

乙烯作为石油化工的核心原料,终端消费除了传统的纺织、塑料制品和溶剂等应用领域,伴随着科技进步,乙烯的应用向高附加值的高端聚烯烃及高性能新材料方向拓展。乙烯的需求受到全球经济增长、工业生产活动、消费着购买力、政策及技术进步等多种因素的影响,业内将乙烯产能作为衡量一个国家石化产业发展水平的重要标准。

能源转型背景下,国内成品油需求即将达峰,为了应对炼能过剩的压力,国内炼厂也纷纷通过优化产品结构、审计技术路径、整合产业链等方式向“减油增化、高端延伸、绿色低碳”方向转型,未来几年国内乙烯行业的产能将迎来集中投放。

1. 乙烯多就地转化

乙烯是由两个碳原子和四个氢原子组成的不饱和烃,分子式为 C_2H_4 , 是石油化工的核心原料之一。常温下为无色气体,略带烃类特有气味,密度比空气略小,熔点 $-169.4\text{ }^{\circ}C$, 沸点 $-103.9\text{ }^{\circ}C$; 难溶于水,易溶于有机溶剂; 乙烯与空气混合后遇明火、高热或电火花极易引发燃烧或爆炸,属于易燃易爆的危化品。乙烯应该储存于阴凉通风的专用库房,温度不超过 $30\text{ }^{\circ}C$, 远离氧化剂和火源; 运输时需要使用防爆槽车, 配备静电接地装置和灭火器材。

由于乙烯易燃易爆且储存和运输的难度大、成本高,因此工业上多采用“就地转化”的策略,将其生产成易储运的固体或液体化工品,主要有聚乙烯、聚氯乙烯、乙二醇、苯乙烯、乙醇、醋酸、环氧乙烷等基础化学品。

2. 乙烯的生产工艺流程

2.1. 乙烯生产工艺发展历程

19 世纪后期,荷兰化学家 Van' t Hoff 在实验室中通过乙醇脱水生成乙烯,但纯度和收率都很低; 19 世纪末,德国 BASF 从煤焦油中分离乙烯用于生产芥子气,但年产仅百吨,规模极小。石油烃裂解制烯烃技术最早开始于上世纪 20 年代,美国 Union Carbide 开发首台管式裂解炉,以轻烃为原料,乙烯收率提升至 15%-20%; 1930 年代引入蒸汽稀释,抑制结焦并延长炉管寿命。1943 年,美国 Shell 建成 5 万吨/年乙烯装置,支持二战合成橡胶需求; 1950 年代,石脑油裂解技术成熟,乙烯收率达 25%-30%。

上世纪后半叶,石脑油蒸汽裂解技术不断迭代,乙烯收率提升,能耗降低,纯度突破 99.9%,之后,乙烯生产原料也扩展至乙烷和重质油。通过精准控制裂解温度、压力和时间等关键参数,乙烯的生产成本和能耗不断降低,收率和纯度明显提升,单套装置规模也有明显提升。

2000 年之后,乙烯的生产工艺继续精细化,向低能耗、低排放的方向发展,与此同时,

中国首套煤制烯烃项目——神华包头 60 万吨 CTO 项目投产,进一步丰富了乙烯的原料来源,降低了生产成本。与此同时,中石化原油直接制乙烯技术实现工业化生产,乙烯收率从传统炼厂的 3%-5%提升至 25%。

2.2. 国内外主流乙烯生产工艺

目前市场上主流的乙烯生产工艺流程为蒸汽裂解和 CTO/MTO。蒸汽裂解制乙烯的原料包括乙烷、丙烷等轻烃和石脑油、轻柴油等炼油产品;CTO/MTO 路线的原料源头是煤炭。

2.2.1. 蒸汽裂解制乙烯

蒸汽裂解制乙烯是重要的乙烯生产工艺,主要包括管式炉蒸汽裂解和深冷分离两步,原料范围可以从轻烃、减压柴油到加氢尾油等,裂解原料丰富。

蒸汽裂解过程是原料在多个平行的裂解炉中发生复杂的化学反应,裂解炉温度在 750°C-900°C,主要发生碳碳键经过热分解断裂及碳氢键分离的反应,水蒸气的作用主要是稀释烃类分压,促进裂解反应正向进行,提高乙烯收率,同时抑制结焦。裂解气在急冷锅炉降温至 400°C 以下,终止二次反应,随后经压缩、-100°C 以下深冷分离提纯乙烯。

