

丙烯概况及生产工艺

——“烯望”系列丙烯上市报告（一）

投资咨询业务资格：
证监许可【2012】669号

报告要点

丙烯是重要的石化产品，亦是三大合成材料（塑料、合成橡胶、合成纤维）的重要原料，其下游包括聚丙烯、丙烯腈、环氧丙烷、丙烯酸等。

丙烯即将于郑州商品交易所上市，我们从：概况与生产工艺、供给结构、需求结构、相关性复盘等角度推出系列报告，本文为第一篇。

摘要：

丙烯概况

在全球化工领域，丙烯是产量最大的化工品之一，是石油化工产业体系中的核心关键产品，是三大合成材料（塑料、合成橡胶、合成纤维）的基本原料之一。其上游原料为原油、煤炭、天然气、丙烷等；下游以聚丙烯为核心，亦有丙烯腈、环氧丙烷、异丙醇、苯酚、丙酮、丁醇、辛醇、丙烯酸及其酯类、丙二醇、环氧氯丙烷以及合成甘油等。

丙烯主要生产工艺

丙烯可通过蒸汽裂解、丙烷脱氢、催化裂化、CTO/MTO等工艺生产：

蒸汽裂解工艺主要是为了生产乙烯，会伴随产生一系列副产品，其中包含丙烯、丁二烯这类低分子烯烃，以及苯、甲苯、二甲苯等轻质芳烃，除此之外，还会有少量的重质芳烃生成，在我国丙烯总供给中占29%。

催化裂化工艺是石油二次加工的主要方法之一，通过重质油在高温与催化剂的作用下发生裂化，转变为丙烯、裂化气、汽油、柴油，在我国丙烯总供给中占24%。

丙烷脱氢工艺，是一种高效的丙烯生产装置，具有丙烯收率高、能耗低、装置投资金额低等特点，近年此类装置大批量上马，在我国丙烯总供给中占29%。

煤制烯烃（CTO/MTO）在我国应用较广。该工艺依托于我国西北丰富的煤炭资源，形成从煤炭到聚烯烃的产业链一体化格局。其以煤炭作为基础原料，历经气化、变换、净化、合成等一系列精细工序，率先产出甲醇。后续再以甲醇为关键中间体，进一步生产烯烃。在我国丙烯总供给中占18%。

风险因素：原油价格波动、海外宏观扰动

能化研究团队

研究员：

黄谦

从业资格号：F3063512

投资咨询号：Z0014611

杨家明

从业资格号：F3046931

投资咨询号：Z0015448

杨晓宇

从业资格号：F03086737

投资咨询号：Z0020561

陈子昂

从业资格号：F03108012

投资咨询号：Z0021454

尹伊君

从业资格号：F03107980

投资咨询号：Z0021451

重要提示：本报告非期货交易咨询业务项下服务，其中的观点和信息仅作参考之用，不构成对任何人的投资建议。中信期货不会因为关注、收到或阅读本报告内容而视相关人员为客户；市场有风险，投资需谨慎。如本报告涉及行业分析或上市公司相关内容，旨在对期货市场及其相关性进行比较论证，列举解释期货品种相关特性及潜在风险，不涉及对其行业或上市公司的相关推荐，不构成对任何主体进行或不进行某项行为的建议或意见，不得将本报告的任何内容据以作为中信期货所作的承诺或声明。在任何情况下，任何主体依据本报告所进行的任何作为或不作为，中信期货不承担任何责任。

目录

摘要:	1
一、 丙烯基础知识	3
(一) 丙烯简介	3
(二) 产业链结构	3
(三) 运输与仓储	4
二、 丙烯主要生产工艺	5
(一) 油制——蒸汽裂解	5
(二) 油制——催化裂化	6
(三) 丙烷制——丙烷脱氢	8
(四) 煤制——CTO&MTO	9
免责声明	12

