

江苏省制造业智改数转网联 晶硅光伏电池行业实施指南

江苏省工业和信息化厅
二〇二五年

目 录

一、背景与现状	4
1.1 指南范围	4
1.2 晶硅光伏电池行业概述	4
1.3 晶硅光伏电池行业智改数转网联发展现状	8
二、目标与架构	13
2.1 总体目标	13
2.2 实施架构	13
三、基础能力	19
3.1 网络、标识等基础设施能力建设	19
3.2 数据采集能力建设	25
3.3 信息系统能力建设	26
3.4 工业信息安全能力建设	29
四、环节与场景	33
4.1 生产全过程	34
4.2 产品全生命周期	76
4.3 供应链全环节	95
五、路径与方法	102
5.1 实施路径	102
5.2 相关政策	112
六、愿景与展望	133
附件 1 人工智能典型应用场景	136

附件 2 改造投入清单及图谱	139
1、晶硅光伏电池行业“智改数转网联”场景图谱示意图	139
2、行业智能化改造装备清单	140
3、数字化转型数据要素清单	146
4、知识模型资源清单	149
5、工具软件清单	151
6、网络化连接设备清单	153
7、行业数字化转型人才技能清单	155
附件 3 典型企业案例	157
附件 4 技术缩略语	190
附件 5 服务商目录	193
附件 6 江苏省制造业“智改数转网联” 典型场景参考指引	196

一、背景与现状

1.1 指南范围

晶硅光伏电池行业作为江苏省制造业重要部分，进行智能化改造是落实《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）》的关键举措。本指南主要面向江苏省晶硅电池产业链的中上游企业，重点关注**硅料、硅片、电池片、电池组件**等产业链环节，涵盖 PERC（钝化发射极和背面接触电池）、TOPCon（隧穿氧化层钝化电池）、HTJ（晶体硅异质结电池）、BC（背接触电池）等不同晶硅光伏电池技术路线，关注企业不同业务场景的数字化转型、智能化改造、网络化升级。

1.2 晶硅光伏电池行业概述

晶硅光伏电池作为光伏发电系统的基础，在全球能源转型进程中扮演着举足轻重的角色。近年来，随着环保意识的增强以及对清洁能源需求的不断攀升，晶硅光伏电池行业迎来迅猛发展。

晶硅光伏电池是一种利用晶体硅材料制造的太阳能电池。有单晶硅与多晶硅两大类，生产技术成熟，晶硅光伏电池具有转换效率较高、性能稳定、使用寿命长等优点，是目前光伏市场上的主导产品，广泛应用于各类光伏发电系统

中。

晶硅光伏电池行业包括上游的多晶硅、单晶硅棒、单晶硅片、多晶硅锭、多晶硅片；中游的单晶硅电池、单晶硅电池组件、多晶硅电池、多晶硅电池组件、薄膜组件、逆变器、支架系统、电池组件；下游的光伏发电系统等（如图 1-1 所示）。

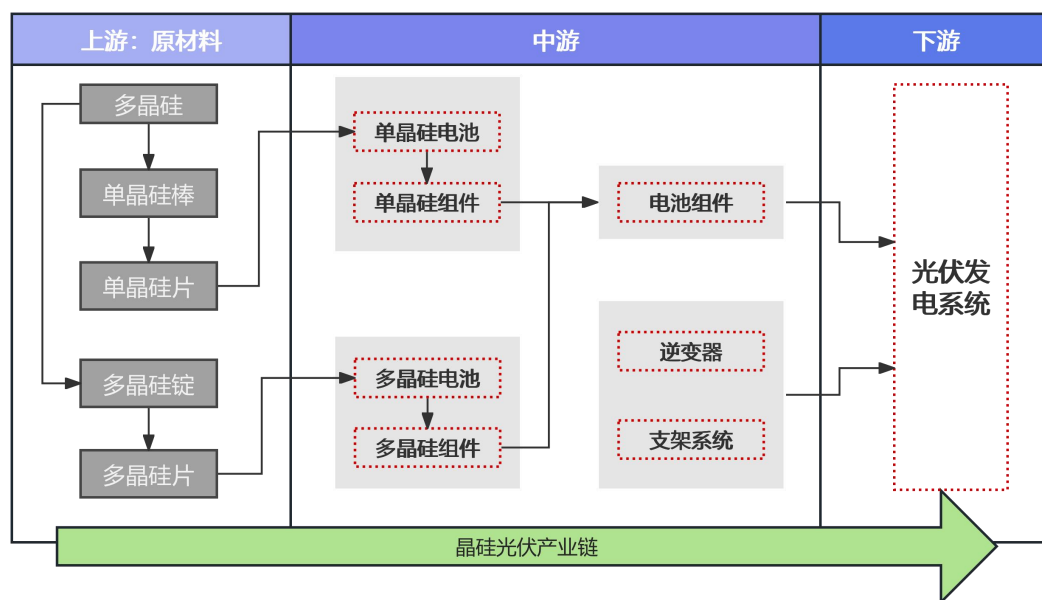


图 1-1 晶硅光伏产业链图

1.2.1 全国现状发展概况

发展现状：当前，我国光伏产业已形成全球领先的竞争格局。从产业生态看，覆盖了“硅料、硅棒、硅片、电池片、组件、系统集成、电站开发”的完整产业链，江苏、浙江、江西、内蒙古等省（区）依托资源禀赋与产业布局，形成差异化的特色产业集群。

2024年，我国晶硅光伏电池行业延续全球领先地位，在产能规模、技术创新及市场应用等方面展现强劲发展态势。

A.产能继续占据全球主导地位。2024年，我国晶硅光伏电池行业产业链主要环节产量持续增长。根据光伏行业规范公告企业信息和行业协会测算，全国光伏多晶硅、硅片、电池、组件产量同比增长23.6%、12.7%、10.6%和13.5%，行业产值保持万亿规模，晶硅光伏电池、组件出口量分别增长超过40%、12%。其中，硅片环节产量753GW，出口量约60.9GW；光伏电池产量为684.9GW，出口量约57.5GW；组件环节产量达到588GW，出口量约238.8GW。组件环节尤为突出，全球前十组件厂商均为中国企业，合计出货502GW。N型电池技术的市场占比大幅提升，从2023年的25%增长到2024年的72.5%。

B.技术研发与专利保持全球领先。2024年，我国光伏领域申请专利量同比增长约14%，累计申请量占全球申请总量超55%¹。在TOPCon、HJT、BC等晶硅光伏电池领域，我国专利申请量分别占全球51%、58.7%、43.7%。

C.全球竞争格局中占据主导地位。2024年，我国累计出口约238.8GW的组件，对比2023年同期的207.99GW上升13%，占全球贸易量的80%以上。

¹ 中国光伏行业协会知识产权专业委员会联合国家工业信息安全发展研究中心、工业和信息化部电子知识产权中心发布《光伏产业专利发展年度报告（2024）》，报告指出，近年来，我国光伏产业规模快速扩张、技术水平持续进步，创新成果不断涌现，截至2023年12月31日，我国光伏产业专利申请总量累计为16.8万件，有效专利量为7.3万件，有效发明专利量为2.2万件。

发展趋势：我国晶硅光伏电池行业未来将呈现技术迭代加速、市场格局重塑与能源系统深度融合的趋势。钙钛矿叠层晶硅电池技术突破稳定性瓶颈后有望实现效率跃升，推动光伏组件转换效率向 30% 以上迈进，光储一体化解决方案将成为主流，有效解决电网稳定性问题。

1.2.2 江苏省晶硅光伏电池行业发展概况

发展现状：江苏省是晶硅光伏产业全国规模最大、企业集聚度最高的省份。培育形成了一批技术领先、国际影响力大的龙头骨干企业，集聚了多个产业聚集地，在国内处于优势地位。

A. 规模领先。2024 年江苏省规上晶硅光伏电池企业开票销售 4830.3 亿元，规模总量位居全国第一位。全省光伏电池产量 196.5GW，占全国比重约 1/3，占全球约 1/4；组件产量 200GW，全国占比约 38.9%。2024 年全省晶硅光伏电池产品出口额 117.9 亿美元，位居全国首位²。

B. 产业生态体系完善。晶硅光伏电池产业链在主板上市的相关公司有 60 余家，产业链涵盖硅料、硅片、电池、组件等主要环节，单晶硅生长炉、丝网印刷、串焊设备等制造装备，以及光伏玻璃、胶膜等辅材辅料，产业配套能力全国领先，光伏装备制造规模占全国比重达到 60%。

C. 产业集聚发展趋势明显。初步形成了苏南地区（常州、

² 江苏省政府，国际新型光伏创新发展大会在南京举行，
https://www.jiangsu.gov.cn/art/2025/3/16/art_84324_11517468.html

苏州、无锡等)、苏北(盐城、扬州、宿迁等)协同发展的格局。2024年盐城市协同常州、淮安、宿迁市共同申报国家级先进制造业集群并成功入选,成为全国首批光伏领域先进制造业集群。

D.技术保持领先。截至2024年底,江苏省拥有晶硅光伏电池行业研发人员近4万人,注册和授权相关专利23500余项,拥有光伏科学与技术国家重点实验室等各类省级以上科技创新平台200余家。江苏省光伏领域累计专利申请已超7万件,位居全国榜首³。省内南京大学、东南大学等高校在光伏领域的基础研究方面取得多项“全球首次”“世界首创”成果, TOPCon、HJT、颗粒硅技术均处于行业领先地位, TOPCon领域江苏省专利占全球1/3⁴,省内龙头企业天合光能已经连续32次创造电池转换效率或组件功率的世界纪录。

发展趋势:依据江苏省“1650”产业体系建设要求,重点提升晶硅光伏电池行业企业创新能力,支持企业攻克关键技术,推进智能化改造与数字化转型,促进晶硅光伏电池行业平稳健康发展,数字化与智能化将是行业降本增效的核心。

1.3 晶硅光伏电池行业智改数转网联发展现状

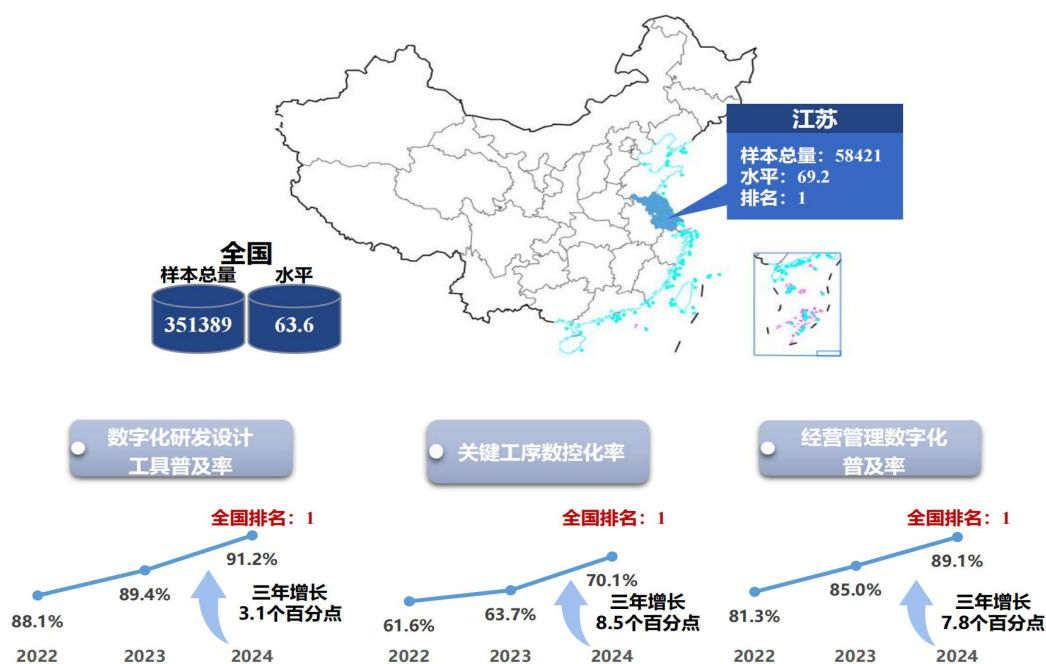
1.3.1 江苏省企业数字化基础扎实,为晶硅光伏电池行业

³ 经济参考报,“绿色”江苏解锁“能源密码”,
<http://jjckb.xinhuanet.com/20250210/59cc21ce5d984ebe98469e199f1df352/c.html>

⁴ 新华日报,数智光伏重构生态,解码全球能源转型“中国算法”,
<https://www.xhby.net/content/s67eb95cfe4b01708361b57dd.html>

智改数转网联提供强有力支撑

2024年，江苏省两化融合发展水平达69.2，较2022年提高4.2%，连续10年全国第一。2024年，全省工业企业数字化研发设计工具普及率、关键工序数控化率、经营管理数字化普及率



数字化普及率分别达到91.2%、70.1%、89.1%，分别超过三年行动计划预期目标值1.2、5.1、9.1个百分点。

图 1-2 2024 年江苏省两化融合发展情况

1.3.2 江苏省晶硅光伏电池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”行动成果显著

晶硅光伏电池行业两化融合发展成效凸显，关键工序数控化率达到84.6%，高出全省平均水平14.5个百分点。在新能源集群内，晶硅光伏电池行业两化融合发展水平最高，达到81.8，其次是储能、风电装备和氢能产业链。其中晶硅伏、

储能和风电装备产业链均高于全省平均水平，分别高出18.2%、6.9%和1.0%。

先进制造业集群	两化融合发展水平	数字化研发设计工具普及率	关键工序数控化率	生产设备数字化率	数字化生产设备联网率	关键业务环节全面数字化的企业比例	经营管理数字化普及率	主要工业软件普及率		
								ERP	PLM	MES
2新能源	78.0	91.7%	78.9%	74.9%	70.8%	71.7%	92.9%	83.4%	28.2%	59.2%
晶硅光伏	81.8	91.8%	84.6%	81.7%	78.4%	73.1%	94.1%	86.7%	26.9%	61.8%
风电装备	69.9	94.8%	59.5%	64.9%	50.2%	64.7%	84.9%	82.8%	24.6%	54.9%
氢能	59.6	90.0%	63.4%	61.4%	62.2%	64.5%	81.3%	70.0%	24.0%	38.0%
储能	74.0	89.9%	76.9%	64.0%	64.3%	74.5%	96.8%	79.8%	32.8%	59.6%

图 1-3 晶硅光伏电池行业两化融合发展水平

1.3.3 江苏省晶硅光伏电池行业智改数转网联转型瓶颈

江苏晶硅光伏电池行业具有良好的“智改数转网联”基础，两化融合平均发展水平在国内处于领先地位。但在智改数转网联过程中仍然面临一些瓶颈和堵点，具体表现在如下几个方面：

（1）人工智能大模型应用面临一定困难

晶硅光伏电池企业数字化、网络化、智能化水平较高。企业各类智能设备积累的数据非常庞大，但在部署人工智能大模型时，面临数据量大、数据标准不统一、数据清洗难度大等问题，增加了企业开发部署垂类大模型的难度和成本。同时，研发部署大模型需要了解智能算法、数据库建设、晶

硅光伏具体工艺等多方面的复合型人才，这类人才目前市场上相对稀缺。

（2）新技术落地匹配难度大，数字化转型存在阻力

部分传统企业在数字化转型过程中，面临着现有技术与新技术适配性出现障碍的问题，包括产线更替成本大、转型所需要的新技术、新工艺需要磨合和调试，造成企业转型资金成本和时间成本大。企业内部员工对于数字化转型的接受程度不一，部分员工存在抵触情绪，影响转型的顺利推进。同时，企业内部人员的知识技能难以满足转型需要，新设备新技术从设备商引进后，难以发挥应有效能的问题，对转型造成阻力。

（3）产业链协同能力需进一步提高，供应链管理需加强

晶硅光伏电池行业已形成了较为完整的产业链，但在产业链协同方面仍面临挑战，如上下游企业之间的信息孤岛、协同效率低下等问题。供应链保障能力也需进一步提升，特别是在全球光伏市场目前波动较大，美西方对我国晶硅光伏企业出台各种限制性政策的背景下，市场竞争加剧，确保关键原材料和设备的稳定供应成为重要课题。

（4）转型动力不足，投入产出效费比短期内不明显

晶硅光伏电池行业整体数字化、网络化、智能化水平较高，在此技术上继续提高需要引进更加智能化的设备、部署更高速的通信网络、研发部署高算力大模型，以上软硬件的投入较大。在光伏行业整体利润下行的情况下，叠加智改数

转网联的效费比计算较为困难，造成企业现阶段主观转型意愿下降、转型动力不足。

二、目标与架构

2.1 总体目标

全面落实《2025 政府工作报告》中“因地制宜发展新质生产力”以及“加快绿色低碳转型”的重要决策，牢牢把握新型工业化发展契机，贯彻落实江苏省委省政府新一轮深化“智改数转网联”三年行动计划（2025—2027 年），大力推动新一代人工智能等数字智能技术与制造业深度融合，将智能制造作为关键攻坚方向，以工业互联网创新应用为抓手，在晶硅光伏行业全力打造一批智能工厂。通过加强龙头企业引领带动，梯次推进中小企业智改数转网联转型，形成链式带动，完善协同产业生态，推动晶硅光伏电池行业全产业链达成“研发全阶段、生产全流程、产品全周期、产业全环节、要素全管控”的全方位升级，将江苏晶硅光伏电池行业塑造成全国制造业在智能化改造、数字化转型、网络化连接领域的全新标杆，助力全省新型工业化建设高质量发展。

2.2 实施架构

晶硅光伏电池行业“智改数转网联”实施架构充分考虑到行业智能化水平高、智能装备多、数据量大等特点，抓住数据这一核心要素，结合“硅料—硅片—电池片—电池组件”生产流程特点，将晶硅光伏“智改数转网联”总体架构按照基础层、数据层、应用层三大层级划分。按照分级分层梯度构思，

突出重点环节与关键节点。架构从部署智能设备，实现设备感知层获取数据，到最后的数据应用，回馈企业生产制造，形成数据的正向价值循环，深度挖掘数据价值，为企业应用人工智能大模型赋能智能制造打下坚实基础，逐步实现江苏晶硅光伏电池行业的整体能级跃升和高质量发展。

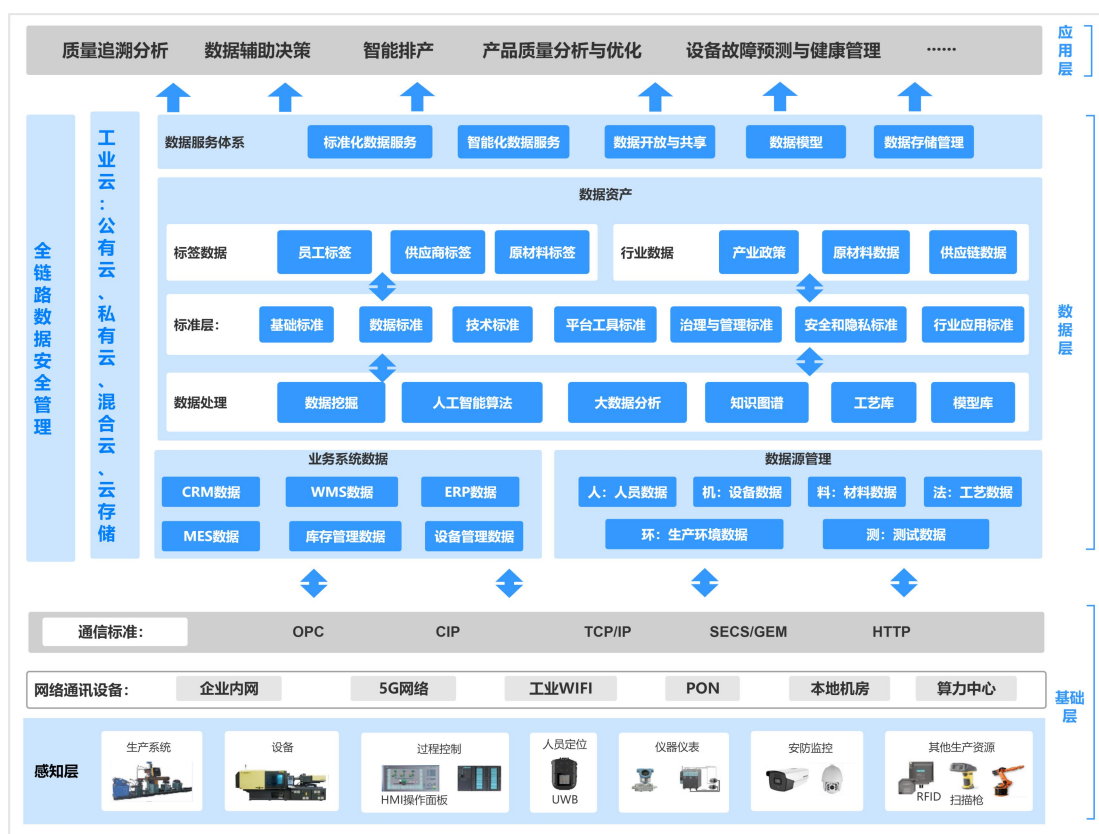


图 2-1 实施架构图

2.2.1 基础层

(1) 全流程智能化装备升级

在硅料、硅片、电池片、电池组件等环节部署智能装备，实现生产系统、生产设备、过程控制、人员定位、仪器仪表、安防监控等设备的数字化、智能化改造，并为设备互联网互

通打下基础。

(2) 设备互联互通

通过搭建企业内网、5G 网络、工业级 WIFI、工业无源光纤网络 (PON)、本地机房、算力中心等方式, 实现企业生产车间、不同生产基地以及供应链上下游的互联互通, 进而实现数据的互联互通。同时, 通过 OPC、CIP、TCP/IP、SECS/GEM、HTTP 等通信标准, 保障数据通信的稳定性。

2.2.2 数据层

(1) 业务系统数据集成

将企业内部 CRM (客户关系管理系统) 数据、WMS (仓储管理系统) 数据、ERP (企业资源规划) 数据、MES (生产执行系统) 数据等进行集成。同时对“人 (人员数据)、机 (设备数据)、料 (材料数据)、法 (工艺数据)、环 (环境数据)、测 (测试数据)” 六大类生产场景数据进行集成, 并通过本地存储或云存储的方式进行存储, 实现大数据集成。

(2) 大数据处理与分析

将集成的大数据, 通过数据挖掘、大数据分析, 绘制知识图谱, 构建工艺库与数据模型库, 为人工智能的本地部署和大数据的分析应用打下坚实基础。同时, 严格贯彻数据标准。严格贯彻大数据应用的基本标准、数据处理标准、技术标准、平台工具标准、治理与管理标准、安全和隐私标准、行业应用标准, 通过将数据进行标准化处理, 减少数据清洗

难度，提高数据质量，减少大模型开发难度和成本，提高大数据分析与应用准确性和可靠性。

（3）数据标签和行业数据汇总

数据标签与行业数据汇总在制造业数字化转型中发挥着核心支撑作用。前者通过对生产设备运行参数、质量检测结果、供应链物流轨迹等海量数据进行标准化分类标注，将非结构化数据转化为机器可识别的语义单元，使智能算法能够精准定位生产瓶颈，驱动工艺参数动态优化。后者则通过跨企业汇聚行业级产能利用率、原材料价格波动、技术专利布局等数据，构建涵盖市场趋势、技术路线、成本基准的数字孪生模型，帮助企业识别技术迭代方向、优化产能规划，并通过数据共享实现供应链协同效率提升。二者共同构建起“数据采集—标签化处理—跨域融合—智能决策”的闭环体系，推动制造业从经验驱动转向数据驱动，助力企业在产品良率提升、能耗降低、市场响应速度等关键指标上实现突破，重塑竞争优势。

（4）完善数据服务体系

数据服务体系是数据层与应用层之间的“中间环节”，需围绕“数据资源汇集—数据资源整合—数据资源应用”的逻辑，通过治理确保数据可用，通过平台实现数据流通，通过建立模型释放数据价值，最终支撑企业能够将数据变成核心生产力，推动数据应用，实现数字化转型的核心目标：“降本、增效、创新”。不同企业（硅料、硅片、电池片、组件）可根

据业务特点调整侧重，例如硅料生产企业更加注重能耗数据、硅片生产企业更加注重产品良片率数据、电池片生产企业更关注电池片转化效率数据与工艺数据，而组件生产企业更侧重用设备运行数据等。

（5）全链路数据安全

企业实现数据安全需构建“策略—技术—运营”三位一体的全生命周期防护体系。首先建立覆盖数据采集、存储、传输、处理、销毁的全流程管理制度，明确数据分类分级标准，配套等保评测等合规框架形成安全策略。在技术层面，部署零信任网络架构实现设备接入动态认证，采用国密算法对核心数据加密存储，结合数据脱敏与区块链存证确保共享安全，同时通过安全运营中心实时监测数据异常流动。运营层面建立数据安全应急响应机制，强化人员数据安全意识培训，并利用数据安全能力成熟度模型（DSMM）定期评估改进，形成“主动防御、智能监测、快速响应”的安全闭环，为企业“智改数转网联”筑牢数据保护屏障，保障业务连续性与商业机密安全。

2.2.3 应用层

通过对晶硅光伏产业链条上的大数据进行集成分析与应用，在实现企业“智改数转网联”的基础上，结合人工智能技术，深挖数据价值，赋能生产制造，最终为企业实现降本和增效。主要应用方向包括：

在质量追溯方面，实现单片电池片的质量溯源，为企业

实现精益化生产、数字工艺提升、数字产品设计提供基础

智能排产方面，通过计划层与执行层数据联动，结合算力平台，缩短电池组件环节的订单排产时间，优化资源配置，提高生产节拍，减少能源消耗和资源浪费，并实现不同规格组件的柔性生产。

智能检测方面，提高硅片、电池片、电池组件环节产品检验检测的速度和准确性，提高产品质量，保障环节之间的高效联动。

设备故障预测方面，通过边缘计算和人工智能大模型学习，在实时监控设备运行状态的基础上，对设备状态进行预测和预维护，减少由于设备突然故障和停机导致整条生产线停止，减少损失。

生产和工艺优化方面，结合人工智能技术，在质量准确追溯的基础上，优化硅料、硅片、电池片、电池组件的生产工艺，提高原材料利用率，提高电池和组件的光电转化效率，减少资源浪费，降低辅材消耗，实现降本增效，提高企业竞争力。

三、基础能力

3.1 网络、标识等基础设施能力建设

3.1.1 企业内外网络建设

晶硅光伏企业需构建高速稳定的网络基础设施，可根据车间、生产基地的所处环节不同、工艺不同、规模不同选择不同的内外网组网方式，包括但不限于宽带网络、现场总线、工业以太网、PON（工业无源光纤网络）、工业无线网络、5G 等新技术建设路线。

（1）企业宽带网络、以太网组网建设

传统以太网络整体框架如图 3-1 所示，采用分层架构进行设计，根据企业整体网络的规模采用不同的组网方案。在小型企业中，由于规模较小，二层网络架构即可满足实际需求，网络设计中可不用设计汇聚层，只需要设计核心层和接入层即可。根据企业的数据流量规划整体的连接线路，晶硅光伏中小型企业网络可采用千兆网络性能进行设计，并预留可扩展的能力，随着企业的发展可以将网络体系进行升级，可将二层升级成为三层，在主干链路中引入光纤线路，主干链路网络从千兆升级至万兆乃至更高带宽的线路。

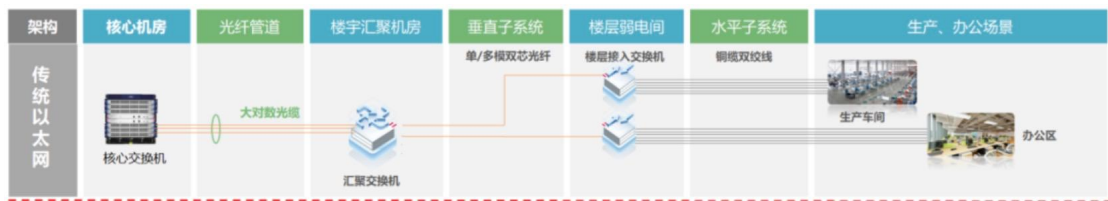


图 3-1 以太网组网架构图

(2) 工业无源光纤网络 (PON) 建设

相比宽带网络和工业以太网，工业无源光纤网络 (PON) 主要有如下特点 (如图 3-2 所示)。一是带宽大，PON 技术能够提供高带宽，满足用户对于高清视频、大型文件下载、在线游戏等多种高带宽业务的需求。二是 PON 组网利用光纤传输，相比传统铜缆传输距离更远，信号衰小。PON 技术采用无源分光器，减少了大量有源设备，降低了网络建设和运营成本。而且其网络结构简单，易于维护和管理，能够有效提高网络的可靠性和稳定性。三是 PON 组网技术还具有良好的扩展性，可以灵活地增加或减少用户端口，适应不同规模的网络部署需求 (图 3-2)。PON 技术适合采用传统以太网的晶硅光伏企业在需要扩产的情况下进行技术改造时采用，能够低成本在原有架构基础上进行企业内网的改造升级。



图 3-2 PON 组网架构图

（3）现场总线建设

现场总线是用于现场智能化装置与控制室自动化系统之间的一个标准化的数字式通信链路，可进行全数字化、双向、多站总线式的信息数字通信，实现相互操作以及数据共享。现场总线的主要目的是用于控制、报警和事件报告等工作。现场总线通信协议的基本要求是响应速度和操作的可预测性的最优化。现场总线是一个低层次的网络协议，在其之上还允许有上级的监控和管理网络，负责文件传送等工作。现场总线为引入智能现场仪表提供了一个开放平台，基于现场总线的分布式控制系统（DCS）结构简单，使控制系统从设计、安装、投运到正常生产运行及检修维护，都具有很好适用性。现场总线是晶硅光伏企业实现设备互联互通的基础，也是晶硅光伏企业升级智能排产的关键基础环节。

（4）工业无线网络建设

工业无线网络位于工业互联网体系的基础层，因其灵活部署的特性，能轻松适应各种复杂的工业环境，打破了有线网络在布线、扩展和维护方面的限制，使工业设备、传感器、控制系统等能够更加便捷地实现互联互通。

工业无线网络的相关标准主要包括 ISA100.11a 标准、WirelessHART 标准以及 WIA-FA 或 WIA-PA 等。同时，工业无线网络技术融合了多种先进的无线通信技术，如 5G、LoRa、Wi-Fi6、ZigBee、UWB 等（图 3-3 所示），专门为满足工业环境对高抗干扰性、极致可靠性及低延迟的特殊需求

而设计。各无线通信特征原理的相互协调、共享，不仅能促使感知层和网络层互联互通，实现对采集传感器和数据识别、传输的控制，而且通过通信节点组网连接，还能实现互联网远程监控节点状态信息查询，数据信息安全传输等。工业无线网络是晶硅光伏电池企业实现 AGV(自动导引车)控制、智能自动上下料、智能仓储等转型场景的基础技术。

类别	通信距离	通信速率	典型应用
UWB	<10 m	200 Mbit/s	人员与资产定位、设备监测维护、智能物流及安全管理等
Bluetooth	10 m	20 Mbit/s	设备互联与数据传输,用于无线传感器网络、设备监控及智能制造中的短距离通信
Wi-Fi	50 m	200 Mbit/s	设备联网、数据传输与远程监控等
ZigBee	200 m	250 kbit/s	设备组网、传感器数据采集和智能控制,实现低功耗、低成本的工业自动化应用
WirelessHART	200 m	250 kbit/s	用于过程自动化中的无线仪表监测与控制
LoRa	1~20 km	0.3~5 kbit/s	实现远距离数据传输,用于设备监测、智能抄表和工业物联网
NB-IoT	1~20 km	<250 kbit/s	设备远程监控、智能计量等,具有低功耗、广覆盖优势
4G	1~3 km	100 Mbit/s	高清视频监控、设备远程控制与数据传输
5G	500 m	1 Gbit/s	大规模设备连接、高速数据传输、远程操控设备及精准实时监控

图 3-3 工业无线网络设备种类及用途

(5) 工业 5G 专网建设

工业 5G 独立专网与消费级 5G 有本质区别（如图 3-4 所示），其针对工业生产场景的定制化特性。通过专用频谱、本地化部署和端到端网络切片技术，企业能够实现对网络带宽、时延、可靠性的精确控制。例如，在高端装备制造车间，独立专网可将时延控制在 1 毫秒级，可靠性提升至 99.9999%，这是普通公网无法企及的性能指标。工业 5G 专网相较于传统工业网络有线+Wi-Fi 的方式，可有效解决网络碎片化、数据孤岛化、安全脆弱化的问题，简化传输协议，降低维护成本。工业 5G 独立专网可通过统一通信标准，将生产加工、物料搬运、AR（增强现实技术）巡检等设备统一接入 5G 专网，使数据流转效率成倍提升。同时，基于内生安全的网络架构，能够实现设备身份认证、数据加密传输、攻击实时防御的三重防护。晶硅光伏电池企业可以通过升级 5G 专网，更加快捷、高效、安全地实现设备互联互通。

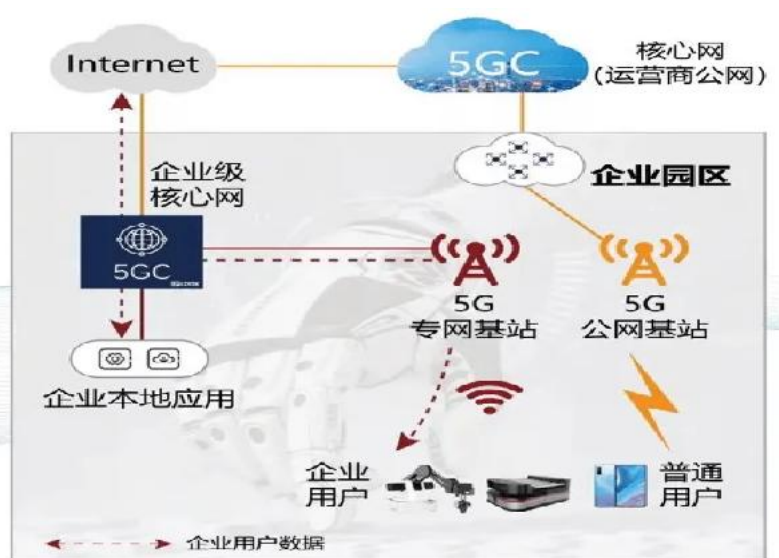


图 3-4 5G 专网架构图

3.1.2 标识编码与解析系统建设

晶硅光伏电池企业核心的硅片、电池片、电池组件涉及的核心工艺全部都是表面工艺，并不适用于传统的二维码和RFID（射频识别技术）标签。二维码和RFID标签更多运用在如电池盒、逆变器等配套设备上，或运用于电池片组件最终成品的标识上。

