

甲醇制烯烃智能模型控制 系统的工业化应用及其经济效益研究

赵正伟（中煤陕西能源化工集团有限公司，陕西 榆林 719000）

摘要：介绍了甲醇制烯烃智能模型控制系统在中煤陕西能源化工集团有限公司的工业化应用及其经济效益研究。针对装置精细化运行问题，重点介绍了中煤榆林甲醇制烯烃智能模型控制系统的主要建设内容，并分析了智能模型控制系统实施后带来的经济效益，安全效益和社会效益。智能模型建设实施后，双烯耗甲醇指标降低 0.015t/t，综合能耗降低 1%，节资 1800 万 /a，助力碳减排 5.2 万 t/a。

关键词：甲醇制烯烃；智能模型；工业化应用；经济效益

“十四五”时期，推进 5G、大数据、工业互联网、人工智能、区块链等新一代信息技术和煤化工产业深度融合，将两化融合作为推进煤化工产业供给侧结构性改革和高质量发展的重要支撑是整个煤化工行业发展的整体趋势。这给各煤化工企业带来了各种挑战的同时，也给企业迎来了各种机遇。此外受全球气候变暖及环境持续恶化等因素的影响，碳中和、可持续发展、新能源、绿色材料成为越来越多的国家公认的发展趋势；5G 和物联网等技术的高速发展促进了煤化工行业的加速转型和高质量发展^[1]。

甲醇制烯烃装置是煤制烯烃的核心装置，是将甲醇转化为富含乙烯丙烯等轻烃混合气的一套装置。该项技术荣获国家技术进步奖，是我国自主创新的技术，它架起了煤制烯烃路径的桥梁。尽管甲醇制烯烃技术在大型化和长周期可靠性方面得到了长足的进步，但装置能耗水平仍然较高、自控水平较低。双烯耗甲醇指标是该装置的重要经济指标，是装置各种操作条件综合作用的结果。高效统筹耦合各操作条件是实现最佳经济效益和最低单耗的关键操作因素。智能模型控制系统根据反应原理，运用大数据等要素，研发出了高效精准的控制系统。系统投用可大大改善当前装置自动化投用率低、装置运行不稳定、人员劳动强度大等弊端^[2]。智能模型系统的融入实现了智能控制与生产设备的结合，示范了国产重工业装备和智能控制的融合，对行业发展有积极的指导意义。

1 甲醇制烯烃智能模型系统的建设背景

中煤陕西能源化工集团有限公司的煤化工厂是中煤集团重要的煤制烯烃基地。其中甲醇制烯烃（60 万 t/a MTO）装置是煤化工厂最重要的核心装置。该装置

自 2014 年建成投产以来进行了多次的技术改造，能耗、双烯耗甲醇指标不断降低（目前双烯耗甲醇指标降低到 2.903t/t），在国内煤化工领域占据领先地位。

目前甲醇制烯烃装置在实际运行过程中还有一些问题亟待解决：装置反应复杂，参数互相影响，人员经验直接影响装置运行水平，双烯耗甲醇指标更是严重影响经济效益。工况变化时需要取样分析后做出调整，存在滞后性。智能模型根据工业计算软件和大数据建立，智能模型控制能根据工况变化实时采集相应参数，经计算，输出适宜参数作用于 DCS，形成闭环回路，可有效避免上述弊端，实现装置的优化运行。近期，中煤陕西公司在智能控制和智能检测方面做着积极探索，实现智能化与重工业的深度融合，成为国内煤化工智能化方面的先驱者。

2 智能模型系统主要内容

在上述背景下，中煤陕西能源化工集团有限公司针对甲醇制烯烃生产操作优化难、复杂过程控制难、能源管理能力弱等问题，采用大数据协调优化分析技术，甲醇制烯烃装置多目标协调，设计建立了甲醇制烯烃装置智能模型控制系统。

2.1 智能模型控制系统

开发了基于工艺机理的甲醇制烯烃装置的智能模型（离线+在线），利用离线模型（智能模拟装置）对装置进行问题分析、方案测试与验证。在线模型提供软仪表，为操作人员提供操作指导，并为智能控制与优化提供模型基础。

2.1.1 离线模型

检查并验证装置的开车管线设计，检查并验证装置的过程控制方案及安全控制逻辑设计，制定、验证

和完善开停车操作规程和操作卡。

智能模拟原理如图 1 所示：工艺模拟方面采用动态模拟技术对工艺流程进行机理建模，DCS 控制系统模拟是在工艺模型开发平台上根据设计的控制方案使用 DCS 模拟控制模块直接开发控制模型并与工艺点连接，操作站也是根据 DCS 操作站界面开发的模拟操作站，这种模式也能很好的模拟装置的开停车及紧急工况操作动态响应，满足对操作工的培训要求及其他操作设计及优化功能要求。

