



霍尼韦尔 UOP  
丙烷脱氢前沿技术展望报告

HONEYWELL UOP OLEFLEX™  
**THE LEADING ON-PURPOSE  
PROPYLENE SOLUTION**

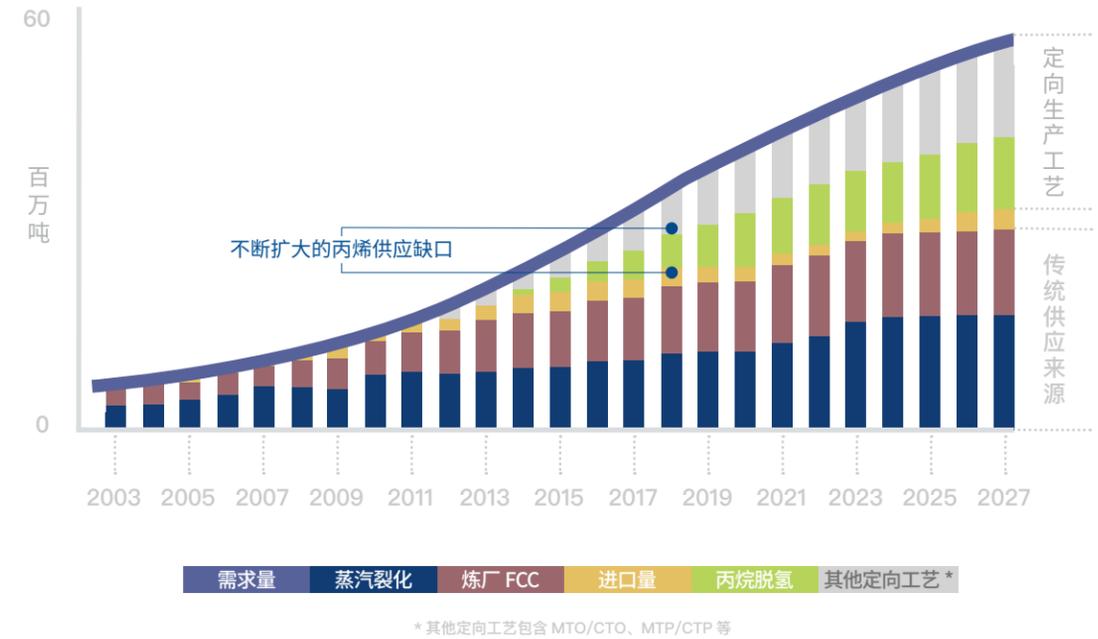
**Honeywell**  
UOP

# 导言

## PREFACE

近年来，中国对丙烯的需求呈持续增长态势，并且预计未来将继续保持稳健增长。在寻求可靠的工艺技术以满足这一增长需求时，无论是政府、企业，还是私人投资者都必须全盘考察诸多相关因素，例如，石化设施的所在地对于环境影响的高度重视使得低排放和高能效成为审核工艺技术的先决条件。本文将探讨丙烯生产的市场驱动因素，重点研究丙烷脱氢 (PDH) 技术在丙烯生产工艺中的高效率特性，并以霍尼韦尔 UOP Oleflex™ 工艺作为市场技术引领者且具有更环保的丙烷脱氢工艺技术进行详细介绍。





中国丙烯产量 / 数据来源: IHS Markit

## 丙烯供应缺口

## THE PROPYLENE GAP

丙烯生产因其优异的赢利性吸引了越来越多的投资者的目光。2018年，中国近 70% 丙烯的终端需求来自于聚丙烯。人口结构的变化导致市场对厨房用具、食品容器、服装、地毯，乃至汽车电池等消费品的需求不断增加。所有这些都使得聚丙烯的生产变得越来越重要。此外，聚丙烯被广泛认为是最通用的塑料原料之一。

丙烯的传统来源是蒸汽裂化和炼厂流化催化裂化 (FCC) 装置生产的副产品。自 2014 年以来，市场对丙烯的需求与这些传统来源丙烯产能之间的差距越来越大，并呈继续扩大态势。定向丙烯技术被广泛采用以填补这一巨大的供应缺口。