（1）工业互联网二级节点建设

工业互联网标识解析体系，是类似互联网领域的域名解析系统（DNS），主要通过给每一个对象赋予一个唯一的身份标识，并借助工业互联网标识解析系统，实现跨地域、跨行业、跨企业的信息查询和共享。工业互联网标识解析二级节点是工业互联网标识解析体系的中间环节，直接面向行业和企业，是衔接国家顶级节点和企业的重要枢纽，是标识解析体系的关键环节。晶硅光伏电池企业在企业端部署二级节点，可为企业设备、产品、原材料等提供唯一标识编码，通过二级节点的标识注册功能，对这些标识进行规划、申请、分配和管理，确保其唯一性和有效性。在生产、物流、销售等各个环节，利用标识解析服务，能够快速准确地获取物品的相关信息，实现产品从原材料采购、生产制造到安装使用、售后维护的全生命周期精准追踪和管理。

（2）晶硅光伏电池片片级虚拟标识建设

晶硅光伏电池片生产过程中的片级追溯技术是通过

每一片电池片赋予唯一标识，并在生产全流程中采集、绑定关键数据，实现对单片电池片从原料投入到成品出厂的全生命周期精准追踪与管理的技术体系，核心目标是确保每片电池片的生产过程可追溯、质量问题可定位、性能数据可查询，从而提升生产效率、优化质量管控并支撑全产业链协同。

3.2 数据采集能力建设

3.2.1“哑设备”改造

通过调研和与晶硅光伏电池企业专家座谈，目前江苏省晶硅光伏电池行业生产制造设备中，绝大多数为数字化设备，“哑设备”很少。

3.2.2 智能设备联网建设

晶硅光伏企业可采用以太网、工业总线、PON、工业无线网络、工业 5G 专网等方式实现设备的智能设备联网。同时通过智能设备联网，将 SCM（供应链管理系统）、ERP、MES、WMS 等系统数据实现互联互通。为实现数据集成与分析应用打下基础。

（1）注重数据驱动生产

晶硅光伏企业可通过智能设备互联，实现生产过程中设备运行参数、工艺指标、质量检测等核心数据的实时归集与深度分析。通过边缘计算与云端数据平台的协同处理，将碎片化生产数据转化为可视化决策依据。从设备实时监控到工艺参数动态优化，从质量缺陷追溯到设备预维护，企业可实

现基于数据的精准分析，将生产决策从粗略的经验驱动提升至精确的数据驱动，有效提升生产效率与产品良率。

（2）注重精确生产管控

通过网络、标识等基础能力建设，将智能装备联网后，结合MES系统可实现作业流程、设备状态、质量数据的数字化管理，通过动态数据看板与智能预警机制，实时调度生产进度。同时，设备互联网互通也为数字孪生技术应用打下基础，可通过该技术实现产线的虚拟建模。数字孪生支持虚拟中试、设备预维护、生产工艺虚拟测试等。能够大幅度降低企业生产中断时间，提升产线效率。

3.3 信息系统能力建设

通过走访调研和企业座谈，大部分江苏省晶硅光伏电池企业都已经部署企业资源计划系统和制造执行系统。同时在拉晶、硅片切割、电池片生产等流程型环节上，大部分晶硅光伏企业也已经部署了分布式控制系统。

3.3.1 企业资源计划系统（ERP）建设

ERP系统需要企业实现基础的网络基础建设和智能设备互联。ERP需要能够整合企业的财务、人力资源、采购、销售等各个核心业务环节。需要实现生产计划自动计算。系统能够按照所需原材料的数量和时间节点，实现精准采购，降低库存成本。系统需实现通过与客户关系管理（CRM）系统集成，掌握订单状态和客户需求，提高客户满意度。同时，

该系统需要具备强大的数据分析功能，能够生成多维度的财务报表和业务分析报告，为企业管理层提供决策支持。

3.3.2 制造执行系统（MES）建设

MES 系统需要企业实现基础的网络基础建设和智能设备互联。系统需要实现对生产过程的全面监控和精细化管理。在生产调度方面，系统可根据订单优先级、设备状态和人员安排，生成最优生产排程，提高设备利用率和生产效率。质量管控方面，系统可以通过与生产设备和检测仪器的连接，对生产环节的质量数据进行采集和分析，可追溯到相关原材料、生产设备和操作人员。同时，MES 系统建设中还应支持生产过程的可视化，管理人员可以通过车间的大屏幕或移动终端实时了解生产进度。

3.3.3 分布式控制系统（DCS）建设

部署 DCS 系统需要企业实现基础的网络基础建设和智能设备互联。DCS 系统需要能够通过网络将分散的控制单元、数据采集装置和人机界面互联，实现对工业生产过程集中监控、分散控制与协调管理。DCS 系统的核心功能在于“分散控制、集中管理”，需要能够对复杂生产流程进行精准化、智能化调控。对晶硅光伏企业而言，DCS 系统需要实现全流程工艺的精准控制，实现数据驱动生产优化。DCS 系统是大中型晶硅光伏企业实现多车间协同管理的主流技术方式。DCS 系统可以整合硅片、电池片、电池组件的生产数据，通过中控室实现全流程的生产监控，提高协同效率。

3.3.4 云化工业软件和工业互联网平台

云化工业软件与工业互联网平台是晶硅光伏企业实现“数据驱动生产”的核心载体。企业应根据大中小不同量级以及硅料、硅片、电池片、电池组件不同生产环节，综合考虑应用云化工业软件以及部署工业互联网平台的策略。

(1) 云化工业软件

晶硅光伏企业应用云化工业软件时，需要在数据安全、系统集成、流程适配、成本控制等维度进行考量，同时结合晶硅光伏制造的高精密特性，定制化设计云端功能模块。应用软件注重核心数据安全，例如硅片切割参数、电池片工艺配方、设备故障代码等工艺敏感数据需要实施端到端加密。可在单一车间或产线验证云化软件，收集操作工人反馈优化交互界面，再逐步推广至全厂，降低流程重构阻力。公有云适合中小晶硅光伏企业或大企业非核心业务适合采用公有云进行云化工业软件部署，降低初期信息基础设施投入。大企业可以将敏感工艺数据储存在自建数据中心，将供应链协同、能耗分析等非敏感应用部署在公有云，平衡安全与成本。

(2) 工业互联网平台

晶硅光伏企业在建设工业互联网平台时，需以“工艺价值释放”为核心，在数据安全、设备互联、场景适配、架构设计等维度构建差异化能力。避免“为上云而上云”。要结合行业痛点平台应该聚焦晶硅光伏专属应用场景，开发行业特色功能模块。如片级追溯、工艺参数闭环优化、设备预测性维护

等，避免“通用平台套用”。要通过工业互联网平台打通研发、制造、质量系统，实现“研发—工艺—生产”的闭环。可先在单一产线（如电池片分选环节）验证平台功能，收集一线操作反馈优化交互界面后再逐步扩展。优先合作具备光伏制造经验的服务商，要求其平台支持晶硅光伏行业的专属功能，避免通用型平台二次开发成本过高。中小型晶硅光伏企业可选择成熟服务商提供的行业工业互联网平台，大型企业可选择与成熟服务商合作，搭建企业级工业互联网平台。

3.4 工业信息安全能力建设

3.4.1 构建多层次数据加密防护体系

随着企业数字化程度的提高，数据安全至关重要。建立完善的数据安全管理体系，包括数据加密、访问控制、备份恢复等措施，确保企业核心数据的安全性和完整性。同时，制定数据管理制度，明确数据的所有权、使用权和管理责任，规范数据的采集、存储、使用和共享流程。此外，定期进行数据安全评估和漏洞修复，防范数据泄露和网络攻击等安全风险。相关数据信息集成应用。

设备加密：对生产设备传感器、智能仪表等终端采集的数据进行端到端加密，采用轻量级加密算法，确保设备间通信数据的机密性，防止生产工艺参数、设备运行状态等敏感信息在传输过程中被窃取。网络层加密：在车间工业网络中部署工业级加密网关，对传输中的数据进行加密，抵御中间

人攻击。同时，针对无线通信场景，采用新一代加密协议提升安全性。存储层加密：对生产数据、工艺配方等核心数据在数据库或云端存储时实施静态加密，确保即使存储介质丢失或被非法访问，数据仍无法被解密。建立密钥管理系统（KMS），实现加密密钥的集中管理、定期轮换和审计追踪。

3.4.2 实施细粒度的访问控制与权限管理

根据岗位职责划分权限，例如仅允许工艺工程师访问电池片生产的扩散工艺参数，设备维护人员仅能读取设备运行日志，禁止越权操作。结合生产流程，对数据访问设置时间、地点限制（如仅在生产时段开放特定区域的数据访问）。对所有访问请求进行持续验证，无论是内部员工还是外部合作伙伴，均需通过多因素认证（如指纹+令牌）后方可接入工业网络。采用微隔离技术，将生产网络划分为多个安全域，限制不同域之间的数据流动，防止横向攻击扩散。

力争部署统一的审计平台，记录所有数据访问行为（如谁在何时何地访问了哪条工艺数据），并进行异常行为分析。例如，当发现某员工在非工作时间频繁下载高敏感的电池片效率数据时，系统自动触发警报并冻结相关权限，确保数据使用的可追溯性和责任界定。

3.4.3 建立工业数据安全监测与应急响应体系

在生产网络中部署工业入侵检测系统（IDS）和入侵防御系统（IPS），针对异常流量（如突然激增的工艺数据外传）、恶意指令（如篡改设备参数的操作）进行实时监测和拦截。

结合机器学习算法，分析历史数据建立基线模型，识别潜在的异常行为（如设备固件被非法篡改）。制定严格的数据备份策略，对生产数据、配方参数等关键信息进行定期增量备份，并异地容灾存储。采用区块链技术对备份数据的完整性进行验证，防止备份数据被篡改。例如，每小时对电池片生产的工艺参数进行快照备份，并同步至异地数据中心。制定数据安全应急预案，明确数据泄露、系统瘫痪等事件的处置流程。定期组织模拟演练，如模拟某条产线数据被勒索病毒加密的场景，测试备份恢复能力和跨部门协作效率。与专业安全厂商合作，建立安全响应团队，确保在安全事件发生后快速定位问题、恢复系统并进行根源分析。建立完善的信息安全管理体系。制定信息安全策略和规章制度，明确信息安全目标 and 责任；建立信息安全组织架构，配备专业的信息安全管理人 员；加强安全培训和教育，提高员工的信息安全意识和技能。

3.5 人工智能大模型技术应用能力建设

晶硅光伏电池行业应用人工智能技术需要构建覆盖数据、算法、计算、行业知识、系统集成等基础能力建设。

数据处理方面，需通过工业互联网平台实现全流程数据的实时采集与传输，部署高精度传感器，并建立标准化数据预处理流程，包括清洗、归一化、异常值剔除及多模态数据融合，确保数据质量与时效性。

算法开发方面，算法需结合通用机器学习框架与光伏行业专属模型，覆盖质量检测、设备预测性维护、工艺参数优化等场景，并通过集成学习提升模型鲁棒性。

计算资源方面，需构建端边云协同架构，利用边缘计算实现实时推理，云端提供大规模模型训练与优化算力。行业知识融合是关键，需将材料科学经验转化为可计算的特征工程规则，结合物理模型与数据驱动模型（如深度学习），提升算法的物理可解释性与预测精度。

四、环节与场景

本指南在参考工业和信息化部印发的《智能制造典型场景参考指引（2025年版）》的基础上，结合《江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引》以及晶硅光伏电池企业生产实际，按照晶硅光伏电池行业产业链从硅料、硅片、电池片到组件四个流程，产业链划分为生产全过程、产品全生命周期和供应链全环节3个方面，形成了涵盖计划调度、生产作业、仓储智能管理、在线智能检测、质量精准追溯、智能工厂建设、能源智能管控、产品数字化设计、工艺数字化设计、智能经营决策、产品增值服务、供应链数字化管理、采购计划优化协同等13个环节40个典型应用场景。



图 4-1 晶硅光伏智改数转网络环节与场景图

4.1 生产全过程

晶硅光伏行业的生产全过程包含计划调度、生产作业、仓储物流、设备管理、质量管控、能源管理及工厂建设等环节，通过企业调研和两化融合数据平台监测，晶硅光伏行业在生产全过程的数字化、智能化、网络化水平较高，基础较好。同时晶硅光伏产业链纵向较短，横向较窄，晶硅光伏生产属于流程型与离散型相结合的混合型制造，其核心环节呈现典型的流程型特征，而终端组件封装则体现离散型特点，整体形成“连续化生产+模块化组装”的复合模式。**硅料环节属于流程型制造**，多晶硅提纯和拉晶是连续的化学与物理过程，需在高温、真空等严格环境下进行，生产参数需实时监控与闭环调节，一旦中断可能导致材料报废。**硅片切割和电池片制造环节也属于流程型制造**，切片、扩散制结、刻蚀、镀膜等工序通过自动化生产线连续完成。**电池组件制造环节属于离散型制造**，串焊、层压等工序涉及离散操作并设计不同规格组件在同一条产线上的柔性化生产。

因此，计划调度、仓储物流等环节主要针对电池组件生产；生产作业、设备管理、质量管控环节主要针对硅片、电池片、电池组件生产；能源管理环节主要针对硅料、拉晶。工厂建设环节则涉及全部流程。

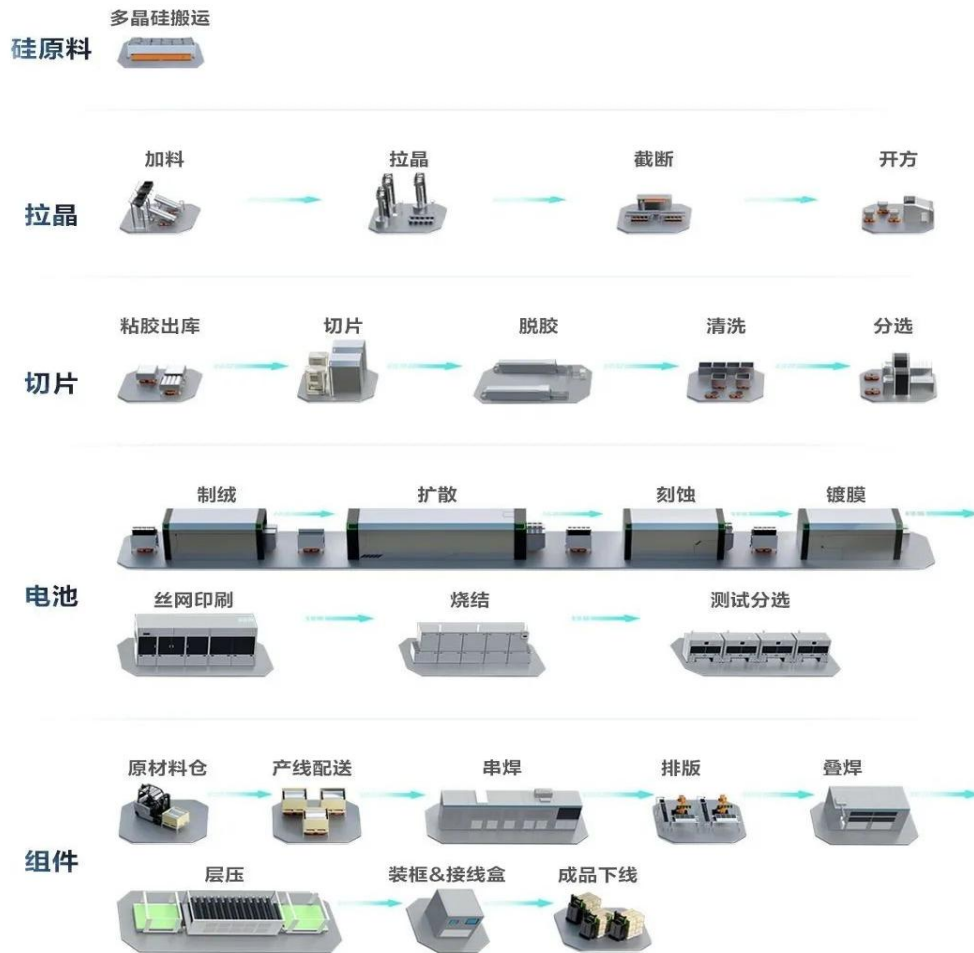


图 4-2 晶硅光伏生产全过程流程图

4.1.1 计划调度

(1) 存在问题

晶硅光伏企业生产流程复杂导致排产难度大。涵盖硅料生产、硅片切割、电池片制造、组件封装等多个环节，每个环节又有众多的工艺步骤和设备。既包含了流程行业的工艺（硅料、拉晶、切片、电池片），也包含了离散行业工艺（电池组件），是典型的混合型行业。在计划调度方面面临不少

难点：一是生产计划难以准确制定，难以及时响应市场需求；二是不同批次多晶硅纯度不一、电池片加工质量稳定性难保障；三是硅片、电池片生产涉及的工序多、工艺杂，生产过程难追溯；四是对设备依赖性高，进而对设备保养、维修、辅材及数据的管控要求高；五是生产过程中的数据采集和分析困难、反馈不及时；六是投炉、切方、检片等工段多且返工率高，拉晶和铸锭配料出错率高，导致损耗难统计。

（2）改造场景

1.硅片环节智能排产改造场景。硅片切割对技工高度依赖，存在设备与系统质检数据互联互通困难等问题。企业可通过制造执行系统整合生产计划、设备状态、工艺参数等实时数据，利用智能调度算法等技术，实现生产全流程协同调度。也可构建硅片缺陷智能检测模型库，部署基于深度学习的视觉检测系统，优化缺陷检测效率。同时依托关键制造设备模型库，整合设备运行参数、故障模式及优化策略等知识，结合数字孪生、深度学习等技术，提升硅片良品率。

2.电池环节基于物料和工艺智能排产。通过 ERP、MES 的集成建设，形成高度集成的生产过程信息化管理平台，对产品订单处理、生产计划、生产排程、执行制造、生产过程数据采集、产品质量控制等信息进行全流程监控和反馈，实现对生产过程进行全程跟踪、执行管控，高效调度机台、人力、物料等生产资源及时准确投放车间及机台物料实现资源动态优化控制。当设备生产能力变更、插单、撤单的情况下，

MES 接收生产订单后进行二次排产，排出最新的生产计划，发出新的生产指令。生产管理人员确认无误后，产线以最新生产命令进行生产任务的投产操作，依据新投产计划进行工艺流程生产。

3.大尺寸光伏组件智能资源动态配置场景。通过智能排产系统对物料需求、库存、供应链状态进行大数据分析，并应用优化算法，制定精细化物料补给计划，确保产线物料供应，同时，通过预测分析，主动管控物料库存水平，如果库存量不足会显示物料状况不正常，发料单会无法进行生产任务，后续会有专门人员进行补充物料。智能排产系统会收集人员、设备、物料等资源的实时运行数据，分析资源利用效率及瓶颈，并将优化建议反馈给调度系统，形成闭环控制，持续提升制造绩效。

4.不同环节协同生产智能化改造场景。针对晶硅光伏大型企业往往涉及硅料、硅片、电池片、电池组件中多个或全部环节，数个生产基地的场景。通过应用综合智能调度系统、企业内部工业互联网平台，云协同软件等方式。实现不同生产环节之间、不同生产车间之间、不同生产基地之间的协同生产。同时，应用供应链管理系统，实现与上下游的协同，打通整个产业链条。

(3) 解决方案建议

综合智能排产系统

某供应商为某晶硅光伏企业开发的全新智能排产系统能够服务企业从自动上料到包装下线的生产全过程，涵盖光伏硅片生产、电池制造、组件生产等制造场景。通过对生产制程涉及的人机料法环关键要素进行采集、管控和追溯，实现计划的准确制定、制程的高效管理和质量的精益管控。同时，通过设备接口自动采集生产过程中的各项工艺参数，结合系统提供的结构化数据分析工具快速解决生产中发生的各类问题并不断优化工艺、提高产品质量，进而助力该晶硅光伏企业实现快速量产和产能最大化。

该智能排产系统可以实现仓储作业全程条码化，实现仓储移动作业、物料灵活管理，通过系统严格执行 FIFO（先进先出）、呆滞超期报废预警，并与 AGV、立库设备集成，拉动仓库配送，提升仓储作业效率。通过系统进行可视化拖动排产、智能化计划调整，实现车间、产线及计划的灵活联动调整，并对计划执行实时跟踪，对工单在制情况透明监控。对关键工序数据采集完工系统上报，实时统计作业工时、产能节拍，生产进度实时透明。精细化追溯颗粒度，建立花篮 ID 级追溯和管控，从上料到包装全流程全方位完整追溯。实现设备台账、计划、点检、维保等环节的精细化管理，形成设备维修知识库，实现全过程闭环管理追溯。系统化管理工装治具、备品备件的台账、点检、维护、借领用等全生命周期。通过系统采集 IQC、FAI、IPQC、FQC、OQC 等质量数据，进行多维度的过程统计分析，实现多层次预警机制、异

常发起、分析处理的闭环管理和追溯。搭档 WisIOT 智慧物联系统对关键生产设备、检测设备的数据参数自动采集与实时监控，并通过电子看板动态展示分析、异常自动预警。通过智能分析系统构建全面的生产透明化管理体系，提高现场管理响应及时性，赋能管理决策分析。



智能排产系统架构图

4.1.2 生产作业

(1) 存在问题

晶硅光伏产业链企业的生产作业环节包括生产设备的互联互通、工艺参数的实时监控与优化、质量追溯以及生产数据的全面采集与分析等。由于晶硅光伏行业是流程型和离散型结合的混合制造流程。目前在生产作业过程中主要面临

拉晶环节能耗高、质量控制难度大，硅片环节智能化水平以及金刚线断线监测难度大，电池片和电池组件生产环节智能化网联水平还需进一步提高等问题。

（2）改造场景

5.智慧拉晶场景改造。在拉晶生产中，通过对单晶炉进行智能化改造，增强温度控制能力，通过加装智能化传感器实现拉晶环节的精确控制，提高良品率。同时，单晶炉的智慧化改造可以对生产数据进行深度挖掘和分析，帮助企业发现潜在问题并进行改进，从而进一步提高产品质量。对单晶炉进行升级改造，提高温度控制能力，推广“一炉多棒”技术，提高单一单晶炉的生产效率。通过拉晶环节的全自动化改造，减少人工参与，提高生产效能。

6.硅片切片智能化改造场景。切片环节智能化还有很重要的一方面，即切片设备的自动化+智能化。在切片机自动化方面，为了最大程度地解放劳动力，降低人工成本，降低操作时间，部分专用切片机目前可实现自动加液、排液，自动清洗，自动对刀、抬棒。智能化方面基于对切割大数据实时监控与分析，将人工切割工艺调整逻辑数据化，使切片设备在一定程度上具备模拟工艺人员对切割过程中出现的复杂问题的识别、学习和解决能力，能针对切割过程中出现的异常情况给出快速、精确、可重复的处理措施，从而降低断线率、提升生产效率、提高切片良率。高度自动化智能化将是未来切片设备的重要趋势之一。

7.电池片人工智能协同制造改造场景。晶硅光伏电池片智能制造车间智能协同主要解决生产效率低、产品质量不稳定、劳动成本高等痛点问题。面向产品加工、运输、包维护等活动，传统的制造模式中，制造机器人、AGV等虽然提高了效率，减少人工参与，但配合度仍有待提高。智能协同制造系统通过引入人工智能技术，能够大幅度提高生产效率，减少不同自动化设备之间的配合间隙，确保生产过程的稳定性、连续性、高效性。

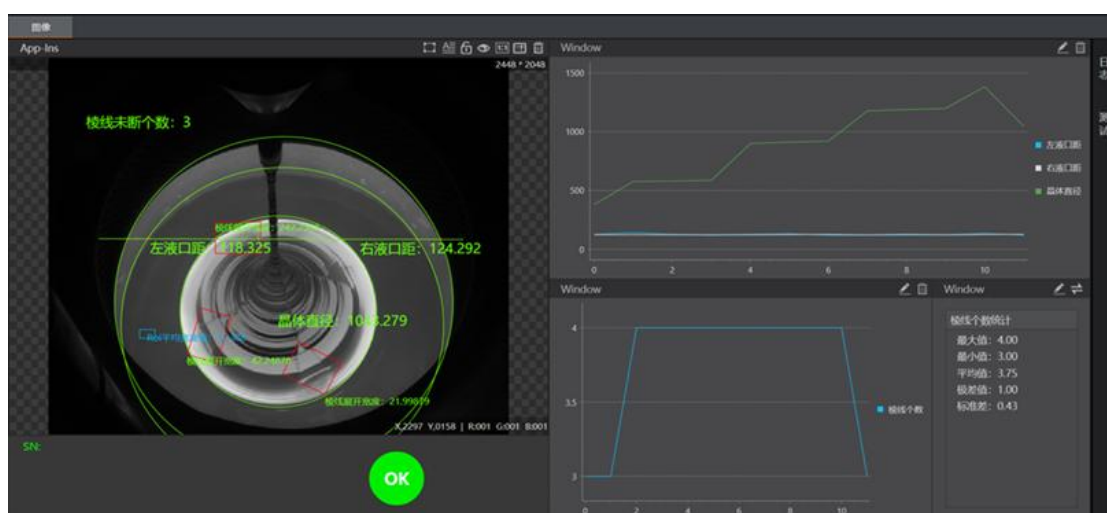
8.大尺寸光伏组件网络协同智能制造改造场景。在传统的制造模式下，大尺寸光伏组件的生产涉及多个部门、环节和供应商，各部门和环节之间的信息交流往往存在障碍，形成了“信息孤岛”。导致生产计划、物料需求、设备状态等关键信息无法实时共享，影响了生产的协同性和效率。网络协同智能制造通过集成各种先进信息系统，车间能够实现对生产计划的精准制定与实时监控，确保资源的最优配置和高效利用。网络协同制造解决了信息孤岛、供应链协同困难、生产过程不透明以及响应市场变化速度慢等痛点问题，提高了生产的协同性、效率和灵活性，增强了企业的市场竞争力。

(3) 解决方案建议

单晶炉智慧化改造

某单晶炉供应商，通过对单晶炉增加智能传感器来提升单晶炉的智能化水平。单晶炉持续运行时，控制系统需要处理大量数据，供应商通过在单晶炉中加入嵌入式控制器，能

够更加精确地监控炉内温度，帮助晶硅光伏企业提高拉晶环节的控制精度。同时，单晶炉通过使用 TwinCAT2 控制软件，支持多种通信协议，可以实现主控制系统与加热系统和磁场产生系统等子系统的通信，可无缝地传输和共享信息，提高系统的整体效率和协同性。供应商还通过部署视觉监测系统，提高拉晶监测的准确性，对关键参数进行监控，并且使用深度学习算法准确提取生产过程中的缺陷，帮助拉晶工厂做到数据监控、过程管控和结果回溯工作。



基于人工智能技术的视觉拉晶监测系统

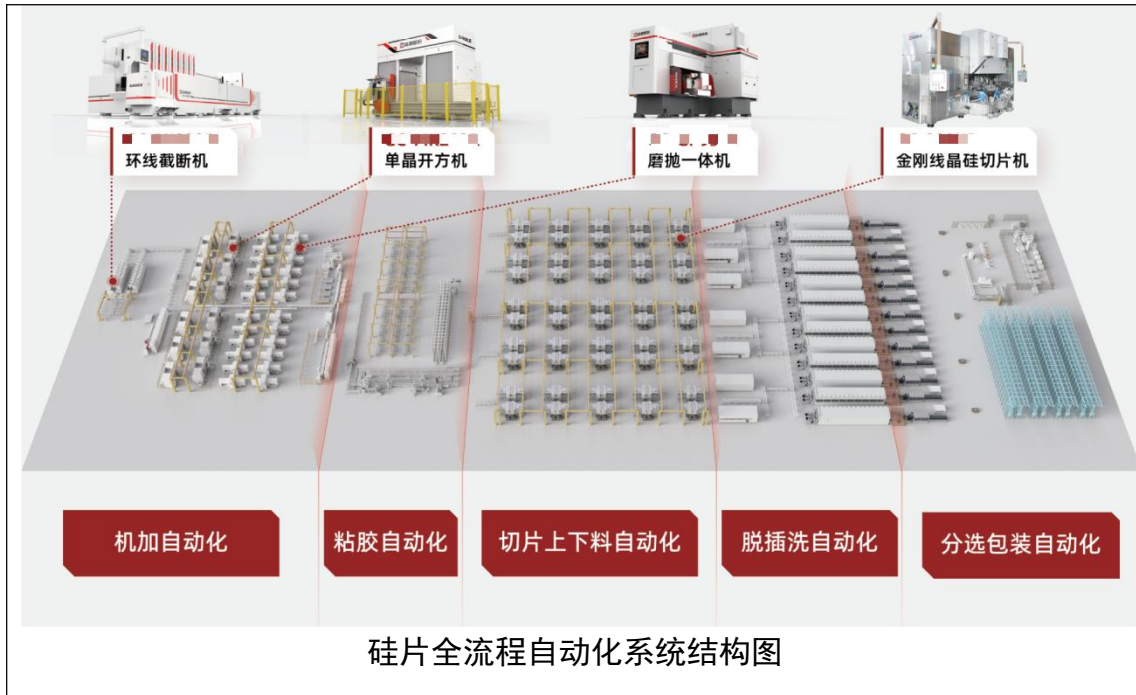
硅片全流程自动化系统

某供应商持续推进在硅片加工制造环节的生产自动化的创新探索，不断迭代升级，目前已推出机加全工序自动化解决方案、粘胶全工序自动化解决方案、切片上下料自动化解决方案。在硅棒加工环节，通过设备自动化的深度开发与数字化技术应用，已经实现包含截、开、磨在内的机加全工

序自动化运行，实现各个环节的自动上下料、自动物流运转、性能参数的自动检测，布局环线截断机、单晶开方机、磨抛一体机，大大提高生产效率以及硅棒的良率。通过桁架机械手、AGV、自动检测识别系统、ERP 以及 MES 等，实现自动化智能上下料、自动化取边皮、自动配置对应切割工艺、自动检测硅棒质量和自动化信息管理，可减少人工数量、提高效率。在包装环节，设置全自动化包装生产线，配备码垛机器人、自动打包机、自动绕膜机等，有效节省人工成本，避免人工误差，提升包装速度，提高包装质量。

在粘胶环节，提供集自动上料、自动检测、自动涂胶、自动粘合、压紧固化等工序于一体的自动化粘胶方案，借助大数据平台及时查看粘棒仓库存，极大提升粘胶效率和粘胶质量，帮助降本增效。

单机自动上下料及实现切片工厂无人化发展需求，公司积极打造单机化、单元化场景产品，为实现单机自动化赋能。高测股份切片机能够对接自动化桁架机械手或七轴机器人，在前端、侧面、后端接驳，实现自动化上下料；同时拥有自主开发软件和张力控制算法，预留 MES/自动化接口，通过切割工艺的设定与程序控制实现金刚线高速运行、硅棒进给、张力自动控制、切割液喷淋冷却、供液缸循环供液等多功能同步进行，帮助用户实现智能化生产作业和精细化生产管控。



基于人工智能技术的大尺寸、薄片化智能切片机

某供应商研发的新一代刚线晶硅切片机具备高效率、高良率、低成本等优势。切割区空间更大，单刀出片率提升，断线风险比上一代产品降低，切割时间可比上一代设备效率提升。新一代切片机兼容性强，全面兼容半片单棒整切、拼切切割需求，进一步降低成本。当前硅片尺寸在“大尺寸”“薄片化”的基础上，又新增了异形片，如 182mm*210mm，182.2mm*191.6mm 以及 182.2mm*186.7mm 等诸多尺寸，该金刚线晶硅切片机可实现轴距可调，兼容业内不同尺寸硅片的切割需求，满足用户定制化要求。

该切片机延续采用平台化设计理念，实现长期产品规划，预留未来的性能升级空间。在硬件方面，设备的关键部件具备通用性，关键参数指标持续提升。在软件升级方面，该设备拥有自主开发软件和张力控制算法，预留 MES/自动化接口，可利用大数据平台，实现智能化生产作业和精细化生产管控。



智能切片机图

智能化制造运营管理系统

某晶硅光伏生产企业，通过部署制造业运营管理系统（MOM），实现了全方位的生产管理支持。使物料齐套及供应效率提升，生产效率提升，生产成本降低。

MOM系统是MES系统对工业企业的业务扩展与创新信

息技术的持续融合和延伸，面向人、机、料、法、环、测全生产要素和全制造领域，构建起多级次、多维度、全流程的生产决策指标，形成贴合装备制造企业质量体系、计划管控特色的生产决策指标体系。

MOM 系统涵盖 APS（计划排程管理）、MES（生产执行管理）、QMS（质量管理）、WMS（仓储智能管理）、TPM（设备管理）、DCM（设备数据采集管理）等系统功能，通过数据采集、数据核验，数据可视化功能，对从物料入厂到成品出库，形成了物与信息流的完全同步，作业过程标准化，防呆防错、可追溯，从信息流上支撑了自动化和 JIT（准时生产）的效率、准确性与质量，为后续进行 PDCA(Plan—Do—Check—Act)循环改善，提供了详实可靠的数据

MOM 通过数据共享和分析，提供实时可视化的供应链信息，实现供应链各个环节的协同管理，优化物流和库存管理，缩短供应链周期、降低库存成本。

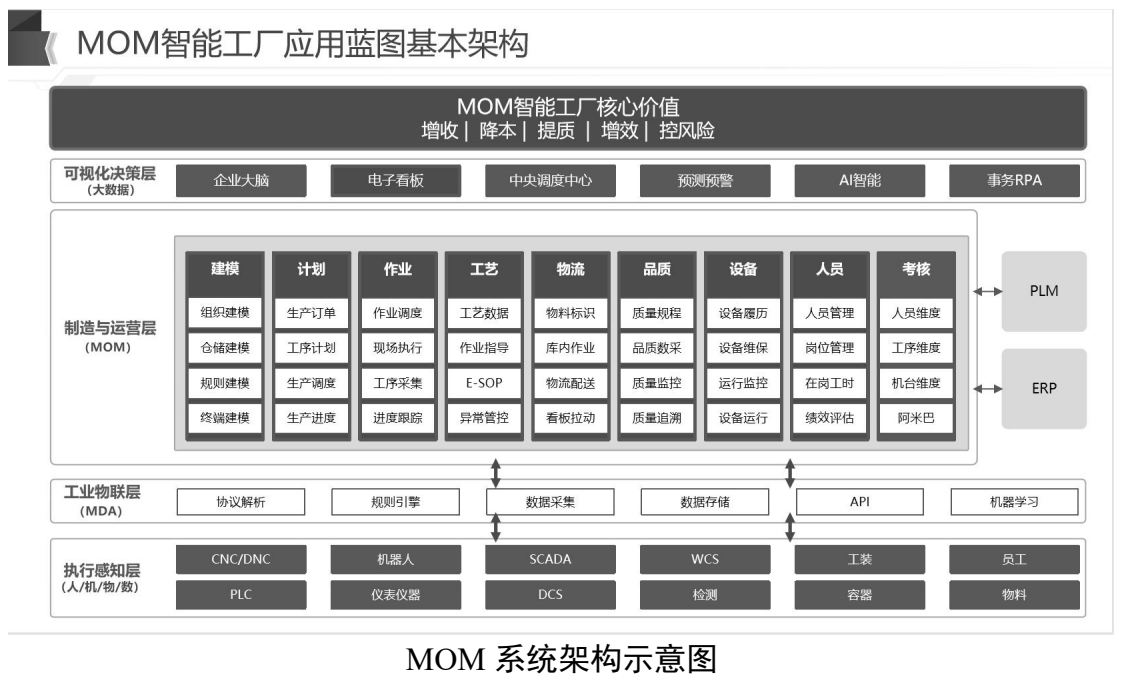
MOM 通过生产计划模块，根据订单和市场需求，实时调整生产计划、优化生产调度，合理安排生产任务和资源，提高生产效率，减少生产周期，降低成本。

