

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

F23B 7/00

F23G 5/22 C01B 3/02



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 01802708.3

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 1179148C

[22] 申请日 2001.8.9 [21] 申请号 01802708.3

[30] 优先权

[32] 2000. 8. 10 [33] US [31] 60/224,405

[32] 2000. 8. 10 [33] US [31] 60/224,029

[86] 国际申请 PCT/US2001/024899 2001.8.9

[87] 国际公布 WO2002/014742 英 2002.2.21

[85] 进入国家阶段日期 2002.5.10

[71] 专利权人 RJ 利格鲁普公司

地址 美国宾夕法尼亚

[72] 发明人 R·E·尼科尔斯 A·M·莱温

J·E·朗路易斯三世

审查员 李玉红

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

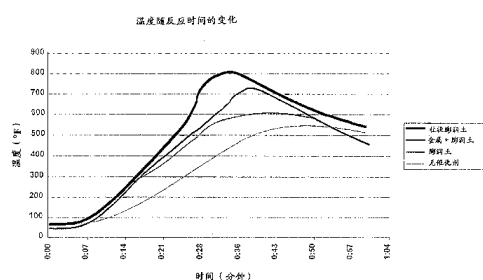
代理人 王 杰

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 4 页

[54] 发明名称 诸如橡胶等烃类材料的低能量裂解法

[57] 摘要

本发明提供一种橡胶或其它烃类材料低能量裂解的方法。在烃类材料被加热的同时保持一定的真空并使用粘土作为催化剂。在一附加的实施方案中,反应室的温度以及相应输入燃料的温度在反应室中随时间或空间变化以便利用反应放热的特性。用本发明的方法可获得高质量的固体反应物以及聚芳烃和氧化的有机污染物低的液体。



- 1、 一种烃类材料的低能量裂解方法，包括：
提供所述烃类材料；
将所述烃类材料装入反应室中，
将粘土和金属粉剂催化剂加入所述的反应室中，以及
加热所述的反应室足够的时间以基本上完成裂解过程，
所述的方法是在真空下进行的，其生成的反应产物包含有基本上非焦化的且非氧化的具有最低限度的未裂解材料的固体残余物，基本上未氧化的且没有聚芳烃的液态烃，以及可燃气体的。
- 2、 根据权利要求1的方法，其中所述的粘土选自：蒙脱土，膨润土，贝得石，以及其组合。
- 3、 根据权利要求1的方法，其中所述的粘土为柱状粘土。
- 4、 根据权利要求1的方法，其中所述的粘土为天然矿石。
- 5、 根据权利要求1的方法，其中所述的粘土为含有商用粘土的产品。
- 6、 根据权利要求5的方法，其中所述的商用粘土产品选自：cat litter 和溢油吸收剂，及其组合。
- 7、 根据权利要求1的方法，其中所述的粘土和金属粉剂催化剂的加入量约为 0.01wt% ~ 3.0wt%，以所述的烃类材料的总重量计。
- 8、 根据权利要求1的方法，其中金属粉剂以[Al] [Mg][粘土]约为 [0.1 ~ 2]:[0.1 ~ 2]:[8]的比例加入粘土中。
- 9、 根据权利要求1的方法，其中金属粉剂以[Al] [Mg][粘土]约为 [0.5 ~ 1]:[0.5 ~ 1]:[8]的比例加入。
- 10、 根据权利要求1的方法，其中所述的金属粉剂由铝和镁的混合物组成。
- 11、 根据权利要求1的方法，其中所述的金属粉剂由铝或镁组成。
- 12、 根据权利要求1的方法，其中所述的金属粉剂包含小于约 200 目的铝颗粒，和小于约 325 目的镁颗粒。

