意大利柯马工业机器人的先进技术与理念

马宗文[1]，曹建业[2]

（1．中国科学技术交流中心，北京 100045；
2．中国科学技术部，北京 100862）

摘　要：工业机器人集成了多种高新技术，被誉为“制造业皇冠上的明珠”。意大利柯马的工业机器人在汽车制造领域处于世界领先水平，柯马的生产系统每年生产超过 2000 万辆汽车，占全球汽车年产量的近 1/3。本文系统梳理了工业机器人柯马企业的先进技术、经验和发展理念，并提出相关建议，希望为国内企业发展提供借鉴。

关键词：意大利；工业机器人；柯马；先进技术与理念

中图分类号：TP242.2　**文献标识码：**A　DOI：10.3772/j.issn.1009-8623.2018.07.005

工业机器人技术涉及机械、电子、控制、计算机、人工智能、传感器、通信与网络等多个学科领域，综合集成了多种高新技术，被誉为“制造业皇冠上的明珠”，是衡量一个国家创新能力和产业竞争力的重要标志之一。2017 年全球机器人市场规模达到 232 亿美元，过去 5 年平均增长近 17%；三大类型的机器人中，工业机器人占比 63%，特种机器人占比 24%，服务机器人占比 13%，工业机器人占绝对优势。工业机器人因具有工作效率高、稳定性和重复精度好、能在高危环境下作业等诸多优势，因此在汽车、电子、装备制造、化工、仓储物流等许多行业领域具有重要应用，在传统制造业特别是劳动密集型产业的转型升级中发挥着越来越重要的作用[1]。

工业机器人在汽车制造领域的应用技术相对成熟，随着汽车产销量不断增长，对工业机器人的需求日益旺盛，工业机器人的重要性不断凸显，各国高度重视工业机器人产业发展。意大利柯马（COMAU，COnsorzio MAcchine Utensili）是汽车制造领域全球领先的工业机器人企业，与 ABB、库卡（KUKA）和发那科（FANUC）等其他知名企业相比，柯马的性价比最高，广受汽车制造企业青睐。本文通过梳理柯马工业机器人的优势技术、先进的经营管理和发展理念，结合当前中国机器人产业发展现状，提出相关建议，以期为政府决策和企业发展提供借鉴和参考。

1　产业发展概况

据国际机器人联合会（IFR）统计，2017 年全球工业机器人的销量继续保持较快增长，达到了 38.1 万台[2]。全球工业机器人的保有量已超过 250 万台。从 2003—2017 年世界工业机器人的销量变化情况来看（见图 1），2008 年以前，每年销量变化不大；受到 2008 年全球金融危机影响，2009 年销量下降明显，2010 年以后，保持了良好增长态势，年均增长 28.9%。

从各国情况来看：美国是工业机器人强国。美国于 1962 年发明了世界上第一台示教工业机器人，此后，其工业机器人理论研究和应用技术一直处于领先水平。美国工业机器人性能优异、功能全面、智能化水平高，广泛应用于汽车、机械、电子、电气、橡胶和塑料等行业领域，主要供应商有 Adept

