

泛半导体产业黑灯工厂发展研究洞察白皮书

亿欧智库 <https://www.iyiou.com/research>

Copyright reserved to EO Intelligence, March 2024

目录

CONTENTS

01 LOFA开启黑灯工厂之路

02 泛半导体产业LOFA应用场景分析

03 泛半导体产业黑灯工厂最佳实践

04 泛半导体产业打造黑灯工厂未来趋势展望

目录

CONTENTS

01 LOFA开启黑灯工厂之路

- 1.1 黑灯工厂定义及演进路径
- 1.2 LOFA打通纵向集成助力企业打造黑灯工厂
- 1.3 LOFA解决方案架构及关键技术
- 1.4 泛半导体产业黑灯工厂国产解决方案生态图谱

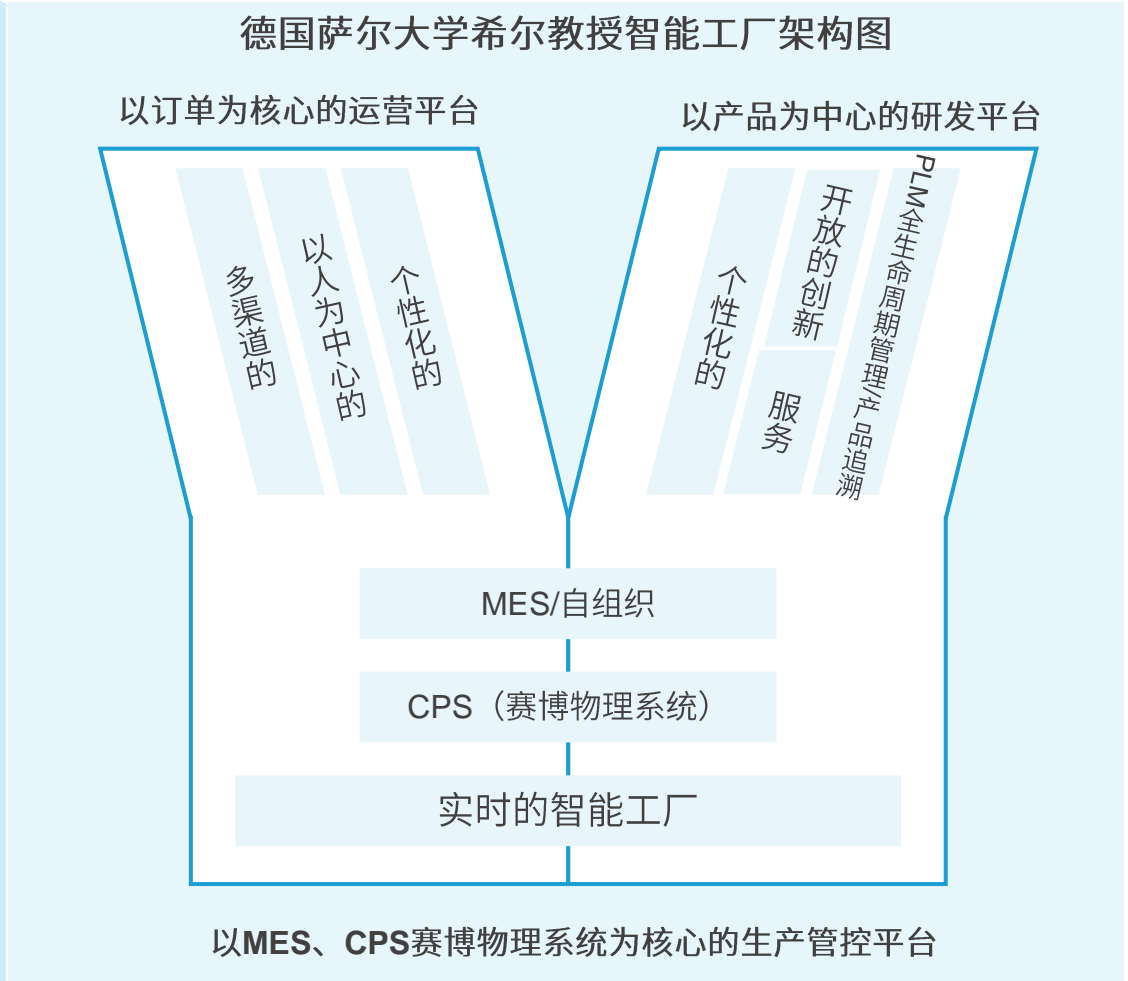
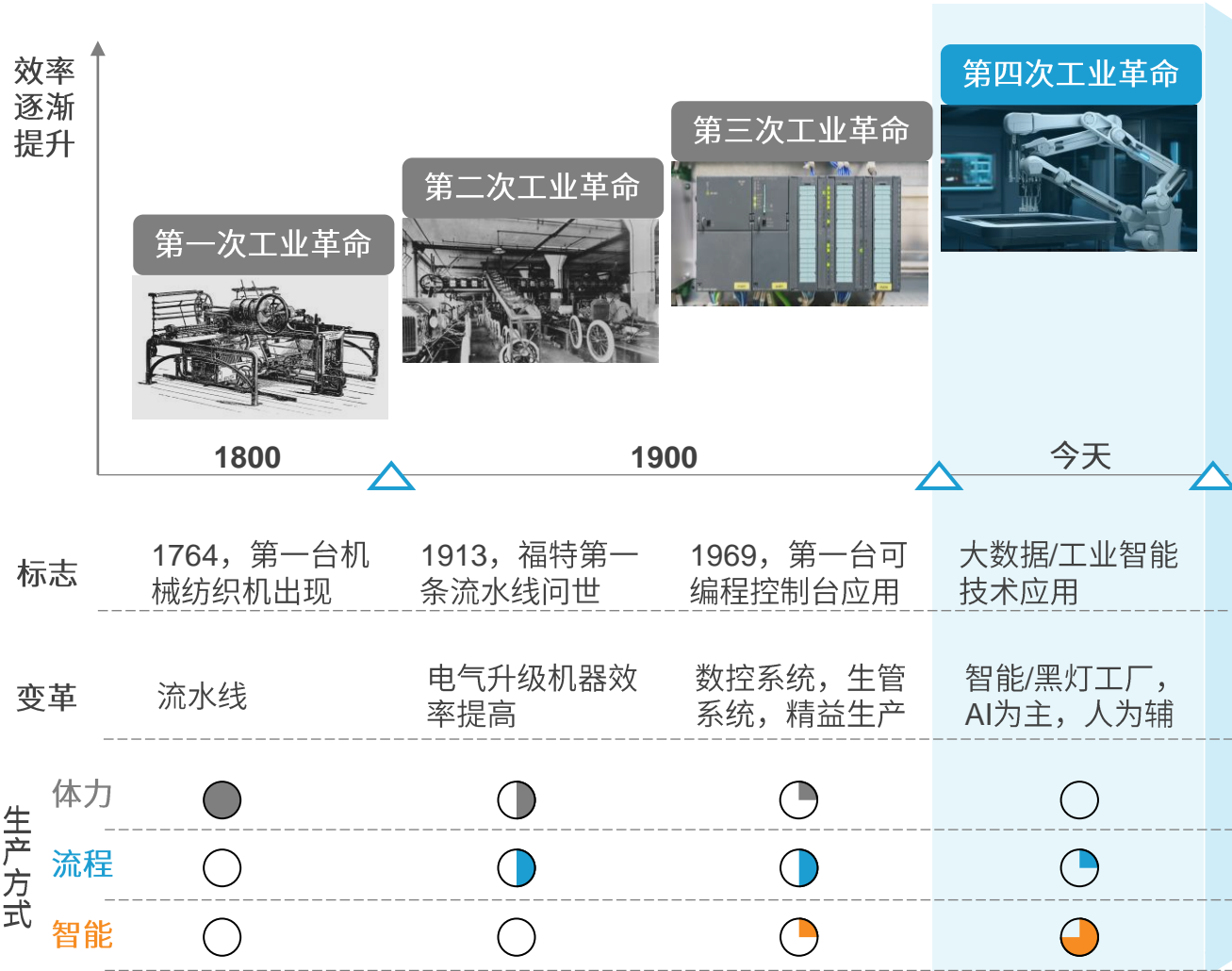
02 泛半导体产业LOFA应用场景分析

03 泛半导体产业黑灯工厂最佳实践

04 泛半导体产业打造黑灯工厂未来趋势展望

工业4.0时代，黑灯工厂是发展最终形态

◆ 工业4.0是基于工业发展的不同阶段作出的划分，最终目标是通过应用新一代信息技术实现黑灯工厂（智能工厂）。德国萨尔大学希尔教授曾对智能工厂做过一个清晰的描述，其构成分为三大部分：以订单为核心的运营平台、以产品为中心的研发平台以及以MES、CPS赛博物理系统为核心的生产管控平台。而后两者，MES与以设备为中心的CPS是数字化车间的核心信息化系统，是企业进行智能制造建设的基础与关键。



◆ 黑灯工厂建设不仅仅是一系列新技术或新系统的单纯应用，而是一项影响到车间各个层面，甚至是可以影响到企业层面的综合性工程。它既涉及生产自动化系统，又涉及数字化、网络化等信息化系统，还要考虑计划调度、生产工艺、物料配送、精益生产、安全环保等各种因素。因此，要实现这一目标，一定要有全局的概念与系统的思维。首先需要做到企业内部纵向集成，即打通从企业管理一直到设备终端的数据流、信息流，实现“状态感知-实时分析-自主决策-精准执行-学习提升”。

智能计划排产

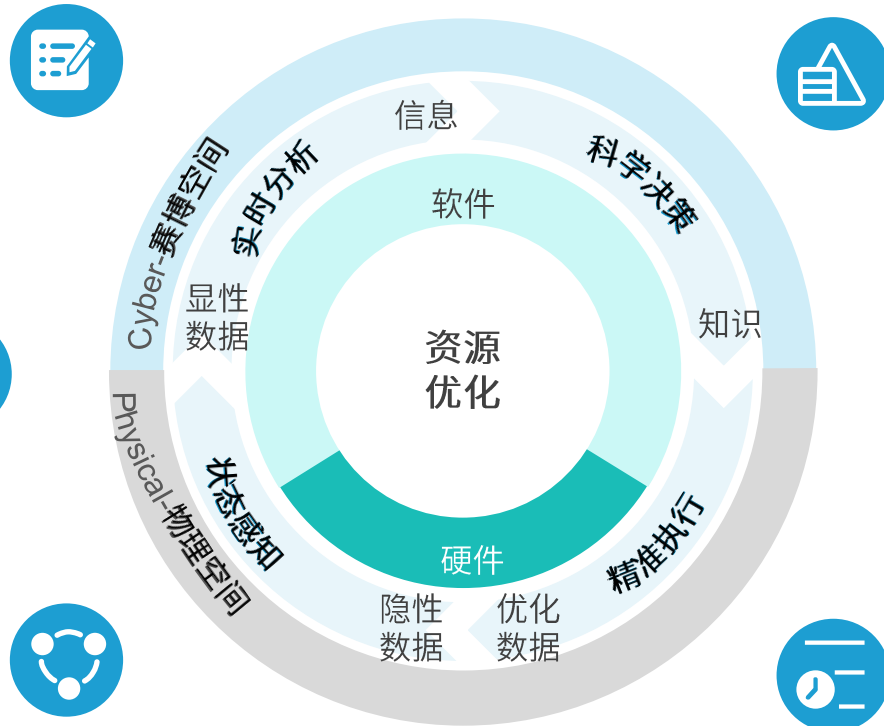
智能制造首先要从计划源头上确保计划的科学性、精准性。通过集成，从ERP等上游系统读取主生产计划，利用APS高级排产功能进行自动排产，按交货期、计划优先级、生产周期等多种排产方式，自动生成的生产计划可准确到每一道工序、每一台设备、每一分钟，并做到设备等待时间少、生产效率、交货期短。

智能过程协同

为避免贵重生产设备因操作工忙于找刀、找料、检验及手工输入加工程序等辅助工作而造成设备有效利用率低的现象，企业要从生产准备过程上通过物料、刀具、工装、工艺等工作的并行协同准备，实现车间级的协同制造。

智能互联互通

通过信息化系统与生产设备等物理实体的深度融合，实现智巧化的生产与服务模式。对企业来讲，将数控设备、机器人、自动化生产线等数字化设备，通过数字化生产设备的分布式网络化通信、程序集中管理、设备状态实时监控、大数据分析可视化展现实现数据在设备与信息化系统之间的自由流动，使「哑傻」设备变得「耳聪目明」，充分发挥数字化、网络化、集群化的协同工作优势，就是CPS赛博物理系统在制造企业中的具体应用。



智能资源管理

通过对生产资源（如物料、刀具、量具、夹具等）进行出入库、查询、盘点、报损、并行准备、切削参数、统计分析等管理，有效地避免因生产资源的积压与短缺，实现库存的精益化，可明显减少因生产资源不足带来的生产延误，也可避免因生产资源积压造成生产辅助成本的居高不下。

智能质量管控

通过设备物联网系统对数控机床、熔炼、压铸、热处理、涂装、检测等数字化设备进行实时数据采集与管理，如采集设备工作状态、各类制造过程数据，可实现对加工过程实时、严格的工艺控制。当生产一段时间质量具有一定规律后，通过对工序过程的主要工艺参数、产品质量进行综合分析，为技术人员与管理人员进行工艺改进提供科学、量化的参考数据，并在以后的生产过程中，通过控制这些参数，保证产品的一致性与稳定性。

智能决策支持

在生产过程中，系统中运行着大量的生产数据和设备的实时数据，这是一种真正意义的工业大数据，这些数据是企业宝贵的财富。对这些数据进行深入的挖掘与分析，生成各种直观的统计、分析报表，如计划制订、计划执行、质量、库存、设备等方面的分布及发展趋势，可为相关人员进行科学决策、优化生产提供帮助。

打造黑灯工厂需要经过四大阶段，最终实现从感知到决策再到执行的正向改善

◆ 北京航空航天大学刘强教授有一个著名的智能制造“三不要理论”，即“不要在落后的工艺基础上搞自动化，不要在落后的管理基础上搞信息化，不要在不具备数字化网络化基础时搞智能化”。从黑灯工厂实践来看，工艺越成熟、流程标准化越高、管理理念越先进的工厂转型的成功率越高。从生产过程来看，如生产布局、节拍、后工序拉动、标准作业等是实现黑灯工厂的基础。