表目录

图表 1: 丙烯产业链	3
图表 2: 丙烯罐车	4
图表 3: 丙烯管道	4
图表 4: 丙烯船运	4
图表 5: 丙烯球罐	4
图表 6: 蒸汽裂解不同进料收率	5
图表 7: 石脑油蒸汽裂解工艺流程	6
图表 8: 催化裂化工艺流程	7
图表 9: 催化裂化技术细分	7
图表 10: PDH 工艺流程	8
图表 11: 民营企业为 PDH 装置主力	9
图表 12: 进口丙烷主要来源国	9
图表 13: CTO 工艺流程	10
图表 14: 不同制法耗能情况	11

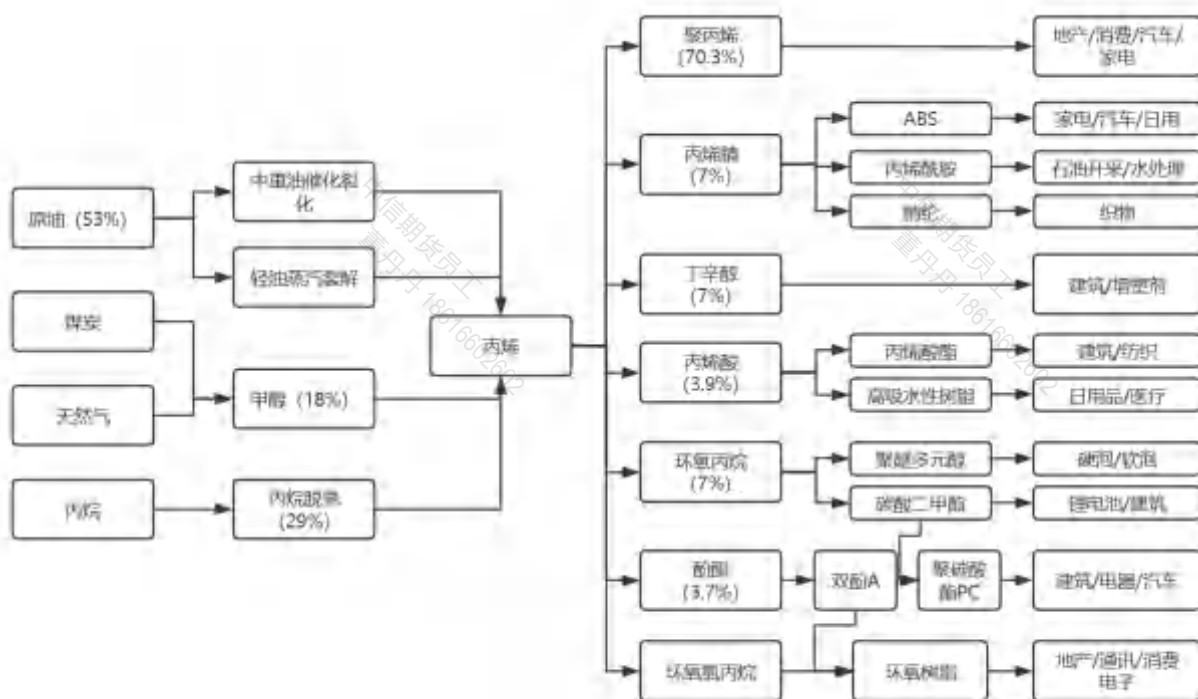
一、丙烯基础知识

（一）丙烯简介

丙烯，作为一种有机化合物，其化学分子式为 C_3H_6 。在常温常压的环境条件下，呈现为无色且略带甜味的气态形式。丙烯为一种低毒类物质，可溶于有机溶剂，不溶于水，具有易燃的特性，与空气相互混合会形成极具危险性的爆炸性混合物，若遭遇火星或是处于高温环境之中，存在燃烧爆炸风险，是危化品。

在全球化工领域，丙烯是产量最大的化工品之一，是石油化工产业体系中的核心关键产品，是三大合成材料（塑料、合成橡胶、合成纤维）的基本原料之一。丙烯可通过催化裂解、蒸汽裂解、丙烷脱氢、煤制烯烃等工艺生产，并在聚合、烃化、水合、氧化、氯化、氨氧化、羰基化、齐聚等反应后进一步生产丙烯衍生物。