第一作者简介：马宗文（1986—），男，理学硕士，助理研究员，主要研究方向为科技政策、公民科学素质和科普。
收稿日期：2018-06-28

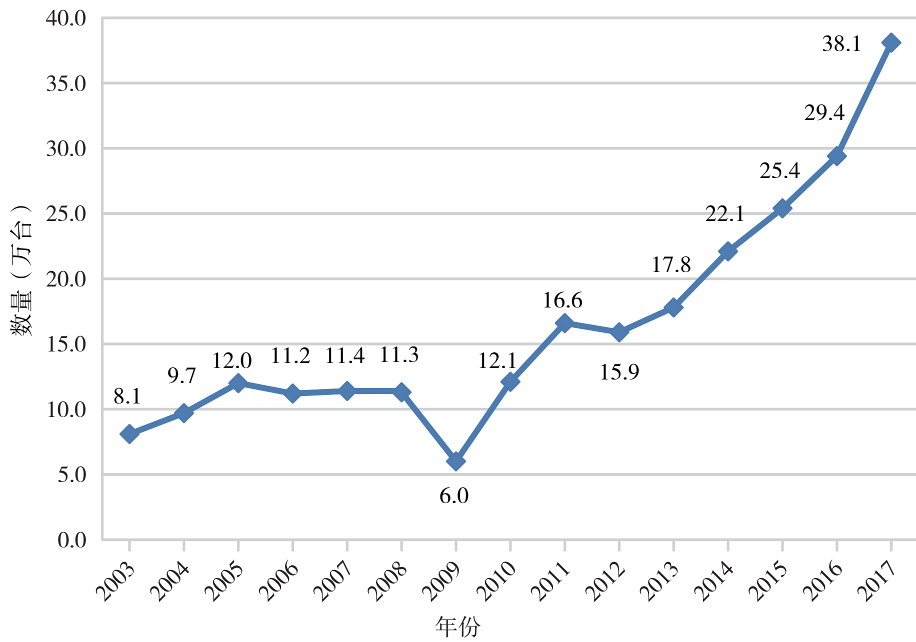

图 1　2003—2017 年世界工业机器人销量情况

资料来源：国际机器人联合会。

Technology、American Robot 和 ST Robotics 等。日本于 1967 年引入首台工业机器人，由于人口不足、劳动力短缺，以及微电子工业发展等实际需求，工业机器人在日本快速发展。当前，日本工业机器人保有量和日本品牌的市场占有率均居世界首位，保有量约占全球的 1/3，年产量所占市场份额超过 50%。日本拥有众多有影响力的工业机器人品牌，如发那科、安川电机（YASKAWA）、川崎（KAWASAKI）和那智不二越（NACHI）等。德国的工业机器人企业众多、技术发达。战争导致的劳动力短缺、国民科技素质较高等，为工业机器人的发展提供了有利条件。20 世纪 70 年代，德国政府通过政策引导，如在《改善劳动条件计划》中规定：对于一些危险、有毒、有害的工作岗位，必须由机器人来代替，为机器人的应用开拓了市场，并推动了工业机器人产业的发展。德国知名的工业机器人企业有库卡、杜尔（DÜRR）、徕斯（REIS）和克鲁斯（CLOOS）等。目前德国工业机器人保有量仅次于日本。

2　意大利工业机器人企业——以柯马为例

在制造业发达和享有“中小企业王国”美誉的意大利，工业机器人产业具有自己的专业优势，特色明显，在某些方面已经超过日本和德国，特别是在汽车制造领域处于世界领先水平。意大利拥有工业机器人相关企业超过 200 家，主要集中分布在意大利北方工业重镇，其中伦巴第大区（首府米兰）、艾米利亚－罗马涅大区（博洛尼亚）、威尼托大区（威尼斯）和皮埃蒙特大区（都灵）四地工业机器人企业的数量约占全国总数的 70%。据国际机器人联合会统计 [3]：意大利工业机器人总量和 2016 年增长量在欧洲仅次于德国，居第 2 位；工业机器人密度从 2015 年的 160 台 / 万人增长到 2016 年的 185 台 / 万人。意大利知名机器人企业有柯马和希尔（SIR）等，其他多为中小型企业。

2.1　柯马概况

意大利柯马股份有限公司成立于 1973 年，总部位于都灵，是菲亚特集团成员，它主要为汽车和飞机等众多行业提供工业自动化系统解决方案和全面技术维护服务。柯马目前在全球有 32 个运营中心、14 个制造厂和 5 个研发中心。在意大利、俄罗斯、中国、印度、阿根廷、墨西哥、巴西、罗马尼亚、波兰、德国、法国、美国、英国、西班牙、捷克、土耳其和泰国等 17 个国家有员工 12 600 名 [4]。

柯马拥有超过 40 款不同型号的工业机器人，负载范围在 3~800 千克，机械臂的水平活动范围从小于 1 米到 3 米。柯马工业机器人的应用领域包括

汽车制造、电子工业、机械自动化、塑料和金属加工、日用消费品、教育培训、商务拓展等，具体应用有点焊、弧焊、激光焊接与切割、等离子切割和水切割、抛光、去毛刺、折弯、木制品和玻璃加工、码垛、机器人包边、视频系统、测量和测试、日化密封、装配、点胶、铸造、搬运、包装、机床上下料等。

