推荐工作的通知》。

#### (4) 两化融合自评估

线上评估网址：<https://jspg.cspiii.com> 国家两化融合公共服务平台江苏省分平台。

基于《工业企业信息化和工业化融合评估规范》（国家标准 GB/T 23020），利用国家两化融合公共服务平台江苏省分平台，开展两化融合及数字化转型重点指标自评估，从而客观掌握企业自身数字化水平基本情况。



图 5-4 关键指标架构体系图

国家工业信息安全发展研究中心每年 10 月完成全国及各省

的两岸融合发展水平及评估报告，12月完成江苏省各设区市两化融合及数字化转型重点指标评估报告，以及各地组织参评工作情况报告。

两化融合管理体系系列标准是推动企业数字化转型的国家标准，主要致力于为企业数字化转型提供从发现问题到解决问题的全程服务，解决具体执行过程中方法工具支持、解决方案实施、管理机制落地、成效跟踪优化等问题。

系列标准包括：

- 《工业企业信息化和工业化融合评估规范》（GB/T 23020-2013）
- 《信息化和工业化融合管理体系基础和术语》（GB/T 23000-2017）
- 《信息化和工业化融合管理体系要求》（GB/T 23001-2017）
- 《数字化转型参考架构》（TAITRE 10001-2020）
- 《数字化转型 价值效益参考模型》（TAITRE 10002-2020）
- 《数字化转型 新型能力体系建设指南》（TAITRE 20001-2020）
- 《两化融合管理体系新型能力分级要求》（TAITRE 10003-2020）

贯标流程如下图：

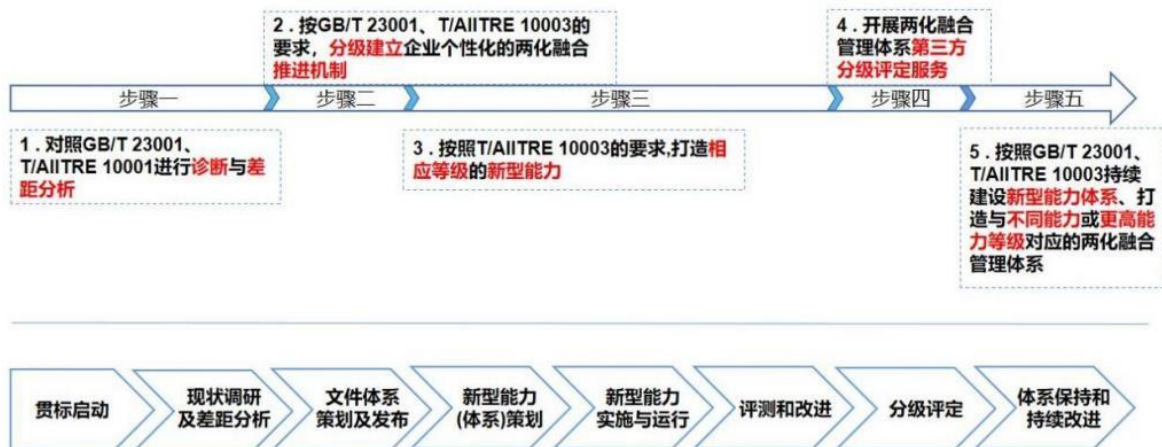


图 5-5 贯标流程图

贯标方式包括三种，一是自行贯标，适合工业化与信息化基础较好，有前期贯标基础和人才的示范企业。二是委托第三方贯标服务机构指导开展贯标，适合于工业化与信息化基础比较薄弱、信息化人才匮乏、初始投入有限、初次贯标企业，特别是中小规模的企业。三是课题研究式贯标，对大型的集团企业，可以将不同级别的分级贯标建设作为研究课题，联合联盟、咨询机构或评定机构进行课题研究，待研究成果成熟后再在下属单位进行成果转化推广。

### (5) 智能化改造数字化转型服务资源池

智能化改造数字化转型服务资源池，是集聚制造业智能化改造和数字化转型服务商的平台（<https://www.eqiyun.cn>），促进企业与服务商之间的供需对接。服务资源汇聚七大类服务商：智慧能装备服务商、网络服务商、标识服务商、工业互联网融合应用服务商、系统解决方案服务商、工业信息安全服务商、生产性

服务供应商。

资源池同时汇聚智能化改造数字化转型解决方案，面向企业“减存”“增效”“降本”“提质”，提供丰富的解决方案供企业参考和对接服务商。



图 5-6 智能化改造数字化转型服务资源池

## （6）企业上云

企业可以访问苏工服平台 [www.dxplat.com](http://www.dxplat.com)，查询江苏省工业。

“企业上云”是指企业通过向云服务商租（购）数字化转型工具和服务，将企业的基础设施、设备、系统、业务、平台等部署到云端，利用网络便捷地获取计算、存储、数据、应用等资源或设计、生产、物流、销售、服务等专业能力；业务上云和设备上云是江苏省企业上云工作开展的重点方向。

互联网服务资源池和江苏省重点工业互联网平台。苏工服平台汇聚了 392 家技术实力雄厚、服务能力优秀的工业互联网机构，

和 127 家省重点工业互联网平台，企业可以从中择优选取服务商，享受架构规划、方案设计、资源交付等服务。



图 5-7 工业互联网示范企业公共服务平台

江苏省工信厅每年开展“星级上云”企业评定工作。上云企业按照不同建设目标和要求，根据上云实践、上云内容、上云成效等多个方面，评定企业上云的星级。2022 年度星级上云评定工作发布于省工信厅网站，《关于组织开展 2022 年度第二批省星级上云企业创建工作的通知》。

	三星级上云	四星级上云	五星级上云
面向对象	中小微企业	工业基础较好的企业	龙头企业
部署模型	公有云	公有、私有、混合云	公有、私有、混合云
关注重点	各类场景云化软件的开发和应用	工业设备的联网上云	数据+模型的创新应用
作用	引导企业通过购买公有云服务，以较低的成本实现基础云服务应用，实现普遍性、通用性的数据和业务上云，加深企业对上云的认识。	鼓励工业设备接入云端，结合边缘侧对数据处理和分析，获得云端设备服务，提升上云质量。	为行业提供标杆和模板，发挥龙头企业在行业中的示范带头作用。

图 5-8 星级上云图

### (7) 江苏省工业互联网公共服务平台

企业可以访问江苏省工业互联网公共服务平台，地址：  
<http://jsiips.asuncloud.com> 查询省内平台相关荣誉信息。



图 5-9 江苏省工业互联网公共服务平台

江苏省工业互联网公共服务平台旨在引导全省工业互联网平台良性发展，持续提升工业互联网创新能力，强化平台体系建设，统一国家级平台和省级平台间评价指标体系，助力全省平台企业精准化发展。

进行注册登录后，企业可使用企业画像、项目申报、竞争力

对标分析等功能。通过完善平台信息实时查看平台区域、行业内的排名情况以及与对标企业的分析情况，了解自身在平台基础能力、平台服务能力、平台赋能能力、平台可持续发展能力等方面的优劣势，对平台发展具有指导性作用。

江苏省工业互联网公共服务平台通过滚动遴选省内五星平台企业，进一步提升省级平台的“点线面”辐射能力，依托江苏省制造业产业优势加强协同联动，持续强化示范引领作用。

## 六、愿景与展望

在当前全球能源转型的大背景下，风电传动链行业作为可再生能源领域的重要组成部分，江苏省内风电传动链行业已初步展现出智能化改造与数字化转型的积极成效，这一趋势标志着省内行业正逐步迈向现代化与高效化的新阶段。然而，尽管已取得初步成果，行业内依旧存在着大量沿袭传统的生产环节，这些环节在效率、灵活性和创新性方面尚有较大提升空间，亟须通过优化升级以适应新时代的发展需求。

尤其值得关注的是，江苏省内众多中小型企业在这一转型浪潮中面临着更为紧迫的挑战。在数字基础设施建设层面，这些企业往往起步较晚，基础相对薄弱，难以有效支撑起智能化转型所需的复杂系统架构；在数据治理与应用方面，缺乏有效的数据管理体系与策略，导致数据资源的价值未能得到充分挖掘与利用；而在智能化生产实践上，则因技术积累不足，难以实现生产流程的全面智能化改造，进而影响了整体生产效率与竞争力。

展望未来，随着国家层面对于新型信息基础设施建设的加速推进，以及 AI、5G、物联网、云计算等先进技术的日益成熟与广泛应用，江苏省内风电传动链行业将迎来前所未有的技术支撑与发展机遇。这些新兴技术将如同一股强劲的东风，推动行业在技术架构、数据处理、远程监控与运维等多个维度实现根本性变革，为行业的高质量发展奠定坚实基础。

在此背景下，大数据与人工智能技术的深度融合将成为推动行业转型升级的关键力量。借助大数据的广泛收集与深度分析，企业能够实现对生产过程的精准预测，为智能决策提供科学依据；而人工智能技术的应用，则将进一步增强生产流程的自动化与智能化水平，促进产品设计、工艺优化、供应链管理与运维服务等关键环节实现质的飞跃，显著提升整体运营效率与产品服务质量。

与此同时，区块链、数字孪生等前沿技术的探索与应用，也将为风电传动链行业带来新的变革动力。区块链技术以其去中心化、透明度高、可追溯性强等特点，有望为行业内的供应链管理、交易结算等环节提供更为安全、高效的解决方案；而数字孪生技术则通过构建物理世界的虚拟镜像，实现对产品全生命周期的实时监控与精准管理，为企业的研发设计、生产制造、运维服务等提供了全新的视角与手段，进一步推动了行业的智能化与可持续发展。

持续推动技术创新与产业升级是风电传动链行业实现高质量发展的必由之路。面对未来，行业内外需携手并进，共同把握新兴技术带来的历史机遇，不断优化生产流程，提升核心竞争力，共同推动风电传动链行业向更加绿色、智能、可持续的方向发展，为全球能源转型与可持续发展目标作出积极贡献。

## 附件 1 人工智能典型应用场景

### 1. 高速齿轮箱生产中的人工智能应用

#### (1) 应用场景概述

在风电传动链行业中，高速齿轮箱是风机机械传动系统的核心部件，其性能直接影响着整个风机的效率、寿命以及运行稳定性。然而，高速齿轮箱的生产过程复杂，涉及多个关键环节，如原材料选择、精密加工、装配与测试等。这些环节中的任何一个小问题都可能导致产品质量下降甚至设备故障。为了应对这些挑战，人工智能技术被引入到高速齿轮箱的生产过程中，显著提升了生产效率和产品质量。

高速齿轮箱的生产涉及多个复杂环节。例如，在加工阶段，高精度的齿轮需要经过精密切齿、磨齿等工艺，而装配过程中需要对各个零部件进行精确配合。此外，生产线上的设备运行状态也会直接影响产品质量和生产效率。传统的生产模式依赖于经验丰富的技工和固定化的检测流程，但在面对日益复杂的生产需求时，往往难以满足高精度、高效率的要求。

#### (2) 智能应用场景

为了解决这些问题，某大型风机制造企业引入了基于人工智能的智能监测与控制系统，将 AI 技术融入高速齿轮箱的生产过程中。通过实时数据采集、智能分析和优化决策，该系统显著提升了生产效率和产品质量。

在高速齿轮箱的生产线上，AI 技术首先体现在智能监测系统的部署上。具体来说，在加工设备（如数控机床、磨齿机等）上安装了多种传感器，实时采集设备运行状态数据，如振动频率、温度、轴承负载、切削力等。这些数据通过工业以太网或无线通信模块传输到中央控制系统中。

AI 算法（如机器学习和深度学习）对这些实时数据进行分析，识别设备运行中的异常模式。例如，当某台磨齿机的振动频率突然升高时，AI 系统会预测可能是轴承过热或刀具磨损，并及时发出警报，提示工人进行检查和维护。

在高速齿轮箱的生产过程中，产品质量的检测是关键环节。传统的检测方法依赖于工人的视觉检查或简单的仪器测量，但这种方式效率低且容易出现漏检。为了解决这一问题，AI 技术被引入到质量检测系统中。

在装配阶段，高速齿轮箱需要经过严格的测试和检查。AI 系统通过对接生产线上的多维度传感器（如红外温度计、激光测量仪等），实时采集产品的关键参数数据，并利用预训练的深度学习模型对这些数据进行分析，判断是否存在质量问题。

例如，在某次生产中，AI 系统检测到一组高速齿轮箱的齿距偏差超出允许范围。通过对历史数据和工艺参数的分析，AI 系统快速定位到问题原因：某台切齿机的刀具角度存在微小偏差。基于这一诊断结果，生产线立即对该设备进行了调整，并对已加

工的零部件进行了复检，避免了潜在的质量问题。

AI 技术还被应用于高速齿轮箱生产过程中的工艺优化。在传统模式下，工艺参数（如刀具进给量、旋转速度、润滑剂使用量等）的设置通常依赖于经验公式或手册规范，而这些参数可能无法适应复杂的实际生产环境。

通过 AI 系统对生产数据的实时分析，可以动态调整工艺参数以达到最佳加工效果。例如，在某次生产中，AI 系统发现某台数控机床的切削力突然增加，预测可能是刀具磨损导致的。基于此，系统自动调整了进给量和旋转速度，确保了加工质量的同时延长了刀具寿命。

此外，AI 算法还可以对历史生产数据进行挖掘，找出影响产品质量的关键因素，并为工艺工程师提供优化建议。例如，通过分析多批次高速齿轮箱的加工数据，AI 系统发现某种润滑剂在高温环境下表现更佳，从而建议生产线采用该润滑剂以提高加工效率。

AI 技术还被用于高速齿轮箱生产设备的预测性维护。在传统模式下，设备维护通常是基于固定周期进行的，但这种方式可能导致维护不足或过度维护，而前者会增加设备故障风险，后者则会增加维护成本。