打造黑灯工厂的四大阶段

智能化

- 智能分析
- 自主决策
- 自动执行

数据完整、上下游连贯性好，可做到问题追溯、分析、改善。通过人工智能等相关技术实现从感知到决策再到执行的正向改善循环。

数字化

- 数据采集
- 数据分析
- 数据应用

数据采集完善，但信息壁垒、数据孤岛情况明显，数据质量差。需要通过流程梳理、数据治理来提升数据的可用性，进而提升分析的准确性。

网络化

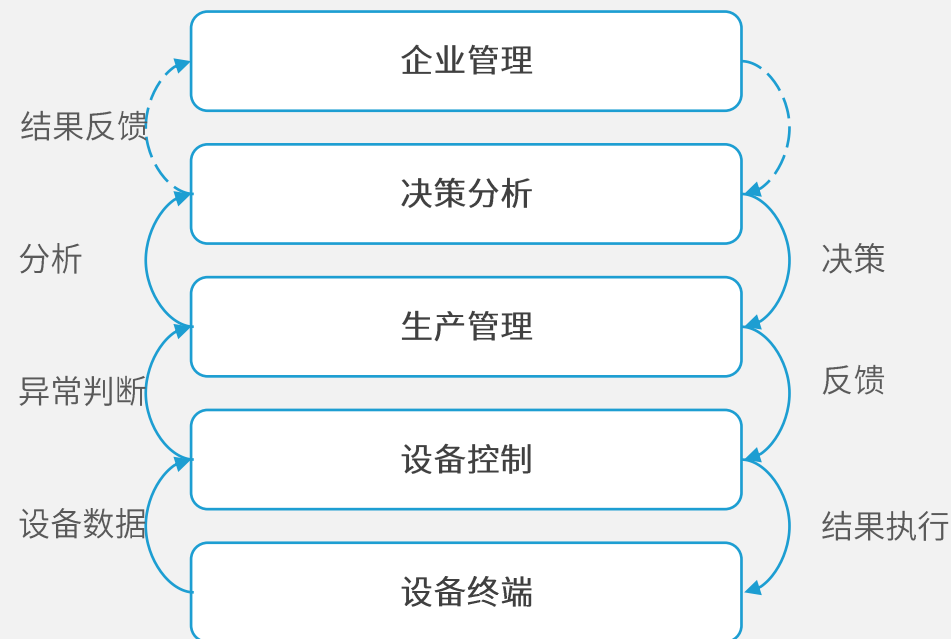
- 设备改造
- 自动化设备
- 设备互联

在这个阶段工厂存在部分“哑”设备，需要通过改造获取设备运行情况。同时通过构建工业物联网实现设备互联与信息采集。

标准化

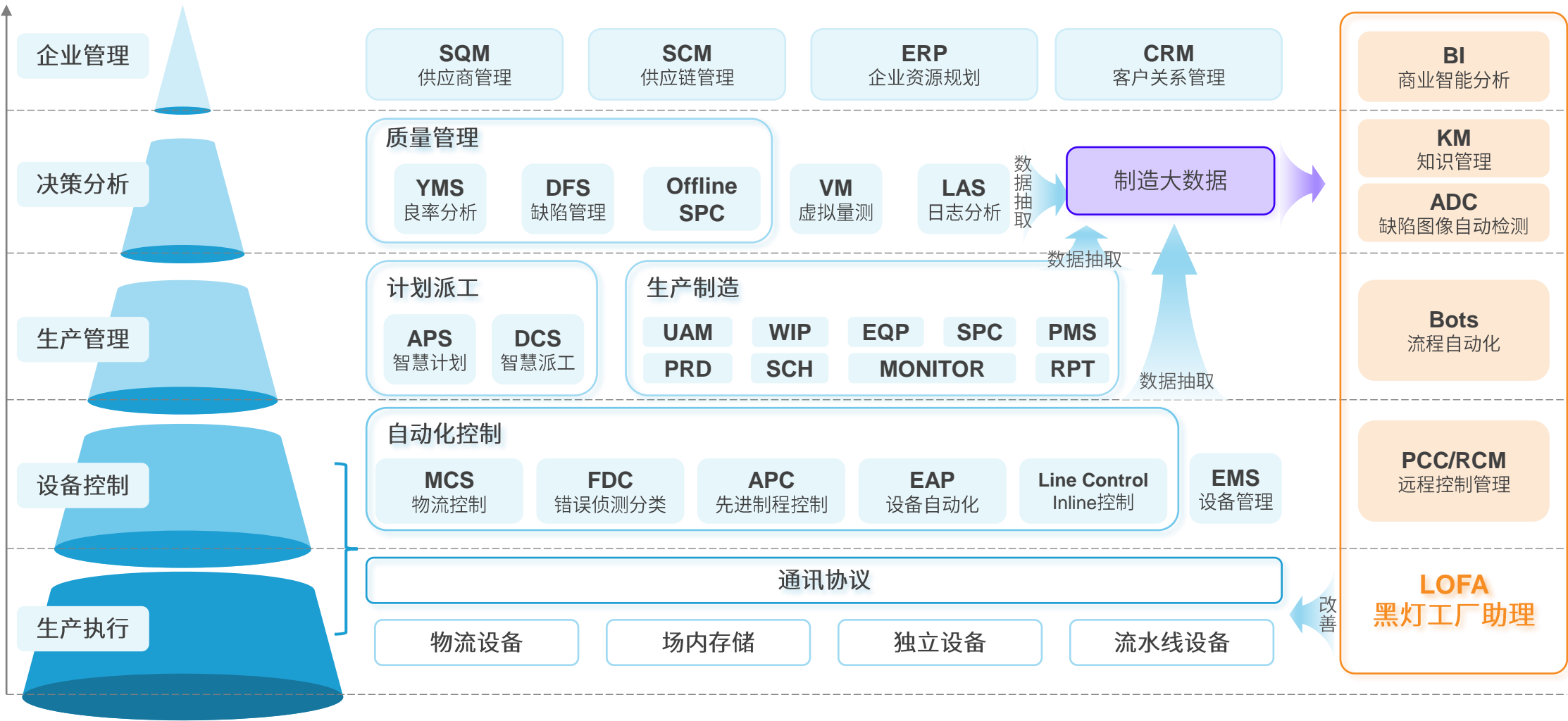
- 工序成熟
- 流程标准
- 管理先进

实现从感知到决策再到执行的正向改善循环



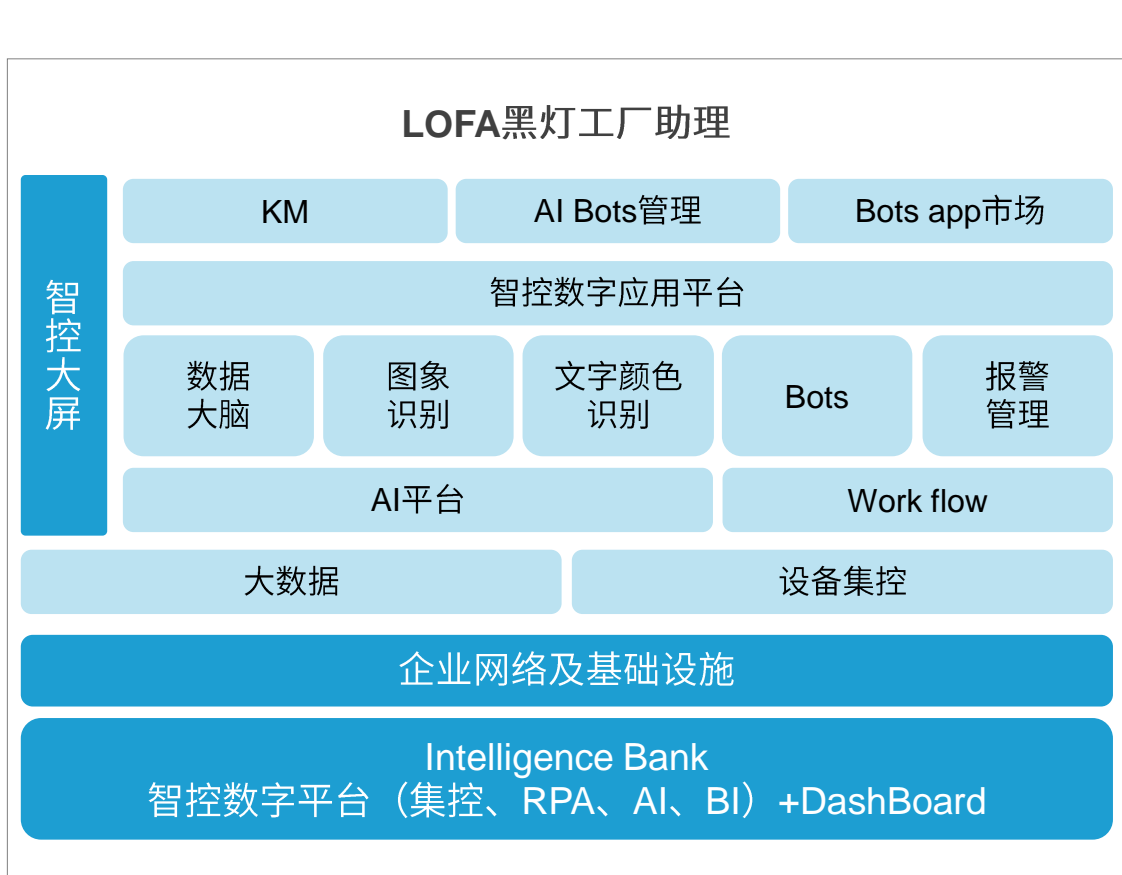
IT与OT割裂、数据孤岛是打造黑灯工厂必须要解决的问题，LOFA助力企业实现纵向集成

◆ 第三次工业革命后，数控系统渐渐普及，单点自动化已被大范围采用。但IT与OT割裂、数据孤岛仍旧是当前亟待改善的问题。LOFA（黑灯工厂助理）贯穿远程控制管理、流程自动化、自动缺陷分类、知识管理与商业智能，打通数据采集与分析闭环，助力企业实现纵向集成，提升工厂数字化程度。



LOFA以数字技术为核心，应用AI视觉检测、RPA与大数据相关技术从软件层面打造工厂智慧中控大脑

◆ LOFA (Light Off Factory Assistant) 作为全自动化工厂中控战勤室统一入口，集成工厂管理需求展示、控制、知识管理、技能组件、流程自动代操、AI识别及解析等，致力打造工厂的智慧中控AI大脑。



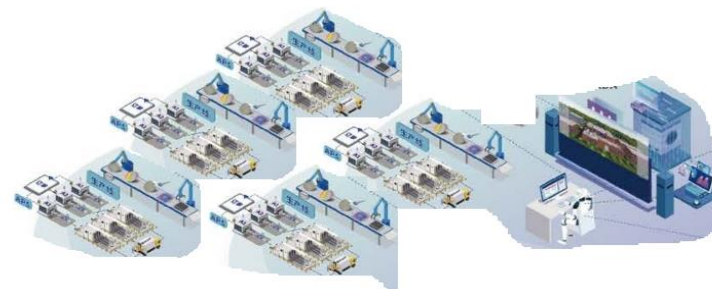
LOFA黑灯工厂助理解决方案

PCC/RCM

- 可以通过人机交互，来实现对多台设备的同步报警灯状态监控和机台界面控制操作功能。

AI

- 基于人工智能的图像算法服务，执行缺陷自动分类、缺陷位置检测和界面字符识别等核心任务。



Bots

- 通过AI识别与iDEP判断，下达Bots代替人员进行操作。

iDEP预测

- 利用大数据建模，找出关键因子预测最佳参数，下达给设备。

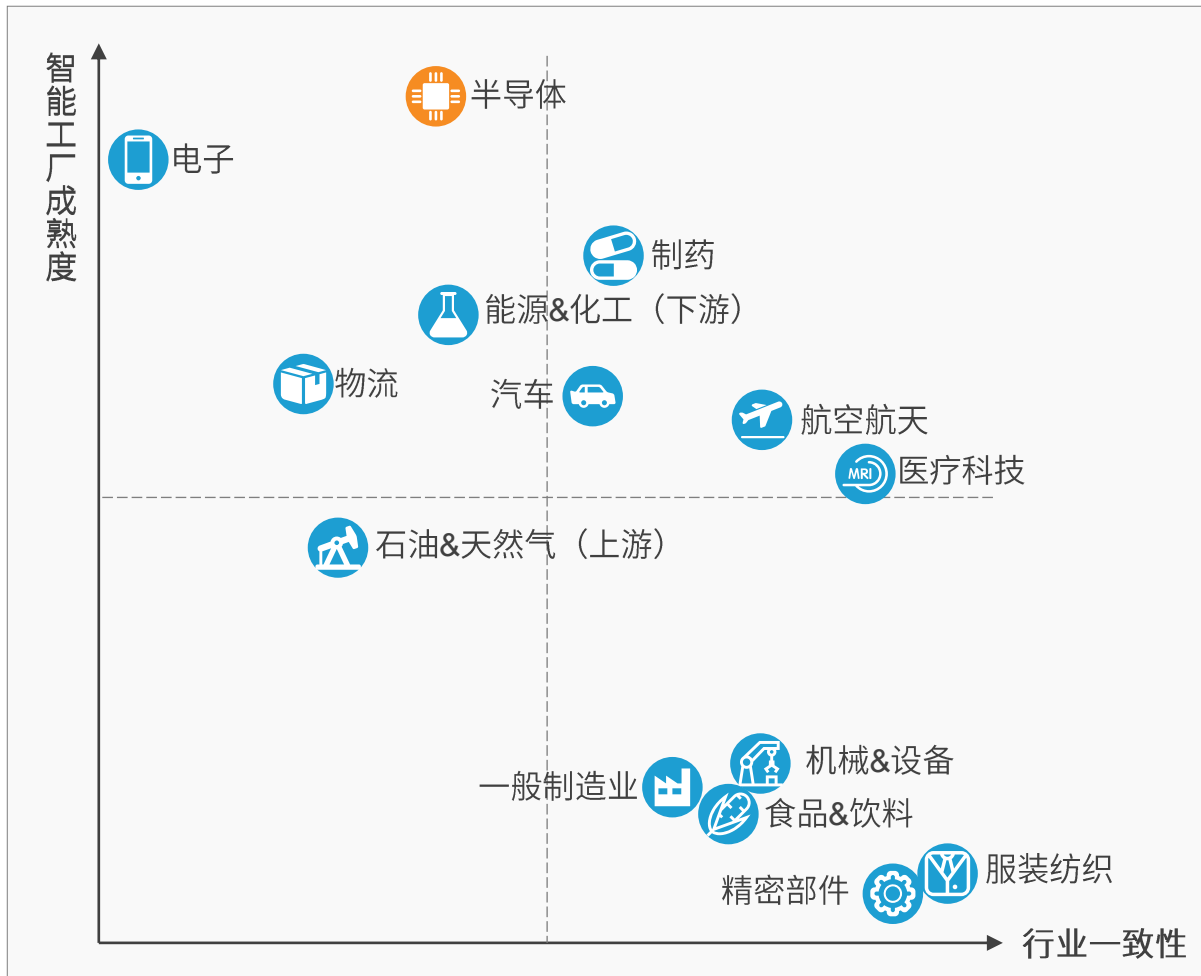
BI报表

- 对产品图像缺陷定位、缺陷分类、代操效率、生产/良率趋势等的数据报表汇总和分析KM知识驾驶舱、SOP数字化。

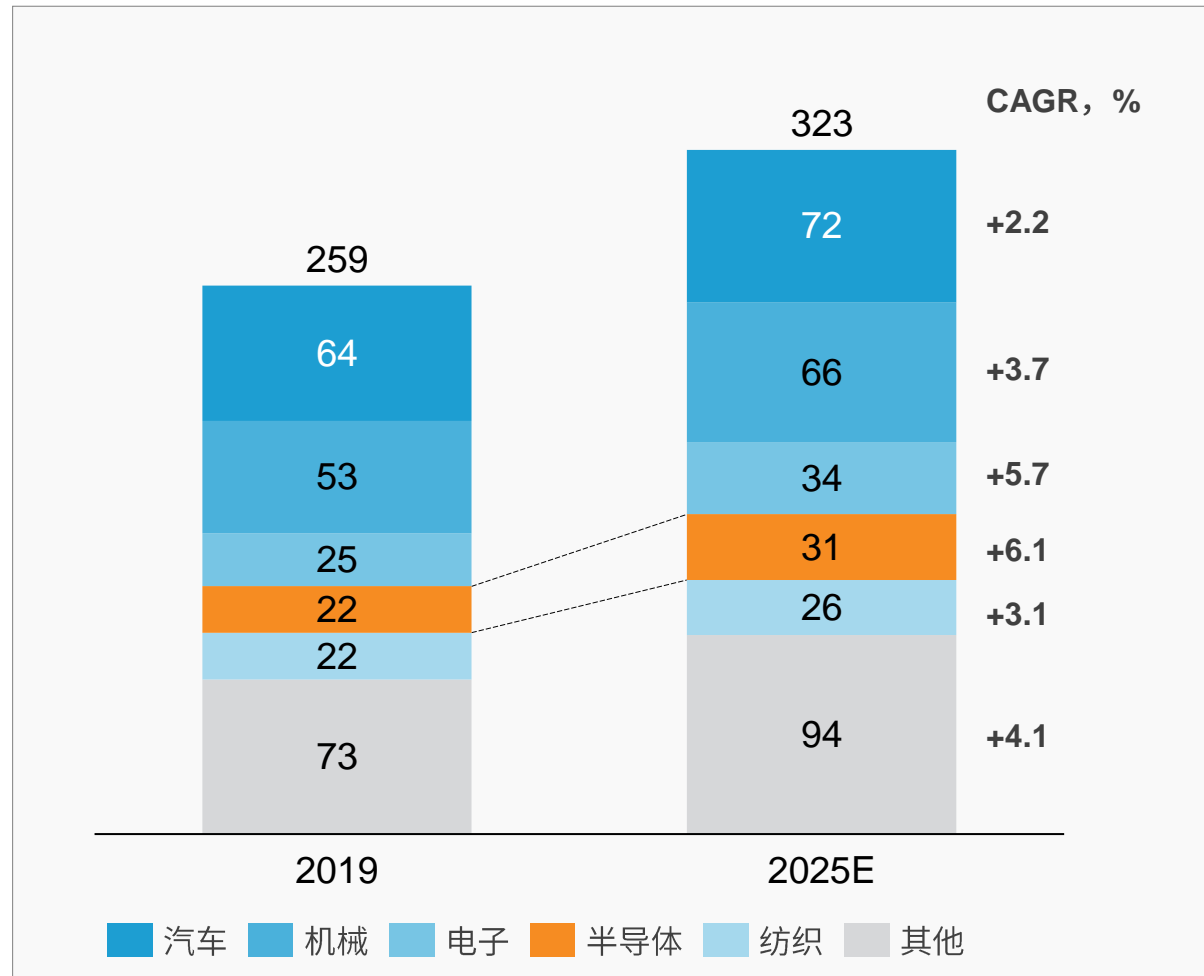
半导体是数字经济的重要基石，设备自动化程度普遍较高，需从软件层面提升智能控制程度

◆ 半导体产业智能化程度高于其他产业，但细分行业之间仍有较大差异。随着芯片制程的不断突破，芯片靠人工检测已经不可能，新建12"厂自动化程度相当成熟，然而6"及以下工厂仍存在设备联网程度不高、自动化程度较低的痛点。此外，SMT、封测、PCB等相关产业也面临相同痛点，未来仍有较大提升空间。

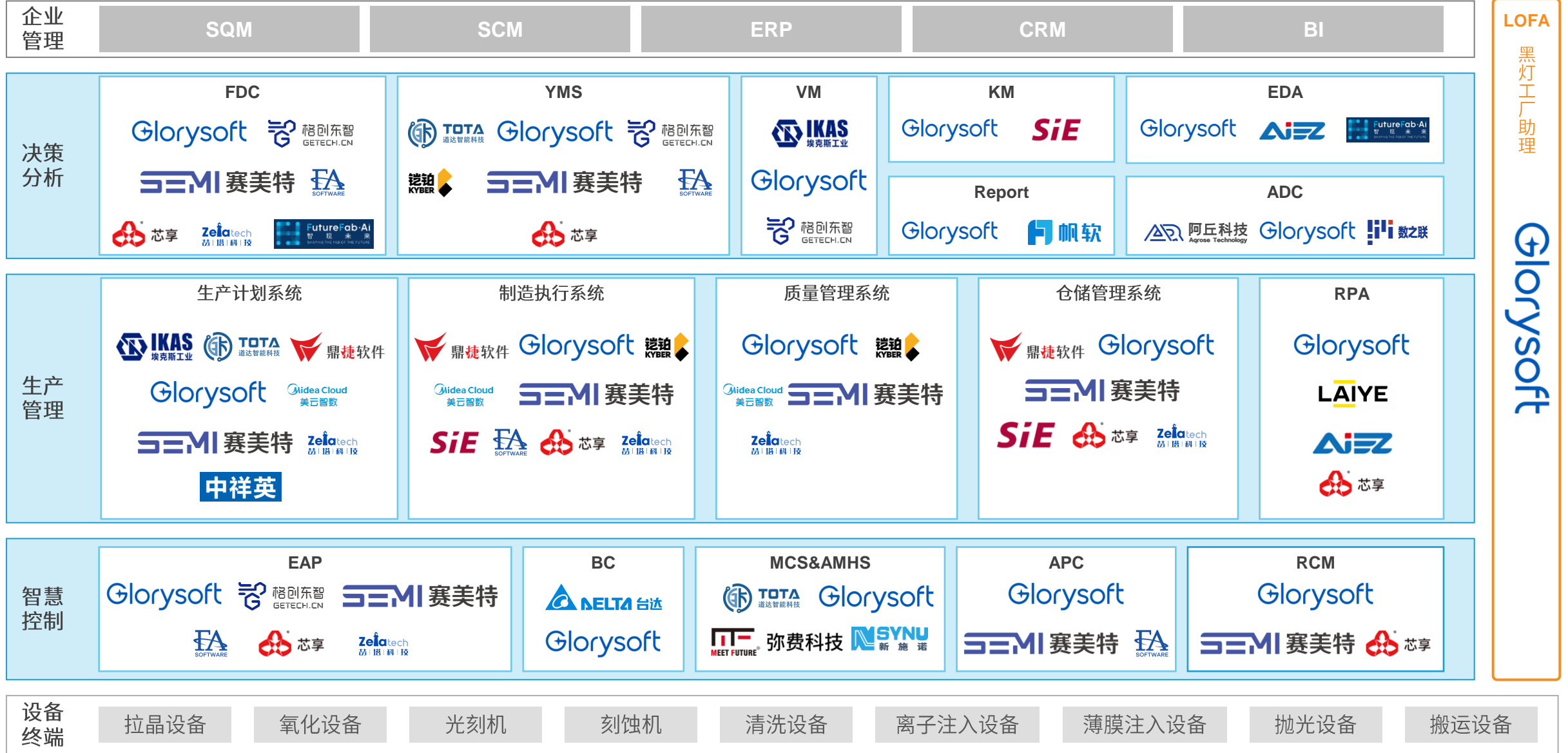
14个行业的智能工业成熟度指数发展状况



离散制造业智能控制规模及增速 (亿美元)



泛半导体产业黑灯工厂国产解决方案生态图谱（按首字母排序，排名不分先后）



LOFA
黑灯工厂助理
Glorysoft

目录

CONTENTS

01 LOFA开启黑灯工厂之路

02 泛半导体产业LOFA应用场景分析

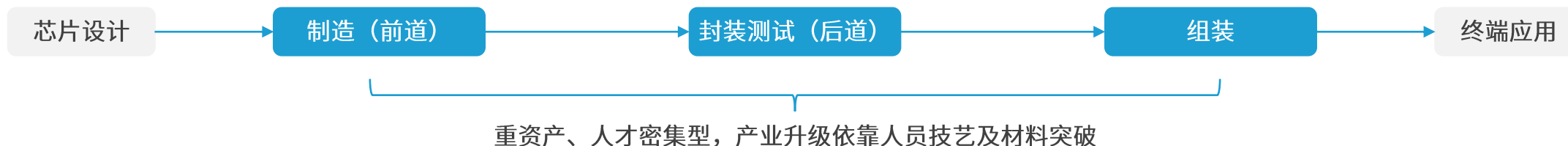
- 2.1 半导体IC 行业黑灯工厂建设难点及LOFA应用场景分析
- 2.2 半导体光伏 行业黑灯工厂建设难点及LOFA应用场景分析
- 2.3 半导体显示 行业黑灯工厂建设难点及LOFA应用场景分析

03 泛半导体产业黑灯工厂最佳实践

04 泛半导体产业打造黑灯工厂未来趋势展望

半导体IC行业黑灯工厂建设难点及LOFA应用场景分析

- ◆ 在全球竞争加剧、政策鼓励以及技术进步的驱动下，中国半导体IC产业不断发展，本土应用领域的丰富也为产业发展提供强大动力，但由于产业技术壁垒高、资金需求大，因此不断朝更细分、更先进的方向发展。
- ◆ 半导体IC产业链从芯片设计，到晶圆制造、封装测试、组装，再到下游的终端应用，中间涵盖众多环节，特别是前道晶圆制造、后道封装测试以及组装，具有产业链条长、环节工艺复杂等特点。



• 12"、8"是当前晶圆制造主流

12"晶圆因更高的生产效率和更低的单位耗材，逐渐成为晶圆制造主流尺寸，新建晶圆厂多以12"为主；同时，伴随显示驱动、电源管理芯片、分立器件、车规半导体等需求的稳步提高，8"仍具有重要地位。

