

基于“端—边—云”协同架构的垂直行业工业互联网应用范式：以化纤工业智能体为例

李智¹ 郑广智¹ 张敏喆² 柴天佑¹

(1. 东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室, 辽宁沈阳 110004;

2. 北京三联虹普新合纤技术服务股份有限公司, 北京 100102)

摘要: 针对困扰化纤行业多年的质量检测难题, 提出一种基于工业互联网“端—边—云”协同计算架构的化纤工业智能体解决方案。首先, 阐述化纤工业智能体的五个功能模块, 并介绍“端—边—云”协同在各功能模块信息交互中的应用。然后, 从近期和远期两个阶段对化纤工业智能体解决方案的业务价值进行分析, 介绍新一代数字化中控室与智能分析技术在产品质量检测过程中的应用模式。最后, 探讨垂直行业工业互联网应用范式及与之配套的两化融合生态系统合作模式, 并对未来的研究方向进行展望。

关键词: 工业互联网; 垂直行业; 化纤工业智能体; “端—边—云”协同; 在线质量检测

中图分类号: TS1

文献标志码: A

Vertical Industry Industrial Internet Application Paradigm Based on "Device-Edge-Cloud" Collaboration Architecture: A Case Study of Intelligent Agents in the Chemical Fiber Industry

Li Zhi¹ Zheng Guangzhi¹ Zhang Minzhe² Chai Tianyou¹

(1.State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Liaoning Shenyang 110004, China;

2. Beijing Sanlian Hongpu New Synthetic Fiber Technology Service Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: Aiming at the problem for the quality inspection issues plagued in the chemical fiber industry for many years, this paper proposed the intelligent agents solution based on the "Device-Edge-Cloud" collaborative computing architecture of the Industrial Internet. Firstly, this paper described five functional modules of the intelligent agents in the chemical fiber industry, and introduced the application methods of the "Device-Edge-Cloud" collaborative computing architecture in the information exchange of each functional module. Next, this paper presented an analysis of the intelligent agents solution in the chemical fiber industry from the two stages of the near term and the long term, and introduced the application process of the new generation of digital control rooms and intelligent analysis technology in the product quality inspection process. Finally, this paper discussed the vertical industry Industrial Internet application paradigm and the "informatization and industrialization fusion" ecosystem collaboration model, and explored the future research directions.

Keywords: Industrial Internet; Vertical Industry; Intelligent Agents in the Chemical Fiber Industry; "Device-Edge-Cloud" Collaboration; Online Quality Inspection

化纤行业作为我国国民经济发展中的重要行业,在创新驱动、低碳转型和智能化发展等方面均处于国际领先地位。化纤行业因其特殊的产品形态与流程——离散混合型制造模式,一直存在生产差异化以及产品质检效率低等难题。近年来,以工业互联网驱动的流程工业智能优化制造模式在世界各国不断推进,互联网经济发展潮流驱使我国制造业朝向垂直专业化发展^[1-2]。目前,不同的垂直行业具有各自特有的生产流程与检测标准。但是,现有工业互联网在化纤行业的应用主要集中在智能物流与产品外观检测等方面,无法对纺丝、卷绕等生产流程进行在线数据分析,不能有效解决化纤垂直行业的质量检测难题。因此,通过建立完善的生态系统与有效的协作模式,打造覆盖端、边、云三个层面的化纤行业工业互联网应用解决方案,对助力化纤生产企业实现数字化转型至关重要。

一、化纤行业现状与工业互联网相关实践

化纤行业是石化行业与织造行业之间的关键产业环节,上游石化行业供给端的产能扩张与新一代信息通信技术深度融合,以及下游织造行业消费端市场需求升级,均对化纤行业产生相关联起推动作用^[3]。化纤产业是制造业的重要组成部分,也是新材料产业的重要组成部分,属于国际竞争优势产业^[4]。随着市场需求的不断增大,我国化纤产业明确了高质量发展的需求,需要加快数字化、智能化改造,提升产业链创新发展水平^[5]。当前,化纤行业在产品质量检测方面面临的主要问题包括:

第一,检测方案不完善,不同地区和企业对产品质量的检测标准不一致,导致不同企业生产的产品无法得到有效比较与评估;

第二,检测过程效率低,许多企业无法实

现化纤产品的在线检测,劳动力支出占据了企业成本支出的较大比重,并且质量检测流程过于烦琐,容易导致产品的漏检与误检等;