通过对设备运行数据的实时分析，AI 系统可以预测设备关键部件（如齿轮、轴承等）的剩余寿命，并生成维护建议。例如，

在某次生产中，AI 系统预测某台磨齿机的主轴承将在一周内达到使用寿命极限，因此安排了计划性停机维护，避免了突发故障对生产线的影晌。

### （3）应用效果与优势

通过引入 AI 技术，该企业在高速齿轮箱的生产过程中取得了显著的经济效益：

质量提升：由于实时检测和智能诊断，产品缺陷率降低了 30%。

效率提升：工艺参数优化使得加工时间缩短了 15%，生产线吞吐量提高了 20%。

成本降低：预测性维护减少了设备故障停机时间和维修费用，总体维护成本降低了 25%。

随着 AI 技术的不断进步，其在高速齿轮箱生产中的应用前景更加广阔。例如，可以进一步引入数字孪生技术，构建虚拟生产线模型，模拟不同工艺参数对产品质量的影响，从而实现更精准的优化。此外，AI 算法还可以与企业资源计划（ERP）系统集成，为整个供应链管理提供支持。

## 2. 风机运维中的人工智能应用

### （1）应用场景概述

风力发电设备通常部署在偏远或恶劣的环境中，如海上风电场或沙漠地区，这些地方的气候条件对设备的运行造成了极大的

挑战。传动链系统作为风力发电设备的核心，直接影响着发电效率和设备寿命。传统的维护模式通常包括定期检查和手动诊断，但这种方式不仅耗时费力，还可能因为人为因素导致误判或漏检。而且，由于风电场的规模往往非常大（如海上风电场可能包含数百台风机），传统维护模式难以满足高效、精准的需求。

在这样的背景下，人工智能技术被引入到风电传动链系统的监控和维护中。AI通过对设备运行数据的实时采集、分析和学习，能够实现预测性维护、故障诊断和优化运营策略，从而显著提高了设备的可靠性和运营效率。本文将以太海上风电场为例，描述AI在传动链系统中的具体应用。

## （2）智能应用场景

**数据采集与预处理：**在风力发电设备中，传动链系统的运行状态可以通过多种传感器进行监测。这些传感器通常包括振动传感器、温度传感器和压力传感器等，它们能够实时采集设备运行中的关键数据，如齿轮箱的振动频率、轴承的温度变化以及润滑油的压力值等。这些数据通过无线通信模块传输到中央控制系统或云端服务器中，形成一个完整的数据采集链。

数据预处理是AI应用中的重要步骤。由于风电设备运行数据可能受到环境噪声（如海浪声音、风噪等）的干扰，原始数据往往包含大量噪声信号。为了提高数据质量，AI算法会对这些数据进行去噪处理，并对缺失或异常值进行补偿和修正。例如，

通过\_wavelet\_变换或机器学习算法（如均值—方差归一化）对数据进行预处理，从而确保后续分析的准确性。

**实时监控与状态评估：**AI 技术可以对传动链系统的运行状态进行实时监控和评估。通过对历史数据的学习，AI 算法能够建立设备正常运行的基准模型，并将其与实时采集到的数据进行对比。如果检测到偏差超出预设阈值，系统会自动触发警报，提示运营人员关注可能的问题。

此外，AI 还可以通过机器学习算法（如支持向量机 SVM、随机森林等）对设备的运行状态进行分类。例如，将传动链系统的状态分为“正常”“轻微异常”和“严重异常”三类。当设备进入“轻微异常”或“严重异常”状态时，AI 系统会进一步分析可能的故障原因，并提供诊断报告。

**故障预测与剩余寿命预测：**传动链系统的故障通常具有潜在的早期特征，但这些特征可能被人工检查所忽略。AI 技术通过对设备运行数据的深度学习，可以提取这些隐含的特征，并预测设备的剩余使用寿命（Remaining Useful Life, RUL）。例如，利用卷积神经网络（CNN）或长短期记忆网络（LSTM）对时间序列数据进行建模，从而实现了对设备故障的早期预警。

在某海上风电场的实际应用中，AI 系统成功预测了一台风机齿轮箱的疲劳失效问题。通过分析该设备过去两年的振动和温度数据，AI 算法发现了一个逐渐增加的异常信号，并预测到该

齿轮箱将在两个月内发生故障。运营人员根据 AI 系统的建议提前更换了零部件，避免了设备的全面停机。

**优化维护策略：**AI 技术还可以帮助风电场运营商优化维护策略。通过对多台设备的运行数据进行整体分析，AI 算法能够确定最优的维护时间表，并将维护任务分配到最合适的时间窗口，从而减少停机时间和维护成本。

例如，在某风电场中，AI 系统发现多台风机的润滑油更换周期可以延长 50%，因为这些设备的实际使用条件远低于设计负荷。通过这种优化策略，不仅降低了维护成本，还提高了设备的运行效率。

### （3）效果与优势

AI 技术在传动链系统中的智能监控与维护应用，为风力发电等领域带来了显著的经济效益和安全保障。通过数据采集、实时监控、故障预测和优化维护策略等功能，AI 系统能够帮助运营商提升设备可靠性、降低成本并提高整体效率。这一技术的广泛应用将进一步推动风能发电行业向智能化、高效化方向发展。以下为详细效果与优势。

**提升设备可靠性：**传统的定期维护模式可能导致两种极端：一是维护过于频繁，增加了不必要的成本；二是维护不足，导致设备故障的发生。通过 AI 技术实现的预测性维护，可以根据设备的实际运行状态调整维护策略，从而显著提高设备的可靠性。

在某海上风电场的应用案例中，AI 系统将年均设备故障率从 5% 降低到了 2%，并且未发生任何严重的事故。

**降低运营成本：**AI 技术通过优化维护策略和延长设备寿命，显著降低了风电场的运营成本。在某案例中，AI 系统帮助运营商每年节省了约 10% 的维护费用。同时，由于减少了停机时间，风电场的发电效率也得到了提升。

**提高安全性：**传动链系统的突发故障可能导致设备损毁，甚至引发安全事故。AI 技术通过早期预警和剩余寿命预测，可以帮助运营人员提前采取措施，从而避免潜在的安全隐患。

**数据驱动的决策支持：**AI 系统为风电场运营提供了数据驱动的决策支持。通过对海量运行数据的分析，AI 算法可以揭示设备性能的规律和趋势，为运营商提供科学的决策依据。

**可扩展性与适应性：**AI 系统具有良好的可扩展性和适应性。它不仅应用于单台设备，还可以扩展到整个风电场甚至多个风电场的管理。此外，AI 算法可以随着数据积累不断优化，从而适应不同的运行环境和设备类型。

### 3. 设备状态评估与剩余寿命预测的人工智能应用

#### (1) 应用场景概述

在风电设备中，传动链是核心部件之一，其性能直接影响着发电效率和设备寿命。然而，传动链在运行过程中可能面临磨损、疲劳等问题，导致设备故障甚至停机。为了提升维护效率、降低

运营成本,人工智能技术的引入为风电行业带来了新的解决方案。

## (2) 智能应用场景

**数据采集与处理:** 在风机的关键部件上安装了多种传感器,实时采集振动频率、温度变化、油质状态等数据。这些数据通过无线通信模块传输到中央控制系统,并经过预处理以去除噪声和错误数据,确保数据的准确性和可靠性。

**AI 算法与模型训练:** 为了实现设备状态评估与剩余寿命预测,工程团队选用了深度学习技术。首先,将历史故障数据与正常运行数据进行标注,建立训练数据集。利用卷积神经网络(CNN)识别数据中的特征模式,并结合长短期记忆网络(LSTM)分析时间序列数据预测传动链的剩余寿命。

**状态评估与决策支持:** 训练好的 AI 模型能够实时评估传动链的健康状况。当检测到异常振动或温度升高等预警信号时,系统会自动生成报告,并根据预测的剩余寿命,为维护人员提供更换或维修的建议。例如,在某次运行中, AI 系统预测某风机的传动链有 50%的可能性在三个月内出现严重磨损,并建议提前更换相关部件,从而避免了潜在的设备故障。

**优化运营计划:** 通过分析多台风机的运行数据, AI 系统识别出不同传动链部件的磨损规律。基于此,为每台风机制定了个性化的维护计划,平衡了维护频率与设备利用率,有效延长了传动链的寿命。

### （3）应用效果与优势

**提高故障预测准确率：**相比于传统的人工检查和经验判断，AI 系统通过深度学习算法大幅提升了故障预测的准确性。实际应用中，AI 模型在预测传动链剩余寿命时的误差低于 5%，显著减少了误报和漏报的情况。

**降低运营成本：**通过优化维护计划，风电场减少了不必要的部件更换和人工检查。数据显示，与传统定期维护相比，AI 优化方案使维护成本降低了约 25%，同时设备停机时间减少了 30%。

**延长设备寿命：**AI 系统能够及时发现潜在问题并提出解决方案，有效避免了因忽视小故障导致的大范围损坏。统计结果显示，传动链的平均使用寿命提高了 15%，从而降低了整体运营成本。

**提升安全性：**通过实时监测和预警，AI 系统减少了设备突然故障的风险，保障了运行过程中的安全性。此外，优化的维护计划也使得维护工作更加高效有序，进一步降低了事故发生的可能性。



2-2 风电传动链行业智能化改造装备清单

序号	适用场景	装备名称	主要功能	投入区间 (万元)	国产/ 进口
1	生产作业	工业机器人	用于风机、齿轮箱等自动化生产线中焊接、装配、搬运、喷涂等工序,提升生产自动化水平。	10~50	国产
2	生产作业	数控双柱立式车床	对风机主轴、轴承、法兰、轮毂等进行车削加工,能实现高精度的尺寸控制和表面粗糙度要求。	10-500	国产/ 进口
3	生产作业	数控卧式单面专用镗床	对齿轮箱箱体镗高精度孔、铣削平面;对传动轴车外圆、铣削键槽;对制动盘、联轴器加工,保证各部件精度,提升传动性能。	10-200	国产/ 进口
4	生产作业	数控刨台式铣镗床	可镗削齿轮箱箱体安装孔,保证形位公差,可铣削箱体平面,满足装配要求;对于传动轴,既可以车外圆保证配合精度,又可以铣键槽实现扭矩传	10-900	国产/ 进口

			递。		
5	生产作业	数控卧式单面电机座镗床	对电机座的轴承孔等关键部位进行高精度镗削,确保孔的尺寸精度和形位公差;铣削电机座的安装平面,保证平面度和表面粗糙度。	5-100	国产/进口
6	生产作业	立式数控车床	加工风电轮毂、主轴、齿轮齿坯,联轴器、法兰等部件,能够精确控制这些部件的尺寸和精度。	0.2-90	国产/进口
7	生产作业	数控切割机	将各类金属板材或管材按照精确的尺寸和形状要求,切割成齿轮、法兰、主轴等部件的毛坯,为后续加工提供基础。	1.2-28	国产
8	生产作业	数控板料折弯机	可以根据不同的零件要求,快速、准确地完成折弯工艺,提高生产效率和零件质量。	1-80	国产
9	生产作业	数显卧式铣镗床	对箱体进行高精度的镗孔、铣平面等加工;对主轴的钻孔、镗孔、铣削键槽等加工;对法兰上的螺栓孔、止口等。	11-40	国产

10	生产作业	五轴龙门加工中心	通过五个坐标轴的联动,精确地加工出叶片的三维曲面;可以实现一次装夹,对轮毂的多个面进行连续加工;可以对箱体进行高精度的铣削、镗削加工	20-200	国产/ 进口
11	生产作业	龙门加工中心	对齿轮箱箱体进行高精度铣、镗加工,保证安装基准;对行星架等复杂零件实现高效精密加工。对主轴外圆、端面进行精密铣削、车削。	30-800	国产/ 进口
12	生产作业	定梁式龙门加工中心	对齿轮箱箱体进行精密铣镗,多轴联动加工行星架等复杂零件。精准加工键槽和油孔。还可高精度铣削风电法兰平面,利用数控功能精确加工螺栓孔。	20-300	国产/ 进口
13	生产作业	智能绕线机	自动化绕线设备,支持高效、精准的风机、发电机等加工。	100-500	国产/ 进口
14	生产作业	智能嵌线机	自动化嵌线设备,支持风机、发电机等定子嵌线工艺。	100-500	国 产/进

					口
15	生产作业	智能装配线	自动化装配设备，支持风机、齿轮箱等零部件的精准装配。	300-1000	国产/ 进口
16	计划调度 /生产作业	自动化生产线	集成机器人、传送带、检测设备，实现生产全流程自动化。	100-500	国产/ 进口
17	仓储物流	自动化立体仓库	自动化存储和检索系统，支持高效物料管理。	100-500	国产/ 进口
18	仓储物流	自动导引车 (AGV)	自动化物料搬运设备，支持生产线物料配送。	50-200	国 产/进 口
19	仓储物流	无人搬运车 (AMR)	智能导航搬运设备，支持柔性化物料运输。	50-200	国产/ 进口
20	仓储物流	智能分拣系统	自动化分拣设备，支持物料和产品的快速分拣。	100-300	国产/ 进口
21	质量管控	智能检测设备	支持风机、齿轮箱等性能测试，确保产品符合标准。	50-300	国产/ 进口
22	质量管控	视觉检测装 备	基于机器视觉的产品外观和尺寸检测，支持缺陷识别和质量控制。	50-200	国产

23	设备管理	IoT 监测平台	实时采集设备运行数据（振动、温度等），支持预测性维护与故障诊断。	50~200	国产
24	质量管控	环境监测设备	实时监测废气排放、噪声水平等环保指标，确保合规性。	20~80	国产
25	人机协同作业	中等自动化装配流水线	风机整机、齿轮箱、发电机等装备流水线，可实现零部件输送与定位、部件装配、数据记录与追溯。	10-50	国产
26	人机协同作业	高度自动化装配流水线	风机整机、齿轮箱、发电机等装备流水线，可实现物料输送、部件装配、质量检测、数据记录与追溯、生产调度与控制、包装与码垛。	50-150	国产
27	工艺动态优化	数控滚齿机	精准加工圆柱直齿轮与斜齿轮，可按不同设计要求，高效完成风电齿轮箱各级轴齿轮、盘齿轮加工。	300-1500	进口、国产
28	工艺动态优化	数控磨齿机	齿轮加工和修整。	850-1700	进口
29	工艺动态	数控插齿机	齿轮加工和修整。	450-1350	进口

