

霍尼韦尔 U O P

未来炼厂 白皮书

原油制化学品篇

**REFINERY
OF THE
FUTURE**
ADVANCES
IN CRUDE TO
CHEMICALS

立足于石化生产的未来炼厂

REFINERIES
OF THE FUTURE
PRODUCING
PETROCHEMICALS

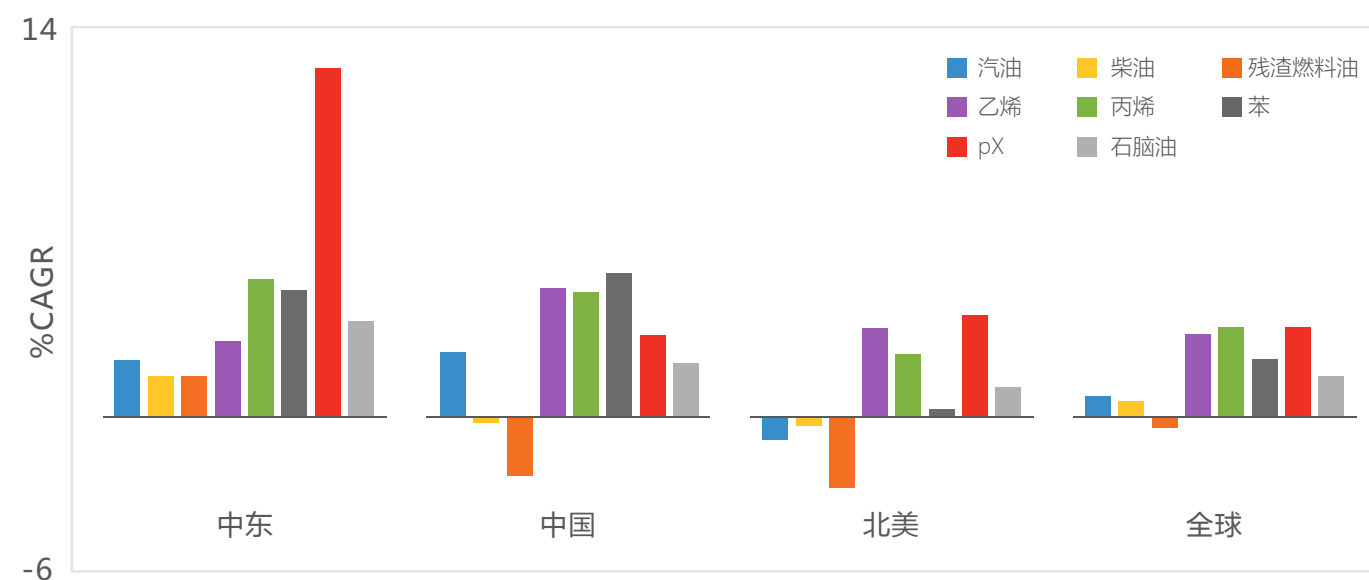
历史上，炼油产业一直以来是以燃料生产为根本，但如今，只有拥有石化生产能力的炼厂才能实现将原油转化为更有价值的产品，真正占据先机，掌控未来。随着全球行业格局的不断变化，我们利用碳氢分子的方式也在不断演变，与时俱进。传统燃料和石化产品之间的巨大价值差异间接催生了

这一系列变化，使得炼厂在整合石化生产后有望将净现金利润再提高人民币1500元/吨*之多。

即使中国目前对石化产品的消费已经蔚为可观，但需求仍在不断攀升。2018年，中国的乙烯、丙烯和对二甲苯消费量分别占据全球消费量的28%、38%和57%¹，并且预计2018年到

2028年间上述三种产品的全球复合年均增长率 (CAGR) 将达到3.2%、3.5%和3.5%。¹ 石化产品的需求主要是受人们对石化衍生物需求的不断增加所驱动，比如聚酯类的合成纤维纺织品，包括汽车保险杠、食品包装等在内的大量塑料零部件和塑料制品，以及洗涤剂等日用品。

图1: 需求增长预测 (2018-2028)



资料来源：IHS Markit; WoodMac; UOP Analysis

中国目前石化产品的市场需求量增速要高于供应量的增速。为提升自给率，中国对二甲苯大规模扩产投资的力度不减，但至少在未来十年内，供应的缺口依然存在。中国2018年的对二甲苯进口量超过1600万吨，

