



智能检测装备产业发展 研究报告

机器视觉篇



编写组

中国电子技术标准化研究院

范科峰 郭楠 张晖 韩丽 程雨航 贾仕齐 李佳 焦国涛 崔文雅 闫理跃
张树蕊 马立群

机械工业信息研究院

鞠恩民

中国电子技术标准化研究院华东分院

叶宣辰 王姗姗 冷鹏

机器视觉产业联盟

潘津 于晓娟 霍云

凌云光技术股份有限公司

杨艺 张勇 于海洋

北京阿丘科技有限公司

黄耀 钟克洪

深圳思谋信息科技有限公司

刘枢 吕江波 张驰

杭州海康机器人股份有限公司

张振华 张驰 李奎 邱波 方群

中国大恒（集团）有限公司北京图像视觉技术分公司

宋伟铭 刘敏 唐艳

北京大恒图像视觉有限公司

朱瑞慧 邵建超 邓红丽

北京博视像元科技有限公司

朱江兵 杨军超

中科慧远视觉技术（洛阳）有限公司

张正涛 张武杰 张蔚

无锡先导智能装备股份有限公司

金群昊 印烨萍

上海贝特威自动化科技有限公司

袁永标

苏州天准科技股份有限公司

曹奎康 杨少博

深圳市矽赫科技有限公司

洪鹏辉 洪宝璇 林叠守

深圳市什方智造科技有限公司

张 振

珠海市申科谱工业科技有限公司

殷 瑜

维视智造科技股份有限公司

王 波 李明睿

深视智能科技有限公司

王 铭

山东能源数智云科技有限公司

尹 旭

东声智能科技有限公司

韩 旭 颜 聪 徐雨秋

重庆中科摇橹船信息科技有限公司

甘元丰

无锡日联科技股份有限公司

周 立

广东奥普特科技股份有限公司

汤 浩

常州微亿智造科技有限公司

赵 何 李科频 刘致源

中国科学院自动化研究所

刘振杰 商秀芹

北京工业大学

张 涛

宁波舜宇光电信息有限公司

王 波

武汉精测电子集团股份有限公司

方 萍 张 婷 周 瑜

唐山英莱科技有限公司

赵治军

中科院微电子研究所

王 颖

湖南大学

刘 敏 吴昊天 张 哲

通标标准技术服务有限公司

孙威威

前言

智能检测装备作为智能制造的核心装备，是“工业六基”的重要组成和产业基础高级化的重要领域，已成为稳定生产运行、保障产品质量、提升制造效率、确保服役安全的核心手段。发展智能检测装备对加快制造业高端化、智能化、绿色化发展，提升产业链供应链韧性和安全水平，加快形成新质生产力，支撑制造强国、质量强国和数字中国建设具有重要意义。2023年2月，工业和信息化部、国家发展改革委等七部门联合印发《智能检测装备产业发展行动计划（2023—2025年）》，系统推进智能检测装备基础创新、高端供给、应用推广、生态发展。

机器视觉作为智能检测装备的一项关键技术，是人工智能领域的一个重要应用方向，能够助力制造业进行测量、定位、识别、缺陷检测，不仅可以克服人眼检测标准的不一致性、非重复性和主观性等问题，也能在高速、高光谱、高分辨率、高可靠性以及工业持续性、环境适应性等方面全面超越人眼极限，并在大模型等人工智能技术驱动下，加速向智能化发展。目前，机器视觉检测装备广泛应用于汽车、电子、医疗、纺织、食品等行业，在大体量检测场景的支撑下，机器视觉检测装备产业初具规模，技术成熟度不断提高，产业将进入依托技术攻坚爬坡过坎的关键阶段。

本报告梳理了机器视觉检测装备产业整体发展现状，分析了机器视觉检测装备市场规模、地域分布、产业链特征等产业情况，提出了在大数据、人工智能等驱动下机器视觉装备技术发展趋势，整理了锂电、光伏、消费电子、半导体、汽车等领域典型应用场景、供应商技术路径和典型案例，旨在为业内研究和发​​展机器视觉产业提供参考。本报告仍有不足之处，望各界批评指正。

第一章 智能检测装备产业发展概述

第二章 机器视觉检测装备产业发展情况

- 1 市场需求空间广阔，预计 2024 年产业规模将达到 400 亿
- 2 相关供应商近 2000 家，北京、长三角、珠三角地区产业链布局逐步完善
- 3 产业链竞争加剧，龙头企业加速补齐算法、关键部件等方面的全栈研发能力
- 4 市场投资热度不减，细分领域独角兽引发资本关注
- 5 产业亟待规范化发展，相关标准化需求迫切
- 6 机器视觉检测装备产业图谱

第三章 机器视觉检测装备技术发展趋势

- 1 检测数据的深度挖掘推动装备突破传统功能和定位
- 2 以大模型为代表的 AI 技术正在大幅提高检测能力上限
- 3 新一代通信技术的融合应用大大提升装备实时响应速度
- 4 新型成像技术和多模态融合技术助力装备适应更多复杂场景
- 5 可配置的系统模块让装备的快速灵活部署成为可能

目 录

第四章 机器视觉检测装备细分行业产业发展情况

- 1 锂电行业
- 2 光伏行业
- 3 消费电子行业
- 4 半导体行业
- 5 汽车行业

第五章 总结与展望

第一章 智能检测装备产业发展概述

智能检测装备对推进新型工业化、发展新质生产力起到关键作用

我国制造业综合实力持续提升，智能制造发展取得长足进步。新时期为实现新型工业化和质量强国建设，应进一步提升制造业数字化智能化水平，推动高质量发展，提升产品质量和产业竞争力，进一步发展新质生产力。



我国制造业综合实力持续提升，市场主体活力和实力不断增强。按照国民经济统计分类，我国制造业有 31 个大类、179 个中类和 609 个小类，是全球产业门类最齐全、产业体系最完整的制造业。产业链配套能力全球领先，具有强大的韧性和发展潜力，这种体系完备、配套完善、组织协作能力强的优势在应对新冠疫情等外部冲击过程中得到了充分彰显。



智能制造是推动制造业高质量发展的重要引擎，是“制造强国”建设的主攻方向，其发展水平关乎我国制造业全球地位。“十三五”以来，在国家、地方智能制造政策的牵引下、试点示范、新模式应用、场景建设、系统解决方案供应商培育等方面掀起热潮，内生动力不断提升，智能制造新技术、新模式、新应用、新业态不断涌现，我国智能制造发展取得长足进步。**如在智能检测领域**，一方面，以消费电子、新能源汽车为代表的高端制造业产能正在向我国转移，新产品、材料、装备持续产生着检测需求；另一方面，制造业高质量发展要求通过机器视觉技术打通供应链上下游企业间质量信息传递渠道，提升从采购寻源到生产销售的全过程质量协同管控、全生命周期质量追溯管理等水平。这让智能检测装备产业中下游发展迅速，市场应用逐步扩大，产业经验得到累积。

党的二十大报告提出，到 2035 年基本实现新型工业化，强调坚持把发展经济的着力点放在实体经济上，加快建设制造强国、质量强国。

二十大以来，新型工业化逐步成为我国和各省市的重要纲领，2022 年 12 月至今，工业和信息化部及各省市先后制定或发布新型工业化行动方案和实施意见等。新的阶段，新型工业化的发展目标：

一方面要求制造业走高质量发展的根本路径，推动智能制造战略，加强科技创新，加快数字化和智能化改造；

另一方面要求实现产品质量高端化、生产过程集约化、生产效益最大化，促进产品和生产过程的安全自主可控、提升产业竞争力。

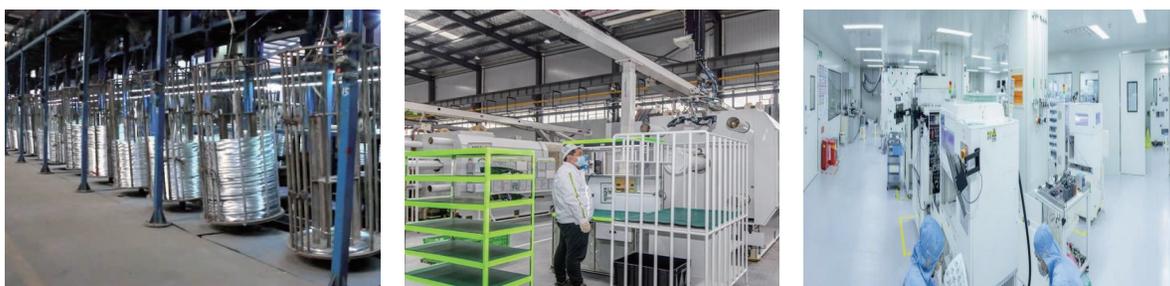
为推进质量强国建设，应针对制造业实现智能制造过程中工艺实施、质量管控、设备运行管理、安全环境监测等领域的检测需求，应用智能检测装备，提升生产效率和生产质量。

对于国家，在中国经济增长从速度型转向质量型的关键阶段，质量成为经济更好更快发展的新驱动力。制造业是质量强国的主攻方向，质量是制造强国的关键内核。

对于企业，质量就是效益，质量就是生命。一个企业想要长远发展，生产过程质量把控是竞争的核心。

《智能检测装备产业发展行动计划（2023—2025年）》指出，智能检测装备已成为稳定生产运行、保障产品质量、提升制造效率、确保服役安全的核心手段，对加快制造业高端化、智能化、绿色化发展，提升产业链供应链韧性和安全水平，支撑制造强国、质量强国和数字中国建设具有重要意义。

传统的质量检测主要靠“人眼 + 经验”，速度慢，效率低。特别是随着人们生活水平的提高，公众对高品质产品的需求越来越多。这对生产线，对工人的各项能力要求越来越高，传统质检模式的弊端显而易见，必须要借助智能检测装备，在提升生产效率和守护企业质量生命线方面，发挥更大的作用：



在某丝锭车间中，过去，质检女工主要通过“眼睛 + 手电筒”检查产品质量，不仅效率低，眼睛在长时间工作后还可能受到损害。如今，车间里安装了人工智能外检一体机，检验 1 个丝锭产品只需 2.5 秒，效率比人工质检提高 70%。质检女工晋级成数据标注师，成为 AI 的“老师”。

在汽车车间中，大型一体压铸产品具备不可见内部缺陷，工件质量难以保证，大量件专用检测装备，运用了 x 射线数字化智能无损检测技术，搭载缺陷自动识别 AI 算法软件，实现内部缺陷智能无损检测和产品缺陷自动判定识别，无需大量客户图片训练，配置缺陷自动识别，经验误判率低、准确率高。

金属污染的存在对集成电路的影响是多方面的，对晶圆表面进行金属污染检测是确保集成电路性能稳定、提高产品良率的关键步骤。动态薄层晶圆污染提取检测设备通过采用不同的化学溶液对晶圆表面污染物进行分步提取的方法，对晶圆表面的污染情况进行更具体的测量和分析，帮助用户快速找到污染源，成功地将产品的良率提升了 30%，并显著提高了产品的稳定性和可靠性。同时通过在线检测和分析，企业得以优化生产工艺，减少金属污染物的产生。

国家政策聚焦智能检测装备的技术创新和推广应用

“十三五”时期以来，智能制造的生产模式逐步推广，为解决智能检测的相关产业痛点，我国逐步推动了高端装备、智能硬件、机器人、人工智能等领域的发展，诸多国家政策为智能检测装备产业发展提供了良好的政策环境。

发布时间	发布单位	文件名称	主要内容
“十三五”时期	工业和信息化部	《智能硬件产业创新发展专项行动(2016-2018年)》	首次提出支持机器视觉等新一代感知技术的发展。
2021年	工业和信息化部	《高端智能再制造行动计划(2018-2020年)》	突破一批拆解、检测、成形加工等关键共性技术，智能检测、成形加工技术达到国际先进水平。
2022年	工业和信息化部	《“十四五”智能制造发展规划》	大力发展智能制造装备，推动数字孪生、人工智能等新技术创新应用，通用智能制造装备包括高分辨率视觉传感器、数字化非接触精密测量、在线无损检测、激光跟踪测量等智能检测装备和仪器。
	国务院	《“十四五”数字经济发展规划》	推进机器视觉、机器学习等技术应用。建设可靠、灵活、安全的工业互联网基础设施，支撑制造资源的泛在连接、弹性供给和高校配置。

续表

发布时间	发布单位	文件名称	主要内容
2022 年	工业和信息化部等九部门	《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2025 年）》	推动 5G 应用发展有利于加快人工智能、云计算、大数据、区块链等高新技术融合赋能，是 5G+AI 机器视觉监测能够广泛地用于高温、井下、移动等环境，拓展人工智能应用空间。
	科技部等六部门	《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》	鼓励在制造、农业、物流等重点行业深入挖掘人工智能技术应用场景，促进智能经济高端高效发展。制造领域优先探索工业到啊、机器人协助制造、机器视觉工业检测、设别互联管理等智能场景。
2023 年	工信部等八部门	智能检测装备产业发展行动计划（2023-2025 年）	突破 50 种以上智能检测装备、核心零部件和专用软件，部分高端装备达到国际先进水平，产品质量明显提升，攻克一批智能检测基础共性技术。推动 100 个以上智能检测装备示范应用，培育一批优秀场景和示范工厂，深化智能检测装备在机械、汽车、航空航天、电子、钢铁、石化、纺织、医药等 8 个领域的规模化应用。建成从材料、元器件、零部件、专用软件到装备较为完整的产业链，以及涵盖标准、检测、人才等在内的产业体系。培育 30 家以上智能检测装备专精特新“小巨人”企业，打造 10 个以上产业领军创新团队，用户敢用愿用的市场环境明显改善。

装备

2023 年 3 月，工业和信息化部等七部门印发《智能检测装备产业发展行动计划（2023—2025 年）》，指出了智能制造要高质量发展，先要有高质量的工具。智能检测装备作为智能制造的核心装备，已成为稳定生产运行、保障产品质量、提升制造效率、确保服役安全的核心手段，对加快制造业高端化、智能化、绿色化发展具有重要意义。文件提出，到 2025 年，智能检测技术基本满足用户领域制造工艺需求，核心零部件、专用软件和整机装备供给能力显著提升，重点领域智能检测装备示范带动和规模应用成效明显，基本满足智能制造发展需求。

技术 攻关

目标

突破 50 种以上智能检测装备、核心零部件和专用软件，部分高端装备达到国际先进水平，产品质量明显提升，攻克一批智能检测基础共性技术。

应用 深化

目标

推动 100 个以上智能检测装备示范应用，培育一批优秀场景和示范工厂，深化智能检测装备在机械、汽车、航空航天、电子、钢铁、石化、纺织、医药等 8 个领域的规模化应用。

产业 培育

目标

建成从材料、元器件、零部件、专用软件到装备较为完整的产业链，以及涵盖标准、检测、人才等在内的产业体系。培育 30 家以上智能检测装备专精特新“小巨人”企业，打造 10 个以上产业领军创新团队，用户敢用愿用的市场环境明显改善。

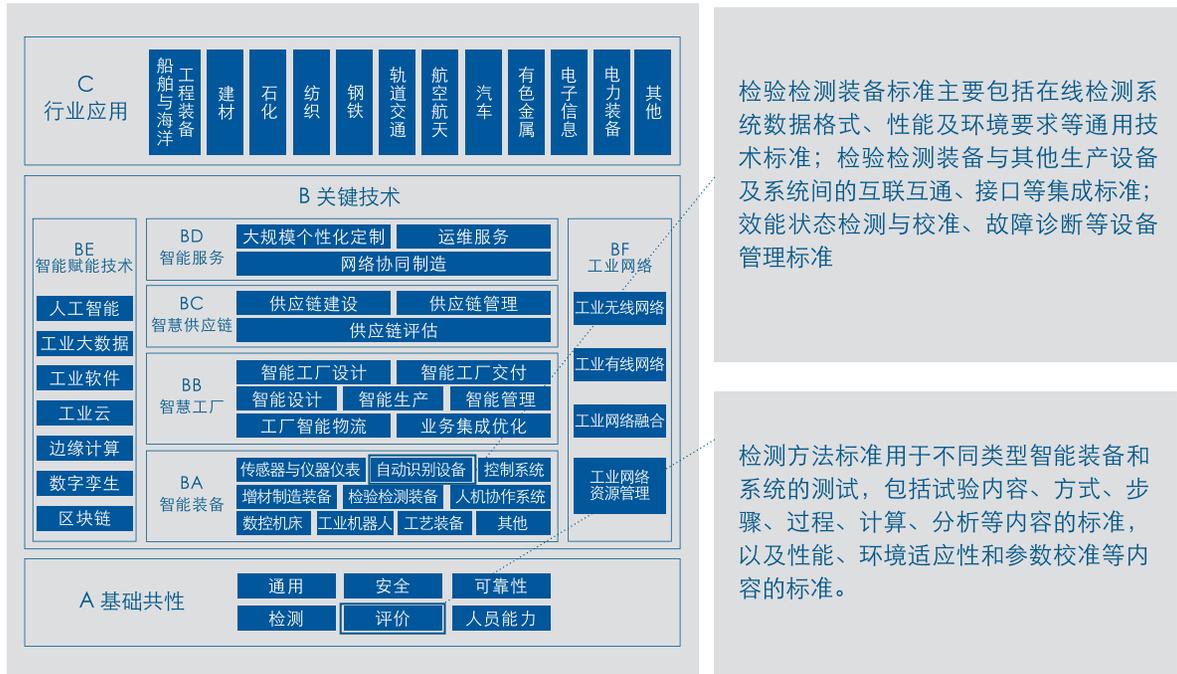
人工智能

2022 年 8 月，科技部等六部门联合印发《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》，探索人工智能发展新模式新路径，以人工智能高水平应用促进经济高质量发展。打造人工智能重大场景、提升人工智能场景创新能力、加快推动人工智能场景开放、加强人工智能场景创新要素供给等方面出发，实现重大应用场景加速涌现、场景驱动技术创新成效显著、场景创新合作生态初步形成、场景驱动创新模式广泛应用的发展目标。

《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》提出，制造领域优先探索工业大脑、机器人协助制造、智能工业检测、设备互联管理等智能场景。

国家智能制造标准体系建设指南对检测方法和检验检测装备标准研制提出了指引

图：国家智能制造标准体系建设指南（2021年版）



“十四五” 智能制造发展规划提出了智能检测相关的关键技术和装备

大力发展智能制造装备。针对感知、控制、决策、执行等环节的短板弱项，加强用产学研联合创新，突破一批“卡脖子”基础零部件和装置。推动先进工艺、信息技术与制造装备深度融合，通过智能车间/工厂建设，带动通用、专用智能制造装备加速研制和迭代升级。

智能制造技术：工业现场多维智能感知、质量在线精密检测等；

智能制造装备：高分辨率视觉传感器、数字化非接触精密测量、在线无损检测、激光跟踪测量等智能检测装备和仪器。

—— “十四五” 智能制造发展规划

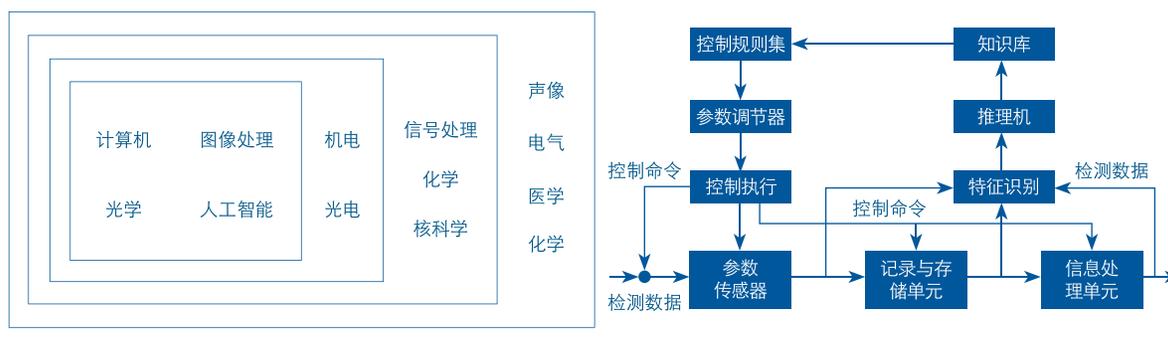
机器视觉检测装备是一类应用最广、发展最成熟的智能检测装备

在智能检测装备中，基于机器视觉技术的机器视觉检测装备能够完成图像采集、传输、处理解析，随着人工智能、图像处理等技术在工业领域的落地，机器视觉检测装备已逐步形成规模化的产业。

检测检验是制造过程中最基本的活动之一，提供产品及其制造过程的质量信息，保证稳定性。

智能检测技术—将先进传感器与计算机系统结合，在智能分析软件的支持下，可以自动完成数据采集数据处理、特征提取和识别，达到对被测系统性能进行测试和故障缺陷诊断的目的。

