

江苏省制造业智改数转网联 高效电机行业实施指南

江苏省工业和信息化厅

二〇二五年

目 录

一、背景与现状	1
1.1 指南范围	1
1.2 高效电机行业概述	1
1.2.1 高效电机行业发展情况	1
1.2.2 高效电机行业主要特点	7
1.2.3 高效电机行业发展趋势	14
1.2.4 江苏省内高效电机行业发展现状	15
1.3 高效电机行业智改数转网联现状	17
1.3.1 江苏省高效电机行业智改数转网联现状	17
1.3.2 高效电机行业智改数转网联实施重难点	19
二、目标与架构	26
2.1 指南总体目标	26
2.1.1 指南总体目标	26
2.1.2 指南总体原则	28
2.2 高效电机行业智改数转网联实施架构	29
三、基础能力	30
3.1 网络基础设施能力建设	30
3.1.1 企业内外网优化与升级	30
3.1.2 标识解析体系建设与应用	37
3.2 数据采集能力建设	43
3.2.1 “哑设备”改造	43
3.2.2 智能设备联网	45

3.3 信息系统能力建设.....	46
3.4 信息安全能力建设.....	51
3.4.1 企业工业信息安全能力建设基本框架.....	51
3.4.2 企业工业信息安全能力建设部署方式.....	55
四、环节与场景.....	56
4.1 产品设计（包括产品数字化研发与设计、虚拟试验与调试、 数据驱动产品设计优化等）.....	57
4.2 工艺设计（包括工艺数字化设计、可制造性设计等）.....	64
4.3 质量管控（包括智能在线检测、质量精准追溯、产品质量优化 等）.....	69
4.4 营销管理（包括销售驱动业务优化、大规模个性化定制等）	75
4.5 售后服务（包括产品远程运维、主动客户服务、数据驱动服务 等）.....	77
4.6 工厂建设（包括工厂数字化设计、数字孪生工厂建设、工业技 术软件化应用、数字基础设施集成、数据治理与流通等）.....	81
4.7 计划调度（包括生产计划优化、车间智能排产、资源动态配置 等）.....	87
4.8 生产作业（包括产线柔性配置、精益生产管理、工艺动态优化、 智能协同作业、人机协同制造、网络协同制造等）.....	93
4.9 仓储物流（包括智能仓储、精准配送等）.....	102
4.10 设备管理（包括在线运行监测、设备故障诊断与预测、设备 运行优化等）.....	107
4.11 安全管控（包括安全风险实时监测与应急处置、危险作业自	

动化等)	112
4.12 能源管理(包括能耗数据监测、碳资产、能效平衡与优化等)	116
4.13 环保管控(包括污染监测与管控、废弃物管理等)	122
4.14 供应链计划(包括供应链计划协同优化、产供销一体化等)	124
4.15 供应链采购与交付(包括供应链采购动态优化、供应链智能 配送与动态优化等)	127
4.16 供应链服务(包括供应商数字化管理、供应链风险预警与弹 性管控等)	129
五、路径与方法	134
5.1 实施路径	134
5.2 相关政策及方法	136
5.2.1 相关政策	138
5.2.2 相关方法	144
六、愿景与展望	154
6.1 先进新技术应用	154
6.2 江苏省高效电机行业智改数转网联未来发展趋势	156
附件 1 人工智能典型应用场景	160
附件 2 投入改造清单及图谱	164
附件 3 典型案例	185
附件 4 服务商目录	226
附件 5 技术缩略语	229
附件 6 《江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引》	231

一、背景与现状

1.1 指南范围

高效电机行业智改数转网联实施指南的范围主要为江苏省内的高效电机行业及其上下游产业链企业。此次指南聚焦省内高效电机行业全产业链，覆盖稀土永磁电机、磁悬浮电机、三相异步电机等高效电机领域，重点围绕原材料供应（电解铜、合金钢、硅钢、绝缘材料等）、零部件制造（定子、转子、绕组、壳体、齿轮等）、电机制造（电机组装、总装测试等）等核心环节，贯穿研发设计、生产制造、运维服务、经营管理及供应链管理全流程。

指南推广对象涵盖行业内的“筑峰强链”重点企业、省级及以上智能制造示范工厂和示范智能车间、省级及以上“专精特新”企业，以及广泛的大中小企业。

为确保指南的科学性和实用性，通过实地调研、座谈、研讨会等多种方式，指南编制工作深入调研超过 30 家具有代表性的高效电机行业企业，充分了解行业现状和智改数转网联的痛点难点。调研围绕关键环节、典型场景以及大中小企业在智改数转网联方面的实施路径等，为高效电机行业的智能化、数字化转型提供科学指导和有力支撑。此次指南的实施范围明确、聚焦领域具体、推广对象广泛，旨在为江苏省高效电机行业的智改数转网联发展提供有力保障。

1.2 高效电机行业概述

1.2.1 高效电机行业发展情况

1.2.1.1 高效电机行业的定义与发展

电机是一种将电能转换为机械能的装置，其效率值（即电能转化为机械能的比例）是衡量电机性能优劣的关键技术指标。通常，电动机吸收的电能有 70%-95% 转化为机械能，剩余的 5%-30% 电能则因电机内部的发热、机械摩擦等固有损耗而被消耗，形成电能浪费。

高效电机是指电能利用效率较高的电机。高效电机从设计、材料和工艺上采取措施进行优化，例如采用合理的定、转子槽数、风扇参数和正弦绕组等措施，实现了对损耗的有效控制，从而使得电机的效率得以显著提升。

面对全球能源危机与环境保护的严峻挑战，高效电机已成为国际电机行业发展的必然趋势。美国、加拿大、欧洲相继颁布了有关法规。欧洲根据电动机的运行时间，制定了 CEMEP 标准，将效率分为 eff1（最高）、eff2、eff3（最低）三个等级，从 2003-2006 年间分步实施。最新出台的 IEC 60034-30 标准将电机效率分为 IE1（对应 eff2）、IE2（对应 eff1）、IE3、IE4（最高）四个等级，为全球电机行业的能效提升提供了更为明确的方向与指引。

在中国，政府也高度重视高效电机的推广和应用。2020 年 5 月发布国家标准《电动机能效限定值及能效等级》（GB 18613-2020），于 2021 年 6 月 1 日起正式实施，规定了三相异步电动机、单相异步电动机、空调器风扇用电动机的能效等级、能效限定值和试验方法。该标准将 IE3 效率列为中国

最低的三相异步电动机能效限定值（三级能效），低于 IE3 能效限定值的三相异步电动机将不允许再生产销售，表明中国中小型三相异步电动机效率水平再次提升了一个等级。工业和信息化部、市场监督管理总局曾联合印发《电机能效提升计划（2021-2023 年）》，聚焦高效节能电机设计、生产、应用和再制造等全产业链，扩大高效节能电机绿色供给，拓展高效节能电机产业链，加快高效节能电机推广应用，推进电机系统智能化、数字化提升。

2024 年，工业和信息化部等七部门印发《推动工业领域设备更新实施方案》，提出推动重点用能设备能效升级，对照《重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（2024 年版）》，以能效水平提升为重点，推动电机等重点用能设备更新换代，推广应用能效二级及以上节能设备。

1.2.1.2 高效电机主要产品类别

(1) 按照结构和工作原理划分

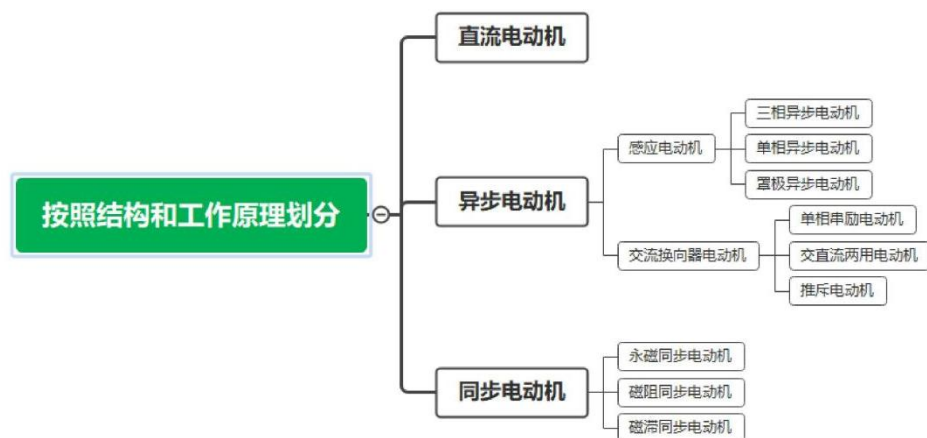


图 1 高效电机分类（按结构与工作原理）

1) 异步电机：转子转速与定子磁场不同。

a) 感应电动机：在定子回路中通入三相交流电，三相不断变换，进而形成的磁场方向不断变化，从而转子相当于做了切割磁感线的动作，进而形成感应电流，产生力，推动其转动。

三相异步：接入 380V 的三相电，不断变换，产生磁场，电机转子与定子旋转磁场不同步，所以称之为三相异步。

单相异步：接入 220V，单相电；定子上有两相绕组，在空间互差 90° 电角度，一相为主绕组，又称为运行绕组；另一相为副绕组，又称起动绕组。转子采用普通鼠笼式转子结构，一相绕组单独通入交流电流时，产生的磁动势。两相绕组同时通入相位不同的交流电流时，在电机中产生的磁动势一般为椭圆旋转磁动势，特殊情况下可为圆形旋转磁动势。

罩极异步：单相电机，通入 220V 单相电，内部有两个绕组，一个主绕组，一个副绕组，其副绕组为罩极环，用于产生一个与主磁场有相位差的罩极磁场，两个磁场相互作用形成旋转磁场。

b) 交流换向器电动机：电机通入交流电，经过换向器，换向器将其原始波形处理成半个波形，也就是正弦的一半，原理也是电磁感应。

单相串励电动机：通入单相电，电枢绕组与励磁绕组串联在一起工作，其有些也属于交直流两用电动机。

交直流两用电动机：顾名思义，既可在交流电下使用，也可在直流电下使用。

排斥电动机：属于单相交流换向器电动机，定子绕组由单相电源供电，转子为一个借电刷短接的带有换向器的电枢绕组。当电刷从几何中线逆时针偏离时，转子顺时针转动；当电刷从几何中线顺时针偏离时，转子逆时针转动。因为有这么一种转向与电刷偏离方向相反的现象，故称为排斥电动机。

(2) 按工作电源分类

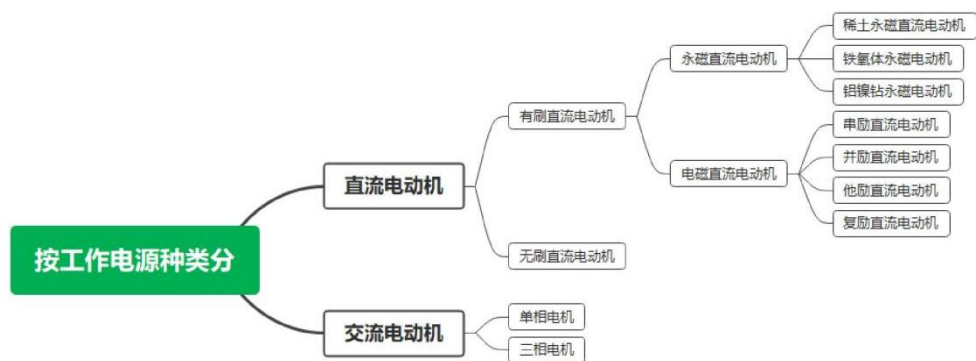


图 2 高效电机分类（按工作电源分类）

交流电动机分类见前文，下面介绍直流电动机分类。

1) 有刷电机：机械换向，磁极不动，线圈旋转。内部含有碳刷，起到换向作用。碳刷不断磨损，会造成一定损耗，并且需要定时更换碳刷。

a) 永磁直流：内部磁铁采用永磁体，通入直流电，改变供电极性，可以改变旋转方向。主要材料有稀土、铁氧体、铝镍钴。

b) 电磁直流：电磁直流由定子磁极，转子电枢，换向器，电刷等组成，其主磁极由铁芯和励磁绕组构成。

串励：内部励磁绕组与转子绕组之间通过电刷和换向器串联。

并励：内部的励磁绕组和转子绕组之间并联。

他励：内部的励磁绕组接到独立的励磁供电，励磁电流较为恒定。

复励：定子磁极上除有并励绕组外，还装有与转子绕组串联的串励绕组。

2) 无刷电机：电子换向，线圈不动，磁极转动。通常用霍尔元件感应永磁体位置，进而控制电流的方向，达到换向作用。

(3) 按电机用途划分

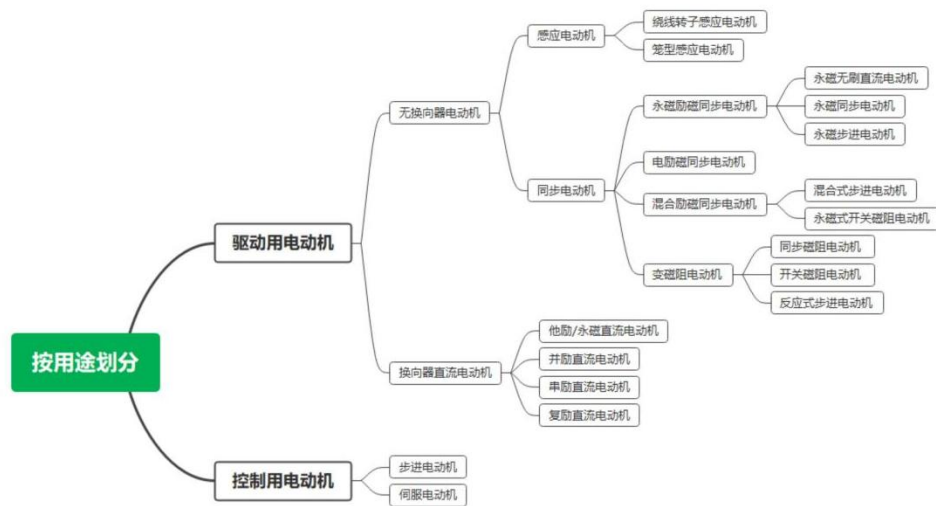


图 3 高效电机分类（按电机用途划分）

驱动用电动机分类见前文，下面介绍控制用电动机分类。

1) 控制用电机

a) 步进电机：步进电机是一种电脉冲信号转换成角位移或者线位移的电动机。每一个脉冲信号，对应的有一个角度，转速与脉冲频率有关。

b) 伺服电机：伺服电机可控制速度，位置精度非常准

确，可将电压信号转化为转矩和转速以驱动控制对象。伺服电机转子转速受输入信号控制，并能快速反应，在自动控制系统中，用作执行元件，且具有机电时间常数小、线性度高等特性，可把所收到的电信号转换成电动机轴上的角位移或角速度输出。

1.2.2 高效电机行业主要特点

1.2.2.1 高效电机的技术特点和优势

(1) 高效电机的节能措施

电机的节能是一项系统工程，涉及电动机的全寿命周期，从电动机的设计、制造到电动机的选型、运行、调节、检修、报废，要从电动机的整个寿命周期考虑其节能措施的效果，国内外在这方面主要考虑从以下几个方面提高电机的效率。

节能电动机的设计是指运用优化设计技术、新材料技术、控制技术、集成技术、试验检测技术等现代设计手段，减小电动机的功率损耗，提高电动机的效率，设计出高效的电动机。

电动机在将电能转换为机械能的同时，本身也损耗一部分能量，典型交流电动机损耗一般可分为固定损耗、可变损耗和杂散损耗三部分。可变损耗是随负荷变化的，包括定子电阻损耗（铜损）、转子电阻损耗和电刷电阻损耗；固定损耗与负荷无关，包括铁芯损耗和机械损耗。铁损又由磁滞损耗和涡流损耗所组成，与电压的平方成正比，其中磁滞损耗还与频率成反比；其他杂散损耗是机械损耗和其他损耗，包

括轴承的摩擦损耗和风扇、转子等由于旋转引起的风阻损耗。

(2) 高效电机的应用

1) 节约能源、降低长期运行成本，非常适合纺织、风机、水泵、压缩机使用，靠节电一年可收回电机购置成本；

2) 直接启动或用变频器调速，可全面更换异步电机；

3) 稀土永磁高效电机本身可比普通电机节约电能 15% 以上；

4) 电机功率因数接近 1，提高电网品质因数，无需功率因数补偿器；

5) 电机电流小，节约输配电容量、延长系统整体运行寿命；

6) 节电预算：以 55 千瓦电机为例，高效电机比一般电机节电 15%，电费每度按 0.5 元计算，使用节能电机一年内靠节电可收回更换电机的费用。

(3) 高效电机的优点

1) 直接启动，可全面更换异步电机。

2) 稀土永磁高效节能电机本身可比普通电机节约电能 3% 以上。

3) 电机功率因数一般高于 0.90，提高电网品质因数，无需加功率因数补偿器。

4) 电机电流小，节约输配电容量、延长系统整体运行寿命。

5) 加驱动器可实现软起、软停、无级调速，节电效果

进一步提高。

1.2.2.2 高效电机行业的技术创新

高效电机目前主要有五种技术路线：

(1) 三相异步电动机

三相异步电动机是工业用的电动机械，其功率范围从几瓦到上万千瓦，具有广泛的应用范围。主要用于风机、泵、压缩机、机床、轻工及矿山机械、农业生产中的脱粒机和粉碎机、农副产品中的加工机械等等。



图 4 三相异步电动机

它的优点是结构简单、制造容易、价格低廉、运行可靠、坚固耐用、运行效率较高，转子为铸铝，设计难度小、产业链成熟，以及规格齐全等等。缺点是功率因素较差，总是小于 1；目前尚不能经济地在较大范围内平滑调速。

因此，三相异步电动机的传统应用是在定速的场合，不过现在越来越多的三相异步电动机应用是配合变频器

(VFD)，或者是变速驱动器来使用。变频器可以配合频率调整输出电压，若是应用在离心型风扇、泵，或是压缩机上，配合感应电动机可以达到节能的效果。

目前高能效 IE4 以上的三相异步电动机有 YE4，和 YE5 系列等等。

(2) 铸铜转子三相异步电动机

铸铜转子三相异步电动机其实也是属于三相异步电动机的一种，只是转子改成了铸铜，因为铜的电阻率比铝的电阻率更低，因此会降低转子的电阻，从而会降低转子损耗，达到提高电动机效率的目的。

但也带来了一个问题，那就是对铸造工艺和设备都有了更高的要求。目前 IE4 标准以上的铸铜转子三相异步电动机有 YZTE4 系列等。

(3) 自启动永磁同步电机

自启动永磁同步电机的特点是转子为铸铝或铜条焊接，设计难度大，产业链比较成熟，成本高、规格齐全。缺点是启动冲击大，且无法调速。

目前，该系列 IE4 标准电机为 TYE4 系列自启动永磁同步电动机。

(4) 变频调速永磁同步电机

变频调速永磁同步电机，也就是 BLDC 电机。它的特点是转子无导条但有永磁体，最大的优势是免维护，高效率，

设计难度一般，产业链比较成熟，规格齐全，但由于需要配置控制器，所以成本比较高，经济性较差。



图 5 变频调速永磁同步电机

这种电机也是这几年的热点，很多企业都在做，特别是半导体企业对这块比较重视。因为永磁同步电机的控制需要用到大量的芯片产品，比如说 MCU、DSP 等微处理器，MOSFET 和 IGBT 等功率器件，以及传感器等等。

当然，除了优势，永磁同步电机，或者说 BLDC 电机也还有些发展瓶颈需要面对，比如功率密度、材料，以及生产工艺等方面。

（5）同步磁阻电动机

同步磁阻电动机利用转子磁阻不均匀而产生的转矩工作，转子是由铁磁性材料以及非铁磁性材料组成，没有永久性磁铁，也没有绕组，是结构最简单的电机之一。

同步磁阻电动机可以在低成本下产生高功率密度，又结合了永磁同步电机的性能与感应电机的简单易用和易维护性，因此在许多应用中相当有吸引力。

另外，同步磁阻电动机的控制策略与永磁同步电动机非常相似，可以采用永磁同步电机常用的矢量控制和直接转矩控制等策略。

虽然同步磁阻电动机的设计难度要大一些，但它可以比较容易地满足 IE4，甚至 IE5 标准。

电机的五大损耗包含以下几项：

（1）定子损耗

降低电动机定子损耗的主要手段实践中采用较多的方法是：

1) 增加定子槽截面积，在同样定子外径的情况下，增加定子槽截面积会减少磁路面积，增加齿部磁密；

2) 增加定子槽满槽率，这对低压小电动机效果较好，应用最佳绕线和绝缘尺寸、大导线截面积可增加定子的满槽率；

3) 尽量缩短定子绕组端部长度，定子绕组端部损耗占绕组总损耗的 $1/4 \sim 1/2$ ，减少绕组端部长度，可提高电动机效率。实验表明，端部长度减少 20%，损耗下降 10%。

（2）转子损耗

电动机转子 I^2R 损耗主要与转子电流和转子电阻有关，相应的节能方法主要有：

1) 减小转子电流，可从提高电压和电机功率因素两方面考虑；

2) 增加转子槽截面积；

3) 减小转子绕组的电阻, 如采用粗的导线和电阻低的材料, 这对小电动机较有意义, 因为小电动机一般为铸铝转子, 若采用铸铜转子, 电动机总损失可减少 10%~15%, 但现今的铸铜转子所需制造温度高且技术尚未普及, 其成本高于铸铝转子 15%~20%。

(3) 铁耗

电动机铁耗可以由以下措施减小:

1) 减小磁密度, 增加铁芯的长度以降低磁通密度, 但电动机用铁量随之增加;

2) 减少铁芯片的厚度来减少感应电流的损失, 如用冷轧硅钢片代替热轧硅钢片可减小硅钢片的厚度, 但薄铁芯片会增加铁芯片数目和电机制造成本;

3) 采用导磁性能良好的冷轧硅钢片降低磁滞损耗;

4) 采用高性能铁芯片绝缘涂层;

5) 热处理及制造技术, 铁芯片加工后的剩余应力会严重影响电动机的损耗, 硅钢片加工时, 裁剪方向、冲剪应力对铁芯损耗的影响较大。顺着硅钢片的碾轧方向裁剪、并对硅钢冲片进行热处理, 可降低 10%~20%的损耗等方法来实现。

(4) 杂散损耗

如今对电动机杂散损耗的认识仍然处于研究阶段, 现今一些降低杂散损失的主要方法有:

1) 采用热处理及精加工降低转子表面短路;

- 2) 转子槽内表面绝缘处理；
- 3) 通过改进定子绕组设计减少谐波；
- 4) 改进转子槽配合设计和配合减少谐波，增加定、转子齿槽、把转子槽形设计成斜槽、采用串接的正弦绕组、散布绕组和短距绕组可大大降低高次谐波；采用磁性槽泥或磁性槽楔替代传统的绝缘槽楔、用磁性槽泥填平电动机定子铁芯槽口，是减少附加杂散损耗的有效方法。

(5) 风摩损耗

占电机总损失的 25%左右。摩擦损失主要由轴承和密封引起，可由以下措施减小：

- 1) 减小轴的尺寸，但需满足输出扭矩和转子动力学的要求；
- 2) 使用高效轴承；
- 3) 使用高效润滑系统及润滑剂；
- 4) 采用先进的密封技术。

1.2.3 高效电机行业发展趋势

(1) 推广政策分析

中国电机行业政策从国家层面主要是推广高效电机。电机系统节能对推行节能降耗战略的国策影响巨大。当前世界各国都面临很高的节能减排的压力，因此分别制定了节能高效电机的法令法规。一方面中国对提高电机效率的高度重视；另一方面，中小型节能高效电机在中国使用较少，另外，好的中小型节能高效电机主要依赖进口，价格昂贵。此外，国

内企业大多因为制作中小型节能高效电机的材料费用过高而“望而却步”。这需要国家加大对国内电机制造企业的扶持，令国产产品尽快形成市场竞争力。

（2）产业动向

电机产品作为工业动力，对国家的发展速度和产业政策依赖较大，因此如何抢占市场先机，及时调整产品结构，研制适销对路的产品，选择好差异化的节能电机产品，紧跟国家产业政策是重点。

（3）高效节能电机市场现状

节能环保逐渐成为全球的热点问题之一，世界电机也正向高效节能方向发展，发展潜力巨大。各发达国家都相继制定了电机的能效标准。欧美等发达国家不断提高电机能效准入标准，基本已经全部使用高效节能电机，部分地区已经使用超高效节能电机。

在国家节能减排的新形势下，高效节能电机的发展面临新的挑战，一方面在国家“双碳”政策的推动之下，发展高效节能电机刻不容缓，另一方面在新形势之下企业对高精尖人才的吸纳和新技术的引进方面仍然面对着较大的考验。

1.2.4 江苏省内高效电机行业发展现状

高效电机行业是江苏省传统制造业中重要门类，经过多年培育发展，产业规模不断成长壮大，已成为集聚度较高、市场竞争力较强的产业集群，已触及家电、工业泵、工程机械、汽车、风电、核电、制药机械等多个领域。

江苏省印发的《加快建设制造强省行动方案》中部署 16 个先进制造业集群和 50 条产业链“1650”产业体系建设。其中，高效电机行业隶属节能环保集群。

2025 年 1 月，《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025—2027 年）》发布，进一步深化制造业智能化改造、数字化转型、网络化联接，促进数字经济和实体经济深度融合，也为高效电机产业高质量发展注入新动能。

整体来看，江苏省高效电机行业制造行业的发展水平具有全国领先地位，企业开展“智改数转网联”建设具有较好的基础。

（1）产业发展体系完备

江苏省高效电机行业已经形成了较为完整的产业链，包括电机设计、制造、销售、服务等各个环节。这种完备的产业链体系为行业内的企业提供了从原材料供应到最终产品交付的全链条服务，有利于企业在“智改数转网联”过程中实现资源的高效整合与利用。

江苏省在推动制造业高质量发展的过程中，高度重视高效电机等先进制造业的发展。通过制定一系列政策与规划，如《江苏省“十四五”制造业高质量发展规划》等，明确了高效电机行业发展的方向和目标，为行业“智改数转网联”提供了坚实的政策保障。

（2）产品种类丰富

江苏省高效电机行业的产品种类丰富，涵盖了各种功率、电压、转速等规格的电机产品。这种完整的产品供给体系能够满足不同行业、不同领域的需求，为企业在“智改数转网联”过程中提供多样化的产品选择。

随着市场需求的多样化，江苏省高效电机行业的企业不断提升定制化服务能力。通过智能化、数字化的手段，企业能够快速响应客户需求，提供个性化的电机产品解决方案，增强市场竞争力。

（3）产业集聚态势明显，上下游协同发展

产业集群效应明显。江苏省高效电机行业呈现出明显的产业集聚态势，形成了以苏州、无锡等地为核心的产业集群。这些产业集群内的企业相互协作、资源共享，形成了较强的产业协同效应和规模效应，有利于企业在“智改数转网联”过程中实现资源共享、优势互补。在产业集聚的过程中，江苏省高效电机行业逐渐形成了较为完善的产业链上下游协同机制。上游企业为电机制造提供优质的原材料和零部件，下游企业则通过应用电机产品推动相关产业的发展。这种协同机制有助于企业在“智改数转网联”过程中实现产业链的高效协同与优化。

1.3 高效电机行业智改数转网联现状

1.3.1 江苏省高效电机行业智改数转网联现状

基于行业调研，江苏省高效电机行业在智改数转网联转型过程中呈现以下主要特征：

（1）企业智改数转网联呈现明显层次性差异。

调研的高效电机企业中，龙头或骨干企业智改数转发展进度普遍较好，已构建起覆盖全价值链的数字化体系，逐渐进入深度集成阶段。例如通过工业互联网平台实现生产系统与信息系统的深度融合，实现多型号电机柔性制造、定转子智能装配、绕组工艺优化、电机质量在线检测等转型应用。

相比之下，大量中小企业仍处于转型初级阶段，生产设备数字化覆盖率较低，基础数据采集存在断点，关键环节仍依赖传统作业模式，信息系统多呈碎片化状态。调研企业中有超半数的中小企业仍存在老旧设备无法实现数采，关键设备和软件系统未实现数据互联互通。部分中小企业仅应用了ERP等基础数字化系统，未配备自动化设备，仍沿用传统的生产模式。

（2）智改数转网联实施组织架构逐步完善。

在调研的高效电机企业中，超过三分之二的企业由专门的信息化或数字化部门负责推动企业的转型工作，且决策多由公司管理层直接决定，确保了转型工作的战略性和执行力。这种组织架构的完善为企业的智改数转网联提供了坚实的管理基础，有助于协调各方资源，推动转型项目的顺利实施。

（3）场景聚焦生产制造智能化、生产管理数字化。

调研的高效电机企业中，无论规模大小，都将生产制造场景的数字化与智能化作为重点转型和投入领域。通过引入先进的智能制造技术和设备，企业能够实现生产过程的自动

化、智能化和柔性化，提高生产效率、降低成本，并满足客户个性化定制的需求。例如部分高效电机企业通过建立智能生产线，实现了从原材料到成品的全自动化生产，大幅缩短了生产周期。此外，生产管理数字化也是企业关注的重点之一。通过数字化的生产管理系统，企业能够实时监控生产进度、质量状况和设备运行状态，及时发现和解决问题，提高生产管理的效率和精准度。

1.3.2 高效电机行业智改数转网联实施重难点

1.3.2.1 发展瓶颈分析

高效电机行业作为典型离散制造领域，其产品具有多规格（功率、电压、转速等参数组合超千种）、高定制化（非标订单占比超 60%）、强工艺关联等特征，导致智改数转网联转型面临多重困难。

（1）从认知角度：

在高效电机行业中，大中型企业已普遍对智改数转网联有较高的认可度，但仍存在部分中小型企业主对该项工作缺乏较为系统的认知和价值效益的理解，导致企业未能系统地制定战略目标和实践路径。

由于每个电机企业的生产工艺、生产管理流程等实际情况均有差别，需要量身定制个性化转型方案，但在缺乏适宜方案指引的情况下，企业难以准确估算转型的预期收益和潜在风险。这种不确定性使得企业在面对转型时持谨慎观望态度，不敢轻易尝试，担心因理念、战略、组织、流程、运营

等全方位的变革而带来高昂的试错成本。

（2）从技术角度：

技术层面也是制约高效电机行业企业转型的重要因素。一方面，高效电机企业中普遍未重点储备数字化、智能化人才，例如精通电机工艺与数字化技术融合的人才稀缺，因此多数无法熟练应用数字技术，不清楚从何入手开展转型。导致有些企业没有基于业务需求选择数字化工具，跟风上了新技术、新装备，但转型成效不显著。

另一方面，虽然市场上软件、大数据、云计算等服务商众多，但服务商良莠不齐，技术标准不统一，轻量化、低成本技术供给不足，企业选择难度较大。且服务商方案多为针对制造企业的常规方案，如需完全匹配高效电机行业企业，则需要更高成本的定制方案。如柔性装配线、多型号混线生产等方案。

此外，行业特殊工艺需求（如定转子精密装配、绕组绝缘智能检测）与通用工业软件适配性不足，服务商提供的标准化方案难以满足高效电机的特性生产需要。

同时，面向中小企业的轻量化改造技术供给不足，现有设备数据协议不兼容、边缘计算模块集成度低等问题，进一步制约了老旧产线数字化升级进程。

（3）从数据角度：

智改数转网联是高效电机行业企业数据资产系统化沉淀和开发应用的过程，转型成效依赖数据要素的全链路流通

和数据价值的挖掘。目前高效电机行业企业在数据角度面临的问题主要有以下两个方面。一方面，电机设计数据、生产线数据、质量数据、运维数据等多元数据散落在各业务系统或设备中，因接口标准不统一、协议不兼容等因素导致互联互通难度大，形成“数据孤岛”，制约了数据价值的释放。另一方面，部分中小型企业因担心其技术、财务等商业机密数据安全，企业对数据上云存有顾虑，导致企业数据基础不健全，数据共享不畅，进一步阻碍了研发迭代、生产协同、供应链协同等场景的数字化转型进程。

（4）从资金投入角度：

智改数转网联在高效电机行业的推进面临资金投入大的挑战。高效电机行业的产品种类丰富，涵盖了多种功率、电压、转速等规格，定制化产品居多，这一特点导致智能化改造需覆盖非标产线改造、多源协议兼容、柔性生产系统开发等复杂场景，智能化改造数字化提升成本较高。智改数转网联涉及转型方案采购、数字化设备更新、数字系统建设、人员培训、运行维护等方面成本，前期需要投入大量资金，给企业现金流带来较大压力，增加企业经营的不确定性。高效电机行业中小企业自有资金不足且融资能力较弱，对投资大、周期长、见效慢的智改数转网联方案动力不足，对人员、设备、信息系统等资源投入的意愿不强。

在转型模式的选择上，高效电机行业应依据自身实际情况谨慎决策。一般而言，传统企业倾向于采用渐进式变革，

此模式通过逐步渗透与调整，确保企业在保持运营连续性的同时，逐步实现技术、管理及市场等多维度的升级。减少变革阻力，提高成功率。这种模式可以降低企业试错风险，保障生产连续性，但客观上要求系统集成商长期伴随式服务，难以形成规模化服务能力，服务商在技术创新、解决方案标准化、跨行业知识沉淀等方面的成长滞后，最终也造成了行业当前智改数转网联的发展瓶颈。

1.3.2.2 发展重点场景与环节分析

1.3.2.2.1 发展重点场景

（1）高效电机行业打造智能车间或智能制造工厂：智能制造工厂是未来制造业的发展方向，其核心在于打造数字化、智能化的生产线。通过工业互联网，将生产设备、传感器、控制系统等连接起来，形成一个高度集成、协同运作的网络。借助大数据技术，实时采集、分析生产过程中的海量数据，实现对设备运行状态的实时监控、故障预警和智能维护，从而减少设备停机时间，提高生产效率。同时，通过数据分析，可以发现生产过程中的瓶颈和问题，优化生产流程，提高产品质量。此外，智能制造工厂还可以实现生产过程的可视化管理，使管理者能够实时掌握生产进度、质量状况等信息，做出更科学的决策。

（2）高效电机行业的数字化产品研发：在产品研发方面，数字化工具和设计软件的应用正发挥着越来越重要的作用。通过数字化设计，工程师可以在虚拟环境中进行产品建

模、仿真和测试，从而及早发现设计缺陷，减少物理样机的制作，缩短产品研发周期。同时，数字化设计还可以实现产品的快速迭代和优化，降低研发成本。此外，通过数字化工具，可以实现产品数据的共享和协同，促进跨部门、跨地域的协作研发，提高研发效率。

（3）高效电机行业的数智化供应链管理：数字化技术在供应链管理中的应用，正在改变传统的供应链运作模式。通过物联网技术，可以实现对货物运输过程的实时跟踪和监控，提高物流配送的效率和透明度。通过大数据分析，可以预测市场需求，优化库存管理，降低库存成本。通过区块链技术，可以实现供应链信息的不可篡改和可追溯，提高供应链的安全性。此外，数字化供应链还可以实现供应商、制造商、分销商等各方的信息共享和协同，提高供应链的响应速度和灵活性，更好地应对市场变化。

数字化技术正在深刻地改变着制造业的各个环节。智能制造工厂、数字化产品研发、数字化供应链管理等，都是数字化转型的重要方向。企业只有积极拥抱数字化，才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。

1.3.2.2.2 产业链智改数转网联环节

（1）数字化转型基座建设。为实现制造业的数字化转型，首要任务是建立坚实的工业级网络架构。这意味着需要提升网络的带宽和应用化水平，以满足海量数据传输和处理的需求。同时，采用云计算和大数据技术，搭建统一的信息

化管理平台，为数字化转型提供强大的基础设施支持。云计算可以提供灵活、可扩展的计算资源，满足不同业务场景的需求；大数据技术则可以对海量生产数据进行存储、分析和挖掘，为决策提供依据。

（2）数据互通与集成。实现硬件与软件的数据互通是数字化转型的关键一步。通过在设备上加装数据采集模块，可以实时采集设备运行数据，并与制造执行系统（MES）、质量管理体系（QMS）等软件系统进行实时交换，实现数据共享和协同。同时，利用信息化管理平台，可以整合产品设计、生产、销售、服务等各个环节的数据，实现产品全生命周期数据的双向追溯，为产品质量控制、售后服务等提供有力支持。

（3）运营指标透明化。通过信息系统的横向集成，打通不同业务部门之间的数据壁垒，实现信息共享和业务协同。通过制造过程与底层设备的纵向集成，实现生产数据的实时采集和监控，提高业务集中管控效率。基于大数据技术搭建可视化平台，整合各业务系统数据源，对生产效率、质量、成本等关键指标进行实时监测和分析，为管理者提供决策支持，并支撑全面绩效考核的落地实施。

（4）智能化生产。智能化生产是数字化转型的核心目标之一。通过引入柔性生产线、智能仓储、AGV（自动导引车）等智能化设备，可以实现生产线的快速切换和重组，提高生产效率和灵活性，降低人工成本。同时，打造智能控制

系统平台，可以实现对电机运行状态的实时监控和优化控制，提高电机的传动效率和运行稳定性，降低能耗。

通过数字化转型基座建设、数据互通与集成、运营指标透明化和智能化生产等方面的努力，企业可以实现生产过程的全面数字化、智能化，提高生产效率、产品质量和市场竞争能力，为企业的可持续发展奠定坚实基础。

