

新一代人工智能技术在德国工业 4.0 中的应用 路径研究

孙浩林

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 新一代人工智能技术是传统制造业实现数字化的关键技术之一, 具有很大的应用潜力。作为全球制造业转型升级的先驱国家之一, 德国对人工智能和其工业 4.0 生产模式的结合表现出了较高的兴趣, 一些德国制造业企业也已开展相关的应用探索。本文通过对人工智能在工业 4.0 中的现实应用案例进行分析, 总结出其一般性的应用路径, 包括制定战略、搭建机器学习基础、确保数据质量和可获得性以及培养相关专业人才, 并据此为我国人工智能与制造业的融合发展提出建议。

关键词: 德国; 人工智能; 工业 4.0; 应用路径

中图分类号: G321 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2019.07.007

德国是世界闻名的制造业强国, 其先进的制造工艺、高质量的工业产品得到全球消费者的称赞, 德国的制造业企业也因此具有强大的国际竞争力。在当前第四次工业革命的潮流席卷全球背景下, 德国成为最早提出并开始实施第四次工业革命的国家之一, “工业 4.0”模式则是其推进制造业从当前的信息化迈向下一阶段“数字化+自动化”的有效路径。

工业 4.0 的实现离不开当前正在迅速发展的数字化技术, 其中, 新一代人工智能作为近年来受世界各国普遍关注的关键技术之一, 对德国传统制造业的升级有着巨大的推动作用。德国的人工智能发展水平很高, 拥有丰富的专业人才, 且政府对于这一领域的发展也给予了充分的重视。可以预见, 人工智能将在德国未来的工业 4.0 生产模式中扮演重要角色。

目前国内有部分学者已经开始对人工智能在

工业 4.0 中的应用潜力展开了研究。如陈巍^[1]、王可凡^[2]、陈超^[3]在各自的研究中列举了人工智能在工业 4.0 和制造业中的典型应用领域和应用潜力; 张颖聪^[4]、钱峰等^[5]、薛加玉^[6]则讨论了人工智能对制造业升级的提升作用以及当前国内进行二者融合进程中遇到的路径问题等。但总体来说, 国内学者对于人工智能技术如何真正应用到实际的生产过程中、这种应用究竟能给传统制造业带来哪些方面的变化等问题还缺少实证的研究和分析。特别是由于语言的限制, 当前国内对德国的情况进行深入分析的研究成果还不多, 但德国作为智能制造的发展先锋和人工智能技术的有力竞争者, 确实具有很高的研究价值, 能够为我国实现传统制造业的转型提供重要的参考。

为了明确德国新一代人工智能在工业 4.0 时代的制造业中的应用路径, 本文将对德国在此领域的战略、政策以及现实案例进行深入研究, 以为我国

作者简介: 孙浩林 (1992—), 男, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向为德国科技政策和科技管理。

项目来源: 中国科学技术信息研究所创新研究基金青年项目“新一代人工智能技术在德国工业 4.0 中的应用路径和应用潜力研究”(QN-201907); 中国科学技术信息研究所重点工作“新一代人工智能战略研究资源建设与服务工作”(ZD2019-07)。

收稿日期: 2019-06-22

的相关发展提供可参考的应用和普及方案，从而避免“人工智能+制造”发展道路上的盲目性，并为可能遇到的困难和问题提前布局，设计有效的解决方案。

1 德国工业 4.0 和人工智能发展现状及支持政策

1.1 德国工业 4.0 简介

“工业 4.0”是属于德国“高技术战略 2020”行动计划的一项未来计划。这一概念最早在 2011 年的汉诺威工博会上向公众提出。2015 年，德国联邦政府在《工业 4.0 战略计划实施报告》中，对工业 4.0 进行了较为严格的定义：工业 4.0 概念指第四次工业革命，它意味着在产品生命周期内对整个价值创造链的组织和控制再进一步，即意味着从创意、订单到研发、生产、终端客户产品交付，再到废物循环利用，包括与之紧密联系的各服务行业，在各个阶段都能更好地满足日益个性化的客户需求。所有参与价值创造的相关实体形成网络，获得随时从数据中创造最大价值流的能力，从而实现所有相关信息的及时共享。以此为基础，通过人、物和系统的连接，实现企业价值网络的动态建立、实时优化和自组织，根据不同的标准，对成本、效率和能耗进行优化^[7]。简单来说，德国工业 4.0 的发展规划可以概括为“一个核心”，即通过物理信息系统实现“智能+网络化”；“两重战略”，即领先的供应商和市场战略；以及“三大集成”，即横向集成、纵向集成和端到端的集成^[8]。

目前，工业 4.0 计划的研究与开展工作主要由德国信息技术、电信和新媒体协会（Bitkom）、德国机械设备制造业联合会（VDMA）和德国电气和电子制造商协会（ZVEI）3 家协会共同成立的“工业 4.0 平台”（Plattform Industrie 4.0）承担。该平台在 2013 年的汉诺威工博会上正式宣布成立，并在之后几年中不断扩展，现已由德国联邦经济与能源部（BMWi）以及教育与研究部（BMBF）共同领导管理。

