天津石化连续重整实时优化项目经验分享

天津石化 100 万 t/a 连续重整装置在线实时优化（RTO）项目挑战及解决方案分享——天津石化在线优化技术在重整装置上的实施，不仅提高了装置处理量，减少了能源消耗，更为炼化企业的整体优化水平、推动企业降本增效提供了重要的借鉴意义。

文 / 吕建新

2021 年天津石化 100 万 t/a 连续重整装置在线实时优化（RTO）项目正式投用，开创了国内同类装置在线实时优化先河。

提高加工量、产品收率，降低能耗是炼化企业的主要优化方向。为实现装置协调控制和整体效益最优，天津石化不断加大创新力度，对先进控制技术进行升级。选择与行业领先技术专家石化盈科和霍尼韦尔一起，共同开启合作与赋能之旅。通过在线模型更新技术、实时动态优化技术，实现连续重整装置的整体实时优化。

该项技术具有实时性强、运行稳定和维护方便等优点，在国内尚属首次应用，对炼化企业提升整体优化水平、降本增效具有借鉴意义。

本文作者吕建新供职于中国石油化工股份有限公司天津分公司。

项目背景

以石油化工为代表的流程工业是中国传统的国民经济支柱产业。我国炼油行业在资本和市场逐步开放的环境下迅猛发展，国企、民营和合资炼厂的炼制规模不断扩大，加工一体化趋势日益加深，加之资源限制及环保要求的提高，市场竞争进入白热化阶段。传统炼化企业如何利用先进技术优化生产、提质增效并塑造核心竞争力至关重要。优化生产、挖潜增效，势在必行！

项目挑战

天津石化连续重整实时优化项目主要是针对其连续重整装置的现状和生产需求，在已有的先进控制投资基础上进行提升和改进，进一步开发实施重整反应及再生单元工艺机理计算、精馏严格工艺模型、先进控制的再开发、动态实时优化和在线模型增益更新技术，实现整个连续重整装置的区域实时优化。

在对现有连续重整先进控制应用情况分析的基础上，根据生产对区域实时优化的实际要求，对现有的预加氢、重整反应、重整再生、脱戊烷塔和脱丁烷塔的先进控制器进行了重新设计。在先进控制器的设计中充分考虑了

什么是 RTO？

在线实时优化（RTO）技术，实时跟踪原料性质、现场参数等变化，在满足工艺、设备约束的前提下，以原料、产品、公用工程价格为导向，利用数学模型、机理模型和快速、高效的优化与控制技术，对生产装置运行参数进行实时调整，与 APC 先进过程控制技术相结合实现在线闭环控制，以实现装置生产达到最佳的经济效益操作点。

区域实时优化系统对下层先进控制的要求，使先进控制系统满足实时优化系统的要求。在此基础上开发设计动态实时优化系统，实现整个连续重整装置的区域实时优化。在项目启动前，主要面临以下挑战。

如何突破稳态实时优化系统的局限性

基于稳态机理模型的实时优化在实际生产过程中有诸多局限性，例如由于需要开发完整的过程机理模型，项目投资成本高，需要专业队伍根据维护装置模型精度，复杂的模型计算导致执行周期很长，以及影响实时优化效果等。RTO 可让装置达到最佳经济效益操作点，如图 1 所示。

如何为连续重整装置建模和优化

连续重整装置是炼化一体化企业的关键装置。该装置的原料来源复杂、性质变化大且频繁，工况多变且反应机理及操作条件复杂，给实现建模和优化带来许多困难。

如何突破同类项目的从“0”到“1”

连续重整装置已配备 APC 系统多年，应用经验十分丰富，但最大的挑战是，该项目是 RTO 技术在国内连续重整装置的首次应用，并没有成功经验可以参考。因此项目实施难度大、解决方案的创新性强，且硬件的水平要求也非常高。

霍尼韦尔解决方案

在整个项目实施过程中，霍尼韦尔高效且专业的服务贯彻始终。在确定客户的需求后，开发了实施重整反应及再生单元工艺机理计算，以及在线模型增益更新技术，具体应用效果，如图 2 所示。为实现整个连续重整装置的区域实时优化，霍尼韦尔还提供了如下服务。

高精度的 UniSim 精馏严格工艺模型

作为霍尼韦尔重要的化工流程模拟软件，UniSim 是目前全球领先的动态模拟工具，强大的内置分析工具和高精度的模拟，帮助客户轻松建立了精馏严格工艺模型。

Profit Suite™ 先进控制与动态实时优化系统

针对炼化行业，霍尼韦尔的先进控制与优化综合解决方案系统平台主要由 Profit Suite™ 系列软件产品组成，拥有 Profit Controller、Profit Optimizer 及 Profit Stepper 等核心应用。此外，Profit Suite™ 内置有霍尼韦尔 UOP 的专利工艺知识，通过与 UniSim 软件的集成，可实现工艺设计、控制、优化和装置最佳化的综合应用。

其中，Profit Optimizer 软件为解决实时动态优化控制问题而生。不同于传统的基于严格机理建模的优化控制方法，由于 Profit Optimizer 的执行频率达到分钟级，可以在确定优化操作点时不需要过程处于稳态，可实现真正的动态优化。