到2028年，对二甲苯进口预估值仍接近1400万吨²。为了满足国内需求，现代化、高效的世界级装置先后在中国投产，行业积极寻求利用大型联合装置的新技术和规模经济来改善生产的现金成本。

所有这些趋势印证了现在以及将来在中国生产石化品的重要意义。石化产品中国市场需求的持续增长为新旧炼厂创造了机会，通过未来炼厂的最新技术，可以生产出比燃料价值高出1500元/吨的化学品。

* 本文所列价格为2014-2018年市场均价，并按1美元=7人民币汇率折算。

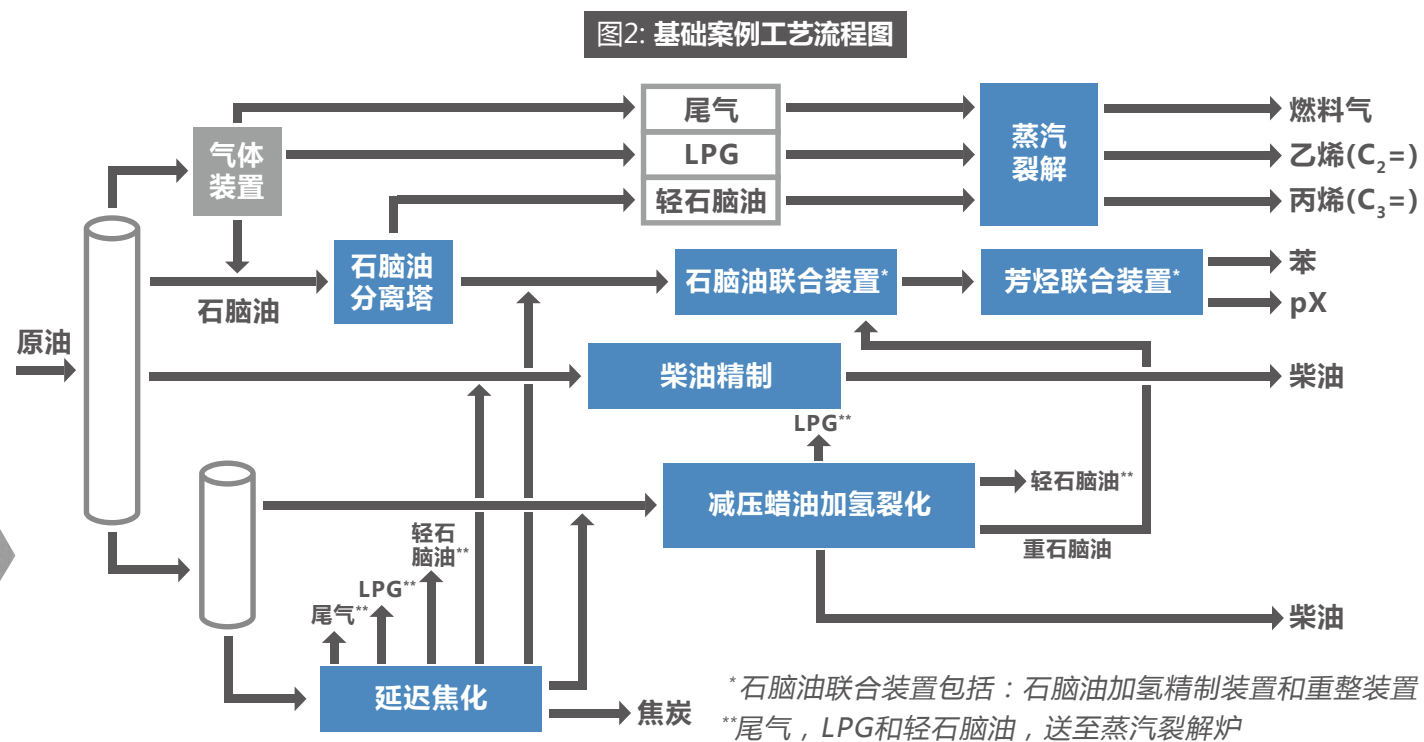
打造未来炼厂

CREATING A REFINERY OF THE FUTURE

采用基于先进的分子管理的革新工艺技术，是把握石化产品机遇的关键。例如，利用浆态床渣油加氢裂化工艺可将渣油升级成燃料或石化中间体；减压蜡油（VGO）和馏分油加氢裂化生产重石脑油，以用于后续的芳烃生产工艺，从而实现世界级规模的对二甲苯生产，并且该工艺技术还能够帮助炼厂升级为对二甲苯的芳烃联合生产装置。为探寻未来炼厂的潜在盈利投资途径，我们开展了一项关于一体化装置的案例研究。我们研究分析了一个主要生产燃料的基础案例和其它四个逐步增加石化品产量的投资案例。在从燃料生产过渡到石化生产时的转型中，可分步进行，每次完成一个步骤，有些步骤还能合并成为各个投资阶段；在开发和建设新的炼化一体化装置时，则可以一次完成所有步骤的投资。我们将每个步骤作为一个单独案例进行分析，以便量化经济效益，准确地阐述这些投资如何帮助客户提高运营灵活性、竞争力和盈利能力。

基础案例

炼厂的设计处理量为2380万吨/年（阿拉伯轻质原油），主营产品包括柴油、苯、对二甲苯和烯烃，不含汽油。生产装置包括：一套蜡油加氢裂化工艺装置，是主要的减压蜡油转化装置；一套延迟焦化装置，用于转化减压渣油；一套采用大幅提升芳烃产量加工模式的重整装置、一套蒸汽裂解装置和一套芳烃联合装置，用于生产轻质烯烃和芳烃石化原料。基于总进料量（原油），该炼厂可生产63%（重量百分比）燃料和25%（重量百分比）石化产品。见图2。