1.3.2.2.3 组织与人才环节

在推进高效电机行业数字化转型的具体实施过程中，江苏省“智改数转网联”行动计划无疑为企业提供了一条明确的路径和有利的支持。这一计划不仅提供了政策指导，更重要的是提供了资金补贴，为企业数字化转型提供了实实在在的动力。

高效电机企业应充分利用这一政策红利，积极申请相关资金补贴，用于数字化设备的购置、软件系统的开发、人才的培养等方面。同时，企业还应加强与产业链上下游企业的合作，共同推动行业的数字化转型和升级。例如，电机制造企业可以与上游的原材料供应商合作，通过数字化手段实现供应链的协同和优化，降低采购成本，提高供货效率。同时，也可以与下游的设备制造商合作，共同开发智能化电机产品，拓展市场空间。

除了政策支持和产业链合作，企业自身的能力建设也是数字化转型成功的关键。其中，人才培养和引进尤为重要。企业应建立完善的人才培养机制，通过内部培训、外部交流

等方式，提高员工的数字化素养和技能水平。同时，企业还应积极引进数字化领域的高端人才，为数字化转型提供智力支持。

此外，企业还应注重数字化转型的整体规划和实施。数字化转型不是一蹴而就的过程，需要企业制定长远的规划，分阶段、有步骤地推进。在实施过程中，企业应注重技术与业务的深度融合，避免数字化转型成为“空中楼阁”。同时，企业还应建立健全的数据安全保障机制，确保数字化转型过程中的数据安全。

高效电机行业的数字化转型是一项系统工程，需要政府、企业、行业协会等多方共同努力。通过充分利用政策支持、加强产业链合作、注重人才培养和引进、科学规划和实施，高效电机行业必将实现数字化转型，迈向高质量发展的新阶段。

二、目标与架构

2.1 指南总体目标

2.1.1 指南总体目标

《江苏省制造业“智改数转网联”高效电机行业实施指南》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，聚焦高效电机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。该指南旨在推动高效电机企业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、制造、服务全流程，网络化联接打通设备、系统、产业链数据壁垒，

并培育一批具备示范效应的智能工厂与标杆企业。具体内容如下。

1) 智能化改造的深入实施

高效电机企业通过引入先进的智能制造装备和机器人，大力推进生产线和设备的智能化改造，提升生产效率和产品质量。建立智能工厂和数字化车间，实现生产过程的自动化、智能化和可视化，降低运营成本，提高资源利用效率。

2) 数字化转型的全面覆盖

高效电机企业推动包括研发设计、生产制造、仓储物流、销售服务等各场景的数字化转型，实现全流程数字化管理。通过建立数字化平台和信息系统，实现数据的实时采集、分析和应用，为企业的决策提供科学依据，提升企业的竞争力。

3) 网络化联接的广泛拓展

高效电机企业加强内外部网络的联接，实现生产设备、管理系统、供应链等各个环节的网络化、信息化和协同化，通过构建工业互联网平台，实现产业链上下游企业的信息共享和协同合作。

4) 树立示范标杆企业

江苏省将重点支持高效电机行业内的龙头企业建设智能制造示范工厂和数字化车间，形成一批可复制、可推广的典型案例和成功经验。通过示范标杆的引领和带动作用，推动更多中小企业加快智能化改造和数字化转型。

5) 构建良好产业生态

推动高效电机行业与数字化、网络化、智能化相关产业的协同发展，构建数字化生态体系。通过加强供需对接和转型指导，推动技术创新和产业升级，为高效电机行业的智能化改造和数字化转型提供有力支撑，为江苏省乃至全国的制造业转型升级和高质量发展作出积极贡献。

2.1.2 指南总体原则

（1）瞄准目标，精准施策

指南充分考虑了高效电机企业现有的建设基础和已投入的资源，进行科学合理的规划布局。针对不同发展阶段、不同规模和类型的企业，制定差异化、梯度化的培育策略，确保政策措施能够精准对接企业需求，助力企业稳步发展。

（2）注重实用，确保质量

指南紧密围绕提升高效电机企业新质生产力的核心目标，确保内容具有高度的实用性和可操作性。通过深入分析行业趋势、市场需求和技术发展，为企业提供切实可行的改进方案和优化建议。针对高效电机企业转型的难点，结合生产实际，引入互联网思维、智能制造工艺等先进理念和技术手段，推动企业进行合理转型和升级。同时，指南注重内容的准确性和权威性，确保所提供的建议和方法能够经得起实践检验，为企业带来实实在在的效益。

（3）典型示范，便于推广。

指南中精心挑选并梳理一批具有典型意义的成功案例和场景，这些案例能够充分展示高效电机企业在转型升级、

技术创新、管理优化等方面的成功经验和做法。所选案例和场景具备较高的可借鉴性和可复制性，便于同行业甚至跨行业的企业进行学习和借鉴。通过提供详细的操作步骤和注意事项，降低企业实施过程中的难度和风险。

2.2 高效电机行业智改数转网联实施架构

高效电机行业智改数转网联实施架构由应用层、平台层、网络层、现场设备层组成，如图所示。



图 6 高效电机行业智改数转网联实施架构示意图

1) 应用层。应用层直接面向企业的业务需求，涵盖从研发设计、生产制造、生产管理、运营管理的各个环节，聚焦重点环节与场景实施智能化数字化改造。

2) 平台层。平台层是架构的核心，提供技术支持和数据管理能力，连接应用层和网络层。涵盖设备物联、企业数字化平台、ERP/MES 等一系列应用软件以及控制系统等。

3) 网络层。网络层是架构的中间层，负责连接现场设备和传感器，实现数据的采集和传输，包含智能网关、边缘

计算、工业电脑、通信协议等。

4) 现场设备层。现场设备层是架构基础，负责完成实际的生产操作和数据采集。包含高效电机生产线上所有的设备，以及数据采集仪表和传感器。

三、基础能力

在当前时代背景下，高效电机行业企业为了开展智改数转网联，企业生产运营管理必不可少的信息化基础能力建设包括以下几个方面：

3.1 网络基础设施能力建设

3.1.1 企业内外网优化与升级

高效电机企业应结合其生产现场的实际需求及业务管理的高效性要求，加强宽带网络、现场总线、工业以太网等基础网络设施的建设。同时，积极探索并应用新技术，如工业无源光纤网络（PON）以提高网络带宽和稳定性，工业WiFi以实现生产区域的灵活覆盖，以及5G技术来支持远程监控、实时数据传输和智能制造等高级应用场景，从而全面提升企业的网络基础设施能力。

工业互联网的业务发展，对网络基础设施提出了更高的要求。总体上，网络的部署与演进，需要匹配企业业务系统的部署与演进，需要遵循以下原则：

网络作为基础设施，需要与业务系统统一规划，同时需要考虑未来的演进网络；部署需要整体规划，避免传统的网络物理隔离及碎片化；工厂内、外网络需要统一协调，但可

以技术解耦，分开演进。

3.1.1.1 工厂内网

当前工厂内网络建设通常呈现“两层三级”的结构。“两层”是指存在“工厂 IT 网络”和“工厂 OT 网络”两层技术异构的网络；“三级”是指根据目前工厂管理层级的划分，网络也被分为“现场级”、“车间级”、“工厂级/企业级”三个层次，每层之间的网络配置和管理策略相互独立。

目前工业控制领域常用的通信协议分为三类：现场总线协议、工业以太网协议和工业无线网络协议。

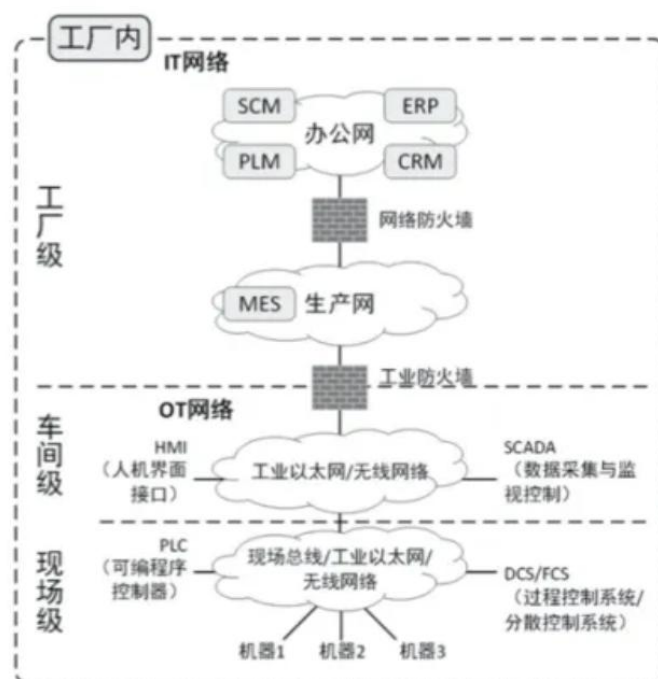


图 7 工厂内网示意图

工业互联网业务发展对网络基础设施提出了更高的要求，工厂内网络建设呈现出融合、开放、灵活三大发展趋势。

在工厂内网络架构的融合趋势方面，逐步实现网络结构

的扁平化，控制信息与过程数据共网传输，不仅提升了数据传输效率，还促进了生产流程的紧密协同。有线与无线的协同，为工厂内部提供了无处不在的连接能力。

在工厂内网络的开放趋势方面，技术的开放，推进网络协议和技术标准的广泛兼容，使得不同厂商的设备能够无缝接入；数据的开放促进信息资源的最大化利用，产业的开放促进创新资源的汇聚，加速了工业互联网生态体系的构建。

在工厂内网络的灵活友好趋势方面，网络形态的灵活性，如软件定义网络（SDN）、网络功能虚拟化（NFV）等技术的引入，使得网络能够根据生产需求进行快速配置和调整，提高网络资源的利用率和适应性。而网络管理的友好性，则体现在通过智能化、可视化的管理工具，降低了网络运维的复杂度和成本。

有线网络是在工厂内最广泛使用的网络类型。近些年，随着工业互联网的日益激增的需求，在不同的协议层，各种针对有线网络的创新技术迅速发展。按照协议层次划分：在物理层，主要有单对双绞线以太网和工业无源光网络（PON）；在链路层，主要有时间敏感网络（TSN）；在网络层，主要有确定性网络（DetNet）。这些工作在不同协议层的技术，可以单独或者联合使用，满足不同场景下的特定需求。

目前，工业无线网络，主要用于工厂内部信息化、设备信息采集以及部分非实时控制等目的，采用 Wi-Fi、ZigBee、无线 HART、WIA-PA 等技术。这些技术主要基于短距标准

（如 IEEE 802.11）或者近距标准（如 IEEE 802.15），由于种种原因，尤其是在可靠性、数据传输速率、覆盖距离、移动性等方面的不足，导致在工业领域未能广泛应用。

目前的工厂内的信息网络（IT 网络）和控制网络（OT 网络）相互独立运行，网络拓扑刚性、跨网络的信息交互和管理十分困难。工业软件定义网络（**Software Defined Networking, SDN**），就是借鉴了软件定义网络的思想，为实现 IT 网络与 OT 网络的深度融合，构建柔性、灵活和敏捷的工业网络而提出来的。

工业 SDN 网络由多种协议的终端设备、可编程的工业 SDN 交换机和集中式的工业 SDN 控制器构成。终端设备通过北向接口向工业 SDN 控制器提交数据的流量特征和传输需求，集中式的工业 SDN 控制器根据流量特征和传输需求，生成工业 SDN 网络的转发规则，通过标准化的南向接口下达到工业 SDN 交换机中执行。

高效电机企业可以结合企业实际情况，制定内网优化的针对性策略。一种是新建模式，在已有网络难以满足新业务需求时，新建支撑新业务流程的网络以及相关设备。另一种是升级模式，对已有设备进行升级，相应地对已有网络进行升级。

不管是部署新的网络，还是对已有网络进行升级替换时，都需要考虑网络设备对 SDN 特性的支持。

3.1.1.2 工厂外网

由于不同企业和领域信息化发展水平不一，对工业化数据信息开发利用的广度、深度不尽相同因此存在着工厂外网络建设和发展不均衡，部分工业企业仅申请了普通的互联网接入，部分工业企业的不同区域之间仍存在信息孤岛的现象。

随着工业网络化、智能化的发展，工厂内的系统与应用逐步向外扩展，工业互联网工厂外网络的服务呈现普遍化、精细化、灵活化趋势。

MPLS VPN 虚拟专网，为用户在公共 **MPLS** 网络上构建企业的虚拟专网，满足其不同城市（国际、国内）分支机构间安全、快速、可靠的工业化通信需求，并能够支持办公、数据、语音、图像等高质量、高可靠性要求的多媒体业务。

云化虚拟专用网络（**Cloud VPN**）是新一代企业专线网络解决方案，以云服务为中心重新定义了企业互联，将业务部署工作最大地进行简化。**CloudVPN** 可以将传统上以周或者月为单位的开通及调整 **VPN** 的时间，降低到分钟级，从而可提供便捷灵活的业务选择，实现即需即用的企业互联。

软件定义广域网（**SD-WAN**）是一种将新型 **SDN** 技术，应用于广域网场景所形成的一种外网互联服务。这种服务用于连接广阔地理范畴上的企业网络、数据中心、互联网应用及云服务。

随着工业互联网的发展，工业生产过程已不仅仅局限在工厂内，开始逐步通过工厂外网络，将工业生产与互联网业

务模式、工厂和产品及客户之间进行深度融合。在一些生产过程中，工厂与厂外设备，传感器间的通信需求也大幅增长。这些场景中，移动通信网络由于广覆盖、高速率、网络可靠性高和产业链成熟等特点，已经越来越多地用于工业生产中，极大拓展了传统工业网络的内涵和外延，为工业互联网的发展提供了良好基础。

工厂外网络，通常基于公众通信网络，工业企业面临的是怎么用的问题。这主要有两方面：随着工业互联网的发展，智能工厂与工厂外实体的联系日益密切，尤其是当工厂的部分业务系统上云后，工业企业应该对上云专线更加重视。此外，出厂设备与工厂的连接，是服务化转型的基础，当前的蜂窝移动技术，已具备覆盖完善，产业链成熟等优点。对于出厂设备的上网连接，工业企业可以优先考虑采用移动蜂窝技术。

3.1.1.3 新技术应用

工业无源光纤网络（PON）是一种通过光纤线路传输数据的电信网络，具有无源、点到多点（P2MP）的结构特点。PON网络由光线路终端（OLT）、光网络单元（ONU）和无源光纤分路器（POS）等单元组成，通过一根光纤连接多个用户，实现了高效的资源共享和低成本部署。这种网络结构不仅提供了高带宽的通信服务，满足了工业应用对高速数据传输的需求，而且具有可扩展性好的特点，可以根据工业需求进行灵活的扩展。此外，PON网络中的无源器件不需要电

源，维护成本低且电耗低，有助于降低运营成本。在高效电机企业生产场景中，PON 网络可以连接生产线上的各种设备、机器人等，实现数据的实时采集和传输，提高生产效率。同时，它还可以应用于仓储管理、环境监测等领域，为工业自动化和智能化提供有力支持。

工业 WiFi 作为一种适用于工业环境的无线通信技术，具有高速率、低延迟、高可靠性等特点。通过优化网络协议和传输技术，工业 WiFi 降低了数据传输的延迟，提高了实时性。同时，它采用抗干扰技术和冗余设计，确保数据传输的稳定性和可靠性。工业 WiFi 的无线连接特性使得网络建设更加灵活和便捷，无需铺设有线网络，降低了成本。在高效电机生产场景中，工业自动化生产、仓储物流、设备维护等领域，工业 WiFi 可以连接传感器、监控设备、AGV 小车等，实现数据的实时传输和远程监控控制，提高生产效率和管理水平。

5G 作为新一代移动通信技术，为工业应用提供了更广阔的空间。5G 网络支持超高速数据传输，满足工业应用对大数据量和高带宽的需求。同时，它的低延迟特性使得数据可以实时传输和处理，提高了工业应用的实时性和可靠性。5G 网络的大容量特性使得大量设备可以接入网络，支持工业物联网的广泛应用。在工业场景中，5G 网络可以应用于智能制造、自动驾驶、远程医疗等领域。通过 5G 网络，可以实现远程监控、远程控制、自动化生产等智能制造应用场

景。同时，5G网络还可以为自动驾驶提供实时、准确的车路协同信息，提高自动驾驶的安全性和可靠性。此外，通过5G网络，医生可以远程对病人进行诊断和治疗，提高医疗服务的效率和水平。

3.1.2 标识解析体系建设与应用

高效电机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，为高效电机的智能化管理、精准营销和高效协同提供有力支撑。

3.1.2.1 标识解析体系概念

标识解析体系是工业互联网的重要组成部分和“神经系统”，主要包括标识编码和解析系统两大部分。其中，标识编码相当于“身份证”或者“门牌号”，为工业互联网上的每一个物理实体（如零部件、机器、产品等）、每一个数字对象（如算法、工艺记录、关键数据）赋予全球唯一的编码。解析系统依据标识编码对网络地址和相关联的信息进行查询和统一解析，从而实现精准定位，为跨系统、跨企业、跨地域的供应链全流程管理、追踪溯源、网络精准协同等应用提供基础支撑。

工业互联网标识解析体系是工业互联网的重要组成部分，对

畅通产业链供应链，提升产业链供应链韧性和安全可靠水平具有重要赋能作用。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确提出“打造自主可控的标识解析体系”。

2024 年 1 月 21 日，《工业互联网标识解析体系“贯通”行动计划（2024-2026 年）》印发，是工业和信息化部、教育部、科学技术部等十二部门为深入实施工业互联网创新发展战略，推动工业互联网标识解析赋能千行百业，决定开展工业互联网标识解析体系“贯通”行动的计划。

当前，我国标识解析体系“夯基架梁”工作基本完成，在工业领域开展了一系列产业实践，面向产品、面向过程、面向资源，在生产、运营、服务环节形成生产过程质量管控、供应链数据共享、能耗数据监测等典型应用场景，已初步实现架构可控、设施可控、技术可控。

工业互联网标识解析体系的核心包括标识编码、标识解析系统和标识数据服务。其中：

（1）标识编码：机器、物品的“身份证”。

（2）标识解析系统：利用标识，对机器和物品进行唯一性的定位和信息查询，是实现全球供应链系统和企业生产系统的精准对接、产品的全生命周期管理和智能化服务的前提和基础。

（3）标识数据服务：能够借助标识编码资源和标识解析系统开展工业标识数据管理和跨企业、跨行业、跨地区、

跨国家的数据共享共用。

标识解析技术是指将对象标识映射至实际信息服务所需的信息的过程，如地址、物品、空间位置等。例如，通过对某物品的标识进行解析，可获得存储其关联信息的服务器地址。标识解析是在复杂网络环境中，能够准确而高效地获取对象标识对应信息的“信息转变”的技术过程。

标识解析技术通过建立统一的标识体系将工业中的设备、机器和物料等一切生产要素都可以连接起来，通过解析体系连接割裂的数据和应用，实现对数据的来源、流动过程、用途等信息的掌握。

从纵向，可以打通产品、机器、车间、工厂，实现底层标识数据集成规模、信息系统间数据共享，以及标识数据得到分析应用。

从横向，可以横向连接自身的上下游企业，利用标识解析按需地查询数据；中小型企业可以横向连接成平台，利用标识解析按需地共享数据。

从端到端，可以打通设计、制造、物流、使用的全生命周期，实现真正的全生命周期管理。

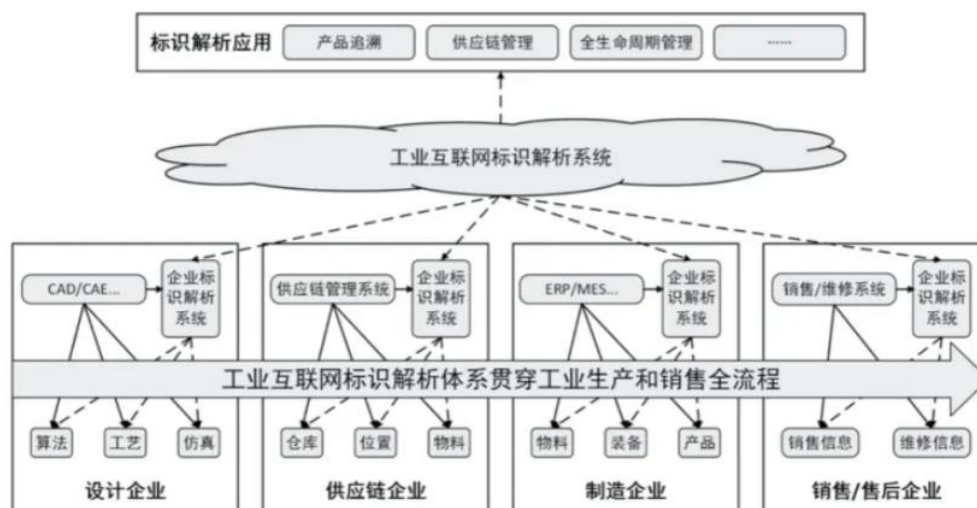


图 8 标识解析体系示意图

3.1.2.2 高效电机行业标识解析体系建设

高效电机行业应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。

高效电机行业标识解析体系应用场景如下示例。

(1) 产品追溯

基于标识解析的关键产品追溯集成创新应用是一种可以对关键产品进行不定项追溯的系统，可应用在关键产品的生产、运输、交易、营销等各个环节。标识解析通过赋予产品、相关原料、设计方案唯一的标识码，将与关键产品相关的各个环节串联起来，为关键产品的追溯奠定技术基础。

(2) 协同设计

基于标识解析的电机协同设计集成创新应用使电机的设计与零部件供应商、远程运维、报废回收等环节融为一体。通过设置不同使用权限，电机生产企业可以通过协同设计创新集成应用，形成从电机设计到生产、销售、运维和报废的

闭环，通过各环节的反馈优化电机设计，提升电机质量，从而实现电机的协同设计。

（3）供应链管理

通过工业互联网标识解析体系，电机企业可以实现对供应链上下游企业的有效管理和协同。标识解析体系为电机产品提供了唯一的身份标识，使得供应链上下游企业可以准确识别和追踪电机产品的流向和状态，提高供应链的透明度和可追溯性。

（4）远程运维

借助工业互联网标识解析体系，电机企业可以实现对电机产品的远程监控和维护。通过扫描电机产品上的标识码，企业可以获取电机的运行数据和状态信息，及时发现和解决潜在问题，提高电机的可靠性和使用寿命。

标识解析体系核心包括标识编码、标识注册、解析系统、标识数据服务以及基于标识的应用五部分。为解决工业系统元素互联的问题，建立物理实体间的通信，实现上层数据端到端流动，为深层次的应用提供数据资源，需要从工业元素的信息采集、网络服务、信息共享、安全保障、应用等多个层面进行描述，建立业务、功能、实施、安全等多角度的视图，明确各参与方的角色定位、业务流程、服务能力、系统性能、安全保障能力等。

第一步，高效电机行业标识编码规则制定。制定高效电机行业统一的标识编码规则，确保产品信息的标准化和规范

化。首先，要明确编码的目标和原则，确保编码能够准确反映产品的特性和属性。其次，要确定编码的结构和格式，包括字符集、长度、校验位等，以确保编码的唯一性和可读性。最后，还需要制定编码的管理和维护机制，包括编码的申请、审批、变更和注销等流程，以确保编码的规范化和标准化。这有助于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。

第二步，高效电机企业生产过程中生成编码标签。高效电机企业依据物料、设备、成品等编码规则管理，并考虑标签的材质、尺寸、打印方式等因素，根据不同的应用场景生成多种形态的编码标签，如条形码、二维码、激光喷码、防伪码、RFID等。

第三步，高效电机企业标识解析节点建立。在企业、生产现场、仓库等关键位置建立标识解析节点，为产品提供高效、可靠的标识解析服务。选择高性能的服务器和存储设备，以确保节点的数据处理和存储能力，还需要定期对节点进行维护和升级，以确保节点的性能和安全性。这些节点应与企业内外网紧密结合，实现产品信息的实时查询和追溯。

第四步，高效电机行业标识应用拓展。将标识应用于高效电机产品设计、生产、流通、服务等全生命周期。通过标识解析实现产品信息的实时更新和共享，提高供应链的协同效率和响应速度。此外，还可以将标识与物联网、大数据、云计算等新技术相结合，实现产品的智能化管理和优化。例

如，通过物联网技术实现产品的远程监控和预警；通过大数据和云计算技术实现产品的智能分析和预测等。标识解析体系还可以用于实现产品的防伪溯源、质量追溯等功能，提高企业的品牌信誉和市场竞争力。

3.2 数据采集能力建设

由于工业设备种类繁多、协议封锁、新旧换代等问题，对数据采集进而推动企业数字化转型产生了一定的阻力。如何完成高效实时的数据采集，服务工业互联网建设，是企业迫切需要解决的问题。数据采集能力对于企业的运营决策、生产效率提升以及智能化转型至关重要。

3.2.1 “哑设备”改造

“哑设备”通常指的是那些不具备数据通信和联网能力的传统工业设备。在高效电机企业中，一部分是比较老旧的设备，不具备通信能力，另一部分是进口设备或受权限影响的设备，不支持通信能力。为了提升这些设备的联网和数据采集能力，需要进行哑设备改造。将这些设备纳入企业的智能化管理体系中，显著提升设备联网率和数据采集能力。

哑设备改造核心内容有以下六个方面：

（1）传感器与执行器

在哑设备上加装各类数据传感器，如温度传感器、压力传感器、流量传感器等，以实时采集设备的运行数据。执行器用于执行控制命令。这些传感器和执行器通过有线或无线方式连接到网络。

（2）通信网络

建立一个稳定可靠的通信网络，将设备、传感器和执行器连接起来。这可以有有线网络、无线网络或混合网络，根据工厂环境和需求进行选择。

（3）数据采集与传输

通过边缘计算设备或网关，将采集到的数据进行初步处理和汇总，然后传输到云端或本地服务器，与企业的数据管理系统进行通信。这一步骤确保数据的准确性和及时性。

（4）数据分析与可视化

利用大数据分析和人工智能技术，对收集到的数据进行处理和分析，提取有价值的信息和洞察。同时，通过可视化工具展示数据，帮助管理者直观了解设备运行状态和生产情况。

（5）智能控制与优化

基于数据分析结果，制定优化策略和控制指令，自动调整设备参数或执行维护操作。例如，当检测到设备异常时，系统可以自动停机或调整工作模式，避免故障发生。

（6）安全与隐私保护

采用多层次的安全措施，包括设备认证、数据加密、访问控制等，确保数据传输和存储的安全性。同时，建立严格的隐私政策，保护企业和用户的敏感信息。

通过改造，哑设备具备联网能力，能够与企业内部的其他设备、系统以及外部的网络进行连接和通信。使得企业能

够实时监控设备的运行状态，及时发现并处理潜在的问题，提升设备的可靠性和稳定性。

3.2.2 智能设备联网

对于已经具备一定智能化程度的设备，例如数控机床、自动化生产线设备等，通过可编程逻辑控制器（PLC）、工控机以及采集模块等数据归集、分析、利用能力建设，全面提升其联网和数据采集能力。这些技术组件共同构建高效的数据归集、分析和利用体系，不仅能增强设备间的互联互通，还能提升数据处理的效率与准确性，为企业的智能制造和数字化转型奠定坚实基础。

（1）PLC 与工控机的应用

PLC 作为工业自动化领域的核心控制器，能够实现对智能设备的精确控制和数据采集。工控机则具备更强的数据分析和存储能力，能够实时分析设备数据，提供预警和决策支持。

（2）数据采集模块的建设

利用专用的数据采集模块，对智能设备的各类数据进行实时采集和存储。这些模块能够支持多种通信协议和数据格式，确保数据的准确性和完整性。

（3）数据归集与分析利用

将采集到的数据归集到企业的数据库管理系统或云平台中，进行统一的管理和分析。通过数据分析，企业可以深入了解设备的运行状态、生产效率以及潜在的问题，为优化生

产流程、提升产品质量提供有力支持。同时，利用大数据和人工智能技术，还可以对设备数据进行深度挖掘和预测分析，为企业的智能化转型提供决策依据。

3.3 信息系统能力建设

在制造业中，信息技术的运用已成为提升生产效率、优化管理流程、增强市场竞争力的关键因素。高效电机行业企业可构建和优化的信息化生产管理系统，主要有：

（1）企业资源计划系统（ERP）

ERP 系统作为制造企业的核心管理系统，集成了财务、人力资源、生产、供应链、销售等关键业务流程，提供了全面的信息共享和决策支持。ERP 系统的主要目标是优化资源配置，提高数据精确性、效率和决策制定速度。在财务管理方面，ERP 系统能够跟踪企业财务状况，进行预算编制和财务报告；在供应链管理上，ERP 通过集成供应商信息、价格、交货期等数据，实现了原材料、半成品、成品库存的可视化、实时化、精细化管理。此外，ERP 系统还支持客户关系管理，通过集成客户信息，提高了客户订单的处理效率和财务管理水平。在制造行业，ERP 系统广泛应用于各种规模的企业，从中小企业到大型跨国公司，成为企业高效运营和管理的重要基石。针对高效电机行业的特性，ERP 系统需特别关注原材料库存管理、生产计划与调度、成本控制等关键环节，通过精细化管理和实时数据分析，实现资源的优化配置和生产效率的显著提升。

（2）制造执行系统（MES）

MES 系统，作为制造企业的车间级信息化解决方案，在高效电机企业中也扮演着生产现场管理的关键角色。通过实时监控生产进度、设备状态、产品质量及物料追踪等关键信息，为制造企业提供了即时决策支持。MES 系统的核心功能包括生产调度、质量管理、设备管理、物料追踪和人力资源管理。通过实时数据采集与分析，MES 能够迅速识别生产过程中的瓶颈，优化生产流程，降低不良率，提升整体生产效率。此外，MES 还支持混流生产和多品种、小批量的柔性生产模式，为高效电机企业灵活应对市场变化提供了有力保障。

（3）产品生命周期管理系统（PLM）

PLM 系统则是制造企业产品创新与设计优化的重要工具。它管理产品从概念设计到退市的全过程，涵盖了产品数据管理、协同设计和开发、供应链协作及变更管理等多个方面。PLM 系统的引入，极大地促进了多学科团队之间的协作，加速了新产品上市速度，同时确保了产品数据的准确性和一致性。在质量控制方面，PLM 系统通过实施全面的质量管理策略，包括质量规划、检验、异常处理及追溯等，有效提升了产品品质和客户满意度。此外，PLM 系统还能优化生产工艺，减少生产过程中的浪费，提高生产效率和准确性。

（4）仓库管理系统（WMS）

WMS 是通过入库、出库、仓库调拨、库位管理、批次管理、先进先出管理、盘点、质检等一系列通过采集实时数

据进行跟踪管理的系统。该系统可以独立执行库存管理，也可以结合其他管理软件的单据进行管理，进而帮助企业从业务流程和财务数据上去优化。系统结合材料企业的实际情况和管理经验，能够准确、便捷地实现仓库的综合管理，使用后，仓库管理模式发生了转变，从传统的“结果导向”转变成“过程导向”；从“数据录入”转变成“数据采集”，同时兼容原有的“数据录入”方式；从“人工找货”转变成了“导向定位取货”，同时引入了“监控平台”让管理更准确快捷。条码管理实质是过程管理，过程可控，结果正确。针对高效电机行业企业普遍的多品种、小批量特性，合理运用 WMS 系统可以提高库存管理的准确性和效率。

（5）高级排程系统（APS）

APS 系统为制造企业提供了详细的生产计划和排程功能，旨在优化生产效率和交付性能。通过与 ERP 系统集成，APS 系统能够确保生产计划的资源可用性；通过与 MES 系统集成，APS 系统则能够优化生产过程的执行。APS 系统的核心功能包括生产调度、资源优化、约束管理和需求计划。通过综合考虑生产资源、生产能力和市场需求等多种因素，APS 系统为制造企业提供了最优的生产计划方案。这不仅有助于降低生产成本，还能提高生产效率和产品质量，从而增强企业的市场竞争力。

（6）供应链管理系统（SCM）

SCM 系统可以应用于高效电机行业企业整个供应链的

优化，包括从原材料采购、制造到最终产品交付给消费者的所有环节。通过提高供应链的透明度和协调性，SCM 系统能够显著降低成本、提高速度和服务水平。在需求计划和预测方面，SCM 系统基于历史数据和市场趋势，为制造企业提供了精准的需求预测；在采购和供应商管理上，SCM 系统通过优化供应商选择和管理，降低了原材料采购成本；在生产计划和调度上，SCM 系统确保了生产活动与需求预测和物料供应的协调一致；在物流和运输管理上，SCM 系统通过优化仓储和运输策略，确保了产品的及时交付。

（7）质量管理体系（QMS）

QMS 系统致力于管理和改进产品和服务的质量，确保满足客户需求和合规性要求。通过实施质量规划、质量控制、质量保证和质量改进等策略，QMS 系统为制造企业提供了全面的质量管理支持。在质量控制方面，QMS 系统通过实时监控生产过程，及时发现和解决质量问题，降低了不良率；在质量保证方面，QMS 系统通过建立和完善质量管理体系，确保了产品质量的稳定性和可靠性；在质量改进方面，QMS 系统通过持续收集和分析质量数据，为制造企业提供了质量改进的方向和措施。因此，QMS 系统可以作为高效电机企业提升产品质量、增强客户满意度的关键工具。

（8）客户关系管理系统（CRM）

CRM 系统作为制造企业与客户之间的重要纽带，专注于管理客户信息和互动，提高客户满意度和忠诚度。CRM 系

系统的核心功能包括客户数据管理、销售管理、市场营销自动化和客户服务支持。通过集成客户信息，CRM 系统为制造企业提供了全面的客户视图，有助于企业更深入地了解客户需求 and 偏好。在销售管理方面，CRM 系统通过优化销售流程，提高了销售效率和客户满意度；在市场营销方面，CRM 系统通过精准的市场定位和营销策略，提升了品牌知名度和市场占有率；在客户服务和支持方面，CRM 系统通过提供个性化的服务支持，提升客户满意度。

上述，ERP、MES、PLM、SCM、WMS、APS、QMS 和 CRM 等系统在高效电机企业信息系统能力建设发挥着举足轻重的作用。它们各自独立又相互关联，共同构建了一个高效、协同的制造业信息化环境。

此外，随着云计算技术的发展，云化工业软件和工业互联网平台的应用优势日益凸显。这些平台能够提供灵活、可扩展的信息化解决方案，降低企业的 IT 成本，加速数字化转型进程。建议高效电机行业的中小企业积极考虑接入这些平台，利用平台提供的 SaaS（软件即服务）、PaaS（平台即服务）等模式，快速构建起符合自身需求的信息化生产管理系统，提升企业的生产运营管理水平和市场竞争力。

对于高效电机行业中小型企业而言，一方面结合自身生产需求，有选择地规划信息管理系统。首先需要明确自身的业务需求和生产流程，了解哪些环节需要信息系统的支持，以及这些系统需要实现哪些功能。同时，企业评估自身的技

术基础、人员配备和资金状况，选择合适的建设方案。另一方面，中小型企业可以借助云化工业软件和工业互联网平台，选择更低成本的建设方案。企业需要选择合适的服务商，同时需要了解服务商提供的云化工业软件和工业互联网平台的功能和特点，以确保所选方案能够满足企业的实际需求。在建设中选择更低成本的方案，例如通过租用云服务商的服务器和存储资源，减少硬件投资；利用平台提供的标准化应用和服务，降低软件开发和运维成本等。

3.4 信息安全能力建设

针对高效电机行业的信息安全能力建设，企业应构建全方位、多层次的工业信息安全管理体系统。这一体系应涵盖设备安全、控制安全、网络安全、平台安全、应用安全和数据安全等多个维度，以确保生产运营过程中信息资产的安全性和完整性。

3.4.1 企业工业信息安全能力建设基本框架

(1) 设备安全

首先是设备硬件安全，确保工厂设备的物理安全，如防盗窃、防破坏、防电磁干扰等。定期进行设备巡检，检查设备的物理完整性，防止破坏或篡改。引入电磁兼容性(EMC)测试，确保设备在电磁环境中的稳定运行。

其次是设备软件安全，对嵌入式系统和固件进行定期的安全评估和漏洞扫描，及时修复已知漏洞。实施代码审查制度，确保软件代码的安全性。采用安全编程规范，避免常见

的安全漏洞，如缓冲区溢出、SQL 注入等。

此外是身份认证，为设备配置唯一身份标识，如 MAC 地址、序列号等，实现设备的身份验证。采用强密码策略，定期更换设备密码，防止未授权访问。引入多因素认证机制，如指纹识别、动态口令等，提高设备访问的安全性。

（2）控制安全

首先是控制逻辑安全，对控制程序进行严格的测试和验证，确保其正确性和完整性。采用形式化验证方法，对控制逻辑进行数学证明，确保其无错误。引入冗余控制机制，如双机热备、三取二等，提高控制系统的可靠性。

其次是通信安全，采用加密通信协议，如 HTTPS、TLS 等，确保控制指令和数据传输的安全性。定期对通信协议进行安全评估和漏洞扫描，及时修复已知漏洞。引入安全通信网关，对通信数据进行过滤和监控，防止恶意攻击。

第三是权限管理，对控制权限进行细粒度划分，如读权限、写权限、执行权限等。采用基于角色的访问控制 (RBAC) 模型，实现权限的灵活配置和管理。引入审计日志机制，记录控制权限的使用情况，便于追溯和审计。

针对生产中越来越多地应用工业机器人或机械臂控制以及生产设备控制等特定场景，更应注意信息安全建设。加强对传感器与控制器之间通信的加密和认证，防止数据被篡改或窃取。可以考虑使用安全的通信协议，如 HTTPS 或专有加密协议，以确保数据传输过程中的机密性和完整性。定