经过多年的发展，德国已经为工业 4.0 的实施打下了一定基础，并在一些领域取得了长足的进步。但同时，工业 4.0 的应用潜力还没有被完全开发，仍需社会各界进一步探索。2019 年，工业 4.0 平台

发布了本年度的工业 4.0 进展报告，确定了德国到 2030 年发展工业 4.0 的三大指导原则，即“自主性、兼容性和可持续性”^[9]。其中，“自主性”是指通过自由的发展空间和自决性来保证数字商业模式的竞争力；“兼容性”是指通过合作和开放的生态系统实现多样性和灵活性；“可持续性”则指用现代工业价值创造过程保障高生活水平。这三大指导原则既是工业 4.0 发展和落实的根本原则，也是彼此间相互关联的战略性行动领域，三者间的关系及具体领域如图 1 所示。而在具体的发展领域中，人工智能与工业 4.0 的结合是其中重点提及的内容。

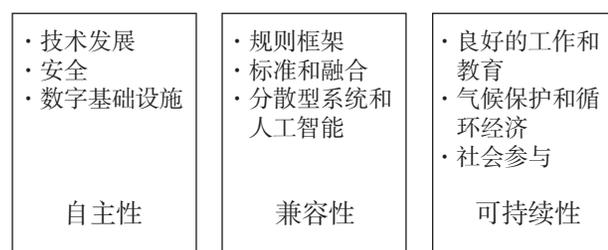


图 1 德国工业 4.0 指导原则 2030^[9]

1.2 德国在人工智能领域的支持政策及发展现状

鉴于新一代人工智能技术在当今世界科技发展中的重要地位及其为德国各行各业未来发展带来的巨大潜力，联邦政府对其寄予了厚望，不断加大这一领域的相关投入，还在战略层面对德国人工智能的发展进行了总体的规划。

在 2018 年 9 月出台的《高技术战略 2025》中，联邦政府将人工智能技术视为一种能够决定德国创新国家地位的“未来能力”^[10]。2018 年 11 月 15 日，德国内阁通过“人工智能战略”，提出了联邦政府发展人工智能技术的三大核心目标和 12 个行动领域，以及相关的促进措施。其中，联邦政府明确指出要挖掘人工智能与其他关键技术结合的潜力，工业 4.0 模式下的智能制造就是人工智能未来应用的一大重要场景^[11]。联邦政府到 2025 年将共投入约 30 亿欧元用于战略的实施，其杠杆效应还会撬动约同等数额的私人投资。

近年来，德国人工智能的发展虽然总体上不如美国和中国，但仍属于全球顶尖的人工智能技术强国，实力不容小觑。2018 年初，德国联邦经济与能源部委托德国工程院（VDI/VDE）的创新与技术

研究所 (iit) 对德国人工智能领域的相关企业、技术供应商和研究人员进行了问卷调查, 征询他们对于德国人工智能发展现状的看法, 其中包括对人工智能不同技术和应用领域的领先国家的评价^[12]。

在技术领域, 多数受访者认为德国在自然语言处理和认知建模方面的研究处于世界领先水平, 但这两类技术的供应商竞争力却不如美国; 而美国在自身具有优势的研究领域同样拥有高水平的技术供应商。这体现出德国人工智能技术从基础研究向市场转化的能力不足, 产业落后于研究的发展水平。

而在现有技术的应用领域, 德国在研究方面领先的资源管理优化、质量控制、智能自动化和智能传感器领域, 同样也拥有世界领先的供应商, 反映出德国在技术的综合应用方面较为擅长, 能够快速将现有技术应用在产品 and 市场中, 而这也是德国创新体系的优势所在。这种优势为德国人工智能技术在制造业企业进行工业 4.0 升级时得以应用奠定了良好的基础。

2 新一代人工智能技术在工业 4.0 中的应用现状与实例

2.1 人工智能已开始在制造业企业中应用, 但程度较低

从工业 4.0 的角度来看人工智能, 可以将其理解作为一种为技术系统赋能的方法或流程, 它能够让技术系统感知周围的环境, 处理从环境中收集的信息, 自主解决问题, 寻找新的解决方案, 并自主作出决定, 尤其是它还能够让系统在运行过程中不断进行自我学习、自我完善, 以更好地完成之后的任务^[13]。由此可见, 人工智能在工业 4.0 中的应用目的并不是简单地复制人作出决策的过程, 而是提升工业流程整体的效率和效益。因此, 在工业 4.0 中应用人工智能技术的首要目标是降低成本、节省时间、提高质量以及加强工业流程的鲁棒性。人工智能由于其高度的自主性和自我学习能力, 非常适合在处理复杂工业流程的同时实现上述目标。

鉴于人工智能技术自身的特点和优势, 部分制造业企业已经看到了将其应用到不同的价值创造领域的潜力。在工业 4.0 中, 无论是价值创造的基本活动还是支持性活动的开展方式都会发生改变, 这就决定了人工智能技术将在多个领域均能发挥作

