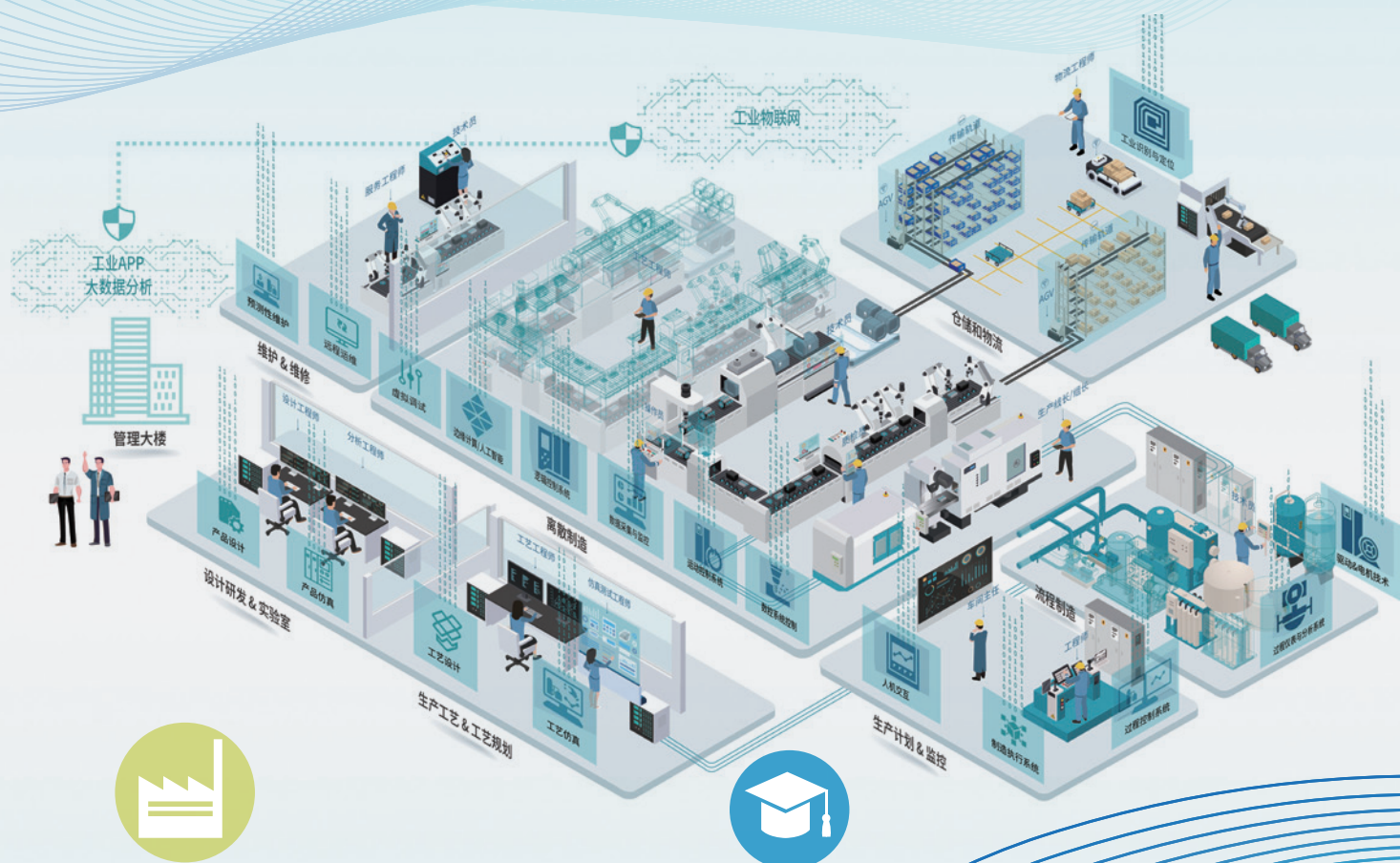




数字化时代 工程教育白皮书



序言

人类的工业史，从机械能代替人力、畜力作为新动力发端；由“流水线”生产方式替代“小作坊”正式进入工业大发展；电气化和自动化的大规模普及应用则彻底改变了人类生产生活方式，从而奠定了人类现代文明的物质基础，而数字化和智能化将指引我们走向更远的未来。

2019年，西门子将工业自动化、驱动和工业软件业务的相关部门进行整合，正式组建“西门子数字化工业集团”。这一举措体现了西门子基于对工业4.0的深刻领悟和成功实践，因此而进行的全方位的数字化工业转型。

在当今数字化、智能化浪潮奔涌而至的时刻，制造业，特别是渴望迈向智能制造的中国企业当下面临和即将面对的数字化人才困境触发我们深入思考：西门子如何为中国的工科教育，特别是工程教育如何培养出有中国特色的新一代数字化工程师贡献自己的绵薄之力？

结合西门子多年以来对制造业的理解和经验，本书系统地分析了制造业中关键岗位面临的数字化挑战，分享了我们对于制造业关键岗位数字化能力模型的理解。

西门子认为我们的工程教育要**重构自动化和数字化全面融合的知识结构，打造面向数字化的制造业关键岗位人才培养模式体系。**

希望本书能够为教育界和制造业的相关从业者提供一些思路，分享一些经验。

感谢参与编写本书的同事们的辛苦努力！

西门子数字化工业集团

Wang Hui Fan

目录

中国制造业数字化时代的春天已经到来.....	4
竞争加剧了制造业转型的速度	4
人才是制造业数字化转型核心要素	5
中国制造业领军企业的数字化实践	6
自动化是制造业数字化的基石，其关键技术仍在不断前进和发展	9
自动化是制造业数字化的前提和基石	9
自动化技术在源源不断地向前发展	10
西门子对制造业关键岗位的数字化能力模型的预测	21
西门子数字化工业集团的数字化技术发展历程	21
西门子工业数字化领域主要并购、研发大事记	22
制造业关键岗位数字化能力模型的预测.....	24
自动化 + 数字化是未来制造业人才的能力框架	38
西门子中国数字化工业集团致力推动中国工程教育、职业教育数字化转型.....	39
西门子教育合作历程	39
西门子教育合作框架	40
专业术语表	42

中国制造业数字化时代的春天已经到来

自 2008 年全球金融危机以来，世界各国开始重新认识实体经济对于国家立足与发展的重要意义，经过后续数年的研究与探索，以德国、美国为代表的世界制造业强国陆续发布诸如工业 4.0、工业互联网等一系列有关于制造业振兴与发展的战略规划，以支持和推动制造业数字化、智能制造的发展，重塑制造业竞争新优势。

世界制造强国的一系列举动，引发了全世界对于制造业的广泛关注。制造业为了更高效地满足客户对于新产品迭代速度、个性化定制、交付周期、产品质量等方面的需求，同时降低成本、提高效率开始采用更多自动化、数字化、网络化，乃至智能化的产品、技术与解决方案，实现转型升级。于是一场由市场竞争触发，由自动化技术与数字化技术全面融合所引领的第四次工业革命悄然拉开帷幕。

竞争加剧了制造业转型的速度

以数字化、自动化为代表的先进智能制造技术的快速发展，以及跨领域技术之间的全面融合，无疑对制造业的转型升级产生了巨大的推动作用。数字化双胞胎通过数据在现实物理世界与计算机虚拟世界之间的双向流动与闭环反馈，使产品的优化迭代更加有的放矢，使新机器、新设备的研发更加敏捷、更少出现错误与返工，确保车间级生产任务执行更加科学与高效。以工业互联网平台与边缘计算打造的云边协同解决方案，通过数据的综合利用，让企业日常管理运营决策更加得心应手。依托数字化的技术手段能够帮助工作人员减少规避主观错误，同时保持人工作业的灵活性。凡此种种，都在相当程度上，改变了制造业的日常。

技术仅仅是为大家提供了更加高效的使能工具，并不是促使制造业变革与发展的根本驱动因素，真正的根源，来自于日益激烈的市场竞争，制造业生存与发展的压力大幅加剧。外部市场供求关系的天平逐渐向买方倾斜，终端用户拥有了更多选择、开始越来越多地追求个性定制化，制造业传统的商业逻辑与运营模式遭遇到了空前的挑战。为了迎接挑战，

制造业不仅需要在传统的制造工程方面做到卓越，还要构建起符合自身业务需求的数字化框架，具体包括：

在创新过程中，以更快的新产品迭代速度去响应瞬息万变的市场需求；在制造工程中，以更加柔性的制造体系满足客户日益增长的个性化定制需求、以更短的交付周期换取客户更高的满意度；在质量保证体系中，以更加完善的闭环管控体系持续为客户提供高质量的交付。

在制造业大规模部署数字化和工业网络的进程中，确保生产体系和工业信息安全也是一个重要的技术发展领域。

这些诉求，驱使制造业必须采用数字化、智能化等先进技术对自己进行武装，借此实现转型升级，以更强的自身实力在竞争中保持优势，成就更强大的自己。通过践行数字化之路，以求在未来发展与竞争中占得先机，已然成为业界所公认的制造业向高水平迈进的必由之路。

人才是制造业数字化转型核心要素

制造业数字化转型并非单纯的技术问题，工具与手段之外，尚有路径与方法，以及战略、组织、人才等问题亟待解决。根据以往的实践经验，数字化转型过程中，技术反而是最容易解决的问题，恰恰是诸如战略、组织、人才、运营、管理等方面的问题，才是数字化转型走向成功的决定性因素。

在上述决定性因素之中，人才是最为关键的一环。打造一支兼具数字化转型的先进意识、跨领域融合的知识体系、强大的技术实施能力与丰富的项目落地实践经验的数字化人才队伍，能够为企业未来持续推动数字化转型与价值创造提供不竭源泉。

制造业在数字化时代所需要的人才，需要具备全新的知识体系与能力模型，在专业能力方面，既需要对其所服务的下游客户行业与专业领域具备足够深入的理解与认知，又需要掌握能够助力行业转型提升的专业数字化技术与工具使用方法，与此同时还要兼具以企业战略与业务为导向的整体系统思维、卓越的突破创新与实践能力、对海量信息加工处理与总结提炼的能力、以及快速持续学习提升迭代的能力。

在随后的章节中，我们将对此进行更加全面而详实的解读与论证。

中国制造业领军企业的数字化实践

回首制造业发展历史，各行各业的领军企业，无疑扮演着开拓与先驱者的重要角色，他们通过创新、探索与实践所实现的成就，不仅为其自身持续创造收益与价值，使其竞争优势得以延续，同时也为业界树立了转型升级的完美样本。

全价值链数字化解决方案助力中信戴卡

全球领先的汽车零部件制造商中信戴卡股份有限公司（中信戴卡）自 2010 年开始进行数字化转型。从单机数字化尝试到工厂数字化交付。以产品生命周期管理软件（PLM）、制造执行系统（MES）和全集成自动化（TIA）为核心，采用了完整的数字化企业解决方案，打造真正的数字化工厂，实现企业价值链的数字化全集成，竞争力得以持续提升。

以中信戴卡秦皇岛总部和浙江宁波分厂当年新建生产线为例，与传统生产线相比较，新型轮毂生产线已实现 1 人管理 12 个机台，并且书面文件几乎为零，换型调整的工作时间缩短了 90%，工程整体效率提高 30%，不良产品率降低 30%，将柔性生产发挥到了极致。

在此后的 10 年时间里，中信戴卡在数字化双胞胎、工业人工智能等领域，持续进行战略前瞻意义的探索和实践，并取得了卓有成效的成果。中信戴卡已然成为国内汽车零部件智能制造的典范。

北汽新能源汽车数字化工厂 — 全产品生命周期管理解决方案

北京新能源汽车股份有限公司作为中国纯电动车市场的领军品牌，于 2015 年在青岛产业基地成功打造了集团首个纯新能源车数字化工厂，自投产以来工厂一直保持着高速发展。

在工厂规划之初，北汽新能源就采用了软硬件一体的数字化企业解决方案和专用于汽车行业的生产标准，还为公司六大系列数十款产品线建立了全产品生命周期的数据传输架构和档案管理系统。

得益于整体的数字化规划，所有从设计、工艺到制造阶段的档案都能在第一时间保持同步。已经成熟的工艺和方案也可以在研发阶段直接移植到新车型上，知识的复用既节省了成本，也加快了新车型的上市时间。

在产品设计、生产环节的数字化双胞胎应用，不但能够帮助北汽集团在虚拟环境中执行生产可行性分析并挑选最佳制造流程，而且能够协助工程师在研发前期就对整车的热、噪声、里程等关键驾驶体验参数进行优化。

在工厂实际落地阶段，全集成自动化解决方案（TIA）则助力冲压、焊装、涂装、总装四大制造工艺车间，让各项规划绩效指标在实际生产过程中得到切实保障，实现了工厂整体平稳、高效、安全的生产和低成本运营维护。

娃哈哈软饮个性定制化生产线 — 快速消费品大规模定制化生产

饮料制造业龙头企业娃哈哈，2017 年对其杭州下沙工厂的纯净水、含气饮料高速生产线进行了数字化改造升级。具体而言，主要聚焦于制造工程，实现了对生产设备的使用状态、能耗以及生产过程信息的综合可视化、监测与异常预警，对产品质量进行闭环管控与追溯，同时实现了不同外包装饮品的个性化定制与混线生产。

以数据驱动替代了经验驱动，不但全面提高了运营管理与生产效率、能源使用效率，而且有效降低了产品质量问题与风险，以及由此所造成的成本损失，在业内具有先进性与示范意义。

中航新大洲航空制造有限公司航空零部件数字化制造 — 机械行业数字化制造车间管理样板

中航新大洲航空制造有限公司是针对国际商用航空发动机零部件制造需求建立的制造型企业。主要客

户为国际主要商用航空涡扇发动机制造商，其产品装备波音和空客主力机型，占国际商用涡扇发动机市场重要份额。

中航新大洲生产过程是典型的机械行业离散制造，区别于传统机加领域，航空零件具备材料加工困难，质量要求严格，工艺复杂等特点，生产设备均为高端数控机床，操作人员通过人机对话管理设备，属于高端装备、先进制造领域。为满足严格的国际航空发动机质量标准，并通过严格的审核。该公司的数字化制造需求主要针对两个方面，一是通过规范化加工过程的管理，改进流程和消除差错；二是提高机床设备效率，规范数据收集接口和提高数据收集的效率和准确性。

通过采用了数字化数控车间管理软件、科学透明的数字化管理平台对加工条件和机床加工环境进行高水平控制，以改善质量作为数字化实施的切入点。在设备联网同时，制造现场实现了快捷高效的加工程序管理、刀具管理与机床生产性能分析等。以改善质量作为数字化实施的切入点。不仅将监控到的综合数据统计到服务器，便于维护，同时将数控设备综合效率 OEE 提高到 80%，显著超越行业平均值！

中国商用飞机有限责任公司大飞机数字化双胞胎虚拟机床实验平台 — 机械加工领域切削仿真与优化范式

中国商用飞机有限责任公司（COMAC）是我国实施国家大型飞机重大专项中大型客机项目的主体，也是统筹干线飞机和支线飞机发展、实现我国民用飞机产业化的主要载体。

典型产品如 ARJ21 飞机、C919 大飞机等。

COMAC 作为中国航空航天领域的领军企业，对实现数字化升级转型有着深刻的理解和技术实力。COMAC 依托数控数字化双胞胎技术，将虚拟数控内核集成到 CAM 软件，搭建了数字化双胞胎虚拟机床数字化实验平台。

通过搭建好的虚拟机床数字化实验平台，COMAC 可运行虚拟机床解决方案，对飞机尾翼多轴生产工艺进行数字化的加工代码验证，机床参数优化，加工工艺优化，加工时间预测，操作员培训等等。所有的数据和模型，都基于 COMAC 的真实生产数据，极大程度还原真实生产，紧密贴合实际需求。

此外，数字化双胞胎虚拟机床数字化实验平台与数控机床状态分析、自适应控制及机床状态监控相结合，在优化机床状态、分析机床利用率、确保机械加工稳定性的同时，有效避免了机械加工过程中的碰撞停机，确保机械加工的生产稳定与效率提升。

青岛炼化数字化工厂 — 一体化工程到一体化运营最佳实践

中国石油化工集团公司是中国最大的成品油生产企业，炼油能力居世界第二位。伴随着日益激烈的全球竞争、发展与环境保护的矛盾以及石油资源的制约，企业面临着严峻的挑战，作为中石化旗下最先进的炼厂之一，青岛炼化从 2008 年开始投入运营，并逐步推进智能工厂数字化建设，以提高企业核心竞争力。