期更新机械臂控制软件与固件，以修复已知的安全漏洞和增强系统安全性。对生产设备控制系统实施严格的访问控制，限制未经授权的访问和操作。采用多因素身份验证方法，如密码、生物识别等，以确保只有授权人员能够访问和控制生产设备。

（3）网络安全

首先是网络架构安全，设计合理的网络架构，如分层架构、冗余架构等，提高网络的可靠性和安全性。实现内外网络的隔离和访问控制，如采用 DMZ 区域、防火墙等。引入网络虚拟化技术，实现网络资源的灵活配置和管理。

其次是边界防护，部署防火墙、入侵检测系统等安全设备，对外部攻击进行实时监测和防御。引入安全隔离网闸（GAP）等物理隔离设备，实现内外网络之间的安全隔离。定期对安全设备进行配置和策略审核，确保其有效性。

最后是安全审计，对网络活动进行记录和审计，如流量分析、日志审计等。引入安全事件管理系统（SIEM），对安全事件进行实时监控和响应。定期对审计数据进行分析 and 挖掘，发现潜在的安全隐患和攻击模式。

（4）平台安全

首先是平台架构安全，确保工业互联网平台、云计算平台等架构的安全性，如采用微服务架构、容器化技术等。引入安全开发框架和工具，如 DevSecOps 等，提高平台的安全性。定期对平台架构进行安全评估和漏洞扫描，及时修复已

知漏洞。

其次是数据保护，对平台上的数据进行加密存储和传输，如采用国密算法 SM2、SM4 等加密算法。引入数据脱敏技术，对敏感数据进行处理，防止数据泄露。定期对数据进行备份和恢复测试，确保数据的可恢复性。

最后是安全更新，定期更新平台的安全补丁和漏洞修复，确保平台的最新安全性。引入自动化更新机制，如 CI/CD 流水线等，提高更新效率和安全性。对更新过程进行严格的测试和验证，确保更新不会引入新的安全隐患。

（5）应用安全

首先是应用开发安全，在应用开发阶段融入安全设计，如采用安全编码规范、安全测试等。引入安全开发框架和工具，如 OWASP Top Ten 等，提高应用的安全性。对应用进行代码审查和安全测试，确保无安全漏洞。

其次是应用运行安全，对应用进行实时监控和防护，如采用应用防火墙（WAF）、RASP 等技术。引入安全监控和告警机制，及时发现并处理恶意攻击或异常行为。定期对应用进行安全评估和漏洞扫描，及时修复已知漏洞。

最后是应用更新管理，确保应用的及时更新，以修复已知的安全漏洞。引入版本控制机制，如 Git 等，对应用版本进行管理和追踪。对更新过程进行严格的测试和验证，确保更新不会破坏应用的稳定性和安全性。

（6）数据安全

首先是数据分类分级，根据数据的敏感性和重要性进行分类分级，如公开数据、内部数据、敏感数据等。制定相应的保护措施，如加密存储、访问控制等。定期对数据分类分级进行评估和调整，确保其合理性和有效性。

其次是数据备份与恢复，建立数据备份机制，如定期备份、异地备份等。对备份数据进行验证和测试，确保其可用性和完整性。引入数据恢复演练机制，定期对备份数据进行恢复测试。

最后是对数据的访问进行严格的权限管理，如基于角色的访问控制（RBAC）、基于属性的访问控制（ABAC）等。引入审计日志机制，记录数据访问的使用情况，便于追溯和审计。定期对数据访问权限进行审核和调整，确保其合理性和有效性。

3.4.2 企业工业信息安全能力建设部署方式

（1）分阶段实施

在构建高效电机行业的工业信息安全防护体系时，进行分阶段实施的方式。企业首先需对其现有的信息安全状况进行全面评估，并据此制定详细的信息安全能力建设规划。随后，根据规划逐步建设和完善包括防火墙、入侵监测系统、安全审计系统等在内的信息安全基础设施。完成基础设施建设后，企业需将各安全组件进行集成，并进行全面的测试和验证，以确保系统的稳定性和安全性。此外，企业还应重视对员工的信息安全培训，提升员工的安全意识和技能水平，

并定期进行安全演练，以检验和提升企业的应急响应能力。

（2）持续监控与优化

为确保高效电机行业企业的信息安全体系持续有效，企业应建立一套全面的信息安全监控体系，对系统的运行状态和安全事件进行实时监控。在此基础上，定期进行信息安全体系的评估和审计，及时发现并整改潜在的安全隐患。同时，企业还需紧跟最新的安全技术和标准，不断更新和优化信息安全体系，以确保其信息安全水平始终保持在行业前沿。

四、环节与场景

高效电机行业产业链上下游包含原材料供应、零部件制造、电机生产制造、集成设备组装等多个环节企业。不同的企业工艺流程根据电机类型、电机结构会有显著差异，因此本图仅做示例，用于展示高效电机制造主要工艺流程。

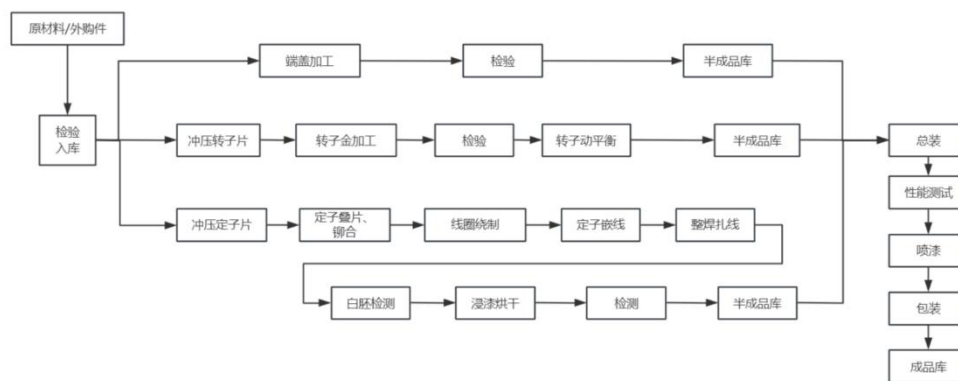


图 9 高效电机制造工艺流程示意图

高效电机制造包含图中原材料加工、定子/转子/端盖冲压、零部件装配、电机总装、油漆、检验测试等多项工序，是典型的离散型制造。

开展智改数转网联转型工作应充分结合企业实际场景，以及行业发展趋势，聚焦于能够提升生产效率、优化工艺流程、增强产品质量的应用场景。同时，积极探索新模式、新业态在典型场景中的应用，推动高效电机制造向智能化、服务化方向转型。根据《江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引》（详见附件6），梳理高效电机行业典型场景如下。

4.1 产品设计（包括产品数字化研发与设计、虚拟试验与调试、数据驱动产品设计优化等）

（1）存在的问题

大多数中小型企业根据用户具体要求，应用 CAD、SolidWorks 等三维软件进行设计，由于资源和规模限制，难以形成协同设计平台和系统的知识库，面临跨部门、跨领域数据协同及设计经验积累的挑战；而大型企业中有部分致力于自主研发创新，需构建一体化研发平台和虚拟试验平台以开发新产品，它们则面临设计周期长、各专业设计协同需求高及传统试验方式成本高、周期长的难题。

大中小企业，都面临数据孤岛、设计周期长、设计验证手段有限的问题。传统的设计方法往往依赖于经验积累和物理原型测试，迭代速度慢。随着市场需求的快速变化和个性化定制需求的增加，传统设计方法的局限性日益凸显。问题包括设计过程中数据孤岛现象严重，缺乏跨部门、跨领域的数据共享与协同；设计验证手段有限，难以全面评估产品性

能与可靠性。

（2）改造场景

企业可以从以下三个改造场景入手，借助先进技术手段实现研发设计、试验调试以及产品优化等场景的全面升级。

场景 1 数字化研发与设计

在高效电机产品的数字化研发与设计场景中，企业通过应用设计、仿真软件和知识模型库，搭建数字化协同设计环境，开展产品协同设计、仿真与迭代优化。

具体实施中，企业应基于计算机辅助技术，例如 CAD/CAE/CAM/SolidWorks 等，开展二维/三维产品设计，确保设计的精准性和可视化。通过产品生命周期管理系统（PLM）或产品数据管理系统（PDM），实现产品设计数据和文档的结构化管理，支持数据共享、版本管理、权限控制和电子审批等功能，确保设计流程的规范化和高效协同。同时，实现不同专业或组件之间的并行设计，缩短研发周期。

此外，企业应建立典型产品组件的标准库和设计知识库，支持在设计过程中快速匹配和引用，提升设计的标准化和模块化水平。三维模型应集成完整的产品设计信息（如尺寸、公差、工程说明、材料需求等），确保数据源的唯一性和一致性。基于三维模型，对外观、结构、性能等关键要素进行设计仿真及迭代优化。

在协同方面，应实现产品设计与工艺设计之间的信息交互与并行协同，确保设计与制造的无缝衔接。通过集成产品

组件的标准库和设计知识库，实现产品的参数化、模块化设计，提升设计的灵活性和可重用性。此外，可以将产品的设计信息、生产信息、检验信息、运维信息等集成于数字化模型中，实现基于模型的产品全生命周期数据归档和管理，为后续生产、运维提供数据支持。

通过以上措施，企业能够在数字化研发与设计场景中实现高效协同、精准仿真和快速迭代，显著提升设计效率，降低研发成本，为高效电机产品的创新与优化提供有力支持。

场景 2 虚拟试验与调试

在当前高效电机的设计过程中，虚拟试验与调试技术尚未得到充分普及，设计优化和验证仍主要依赖物理试验和传统仿真手段。这种模式存在一定的局限性，例如试验周期长、成本高、难以覆盖复杂工况等。虚拟试验与调试技术通过数字孪生、仿真平台和大数据分析等手段，能够实现对电机性能的全面预测与优化，但其在实际应用中的潜力仍有待进一步挖掘。

可结合产品特性构建电机性能仿真平台，模拟不同工况下的电机运行状况，进行性能预测和故障模拟。通过大数据分析技术，对仿真数据进行深度挖掘，优化电机设计参数，提高产品性能。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。

通过虚拟试验与调试技术的深度应用，企业能够在设计阶段提前发现并解决潜在问题，优化电机性能，减少对物理试验的依赖，从而加速产品研发进程，降低研发成本，提升市场竞争力。

场景 3 数据驱动产品设计优化

通过集成产品设计、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、功能和性能的优化创新。

首先企业可以建立产品设计数据库，收集并整合历史设计数据、用户反馈数据和市场趋势数据。然后，运用机器学习算法，分析数据间的关联性和规律性，为产品设计提供数据支持，实现设计的智能化优化。

此外，企业可以通过集成产品设计、生产作业、售后服务等环节数据，实现产品全生命周期跨业务之间的协同。这种集成能够确保设计、生产和服务环节的数据无缝流动，支持基于实时数据的动态优化。例如，生产环节的数据可以反馈到设计环节，帮助优化产品可制造性；售后服务数据可以为下一代产品的功能改进提供依据。

（3）解决方案建议

企业可以通过数字化设计、协同管理、虚拟仿真的方案，提升设计效率、降低研发成本，并增强产品创新能力。

针对原材料供应企业，基于 CAD/CAE/SolidWorks 等软件对电机生产所需原材料，如用于制造定子、转子、端盖等

的材料进行数字化模拟分析。对于合金钢等材料，分析其在复杂机械应力下的强度、韧性等特性，优化电机轴、端盖等承力部件的选材方案；对于绝缘材料，模拟其在不同电压、温度环境下的绝缘性能和耐老化特性，确保电机长期运行可靠性。

针对零部件制造企业，基于 CAD/CAE/CAM/SolidWorks 等软件，对电机的关键零部件包括定子、转子、轴承、端盖等，开展三维产品设计。集成零部件的尺寸、公差、材料需求等设计信息，对零部件的外观、结构、性能等关键要素进行仿真与迭代优化。同时，建立典型产品组件的标准库和设计知识库，支持参数化、模块化设计，大幅提升零部件设计效率。

针对电机制造企业，基于 CAD/CAE/CAM/SolidWorks 等工具，通过数字化模拟预装配过程，提前发现装配问题，优化装配流程；模拟不同喷漆工艺对电机外观和防护性能的影响，实现喷漆工艺的优化；结合 CAE 技术对电机整体性能进行虚拟测试，与实际测试数据相互验证，迭代优化电机整体设计。

尤其针对零部件、电机制造企业，可以引入虚拟试验与调试技术。构建电机性能仿真平台，模拟不同工况下的运行状况，进行性能预测和故障模拟，优化设计参数。应用数字孪生、AR/VR 等技术，构建虚拟试验环境，开展全虚拟或半实物仿真测试，缩短验证周期，降低研发成本。

此外，电机企业可以构建统一的数据管理与协同平台。部署高效电机产品生命周期管理系统（PLM）或产品数据管理系统（PDM），实现设计数据的结构化管理。建立数据共享与协同机制，构建跨部门、跨领域的数据共享平台，实现设计数据的实时更新与同步。采用云协作工具，促进设计团队之间的沟通与协作，支持并行设计与协同优化，缩短研发周期，确保设计与制造的无缝衔接。

其中，电机零部件制造企业在开展产品数字化研发、构建数字化协同平台时，可以参考案例 4.1。

案例 4.1 产品数字化研发与设计



图 4.1 (1) -PLM 管理平台示意

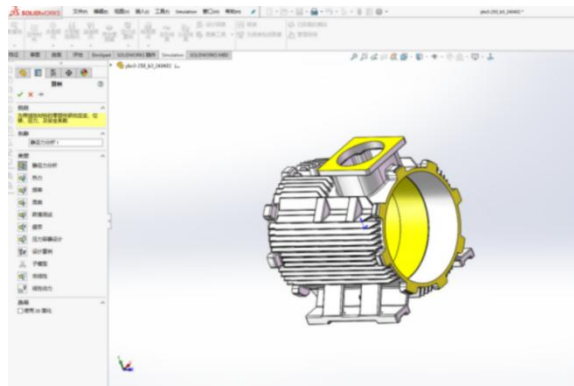


图 4.1 (2) -产品仿真设计

某电机零部件生产企业在发展过程中，应用产品生命周期管理系统（PLM）、产品研发及仿真软件（CAD、CAPP、CAE 等），搭建数字化协同设计环境，集中管理与设计、研发相关的产品数据，并按照不同机座号、功率、极数等型谱信息的产品进行分类管理，形成标准化的产品数据管理体系。对产品及零部件进行数字化建模，并对原型进行分析和优化，形成三维模型文件。基于三维模型，对外观、结构、性能等关键要素进行仿真分析与迭代优化，提前发现并解决潜在问题。

4.2 工艺设计（包括工艺数字化设计、可制造性设计等）

（1）存在的问题

工艺设计是连接产品研发与生产制造的关键步骤，它涉及从原材料选择、加工方法确定到最终产品成型的全过程规划。工艺设计的质量直接影响到产品的性能、生产成本以及生产效率。通过对该环节进行数字化、网络化和智能化改造，引入先进的技术手段，可以显著提升工艺设计的精度和效率，保障产品质量，降低生产成本。

目前，该环节存在一些个性问题和共性问题，在个性问题方面，许多企业的工艺设计仍然依赖于工程师的经验，缺乏系统化的数据支持和科学化的分析方法，导致设计结果的不稳定性和不可预测性。此外，由于缺乏有效的工具和方法，工艺创新往往进展较慢，难以实现深层次的优化和改进。在共性问题方面，工艺设计、产品研发和生产制造之间的数据流通不畅，导致信息不对称和资源浪费。同时，传统的工艺验证方法需要多次试制和测试，周期长、成本高，且难以全面覆盖所有可能的工艺参数组合。

（2）改造场景

高效电机企业工艺设计环节主要包含工艺数字化设计和可制造性设计两个改造场景，通过技术升级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。

场景 1 工艺数字化设计

在工艺数字化设计场景中，企业通过应用工艺设计、仿真软件和工艺知识库，结合机理建模、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，实现工艺全过程仿真，预测工艺设计缺陷并优化改进。

具体实施中，可以基于计算机辅助，例如计算机辅助工艺规划（CAPP）系统，开展工艺设计和优化，通过三维工艺设计技术，将完整的工艺信息集成于三维工艺模型中，实现工艺设计的可视化与精准化；同时，基于典型产品或特征建立工艺模板，实现关键工艺设计信息的标准化和重用，减少重复设计工作量，提高设计效率。

此外，通过工艺设计管理系统实现工艺设计文档或数据的结构化管理、数据共享版本管理、权限控制和电子审批，确保工艺设计过程的高效协同与规范管理。同时，可以基于工艺知识库的集成应用，实现工艺流程、工序内容、工艺资源等知识的实时调用，为工艺规划与设计提供决策支持。

场景 2 可制造性设计

在可制造性设计场景中，可以通过打通工艺设计、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。

企业可以建立典型制造工艺流程参数、资源等关键要素的知识库，并以结构化的形式进行展现、查询与动态更新，确保知识库的实用性和时效性。同时，基于数字化模型对制

造工艺的关键环节进行仿真分析及迭代优化，提前识别潜在问题并加以改进，减少实际生产中的试错成本。

此外，可制造性设计需要实现工艺设计与产品设计、生产制造之间的信息交互与并行协同。通过三维模型的深度应用，对制造工艺全要素进行仿真分析与优化，确保设计与制造的高度一致性。在此基础上，企业应进一步集成工艺设计、生产、检验等系统，构建工艺信息下发、执行、反馈、监控的闭环管控机制，实现工艺设计与制造过程的协同优化。

（3）解决方案建议

具体解决方案包括以下几个步骤，企业可根据自身的规模和资源逐步提升。

第一步，推进工艺设计数字化，引入计算机辅助工艺规划（CAPP）系统和三维工艺设计软件，建立工艺知识库和工艺设计管理系统。例如，高效电机对定转子的气隙精度要求极高，在工艺知识库中可详细记录相关高精度加工工艺参数及操作要点。通过三维工艺模型集成完整的工艺信息，清晰展示高效电机各部件复杂的装配关系与工艺路线，提升设计的可视化与精准化水平。同时，基于典型高效电机及零部件的关键特征建立工艺模板，例如高效电机独特的散热结构等特征，实现关键工艺设计信息的标准化和重用，减少重复设计工作量。

第二步，强化可制造性设计能力，打通工艺设计、产品研发和生产制造的数据流，结合知识模型库，全面评估高效

电机产品设计的可加工性、可装配性和可维护性。基于数字化模型对关键制造工艺例如绕组嵌线、转子平衡、定子叠片等进行仿真分析与迭代优化，提前识别潜在问题并加以改进，减少实际生产中的试错成本。

第三步，构建智能化工艺模型，结合机理建模、物性表征和数据分析技术，建立智能化的工艺模型，支持工艺参数的自动优化与预测。例如针对高效电机的绕组嵌线工艺，结合电磁仿真和热分析，优化嵌线路径和绝缘材料选择；针对转子平衡工艺，结合动态仿真和数据分析，优化平衡工艺参数。

第四步，推动工艺设计与制造的协同优化，集成工艺设计、生产、检验等系统，结合高效电机及其零部件的高精度装配和性能测试需求，构建工艺信息下发、执行、反馈、监控的闭环管控机制，实现工艺设计与制造过程的高效协同。

第五步，加强人才培养与技术投入，加强对工艺设计人员的数字化技能培训，提升其使用先进工具和技术的能力。

其中，企业在推动多部门协同工艺数字化设计、工艺设计与制造的协同优化等转型方案时，可以参考下面案例 4.2。

案例 4.2 基于 3D 建模的工艺数字化设计



图 4.2-产品仿真设计

本案例中，针对超大型定转子部件加工工艺数据庞杂、工艺文件繁杂多样、工艺设计工作量大且涉及多部门流转等痛点问题，建立了针对定转子产品设计和模具设计的 PLM 管理系统，包括转子产品设计和模具图号规格型号、工艺等基础数据、新品开发、工艺分配、3D 模拟结果、标准工艺规范、特殊工艺要求、产品 BOM、生产过程工艺参数记录，最终形成铸造工艺知识库，打通了工艺设计与生产制造的信息孤岛，实现工艺数据流、生产数据流、质量数据流的数据集成，达到工艺全过程仿真的目的。

一方面，通过结构化、数字化工艺设计，实现数据高效流转，解决工艺设计重复作业、标准不一问题，提升工艺工作质量及效率。另一方面，通过工艺知识库及仿真技术应用解决工艺人员经验不足难题、缩短了新产品研制周期。

4.3 质量管控（包括智能在线检测、质量精准追溯、产品质量优化等）

（1）存在的问题

高效电机生产企业的质量管控环节涉及从原材料到成品的全流程质量检测、追溯和优化，是确保产品合格率和降低质量损失率的关键环节。通过智能化改造，企业能够实现质量管控的全面升级，提升生产效率，降低运营成本，增强市场竞争力。

首先，检测效率低是普遍存在的共性问题。传统的质量检测主要依赖人工或单一检测设备，智能化程度低，检测效率不高，难以满足大规模生产的需求。其次，质量追溯精度不足也是一个突出问题。部分企业通过二维码实现质量追溯，但受限于物料尺寸或材料特性，部分物料无法粘贴二维码，导致追溯精度仅支持到批次级别，难以实现精准追溯。此外，质量问题分析能力弱也制约了企业的质量提升。缺乏对质量数据的深度分析能力，难以全面识别影响产品质量的关键因素，导致质量缺陷频发。最后，设备接口与标准不统一增加了智能化改造的难度和成本，不同设备和生产线的接口和标准不一致，使得系统集成和数据共享变得复杂。

与此同时，企业还面临一些个性问题。例如，中小企业投入成本高，智能化改造需要投入大量资金用于技术研发、设备购置和系统维护，对中小企业而言负担较大。部分物料难以实现自动追溯，例如少数物料因尺寸或材料限制，无法

通过技术手段实现自动追溯，需依赖人工记录，增加了追溯的复杂性和误差。此外，质量优化依赖人工经验，质量分析和优化主要依赖人工经验，缺乏科学的数据支持，难以实现精准优化。

（2）改造场景

面对质量管控环节存在的效率低、追溯难、优化不足等问题，企业可针对智能在线检测、质量精准追溯、产品质量优化三个关键场景开展改造。

场景 1 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。

电机生产涉及多个环节，每个环节的检测要求和技术手段都有所不同。传统的检验方式是人工或者检验设备，智能化程度偏低，效率不高。而且不同的电机生产设备和生产线一般有不同的接口和接入标准。企业面临检测环节复杂、设备接口与标准不统一以及投入成本高等问题。

为解决这些问题，企业可以在规划的自动化产线中合理配置智能在线检测装置，如机器视觉系统和缺陷机理分析设备，结合 5G、机器视觉、缺陷机理分析等技术，实现对产品质量的实时检测、分析和预测。对于中小企业，可以采用分阶段实施的策略，优先在关键环节部署智能检测，逐步扩展到全流程。通过实时拦截缺陷产品、提高检测效率和优化

生产工艺，企业能够显著提升产品合格率。

场景 2 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。

部分高效电机企业目前主要通过二维码实现质量追溯，但部分物料因尺寸或材料限制无法粘贴二维码，导致质量追溯仅支持追溯到批次，追溯精度受限。为此，企业可以在成本收益核算的基础上，尽可能多地使用二维码、RFID 等成熟技术覆盖生产环节，实现物料和产品的精准追溯。对于极少数无法通过技术手段追溯的物料，可以采用人工记录的方式补充数据。同时，质量管理体系（QMS）采集并关联产品全生命周期的质量数据，实现从原料到成品的全流程质量追溯。这不仅能够快速定位质量问题，还能提升质量管控的透明度和可信度，增强客户信任。

场景 3 产品质量优化

企业依托质量管理体系（QMS）和质量知识库，集成质量机理分析、质量数据分析等技术，识别影响产品质量的关键因素，如原材料、工艺参数和设备状态等。通过机器学习算法分析历史质量数据，预测可能出现的质量缺陷，并提前采取预防措施。同时，基于分析结果优化生产工艺和参数，形成“检测-分析-优化-验证”的闭环质量管理模式。这不仅能够提升产品质量稳定性，减少质量缺陷，还能通过数据驱动

优化决策，降低质量损失率，为企业积累质量知识，支持持续改进。

（3）解决方案建议

针对高效电机行业质量管控环节，企业可以结合自身工艺特点，按照以下步骤实施智能化升级。

第一步，关键环节部署智能检测装备，例如，高效电机零部件定子、转子、轴承、端盖等的加工精度与性能检测，以及电机总装的综合性能检测等场景中，通过合理部署智能检测装备，结合在线检测、质量分析、电机质量追溯及闭环优化等策略，及时追溯质量问题根源，对生产工艺进行持续改进，显著提升电机产品合格率，从而增强市场竞争力，推动生产过程的智能化转型，确保产品质量的持续优化与提升。企业在配置智能检测装备时，可以参考案例 4.3（1）。

第二步，建立高效电机产品质量追溯体系，在原材料供应企业中，对用于制造高效电机的各类原材料，如制造定子、转子的硅钢片，制造端盖的铝合金等，运用二维码、RFID 等技术，对每一批次原材料从采购、入库、领料、加工直至成品电机产出的全流程进行质量信息记录与跟踪，无法附着上述标识的物料则采用详细人工记录补充。在零部件制造企业中，对生产的关键零部件，在加工、检验、流转等环节，利用相同技术手段，将零部件的尺寸精度、材料特性、性能检测结果等质量信息完整记录并关联至对应原材料信息。在电机制造企业中，装配过程进一步整合原材料、零部件信息，

结合电机成品的性能测试数据、出厂检验结果等，实现对电机产品全生命周期的质量追溯。基于质量追溯所获取的数据进行质量数据分析，进而持续优化产品设计和生产工艺，增强企业的市场竞争力。企业在建立高效电机产品质量追溯体系时，可以参考案例 4.3（2）

案例 4.3（1）智能在线检测装置

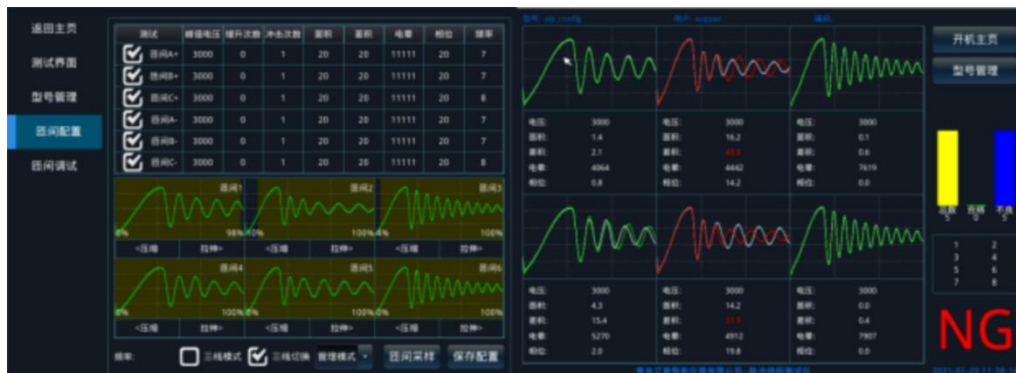


图 4.3（1）-P 定子检测仪脉冲波形对比

某企业在定子测试阶段引入了在线检测装置。定子在线综合测试仪，采用高速 A/D 测试系统，采用高压脉冲波形比较法，将匝间波形数字化处理，通过计算机对波形的几个参量进行计算处理，得出波形的量化指标面积/差积等，将电机的波形自动存入计算机中与其比较，自动判断，对于相邻一圈匝间短路均能有效判断；

定子在线检测可与质量管理体系 QMS 实现信息互联互通；自动化水平高，传统工艺严重依赖人工，自动化水平差，无法快速应对小批量、多品种的主流生产模式，在线检测可以实现该环节的自动检测、柔性检测和快速检测。在线检测数据也具有实时性、安全性、溯源性。

案例 4.3 (2) 产品质量追溯体系

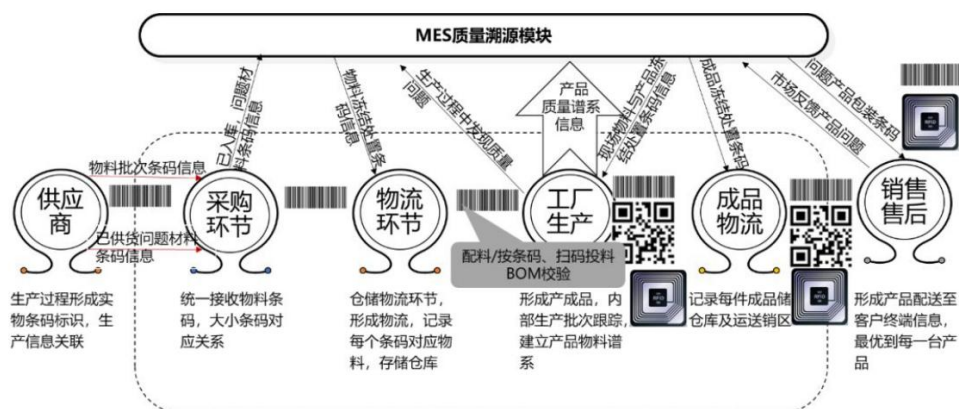


图 4.3 (2) -产品质量追溯体系功能框架示意图

某高效电机企业建立产品质量追溯体系，实现产品全生命周期的质量追溯；基于质量数据分析，持续优化产品设计和生产工艺。

通过二维码技术，为每个产品赋予唯一标识，实现从原材料到成品的全程追踪。基于MES的质量追溯模块实现包括供应商、采购、物流、工厂生产、成品物流、销售售后等环节的全流程质量追溯。在关键环节（如原材料入库、生产加工、成品检验等）部署数据采集设备，实时记录产品质量数据。

将MES与企业资源计划系统(ERP)、供应链管理系统(SCM)等集成，确保质量数据的无缝流动和共享。将质量数据分析结果反馈至产品设计和生产工艺环节，持续优化设计和生产流程，提升产品质量。

4.4 营销管理（包括销售驱动业务优化、大规模个性化定制等）

（1）存在的问题

在营销管理环节，高效电机企业主要针对的是 B 端（企业）客户，即 TO B 模式。面临市场需求变化快、企业客户需求多样化以及竞争日益激烈的挑战，企业需要通过智能化、数字化和网络化改造，开展精准的市场分析，并优化销售策略，提升企业大规模个性化定制能力。

传统营销管理主要依赖人工分析和经验判断，客户数据、市场数据分散，且缺乏销售工具，无法有效整合和分析，不能为销售决策提供有力支持。因此该环节存在客户需求分析不足、市场趋势响应慢、数据利用效率低以及销售工具落后等共性问题，同时中小企业还面临资源有限、数据孤岛现象严重和客户关系管理薄弱等个性问题。

（2）改造场景

高效电机企业营销管理环节主要包含销售驱动业务优化和大规模个性化定制等改造场景。

场景 1 销售驱动业务优化

为实现销售驱动业务优化，可以应用大数据、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。

具体实施时，可以利用大数据技术整合客户历史采购数

据、使用反馈数据以及市场趋势数据，构建客户画像。通过机器学习算法预测市场需求变化，生成需求预测模型。基于用户画像和需求预测模型，制定针对性的销售计划，同时利用知识图谱技术挖掘潜在客户群体，扩大销售覆盖面。最后，根据销售计划，动态调整设计、采购、生产、物流等环节的方案。例如，根据客户需求预测调整生产计划，优化库存管理，减少资源浪费。通过实时数据分析，快速响应市场变化，确保销售策略的灵活性和有效性。

场景 2 大规模个性化定制

在高效电机行业中大多数都是个性化定制订单，小批量多品种的特点。因此部署智能制造装备，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。

产品模块化设计和生产柔性化是其中最主要的场景特点。将电机产品分解为标准化模块（如定子、转子、外壳等），支持根据客户需求快速组合和定制，通过模块化设计，减少定制化生产的复杂性，提高生产效率。部署智能制造装备（如智能生产线、机器人等），构建柔性生产单元，支持多品种、小批量的柔性化生产。

通过模块化设计和柔性化生产，以大批量生产的低成本实现定制化产品的高质量，同时利用数字化技术优化生产流程，减少资源浪费，降低生产成本。

（3）解决方案建议

针对高效电机行业营销管理环节，企业可以通过以下措施逐步实现智能化、数字化改造，提升销售效率和市场竞争力。

第一步，构建高效电机数字化销售平台，改变传统依赖人工分析和经验判断的模式，充分利用大数据、人工智能技术，整合客户数据，构建客户画像和需求预测模型，制定精准销售计划。例如客户关系管理系统（CRM）、大数据分析平台等。通过数字化渠道动态调整电机设计、采购、生产、物流等方案，提升销售效率和客户满意度。

第二步，增强个性化定制生产能力，响应客户需求。针对高效电机行业多品种、小批量、高定制化的订单特征，通过部署智能制造装备，结合模块化设计和柔性化生产技术，不断缩短交付周期，满足客户需求。

第三步，打通从营销到电机生产全流程数据，集成销售、生产、售后等环节数据，实现全流程协同优化。通过实时数据分析，动态调整各环节方案，提升运营效率，快速响应市场变化，确保销售策略的灵活性和有效性。

4.5 售后服务（包括产品远程运维、主动客户服务、数据驱动服务等）

（1）存在的问题

产品远程运维通过智能传感、大数据和 5G 技术实现设备运行数据的实时采集、分析和预测性维护，能够显著提高设备可靠性、减少停机时间并降低维护成本。在高效电机行

业中，产品为原材料、零部件的企业，或者电机产品仅是设备的一部分，通常不单独进行远程运维，多依赖于故障发生后的反馈。对于电机整机产品，远程运维尤为重要。

个性问题主要是部分企业的电机产品仅作为整机设备的一部分，通常不单独进行远程运维，不对其运行状态直接监控。

共性问题主要是数据采集不全面，部分关键运行参数未纳入监控范围。且现有运维系统智能化水平低，依赖人工经验，故障预警滞后。此外，也缺乏针对电机健康状态的专项数据分析模型，难以精准预测故障。

（2）改造场景

高效电机企业售后管理环节主要包含产品远程运维、主动客户服务以及数据驱动服务场景。

场景 1 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。

远程运维管理平台能够实时采集和分析设备的运行数据，实现健康监控和预测性维护。即使电机不单独运维，平台也能通过整机设备的运行状态间接监控电机的健康状况，提前预警潜在故障，减少停机时间，提高设备整体可靠性。

场景 2 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。

传统的客户服务多依赖于故障发生后的反馈，这种方式往往导致服务响应滞后。通过建设客户关系管理系统(CRM)，并集成大数据、知识图谱和自然语言处理技术，可以实现客户需求的深度分析和预测。系统能够自动识别潜在问题，制定服务策略，并主动联系客户提供解决方案。这种主动式服务不仅提升了客户满意度，还减少了故障发生的频率和影响。

场景 3 数据驱动服务

通过分析电机产品运行工况、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。

目前，高效电机产品运行工况、维修保养和故障缺陷等数据的分析多依赖于人工经验，缺乏系统化的技术应用。通过引入大数据和人工智能技术，可以深度挖掘这些数据的价值，开拓新的业务领域。例如，基于电机设备运行数据的专业服务优化、设备残值评估和租赁方案设计等，不仅提升了服务的专业性和精准度，还为企业开辟了新的收入来源。

(3) 解决方案建议

在高效电机行业的售后服务环节，电机整机产品的远程运维管理平台是整个高效电机售后服务的核心。企业可以结合自身产品特点合理规划方案，按照以下步骤逐步提升售后服务水平。

第一步，部署基础的高效电机数据监测系统，实现高效电机数据采集。通过智能传感器、5G 技术等，建立电机运行状态的数据采集、存储、网络通信等功能，实时采集并分析电机的运行数据，为后续的运维决策提供准确的依据。

第二步，建立高效电机产品远程运维管理平台，基于平台实现高效电机产品健康状态的远程监控与预测性维护。

第三步，建立智能客户关系管理系统 CRM 系统，通过 CRM 系统，及时响应客户需求，提供个性化的远程运维服务，实现面向客户的精细化管理，这一系统能够解决客户服务缺乏针对性、客户需求响应不及时场景问题。

该环节的改造目的是企业不仅能够迅速解决产品问题，还能有效预防潜在故障，显著提升顾客的服务满意率，巩固品牌忠诚度。

企业在规划和部署高效电机产品远程运维平台时，可参考案例 4.5。

案例 4.5 某企业产品远程运维平台



图 4.5-产品远程运维平台界面

某企业创建电机远程运维平台，实时采集客户电机关键运行参数，监测电机运行状态，包含电机在线、离线数量，异常报警信息等。基于多个故障模型，利用人工智能方法，及时智能识别判断各种复杂的早期故障，实现电机的预测性运维。

4.6 工厂建设（包括工厂数字化设计、数字孪生工厂建设、工业技术软件化应用、数字基础设施集成、数据治理与流通等）

（1）存在的问题

工厂建设采用数字化手段是制造业转型升级的必然趋势。传统工厂设计和规划依赖人工经验和二维图纸，效率低、易出错，且难以应对复杂的生产需求。同时，工厂建设中未将工业技术软件化应用、数字基础设施集成、数据治理与流

通等场景列入规划，导致后续设计数据与生产数据脱节，难以实现设计与生产的无缝衔接。这样，导致后续工厂智能化、数字化、网络化转型难度大、成本高。

在工厂建设环节，引入先进数字化工具进行工厂规划，并规划部署新型网络基础设施，建立完善的数据治理体系。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。

