



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107709276 B

(45)授权公告日 2020.10.13

(21)申请号 201680038822.6

(72)发明人 索赫尔·谢赫 阿齐尔·贾马尔

(22)申请日 2016.06.23

张忠林

(65)同一申请的已公布的文献号

(74)专利代理机构 北京志霖恒远知识产权代理

申请公布号 CN 107709276 A

事务所(普通合伙) 11435

(43)申请公布日 2018.02.16

代理人 陈姗姗 郭栋梁

(30)优先权数据

(51)Int.Cl.

62/188,052 2015.07.02 US

C07C 4/06(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

C07C 6/04(2006.01)

2017.12.29

C07C 11/06(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

(56)对比文件

PCT/US2016/039012 2016.06.23

CN 1140749 A,1997.01.22

(87)PCT国际申请的公布数据

CN 102177223 A,2011.09.07

W02017/003817 EN 2017.01.05

审查员 吴相国

(73)专利权人 沙特阿拉伯石油公司

权利要求书2页 说明书31页 附图9页

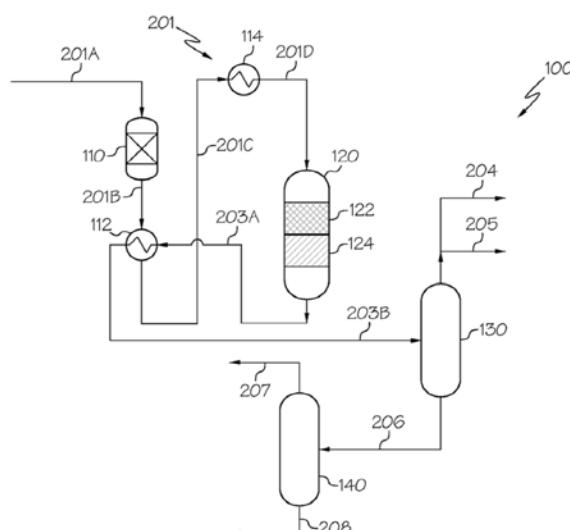
地址 沙特阿拉伯达兰

(54)发明名称

用于制造丙烯的系统和方法

(57)摘要

根据本发明中所描述的一个实施例，用于制造丙烯的方法可包含使包含至少约10重量%丁烯的第一物料流至少部分复分解以形成复分解反应产物，使复分解反应产物至少部分裂解以形成包含丙烯的裂解反应产物，以及至少部分分离丙烯与裂解反应产物以形成包含至少约80重量%丙烯的产物物料流。



1. 一种用于制造丙烯的方法,所述方法包含:

使包含至少10重量%丁烯的第一组合物至少部分复分解以形成复分解反应产物,其中所述第一组合物是用包含浸渍有金属氧化物的中孔二氧化硅催化剂的复分解催化剂复分解,其中所述中孔二氧化硅催化剂包括2.5nm到40nm的孔径分布和至少0.600cm³/g的总孔隙体积;

使所述复分解反应产物至少部分裂解以形成包含丙烯的裂解反应产物,其中所述复分解反应产物是用包含丝光沸石构架反向(MFI)结构化二氧化硅催化剂的裂解催化剂裂解,其中所述MFI结构化二氧化硅催化剂包括0.001mmol/g到0.1mmol/g的总酸性;和

至少部分分离丙烯与所述裂解反应产物以形成包含至少80重量%丙烯的产物组合物。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述MFI结构化二氧化硅催化剂具有至少1.5nm到3nm的孔径分布。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述中孔二氧化硅催化剂中的金属氧化物包含钼、铼、钨的一种或多种氧化物或其组合。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述复分解和裂解在同一个反应器中进行。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述复分解在第一反应器中进行并且所述裂解在第二反应器中进行,所述第一反应器和第二反应器串联排列。

6. 一种用于制造丙烯的方法,所述方法包含:

使包含至少10重量%丁烯的第一组合物至少部分复分解以形成复分解反应产物,其中所述第一组合物是用包含浸渍有金属氧化物的非晶形中孔二氧化硅泡沫材料的复分解催化剂复分解,其中所述复分解催化剂具有至少3nm到40nm的孔径分布和至少0.700cm³/g的总孔隙体积;

使所述复分解反应产物至少部分裂解以形成包含丙烯的裂解反应产物,其中所述复分解反应产物是用裂解催化剂裂解;和

至少部分分离丙烯与所述裂解反应产物以形成包含至少80重量%丙烯的产物组合物。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中所述复分解催化剂进一步包含三嵌段共聚物结构化剂,其中所述三嵌段共聚物结构化剂是聚(乙二醇)-嵌段-聚(丙二醇)-嵌段-聚(乙二醇)结构。

8. 根据权利要求6所述的方法,其中所述孔径分布是至少4nm到10nm并且所述总孔隙体积是至少0.800cm³/g到1.5cm³/g。

9. 根据权利要求6所述的方法,其中所述复分解催化剂具有0.125mmol/g到0.500mmol/g的总酸性,和400到500m²/g的表面积。

10. 一种用于制造丙烯的方法,所述方法包含:

将包含丁烯的第一物料流引入反应器,其中所述反应器包含复分解催化剂和裂解催化剂,所述复分解催化剂通常安置在所述裂解催化剂的上游;

用所述复分解催化剂使所述第一物料流至少部分复分解,以形成复分解反应产物;

用所述裂解催化剂使所述复分解反应产物至少部分裂解,以形成包含丁烯的裂解反应产物;

使所述裂解反应产物以裂解反应产物物料流形式离开所述反应器;以及

至少部分分离丙烯与所述裂解反应产物物料流以形成包含丙烯的产物物料流,其中:

所述裂解反应产物物料流中的至少一部分所述丁烯通过至少部分分离所述裂解反应产物物料流中的丁烯来再循环,以形成包含丁烯的再循环物料流;和

所述第一物料流是所述再循环物料流与系统入口物料流的混合物。

11.根据权利要求10所述的方法,其中所述系统入口物料流包含至少50重量%丁烯。

12.根据权利要求10所述的方法,其中所述产物物料流包含至少90重量%丙烯。

13.根据权利要求10所述的方法,其中:

所述复分解催化剂包含浸渍有金属氧化物的中孔二氧化硅催化剂,其中所述中孔二氧化硅催化剂包括2.5nm到40nm的孔径分布和至少0.600cm³/g的总孔隙体积;和

所述裂解催化剂包含位于所述中孔二氧化硅催化剂下游的丝光沸石构架反向(MFI)结构化二氧化硅催化剂,其中所述MFI结构化二氧化硅催化剂包括0.001mmol/g到0.1mmol/g的总酸性。

14.一种用于制造丙烯的方法,所述方法包含:

将包含丁烯的第一物料流引入第一反应器,所述第一反应器包含复分解催化剂;

使所述第一反应器中的所述第一物料流至少部分复分解以形成复分解反应产物;

使所述复分解反应产物以复分解反应产物物料流形式离开所述第一反应器到达第二反应器,所述第二反应器包含裂解催化剂;

使所述第二反应器中的所述复分解反应产物物料流至少部分裂解以形成裂解反应产物;

使所述裂解反应产物以包含丁烯的裂解反应产物物料流形式离开所述第二反应器;以及

至少部分分离丙烯与所述裂解反应产物物料流以形成包含丙烯的产物物料流,

其中:

所述裂解反应产物物料流中的至少一部分所述丁烯通过至少部分分离丁烯与所述裂解反应产物物料流来再循环,以形成包含丁烯的再循环物料流;和

混合所述再循环物料流与所述复分解反应产物物料流。

15.根据权利要求14所述的方法,其中:

所述复分解催化剂包含浸渍有金属氧化物的中孔二氧化硅催化剂,其中所述中孔二氧化硅催化剂包括2.5nm到40nm的孔径分布和至少0.600cm³/g的总孔隙体积;和

所述裂解催化剂包含位于所述中孔二氧化硅催化剂下游的丝光沸石构架反向(MFI)结构化二氧化硅催化剂,其中所述MFI结构化二氧化硅催化剂包括0.001mmol/g到0.1mmol/g的总酸性。

用于制造丙烯的系统和方法

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案要求2015年7月2日申请的美国临时专利申请案第62/188,052号的优先权,其全部内容以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及用于制造丙烯的方法和系统,并且更具体地说,用于从包含丁烯的过程物料流制造丙烯的方法和系统。

背景技术

[0004] 近年来,对丙烯的需求显著增加,以供应正在增长的聚丙烯、环氧丙烷以及丙烯酸市场。目前,全世界生产的大部分丙烯是主要产生乙烯的蒸汽裂解单元的副产物,或主要产生汽油的FCC单元的副产物。这些方法无法充分应对快速增加的丙烯需求量。

[0005] 其它丙烯生产方法有助于总丙烯产率。这些方法包括丙烷脱氢(PDH)、需要乙烯和丁烯的复分解反应、高强度FCC、烯烃裂解以及甲醇到烯烃(MTO)。然而,丙烯需求量增加并且丙烯供应商无法保持满足这种需求量增加。

[0006] 关于需要乙烯和丁烯的通过复分解来制造丙烯,通常,需要约1份丁烯与1份乙烯的化学计算量比以获得高产物产量。然而,在一些情况下,无法获得乙烯,或与丁烯供应源相比无法获得足够量的乙烯。因此,由于缺乏可供用于反应的乙烯供应源,这类需要丁烯和乙烯的方法可能不可行。因此,仍需要用于将丁烯有效转化成丙烯的方法,并且更具体地说,在不需要乙烯的情况下将丁烯有效转化成丙烯的方法。

发明内容

[0007] 根据本发明的一个实施例,可通过包含以下步骤的方法制造丙烯:使包含丁烯的第一物料流至少部分复分解以形成复分解反应产物,使复分解反应产物至少部分裂解以产生包含丙烯的裂解反应产物,以及至少部分分离丙烯与裂解反应产物以形成包含丙烯的产物物料流。

[0008] 根据本发明的另一实施例,可通过包含以下步骤的方法制造丙烯:将包含丁烯的第一物料流引入反应器,用复分解催化剂使第一物料流至少部分复分解以形成复分解反应产物,用裂解催化剂使复分解反应产物至少部分裂解以形成裂解反应产物,使裂解反应产物以裂解反应产物物料流形式离开反应器,以及至少部分分离丙烯与裂解反应产物流以形成包含丙烯的产物物料流。反应器可包含复分解催化剂和裂解催化剂,复分解催化剂通常安置在裂解催化剂的上游。

[0009] 根据本发明的另一实施例,可通过包含以下步骤的方法制造丙烯:将包含丁烯的第一物料流引入第一反应器,使第一物料流在第一反应器中至少部分复分解以形成复分解反应产物,使复分解反应产物以复分解反应产物物料流形式离开第一反应器并且进入第二反应器,使复分解反应产物物料流在第二反应器中至少部分裂解以形成裂解反应产物,使

裂解反应产物以裂解反应产物物料流形式离开第二反应器,以及至少部分分离丙烯与裂解反应产物物料流以形成包含丙烯的产物物料流。第一反应器可包含复分解催化剂并且第二反应器可包含裂解催化剂。裂解反应产物物料流中的至少一部分丁烯可通过至少部分分离丁烯与裂解反应产物物料流以形成包含丁烯的再循环物料流来再循环,其中第一物料流是再循环物料流与系统入口物料流的混合物。

[0010] 根据实施例,可利用复分解催化剂,其包含浸渍有金属氧化物的中孔二氧化硅催化剂,其中中孔二氧化硅催化剂包括约2.5nm到约40nm的孔径分布和至少约0.600cm³/g的总孔隙体积。在另一实施例中,可利用裂解催化剂,其包含丝光沸石构架反向(MFI)结构化二氧化硅催化剂,其中MFI结构化二氧化硅催化剂包括0.001mmol/g到0.1mmol/g的总酸性。在另一实施例中,可利用裂解催化剂,其包含浸渍有金属氧化物的非晶形中孔二氧化硅泡沫材料,其中复分解催化剂具有至少3nm到40nm的孔径分布和至少0.700cm³/g的总孔隙体积。

[0011] 根据本发明的另一实施例,系统可操作以进行本发明中所描述的用于制造丙烯的方法。

[0012] 本公开所公开的技术的其它特征和优点将在以下具体实施方式中阐述,并且将部分地由所属领域的技术人员从所述描述而容易地了解或通过实践如本公开所描述的技术(包含以下具体实施方式、权利要求书以及附图)而认识到。

附图说明

[0013] 以下对本公开的具体实施例的详细描述在结合以下附图时可以最好地理解,附图中用类似的参考数字指示类似的结构并且其中:

[0014] 图1是根据本公开中所描述的一个或多个实施例的包含双重催化剂反应器的丁烯转化系统的一般化简图;

[0015] 图2是根据本公开中所描述的一个或多个实施例的包含双重催化剂反应器和再循环物料流的丁烯转化系统的一般化简图;

[0016] 图3是根据本公开中所描述的一个或多个实施例的包含串联反应器的丁烯转化系统的一般化简图;

[0017] 图4是根据本公开中所描述的一个或多个实施例的包含串联反应器和再循环物料流的丁烯转化系统的一般化简图;

[0018] 图5描绘柱状图,其以重量% (重量百分比) 形式呈现根据本公开中所描述的一个或多个实施例的图1的系统的产物分布;

[0019] 图6描绘柱状图,其呈现根据本公开中所描述的一个或多个实施例的图1的系统的丁烯转化(以重量%形式);

[0020] 图7描绘柱状图,其呈现根据本公开中所描述的一个或多个实施例的图2的系统的产物分布(以重量%形式);

[0021] 图8描绘柱状图,其呈现根据本公开中所描述的一个或多个实施例的图3的系统的产物分布(以重量%形式);

[0022] 图9描绘柱状图,其呈现根据本公开中所描述的一个或多个实施例的图4的系统的产物分布(以重量%形式);

[0023] 出于简化图1-4的示意说明和描述的目的,未包括可使用的和熟悉某些炼油厂操作领域的一般技术人员众所周知的大量阀门、温度传感器、电子控制器等。此外,未描绘包括催化转化过程的常规炼油厂操作中的伴随组件,如空气供应器、催化剂料斗和烟道气操作装置。然而,可在本公开中所描述的实施例中增加操作组件,如本发明中描述的组件。

[0024] 此外应注意,图中的箭头是指可用于在两个或更多个系统组件之间传输物流的传输线。此外,连接到系统组件的箭头定义每个既定系统组件的入口或出口。箭头方向通常对应于由箭头标示的实体传输线内所含的物料流中的材料的主要移动方向。此外,未连接两个或更多个系统组件的箭头表示离开所描绘的系统的产物物料流或进入所描绘的系统的系统入口物料流。产物物料流可在伴随化学处理系统中进一步处理或可以商品化成最终产品。系统入口物料流可以是从伴随化学处理系统传输的物料流,或可以是未经处理的原料物料流。

[0025] 现将更详细参考各种实施例,其中一些实施例在附图中说明。只要可能,在整个图式中相同的参考数字将用于指代相同或类似的零件。

具体实施方式

[0026] 大体上,本公开中描述用于将丁烯转化成丙烯的系统和方法的各种实施例。通常,转化系统包括可操作以进行其中包含丁烯的物料流经历复分解反应和裂解反应以形成丙烯的方法的系统组件。在一些实施例中,可在复分解反应之后进行裂解反应,其中复分解和裂解反应可在串联排列的单独的反应器中进行,或可在包含安置于反应器的不同部分的多种催化剂的单个反应器中进行。在复分解和裂解反应之后,产物物料流可分成多个物料流,其中一些物料流可以任选地再循环回到系统中。在下游分离过程之后,可由裂解反应的反应产物产生包含至少约80重量%丙烯的产物物料流。可以用包含至少约50重量%丁烯的单一系统入口物料流(如由石脑油裂解过程产生的萃余物物料流)操作系统。系统通常不需要包含乙烯的系统入口,并且所述方法无需向系统供应乙烯便可发挥完全功能。