13、 根据权利要求 1 的方法，其中对所述的反应室的加热将使得烃类材料的反应温度在约 150 ~ 850°F。

14、 根据权利要求 13 的方法，其中保持所述烃类材料的反应温度达足够长的时间，以完成裂解反应。

15、 根据权利要求 1 的方法，其中所述的加热是在至少第一、第二和第三阶段进行，并且要调节燃料的输入，以利用反应的放热特性。

16、 根据权利要求 15 的方法，其中在所述第一阶段中的加热要使反应温度维持在约 450 ~ 850°F 达足够长的时间，以引发裂解。

17、 根据权利要求 15 的方法，其中在所述第二阶段中的加热要使反应温度维持在约 450 ~ 850°F 达足够长的时间，以连续裂解。

18、 根据权利要求 15 的方法，其中在所述第三阶段中的加热要使反应温度维持在约 450 ~ 850°F 达足够长的时间，以完成裂解。

19、 根据权利要求 15 的方法，其中所述的第一、第二和第三阶段是随时间连续进行的。

20、 根据权利要求 15 的方法，其中当所述的烃类材料送入所述的反应室时，所述的第一、第二和第三阶段是随空间连续进行的。

21、 根据权利要求 1 的方法，其中所述真空保持在约 2 英寸 ~ 约 16 英寸汞的压力下。

22、 根据权利要求 15 的方法，其中所述的真空保持在约 2 英寸 ~ 约 16 英寸汞的压力下。

23、 根据权利要求 1 的方法，其中所述的真空保持在约 5 英寸 ~ 10 英寸汞的压力下。

24、 根据权利要求 15 的方法，其中所述的真空保持在约 5 英寸 ~ 10 英寸汞的压力下。

25、 根据权利要求 1 的方法，其中所述的烃类材料为废橡胶。

26、 根据权利要求 1 的方法，其中所述的烃类材料为焦油砂。

27、 根据权利要求 1 的方法，其中所述的烃类材料为煤。

诸如橡胶等烃类材料的低能量裂解法

相关申请的交叉参考

本申请是 2001 年 8 月 10 日申请的题为“诸如橡胶等烃类材料的低能量裂解法”的美国专利申请的部分继续申请，该申请根据 35 U.S.C § 119(e) 要求如下优先权：2000 年 8 月 10 日申请的临时申请 60/224,405 和 2000 年 8 月 10 日申请的临时申请 60/224,029。

发明领域

本发明涉及诸如橡胶、煤、焦油砂等烃类材料的低能量裂解法。该方法利用粘土催化剂以及负压来实现低能量输入的要求，并且由该方法生产的固态含碳材料，油和可燃气体产物得到了改进提高。所设计的系统利用放热反应来输入能量并且可优化所需的能量。

发明背景

在美国，每个居民每年大约要扔掉一个废轮胎。仅在 1990 年全国所扔掉的废轮胎约有 2 亿 4 千 2 百万个，这还不包括翻新的轮胎。废轮胎仅是固体废弃物的一小部分，然而它反映了严重的处理难题。虽然设计了许多废轮胎焚化炉，但焚烧没有使能量和化学材料从轮胎中得到最佳的回收。

大多数轮胎是以垃圾掩埋或轮胎储存堆的形式处理的。可是，很难将所有的废轮胎都以垃圾掩埋的方式处理掉；它们会招来气体、啮齿动物、蛇和蚊子，引起火灾并且随着时间的流逝，象其它废弃物会合并和下陷一样，它们也会不断向上堆积。然而垃圾掩埋，储存或不合规定的处理方式依旧是处理废轮胎的主要方法。

裂解包括在无氧的情况下加热有机材料从而将它们转变成较简单且较小分子的有机化合物。当以有机废弃物例如废轮胎为原料时，所生产的产品包括木炭或碳黑，油和气体。早在 1830 年，开发者就成功地将木材生产液态产物的裂解方式商业化。由煤裂解生产焦炭已成为一种最普

通的应用技术；其使用一直延续到今天。用木材裂解生产杂酚油的技术是在 1838 年将杂酚油作为木材的防腐剂引入后发展起来的。在 19 世纪中叶的美国和其它地方，由煤和油页岩的裂解来生产油已变得很普遍。在 1879 年电灯泡发明之前，生产照明气的裂解厂遍布世界。

裂解可在间歇进料系统或连续进料系统中进行。间歇进料系统是将原料一次性装入。在间歇式热反应器中停留所需的时间后，排出固体产物和残余物。作为替代，原料也可在连续进料系统中输入热反应器中，固体产物和残余物可连续地排出。

裂解主要是靠热来断裂化学键，根据这一机理，有机化合物被分解和蒸发。大多数裂解废橡胶和其它烃类的系统其操作温度在约 480°F ~ 1740°F 的范围内。在约 480°F 以上的温度下，破碎的轮胎释放出大量的液态油和气体。在 750°F 以上，油的产量以及由实心轮胎获得的木炭的产量相对于所产生的气体量而降低，这取决于所使用的方法。轮胎含有超过 80% 的碳和氢，这些元素是形成固体，液体和气体裂解产物的基本成分。除了碳-碳键外，轮胎的分解还需要断裂硫-碳键和硫-硫键。

