



能化专题报告：2024 年 6 月 22 日

乙烯原料轻质化背景下，丁二烯产能增速放缓

能化专题报告

主要逻辑：

近期，随着全球丁二烯供应持续偏紧，丁二烯价格不断走强，推动丁二烯橡胶期货主力合约 BR2407 创下上市新高，盘中一度上涨至 16715 元/吨。丁二烯是制成丁二烯橡胶唯一的原材料，丁二烯橡胶供应端的驱动往往来自于丁二烯供应变化。因此，本文将着重介绍丁二烯的供应及其产能周期，对丁二烯长周期的供应进行一定讨论。

丁二烯为烯烃类化合物，即通常所说的“三烯”（乙烯、丙烯、丁二烯）之一，属于于石油化工产品。在乙烯裂解的过程中会生产出部分混合碳四（C4），再将 C4 通过抽提蒸馏提取，再生产出丁二烯。而在现代化工工业中乙烯一体化装置比较常见，乙烯一体化装置是指将乙烯的生产和其它化学品或石化产品的生产过程整合在一起的装置，这其中就包括了 C4 抽提丁二烯的装置。而同时，在乙烯裂解的产物中，C4 的组分一般在 10% 左右，因此 C4 以及丁二烯在乙烯裂解的过程中为副产品。

这就导致了 C4 抽提丁二烯装置的利润对乙烯一体化装置的综合利润水平影响很小。因此，丁二烯的供应一般不会取决于自身装置的利润水平，往往取决于乙烯一体化装置的综合利润水平。用于丁二烯抽提的混合碳四，主要是石脑油蒸汽裂解制乙烯副产的混合碳四，一般也只有进料为石脑油的乙烯裂解装置才会配套碳四抽提装置。一个逻辑上简单的推导。在各生产环节装置没有变化的情况下，改变丁二烯当期供应的路径或许是：石脑油裂解制乙烯开工率变化→混合碳四产量变化→丁二烯产量变化。

后市展望：

由于非石脑油等重质原料制乙烯的裂解装置一般不需要配套碳四抽提丁二烯装置，因此全球乙烯与丁二烯产能增速出现劈叉。根据路孚特的数据，预计到 2027 年全球乙烯产能将达到 2.5 亿吨，2024-2027 年复合增速为 2.7%；预计到 2027 年全球丁二烯产能为 1980 万吨，2024-2027 年复合增速为 0.9%，仅为全球乙烯产能增速的三分之一，到 2027 年全球丁二烯产能预计同比 2026 年持平。我们认为，随着全球乙烯原料的轻质化，导致丁二烯组分偏多的混合碳四产量无法跟随增长，即也不需要配套更多的抽提装置，这导致全球丁二烯产能增速放缓，丁二烯橡胶成本端支撑逐步增强。

风险提示：

乙烷供应收紧、混合碳四深加工技术进步

研究员：董丹丹
期货交易咨询从业信息：Z0017387
期货从业信息：F03095464
联系方式：18616602602

研究助理：蔡文杰
期货从业信息：F03114213
联系方式：13120867885

发布日期： 2024 年 6 月 22 日

一、丁二烯与丁二烯橡胶的起源

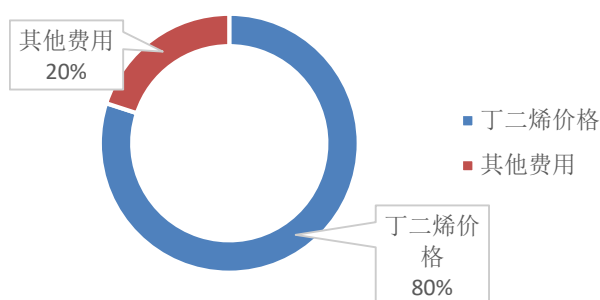
丁二烯（Butadiene），化学式为 C_4H_6 ，是一种无色气体，具有微弱的芳香气味。其分子结构中包含两个双键，使其在化学反应中表现出高反应活性。丁二烯是重要的有机化工原料，广泛用于生产各种高分子材料，尤其是合成橡胶和塑料。1863 年，法国化学家 E. Caventou 通过对戊醇的热解分离出丁二烯。1886 年，亨利·爱德华·阿姆斯特朗从石油的热解产物中分离出这种碳氢化合物，并将其确定为丁二烯。