第三,质量控制不严格,部分企业在原材料选择、生产制造环节和工艺流程等方面存在把关不严谨的现象,化纤制造工艺需要进一步改进与优化^[6]。

面向化纤行业存在的问题,许多互联网公司已经开展了相关工作。2018年2月,恒逸石化与阿里云达成战略合作,共同打造化纤行业的工业大脑,助力恒逸石化的生产经营管理从业务驱动向数据驱动升级,完成智能化经营决策与预测^[7];2021年11月,鲁泰纺织与阿里巴巴犀牛智造达成战略合作,联手打造智慧工厂,为新品牌、中小商家提供数据驱动的供应链服务^[8];新凤鸣集团股份有限公司构建了“5G+工业互联网”平台——凤平台,通过集化纤生产主数据、实时数据、ERP、MES、WMS、大数据及商务智能、APP和标识解析为一体,塑造了化纤产业集群新模式,构建了“互联网+化纤”数字新生态。通过分析可知,阿里云在化纤行业开展的工作主要集中在经营决策与供应链服务方面,并未涉及化纤的生产与质检流程;而百度所做的工作仅涉及化纤丝饼外观与表面的后道检测,并未触及化纤行业产品质检的技术问题。总体来看,目前各大厂商在化纤领域开展的工业互联网相关实践工作均存在一个重大难题,即无法获取化纤核心生产设备,例如纺丝与卷绕设备在生产过程中的实时数据。因此在解决化纤行业产品质检深层次痛点难题时,还存在较大的局限性。

为应对化纤产品质量检测难题带来的挑战,通过联合“产、学、研、用”多方资源,将工业互联网“端—边—云”协同计算架构有机融入行业核心装备及产线,研发了化纤工业智能体解决方案。通过打通化纤产线全流程数据链路,研究基于在线实时数据的化纤产品质量检

测方法，实现化纤产品全程、全量在线质检，力图从事后抽检变为事前预测与事中全检。

二、化纤工业智能体的总体架构与实施方案

为提高化纤产品的质量检测效率，帮助企业实现智能化管理，提出了一种基于工业互联网和人工智能技术的化纤工业智能体解决方案。

其总体架构包括控制系统、智能物联、智能边缘一体化、AI建模分析和云平台管理五大功能模块。其中，“端一边一云”协同计算是实现智能体高效协同的关键。通过工业互联网“端一边一云”协同计算架构有机融入行业核心装备及产线，构建人机业务闭环的智能制造系统，可以实现数据的高效处理和分析，提高化纤生产过程的效率和质量。基于“端一边一云”化纤工业智能体解决方案的总体架构,如图1所示。

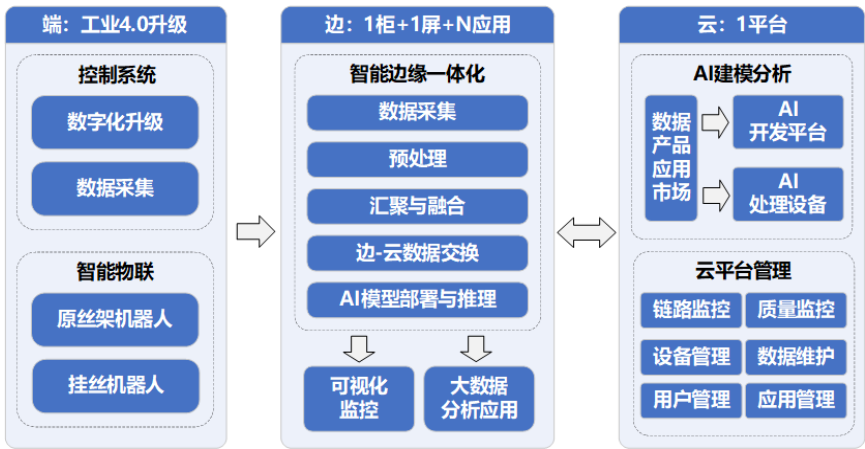


图1 化纤工业智能体解决方案总体架构

（一）端侧

端侧主要是产线的工业 4.0 升级，主要包含控制系统数字化升级与智能物联增强感知两个部分：

1. 控制系统数字化升级

对传统控制系统的软件进行升级，保持硬件不变，在产线不停车的情况下在线增加数据采集程序，实现控制系统在线数据实时采集并传输至信息系统。

2. 智能物联增强感知

通过引入智能机器人设备，实现产线人工环节的智能化操作，并将“离线数据”转变为“在线数据”，从而扩大数据采集范围。

（二）边侧

边侧主要面向现场实时生产管理与智能决策应用，主要包括智能边缘一体化、可视化监

控与大数据分析应用三个部分：

1. 智能边缘一体化

通过物联网（IoT）智能网关实现一站式产线数据采集，配备搭载自主可控 AI 芯片的边缘计算设备与中心节点服务器，能够以稳定、高效、便捷的方式在产线边侧快速部署数据预处理、融合、存储、边-云数据交换、多维数据分析等功能，覆盖数据生命周期的各个阶段。此外，该机柜配备了防火墙以及一系列安全措施，在实现“端一边一云”协同计算架构的同时，保障产线数据与各设备的安全可靠。