蒸汽裂解制乙烯的产物除了乙烯外,还会有丙烯、混合碳四、粗裂解汽油及氢气和甲烷等副产物。蒸汽裂解工艺中乙烯的收率与操作参数有关,但更主要的因素是原料,一般原料的分子量越大烯烃收率越低,从原料的分子结构来看,烷烃>环烷烃>单环芳烃>多环芳烃。

2.2.1.1. 乙烷蒸汽裂解制乙烯

乙烷裂解制乙烯的乙烯收率最高可达 80%,同时副产氢气,还会有甲烷、乙炔、丙烯、丙烷、丁二烯和其他烃类副产,该路线碳排放少,但严重依赖原料乙烷,目前主要在北美和中东为主,中国的乙烷路线装置,原料主要依赖进口,如卫星石化和新浦化学,少量来自国内天然气资源,如长庆石化和塔里木石化。

乙烷裂解的主流技术

技术路线	特点	代表项目
美国 Lummus SRT 裂解炉	单炉乙烯产能可达 25 万吨/年，全球 4 成以上乙烯产能采用此技术	卫星石化 250 万吨、美国 Dow 化学 150 万吨、沙特 Sabic130 万吨乙烷裂解
德国 Linde PyroCrack 技术	适用于乙烷、丙烷等多种原料	沙特 SEPC100 万吨乙烷裂解、阿联酋 Ruwais 二期项目
中石化 CBL 技术	中石化自主开发，适应乙烷、石脑油等原料	镇海炼化 20 万吨气体裂解
法国 Technip (KTI) SMK 技术	乙烷转化率可高达 90%	印度 Reliance140 万吨混烷裂解装置、沙特 Yanbu138 万吨项目
美国 S&W USC-U 技术	2012 年被 Technip 收购	国内新浦化学 65 万吨乙烯装置、沙特拉比格 120 万吨乙烷裂解工厂和美国 CPchem150 万吨乙烯厂
美国 KBR SCORE 技术	适用于高乙烷比例裂解	利安德巴塞尔 Channelview 工厂 120 万吨乙烯装置

2.2.1.2. 丙烷蒸汽裂解制乙烯

丙烷裂解制乙烯工艺的核心是高温蒸汽裂解，丙烷在 750℃-900℃的高温下与水蒸气混合发生吸热裂解反应，生成乙烯、丙烯，副产氢气、甲烷等，其中乙烯收率约 39%，大幅低于乙烷裂解乙烯收率。丙烷与石脑油工裂解可提升乙烯、丙烯和丁二烯的总收率，但乙烯收率会较单独裂解下降约 5 个百分点。丙烷蒸汽裂解的工艺成熟，投资低，副产氢气可提升工艺路线效益，但有结焦问题，需要定期清焦，影响连续生产。

从乙烷、丙烷蒸汽裂解路线来看，丙烷蒸汽裂解的乙烯生产成本较乙烷裂解高，且收率低，结焦严重。国内以丙烷作为裂解原料生产乙烯的企业较少，镇海炼化、恒力大连和浙石化等一体化炼厂通过混合进料裂解或灵活切换原料的方式使用丙烷作为裂解原料；万华化学和卫星化学的乙烯裂解装置可以使用丙烷作为补充原料。丙烷更优的工业化利用是通过 PDH 工艺生产丙烯，副产高纯度的氢气。

2.2.1.3. 石油烃裂解制乙烯

炼厂以原油为原料，在一次和二次加工过程中产生的烃类可以作为乙烯蒸汽裂解的原料，除了富含乙烷和丙烷的炼厂气和液化石油气之外，VGO、AGO、裂解 C9 馏分、石脑油、轻柴油，甚至随着技术的进步，化工重油和原油都可以作为裂解乙烯的原料。整体看，石油炼化过程中多个环节的产品都可以作为乙烯裂解的原料。