1910 年，俄罗斯化学家谢尔盖·列别杰夫使丁二烯聚合，得到了具有橡胶状特性的材料。丁二烯工业起源于第二次世界大战前的那些年。许多参战国家意识到，在战争爆发的情况下，他们可能会被切断与由大英帝国控制的橡胶种植园的联系，因此他们寻求减少对天然橡胶的依赖。1929 年，爱德华·特施库恩（Eduard Tschunker）和沃尔特·博克（Walter Bock）在德国的 IG Farben 公司工作时，制造出一种可以用于汽车轮胎的苯乙烯和丁二烯的共聚物。

苏联政府努力利用丁二烯橡胶替代天然橡胶，并于 1930 年建造了第一座试验装置，使用从马铃薯生产的乙醇。这次实验取得了成功，1936 年苏联建造了世界上第一座使用石油提取丁二烯的丁二烯橡胶工厂。到 1940 年，苏联的丁二烯橡胶产量达到每年 5 万吨，成为全球最大的生产国。上世纪 50 年代中期，催化剂领域取得重大进展，促使改进了丁二烯橡胶的制备方法。领先的轮胎制造商和一些石油化工公司开始投资建设丁二烯橡胶工厂。随着 90 年代中期工艺的技术进步，丁二烯橡胶行业迎来高速发展。

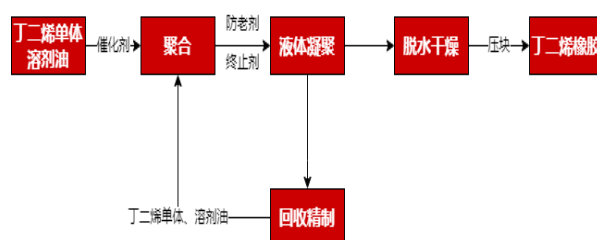
近期，随着全球丁二烯供应持续偏紧，丁二烯价格不断走强，推动丁二烯橡胶期货主力合约 BR2407 创下上市新高，盘中一度上涨至 16715 元/吨。根据上述内容，丁二烯是制成丁二烯橡胶唯一的原材料，丁二烯橡胶供应端的驱动往往来自于丁二烯供应变化。丁二烯占丁二烯橡胶加工成本约 80% 左右，是丁二烯橡胶成本端定价的重要因素。其他费用包括溶剂油、催化剂等辅助材料。每吨丁二烯橡胶辅助材料的费用在 300-400 元/吨；人工费用在 2200-2500 元/吨。即丁二烯橡胶的生产成本大约=丁二烯现货价格*1.02（单耗）元/吨+2500 元/吨。因此，本文将着重介绍丁二烯的供应及其产能周期，对丁二烯长周期的供应进行一定讨论。