（2）改造场景

高效电机企业工厂建设环节主要包含工厂数字化设计、数字孪生工厂建设、工业技术软件化应用、数字基础设施集成、数据治理与流通等改造场景。

场景 1 工厂数字化设计

高效电机企业在产品设计、生产线布局和工厂规划阶段，可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。

该场景适用于高效电机企业新工厂建设阶段或车间产线改造阶段。

场景 2 数字孪生工厂建设

数字孪生工厂建设是应用建模仿真、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。

随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断发展，数字孪生技术将与这些技术深度融合，实现更加智能化、高效化的工厂管理和维护。

在高效电机行业中，数字孪生工厂建设场景目前应用较少。

场景 3 工业技术软件化应用

高效电机企业的核心竞争力和生产优化依赖于工业技术和工艺经验。可以应用大数据、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。

场景 4 数字基础设施集成

通过部署工业互联网、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。

场景 5 数据治理与流通

在高效电机企业的数字化转型过程中，数据治理是确保数据质量和安全的关键。高效电机企业在生产过程中产生大量数据，通过应用云计算、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。

（3）解决方案建议

在高效电机行业的工厂建设环节中，如企业面临生产效率待提升、运维成本需降低以及制造系统智能化水平不足等问题，可按照以下方案推进数字化转型。企业可根据建设阶段和发展需求合理规划。

第一步，数字化设计和布局优化。原材料供应企业、零部件制造企业和电机制造企业都可以引入三维设计与仿真软件（CAX），集成数字孪生和 AR/VR 技术，优化工厂布局和生产线配置。结合数字孪生技术实时模拟工厂运营状态，借助 AR/VR 技术沉浸式体验工厂布局效果，提前发现物料运输路线过长、加工设备布局不合理、工序衔接不畅等问题，及时调整布局，减少物料在厂内的流转时间，提升生产效率，避免资源浪费。

第二步，部署工业互联网、物联网、5G 等新型网络基础设施，建设工业数据中心。通过搭建这些网络基础设施，实现设备之间的互联互通，让生产数据能够实时、快速地传输与共享。工业数据中心则负责存储和管理海量生产数据。该方案能够解决工厂内设备通信不畅、数据传输延迟以及数据存储管理混乱的场景问题，为数字化转型奠定基础。

第三步，部署智能传感器和物联网设备，构建高精度数字孪生模型。在高效电机生产的关键设备和生产环节部署智能传感器，如电机定子装配、转子安装、整机测试等，实时

采集设备运行参数（如装配力、测试电流电压等）、电机装配过程数据（如零部件装配顺序、拧紧力矩等）以及电机运行状态数据（如转速、振动、温度等），再利用物联网设备将这些数据汇聚。基于这些丰富的数据构建数字孪生模型，实时反映工厂真实的生产状态。

第四步，构建可信数据空间，实现高效电机企业内部数据的有效治理和分析利用。对企业内分散在各个业务系统的数据进行整合、清洗和治理，确保数据的准确性、一致性和安全性。同时，利用多种数据分析工具对治理后的数据进行深入挖掘分析，为企业的生产决策、质量管控、供应链优化等提供数据支持。

以上解决方案步骤可以逐步推进高效电机工厂建设。其中，企业开展工厂建设数字化设计和布局优化时，可参考下面案例 4.6。

案例 4.6 分模块并行推进的工厂数字化设计

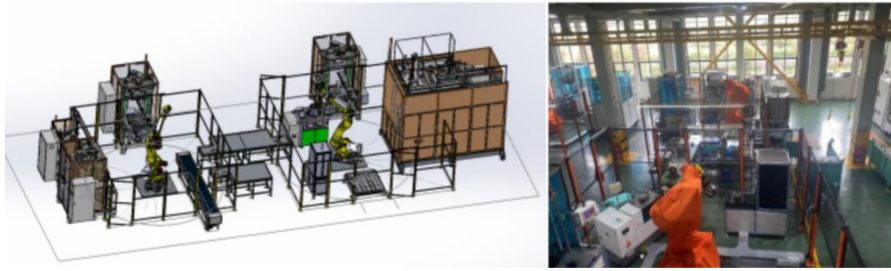


图 4.6 (1) -定子嵌线单线体三维模型与实际场景图

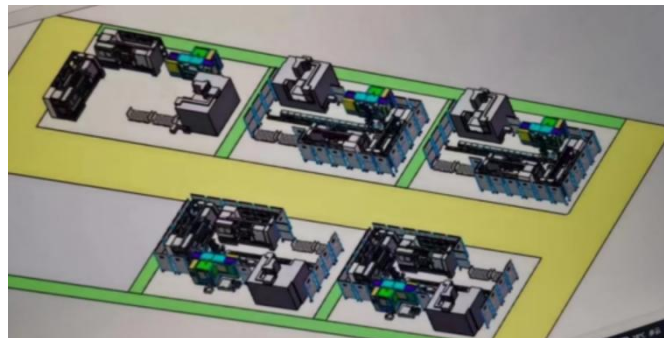


图 4.6 (2) -金工车间主体布局三维模型图

该案例中企业在 2021 年根据整体业务发展规划,启动高效节能电机新工厂建设。根据电机生产制造行业的工艺特点(典型的离散型制造,包含电加工、金加式、冲压、组装等一系列工艺)和目前以及未来电机市场需求特点(由通用性向专用性、特殊性、个性化方向发展),打破传统电机制造业人工密集型流水线生产装配方式,以智能化、数字化为核心理念,根据不同工序的工艺特点,分模块并行推进具体数字化设计方案,并按优化后的设计方案进行落地推进,工厂建设实施效果可预见、有保障。专业智能设备供货商在设计之初便成为工厂数字化设计的重要组成力量,充分借助外部专业力量,多方合力使得工厂建成运行后各环节节拍合理、衔接紧凑、物料周转便捷、各层各级信息化数据来源可靠。

4.7 计划调度（包括生产计划优化、车间智能排产、资源动态配置等）

（1）存在的问题

在高效电机行业的生产流程中，计划调度环节扮演着至关重要的角色。这一环节通过综合运用市场需求预测、产能分析、库存分析、计划排产和资源调度等手段，旨在提高劳动生产率和订单达成率，确保生产活动的高效有序进行。计划调度的优化不仅能够提升生产效率，还能有效降低库存成本，缩短交货周期，从而增强企业的市场响应能力和竞争力。

当前，电机行业的生产模式以定制化为主，订单呈现多品种、小批量的特点，这对计划调度环节提出了更高的要求。在实际应用中，计划调度环节面临诸多挑战。

首先，多数大型企业和中型企业已引入了企业资源计划系统（ERP）或高级排程系统（APS）系统，但由于电机生产过程工艺流程长且环节众多（如绕组成型、铁芯压装、绝缘处理、动态测试等多道工序），各工序间存在严格的逻辑顺序约束，比如前道工序未完成则后序无法启动，因此计划排产时需要协调大量制造资源，且生产过程中常出现资源冲突、订单变更等动态扰动，使得系统难以完全自动处理复杂场景，仍需依赖人工干预和调整。这在一定程度上限制了数字化系统的应用效果，也增加了计划调度的工作量。

其次，许多中小型企业仍主要依赖人工进行计划调度。虽然人工调度成本较低且灵活性较高，但其局限性也显而易

见：缺乏系统化的数据支持和优化算法，难以实现资源的最优配置，容易导致生产效率低下、交货周期延长等问题。此外，人工调度的质量高度依赖个人经验，存在一定的主观性和不确定性。

进一步来看，许多企业缺乏完善的数据管理系统，难以充分利用历史数据和实时数据优化计划调度。智能化技术的应用尚处于初级阶段，未能充分发挥其在需求预测、资源优化和动态调整中的价值。例如，在市场需求预测方面，企业尚未普遍采用大数据分析和人工智能技术，导致预测精度不足，难以准确掌握未来一段时间内各类高效电机的需求量、型号分布及交货期要求等信息。这不仅增加了生产计划的不确定性，还可能导致产能过剩或供应不足的问题。

（2）改造场景

高效电机企业的计划调度环节主要包含生产计划优化、车间智能排产以及资源动态配置等关键改造场景。

场景 1 生产计划优化

构建企业资源计划系统（ERP），根据市场需求、生产能力、物料供应等因素，制定合理的生产计划，实现基于采购提前期、安全库存和市场需求的生计划优化。通过 ERP 系统，企业能够实时监控物料库存、生产进度和供应链状态，动态调整生计划以应对市场变化。此外，系统还可以自动生成采购订单和生产任务，确保物料供应与生产需求的高度匹配，减少库存积压和生产停滞的风险。

场景 2 车间智能排产

应用高级排程系统（APS）或企业资源计划系统（ERP）中的相应功能模块，根据订单需求、生产资源，在现有生产计划中合理规划生产任务，确保在满足客户需求的同时，不影响其他订单的交付进度。借助先进的数据分析算法和人工智能技术，APS 系统能够综合考虑设备产能、人员配置、工艺要求等多重约束条件，生成最优的排产方案。通过集成调度机理建模和寻优算法，系统还能够动态响应生产过程中的突发扰动（如设备故障、订单变更等），实时调整排产计划，确保生产过程的连续性和高效性。

场景 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。MES 系统能够实时采集生产现场的数据，分析设备利用率、人员工作效率等关键指标，并根据生产任务的需求，智能分配资源。例如，在设备空闲或人员不足的情况下，系统可以自动调整任务分配，确保生产线的平衡运行。同时，通过持续的数据分析和反馈机制，不断优化资源配置策略，提升资源使用效率和生产绩效，为企业的可持续发展奠定坚实基础。

（3）解决方案建议

为解决高效电机行业计划调度环节中存在的系统应对复杂场景能力不足、人工调度效率低下、数据利用不充分以

及智能化程度有待提升等问题，可以通过以下方案进行改造。

首先，高效电机企业可以搭建 **ERP** 系统，通过集成市场需求预测、产能分析、库存管理等功能，提升其处理复杂场景和动态扰动的能力。

其次，引入具有 **AI** 功能的高级计划排程系统（**APS**），综合考虑设备产能、人员配置、工艺要求等多方面约束条件，替代以往依赖人工经验的排产方式，寻求生产计划的较优解。

第三步，集成制造执行系统（**MES**）和供应链管理系统（**SCM**）。基于 **MES** 系统实时采集生产现场数据的能力，分析设备利用率、人员工作效率等关键绩效指标，实现人力、设备、物料等制造资源的动态配置。基于 **SCM** 系统获取供应链信息，推动实现上下游协同计划调度。

第四步，引入大数据分析和人工智能技术进行排产功能升级。例如，运用深度学习算法对历史排产数据和实时生产数据进行联合建模，开发具备多约束处理能力的智能排产算法，构建包含工序约束、设备产能约束、人员配置约束等排产规则，支持算法自动调用匹配，替代人工经验判断，应用先进技术寻求生产计划的最优解。

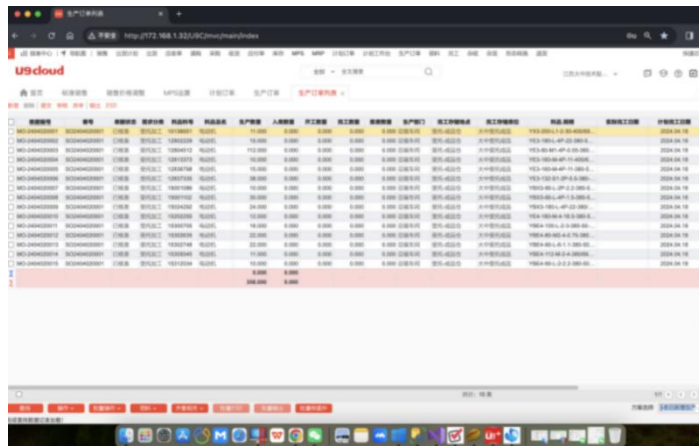
在整个转型过程中，一方面通过 **ERP**、**APS**、**MES**、**SCM** 等系统的集成与应用，实现排产计划自动生成；另一方面，加快探索智能化技术在需求预测、资源优化和动态调整中的潜力，全面提升计划调度的效率与精准度。

对于中小型企业推荐 **SaaS** 化工具部署。采用低成本、

模块化的云 ERP/APS 系统，可按需订阅功能模块，如排产优化、库存预警等。

在企业规划排产计划自动生成方案时，可以参考下面案例 4.7。

案例 4.7 排产计划自动生成



物料编号	名称	规格	单位	数量	日期	物料编号	名称	规格	单位	数量	日期
M01-0000000001	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18	M01-0000000001	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18
M01-0000000002	PCB板	120x120x1.6	块	50000	2024-04-18	M01-0000000002	PCB板	120x120x1.6	块	50000	2024-04-18
M01-0000000003	PCB板	120x120x1.6	块	75000	2024-04-18	M01-0000000003	PCB板	120x120x1.6	块	75000	2024-04-18
M01-0000000004	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18	M01-0000000004	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18
M01-0000000005	PCB板	120x120x1.6	块	15000	2024-04-18	M01-0000000005	PCB板	120x120x1.6	块	15000	2024-04-18
M01-0000000006	PCB板	120x120x1.6	块	30000	2024-04-18	M01-0000000006	PCB板	120x120x1.6	块	30000	2024-04-18
M01-0000000007	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18	M01-0000000007	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18
M01-0000000008	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18	M01-0000000008	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18
M01-0000000009	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18	M01-0000000009	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18
M01-0000000010	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18	M01-0000000010	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18
M01-0000000011	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18	M01-0000000011	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18
M01-0000000012	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18	M01-0000000012	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18
M01-0000000013	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18	M01-0000000013	PCB板	120x120x1.6	块	20000	2024-04-18
M01-0000000014	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18	M01-0000000014	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18
M01-0000000015	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18	M01-0000000015	PCB板	120x120x1.6	块	10000	2024-04-18

图 4.7-ERP 生产计划

本案例中,该企业通过ERP+SCM+MES组合完成了计划排产、企业资源管理,实时采集监控原料、设备、人员、模具等生产信息,基于安全库存、采购提前期、生产提前期、生产过程数据等要素进行生产能力分析,并基于约束理论的有限产能算法开展排产,自动生成主生产计划和详细生产作业计划。将自动排产系统与采购、生产、销售等环节进行数据协同,实现异常情况自动预警。

(1) 生产信息实时监控。成功集成了ERP、SCM、MES,以建立实时信息采集监控系统。

(2) 主生产计划及作业的生成。通过综合考虑设备产能、原料供应、订单需求等多个因素,系统能够自动生成主生产计划和详细生产作业计划。这些计划不仅考虑了生产效率和成本,还兼顾了订单交付期、产品质量等因素,确保了生产计划的合理性和可执行性。

4.8 生产作业（包括产线柔性配置、精益生产管理、工艺动态优化、智能协同作业、人机协同制造、网络协同制造等）

（1）存在的问题

高效电机行业的生产作业环节是确保产品质量、提升生产效率和降低运营成本的核心环节。随着市场对电机产品多样化、定制化需求的增加，传统生产模式已难以满足快速响应和高效交付的要求。因此，通过智能化改造提升生产作业环节的柔性化、精益化和协同化能力，成为企业实现转型升级、增强竞争力的关键。

在个性问题方面，部分电机企业的产线柔性配置能力明显不足，主要依赖固定配置和人工换线调整，这不仅导致效率低下，还限制了生产的灵活性。同时，尽管大多数企业已引入精益生产的理念，但精益工具和方法的应用并不深入，缺乏完善的信息化系统支持，使得生产数据的采集和分析能力较弱，难以实现基于数据驱动的精确管控。此外，传统静态的工艺流程已难以满足市场对产品多样化和个性化的快速响应，参数调整滞后和工艺流程僵化的问题日益凸显。

在共性问题方面，生产设备、检测装备和物流装备之间的信息孤岛现象严重，缺乏有效的协同机制，导致响应延迟和生产效率低下。同时，在复杂的生产工艺中，单纯依赖人工或机器均存在局限性，人机协作效率不高，影响了整体生产效率。此外，多数企业尚未实现网络协同制造，仅在特定

环节实现了初步协作，难以快速响应市场需求并实现资源的优化配置。

（2）改造场景

在高效电机行业的生产作业环节中，主要包含产线柔性配置、精益生产管理、工艺动态优化、智能协同作业、人机协同制造、网络协同制造等关键改造场景。

场景 1 产线柔性配置

在高效电机生产作业过程中，产线柔性配置能力不足是制约企业快速响应市场需求的主要瓶颈之一。目前，许多电机企业的生产线仍以固定配置为主，依赖人工进行换线和调整。这种模式虽然初期投入成本较低，但长期来看存在诸多问题：但长期存在效率低下、灵活性不足、隐性成本增加以及依赖人工经验等问题，制约了生产效率和市场响应能力。

为提升产线柔性配置能力，电机企业可以部署智能制造装备，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。

场景 2 精益生产管理

大多数企业已有精益生产管理的内容，但六西格玛、5S管理和定置管理等精益工具和方法未深入落实，导致应用效果有限；同时，缺乏完善的信息化系统支持，生产数据采集和分析能力较弱，难以实现基于数据驱动的精确管控，影响决策的科学性和及时性。精益生产的推行需要全员参与，但

许多企业员工对精益工具的理解和重视程度不足，导致执行效果不佳。

针对精益生产管理场景，企业应深入应用六西格玛、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，全面提升生产管理水平，提高效率，消除浪费。

通过六西格玛的 DMAIC（定义、测量、分析、改进、控制）方法，优化工艺流程，减少变异和缺陷；通过 5S 管理改善生产现场环境，提高工作效率；通过定置管理合理规划物料、工具和设备的位置，减少搬运和等待时间。同时，结合信息化系统，实现生产数据的实时采集、分析和可视化，支持基于数据驱动的人、机、料等资源的精确管控。此外，加强员工培训与参与，提升全员对精益工具的理解和重视程度，形成持续改进的文化氛围，从而有效提高生产效率，消除浪费，增强企业竞争力。

场景 3 工艺动态优化

在智能制造背景下，传统静态的工艺流程已难以满足市场对产品多样化和个性化需求的快速响应。许多企业通常是通过产品测试环节或售后问题反馈来调整优化工艺设计，面临参数调整滞后、工艺流程僵化的问题，这不仅会影响产品质量，还增加了生产成本和周期。

针对这一挑战，企业可以部署智能制造装备，构建生产过程全流程一体化管控平台。通过平台集成工艺机理分析、

多尺度物性表征、流程建模以及机器学习等先进技术，实时监测生产过程中的关键指标，动态分析工艺瓶颈，智能调整工艺流程和参数。通过这种智能化的动态优化，企业能够显著提升产品的一致性和质量，同时降低能耗和物料损耗。

场景 4 智能协同作业

在现代制造业中，生产设备、检测装备和物流装备之间的协同作业效率直接关系到企业的生产效率。传统控制方式往往存在信息孤岛和响应延迟的问题，限制了生产效率的提升。

为了打破这一瓶颈，企业可部署智能制造装备，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，确保生产流程的无缝衔接。通过智能协同作业，企业能够显著提高生产效率和灵活性，降低运营成本，提升整体竞争力。

例如在电机装配线上，通过智能协同系统实现机器人、传送带和检测设备的无缝衔接，减少等待时间和生产中断。通过智能协同作业，企业能够显著提升生产效率，降低设备闲置率，同时增强生产线的灵活性和响应能力。

场景 5 人机协同制造

在复杂的生产工艺中，单纯依赖人工或机器均存在局限性。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。通过这些技术，人员能够更直观地了解装备运行状态和生产任务，实现更加精准的操作和决策；同时，装备也能够根据人员的指令和动作做出快速响应，共同完成加工、装配、分拣等生产作业。这种人机协同制造模式不仅提高了生产效率和灵活性，还降低了人员的工作强度和风险。

场景 6 网络协同制造

在高效电机行业中，多数企业尚未实现网络协同制造，仅有部分企业在特定环节实现了初步协作，例如与客户之间的设计要求沟通、与供应商之间的订单信息连接，以及子公司与集团之间的部分协作。

为快速响应市场需求，提升协同制造能力，企业可基于自身发展需求建立网络协同平台，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。

例如，通过协同平台整合电机设计、零部件供应、生产制造和售后服务等环节，实现高效协同和资源优化。在网络协同制造模式下，企业能够实时共享设计数据、生产进度和库存信息，快速响应客户需求，缩短产品交付周期，降低运营成本。同时，通过优化资源配置，企业能够提升生产效率，增强市场竞争力，为高效电机行业的智能化、数字化转型提供有力支撑。

（3）解决方案建议

在高效电机行业的生产作业环节中，逐步开展产线柔性

配置、精益生产管理、工艺动态优化、智能协同作业、人机协同制造、网络协同制造，是提高劳动生产率、降低产值成本率的关键路径。企业基于自身生产现状合理选择解决方案，可以参照以下步骤进行改造。

第一步，产线柔性配置，在产线设计阶段，充分考虑相似型号电机的生产工艺和装备需求，通过标准化和模块化设计优化产线布局，使切换订单产品时只需更改智能装备程序或模具，快速实现产线切换，实现多种型号电机或零部件的混线生产。

第二步，引入智能化、自动化设备，推送智能协同作业和人机协同作业。如数控车床、工业机器人、智能检测设备等，提升产线自动化水平，减少对人工的依赖。

第三步，利用智能化控制系统，对生产设备、检测装备和物流装备进行统一调度与协同控制。例如，将制造执行系统（MES）与智能装备程序联动，实现订单信息与生产设备的无缝对接，当新订单下达时，MES系统自动下发生产任务和工艺参数，减少人工干预，提高换线效率。

第四步，推动工艺动态优化，基于生产过程全流程一体化管控平台或智能化控制系统，实时监测生产过程中的关键指标，动态分析工艺瓶颈，智能调整工艺流程和参数。

第五步，推动网络协同作业，促进与客户之间、与供应商之间、集团与子公司之间的网络协作，进一步提升协同制造能力。

此外，高效电机企业应结合自身生产情况开展精益生产管理，贯穿整个改造过程，全面提升生产管理水平，提高效率，消除浪费。

其中，企业在规划面向多品种产品混线生产的产线柔性配置方案时，可以参考案例 4.8（1）。企业在规划协同制造方案时，可以参考案例 4.8（2）。

案例 4.8 (1) 面向多品种产品混线生产的产线柔性配置



图 4.8 (1) -柔性生产单元机械臂上料

某电机企业部署了多品种产品混线生产的柔性产线。集成了超大型电机定转子精加工过程的落料、冲片、叠装、焊接、物流运输工序的柔性切换，通过机器人与传送带，将冲片从冲床、自动焊接机等多个机床上进行流转加工。

(1) 打通 APS、MES 系统和柔性产线中各台机床设备的信息交互，可将生产任务下发到生产机台设备，实现了产线设备对多类型产品加工的自适应控制。通过系统实现对多类型产品生产任务的自动分配，并实现工件的自动化运送、投入、回收等。

(2) 柔性产线设备可根据生产任务自动切换刀具，实现对多类型产品加工的无缝切换，减少等待时间，提升了生产效率和产品质量。

此外，在本场景中的物料会按预定的计划进行托板的智能调度运行，机床空闲时，总控系统自动分配生产计划，以减少机床的等待时间。

案例 4.8 (2) 基于设备物联网的协同制造



图 4.8 (2) -智能调度系统界面

该企业案例中，车间设备联网和搭建设备 IOT 平台是智能车间建设的基础。车间架设有线局域网络，建立 CNC 设备网络通讯基础，由机房中央服务器进行统一访问和管理。

服务器搭建数据采集通讯平台，通过 FOCAS/OPC UA/MTCONNECT 等协议与 CNC 设备进行通讯，实现机床加工过程数据的采集，包括设备状态、设备产能、工艺程序、轴参数、主轴负载、故障报警信息、机床刀具数据等。

应用智能调度系统，生产过程中出现异常时，通过人工智能技术对异常数据进行分析和决策，采取最优的调度措施，降低异常问题对生产的负面影响。智能调度系统能在生产异常产生时，自动分析影响，从调度指令库中选择较优的调度指令，发送给相应的责任人去执行，同时监控调度指令的执行结果。通过实际执行结果与系统计算结果对比，判断调度指令的执行效果优劣，持续优化调度决策规则和影响分析算法。

4.9 仓储物流（包括智能仓储、精准配送等）

（1）存在的问题

在高效电机行业中，仓储物流环节扮演着重要的角色，它不仅关乎物料与产品的有序存储与高效流转，还直接影响到企业的生产效率、库存成本及客户满意度。

在高效电机行业中，仓储物流环节既面临产品种类繁多带来的个性化管理挑战，也饱受人工操作效率低下等共性问题的困扰。

从个性问题来看，由于高效电机行业产品种类繁多，部分企业涵盖了从小型空调电机到大型风机电机等多种类型，这导致仓储物流的管理形式和规模难以统一标准化。不同企业的生产工艺和流程也存在差异，使得仓储管理需求各不相同，难以形成统一的解决方案，需要定制化方案。这些个性问题给仓储管理带来了极大的挑战。

与此同时，共性问题同样不容忽视。目前，大多数高效电机企业的仓储管理仍主要依赖于人工操作，人工操作的优点是成本低，足够灵活，但缺点是效率低下，而且容易出错，尤其是大型电机的搬运，多是人工操作叉车的形式。部分企业已经初步引入了仓储系统和自动化立体仓库作为辅助手段，在原材料仓库和线边仓应用较多，但整体效果仍有待进一步提升。此外，传统配送方式难以满足柔性化需求，且难以实现全程跟踪和动态调度，这进一步加剧了物流成本高企的问题。

（2）改造场景

高效电机仓储物流环节主要包含智能仓储和精准配送等改造场景。

场景 1 智能仓储

在高效电机行业中，由于订单多为小批量多品种，且产品种类繁多，从小型空调电机到大型风机电机不等，导致仓储形式和规模难以统一标准化。因此目前，高效电机企业的仓储管理多依赖于人工管理，少部分企业已初步使用仓储系统和自动化立体仓库作为辅助手段，需进一步优化。为提升仓储管理效率，建设智能仓储管理系统（WMS），结合物料尺寸、工艺流程，对原材料仓库、线边仓、成品仓等区域进行合理规划，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）。此外，将 WMS 与制造执行系统（MES）和供应链管理系统（SCM）集成，可以进一步促进仓储与生产、供应链的高效协同。

场景 2 精准配送

由于产品种类多、规格差异大，传统配送方式难以满足柔性化需求。人工配送虽然灵活且成本较低，但效率低、响应慢，难以实现全程跟踪和动态调度。

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，部署自动化导引车（AGV）、无人搬运车（AMR）等智能设备，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。将智能物流系统与 WMS、MES 和 SCM 集成，实现物流与仓储、生产、供应链的高效协同。

（3）解决方案建议

针对高效电机行业的仓储物流环节存在的管理效率低、库存成本高以及柔性化配送能力不足等问题，可以通过以下步骤进行改造。

第一步，建设智能仓储管理系统（WMS），部署智能立库。结合条码、射频识别（RFID）、智能传感等技术，实现物料自动入库、盘库和出库。同时，根据高效电机生产的工艺流程以及物料尺寸，合理规划原材料仓库、线边仓和成品仓的布局，并引入智能立库（自动化立体仓库）。部署 WMS 系统，实现物料的自动识别、定位和跟踪，减少人工操作错误。将 WMS 与制造执行系统（MES）和供应链管理系统（SCM）集成，实现仓储、生产与供应链的高效协同。

第二步，合理部署智能物流装备，在高效电机原材料、半成品和产成品的流转环节中引入 AGV 和 AMR，替代人工搬运，提高效率。利用实时定位技术，实现物流全程跟踪和动态调度，优化配送路径。

第三步，推动仓储物流数字化与智能化升级，探索物联网、人工智能等技术在高效电机仓储物流中的应用潜力。应用人工智能技术，如机器学习、深度学习等，对高效电机原材料及零部件的库存管理和配送调度进行优化。通过历史数

据分析，预测未来需求趋势，制定更加合理的库存策略和配送计划。

下面案例 4.9 可为生产小型规格电机（如微型电机、低功率伺服电机等）的企业在规划智能仓储系统时提供参考。

案例 4.9：基于 RFID 技术的智能仓储系统



图 4.9-自动输送及立库

本案例场景中，针对传统仓储系统存在的库存数据不准确、延迟性较大、作业效率低下、溯源能力差、依赖人工数据录入等问题，通过搭建 WMS 系统、引入智能立库、自动输送系统、RFID 无线射频识别技术等，实现物料从供应商到仓库、车间的信息流实时动态监控、实时传递，根据实际生产作业计划，进行物料自动入库、盘库和出库，实现智能仓储管理和高效物流配送。

1) 搭建专业化的 WMS 系统，并与 RFID 识别系统进行集成，全流程质量追溯。通过 WMS 系统将“收货、质检、上架、入库、发货、拣货、整合、发运”等物流作业环节进行信息化管控。

2) 应用以 RFID 电子标签为主的无线射频识别系统，自动读取、识别物料和工装器具信息，实现自动出入库，实现物流信息实时性监控和管理。

4.10 设备管理（包括在线运行监测、设备故障诊断与预测、设备运行优化等）

（1）存在的问题

高效电机行业的设备管理涉及电机生产线上的各类设备，包括但不限于原材料处理设备、定转子绕线设备、电机装配设备、焊接与涂装设备、测试设备、包装与物流设备、辅助设备等等。这些设备的稳定性和高效运行对于保证产品质量、提升生产效率至关重要。

在设备管理环节中，高效电机企业面临一些共性问题。首先，多数电机企业当前缺乏对设备运行状态的实时监控，导致设备运行效率管理不清晰，故障难以及时发现和处理。其次，故障诊断主要依赖人工经验，多数情况是发生故障后再进行反馈维护，效率低且准确性不足，难以应对复杂的故障模式。

企业还面临一些个性问题，例如，大多数企业已逐步开展设备上云建设，但仍有部分设备无法采集，特别是老旧设备和进口设备的改造难度较大，老旧设备缺乏数据采集接口，改造成本高；部分进口设备因技术保护或商业策略，不开放数据采集权限，难以实现智能化管理。另外，有些设备运行参数的调整通常依赖人工经验，缺乏科学依据，可能导致设备运行效率低下。

（2）改造场景

高效电机生产企业在设备管理环节进行智能化改造和

数字化转型，通过部署智能传感与控制装备，结合设备运行监测、故障诊断和健康管理，能够显著提升设备综合效率，降低运维成本。具体应用场景包括在线运行监测、设备故障诊断与预测以及设备运行优化。

场景 1 在线运行监测

部分高效电机企业面临老旧设备改造难度大、进口设备数据采集受限等问题。针对这些问题，一方面可以通过设备本身的数据采集功能进行监测，另一方面可以引入第三方检测技术，例如在设备外部安装振动、温度、电流等传感器，结合物联网技术实现实时监测。同时，利用 5G 网络和大数据分析技术，对设备运行状态进行实时分析，识别异常模式并触发报警，帮助运维人员及时处理问题。此外，通过自动巡检和远程监控，减少人工巡检的频率和误差，进一步提高设备运行效率，降低非计划停机时间。

综上所述，通过集成智能传感、5G、大数据分析等技术，企业可以构建设备在线运行监测系统，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，及时发出异常报警，进一步提高设备运行效率。

场景 2 设备故障诊断与预测

高效电机企业当前主要依赖人工反馈设备故障，效率较低且难以预测复杂故障模式。针对这一场景，对于支持数据采集的设备，可以利用其内置传感器获取运行数据，结合机器学习算法建立故障诊断模型，分析故障趋势；对于不支持

数据采集的设备，则可以通过外部传感器采集关键参数（如振动、电流等），结合故障机理分析技术预测设备失效模式。基于预测结果，企业能够提前制定维护计划，开展预测性维护，避免设备突发故障，从而提高设备综合利用率，降低维护成本。

综上所述，通过综合运用物联网、机器学习、故障机理分析等技术，企业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。

场景 3 设备运行优化

高效电机企业多数依靠人工来进行设备管理和运行优化，因此面临设备运行状态不透明、运行参数调整依赖人工经验等问题。通过建设设备健康管理系统，利用智能传感器和物联网技术实时采集设备运行状态数据（如转速、负载、温度等），并结合工作环境数据（如温度、湿度等）进行综合分析，识别设备运行中的低效环节。基于模型分析，优化设备运行参数，使设备在最佳状态下运行。同时，引入自适应控制技术，根据设备运行状态和环境变化自动调整参数，确保设备在不同工况下保持高效运行。此外，通过预测设备剩余使用寿命，提前规划设备更换或大修计划，进一步延长设备使用寿命，降低设备更换频率。

（3）解决方案建议

高效电机企业要实现设备管理的智能化改造，可以结合企业自身情况，按照以下步骤逐步推进。

第一步，部署智能传感与数据采集系统，电机生产线上的设备种类繁多，包括原材料处理设备、定转子绕线设备、电机装配设备、焊接与涂装设备、测试设备、包装与物流设备、辅助设备等等。对电机生产设备进行分类评估和采集，支持数据采集的设备，通过设备本身的数据采集功能进行监测，对于老旧设备或无法对接的进口设备，可以通过外部安装振动、温度、电流等传感器，结合物联网技术实现数据实时采集与传输。

第二步，构建设备在线运行监测系统，集成 5G 和大数据分析技术，实时监控设备运行状态，部署自动巡检和远程监控，通过数据分析识别异常并触发报警（例如超温报警、振动异常报警等），减少人工巡检成本，提升设备利用率。

第三步，建立生产设备故障诊断与预测系统，利用机器学习算法分析设备运行数据，建立故障诊断和预测功能。基于故障诊断和预测结果（例如轴承磨损、温升异常、润滑失效等），企业能够提前制定维护计划，开展预测性维护，避免设备突发故障，从而提高设备综合利用率，降低维护成本。

其中，企业在规划设备运行状态监测和设备管理系统方案时，可以参考下面案例 4.10。

案例 4.10 基于平台的设备运行状态监测



图 4.10-设备在线运行监测

该企业案例中，通过工业互联网平台的数据采集功能，企业能够全面获取设备的每日运行情况、设备总量、稼动比率以及报警次数等关键信息。这些信息不仅有助于实时了解设备的运行状态和效率，还能帮助及时发现并解决潜在问题，从而确保生产的顺利进行。

通过 IOT(设备数据采集)实现设备运行数据实时自动采集、存储，实时反馈设备开关机状态、报警信息、运行程序、负载、功率、坐标等信息。为车间科学安排生产计划、采取正确措施提供准确、可靠的数据基础。实现对联网内每台设备的工作负荷、运行时间统计、按照不同的周期，对设备开机时间、有效加工时间、停机时间、故障时间等进行列表和图形化统计。通过自动采集设备的工作状态，并对故障信息、运行信息进行监控分析，为设备部门做出科学有效的保养计划提供基础数据。自动采集设备状态数据，通过系统的业务分析，对设备的违规操作做出预警。

4.11 安全管控（包括安全风险实时监测与应急处置、危险作业自动化等）

（1）存在的问题

安全是企业生产的基石，有效的安全监控和应急响应能够显著提升企业的本质安全，降低事故发生的概率和损失工时事故率，从而保障企业的稳定运营和员工的生命安全。尤其是涉及危化品和危险作业的场景，安全风险的实时监测和应急处置是保障生产安全的重要环节。

当前许多高效电机企业在安全管控环节，仍采用比较传统的人工管理方式，存在一些比较明显的问题。

首先，对气体泄漏、温度异常、设备振动等风险的实时监测能力不足，难以及时发现潜在隐患。其次，员工安全培训和应急演练的频率与深度不足，导致员工安全意识薄弱、应急处置能力欠缺。

此外，部分企业的危险作业环节仍以人工操作为主，增加了人员暴露在危险环境中的风险，且部分区域缺乏有效的安全防护措施，如机械围栏、电子围栏等，无法有效隔离危险区域。

（2）改造场景

企业可规划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。

场景 1 安全风险实时监测与应急处置

在高效电机企业生产环境中，尤其是涉及危化品和危险

作业的场景，安全风险的实时监测和快速响应至关重要。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。

一旦系统检测到异常情况，如气体泄漏、温度异常、设备异常振动或人员违规操作等，可以立即触发预警机制，并通过安全生产管理系统自动调配应急资源，实现安全事件的快速响应和智能处置。此外，定期开展安全培训和应急演练，提升员工的安全意识和应急处理能力，进一步降低事故发生的可能性。

场景 2 危险作业自动化

可以部署智能制造装备，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。

在自动化产线周围设置多重安全防护措施，如机械围栏、电子围栏和紧急停止按钮，当检测到异常情况时，系统自动启动安全防护机制，确保设备和人员的安全。此外，可以安装智能监控摄像头和传感器，实时监测人员活动，一旦检测到人员进入危险区域，系统立即发出声光报警并通过安全生产管理系统通知相关人员。

（3）解决方案建议

综合来看，高效电机企业应根据各自工艺特点以及安全风险合理规划，建议分阶段实施改造方案。

第一步，聚焦高风险区域，优先部署智能装备和自动化设备，实现少人化、无人化。例如电机喷漆线涉及易燃易爆的油漆和溶剂，且喷漆过程中产生的漆雾对人体健康有害，属于典型的高风险作业区，可引入自动化设备实现危险作业环节的少人化、无人化。又例如，在机器人、机械臂作业区域，设置机械围栏、电子围栏等安全设施，避免人员误入风险。