► **案例1:**用浆态床加氢裂化装置取代延迟焦化装置，在该案例中采用了UOP Uniflex™ MC™工艺技术。现在，有98%的减压渣油转化为馏分油、石脑油和LPG。低价值的未转化产品（目前是油渣，而非原来的焦炭）仅占该装置产量的2%。Uniflex MC提升了渣油转化成具有更高价值的产品的转化率。将价格为427元/吨的减压渣油升级成价格为4508元/吨的柴油，可大幅提升经济效益。相比于基础案例，净现金利润可提高人民币153元/吨，内部收益率 (IRR) 提高24%，数据

显示这是一项高回报率的投资。有关此案例及后续案例的主要经济绩效指标请参见表1。结合后续案例中使用的工艺技术，Uniflex MC可帮助炼厂将渣油转化为可用于生产石化产品的中间产品（如重石脑油）。因此，Uniflex MC为更大限度提升石化产品产量奠定了工艺基础。结合中国国情，更多客户可能更愿意将第一步投资与下述案例中的其它步骤结合起来，以大幅度提高重石脑油的产量，进而生产对二甲苯，同时更大限度地减少燃料产量。

表1: 资本成本和经济效益 (基于2380万吨/年原油处理量)

案例编号	基础	1	2	3	4
预估资本成本					
总体建设成本	基础	基础案例的110%	基础案例的151%	基础案例的222%	基础案例的242%
相对经济效益					
净现金利润 (NCM), ¥ 亿元/年	基础	基础案例+40	基础案例+131	基础案例+288	基础案例+312
净现金利润 (NCM), ¥ 元/吨	基础	基础案例+153	基础案例+562	基础案例+1278	基础案例+1500
净现值 (NPV) ¥ 亿元	基础	基础案例+264	基础案例+720	基础案例+1509	基础案例+1561
增量内部收益率 (IRR), %*	基础	23.9	15.7	15.6	9.5

► **案例2:**将减压蜡油加氢裂化装置改为UOP增产石脑油的Unicracking装置，在最大转化率下能为对二甲苯提供更多的重石脑油，从而提高芳烃的产量。相比于基础案例，石化产品总产量从25%增加到44%（基于原油进料量），对二甲苯的产量增加了1.4倍。其主要经济驱动因素在于提高了对二甲苯生产的规模效益。通过引入增产石脑油的Unicracking装置有助于提高整体石