• 先进制程不断进步，短期内FinFET将仍为主流

FinFET广泛应用于22nm至5nm等芯片制造中，其工艺相对成熟。虽然GAA工艺技术不断优化，但对设备和技术支持要求更高，在应用上仍需进一步验证。

• 先进封装占比将持续提升

芯片特征尺寸接近物理极限，先进封装技术成为延续摩尔定律的重要途径。半导体封测市场将继续向小型化、集成化、低功耗方向发展，同时附加值更高的先进封装占比将持续增加。

• 前道厂纷纷探索先进封装

先进封装工艺更偏前道工艺，使得Fab厂具有先发优势。近年来，Fab厂在先进封装领域投入力度不断增加，探索技术与商业可行性，进一步影响先进封装产业链竞争格局。

• SMT是当前主流的组装技术

在电子产品小型化需求趋势下，组装密度更高的SMT技术成为组装技术需求主流。

• 差异化服务逐渐成为竞争优势

SMT工艺成熟，行业竞争激烈，催生了更多差异化服务需求，尤其是汽车电子、医疗电子等高附加值领域。这些领域对检测自动化和异形件贴装插件的可靠性要求更高，推动SMT工厂对产线整体工艺水平和效率的进一步提升需求。

• SMT未来发展将与封测结合，推动SIP技术发展

整体市场增量来源于汽车电子、数据中心和消费电子，各类芯片对先进封装技术需求不断提高

◆ 随着高性能计算、AI、5G等技术的快速扩张，AI、存储、通信等芯片需求将持续提高，并对先进封装技术提出更多要求。现阶段，先进封装主要应用于消费电子，未来在汽车电子、数据中心、电信基建等领域的应用增速将显著加快。

2022年各芯片类型市场规模 (亿美元)	未来市场预期	先进封装工艺需求	说明
逻辑芯片  1,772	高速增长	FC、2.5D/3D、FO、SiP	随着AIGC的应用拓展，头部大厂加速部署AI领域，带动GPU需求激增，并带动其他类型逻辑芯片需求同步增长。
存储芯片  1,555	逐步增长	FC、3D、WB、QFN、WLCSP、SiP	随着下游汽车电子、消费电子领域的持续发展，将驱动存储芯片需求增加，市场规模有望进一步增长。
传感器芯片  600	高速增长	FC、FO、WB、QFN、WLCSP、SiP	受益于物联网、人工智能、5G等新兴技术的快速发展，以MEMS为代表的传感器芯片将迎来良好发展机遇，保持较快增长。
通信芯片  530	稳步增长	FC、2.5D/3D、WB、SiP	伴随物联网、车联网、人工智能等新兴应用领域的拓展和深化，通信芯片需求释放，将保持稳步增长。
电源芯片  400	稳步增长	FC、FO、WB、QFN、ED、SiP	电子设备数量及种类持续增长，电能应用效能管理日趋重要，带动电源芯片需求增长。

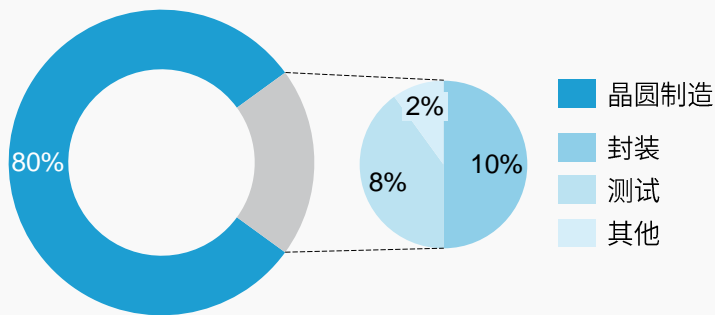
◆ 从半导体IC产业链整体来看，现阶段主要面临成本投入高带来的降本增效需求，制程工艺技术不断演进带来的良率提升挑战，以及行业人才招工难、用工难的问题。

资本集中程度进一步提升

➤ 前道晶圆制造和后道封测均为重资产投入产业

半导体产业技术难度高，资金投入巨大，特别是前道的晶圆制造环节和后道的封测环节，均为重资产投入产业。

晶圆制造和封测环节的设备投资占比



➤ SMT产业利润压缩，亟需降本增效

与半导体产业链相比，SMT产业技术难度相对较低，进入门槛也相对更低，因此企业之间“内卷”严重，面临严峻的市场竞争格局，在此背景下，存在较高的降本增效需求。

设备资本投资重，需要寻找降本新路径

制程工艺演进带来良率提升新挑战

➤ 肉眼不可辨，缺陷定位难

制程工艺演进下，缺陷很难通过工具直接辨认。因此，如何在研发与量产时监控缺陷变得十分困难。过往，良率或许只需Fab厂在生产时进行控制提升，但现在需要fabless公司在产品设计时，将监控结构埋在产品当中，与Fab厂共同实现良率提升。

➤ 封装时产生的应力将改变芯片晶体管特性

在芯片的边缘和中间，应力是不一样的，用传统的方式去监控会导致很多引申问题。要解决问题就需要晶圆厂和fabless协同合作，实现半导体数据从设计到生产到封装测试的全产业链管理和监控。

➤ SMT贴装仍面临人工误判率高的痛点

SMT贴片加工过程中，元器件的贴装和焊接为关键环节，可能出现贴片位置不准、短路、焊接不良等现象，从而影响生产效率。而传统的AOI虽然能在一定程度上检测出产品缺陷，但准确率仍待提高，且很难预测损坏零件的外观，需要AI技术赋能检测准确率提高。

良率挑战下，需寻找更精准的方式识别缺陷并改善

行业人才存在缺口，企业招工难、用工难

➤ 半导体产业以人才驱动，当前缺口较大

2020年中国半导体产业从业人数约54.1万，同比增长5.7%，到2024年人才需求预估超过80万人，人才缺口将近1/4。以晶圆制造环节为例，当前最缺工艺和生产方面的人才，且与产业链其它环节相比，晶圆制造岗位更看重经验和专业知识，招工难度更大。

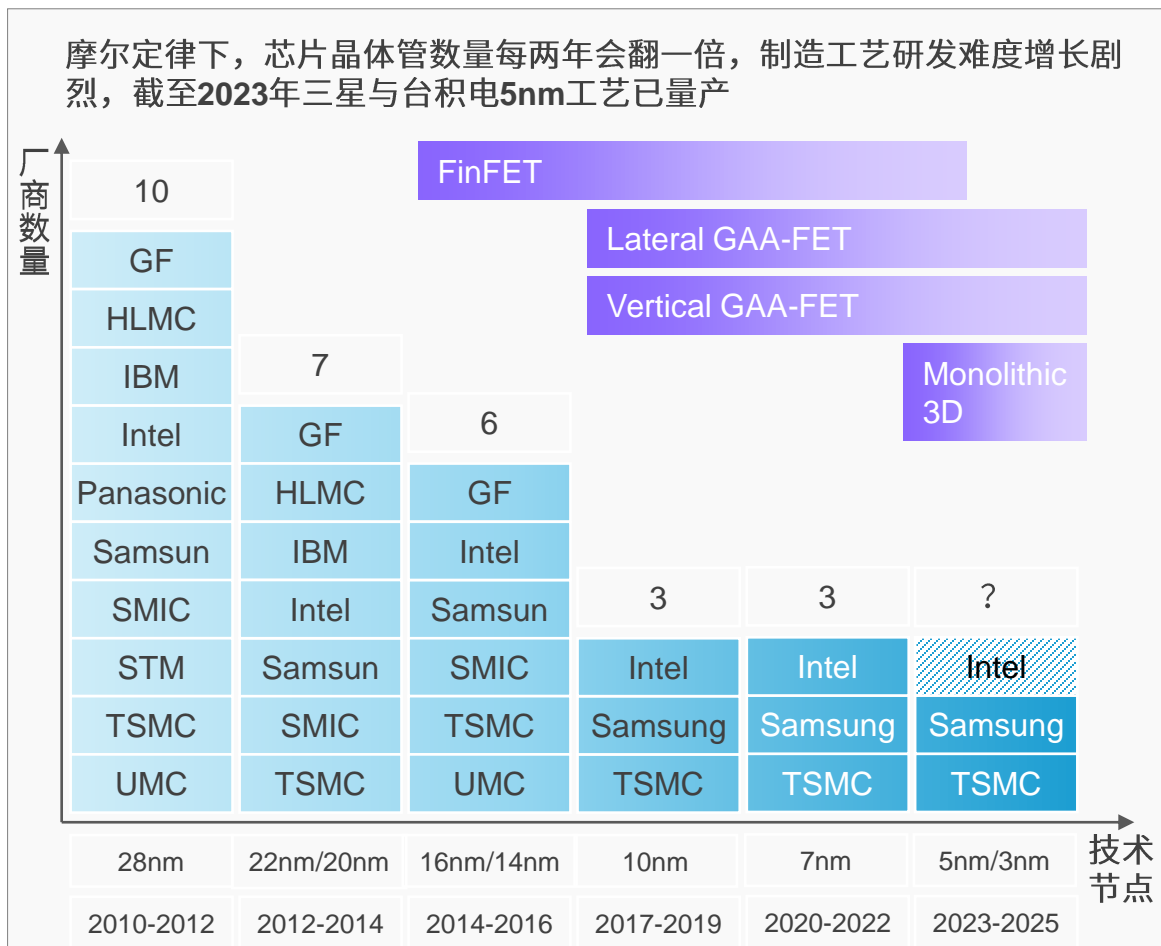
➤ SMT行业正式工招募难，对设备操作要求较高

当前，SMT行业普遍面临着正式员工短缺的问题，尤其在工厂密集分布的珠三角地区。大量采用学生工的现象导致员工流动频繁，进而造成人力成本上升，导致对自动化升级的紧迫度提升。随着SMT技术迭代，工厂对操作人员的技能要求不断提高，但产业缺乏系统的培训体系，导致专业人才供不应求。随着技术的更新换代，操作人员需要具备持续学习和快速接受专业知识的能力，同时经验丰富的操作人员无法有效地传承给新员工，因此对知识管理体系的需求也日益增加。

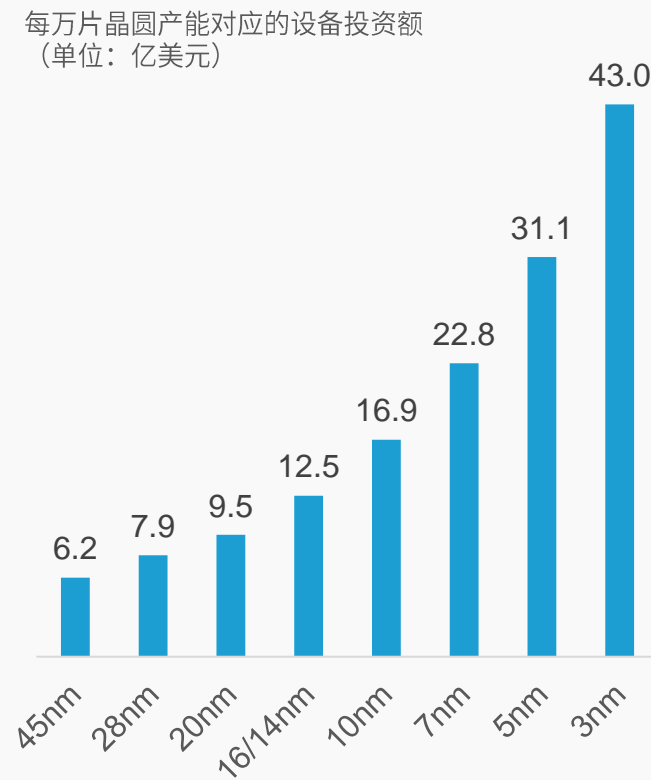
行业升级依赖人员技能，人员互相流动下亟需有效沉淀经验、知识的方法与工具

制程演进下，工艺研发难度、设备投入增长剧烈，如何缩短产品上市周期、提升良率、控制整体成本成为核心关注点

- 过去几十年，半导体制程工艺基本遵循摩尔定律稳步推进，晶体管尺寸不断微缩，而随着制程的演进，设计实现难度不断提高，流程愈加复杂，摩尔定律日趋放缓，在不断提高的技术和成本要求下，先进制程现已成为三星和台积电两家头部晶圆制造企业的游戏，而三星采用3nm工艺的Exynos 2500芯片因缺陷未能通过质量测试，导致后续的芯片组也无法实现量产，足以说明先进制程市场竞争日趋激烈。
- 在工艺要求和成本投入不断提高的背景下，半导体前道Fab厂基于缩短产品上市周期、提升良率等核心关注点，对智能制造升级的需求越来越急迫。



相同产能下，设备投资额随制程先进程度提升而增长



Fab厂智能制造升级核心需求

- 缩短新产品上市时间和量产时间
- 提升产品良率和生产效率
- 提高成本投入的回报
- 提高下游客户的体验和满意度
- 建立适应全球化发展的战略

面对工艺研发难度的提高和设备投入的增长，Fab厂亟需通过智能制造手段实现优化升级

半导体前道环节自动化水平相对较高，但仍普遍存在人员误差高、数据孤岛、设备维护效率低、智能化水平有待提升等痛点

◆ 现阶段，中国大部分半导体前道Fab厂都已实现单个环节机台设备自动化，甚至部分头部工厂已采用带有智能化功能的设备，但普遍存在设备和生产环节之间数据难以互通的痛点，因此下一步升级需在当前基础上实现各生产环节和机台设备的数据打通。



减少人员错误

- 尽管Fab厂通过设备自动化升级可以在一定程度上降低人员误差，但产线上仍存在大量人机结合操作环节。人工操作存在误差率且稳定性难以保证，直接影响良率，因此需要有更加先进的方式减少人员错误。



工艺间的衔接效率提高

- 主要体现在异常定位与解决上。例如前一工艺环节出现参数异常问题时，Fab厂希望在下一个环节可以对问题进行自动定位及自主纠正，即在后面的工艺环节自动化、智能化地弥补前面流程的问题。



设备维修环节效率提高

- 目前，Fab厂在设备维修方面仍主要依靠人经验与操作，要想真正实现黑灯工厂，需要将过去发生的问题或不良的经验封装进系统/软件中，再赋能到设备的维修环节。虽然不能完全脱离人，但能在很大程度上实现降本提效。



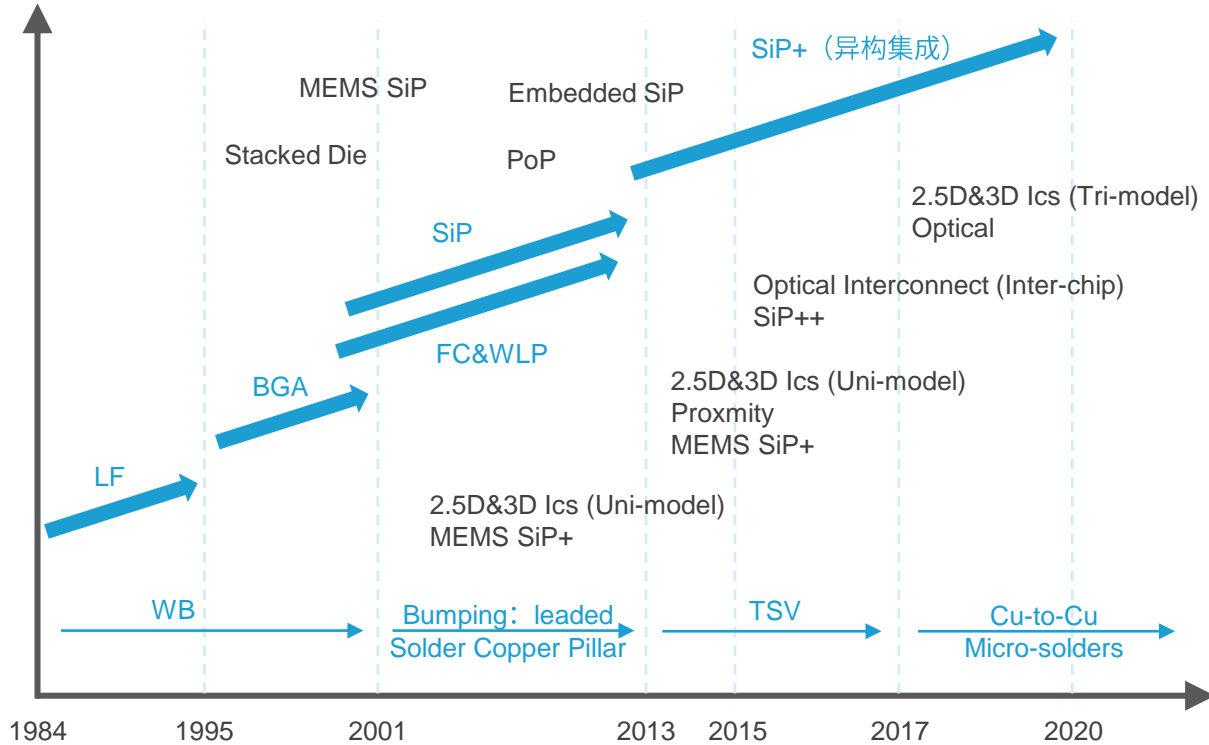
机台设备的自主校正

- 现阶段，设备机台发生问题后无法实现自主校正，仍需人员做支持。当设备预警时，需要人员现场确认校正，该项工作重复度较高，可以通过一定的技术手段提升，最终实现设备问题的自动检测和校正。

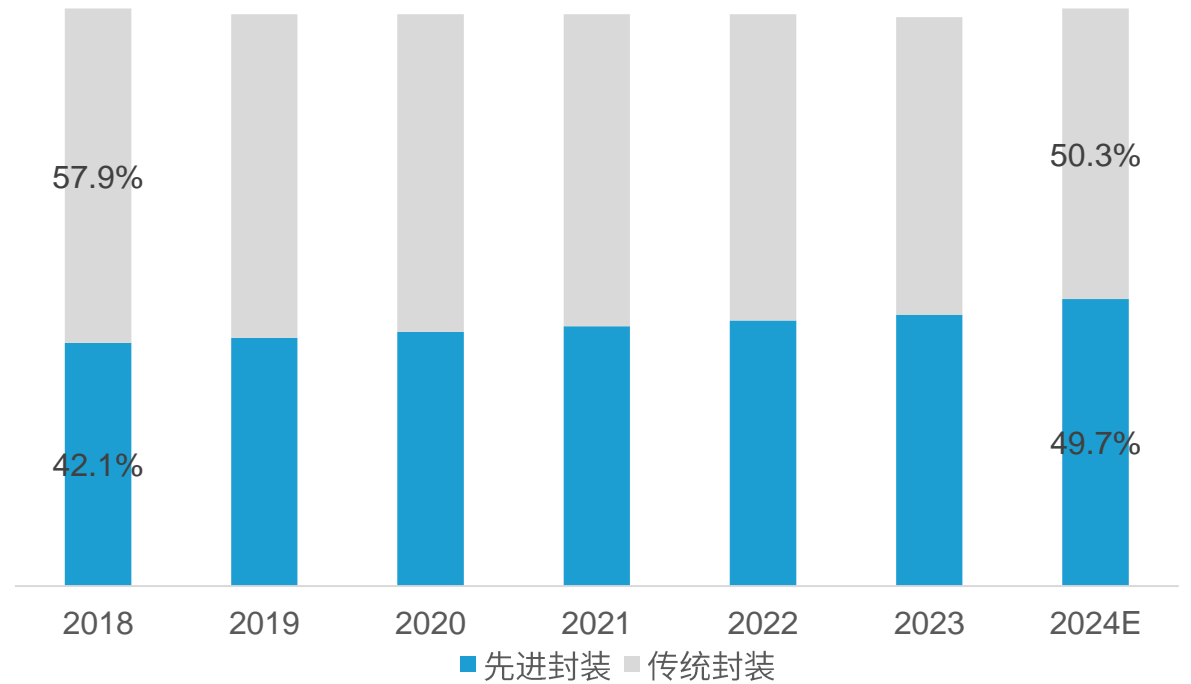
后摩尔时代，先进封装技术成为半导体行业重要趋势，规模占比将不断提升

- ◆ 技术创新成为驱动半导体产业增长的关键，随着需求市场对产品“轻薄短小”需求的提高，先进封装工艺将逐渐成为主流。
- ◆ 在人工智能、5G、高性能计算等更高集成度的市场需求下，先进封装市场增速将超传统封装，2024年，预计全球先进封装市场规模近440亿美元，先进封装规模增速提高。

