

工业AI新引擎：流程工业时序大模型TPT

成继涛

中控科技股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：针对流程工业装置耦合性强、工况波动大、传统工业软件难以兼顾全局优化与快速响应的难题，中控技术自主研发了流程工业时序大模型。该模型基于Transformer与混合专家架构，定位为工业智能体平台与解决方案生成平台，内置模拟、控制、优化、预测、评估、统计六大核心能力，支持自然语言交互实现优化方案生成。模型支持云化、混合云及本地边缘端灵活部署，已在氯碱、石化、煤化工等十余个行业落地超过110个项目。实际应用表明，该模型可提升人效30%至50%，降低生产成本，提高装置运行稳定性，企业整体效益提升1%至3%。本文综述TPT的技术架构、核心能力、应用案例及商业模式，为流程工业智能化转型提供参考。

关键词：工业AI；时序大模型；流程工业；TPT；混合专家架构；SCOPES

0 引言

流程工业（石化、化工、氯碱、热电等）生产过程涉及复杂的物理化学反应与多变量耦合，控制与优化长期依赖人工经验。传统集散控制系统虽实现了基础自动化，但面对原料性质波动、设备老化、环境干扰等因素，仍存在工况适应能力不足、操作干预频繁、针对不同装置需重复开发模型、全局优化困难以及专家经验难以数字化沉淀等问题^[4]。近年来，基于Transformer架构的大模型在自然语言处理等领域取得突破，为工业智能化提供了新的技术路径^[1]。然而，通用大模型缺乏对工业时序数据机理的理解，传统工业模型又难以融合多源异构数据与领域知识。为此，中控技术自主研发了面向流程工业的时序大模型TPT（Time-series Pre-trained Transformer）。该模型引入混合专家架构，融合时序数据驱动与第一性原理知识，旨在构建可复用、可进化的工业智能基座^[2]。TPT已迭代至2.0版本，集成了模拟、控制、优化、预测、评估、统计六大核心能力，并支持自然语言交互，用户可通过对话直接生成优化方案或智能Agent。目前，TPT已在万华化学、镇海炼化等企业成功应用。本文系统介绍TPT的产品定位、技术架构、部署方式、应用案例及商业模式，以为流程工业的智能化转型提供参考。

1 产品定位与演进

1.1 产品定位

TPT是中控技术面向流程工业的时序大模型，核心定位为工业智能体平台与解决方案生成平台。它充当装

置运行的“智慧大脑”，实时感知装置运行状态，通过模拟、预测、评估等能力辅助操作人员做出最优决策，甚至自主执行控制与优化动作。它同时也是解决方案的“生成工厂”，用户通过自然语言输入目标（如“降低该工段蒸汽消耗”），TPT自动拆解任务、调用SCOPES能力、生成可执行的优化方案或智能Agent。此外，TPT还作为跨行业的“通用基座”，基于海量工业数据预训练，配合少量行业微调，可快速适配氯碱、石化、热电、医药等多个细分领域，大幅降低AI落地门槛。

1.2 版本演进

TPT1基于传统Transformer^[1]，实现流程工业时序数据统一建模，可进行趋势预测、异常预警与操作建议，但以被动响应为主，缺乏自主生成复杂方案的能力。TPT2实现三大跃升：一是引入MoE（混合专家）架构^[2]，通过门控网络动态组合多个专家子模型，以更高计算效率处理不同工况；二是定位从“工业大脑”升级为“工业大脑+神经中枢”，不仅能思考还能调度，自动生成智能Agent并持续监督其运行；三是支持自然语言交互，用户通过文字或语音提问，系统自动理解意图、检索数据、调用分析工具，生成图文报告或可下发参数。TPT2标志着中控从单点AI向系统级工业智能平台的转变。两版本差异体现在基础架构、核心定位与交互方式。

