



黑灯工厂是无人化智能工厂的一种理想状态,以提升生产效率、降低生产成本为根本目标,基于智能制造、自动化和精益管理,开发先进的自动化技术、智能化数字化技术,建设黑灯产线直至更高智能化水平的黑灯工厂,但汽车制造行业仍在探索中,多项关键技术仍有待攻克。

□ 东风日产乘用车公司 唐行虎 梁远霖

动力总成黑灯工厂关键技术开发探索

“黑灯工厂”即智慧无人工厂,从原材料到最终成品,所有的加工、运输、检测过程均在空无一人的“黑灯工厂”内完成,无须人工操作,所以可以关灯运行,故而得名。世界经济论坛(World Economic Forum)的全球灯塔网络(Global Lighthouse Network),是一个制造商社区,展示在大规模应用“四次工业革命”技术,通过改造工厂、价值链和业务来驱动财务和运营的先进工厂,按“灯塔工厂”企业所属国家来看,中国的灯塔工厂有42个。如图1所示,这些灯塔工厂虽然取得了生产、

交付效率的大幅提升,但是距离真正的无人化工厂,还有很长的路要走。

东风日产动力总成工厂,制定了黑灯工厂的战略框架,以提升生产效率、降低生产成本为根本目的,基于智能制造、自动化、精益管理和保全体系,开发先进的自动化技术、智能化数字化技术,建设黑灯产线直至更高智能化水平的黑灯工厂。从现状22h/日的出勤,推进黑灯化2h体制,自动化和IOT(物联网)技术导入,逐步扩大黑灯化的时长和降本增效的成果,直至达到行业最优工厂的目标(图2)。

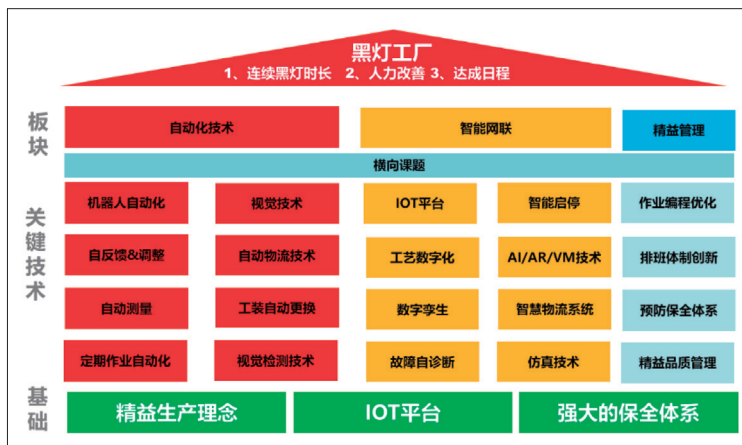


图1 黑灯工厂的战略框架

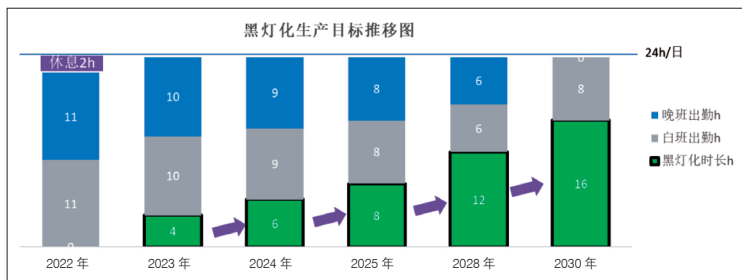


图2 黑灯工厂的目标规划

技术方案

1. 技术路径

东风日产动力总成工厂基于完善的智能化平台,以及20年的iFA智能自动化专项工作的优势,进一步向无人化黑灯化产线迈进,开发能实现无人化产线的关键技术,如图3所示,主要有三个方向:①智能化技术、IOT平台、工艺数字化、AI/AR/VM技术、故障自诊断及仿真分析等;②极致的自动化技术,如视觉外观检测技术将解放产线上最后一名作业员,设备的自反馈&调整软件系统实现远程调整,自动测量技术实现零部件全自动检测和统计分析,产线维护点检视觉化;③精益管理体制的创新,如柔性作业编程,3S1G排班体制创新,预防保全体系,精益品质管理方式。