大多数裂解方法使用轮胎或其它固体有机原料，其所生产的固体产物被称为“轮胎衍生的木炭”，“轮胎衍生的碳木炭 (carbon char)”或碳黑。可对该固体产物作进一步的加工和清洗以生产出更高等级的碳黑，或者将其直接销售。碳黑在粒径，表面积，平均聚集的质量，颗粒和聚集质量的分布，结构以及化学组成上是不同的，根据工业标准并以其性能为基础来对碳黑进行评定。由轮胎衍生的碳黑的可销售性是由工业标准决定的。例如，中等质量的新（非回收）碳黑通常可用在橡胶产品中，而较低等级的可用在诸如管和实心（没有钢带的）橡胶轮胎等产品中。高纯度的碳黑可用在色调剂中以及用在电子传感器上。

碳黑的表面积对质量和应用有着相当大的影响；含有亚微细粒颗粒的碳黑其表面积与体积的比是很高的。商用碳黑的平均粒径从用于低成本热碳 (thermocarbon) 的约 5000Å 到用于最昂贵的高色漆碳的约 100Å。其结构也是非常重要的，它是通过对聚集体的大小和形状，每个聚集体中颗粒的数目以及其平均质量进行测量的。这些性能影响着松散材料中

聚集体的装填和空隙容积。空隙容积是判断碳黑等级的标准之一。

一般由轮胎衍生的碳木炭所生产出的碳黑其粒径在 10 微米~100 微米之间。该颗粒尺寸的范围限制了材料被替代为标准的, 变化较小的, 含亚微细粒颗粒的碳黑的能力。但在某些应用场合可使用含较大颗粒尺寸的碳黑, 例如可用在塑料中以改进耐候性, 或使其具有抗静电以及导电性。由裂解产生的木炭或碳木炭材料也可用作燃料。

轮胎裂解还可生产出含有可燃浓度的丁烷, 丙烷, 甲烷和乙烷的气体。由于在气体中含有大量一氧化碳和二氧化碳, 所以该气体不能与天然气混合销售。轮胎裂解系统还能产生与 6 号燃油相似的油基液体; 液体是由轮胎原料中的有机物衍生的约 30%~50% 的产物构成的。由于高温以及在反应混合物中没有氢, 所以大多数橡胶裂解法均可生产出聚芳烃 (PAH) 含量很高的液体; 而这些化合物释放到周围环境中是有害的。

在工艺中所使用的各种裂解方法均是以粘土作为催化剂或无粘性剂。例如可参见 US1680908; 4463203; 4300009; 4948495; 5114541; 5354930; 5233109 和 5114541。这些方法利用 200℃~800℃ (392°F~1492°F) 的高温并且不使用负压/真空条件。其它的专利曾试图更为细致的调整裂解的方法以便生产出其它方法所不能生产的某种产品, 例如可参见 US5359061, 其公开了弹性体例如橡胶轮胎屑的裂解方法, 该方法使用分子束质谱法技术探测分解的产物以及测定过程参数。

虽然有些专利披露了利用真空条件, 但没有一篇专利披露将真空与催化剂结合使用。例如 US5720230 披露了一种在约 350°F~650°F 温度以及 0.5~1 英寸汞的略微真空的条件下裂解废弃的橡胶轮胎的方法; US4740270 公开了在约 360℃~415℃ (680°F~779°F) 以及低于大气压的条件下通过真空裂解处理废旧橡胶轮胎的方法。

在大多数现有技术的方法中, 由橡胶轮胎裂解获得的碳黑在粒径, 纯度等方面不符合工业标准的要求。上述裂解橡胶轮胎和烃的方法一般是不能在较低的温度下实现的并且这些方法也不能生产出较高质量的碳黑以及作为反应产物的聚芳烃低的液态油。

发明概述

本发明通过对包括橡胶在内的烃材料进行低能量裂解而解决了上述问题，其中所述的烃材料是在真空条件下加热的，并且它使用粘土和金属催化剂。用本发明的方法可获得高质量的固体反应产物；碳黑不是在热解的过程中产生的而是从橡胶轮胎中释放出来的。由本发明方法生产的液态油与用其它方法生产的相比较，其聚芳烃和部分热解的橡胶和烃材料的量减少了。将催化剂与负压条件相结合使得该方法与其它现有技术的方法相比其可以更快的速率进行。此外，通过在反应过程中将油和气体抽到橡胶的表面上，可使油和气体更容易从系统中排出。使用粘土催化剂可在粘土的层中产生反应活性部位，在这些部位处可与橡胶分子中的碳和硫分子共享电子。该共享电子紧拉相邻的碳-碳，碳-硫，和/或硫-硫键，使之产生动摇并降低其能量，从而所需的温度促进了热裂解。键的断裂包括自由基的形成，离子的形成或极化或者它们的结合。此外，催化剂也会在键上引起空间应变，这使它们更加容易开裂。金属粉剂与粘土的结合使用进一步强化了反应。