智能检测装备—在智能检测技术的支持下，自动完成数据采集和处理、特征提取和识别、分析与计算从而完成对系统或产品的质量检测、性能测试、故障诊断的生产装备。



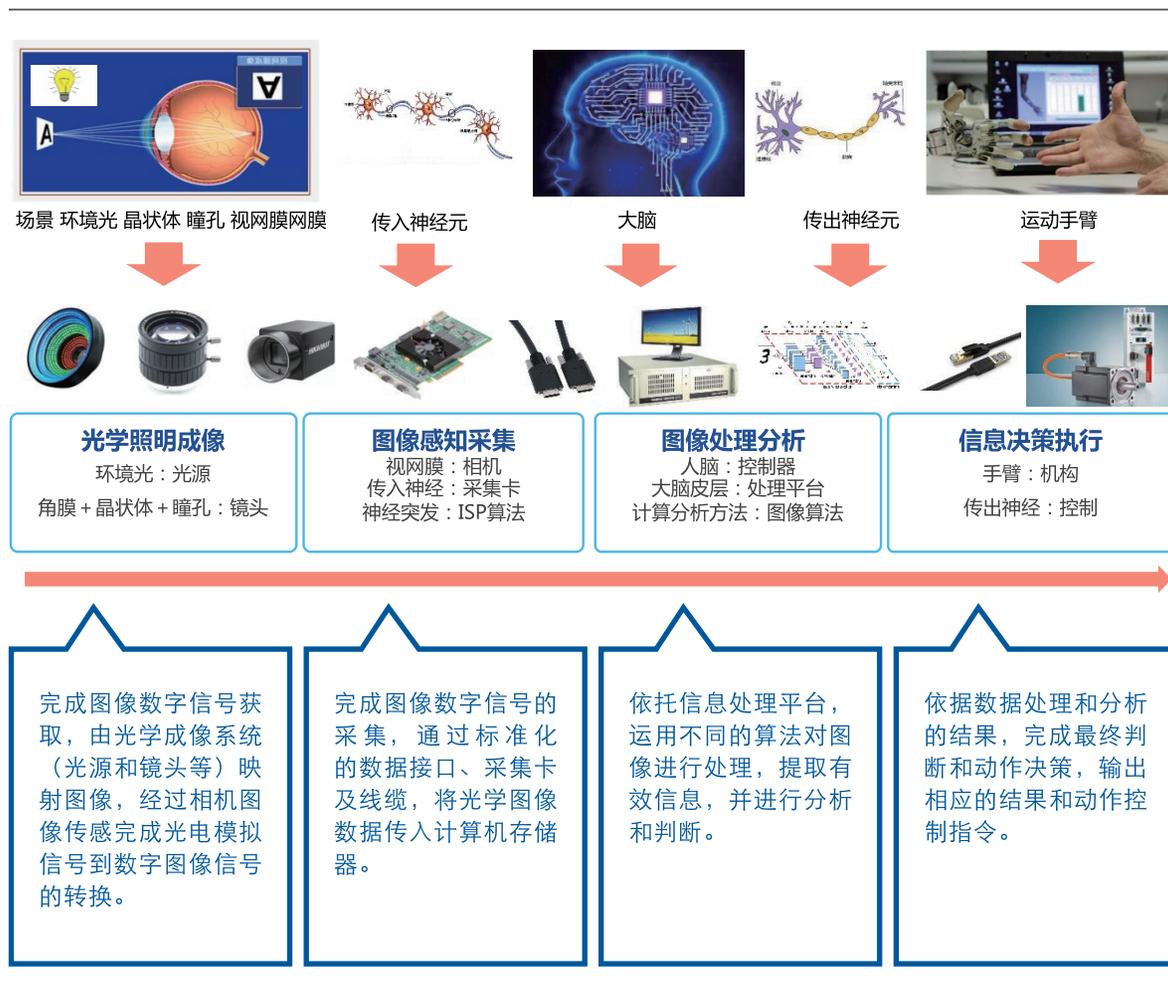
智能检测技术依赖仪器仪表，涉及物理学、电子学、人工智能等多个学科，学科领域持续拓展

仿真技术	机器视觉技术	光电技术	机械物理技术	化学技术
通用疲劳测试系统、模拟仿真试验台；汽车整车功能测试仿真实验室；消费电子装配多维检测装置；半导体性能虚拟仿真设备等。	通用视觉检测专机、引导系统、分拣机器人；汽车冲压件尺寸及表面在线测量系统、车身尺寸在线测量装备、涂漆膜缺陷在线检测装备；消费电子PCB板检测设备、元器件装配测量定位设备、屏幕缺陷检测设备排线测量设备、芯片外观检测设备等；半导体前道晶圆检测设备、后道封装与框架检测设备；锂电极片涂布检测设备、极耳检测设备、卷绕叠片检测设备、电磁模检测设备。	通用激光干涉仪、白光干涉仪、纳米级精密检测仪器；汽车激光跟踪仪；消费电子高精密度电路研发检测设备、超声扫描显微镜；半导体电子束检测设备、X射线检测设备、扫描电镜；锂电X射线锂电池测试设备激光量测设备、光谱共焦设备等。	通用疲劳测试系统、零件性能测试系统等；汽车焊接强度无损检测、整车机电性能测试系统、电器功能检测系统、重载平衡性测量装置；消费电子高精度探针台、高可靠电磁干扰测量接收机等；半导体芯片失效分析设备、锂电电性能检测装备、隔膜检测仪器等。	通用红外光谱仪；汽车气体冷热冲击试验机，爆破试验机；消费电子人工智能电磁兼容检测装置；半导体人工智能电磁兼容检测装置、锂电 decap 开封破坏分析设备等。

机器视觉检测装备是一类应用最广、发展最成熟的智能检测装备

机器视觉技术涉及到计算机、光学、图像处理、人工智能、信号处理、移动通信等多个技术领域，是各类智能检测技术中较为复杂、门槛较高、应用范围最广的一个分支。

机器视觉检测装备包括了应用机器视觉技术的相关器件、智能相机、可配置系统以及成套检测设备等，通过对电磁辐射的时空模式进行探测和感知，可以自动获取一幅或多幅目标物体图像，对所获取图像的各种特征量进行处理、分析和测量，根据测量结果作出定性分析和定量解释，从而得到有关目标物体的某种认识并作出相应决策，执行可直接创造经济价值或社会价值的功能活动。

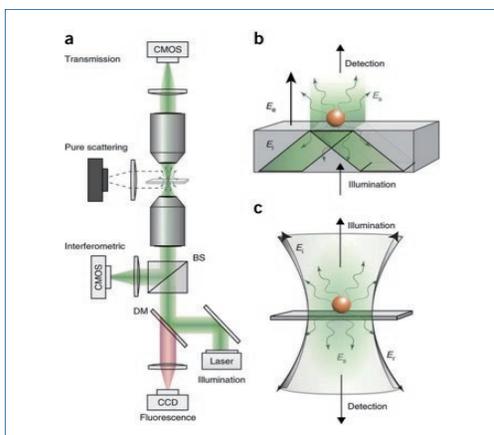


从狭义上讲，机器视觉检测装备通常由图像采集部分（相机，光学镜头，光源）+ 图像传输（数据接口，线缆，图像采集卡）+ 图像处理解析（预处理器，主处理器，应用软件）等构成。从广义角度，则还包含后端相关的信息通讯及运动控制系统。按照整个视觉系统信息流动的方向，机器视觉系统可分为上图的四个部分。

与其他智能检测装备比对，机器视觉检测装备具备非接触、模块化、易集成、仿人、成本可控等技术特点，能较好地适应制造现场实际需求，快速助力形成分析和决策。

<p style="text-align: center;">仿人、感知</p> <p>机器视觉检测通过分析处理被检对象图像对此对象进行检测。检测过程中并不需要接触，所以对被测对象没有磨损和危险，实现了无损检测。</p>	<p style="text-align: center;">实用和成本可控</p> <p>视觉软件开发周期不断缩短，对开发技术人员要求不断降低，模块化的通用软件平台和结合 AI 技术软件平台是视觉软件的发展方向。</p>
<p style="text-align: center;">仿人、感知</p> <p>由于需要大量传感器进行感知和反馈动作指令，人们尝试把视觉设备变成可和人类进行语言和视觉交互的伙伴，实现对周围环境的感知和理解。</p>	<p style="text-align: center;">实用和成本可控</p> <p>机器视觉装备是面向市场应用以直接创造经济和社会价值为目的，而不盲目追求高性能，因此强调成像与精度的适配，以及算法与算力的适配。</p>

随着机器视觉技术与其它检测技术结合得更加紧密，机器视觉检测装备的应用范围将持续拓宽。



成像芯片的 QE 灵敏度和信噪比等性能大幅提升，极大拓展了机器视觉的应用范围。以往只能使用 PMT 和 APD 等光电传感器的应用场合，如干涉显微镜、光谱共焦等，都开始采用成像芯片代替原有的光电传感器件，获得较高的光学强度分辨率和空间分辨率。

机器视觉技术已经在半导体微纳高精检测与量测，高光谱探测等领域获得了广

泛的应用。传统超声波探伤、太赫兹检测等领域，也大量采用机器视觉的算法进行特征提取和检测。

各类成像传感技术深度融合，机器视觉与传统非接触探测应用的结合也越来越紧密。未来机器视觉将充分发挥电磁传感的能力，应用范围将会覆盖从阿尔法和伽马射线、X光、紫外、可见光、红外、太赫兹、超声、甚至到声波的全频段应用范围。

第二章 机器视觉检测装备产业发展情况

机器视觉技术能够代替人眼完成测量、定位、识别和检测等工作，进行生产智能化管控和产品质量管控，并实现智能仓储 / 配送，持续赋能消费电子、半导体、锂电、光伏等细分行业。机器视觉检测领域和场景不断开拓，产业发展大有可为

生产智能化管控

对生产过程进行实时监测和跟踪，监测原材料、生产设备、环境、人员的状态，对异常情况作出调整，提升生产效率，降低成本。

产品质量管控

在生产过程中实现产品的定位、识别、装配、分拣和质量检测，在生产端把控产品质量，降低检测人员成本，提高利润率和客户满意度。

细分行业	赋能场景
消费电子行业	用于产品及零部件表面检测、触摸屏制造、AOI 光学检测、电子封装等领域，产品市场存量较大，迭代快速等特征持续催生机器视觉产业需求。
半导体行业	用于半导体晶圆生产、封装、分类筛选过程的缺陷检测，半导体产业对生产品质的严苛要求，推动了视觉系统技术水平的持续稳步发展，视觉系统已成刚需。
纺织行业	用于在纺织行业纱线、织布、坯布、成品布、裁片、车缝及成衣等环节代替人工进行质检。
锂电行业	用于锂电行业从极片成型、电芯制造到模组组装全工序的质量检测，确保电池性能，减少生产成品和时间成本。
光伏行业	用于光伏行业上游硅料成分检测，中游硅片、电池片、玻璃、背板，以及下游光伏组件的质量检测，确保电池性能，避免原材料浪费，并保证组件产品的发电效率。
轨道交通行业	用于在轨交运维、车辆智造、运输与物流及其他领域开展设备的监测，维护交通安全运营，降低事故风险。

细分行业	赋能场景
家电行业	用于家电产品组件缺陷检测、配件防错漏检测以及外观检测，提升产品质量和企业声誉。
航空航天行业	用于对航空航天行业的关键复杂零部件进行质量检测，以及对飞机进行疲劳破坏检测和维护保养。

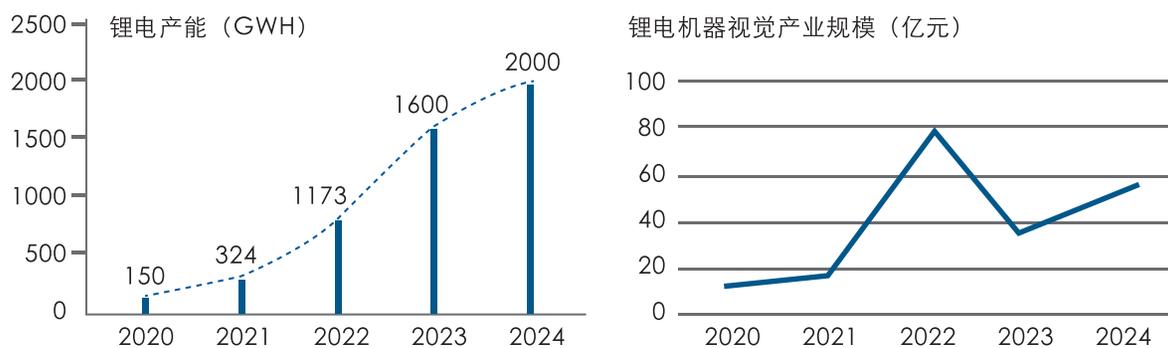
（一）市场需求空间广阔，预计 2024 年产业规模将达到 400 亿

通过对细分行业产能规划、装机量、供应商销售情况等数据进行估算，据不完全统计，到 2024 年，我国机器视觉检测装备产业规模将达到 400 亿，其中，锂电、家电、光伏等行业的规模将达到 50 亿，半导体行业规模将达到 170 亿。

锂电行业

综合国内电池厂相关数据，2022 年中国锂电池出货量达到 1173GWh，未来随着新能源汽车渗透率的不断提升及其他下游产业的发展，我国锂电池出货量有望进一步提升。根据电池厂的规划产能，预计 2024 年中国锂电池出货量将达到 2000GWh，相比 2023 年新增约 400 亿，2024 年，这将预计为锂电行业机器视觉检测装备带来 55 亿左右的产业规模。

我国锂电产能和机器视觉装备产值测算



来源：企业研报数据

半导体行业

半导体产业链中的机器视觉检测设备贯穿每一步骤的过程工艺控制，全球市场空间超百亿美元。美国 KLA(科磊)在半导体检测设备的市场占有率高达 50.8%。根据中科飞测、武汉精测等装备企业相关招股书和研报的数据，2020 年起国内半导体机器视觉检测装备每年保持超过 15% 的增量，2022 年产业规模达到 125 亿元，可预估到 2024 年国内半导体机器视觉装备产业规模将超过 **170 亿元**，这与 Tech Insights、semi、VLSI 等相关科技报告预估基本一致。

国际知名机构对我国视觉检测装备规模估计

根据 Tech Insights 统计，2022 年全球半导体各类检测设备市场规模超过 90 亿美元，其中国内检测设备市场规模从 2020 年的 21 亿美元上升至 2022 年的 30 亿美元，根据这一增长率，2024 年预估产业规模已接近 150 亿元。

根据 semi 数据，2023 年中国本土、外资企业半导体设备投资额为 86、39 亿美元，总数为 125 亿美元，其中检测和量测设备占据半导体设备总额的 10%。而根据 VLSI Research、QY Research 统计，半导体检测和量测设备市场中，应用光学设备市场份额占比超过 70%，可预估我国 2024 年机器视觉装备规模已超过 100 亿元

来源：企业招股书、企业研报、Tech Insights、semi、VLSI 等相关报告

家电行业

根据家电行业相关供应商统计，2022 年产业规模约 25 亿元，并在 2020 年到 2022 年保持了年复合增长率 41%，可估计到 2024 年家电市场机器视觉规模达到 **50 亿元**。目前家电行业机器视觉检测设备保有量可达 13 万套，但机器视觉检测装备装机率约为 15%；按照一台 20 万计算，全国家电质检机市场空间上限可达 200 亿元，这意味着未来几年家电行业机器视觉检测装备还有较大市场空间。

汽车行业

汽车行业每年度机器视觉检测装备需求主要来自整车制造产线改装和零部件生产产线改装，每年度产业规模相对稳定，根据易思维、贝特威、博众、伊斯拉等供应商往年销售数据可预估 2024 年主机厂机器视觉检测装备产业规模可达到 20 亿元，根据梅卡曼德、海康机器人等供应商往年销售数据可估计 2024 年零部件

厂检测装备产业规模可达到 10 亿，共计 30 亿元。

光伏行业

根据工业和信息化部公开数据，2022 年全年光伏产业链各环节产量再创历史新高，全国多晶硅、硅片、电池、组件产量分别达到 82.7 万吨、357GW、318GW、288.7GW，2022 年我国光伏新增装机 87.41GW，同比增长 59.3%；2023 年上半年光伏新增装机基本与 2022 年全年数据相当。预计 2024 年我国光伏装机增长态势将有所减缓，预测将达到 100GW，这将为机器视觉检测装备带来 50 亿元的市场规模。

轨道交通行业

在轨道车辆生产制造方面，机器视觉检测装备预计市场规模将达到 10 亿，主要包括：

车体及部件切割下料与工件焊接领域，市场规模约为 0.4 亿；

表面检测：检测轨道车辆外观表面的缺陷和瑕疵检测，市场规模约为 1.2 亿；

零部件的定位、对位和组装，市场规模约为 4 亿；

轨道车辆的质量检测和尺寸测量，市场规模约为 4 亿；

轨道车辆的故障诊断和维修，市场规模约为 1 亿；

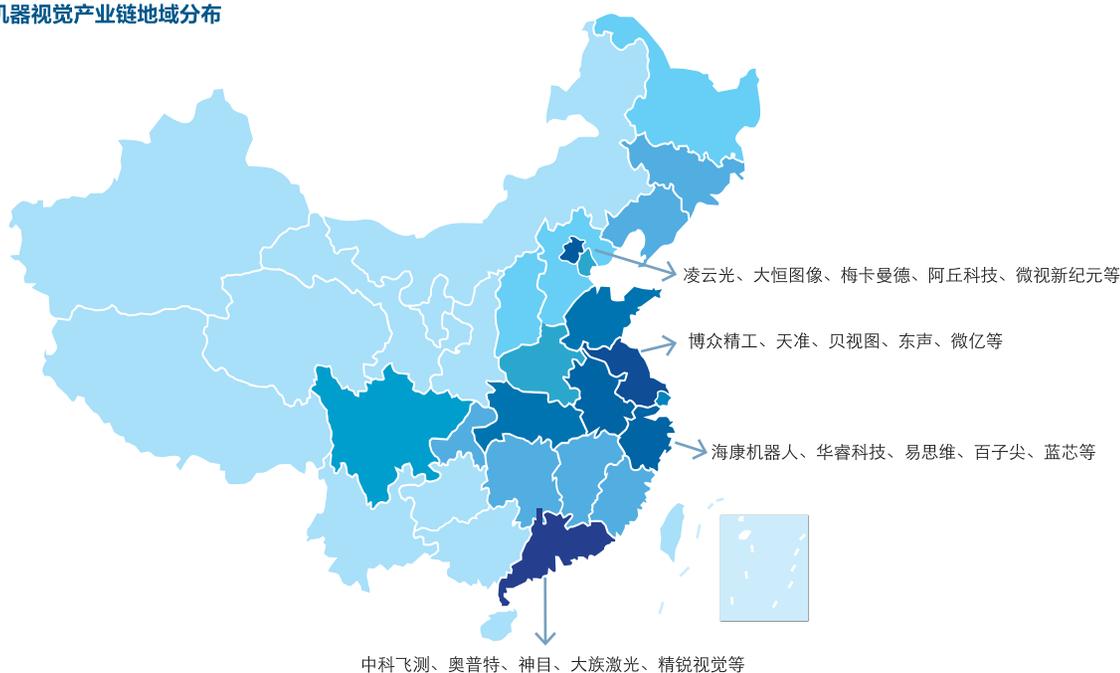
航空航天行业

2022 年，航空制造领域机器视觉产业规模为 2.5 亿左右前航空领域的测量、加工、装配均严重依赖人工，考虑到二维及三维机器视觉技术在智能制造模式中比重不断增大，航空航天行业机器视觉检测装备规模估计将会持续增长，预计行业规模在 2024 年内可以达到 8 亿。

（二）相关供应商近 2000 家，北京、长三角、珠三角地区产业链布局逐步完善

目前在业的机器视觉检测装备供应商数量达到 2000 家，产业链地域分布基本与制造业发展情况相配套，受益于活跃的金融环境和制造集群，珠三角地区、长三角地区以及北京市发展较好，中部、西部企业较少。

我国机器视觉产业链地域分布



根据公开可查的企业信息显示，我国目前在业的供应商数量达到 2000 家，其中以 2017-2019 年为主要注册热潮。中国制造业较发达的地区包括广东、江苏、浙江省以及上海等沿海区域，机器视觉检测装备产业分布与中国制造业发达地区的地理位置联系较紧密，诞生了多个中国机器视觉产业链上中游龙头企业。

北京地区培育了众多产业链上中游龙头企业，例如，工业相机等机器视觉设备龙头企业凌云光、算法独角兽企业商汤科技、大恒科技和维视图像等。广东省在机器视觉检测设备、算法与集成布局较为完善，有奥普特、大族激光等零部件制造商，以及超音速、深科达、劲拓股份等机器视觉装备厂商，供应商数量超过 1000 家。江苏省与浙江省的设备制造及系统集成商较多，接近 500 家。整体来看，中国机器视觉上游与中游企业主要集中在广东、江浙沪等东部区域，中部、西部与北部地区的机器视觉企业数量相对较少。

（三）产业链竞争加剧，龙头企业加速补齐算法、关键部件等方面的全栈研发能力

我国机器视觉检测装备产业链条已基本形成，具备软件算法研发、核心零部件设计生产、系统和装备集成开发的企业逐步成为产业链核心链主企业。





机器视觉检测装备的产业链竞争进入白热化阶段，市场竞争和外部环境等因素意味着装备供应商需持续深耕细分领域、构建竞争壁垒，突破关键技术。

<p>买方 议价能力高</p>	<p>国内机器视觉厂商数量的增加，加剧市场竞争程度，部分商家通过降低产品价格等方式获取更多市场份额，加之行业下游应用的领域扩展，需求不断增多，提高了消费者的议价能力。这意味着供应商需要持续关注并提升装备成本和质量、服务质量和品牌形象。</p>
<p>市场竞争 激烈</p>	<p>机器视觉作为前沿技术领域，有着较高的技术壁垒，但由于全球高端制造产能向我国转移，全球高端制造产能向我国转移，同步提高了对高端精密机器视觉行业市场需求，吸引了众多国内外软件厂商的加入，市场竞争者数量仍有增长态势，且市场集中度较低，竞争较大；加之除了机器视觉检测装备供应商之外，智能制造相关自动化设备商的设备无法脱离检测模块，凭借深耕行业工艺场景，加入视觉装备竞争，进一步促进国内机器视觉部件和设备厂商技术迭代和提高对应用工艺的理解，推动国产品牌加速崛起。</p>
<p>不可替代性</p>	<p>机器视觉检测装备具有高度的准确性和适应性，满足了锂电、光伏、半导体、消费电子等行业现代化生产中多批次、多品种、产品更新换代快的特点，对于改变传统的生产方式，提高产品质量和生产效率，实现生产线的数字化、信息化和智能化非常必要。这意味着产业整体基本不存在直接产品或间接替代产品。除去少部分龙头企业能够输出多领域解决方案以外，大多数供应商仍是集中于部分或单一行业。</p>
<p>人才缺口 较为严重</p>	<p>机器视觉检测装备供应商对于算法工程师和机器视觉工程师缺口较大，算法工程师是负责在各种领域中开发、测试和实现新算法的工程师，他们需要在机器学习、自然语言处理和数据挖掘等领域有丰富的经验；机器视觉工程师需要具有深入的计算机视觉、图像处理和人工智能方面的知识，并且在多种开发软件（如OpenCV）和编程语言（如C, C++, Python）上有较高的技能水准。</p>

整体而言，机器视觉检测装备产业链竞争已进入白热化阶段。人才充足、落地能力强，能够在细分领域站稳脚跟的供应商将更容易获得稳定的市场占有率以及获得融资。企业在工艺算法、装备集成等方面的竞争壁垒显得尤为重要，以优秀的行业案例进入机器视觉“深水区”，才有机会在卡位阶段与其它玩家一较高下。

由于智能制造系统解决方案一体化的发展趋势和标准化产品难以满足实际需求的形势，大量需要配置和定制的视觉检测装备成为关注热点，龙头企业加速补齐算法、关键部件等方面的全栈研发能力。