[0027] 如本公开中所使用,“传输线”可包括管道、导管、通道或其它合适的实体传输线,其通过流体连通使一个或多个系统组件连接到一个或多个其它系统组件。如本公开中所使用,“系统组件”係指系统中包括的任何装置,如(但不限于)分离单元、反应器、热转移器件(如加热器和热交换器)、过滤器、杂质去除器件、各种装置的组合等。传输线通常可在两个或更多个系统组件之间输送过程物料流。通常,传输线可包含多个区段,其中传输线的“区段”包括传输线的一个或多个部分,使得传输线可包含多个传输线区段。通常,具体传输线中过程物料流的化学组成在传输线的整个长度内类似或相同。然而,应了解,过程物料流的温度、压力或其它物理性质可在传输线内变化,尤其在不同传输线区段中。并且,可在传输线长度内进行过程物料流的相对较小组成变化,如去除杂质。并且,有时本公开中所描述的系统称为“丁烯转化系统”,其是指任何将丁烯至少部分转化成一种或多种其它化学物质的系统。举例来说,在一些实施例中,丁烯至少部分转化成丙烯。如本发明中所描述,丁烯转化系统适用于将包含丁烯的物料流(包括基本上不含其它烯烃(例如乙烯、丙烯)的物料流)加工成包含大量丙烯的产物过程物料流。如本公开中所使用,当组分以小于0.1重量%的量存在时,物料流或组合物“基本上不包含”或“基本上不含”所述组分。

[0028] 如本公开中所使用,“分离单元”是指任何至少部分分离在过程物料流中彼此混合

的一种或多种化学物质的分离器件。举例来说，分离单元可选择性地分离彼此不同的化学物质，形成一个或多个化学部分。分离单元的实例包括(但不限于)蒸馏塔、闪蒸槽、气液分离罐、气液分离锅、离心机过滤器件、捕集器、净化器、膨胀器件、薄膜、溶剂提取器件等。应理解，本公开中所描述的分离过程可能不完全地分离全部的一种化学成分与全部的另一种化学成分。应理解，本公开中所描述的分离过程使不同的化学成分“至少部分”彼此分离，并且即使未明确陈述，应理解，分离可包括仅部分分离。如本公开中所使用，可从过程物料流“分离”一种或多种化学成分以形成新的过程物料流。通常，过程物料流可进入分离单元并且被划分或分离成具有所需组成的两个或更多个过程物料流。此外，在一些分离过程中，“轻质部分”和“重质部分”可离开分离单元，其中，一般来说，轻质部分物料流与重质部分物料流相比具有更低的沸点。

[0029] 如本公开中所使用，“反应器”是指一种或多种反应物之间可发生(任选地在一种或多种催化剂存在下)一种或多种化学反应的容器。举例来说，反应器可包括罐状或管状反应器，其被配置成以分批反应器、连续搅拌罐反应器(CSTR)或塞式流动反应器形式操作。实例反应器包括填充床反应器，如固定床反应器，和流体化床反应器。反应器可包含一个或多个催化剂部分，如催化剂床，其中“部分”是反应器中容纳具体催化剂或多种催化剂的群的区域。在另一实施例中，分离和反应可在反应性分离单元中进行。

[0030] 如本公开中所使用，“催化剂”是指任何可提高特定化学反应的反应率的物质。本公开中所描述的催化剂可用于促进多种反应，如(但不限于)复分解或裂解反应，或这两种。如本公开中所使用，“复分解催化剂”提高复分解反应的反应率，并且“裂解催化剂”提高裂解反应的反应率。如本公开中所使用，“复分解”通常是指其中烯烃(烯)的片段通过烯烃键的断裂和再生而再分布的化学反应。并且，如本公开中所使用，“裂解”通常是指其中具有碳-碳键的分子通过一个或多个碳-碳键的断裂而破碎成超过一个分子的化学反应。所得裂解的分子的总碳原子数可与裂解之前的原始分子相同。

[0031] 复分解催化剂和裂解催化剂的实例公开于沙特阿美公司(Saudi Aramco)的同在申请中的名称为“用于丙烯制造的双重催化剂系统(Dual Catalyst System for PropyleneProduction)”(代理案号SA 6019 MA)的美国临时专利申请案第62/188,178号和同在申请中的名称为“使用中孔二氧化硅泡沫材料复分解催化剂进行的丙烯制造(Propylene Production Using a Mesoporous Silica Foam Metathesis Catalyst)”(代理案号SA 6016 MA)的美国临时专利申请案第62/188 129号中，其全部内容各自以引用的方式并入本公开中。如这些公开中所提到，适合的复分解催化剂可包括浸渍有金属氧化物的中孔二氧化硅催化剂。适合的裂解催化剂可包括丝光沸石构架反向(MFI)结构化二氧化硅催化剂。中孔二氧化硅催化剂可包括约2.5nm到约40nm的孔径分布和至少约0.600cm³/g(立方厘米/克)的总孔隙体积。然而，应理解，本公开中所描述的系统可包括任何适合的复分解催化剂和裂解催化剂，如市售催化剂或作为未来探索目标的催化剂。

[0032] 用于本公开中所描述的复分解和裂解反应的适合的反应条件可通过所使用的催化剂组合物来改变。然而，在一些实施例中，复分解或裂解反应或这两种反应可以在大气压中，在约500℃(摄氏度)到约600℃的温度下进行。

[0033] 如本公开中所描述，“丁烯”可至少包括1-丁烯、异丁烯、顺-2-丁烯、反-2-丁烯、2-甲基-2-丁烯、3-甲基-1-丁烯、2-甲基-1-丁烯以及环丁烯。丁烯(Butene)有时称为丁烯

(butylene), 并且在本公开中, 术语“丁烯(Butene)”和“丁烯(butylene)”可互换使用。如本公开中所描述, “戊烯”可至少包括1-戊烯、顺-2-戊烯、反-2-戊烯、4-甲基-反-2-戊烯、环戊烯以及2-甲基-2-戊烯。如本公开中所描述, “己烯”可至少包括反-2-己烯、反-3-己烯、顺-3-己烯以及环己烯。在本发明中, 某些化学物质可用简写符号表示, 其中C2表示乙烷, C3表示丙烷, C4表示乙烷, C5表示戊烷, C6表示己烷, C3=表示丙烯(propylene) (或丙烯(propene)), C4=表示丁烯(butene) (或丁烯(butylene)), C5=表示戊烯并且C6=表示己烯。

[0034] 应理解, 当“混合”或“组合”两个或更多个过程物料流时, 当图1-4的示意性流程图中两个或更多个管线相交时。混合或组合还可以包括通过将两个物料流直接引入类似反应器、分离器件或其它系统组件来混合。

[0035] 现将描述用于将丁烯转化成丙烯的方法, 和用于进行这类方法的系统。在一个实施例中, 丁烯转化系统可包含双重催化剂反应器, 其中复分解和裂解反应在单个反应器中进行, 如下文参考图1所描述。通常, 根据图1的实施例, 包含丁烯的物料流进入系统并且在单个反应器中经历复分解反应, 接着经历裂解反应。在一个实施例中, 反应器含有在裂解催化剂部分上游的复分解催化剂部分。裂解反应的产物物料流包含丙烯并且可从裂解反应的产物物料流分离包含丙烯的产物物料流。图2的实施例与图1的实施例类似, 但包含再循环物料流。通常, 图2的再循环物料流可包含丁烷和丁烯并且与包含丁烯的入口物料流混合。由此, 进入图2的反应器的物料流与图1的实施例中的物料流相比通常含有更大百分比的丁烷。

[0036] 在其它实施例中, 丁烯转化系统可包含多个串联反应器, 其中复分解和裂解反应在单独的反应器中进行, 如下文参考图3和4所描述。图3的实施例与图1的实施例类似, 但包含其中进行复分解和裂解反应的串联反应器。一般来说, 相对于类似入口物料流和反应速率, 图1和3的物料流组成可类似或相同。图4的实施例与图3的实施例类似, 但包含再循环物料流。通常, 图4的再循环物料流可包含丁烷和丁烯并且可与复分解与裂解反应器之间的复分解反应产物混合。

[0037] 应理解, 尽管图1-4的实施例可具有不同的机械装置或过程物料流组成或这两种, 但这些实施例通常共有许多相同的系统组件和传输线。因此, 在图1-4的各种实施例中的类似系统组件中进行的过程可彼此类似或相同。举例来说, 用相同参考数字标记的图1-4的系统组件在各种实施例中可进行类似或相同操作。图1-4的实施例中的一些过程物料流可包含类似或相同组成, 而其它物料流可能并非如此。为了清楚起见, 图1-4的实施例中的传输线各自具有不同参考数字, 使得可易于鉴别其所含有的物料流的组成。然而, 尽管在图1-4的各种实施例中, 一些传输线可位于类似区域中并且具有类似功能, 但其可具有基本上不同的组成(如在其中存在再循环物料流或其中再循环物料流在不同系统位置再次进入的情况下)。在类似处理条件下(例如类似入口物料流组成), 图1-4的类似区域中所含的一些过程物料流可类似或甚至相同。举例来说, 传输线/区段, 如(但不限于): 201A、310、401A以及501A的组成可类似或基本上相同; 204、304、404以及504的组成可类似或基本上相同; 205、305、405以及505的组成可类似或基本上相同; 207、307、407以及507的组成可类似或基本上相同; 203和403的组成可类似或基本上相同; 206和406的组成可类似或基本上相同; 208和408的组成可类似或基本上相同。如在本公开中提供, 实例将帮助进一步说明各种实施例之

间的过程物料流组成的差异。

[0038] 现参考图1的过程流程图,在一个实施例中,丁烯转化系统100可包括复分解/裂解反应器120,其包含复分解催化剂部分122和裂解催化剂部分124。通常,包含丁烯的系统入口物料流经由传输线201(包括区段201A、201B、201C以及201D)进入丁烯转化系统100,并且注射到复分解/裂解反应器120中。区段201A的系统入口物料流通常至少包含丁烯,并且可以任选地包含其它化学物质,如丁烷。举例来说,系统入口物料流可包含至少约20重量%、30重量%、40重量%、50重量%、55重量%、60重量%、65重量%或甚至至少约70重量%丁烯。系统入口物料流可包含至少约15重量%、20重量%、25重量%、30重量%或甚至至少约35重量%丁烷。系统入口物料流可包含0重量%到约10重量%、8重量%、4重量%、2重量%或1重量%乙烯,或可基本上不含乙烯。

[0039] 在进入复分解/裂解反应器120之前,系统入口物料流可由一个或多个系统组件处理。在这类实施例中,传输线201可包含可由系统组件分隔的若干区段(描绘为201A、201B、201C以及201D),如杂质去除器件110、热转移器件112以及热转移器件114。杂质去除器件110可去除系统入口物料流中的含氧物。在一个实施例中,杂质去除器件110包含催化床。热转移器件112可以是热交换器,其用于通过与传输线203A中的物料流交换能量来升高系统入口物料流的温度。热转移器件114可以是用于进一步加热系统入口物料流的加热器。应理解,杂质去除器件110、热转移器件112以及热转移器件114是丁烯转化系统100中的任选组件。应理解,位于传输线201的各种区段(也就是说,201A、201B、201C以及201D)中的所有物料流视为系统入口物料流的一部分,即使系统入口物料流的化学组成、温度或其它特性在各种区段201A、201B、201C、201D中可能不同。

[0040] 仍参考图1,复分解/裂解反应器120包含复分解催化剂部分122和裂解催化剂部分124。复分解催化剂部分122通常安置在裂解催化剂部分124的上游,也就是说,裂解催化剂部分124通常安置在复分解催化剂部分122的下游。来自区段201D的系统入口物料流进入复分解/裂解反应器120并且与复分解催化剂接触,以便在复分解催化剂部分122中经历复分解反应,从而形成复分解反应产物。在复分解反应之后,使复分解反应产物与裂解催化剂接触以经历裂解,一种在裂解催化剂部分124中的裂解反应。裂解反应形成裂解反应产物。通常,经历裂解或复分解或这两种的反应物在反应期间与各别催化剂均匀掺混。

[0041] 如本公开中所使用,“复分解反应产物”是指由复分解反应产生的全部产物混合物,包括产物混合物中任何未经历复分解的部分。此外,如本公开中所使用,“裂解反应产物”是指由裂解反应产生的全部产物混合物,包括产物混合物中任何未经历裂解的部分。举例来说,裂解反应产物包括离开其中发生裂解的反应器的过程物料流的所有组分。

[0042] 裂解反应产物以裂解反应产物物料流形式经由传输线203离开复分解/裂解反应器120。裂解反应产物可包含烷烃与烯烃的混合物、由烷烃与烯烃的混合物组成或主要由烷烃与烯烃的混合物组成,包括(但不限于)乙烯、丙烯、丁烯、戊烯、己烯、庚烯、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷。裂解反应产物可包含至少约2重量%、4重量%、6重量%、8重量%、10重量%、12重量%、14重量%、16重量%、18重量%、20重量%、22重量%、24重量%、26重量%、28重量%或甚至至少约30重量%丙烯。

[0043] 复分解/裂解反应器120中形成的传输线203A的裂解反应产物物料流可分成一个或多个具有所需组成的物料流。通常,包含丙烯的产物物料流(如在图1中的传输线207中所

示)可通过分离裂解反应产物物料流来形成。产物物料流可包含至少约50重量%、60重量%、70重量%、80重量%、90重量%、95重量%、96重量%、97重量%、98重量%或甚至至少约99重量%丙烯。应理解,可利用广泛多种分离过程产生包含丙烯的产物物料流。

[0044] 在一个实施例中,如图1中所示,裂解反应产物可经由传输线203传输到一个或多个分离单元,其可包含区段203A和区段203B,其中各区段由热转移器件112分隔。裂解反应产物可进入分离单元130,其中可移出轻质成分,如乙烯和乙烷。轻质成分(如乙烯)可经由传输线204从丁烯转化系统100清除或可经由传输线205用于其它化学系统。传输线204和传输线205中所含的物料流可包含乙烯、由乙烯组成或主要由乙烯组成。举例来说,传输线204或传输线205或这两个的物料流可包含至少约50重量%、60重量%、70重量%、80重量%、90重量%、95重量%、96重量%、97重量%、98重量%或甚至至少约99重量%乙烯。来自分离单元130的重质部分可经由传输线206离开分离单元130。传输线206的过程物料流可包含烷烃和烯烃的混合物,包括(但不限于)丙烯、丁烯、戊烯、己烯、庚烯、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。传输线206的过程物料流可进入分离单元140,其中分离丙烯与其它成分。轻质部分(也就是说,丙烯)可以丙烯产物物料流形式经由传输线207离开分离单元140。传输线207中所含的丙烯产物物料流可包含丙烯、由丙烯组成或主要由丙烯组成。举例来说,传输线204或传输线205或这两个的物料流可包含至少约50重量%、60重量%、70重量%、80重量%、90重量%、95重量%、96重量%、97重量%、98重量%或甚至至少约99重量%丙烯。来自分离单元140的重质部分可经由传输线208离开分离单元140。管线208的过程物料流可包含烷烃和烯烃的混合物,包括(但不限于)丁烯、戊烯、己烯、庚烯、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。传输线208的物料流可作为最终产物从丁烯转化系统100清除或可在后续加工中进一步分离。

[0045] 参考上文,图2的实施例与图1的实施例类似,但包含有包含丁烷和丁烯的再循环物料流。通常,在图2的实施例中,传输线312的再循环物料流可包含丁烷和丁烯并且与包含丁烯的传输线310的入口物料流混合。传输线区段301D的物料流进入反应器并且由此与图1的传输线区段201D的物料流相比可通常含有更大百分比的丁烷。通常,添加再循环物料流,如参考图2所描述,可提高丙烯选择性和丙烯产率。

[0046] 现参考图2的过程流程图,在一个实施例中,丁烯转化系统200可包括复分解/裂解反应器120,其包含复分解催化剂部分122和裂解催化剂部分124。通常,包含丁烯的系统入口物料流经由传输线310进入丁烯转化系统200。传输线310的系统入口物料流通常至少包含丁烯,并且可以任选地包含其它化学物质,如丁烷。举例来说,传输线310的系统入口物料流可包含至少约20重量%、30重量%、40重量%、50重量%、55重量%、60重量%、65重量%或甚至至少约70重量%丁烯,并且可包含至少约15重量%、20重量%、25重量%、30重量%或至少约35重量%丁烷。传输线310的系统入口物料流可包含0重量%到约10重量%、8重量%、4重量%或2重量%乙烯,或可基本上不含乙烯。

[0047] 传输线310中的系统入口物料流与传输线312中的再循环物料流组合以形成传输线301中的混合物料流。混合物料流穿过传输线301并且被引入复分解/裂解反应器120。在实施例中,传输线312的再循环物料流可包含丁烯和丁烷。举例来说,传输线312的再循环物料流可包含至少约5重量%、10重量%、15重量%或甚至至少约20重量%丁烯,并且可包含至少约50重量%、60重量%、70重量%或甚至超过约80重量%丁烷。传输线312的再循环物