第二步，构建安全生产管理系统，在危险区域部署各类传感器，包含温度传感器、火焰探测器、摄像头等，实现数据的及时采集与数据分析。

第三步，利用安全生产管理系统积累的数据，持续优化风险识别和应急响应流程。同时，加强员工的安全培训和应急演练，提升员工的安全意识和应急处理能力。

其中，企业在规划高风险区域安全管控方案时，可以参考下面案例 4.11。

案例 4.11 电机喷漆线危险作业自动化



图 4.11-自动喷漆线

某电机进行了电机喷漆线自动化改造。在改造前，喷漆工序一直是车间最为危险的工序之一。由于涉及到有害化学物质的使用和挥发性有机物的排放，不仅对操作人员的身体健康构成威胁，还容易引发火灾、爆炸等安全事故。同时，传统的手工喷漆方式效率低下，质量难以保证，进一步增加了生产过程中的不确定性。为了彻底改变这一状况，该公司为车间量身打造了自动喷漆线。采用先进的机器人技术和自动化控制系统，实现了喷漆作业的自动化和智能化。操作人员只需在控制室内进行远程监控和操作，即可完成整个喷漆过程，彻底避免了直接接有害化学物质的风险。此外，自动喷漆线还配备了先进的安全监测和报警系统。一旦出现异常情况或潜在的安全隐患，系统会立即发出警报并采取相应的安全措施，确保整个喷漆过程的安全可控。

4.12 能源管理（包括能耗数据监测、碳资产、能效平衡与优化等）

（1）存在的问题

在电机企业中，能耗数据监测与能效优化是提升能源利用率、降低单位产值综合能耗的关键环节。目前该环节存在的问题和挑战主要有以下几个方面。

首先，部分电机企业开展的能耗数据监测仅停留在总厂用电、车间用电层级，未能细化到产线或设备层级，导致难以精准识别高能耗环节和设备。其次，部分电机企业做的能耗优化通常仅针对个别高能耗设备，缺乏对全厂能耗的系统性分析和优化，导致能源利用率难以提高。

此外还有一些共性问题，企业对能耗管理的重视程度不足，现有系统对能耗数据的分析能力有限，难以支持精细化的能耗优化决策。在能耗异常发生时，也缺乏高效的预警和响应机制，可能导致能源浪费或设备损坏。

（2）改造场景

企业可部署能耗采集装置，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，具体包括能耗数据监测、能效平衡与优化以及碳资产等场景。

场景 1 能耗数据监测

通过部署能源管理系统（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。

由于目前多数高效电机企业的能耗数据监测仅停留在总厂用电、车间用电层级，未能进一步细化到产线层级或设备层级，导致能耗分析的颗粒度不足，难以精准识别能耗异常或优化潜力。为此，企业可以在总厂、车间、产线及设备层级部署智能传感装置，实现能耗数据的精细化采集和实时监测，并通过能源管理系统将采集到的能耗数据进行可视化展示，实时监控各层级能耗情况，及时发现异常能耗点。同时，对总厂、车间、产线及设备层级的能耗数据进行对比分析，识别高能耗环节和设备，为后续优化提供依据。此外，基于能耗数据设定阈值，当监测到能耗异常时，系统自动触发预警并通知相关人员，确保问题及时处理。

场景 2 能效平衡与优化

通过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。

当前多数电机企业对能耗管理的重视程度不足，能耗优化通常仅针对个别高能耗设备，缺乏对全厂能耗的系统性分析和优化，可能导致能源利用率较低，单位产值综合能耗较高。为此，企业可以在能耗数据监测的基础上，进一步利用能源管理系统对全厂能耗进行系统性分析，识别能耗优化的潜力和重点环节。结合设备运行数据和工艺参数，应用能效优化机理分析技术，优化设备运行参数或工艺参数，降低能

耗。同时，利用大数据分析和深度学习算法，对历史能耗数据进行挖掘，建立能耗预测模型，优化能源调度策略。针对高能耗设备和关键生产环节，制定专项优化方案，实现能源的综合平衡与优化调度。此外，建立能耗优化长效机制，定期评估优化效果，持续改进能耗管理策略，确保能源利用效率的持续提升。

场景 3 碳资产管理

开发碳资产管理平台，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。

目前高效电机行业多数企业尚未开展碳资产管理，面临碳排放数据不透明、无有效碳资产管理手段以及未参与碳交易等现状。随着全球对碳中和目标的关注日益增加，企业碳资产管理成为实现绿色低碳发展的重要环节。为此，企业可以部署碳资产管理平台，利用智能传感和物联网技术实时采集碳排放数据，并通过区块链技术确保数据的不可篡改性和可追溯性。平台支持碳排放的深度分析与核算，自动生成碳排放报告，并与碳交易市场对接，帮助企业实现碳资产的价值最大化。此外，基于数据分析结果，平台还可提供智能化减排建议，优化生产流程和能源使用，降低碳排放强度。通过碳资产管理平台的部署，企业不仅能够实现碳排放的精准管理和减排目标，还能通过碳交易市场创造经济效益，为绿色低碳发展奠定坚实基础。

(3) 解决方案建议

在高效电机行业的能源管理环节，企业可以通过以下步骤提升能耗管理水平。

第一步，部署和优化能源管理系统（EMS），在高效电机企业总厂、车间、产线及设备层级部署智能传感装置，实现能耗数据的精细化采集和实时监测。通过能源管理系统将采集到的能耗数据进行可视化展示，实时监控各层级能耗情况，及时发现异常能耗点，例如某条产线在非生产高峰时段出现能耗突然飙升的情况。

第二步，建立智能预警与数据分析机制，基于高效电机生产各环节的能耗特性，为不同层级和设备的能耗数据设定阈值，当监测到能耗异常时，系统自动触发预警并通知相关人员，确保问题及时处理。对总厂、车间、产线及设备层级的能耗数据进行对比分析，识别高能耗环节和设备，为后续优化提供依据。例如对比不同车间在相同生产周期内的能耗差异，分析是由于设备老化、工艺不同还是管理水平导致能耗高低；对同一产线不同时间段的能耗数据进行对比，找出能耗波动规律；剖析各设备在不同运行状态下的能耗情况，精准识别高能耗环节和设备，如老旧的电机生产线可能因设备散热不佳导致能耗过高，为后续针对性优化提供有力依据。

第三步，优化设备运行与能源调度，结合设备运行数据和工艺参数，应用能效优化机理分析技术，优化设备运行参数或工艺参数，降低能耗。针对高能耗设备和关键生产环节，利用大数据分析和深度学习算法，对历史能耗数据进行挖掘，

建立能耗预测模型，优化能源调度策略。

第四步：结合高效电机行业企业发展需求规划碳资产管理平台，逐步规划开展全流程的碳排放追踪、分析、核算和交易，助力企业绿色低碳转型。

其中，企业在规划能源管理系统时，可以参考下面案例4.12。

案例 4.12 精益能源管理系统



图 4.12-精益能源管理系统

某企业部署精益能源管理系统，对公司的能耗情况进行三级管理，工厂级，车间级和设备级，对加工中心高能耗设备，通过独立的智能电表进行计量，并在电能监控系统对各个加工中心的用电情况和用水情况进行在线记录。同时进行单耗分析，用以进行不同设备的产能分配、成本核算及持续改进，进一步优化能源耗用，实现能源的优化调度和平衡预测，有效指导生产作业。平台除了具备全面的能耗监测与可视化分析功能外，还增设了能流分析模块。通过这一功能，可以清晰直观地了解各用能单位（如车间、部门、生产线等）的能耗占比情况。系统会根据实时能耗数据，自动计算并展示各用能单位的能耗占比，帮助管理人员快速识别出高能耗环节和节能潜力点。企业可以更加深入地分析能耗结构，找出潜在的节能措施和改进方案。

4.13 环保管控（包括污染监测与管控、废弃物管理等）

（1）存在的问题

环保管控环节主要是污染物排放和废弃物管理。高效电机企业污染物和废弃物多为废气、废水、废油、油漆等，排放量较少，因此目前企业普遍通过人工统计记录管理。

首先，由于监测数据采集不全面，难以实时、精准地掌握排放情况。其次，废弃物主要通过人工统计记录管理，存在记录不及时或出错的问题，且缺乏系统化的管理平台，难以实现废弃物的全过程跟踪和高效利用。此外，企业缺乏对排放数据和废弃物管理数据的深度分析能力，难以支持环保优化决策，导致资源利用率低，废弃物的循环再利用途径有限，造成资源浪费和环境污染。

（2）改造场景

针对环保管控问题，企业可以部署环保监测装置，搭建环保管理平台，通过排放采集与监控，排放分析与优化，降低污染物排放。主要包含以下两个场景。

场景 1 污染监测与管控

高效电机企业污染物多为废气、废水、废油、油漆等，污染物排放量较少。可搭建环保管理平台，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。

场景 2 废弃物管理

高效电机企业产生的废弃物主要通过人工统计记录管

理，记录不及时或记录出错，且缺乏系统化的废弃物管理平台，难以实现废弃物的全过程跟踪和高效利用。可部署废弃物管理平台或 ERP\MES 系统中的相关功能模块，集成智能传感、物联网、区块链等技术，实现废弃物处置和循环再利用全过程的监控、追溯。

（3）解决方案建议

高效电机企业结合自身的实际情况，合理规划、优化环保管控措施，不断提升自身的环保管理水平，通过深入的数据分析，发现潜在的排放问题，并据此制定有效的优化措施，从而显著降低污染物的排放量。

第一步，部署环保监测装置，搭建环保管理平台和废弃物管理平台。应用机器视觉、智能传感和大数据技术，对高效电机生产过程中产生的废气、废水、废油、油漆等污染物或废弃物进行实时监测和数据采集，提升管理透明度。

第二步，基于监测数据设定排放阈值，当超标时自动触发预警并生成环保报告，确保问题及时处理。

第三步，利用大数据技术对排放数据进行分析，识别污染源和排放规律，优化生产工艺和设备运行参数，降低污染物和废弃物排放，进行排放管理优化。

同时，积极寻找废弃物的再利用途径，促进废弃物的资源化利用，减少环境污染。

4.14 供应链计划（包括供应链计划协同优化、产供销一体化等）

（1）存在的问题

在高效电机行业中，通过打通供应链上下游的生产、仓储、物流等环节，企业可以实现采购计划、生产计划、配送计划的协同编制与同步更新，从而快速响应市场需求变化，提高供应商准时交付率。

目前该环节存在信息孤岛、计划调整滞后等问题。供应链上下游各环节（如采购、生产、仓储、物流）数据分散，缺乏统一的数据平台，导致信息传递不畅，计划编制和调整依赖人工沟通，效率低且容易出错；同时，由于行业订单呈现多品种、小批量特点，市场需求变化快，供应链计划调整滞后，难以快速响应，采购、生产、配送计划之间缺乏协同，导致资源浪费和交付延迟；此外，大数据、人工智能等技术在供应链计划中的应用尚处于初级阶段，未能充分发挥其价值，缺乏对市场需求预测、资源优化和动态调整的智能化支持。

（2）改造场景

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。主要包含供应链计划协同优化和产供销一体化等场景。

场景 1 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。

在该场景中，企业可以通过数据整合与共享，打通供应链上下游数据流，建立统一的数据平台，消除信息孤岛。协同编制采购计划、生产计划和配送计划，确保各环节计划的一致性，实时监控仓储库存、生产进度和物流状态，动态调整采购、生产和配送计划。并将订单信息同步至供应商，生成物料二维码，实现从订单到交付的全流程跟踪。

场景 2 产供销一体化

在产供销一体化场景下，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。

高效电机企业可以借助人工智能和云计算技术，构建一个高度集成的信息系统架构，连接客户关系管理系统(CRM)、企业资源计划系统(ERP)、制造执行系统(MES)、供应链管理系统(SCM)等关键业务系统，实现从客户需求到产品设计、原材料采购、生产制造、物流配送直至售后服务的全链条数字化管理。

通过这一集成平台，销售数据能够即时反馈给生产和采购部门，为生产计划的制定提供直接的市场导向，确保生产活动紧密贴合市场需求。同时，生产计划的变化也能迅速传达给采购部门，调整原材料采购策略，避免过度采购或供应不足。采购系统则能智能分析供应商绩效，优化供应商选择，

提升供应链整体效率和质量。

此外，该体系内的数据流和业务流高度协同，支持快速响应市场变化，如紧急订单插入、产品变更等，确保供应链的灵活性和韧性。通过数据分析，企业还能深入挖掘客户需求趋势，指导产品创新和业务策略调整，进一步增强市场竞争力。

（3）解决方案建议

对于高效电机行业中的大型企业和中小型企业，可根据自身的智能化数字化基础和供应链计划管理现状合理规划提升路径。

对于大型高效电机企业，可以深入打造供应链计划协同优化和产供销一体化场景。第一步，部署高级计划排程系统（APS）和供应链管理系统（SCM），结合大数据和人工智能技术，实现采购、生产、配送计划的协同编制与动态调整。第二步，构建高度集成的信息系统架构，连接 CRM、ERP/MES、SCM 等关键业务系统，实现销售、生产、采购的协同优化。例如在高效电机销售端，CRM 系统收集客户对电机性能、定制化需求等信息，并实时传递至 ERP/MES 系统，以便生产部门据此调整生产计划。第三步，探索应用人工智能和机器学习技术，优化需求预测、资源分配和动态调整，例如精准预测不同行业、不同季节对高效电机的需求变化。该解决方案总体目标是提高大型企业的供应链整体效率，快速响应市场变化，降低运营成本，增强市场竞争力。

对于中小型高效电机企业，建议采用轻量化的供应链管理软件或云平台，结合基础的大数据分析技术，实现采购、生产、配送计划的初步协同。部署成本较低的供应链管理工具，打通关键环节的数据流，实现信息共享。也可以采用模块化的 ERP 系统或云平台，打通销售、生产、采购系统的业务流和数据流，逐步优化资源配置。该解决方案的目标是提高中小型企业的计划编制效率，降低库存成本，为未来智能化升级奠定基础。

4.15 供应链采购与交付（包括供应链采购动态优化、供应链智能配送与动态优化等）

（1）存在的问题

在高效电机企业中，供应链采购与交付环节主要是确保原材料及时供应、降低采购成本、提高供应商交付率。通过数字化、网络化和智能化改造，企业可以逐步实现采购订单的精准跟踪、采购方案的动态优化以及配送路径的智能调度，从而提升供应链整体效率，降低运营成本。

目前部分高效电机企业采用 SCM 系统，或 ERP 系统中的相关功能进行供应链管理，包含订单下发，订单信息跟踪等，主要存在以下问题。首先，在信息沟通方面，企业仍高度依赖人工操作，导致信息传递滞后或遗漏，即使使用电子邮件或表格等工具，也存在数据冗余、更新延迟等问题。其次，SCM 或 ERP 系统往往局限于企业内部使用，与外部供应商的信息协同不足。此外，采购主要依赖人工操作，采购

方案缺乏动态优化能力，难以应对市场波动和供应商变化。在物流配送方面，由于缺乏实时监控，难以实现全程跟踪和异常预警，配送路径和装载能力优化不足，传统配送方式难以满足柔性化需求，响应速度慢。

（2）改造场景

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，具体有供应链采购动态优化和供应链智能配送与动态优化等场景。

场景 1 供应链采购动态优化

在该场景中，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。

一方面实现采购订单精准跟踪，通过 SCM 系统实时监控采购订单状态，确保供应商按时交付。另一方面可以实现采购方案动态优化，利用寻优算法和知识图谱技术，动态调整采购方案，降低采购成本。

场景 2 供应链智能配送与动态优化

依托运输管理系统，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。

在该场景下，通过实时定位技术监控配送过程，及时发现并处理异常情况，实现配送全程跟踪与异常预警，利用人工智能算法优化配送路径和装载方案，降低物流成本，实现

配送路径与装载能力优化。

（3）解决方案建议

在高效电机行业供应链采购与交付环节，大型企业可以通过部署先进的数字化系统例如供应链管理系统（SCM）和运输管理系统，对采购订单和交付物流进行实时监控。这种实时跟踪不仅显著提高了供应商的交付率，确保了生产所需的电机部件和原材料能够及时到位，还通过精准的需求预测和库存管理，有效降低了采购成本，提升了供应链的整体效率和企业的盈利能力。对于中小型企业，则可从轻量化的供应链管理软件和云平台入手，结合基础的大数据分析技术，实现采购订单的初步跟踪和采购方案的动态优化。

4.16 供应链服务（包括供应商数字化管理、供应链风险预警与弹性管控等）

（1）存在的问题

在高效电机行业中，供应链服务环节主要是确保供应商管理精细化、供应链风险可控以及订单交付稳定。通过数字化、网络化和智能化改造，企业可以实现供应商数据的精细化管理、供应链风险的实时预警与动态响应，从而提升供应链整体效率，降低运营风险。

当前多数企业仍是人工管理供应商信息，有部分企业采用 SRM 或 ERP 中的相关进行供应商基础信息管理，暂未使用系统进行供应商分级分类、寻源优选等精细化管理，这种管理模式的局限性，导致企业在供应链服务方面面临诸多挑

战。首先，供应商信息管理依赖人工操作，数据更新滞后且容易出错，缺乏对供应商的分级分类、寻源优选等精细化管理能力。其次，供应商绩效评估不完善，难以优化供应商选择和采购策略。更关键的是，缺乏供应链风险的实时识别和预警机制，供应链弹性不足，面对突发风险（如原材料短缺、物流中断）时响应能力弱。

（2）改造场景

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，主要包括供应商数字化管理和供应链风险预警与弹性管控等场景。

场景 1 供应商数字化管理

企业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。

在这个场景中实施重点主要有以下几个方面。首先，通过构建 SRM 系统，企业可以全面收集并整合供应商的基本信息，包括但不限于企业资质、生产能力、财务状况、历史合作记录等。这些信息通过标准化、结构化的方式存储，确保数据的准确性和可追溯性。在此基础上，系统能够支持供应商信息的实时更新与同步，确保企业随时掌握供应商的最新动态，如产能变化、价格调整、新品研发等关键信息，从而为后续的供应商评价与选择提供可靠依据。进一步地，企业可利用大数据技术和机器学习算法，构建供应商绩效评估

模型，从交货准时率、产品质量、服务态度、成本控制等多个维度对供应商进行客观、全面的评价。基于评估结果，系统可对供应商进行科学分级分类（如战略供应商、优先供应商、普通供应商等），以便企业实施差异化管理和优化资源配置。最后，结合知识图谱和大数据技术，系统能够根据供应商的绩效评估结果及分级分类信息，智能推荐符合企业需求的优质供应商，从而显著提升寻源效率和准确性，推动供应链管理向智能化、精细化方向发展。

通过该场景提升供应商管理效率，优化采购策略，降低采购成本，增强供应链稳定性。

场景 2 供应链风险预警与弹性管控

企业可以构建供应链管理系统，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。

具体而言，通过物联网（IoT）设备、ERP 系统、CRM 系统等多渠道收集供应链各环节（包括原材料供应商、生产商、分销商、物流商等）的实时运营数据，包括但不限于库存水平、生产进度、运输状态、市场需求变化等。利用知识图谱技术，整合行业知识、案例经验、政策法规等信息，构建供应链风险知识库。通过机器学习算法识别异常模式（如价格波动、供应商信誉下降、物流延误等），并触发预警通知。基于风险预警信息，系统自动调整采购策略，如增加安全库存、寻找备选供应商、提前下单等，以缓解供应中断风险。同时，利用大数据分析预测市场需求变化，优化库存结

构，减少库存积压。通过该场景实现供应链风险的实时监控与动态响应，提升供应链弹性，确保订单交付稳定性，增强企业抗风险能力。

（3）解决方案建议

对于大型企业而言，供应链服务环节改造可以从以下几个方面入手。首先，建设与集成数字化管理系统，部署供应商管理系统（SRM）和供应链管理系统，全面整合供应商信息和供应链各环节数据。其次，深化精细化管理与风险预警，利用大数据技术和机器学习算法，对供应商进行客观全面地评价，实施分级分类管理。然后，构建供应链风险知识库和预警机制，实时识别并响应供应链中的异常模式，提升抗风险能力。

对于中小型企业而言，最主要的是选择适合自身需求的供应商管理系统软件，可以快速部署并投入使用，其次对供应商进行基本评价和分类，优先选择与自身业务需求匹配的供应商，在关键节点建立简单的风险识别机制。

其中，企业在规划 SRM 数字化采购管理平台时，可以参考下面案例 4.16。

案例 4.16: SRM 数字化采购管理平台

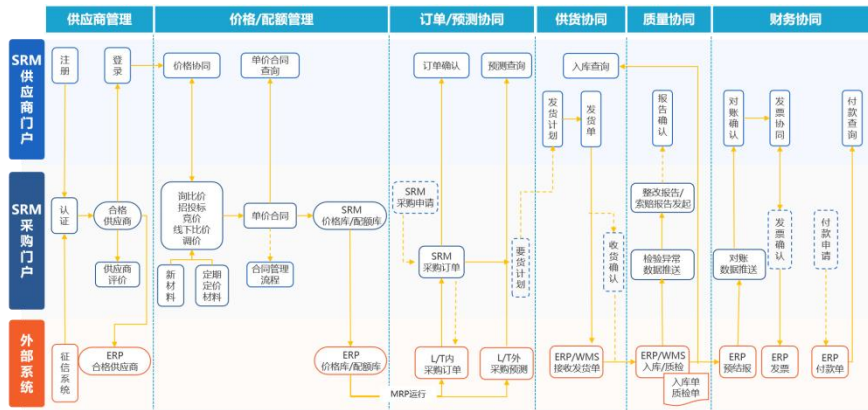


图 4.16-全面数字化采购解决方案

某企业以定制化业务为主，产品涉及数十种系列两千多规格，采购种类繁多、供应商数量多、定价方式多样、订单执行复杂，产生了大量的采购事务性工作。原有采购模式中依靠人工线下方式作业与管理，影响企业运营效率。

因此需要建设一个更加高效、敏捷、稳定的供应链采购体系，实现核心供应链一体化协同管理。某电机企业部署 SRM 数字化采购管理平台，打通供应商管理、需求管理、价格管理、订单/送货/质量/财务协同系统等全流程全周期的数字化断点，实现流程与数据的无缝流转，全面赋能采购降本增效。

系统上线后，实现该企业与供应商之间的敏捷协作与信息共享，有效提升供应链采购效率，降低综合采购成本，提升核心竞争力，实现高质量发展助力。

五、路径与方法

5.1 实施路径

在智改数转网联转型具体实施过程中，大型企业与中小企业的实施路径和侧重点有所区别，企业可根据自身特性采取适配策略。

大型企业的转型核心是战略整合和系统重构。大型企业应更注重将业务管理技术与数字化技术进行深度融合，可以利用自身强大的 IT 能力自主研发或合作开发定制化的数字化系统，以优化业务流程、提升效率并增强竞争力。实施路径上，大型企业可以从顶层规划入手，将业务发展战略作为数字化转型的导向，确保转型方向与业务目标高度一致。同时，大型企业还需注意信息系统孤岛问题，通过整合信息架构，实现各系统间的无缝连接和数据共享，通过统一数据架构打通研发、生产、供应链等环节，构建协同化智能管理体系。

中小型企业更侧重按需求逐步改造。实施路径应紧扣生产痛点和有限资源，优先在关键环节实现转型。中小企业应结合自身生产需求，有选择地规划智能装备和信息管理系统。首先需要明确自身的业务需求和生产流程，了解哪些环节需要信息系统的支持，以及这些系统需要实现哪些功能。同时，企业评估自身的技术基础、人员配备和资金状况，选择合适的建设方案。此外，中小型企业可以借助云化工业软件和工业互联网平台，选择更低成本的建设方案。企业需要选择合

适的服务商，同时需要了解服务商提供的云化工业软件和工业互联网平台的功能和特点，以确保所选方案能够满足企业的实际需求。在建设中选择更低成本的方案，例如通过租用云服务商的服务器和存储资源，减少硬件投资；利用平台提供的标准化应用和服务，降低软件开发和运维成本等。因此中小型企业转型更依赖生态协同，通过甄选适配的服务商，将有限资金精准投入能快速见效的数字化场景。

表 1 大中小型企业实施方案建议表

优先级排序 (从高到低)	大型企业	中型企业	小型企业
1	信息架构整合与优化	关键业务流程智能化改造	业务痛点诊断
2	智能制造能力提升	数据采集与分析能力提升	轻量化工具应用 (云服务、SAAS等)
3	数据中台规划与构建	数字化转型培训与能力建设	数据采集与分析能力提升
4	网络安全与数据隐私保护	智能制造能力提升	数字化转型培训与能力建设
5	供应链协同管理	网络安全与数据隐私保护	智能制造能力提升(逐步推进)
6	创新研发能力提升	上下游协同管理	网络安全与数据

	升；人工智能、数字孪生等先进技术应用		隐私保护
7	数字化营销与品牌建设	/	/

针对中小型企业 在智改数转网联过程中各环节场景的重视程度建议，整理如下表所示。

其中 5 星（★）表示：该场景中小企业普遍适用且对竞争力有决定性影响，建议必须推进；4 星表示：该场景可提升中小企业的效率或质量，建议重点推进；3 星表示：该场景需结合中小企业现状进行分析实施效果，企业根据自身情况考虑；2 星表示：该场景非中小企业重点关注场景，资源有限时可不关注；1 星表示：该场景中小企业暂不建议投入。

表 2 中小型企业环节与场景重点场景建议

环节	场景	场景建议
4.1 产品设计	产品数字化研发与设计	★★★★★
	虚拟试验与调试	★★★
	数据驱动产品设计优化	★★★
4.2 工艺设计	工艺数字化设计	★★★★★
	可制造性设计	★★★★★
4.3 质量管控	智能在线检测	★★★

	质量精准追溯	★★★★
	产品质量优化	★★
4.4 营销管理	销售驱动业务优化	★★
	大规模个性化定制	★★★★
4.5 售后服务	产品远程运维	★★
	主动客户服务	★★
	数据驱动服务	★★
4.6 工厂建设	工厂数字化设计	★
	数字孪生工厂建设	★
	工业技术软件化应用	★
	数字基础设施集成	★★★★
	数据治理与流通	★★★★
4.7 计划调度	生产计划优化	★★★★★
	车间智能排产	★★★★★
	资源动态配置	★★★★★
4.8 生产作业	产线柔性配置	★★★★★
	精益生产管理	★★★★★★
	工艺动态优化	★★★★
	智能协同作业	★★★★★★
	人机协同制造	★★★★★★
	网络协同制造	★★
4.9 仓储物流	智能仓储	★★★★

	精准配送	★★★
4.10 设备管理	在线运行监测	★★★★★
	设备故障诊断与预测	★★★★
	设备运行优化	★★★★
4.11 安全管控	安全风险实时监测与应急处置	★★★★
	危险作业自动化	★★★★★
4.12 能源管理	能耗数据监测	★★★★★
	碳资产	★★★★
	能效平衡与优化	★★★★
4.13 环保管控	污染监测与管控	★★★★
	废弃物管理	★★★
4.14 供应链计划	供应链计划协同优化	★★★★
	产供销一体化	★★★
4.15 供应链采购与交付	供应链采购动态优化	★
	供应链智能配送与动态优化	★
4.16 供应链服务	供应商数字化管理	★★★★
	供应链风险预警与弹性管控	★★★★

5.2 相关政策及方法

5.2.1 相关政策

5.2.1.1 《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025—2027年）》

为深化制造业智能化改造、数字化转型、网络化联接，

促进数字经济和实体经济深度融合，《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025—2027年）》（以下简称《行动计划》）于2025年1月发布。

《行动计划》总体目标：到2027年，全省制造业企业设备更新、工艺升级、数字赋能、模式创新步伐明显加快，打造一批具有江苏特色的智能工厂，规上工业企业基本完成智能化改造，中小企业全面实施数字化转型。数字技术在工厂建设、研发设计、生产作业、经营管理和能耗、碳排放及资源循环利用等关键环节普及应用，工业互联网创新发展，人工智能加速赋能，生产要素广泛联接，助力“1650”产业体系建设迈上新台阶，新型工业化走在全国前列。

《行动计划》聚焦实施智能工厂梯度建设行动、中小企业数字化转型行动、数学基础设施升级行动、人工智能赋能应用行动、工业网络和数据安全保障行动、发展环境优化提升行动等六大行动，系统谋划了今后三年深化制造业智改数转网联的20条重点任务。

一是实施智能工厂梯度建设行动。结合工业和信息化部等六部委关于智能工厂梯度培育体系建设要求，实施技术改造升级工程，分层分级推进智能工厂建设，包括普及推广基础级智能工厂，规模推进先进级智能工厂，择优打造卓越级和领航级智能工厂。到2027年底，规上工业企业基本完成智能车间改造，达到基础级及以上、先进级及以上、卓越级及以上、领航级智能工厂水平的规上工业企业覆盖率分别达

到 50%、10%、5%、1%左右，重点支持和认定省先进级智能工厂 1000 家、省零碳工厂 50 家，培育国家卓越级智能工厂约 100 家、领航级智能工厂约 10 家。

二是实施中小企业数字化转型行动。按照工业和信息化部等四部委关于中小企业数字化赋能行动部署，从创新型中小企业、专精特新中小企业和专精特新“小巨人”企业三个梯度入手，以场景化推进为抓手，加强分类分级指导带动中小企业愿改尽改。到 2027 年底，创新型中小工业企业实现初始级及以上数字化转型全覆盖，省级专精特新中小工业企业实现规范级及以上数字化转型全覆盖，国家专精特新“小巨人”工业企业实现集成级及以上数字化转型全覆盖。

三是实施数字基础设施升级行动。适度超前布局建设新型网络、数据中心等数字化基础设施，提升算力资源综合供给水平，加快“5G+工业互联网”融合应用，分业分级培育优质工业互联网平台。到 2027 年，60%的省级以上开发区建成“万兆园区”，全省算力总规模超 35 EFLOPS，累计培育省企业级工业互联网平台 200 个、行业和区域级平台 150 个、“双跨”平台 30 个。

四是实施人工智能赋能应用行动。面向制造业重点领域，加快数据要素供给与应用，培育人工智能领军企业。围绕研发、生产、运维等细分场景，在生物医药、高端装备等领域布局行业应用工业大模型，打造一批人工智能赋能应用标杆，累计推广约 100 项优秀智能产品。

五是实施工业网络和数据安全保障行动。加强工业网络安全保障体系和服务能力建设，促进工业数据安全能力提升。加大网络安全产品服务供给和推广应用，大力发展网络和数据安全产业。

六是实施发展环境优化提升行动。编制推广行业实施指南，组织开展供需对接活动，加快安全可靠设备和软件的研发推广应用，加强专业人才培养和优质服务商培育，常态化实施制造业智改数转网联水平监测，发布制造业智改数转网联发展指数。

5.2.1.2 智能工厂梯度培育政策

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。工业和信息化部、国家发展改革委、财政部、国务院国资委、市场监管总局、国家数据局决定联合开展 2024 年度智能工厂梯度培育行动。2024 年 10 月发布关于开展 2024 年度智能工厂梯度培育行动的通知。

构建智能工厂梯度培育体系。按照《智能工厂梯度培育行动实施方案》《智能工厂梯度培育要素条件》，分基础级、先进级、卓越级和领航级四个层级开展智能工厂梯度培育。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。

（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/T 39116-2020《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/T 39116-2020《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/T 39116-2020《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/T 39116-2020《智能制造能力成熟度模型》达到四级及以上水平。

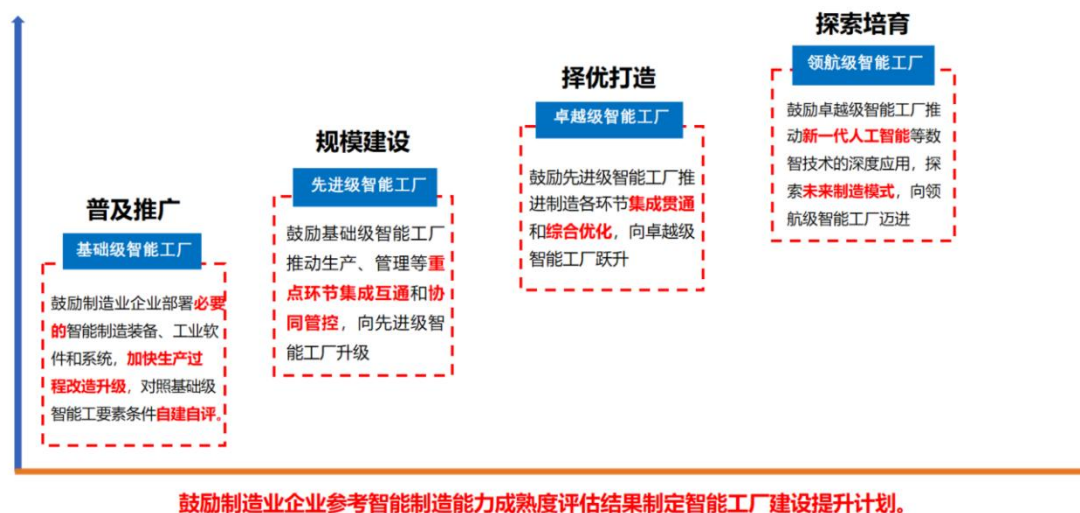


图 10 智能工厂梯度培育体系

《智能工厂梯度培育要素条件》指导基础级、先进级、卓越级和领航级智能工厂梯度建设，基础要求包括：

(1) 企业应为规模以上工业企业，企业和产品均具有

较强市场竞争力。

(2) 企业近三年经营和财务状况良好，无不良信用记录、无较大及以上安全、环保等事故，无违法违规行为。

(3) 工厂使用的关键技术装备、工业软件、工业操作系统、系统解决方案等安全可控，网络安全和数据安全风险可控。

(4) 企业应建立智能工厂统筹规划、建设和运营的组织机制，拥有一批智能制造专业人才。

(5) 基础级和先进级工厂智能制造能力成熟度评估水平达到 GB/T39116-2020《智能制造能力成熟度模型》二级及以上，卓越级智能工厂应达到三级及以上，领航级智能工厂应达到四级及以上。

2024 年卓越级智能工厂培育工作的申报要求可供企业参考。申报主体在中华人民共和国境内注册，具有独立法人资格（石油石化、有色金属等有行业特殊情况的，允许法人的分支机构申报），并满足《智能工厂梯度培育要素条件》基础要求。企业申报、进度汇报以及材料报送、线上评审等工作基于智能制造数据资源公共服务平台开展，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。）

5.2.2 相关方法

5.2.2.1 智能制造能力成熟度模型（CMMM）自评

智能制造能力成熟度模型(China Manufacturing Maturity Model)，简称“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。

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



图 11 智能制造能力成熟度模型组成

依据该模型可对制造企业的智能制造能力水平进行客观评价，是制造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。

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。

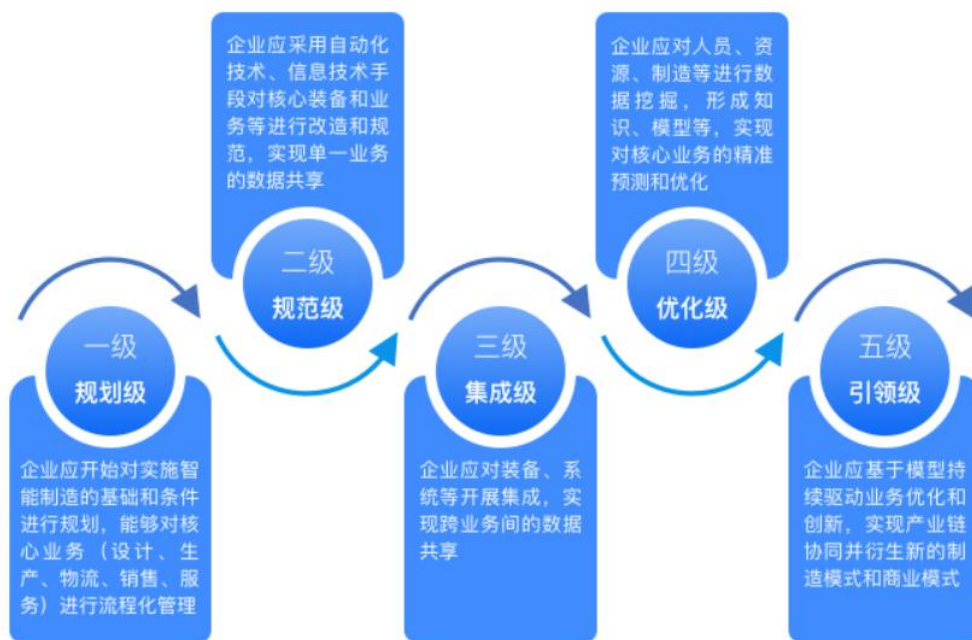


图 12 智能制造能力成熟度等级

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。

5.2.2.2 工业企业两化融合评估框架与指标体系

工业企业信息化和工业化融合简称两化融合，即工业企业围绕其发展战略目标，以信息化作为企业发展的内生要素，在信息技术和工业技术不断演进、变革与交叉渗透的环境下，夯实工业自动化基础，推进产品研发设计、生产制造、经营管理和营销服务的优化提升，推动业务系统综合集成、企业间业务协同以及发展理念和模式的创新，以提升创新能力、能源资源优化配置水平和利用效率，实现创新发展、智能发展和绿色发展，形成可持续发展竞争能力的过程。

工业企业两化融合评估框架引用自《工业企业信息化和工业化融合评估规范》GB/T 23020-2023。企业两化融合评估框架包括两化融合水平与能力评估、两化融合效能与效益评估两个部分。

