

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

B01J 21/04



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 93109479.8

[45]授权公告日 1998 年 1 月 7 日

[11] 授权公告号 CN 1036899C

[22]申请日 93.8.11 [24]颁证日 97.11.29

[21]申请号 93109479.8

[30]优先权

[32]92.8.12 [33]BE[31]PI9203110

[73]专利权人 巴西石油公司

地址 巴西里奥简尼罗

[72]发明人 J·C·D·马塞多

[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 黄泽雄

审查员 王金瑞

权利要求书 1 页 说明书 18 页 附图页数 1 页

[54]发明名称 一种流化裂化催化剂及其应用

[57]摘要

一种改性氧化铝及其在流化催化裂化催化剂中作为金属钝化剂的应用。该改性氧化铝是由水合氧化铝譬如三水铝矿与一种低分子量的有机酸例如乙酸反应形成铝盐来制备的。将改性氧化铝焙烧导致了该铝盐的分解。

# 权 利 要 求 书

---

1.一种流化催化裂化催化剂，它包括基质，5 - 50（重）%的结晶沸石硅酸铝和2 - 80（重）%一种改性氧化铝，该改性氧化铝是如下制备的：在温度25 -110℃之间，将一种水合氧化铝与一种酸的水溶液接触反应1 - 100小时，其中，10-100%的该氧化铝被转化为适于所用酸的铝盐，该酸选自甲酸、乙酸和丙酸，然后将固体反应产物分离出来。

2.按照权利要求1的流化裂化催化剂，其中将所说氧化铝掺入到流化催化裂化催化剂中之前，使之于300 - 1200℃焙烧。

3.按权利要求1或2中的流化催化裂化催化剂的应用，用于含金属的烃类原料的催化裂化。

# 说明书

---

## 一种流化裂化催化剂及其应用

本发明涉及流化裂化催化剂及其它在流化催化裂化中的应用。更具体地说,本发明涉及制备用低分子量的有机酸改性的氧化铝及其在裂化重质原料尤其是含金属原料的流化裂化催化剂中的应用。

重质烃原料一般会被污染,尤其被金属、特别是被镍和钒污染。由于在此类原料的催化裂化过程中,它们会被裂化催化剂捕捉并使其中毒,因而造成了催化活性的降低,及减少其生成有价值的裂化产物诸如汽油的选择性,并产生了额外量的不适用产物如氢、干气和焦炭。研究工作表明,镍的存在导致氢及焦炭的产量增加,钒在某种程度上也有此作用,然而钒的主要影响是攻击沸石结构,其结果是使催化剂的活性降低。

现有技术已提出了许多解决催化裂化含金属重质原料的这一问题的建议,例如,美国专利说明书 4,283,309 提出了一种特别适用于裂化含金属重质原料的裂化催化剂,该催化剂由结晶硅酸铝、无机氧化物凝胶及一种多孔无机氧化物构成。此多孔无机氧化物的表面积大于  $200\text{m}^2/\text{g}$ ,而且至少  $0.2\text{ml/g}$  的孔体积是由直径为  $90-200\text{\AA}$  的孔提供的。这些参数值是在  $538^\circ\text{C}$  焙烧了 6 小时的材料上测定的,与其他催化剂组份无关。这些材料可由氧化铝、二氧化钛、氧化

硅、氧化锆、氧化镁及它们的复合物构成。此外,据称蒸汽钝化后的最后催化剂的孔隙分布为至少  $0.4\text{ml/g}$  的孔体积是直径大于  $90\text{\AA}$  的孔提供的。欧洲专利申请 0176150 提出了另一种建议。该文推荐使用含沸石裂化催化剂微粒与氧化铝微粒的物理混合物,它假定金属污染物主要被氧化铝微粒所捕获,因而几乎不被含沸石微粒所俘获。类似地 GB2116062 也推荐使用与含沸石裂化催化剂相分开的氧化铝微粒,该氧化铝微粒的比表面积为  $30-1000\text{m}^2/\text{g}$ ,孔体积为  $0.05-25\text{ml/g}$ 。

