

人工智能技术在油田联合站生产安全预警中的应用

◆ 刘晓垒 马祥厚

摘要：针对大港油田集输联合站安全环保生产要求，研究了基于人工智能技术的联合站安全预警可视化系统。该系统是采用机器学习、知识图谱、数字孪生等人工智能分析技术，并依托油田现有物联网平台数据，将专家知识经验与智能算法充分融合，构建了围绕站库生产安全管理的智能应用，支撑站库生产运行工况的安全预警和智能诊断分析，有效提升了工况诊断效率和准确性。

关键词：大港油田；人工智能；机器学习；知识图谱

大港油田随着安全与环保水平要求的提升，现场管理压力的增加，急需探索新技术实现生产安全管控。油田联合站安全环保业务管控的核心是风险管控，虽然油田企业坚持“安全第一，预防为主”的安全生产方针，但是各种事故仍然时有发生，传统的预防机制无法有效地预测各种事故隐患，需要寻求更加有效的预防机制。

当前油气田生产中已经建立了油气生产物联网系统，实现了生产数据的实时自动采集，在这些数据的基础上，实现数据的深化应用，利用大数据分析、机器学习、知识图谱、数字孪生等人工智能的技术，可以更加有效的预测风险，减少事故，为油田联合站安全生产提供更加可靠的保障。因此，为提升联合站安全生产管控能力，主要研究基于人工智能技术在联合站安全预警中的应用。

一、联合站安全预警平台核心技术简介

(一) 人工智能。人工智能技术正经历着迅速发展，作为一项基础技术，能够渗透至各行各业，助力传统行业实现跨越式升级，提升行业效率，逐步成为掀起产业变革浪潮的新引擎。

(二) 大数据分析。大数据分析是指对规模巨大的数据进行分析。基于大数据分析平台和技术，可以实现对长时段、全维度的全量生产数据进行分析，避免了小样本采样分析带来的信息有偏和信息缺失问题，最大化挖掘数据价值。

(三) 机器学习。机器学习是人工智能的一个分支，在近 30 多年已发展为一门多领域交叉学科，涉及概率论、统计学、逼近论、凸分析、计算复杂性理论等多门学科。机器学习算法是一类从数据中自动分析获得规律，并利用规律对未知数据进行预测的算法。

(四) 知识图谱。知识图谱是通过将应用数学、图形学、信息可视化技术、信息科学等学科的理论与方法与计量学引文分析、共现分析等方法结合，并利用可视化的图谱，形象地展示学科的核心结构、发展历史、前沿领域以及整体知识架构达到多学科融合目的的现代理论^[1]。

(五) 数字孪生。数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

二、联合站安全预警框架设计

基于人工智能技术，联合站安全预警系统提供了综合、智能的安全预警能力，能够及时、准确地进行异常工况预警和报警，同时对异常工况原因、风险、处置措施智能推送，实现安全预警专家知识与异常案例查询、积累和应用，能够对异常工况仿真与基于仿真的安全预警应急演练。

安全预警系统技术框架设计如图 1，系统由实时安全预警系统、安全预警专家知识库和模拟仿真系统构成。

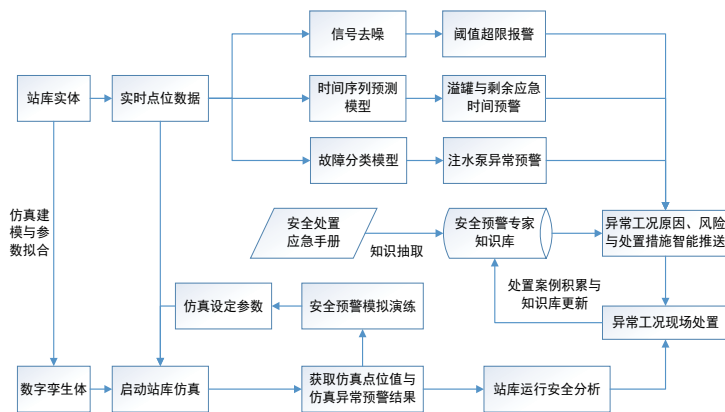


图 1 安全预警技术框架

(一) 实时安全预警系统

用于对站库运行实时点位值进行分析处理，输出异常工况预警和报警信息，系统主要包含三种类型的预警 / 报警。

1. 阈值超限报警，如高高限 / 高限 / 低低限 / 低限报警，实时点位值经异常过滤等去噪后按配置的报警阈值触发报警。
2. 剩余应急时间预警，结合站库各容器当前液位值、液位变化规律和溢罐报警阈值，基于时间序列预测模型计算出各容器的剩余应急时间输出。
3. 注水泵异常预警，基于注水泵震动、温度、电流等信号和历史故障信息，训练故障分类模型预测注水泵异常并输出预警^[2]。