巴斯勒、奥普特、海康、大华、维视智造等视觉零部件供应商，在把控核心零部件先发优势的同时，持续拓展新的产品业务种类，面向用户提供一体化的解决方案和服务。

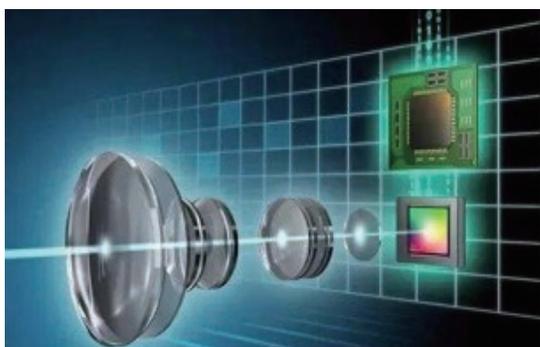


奥普特自 06 年成在光源领域布局，已有近 50 项光源系列产品，近 1000 款标准化产品，也可根据客户需求提供定制光源，结合各下游行业的案例应用经验，提供专业的机器视觉解决方案，以提供方案的模式，搭配产品促进销售，进而提高产品的利润附加值。

海康机器人聚焦工业视觉传感，构建 2D 视觉、3D 视觉等装备零部件产线，同时以 VM 算法软件平台为核心，培养视觉应用生态，持续为 3C 电子、新能源、汽车、医药医疗、半导体、快递物流等行业客户提供机器视觉硬件产品和算法软件平台。

大华旗下机器视觉子公司**华睿科技**公司立足于长期积累的先进视频分析技术，涵盖全系列工业相机、镜头、视觉传感器、智能工业相机、视觉控制器、算法软件等，可实现读码、OCR、视觉测量和定位、缺陷检测等应用，进而提供机器视觉装备及解决方案。

凌云光、大恒、天准、精测电子等传统视觉供应商，在开展视觉整机装备研发和生产的同时，逐步推动核心零部件、算法平台的底层技术公关。



凌云光通过产业投资方式拓展传感器芯片（长光辰芯）和工业镜头（长步道光电）布局，并自主开发特色相机、特种相机、特色专属光源和图像采集卡。

天准科技自主开发 3D 视觉传感器（线激光传感器），精密驱动控制器等视觉设备上游零部件。

大恒图像为客户提供自研的数字图像采集卡、工业数字相机、智能相机、精密激光系统等优质解决方案，已在光学元部件、机械元部件、光机电系统等全领域具备核心能力。

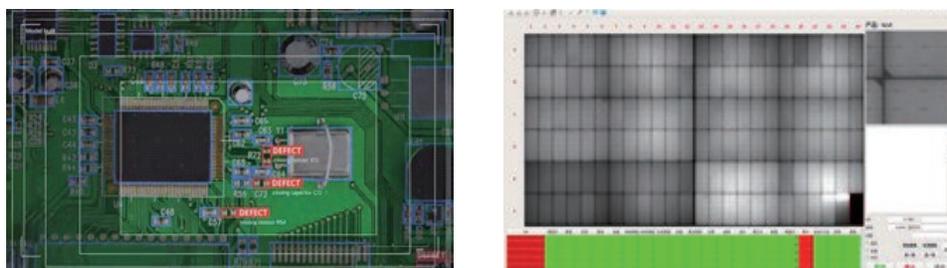
消费电子、锂电、半导体、印刷等行业的下游核心厂商，与机器视觉供应商进行深化合作，挖掘应用场景，联合研发设备，促进了技术的迭代演进。



天准科技与光伏、消费电子、半导体等行业龙头企业密切合作，基于公司 2D/3D 测量算法、AOI 缺陷检测算法、深度学习等机器视觉算法平台以及精密光机电核心技术体系，重点针对制造过程中的检测效率和检测性能瓶颈进行深入分析，合作开发检测方案及设备，提升效率和质量水平。

凌云光与印刷行业的核心厂商针对效率低、质量不稳定等问题，结合行业产线智能化升级改造需求，联合研发机器视觉质量检测设备，实现了各个工序一体化作业，助力行业降本增效和安全生产。

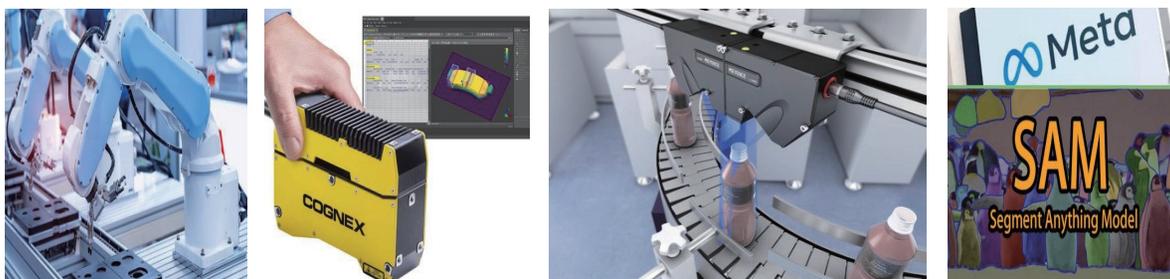
亚马逊、谷歌、Meta AI、华为、腾讯、中国移动等互联网和 IT 企业，纷纷响应国家制造强国的战略，涉足机器视觉检测装备领域，发挥算法研发优势，开发标准的统一的深度算法和大模型算法。



亚马逊、谷歌分别开发了基于机器视觉的深度学习技术和人工智能解决方案，开展了面向机器视觉的人工智能技术竞争。

中移（上海）信息通信科技有限公司基于算网优势，充分利用 5G 原生特性，结合人工智能关键技术，打造了基于 OnePower 工业互联网平台的云边端一体化工业 AI 视觉检测产品，为客户提供云边端一体标准化、多样化服务，改变了传统 AI 视觉服务提供模式。

基恩士、宝视纳、康耐视等国际龙头企业，主要布局高品质传感器、光源、系统配置器、相机和相关配件。在进入中国市场之后，也持续大力投入系统和设备研发，并深入行业场景，研制相关解决方案。



宝视纳面向中国市场，依托软硬件优势针对多个细分行业搭建了成熟的解决方案。在面向半导体晶圆检测视觉解决方案中，宝视纳利用软件和硬件相结合，搭配显微模组搭建完整的解决方案；在汽车装配行业，宝视纳主动立体视觉（生态合作伙伴埃尔森）搭配协作机器人，配合电动工具，3D 视觉精准定位发动机螺栓的位置，实现自动拧紧和松动的操作；在自动对焦系统中，无需通过软件控制，Basler 相机可以实时控制液体镜头，实现快速对焦等。

康耐视经过深耕机器视觉装备零部件数十年后，已成为全球机器视觉龙头企业，主要产品包括视觉传感器、视觉成套系统、读码器、细分应用解决方案及机器视觉硬件等。依托软硬件的技术优势，市占率保持行业领先，细分领域工业智能相机全球市占率第一，进军中国后，公司不断面向钢铁、消费电子、印刷等细分场景开展研究，形成解决方案。

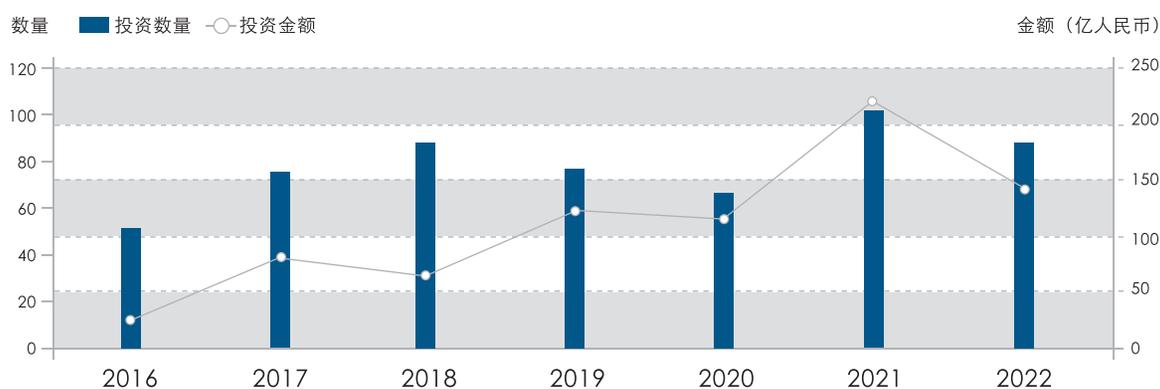
基恩士以传感器为基础，不断拓展其各类应用场景的具体产品，包括机器视觉装备完整解决方案，目前公司已具备提供解决方案和配套光源、镜头、相机等软硬件的产业链优势，全球机器视觉系统市场占有率约 30%。

Meta AI 公开了 Segment Anything Model (SAM) 分割一切模型，会对图像进行观察、感知、思考、逻辑推理、得出结果，且操作极其简单，类似于 ChatGPT 用人类语言对话的方式给机器下命令。该模型使用了有史以来最大的分割数据集 Segment Anything 1-Billion mask dataset (SA-1B)，其内包含了 1100 万张图像，总计超过 10 亿张掩码图，模型在训练时被设计为交互性的可提示模型，因此可以通过零样本学习转移到新的图像分布和任务中。

（四）市场投资热度不减，细分领域独角兽引发资本关注

随着人工智能、软件算法、机器人产业快速发展，机器视觉颇受市场关注，在门槛较高的核心算法、平台、行业装备等赛道十分火热，投融资规模快速增长，行业发展环境将迎来好转，供应链和交付的问题将逐步化解。未来拥有高尖端技术或创新型机器视觉产品，并能快速落地的企业仍将能受资本市场青睐。

机器视觉领域 2016-2022 年投资情况



根据投融资信息网站数据显示，2016 年起我国机器视觉相关投资数量和投资金额稳步增长，2021 年我国机器视觉投资数量共 103 起，投资金额达 224 亿元，同比增长 96%。2022 年投资情况有所回落，投资数量 90 起，投资金额达 141 亿元。2023 年上半年投资数量共 39 起，投资金额约 45 亿元。

根据分析，2021 年 -2022 年，机器视觉市场竞争进入白热化阶段，供应商盈利空间进一步被压缩，企业融资难度也将进一步提升，消费市场缺乏动力，3C、汽车等下游细分行业景气度下降，机器视觉行业需求增速也有所下滑，产业融资逐步向锂电、新能源汽车、光伏等领域偏移。

2022 年底起，随着国内经济形势的反弹，制造业转型升级再提速，机器视觉行业发展环境将迎来好转，供应链和交付方面的问题将逐步化解，光伏、锂电和半导体等行业仍将继续对扩大机器视觉检测装备的消费需求。2022 年 7 月，凌云光技术股份有限公司在科创板上市；杭州海康机器人股份有限公司、合肥埃科光电科技股份有限公司目前处于申报上市阶段。根据机器视觉产业联盟（CMVU）2022 年度企业调查结果，超过 40 家企业未来三年有上市计划，占全部样本企业数量的 25.6%；近 30 家企业近期有通过私募获得资本的计划，占全部样本企业数量的 15.9%。

（五）产业亟待规范化发展，相关标准化需求迫切

由于逐步认识到开展机器视觉检测装备标准研制的紧迫程度，越来越多国内外视觉装备企业和标准化组织加入到机器视觉标准化工作中来，从基础共性标准、互联互通类标准和系统测试类标准入手，相关标准研制和应用取得一定成效。

国际上机器视觉标准组织开展系统级标准制修订和测试服务

G3 组织推动各国协会签署了《各国地方标准采用或引用 G3 标准工作准则》，对研制的相机硬件接口、软件通信、OPC UA 以及 VDMA 机器视觉系统标准进行了应用场景梳理，确认了采用和引用原则，号召各协会推动各自国家的团体标准制定，将优势成果转化为国际标准。

欧洲工业视觉协会 EMVA 针对现有的 EMVA1288 系列相机与传感器性能测试标准，不断开展宣贯和培训活动，将标准成果转化成为实践经验和数据结果。EMVA 会员单位 Aphesa 开发了专门基于 EMVA1288 标准的工业相机测试设备，为供应商开展了测试服务。

G3 组织发布的部分重点机器视觉标准清单

标准化协会	标准名称	内容摘要
AIA 美国	CameraLink HS	硬件接口标准，基于通讯传输标准，点对点可数据分路传输，支持光纤，1200M- 8400Mbytes/s
EMVA 欧洲	EMVA1288	成像器件 / 相机的全光电参数测试标准
	OOCI	开放的镜头与 MV 配件通信标准，目的是在相机和镜头 / 配件之间建立标准的电气连接，提供标准连接器、标准电压、标准通信协议和参数的标准命名；以及从镜头 / 配件向相机提供反馈
JIIA 日本	CoaXPress	硬件接口标准，基于同轴电缆传输，300M-7200Mbytes/s
	SLVS-EC	串行视频接口可以提供更高的传输带宽，更低的功耗，在组包方式上，数据的冗余度也更低。
	线缆与连接器	定义机器视觉专用线缆与连接器的电气与机械特性，对专用线缆与连接器进行分级测评
VDMA 德国	VDI/VDE/ VDMA 2632	介绍基础、术语和定义，描述了使用图像处理系统所需的原则和术语；需求规范和系统规范的编制指南通过详细评估应用程序来开始规范过程；建立机器视觉系统分类验收和定量能力分析，将测量不确定度作为指标并介绍了描述机器视觉系统分类能力的指标。

机器视觉国家标准体系结构图

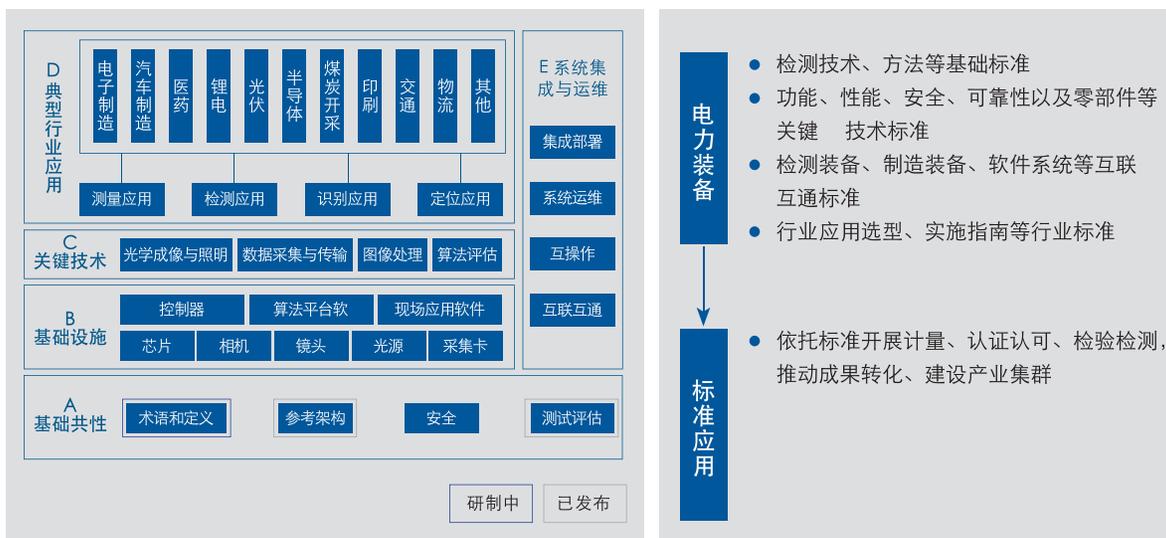


表 1: 现有机器视觉国家标准清单

表 2: 现有机器视觉部分团体标准清单

标准名称	标准号	标准名称	标准号
工业机器人视觉集成系统通用技术要求 (已发布)	GB/T 39005-2020	工业数字相机 术语	T/CMVU 001 - 2020
智能制造 机器视觉在线检测系统通用要求 (已发布)	GB/T 40659-2021	工业镜头 术语	T/CMVU 002 - 2020
智能制造 机器视觉在线检测系统 测试方法 (已发布)	GB/T 40980-2023	空间机器人可见光视觉测量系统通用技术要求	T/CIE 047-2017
塑料软包装凹版印刷过程质量控制及检验方法 (已发布)	GB/T 36064-2018	用于工业机器人的视觉系统二维自动标定方法	T/HB 0004 - 2020
纸包装凹版印刷过程质量控制及检验方法 (已发布)	GB/T 36059-2018	定焦机器视觉镜头技术规范	T/HB 0001- 2020
信息技术 计算机视觉 术语 (已发布)	GB/T 41864-2022	基于机器视觉技术的有害生物控制水平等级	T/GDFCA 031- 2019
机械电气安全 基于视觉的电敏保护设备 (已发布)	GB/T 41997.1-2022	包装用机器人与视觉系统 TCP 通信接口协议	T/ZAll 013 - 2019

依托国家标准的机器视觉测试认证服务基础

2022年起，电子标准院依托 GB/T 40659-2021《智能制造 机器视觉在线检测系统 通用要求》、GB/T 40980-2023《智能制造 机器视觉在线检测系统 测试方法》两项国家标准，建立了一套针对机器视觉系统和装备的测评指标体系，通过实验室或现场测试为企业产品提供认证服务。截至2024年，已为凌云光、宁德时代、微亿智造、钛玛科、十余家机器视觉领域供应商和用户企业的产品出具了测试报告并颁发了认证证书。

基于机器视觉国家标准的认证技术规范和实施规则



出具的检测报告和认证证书



(六) 机器视觉检测装备产业图谱

国内机器视觉检测装备产业已初步形成，主要包括机器视觉组件和模块供应商、装备系统集成商以及解决方案供应商。研究报告围绕各产业链，通过技术水平、销售数据和市场占有率，筛选相关供应商，绘制了我国机器视觉检测装备产业图谱。

行业级解决方案



成套装备和系统



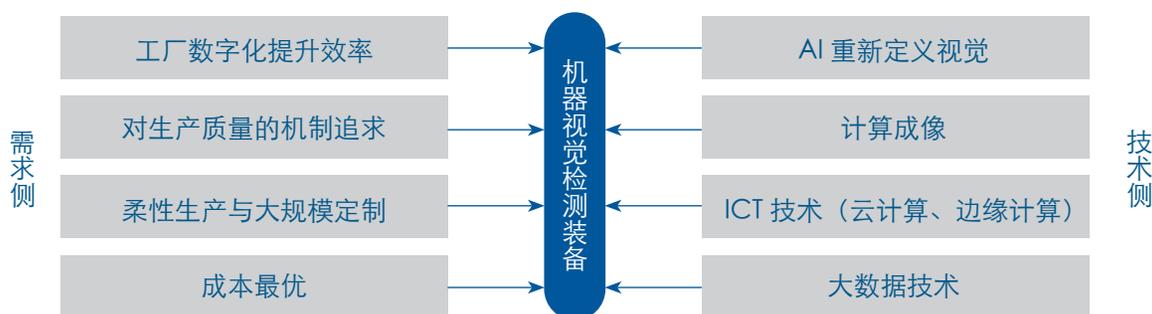
细分组件和模块



第三章 机器视觉检测装备技术发展趋势

需求侧驱动装备革新，标志性技术成果不断涌现

机器视觉检测装备正处于快速发展时期。作为光学、机械自动化、电子信息、人工智能技术、软件行业的交叉领域，机器视觉检测装备的最前沿技术既是在不同行业各类真实需求的推动下不断实现并落地的，同时又被人工智能、软硬件等前沿科技的突破而影响。



需求侧驱动力

未来工厂不断向数字化、智能化、高质量和成本最优的方向发展，是推动机器视觉检测装备发展的最大驱动力。该驱动力分为以下四方面：

效率维度：工厂不断提升数字化水平、推进数字工厂和智能工厂建设的过程中，开展机器视觉检测是效率提升的重要一环。

生产效率是生产制造的核心要求。新型的数字化工厂正积极运用最先进的自动化控制、数字孪生产品设计、实时供应链管理等先进技术和管理理念，大幅提升生产效率。调研显示，各行业最先进智能工厂的生产效率普遍高于行业水平 50% 乃至数倍以上。机器视觉检测装备已成为智能工厂中稳定生产运行、保障产品质量、提升制造效率、确保服役安全的核心手段。

质量维度：对质量的极致追求不断推动智能制造应用最先进的技术，机器视觉检测装备是质量的关键保障。

《制造业卓越质量工程实施意见》要求大力增强质量意识，视质量为生命，以高质量为追求。卓越质量要求制造企业对全员、全要素、全过程、全数据的质量管理和产品全生命周期质量进行系统重构，驱动质量管理范式向数字化、体系化、系统化、精益化、零缺陷转型。这一趋势对产品质量检测提出了更严峻的要求。机器视觉检测装备具有检测精度高、工作效率高及不受人为因素干扰等优势，在满足大批量检测连续性、一致性和可靠性要求的同时，能将人从恶劣检测环境、高机械性重复性的劳动中解放出来，并且可以很好地适应各种工业应用场景，极大地提高工业产品质量以及检测过程的高度柔性化和智能化水平。

生产流程维度：柔性生产和大规模定制生产愈加主流，倒逼检测设备更加灵活、轻量化和模块化。

柔性生产和大规模定制生产的实现，需要兼顾高敏捷性、低成本和高复杂性。一方面，软件系统要足够灵活，将新产品生产需求变为参数和程序指令；另一方面，供应链要足够精益和柔性。作为整体生产设备的一环，智能检测设备需要高度适应性这种变化，在检测速度和精度上，能快速灵活适配生产调整，同时力求小型化、模块化，快速适应产线和产品的调整。



成本维度：激烈竞争必然带来的生产成本最优，机器视觉检测装备则很好地顺应了这一趋势。

随着国内劳动力成本不断提高，制造业逐渐淘汰劳动密集型生产方式。在精度检

测方面，机器视觉可凭借高分辨率的图像采集设备和计算机软件算法提高检测效率。在生产环境要求方面，机器视觉可适应全天候工作，并且效果稳定，同时对于部分艰、难、险的工作环境，也有较强的适应能力。在成本方面，规模化的机器视觉应用将低于持续升高的人工成本，可以最大程度的实现制造业企业自动化降本。



技术侧驱动力

技术变革重塑着机器视觉检测装备的技术模块和形态

机器视觉检测装备从信息处理功能来讲，可概括为“信息感知”“信息互联与管理”“信息分析”“决策与执行”等四大模块。目前影响较大且快速发展的技术包括人工智能（AI）、计算成像技术、ICT技术（新一代通讯技术、云计算等）、大数据大模型技术等，其共同重塑着机器视觉检测装备的技术模块和形态。



算法的发展提升了机器视觉检测装备的检测精度和速度

1. 算法创新

未来将进一步探索新的算法和模型，以提高机器视觉技术的精度和稳定性。例如，深度学习算法已经被广泛应用于图像分类、目标检测等任务，未来可以进一步研究如何将其应用于更复杂的机器视觉任务。

2. 算力需求

随着算法的不断复杂化，对计算资源的需求也越来越高。为了满足实际应用的需求，未来将需要研究更高效的计算和存储解决方案，如利用 GPU 进行加速计算、利用云端进行数据存储等。