图表 1：丁二烯橡胶成本占比（%）



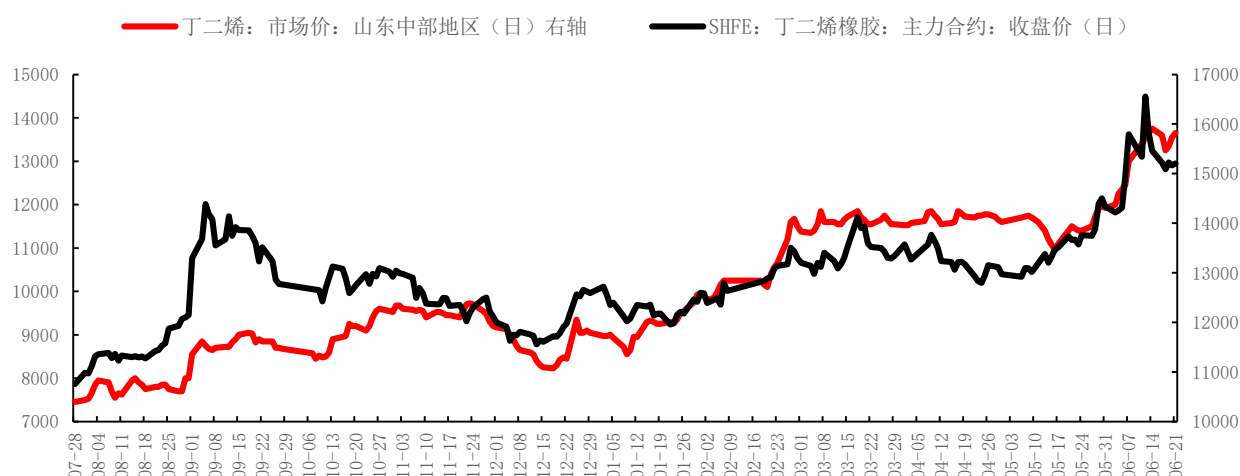
数据来源：红桃 3，中信建投期货整理

图表 2：丁二烯橡胶生产工艺流程



数据来源：上期所，中信建投期货整理

图表 3：丁二烯&丁二烯橡胶期货主力合约收盘价（元/吨）



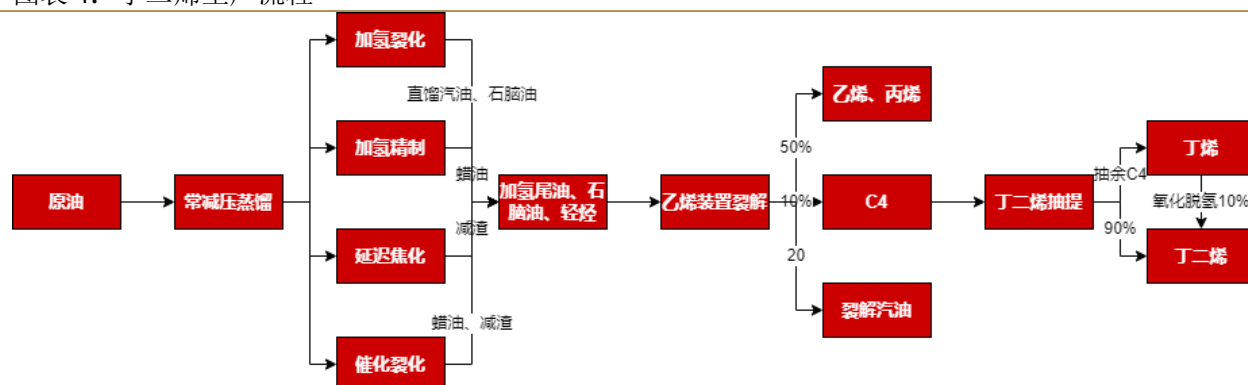
数据来源：Wind，中信建投期货整理

二、丁二烯供应端的“副产品”属性

丁二烯为烯烃类化合物，即通常所说的“三烯”（乙烯、丙烯、丁二烯）之一，属于石油化工产品。在乙烯裂解的过程中会生产出部分混合碳四（C4），再将 C4 通过抽提蒸馏提取，再生产出丁二烯。而在现代化工工业中乙烯一体化装置比较常见，乙烯一体化装置是指将乙烯的生产和其它化学品或石化产品的生产过程整合在一起的装置。这种一体化设计通常包括乙烯生产单元以及与乙烯相关的下游加工单元，这其中就包括了 C4 抽提丁二烯的装置。而同时，在乙烯裂解的产物中，C4 的组分一般在 10% 左右，因此 C4 以及丁二烯在乙烯裂解的过程中为副产品。

这就导致了 C4 抽提丁二烯装置的利润对乙烯一体化装置的综合利润水平影响很小。因此，丁二烯的供应（或者说 C4 抽提丁二烯装置的开工率）一般不会取决于自身装置的利润水平，往往取决于乙烯一体化装置的综合利润水平（或者说乙烯裂解价差与开工情况）。如图 4 所示，在这个章节中，我们将从图 4 的右侧开始，对丁二烯的上游至乙烯裂解环节进行拆分介绍。

图表 4：丁二烯生产流程



数据来源：文献，中信建投期货整理

工业上丁二烯的生产工艺主要分为两大类：一类是将 C4 馏分进行提纯，通过蒸馏处理得到高纯

度的丁二烯产品；另一类是将 C4 馏分进行脱氢处理，通过消除反应生成丁二烯。这两种工艺所使用的原料也不同。最常规的提纯方法是萃取蒸馏。萃取蒸馏首先进行萃取，在反应体系中加入一种萃取剂，该萃取剂对某一种组分有很大的溶解度，从而实现分离提纯。之后，将其他混合物再进行蒸馏提纯，分离出其他组分。目前，由于技术成熟与安全性、分离效率、经济成本等因素，全球主要的丁二烯生产工艺为抽提蒸馏法（Extractive Distillation）。