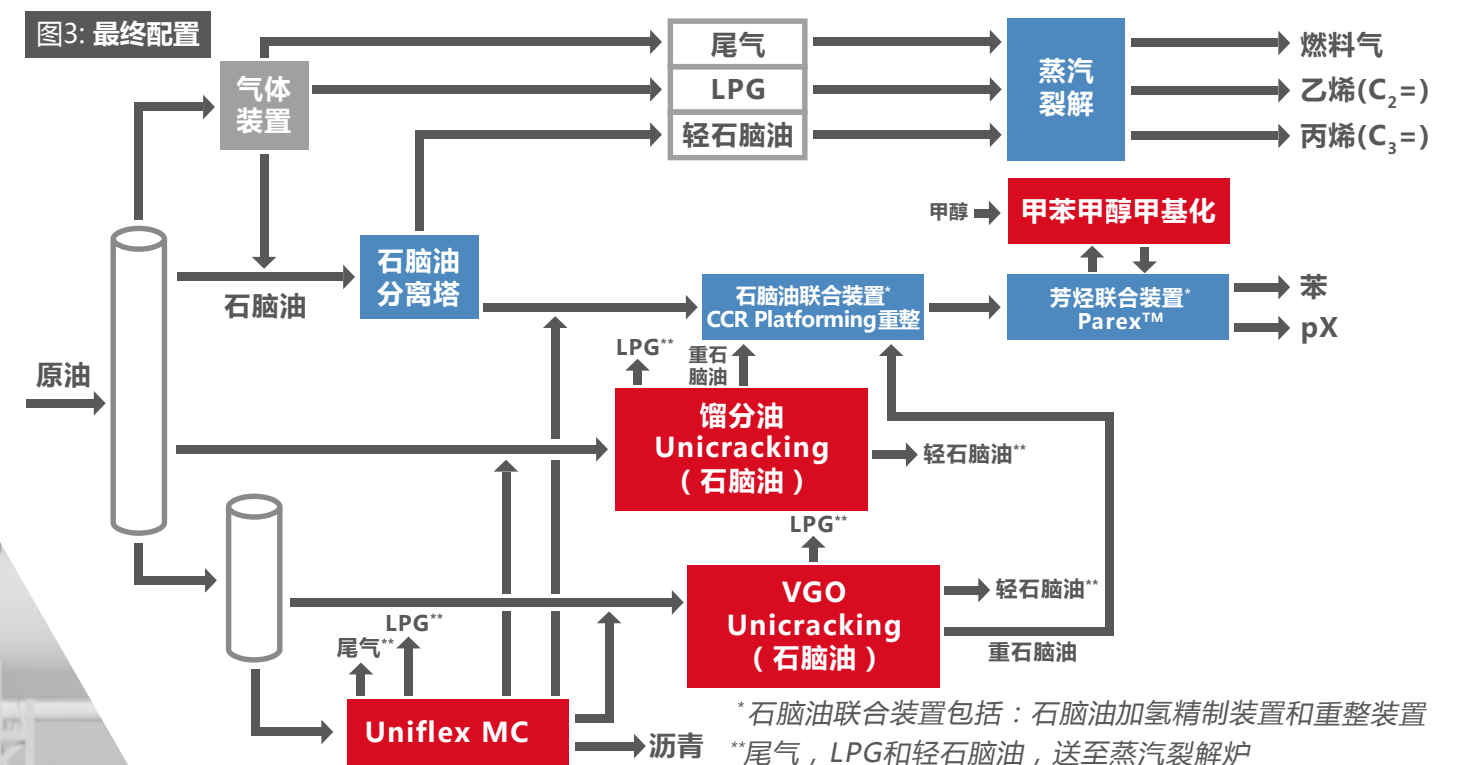
► **案例3:**利用UOP的馏分油Unicracking（制石脑油）装置取代柴油精制装置，从而大幅提升转化率，实现零柴油生产，同时尽可能提高重石脑油（对二甲苯的生产原料）的产量，帮助炼油厂完全转型成为石化产品生产商，并且不再产出燃料。与基础案例相比，采用两种石脑油模式的

► **案例4:**将全新UOP甲苯甲醇甲基化技术整合到芳烃联合装置。在本案例中，炼厂能将所有芳香族分子转化为对二甲苯，对二甲苯是芳香族石化产品中价值最高的产品。石化产品的产量占原材料总量（包括甲醇和原油）的89%，与基础案例相比，对二甲苯的产量增加了4.4倍。在重整料产量不变的前提下，甲苯甲醇甲基化使得对二