料流可包含至少约80重量%、90重量%或甚至至少约95重量%丁烷与丁烯的组合。

[0048] 传输线301的混合物料流可包含丁烷和丁烯。举例来说，传输线301的混合物料流可包含至少约5重量%、10重量%、15重量%、20重量%、25重量%、30重量%或甚至至少约35重量%丁烯，并且可包含至少约40重量%、50重量%、60重量%、70重量%或甚至至少约80重量%丁烷。传输线301的混合物料流可包含至少约80重量%、90重量%或甚至至少约95重量%丁烷与丁烯的组合。

[0049] 在进入复分解/裂解反应器120之前，混合物料流可由一个或多个系统组件处理。在这类实施例中，传输线301可包含可由系统组件分隔的若干区段(描绘为301A、301B、301C以及301D)，如杂质去除器件110、热转移器件112以及热转移器件114。

[0050] 在反应器120中的复分解和裂解反应之后，传输线区段303A的裂解反应产物可包含烷烃与烯烃的混合物、由烷烃与烯烃的混合物组成或主要由烷烃与烯烃的混合物组成，包括(但不限于)乙烯、丙烯、丁烯、戊烯、己烯、庚烯、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。举例来说，图2的实施例中的裂解反应产物可包含至少约2重量%、4重量%、6重量%、8重量%、10重量%、12重量%、14重量%、16重量%、18重量%或甚至至少约20重量%丙烯。

[0051] 如参考图1的实施例所描述，图2的实施例中的裂解反应产物，在复分解/裂解反应器120中形成，可分成一个或多个具有所需组成的物料流。通常，包含丙烯的(传输线307的)产物物料流可通过从传输线303A的裂解反应产物物料流分离丙烯来形成。传输线307的产物物料流可包含至少约50重量%、60重量%、70重量%、80重量%、90重量%、95重量%、96重量%、97重量%、98重量%或甚至至少约99重量%丙烯。应理解，可利用广泛多种分离过程产生包含丙烯的产物物料流。

[0052] 在一个实施例中，如图2所示，可经由传输线303将裂解反应产物引入一个或多个分离单元，所述传输线可包含区段303A和区段303B，其中各区段由热转移器件112分隔。与先前描述的图1的实施例类似，裂解反应产物可进入分离单元130，其中可至少部分移出乙烯和其它轻质成分。在通过分离器件130分离乙烯之后，可在分离单元140中从分离单元130的重质部分分离丙烯。来自分离单元140的重质部分可经由传输线308离开分离单元140。管线308的物料流可包含烷烃与烯烃的混合物，包括(但不限于)丁烯、戊烯、己烯、庚烯、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。

[0053] 传输线308的过程物料流可注射到分离单元150中，其中一个或多个部分可彼此分离。在一个实施例中，重质部分可以传输线314中所含的物料流形式离开分离单元150。传输线314的物料流可包含戊烯、戊烷、己烯、庚烯、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。分离单元150的轻质部分，其主要包含丁烯和丁烷，可以传输线312中所含的再循环物料流形式离开分离单元150。可经由传输线316从系统200清除传输线312中所含的再循环物料流的一部分。其余部分可通过组合传输线312的物料流与传输线310的系统入口物料流来再循环到系统200中。

[0054] 在另一实施例中，如参考图3所描述，丁烯转化系统300可包含多个串联反应器，其中在单独的反应器中进行复分解和裂解反应。图3的实施例与图1的实施例类似，但包含单独的串联复分解和催化剂反应器。在一些实施例中，可能有利的是利用串联反应器，如当在不同反应条件(如不同温度或/或压力)下进行复分解反应和裂解反应。图3的其它系统组件

(非反应器)通常可与参考图1描述的组件类似或相同。与图1的实施例相比,图3的实施例可产生类似或相同的丁烯转化率、丙烯选择性以及丙烯产率。此外,图3的实施例中的过程物料流的组成可与图1的类似或相同。

[0055] 现参考图3的过程流程图,在一个实施例中,丁烯转化系统300可包括复分解反应器121,其包含复分解催化剂部分122,和裂解反应器123,其包含裂解催化剂部分124。通常,包含丁烯的系统入口物料流经由传输线401进入丁烯转化系统300,并且注射到复分解反应器121中。系统入口物料流通常至少包含丁烯,并且可以任选地包含其它化学物质,如丁烷。举例来说,传输线401的系统入口物料流可包含至少约20重量%、30重量%、40重量%、50重量%、55重量%、60重量%、65重量%或甚至至少约70重量%丁烯。系统入口物料流可包含至少约15重量%、20重量%、25重量%、30重量%或甚至至少约35重量%丁烷。

[0056] 仍参考图3,复分解反应器121包含复分解催化剂部分122,如复分解催化剂床,并且裂解反应器123包含裂解催化剂部分124,如裂解催化剂床。复分解反应器121和裂解反应器123串联排列,其中复分解反应器121通常安置在裂解反应器123的上游,也就是说,裂解反应器123通常安置在复分解反应器121的下游。来自区段401D的系统入口物料流进入复分解反应器121并且在复分解催化剂部分122中经历复分解反应,以形成复分解反应产物。复分解反应产物可以复分解反应产物物料流形式经由传输线410离开复分解反应器。复分解反应产物物料流进入裂解反应器123并且在裂解催化剂部分124中的裂解反应中裂解。裂解反应形成裂解反应产物。裂解反应产物以裂解反应产物物料流形式经由传输线403离开裂解反应器123。裂解反应产物可包含烷烃与烯烃的混合物、由烷烃与烯烃的混合物组成或主要由烷烃与烯烃的混合物组成,包括(但不限于)乙烯、丙烯、丁烯、戊烯、己烯、庚烯、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。裂解反应产物可包含至少约2重量%、4重量%、6重量%、8重量%、10重量%、12重量%、14重量%、16重量%、18重量%、20重量%、22重量%、24重量%、26重量%、28重量%或甚至至少约30重量%丙烯。

[0057] 与图1的实施例类似,在图3的实施例中,裂解反应产物可分成一个或多个具有所需组成的物料流。通常,包含丙烯(传输线407中)的产物物料流可通过分离丙烯与裂解反应产物物料流的其它组分来形成。传输线407的产物物料流可包含至少约50重量%、60重量%、70重量%、80重量%、90重量%、95重量%、96重量%、97重量%、98重量%或甚至至少约99重量%丙烯。应理解,可利用广泛多种分离过程产生包含丙烯的产物物料流。如图3所示,可利用多个分离单元。

[0058] 现参考图4,图4的实施例与图3的类似,但包含传输线512中的再循环物料流。通常,图3的(传输线512中的)再循环物料流可包含丁烷和丁烯,并且可与位于复分解反应器121与裂解反应器123之间的传输线510中的复分解反应产物物料流混合。

[0059] 仍参考图4的过程流程图,在一个实施例中,丁烯转化系统400可包括复分解反应器121,其包含复分解催化剂部分122和裂解反应器123,其包含裂解催化剂部分124。通常,包含丁烯的系统入口物料流经由传输线501进入丁烯转化系统400,并且注射到复分解反应器121中。系统入口物料流通常至少包含丁烯,并且可以任选地包含其它化学物质,如丁烷。举例来说,系统入口物料流可包含至少约20重量%、30重量%、40重量%、50重量%、55重量%、60重量%、65重量%或甚至70重量%丁烯。系统入口物料流可包含至少约15重量%、20重量%、25重量%、30重量%或甚至35重量%丁烷。

[0060] 来自区段501D的系统入口物料流进入复分解反应器121并且在复分解催化剂部分122中经历复分解反应,以形成复分解反应产物。复分解反应产物可以复分解反应产物物料流形式经由传输线510离开复分解反应器121。传输线510中所含的复分解反应产物物料流与传输线512的再循环物料流组合,以形成传输线520中的混合物料流。在实施例中,传输线512的再循环物料流可包含丁烯和丁烷。举例来说,传输线512的再循环物料流可包含至少约5重量%、10重量%、15重量%、20重量%、25重量%、30重量%或甚至至少约35重量%丁烯,并且可包含至少约40重量%、50重量%、60重量%、70重量%或甚至至少约80重量%丁烷。传输线512的再循环物料流可包含至少约80重量%、90重量%或甚至至少约95重量%丁烷与丁烯的组合。

[0061] 传输线520的混合物料流进入裂解反应器123并且在裂解催化剂部分124中的裂解反应中裂解。裂解反应形成裂解反应产物。裂解反应产物以裂解反应产物物料流形式经由传输线503离开裂解反应器123。裂解反应产物可包含烷烃与烯烃的混合物、由烷烃与烯烃的混合物组成或主要由烷烃与烯烃的混合物组成,包括(但不限于)乙烯、丙烯、丁烯、戊烯、己烯、庚烯、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。裂解反应产物可包含至少约1重量%、2重量%、3重量%、4重量%、5重量%、6重量%、7重量%、8重量%、10重量%、15重量%或甚至至少约20重量%丙烯。

[0062] 如参考图3的实施例所描述,裂解反应器123中形成的裂解反应产物(传输线503A中)可分成一个或多个具有所需组成的物料流。通常,包含丙烯(传输线507中)的产物物料流可通过分离丙烯与裂解反应产物物料流的其它组分来形成。传输线507的产物物料流可包含至少约50重量%、60重量%、70重量%、80重量%、90重量%、95重量%、96重量%、97重量%、98重量%或甚至至少约99重量%丙烯。应理解,可利用广泛多种分离过程产生包含丙烯的产物物料流。

[0063] 在一个实施例中,如图4所示,可经由传输线503将裂解反应产物引入一个或多个分离单元,所述传输线可包含区段503A和区段503B,其中各区段由热转移器件112分隔。与图1和3的实施例类似,裂解反应产物可进入分离单元130,其中可移出乙烯和其它轻质成分。在通过分离器件130分离乙烯之后,可在分离单元140中从分离单元130的重质部分分离丙烯。来自分离单元140的重质部分可经由传输线508离开分离单元140。管线508的物料流可包含烷烃与烯烃的混合物,包括(但不限于)丁烯、戊烯、己烯、庚烯、丙烷、丁烷、戊烷、己烷以及庚烷中的一种或多种。

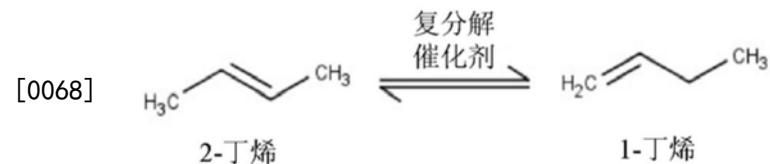
[0064] 传输线508的过程物料流可注射到分离单元150中,其中一个或多个部分可彼此分离。在一个实施例中,底部部分可以传输线514中所含的物料流形式离开分离单元150。传输线514的过程物料流可包含戊烯、戊烷、己烯、己烷、庚烯以及庚烷中的一种或多种。轻质部分可以传输线516中所含的物料流形式离开分离单元150,并且从系统400清除。传输线516的物料流可包含丁烯和丁烷中的一种或多种,举例来说,至少约20重量%、30重量%、40重量%、或甚至至少约50重量%丁烷。传输线512中所含的再循环物料流可通过组合传输线512的物料流与传输线510的复分解产物物料流而再循环到系统400中。在一个实施例中,512的再循环物料流可以是传输线516的顶部部分物料流的一部分。

[0065] 通常,含有丁烷和丁烯的物料流,适用作本公开中所描述的实施例中的入口物料流,可由精炼操作产生。这种含有丁烷和丁烯的物料流可分成多个部分,以形成第一萃余

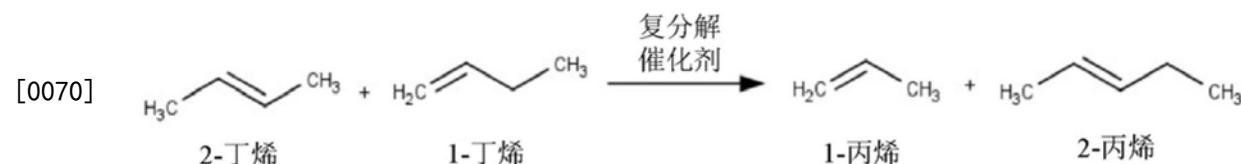
物、第二萃余物以及第三萃余物。在一个实施例中，系统入口物料流可以是来自链烯烃精炼系统(如常规炼油厂)的萃余物物料流。由精炼操作产生的物料流通常可包含C4烷烃和烯烃，包括丁烷、丁烯以及丁二烯。“第一萃余物”可通过分离1,3-丁二烯与物料流中的其它C4成分来产生。第一萃余物可包含约40重量%到约50重量%、约35重量%到约55重量%或约30重量%到约60重量%异丁烯和总共约30重量%到约35重量%、约25重量%到约40重量%或约20重量%到约45重量%顺-2-丁烯和反-2-丁烯，或主要由上述物质组成。“第二萃余物”可通过分离异丁烯与第一萃余物的其它C4成分产生。举例来说，第二萃余物可包含总共约50重量%到约60重量%、约45重量%到约65重量%或约40重量%到约70重量%顺-2-丁烯和反-2-丁烯；约10重量%到约15重量%、约5重量%到约20重量%或约0重量%到约25重量%1-丁烯；以及约15重量%到约25重量%、约10重量%到约30重量%或约5重量%到约35重量%丁烷。本文中所描述的系统的入口物料流可基本上不含异丁烯，并且可主要由2-丁烯和正丁烷组成。

[0066] 参考本文中所描述的催化反应的实施例，如以下式1和2中所示，“复分解”或“自体复分解”通常可以是两步骤过程：2-丁烯异构化并且接着使用复分解催化剂系统进行交叉复分解。如下式3中所示，在实施例中，“催化裂解”可指C₄-C₆烯烃转化成丙烯和其它烷烃和/或烯烃，例如C₁-C₂烯烃。

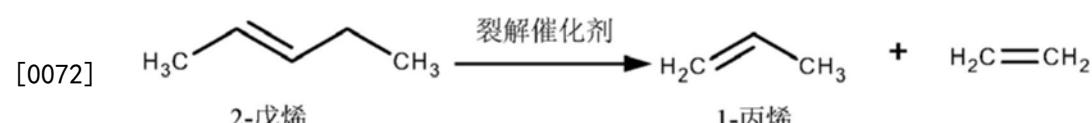
[0067] 式1:2-丁烯异构化



[0069] 式2:交叉复分解



[0071] 式3:催化裂解



[0073] 参考式1-3，“复分解”和“催化裂解”反应不限于这些反应物和产物；然而，式1-3提供根据一些实施例的反应方法的基本说明。如式1和2中所示，复分解反应在两种烯烃之间进行。键结到双键中的碳原子的基团在各分子之间互换，以产生具有交换的基团的两种新烯烃。选择用于链烯烃复分解反应的特定催化剂通常可决定形成顺式异构体或反式异构体，因为链烯烃分子与催化剂的配位起重要作用，如新形成的分子的双键上的取代基的空间影响。

[0074] 在一个实施例中，本发明的双重催化剂系统包含：中孔二氧化硅催化剂，其是浸渍有金属氧化物的中孔二氧化硅催化剂负载物；和位于中孔二氧化硅催化剂下游的丝光沸石构架反向(MFI)结构化二氧化硅催化剂。预期多种结构用于中孔二氧化硅催化剂负载物，例

如分子筛。如本申请案中所使用，“中孔”意指二氧化硅支撑物具有窄孔径分布。具体地说，中孔二氧化硅催化剂包括约2.5nm(纳米)到约40nm的窄孔径分布和至少约0.600cm³/g的总孔隙体积。不希望受理论约束，设定本发明的孔径分布和孔隙体积的大小以获得更好的催化活性并且减少金属氧化物对孔的堵塞，而较小孔隙体积和孔径催化剂系统对孔堵塞敏感并且由此降低催化活性。

[0075] 此外，利用中孔二氧化硅催化剂下游的MFI结构化二氧化硅催化剂，意外地由丁烯物料流提供丙烯的最佳产量。所属领域的一般技术人员预期通过首先使丁烯裂解成丙烯，并且接着经由复分解裂解任何剩余丁烯来获得最佳产量。然而，意外发现丙烯产率增加，并且此外，通过在中孔二氧化硅催化剂的下游置放MFI结构化二氧化硅催化剂使丙烯和乙烯的组合产量增加。

