



构建“未来炼厂”正当时

“未来炼厂”要满足三个条件：装置灵活性，“炼化一体化”集约化，智能互联——伴随着世界经济、社会的悄然巨变，各大市场的需求日新月异。因此，在石油化工行业，炼厂的运行与生产目标也必须与时俱进，才能抢占先机。受市场对高价值石化产品需求增长和现代炼化工艺技术的推动，“未来炼厂”将采用比过去更精确的方式管理碳氢分子。“未来炼厂”应是何种面貌？怎样改善工艺才能更大限度提升原油的价值？如何用智能互联的解决方案，优化运营环境，提升炼厂效益？都是很值得探讨的问题。

文 / 周麓波 博士

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码：



chem.vogel.com.cn

* 反馈编码：A210310

石化产品：未来炼厂的重地

在历史上，能源已经经历了两次革命，第一次是瓦特的蒸汽机革命，第二次是发生在19世纪末的内燃机革命，以燃烧液体燃料产生动力为主线，汽油、柴油是第二次能源革命后的标志性产品，因此，目前在全球能源市场上，炼油厂发挥着举足轻重的作用，因为在炼油厂，原油大部分被用来生产燃料油，即汽油、柴油和重燃料油等，以及附带少

量的石化产品，汽油和柴油为内燃机提供燃料，这种以燃料油为主的传统炼厂十分常见。然而，随着第3次能源革命的推进，电气化会越来越成为主流，汽油和柴油的需求量增长减弱，长期可能会减少需求。但是生活水平的提升，特别是发展中国家人们生活水平的提高，带来了下游化学产品需求旺盛。我们可以看到，将原油以更高的比例转化为石化产品，找到一条原油制化学品的长期盈利路径是炼厂转型的关键。这些年，国有和民营千万吨级大型炼厂建设如火如荼，“炼

化一体化”项目装置纷纷矗立。在新设计的炼化一体化炼厂里，50% ~ 70%的原油正在转化成石化产品，其中包括常见的“三烯三苯”（乙烯、丙烯、丁二烯；苯、甲苯、二甲苯），再用这些原料去制造各种高分子材料，满足社会生活的方方面面，这是当下最流行的炼化一体化工厂。

那么，“未来炼厂”会发展成什么样？其趋势一就是原油转化路线的变化。将原油转化成越来越多的石化产品，甚至完全转化成石化产品，将是“未来炼厂”最重要的愿景和转型方向。见图1。

本文作者系霍尼韦尔特性材料和技术集团亚太区首席技术官。



图1 未来炼厂的定义

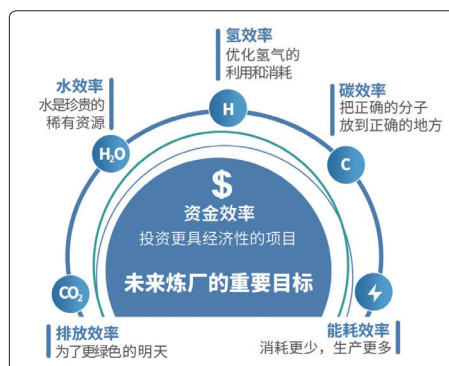


图2 未来炼厂的重要目标

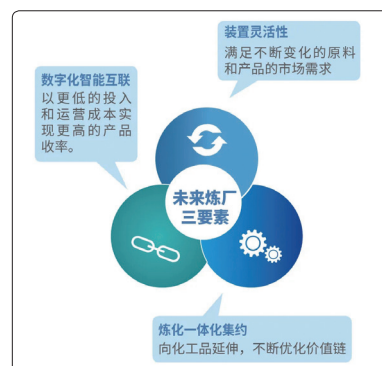


图3 未来炼厂三要素

此外，“未来炼厂”在运行上也有明显的智能化趋势。流程工业是自动化技术应用较早、发展业已成熟的工业类型，在典型的流程工业——石油化工领域中，我们会用感知系统、DCS、人机界面以及先进控制等为工厂赋能。而在未来，炼厂的过程互联、资产互联、人员互联和企业互联将被提上日程，为最终打造真正的智能工厂和无人工厂奠定基础。见图2。

从自动化到智能化，再到最终的无人化运营，万变不离其宗，改造的最大目的就是提升企业的运营效率，实现盈利最大化。同时，在日益成熟的环保政策影响下，企业的碳效率、能耗、水管理、二氧化碳排放管理以及氢气生成效率等，也都是“未来炼厂”的重要指标。因此，在霍尼韦尔看来，“未来炼厂”要满足3个条件。见图3。