半导体封装技术发展趋势



先进封装占整个封装市场的比重不断提高



- 作为后摩尔时代芯片性能提升最有效的途径，先进封装技术快速发展，以FC、ED、FO、异构集成、2.5D、3D等为代表的先进封装工艺可让芯片封装结构更集成化，逐渐成为高性能产品封装的首选。
- 先进封装与传统封装最大区别在于连接芯片方式，先进封装可在更小的空间内实现更高设备密度，通过硅通孔、桥接器、硅中介层或导线层完成更大规模的串联，因此从生产环节、产线设计上要求更高，对智能制造解决方案需求也更高。

- ◆ 现阶段，封测企业在积极布局黑灯工厂建设，但过程中仍面临降本增效、自动化程度低、检测准确度低等痛点。
- ◆ 整体来看，半导体后道封测环节自动化水平普遍低于前道晶圆制造环节，关注点略有不同。封测厂普遍希望在设备机台改造升级的基础上，实现自动化上下料、数据采集、图像识别等，并提高检测准确度以保证良率提升。

半导体后道封测环节在智能制造升级过程中面临的挑战

平衡投资与收益

- 国内封测基地已大量建成，市场竞争加剧，成本投入的降低将成为竞争重点。引入自动化设备和智能制造升级成为降本的解决方案之一。
- 在此背景下，如何平衡自动化投入成本与量化收益成为目前立项阶段核心挑战。

机台设备数据自动采集

- 先进封装工艺相对于传统封装来说技术门槛更高，对机台精度的要求也很高，机台设备所收集的数据也更多、更细。
- 如何实现不同工艺环节机台设备数据的自动采集，以及采集后的数据分析，对于先进封装产线的智能制造升级尤为重要。

自动上下料

- 对于后道封测厂特别是先进封装工艺来说，要想真正达到黑灯工厂的愿景，自动上下料是必须要克服的一环，虽然目前很多工厂已引入自动化机器人，但还是有很多材料需要依赖人去做上下料，这也是一个不小的难题。

智能检测与代操的结合

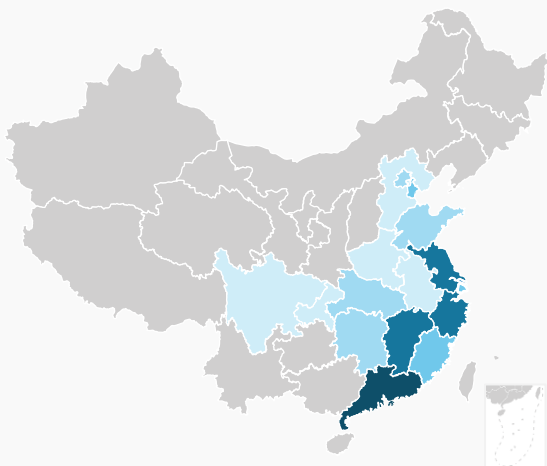
- 各封测厂都在做智能检测的尝试，如自动缺陷识别、自动对刀、自动点检等，但在缺陷自动识别及分类上，仍面临准确度不高的痛点。
- 同时，头部封测厂希望智能检测可进一步与代操融合，从而实现全面自动化。如自动切割过程中如有偏离，可结合自动对刀实现切割机的自动执行与校正。

- ◆ 激烈的市场竞争导致产品开发周期缩短，客户没有多余时间和财力进行重复开发，单板必须尽可能一次成功。因此，在第一次的PCB设计中就必须能够满足可生产性、可测试性、可维护性的要求，并可以通过各专业机构对市场准入的认证。
- ◆ 而现阶段PCBA行业普遍面临劳动力短缺、人工判图准确率低等痛点。

产品同质化、地域集中度高，竞争激烈

PCB和PCBA工厂分布

中国大陆有上千家PCB和PCBA企业，数量众多，且多分布于珠三角、长三角等地区，面临产品同质化问题，竞争日趋激烈。



原材料和劳动力短缺仍是生产环节痛点

原材料短缺

除去全球性芯片短缺对PCB行业产生影响外，各种原材料也将直接影响制造成本，特别是铜的价格不断上涨。因此PCB企业需要寻找替代材料非常重要，但同时下游需求不会很快减少，因此提前进行计划很重要，尤其是在供应有限的情况下，市场的供应情况需要PCB企业持续关注。

劳动力短缺

PCBA工厂的劳动力成本因所在区域而异，目前，产业链普遍面临劳动力短缺问题，特别是焊锡工、DIP插件工等一线员工尤其紧张，对于产业链整体来说，产品质量十分重要，因此寻找廉价劳动力替代并非切实可行的选择，雇用缺乏经验的短期劳动力可能会使生产制造环节更易出现问题，甚至导致延产、停机或更大问题。

人工成本高，误判率不稳定，需自动化手段赋能

人工成本高

对于PCB和PCBA产业链来说，生产制造过程中有很多环节都需要人工对产品质量进行确认，检测产品缺陷，但人工成本不断提高，对工厂盈利来说是很大挑战。

人工误判率高

在PCBA行业特别是SMT环节，当前各工厂基本都已导入自动化检测设备（AOI），但自动化检测设备会产生大量误报，仍需要人员复检，导致误判漏判率提高。因此，为实现质量提升，对于PCBA工厂来说，亟需自动化检测的产品或方案，以提高检测的准确率。

竞争激烈、产品需求同质化环境下，成本战略是制胜关键，企业需要关注降本增效路径

人员短缺下，需寻找自动化手段助力提升人员效率

尽管自动化检测设备普遍应用，但仍存在大量误报跟人员复检工作，需寻找更精准的方法与工具支撑

- ◆ PCBA环节的设备自动化水平相对低，且人力成本高企，为实现成本压缩及黑灯工厂目标，现阶段企业普遍聚焦于机台自动化升级。在设备自动化水平达到一定程度后，则会进一步规划以数据为基础、以软件为工具提升工厂数字化水平。
- ◆ PCBA工厂的自动化升级主要基于两方面考虑，一是减人，核心为解决招工难、人力成本增高的痛点；二是保障产品质量，由于汽车电子、消费电子等下游客户对品质要求越来越高，需要工厂对工艺环节有较高的管控能力。

检测准确率低是PCBA工厂普遍痛点

- PCBA工厂产线迭代周期短，导致自动化方案无法完全适用于所有产品产线。PCBA工厂作为纯代工厂，其自动化规划方案与客户的产品设计息息相关。产品变更时，自动化方案并不能做到平行迁移，导致整体自动化水平相对较低。
- 目前PCBA工厂距离打造黑灯工厂还有很长的距离。目前，业内通常聚焦于工厂设备的自动化升级，如生产机台更新、仓储物流自动化、自动上下料以及AOI检测等场景改造。
- 站在下游客户需求角度来看，目前PCBA工厂亟需升级改善检测环节。目前，PCBA生产过程中仍有很多环节需要人工目检和复判，存在误差，如何提升检测准确率是PCBA工厂普遍面临的痛点。

软件将进一步提升PCBA工厂自动化水平

对于PCBA工厂来说，软件系统数字化升级分为以下四个层面：

- 一是生产层面，保证生产节拍，管理生产流程和状态，以MES系统为主；
- 二是运营层面，采集运营数据，包括设备和人员等数据，实现对设备维护保养参数的监控以及异常处理的回溯、人员行为监控等；
- 三是决策层面，基于工厂的各项运营指标，如效率的达成、水电的消耗，以及生产过程中各项数据的监控，来指导决策效率的提高；
- 四是集成层面，各个生产环节以及各个工厂实现上述数字化升级之后，还面临各环节、不同工厂间的数据打通需求。对于单个工厂来说，各环节数据采集上来后需要在数据平台上做整合，经过模型计算后赋能决策；站在整个企业的角度来看，不同工厂面向的下游客户领域不同，而消费电子、汽车电子、医疗电子等客户对于产品的要求是不同的，例如汽车电子对于可靠性操作要求较高，而部分高端消费电子品牌对品质要求也很高，和汽车电子接近，因此在产品一致性的情况下，将不同工厂的数据进行整合分析，也将对企业整体的决策产生更大价值。

针对PCBA下游高附加值应用领域对判图准确率要求的提高，企业亟需人工智能技术对检测环节的赋能

- ◆ 工艺制程、技术的进步持续推动电子产品朝小型化方向发展，由此带来SMT工厂对于“轻、薄、短、小”要求的不断提高，而AOI检测是保证产品质量、提高生产效率的关键环节，但SMT在炉前/炉后AOI环节仍面临误判高、操作复杂等核心痛点，特别是对于消费电子、医疗设备、汽车电子等高附加值终端应用领域来说，对判图的准确率和效率要求不断提高。
- ◆ 针对上述痛点和需求，部分头部企业已开始探索并实践AI技术的赋能，通过AI技术与AOI的融合，进一步强化设备功能，减少人工检测成本和误报率，可在满足生产需求的同时，优化流程并提高产品质量，满足下游高附加值应用领域的需求。

当前，SMT工艺段在炉前/炉后的AOI检测上仍面临核心痛点



面临下游高附加值应用领域对判图准确率要求的提高

- 对于消费电子、医疗设备、汽车电子等PCBA下游应用领域来说，其产业附加值更高，对SMT贴片后要求100%质检，且对判图准确率要求更高。



人员工作量大，误判率较高

- 传统的算法难以兼容焊点的多形态特征，导致误判率较高，从而增加操作人员复判的工作量；
- 此外，过多的误判和长时间的工作容易导致操作人员疲劳，漏检的风险也随之增加。



操作复杂，设备调试时间长

- 以家电类PCBA生产为例，波峰焊的焊点形态变化大，传统算法需针对每一类焊点进行调试，大大增加调试时间；
- 同时，对人员的熟练程度要求较高，一旦人员发生流动，便难以延续设备检测效果，从而影响生产效率。

PCBA企业亟需AI检测对判图准确率提高的赋能

过去，AOI设备编程需手动配置上百个检验参数，费时费力，而基于AI技术可实现分钟级AOI程序自动生成，减少人工干预。

在检测SMT组件（如芯片、集成电路、连接器等）的缺陷时，传统算法需要单独培训，误报率也较高，而通过AI技术可轻松检测低对比度字符，并对缺陷进行智能分类，有助于根因分析和问题回溯。

未来趋势：

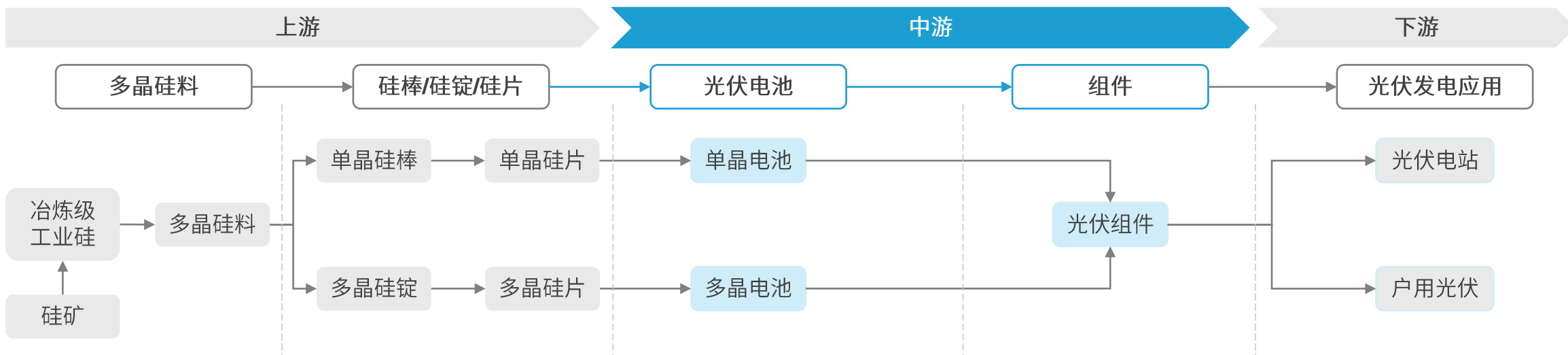
- 基于AI分析，可实现缺陷发生预警和过程偏差纠正，例如根据来自焊膏检验的反馈，动态调整模板印刷机参数，保持最佳体积并降低缺陷率；
- 通过集成多个检测点的数据，提高工厂数据分析能力，实现设备的预测性维护，在机器实际发生故障前进行预测性报警；
- 长期来看，基于AI的检测与工艺设备的深度集成可帮助生产线实现自主优化，如通过关联SPI的焊膏体积与AOI的后流焊点质量数据，持续调整打印机参数并确定理想设置。

行业	场景	自动化升级痛点及需求
半导体前道晶圆制造	良率改善YE	缺陷的自动识别
	关键尺寸量测CD SEM	代替人工对晶圆尺寸参数、压力等进行检测，虚拟量测；通过RPA实现异常流程处理
	Offline test	文档解析；MES叫料；量测代操
	WAT/CP	自动对针（图像）；针痕检测（图像）
半导体后道封装测试	研磨	涂料或清洗液的配方选择
	TSV	涂料或清洗液的配方选择
	厂务系统	数据采集；报警统计
	Die bonding	涂料或清洗液的配方选择；文档解析；mapping对位调机
	FT	涂料或清洗液的配方选择；文档解析
	三色灯采集，加液机和二氧化碳机改造	采集设备三色灯状态，采集加液机和二氧化碳机状态，通过容量控制划片机停机
	检测框架到位	检测框架到位后控制Transfer停止，前进向侧面送货，检测排出后继续向前送货
	通过串口远程控制	通过串口类型设备实现远程控制，本地远程开关互锁
	摇杆键盘控制	实现远端操作机台端摇杆键盘
	PCBA	SMT线上人员复盘
SMT产线集中管控		实时智能识别设备状态，根据特定事件进行自动化操作；实现减员
工厂中控室/战情室建设		以实现黑灯工厂为最终目标，建立中控室后逐步实现工厂自动化，监控AI、工厂整体营运指标以及非预期状况处理等

半导体光伏行业黑灯工厂建设难点及LOFA应用场景分析

环境问题凸显背景下，光伏成为关注重点，产业竞争激烈导致技术快速迭代

- ◆ 在全球气候变暖及化石能源日益枯竭的背景下，可再生能源的开发利用日益受到国际社会的重视。大力开发可再生能源、实现碳中和成为全球普遍共识，助推全球能源转型加速。在各类可再生能源中，光伏具有资源充足、清洁安全、应用广泛灵活、经济潜力大等优势。
- ◆ 光伏主产业链通常可以划分为三个主要环节，上游包括原料高纯度多晶硅材料的生产、单晶硅和多晶硅的制造、硅片的生产；中游包括光伏电池片、光伏组件以及逆变器环节；下游是光伏发电的应用端，包括集中式电站和分布式发电，此外还涉及光伏玻璃、胶膜、支架等辅材环节。



• 单晶硅片成为市场主流

单晶硅片由于其力学性能稳定性和导电性明显强于多晶硅片，逐步成为市场主流，企业也随之成为数字化主要关注的方向。

• 硅片“大尺寸”与“薄片化”趋势确定

硅片“大尺寸”与“薄片化”趋势，促使企业对品控越发重视，这就对智能制造与供应链协同提出进一步要求。

• P型电池仍是市场主流，N型电池步入快速发展阶段

目前N型电池主流技术TOPCON、HJT等均具备较好发展前景，投资成本最低。效率表现好，预计在近1-3年都将呈现产能、产量持续扩张的趋势。

• 光伏组件的壁垒正在提升

基于供应链优势、总部优势、资金优势、光伏中游产业基地的省份及总部主要集中在环渤海区域，长三角区域的江苏，华中华南地区的湖北以及广东。

• 分布式光伏占比有望持续提高；

• 整县屋顶开发政策推动分布式光伏增长。

- ◆ 2022年1月5日，《智能光伏产业创新发展行动计划(2021-2025年)》发布，提出“十四五”期间，光伏行业智能化水平显著提升，产业技术创新取得突破的目标。
- ◆ 光伏产业链公司数量庞大，除龙头企业外，信息化水平普遍低，尤其是中上游的企业，对数字化升级需求迫切。产品迭代加速、日益碎片化的客户需求行业背景下，如何借助数字化手段提升运营效率成为企业重点考虑的课题。

<h3>2021年补贴退坡完成</h3> <p>随着光伏发电成本的下降，开始实施补贴退坡机制，2021年，国家对于光伏电站和工商业用分布式光伏新建项目不再补贴；2022年，光伏进入全面无补贴时代。补贴退坡对光伏行业整个产业链条产生较大的影响，之前企业可以靠国家补贴缓解生存压力，而如今，必须通过自身产品及技术提升来获取市场竞争力。</p>	<h3>薄片化、大尺寸化对设备控制精度要求更高</h3> <p>碳达峰碳中和目标提出后，光伏逐渐从次主力能源向主力能源发展，追求规模化效应不再是其唯一目标，光伏产品制造厂商开始推动产品革新，如电池薄片化、大尺寸化，以降低硅片制造成本并提高组件功率输出。薄片化、大尺寸化产品对设备控制精度要求更高，需要更稳定的控制技术，从而提升电气系统稳定性，给光伏装备自动化程度提出进一步要求。</p>
<h3>垂直一体化发展要求各环节高效衔接</h3> <p>此前，专业化生产厂家更为常见，企业基本都聚焦在某一个环节。但随着光伏产业发展逐渐成熟，竞争日益激烈，加之供应链价格持续波动，整个光伏产业开始贯通，制造厂商也向垂直一体化方向转型。效率是全产业链制造端发展的核心逻辑，业务延伸之后，如何平衡不同环节之间的效率并做好协同工作，就需要提升设备的自动化水平，上下游快速衔接对自动化的要求会更苛刻。</p>	<h3>数字化、智能化促进设备精益化发展</h3> <p>光伏行业存在大量工艺主机类设备，比如长晶炉、切割机、电镀线设备、电池段镀膜设备等。这些设备可以通过“深度学习+传统算法”结合，即提升数字化和智能化水平，促进产品质量持续提升。以金刚砂电镀线为例，目前检验金刚线是否合格时，是在生产完成一卷线后用电镜来检测。而在生产已经完成的情况下实施检测其实意义不大，即使有问题也无法当即调整。目前，可以通过结合“深度学习+传统算法”实现在线巡检、实时生产过程监测，提升产品品质。</p>

数字技术提升光伏企业运营能力

- **RPA**等相关技术助力降低设备操作成本。通过流程标准化，借助RPA等相关数字技术可以自动化执行规律性和重复性的业务流程，降低设备操作成本。
- 通过大数据分析提升生产环节设备管理效率。通过设备自动化与互联及大数据分析，实现来料质量的前置化管理、生产过程的实时质量问题监控和智能纠偏以及成品运输签收全流程追溯，实现全流程优化和改善。
- 通过**AI**质检提升缺陷检测精准度以及效率。通过对缺陷类型的学习，对光伏制造各检测环节进行智能检测，提升良率。