[0076] 在一个或多个实施例中，中孔二氧化硅催化剂的孔径分布可在约2.5nm到约40nm，或约2.5nm到约20nm，或约2.5nm到约4.5nm，或约2.5nm到约3.5nm，或约8nm到约18nm，或约12nm到约18nm范围内。在其它实施例中，总孔隙体积可以是约0.600cm³/g到约2.5cm³/g，或约0.600cm³/g到约1.5cm³/g，或约0.600cm³/g到约1.3cm³/g，或约0.600cm³/g到约0.800cm³/g，或约0.600cm³/g到约0.700cm³/g，或约0.900cm³/g到约1.3cm³/g。

[0077] 此外，尽管涵盖更广泛的范围，但在一个或多个实施例中，中孔二氧化硅催化剂可包括约250平方米/克(m²/g)到约600m²/g的表面积。在其它实施例中，中孔二氧化硅催化剂可具有约450m²/g到约600m²/g，或约250m²/g到约350m²/g，或约275m²/g到约325m²/g，或约275m²/g到约300m²/g的表面积。此外，中孔二氧化硅催化剂可具有最多约0.5毫摩尔/克(mmol/g)，或约0.01mmol/g到约0.5mmol/g，或约0.1mmol/g到约0.5mmol/g，或约0.3mmol/g到约0.5mmol/g，或约0.4mmol/g到约0.5mmol/g的总酸性。酸性通常保持在或小于约0.5mmol/g，以产生所需丙烯选择性和降低不合需要的副产物(如芳香族化合物)的产量。提高酸性可增加整体丁烯转化率；然而，这种增加的转化率可引起较低选择性和增加的芳香族副产物产量，其可引起催化剂焦化和失活。

[0078] 此外，中孔二氧化硅催化剂可具有约20nm到约200nm，或约50nm到约150nm，或约75nm到约125nm的粒度。在其它实施例中，中孔二氧化硅催化剂可具有约1μm到约100μm，或约10μm到约40μm的个别晶体尺寸。

[0079] 涵盖各种用于中孔二氧化硅负载物的配制物以及制造调配物的方法。举例来说，中孔二氧化硅催化剂负载物可由湿式浸渍、水热合成或这两种方法产生。此外，中孔二氧化硅催化剂负载物的特征可在于有序孔结构。举例来说，这种有序结构可具有六角孔阵列。具有六角孔阵列的中孔二氧化硅负载物的一个适合的实施例可以是Santa Barbara Amorphous (SBA-15) 中孔二氧化硅分子筛。或者，中孔二氧化硅负载物的另一个适合的实施例是由Fuji Silyisia Chemical Ltd.生产的CARiACT Q-10 (Q-10) 球形催化剂负载物。

[0080] 复分解反应的催化剂是二氧化硅负载物的被浸渍的金属氧化物。金属氧化物可包含来自IUPAC周期表中第6-10族的金属中的一种或其氧化物。在一个或多个实施例中，金属氧化物可以是钼、铼、钨的氧化物或其组合。在一个特定实施例中，金属氧化物是氧化钨(WO₃)。预期可将各种量的金属氧化物浸渍到中孔二氧化硅催化剂负载物中。举例来说且不作为限制，二氧化硅与金属氧化物(例如WO₃)的摩尔比是约5到约60，或约5到约15，或约20到约50，或约20到约40，或约25到约35。

[0081] 在一个或多个实施例中,复分解催化剂可包含浸渍有金属氧化物的非晶形中孔二氧化硅泡沫材料。如本申请案中所使用,“非晶形中孔二氧化硅泡沫材料”意指具有无序结构和窄孔径分布的二氧化硅负载物。这种无序结构可以是无规的,并且因此与常规二氧化硅负载物的所公开的六角或立方结构不同。具体地说,非晶形中孔二氧化硅泡沫材料具有至少3nm到约40nm的窄孔径分布和至少0.700cm³/g的总孔隙体积。不希望受理论约束,设定本发明的孔径分布和孔隙体积的大小以获得更好的催化活性并且减少金属氧化物对孔的堵塞,而较小孔隙体积和孔径复分解催化剂对孔堵塞敏感并且由此降低催化活性。减少堵塞可引起非晶形中孔二氧化硅泡沫材料上更高金属氧化物物质(如W₀₃)分散度。更高的W₀₃分散度可引起更高的复分解活性,并且因此产生更高的丙烯产率。

[0082] 在一个或多个实施例中,浸渍有金属氧化物的非晶形中孔二氧化硅泡沫材料的孔径分布可在至少3nm到约40nm,或约3nm到约20nm,或约4nm到约10nm,或约4nm到约8nm,或约4nm到约6nm范围内。在其它实施例中,总孔隙体积可以是至少0.700cm³/g到约2.5cm³/g,或约0.800cm³/g到约2.5cm³/g,或约0.800cm³/g到约1.5cm³/g,或约0.800cm³/g到约1.25cm³/g,或约0.800cm³/g到约1.0cm³/g,或约0.850cm³/g到约1.0cm³/g。

[0083] 此外,浸渍有金属氧化物的非晶形中孔二氧化硅泡沫材料可具有约0.125毫摩尔/克(mmol/g)到约0.500mmol/g的总酸性。不希望受理论约束,如果材料超出0.500mmol/g,那么可引起其它不利的副反应,如裂解和氢转移反应。在其它实施例中,浸渍有金属氧化物的非晶形中孔二氧化硅泡沫材料可具有约0.125mmol/g到约0.250mmol/g,或约0.125mmol/g到约0.150mmol/g的总酸性。尽管涵盖各种表面积,但在一个或多个实施例中,复分解催化剂可具有至少约400米²/克(m²/g),或约400m²/g到约800m²/g,或约400m²/g到约500m²/g,或约400m²/g到约450m²/g,或约425m²/g到约450m²/g的表面积。

[0084] 复分解反应的催化剂可以是二氧化硅泡沫材料的被浸渍的金属氧化物。金属氧化物可包含来自周期表IUPAC第6-10族的金属中的一种或其氧化物。在一个或多个实施例中,金属氧化物可以是钼、铼、钨的氧化物或其组合。在一个特定实施例中,金属氧化物是氧化钨(W₀₃)。预期可将各种量的金属氧化物浸渍到非晶形中孔二氧化硅泡沫材料中。举例来说且不作为限制,二氧化硅与金属氧化物(例如W₀₃)的摩尔比是约1到约50,或约1到约40,或约5到约30,或约5到约15。此外,复分解催化剂可包括约1到约50重量%,或约2到约25重量%,或约5到约15重量%金属氧化物,例如W₀₃。

[0085] 此外,被浸渍的中孔二氧化硅泡沫材料催化剂中可包括其它任选组分。举例来说,复分解催化剂可包括结构化剂。在一个实施例中,结构化剂是三嵌段共聚物结构化剂。在一实施例中,三嵌段共聚物结构化剂是聚(乙二醇)-嵌段-聚(丙二醇)-嵌段-聚(乙二醇)结构,其也可称为泊洛沙姆(poloxamer)结构。表面活性剂三嵌段共聚物结构化剂的一个适合的市售实施例是BASF Corporation的Pluronic®P123。

[0086] 此外,涵盖各种二氧化硅结构用于MFI结构化二氧化硅催化剂。举例来说,MFI结构化二氧化硅催化剂可包括MFI结构化铝硅酸盐沸石催化剂或不含氧化铝的MFI结构化二氧化硅催化剂。如本文中所使用,“不含”意指MFI结构化二氧化硅催化剂中存在小于0.001重量%氧化铝。此外,预期除氧化铝以外或作为氧化铝的替代物,MFI结构化二氧化硅催化剂可包括其它被浸渍的金属氧化物。与中孔二氧化硅催化剂类似,MFI结构化催化剂可具有浸渍在二氧化硅负载物中的氧化铝、金属氧化物或这两种物质。除氧化铝以外或作为氧化铝

的替代物，预期包括先前列举的金属氧化物，具体地说，来自IUPAC周期表的第6-10族的金属的一种或多种氧化物，更具体地说钼、铼、钨、钛的金属氧化物或其组合。

[0087] 对于MFI结构化铝硅酸盐沸石催化剂，涵盖各种量的氧化铝。在一个或多个实施例中，MFI结构化铝硅酸盐沸石催化剂中二氧化硅与氧化铝的摩尔比可以是约5到约5000，或约100到约4000，或约200到约3000，或约1500到约2500，或约1000到约2000。涵盖MFI结构化铝硅酸盐沸石催化剂的各种适合的市售实施例，例如ZSM-5沸石，如由Zeolyst International生产的MFI-280或由Saudi Aramco生产的MFI-2000。

[0088] 也涵盖不含氧化铝的MFI结构化催化剂的各种适合的市售实施例。一种这类实例是由Saudi Aramco生产的Silicalite-1。

[0089] MFI结构化二氧化硅催化剂可包括约1.5nm到3nm，或约1.5nm到2.5nm的孔径分布。此外，MFI结构化二氧化硅催化剂可具有约 $300\text{m}^2/\text{g}$ 到约 $425\text{m}^2/\text{g}$ ，或约 $340\text{m}^2/\text{g}$ 到约 $410\text{m}^2/\text{g}$ 的表面积。此外，MFI结构化二氧化硅催化剂可具有约 0.001mmol/g 到约 0.1mmol/g ，或约 0.01mmol/g 到约 0.08mmol/g 的总酸性。酸性保持在或小于约 0.1mmol/g ，以减少不合需要的副产物（如芳香族化合物）的产生。增加酸性可增加裂解量；然而，这种增加的裂解也可以引起较低选择性和芳香族副产物的产量增加，其可引起催化剂焦化和失活。

[0090] 在一些情况下，MFI结构化二氧化硅催化剂可用酸性调节剂改性以调节MFI结构化二氧化硅催化剂中的酸性程度。举例来说，这些酸性调节剂可包括稀土调节剂、磷调节剂、钾调节剂或其组合。然而，由于本发明的实施例集中于使酸性降低到 0.1mmol/g 或更低的程度，本发明的结构化二氧化硅催化剂可不含酸性调节剂，如选自稀土调节剂、磷调节剂、钾调节剂或其组合的调节剂。如本文中所使用，“不含酸性调节剂”意指MFI结构化二氧化硅催化剂中存在小于小于0.001重量%的酸性调节剂。

[0091] 此外，MFI结构化二氧化硅催化剂可具有约 $0.1\text{cm}^3/\text{g}$ 到约 $0.3\text{cm}^3/\text{g}$ ，或约 $0.15\text{cm}^3/\text{g}$ 到约 $0.25\text{cm}^3/\text{g}$ 的孔隙体积。此外，MFI结构化二氧化硅催化剂可具有在约10nm到约40μm，或约15μm到约40μm，或约20μm到约30μm范围内的个别晶体尺寸。在另一实施例中，MFI结构化二氧化硅催化剂可具有在约1μm到约5μm范围内的个别晶体尺寸。

[0092] 此外，涵盖各种量的每种催化剂用于本发明的双重催化剂系统。举例来说，预期复分解催化剂与裂解催化剂的体积比可在约5:1到约1:5，或约2:1到约1:2范围内，或是约1:1。

[0093] 在操作中，通过使丁烯物料流与双重催化剂系统接触，经由复分解转化由含有丁烯的物料流产生包含丙烯的产物物料流。丁烯物料流可包含2-丁烯，且任选地包含一种或多种异构体，如1-丁烯、反-2-丁烯以及顺-2-丁烯。本发明的讨论集中于基于丁烯的进料流；然而，众所周知，进料流中也可以存在其它C₁-C₆组分。

[0094] 中孔二氧化硅催化剂可以是复分解催化剂，其有助于2-丁烯异构化成1-丁烯，接着使2-丁烯和1-丁烯交叉复分解成包含丙烯和其它烯烃/烷烃（如戊烯）的复分解产物物料流。MFI结构化二氧化硅催化剂（其位于复分解催化剂的下游）是裂解催化剂，其由复分解产物物料流中的C₄或C₅烯烃产生丙烯，并且也可以产生乙烯。

[0095] 尽管已经描述特定催化剂组合物，但应理解，本申请案的方法和系统的实施例可以合并有任何可用于复分解或裂解所描述的反应物组合物的催化剂。

[0096] 实例

[0097] 将通过以下实例进一步说明用于通过流体化催化裂解来使轻质燃料部分和重质燃料部分裂解的方法和系统的各种实施例。实例本质上是说明性的，且不应理解为限制本公开的主题。

[0098] 实例1

[0099] 图1的系统是使用Aspen Plus®(可从AspenTech购得)计算机模型化。后续表格(表1-4)描绘所选择的物料流的物料流组成以及热学特性。提供用于模拟的反应速率代表复分解催化剂W-SBA-15和裂解催化剂MFI-2000的实验反应速率，如同在申请中的名称为“用于丙烯制造的双重催化剂系统(Dual Catalyst System for Propylene Production)”的Saudi Aramco美国临时专利申请案第62/188,178号(代理案号SA 6019MA)的实例1、3以及6中所描述。模型中使用具有35重量%顺-2-丁烯、35重量%反-2-丁烯以及30重量%正丁烷的系统入口物料流。表格中的物料流编号对应于图1中显示的物料流或物料流区段。针对100%功效和80%功效进行模拟。对于每次模拟，基于重量和基于摩尔数提供模拟数据。具体地说，表1描绘在100%功效下图1的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。表2描绘在100%功效下图1的系统的模拟数据并且基于摩尔数显示组分。表3描绘在80%功效下图1的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。表4描绘在80%功效下图1的系统的模拟数据并且基于摩尔数显示组分。此外，图6描绘柱状图，其呈现如表1中所示的图1的系统的产物分布，其中在柱状图上，“丙烯”对应于传输线207的物料流，“乙烯”对应于传输线205的物料流，“轻质清除物”对应于传输线204的物料流，并且“C4/C5+重质化合物”对应于传输线208的物料流。图7描绘呈现在复分解和裂解反应后的丁烯转化产物的柱状图。图6的产物分布和图7的丁烯转化产物是基于表1的艾斯本(Aspen)模拟。

[0100] 表1-在100%功效下的图1，重量%

物料流编号	201A	201D	203A	203B	204	205	206	207	208
摩尔流量, kmol/hr	100	100	120.2	120.2	19.7	2.2	98.3	41.3	57
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	555	62	5053	1738	3315
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	8119	9.4	1.3	0.1	10.8	3.6	7.1
焓, MW	0.6	0.6	1.1	-1	0.2	0	-0.9	0.1	-0.9

[0102]

MW, g/mol	56.7	56.7	47.2	47.2	28.1	28.1	51.4	42.1	58.1
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.7	606.3	438	438	468.4	477.4	465.7
组分, 重量%									
乙烯	0.0	0.0	10.8	10.8	99.1	99.1	0.1	0.2	0.0
丙烯	0.0	0.0	30.9	30.9	0.9	0.9	34.6	99.5	0.5
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	4.4	4.4	0.0	0.0	5.0	0.1	7.5
异丁烯	0.0	0.0	9.3	9.3	0.0	0.0	10.4	0.2	15.8
顺-2-丁烯	35.0	35.0	4.4	4.4	0.0	0.0	4.9	0.0	7.5
反-2-丁烯	35.0	35.0	5.3	5.3	0.0	0.0	6.0	0.0	9.1
正丁烷	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0	0.0	33.7	0.0	51.3
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.1
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	1.7	0.0	2.6
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.9	0.0	1.4
戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	1.1	1.1	0.0	0.0	1.3	0.0	1.9
总重量%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0103]

表2-在100%功效下的图1,摩尔%

物料流编号	201A	201D	203A	203B	204	205	206	207	208
摩尔流量, kmol/hr	100	100	120.2	120.2	19.7	2.2	98.3	41.3	57
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	555	62	5053	1738	3315
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	8119	9.4	1.3	0.1	10.8	3.6	7.1
焓, MW	0.6	0.6	1.1	-1	0.2	0	-0.9	0.1	-0.9
MW, g/mol	56.7	56.7	47.2	47.2	28.1	28.1	51.4	42.1	58.1
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.7	606.3	438	438	468.4	477.4	465.7
组分, 摩尔%									
乙烯	0.0	0.0	18.2	18.2	99.4	99.4	0.1	0.3	0.0
丙烯	0.0	0.0	34.6	34.6	0.6	0.6	42.2	99.5	0.7
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.7	3.7	0.0	0.0	4.6	0.1	7.8
异丁烯	0.0	0.0	7.8	7.8	0.0	0.0	9.5	0.2	16.3
顺-2-丁烯	35.4	35.4	3.7	3.7	0.0	0.0	4.5	0.0	7.8
反-2-丁烯	35.4	35.4	4.5	4.5	0.0	0.0	5.5	0.0	9.4
正丁烷	29.3	29.3	24.3	24.3	0.0	0.0	29.8	0.0	51.3
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.9
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.2	0.0	2.1