青岛炼化在探索智能工厂建设的进程中，已经建设如下关键系统平台：工厂建立先进过程控制系统，结合工业信息安全解决方案，提高了生产稳定性，工厂信息安全水平，确保生产长期安全运行。在设备域管理方面，青岛炼化建立了完善的设备全生命周期数据库和设备管理协同平台、实现了设备全生命周期管理。对于关键设备，青岛炼化还部署了基于大数据分析的工业设备预测性维护系统，实现对关键设备的预测性维护，有效帮助工厂减少设备维护成本并降低非计划停车风险，优化了生产安全性、持续性和灵活性，保障了工厂的稳定运行。

中石化青岛炼化公司还在继续积极探索智能工厂建设，向着智能化工厂的目标稳步迈进，力争打造石化行业智能工厂新标杆。

宝武炭材 — 引领行业智能制造转型

作为宝武集团“一基五元”战略中新材料业务的核心组成部分，宝武炭材以成为中国新型炭材料行业的领先者为愿景，并持续积极推动传统企业的数字化转型。

在宝武炭材的数字化转型升级过程中，面临质量、成本以及生产稳定性方面的压力，同时如何实现以上海本部为中心的“一总部多基地”协同运营管控也是其转型中的一大挑战。基于其实际情况和发展需求，宝武炭材首先规划了面向“工业 4.0”的智能制造蓝图，明确了 12 个模块来探索通往未来愿景的路径，打造具有国际竞争力的“一总部多基地”数字化工厂。

在宝武炭材全新的数字化工厂里，通过建立先进的过程控制系统实现了生产的高度自动化，从而显著降低员工的劳动负荷，提升生产效率。协同工厂设计软件系统为工厂提供了从数字化设计、交付到数字化运维的一体化解决方案。同时宝武炭材深知信息安全对于工厂的重要性，从客户业务模式出发，结合工控安全标准，为其打造基于态势感知的网络信息安全纵深防御解决方案，帮助宝武炭材实现安全可感知、可控制、可管理的目标。

在宝武炭材的带领下，经过与战略合作伙伴的通力合作，宝武炭材数字化工厂已经于 2019 年 6 月 30 日正式投运，为中国冶金、煤化工、新材料等领域生态圈智慧转型发展树立标杆。

北京奔驰汽车 —— 数字化和人工智能实现预测性维护

北京奔驰汽车有限公司是一家现代化的高效率工厂，大约每 40 秒可以生产一辆成品车。冲压车间是汽车四大生产工艺的首个环节，冲压生产的效率直接影响着整个生产线的综合产能，一旦发生设备故障或者停机，整个工厂都将被迫停产等待。在冲压工艺中，大量高功率加工设备的机械运动，造成持续的振动，对设备的持续运行造成巨大的风险。

如何检测各种精密设备的震动状态和工作状态，直接反映着加工过程中的设备健康状况，是设备安全评估的一项核心指标。然而，振动分析极为复杂，产线上多种设备和众多组件之间的振动相互影响、叠加，形成一场大型“复合”振动，只有经验丰富的领域专家才能“读懂”这些动态交错的信号。但专家无法全天候实时监测，尤其在伺服压机应用场景中，速度、位移、压力等都在不断变化，单凭人力更难以捕捉复杂的加工过程。当人力不可为，关键的设备需要提前预测故障，如何通过数字化和人工智能产生价值，解决关键问题，是制造业生产运维的趋势性选择。

数字化工程师为冲压车间生产线上的关键设备加装了 70 多个传感器，每个传感器每秒可采集 20000 多个数据点。数字化专家和工程师团队基于机器学习技术在云端对收集上来的海量数据进行分析，将专家经验与人工智能技术相结合，实现对关键设备的预测性维护。现场海量的数据，有了人工智能算法分析的帮助，针对加工过程中的振动分析会更加精准且全面，每当车间某处电机处于异常振动状态，系统会自动通知维修人员，预测故障，工作人员提前处理，避免非计划性停机，保证了产线的高效运行，帮助工作人员有的放矢的安排运维工作。数字化和人工智能在预测性维护的应用，帮助企业预先做出故障的判断和调整，实现了关键生产的预测性维护，做到了真正的“未雨绸缪”，保证了产线的连续运行。

数字化和人工智能预测性维护系统运行以来，已经多次成功的提前数周预测到了设备核心部件的潜在故障风险，及时告知维修工程师，并在检修工作计划中及时更换了替代备件，提高设备的可靠运性和智能性，有效降低了冲压车间的停机时间和维修成本。数字化技术，时刻在生产中创造价值。

自动化是制造业数字化的基石， 其关键技术仍在不断前进和发展

自动化是制造业数字化的前提和基石

工业革命的历程告诉我们，自动化技术 60 多年的不断发展以及与信息化的不断融合促成了工业 4.0 时代的到来。形象地讲，这就是制造业的互联网+，自动化技术依然是制造环节中的基础和数据源。

自动化技术的范围

自动化技术涵盖了 PLC（可编程逻辑控制器）、HMI（人机交互界面）、CNC（计算机数字控制系统）、伺服驱动系统、工控机、DCS（过程控制系统）、仪器仪表、工业通信网络、电机等各种现场级控制系统、传动系统和传感器。他们承担了单机设备或生产线的控制作用。许多生产工艺通过自动化系统得以实现，并生成了各种控制程序、加工数据、质量数据等。

自动化技术在国内的应用方兴未艾

如今，欧美发达国家的制造业已经逐渐步入工业 4.0 时代，国内部分领军型企业也已布局智能制造，建设了一批数字化样板工厂。中国是制造业大国，全产业覆盖，大至大型发电设备，汽车，小至打火机、螺丝钉、药片，工业发展水平参差不齐。众多中小企业还普遍处于工业 2.0 甚至工业 1.0 的手工时代。由于劳动力成本的不断攀升，中西部地区工业化程度的提升，招工难已经是东部经济发达省份的共同难题。因此，广大的中小企业更需要解决生产效率的提高、生产成本的降低，以及投入产出比的平衡和生产工艺的程式化与标准化，通过生产设备或过程工艺自动化，他们将迈上工业 3.0 台阶，这个实现过程需要大量的自动化、机电一体化人才。国家对此非常重视，各级政府也出台了相应的引导和扶持政策，例如“机器换人”，“新旧动能转换”等。

自动化设备是数字化技术的执行系统和信息源

数字化时代，数字化双胞胎技术的“虚拟”软件将设计、仿真或模拟成功的控制程序、加工程序下载到自动化设备中，从而实现“现实”生产制造。在此过程中，自动化设备又会产生各种中间数据，包括生产数据、质量数据、能源消耗数据、设备维护数据、乃至安全监控数据等。一些自动化厂商已经具备了完整的自动化集成平台，使得自动化软硬件实现了底层数据和控制层数据的横向集成和纵向集成，再通过生产制造执行系统或数据管理平台上传到各种管理系统、工业互联网平台，实现无缝连接，敏捷生产，并通过数字化手段不断进行产品的优化和迭代。

工业物联网 (IoT, Internet of Things) 依然需要自动化系统

工业互联网的理念推出，以及国内外厂商相关产品的大规模推广应用，解决了生产车间可以直接上云的问题。可是上云基础是建立在及时、准确的产线自动化设备数据上的。

工业互联网应用的目的是生产过程可视化、模型化和可移动性，通过数据分析持续改进。工业互联网的应用需要用大量的数据支撑，以达到大数据分析或人工智能的优化目的。最有效的方式是读取规范化、可靠性和及时性强的数据，而这些都需要通过自动化技术来实现。因此，工业互联网并不是自动化的迭代，而是基于自动化技术和数字化技术全面融合的延展。

自动化技术在源源不断地向前发展

随着电子技术和计算机技术的发展，自动化技术自身也在不断发展。例如过去，机床数控存储技术就从最开始的穿孔纸带，发展到磁带，进而到磁盘、硬盘、USB，以及网络存储；又如，数控机床的传动系统从最早的直流伺服系统发展到交流伺服系统、电主轴控制系统、直线电机系统等。自动化产品从独立的产品，发展到自动化集成平台，与数字化技术深度融合。当下，自动化技术依然青春常在，除了自身产品技术的发展，为了拥抱智能制造大时代，增材制造、边缘计算、人工智能等技术方兴未艾，工业 5G 通讯技术呼之欲出。本章，我们将着重介绍自动化技术前沿发展状态以及未来发展的关键技术领域。

控制技术的技术变革

(1) 离散自动化控制系统更加集成化

为了在制造业的核心区域部署数字化、智能化，自动化控制系统本身也在发生巨大的变革。根据数字化的工作流程，控制系统从之前单一的控制元器件（如 PLC 可编程序控制器）来实现系统功能，发展、演变到满足数字化、智能化的全集成自动化系统框架。

全集成自动化框架即统一的组态和编程工具、统一的工业实时数据库管理和统一的标准化通信协议集，是集统一性和开放性于一身的引领未来的自动化技术。**它通过一个工程平台实现原来由多种系统搭配起来才能完成的所有功能。**应用该解决方案，可简化系统结构，减少接口部件，并消除系统内部的数据孤岛。提供从数字化规划设计到一体化工程集成，再到透明的运行管理。同时平台能够通过仿真工具等来缩短产品上市时间，通过附加诊断及能源管理功能提高制造业的生产效率，并通过连接到车间级及企业级管理系统来提供更大灵活性。

这种工程方式将使系统集成商和设备制造商以及制

造业运营商在数字化的市场竞争中获得优势。自动化平台会与生产执行系统以及 ERP 系统一起，构成数字化企业套件，帮助制造业公司踏上通向自动化、智能化之路。

(2) 流程工业自控系统更加模块化、标准化和网络化

流程自动化控制系统将具有更高的灵活性、可扩展性、可用性、安全性。满足当下需求，应对未来挑战，模块化、标准化和网络化将是流程自动化向智能化方向发展的必然趋势。

模块化，基于流程工业用户提出模块化生产的需求，控制系统将更多采用 MTP 方式（Modular Type Package 模块化类型包），它将最大程度保证系统或 OEM 成套设备的私有性同时也使不同子系统的集成实现快速的即插即用。

标准化，大型化是中国流程工业发展的一大特点，10 万点以上的一体化工程项目不断涌现。如何简化工程的复杂性提升效率是流程工业用户关心的问题。应用 ISA S88/S106 标准化将是控制系统的发展趋势。在数字化一体化工程运维实践中，基于这一标准化概念的具体应用在工程阶段，仿真阶段和自动化系统实施中。不同阶段和不同平台对应的数据实现数据双向流动，最终降低工程复杂度，提升工程效率。

网络化，互联网技术的融合赋予用户对自控系统更多的自主性和灵活性，超文本标记语言（HTML5）在自控系统的使用，使用户可不依附任何硬件独立于任何操作系统和平台并可叠加网络安全技术进行接入操作，不同用户在信息安全保障的前提下不同地点协同工作成为了现实。自控系统的网络化全集成应用也为大数据应用奠定基础。

(3) 工业软件平台的一体化

系统平台可以通过完整的自动化任务软件包优化工程组态，并支持所有配套的控制功能。基于平台

的系统具备执行规划，组态可靠性高，调试和参数设置快速等特点，并提供了诊断功能以及与维护相关的监控功能。并且能够共享数据库数据，实现统一的编程管理。这些软件不但能够无缝的部署各个硬件系统，可以通过更加开放的接口支持更多应用，而且可以通过 Openness 高效自动生成控制程序代码；除此之外，基于平台的各个软件可以向上兼容管理执行系统和 ERP 系统的功能，并在云技术和虚拟仿真技术上给予支持。同时在新的数字化工业应用中，不断增加的数字化和自动化给它们所依赖的软件系统不断提出新的挑战。相应的设备和系统需要有极高灵活性和故障安全性和信息安全性，控制系统平台将这些软件都无缝集成到自动化环境中，各个组件紧密链接，也相对独立，构成了一个有机而灵活的整体。因此可以用高效且可管理的方式将自动化与数字化的各种功能联系在一起，这也是数字化解决方案中最重要的需求特性。

(4) 工艺与诊断智能化

硬件控制器应具有高度智能化的诊断能力，集成在系统中的诊断功能可确保错误消息以完全相同的文本信息显示在人机界面上、Web 服务器中以及 PLC 的自显示屏上。组态和诊断报告通道以用户友好的方式集成在系统中，提供更好的系统可用性。为支持数字化应用，所有 PLC 都支持示踪功能。这样就能对用户程序和运动应用执行精确诊断并对驱动装置进行优化。若发生故障，可以快速识别并精确分配相应通道。这就缩短了停产时间，提高了工厂可用性。

自动化系统还可以通过集成 AI 芯片，在控制器机架或者分布式 I/O 系统中布置人工智能系统。可以使用神经网络分析视频、声音等数据，在生产过程中布置机器学习算法，也可以有效地执行分拣 / 放置应用或基于专家系统的质量检验。

PLC 系统配套的神经处理器模块（NPU）可以使用专用的视觉处理器（VPU），实现神经网络的高效

处理。通过配有的 USB 接口和千兆或万兆以太网端口，通过 SD 卡等存储系统获得训练过的神经网络中的功能。传感器的数据和来自 CPU 程序的数据，在神经网络的基础上进行处理。借助机器学习算法，诸如生产工厂的视觉质量检验或图像引导的机器人系统等应用将得以有效实现。这些行为从而变得更高效、更像人类专家。

用户可以在 NPU 模块的集成接口上连接可兼容的传感器，例如摄像头或麦克风，传感器数据和来自 CPU 程序的信息，利用神经网络进行处理，处理的结果再在 CPU 程序中进行评估。利用传统图像处理技术识别工件时，必须极其精准地设置每个工件的数据；而应用学习算法对所识别的图像数据进行分析，工件数据的设置在一定程度上可以更加灵活。

另外，例如在分拣 / 放置应用场景里，体现在移动机器人能够识别、分拣并放置随意摆放在箱子中的部件。

还有，在质检方面，人工智能系统的应用也将带来附加价值，例如利用联网摄像头所采集的图像或数据对神经网络进行不断训练，模块将像专家一样具备判断产品或工艺一致性、颜色和质量参数的知识。

面对不断发展的技术和应用需要，PLC 控制系统也能够推陈出新，将更多未来的智能技术整合到工业应用场景。

(5) 调试方式虚拟化

自动化系统设计过程中错误发现的越晚，消除错误的代价就越高昂。对于机器制造商和工厂运营商来说，在开发过程中尽早开始问题排查尤其重要。目标是最大限度减少实际调试期间发生的错误数量，确保不发生故障。**虚拟控制系统可实现在办公室中配合数字化运行环境中的虚拟设备、产线进行调试，而不使用工厂生产现场的实际机器设备。**通过在机器仿真期间进行的大量测试，识别和消除设计及功能错误。

(6) 功能安全标准化

机器安全性不只是因为需要遵守严格法规才变得重要；若一切安全运行，那么数字化企业将获益于更短的工程组态时间、更高的工厂可用性以及更高的投资安全性。通过安全集成技术能够实现最优的机器安全性。将安全功能集成到标准的自动化控制器中，通过集成了标准逻辑控制、安全控制的控制系统，确保在生产过程中始终保持这种安全性，确保整个价值链的端到端一致安全性，也将符合国际安全标准的要求。

人机界面的技术变革

HMI 是 Human Machine Interface 的简称，即人机界面面板，是人和机器沟通的媒介和桥梁。在以 PLC 为控制单元的自动化系统中，HMI 可以显示机器的运行参数和状态，如：温度、压力、速度和系统诊断信息，报警信息等；同时借由 HMI 的参数输入，如：电机启/停，速度和温度等参与系统控制，从而完成整个生产过程。

HMI 的发展是随着计算机制造技术的发展而不断进步的。从早期的单色液晶显示屏、串口通讯；到后来的彩色液晶屏、以太网通讯；直至当今的多点触控电容屏、跨平台的物联网通讯，都是集成芯片制造技术的不断提高，IT 技术的飞速发展以及制造成本的不断降低带给广大客户的收益。给每台机器或生产线配上一台或几台人机界面，已经成为自动化行业的标配，这说明人机界面已经成为客户使用体验中不可或缺的一部分，人机界面能更好的反映出设备和流程的状态，并通过视觉和触摸效果带给客户更加直观的感受。

(1) 人机界面的跨平台应用

随着生产数据和连接设备的增加，人机交互应用场景的变化，AR 和 VR 虚拟现实设备的大量使用等新的挑战。HMI 系统需要实现跨平台运行和实时在线访问，足够的系统安全性，同时可以更好的适应于

局域网和广域网，以及跨平台的应用。HMI 系统采用原生 Web 技术、SVG、Javascript 和 HTML5：

SVG 是可缩放矢量图形，可用于所有设备，画面放大或缩写时，不会使图形的清晰度受损

JavaScript（简称“JS”）是一种轻量级，即时编译型的编程语言，这种语言是原生于 Web 页面开发的脚本语言，浏览器通常自带

H5 是第 5 代 HTML 标准，结合了 SVG 的技术，对视频、音频、图像、动画以及与设备的交互都进行了规范。比如：通过 JS 就可以绘图，不用安装 flash 插件就可以实现动画和音视频的播放功能，H5 可应用在不同操作系统的各种设备上