尽管有这些建议,但仍然还需要新的适合于含金属重质原料催化裂化的催化剂。现已发现,当所用的添加物是一种用低分子量的有机酸改性的氧化铝时,可得到一种特别合适的催化剂。本发明涉及一种制备该添加物的方法,涉及含有该添加物的含沸石裂化催化剂,以及涉及在裂化重质原料的过程中这些催化剂的应用。已发现,本发明的催化剂具有优异的抗金属性能,并获得良好的残油。

图 1 是按照实施例 1 记述的用乙酸改性的三水铝矿并于  $788^\circ\text{C}$  焙烧 3 小时后其孔体积对孔径的微分图,是用氮吸附法测定的。

图 2 是按照实施例 1 记述的用乙酸改性的三水铝矿并于  $550^\circ\text{C}$  焙烧 3 小时后其孔体积对孔径的微分图,是用氮吸附法测定的。

按照本发明,改性氧化铝是按下述方法制备的:在  $25-110^\circ\text{C}$  范围内将水合氧化铝与选自甲酸、乙酸和丙酸的水溶液接触  $1-100$  小时,其终  $\text{PH}$  值为  $4.0$  或更小,然后将固体反应产物分出来。

术语“水合氧化铝”指的是氢氧化铝及氢氧化铝一氧化铝,其实例包括三水铝矿、快速焙烧三水铝矿、勃姆石和三羟铝石。

反应温度宜为  $80-100^{\circ}\text{C}$ 。而且不断搅拌混合物是很重要的。

从实践上看,即从随后将改性氧化铝用作流化裂化催化剂的添加物的观点出发,推荐使用粒状水合氧化铝;必要的话,将起始物质磨成这种状态。用粒度小于 100 微米的粉状起始氧化铝可得到好的结果。

反应周期最好是 2—70 小时。

反应可在常用设备中进行,必要时可用压力釜。

酸的水溶液一般含 10—75(重)%有机酸,最好用酸含量为 25—55(重)%的溶液。

酸溶液与水合氧化铝的重量比一般为 1—12,最好是 5—8。

在反应过程中,氧化铝部份地或全部地转变为与所用酸相适应的铝盐,即碱式甲酸铝(二甲酸铝)、碱式乙酸铝(二乙酸铝)及碱式丙酸铝(二丙酸铝)。转化率一般为 10—100%,更好为 20—100%,再好为 20—90%。

反应后将固体与液体分离,用(温)水洗固体反应产物。可重复此洗涤步骤一或多次,直到滤液中不再有任何残留的酸。

随后,将产物干燥,例如在一烘箱中于  $105-125^{\circ}\text{C}$  干燥 1—20 小时,或代之以用快速干燥器或喷雾干燥器干燥。如此得到的改性氧化铝本身可用作按本发明制备裂化催化剂的添加物。或者也可先将

如此得到的氧化铝焙烧,然后再用作按本发明制备催化剂的添加物。显然在前一种情况下改性氧化铝也会被焙烧,譬如说,在制备催化剂过程中/或在裂化装置上用此催化剂时均被焙烧。

当将经洗涤、干燥的氧化铝单独焙烧,即先于催化剂制备步骤焙烧时,通常在 $300-1200^{\circ}\text{C}$ 下进行焙烧。焙烧过程的长短是不重要的,但通常最少30分钟。推荐的加热速度为小于 $20^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ ,最好是每分钟小于 $8^{\circ}\text{C}$ 。

按本发明的方法制备的改性氧化铝的突出之处是它们的孔隙度和当用作裂化催化剂的添加物时其作为金属钝化剂的能力。孔隙度是在焙烧改性氧化铝时生成的。虽然不想拘泥于理论,概括地说,孔隙度生成机理似乎是,在焙烧过程中碱式铝盐在熔化前分解,同时气态化合物在此过程中逸出。因之,其孔隙度成为表征改性氧化铝的一个令人满意的参数。当将反应、洗涤和干燥后得到的氧化铝在 $788^{\circ}\text{C}$ 焙烧3小时后,孔大小的分布(用对比氮脱附曲线法测定)是:平均孔径 $2.0-14\text{nm}$ ,其中至少60%、最好是60—95%的孔体积属于直径为 $2.0-20.0\text{nm}$ 的孔。