在本发明的另一方面中，烃类材料的裂解是在真空条件下，至少在第一，第二和第三阶段中发生的。由于利用了反应的放热性，因而仅需要将所需的能量输入系统中，优选在第一和第三阶段。在反应进行过程中，特别是在反应进行的中间阶段，几乎不需要燃料来维持所需的反应温度。因此，随着时间的推移要及时地调整反应室中燃料的输入量以便能连续地或空间地提供至少三个阶段。

当使用连续的热解法时，反应室中燃料的输入量或温度呈空间变化。橡胶或烃类材料通过螺旋钻或其它类似的设备被送入反应室中。在反应室的入口处，相当于反应的第一阶段（“活化阶段”），需要输入较高的热量以引发并克服反应的活化能，因此需要对反应室的入口部位进行加热。橡胶或烃类材料从反应室的第一位置处移动到第二，即中间位置处，相当于反应的第二阶段（“分解阶段”），在那里的反应为放热反应，因而几乎不需要输入热量（燃料）来保证反应的进行。最后，橡胶或烃类材料移入相当于反应第三阶段（“完成阶段”）的第三位置处，在那里反应临近结束并且变得很缓慢，因此需要增加燃料的输入量以便

完成裂解过程。

因此，本发明的目的是提供一种橡胶，焦油砂，煤或其它烃类材料低能量裂解的方法。

本发明的另一目的是提供一种利用真空条件和催化剂进行低能量裂解的方法。

本发明的另一目的是提供一种低能量裂解的方法，它可生产出高质量的反应产物。

本发明的另一目的是提供一种低能量裂解的方法，其中输入的燃料是随着时间或呈空间变化的以利用反应的放热特性。

本发明的又一目的是提供一种回收橡胶轮胎或其它烃类材料的对环境较为安全的方法。

本发明的这些以及其它目的将通过下面详细地描述以及所附的权利要求而变得一目了然。

附图的简要说明

本发明用下面非限制性的附图作进一步说明，其中：

图 1 显示了仅用粘土，粘土与金属粉剂相结合，以及柱状粘土作催化剂的反应温度的曲线图。

图 2 显示了脱除反应的液体，固体和气态产物的简化的热解室和装置。

图 3 示出了脱除反应的液体，固体和气态产物的连续进料的热解室和装置。

图 4 示出了有和没有催化剂的情况下反应的活化能和反应能。

优选实施方案的详细描述

本发明提供一种烃类材料低能量裂解方法，它包括提供烃类材料，将烃类材料装入反应室中，将粘土和金属粉剂催化剂加入反应室中并加热反应室。该方法是在真空条件下进行的，其所生成的反应产物包括具有最低限度的非热解材料的基本上为非焦化并且非氧化的固体残余物，基本上为非氧化并且无聚芳烃的液态烃产物以及可燃气体。

本发明的催化剂为粘土-金属粉剂相结合的催化剂，与仅使用粘土

催化剂相比,其进一步减少了完成反应所需输入的热量。将铝(Al)和/或镁(Mg)金属粉剂加入粘土中可增强反应。在这里所使用的“粉剂”对Mg来说其颗粒尺寸要小于约325目,对铝来说其颗粒尺寸要小于约200目。虽然每种金属可单独与粘土结合使用,但优选将两种金属结合使用。一般金属粉剂加入的比例约为 $[0.1 \sim 2]: [0.1 \sim 2]: [8]$ ($[Al]: [Mg]: [粘土]$)。优选的比例约为1:1:8。在施加到烃类材料之前,金属要与粘土相混合。由于三种组分的密度相近,因而混合物在运输和储存过程中不会发生分离。另外,用粘土进行稀释降低了金属粉剂发生引燃的危险。可以认为金属粉剂的加入加强了反应,这是由于金属消除了系统中少量的氧气并且产生的热促进了反应,但发明人不希望仅束缚于这一种解释。此外,金属能促进水煤气和其它反应以产生游离的氢,这有利于实现裂解反应。当加入金属粉剂时,由反应生成的热会很快产生并且可保持很长的时间,因而几乎不需要再输入热量。反应朝着完成的方向进行,其最后阶段几乎不再需要什么热量。由于其最高的温度和压力与没有金属的催化剂的情况相近,所以其产物不会被催化剂-金属的混合物所损害。