MOM 覆盖硅料供应、配料、备料、炉台收料、晶体生长、报工、取棒、毛棒划线等生产执行全过程，优化生产计划和资源分配，减少能源和原材料的浪费，提高生产效率。

MOM 集成生产制造中的各类数据，通过数据的实时采

集和监控，实时监控拉晶、机加生产过程的各个环节，及时发现潜在问题，进行快速反应和调整。

晶硅光伏行业能源成本占产品成本的 20%左右，应用 MOM 能源管理模块，可以实时监测能源消耗，提供能源消耗优化建议，降低能源消耗，减少能源支出，降低成本。



4.1.3 仓储智能管理

(1) 存在问题

晶硅光伏电池行业的仓储物流管理是硅片、电池片、电池组件企业针对存储原材料、成品、生产辅料、包装材料等物资的场所进行必要的管理，保证其存储条件和环境满足储存物资的需求，配合工厂生产计划对物资的出入库、库存量水平、库存天数、库存周转率、资金周转率等进行最优配置。

包括仓储设备的自动化、库存数据的实时监控、物流路径的智能优化以及供应链信息的全面集成等。目前，晶硅光伏企业在长期发展过程中，物流相关系统的建设往往呈现出多点开花、分别发展、各自为政的局面。如库存管理系统、包装器具管理系统、运输管理系统、盘点系统等大都独立运行，由物流部内部不同的功能块分别提出需求并独立实施，即使物流部有专门与信息部门对接的功能块，但也通常会因为能力受限，或者缺乏全面消化吸收所有系统的功能的机会，存在管理成本高等问题。

（2）改造场景

9.硅料、硅片、电池片智能仓储系统改造场景。硅料、硅片、电池片自动化立式仓库，致力于破除传统仓储模式的困境，如作业效率低下、仓储空间未能充分利用以及过度依赖人工操作等问题。企业借助先进的信息技术，将生产执行系统、物流执行系统和设备管理系统等数据进行有效集成，搭建起涵盖“生产 - 仓储 - 质量”全流程的数字孪生模型。该模型具备实时监测与反馈能力，一旦出现异常情况，能即刻发出预警，并根据实际状况进行动态调度，确保仓储作业的稳定运行。在订单处理与任务分配方面，依托订单组单模型，AGV 集群运用蚁群算法，依据实时任务量与设备状态，动态且智能地分配搬运任务，大幅缩短设备等待时间，提升整体作业效率。仓储管理系统（WMS）会持续实时采集库位占用率、库存时长、零部件出入库频次等关键数据，运用人工智

能算法对这些数据深度分析，并以热力图形式直观呈现。系统根据分析结果，自动将各类物料精准分配至巷道式立体库的不同区域，实现分类动态存储，有效均衡堆垛机负载，提高仓储空间利用率与设备运行效率。

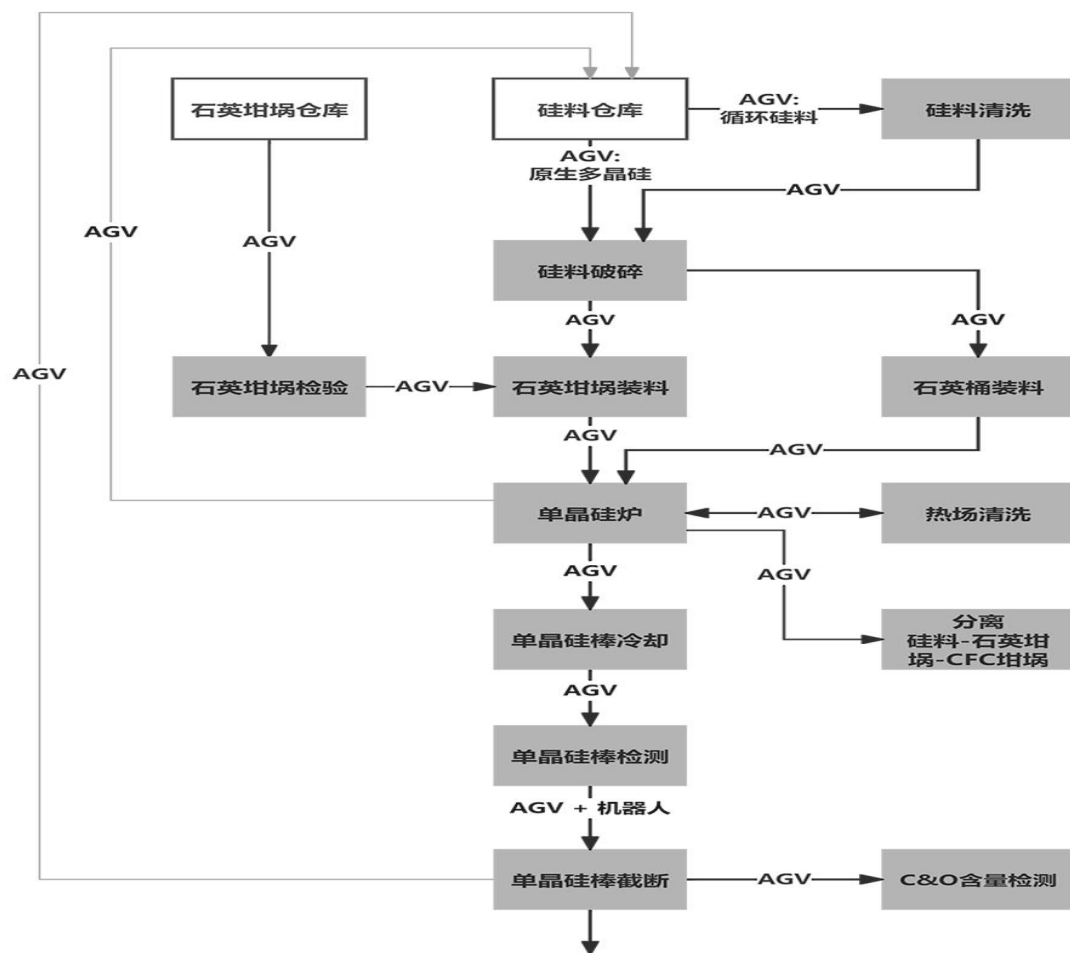
10.硅片、电池片、组件智能配送场景。硅片、电池片、组件智能拣选与配送，是融合了人工智能、物联网以及自动化设备等前沿技术的一体化物流解决方案。该方案旨在攻克传统物流配送中存在的效率低下、运输路径规划欠佳等难题。企业通过收集物流订单详情、运输进程动态、车辆实时位置以及客户相关信息等多元数据，并整合智能物流系统、大数据分析技术、自动化物流输送装备、物流机器人以及运输管理系统，对各类数据进行实时监测与深入剖析，进而优化物流路径，确保原材料、在制品以及产成品能够在各个车间与区域之间实现高效流转，并可全程跟踪，提升物流管理的精准性与高效性。

（3）解决方案建议

拉晶环节自动化运输系统

某供应商企业通过自主研发，解决了传统拉晶环节物料搬运自动化低的问题。在拉晶生产中，传统工厂依赖人工向高约两米的坩埚加料，这不仅操作困难，还会产生有害粉尘，威胁工人健康。加之数百个炉台频繁需要加料，劳动强度大且效率低。长达 5—7.5 米的晶棒不仅提取困难，其高温状态

也增加运输难度。供应商企业还设计了一套全自动化解决方案，涵盖硅料自动添加、料品自动转运、晶棒无人化提取与冷却处理、截断机对接、开方、磨削等后续工序的物料自动转运，乃至废料处理的自动化流程。实现了 1700 度高温的硅原料（毛棒）从拉晶炉到切断机的自动转运和暂存、上下料作业。方案紧密匹配各生产环节，有效提升工作效率并解决行业难题。



拉晶环节自动化运输系统示意图

电池环节全自动潜伏式 AMR（自主移动机器人）运输系统

电池生产工艺环节空间适中，标准化程度高，规模较大。在传统生产模式中有大量的工艺对接及半成品上下料搬运对接由人工完成，在人员、流程管理、同步时效性上对用户有一定困难及挑战。某晶硅光伏电池持续优化生产工艺在引入潜伏机器人后，将繁琐的流程管理由系统接手简化人员管理，在生产各环节时效性、稳定性上有保障，高效作业以保证全产能生产。



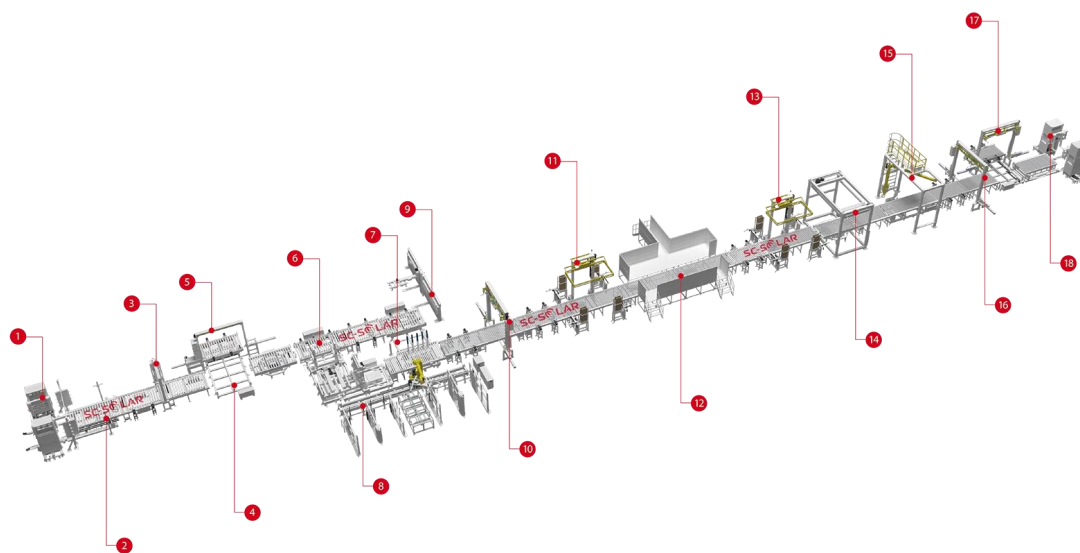
AMR 潜伏机器人示意图

某晶硅光伏电池工厂引入 AMR 后，实现从发料至下线，及生产中制绒、扩散、激光、刻蚀、退火氧化、镀膜、背膜、正膜、丝网印刷等工艺的对接搬运，实现硅料、硅片安全高效的自动化转运。

系统使用基于激光 SLAM 导航方式的移动机器人，并在光伏电池片生产环节规模化应用，进一步强化了生产柔性，提高了生产效率。生产效率进一步提高的同时，保障了人车

混行时的安全生产，机器人在单体智能上实现了场景理解、障碍探测、抗干扰、动态绕障、鲁棒控制、弧线作业等基本功能，在与生产设备及货架对接上也同步打通信息与物理层面的隔阂。同时在机器人集群群体作业上也展现出了冷热度监测、实时优化作业流程、自主学习等群体智能，以进一步提高机器人在真实环境作业中的适配性。

光伏组件全自动包装线



1、组件上下料机	2、组件扫码机	3、长边打带机	4、成品移栽机	5、短边打带机	6、立式在线90°翻转机
7、卧式在线90°翻转机	8、栈板放置机	9、铁栈板堆垛	10、长边打带机	11、水平打带机	12、人工套箱工位
13、水平打带机	14、覆膜机	15、绕膜机	16、长边打带机	17、短边打带机	18、组件上下料机

全自动智能组件包装系统示意图

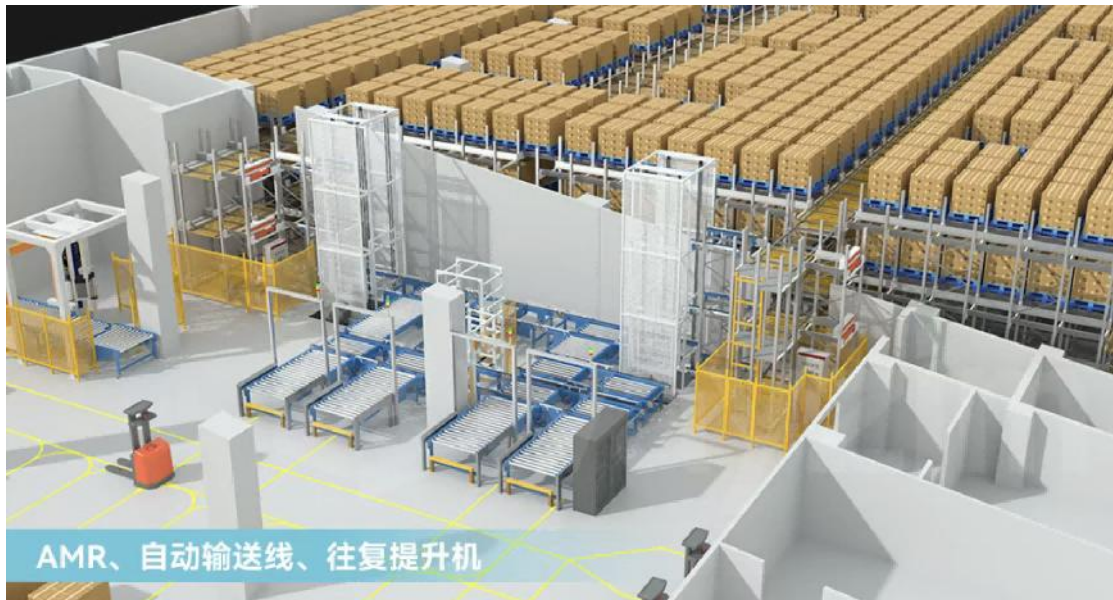
某供应商开发的光伏组件自动包装机，与MES或者智

慧工厂 MOM 系统连接后，可大幅度提高组件包装环节的效率，并通过自动标签机，实现组件物流的全程可追溯、质量可溯源，同时大幅度减少人工参与，降低人工成本。

立体库综合物流系统

某供应商为某晶硅光伏企业开发的综合立体仓库物流系统，能够最大限度地利用厂房空间，提高周转效率，减少人员参与，大幅度提高物流效率，降低物流成本和安全生产风险。

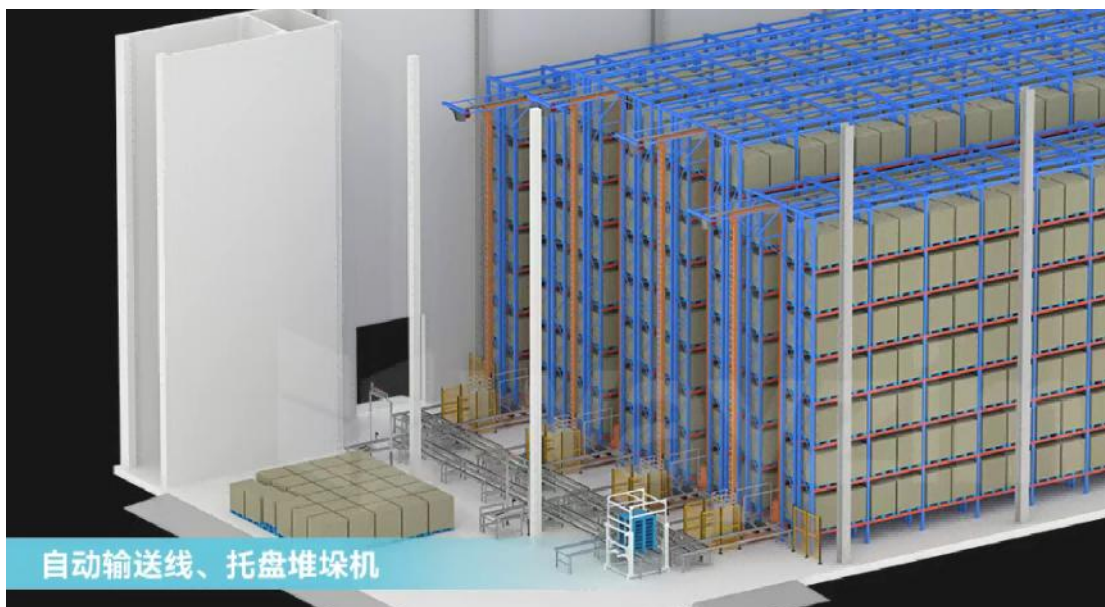
在出入库物料缓存区通过叉车 AMR 高速精准搬运物料，经由自动输送线、往复提升机无缝衔接托盘四向穿梭车，实现物料高效存取。该系统通过密集存储设计，大幅提升了库容利用率。



AMR、自动输送线、往复提升机示意图

原料库引入了堆垛机高架立体仓库系统，电池原料（硅

片+包材)由堆垛机及自动输送线实现在接驳站台及出入库站台的高效周转。同时,应用条码识别系统,确保原料出入库操作的精准无误。



堆垛立体仓库机自动输送线示意图

采用 WMS 仓库管理系统、WCS 仓库控制系统和数字孪生技术,利用计算机控制、网络、数据通信、信息自动识别等先进技术,实现收发作业机械化、存储单元立体化、仓储管理数字化,满足客户长周期运行需求。



综合仓储数字管理系统界面

4.1.4 在线智能检测

(1) 存在问题

晶硅光伏设备管理环节能够显著提高设备运行效率、降低维护成本、减少停机时间，并延长设备使用寿命，从而保障生产稳定性和产品质量，包括设备状态实时监控、故障预测与维护、能效优化以及资产利用率提升等。目前问题主要有，一是故障解决主要依赖技术人员经验排查，效率因人而异，总体效率低；二是生产涉及多种设备（如划片机、串焊机、排版机、叠焊机、胶带机、层压机、削边机、装框机、灌胶机、接线盒焊接机、四轴机器人、六轴机器人等），设备之间兼容性差或与生产线节拍不匹配，会导致生产效率低下或质量问题；三是设备数据管理与利用不足，生产设备通常具备数据采集功能，但许多企业对设备数据的利用不足，未能充分发挥其价值。同时，企业需加强设备管理平台与生产管理系统的集成，制定统一的数据标准与互联协议，实现高效生产和可持续发展。

(2) 改造场景

11.单晶炉智能管理与维保场景改造。确保光伏产业中硅单晶生产高效、稳定运行的关键环节。通过智能管理系统，可实时监控单晶炉的运行参数，如温度、拉速、坩位等，借助先进的传感器和数据分析技术，精准掌握设备状态，及时

发现潜在问题并进行预警。同时，利用智能算法对生产数据进行分析，优化工艺参数，提高单晶生产的质量和效率。在维护方面，基于智能管理系统提供的信息，制定精准的维护计划，实现预防性维护，减少设备故障停机时间。维护人员可根据系统提示进行针对性的设备检查、清洁、零部件更换等工作，确保单晶炉始终处于良好的运行状态，从而为光伏产业的稳定发展提供有力保障

12.硅片、电池、组件生产车间设备监控与远程诊断场景。

车间设备监控与远程诊断，作为一种智能化管理模式，聚焦于生产设备全生命周期。它通过对设备状态进行持续监测，实现故障提前预警，并能远程开展维护工作，有效攻克了传统设备管理模式下的诸多难题。在传统模式中，设备状态监控存在延迟，数据采集既不全面，设备性能评估也相对滞后。企业借助物联网、大数据、边缘计算、工业互联网以及数字孪生等前沿技术，着手对设备实施实时数据采集与可视化改造。如此一来，设备运行状态能即刻清晰呈现，故障隐患可在早期被敏锐察觉，设备性能得以动态评估，最终促使设备管理朝着精细化方向大步迈进，全方位提升企业生产运营效率与管理水平。

13.硅片、电池、组件生产设备预测性维护场景。

车间生产设备预测性维护是指基于设备实时运行数据和人工智能算法，提前预测故障并优化维护计划的智能维护策略，能够解决设备故障停机的诊断与预测能力不足等问题。企业可基

于故障诊断系统和预测性维护平台，应用大数据、物联网、机器学习、故障机理分析等技术，开展设备故障的智能诊断与预测性维护改造，通过时间序列分析模型预测设备健康状况，结合神经网络分析设备间的故障传导关系，实现故障的早期预警、精准诊断和预防性维护，提高设备综合效能。

(3) 解决方案

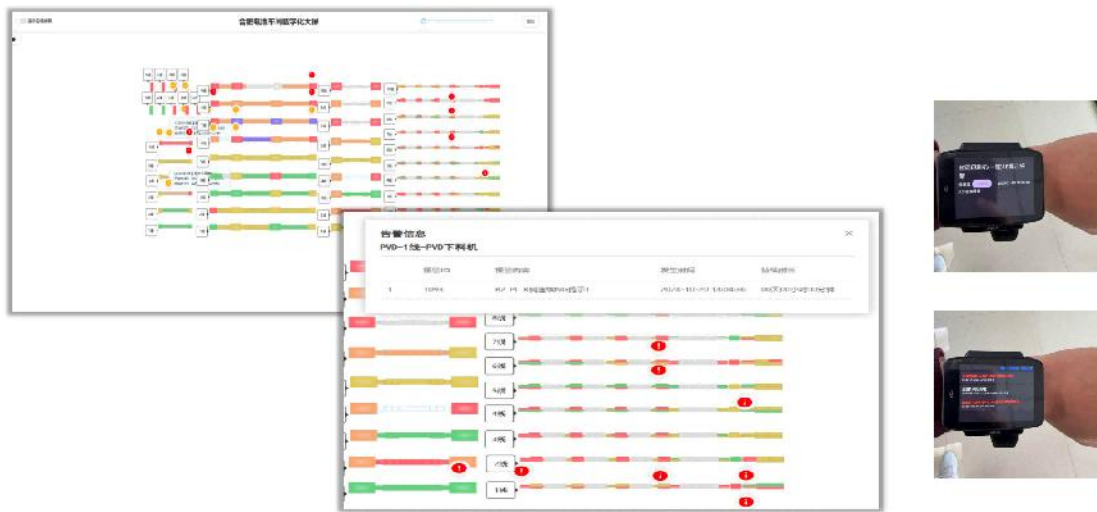
智能运行监控系统

某电池生产工厂根据设备生产设备接口向某软件公司提供的 MES 实时传输数据，MES 对获取的数据进行实时存储和处理，提取其中关键的设备运行参数，计算设备稼动率，获取设备工作性能。当设备运行异常时匹配设备的历史故障信息进行报错和初步的故障诊断，并向维修人员发出通知，维修人员对系统进行的判定进行复核，系统根据复核结果进行学习 and 优化。

维修人员维修处理后对设备的故障原因和故障状态进行记录，MES 根据记录统计设备的故障次数、每次故障的故障原因和故障时间，工作人员定期通过查询报表记录了解设备维修次数，并依据设备的故障原因及故障时间修改维护保养的周期，减少设备因长期运行导致的磨损老化、发热导致的虚焊等原因停工造成的损失。



设备运行监控页面



设备监控页面与手持式设备监控终端图

设备故障诊断与预测系统

某企业通过与某供应商合作，实现了应用全自动层压机设备故障诊断与预测系统通过安装在层压机上的各种传感器，实时采集真空、电压、温度、压力等运行数据，并将这些数据传输至上位机操作界面进行存储和分析。系统内置了基于机器学习的故障诊断模型，能够对采集的数据进行智能

分析，及时发现设备的异常状态，如温度异常、压力异常、真空异常等，从而对故障进行早期诊断。同时，该系统还集成了关键备件，如硅胶板历史数据，进行计数、剩余使用寿命，当系统诊断出潜在故障或预测到部件寿命将尽时，会自动向维保工程师发出预警，维保工程师可以根据预警信息提前准备好备件，并选择合适的时间窗口进行维护，将设备停机时间控制在最小范围内，减少对生产的影响。全自动层压机设备故障诊断与预测系统的应用不仅提高了层压机的运行稳定性和可靠性，还优化了维护策略，降低了维护成本。



设备故障诊断系统界面

4.1.5 质量精准追溯

(1) 存在问题

随着晶硅光伏行业智能制造水平的提升，传统试制试验存在一些问题。一是质量数据采集困难且不准确，晶硅光伏电池整条产业链涉及多个复杂环节，硅材料准备、拉晶、硅

片切割、电池片制备和组件封装等，每个环节都有各自的数据采集点。这些数据采集自不同的生产设备和管理系统，难以统一整合，导致质量管理人员无法全面准确地监控生产过程中的质量状况；二是晶硅光伏行业硅片、电池片等所有核心工艺都集中在材料表面，需要通过虚拟 ID 实现标识，技术实现难度大，成本高。三是生产过程中的质量波动难以实时监控，工艺参数控制不精准，如硅料纯度、硅片厚度、电池片转化效率等，受到原材料批次差异、环境温度和湿度变化等干扰因素的影响。企业缺乏有效的监控手段，无法及时发现并调整参数，导致产品质量波动；四是质量问题分析和处理效率低，在质量问题发生后，由于缺乏对历史数据的分析和对比，难以制定有效的改进措施，质量问题得不到根本解决。

（2）改造场景

14.硅片破片智能检测改造场景。通过引入机器视觉、人工智能算法及自动化技术，实现硅片生产过程中破片缺陷的高效精准检测。系统采用高速线阵相机或面阵相机对传输中的硅片进行全表面扫描，结合深度学习算法实时识别边缘破损、裂纹、崩角等破片缺陷，检测精度可达微米级，漏检率低。检测系统与生产线 PLC、MES 系统深度集成，同步上传缺陷数据至质量追溯平台，形成“检测—分拣—数据闭环”的智能管控流程。减少人工依赖及误判风险，同时为工艺优化提供数据支撑。

15.电池片人工智能缺陷检测改造场景。晶硅电池片人工智能缺陷检测能够解决传统检测效率低、误判率高、数据无法实时采集和追溯等问题。企业可应用高精度传感器、深度学习算法、3D 成像技术、结合机器视觉检测技术、数字传感技术和人工智能算法，实现自动化在线检测和检测数据实时采集，根据检测结果自动调整生产工艺，降低质量损失风险。同时，企业也可进一步部署虚拟标签系统，实现片级的质量追溯。

16.电池组件 EL/VI-自动智能检测场景。随着光伏组件尺寸不断增大，传统的人工目视检测方式已经无法满足高效、精准的质量检测需求。因此，基于 EL/VI-自动智能检测技术的大尺寸光伏组件质量检测系统应运而生，为提高检测效率和准确性提供了有力保障。通过边缘计算与分布式架构确保及时响应，利用数字孪生与预测性维护优化工艺参数，实现质量零漏检、效率最大化、成本显著降低等目标。

（3）解决方案建议

基于人工智能视觉识别的硅片破片智能检测及分选系统

在晶硅光伏行业中，硅片和电池片作为核心原材料，其外观和性能的优劣直接影响最终组件的质量。传统的人工检测方式因其效率低、精度不足，已无法满足行业对高效生产的需求。某设备企业通过硅片破片智能检测技术，为光伏制造企业带来了智能化、自动化的全新解决方案。

传统人工检测方式受限于人的精力和经验，容易出现误判和漏检。尤其是在强光下长时间检测，检测人员的效率和准确性会显著下降。而硅片破片智能检测系统通过结合人工智能模块和传统算法，成功解决了这一痛点，漏检率低，误判率低，稳定性强，在高强度工作中持续保持高效运行。

硅片破片智能检测系统通过定制光源和高分辨率相机（如 1200W 面阵相机、4K 线扫相机），精准定位缺边、缺角、崩边等外观缺陷。其检测精度可达 0.3mm×0.3mm，远超传统人工检测，保证了高效筛选不合格产品的能力。



基于人工智能视觉识别技术的硅片检测系统页面

该系统内置的智能算法不仅能够检测缺陷，还能生成缺陷热力图和统计分析报表。这些数据可直观反映缺陷种类、发生频率和分布趋势，帮助企业优化生产流程，及时排查生产环节中可能存在的问题，从而提高整体生产效率。

硅片破片检测系统支持 156mm 至 230mm 规格的硅片，适配 TOPCon、PERC、HJT 等多种主流工艺，并可应用于多

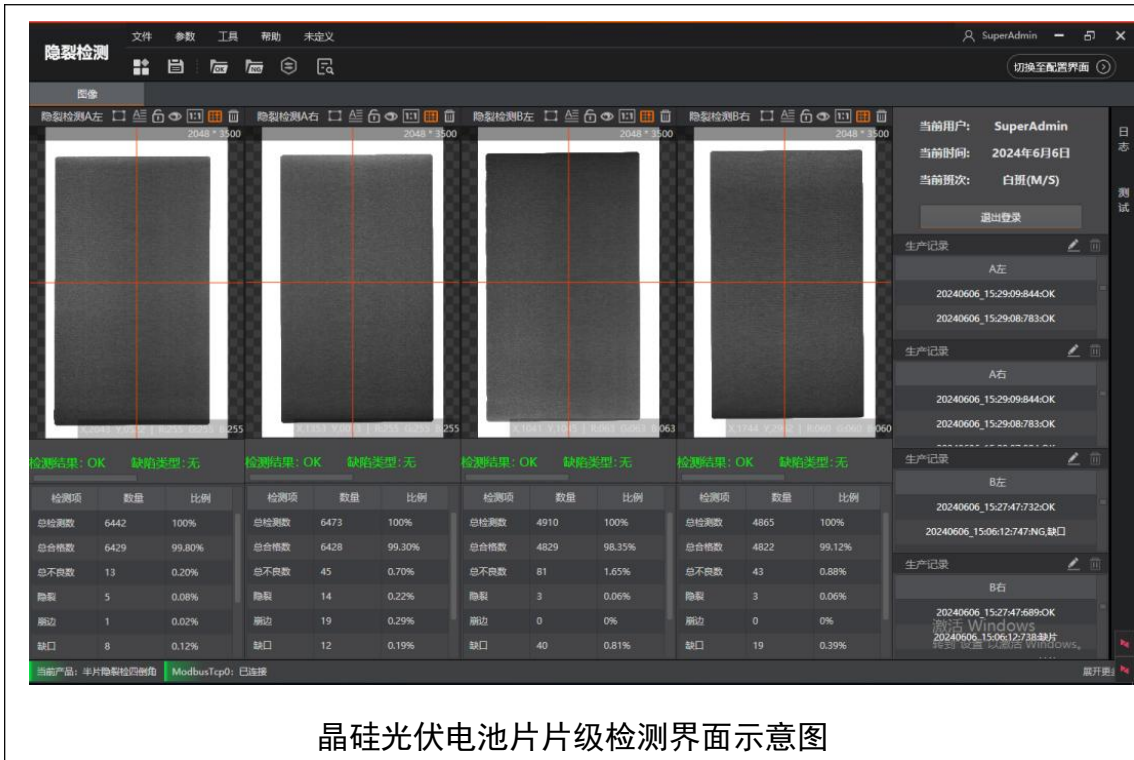
个工序段中。它的灵活性确保企业能够轻松整合设备，满足多样化的生产需求。



智能破片检测分选机示意图

电池片片级质量追溯系统

在电池片生产过程中，保证电池片良品率是重中之重。传统的电池片只能做到事后检测，而且电池片本身不方便刻印字符或二维码等信息，加之追溯标准不一，增加追溯难度。某设备供应商通过多年的研究，综合利用人工智能技术和视觉识别技术，可实现从上料制绒、清洗到电池片终选全流程追溯，同时配合 AMR 对转运相关环节的数据监控，对电池片流程进行信息监控，实现了片级的质量追溯能力。系统还针对隐裂、镀膜 AOI、镀膜 PL 等建立数据预处理模型，能够快速适配上线，高精度检出异常，充分保证电池片的高质量。



大尺寸光伏组件 EL/VI-自动智能检测系统

某电池组件企业，其生产线上的大尺寸光伏组件由上料机构自动取放到传输线上。传输线采用高精度同步传输系统，可以稳定、平稳地将组件输送到 EL/VI 检测区域。



EL测试仪高清相机及灯罩

EL 测试机

EL 检测是通过对光伏组件施加正向电压，利用发光原理检测组件内部缺陷。VI 检测则是利用红外成像技术，通过温度分布检测组件缺陷。

EL/VI 检测机构由高精度 CCD/CMOS 相机、高功率 LED/红外线灯源、高压/高精度电源等组成。相机和灯源通过精密的机械定位系统进行高度同步控制，确保获取高质量的 EL/VI 图像。

获取的 EL/VI 图像将传输到人工智能图像处理系统进行分析。该系统基于深度学习算法，经过大量样本训练，能够准确识别各种缺陷类型，如裂纹、焊带偏移、隐裂、虚焊等。人工智能系统不仅能够检测出缺陷的位置和类型，还可以对缺陷的严重程度进行评级，为后续的质量判定提供依据。



EL测试仪合格下料和不合格反馈

EL 测试分拣机

人工智能图像处理系统根据预设的质量标准，对每块组

件的缺陷情况进行综合评价，自动判定合格或不合格。同时，所有检测数据都将上传到服务器数据中心，实现数据的集中管理和追溯。

合格的组件将由传输单元自动流入下道工序，不合格的组件则会被自动分流到返修区。同时，系统会生成详细的检测报告，反馈给上游工序，为产品质量改进提供数据支持。

4.1.6 能源智能管控

(1) 存在问题

晶硅光伏电池产业链企业在能源管理环节包括对生产/办公用电、用水等能耗的计量、归档、分析等管理。企业能耗数据管理的传统方式是人工抄表，抄表的数据再由工程师统计分析后转化为电子版，无法在过程中对能耗数据进行及时、有效地管控。缺乏能耗数据，或数据利用效果不好，将会导致无法在生产过程中准确分析能量消耗情况和成本情况，对工厂降本增效带来负面影响。

(2) 改造场景

17.智能拉晶能耗管理场景。在晶硅光伏的拉晶环节中，超过 90%能耗来自拉晶炉。通过工艺优化和节能技术改造，对拉晶炉的核心能耗参数引晶功率进行系统技术升级及优化。开展温度场改造和加热电极改造、保温层优化等措施。综合施策下，可减少不必要的浪费并实现精细化管理，达到降低车间引晶功率，减少用电量的结果，达到企业节能减排，