(二) 安全预警专家知识库

用于存储站库安全预警相关专业知识和标准，并提供知识检索、异常工况原因 / 风险 / 处置措施智能推送等应用。

(三) 模拟仿真系统

提供站库运行仿真能力，基于站库仿真可实现虚拟环境

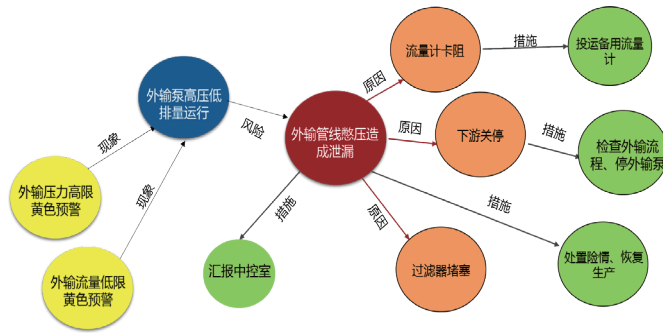


图2 知识图谱结构图

中的站库安全预警应急演练，并可对站库实体异常工况的处置措施进行仿真探索。

三、基于知识图谱的故障诊断与措施推送

一个典型的知识图谱结构如图2所示。在联合站故障诊断与应急方案设计中，利用知识图谱，可将历史发生的故障事件记录结构化，现场专家处置应急事件的共同经验，沉淀为知识库。配合知识图谱的实时查询接口，可用于针对报警信息的实时解决方案推送。同时在故障解除后，现场工程师对此进行总结复盘时，可将总结后的故障处理经验通过知识图谱的实时扩充接口导入，不断增强图谱的推送精准度，使其能够适应联合站不同时期工况演进的趋势。

四、基于机器学习的注水泵预测性维护

在联合站中，注水泵作为典型动设备，故障发生率高，而传统上基于单一振动阈值的判断往往造成报警滞后，导致非计划性停机，提高人力巡检以及应急处置成本。

而基于机器学习的方法，则是综合每台注水泵的多个特征传感器采样值，分析历史数据中的故障段，以及故障前兆段数据，对此进行标注。得到上述模型后，即可用于生产过程监控，当实时生产数据达到故障前兆段时，模型即能侦测并及时报警，通知相关人员进行相应的处理，提前规划好启停的方案。

五、基于数字孪生的仿真模拟

（一）数字孪生的构建

从概念体系架构上考虑要从以下几步构建和使用数字孪生：1. 准确将现实世界以数字化的方式表达；2. 利用数字化使现实和虚拟世界无缝连接；3. 创造一个产品/流程/设备的数字孪生模型；4. 模拟/仿真/分析/虚拟调试现实世界中发生的问题或未知的领域；5. 回到过去，解决问题，预测未来，减少失败。

（二）搭建联合站模拟仿真

联合站模拟仿真的实际搭建步骤：

1. 联合站设备的建模。主要有沉降罐、精滤水罐、粗滤水罐等罐设备，沉降池、污水池等池设备，三相分离器，提升泵、反洗泵、外输泵等机泵设备。

2. 设备连接关系的建立。根据联合站实际情况，将以上

各设备进行连接，生成一个虚拟的联合站孪生体^[3]。

3. 站库运行算法的建立。在物理机理明确的地方，根据物质守恒定律、能力守恒定律、牛顿运动定律以及更详细的物理定律，构建站库运行的机理模型。

4. 联合站孪生体与联合站实体的对接。通过传感器和控制系统，实时地采集联合站实体大量的运行信号，并将这些信号传递给数字孪生体。模拟仿真系统基于采集到的实时信息识别故障、预测风险。

5. 模拟仿真模型的迭代优化。在孪生体运行过程中，算法模型会不断基于新的数据进行自迭代和优化，以达到更好的预测准确性。

（三）联合站模拟仿真的作用

基于数字孪生的联合站模拟仿真，已经是一个联合站数字孪生的雏形，具有以下几个方面的作用和优势：1. 对联合站整个运行状况实时的监控；2. 对各种故障的识别与预测；3. 对各种可能不利场景的预测；4. 实现基于时间的设备检修周期提醒，减少非异常停机；5. 可以对整个站库的运行进行优化；6. 不断学习新获得的数据，更新模型，使模型越来越准确。整个系统并不是固定不变的，而是在不停的成长与成熟。

六、结语

本文基于机器学习，知识图谱，数字孪生等人工智能技术，并依托于油田现有物联网平台数据，设计了一套联合站安全预警系统。本系统通过数字孪生模型，实现了在模拟中演练，真正防患于未然。通过机器学习预警模型，则实现了以预警代替告警，尽可能减少故障所带来的损失。通过知识图谱，则实现了知识的有效传递与更新，降低了人力成本。而故障分析与诊断框架，则将上述模块有机结合并实现了应急处置流程的标准化。目前该系统已在大港油田港东联合站试点项目中得到应用，并获得较好的社会效益。□

参考文献

- [1] 王源, 张乃禄, 魏磊, 等. 油田集输联合站安全监控预警系统的开发[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2010, 25(06): 55-58+112.
- [2] 张忠稳. 探究人工智能技术在电气自动化控制的应用[J]. 科技风, 2020(05): 21.
- [3] 王光明. 油田地面集输联合站安全防范对策研究[J]. 化工管理, 2018(06): 49.

（作者单位：大港油田信息中心）