第一点就是要满足装置的灵活性，炼厂在改造过程中，只有保障装置的灵活性，才能满足不断变化的原料和市场需求；第二点，炼厂要满足“炼化一体化”集约化，产能逐渐向终端化工品转移，始终瞄准价值链最大化的目标前进；第三点，毋庸置疑，“未来炼厂”需要满足智能互联的要

求，利用数字化技术利器，让装置运行始终保持最佳状态，以更低的投入和运营成本实现更高的产品收率。

炼化一体化：原油转化路线的优化

想要改头换面，炼厂需要从根本的原油转化工艺上下功夫。当然最重要的前提是，要保证在最高的碳氢效率下生产产品，以避免浪费。举例来说，改造过程中，炼厂可以将炼焦流程改为浆态床加氢裂解，就可把燃料油（fuel oil）消耗掉，在此基础上，还能把以生产柴油为主的加氢裂解，改造成以生产汽油和液化石油气为主的加氢裂解，就可以把柴油利用起来；最后，如果在汽油的石脑油装置里加上芳烃装置，就能把苯和对二甲苯抽提出来，直接

产出化工品。见图4。

不仅如此，炼厂利用甲烷的甲基化，还能生产更多的对二甲苯。如果将液化石油气统一进行分离，就能利用丙烷脱氢制得丙烯，用蒸汽裂解来生产乙烯。使用霍尼韦尔 UOP MaxEnc™ 装置，我们还可以把直链烷烃从异构烷烃以及环烷烃分离出来，异构烷烃以及环烷烃通过连续重整生成更多的芳烃；而直链烷烃作为蒸汽裂解生产乙烯装置的原料可以增加烯烃产率。

这样，炼厂就被改造成生产清洁汽油和化工产品的一条链了。未来，在各项专业技术的改进成熟后，还有望将炼厂改造为无油品产出的工厂。不过截止现在，社会对汽油和柴油的需求量仍然很大，全生产石化产品的炼厂还不是目前的主流。

人物简介：周麓波博士

周麓波，拥有清华大学应用化学学士学位和美国德克萨斯 A&M 大学的化学工程博士学位。现任霍尼韦尔特性材料和技术集团亚太区首席技术官，主要负责特性材料和技术集团在高增长地区的技术开发战略制定。同时，还负责该集团在中国和印度研发团队的管理。周麓波拥有 41 项美国专利。曾在炼油、石化和天然气加工等多个领域从事技术和产品的开发，其中多项技术和产品与环境保护有关。



升级方法论：抓住效率的核心

在了解炼厂的生产原理和规律后，技术人员又如何将现有多产油品的炼厂改造成多产石化产品的工厂呢？举个例子，炼厂如果有以生产汽油为主的催化裂化（FCC）装置，我们可以将其改造成多产丙烯的模式，由 FCC 出来的 C₄+ 烯烃也可以通过烯烃裂解来更进一步增产丙烯和乙烯；在炼厂添加芳烃抽提和二甲苯装置，则可以完成重整从生产高辛烷值汽油到生产芳烃的改造。如果我们将炼厂的重油装置改为加氢裂解的 Uniflex 装置，就可以将 95% 以上的碳回收成轻油，这些轻油可以通过裂解反应生产石化产品的原料。催化裂化的循环油由于本身含有芳环也可以用来直接去生产芳烃。见图 5。

此外，炼厂还有一个改造方向，那就是改变现有的产品结构。例如将煤油和柴油通过低压加氢裂解，生产重石脑油和 LPG 用于生产芳烃和烯烃；让 LPG 中的丙烷分离，利用 PDH 生产丙烯；还可以让石油焦通过气化装置生产氢气或者合成气，最终产出石化产品。