图1说明了在反应的间歇系统中用柱状粘土,金属和粘土(膨润土)以及仅用粘土作催化剂的温度曲线图。如图1所见,与没有催化剂或仅使用粘土的情况相比较,烃类材料的反应温度随着作为催化剂的柱状粘土或金属及粘土的使用而增加。这种能量的优化可应用在间歇和连续反应器中。

在这里使用的术语“粘土”指的是天然存在的材料,在其分层结构中含有水合铝硅酸盐并且它属于通称为绿土的材料。绿土例如膨润土以及具体的粘土矿物例如蒙脱土和贝得石均包括在本发明的范围内。另外,还包括含有这些粘土的商用产品例如cat litter或漏油吸收剂。这些粘土与各种反离子,包括氢(H形),钠(Na形),各种金属(例如Al形)以及有机阳离子相结合也被认为是在本发明的范围内。

膨润土也可通过在层间加入金属氢氧化物的柱状物来改性。通过采用柱状粘土可使分子束缚在粘土的层中从而使它们处于开放的状态,这

使得粘土在高温下更加稳定并且可与较大的分子相互作用。柱状粘土是一种更有效的催化剂，因为这种催化剂在高温范围内非常稳定。术语“粘土”指的是上述材料中的任何一种，它还包括没有具体列举但对于本领域的技术人员来说所公知的那些。在本发明方法中优选作为催化剂使用的粘土为绿土，最优选为蒙脱土。

一般粘土和金属粉剂催化剂的加入量约为 0.01 ~ 3.0wt%，以橡胶或烃类材料的总重量计。优选催化剂的加入量约为 0.2 ~ 1.0wt%。

在这里所使用的术语“负压条件”或“真空条件”指的是压力低于大气压的真空，优选真空度约为 2 ~ 16 英寸汞，最优选约为 5 ~ 10 英寸汞。

由本发明方法生产含有很少未裂解橡胶的非焦化的含碳残余物不同于现有技术方法所生产的那些。例如，由本方法生产的碳黑没有检测到 PAH's，未裂解的橡胶小于约 15 - 20%，并且与现有技术产品中的那些污染物的水平相比，其不含任何氧化的有机污染物。用傅里叶变换红外光谱（FTIR）分析商用标准的碳黑，IRB6 证实存在这些产品中存在有大于 0.1% 的 PAH's。当在不使用催化剂的情况下操作时，现行的方法所生产的产品有超过 70% 的未裂解的橡胶，当在正压下操作时，其所生产的产品具有大量的氧化的有机污染物，例如对苯二酸。在这里所使用的术语“最低限度的未裂解的橡胶”指的是固体残余物具有小于约 20% 的未裂解的烃类材料。

由本发明方法生产的液态油与现有技术方法所生产的油相比，其性能也得到了提高。由本方法所生产的油其聚芳烃和氧化的有机污染物的含量均得到了降低。与其它现有技术方法生产的油相比其重量也较轻。

在一个实施方案中，当操作以间歇模式进行时，在第一或活化阶段的反应温度为约 140°F ~ 850°F，优选开始低于 155°F，峰值约 550°F。反应温度是通过将测量设备插入橡胶或烃类材料本身来监测的；在整个活化阶段向系统输入恒定的能量直至油开始冷凝，在那时，就要减少或中止加热。在反应的下一阶段（第二阶段），由于反应的放热特性，所以仅需要很少或者不需要再输入燃料，在不输入燃料的情况下，反应温度

从约 550°F 上升到 850°F 或更高的温度。在反应的分解阶段将近结束时，反应变得缓慢并且温度开始降低，在这一期间就需要增加燃料以完成裂解过程。在反应温度达到峰值并且开始下降后重新开始加热并持续到温度持平而指示出完成时为止。在这种设置形式中用催化剂比不用催化剂可减少使用燃料 25%。电子反馈系统或在连续的螺旋反应器的情况下，将热从放热区进行传递的系统都可根据反应温度形成自动调节燃料的输入。

图 2 示出了裂解反应室和间歇装置的实施方式，其中根据本发明的方法其液态，气态和固态反应产物可在裂解过程中去除。将橡胶轮胎 1 和催化剂 3 放入反应室 5 并进行加热，其热量是用温度计 7 测量的，它可对反应的热进行监测。真空泵 9 保持整个系统为负压，这是通过真空计 11 测量的。集油池 13 收集反应生成的油，而气体从 15 处排出。冷凝旋管 17 对油进行冷凝，流体阀调节器 19 控制着反应器的气压和真空度。固体产物保留在反应室 5 中，在那里它们在反应结束后被收集起来。