2. 黑灯工厂关键技术概述

(1) 智能制造 IOT 平台

基于智能制造中期规划,按照五年三个阶段(数字化、网联化、智能化)的战略路线,从创新工艺、卓越制造、敏捷服务和智慧管理四个战略方向进行



探索和应用，确立了七个重点领域，分别是：数据标准化与集成、质量数字化管理、运营智能决策、制造工艺数字化、智慧供应链管理、能源环境数字化及设备预知管理。制定了智能制造 2025 总体路线图：2020 ~ 2021 年，是夯实基础阶段，实现将精益制造与数字化工厂建设充分结合，打基础补短板；2022 ~ 2023 年，是全面提升阶段，将完成网联化的初步建设，实现人、设备和系统的互联，能够进行数据实时共享；2023 ~ 2025 年是赋能智造阶段，主要以智能化为主要方向，实现产业链协同和数据整合应用，建立智能化的东风日产制造体系，能够进行自主分析，进一步实现智能决策。

智能制造中期战略方向: ①创新工艺方面, 将生产工艺与现场条件、作业方式进行匹配, 对模具、工装、设备等进行数字化开发和应用; ②卓越制造方面, 通过先进技术不断应用, 提升品质、装备效率及工业网络安全, 确保生产制造的稳定高效; ③敏捷服务方面, 通过数字化技术、通信技术, 为生产制造过程提供快速高效的服务保障; ④智慧管理方面, 运用大数据分析、AI 等

技术，不断提高现场管理能力和运营决策效率。

工业物联网的智能制造平台模型，展示了目前已实现的功能和正在开发中的功能；主要分为3个层次：第一层通过业务数据在线化数据采集，设备联网和数据采集；第二层集成生产管理、设备管理、品质管理等各类管理系统；第三层是数据治理，对数据进行标准化的处理，提升数据质量，剔除无效数据，建立数据模型，包括设备监控模型、工艺分析模型、能源监控模型和生产监控模型等。

多种设备的网联化数据采集,通过集成多种设备的联网协议或者用网关来实现,我们已形成 8 项标准,其中两项正在申报集团技术标准,将现有的 TCM 等 6 种管理系统集成统一的 IOT 系统(图 4),提高了系统运营效率。

数据治理环节,根据收集的元数据和建立的数据标准,对元数据进行标准化处理,剔除无效数据和脏数据,提升数据质量,为建立数据模型做准备,建立形成工业数据分析模型,如设备监控模型、设备工艺分析及调整模型、能源分析模型。根据所建立

的模型，对运营情况进行分析，提出对策，提升运营效率，降低成本，为决策做出参考。基于数据模型和数据运营，进行数据智能应用，支撑业务快速决策，例如通过装配作业的 AI 监控，提升了生产效率和良品率；工艺优化缩短了新车交付周期，降低供应链的管理成本等；数据智能的解决方案有构建人工智能平台，采集视频 / 图片 / 语音 / 文本等数据进行视觉识别 / 语音识别等。

这里举几个典型的应用场景

第一，构建本地数字化 TCM 工艺设计平台，包含产品数据、产品和工艺仿真：①与日产联通，打通设计与工艺环节；②基于统一的平台内实现业务协同，最大化实现了企业级工艺知识积累；③突破原有文件管理的业务模式，实现工艺数据的结构化及可视化管理，降低了投资成本和人力工时，提升了核心竞争力。

第二，智慧供应链，围绕产品订单到交付的全过程，以信息技术为突破，将生产计划、国产部品与海外物料订购、入厂与厂内物流、整车物流、售后备件物流、原材料物流进行一体化管理，达成供应链的本地化、数字化、智能化。