用。德国联邦经济与能源部的委托研究结果显示, 制造业企业有将近 1/3 的价值创造活动能够应用到人工智能技术, 涉及采购、生产、设计、销售、服务等诸多环节, 特别是在设备和机器维护、生产和产能规划、质量控制等基本活动领域, 以及价值链管理、研发、行政等支持性活动领域^[12]。而随着企业各个价值创造环节的自动化程度不断提升, 人工智能的应用范围也将愈加广泛, 对企业生产效率的提升将越来越大。

然而, 虽然德国制造业企业对人工智能的应用抱有较高的兴趣和期待, 在实践中也已进行了部分应用, 但其应用程度仍处在一个较低的水平。这主要是由于企业若想在传统的生产和管理流程中引入人工智能技术, 必须进行必要的改造工作, 而这一过程需要大量的人力物力, 使得很多企业在未看到人工智能带来的巨大收益之前不敢进行这样的尝试。但随着工业 4.0 生产模式的不断推广, 企业对自身生产流程的智能化改造将成为必然趋势, 届时人工智能技术在制造业中的普及程度也将随之提高。

下文将具体介绍人工智能技术在德国工业 4.0 中的典型应用场景, 并列举 3 个当前德国制造业企业应用人工智能技术的实际案例或德国人工智能供应商提供的解决方案。

2.2 典型应用场景与实例

2.2.1 提高智能工厂自动化水平

工业 4.0 生产模式的一大基本目标, 就是要建成智能工厂, 从而实现不同企业和生产领域的互联。而所谓智能工厂, 则是利用各种现代化的技术, 实现工厂的办公、管理及生产自动化, 人工智能技术是实现这一目标、为传统工厂升级赋能的关键所在。

案例一: 德国施克公司的智能传感器应用

德国施克公司 (Sick AG) 是一家全球领先的传感器制造公司, 致力于为制造业企业提供以传感器为基础的智能自动化生产方案。在当前的工业 4.0 时代, 人工智能在传感器中的应用成为了施克公司重点关注的战略性创新方向, 其目标是通过人工智能让传感器能够更好地解决不同应用场景中的问题^[14]。

施克公司认为, 传统的传感器虽然已经可以较高效率地解决制造业企业的标准化生产问题, 但每

当遇到新的任务或不同的客户需求则会束手无策，这不利于未来以客户需求为中心的个性化“敏捷”生产方式的建立。而人工智能的应用，则能够让传感器通过自身的“学习”，对未来可能发生的需求和变化进行预测，并及时调整生产步骤。为此，施克公司一方面打造了“施克应用空间”（Sick App-Space）生态系统，为传感器中的人工智能应用提供必要的软硬件基础，保证应用所需的算力和操作软件；另一方面，由于传感器智能化后必然会收集大量的数据，为了保证生产系统和云端平台不被海量数据“淹没”，施克公司运用边缘计算技术，在生产系统和云端平台之间建立了一个传感器整合机（SIM），不仅对工厂中所有应用的传感器进行整合，还会自动清洗传感器收集到的数据，通过这种方式，不同模块的传感器可以不通过云端而直接自主作出决定。

施克公司开发的新型智能传感器不仅用于解决客户的生产问题，公司还将其用在了自身产品的生产上。在施克公司建于德国弗莱堡的工业 4.0 智能工厂“4.0 Now”中，12 个全自动生产模块、9 个人力工作区以及 1 个混合工作区像可移动的小岛一样分布在生产车间，这些模块在生产流程中的排列顺序将根据客户需求的不同随时进行变动。这种灵活生产模式的实现在很大程度上有赖于不同类型的智能传感器。在传感器的赋能下，工厂中所有的机器都是“全能机器”，可以进行焊接、粘贴、钻孔、

冲压、铭刻等一系列工作。工厂仅需按照订单要求，在自研的生产控制系统中录入产品模型，并将生产所需数据通过企业资源计划系统（ERP）传送到不同的传感器上，传感器就会根据客户需求自行安排生产模块排列顺序和 workflow。在这一过程中，传感器将操控模块自动寻找移动路线和需要连接的其他模块，机器则会自动识别传感器种类，进行相应生产工作和流程。当一个流程完成后，传感器将自动引导模块向下一个流程地点转移。通过这样的生产方式，施克公司可以在一间生产车间进行 50 万种不同种类产品的制造，生产规模可以从 1 件到 1 000 件不等，完全满足工业 4.0 智能工厂对个性化和灵活性的要求。此外，智能传感器在产品质量控制、材料位置追踪、生产安全等领域也具备较高的应用价值，已经成为了“4.0 Now”智能工厂中不可或缺的一大技术基础。

在工厂中的生产过程同样也是智能传感器的自我学习过程。施克公司在智能工厂中应用传感器的同时也在不断观察它们在真实工作条件下的能力，并据此对其进行改良和优化，并开发新的应用潜能。

2.2.2 预测性维护

对于制造业企业而言，生产设备的维修和维护是保证企业正常生产工作、维持高生产效率的关键环节。在企业中，常见的设备维护方式可分为 3 种，即事后维护、预防性维护和预测性维护，3 种维护