图表 1：丙烯产业链



资料来源：公开资料、中信期货研究所

（二）产业链结构

丙烯上游原料以原油、煤炭、天然气、丙烷为主。主要生产工艺路线包括生产汽柴油副产丙烯的催化裂化/催化裂解技术（FCC、DCC）、裂解装置联产丙烯技术、丙烷脱氢技术（PDH）、以天然气或煤为原料的甲

醇制烯烃技术（MTO/MTP、CTO/CTP）等。

从产业链下游来看，丙烯应用范围极为广泛，横跨大宗化学品、精细化学品以及前沿的化工新材料等诸多领域。

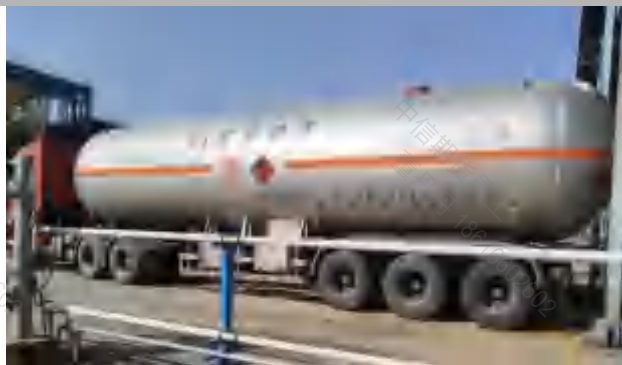
其中，聚丙烯是丙烯最为重要的下游衍生品，占比约 70%，其余下游产品包括丙烯腈、环氧丙烷、异丙醇、苯酚、丙酮、丁醇、辛醇、丙烯酸及其酯类、丙二醇、环氧氯丙烷以及合成甘油等。这些产品在建筑、汽车、包装、纺织服装等多个不同的行业领域广泛应用，为人们的日常生活与社会生产提供支撑。

（三）运输与仓储

作为危化品，丙烯陆运可以采用公/铁路运输和管道运输，铁路运输时只允许使用液化气体企业自备罐车装运，公路运输可以采用钢瓶运输或罐车运输。罐车运输时采用丙烯专用罐车，不与其他介质混装。

公路罐车运输时，丙烯在罐体内以液化形式存在，运输到目的地后，通过泵卸/气体加压卸/压缩机加压卸等方法卸车，公路罐车运输具有灵活快捷的优势，但受运费影响程度较大，亦对驾驶员素质有较高要求。

图表 2：丙烯罐车



资料来源：公开资料、中信期货研究所

图表 3：丙烯管道



资料来源：公开资料、中信期货研究所

图表 4：丙烯船运



资料来源：公开资料、中信期货研究所

图表 5：丙烯球罐



资料来源：公开资料、中信期货研究所

管道运输通常采用加压运输方式，输送丙烯为液态，工况输送压力

在 2-4MPa 附近，长距离（30km 左右）管道通常采用埋地方式进行铺设，丙烯管道前期建设成本和维护成本相对较高，但具有货量大、安全稳定等优势。

船运方面，丙烯与液化石油气运输方法较为类似，均通过 LPG 船进行运输，又可以细分为：

全压式运输船，即在常温下加压使丙烯转为液态，全压运输船船舱不须设置隔热与冷却设备。

半冷半压式运输船，货舱既耐低温，又能承受一定的压力。船上须配置较大容量的再液化装置，通过增压再降温的方式，将货舱的蒸汽冷却成液体再送回货舱，从而维持货舱内的温度和压力。

全冷式运输船，设计最低温度为-48℃，通常以运输 LPG 为主，容量大都为 5-10 万 m³。

仓储方面，由于丙烯易燃、易汽化的特点，通常采用高压、绝热保冷的球罐进行贮存。

二、丙烯主要生产工艺

（一）油制——蒸汽裂解

蒸汽裂解工艺主要是为了生产乙烯，会伴随产生一系列副产品，其中就包含丙烯、丁二烯这类低分子烯烃，以及苯、甲苯、二甲苯等轻质芳烃，除此之外，还会有少量的重质芳烃生成。在石油化学工业领域，蒸汽裂解是生产乙烯、丙烯等低分子烯烃的核心方法。