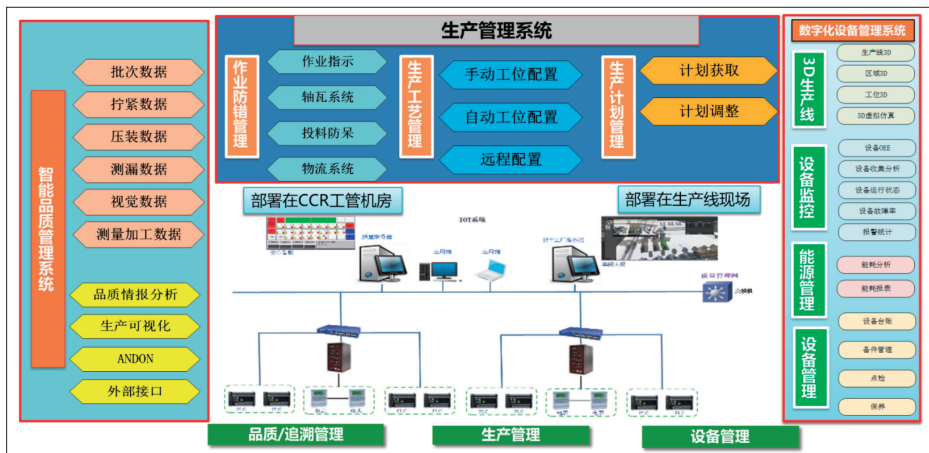


图 4 IOT 平台架构

转型。第三，全价值链的品质管理，以客户 VOC 为导向，覆盖设计、研发、生产及市场的全面品质管理平台，统一标准及体系，进行品质信息收集、分析、追溯、快速预警及改善，从而降低不良率，提升客户满意度及品牌好感度；品质信息覆盖率为 30% 提升为 100%；品情反馈时间从 55 min 降为 5 min；改善信息共享 100%；异常品生产轨迹调查从 48 h 降为 1 h；人工操作失误流出不良次数降低到 0 次；相比手工市场预警提前 3 周；改善周期缩短 48%。第四，工管系统实现了需求快速响应、成本数量级下降、数据共享化、架构高可用、系统良好的扩展性。后续逐步实施到中国其他据点成为日产标杆系统，为全球化推广打下坚实基础。响应速度加快，管理成本降低，突破信息孤岛。第五，工业物联网，通过物联网平台标准化，实现工厂覆盖及运营决策，比如实现电机故障预测和作业员行为分析功能。第六，车间产线管理，从过去的不知道发生了什么到知道发生什么还能知道为什么发生，以及预测到将要发生什么，到如何快速处理，实现车间级、产线级到设备级的监控；重点参数监控，实现设备预测性维护；平台实现移动端在咚咚应用，实现无纸化设备管理；并已总结及修订了 8 个技术标准。第七，智慧能源管理，实现三级能源管理，进行年月日趋势精准分析，实现能耗管理精细化。第八，作业 AI 智能监控，采集视频信息进行视觉识别，分析作业步骤正确性、作业顺序准确性，作业时长标准性等。第九，高压铸造模具温度监

控系统，实现了对模具成型区域的全面检测和控制，在模温、水量系统的基础上，新增一套智能控制系统，实现模温—水量的自动联动控制，提升了 OEE 和良品率（图 5）。面向未来，我们正努力通过打通 TCM 与现场的数据流，实现数字 / 实物的双向驱动，并基于此，实现设备自动校对、参数调整、变更执行等工作，打造智能化的黑灯工厂。

（2）AR 巡检技术应用研究

AR 智能巡检技术（图 6）。波音公司装配一个包括 30 个部件的飞机机翼，有 50 个步骤，在 AR 的帮助下，受训人员学习时间减少了 35%，零基础学员的培训成功率提高了 90%；GE 公司将 AR 眼镜运用在装配组作业中，

使作业时间缩短 25%，出错率降低 50%，效率提高 8% ~ 12%。实现高效设备运维，企业通过模板化参数库导入点检设备，巡检员工使用 AR 眼镜、手机和平板等多种移动终端，整体设备的运行状态与参数即可立体透视在眼前，支持手势与语音指令调整参数展示内容，极大提升巡检效率和准确度。①可视化巡检：巡检人员通过头戴式 AR 设备，通过立体化展示画面辅助，实时了解整体设备内外的运行情况，极大提高巡检效率；②远程专家连线；③预测性维护：对历史数据进行分析，采集故障点前后时间线信息，分析异常数据，并输出辅助解决方案，形成发现问题解决问题并预测问题的数据闭环。



图 5 IOT 管理控制中心看板



图 6 AR 高效巡检技术

(3) 在线坐标自动测量技术

在零部件加工工厂，在线测量设备分为两类：一种是在线三坐标，已经成熟应用；另一种是比对仪（图7），作为一种过程测量仪器，需要其中一个零件作为标准件，可在三坐标上测量或者提供检测报告。比对仪的精度溯源是标准件，加上点对点比对测量方式，如果标准件在三坐标上测过，那么将比在其他设备上提供报告的标准件更准确。因此，比对仪是三坐标在车间的一种拓展。比对仪相对于三坐标的特点是：测量效率高、体积小、环境要求较低且性价比高。该技术日趋成熟，行业应用越来越广泛。比对仪测量技术已有大量的应用案例，其中包含各家车企、零部件供应商，以及部分新能源企业，主要应用于发动机构件、变速器零件和电机零件等汽车零部件，是一项成熟的应用技术。