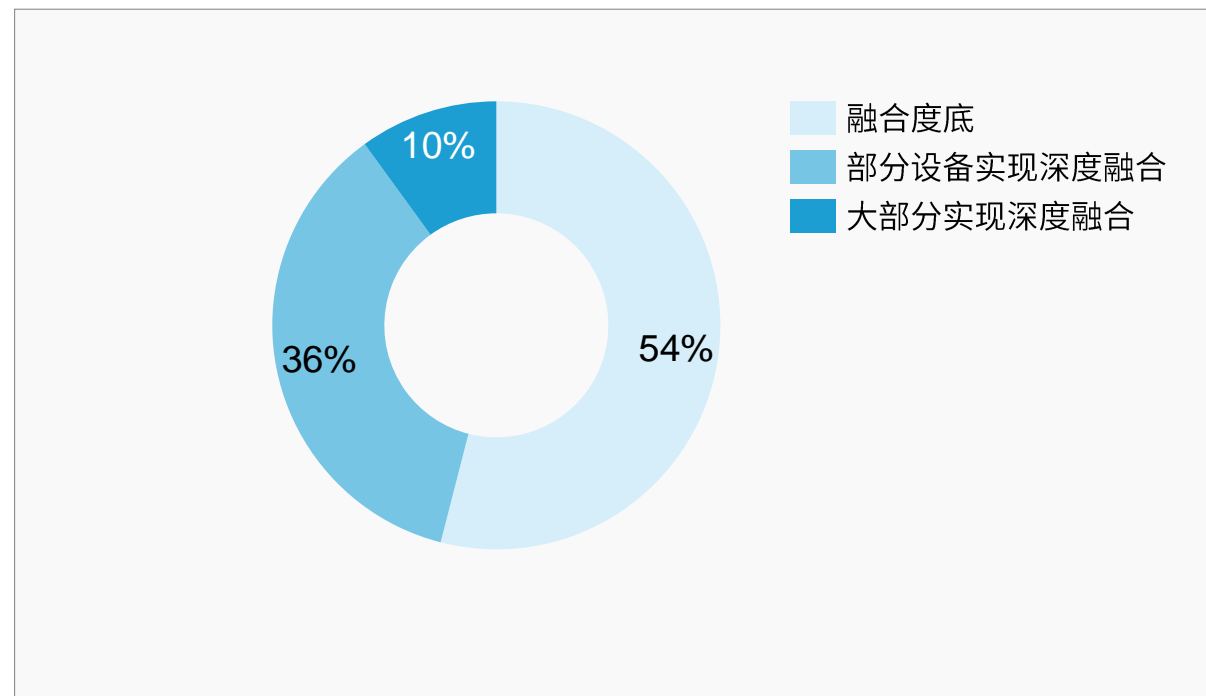
光伏电池及组件制造是光伏行业中的主体，当前设备自动化支持力度不足，数据采集不充分、信息孤岛问题显著

- ◆ 光伏行业企业在数字化实施中，需要将数字化技术与软件系统融入到企业生产设备设施中，同时设备设施的自动化程度影响着数字化实施效果。
- ◆ 目前，光伏生产环节自动化生产程度不尽相同，在硅片、硅料生产环节自动化程度较高，而在电池片、组件生产等环节自动化程度次之。如光伏电池片的单片追溯，需要数字化系统与电池片生产设备的深度融合以确保追溯准确率，但目前准确率普遍不高，主要原因是生产设备的自动化程度不够，无法实现与数字化追溯系统很好的融合。同时，为更好融合IT技术与OT技术，数字化服务商需在实施中全方位掌握企业生产设备的性能、构造原理等。但由于光伏行业存在产品门类众多，产业环节长、工艺技术复杂等特点，要做到完全清晰、透彻的了解每一环节的设备生产与运行参数存在较大困难与挑战。
- ◆ 因此，在数字化实施中，能否与设备生产商展开充分技术合作、能否提高光伏生产设备自动化水平直接影响整个数字化实施的效果。

光伏行业各生产环节生产设备自动化程度及与数字融合效果

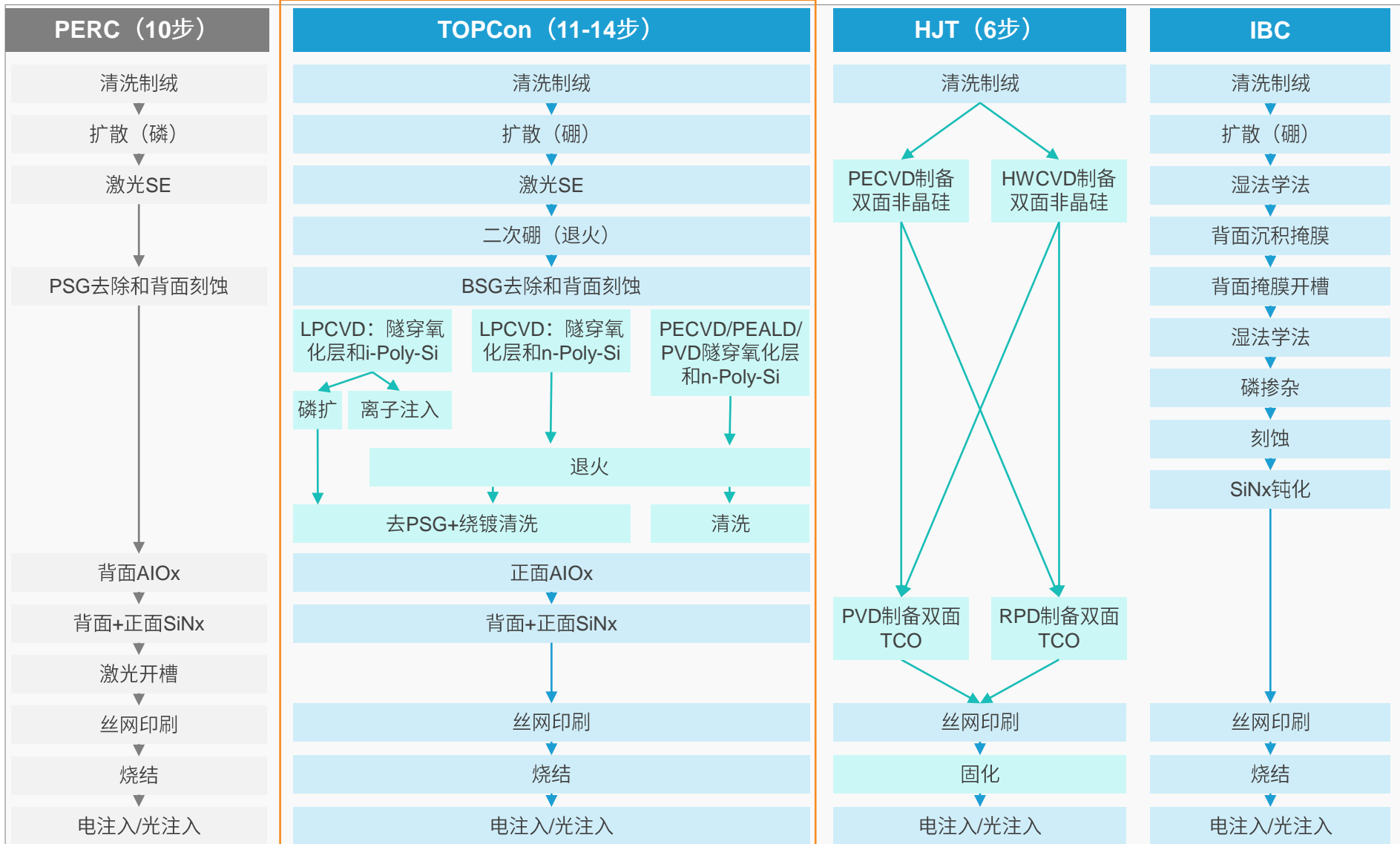
	生产设备	自动化程度	设备厂商数量	数字化融合效果
硅料	硅料提炼设备、还原炉	高	一般	好
硅片	单晶炉、切片机、清洗机	高	一般	好
电池片	制绒清洗机、等离子蚀刻机、丝网印刷机、电池片叠片机	较高	较多	较好
组件	串焊机、激光划片机、摆模板机、层压机、EL测试仪、翻转检查单元等	较高	多	较好

光伏行业企业数字化实施与生产设备融合程度



电池片环节面临技术转型，投入重且部分工艺不成熟，仍处在良率爬坡阶段

不同技术路径下主要生产环节



TOPCon与HJT对比

◆ 从工艺流程来看:

- TOPCon产线兼容PERC产线，增加约0.5-0.8亿元/GW即可完成升级；
- HJT与PERC工艺路线完全不同，无法延伸，只能新投产线，且HJT与主流的PERC生产设备不兼容，因此PECVD等制膜和真空设备的投入会给企业带来较高的转换成本。

◆ 从技术参数来看:

	PERC	TOP-Con	HJT
量产效率	23.2%-23.6%	25.2%-25.7%	25.3%-26.0%
良率	98%-99%	94%	97%
温度系数	-0.35%/°C	-0.30%/°C	-0.24%/°C
衰减率	首年2%, 次年0.45%	首年1%, 次年0.4%	首年1%, 次年0.25%

- ◆ 光伏电池片的数字化转型仍处于探索期，存在顶层设计/统筹规划缺失，信息孤岛/设备孤立，场景盲区、卡点和数字断点，物料拉动“费人”，具体表现为信息孤岛、断点自动化、多头对接难、运维成本高、柔性改造迭代升级难，制约了企业的生产产能和效率。

光伏电池片制造过程涉及多个环节、工艺复杂，以TOPCon为例涉及14个工序，环节之间存在相互影响，一个环节的延误可能导致整个生产计划的变动。此外，硅片价格受原材料波动影响，价格变化也将影响生产计划。

生产计划 准确制定难

1

电池片生产涉及的工序多、工艺复杂，面临生产过程难追溯的问题。电池片无法通过传统的二维码方式进行产品溯源，电池片生产工序中涉及到刻蚀，二维码将在生产过程中被腐蚀掉，因此需要通过建立花篮ID、wafer ID等方式进行追溯。

生产过程 难追溯

3

由于不同批次多晶硅纯度不一，电池片加工质量稳定性难保障。需要建立标准来料检查标准及分类流程，实现从来料检验、制程检验到成品检验、发货检验的全过程质量控制、异常预警、SPC分析、处理优化的闭环管理，以实现质量的稳定和可控。

质量稳定性 难保障

5

2

设备透明度低

设备透明度低，设备异常将影响工厂经济性。光伏电池片生产对设备依赖性高，但当前工厂在设备预测性维护上还有待提升，设备信息不透明、设备预警不及时、设备异常分析不精准都将影响生产节奏，从而造成工厂损失。

4

信息孤岛

自动化断点，数据质量差、信息孤岛。光伏电池片处于技术迭代周期，旧厂改造虽然在一定程度上可以提升单点自动化程度，但如果顶层规划缺失将导致设备没有预留接口导致数据无法采集，或者数据质量差，无法与其他工序无缝衔接，导致数据无法发挥价值。

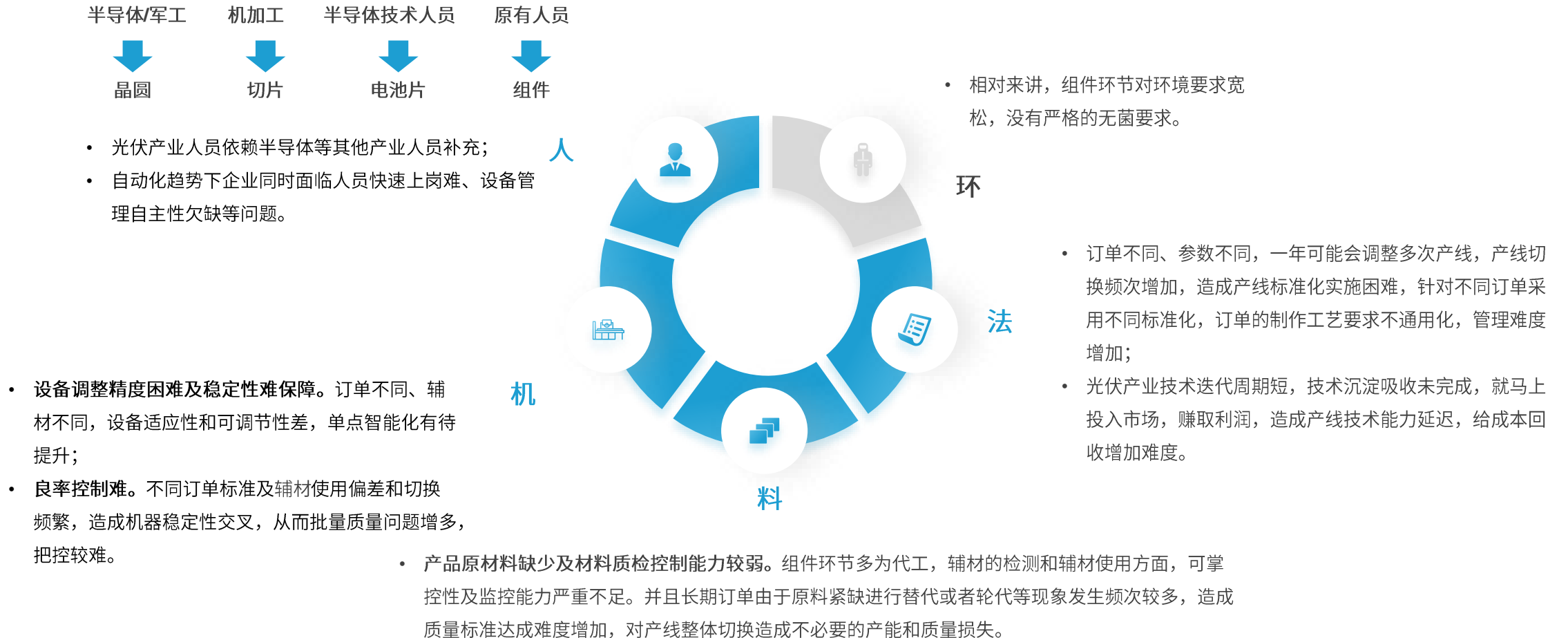
流程自动化结合AI视觉检测技术通过改善人机结合效率、加强设备互联将大幅提升电池片环节生产效率

- ◆ 当前PERC电池片厂正在关停，逐渐转向TOPCon、HJT以及xBC（HJT与IBC结合）等技术路线。
- ◆ 从短期来看，由PERC转向TOPCon产线投入相对较少（相较新建一个项目将节省一半的成本），原PERC产线存在较大升级空间。整体来看，转产线后基本实现单点自动化，但在设备互联、人机结合（检测、上下料）等部分仍存在进入空间。电池片无法印刷二维码，如何实现产品寻源追溯也是一个驱动因素。从长期来看，头部厂商正在探索逻辑xBC等技术路线，产线数字化程度高。
- ◆ 电池片制造对环境要求高，生产制造过程当中人员频繁进入将造成电池片污染，不利于良率提升。在行业实践过程中，电池片产线基本实现单点自动化，但在人机结合、设备互联等方面仍待进一步提升。

场景	自动化升级痛点及需求
清洗制绒	<ul style="list-style-type: none">清洗制绒环节结束后需要人工取片称重、检测电池片情况（金字塔数量）
扩散（硼）	<ul style="list-style-type: none">测试方阻异常情况。当前有部分厂商正在研发相关测试仪，但稳定性、可靠性仍有待提升
激光SE	<ul style="list-style-type: none">线框、线距检测
去BSG	<ul style="list-style-type: none">刻蚀过程需要人为称重来观察是否完成工艺段结束后需要观测电池片环节是否存在胶残留
气象沉积	<ul style="list-style-type: none">测试方阻异常情况。当前有部分厂商正在研发相关测试仪，但稳定性、可靠性仍有待提升
镀膜	<ul style="list-style-type: none">需检查膜厚，如均匀性、中心厚度、边缘厚度等。当前部分机器已实现功能集成，但原有产线仍需要进一步升级
丝网印刷、烧结	<ul style="list-style-type: none">栅线（视觉）PL&EL测试（集成在机台上）

组件制造环节质量管理受多因素影响，其中“人、机、料、法”四大方面痛点明显

◆ 横向对比光伏制造全环节，组件部分利润率最低，随着光伏产业竞争愈加激烈，降本增效是刚性需求。光伏组件厂虽然对环境要求相对宽松，但是人、机、料、法四大方面痛点明显。



光伏组件打造黑灯工厂面临顶层战略规划不足、数据应用能力不足、设备智能化不足等问题

- ◆ 当前，光伏组件行业头部企业数字化转型进程良好，但从整体上看，其他企业仍处于较为初级的发展阶段，存在顶层规划不足、数据应用能力不足、装备智能化支持度不足等问题。数据难共享，导致产业链协同差，存在的光伏组件、光伏玻璃、光伏背板供应不足，但同时，仓库中堆积大量原材料，半成品加工过剩等问题。

顶层战略规划不足

- 光伏企业对智改数转重要性认识不足，仍然停留在引入各类信息化系统的信息化阶段，部分光伏企业即便是开始应用数字化工具但也缺乏相适配的战略规划、架构设计、组织文化、管理制度、生产模式。光伏组件企业在智改数转实施落地时，往往缺乏实施方法与路径，以至于无法提出符合实际的数字化需求，无法制定统一的数据标准，无法准确定义应用场景，也无法结合公司的重点业务发展诉求提出数字化发展目标与方向。

数据应用能力不足

- 部分光伏企业数据基础建设较为落后，仍然采用传统的数据管理机制，缺乏先进的数字化技术、数字化工具，难以对数据进行准确而完整的采集、存储、处理、分析等一系列数据处理应用。
- 此外，部分光伏组件企业数据孤岛问题突出，各业务部门之间数据难以打通，难以集成完整且高质量的数据。上下游产业协同方面更难以构建统一的数据共享与协作云平台，无法高效开展上下游企业之间的业务协同与生产统筹。

设备智能化不足

- 光伏行业企业在数字化实施中，需要将数字化技术与软件系统融入到企业生产设备设施中，装备的智能化程度影响着数字化实施效果。目前，光伏生产环节智能化生产程度不尽相同，在硅片、硅料生产环节智能化程度较高，而在电池片、组件生产等环节智能化程度次之。如光伏电池片的单片追溯，需要数字化系统与电池片生产设备的深度融合以确保追溯准确率，但目前准确率普遍不高，主要原因是生产设备的智能化程度不够，无法实现与数字化追溯系统很好的融合。

◆ 在品质管控及工艺分析方面，AI+视觉技术在光伏组件生产场景下落地应用经过近五年时间，目前已经进入全面展开阶段。通过AI+视觉技术可以全面提升组件生产行业的数据化、智能化，优化生产资源配置、杜绝或减少批量缺陷产生、卡控重要缺陷传递、实现生产效率及产品品质双提升。

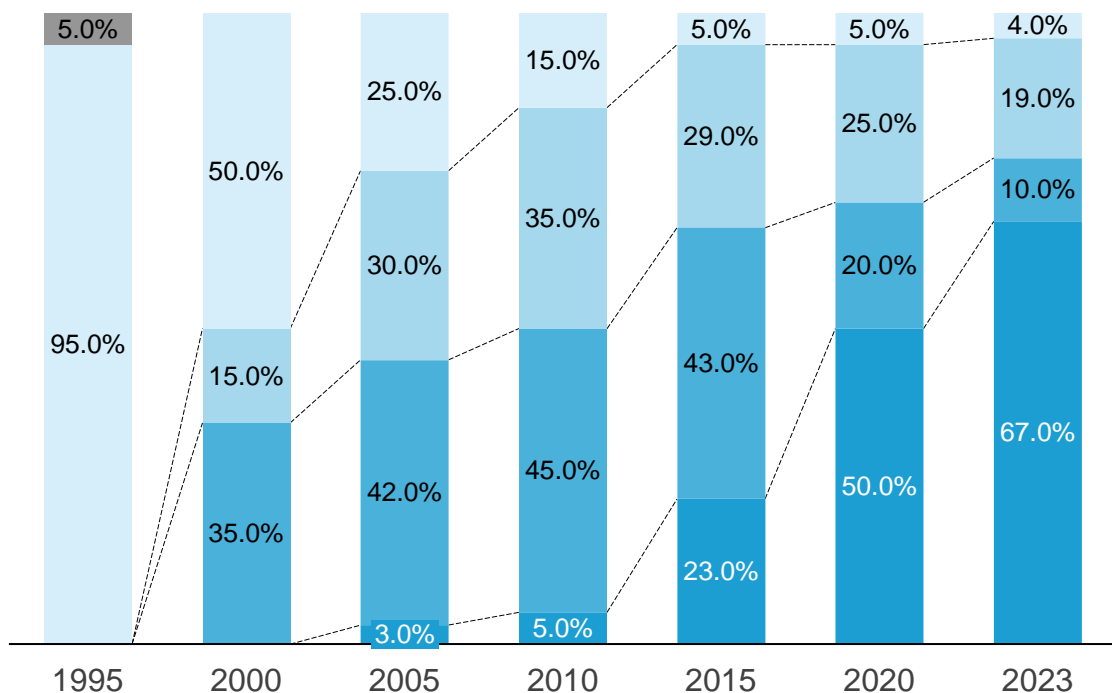
工序段	场景	自动化升级痛点及需求
层前	串焊	<ul style="list-style-type: none"> 串EL、外观 视觉引导、串长检测、端部焊带检测
	层叠	<ul style="list-style-type: none"> 反面外观检测 膜偏移、背板便宜
	中检	<ul style="list-style-type: none"> 层前EL、外观
层后	层压	<ul style="list-style-type: none"> 层压后外观检测
	装框	<ul style="list-style-type: none"> 装框打胶检测
	装框线盒	<ul style="list-style-type: none"> 接线盒焊接检测 灌胶效果检测
	固化	<ul style="list-style-type: none"> 固化前后边框检测
	IV测试	<ul style="list-style-type: none"> 层后EL
	包装	<ul style="list-style-type: none"> 铭牌及条码检测