图表 6：蒸汽裂解不同进料收率

裂解原料	乙烯%	丙烯%	双烯（乙烯+丙烯）%
丙烷	44.82	16.54	61.36
加氢裂化尾油	31.62	16.53	48.15
柴油	26.18	16.48	42.66
正丁烷	40.02	16.18	56.2
重整拔头油	34.66	15.82	50.48
C 轻烃	33.71	15.76	49.47
液化气	34.82	15.68	50.5
石脑油	32.47	15.68	48.15
重整抽余油	32.02	15.21	47.23
减压渣油	21.03	14.12	35.15
乙烷	77.65	2.84	80.49

资料来源：中石油石油化工研究院、中信期货研究所

能够用于蒸汽裂解的原料种类颇为丰富，包括来自油气田及炼油厂的乙烷、丙烷、正丁烷、以 C₄ 为主的液化气、C₅ 轻烃及石脑油、加氢裂化尾油、柴油、减压渣油等石油烃类。随所选用原料的不同，丙烯的

收率也会相应地发生改变。

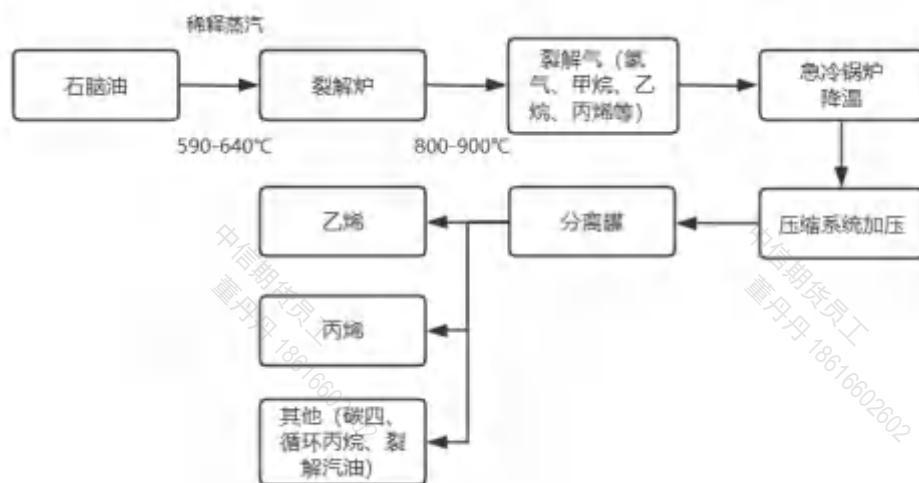
一方面，随着裂解原料由轻质到重质，原料的相对分子量呈现递增态势，主要裂解目的产物乙烯与丙烯收率逐步降低。另一方面，对于丙烯而言，乙烷作为裂解原料的收率相对最低，丙烷相对最高。

从上图可以看出，采用石脑油为裂解原料的生产路线，所对应的乙烯收率大致为 32.5%，丙烯约为 15.68%；以丙烷为裂解原料的生产路线，对应的乙烯收率为 44.82%，丙烯为 16.54%；以乙烷为原料开展裂解乙烯作业，乙烯收率能够达到约 77%，但丙烯仅约 2.8%。

一套规模裂解装置，往往配备有多台不同类型的裂解炉，诸如循环乙烷裂解炉、轻质原料裂解炉、重质原料裂解炉等，以此来灵活适配原料的多样化需求。

以石脑油蒸汽裂解流程为例：

图表 7：石脑油蒸汽裂解工艺流程



资料来源：公开资料、中信期货研究所

同时，当原料的经济性指标以及供应状况出现波动，部分裂解装置有一定的原料进料调节空间，这也会带来产物产出率的改变。因此，通过蒸汽裂解方式制取丙烯时，其产量的变动幅度相对较大。