(4) 机器人加量检规孔系自动检测技术

加工后零件孔径、孔深、螺纹深度等主要通过人工使用检具检测。基于我公司黑灯工厂项目

规划，孔系的品质检测也需要进行自动化（图8），取代人工作业。该技术的行业成熟度还不足，只有较少的实现量产应用案例。

(5) 模糊抓取技术

面对随机拣选场景的挑战，选型合理的视觉系统能高效且准确地识别各类形态的工件及其空间位姿，高效的节拍，精准的内部系统耦合，减少/消除识别的等待时间+高效的运动轨迹。在深容器各个位置、各个角落抓取工件时，机械臂各关节不撞容器，不会压件，自主避障。设计合理的夹具，能自动以不同抓取角度、抓取策略在各个角落完成拣选，成功率较高。通过智能+稳定的系统自有智能/算法，实现稳定生产，减少人工干预率；闭环的系统提高OEE，具备活用视觉、机器人及平铺料盘的特点，设计多个闭环的控制循环，实现抓取、供料及补料的稳定循环的应用系统，视觉关键技术采用背光源的平铺识别技术，1000万级工业相机，400x400大背光源，平铺料盘防滑材料视觉算法，通过轮廓及其扩展的区域内无其他销子来

识别可以抓取的销子，识别每一种零件剩余的数量以便判断何时供料。目前已实现连杆、曲轴及定位销的无序抓取，成为一种成熟的技术储备。

(6) 机床自反馈技术

机床的自反馈（图9），是指加工机床和线内线外的测量设备处于联网状态下，一旦测量发现设备价格品质出现波动，能第一时间反馈到机床端，机床的智能系统会自动调整品质项目，或者直接推送给技术工程师，工程师确认后，可以远程向机床下达智能调整的指令数据，实现远程快速调整，使得品质波动尽快恢复正常。基于网络、IOT技术，将测量设备和加工设备联网，利用追溯系统平台，将经过负责人确认后的测量数据自动补偿到对应机床，可大大提升补偿效率，既提升了品质异常处理效率，也能减少工时。

(7) 视觉检查技术

在零部件制造行业，最终下线前的外观品质检查，主要还是依赖人工目视检查，要实现黑灯工厂，该岗位工作需通过自动视



图7 比对仪自动测量



图8 孔自动测量技术

觉取代人工检查（图 10）。目前的技术稳定性差、误判率高，难以达到完全取代人工检查的效果。技术关键在于底层算法、AI 智能学习、缺陷模板的不断更新。

机器人搭载视觉系统，对工件表面拍照并迅速利用图像算法分析，发现微小缺陷、控制产品质量。实现缩孔以及划痕的缺陷识别，完全替代人工，实现机加工零件下线及检测的全自动，推广应用至新能源电池装配检测。视觉检查有两种方式：一是通过镜面反射使背景区域与缺陷有明显亮度差异，适用于缩孔缺陷检测；二是高频线扫相机结合高频光源，可合成多张特定图像，检测缺陷，适用于综合缺陷检测。

机器人搭载视觉系统由便携式显微镜头、可控光源和计算机系统组成。通过获取不同角度光源照射下的表面图像序列，计算亮度信息，完成法向量求解。通过梯度恢复深度方法与颜色还原技术，得到具有真实颜色的三维表面，进而提取多类表面特征、分析表面状态。

效果和价值评估

规划和建成黑灯工厂，可预见以下三个方面的价值：

- 1) 提升新能源动力工厂智能制造水平和在行业内的影响力，成为行业标杆。
- 2) 降低现有生产线的成本 20% ~ 30%。
- 3) 通过黑灯工厂的整体战略，实现制造作业人员递减 80%。