2. 可视化监控

在可视化监控方面，基于标准化组态设计，为企业搭建产线运行状态可视化监控大屏，将智能边缘一体机柜汇聚的产线数据按“对象分解结构 / 分析主题”进行分类汇总，根据客户个

性化需求进行灵活、实时、联动展示，快速实现“透明工厂 / 透明车间”的基础数字化功能。

3. 大数据分析应用

在数字化能力基础上，面向不同角色与不同主题进一步开发有针对性的数据分析应用，形成边侧部署的各类数据产品 APP，充分挖掘产线数据的价值，实现“智慧工厂 / 智慧车间”的高级智能化功能。

（三）云侧

云侧作为边侧功能的扩展、增强与集中管控，主要包括基于工业互联网平台实现云平台管理和 AI 建模分析两部分。未来可进一步根据客户需求提供面向业务数据托管的专有云数据镜像服务，从而实现产线运行状态可视化及大数据分析应用功能不受时空限制的远程使用。

1. AI 建模分析

在 AI 建模分析方面，以高性能计算与强大 AI 能力为依托，在云侧进行模型训练，迭代开发适用于化纤行业数字化及智能制造的工业互联网和工业大数据应用，并在边侧进行数据产品 APP 的部署；数据产品 APP 在云平台进行统一维护与升级，并随着客户使用过程中积累的数据不断进行更新迭代，进而更好地服务于客户，实现绿色节能、成本降低、工业优化和质量提升的目标，构成可持续发展的良性循环。

2. 云平台管理

在云平台管理方面，通过向云侧接入边缘计算设备，提供统一的应用管理与运维，实现数据链路监控、数据质量监控、边缘设备管理、数据 / 知识图谱维护、用户管理和应用管理等功能。

三、化纤工业智能体应用场景与业务价值

使用化纤工业智能体对化纤产品质量进行数字化、智能化检测，能够有效改进化纤制造工艺，提高化纤产品的质量，降低生产成本。本节从近期和远期两个阶段对化纤工业智能体的应用场景与相应产生的业务价值进行具体说

明。在近期应用场景中，工业智能体通过新一代数字化中控室实现可视化价值，同时实现化纤产品质量检测车间透明化；在远期应用场景中，工业智能体通过实时数据实现智能分析应用，对化纤质量检测的结果进行预测与智能决策，减少后道质检过程的工作量。

（一）新一代数字化中控室

化纤行业传统车间控制系统之间相互独立，控制室也分布在工厂的不同位置。新一代数字化中控室主要包括边缘智能一体机柜、可视化监控大屏和云平台三部分，即“1 柜、1 屏、1 平台”。通过纺丝和卷绕等传统车间控制、全场大屏展示、产线监控、车间巡检、数据链路监控和边缘设备管理等功能，实现透明车间，展现工业智能体为化纤企业带来的可视化效果，进而通过系统实现协同比较基础的商业智能（BI）价值，具体流程如图 2 所示。



图 2 新一代数字化中控室（透明车间 / 产线）

新一代数字化中控室业务价值主要体现在以下方面：

第一，各控制系统配备有独立的显示屏，用于展示系统的生产状态及数据。但是，该方法无法展示出沿丝路全程的生产状况，数据也仅能在单机上显示。通过引入基于化纤工业智能体打造的新一代数字化中控室，可以对化纤工厂各控制系统中的数据进行采集汇聚，打通控制系统之间的“数据孤岛”，实现沿丝路生产全程、全量数据的采集、汇聚与融合。

第二，新一代数字化中控室具备多源数据接入能力。化纤工厂的 IoT 与自动化建设可将传统的“离线数据”尽可能转变为“在线数据”，

在此基础上新一代数字化中控室可通过增强感知接入来自 IoT、机器人等不同来源、不同模态的数据，不断完善化纤生产全程、全量数据采集的广度和深度。

第三，在数据汇聚的基础上，可以针对企业不同的角色实现数据多级展示功能。新一代数字化中控室可按照数据主题对采集到的数据进行分类汇总，并对可视化监控界面进行标准化组态设计，然后根据化纤企业各级别用户的个性化需求，以“搭积木”的方式进行灵活组装，并应用在全厂大屏、产线监控和车间巡检等多级场景中，展示相应的可视化界面，快速实现可视化的透明车间。