这些原生 Web 技术的应用使得 HMI 的人机交互不再局限于个人电脑 PC，也可以在手机或平板电脑上操作，无论是 Windows 系统，还是安卓 Andorid 或苹果 iOS 操作系统。

(2) 人机界面的边缘扩展

随着网络技术的发展，尤其是工业 5G 在大规模应用，HMI 设备作为边缘设备，可以实现边缘计算 App 应用的部署。客户可以运行自行开发的边缘 App，或者购买和部署商用的边缘 App。从而实现本地管理，对边缘 App 进行下载 / 安装，启用和停止，实现可视化与边缘应用的灵活配合。

边缘 App 的内容可以十分丰富。传统的人机界面具有报警、日志、连接、配方、多点触控等标准功能。新一代的 HMI 设备通过扩展其边缘功能，可以增加满足更多具体需求的 App，如用于云连接的 MQTT App，用于数据处理的数据流 APP，用于消息服务的消息推送 App 或电子邮件 App 等。

(3) SCADA（监控与数据采集系统）成为数字化的数据基础

SCADA 作为生产车间信息纵向集成的数据交换枢纽，对生产过程、生产工序、机器设备和工厂进行可视化及实时操作控制。诸如：实时监控生产过程

中的设定参数和实际运行数据，以及生产过程当中的异常信息，如系统故障、过程故障；以及基于生产单元的参数化、程序化配方管理及作业控制等等。

数字化趋势也使得 SCADA 的功能范畴得到了极大的延伸，尤其是生产设备的效能和生产数据的应用方面。一方面对设备故障进行频率分析或持续时间分析等，识别出影响效能主要原因；另一方面将基于时间的日常维护计划，和基于设备状态以及事件（如报警或故障）的预防性维护计划相结合，智能地分析计算设备维护的最佳时机，跟踪整个维护过程；建立和实施系统化的设备维护流程，最终提高设备效能和降低维护成本。除了实时的监控，SCADA 对整个生产过程的追溯，提供了生产质量和效率优化的坚实依据，如：基于批次的信息归档和报表系统，将生产数据、操作信息、故障信息，甚至实验分析数据以批次角度进行归档和分析，高度透明化的数据通过批次趋势曲线或批次报表灵活呈现，帮助企业快速识别批次质量问题的原因，以及获取最优的生产工艺参数，应用于后续生产中，有效改善产品一致性问题。因此，生产过程信息化可视化工具的掌握就逐渐成为了工程人员的基本要求。

标准化工业通信协议集的变革和最新技术

随着工业化进程的不断推进，以现场总线技术为代表的工业通信协议也经历的进化和发展。

(1) 从 PROFIBUS 到 PROFINET

作为诸多工业现场总线技术当中市场占有率最大的 PROFIBUS 总线技术，是全球市场上领先的工业自动化现场总线，安装的节点数量已超过 6000 万个。该现场总线基于串行总线技术，在 20 世纪 80 年代使自动化领域发生了革命性变革，首次奠定了分布式方案的基础。PROFIBUS 的成功绝不是偶然。PROFIBUS 给所有行业带来价值，它符合国际 IEC 61158/61784 标准和中国 GB/T20540，是通用、开放和坚固的现场总线系统。

20 世纪 90 年代，以太网已遍布于 IT 及工业领域。借助于 PROFINET 标准，以太网技术得以在工业现场大规模部署，并且完美的继承了所有的 PROFIBUS 协议集。今天，很难想象没有这两种总线系统的生产会是什么样子。通过扩展元件，PROFINET 也在过程自动化领域中进行应用。

(2) PROFINET 和 OPC UA — 重要的总线标准

在网络化、标准化或网络安全方面，对工业网络的要求正以前所未有的速度增长。在这些问题重重的领域，基于以太网的 OPC UA (Open Platform Communications – Unified Architecture, 开放平台通信 - 统一架构) 通信标准正在快速发展。凭借其集成的安全机制，独立于供应商和平台的特性，OPC UA 为数字化提供了最佳基础条件。OPC UA 可用于实现垂直连接和机器间 (M2M) 的通信，这是 OPC UA 与 PROFINET 在工业以太网中的优势组合。

OPC UA 是一个重要的组件：开放的、平台无关的通信标准支持与第三方应用程序的无缝通信，并且可以灵活地扩展以满足特定的需求。OPC UA 具有语义功能，它所支持的不仅仅是数据传输，它还包含一个独特的信息模型。认证、授权和加密等成熟的安全机制可保证安全连接。此外，PROFIsafe 机制正准备用于 OPC UA，可实现机器间标准的与功能安全相关的通信。OPC UA 还可以集成到现有的工业以太网中，可以运行在现有的 PROFINET 基础设施上，而不会影响其性能。这就是为什么 OPC UA 作为从控制层级到所有更高级别的 SCADA、MES 和 ERP 系统，甚至云端的首选开放接口。

运动控制及其关键技术及其发展

运动控制领域的最新技术发展

驱动系统及电机做为运动控制领域的典型产品技术已经深入到制造业的各个领域。为了满足企业不断提高产品质量，提升生产效率，升级自动化水平，

降低生产能耗的目标，驱动系统及电机发挥着重要作用。随着技术的不断进步，也不断改进着人类的生活和工作。也给企业生产带来更多的便利。

驱动系统及电机不再只是简单执行任务的单独零件，而是成为一个全面性的系统。驱动系统及电机是整个机电系统的重要单元与动力中心，可以起到调节、平衡、控制整个机电系统的作用。驱动系统及电机作为制造业应用最广泛的电气设备之一，是制造业设备的重要组成部分，随着企业对生产性能指标要求的不断提高，要求驱动系统及电机技术加快向着高效性、高可靠、模块化、小型化、智能化等更高目标发展。

(1) 驱动系统变得更快更灵活

随着制造业不断升级，生产设备要求节拍更快，最终产品换型更快，变频器与伺服驱动器维护更快。因此要求驱动系统有更快的动作响应，更高的核心运算速度，以达到生产设备的节拍要求；要求驱动产品核心处理器为各种应用功能保留足够的运算能力，为功能扩展预留足够的存储空间。以高性能的硬件软件为平台，为不同的应用工况提供可定制化的功能，从而实现更灵活的解决方案。

(2) 驱动系统需要集成安全功能

以人为本，已经成为社会发展的共识。保护人员的安全是不容置疑的生产安全要求。同时，对设备的保护，对关键加工部件的保护也逐渐受到重视。自动化产品功能安全已经从国家管理层面提上日程。未来自动化系统，配套安全功能已成为必然。为了使系统更加简洁，使用更加安全，方便。变频与伺服系统集成安全功能是技术的发展方向。同时，自动化系统的功能安全是系统性功能，为整个自动化系统提供一整套的全集成功能安全解决方案，用带有集成安全功能的总线系统将各个部件通讯起来，自然更加安全，更加简单，更加完善。

(3) 驱动系统满足数字化要求

经过多年的数字化探索与实践，逐渐被制造业的最终用户及从业者认识和接受。数字化的解决方案也从管理顶层，逐渐渗透到生产设备的底层，并有机结合。因此未来自动化系统需要能够提供云服务，价值分析应用，云接入网关，数字化配置与调试工具，虚拟仿真，运行状态实时监控与维护，运行趋势仿真。同时能将上述功能之间的数字化语言统一标准化，实现彼此互认。驱动系统为其中不可或缺的必要一环，需要完成其自身的数字化使命如仿真，远程实时监控；也要能够实现便捷的数字化系统接入，标准化的通讯。

(4) 驱动产品面向行业多元化细分

各行业对变频与伺服系统认识逐渐深入，要求也不断提高。各行业对变频与伺服产品提出了独特的要求：满足性能要求的高性价比；满足应用便捷性的专用功能；满足灵活配置的模块化设计；电网无污染的清洁型驱动系统；各行业应用不一而足，各有不同。因此未来产品也必须满足多样化，多品类，满足不同行业特点，不同功能性能的需求。

现代电机可以为整个机电体系提供能源，也就是说现代电机是动力中心；现代电机也可以起到调节、平衡、控制整个机电系统的作用。电机作为应用最广泛的电气设备，是制造业的重要组成部分，目前我国普通电机的技术已经成熟，随着企业技术水平的提高以及不断采用先进的技术，未来电机技术也将向着高效性、高可靠性、小型化一体化、智能化等更高目标发展。

(5) 电机效率逐步提升

电机体系节能是大势所趋。为提高能效等级，工信部发布了电机能效提高方案完成电机产品升级换代。高效节能技术是一个非常重要的研究领域，高效节能也就意味着电机工作效率的提升。而电机是整个机电系统中耗电量最大的部分，所以它的工作

效率的提升就显得更为重要。要不断更新电机部件的材料，如采用低高频铁耗、高导磁率的高性能硅钢材料，绝缘材料采用纳米材料以及铜转子电机，高性能冷却风机，轴承等，使电机在工作过程中铁磁损耗和铜损及杂散损耗降到最低。另外磁阻电机、PEM 永磁同步电机等满足 IE4 和 IE5 超高能效电机也越来越多地被采用。

(6) 高可靠性延长电机使用寿命

可靠性一直是用户选择电机的重要考虑因素。电机的寿命更长，结构更加紧凑是高可靠性的体现。在设计之初就可对电机的运行状态，工作环境进行精准的模拟，并通过先进的机械仿真，电磁仿真及热仿真的运行，保证设计的严谨性。保证设计和生产的一致性，以便提高电机效率，降低温升，有效延长电机的使用寿命。

(7) 优化设计实现小型化、一体化

电机的小型化和一体化能够有效节约材料，节约空间，越来越受到用户青睐。许多用户对电机的体积和重量也提出了很高的要求。为了达到小型化和一体化的目标，在设计过程中，采用先进技术和优质材料，并坚持优化设计原则，在有效材料不变的条件下，单位功率的重量不断降低，是未来的发展趋势。目前有些公司也在开发小型化的机电一体化的产品：变频器、电机和泵集成在一起，来减少体积，提高运行效率。

(8) 电机系统实现智能化

整个电机控制系统的智能化、网络化和远程操控将是大势所趋。电机智能传感器，能够主动的采集和记录电机的转速，电压，电流，温升，振荡等状况改变，将数据实时的送到云端，通过 APP 进行大数据分析和计算机边缘计算，以对电机的运转状况进行检测和故障诊断。

电机技术已经相对成熟，高效性、高可靠性、小型化一体化、智能化等是未来发展趋势，这为高效电机和智能化电机的推广均带来了机遇。

(9) 电机全生命周期数字化助力智能制造

智能制造要求电机产品全生命周期的数字化。电机产品全生命周期的数字化包括产品的数字化双胞胎模型、端到端的数字化交付、电机产品的数字化智能运维。赋予企业在工厂或设备设计期间使用数字化工具来进行仿真、验证、优化，提高项目交付能力；赋予企业在生产期间柔性化生产，提高产品在市场的竞争力；赋予企业在设备、产线运行与维护过程中的智能化运维，提高设备、产线的利用率，降低运行、维护成本。

随着制造业的飞速发展，驱动系统及现代电机产品做为企业系统层级中的设备层级，为了更好实现与工厂层级中的车间层、控制层互联互通、信息融合从而提升生产效率。这就要求驱动系统及现代电机产品，在满足操作更加人性化、更简单，动态相应更快，运行更安全，更专业，性价比更高，同时全面实现全生命周期的数字化，从而满足企业智能制造转型升级的需要。

机床数控系统技术发展方向

机床工业是制造业的基础，数控系统作为数控机床的控制大脑和执行肌肉，正在日新月异的高速发展。从基础算法架构到控制精度，从单工艺切削到多任务加工，从系统开放性到客户定制，从自动化到数字化等都会面临强势需求和发展。

(1) 数控系统的计算能力进一步提高

通过可参数化的编译循环会成为提高生产效率和实现工艺方法突破的主要技术路径，对应的标准 G 代码使用量将减少。同时，对精度和插补精度及运算能力的要求将会随着对机床性能的更高要求而更加苛刻。参与运算的变量长度目前已经达到 80 位浮点数。这些技术的变化会进一步推动对数控系统核心计算能力的快速发展。

(2) 数控系统的多任务加工成为主流

多任务加工可显著提高零件的试制效率，在个别应用场景甚至成为完成加工任务的唯一选择。这就要求数控系统能够同时处理多种工艺加工任务，并且提供多工艺所需的刀具控制、工艺循环、工作协同和易用操作界面的整体方案。多任务加工意味着在同一台机床上，针对同一个加工任务，在多种切削方法和切削策略当中转换（比如从车削到铣削的转换）。

(3) 人机界面定制化、工艺化快速推进

固化的 HMI（Human Machine Interface 人机界面）已经不能满足各种机床工艺、不同机床用户和行业经验集成的要求。由此，面向操作者和加工任务，具有相当开放性且支持通用开发平台的 HMI 必然成为主流。未来市场需要大量的工程技术人员从事人机界面的定制开发，从而实现更强大的工艺嵌入和知识产权保护。

(4) 边缘计算等技术成为改善切削过程的主要途径

边缘计算 Edge Computing 将会在机床工业得到广泛使用。除了插补运算和位置控制，还有很多现场实时任务，比如使用现场切削轨迹数据的实时工件造型用于工件质量控制，自适应控制确保高效加工效率及稳定性的提升等。**这些任务需要至少以毫秒级实时采集、存储海量现场数据，然后快速分析，产出的结果供数控系统或上位机使用。这就需要边缘计算的同时也要求数控系统能够提供海量实时数据而不影响其核心任务的执行。**

数字化、信息化要求数控系统能够互联互通，基于国际标准协议的数据透明开放成为数控系统的必备特征。数字化双胞胎技术的出现及车间级管理软件（shopfloor）的加快应用，使得数控系统在原有的机床控制器的角色之上，更加主动的参与到数字化制造的更多领域。

一体化工程和运维是流程工业数字化的必由之路

流程（过程）工业是指石油化工、制药、钢铁等连续生产性的流程行业。流程工业智能制造变革基于内外两大因素。外部，流程工业处在原油等原材料价格波动、环境安全法规日趋严格的；内部，流程工业本身有着“提质、降本、增效”为目标的内在结构性变革需求。IT 技术如云计算、虚拟现实、物联网、人工智能、工业 5G 和边缘计算技术的发展与流程工业制造相关的设计、生产和服务进一步融合，更将助力这场数字变革。数字化进程中的流程工业整个流程将呈现各层级间信息更透明化和凭借数据价值的开发利用拥有更快速适应形势变化的敏捷性。

借助数字化孪生执行“假设”场景和预测未来性能，可以令用户获得巨大价值。流程工业中的数字化孪生的最终目标是通过合适的数字基础架构实现虚拟生产与实际生产之间的闭环连接。借助此连接，可通过实际生产的性能的孪生得出虚拟生产中的优化方案，成功仿真并实现方案后优化循环迭代。

*流程工业的数字化专注于两个方向：沿着工厂生命周期的集成，也就是“从集成工程到集成运维”或“一体化工程和运维”。*工厂生命周期中的所有进程都变得更加集成，例如，在数据一致性方面，从可行性研究、基础和详细工程设计、调试到验收测试、由客户接管、工厂运营以及相关维护和服务开始。通过相关工程步骤的集成，可以缩短从工艺和设备设计到运行的时间。集成工程的结果是工厂的数字化双胞胎，数字化双胞胎提供了一个通用的数据模型，并允许为培训目的对工厂进行三维建模或模拟。在操作和服务过程中，所有更改都反馈回数据模型，这样的数字化双胞胎在整个生命周期中都是最新的。

另一方面，在运营过程中整合了从虚拟世界到现实世界的不同层面——“整合运营”。从现场到自动

化,到管理层和云的所有级别的集成可以优化操作,提高生产力和灵活性。实现这一目标的一个关键因素是各级之间以及对外世界之间的安全可靠的通信和连接,这是紧密结合的基础。

数字化交付是一体化工程和运维的关键指标,通过 COMOS 建立通用的数据平台,所有相关工程专业访问同一数据池,由于有了数据一致性保障,设计数据可以一键下载到自控系统如 SIMATIC PCS 7。数据表明,大约可以为客户节省 60% 的时间。同时,COMOS 可以通过 PIA 过程仪表软件,所选仪表的产品的数据将自动传输到数据模型,这不仅节省了时间,而且由于数据一致,确保了更高的工程质量。