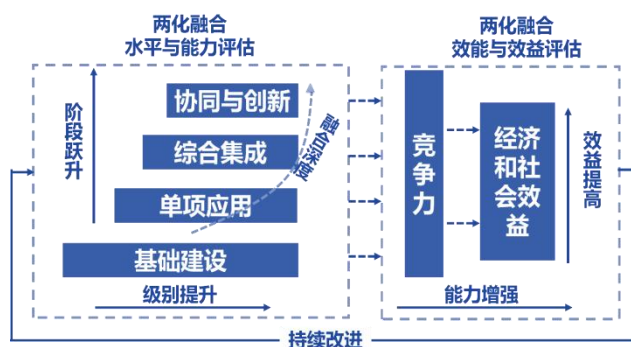


图 13 工业企业两化融合评估框架

基于企业两化融合评估框架，企业两化融合评估指标体系如下图所示。

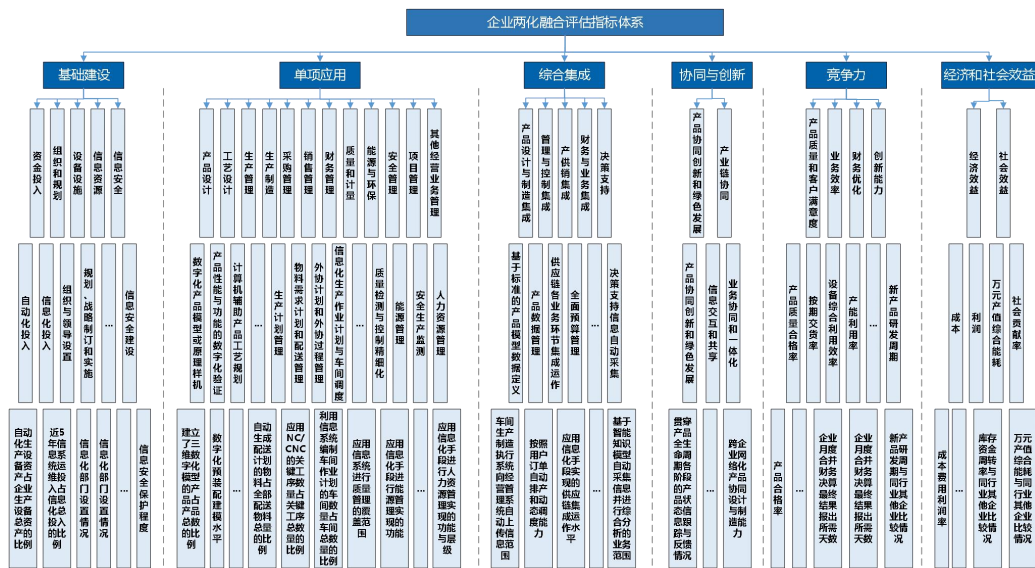


图 14 企业两化融合评估指标体系

(1) 水平与能力评估包括基础设施建设、单项应用、系统集成、协同与创新等四个主要评估方面。

基础设施建设：旨在通过评估两化融合基础设施和条件建设情况，衡量两化融合基本资源保障的水平与能力级别，主要评估内容包括与“财”相关的资金投入、与“人”相关的组织和规划、与“物”相关的设备设施、与“信息”相关的信息资源、与“安全”相关的信息安全等。

单项应用：旨在通过评估信息技术在企业部门级单一业务环节中的应用情况，衡量信息技术与工业技术以及企业单项业务的结合和融合的水平与能力级别，主要评估内容包括产品设计、工艺设计、生产管理、生产制造、采购管理、销售管理、财务管理、质量和计量、能源与环保、安全管理、项目管理、设备管理、人力资源管理、办公管理等。

系统集成：旨在通过评估企业跨部门、跨业务环节的业务综合和集成情况，衡量两化融合环境下企业内多业务综合

集成和融合的水平与能力级别，主要评估内容包括产品设计与制造集成、管理与控制集成、产供销集成、财务与业务集成、决策支持等。

协同与创新：旨在通过评估跨企业的业务协同和发展模式创新情况，衡量两化融合环境下企业间业务协同、创新和融合的水平与能力级别，主要评估内容包括产品协同创新和绿色发展、企业集团管控、产业链协同等。

（2）效能与效益评估包括竞争力、经济和社会效益等两个主要评估方面。

竞争力：旨在通过评估企业综合竞争力变化情况，衡量两化融合直接或间接带来的企业能力提升效果，主要评估内容包括质量提升与顾客满意、业务效率、财务优化、创新能力等。

经济和社会效益：旨在通过评估企业经济和社会效益水平变化情况，衡量两化融合直接或间接带来的企业效益提升作用，主要评估内容包括经济效益、社会效益等。

通过与国内平均、国内先进或国际先进水平分别进行对比分析，企业竞争力、经济和社会效益水平可各分为四个层次：初级水平、国内平均、国内先进、国际先进。企业通过两化融合促进能力增强，实现竞争力提升，并进一步促进经济和社会效益提高，其提升作用随企业两化融合发展阶段跃升而跃进，并与各阶段对应评估方面的水平与能力级别亦呈正相关性。企业所处的两化融合发展阶段及其对应评估方面

的水平与能力级别，与竞争力、经济和社会效益水平相辅相成，可实现持续改进和螺旋式上升。

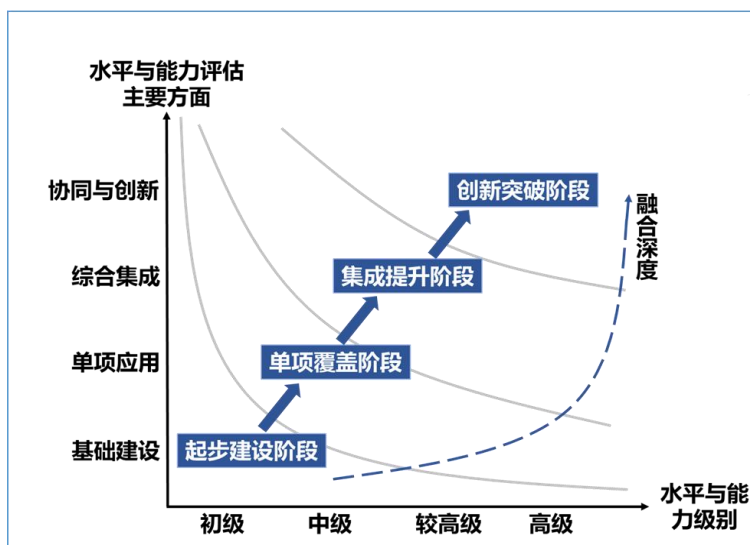


图 15 两化融合水平与能力评估分析框架

企业两化融合发展可分为四个阶段：起步建设阶段、单项覆盖阶段、集成提升阶段和创新突破阶段，可共同表征企业两化融合不断跃升的阶段特征和内涵。

起步建设阶段：两化融合基础设施和条件具备一定条件，但其单项应用尚未开展或刚刚起步。

单项覆盖阶段：企业具备了一定的两化融合基础设施和条件，单项应用对企业业务覆盖和渗透逐渐加强，发挥了一定作用但其综合集成尚未有效实现。

集成提升阶段：企业基础建设水平进一步提高，单项应用基本成熟综合集成有效实现，但其协同与创新尚未开展。

创新突破阶段：企业基础建设趋于完备，单项应用和综合集成基本成熟且协同与创新得到有效实现。

5.2.2.3 中小企业数字化转型公共服务平台

通过建设数字化转型公共服务平台，推动服务中小企业数字化转型、政府管理职能赋能和行业评估评测相结合。围绕企业智能制造评价诊断、数字化转型解决方案对接、企业人才培养、畅通企业产业链条、拓展企业资金渠道等方面设计实施路径，精准辅导企业专业能力提升、供应链整合、资源对接，通过数字化网络化智能化赋能助力企业平稳健康发展。中小企业数字化转型公共服务平台，网址：<http://caii-sme.indusforce.com/#/home>。



图 16 中小企业数字化转型公共服务平台首页

基于工信部发布的《中小企业数字化转型指南》和《中小企业数字化水平评测指标（2024年版）》开展线上评测，为中小企业数字化转型自评估提供科学工具，支撑专精特新中小企业培育遴选工作，推动实现中小企业数字化转型服务、政府管理职能赋能和行业评估评测相结合。

《中小企业数字化水平评测指标（2024年版）》主要内容包含：

(1) 数字化基础、管理和成效维度

由 3 个一级指标，9 个二级指标，15 个采集项组成。采用评分方式判定中小企业该部分数字化水平等级。

一级指标	数字化基础						数字化管理				数字化成效				
二级指标	设备系统		数据采集	信息系统	信息安全		规划管理		要素保障		绿色低碳	产品质量	市场效益		
采集项	网络建设	设备数字化	设备联网	数据采集	信息系统	网络安全	数据安全	规划实施	管理机制	人才建设	资金保障	绿色低碳	产品质量	市场表现	价值效益

图 17 数字化基础、管理和成效维度指标

(2) 数字化经营维度

由 4 个一级指标、16 个二级指标组成，均为中小企业数字化转型的应用场景，并将应用场景进行等级划分。结合中小企业数字化转型实际，按照不同等级场景选择的要求，判定中小企业该部分数字化水平等级。

一级指标	产品生命周期数字化				生产执行数字化						供应链数字化		管理决策数字化			
二级指标	产品设计*	工艺设计	营销管理*	售后服务	计划排程	生产管控*	质量管理*	设备管理*	安全生产*	能耗管理*	采购管理*	仓储物流*	财务管理*	人力资源	协同办公	决策支持

图 18 数字化经营维度指标

备注：标*为约束性场景（共计 10 项），是引导企业深度改造的重点场景；剩余为指导性场景（共计 6 项）。



中小企业数字化水平评测指标（2024年版）

为进一步助力中小企业数字化转型，《中小企业数字化水平评测指标（2024年版）》延续2022年版整体架构，从数字化基础、经营、管理、成效四个维度综合评估中小企业数字化发展水平，并对评测方式进行了调整优化。其中，数字化基础、管理和成效三个维度采用评分的方式确定等级，数字化经营部分用场景等级判定的方式确定等级。判断标准如下：

等级	数字化基础、管理及成效	数字化经营应用场景
一级(初始级)	≥20分	不少于6个应用场景（其中不少于3个约束性场景）等级需达到一级
二级(规范级)	≥40分	不少于6个应用场景（其中不少于3个约束性场景）等级需达到二级
三级(集成级)	≥60分	不少于8个应用场景（其中不少于5个约束性场景）等级需达到三级
四级(协同级)	≥80分	不少于10个应用场景（其中不少于6个约束性场景）等级需达到四级

广大中小企业可根据自身实际情况通过此平台完成线上自测，也可发起线下诊断需求。评估师将通过人员访谈、问卷调查、系统演示、现场勘查等方式，为中小企业提供数字化水平评估诊断，助力中小企业明确实施路径，加快转型进程。

线上自评

图 19 中小企业数字化水平评测指标平台界面

企业根据自身实际情况自愿自主填报，进行真实性承诺即可获得评测结果。评测结果将作为《优质中小企业梯度培育管理暂行办法》中“专精特新中小企业认定标准”中“数字化水平”指标的评价依据。

六、愿景与展望

6.1 先进新技术应用

（1）人工智能和工业大数据技术应用

在高效电机行业的智改数转网联转型进程中，工业大数据与人工智能技术的深度融合成为推动行业智能化升级的关键力量。工业大数据涵盖产品全生命周期各环节数据及相关技术应用，与人工智能结合后，通过自动化、智能化和精确控制等手段，有效减少人为误差与浪费，显著提升高效电机的生产效率与质量水平。在智能制造场景中，AI 驱动的机器人和机器视觉技术实现了焊接、组装等复杂工序的自动化，显著提升了生产精度和效率；设备预测性维护方面，基于实

时运行数据的 AI 分析能够精准预测故障，大幅降低停机时间；质量控制环节则通过 AI 的实时监测和分析能力，实现质量问题的快速识别和工艺参数的动态优化，并依据历史与当前数据预测产品质量变化趋势，为企业制定科学质量控制策略提供有力支撑。这些创新应用不仅减少了人为误差和资源浪费，更推动着高效电机行业向着更智能、更精准、更高效的方向持续发展，为企业提升核心竞争力和实现创新驱动转型提供了有力支撑。

（2）5G 技术应用

在高效电机行业的智能化改造和数字化转型进程中，5G 技术凭借高速度、低延迟和大容量的显著特性，为智能工厂生产场景提供了全方位支持。技术人员可借助 5G 网络远程监控、调试和维护各地电机设备，大幅提升运维效率并降低人工成本，保障紧急情况下生产线稳定运行；其还能支持大量传感器数据实时传输，助力即时采集分析电机设备运行状态、功耗、温度等关键参数，为生产优化、故障预测和预防性维护筑牢数据基础；在智能工厂内，5G 技术赋能智能立库、物流装置，让物流机器人和自动化设备实时接收任务指令，实现精准定位与快速搬运，提升物流效率和准确性；此外，在远程作业场景中，技术人员利用 AR 等技术设备遥控工业机器人开展故障诊断、运维作业，进一步削减维护成本。

（3）云计算

基于云计算平台使用人工智能，能极大降低成本，为企

业最大程度应用人工智能技术提供可能。服务类型分为三类，即基础设施即服务（IaaS）、平台即服务（PaaS）和软件即服务（SaaS）。这3种云计算服务有时称为云计算堆栈，因为它们构建堆栈，它们位于彼此之上。IaaS向用户提供虚拟化计算资源，包括虚拟机、存储、网络和操作系统等基础IT资源；PaaS为开发者提供按需开发环境，使其能够通过互联网构建、测试和管理应用程序；而SaaS则是通过互联网提供按需付费的软件应用，由云服务商统一托管和管理，用户只需连接网络即可访问使用。这三种服务模式构成了云计算的核心服务体系，分别满足不同层级的信息化需求。

云计算的优势在于其灵活性和成本效益。云计算允许企业根据实际需求动态调整资源使用量，避免了传统IT架构中常见的过度投资问题。企业只需为实际使用的服务付费，无需承担高昂的硬件购置和维护费用，从而降低了IT投入成本。此外，云服务提供了极高的灵活性，企业可以快速部署或扩展应用程序和服务，以应对业务需求的变化。云计算还提供了海量、高可用的数据存储空间，支持企业数据的集中管理和备份。这确保了数据的安全性和可靠性，降低了数据丢失或损坏的风险。云计算平台提供了丰富的开发工具和API接口，支持企业快速构建和部署应用程序，加速业务创新和数字化转型。

6.2 江苏省高效电机行业智改数转网联未来发展趋势

随着高效电机行业的发展和智改数转网联相关政策的

鼓励，江苏省内高效电机企业已经逐渐深化开展智能化改造、数字化转型和网络化联接。

在智改数转网联的进程中，高效电机行业应明确不同规模企业的定位与目标。依据智能工厂梯级培育政策，行业内的领头羊企业，如领航级智能工厂，应致力于构建具有国际竞争力的智能化生产体系，达成生产全流程的高度自动化与智能化，实现数据驱动的精准确策和高效协同，引领行业技术革新与标准制定，成为产业链高质量发展的核心引擎。而卓越级智能工厂则需进一步强化数字化管理能力，优化供应链协同，推动产品与服务向高端化、定制化迈进，形成可复制、可推广的智能化转型经验。

对于高效电机行业的中小型企业而言，数字化转型是大势所趋，也是提升核心竞争力的重要路径。大多数中小型企业在数字化转型过程中面临技术基础薄弱、数据应用能力不足、设备联网率低等挑战，亟需通过因企施策、分类指导、试点推广等方式降低转型门槛和成本。中小型企业转型需重点关注两个方面：一是提升企业自身创新能力，利用数字技术优化研发、生产、制造、销售、服务等环节，提升产品的数字化、智能化水平，增强智能交付和品牌塑造能力；二是加强产业链上下游数据开发利用，发挥数据要素的纽带作用和创新引擎作用，推动全产业链上下游的数据融通，形成以龙头企业为主导、上下游企业协同转型的发展路径。

已有企业案例表明，“智改数转网联”转型成功的关键在

于充分发挥各类企业主体的主动性和积极性，鼓励企业大胆尝试，形成智能化数字化转型的自驱力，着力破解“不愿转、不敢转、不会转”难题。基于此，可以因业施策、分类指导、试点推广，充分发挥本指南的指导参考意义，降低企业数字化转型门槛和成本，同时注重发挥高效电机行业龙头企业特别是链主企业的引领支撑作用，结合下游新能源汽车、机器人等新兴产业的快速发展，推动电机行业产品创新和工艺升级，让产业集群中的上下游企业普遍享受“智改数转网联”带来的发展红利。

未来，持续鼓励开发适合高效电机行业内中小型企业生产特点的“小、快、轻、准”数字化产品、服务和解决方案，打造供需对接、全链协同、价值驱动的数字化转型生态。鼓励和支持互联网平台、行业龙头企业等立足自身优势，共享智能化数字化转型经验，指导中小企业实现数字化转型。这种生态化的发展模式，能够促进高效电机产业链上下游、中小型企业之间、中小型企业与大型企业之间的合作与交流，形成互利共赢的智能化数字化发展格局。

附件 1 人工智能典型应用场景

附件 2 投入改造清单及图谱

附件 3 典型案例

附件 4 服务商目录

附件 5 技术缩略语

附件 6 江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指

引

附件 1 人工智能典型应用场景

1、基于人工智能的冲片与焊接工艺应用多轴机器人

基于多轴机器人的人机协同作业，针对传统冲片和焊接工艺，焊接点多，焊接精度高，工作量大，生产效率低，难以匹配生产节拍等问题，通过多轴焊接机器人，并搭建新型传感系统，部署人工智能算法（如 AI 图像识别、机器学习等），打通各设备信息，实现设备互联，系统互通，实现机器人自动抓取工件、自动焊接，根据订单、物料号应用机器人对工件自动识别，辅助操作人员进行定转子冲片和焊接，大大降低了劳动强度，提升了工作效率。基于 AI 图像识别算法，能够根据订单信息和物料号，自动、精准地识别不同型号的定转子冲片工件。



图 20 冲片与焊接工艺应用多轴机器人

2、基于人工智能的电机智能仓储应用

电机生产中，电子元器件物料的仓储管理长期面临物料种类繁多、有效期管控难、兼容性查询慢等痛点。某微特电

机企业引入深度融合人工智能的智能仓储系统，包括仓储管理系统（WMS）、自动化存储设备（立体货架）、防静电料箱、环境监控设备以及数据采集终端，实现了对 756 箱电子元器件物料的精细化管理。智能仓储系统在实时更新库存的基础上，集成 AI 预测模型，基于生产计划、采购周期、历史消耗波动等因素，预测未来物料需求，自动生成补货建议（采购量、时间周期等），优化库存水平，减少资金占用。



图 21 智能立库

在某防爆电机生产企业部署智慧仓储系统时，通过 AMR 小车实现生产物料的自动搬运、存取，减少人工干预。根据企业仓储实际需求，选择了适用于电机仓储环境的潜伏举升式 AMR 小车，AMR 通过集成视觉识别、路径规划和环境感知等技术实现自主导航与避障。机器学习、深度学习等人工智能算法的应用，使 AMR 能够更加智能地分析和处理激光雷达获取的环境信息，实现更精准的导航、避障和任务决策。



图 22 AMR 智慧物流

3、电机声品质检测环节

在某电机企业，电机生产的最后环节，传统人工质检方式是工人通过电机噪声辨别问题，在嘈杂的生产环境中，环境噪声常常干扰工人判断，使得他们难以准确捕捉电机噪声。人工质检的主观性也易导致错检和漏检，给产品质量带来潜在风险。此外，一旦质检发现质量问题，追溯原因、反馈问题、改进工艺都显得尤为困难。

因此，该企业与供应商联合研发电机声品质检测系统，集边端检测、云端管理于一体，通过对现场状态进行孪生场景模拟，提高质量检测效率和精度。生产现场部署振动检测传感器，结合特定的机械工装设计，完成数据采集，实现多工位数据同步；然后，通过人工智能算法对采集的振动数据进行深度分析，能够自动识别、归类、学习振动异常值，将电机声音异常情况分为轴承响、磨响两大类，完成软件检测后，机械夹爪分拣问题电机，数据标签记录至系统中，便于产线开展质量回溯，分析、改进工艺流程，提高电机声品质

检测精度与智能化水平。此外，通过电机声品质检测系统的云端管理模块，企业管理等非现场人员可实时掌握生产进度，产业链相关企业实现质量检测数据查询与共享，协同提升产业链质量水平。应用这套融合 AI 的电机声品质检测系统后，该企业逐渐构建起标准化、智能化的声音质检体系，产品质量检测效率提升近 20%，检测误差率从 0.1% 降至约 0.02%。

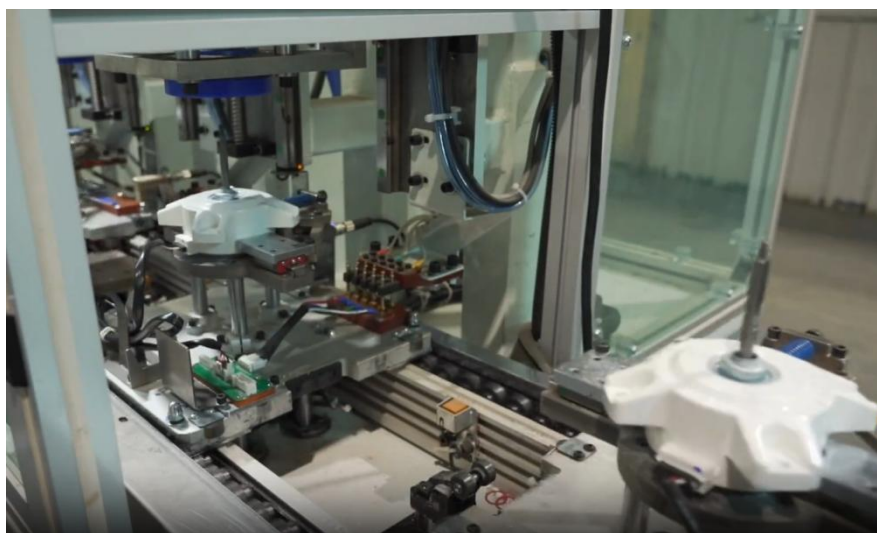


图 23 电机声品质检测自动检测

2-2 高效电机行业智能化改造装备清单

适用场景	装备名称	主要功能	投入区间 (万元)	国产/ 进口
原材料/零部件生产作业	高精度数控机床(CNC)	高精度加工设备,支持复杂零部件的加工,如电机轴承、转子等。	50~300	国产/ 进口
零部件/电机生产作业	自动化生产线	集成机器人、传送带、检测设备等,实现生产全流程自动化。	100-500	国产/ 进口
零部件生产作业	智能绕线机	自动化绕线设备,支持高效、精准的电机绕组加工。	100-500	国产/ 进口
零部件生产作业	智能嵌线机	自动化嵌线设备,支持电机定子嵌线工艺。	100-500	国产/ 进口
零部件生产作业	全自动绕线嵌线一体机	集成绕线、嵌线、检测功能,效率最高提升300%.	300-600	国产
零部件/电机生产作业	智能装配线	自动化装配设备,支持电机零部件的精准装配。	300-1000	国产/ 进口
零部件/电机生产作业	自动喷涂线	电机外壳自动喷涂,提高一致性,减少污染物对人员的损害。	30-150	国产/ 进口
零部件生产作业	定子铁芯自动叠装设备	实现铁芯自动叠压、铆接,精度 $\pm 0.05\text{mm}$	80-200	国产
零部件生产作业	伺服压力机	用于冲压成型工艺,精密冲压定子/转子铁芯。	30-100	国产
零部件/电机生产作业	转子动平衡校正机	自动检测与校正转子动平衡。	100-300	国产/ 进口
原材料/零部件/电机生产作业	工业机器人	用于电机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
原材料/零部件/电机生产作业	协作机器人	人机协作完成精密焊接、装配,适应小批量多品种生产	80-200	国产
电机生产	智能电机转子	专门用于电机转子的	80-200	国产

作业	装配机器人	装配机器人,提高装配精度和效率。		
仓储物流	自动化立体仓库(大型)	适用于大型仓储、适配大型电机零部件搬运、自动化存储和检索系统,支持高效物料管理。	300-500	国产
仓储物流	自动化立体仓库(中型)	适用于中型仓储、中小型电机零部件搬运、分拣等小规模场景	150-300	国产
仓储物流	自动化立体仓库(小型)	适用于轻型仓储、小型电机零部件搬运、分拣等小规模场景	100-200	国产
仓储物流	AGV(载重200kg)	可搬运200kg以下的物料,自动化物料搬运设备,支持生产线物料配送。	5-15 (每台)	国产
仓储物流	AGV(载重1吨-5吨)	可搬运1吨-5吨大型电机设备或大量物料,自动化物料搬运设备,支持生产线物料配送。	20-35 (每台)	国产
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
仓储物流	叉车式AMR(载重1-3吨)	自主导航搬运大型物料,适应复杂路径	40~120/ 台	国产
仓储物流	智能分拣系统	按重量/尺寸自动化分拣零部件,支持物料和产品的快速分拣。	80-200	国产
电机质量管控	电机性能智能检测设备	支持电机性能测试,电机功率、效率、振动等在线测试,确保产品符合标准。	50-200	国产/ 进口
电机质量管控	电机综合测试台	测试效率、温升、绝缘耐压,符合能效标准	100~500	国产/ 进口
零部件质量管控	智能光学检测	自动识别电机零部件缺陷	30-150	国产/ 进口
零部件质量管控	三坐标测量机	复杂零部件三维尺寸检测,精度达微米(μm)级	150~300	国产/ 进口
零部件质	在线绝缘检测	实时监测绕组绝缘	30~120	国产

量管控	系统	性能，不良品自动剔除		
零部件/电机质量管控	智能视觉检测装备	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

2-3 数字化转型数据要素清单

序号	场景	数据要素类型	描述
原材料供应环节			
1	原材料研发设计	材料性能数据	材料性能数据如强度、导热性、耐腐蚀性等，制造工艺限制如加工精度、成型难度等。
2	原材料研发设计	原材料工艺参数	工艺要求包括加工温度范围、压力范围、速度范围、切削参数（切削深度、进给量、切削速度）、焊接参数（焊接电流、电压、焊接时间、焊材类型）、热处理参数（加热温度、保温时间、冷却速度）等关键参数。
3	原材料研发设计	原材料竞品分析数据	包括各竞品原材料的性能参数、价格水平、供应稳定性、市场占有率以及技术创新点等。
4	原材料研发设计	原材料库存数据	原材料库存数据包括实时库存量、库存周转率等。
5	原材料研发设计	原材料市场需求数据	市场需求数据包括历史销售记录、季节性需求变化、客户订单信息等。
6	原材料生产制造	原材料生产能耗数据	原材料生产能耗数据包括生产过程中电、水、气实时能耗数据，以及相应的历史能耗数据。
7	原材料生产制造	原材料生产设备运行状态数据	原材料生产设备的运行状态（如开机时间、停机时间、运行效率）。
8	原材料生产制造	原材料生产设备故障和运维数据	原材料生产设备故障预警信息（如异常振动预警、过热预警等）、设备维护记录（如维护时间、维护内容、维护人员等），故障历史（如故障时间、故障原因、故障处理措施）等数据。
9	原材料生产制造	原材料生产计划与调度数据	原材料生产过程中的生产计划安排、生产进度、生产任务分配等数据。
10	原材料生产制造	原材料生产质量数据	生产过程中产生的各种检测数据、工艺参数、原材料信息等
11	原材料生产制造	原材料生产安全风险监控数据	原材料生产过程中的安全风险监测设备如火灾探测器、摄像头等收集的数据。
12	原材料生产制造	原材料生产效率数据	原材料生产过程中的生产效率数据（如设备利用率、生产周期时间）等

13	原材料生产制造	原材料生产成本数据	原材料生产成本数据（如原材料成本、人工成本、制造成本）等。
14	原材料供应链管理	原材料供应商数据	原材料供应商数据包括供应商资质、历史交易记录、交货准时率等。
15	原材料供应链管理	原材料供应链风险数据	供应链中的潜在风险数据，如原材料短缺、运输延迟、自然灾害等。
16	原材料供应链管理	原材料合同与采购数据	采购合同条款、采购订单信息、采购成本、采购周期等数据。
17	原材料工厂建设	原材料工厂布局数据	包括原材料工厂内不同功能区域（如原材料存储区、加工区、成品暂存区、设备维护区等）的占地面积、空间位置分布、相互之间的物流通道规划以及与外部运输线路的衔接布局等。
18	原材料工厂建设	原材料工厂生产工艺流程数据	包含原材料工厂生产工艺流程、工序之间的先后顺序与衔接关系以及生产过程中的质量控制节点等数据。
零部件制造环节			
19	零部件研发设计	零部件设计参数数据	<p>零部件的设计参数数据，例如：</p> <p>定子/转子尺寸数据：包括外径、内径、长度、槽数、槽形等详细尺寸。</p> <p>公差要求数据：各关键尺寸的公差范围，确保零部件的互换性和装配精度。</p> <p>材料要求数据：指定材料类型（如硅钢片、铜、铝等）、材料牌号、材料性能（如导磁率、导电性、强度等）。</p> <p>表面处理要求：如镀层类型、厚度、耐腐蚀性等。</p>
20	零部件研发设计	零部件工艺参数数据	<p>零部件工艺参数数据，例如加工温度数据：针对不同工艺（如热处理、焊接等）的温度控制范围。压力数据：在冲压、压铸等工艺中的压力参数。速度数据：切削速度、冲压速度、装配线速度等。切削参数：切削深度、进给量、切削液类型等。焊接参数：焊接电流、电压、焊接时间、焊材类型等。铸造参数：模具温度、浇注速度、冷却时间等。</p>
21	零部件研发设计/生产制造	零部件生产能力数据	产线制造设备能力、工装夹具信息，包括加工设备的精度、效率、维护周期等。
22	零部件生产制造	零部件生产设备运行数据	零部件生产设备运行数据生产线效率、设备利用率、设备平均产能等。
23	零部件生产制造	零部件生产设备故障和运维数据	零部件生产设备故障预警信息（如异常振动预警、过热预警等）、设备维护记录（如维护时间、维护内容、维护人员等），故

			障历史等数据。
24	零部件生产制造	零部件生产计划数据	零部件生产的生产任务、排产计划、资源分配等，包括各生产线的产能规划、订单交付期安排等。
25	零部件生产制造	零部件生产成本数据	零部件生产过程中的原材料成本、加工成本(各生产环节的加工费用、人工成本等)能源成本、管理成本、设备折旧费用等。
26	零部件能源管理	零部件生产能耗数据	零部件生产过程中各环节的电、水、气等能源消耗。
27	零部件质量管控	零部件质量检测数据	零部件质量检测数据及批次历史数据，包含定子、转子外观检测、基础性能检测。
28	零部件质量管控	零部件质量追溯数据	零部件从原材料到成品的全过程质量追溯数据，包括供应商信息、生产批次、加工设备、检测结果等。
29	零部件仓储物流	零部件生产库存数据	各类零部件的原材料、半成品和成品的收货量、发货量、库存量、拆零量、最小存货单位等数据。
30	零部件供应链服务	零部件供应商数据	零部件生产原材料供应商、零配件供应商等资质、历史交易记录、交货准时率、产品质量记录等。
31	零部件生产计划调度/供应链服务	零部件市场需求数据	零部件历史销售记录、季节性需求变化、客户订单信息。
32	零部件营销管理	零部件竞品分析数据	包含各竞品零部件的性能表现(如定转子的功率密度、轴承的精度与寿命、绕组的导电率与绝缘性能等)、成本构成、供应能力、技术创新亮点以及市场竞争格局(市场占有率、主要应用领域分布、品牌影响力等)。
33	零部件供应链服务	零部件采购数据	电机零部件采购订单(如订单号、订单日期、订单数量)、价格(如单价、总价、折扣率)、交货周期(如预计交货时间、实际交货时间)等。
34	零部件环保监测	零部件生产环保监测数据	零部件制造过程中的废气(如喷涂、涂覆工艺产生的挥发性有机物废气)、废水(如电镀、表面处理工序产生的含重金属及化学需氧量超标废水)、固体废弃物及危险污染物(如金属边角料、废切削液、废包装材料、含油废渣等)的排放情况。
35	零部件生产安全管控	零部件生产安全监控数据	零部件生产过程中的安全检查数据:定期安全检查的结果、安全隐患整改情况等。包括实时监控数据如火灾探测器、摄像头等监控设备收集的数据;历史数据包括过去的的安全事件记录、设备维护记录等;员工行为数据如员工出入库记录、操作记录

			等。
36	零部件工厂建设	零部件工厂布局数据	涵盖工厂内各功能区域，如原材料仓储区、零部件加工区（包含冲压、机加工、焊接等不同工艺分区）、半成品暂存区、成品检验区、包装发货区等的空间位置分布、面积规划，以及各区域间物料运输通道设置、设备摆放布局等。
37	零部件工厂建设	零部件工厂生产工艺流程数据	包含零部件工厂生产工艺流程、工序之间的先后顺序与衔接关系以及生产过程中的质量控制节点等数据。
电机制造环节			
38	电机产品设计	电机用户需求数据	客户对电机性能、使用体验等的反馈；市场调研数据，如电机市场趋势、不同应用领域对电机的特定要求等，用于指导产品设计方向。
39	电机产品设计/工艺设计	电机设计参数	电机性能参数（功率、转矩、转速、效率、功率因数等），材料性能（如导磁材料性能、导电材料性能、绝缘材料性能等）、制造工艺参数（绕线工艺参数如匝数、节距、连接方式；冲压工艺参数如冲片形状、尺寸、叠压系数；装配工艺参数如装配顺序、轴承安装方法、端盖密封方式等）。
40	电机产品设计/工艺设计	电机工艺参数	各类型电机工艺流程、加工参数（如绕线转速、冲压进给量、装配温度、焊接电流、热处理温度等）。
41	电机生产制造	电机生产计划数据	电机生产的生产任务、排产计划、资源分配等，包括各生产线的产能规划、订单交付期安排等。
42	电机生产制造	电机生产设备运行数据	电机生产设备状态、运行参数（如温度、振动、电流等）
43	电机生产制造	电机生产设备故障和运维数据	电机生产设备故障预警信息（如异常振动预警、过热预警等）、设备维护记录（如维护时间、维护内容、维护人员等）。
44	电机生产制造	电机生产成本数据	电机生产过程中的原材料成本、零部件成本、加工成本（各生产环节的加工费用、人工成本等）能源成本、管理成本、设备折旧费用等。
45	电机质量管控	电机质量检测数据	电机生产各环节质量检测参数，包含各环节尺寸、外观、性能等检测结果，总装后的性能测试结果（噪声、振动、效率等）
46	电机质量管控	电机质量追溯数据	电机从原材料到零部件到成品的全过程质量追溯数据，包括供应商信息、生产批次、加工设备、检测结果等。

47	电机供应链服务	电机供应商数据	电机生产原材料供应商、零部件供应商等资质、历史交易记录、交货准时率、产品质量记录等
48	电机供应链服务	电机采购数据	电机、原材料、零部件等采购订单（如订单号、订单日期、订单数量）、价格、交货周期等信息。
49	电机仓储物流/供应链服务	电机库存数据	电机原材料、定子转子半成品、成品电机库存水平等
50	电机仓储物流/计划调度	电机仓储物流数据	电机运输方式（如公路运输、铁路运输、航空运输等）、运输时间（如预计运输时间、实际运输时间）、物流成本（如运输费用、仓储费用、保险费用等），物流跟踪信息（如货物位置、运输状态等）。
51	电机制造能源管理	电机生产能耗数据	电机生产过程中各环节的电、水、气等能源消耗
52	电机制造环保监测	电机生产环保监测数据	电机生产过程中的废气（如涂漆工艺产生的废气）、废水（如电镀工序产生的含重金属废水）、污染物（如废铁屑、废油）等排放
53	电机制造安全管控	电机生产安全监控数据	电机生产过程中的安全事故记录（如事故类型、发生时间、损失情况等）、安全培训记录（如培训时间、培训内容、培训人员等）、安全检查数据（如检查时间、检查内容、检查结果等）、安全管理制度执行情况等。
54	电机工厂建设	电机工厂布局数据	包含电机制造工厂各功能区域，如原材料及零部件仓库、电机装配车间、测试区域（设有性能测试、绝缘测试、噪声振动测试等分区）、成品仓库等空间位置规划、占地面积大小、相互间物流通道设置等。以及与外部运输线路（如公路、铁路等）的衔接布局。
55	电机工厂建设	电机工厂生产工艺流程数据	包含电机制造生产工艺流程、工序之间的先后顺序与衔接关系以及生产过程中的质量控制节点等数据。

2-4 知识模型资源清单

序号	场景	知识模型	描述
原材料供应环节			
1	原材料产品设计	材料优化模型	用于优化原材料选择和使用，提升产品性能和成本效益。
2	原材料产品设计	原材料成本预测模型	基于历史数据和市场趋势，预测原材料采购成本，支持成本控制决策。
3	原材料产品设计	原材料性能评估模型	评估原材料的物理、化学性能，确保其符合设计要求。
4	原材料工艺设计	原材料工艺优化模型	分析各环节工艺参数与流程，优化原材料的加工工艺
5	原材料工艺设计	原材料质量控制模型	对原材料从采购到成品全过程质量进行严格控制，确保原材料质量符合标准要求。
6	原材料产品设计	原材料性能优化模型	分析原材料的性能特点，结合电机生产需求进行优化调整。
7	原材料计划调度	原材料生产计划管理模型	基于生产需求，制定和管理原材料生产计划。
8	原材料计划调度	原材料市场需求预测模型	根据电机原材料市场历史数据和市场趋势，预测用户需求变化，包括产品选型、性能提升目标等。
9	原材料生产设备管理	原材料生产设备健康管理模型	通过原材料生产设备运行数据管理设备运行状态、运行维护操作等。
10	原材料生产设备管理	原材料生产设备故障预测模型	对原材料生产设备可能出现的故障进行提前预测，为运维提供依据。
11	原材料供应链采购与交付	原材料供应商评估模型	基于原材料供应商数据及其在电机市场应用情况，对供应商进行综合评估，选择最优供应商。
12	原材料供应链采购与交付	原材料采购成本分析模型	结合原材料采购历史数据和市场价格，分析采购成本构成，制定成本控制策略。
13	原材料生产能源管理	原材料生产能源管理模型	对原材料生产过程中能源使用的全面监控与智能管控。