	优化				
30	工艺动态 优化	立式加工中心	零件加工。	150-750	进口
31	工艺动态 优化	数控磨床	曲轴加工打磨。	500-600	进口
32	工艺动态 优化	数控车齿机	齿轮加工。	350	国产
33	工艺动态 优化	数控车齿机	齿轮加工。	350-800	国产
34	在线智能 检测	齿轮测量仪	齿轮测量。	200-350	进口
35	在线智能 检测	三坐标测量机	进行形位公差的检验和测量。	130-150	进口
36	在线智能 检测	轮廓仪（微米级）	对轮廓、二维尺寸、二维位移进行测试与检验。	15-35	进口、 国产
37	在线智能 检测	轮廓仪（亚微米/纳米级）	对轮廓、二维尺寸、二维位移进行测试与检验。	100-200	进口
38	在线智能 检测	圆度仪	对圆度误差进行测量。	30-60	进口、 国产
39	在线智能 检测	整机检测试验台	检测传动误差、传动性能。	100-200	国产



2-3 数字化转型数据要素清单

序号	数据要素名称	数据要素描述
1	材料抗拉强度	材料在拉伸过程中所能承受的最大应力值
2	屈服强度	材料开始产生塑性变形时的临界应力值
3	冲击韧性	材料抵抗冲击载荷而不发生断裂的能力
4	铸造合金流动性	合金在液态下填充铸型型腔的能力
5	收缩率	材料从液态凝固为固态时体积减小的比例
6	锻件材料淬透性	材料在淬火过程中获得马氏体组织的能力
7	浇注温度	金属液注入铸型时的温度控制参数
8	冷却速度	材料凝固过程中温度下降的快慢程度
9	锻造压下量	锻造过程中坯料每次变形的厚度减少量
10	模具设计参数	模具结构设计中的关键尺寸和公差参数
11	应力-应变场分布	材料受力时内部应力与应变的空间分布状态
12	疲劳损伤结果	材料在循环载荷作用下产生的累积损伤程度
13	铸件/锻件的三维模型	通过 CAD 软件构建的铸件/锻件三维数字化转型
14	公差配合要求	零部件装配时允许的尺寸误差范围
15	表面粗糙度	材料加工表面的微观几何形状误差
16	冒口模数匹配	铸件冒口与本体体积比例的优化设计参数
17	冷铁布局	铸件冷却过程中辅助冷却装置的空间布置方案

18	载荷谱	设备在实际工况中承受的载荷变化规律记录
19	几何参数	零部件的结构尺寸、形状等几何特征参数
20	齿面接触应力	齿轮啮合时接触区域的应力分布状态
21	齿根弯曲应力	齿轮根部在弯曲载荷作用下的应力水平
22	胶合温度	齿轮啮合时因摩擦产生的高温临界值
23	传递误差	齿轮传动过程中实际转角与理论转角的偏差量
24	振动模式	设备运行时产生的振动频率和振型特征
25	轴承寿命	轴承在特定工况下的预期使用寿命
26	加工精度	零部件加工后的尺寸、形状和位置精度等级
27	热处理参数	材料热处理过程中的温度、时间、介质等工艺参数
28	行星轮系位置误差分布	行星齿轮系中各齿轮位置偏差的空间分布特征
29	风资源与环境数据	风速、风向、温度、湿度等环境参数及风电场微观选址数据
30	结构参数与性能数据	设备尺寸、材料属性、承载能力等结构设计参数
31	运行与测试数据	设备运行状态监测数据及出厂测试指标记录
32	市场与供应链数据	市场需求预测、供应商信息、库存水平等供应链管理数据

33	设备利用率	设备实际运行时间与总可用时间的比率
34	工单完成率	生产工单按时完成的比率
35	原材料检验结果	进厂原材料的化学成分、物理性能检测数据
36	成品缺陷率	成品中存在质量缺陷产品的比例
37	探伤检测数据	无损检测（如超声波、磁粉检测）获得的缺陷信息
38	维护记录	设备维修、保养的历史记录信息
39	能耗监控	设备运行过程中的电能、热能等能源消耗数据
40	供应商资质	供应商的技术能力、质量管理体系等资质认证信息
41	物料库存	原材料、在制品、成品的库存数量及状态信息
42	设备运行状态	设备当前运行参数（如振动、温度、压力等）
43	故障历史	设备历次故障发生的时间、类型和维修记录
44	报警类型	设备自动检测系统触发的异常报警类别
45	环保监测记录	废气、废水、噪声等环境指标的实时监测数据
46	安全事件记录	安全事故发生的时间、地点、原因及处理结果
47	客户历史交易数据	客户过往的采购记录、订单金额、服务需求

		等信息
48	市场趋势数据	行业发展趋势、政策变化、技术动态等市场情报
49	竞争对手数据	主要竞争对手的产品策略、市场份额、定价策略等信息
50	服务响应时间	从客户报修到开始服务的时间间隔
51	服务满意度	客户对售后服务的质量评价结果
52	服务成本	售后服务过程中产生的人力、物料、差旅等成本
53	设备维护记录	设备预防性维护和故障维修的具体操作记录
54	备件库存	备用零部件的库存数量、存放位置和有效期管理
55	供应链波动	供应商交货延迟、原材料价格波动等供应链不确定性因素
56	质量追溯数据	从原材料到成品的全流程质量检验记录和可追溯信息
57	能效优化模型	通过数据分析提升能源利用效率的数学模型
58	数字孪生模型	物理设备与虚拟模型实时联动的数字化映射系统
59	预测性维护模型	基于设备状态预测未来故障的机器学习模型
60	可靠设计与寿命预	评估产品可靠性并预测使用寿命的仿真模型

	测模型	
61	工艺参数优化模型	通过数据分析优化生产工艺参数的数学模型
62	动态排产算法	实时调整生产计划的智能算法
63	多物理场耦合仿真模型	同时模拟结构、热、流体等多物理场交互作用的仿真模型
64	风电仿真设计软件	用于风电设备仿真分析的专用软件（如 OpenFAST、Bladed）
65	供应链协同平台	实现供应链上下游数据共享与协同管理的数字化平台
66	设备健康管理平台	集成设备监测、故障诊断和预测性维护功能的综合平台
67	质量管理体系	实现质量数据采集、分析和改进的闭环管理系统
68	能源管理系统	监测、分析和优化能源消耗的数字化管理系统
69	环保合规性管理平台	管理环保监测数据并确保合规性的信息化系统
70	客户关系管理系统	管理客户信息、销售线索和服务记录的信息化系统
71	市场需求预测模型	基于历史数据预测未来市场需求的统计模型
72	供应商评估模型	量化评估供应商综合能力的决策支持模型

73	采购成本分析模型	分析采购成本构成及优化策略的数学模型
74	交付计划优化模型	平衡交货周期与库存成本的智能调度模型
75	生产计划排程系统	生成并优化生产作业计划的信息化工具
76	设备物联网监控系统	采集设备运行数据的物联网硬件及软件系统
77	质量检测自动化系统	实现在线检测、数据采集和缺陷识别的自动化设备
78	仓储管理系统	管理库存出入库、货位分配和物流路径的信息化系统
79	物流路径优化算法	计算最优配送路径的数学模型
80	安全风险评估模型	量化评估生产安全隐患的决策支持模型
81	应急响应流程模型	指导突发事件处理的标准化流程框架
82	碳足迹追溯系统	记录产品全生命周期碳排放数据的信息化平台
83	备件兼容性数据库	存储备件型号、技术参数和兼容性信息的知识库
84	技术变更管理系统	管理产品设计、工艺变更流程的信息化工具
85	人才技能矩阵	量化评估员工技能水平的结构化数据模型
86	跨系统集成接口	实现不同软件系统数据互通的技术协议
87	设备异构系统兼容性	不同品牌/型号设备的数据通信适配能力

88	工艺知识库	存储工艺设计经验、参数优化案例的结构化知识库
89	质量问题知识库	记录典型质量缺陷及解决方案的知识管理系统
90	仿真模型验证数据	验证仿真结果与物理试验一致性的对比数据
91	设备故障树分析模型	定性分析设备故障原因的逻辑模型
92	能源消耗基准数据	行业平均能耗水平及企业历史能耗数据的对比基准
93	环保法规数据库	存储各国环保法规、排放标准的结构化数据库
94	客户需求知识库	记录客户需求特征、偏好变化的历史数据
95	供应链风险预警指标	预测供应链中断风险的量化指标体系
96	技术迭代路线图	规划产品技术升级路径的时间表和里程碑
97	设备全生命周期成本模型	计算设备采购、运维、报废等全周期成本的财务模型
98	人才能力评估模型	量化评价员工专业技能、数字化能力的评估体系
99	质量成本分析模型	分析质量损失、预防成本和鉴定成本构成的财务模型

100	供应链弹性评估模型	衡量供应链应对突发事件能力的动态评估模型
101	环保效益评估模型	量化评估环保措施经济效益的财务模型
102	客户生命周期价值模型	预测客户从接触、购买到流失全过程价值的分析模型
103	技术专利数据库	存储行业技术专利信息的结构化数据库
104	设备故障模式库	分类记录设备常见故障现象及对应根因的知识库
105	能源价格波动数据	实时监测电价、燃气价格等能源市场价格的动态数据
106	环保处罚记录	记录企业环保违规行为及处罚结果的合规性数据库
107	客户投诉处理记录	记录客户投诉内容、处理过程和结果的完整流程数据
108	供应商交货准时率	统计供应商按时交付订单的比率
109	设备综合效率(OEE)	衡量设备实际产能与理论产能比值的综合指标
110	质量成本占比	质量相关成本占总生产成本的比例
111	供应链周转天数	从原材料采购到成品交付的平均周期时间
112	技术文档版本记录	管理产品设计、工艺文档历史版本变更的追溯系统

113	设备预防性维护周期	基于设备使用时长或运行周期制定的定期维护计划
114	环保设施运行数据	记录废气处理、废水净化等环保设备运行参数
115	客户分级管理模型	根据采购量、付款周期等指标划分客户等级的分类模型
116	供应商分级管理制度	根据供应能力、响应速度等指标划分供应商等级的管理体系
117	质量问题闭环管理流程	从问题发现到改进验证的全流程跟踪机制
118	技术创新激励机制	鼓励员工提出工艺改进、设备优化建议的奖励制度
119	环保合规性审计标准	评估企业环保措施是否符合法规要求的检查清单
120	客户成功案例库	记录典型客户服务案例及实施效果的参考资料
121	供应商风险评估报告	定期评估供应商经营稳定性、交付能力的分析文档
122	质量改进优先级矩阵	根据缺陷严重性、发生频率等指标确定改进顺序的决策工具

2-4 知识模型资源清单

序号	知识模型名称	模型描述
1	有限元分析 (FEA) 模型	通过数值方法模拟结构受力变形、应力分布的仿真模型
2	疲劳寿命预测模型	基于应变数据预测材料或部件疲劳失效周期的数学模型
3	材料成型与相变模型	金属材料在铸造/锻造过程中相变行为及组织演变的仿真模型
4	流体力学与传热模型	分析流体流动特性及热传导规律的仿真模型
5	凝固补缩模型	预测铸件凝固过程中缩孔、缩松缺陷的仿真模型
6	动态再结晶模型	描述金属在高温变形过程中微观组织动态再结晶行为的理论模型
7	标准规范模型	基于行业规范 (如 ISO、GB) 建立的设计约束规则库
8	故障模式知识库	记录典型设备故障现象、原因及解决方案的结构化知识库
9	优化设计模型	通过参数调整实现性能最优化的数学模型
10	柔性销疲劳安全系数	评估传动链柔性销在交变载荷下的疲劳寿

	模型	命安全裕度模型
11	多物理场耦合模型	同时模拟结构、热、流体等多物理场交互作用的仿真模型
12	齿轮啮合动力学模型	分析齿轮传动过程中啮合冲击、振动及噪声的仿真模型
13	轴承失效模式模型	预测轴承疲劳剥落、磨损等失效模式的概率模型
14	目标优化模型	多目标约束下的参数优化决策模型(如成本—效率平衡)
15	动态载荷谱匹配模型	将实际工况载荷谱与设计载荷谱进行匹配验证的仿真模型
16	数字孪生模型	物理设备与虚拟模型实时联动的数字化映射系统
17	预测性维护模型	基于设备状态监测数据预测未来故障的机器学习模型
18	能耗优化模型	通过算法降低设备运行能耗的智能决策模型
19	质量追溯模型	追踪产品全生命周期质量数据的可追溯性管理模型
20	流体动力学模型	分析复杂机械系统多部件运动学与动力学特性的仿真模型

21	成本—效率平衡模型	量化评估成本投入与生产效率关系的决策模型
22	标准化知识库	存储设计规范、工艺标准、验收准则的结构化知识库
23	故障诊断模型	通过传感器数据自动识别设备故障类型的AI模型
24	供应链弹性模型	评估供应链抗风险能力的动态仿真模型
25	碳足迹追溯模型	计算产品全生命周期碳排放的量化分析模型
26	六西格玛改进模型	基于DMAIC流程的质量改进框架
27	失效模式与影响分析模型	系统性识别潜在失效模式及其影响的风险评估模型
28	仿真模型验证数据对比模型	验证仿真结果与物理实验数据一致性的偏差分析模型
29	工艺参数优化模型	通过实验设计(DOE)优化工艺参数的响应面模型
30	质量成本分析模型	量化质量损失、预防成本和鉴定成本构成的财务模型
31	供应链风险预警模型	预测供应链中断风险的概率与影响程度的量化模型
32	技术迭代路线图模型	规划产品技术升级路径的时间表和里程碑

		决策模型
33	设备全生命周期成本模型	计算设备采购、运维、报废等全周期成本的财务模型
34	人才能力评估模型	量化评价员工专业技能、数字化能力的评估体系
35	质量改进优先级矩阵	根据缺陷严重性、发生频率等指标确定改进顺序的决策工具
36	环保合规性审计模型	评估企业环保措施是否符合法规要求的检查清单模型
37	客户生命周期价值模型	预测客户从接触、购买到流失全过程价值的分析模型
38	技术专利数据库模型	存储行业技术专利信息并支持智能检索的知识库模型
39	设备故障树分析模型	定性分析设备故障原因的逻辑模型（FTA）
40	能源消耗基准模型	行业平均能耗水平及企业历史能耗数据的对比基准模型
41	环保设施运行优化模型	提高环保设备（如废气处理装置）运行效率的智能控制模型
42	客户分级管理模型	根据采购量、付款周期等指标划分客户等级的分类模型
43	供应商风险评估模型	定期评估供应商经营稳定性、交付能力的综