过程仪表数字化、智能化转型

数字化、智能化不仅与云有关,还关乎来自现场的数据。如何利用这些数据,通过哪些工具可将这些数据转换为价值。没有源自的现场数据层完美集成—数字化、智能化不可能成功。本节将主要介绍现场层设备仪表(含过程分析仪表)工业识别等设备和系统如何在准确可靠地数据采集基础上灵活快捷地传输数据,深度智能地挖掘数据价值来提高产品销量和质量成为了新的发展方向。

仪表数字化应用目前有两种两种途径,一条主线是云应用。如位于底层的过程仪表、称重产品以及用于检测设备震动的多传感器,其数据通过各种连接设备,传送到云上的各种工业 App。

另有一条途径是与比较成熟的整体数字化解决方案。无缝集成与 COMOS 接口,确保整个生命周期内仪表数据的完整性和一致性。通过基于过程仪表的设备库,在资产管理方面,通过丰富资产管理的各种形式,进一步增强与各 DCS 厂家系统集成的兼容性。

可以预见数字化进程中万物互联会极大促进仪表的应用数量和应用而同时仪器仪表自身的发展更向小型化、多参数、模块化和智能化方向发展。

自动化技术与工业软件融合发展

原生于工业应用的自动化技术,与计算机理论和技术一起,从一开始就推动着工业软件的不断发展。在经历了数十年 CAD/CAM/CAE 技术的基础上,随着算法、网络、硬件和工业技术的进步,工业软件与自动化技术的融合在深度和广度上达到一个新的高度,其标志是“数字化双胞胎”概念和技术为工业界所广泛接受和采用。

(1) 集成开发环境推动系统的、协同的产品工程

在离散工业中,典型的机电一体化产品(例如,机床、机器人、专用设备等)研发中,包含三维模型、概念验证、物理设计和自动化行为调试和验证在内的集成开发环境,在概念设计阶段建立需求模型、功能模型以及逻辑模型,在详细设计中整合机械结构、约束和信号,以及行为和仿真,与电子电气设计协同,在交付前完成虚拟调试及半实物调试,能加速需求管理、概念设计、机械设计、电子设计与软件和自动化设计等不同工程部门的协同与重用。

智能装备与生产系统的设计中,在单一环境中设计电气系统、配置自动化硬件并开发自动化软件代码,能把电气和自动化数据与系统设计与机械数据集成在一起,包括系统设计数据、三维 CAD 模型、电路图、硬件配置、信号定义及标识;通过基于规则的机电一体化工程模板,在进入自动化代码开发之前验证解决方案,并支持下游 ECAD 和自动化工具之间的连接,便于面向不同工业场景的知识积累和重用。

流程工业中数字化技术同样日新月异。未来的流程工艺模型将是动态模型与大数据的深度结合。即工厂实时和历史的运营数据与专家工艺模型间的高度融合仿真、优化;这是覆盖从研发到建设、运营全生命周期的工艺模型。数字化框架下创建流程工艺模型通过模型建立、实时优化和应用验证三个主要步骤,有机地结合研发,设计和运营各环节。流程工艺模型为流程行业客户提供设备长期健康监测且

具自适应可实时优化、预测性能等特点，带你也可用于操作培训的应用。这将成为未来流程工业数字化转型过程中不可缺少的工具之一。

(2) 虚拟调试和精确仿真成为从设计到制造和交付的必然路径

自动化系统和产线需要严格按照工艺要求运行，在柔性、混线等复杂工业场景中，单纯的几何仿真、粗粒度的概念或系统仿真已经不能满足高质量和高效率的要求，虚拟调试技术正在取代大部分物理调试工作，能够模拟真实 PLC 代码并与实际硬件，如机床、机器人实现物理信号连接，在产线、生产单元、机器设备以及机构和部件等各个层级上精确验证工艺要求的协作，从而加速把概念设计的制造和工程数据准确传到到车间现场的真实调试。数控机床的设计与调试也因为虚拟调试技术的出现，加快了设计、装配到信号仿真及调试的效率，有效缩短了新机型从设计到客户的面市时间。

在数控技术领域，CAD/CAM 软件与机床的结合比以往更加紧密。带有产品制造信息（PMI）的产品设计模型，提高了工艺和 CAM 的自动化能力；在数控加工程序仿真广泛应用的基础上，CAM 集成仿真和验证（ISV）及结合电机驱动的验证比对技术（AMWT），有效地避免了物理机床上的测试工作，减少加工程序错误并提高加工质量；通过虚拟数控内核（VNCK），模拟物理机床控制器的行为，为精确的或者高精密加工提供了保证。

(3) 生产单元的数字化调度与控制是实现产品大规模定制的基础

在产品、工艺和生产的数据和流程的统一管理情况下，通过企业级 PLM 协同平台管理数控程序、操作手册以及其它车间所需的工艺文件，可以利用车间连接功能（Shop Floor Connect），直接向机床控制器发送数控程序文件，避免数据重复以及管理版本变更可能导致的错误；建立制造资源库管理刀，并通过与运动控制信息系统（MCIS）

集成，保证在车间现场使用正确的刀具、正确的设备和正确的程序、在正确的时间完成生产。为取得高效、一致的质量检测方法和流程，需要把 CAD/CAM 和车间内坐标测量机和数控机床所需检测程序的编制、执行和管理结合起来，能减少时间、提高准确性，并使质量控制过程能及时响应设计变更；通过机床在机针探检测（On Machine Probing）技术，仿真与验证检测程序、使加工与检测相互配合并提高准确率和效率；监控和分析（AMP）检测数据并和反馈给设计环境，通过与设计模型对比，执行根本原因分析。

(4) 数字化调度与运营将高效支持大规模定制和企业科学决策

产线、车间和分布式的生产基地的高效运营，尤其是面向大规模定制、互联和智能化的趋势，制造执行系统（MES）成为企业制造运营管理的核心平台或服务总线。制造执行系统不但借助自动化设备实现设计和工艺到产品交付的衔接、从订单和库存到生产的执行，而且在必要时可以直接与自动化设备对话（例如：PLC 操作），成为柔性、高效和安全的保证手段。

工业互联网广泛应用和数字化工厂的有效运营，依赖于自动化设备的可连接性与智能化，自动化设备和机床厂商，也希望藉此开发新的商业模式。通过机床控制器、PLC、HMI、机器人的原生连接模块或者通过开放协议，设备和资产的运营状态数据成为工业大数据分析的基础，同时通过工业 APP 能够控制特定场景下的操作。自动化设备的边缘计算能力，为工业互联网应用在实时、高效、安全和智能提供了保证。

以“产品数字化双胞胎”、“生产数字化双胞胎”和“资产性能数字化双胞胎”为标志，工业软件与自动化技术融合为数字化工厂提供了技术保障，是企业构建数字化主干（Digital Thread）并实现数字化转型的基础。工业企业、自动化技术和工业软件厂商正在共同推进这一进程。

运营维护的发展方向与关键技术

运营维护技术是制造业生产运营系统中的核心技术环节，它直接决定着制造业企业生产运营的效率，直接关联企业生产的运营成本，对企业效益有非常大的影响，所以在制造业企业中运营维护始终是一个重要的技术话题。

在制造业企业的数字化转型过程中，运营维护技术也向着更加高效率的发展方向，更系统的工作层级在不断发展和完善。生产运维工作，已经从早年的生产设备“台账”和“检查记录本”，发展到目前普遍的基于计算机系统完成设备管理和故障诊断，并朝着更深入的运维信息一体化发展。我们可以预见，各个生产备件管理信息数据，将连接着企业库存管理，而库存的管理又将和企业的采购信息系统、资产财务管理信息系统无缝数据连接，数字化的运维，将时刻和企业的经营效率和效益连接在一起。这里分别从运营维护的关键发展阶段和技术服务关键技术两个方面展开介绍。

制造业数字化企业运营维护的发展

(1) 响应式的运营维护是目前行业主流

响应式服务，也称为“故障修复”或紧急处理服务，是指一旦设备“发生故障”就通知维护服务人员到现场或者远程地完成故障处理，破损更换或者处理已经对生产运营产生影响的问题。与之相反的则是主动或预防性维护。

(2) 产品生命周期的工业维护是目前高附加值技术维护的代表

将设备维护工作与客户的数字价值链发展过程有机整合，基于制造业数字化企业的每个阶段通常显示的不同业务特征，主动并预先提供与之匹配的维护和服务的过程。基于不同制造业生产发展的不同阶段，结合维护服务的经验，主动地提出维护和维修的建议，并能预先降低生产运营中设备的故障风险，甚至人员、环境安全风险。在某些行业，如航空、化工、钢铁等，通常会采用日常检查保养、及

时破损维修和定期大修检查的维护管理方式，即称为 MRO 的方式，也是工业运维的重要模式。

(3) 数据驱动的工业维护是未来发展趋势

在制造业数字化时代，数据的作用会越来越重要。由数据驱动的工业维护与服务，指的是通过对生产运营过程中的生产过程、设备或产品的数据采集，形成生产或者维护的大数据基础，由算法实现控制数据并遵循行之有效的数据管理和数据交换程序，为客户提供高效的生产运营体验，预先排除生产故障的潜在风险，降低运营故障率和安全事故率，有效降低制造业运营成本。

满足制造业数字化企业运营维护的关键技术

(1) 设备管理级的专业技术

设备管理级的技术主要是解决生产运营设备中的故障，实现快速恢复生产运营，如设备故障诊断技术、设备快速维修技术和备件应急响应管理等；通过预先技术判断和参数分析，降低故障率和意外关闭的风险，如定期的维护保养技术，状态监测技术；使用数字化的信息采集方案；基于大数据分析等技术，确保人身、环境的安全性和设备的可靠性，如生产线或机床的物理信息采集数字化和联网技术等。

通过有效的设备管理策略和方法，改善生产设备的综合效率。设备管理级的专业维护技术，通常视为制造业数字化专业维护的基础技术，它满足了企业在生产运营设备层级的基本技术需要。

(2) 资产管理级的专业技术

资产管理级的专业技术是通过提高库存可用性和优化供应链管理，降低直接生产资金压力和风险，并降低固定资产成本，提高企业的资金流动性，如备件管理技术，虚拟调试技术。资产管理级的专业维护，也针对设备和产品的生命周期支持，从规划到实施应用，再到升级改造，甚至报废管理，如产品生命周期管理技术 (PLM)，资产优化技术 (AOS) 等。

通过资产管理级的专业技术可以帮助制造业企业实现最大化的投资回报，提升企业的竞争力。资产管理级的专业维护技术，通常视为制造业数字化专业维护的进阶技术，满足了企业在生产运营中提升资产效率的需要。

(3) 专业人员提升管理级的专业技术

专业人员提升管理级的专业维护目的是，提高相关劳动者的专业技术能力，从而在根本上提高生产力的直接产出水平与效率，如针对项目和生产进行的专业培训，通过增强现实或者虚拟现实的技术强化记忆过程；而通过不断提高的技术容量和覆盖范围，也会改善行业专有技术，实现产业能力的提升，如远程训练技术，基于云平台的终生学习技术等。借助于增强现实技术 AR 或者虚拟现实技术 VR 工具，通过数字化双胞胎技术，快速提升人员技能水平，提升动手维修维护能力，降低维修的时间和物理成本，也将成为企业运维技术的新培训方法。

专业人员提升管理级的专业服务技术，通常看做为制造业数字化专业服务技术的一项高级专业技术，解决了企业在生产运营中核心人才培养的需要。

(4) 生产体系运维级的专业技术

生产体系运维级的专业技术是一项更加全面的专业运营维护技术，包含可视化的监视和跟踪，信息安全的防护，能源管理加强和优化策略，通过数字化方案提升生产力和效率，新的制造业数字化技术也主要体现在生产过程级的运营维护技术上，如能源管理技术、基于人工智能的边缘计算质量管理技术、网络验证技术、虚拟工厂和调试技术等。

工业云技术将逐步成为生产体系运维技术的重要技术基础设施，通过现场采集和网络通讯，甚至现场级的 5G 应用，越来越多的生产过程数据将在工业云端存储，并在云端实施不同的工艺算法或者预防性维修维护算法，实现生产体系运维级的数据统一，数据透明，增强运行效率。通过软件技术和信息化技术，在企业统一信息平台上，将所有的运行维护工作高效整合，从结构化文档，到流程管理工具，再到资产、工具和人员调度，乃至人员操作规范，都实现了系统信息的高度整合与集中。

生产体系运维级的专业技术，也是目前企业专业技术运营维护服务中的最高技术，提升了企业的生产过程管理水平，优化了成本，提升了企业效益和竞争力。

西门子对制造业关键岗位的数字化能力模型的预测

西门子数字化工业集团的数字化技术发展历程

西门子长期以来一直是电气化和自动化的先行者，对工业领域，特别是制造业有着自己的洞察。西门子在 1958 年推出第一台 Simatic PLC，并且在自动化领域不断推陈出新，自动化产品线不断丰富和完善，在 1996 年推出了全集成自动化概念和平台。在 2001 年，通过并购意大利的 ORSI 公司进入了 MES 市场，使得西门子能够从控制现场级的自动化设备，到控制生产工艺和流程。西门子从此迈入了工业软件市场，形成了 TIA+MES 的格局。

进入工业软件市场的西门子敏锐的意识到在大多数制造业当中，机械设计、电气设计和自动化设计是不可分割的整体。因此，为了更好的服务于制造业的研发活动，西门子在 2007 年以 35 亿美元的价格收购了 UGS 公司。这次收购，完成了西门子对制造业工业软件的整合。**在工业领域，第一次把机械设计、电气以及自动化设计工程平台整合为一个完整、互联互通的平台，也使得西门子真正意义上迈入了数字化领域。**

从产品设计的维度看，NX 软件与 TIA 的结合，完成了从产品研发与生产制造过程的集成，形成了从虚拟世界到现实世界的整合。从技术角度讲，由 Teamcenter 为代表的产品数据管理系统全面、系统的解决了制造业对于产品主数据集中管理的问题。把有关产品和工艺的各种数据完美的整合到一起，从而开启了数字化时代的各种可能性。

从制造业管理流程上看，由 Tecnomatix 为代表的协同设计工具革命性的重构了制造业的设计流程，同时把制造业运行的物理空间投影到数字化空间。使得所有的制造业流程都可以在虚拟世界和现实物理世界之间完美切换。

西门子在随后的 2008 年收购流程行业数字化软件公司 Innotec，使得西门子完整进入了离散行业 + 流程行业的制造业数字化时代！Innotec 是针对流程行业生命周期的设计软件，从工程设计、运营到维护：整合之后改版推出的 COMOS 与西门子 TIA 平台的紧密结合，实现了流程行业的一体化工程和一体化运维。

随后西门子又在工艺仿真、质量管理等多个方面收购了一些工业软件公司。随着 2014 年德国工业 4.0 概念的推出，西门子在自动化与数字化方面的全方位结合使得西门子成为世界上第一家同时具备工业软件和工业自动化硬件的系统解决方案供应商。2016 年，西门子推出了基于云技术的开放物联网操作系统 -Mindsphere。2019 年，与国内著名 IaaS 平台阿里云合作，Mindsphere 落地中国。

由此，西门子实现了离散行业和流程行业的数字化转型，并跻身于世界十大软件公司之一，从战略层面西门子已经完成了自动化 + 数字化的重要部署。

西门子工业数字化领域主要并购、研发大事记



2001	收购 ORSI	MES 软件
2003	收购 Compex	MES 软件
2006	收购 Berwanger	MES 软件
2007	收购 UGS	全球产品全生命周期管理 (PLM) 领域软件与服务的市场领导者
2008	收购 innotec	过程工业流程行业数字工程软件, COMOS 的前身
2009	收购 Elan Software Systems	MES 软件
2010	整合 MES 软件, 推出 Simatic IT 模块化平台	MES 软件 (2001 年收购的意大利 ORSI)
2011	收购 Active Tecnologia em Sistemas de Automação	生物和制药行业 MES 软件
2011	收购 Vistagy	复合材料分析工具 Fibersim
2012	收购 IBS AG	质量管理软件
2012	收购 Perfect Costing Solutions GmbH	产品成本管理解决方案
2012	收购 Kineo CAM	从装配 / 拆卸间隙无碰撞的机器人的应用验证
2012	收购 VRcontext International S.A	提供 3D 仿真可视化沉浸式现实 (VR) 来实现人机的交互, 之后并入 COMOS
2013	收购 LMS	提供机电仿真软件、测试系统及工程咨询服务的解决方案
2013	收购 TESIS PLMware	SAP Oracle 和 TeamCenter 的无缝链接
2013	收购 Preactor	APS 高级排程软件
2014	收购 Camstar	电子制造业 MES 系统, Omneo 大数据分析
2015	推出 MindSphere	基于云的开放式物联网操作系统
2016	收购 CD Adapco	流体分析等领域有独到竞争优势的 CAE 软件