2.2.1.4. 国内不同类型炼厂的乙烯

传统的燃料型炼厂以生产汽柴油为主，成品油占比 60%-70%，乙烯是催化裂化和延迟焦化过程中的副产品，收率低，通常混入炼厂干气中。整体表现乙烯产量低且分散，难以规模化利用，经常被作为燃料气烧掉或者进行低端化工的生产，比如生产乙苯。代表企业有中石油和中石化下属部分传统炼厂和部分山东地炼。

新型的化工型炼厂则以石油炼化生产化工原料为主，配套深度裂解或重整装置，大幅提升乙烯、丙烯、芳烃等化工原料的收率，转化为下游化工品。炼厂的产业链一体化程度高，成品油出率大幅降低，下游化工品配套丰富且装置规模大，终端布局高科技新材料。以恒力石化、浙石化、盛虹炼化等民营大炼化为代表。

还有部分炼厂兼顾燃料和化工品生产，具有炼化一体化的特点，甚至可以调整油品和化工品的收率，如广东石化、中海油惠州等。在能源转型的背景下，部分传统炼厂通过装置优化与工艺调整，增加化工品产出，比如天津石化通过重油直接裂解乙烯技术，缩短流程并降低碳排放，乙烯收率提升 30%以上。

2.2.2. CTO/MTO 路线制乙烯

煤制烯烃是在中国富煤、贫油、少气的资源背景下发展起来的独有的烯烃生产工艺路线，使我国烯烃产业获得突破，重构了全球烯烃产业格局。

中科院大连化物所于上世纪 80 年代来说研究甲醇制烯烃（MTO）技术，早期实验乙烯收率只有 5%；90 年代通过改进分子筛催化剂，提升双烯的选择性。经过持续的工艺改进，MTO 双烯收率提升至 85%以上，甲醇单耗下降，催化剂活性也有提升，2010 年以来，国内煤经甲醇制烯烃行业产能快速发展。目前国内形成了西北地区依托煤炭资源大力发展煤化工产能，沿海地区则依赖临港地域优势，以进口甲醇为原料通过 MTO 路线制烯烃。

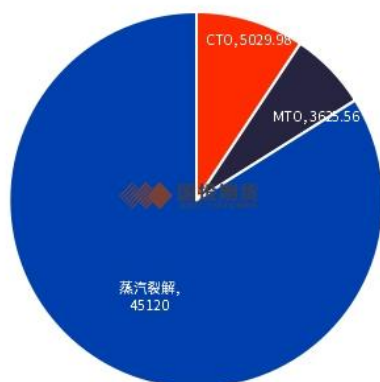
3. 国内乙烯产能迎来集中投放高峰期

经过了 2019 年至 2024 年的集中投产，PX 行业供应短缺的矛盾明显缓解，国家对 PX 新产能增长实行调控，但在科技进步的背景下，新材料行业的快速发展对乙烯的需求将持续增长，炼厂降油增化的方向转向增加烯烃配置。

3.1. 国内乙烯新产能以蒸汽裂解工艺为主

将国内乙烯装置投产时间按时间段划分后进行分析，发现国内乙烯产能在 2000 年之后加速投产。2000 年之前，国内乙烯产能只有 550 万吨左右，全部为蒸汽裂解工艺；2001 年-2010 年期间，国内投产乙烯装置共 1015 万吨，其中有 30 万吨 CTO 装置，其余均为蒸汽裂解装置；2011 年-2020 年的十年间，国内乙烯产能增长 1860 万吨以上，其中蒸汽裂解产能 1125 万吨，CTO 产能超 423 万吨，MTO 产能 320 万吨，各工艺路线产能占比分别为 60%，23%，17%，此阶段为国内 CTO/MTO 的高速发展期，装置多分布在煤炭资源丰富的内蒙、宁夏、陕西和新疆等省份，少量外采甲醇的 MTO 装置多分布在山东、浙江和江苏等地；2020 年以来，国内乙烯产能增长 1943 万吨，其中有 1850 万吨为蒸汽裂解，少量 CTO/MTO。截至 2024 年底，国内乙烯产能共 5376 万吨，其中蒸汽裂解超 4500 万吨，CTO 500 多万吨，MTO 产能 360 多万吨。