丙烷脱氢是一项被广泛使用的丙烯定向生产技术，2018 年这项技术填补了中国丙烯供应缺口的 34%。到 2027 年，这一比例预计将扩大到 42%。其他定向丙烯技术还包括甲醇制烯烃 (MTO)，甲醇制烯烃 + 烯烃裂解 (MTO+OCP)，以及甲醇制丙烯 (MTP)。所有这些解决方案

的丙烯产率都至少是传统技术的两倍，其中丙烷脱氢 (PDH) 的丙烯收率最高，达到 85%，而其它工艺技术的收率在 16% 至 65% 范围之内。这也使得丙烷脱氢技术成为一种更有效、更具成本效益的丙烯生产技术。



丙烷脱氢技术采用了一种更为简单的生产工艺，将单一进料 (丙烷) 转化为主要产物 (丙烯)，并有选择性地将副产品 (氢气) 用作燃料，或运输出厂用于其他更高价值的用途。丙烷脱氢装置能够轻松实现与上游丙烷原料或下游聚丙烯

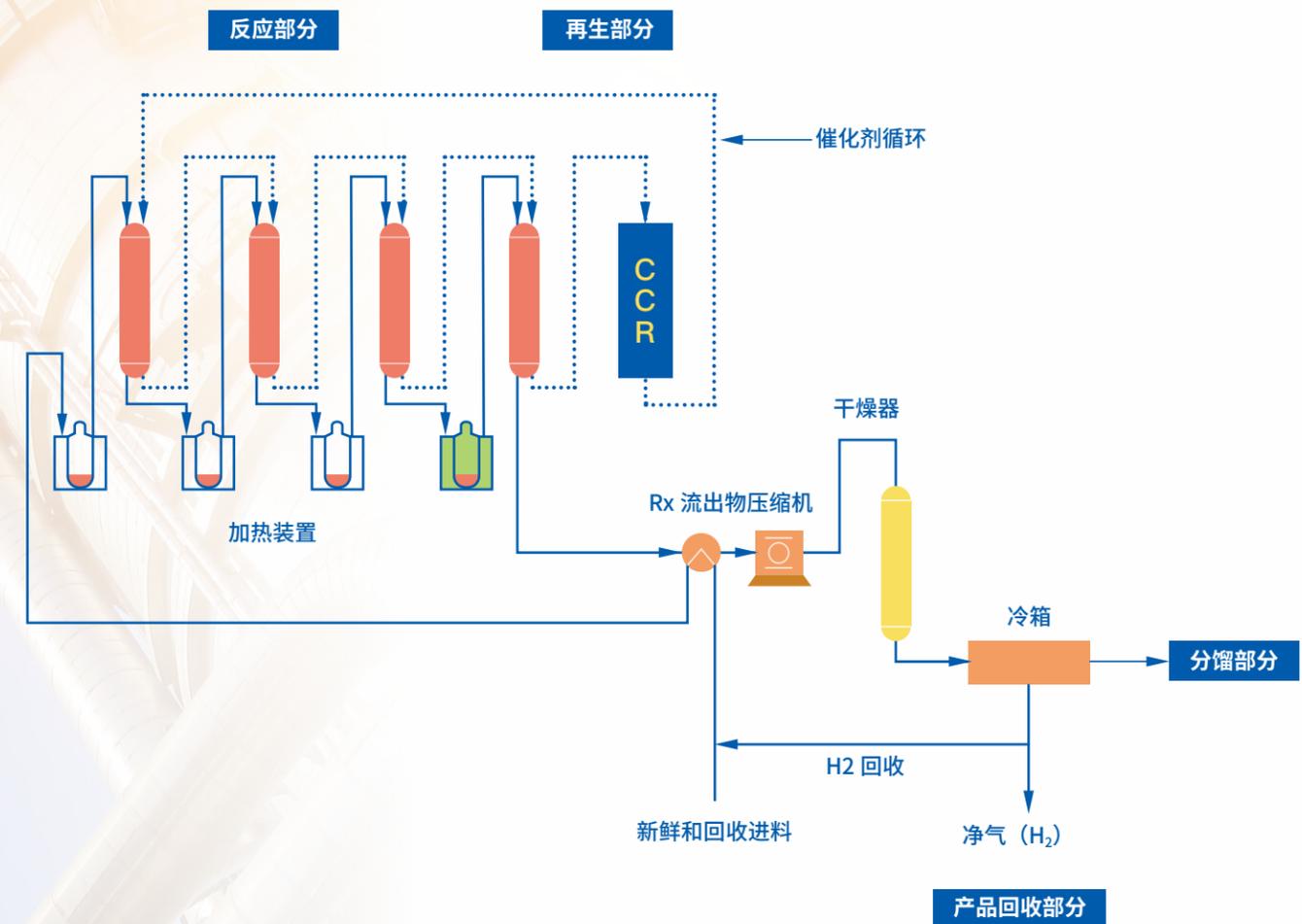
生产装置的一体化整合。霍尼韦尔 UOP 的 Oleflex™ 工艺是行业领先的丙烷脱氢技术。UOP 凭借其领先的专业知识并不断投入技术研发，以确保该工艺的持续领先地位。