半导体显示行业黑灯工厂建设难点及LOFA应用场景分析

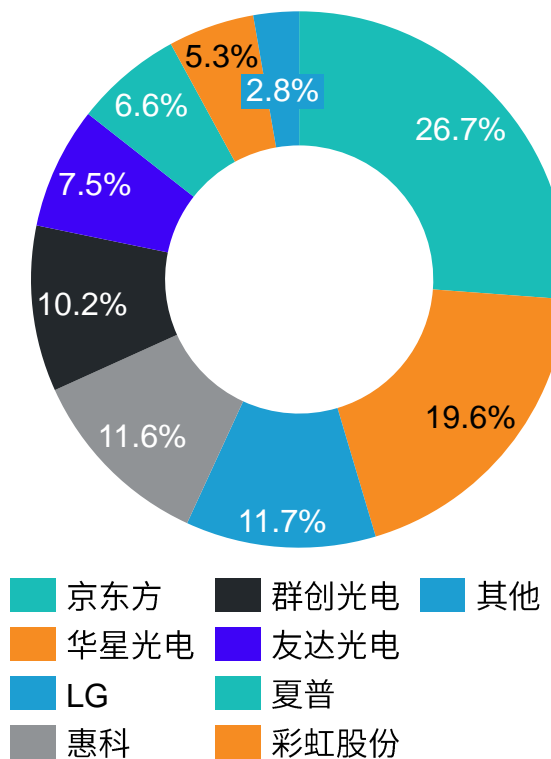
全球液晶面板产能逐步向中国迁移，至2023年中国大陆产能占比67%

- ◆ 液晶面板产业可划分为四个发展阶段：欧美原创-日本产业化-韩台通过逆周期投资击败日本-中国大陆后来居上，经历多次产业迁移最终花落中国大陆。受制于工厂成本压力和利润挑战，三星已经将中国苏州G8.5产线卖给华星光电，并将其韩国3条LCD产线完全转向QD OLED，全面退出LCD面板市场。LGD韩国坡州月产能为160K大板的P7 G7.5工厂已经于2022年Q4关闭，减亏策略下广州厂目前关停Phase2产能100K，仅剩余110K产能运转。
- ◆ 2023年，中国大陆液晶面板市占率达到67%，韩国SDC、LGD陆续退出液晶产业后，全球液晶产业进一步集中在中国大陆，京东方、TCL华星光电、惠科市占率稳居前三。

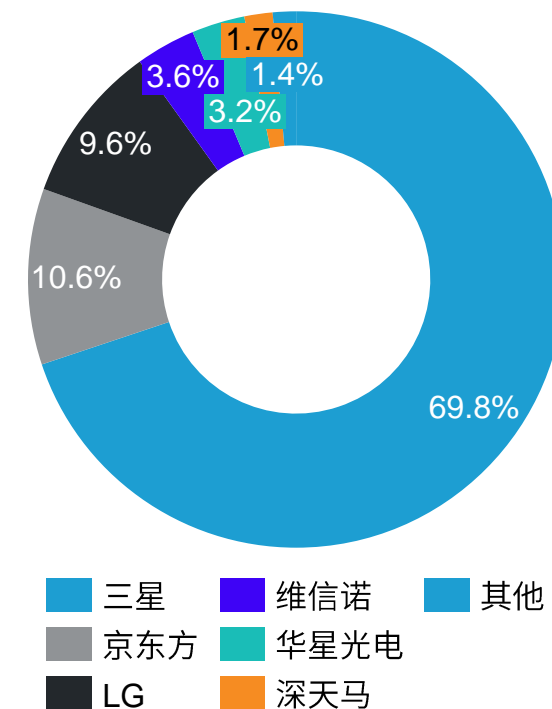
■ 其他 ■ 日本 ■ 中国台湾 ■ 韩国 ■ 中国大陆



2022年全球大尺寸LCD面板市占率



2022年全球OLED面板市占率



整体市场增量来源于车载、工业显示与商用大屏，LCD仍是主要工艺路线，短期OLED仍将持续提升，需关注MLED弯道超车可能性

	2022年出货量（亿台）	未来市场预期	屏幕尺寸	趋势	说明
手机	12.10	下滑或维持	小屏	OLED	轻薄化、折叠屏趋势下，OLED在中端性价比手机加速应用，渗透率逐步提升。
笔记本电脑与平板	3.60	增长放缓 (CAGR=3%)	中小屏	MLED	OLED渗透率不足5%，miniLED、microLED有望进一步增长。
电视	2.03	下滑或维持	大屏	MLED	大屏化趋势下G10.5产线凸显切割效率，LCD仍具有性价比，OLED渗透率不足5%，考虑miniLED、microLED直接替代可能性更高。
车载	1.95	高速增长 (CAGR=11%)	中小屏	MLED	一车多屏趋势明显，车载屏有望进一步放量，当前LCD仍是主流技术，受限于寿命因素，miniLED有望先于OLED放量。
工业显示	1.93	增长放缓 (CAGR=3.3%)	中小屏	OLED	TFT-LCD仍是当前主流技术，OLED存在增长潜力。
显示屏	1.54	增长放缓 (CAGR=2%)	中小屏	OLED	OLED渗透率低，未来增速有望快速提升。
商用大屏	0.43	高速增长 (CAGR=7%)	大屏	MicroLED	
XR	0.10	高速增长 (CAGR=30%)	小屏	MicroLED	

半导体显示核心分为三条技术路径，从各项参数来看，Micro LED表现最为优良

◆ 目前，显示面板仍以LCD为主流，且短期内其主流地位难以撼动，OLED在小尺寸已占据半壁江山，且正往中尺寸渗透，Micro LED尚未成熟，待技术、成本问题解决后将大放异彩。

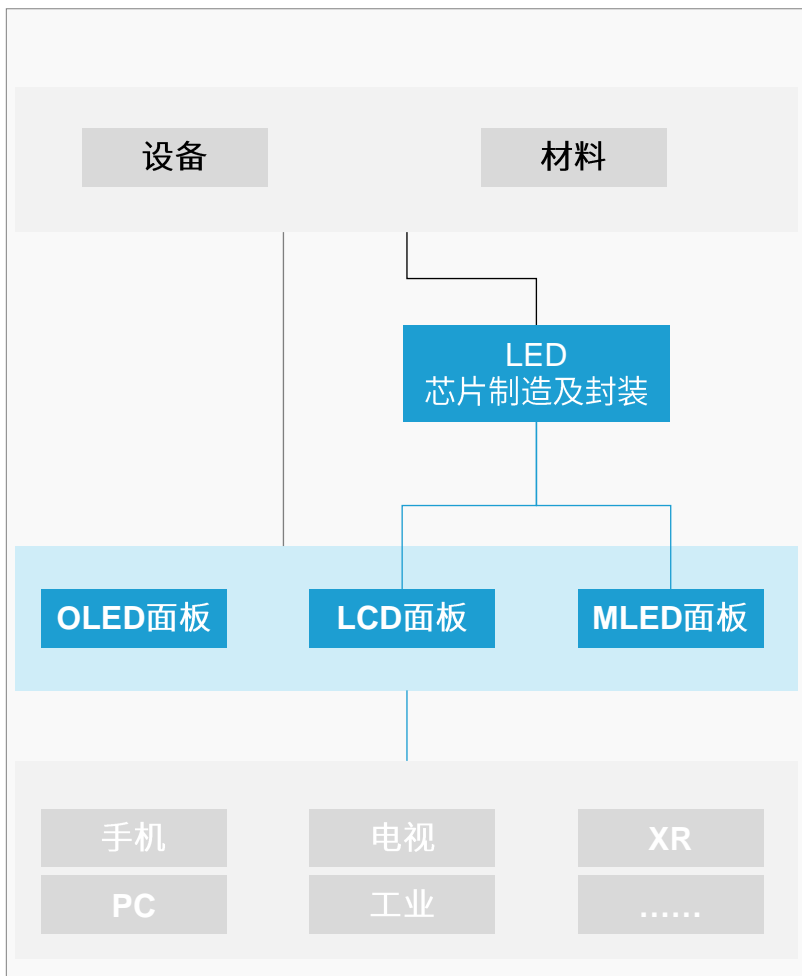
	LCD	OLED	MLED
描述	通过TFT控制液晶分子的偏转实现像素亮暗控制，需要背光源及两层偏光片。	OLED器件是多层薄膜堆叠成的类三明治结构，全固态、自发光，无需背光源。	LED微型化、阵列化，通过IC或TFT控制LED灯珠亮暗，显示质量趋于完美。
优势	产业成熟，成本低，尚有技术升级空间，Mini LED背光技术赋予其高端竞争力。	显示画质绚丽（自发光，对比度、色域、刷新率较高），全固态，轻薄，可柔性。	显示画质绚丽（高对比度、高色域、高刷新率、高亮度），轻薄，可柔性。
劣势	显示画质问题（对比度、色域、刷新率较差），柔性难度大。	亮度低，寿命短，长期使用可能存在烧屏现象，成本较高。	技术尚未成熟，产业化程度低，良品率低，成本极高。
应用领域	TV、手机、PC、车载、AR/VR、手表等全领域均覆盖，是目前应用最广泛的显示技术。	主要集中在手机，高端TV有所渗透，手表覆盖较为可观，未来将往PC领域持续渗透。	目前仅在手表、户外有少量应用，后续技术问题解决后，将率先从高端TV、XR、商用显示开始渗透。

	LCD	OLED	Micro LED
发光效率	1	2	3
亮度	2	1	3
对比度	2	1	3
寿命	3	1	3
耐水氧性	3	1	3
响应时间	1	2	3
耗电量	1	1	3
运行温度	1	1	3
柔性	1	3	2
成本竞争力	3	3	1
抗冲击性	1	3	2

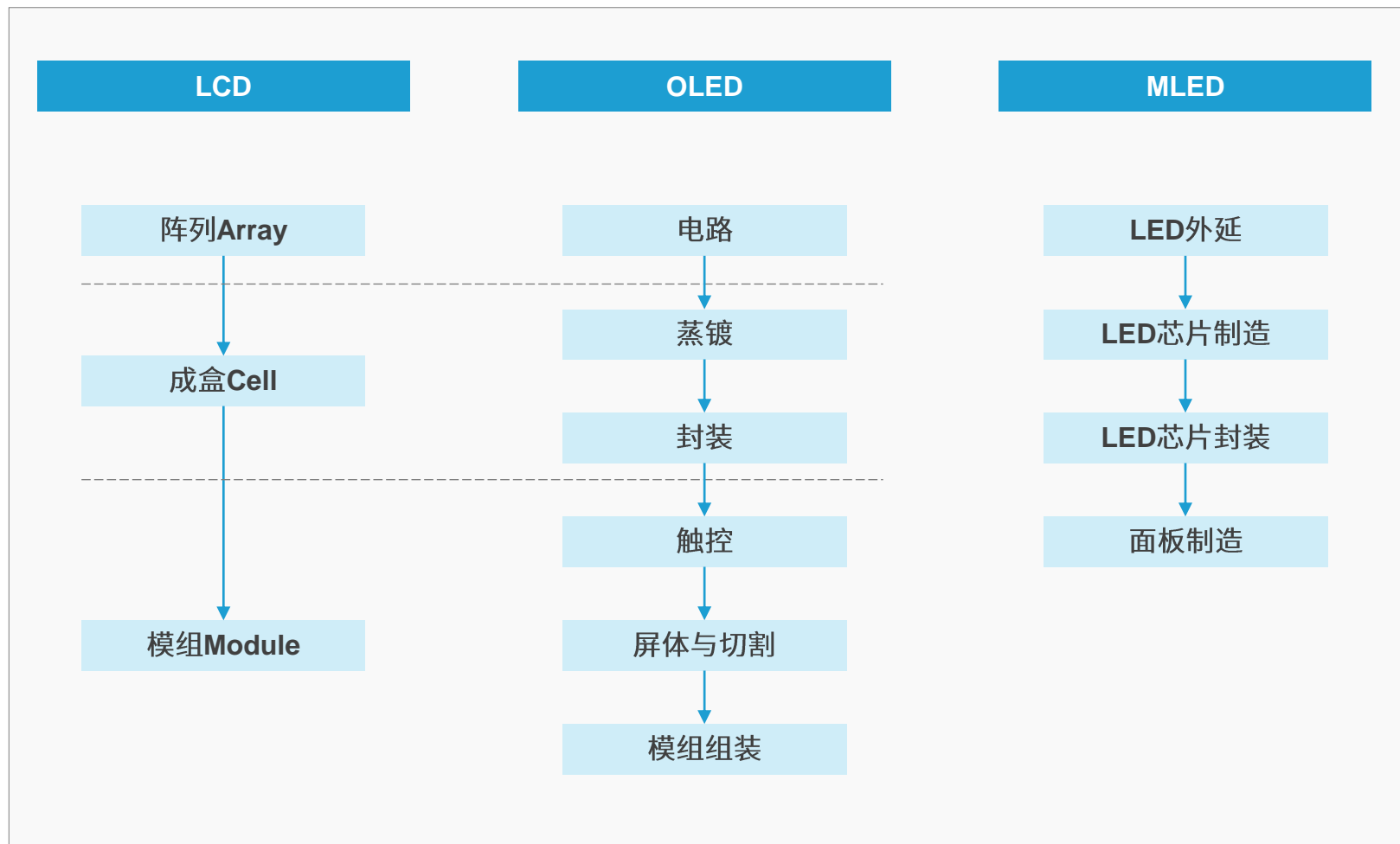
按照产业环节来看，核心分为上游设备与材料、中游芯片及面板制造以及下游应用

◆ 从制造环节来看，当前LCD与OLED在生产流程上存在一定对应关系，MLED与芯片制造存在一定相似性。其中Mini LED一般用于LCD背光。

半导体显示市场简化产业链



不同技术路径下主要生产环节

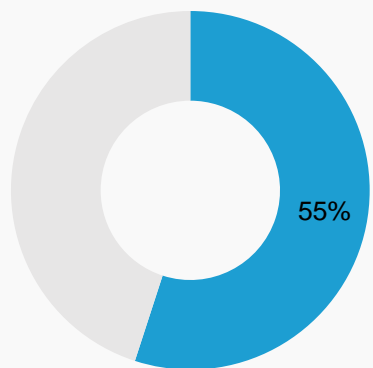


半导体显示属于资本密集型产业，本地配套率低、良率低导致成本压缩空间有限

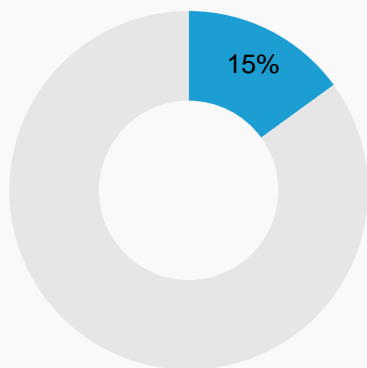
- ◆ 半导体显示产业为典型资本密集型、人力密集型产业，中国G10.5 LCD面板厂、G6.0 OLED面板厂按照设计产能均摊平均成本分别为50万元/片与85万元/片，其中本地化配套率低是其中一个重要影响因素。
- ◆ 中国LCD面板工艺成熟，占全球70%左右产量，但在OLED、MLED等新型显示领域，技术仍需进一步完善。

中国半导体显示产业成本受上游配套影响，投资成本高昂

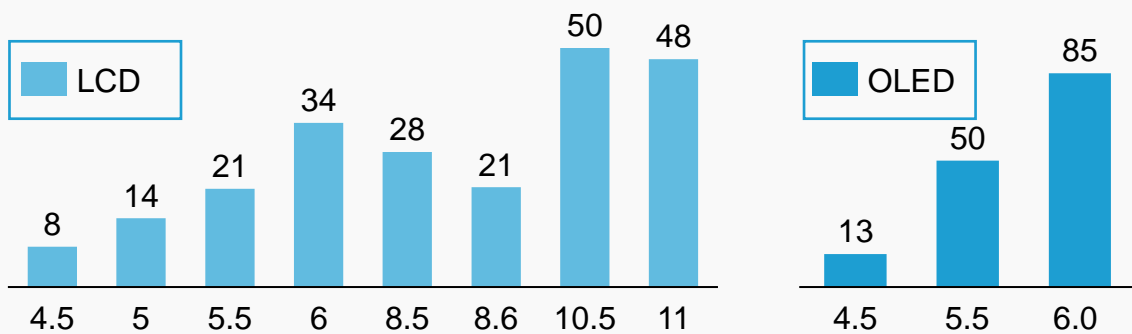
中国显示器件上游材料本地化配套率



中国显示器件上游装备本地化配套率

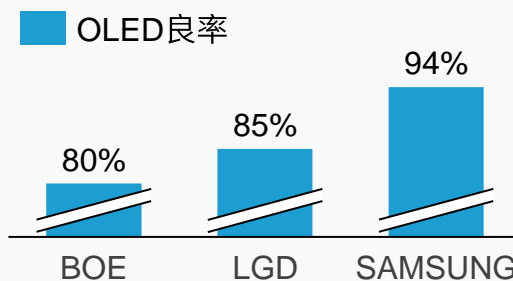


中国面板各世代线建厂平均投资成本（单位：万元/月片，投资金额/设计月产能）



新型显示领域良率及相关技术仍需进一步完善

OLED良率仍待提升



目前国内面板厂商对OLED技术并未取得全面突破，蒸镀环节或多或少都存在金属掩板贴合和套合方面的问题，导致国产OLED良率不足。

MLED技术不成熟有待进一步突破

转移精度

转移效率

转移良率

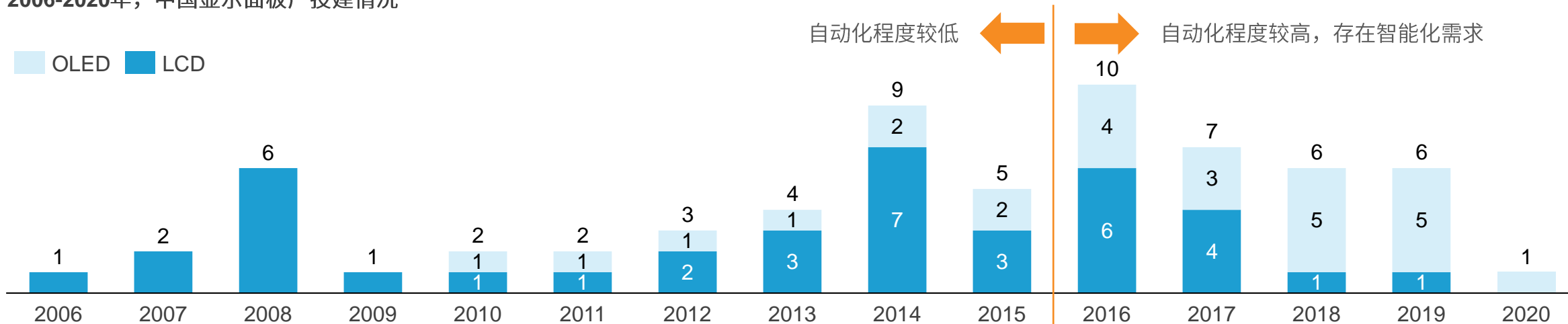
由于Micro-LED发光层和驱动基板生长工艺差异，很难通过生长工艺将显示阵列和驱动器件集成起来，所以需要转移步骤将制作好的Micro-LED晶粒转移到驱动电路基板上。