表 1 三种维护方式的定义及特点

	事后维护	预防性维护	预测性维护
定义	故障出现后用最短的时间快速完成设备维护	为避免突发和渐进性故障及延长设备寿命，按照经验、相关数据或设备用户手册等传统手段定期或以一定工作量为依据对设备进行检查、测试和更换	在设备运行时，对设备关键部位进行实时的状态监测，基于历史数据预测设备发展趋势，并制定相应维护计划
性质	被动维护	主动维护	主动维护
特点	最为常见和传统的维护方式 对故障情况事先没有了解 无法避免设备损失和突然性宕机	传统维护方式 事先对故障情况没有了解 可在一定程度上避免潜在故障带来安全和宕机风险 可能造成提前维护或延迟维护，导致人工及资源的浪费或加速设备老化	基于数字技术的新型维护方式 避免突然性宕机 及时对维护时间点进行预测 提高计划性

来源：根据文献 [14] 整理。

方式的定义和特点如表 1 所示。

基于数字技术的预测性维护对于降低制造业企业的成本、提高生产效率有着巨大的作用。根据美国联邦能源管理计划所 (FEMP) 的研究, 其可降低维护成本 25%~30%, 消除生产宕机 70%~75%, 降低设备或流程的停机 35%~45%, 提高生产效率 20%~25%。另据罗兰贝格与汉诺威工博会联合针对 153 家机械工程运营公司的调研显示, 81% 的受访企业已布局预测性维护, 其中有近 40% 的受访公司已在提供相关技术和服务^[15]。由此可见, 预测性维护已成为制造业企业未来的一大重要升级方向, 这对于实现工业 4.0 模式下的智能生产有着不可或缺的作用。而这一维护模式的实现与人工智能技术息息相关。

案例二: 德国制造业企业预测性维护相关解决方案

目前, 大部分德国制造业企业在预测性维护领域还处于布局和计划阶段, 现实应用案例以及对应用成果的分析资料还不充足。但已经有部分德国企业开始提供预测性维护的相关解决方案和技术, 通过这些案例可以看到人工智能在预测性维护中的重要作用。下举两例^[16]:

德国 Schaeffler 集团可为制造业企业提供一种能够自我控制的机器监控设备。该设备通过传感器对机器运转的实时数据进行监控和收集, 如机油量、温度、振动、轴承受力等。所收集的数据将用于构建机器和生产状态的虚拟模型, 由此在故障发生之前自动安排所需的维护行为, 如添加机油等。若设备的自动维护行为并没有阻止系统运行出现问题, 设备则会寻找其他可能的故障来源, 并通过智能手机通知维修员相关情况。

EMAG 有限责任 & 两合公司能够提供一种针对机器设备运行状态的诊断服务, 此类预测性维护系统能够对通过传感器收集上来的信息 (如控制器轴承的正常加速和振动情况) 进行初步的筛选, 并将其确定为中央数据库的基准值。在机器日常使用时, 系统将对机器当前的运行状态与基准值进行比较, 由此确定机器是否有发生故障的可能, 这样的好处是不需要将机器设计成需要拆卸零件才能进行检查的结构。在比较结果出来后, 系统会自动安排所需要的维护措施。

在上述两个案例中, 预测性维护解决方案都应用到了人工智能的多维度模型识别以及行动计划和优化功能, 从开始的信息收集和分析, 到最后采取相应的维护措施, 全部实现了自动化。人工智能能够精准定位设备的故障来源, 相比人工检修对全部设备和零件进行逐一筛查大大降低了维护时间和繁琐程度, 且通过机器学习还能快速适应变化的生产流程和新设备情况, 对提升工厂生产效率的效果明显。

2.2.3 质量控制

质量控制和质量管理是保证企业高效率运营的重要环节, 涉及从生产到服务的整条价值链。质量管理的最终目标是将企业的各个领域有机连接起来, 并不断改进, 从而提高工作效率并在长期内降低相关的成本。而人工智能的自身特点与这一目标的实现十分契合, 在工业 4.0 时代的生产模式下, 人工智能能够助力企业生产和服务质量的持续提高, 并不断降低传统生产和服务流程中的人力和其他相关成本。

以下案例正是德国制造企业在现实生产中实现上述质量控制目标的有效解决方案^[17,18]。

案例三: 通快公司在质量控制领域的人工智能应用

德国通快公司 (TRUMPF GmbH & KO. KG) 是工业用机床、激光技术和电子技术领域的世界领先企业。近年来, 通快公司不断提升人工智能技术在自身生产流程中的应用程度, 并积累了大量经验, 人工智能已经成为了公司生产中不可或缺的一部分, 其中质量控制就是应用较为成功的一大领域。