于是,所述分解可在改性氧化铝本身发生,也可在该氧化铝处于催化剂中时发生。若改性氧化铝的干燥先于与其他催化剂组份掺合,在以后步骤中的分解将完全发生在催化剂微粒中,导致由于脱气造成基质附加的孔隙度。若将改性氧化铝先焙烧,则产生基质过大孔隙度的程度就取决于该预焙烧的程度。中度预焙烧将使氧化铝

微粒的灼烧损失(LOI)高于更苛刻的预焙烧,而且灼烧损失 LOI 越高,则最后产生的基质附加孔隙度也越高。反之,LOI 低将使基质过大孔隙度小。

很显然,各种催化剂组份与进料中高分子量烃类的靠近受基质附加孔隙度的影响,因而本发明提供了一种机会以按照行将裂化的原料的性质来改进裂化催化剂的孔隙度。预焙烧改性氧化铝以得到具有不同 LOI 的氧化铝的合适温度为 300—450℃、450—850℃以及 850—1200℃。

本发明的裂化催化剂含 2—80(重)%,优选的是 3—55(重)%,更优选的是 3—35(重)%的改性氧化铝(可焙烧或不焙烧)。

此外,催化剂还含 5—50(重)%结晶沸石硅酸铝。合适的沸石的实例包括:X—、Y—、A—及 L—型沸石,ZSM—5,菱沸石,毛沸石,线光沸石及菱钾沸石。优选的是 Y—型沸石及其水热和/或化学改性的各种变体,诸如 USY 沸石,尤其是在 US3293192 中记述的那种。正如已为人们所知的,为了最佳催化剂活性,这些沸石的钠含量要低。一般地,其  $\text{Na}_2\text{O}$  含量低于 4(重)%,最好低于 1(重)%。

催化剂还含有基质。可用所有适合作催化剂基质的材料,例如氧化硅、氧化铝、硅铝氧化物、氧化镁、硅镁氧化物、氧化锆及氧化硼。此外,其他物质如白土,尤其是高岭土,也可加入到催化剂组合物中。

本发明之催化剂的制备也可按人们已知的方法进行。

本催化剂极适合于用作重质原料的催化裂化,尤其是含金属的

原料如重质油和渣油,包括常减压蒸馏渣油的催化裂化。一般说,金属含量( $Ni+V$ )高至 2000ppm 的原料都可有效地转化。可用通常的裂化条件,例如温度为 375—650℃,压力为常压至 7 大气压,并借助于一种含氧气体于 540—825℃进行再生。

参照以下实施例可对本发明进一步加以说明。

#### 实施例 1. 制备改性氧化铝

起始水合氧化铝是三水铝矿,它是从南美巴西的 Alcoa 铝公司买到的,商品名 C-30。反应前将其磨成粒度小于 100 微米的微粒。

在一个玻璃护套反应器中加入 100g 经 815℃/1hr 干燥的三水铝矿石,向其中加入 549g 乙酸水溶液(乙酸浓度 54.6(重)%). 不断搅拌反应混合物,温度保持在 98℃,并在此条件下反应 6 小时。之后,将悬浮液过滤,将固体用温的脱离子水多次洗涤,总用水量为 4.5 升。将洗好的产物在一烘箱中于 120℃干燥 17 小时。

X 射线衍射分析指出,产物为碱式乙酸铝及未反应的三水铝矿的混合物。X 射线荧光分析显示,产物中含 50(重)%的氧化铝,说明 55%的三水铝矿仍未反应,45%的已转化成碱式乙酸盐。

将一份干燥的产物于 400℃焙烧 3 小时。焙烧产物的表面积(氮吸附法)为 311M<sup>2</sup>/g,其勃姆石含量为 17(重)%。

将另一份干燥的产物于 550℃焙烧 3 小时。焙烧产物的表面积为 180m<sup>2</sup>/g,孔体积为 0.26ml/g。用 BJH 方程算出的平均孔径,即用氮脱附曲线测定 50%总孔体积的孔径,其值为 3.0nm。用氮吸

附法测定的孔大小分布见图 2。

再将另一份干燥的产物于 788℃焙烧 3 小时。焙烧产物的表面积为  $105\text{m}^2/\text{g}$ ，孔体积为  $0.24\text{ml}/\text{g}$ ，其孔大小分布(氮吸附法)如图 1 所示。