国内在产乙烯产能按工艺分



数据来源：红桃三

计划投产装置按工艺分



数据来源：红桃三

从后市计划装置来看，2025 年前后有 1540 万吨以上的新产能有投产计划，产能增速将达 28% 以上，其中 80% 以上为蒸汽裂解，CTO 占比 10%，MTO 不足 10%。2026 年和 2027 年的乙烯产能计划投产量均在 1000 万吨以上，2028 至 2029 年计划投产量将降至 500 万吨以内。2026 年之后的计划投产装置中，以石脑油为原料的近 2000 万吨，占比近 7 成，另有近 20% 的为轻烃路线，和少量的煤制路线。



3.2. 石脑油供需改善提供成本支撑

从卓创资讯统计的 2025 年内可能投产的新产能看,有 11 套为蒸汽裂解装置,共计 1246 万吨产能。其中镇海炼化、裕龙石化、浙江石化、天津石化、吉林石化、中科炼化等炼化一体化装置,原料多来自炼厂自产的轻质原料、炼油副产物及加氢尾油等;埃克森美孚惠州、巴斯夫湛江等蒸汽裂解装置以外购石脑油为主,多为国际采购;万华化学的乙烯裂解新装置则采用乙烷和石脑油混合进料,石脑油通过国内外采购,江苏丰海项目可能是丙烷蒸汽裂解装置;另有山东新时代 80 万吨蒸汽裂解装置,原料可能来自其母公司金诚石化及山东地炼。整体看,以上蒸汽裂解制乙烯新装置,炼厂配套装置原料多来自内部,可能是炼厂转型增加的配套,有少量外采轻质原料,对石脑油的供需格局影响不大;埃克森美孚惠州和巴斯夫湛江及山东新时代项目,共计 340 万吨乙烯装置需外采石脑油原料,按照 3 吨石脑油单耗计算,需求增加超 1000 万吨。但考虑到产能投放带来的行业利润下滑,及 CTO 路线盈利改善后供应增长的挤压,蒸汽裂解开工率存在下降的可能,或抵消部分新装置需求增量。



3.2.1. 国内石脑油可流通货源增长有限

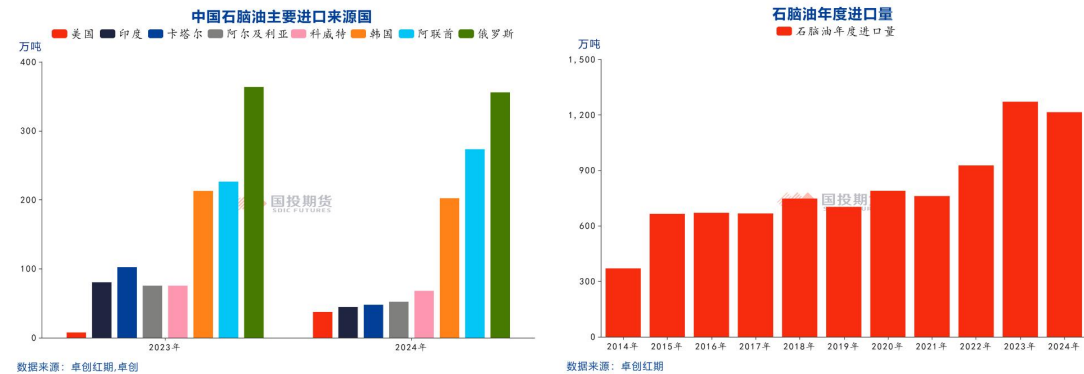
国内炼化一体化工厂的石脑油就地转化为“三烯三苯”后进一步转化为下游各种化工原

料进入塑料制品和纺织等下游相关行业，以民营大炼化为代表；国有炼厂部分无下游配套的，石脑油也多内部消耗，没有在市场流通。年内新产能主要是裕龙石化和镇海炼化，但其下游均有乙烯装置配套，因此不会对石脑油流通市场有明显影响。国内石脑油流通货源供应集中在山东和东北部分炼厂及西北煤制货源。今年以来，因山东独立炼厂的开工率大幅下滑，2月初降至43%附近，接近十年以来的低位水平，石脑油供应预期明显萎缩，但下游重整装置因消费税抵扣政策调整被迫下调负荷，当地石脑油的需求也在萎缩，与石脑油的供应下滑部分抵消。