2016	推出 Mindsphere 工业物联网操作系统	工业物联网操作系统（工业云 PaaS 平台）
2016	收购 Polarion	应用程序生命周期管理 (ALM) 企业解决方案
2016	收购 Materlals Solutions	3D 打印工业组件
2016	收购 Mentor Graphics	EDA 三大巨头之一，在汽车行业 MCU 和线束规划设计有独特的优势
2017	收购 Tass International	面向汽车行业的仿真软件、工程和测试服务供应商，专注于自动驾驶解决方案
2018	收购 Unilab	流程工业实验室数据管理软件
2018	收购 Sarokal Testsystem	前传网络提供创新测试解决方案的供应商
2018	收购 Mendix	云原生低代码应用开发领域的先驱和领导者
2018	收购 Lightwork Design	3D 渲染软件开发及 VR 内容制作公司
2018	收购 COMSA	电气系统设计和线束工程软件开发
2019	收购 Saab Medav NVH	NVH 质量测试解决方案
2019	收购 ESTEQ	南非与阿联酋数字化服务商
2019	收购 Atlas 3D	面向直接金属激光烧结 3D 打印机软件
2019	收购 PSE	流程行业从实验室到运维的仿真软件
2019	收购 MultiMechanics	多尺度材料建模和仿真软件的开发商
2020	收购 Vizendo AB	为汽车制造提供虚拟培训的领先提供商
2020	收购 UltraSoC Technologies	监测和分析解决方案提供商
2020	收购 Avatar	集成电路 IC 布局布线设计软件
2020	与 SAP 公司战略合作	产品端到端数字化无缝集成，形成了产品全产业链数字化链接

制造业关键岗位数字化能力模型的预测

研发部门

研发部门的工作内容与工作方式将发生巨大的变化

如今，产品越来越智能，越来越个性化，成为复杂系统或系统之系统，给企业驾驭多层次的复杂性和大数据带来新的挑战，物理实体与数字模型日趋融合，要求我们建立全面的、完美的数字化双胞胎，以表达和验证无限创意。数字化双胞胎技术必将引发新一轮生产率和产品性能的革命性提升，在价值链的每一环节带来新的洞察，新的改进机遇和新的自动化水平。革新的价值链和数字化企业，必将颠覆如今的产品设计、工程、制造与服务运营模式。具体内容包括：

(1) 产品越来越智能化

随着新一代信息技术的发展，传统的机械产品已退出历史舞台，任何现代化的产品中都会包含电子元器件与嵌入式软件，还提供互联网连接，变得越来越智能，从智能手机、智能音箱、智能家居、智能机器人到智能汽车，智能化产品彻底改变了人们的生活。而智能化产品的出现，对企业产品研发能力的提升也提出新的挑战，电子工程师、软件工程师、算法工程师、数据工程师在现代产品研发团队中的作用越来越显著，数字化技能成为未来数字化企业工程师的标准需求。

(2) 产品越来越个性化

随着人们物质生活水平的提升，追求个性化、差异化产品成为新一代消费主体的核心需求，而随着消费互联网的日益普及，制造商可以直达消费者，以消费者为中心的产品设计成为产品研发团队的核心工作。3D 打印技术的快速发展，开启了个性化定制的新时代，同时，基于物联网更多的运行时数据得以采集与分析，研发团队可依据实

时数据持续优化产品设计，基于用户使用行为分析提供个性化的服务，并不断提升用户体验，从而打造完整的闭环研发体系。

(3) 产品更多的功能由软件定义，通过物联网、大数据持续优化

未来产品都会与人工智能、大数据相融合，以汽车为例，“软件定义汽车”已经成为汽车产业链企业的战略共识，一方面是汽车电子占整车成本逐渐提高，另一方面随着车联网、自动驾驶技术的发展，车辆除了本身的驾驶属性外，服务属性逐渐增加，例如通过车联网实现内容推送，通过 OTA 实现车辆个性化定制等。

(4) 从逆向研发，转为正向研发

当前，我国工业已从跟踪研仿向自主创新转变，转型与创新已经成为中国制造提升竞争力的必修课。正向研发以系统工程理论、方法和过程模型为指导，面向复杂产品和系统的改进改型、技术研发和原创设计等为场景，旨在提升企业自主创新能力和设计制造一体化能力。正向研发体系的建立，对产品研发团队提出了更高要求，融合机械、电子、软件、控制为一体的研发环境成为企业新型数字化基础设施，结合跨学科多层次的仿真与测试平台，构建起“设计、验证、优化、再设计”闭环，可以实现完整的多“V”字形的开发流程。

(5) 研发团队组织架构的变革

随着产品研发工作内容与工作方式的变革，研发部门将打破传统的组织层级和边界，形成更加扁平的结构和开放的沟通，这是再次解放员工自主性和创造力的必由之路。新型研发团队将组建用户体验中心、创新孵化中心、协同研制网络，其中用户体验中心用于对客户的需求收集、需求更

改确认，市场宣传等，增加产品研制前端的绩效；创新孵化中心系统跟踪并开发世界前沿的关键技术、模块和样品，以及负责技术预研与最佳管理实践的应用，并通过“微创新”的方式逐步提高研究所产品研制的绩效；协同研制网络负责具体产品或者产品线、技术线的开发与维护。各研制部门形成高低搭配、长短结合的创新模式，最终实现组织模式智能化、企业数据智能化、产品创新智能化、企业运营智能化。

研发人员需要掌握更多的数字化工具和更多的数字化能力

鉴于产品研发部门与工作方式的巨大变化，数字化企业需要研发团队具备更多的数字化能力，包括系统工程的能力、创成式设计能力、机电一体化设计能力、仿真驱动型设计能力、设计制造一体化能力、产品全生命周期管理能力、产品成本管理能力和等。

(1) 系统工程

复杂产品开发必须使用系统工程的方法，每个研发人员都需要具备系统工程的思维，掌握基于系统工程进行产品研发的工具和方法。系统工程是从总体出发，运行和革新一个大规模复杂系统所需的思想、理论、方法、方法论与技术的总成，属于一门综合性的工程技术。需要从过去以文档为中心的方法向未来基于模型的方法发展，即基于模型的系统工程（Model Based System Engineering, MBSE）。MBSE是在复杂产品背景下，进行协同产品开发的最佳方法。为了在多学科之间实施系统工程，必须有支持跨专业、跨学科的统一模型表达语言，为系统工程中的逐级分析与验证提供基础。产品系统工程研制不仅要回答解决复杂系统工程的问题，同时，还需要通过数据、信息、软件来架设传统系统与复杂系统之间的桥梁。在

整个基于系统工程思想的产品研发过程中，涉及到方方面面的管理过程，具体涵盖内容如下：

- 需求管理方案：贯穿系统工程研发流程的各个层级，在产品还没有开始制造的概念和详细设计阶段，完成需求输入和需求输出的过程；在产品验证阶段，完成对需求的确认过程。
- 总体方案建模及验证：主要解决产品层的方案设计和验证问题。虽然方案的设计和验证还发生在系统、部件等层级，但产品总体方案建模及验证对未来产品的总体发展起着极其重要的作用，也比其它层级更加复杂。
- 详细设计建模及分析验证：主要解决系统层的方案设计和验证问题。系统层级的方案的设计和验证经过产品方案的确定，已经开始进入详细设计阶段，这个阶段的设计更加细化，同时，需要开始各个系统的设计和验证工作，以及各个系统之间设计工作的协调。
- 虚拟试验和实物试验建模验证：主要解决当产品开始进入生产制造之后，对产品进行虚拟试验，以减少物理试验的成本和风险，对产品实物进行真实的物理试验，以检验产品的性能是否满足设计需求。
- 设计、分析仿真、试验一体化解决方案：由于在产品研制过程中，方案设计、方案验证、产品验证活动经常交织在一起，因此，需要综合的设计、分析仿真、试验一体化方案来进行整个系统工程“V”生命周期集成管理。
- 集成化的项目执行管理：无论产品设计进行怎样的活动，例如设计、仿真、验证，都需要考虑时间、成本、质量等因素，尤其是需要通过人力资源组织来完成，集成化的项目执行管理可以有效地保证人员高效地完成整个产品的研制过程。

- 技术状态管理和控制：MBSE 涉及产品研制过程的各种模型，例如仿真模型、产品模型等。这些模型会经过不断的迭代，也会需要进行不断的变更，因此对产品及其模型的版次、版本、变更等需要进行有效的跟踪和控制。

基于系统工程驱动的产品研发流程，主要由产品全生命周期管理（PLM）平台以及大量其他工具模块一起联合实现和完成。它支持大型产品、大型产品的子系统的生命周期开发管理与协同运作，将客户需求、产品功能结构、系统逻辑关系、组成产品的零部件有效的进行关联管理。

（2）创成式设计能力

传统的产品设计方式是按照研发人员对产品需求的理解和经验完成产品的三维模型设计。创成式设计（Generative Design）是一个人机交互、自我创新的过程。根据输入者的设计意图，通过创成式系统，生成潜在的可行性设计方案的几何模型，然后进行综合对比，筛选出设计方案推送给设计者进行最后的决策。3D 打印技术则可以将复杂的设计变为现实，已成为创成式设计的好搭档。创成式设计、3D 打印的发展正在改变着传统的产品设计、制造的模式。基于统一模型的 CAD/CAM/CAE 平台的创成式设计能力已经成为研发人员必备技能之一。

（3）机电一体化设计能力

随着产品组成日益复杂，大多数产品将朝着“机、电、软、液”一体化方向发展，利用机电一体化系统设计平台进行多学科协同产品设计与虚拟调试已经成为产品设计的重要手段。利用机电一体化设计平台，在产品概念阶段，可将产品机械三维模型、电气控制模型、液压和气动模型等在统一设计仿真环境中呈现，充分进行多学科功能的预测。在详细设计阶段，依据多学科数字化模型可以完成三维模型详细设计、运动时序设计、电

子元器件设计与选型、传感器和执行器设计、电机选型，这些学科的设计工作可以在统一产品协同平台上完成。详细设计完成之后，在物理样机产生之前，可以使用调试技术进行产品功能的调试与验证，在虚拟环境下解决产品潜在的问题，减少物理样机的测试与调试，这将大大缩短产品研发周期，提升产品质量。

（4）软件设计与管理能力

鉴于软件在产品功能中的比重日益增加，软件的升级换代可以给用户带来全新的体验，软件生命周期管理过程中，需要在一体化环境中定义、构建、测试和管理复杂软件系统。使在分布于不同位置的团队之间进行创新、解决问题，并充分发挥协同作用。针对软件的设计和管理能力成为对研发人员技能的新要求。

（5）仿真驱动型设计

由于产品个性化的增强，企业研发部门需要在更短的时间内完成更多的产品设计与验证。产品仿真是解决快速产品设计的一个重要手段，能够在更短的时间期限内考虑更多可供选择的设计方案。如今，企业纷纷将仿真在设计流程中的应用时间提前，需要使用统一的 CAD 与 CAE 平台，基于统一的模型，在设计过程中依据仿真结果进行快速优化和调整。

（6）沉浸式设计

沉浸式体验的大众化导致了要求其在产品设计中支持的需求，它的价值和潜力已经获得了认同。研发人员需要能够使用虚拟现实软件完成设计过程，采用集成的、沉浸式 3D 环境，查看和工具进行设计与虚拟评审。利用沉浸式 3D 环境，可以获得数字化双胞胎的更好的理解和沟通，加快新产品上市。

(7) 设计制造一体化能力

产品制造业数字化转型过程中,企业需要通过数据驱动代替流程驱动。数字化模型是驱动产品设计与制造一体化直接载体,通过统一的数字化模型可实现端到端零件制造工序规划,加工过程的仿真,交付更高精度的零件。使用统一的数字化模型完成 CNC 机床进行编程,控制机器人单元,驱动 3D 打印机并监控质量已经成为打通设计与制造的重要手段。

(8) 多学科工程仿真能力

当今的研发部门必须开发出机械功能与电子器件和控件密切集成的智能产品,需要采用新的材料和制造方法,并在越来越短的设计周期内交付新设计。该目标要求目前用于产品性能验证的工程实践发展成为一种数字化双胞胎方法,该方法能够在由系统驱动的产品开发中遵循更加具有预测能力的流程。将系统仿真、3D CAE 和测试集于一身,在早期和整个产品生命周期内预测所有关键属性的性能;将基于物理场的仿真与通过数据分析得出的洞察相结合,优化设计并且更快更可靠地交付创新。

(9) 产品全生命周期管理能力

多学科、过多部门的产品研发协同需要在产品生命周期管理 (PLM) 环境下完成,PLM 系统能够以数字化主线关联功能孤岛之间的人员、流程和数据,进而实现企业协同创新。整个组织内的工作人员都需要产品开发过程当中共享数据,数据内容包括三维设计、电子、嵌入式软件、文档及物料清单 (BOM) 等。在 PLM 平台下,可将产品信息 (例如制造、质量、成本工程、合规性、服务及供应链) 充分运用到各个领域与部门,从而实现产品全生命周期内的过程与数据协同,实现复杂产品的快速创新。

(10) 产品成本管理预测能力。

现代企业对产品和零部件的成本越来越关注,这就需要研发人员具备在研发的各个阶段进行产品成本预测的能力,同时研发人员需要构建产品零部件成本模型,基于特征的技术检查设计的各项特性,消除不必要的高成本设计特征,通过自下而上的方法根据生产某个部件所需的制造流程和工具计算更为精确的合理成本。研发人员可以利用产品成本管理 (PCM) 系统,了解其设计和采购决策对成本的影响,帮助企业制定节省成本的措施,例如更换材料、简化设计、合并零件 / 功能或更改生产地点。

工艺设计及制造工程部门

工艺部门的工作内容和工作方式正在发生巨大的变化

制造业的工艺部门需要结合企业自身的设备水平和人员技术能力,在成本、效率和质量当中寻求最优解。同时,随着近些年制造业精细化管理的大规模实施,很多精益生产的内容也逐渐融入工艺部门的工作内容。当然,还有很多大型制造业为了提高效率和标准化,把工艺部门和制造工程部合并运作,把工艺设计、工艺验证和工艺实施 (厂房建设、生产线调试) 合并在一个组织当中。从而实现跨地域、跨时区的无差别制造。本文所指的工艺部门是指负责工艺设计、工艺验证以及负责工艺实施的一个或多个部门。

(1) 产品设计快速迭代、工艺优化快速迭代推动企业竞争力的效果更加明显

过去产品设计和工艺设计以及制造工程 (厂房、生产设备的建设、实施) 通常是串行发生。因此,产品以及制造工艺的迭代通常需要一个或者若干制造周期才有统计学基础。

现代制造业面对的是更激烈的全球化竞争以及更苛刻的客户。这使得产品的迭代必须更快，才能取悦市场；同时工艺优化迭代必须更经济，才能赢得的竞争。因此，从技术角度说，工艺迭代（实质上包含工艺设计、工艺验证以及制造工程）优化必须在一个制造周期之内，甚至半个制造周期之内同步实现。

观察诸多制造业数字化、智能化的先行者的实践，无一例外，关注核心制造过程，持续改善和提高迭代速度，是增强企业竞争力的重要支撑。

(2) 工艺部门以及制造工程部和产品设计部门的深度融合、协同

传统工艺部门和其它部门的协作关系大致是：根据设计部门的零件图开展工艺设计；在小批量试制验证工艺路线之后再确定大规模制造（制造工程）的工艺方案。最后交由工艺总承包商或者设备制造商实施。各个环节存在严格先后顺序，数据通常只能从前向后单向传递。

下一代先进制造业需要设计部门、工艺部门以及制造工程在一个平台上开展协同设计、确保数据从设计部门到工艺部门以及制造工程部门实时共享，双向传输。

未来，工艺部门和其它相关部门不再是文件传输级的合作，而是深入到数据层面的协作。

(3) 工艺纪律更多通过技术手段而非行政管理措施实现

工艺标准和工艺方案执行的完整性和准确性很大程度上决定了产品的质量。

对于质量有更严格要求、或者下游客户需要完整制造数据的场景，完整、可审计的工艺执行数据只能通过技术手段而非手工填表或规章制度来保证。

工艺岗位人员需要掌握更多的数字化工具和更多的数字能力

基于协同平台的工艺规划能力

(1) 零件工艺规划与验证能力：

工艺人员需要在协同的工作环境下，利用数字化产品数据进行结构化工艺设计，关联产品、资源、工厂数据，实现了从产品设计到工艺、制造的业务集成。具体任务包括：产品设计数据获取、工艺设计、工装设计、工艺仿真、工艺卡片与统计报表、工艺下发到制造系统、工艺知识管理及工艺资源管理等。