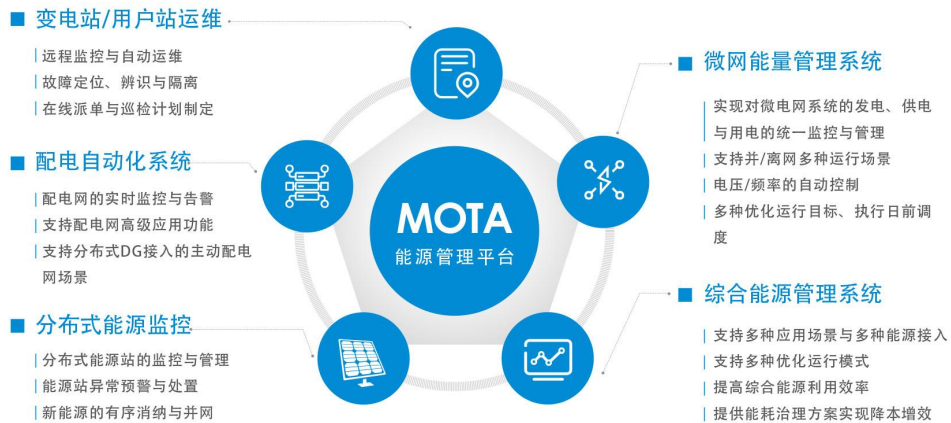
并实现降本增效。

18.电池、组件生产综合能耗管理场景。基于能耗数据监测的能耗管理。工厂使用纯化水，通过纯水系统监控取水量、水流量、用水量，并实时记录使用数据，生产动态图形，出现使用异常情况报警，便于管理人员根据用水图形分析生产用水情况，实现持续节水改进。工厂主要耗能为电能，设备的能源消耗情况通过设备采集器上传到MES系统中设备管理模块，自动建立生产设备的能耗数据模型，并对用能情况进行分析和评估，帮助管理人员评估出最优的生产方案，开拓有效的能源管理方式。

(3) 解决方案建议

MOTA 综合能源管理平台

某龙头企业启动 MOTA 综合能源管理平台建设，MOTA 是一套基于分布式、组件化与可扩展性的综合能源管理平台，融合了云计算与大数据技术的新一代能源互联网的应用支持平台，适用于多种应用场景与用能需求，支持多种数据量级与规模，提供多种形式的综合能源管理与解决方案。



综合能源管理功能图

平台拥有丰富的能源管理功能。包括发电预测、负荷预测、智能告警、状态估计、潮流计算、多能潮流、最优潮流、多能互补优化、无功优化等。



综合能源管理系统 3D 监测页面

平台整合强大的数据直采能力，拥有丰富的规约库，包括 101、103、104、CDT、MODBUS、DNP、TASE2、MQT、61850 等。实现了规约参数可配置和规约插件化。

平台具备可靠的实时监控能力。具备主备或一主多备、主备通道无缝切换、负载均衡、实时光储柴充微电网控制基于 Tensorflow 框架进行预测和超前控制等能力。

工厂能源综合利用

某晶硅光伏电池企业，通过屋顶光伏、空压机热能回收、中水、浓水回收利用、切片机滤波节电、空压机变频节电等方式，实现厂区能源的综合高效利用。

屋顶光伏组件不仅能有效利用工厂闲置的屋顶空间，将太阳能转化为清洁电能，实现能源的自给自足，降低企业用电成本。同时，企业可利用屋顶空间进行组件、电池片的性能测试，实现企业精细化管理和效能最大化。

空压机热能回收。结合工厂空压机运行时会产生大量热能的特点，安装热能回收装置，组成换热系统，分别为脱胶机、清洗机及员工宿舍冬季供暖提供热水，节约电耗。

中水、浓水回用。将制纯水过程产生的浓水，回用于硅片预清洗，新建污水处理站，回用中水，可直接用于硅片预清洗和切割机附件冲洗。

切片机滤波节电。在变压器低压侧安装有源滤波节电器，以降低谐波电流、提高系统功率因数，延长变配电系统的使用寿命，节约电量。

空压机变频节电。对车间动力站空压机进行变频节能改

造，实现恒压、节能供气，提升运行效率，节约用电。



某晶硅光伏企业屋顶太阳能综合利用

4.1.7 工厂建设

(1) 存在问题

晶硅光伏电池行业的工厂建设是实现智能制造的核心环节，旨在优化生产流程、提升效率并降低成本。其内容包括生产设备的互联互通、数据的实时采集与分析、工艺优化及质量追溯等。改造的重要性在于能够显著提高生产效率、产品质量和资源利用率，同时支持智能化、无人化生产，满足市场多样化需求。目前，工厂建设面临企业间技术基础差异大、资金投入不足以及数字化人才短缺，导致改造进度不均衡。同时，在数据孤岛现象严重、设备互联标准不统一、网络安全风险高以及生产系统与管理系统集成度低等方面，

制约了整体效能的提升。企业需加强顶层设计，借助人工智能和数字孪生等先进技术，实现设备互联与数据共享，构建智能化生产体系。

（2）改造场景

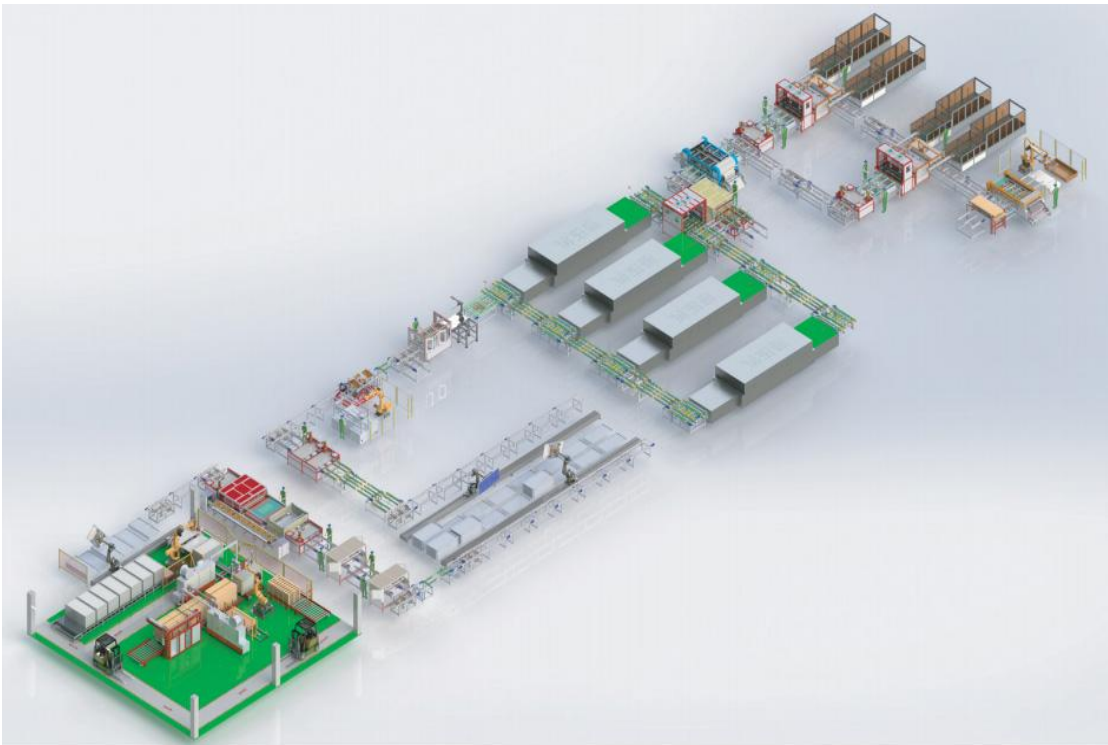
19.晶硅光伏数字孪生工厂构建改造场景。硅片、电池片、电池组件数字孪生生产线主要通过虚实联动，解决传统车间存在的设备管理粗放、工艺优化滞后等问题。企业可通过激光扫描与传感器网络构建生产线高精度数字孪生模型，实时同步设备状态及工艺参数，建立设备健康度预测模型。基于数字孪生平台实现虚拟调试与工艺优化，通过模拟不同设备动线、设备配合节拍等，实现硅片、电池片、电池组件生产的实时仿真与动态映射，可动态调整生产策略，减少废品率、设备故障率，并降低能耗。

20.智能化工厂数字规划设计改造场景。智能化工厂是指借助新一代信息技术，将制造过程中的各个环节进行智能化改造，实现生产过程的自动化、数字化和智能化的新型制造模式。企业可通过基础建设与数字化改造实现设备互联与数据集成，依托MES、ERP等核心系统实现全流程智能化管理，以多源数据要素为基石，通过开源算法库与成本优化模型等知识模型进行深度挖掘与分析，实现生产流程的精准预测与优化决策，提升智能仓储物流执行效率，强化质量追溯与安全环保管理。

（3）解决方案建议

数字孪生虚拟产线解决方案

某整车企业智能车间借助于 3D 技术搭建三维数字工位或区域的可视化场景，虚拟仿真生产过程，实现透明化和及时性；与 MES 集成用数据实时驱动三维数字化场景，实现对工厂的远程监控和管理，为管理决策提供数据支持的依据。例如在 PERC 电池生产线虚拟环境中，丝网主机、PECVD 自动上下料机、刻蚀清晰自动上下料机、刻蚀主机、槽式制绒上下料机、制绒主机、AGV 等 7 大类全自动化设备现场生产线各设备动作、现场物流过程、显示设备信息等内容，全部以三维可视化形式直观展示。



电池组件虚拟产线示意图

另一方面，通过生产综合数据看板，在大屏上显示生产

制造的整体信息，实时接收MES中的数据信息，可视化显示当日产线合格率、产量、月份订单情况、物料、计划完成情况、设备运行状态、三维数字工位等内容，综合展示生产制造能力，为生产运营做决策分析指导。

智慧工厂智能化建设解决方案

某晶硅光伏产业链智能工厂项目按照智能工厂各板块的规划，从工业互联网基础技术支撑能力提升、智能生产装备及自动化生产线改造、工业互联网平台建设、新模式创新及应用、系统集成与优化等方向，全面打造业内一流工业互联网智能工厂。项目实现了设计研发、物料采购、库存管理、精准配送、生产计划、生产调度、现场管理、品质管理、客户服务等公司各业务模块全流程协同及高度智能互联。公司融合云计算、物联网、大数据、人工智能、数据可视化等先进技术，已全面建设成为一个面向光伏硅片制造的智能工厂。



智慧工厂综合调度大屏展示图

智慧工厂 MOM“交钥匙”共建解决方案

随着行业的发展，某供应商企业携手客户共建“电池智能工厂”，为某初创晶硅光伏企业电池车间提供了智能制造执行系统（MES）、包装系统（PCS）、智能调度系统（MCS）、数据采集与处理系统（MDC&EAP）。

供应商企业为帮助某企业快速实现设备联调联试，节省时间成本和试错成本，凭借丰富的设备厂商对接经验，在与设备厂商集成过程中，组件交付团队与各设备厂商直接协调、主动推进，大幅度缩短首线开线的 AGV、工艺设备、自动化设备的联调时间，有力地支撑了项目的快速开线，保障了首线的高效启动。具体包括：

在生产开线和试投阶段，在系统内实施生产主线业务流程的严格管控，并对制成过程中的关键参数及成品性能参

数，进行采集和分析，实现了数据从采集、清洗、存储到分析的一体化管理。

针对多产品共产问题，采用“分选定线+包装自动分流+五重校验”的解决方案，替换了人工包装作业，降低了返工作业数量，减少了混料客诉。

在工艺/质量/生产管理体系标准化方面，工艺/质量/生产的系统化落地，利用针对光伏领域的系统工具包，规范了业务管理流程，为客户提供了管理抓手。特别是工艺无人化点检、设备无纸化点检，减少了人员投入，帮助客户快速实现了降本增效。

在追溯及数字化运营方面，依托片级追溯，快速定位异常机台/炉管/温区/舟，对机台参数、工艺配方进行优化，规范人员操作，大大降低了异常的排查周期，减少不良片比例，提升了 A 级率，保障了产品质量。部门报表、早会运营报表及总经理看板等各类业务运营报表的实现，完成了从传统业务管理到数字化运营的跨越。

供应商企业通过生产车间电池 MOM 系统的引入，为新入局晶硅光伏企业的电池车间的数字化与智能化升级，注入了强劲的动力，实现了精简人力，打造高效团队；快速提效，“调度”“运营”双突破；优化良率，人工智能赋能品质升级；异常定位时间缩短、不良片大幅下降；业务数字化，制造与运营闭环；生产全过程监控、多级工艺管控、全流程设备运维、全域质量管理，与经营系统标准化对接。

4.2 产品全生命周期

4.2.1 产品数字化设计

(1) 存在的问题

晶硅光伏企业在技术研发与生产验证中面临系统性挑战，核心问题集中于跨学科协同效率低与多物理场耦合建模瓶颈。在仿真设计环节，电池片及组件研发需整合光学、热学、电学等多学科耦合分析，但主流仿真软件多局限于单学科或局部耦合建模，难以实现全物理场动态交互模拟，迫使企业采用串行验证模式，导致单轮验证周期冗长，叠加材料成本高企的行业特性，显著推高研发试错成本。同时，极端环境模拟能力薄弱，多数工具仅支持标准测试条件，无法精准复现高温、高湿、低温等真实场景的复合应力，制约组件可靠性验证精度。此外，多模型兼容性问题及数据治理难题进一步加剧效率瓶颈。

(2) 改造场景

21. 电池片制造环节的材料与结构优化场景。通过应用三维结构设计优化晶硅电池主栅电极印刷工艺。银浆单耗降低，印刷寿命提升。避免了传统工艺中因网纱镂空导致的断栅问题，显著提升了电池的良率。通过数字化仿真优化硅片内部应力分布，弯曲强度提升，抗断裂能力显著增强。该硅

片采用全平台兼容设计，可支持 HJT、TOPCon 等多种电池技术。

22.多电池物理场耦合建模。在电池片研发过程中，对新型电池片结构如 TOPCon、BC 等的性能进行虚拟验证，通过精确模拟载流子输运、钝化效果等微观物理过程，优化电池结构和工艺参数，提高电池转换效率。利用计算机模拟技术对背表面场结构进行优化。通过量子力学仿真，精确控制背表面场的参数，使寿命得到显著提升，从而提高了电池的性能。同时，结合实验数据对仿真模型进行校准和验证，不断调整模型参数，使模拟结果与实际工艺的偏差逐渐缩小。

23.强化极端环境实现封装模拟。针对“沙戈荒”等特殊应用场景下的光伏电池，在设计阶段通过虚拟验证模拟组件在极端温度、风速、盐雾等条件下的性能和可靠性，为电站的设计和运维提供依据。通过建立极端环境数据库，收集漠河地区的低温、积雪等环境数据，对光伏组件的虚拟验证模型进行训练和优化。在实验室中搭建模拟漠河极寒环境的测试平台，对组件进行温度循环、积雪模拟等实验，将实验数据与仿真结果进行对比和分析，改进仿真模型，提高其对极寒环境下组件性能的模拟精度，从而为组件在漠河地区的应用提供了可靠的技术支持。

(3) 解决方案建议

三位一体协同赋能晶硅光伏研发体系升级跃迁

晶硅光伏行业需通过技术升级与体系重构突破研发瓶颈，重点围绕多物理场建模能力提升、数据链贯通与协同创新生态构建三大方向发力。通过整合参数化设计、工业互联网平台与数字孪生技术，系统性优化研发流程；依托跨学科仿真工具开发与实验-仿真闭环验证，强化极端环境模拟精度；以开放生态整合产学研资源，推动技术迭代与人才培养，最终实现研发效率与组件可靠性的全面提升。

构建智能设计体系。强化多物理场耦合建模能力。开发光伏组件参数化设计工具，集成板型、材料与工艺参数自动匹配功能，嵌入强化学习算法加速新型电池结构，联合开发定制化仿真工具，优化多物理场耦合算法，提升光-热-电交互模拟精度；改进现有仿真软件模型，引入量子力学与半导体物理原理，校准实验数据以增强模型可靠性。

贯通数据链。打造协同化数字基座。基于工业互联网平台打通设计 BOM（物料清单）与制造 BOM，构建工艺知识库（如烧结温度-银浆成分映射模型），实现设计参数实时验证；标准化数据接口，推动 CAD、EDA、PLM 系统无缝对接，消除信息孤岛；部署轻量化数字孪生模型，降低硬件算力门槛，支持全生命周期数据动态迭代。

3.建立开放创新生态与实证验证体系。联合高校、材料商共建设计云平台，共享仿真模型与材料数据库，培养“光伏+数字孪生”复合人才；整合全球极端环境数据（如沙戈荒电站温湿度、盐雾浓度），构建多维度环境数据库，训练高精

度仿真模型；搭建实验室 - 户外实证平台，通过温度循环、盐雾腐蚀等实验对比仿真结果，形成“设计 - 仿真 - 实验”闭环验证，提升极端工况下的组件可靠性。

4.深化实验 - 仿真闭环验证，驱动模型持续优化。构建实验室模拟与户外实证联动的动态验证体系，通过搭建极端环境测试平台（如沙戈荒温湿度循环、盐雾腐蚀模拟装置），采集组件在真实应力下的性能衰减数据；建立仿真模型与实验数据的自动反馈机制，利用机器学习算法实时校准多物理场耦合参数，提升模型对复杂工况的预测能力；形成“仿真预测 - 实验验证 - 模型迭代”的正向循环，缩短技术迭代周期，确保组件可靠性验证从“理论模拟”向“场景实证”升级。

4.2.2 工艺数字化设计

（1）存在的问题

晶硅光伏工艺设计效率受多重因素制约，存在工艺流程标准化不足、数字化工具应用滞后、实验验证成本过高以及协同创新机制缺失等问题。工艺流程缺乏统一标准，导致多环节协同存在设计盲区，跨环节重复设计或关键步骤遗漏现象频发；同时，技术传承机制缺失，新员工培训体系不完善，经验型知识流失严重。数字化工具方面，传统设计软件和手工计算难以满足复杂工艺需求，数据孤岛现象导致信息无法实时共享，工程师需在多个系统间切换，浪费大量时间。实验验证环节依赖昂贵设备和材料，验证周期冗长，数据分析效率低下，进一步拖累整体效率。此外，跨部门协作缺乏有

效平台支持，信息不同步导致工艺改进方案实施滞后，创新成果转化周期延长。

（2）改造场景

24.新电池产品研发设计流程优化。在开发新型晶硅光伏电池，如异质结电池（HJT）或背接触电池（BC），遵循标准化流程，明确从电池结构设计、工艺参数确定到样品制备与测试的各个步骤，确保研发过程有条不紊，提高设计效率。对现有晶硅光伏生产工艺进行改进，如优化硅片切割工艺或电池片镀膜工艺时，利用项目管理工具跟踪进度，及时解决各环节中出现的问题，确保工艺改进按时完成。

25.硅片、电池片、电池组件工艺设计与仿真场景。在晶硅光伏电池生产过程中，生产工艺设计是指以数字化工艺设计平台为核心，通过虚实融合、数据驱动、协同优化，实现全流程升级，解决传统工艺设计流程中效率低、难统筹、高成本等问题。企业可集成工艺流程、工艺文件、设备参数、生产数据等信息，依托数字孪生、人工智能、机器学习和5G技术，应用计算机辅助工艺规划、制造执行系统、数字孪生平台、仿真软件，通过PLM（生产生命周期管理系统）实现工艺设计全生命周期管理，优化工艺参数与生产决策，提升生产效率与精度。

26.电池组件设计与集成优化场景。通过协同设计将制造系统与产品设计深度融合，减少生产中的不确定性，降低制造成本，缩短产品上市周期。企业可集成设计、工艺参数、

生产反馈、质量检测等数据，基于历史数据、知识模型库、工艺缺陷库、设备模型等，利用数字孪生、智能感知、大数据等技术，全面评估产品设计的可加工性、可装配性和可维护性，打通工艺设计、产品研发和生产作业等环节的数据流，构建虚拟生产环境，实时模拟和优化产品设计与制造流程，挖掘潜在问题并提供优化建议，提升生产效率和产品质量，降低制造与维护成本。

（3）解决方案建议

构建晶硅光伏工艺设计的标准化与知识传承机制

针对晶硅光伏产业工艺设计流程不规范、数字化工具滞后、知识传承机制缺失及试错成本高昂等瓶颈问题，建议通过制定标准化工艺设计流程，采用项目管理工具实时监控进度，引入数字化设计软件和集成化平台，构建企业内部知识管理系统，整理并存储工程师经验，推动工艺设计向高效、智能、低成本方向发展，为光伏技术创新提供强大支撑。

规范设计流程。定标准化的工艺设计流程规范，明确各环节的先后顺序、输入输出要求以及关键控制点。例如，建立从硅料提纯到组件封装的全流程标准操作规范，确保每个环节的工艺参数设计都遵循统一的模板和流程。采用项目管理工具对工艺设计项目进行跟踪和管理，实时监控设计进度，及时发现并解决流程中的瓶颈问题。

构建高效设计平台。引入先进的数字化设计软件和工

具，如专业的半导体工艺模拟软件、CAD（计算机辅助设计）软件等，提高工艺参数模拟和优化的精度和速度。搭建集成化的工艺设计平台，实现各个设计环节的数据共享和协同工作。例如，将硅料纯度数据、电池片电性能数据等整合到一个数据库中，让不同部门的工程师可以实时访问和更新相关数据，减少人工拼接数据的时间和错误。

加强知识经验传承。建立企业内部的工艺设计知识管理系统，将经验丰富工程师的知识和经验进行整理、分类和存储，形成可查询的知识库。例如，将电池片丝网印刷工艺的优化经验、不同硅片材质和电池结构对应的印刷参数等信息录入知识库。开展内部培训和技术交流活动，由经验丰富的工程师对新员工进行培训和指导，分享实际项目中的设计经验和技巧。同时，鼓励工程师之间进行技术交流和讨论，促进知识的传播和共享。

降低试错成本。优化实验设备和材料管理，建立实验设备的共享机制，提高设备的利用率，减少设备的重复购置。例如，对于一些昂贵的实验设备，如电子束蒸发镀膜机、等离子体刻蚀机等，制定合理的使用计划，让不同项目的工程师可以根据需求预约使用。与供应商建立长期稳定的合作关系，争取更优惠的材料采购价格。同时，优化材料的库存管理，减少材料的浪费和积压。例如，根据实验计划和历史数据，合理预测材料的需求量，避免过度采购。

4.2.3 安全一体化管控

(1) 存在问题

晶硅光伏电池行业自动化设备广泛应用，在安全管理方面存工艺路线长、涉化品种多、储存使用量大等特点。晶硅光伏电池企业生产过程中涉及危化品运输、管理、使用等环节，例如多晶硅制备环节会产生三氯氢硅等氯硅烷类危险化合物、硅片环节的清洗药剂具有腐蚀性、电池片制造环节的磷源会引发人员中毒等，存在安全生产的风险。同时，晶硅光伏电池企业还存在施工管理难度高、电气安全突出、安环管理系统亟待完善、运营管理难度高、应急管理要求高等问题。

(2) 改造场景

27.搭建数字化安全管控和应急处置系统改造场景

充分利用工业互联网、物联网、大数据、5G技术、云计算、GIS地图等核心技术，将人防、物防和技防相结合，实现企业生产过程、储存设施、人员定岗定位、重大危险源场所、特种作业等信息的互联互通和自动管控，切实提高企业的本质安全水平。

28.基于人工智能等技术的安全风险预测预警和处置方案自动生成改造场景

晶硅光伏电池企业借助人工智能强大的数据处理与分析能力，对晶硅光伏硅料、硅片、电池片、电池组件生产过程中采集的海量设备运行数据、环境参数数据、人员操作数

据等进行深度挖掘，利用机器学习、深度学习等算法模型精准预测潜在安全风险，在风险临近或发生时及时发出预警。同时，依据已构建的规则库与案例库，自动生成针对性强、科学有效的处置方案，大幅提升安全管理的前瞻性、及时性与智能化水平，做到事前预警、事后快速处置，在有效降低安全事故发生概率的同时，尽可能减少安全事故的损失。

（3）解决方案建议

综合安全管理信息平台

某晶硅光伏企业为更好实现安全生产智能化、数字化，开发了综合安全管理信息平台。平台能够对安全相关信息进行全面管理和监控。平台能够实时监测生产环境中的安全参数，如温度、湿度、气体浓度、设备运行状态等。当监测数据超出安全阈值时，系统立即发出预警信息，通知相关人员采取措施

平台还能够依据采集数据，对企业生产过程中的安全风险进行评估。通过预设的基于人工智能技术的风险评估模型，对安全风险提供预测预警，并自动生成处置方案。

平台依托新一代信息技术，做到了安全管控的端到端处理，通过实时监测和更新安全信息，让管理人员第一时间掌握生产现场的安全状况，及时做出决策。从设备故障报警到环境参数异常，都能在最短时间内响应。



4.2.4 污染在线管控

(1) 存在问题

晶硅光伏生产过程中，废水废气污染是主要问题。一是碱性废水。来源于利用氢氧化钾溶液进行清洗作业的过程中会产生碱性废水。碱性废水中含有氢氧化钠、氨氮、异丙醇等，直接排放将会造成严重的污染。二是酸碱冲洗废水。通常是在硅片腐蚀清洗作业过程中产生酸碱冲洗废水。三是氢氟酸浓液。它产生于制绒工序和磷硅玻璃去除工序中。四是氢氟酸冲洗废水。在二次清洗去磷硅玻璃的过程中会产生氢氟酸冲洗废水，污染强度较大。四是在硅料提纯、电池片生产过程中会产生大量有毒有害气体。

(2) 改造场景

29.智能化环保管理平台场景

通过结合信息技术和环保理念，实现环境管理的效率和精度提升。平台利用大数据、云计算、物联网、人工智能和GIS技术，支持实时监测晶硅光伏电池生产过程中的废气废水排放，并提供预警和决策支持。同时，平台与企业的安全管理平台、生产管理平台等系统实现互联互通，或者直接整合至统一生产管理平台中作为子系统，实现环保与安全生产的有机结合。

(3) 解决方案建议

全流程废气废水智能化管控

某晶硅光伏企业，搭建智能管理平台，对厂区内的废气废水进行集约化、智能化管控，严格落实环保责任。建设智能化污水处理站，采用“袋式过滤器+超滤系统+一级反渗透处理系统”进行中水回用处理。与专业厂家合作，生产过程中产生的硅泥、废金刚线、沉淀污泥、废胶丝、废液等，交由有资质的专业厂家进行处理。安装废气处理设备。对厂区内产生的有机废气、污水处理臭气等进行处理，委托外部国家资质认证的实验室对废气排放每季度进行一次检测。安装隔音设备，降低金刚线切割机、硅片超声波全自动多槽清洗机等生产设备运行噪声与污水处理站设备的运行噪声。

4.2.5 碳资产全生命周期管理

(1) 存在问题

欧美为了降低对我国晶硅光伏产品的依赖，取得光伏产业可持续发展的全球话语权，正大力推动光伏产业本土化，并以碳足迹为核心构建新型绿色贸易壁垒，提升晶硅光伏产品绿色采购门槛。目前，晶硅光伏电池企业在进行碳足迹管理上还存在一系列问题。从内部来说，晶硅光伏电池企业供应链协同难度大。碳足迹管理需要全产业链的协同努力，但产业链上各企业的利益诉求、管理水平和技术能力各不相同，在推动碳减排目标落实时，很难做到统一行动和高效配合。同时，企业在管理供应链碳足迹时，还需要对供应商进行评估和管理，确保供应商的产品符合企业的碳足迹要求，增加了供应链管理的复杂性。从外部来说，一是晶硅光伏电池产品生命周期评价本土数据库缺失，导致碳足迹管理一系列工作无法开展。二是晶硅光伏电池产品碳足迹评价标准缺失，难以摆脱被欧美牵着鼻子走的被动局面。

（2）改造场景

30.碳足迹管理平台改造场景

晶硅光伏电池企业应综合运用工业互联网、物联网、大数据、人工智能等技术，贯通产业链数据，纳入标准合规信息的方式建设碳足迹管理平台。运用技术手段破解核算标准不统一、供应链协同难、回收体系不全等问题，实现碳足迹的精准量化。晶硅光伏行业碳排放集中在生产阶段，多晶硅生产占比最大达 58.4%，其次是组件、硅片、电池片，依次占

比 17.4%、14.5%、9.5%；电耗是生产阶段碳排放的主要因素，占比达 65%。碳足迹管理平台可与企业已有的综合能源管理平台、环保管理平台进行数据打通或整合，可统一纳入企业综合管理平台，重点在于管控电耗。同时，集团企业应统一部署贯穿产业链上下游的碳足迹管理平台，实现产业链协同。不同企业之间，应统一数据标准，实现平台数据端到端对接，使整个产业链条完成碳足迹管理。

(3) 解决方案建议

碳链数智化平台

基于行业客户在“双碳”领域、ESG（环境、社会和公司治理）等方面需求，某晶硅光伏企业打造碳链-光伏碳足迹管理平台，利用区块链 Taas 技术底座，实现供应链溯源、碳足迹和组织碳三大管理，协同上下游企业，给产品赋能，构建以产品为中心的端到端溯源与碳足迹管理体系，打造行业最优低碳产品让每一件产品可追、可查、可信、不可篡改，打造绿色供应链透明追溯，做到每一个环节都实现精准降碳。

碳链涉及产业链中工业硅粉、FBR 颗粒硅、单晶硅棒、单晶硅片、电池片、组件等环节，项目公司处于产业链中游，为供应链流程的深度、精准碳足迹追溯提供数据赋能。

碳链主要特点：

一物一码：动态实时上传溯源数据。

透明绿色供应链：溯源数据可追可查可信不可篡改。

深度溯源管理：全产业链深度六层核心环节溯源。

国际权威认证：TUV 莱茵+ISO 国际标准+Ecoinvent 国际碳数据库。

头部区块链平台：蚂蚁区块链+TaaS 技术底座。

零碳园区/工厂能源数字化解决方案

某晶硅光伏企业自主研发成功一款集智能 IoT 终端、Wonder OS 软件系统及人工智能算法于一体的云边一体化系统，通过产品智能化、运维数字化和智慧化，助力客户数字化转型，实现低碳运营和智慧管控，是国内创新的碳中和综合解决方案数字化平台。其强大计算能力可有效保障算法应用下系统运行的流畅稳定。系统可以为整个数字化平台算法嵌入和应用提供保障和支持，最终实现对整个能源系统的群控。

通过园区“可视、可析、可控”的执行标准化、管理数据化与决策高效化，做到能源计量“一张图”、生产管理“一张图”、安全生产“一张图”，让工业园区实现精准用能、管理提效与节能降耗。目前，企业已在能碳管理系统，光储运维管理系统，冷却水系统，蒸汽系统，高效制冷系统取得了显著成效，为行业树立了新的标杆。

系统支持企业级、厂站级能源计划、监控调度及能碳绩效管理，对基于生产状况和能源预测确立的能源消耗指标的

执行状况，提供实时跟踪管理功能。

实现对光伏、储能系统，运行及事故情况下的监测、保护、控制、用电和配电管理，远程控制和调整运行策略，提升工厂绿电使用比例。

在保障安全的前提下，通过智能控制算法逻辑实现冷却塔、循环水泵的高效节能控制，实现系统节水和节电的效果。

燃气锅炉群控系统配合负荷预测算法降低系统能耗；蒸汽管网仿真模拟、平衡调控，实现用能平衡。

根据负荷预测、室外温湿度自动调整主机台数、供水温度和流量，配合高效机房算法，提高冷热源系统效率。



晶硅光伏企业零碳工厂运行监控界面

4.2.6 智能经营决策

(1) 存在的问题

晶硅光伏产业受市场需求波动影响大，存在库存积压风

险、需求响应滞后、数据孤岛等问题。传统销售依赖经验判断，缺乏对全球市场波动、政策变化和客户需求的动态分析，导致库存积压或产能错配。客户需求响应滞后，客户需求多样化与标准化生产矛盾突出，企业难以快速提供定制化方案。线上/线下销售渠道数据割裂，客户行为数据未整合，无法构建完整用户画像。销售与供应链协同低效，销售计划与设计、生产、物流环节脱节，订单交付周期长，难以满足客户对高性价比和快速响应的需求。这些问题共同导致了营销管理效率低下，影响了企业的市场竞争力。

（2）改造场景

31.销售与业务联动改造场景。首先通过对企业生产、运营数据分析与集成，实现数据资源化，将业务数据资源与销售计划进行匹配，应用机器学习算法分析业务数据和销售计划，例如历史订单、政策文件和竞品动态等，并通过数字孪生技术为不同客户、不同销售场景，构建数据标签和客户画像。同时，将数据标签和客户画像结果实时同步至 ERP/MES 系统，在人工智能大模型的辅助下，对原材料采购、生产线排期和物流路径进行优化。此外，通过人工智能技术提高产品报价的弹性区间，辅助销售团队快速响应客户需求。

32.基于客户大数据模型的服务体系改造场景。客户大数据模型是指通过产品全生命周期数据采集与智能分析，结合客户反馈数据、客户画像数据等综合而成的大数据模型。企业可基于客户大数据模型，构建虚拟服务网络，模拟服务客

户的全流程，找到问题和堵点，在现实服务中提高服务质量，提高客户满意度，加强企业竞争力。

（3）解决方案建议

以精准服务模式实现数字化营销管理

某晶硅光伏企业凭借精准的市场洞察、海量前沿的数字化资源与渠道经验，为全球客户量身定制一站式、全方位营销自动化平台，培育、支持并服务全球 25000+渠道生态合作伙伴。其中，经销商一站式尊享体验平台，实现了 2.0 版本的焕新升级，为上下游合作伙伴提供资源共享、价值共创的光储生态服务的同时，也联动雄厚的专业光储市场资源，实现生态赋能与匠心服务再进阶。

该平台作为企业的一站式尊享体验平台，实现了询单、交易、结算、管理的高效便捷。客户可以通过小程序、APP、网页等多种方式使用至尊宝，快速触达活动、培训、测算等工具，享受便捷的购物体验。此外，至尊宝还提供了备案合规、高效签约、自主提货、交付可视、自助开票等一系列增值服务，全方位提升了客户的使用体验。

同时，针对海外客户升级了渠道数字化赋能平台，多语种适配当地客户，以领先本地化能力量身定制数字化体验服务，构建全球营销数字化生态圈。

企业通过在数字化、平台化、生态化方面的领先数智赋能能力，推动生态共赢，实现营销的智能化、数字化转型。

4.2.7 产品增值服务

(1) 存在的问题

晶硅光伏企业长期存在“被动式”服务问题，客户服务响应能力不足，服务渠道分散，服务请求需要多部门协调，响应周期长。同时存在数据价值挖掘不足，海量设备运行数据和维修记录未被深度分析，无法支撑增值服务。这些问题共同导致增值服务少，客户需求没有被充分发掘，容易错失通过数据驱动创造新业务的机会。

(2) 改造场景

33.组件环节维修与技术服务一体化应用场景。维修与技术服务资料一体化应用是将电池、电池组件维修与技术服务资料进行数字化处理，利用智能化的知识管理系统，解决维修效率低，服务质量参差不齐等问题。企业可搭建云端协同平台，集成人工智能故障诊断模型、数字孪生维修场景及区块链存证系统，为维修人员提供智能推荐的维修方案和技术指导。及时获取最新的技术信息和配件库存情况，从而提高维修效率和服务质量，实现电池、组件维修与技术服务资料的一体化、智能化应用。