当然，还有不得不提的分子

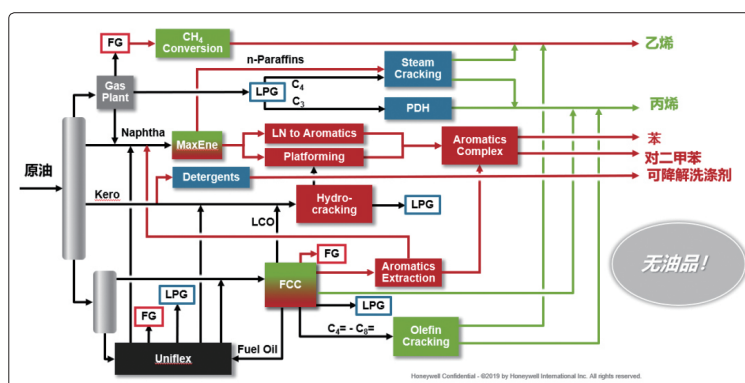


图 5 无油品炼化工艺示意图

炼油技术，它能够最大程度地利用原油。比如霍尼韦尔 UOP 的 MaxEneTM，可以把直链和异构的石脑油分离出来，分别用来生产烯烃和芳烃，同时提高烯烃和芳烃的产率。如果炼厂不需要芳烃，则可以通过逆向异构化把异构烷烃转化成直链烷烃，从而为烯烃裂解装置提供更多的优质原料，提高产率。升级的方法不一而足，霍尼韦尔 UOP 可以给炼厂进行初步评估来探讨炼厂升级的机会，根据装置的规模和设备的极限提供最省钱和高效的改造建议。

炼厂的智能互联转型

除了原油转化工艺的升级，炼厂向智能化、互联化的转型同样重要。说到底，智能化的最重

要目的，就是给产线带来更加安全、更加有效的设备使用以及工厂效益最大化的操作。霍尼韦尔因为有能源化工行业全球领先的工艺技术供应商和授权商（UOP）以及全球领先的流程工业自动化控制解决方案的供应商（HPS），因此，在开发智能工厂解决方案时具有天然优势，霍尼韦尔以设备互联、过程互联、人员互联、企业互联为基础的智能工厂解决方案结合化工过程的原理与数据科技，为炼厂和化工厂提供真正带来经济效益的智能解决方案，我们的互联是连接知识与数据的解决方案。见图 6。

在生产过程和设备关联的基础上，霍尼韦尔智能工厂解决方案能够部署在云端或当地数据中心，为客户提供基于设备与过程的智能分析，该解决方案把炼油流程的实时机理模型，运用到了智能工厂里面，帮助客户更加直观、高效地了解工厂的操作优化路径。

可视化的界面能告知使用者，在当前的情况下绩效指标的情况，接近报警状况的指标也显示得非常清晰。最重要的是，系统能够提出工厂的很多潜在机会，例如提出某特定的装置的改造，并量化改造能产生的效益。帮助运营者进一步了解工厂，挖掘炼

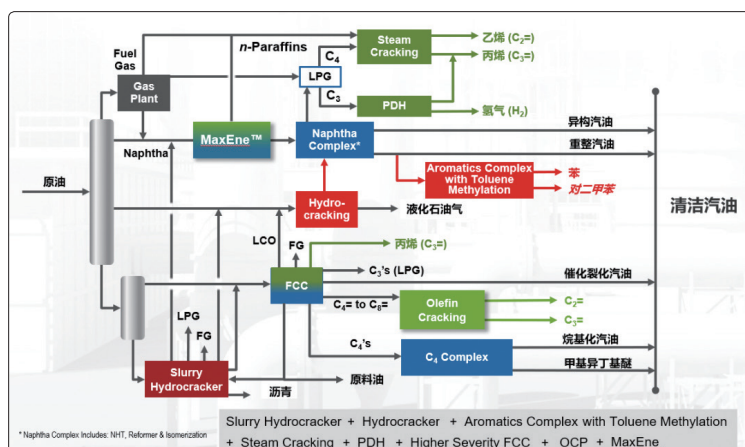


图 4 现有炼厂——通过改造走向未来

厂智能化运营的潜力。

循环经济，开创美好未来

绿色、低碳、智能化，这是近年来石化化工行业发展的热词。2020年9月，习主席在七十五届联合国大会的发言中提出“中国争取在2060年前实现‘碳中和’”的承诺。作为传统能源生产商和碳排放大户，炼厂无疑也与绿色经济深度绑定，那么，如何做到碳减排，最终达到“碳中和”的目标？