此外，Profit Optimizer 无须建立严格的模型，不仅可以确定优化的操作点，而且可以确定到达该优化操作点的最佳路径，具有高投资回报率，可以取得与传统 RTO 技术相当的经济效益，但开发、实施及维护费用远远低于传统 RTO。

项目成果

整套系统上线试运行后，系统操作界面友好、运行稳定且优

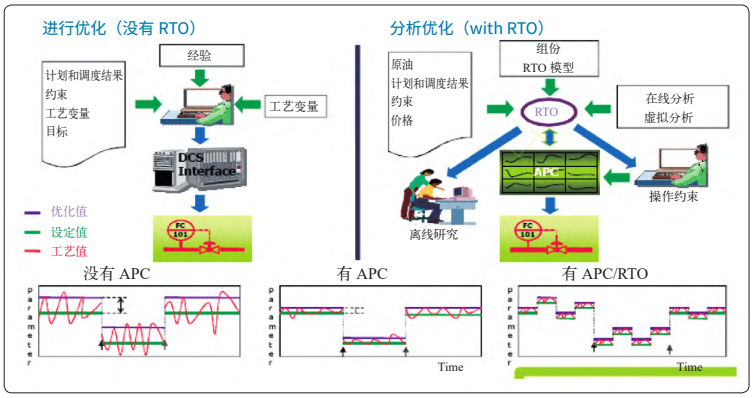

图 1 RTO 可让装置达到最佳经济效益操作点

图 2 应用效果展示

化效果明显，明显降低了操作人员的劳动强度，提升了装置运行平稳性及控制水平，实现了装置的精细化和智能化操作。

从 2021 年 5 月至今，在线实时优化技术在天津石化连续重整装置上运行效果良好。在系统投运率、装置总芳烃收率及氢气产量等方面都有明显改善。

项目成功集合了重整工艺机理模型的重整工艺计算包，实时更新先进控制模型和优化模型，并利用非线性机理模型对生产的线性动态模型，及时进行更新使其及时加以适应，提高了装置的自动化程度，做到了“动”与“静”的结合。构建闭环动态优化平台，在国内重整装置上应用属首创技术。

借鉴价值

该项目在重整装置上构建闭环动态优化平台，在国内是一项首创技术，它成功开创了国内同类装置在线实时优化的先河，并为未来炼厂的优化提供了许多珍贵的经验参考。

• 在连续重整装置中应用 RTO 技术，可以帮助炼化企业提高重整装置的生产能力，提高其芳烃收率或液收，且应用效果显著。

• 基于动态实时优化技术，结合动态实时区域优化模型和先进的在线模型增益更新技术，在国内连续重整类装置上实施是可行的，对于装置进一步挖潜增效提供了切实可行的优化思路。

• 该项目为国内同类装置 RTO 技术的落地提供广泛的应用场景。

• 该技术可以有效降低操作人员劳动强度，并对装置进行 7×24 h 的在线闭环优化，帮助装置实现精细化的操作和控制，为企业高效生产和效益提供有力抓手，同时为未来生产企业数字化转型提供了保障。

（上接第 47 页）

指在变频器本体上操作，远程指在变频器本体之外操作。

高压电动机旁操作箱通过硬线连接到变频器，控制电动机起停，面板设置起动、停止、就地 / 远程 DCS、变频故障及以变频运行停止信号，并有运行转速、转速调节、运行电流指示。实现利用机旁操作箱对电动机进行现场操作，并有电气联锁防止出现误操作，主要设备清单见表 1。

表 1 主要设备清单

序	设备名称		规格型号	数量	单位	备注
	氢气压缩机		10kV/ 800 kW			一拖一手动旁路
1	高压变频器	高压变频器		1	套	不含旁路柜
	手动旁路柜			1	套	利旧
2	配套设备	机旁控制箱		1	台	
3	空冷系统	散热风机	变频器配套	1	套	
4	空冷系统	散热风道	变频器配套	1	套	
5	仪表检测点	现场仪表			台	
6	低压电力电缆				m	
7	电气控制电缆		电压≥ 1.5 mm^2，电流≥ 2.5 mm^2		m	
8	仪表控制电缆				m	
9	信号电缆					
10	变频器安装底座					
11	安装附件					

变频改造意义

经测算：氢压机改造前工频运行每小时耗电 577.78 kW · h，氢压机改造后变频运行每小时耗电 341.67 kW · h，电价按 0.49 元 / kW · h、年运行时间按 8 000 h。

年节电费用计算为：(577.78–341.67) × 8 000 × 0.49=92.56 万元。

年折旧费：55.9 万元 /10 年 =5.59 万元。

变频器维修费：2 万元 / 年。

项目年效益为：92.56–5.59–2=84.97 万元。

回收期：55.9/86.97=0.64 年。

结语

在“双碳”的大背景下，企业通过技术改造，降低运行成本，实现节能降耗，将有利于提高自身竞争力。氢气压缩机变频改造实施后运行稳定，节约了大量电能，提高了电动机的功率因数，消除了谐波对电网的污染；降低了设备的噪声，有效延长了设备的使用寿命。电气、风机设备和管道系统机械磨损大幅减小，大大降低了维护、维修费用，节省大量人力成本。近几年联泓化学先后实施了数项变频改造，效果较好，值得推广。