# OLEFLEX™ 工艺概述

## THE OLEFLEX™ PROCESS

完整的 Oleflex™装置由分馏部分和反应部分组成。分馏部分包括对进入反应器的丙烷进料进行纯化的脱丙烷塔，除去反应产物中轻烃组分的脱乙烷塔，分离出聚合级丙烯产品的丙烷-丙烯分离塔，以及脱除未转化丙烷中二烯烃炔烃类杂质的选择性加氢反应器。

在 Oleflex™反应部分中，丙烷被转化成丙烯和氢气，其最突出特点是运行的稳定可靠和工艺流程的简洁紧凑，这主要是因为由四套加热炉系统和四台立式径向反应器组成的反应器设计和催化剂再生器设计保持相对独立，各自部分都处于各工艺（反应或再生）要求的最佳点。高产率、高活性的铂基催化剂在反应器内经过缓慢循环后进入连续催化剂再生 (CCR) 部分，随后利用 UOP 久经验证的 CCR 技术实现稳定的催化剂再生。



Oleflex™工艺具有多项优势，包括更小的环境影响，更低的运营成本 (opex) 和资本投资 (capex)，更好的规模经济性、更高的装置产率和可靠性，以及霍尼韦尔 UOP 卓越的项目执行、技术服务和持续创新能力。在中国，以一套 60 万吨 / 年

的丙烷脱氢装置为例，这些优势带来的经济效益意味着每年的净生产成本可降低 1.35 亿元人民币，净现值 (NPV) 提高 5 亿元人民币，投资回报率 (ROI) 比其它丙烷脱氢 (PDH) 技术要高出 4%。

## 更小的环境影响

### SMALLER ENVIRONMENTAL FOOTPRINT

Oleflex™工艺的环保优势包括两个方面，主要得益于其更先进的高品质催化剂和更低的工艺排放。铂是一种理想的脱氢催化元素，能够确保催化剂的高活性；结合 UOP 先进的催化剂制备和生产工艺，UOP 高活性铂催化剂能够有效减少对环境影响，性能久经 30 多年的实践检验。UOP 高活性铂催化剂由霍尼韦尔 UOP 位于江苏张家港的先进制造基地采用 UOP 专有技术生产。与竞争催化剂相比，Oleflex 催化剂的高活性可减少超过 80% 的催化剂用量。此外，优化的催化剂孔结构可实现更长的催化剂寿命，快速恢复正常运行，防止对再生设备的损坏。催化剂的高强度则能减少磨损，降低补充催化剂成本。更少的催化剂用量

直接减少环境影响。此外，与其它丙烷脱氢催化剂相比，铂作为一种环保金属，废弃时无需特殊处理，并且金属铂可以回收再利用。

凭借独特设计，Oleflex 工艺可大幅减少排放，尤其是氮氧化物 (NOx)、硫氧化物 (SOx)、水和固体排放量。显著降低的焦炭生成量可减少再生期间生成的燃烧气体。采用 Oleflex 工艺，氮氧化物排放可降低五倍，硫氧化物排放可降低九十倍，氨 (NH3) 排放可降低五倍，温室气体 (例如 CO2) 排放可降低七倍，挥发性有机化合物 (VOCs) 排放可降低八倍。Oleflex™工艺催化剂再生过程无需蒸汽汽提，从而避免了主要的废水来源，