在通快公司位于瑞士格吕什 (Grüsch) 的激光平台机生产车间中, 人工智能已经开始全面负责对生产机器和产品部件的状态和故障进行监测和排除的工作。通快公司在该车间生产的 TruLaser 5030 激光平台机是一种极其复杂和精密的设备, 无论是产品本身还是生产过程都要求保证较高的质量。在没有应用人工智能技术前, 若生产过程或设备本身出现了故障, 维修人员必须对所有部件进行逐一的检查寻找故障来源, 十分耗费人力和时间。自 2014 年起, 公司通过对超过 4 000 台设备进行测量收集了大量相关数据, 这些数据最初先由专业人员进行分析和处理, 并让人工智能进行学习。在云端构建了

这些数据的基础后，人工智能已经有能力自动完成从数据收集、分析到给出解决方案的全过程，其通过对模拟、测量和分析程序的综合应用，能够对不同运行状态下的设备进行全面的监测，并不断学习排除故障的有效方法。

此外，人工智能在后续的客户服务中也起到了重要作用。当客户在使用设备时出现了问题，仅需通过手机将当前状态拍摄成照片和视频并发送给通快公司，人工智能就会自动分析可能的故障来源并将解决方案反馈给客户。通过这种方式，通快公司真正实现了从生产到服务整条价值链上的质量控制。

3 人工智能在工业 4.0 中的应用路径

人工智能技术是制造业企业提高生产效率、降低生产成本、优化自身价值链的有力辅助，也是在未来实现工业 4.0 生产模式的关键技术之一。当前很多制造业企业都希望在自身的生产和经营流程中引入人工智能，但这一过程并不是一蹴而就的，企业需首先学习和思考如何将人工智能顺利融入到自身当前的生产活动中，且最终实现希望达到的目标。因此，有必要结合上述应用实例和相关研究，分析人工智能在工业 4.0 中的有效应用路径，为相关企业提供一定参考。

3.1 制定适合本企业的人工智能战略

制造业企业若想对当前传统的生产流程进行基于人工智能技术的升级改造，需要首先制定一份适用于本企业情况的人工智能战略。另外，只有战略真正具有可行性，能够对企业现有的生产模式和结构产生积极影响，让企业最终成功实现人工智能技术的应用，才能被视为一份成功的战略。为此，制造业企业在制定战略前需要考虑以下 6 方面问题^[19]。

3.1.1 在企业中树立试验性思考模式

企业在设计人工智能应用战略时应建立试验型思维方式，为快速评估取得的进展以及做出是否需要更换方法的决策提供最大的灵活性和敏捷性，尽快习惯从测试和试验中获得经验和思路的改造升级模式。

3.1.2 组建跨领域数据科学团队

企业需要在一开始就找到合适的专家和人员管

理整个系统，他们能够在整个流程升级中起到关键的指导作用。所组建的团队需要包含不同领域的专家，如商业、数据、技术等，以及有能力部署和维护技术生态系统的 IT 人员。此外，团队中的联系人必不可少，即能够与数量分析专家、数学家、统计学家以及经理等进行有效沟通并向对方准确传达团队中不同主体意见的人员，若缺少此类工作，则很容易引起不同领域专家的误解和误释，进而导致项目失败。

3.1.3 制定和搭建有效的数据战略和生态系统

数据的获取和质量是人工智能应用的一大基础。企业必须建立起针对高质量数据和信息的有效认证、采购、分配和访问流程，所制定的指导方针和建立的数据生态系统必须能够支持探索性的环境（如沙盒制度）和工业 4.0 模式下的生产环境。在保证数据获取和访问具有便捷性和灵活性的同时，也不能忽视对安全、隐私和质量的保护。此外，针对一些非传统性的数据，如非结构化的文本、语音、图像等，企业还需建立起新的数据管理能力。这些方面需要在制定战略时就进行综合考量。

3.1.4 加强对高风险的容忍程度

在开发人工智能解决方案的过程中，企业会遇到大量的不确定性风险，如对于哪些成果属于“足够好”的判断标准，或如何验证和发展不同的应用模型等。在测试和实践中不断出现的新数据会对企业的质保和风险管理传统方法造成极大的挑战，甚至可能完全颠覆之前付出的努力和取得的成果。企业需要做好应对高风险的准备。

3.1.5 做好调整现有生产和经营流程的准备

无论是对现有的决策机制，还是已经运转成熟的生产流程，抑或原有的客户服务方式，人工智能的影响都会是颠覆性的。企业需要在制定战略时就对这些影响进行有效的评估，判断人工智能将会使哪些领域产生重大改变。但这种评估并不一定需要详细说明具体的影响方式和效果，因为在进行改造升级的过程中充满未知数，一些影响也不可能提前预料。在此基础上，企业可以对人工智能在特定领域的影响建立一个初步的自我认知，提前对调整工作进行布局，从而有效降低在之后不得不进行高成本的结构重组的可能性。

3.1.6 不断实践新的 IT 方法

随着人工智能利用机器学习能力对越来越多

的数据和场景进行认知和学习，最初应用的模型很可能会不再适用，需要通过新的 IT 手段对其进行不断的完善和维护。这种后续的开发流程需要像最初的模型开发阶段一样在实践中不断探索。