第四，企业各级用户得出的统计决策与系统生产执行命令可通过新一代数字化中控室的决策执行功能反馈至 IoT、自动化机器人等设备，作用于端侧，实现工业优化、提质增效等目标。

第五，在使用新一代数字化中控室实现上述功能的过程中，云侧持续与中控室进行“边—云”协作，实现新一代数字化中控室软件、硬件的集中管理和远程运维功能，提供应用升级推送等服务。

（二）智能分析应用

化纤工业智能体的另一个应用场景是通过实时数据深度洞察，实现比较高级的智能化价值，功能介绍如图 3 所示。



图 3 实时数据智能分析应用
（智能化：预测与智能决策）

由于化纤行业自身存在的产品特性和行业特点，在产品质量检测方面存在难点。通过对实时数据进行深度洞察，可以实时监测化纤生

产过程中的各项指标，及时发现问题并进行调整，从而提高质量检测效率与产品质量。具体功能包括：

1. 生产流程优化

化纤工业智能体可实现在线、实时地沿丝路生产全程的全量数据采集。通过对每卷产品生产数据进行在线实时分析，并结合生产异常及时优化生产工况，可大幅减少不合格产品的出现概率，减少断丝等异常事件的发生，进而提升产品合格率。

2. 产品质量预测

基于在化纤产品生产过程中获得的在线数据，可对部分产品质量指标进行测算，即对每卷产品的全量纤维进行全程在线质检，在产品落筒时可以得出该卷产品的质量预测结果。根据预测结果可直接排除一部分肯定有问题的产品，从而减少后道检测的工作量。产品的全量纤维在线检测突破了传统检测中“只能检测最后几百米”的行业普遍问题，推动化纤产品质量检测技术的发展。

3. 相似机台匹配

如果下游客户对化纤产品一致性要求较高，可能出现一条产线订单积压且其他产线空置的情况。基于化纤工业智能体形成的相似机台匹配应用模式，可从超高维数据中准确提取出与产品质量强相关的低维组合特征，根据特征的相似程度快速推荐与目标产品质量相似的机台，打破排产瓶颈，提高供货效率。

4. 机台预知性维护

化纤工厂需要 24 小时不间断生产，停机会给企业带来很大损失。基于实时数据的机台预知性维护应用，可在生产过程中对设备的主要部位进行连续的状态监测和故障诊断，预测生产设备的状态、发展趋势以及可能出现的故障，提前制定预知性维护计划，以最少的资源消耗保持产线的安全、经济、可靠运行。

实时数据的智能分析应用是基于“边—云”协同的 AI 模型迭代训练与快速部署能力，应用

在线采集的实时数据针对生产流程优化、产品质量预测、机台预知性维护等进行智能分析，实现无人干预的预测与决策“N应用”，体现工业智能体为化纤企业带来的智能化价值。

四、总结与展望

(一) 垂直行业工业互联网应用范式

基于解决化纤产品质量检测难题的阶段性的

研究成果，综合应用连接、计算、AI与云技术，将“端一边一云”有机串联并形成业务闭环，形成了一套基于“端一边一云”协同架构的垂直行业工业互联网应用范式，如图4所示。