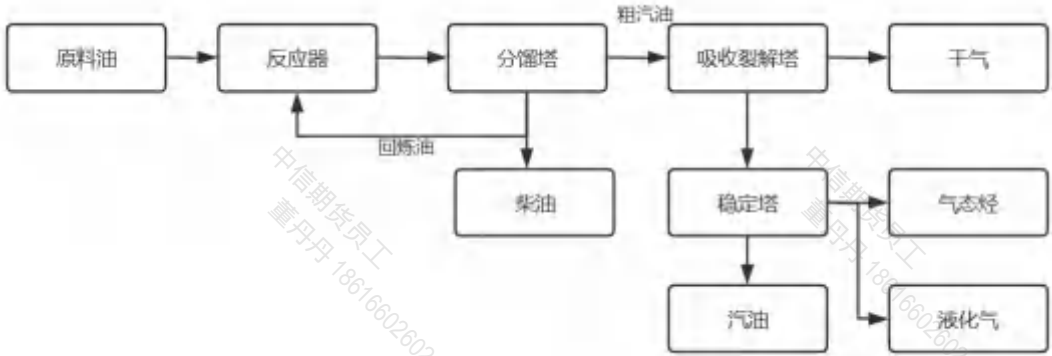
目前，蒸汽裂解装置在原料选择上存在较为明显的轻质化趋势，乙烷作为具有价格优势的轻质原料，在海外装置中已作为混合进料的优选，而乙烷的混合进料，对应的是丙烯出率的下滑，整体蒸汽裂解在丙烯供应体系中所占的比重后续也会存在一定下滑可能。

经由蒸汽裂解生产的丙烯占我国丙烯总供给的 29%。

（二）油制——催化裂化

催化裂化(FCC)工艺技术作为石油二次加工的主要方法之一，通过重质油在高温与催化剂的作用下发生裂化，转变为丙烯、裂化气、汽油、柴油，其主要反应有分解、异构化、缩合、生焦等。

图表 8：催化裂化工艺流程



资料来源：公开资料、中信期货研究所

其本质是重质油中大分子发生裂化反应，进而转化为小分子烃类，从重质转向轻质的过程。除了可得到包含汽柴油在内的轻质油品以外，能够获取富含烯烃成分的液化气、油浆以及干气。

催化裂化原料范围较广，包括柴油馏分、减压馏分油、掺炼脱沥青油、焦化馏分油、减黏裂化重油、页岩油、煤焦油、常压渣油、减压渣油等。

图表 9：催化裂化技术细分

工艺路线	深度催化裂化技术（DCC）	多产液化气及高辛烷值汽油催化裂化技术（MGG/ARGG）	多产液化气及柴油催化裂化技术（MGD）
生产目的	多产丙烯、异构烯烃	生产辛烷值高的优质抗爆性汽油，兼产液化气	多产液化气及柴油
技术特点	1. 可以加工多种重质原料，丙烯收率可达 20%； 2. 所产汽油可作高辛烷值汽油组分，中馏分油可作燃料油组分； 3. 烯烃产品中杂质含量低	1. 原料广泛，可以加工常规 FCC 的各种重质原料； 2. 油气兼顾，产物分布和产品性质兼有催化裂化正常裂化区（低干气和焦炭产率，汽油安定性好）与过裂化区（高液化气产率，液化气的高烯烃度和高辛烷值汽油）的共同优点； 3. 可改变工艺条件和操作方式，灵活调整产品结构	1. 可多产液化气、丙烯和柴油，降低催化汽油的烯烃和硫含量，提高辛烷值； 2. 具有高度的操作灵活性和产品灵活性，可选择不同生产方案，灵活调整产品结构，且调整时间短，一般在 8~24 小时内产品收率即有很大变化

资料来源：公开资料、中信期货研究所

目前的催化裂化工艺发展较为成熟，针对生产产品目的不同有多种技术路线，与传统 FCC 相比具有以下区别：

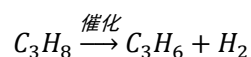
在常规的催化裂化作业流程中，丙烯的收率通常在 4%左右，汽油收率在 60%附近。相比之下，深度催化裂解 DCC 丙烯收率可达 20%。

