

工程设计数据智能解析与工艺建模方法研究

袁立娟

石化盈科信息技术有限责任公司, 北京 100007

DOI: 10.61369/TACS.2026020013

摘 要 : 随着全球能源化工行业数字化转型进程的加速, 工艺设计图纸的智能解析以及数字孪生模型的构建, 已成为推动工厂设计工作开展, 保障生产安全与实现优化运营的关键技术。在石油石化等典型流程工业中, 工艺管道及仪表流程图、工艺流程图是承载工艺设计意图、设备布局、物料平衡的关键非结构化数据载体。然而, 当前从PID图纸再到可计算、可模拟的数字孪生工艺模型的转换, 需要以人工进行重复性的建模, 存在效率不高等问题, 这也直接影响了孪生模型构建的精准性。基于此, 本文聚焦于流程工业图纸智能转换与数字孪生体构建方向, 旨在探究一套全流程技术体系, 从而攻克石油石化领域专用工程符号的识别, 以供参考。

关 键 词 : 工程设计; 数据智能解析; 工艺建模方法

Research on Intelligent Analysis of Engineering Design Data and Process Modeling Methods

Yuan Lijuan

SinoPec ECI Information Technology Co., Ltd., Beijing 100007

Abstract : With the accelerated digital transformation of the global energy and chemical industry, intelligent analysis of process design drawings and construction of digital twin models have become key technologies to promote plant design, ensure production safety and achieve optimal operation. In typical process industries such as petroleum and petrochemicals, Piping and Instrument Diagrams (P&ID) and Process Flow Diagrams (PFD) are critical unstructured data carriers that carry process design intent, equipment layout and material balance. However, the current conversion from PID drawings to computable and simulable digital twin process models relies on repetitive manual modeling, which suffers from low efficiency and directly affects the accuracy of twin model construction. In view of this, this paper focuses on intelligent conversion of process industry drawings and digital twin construction, aiming to explore a full-process technical system to tackle the recognition of special engineering symbols in the petroleum and petrochemical field, so as to provide reference.

Keywords : engineering design; intelligent data analysis; process modeling methods

前言

石油石化工业作为流程工业的重要领域, 工程设计环节包括大量非结构化的图纸, 其中PID图与PFD图是贯穿设计施工、运维全周期的核心技术文档, 二者的精准转换效率将直接影响到工程设计的整体情况。PID图纸作为石油石化工程设计阶段的重要文档, 能够从整体呈现出工艺系统的整个结构与流程, 是施工与运维的重要依据。PFD图则聚焦于工艺核心逻辑的宏观呈现, 展现工艺物料的转化过程, 从而为工艺方案设计提供支持。

一、石油石化行业PID图和PFD图的核心特征对比

石油石化行业的PID图和PFD图, 因应用场景有所差异, 在内容细节和呈现重点上存在显著的差异, 二者的核心特征对比更加适应行业工程设计的实际情况。具体如下:

PFD图作为工艺设计的战略层文档, 其核心在于传递工艺

逻辑, 并以简化的形式展现出石油石化生产过程中物料转化的主要路径, 能够通过标注反应器、塔、主泵等主要设备, 不用呈现规格与细节之处; 管道只标明主要的物流流向和编号, 不标注管径、材质等参数; 仪表只标注温度、压力、流量等关键工艺的数据, 不涉及具体控制逻辑, 主要用于项目初步设计阶段的可行性分析, 这也是跨部门沟通的关键工具^[1]。

PID图则是作为“执行层”文档，它是在PFD图基础上深化的工程落地文档，这就需要完整呈现出工艺系统的所有设备，标注相互关联设备的位号、尺寸以及接口的参数。管道需要标明管径、材质和压力等信息；阀门和配件需要确保实现全面的覆盖，标注开闭的状态；仪表系统则能够完整呈现出传感器的位号，控制回路，联锁信号以及DCS关联逻辑，详细标注泄压阀、紧急切断装置等安全系统，这也是现场安装、运维故障排查的重要参考指标。

二者的关联在于，PID图的核心工艺逻辑完全遵循PFD图，只是在其基础上补充工程实施所需要的细节，从而形成从宏观框架到细节落地的完整设计，二者共同支持石油石化工程从设计到运维的各项工作^[2]。

二、全流程技术体系构建：从PID图到数字孪生体的智能转化

（一）图纸预处理，提升非结构化图纸质量

石油石化行业的PID图大部分都是扫描件，PFD格式或是legacy dwgs格式，存在线条模糊、噪声干扰、文字重叠等方面的问题，这也直接影响着新元素识别的精准度。为此，这就需要做好图纸的预处理工作，为后续的智能转换打下基础。预处理过程应尽量体现实用性，弱化复杂的工作理论，重点进行4项工作，确保其符合石油石化图纸的特征。