34.全生命周期客户服务管理。结合组件衰减率、维修记录、市场供需数据，构建人工智能估值模型，为硅片、电池片、电池组件的定价提供依据，实现设备健康与残值评估。基于历史故障概率（如雷击、台风损坏）和发电量损失数据，

与保险公司联合开发产品保险服务，提升客户付费率。通过设备运行数据计算客户碳减排量，生成权威认证报告，支持企业参与碳交易或申请绿色信贷。

（3）解决方案建议

场景化增值服务

某晶硅光伏企业通过发布晶硅光伏电池组件极端气候解决方案，成功为客户提供了场景化的增值服务，发掘了客户的潜在需求，增加了市场竞争力。

该方案，面向冰雹、强风、暴雪等极端气候环境，最大化保护光伏电站资产安全，以更高的系统价值和更安心的交付服务赋能客户。解决方案以极御组件和智能跟踪双核驱动，高效防护频发的极端天气。极御组件玻璃厚度提升 25%，抗能量冲击能力与传统同版型组件相比提升 2.5 倍。同时，创新边框设计强化组件载荷能力，进一步保障解决方案的稳定性和可靠性。

同时，搭配智能跟踪系统搭载行业首推的支架级智慧云，配备自主研发的控制器，集成了多种极端气候保护策略，结合智慧云平台的监测数据，实现电站的智能自动防护，确保系统安全稳定运行。

解决方案进一步降低项目 BOS（除光伏组件外系统成本）和度电成本，提升发电收益。得益于极御组件 i-TOPCon Ultra 更高功率、更高效率、更高双面率，优异的低辐照性能

和可靠性表现，综合发电能力更高，早晚及阴天时，能获得更高的发电量。搭载的 SuperTrack 智能算法，相比传统天文算法，通过融合人工智能、大数据技术，不仅能提升高散射辐照气候条件下的发电量，还减少复杂地势下的遮挡发电损失，满足多种项目场景需求。

解决方案应用数字化智能监控平台，可以进行故障实时监测精准定位，售后及时维护保障无忧。此外，解决方案中组件和支架等核心部件都由企业提供，内部测试预先摸底，项目验证快速高效。统一的质保窗口，进一步提升售后服务的效率和质量。

4.3 供应链全环节

4.3.1 供应商数字化管理

（1）存在的问题

受政策、市场等因素影响，光伏市场需求波动频繁且幅度大，难以准确预测。政府对新能源产业补贴政策的调整，可能导致市场对晶硅光伏产品的需求在短期内大幅变化，需求波动大。销售、生产、采购等部门之间信息沟通不畅，数据共享程度低，导致需求预测不准确，计划制定缺乏协同性。各部门往往根据自己的经验和数据进行预测和计划，缺乏统一的信息平台和标准，部分企业仍采用传统的预测方法，如简单的历史数据平均法等，没有充分利用大数据、人工智能等先进技术，无法准确捕捉市场变化趋势。

（2）改造场景

35.供应链全链路协同数字化平台。搭建统一数字化中台，集成销售终端数据（客户订单、市场竞品）、MES、ERP数据池，部署智能预测算法引擎，整合历史销售、天气数据、政策文件、产业链价格指数等多维度的动态参数，实时抓取工信部、能源局等部门的政策动态，通过NLP（自然语言处理）技术解析补贴调整对需求的影响权重，建立跨部门协同 workflows，设置红/黄/蓝三级预警机制，当预测波动超过阈值时自动触发多部门联席会议。

36.基于人工智能的产供销一体化供应链系统场景。产供销一体化是以市场为导向的动态响应机制，能够解决产供销各环节脱节、信息传递不畅、库存积压或缺货等问题。企业可集成生产数据、销售订单、物流信息、库存状态等数据，基于一体化供应链控制塔和数字孪生技术，应用云计算、智能仓储管理系统、物流管理系统、供应链协同平台，开展库存动态调配、物流可视化，实现生产、库存、销售数据无缝对接、供应链全流程协同优化，确保供需平衡、提升客户满意度。

37.组件环节弹性供应链网络与敏捷计划场景。构建蜂窝式供应网络，面向多个制造市场，保留一定余地的冗余产能。进一步开发供应链数字孪生系统，模拟多种风险场景下的供应链重组方案，实施动态安全库存策略，对光伏玻璃等大宗物料采用供应商管理库存，对逆变器等电子元器件实施准时

制供应，通过数据预测分析，实现需求计划日刷新、周调整。

38.晶硅光伏全产业链供应商数字化协同场景。 供应商数字化管理是通过运用数字化手段对供应商从准入到协作，再到评估、优化的整个生命周期予以管控。当下，企业面临着供应商集中度低、技术水平参差不齐、交货时间难以保障、质量管控存在短板等诸多难题。在此背景下，企业借助供应商关系管理系统与供应链协同平台，将供应商信息、采购订单、质量检测数据、绩效指标等各类数据进行集成整合。同时，充分利用物联网、大数据分析、知识图谱等前沿技术，达成供应商分级分类的标准化以及准入流程的规范化，推动采购过程自动化运行，实现质量管控的精细化操作，确保绩效评估公开透明。通过这一系列举措，全方位提升供应商整体协同管理效率，助力企业构建更为稳固、高效的供应链体系。

（3）解决方案建议

搭建一体化供应链计划体系

针对晶硅光伏行业需求波动大、政策敏感度高、多部门协同低效等核心痛点，本方案聚焦产供销全链路数字化协同，通过系统集成、智能算法与弹性机制设计，构建“数据驱动预测 - 敏捷响应执行 - 动态闭环优化”的一体化供应链计划体系，提升企业对市场波动及政策变化的应对能力。

打造数据中台。集成 CRM、ERP、MES、SRM 等系统

的统一数据中台，形成销售预测中枢、弹性采购中枢、柔性生产中枢，通过运用政策影响分析模型、动态基线预测算法、产能弹性配置引擎对供应链计划等信息数据进行收集统计与预测分析。

构建可视化承诺平台。集成 CRM 历史订单、招标平台数据、卫星影像等 15 类数据源，部署政策敏感型 LSTM 预测模型，自动解析能源局政策文本，量化补贴调整对需求的冲击系数，实时显示各生产基地的产能占用率、关键物料库存水位（如银浆储备天数），进而自动校验可承诺量（ATP），锁定 182/210 等不同硅片尺寸的产能窗口。

构建弹性采购与供应协同机制。通过构建关键物料三维地图，实时监控全球硅料价格、海运航线拥堵指数等风险指标，对 EVA 胶膜等辅材实施精准库存管理，设置“警戒水位”自动补货，集成 MES 设备状态、WMS 物料齐套率、TMS 运输在途量等数据，充分利用公司内部的信息，进行动态优化排程与可视化管理。

4.3.2 采购计划优化协同

（1）存在的问题

晶硅光伏行业受其国内外等多方面因素，面临着关键原材料供应不稳定、国际物流交付效率低下、采购与生产需求协同脱节等问题。原材料价格波动，采购成本难以准确控制。

部分组件产品体积大，物流成本占比高，影响交付效率，此外企业采购部门和生产部门之间协同能力有待提升，与计划备料与技术路线切换频繁变更需求存在一定脱节。

同时，晶硅光伏行业也面临供应商管理、风险管控等方面挑战。不同供应商之间存在数据孤岛、动态响应慢及成本控制难，数据分散阻碍了合规数据传导，进而影响动态响应和成本控制。企业面临供应商协同能力不足以及售后服务响应速度慢，导致供应链服务效率参差不齐。

（2）改造场景

39.构建多层级的供应网络。实施 1+1 供应商战略体系，与一批头部硅料企业签订长期协议，发展一批区域备选供应商，形成战略物资供应储备池。部署智能采购决策系统，开发硅料价格预测模型，当价格波动超过阈值时，自动触发期货对冲或现货采购指令。建立供应链风险预警平台，监控美国海关扣留率、新疆铁路货运量等 20 项风险指标，当硅料供应风险指数超过阈值时，自动切换至应急预案。

40.晶硅光伏全产业链采购优化场景。该场景聚焦于采购全流程的智能化管理，通过实时洞察、智慧决策与灵活调整，实现资源的合理调配，精准匹配企业采购需求。企业借助智能采购管理系统与供应商关系管理系统，全面整合供应商库存数据、采购订单详情、物料价格波动、交货期变动以及市场供需趋势等关键信息。在此基础上，运用动态规划算法、人工智能预测模型、大数据深度挖掘和机器学习分析技术，

对采购批次与数量进行优化，实时监控采购进度与供应商状态，并根据实际情况灵活调整采购计划。这一综合性策略有助于企业有效降低采购成本与风险，保障采购流程的稳定性，显著提升采购响应效率，从而在复杂多变的市场环境中保持竞争优势。

(3) 解决方案建议

基于多元供应链体系强化采购与交付韧性

针对晶硅光伏产业供应链采购与交付环节存在供应韧性不足、协同效率低、成本不可控三大核心痛点，通过构建“多元化供应网络+数字化敏捷交付+动态协同机制”的集成体系，实现从被动响应到主动预防的供应链能力升级。

建立多源供应体系。与全球头部原材料供应商签订长期战略协议，同时布局区域性备份供应商网络针对硅料、银浆等关键物资，建立战略储备库，设置动态安全库存阈值，结合地缘政治风险实时调整储备量。推行阶梯定价合约，与供应商约定价格波动区间内的成本分摊规则，减少价格剧烈波动带来的损失。

构建供应链数据湖。整合 ERP、SRM、TMS 等系统数据，建立覆盖“供应商 - 工厂 - 物流 - 客户”的全链路数据池，消除信息孤岛。开发供应链数字孪生系统，模拟地缘政治冲突、技术路线突变等场景下的供应链重组方案。

部署供应链采购与交付决策引擎。引入机器学习算法，

训练硅料价格波动预测、物流时效估算等模型，支持实时决策。打造可视化作战指挥平台，设立跨部门联合作战室，通过数字看板集中展示全球库存分布、产能利用率、物流在途量等关键指标。制定红/黄/蓝三级应急响应机制，异常事件触发时自动召集采购、生产、物流负责人启动协同处置。

应用人工智能技术的智能化供应链风险防控

针对晶硅光伏产业特点，通过搭建“供应商主数据平台”和“供应链智能中枢”为核心双引擎，在系统中预留技术路线切换接口，并嵌入全球可再生能源政策知识图谱，实现供应链风险防控管理。

供应商数据治理。建立硅料供应商“一物一码”体系，通过 IoT 设备采集生产能耗实时数据，构建多晶硅质量区块链存证链开发供应商能力雷达图，量化评估维度包括：技术迭代响应速度（如 TOPCon 到 HJT 产线改造周期）、ESG 合规水平（每兆瓦组件碳足迹）、地缘风险系数（工厂所在地政策稳定性）。

动态优化网络构建。实施供应商网络弹性指数计算，基于地理分布多样性、技术路线覆盖率、产能可调度性三维度建模，整合建立“数字指挥官”系统，在断链危机时，人工智能提供 N 个应急方案，进行政治风险评估后执行培训供应链分析师掌握数字孪生调参技能，能自主设置风险模拟参数。

五、路径与方法

5.1 实施路径

为加快推动晶硅光伏电池行业智改数转网联实施，在已发布的相关标准规范基础上，鼓励重点企业、高校、研究机构、行业协会等围绕智能化改造数字化转型逐步建设覆盖典型应用场景加强标准化建设，加快便宜好用的智改数转网联工具开发，加大宣传贯彻力度，做好实施效果评估，有效保障晶硅光伏电池行业高质量发展。

聚焦晶硅光伏电池行业智能化改造数字化转型网络化连接实际需求，加快推进工艺技术、智能装备、工业软件创新和应用。以人工智能赋能制造业生产为突破口，加快建设一批智改数转网联示范应用场景，培育晶硅光伏行业发展的新模式、新业态，坚持梯度培育、分类施策、结果导向，按照晶硅光伏企业发展实际，分级分类地推动企业完成智改数转网联建设。

5.1.1 总体实施建议

晶硅光伏企业推进智改数转网联需要结合企业当前的基础，从工厂建设、产品研发、工业设计、生产管理、生产作业、运营管理、供应链管理等环节入手。对照典型场景，找到不足、有的放矢地进行改造提升。实施建议主要包括以下几个方面。

总体实施建议

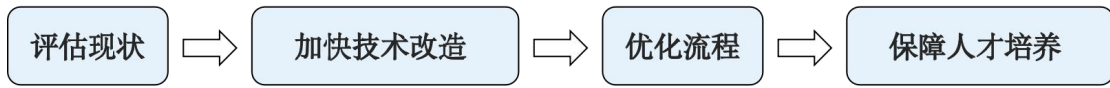


图 5-1 实施建议流程图

(1) 评估现状

通过开展智改数转网联现状评估，系统梳理企业业务流程、工艺流程及运营管理体系，全面盘点现有数字化系统、信息化平台、技术能力及设备设施等资源配置情况。深度调研各业务环节实际需求，精准识别企业核心转型诉求

大型企业需依托自身产业链整合优势，统筹上下游资源协同；中小企业则聚焦外部生态借力，通过第三方服务打通全环节数据流通壁垒。在此基础上构建适配企业特性的顶层设计框架，明确总体系统架构与分阶段实施路径，绘制可视化智改数转网联路线图。按照路线图推进具体项目时，需为每个建设单元设定可量化的 KPI 指标体系，通过关键绩效数据动态评估实施成效，确保达成预期目标。

在实施过程中，重点推进制造流程规范化与数据标准化建设，打通设计、生产、物流等全环节数据链路，实现信息系统互联互通。综合运用工业互联网、数字孪生、智能算法等技术工具，科学管控项目节奏；优化物资采购配送体系，降低能源消耗与库存成本；通过工艺路线智能化改造缩短项目工时，实现全价值链成本精细化管控。

(2) 加快新型技术改造

近年来，制造业新材料、新技术、新工艺呈现爆发式创新，材料性能突破与工艺革新持续推动产品竞争力升级。企业需基于现有技术、工艺、材料及装备的系统性诊断，针对性实施设备智能化改造、工艺瓶颈突破与传统技术迭代，实现生产效率提升与绿色制造转型。

在企业研发设计过程中，要构建全流程数字化设计体系，配置三维建模、工艺仿真及虚拟验证等专业软件，通过参数化设计与虚拟装配技术优化产品结构与制造工艺。部署产品生命周期管理（PLM）系统实现研发数据全链路管控，打通设计端与制造端的数据通道，提升研发协同效率与工艺可行性预判能力。

在企业生产制造过程中，要推进智能装备规模化应用，重点布局高端数控机床、AGV、工业机器人等自动化设备，构建柔性化生产线与智能车间。融合虚拟仿真技术优化加工路径，依托数字孪生技术实现车间物理实体与虚拟模型的实时映射，开发智能制造支撑软件（如MES、设备物联网平台、在线监测系统等），建立生产要素（人、机、料、法、环）的全实时管控体系，实现生产过程数字化、透明化、智能化。

在企业运营管理过程中，要搭建数据驱动的决策支持平台，通过数字孪生工厂与工程可视化系统实时采集生产、物流、质量等多维度数据，运用大数据分析技术识别生产瓶颈与资源浪费点。构建覆盖供应链管理（SCM）、客户关系管理（CRM）、成本核算的一体化管理系统，实现从订单交付

到售后服务的全价值链协同。引入智能标签定位、物联网传感器等技术，强化物资流与信息流的精准匹配，提升供应链响应速度与成本控制能力。

在企业基础设施建设过程中，要打造全域覆盖的工业通信网络，实现生产现场 5G 工业以太网全覆盖与异构系统数据互通。建立企业级数据中台，统筹管理设计数据、生产数据、运营数据等核心资源，构建标准化数据治理体系，为数字化转型提供底层架构保障。

（3）优化流程

在全面剖析企业现行生产设计流程、制造流程等核心业务流程的基础上，着手构建详细的流程路线图。通过深入调研与数据挖掘，精准定位流程中的关键节点，运用精益思想与数字化工具，对各流程节点进行系统整理与深度优化。

生产计划层面，引入先进的 APS（高级计划与排程）系统，基于实时产能、订单需求、物料库存等多维度数据，实现生产计划的精准制定与动态调整，提升计划准确性与灵活性，大幅降低因计划不合理导致的资源浪费与交付延误。

建造物流管理领域，借助 WMS（仓储管理系统）TMS（运输管理系统），优化仓储布局、运输路线规划以及物料配送节奏。实现物料库存的精准管控，减少库存积压与缺货现象，同时提升物流配送效率，降低物流成本。

针对生产过程中零部件及材料订货、制造、交货等环节，搭建一体化的供应链协同平台。运用人工智能大模型分析预

测物料需求，建立科学的安全库存与补货机制，减少不必要地再订货频次与制造浪费。同时，通过平台实现与供应商的高效协同，实时共享订单、生产进度、质量检测等信息，压缩交货周期，提升供应链整体响应速度。

积极推动地区配套供应商之间的深度合作，搭建网络化、一站式的订货、制造、采购平台。整合区域内供应商资源，实现信息共享、产能协同与资源互补。供应商可通过平台实时获取企业订单需求，在线完成订货、生产进度反馈、发货等操作，企业也能对供应商的生产过程进行远程监控与质量把控，打造高效、稳定的区域供应链生态。

设备升级方面，制定详细的设备评估与升级计划。结合企业生产需求与行业技术发展趋势，对现有设备进行数控化、智能化改造，或引入先进的自动化生产设备。提升设备的加工精度、生产效率与稳定性，降低设备故障率与维护成本。

工艺流程改进上，组织跨部门专家团队，运用工业工程方法，对生产工艺流程进行全面分析与优化。简化不必要的工序，改进工艺参数，引入新工艺、新技术，提升产品质量与生产效率，降低生产成本与能源消耗。

通过上述一系列举措，构建全面的精益管理体系。从流程优化、供应链协同、设备升级到工艺改进，实现企业运营的全方位精益化，持续提升企业的核心竞争力与经济效益。

（4）保障人才培养

在企业智改数转网联过程中，人才无疑是通往成功的核心要素。单一维度的技术能力已难以契合现代技术迅猛发展的节奏。技术人才，特别是高端技术人才，不仅要扎实掌握智改数转网联的通用知识体系，更须具备多元关键能力。

企业全力推进智改数转网联工作，急需大量实用型、高层次且专业型的人才队伍，精益化、数字化、智能化兼备的复合型人才更是求贤若渴。企业应着力建立并持续优化人才保障机制。积极推进产教融合，与高校、职业院校等教育机构紧密合作，共同制定贴合企业实际需求的人才培养方案，在课程设置中融入智改数转网联的前沿知识与实践项目。深化校企合作，搭建实习实训基地，让学生在真实企业环境中锻炼实操能力，毕业后无缝对接企业岗位。通过这些举措，源源不断地培养出真正有助于推动企业智改数转网联进程、助力企业稳健发展的优质人才。

5.1.2 分级分类实施建议

晶硅光伏电池企业因自身发展阶段以及所处产业链的位置不同，对智改数转网联有不同的焦点，需要选择不同的实施方案。

分级分类实施建议

大型晶硅光伏企业

依托自身优势，强化顶层设计，搭建一体化的数字化平台，将研发、生产、销售、供应链等全流程环节深度融合。引领产业发展，上下游产业链条

中型晶硅光伏企业

聚焦核心业务流程的数字化、智能化优化提升。积极谋划自身优势，向“专精特新”的方向发展。

积极与行业内数字化服务提供商合作，引入成熟的数字化解决方案。

小型晶硅光伏企业

从基础的数字化建设入手，实现核心设备数字化、智能化转型。

依托公共服务平台实现低成本智改数转网联。

图 5-2 分级分类实施建议图

对于大型晶硅光伏电池企业，它们通常已具备一定数字化基础且在行业内占据重要地位，拥有丰富资源与完善的产业链布局。这类企业应依托自身优势，强化顶层设计，搭建一体化的数字化平台，将研发、生产、销售、供应链等全流程环节深度融合。在研发环节，利用大数据分析与模拟仿真技术，加速新型晶硅材料与高效电池技术的研发进程。生产层面，构建智能工厂，全面应用工业互联网、5G、人工智能等技术，实现设备的互联互通与智能化管控。同时，整合产业链上下游资源，搭建供应链协同平台，与供应商实现数据实时共享，优化采购、生产、交货等流程，提升整个产业链的数字化协同水平，形成强大的产业集群效应。

中型晶硅光伏电池企业，数字化水平可能参差不齐，部分环节已实现数字化，但整体协同性有待提升。此类企业应聚焦核心业务流程的数字化优化，例如优化生产计划与排程系统，基于实时订单需求、产能、库存等数据，运用 APS 高

级计划排程系统，提高生产计划的准确性与灵活性，减少生产过程中的浪费。在物流管理方面，引入 WMS 仓储管理系统和 TMS 运输管理系统，优化仓储布局与运输路线，降低物流成本。积极与行业内数字化服务提供商合作，引入成熟的数字化解决方案，实现生产过程的可视化与精细化管理，逐步打通企业内部各环节的数据流通，提升运营效率与产品质量。

小型晶硅光伏电池企业，往往数字化基础较为薄弱，资金与技术实力相对有限。可从基础的数字化建设入手，首先实现办公自动化，引入财务管理软件、客户关系管理软件（CRM）等，提升企业日常运营管理效率。在生产环节，对关键设备进行数字化改造，如通过传感器实现设备运行数据的采集与监控，初步实现设备管理的数字化。借助行业公共服务平台，获取市场信息、技术资源等，参与区域内的产业联盟或合作组织，与其他企业共享数字化资源与经验，如联合采购、共享物流配送等，降低数字化转型成本。同时，积极寻求与高校、科研机构的合作，引入外部智力支持，逐步提升企业数字化能力。

5.1.3 实施优先级建议

晶硅光伏电池企业依托不同应按照自身产品的不同特点、企业规模的大小、现有智改数转网联水平，按照“急用先行”“效率有限”“降本增效”“快速投产”的原则按照前文提到的环节与场景，选择自身的最优方案。以下是通过与晶硅光

伏电池企业及设备供应商调研座谈后，给出的晶硅光伏电池行业智改数转网联实践路径优先级建议（表 5-1）。

表 5-1 光伏电池行业智改数转网联实践路径优先级建议

序号	细分场景	解决方案	链主企业/大型企业	骨干、重点企业/中型企业	小型企业
1	硅片环节智能排产	综合智能排产系统	★★★★	★★★★	★
2	电池环节基于物料和工艺智能排产				
3	光伏组件智能资源动态配置				
4	不同环节协同生产智能化改造场景				
5	智慧拉晶	单晶炉智慧化改造	★★★★	★★★★	★★★★
6	硅片切片智能化改造	硅片全流程自动化系统、基于人工智能技术的大尺寸、薄片化智能切片机	★★★★	★★★★	★★★★
7	电池片人工智能协同制造改造	智能化制造运营管理系统	★★★★	★★	★
8	大尺寸光伏组件网络协同智能制造改造		★★★★	★★	★
9	硅料、硅片、电池片智能仓储系统	拉晶环节自动化运输系统、立体库综合物流系统	★★★★	★	★
10	硅片、电池片、组件智能配送	电池环节全自动潜伏式 AMR 运输系统、光伏组件全自动包装线	★★★★	★★★★	★★★★
11	单晶炉智能管理与维保场景改造	智能运行监控系统	★★★★	★★	★★
12	硅片、电池、组件生产车间设备监控与远程诊断	设备故障诊断与预测系统	★★★★	★★	★
13	硅片、电池、组件生产设备预测性维护				
14	硅片破片智能检测改造	基于人工智能视觉识别的硅片破片智能检测及分选系统	★★★★	★★★★	★★★★

15	电池片人工智能缺陷检测	电池片片级质量追溯系统	★★★★	★★	★
16	电池组件 EL/VI-自动智能检测	大尺寸光伏组件 EL/VI-自动智能检测系统	★★★★	★★★★	★★★★
17	拉晶 ESG 智能能耗管理	综合能源管理系统、屋顶光伏系统	★★★★	★★	★
18	电池、组件生产综合能耗管理				
19	晶硅光伏工厂数字孪生改造	数字孪生虚拟产线解决方案	★★★★	★★	★
20	智能化工厂建设改造	智慧工厂智能化建设解决方案、智慧工厂 MOM“交钥匙”共建解决方案	★★★★	★★	★★
21	电池片制造环节的材料与结构优化	三位一体协同赋能晶硅光伏研发体系升级跃迁	★★	★	★
22	电池物理场耦合建模				
23	强化极端环境实现封装模拟				
24	新电池产品研发设计流程优化	构建晶硅光伏工艺设计的标准化与知识传承机制	★★★★	★★	★
25	硅片、电池片、电池组件工艺设计与仿真场景				
26	电池组件设计与集成优化场景				
27	搭建数字化安全管控和应急处置系统改造场景	综合安全管理信息平台	★★★★	★★★★	★★★★
28	基于人工智能等技术的安全风险预测预警和处置方案自动生成改造场景				
29	智能化环保管理平台场景	全流程废气废水智能化管控	★★★★	★★★★	★★★★
30	碳足迹管理平台改造场景	碳链数智化平台	★★★★	★★	★
31	销售与业务联动改造场景	以柔性制造+精准服务模式实现数字化营销管理	★★	★	★
32	基于客户大数据模型的服务体系改造场景				
33	组件环节维修与技	构建“技术-数据	★★	★	★

	术服务资料一体化 应用场景	-生态”三轮驱动 的全链条服务模式			
34	全生命周期客户服 务管理				
35	供应链全链路协同 数字化平台				
36	基于人工智能的产 供销一体化供应链 系统场景	搭建一体化供应链 计划体系	★★★	★★	★
37	组件环节弹性供应 链网络与敏捷计划 体系场景				
38	构建多层次供应网 络	基于多元供应链体 系强化采购与交付 韧性	★★	★★	★
39	晶硅光伏产业链采 购优化场景				
40	晶硅光伏全产业链 供应商数字化管理	应用人工智能技术 的智能化供应链风 险防控	★★★	★★	★

5.2 相关政策

近年来，江苏省出台一系列政策，推动晶硅光伏电池行业在数字化转型方面，高速发展。例如《关于全面提升江苏数字经济发展水平的指导意见》，提出建设一批数字经济特色产业园，加速园区数字基础设施、创新孵化空间、应用场景建设，推动实现数字产业集群发展，为光伏行业数字化转型提供了良好的产业环境和基础设施支持。出台《江苏省绿色制造体系建设实施方案》，鼓励光伏企业实施绿色制造和数字化转型，对通过绿色工厂、绿色供应链等认定的光伏企业，给予一定的政策支持和奖励，推动光伏行业的可持续发展。

在接网消纳与电网建设方面：出台《关于高质量做好全

省分布式光伏接网消纳的通知》，要求创新应用数字化技术，加强配电网层面源网荷储协同调控，有序开展交直流混合配电网、柔性互联等新技术应用，综合采用多种手段，逐步构建主配微网协同的新型有源配电网调度运行模式，提升电网综合承载力和灵活性。出台《江苏省“十四五”新型储能发展实施方案》，积极推动储能技术在光伏领域的应用，通过储能与光伏的协同发展，提高光伏电力的稳定性和可调度性，为光伏行业的数字化转型提供了技术支持和保障。

在技术创新与产业升级方面：出台《江苏省新能源和智能电网装备产业高质量发展三年行动计划》，聚焦新能源和智能电网装备产业，推动光伏等新能源产业的技术创新和智能化升级，鼓励企业加大数字化技术在光伏生产、运维等环节的应用。出台《关于推动能源电子产业发展的指导意见》，点出了在推动光伏产业智能化发展中关键的新兴技术产品，包括光电子器件、功率半导体、敏感元件、先进计算、数据监测以及运行分析系统等。

在财政与金融支持方面，出台《江苏省战略性新兴产业专项资金管理办法》，对光伏等战略性新兴产业的数字化转型项目给予资金支持，包括对企业开展的数字化技术研发、智能化生产设备购置、工业互联网平台建设等方面的补贴或奖励。《江苏省科技成果转化专项资金管理办法》鼓励光伏企业将数字化相关的科技成果进行转化应用，对符合条件的科技成果转化项目给予专项资金支持，加速光伏行业数字化

技术的推广和应用。

在人才培养与服务方面，出台《江苏省“十四五”制造业人才发展规划》，重视光伏等新兴产业的人才培养，提出加强数字化人才的引进和培养力度，为光伏行业数字化转型提供了人才保障。出台《江苏省产业人才培训基地建设管理办法》，支持建设光伏产业人才培训基地，开展针对光伏行业数字化转型的专业人才培训，提高从业人员的数字化技能和素质。

5.2.1 诊断评估相关政策

(1) 两化融合自评估与贯标

一是两化融合自评估自诊断自对标。基于《工业企业信息化和工业化融合评估规范》（国家标准 GB/T 23020），利用国家两化融合公共服务平台江苏省分平台，开展两化融合及数字化转型重点指标自评估，从而客观掌握企业自身智改数转网联水平基本情况。

全国两化融合服务平台—江苏分平台

(<https://jspg.cspiii.com>)



图 5-1 两化融合公共服务平台界面

江苏省高度重视两化融合与制造业数字化转型，依据国家标准《工业企业信息化和工业化融合评估规范》（GB/T 23020-2023），持续推进企业两化融合评估诊断和对标引导工作。国家工业信息安全发展研究中心连续十年支撑服务江苏省工业和信息化厅推进两化融合数据地图建设。

评估内容包括但不限于以下指标。

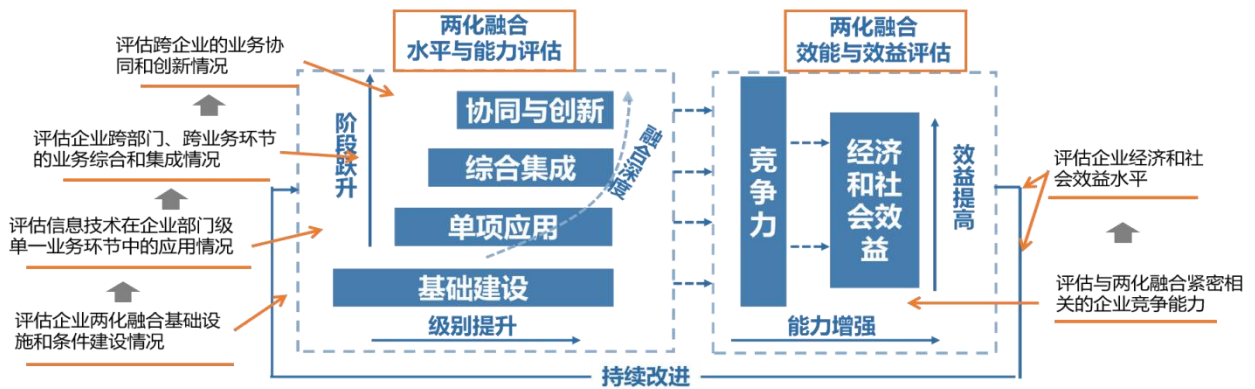


图 5-2 量化融合评价流程

二是两化融合管理体系贯标。两化融合管理体系系列标准是推动企业数字化转型的国家标准，主要致力于为企业数字化转型提供从发现问题到解决问题的全程服务，解决具体执行过程中方法工具支持、解决方案实施、管理机制落地、成效跟踪优化等问题。系列标准有：

《信息化和工业化融合管理体系 基础和术语》（ GB/T 23000-2017）
《信息化和工业化融合管理体系要求》（ GB/T23001-2017）
《数字化转型 参考架构》（ TAITRE 10001-2020）
《数字化转型 价值效益参考模型》（ TAITRE10002-2020）
《数字化转型 新型能力体系建设指南》（ TAITRE 20001-2020）
《两化融合管理体系 新型能力分级要求》（ TAITRE 10003- 2020）
《工业企业信息化和工业化融合评估规范》（ GB/T 23020- 2023）

（2）智能制造能力成熟度评估

《智能制造能力成熟度模型》（GB/T 39116-2020）规定了智能制造能力成熟度模型的构成、成熟度等级、能力要素

和成熟度要求。该标准适用于制造企业、智能制造系统解决方案供应商和第三方开展智能制造能力的差距识别、方案规划和改进提升。

企业可以通过智能制造数据资源公共服务平台（<https://www.c3mep.cn>）开展智能制造能力成熟度自评估。通过自评估可判定企业智能制造整体水平，帮助企业识别当前智能制造发展现状，提供与同行业同地区企业对比分析报告。

GB/T 39116—2020

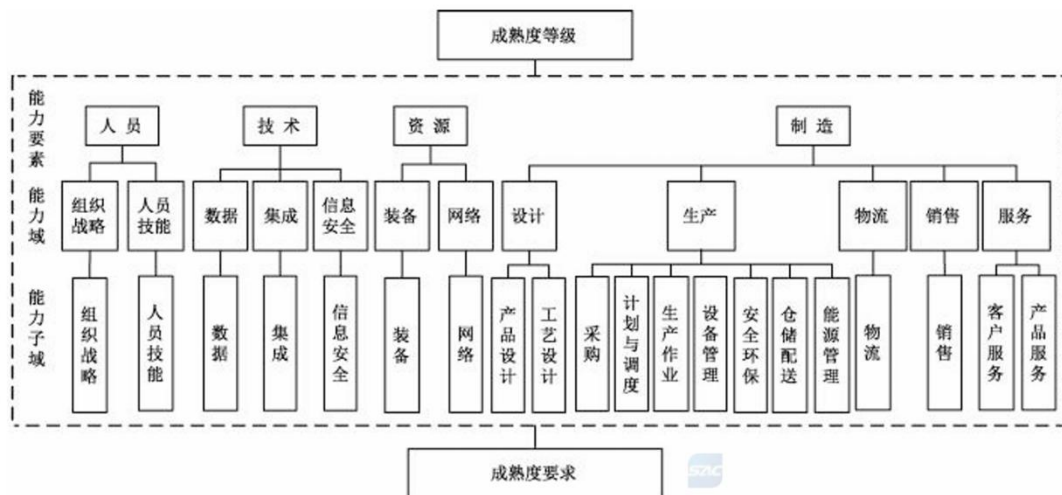


图 5-3 智能制成熟度评估指标

模型通过定义不同的成熟度层次和评估指标，帮助企业评估其在智能制造方面的发展水平，并提供相应的指导和建议。这个模型可以帮助企业了解自身的现状和发展需求，制定合理的发展战略和计划，提高智能制造能力和竞争力。

（3）数据管理能力成熟度评估（DCMM）

数据管理能力成熟度评估模型（Data Management

Capability Maturity Assessment Model) 是我国首个数据管理领域国家标准，将组织内部数据能力划分为八个重要组成部分，描述了每个组成部分的定义、功能、目标和标准。该标准适用于信息系统的建设单位，应用单位等进行数据管理时的规划，设计和评估。也可以作为对信息系统建设状况的指导、监督和检查的依据。