以一个4K电视为例，需要转移的晶粒就高达2400万颗（以4000x2000xRGB三色计算），即使一次转移1万颗，也需要重复2400次，转移过程中的转移效率、精度、良率问题将重点影响转移后显示性能。

中国半导体显示企业正在加大黑灯工厂探索力度，2015年前设立的工厂设备自动化水平普遍较低

◆ 中国面板厂从2006到2020年每年都有新建厂房，其中2015年是一个分界线，2015年之前工厂设备相对老旧、自动化程度较低，而2016年之后工厂自动化程度较高。

2006-2020年，中国显示面板厂投建情况



单点数字化程度较高，但协同性有待提升

面板行业在生产环节实现信息化的企业占比近70%其中，数字化研发设计工具普及率和关键工序数控化较高，其中关键工序数控率超过50%。但在生产、服务、产业协同等环节数字化程度和应用程度较低，仍属单点试验和局部数字化阶段。

无尘环境要求下，远程操控需求高

面板的生产过程极为复杂，生产线之间的跨度长达500-600米，操作人员在各条产线之间穿梭耗时耗力，同时，检测设备的操作非常繁琐，需要人员对高分辨设备进行实时等级判断。此外，OLED对环境要求高，无尘室车间内人员频繁的进出和操作，不仅浪费人力，也让生产环节中的安全隐患飙升。

缺陷检测难

大屏化趋势下，产品面积增加、产能高，人工检测存在漏检风险。以10.5代线为例，面板面积可达到3370mm*2940mm，人工检测难度极大、易疲劳。此外，产生不良类型种类多达上百种，不同工序、不同产品的缺陷特征也不尽相同，这对人员来说快速精准识别缺陷类型有一定难度。

◆ 当前面板对生产车间要求较高，需要无菌环境，人员出入走动容易带来意外情况。当前人员频繁进出场景集中在repair与检测两大环节，通过结合流程自动化与AI视觉检测技术将弥合面板流程断点，提升自动化效率。

场景	应用	自动化升级痛点及需求
人力重复工作	成盒repair	<ul style="list-style-type: none"> 目前的面板厂修补主要靠人操作设备，需要自动寻找修补点、修补路径选择，以及修补后类别自动判断。
	OLED电路repair	
检测	镀膜	<ul style="list-style-type: none"> 图像识别，自动外观检测； 图像分类； 集中判code； 模型训练。
	显影	
	干/湿法蚀刻	
	阵列检测	
	成盒检查	
	ACF贴片	
	IC结合	
模组检查		

目录

CONTENTS

01 LOFA开启黑灯工厂之路

02 泛半导体产业LOFA应用场景分析

03 泛半导体产业黑灯工厂最佳实践

- 3.1 LOFA助力泛半导体产业成就黑灯工厂
- 3.2 泛半导体产业LOFA合作伙伴最佳选型模型
- 3.3 哥瑞利LOFA解决方案核心优势
- 3.4 哥瑞利LOFA最佳实践展示

04 泛半导体产业打造黑灯工厂未来趋势展望

LOFA是泛半导体产业打造未来黑灯工厂的重要组成，助力工厂进一步提升

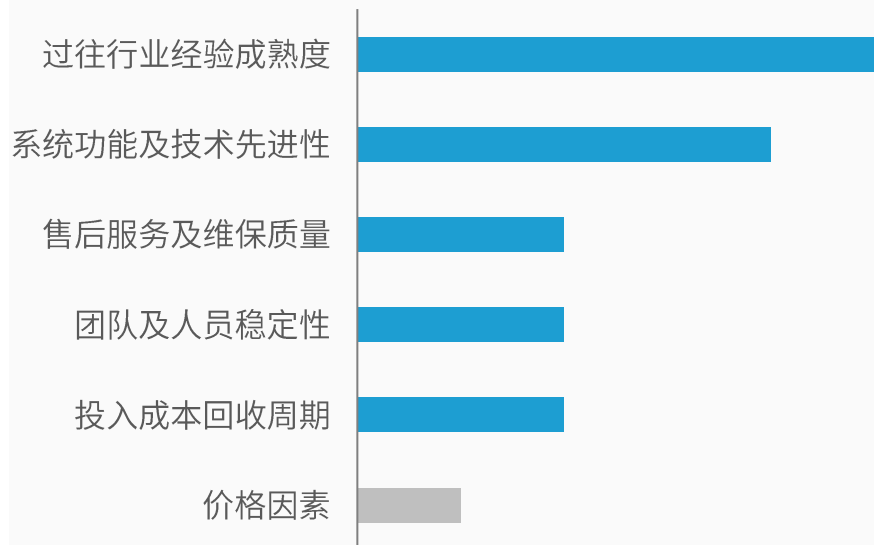
- ◆ 泛半导体产业生产环节整体对环境要求比较高，通过设备自动化可以实现将人员拉到中控室，从而实现车间无人，达到名义上黑灯工厂。但实际上，此时的工厂还不能达到自感知、自适应、自决策的状态。
- ◆ LOFA黑灯工厂助理通过远程操控、自动代操，可以在车间去人的基础上，进一步帮助中控室人员提升效率，从而提升产能和良率。

未来黑灯工厂全景图



- ◆ 基于专家访谈发现，当前大部分泛半导体企业在选择智能制造软件合作伙伴时，通常关注以下六大方面：**过往行业经验成熟度、系统功能及技术先进性、售后服务及维保质量、团队及人员稳定性、投入成本回收周期、价格因素。**
- ◆ 其中，**过往行业经验成熟度影响度最高。**相较于其他离散制造业，泛半导体行业对技术、技能要求更高，需要服务商具备充分的行业know-how沉淀，以此降低试错成本。

企业客户视角的采购决策因素



- 基于专家访谈，发现泛半导体企业用户在选择智能制造软件服务商及解决方案时，最看重服务商过往是否有相关行业企业的成熟落地案例，其次是产品系统的功能性和技术先进性，此外，售后服务、团队稳定性、成本回收周期、价格等也是在采购时会考虑的因素。

过往行业经验成熟度

- 服务商是否拥有泛半导体行业落地项目案例，以及成熟案例数量。

系统功能及技术先进性

- 低侵入性（对生产影响小），以及服务商所提供系统的功能性，相对于其他产品是否有技术亮点。

售后服务及维保质量

- 服务商在帮助泛半导体企业客户落地系统后的售后服务、维保质量以及问题预案的成熟度。

团队及人员稳定性

- 服务团队是否稳定，如有人员流动是否会影响后续项目执行和服务。

投入成本回收周期

- 采购系统后，1-2年内是否能收回投入成本，通常以设备OEE、人效等因素作为考量。

价格因素

- 部分企业客户会比较服务商提供的产品价格，但若系统可满足需求，也不会将价格作为限制因素。

◆ 哥瑞利是一家提供智慧生产解决方案的软件服务商。专注于泛半导体Know-how和MES，持续创新，创见性领先地利用大数据，人工智能，大模型等先进算法技术，帮助优秀企业创造和提升生产优势。哥瑞利在泛半导体行业首次发布LOFA解决方案，包含PCC+AI+Bots等核心产品组合，可作为工厂自动化升级的统一入口，集成解决工厂管理的需求。



行业首发集成解决方案

- **系统衔接性高**
集成后的系统通过优化各模块间的接口与协同机制，显著提升整体衔接性，从而确保信息的顺畅流通和功能的无缝对接，为用户带来更高效、更便捷的操作体验。
- **企业试错成本低**
采用单点采购高频产品往往伴随着较高的试错成本，而相较于此，集成解决方案通过统筹规划与综合优化，更能实现资源的高效利用和成本的有效控制，从而显著提升整体运营效率。

产品性能行业领先

80%

LOFA配合控制检测修复等自动化设备，完全实现自动化生产，机台数据集中管理，提升管理效率。可节约60%-80%人力。

99%

基于LOFA行业经验库积累，自动判别、修复，准确率高，效率高。ADC自动判图准确率，准确率达99%以上。

7*24

LOFA 7*24连续稳定高效运行，包含完备的告警机制。无损方式采集机台画面与控制信息，不干扰机台自身工作流，无数据外泄风险。

- ◆ 基于PCC、AI、Bots等产品组合，LOFA黑灯工厂助理解决方案可为泛半导体工厂提供集控代操、自动检测等价值，同时在专业性、数据安全、系统运行可靠性、低侵入性等方面存在竞争优势。

契合工业生产需求

- 不同于市面通用解决方案主要面向群体，如财务、物流等，无法完成制造业内特别是半导体/面板这种高端制造业的生产需求，不支持远程操作，或者定制过于复杂的业务逻辑等。

低侵入性

- 其他方案可能需要对设备进行硬件改造，或在设备电脑上安装软件，这两种情况对于客户来说影响较大，而LOFA采用KVM方案，对于设备几乎无侵害性，客户比较容易接受。



节省人力成本

- 在引入LOFA后，多数冗余机械的场景可以由LOFA取代掉，从长期运行的角度来看，可以为客户缩减掉相当可观的人力成本。

数据安全不外泄

- 软件运行需要的数据和产生的数据，全部保存在客户工厂本地，无需连接互联网，解决高端制造业客户的数据外泄顾虑。

- ◆ 对于前道厂来说，项目前评估和处理晶圆工艺中产生的缺陷工作全部由人工完成，人员上岗培训周期长，且无尘车间进出不便，无法保证准确率。需要自动化的检测缺陷方案，以节约人效及提高准确率。

应用场景

YE良率提升

CD SEM

Offline test

方案

PCC/RCM

Bots

AI

远程集控

- 通过远程集控技术以及哥瑞利在前道厂的经验沉淀，来修改远程控制机台参数，监控识别报警，并统一由PC端远程控制。

AI检测

- 运用文字识别、目标检测、图像分类及模板匹配等基于人工智能的图像识别技术来解决流程中缺陷自动分类、缺陷位置检测和界面字符识别等技术难点，通过RPA技术自动检测晶圆中的缺陷点，完成自动化Check in/out、配方选择、异常量测，最终实现整个流程高精度的无人实时自动化代操。

效果

节约人力

- ✓ 第一阶段PCC/RCM上线后，避免人员频繁进入FAB，可远程监控操作，至少节约20%人力。

错检漏检



识别率



良率



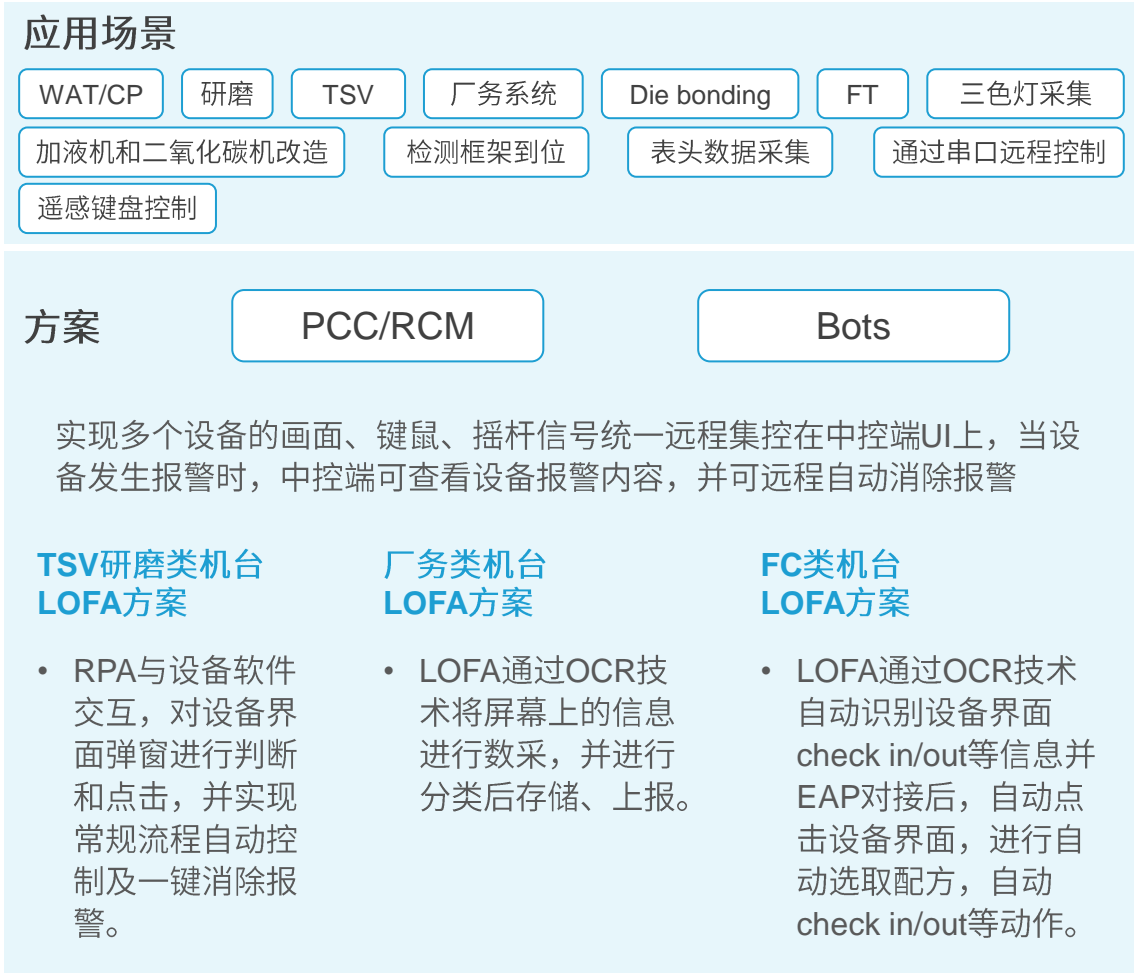
- ✓ 第二阶段Bots+ADC上线，利用LOFA中的图像识别技术，对晶圆生产工艺中产生的缺陷进行跟踪和评估和处理，并通过AI训练不断完善，最终完全替代人工识别，规避人工漏检的风险，大大提高识别率，从而提高良率。

流程自动化执行率



- ✓ LOFA实施前机台的Defect漏检率为5%，Defect分bin准确率为80%；实施LOFA后Defect漏检率为2%，Defect分bin准确率为90%，整体操作流程自动化执行率超过90%，有效提高良率。自动文档化，为KM沉淀及未来SOP提升提供数据依据，有效减少污染。

- ◆ 对于后道封测厂来说，重点需要实现机台自动上下料、选取配方、消除报警等自动代操流程；设备加密数据读取；老旧机台自定义功能改造；以及替代人力，节约成本。



效果

以代操提升人效、用AI提高数据准确率和良率、文档化，同时解决老旧机台的利用率

节约人力

- ✓ 实现办公室远程操作，并结合机台自动代替人工操作（代操），有效减少人员频繁进入FAB，人员仅需处理重要报警和机台故障，FC车间共有12条产线（每条产线有12台Flipchip机台）原由24个人负责，LOFA上线后改为12人，节约50%人力。

精准监控

- ✓ 通过系统自动图像识别，自动选择配方，并同步记录一些后台访问受限的相关数据，精准监控，改变原先生产人员定时手动抄录的环节，节约此类机台操作人员30%人力。

机台改造

- ✓ 解决老旧机台无自定义功能的痛点，帮助机台改造升级，大幅度节约换机发生的成本，通过LOFA改造，本年度减少换机4台，单台平均成本200万，减少10台进口机台升级改造，国外设备厂每台改造费用约3万美金。

- ◆ SMT行业正在推动AI应用来降低人工成本与降低人工漏放导致返工的成本。因AOI设备型号多，误判率高低不等，设备换新成本高；NG的图片需要人工全部复判，判图人员误判漏判概率高，需要自动化的检测缺陷方案，以节约人效及提高准确率。

应用场景

在线炉前/炉后AOI复判

在线SPI复判

X-RAY复判

方案

PCC/RCM

Bots

AI

BI

集控

- 通过远程集控技术以及哥瑞利在半导体、面板等行业的经验沉淀，修改控制机台参数、监控识别报警，并统一由PC端远程控制处理。

AI检测

- 运用文字识别、目标检测、图像分类及模板匹配等基于人工智能的图像识别技术，来解决流程中缺陷自动分类、缺陷位置检测和界面字符识别等技术难点，通过RPA技术完成智能代操，最终实现整个流程高、精、准的无人实时自动化代操。

中控

- 产线导入自动化+LOFA取代人后，通过中控进行工厂统一管理监控调度，建立数字化孪生黑灯工厂。

效果

阶段一

- PCC+AI+Bots取代人员判图，降低人员工作强度及错误率，同时机器学习持续提升ADC的判图准确率。
- ✓ 硬件连接机台，无损方式采集机台画面与控制信息；
- ✓ 机台数据集中管理，提升管理效率，一人可管理多个机台，减少人力成本，优化人机比，提升劳动生产率；
- ✓ 机器学习提升ADC自动判图准确率，准确率达95%以上，而人工识别通常准确率在80%左右；
- ✓ 替代原有人工复判，大量降低设备误判率高、人员误检漏检等造成的品质风险，可减少90%以上的误报，节约50%-70%人力；规避人工操作风险，错检漏检比例降低到1%以下，提高识别率和良率。

阶段二

- ✓ 设备自动化上线，LOFA配合控制缓存机、自动贴标机、自动收板机、AGV等自动化设备，完全实现自动化生产，导入中控室管理概念，大量减少现场人员，可节约90%人力，OEE提升5%。

◆ 质量检测与缺陷修复是保证LCD产品质量的重要环节，传统人工缺陷检测与修复方式主观性大，误检、漏检率高，修复效率低，修复成功率难以保证，严重影响良率。亟待智能化自动检测缺陷与修复方案，以节约人效及提高质量，降低材料浪费，实现效益的最大化。

应用场景

CF/ARY/CELL工艺

Repair站点

AOI/宏观/点灯

方案

PCC/RCM

RPA

ADC

集控



通过远程集控技术以及哥瑞利在面板、半导体行业的经验沉淀，调节镜头倍率，圈定不良位置；自动修复产品等操作由PCC/RCM端远程自动控制完成。

AI检测

运用文字识别、目标检测、图像分类及模板匹配等基于人工智能的图像识别技术，执行缺陷自动分类、缺陷位置检测和界面字符识别等核心任务，通过智能化的RPA技术实现缺陷检测与修复全流程的高、精、准无人实时自动化代操。

效果

省

劳动生产率 
人机比 

- ✓ 机台数据集中管理，提升管理效率，可实现无人化全自动检测，减少人力成本，优化人机比，提升劳动生产率；
- ✓ 设备自动化上线，LOFA配合控制检测修复等自动化设备，完全实现自动化生产，大量减少现场人员，可节约60%-80%人力。

准

错检漏检 
修复准确率 
判图准确率 

- ✓ 替代人工判级、位置确认、修复工作，降低误判率、漏检率，大幅降低人工工作强度，规避人工误操作风险；错检漏检率降低到1%以下，修复准确率提升95%以上。
- ✓ 机器学习提升ADC自动判图准确率，准确率达99%以上。

稳

无数据外泄风险
连续高效稳定运行

- ✓ 硬件连接机台，无损方式采集机台画面与控制信息，不干扰机台自身 workflow，无数据外泄风险；
- ✓ LOFA可7*24连续稳定高效运行，包含完备的告警机制。

目录

CONTENTS

01 LOFA开启黑灯工厂之路

02 泛半导体产业LOFA应用场景分析

03 泛半导体产业黑灯工厂最佳实践

04 泛半导体产业打造黑灯工厂未来趋势展望

4.1 泛半导体产业打造黑灯工厂仍面临三大挑战

4.2 泛半导体产业未来打造黑灯工厂行动举措

- ◆ 泛半导体企业在推进黑灯工厂建设时面临四大挑战：缺乏整体性战略规划、陷入效益狭义误区、缺乏对技术全盘考虑及人才短缺。为应对这些挑战，企业应明确战略定位，超越狭义效益观，全面规划技术路线，并重视人才培养，以推动数字化转型和可持续发展。