(二) 垂直行业工业互联网生态系统

在化纤工业智能体的研发工作中，逐渐探索形成了一套行之有效的生态系统协作模式，如图5所示。

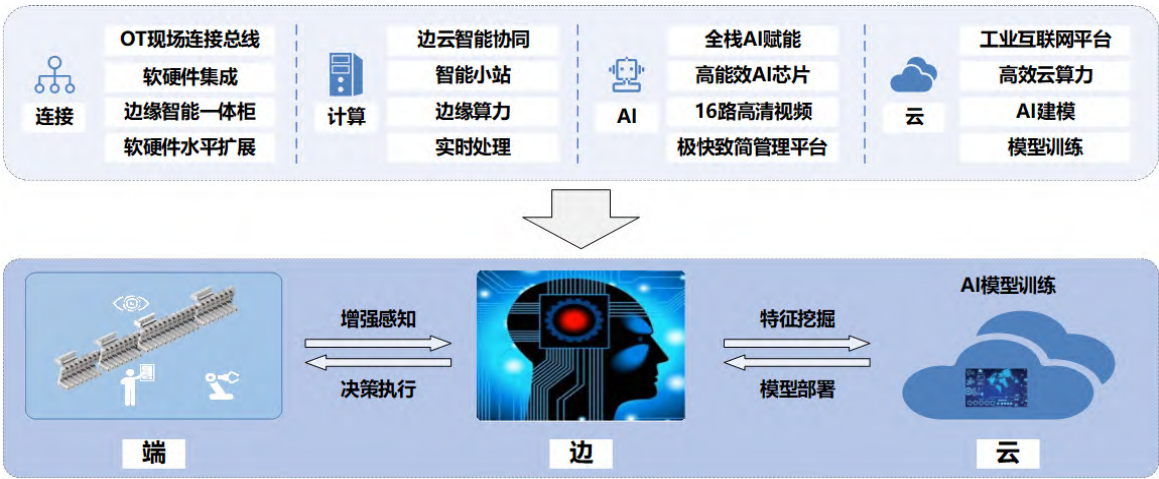


图4 基于工业互联网“端一边一云”协同架构的工业互联网应用范式



图5 垂直行业工业互联网应用

该模式由掌握行业 Know-How 的专业技术服务商牵头引领，系统集成商、生产设备供应商与 ICT 厂商提供两化融合技术支撑。行业试点企业提供试验场地、产线与应用场景，高校、研究机构与标准制定机构深度参与研发、测试

认证机构进行测试验证，进而从生产和服务两个方面持续推进垂直行业工业互联网应用产品 / 解决方案的打造与价值变现。

(三) 未来工作

在所建立的化纤工业智能体基础上，围绕化纤产品关键质量指标的在线预测与问题回溯，聚焦如下三大研究方向：第一，以化纤产品关键质量指标网络数据检测作为突破口，开展后道质检智能装备的研制与检测算法研究；第二，以化纤产品关键质量指标条干检测作为切入点，开展基于过程生成数据的软测量研究，进而替代传统的质检装备；第三，结合网络度与条干值质量测量结果，研究基于数据驱动的产品质量回溯智能分析方法。

在未来的研究工作中，还将持续完善工业

智能体架构,如:将端侧从产线扩展至后道质检系统、在边侧搭建工业大数据分析基础数据资源池等,形成化纤工业智能体 V2.0 以及后续更高版本,并积极研发相关智能化应用。同时,也将积极在其他行业推广本文研究成果,推进各行业数字化转型进程,推动我国工业互联网发展,促进形成有力支撑先进制造业发展的工业互联网生态体系。

参考文献:

- [1] 柴天佑,刘强,丁进良,等.工业互联网驱动的流程工业智能优化制造新模式研究展望[J].中国科学:技术科学,2022,52(1):14-25.
- [2] 杨灵运,邓生雄,张昌福,等.基于工业互联网的设备联网研究与应用实践[J].中国管理信息化,2019,22(23):147-149.
- [3] 高立兵,刘东庆,贾梦达.基于工业互联网的石化行业数字化制造技术体系和发展路径研究[J].新型工业化,2023,13(1):8.
- [4] 钱伯章.中国化纤工业高质量发展路径明晰[J].合成纤维,2022,51(9):73-74.
- [5] 工业和信息化部,国家发展和改革委员会.会关于化纤工业高质量发展的指导意见[EB/OL].(2023-04-21)[2023-05-08].
https://www.miit.gov.cn/jgsj/xfpgys/wjfb/art/2022/art_e35a9d4e01434af6b10ef17c5e177d37.html.
- [6] 王一光.关于提高化纤工艺设计水平的方法分析[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2022(11):0051-0054, <http://qikan.cqvip.com/Qikan/Article/ReadIndex?id=1000003620946&info=c4socuTxv6f2iyQyB7sLuXxkKNq7nizt%2fErjEDv0h%2bEJvf7JUH9Qtw%3d%3d>.
- [7] 王一梅.恒逸集团:打造可视化大脑成为化纤工业互联网引领者[J].中国纺织,2022(5):73-74.
- [8] 齐鲁壹点.鲁泰纺织联手犀牛智造打造智慧工厂[EB/OL].(2021-11-01)[2023-05-11].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1715294688325627606&wfr=spider&for=pc>.

作者简介:

李智(通信作者),东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室教授,博士,研究方向:工业人工智能、工业互联网、智能材料驱动器驱动系统的建模与控制,电子邮箱: lizhi1@mail.neu.edu.cn;

郑广智,东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室,硕士研究生,研究方向:数据驱动、图像处理;

张敏喆,北京三联虹普新合纤技术服务股份有限公司董事,硕士,研究方向:化纤产线生产控制与数字化管理;

柴天佑,中国工程院院士,东北大学教授,IEEE Life Fellow, IFAC Fellow,欧亚科学院院士,研究方向:自适应控制,智能解耦控制,流程工业综合自动化与智能化系统理论方法与技术。