整体看，虽然镇海炼化和裕龙石化炼能投放，但对国内石脑油流通市场的供应没有影响；山东地炼开工率下降将导致石脑油的流通货源萎缩。因此，国内新增蒸汽裂解装置的原料需求难以通过国内市场增长满足。

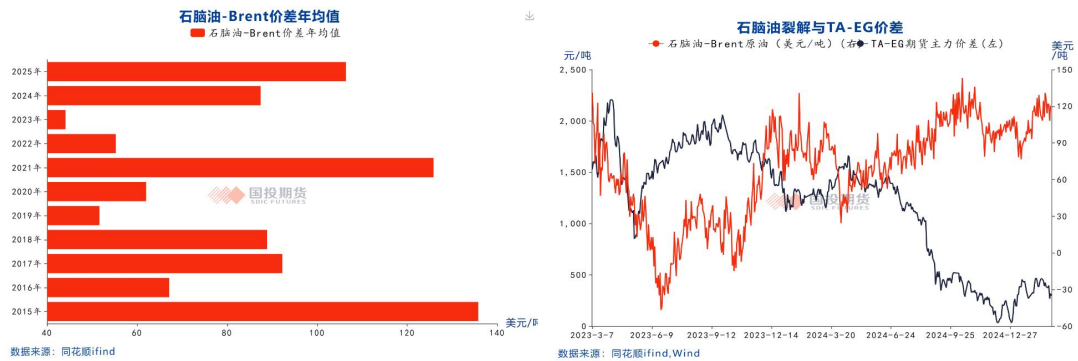
2024 年国内石脑油进口量 1214 万吨，国内计划蒸汽裂解装置投产后，石脑油的缺口将进一步放大，国内石脑油增量有限，预期进口量将明显上升。



3.2.2. 海外石脑油增长依赖新炼能和俄罗斯

海外石脑油主要出口地在中东、俄罗斯和美国。从 2024 年的石脑油进口量数据来看，俄罗斯、阿联酋和韩国是我国石脑油的主要进口来源国，进口量分别为 356 万吨、273 万吨和 202 万吨，其他还有科威特、阿尔及利亚、卡塔尔、印度、美国等。年内海外石脑油供应的增长点主要在新炼厂的投放，主要有墨西哥湾 34 万桶/日的新炼能，石脑油出口具体的量需等待装置运行稳定及满足其自身下游石化需求后才会明朗，预估在 50-100 万吨/年。除此之外，国内主要的石脑油供应增量可能来自俄罗斯，如果西方国家对俄罗斯的能源制裁解除，俄罗斯的石脑油出口可能会有一定增量。但根据其最近几年的出口装船量推算，2024

年的出口总量比 2021 年下降 2100 万桶，约 300 万吨的增长空间，但能否兑现及兑现的程度取决于国际地缘形势的演变及国际协商的进程，另外还与俄罗斯炼厂的恢复情况有关。



4. 乙烯下游供需转弱，关注成本驱动

国内蒸汽裂解装置将迎来新产能持续集中投放，以石油路线为主，该产能周期高峰将延续至 2027 年，2028 年之后计划投产产量将下降。未来三年内全球石脑油供需格局有望维持向好态势，对石脑油裂解价差有支撑。石脑油裂差的走强对下游 PE、PP、乙二醇等烯烃下游化工品有明显支撑，表现为在原油及成品油价格大幅下跌的过程中，相关烯烃产品相对抗跌，TA-EG 价差自 2024 年二季度开始持续走弱，主要体现的是二者上游重质和轻质原料的强弱差别。因此，长线看轻质烯烃下游投产集中的 PE、苯乙烯等化工常规产品可能承受高投产的压力，行业的利润将承压下行，但同时上游石脑油供需格局改善会为相关产品提供成本支撑，价格走势更多会受原料波动影响。