		合评分模型
44	质量问题闭环管理模型	从问题发现到改进验证的全流程跟踪机制
45	技术创新激励模型	鼓励员工提出工艺改进、设备优化建议的奖励机制模型
46	供应链协同决策模型	多部门实时协同优化排产、采购、物流的智能决策模型
47	设备健康管理模型	集成设备监测、故障诊断和预测性维护功能的综合模型
48	能源管理指标体系模型	量化评估能源使用效率的 <b>KPI</b> 指标体系
49	环保效益评估模型	量化评估环保措施经济效益的财务模型
50	客户成功案例知识库	记录典型客户服务案例及实施效果的参考资料库
51	供应商分级管理制度模型	根据供应能力、响应速度等指标划分供应商等级的体系模型
52	质量问题知识库	存储典型质量缺陷及解决方案的结构化知识库
53	仿真模型验证标准库	定义仿真结果与物理试验一致性验证的基准数据库
54	工艺知识库	存储工艺设计经验、参数优化案例的结构化

		知识库
55	跨系统集成协议模型	实现不同软件系统数据互通的技术协议框架
56	设备异构系统适配模型	解决不同品牌/型号设备数据通信兼容性问题的适配规则库
57	人才技能矩阵模型	量化评估员工技能水平的结构化数据模型
58	技术变更管理流程模型	管理产品设计、工艺变更流程的标准化工作流程模型
59	环保合规性管理平台模型	管理环保监测数据并确保合规性的信息化系统模型
60	客户关系管理模型	管理客户信息、销售线索和服务记录的信息化系统模型
61	市场需求预测模型	基于历史数据预测未来市场需求的统计模型
62	供应商评估模型	量化评估供应商综合能力的决策支持模型
63	采购成本分析模型	分析采购成本构成及优化策略的数学模型
64	交付计划优化模型	平衡交货周期与库存成本的智能调度模型
65	生产计划排程系统模型	生成并优化生产作业计划的信息化工具模型
66	设备物联网监控模型	采集设备运行数据的物联网硬件及软件系统模型

67	质量检测自动化模型	实现在线检测、数据采集和缺陷识别的自动化设备模型
68	仓储管理系统模型	管理库存出入库、货位分配和物流路径的信息化系统模型
69	物流路径优化算法模型	计算最优配送路径的数学模型
70	安全风险评估模型	量化评估生产安全隐患的决策支持模型
71	应急响应流程模型	指导突发事件处理的标准化流程框架
72	碳足迹追溯系统模型	记录产品全生命周期碳排放数据的信息化平台模型
73	备件兼容性数据库模型	存储备件型号、技术参数和兼容性信息的知识库模型
74	技术专利分析模型	智能检索行业技术专利并提供相似性分析的算法模型
75	设备故障模式库模型	分类记录设备常见故障现象及对应根因的知识库模型
76	能源价格波动预测模型	实时监测电价、燃气价等能源市场价格的动态数据模型
77	环保处罚记录数据库模型	记录企业环保违规行为及处罚结果的合规性数据库模型
78	客户投诉处理流程模型	记录客户投诉内容、处理过程和结果的完整

	型	流程数据模型
79	供应商交货准时率分析模型	统计供应商按时交付订单的比率计算模型
80	设备综合效率（OEE）分析模型	衡量设备实际产能与理论产能比值的综合指标模型
81	质量成本占比分析模型	质量相关成本占总生产成本的比例计算模型
82	供应链周转天数预测模型	从原材料采购到成品交付的平均周期时间预测模型
83	技术文档版本控制模型	管理产品设计、工艺文档历史版本变更的追溯系统模型
84	设备预防性维护周期优化模型	基于设备使用时长或运行周期制定维护计划的智能模型
85	环保设施运行效率模型	记录废气处理、废水净化等环保设备运行参数的监测模型

2-5 工具软件清单

序号	工具名称	描述
1	SolidWorks	三维机械设计软件，支持产品建模与仿真分析
2	Romax	齿轮箱动力学仿真与优化工具
3	ANSYS	多物理场仿真平台（结构/流体/电磁）
4	WRfat	铸造工艺仿真工具
5	MAGMASOFT	铸造过程仿真与优化软件
6	FLOW-3D Cast	铸造充型与凝固过程仿真工具
7	AnyCasting	铸造工艺模拟与缺陷预测软件
8	DEFORM-3D	金属塑性成型仿真工具
9	Simufact	金属成形工艺仿真软件
10	ProCAST	铸造过程仿真与热处理分析工具
11	MASTA	齿轮传动系统设计与分析工具
12	KISSsoft	齿轮啮合与轴承寿命计算软件
13	WinGear	齿轮传动系统设计软件
14	ZGCAD	齿轮传动系统设计软件
15	AutoCAD	二维工程制图软件
16	MATLAB/Simulink	动力学建模与控制系统仿真平台
17	OpenFAST	风力机系统仿真工具
18	ENFAST	风电场级仿真分析工具

19	Bladed	风力机性能与载荷仿真软件
20	MSC Software	多学科仿真分析平台
21	DRIVA	齿轮传动系统动态仿真工具
22	Maxwell	电磁场仿真软件
23	CNC 加工中心	高精度数控加工设备
24	3D 打印设备	复杂结构快速成型设备
25	工业机器人	自动化生产设备
26	物联网传感器	设备状态实时监测设备
27	MES 系统	制造执行系统（生产调度/质量管理）
28	ERP 系统	企业资源计划系统（供应链/财务管理）
29	APS 系统	高级计划排程系统
30	PLM 系统	产品生命周期管理系统
31	SCM 系统	供应链管理系统
32	数字孪生平台	虚实融合的数字化映射系统
33	预测性维护系统	设备健康状态预测与维护决策支持
34	能源管理系统	能耗监测与优化管理系统
35	BIM 软件	建筑信息模型设计工具
36	工厂仿真软件	生产线布局与物流仿真工具
37	SPC 统计工具	过程质量控制与统计分析工具
38	FMEA 工具	失效模式与影响分析工具
39	六西格玛工具	质量改进方法论工具

40	ISO 管理体系工具	质量/环境/安全管理体系实施工具
41	环境监测设备	废气/废水/噪声实时监测设备
42	碳足迹核算工具	产品全生命周期碳排放分析工具
43	远程运维平台	设备远程监控与故障诊断系统
44	AI 驱动优化算法	基于机器学习的工艺参数优化模型
45	大数据分析平台	生产/质量/运维数据深度分析平台
46	数字化交付平台	全生命周期数据集成与共享平台

2-6 网络化连接设备清单

序号	适用场景	设备名称	主要功能	投入 (万元)	国产/ 进口
1	通用	智能传感器	实时采集设备运行数据（如温度、振动、电流等），支持远程监控和故障预警。	0.1-5	国产
2	通用	工业互联网智能网关	实现设备数据与云平台的连接，支持数据采集、传输和协议转换。	0.1-5	国产
3	仓储物流/供应链管理	RFID 标签	用于物料、设备标识和追踪，支持库存管理和物流跟踪。	0.1-5	国产
4	仓储物流/供应链管理	RFID 读写器	物料身份自动识别	0.1-5	国产
5	通用	工业 5G 网络	提供高速、低延迟的数据传输，支持远程运维和实时监控。	10-30	国产
6	通用	工业智能摄	用于生产现场监控、安	1-5	国产

		摄像头	全管理和质量检测，支持图像识别和异常预警。		
7	生产作业/设备管理/能源管理	工业数据采集器	采集设备运行数据并传输至云端或本地服务器，支持数据分析和监控。	1-5	国产
8	通用	物联网（IoT）平台	集成设备管理、数据采集和分析功能，支持设备互联和智能化管理。	50-300	国产
9	通用	云计算平台	提供数据存储、处理和分析服务，支持供应链协同、远程运维和大数据分析。	50-200	国产/进口
10	通用	边缘计算设备	在设备端进行数据预处理和分析，降低云端计算压力，提升实时响应能力。	10-20	国产/进口
11	通用	分布式边缘服务器	实时响应客户配置请求	20-100	国产/进口
12	通用	协同研发云	支持多地团队在线协	20-100	国产

		平台	同设计		
13	通用	数据安全防 护设备	研发数据加密与访问 控制	0.5-5	国产
14	通用	振动传感器	冲压机状态监测	0.1-2	国产
15	通用	UWB 定位基 站	厘米级 AGV 定位	0.5-2	国产
16	通用	分布式存储 服务器	海量图像数据管理	10-200	国产
17	通用	网络交换机	确保视觉数据低延迟 传输	2-5	进口
18	通用	LoRa 无线传 感器	分布式温度/压力监测	0.1-0.5	国产
19	通用	跨厂区光纤 专网	高速低延迟数据传输	1-5	国产
20	通用	区块链节点	碳排放数据防篡改存 证	0.1-0.5	国产
21	通用	区块链溯源 平台	供应链数据可信存证	10-50	国产

2-7 行业数字化转型人才技能清单

序号	人才技能名称	描述
1	机械设计与材料科学	掌握机械设计原理、材料性能分析及材

	基础	料科学基础知识
2	软件操作能力	熟练使用 SolidWorks、ANSYS、Romax 等专业仿真与设计软件
3	工艺优化与问题解决能力	能够优化生产工艺流程并解决现场技术问题
4	跨学科协作能力	具备多领域（机械/材料/电气）协同工作能力
5	专业知识	掌握风电传动链领域专业知识（机械/电气/材料）
6	工具应用能力	熟练应用专业分析工具（如 MASTA、KISSsoft 等）
7	参数化建模能力	具备复杂系统参数化建模与仿真能力
8	行业认知	了解风电行业技术趋势、标准规范及市场动态
9	动力学仿真能力	掌握流体动力学、疲劳寿命预测等仿真技术
10	编程能力	具备 Python/MATLAB 等编程语言应用能力
11	数据分析能力	能够进行生产/质量/运维数据分析和挖掘

12	质量改进方法	熟悉六西格玛、PDCA 循环等质量管理方法
13	质量检测技能	掌握光谱分析、金相检测等专业检测技术
14	设备操作与维护技能	熟练操作风电设备并具备基础维护能力
15	应急处理能力	能够快速响应设备故障并制定应急方案
16	标准化能力	熟悉 ISO9001 等质量管理体系标准
17	跨系统集成能力	具备 MES/ERP/SCADA 等系统集成应用经验
18	数字化思维与创新意识	能够推动数字化转型并提出创新解决方案
19	供应链战略规划能力	具备供应链网络优化、风险控制等战略规划能力
20	客户关系管理能力	熟悉客户全生命周期管理及需求挖掘方法
21	行业洞察与成本控制能力	能够分析行业趋势并制定成本优化策略
22	仿真分析与建模能力	掌握流体力学、热力学等专业仿真建模技术
23	数据科学与 AI 应用能	具备机器学习、预测性维护等 AI 技术应

	力	用能力
24	仓储操作与系统管理能力	熟练管理仓储物流系统（WMS/TMS）
25	采购谈判技巧	具备供应商谈判与采购成本控制能力
26	质量管理方法实践	熟练应用 FMEA、SPC 等质量管理工具
27	技术运维能力	能够进行设备预防性维护与故障诊断
28	行业政策与市场洞察力	了解新能源政策及市场动态
29	供应链协同能力	具备跨企业协同与供应链网络优化能力
30	人机协作能力	熟练操作工业机器人及自动化系统
31	能源管理能力	掌握节能技术及能源管理系统应用
32	环保法规理解能力	熟悉环保法规及碳足迹核算方法
33	远程服务技术能力	具备远程运维、AI 健康监测等数字化服务技能
34	复杂系统调试能力	能够完成大型风电设备系统集成调试
35	技术变更管理能力	具备技术迭代过程中的变更管理经验
36	安全风险管理能力	熟悉安全生产标准及应急预案制定
37	国际化协作能力	具备跨文化沟通及国际项目协作经验
38	可靠性设计能力	掌握产品全生命周期可靠性设计方法
39	供应链金融知识	了解供应链融资、保理等金融工具应用

40	碳中和规划能力	熟悉碳达峰碳中和目标下的技术转型路径
41	仿真驱动设计能力	具备基于仿真结果的迭代设计能力
42	产线数字化改造能力	能够实施智能制造产线改造项目
43	供应商开发能力	具备新供应商开发与评估能力
44	质量成本分析能力	掌握质量成本核算与优化方法
45	服务生命周期管理能力	具备设备安装、运维、报废全流程管理能力
46	技术标准制定能力	参与制定行业/企业技术标准的能力

### 附件 3 典型案例

案例目录	
案例一	江苏金风科技有限公司
案例二	远景能源有限公司
案例三	南京高速齿轮箱制造有限公司
案例四	江苏天奇重工股份有限公司
案例五	常州天山重工股份有限公司
案例六	常州优谷新能源科技股份有限公司
案例七	常州神力电机股份有限公司
案例八	江苏振江新能源装备股份有限公司
案例九	江苏中车电机有限公司
案例十	南通通达砂钢冲压科技有限公司

## 案例一 江苏金风科技有限公司

### （1）企业基本情况

江苏金风科技有限公司（以下简称“金风科技”）作为风电传动链行业的佼佼者，公司自成立以来便以技术创新和品质卓越为核心竞争力，致力于为全球客户提供高效、可靠的风电传动链解决方案。然而，随着全球能源转型的加速推进和风电行业的快速发展，金风科技面临着前所未有的市场挑战。

一方面，客户对风电传动链的性能、可靠性和使用寿命提出了更高要求，这要求金风科技在生产过程中必须实现更精细化的质量控制和更高效的生产管理。另一方面，市场竞争日益激烈，为了保持领先地位，金风科技需要不断提升生产效率、降低成本，并快速响应市场变化。

在此背景下，金风科技深刻认识到智能化和数字化转型的重要性。尽管公司在传统制造领域积累了丰富的经验和技術优势，但在面对数字化时代的新要求时，仍需要引入先进的自动化设备和信息技术，以提升整体竞争力和市场响应速度。因此，金风科技决定启动智能工厂转型项目，通过智改数转，实现生产过程的智能化、数字化和可视化，以应对市场挑战，保持行业领先地位。