并使待处理工艺废水减少了 130 倍。整套 Oleflex 系统的效率使得工艺技术能以更加环保、安全的方式生产更多的丙烯，并大幅度减少空气、水和固体排放量。总

体而言，Oleflex 装置对人类和环境的健康影响较小，这也是选择技术时需考虑的一个重要因素。

## 更低的运营成本

### LOWER OPEX

精简的设计和卓越性能让 Oleflex 装置运营更简单且成本更低。催化剂的高稳定性使得在催化剂寿命周期内，生产同等量丙烯所需的丙烷原料更少。运营成本费用绝大部分都来自丙烷原料，其在总运营成本中的占比达到 90%。因此与其它丙烷脱氢技术相比，Oleflex 装置的低物耗使得运营商可获得显著的运营成本优势。此外，通过采用热泵精馏，利用丙烷自身冷冻效应以及换热流程整合等节能技术进一步降低了装置的运营成本。

由于反应器采用正压，压缩机负荷更低，既不需要氮气吹扫密封阀，也无需大型公用空气压缩机即可实现再生，同样无需蒸汽吹扫，这些都能更进一步降低能耗。Oleflex 技术具有更低的焦炭生成量，使得催化剂再生无需大型鼓风机，可回收更多的轻馏分 (C2-) 副产物并用作燃料或下游进料，从而降低燃料或电力需求。以上运营成本优势可帮助一套 60 万吨 / 年的丙烷脱氢装置每年节省高达人民币 4200 万元的生产成本。

## 更低的资本投资

### LOWER CAPEX

同样，UOP 丙烷脱氢技术的精简设计可带来多项资本投资优势。Oleflex 工艺能显著降低资本性支出的主要原因之一是采用了高活性且稳定的铂催化剂。该催化剂具有高活性，在相同设计生产工艺中所需的催化剂用量更少。此外，由于催化剂失活的可预测性非常高以及高稳定性等特性，可实现更紧凑的装置设计。与其它丙烷脱氢技术相比，这些因素都有助于缩小 Oleflex 反应器的尺寸。此外，Oleflex 工艺中的反应器采用正压，相比于在真空压力下运行的系统，其可采用更小、更简单的反应器流出物压缩机，并且正压的反应

系统有助于减少设备和管道尺寸。Oleflex 工艺的另一个关键特性是其采用了连续稳定的 CCR 再生技术来保证催化剂性能的持续稳定。该相对稳定独立的再生部分无需大型隔离阀、无需大型鼓风机、无需针对再生废气的选择性催化还原系统 (SCR) 或废水汽提系统等一系列昂贵设备，从而避免了大量的资本投入。最后，Oleflex 反应器采用立式设计，占地面积小，仅需要其它丙烷脱氢装置所需面积的 2/3。UOP Oleflex 丙烷脱氢技术的优势可以帮助节省超过 20% 的投资成本。

## 更好的规模经济性

### BETTER ECONOMY OF SCALE

随着丙烯供应缺口持续扩大，许多生产商都计划投资更大规模的丙烷脱氢生产装置。无论装置设计产能是 45 万吨 / 年还是 90 万吨 / 年，Oleflex™ 工艺采用同样的四套径向反应器，仅需通过增加反应器尺寸，无需增加反应器台数就可满足产量

要求。竞争丙烷脱氢技术则是通过加倍反应器数量来扩大规模。无论是小型还是大型应用，UOP Oleflex 工艺都能保持相同的配置，并保持简单操作，设计精简的特点。

## 更高的在线率和产率

### HIGHER ON-STREAM AVAILABILITY AND PRODUCTIVITY

更高的在线率意味着更高的产率和额外的利润，总计金额可高达每年 7000 万至 1 亿人民币。产率的提高来自于 Oleflex™ 工艺固有的精简设计。反应和再生部分相对独立可实现在线更换催化剂，即无需停车即可更换催化剂。这样就能灵活规划装置的检修停车，在催化剂更换期间也可实现装置的连续生产。该工艺使用绝热壁反应器。此类反应器不依赖于易出现故障的内部反应器衬里，从而避免诸如局部热点和生成过量焦炭之类的问题，实现更稳定的运营。正压反应器设计无需使用易发生故障的热隔离阀，进一步提高了装置的可靠性。Oleflex 还通过避免与阀门泄漏相关的问题来提高可靠性，因为阀门泄漏会使空气在真空压力下进入系统。最后，相互独立的反应和再生系统无需在差异较大的反应和再生模式下切换，使得整个系统能够在稳定状态下操作运行。熟悉热循环影响的读者可理解稳态运行带来的多方面可靠优势：包括更低的热应力，