3. 数据采集

数据是机器视觉技术的核心资源之一。未来将需要研究更高效的数据采集和处理方法，以提高数据的质量和数量。例如，可以利用多视角、多光照条件下的数据采集方法，以提高数据的多样性和适应性。

4. 应用场景拓展

未来将需要探索更多的机器视觉应用场景，以推动机器视觉技术的发展。例如，可以将机器视觉技术应用于智能交通智慧城市等领域，以提高城市管理的智能化水平

5. 大模型技术探索

企业从非标的算法开发逐步变为通用的深度学习和大模型算法开发，这是由于小样本学习技术、预训练、预适应非常适合于工业检测场景，机器视觉装备将从这场技术革命中受益，但工业场景与生俱来的碎片化、样本量少等特点，也对大模型的应用提出了挑战。

技术发展趋势之一：

检测数据的深度挖掘推动装备突破传统功能和定位

面对构建智能工厂过程要求的感知、认知、决策等需求，企业将有能力借助机器视觉检测装备进一步开展数据挖掘。可以预见，机器视觉检测装备的功能和定位将发生变化，将从减工降本、提质增效的功能，转向通过监控工厂运行流程，对各类生产要素进行分析评估，助力企业开展决策，形成闭环的质量管理方式。

通过机器视觉检测装备开展质量管控的现状和痛点

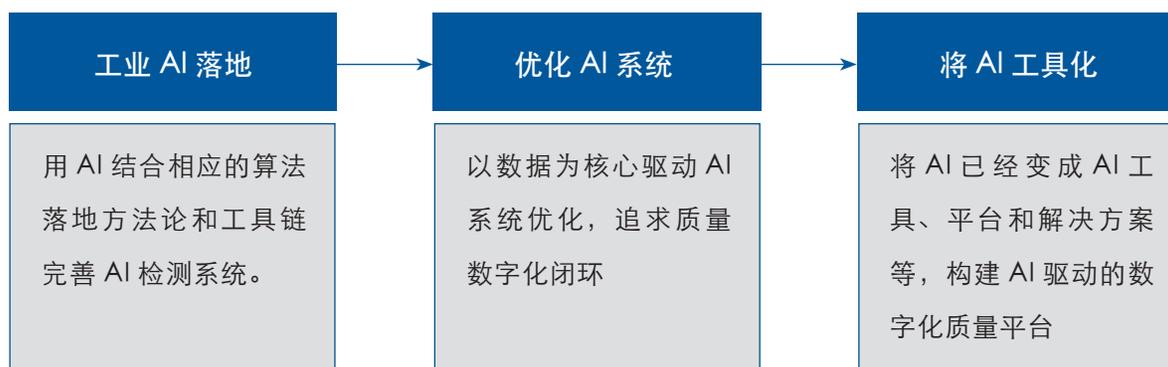
1. 整体数据孤岛，如检测图片散落在各个独立的设备上难以进行排查，难以回溯，数据容易丢失，而且也不好做相应的改善和优化。

2. 质量管控和上游的生产工艺无法形成一个回溯关联，没有办法从源头改善品质，这是由于产量大，工艺控制点非常多，检测繁杂，极限制造对于精度和品控要求越来越高，随着产线速度越来越快，对整个检测的效率要求越来越高，缺陷种类非常复杂细小，区分度比较低。

3. 对于制造企业来说，品质部跟市场部具有不同的关注点，品质部关心的是质量怎样能够满足相应的要求，到生产部关心的是生产的量，存在天然的矛盾。

质量闭环系统构建的三个层次

针对上述问题，供应商和企业逐步了解到构建整个企业数字化质量和品质闭环的价值：能够保障品质检查的一致性、保障品质数据的可视化、可预警、统一化处理，实现缺陷精准分类和工艺改善、建立真正的无忧的质量保障系统，构建人、机、AI 复合质量检查体系。质量闭环系统构建的三个层次：



随着工业 4.0 和智能制造的推进，智能工厂的构建已经成为制造业的核心议题。在满足感知、认知和决策需求的过程中，机器视觉检测装备通过分析生产数据，为改进工艺和提升生产效率扮演着重要角色。随着工业自动化的规模逐渐扩大，智能制造模式下的场景多样、工艺复杂、产品多品种、小批量、个性化生产要求高。为解决需求，整合碎片化场景、打造全流程数字化闭环的一体化设备将会极大地促进信息技术与运营技术的快速融合。

在感知方面，通过高精度的传感器和先进的图像处理技术，机器视觉检测装备对生产线上的产品进行实时检测和数据采集。实现对产品外观、尺寸、颜色、重量等特征的精确测量和识别，以及产品缺陷、异物等的检测和分类。这些感知数据

可以与生产管理系统进行集成，实现数据的实时传输和共享，从而为生产过程中的质量控制提供了精确的手段。

在认知方面，机器视觉检测装备能够通过对产品质量数据进行深入分析和挖掘，可别出影响产品质量的因素和关键点，从而为生产工艺的优化提供依据。此外，机器视觉检测装备还可以通过深度学习和模式识别技术，实现对产品质量的自动分类和评估，从而为生产过程中的质量控制提供支持。

在决策方面，机器视觉检测装备能通过对产品数据的分析和预测，通过对生产线上的数据进行实时监测和分析，实现对生产过程的动态调整和控制，从而优化生产效率和产品质量，为生产决策提供科学依据。此外，机器视觉检测装备与数字化品质管理系统的集成，能够实现生产计划、物料管理、库存控制等生产管理环节的自动化和智能化数字闭环，从而提升生产决策的效率和准确性。



阿丘科技：三步走实现质量控制闭环

第一步：把质量标准数字化、检测模式数字化。原来用表格或者纸质方式记录的缺陷标准要回归到本质以数字化方式建档起来，可以优化和改善。原来是人工目视，现在通过机器视觉的方式把它转化成数字化信号存储起来，相当于原图也可以存储起来，最终实现可反馈、可存储、可复制。

第二步：实现缺陷检测的 AI 化，将工艺沉淀到模型池。通过 AI 高泛化的适应能力结合 AI 的抽象能力，把原来检测不出来的缺陷检测出来，把能检的全部检出来。对造成这些缺陷的原因进行相应的分析，把它沉淀到相应的模型池。

第三步：AI 强缺陷分类，实现工艺溯源，闭环优化实现真正的零缺陷管控。AI 有非常强的缺陷分类能力，在把缺陷分完类之后或者精细化分类完之后，再相应地往前追溯工艺就成为一种可能。最终实现工艺的数字化、制造的数字化、误差的数字化和品质的数字化，以此来实现构建完整的质量管控闭环。

微亿智造：深入分析场景数据，全方位完善质量管理体系

在对面工厂多品种、小批量的质检需求时，围绕自研的核心技术“视觉感知模组 + 机器人智能控制 + 工业 AI 算法及云计算能力”，在“眼手脑云”四个技术方向上进行全面整合，形成标准化的智能视觉系统，在实施项目的过程中能够按照标准化流程快速生成解决方案。通过柔性化的质检设备在软件平台上进行快速切线，做到一机多检。质检设备的质量分析软件会对检测过程中拍摄到的缺陷进行记录和分析，并且生成新的轨迹和点位下发给打磨机器人对瑕疵品进行修复处理。另外通过对漏检和过杀数据进行模型再训练，从而不断提高检出率到达提升产品质量的目的。

面对工业现场多样化的检测需求，从“人机料法环”五个场景着手，结合多模态数据的整合处理能力，深入分析企业质量体系中存在的问题、缺陷及风险，形成数据可视化图表的全链路流程，通过数字看板快速传递生产过程异常行为信息，对整个生产过程进行质量追溯和质量反馈，逐步完善了产品质量管理体系，在人员、设备、物料、流程、环境检测场景做到全方位提质、降本、增效。

中科慧远：用于智能工厂的检测装备管理平台

专注于智能工厂的数字化解决方案，构建跨行业的解决方案，应用于精密光学、芯片封装、半导体、家具及相关行业。

解决方案包括底层智能硬件、AOI 智能设备和智能平台。其中，智能平台由 QADS 平台、深度学习平台和图像处理平台组成，均支持自定义扩展功能。

QADS 专注于工厂的核心需求，如产量、成本和质量。QADS 的总体框架包括：数据层、应用层和交互层。其中，数据层用于数据采集和大数据存储；应用层基于大数据分析和挖掘技术，主要实现以下功能：IPQC 闭环管理、根源本地化、缺陷管理、质量追溯、故障诊断报告、模型重训练、批量部署、机制模型、数据管理、缺陷趋势预警、设备预测性维护、产品追溯，缺陷重新调整、SOP 建议、

CPK、SPC 统计。交互层设计用于数据显示管理和决策分析查询，主要包括数字孪生、ODS 管理、工艺优化、查询统计报表、远程停机和恢复、过检和漏检管理、开关配方、设备生产线监控。

QADS 部署结构可以连接每个车间、生产线和设备；通过将生产和质量数据收集到服务器上进行分析和挖掘，QADS 向生产、质量和管理部门提供统计结果和建议；同时，通过在不同的 CM 工厂部署云架构，可以将数据聚合到客户

技术发展趋势之二：

以大模型为代表的 AI 技术正在大幅提高检测能力上限

AI 是一种新的工业视觉分析问题 & 解决问题框架：以数据为核心，高效解决 & 持续优化工业视觉问题。AI 重构机器视觉，体现在算法和整体解决方案两个维度。

算法维度

传统机器视觉算法的核心是定量分析和特征工程。而当检测场景过于复杂时，传统算法会因难以构建特征工程而无法解决。工业视觉所需要解决的图像处理、定位、检测、测量、识别等问题，都将会或正在被 AI 全部重构。

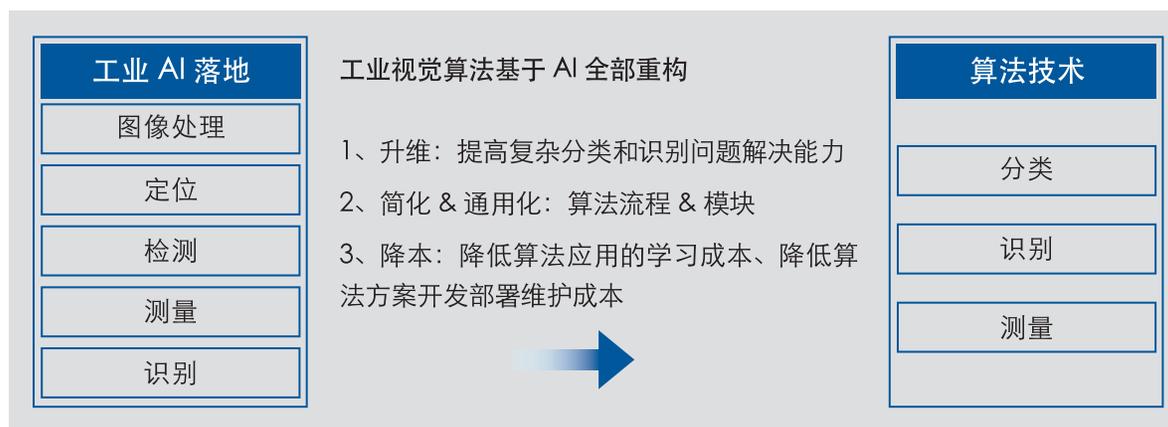
AI 升维解决复杂缺陷检测问题。AI 基于样本学习构建模型，针对复杂背景、低对比度、柔性电子、强干扰等问题，不直接构建特征工程，因此这是“升维”解决问题思路。

AI 的简化和通用性。通过对算法问题的极度抽象，AI 可简化工业视觉问题，针对复杂各异的场景采取通用化算法模块，用两到三个通用的算法模块训练数据即可获得指标优秀的结果。

降低成本。AI 通过小样本训练可以达成降本。传统算法的运用要求工程师拥有较为专业的图像处理背景知识，门槛相对较高，意味着人力成本较高。AI 介入后，仅仅训练少数样本就可以达到或超过传统算法的精度，鲁棒性更优，整体来看使用成本也会降低。

传统算法：定量分析、特征工程

人工智能：样本学习，自动特征 & 分类器学习



解决方案维度

AI 可基于数据和标准重新定义视觉系统和设备的核心模块。

AI 可重新定义成像模块。传统成像对光学方案极度依赖，为了实现高对比度而需要反复测试光学方案。但 AI 构建模型只需要“目视可见”即可。因此从根本上改变了工业视觉成像模块的发展思路。

AI 重构算法模块。当前的众多项目落地中，AI 只是传统算法的一个补充。但未来，整体机器视觉算法模块一定是以 AI 算法为核心，打通和优化整个计算流和数据流，以此提高训练推理效率，降低部署维护成本。

自动化模块更加通用灵活。由于在传统算法时代，成像有很多约束，自动化能发挥的作用非常受限。但 AI 打破了算法和成像的束缚达到目视可见即可，极大地降低了自动化复杂度，提高了自动化通用性，并且能够比较简单高效地解决产品异形、多型号小批量等成像难题。

<p>工业 AI 落地</p> <p>高对比度定量成像，到目视定性成像，简化 & 通用成像方案，提高成像空间效率，降低成像方案成本</p>	<p>轻量级场景</p> <p>个性化一体化解决方案，线上即时训练</p>
<p>算法模组</p> <p>以 AI 为中心，提高推理 & 训练效率，降低部署 & 维护成本</p>	<p>复杂场景</p> <p>能用解决方案，通用大模型</p>
<p>自动化模组</p> <p>更加柔性，降低自动化方案复杂度 & 提高自动化方案通用性和柔性</p>	

综上，产业认为，是否嵌入了 AI 功能未来有可能将会成为判断机器视觉检测设备是否先进的衡量标准。AI 模块即将成为机器视觉检测装备的标配。

面对算法模块样本少、训练时间少的特点，企业从非标的算法开发逐步变为通用的深度学习和大模型算法开发。AI 大模型技术叠加行业大数据，将重新定义检测装备部署维护新范式，扩大检测能力边界，重新定义检测装备新商业模式

随着计算能力的提升和大数据的爆炸式增长，大模型 (Foundation Model) 成为了 AI 检测领域的一个发展趋势。与传统解决单一问题的深度学习算法和小模型相比，工业大模型具有更强的表征能力、泛化能力和自适应能力，可以更好地处理工业领域复杂的实际检测场景。

小模型	工业大模型
<p>小模型主要针对特定检测场景需求进行训练，能完成特定任务，但是在另一应用场景中可能不适用，需重新训练。这些模型训练基本是“手工作坊式”，并且模型训练需要大规模的标注数据，如果某些应用场景的数据量少，训练出的模型精度就会不理想。</p>	<p>大模型主要利用深度学习技术构建的规模较大的神经网络模型，通过大量的检测数据进行训练和优化，主要包括以下优点：a. 大模型在广泛下游场景中具备优势，有望降低定制化开发成本，根据具体场景实现可落地的视觉检测方案，快速拓展应用场景。B. 大模型在零样本或少量样本上表现优秀，客户可将文字、图片、3D 点云等格式输入大模型中，生成关于特定工业检测项目的文字版本以及代码版本，快速处理复杂场景的大量图像数据，提高检测能力上限。</p>

工业大模型在质检领域的典型技术应用

大模型结构设计。在模型结构设计方面，可采用具有层次结构的大模型，如 Transformer 模型或 CNN 模型等。这些模型具有很好的表示能力和泛化性能，可以适应各种不同的质检任务。同时，可以根据实际需求，设计适合于质检任务的特定模型结构，以提高模型的准确性和效率。

大模型 finetune 策略。在模型训练方面，可采用 finetune 策略对大模型进行微调。这种策略可以在保持大模型原有优势的同时，针对特定的质检任务进行调整和优化，以提高模型的准确性和鲁棒性。

知识蒸馏和压缩技术。大模型基于对通用知识的理解变得更广泛，能够补足小模型的学习能力、交互能力和生成能力，可以通过压缩（剪枝量化）或者知识蒸馏，部署到小模型环境中去替代一部分能力。采用模型压缩技术，将大模型压缩成小模型，以平衡性能和资源消耗之间的权衡，兼顾工业质检要求的高检测能力和高速度。

数据中台。数据中台可以将各个场景的数据和图像进行综合管理和统一规划，从而实现数据的高效利用和共享。在质检领域，数据中台可以提供统一的数据管理和共享平台，将不同的数据格式和来源进行整合、清洗和标注，以支持工业大模型的应用。

思谋科技：利用先进技术多途径增加样本数量

缺陷图片智能生成用于模型训练

面对缺陷样本少的痛点，思谋基于现有实物缺陷图片利用 AIGC 技术生成缺陷图片，帮助算法模型更好更快地收敛，取得更好的检出效果。利用 AIGC 技术生成缺陷图片的同时，从缺陷变形、缺陷颗粒、缺陷碰伤等指标维度，持续提升生成缺陷图片的有效性。以划痕缺陷为例，日常实践中，收集到大量带有划痕缺陷的场景，使大模型学习到划痕的特征，在新的项目上，我们只需要收集合格的产品图，就可以利用大模型在指定位置生成十分逼真的划痕缺陷。

不同颜色产品的数据扩充

同一种产品可能有不同的型号，比如市场上的大部分手机都有着不同的颜色系列。

在此类实践中，最开始要解决的是银色手机产品的缺陷检测，后续又需要解决蓝色和青色的产品。对于缺陷检测来说，收集合格的数据是很容易的，但是收集有缺陷的数据很难，因为产线上出现缺陷的概率都很小。思谋在收集了大量的银色产品带缺陷数据之后，可以只收集蓝色和青色产品的合格数据，利用风格迁移、缺陷生成的技术，将银色产品的缺陷数据变成其他产品的缺陷数据从而大大减少收集缺陷数据的时间。

开发五轴智能检测一体机，最大量的获取样本

以消费电子行业为例，当前消费电子设备的预防和表面缺陷的检测及其数据样本采集仍主要依靠人工，存在效率低、评判标准不一、采集数据量少等缺点。因此机器视觉检测凭借其速度更快、精度更高等优势，正在被越来越多地应用到消费电子行业。但同时机器视觉检测也存在着接口不统一、无法适应快速变化的市场等其他一系列问题。针对这些行业痛点，开发了这款具备普遍适用性的五轴智能检测一体机，只需简单更换产品夹具，即可对不同种类及款式的 3C 产品做 360° 的外观全检及典型样本采集，显著提升了样本的采集效率或数量。思谋五轴智能检测一体机基于强大的机器视觉与深度学习能力，在先进的自动化设计能力与光学能力的加持下，配置双面五轴，提供多种穴位选择，软件与硬件有效结合，满足各类产品的检测需求。比如手机中框、耳机仓、鼠标、智能手表、手机锂电池、充电头等，都可在同一设备上，针对设备的各种缺陷类型进行快速灵活的、无死角外观的六面全检，助力企业柔性化生产的同时获取大量的数据样本进一步服务于企业质检工作的提升。

前景与挑战

从大小模型互补发展到替代高度定制化的小模型。现阶段工业领域大模型与小模型相辅相成，未来大模型可能会替代高度定制化的小模型。

数据收集难度大、数据质量不高。工业领域本身门类多，各个企业间的数据壁垒非常明显，尤其在某些核心制造环节，难以收集到足够的标注数据来训练这些模型，这类环节往往不适用大模型。

计算资源和存储需求高。工业大模型的训练和推理需要大量的计算资源和存储空间。为了满足这种需求，企业需要投入大量的资金和人力资源来建设高性能的计算基础设施和存储设备。

可解释性和可理解性难度较大。由于工业大模型的复杂性和黑箱性，往往很难对其内部运作机制进行解释和理解。这使得人们难以信任大模型的输出结果，也难以进行故障排查和模型优化等工作。

未来趋势

1. 基于 AIGC 的图像生成模型。面对机器视觉对工业大模型的需求，基于 AIGC 图像生成模型成为一个热点趋势，此类模型对工业领域的知识有较好的理解能力，能够生成细节丰富并且精密可控的工业图像，了解缺陷的成因和形态，在给定场景中生成有帮助的缺陷图片。

2. 构建工业领域多模态大模型。工业领域多模态大模型对于工业领域的知识有较好的理解，对于图片模态的数据有着很强的理解能力，可以捕捉到图片的各种细节，并根据图片内容正确分析其中的物品是否存在缺陷以及其缺陷的成因等，使模型对于图片的细节理解更加充分，更能适应工业常见的需求；增加和增强基于对比进行图片理解的功能，使大模型可以通过不同图片之间的差异来完成更复杂的任务。增加图片模态的输出，支持更加复杂的输出形式，使其更加直观。

工业大模型在机器视觉检测装备领域具有广泛的应用前景，但也面临着计算资源、数据质量、可解释性和技术门槛等方面的挑战和限制。为了更好地应用和发展工业大模型，需要不断地进行技术研究和应用探索，同时也需要企业和政府等各方面的大力支持和推动。

技术发展趋势之三：

新一代信息通信技术的融合应用大大提升装备实时响应速度

面对计数、识别、面阵质量检测等场景的高速传输的需求，企业逐步开展 5G、6G 的网络扩容和建设，并推动边缘云和边缘视觉的计算框架研发，通过 5G、6G 将数据上传到云端，能极大提升整个控制系统的响应速度。

5G 技术的几大优势

在容量方面，5G 通信技术将使单位面积的移动数据流量比 4G 增长 1000 倍；

在**传输速率**方面，单个用户的典型数据速率提高了 10 到 100 倍，峰值传输速率高达 10Gbps（相当于 4G 网络速率的 100 倍）；

端到端延迟减少了 5 倍；

在**可访问性**方面：网络设备的数量增加了 10 到 100 倍；

在**可靠性和能耗**方面：每位能耗应降低至千分之一，小功率电池的电池寿命应增加 10 倍。

除了网络速度快之外，它还具有低延迟，支持海量连接并支持高速移动的特点。

视觉检测中 5G 的应用领域

数据传输与处理能力增强：5G 技术为机器视觉提供了更快的数据传输速度和更低的延迟，这使得机器视觉系统能够更快速地处理和分析图像数据。传统的机器视觉系统往往受限于数据传输速度和处理能力，而 5G 的引入大大提升了这两方面的性能。

实时视频监控与分析：借助 5G 网络，机器视觉系统可以实现高清、实时的视频监控。这种实时监控对于生产车间安全保障领域具有重要意义。同时，通过 5G 网络传输的高清视频可以进行实时分析，为决策提供支持。