一是格式标准化，统一PID图的格式，将其转换为可编辑的矢量格式，确保同一图纸的比例尺、图层结构，为后续元素的识别奠定坚实的基础。根据扫描件等非矢量图纸，通过图像增强技术优化线条的质量，并提升图纸的清晰度，从而解决石油石化图纸由于长期保存和多次复制导致的模糊问题^[3]。

二是去除噪声，采用自适应滤波算法，去除图纸中的杂点、划痕等问题，保留设备、管道、工艺参数等关键的数据，避免因噪声干扰而导致元素识别的错误。与此同时，根据图纸文字重叠的问题，通过图像分割技术分离文字与图形元素，从而保障识别过程的精准性。

三是区域分割，并根据石油石化PID图的标准布局，将图纸分割为标题栏、工艺核心区、备注区等不同的区域，确保重点聚焦于工艺核心区的处理，忽视标题栏、备注区等无关的区域，做好处理工作，提高整体的效率。不仅如此，利用便捷检测技术，明确工艺核心的范围，保障核心元素的识别。

四是参数标准，根据石油石化行业工艺设计标准，对图纸中的工艺参数、设备位号等信息进行校准，及时修正偏差和错误，确保后续核心元素识别与工程逻辑推理的准确性。对模糊不清的参数文字，则需要采用局部放大与特征匹配技术，提升文字识别的精准度^[4]。

（二）识别核心元素，精准提取关键信息

核心元素识别是PID到PFD图智能转换的重要过程，它重点根据石油石化工艺的特点，提取出PID图中的核心工艺元素，包括设备、管道、物料、工艺参数四大类型，识别元素之间的关联

关系，为工艺逻辑推理提供更多的帮助和支持。结合石油石化行业设备、工艺的特殊性，应采用特征匹配、规则约束的方法，兼顾精准性和实用性，避免纯理论算法的分析，应侧重于实操性。

一是设备的识别。石油石化行业的核心工艺设备，具有固定特征和尾号编码规则，根据业务规则库沉淀的设备特征库，采用聚氨基神经网络对图形做好有效地分析与识别，对比设备的形状、尺寸、尾号编码，精准识别设备的类型和具体的参数。与此同时，根据石油石化设备中较为常见的设备、辅助部件，通过特征提取的方式，区分核心设备与非核心设备，从而保留PFD图所需的设备核心，避免采用冗余的辅助部件^[5]。

二是管道识别及拟合，这一环节的核心的是拟合，识别效果的成败关键取决于拟合路径的准确性，二者相辅相成、缺一不可。首先进行管道识别，重点识别PID图中的物料管道，主动过滤分支管道、辅助管道等冗余信息，避免无关数据干扰后续工艺建模。在识别基础上，通过线条特征提取技术，深入分析管道的走向、连接关系，结合业务规则库中管道编码的规则，精准区分主物料管道和其他管道，提取出相应的编号；随后开展关键的管道拟合工作，基于识别出的管道线条特征、连接节点及走向信息，构建拟合算法模型，精准拟合管道实际路径，确保拟合路径与PID图中管道的实际走向、连接关系高度一致——拟合路径的准确性直接决定了管道识别的有效性，更是后续PFD图物料流向标注、工艺建模的核心前提，为后续相关工作的顺利开展提供坚实支撑。

三是物料识别，根据石油石化工艺的特点，采用文字识别技术，提取PID图中的物料名称、编号等信息，结合业务规则库中的物料属性库，匹配物料的物理化学性质，输送要求等关键信息，确保PFD图中物料信息的精准性。不仅如此，根据石油石化生产中所见的多物料混合、分流场所、识别物料的分流，为工艺逻辑提供帮助^[6]。

（三）PFD/PID生成，实现工艺逻辑自动重构

根据核心元素识别结果，并结合业务规则库中的工艺逻辑规则，实现PID图到PFD图的智能生成，保留PID图的核心细节，形成“PFD宏观逻辑+PID细节支撑”的一体化图纸体系，适应石油石化工程设计的流程需求，解决工艺逻辑自动推理的关键性问题：

一是PFD智图智能生成，根据石油石化工艺设计规范，结合核心设备、主物料管道、关键工艺参数等要素，标注设备间的连接关系，分析关键的工艺参数。通过工艺逻辑自动推理算法，结合业务规则库中的流程规定，优化设备的结构和布局，保障PFD图的工艺逻辑与PID图一致，确保符合石油石化行业的工艺设计习惯。

二是PID图优化完善，根据识别过程中发现的PID图漏洞，结合业务规则库中的实际标准做好修正。根据石油石化行业的设计标准，统一PID图的设备号位、管道编码和仪表表示，提升PID图的规范性水平，为后续的施工和运维提供支持。根据多次修改的PID图，应确保PFD图的同步，确保二者保持一致^[7]。