#### 实施例 2： 制备改性氧化铝

除将反应进行 18 小时外，其他制备步骤(反应、洗涤和干燥)均与实施例 1 所记述者相同。X 射线荧光分析表明，其干燥产物含 44 (重)%的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，说明 37%的三水铝矿仍未反应，而 63%已转化成碱式乙酸铝盐。

将一份干燥产物于 788℃焙烧 3 小时。焙烧产物的表面积为  $110\text{m}^2/\text{g}$ ，孔体积为  $0.32\text{ml}/\text{g}$ 。

#### 实施例 3： 制备改性氧化铝

除将反应进行 65 小时外，其他制备步骤(反应、洗涤、干燥)同实施例 1。X—射线荧光分析指出干燥产物含 39(重)% $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，说明 22%的三水铝矿未发生反应，78%的三水铝矿已转化成碱式乙酸铝。

将一份干燥产物于 550℃焙烧 3 小时。焙烧产物的孔分布(氮气吸附法，微分曲线)显示出两个最高峰：其一位于孔径  $3.6\text{nm}$ ，另一个在孔径  $10.1\text{nm}$  处。

将另一份干燥产物于 788℃焙烧 3 小时。焙烧产物的表面积为  $130\text{m}^2/\text{g}$ ，孔体积为  $0.46\text{ml}/\text{g}$ ，孔分布(氮吸附法，微分曲线)的最大峰位于孔径  $5.0\text{nm}$  及  $10.1\text{nm}$  处。

#### 实施例 4： 制备催化剂

其一般步骤为：向一个氧化硅溶胶中加入各种组份(颗粒度小于 5 微米)，将所得悬浮液喷雾干燥(空气进口温度 350—450℃，空气出口温度 110—150℃，催化剂粒度约 60 微米)，用硫酸铵水溶液洗涤喷雾干燥的催化剂微粒，并于 110℃将洗涤产物干燥 17 小时。

催化剂 A、B、C、D 均按本发明步骤制备，其组成及其他特征列于表 1。所用的沸石是 REY 型沸石，其氧化硅与氧化铝的摩尔比是 5.6，单位晶胞大小为 2.455nm。用于制备催化剂 A、B、C 的改性氧化铝是如实施例 1 中所记述的改性的三水铝矿，用于制备催化剂 D 的改性氧化铝是如实施例 3 中所记述的改性的三水铝矿。在所有四种情况下均用氧化铝的干燥状态，即非焙烧状态。

表 1

| 催化剂                                   | A   | B   | C   | D   | X   |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 沸石 (重%)                               | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  |
| 改性氧化铝 (重%)                            | 5   | 10  | 20  | 10  | -   |
| 高岭土 (重%)                              | 37  | 32  | 22  | 32  | 42  |
| 氧化硅 (重%)                              | 22  | 22  | 22  | 22  | 22  |
| Na <sub>2</sub> O (wt.%)              | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 |
| SO <sub>4</sub> (wt.%)                | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 0.5 | 0.2 |
| RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt.%) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| BET 表面积 (m <sup>2</sup> /g)           | 246 | 278 | 271 | 243 | 250 |

## 实施例 5

表 2 列出了催化剂 A—D 在微反活性试验 (MAT) 中的性能。该试验是按照“第一届南美洲肯特金催化剂研讨会年报”(巴西 Rio de Janeiro, 1985 年 9 月 22—24) 第 7、8 页中记述的步骤进行的。所用油为沸程为 380℃—548℃(切除头尾各 5% 馏份) 的巴西重质减压瓦斯油, 其密度为 0.9240 ml/g. 其 API 重度为 21°(15.6℃), 倾点为 36℃, 闪点 240—250℃, 苯胺点 96.4℃, 总氮含量 0.28(重)%, 硫含量 0.57(重)%. 反应器温度为 520℃, 反应时间为 30 秒。试验前, 将催化剂在 100% 蒸汽气氛中于 788℃ 减活 5 小时。表 2 中还列出了减活催化剂的表面积。

