

六级架构打造“工业互联网+智能体”融合发展范式

——访中国工业互联网研究院智能化研究所所长顾维玺

► 本报记者 李争粉

中国工业互联网研究院(以下简称“工联院”)智能化研究所6月26日发布《人工智能赋能新型工业化实施路径研究》报告(以下简称“《报告》”),以数据、算法与算力在工业场景应用为切入点,提出制造业数智化转型六级架构(设备、产线、车间、工厂、企业、生态),构建“工业互联网+智能体”融合发展范式。

近日,记者就相关话题专访了中国工业互联网研究院智能化研究所所长顾维玺。

记者:制造业数智化转型六级架构作了什么样的考量?目前哪部分发展较好?哪部分还存在问题?

顾维玺:制造业数智化转型六级架构,是立足制造业场景的业务属性,从数据、算力、模型等核心维度考量构建的逐层递进的数智化转型体系。该架构自下而上分为设备层、产线层、车间层、工厂层、企业层、生态层6个层级,可为制造业企业落地人工智能(AI)应用提供清晰的路径指引与标准化行动框架。

当前,企业级、生态级应用发展相对成熟,设备级、产线级和车间级应用存在明显差距。在六级架构中,越往上层越偏向信息化和“大脑”,大模型、智能体等AI技术在数据分析、资源调度等IT(信息技术)环境中较易发挥优势,应用相对容易;越往下层越偏向自动化控制和“小脑”“四肢”,对可靠性和低时延要求极高,现有人工智能技术难以完全满足场景需求。

记者:在六级架构下,不同层级的高质量数据集建设有何不同侧重点?制造业企业在分层搭建工业数据体系时,最容易出现的短板和误区是什么?

顾维玺:工业场景不同层级的数据来源、类型与特征差异显著。设备级数据源自传感器、数控装备、工业机器人等感知终端。数据类型包括设备数据、状态数据和工装数据等,具备实时性强、物理意义明确、价值密度低等特征。

例如,风力发电机组全天候产生TB(太字节)级高频时序数据,仅有极少数片段包含轴承早期故障特征,99%以上均为无价值的平稳运行数据。该层级应重点考虑实时同步采集、物理机理融合去噪、状态驱动自动标注等策略,高效筛选有价值的正样本数据。产线级与车间级数据源自可编程逻辑控制器、分布式



7月28日,在哈电集团哈尔滨电机厂有限责任公司线圈数字化车间,工人与智能制造设备协同生产。

新华社记者 张涛/摄

控制系统、人机界面、远程终端单元等控制与监控系统。数据类型包括多设备数据、控制系统数据和网络参数数据等,具备实时性强、数据体量大、多源异构且关联度高等特征。

例如,在半导体晶圆制造产线,数百台设备每秒钟生成数千个工艺参数点,每秒钟数据交换近百万次。该层级应重点考虑分布式高并发采集、全链路数据质量清洗、湖仓一体化管理等措施,实现产线级数据的实时汇聚、质量可控和关联可用。工厂级数据源自计算机辅助工程、制造执行系统、设备管理系统、仓库管理系统等。数据类型包括管理数据、工艺数据、作业过程数据、物料数据、计划数据、安全环保数据、质量数据等,具备流程关联性强、多模态异构、时空复杂度高和业务逻辑深度耦合等特征。

在半导体工厂流水线出现不合格品时,需关联入库记录、操作记录、工艺参数,定位质量异常原因,单厂每日数据可达10TB以上。该层级应重点考虑多源数据融合清洗、业务规则关联标注、时空索引构建等策略,提升工厂级数据的可关联、可解释和可复用能力。企业级数据源自企业资产管理系统、企业资源规划系统、供应链管理系统、人力资源系统等。数据类型包括人力资源数据、供应链数据、调度数据、生产计划数据等,具备战略导向强和安全合规监管高等特征。

制造企业在搭建工业数据体系时,须避免陷入三大误区。一是重设备采集而轻数据运营。在设备级层面,盲目追求全

量、高频采集,忽视进一步数据处理,积攒大量图片、文本等非结构化数据,无法被智能体有效检索与利用。二是重工具采购而轻业务重构。在产线级和车间级层面,将数据集建设等同于采购数据治理工具或高质量数据集,缺乏对现有业务流程的梳理、优化和重构,导致建设数据与实际业务“两张皮”。三是重局部建设而轻全局协同。在工厂级、企业级和生态级层面,不同部门、企业聚焦单点数据集建设,忽视研发、采购、仓储、销售全价值链的协同,导致数据集间标准不统一,难以产生复用价值。

记者:《报告》重点构建了“工业互联网+智能体”新型融合发展范式,这一范式如何落地应用于制造业生产场景?与传统工业智能化模式相比,能带来哪些实质性提升?