化产量，提高对二甲苯产量，进而提升投资回报，相对于案例1，内部收益率（IRR）提高了16%。这一投资阶段最好与案例1中所述的投资合并，从而通过一次投资决策提高对二甲苯的产量。案例1和案例2也能与后续案例相结合使用，以进一步提高以重石脑油为原料的对二甲苯产量，并更大幅度地减少燃料产量。

Unicracking (加氢裂化)能够将对二甲苯的产量提升三倍。石化产品的产量目前达到82wt% (基于原油进料量)。与步骤2相比,此步骤的投资回报很可观,内部收益率 (IRR) 提升16%。与案例2类似,本案例的经济驱动因素同样也是提升了对二甲苯生产的规模效益。

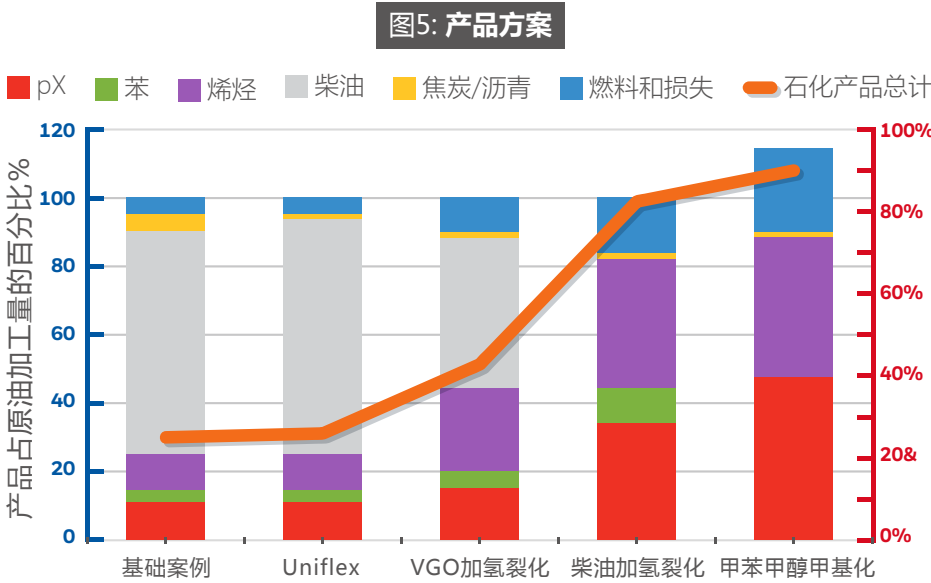
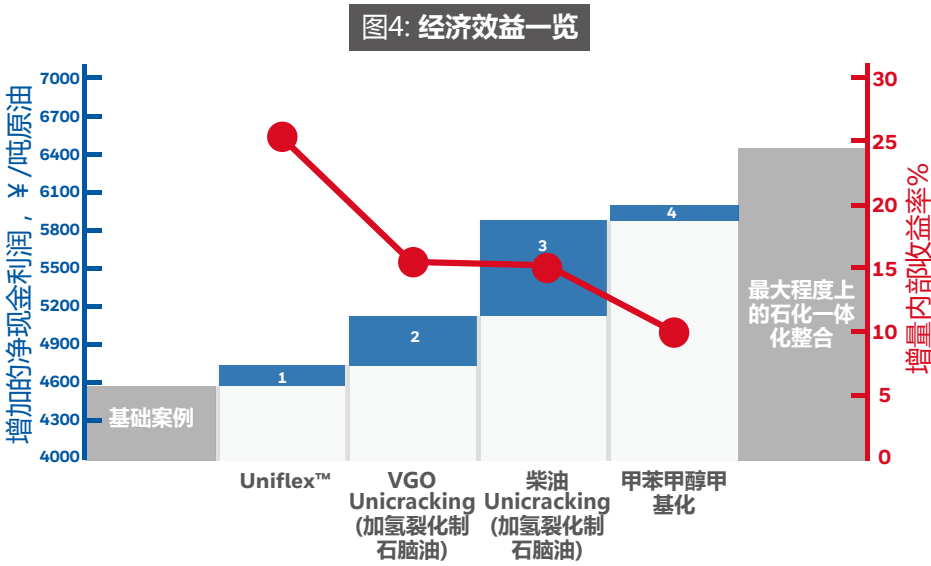
甲苯的产量提高了近50%，并且不再产出苯。与案例3相比，这一附加投资可获得可观的收益，内部收益率（IRR）提升10%。该案例中的主要经济推动因素是：1) 通过改善芳烃联合装置中对二甲苯的选择性（减少苯的产量）提高了对二甲苯的产量；2) 将低价值的甲醇升级为对二甲苯。见图3。