图表 5：丁二烯主要生产工艺

工艺名称	简介	优点	缺点	丁二烯收率	数据来源
抽提蒸馏法 (Extractive Distillation)	用选择性溶剂（如 N-甲基吡咯烷酮、二甲基甲酰胺等）与混合碳四中的丁二烯进行选择溶解，再通过蒸馏分离丁二烯。	选择性高，能够有效分离丁二烯与其他 C4 烃类。	能耗高，设备复杂。	85%-95%	IHS Markit, "Butadiene Production Processes and Economics"
精馏法 (Distillation)	基于不同化合物的沸点差异，通过多级蒸馏塔进行分离。虽然丁二烯与其他 C4 烃类的沸点相近，但通过精密控制和多塔组合，依然可以实现有效分离。	工艺简单，设备投资较低。	分离效率较低，能耗较高。	70%-85%	Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, "Butadiene Production"
低温分离法 (Cryogenic Separation)	通过将混合碳四冷却至低温，使各组分依次凝缩和分离。丁二烯在特定低温下可以从其他组分中分离出来。	分离效果好，纯度高。	能耗较高，设备要求严格。	80%-90%	Encyclopedia of Chemical Technology, Kirk-Othmer
膜分离法 (Membrane Separation)	利用特定膜材料的选择性透过性，通过膜组件分离丁二烯与其他 C4 烃类。	能耗低，操作简便，环保。	膜材料成本较高，膜寿命有限。	70%-85%	Journal of Membrane Science, "Membrane Processes for Butadiene Separation"
选择性氢化法 (Selective Hydrogenation)	通过催化氢化反应，将混合碳四中的不饱和烃（如丁二烯）部分或完全氢化，从而实现与其他组分的分离。	能够有效处理高不饱和度的混合物。	工艺复杂，需严格控制反应条件。	60%-80%	Catalysis Today, "Selective Hydrogenation Processes for Butadiene Separation"
吸附分离法 (Adsorption Separation)	利用吸附剂对丁二烯的选择性吸附，将其从混合物中分离出来。然后通过改变温度或压力将丁二烯解吸出来。	选择性高，设备操作简单。	吸附剂成本高，吸附剂再生过程复杂。	75%-90%	Chemical Engineering Journal, "Adsorption Techniques for Butadiene Separation"

数据来源：文献，中信建投期货整理

丁二烯的生产工艺都是以混合碳四作为主要装置进料，而混合碳四一般缺乏公开的贸易流通环节（即没有混合碳四的市场价格），原因如下：1. 混合碳四是由多种碳氢化合物（如丁烯、丁烷、异丁烯等）组成的复杂混合物，其成分和比例难以保证稳定性和一致性，这使得其难以作为统一产品在市场上进行交易和使用。2. 混合碳四中的各种成分具有不同的化学性质和应用用途，需要根据具体需求进行进一步分离和加工才能得到单一化学品，因此难以直接用作标准化产品。3. 由于复杂的组成和需求不确定性，混合碳四的处理成本较高。这包括分离、纯化和处理残留物等环节，使得在市场上的竞争力受到限制。4. 工业上对混合碳四的需求相对有限，大多数工业应用需要的是其中的特定成分或单一化合物，而不是整体的混合碳四。5. 缺乏统一的规范和标准化处理方法，使得混合碳四难以形成广泛接受的市场定价和交易模式。因此，混合碳四通常是作为化工生产中的中间产物或副产品，直接配套有对应的下游装置，再加工成相关产品对外销售，而不是作为一个单独的商品在市场上流通（也有部分企业会对外销售/采购混合碳四，这部分企业数量较少）。

再简单介绍一下混合碳四。混合碳四指含有四个碳原子的烃类混合物，饱和烃有正丁烷和异丁烷，烯烃则有 1-丁烯、2-丁烯（顺、反-2-丁烯）、异丁烯和丁二烯四种，此外还有乙基乙炔（1-丁炔）、2-丁炔、丁二炔、乙烯基乙炔四种炔烃。混合碳四由于异构体种类繁多，因而不同源头（即乙烯裂解装置的原料）的混合碳四组份也有较大差异，常见的混合碳四以及对应组分如下。