2 技术架构与核心能力

2.1 整体架构

TPT2自下而上分为数据底座、模型层、能力层和应用层。数据底座集成DCS/OMC（实时数据）、PRIDE（设备状态）、Q-Lab（质量数据）、APEX（工艺模拟），经统一清洗形成高质量数据集^[3]。模型层包含TPT时序大模型（MoE架构）、大语言模型（LLM）和机

作者简介：成继涛（1983——），男，陕西合阳，汉，本科，工程师，中控技术资深自控工程师，主要从事DCS及PLC组态、编程、调试等工作。

理模型（APEX）。三者协同：LLM解析意图，TPT提供SCOPES六大能力（见表1），应用层构建各类智能算，机理验证，LLM输出报告或指令。能力层以API提供Agent。

表1 SCOPES六大核心能力一览

能力	功能简述	典型应用
模拟	基于历史与机理的动态模拟	仿真培训、工艺变更验证、异常反演
控制	回路至装置级智能控制	反应器温度控制、精馏塔压差稳定
优化	以经济指标自动搜索最优参数	加热炉氧含量优化、进料配比优化
预测	多步趋势预测与不确定性量化	催化剂衰减、产品纯度、设备寿命预测
评估	对AI生成结果多维度自动验证	优化方案安全验证、Agent效果评估
统计	多维度统计分析可视化	月度能耗报表、异常工况根因统计

2.2 技术特色

①数据+知识双轮驱动：注入质量守恒、反应动力学等第一性原理知识，保证可解释性与稀疏数据外推能力^[6]。②自主验证机制：从逻辑、机理、历史、安全四层检查方案，提升现场可靠性。③对话即优化：自然语言描述需求，系统自动转化为优化问题并返回可执行建议。④Agent持续学习：基于用户反馈微调模型，实现越用越聪明。

3 部署与应用

3.1 部署选项

TPT提供三种部署方式：云化部署（个人版/企业SaaS版，开箱即用，适合中小企业和高校）；混合云模式（训练云端、推理本地，数据不出厂，兼顾安全与迭代，适合规模型企业）；本地边缘端部署（全部本地运行，毫秒级响应，数据隔离等级最高，适合大型石化、核电等核心装置）。

3.2 产品组件

TPT2采用组件化订阅制：基础数据平台，MoE模型，解决方案生成Agents，自主监督Agents，操作优化Agents，智能控制Agents，回路优化Agents。市场接受度快速提升^[3]。

3.3 核心应用场景

TPT的六大能力可组合出数十种具体应用场景，其中最具有代表性且已成熟商用的包括以下几类。

自主监督：TPT自主监督Agent可7×24小时自动扫描数千个工艺位号，识别异常波动、劣化趋势等，并生成检测报告，异常时不仅报警，还给出根因分析与处置建议，减轻人员负担。

操作优化：TPT操作优化Agent利用时序预测与优化能力，结合原料属性与生产目标，实时计算最优操作区间并提示或下发至DCS，典型成果如蒸汽消耗降低、催化剂寿命延长、产品收率提升。

智能控制：针对大时滞、非线性、多变量耦合回路，TPT智能控制Agent采用端到端深度学习从历史数据学习控制律，稳定控制pH值、聚合反应温度、精馏塔压差，无需机理建模。

故障预测与诊断：TPT对设备健康指标（振动、温度、电流）进行长周期趋势预测，提前数天至数周预警，自动诊断原因，如调节阀粘滞、轴承磨损、换热器结垢等，帮助企业精准维修，减少非计划停工^[5]。

知识问答：现场工程师通过自然语言查询工艺指标、设备参数、历史事件等，TPT自动检索并生成结构化回答，提升信息获取效率。

3.4 行业案例

氯碱（万华）：TPT智能控制将废液pH稳定在6.8~8.2，中和时间从5h缩至1h，年省20万元；碳酸钠精准投加年省原料1000吨；离子膜寿命预测节省200万元，能耗降0.5%。石化（镇海炼化）：异常预警提前数小时至数天；油品切换缩短1~1.5h，年省200万元。煤化工（凯越煤化）：物理孪生+TPT预测气化炉参数，预防堵渣，延长运行周期。