柯马拥有 100 多项专利，应用于全球各地主要的汽车制造厂商。据统计，柯马的生产系统每年生产超过 2 000 万辆汽车，占全球汽车年产量的近 1/3。这家意大利高端工业机器人企业，已经成为汽车制造领域可持续性自动化及系统服务解决方案的全球领先者。

2.2 柯马的特色和优势

2.2.1 设备网络化，实现车间“物联网”

与传统工业生产车间中设备与设备之间采用 M2M（Machine to Machine）的通信方式不同，柯马生产系统使用物联网（Internet of Things，IoT）通信技术，通过物物相连的通信方式实现了人、设备和系统三者之间智能化、交互式的高效无缝连接。在生产过程中，将所有的设备及工位统一联网管理，使设备与设备之间、设备与计算机之间能够联网通信，设备与工作人员紧密关联，如数控编程人员可在自己的计算机上进行编程，将加工程序上传至分布式数控（Distributed Numerical Control，DNC）服务器，设备操作人员可在生产现场通过设备控制器下载所需要的程序，待加工任务完成后，再通过分布式数控网络将数控程序回传至服务器中，由程序管理员或工艺人员进行比较或归档，全部生产过程实现网络化、可追溯化管理。

2.2.2 数据可视化，利用大数据分析决策

柯马生产系统每隔几秒就采集一次生产设备产生的数据，并对其进行可视化分析，包括设备开机率、主轴运转率、主轴负载率、运行率、故障率、生产率、设备综合利用率、零部件合格率等。通过掌握生产过程中的这些“大数据”，柯马就能实时监控整个生产流程和每个环节的运行。当某个生产流程偏离标准工艺时，这套系统就会发出报警信号，帮助企业及时发现和解决问题。利用大数据技术，它还可以建立生产过程的虚拟模型，仿真并优化整个生产流程，使模型中所有的绩效数据处于最优状态，从而帮助企业改进生产工艺，提高生产效率。此外，它还可以监测各流程的能耗值，通过能耗分析，发现能耗的异常或峰值，通过优化降低整体能耗水平。

2.2.3 柔性化生产，一条生产线生产多款车型

柯马在多车型混装方面处于领先地位，研制的主焊接线合装平台可同时生产 4 种以上不同的车型，车身总拼工位可满足 6~7 个车型的随机混流生产的要求，自动化率达到 80%~90%，具有高度柔性化。柯马为玛莎拉蒂制造出了 Quattroporte 和 Ghibli 两款顶级豪华汽车。基于柯马复杂度和精度极高的多关节型机器人和高级软件应用，该生产线可编制程序，自动确定是 Quattroporte 或者 Ghibli 的工件，并且能够依据生产需要在连续的流程中生产两款车型。同样地，菲亚特能够使用柯马 Flex，在同一条生产线上组装菲亚特 500 和菲亚特弗里蒙特两款完全不同的车型。柯马 Flex 能够在一个紧凑的多功能工作单元里管理大量模块，因此沃尔沃、捷豹、路虎等许多汽车制造商都在使用该系统来优化装配流程、简化中间环节、提高生产能力，并大幅减少白车身制造所需的占地面积[5]。

2.2.4 模块化生产，标准化装配技术

柯马的动力总成装配线已经全部实现模块化生产，其中 70% 是通用模块，20% 是特定工艺下的专用标准模块，10% 是工装夹具等。柯马最新的 SmartCube 加工制造系统延续了柯马的模块化装配理念，是一套完整的标准解决方案。该系统由四大产品构成[6]：标准的自动化装配工位 SmartRob，该装配工位符合精益生产（Lean Production）标准，能够适应大多数动力总成装配流程需求；气缸盖串联装配的模块 SmartBox，该模块适用于不同的气缸盖配置、类型和气门角度；中小批量自动化安装的并联装配工作站 SmartCell，该工作站有很多伺服轴和工具库，可以完成变速器或缸盖的自动装配；用于满足手动装配操作需求的 SmartMan。SmartCube 系统化的装配技术可优化生产流程、降低作业成本并缩短生产周期，可将手动、自动、半自动、机械化、串联与并联单元全部标准化。

2.2.5 领先技术——双臂装配机器人

双臂装配机器人可以完成比传统的单臂装配机器人更为复杂的装配动作。由于双臂装配机器人结构比较复杂，应用多集中于高精尖产业，目前尚未大面积普及应用[1]。2015 年，柯马推出了创新