远程控制与操作：5G 的高速度和低延迟特性使得远程控制机器人或设备变得更加精确和可靠，可以大大提高工作效率和安全性。

边缘计算与云计算的融合：5G 技术为边缘计算和云计算的融合提供了可能。在机器视觉应用中，这种融合可以使得图像处理和数据分析更加高效。通过在边缘设备进行初步的数据处理和分析，再将关键数据上传到云端进行深度挖掘，可以大大提高机器视觉系统的性能和效率。

工业无线相机和 AGV 工业控制传统的工业相机和 AGV 依靠有线网络或 WiFi 进行数据传输和动作执行控制，并且有线网络存在许多问题，例如生产线布局限制，工业 AP 频段开放以及严重干扰等问题。5G 技术能确保使 AGV 在各种场景能够不间断地进行工作并平稳地切换工作内容。

面对提升性价比和响应能力的需求，企业加强了对于嵌入式、轻量化、模块化零部件和可配置视觉系统的开发，将标准器件组合使用，实现快速参数设置和功能拓展，并推动边缘云和边缘视觉的计算框架研发。

边缘计算：在本地提供 IT 服务、计算能力，减少上传的数据量、节省网络操作、服务交付的时间延迟，提高传输效率，让海量数据实现本地存储、处理、分析、决策和执行。企业可以选择将算力下沉至更贴近设备端的边缘计算，衍生出端 - 边 - 云的协同新模式。

端边云协同：将端侧、边缘侧、云侧的计算连接共通，在靠近设备端、客户端的地方建立起边缘计算能力，将云端能力下放到靠近设备的边缘节点，起到减少延迟、降低能耗、增强对信息访问量的优化效果，并使数据交互变得更加安全，以端侧智能化为切入点，协同云边满足客户在敏捷部署、时延带宽、产品成本、数据安全等方面的多样化业务需求。

中移（上海）信息通信科技有限公司：云边端机器视觉解决方案

基于算网优势，充分利用 5G 原生特性，结合人工智能关键技术，打造了基于 OnePower 工业互联网平台的云边端一体化工业视觉检测产品，为客户提供云边端一体标准化、多样化服务。改变了传统 AI 视觉服务提供模式，通过打造 OnePower-AI 完整云边端机器学习技术栈，基于模型开发 IDE 提供覆盖数据准备、开发环境、模型训练、模型部署全流程托管服务，可面向不同企业类型提供从训推一体化的 AI 一站式自服务模式，结合云网算力融合及云边算力编排协同创新技术，实现部署交付周期缩短 2 倍以上，业内领先。

针对视觉检测行业多、场景杂的情况，面向五大客户场景，基于云边端一体化架构打造五大系列产品，分别为软终端系列、标准系列、专家系列 - 推理入驻式、专家系列 - 云化集中推理、智能检测设备系列。

结合一键算法部署、快速运维等技术突破能力，面向不同体量的企业提供不同落地实践方式。针对中小型企业客户，提供云端标注、模型训练、模型验证、模型部署一体化能力，基于云边协同将模型镜像批量下发至本地推理环境，后续用户可持续订阅云服务进行零代码模型升级迭代；针对大型企业客户，提供入驻式云边端一体化工业视觉检测服务，结合边缘云等架构，实现实时和批处理推理，支持企业根据生产工艺、检测标准进行模型自运维和监控升级。

技术发展趋势之四：

新型成像技术和多模态融合技术助力装备适应更多复杂场景

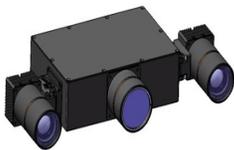
面对制造业多维感知和测量的需求，供应商开发 3D 相机产品，应用于机器视觉检测装备当中。

2D 视觉无法获得物体的空间坐标信息，随着工业控制对精确度和自动化的要求越来越高，3D 相机变得更受欢迎。目前市场上涌现出标准化 3D 视觉软、硬件产品，产业链已初步形成。以尺寸检测、定位引导、识别为主的 3D 相机逐渐渗透进集成商的方案，以 3C、汽车行业为主的新场景不断涌现，3D 视觉技术落地速度逐步加快。目前市场上存在多种类型的 3D 相机，其中常见的有激光 3D 相机、结构光 3D 相机、光场相机和 TOF 相机。



激光 3D 相机

1. **高精度：**激光 3D 相机能够实现亚微米级的距离测量精度。
2. **大范围：**激光 3D 相机可以在较大的测量范围内获取物体的三维信息。
3. **复杂环境适应性：**激光 3D 相机在光线强度较低或复杂背景下依然能够准确获取数据。



结构光 3D 相机

1. **高速获取：**结构光 3D 相机可以实现快速的三维数据获取，适用于高速检测和测量。
2. **精确度高：**结构光 3D 相机能够提供亚微米级别的测量精度。
3. **数据完整性好：**结构光 3D 相机可以通过多个视角的数据拼接实现更高数据质量。
4. **复杂环境适应性：**结构光 3D 相机对光照条件较为敏感，在强光或弱光环境下可能会影响测量精度。



光场相机

1. **大深度范围：**光场相机能够获取包括背景和前景在内的大深度范围内的三维信息。
2. **实时获取：**光场相机具有实时捕捉和处理数据的能力。
3. **信息密度高：**光场相机能够提供丰富的深度信息，使得后期处理更加灵活。



TOF 相机

1. **实时性强：**TOF 相机可以实时捕捉和处理数据，适用于需要快速反馈的应用。
2. **距离范围广：**TOF 相机可以在相对较大的距离范围内进行测量，适用于长距离应用场景。
3. **精度受限：**相对于其他相机技术，TOF 相机的测量精度可能较低。

未来，相机核心部件的发展趋势

更先进的相机和传输技术。伴随着半导体、锂电等行业工艺提升以及制造业的提质增效等，直接推动视觉相关核心部件的飞速发展，继续朝着超高速和超大分辨率的发展，采集数据量从原有的 10 Gbps 提升到了 100 乃至 180 Gbps，传输接口也从传统的 USB 往更高速的 CoaXPress 和 Fiber CXP 发展，从传统的几十 K HZ 往 几 1000 KHZ 迈进。TDI 的阶数从 32 阶，64 阶朝着 512 阶，1024 阶高速发展。

高光谱成像技术的落地。高光谱成像以前主要用于地球观测和空间探测的新一代遥感技术，能获取的详细光谱信息可以对图像场景中的物体进行分析和识别，基于工业和智能制造领域的高光谱成像、多光谱的核心部件也是未来主要的发展趋势。

感存算一体的芯片集成趋势。即感知、计算、存储几个单元都被集成到一个芯片。感算存一体的芯片化集成，使得各模块间的数据传输不受传统芯片间的带宽和延迟限制，使得超高速和超低功耗会有质的飞跃。因此 感存算一体也是未来技术发展的趋势。

事件相机等智能感知应用的落地。基于事件成像和传统成像相结合的高速相机的发展，通过每一个像素异步独立，基于对比度的变化从而智能感知场景的变化，这种全新的技术也是未来工业和智能制造领域核心部件的发展趋势。



面对多模态检测的需求，企业开发的检测装备将不仅仅局限于图像数据的处理，还将融合其他传感器数据，如声音、温度、压力等，以提供更全面的信息。通过多模态融合，可以进一步提高检测和识别的准确性，并支持更广泛的应用场景。

微震动影像分析

所有的机械和运动系统都会产生各种各样的振动，其中一些振动反映的是系统的正常运动状态，而另外一些则反映了系统的异常运动状态（内部故障、轴连接不平衡等）。可通过智能视觉微震动探测器采集设备数据，利用微动影像分析技术，实时监测工业设备的微观影像，继而分析设备微动幅度和频率等数据，并运用算法对所获得的数字信号进行分析，与正常运转状态的设备数据进行综合特征比对，进而判断被测设备的运转状态。

工业声纹检测

在设备故障的评判指征中，声音是电机设备健康状况的最重要综合表征之一。当设备的零件或部件由于磨损、老化等原因状态发生变化后，其声纹信号的特性也会相应发生变化。通过监测这些特征能够对设备的状态进行评价，及时发现故障。可采用工业级智能声纹非接触探测器，基于先进的声源定位技术，可自动排除环境干扰，将采集声纹与设备声纹库模型进行比对，从而定位故障原因，实现实时侦测异常声源，快速精准锁定局部位置。

红外成像分析

系统获取到各点红外信息后，对图像进行配准分析，收集图像特征点的温度，判断温度是否高于设定阈值，对热故障进行状态异常分析，凭借温度信息相互比较后得到的结果，实现工业设备热故障检测。可聚焦于视频图像振动、红外成像、工业声纹检测三类技术的特征融合与故障分类判断，凭借多模态定位与校准，提供安全可靠的设备故障检测服务，当设备出现异常情况时及时反馈，同时对设备健康状态进行研判，做好实时更新预警，真正做到防范于未然，提高工业设备安全生产效能。

凌云光：3C 行业多模态感知检测装备

3C 制造业中微小 / 异性 / 柔性零件多、操作空间狭小、整机紧凑度高以及产线

操作环境的动态性和不确定性对新型智能装备中机器人感知能力、精细化操作能力以及自适应能力提出了很高要求。这个时候就需要引入多模态感知的方式，综合利用不同传感器获取信息，从而避免单个传感器的感知局限性和不确定性，形成了对环境或目标更全面的感知和识别，提高了系统的外部感知能力，是实现智能自动化组装必不可少的技术点。如，对于扣排线而言，感知模态涉及有光视觉、力触觉、声音听觉，整个组装过程需要综合 3D 视觉定位，高精度皮肤级力控反馈，气路真空控制，2D 视觉检测以及声音辅助判断等。整个工艺过程就是模拟人工操作，模仿学习。

技术路径

研制精细感知操作核心器部件。研发“视触力”结合的微型精密传感器以及感知-操作一体执行器，实现对常见 3C 操作狭小空间内的精密感知与精细操作。完成“视触”结合的微型精密传感器研制和“感知-操作”一体执行器的设计与验证工作。

采集熟练工人的 3C 装配操作示范数据并进行多模态解析，实现技能的获取与拓扑解析。构建多维、多层次复杂操作技能知识库，基于知识表示、更新与推理满足对新装配任务、新操作场景中的操作技能学习要求，并进行了技能拓扑解析，构建了技能知识库和动作基元。

大规模多模态技能预训练模型学习。构建多模态技能预训练模型，采用自监督学习方法实现技能预训练，进而通过“微调”学习范式实现技能的少次/零次技能学习。

技术发展趋势之五：

可配置的系统模块让装备的快速灵活部署成为可能

面对生产加工设备集成视觉模块较为复杂，亟需提升性价比和响应能力的需求，应用嵌入式、轻量化、模块化零部件，实现快速参数设置和功能拓展，开发可配置视觉系统将成为供应商发力热点。

不同于视觉器件或行业中专用的视觉设备，可配置视觉系统是为了解决实际应用时的痛点而提供的机器视觉系统级解决方案与增值服务。根据应用项目要求变化

产品组成，参数设置，功能扩展，一般涉及软硬件更换，重新组合和配置等工作，常见情形为硬件不动软件重新设计。可配置视觉系统将标准视觉器件组合使用，可分散安装，并根据目标尺寸或数量进行扩充和配置，以视觉为基础，可实现多种应用。

图：可配置系统的组合模式

可配置系统的组合模式



主要功能和价值

光机层面 – 精准成像设计服务。设计专用的成像系统，在图像中突出用户需要观测的目标特征，降低背景与杂散光的干扰。在特定的应用系统中还要涉及到环境适应等较复杂的光机设计服务。

电气层面 – 电气连接设计服务。为确保用户视觉系统在实际环境中能长期稳定可靠工作。需要根据用户现场环境提供成像系统软硬件集成的配置方案。

数据层面 – 接口设计服务。针对用户特定应用需求，提供目标特征图像的稳定性采集与可靠存储配置。

图像处理层面为 – 平台软件和应用分析服务。为帮助用户快速建成机器视觉应用系统，针对特定应用与用户提供软件支持服务。

运维层面 – 测试和诊断服务。针对用户的批量应用，提供视觉系统级的稳定性测试、成像器件功能性能测试和成像系统故障排查服务。

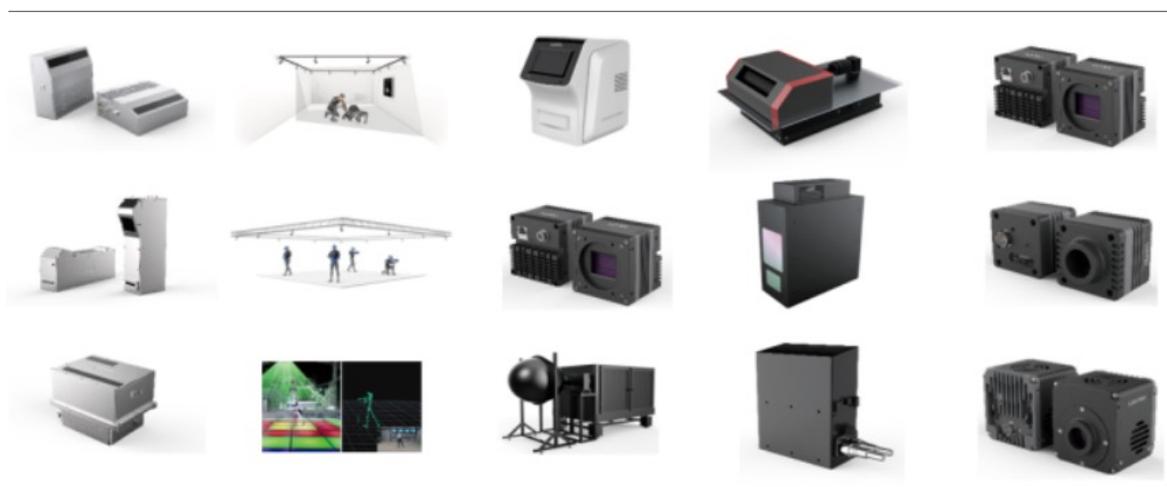
计算成像技术的发展将有助于可配置系统摆脱对高精度器件的依赖

为了满足机器视觉系统继续提高视场和分辨力的挑战，以合理的性价比解决机器视觉的现场成像问题，催生了计算成像技术。通过收集与物质发生相互作用的光的信息（幅值、相位、偏振、波长，以及这些参数的变化量），利用光学理论（几何光学、物理光学、量子光学）计算解析出光波中携带的有关物体的信息（包括形状、成份、温度、应力等等）。它利用算力和算法，降低了可配置系统对高精度光学元器件的依赖，可以充分挖掘出光信号中包含的目标特征信息，实现见所未见。

计算能力的提升和计算框架的发展趋势将赋予可配置系统完整的检测能力

机器视觉应用的早期算力不足时，可配置系统主要依靠光学设计和算法优化上下大功夫，使之能适应应用的需求。最早视觉系统都是采用 DSP 和 FPGA 的分离嵌入式架构，应用范围受限。现阶段利用新材料、新设计，创造具备性能提升、新功能、显著降低尺寸和重量的新型光学系统。结合深度学习和人工智能等技术，使信息获取、处理、存储、发送、认知及执行融为一体，可实现复杂场景自适应成像、多光谱成像、偏振成像等多功能智能化的光电产品。

基于智能制造的边缘云架构的边缘视觉有望成为可配置视觉系统的另一个重大推手。现代智能制造要求可配置的视觉系统除了前端深入感知产品质量数据外，还需要对这些质量图像数据进行大数据深入挖掘。科学地度量缺陷，建立知识图谱分析工艺，改进生产过程。这就要求可配置视觉系统具有边缘云与边缘视觉的架构。可以实现缺陷分类，知识图谱和数字孪生等工作。



智能相机这一典型机器视觉检测装备产品形态，同样将从追求高性价比、处理特定场景的发展路径，逐步向高柔性、可互联互通、可集成、可配置的方向发展。

硬件为主导的智能相机（高性价比、处理特定场景）



- 嵌入式盒子:
- 提供开放是开发平台
 - 丰富采集和IO接口

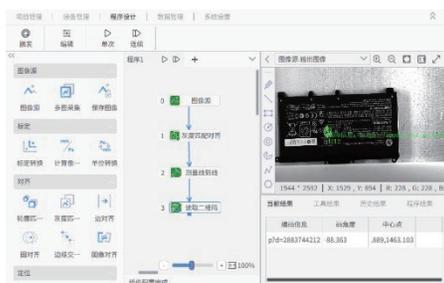
智能工业相机

- 集采集、处理、补光、IO通信于一体
- 体积更小，集成度更高



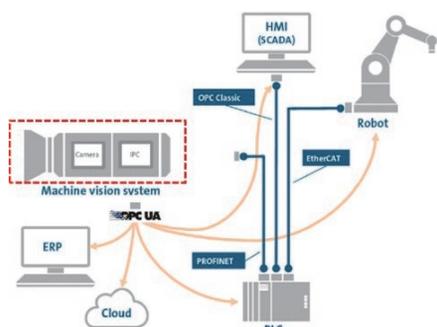
低功耗、长于并行数字计算的嵌入式硬件平台开始被应用到机器视觉系统当中，相较于传统的 PC BASE 方案，智能工业相机的功耗更低、体积更小，甚至还有不错的硬件性价比，加上这些硬件平台含有专用的计算引擎或者硬件加速处理单元，在完成一些应用处理的时候性能并不差，往往在某些特定场景之下还有更优的性价比。

图形化开发和参数配置主导的智能相机（调试速度快，简单直观）



企业开始寻找一种让工程师得以解脱的图形化开发方式，将一个个小的算法方案封装成为工具模块，并且定义通用的输入、输出，通过可配置的参数配置达到不同处理效果，工程师通过对这些封装好的工具模块拖拖拽拽，就可以完成视觉项目的开发；调试过程中，每个工具模块可以按照要求显示处理耗时以及处理结果，简单直观。

基于无线传输技术的互联互通智能相机（具有标准化接口，作为复杂系统的标准模块）



硬件方面,WIFI6和5G模块可能会被集成到工业相机当中，高带宽的无损图像传输将会成为智能工业相机接口技术的又一挑战;而软件方面,智能工业相机作为视觉系统的核心，将承载着对外通信的主要职责，因此，需要提供视觉系统的对外标准接口。OPC UA 是目前工业自动化系统的标准化软件接口，支持 OPC UA 也将是智能工业相机发展的主要趋势。

自身具备柔性、可配置属性高的全智能相机



在经历了硬件算力、软件交互以及互联互通之后，智能相机逐渐迈入全智能时代，此时要求智能相机不仅能够代替人来完成看见和判断，更需要其自身具有柔性，而这种柔性体现在对工业网络节点信息的主动获取，自身算法方案、算法参数的调整、演练、切换，网络故障的主动探测和应急预案，响应不同网络节点定制化图像信息订阅等等

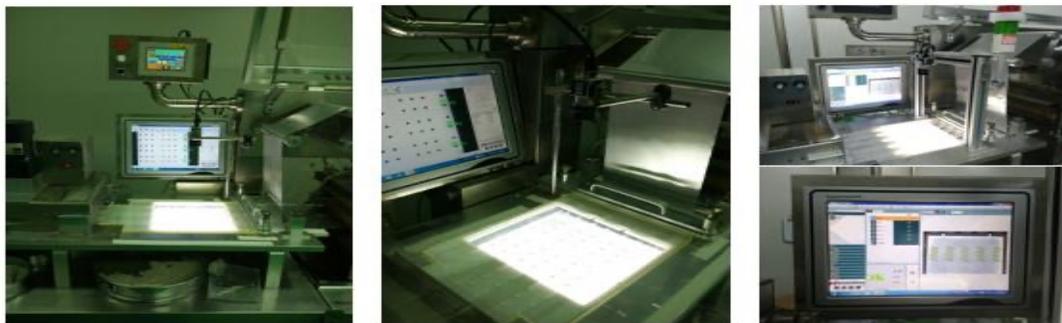
第四章 机器视觉检测装备细分行业应用情况

细分行业应用情况

本报告梳理了锂电、光伏、汽车、消费电子、半导体等细分领域机器视觉检测装备的应用现状和应用场景，分析了未来发展趋势，并整理了行业典型应用案例。

消费电子、半导体仍是机器视觉检测装备主要应用行业

消费电子、半导体行业产品尺寸较小，检测要求高，适合使用机器视觉装备进行检测，产品对精细程度的高要求也反过来促进了机器视觉技术的革新。此外，消费类电子行业存在产品生命周期短、更新换代快的行业特征，智能手机等消费类代表产品更新周期为两年左右。频繁的型号迭代和设计变更导致制造企业需要频繁采购，更新其生产线设备，对其上游的机器视觉行业产生巨大需求。同时，随着产品的不断更新换代和精密化，其对精度的要求逐步提高。



锂电、光伏行业产能持续扩充，是近年机器视觉检测装备主要增长点

国内锂电、光伏行业达到国际领先水平，相关应用场景横向拓展，以及中国产品加快进入国际供应链，客户对于安全、高一致性、高品质要求不断提升，带动了机器视觉检测在锂电、光伏制造环节的检测点不断增多，部分检测场景已被列入规范项，全线视觉检测正成为动力电池厂和光伏制造厂的标配。



纺织、钢铁、印刷、食药等传统行业检测场景不断被挖掘拓展

食品、医药、纺织品的安全工作被认为是关系国计民生的大事，是社会关注、人民关心的重大敏感问题。医药和食品的安全检测需求愈发庞大且严苛。企业逐步在产品的整个生产过程甚至后段的包装过程部署机器视觉检测装备，通过机器检测逐步代替部分人工，保证产品质量优良，确保安全高效的生产形势。



（一）光伏行业

我国光伏行业产业链逐步完整，产能面临过剩风险，进入技术迭代阶段。

自我国制定了2030年碳达峰，2060年碳中和，2030年非化石能源占比达25%的总体计划以来，光伏产业充分利用自身技术基础与产业配套优势快速发展，逐步取得国际竞争优势并不断巩固，目前已形成了从高纯硅材料、硅锭/硅棒/硅片、电池片/组件、光伏辅材辅料、光伏生产设备到系统集成和光伏产品应用等完整的产业链，产业规模迅速壮大。

装机量代表着光伏行业所有发电机组功率的总和。2021 和 2022 年，中国光伏新增装机量分别为 54.88GW 和 87.41GW，2023 年光伏行业景气度随着双碳目标的推进及相关新能源需求的提升之下仍然保持了高速增长的势头。1-11 月新增装机量 163GW，同比增长创下历史新高，2024 年起我国光伏年均新增装机规模将逐步缩减，企业将逐步寻求技术突破以打破此轮产能过剩带来的竞争僵局。