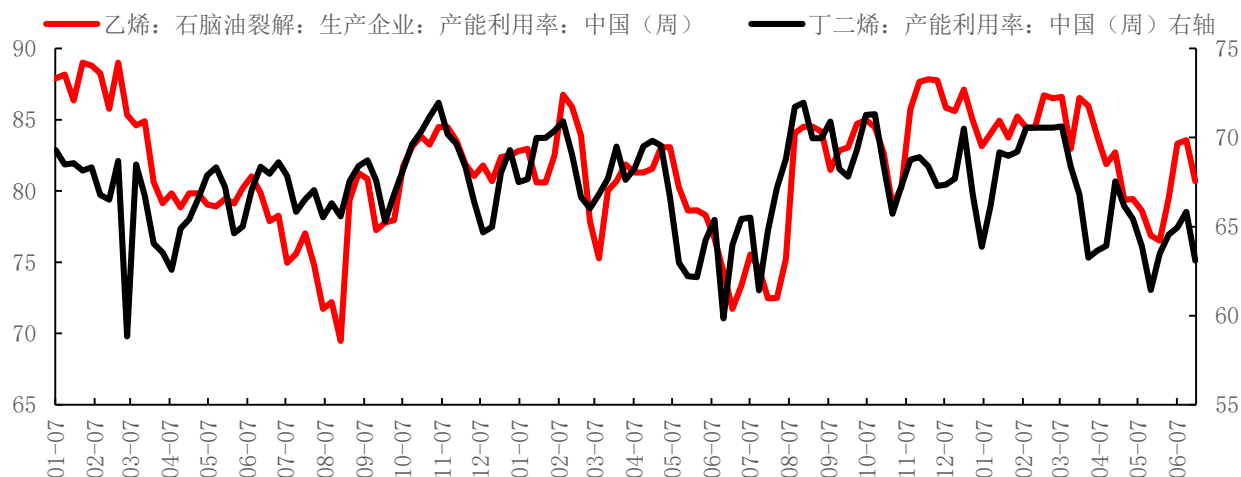
图表 6：不同生产来源下混合碳四的组分（%）

组分\原料	石脑油	乙烷	煤/甲醇原料	LPG	粗柴油
丁二烯	45%	<10%	5-10%	10-20%	40-50%
丁烯	25%	<10%	10-20%	20-30%	20-30%
异丁烯	15%	少量	少量	15-25%	10-20%
丁烷	10-15%	少量	少量	10-15%	10-15%

数据来源：文献，中信建投期货整理

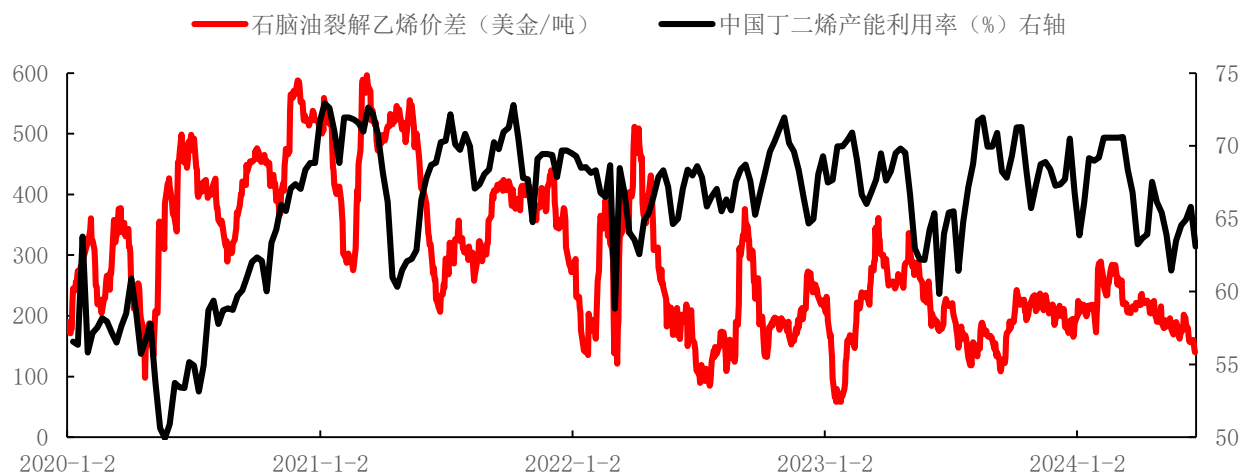
常见的乙烯裂解装置原料有石脑油、乙烷、煤/甲醇（MTO）、LPG 和粗柴油，以上原料在乙烯裂解的过程中都会出现混合碳四。不难发现，不同原料下的混合碳四组分差异，尤其是丁二烯的组分差异较大。只有石脑油和粗柴油裂解制乙烯副产的混合碳四中丁二烯组分较高，而由于粗柴油裂解制乙烯的经济性、裂解难度、乙烯收率等问题，导致使用粗柴油裂解制乙烯的装置偏少。因此，前文中提到的用于丁二烯抽提的混合碳四，主要是石脑油蒸汽裂解制乙烯副产的混合碳四，一般也只有进料为石脑油的乙烯裂解装置才会配套碳四抽提装置。至此，我们已经将丁二烯的供应溯源至乙烯裂解环节。丁二烯的化工品属性导致其供应环节相对复杂，在这里简单做一个逻辑上的推导。在各生产环节装置没有变化的情况下，改变丁二烯当期供应的路径或许是：石脑油裂解制乙烯开工率（一体化装置综合利润，再追溯需要评估乙烯裂解价差变化的驱动或者当下的基本面是否需要给乙烯裂解利润）变化→混合碳四产量变化→丁二烯产量变化。