的双臂拟人机器人 AMICO（中文译意：朋友），它拥有多角度旋转自如的手臂、灵活程度可与人手媲美的抓手，以及独特的感应力和超强的灵活性。AMICO 机械臂有两个多关节三指夹具系统，可灵活抓取不同的物件，其中两个指状装置可以通过改变方向，使其适用于各类工业应用场景；夹具表面的传感器还可以帮助 AMICO 识别不同物件的表面，并自动调整最佳抓取力度。相比于传统单臂机器人，AMICO 拟人化的双臂设计使其可以通过一个控制单元同步协调两个机械臂间的无缝合作 [7]。

2.2.6 绿色工程（ECO Engineering）——可持续的解决方案

柯马一直致力于向客户提供创新和高效的工程技术解决方案，以提高生产效率，降低能耗，最大限度地减少对环境的影响。正是基于此理念，柯马创立了 ECO 事业部，旨在为不断降低能源消耗和碳排放提供可持续的制造解决方案。2014 年柯马推出了采用微润滑技术的干式切削机床 Urane25V8 卧式加工中心。传统的机械加工是湿式加工，切削液需要循环，而且不能停止，一旦停止就会有沉淀，而使用微润滑技术就省去了这套循环系统，仅此一项即可节能 25% 左右 [7]。在离散制造企业中一般会产生繁多的纸质文件，如工艺过程卡片、零件蓝图、三维数模、刀具清单、质量文件、数控程序等，但柯马数字化生产工厂已经实现生产文档无纸化，践行了高效、绿色制造和低碳生产的发展理念。

2.2.7 全球布局 + 本土化发展

柯马通过全球化的布局从全球范围考虑市场与资源分布，广纳全球人才，调动各地优势资源，增强产品竞争力，提高竞争优势，最大限度地实现总体效益最大化。柯马已在全球 13 个国家布局了研发中心、运营中心和制造厂。以柯马在中国的发展为例，1997 年柯马进军中国时，设备、产品和零部件主要靠国外进口，中国国产化程度不足 20%；2000 年，柯马（上海）汽车设备有限公司成立，积极倡导“欧洲技术，本土制造”的理念，开始逐步实现中国本土化生产，一些设备和零部件开始在中国生产制造，中国国产化水平提高到 40%；为满足中国客户的定制化需求和快速增长的中国市场，随后在中国成立研发中心；2007 年柯马又提出 100% 本土化的目标，着力培养本地技术人员和管理人员，逐步实现高管人才和技术人才本地化；2011 年，柯马在江苏昆山高新区投资设立了柯昆（昆山）自动化有限公司（以下简称柯昆公司），积极开拓机器人设计制造、加工设备制造，自动化系统制造、技术支持、销售及相关服务等业务，中国本土工程师已经可以自行完成工艺制定、装备设计及系统集成等。柯昆公司作为柯马亚太地区的制造中心，主要为中国客户服务，并扩展辐射到亚太地区乃至全球服务业务。

2.2.8 重视用户体验——定制化服务

客户的满意度在柯马机器人发展策略中始终居于首位。柯马不按固定的目录销售解决方案，而是深入到制造过程的核心，与客户持续和反复沟通，一起研究开发最优的解决方案。柯马认为没有两家公司是完全一样的，而且每条生产线都有其特定要求，所以在设计、实施、安装、生产启动和维修保养等各个阶段，柯马均为客户提供定制化服务。服务内容包括：在柯马或客户的工厂按客户需求量身定制课程；进行多语种讲座培训，通过远程诊断和先进的远距离服务进行在线支持，专业技术人员在客户的车间提供技术帮助、备件库存和改造服务，以及制定世界各地通用的维护计划等。以 SMART 机器人为例：柯马所提供的完整服务，能够让 SMART 机器人在整个生命周期都处在最佳运行状态。

3 启示与建议

随着劳动力成本上升，人口红利逐渐消失，中国制造业对工业机器人的使用需求日益旺盛，2013 年中国工业机器人采购量达到 3.65 万台，首次超过日本成为全球最大的工业机器人市场。目前中国工业机器人企业技术创新能力还不强，在关键技术和市场应用方面与发达国家还存在不小差距，特别是机器人产业链关键环节缺失，核心零部件依赖进口，高端产品质量可靠性还较差。