黑灯工厂规划和实践是一个不断升级迭代的系统工程，不能一蹴而就。在实践过程中，应

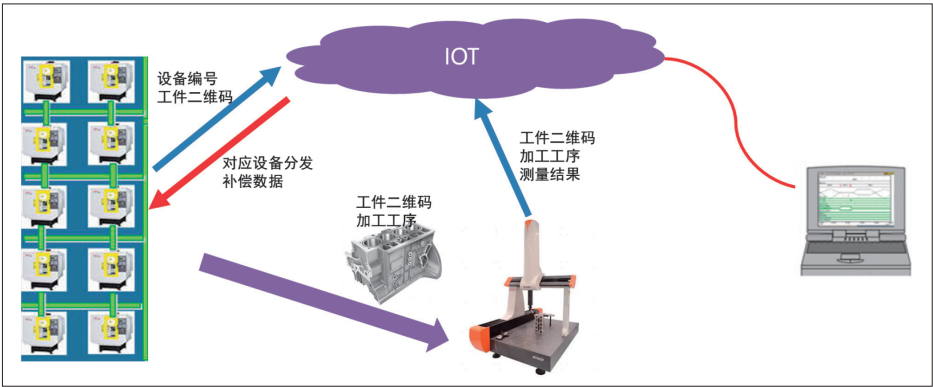


图 9 机床自动反馈技术

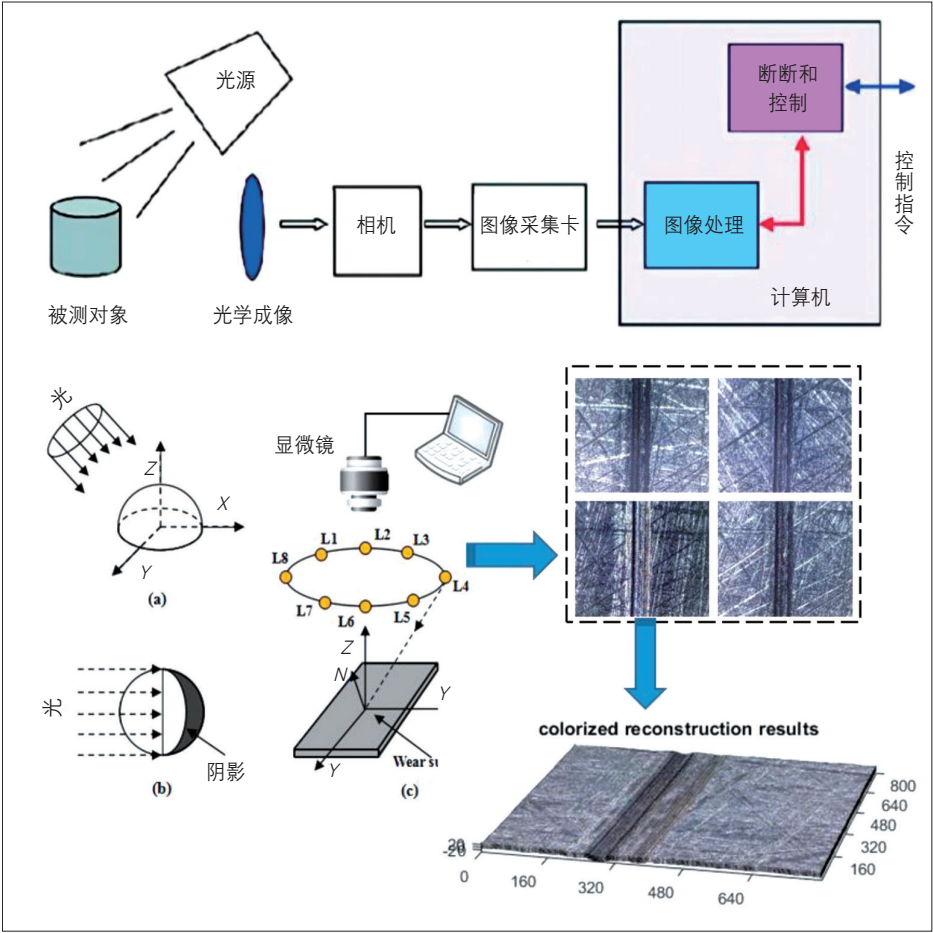


图 10 零件外观缺陷自动识别技术

秉承“不在落后的工艺上搞自动化，不在落后的管理上搞信息化，不在不具备数字化、网络化的基础上搞智能化”的原则，对影响 QCT 等方面的关键要素进行分析，梳理形成瓶颈短板清单，将瓶颈短板进一步分解细化为技术，把技术突破作为主要突破口，将

技术分类应用到具体场景，逐步强短板补弱项，以技术提升牵引整体制造水平提升。黑灯工厂是工业化时代进程中的一颗明珠，随着关键技术的逐个攻克，将加速黑灯工厂理想目标的落地，最终实现企业大幅地提质降本增效。AI