顾维玺:“工业互联网+智能体”融合发展范式,是一个新型“T”形架构。横向以工业互联网平台为依托,连接产业链上下游企业,实现供需对接、资源共享和产业协同;纵向以贯通各层级的智能体为支柱,实现产品研发设计、生产制造、运营管理和营销服务全流程,各层级智能体承担明确职能,逐级贯通。例如,设备级智能体基于可编程逻辑控制器、分布式控制系统等,对重点数控机床进行数据采集、实时状态监测与故障预警,向上层提供数据;车间与产线级智能体基于制造执行系统协调多条产线,实现工序间的精准衔接与制品最小化周转;工厂级智能体通过生产智能排产系统进行全厂生产智能排程,对多条产线实时

调整资源分配;企业级智能体依托客户管理系统与供应链管理系统等,实现物流调度与供应商动态协同。依托多层次智能体的纵向协同与工业互联网平台的横向生态化支撑,实现云端的全局决策与集中优化、边缘侧的实时调度与协同控制、设备端的精准执行与动态反馈,形成从规划到生产、从数据智能到物理系统的全链路闭环优化能力。

与传统工业智能化模式相比,实质性提升体现在3个方面。生产

效率方面,智能体替代人工完成高耗时、易出错环节。如合肥某制冷工厂使用设备管理智能体后,设备平均维修时间由120分钟降为40分钟;某经营管理智能体帮助企业用户提升财务结算效率40%以上。精准管控方面,依托智能体“感知—决策—执行—反馈”的闭环能力,管理模式从事后响应转向主动预判。如某制造中心的生产管理智能体通过动态调整员工生产任务,减少工时损失19%,缩短异常处置和通报时间50%,平均生产力提升10%,以“主动预测运维”替代了“被动报修响应”。产业协同方面,突破单个企业边界,从单点企业优化走向跨主体产业协同。如某电子信息领域头部公司的供应链协同管理智能体,构建面向全产业链的多智能体协同体系,决策效率提升30%,工作流程周期缩短50%。

记者:请介绍一下制造业企业智能化现状,如何实现阶梯式推进?最终会达到什么结果?

顾维玺:我国制造业企业智能化发展整体向好,制造业人工智能应用市场规模保持高速增长,工业领域AI渗透率持续提升,已覆盖研发、生产、管理、服务全链条,但在行业、应用环节、企业类型等维度呈现显著的不均衡发展特征。

行业层面,电力装备、钢铁、汽车等资本密集、数字化基础较好的行业,AI渗透率较高,已深度落地智能质检、设备运维等场景,降本增效成效突出;建材、有色、石化等传统流程行业受盈利水平低、生产工况复杂、安全管控严苛等因素制约,AI渗透率普遍偏低,行业间数字鸿沟明显。

应用环节层面,传统AI集中于生产制造核心环节,聚焦缺陷检测、过程优化等价值见效快的刚需场景;大模型、智能体等新一代AI则向价值链前后端延伸,主要落地于研发设计、运维服务、经营管理环节,在核心生产环节渗透程度有限,短期内仍以辅助赋能为主。

企业类型层面,大型企业AI普及率显著高于中小企业,后者受资金、人才、技术约束多处于局部试点阶段;国有企业依托政策与资源优势布局更早、覆盖更广,民营企业呈现两极分化,中小民企整体普及率偏低。

工联院积极推动制造业企业数智化转型,取得了明显成效。一是建设人工智能工业应用供需对接平台。平台面向全国31个省市制造业企业开展线上线下载供需对接服务,共汇聚5000余项优质供需资源,覆盖20余个重点行业和领域,形成130余个典型应用场景,促进约400个项目达成对接,已成为我国工业场景最多、供需资源最丰富的人工智能供需服务平台。二是开展工业领域大模型/智能体应用评测。工联院构建“烽火”大模型工业应用评测体系,自主研发面向工业场景的大模型测试服务平台,现已完成近20个行业,200余个国内外大模型/智能体的综合能力评估评测,为制造业企业大模型选型与落地应用提供专业技术支撑。三是打造“智荐”品牌推广服务。工联院以权威评测认证为核心根基,以公共服务平台为载体,聚焦生成式搜索引擎技术开展品牌价值赋能,为国内企业品牌“出海”提供支撑。截至目前,已助力50余家企业打造可信品牌,推动不少于20家企业品牌“出海”。

对于制造企业而言,智能化转型绝非单一技术的升级迭代,而是一场以数据为核心生产要素的系统性产业变革。其最终指向,是对企业生产方式、运营模式、价值逻辑与组织形态的全维度重塑:通过打通研发设计、生产制造、供应链协同、经营管理全链路的数据通道,让数据在各业务环节自由流转、充分赋值,构建起能够实时感知运行状态、智能预判风险机遇、动态调整资源配置的高韧性运营体系,彻底推动企业决策逻辑从经验依赖转向数据智能驱动,沉淀出可持续自我进化、循环优化的长期核心竞争力。