[0105]

3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.2
戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0106] 表3-在80%功效下的图1,重量%

物料流编号	201A	201D	203A	203B	204	205	206	207	208
摩尔流量, kmol/hr	100	100	116.2	116.2	15.8	1.8	98.6	33	65.6
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	444	49	5176	1390	3786
体积流量, m ³ /hr	6749.8	6749.8	7845	9.2	1	0.1	11.1	2.9	8.1
焓, MW	0.6	0.6	1	-1.1	0.1	0	-0.9	0	-1
MW, g/mol	56.7	56.7	48.8	48.8	28.1	28.1	52.5	42.1	57.7
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.72	616.1	438	438.1	467.4	477.4	467.7
组分, 重量%									
乙烯	0.0	0.0	8.7	8.7	99.1	99.1	0.0	0.2	0.0
丙烯	0.0	0.0	24.7	24.7	0.9	0.9	27.0	99.5	0.4
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.5	3.5	0.0	0.0	3.9	0.1	5.3
异丁烯	0.0	0.0	7.4	7.4	0.0	0.0	8.1	0.2	11.0
顺-2-丁烯	35.0	35.0	10.5	10.5	0.0	0.0	11.5	0.0	15.8
反-2-丁烯	35.0	35.0	11.3	11.3	0.0	0.0	12.3	0.0	16.9
正丁烷	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0	0.0	32.9	0.0	44.9
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.7
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0	1.3	0.0	1.8
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0
戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.3
总重量%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0108] 表4-在80%功效下的图1,摩尔%

物料流编号	201A	201D	203A	203B	204	205	206	207	208
摩尔流量, kmol/hr	100	100	116.2	116.2	15.8	1.8	98.6	33	65.6
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	444	49	5176	1390	3786
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	7845	9.2	1	0.1	11.1	2.9	8.1
焓, MW	0.6	0.6	1	-1.1	0.1	0	-0.9	0	-1
MW, g/mol	56.7	56.7	48.8	48.8	28.1	28.1	52.5	42.1	57.7

[0109]

[0110]	密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.72	616.1	438	438.1	467.4	477.4	467.7
	组分, 摩尔%									
	乙烯	0.0	0.0	15.1	15.1	99.4	99.4	0.1	0.3	0.0
	丙烯	0.0	0.0	28.7	28.7	0.6	0.6	33.7	99.5	0.5
	丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1-丁烯	0.0	0.0	3.1	3.1	0.0	0.0	3.6	0.1	5.4
	异丁烯	0.0	0.0	6.5	6.5	0.0	0.0	7.6	0.2	11.4
	顺-2-丁烯	35.4	35.4	9.2	9.2	0.0	0.0	10.8	0.0	16.2
	反-2-丁烯	35.4	35.4	9.8	9.8	0.0	0.0	11.5	0.0	17.3
	正丁烷	29.3	29.3	25.2	25.2	0.0	0.0	29.7	0.0	44.6
	1-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2
	顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
	反-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6
	2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5
	3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
	2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.8
	戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	1.0
	总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0111] 实例2

[0112] 图2的系统也使用 Aspen Plus® 计算机模型化。后续表格 (表5-8) 描绘所选择的物料流的物料流组成以及热学特性。模型中使用的系统入口物料流组成和催化剂反应速率与实例2的相同。物料流编号对应于图2中显示的物料流或物料流区段。针对100% 功效和80% 功效进行模拟。此外,对于每次模拟,基于重量和基于摩尔数提供数据。表5描绘在100% 功效下图2的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。表6描绘在100% 功效下图2的系统的模拟数据并且基于摩尔数显示组分。表7描绘在80% 功效下图2的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。表8描绘在80% 功效下图2的系统的模拟数据并且基于摩尔数显示组分。此外,图8描绘柱状图,其呈现如表5中所示的图2的系统的产物分布,其中在柱状图上,“丙烯”对应于传输线307的物料流,“乙烯”对应于传输线305的物料流,“轻质清除物”对应于传输线304的物料流,“C4清除物”对应于传输线316的物料流,并且“C5+重质化合物”对应于传输线314的物料流。图8的产物分布是基于表5的Aspen模拟。

[0113] 表5-在100% 功效下的图2,重量%

物料流编号	310	301D	303A	303B	304	305	306	307	308	312	316	314
摩尔流量, kmol/hr	100	270	298	298	27.9	3.1	267	58	209	170	19	20
质量流量, kg/hr	5670	15469	15469	15469	785	87	14597	2452	12144	9799	1089	1256
体积流量, m ³ /hr	6750	10416	14771	25	1.8	0.2	32.2	5.1	26.6	20	2.2	2.5
焓, MW	0.6	-3.5	-1.7	-5.5	0.2	0	-4.8	0.1	-4.9	-4.1	-0.5	-0.4
MW, g/mol	56.7	57.4	51.9	51.9	28.1	28.2	54.6	42.1	58.1	57.7	57.7	61.7
密度, kg/m ³	0.84	1.49	1.05	618.8	438.1	438.1	453.5	477.4	456.5	490.6	490.6	496.3
组分, 摩尔%												
乙烯	0.0	0.0	5.6	5.6	99.0	99.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.1	16.0	16.0	1.0	1.0	16.9	99.5	0.2	0.2	0.2	0.0
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	2.0	2.3	2.3	0.0	0.0	2.4	0.1	2.9	3.2	3.2	0.2
异丁烯	0.0	4.3	4.8	4.8	0.0	0.0	5.1	0.2	6.1	6.7	6.7	0.3
顺-2-丁烯	35.0	14.6	2.3	2.3	0.0	0.0	2.4	0.0	2.9	2.7	2.7	4.3
反-2-丁烯	35.0	15.1	2.8	2.8	0.0	0.0	2.9	0.0	3.5	3.6	3.6	2.6
正丁烷	30.0	63.8	63.8	63.8	0.0	0.0	67.6	0.1	81.2	83.3	83.3	63.0
1-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	1.4
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	2.0
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	3.9
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	9.5
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.9
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	4.9
戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.7	0.0	0.0	7.1
总重量%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0115] 表6-在100%功效下的图2,摩尔%

物料流编号	310	301D	303A	303B	304	305	306	307	308	312	316	314
摩尔流量, kmol/hr	100	270	298	298	27.9	3.1	267	58	209	170	19	20
质量流量, kg/hr	5670	15469	15469	15469	785	87	14597	2452	12144	9799	1089	1256
体积流量, m ³ /hr	6750	10416	14771	25	1.8	0.2	32.2	5.1	26.6	20	2.2	2.5
焓, MW	0.6	-3.5	-1.7	-5.5	0.2	0	-4.8	0.1	-4.9	-4.1	-0.5	-0.4
MW, g/mol	56.7	57.4	51.9	51.9	28.1	28.2	54.6	42.1	58.1	57.7	57.7	61.7
密度, kg/m ³	0.84	1.49	1.05	618.8	438.1	438.1	453.5	477.4	456.5	490.6	490.6	496.3
组分, 摩尔%												
乙烯	0.0	0.0	10.4	10.4	99.3	99.3	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.2	19.7	19.7	0.7	0.7	21.9	99.5	0.3	0.3	0.3	0.0
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	2.4	0.0	3.0	3.3	3.3	0.2
异丁烯	0.0	4.4	4.4	4.4	0.0	0.0	5.0	0.1	6.3	6.9	6.9	0.4
顺-2-丁烯	35.4	14.9	2.1	2.1	0.0	0.0	2.4	0.0	3.0	2.8	2.8	4.8
反-2-丁烯	35.4	15.5	2.6	2.6	0.0	0.0	2.8	0.0	3.6	3.7	3.7	2.8
正丁烷	29.3	62.9	56.9	56.9	0.0	0.0	63.5	0.1	81.2	82.8	82.8	66.9
1-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.2
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	1.7
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	3.4
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	0.0	8.4
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.8
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5	0.0	0.0	4.3
戊烯、戊烷、 己烯、己烷以 及更重的物质 的总和	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	5.0
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0116] [0117] 表7-在80%功效下的图2,重量%

物料流编号	310	301D	303A	303B	304	305	306	307	308	312	316	314
摩尔流量, kmol/hr	100	318	345	345	26.5	2.9	316	55	260	218	24	18
质量流量, kg/hr	5670	18231	18231	18231	746	83	17403	2334	15069	12562	1396	1112
体积流量, m ³ /hr	6750	11290	15751	29.2	1.7	0.2	38.5	4.9	32.9	25.5	2.8	2.2
焓, MW	0.6	-4.4	-2.7	-6.6	0.2	0	-5.6	0.1	-5.7	-5	-0.6	-0.4
MW, g/mol	56.7	57.4	52.9	52.9	28.1	28.2	55.2	42.1	57.9	57.7	57.7	61.8
密度, kg/m ³	0.84	1.61	1.16	623.6	438.1	438.1	452	477.4	457.7	492	492	499.4

[0118]

组分, 摩尔%												
乙烯	0.0	0.0	4.5	4.5	99.0	99.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.1	12.9	12.9	1.0	1.0	13.5	99.5	0.2	0.2	0.2	0.0
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	2.0	2.2	2.2	0.0	0.0	2.4	0.1	2.7	2.9	2.9	0.1
异丁烯	0.0	4.2	4.7	4.7	0.0	0.0	4.9	0.2	5.7	6.1	6.1	0.2
顺-2-丁烯	35.0	14.7	4.8	4.8	0.0	0.0	5.0	0.0	5.8	5.5	5.5	9.3
反-2-丁烯	35.0	15.4	5.3	5.3	0.0	0.0	5.6	0.0	6.4	6.6	6.6	4.3
正丁烷	30.0	63.5	63.5	63.5	0.0	0.0	66.5	0.1	76.8	78.6	78.6	54.1
1-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.5
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	2.1
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	4.2
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	0.8	0.0	0.0	10.3
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.0
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	5.3
戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	7.5
总重量%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0119]

表8-在80%功效下的图2, 摩尔%

物料流编号	310	301D	303A	303B	304	305	306	307	308	312	316	314
摩尔流量, kmol/hr	100	318	345	345	26	3	316	55	260	218	24	18
质量流量, kg/hr	5670	18231	18231	18231	746	83	17403	2334	15069	12562	1396	1112
体积流量, m ³ /hr	6750	11290	15751	29.2	1.7	0.2	38.5	4.9	32.9	25.5	2.8	2.2
焓, MW	0.6	-4.4	-2.7	-6.6	0.2	0	-5.6	0.1	-5.7	-5	-0.6	-0.4
MW, g/mol	56.7	57.4	52.9	52.9	28.1	28.2	55.2	42.1	57.9	57.7	57.7	61.8
密度, kg/m ³	0.84	1.61	1.16	623.6	438.1	438.1	452	477.4	457.7	492	492	499.4
组分, 摩尔%												
乙烯	0.0	0.0	8.5	8.5	99.3	99.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.2	16.2	16.2	0.7	0.7	17.7	99.5	0.2	0.2	0.2	0.0
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	2.1	2.1	2.1	0.0	0.0	2.3	0.0	2.8	3.0	3.0	0.1
异丁烯	0.0	4.3	4.4	4.4	0.0	0.0	4.9	0.1	5.9	6.3	6.3	0.2
顺-2-丁烯	35.4	15.0	4.5	4.5	0.0	0.0	4.9	0.0	6.0	5.6	5.6	10.3
反-2-丁烯	35.4	15.8	5.0	5.0	0.0	0.0	5.5	0.0	6.6	6.8	6.8	4.7
正丁烷	29.3	62.7	57.7	57.7	0.0	0.0	63.1	0.1	76.6	78.0	78.0	57.6
1-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.4
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	1.9

[0121]

[0122]

反-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	3.7
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.6	0.0	0.0	9.0
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.8
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	4.7
戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	5.7
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0123] 实例3

[0124] 图3的系统也使用 Aspen Plus®计算机模型化。后续表格(表9-12)描绘所选择的物料流的物料流组成以及热学特性。模型中使用的系统入口物料流组成和催化剂反应速率与实例1的相同。物料流编号对应于图3中显示的物料流或物料流区段。针对100%功效和80%功效进行模拟。此外,对于每次模拟,基于重量和基于摩尔数提供数据。表9描绘在100%功效下图3的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。表10描绘在100%功效下图3的系统的模拟数据并且基于摩尔数显示组分。表11描绘在80%功效下图3的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。表12描绘在80%功效下图3的系统的模拟数据并且基于摩尔数显示组分。此外,图9描绘柱状图,其呈现如表9中所示的图3的系统的产物分布,其中在柱状图上,“丙烯”对应于传输线407的物料流,“乙烯”对应于传输线405的物料流,“轻质清除物”对应于传输线404的物料流,并且“C4/C5+重质化合物”对应于传输线408的物料流。图9的产物分布是基于表9的Aspen模拟。

[0125] 表9-在100%功效下的图3,重量%

[0126]

物料流编号	401A	401D	403A	403B	404	405	406	407	408
摩尔流量, kmol/hr	100	100	120.2	120.2	19.7	2.2	98.3	41.3	57
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	555	62	5053	1738	3315
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	8119	9.4	1.3	0.1	10.8	3.6	7.1
焓, MW	0.6	0.6	1.1	-1	0.2	0	-0.9	0.1	-0.9
MW, g/mol	56.7	56.7	47.2	47.2	28.1	28.1	51.4	42.1	58.1
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.7	606.3	438	438	468.4	477.4	465.7
组分, 摩尔%									
乙烯	0.0	0.0	10.8	10.8	99.1	99.1	0.1	0.2	0.0
丙烯	0.0	0.0	30.9	30.9	0.9	0.9	34.6	99.5	0.5
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	4.4	4.4	0.0	0.0	5.0	0.1	7.5
异丁烯	0.0	0.0	9.3	9.3	0.0	0.0	10.4	0.2	15.8
顺-2-丁烯	35.0	35.0	4.4	4.4	0.0	0.0	4.9	0.0	7.5

[0127]	反-2-丁烯	35.0	35.0	5.3	5.3	0.0	0.0	6.0	0.0	9.1
	正丁烷	30.0	30.0	30.0	30.0	0.0	0.0	33.7	0.0	51.3
	1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4
	顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5
	反-2-戊烯	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.1
	2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	1.7	0.0	2.6
	3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
	2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	0.9	0.0	1.4
	戊烯、戊烷、己烯、己烷 以及更重的物质的总和	0.0	0.0	1.1	1.1	0.0	0.0	1.3	0.0	1.9
	总重量%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0128] 表10-在100%功效下的图3,摩尔%

物料流编号	401A	401D	403A	403B	404	405	406	407	408
摩尔流量, kmol/hr	100	100	120.2	120.2	19.7	2.2	98.3	41.3	57
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	555	62	5053	1738	3315
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	8119	9.4	1.3	0.1	10.8	3.6	7.1
焓, MW	0.6	0.6	1.1	-1	0.2	0	-0.9	0.1	-0.9
MW, g/mol	56.7	56.7	47.2	47.2	28.1	28.1	51.4	42.1	58.1
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.7	606.3	438	438	468.4	477.4	465.7
组分, 摩尔%									
乙烯	0.0	0.0	18.2	18.2	99.4	99.4	0.1	0.3	0.0
丙烯	0.0	0.0	34.6	34.6	0.6	0.6	42.2	99.5	0.7
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.7	3.7	0.0	0.0	4.6	0.1	7.8
异丁烯	0.0	0.0	7.8	7.8	0.0	0.0	9.5	0.2	16.3
顺-2-丁烯	35.4	35.4	3.7	3.7	0.0	0.0	4.5	0.0	7.8
反-2-丁烯	35.4	35.4	4.5	4.5	0.0	0.0	5.5	0.0	9.4
正丁烷	29.3	29.3	24.3	24.3	0.0	0.0	29.8	0.0	51.3
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.9
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.2	0.0	2.1
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.2
戊烯、戊烷、己烯、己烷 以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0130] 表11-在80%功效下的图3,重量%

物料流编号	401A	401D	403A	403B	404	405	406	407	408
摩尔流量, kmol/hr	100	100	120.2	120.2	19.7	2.2	98.3	41.3	57