3.2 搭建人工智能的学习基础

在制定详尽的人工智能战略之后就需要开始搭建一个能够训练人工智能系统、让人工智能可以自主学习的环境。当前德国制造业企业所应用的一

种主流人工智能系统学习方法就是搭建基于特定规则的系统^①，具体来说是要将每一个工业流程通过传统编程和人工智能编程方法进行数字化处理建立模型，在自动执行过程中通过专业人员的辅助对系统进行不断的修正和改良，同时人工智能系统也会在这一过程中不断积累数据和相关案例，通过学习功能完善自身。主要流程如图 2 所示。

在学习过程的初始搭建阶段，专业人员的干预

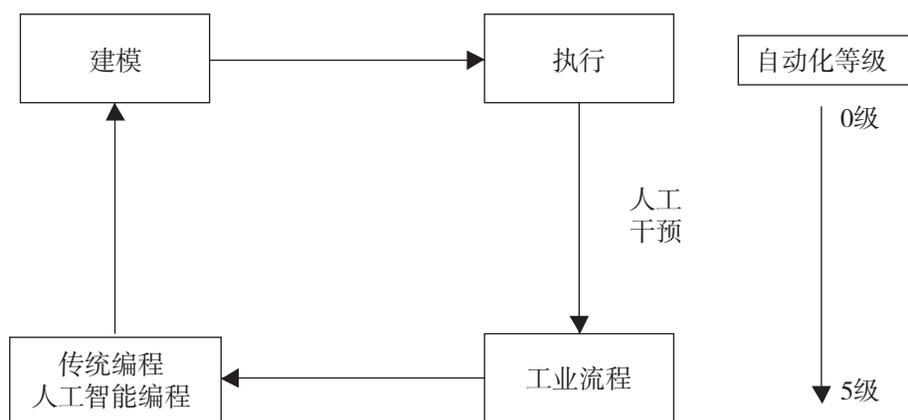


图 2 对工业流程进行人工智能升级改造的学习过程^[13]

是非常重要的。其将作为整个流程中的“监督者”，不仅要在最初制定系统遵循的基本规则，还要决定在人工智能系统的初步学习过程中输入哪些数据，以及为系统之后的学习准备哪些方面的数据。正如案例三中德国通快公司在最初搭建人工智能生产模式时，也是通过专业人员首先对所需数据进行分析 and 处理的。随着系统的不断学习和完善，需要人力进行的信息输入、处理和相关决策将逐渐减少，系统的自动化程度将不断提高，直至完全不需要人为干预。

在整个学习过程中，系统的自动化等级在理论上也将从一开始的 0 级，即全部工作通过人力完成，逐渐发展到 5 级，即所有的生产和经营领域都能实现自动化，即使在条件变化和合作的情况下，也完全不需要人工干预，这些等级主要是根据人在生产或经营过程中的参与程度来划分的（见表 2）。

为了真正搭建上述人工智能系统的学习环境，需要满足一系列的系系统前提。根据德国创新与技术

研究所在 2017 年的调查，无论是人工智能技术的应用商还是供应商，都认为算法的应变性、数据质量、传感器、数据主权和数据获取方式是最重要的前提条件^[12]。其中，算法问题是需要在部署人工智能应用之初就确定下来的，相关专业人员确定好适合本企业的算法之后，虽然会对其进行调整和更新，但主体结构基本不会变化，它是在当前自动化水平下人工智能系统所遵循的最根本标准。其余的前提条件都与数据的获取和处理相关，说明数据是在之后的应用过程中始终都需要企业着重关注的问题，只有持续接收高质量的数据和信息，以人工智能为基础的机器和系统才能不断地进行自我完善，更好地完成生产和经营任务。

3.3 确保数据的质量和可获得性

获取和收集企业内部的数据和信息可以通过应用一系列的软件和硬件实现，如传感器、数据处理软件和存储及分配数据的云服务等都已经是当前制造业企业在进行升级改造时所必备的技术基础。

① 当前主流人工智能学习算法还包括经典机器学习、表征学习和深度学习等。

表 2 不同自动化等级的特点^[13]

自动化等级	特点
0	无自动化：人进行所有工作，没有辅助
1	特定功能辅助：人依然对全部工作负责，并作出所有决策
2	特定领域的短时自动化：人依然对全部工作负责，并设定目标
3	更多领域的有限自动化：系统在发生问题时发出警示，人来验证系统给出的解决方案并亲自排除问题
4	在特定规则下系统自动工作和调整：人可以进行监测工作，或在紧急情况下进行干预
5	全领域自动化：即使在合作和变化条件下也完全不需要人力干预

在 2.2 介绍的应用案例中，无论是在哪些领域应用人工智能技术，首先都要通过大量的传感器收集生产流程中的数据，接着利用相关软件对数据进行处理和筛选，再将高质量数据上传到云端进行分析并作出决策，施克公司的智能传感器甚至能够根据收集上来的数据进行自主分析和决策。在整个过程中，企业的物联网平台或专门搭建的人工智能平台将起到关键的统筹作用，决定不同的机器设备在企业生产和服务流程中的应用方式并监测整体系统的运行情况。另外，在训练人工智能系统时，企业还需准备此前的历史数据，以便在验证人工智能算法预测的准确性时提供参考。