经由催化裂化生产的丙烯占整体丙烯供给的 24%。

（三）丙烷制——丙烷脱氢

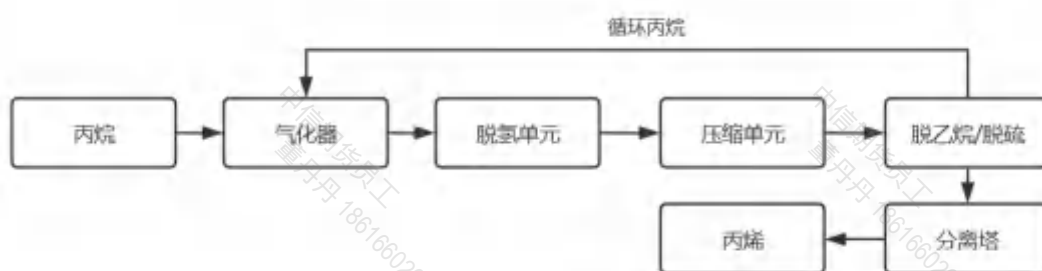
丙烷脱氢工艺（PDH），全称 Propane Dehydrogenation，即丙烷脱氢，是一种高效的丙烯生产装置，具有丙烯收率高、能耗低、装置投资金额低等特点，与油制、煤制共为我国丙烯的主要生产方式。2013 年我国第一套 PDH 装置在天津渤化落地，随后卫星石化、东华能源、万华化学等企业也上马了此类装置。

从反应化学方程式去看，PDH 装置里主要反应为：



反应流程较简单，反应温度在 600-700℃左右，产物主要为丙烯（85%-88%）与氢气（3.5%-3.7%）相对纯粹，且产物相对分子质量差异较大因此分离难度较小。这些特点导致 PDH 装置在低能耗上优势明显。

图表 10：PDH 工艺流程



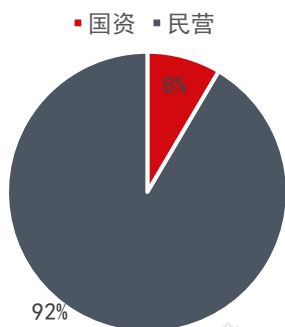
资料来源：公开资料、中信期货研究所

此外，相较于其他诸多丙烯生产工艺，PDH 装置的建设周期相对较短，投资成本较低，企业投入资金压力相对较小。且由于上文所述的低能耗、产品分离难度小，PDH 装置较油制、煤制更具清洁环保特点，符合近年来国内绿色转型、碳中和的要求。

诸多优势叠加，PDH 装置在 2020 年后大批量投产。

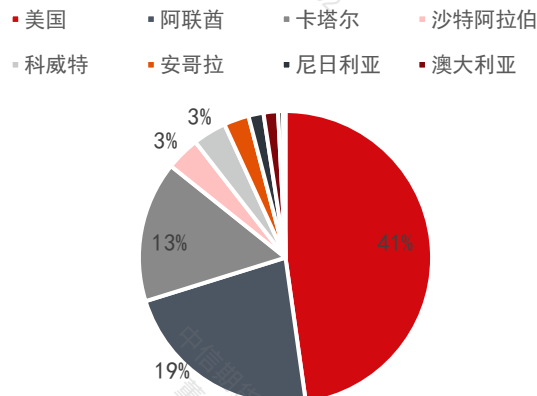
与 PDH 工艺相近的有混烷脱氢工艺（MDH），其选用的原料为液化石油气（LPG），丙烷与丁烷的混合物，这一装置在国内产业布局中通常作为油制炼厂配套存在，与甲基叔丁基醚（MTBE）装置配合。一方面有炼厂副产的丙烷和丁烷，另外产品 MTBE 还可以直接用作汽油添加，通过优化流程协同生产，有效提升了产业效能。

图表 11：民营企业为 PDH 装置主力



资料来源：卓创、中信期货研究所

图表 12：进口丙烷主要来源国



资料来源：卓创、中信期货研究所

相较于 PDH 装置，MDH 装置对原料的要求相对宽松，并不苛求高丙烷纯度，国产原料经过适当预处理后即可满足生产条件，为企业拓宽了原料采购渠道，降低了供应风险。

PDH 与 MDH 原料目前有三类来源：1. 中东炼化企业；2. 美国页岩气气田伴生；3. 国内炼化企业催化裂化过程中产生的 C3 馏分分离提纯。其中，多数沿海 PDH 炼厂均使用进口丙烷，一方面是 PDH 装置本身对于原料丙烷有极高纯度要求，另一方面是中东与美国充足的供给；部分内陆炼厂由于离海较远且周边有一定资源禀赋，会使用周边炼化企业副产炼厂气进行生产。