挑战一：缺乏整体性的战略规划

部分工厂因缺乏整体性战略规划，对未来如何打造黑灯工厂不明确，对自身数字化水平认识不足，难以判断差距并确定补强能力。许多中国企业从软硬件角度推进黑灯工厂建设，依赖内部专家与外部供应商合作，整合解决方案实现特定环节自动化与跟踪。然而，这种做法常忽视“为何建设黑灯工厂”的战略层面问题。因此，企业应从战略、产品设计、运营模式等整体角度考虑，根据自身实际情况和目标选择技术，而非盲目追求尖端技术。只有自上而下地推进黑灯工厂建设，才能确保真正满足企业需求并实现可持续发展。



挑战二：缺乏对技术进行全盘考虑

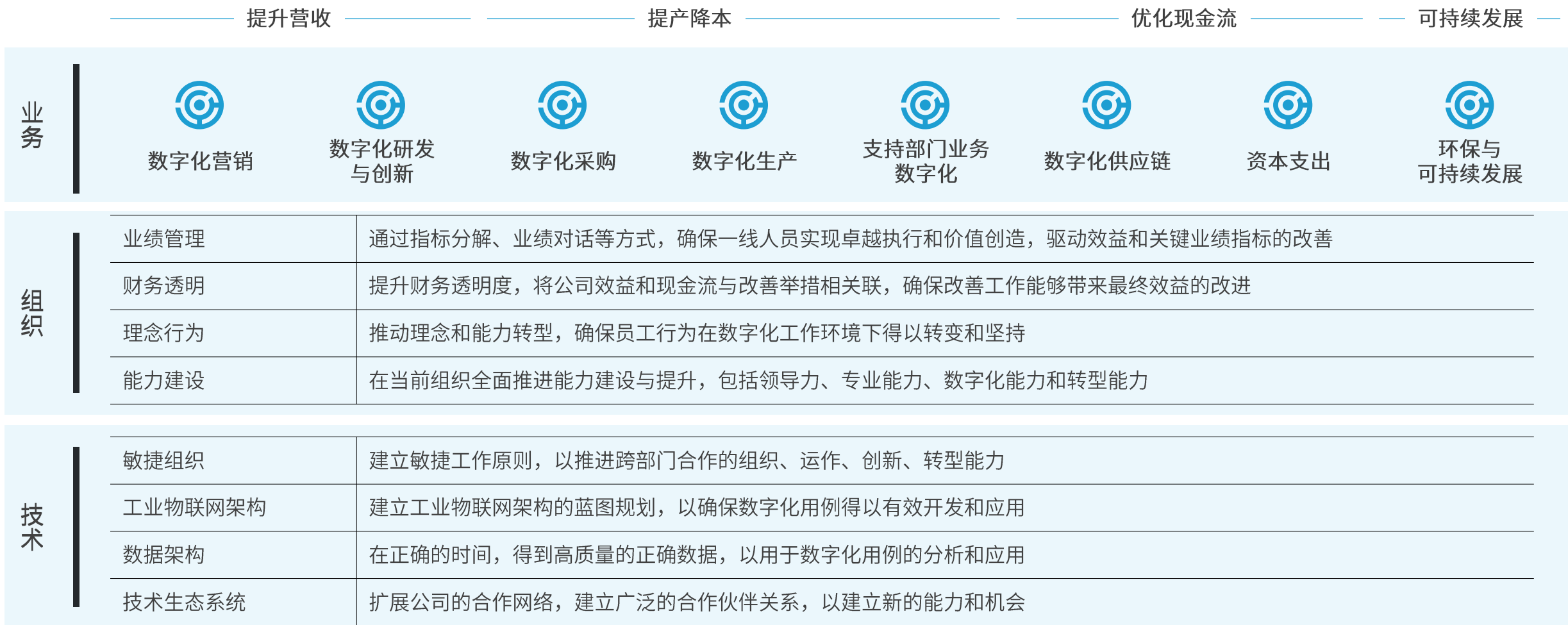
中国制造业在自动化和数字化发展上起步晚，不同企业间技术路线差异大，数据分散，标准制定困难。虽然泛半导体企业在数字化的实践处于制造业前列，但仍面临设备落后、数据抓取传输难题。同时，这些企业过于关注单体设备自动化率，忽视生产体系的整体性，以及各系统间的整合。缺乏对技术进行全盘考虑，导致黑灯工厂建设难以高效推进。企业应制定与自身战略匹配的技术路线图，分阶段实施转型，降低风险，确保业务运营稳定。只有全面规划，才能推动泛半导体企业数字化转型的顺利进行。

挑战三：人才仍是瓶颈

部分泛半导体企业在数字化进程中面临人才短缺的挑战。黑灯工厂高度一体化，需要多领域复合型人才，单一专才难以适应。借鉴国外经验，企业应构建产教结合的职业教育体系，与工科院校合作培养定向人才。同时，职业培训课程应标准化，加强商业、自然科学和工程等领域的人才培养，培育跨学科数字化工程师。此外，顶层决策者需具备数字化决心和认识，指导企业制定数字化战略，确保转型成功。只有重视人才培养，泛半导体企业才能顺利迈向黑灯工厂，提升竞争力。

泛半导体工厂未来需从业务、组织、技术等多方面进行整体规划，以保证项目成功

◆ 为确保泛半导体工厂项目的成功，未来必须从业务、组织、技术等多个维度进行全面规划。企业应避免盲目追求点状效益或仅仅将项目作为展示实力的面子工程。相反，应当系统性地进行顶层设计，确保各要素之间的协同与整合。在灯塔工厂的先进经验指引下，实现精益运营，稳步提升改革成效。只有从多方面进行整体规划，泛半导体工厂才能稳健发展，成功打造黑灯工厂。



工业通信协议七国八制导致产生信息孤岛，统一标准和更轻量化的连接手段是突破这一难题的关键

◆ 实现黑灯工厂需要软件与硬件之间互相融合，但制约于商业行为，当前市场接口协议七国八制。不同流程对应不同设备，各设备有着不同特性的差异且各制造商所提供的设备也不尽相同，因此增加CIM自动化管理的困难与复杂程度。软件集成自动化存在的主要问题是在不同的设备供应商之间没有标准的通讯协议。设备供应商不向半导体生产商开放通讯协议及接口软件，这使得半导体生产商不得不建立他们自己的软件“连接”，导致项目费用的巨大增加。

七国八制，烟囱林立

1980s	工业现场总线	2000s	工业以太网
PROFIBUS总线	西门子等1987年推出	ProfiNet	西门子2001年推出
Modbus总线	施耐德1979年推出	ModbusTCP/IP	由Modbus演进而来（1996）
CC-Link总线	三菱电机1996年推出	CC-Link IE	三菱电机等2008年推出ODVA与CNI两大工业组织推出（2000）
INTERBUS总线	菲尼克斯1984年推出	Ethernet/IP	
CAN总线	BOSCH公司1986年推出	Powerlink	贝加莱公司2001年推出
DeviceNet	Allen Bradlev 1994年推出	EtherCAT	Beckoff公司2003年推出

实现双向串行、多点连接，但存在带宽低、距离短、抗干扰力较差等问题

拥有低成本、高效通信及灵活的网络拓扑扩展能力，但链路层和应用层采用技术不同，互联互通性差

以视觉技术以及非侵入式解决方案为切入点，可以有效分割由于协议不统一带来的链接难题，同时可以将对生产节拍、工艺流程的影响降到最低。

泛半导体工厂在一定程度上也担心自身未来黑灯工厂的建设会受到设备厂商的绑架，从而失去成本控制权，因此未来需要进一步开放软硬件生态、促成行业标准。目前SEMI已经完成SECS接口标准的统一，但目前中国泛半导体产业存在二手设备购买的情况，还需要些时间实现最终改善。

30+

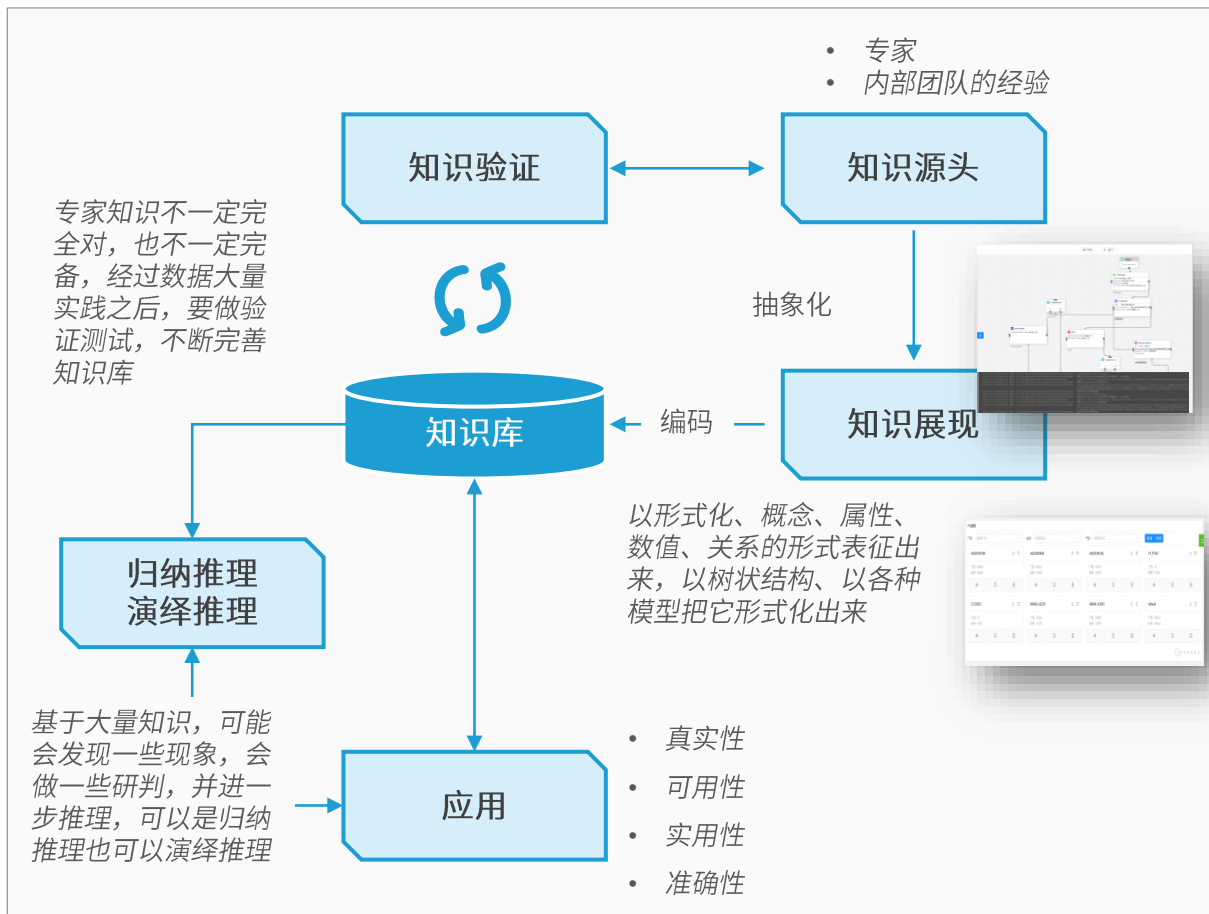
总线协议

兼容性不足，互联互通性差的问题一直存在

技术密集型的泛半导体产业如何通过知识工程实现知识沉淀系统化，是克服人才瓶颈的关键，未来将采用工具化的方式做知识累积

◆ 泛半导体产业技术密集，其精进之路非一日之功。人员的丰富经验与材料的不断精进，是行业发展的两大基石。要实现知识的有效沉淀与高效复用，需构建完善的知识管理体系，促进经验交流与技术共享，从而推动产业持续健康发展。

知识工程的核心思路



数据来源：哥瑞利；专家访谈；亿欧智库

当前知识系统化沉淀仍是业界难题亟待攻破

一、知识沉淀成本收益不对等

知识沉淀者所付出的努力与最终获得的收益之间存在显著的不对等。通常，技能经验的首次萃取具有较高壁垒，而传递的壁垒较低。这种不对等性反映了知识分享的复杂性和价值评估的困难性。

二、专家经验的非结构化

从技术层面来看，专家经验往往缺乏结构化和定量化，这导致其在现实应用中的局限性和不完备性。这种非结构化和非定量化的特点使得专家经验难以被有效地利用和传承，限制其在故障诊断等领域的应用范围。

三、知识沉淀存在信息损失

知识沉淀是一个复杂且困难的过程，需要克服多重障碍。一方面，知识本身不会自动流动，需要专家主动进行提炼和分享。另一方面，现有技术门槛对知识沉淀的效率和深度有所限制。因此，在知识传递过程中，信息损失难以避免。

四、基于规则推理能力存在限制

专家规则作为一种知识表达方式，其推理能力有限，主要体现在基于条件触发的简单推理上。这种推理方式的局限性在复杂故障诊断等场景中尤为突出。同时，当前的机器学习和人工智能技术也面临着表达能力的挑战，难以进行更深层次的推理和发现新的现象。这不仅是当前面临的困境，也是未来需要突破的重要方向。

后记：让工厂更智慧

如何助推泛半导体产业高质量发展是现下重要议题。哥瑞利联合亿欧智库发布《2024年泛半导体产业黑灯工厂发展研究洞察白皮书》旨在从软件层面助力泛半导体工厂打造黑灯工厂。

- 泛半导体产业是数字经济的**心脏**，是支撑未来数字经济发展的**关键基础设施单元**。泛半导体产业及相关技术的发展将直接影响未来产业变革。
- 目前，泛半导体产业数字化成熟度处在制造业首位，但仍然面临人机结合度低、目检人员误差、数据孤岛、设备维护效率低、智能化水平有待提升等问题，亟需提升工艺段之间的数据连接性、检测精度与效率以及设备预测性维护。此外，泛半导体产业生产环节整体对环境要求比较高，通过设备自动化可以实现将人员拉到中控室，从而实现车间无人，达到名义上黑灯工厂。但实际上，此时的工厂还不能达到自感知、自适应、自决策的状态。LOFA黑灯工厂助理通过远程操控、自动代操、自动质量检测、辅助决策，可以在车间去人的基础上，进一步帮助中控室人员提升效率，从而提升产能和良率。
- 哥瑞利LOFA解决方案基于泛半导体行业多年的深厚积累，成功集成了**PCC、AI、Bots**等核心功能，作为工厂自动化升级的统一入口，高效满足了工厂管理的各项需求。与市场上的单点解决方案相比，其卓越的集成性能不仅加强了系统的整体性和衔接性，更大幅降低了单点采购所引发的试错成本和时间损耗。其中，哥瑞利PCC以及Bots产品以低侵入式软件提升机台自动化水平，降低设备投入成本，最高可节约80%人员重复工作。AI缺陷检测基于LOFA行业经验库积累，准确率达99%以上。LOFA发挥着数字员工的优势，其性能和知识库还可以通过精确的数据分析与评估来量化呈现，使企业能更加直观地评估数字员工的工作效率与价值贡献。LOFA不仅引领了工厂自动化革新的步伐，更为企业带来了一个可量化、可优化的高效虚拟劳动力解决方案。
- 未来哥瑞利将基于多年产业积累及专业能力持续帮助泛半导体企业创造和提升生产优势，为工厂自动化升级提供全栈式**高效、可靠**的解决方案。

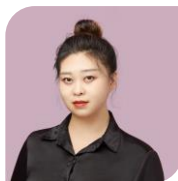
◆ 团队介绍:

亿欧智库 (EO Intelligence) 是亿欧旗下的研究与咨询机构。为全球企业和政府决策者提供行业研究、投资分析和创新咨询服务。亿欧智库对前沿领域保持着敏锐的洞察，具有独创的方法论和模型，服务能力和质量获得客户的广泛认可。

亿欧智库长期深耕新科技、消费、大健康、汽车出行、产业/工业、金融、碳中和等领域，旗下近100名分析师均毕业于名校，绝大多数具有丰富的从业经验；亿欧智库是中国极少数能同时生产中英文深度分析和专业报告的机构，分析师的研究成果和洞察经常被全球顶级媒体采访和引用。

以专业为本，借助亿欧网和亿欧国际网站的传播优势，亿欧智库的研究成果在影响力上往往数倍于同行。同时，亿欧内部拥有一个由数万名科技和产业高端专家构成的资源库，使亿欧智库的研究和咨询有强大支撑，更具洞察性和落地性。

◆ 报告作者:



严方圆

亿欧咨询 副总监

Email: yanfangyuan@iyiou.com



陈乃天

亿欧智库 高级分析师

Email: chennaitian@iyiou.com

◆ 报告审核:



刘欢

亿欧咨询 总监

Email: liuhuan@iyiou.com



王辉

亿欧智库副院长

Email: wanghui@iyiou.com

◆ 版权声明：

本报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于智库的专业理解，清晰准确地反映了作者的研究观点。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。本报告的信息来源于已公开的资料，亿欧智库对该等信息的准确性、完整性或可靠性作尽可能的追求但不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映亿欧智库于发布本报告当日之前的判断，在不同时期，亿欧智库可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。亿欧智库不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，亿欧智库对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者可自行关注相应的更新或修改。

本报告版权属于亿欧智库，欢迎因研究需要引用本报告内容，引用时需注明出处为“亿欧智库”。对于未注明来源的引用、盗用、篡改以及其他侵犯亿欧智库著作权的商业行为，亿欧智库将保留追究其法律责任的权利。

◆ 关于我们：

亿欧是一家专注科技+产业+投资的信息平台和智库；成立于2014年2月，总部位于北京，在上海、深圳、南京、纽约设有分公司。亿欧立足中国、影响全球，用户/客户覆盖超过50个国家或地区。

亿欧旗下的产品和服务包括：信息平台亿欧网（iyiou.com）、亿欧国际站（EqualOcean.com）、研究和咨询服务亿欧智库（EO Intelligence），产业和投融资数据产品亿欧数据（EO Data）；行业垂直子公司亿欧大健康（EO Healthcare）和亿欧汽车（EO Auto）等。

◆ 基于自身的研究和咨询能力，同时借助亿欧网和亿欧国际网站的传播优势；亿欧为创业公司、大型企业、政府机构、机构投资者等客户类型提供有针对性的服务。

◆ 创业公司

亿欧旗下的亿欧网和亿欧国际站是创业创新领域的知名信息平台，是各类VC机构、产业基金、创业者和政府产业部门重点关注的平台。创业公司被亿欧网和亿欧国际站报道后，能获得巨大的品牌曝光，有利于降低融资过程中的解释成本；同时，对于吸引上下游合作伙伴及招募人才有积极作用。对于优质的创业公司，还可以作为案例纳入亿欧智库的相关报告，树立权威的行业地位。

◆ 大型企业

凭借对科技+产业+投资的深刻理解，亿欧除了为一些大型企业提供品牌服务外，更多地基于自身的研究能力和第三方视角，为大型企业提供行业研究、用户研究、投资分析和创新咨询等服务。同时，亿欧有实时更新的产业数据库和广泛的链接能力，能为大型企业进行产品落地和布局生态提供支持。

◆ 政府机构

针对政府类客户，亿欧提供四类服务：一是针对政府重点关注的领域提供产业情报，梳理特定产业在国内外的动态和前沿趋势，为相关政府领导提供智库外脑。二是根据政府的要求，组织相关产业的代表性企业和政府机构沟通交流，探讨合作机会；三是针对政府机构和旗下的产业园区，提供有针对性的产业培训，提升行业认知、提高招商和服务域内企业的水平；四是辅助政府机构做产业规划。

◆ 机构投资者

亿欧除了有强大的分析师团队外，另外有一个超过15000名专家的资源库；能为机构投资者提供专家咨询、和标的调研服务，减少投资过程中的信息不对称，做出正确的投资决策。

◆ 欢迎合作需求方联系我们，一起携手进步；电话 010-53321289，邮箱 hezuo@iyiou.com



扫码关注亿欧智库
查看更多研究报告



扫码添加小助手
加入行业交流群

 亿欧智库

网址: <https://www.iyiou.com/research>

邮箱: hezuo@iyiou.com

电话: 010-53321289

北京: 北京市朝阳区关庄路2号院中关村科技服务大厦C座4层 | 上海: 上海市闵行区申昆路1999号4幢806

深圳: 广东省深圳市南山区华润置地大厦C座6层 | 纽约: 4 World Trade Center, 29th Floor-Office 67, 150 Greenwich St, New York, NY 10006