14	原材料生产 能源管理	原材料生产 能耗模型	基于原材料生产历史能耗数据，构建能耗预测与分析体系，评估能耗水平。
15	原材料生产 能源管理	原材料生产 能源管理指 标评价模型	用于评估原材料生产能源管理效果。
16	原材料生产 环保管控	原材料生产 环保风险预 测模型	基于原材料生产环保监测数据，预测环保风险并制定应对措施。
17	原材料生产 环保管控	原材料生产 环境影响评 估模型	全面评估原材料生产活动对环境的潜在影响，量化分析污染物排放、资源消耗等关键指标。
18	原材料工厂 建设	原材料工厂 布局优化模 型	综合原材料生产流程、车间物流效率、空间利用等因素，优化工厂布局。
19	原材料生产 作业	原材料生产 流程优化模 型	用于优化原材料生产流程
20	原材料环保 管控	原材料碳排 放核算模型	核算原材料生产过程中的碳排放
21	原材料质量 管控	原材料质量 追溯模型	通过数据追踪原材料质量，确保质量问题可追溯。
22	原材料质量 管控	原材料质量 评估模型	分析电机原材料的关键质量指标，结合行业标准与企业特定要求，对原材料质量进行精准量化评估。
23	原材料质量 管控	原材料质量 优化模型	识别电机原材料质量优化点，指导供应商协同优化或内部工艺调整优化。
24	原材料仓储 物流	原材料库存 优化模型	通过分析历史库存数据、生产需求预测及供应商交货周期，优化原材料库存。
25	原材料仓储 物流	原材料物流 优化模型	用于原材料物流计划、物流管理、物流周期等优化。
26	原材料生产 安全管控	原材料生产 安全风险评 估模型	评估生产过程中的安全风险并提供相应解决方案建议。
27	原材料生产 安全管控	原材料生产 安全风险应 急响应模型	评估高效电机原材料（如硅钢片、绝缘材料等）生产过程中涉及的高温、高压、化学物质使用等潜在风险因素，建立风险实时监测预警、应急响应模型。
28	原材料供应 链计划	原材料供应 链风险预测 模型	对电机原材料供应商运营状况、政策法规变动、自然灾害等内外部因素进行分析，预测供应链中断或供应异常风险。

零部件制造环节			
29	零部件产品设计	零部件材料优化模型	用于优化零部件材料的选择和使用，提升零部件性能和成本效益。
30	零部件产品设计	零部件成本预测模型	基于历史数据和市场趋势，预测零部件的采购成本，支持成本控制决策。
31	零部件工艺设计	零部件工艺优化模型	分析各环节工艺参数与流程，优化零部件的加工工艺。
32	零部件工艺设计	零部件质量控制模型	分析各环节工艺参数与流程，确保产品质量控制。
33	零部件产品设计/工艺设计	零部件设计评估模型	应用于零部件产品设计和工艺设计，用于评估设计方案。
34	零部件产品设计	零部件性能优化模型	分析零部件的性能特点，结合电机整机性能需求进行优化调整。
35	零部件计划调度	零部件生产计划管理模型	基于生产需求制定和管理零部件生产计划。
36	零部件计划调度	零部件市场需求预测模型	根据电机市场历史数据和市场趋势，预测企业用户需求变化，包括产品选型、性能提升目标等。
37	零部件计划调度	零部件生产计划优化模型	基于电机零部件生产线的产能约束和用户订单需求，优化生产计划和排程。
38	零部件生产设备管理	零部件生产设备健康管理模型	通过零部件生产设备运行数据管理设备运行状态、运行维护操作等。
39	零部件生产设备管理	零部件生产设备故障预测模型	用于零部件生产设备故障预测，为运维提供依据，减少停机时间。
40	零部件供应链采购与交付	零部件供应商评估模型	基于电机零部件和原材料供应商数据及其在电机市场应用情况，对供应商进行综合评估，选择最优供应商。
41	零部件供应链采购与交付	零部件采购成本分析模型	结合零部件采购历史数据和市场价格，分析采购成本构成，制定零部件成本控制策略。
42	零部件营销管理/售后服务	零部件市场需求预测模型	基于客户数据和市场趋势，预测电机零部件市场需求变化。
43	零部件生产	零部件生产	用于管理电机零部件生产过程中能耗历史

	能源管理	能源管理模型	数据和生产状态。
44	零部件生产能源管理	零部件生产能耗模型	基于零部件生产历史能耗数据，构建能耗预测与分析体系，评估能耗水平，提出节能措施。
45	零部件生产能源管理	零部件生产能源管理指标评价模型	用于评估零部件生产过程中能源管理效果。
46	零部件生产环保管控	零部件生产环保风险预测模型	基于零部件生产过程环保监测数据，预测环保风险并制定应对措施。
47	零部件生产环保管控	零部件生产环境影响评估模型	全面评估零部件生产活动对环境的潜在影响，量化分析污染物排放、资源消耗等影响。
48	零部件生产作业	零部件生产资源配置模型	根据电机零部件生产需求与资源状态，动态分配资源，实现资源利用最大化。
49	零部件工厂建设	零部件工厂布局优化模型	综合零部件生产流程、车间物流效率等因素，优化工厂布局。
50	零部件生产制造	零部件生产流程优化模型	用于优化零部件生产流程，减少浪费，提高生产效率。
51	零部件生产环保管控	零部件生产碳排放核算模型	核算零部件生产过程中的碳排放，为碳减排提供数据支持。
52	零部件质量管控	零部件质量追溯模型	用于零部件质量问题追溯，便于问题定位和解决。
53	零部件质量管控	零部件质量评估模型	分析零部件的关键质量指标，结合行业标准与企业特定要求，对零部件质量进行精准量化评估。
54	零部件质量管控	零部件质量优化模型	识别零部件质量优化点，指导供应商协同优化或内部工艺调整优化，提升零部件质量。
55	零部件仓储物流	零部件库存优化模型	通过分析历史库存数据、生产需求预测及供应商交货周期，优化零部件库存，减少库存成本。
56	零部件仓储物流	零部件物流优化模型	用于零部件物流计划、物流管理、物流周期等优化。

57	零部件生产 安全管控	零部件生产 安全风险评 估模型	评估零部件生产过程中的安全风险并提供 相应解决方案建议。
58	零部件生产 安全管控	零部件生产 安全风险应 急响应模型	针对高效电机零部件（如定转子、绕组、 机壳等）生产时冲压、焊接、机加工等高 风险工序，综合设备故障、违规操作、物 料泄漏等致险因素， 建立风险实时监测预警、应急响应模型。
59	零部件供应 链计划	零部件供应 链风险预测 模型	对零部件供应商运营状况、政策法规变动 等内外部因素进行分析，预测供应链异常 风险。
电机制造环节			
60	电机产品设 计	电机成本预 测模型	基于历史数据和市场趋势，预测电机的采 购成本和制造成本，支持成本控制决策。
61	电机产品设 计	电机性能优 化模型	综合考量材料特性、结构设计、运行工况 等因素，结合电机整机性能需求进行优化 调整。
62	电机制造工 艺设计	电机制造工 艺优化模型	分析电机制造各环节工艺参数与流程，优 化电机组装工艺。
63	电机制造工 艺设计	电机质量控 制模型	分析各环节工艺参数与流程，确保电机制 造过程中的质量控制，减少不良品率。
64	电机制造产 品设计/工艺 设计	电机设计评 估模型	评估电机设计方案的可行性、经济性和技 术性能。
65	电机制造计 划调度	电机制造生 产计划管理 模型	基于生产需求制定和管理电机生产计划。
66	电机制造计 划调度	电机市场需 求预测模型	根据电机市场历史数据和市场趋势，预测 企业用户需求变化，包括产品选型、性能 提升目标等。
67	电机制造计 划调度	电机生产计 划优化模型	基于电机制造生产线的产能约束和用户订 单需求，优化生产计划和排程。
68	电机生产设 备管理	电机生产设 备健康管理 模型	通过电机生产设备运行数据管理设备运行 状态、运行维护操作等。
69	电机供应链 采购与交付	电机供应商 评估模型	基于电机零部件供应商数据及其在电机市 场应用情况，对供应商进行综合评估，选 择最优供应商。
70	电机供应链	电机采购成	结合电机及其零部件采购历史数据和市场

	采购与交付	本分析模型	价格，分析采购成本构成，制定电机成本控制策略。
71	电机制造生产作业	电机生产成本分析模型	综合分析电机生产成本，包含设备折旧、人力投入、能源消耗、生产工艺成本及管理费用等。
72	电机营销管理/售后服务	电机市场需求预测模型	基于客户数据和市场趋势，预测电机市场需求变化。
73	电机制造能源管理	电机制造能源管理模型	用于管理电机制造过程中能耗历史数据和生产状态。
74	电机制造能源管理	电机制造能耗模型	基于电机制造历史能耗数据，构建能耗预测与分析体系，评估能耗水平。
75	电机制造能源管理	电机制造能源管理评价指标评价模型	用于评估电机制造过程中能源管理效果。
76	电机制造环保管控	电机制造环保风险预测模型	基于电机制造过程环保监测数据，预测环保风险并制定应对措施。
77	电机制造环保管控	电机制造环境影响评估模型	全面评估电机制造对环境的潜在影响，量化分析污染物排放、资源消耗等影响。
78	电机制造生产作业	电机制造资源配置模型	根据电机生产需求与资源状态，动态分配资源，实现资源利用最大化。
79	电机制造工厂建设	电机制造工厂布局优化模型	综合零部件生产流程、车间物流效率等因素，优化工厂布局。
80	电机生产制造	电机生产流程优化模型	用于优化电机制造生产流程，减少浪费，提高生产效率。
81	电机制造环保管控	电机制造碳排放核算模型	核算电机制造过程中的碳排放，为碳减排提供数据支持。
82	电机质量管控	电机质量追溯模型	用于电机质量问题追溯，便于问题定位和解决。
83	电机质量管控	电机质量评估模型	分析电机的关键质量指标，结合行业标准与企业特定要求，对电机质量进行精准量化评估。
84	电机质量管控	电机质量优化模型	识别电机质量优化点，指导供应商协同优化或内部工艺调整优化。
85	电机仓储物流	电机库存优化模型	通过分析历史库存数据、生产需求预测及供应商交货周期，优化电机库存，减少库存成本。

86	电机仓储物流	电机物流优化模型	用于电机物流计划、物流管理、物流周期等优化。
87	电机制造安全管控	电机生产安全风险评估模型	评估电机制造过程中的安全风险并提供相应解决方案建议。
88	电机制造安全管控	电机生产安全风险应急响应模型	针对高效电机生产时的安全风险，综合设备故障、违规操作、物料泄漏等致险因素，建立风险实时监测预警、应急响应模型。
89	电机供应链计划	电机供应链风险预测模型	对电机及其零部件供应商运营状况、政策法规变动等内外部因素进行分析，预测供应链异常风险。

2-5 工具软件清单

序号	工具软件	描述	投入区间 (万元)	国产/进口
1	CAD/CAE/CAM 软件	用于电机产品设计、工程分析和制造工艺设计,提升设计精度和生产效率。	5~20	国产/进口
2	仿真与优化软件	如 SolidWorks, ANSYS, 用于电机产品设计仿真、工艺优化和性能预测。	10~50	国产/进口
3	产品生命周期管理系统 (PLM)	管理电机相关产品从设计到退役的全生命周期数据,支持产品设计和工艺优化。	10~50	国产
4	企业资源计划系统 (ERP)	集成财务、采购、生产、库存等模块,支持电机生产企业资源管理和业务流程优化。	10~150	国产
5	高级排程系统 (APS)	优化电机生产计划和排程,支持多品种、小批量生产模式,提升生产效率和资源利用率。	5~50	国产
6	制造执行系统 (MES)	管理电机生产执行过程,实时监控生产状态,优化生产计划和资源调度。	10~50	国产
7	仓库管理系统 (WMS)	管理电机生产中的仓库库存、出入库流程和物流配送,提升仓储效率和库存准确性。	10~100	国产
8	供应链管理系统 (SCM)	管理电机生产供应链各环节,优化采购、库存、物流等流程,提升供应链协同效率。	0.5~20	国产
9	质量管理体系 (QMS)	管理电机产品质量数据、检测流程和质量改进,提升产品质量和合规性。	0.5~10	国产
10	客户关系管理系统 (CRM)	管理客户信息、销售流程和服务记录,提升客户满意度和销售效率。	0.5~10	国产
11	能源管理系统 (EMS)	监控和分析电机生产过程中的电、水、气等能源消耗数据,优化能源使用效率,	0.5~10	国产

		降低能源成本。		
12	设备管理系统	实时监测设备运行状态，进行设备故障诊断与预测。进行设备维护计划、工单管理等。	20-150	国产
13	环保管理系统	实时监测污染物排放	10-30	国产

2-6 网络化联接设备清单

适用场景	设备名称	主要功能	投入区间 (万元)	国产/ 进口
通用	智能传感器	实时采集电机生产设备运行数据（如温度、振动、电流等），支持远程监控和故障预警。	0.1~5	国产
通用	智能网关	实现电机生产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
仓储物流/供应链管理	RFID 标签	用于电机生产过程中的物料、设备标识和追踪，支持库存管理和物流跟踪。	0.1~5	国产
通用	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
通用	智能摄像头	用于电机生产现场监控、安全管理和质量检测，支持图像识别和异常预警。	1~5	国产
生产作业/设备管理/能源管理	数据采集器	采集电机生产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
通用	物联网 (IoT) 平台	集成电机生产设备管理、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
通用	云计算平台	提供电机相关数据存储、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
通用	边缘计算设备	在电机生产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

2-7 行业数字化转型人才技能清单

序号	人才技能类型	描述
1	电机生产技能	熟练掌握电机生产的关键工艺流程，包括原材料选择、零部件加工工艺、电机装配调试、质量检测等，能够在数字化转型过程中解决技术适配的问题。
2	电机新材料应用技能	掌握新型电机材料特性，能将其应用于电机设计与生产，提升电机性能或降低成本。
3	电机控制算法优化技能	具备电机控制算法的优化能力，提升电机设备的性能和效率。
4	电机产品生命周期管理技能	熟悉电机产品从设计、生产、使用到报废的全生命周期管理，优化各阶段的资源利用和成本控制。
5	设备操作能力	掌握关键产线设备操作能力，协助工艺设计数字化转型。
6	设备运维能力	能熟练诊断与维修电机生产设备。
7	电机产品设计能力	掌握高效电机原材料、零部件、电机整机设计能力。
8	质量检测技能	掌握针对高效电机的专业检测方法，精准把控电机质量。
9	工业互联网技术	熟练掌握包括工业互联网平台、物联网（IoT）技术等相关技术。
10	自动化与控制技术	熟悉高效电机生产工艺与环节； 熟悉 PLC、SCADA 等自动化控制系统
11	人工智能技术	具备 AI 算法和机器学习模型能力，能够应用于能耗优化、电机设备故障监测、智能检测等相关场景。
12	数据分析与挖掘能力	掌握大数据分析工具，能够挖掘数据价值并支持决策。
13	数字化设计与仿真	熟练使用 CAD、CAE、CAM 等电机设计相关软件，能够进行产品设计和仿真分析。
14	项目管理能力	具备项目管理能力，能够制定计划、分配资源、监控进度并确保项目交付。
15	计划与调度能力	熟悉高效电机生产各环节耗时与资源需求，能依据订单量、原材料供应、设备产能等因素，制定生产计划。
16	生产管理能力	具备把控高效电机生产全流程，协调各生产环节的生产管理等能力。
17	跨部门协作能力	能够与研发、生产、销售等部门有效沟通，推动跨部门协作。

18	数字化工具应用技能	熟练使用 ERP、SCM、MES 等企业管理软件，提升电机企业整体运营效率和管理水平。
19	低代码开发技能	能够利用低代码开发平台快速构建定制化应用，满足电机企业生产特定需求。
20	网络安全防护技术	安装工业防火墙、网闸等安全设备，配置安全设备的常规安全策略。
21	工业机器人编程与仿真调试技能	能正确导入所需要的三维模型，创建工具数据、工件坐标系、负载数据
22	机器学习运维技能	具备机器学习模型的运维能力，推进电机行业 AI 应用的稳定运行和持续优化。
23	能源管理技能	熟悉能源管理知识，能够制定电机企业的能源管理策略，降低能耗和成本，提高生产效益。
24	精益生产管理能力	执行精益生产管理，能在电机生产中识别并消除浪费，持续优化生产流程。
25	智能制造系统集成技能	具备智能制造系统集成能力，能够将电机企业的各个环节和系统进行集成，实现整体智能化，提升生产效率。
26	供应链协同技能	具备供应链协同能力，能够实现电机企业与供应商之间的信息共享和协同作业，优化供应链管理。
27	供应链风险管理能力	具备供应链风险管理能力，能识别电机原材料和零部件供应链风险，制定应对预案，保障稳定供应。
28	营销管理能力	了解高效电机市场需求，制定有效营销策略，提升产品市场占有率。
29	安全风险识别能力	熟悉高效电机生产各环节安全隐患，制定预防措施。
30	应急响应能力	面对电机生产安全事故或突发状况，能够迅速采取有效应对措施，减少损失。
31	环保管控与分析能力	熟悉环保法规，管控电机生产污染排放，分析环保数据助力绿色生产
32	仓储物流管理能力	具备规划电机原材料与成品仓储、优化物流配送、降低仓储物流成本的能力。

附件 3 典型案例

案例目录	
案例 1	江苏大中电机股份有限公司
案例 2	江苏富天江电子电器有限公司
案例 3	常州神力电机股份有限公司
案例 4	江苏雷利电机股份有限公司
案例 5	苏州汇川联合动力系统股份有限公司
案例 6	八方电气（苏州）股份有限公司
案例 7	常州市昊升电机股份有限公司
案例 8	江苏上骐集团有限公司
案例 9	莱克电气股份有限公司
案例 10	威格（江苏）电气设备有限公司

案例 1 江苏大中电机股份有限公司

1) 企业基本情况:

江苏大中电机股份有限公司立足互联网+、智能制造，坚持自主革新引领模式创新，探索电机制造“智能化改造数字化转型”升级道路，对金加工、冲压、绕组铁心、整机装配等柔性工装单元进行数字化建模，并建立数字化车间，通过国家智能制造新模式应用项目——超高效节能电机智能制造新模式项目，为全市电机行业乃至周边城市提供“智改数转”优秀模板。

大中电机依据智能制造标准，重点研究虚拟仿真等关键技术，研发生产管理等核心软硬件，主导设计了 2 条冲压全自动生产线、7 条绕组铁芯全自动生产线、12 条全自动金加工生产线，6 条整机智能总装生产线及智能立库在线检测系统。开展电机定转子冲压生产、数字化嵌线、质量检测等核心设备的开发及数控加工中心、机器人 AGV 等智能设备的应用研究，大大提高电机生产的数控化率。建设产品生命周期管理系统（PLM）、能效管理系统和产品远程运维系统，产品设计数字化率 100%，实现 ERP、MES、WMS、PLM、SRM 与能管系统等良好的信息交互。

2) 智改数转网联典型场景——数字化协同设计与生产:

工厂整体规划 MES、ERP、WMS、PLM 等多个信息系统进行集成，实现数字化车间全系统的互联互通。

应用产品生命周期管理系统（PLM）、产品数据管理系

统、产品研发及仿真平台（CAD、CAPP、CAE 等）和产品数据管理系统（PDM），搭建数字化协同设计环境，集中管理与设计、研发相关的产品数据，并按照不同机座号、功率、极数等型谱信息对产品进行分类管理。对产品及零部件进行数字化建模，并对原型进行分析和优化，形成 3D 打印文件。同时，对模型进行监测，验证设计方案的可行性，提出合理化建议，提高实际生产系统实施的可靠性。

基于对智能制造设备和工艺的研究，对电机的制造流程进行规划，利用 SCADA 软件对相关设备及仪表进行数据的采集、整理，同时使用 MES 系统进行展示和监控。MES 系统与 ERP、PLM 等系统数据集成后进行高级排程，使现场可通过工位终端查询生产计划，工位终端按业务流程展开生产计划的变更、领用、入库等，优化基于安全库存和市场需求的拉动式生产计划。



图 24 生产现场



图 25 生产现场

优化产品研发、设计流程，帮助企业加快实现订单交付。产品研制周期由平均 36 天缩短为平均 19.5 天，产品总体研制时间缩短 45.8%。

开发和应用数字化嵌线、AGV、RGV、高速分拣、质量检测等智能核心装备，提高产成品质量。不良品率由 4.98% 降低为 1.2%，实现了电机产品生产不良率降低 75.84%。

案例 2 江苏富天江电子电器有限公司

1) 企业简介

江苏富天江电子电器有限公司成立于 2003 年 12 月，投资总额 2500 万美元，注册资金 1506 万美元。公司于 2004 年 6 月开始量产，专业生产各种无刷直流电动机和交流变频电机，覆盖 9 大系列 148 种规格，交付产品市场反馈率低于 15PPM。产品融合了计算机控制技术和世界最先进的电机制造技术，厂内拥有各种先进生产设备 400 余台（套），检验和试验设备 200 余台（套），自动组装线 10 条，具备年产各类无刷直流电动机 500 万台的生产能力。公司产品已获得国家 3C 认证，在国际市场上占据重要地位，具有工作效率高、耗能低、耗材少、绿色环保等特点。

公司于 2005 年通过 ISO9001、ISO14001 和 OHSAS18001 三个体系的国家认证，2007 年获得国家产品质量免检证书，2010 年开始连续五次通过高新技术企业认定，2018 年获得市级工程技术中心认定，2021 年通过省级工程技术中心认定，2022 年通过江苏省专精特新中小企业认定和省级智能制造示范车间认定。

2) 智改数转网联典型场景——自动排产与人机协同：

ERP+MES 自动排产，实现智能生产管控。采用 ERP 系统粗排+MES 系统精排的排产模式，结合全自动生产线以及智能装备的联网与监控，实现了智能调度和生产管控。ERP 系统通过仓储余量、订单交期等信息进行自动生产订单排产。

MES 系统从 ERP 系统中抓取订单后，根据实际生产需求进行优化调度，做到产线、时间、人员最优解，并将完成情况回传 ERP 系统。生产过程中如果发生质量、设备、物料等方面的异常，MES 系统将实时报警并反馈至相应部门，并在 MES 系统中做出快速响应与调整。另外，计划生产时一般预留 10%的产能和 3 个人的可排班余量来应对突发事件，当发生紧急插单等意外情况时，可迅速调整各工序作业计划，完成生产。



图 26 MES 精细能力排程（每日生产计划产能与负荷）

人机协同作业提高物料输送效率。车间以生产设备自动化、集成化，生产过程智能化、一体化为原则，引入 ESTUN 堆码机器人、自动涂油机，自动充磁机等智能设备，将这些装备与 MES 和 PLC 相连，实现了在制品自动搬运。产品下流水线后由机器人抓取转子，通过视觉定位功能，将转子依次放入现场的物料盒内，待两个物料盒都放满后自动下降到底部。车间内工人将装满的物料盒放置指定位置，并扫码入

库，相关数据回传至 MES 系统中。



图 27 智能堆码机自动运转物料

精益质量管理，持续优化产品质量。企业建有产品质量检测中心，质量检测部门制定详细的产品和工艺质量指标。通过磁通量测试仪在线检测装置系统和数显游标卡尺测量系统，精准测量转子组件的磁通量密度，并对转子组件的轴承间距和转子位置进行精准定位和调节，以提高产品品质。检测人员通过 PDA 扫描条码信息，MES 中会自动显示该物料的检验清单，当检测数据超过设定值时，系统将自动报警。MES 系统质量管理模块可对质量检测数据进行统计分析，帮助企业进行产品质量影响因素识别，实现精细化质量管控，降低不合格率，持续提升产品质量。



图 28 成品质量检验统计分析报表

通过增加各类自动化设备，改进了各工序间的转运与生产效率，提升了整个产线的产能。车间改造前车间定子成品不良品率是 0.0709%，通过上线智能化装备及信息化系统，改造后的产品不良率为 0.068%。

绿色制造方面，车间单位产品的能耗从每天的 0.29 吨标煤变成每天 0.26 吨标煤，降低了 12%，而且通过集尘机将塑封料碎屑及灰尘进行收集，避免影响车间环境，每吨产品产生的废弃物减少了，产品质量提高了。

安全生产方面，改造前人工手动操作较多，存在较多安全隐患。投料、装箱以及工序间的流转需要较高强度的劳动，去毛刺、清孔、检测、安装导通片等均需要人工操作各种工具等，改造后在各个工艺设备外部添加防护罩智能装备，减少人工操作，降低安全风险。

案例 3 常州神力电机股份有限公司

1) 企业基本情况:

常州神力电机股份有限公司是协会会员单位，创建于 1991 年，至今已有 20 多年历史。公司现有员工 700 人左右，专业技术人员及中高级管理人员 200 余人，具有高级职称的从事冲压、工艺、焊接、工装设计的人员 80 余人，在电机、发电机冲片、铁芯的制造方面积累了丰富的经验。

公司是大中型电机、发电机定转子冲片、铁芯的专业化生产企业，生产规模和产品质量在国内同行业中处于领先地位，是行业中高端产品加工的集中点。主要生产柴油发电机、风力发电机、中高压发电机、轨道电机、电梯电机、交流电机等定转子冲片和铁芯，产品遍布国内外，主要客户均为全球知名企业，如康明斯，维斯塔斯，上海三菱，ABB，科勒，西门子，庞巴迪等。

2) 智改数转网联典型场景——智能工厂数据治理与流通、智能在线检测、人机协同:

基于 PLM 协同管理的数字化设计。针对产品设计中图纸版本管理混乱、设计变更控制无法管控、产品设计模型不统一等痛点问题，为适应时代发展，快速响应客户需求，神力电机引进快速设计的研发模式，建立公司研发信息化平台，简睿捷 PLM 系统、Solidworks 设计以及快速标注系统、定转子参数设计系统相关插件辅助软件构成，通过打通各系统、工具之间的任务流和数据流，实现了多部门、多业务之间的

基于三维数字化设计的设计方案及设计结果的三维可视化和基于网络数据管理的参数化共享和设计协同。



图 29 PLM 协同研发



图 30 设计知识库界面

智能工厂内部联接了大量设备终端和用户，运行了众多的数字化软件和系统，需要建立强大的数字化平台，针对MES、WMS、能源系统、QMS、设备运行数据等各类生产数据的分析，并与SAP、PDM、SRM等信息化系统建立协同联动驱动。实现数据治理和流通，保障工厂内部管理、生产的高效运行。采用数据采集技术，实现工厂内部数字化基

础。采用数字分析系统和数字仿真技术，对工厂数字进行治理与仿真建模。通过数据驱动技术，实现人机协同流通，促进企业内外部高效运行。采用数据采集技术，实现工厂内部数字化基础。采用数字分析系统和数字仿真技术，对工厂数字进行治理与仿真建模。通过数据驱动技术，实现人机协同流通，促进企业内外部高效运行。

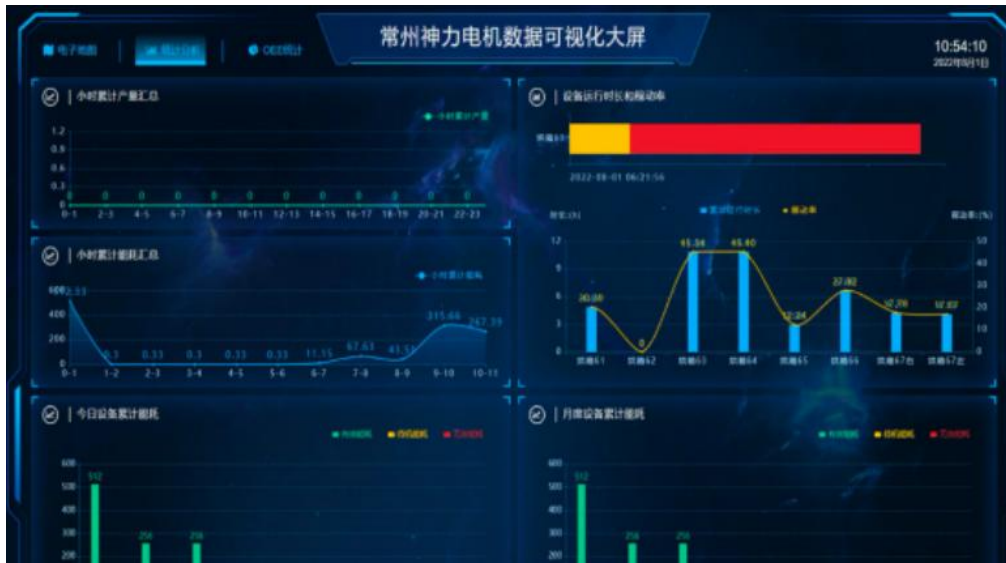


图 31 企业可视化大屏

基于三坐标表测量仪的在线检测。本场景针对检测环节高度依赖人工、工艺标准分析、数据统计、查询难度大等痛点问题，建立了信息监控系统、过程评定与分析系统、数据管理等系统模块，并打通三坐标测量仪系统，实现对检测数据的自动测量，并将数据实时传输到中央数据库，利用人工智能算法等技术进行实时现场质量数据监控和预警，及评估分析，最终实现对产品数据的自动采集、在线检测，并可对单样品、多产品批次的检测结果进行智能化分析、评价、预测，大大提高了检测效率和检测质量。基于产品或零件的追

踪 ID，将全过程收集的质量数据，例如铁芯内圆跳动、止口跳动、外径跳动等，以 BOM 的结构形式进行组织和展示，形成每个产品完整的数字化质量档案；阀体零部件在三坐标仪上经过测量后，测量数据在 MOM 系统上进行流转，实现产品到物料（到供应商），物料到产品（到售后）的双向查询；基于智慧物联技术，实现人员、设备、资产、环境等检测资源的全方位深度溯源、监控。



图 32 三坐标表测量仪在线检测

基于多轴机器人的人机协同作业：本场景针对传统冲片和焊接工艺，焊接点多，焊接精度高，工作量大，生产效率低，难以匹配生产节拍等问题，通过多轴焊接机器人，并搭建新型传感系统和人工智能算法，打通各设备信息，实现设备互联，系统互通，实现机器人自动抓取工件、自动焊接，根据订单、物料号应用机器人对工件自动识别，辅助操作人员进行定转子冲片和焊接，大大降低了劳动强度，提升了工作效率。



图 33 机器人应用

3) 主要成效:

提升效率。解决了原业务依赖于人工纸质流转，存在结构化、信息化断点问题。通过结构化、数字化工艺设计，实现数据高效流转，解决工艺设计重复作业、标准不一问题，提升工艺工作质量及效率，解决了工厂管理的数字驱动问题。

缩短研发周期。通过工艺知识库及仿真技术应用解决工艺人员经验不足难题、缩短了新产品研制周期。

案例 4 江苏雷利电机股份有限公司

1) 企业基本情况:

江苏雷利电机股份有限公司（股票代码 300660）是一家具有广泛影响力的微电机产品研发设计、生产制造型上市企业，年电机出货量超 2 亿台。已经形成以微型步进电机、同步电机、直流有刷电机、直流无刷电机、微型水泵等多种电机产品为主导，配套相关精密结构、驱动控制设计和制造方案解决的综合业务能力。雷利建设了以信息数据为驱动的微电机智能化生产新模式，通过构建产品、设备、物流动态仿真模型，优化关键设备运转、工序流转等参数、制定信息化管控方案，实现智能化工厂布局。结合智能信息管理技术与数据在线采集技术，利用人工智能算法与在线视觉分析处理技术，实现生产大数据高效集成与优化分析。

从“雷利制造”到“雷利智造”的转型升级。依托江苏省工程技术中心，江苏省企业技术中心，自主研发设计行业首条自动化生产线，具备年产 2 亿台微电机的配套生产能力，运用企业资源计划系统(ERP)、产品生命周期管理系统(PLM)、制造执行系统(MES)等，从而实现车间设备、生产、人员、质量、物料、环境等方面的全流程的智能化、绿色化和信息化管理，推动雷利制造升级、效益提升、抢占未来竞争制高点。

智能制造是企业核心竞争力，雷利为此组建了一支专业自动化研发团队，通过引入全自动生产制造设备、辅以制造

安灯管理系统，可实现确保产品 100%在线自动全检，提高生产流通率、降低在线不良率，最终实现减员增效。工程中心创新建立了符合企业自身需求的电机装配工艺和生产技术，被江苏省科技厅授予“省级工程中心”称号，为雷利的电机制造技术在行业保持领先地位打下坚实基础。

2) 智改数转网联典型场景——智能工厂数字化系统集成、智能装备应用：

江苏雷利电机股份有限公司打造的是订单快速交付能力。通过 PLM、APS、ERP、MES、SRM、WMS、SCADA 等系统的集成，优化了计划体系，生产计划、采购计划、装配计划、准备计划等，实现车间、产线、工位逐级分解，生产精准执行。

通过过程质量在线监测、生产数据实时采集、从而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。

通过设备状态在线监控，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。

通过对生产计划完成、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。

公司建立了集团级的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，具体

按下图，实行数据自动采集、集成共享和数据建模：

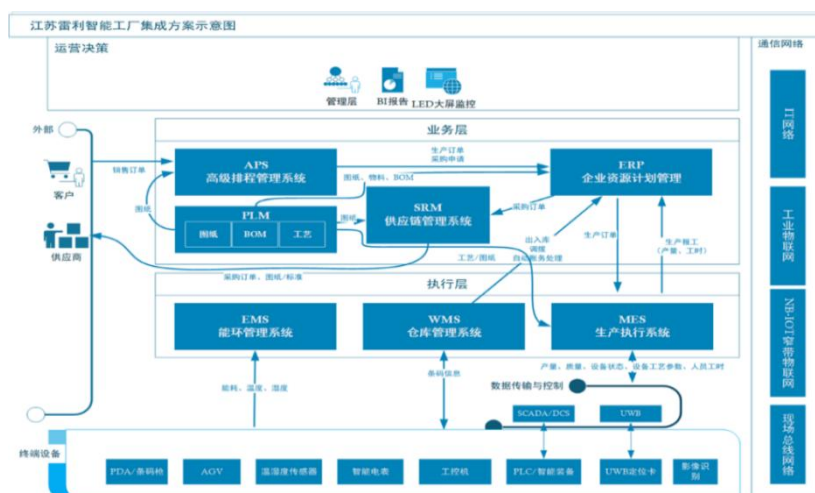


图 34 雷利智能工厂集成方案示意图

公司 PLM、ERP、APS、MES、SRM、WMS、UWB、SCADA 等主要业务系统已得到全面的推广，覆盖所有的业务范围，并实现各个业务数据共享，基于价值流程进行了业务系统的深度集成应用。

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，以便做出快速的响应。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。

智能化设备应用：

雷利电机自主研发并应用了自动捏骨架成套装备、自动铆接成套装备、自动化前段装配产线、后段自动化装配产线等关键智能装备，结合智能控制系统，实现了上料、检测、装配等多环节工序的自动化与智能化，大幅提升了生产、测

试等环节的生产效率，提升了产品质量，缩短了产品生产周期，实现提质降本增效的目标。

通过自动化设备的增设，并将信息技术与生产过程进行全面整合，基于MES实现关键设备联网，实现了对设备状态、生产效率、产品质量、工艺参数等全过程多维度生产数据的实时采集与监控，以及基于车间机器视觉、传感器等智能识别系统，物流装备系统以及自动控制系统，实现了产品的智能化生产。



图 35 自动捏骨架成套装备

结合智能信息管理技术与数据在线采集技术，利用人工智能算法与在线视觉分析处理技术，实现生产大数据高效集成与优化分析。基于大数据处理与分析系统，促进微电机的智能化生产，经过一年多的实践，数字化生产车间生产效率

提高了 33.2%，能源利用率提高了 24.8%运营成本降低了 58.1%，产品开发周期缩短了 37.4%，产品不良品率降低了 37.8%。



图 36 雷利电机智能车间

雷利电机通过智能工厂建设，建立年产 2 亿台微电机核心部件制造流程数字可视化控制、形成关键部件的在线数字化设计、多品种变批次产品的柔性化、自动化生产，以及从生产到管理的标准流程化的智能信息化管控平台，以及工业大数据应用平台，保障微电机制造质量与一致性，提升了生产与管理效率，助力能源环保可持续发展，实现中高效节能微电机装备的工程化应用。

案例 5 苏州汇川联合动力系统股份有限公司

1) 企业基本情况：

苏州汇川联合动力系统股份有限公司专业从事新能源汽车动力总成系统、电机控制器、电机、电源总成等产品的研发和制造。公司通过实施智改数转网联，搭建专业高效的研发与供应链平台，提升产品性能，提高生产管理水平，提供顶尖的电动动力总成。