国家高度重视工业机器人产业发展。《中国制造 2025》将机器人作为重点发展领域。2016 年工信部、发改委、财政部联合印发了《机器人产业发展规划（2016—2020 年）》，提出了率先突破弧焊机器人、人机协作机器人、双臂机器人等 10 大标志性产品，大力发展高精密减速器、高速高性能控制器、传感器等 5 大关键零部件等主要任务 [8]。

“十三五”时期是中国工业机器人产业发展的关键时期，应把握国际机器人产业发展趋势，抓住产业发展机遇,推动工业机器人产业持续健康快速发展。

通过对意大利领先的工业机器人企业柯马的技术优势、先进的经营管理和发展理念进行梳理，结合国内产业发展现状，提出以下建议：一是加大研发力度，突破关键核心技术。柯马的成功，离不开领先的技术这一核心竞争力。目前我国大部分工业机器人企业以组装和代加工为主，处于产业链低端，不掌握核心技术，发展受制于人，这对企业的长远发展极为不利。二是培育龙头产业，形成产业集聚优势。意大利以柯马为代表，工业机器人企业在北部集聚，带动了该地区汽车、智能制造等相关产业的发展。建议国内围绕核心企业布局配套产业，实现工业机器人全产业链及其下游产业的协同发展。三是加强政府引导和监管，规范市场秩序和补贴行为。柯马始终以市场为导向，以用户为中心，这是其不断创新的动力。据调查，2016 年国内 4 家领先的机器人企业获得的政府补助占净利润的比重高达 30%，这不仅有违市场竞争规律，破坏了市场环境，而且对企业发展也不利，国内机器人市场环境需要进一步优化。四是推进国际合作，充分利用国际资源。柯马的全球化发展战略不但拓展了国际市场，而且利用了国际人才和智力资源。建议中国工业机器人企业也努力“走出去”，通过在海外设立研发中心等多种方式，利用发达国家的智力资源提升企业竞争力。■

参考文献：

[1] 计时鸣，黄希欢 . 工业机器人技术的发展与应用综述 [J]. 机电工程，2015，32（1）：1-13.

[2] Steven Crowe. Industrial robot sales increase 29% worldwide, IFR reports[EB/OL]. (2018-06-20)[2018-06-21]. https://www.therobotreport.com/industrial-robot-sales-29-worldwide/.

[3] IFR. Executive summary world robotics 2017 industrial robots[EB/OL]. [2018-03-14]. https://ifr.org/free-downloads/.

[4] Comau. Comau manifesto [EB/OL]. [2018-03-17]. https://www.comau.com/it/questa-e-comau/manifesto-comau.

[5] Sarah A Webster. Flexible manufacturing for future with mixed materials[J]. Advanced Manufacturing, 2015, (9): 89-96.

[6] Automotive Business Review. COMAU products: world class automated assembly[EB/OL]. [2018-03-17]. http://www.automotive-business-review.com/suppliers/comau/products/world-class-automated-assembly.

[7] 梁霄 . 柯马机器人：传承意大利制造艺术 [J]. 机器人产业，2016（2）：108-113.

[8] 工业和信息化部 . 三部委关于印发《机器人产业发展规划（2016—2020 年）》的通知 [EB/OL]. (2016-04-27)[2018-06-18]. http://www.miit.gov.cn/.

The Advanced Technology and Concept of Italy's COMAU Industrial Robots

MA Zong-wen[1], CAO Jian-ye[2]

(1. China Science and Technology Exchange Center, Beijing　100045;

2. Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing　100862)

Abstract: Industrial robots integrate a variety of high-tech, and are known as "the jewel in the crown of manufacturing". Italian COMAU Industrial Robots are among the world's leading in the field of automotive manufacturing. COMAU's production system produces more than 20 million vehicles a year, accounting for nearly one-third of the world's annual automotive production. This paper systematically combs Comau's advanced technology, experience and development concept in the field of industrial robots, and proposes relevant suggestions, hoping to provide reference for the development of Chinese enterprises.

Key words: Italy; industrial robot; COMAU; advanced technology and concept