实施本研究的一系列投资，可将净现金利润率提高人民币1500元/吨，从而进一步提升炼厂的盈利能力，每个投资的内部收益率至少为10%，如图4所示。通过将炼厂转变为几乎只生产石化产品的未来炼厂，可实现上述预期经济效益。图5显示了产品方案的变化。

基于一定的原油处理量，如果一次性完成上述所有投资，可大幅提高重石脑油的产量，进而大幅提升对二甲苯的产量。合并投资的整体内部收益率为15%。

案例研究中的每一步投资都凸显了分子管理的优势，这意味着每个工艺步骤都有助于提高原料中每一个分子的价值。将对的分子送入对的工艺能更大限度减少将其转化为石化产品所需的工作量，从而实现具有更高效率和利润的工艺过程。



上述案例分析可适用于典型改造项目，在不改变现有原油处理量的前提下，提高现有炼厂的石化产品产量和整体盈利能力。此外，新建项目在前期规划中也可借鉴这些投资策略并从中受益。新建项目同样也可以依据既定的石化产品产量进行设计，实现以

尽可能少的原油进料量达到预期的石化产品产量。基于这一思路，我们进行了第二个系列投资的研究分析，其中对二甲苯的产量均设定在260万吨/年，随着策略性不断增加新的工艺技术，提高生产效率，原油消耗量相比于最初的2380万吨/年不断下降。

表2中总结的结果表明，虽然第二个系列投资的生产规模较小，但每步投资的经济效益和第一个系列投资的效益非常接近，这意味着通过采用先进技术进行投资以实现石化品生产对现有和新建工厂的盈利都有显著提升。

表2: 生产概况和资产利用情况

		基于260万吨/年对二甲苯产量				
		基础案例	案例1	案例2	案例3	案例4
		基础案例	Uniflex	VGO HC	Dist HC	Tol Met
处理的原油量	MMTA	23.8	23.8	23.8	23.8	23.4
		23.8	22.9	13.6	6.9	4.8
生产的对二甲苯量	MMTA	2.6	2.6	3.6	7.8	11.3
		2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
总石化产品产量	原油%	25	26	44	82	89
		25	26	43	82	89
总安装成本	%基础案例	100	110	151	222	242
		100	107	88	71	58
净现金利润	¥/吨	基础案例	基础案例+153	基础案例+562	基础案例+1278	基础案例+1500
		基础案例	基础案例+153	基础案例+511	基础案例+1278	基础案例+1500
增量内部收益率	%	基础案例	23.9	15.7	15.6	9.5
		基础案例	25.4	16.3	15.8	18.8

采用以上投资策略的炼厂能获得诸多优势，包括大幅提升对二甲苯的生产效率；降低每吨对二甲苯的生产成本；减少排放，降低环境影响；节约氢气、电和水的消耗量；减少天然气需求，削减运营费用。

UOP专家不断创新以帮助炼厂实现其特定目标。上述研究的一系列具体投资是建设未来炼厂的可行途径。虽然每个炼厂都需根据其具体条件定制解决方案，但上述研究所展示的正在实施的投资策略，能够帮助新建炼厂，或现有炼厂成功转型升级为未来炼厂。

COMMERCIAL APPLICATION —THE REFINERY OF THE FUTURE IS HERE TODAY

霍尼韦尔UOP进一步探索出能更大幅度提升石化产品产量的技术路线，该技术路线可在后期实施，其中包括：采用UOP C3 Oleflex™技术以丙烷定向生产丙烯，以及采用UOP MaxEne™吸附分离技术优化蒸汽裂解原料并生产乙烯。由于已有炼厂的丙烷产量有限，可通过外购LPG以实现世界级的C3 Oleflex装置生产。考虑到C3 Oleflex生产丙烯的效率更高，丙烷进料将优先供应C3 Oleflex，随后才是蒸汽裂解装置。参见图6。第二阶段投资目标是将燃料产量降至为接近零，实现汽油和LPG零生产，并将石化产品产量提高至80%（烯烃和芳烃）甚至更多。以上是现有炼厂升级转型为未来炼厂的真实范例。参见图7。

The diagram illustrates the UOP refinery process flow, showing the integration of various units and the handling of different feedstocks and products.