2) 智改数转网联典型场景——系统集成协同管理、智能协同作业、人机协同制造、网络协同制造：

公司以精益生产为基础，通过自动化、智能化、数字化建设，引进国内外先进的生产、检测设备以及 ORACLE EBS、PLM、CRM、MES 等系统，改进生产工艺、全面升级信息化系统，提高生产运营效率，降低运营风险和成本，实现生产的智能化。

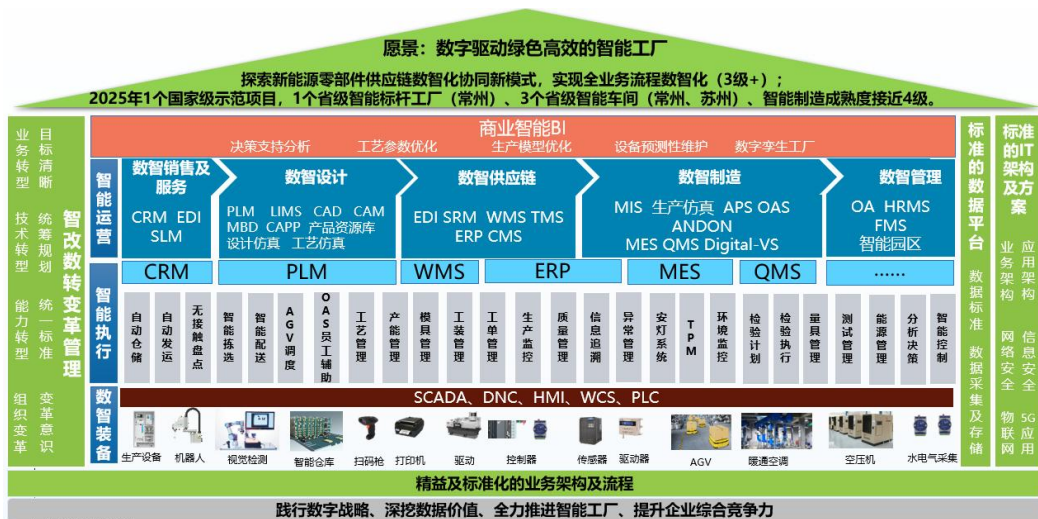


图 37 企业智能工厂规划示意图

基于信息物理系统和工业互联网理念构建智能工厂，主

要包括物理层、信息层、大数据层、决策层。其中，物理层包含工厂内不同层级的硬件设备，从最小的嵌入设备和基础元器件开始，到感知设备、制造设备、制造单元和生产线，相互间均实现互联互通。以此为基础，构建了一个“可测可控、可产可管”的纵向集成环境。信息层涵盖企业经营业务各个环节，包含研发设计、生产制造、营销服务、物流配送等各类经营管理活动，以及由此产生的众创、个性化定制、电子商务、可视追踪等相关业务。在此基础上，形成了企业内部价值链的横向集成环境，实现数据和信息的流通和交换。

智能自动化控制层方面：以自动化设备替代低值的人工作业，完成现场设备的控制系统、人机界面、PLC、机器人控制系统、视觉检测等建设，实现生产流水线的自动化升级。

业务执行层方面：通过对接企业 ERP、PLM、WMS、智能排产、SCADA、Andon、AGV 调度等系统，执行生产过程管理，实现 BOM 物料清单及生产调度、物料管理、质量控制、设备管理、生产信息可视化、绩效管理等核心业务，提升生产效率和产品质量，降低在制品库存。

协同管理系统方面：通过 PLM 系统、IPMS、仿真平台、大数据管理平台等系统建设，实现研发协同设计、业务仿真设计与优化，提高研发效率，缩短研发周期，实现产品全生命周期管理服务。

供应链平台系统方面：通过 EDI 平台建设，结合分销系统的业务集成应用，实现客户需求信息的对接与计划协同。

通过 ERP&SRM&WMS 系统的建设以及业务集成,实现采购环节供应链的计划协同,缩短采购周期,降低交付风险。

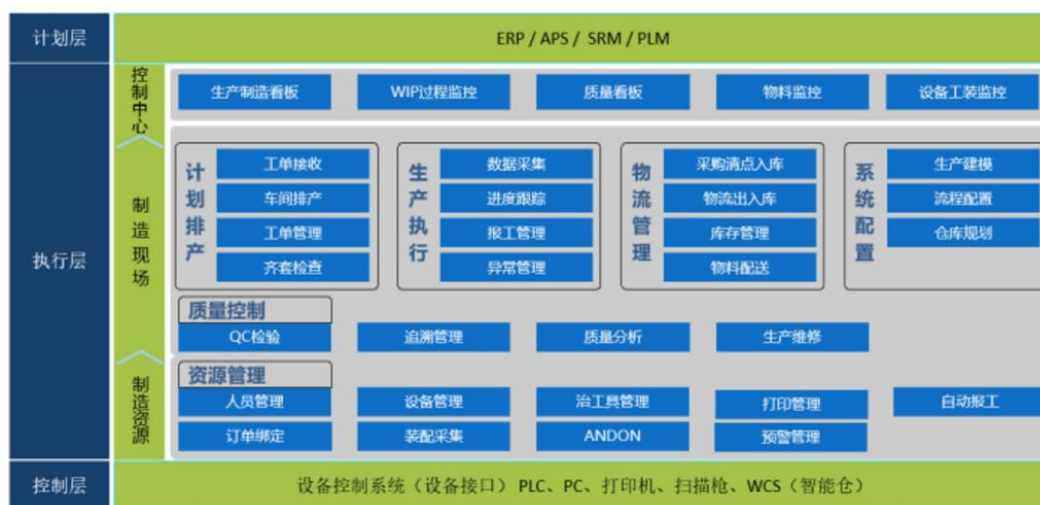


图 38 ERP&SRM&WMS 系统建设及业务集成

数字化管理方面：通过 BI 系统，构建企业数字化运营指挥中心，对企业各业务指标进行实时在线监控。管控从生产订单下达到产品交付的整个过程，建立数字化、透明化现场管理体系，优化和规范现场管理流程，提高问题处理效率及准确率，降低生产成本。实时监控现场设备状态，及时反馈设备异常情况。实时获取各项绩效指标，为高层决策提供数据支撑。

产品数字化设计与仿真数据管理方面：引入达索仿真数据管理平台，构建仿真分析体系，推动仿真分析流程化、标准化。加强设计仿真协同，基于仿真模型进行双向交互，实现仿真数据绑定三维模型文件的结构化管理。

客户计划协同与柔性生产计划制定方面：根据客户短期需求计划、战略储备以及安全库存等需求，利用 ASCP 高级

排产功能，联动排产软件，综合考虑交付提前期、替代料规则、产能、物料齐套等因素，最终制定柔性生产计划。

物料精准配送方面：构建材料仓、集中备料区、线边物料区三层物料存储机制，结合 WMS、AGV 调度系统、AGV 小车等软硬件，构建物料调度及配送体系。使用 WMS 实现精准地址管理，通过库位二维码与物料小车条码进行信息关联，实现库位与物料的精准绑定。

3) 主要成效：

通过智能工厂建设，公司实现了互联互通、智能管控、精益生产的目的，依托智能化、信息化和工业化的融合，整体生产效率提升 30%，生产计划准时达成率提升至 98% 以上，订单准时交付率 100%，质量合格率提升至 99.63% 以上，能耗降低约 10%。

案例 6 八方电气（苏州）股份有限公司

1) 公司简介

八方电气（苏州）股份有限公司是一家全球化的电动自行车驱动系统及组件研发制造的国家高新技术企业，成立于2003年，致力于电机、仪表、控制器、电池、传感器等驱动系统核心技术研发，并获得自己的知识产权。八方电气先后在荷兰、美国、德国、波兰、台湾、日本、天津等地区开设办公室及工厂，并在电踏助力车驱动系统领域有超过16年的制造经验，是行业一线品牌。

2) 智改数转网联典型场景——多系统集成互联：

公司使用 U8 系统多年，财务、供应链、生产模块应用正常，但是，MRP 计划搁置，手工核算成本，效率低下。公司管理和企业上市均要求成本核算体系化、成本分析精细化、财务报表需要更加准确及时出具。八方近些年业务倍速增长，品种多、配件采购周期长、销售承诺的交期短、插单多、挪料频繁，造成无法知道每个销售订单的真实可交货日期，而且新设立的贸易公司、波兰工厂等和苏州总厂的多组织业务关系无法在一个 U8 账套里实现。所以八方电气数智化变革是在企业高速发展的驱动下不得不做出的改变。同时客户还提出了企业管理的难点和痛点：产品品种多样化，电踏车 18 个组成部分除了车架和车把均可销售，甚至多于 18 个部分；多品种小批量，订单总量大，每天生产电机上千台，2019 年销售额近 12 亿；订单个性化，设计变更多，交期短，生产

供应压力大；非标项目型，需要对销售订单加行号定义项目并进行管理并跟踪；上百家供应商和几十家外协商，供应商协同管理是重中之重；贸易件、自制件、委外件交织在一起，物料齐套和成品齐套管理难度大。

面对业务高速发展下的诸多挑战，八方电气主动拥抱数智化变革，基于用友 U9 cloud 对业务系统进行全面升级，涵盖多系统集成、分层计划体系与项目全程追踪、供应链快反体系、精细化管控与核算等各个模块。

集团国际化平台 U9cloud: 实现多地点、多法人的集团化平台，满足多语言、多时区、多账簿的国际化应用要求，随着八方电气先后在荷兰、美国、德国、波兰、台湾、日本、天津等地区开设办公室及工厂，U9cloud 支持八方未来战略发展。

多系统集成互联: ERP-WMS-SRM 集成互联，数据完全共享，强大开放的集成平台，和 SRM 接口，实现了供应商协同；和 WMS 接口，提高了物料出入库的工作效率。

分层计划体系和项目全程追踪: 物料需求计划 (MRP)，自动生成采购、生产、委外订单，使用 MRP 运算提高计划可执行性，计划预留管理，降低库存。八方电气实现了项目号全程追踪，在订单保存时判断销售订单的物料形态，对形态属性为制造件和委外件的物料生成项目号，通过 MRP 将项目号带到生产订单、完工报告、请购单、收货单、出货单，实现关键物料的全程追踪。

供应链快反体系：条码管理驱动供应链高效运转，透明、实时的物料流转数据为管理提供决策支持。

精细化管控及核算：U9cloud 规范八方电气管理流程，通过业财一体化，智能会计，实现实时纠错。精细化的成本、利润核算，通过应收毛利分析报表等可以使经营管理人员掌握本单位销售成本中料、工、费占比情况、分析本单位在经营活动中的优势，查明问题存在的原因，不断改进管理工作。为企业预测计划期内销售量、销售价格以及销售收入提供依据，并确定未来销售成本和费用水平的基础上，预测出企业未来利润水平，以确保企业营销目标的实现。

高效组织协同：U9cloud 的集团财务管控体系，通过跨组织管控，实现内部交易协同。U9cloud 多组织业务协同和自动内部交易方案符合八方企业上市内控要求。八方电气使用内部直运和跨组织调拨等多组织业务，无须进行实物的收发，即完成了内部组织间的购销业务，简化内部组织的交易活动，并有效进行业务管控。

3) 应用价值

快速复制基础数据及内部管理流程，实现多组织快速实施、多组织业务协同；通过 U9cloud&WMS 有效集成，提高库存准确率，年度盘点账面与实存只有 2000 元差异；实现产能显著增长，生产作业人员未增加的情况下，产能翻一倍；和 SRM 接口，实现了供应商协同，提高供应商接单效率；和 WMS 接口，提高了物料出入库的工作效率。

案例 7 常州市昊升电机股份有限公司

1) 企业简介

常州市昊升电机股份有限公司成立于 2000 年，是首批入驻常州经开区新材料产业园的企业之一，公司专业研发及制造各类直流有刷电机、无刷电机及齿轮箱等产品，公司产品广泛应用于各类通讯、视听、办公设施、家用电器、电子玩具、航空模型、医疗保健、仪器设备、汽车配件等领域。公司员工 600 多名，其中管理人员、专业技术人员 50 多名，已具有年产 6000 万台电机的生产能力。公司通过完善的人才引入机制，健全的管理培训系统，不断地充实管理和专业技术人员的队伍，提高员工的综合素质，确保了昊升公司产品的品牌优势，赢得了广大用户的信赖和好评。公司为适应欧美汽配市场的需求，于 2006 年 7 月 29 日顺利通过 ISO/TS16949:2002 管理体系认证，产品远销欧美、韩国、中国香港地区、中国台湾地区等十几个国家和地区。

目前，昊升电机已申报成功市级专精特新企业、省级中小型科技企业。2024 年昊升电机荣获“常州市智能制造车间”、省级四星级上云企业。

2) 智改数转网联典型场景——智能协同作业：

新能源汽车用微特电机智能车间，2024 年入选常州市智能制造车间。智能车间集成了先进的自动化设备和信息化管理系统，采用金蝶云星空 ERP 系统完成具有约束条件的主生产计划生产和物料需求 MRP 计算，并结合 MES 生产执行系

统在车间内实现自动排产优化改进。采用 MES 系统收集生产过程中的生产数据，并建立生产信息数据库，实现生产成本、交期及订单执行进度的可视化，对人、机、料进行精确管控，减少生产浪费提升物料的精准配送。通过监测单元对环境进行智能检测管控，结合安全预警管理机制，保证车间生产安全。车间通过设备、过程控制的数字化升级，目前生产自动化系统逐步形成完整体系，资源利用更加合理。



图 39 智能制造车间现场

在生产车间部署一条全自动化生产线,包含 5 台机械臂,进行上料、抓取、搬运、焊接等整个流程,每小时生产 500 台电机,仅需 20 名员工。在改造之前(2019 年)每小时只能生产 350 台电机,需要 35 名员工。通过智能化改造,人工成本节约了 40%,更为关键的是,产品质量得到了稳步提升。

近年来,企业全力以赴推进产线自动化升级与改造,一方面合理优化现有产线,积极布局智能化生产,在绕线、转

子生产、组装等工位引进机器人替代人工。例如汽车电机端盖组装线，原本需要 20 人作业，经过改造后仅需 5 人，在减少人力投入的同时，产品的稳定性与一致性还不断提高。



图 40 智能化装备应用

通过智能化生产布局，减少人力的同时，产品的稳定性与一致性也不断提高。“智改数转”实现了生产工艺的优化、产品质量的精确管控，也有效实现了成本控制和生产效率的提高。

案例 8 江苏上骐集团有限公司

1) 企业简介

江苏上骐集团有限公司成立于 2009 年，由江苏宝骊集团有限公司更名，是以始创于 1993 年的靖江市天马电机有限公司为母体组建而成的民营企业，地处靖江市新洲路 5 号。公司占地面积 550 余亩，建筑面积 18 万平方米，资产总额 8.7 亿元。上骐牌电机连续多年被评为“江苏省重点培育和发展的国际知名品牌”，荣获“国家产品质量免检”、“江苏省名牌产品”、“泰州品质”、“空调用超静音塑封电机”、交流永磁伺服电机接入“国家火炬计划”，获评国家级“绿色工厂”。企业拥有自动化生产及检测设备总计 681 台（套）。公司主要从事稀土永磁电机、直流无刷电机、单相交流异步电动机、三相交流变频电机等）、牵引车、工程机械（多功能农用装载机、叉车、高端履带式水稻联合收割机）的研发、制造和销售。市场销售：2022 年，公司实现主营收入 6.3 亿元，产品已出口到世界上 50 多个国家和地区。

近年来，企业坚持以“工业 4.0”为目标，重视关键核心设备的升级改造，持续改进工艺流程，确保能够为客户提供高品质的产品，已形成集设计研发、工艺改进、规模生产一体化的综合竞争优势。先后获得“国家高新技术企业”“省三星级上云企业”等荣誉称号，现有“塑封直流智能车间”和“高效节能塑封电机车间”“永磁直流无刷电机定子智能制造车间”等智能制造示范车间。

2) 智改数转网联典型场景——智能协同作业：

以永磁直流无刷电机定子智能制造车间为例，车间智能装备全面应用。车间内拥有定子自动绕线、焊接、组装线、检测设备^等31台（套），其中智能化设备27台（套），智能设备通过数采全部实现联网，数采汇入MES系统，实现在线运营实时状态监控，并通过车间大屏展示。



图 41 智能化设备

生产物料精准配送。配置多层货架，建有仓库管理系统，及AGV无人车，实现物料自动领运及用料分析。生产物料采用二维码技术，数据可打通ERP、MES、WSM系统，实现生产全流程追溯。

生产过程实时管控。车间现场采用工业以太网技术、分布式控制系统，利用条形码管理器、安装电子看板与ERP联网，完成生产过程采集和分析，实现与车间制造执行系统（MES）实现数据集成和分析。生产进度及预测，各工作站

状态可随时通过 MES 系统实时管理。

生产信息跟踪追溯。生产过程从物料领取到成品出入库等，采用二维码技术全程跟踪，数据打通各平台系统，从销售订单、生产计划、排产、物料领用、设备管理等实现全程数字化管理。

据统计，企业引进、改装、自制各类符合生产所需的智能化设备 102 台套，各类组装、检测设备 127 台套，建有定转子包塑、转子加工、绕线/焊接、组装等流水线 7 条。基于工业以太网技术和现场总线技术，结合数据库和软件设计，组建车间智能管控系统，实时控制智能生产设备，实现人机高效协同作业。



图 42 定转子包塑流水线

矽钢片冲压后制成定子和转子后运转至包塑加工区，采用伺服立式注塑机，配备自动收料头机械手，完成定子铁芯包塑操作。利用视觉检测系统，判别铁芯光面与毛面，精确

定位抓取位置，保证机械手的内爪和外爪将定、转子放入模具内。包塑区 1 名员工可同时操控 4 台注塑机，大大提高了生产效率。运用日本最新 3 工位交替组合实时检测式充磁机对转子进行充磁，可适用 3 种不同大小规格铁氧体表贴转子。配备 3 台格力最新款 6 轴机械手，完成捡轴、入轴、选向、放入充磁孔、合格品上轴承卡簧等操作。若检测为不良品，则反复抓取重复充磁 3 次，再次检测仍为不良品则自动剔除至不良品箱，保证了高速产量下的质量控制。



图 43 转子加工现场

定子自动绕线区配置安川 6 轴机械手与定子选向机对应 4 台 4 工位全伺服绕线机，形成 4 分道均速流水线，可满足 4 种内外径相同、高度不同的定子绕线。流水线前端由格力 12KG 机械手根据每条流水线生产节拍自动从标准周转箱中抓取定子，分别放置于相应生产线上，定子完成绕线后由人

工拿取检测。应用中央集中控制系统，定子线包输送至塑封机面前时设备警示提醒操作工抓取并放入线包加热器上进行塑封。塑封后，由操作工放入后道清理线规定流道中，到达清理区域，由规定清理机进行后道处理，最后进行成品装配。



图 44 自动绕线现场

智能协同作业解决了生产线人员冗杂、效率低下、质量风险高等问题，打通了生产设备、生产系统、人员、物流、环境、工艺等要素之间的信息孤岛，以智能化的方式协同各生产管理流程，提高企业整体生产力流程自动化程度。

通过自动化、智能化、数字化改造，车间生产效益有明显提升，员工人数降低一半以上，产能提升 37.9%，产品不良品率降低 84.6%以上，能耗成本降低 1.3%，总体成本降低 1.2%。

案例 9 莱克电气股份有限公司

1) 企业简介

莱克电气股份有限公司是一家专注于以高效电机为核心技术的吸尘器环境清洁和健康小家电领域的研发制造商，2015 年上市。公司先后荣获“国家级工业设计中心”、“工信部智能制造试点示范企业”、“制造业单项冠军示范企业”、“苏州市智能工厂”等称号。

2) 智改数转网联典型场景——数字化系统集成、智能协同作业：

莱克结合自身业务发展需要确立了“打造莱克电机智能制造示范工厂”战略规划，推出了适合莱克智能制造发展的五化“生产自动化、物流智能化、信息一体化、资源绿色化、人才专业化”智能制造模式，采用全自动冲压、金加工、注塑生产线，转子、定子、装配生产线和转定装一体化全自动生产线技术，自主研发的莱克牌 AGV 及物流中央调度系统，基于 ERP、PLM、SCM、MES、DMS、EMS、CRM 等实现设计、生产、销售、物流和服务的产品全生命周期的数据信息管理。



图 45 莱克智能制造“五化”模式

基于产品生命周期管理系统 PLM 系统等统一电机研发和设计过程中的信息孤岛，提升设计的集成能力、优化信息传递和管理过程，搭建与生产、采购、服务、质量的信息桥梁，集中管理与设计、研发相关的数据，对历史材料数据、工艺数据、质量数据、现场环境数据等建模分析，不断优化设计工艺，提升产品质量。

电机生产线充分以机器人换人方式打造无人化生产线，生产过程品质充分采用防呆防错、工序内自检、不良自动分离、机器视觉检测等控制手段来保证，进而策划实现高效电机转定装一个流的生产新模式；产品实现价值流过程策划考虑从原料仓库至生产线、生产线与生产线间、生产线产品下线到仓库的物流 AGV 无缝贯通。自主研发莱克牌 AGV 及开发的智能物流中央调度系统（DMS），规范物料包装箱，统一运输工具，按照 JIT 原则配套物流，拉动原材料供应商按订单直接成套送料至物料配送小车，生产线通过中央控制系

统调度 AGV 进行物料配送及成品下线运输，实现整个电机生产过程物流智能化运输。

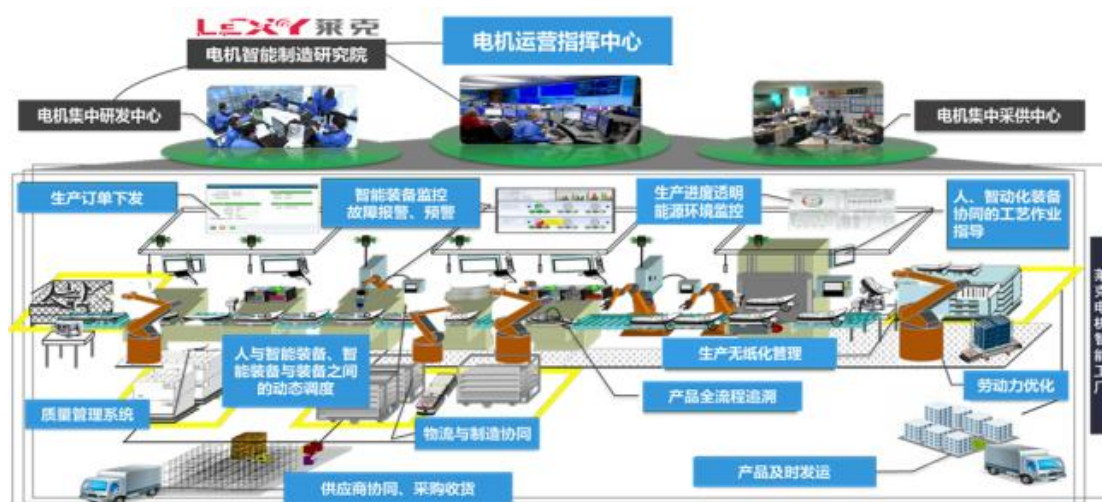


图 46 莱克电机智能化产线图

为实实现物流与信息流衔接，通过数据驱动创造价值，逐步建成集 PLM、ERP、SCM、MES、CRM、DMS 协同一体化信息系统，在电机智能制造模型基础上，逐步塑造电机供应链一体智能制造新模式，借用莱克公司现有平台，在冲压、金加工、注塑推动自动化生产与信息化管理平台，构建标准统一的电机制造协同管理平台，打通企业生产过程“人、机、料、法、环、测”各环节，实现电机设计生产全程数据自动流动，最终达到提高电机生产效率、降低运营成本、提升电机质量稳定性的目标。



图 47 莱克电机智能化工厂场景图

近年来，莱克电机通过智能制造“五化”模式践行，先后投入资金 5 亿元用于智能化设备引进和改造，购买六轴机械臂 200 余台，通过自主设计研发智能化解决方案，对 50 余条电机转子生产线、30 余个定子生产单元进行全自动化改造，20 余条电机装配线实现了半自动化改造；同时自主研发 AGV 物流运输小车 30 余台，并开发 DMS 系统实现了工厂内部物料无人化运输，整个生产过程实现了生产信息、质量信息、物流信息全自动监测和控制；同时培养了一支 150 余人的智能化、数字化人才，成员连续两年在“高新匠领”机器人大赛中包揽前三名。除了服务自身的同时，帮助上下游供应链单位实施智能化改造，带领整个行业加快智能化改造步伐。

企业“智改数转”的成功实施，建立了电机全产业链智能制造新模式，进而推进无刷及数码类创新型电机新的制造方式，并辅助及影响相关供应链体系的制造升级。

案例 10 威格（江苏）电气设备有限公司

1) 企业简介

威格（江苏）电气设备有限公司是世界三大工业电机 WEG 集团在中国投资的全资公司，从事低压电机及减速机研发、生产、销售，于 2020 年建成 160-200 电机智能生产线。

威格（江苏）电气设备有限公司建成于 2014 年，隶属于全球最大的电机制造商之一 WEG 集团。公司先后获评 2020 年度南通市环保示范性企业、2021 年度环保信用评价绿色企业、2022 年度南通市生态环境监督执法正面清单企业。

公司每年通过技改引入智能化设备，提高生产效率，降低单位产值能耗，公司现已投产 28 套机器人智能化加工中心，同时优化现有工艺降低能源消耗，如投用塔式熔铝炉替换敞开式熔铝炉、电动拖车替代柴油叉车周转厂区物料，天然气及柴油消耗量均降低约 50%。

作为一家主要生产低压以及中高压电机的外资企业，威格电气拥有成熟的生产供应链，产品 60% 远销德国、意大利、日本等国家。

2) 智改数转网联典型场景——智能生产线部署：

该工厂智能生产线拥有自动绕线下线一体机、全自动绑扎测试线、全自动机壳压装系统、自动装配和自动喷涂系统、AGV 自动物料周转系统、自动化立体仓库系统等，以 SAP、WMS、QMS、MES 系统集成化方式实现对生产过程监控、质量追溯、仓储管理，有效提高了生产质量和效率，优化了

生产成本控制。同时，新车间在电机喷漆区配备了 RTO 系统，在特殊区安装 VOCs 体检测仪器、温度检测仪、防爆设备，对废气处理系统实施实时监控。



图 48 智能装备应用

新车间内有智能装备数量 16 套，设备联网数量 16 套。车间各个工位联网通过以太网的形式采用 TCP/IP 通信协议与 MES 系统建立通信，而 MES 与设备自动化控制系统 PLC 定义的标准接口协议（OPC 协议）及接口进行通信，可实现装配线 MES 与 PLC 之间包括工件到位、保存数据、保存完成、验证完成 4 个信号交互，其他信息通过 PLC 或者 MES 实时写入定义好的 DB 地址，由 PLC 或者 MES 到标准的 DB 地址获取对应的信息，实现数据采集、设备监控、生产控制等相应的功能。

每个工位的 HMI、PLC、扫码设备通过以太网联机到各个工位分布的交换机；每个托盘中的 RFID 在电机各个部件上线时将物料信息绑定到一起，到达相应的工位时扫码设备

读取相应的 RFID 信息，并将该工位的 ESOP 文件及物料信息显示到对应的屏幕上，最终实现信息可追溯功能及工位信息交互功能。

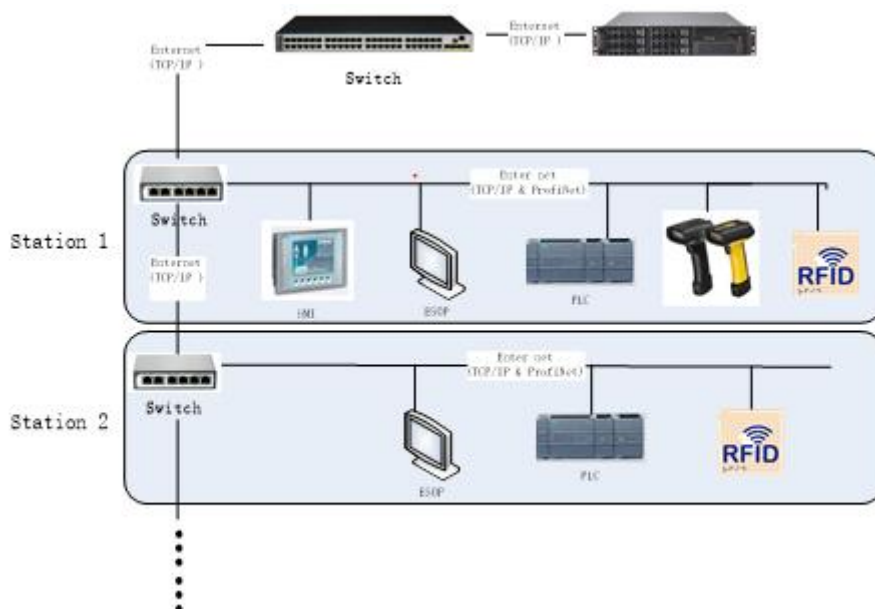


图 49 威格电气工位及设备与系统的网络拓扑图

相对于普通生产线，智能生产线日生产电机数量提高了 20%，生产效率提高了 35%，质量瑕疵减少 31%，对传统电机制造工艺智能化，绿色化转型起到了示范和带头作用。

附件 4 服务商目录

序号	名称	所在地	主营业务及优势	联系方式
1	用友网络科技股份有限公司南京分公司	南京	为电机企业提供全面的智能改造和数字化转型解决方案, 涵盖 ERP、云服务、大数据、人工智能等应用	025-58612702
2	江苏金蝶软件有限公司	南京	为电机企业部署 ERP、WMS 等工业软件, 提供精细化的生产管理和仓储物流解决方案。	025-68567099
3	上海汉得信息技术股份有限公司	上海	提供 APS、MES、WMS、SRM、PLM 等全方位工业软件, 助力电机企业实现生产流程优化和供应链协同。	400-168-4263
4	昆山鸿一自动化科技有限公司	昆山	专注于工业自动控制系统和工业机器人的研发与应用, 为电机企业提供自动化生产线解决方案。	13761445560
5	北京翰迪福睿科技有限责任公司	北京	提供 PLM、设备管理等软件系统, 助力电机企业实现产品全生命周期管理和设备智能化维护。	13718680993
6	再发现(北京)科技有限公司	北京	专注于 MES、SCADA 系统的研发与应用, 为电机企业提供实时生产监控和数据分析, 助力企业实现精细化生产。	010-62988509
7	神州数码集团股份有限公司	北京	提供定制化 WMS 仓储管理整体解决方案	010-82705588
8	山东特普软件有限公司	山东	财务软件, 为电机企业提供财务管理和成本控制解决方案。	0531-88690770
9	苏州罗克韦尔智能科技有限公司	苏州	提供 MES、设备管理等轻量化软件。	18452020284
10	上海才匠智能科技有限公司	上海	提供自主研发的工业互联网产品包含 MES、SRM、WMS 软件等。	021-58567790
11	徐工汉云技术股份有限	徐州	提供 MES、设备管理等相关软件, 助力电机企业实现智能	0516-80582888

	公司		化生产和设备管理。	
12	四川虹信软件股份有限公司	四川	提供 ERP、PDM、WMS、云计算服务等软件产品,为电机企业提供全面的信息化解决方案。	0816-2418977
13	美云智数科技有限公司	深圳	提供智造云产品体系包括排程易 APS、智造 MES、电子 MES、注塑 MES、智造公有云、智联宝和协作云(SRM)。	0757-22605818
14	谷东科技有限公司	广州	提供 AI 大模型平台,为电机企业提供高度专业化的智能解决方案和服务。	020-82002781
15	北京兰光创新科技有限公司	北京	主要提供 MES、APS 等软件及解决方案。	010-62669794
16	益狐智造科技(武汉)有限公司	武汉	提供产品“玩转工厂 App”,融合精益生产理念和工具,为制造工厂提供实用的生产管理智能化解决方案。	18171463191
17	鼎捷数智股份有限公司	上海	提供 ERP、MES、PLM 等工业软件,为电机企业提供全面数字化管理和产品全生命周期管理方案。	400-626-5858
18	帆软软件有限公司	无锡	提供简道云 MES、WMS 等低代码开发平台,助力电机企业快速构建和部署生产管理系统。	400-811-8890 转 2
19	常州金康精工机械股份有限公司	常州	专注于电机制造专用设备,如自动绕线机,定子嵌线机,定子绑线机,槽绝缘插入机等,提升电机生产效率和产品质量。	0519-8158080
20	苏州浩辰软件股份有限公司	苏州	提供浩辰 CAD 工业设计软件,助力实现电机产品设计和图纸管理的数字化。	0512-62880780
21	广州中望龙腾软件股份有限公司	广州	提供中望 CAD 等工业设计软件,助力实现电机产品设计和图纸管理的数字化。	020-38289780-838
22	江苏极熵物联科技有限	无锡	提供能源管理系统 EMS 软件,以及能耗优化和能碳资产	4006636036

	公司		管理服务。	
23	山东山大华天软件股份有限公司	山东	提供以 3D 为核心的智能制造软件，涵盖 PLM、PDM、CAPP、3D CAPP、CAD、CAM、MES、WMS 等，为电机企业提供全面的数字化解决方案。	0531-88879088
24	达索系统中国区总代理	上海	代理 SolidWorks 设计软件，为电机企业提供先进的 3D 设计工具，助力产品创新和设计优化。	021-67601028
25	苏州大得机械科技有限公司	苏州	高档数控机床与工业机器人及控制系统，为电机企业提供自动化生产线和智能制造解决方案。	13912643711
26	南京埃斯顿自动化股份有限公司	南京	提供工业机器人及自动化解决方案，拥有完全自主核心技术的国产机器人，助力电机企业实现生产自动化和智能化。	025-52785866
27	云科智能制造（沈阳）有限公司	沈阳	提供高档数控机床与工业机器人及控制系统，为电机企业提供自动化生产线解决方案。	024-25190208
28	博众精工科技股份有限公司	苏州	提供新能源汽车扁线电机转子、定子装配线；以及智慧仓储物流等数字化装备。	0512-63414949
29	邦迪智能科技（上海）股份有限公司	上海	提供柔性化定子生产线、全自动激光焊接站、新能源汽车扁线驱动电机全自动量产线等。	021-69583295
30	深圳市合利士智能装备有限公司	深圳	提供多种电机自动化组装生产线，涵盖绕线、插磁钢、焊接工艺；各类电机线圈绕线机，以及智能视觉检测系统等。	0755-29522075

附件 5 技术缩略语

序号	缩略语	全称	释义
1	AI	Artificial Intelligence	人工智能
2	IoT	Internet of Things	物联网
3	BOM	Bill of Material	物料清单
4	PDM	Product Data Management	产品数据管理系统
5	MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
6	ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划系统
7	CAD	Computer Aided Design	计算机辅助设计
8	CAPP	Computer Aided Process Planning	计算机辅助工艺规划
9	CAE	Customer Application Engineering	计算机辅助工程
10	APS	Advanced Planning System	高级排程系统
11	QMS	Quality Management System	质量管理体系
12	AGV	Automated Guided Vehicle	自动引导搬运车
13	WMS	Warehouse Management System	仓储管理系统
14	SDN	Software Defined Networking	软件定义网络
15	NFV	Network Function Virtualization	网络功能虚拟化
16	TSN	Time Sensitive Network	时间敏感网络
17	DetNet	Deterministic Network	确定性网络
18	PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
19	DCS	Distributed Control System	分散控制系统
20	FCS	Fieldbus Control System	现场总线控制系统
21	HMI	Human Machine Interface	人机界面
22	SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	数据采集与监视控制系统
23	OT	Operational Technology	运营技术
24	IT	Information Technology	信息技术
25	PLM	Product Lifecycle Management	产品生命周期管理系统
26	CRM	Customer Relationship Management	客户关系管理系统
27	SCM	Supply Chain Management	供应链管理系统
28	EMS	Energy Management System	能源管理系统
29	SD-WAN	Software Defined Wide Area Network	软件定义广域网
30	MPLS VPN	Multi-Protocol Label Switching Virtual Private Network	多协议标签交换虚拟专用网络
31	Cloud VPN	Cloud Virtual Private Network	云化虚拟专用网络
32	PON	Passive Optical Network	无源光纤网络
33	OLT	Optical Line Terminal	光线路终端
34	ONU	Optical Network Unit	光网络单元

35	POS	Passive Optical Splitter	无源光纤分路器
36	RFID	Radio Frequency Identification	射频识别
37	ABAC	Attribute - Based Access Control	基于属性的访问控制
38	RBAC	Role - Based Access Control	基于角色的访问控制
39	WAF	Web Application Firewall	应用防火墙
40	RASP	Runtime Application Self - Protection	运行时应用自保护
41	DevSecOps	Development, Security and Operations	开发、安全和运维一体化
42	CI/CD	Continuous Integration/Continuous Delivery	持续集成 / 持续交付
43	SM2	SM2 Elliptic Curve Public Key Cryptography Algorithm	椭圆曲线公钥密码算法
44	SM4	SM4 Block Cipher Algorithm	分组密码算法
45	OWASP	Open Web Application Security Project	开放式 Web 应用程序安全项目
46	Git	Git - Distributed Version Control System	一种分布式版本控制系统
47	CMMM	China Manufacturing Maturity Model	智能制造能力成熟度模型
48	GB/T	Guobiao/Tuijian	国家推荐性标准
49	AR	Augmented Reality	增强现实
50	VR	Virtual Reality	虚拟现实
51	AMR	Autonomous Mobile Robot	自主移动机器人

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。建设质量管理系统(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 and 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。依托运输管理系统，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。