企业首先进行在线自评，后提交 DCMM 评估申请，由评估机构进行 DCMM 评估。评估入口如下图：



图 5-4 DCMM 评估入口

(4) 中小企业数字化水平测评

工业和信息化部 2024 年 9 月发布了《中小企业数字化水平评测指标（2024 年版）》，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，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。为中小企业数字化转型自评提供科学工具，支撑专精特新中小企业培育遴选工作、中小企业数字化城市试点等工作。线上评估

登录网址为 <https://zjtx.miit.gov.cn/szhzx/#/home>。

5.2.2 智能工厂相关政策

政策内容：为深入贯彻国务院关于推动制造业数字化转型的决策部署，认真落实省政府办公厅《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）》，江苏省工信厅于2025年1月27日正式印发《关于组织开展2025年江苏省先进级智能工厂申报工作的通知》，鼓励和引导企业在利用《江苏省企业数字化转型通用评估指标体系（2025年版）》评价基础上，对照《江苏省智能工厂梯度建设典型场景企业自评价参考（2025年版）》，开展智能工厂建设水平自评价。支持措施：通过认证企业可获省级奖励30万-80万元；优先纳入工信部智能制造专项项目库。相关标准：《智能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）

申报入口：企业在 www.c3mep.cn 可以开展智能制造能力成熟度自评，申报认定工作基于江苏政务服务网江苏省工业和信息化厅旗舰店“认定遴选类申请”板块（<https://www.jszfwf.gov.cn/col/col140127/index.html>）开展。



图 5-5 江苏省智能工厂申报入口

5.2.3 加快推进新能源产业集群高质量发展行动方案

政策核心内容：为进一步完善新能源产业发展政策体系，推进新能源产业集群高质量发展，根据国家促进新能源产业发展的相关政策文件和我省《加快建设制造强省行动方案》《关于加快培育发展未来产业的指导意见》等文件精神，制定本行动方案，实施期为 2025 年至 2027 年。

总体目标：全面贯彻党的二十大和二十届二中、三中全会精神，深入落实省委、省政府制造强省建设决策部署和 1650 产业体系要求，聚焦光伏、风电、氢能、新型储能等新能源重点产业链，坚持补短板 and 锻长板同步推进，坚持质量效益与有序发展并重，坚持打造生态和开放合作协同，不断

发展壮大新能源领域新质生产力。到 2027 年，新能源产业集群建设取得显著进展，为增强绿电供给能力、实现碳达峰碳中和目标提供坚实物质保障。

——关键技术取得突破。技术和产品优势持续巩固，新一代光伏电池、超大型风电机组、氢能“制储输用”和新型储能技术实现重大突破，产业链各环节实现共生共赢、协同发展。

——龙头企业加快培育。重点企业引领力和竞争力明显增强，累计培育 10 家具有生态主导力和国际影响力的行业领军企业，100 家国家级专精特新“小巨人”企业和 400 家左右“筑峰强链”重点企业，持续增强重点企业引领力和竞争力。

——集群建设成效明显。重点承载地区协同发展态势基本形成，行业规模、生产效率和市场竞争力保持国内领先。盐常宿淮光伏国家先进制造业集群建设取得显著进展，创新策源能力明显提升，产业布局不断优化，加快打造世界一流的新能源产业集群。

光伏方向：重点推动硅料、硅片、电池、组件、装备、辅材辅料及系统部件等环节均衡发展。硅料重点发展硅烷工艺颗粒硅等产品，降低产品能耗。硅片重点发展 N 型、大尺寸、薄片化产品，实现高效率、低成本发展。电池聚焦转换效率提升、叠层技术发展，推动 TOPCon、HJT、BC 等不同技术路线协同发展。组件环节聚焦大功率、低封装损耗、零主栅等技术，重点发展半片、双玻晶硅组件以及高效柔性、

光伏建筑一体化(BIPV)光伏组件等产品。加快提升大尺寸钙钛矿电池稳定性和效率，推进钙钛矿/晶硅叠层电池产业化。制造装备重点发展适用新一代光伏电池的化学气相沉积设备、物理气相沉积设备、涂布设备、真空镀膜设备、激光设备及检测设备。

支持事项：

（一）关键技术攻关行动

建立产业链长、短板技术攻关清单，分产业链分环节找准产业技术短板和强项。支持链主企业参与国家相关专项，开展联合攻关，省级层面滚动实施一批重大企业技术攻关项目。围绕重点产业链急需突破方向，鼓励龙头骨干企业牵头，整合产业链上下游创新资源，在钙钛矿、大功率风电传动链、新型储能电池、制氢装备等领域形成一批重大创新成果，率先形成技术先发优势。到 2027 年，实施攻关任务 30 项以上，光伏风电锻长板取得标志性成果。

（二）创新平台建设行动

对标国际一流水平，围绕海上风电、新一代光伏技术与装备等领域培育制造业创新中心，布局建设氢能、新型储能未来产业研究院，加快提升创新平台能级。发挥光伏科学与技术全国重点实验室、国家风力发电技术创新中心江苏分中心等重大创新载体引领作用，组织开展创新载体赋能新能源集群活动，推动形成一批创新合作成果。结合产业共性需求，加快建设大型风机叶片首台(套)重大技术装备应用验证平

台，支持龙头企业、专业公共服务机构建设新能源领域中试平台。到 2027 年，累计培育新能源重点创新平台 20 个左右。

（三）产品推广应用行动

将新能源产业列入省“三首两新”重点领域，开辟服务绿色通道，加大首购首用政策支持力度。积极推荐符合条件的产品申报国家首台(套)推广应用目录、重点新材料应用示范指导目录。支持企业打造“光储”“风储”“风光制氢”等融合系统解决方案，加快创新应用场景示范推广，鼓励建设光储充放多功能综合一体站建设，促进 5G 基站、数据中心、超算中心等与光伏、储能等融合应用。探索“绿氢”在合成氨、合成甲醇、冶金、炼化等工业领域替代应用，推动氢动力轨道交通、氢动力船舶运营，支持氢动力飞机研发验证。持续推动以海上风电为重点的风能资源高效利用，加快推进 265 万千瓦已核准海上风电项目建设并网，组织开展新一轮近海海上风电竞争性配置工作并推动项目实施。扎实推进深远海风电前期相关工作，积极争取国家深远海海上风电试点项目。到 2027 年，培育“三首两新”产品 100 个左右，多元化能源应用场景更加丰富。

（四）筑峰强链企业培育行动

实施筑峰强链企业培育支持计划，梯度培育准链主企业、骨干企业和重点企业。聚焦新能源重点产业链关键基础材料、设备和零部件技术创新和产品迭代，加快培育一批具有潜力的“单项冠军”和“配套专家”。建立服务重点企业直通

车机制，积极开展政策宣贯和对接服务。支持举办世界新能源博览会等重大活动，积极搭建产销对接平台，发挥重点企业带动作用，促进产业链大中小企业融通发展，努力构建良好的产业生态。到 2027 年，筑峰强链重点企业梯度培育机制基本完善，领军企业生态主导力和国际影响力显著增强。

（五）产业集群发展行动

加快形成以苏南为技术创新策源地、苏中苏北为核心产业联动协作区、沿海地区为融合应用前沿地的区域协同发展格局。苏南地区重点发展新能源高端制造和创新技术，打造新能源装备制造创新引领区。苏中苏北地区深化产业协同合作，促进光伏、储能等产业链强链、补链、延链。沿海地区积极探索海上风光制氢等前沿技术，建设海上风电运维基地和风电装备母港。以盐常宿淮光伏国家先进制造业集群建设为重点，推动全省新能源产业集群优化布局和协同发展。到 2027 年，新能源集群发展格局进一步优化，重点承载区规模占全省比重达到 70%左右。

（六）智改数转网联行动

编制晶硅光伏电池、风电传动链、电化学储能等细分领域智改数转网联实施指南，模块化梳理数字化转型关键环节和应用场景，建立典型场景库和智能装备、软件和服务商清单，分领域开展场景推广和应用。加快推动人工智能赋能新能源产业，全面推进视觉检测、智能运维等场景应用。推动新能源企业及产品“上云用平台”，开展产业链上下游要素线

上对接。积极发展风电装备、光伏设备、制氢装备等数字孪生，打造设计、生产、集成、运维等多环节一体化全生命周期管控系统。到 2027 年，培育 30 个先进级以上智能工厂。

（七）绿色制造推进行动

支持企业申报国家绿色技术推广目录和节能降碳技术装备推荐目录，鼓励企业对照《光伏电池行业清洁生产评价指标体系》《电池行业清洁生产评价指标体系》开展清洁生产。探索开展风电、光伏等高端装备再制造，推动光伏组件、储能电池、风机叶片等新兴固废综合利用技术装备攻关和产业化。强化产品全生命周期绿色管理，支持创建国家级和省级绿色工厂、绿色供应链管理示范企业、零碳工厂、零碳园区。到 2027 年，累计培育新能源领域绿色工厂 100 家。

（八）产业基础能力提升行动

以国家《光伏产业标准体系建设指南》《锂电池产业标准体系建设指南》等为指引，推动组建光伏标准化技术委员会，加快钙钛矿电池、新型储能电池等技术标准制定。发挥国家级太阳能光伏、风电设备、高端储能产品等质量检验检测中心作用，助力提升产品质量。引导重点企业和平台建立健全高价值专利培育和常态化专利导航工作机制，加强专利前瞻性布局。支持龙头企业牵头组建知识产权创新联合体，加快构建重点产业链专利池。深入实施专利转化运用专项行动，建设新能源领域知识产权运营中心，加强光伏、储能电池等专利密集型产品培育发展，探索开展新能源领域重大项

目知识产权分析评议。加大知识产权侵权行为的监管和打击力度。到 2027 年，新能源产业标准体系基本完善，专利申请量保持全国前列。

（九）海外市场拓展行动

支持企业参加德国汉诺威国际工业博览会、阿布扎比世界未来能源展、埃及太阳能光伏及储能展览会等境外展会。推动新能源企业以“一带一路”沿线为重点开拓海外市场，开展大型光储一体化、可再生能源制氢等项目工程总承包。鼓励出口导向型企业开展碳足迹核查报告及环境、社会和公司治理(ESG)报告编制和认证，加强与国际相关机构、企业的交流合作。跟踪国际经贸动态，及时发布贸易预警信息。建立健全光伏等产业知识产权海外风险监测预警机制，指导产业集聚区、行业组织和企业及时发现和处置知识产权风险。到 2027 年，新能源主要产品出口保持稳定，对外合作水平明显提高。

5.2.4 工业互联网相关政策

政策内容：为加快数字技术与实体经济深度融合，增强工业互联网赋能产业发展能级，促进制造业“智改数转网联”，推进制造强省、数实融合强省建设，制定并发布《关于推进工业互联网平台高质量发展的若干措施》，强调要实施平台赋能产业培优行动、平台创新能级提升行动、平台应用水平深化行动、平台生态体系发展行动和平台要素机制保障行

动。

支持措施：对综合评价排名前十的重点工业互联网平台企业，按上年度营业收入的 10% 给予补助，最高不超过 500 万元。

对新入选国家级“双跨”工业互联网平台的企业给予一次性 1000 万元奖励。

对新入选国家级特色专业型工业互联网平台和国家级工业互联网试点示范项目（平台类）的，给予一次性 200 万元奖励。

对入选国家级工业互联网试点示范项目（新技术类）的，给予一次性最高 300 万元奖励。

对获批国家级创新载体并获得国家相关项目资金支持的，有条件的地区可按规定给予支持。

对符合条件的省级智能制造示范工厂项目，按不超过项目总投资的 10% 予以补助，单个项目支持额度最高不超过 1000 万元。

鼓励有条件的地区给予补贴奖励，支持企业深入探索新模式新业态。

鼓励有条件的地区可通过专项资金补贴等方式降低企业上云成本，每年创建一批星级上云企业。

鼓励金融企业运用大数据探索产融合作新模式，推进基于工业互联网平台的产融协作服务创新。

拓宽优质工业互联网平台企业融资渠道，鼓励金融机构

提供并优化相关服务。

将符合条件的工业互联网企业纳入“苏信贷”“专精特新贷”等政银合作信贷产品支持范围，发挥贷款贴息政策作用，有效降低工业互联网企业融资成本。

建设要点：推动构建工业数据流通体系和资源体系，组织开展工业数据资产登记、资产入表、可信数据空间等试点示范。支持鼓励各地创建工业数据资产登记城市节点，完善工业数据确权登记、质量评估、价值评估等服务体系。加快工业互联网平台数据安全行业标准制定，建立数据安全审查机制。推动接入省级工业互联网安全态势感知平台，常态化开展平台敏感信息和关键数据审查。建设数据安全培训体系，系统开展数据安全培训，定期组织数据安全应急演练，提高平台应急响应能力。建立跨工业互联网平台的数据安全联动机制，促进平台间信息共享，防范化解数据安全风险。

5.2.5 专精特新相关政策

政策内容：江苏省各市为深入贯彻国家和省关于加快推进新型工业化的决策部署，全力推动工业项目引进推进、投产扩产，加快工业领域设备更新、智改数转网联步伐制定相关政策。如南通《关于加快推进新型工业化的若干政策措施》、盐城《关于加快推进新型工业化的若干政策措施》等。

支持措施：

南通市支持企业牵头建设新型研发机构，按年度运营绩

效给予每年最高 100 万元、不超过 3 年的运营补助。对获得国家、省新认定的制造业创新中心、产业创新中心、技术创新中心，分别给予最高 200 万元、100 万元奖励。对专精特新等高质量制造业新开工项目，按不超过符合条件的投入额的 10% 补助，单个项目最高补助金额不超过 2000 万元。对获得国家制造业单项冠军企业给予最高 100 万元奖励。对新认定的国家级专精特新“小巨人”企业给予最高 50 万元奖励。

盐城市对设备投资 500 万元以上，按 5% 奖励，最高 500 万元。制造业单项冠军企业、专精特新“小巨人”企业、专精特新中小企业分别奖励 100 万元、100 万元、30 万元。年度智能化设备及工业软件等有效投入 500 万元以上，按 10% 补助，最高 500 万元。国家级中小企业公共服务示范平台等一次性奖励 50 万元。省级公共服务平台一次性奖励 20 万元。

5.2.6 专项资金

（1）国家级专项资金

自 2017 年我国大力推进工业互联网创新发展以来，工业和信息化部每年发布“工业互联网创新发展工程”项目，于中招国际招标有限公司（网址 www.cntcitic.com.cn）公开招标，项目资金来源为中央财政资金，招标人为工业和信息化部信管局。2021 年“工业互联网创新发展工程”项目有 6 项，包括服务器采购、面向重点领域工业互联网基础支撑及赋能公共服务平台、产业链协作和供应链预警平台、物联网基础安全

接入监测平台、“5G+工业互联网”行业虚拟专网服务平台、标识解析全要素集成平台。投标人的专项申报项目基本情况表须经省工信厅盖章推荐，投标人注册地、项目主要内容所在地均应在江苏省内。

为推进企业数字化转型，加快培育基于工业互联网平台的新模式新业态，贯彻落实国家区域重大战略，工信部每年组织多类试点示范项目。企业编写申报材料报送省工信厅，由省工信厅推荐报送工信部。

1.新一代信息技术与制造业融合发展试点示范

围绕深化新一代信息技术与制造业融合发展，聚焦“数字领航”企业、两化融合管理体系贯标、特色专业型工业互联网平台等方向，遴选一批试点示范项目，探索形成可复制、可推广的新业态和新模式，为制造业数字化转型注入新动能。《工业和信息化部办公厅关于组织开展2022年新一代信息技术与制造业融合发展试点示范申报工作的通知》发布于工信部网站。

2.工业互联网试点示范

围绕工厂类、载体类、园区类、网络类、平台类、安全类6类22个具体方向，遴选一批工业互联网试点示范项目。

《工业和信息化部办公厅关于组织开展2022年工业互联网试点示范项目申报工作的通知》发布于工信部网站。

3.工业互联网平台创新领航应用案例

聚焦工业企业数字化转型面临的关键问题，围绕平台

化设计、数字化管理、智能化制造、网络化协同、个性化定制、服务化延伸等六大应用模式，征集遴选一批技术先进、模式创新、成效显著、易复制推广的工业互联网平台创新领航应用案例。《工业和信息化部办公厅关于开展2022年工业互联网平台创新领航应用案例征集活动的通知》发布于工信部网站。

4.智能制造示范工厂

遴选一批智能制造优秀场景，以揭榜挂帅方式建设一批智能制造示范工厂，树立一批各行业、各领域的排头兵，推进智能制造高质量发展。

5.国家新型工业化产业示范基地

示范基地申报分两个系列，即规模效益突出的优势产业示范基地和专业化细分领域竞争力强的特色产业示范基地。2021年度申报领域主要包括：装备制造业、原材料工业、消费品工业、电子信息产业、软件和信息服务业、高技术转化应用，以及其他领域（产业转移合作、大数据、云计算、数据中心、工业互联网等）。《工业和信息化部办公厅关于开展2021年度国家新型工业化产业示范基地申报工作的通知》发布于工信部网站。

（2）省级专项资金

1.江苏省制造强省建设专项资金。

2024年3月于省工信厅网站发布《关于组织2024年度江苏省制造强省建设专项资金项目申报的通知》，专项资金

重点支持四大方向：重点产业技术创新、智改数转网联、产业转型升级、服务体系建设。

政策内容：为贯彻落实省委、省政府《加快建设制造强省行动方案》（苏办发〔2023〕15号），推进新型工业化，加快构建现代化产业体系，根据《江苏省省级财政专项资金管理办法》（省政府令第138号）、《江苏省制造强省建设专项资金管理办法》和2024年度江苏省制造强省建设专项资金预算，发布2024年度江苏省制造强省建设专项资金项目指南。

支持重点：重点产业技术创新。重点支持企业创新载体建设、“1650”产业体系协同攻关、创新产品首购首用、产业人才培育等。智改数转网联。重点支持工业软件推广应用、智改数转网联项目建设、优秀服务商培育等。产业转型升级。重点支持淘汰落后改造、绿色制造、服务型制造升级示范等。服务体系建设。重点支持中小企业公共服务平台建设、“1650”产业服务体系建设和国家、省委、省政府部署的重大任务和活动。

申报流程：（一）项目申报采取网上申报的方式进行，进入省工信厅网上政务服务旗舰店（网址：<https://www.jszfw.gov.cn/col/col140127/index.html>），点击“江苏省制造强省建设专项资金项目管理系统”（原省级工业和信息化产业转型升级专项资金项目立项审核）进入申报页面。

六、愿景与展望

（一）技术创新与产业发展相融合，关键材料研发力度增大

江苏省晶硅光伏电池行业将向产业向高端化、智能化、绿色化方向发展，持续致力于颗粒硅等高效低耗硅料技术的研发，确保在硅料领域保持技术领先；PERC+、TOPCon、HJT等先进电池技术将加速产业化，提升光伏电池的转换效率和稳定性；钙钛矿等新型电池技术将受到更多关注和支持，以实现更高的能源转换效率和更低的制造成本；在金刚线线体材料、丝网材料、低温银浆用银粉制备等关键材料领域，江苏将加大研发力度，确保材料的质量和供应稳定；逆变器用IGBT元器件的研发将进一步加强，以提升逆变器的效率和可靠性。

（二）技术创新载体建设加快，推动光伏智能制造升级

目前江苏省光伏相关上市企业数量位居全国前列，国家级专精特新“小巨人”光伏企业遍布上游的硅料、硅片，中游的电池、电池组件及下游的应用系统，光伏产业基本形成大企业领衔、中小企业配套的格局，建成完整、坚韧的光伏产业链，竞争力突出。未来应进一步加强光伏技术创新平台建设，包括研发中心、实验室、孵化器等，为技术创新提供有力支撑；鼓励企业与高校、科研机构合作，共同开展光伏技术创新和成果转化；通过引入先进制造技术和设备，提升光

伏产品的制造效率和品质；推广智能制造模式，实现生产过程的自动化、数字化和智能化。

（三）提高绿色化发展水平，提升供应链保障能力

为降低晶硅光伏电池生产过程中的能耗和排放，产业已逐步开展绿色化改造，江苏积极推广绿色供应链理念，引导行业形成绿色、低碳、循环的发展模式；加强供应链风险管理，确保关键原材料和设备的供应稳定；优化供应链管理，降低库存和运营成本，提高响应速度和灵活性。实现全链条绿色发展。开展全链条绿色发展，支持研发和应用节能节水技术、材料和装备，实施智能光伏清洁生产，降低污染物排放。开发低碳材料、工艺、装备，鼓励利用可再生能源生产，促进行业优先低碳转型。研究制定光伏行业碳排放控制目标和行动方案，制定光伏发电全生命周期碳足迹评价标准并开展认证。研究开发退役晶硅光伏电池资源化利用的技术路线和实施路径，推动废旧晶硅光伏电池回收利用技术研发及产业化应用，加快资源综合利用。

江苏省晶硅光伏电池行业的数字化转型充满希望。随着各项数字化技术的深入应用，行业将在生产效率、产品质量、供应链协同以及研发创新等方面实现质的飞跃，为江苏乃至全球的清洁能源事业做出更大贡献。

附件：1.人工智能典型应用场景

2.投入改造清单及图谱

3.典型案例

4.服务商目录

5.技术缩略语

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

一、生产过程质量控制

在电池生产的各个环节，利用人工智能技术对生产过程中的数据进行实时监测和分析，及时发现潜在的质量问题。采用机器学习算法，如支持向量机（SVM）、随机森林等，建立质量预测模型。通过对大量历史生产数据的学习和分析，确定工艺参数与质量指标之间的关系，从而实现对生产过程质量的实时预测和控制。有效降低了次品率，提高了产品质量和生产效率，减少了因质量问题导致的原材料浪费和生产成本增加。

例如，在扩散工序中，通过分析温度、气体流量等参数数据，预测扩散效果是否符合要求；在刻蚀工序中，根据刻蚀时间、功率等数据判断刻蚀质量，及时调整工艺参数，以确保电池的质量稳定性。

二、电池性能预测

在电池生产完成后，利用人工智能技术对电池的性能进行预测。通过对电池的外观、电学参数等多维度数据的分析，预测其光电转换效率、填充因子、开路电压、短路电流等性能指标，为电池的分级和应用提供依据。运用深度学习算法，如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）的结合，

对电池的图像数据和电学参数数据进行深度特征提取和分析，建立性能预测模型。帮助企业更准确地评估产品性能，优化产品分级，提高产品在市场上的竞争力，同时也有助于企业根据预测结果优化生产工艺，提升整体生产水平。

三、设备故障诊断与预测性维护

对生产设备的运行状态进行实时监测，利用人工智能技术分析设备的振动、温度、电流等数据，及时发现设备的潜在故障，并提前进行维护，避免设备故障导致的生产中断和损失。基于深度学习的自动编码器（AE）和长短期记忆网络（LSTM）模型，对设备运行数据进行异常检测和故障预测。自动编码器用于学习设备正常运行时的数据特征，LSTM用于捕捉数据的时间序列信息，从而及时发现设备运行中的异常情况并预测故障发生的可能性。提高了设备的可靠性和稳定性，减少了生产中断的风险，降低了设备维护成本和维修时间，提高了生产效率和设备利用率。

四、原材料质量检测与筛选

在原材料采购和入库环节，利用人工智能技术对硅片、银浆、铝浆等原材料进行质量检测 and 筛选。通过对原材料的外观、成分、物理性能等多维度数据的分析，快速准确地判断原材料的质量是否符合要求，剔除不合格品，确保投入生产的原材料质量可靠。运用计算机视觉技术结合深度学习算

法，对原材料的外观进行检测，识别表面的缺陷和杂质；同时利用光谱分析技术结合机器学习算法，对原材料的成分进行分析和判断。保证了原材料的质量，从源头上减少了产品质量问题的发生，降低了生产成本，提高了产品的一致性和稳定性。

五、能源管理与优化

对企业生产过程中的能源消耗进行实时监测和分析，利用人工智能技术建立能源消耗模型，优化生产设备的运行参数和生产计划，实现能源的高效利用和节能减排。采用深度强化学习算法，以能源消耗最小化为目标，通过不断试错和学习，优化设备的运行策略和生产调度方案。同时结合传感器网络和数据采集系统，实时获取能源消耗数据和设备运行状态数据，为算法提供数据支持。降低了企业的生产成本，提高了能源利用效率，符合国家节能减排的政策要求，提升了企业的社会形象和可持续发展能力。

2、行业智能化改造装备清单

环节与场景	装备名称	主要功能	是否国产
智慧拉晶场景改造	直拉单晶炉	单晶炉以石墨电阻加热器加热，将填充在石英坩埚内的多晶硅材料熔化，用直拉法生长无位错的高质量单晶设备。	是
	高温硅棒 AGV 运输车	运输高温硅棒。	是
	单晶硅棒检测设备	检测单晶硅棒质量。	是
	单晶截断机	该产品用于硅棒制造工序的截断环节，直接对接 AGV 上料，不需要桁架机械手。	是
硅片切片智能化改造场景	单晶开方机	用于硅片制造工序的开方环节。	是
	单晶磨抛一体机	用于硅片制造工序的开方、倒角、磨面、抛光环节，硅棒一次装夹，在工位流转中通过高精度转台精确定位，完成所有加工环节。	是
	金刚线晶硅切片机	用于硅片制造工序的切片环节。	是
	潜伏式 AGV	用于各个环节运输和自动上下料。	是
	硅片清洗机	通过超声波来清洗硅片表面。	是
	硅片智能检测分选机	检测硅片质量并按照不同质量进行分选。	是
电池片人工智能协同制造改造场景	硅片链式吸杂前清洗设备	用于在硅片链式吸杂工艺前，对硅片进行高效清洗，去除表面的杂质、油污及其他污染物，为后续吸杂工艺提供洁净的硅片表面。	是

硅片制绒清洗机(湿化学处理设备)	通过特定的化学溶液和工艺,对硅片表面进行腐蚀制绒,并在制绒过程中完成清洗,增加硅片表面的陷光效果,提高光电转换效率。	是
扩散炉	用于在高温环境下通过热扩散工艺将特定杂质(如硼、磷、砷等)均匀掺入硅片中,以改变材料局部的电学性质。	是
刻蚀设备	刻蚀设备是实现关键结构加工、保障电池电学性能的核心设备之一。其主要作用是通过物理或化学方法,精确去除硅片表面特定区域的材料或掺杂层,形成符合设计要求的电学结构。	是
智能 PECVD 机器	用等离子体增强化学气相沉积技术,在硅片表面精确沉积高质量的薄膜,如氮化硅等,用于电池片的减反射和钝化,提升电池片的性能。	是
智能 PVD 机器	采用物理气相沉积方法,将金属或其他功能材料沉积在硅片或电池片表面,形成具有特定功能的薄膜,如电极薄膜等,以满足电池片的电学性能要求。	是
丝网印刷机	通过丝网模板将银浆、铝浆等导电浆料精确印刷到电池片表面,形成电极和背场,实现电池片的电流收集和传输功能。	是
电池片智能检测机	运用光学、电学等多种检测技术,对电池片的外观、电学性能等进行快速、精确检测,识别出存在缺陷或性能不达标的电池片。	是

	电池片智能分选机	根据电池片的电学性能参数，如转换效率、开路电压、短路电流等，对电池片进行自动分类，将其分选到不同的等级，以便于后续的组件封装和应用。	是
大尺寸光伏组件网络协同智能制造改造场景	全自动串焊机	能自动将多个电池片通过焊带焊接成电池串，焊接精准且速度快，提升光伏组件生产中电池片串联环节的效率和质量。	是
	层压机	把敷设好的光伏组件，在高温、真空的环境下进行层压，使 EVA、玻璃、电池片和背板等材料牢固地黏合在一起，形成完整的光伏组件。	是
	排版机	按照预设的布局规则，自动将电池串排列在玻璃或背板上，确保电池串的排列整齐、间距均匀，为后续层压工序做好准备。	是
	EVA 裁切铺设机	精确裁切出合适尺寸的 EVA 胶膜，并将其自动铺设在电池串上，保证 EVA 胶膜的铺设位置准确、平整，起到封装和保护电池片的作用。	是
	机器人上玻机	利用机器人的高精度操作，将玻璃准确抓取并放置到指定的生产工位上，提高玻璃上料的效率和准确性，降低人工劳动强度。	是
	双玻合模机	将两片玻璃与中间的电池片等材料精准合模，使双玻光伏组件的各层材料紧密贴合，确保组件的结构稳定性和密封性。	是
	自动装框系统	自动完成光伏组件边框的组装工作，将边框准确安装到组件四周，实现装框过程的自动化、标准化，提升装框质量和速度。	是

	接线盒安装机	自动把接线盒安装到光伏组件的指定位置，并完成接线等操作，保证接线盒安装牢固、电气连接可靠，便于组件与外部电路连接。	是
硅料、硅片、 电池片智能仓 储系统改造场 景	自动输送线	通过连续的机械传动装置，自动输送物料或产品。	是
	往复提升机	在垂直方向上以往复运动的方式提升或下降货物。	是
	无缝衔接托盘 四向穿梭车	能在平面上沿四个方向行驶，以无缝衔接的方式搬运托盘货物，实现高效的仓储物流自动化运输。	是
	堆垛机	在仓库等场所中，用于自动堆码和存取货物，将货物准确地放置在货架指定位置或从货架取出，提高仓储空间利用率和货物出入库效率。	是
硅片、电池片、 组件智能配送 场景	潜伏 AMR 运输 机器人	通过潜伏到物料下方，举升并搬运物料，常用于光伏等行业生产线上物料的自动转运，以实现高效、灵活的物料配送。	是
	重载 AMR 运输 机器人	主要用于承载和搬运较重的物品，如光伏生产中的大型设备部件、晶棒等，可减轻人工搬运负担，提高物流运输效率。	是
	重载防爆 AMR 运输机器人	能够在具有易燃易爆危险的环境中，安全地搬运重载物料，例如在多晶硅生产车间等场景，可避免因静电等引发的安全事故。	是
	取晶 AMR 运输 机器人	专门应用于拉晶环节，能精准地提取晶棒，实现晶棒从生长设备到后续处理工序的自动化转运，保证取晶过程的稳定性和准确性。	是

	切片 AMR 运输机器人	在硅片切片生产中，负责将粘棒后的晶锭与切片设备自动化对接，以及完成切片后的物料转运等工作，提升切片工序的自动化程度。	是
	一体式 AMR 运输机器人	可根据不同料盒形态的转运需求，直接将物料存放在机器人仓位内，完成电池片生产中制绒、扩散等多个工序间的物料转运，并能平衡工序间的生产节拍。	是
	叉取 AMR 运输机器人	利用叉取机构对货物进行叉取和搬运，常用于光伏组件生产环节中，对托盘货物或其他具有一定规格的物料进行高效搬运和堆垛。	是
硅片智能检测场景	硅片智能检测机	检测硅片质量并按照不同质量进行分选。	是
电池片智能检测场景	机器视觉系统	采用高速相机和图像处理技术，对电池片的外观进行全面检测，包括表面脏污、缺角、裂片、印刷偏移等缺陷，同时精确测量电池片的尺寸。	是
	X 射线检测设备	可以穿透电池片，检测内部电极的连接情况、隐裂等肉眼无法观察到的缺陷，确保电池片内部结构的完整性。	是
	太阳能电池 IV 测试仪	测量电池片的电流、电压特性曲线，得到开路电压、短路电流、最大功率、填充因子等关键电学参数，评估电池片的发电效率。	是
	EL 测试仪	通过给电池片施加正向偏压，使其发出红外光，检测电池片内部的晶体缺陷、裂纹、断栅等问题，这些缺陷会影响电池片的发电性能和使用寿命。	是

电池组件 EL/VI-人工智 能自动智能检 测场景	人工智能视觉 检测仪器	借助人工智能与机器视觉技术，人工 智能视觉检测仪器能快速、精准地检 测光伏组件外观。	是
	IV 功率测试机	功率测试机主要用于测量光伏组件 的电流电压特性曲线。	是
	绝缘耐压测试 机	绝缘耐压测试机用于检测光伏组件 的绝缘性能和耐压能力。	是
	EL 测试仪	通过给电池片施加正向偏压，使其发 出红外光，检测电池片内部的晶体缺 陷、裂纹、断栅等问题，这些缺陷会 影响电池片的发电性能和使用寿命。	是

3、数字化转型数据要素清单

序号	环节与场景	数据要素类型	描述
1	计划调度	订单需求与优先级数据	订单需求与优先级数据是计划调度的起点，包括产品规格（如硅片尺寸、电池片类型）、订单数量、交货日期等。这些数据直接决定生产计划的目标
2		工序产能与设备数据	工序产能与设备约束数据是调度的核心输入，涵盖各工序设备的最大产能、关键工序识别、设备可用时间及工艺路线。通过分析这些数据，可优化关键环节排产，平衡各工序负荷，避免设备空转或过载
3		物料库存数据	物料库存与供应链数据保障生产连续性，包括库存数量、物料周转率等，也包括供应商提供的交货数据。是确保物料流与生产计划同步的关键
4		实时生产进度数据	实时生产进度数据涵盖生产任务、进度状态、时间、设备运行及人员工作等关键信息，其来源广泛，包括设备自动化系统、生产管理软件、传感器及人工录入。这些数据能为生产决策提供有力支持，助力提升生产效率、把控产品质量
5	生产作业	设备工艺参数数据	设备工艺参数数据是生产中决定产品物理与电学性能的核心数据，包括关键设备的运行参数，如温度曲线、拉晶速度、线锯张力、气体配比等。这些参数的精准控制直接成品质量，需通过实时监控与质量数据联动分析，保障工艺稳定性与良率
6		物料与质量检测数据	物料与质量检测数据贯穿原材料入厂到成品出厂的全流程，包括硅料纯度、杂质含量、硅片尺寸偏差、表面缺陷，以及电池片电性能参数和成品耐候性测试结果等。是实现质量追溯、降低不良品率的关键依据
7		生产计划与产能数据	生产计划与产能数据用于平衡生产资源、优化产能分配，包含订单需求（规格、交期、优先级）、各工序设备产能、关键工序识别及库存状态等。通过聚焦关键环节，结合订单优先级与设备可用时间，智能排产系统可最大化设备利用率、缩短生产周期，确保订单按时交付并降低库存成本
8		实时生产进度与异常数据	实时生产进度与异常数据反映生产现场动态，包括设备运行状态、在制品位置、能耗