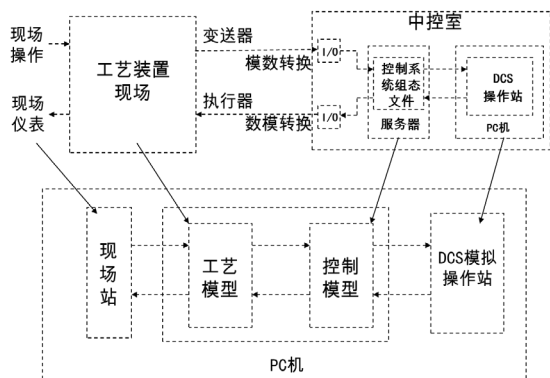


图 1 智能模拟原理

2.1.2 在线模型

生产操作过程中，有许多重要的操作参数，如产品质量指标、产品产率、化学反应深度、催化剂循环量、催化剂活性、分馏塔内的内回流、液泛参数、装置进料性质变化等，对于判断操作状态或优化操作非常重要，但是这些变量参数往往又是不可直接测量，不能用于实时异常诊断或优化控制。为了实时获得这些重要变量，就必须利用有关的可测过程变量，通过与这些有关过程变量之间的动态数学模型或状态观测器技术进行计算，在线得到量化的参数如图 2 所示，用以支撑异常诊断和智能控制优化系统^[3]。

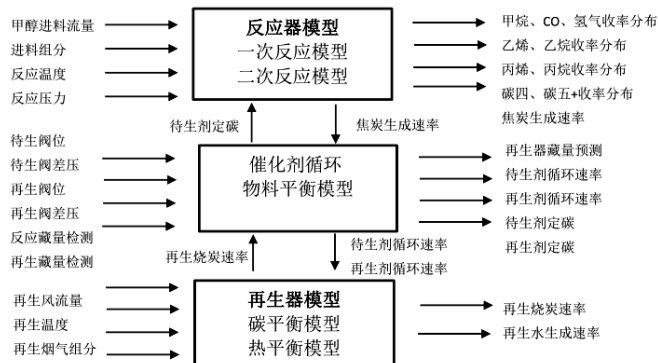


图 2 反应再生集成模型

2.2 智能化异常工况管理系统

异常 / 预警技术包涵盖了反应再生工段的反应再

生工段、烯烃分离工段、压缩机工段的 9000 多个工艺、仪表、设备异常 / 预警的设置、参数、优先级以及异常原因诊断、操作指导的系统模块。

智能预警与监测管理模块是基于工艺与设备预警模型，并对关键设备进行智能化诊断各种异常的初期征兆并直接诊断出导致异常的根源原因，为关键设备长周期运行提供支撑。对于影响装置长周期运行或安全风险高的工艺 / 设备异常建立预警模型，初步确认本项目的预警模型包括反应器催化剂架桥预测、原料换热器结垢、水洗塔堵塞预警与控制、碱洗塔堵塞与控制、丙烯塔水力学异常、反应气压缩机入口带液预警与操作指导等。

2.3 智能化操作规程管理系统

操作卡管理系统应用操作受控终端，实现操作卡的管理。应用移动终端，实现现场的消项操作的步步确认和现场管理。

2.4 智能控制与操作优化系统

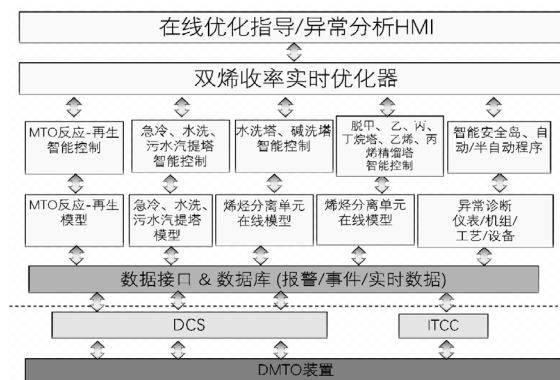


图 3 智能控制与优化系统架构图

甲醇制烯烃装置智能控制与操作优化的系统架构如图 3 所示。智能控制与优化技术目标：

2.4.1 甲醇制烯烃装置的操作目标

①在进料量或性质发生变化或有其他工艺扰动时，尽快稳定装置操作，保证产品质量合格的前提下，将操作条件稳定到下一个优化操作点上；②在保证产品质量指标合格的前提下，提高乙烯、丙烯的收率，提高经济效益；③降低产品损耗和能耗指标；④工艺异常时，装置运行在安全的范围内。