在另一实施方案中，反应室中的温度/燃料的输入在连续裂解法中呈空间变化。首先，在室温下的烃类材料从料筒移入反应器中的初始温度段，在温度段控制需要输入的热量以克服反应的活化能。在反应室的入口处，相当于反应的第一阶段，需要输入很高的热量以引发反应，因此需要对反应室的入口部分进行加热，所输入的热量要能使反应温度达到约 450°F ~ 850°F 为止，更优选约为 500 ~ 600°F，最优选约为 550°F，其所进行的时间要能充分的引发裂解反应，这可通过开始产出油显示出来。橡胶或烃类材料可通过螺旋钻或其它类似的设备移入反应室中，并且可从室的第一位置移到第二，中间位置，相当于反应的第二阶段，在那里输入较低的燃料就可将反应温度维持在约 450 ~ 850°F，更优选约 500 ~ 600°F，最优选约 550°F，并且要确保反应进行足够的时间以使裂解反应连续，这可通过生成的热显示出来。最后，将橡胶或烃类材料移到相当于反应第三阶段的第三位置处，并增加热量的输入以维持反应温度在约 450 ~ 850°F，更优选约为 500 ~ 600°F，最优选约为 550°F，其进行的时间要足以完成裂解过程，这可通过温度的持平指示出。在螺旋钻的中心处

测量反应的温度，调节燃料的输入以维持所需的反应温度并利用反应的放热特性。

加料器和回收系统将气体从可控的低温反应室中排出，它还使得该反应室在真空下可连续地运转。正如上面所述，可开发电子反馈系统从而根据反应的温度来自动调节燃料的输入。

图 3 显示了一个连续加料系统的实例。破碎的橡胶 30 或其它烃类材料以及催化剂 35 通过传送带 45 或其它类似的设备输入入口箱或进料斗 40 中。用煤气喷灯 55 和 60 在两端加热细长的反应室 50。烃类材料在活化段 65 被加热，然后用螺旋钻 70 将其移入分解段 73，在那里将发生放热反应。当反应减缓时，用螺旋钻将烃类材料移到完成段 75，这之后将固体残余物由出口箱 80 移到固体材料回收系统 85 上从而得到碳黑和钢，如果开始存在的话。将蒸气 90 连续地脱出并用热交换器或油冷凝器 100 将其冷凝成油 95 或在反应期间作为燃料燃烧掉。真空泵 105 脱出蒸气并维持反应过程的真空。

通过掌握激活反应所需要的能量以及该反应中能量产生的动力学（如图 4 所示）就可设计出呈空间变化的反应器，当反应材料送入反应器时，该反应器可控制加到反应材料上的能量。此外，由于生成的气体含有可处理程度的污染物，所以当需要时，可将它们收集并送回到系统中。该设计利用了反应的热力学是非常经济的。

实施例

下面的实施例仅用于说明本发明，它对本发明不起任何限制作用。

将两磅的橡胶轮胎装入具有 21 夸脱容量的间歇式裂解室中，并把 10 克由铝，镁和膨润土其质量比为 1: 1: 8 所组成的混合金属催化剂分散在橡胶上。反应器用 LPG 燃料进行加热，其燃烧的速率为 16l/min，直至在第一阶段产生油的冷凝物并且反应温度达到 550°F 为止，这可通过将热电偶放在室中的橡胶块中来测定。在该温度下关掉 LPG 流。温度通过放热反应所产生的热量继续升高直到在第二阶段中的温度达到 750°F 为止。在这一过程期间，通过用引示光在可燃程度的范围内燃烧约 20 分钟来观察可燃气体产物。所生产的碳黑含有大于 74% 的固体产物。油相当

于6号燃油。进行80次这种试验，其结果类似。在没有催化剂的情况下进行与之相对的比较试验，结果有很少或根本没有气体或油生成，并且固体产物由小于20%的碳黑组成。

虽然上面所描述的具体的实施方案的目的是为了说明本发明，但对于本领域的技术人员来说对本发明的细节作出各种改变是显而易见的，它们都没有脱离由权利要求书所限度的本发明的范围。