### （2）智改数转网联典型场景介绍

金风科技的智改数转项目主要围绕智能工厂的建设展开，旨在通过引入先进的自动化设备和信息技术，实现生产过程的智能

化、数字化和可视化。具体应用场景包括：

**生产线自动化改造：**金风科技引入了先进的机器人和自动化设备，对生产线进行了全面升级。这些设备不仅具备高效、精准的生产能力，还能够实时监测生产过程中的各项参数，如温度、压力、振动等，确保生产过程的稳定性和可控性。同时，通过引入智能传感器和物联网技术，金风科技实现了生产设备的远程监控和故障预警，大大提升了设备的维护效率和使用寿命。

**信息系统集成与优化：**金风科技建立了统一的信息管理系统，将生产计划、物料管理、质量控制、设备维护等各个环节的信息进行集成和优化。通过大数据分析，系统能够自动调整生产计划，优化资源配置，提高整体运营效率。此外，金风科技还引入了先进的 **ERP** 系统和 **MES** 系统，实现了生产数据的实时采集和分析，为管理层提供了精准的决策支持。

**智能监控与预警系统：**金风科技引入了智能监控与预警系统，通过实时监测生产过程中的关键参数和设备状态，及时发现并预警潜在的质量问题和设备故障。这有助于企业快速响应并解决问题，避免生产中断和质量损失。同时，智能监控与预警系统还能够对生产数据进行深度挖掘和分析，为企业提供有价值的生产优化建议。

**远程运维与技术支持：**金风科技建立了远程运维与技术支持平台，通过远程监控和数据分析，为客户提供及时的技术支持和

维护服务。这有助于提升客户满意度和忠诚度，增强企业的市场竞争力。同时，远程运维与技术支持平台还能够实现生产设备的远程维护和故障诊断，大大降低了企业的运维成本和时间成本。

### （3）主要成效

在风电场规划设计阶段，借助 **Freemeso** 产品，其整合了数万气象站和数千测风塔数据，能精准叠加风资源图谱与环境限制区域信息，高效寻优风电场选址。**Goldfarm** 平台则基于无人机地形扫描与 3D 实景重构，通过精细仿真建模，实现机组选型与排布的最优规划，并生成完整投资测算报告，为项目决策提供坚实数据支撑。

建设与运营环节，金风科技的数字化平台同样发挥关键作用。**SOAM** 智慧运营解决方案整合集中功率预测、资产管理、设备健康管理等功能，助力风电场迈向无人值守。以蒙能集团察右前旗天皮山风电场为例，全场金风科技 **GWH191-5MW** 风电机组在 2024 年实现 362 天无故障运行，等效利用小时数达 3487 小时，超全国陆上风电平均利用水平 63%。项目通过数字化手段构建远程运维中枢，利用“全维度风机健康诊断评估系统”，实现故障率压降 20%，人工巡检减少 60%，极大提升了运维效率与发电效益。

## 案例二 远景能源有限公司

### （1）企业基本情况

远景能源有限公司（简称“远景能源”），是全球领先的风能技术提供商和智能能源解决方案的创新引领者。自成立以来，远景能源始终秉持着创新、绿色、可持续的发展理念，致力于推动全球能源转型和可持续发展。

在风电传动链行业，远景能源拥有深厚的技术积累和丰富的行业经验。其产品涵盖了风力发电机组的核心部件，如齿轮箱、发电机等，以及与之配套的智能控制系统和运维服务。凭借卓越的产品性能和优质的客户服务，远景能源在全球范围内赢得了广泛的认可和赞誉。

然而，随着全球能源市场的不断变化和技术的飞速发展，远景能源面临着前所未有的挑战。一方面，客户对风电传动链产品的性能、可靠性和定制化需求日益提高，要求企业具备更强的创新能力和快速响应市场变化的能力；另一方面，市场竞争日益激烈，企业需要不断提升生产效率、降低成本，以保持竞争优势。

为了应对这些挑战，远景能源决定启动全面的数字化与智能化转型。通过引入先进的数字化技术和智能化管理手段，远景能源旨在打造更加高效、灵活、智能的生产和服务体系，以满足客户的需求，提升企业的整体竞争力。

在数字化转型的过程中，远景能源注重技术创新和人才培养。

企业投入大量资源用于研发先进的数字化技术和智能化管理系统，并培养了一支具备数字化思维和创新能力的的高素质团队。这些努力为远景能源的数字化转型奠定了坚实的基础，也为企业在风电传动链行业的持续发展注入了新的活力。

## （2）智改数转网联典型场景介绍

为了应对行业挑战，远景能源在风电传动链的生产制造、供应链管理和客户服务等环节，实施了一系列数字化与智能化改造，具体应用场景如下：

**智能制造生产线升级：**远景能源对生产线进行了全面的智能化改造，引入了先进的自动化设备和智能传感器，实现了从原材料入库、加工组装到成品检测的全链条自动化作业。同时，通过集成 **MES**（制造执行系统）与 **ERP**（企业资源计划系统），实现了生产数据的实时采集与分析，为精准调度、优化生产计划提供了有力支持。这一变革不仅显著提升了生产效率，还大幅降低了人为错误，确保了产品质量的稳定性。

**供应链数字化协同：**远景能源构建了基于云计算的供应链管理系统，实现了供应商、生产商、物流商和客户之间的信息无缝对接。通过大数据分析，系统能够预测市场需求变化，自动调整库存水平，优化采购计划，确保供应链的灵活性和响应速度。此外，智能合同管理和风险预警机制，有效降低了供应链风险，提升了整体运营效率。

远程智能运维服务:远景能源创新性地开发了远程智能运维平台,该平台集成了物联网、大数据分析和人工智能技术,能够实时监测风电传动链设备的运行状态,预测潜在故障,并自动触发维修任务。通过 AI 算法,平台还能提供个性化的运维策略,延长设备寿命,降低运维成本。这一服务模式的转变,不仅提升了客户满意度,也为企业带来了持续的增值服务收入。

### (3) 主要成效

对齿轮材料应用 EVA 检测技术,其检测标准比欧洲最高标准还要高出 1 倍,每一款样机至少经历 500-1000 小时全工况测试,并通过国际权威机构 DNV 和 TÜV 认证。远景累计产出的 100 余台低速集成传动链产品,超 6000 台远景齿轮箱投运五年来保持 0 失效(非金属杂质)纪录。

### 案例三：南京高速齿轮箱制造有限公司

#### （1）企业基本情况

南京高速齿轮箱制造有限公司总部位于南京经济技术开发区，是全球领先的风电齿轮箱制造商，市场占有率连续十年位居全球前三。作为中国风电传动链行业的领军企业，南高齿专注于风电齿轮箱、工业齿轮箱及轨道交通齿轮箱的研发、制造与销售，产品覆盖 3MW-15MW 全系列风电齿轮箱，年产能超 40GW，客户涵盖金风科技、远景能源、西门子歌美飒、GE 等国内外头部整机企业。

南高齿始终坚持技术创新与智能制造双轮驱动，拥有国家级企业技术中心、博士后科研工作站等研发平台，累计获得授权专利 500 余项，参与制定国家和行业标准 20 余项。近年来，企业积极响应江苏省“智改数转”政策，以数字化转型为抓手，推动风电传动链制造向智能化、绿色化、服务化方向升级，成为行业标杆。

#### （2）智改数转网联典型场景介绍

南高齿以 5G+MEC 边缘计算网络为基础，构建了覆盖铸造、热处理、机加工、装配等全工序的智能工厂。通过部署 3000+ 台设备物联感知终端，实现了生产设备、检测设备、物流设备的全要素互联互通，关键设备联网率达 98%。同时，企业引入数字孪生技术，构建了三维可视化工厂模型，实现了生产过程的实时监

控与动态优化。

在铸造环节，采用智能熔炼控制系统，通过 AI 算法优化炉料配比和熔炼工艺，使铸件合格率提升至 95% 以上。在机加工环节，部署了智能数控系统，实现了加工参数的自动优化与调整，加工效率提升 20%。在装配环节，应用 AR 辅助装配系统，通过可视化指导提升装配精度，装配一次合格率提升至 99%。

在齿轮啮合检测环节部署了基于机器视觉的 AI 质量检测系统。该系统通过高精度工业相机采集齿轮表面图像，结合深度学习算法识别微米级齿面缺陷，检测效率较传统人工检测提升 3 倍，误检率降至 0.2% 以下。同时，企业开发了基于振动频谱分析的齿轮箱 NVH 性能在线检测系统，实现了齿轮箱运行状态的实时监测与故障预警，使产品运行故障率下降 40%。

在供应链管理环节，南高齿与宝武特钢、中信泰富特钢等原材料供应商打通 ERP 系统，实现了订单数据、库存数据、物流数据的实时共享。通过区块链技术，确保了供应链数据的真实性与不可篡改性，使原材料库存周转率提升 40%，紧急订单响应时间缩短至 72 小时。

在物流环节，企业引入了智能仓储系统和 AGV 无人搬运车，实现了仓储作业的自动化与智能化，仓储效率提升 30%。同时，通过智能调度系统优化物流路径，使物流成本降低 15%。

在能源管理环节，建立了能源管理系统（EMS），对水、电、

气等能源消耗进行实时监测与优化。通过引入光伏发电系统和余热回收装置，企业年减少碳排放约 5000 吨，单位产值能耗同比下降 13.6%。

### （3）主要成效

先后获评工信部“智能制造示范工厂”、江苏省“工业互联网标杆工厂”，并入选全球“灯塔工厂”候选名单。近三年，企业营收复合增长率达 28%，品牌影响力显著提升。

## 案例四 江苏天奇重工股份有限公司

### （1）企业基本情况

江苏天奇重工股份有限公司是一家专注于智能制造和高端装备研发的现代化企业，主打产品包括智能物流设备、工业自动化设备、环保型机械设备以及相关配套服务。公司成立于2005年，总部位于江苏省无锡市，是江苏风电传动链行业的重要参与者之一。

截至2023年，天奇重工员工人数超过800人，其中研发团队占比约30%，技术骨干力量雄厚。公司占地面积约50万平方米，标准化厂房及研发中心面积达10万平方米。

### （2）智改数转网联典型场景介绍

在企业老旧网络改造方面，天奇重工采取了分层、模块化的升级策略，主要包括以下步骤：

**需求分析与评估：**对现有生产车间的网络基础设施进行全面评估，识别瓶颈和痛点（如带宽不足、延迟高、设备互联性差等）。

**制定清晰的改造目标，**如提升网络稳定性、实现设备互联互通、支持智能制造场景。

**网络架构优化：**部署新一代工业以太网设备，采用环形网络拓扑结构，确保生产车间内的关键节点（如CNC机床、MES系统）之间的高可靠性连接。引入网络虚拟化技术，将不同业务系统的数据流量进行隔离（如生产数据、管理数据、视频监控数据），降低网络干扰。

**设备与系统集成：**对旧设备进行适配器升级，确保其支持新一代工业以太网协议（如 PROFINET、EtherCAT）。实现生产设备与 MES（制造执行系统）和 ERP（企业资源计划）系统的无缝对接，实现数据流实时互通。

**测试与优化：**对改造后的网络进行全面的压力测试，确保在高负载场景下依然稳定运行。通过持续监控和优化，提升网络的响应速度和数据传输效率。

在网络安全方面，公司采取了多层次防护策略，以确保企业网络和数据资产的安全：

**网络边界防护：**部署高性能防火墙，限制未经授权的访问，实现对外部威胁的初步过滤。配置 VPN（虚拟专用网）服务，为远程办公人员提供安全的访问通道。

**内部网络分区与权限管理：**将企业网络划分为不同的安全区域，如生产数据区、管理数据区和公共区，通过 VLAN（虚拟局域网）技术实现逻辑隔离。采用基于角色的访问控制（RBAC），确保员工只能访问与其职责相关的资源。

**威胁检测与应急响应：**部署入侵检测系统（IDS）和日志分析工具，实时监控网络中的异常行为。建立应急预案，对潜在的安全事件进行快速响应和处置。

**数据加密与备份：**对关键业务数据采用加密技术存储和传输，防止数据泄露或篡改。定期进行数据备份，并将备份数据存储在不

地服务器上，以应对可能的网络攻击或其他灾难性事件。

从规划到落地，天奇重工采取了以下步骤：

可行性分析与方案设计：由网络负责人牵头，组织团队进行技术评估，制定详细的改造方案和时间表。

分阶段实施：将整个项目分为多个阶段，如网络架构优化、设备适配、安全防护等，逐步推进。

人员培训与知识传递：对 IT 团队和相关部门进行专业培训，确保其能够熟练运维新架构的网络环境。

持续监控与优化：建立长效机制，对网络性能和安全性进行持续监控，并根据实际需求进行调整。

### （3）主要成效

天奇重工在网络基础设施升级后，企业内部数据传输速度提升了 30%，关键业务系统的稳定性也得到了有效保障；另一方面，通过部署新一代防火墙、入侵检测系统和 endpoint 安全解决方案，公司的网络安全防护能力显著增强，使潜在的网络攻击风险降低了 90% 以上。更为重要的是，这些改造措施为企业的数字化转型奠定了坚实基础，推动了生产效率的提升、产品质量的优化以及运营成本的有效控制，为后续的智能改造提供了强有力的支持。

## 案例五 常州天山重工股份有限公司

### （1）企业基本情况

常州天山重工股份有限公司作为江苏风电传动链行业中的中型规模企业，该公司拥有较为完善的生产体系和技术研发能力，以其可靠的品质和良好的市场口碑在客户中享有不错的声誉。经过多年的发展，公司积累了丰富的行业经验，并逐步建立起覆盖全国及部分海外地区的销售与服务网络。此外，该公司一直注重技术创新，不断提升产品附加值，以适应市场对智能化、绿色环保设备的日益增长的需求。在行业竞争激烈的背景下，常州天山重工股份有限公司正通过智改数转网联等战略性举措，进一步增强企业核心竞争力和市场活力。近年来在行业竞争加剧和智能制造趋势下，积极推进智改数转网联战略。公司目前致力于提升核心竞争力，以满足市场对高效、绿色、智能设备的需求。在智能化改造方面，该公司引入了先进的工业机器人和自动化生产线，显著提高了制造效率和产品质量；在数字化转型中，通过实施ERP、MES等管理系统，实现了生产计划优化和数据驱动决策；网络连接则依托物联网技术，构建智能化生态系统，提升设备远程监控和维护能力。通过这些举措，常州天山重工股份有限公司在推动产品升级的同时，也为企业高质量发展和行业领先地位奠定了坚实基础。