目前国内使用自有炼厂气丙烷作为装置原料的代表性企业为浙石化；外购周边炼厂及油田、井口副产丙烷提纯后作为装置原料的代表性企业为宁夏润丰；依靠中东、北美进口乙烷作为原料的则为绝大多数，包括东华、卫星、金发、巨正源等。

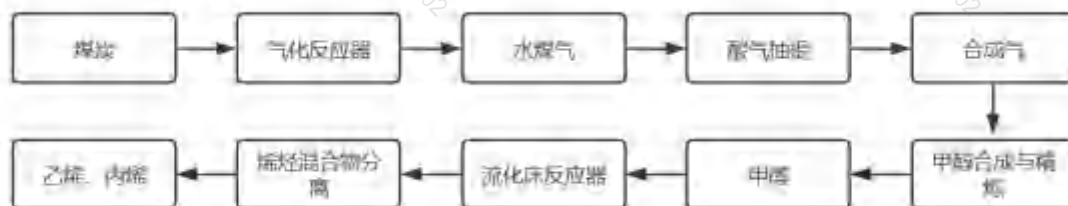
经由 PDH/MDH 生产的丙烯占我国丙烯总供给的 29%。

（四）煤制——CTO&MTO

煤制烯烃是我国生产烯烃的一项重要工艺技术，在我国应用较广。该工艺依托于我国西北丰富的煤炭资源，形成从煤炭到聚烯烃的产业链一体化格局。

其以煤炭作为基础原料，历经气化、变换、净化、合成等一系列精细工序，率先产出甲醇。后续再以甲醇为关键中间体，进一步生产烯烃，涵盖乙烯与丙烯，进而以此为基石，制造聚烯烃，诸如聚乙烯、聚丙烯等下游衍生产品。

图表 13：CTO 工艺流程



资料来源：公开资料、中信期货研究所

煤制装置包括 CTO 和 MT0，在我国以 CTO 为主，煤制装置烯烃收率较高，乙烯、丙烯及少部分丁二烯的产率合计高达 85%以上。甲醇制烯烃（MT0）通常是 CTO 工艺中的一环且位于煤制甲醇装置下游，也可不依附于 CTO，直接外购甲醇进行烯烃生产，但当甲醇价格较高时，该路线往往盈利性较差。

在此工艺路线上，煤制甲醇（CTM）以及烯烃聚合成为成品聚烯烃为成熟环节，而甲醇制烯烃（MT0）则是 20 世纪 70 年代后快速发展起来的技术环节，最早提出 MT0 工艺的是美孚石油公司，随后巴斯夫等均投入开发。中国科学院大连化学物理研究所从 20 世纪 70、80 年代开始展开 MT0 技术的研发工作，在完成了实验室小试、工业中试放大后，在神华包头煤制烯烃项目中得到应用，建成了世界上第一套工业化的 MT0 装置。

目前主要有四种已经实现工业化的甲醇制烯烃工艺：

- ①UOP Honeywell 的 MT0 工艺；
- ②中国科学院大连化学物理研究所（DICP）的 DMT0 工艺；
- ③中国石化的 S-MT0 工艺；
- ④Lurgi 的 MTP 工艺。

UOP MT0 工艺：该工艺主要在 400 至 500℃下发生，所需压力在 0.1 至 0.3MPa 之间。在这种工艺下，会产生少量焦炭颗粒并在催化剂表面聚集，从而导致催化剂活性下降，但可以通过加装催化剂循环装置去除焦炭。为进一步提高产品气中低碳烯烃的收率，UOP 开发了 OCP（Olefins Cracking Process）工艺，将分离出的 C4+等较重组分送入催化裂解反应器生产乙烯和丙烯。对于附加 OCP 工艺的 MT0 装置，其乙烯和丙烯的选择性可以高达 85%至 90%，并且可以在较大范围内调节乙烯/丙烯比例。