			数据，以及设备故障报警、参数超限、物料短缺等异常事件及处理记录。通过制造执行系统（MES）或数字孪生技术实时监控
9	仓储物流	库存数据	库存数据能够实时反映晶硅光伏产品及其相关原材料、零部件等在仓库中的存储状况。可以让企业了解到当前原材料的储备量，以及是否能够满足生产线上的需求
10		运输成本数据	运输数据涵盖了运输方式、运输路线、运输时间、运输成本等方面的信息，运输成本数据可以让企业清晰地了解物流环节的费用支出，通过分析运输成本的构成，企业可以采取相应的措施进行优化
11	设备管理	设备运行状态数据	包括各个生产环节生产线自动化设备的运行参数、工艺参数、运行时长、停机时长等参数，是了解设备运行状态的重要数据来源
12		维护保养记录数据	包括维护日期、维护人员、维护内容，以及维护后的设备状态评估包括设备维护保养的相关信息。该数据对保障设备稳定运行和延长使用寿命至关重要
13		故障维修数据	主要涵盖设备故障发生的时间、现象、原因分析以及采取的维修措施和维修结果等内容等。通过对大量故障维修数据的统计和分析，可以发现设备的常见故障模式和薄弱环节，进而针对性地进行设备改进
14	质量管控	原材料检测数据	原材料检测数据涵盖了硅料、硅片、电池片、组件等每个产业链条环节的上一环节产品的各项检测指标
15		生产过程工艺参数数据	指各个工艺流程的关键参数，例如硅片清洗的温度、时间和化学试剂浓度，扩散工艺中的磷源流量、扩散温度和时间，刻蚀工艺的气体流量、刻蚀时间和功率等等，通过实时监测和记录生产过程中的工艺参数数据，并与标准参数进行对比分析，可以及时发现工艺异常，采取调整措施，保证产品质量的一致性和稳定性
16		成品性能测试数据	成品性能测试数据是对晶硅光伏产品质量的最终检验。这些数据硅棒质量、硅片质量、电池片和组件的光电转换效率等，是检验企业产品的最重要数据
17	能源管控	用电量数据	各个环节生产过程中用电量情况
18		用水量数据	各个环节生产过程中用水量情况
19	工厂建设	设备互联互通数据	如硅片切割设备、电池片生产设备、组件封装设备等之间的通信与协同情况等
20		工艺流程仿真数据	包括各个环节的工艺参数等，工艺流程仿真数据是构建生产工艺构建数字模型的基础
21	产品设计	成品性能参数	成品性能测试数据是对晶硅光伏产品质量的

22			最终检验。这些数据包括，硅棒质量、硅片质量、电池片和组件的光电转换效率等，是检验企业产品的最重要数据
23		原材料检测数据	原材料检测数据涵盖了硅料、硅片、电池片、组件等每个产业链条环节的上一环节产品的各项检测指标
24	工艺设计	生产过程工艺参数数据	指各个工艺流程的关键参数，例如硅片清洗的温度、时间和化学试剂浓度，扩散工艺中的磷源流量、扩散温度和时间，刻蚀工艺的气体流量、刻蚀时间和功率等等，通过实时监测和记录生产过程中的工艺参数数据，并与标准参数进行对比分析，可以及时发现工艺异常，采取调整措施，保证产品质量的一致性和稳定性
25		设备运行状态数据	包括各个生产环节生产线自动化设备的运行参数、工艺参数、运行时长、停机时长等参数，是了解设备运行状态的重要数据来源
26		成品性能测试数据	成品性能测试数据是对晶硅光伏产品质量的最终检验。这些数据包括，硅棒质量、硅片质量、电池片和组件的光电转换效率等，是检验企业产品的最重要数据
27	营销管理	产品市场需求数据	涵盖了市场对不同类型、规格晶硅光伏产品的需求数量、需求趋势以及潜在需求等方面的信息
28		成品成本	涵盖了各个产业环节成品的生产成本，包含用电、用水、人工、设备折旧等参数
29	售后服务	产品故障数据	产品故障时间、地点、频次、设备名称等参数
30		客户反馈数据	客户满意度、客户投诉、客户偏好、客户采购产品明细、客户退货明细、客户付款周期付款额等参数
31		维护记录数据	维修时间、地点、维修设备名称、故障名称、故障频次等参数
32	供应链	供应商数据	供应商类型、产品、属地、供应商评价、供应商收付款周期、额度等参数
33		供应环节数据	供应链关键环节各项指标、行业政策、关税政策等数据

4、知识模型资源清单

环节	知识模型名称	模型描述
研发设计	材料性能预测模型	基于计算模拟，预测硅料掺杂浓度、银浆烧结特性等材料参数
	光伏电池结构优化模型	通过工具建立 PN 结构、背表面场等结构参数与光电转换效率的映射关系
	可靠性加速衰减模型	基于方程构建应力条件下的寿命预测模型
	工艺参数反推模型	基于电性能参数，反向推导最佳工艺参数组合
	研发知识图谱	整合专利、实验日志等非结构化数据，构建材料、工艺、性能关系的知识网络
生产制造	质量缺陷分类模型	基于深度学习算法，集成视觉模型，实现隐裂、污染等缺陷的实时分析
	设备健康度评估模型	结合振动分析、温度传感器数据，构建预测模型识别设备故障早期征兆
	工艺参数动态补偿模型	基于实时生产数据，通过 PID 控制算法自动调整印刷厚度、烧结温度等工艺参数
	能耗优化调度模型	建立产线能耗与设备运行状态的数学模型，优化开关机策略和能源使用峰值
	产能瓶颈诊断模型	运用仿真技术，识别生产流程中的时间延迟和资源冲突节点
运营管理	设备维护决策模型	基于故障分析，制定预测性维护计划和备件库存策略
	环境参数控制模型	基于环境数据，构建控制模型，实现环境参数动态平衡
	人员技能矩阵模型	通过分析人员操作失误率、培训记录与技能等级等数据构建人才技能模型
	生产指标预测模型	基于算法，建立工艺、良品率等指标，与设备状态、工艺参数的关联，形成预测模型
工厂建设	协同设计模型	集成三维厂房模型与设备布局数据，实现施工过程可视化

	施工进度推演模型	结合协同设计和地理信息技术，构建施工流程优化
	设备安装验证模型	基于数字孪生技术，建立设备安装位置与设计图纸的模拟和分析
	物流路径优化模型	运用算法优化 AGV 运输路线，减少空驶率和路径交叉冲突
供应链管理	供应商评价模型	基于供应商画像，对供应商进行质量、交付、成本三维评估体系模型
	需求预测模型	结合历史订单数据和市场趋势，运用算法预测原材料需求波动
	库存健康度模型	基于算法，实现库存成本最小化
	物流风险预警模型	整合运输过程中的各类数据，对物流过程进行风险预警
	质量追溯区块链模型	运用大数据技术和人工智能技术，实现对产品的质量追溯分析。

5、工具软件清单

环节	软件名称	软件描述	是否国产
研发设计	TCAD 仿真平台	用于光伏电池结构设计与电学性能仿真，支持掺杂分布、载流子输运等物理过程模拟	是
	工艺参数优化软件	通过实验设计与回归分析，建立工艺参数与电池效率的数学模型	是
	光学设计软件	用于电池表面减反射膜、陷光结构等光学特性仿真分析	是
	研发协同平台	整合实验数据、专利文献的知识管理系统，支持跨部门研发协作与知识图谱构建	是
生产制造	MES 制造执行系统	实现生产过程数据采集、工单管理与设备联动控制	是
	SCADA 监控系统	实时监测产线设备运行状态与工艺参数，支持异常报警与远程控制	是
	人工智能质检系统	基于深度学习的电池外观缺陷检测与分类，准确率达 99.5% 以上	是
	数字孪生系统	构建虚拟产线模型，模拟工艺参数调整对生产效率的影响	是
	能耗管理软件	实时监控设备能耗数据，优化能源使用策略	是
运营管理	ERP 企业资源计划	整合财务、人力、生产等业务流程，支持主数据管理与报表分析	是
	BI 商业智能平台	构建生产 KPI 看板，实现 OEE、良品率等指标的实时可视化与钻取分析	是
	预测性维护系统	基于设备历史数据建立故障预测模型，优化维护计划与备件库存	是
	环境监控系统	监测洁净室温湿度、粉尘浓度等参数，支持多传感器数据融合与异常事件预警	是
	数字孪生工厂	实现厂房三维可视化与设备布局优化，支持应急演练与空间利用率分析	是
工厂	BIM 设计软件	三维建模支持厂房结构、管线综合设计与施工碰	是

建设	件	撞检测	
	施工管理系统	集成 BIM 模型与施工进度数据，实现多参与方协同管理	是
	设备安装定位系统	基于激光扫描的点云数据处理，实现设备安装精度验证与偏差分析	是
	物流路径规划软件	模拟 AGV 运输路线与仓储布局，优化物料周转效率	是
供应链管理	SCM 供应链管理系统	实现供应商协同、采购计划与库存动态管理	是
	区块链溯源平台	构建从硅料到电池的全流程质量追溯体系，支持批次信息上链与智能合约验证	是
	需求预测软件	基于历史数据与市场趋势预测原材料需求，降低库存积压风险	是
	供应商协同平台	实现采购订单、质检报告等文件的在线协同处理，缩短供应链响应时间	是
	物流监控系统	整合 GPS/北斗卫星导航数据，实现运输过程全链路可视化与异常事件预警	是

6、网络化连接设备清单

设备名称	适用场景	主要功能	是否国产
工业路由器	生产制造、工厂建设、供应链管理	支持 5G/4G 工业级通信，实现设备与云端数据实时交互，支持多协议转换与边缘计算	是
工业交换机	生产制造、工厂建设	万兆/千兆工业以太网交换，支持冗余环网、VLAN 划分，保障产线设备稳定通信	是
边缘计算服务器	生产制造、运营管理	本地化数据处理与人工智能推理，降低云端延迟，支持 OEE 分析、设备健康度预测等实时计算	是
工业网关	生产制造、工厂建设	多协议转换，实现老旧设备与新系统兼容，支持数据采集与边缘存储	是
无线 AP	生产制造、工厂建设	工业级 Wi-Fi6 覆盖，支持高密度设备接入，保障 AGV、移动终端等移动场景稳定通信	是
工业防火墙	全场景	工业协议深度解析，实现网络安全隔离与攻击防护，符合等保要求	是
光纤熔接机	工厂建设	光纤链路快速熔接与测试，保障长距离、高带宽数据传输	是
智能传感器	生产制造、运营管理	实时采集温湿度、压力、振动等环境参数，支持无线传输	是
GPS/北斗定位模块	供应链管理	物流车辆实时定位与路径追踪，支持电子围栏与异常停留报警	是
工业级 SD-WAN 设备	全场景	动态优化广域网链路，保障跨国研发中心、多地工厂间的稳定通信	是
工业级路由器	生产制造、工厂建设	极端环境（高温粉尘）下的可靠通信，支持电力行业协议	是
网络协议分析仪	研发设计、生产制造	高速信号完整性分析，支持光伏逆变器通信协议调试	是

工业级固态硬盘	生产制造、工厂建设	防震抗冲击存储，支持产线设备日志实时记录与快速检索	是
工业级以太网电缆	工厂建设	抗电磁干扰屏蔽电缆，支持高速数据传输与长期户外部署	是
工业级Wi-Fi中继器	工厂建设、供应链管理	扩展无线信号覆盖范围，保障大型厂房或仓库内的无死角通信	是

7、行业数字化转型人才技能清单

序号	技能名称	技能描述
1	材料科学与工程	掌握晶硅材料特性优化、掺杂工艺、钝化技术等核心技术，支持高效电池研发
2	新能源科学与工程	涵盖太阳能光伏原理、半导体物理、电池制备工艺，具备“光伏系统仿真”“数值模拟技术”等技能，具备光伏器件设计与建模基础能力
3	光电信息科学与工程	熟练使用软件工具进行电池结构仿真，优化光电转换效率
4	材料物理与化学	掌握晶硅材料特性优化、掺杂工艺、钝化技术等核心技术，支持高效电池研发
5	微电子学与固体电子学	基于半导体器件物理特性，构建光伏电池电流、电压特性模型、组件仿真模拟
6	计算机科学与技术（人工智能方向）	开发光伏电池缺陷检测、参数预测等人工智能模型，支持研发数据挖掘与生产工艺优化
7	人工智能	人工智能算法、算法理论、应用开发及人工智能伦理法规
8	工业自动化控制技术	掌握 PLC、DCS 系统编程，实现产线设备联动控制与实时监控
9	机器视觉与图像处理	设计电池外观检测、尺寸测量等视觉系统，支持缺陷识别与良品率提升
10	物联网（IoT）系统集成	搭建设备联网架构，实现生产数据采集、边缘计算与云端协同
11	工业大数据分析	运用软件工具进行生产过程数据分析，构建设备监控系统、能耗等关键指标监控模型
12	数字孪生技术	建立虚拟产线模型，支持工艺验证、产能规划与设备布局优化
13	智能工厂规划与设计	掌握智能制造标准，设计智能化厂房布局、物流路径与能源管理系统
14	BIM 技术应用	使用工具进行三维建模，支持厂房数字化交付与运维管理

	用	
15	绿色建筑与能源管理	设计光伏厂房分布式能源系统，实现光储直柔一体化应用
16	工业互联网平台开发	搭建MES、ERP系统，实现生产全流程数字化管控与跨部门数据协同
17	数字化转型项目管理	主导智能化改造项目落地，协调技术、资金、人员等资源，管控项目进度与风险
18	供应链智能决策	运用大数据分析优化采购计划、库存管理与物流路径
19	区块链溯源	构建光伏组件全生命周期溯源系统，确保材料来源可查、生产过程透明
20	智能物流与仓储管理	设计AGV/AMR调度系统、立体仓库管理系统，实现物料精准配送与库存动态监控
21	工业信息安全防护	实施工业防火墙、入侵监测等安全措施，保障生产数据与控制系统安全
22	跨领域技术整合能力	融合光伏技术、信息技术、管理科学等多学科知识，解决智能化改造复杂问题

附件 3

典型企业案例

1. 硅料环节智能化解决方案——江苏中能硅业科技发展有限公司

A. 企业简介:

江苏中能硅业科技发展有限公司是世界上单体投资规模最大的高纯多晶硅研发与制造基地，2006 年成立于江苏徐州，系香港上市公司协鑫科技控股有限公司（3800.HK）控股子公司。公司占地面积 2500 亩，企业员工 2000 多人，年收入超百亿。公司所属集团公司——协鑫集团（控股）有限公司，是中国 500 强企业，在最新全球新能源企业排名中位列全球第四、中国第一。

B. 智改数转网联主要做法:

公司是江苏省工业和信息化厅公布的 2024 年度省工业互联网标杆工厂。公司以工业互联网平台为基础，应用大数据、数字孪生、人工智能等创新技术，建立企业数字化运营平台、设备资产管理系统平台（EAM）、生产执行系统平台（MES）、实验室管理系统平台（LIMS）等，将信息化和工业化深度融合，从“传统制造”向“智能制造”转变，全面实现生产自动化、运营高效化、管理精细化，为推动企业安全高效运行和上下游产业转型升级、协同发展作出了积极贡献。

公司以工业互联网平台为基础，应用大数据、数字孪生、

人工智能等创新技术，建立企业大数据平台、设备资产管理系统（EAM）平台、生产执行系统（MES）平台，运用自动化生产线和智能化管理系统，推动设计、研发、工程、生产、检修协同平台一体化智能管控，加速‘传统制造’向‘智能制造’转变，全面实现生产自动化、运营高效化、管理精细化，助力光伏行业向绿色智能制造转型升级。操作人员通过云端大数据平台与全链条数据的分析与应用，配合远程数字智控技术即可管控徐州、乐山、包头三地工厂，实现企业自下而上的高效数据整合。新质生产力由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生。

中能硅业研发团队独创了国际领先、具有自主知识产权的 GCL 法多晶硅超大规模清洁生产技术（简称“GCL 法”），仅用 5 年时间就赶超了美、德等西方发达国家半个世纪的多晶硅研发与制造水平，彻底扭转中国光伏行业“两头在外”的被动局面。

C.智改数转网联效果：

作为光伏上游多晶硅生产企业，中能硅业正引领国内多晶硅产业第二次技术革命，全力推进硅烷流化床法制备多晶硅技术（简称“硅烷法”、FBR）。FBR 法颗粒硅生产工艺相比传统改良西门子法新建工厂投资降低 30%，综合电耗降低 70%，碳足迹降低 75%。颗粒硅形似球体，流动性好，在直拉单晶投料时，无卡料问题，是完美单晶复投料。颗粒硅全面应用将加速光伏产业制造端“碳中和”目标实现。

2.颗粒硅应用（拉晶）——江苏协鑫硅材料科技发展有限公司

A.企业简介:

江苏协鑫硅材料科技发展有限公司，位于国家级经济技术开发区——徐州经济技术开发区，是协鑫科技控股有限公司旗下专业从事光伏产业链中间环节——铸锭、拉晶、硅片的研发、生产、销售的企业。公司成立于2008年10月，注册资本309965万元，占地约1000亩。目前，公司具备N型及P型单晶拉晶产能7GW、多晶铸锭产能10GW，切片产能7GW，是行业领先的晶体硅硅棒、硅片生产研发基地。投产至今，公司总产值超过1000亿元，利税约70亿元。

公司于2009年10月开工建设，2010年2月份投产，2011年实现产值、销售额双双突破百亿元，获“国家高新技术企业”称号。2020年12月，获得五星级上云企业（省级）、多晶车间智能制造示范车间（省级）、获得绿色工厂（省级）；2022年12月，获得智能制造示范工厂（省级）、光伏单晶硅片智能制造车间（省级）；2023年08月，获得转型升级专项资金颗粒硅技术应用智能制造示范工厂（省级）。2024年，获得工业互联网平台企业（省级）及绿色工厂（国家级）称号。公司智能工厂建设，遵循工业互联网平台架构，融合物联网、大数据、人工智能、数据可视化等技术，已建设成为光伏硅片制造的数智工厂。

B.智改数转网联主要做法:

颗粒硅技术应用示范智改数转项目介绍：项目建设以数据驱动业务变革，以全面实现协鑫硅材料数字化转型为目标，从基础设施建设、智能化设备互联互通、企业应用开发平台、业务集成与优化、大数据分析决策等方向，全面打造基于工业互联网的智能工厂，支撑颗粒硅 100%纯投应用。项目集成了智能生产装备、自动化生产线、自动检测线等自动化、智能化生产、试验、检测等设备，大大提高了生产效率，减少了人为错误和劳动强度。智能化控制系统采用数据总线、以太网、物联网和分布式控制系统等信息技术和控制系统，建立工业互联网平台，工厂关键工序生产设备联网数，智能化、自动化设备总量的比例达到 90%以上。目前，智能产线真正做到物流、信息流、资金流的实时共享、传递。各工序生产设备、流水线与 MES 系统进行数据集成实现智能生产控制，同时通过 MES 系统达到产品加工全过程管控，进、销、存成本核算通过 ERP 的供应链模块与财务核算进行系统一体化集成，产品品质信息以及检验过程等数据可通过 SPC 系统进行预警和问题分析。基于人工智能、大数据实施的智慧园区管理平台，对车间环境、人员、设备等厂内环境智能监控、分析、预警，实现对工厂园区的可视化、智能化管理。

项目按照协鑫硅材料颗粒硅技术应用智能工厂各板块的规划，从工业互联网基础技术支撑能力提升、智能生产装备及自动化生产线改造、工业互联网平台建设、新模式创新

及应用、系统集成与优化等方向，全面打造业内一流工业互联网智能工厂。项目实现了光伏硅材料设计研发、物料采购、库存管理、精准配送、生产计划、生产调度、现场管理、品质管理、客户服务等公司各业务模块全流程协同及高度智能互联。公司融合云计算、物联网、大数据、人工智能、数据可视化等先进技术，已全面建设成为一个面向光伏硅片制造的智能工厂。

C.智改数转网联效果：

利用平台赋能产业链协同。一是作为颗粒硅应用示范基地，利用数据链协同优势，打通上游颗粒硅生产批次及相关质检数据与颗粒硅拉晶配方与工艺参数，通过研发、品质分析全面优化颗粒硅应用相关工艺、配方。项目公司将颗粒硅应用的成熟工艺包通过平台在行业内共享，先后与多家行业头部企业数据交流共享，构建产业链数据要素生态圈，助力上下游协同发展，推动颗粒硅在行业内深化应用。二是利用工业互联网数据平台构建智能协同平台，拉通上下游，打破信息孤岛，实现产业链上下游企业之间的无缝对接和高效协同。不仅提升整个产业链的协作效率，还能够促进资源共享和优势互补，推动产业链向更高水平发展。

3.智能切片——盐城高测新能源科技有限公司

A.企业简介:

盐城高测新能源科技有限公司成立于 2021 年 8 月，是青岛高测科技股份有限公司（科创板上市企业，股票代码 688556）在光伏产业链布局的重要子公司，位于江苏省盐城市建湖县高新区，专注于光伏大硅片切割加工服务及相关技术研发。公司依托母公司在切割设备、切割耗材及工艺技术的全产业链闭环优势，自主研发的第五代金刚线晶硅切片机 GC-700X 实现市场占有率高，推动大尺寸、薄片化切割技术突破，硅片良率达行业领先水平。其核心业务包括 10GW 光伏大硅片项目（一期已达产）和 12GW 单晶大硅片项目（二期于 2023 年 9 月投产），主要客户涵盖通威股份、京运通、英发睿能等全球光伏龙头企业。作为盐城新能源产业集群的重要组成部分，公司深度融入当地光伏产业链，与悦阳光伏等企业形成上下游协同，为推动光伏行业降本增效和“双碳”目标贡献力量。

B.智改数转网联主要做法:

高测股份一直加大研发力度，推进技术改造升级。截至 2023 年底，公司研发团队 500 多人，拥有已授权专利 725 项，其中发明专利 17 项、软件著作权 44 项。公司已建立形成包括 3 项核心支撑技术体系，陆续取得国家高新技术企业、国家企业技术中心、国家智能光伏试点示范企业、国家知识产权优势企业、国家级制造业单项冠军企业等 50 余项荣誉资

质。2020 年高测股份在科创板上市，目前已实现切割设备、切割耗材及硅片切割加工服务业务全覆盖。

公司在光伏切片业务领域内为客户提供集成“设备+耗材+服务”的一体化解决方案，采用联合研发模式，充分发挥设备、耗材、工艺三方融合发展及技术闭环的行业独有优势，面向光伏切片应用场景提供创新型、升级迭代型和优化型产品。公司始终秉持技术创新创造价值的理念，并始终保持高比例研发投入，不断引进人才充实研发队伍。第五代金刚线晶硅切片机 GC-700X 不断模块化升级，持续保持领先市场竞争优势，金刚线晶硅切片机市场占有率稳居第一。在切片工艺技术方面，公司快速推进大尺寸、薄片化及细线化切割进程，引领行业主导半棒半片切割技术路线，实现更薄硅片更高良率。盐城高测基于母公司的“光伏晶硅切片装备”“切割耗材”等创新型高技术产品的研发制造技术，集成金刚石线切割工艺技术，为客户提供“全面领先的硅片切割解决方案”，在切割效率及稳定性上处于行业领先水平。目前，公司与通威股份、京运通、英发睿能、双良节能等光伏龙头企业建立长期切片合作关系。高测股份顺应发展大势，采用最先进的技术、智能化的设备和绿色低碳系统，生产更多的光伏大硅片高效产品，是建湖高质量发展的标杆典范。

C.智改数转网联效果:

2025 年 3 月 13 日，江苏省光伏产业协会发布《关于“2024 年智能光伏和储能”奖项评选结果的通知》，盐城高测获评人

工智能 PV2024 年智能光伏供应链示范企业。盐城高测将持续探索利用大数据、人工智能等前沿技术实现多个典型应用落地场景，持续提升智能制造水平，以技术领先叠加成本领先，为客户创造更大价值。盐城高测新能源科技公司在切片领域的数字化转型通过“设备+数据+平台”的深度融合，实现了从传统制造向智能制造的跨越式升级。

4.高效晶硅电池智能制造——弘元新材料(徐州)有限公司

A.企业简介:

弘元新材料(徐州)有限公司成立于 2022 年 5 月,是弘元绿色能源股份有限公司的全资子公司。公司主要从事单晶硅切片和 N 型 TOPCon 高效电池片的研发、加工、制造和销售,其产品作为光伏发电的基础材料,被广泛应用于太阳能领域,具有广阔的市场空间和良好的发展前景。弘元新材料新能源产业一体化项目位于徐州市经济技术开发区,为江苏省重大产业项目,已具备年产 25GW 单晶硅切片和 18GW 高效电池片的生产能力。公司凭借其技术优势和产能规模,在光伏行业中占据了一定的地位。公司电池片量产转换效率可达 26.82%以上,产品技术性能全面领先。同时公司不断优化设备,革新高效电池片技术,致力于提升产品良率和降低生产成本,通过配备智能化、自动化生产检测设备,实现了高度自动化智能生产,采用了先进的 ERP 系统和制造执行系统(MES),确保了从原材料采购到产品交付的全过程可追溯性,极大保障了产品质量及一致性。

公司陆续通过了德国 TÜV 质量管理体系、环境管理体系、职业健康安全管理体系认证以及能源管理体系认证;已获得高新技术企业(GR202432004006)、江苏省智能制造示范车间、江苏省五星级上云企业、徐州市工程技术研究中心以及徐州市工程研究中心等荣誉资质。

B.智改数转网联主要做法:

公司将始终以技术创新为核心，以从源头、过程到整体的全价值链节能减排为目标，努力把徐州基地打造成全国领先的光伏产业智造基地。

公司构建了完善的系统集成架构，通过高速工业以太网技术以及统一的通信标准，实现了底层设备之间的互操作和数据交换。在此基础上，公司与 IGV 系统、射频识别 (RFID) 采集系统、MES、SAP、OA 等多套系统进行了深度集成交互。

1.底层设备互联与数据交换：公司部署了高速工业以太网，确保工厂内设备之间的高速、低延迟通信，满足生产过程对实时性的要求。工业以太网不仅连接了生产线上的各类设备，还与传感器、控制器等实现了无缝对接，确保了数据的快速传输和处理。采用了 OPCUA 作为统一的通信标准，实现了不同厂商、不同类型的设备之间的互联互通。OPCUA 不仅支持数据采集，还支持设备状态监控、报警信息传输等功能，确保了数据的一致性和可靠性。

2.多系统集成交互：IGV 与 MES 紧密集成，实现了物料的自动化搬运和精准配送。MES 根据生产计划，向 IGV 发送指令，IGV 则根据指令完成物料的搬运任务，并将搬运结果实时反馈给 MES 系统，确保生产过程的顺畅和高效。SAP 与 MES 通过 WebAPI 接口实现深度集成。SAP 负责整体的资源计划和管理，MES 则负责具体的生产执行。SAP 将生

产订单、物料需求等信息传递给 MES，MES 则将生产进度、设备状态等信息反馈给 SAP，实现了计划与执行的无缝对接。RFID 采集系统与质量管理系统集成，实现了从原料到产品全流程的质量追溯。RFID 标签附着在物料和产品上，RFID 读写器在各个关键环节读取标签信息，并将数据传输给质量管理系统。质量管理系统根据 RFID 数据，实现正向和逆向的追溯，确保质量问题的快速定位和处理。

3.业务系统间的数据集成：公司广泛采用了 WebAPI 接口，实现了不同业务系统之间的数据互通和业务联动。例如，MES 系统通过 WebAPI 接口与设备监控系统、设备维护校准系统、夹具管理系统等进行数据交换，确保生产过程的实时监控和设备的高效维护。同时，公司正在逐步推广应用 LinkX 数据集成平台。LinkX 平台具备高度的柔性配置能力，能够将各业务系统的数据库与 LinkX 平台进行无缝集成。LinkX 平台不仅支持数据的统一管理，还支持数据的实时同步和高效流转。通过 LinkX 平台，公司可以快速开发新的业务应用服务，满足不断变化的业务需求。

4.集成效果：通过系统集成，公司实现了生产过程的自动化和智能化，显著提高了生产效率。设备之间的互联互通减少了人工干预，提高了生产效率和产品质量。实现了资源的合理配置和高效利用，降低了库存成本和生产成本。公司通过构建完善的系统集成架构，实现了底层设备互联、多系统集成交互、业务系统间的数据集成，显著提升了生产效率、

优化了资源配置、提升了管理水平，并增强了数据驱动能力，为公司的智能化运营提供了坚实的基础。

C.智改数转网联效果:

1.关键技术突破：自主研发的工业互联网平台实现了设备、系统和人员的全面互联互通，数据采集率提升至 99%，设备综合效率提高约 5%；基于机器学习的预测性维护模型，准确预测设备故障，减少停机时间 30%，并优化了生产排程，产能提升 15%。

2.装备升级：引进和改造了 160 余台套工业机器人，自动化率达 99%以上，关键工序实现无人化操作。部署了先进的视觉检测系统，产品一次合格率从 95%提升至 98.06%，质量追溯能力显著增强。

3.软件系统集成：集成 SAP、ERP、MES、WMS、APS 等系统，实现订单从接收到交付的全流程数字化管理，订单响应时间缩短 40%，库存周转率提高 176.62%；开发了基于大数据的智能决策系统，支持实时数据分析与决策，管理效率提升 25%。

4.成本降低：通过自动化和智能化改造，减少一线操作人员 30%，节省了人力成本；精准的物料需求计划和库存管理，降低原材料消耗 5%。智能能源管理系统优化设备运行，年节约用电 150 万千瓦时，减少碳排放 1200 吨。

5.生产效率与劳动生产率提升:单位时间产能提升 25%,产品交付周期缩短 35%,满足市场快速响应需求。人均产值从 78 万元/年提升至 154 万元/年,提升幅度达 97%。

6.综合效益提高:通过智能化转型,产品良率、交付速度和客户满意度显著提升,市场份额扩大 10%。节能减排效果显著,符合国家绿色制造战略,提升了企业社会责任形象。培养了一批具备数字化技能的人才,为企业的持续创新提供了人才保障。

5.智能化大尺寸光伏组件生产——宿迁阿特斯阳光能源科技有限公司

A.企业简介:

宿迁阿特斯光伏项目由苏州阿特斯阳光电力集团投资建设。该集团由归国太阳能专家瞿晓铎博士 2001 年创办，2006 年在美国纳斯达克股票交易所上市，2023 年 6 月 9 日，制造业务在上交所科创板上市。

宿迁阿特斯阳光能源科技有限公司，总投资 36 亿元，占地面积 451 亩，建筑面积 18.3 万平方米，位于宿迁市经济技术开发区，所属晶硅光伏行业，主要生产光伏组件产品。已获批江苏省工业互联网标杆工厂、江苏省智能制造示范车间、江苏省五星级上云企业、江苏省绿色工厂、江苏省企业级工业平台、2024 江苏制造业 100 强等荣誉，2024 年实现产值 53 亿元，开票销售 65 亿元。

宿迁阿特斯阳光电力科技有限公司总投资 66 亿元，占地 438 亩，位于宿迁市经济技术开发区，所属晶硅光伏行业，主要生产光伏电池产品。已获批 2023 年度宿迁市新晋投资 10 强、工业销售 100 强、江苏省四星级上云企业等荣誉。2024 年实现产值 25 亿元，开票销售 28 亿元。

B.智改数转网联主要做法:

宿迁阿特斯阳光能源科技有限公司在智能化改造方面，自主集成了自动光伏组件生产线，其中设备皆为智能设备，

如划片机、焊接机、排版机、串焊机、EL、层压机、接线盒焊接机、IV 测试仪、自动分档机。车间内应用了 WMS 系统，实现仓储的快速管理。车间在产品输送上充分应用了机械手与传送带，实现了产品的全程不落地流转。车间在生产过程实时管控上主要依托于 MES 系统，通过 SAP 系统实现生产主计划的生成，通过 MES 系统实现生产计划安排、生产调度管理、生产物料管理、生产质量监控、生产过程跟踪、成品出入库管理等各方面集成，并通过数据报表系统实现生产过程记录数据，实现产品的生产全流程的高效管控。

C.智改数转网联效果:

在数字化改造方面，通过购置串 EL、串外观、串返修 EL、EL 外观一体机、组件、可检验线 EL 外观一体机等智能检测装备及软件，基于人工智能智能识别技术，建立产品故障知识库，实现对外观、缺陷进行自动识别与判断、自动报警和上传检测数据，并具备自主学习功能。此外公司对车间网络进行改造，并购置服务器、UPS、显示器等搭建 VCROM 视觉检测中心，现场 EL、外观检测结果实时回传 VCROM 实现 AOI 智能识别，极大地提高了生产检测效率，同时极大地降低流水线的人力成本，检测结果自动上传 MES 系统，并对 MES 系统进行二次开发升级，开展质量分析，对产品成品的质量以及设备状态进行监控，实现使生产过程透明化、产品可追溯、实现企业数据统一化。

宿迁阿特斯阳光电力科技有限公司的智能工厂建设以

智能化、绿色化为导向，选用低能耗、数字化、自动化程度高的智能设备打造智能化制造工厂，如：包括单晶槽式制绒、链式单面去 PSG 设备、链式退火设备、智能 AGV 等，企业整体技术水平、设备智能化、自动化水平以及产品性能等多项指标均处于国内领先水平，生产效率较高，产品品质得到有效保障。

同时公司以信息化作为支撑战略发展的重要工具，引入 SAP 系统、MES 系统、宿迁基地数据报表平台、研发管理系统、质量管控系统、能源管理平台、客诉服务平台等信息化应用，基于物联网、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术通过信息化软件与采集器、设备的集成与交互提升了企业生产与运营数字化、智能化管控水平，实现公司全价值链的协同经营管控，提升了公司整体智能制造水平和效率。

改 造 提 升 后 预 计 新 增 效 益	序号	类别	组 件 工 厂	电 池 工 厂
	1	产能增加 (%)	30%	300%
	2	生产效率提高 (%)	30%	300%
	3	减少用工 (人)	400	600
	4	关键设备数控化率提升%	40%	40%

6.TOPCon 电池智能生产——中节能太阳能科技(镇江)有限公司

A.企业简介:

中节能太阳能科技(镇江)有限公司成立于2010年,是全国唯一一家集电池生产、组件生产、光伏电站建设、光伏电站运营和退役组件回收的全产业链大型央企,累计申请专利385件,软件著作权38件,拥有授权专利288项,其中发明专利51件。2021年实现销售收入28亿元,2022年销售57.4亿元,2023年度59.8亿元。公司主营业务为晶体硅太阳能电池及组件的研究、制造和销售,人工智能应用软硬件开发及销售。主要产品为晶硅太阳能电池及组件,包括大尺寸高效单晶双面电池及组件、大尺寸高效N型TOPCon电池及组件、差异化组件产品(青天、飞燕、云长、女娲四款产品)。

B.智改数转网联主要做法:

公司基于节能智造智维云平台和5G应用的融合,全方位覆盖光伏工厂智能制造运营与电站智能运维服务,打造5G+智慧园区、5G+智慧运维、5G+智慧生产三个应用板块;同时5G+标识解析贯穿上述三大应用板块,聚焦“3A”模式(人工智能、AGV、AR)等33个场景的融合应用,实现光伏企业制造运营、电站管理、经营决策、共享生态等应用场景,构建“共享、智能、开放、安全”的“节能光伏云平台生态圈”。