虽然企业内部数据是当前人工智能系统的主要“学习材料”，但在工业 4.0 生产模式下这一数据来源却是不足的。因此，企业在搭建人工智能系统时，也需要考虑如何从外部来源获得所需数据。但由于数据的敏感性，企业之间对于数据交换持非常谨慎的态度，且不同国家和地区的法律法规也对数据的交换和使用有着不同的要求。另外，现阶段不同企业和不同制造商的生产设备存储的数据往往存在格式不一致的问题，对非结构化数据和快速产生的实时数据的收集也还没有统一、合适的基础设施。这一系列问题都成为了获取和应用企业外数据的关键阻碍。为解决这一数据需求和供给间的矛盾，如今全球出现了几种不同的解决方案，例如一些新成立的特定经济区强制要求数据开放，或由数据托管人提供给企业不显示来源和个人信息的数据，还有一些数据用户和相关企业自愿组成了数据联盟，通过合同来规定相互之间的数据交换等。但总体而言，外部训练数据的获得手段至今仍处在探索之中，

制造业企业在进行人工智能升级时需要详细了解相关的法律法规，并积极寻找可行的数据来源。

3.4 培养人工智能开发和应用专业人才

人工智能在工业 4.0 中的应用给制造业企业带来的一大变化就是在生产和后续的服务过程中所需的员工数量不断减少。在现阶段，一些重复性的简单工作已经能够通过自动化设备和系统来完成，未来人工智能的应用则会进一步提升企业整条价值链的自动化程度，直至真正实现无人工厂。但在达到这一最终目标的道路上，人仍将在其中扮演至关重要的角色，只是需要人具有的能力会发生根本性的变化。

企业在制定人工智能战略时就需要组建跨领域科学团队。团队中的各方面专业人才一方面可以通过招募新员工获得，另一方面对于没有能力亲自组建人工智能团队的中小企业来说，可以聘请专业研究机构或技术供应商的团队为自己打造适合的人工智能系统。但对于后续的维护和改进工作，企业还是需要培养自身的人工智能人才，因为诸如机器学习数据的筛选，以及在紧急情况下的人为干预等任务，只有足够熟悉本企业生产和运营流程的员工才能胜任。

除了人工智能系统开发的专家团队，企业亲自参与生产和服务的员工也需要具备更多方面的专业知识和技能。一方面，人工智能使得机器设备的机械化程度和复杂度不断上升，且员工负责的生产流程可能不仅涉及某一个工作步骤，而是要求员工对整个企业生产和服务系统有较为清晰的了解和认识，从而能对出现的问题进行正确的反应。另一方面，员工需要具备与系统开发者、数据专家和其他

相关专业人员进行沟通和合作的能力。这两方面要求都需要员工不断扩展自身的能力范围,企业也要举办相应的培训和课程,增强员工对人工智能的了解和应用能力,培养跨领域的专业人才。

4 对我国的启示

我国是传统制造大国,也是全球公认的人工智能技术发展最重要的推动力量之一。在当前制造业面临重大变革之际,发展以人工智能为核心的智能制造已经成为我国建设制造业强国、实现转型升级的一大重要途径。

然而,中国的人工智能虽然具备市场广阔、数据量庞大等先天优势,但在与制造业融合的过程中仍存在一些路径上的固有问题^[6]。本文通过对德国人工智能应用于工业4.0的路径和相关支持政策进行分析和梳理,对促进我国人工智能与制造业深度融合提出以下几点建议:

第一,制造业企业应首先对自身的情况进行总体的评估和了解,判断当前是否有引入人工智能的基础和能力。人工智能作为一种高度依赖数据和算力的新兴技术,是需要一定的软硬件基础的。德国制造企业能够在现有基础上进行人工智能改造升级,是因为其工业基础基本已经处在信息化甚至初步数字化的阶段,而中国企业的自动化发展水平参差不齐,目前仅有1/6的制造企业能够达到网络化水平,其余5/6的企业甚至连内部的网络构建都尚不完善,根本无法满足人工智能的搭建环境^[6]。因此,对于大部分的国内制造企业来说,当前的首要任务是继续提升自身的信息化、数字化水平,谈论人工智能还为时尚早。但有意向在未来应用人工智能技术的企业可以先详细了解其所需的基本条件,并向着这一方向对自身的生产和服务进行改造升级。

第二,制造业企业在引入人工智能前要制定可行的战略。当前国内很多制造业企业看到人工智能的巨大潜力,都希望在自身生产和服务中引入这一新兴技术,但作出这一决策不应该是盲目的。人工智能的最大应用价值在于其可以降低生产成本、提高生产效率和产品质量,企业必须在引入前仔细思考如何让人工智能在自身的生产和服务过程中发挥其价值,结合自身的情况考虑需要首先在哪些环节