### （2）智改数转网联典型场景介绍

天山重工首先以过程质量在线监测、生产数据实时采集等手段实现对生产现场关键过程参数的监控和管理，并根据实际状态的采集与分析，动态调整和优化各生产要素，实现均衡、协同、高质量的生产管控，提高生产效率。同时实时监控设备状态与参数，提供精确的设备过程状态跟踪和记录，保障设备的良好运行，提高设备综合利用率。对生产计划完成、质量、设备综合效率利用、工效达成情况等进行分析与管理，搭建企业集中监控、统一调度的综合管理平台，为车间管理者提供实时的在线管理支撑。

将 PLM、ERP、MES、APS 等智能化系统的各项关键数据，优化了计划体系，将各环节数据打通，实现闭环检测与控制。同时建立了集成数据仓库及数据分析平台，开展数据分析应用和可视化展现，实现经营绩效分析等应用。

实现研发与生产、采购业务集成。以全三维产品设计为基础，运用 CAD\CAE\CAM 数字化研发软件，通过标准模板、族表、UDF 库等实现快速设计；并与 PLM 系统集成，实现线上协同设计，自动生成设计 BOM、三维可视化。BOM、物料数据共享；图纸集成到 ERP、SRM 中，实现数字化发放。

实现产供销集成。根据销售订单，APS 能够自动提供优化的生产计划排程，并根据生产计划计算物料需求；APS 中物料需求通过接口形成 ERP 采购订单后，自动发送至 SRM 系统；供应商在 SRM 中确认订单，并根据送货计划进行送货，实现采购订单

执行全程跟踪；APS 生产计划自动下发至 MES，MES 通过 SCADA、UWB 采集生产订单产量、质量、工时、设备参数等数据，实现生产现场精细化管理，提升了客户订单快速交付的能力。

公司已实现各个业务信息系统数据高度共享、集成，通过各自运营管理报表，用户可以在各自的业务领域中快速查看上下游业务信息，减少大量的线下信息交流，极大提升业务处理效率。部分集成报表能帮助管理层快速了解企业运营情况，以便做出快速地响应。PLM、ERP、APS、MES、SRM、WMS 等主要业务管理系统共设立各类报表 75 份。

一体化机房：公司数据中心，采用华为 FusionModule2000 解决方案，集成了机柜系统、供配电系统、制冷系统、监控系统和综合布线系统，具有架构兼容好、部署快速灵活、监控完善、节能高效等特点。

私有云建设：公司 2019 年实现了研发分析上云、业务系统上云、桌面终端上云。

IT 网络与 OT 网络：IT 网络、OT 网络均实现主干 10G 的、千兆到终端的基础设施部署。OT 网络使用环网结构，可靠性高。重要办公区域、生产区域、物流区域均实现无线网络覆盖。

### （3）主要成效

在计划与调度环节，生产计划的制定更加科学合理，能够依据订单需求、设备状态、原材料库存等多维度数据，实现生产任

务的最优分配，有效减少设备闲置时间与工序衔接等待时间。例如，在齿轮加工环节，借助智能化排产系统，设备利用率提升了30%，原本需要10天才能完成的一批订单，如今缩短至7天交付，整体生产效率提高了约30%。

在供应链管理环节，通过与供应商建立数字化信息共享平台，实现了原材料采购、库存管理、物流配送等环节的信息实时互通。企业能够根据生产进度精准采购原材料，避免了库存积压与缺货现象，库存周转率提高了40%，库存成本降低了25%。

## 案例六 常州优谷新能源科技股份有限公司

### （1）企业基本情况

常州优谷新能源科技股份有限公司坐落于风景秀丽的江苏常州，是风电传动链关键零部件整体解决方案的提供商，专注于发电机精密焊接件、高精度转轴、冷却系统及配件的研发与生产。我们的产品畅销德国、丹麦、西班牙等十多个国家，广泛应用于全球 80 多个国家和地区的可再生能源项目，与维斯塔斯、西门子歌美飒、弗兰德、金风科技、上海电气、远景能源、中国中车等高端装备制造商建立了稳固的战略伙伴关系。

近年来，优谷科技积极拥抱智能制造，取得了显著成就。我们荣获国家级专精特新“小巨人”企业、江苏省两化融合管理体系贯标示范企业以及江苏省“五星上云”企业等殊荣，标志着我们在智能化、数字化转型方面迈出了坚实的步伐。未来，我们将持续深化智能化改造和数字化转型，加速自动化、数字化、智能化进程，提升内在驱动力，向风电传动链领域数字化建设示范标杆迈进。

优谷科技将不断提升智能化水平，优化生产流程，促进产业结构升级，发挥智能化升级的示范引领作用。展望未来，我们将继续秉承技术创新和品质卓越的理念，致力于为客户提供更高效、更可靠的产品和服务，推动全球可再生能源行业的蓬勃发展。

### （2）智改数转网联典型场景介绍

在制造业中，下料与报工是生产过程中的关键环节，直接关系到生产效率、材料利用率和成本控制。然而，传统的手动操作方式，如公司原有的MES系统，在处理多订单对应同一张钢板下料及报工过程中存在诸多不足，导致工作效率低下，管理混乱。因此，公司亟需进行智能化改造以实现以下目标：

**提高下料效率：**减少人工输入和查找时间，实现自动计算板材重量和用料情况，快速生成下料单据。

**降低操作错误率：**杜绝生产订单重复排单情况，降低操作错误率。

**简化报工流程：**合并多张订单报工，减少重复操作，提高报工准确性。

**提升仓库管理效率：**自动化生成材料出库单、招领单和调拨单，减少仓库人员查找和开具单据的时间。

具体实施路径：

第一步，下料流程优化，下料班组使用扫码枪扫描生产订单号二维码，系统自动识别并添加生产订单，无需人工输入和查找。这一步骤大大节省了时间，并减少了因手动输入而导致的错误。

**自动判断生产订单条件：**系统在添加生产订单时，自动判断该订单是否已存在于当前的下料计划中，杜绝了生产订单重复排单的情况。这一功能有效降低了操作错误率，确保了生产计划的准确性。

自动计算板材重量和用料情况：下料班组选定使用的板材后，输入长、宽、厚，系统自动计算板材重量，并根据生产订单数量计算出用料情况。

智能判断超领和退库：系统根据用料情况和板材重量对比，自动判断是否超出，并根据超领数量和退库数量自动生成材料出库单、超领出库单和调拨单。

打印合并下料单：系统打印出包含材料出库单、招领单和调拨单号的合并下料单，供下料班组签字后交给仓库。

### 第二步，报工流程优化

合并报工：使用合并下料单进行报工，多张订单只需一次开工、下机和报工，大大简化了报工流程。

备料自动化：系统根据合并下料单自动备料，无需人工操作。

### 第三步，仓库管理流程优化

单据自动化处理：仓库收到合并下料单后，根据上面的材料出库单、招领单和调拨单核对出库情况，审核单据即可，无需再去系统查找和开具单据。

提高审核效率：由于单据已经自动生成并打印出来，仓库人员可以快速审核并确认出库情况。

## (3) 主要成效

时间节省：优化后，一张板 MES 系统操作时间从 20 分钟缩短至约 5 分钟，一天预计排版 10 张板，合计节省约 150 分钟；

报工时间从 50 分钟缩短至约 10 分钟左右；审核单子时间从 100 分钟缩短至约 30 分钟。

准确性提高：自动化计算和判断减少了人为错误，提高了下料和报工的准确性。

管理效率提升：单据的自动化处理简化了仓库管理流程，提高了仓库人员的工作效率和管理水平。

设计变更周期大幅缩短，降低了 65.13%，极大地提高了产品设计的灵活性和响应市场变化的能力。生产数据录入量实现了 80.62% 的减少，得益于自动化采集技术的应用，大大减轻了人工录入的工作负担，提高了数据准确性和及时性。

设备综合效率 OEE 得到了显著提升，增长了 18.9%，这意味着设备利用率和生产效率得到了显著提高，为企业增加了产能和降低了生产成本。成本核算时效从原来的 T+3 天提升至实时，使得企业能够更准确地掌握成本状况，为决策提供了有力支持。

此外，质量追溯效率也得到了极大提升，全链路追溯时间现在不超过 8 分钟，这为企业快速定位问题产品、分析原因并采取有效措施提供了有力保障，进一步提升了产品质量和客户满意度。

通过设计平台化、系统集成化、数据运营、安全高度重视以及数据采集与集成等关键举措，公司成功构建了智能制造的典型场景，实现了生产过程的智能化、高效化与精细化管理。这一实践不仅提升了公司的整体运营效率与产品质量，也为智能制造领

域的发展提供了有益借鉴。

## 案例七 常州神力电机股份有限公司

### （1）企业基本情况

常州神力电机专注于电机制造产业链中定子、转子的冲压、叠装制造环节。尽管工艺链条不长，但因其生产的超大型定转子冲片产品，呈现出多品种、小批量、交期短的显著特点。公司产品应用于大型风力发电机领域，这一应用场景对产品叠装过程中的精度和稳定性提出了极高要求。

在超大型电机定转子冲片制造细分市场，神力电机已占据领先地位，具备技术、规模等优势。然而，精细化管理始终是公司核心竞争力所在。为巩固领先优势，推动智能制造发展，建立工业互联网与数字化管理平台，成为突破生产效率瓶颈、实现智能化转型的关键路径。

在硬件设备方面，神力电机近年来引进 6 台 315-550 吨高速级进冲设备、8 台国产 200-630 吨高速级进冲设备、33 台国产 110-600 吨普通冲设备，其中包含 23 台落料、复式、扇形片、卷料机械手设备；拥有 77 台 5-16 吨冲槽机，其中 45 台为自动化机械设备并配备全自动废料输送线；各类焊机 119 台，含 32 套自动半自动焊接工位，还有 10 台烘箱、44 台 10-500 吨液压机，智能装备国产化率高达 85%。

在信息化建设上，神力电机已完成 ERP、MES、PLM、WMS 等关键核心信息系统的实施，搭建了企业虚拟化私有云，并初步

构建起研发设计、生产制造、质量管理等信息软件系统。

## （2）智改数转网联典型场景介绍

神力电机以建设精细化超大型电机定转子制造智能工厂为目标，成功突破电机定转子超大型化设计、柔性制造、在线检测与分析、动态资源配置等关键技术，实现直径 1 米以上、10MW 功率的超大型电机定转子高效高质量生产。总体框架分为设备层、软件层、决策层三个层次：

**设备层：**建设超大型电机定转子生产线，实现设备集成互联。建成落料生产线、冲片生产线、叠装焊接生产线等先进智能生产线，依据生产工艺流程，实现工艺优化、流程模拟、装备运行、过程验证的有机整合。

**软件层：**打通 PLM、MES 等信息系统，实现高效协作。通过打通 PLM、MES、ERP 等信息系统，实现基础数据管理、生产计划动态排查、生产数据实时采集、生产质量实时监控、生产工艺优化决策管理等功能。

**决策层：**建设信息化控制室与可视化驾驶舱，实现动态决策管控。具备对超大型电机定转子智能制造生产系统的生产状态与信息监控、工业大数据分析、关键设备运行信息监测、动态决策、集成化控制等功能，达成透明化、实时化和集成化的管控。

神力电机超大型电机定转子制造智能工厂总投资 21407 万元，其中设备与软件投资 18431 万元（设备投资 15911 万元，软

件系统投资 2520 万元)。项目通过技术研发创新,打破技术壁垒,采用自主设计设备,结合先进生产检测设备,引入 MES 系统、ERP 系统,实现生产线自动化连接与智能化控制,成功打造超大型电机定转子制造智能工厂。



### (3) 主要成效

生产效率平均提升 42.1%, 库存成本降低 16%, 设备故障率降至 2%, 产品质量检验合格率提升 8%, 能源利用率提升 12.1%, 订单准时交付率提升至 92.7%, 售后服务响应时间缩短 38%, 供应商准时交付率提升至 93%, 采购成本降低 17%。此外,企业还实现了生产过程的自动化、智能化,减少了人工干预,提升了整体运营效率和客户满意度。

## 案例八 江苏振江新能源装备股份有限公司

### （1）企业基本情况

江苏振江新能源装备股份有限公司主要产品包括风电设备零部件（定子段、转子房、机舱罩、塔筒等），公司在海上风电细分市场占有率 24%，连续多年入围全球新能源企业 500 强，是西门子、GE、东方电气等国际知名企业的核心供应商。为应对市场多品种、小批量、高品质、短交期的需求，公司持续推进自动化和智能化升级，深化生产设备、工业机器人及工业软件的应用，推动“制造”向“智造”转型，构建覆盖研发、生产、物流、管理的全链条数字化体系，形成多场景深度融合的智能制造新模式。公司员工总数 1272 人，本科及以上学历占比 27.15%，研发人员占比 16.99%，信息化专业团队 32 人。累计授权专利 180 件（发明专利 30 件），与东南大学合作开展大兆瓦海上风电机组研发，获江苏省科技成果转化项目立项。