图表 7：石脑油裂解乙烯开工&中国丁二烯产能利用率（%）



数据来源：钢联，中信建投期货整理

图表 8：石脑油裂解乙烯价差&中国丁二烯产能利用率（美金/吨、%）



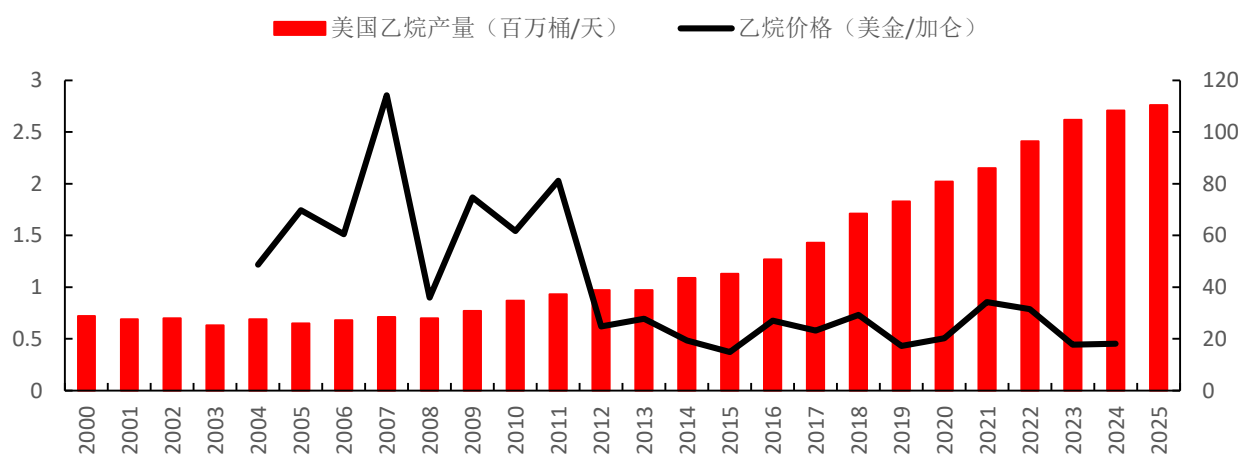
数据来源：钢联，中信建投期货整理

三、乙烯原料轻质化背景下，丁二烯产能增速放缓

进入新世纪以来，全球乙烯原料的多元化、轻质化趋势明显。轻质原料如乙烷和丙烷相比于重质原料如石脑油、柴油等，更为经济且生产效率更高。乙烷和丙烷主要来源于天然气和页岩气的分离过程，而这些气体资源近年来在北美地区（特别是美国）由于页岩气革命的推进而变得更加丰富和廉价。根据 EIA 的数据，预计 2024 年美国乙烷日产量维持在 271 万桶，预计 2025 年产为 276 万桶，美国乙烷产能释放速度放缓，但仍有增量。

伴随着美国乙烷产量的持续增长，近两年来，乙烷价格保持在 18 美金/加仑左右，而乙烷等轻质原料裂解生成的乙烯收率较高，使得其相比于石脑油裂解乙烯具有明显的成本优势。根据相关数据测算，乙烷裂解制乙烯的完全成本大约为 572 美金/吨，相对的，石脑油裂解制乙烯的完全成本大约为 1003 美金/吨。美国页岩气革命驱动的乙烷供应增加，带来的乙烷价格低位运行，呈现为乙烷裂解制乙烯的成本远低于其他原料。