机器视觉技术为光伏行业提供了新的生产方式。



太阳能电池板、组件等不仅需要高度的制造精度，而且在运营过程中，还很容易受到环境因素的影响，光伏组件需进行灰度、温度、直接及反射辐射等多项测试。使用机器视觉技术可以快速完成全尺寸组件的检查，并对内部晶体结构、构件精度、材料均匀性、物理性质等参数进行实时监控，在制造过程中发现缺陷，进行快速反馈和调整，并通过机器视觉技术，生产线可以自动化运作，无需人工操作，大大提高了生产效率。

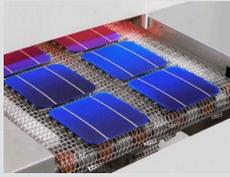
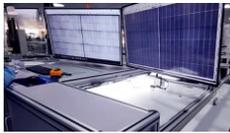
一般来说，光伏行业多晶硅料需要经过硅片、电池片以及组件 3 个生产环节，几十道工序才能变为最后的组件。在每道工序的处理过程中，生产来料的管控、设备稳定性、工艺参数设定、杂质引入等因素，均可能导致中间产物出现多种缺陷，例如右图所示的硅片环节的硅片隐裂、电池片环节的刻蚀过刻、镀膜气流印、组件环节的焊带虚焊等，这些缺陷会直接影响组件光电转换效率与使用寿命，造成产品的降级或报废。不论是对哪个生产环节，每道工序产生的缺陷片若未被及时剔除而流入后道的工序，都会造成生产资源的浪费与产品良率下降，降低产线的产能，因此视觉检测系统对光伏工艺的生产质量管控具有重大意义。

某 PERC 硅片生产环节涉及机器视觉检测场景

切片、插片、检测分选
...
刻蚀工艺
...
镀膜、印刷
...
测试分选
...
EL 测试
...
接线盒焊接组装
...
检验包装

应用场景：对硅片、电池片、组件的工艺质量管控具有重大意义。

光伏行业产业链重点机器视觉场景汇总

产业链		应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案	
上游	硅料矿产	成分检测、硅棒缺陷检测和参数测量	降低原料成本，提升原料品质		生长炉温控系统
					机器视觉硅料分拣系统
中游	硅片	硅片外观缺陷检测	避免人工检测的不足，大幅度提高硅片检测效率，减少退货率和废品量，提高硅片生产的效率和质量		硅片检测分选装备 硅片生产解决方案及智能视觉开发平台
	电池片	电池片外观检测，EL检测，栅线印刷检测	有效地预测电池片的性能和寿命，提高产品的质量和稳定性		电池片隐裂检测设备 太阳能电池网版定位激光切割系统
					电池片胶形检测云平台 电池片光致发光和电致发光检测设备
玻璃背板	玻璃原片检测和磨边检测等	对玻璃生产线的实时生产质量管理和过程控制，进行缺陷分类汇总统计，改进生产工艺，提高成品率		光伏玻璃检测设备 光伏玻璃原片表面在线检测设备	

续表

产业链		应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案	
下游	光伏组件	绝缘片定位、汇流条扶正安装定位、接线盒定位及焊接检测等	实时监测组件物理参数和外观缺陷，避免质量问题带来的损失和风险	 	光伏组件生产解决方案及智能视觉开发平台 组件汇流带视觉检测系统 光伏 EL 检测实时数据传输视觉检测设备 光伏组件智能检测系统及 AI 应用平台
	发电站	发电站巡检	通过定期巡检，发现电站中可能存在的故障和缺陷，提高电站的检修效率和安全性		光伏电站智能控制一体化系统 光伏电站智能控制一体化系统、智慧光伏电站

未来发展趋势：电池片和光伏组件视觉检测技术攻关成为关键问题。

2022年1月，工业和信息化部、住房和城乡建设部、交通运输部、农业农村部、国家能源局等五部委联合印发《智能光伏产业创新发展行动计划（2021-2025年）》，明确光伏多个制造环节的技术方向，提出到2025年，光伏行业智能化水平显著提升，产业技术创新取得突破，新型高效太阳能电池量产化转换效率显著提升，形成完善的硅料、硅片、装备、材料、器件等配套能力；计划从加快产业技术创新、提升智能制造水平、实现全链条绿色发展等多方面提升行业发展水平。政策支持、光伏扩产、终端制造厂商的智能化工厂转型均为光伏设备的自动化、智能化升级带来利好，机器视觉系统作为智能制造的重要组成部分，也将在光伏产线迎来更高的覆盖率。

同时，机器视觉系统本身技术的发展，深度学习、先进算法、3D、嵌入式技术等进一步降低使用门槛，成本更具落地价值，将促使光伏生产环节更多工位的机器人代人，标准化设备以及一体化设备的更多创新和应用。

当下机器视觉系统应用的另一个强大推力，是光伏产业本身的重大技术迭代。硅料设备迎颗粒硅新技术；硅片设备迎大尺寸、CCZ升级新机遇；电池设备迎HJT、TOPCon光伏技术新革命；组件设备迎大尺寸+多主栅+多分片+N型组件多重技术变革，工艺变化必然推动光伏设备创新升级：

在硅片环节

金刚线切割机将具备更高线速、更小轴距，使用线径更小的金刚线，对视觉系统的精度有了更高要求；硅片分选设备需要更灵活的尺寸规格切换能力，生产效率，以及对硅片厚度、线痕、尺寸、隐裂等的检测精度。

在电池片环节

激光设备因新的工艺需求也对视觉精度、稳定性要求更为严格；丝网印刷机中，双轨高精度大硅片印刷设备对视觉系统能力的集成度需求更高；电池片效率测试分选设备因对 TOPCon 和 HJT 的电池测试具有更大优势，视觉系统的应用效率也将面临不断升级。

在组件环节

划焊一体机将成为新建产线的重点设备，其中对组件全尺寸的兼容能力、电池片切割精度、OBB 串焊技术的创新，也将提升机器视觉系统的应用和技术迭代速度。

未来发展趋势：电池片和光伏组件视觉检测技术攻关成为关键问题。

我国当前主流 PERC 电池（P 型电池）效率接近于瓶颈，具有更大提升空间的 N 型电池（TOPCon, HJT 等）正逐步取代 P 型电池。机器视觉在电池片生产环节中的普及率越来越高，同时生产企业也对机器视觉检测的精度和检出能力提出了更高要求。目前，光伏行业上中下游绝大多数涉及机器视觉检测的环节仍需要技术攻关。

当下机器视觉系统在光伏产线的覆盖率尚未达到饱和，部分工艺环节仍处于技术攻关阶段，面对未来的产能需求和新技术要求，机器视觉系统还需要更快的技术迭代提速。如在电池片生产过程缺陷检测检出率与过杀率、电池片效率分析能力仍有突破空间；光伏产品种类差异大，视觉可能存在不兼容的问题；组件产线设备的一体化趋势，倒逼对视觉系统功能集成的稳定性、视觉算法模块的通用性和易用性亦要进行更进一步的研究；视觉软件 AI 学习能力的智能性和成本控制也是未来的重点研究课题。

表：亟待突破技术方向

产品	技术攻关需求	详细描述
电池片	刚性检测需求	在电池片效率分析、离线 PL 过程缺陷、镀膜段 PL 浅缺陷及细小缺陷等领域存在刚性攻关需求。
电池片	模块化需求	电池片工艺中的视觉检测设备在功能设计和故障排除时对功能集成的模块化和可替换性具备较大需求，因此采用分布式系统、嵌入式系统、智能相机将成为趋势。
玻璃	速度需求	当前新建产线速度达到 35m/min，现有视觉设备难以满足检测需求。
接线盒	技术复杂度大	受限于接线盒等组件安装和工艺复杂度，自动化安装和检测设备必须具备更加复杂的工艺实现能力，同时，由于光伏组件的零件和设备往往由不同厂家提供，搭载的视觉模块需切换兼容不同组件型号，呈现不同的运算逻辑。

解决方案案例：

新一代高速光伏硅片检测分选装备——苏州天准科技股份有限公司

案例简介

光伏硅片制造位于光伏产业链上游，其质量直接影响下游电池组件的质量以及发电系统的发电效率和使用寿命，因此光伏硅片的检测是产业环节中首先需要解决的质量控制问题。天准科技推出的新一代高速光伏硅片检测分选设备以机器视觉为技术基础，融合深度学习算法，结合 3D 线结构光位移传感器等硬件模组，能够实现 2D、3D 尺寸测量以及脏污、划痕、隐裂等光伏硅片质量的全方位检测，同时满足高速、高精度的实际生产需求，是光伏产业链的核心装备之一。

技术优势

（1）高性能线结构光 3D 位移传感器研制——自主研发基于线结构光的 3D 位移传感器，满足光伏硅片 3D 尺寸的高精度在线测量对性能的要求，有效降低设备综合成本。

（2）多维度融合硅片缺陷智能检测方法——融合深度学习算法，同时采用自研 AOI4.0 检测平台，提升缺陷检测准确率，瑕疵检测率≥ 98%。

(3) 超高速光伏硅片传输系统——配合装备高速检测节拍，自主研发新型光伏硅片传输系统，可保证装备检测速率达到 16000PCS/h。

应用成效

(1) 对光伏硅片厚度、TTV、电阻率、PN、线痕、隐裂、脏污、崩边、尺寸等指标的高速检测及分拣；

(2) 自研 AOI4.0 检测平台，瑕疵检测速度、检出率进一步提升；

(3) 实现光伏硅片质量的全方位检测，是光伏硅片制造业的核心装备。其综合性能达到世界领先水平；

(4) 瑕疵检测率 $\geq 98\%$ ，检测速度达到 16000PCS/h。

解决方案案例：

组件汇流带视觉检测系统——杭州海康机器人股份有限公司

案例简介

组件位于光伏产业链末端，直面终端需求市场。保证组件产品的质量安全、提高生产产能以及降低生产成本成为组件生产环节的必然趋势。海康机器人采用机器视觉的无损检测方法对组件进行定位、测量以及缺陷检测，全方位对产品进行质量检测，实时反馈生产情况，最大程度降低生产成本，提升生产效率。

技术优势

(1) 高兼容性光学方案——海康针对材料本身特性进行深入研究，做了大量实验验证，制定出高兼容性光学方案，使其兼容多尺寸电池片、多类型汇流带以及多类型焊带。

(2) 深度学习与传统图像处理算法融合——海康采用深度学习算法将目标从复杂背景中提取出来，然后运用传统图像处理算法分析灰度、面积、长宽比等形态特征判断检测目标是否属于缺陷。这不仅发挥了深度学习强大的鲁棒性和泛化能力，将复杂背景转化为单一背景，而且充分发挥传统图像处理算法在单一背景下高性能、高效率的优势，准确且快速地识别并定位出缺陷。

应用成效

- (1) 检测系统整体检测精度在 0 漏检的前提下，实现 0.5% 以下的误检率；
- (2) 物料在流水线输送过程中完成图像采集和检测处理，不影响生产节拍，检测结果实时显示并输出报警信号，及时处理，最大程度减少生产成本；
- (3) 图像数据及检测结果本地储存，既可实时检测，亦可问题追溯查询，促进工艺优化改善；
- (4) 设备全天 24 小时在线工作，可替代两个工人的工作量，一台设备每年可节约 14.4 万的人力成本（按照人均 6000 元 / 月计算）。

解决方案案例：

接线盒激光焊接机视觉检测系统——陕西维视智造科技股份有限公司

案例简介

接线盒焊接是光伏组件后段中的重要工艺环节。接线盒的电极焊接质量直接关系到组件的性能，其焊接工艺也从热压焊、加锡焊升级到目前更具性价比的激光焊。针对接线盒激光焊接场景中的焊前定位和焊后检测难题，维视智造独创“三级 AI 定位方案”，自研专用神经网络模型，同时配套高性能自研视觉硬件，打造了更高效、更智能，并具有极佳稳定性的接线盒激光焊接机视觉检测系统。

技术优势

- (1) **更强检测能力**——维视自研视觉部件 + VisionBank AI 优秀的全栈算法能力，搭载英特尔处理器及软件工具套件，传统、深度学习、3D 算法可深度融合业务流程，帮助光伏企业快速检出多类及小微产品瑕疵，及时归类不良品，可保证 0 漏检，误检率最低 <0.01%；
- (2) **更高检测稳定性**——维视方案从视觉系统底层逻辑设计出发，以更成熟的模块化算法结构，可高强度负载数据处理量，保证无宕机、无重启动，历经市场千万次验证，全面解决系统的稳定性问题，充分保障生产的正常运营；
- (3) **更简单操作维护**——维视视觉系统模块化、0 代码、智能化、拖拉拽式的开发模式，可几何级提升视觉应用搭建效率，操作界面清晰易懂，全面降低人员培训及设备维护成本

应用成效

(1) 针对性研发出“三级 AI 定位方案”：依据实际生产工艺流程中按压前、后和焊后的不同检测需求，实现关键点精确定位，在保证定位精度的前提下，满足近 100% 的定位成功率；

(2) 创新自研算法：自研焊接缺陷检测神经网络模型，完美解决焊后焊带超出、焊带偏移、虚焊、内缩、无汇流条、焊带缺失等检测难题；

(3) 焊后检测可保证在接近“0 漏检”的前提下，“误检率”低于 0.5%；

(4) 整套激光焊视觉方案，在经过了 3 代设备的量产后，从精准度到稳定性已可轻松满足不同企业的工艺标准。

解决方案案例：

5G+AI 光伏组件 EL 和外观视觉检测系统——中移（上海）信息通信科技有限公司案例简介

在光伏组件生产中，由于生产工艺导致的组件的瑕疵会不同程度的影响后续光伏组件在应用中的发电效率因而造成能耗损失甚至引发严重灾难。光伏组件制造长期通过人工目检进行 EL 检测和外观检测，稳定性差、质量无法追溯、工艺问题无法预警，基于 5G+AI 的光伏组件视觉检测系统面向光伏组件制造企业，建设工业质检端边服务，提供光伏组件 EL 检测、外观检测等场景解决方案。核心功能包括：生产检测、产品管理、一人多机远程复检、历史检测结果追溯、多维度质量分析等。

技术优势

(1) **云边端一体标准化、多样化服务**——在基础技术架构上结合云网算力优势，采用多级别检测模型、多模态数据处理，打造云边端一体化产品，为企业提供更高效的检测服务；在业务架构上结合人工智能、专家复审、多维度结构化质量溯源等多种创新点，保障检测服务的安全性和准确性，满足客户多样化的需求。

(2) **经典机器视觉 + 深度学习模型双核心算法架构**——产品在技术方面依托中国移动云算力，通过经典机器视觉 + 深度学习模型双核心算法架构，实现更高效、更智能、更准确的检测，实现重点缺陷类型 100% 覆盖，算法覆盖范围及性能水平已达行业领先水平，最大可比人工质检提效 10 倍。

应用成效

(1) 对光伏组件 EL 线性隐裂，叉状隐裂，树状隐裂，虚焊等缺陷的检测；对光伏组件外观主栅宽度、串错位、串间距及片间距等缺陷的检测；

(2) 通过深度学习和零 - 小样本学习技术，实现在极少量的数据情况下，构建出有效的 AI 模型，实现少样本情况下的缺陷检测；

(3) 通过 AI 质检管理分析诊断平台，对产品质量进行自动定位溯源，从生产原料、生产设备、工艺流程、人工操作等环节多维度分析，实现质量管理闭环，提高生产质量；

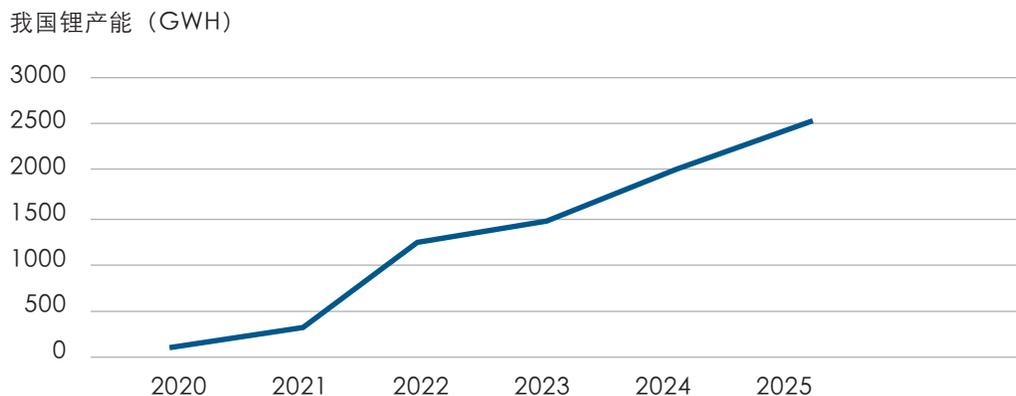
(4) 效果收益可以达到：覆盖二十余种缺陷种类。在一人多机的模式下，综合检出率达 99.8%。

(二) 锂电行业

政策、企业竞争引领锂电行业达到国际领先水平

在我国推进碳中和的大背景下，新能源电池发展迅猛。近年来，中国锂电池出货量占全球锂电池出货量 40% 以上。综合中国电池厂统计数据显示，2022 年中国锂电池出货量达到 1173GWh，未来随着新能源汽车渗透率的不断提升及其他下游产业的发展，我国锂电池出货量有望进一步提升。根据电池厂的规划产能，预计 2024 年中国锂电池出货量将达到 2000GWh。至 2027 年，以平均每年 0.5—1TWh 增长，远超市场实际出货量预期。

图：我国锂电行业产能情况



锂电企业需求正向促进机器视觉设备供应商产品竞争力提升

锂电企业追求提升产品工艺水平和质量稳定性

目前国内主流锂电池生产企业技术水平基本处于同一水平内，短期内依靠技术拉开差距较为困难，因此纷纷对锂电池设备提出更高要求，期望在产品生产工艺精细度及产品质量稳定性、一致性、高效率等方面获得优势，以提高产品竞争力。锂电池生产企业陆续通过与机器视觉设备企业共同定制研发方向，要求设备企业根据其自身工艺及技术特点，开发更加契合的锂电池设备。

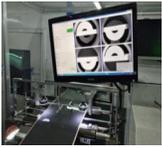
锂电生产和质检设备的海外市场需求持续增加

锂电池生产和质检设备一般需要根据电池生产企业的需求进行定制化设计，电池生产企业与设备供应商具有较高黏性。动力电池企业纷纷启动海外项目建设，与之配套的锂电池设备企业也随之陆续开启海外市场拓展，松下、LG化学、SK、三星等海外大型企业扩产步伐加速，对国产设备采购需求持续扩大，我国锂电池设备海外市场需求呈持续增加态势。

应用场景——品质管控要求促进检测场景精细化和复杂化

锂电池行业对于质量和产线效率的要求越来越高，产线建设和改造需求日益旺盛。《促进汽车动力电池产业发展行动方案》《关于加快推动新型储能发展的指导意见》等政策文件的出台有力推动了对于锂电池及相关自动化生产检测设备的需求。面对新能源汽车等应用领域对于锂电池性能新需求，《锂离子电池行业规范条件（2021年本）》对于先进制造工艺、无人化、全工序品质管控提出了新要求，电池企业对高效率智能制造、全工序视觉检测的需求急剧增加。与此同时，多元化的应用场景也加速了动力电池需求分化，带来原材料和生产工艺迭代。这使得锂电视觉检测场景愈加复杂和精细化，对于视觉参与智能制造过程、全过程缺陷检测的要求变得更高。

表：锂电行业产业链机器视觉场景汇总

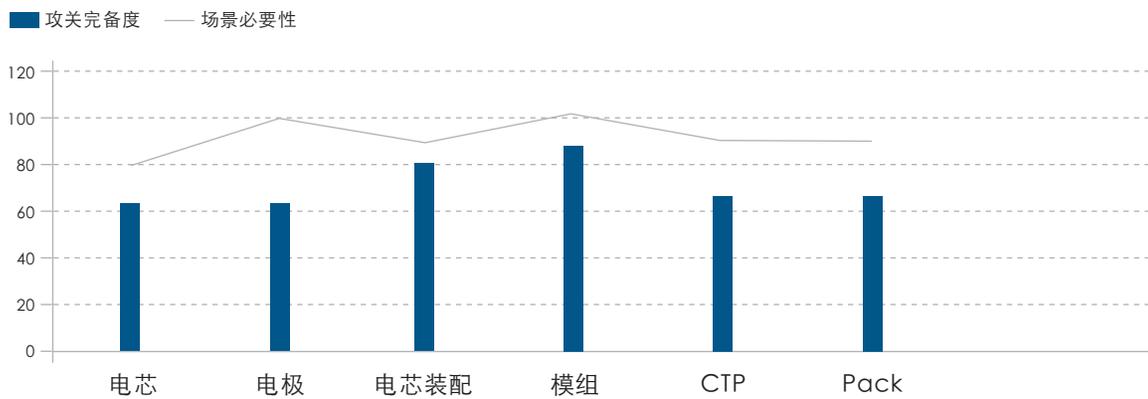
产业链		应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案	
前段	电芯电极段	极片涂布检测、辊压分切检测、激光分模切检、切叠一体机	通过检测确保电极满足严格的能量性能、密度和存储要求		原材料隔膜喷涂检测技术 激光切和切叠一体检测设备 涂敷及辊分在线视觉检测系统 模切分切一体机 隔膜涂布视觉检测 极片分切全流程视觉检测 纠偏系统
					
中段	电芯装配	极耳翻折+裸电芯检测、超声波焊接缺陷检测、转接片焊后检测、极耳焊后检测、Mylar检测、预焊间隙检测、顶盖周边焊检测、密封钉引导&焊后检测	克服人工检测的缺点，使检测结果更加稳定可靠，确保电池满足高能量密度和性能要求	 	圆柱电池电芯装配线视觉检测 极耳翻折检测设备 焊接视觉检测设备 焊接引导设备
后段	模组段	模组侧缝焊 3D 检测、模组底部蓝膜黑膜检测、Busbar 焊后 3D 检测、PIN 针检测、模组全尺寸和外观检测	对焊接缺陷、PIN 针位置、尺寸和外观进行检测，确保模组生产质量	 	线激光锂电池模组全尺寸检测 Busbar 检测设备 PIN 针检测设备 模组全尺寸和外观检测设备
	CTP	CTP Busbar 焊后检测、Pack 外观缺陷检测	对模组进行尺寸检测和缺陷检测，避免不良品流入市场		CTP Busbar 焊后 3D 检测设备 Pack 外观检测设备
	Pack 段	Pack 涂胶检测、Pack 外观缺陷检测	对模组进行尺寸检测和缺陷检测，避免不良品流入市场	 	锂电 PACK 视觉定位防错系统 PACK 生产线视觉定位系统