在数字化工艺设计方面，需要获取准确三维设计数字化模型，维护工艺与设计的一致性；提高工艺编制质量与效率，减少错误与返工；利用丰富、直观的工艺报表，减少了无效工作时间和出错机会。在制造数据管理方面，与产品相关的设计、工艺、工装、制造、项目管理等部门在统一数据平台协同工作，在正确的时间获取正确的数据，减少差错，提高效率。在数控编程及管理方面，利用面向产品设计三维数字化模型的编程，识别零件特征与公差要求，基于典型零件和特征的模板化编程，提高编程效率，改善质量，减少对经验的依赖。

(2) 装配工艺规划与验证能力：

工艺人员需要能够以虚拟方式设计和评估装配工艺方案，制定用于制造产品的最佳计划，同步设计和制造需求，管理更加全面的流程驱动型装配。通过软件工具对装配顺序、资源和活动持续时间准确查看和计算，协助制定合理的制造计划。工艺人员需要在企业级 PLM 平台之上具备装配规划与验证能力，包括 MBOM 创建、结构化工艺设计、工艺仿真与优化、可视化工艺输出、工艺统计报表部分组成，并实现各环节的数据与流程管理。通过 PLM 系统与产品设计、工装设计、维护维修、

试验测试等系统实现数据共享和协同，并实现向下游制造部门的数据分发。

(3) 对于流程行业，工艺管理同样需要强大的数据协同能力：

如何让数据为产生价值是当下流程行业用户所关心的话题。传统流程行业在工程创建或运营面临的一个问题是如何确保数据存储的一致性。由于历史原因，工厂的不同系统之间是相互独立的，创建真正开放系统架构的软件平台即建立通用标准和可自由配置的接口从而让跨专业平台间保证数据始终是最新且一致是主流的方向。数据一致性和数据质量提高给用户带来的益处不仅在降低运行维护成本，通过对流程步骤的集成数据复杂也得以简化，从而为用户节省了大量时间。为保证数据库及时且相关，我们要从整个工厂生命周期考虑保证数据平台的一致性和实时性。以面向对象的数据库为基础建立的软件平台，不同层级、不同职能部门都能获得实时数据从而达到最优决策。这种基于功能导向而不是技术划分的软件平台贯穿整个流程顺序，从工程到运营两者紧密结合交互影响从而提升工厂的可用性和可靠性。为正在转型数字化、智能化的行业用户提供了新的视角。

基于数字化平台的工艺验证、迭代能力

当下，制造业面对前所未有的成本和法规要求压力，制造业企业需要利用开放式体系架构，提高制造规划工作的准确性，缩短交付时限，将产品、流程、资源和工厂数据紧密联系在一起，运用在数字化制造领域中领先的工具和流程指导实际生产。

企业需要基于数字化制造解决方案，以更早地制定更明智的决策，从而提高生产效率和灵活性，降低成本和获得更高的生产投资回报。依托数字化制造平台，可以实现以关联的数据模型对制造流程的设计和执行过程进行管理，可弥补产品设

计与产品交付之间的差距，实现产品生命周期数字化的关键一环。基于数字化制造平台进行工艺的验证、迭代已经成为新工艺工程师的必备技能，具体包括：生产线设计与布局验证能力、生产线协同与节拍验证能力、机器人仿真验证能力、人机协同操作验证能力。

生产线设计与布局验证能力

当今的生产线设计过程，需要创建、分析和展示可视化的工厂模型。生产线设计过程中，既需要把握控制大型工厂模型所需图形和逻辑细节，也需要为使用普通计算机的工程师及绘图员提供简单的界面及小型模型尺寸。正如产品设计需要参数化一样，工厂布局与产线设计也需要一种可视化、参数化的设计手段。生产线设计人员需要利用数字化工厂布局设计工具（Line Designer）进行整个工厂范围内所有布局设计，包括活动区域的分析、空间安排、材料存放系统、拥塞程度分析、设备安装、布局成本考核、设备标识和使用情况等。

生产线的协同与节拍验证能力

生产线设计与优化过程中，需要为生产线中的各种生产设备、生产线、生产过程建立结构层次清晰的模型，具体可以包括供应链、输送系统，储存系统，生产资源、控制策略、生产过程、管理过程等。生产线设计人员需要通过分析工具、统计数据和图表来评估不同的解决方案，并在生产计划的早期阶段做出迅速而可靠的决策。

工厂仿真（Plant Simulation）正是为生产线设计和优化提供的重要工具。利用该平台，产线设计和优化人员它可以对各种规模的生产系统、物流系统以及生产线进行建模、仿真；也可以对各种生产系统的工艺路径和生产计划进行优化和分析。利用充分的数据分析结果，优化生产布局、资源利用率、产能和效率、物流，协同各类订单进行混线生产。

机器人仿真验证能力

在智能制造环境中，工业机器人经常作为制造的直接执行者和加工质量的最终保证者，在自动化生产线中得到广泛的应用。机器人程序的编制、仿真与调试已经成为制造工程师一项重要工作。工程师可基于产品生命周期管理平台的共享数据环境，利用机器人与离线编程工具，开发自动化机械和自动化生产系统。系统开发过程中需要满足多个级别的机器人仿真和 workstation 开发需求，既能处理单个机器人和 workstation，也要能处理完整的生产线和生产区域。

工程师需要通过机器人与离线编程及机器人仿真工具，进行程序设计、仿真与调试，从而减少自动化系统投入使用时的错误，缩短系统上线安装工作的时间。通过提高设备设计、系统逻辑开发、地面空间利用过程的质量以及降低成本，实现具备高效生产效率的制造系统。

人机协同操作验证能力

随着国家在健康法规方面的完善和企业可持续发展的需要，企业对于员工工作环境和体验关注度日益提升。工人工作过程中的舒适度、可见性、出入是否方便、可达性和抓取、力量评估等都需要进行准确的预测与优化。

在产品制造过程中，人机协同的装配可达性、工件抓取路径、安全性分析、能量消耗支出等需要提前验证；在产品维护阶段，产品部件拆装、可见性、工件抓取、力量评估、举升、安全性分析等也需要通过仿真手段进行准确分析。这些工作都需要利用人机工程仿真系统进行人体建模与仿真、人机协同工程验证，从而帮助企业提高工艺规划的准确度和改进车间工艺过程。使用人机工程仿真系统，用户可以在虚拟环境中创建精确尺寸的人体数模，定义其完成指定的任务并分析相应的性能，完成人机协同环境下任务的充分评估。

生产设备的数字化验证

生产设备从概念创新到设计、组态以及进行真正的生产的实施过程，需要不断对设备进行验证、试错，发现潜在的设计缺陷并进行优化，才能最终将创新的理念完美落地。而在传统的设备验证过程中，潜在设计缺陷往往集中爆发于实体样机的调试与验证阶段，从而导致设备的试错成本异常昂贵。

数字化验证是需要在虚拟环境中，打造出虚拟的生产设备模型，将实际的自动控制系统逻辑与虚拟设备模型无缝连接在一起。通过实际自动化命令控制虚拟生产设备，从而实现基于真实控制逻辑的数字化验证。关键机械设备通过 3D 数字建模，可以静态验证设备的结构合理性和装配工艺。在 3D 数模的基础上，进而进行动态的设备工艺动作仿真。将关键设备的 3D 数模，在计算机中按照工艺动作要求，进行仿真，则可以验证机械运动干涉；进行驱动轴转矩转速分解，选型验证；进行机械强度校核计算。从而在样机实物生产之前在计算机中进行仿真加工验证。

工艺人员需要掌握：电气自动化设计、安装与调试、机械设计、建模与仿真以及计算机辅助设计、计算机辅助制造类软件协同使用等。

针对数控机床的切削策略验证

现代制造业大量使用到数控机床。对数控机床加工的工艺策略和切削策略的验证目前大多是通过计算机系统对刀尖轨迹进行仿真，然后到真实机床上进行切削验证。

在面向未来的加工任务中，针对确定的加工对象和加工任务，工艺人员要能够搭建来自真实机床的物理模型、运动学模型以及数控系统编译状态为一体的工艺验证环境。同时，对切削过程的主要技术参数、切削路径以及机床受力、机床负荷和加工节拍进行反复模拟、在诸多切削策略当中选取、验证最佳策略。

工艺人员需要掌握：机床建模、运动副搭建、在线自适应切削、在线切削路径分析等现代工业软件。并且能够熟练的和计算机辅助制造类软件协同使用。

基于工艺历史数据库和标准的工艺纪律监管

基于全集成技术框架的实时数据库和人机界面技术越来越多的制造企业开始利用数字化工具实时监控、跟踪追溯整个生产过程，诸如：实时监控并归档记录生产过程中的设定参数和实际运行数据，以及生产过程当中的异常信息，如系统故障、过程故障。这样，可以对生产质量和效率进行分析，优化改进后续生产。

对于某些重要操作，尤其是制药、食品饮料等对生产过程严苛监管的行业，在运行系统中对信息变更进行记录，如产品配方数据的变更；也对用户操作行为进行审计跟踪。基于电子签名、电子记录、审计跟踪功能，可快速了解设备的操作人员身份、操作时间、操作动作以及操作原因等信息，有效地监管和追溯生产过程。

因此，生产过程信息化可视化工具的掌握就逐渐成为了工程人员的基本要求。

基于过程分析技术的工艺纪律全程监管

有些工业领域需要对生产过程中的工艺执行全程监管。以制药行业为例，目前通行世界的 GMP 管理，就是对生产过程工艺纪律进行全面监管，进而实现设计工艺和验证工艺以及执行工艺做到全面统一、可追溯。

通过部署自动化技术和使用符合 GMP 标准的自动化设备和控制策略，大部分制药行业的制造业用户已经从传统的纸质记录进化到了电子批记录。从而极大的保证了生产质量和合规检查的一致性。

未来，工艺部门将借助于在过程分析技术 (PAT) 和药品质量生产管理规范 (GMP) 方面的知识以及相

关软件，将质量变为生产过程（控制策略）不可分割的一部分，即通过质量源于设计 (QbD) 实现首次即正确生产。质量源于设计 (QbD) 将以前的下游质量控制转移到生产工艺本身当中，用来加快各个工艺段并防止偏差。通过引入过程分析技术的多学科方法。另外，它还可进行可靠预测，并连续改进直至生产执行系统 (MES) 层、实验室信息管理系统 (LIMS) 层以及企业资源规划系统 (ERP) 层的质量和效率。同时在线监视可确保生产过程在规范内运行，从而降低成本。通过过程分析技术 (PAT)，制药厂商可充分了解各步工艺，并可基于过程数据更快地放行产品。成功实施 PAT 的意义不只局限于技术方面，终极目标是通过在线质量控制的方法获得更好的对工艺过程的内在了解，实时产品实时放行，质量的连续提高以及符合法规监管。

工艺人员需要掌握基于 PAT 技术的数字化工具和基于先进 DCS 自动化技术的多种数字化、智能化工具，从而在全面满足 GMP 可追溯、可审查的前提下，大大加快新药的上市速度，更好的参与市场竞争。

维护维修岗位人员技术能力框架

维护维修的工作内容和工作方式将发生巨大变化

制造业数字化企业的维护维修人员，负责设备和机械的连续运行。使用数字化系统，监督例行维护并组织维修。参与控制和监视设备，并参与有助于维护的项目的过程。维护维修人员对于制造业和加工业的效率、发展和进步至关重要。协同其他专业人员合作，改善生产设施，减少发生重大故障的可能性，并制定策略以提高工厂，人员和生产过程的整体可靠性和安全性。

维护维修的数字化变革将改变企业现有维护维修工作的思维方式，工具使用和工作方法。数字化企业的维护维修工具，对技术人员提出了新的时代挑战。

数字化思维

维护维修的主要工作将从被动式的应急服务向主动式的预防性维护维修转变，目前的工作主要是解决已经发生的问题和情况，今后将通过物联网的数据、基于数据云的维护工具以及大数据的人工智能等技术转变成提前性、预判性的维修服务，从而防范于未然，数字化的维护维修首先需要转变为数字化的思维方式。

数字化方法

借助于数字化双胞胎或者数字化仿真技术，可以在虚拟世界中尝试和体验维护维修，尤其是故障排除方法，备件替换工作的方式和方法。通过虚拟世界的练习和熟练，从而提升在现实世界的效率，具备更多的数字化工作方法。

数字化工具

维护维修工作将借助于更多的数字化工具完成日常的工作，如使用智能的预防性维护软件，或者基于工业软件的故障巡查和排除，或者更多便携甚至可穿戴设备的工具软件。工作过程中将越来越多的使用基于增强现实技术（AR）或者虚拟现实技术（VR）的数字化工具。

数字化维护维修的数字化能力模型

在制造业数字化生产工作中，维护维修工作主要分成三个部分，首先是在生产设备出现故障或者停机的时候，能够快速排除故障的应急维护；对生产设备和控制设备的例行保养性维护，目的为防止意外事故发生，称之为预防维护；还有能够根据生产中的数据，环境变化，时间关系等因素能够对设备系统做出预测性的诊断，在故障和危机之前将其避免，称之为预测性维护。

应急维护

既能够使用常规工具，又要能够使用计算机工具和软件，以及移动终端等智能设备。在生产设备

出现故障，生产受到影响的时候，能够快速响应故障，并及时诊断故障问题，通过安装新零件并确保设备正常工作。

在复杂的应急维护中，为了降低维护过程的二次风险，也将采用数字化双胞胎技术，在数字化双胞胎中完成实验性应急维护，然后在真实的生产设备上完成处理紧急情况，计划外的问题和维修。

在高度复杂生产中，通过大数据技术可以快速地匹配或者临近匹配可以使用的替代备件，快速恢复生产。

预防维护

进行日常维护工作，确保发生故障时，机器和设备具有连续的保护层。通过日常的维护保养，保证生产参与的设备能保持良好的运行状态，降低事故率和风险的发生。

应用数字化的策略思维方式，设计维护策略、程序和方法，可以从设备管理的策略层提升预防维护的质量，并降低成本。例如，可以将不同设备年度或者重要维护周期安排与企业 MES 信息系统相连接，也可以将重要的维修保养经济参数和 ERP 相衔接，从时间和经济上最大的节约企业的运行成本。

应用大数据功能、边缘计算等新技术，智能化地安排不同物理特性的设备预防维护周期和方法，降低维护成本。

在生产规划采购中，通过选择更多的智能诊断设备，设备的自诊断和自保养功能，能更有效的从设备底层或者内部实现维护保养。

预测性维护

预测性维护是通过生产运行过程中，通过生产工艺的参数变化，环境的变化参数或者其他的数据趋势变化下，根据计算机算法或者人工智能的算法，对设备问题给出预测性的判断的技术。

预测性维护是维护工作的主要发展趋势，基于信息采集技术，环境分析技术，高速互联通讯技术和人工智能算法的发展基础上，将生产维护和这些先进信息物理技术的融合，将会产生更多的交叉学科和交叉应用技术，而正是这些多行业和技术交叉获得的“毛细”类维修维护能力，促进着预测性维护，甚至是整体维护类技术的发展。

维护维修人员知识与基础技能

熟悉电气电子工程、了解制造工程、熟悉机械工业、了解生产工程和熟悉工业软件数字化工具。

设备管理人员技术能力框架^{*1}

设备管理的工作内容和工作方式变革将发生巨大变化

在制造业数字化企业中，对生产制造设备进行采购和运营的技术规划，组织新生产设备的验收，并掌握设备的调迁、增减等情况。了解设备性能，督促运营维护人员对设备进行维修和保养，并对检修后设备进行验收和资料归档。设备管理技术人员在有些企业也称为规划技术人员。

设备管理工作将分成数字化设备规划和数字化设备监控两个大的工作内容。

数字化设备规划。由生产工艺或者工艺组织部门提出新的工艺设备或者新的工艺改进时，设备管理人员通常完成设备的规划和设备的验证功能。数字化将帮助设备管理技术人员根据生产任务实现的要求，在海量的设备中快速定位和寻找需要的设备类型和型号，完成设备规划工作；并提供多维度的数字化仿真功能，模拟电气或者机械设备的运行状态，在没有真实设备采购的情况下即可完成设备的验证功能。

数字化设备监控。通过统一的网络，统一的数据库，统一的编程方法等标准化的数字功能，设备

的监控将实现数字化，远程化和云端化。无论是设备的运行参数，能源消耗，安全信息还是维护状态都可以通过数字化的方式收集、传输、汇总、分析和实现。将浩如烟海的生产设备过程信息转换为数字化实现，从而更加集中和高效地完成企业数字化设备的监控。

数字化能力模型的预测

使用数字化工具完成采购评估，设备台账管理

能够使用数字化仿真软件和工具，在设备采购行为发生前，确定生产设备最优的性能参数和工作方式，甚至可以通过模拟生产工艺和环节，确定设备的详细参数，或评估供应商设备与生产的精确匹配。