图表 9：美国乙烷产量&乙烷价格（百万桶/天、美金/加仑）



数据来源：EIA、彭博，中信建投期货整理

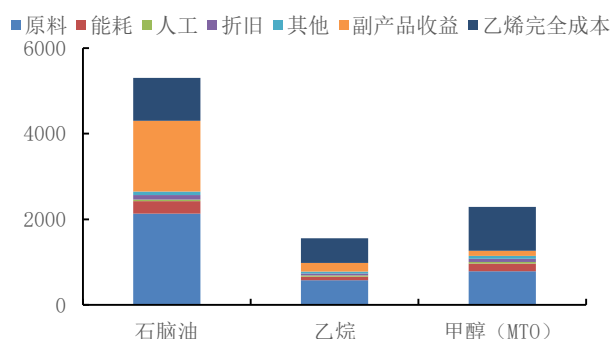
图表 10：不同原料下乙烯成本（美金/吨）

成本分项\原料	石脑油	乙烷	甲醇（MT0）
原料	2131	577	787
能耗	292	84	178
人工	40	28	40
折旧	100	48	76
其他	88	40	64
副产品收益	1648	205	120
乙烯完全成本	1003	572	1025

数据来源：卓创，中信建投期货整理

注：原料价格为 2013 年 1 月-2023 年 11 月均价

图表 11：不同原料下乙烯成本（美金/吨）

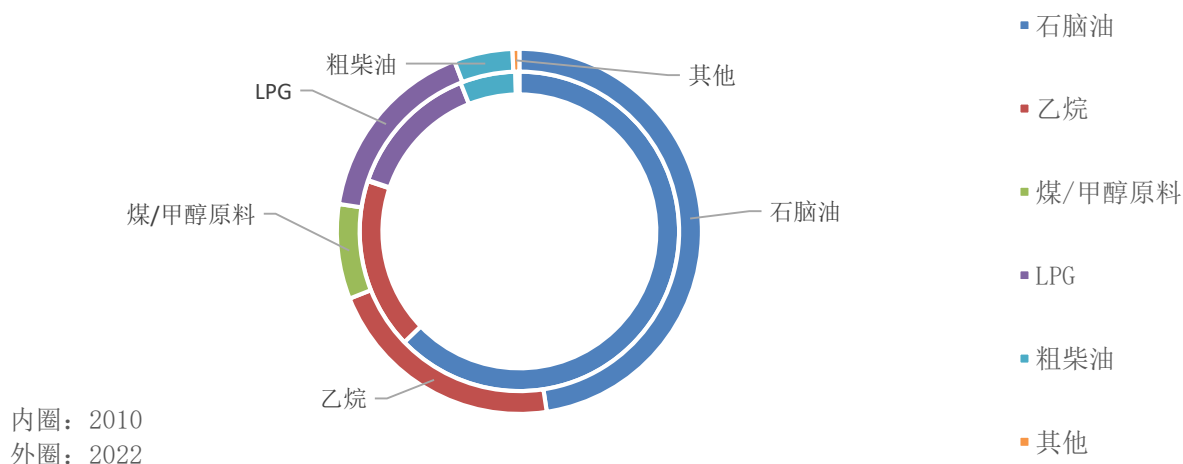


数据来源：卓创，中信建投期货整理

此外，轻质原料裂解过程中的副产物较少且更易于处理。乙烷和丙烷裂解过程中，生成的大部分是轻质烃类（如乙烯、丙烯）和少量的甲烷、氢气等气体，而重质原料如石脑油裂解会生成复杂的重烃类（如芳烃、焦炭等），这些副产物的分离和处理增加了工艺的复杂性和成本。同时，轻质原料裂解过程中生成的焦炭量较少，设备结焦问题相对较轻，减少了停机清洗和维护的频率。再者，环保压力和政策推动也是重要原因。轻质原料的裂解过程能耗较低，碳排放量也较少，这与全球日益严格的环保法规和可持续发展的目标相契合。重质原料的裂解不仅能耗高、碳排放多，还会产生较多的有害物质（如二氧化硫、氮氧化物等），这些都会带来更大的环保压力和治理成本。以上因素都推动了全球范围内乙烯生产原料从重质化向轻质化的转变。

石脑油在乙烯原料中的占比已经从 2010 年的 62.8% 下降至 2022 年的 47.6% 左右，而乙烷原料占比从 17.3% 增至 21.4%，煤/甲醇原料占比从 0.1% 提升至 8.4%。其他原料方面，从 2010 年至 2022 年，液化石油气（LPG）原料占比从 13.8% 升至 16.8%，粗柴油占比从 5.6% 略降至 5.2%，另有其他原料占比维持在 0.5% 左右。