图 1

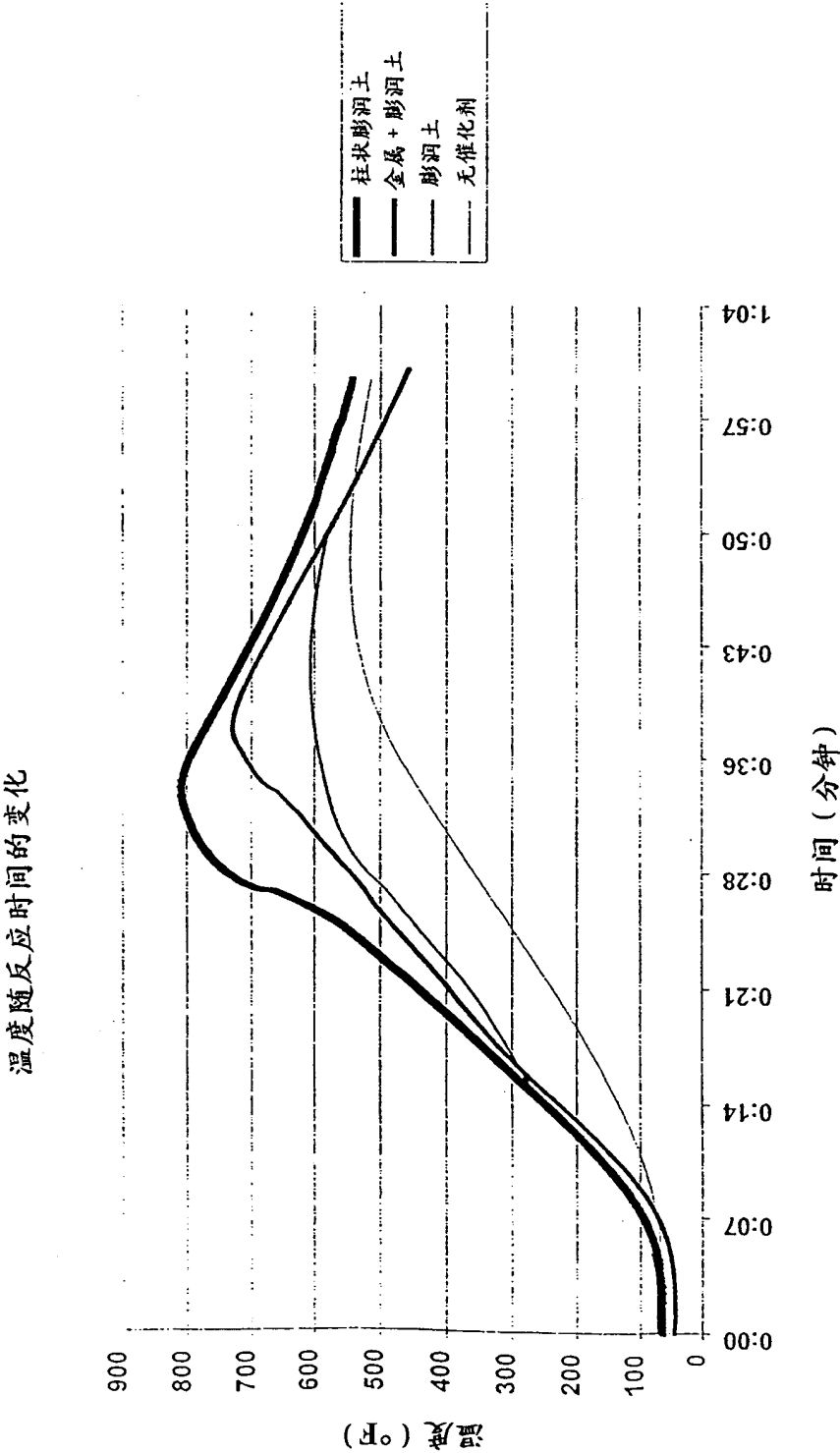


图 2

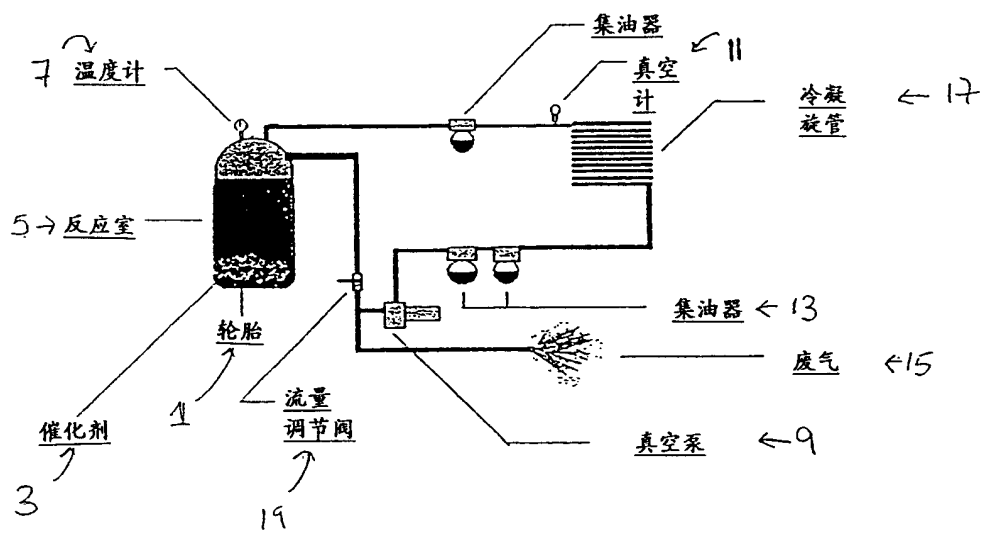