DMT0 工艺：可实现超过 99%的甲醇转化率，反应温度为 400 至 550℃，并在 0.1 至 0.3MPa 的压力下进行。改进版工艺 DMT0-II 可以将 C4+组分回收裂解再利用，并进一步提高产物中乙烯及丙烯的收率。

S-MTO 工艺：该工艺可以控制产物中乙烯/丙烯的产量比值。该反应工艺所拥有的烯烃催化裂解装置（OCC）可以把丁二烯及更重的烯烃裂解成为较小的乙烯或丙烯，但 OCC 也会产生部分副产物如一氧化碳、二氧化碳和氢气等。整体来看，S-MTO 的乙烯及丙烯产率合计可超过 80%。

图表 14：不同制法耗能情况

能耗水平	轻烃	石脑油蒸汽裂解	CTO
Kg 标煤/t	≈95	715-815	<2800

资料来源：中石油石油化工研究院、中信期货研究所

MTP 工艺：该工艺首先在 260℃ 下将大多数甲醇转化为二甲醚（DME），与剩余未反应的少部分甲醇一起在 470 至 480℃ 的温度区间，0.13MPa 压力下，于 MTP 反应器内反应转化为丙烯。之后，生成的混合物将被继续通入其它 MTP 反应器，以增加丙烯收率。此外，该反应也生成少量副产物。

煤制装置使用我国具有资源禀赋的煤炭作为原料生产，化解了我国此前烯烃原料依赖单一原油，易受国际油价扰动的问题，缓解了我国石油资源供应紧张局面。

但同时，煤制装置也因其高耗能的特点，在近年能耗双控下有所承压。针对这一问题，部分头部企业已在试用绿电经由绿氢制绿色甲醇，再经由 MTO 生产烯烃。

经由 CTO/MTO 装置生产的丙烯占我国丙烯总供给的 18%。

免责声明

除非另有说明，中信期货有限公司拥有本报告的版权和/或其他相关知识产权。未经中信期货有限公司事先书面许可，任何单位或个人不得以任何方式复制、转载、引用、刊登、发表、发行、修改、翻译此报告的全部或部分材料、内容。除非另有说明，本报告中使用的所有商标、服务标记及标记均为中信期货有限公司所有或经合法授权被许可使用的商标、服务标记及标记。未经中信期货有限公司或商标所有权人的书面许可，任何单位或个人不得使用该商标、服务标记及标记。

如果在任何国家或地区管辖范围内，本报告内容或其适用与任何政府机构、监管机构、自律组织或者清算机构的法律、规则或规定内容相抵触，或者中信期货有限公司未被授权在当地提供这种信息或服务，那么本报告的内容并不意图提供给这些地区的个人或组织，任何个人或组织也不得在当地查看或使用本报告。本报告所载的内容并非适用于所有国家或地区或者适用于所有人。

此报告所载的全部内容仅作参考之用。此报告的内容不构成对任何人的投资建议，且中信期货有限公司不会因接收人收到此报告而视其为客户。

尽管本报告中所包含的信息是我们于发布之时从我们认为可靠的渠道获得，但中信期货有限公司对于本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性以及完整性不作任何明确或隐含的保证。因此任何人不得对本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性及完整性产生任何依赖，且中信期货有限公司不对因使用此报告及所载材料而造成的损失承担任何责任。本报告不应取代个人的独立判断。本报告仅反映编写人的不同设想、见解及分析方法。本报告所载的观点并不代表中信期货有限公司或任何其附属或联营公司的立场。

此报告中所指的投资及服务可能不适合阁下。我们建议阁下如有任何疑问应咨询独立投资顾问。此报告不构成任何投资、法律、会计或税务建议，且不担保任何投资及策略适合阁下。此报告并不构成中信期货有限公司给予阁下的任何私人咨询建议。

深圳总部

地址：深圳市福田区中心三路8号卓越时代广场（二期）北座13层1301-1305、14层

邮编：518048

电话：400-990-8826

传真：(0755) 83241191

网址：<http://www.citicsf.com>