更小的设备故障风险，更长的运行时间等。

除了 Oleflex 工艺固有的可靠性优势外，霍尼韦尔 UOP 还可提供霍尼韦尔互联工厂工艺可靠性顾问 (PRA)，以进一步提升工厂生产效率。工艺可靠性顾问 (PRA) 是一种基于云的解决方案，用于监控和优化工艺性能。其采用数字双胞胎 (Digital-Twin) 工厂模型，指导客户对操作进行调整，以及通过故障模块对诱因与影响的相关性进行分析。来自工厂的数据可直接安全、智能地与工艺模型信息相结合，帮助用户分析理解潜在问题，包括导致问题的可能原因以及可能的影响，并提供相关指导意见，诸如采取哪些措施，调整哪些关键变量可以提前纠正或者延缓问题症状或者优化运行状态，从而帮助客户更大幅度地提高效益和可靠性。UOP 专家还可远程监控 PRA 系统，并提供进一步的专业意见，帮助客户在计划停车之间实现更可靠，更具价值的运营。

## 卓越的项目执行、技术服务和持续创新力

### SUPERIOR EXECUTION, SERVICES AND INNOVATION

UOP 的成就包括出色的客户满意度以及包含 Oleflex™ 在内的所有业务领域中积累的长期技术合作伙伴关系。UOP 拥有全球一流的工程设计和调试经验，能为客户带来卓越的项目执行能力。其快速上线 (F2M) 设计方法帮助客户从选择技术开始的 36 个月内投产运行。此外，UOP 模块化 CCR 装置能够进一步加速项目建设。在整个项目执行过程中，UOP 专家可利用目前全球正在运营的 30 套 Oleflex 装置的运营经验为客户提供支持服务。UOP 的技术服务部门在装置整个生命周期内提供持续和全面的技术支持；此外，基于云的霍尼韦尔互联工厂工艺可靠性顾问能帮助用户进一步优化运营。UOP 和 Oleflex 运营商可定期在 UOP 举办的用户大会和实践研讨会上会面，实现知识共享，并了解 UOP 最新的创新成果。

霍尼韦尔 UOP 始终致力于在其所有工艺中不断进行技术创新，Oleflex 也不例外。Oleflex 技术的持续创新记录最早可追溯到 20 世纪 90 年代初期，如今还有更多产品处于开发阶段。多年来，UOP 持续大力投资催化剂创新，提高设计产能，运行效率，为生产商提供更加创新、先进的丙烷脱氢技术。