未来发展趋势：产能提升不断推动检测技术提质增效

——在锂电池及上游原材料的生产制造中，随着行业逐步从高速发展转向高质量发展以及用户对于锂电安全的更高需求，机器视觉已经成为锂电池生产企业解决质量和效率问题的必然选择，对产品实现 100% 的质量监测和工艺监控逐步成为必然，对生产效率的不断提升和生产成本的极致降低也日益成为机器视觉产业的普遍诉求。

——相比于 3C 电子、汽车等行业海外机器视觉巨头的技术积累，我国锂电行业是近年来发展极快的新兴行业，机器视觉供应商与制造商协同配合发展，产业成熟度将进一步加大，在未来 3-5 年内有望维持高增速，是最具潜力的下游应用市场。

图：2023 年锂电行业重点场景视觉检测必要性和攻关完备度



表：亟待突破技术方向

发展趋势	详细描述
电池材料检测宽度和速度要求不断提升	随着工艺和 PPM 的提升，高速、超高速的设别陆续投入生产使用，预计平均每年产线对视觉检测系统的速度提升需求达到 50%
极片毛刺等极难检测的攻关类型	极片毛刺缺陷是电池部件中极难检测的缺陷类型，大小一般在 7 ~ 10 μ m，难点在于检测的面积大与微米级毛刺瑕疵的精准成像的天然矛盾。无法检出的相关微米级毛刺，是导致锂电池容量和续航能力降低、内部短路、爆炸起火等问题关键。
缺乏标准化解决方案	锂电行业整体缺乏标准化、一体化、模块化的解决方案，基于工艺不断创新、产品尺寸多不安、传统多线阵解决方案难以保证相机和光源安装高度、角度的一致。每个基地和产线都需要大量视觉维护人员，安装调试时间较长，切位换型成本较高

解决方案案例：

极片毛刺检测系统——上海贝特威自动化科技有限公司

案例简介

极片毛刺是电芯工艺制程由来已久的痛点，精度高、速度快、抖动频率高、光源亮度高等问题是毛刺检测的四大障碍，贝特威采用高分辨率相机配合远心镜头实现高精度，采用目前最快的 CXP 图像传输实现高速度，研发高频振动跟随装置实现高频抖动跟随，自研高亮光源和控制器实现 us 级相机曝光时间，解决了毛刺检测取不到理想图像的难题，把毛刺在线检测变成可能。

技术优势

- (1) **高精度**——毛刺检测系统精度可以达到 7um；
- (2) **高速度**——满足在线 3000mm/s 以下的毛刺检测；
- (3) **低曝光**——曝光低至 1us；
- (4) **高频振动跟随装置**——高达 200Hz 的振动跟随频率。

应用成效

- (1) 高速振动下清晰成像，满足毛刺检测对图像的要求；
- (2) 高速的检测算法，满足 300 帧 / 秒的检测速度；
- (3) 高亮光源，曝光低至 1us，有效解决拖影问题，提高检测精度；
- (4) 稳定的检测算法，综合漏杀率 0%，过杀率 0.0001%。

解决方案案例：

动力锂离子电池三维缺陷检测仪——中国科学院自动化研究所

案例简介

传统 2D 视觉方法无法获取物体表面深度信息，双目立体、TOF 和传统光度立体等 3D 方法存在三维重建精度低、鲁棒性差等缺点，传统结构光方法则容易受高光表面反射光影响，难以应用于动力锂离子电池等具有高反光表面特性物体的缺陷检测。动力锂离子电池三维缺陷检测仪具有检测精度高、非接触测量、鲁棒性

强等特点，尤其是针对具有高反光特性的产品，开展多曝光融合的结构光三维重建技术，解决了结构光三维检测中的高反光难题，实现了三维视觉技术在工业领域的突破性应用。

技术优势

（1）高精度反光表面非接触式 3D 检测——无需接触物体表面，对于具有高反光特性的物体，多曝光融合的结构光三维重建算法可消除高反光表面带来的影响，获取完整、清晰地实现锂离子电池的三维外观，在常规 50mm*50mm 视野下，可实现 0.05mm 的检测精度，可稳定检测 0.1mm 以上的不良品。

（2）少样本缺陷检测算法——可有效解决生产现场高光表面产品缺陷样本数量较少、缺陷样本不均衡、较难进行深度学习模型训练问题，使用所提出的跨域少样本学习的三维缺陷检测方法，实现电池缺陷高效检出。

（3）光学扫描系统——超高速投影，可实现 250Hz 的投影仪频率，0.2s 内完成图像采集，1s 完成 3D 检测。

应用成效

（1）可实现高反光表面高精度 3D 重建。有效解决重建锂离子电池 3D 外观时遇到的成像饱和，三维重建数据确实以及三维重建精度下降的问题；

（2）少样本缺陷检测。针对生产现场较高光表面产品缺陷样本数量较少，较难进行深度学习模型训练的问题，使用跨域少样本缺陷检测算法，实现少样本情况下的缺陷检测；

（3）高反光表面物体的三维重建和缺陷检测。可用于锂离子电池、金属制品表面、镁带、铜片、铝板等；

（4）可稳定检测深度 >0.1mm 的凹坑 / 凸起，深度 >0.1mm 的划痕，直径 >2mm，高度 >0.08mm 的气泡，综合检出率达到 98.6%，过杀率小于 3%。

解决方案案例（模板）：

博视像元 | 高速面阵 / 线阵相机——北京博视像元科技有限公司

案例简介

公司自主研发的 CoaXPress 接口高速面阵 / 线阵相机，打破国外垄断，是目前业内性能最优的工业相机产品。CoaXPress 接口是最新一代的工业相机接口协议，在传输带宽和稳定性方面都有绝对的优势。采用该接口的工业相机可以最大程度发挥传感器的采集效率，满足客户和产线对速度的越来越高的要求。目前面阵相机可以覆盖 50 万像素 -4 亿像素丰富的产品型号，线阵相机覆盖 2K-16K 黑白 / 彩色多种产品型号，也有具备 TDI 和紫外功能的高端线阵相机。

技术优势

- （1）**高速率**——在 CoaXPress 接口的加持下，工业相机的传输带宽可以达到 50Gbps，未来通过光纤传输的 CXP 协议可以实现 100Gbps 的传输速度。最大程度发挥传感器性能。
- （2）**高分辨率**——单传感器 6500 万像素，以及采用 Pixelshift 技术实现的 4 亿像素相机，是目前业内最高分辨率。
- （3）**高可靠性**——公司在产品的结构防护和散热方面具有丰富的设计经验，可以应对严苛的工厂环境，具备 MTBF60000 小时的运行能力。

应用成效

- （1）**锂电涂布检测**。高速线阵相机非常适合锂电工艺前段的涂布检测环节，高行频可以满足设备的高速要求，多接口可以满足客户单采集卡多相机的要求，节省成本；
- （2）**毛刺检测**。高速面阵相机可以对极片的端面进行快速拍照，满足 150m/min 的产线速度和对毛刺的检测要求；
- （3）**硅片检测**。高分辨率面阵相机可以一次对硅片进行成像，实现 9000 片 / 小时的检测要求，极大的提高硅片检测的效率；
- （4）**极耳 / 极片检测**。采用具备紫外波段成像能力的传感器可以提高极耳 / 极片缺陷的对比度，大幅提升系统的检测能力。

解决方案案例：

东声包蓝膜方形电池外观缺陷全检项目——东声（苏州）智能科技有限公司

案例简介

随着锂电池新工艺、原材料加速迭代升级，对机器视觉的要求也日益严苛，如何提高生产效率、降低产品缺陷率成为行业共同的挑战。该项目电池厂商需要对出货前的产品进行外观检测，从而保证出厂产品的“零瑕疵率”。但是方形电池外观缺陷种类多，包括蓝膜气泡，凹凸点，褶皱，破损等 40 余种不良缺陷；缺陷种类繁多，包括一些需要深度信息的缺陷；验收要求高，需要考虑缺陷的面积大小与深浅，现有的视觉检测方案无法解决上述问题。

技术优势

（1）高精度 & 高速度 & 高准确度——依托 Handdle AI 成熟的机器视觉技术和深度学习算法，结合定制的光学方案，检测精度 & 检测速度 & 检测准确度均达到行业领先水平。

（2）自研 2D/2.5D/3D 差异化全光学方案——针对锂电行业特性，东声资深光学团队自研 2D 定制多组合多波段光源 /2.5D 面阵 + 线扫成像技术 /2D 分时频闪线扫 + 3D 线激光等光学成像方案，达到清晰成像效果。

（3）行业首台批量落地——电芯包膜后终检，需要对 6 个面和 8 个棱边进行外观缺陷检测，及正负极柱、防爆阀的全部区域，防止外观不良物料流入流入模组 pack 段工序，重而造成返工。

应用成效

（1）检测精度可以精确到 $1\mu\text{m}$ ；最小检测面积 $\geq 0.02\text{m}^2$ ；

（3）数据信息实时上传，形成“端-边-云”数据闭环，支持追本溯源，质量管控，最终实现降本增效；

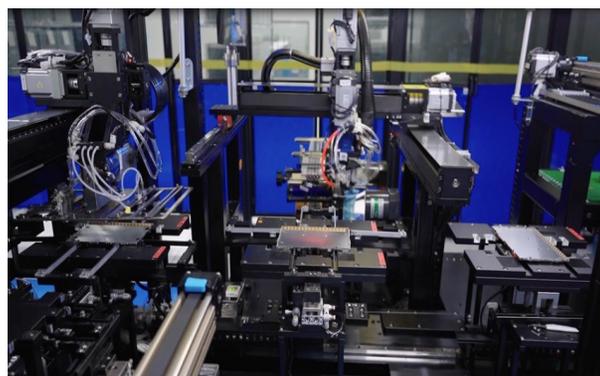
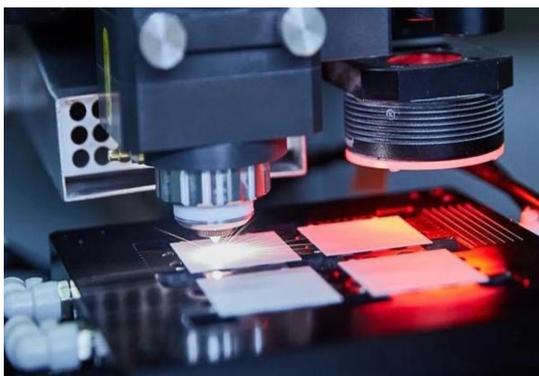
（2）检测缺陷类型包括：蓝膜 / 极柱 / 防爆阀 / 破损 / 脏污 / 漏电解液等 40 余种不良缺陷；

（4）改方案可覆盖锂电行业包括：方形动力电池 / 方形储能电 / 18650 圆柱电池 / 4680 圆柱电池。目前已批量落地在锂电龙头企业多产线基地。

（三）消费电子行业

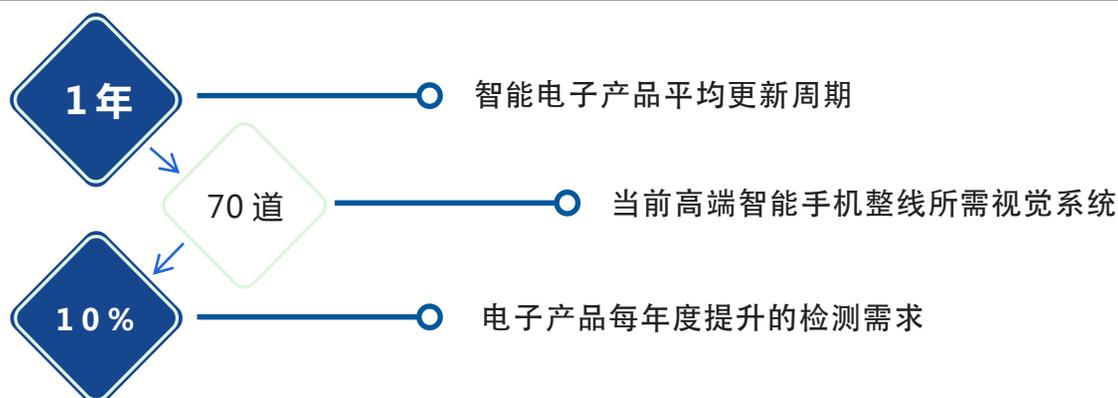
行业概述 – 消费电子研发生产规模达到世界领先水平

当前，我国已经站在消费电子行业的创新潮头，产业链中各项产品的研发生产规模均比肩世界领先水平，同时，我国居民消费水平也随着经济发展的历程逐渐提升，对于消费电子的需求日益增长。受益于各方面原因，消费电子行业市场规模近年来稳定发展。根据中商情报网数据，2017年至2022年市场规模由16120亿元增至18649亿元，CAGR为2.96%。按年均复合增长率估算，预计2023年市场规模将超过19000亿元。



产业关键趋势 – 精度要求高、产品更新迭代快、产线响应速度快的特点促进机器视觉技术变革和发展

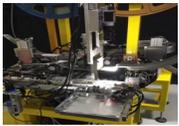
自机器视觉产业最初发展起，消费电子行业就凭借和机器视觉技术的高契合度，稳居行业市场份额比重的前二。由于消费电子元器件通常尺寸较小，且产品对各元件精细度要求较高，因此使用机器视觉检测对消费电子产品制造大有裨益，能够使元器件完成尺寸更精准、工作效率更高。同时，消费电子对产品精细程度的高要求也促进了机器视觉检测行业的技术变革与发展。作为机器视觉应用最为广泛的下游行业，消费电子产品生命周期短、更新换代快的特征，使智能手机、平板电脑、可穿戴设备等至少两年需要重新购入一批，导致其上游机器视觉产业需求持续增长，推动机器视觉市场蓬勃发展。



应用场景 – 消费电子研发生产规模达到世界领先水平

我们明显观察到，在当前行业增速短期放缓的盘整阶段，头部玩家正在积极推动产线智能化转型升级，通过机器视觉检测装备替换人工、半自动化设备，以实现减人、增效、提质的目标，这也是消费电子行业转型升级构建核心竞争优势的必然之路。

表：消费电子行业产业链机器视觉场景汇总

产业链	应用场景	主要检测内容	相关机器视觉检测装备和解决方案
PCB 板	焊点缺陷检测、元器件检测	焊缝、侧焊缝、划痕、贴胶等	 PCB 板检测工业 AI 视觉系统
锂电池	涂布、辊压、极片、极耳、焊接、电芯外观、贴胶	露箔、暗斑、亮斑、掉料、划痕、涂覆纠偏、表面瑕疵、极耳翻折、入壳顶盖、密封钉、电芯外观等	 电芯外观检测机 极耳翻折检测设备 焊接视觉检测设备
元器件装配	表面贴装、连接器	表面刮伤、漏针、堵孔、缺针、翘针等	 IC 元器件检测设备 3D 检测手机屏平面度 CCD 视觉检测设备
屏幕检测	Lcd 屏幕、led 屏幕、手机屏幕	异物、划伤、异色、凸包、凹痕、针孔、毛边、亮点、Mura 缺陷、均匀度、色差等	 OLED 贴合裂纹检测设备 手机屏幕定位视觉检测系统
排线测量	排线	尺寸、颜色、性能	 排线颜色顺序检测机

解决方案案例：

灵眸 OCT|3D 高精度层析缺陷检测仪——常州微亿智造科技有限公司

案例简介

传统的光学检测只能获取产品的表面形貌信息，超声探测和 X 光 CT 方法可以看到内部 3D 信息但空间分辨率低、检测慢，对产品和使用人员有一定的伤害。灵眸 OCT|3D 高精度层析缺陷检测仪具有空间分辨率高、成像灵敏度高、无损检测和层析成像等特点，尤其是针对透明 / 半透明、以及高散射产品，开展近红外波段光学相干层析技术，填补了传统检测技术在穿透深度上的空白，实现了 OCT 在工业领域的突破性应用。

技术优势

(1) 高精度 3D 无损探测——5 毫米深度最高可解析 1024 层。可透视表面信息、内部结构及缺陷瑕疵，精准定位缺陷位置。全局及局部 3D 成像展示，直观获取产品层析图像，可任意拖拉选择 2D 截面。

(2) 光学扫描系统——实现大范围扫描，检测范围可达到 50x50x10mm，较医疗领域的检测范围视野几乎扩大了 1000 倍。

(3) 创新的 3D 深度缺陷检测算法——最高可达 248KHz 点扫描速率，实现 3D 实时渲染和自动化分析。

(4) 超高速缺陷检出——适应高速产线节拍。基于并行探测功能，一次性获取相对应的所有深度方向信息。约 100dB 的高灵敏度。仅需 100s 即可检出 25 个镜头，较国际水平提升了约 75 倍。

应用成效

(1) 镜片缺陷成像。可实现清晰的暗场成像，展示不同缺陷的 3D 图像。可实时检出包括面取发白、膜色 NG、凹面脏污、取面打痕等各类缺陷；

(2) 高纯度云母片成像。清晰的 3D 明场成像，上下表面分层明显，上表面看到划痕和花纹缺陷。产品中的缺陷如灰尘、脏污等皆以白色信号凸显；

(3) 3C 透明外观材料、摄像模组层间结构、柔性显示屏薄膜、高精度异形玻璃、

光学镜头、VR/AR 镜片、光学多层结构膜、高分子有机材料及晶圆表面等产品；

(4) 综合检出率达 99%，过杀率小于 5%。

解决方案案例：

3D 玻璃盖板外观缺陷 AOI 检测设备——中科慧远视觉技术（洛阳）有限公司 案例简介

盖板玻璃因为透明、反光、效率要求高、缺陷种类多、成本要可控，被业界称之为“工业外观检测的珠穆朗玛峰”。针对行业痛点，中科慧远视觉技术（洛阳）有限公司结合人工智能技术发展，综合创新的光学成像方案、执行机构的自适应轨迹规划与基于 CNN 的通用缺陷处理算法，研发具备高度智能和适应性的盖板玻璃智能检测系统，打破盖板外观检测的技术垄断，可切实解决产业上下游企业多年来检测环节人工成本过高、检测难度大、良品率不稳定等问题。

技术优势

(1) **高速频闪成像技术**——多台相机与光源之间同步工作，成像通道自由组合配置。

(2) **创新性光学设计**——多波段光学照明技术与明暗场照明方式完美结合。

(3) **高精度传输机构**——保证盖板运动直线度和速度均匀性，无二次损伤和污染。

(4) **亚像素级图像测量技术**——实现复杂形态测量元素的亚像素级别测量，可灵活配置组合应用。

(5) **高精度复杂图像异常检测技术**——建立图像异常检测技术体系及算子平台，可灵活配置组合应用。

(6) **强大的数据管理服务系统**——支持生产数据多方式通讯、多粒度分析与多维度展示，可接入 MES 系统实现智能管理。

应用成效

(1) 针对 3D 白片和成片（兼容 2D/2.5D）玻璃盖板的外观品质检测设备。适用工艺段为白片 AOI、丝印后 AOI、AS 电膜后 AOI 等；

(2) 检测项目包括折弯区和视窗区的划伤、崩边、凹凸点，漏油，丝印区的芽、缺、锯齿边、透光、夹脏、毛丝/纤维、定位线断线、漏印、印错、混料、IR孔及主孔瑕疵等；

(3) 覆盖 4.5-8 英寸 (3D)、4.5-38 英寸 (2D、2.5D)。满足多类型多尺寸产品外观检测，成功应用于手机、平板、笔记本电脑、车载显示器、LED 显示屏等多个领域；

(4) 明显不良检出率达 100%，边缘不良检出率超过 90%。设备运行稳定，确保了产品的出场良率、降低了用户运营成本、人力成本、优化生产工艺流程、提高生产效率。

(四) 汽车行业

行业概述 – 中国汽车产业规模不断扩大，汽车产销量也稳居全球第一，成为了全球最活跃的汽车市场

我国十年以来汽车工业总产值、上缴利税不断扩大，对于 GDP 的贡献显著增强，并成为稳定就业的重要力量。汽车消费零售总额从 2012 年的 2.4 万亿元，增长至 2021 年的 4.4 万亿元，比 2012 年增长 83.3%，年均增长 7.0%，占全社会消费品零售总额的比重保持在 10% 以上；2021 年，汽车制造业完成营业收入超过 8 万亿元，达到 8.7 万亿，实现利润保持在 5000 亿元以上，达到 5306 亿元。



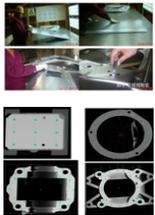
机器视觉检测装备能够匹配汽车精密生产、智能化产线搭建的需求

汽车领域近些年始终保持了非常高的年增长率。伴随着日益增加的需求和用户汽车高端品质的规定，汽车的生产制造愈来愈趋向高精密高自动化。因为人工成本提升、人力资源管理紧缺、汽车产业链对生产流水线高效率、高精密、高品质、智能化系统的规定，机器视觉装备愈来愈多地运用于汽车生产制造的各个领域。相比人工作业机器视觉有很多优势。机器视觉技术被广泛的应用于汽车制造业，最经典的应用包括汽车零配件检测、汽车装配校验检测、汽车零配件二维码及字符识别、涂胶检测等。



应用场景：对冲压、焊装、涂装、总装工艺流程全环节实现缺陷检测、视觉引导和测量。

表：消费电子行业产业链机器视觉场景汇总

产业链	应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案
冲压车间	缺陷检测	识别零件表面是否有划痕、是否有较严重的变形、皱褶、裂纹、缺肉、鼓包等外观缺陷，一旦发现可即时报警，便于人工或机器人把有缺陷的零件挑选出来。	 <p>冲压件产品缺陷检测解决方案 汽车钣金冲压件 3D 检测装备</p>
	视觉引导	引导机器人进行冲压件自动装箱，装满冲压件的料框由 AGV 自动转运至冲压件仓库，实现钣金件从冲压 - 检查 - 装箱 - 转运全流程自动化作业	 <p>冲压线尾自动装箱视觉解决方案</p>

产业链		应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案	
冲压车间	测量	冲压件的关键尺寸及形状测量	在线快速测量冲压件的关键尺寸及形状，实现在线快速检测、快速判断。		钣金冲压件高精度视觉尺寸检测设备
焊装车间	缺陷检测	焊点质量检查、涂胶质量检查、自动上件识别、焊接夹具状态特征检查、焊接螺柱检查	检查焊点、涂胶、夹具、焊接螺柱是否符合要求，即时报警及返工		焊接机舱焊点视觉检测装备
	视觉引导	AGV	带有机器视觉的AGV穿梭在线边，引导AGV将钣金件准确送到需要的工位，这种带有机器视觉的AGV能自己规划路径、准确避障、定位料架等功能		汽车焊装车间装配引导解决方案
	测量	前后风、保险杠、大灯的尺寸及形状测量	在线测量前后风、保险杠、大灯的尺寸及形状，防止不合格的车身流入总装车间影响风挡玻璃的自动安装。		汽车焊装车间在线测量设备