振江新能源硬件与信息化基础条件如下：

**生产设备：**全产线设备 100% 联网，关键工序部署工业机器人、数控设备、全自动喷涂线等，结合机器视觉检测系统实现高精度加工与质量闭环管控。

**信息系统：**已完成 MES、ERP、PLM、WMS、安全防护平台、数字孪生平台等建设，实现设备、产线、车间的全要素数字化映射与动态管理。

网络架构：工厂级 5G 专网覆盖，集成 TSN 网络实现毫秒级低时延通信，设备联网率 100%。

## （2）智改数转网联典型场景介绍

企业通过智改数转工作急需解决如下问题：

提升生产柔性：通过 APS 智能排产系统与 TSN 网络调度，缩短紧急订单响应时间至 2 小时，库存周转率提升 35%。

优化质量控制：应用数字孪生与 AI 算法动态调整工艺参数，产品不良率下降 18%，能耗利用率提升 22%。

强化数据驱动：整合 MES、ERP、PLM 系统数据流，实时监控 2000 余个数据点，实现生产决策智能化。

保障网络安全：构建“5G 专网+TSN+工业 PON”融合架构，划分安全域，实施区块链存证与分级加密，全年网络安全零事件。

企业首先进行顶层架构设计：构建“云-边-端”协同四层架构即网络层：5G 专网与 TSN 网络融合，实现设计、生产、物流端毫秒级通信；数据层：整合 MES、ERP、PLM 多源数据，支撑智能决策；应用层：开发设备健康预测、智能排程等算法模块，优化生产节拍；安全层：虚拟化服务器集群与行为管理防火墙，确保数据全生命周期安全。同时以 5G+工业互联网为底座，结合数字孪生技术，通过自研+外采 MES、ERP、CRM 等各类智能化管理系统并实现数据集成，从而设计—采购—生产—仓储—售后的全链条，智能管控。

### (3) 主要成效

效率提升：人均产出效率提升 26%，订单准时交付率显著提高。

成本优化：库存周转率提升 35%，采购成本降低 17%，能耗利用率提升 22%。

质量改进：产品不良率下降 18%，质量检验合格率持续优化。

安全可控：全年网络安全零事件，形成“端—边—云”主动防御体系。

行业认可：获评“国家级 5G 工厂”“江苏省工业互联网标杆工厂”，形成多场景协同的智能制造新模式。



首页 ● 排产计划 (新)

日期范围  开始日期 至  结束日期 关键词  请输入关键词  月 周 日

☰ + - ⚙

名称	开工令	商务员	计划开始时间	计划结束时间	18号	19号	20号	21号	22号	23号	24号	25号	26号	27号	28号	29号	30号	31号	01号	02号	03号
YHP241052																					
内环孔加工工装	YHP241052(1#)		2024-12-20	2025-01-04																	
YHP241052.0	内环孔加工工装																				
YHP24105201.1	φ135内环孔加工			GYXL-24121704																	
		机加	2024-12-23	2025-01-03																	
YHP2410520101.1.1	钢板																				
YHP2410520101001	钢板-数控件		1.1	GYXL-24121704																	
		下料	2024-12-20	2024-12-22																	
YHP2410520102.1.2	圆钢			GYXL-24121704																	
		机加	2024-12-23	2025-01-03																	
YHP2410520102001	圆钢-锯切件		1.2	GYXL-24121704																	
		下料	2024-12-20	2024-12-22																	
YHP24105202.2	φ140内环孔加工			GYXL-24121704																	
		机加	2024-12-23	2025-01-03																	
YHP2410520201.2.1	钢板																				

## 案例九 江苏中车电机有限公司

### （1）企业基本情况

江苏中车电机有限公司坐落于江苏省大丰市经济开发区，作为中国中车株洲电机公司的全资子公司，是一家专注于陆地、海洋大功率风力发电电机科研、生产、销售及服务的的高新技术企业。公司核心产品涵盖直驱永磁风力发电机、双馈及其他机型风力发电机，凭借雄厚的生产实力，年产能超 2200 台，是国内领先的专业化风力发电电机制造企业。近年来，公司紧紧把握智能化改造与数字化转型机遇，全力推进智慧工厂自动化产线建设，致力于打造智能制造行业标杆。

### （2）智改数转网联典型场景介绍

公司深度融合近 60 年积累的国际尖端轨道牵引电机技术，应用于风力发电机研制领域，构建起先进的设计技术体系、高端的制造工艺标准及完备的试验验证流程。依托国家级企业技术中心、江苏省海上风力发电电机工程技术研究中心两大创新平台，以及江苏省 6MW 及以上直驱永磁风力发电机实验室等省级研发平台，为技术创新与产品研发提供了坚实保障。

公司积极践行国家数字化转型战略，将智慧工厂自动化产线建设作为核心发展方向。在直驱定子与总装环节，通过融合前沿自动化技术与先进工业设计理念，建成高度集成化的直驱定子自动化产线。该产线配备高精度生产设备与智能控制系统，实现原

材料加工至成品产出全流程的精准控制，显著提升生产效率与产品质量稳定性；总装自动化产线则借助智能化装配设备与自动化物流系统，实现部件快速精准组装，大幅缩短产品交付周期。

在半直驱自动化产线建设中，公司研发团队基于对半直驱技术特性与生产需求的深入研究，开展定制化设计。运用先进传感器技术与自动化控制算法，实现生产过程实时监测与精准调控，有效保障半直驱电机生产精度与产品一致性。

技术攻关层面，公司重点突破叠片机器人项目，研发具备高灵活性与高精度的自动化叠片设备，以先进视觉识别与智能抓取技术，替代传统人工操作，实现硅钢片高效叠放，降低人为因素导致的质量风险。定子线圈流水线项目通过优化整合绕制、绝缘处理、嵌线等工序，引入自动化设备与智能控制系统，达成生产全流程自动化，进一步提升生产效率与产品可靠性。自动化喷涂项目则依托先进喷涂设备与环保涂料，开发智能喷涂控制系统，根据电机规格自动调节喷涂参数，实现高效均匀喷涂，减少涂料损耗与环境污染。

此外，公司大力研发基于虚拟现实（VR）与增强现实（AR）技术的三维虚拟装配系统。在产品的设计阶段，工程师可借助该系统模拟验证装配过程，提前优化设计与工艺；在实际生产中，为工人提供可视化装配指导，有效提升装配效率与准确性，降低装配成本与失误率。

### （3）主要成效

生产端，智能排程使设备利用率提升 35%，订单交付周期从 15 天缩至 10 天；关键设备智能化升级后，电机绕组绕制效率提高 45%。质量管控上，依托大数据与 AI 构建体系，传感器实时采集数据，质量管控平台深度分析，定子铁芯冲压废品率从 4% 降至 1% 以内。

运营管理借助信息化系统，与供应商搭建共享平台，库存周转率提高 45%，成本降低 28%；办公自动化减少 18% 行政人力投入，设备预防性维护使维修成本降低 22%。研发方面，数字化平台集成前沿工具，新型海上风电电机研发周期缩短 38%。

## 案例十 南通通达矽钢冲压科技有限公司

### （1）企业基本情况

南通通达矽钢冲压科技有限公司作为全球电机定转子冲片与铁芯领域的领军企业，始终专注于矽钢冲压技术的创新研发，深度布局电动机、风力发电机、新能源电机定转子铁心产品的全链条生产与服务。

### （2）智改数转网联典型场景介绍

以下为南通通达矽钢冲压科技有限公司现有智改数转基础条件。

**高端研发平台矩阵：**公司构建了以江苏省认定企业技术中心、江苏省电机定转子铁芯智能制造工程研究中心、江苏省博士后创新实践基地为核心的高端研发体系，汇聚行业顶尖科研人才与创新资源。同时，携手宝钢股份共建联合实验室，围绕无取向硅钢材料特性、加工工艺优化等方向开展深度合作，推动产业链协同创新，形成从材料研发到产品制造的一体化技术优势。公司承担的南通市重大科技成果转化项目，在新型双列多工位结构级进冲模具等关键技术领域取得突破性成果，确保产品精度与能效指标稳居行业前列。

**智能化生产设备集群：**公司以先进制造理念为导向，打造智能化生产设备集群。配备 3 条原材料分卷、开平生产线，实现原材料预处理的高效自动化；拥有 287 台涵盖 10-630 吨冲床、高

速单槽冲、定子压装、转子铸铝等功能的核心设备。其中，98台 25-630 吨冲床、90 台伺服高速单槽冲床、20 台 100-900 吨压铸机等设备，结合 11 条 125-400 吨高速级进冲生产线、26 条自动落料生产线以及 10 条自动新能源汽车驱动电机定子叠焊生产线，通过智能化控制系统实现设备间的高效协同作业，达成生产工序的自动化与连续化，显著提升生产效率与产品一致性。

以下为南通通达矽钢冲压科技有限公司智改数转方案。

**自动化生产体系革新：**公司引入自动化下料与堆垛设备，部署单槽冲四轴关节式机器人、四轴摆臂式单冲机器人，实现生产环节的自动化物料流转。针对大批量产品生产，采用自动上料机械手替代传统人工操作，彻底消除人为因素导致的质量波动，将生产过程的稳定性与可靠性提升至全新高度，有效保障产品制造的高质量输出。

**数字化管理深度应用：**依托信息化技术，公司搭建生产数据实时采集与分析平台，对生产设备运行参数、生产进度、质量检测数据等关键信息进行动态监测与深度挖掘。通过可视化管理系统，生产管理者能够实时掌握生产全貌，及时发现并解决潜在问题，实现生产决策的科学化、精准化。

**持续优化创新机制：**建立常态化的生产流程优化机制，在半成品管理、二维码技术应用、工装模具改进、物流周转优化等方面累计实施 100 余项改善项目。以二维码技术为例，通过构建产

品全生命周期追溯体系，实现从原材料采购、生产加工、质量检测到销售服务的全流程数据贯通，为产品质量管控与问题溯源提供精准数据支持，持续提升企业智能化运营水平。

### （3）主要成效

通过系统性的智能化建设，南通通达矽钢实现生产效能与产品质量的双重突破。以电机冲片单槽冲工序为例，冲片损耗率从千分之三降至零，生产效率显著提升。

#### 附件 4 服务商目录

序号	名称	地址	联系电话
1	江苏易安联网络技术有限公司	南京	025-68130277
2	慧盾信息安全科技(苏州)股份有限公司	苏州	0512-81660386
3	苏州浩辰软件股份有限公司	苏州	0512-62880780
4	江苏亨通数字智能科技有限公司	苏州	0512-63957916
5	江苏极熵物联科技有限公司	无锡	400-663-6036
6	山东山大华天软件股份有限公司	山东	0531-88879088
7	用友网络科技股份有限公司	北京	025-58612702
8	金蝶软件(中国)有限公司	深圳	025-68567099
9	苏州微缔软件股份有限公司	苏州	0512-66980601
10	鼎捷数智股份有限公司	上海	400-626-5858
11	南京帆软软件有限公司	南京	400-811-8890

序号	名称	地址	联系电话
12	南京安维士传动技术股份有限公司	南京	025-52172945
13	苏州企简信息科技有限公司	苏州	13372181863
14	上海汉得信息技术股份有限公司	上海	400-168-4263
15	昆山鸿一自动化科技有限公司	昆山	13761445560
16	北京翰迪福睿科技有限责任公司	北京	13718680993
17	再发现（北京）科技有限公司	北京	010-62988509
18	神州数码集团股份有限公司	北京	010-82705588
19	山东特普软件有限公司	山东	0531-88690770
20	苏州罗克韦尔智能科技有限公司	苏州	18452020284
21	上海才匠智能科技有限公司	上海	021-58567790
22	徐工汉云技术股份有限公司	徐州	0516-80582888

序号	名称	地址	联系电话
23	四川虹信软件股份有限公司	四川	0816-2418977
24	美云智数科技有限公司	深圳	0757-22605818
25	谷东科技有限公司	广州	020-82002781
26	北京兰光创新科技有限公司	北京	010-62669794
27	益狐智造科技（武汉）有限公司	武汉	18171463191
28	邦迪智能科技（上海）股份有限公司	上海	021-69583295
29	广州中望龙腾软件股份有限公司	广州	020-38289780
30	达索系统中国区总代理	上海	021-67601028
31	苏州大得机械科技有限公司	苏州	13912643711
32	南京埃斯顿自动化股份有限公司	南京	025-52785866
33	云科智能制造（沈阳）有限公司	沈阳	024-25190208

序号	名称	地址	联系电话
34	博众精工科技股份有限公司	苏州	0512-63414949

## 附件 5 技术缩略语

序号	缩略语	全称	释义
1	CAD	Computer Aided Design	计算机辅助设计工具
2	CAE	Computer Aided Engineering	计算机辅助工程
3	CRM	Customer Relationship Management	客户关系管理系统
4	SCM	Supply Chain Management	供应链管理系统
5	BOM	Bill of Material	物料清单
6	ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划系统
7	MRP	Manufacturing Resource Planning	生产资源规划系统

序号	缩略语	全称	释义
8	PDM	Product Data Management	产品数据管理
9	MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
10	CAPP	Computer Aided Process Planning	计算机辅助工艺规划
11	AGV	Automated Guided Vehicle	自动引导搬运车
12	APS	Advanced Planning System	高级排程系统
13	QMS	Quality Management System	质量管理体系
14	FMS	Flexible Manufacture System	弹性制造系统
15	WMS	Warehouse Management System	仓储管理系统
16	PLM	Product Lifecycle Management	产品全生命周

序号	缩略语	全称	释义
			期管理
17	ISAC	Information Sharing and Analysis Center	信息共享与分析中心
18	RBAC	Role - Based Access Control	基于角色的访问控制
19	OPC UA	OPC Unified Architecture	OPC 统一架构
20	VLAN	Virtual Local Area Network	虚拟局域网
21	IoT	Internet of Things	物联网
22	RFID	Radio Frequency Identification	射频识别
23	SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	数据采集与监视控制系统
24	CFD	Computational Fluid Dynamics	计算流体力学

序号	缩略语	全称	释义
25	DNV GL	Det Norske Veritas Germanischer Lloyd	挪威船级社 - 德国劳氏船级 社
26	ESOP	Electronic Standard Operating Procedure	电子标准作业 程序
27	AI	Artificial Intelligence	人工智能
28	5G	5th Generation Mobile Network	第五代移动通 信技术
29	4G	4th Generation Mobile Network	第四代移动通 信技术
30	Modbus_RTU	Modbus Remote Terminal Unit	Modbus 远程 终端单元
31	DLT645	电力行业标准通信协议	用于电表等设 备的数据通信

序号	缩略语	全称	释义
			协议
32	OEE	Overall Equipment Effectiveness	设备综合效率
33	PHM	Product Health Management	产品健康检测与运维系统
34	SRM	Supplier Relationship Management	供应商关系管理系统
35	CRM	Customer Relationship Management	客户关系管理系统
36	KPI	Key Performance Indicator	关键绩效指标
37	GWEC	Global Wind Energy Council	全球风能理事会
38	S&OP	Sales and Operations Planning	销售与运营计