通过企业管理 ERP 系统，实现经营业务流程全覆盖。同时与生产系统物料、成品自动交互；与集团 NC 系统凭证自动上传、NC 账务/报表自动生成。2023 年实时管理 2753 资产、3005 个合作供应商、19374 种物资，近 2700 份合同、8800 笔订单、11422 笔财务凭证、496 张合并报表等数据信息。

通过资产/设备管理 TPM 系统，已接入资产 2753 个、核心设备 659 台，实现盘清资产家底、强化全流程资产监管，掌握经营效益；设备维修/保养/巡检、备件仓库/出库/入库等核心业务全场景系统化应用；产线设备工业物联与边缘接入，数据全样本采集，采集指标 3.8 万、关键装备互联 100%，自动分析各类 KPI 指标、及时预警与查询，为工艺状态监测、预警控制、车间排产提供决策。

通过工业互联网平台与生产 MES、质量 SPC、经营 ERP、设备 TPM、质检人工智能等系统集成与交互，实现电池片/组件的物料品质监控、设备监控预测、备件周期管理、制程监控报警、良率保固分析五大核心业务全流程管理；生产全流程自动扫码、自动扣料、自动预警的系统化管控，核心装备信息化率 100%、电脑设备减少 70%、人工智能质检率 100%、效率提升 10 倍、A 级品率 99% 以上、产能提高 50.7%。

过统一标识条码系统，追溯从合同、原料、生产、质检、成品、发货、服务溯源的全周期数字化仓储与管控，库存周转率提高 8%；实现产品供应链、合同执行、产品质保、运

维服务的全链路数字化转型；二级节点标识量 1.03 亿，25 年数据追溯与业务闭环管理，赋能产品服务新价值。

通过电站智能运维平台，拓展组件产品与智能装备云服务（清扫机器人、巡检机器人、无人机），为电站提供专业效能提升服务，平台接入 101 家电站、4.65 万台主设备、诊断模型 76 个、KPI 指标 203 个、运维效率提升 50%；累计监测发电 98.319 亿度，等效节约标煤 299.78 万吨、植树 15.24 亿棵，减排二氧化碳 818.02 万吨。

通过安健环管理平台，为园区/工厂/电站提供统一的安全体系化管控，包含 13 个模块全流程管理、业务表单 47 类，业务单据 3.4 万条；并集成监控+人工智能智慧安防系统，自动识别十大隐患场景，视频精准分析告警联动。

企业经营数据化综合分析管控，通过大数据平台，构建统一标准与数据底座，已接入 5 大场景、34 类设备模型、89 个决策模型、97KPI 指标、858 项核心参数、132 份管理报表；以数据为引擎，全场景展现园区/工厂/场站多样化数据实时分析，把握运营、设备、生产、物料、能耗、均产等呈现追踪，助力经营决策与精细化管理。

C.智改数转网联效果：

公司先后被认定为工业和信息化部新一代信息技术与制造业融合发展示范（数字领航企业）、江苏省重点工业互联网平台（行业级）、第五届中国工业互联网大赛全国百强、两化融合 AAA 体系、绿色工厂、工业互联网标杆工厂等；

打造光伏智能制造、智能运维数字化低碳标杆引领与示范，形成了一系列管理指标提升，并形成数据资产。公司数字化应用成效被新华日报、江苏交广网、镇江日报等多家媒体报道；累计获得 36 项省/部级数字化荣誉、软件著作权 38 项等；累计建设云平台产品 8 个、产能提升 50.7%、产品良率提升 1.38%、制造成本降低 10%、运维效率提升 50%。

7.PERC 电池智能制造——江苏中润光能科技股份有限公司

A.企业简介:

中润光能是一家总部位于江苏的光伏电池片制造商。主要生产单晶 P 型 PERC 电池片及其他产品。公司在江苏徐州、宿迁以及安徽滁州都设有生产基地，并在老挝万象也建立了一座加工厂。目前公司业务遍及 29 个国家和地区，除中国外，美国、欧洲、中东和东南亚也是公司主要的产品销售地。弗若斯特沙利文报告显示，2024 年中润光能在全全球光伏电池制造商中出货量排名第一，市场占有率为 18.3%，其客户包含了全球十大组件制造商中的九家，如晶科能源、隆基绿能等都是其大客户

B.智改数转网联主要做法:

一是全流程数字化重构。生产设备的智能化升级。大规模应用工业机器人。在硅片清洗、扩散、印刷等关键工序部署 200 余台协作机器人，实现 95%的重复性劳动替代。例如，采用六轴机器人进行硅片搬运，定位精度达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，较人工效率提升 3 倍。大规模应用 AGV 物流网络。400 台潜伏顶升式 AGV 与 MES 系统深度集成，实现物料周转的全自动化。通过 5G+UWB 高精度定位技术，AGV 路径规划效率提升 40%，物流成本降低 25%。引入基于深度学习的 AOI 检测设备，缺陷识别准确率达 99.98%，较传统人工检测效率提升

10 倍。2024 年，该系统在徐州基地实现 14GW 电池片的全检覆盖。

二是工业互联网平台的深度融合。通过国家级跨行业工业互联网平台徐工汉云，实现 3000 余台设备的实时数据采集。平台每日处理超 10 亿条生产数据，设备综合效率（OEE）提升 18%。构建全流程数字孪生系统，实现生产过程的虚拟仿真与实时映射。

三是人工智能驱动决策体系。基于 1000 万组历史生产数据训练的人工智能模型，可自主调整扩散、退火等工艺参数。例如，人工智能将 PECVD 镀膜均匀性标准差从 3.2% 降至 1.5%，减少人工干预频次达 70%。建立能源物联网平台，实时监控水、电、气等 12 类能耗指标。通过人工智能算法优化调度，单位产品能耗较行业平均水平降低 15%，年节约电费超 5000 万元。

C.智改数转网联效果：

一是生产效率跃升。通过设备提速与工艺优化，14GW 电池片项目实现“当年开工、当年投产”，产能爬坡周期缩短 40%。二是降低人力成本。单位产能人力需求较行业低 20%，人均产值提升至 500 万元/年，达行业领先水平。三是质量与成本双优。产品良率：人工智能质量管控系统将电池片平均效率提升至 25.8%，良率稳定在 98.5% 以上，高于行业平均 2 个百分点。四是资源利用：纯水回用率达 90%，危废产生量减少 30%，获评“江苏省绿色工厂”。

8.HJT 电池组件生产——江苏国晟世安新能源有限公司

A.企业简介:

国晟世安科技股份有限公司（简称“国晟科技”，股票代码 603778）是一家以生态治理和新型能源为“双主业”投资路线的高新技术企业，秉承“让地球更环保，让生活更美好”的使命，积极发挥资源整合优势，实现协同发展，构筑多领域、全过程的整体解决方案，为客户提供高质量一揽子服务。

国晟科技于 2022 年进入新能源领域，规划建设从硅材料、拉晶、超薄 N 型硅片、高效异质结电池到大尺寸组件的全产业链。凭借业内经验丰富的专业研发团队和先进的技术路线，已推出了两个 HJT 组件系列：向阳系列（G12）和逐路系列（G10）。此外，还为合作伙伴提供包括项目开发、工程总承包和运维服务在内的全面解决方案。目前，公司已建成江苏徐州、安徽淮北、淮南、宿州、河北张家口五大生产基地，正加速建设山东莱州、新疆若羌、河北唐山、内蒙古乌拉特前旗基地。

B.智改数转网联主要做法:

研发引领：建议研究院由业内知名光伏专家沈文忠教授担任院长并组建专家委员会。下设 6 个课题组，每个课题组由一位该领域资深专家带队进行课题研究。研究院将在各组下设多项研究课题，联合交大太阳能研究所并国内外研究机

构共同进行项目开发工作，双方共同进行多项研究，共享研究成果，国晟科技独享商业化量产权力。

智能设备数字化蝶变提升精益生产能力：国晟科技所有电池设备选型均采用行业最先进的机型，主要包括前清洗、吸杂、制绒清洗、PECVD、PVD、丝网印刷等自动化生产设备，以及 ERP、MES、RCS 等智能管理系统平台。自动化生产设备和智能管理系统平台的双重赋能，进一步提高了电池车间生产端的自动化、数字化、信息化和智能化管理水平。

智能系统调度平台：不同于光伏组件车间的全流水线操作，电池车间的生产工艺流程更具对立性，每一道生产工序结束之后，需要将电池片码放缓存，进而搬运到下一道生产工序之中，这无形中会产生大量的物料搬运需求。为了有效提高电池生产车间的智能管理水平，国晟科技引入 AGV，实现了全车间自动化搬运，并导入 MES 制造执行系统、RCS 机器人调度系统等管理平台，进一步帮助电池车间实现生产运营中的智能决策和智慧调度。

MES 系统：系统通过采集不同客户的实际需求，在生产流程中对工艺路径、产品参数等信息进行数据采集、产线监测、追踪管控、统计分析，实现量产电池片级跟踪，追溯每片电池的生产过程。国晟当前 MES 系统整线追溯率 90%，准确度 98%，具备量产电池片级追踪、反向异常追溯等功能，极大程度提升了电池智能制造车间的信息化和无人化水平。

MES 系统控制系统（MCS）MES 系统统一调度，整线追溯率

90%，准确度 98%，具备量产电池片级追踪、反向异常追溯等功能，极大程度提升了电池智能制造车间的信息化和无人化水平。

RCS 系统：主要与 AGV 深度关联合作。系统通过匹配前后工序的搬运需求，自动调度 AG 执行搬运任务，小车接取任务后会自动运输到下一道电池生产工序进行工作。AGV 的物料运送覆盖到电池车间生产各环节，可实现物料全自动补给及配送，整个过程 RCS 系统均可全程监控，使得整个电池车间生产运行效率更高。

人工智能智能检测设备：通过人工智能智能检测设备识别相应检验工序图像，对组件整体外观和 EL 缺陷进行自动识别、判定，对存在不符合制定要求的产品进行自动筛选，以达到产线自动化、产品高质量的目的。人工智能检测设备的应用，在提高生产效率、降低工厂能耗的同时，还可减少人工漏判误判，从而提高产品质量标准，确保组件生产良率，实现持续稳定的品质把控。

C.智改数转网联效果：

数字赋能，穿越周期。在异质超大规模量产及降本增效提质进程中，国晟科技一直探寻生产能效最优路径，以“精益制造+自动化+信息化”实现流程再造，通过 ERP、MES、WMS、MOM、SRM 等智能制造管理系统，降低生产和管理负重，缩短产品交付周期，提高产品可靠性和可追溯性，生产出更多符合市场需求的绿色低碳高效光伏产品。

9.BC 电池智能制造——泰州隆基乐叶光伏科技有限公司

A.企业简介:

泰州隆基乐叶光伏科技有限公司是全球最大的太阳能单晶光伏产品制造商隆基绿能科技股份有限公司的全资子公司，公司成立于 2015 年，是隆基绿能科技股份有限公司旗下核心制造基地，位于泰州市海陵区，是新型 BC 电池在泰州海陵的工厂实现首次规模化量产。该工厂入选工信部 2023 年度智能制造示范工厂揭榜单位。泰州隆基智能工厂应用数字孪生技术及人工智能等智能制造新技术新模式，总体架构主要分为智能制造生产基础层、工厂透明化执行系统层、数据分析决策层。通过建设智能制造示范工厂，人均产出效率提升 27.9%，电池单线产能提升 11.42%，制造成本降低 30%，质量方面产品直通率提升 4.9%、不良品率降低 10%，在降本增效提质上具有重要价值和意义。该公司 2023 年入选国家级智能制造示范工厂，2024 年入选江苏省智能制造工厂。

B.智改数转网联主要做法:

隆基乐叶集成了工业互联网体系、智能生产装备制造集群、信息化系统集成等先进制造技术，无论是工厂管理人员还是一线工人，都能通过这套数字化系统实时查看到产量达

成、质量波动、物料供应等情况，形成制造生产执行、过程控制、企业管理决策的一体化、信息化、智能化。通过这套数字化系统，工厂整体设置的 103 项指标一旦出现异常，可主动精准反馈到相应的责任人，从原来的人找异常转变为异常找人，用精细化管控，提高生产过程整体质效。

隆基乐叶的光伏灯塔质量管理模式以人工智能和大数据为核心，通过工业互联网、数字孪生等先进技术，重构了传统光伏生产的全流程。该模式涵盖了从原材料采购、生产制造到产品交付的全生命周期，实现了智能化、自动化的生产管理。

人工智能赋能的全流程检测与追溯。隆基乐叶在行业内首创了基于图像特征的实时人工智能精准追溯技术。该技术通过导入实时人工智能串追溯模型，能够在每 18 秒内完成 12 个电池串异常及来源机台的识别，解决了传统追溯方式准确率低的行业难题。此外，所有生产数据和质量信息都被记录在产品出厂的条形码中，客户可以通过扫码了解产品的详细生产流程和质量状况。

智能优化的生产交付周期管理。通过人工智能算法和大数据分析，隆基乐叶实现了订单生产交付周期的智慧管理。系统能够根据客户需求和生产计划，自动优化每日投产方案，确保高效生产的同时，满足客户的定制化需求。

电池资源匹配与动态纠偏。人工智能算法不仅用于质量检测，还用于电池资源的动态匹配和纠偏。通过智能优化电

池片的分配，确保每一块组件都能达到最佳性能，进一步提升了产品的可靠性和一致性。

智能人力管理。通过智能人力管理系统，将员工的技能和经验转化为数据，实现人力资源的最优配置。这一系统不仅提高了生产效率，还增强了员工的创新力，推动了企业的持续发展。

C.智改数转网联效果:

显著提升产品质量与效率。通过全流程人工智能大数据管理模式，隆基乐叶的产品品质可靠性提升了 43%，生产交付周期缩短了 84%，单位能耗降低了 20%。此外，工厂的自动化程度高达 90%以上。

行业首创技术引领变革。隆基乐叶的人工智能精准追溯技术是行业首创，解决了传统追溯方式的痛点，为光伏行业的智能化生产树立了新的标杆。

数字化转型助力降本增效。通过数字化转型，隆基乐叶不仅提升了生产效率，还大幅降低了生产成本。数据显示，单位制造成本在一年内降低了 28%，能耗降低了 20%。向隆基全球 30 余个生产基地输出“泰州经验”，推动集团整体智能制造水平提升。

隆基工厂落户泰州后，不断加快技术革新和产品迭代升级，产能规模从 2GW 电池和 2GW 组件扩大到目前的 4GW 电池和 21.2GW 组件。通过加快 5G、大数据、人工智能等新一代信息技术的运用，实现生产流程自动化、能源管理智能

化、安全监管数字化。目前，工厂新建产线实现了“装备互联、数据互通、信息共享”，生产效率提升 25%，运营成本下降 20%，进一步夯实了行业标杆地位。

10.晶硅光伏制造综合智能化改造——天合光能股份有限公司

A.企业简介:

天合光能股份有限公司（Trina Solar）成立于1997年，总部位于中国江苏常州，是全球领先的光伏智慧能源整体解决方案提供商。公司业务涵盖光伏产品、光伏系统、智慧能源三大板块，产品覆盖光伏组件研发制造、电站开发运维、储能系统集成及能源物联网等领域。截至2024年底，天合光能光伏组件全球累计出货量超过205GW，并在全球设立了20余个生产基地和170多个国家及地区的销售网络。作为光伏技术创新的引领者，公司累计32次创造电池转化效率和组件功率的世界纪录，拥有超过5000项专利申请，并主导或参与制定了181项国际和行业标准。

B.智改数转网联主要做法:

1.研发与服务数字化

公司通过数字化工具加速技术创新，天合光能2024年上半年研发投入27.1亿元，累计申请专利数量5649个。2024年4月，自主研发的210+n型i-TOPCon光伏组件最高输出功率达到740.6W，再次刷新世界纪录。新一代n型i-TOPCon电池效率整体提升0.7%，实现银浆单耗降幅超过27%，达到行业领先水平。天合光能还与全球高校院所进行产学研合作，加速前沿科技成果的转移转化。今年以来，天合光能先

后与马德里理工大学太阳能学院（IES-UPM）、新加坡科技研究局（A*STAR）达成合作，共同推进前沿技术及量产技术的探索与研究。在客户服务端，天合富家推出 5A 级户用光伏解决方案，天合富家以高科技、大数据、人工智能、绿色发展为驱动，通过技术创新与模式创新，将智慧能源解决方案深度融入生活和生产领域，为用户提供一站式的绿色能源解决方案，推动产业链一体化、智能化、高质量发展。凭借高可靠、高保障、高收益以及好体验的“三高一好”服务优势，天合富家已经为超 130 万用户提供了原装电站与服务。此外，公司搭建全球数字化营销体系，打造了“天合至尊宝”数字化分销平台，提升渠道管理效率，为 10000+ 客户提供一站式服务，荣获 ADMEN 国际大奖实战金案奖。

2. 系统集成应用

天合光能通过全栈智造战略推动生产环节的数字化升级。在盐城科技基地，公司部署了生产执行系统（MES）、质量管理体系（QMS）、设备物联系统（RFID）等数字化工具，并引入自动导引小车（AGV）实现物流自动化，成功入选国家智能制造优秀场景揭榜单位。其在青海工厂则搭建了数字运营驾驶舱，通过 2D 可视化看板和 3D 数字孪生技术实时监控设备运行和生产流程，实现拉晶生产自动化集控，人效和机效显著提升。此外，宿迁基地的超高效 TOPCon 组件生产线采用人工智能视觉检测系统，将人工质检转变为机器

质检，产品出厂合格率提升至行业领先水平，生产节拍达到全球前列。

3.供应链数字化与生态协同

天合光能聚焦数字化供应链关键环节，通过新一代信息技术融合应用，推动基于数据分析和模型应用的流程再造和业务环节优化，建立了以 ERP 系统为底座，订单管理（ERP-SO）、计划管理（SCP 系统）、采购管理（SRM 系统）、制造管理（MES 系统）、物流管理（TMS 系统）为主干的一点五面供应链数字系统架构，实现供应链内部从客户订单生成到订单制造交付的业务主流程全面线上化管理；同时通过对数据的整合，实现订单全生命周期的可视化管理。天合光能面向海内外合作伙伴积极开展生态共建，在行业内率先发布中国光伏行业首个供应链金融平台“天合融通”，入选工业和信息化部“2024 年实数融合典型案例名单”。

4.能源物联网与智慧能源解决方案

天合光能能源物联网，充分发挥各种能源优势，多能互补、能源梯级利用，最大化地提升综合用能效率，为用户提供全生命周期的解决方案。天合光能实力打造发、储、配、用、云能源物联网一体化解决方案，以智慧能源云平台（天能云）为基础，彻底打通能源发电、储能、配网、用能端，让能源流、信息流、价值流，以及能源设备，在互动、共享的智慧能源网络里相互连接，实现能源互联一体化管控，最终为用户提供各类智慧、高效的能源服务

C.智改网联实施成效:

作为备受瞩目的国家高新技术企业，天合光能长期致力于光伏技术前沿的探索与突破，研发投入占比始终保持在3%以上的高位。公司凭借其在210大尺寸高效组件、PERC电池技术及N型TOPCon电池技术方面的卓越成就，量产组件效率始终保持行业领先地位。同时，天合光能积极拓展储能系统、智能跟踪支架及光伏建筑一体化（BIPV）等新兴业务，成功打造了“光伏+储能+智慧能源管理”的一体化解决方案，为客户提供了更加全面、高效的服务。

天合光能凭借其卓越的成就与贡献，屡获殊荣，包括“全球新能源企业500强”“中国民营企业500强”“中国制造业单项冠军”等殊荣，并连续入选彭博新能源财经（BNEF）“全球光伏组件一级制造商”榜单。

附件 4

技术缩略语

序号	缩略语	全称	释义
1	5G	5 th Generation Mobile Communications Technology	第五代移动通信技术
2	AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引运输车
3	AMR	Autonomous Mobile Robot	自主移动机器人
4	APS	Advanced Planning and Scheduling	高级计划与排程系统
5	BC	Back Contact	背接触电池
6	BOM	Bill of Materials	物料清单
7	CAD	Computer-Aided Design	计算机辅助设计
8	CAE	Computer-Aided Engineering	计算机辅助工程
9	CCD	Charge-Coupled Device	电荷耦合器件
10	CIP	Common Industrial Protocol	通用工业协议
11	CRM	Customer Relationship Management	客户关系管理系统
12	DCM	Document Content Management	文档内容管理系统
13	DCS	Distributed Control System	分布式控制系统
14	DNS	Domain Name System	域名系统
15	EL	Electroluminescence	电致发光检测
16	ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划系统
17	FAI	First Article Inspection	初始质量控制
18	FQC	Final Quality Control	最终质量控制
19	HJT	Heterojunction	异质结电池

20	HTTP	HyperText Transfer Protocol	超文本传输协议
21	IPQC	In-Process Quality Control	制程质量控制
22	IQC	Incoming Quality Control	来料质量控制
23	kms	Key Management Service	密钥管理服务
24	LoRa	Long Range Radio	长距离无线电
25	MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
26	MOM	Manufacturing Operation Management	制造运营管理系统
27	NB-IoT	Narrowband Internet of Things	窄带物联网
28	OEE	Overall Equipment Effectiveness	设备综合效率
29	OPC	Open Platform Communications	开放平台通信
30	OQC	Outgoing Quality Control	出货质量控制
31	PECVD	plasma enhanced chemical vapor deposition	等离子体增强化学气相沉积
32	PERC	Passivated Emitter and Rear Cell	钝化发射极和背面接触电池
33	PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
34	PON	Passive Optical Network	无源光纤网络
35	PVD	Physical Vapor Deposition	物理气相沉积
36	QMS	Quality Management System	质量管理体系
37	RFID	Radio Frequency Identification	射频识别技术
38	SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	数据采集与监控系统
39	SECS/GEM	SEMI Equipment Communications Standard / Generic Equipment Model	半导体设备通信标准 (

40	TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	传输控制协议 / 互联网协议
41	TOPCon	Tunnel Oxide Passivated Contact	隧穿氧化层钝化接触电池
42	TPM	Total Productive Maintenance	全员生产维护系统
43	UWB	Ultra-Wideband	超宽带
44	VI	Visual Inspection	视觉检测
45	Wi-Fi	Wireless Fidelity	无线宽带
46	WMS	Warehouse Management System	仓库管理系统
47	ZigBee		紫蜂协议(一种短距离无线通信技术)

附件 5

服务商目录

公司名称	主营业务	核心优势
苏州迈为科技股份有限公司	光伏电池丝网印刷整线设备、异质结（HJT）电池整线设备、半导体激光加工设备	全球光伏丝网印刷设备市占率高，异质结电池设备全球市占率第一
苏州罗博特科智能科技股份有限公司	光伏电池自动化设备（如 PECVD、制绒清洗）、铜电镀设备、智能制造系统	全球首个电池片整厂智能化系统提供商，铜电镀设备实现 GW 级量产
常州捷佳创精密机械有限公司	光伏电池湿法工艺设备（制绒、清洗、刻蚀）	全球光伏湿法设备市占率高，HJT 制绒设备技术领先
无锡奥特维科技股份有限公司	光伏串焊机、锂电模组/PACK 生产线、半导体键合设备	光伏串焊机全球市占率高，多主栅技术市占率第一
苏州沃特维自动化系统有限公司	光伏组件生产设备（叠瓦焊接机、激光划片机）	叠瓦焊接机技术国内领先，适配 TOPCon、HJT 等高效组件
宏瑞达新能源	光伏组件可靠性测试设备（恒温恒湿试验机、冷热冲击试验机）	产品通过 TÜV 认证，客户覆盖晶科、晶澳等头部企业
苏州小牛自动化设备有限公司	光伏组件串焊机、汇流带焊接机	设备产能高、破片率低
青岛高测股份有限公司	硅片切割机、硅片自动生产线	切片机性能领先
汉泰智能装备	光伏自动化设备（上下料机、检测	BC 电池设备，技术适配新型

(苏州)有限公司	设备)	电池工艺
南京同庆科技有限公司	IT 专业服务(系统集成、智能运维平台)	启智智能微网能源管控平台实现多能互补,提升光伏电站效率
南京启源智创科技有限公司	物联网技术、节能管理服务	提供光伏电站智能运维系统,实现远程监控与故障预警
海目星激光智能装备(江苏)有限公司	光伏激光加工设备(TOPCon 激光硼掺杂、激光切割)	TOPCon 电池生产效率提升,良品率高
苏州玖物智能科技有限公司	AGV、AMR 机器人	订单量大,多家头部企业采用
无锡江松科技	光伏自动化设备(串焊机、汇流带焊接机)	设备产能达高
无锡松煜科技有限公司	太阳能电池工艺设备(PECVD、ALD)	适配 HJT、TOPCon 电池量产
苏州中硅装备科技有限公司	工业陶瓷设备(辊道炉、多层厢式炉)	间接热成型量产化的企业,节能效果好
无锡市联鹏新能源装备有限公司	光伏组件智能制造设备研发与生产,聚焦 HJT、TOPCon 等高效电池组件设备。	HJT 低温银浆焊接量产化的企业,银浆用量减少。设备产能高,碎片率低,客户覆盖多家头部企业
江阴德龙能源设备有限公司	光伏激光加工设备(无水无损划片机、激光掺杂设备、激光切割设备)。	无水无损划片机,碎片率低,客户包括多家头部企业
苏州镁伽科技	智能自动化解决方案、先进制造设	专注自动化解决方案,服务多

有限公司	备。	家头部企业
常州市和普电子科技有限公司	精密电子量测仪器。	检测仪适配 182/210mm 大尺寸组件设备通过 TÜV 认证，拥有自主专利，支持定制化测试方案，客户覆盖多家头部企业
无锡傲凯达软件科技有限公司	工业互联网平台、能源管理系统（光伏电站智能运维软件、数字孪生系统）。	研发数字孪生系统实时模拟产线状态，客户覆盖多家头部企业
用友网络科技股份有限公司	企业级管理软件（ERP、MES、能源管理系统），聚焦光伏行业智能制造解决方案。	开发晶硅光伏生产制造 MOM 系统，搭配能源管理模块优化，适配多能互补场景。客户覆盖多家头部企业，累计服务百余家晶硅光伏电池企业

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”示范企业培育和遴选分为聚焦生产维度的智能车间、聚焦生产和产品两个维度的智能工厂以及聚焦生产、产品和供应链三个维度的标杆企业，每个层级是以场景为最小单元。根据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个维度16个环节的45个典型场景，从装备、网络及平台三个部分梳理企业在实施“智改数转网联”中所需的8个支撑要素，以及通过“智改数转网联”达到的成效评价，为企业转型升级提供参考。

一、典型场景

（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、安全库存和市场需求的生计划优化。

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

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

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

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

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

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

(7) 先进过程控制。部署智能制造装备，依托先进过程控制系统（APC），融合工艺机理分析、多尺度物性表征

和建模、实时优化和预测控制等技术，实现精准、实时和闭环的过程控制。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(17) 质量精准追溯。建设质量管理系统(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。

二、支撑要素

（一）装备。

1.网络化装备。针对工业现场“哑设备”进行网络互联能力改造，支撑多元工业数据采集。提升异构工业网络互通能

力，推动工业设备跨协议互通。研制异构网络信息互操作标准，建立多层级网络信息模型体系，实现跨系统的互操作。

2.智能化装备。利用智能传感、互联网、大数据、数字孪生、人工智能和区块链等技术，提升装备性能、效能以及智能化水平。升级后的装备需要具备对装备运行状态和环境的实时感知、分析和处理、根据装备运行状态变化的自主规划、决策和控制、对故障的自诊断和自修复、对自身性能主动分析和维护、装备间的网络集成和网络协同等功能。

（二）网络。

3.现场总线+工业以太网。建设底层的现场控制器和现场智能仪表设备互连的实时控制通信网络，在工业环境的自动化控制及过程控制中应用以太网的相关组件及技术，通过二者协同，实现网络的快速集成、企业信息系统和控制系统的统一。

4.工业 5G。采用虚拟专网、混合专网方式部署 5G 网络，加快用户平面功能（UPF）等 5G 核心网元建设，强化生产现场 5G 网络能力。鼓励企业基于已获得许可的无线电频率，探索 5G 独立专网，创新灵活多样的 5G 网络建设服务模式。

（三）平台。

5.工业 IOT 平台。通过传感器设备进行生产现场人、物、系统等对象采集以及状态信息监控，通过多样化网络连接手段，将状态信息和互联网连通，快速实现物品和智能化感知，方便进行识别和管理。

6.工业大数据平台。支持企业建立数据收集、处理、利用的平台化系统，将现有可编程逻辑控制器（PLC）、制造执行系统（MES）、企业资源计划（ERP）系统、客户关系管理（CRM）系统、供应商关系管理（SRM）系统、供应链管理（SCM）系统、电子商务及财务共享服务等信息系统业务数据打通，采用大数据技术，建立逻辑关联，整合成大数据库，并进行数据价值挖掘和分析。

7.工业应用开发平台。基于应用开发平台提供丰富的开发工具和技术，支持企业根据具体需求定制、快速构建、测试和部署应用程序，满足企业持续改进的业务应用需求，从而节省开发时间。

8.工业软件和工业 APP。在公有云、私有云或混合云上部署研发类、生产类、供应链类、销售类等工业软件和工业 APP，提高工业企业研发、生产、管理水平和工业装备性能；基于工业 APP 轻量化和云服务的可定制、易复用、高可靠、低成本等特性，高质量满足企业在研发设计、生产制造、供应链、销售等领域的应用需求。

三、成效评价

鼓励和支持企业从精益运营、价值增长、可持续发展和综合能力提升等 4 个方面，持续开展全员劳动生产率、产品不良率等 19 个指标的成效评价监测，展现“智改数转网联”的成效和价值。

（一）精益运营。

1.全员劳动生产率。指统计期内企业工业总产值与全部职工平均人数的比率。该指标被用于衡量劳动力的效率和生产力水平。

计算公式为：

全员劳动生产率=工业总产值/职工人数，单位是【万元/人】。

2.资源综合利用率。指统计期内生产的合格的产品重量或数量与投入或消耗的主要原材料重量或数量的比率。反映在生产过程中，对资源的有效利用程度。计算公式为：

资源综合利用率=产品重量或数量/原材料重量或数量×100%，单位是【%】。

该指标仅适用流程行业。

3.产值成本率。指统计期内生产总成本与企业工业总产值的比率。该指标被用于衡量生产过程中所产生的成本与产值之间的关系。计算公式为：

产值成本率=总生产成本/工业总产值×100%，单位是【%】。

4.单位产品成本。指统计期内生产总成本与企业生产总数量的比率。该指标被用于衡量企业生产效率和成本控制能力。计算公式为：

单位产品成本=总生产成本/产品总数量×100%，单位是【万元/个】。

5.产品不良率。指统计期内检验不合格数与检验总数的比率。该指标被用于衡量产品质量和生产过程稳定性。计算公式为：

产品合格率=检验不合格数/检验总数×100%，单位是【%】。

6.质量损失率。指统计期内质量成本与工业总产值的比率。

企业内外部质量损失成本包括原材料、半成品、成品报废直接损失，返工返修工时损失以及市场质量事故处置损失。该指标被用于衡量产品质量管控效果。计算公式为：

质量损失率=质量成本/工业总产值×100%，单位是【%】。

7.设备综合效率。指统计期内设备的时间稼动率、性能稼动率和良率的综合评估。反映了在设备使用方面的效率和资源利用情况。计算公式为：

设备综合效率=时间稼动率×性能稼动率×良率，单位是【%】。

8.库存周转率。指统计期内出库（使用）的物料总数量或总

金额与平均的库存物料总数量或总金额的比率。反映了库存管理的效率和存货周转的速度。计算公式为：

库存周转率=出库/平均库存，单位是【%】。存在多个库房时，应取平均值。

9.供应商准时交付率。指统计期内供应商按时准确交付的采购订单数量与采购订单总数的比率。该指标被用于衡量供应商交货可靠性和供应链管理效果。计算公式为：

供应商准时交付率=交付/采购×100%，单位是【%】。

10.订单准时交付率。指统计期内按时准确交付的订单数量与获得的全部订单数量的比率。该指标用于衡量交货可靠性。计算公式为：

订单准时交付率=交付订单/获得订单×100%，单位是【%】。

（二）价值增长。

11.产品研制周期。指统计期内研制样机（样品）通过鉴定或者验收的时间节点与新品研制项目立项时间节点差值的平均值。该指标用于衡量研发效率和市场反应速度。计算公式为：

产品研制周期=avg（t_通过验收-t_项目立项），单位是【天】。

统计期内存在多个新品研发时，应取平均周期。

12.人均销售额。指统计期内企业销售总收入与平均销售人员

总人数的比率。该指标用于衡量企业销售业绩和员工销售能力。计算公式为：

人均销售额=销售收入/销售人数，单位是【万元/人】。

（三）可持续发展。

13.单位产值综合能耗。指统计期内企业主要能源介质的总量

合能耗量与企业工业总产值的比率。该指标用于衡量企业能源利用效率和环境影响。计算公式为：

单位产值综合能耗=综合能耗/工业总产量，单位是【（标准煤）吨/万元】。

综合能耗计算可参考[GB/T2589-2020]。

14.单位产值二氧化碳（CO₂）排放量。指统计期内企业及其全产业链条的二氧化碳排放量与企业工业总产值的比率。该指标用于衡量碳排放情况和环境影响。计算公式为：

单位产值碳排放量=碳排放量/工业总产值，单位是【吨/万元】。

15.损失工时事故率。指统计期内造成工时损失的违章事件、安全事故起数与实际总工时的比率。该指标用于衡量企业生产与经营过程中安全性和健康管理能力。计算公式为：

损失工时事故率=（安全事故*200000）/实际工时，单位是【起/小时】

（四）综合能力提升。

16.先进制造模式/解决方案面向供应链上下游复制推广的企业数量。指统计期内为提高供应链的整体效率和质量，将自身先进制造模式/解决方案向供应链上下游复制和推广的企业数量。该指标用于衡量企业先进制造模式/解决方案的可扩展性和适应性。单位是【家】。

17.关键设备数控化率。指统计期内采用数控化、智能化设备执行的生产工序数量与生产工序总数的比率。该指标用于衡量企业生产过程采用数控技术的程度和水平。计算公式为：

生产工序数控化率=采用数控化、智能化设备执行的生产工序数量/生产工序总数量×100%，单位是【%】。

该指标仅适用离散行业。

18.先进过程控制投用率。指统计期内采用自动化控制系统

控制执行的生产工序数量与生产工序总数的比率。该指标用于衡量企业生产过程采用先进过程控制技术的程度和水平。计算公式为：

先进过程控制投用率=采用自动化控制系统控制执行的生产工序数量/生产工序总数量×100%，单位是【%】。

该指标仅适用流程行业。

9.关键设备联网率。指统计期内联网的数字化生产设备数量与生产设备总数的比率。该指标用于衡量企业生产过程中利用物联网技术实现设备互联的程度和水平。计算公式为：

关键设备联网率=联网的数字化生产设备数量/生产设备总数量×100%，单位是【%】。