应用场景：对冲压、焊装、涂装、总装工艺流程全环节实现缺陷检测、视觉引导和测量。

表：汽车行业产业链重点机器视觉场景汇总

产业链		应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案	
总装车间	缺陷检测	自动装配零件防错、底盘装配质量检查、SPS 集配 / 排序拣件识别、汽车制动液 / 冷却液液位检查、铭牌核对检查、表面划伤检查	开展总装车间装配质量检测，检查是否有漏装、错装、质量问题。		汽车内外饰件外观缺陷检测装备 汽车总装外观检测解决方案 一体化压铸缺陷检测设备
	视觉引导	视觉导航式AGV、立体库移动式轨道堆垛机、自动拧紧	有效识别库位上是否有障碍物、移栽时是否放到了位、取货时伸缩叉是否叉到了正确的部位等，完成螺栓的自动拧紧		汽车总装车间移动机器人

产业链		应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案	
总装车间	测量	外廓尺寸检查、间隙面差测量、机器人装配定位坐标测量	汽车的长、宽、高、间隙面差等外廓尺寸进行在线测量，进行数据的实时获取、分析、判断、预警		AI 算法 +3D 偏折测量装备
涂装车间	缺陷检测	涂胶质量检查、堵盖数量检查、漆面质量检查	检查涂胶质量问题、堵盖装配质量问题、漆面质量问题，精细化优化涂装操作工序		3D 涂胶缺陷检测装备

解决方案案例：

在线涂胶检测系统——上海贝特威自动化科技有限公司

案例简介

针对整车行业对涂胶质量检测的需求，贝特威提供基于机器视觉技术的在线涂胶检测系统，帮助用户实现涂胶工艺 100% 在线质量控制。实时检测系统完全融入涂胶生产工艺，高度集成在胶枪上，不占用节拍时间。除此之外，在线涂胶检测系统提供了大视场全局检测解决方案。高鲁棒性系统设计，结合智能处理算法，使涂胶检测系统具有良好的检测精度和可靠性。

技术优势

- (1) **高鲁棒性**——可稳定处理因环境或产品本身原因导致的低质量的图像；
- (2) **RGB 自适应光源**——可结合胶的颜色以及背景颜色自动匹配最佳的打光效果；
- (3) **高速度**——支持机器人的最高速度为 2000mm/s；
- (4) **高集成结构**——360 度全角度范围检测

应用成效

- (1) 深度学习模块可满足低对比度环境下的检测要求；
- (2) 自动化多样的数据展示，可让用户更直观的对检测结果进行分析；
- (3) 后台监控系统可使用户在办公室远程监控现场的设备运行状况；
- (4) 7x24 小时高效的工作模式。

解决方案案例：

汽车行业底盘系统智能制造解决方案——北京思谋智能科技有限公司

案例简介

汽车底盘系统是汽车动力传输的主要组成部分，其中涉及到的组件种类多样，产品形态各异，传统的人工质检存在主观性太强、效率太低、成本太高等问题，无法有效进行缺陷量化统计和优化前序工艺流程，满足对品控及产线智能化的要求。缺陷产品一旦流入到市场，就会给人身安全带来重大隐患。思谋科技底盘系统智能制造解决方案，帮助客户现实产品智能全检，完成从人工操作到质检无人化操作的升级。

技术优势

- (1) **定制组合光源系统**——对汽车零部件进行包括划伤、脏污等 6 个面的 360° 外观全检，实现产品无死角的高精度外观检测。
- (2) **高速率检测**——实现 0.6s 在线断层扫描，快速检测使产线全速运行。
- (3) **数据全局看板**——全面统计缺陷分布，用于生产分析，提升产线质量。
- (4) **SMore ViMo 智能工业平台核心算法**——采用机器视觉技术，分类、分割、检测、智能 OCR 四大算法的综合集成方案，自动匹配最优数据增强策略和参数配置策略，按需放大缺陷特征，实现异性 OCR 完全识别检测。整体识别性能提高 8 倍，小样本识别率提高超过 10%，项目交付效率提高 15 倍。

应用成效

- (1) 对平面推理轴承、滚动轴承的外观检测达到超 98.0% 检出率，每日每条产线处理 80000+ 产能，实现智能化全检，节省人力成本 80%；
- (2) 实现汽车刹车卡钳 100% 的外观检测，将异常产品流出率由 0.01% 降至 0.0001%；
- (3) 对于转向节精磨面的缺陷检测，检测准确率达到 95%+，节省 60% 以上的人力成本；
- (4) 综合缺陷检出率达 99%，大大提升产线效率。

解决方案案例：

新能源汽车行业的 3D 涂胶质量在线检测系统——重庆中科摇橹船信息技术有限公司 案例简介

3D 涂胶质量在线检测系统基于巧妙的四激光光刀(四个线激光轮廓仪)级联设计，有效解决涂胶轨迹无规则变化问题，做到胶枪 360°无死角视场覆盖，极大增加胶条异常的检出率，采用独特蓝光激光光源非接触式测量，不受环境光照影响，测量抗干扰性强。再经过三维重建算法得到物体轮廓尺寸，借助直线移动实现物体三维成像。其主要应用于汽车制造在焊接、涂装、总装及动力总成相关的涂胶检测环节。主要检测是否存在断胶（连续性）、漏胶、胶宽异常、位置异常、胶高异常，提升涂胶良率和涂胶工艺质量的稳定性。

技术优势

- (1) 解决胶条与基底颜色接近涂胶质量检测：**彻底解决胶条与基底颜色接近的低对比度下涂胶质量检测难题；
- (2) 由二维拓展到三维：**将涂胶质量检测由二维拓展到三维，杜绝涂胶厚度 / 高度异常带来的密封缺陷影响；
- (3) 360° 无死角视场覆盖：**巧妙的四激光光刀级联设计，有效解决涂胶轨迹无规则变化问题，做到胶枪 360°无死角视场覆盖，极大增加胶条异常的检出率；
- (4) 支持在线补胶：**支持在线补胶功能，实时检测胶条各个区域质量并同步 3D 轨迹位置，异常数据反馈机械手；
- (5) 支持智能示教功能：**支持智能示教功能，缩短产品频繁转换导致的停产时间；
- (6) 测量抗干扰性强：**采用独特蓝光激光光源非接触式测量，不受环境光照影响，测量抗干扰性强；
- (7) 测量数据稳定：**级联式光刀结构内部无任何运动机构，用于在线检测工业环境具有优异的测量数据稳定性和使用耐久性；
- (8) 结构小巧、安装方便：**结构小巧紧凑，安装方便，可靠的外壳防护等级，使用寿命长；
- (9) 算法优势：**基于深度学习算法，用于在线检测工业环境具有优异的测量数据稳定性和使用耐久性。

应用成效

(1) 基于 3D 点云的异常检测，可实时显示涂胶轨迹图，指示异常位置，具备示教模式、检测模式及缺陷统计功能。具备分段设置胶条宽度、高度、位置及连续性检测模式；

(2) 基于统计方法，检测系统拥有强大的学习能力，在使用过程中不断增强检测模型的检测能力，越用越稳，越用越强；

(3) 全自动的涂胶异常检测解决方案，降低用户的使用难度，只需简单培训即可上手使用；

(4) 综合检出率达 99.9% 以上。

解决方案案例：

汽车 3D 视觉引导工件上下料解决方案——杭州海康机器人股份有限公司

案例简介

在汽车制造生产过程中，工件上下料场景广泛存在于冲压车间、焊接车间、机加车间等。在该场景下，机器人将工件从料框抓取，并放置于机床或皮带线上，或机器人将工件从皮带机、机床上抓取放置于料框中。海康机器人采用 3D 引导技术，可以实现对工件、料框精准识别与定位，使得生产过程更加高效、灵活，助力提高生产制造自动化水平，减少人工错误，降低劳动力成本。

技术优势

(1) **高精度 RGBD 图输出**——采用海康高精度激光振镜相机，精准定位。

(2) **优异的抗环境干扰能力**——针对汽车工件金属表面高反光、复杂的生产环境，具备优异的抗环境光性能，有效提取金属工件的 3D 信息。

(3) **智能轨迹规划**——RobotPilot 软件内置轨迹规划算法，在避免碰撞的前提下计算出最优的抓取策略及运行路径。

(4) **现场适应性高**——系统已适配众多机器人品牌，完成对于多类型料框、不同种类工件的适配，现场应用具备易用性和可维护性。

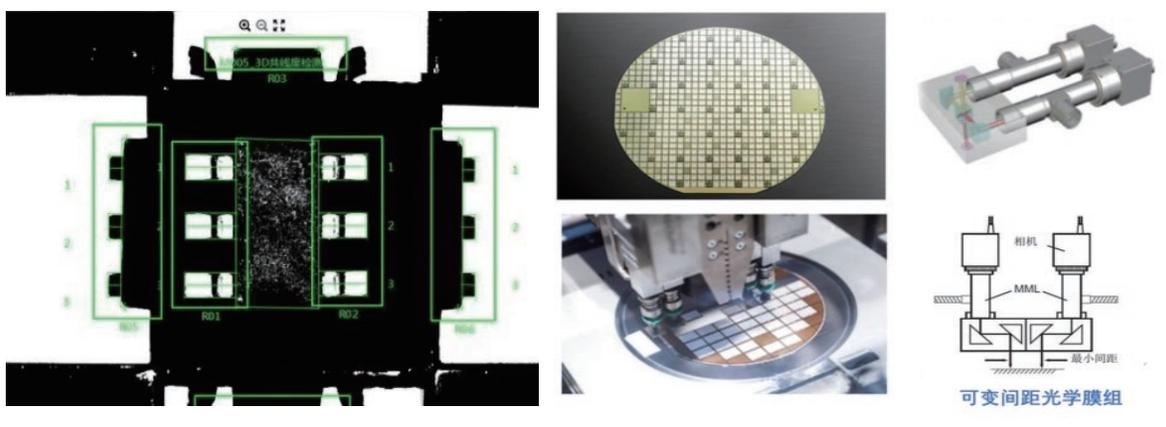
应用成效

- (1) 适配悬挂式分隔式、悬挂层叠式、翻爪式、堆放式等不同类型料框；
- (2) 实现料框监控功能，识别料框类型、内部零件有无、内部结构变形等情况；
- (3) 上料场景视觉引导时间 < 3s，满足生产节拍需求；
- (4) 无需高精度库位固定机构，降低设计制造成本，提供现场可维护性；系统可满足汽车生产多车型兼容性需求。

（五）半导体行业

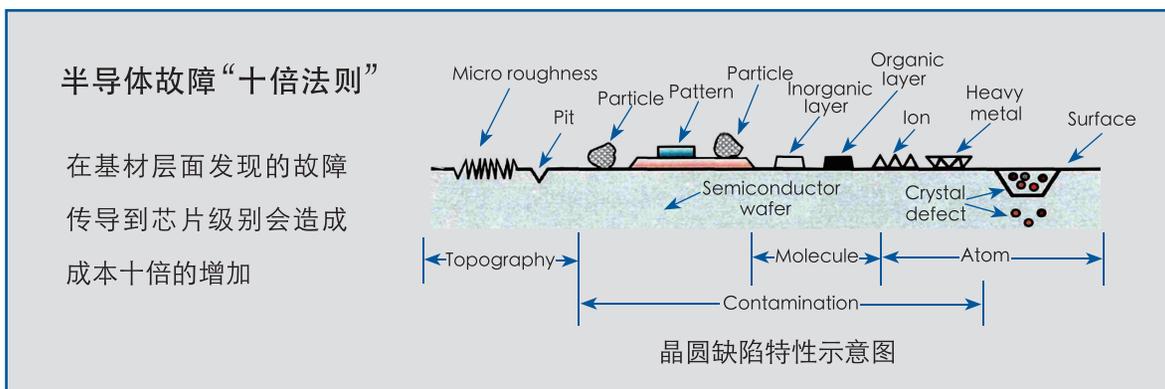
半导体产业进入新一轮增长期，我国产业链配套能力有待加强

半导体行业作为国家战略性新兴产业，十几年间受到了国家及地方政府的大力支持。2019 年全球半导体及设备市场处于增速换挡调整期，5G、物联网、人工智能等领域的技术浪潮催生了产业的新一轮成长，据 SEMI 数据，2021 年全球半导体设备市场同比增长 44%，创下 1026 亿美元的历史新高，中国大陆半导体设备市场销售额增长 58%，达到 296 亿美元。2022 年球半导体制造设备出货金额创下 1076 亿美元的历史新高。中国大陆半导体产业链的配套能力有待加强，与晶圆制造配套的上下游产业仍在发展中，半导体企业生产产品所需的设备以及原材料仍主要依赖进口。



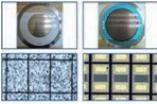
机器视觉技术能满足半导体产业高精度、高功率、零误差的生产要求

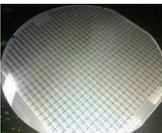
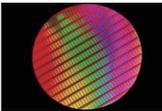
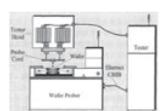
全球半导体行业的快速发展和需求的不断增加，为半导体视觉检测设备的机器视觉进入半导体行业提供了一个适当的契机。半导体制造业是一个要求高精度、高功率、零误差的行业。半导体的生产工艺越来越复杂，5nm 工艺的逐步成熟完善，3nm 工艺不断突破，普通检测技术不能满足要求，机器视觉可以满足半导体行业的检测需求，可以快速准确地执行各种检测功能，在半导体生产过程之中发挥重要作用。



应用场景：对冲压、焊装、涂装、总装工艺流程全环节实现缺陷检测、视觉引导和测量。

表：半导体行业产业链重点机器视觉场景汇总

产业链	应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案
晶圆制造量测	膜厚测量	测量多次薄膜沉积后晶圆薄膜的厚度及性质	 3D 飞点分光干涉仪
	关键尺寸扫描、测量	对栅极线条宽度、形貌结构参数进行测量，提升最终性能、良率和可靠性	 半导体外观测量设备
	套刻误差测量	量测套刻目标图形的图像，获取套刻误差，提升芯片工艺水平	 半导体外延片检测设备

产业链	应用场景	价值点	相关机器视觉检测装备和解决方案
晶圆前道检测设备	有图形晶圆检测设备	采取明场、暗场照明，光线反射/散射到光传感器上对比检测缺陷并记录位置	 有、无图形晶圆缺陷检测设备
	无图形晶圆检测设备	用激光照射晶圆表面，采集散射光并抑制表面背景噪声，通过算法提取和比较多通道表面缺陷信号	 机器视觉晶圆检测设备
	电子束检测设备	通过对电子束扫描原件所得成像的解析，寻找晶圆的异常	 晶圆瑕疵检测解决方案
	宏观缺陷检测设备	全晶圆片或局部晶圆片表面成像，对不同芯片同一位置比对等方法获取缺陷信息	 晶圆前道检测设备
后道测试	芯片 AOI 检测分选	对被测芯片进行标记、分选、收料或编带。保证出厂的集成电路的指标能够达到设计规范要求	 半导体分选机  手动、半自动探针台
	封装检测	检查封装过程中是否存在缺陷，如封装材料是否均匀、封装结构是否牢固等，从而确保封装质量	
	金线检测	检查金线是否存在断裂、虚焊等问题，确保每一条金线都按照设计要求正确连接，防止因金线问题导致的芯片故障。	

解决方案案例：半导体行业晶圆智能制造解决方案——北京思谋智能科技有限公司 案例简介

晶圆行业市场呈现专业分工深度细化、细分领域高度集中的特点。未来，我国在高端供应链中不断突破并掌握核心技术，使中国制造业向高端供应链攀爬，加速进口替代，从而促进行业进一步发展。在晶圆检测和测量行业，思谋科技创新性地提出了晶圆智能制造解决方案，为客户实现智能质检助力，实现与产线、质检线的智能对接，快速推进了其智能化转型。

技术优势

- (1) **高精度测量**——配合高精度现扫相机,多次扫描大幅面晶圆,测量相应尺寸。
- (2) **高精度算法分割能力**——在细微缺陷的精细化分割上,可做到极致 2 像素缺陷检出。
- (3) **高稳定性视觉轮廓提取**——对于工业场景中被检对象整体和背景完全类似的缺陷检测难题,可做到高稳定性的视觉轮廓提取,检测脏污、灰尘簇等难检缺陷。
- (4) **SMore ViMo 智能工业平台核心算法**——采用机器视觉技术,分类、分割、检测、智能 OCR 四大算法的综合集成方案,自动匹配最优数据增强策略和参数配置策略,按需放大缺陷特征,实现异性 OCR 完全识别检测。整体识别性能提高 8 倍,小样本识别率提高超过 10%,项目交付效率提高 15 倍。

应用成效

- (1) 检测速率实现 90% 提升,检测准确率提升 99.5%,涵盖产品多至 12 种缺陷;
- (2) 硅片检测效率提高 50%,实现 100% 全检;
- (3) 兼容不同晶圆规格的检测,系统无缝切换;
- (4) 对芯片的检测和计数,达到 98.5% 准确率。

解决方案案例:

高精度结构光 3D 相机——北京博视像元科技有限公司

案例简介

结构光 3D 相机是由工业相机与数字投影组合而成的 3D 成像系统,通过投影多幅经过编码的图案到物体表面,利用工业相机进行拍照,并分析编码图案的形变信息,得到物体表面的 3D 轮廓信息。博视像元提供的结构光 3D 相机精度高、帧率快、结构灵活等优点。目前最高可以实现 Z 方向 100nm 的重复精度,最高 6500 万像素的 3D 数据,该系列产品在半导体、SMT、PCB 检测等领域具有广泛的应用。

技术优势

- (1) **高精度**——采用相移法的结构光 3D 相机具备极高的三维分辨率，在高分辨率相机和高精度工业投影的组合下可以实现亚微米级的分辨力和重复精度。
- (2) **高帧率**——采用 CoaXPress 接口相机作为主相机，通过多个线缆并行传输，最高可以实现 50Gbps 的传输带宽，是目前工业相机领域速度最快的传输接口。
- (3) **高灵活性**——该产品可以实现镜头和视野的快速适配，为客户提供最佳的产品参数。另外该产品可以实现多相机和多光机灵活搭配，一键进行系统标定，满足客户多样化的需求。

应用成效

- (1) 半导体芯片封测。可实现 BGA、QFP、LGA 等芯片封装的三维成像与检测，检测高度、间距、平面度等参数的检测；
- (2) Wafer 晶圆检测。可以实现几十微米到百微米级别的晶圆的 3D 成像与检测，一次拍照一个区域，极大提高了晶圆检测效率；
- (3) 3D AOI/SPI 设备。可以实现 SMT 产线上锡膏检测和电路板检测，多视角融合解决阴影和遮挡问题；
- (4) PCB 检测。可以对 PCB 外观和 3D 形态进行成像与检测。

第五章 总结与展望

总结与展望

基于研究报告相关成果，机器视觉检测装备市场竞争激烈，但受惠于高质量发展 and 智能制造的整体趋势，产业仍有较大市场潜力，这需要依托现阶段优势，对产业生态进行正确引导和培育，加强技术研发攻关和标准研制，提升装备供给能力和水平。

智能检测装备未来将进一步支撑新质生产力发展

智能检测装备是实现新质生产力的重要工具，也是制造业发展新质生产力的重要技术和物质保障。未来，智能检测装备将不仅能够稳定生产运行、保障产品质量、提升制造效率、确保服役安全，也将能够监控工厂运行流程，对各类生产要素进行分析评估，助力企业开展决策，形成闭环的质量管理方式。在这种模式下，制造企业将有潜力进一步构建质量体系，支撑研发创新产品，扩展自身业务模式，促进技术、管理、数据等要素便捷化流动、网络化共享、系统化整合、协作化开发和高效化利用。

视觉检测装备的市场增量在未来一段时间内还将快速发展，且速度不断提升

对于锂电、光伏、半导体、汽车等行业，机器视觉检测场景丰富，需求旺盛且保持强劲的增长势头，未来检测装备渗透率将进一步增大，并同步逐渐向综合解决方案升级，以满足客户更复杂、更全面的需求。对于食品医药、纺织、钢铁等传统行业，虽然目前仅完成了部分关键场景的挖掘，但对于非关键检测项仍有很大挖掘空间，行业潜力巨大。随着传统行业产业结构转型升级，数字化智能化水平提升，将推动机器视觉行业的发展技术应用成本进一步降低，可挖掘和落地的检测场景也会持续增多。

人工智能、新型成像技术将大幅提升检测装备的能力和范围

面对算法模块样本少、训练时间少的特点，供应商将从非标的算法开发逐步变为通用的深度学习和大模型算法开发。AI 大模型技术叠加行业大数据，将重新定义检测装备部署维护新范式、扩大检测能力范围边界，重新定义检测装备类型，

扩展商业模式。随着高光谱成像技术、3D 技术的落地，机器视觉检测装备对于光谱和空间的利用将更加充分，诸如纺织品成分、食物成分等高难度检测场景将得到攻破。

新一代通信技术和可配置系统理念将助力装备向轻量化和边缘化发展

面对计数、识别、面阵质量检测等场景的高速传输的需求，企业逐步开展 5G、6G 的网络扩容和建设，并推动边缘云和边缘视觉的计算框架研发，通过 5G、6G 将数据上传到云端，能极大提升整个控制系统的响应速度。

面对生产加工设备集成视觉模块较为复杂，亟需提升性价比和响应能力的需求，应用嵌入式、轻量化、模块化零部件，实现快速参数设置和功能拓展，开发可配置视觉系统将成为供应商发力热点。

制造企业对于一体化定制化智能检测需求持续提升

当前，制造企业检测需求差异化较大，且自身较缺乏检测装备运营和维修能力，这要求供应商付出更多时间和资源，提供高度一体化、定制化服务，指派驻场人员进行系统设计、设备调试、检修、培训等服务。需求的人员包括算法工程师、系统开发工程师、调试人员等。只有人才充足、落地能力强，深耕细分行业场景的供应商才能在站稳脚跟。

产业亟需规范产业发展标准化工具和公共服务

产业逐步认识到，开展机器视觉检测装备安全、可靠性、系统互联互通、统一的硬件接口和图像处理分析算法等技术标准研制能够确保检测装备质量，确保不同产商生产的设备能够互相兼容，更容易实现系统集成和二次开发，规范产业发展。未来，将有越来越多国内外视觉装备企业和标准化组织加入到机器视觉标准化工作中来。我国已研制了一批机器视觉装备术语、功能性能测试方法等基础国家标准，但依托标准开展的机器视觉检测装备计量、认证认可、检验检测和成果转化等公共服务仍不足，相关工作将成为未来检验检测基地和研究院所的重点发力方向。