通过虚拟技术的选型、调配、安装和验收

在企业进行设备更新、升级和新的工程项目时候，能根据生产的虚拟系统，或者生产设备仿真系统，确定和评估最佳型号。并能够通过数字化双胞胎技术，在虚拟生产中进行安装和验证，以降低实际设备的成本和风险。

通过虚拟技术完成设备安装和装配测试

工程建设期间的设备安装调试，将在虚拟技术和数字化双胞胎技术的帮助下，通过 AR 或者 VR 的实现方式，快速提升安装和调试的技能水平。相同的安装和调试工作，可以通过 VR，在数字化系统中进行练习和培训，然后在真实设备上快速完成所有工作。有效地压缩安装和装配的时间，并降低风险。

设备运行监控

通过工业网络系统，或者 5G 高速网络通讯，可以将生产设备的运行状态监控高度实时和集中显示和分析。有效和及时的设备运行数据，对于生产调度安排、材料和成品物流以及设备维护维修等关联生产部门有着非常重要的意义。

设备运行监控信息也将通过大数据存储或者云存储技术，大量和长久地存储起来，为产品或者设备的后期信息追溯，或者原材料信息追溯提供数据依据。

融合数字化的精益生产

制造业的精益生产，也将融合数字化的技术，在精益生产中的重要管理原则将更多的由数字化的流程工具保证，取代人工的流程管理，管理过程将更加明确，更加人性化和智能化，同时也极大地提升和放大精益生产对生产的指导意义。

设备管理人员知识与基础技能

熟悉与数字化生产设备有关的各项管理规定和操作规程、熟悉为满足生产工艺的设备配置要求、熟悉数字化生产设备的性能、结构和使用方法、了解生产设备的简单维修基础、基础技术外语阅读能力和基础电子图纸绘制能力，

资产管理技术人员能力框架^{*2}

资产管理的工作内容和工作方式变革将发生重大的变化

制造业数字化企业中，资产管理技术人员的主要工作为搭建企业有形或无形资产管理制度和实施，负责生产中设备的资产调拨、转移或者报废；也负责生产中设备的资产信息管理和清查，以及相关费用结算。

数字化统一了数据平台，将底层的生产数据和设备数据与企业上层管理数据，更加高效和透明地整合。资产管理技术人员借助数字化信息，以及人工智能或者基于云的算法，有效分析资产的使用率等关键信息，为资产管理技术人员提出新的要求和工作方式。

数字化能力模型的预测

配置管理

掌握数字化的思考方式和工具，应用配置管理过程，制定配置管理策略，实施配置管理策略级别，维护配置管理文档，提供有关配置管理的专家建议。在工程变更时，能应用工程变更过程和程序，完善工程方案变更，准备成本合理性建议。

持续改进

流程审核能力。能分析配置管理环境，并应用精益思维方法，应用数字化工具和方法，分析根本原因方法，对技术合规性管理流程、程序和资产配置审核。能审计资产管理流程和程序，审计资产管理策略，审核配置管理过程和程序，审核设计流程和程序，审核维护管理流程和程序，审核运营管理流程和程序，审核技术数据和信息流程与程序。

运行与维护

在生产运行中将资源分配给运营流程和过程，并能够应用运营管理过程和程序，制定运营流程和程序，制定运营策略和维护操作文档，管理运营管理流程和过程，计划运营流程，安排运营工作，监督运营工作。

在生产维护中，将资源分配给维护管理过程和程序，或将资源分配给维护工作，能分析维护管理环境。应用维护管理过程和程序，应用工作管理过程和程序，制定维护管理流程和程序，开发维护管理策略。制定预防性维护策略，并预测维护成本。实施维护管理策略，维护管理文档，管理维护过程和程序，管理维护工作流程，以及在维护中管理职业健康和安全。准备维护预算，准备维护工作说明。

系统化工程能力

在设计系统化工程设计阶段能应用数字化，实现设计过程和程序数字化工作。应用技术设计方法，制定设计过程和程序，管理设计过程和程序，计划设计验证和确认工作。在设计工程设计文档中，使用数字化和生命周期软件，管理数据一致性验证设计变更。

在工程分析中，能够将资源分配给技术数据和信息管理过程与程序。应用资产更新方法以及供应链管理，能够应用 FMEA / FMECA（故障模式、影响及危害性分析）分析，应用 RCM（以可靠性为中心的维护）分析适用监管框架的流程和程序，并对可靠性和可靠性建模方法进行分析和数据分析。

概念验证，使用数字化仿真工具和软件对工程过程和结果进行可靠性测试。

人员知识与技能基础

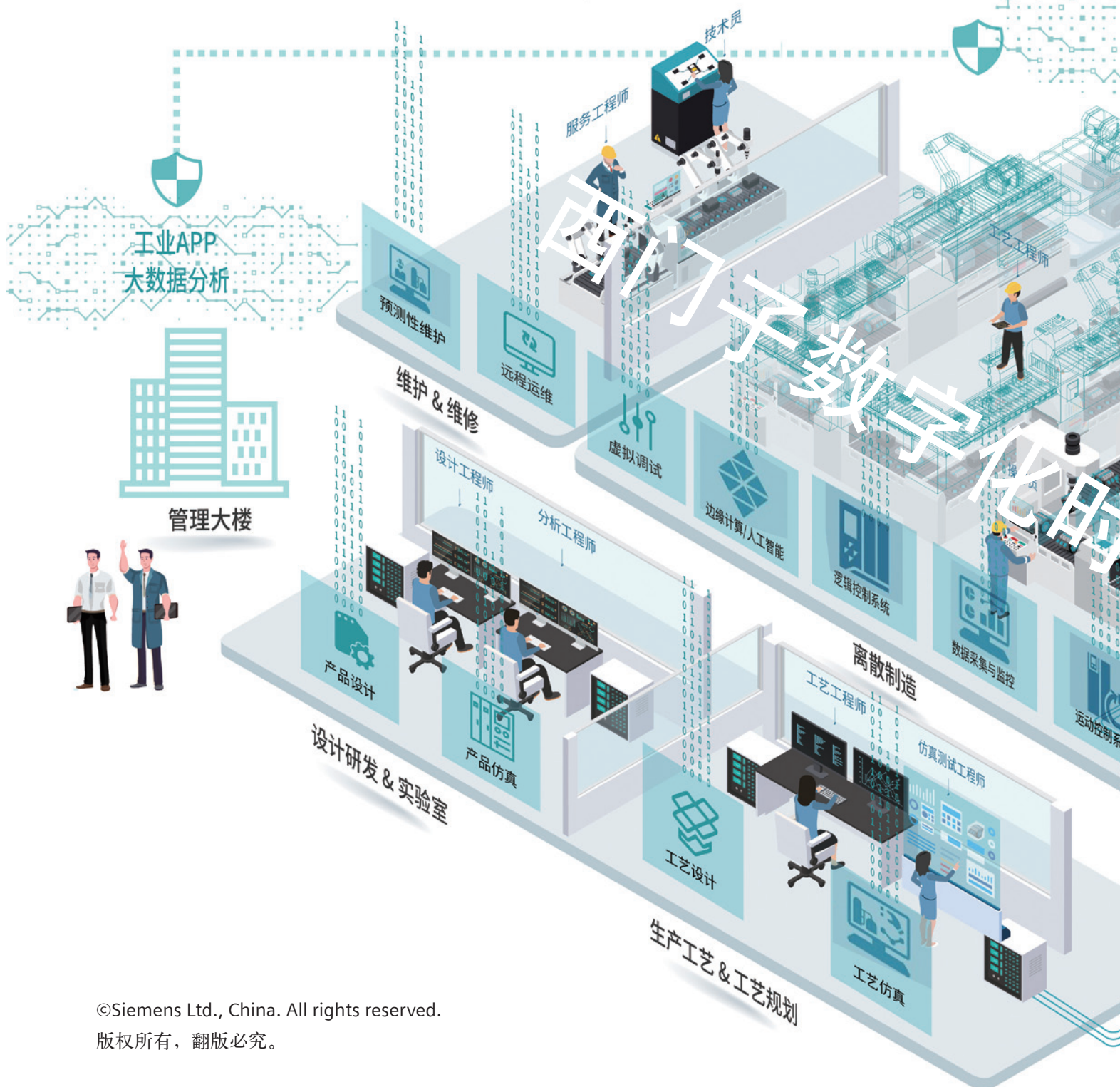
商业技能，能负责管理预算，领导团队并与供应商联系、了解一系列工程功能和程序的能力、良好的诊断和解决问题的能力、了解运营管理原则和流程、了解质量控制原则和过程、了解精益思维的原理和过程、基础技术外语阅读能力和熟悉 ERP 资源管理系统。

*1 设备管理人员技术能力框架标准，符合 PMS/T 1-2018 设备管理体系要求

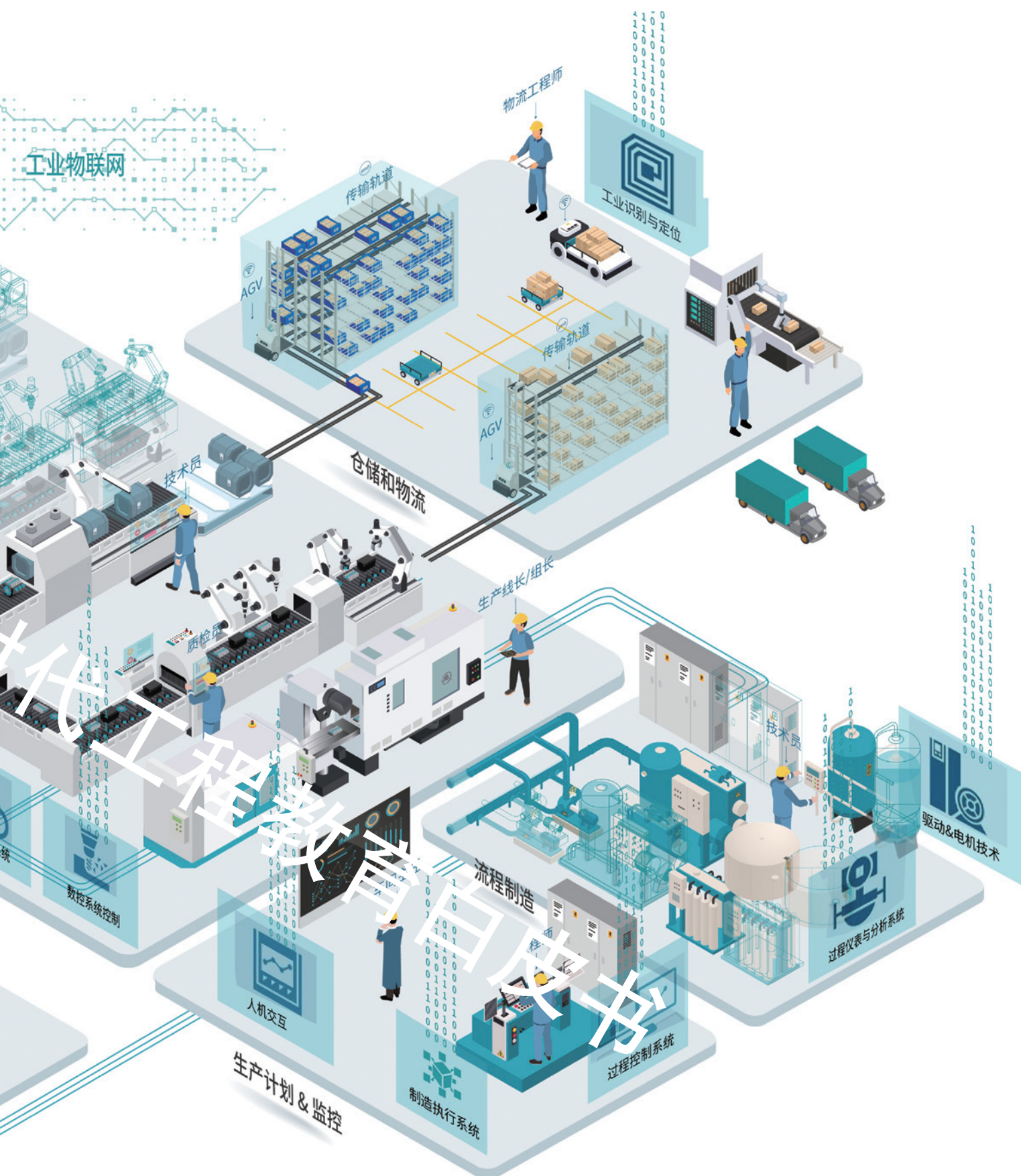
*2 资产管理技术人员能力框架标准，符合 ISO55000 资产管理国际标准要求

培养智能制造时代的新工程师

重构自动化和数字化全面融合的知识结构,打造制造业关键岗位人才培养模式体系



©Siemens Ltd., China. All rights reserved.
版权所有, 翻版必究。



自动化 + 数字化是未来制造业人才的能力框架

让我们把目光聚焦在一个典型的制造业场景当中。如上图所示，我们把一个制造业场景抽象成有多个典型制造业环节构造的人才能力蓝图。

在制造业企业内，通常包含下面几个部门（环节）

- 产品设计
- 工艺设计 + 制造工程
- 车间级的生产管理、监控
- 维修维护
- 物流管理（包含原材料物流、半成品物流和制成品物流）

总体上讲，在不同岗位上工作的工程师承担着不同的工作内容，当然也需要不同的自动化以及数字化、智能化的知识结构和能力水平。因此，对于中国的大多数制造业而言，如何找到最佳的人才匹配成为提升自动化、和数字化转型的关键。本章就制造业

关键岗位所需要掌握的自动化、数字化能力做了全面的阐述。

对于制造业企业现有的工程技术团队，可以参考、借鉴。并有针对性的制定学习、培养计划，从而全面提高团队的数字化能力。

对于中国的工科教育，具体到工程教育领域（以工程师和工程技术人员为主要培养目标）而言，应该针对制造业中不同岗位的具体要求按需配置并因材施教。在教育方针和教育目标上，在加强基础自动化知识和技能训练的基础上，应该着重加强学生数字化思维的建立，数字化能力的训练和对数字化工具的掌握，最终培养出面向数字化时代的新工程师。

西门子认为我们的工程教育要重构自动化和数字化全面融合的知识结构；打造制造业关键岗位人才培养模式体系。

西门子中国数字化工业集团致力推动中国工程教育、职业教育数字化转型

西门子教育合作历程

西门子教育合作项目

西门子长期支持中国工科人才培养，为了帮助工科学生在校期间提升自身的职业胜任力。从 2005 年开始，将服务于全球工业人才培养的西门子教育合作项目延伸到中国。不仅服务于自动化相关专业，还不断辐射于机械机电工程等领域，旨在推动整个智能制造领域人才培养。我们主要的合作对象是大学，尤其是面向应用型人才培养的大学，同时也服务于职业院校，以及技师类院校。我们的主要目标是通过设备、课程、教材等一系列的资源，和院校建立良好的合作伙伴关系，支持教师更便捷地为学生做实践类课程的培训。支持学生在校期间能够学习和掌握业内最新的产品和技术，也为西门子以及西门子的合作伙伴，客户企业培养优秀的年轻的专业人才。

西门子与教育主管部门的合作

西门子在教育上的投入得到了教育部门和社会的广泛认可。2011 年西门子与中华人民共和国教育部签订了教育合作备忘录并延续至今，双方约定围绕着制造业升级、转型和发展过程中所急需专业方向，利用双方优势资源，培养造就一大批创新能力强、具有国际视野、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程人才和技术技能人才，为国家走创新型发展道路、建设创新型国家，全面提高工程质量服务。同事，西门子与山东省教育厅，广东省教育厅以及

广东省人力资源与社会保障厅也分别签署了教育合作备忘录，共同为地方经济发展培养高质量的工程人才。2014 年起，西门子连续 6 年获得教育部颁发的卓越合作伙伴奖。

西门子教育合作成果

截至 2019 年底，西门子先后与 32 个省、自治区、直辖市的 400 余所高校和职业教育机构建立了良好的合作关系，通过资金、设备等形式联合共建实验中心；在过去的十几年中坚持为教师开放免费的技术培训，通过西门子培训中心、合作伙伴院校的西门子师资培训基地，以及支持 CIMC “西门子杯”中国智能制造挑战赛人才培养基地，每年培训 1000 人次以上的教师；2011 年至今，按照企业人才标准，累计认证在校生超过 5 万人；西门子与合作伙伴共同发起并赞助了 13 届 CIMC “西门子杯”中国智能制造挑战赛，合作赞助了 8 届全国数控技能大赛，为中国培养和输送了近六万名创新型工程人才。此外，西门子还与院校合作出版工程类教材。共计超过 40% 的工科院校参与了西门子教育合作的各项活动。