Feedstocks and Initial Processing:

- VR减压渣油 (VR Vacuum Residue):** Feeds into the **UOP Uniflex** unit.
- FCC 催化油浆 (FCC Catalyst Oil Slurry):** Feeds into the **UOP Uniflex** unit.
- 直馏石脑油 (Straight-Run Naphtha):** Feeds into the **UOP加氢裂化 (UOP Hydrocracking)** unit.
- 直馏柴油 (Straight-Run Diesel):** Feeds into the **UOP加氢裂化** unit.
- 直馏蜡油 (Straight-Run Kerosene):** Feeds into the **UOP FCC** unit.

Intermediate Processing and Recycling:

- UOP加氢裂化 (UOP Hydrocracking):** Produces **重质石脑油 (Heavy Naphtha)**, which is recycled back to the **UOP加氢裂化** unit. It also produces **未转化油 (Unconverted Oil)**, which is fed into the **UOP FCC** unit.
- UOP FCC (UOP Fluid Catalytic Cracking):** Produces **轻质烯烃 (Light Olefins)**, **C₃组分 (C₃ Components)**, and **汽油 (Gasoline)**. It also produces **LCO (Low-Boiling Condensate)**, which is recycled back to the **UOP加氢裂化** unit.
- UOP重整 (UOP Reforming):** Receives **重质石脑油** from the **UOP加氢裂化** unit and produces **重整油 (Reformate)**, which is fed into the **UOP芳烃联合装置 (UOP Aromatic Joint Unit)**.
- 变压吸附 (Pressure Swing Adsorption):** Produces **净产气 (Net Gas)**, which is fed into the **UOP重整** unit.

Final Products and Recycling:

- UOP芳烃联合装置 (UOP Aromatic Joint Unit):** Produces **对二甲苯 (p-Xylene)** and **苯 (Benzene)**.
- UOP Oleflex 蒸汽裂解联合装置 (UOP Oleflex Steam Cracking Joint Unit):** Receives **轻质烯烃**, **C₃组分**, and **汽油** from the **UOP FCC** unit. It also receives **C₂组分 (C₂ Components)**, **LPG (Liquefied Petroleum Gas)**, and **轻质石脑油 (Light Naphtha)** from the **UOP Uniflex** unit. It produces **乙烯 (C₂=) (Ethylene)** and **丙烯 (C₃=) (Propylene)**.
- UOP Uniflex:** Produces **重质石脑油 (Heavy Naphtha)**, **柴油 (Diesel)**, and **LVGO 浆态床轻蜡油 (LVGO Slurry Bed Light Kerosene)**. The **重质石脑油** and **柴油** are recycled back to the **UOP加氢裂化** unit. The **LVGO 浆态床轻蜡油** is recycled back to the **UOP FCC** unit.

[illegible]

结论

世界在发展，市场也在发生变化，炼厂的目标也要与时俱进。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。鉴于此，霍尼韦尔UOP开发了一系列先进技术，并被广泛应用于世界各地的众多装置。作为融合工艺技术和工艺设计专业知识的全球领先公司，霍尼韦尔UOP能实现全面的一体化整合，更大限度提升原油价值，实现全面的分子管理。与霍尼韦尔UOP深度合作，采用高度一体化整合的工艺技术以及互联工厂解决方案，大幅提高资产利用率和运营可靠性，以实现长远运营目标。

参考文献

¹IHS Markit

²Wood Mackenzie; UOP analysis

本文作者

Stan Carp

霍尼韦尔UOP IPS 配置及工艺流程顾问

Matthew Griffiths

霍尼韦尔UOP首席工程师及FCC工艺专家

何剑波

霍尼韦尔UOP中国技术总监





**REFINERY
OF THE
FUTURE**
ADVANCES
IN CRUDE TO
CHEMICALS