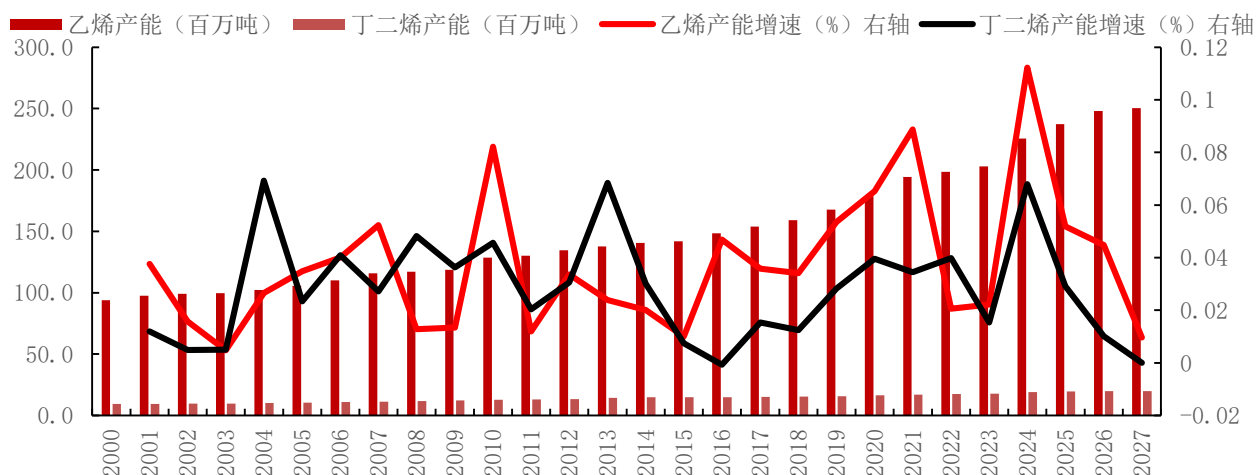
图表 12：2010 和 2022 年全球乙烯原料占比（%）



数据来源：文献，中信建投期货整理

由于非石脑油等重质原料制乙烯的裂解装置一般不需要配套碳四抽提丁二烯装置，因此全球乙烯与丁二烯产能增速出现劈叉。根据路孚特的数据，预计到2027年全球乙烯产能将达到2.5亿吨，2024-2027年复合增速为2.7%；预计到2027年全球丁二烯产能为1980万吨，2024-2027年复合增速为0.9%，仅为全球乙烯产能增速的三分之一，到2027年全球丁二烯产能预计同比2026年持平。我们认为，随着全球乙烯原料的轻质化，导致丁二烯组分偏多的混合碳四产量无法跟随增长，即也不需要配套更多的抽提装置，带来全球丁二烯产能增速放缓。

图表 13：全球乙烯和丁二烯产能和产能增速（百万吨，%）



数据来源：路孚特，中信建投期货整理

联系我们

全国统一客服电话：400-8877-780

网址：www.cfc108.com

获取更多研报报告、专业客户经理一对一服务、
了解公司更多信息，扫描右方二维码即可获得！



重要声明

本报告观点和信息仅供符合证监会适当性管理规定的期货交易者参考，据此操作、责任自负。中信建投期货有限公司（下称“中信建投”）不因任何订阅或接收本报告的行为而将订阅人视为中信建投的客户。

本报告发布内容如涉及或属于系列解读，则交易者若使用所载资料，有可能会因缺乏对完整内容的了解而对其中假设依据、研究依据、结论等内容产生误解。提请交易者参阅中信建投已发布的完整系列报告，仔细阅读其所附各项声明、数据来源及风险提示，关注相关的分析、预测能够成立的关键假设条件，关注研究依据和研究结论的目标价格及时间周期，并准确理解研究逻辑。

中信建投对本报告所载资料的准确性、可靠性、时效性及完整性不作任何明示或暗示的保证。本报告中的资料、意见等仅代表报告发布之时的判断，相关研究观点可能依据中信建投后续发布的报告在不发布通知的情形下作出更

改。

中信建投的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见不一致的市场评论和/或观点。本报告发布内容并非交易决策服务，在任何情形下都不构成对接收本报告内容交易者的任何交易建议，交易者应充分了解各类交易风险并谨慎考虑本报告发布内容是否符合自身特定状况，自主做出交易决策并自行承担交易风险。交易者根据本报告内容做出的任何决策与中信建投或相关作者无关。

本报告发布的内容仅为中信建投所有。未经中信建投事先书面许可，任何机构和/或个人不得以任何形式对本报告进行翻版、复制和刊发，如需引用、转发等，需注明出处为“中信建投期货”，且不得对本报告进行任何增删或修改。亦不得从未经中信建投书面授权的任何机构、个人或其运营的媒体平台接收、翻版、复制或引用本报告发布的全部或部分内容。版权所有，违者必究。