首先，我们需要用更多可再生资源替代炼厂原料。霍尼韦尔一直积极活跃在循环经济的前线，例如霍尼韦尔 UOP Ecofining™ 工艺，能够用植物油、动物脂肪、藻类油、地沟油等可再生原料，通过加氢和异构化装置，生产出绿色柴油和绿色航煤。这项技术也为现有炼厂的改造升级提供了机会，柴油加氢装置可以很容易改造成 Ecofining™ 装置，通过升级改造从可再生原料生产绿色柴油和绿色航煤。这种改造比建新装置要节省 30%~50% 投资成本。值得一提的是，绿色柴油的十六烷值非常高（值为 75~90），这是生物柴油（值为 50~65）、原油炼制柴油（值为 40~55）无法企及的。此外，低温的流动性、氧化的稳定性等方面，绿色柴油的表现也都远超生物柴油。

当然，除了原料的可再生化，资源的循环利用也是炼厂转型的重头戏。因此，想实现碳中和的第二个关键点，就是化工产品的循环利用。例如，中国目前每年的废塑料大概在 6 000 万 t 左右，其中 1/3 采用物理回收再利用，1/3 是填埋，1/3 则用来焚烧发电。其中，填埋在中国这种土地资源稀缺的国家有很大挑战，焚烧发

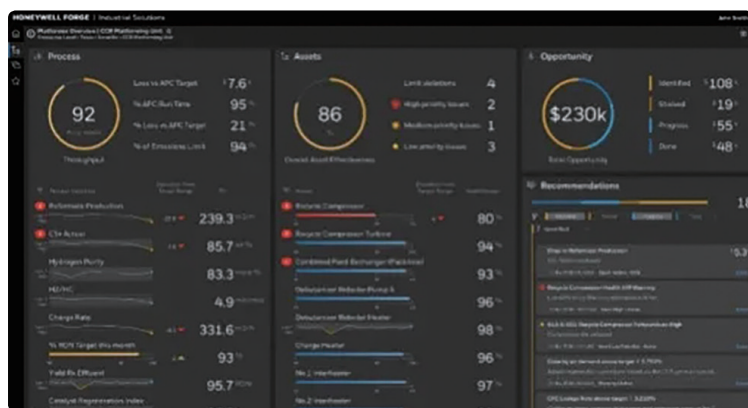


图 6 互联工厂：实时模型、专业知识和可视化分析，助力实现智能运营

电对环境的污染较大，经济效益也不高。霍尼韦尔 UOP 开发的废塑料化学循环技术，能够利用低温热裂解来生产循环塑料油，这种塑料油是一种很好的裂解原料生产烯烃，根据计算，如果废塑料回收成本不是太高，化学循环技术处理废塑料的经济回报率可以达到 25%，这说明循环经济也可以带来效益。霍尼韦尔 UOP 为废塑料化学循环开发了模块化的装置，这些模块化装置可以保证投资工期短，运行过程中无污染。

未来已来，直面转型挑战

实践告诉我们，“炼化一体化”是传统炼厂走向未来炼厂的必经之路。但在改造过程中，炼厂和技术供应商也面临着诸多挑战。首先，我们要考虑各炼厂的复杂性，由于各个厂的原料不同，生产单元的组成、生产的目标也不同，因此，技术供应商要有丰富的炼油与石化工艺开发和生产的经验和众多可供客户选择的技术解决方案，只有这样，技术供应商才能与炼厂一起达成成功的改造。

第二点是变化性。市场变化莫测，各炼厂随着市场情况的变化也会调整目标，这要求技术供应商要与炼厂建立紧密联系，通过长期合作来提供客户利益最大化

的技术，最终帮助炼厂实现改造。

第三个是技术的全面性。技术改造除了反应器以外，下游的分离过程改造也很重要，除了增加石化产品以外，炼厂还要考虑能耗、排放、改造设备的占地等，这对技术供应商全面的技术能力有很高的要求，当然，也要求技术供应商有丰富的改造经验，可以处理不同构成和不同改造目标的炼厂。

第四点是科学性。现在，越来越多的炼厂注重最终产品的生产，因此炼厂的改造需要最大限度地原油中的碳、氢原子转化到产品中去，以实现效率最大化，这要求技术供应商从分子炼油的角度出发，科学设计并安排不同组分将去何种最终产品。综上所述，一个合适、可靠的技术合作伙伴至关重要。

未来已来，在炼厂转型的当下，“未来炼厂”指出了油品的演进方向，和降低企业生产成本、增强资本效益、以及对监管和竞争的响应能力。“未来炼厂”要能实现操作和改造的灵活性，以应对短期、以及未来 10 年或 20 年后的市场变化。霍尼韦尔 UOP 和 HPS 助力您大步流星迈向“未来炼厂”，抢占时代先机，在风云变幻的全球能源市场立于不败之地。