西门子从 2011 年起成为世界职业技能竞赛的全球合作伙伴和工业控制赛项的独家赞助商，同时作为数控车等 14 个赛项的合作赞助商。2017 年支持中国代表队获得工业控制赛项的金牌。

西门子教育合作框架

智能制造新工程师是西门子教育合作的主要培养目标

产业的变革必然带来人才需求的变革，在过去的几年里，西门子与“西门子杯”中国智能制造挑战赛组委会联合展开了制造业人才需求调研。调研数据表明，具备本土文化背景，又能将先进工业设计、新材料、新技术和新商业意识结合的新产品设计师，能够将新产品进行有效的市场推广与营销，能够将产品核心价值、品牌与用户作有效沟通的新产品经理，具备产线、装备的设计、开发、运营、维护的能力的新实施工程师；立足现场，具备良好的协作与沟通能力，能够基于产品设计分析，利用远程或现场调试与编程实现工艺革新、流程优化的新工艺技术人才，能够充分利用数字化工具进行精益生产分析、敏捷制造，最大化提高设备、人员利用率的新生产管理人才是当下乃至未来 3-5 年企业所最急需的人才。能够具备技术包括数字化技术，商业意识，管理思维，人文四种核心能力的复合型“新工程师”是未来中国智造的核心驱动力。

教育合作内容

为了能够帮助学校实现智能制造“新工程师”的培养目标，2018 年西门子发起及参与筹建智能制造“新工程师”校企联盟，并与联盟一起为合作院校提供如下合作内容：

(1) 教育包产品与实训基地建设

西门子将源于工业最新的产品技术配置成灵活的、适合教学的系统，并以教育价格投放到教育市场。同时，西门子工厂自动化工程有限公司提供专业的一站式实训基地建设服务。实训基地建设围绕自动化、信息化、数字化三大智能制造的核心要素，结合行业技术背景，进行分层次、递进式规划。西门

子提供覆盖全生命周期的产线级实训产品，可以训练学生在工业 4.0 背景下的数据横向调配以及纵向集成。

西门子同时协助与支持教育合作伙伴开展面向新工程师工程教育领域的教学探索、改革与实践，支持第三方教育设备供应商研发新型教学设备和相应实验室建设。

(2) 共研共建符合产业需求、对标岗位能力标准的课程体系

结合制造业企业需求，共同开发岗位能力模型及符合岗位人才培养需求的智能制造课程体系，实现生产过程中的经典案例到院校典型工作任务的转化，构建符合职业院校教育需求的教学资源包。具体建设内容包括：教材开发、教学设计、教学资源建设、课程设置、考核评价等人才培养的全过程。该项内容由西门子支持智能制造新工程师校企联盟具体实施。

(3) 支持师资队伍水平提升，建设面向全国的师资培训基地

西门子发挥自身深度参与德国工程及职业教育的经验优势和智能制造“新工程师”校企联盟的集群优势，为高校和职业院校教师提供专业的国内外技术培训和先进的智能制造综合能力课程，并对教师进行教育教学辅助。同时，在全国范围内西门子与高校和职业院校积极建设师资培训基地，共同为师资水平提升服务。

(4) 国际交流与合作

积极促进中德教师之间的交流，为合作院校教师搭建赴德交流培训的平台，并组织国外专家来华交流研讨。双方共同组织中外学生之间的竞赛、游学等交流活动。

(5) CIMC “西门子杯”中国智能制造挑战赛分赛区以及人才培养基地建设

支持 CIMC “西门子杯”中国智能制造挑战赛的赛教融合、以赛促教工作，开展分赛区及人才培养基地建设，协助组委会为学校培养认证的基地教师，并为相应的课程开发提供技术支持等。

(6) 西门子支持世界技能大赛

西门子将赞助和支持世界技能大赛做为教育人才培养的长期战略，作为世界技能大赛的全球工业合作伙伴和多个赛项的产品赞助商，通过世界范围支持世赛的举办与推广，积累了专业的世赛人才培养和实验室建设经验。在中国，西门子为参加世界技能大赛制造团队挑战赛、数控车、数控铣、电气装置、工业控制、制冷与空调、塑料模具工程、工业机械、工业 4.0、竞赛现场提供强有力的保障。

(7) 企业人才认证项目：

西门子管理学院、工业培训中心、各部门的技术中心，是西门子全球企业管理人员及工程技术人员成长进修的摇篮，是西门子百年的工程教育及双元制职业教育经验的传承者。基于中德工程与职教理念，针对院校自动化、工业软件、过程自动化、数控等专业领域的院校管理人才、骨干教师与学生，提供不同层次企业级、国际化人才学习进修及培训认证，培养更多市场需要的具备国际化视野与职业认知的工程人才。



联系我们

网站 www.siemens.com.cn/education

主 编：王海滨

（以下按姓氏首字母顺序排列，排名不分先后）

副主编：杨大汉 张时飙

编 委：段立东 黄昌夏 秦新鸿 杨轶峰 元 娜 苑 瞳 赵继政 朱自明

感谢所有参与编写以及提供文献的西门子同事：

茆 浩 曹跃宇 邓俊民 顾 欣 韩雅林 何海昉 胡甲宁 刘 丹 李 佳
王 超 王月民 王 艳 武 坤 吴小许 肖 芳 薛桂芹 姚 峻 袁晓舟
赵希西 张召中 张鹏飞 张 靖 郑 文 周繁荣 朱震忠

专业术语表

一、中国制造业数字化时代到来

PLM	产品生命周期管理 (Product Lifecycle Management)
MOM	生产调度管理 (Manufacture Operation Management)
TIA	全集成自动化 (Totally Integrated Automation)
OEE	设备综合效率 (Overall Equipment Effectiveness)

二、维护维修、设备管理和资产管理岗位数字化能力模型的预测

AR	增强现实技术 (Augmented Reality)
VR	虚拟现实技术 (Virtual Reality)
MES	制造工程系统 (Manufacturing engineering system)
ERP	企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)
FMEA	故障模式与理象分析 (Failure Mode and Effects Analysis)
FMECA	故障模式、影响及危害性分析 (failure mode effects and criticality analysis)
RCM	以可靠性为中心的维修 (Reliability-Centered Maintenance)

三、自动化是制造业数字化的基石，其关键技术仍在不断前进和发展

PLC	可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)
HMI	人机界面 (Human Machine Interface)
CNC	机床计算机数值控制 (Computer Numerical Control)
DCS	分布式控制系统 (Distributed control system)
FA	工厂自动化 (Factory Automation)
NPU	网络处理单元 (Network Processing Unit)
VPU	视频处理单元 (Video Processing Unit)
CPU	中央处理机 (Central Processing Unit)
SVG	可伸缩向量图形 (Scalable Vector Graphics)
OPC UA	开放平台通信 — 统一架构 (Open Platform Communications – Unified Architecture)
SCADA	监测控制和数据采集 (Supervisory Control and Data Acquisition)
PA	过程自动化 (Process Automation)
PIA	过程仪表与分析仪表 (Process instrumentation and Analytics)

DMZ	隔离区 (Demilitarized Zone)
MTP	模块化类型包 (Modular Type Package)
OEM	原始设备制造商, 定牌生产合作 (original equipment manufacturer)
RTLS	实时定位系统 (Real Time Location System)
CAD	计算机辅助设计 (Computer - Aided Design)
CAM	计算机辅助制造 (computer-aided manufacturing)
CAE	计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering)
MCIS	Motion Control Information System (MCIS) 运动控制信息系统
MRO	维护、维修、运行; 维护、维修、大修 (简称运维) (Maintenance, Repair and Operations, Maintenance, Repair and Overhaul)
AOS	资产优化技术 (Asset Optimization System)

四、西门子中国数字化工业集团致力推动中国工程教育、职业教育数字化转型

CIMC	“西门子杯”中国智能制造挑战赛 (Siemens cup China Intelligent Manufacturing Challenge)
------	--

五、工艺部门的工作内容和工作方式正在发生巨大的变化

MBOM	制造物料清单 (Manufacturin Bill Of Materials)
GMC	通用运动控制 (General motion control)
WINCC	视窗控制中心 (Windows Control Center)
GMP	良好作业规范 (Good Manufacturing Practice)
PAT	过程分析技术 (Process Analytical Technology)
QBD	质量源于设计 (Quality By Design)
LIMS	实验室信息管理系统 (Laboratory Information Management System)
ERP	企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)
PAT	过程分析技术 (Process Analytical Technology)

六、西门子对制造业关键岗位的数字化能力模型的预测 — 研发

OTA	空间下载技术 (Over-the-Air technology)
MBSE	基于模型的系统工程 (Model Based System Engineering)
BOM	物料清单 (Bill Of Material)

北方区

北京
北京市朝阳区望京中环南路 7 号
电话: 400 616 2020

包头
内蒙古自治区包头市昆区钢铁大街 74 号
财富中心 1905 室
电话: (0472) 520 8828

济南
山东省济南市舜耕路 28 号
舜耕山庄商务会所 5 层
电话: (0531) 8266 6088

青岛
山东省青岛市香港中路 76 号
颐中假日酒店 4 楼
电话: (0532) 8573 5888

烟台
山东省烟台市南大街 9 号
金都大厦 16 层 1606 室
电话: (0535) 212 1880

淄博
山东省淄博市张店区心环路 6 号
汇美领域 2314 室
电话: (0533) 602 6110

潍坊
山东省潍坊市奎文区四平路 31 号
鸢飞大酒店 2408 房间
电话: (0536) 822 1866

济宁
山东省济宁市市中区太白东路 55 号
万达写字楼 1306 室
电话: (0537) 316 6887

天津
天津市和平区南京路 189 号
津汇广场写字楼 1401 室
电话: (022) 8319 1666

唐山
河北省唐山市建设北路 99 号
火炬大厦 1308 室
电话: (0315) 317 9450/51

石家庄
河北省石家庄市中山东路 303 号
世贸广场酒店 1309 号
电话: (0311) 8669 5100

太原
山西省太原市府西街 69 号
国际贸易中心西塔 16 层 1609B-1610 室
电话: (0351) 868 9048

呼和浩特
内蒙古呼和浩特市乌兰察布西路
内蒙古饭店 10 层 1022 室
电话: (0471) 620 4133

东北区

沈阳
沈阳市沈河区青年大街 1 号
市府恒隆广场 41 层
电话: (024) 8251 8111

大连
辽宁省大连市高新园区
七贤岭广贤路 117 号
电话: (0411) 8369 9760

长春
吉林省长春市亚泰大街 3218 号
通钢国际大厦 22 层
电话: (0431) 8898 1100

哈尔滨
黑龙江省哈尔滨市南岗区红军街 15 号
奥威斯发展大厦 30 层 A 座
电话: (0451) 5300 9933

华西区

成都
四川省成都市高新区拓新东街 81 号
天府软件园 C6 栋 1/2 楼
电话: (028) 6238 7888

重庆
重庆市渝中区邹容路 68 号
大都舍商厦 18 层 1807-1811
电话: (023) 6382 8919

贵阳
贵州省贵阳市南明区新华路 126 号
富中国际广场 10 楼 E 座
电话: (0851) 8551 0310

昆明
云南昆明市北京路 155 号
红塔大厦 1204 室
电话: (0871) 6315 8080

西安
西安市高新区锦业一路 11 号
西安国家服务外包示范基地一区 D 座 3 层
电话: (029) 8831 9898

乌鲁木齐
新疆乌鲁木齐市五一路 160 号
新疆鸿福大饭店贵宾楼 918 室
电话: (0991) 582 1122

银川
银川市北京东路 123 号
太阳神大酒店 A 区 1507 房间
电话: (0951) 786 9866

兰州
甘肃省兰州市东岗西路 589 号
锦江阳光酒店 2206 室
电话: (0931) 888 5151

华东区

上海
上海杨浦区大连路 500 号
西门子上海中心
电话: 400 616 2020

杭州
浙江省杭州市西湖区杭大路 15 号
嘉华国际商务中心 1505 室
电话: (0571) 8765 2999

宁波
浙江省宁波市江东区沧海路 1926 号
上东国际 2 号楼 2511 室
电话: (0574) 8785 5377

绍兴
浙江省绍兴市解放北路
玛格丽特商业中心西区 2 幢
玛格丽特酒店 10 层 1020 室
电话: (0575) 8820 1306

温州
浙江省温州市车站大道 577 号
财富中心 1506 室
电话: (0577) 8606 7091

南京
江苏省南京市中山路 228 号
地铁大厦 17 层
电话: (025) 8456 0550

扬州
江苏省扬州市邗江区博物馆路 547 号
德馨大厦 1508 室
电话: (0514) 8789 4566

扬中
江苏省扬中市前进北路 52 号
扬中宾馆明珠楼 318 室
电话: (0511) 8832 7566

徐州
江苏省徐州市泉山区科技大道
科技大厦 713 室
电话: (0516) 8370 8388

苏州
江苏省苏州市新加坡工业园苏华路 2 号
国际大厦 11 层 17-19 单元
电话: (0512) 6288 8191

无锡
江苏省无锡市县前东街 1 号
金陵大饭店 2401-2402 室
电话: (0510) 8273 6868

南通
江苏省南通市崇川区桃园路 8 号
中南世纪城 17 栋 1104 室
电话: (0513) 8102 9880

常州
江苏省常州市关河东路 38 号
九洲寰宇大厦 911 室
电话: (0519) 8989 5801

盐城
江苏省盐城市盐都区
华邦国际东厦 A 区 2008 室
电话: (0515) 8836 2680

昆山
江苏省昆山市前进东路 389 号
台协大厦 1502 室
电话: (0512) 55118321

华南区

广州
广东省广州市天河路 208 号
天河城侧粤海天河城大厦 8-10 层
电话: (020) 3718 2222

佛山
广东省佛山市南海区灯湖东路 1 号
友邦金融中心 2 座 33 楼 J 单元
电话: (0757) 8232 6710

珠海
广东省珠海市香洲区梅华西路 166 号
西藏大厦 1303A 室
电话: (0756) 335 6135

南宁
广西省南宁市金湖路 63 号
金源现代城 9 层 935 室
电话: (0771) 552 0700

深圳
广东省深圳市南山区华侨城
汉唐大厦 9 楼
电话: (0755) 2693 5188

东莞
广东省东莞市南城区宏远路 1 号
宏远大厦 1510 室
电话: (0769) 2240 9881

汕头
广东省汕头市金砂路 96 号
金海湾大酒店 19 楼 1920 室
电话: (0754) 8848 1196

海口
海南省海口市滨海大道 69 号
宝华海景大酒店 803 房
电话: (0898) 6678 8038

福州
福州市晋安区王庄街道长乐中路 3 号
福晟国际中心 21 层
电话: (0591) 8750 0888

厦门
福建省厦门市厦禾路 189 号
银行中心 21 层 2111-2112 室
电话: (0592) 268 5508

华中区

武汉
湖北省武汉市武昌区中南路 99 号
武汉保利大厦 21 楼 2102 室
电话: (027) 8548 6688

合肥
安徽省合肥市濉溪路 278 号
财富广场首座 27 层 2701-2702 室
电话: (0551) 6568 1299

宜昌
湖北省宜昌市东山大道 95 号
清江大厦 2011 室
电话: (0717) 631 9033

长沙
湖南省长沙市天心区湘江中路二段 36 号
华远国际中心 24 楼 2416 室
电话: (0731) 8446 7770

南昌
江西省南昌市北京西路 88 号
江信国际大厦 14 楼 1403/1405 室
电话: (0791) 8630 4866

郑州
河南省郑州市中原区中原中路 220 号
裕达国贸中心写字楼 2506 房间
电话: (0371) 6771 9110

洛阳
河南省洛阳市涧西区西苑路 6 号
友谊宾馆 516 室
电话: (0379) 6468 3519

技术培训
北京: (010) 6476 8958
上海: (021) 6281 5933
广州: (020) 3718 2012
武汉: (027) 8773 6238/8773 6248-601
沈阳: (024) 8251 8220
重庆: (023) 6381 8887

技术支持与服务热线
电话: 400 810 4288
(010) 6471 9990
E-mail: 4008104288.cn@siemens.com
Web: www. 4008104288.com.cn

亚太技术支持 (英文服务) 及软件授权维修热线
电话: (010) 6475 7575
传真: (010) 6474 7474
Email: support.asia.automation@siemens.com

公司热线
400 616 2020



西门子（中国）有限公司
数字化工业集团

如有变动，恕不事先通知
西门子公司版权所有

版权声明：

本白皮书版权属于西门子（中国）有限公司，并受法律保护。转载、摘编或采取其他方式使用本白皮书文字或者观点传播的，应标注“来源：西门子（中国）有限公司数字化时代工程教育白皮书”。违反上述声明者，本公司将追究其相关法律责任。