3.5 量化价值

基于超过110个项目的统计平均，TPT为流程工业企业带来的可量化价值可归纳为：人效提升30%~50%，通过全天候实时监督与自动报告生成，降低生产管理及操作人员工作强度；关键设备智能诊断准确率超过95%，故障平均预警时间提前数小时至数周，显著减少非计划停机；通过操作优化、控制优化等手段，提高生产效率、降低能耗物耗、提升产品优良率，企业整体效益提升1%~3%（在大型石化装置中，1%的效益提升往往对应数千万元年收益）。

4 商业模式

4.1 软件订阅制为核心

中控技术在TPT产品的商业化上，摒弃了传统工业软

件“一次性授权+高额实施费”的模式，全面推行软件订阅制。用户根据自身需求选择所需组件（如基础平台、MoE模型、各类Agents等），按年支付订阅费用，订阅期内可享受模型持续更新、技术支持和在线培训等服务。该模式对用户的价值在于低启动成本（无需一次性投入数百万元购买软件许可）、持续进化（始终使用最新版本的TPT模型与Agents）以及弹性扩展（可随时增加新组件或扩大位号容量）。对中控技术而言，订阅制带来可预测的年度经常性收入（ARR），驱动公司从项目制向服务制转型，提升估值与现金流质量。

4.2 市场表现

截至2025年第三季度，TPT业务累计落地项目超过110个，覆盖氯碱、石化、化工、热电、能源电力、医药、建材等10余个行业。ARR是中控技术内部最看重的指标，它代表了可预期的持续性收入，反映了用户对TPT长期价值的认可。公司目标是在未来2~3年内将TPT订阅收入占比提升至70%以上，形成“平台+生态”的稳定收入结构。

4.3 生态合作

为加速TPT在各行业的渗透，中控技术启动了TPT生态合作伙伴计划，面向系统集成商、设计院、高校及独立软件开发商（ISV）开放平台能力。合作伙伴可获得API接口与开发文档、免费的开发测试环境、联合市场推广支持以及应用落地的收入分成。通过构建开发者生态，中控希望形成“TPT基座+行业伙伴深度定制”的良性循环，让TPT成为流程工业AI应用的“操作系统”^[7]。

结语

TPT以MoE架构、SCOPES能力和数据+知识双轮驱动，构建了通用、可进化、易交互的工业智能体平台。

超过110个落地项目验证了其在提人效、稳运行、增收益上的显著价值。TPT不仅是一个技术产品，更代表着一种新的生产力范式：让生产装置拥有“智慧大脑”，让一线员工通过“对话”即可获得专家级优化建议。随着与ILKM、安全系统、新材料研发等场景的深度融合以及订阅制商业模式的普及，TPT有望成为流程工业AI基础设施的事实标准，助力中国流程工业从自动化、数字化迈向真正的智能化时代。

参考文献

- [1] Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, et al. Attention is all you need[C]//Advances in Neural Information Processing Systems, 2017: 5998-6008.
- [2] Lepikhin D, Lee H, Xu Y, et al. GShard: Scaling giant models with conditional computation and automatic sharding[J]. arXiv preprint arXiv:2006.16668, 2020.
- [3] 中控技术股份有限公司. 流程工业时序大模型TPT技术白皮书[R]. 杭州: 中控技术, 2025.
- [4] 褚健, 金晓明. 流程工业智能优化制造: 从自动化到智能化[J]. 化工学报, 2020, 71(8): 3401-3410.
- [5] Wen Q, He K, Sun L, et al. Robust multivariate time series forecasting with dual attention networks[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2021, 33(6): 2730-2743.
- [6] 罗雄麟, 许锋. 化工过程大模型与大系统智能优化: 挑战与机遇[J]. 控制理论与应用, 2024, 41(3): 385-396.
- [7] Zhongkong Technology. TPT: A time-series pre-trained transformer for process industry[EB/OL]. (2025-10-15). <https://www.supcon.com/tpt>.