质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	555	62	5053	1738	3315
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	8119	9.4	1.3	0.1	10.8	3.6	7.1
焓, MW	0.6	0.6	1.1	-1	0.2	0	-0.9	0.1	-0.9
MW, g/mol	56.7	56.7	47.2	47.2	28.1	28.1	51.4	42.1	58.1
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.7	606.3	438	438	468.4	477.4	465.7
组分, 摩尔%									
乙烯	0.0	0.0	18.2	18.2	99.4	99.4	0.1	0.3	0.0
丙烯	0.0	0.0	34.6	34.6	0.6	0.6	42.2	99.5	0.7
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.7	3.7	0.0	0.0	4.6	0.1	7.8
异丁烯	0.0	0.0	7.8	7.8	0.0	0.0	9.5	0.2	16.3
顺-2-丁烯	35.4	35.4	3.7	3.7	0.0	0.0	4.5	0.0	7.8
反-2-丁烯	35.4	35.4	4.5	4.5	0.0	0.0	5.5	0.0	9.4
正丁烷	29.3	29.3	24.3	24.3	0.0	0.0	29.8	0.0	51.3
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.4
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.9
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.2	0.0	2.1
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.2
戊烯、戊烷、己烯、己烷 以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0132]

表12-在80%功效下的图3, 摩尔%

物料流编号	401A	401D	403A	403B	404	405	406	407	408
摩尔流量, kmol/hr	100	100	116.2	116.2	15.8	1.8	98.6	33	65.6
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	5670	444	49	5176	1390	3786
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	7845	9.2	1	0.1	11.1	2.9	8.1
焓, MW	0.6	0.6	1	-1.1	0.1	0	-0.9	0	-1
MW, g/mol	56.7	56.7	48.8	48.8	28.1	28.1	52.5	42.1	57.7
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.72	616.1	438	438.1	467.4	477.4	467.7
组分, 摩尔%									
乙烯	0.0	0.0	15.1	15.1	99.4	99.4	0.1	0.3	0.0
丙烯	0.0	0.0	28.7	28.7	0.6	0.6	33.7	99.5	0.5
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.1	3.1	0.0	0.0	3.6	0.1	5.4
异丁烯	0.0	0.0	6.5	6.5	0.0	0.0	7.6	0.2	11.4
顺-2-丁烯	35.4	35.4	9.2	9.2	0.0	0.0	10.8	0.0	16.2
反-2-丁烯	35.4	35.4	9.8	9.8	0.0	0.0	11.5	0.0	17.3
正丁烷	29.3	29.3	25.2	25.2	0.0	0.0	29.7	0.0	44.6
1-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2

[0134]

[0135]

顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.0	1.0	0.0	1.5
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.8
戊烯、戊烷、己烯、己烷 以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	1.0
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0136] 实例4

[0137] 图4的系统也使用 Aspen Plus® 计算机模型化。后续表格 (表13-16) 描绘所选择的物料流的物料流组成以及热学特性。模型中使用的系统入口物料流组成和催化剂反应速率与实例1的相同。物料流编号对应于图4中显示的物料流或物料流区段。针对100%功效和80%功效进行模拟。此外,对于每次模拟,基于重量和基于摩尔数提供数据。表13描绘在100%功效下图4的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。表14描绘在100%功效下图4的系统的模拟数据并且基于摩尔数显示组分。表15描绘在80%功效下图4的系统的模拟数据并且基于质量显示组分。此外,图10描绘柱状图,其呈现如表13中所示的图4的系统的产物分布,其中在柱状图上,“丙烯”对应于传输线507的物料流,“乙烯”对应于传输线505的物料流,“轻质清除物”对应于传输线504的物料流,“C4清除物”对应于传输线516的物料流,并且“C5+重质化合物”对应于传输线514的物料流。图10的产物分布是基于表13的Aspen模拟。

[0138] 表13-在100%功效下的图4,重量%

[0139]

物料流 编号	501 A	501 D	510	503A	503B	504	505	506	507	508	512	516	514
摩尔流 量, kmol/hr	100	100	120	528	528	27	3	499	52	446	402	37	8
质量流 量, kg/hr	5670	5670	5670	29468	29468	741	82	28644	2202	26443	23799	2098	547
体积流 量, m ³ /hr	6750	6750	8119	1310	47.9	1.7	0.2	62.3	4.6	56.1	57.4	4.2	1
焓, MW	0.6	0.6	1.1	0.6	-10.3	0.2	0	-8.8	0	-8.9	-8.3	-0.8	-0.2
MW, g/mol	56.7	56.7	47.2	55.8	55.8	27.8	27.9	57.5	42.1	59.3	59.3	57.4	67.4

密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.7	22.49	615.4	439.9	440	460	477.3	471	414.8	493.8	544.2
组分, 重量%													
甲烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烯	0.0	0.0	18.2	5.5	5.5	97.8	97.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.0	34.6	9.8	9.8	0.1	0.1	10.4	97.1	0.2	0.2	0.3	0.0
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.7	1.1	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	1.3	1.3	1.5	0.3
异丁烯	0.0	0.0	7.8	20.0	20.0	0.0	0.0	21.2	0.6	23.7	23.7	27.9	4.5
顺-2-丁 烯	35.4	35.4	3.7	0.9	0.9	0.0	0.0	1.0	0.0	1.1	1.1	1.0	1.5
反-2-丁 烯	35.4	35.4	4.5	1.1	1.1	0.0	0.0	1.2	0.0	1.4	1.4	1.4	1.2
正丁烷	29.3	29.3	24.3	56.4	56.4	0.0	0.0	59.8	0.0	66.8	66.8	67.8	61.8
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.8
顺-2-戊 烯	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
反-2-戊 烯	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7
2-甲基 -2-丁烯	0.0	0.0	1.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	1.6
3-甲基 -1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2
2-甲基 -1-丁烯	0.0	0.0	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.8
2-甲基- 丁烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
正戊烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4
戊烯、 戊烷、 己烯、 己烷以 及更重 的物质 的总和	0.0	0.0	0.6	3.9	3.9	0.0	0.0	4.3	0.0	4.6	4.6	0.0	25.5
总重量 %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0140]

表14-在100%功效下的图4,摩尔%

物料流 编号	501A	501D	510	503A	503B	504	505	506	507	508	512	516	514
摩尔流 量, kmol/hr	100	100	120	528	528	27	3	499	52	446	402	37	8
质量流 量, kg/hr	5670	5670	5670	29468	29468	741	82	28644	2202	26443	23799	2098	547
体积流 量, m ³ /hr	6750	6750	8119	1310	47.9	1.7	0.2	62.3	4.6	56.1	57.4	4.2	1
焓, MW	0.6	0.6	1.1	0.6	-10.3	0.2	0	-8.8	0	-8.9	-8.3	-0.8	-0.2
MW, g/mol	56.7	56.7	47.2	55.8	55.8	27.8	27.9	57.5	42.1	59.3	59.3	57.4	67.4
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.7	22.49	615.4	439.9	440	460	477.3	471	414.8	493.8	544.2
组分, 重 量%													
甲烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烯	0.0	0.0	18.2	5.5	5.5	97.8	97.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.0	34.6	9.8	9.8	0.1	0.1	10.4	97.1	0.2	0.2	0.3	0.0
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.7	1.1	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	1.3	1.3	1.5	0.3
异丁烯	0.0	0.0	7.8	20.0	20.0	0.0	0.0	21.2	0.6	23.7	23.7	27.9	4.5
顺-2-丁 烯	35.4	35.4	3.7	0.9	0.9	0.0	0.0	1.0	0.0	1.1	1.1	1.0	1.5
反-2-丁 烯	35.4	35.4	4.5	1.1	1.1	0.0	0.0	1.2	0.0	1.4	1.4	1.4	1.2
正丁烷	29.3	29.3	24.3	56.4	56.4	0.0	0.0	59.8	0.0	66.8	66.8	67.8	61.8
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.8
顺-2-戊 烯	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
反-2-戊 烯	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7
2-甲基- 2-丁烯	0.0	0.0	1.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	1.6
3-甲基- 1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2
2-甲基- 1-丁烯	0.0	0.0	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.8
2-甲基- 丁烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
正戊烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4

[0142]

[0143]

戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.6	3.9	3.9	0.0	0.0	4.3	0.0	4.6	4.6	0.0	25.5
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0144]

表15-在80%功效下的图4,重量%

物料流 编号	501A	501D	510	503A	503B	504	505	506	507	508	512	516	514
摩尔流 量, kmol/hr	100	100	116	540	540	27	3	511	50	461	415	39	7
质量流 量, kg/hr	5670	5670	5670	30436	30436	739	82	29616	2096	27519	24767	2218	534
体积流 量, m ³ /hr	6750	6750	7845	1220	49	1.7	0.2	63.7	4.4	57.8	63.1	4.5	0.9
焓, MW	0.6	0.6	1	-0.6	-10.4	0.2	0	-8.8	0	-8.9	-8.3	-0.8	-0.1
MW, g/mol	56.7	56.7	48.8	56.3	56.3	27.7	27.7	58	42.1	59.7	59.7	57.5	71.3
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.72	24.94	620.7	441.4	441.4	464.8	476.9	476.3	392.4	493.9	572.6
组分, 重量%													
甲烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烯	0.0	0.0	8.7	2.7	2.7	98.0	98.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.0	24.7	6.7	6.7	0.0	0.0	6.8	95.9	0.1	0.1	0.1	0.0
丙烷	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.5	1.1	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	1.2	1.2	1.4	0.1
异丁烯	0.0	0.0	7.4	17.7	17.7	0.0	0.0	18.1	0.3	19.5	19.5	23.7	1.9
顺-2-丁 烯	35.0	35.0	10.5	2.5	2.5	0.0	0.0	2.6	0.0	2.7	2.7	2.7	2.9
反-2-丁 烯	35.0	35.0	11.3	2.7	2.7	0.0	0.0	2.7	0.0	2.9	2.9	3.2	1.9
正丁烷	30.0	30.0	30.0	57.3	57.3	0.0	0.0	58.8	0.1	63.3	63.3	68.7	40.8
1-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	1.4
顺-2-戊 烯	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3

[0145]

[0146]	反-2-戊烯	0.0	0.0	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6
	2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	1.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	1.6
	3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2
	2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.7	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0	0.9
	2-甲基-丁烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
	正戊烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4
	戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	1.0	8.1	8.1	0.0	0.0	8.3	0.0	8.9	8.9	0.0	46.5
	总重量%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0147] 表16-在80%功效下的图4,摩尔%

物料流 编号	501A	501D	510	503A	503B	504	505	506	507	508	512	516	514
摩尔流量, kmol/hr	100	100	116	540	540	27	3	511	50	461	415	39	7
质量流量, kg/hr	5670	5670	5670	30436	30436	739	82	29616	2096	27519	24767	2218	534
体积流量, m ³ /hr	6750	6750	7845	1220	49	1.7	0.2	63.7	4.4	57.8	63.1	4.5	0.9
[0148] 焰, MW	0.6	0.6	1	-0.6	-10.4	0.2	0	-8.8	0	-8.9	-8.3	-0.8	-0.1
MW, g/mol	56.7	56.7	48.8	56.3	56.3	27.7	27.7	58	42.1	59.7	59.7	57.5	71.3
密度, kg/m ³	0.84	0.84	0.72	24.94	620.7	441.4	441.4	464.8	476.9	476.3	392.4	493.9	572.6
组分, 重量%													
甲烷	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	3.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
乙烯	0.0	0.0	15.1	5.3	5.3	96.7	96.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
丙烯	0.0	0.0	28.7	8.9	8.9	0.0	0.0	9.4	95.9	0.1	0.1	0.1	0.0

[0149]

丙烷	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1-丁烯	0.0	0.0	3.1	1.1	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	1.3	1.3	1.5	0.2
异丁烯	0.0	0.0	6.5	17.7	17.7	0.0	0.0	18.8	0.2	20.8	20.8	24.3	2.4
顺-2-丁烯	35.4	35.4	9.2	2.5	2.5	0.0	0.0	2.6	0.0	2.9	2.9	2.8	3.7
反-2-丁烯	35.4	35.4	9.8	2.7	2.7	0.0	0.0	2.8	0.0	3.1	3.1	3.3	2.4
正丁烷	29.3	29.3	25.2	55.5	55.5	0.0	0.0	58.7	0.1	65.1	65.1	68.0	50.1
1-戊烯	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.3	0.0	1.4
顺-2-戊烯	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
反-2-戊烯	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.7
2-甲基-2-丁烯	0.0	0.0	0.8	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.3	0.0	1.6
3-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
2-甲基-1-丁烯	0.0	0.0	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.9
2-甲基-丁烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.3
正戊烷	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.4
戊烯、戊烷、己烯、己烷以及更重的物质的总和	0.0	0.0	0.5	4.7	4.7	0.0	0.0	5.2	0.0	5.8	5.8	0.0	35.4
总摩尔%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

[0150] 实例5

[0151] 表17显示图1-4的实施例的丁烯转化率、丙烯选择性以及丙烯产率。使用 Aspen Plus®在如关于表1、5、9以及13所提供的条件下测定数据。

[0152] 丁烯转化率定义为：

$$[0153] \left(1 - \frac{2 \text{ 的质量流量} - \text{组合反应器流出物中的丁烯}}{2 \text{ 的质量流量} - \text{组合反应器进料中的丁烯}} \right) \times 100\%$$

[0154] 丙烯选择性定义为：

$$[0155] \left(\frac{\text{反应器流出物中丙烯的质量流量} - \text{反应器进料中丙烯的质量流量}}{2 \text{ 的质量流量} - \text{反应器进料中的丁烯} \times \text{丁烯转化率}} \right) \times 100\%$$

[0156] 丙烯产率定义为：

$$[0157] \left(\frac{\text{产生的全部丙烯 (重量\%)} }{\text{进料中的全部丙烯 2 (重量\%)}} \right) \times 100\%$$

[0158] 表17

[0159]

	图1的实施例	图2的实施例	图3的实施例	图4的实施例
丁烯转化率	86.1%	83.0%	86.1%	86.3%
丙烯选择性	51.3%	64.3%	51.3%	54.8%
丙烯产率	44.1%	61.8%	44.1%	54.0%

[0160] 出于描述和定义本发明的目的,应注意,本公开中利用术语“约”来表示可归因于任何定量比较、值、测量值或其它表示形式而可能具有的固有不确定程度。本公开中还利用术语“约”表示在不引起在所关注的主题的基本功能变化的情况下,定量表示可从规定的参考变化的程度。此外,术语“基本上由……组成”在本公开中用于指不实质上影响本公开的基本和新颖特征的定量值。举例来说,应理解,“基本上由具体化学成分或化学成分群组成”的化学物料流意指所述具体化学成分或化学成分群占所述物料流的至少约99.5%。

[0161] 应了解,在一些实施例中,物料流或反应器中化学成分的组成范围应理解为含有所述成分的异构体的混合物。举例来说,指定丁烯的组成范围可包括丁烯的各种异构体的混合物。应了解,各种物料流的实例供应源组成范围和具体化学组成的异构体的总量可组成范围。

[0162] 应注意,以下权利要求项中的一个或多个利用术语“其中”作为过渡短语。出于定义本发明技术的目的,应注意,这一术语在权利要求项中作为开放的过渡短语引入,其用于引入结构的一系列特征的引述且应以与更常用的开放的前导术语“包含”相同的方式解释。

[0163] 应理解,指派到特性的任何两个定量值可构成所述特性的范围,且在本公开中预期由既定特性的所有规定定量值形成范围的所有组合。

[0164] 已详细并且参考具体实施例描述本公开的主题,应注意,甚至在于伴随本说明的图式中的每一个中说明具体元件的情况下,本公开中所描述的各种细节不应视为暗示这些细节涉及作为本公开中所描述的各种实施例的基本组件的元件。实际上,所附权利要求书应视为对本公开的宽度和本公开中所描述的各种实施例的对应范围的单独表示。此外,显而易见的是在不脱离所附权利要求书的范围的情况下可进行修改和变化。