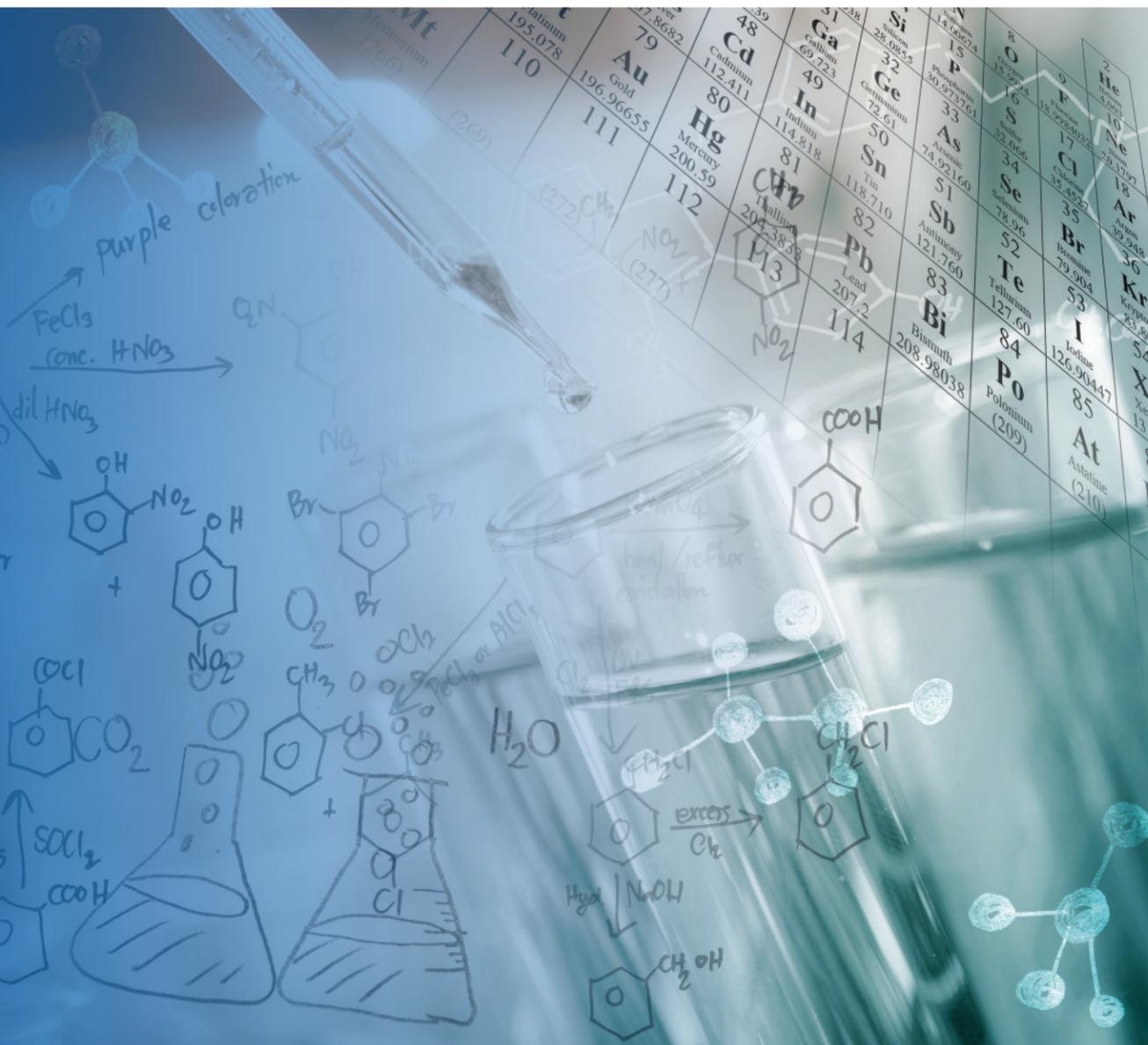
年份	关键创新
1990-1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>DeH-6/8/10 催化剂</li> <li>105-165 kMTA 丙烯设计</li> <li>丙烷 / 异丁烷联合脱氢 (UOP 首个商业化技术)</li> </ul>
1996-2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>DeH-12 催化剂</li> <li>250-350 kMTA 设计</li> <li>用于分馏的 Honeywell UOPMD 塔盘</li> </ul>
2001-2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>DeH-14 催化剂</li> <li>400-460 kMTA 设计</li> <li>分馏能量减少</li> <li>燃烧加热器优化</li> </ul>
2006-2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>DeH-16 催化剂</li> <li>510 kMTA 设计</li> <li>新 Rx 内件</li> <li>CCR 功能增强</li> </ul>
2011-2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>750 kMTA 设计</li> <li>提高产量</li> <li>节能</li> <li>下一代 CCR</li> <li>HON 工艺解决方案自动化包</li> </ul>
2017-至今	<ul style="list-style-type: none"> <li>DeH-24 和 26 催化剂</li> <li>900 kMTA 设计</li> <li>进一步提高产量</li> <li>更节能</li> <li>增强 Rx 内件功能</li> <li>工艺可靠性顾问，基于云的工艺洞察工具，用于预测和故障排除</li> </ul>

Oleflex 技术 - 持续创新记录

最新推出的 DeH-26 催化剂是 Oleflex™ 催化剂创新的又一力作。DeH-26 的生产结合了霍尼韦尔 UOP 丰富的催化剂制造经验，可定制催化剂载体。铂含量经过优化，可实现高产量，同时保持出色的活性，提升达到满负荷运行的速度，从而为生产商提供更短的开车时间、更长的运行时间和更高的水力学处理能力等优势。该新催化剂的主要优点均针对