三是双向联动的校验，建立双向联动机制，对生成的PFD图

进行校验，对比工艺逻辑，发现其中的逻辑偏差。与此同时，通过人工复核，针对复杂的工艺场景，确保转换精度满足工艺设计的要求，提升整体的运行效率。

（四）孪生体构架，实现图纸数据向孪生态转化

根据 PFD/PID 生成的标准化数据以及石油石化行业数据孪生工厂建设的需求，建立工艺数据孪生体，从而实现非结构化数据向孪生数据的高效转化，为后续的生产运行提供支持，贴合当前石油石化行业的数字化转型需求。具体步骤如下：

一是数据标准化处理，将 PFD/PID 图中的核心数据，包括设备参数、管道信息、工艺参数、物料属性转化为数字孪生体可识别的标准化数据格式，构建数据关联关系，形成一体化的孪生体数据库。与此同时，根据业务规则库中的数据标准，对数据进行规范处理，保障数据信息的一致性，为孪生体建设提供更多的帮助和支持^[8]。

二是工艺模型搭建，根据标准化数据，建设石油石化工艺数据孪生模型，从而还原 PFD 图中的工艺逻辑与 PID 图中的核心细节，确保工艺过程的可视化呈现。模型重点还需还原核心设备的运行状态、物料流向和工艺参数的变化，预留现场传感器、实时监控系统的数据接口，为后续的数据接入以及动态仿真提供支持。

三是孪生体优化迭代，根据石油石化工艺的运行数据，对数字孪生体做好优化，修正模型偏差，确保提升模型的精准度。与此同时，将工艺优化、故障排查等经验运用于业务规则库之中，确保实现孪生体模型的精准性^[9]。

三、石油石化行业规则库应用与迭代机制

业务规则库应贯穿于技术体系之中，确保其在各环节发挥核

心支撑作用，保障提升智能转换与工艺建模的效率和精准度。在核心元素识别环节，通过设备识别规则、工艺逻辑规则，提升识别的精准度，避免偏差。在 PFD/PID 生成阶段，通过工艺逻辑规则、转换优化规则，实现工艺逻辑的自动推理和图纸的智能生成。在孪生体建设阶段，通过数据标准规则，实现图纸数据向孪生态数据的有效转化。

建立规则库的动态迭代机制，确保规则库能适应石油石化行业的发展需求。一是构建规则反馈体系，收集智能转换、工艺建模中的偏差案例，分析其中的原因并优化规则。二是结合行业的标准更新，不断调整规则库中的数据标准和工艺逻辑规则，确保规则符合当下的运行标准。三是结合数据孪生技术的应用升级，补充孪生体构建相关的规则，提升图纸数据和孪生体的适配性^[10]。

业务规则库的沉淀和迭代，有助于石油石化行业工程设计知识的复用，避免重复性的劳动，为全流程技术体系的运行提供支持。

四、结语

综上所述，依据石油石化行业 PID 图与 PFD 图的关键特点，构建一体化的技术体系有助于实现二者的有效转换，通过图纸预处理提升数据源质量，核心元素识别精准提取工艺关键信息，实现 PFD/PID 图的智能生成，有助于提高传统人工转换效率、保障整体的精度。相信在未来，随着技术的发展，工程设计数据智能解析与工艺建模技术将不断优化。

参考文献

[1] 张蕾,王云剑,付海涛.石油石化工业智能化、绿色化技术发展路径分析[J].车用能源储运销技术,2025,3(06):8-18.
[2] 董有运.基于塑料成型工艺的数字建模教学实践[J].塑料工业,2025,53(10):176.
[3] 叶剑雄,张昊,吴天佑,等.人工智能发展态势及其在石油石化行业的应用[J].国际石油经济,2025,33(10):41-49.
[4] 尹亚波,徐晴.基于大数据技术的计算机辅助工程设计优化[J].信息与电脑,2025,37(15):13-15.
[5] 马端祝,孙秉才,刘春昕,等.智能化赋能石油石化行业本质安全[J].石油科技论坛,2025,44(03):66-75.
[6] 梁玉平.基于区块链的石油石化供应链数据共享方案[J].现代工业经济和信息化,2025,15(05):60-64.
[7] 张天林.电气节能技术在石油化工工程设计中的实践研究[J].石化技术,2024,31(09):144-146.
[8] 高立兵.石油化工行业工业软件趋势探析及发展路径研究[J].新型工业化,2023,13(09):61-68.
[9] 吕泽宇.石油石化装备远程在线监测与智能诊断系统研究[D].东北石油大学,2023.
[10] 宫彦双,吴超,安超,等.智能化技术在石油化工行业的应用现状与前景分析[J].智能建筑与智慧城市,2023,(03):166-168.