2.4.2 甲醇制烯烃装置智能控制与操作优化目标

①平稳和优化控制反应温度和待生剂定碳，提高双烯收率；②平稳控制再生温度和再生定碳，保证反应系统平稳运行；③稳定甲醇进料温度，保证反应平稳运行；④优化反应深度，提高高附加值产品收率，降低双烯双烯耗甲醇指标；⑤保证产品合格率，产品

质量卡边控制,提高丙烯、乙烯收率;⑥通过优化回流比等措施,减少过度精馏,节能降耗;⑦提高抗干扰能力,减轻操作工劳动强度。

2.5 智能操作系统高效操作

在原有控制系统画面基础上,按照国际过程控制行业最佳实践,重新构建总揽画面和控制画面,集成异常识别、报警解析、控制回路诊断、控制逻辑等信息,提供操作工简洁快速的人机界面。

该模块应用效果:①使操作工能够直观的了解工艺趋势和关键性能指标;②能够识别处于正常工况和紧急工况之间的异常工况;③提高处理异常工况的成功率;④减少变更操作所需要的时间;⑤减少调整操作次数;⑥方便智能控制的操作。

3 智能模型系统的实施效果



图4 MTO反再优化控制系统操作界面-1



图5 MTO反再优化控制系统操作界面-2

目前,根据MTO反应机理建立的智能模型模型已经修正完成并投用,基于工艺机理的MTO装置智能模型通过大数据手段检验校正模型,经过检验的智能模型为生产目标提供最优的操作条件。最终实现了“DCS数据输入-智能模型计算-工艺参数反写DCS”的闭路循环。实现了工艺操作全过程联动,工艺参数高程度耦合的目标,合理的MTO反应深度因为有适宜匹配的操作条件二得以实现,如图4所示。系统开发了甲醇单耗(双烯耗甲醇指标)最低和产品价格最高两个模式,客户可以根据乙烯丙烯,碳四,碳五的价

格另选选用控制模块,在不同的控制模块下模型均能计算出适合工况的最佳参数,最佳参数作用于DCS完成工艺控制,如图5所示。

4 智能模型系统效益分析

4.1 社会效益

智能模型控制系统实现了全系统的有效联动,更精准的控制,更合理的人机互动,展现了科技赋能的强大动力,实现了生产单元的全自动运行。操作人员由原来的操作者转变为监控者,降低了劳动强度,助力了五班两倒的实施,收获了员工的认同感提升了员工幸福感。

4.2 安全效益

智能模型控制系统通过软仪表计算值与实施检测值实时对比,及时甄别数据的有效性和真实性,为准确有效应对多种突发情况提供了“防火墙”;数字系统的发力降低了劳动者的紧张程度和劳动强度,人机分工再升级。

4.3 经济效益

为不同生产工况下的MTO装置提供实时工况下的操作条件,适宜的操作条件可实现甲醇中碳原子的高效利用,降低运行过程的生焦率。项目投用后双烯耗双烯耗甲醇指标降低0.02t/t,综合能耗降低1%,节资1800万元/a,助力碳减排5.2万t/a。

5 结束语

中煤陕西能源化工有限公司通过实施甲醇制烯烃智能模型控制系统,利用智能化和科技的手段,推进智能控制,智能巡检,智能检测,智能监护,将工业装置的管控与智能化手段紧密结合起来,实现了较好的经济效益和社会效益,为公司高质量发展和转型升级持续发力。后续智能模型控制系统逐渐完善实施后,可真正实现生产装备全流程实时优化控制,并进一步推动煤化工产业工业化和数字化的深度融合,为我国煤化工行业智能工厂建设探索起到示范作用^[4]。

参考文献:

- [1] 陈庚晓. 基于石油石化企业的智能工厂建设思考[J]. 化工管理, 2021(34).
- [2] 吴志敏. 现代煤化工智能工厂的研究与探讨[J]. 当代化工研究, 2019(04).
- [3] 刘云翔. MTO反应动力学模型、MTO反应再生集成模型及其应用[J]. 化工管理, 2019, 10(84)07-09.
- [4] 云涛. 先进过程控制在煤化工行业示范及应用展望[J]. 自动化仪表, 2020, 41(08).