或步骤应用人工智能技术才能够带来最大的收益。此外,企业还需要在战略中对软硬件环境匹配、数据收集和获取、团队组建、人才招聘和培养等基本问题进行全盘规划。

第三,制造业企业可积极寻求与第三方技术供应商的合作。人工智能技术的应用需要具备很高的专业能力,一般的制造业企业实际上是无法独立完成的。从德国情况上看,即使是大型制造企业也依然会寻求与第三方专业人工智能供应商的合作,且这一趋势在未来会更加明显。因此,制造企业可积极寻求国内外有能力的人工智能供应商负责自身人工智能应用基础的搭建和训练过程。

第四,政府需加强对关键技术研究的重视程度,促进产学研深度融合。人工智能所需要的一系列软硬件技术,如传感器、数据处理软件、智能机器人等,是我国在该领域的薄弱环节,基本依靠从国外进口。因此必须加强这方面的研发投入,通过一系列的激励政策鼓励国内有实力的技术供应商开展相关研究,并加快研发成果的市场化进程。针对当前存在的产学研脱节问题,可以通过建立新型研发机构或技术应用平台等方式,为高校和研究机构与企业牵线搭桥,让学术界相关主体能够充分了解企业的切实需要,在此基础上进行技术研发。■

参考文献:

- [1] 陈巍. 人工智能对工业4.0关键技术引领探讨[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(2): 134-139.
- [2] 王可凡. 人工智能在工业4.0中的应用分析[J]. 电子制作, 2018(12): 23-24, 84.
- [3] 陈超. 人工智能在制造业中的应用[J]. 机械设计与制造, 2012(5): 161-163.
- [4] 张颖聪. 人工智能与先进制造业的创新融合[J]. 科技创业月刊, 2018(1): 11-13.
- [5] 钱锋, 桂卫华. 人工智能助力制造业优化升级[J]. 中国科学基金, 2018(3): 257-261.
- [6] 薛加玉. 人工智能赋能制造业转型升级[J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 9(3): 9-10, 16.
- [7] 陈明, 梁乃明, 方志刚, 等. 智能制造之路: 数字化工厂[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 17-18.
- [8] 谭建荣, 刘振宇. 智能制造: 关键技术与企业应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017: 14.

- [9] BMWi. Fortschrittsbericht 2019: Industrie 4.0 gestalten[R/OL]. (2019-03-01)[2019-06-09]. https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2019-fortschrittsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- [10] BMBF. Die Hightech-Strategie 2025[R/OL]. (2018-08-01)[2019-06-09]. <https://www.hightech-strategie.de/files/HTS2025.pdf>.
- [11] Bundesregierung. Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung[R/OL]. (2018-11-01)[2019-06-09]. <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>.
- [12] PAiCE. Potenziale der Künstlichen Intelligenz im Produzierenden Gewerbe in Deutschland[R/OL]. (2018-06-01)[2019-06-12]. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/potenziale-kuenstlichen-intelligenz-im-produzierenden-gewerbe-in-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=8.
- [13] BMWi. Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“ [R/OL]. (2019-03-01)[2019-06-12]. https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-industrie-40.pdf?__blob=publicationFile&v=10.
- [14] Konradin Industrie. Automationspraxis[R/OL]. [2019-06-12]. <https://automationspraxis.industrie.de/>.
- [15] 李杰. 工业人工智能 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2019: 131.
- [16] Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg. Einsatzfelder von Künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld[R/OL]. (2019-03-01)[2019-06-12]. <https://www.i40-bw.de/wp-content/uploads/Studie-Einsatzfelder-KI-im-Produktionsumfeld.pdf>.
- [17] Konradin Industrie. Trumpf: Maschinen lernen vor allem im Verbund[EB/OL]. (2019-01-18)[2019-06-12]. <https://automationspraxis.industrie.de/industrie-4-0/trumpf-maschinen-lernen-vor-allem-im-verbund/>.
- [18] Svenja Fischer. Problem erkannt – Problem gebannt: Wie Künstliche Intelligenz bei der Achsdiagnose unterstützt[EB/OL]. (2019-01-03)[2019-06-12]. https://www.trumpf.com/de_DE/magazin/wie-ki-bei-der-achsdiagnose-unterstuetzt/.
- [19] Murat Durmus. 6 Pillars of a successful AI-strategy[EB/OL]. [2019-06-12]. <https://www.aisoma.de/6-pillars-of-a-successful-ai-strategy/>.

Research on the Application Path of New Generation Artificial Intelligence Technology in German Industry 4.0

SUN Hao-lin

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: The new generation artificial intelligence technology is one of the key technologies for digitalization of traditional manufacturing, and has great application potential. As one of the pioneering countries in the global manufacturing transformation and upgrading, Germany has shown high interest in the combination of artificial intelligence and its industrial 4.0 production model. Some German manufacturing companies have also carried out relevant application exploration. This paper analyzes the practical application cases of artificial intelligence in Industry 4.0, and summarizes its general application path, including formulating strategies, building the foundation of machine learning, ensuring data quality and availability, and cultivating relevant professionals. Based on this, suggestions are put forward for the integration and development of artificial intelligence and manufacturing in China.

Key words: German; artificial intelligence; Industry 4.0; application path