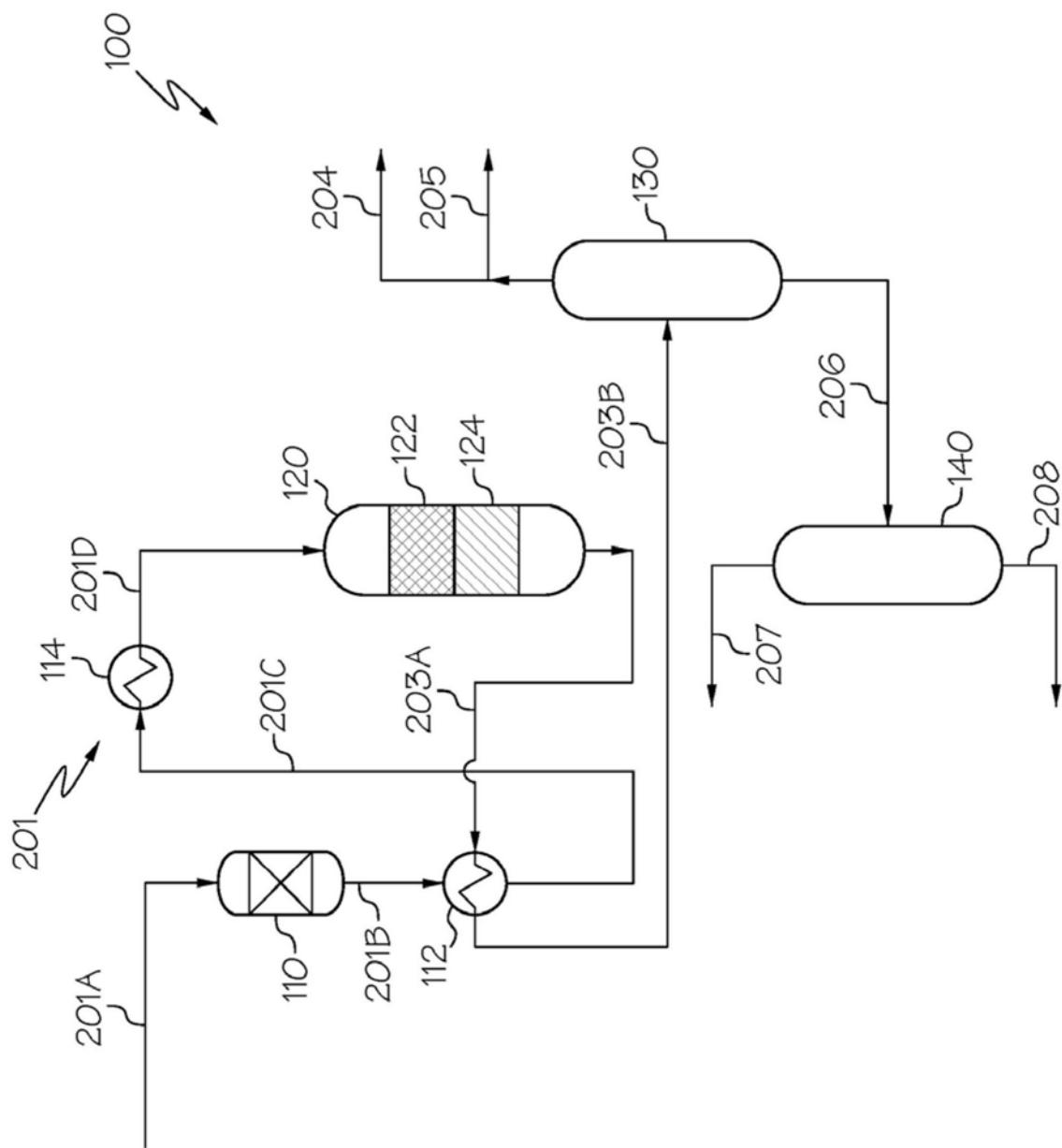


图1

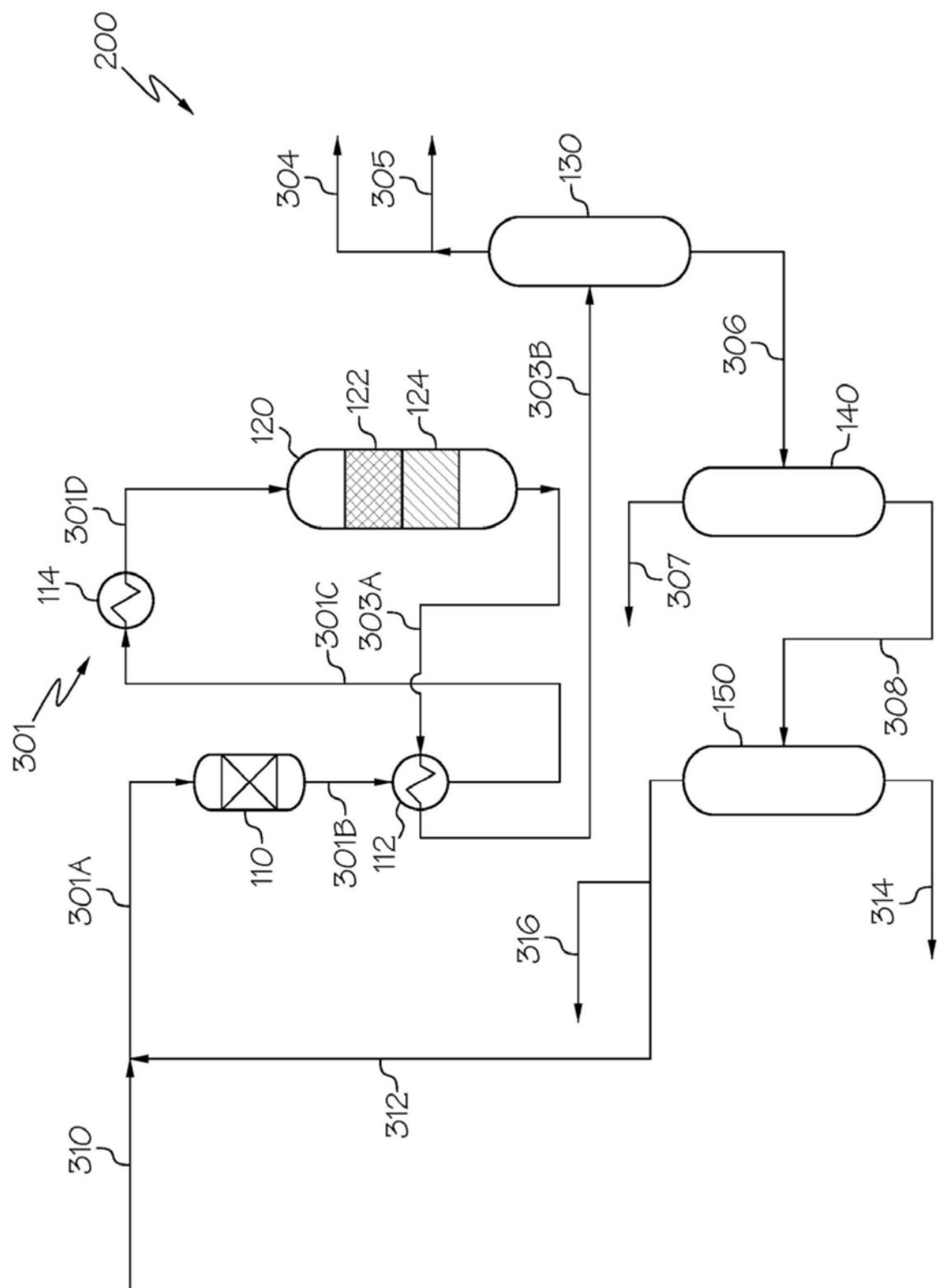


图2

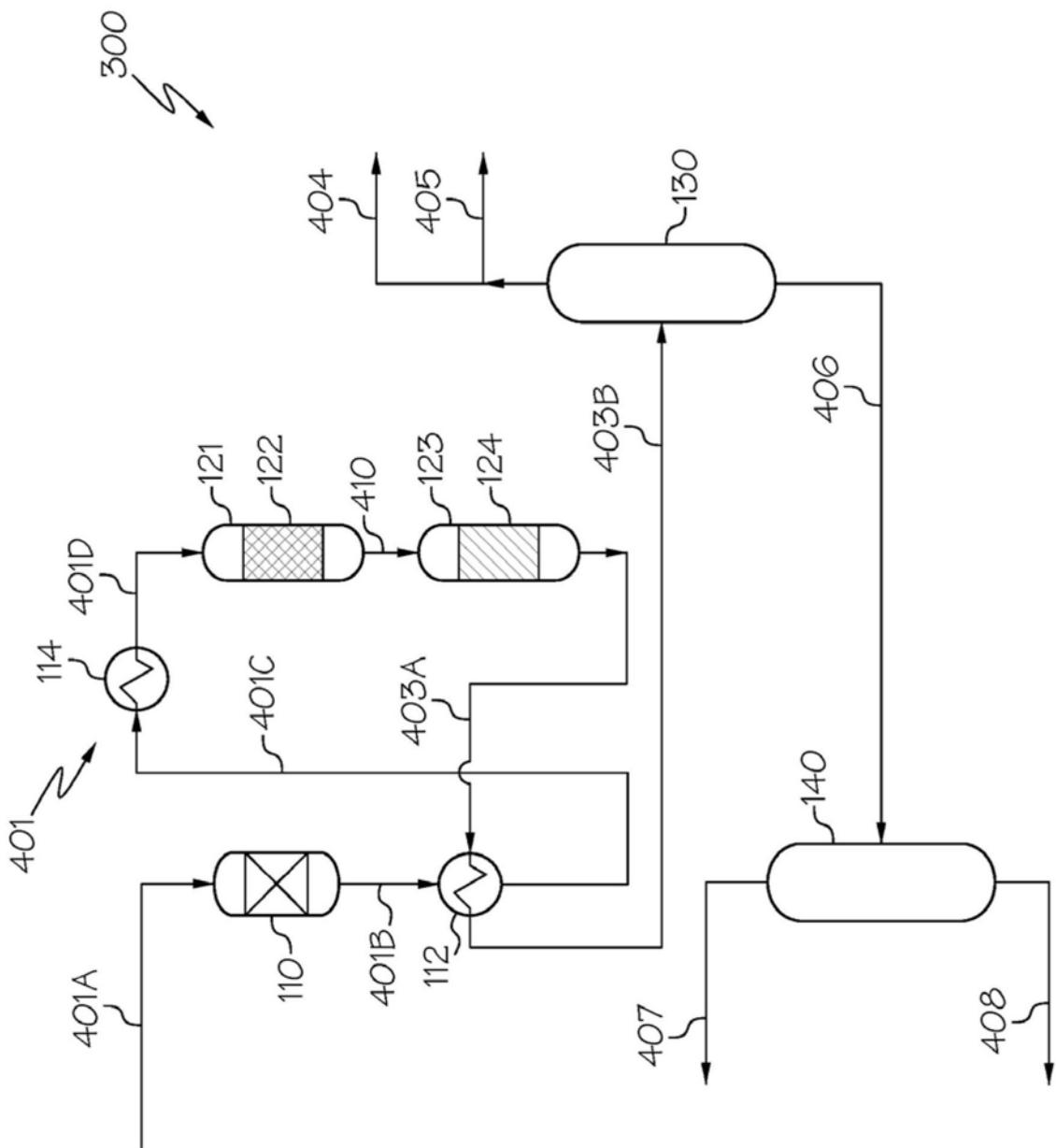


图3

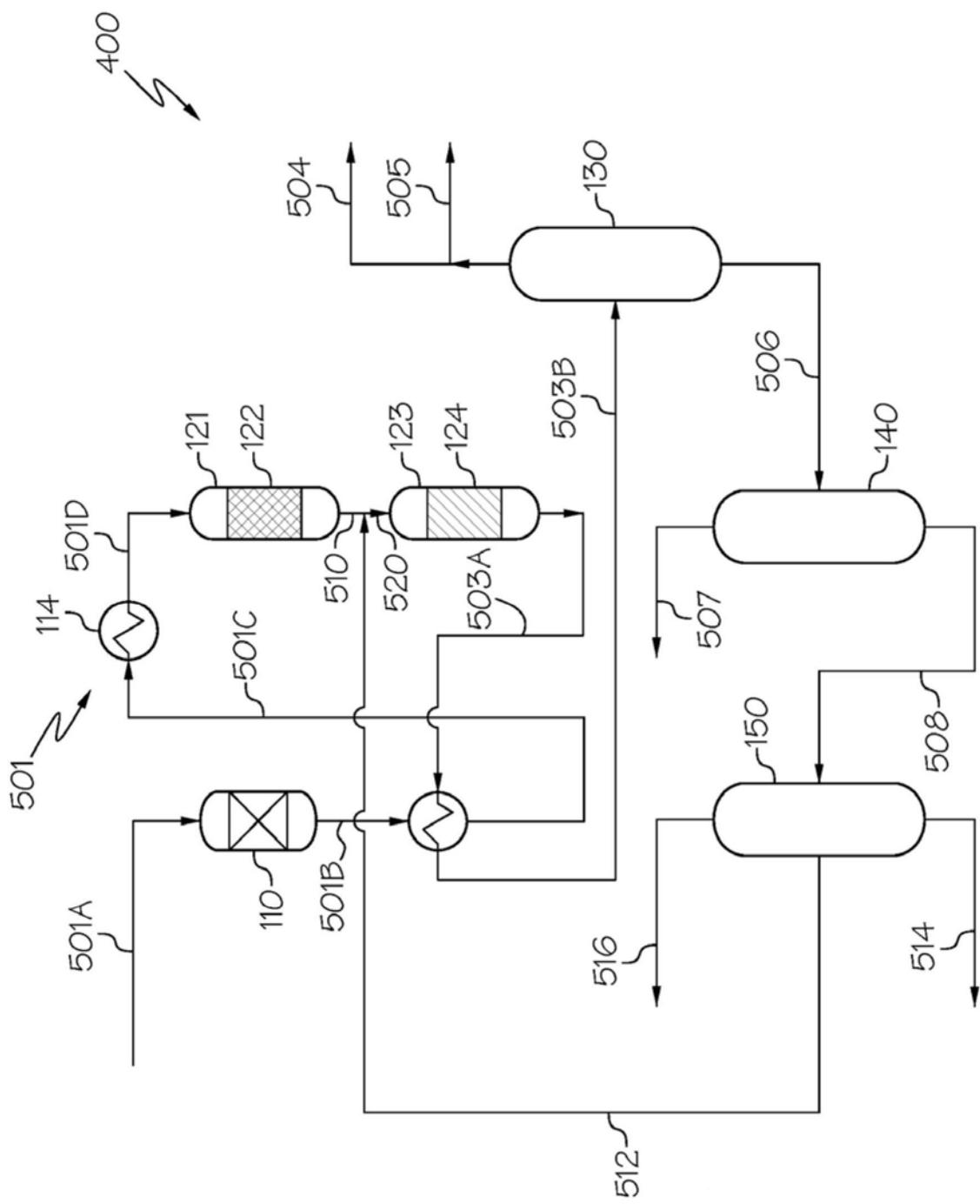


图4

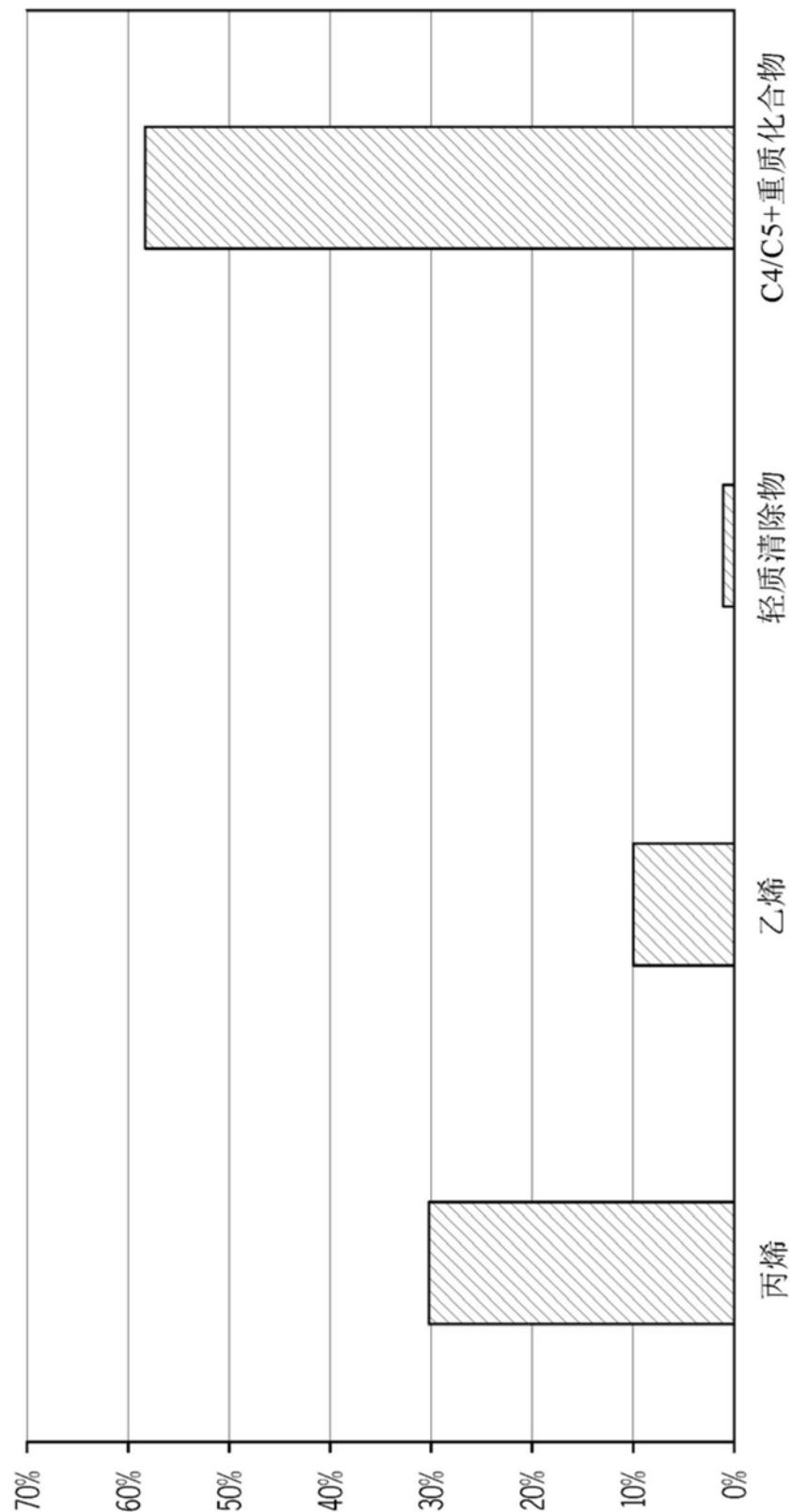