图 3

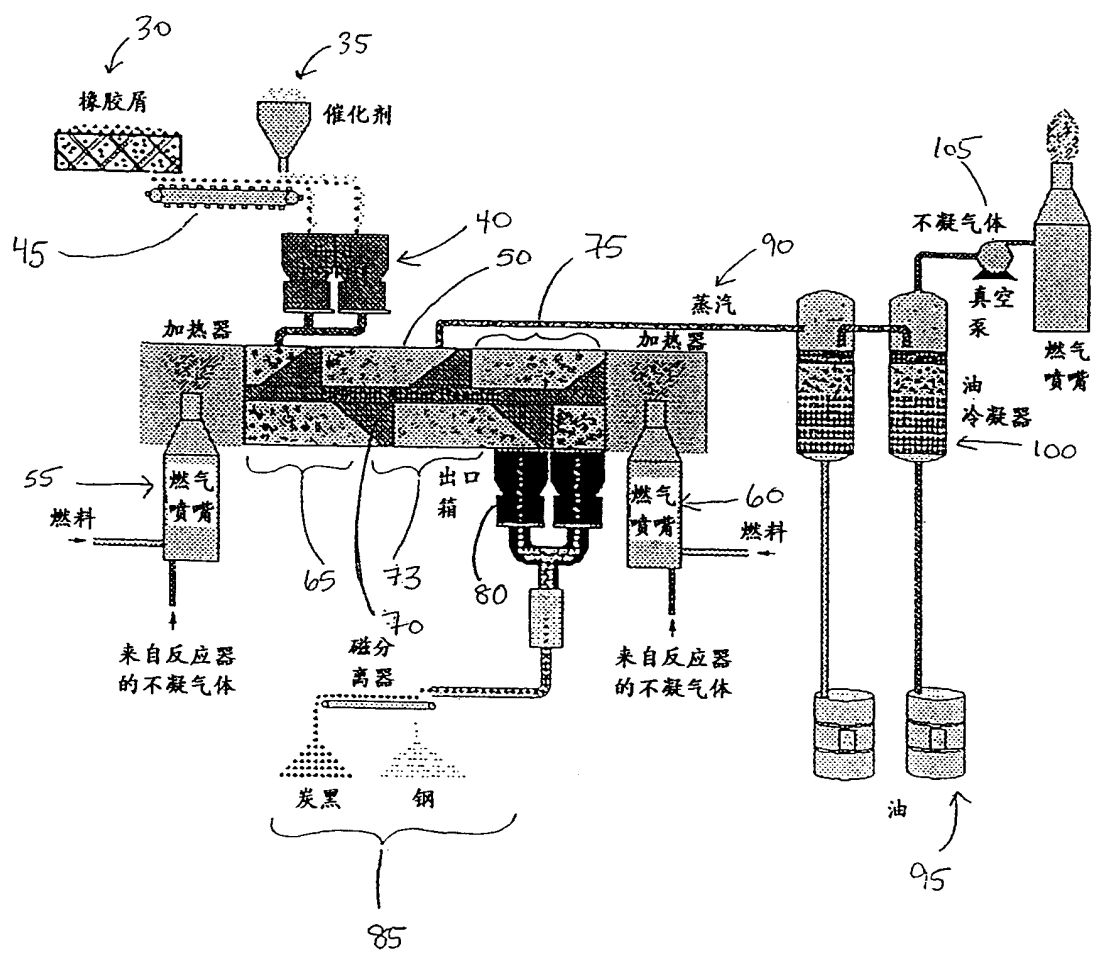


图 4

有与没有催化剂的活化和反应能的示意图