序号	缩略语	全称	释义
			划
39	VMI	Vendor Managed Inventory	供应商管理库存
40	AR	Augmented Reality	增强现实
41	VR	Virtual Reality	虚拟现实
42	AI	Artificial Intelligence	人工智能
43	CNN	Convolutional Neural Network	卷积神经网络
44	LSTM	Long Short-Term Memory	长短期记忆网络
45	SVM	Support Vector Machine	支持向量机
46	FTA	Fault Tree Analysis	故障树分析
47	DOE	Design of Experiments	实验设计

序号	缩略语	全称	释义
48	DMAIC	Define - Measure - Analyze - Improve - Control	定义、测量、 分析、改进、 控制
49	FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	失效模式与影 响分析
50	SPC	Statistical Process Control	统计过程控制
51	ISO	International Organization for Standardization	国际标准化组 织
52	GB	Guo Biao (Chinese National Standard)	中国国家标准
53	DCMM	Data Management Capability Maturity Assessment Model	数据管理能力 成熟度评估模 型
54	CMMM	China Manufacturing Maturity	智能制造能力

序号	缩略语	全称	释义
		Model	成熟度模型

## 附件 6 江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引

### 江苏省制造业“智改数转网联”典型场景

#### 参考指引

智能制造场景是智能工厂的核心组成部分，是指面向制造过程各个环节，通过新一代信息技术、先进制造技术的深度融合，部署高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备、行业成套装备等智能制造装备，集成相应的工艺、软件等，实现具备协同和自治特征、具有特定功能和实际价值的应用。根据“十三五”以来智能制造发展情况和企业实践，结合技术创新和融合应用发展趋势，凝练总结了 3 个方面 16 个环节的 45 个智能制造典型场景，为智能工厂及智慧供应链建设提供参考。

#### 一、生产全过程

**1. 计划调度环节。**通过市场需求预测、产能分析、库存分析、计划排产和资源调度等，提高劳动生产率和订单达成率，可参考以下场景：

**(1) 生产计划优化。**构建企业资源管理系统，应用约束理论、寻优算法和专家系统等技术，实现基于采购提前期、安全库存和市场需求的生计划优化。

**（2）车间智能排产。**应用高级计划排程系统（APS），集成调度机理建模、寻优算法等技术，实现基于多约束和动态扰动条件下的车间排产优化。

**（3）资源动态配置。**依托制造执行系统（MES），集成大数据、运筹优化、专家系统等技术，开展基于资源匹配、绩效优化的精准派工，实现人力、设备、物料等制造资源的动态配置。

**2. 生产作业环节。**部署智能制造装备，通过资源动态配置、工艺过程优化、协同生产作业，提高劳动生产率、降低产值成本率，可参考以下场景：

**（4）产线柔性配置。**部署智能制造装备，应用模块化、成组和产线重构等技术，搭建柔性可重构产线，根据订单、工况等变化实现产线的快速调整和按需配置，实现多种产品自动化混线生产。

**（5）精益生产管理。**应用六西格玛、5S管理和定置管理等精益工具和方法，开展相关信息化系统建设，实现基于数据驱动的人、机、料等精确管控，提高效率，消除浪费。

**（6）工艺动态优化。**部署智能制造装备，搭建生产过程全流程一体化管控平台，应用工艺机理分析、多尺度物性表征和流程建模、机器学习等技术，动态优化调整工艺流程/参数。

**(7) 先进过程控制。**部署智能制造装备，依托先进过程控制系统（APC），融合工艺机理分析、多尺度物性表征和建模、实时优化和预测控制等技术，实现精准、实时和闭环的过程控制。

**(8) 智能协同作业。**部署智能制造装备，基于5G、TSN、边缘计算等技术建设生产现场设备控制系统，实现生产设备、检测装备、物流装备等实时控制和高效协作。

**(9) 人机协同制造。**应用人工智能、AR/VR、新型传感等技术，提高高档数控机床、工业机器人、行业成套装备等智能制造装备与人员的交互、协作能力，实现加工、装配、分拣等生产作业的人、机自主协同。

**(10) 网络协同制造。**建立网络协同平台，推动企业间设计、生产、管理、服务等环节紧密连接，实现基于网络的跨企业、跨地域的业务并行协同和制造资源配置优化。

**3. 仓储物流环节。**部署智能物流与仓储装备，通过配送计划和调度优化、自动化仓储、配送管理，提高库存周转率，降低库存成本，可参考以下场景：

**(11) 智能仓储。**建设智能仓储管理系统（WMS），应用条码、射频识别、智能传感等技术，依据实际生产作业计划，实现物料自动入库（进厂）、盘库和出库（出厂）。

**(12) 精准配送。**集成智能仓储系统和智能物流装备，应用实时定位、机器学习等技术，实现原材料、在制品、产成品流转全程跟踪，以及物流动态调度、自动配送和路径优化。

**4. 设备管理环节。**部署智能传感与控制装备，通过设备运行监测、故障诊断和健康管理，提升设备综合效率，降低运维成本，可参考以下场景：

**(13) 在线运行监测。**集成智能传感、5G、大数据分析等技术，通过自动巡检、在线运行监测等方式，判定设备运行状态，开展性能分析和异常报警，提高设备运行效率。

**(14) 设备故障诊断与预测。**综合运用物联网、机器学习、故障机理分析等技术，建立故障诊断和预测模型，预测故障失效模式，开展预测性维护，提高设备综合利用率。

**(15) 设备运行优化。**建设设备健康管理系统，基于模型对设备运行状态、工作环境等进行综合分析，调整优化设备运行参数，提高运行效率，延长设备使用寿命。

**5. 质量管控环节。**部署智能检测装备，通过在线检测、质量分析、质量追溯和闭环优化，提高产品合格率，降低质量损失率，可参考以下场景：

**(16) 智能在线检测。**部署智能检测装备，融合5G、机器视觉、缺陷机理分析、物性和成分分析等技术，开展产品质量在线检测、分析、评价和预测。

**(17) 质量精准追溯。**建设质量管理体系（QMS），集成5G、区块链、标识解析等技术，采集并关联产品原料、设计、生产、使用等全流程质量数据，实现全生命周期质量精准追溯。

**(18) 产品质量优化。**依托质量管理体系（QMS）和质量知识库，集成质量机理分析、质量数据分析等技术，进行产品质量影响因素识别、缺陷分析预测和质量优化决策。

**6. 安全管控环节。**部署安全监控和应急装备，通过安全风险识别，应急响应联动，提升本质安全，降低损失工时事故率，可参考以下场景：

**(19) 安全风险实时监测与应急处置。**依托感知装置和安全生产管理系统，基于智能传感、机器视觉、特征分析、专家系统等技术，动态感知、精准识别危化品、危险环节等各类风险，实现安全事件的快速响应和智能处置。

**(20) 危险作业自动化。**部署智能制造装备，集成智能传感、机器视觉、特种机器人、5G等技术，打造面向危险作业的自动化产线，实现危险作业环节的少人化、无人化。

**7. 能源管理环节。**部署能耗采集装置，通过能耗实时采集、监测，能耗数据分析与调度优化，提高能源利用率，降低单位产值综合能耗，可参考以下场景：

**(21) 能耗数据监测。**基于能源管理系统(EMS),应用智能传感、大数据、5G等技术,开展全环节、全要素能耗数据采集、计量和可视化监测。

**(22) 能效平衡与优化。**应用能效优化机理分析、大数据和深度学习等技术,优化设备运行参数或工艺参数,实现关键设备、关键环节等能源综合平衡与优化调度。

**8. 环保管控环节。**部署环保监测装置,通过排放采集与监控,排放分析与优化,降低污染物排放,减少单位产值碳排放量,可参考以下场景:

**(23) 污染监测与管控。**搭建环保管理平台,应用机器视觉、智能传感和大数据等技术,开展排放实时监测和污染源管理,实现全过程环保数据的采集、监控与分析优化。

**(24) 碳资产与废弃物管理。**开发碳资产管理平台、废弃物料管理平台和行业成套装备,集成智能传感、物联网、区块链等技术,实现全流程的碳排放追踪、分析、核算和交易以及废弃物处置和循环再利用全过程的监控、追溯。

**9. 工厂建设环节。**依托数字基础设施,推动工业知识软件化,加快数据流通,通过工厂数字化建模、仿真、优化和运维,提升制造系统运行效率,降低运维成本,可参考以下场景:

**(25) 工厂数字化设计。**应用工厂三维设计与仿真软件(CAX),集成工厂信息模型、制造系统仿真、数字孪生和AR/VR等技术,高效开展工厂规划、设计和仿真优化,实现数字化交付。

**(26) 数字孪生工厂建设。**应用建模仿真、多模型融合等技术,构建装备、产线、车间、工厂等不同层级的数字孪生系统,通过物理世界和虚拟空间的实时映射,实现基于模型的数字化运行和维护。

**(27) 工业技术软件化应用。**应用大数据、知识图谱、知识自动化等技术,将工业技术、工艺经验、制造知识和方法沉淀为数据和机理模型,进行数据化显性化,与先进制造装备相结合,建设知识库和模型库,开发各类新型工业软件,支撑业务创新。

**(28) 数字基础设施集成。**部署工业互联网、物联网、5G、千兆光网等新型网络基础设施,建设工业数据中心、智能计算中心、工业互联网平台以及网络、数据、功能等各类安全系统,完善支撑数字业务运行的信息基础设施。

**(29) 数据治理与流通。**应用云计算、大数据、隐私计算、区块链等技术,构建可信数据空间,实现企业内数据的有效治理和分析利用,推动企业间数据安全可信流通,充分释放数据价值。

## **二、产品全生命周期**

**10. 产品设计环节。**通过设计建模、仿真优化和虚拟验证,实现数据和模型驱动的产品设计,缩短产品研制周期,提高新产

品产值贡献率，可参考以下场景：

**(30) 产品数字化研发与设计。**应用设计、仿真软件和知识模型库，基于复杂建模、物性表征与分析、多目标优化等技术，搭建数字化协同设计环境，开展产品、配方等设计、仿真与迭代优化。

**(31) 虚拟试验与调试。**构建虚拟试验与调试环境，面向产品功能、性能、可靠性等方面，应用数字孪生、AR/VR、知识图谱等技术，通过全虚拟仿真或者半实物半虚拟仿真，开展产品调试和测试验证，缩短验证周期，降低研发成本。

**(32) 数据驱动产品设计优化。**集成产品设计、生产作业、售后服务等环节数据，结合人工智能、大数据等技术，探索创成式设计，持续迭代产品模型，驱动产品形态、功能和性能的创新。

**11. 工艺设计环节。**通过工艺建模与虚拟制造验证，实现基于数字模型的工艺快速创新与验证，缩短工艺开发周期，降低生产成本，可参考以下场景：

**(33) 工艺数字化设计。**应用工艺设计、仿真软件和工艺知识库，基于机理建模、物性表征和数据分析技术，建立加工、装配、检测、物流等工艺模型，进行工艺全过程仿真，预测工艺设计缺陷并优化改进。

**(34) 可制造性设计。**打通工艺设计、产品研发、生产作业等环节数据，结合知识模型库，全面评价与及时改进产品设计、工艺的可加工性、可装配性和可维护性等，降低制造与维护成本。

**12. 营销管理环节。**依托数字销售渠道，通过市场与客户数据分析，精准识别需求，优化销售策略，提高人均销售额，可参考以下场景：

**(35) 销售驱动业务优化。**应用大数据、机器学习、知识图谱等技术，构建用户画像和需求预测模型，制定精准销售计划，动态调整设计、采购、生产、物流等方案。

**(36) 大规模个性化定制。**部署智能制造装备，依托产品模块化、生产柔性化等，以大批量生产的低成本、高质量和高效率提供定制化的产品和服务。

**13. 售后服务环节。**依托智能产品，通过运行数据采集、分析，开展产品健康监控、远程运维和维护，提高顾客的服务满意率，可参考以下场景：

**(37) 产品远程运维。**建立产品远程运维管理平台，集成智能传感、大数据和 5G 等技术，实现基于运行数据的产品远程运维、健康监控和预测性维护。

**(38) 主动客户服务。**建设客户关系管理系统（CRM），集成大数据、知识图谱和自然语言处理等技术，实现客户需求分析、服务策略决策和主动式服务响应。

**(39) 数据驱动服务。**分析产品运行工况、维修保养、故障缺陷等数据，应用大数据、人工智能等技术，开拓专业服务、设备估值、融资租赁、资产处置等新业务，创造新价值。

### 三、供应链全环节

**14. 供应链计划环节。**通过打通供应链上下游生产、仓储、物流等环节，开展供应链计划协同优化，提高供应商准时交付率，可参考以下场景：

**(40) 供应链计划协同优化。**应用大数据、人工智能等技术，结合市场需求预测和仓储、生产、物流等状态分析，实现采购计划、生产计划、配送计划的协同编制与同步更新。

**(41) 产供销一体化。**通过人工智能、云计算等技术，打通销售、生产和采购系统的业务流、数据流，实现销售、生产和采购的协同优化。

**15. 供应链采购与交付环节。**通过供应链采购订单和交付物流的实时监控，提高供应商交付率，降低采购成本，可参考以下场景：

**(42) 供应链采购动态优化。**建设供应链管理系统（SCM），集成寻优算法、知识图谱、5G等技术，实现采购订单的精准跟踪、可视化监控和采购方案动态优化。

**（43）供应链智能配送与动态优化。**依託运输管理系统，应用实时定位、人工智能等技术，实现运输配送全程跟踪和异常预警、装载能力和配送路径优化。

**16. 供应链服务环节。**通过供应链上下游数据采集与分析，精细化管理供应商，预测供应链风险并动态响应，确保订单交付，可参考以下场景：

**（44）供应商数字化管理。**建立供应商管理系统（SRM），集成大数据、知识图谱等技术，实现供应商数据管理以及基于数据分析的供应商评价、分级分类、供应商寻源、优选推荐。

**（45）供应链风险预警与弹性管控。**建立供应链管理系统，集成知识图谱、云计算等技术，开展供应链风险隐患识别、定位、预警和高效处置。