图5

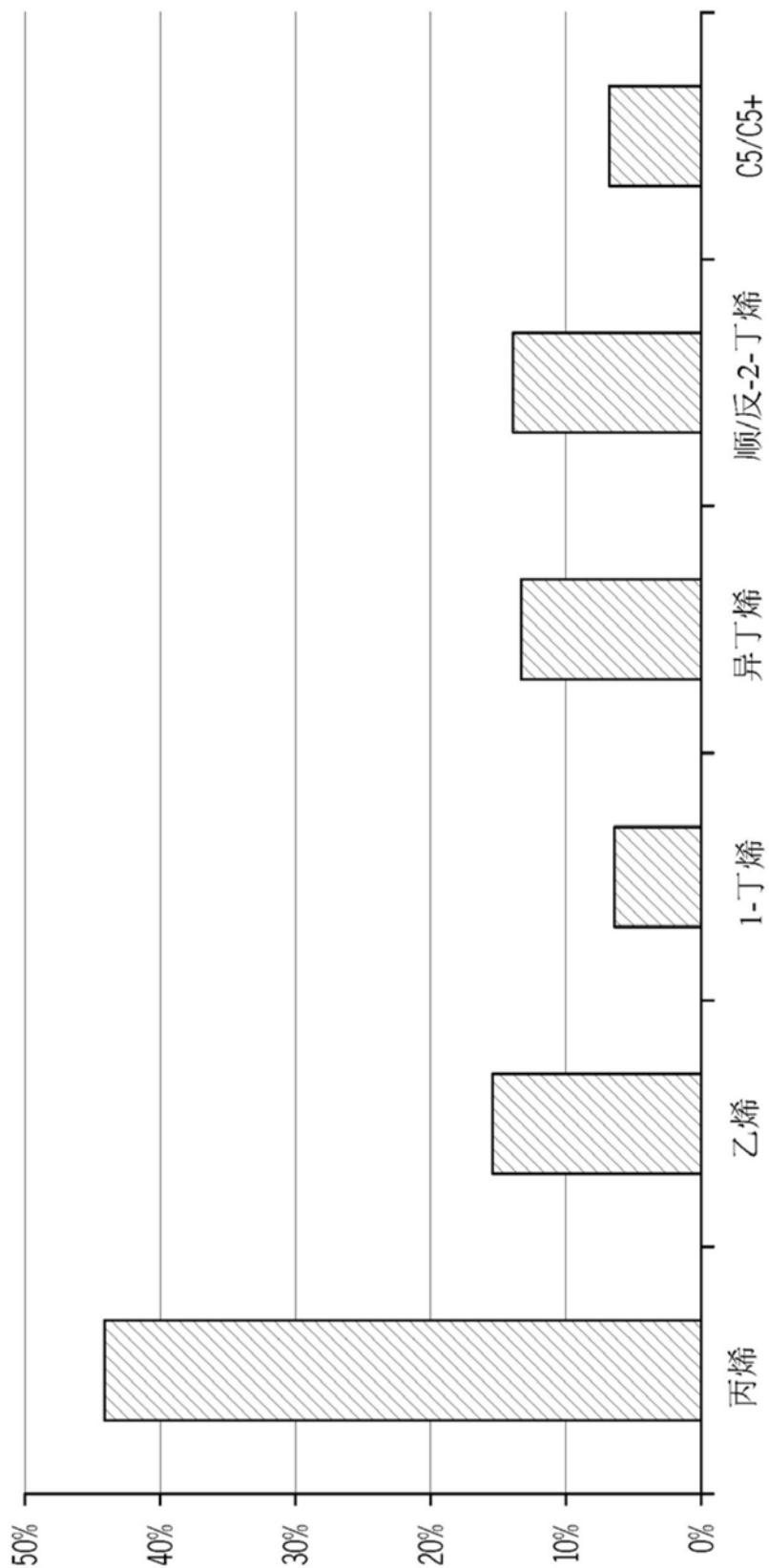


图6

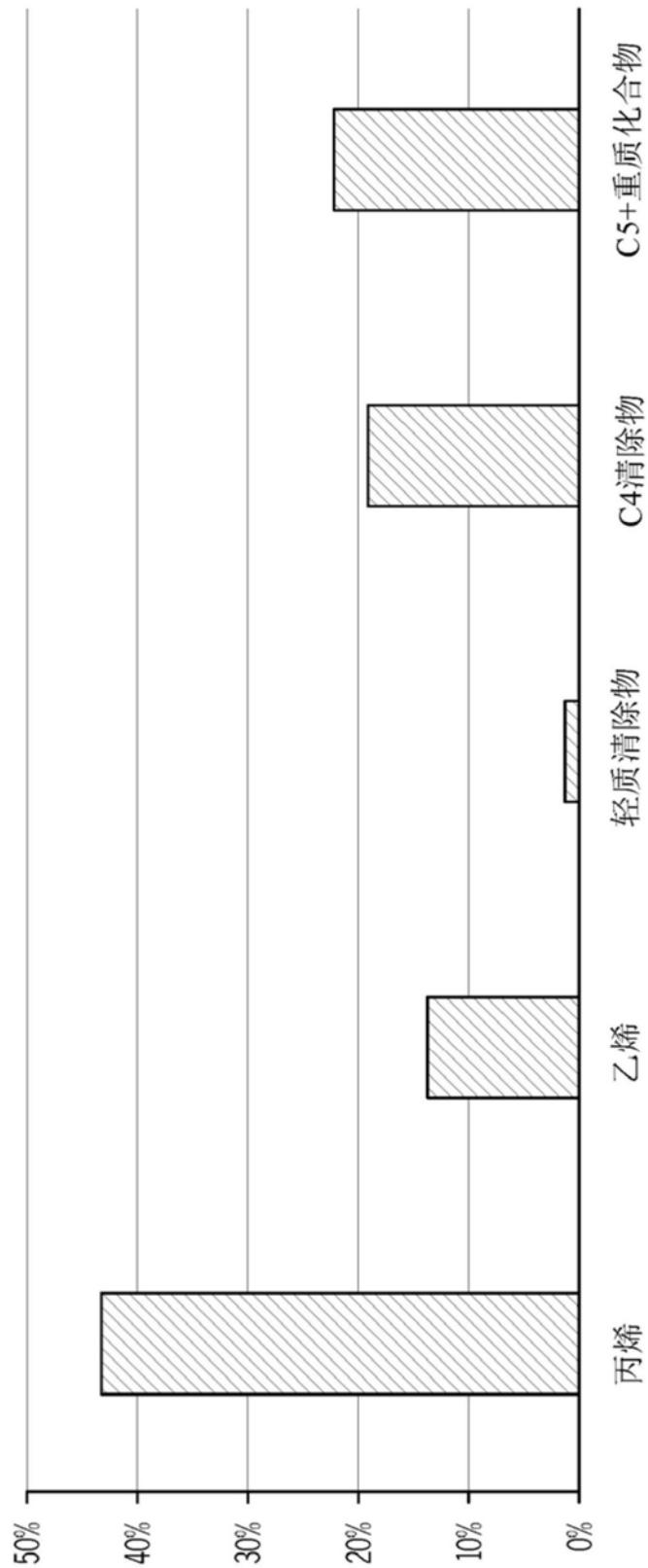


图7

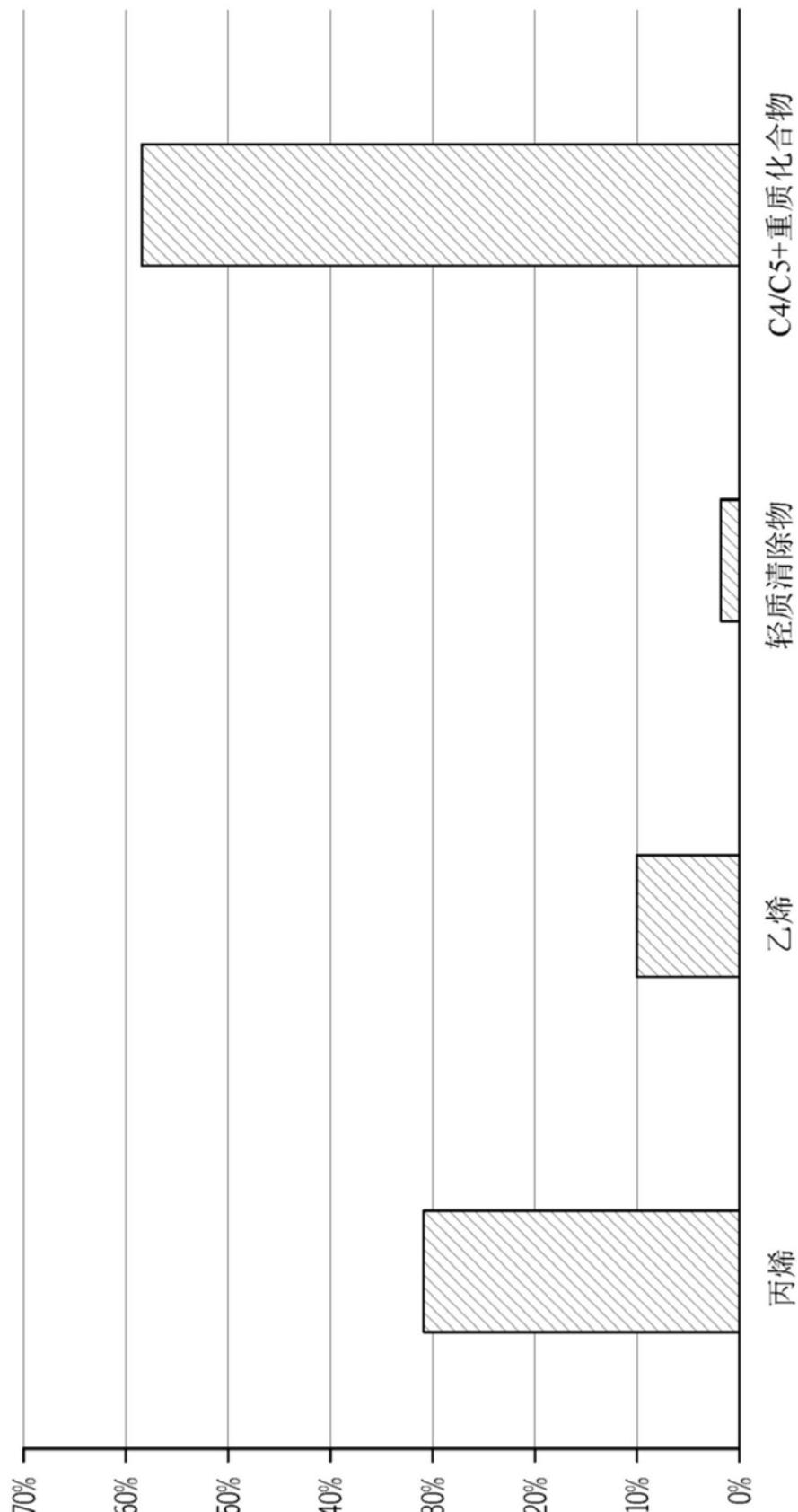


图8

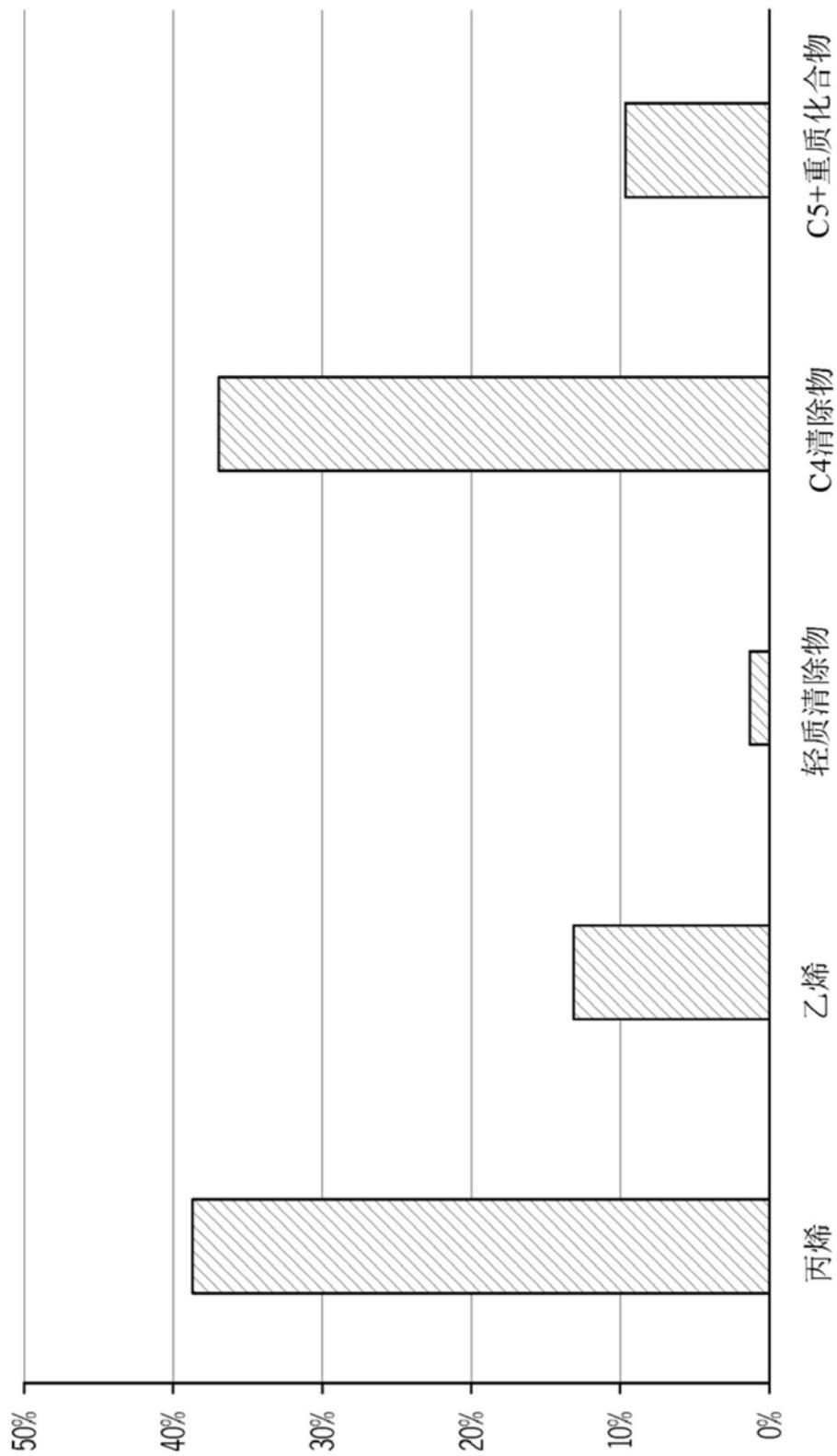


图9