当前市场条件下的客户需求而设计。预计第一个商业应用将于 2019 年在现有的 Oleflex 装置上投入使用。

霍尼韦尔 UOP 推出的最新 Oleflex 工艺创新旨在延长设备运行时间。目前，为使计划停车的时间与其它装置同步，众多生产商正在追求为期四年的运行时长。



为了达到四年的在线时长，霍尼韦尔 UOP 进一步优化了反应器的工艺设计和操作条件以及反应器内件结构。具体而言，通过降低氢烃比，装置可以用更低的反应温度来达到同样的丙烷转化率，从而继续维持 Oleflex™ 技术的低运行成本的优势，而且随着氢烃比的降低最直接的还会获得投资成本的进一步降低。在低轻烃比模式下，随着装置反应温度的降低，反应器积炭结垢的速度会大大减缓，从而延长装置运行时长。另外最新的根据反应温

度曲线相应优化调整的注硫方案（包括优化的注硫量和注入位置等），又能显著地降低硫化铁锈导致的结垢问题，以帮助延长装置运行时长。最后，最新的反应器内构件的设计增加了内件的开孔流通面积，这增强了内件对于积炭和结垢的耐受能力，可以推迟装置因为内件压降增加而需进行停车检修的时间。所有这些工艺设计改进都被吸纳到当前运行的 Oleflex 装置中，并且也成为 2018 年以来新设计的标准配置。

## 投入实践的领先技术

### LEADING TECHNOLOGY IN PRACTICE

Oleflex™ 是当前中国丙烷脱氢市场上的领先技术，正在运行中的 75 万吨 / 年的最大单套装置就采用了该技术。该装置于 2015 年投产，成功完成了所有性能测试，达到了 100% 的设计生产率，并且已经成功运行三年以上。从基本设计到调试和持续运营阶段，该生产商与霍尼韦尔 UOP 保持了密切合作。最近，该生产商又选择了霍尼韦尔互联工厂工艺可靠性顾问以进一步支持和优化工艺。生产商和霍尼韦尔的这种密切的合作关系和信息交流是保证该装置成功运行的关键。与所有 Oleflex 许可持有者一样，UOP 将继续在装置的整个生命周期内为其运行提供支持，并不断推进新工艺和催化剂创新，以确保客户设备以更优的性能运行，更大程度提升盈利能力。

霍尼韦尔 UOP 积极投身于推动中国的发展，致力于满足中国市场的快速执行要

求，并引以为豪。许多中国投资者都认识到了丙烷脱氢市场存在的投资机遇，并对更快的投资回报非常感兴趣。在中国以外其它国家和地区，常规定制化的丙烷脱氢项目的基本设计阶段可能会持续 24 周，随后进入详细设计阶段，要再加 6 个月。此外，设备采购和建设可能还需要两年半的时间，使得技术许可在转让后的 3 年到 4 年时间才能投产。诸多中国投资者都希望缩短这个时间，并希望在不到三年的时间内就能将装置投入运营并实现盈利。UOP 的快速上线 (F2M) 方法能够使这个想法变得可行，该方法利用已有设计，大大缩短基本设计时间，从而进一步加快详细设计、采购和施工环节，使得经验丰富的中国承包商能更快执行项目。UOP 已成功实施了六项 F2M 设计，帮助中国的 Oleflex 客户在不到三年的时间内投产运行，此外，预计还有六套新建装置将在未来几年内投产。



## 结论 REVIEW

随着中国为缓解丙烯供应矛盾持续努力，越来越多的丙烯生产项目将陆续投产。到目前为止，中国已有 9 套丙烷脱氢装置已经交付投产，另有 12 套装置将在未来 2-3 年内投入运营。在增长最快的工业领域中，使用高效环保技术的重要性尤其显著。霍尼韦尔 UOP 的 Oleflex™工艺是中国乃至全球领先的定向丙烯生产工艺，自 2011 年以来，UOP 已经转让了全球超过 75% 的丙烷脱氢项目的工艺技术。自 1990 年以来，已有 9 家客户计划建设多套 UOP Oleflex 丙烷脱氢装置。其中有 5 家客户位于中国，且其中两家的装置已投入使用，另外三家预计将在未来几年内相继投产。另外中国海外有 4 家客户在充分考虑了环境影响、效率、性能、可靠性和盈利能力等因素后，采用了 UOP 的 Oleflex 工艺技术替换其原有的丙烷脱氢装置。



HONEYWELL UOP OLEFLEX™  
THE LEADING ON-PURPOSE  
PROPYLENE SOLUTION