表 2

| 催化剂                     | A    | B     | C    | D    |
|-------------------------|------|-------|------|------|
| 表面积                     | 166  | 169   | 151  | 170  |
| BET (m <sup>2</sup> /g) |      |       |      |      |
| 转化率 (%)                 | 59.6 | 66.1  | 72.3 | 66.4 |
| 动态活性 (%)                | 0.53 | -0.49 | 0.43 | 0.52 |
| 剂/油比                    | 5.0  | 5.0   | 5.0  | 5.0  |
| 选择性:                    |      |       |      |      |
| H <sub>2</sub> (%)      | 0.25 | 0.28  | 0.34 | 0.29 |
| 干气 (%)                  | 4.5  | 4.6   | 4.9  | 4.4  |
| 液化石油气 (%)               | 16.0 | 18.6  | 19.1 | 18.9 |
| 汽油 (%)                  | 69.6 | 63.3  | 60.0 | 64.6 |
| 轻循环油 (%)                | 40.6 | 27.3  | 23.8 | 28.0 |
| 焦炭 (%)                  | 4.6  | 6.1   | 8.4  | 5.7  |
| 轻/重循环油比                 | 1.5  | 1.1   | 1.6  | 1.3  |

## 实施例 6

在本实施例中，将催化剂 A—D 在浸渍了 Ni 或 V 后在微反活性试验中进行试验。在浸渍中使用了环烷酸镍的二噁烷溶液，或用环烷酸钒的甲苯溶液。干燥后，将浸渍的催化剂于 600℃ 焙烧 2 小时，然后蒸汽减活并按实施例 5 记述的方法进行试验。用催化剂 X 作为对比，它是按实施例 4 记述的方法制备的，其组成已在表 1 中列出。如上所述也加入 Ni 或 V，按催化剂 A—D 同样的方式蒸汽减活并进行实验。

表 3 列出了其试验结果，它清楚地表明了本发明的添加物的有效性。用镍浸渍的催化剂 A、B 和 D 呈现出比对比浸镍催化剂 X 更好的选择性，尤其是对液化石油气及汽油的选择性，它们产生较小的氢、干气和焦炭。浸渍了钒的催化剂 A、C 和 D 性能也很好，而浸渍了钒的催化剂 X 在该试验条件下却崩塌了，对比催化剂 X 的转化率只 23%，表明其中的沸石被破坏了。催化剂 A、C 及 D 的高得多的转化率表明本发明的添加物起到有效的钒捕集作用，使钒远离沸石因而不破坏它。

表 3

| 催化剂                          | A    | B    | C | D    | X    |
|------------------------------|------|------|---|------|------|
| Ni (ppm)                     | 2312 | 2349 | — | 2382 | 2330 |
| 表面积, BET (m <sup>2</sup> /g) | 160  | 169  | — | 146  | —    |
| 转化率 (%)                      | 65.0 | 65.6 | — | 69.6 | 65.1 |
| 动态活度                         | 0.41 | 0.40 | — | 0.43 | 0.21 |
| 剂/油比                         | 5.0  | 5.0  | — | 5.0  | 5.0  |
| 选择性:                         |      |      |   |      |      |
| H <sub>2</sub> (%)           | 0.75 | 0.57 | — | 0.69 | 1.2  |
| 干气 (%)                       | 4.5  | 4.6  | — | 4.3  | 8.2  |
| 液化石油气 (%)                    | 17.3 | 17.5 | — | 19.4 | 14.5 |
| 汽油 (%)                       | 63.1 | 60.9 | — | 59.9 | 57.4 |
| 轻循环油 (%)                     | 30.1 | 28.7 | — | 26.6 | 26.7 |
| 焦炭 (%)                       | 7.0  | 7.2  | — | 7.7  | 13.6 |
| 轻/重循环油比                      | 1.3  | 1.2  | — | 1.6  | 0.9  |

表 3 (续)

| 催化剂                                | A    | B | C    | D    | X    |
|------------------------------------|------|---|------|------|------|
| V (ppm)                            | 3685 | — | 4004 | 3875 | 3900 |
| 表面积, BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | 105  | — | 129  | 123  | —    |
| 转化率 (%)                            | 55.0 | — | 61.4 | 60.3 | 23   |
| 动态活度                               | 0.31 | — | 0.22 | 0.28 | —    |
| 剂/油比                               | 5.0  | — | 5.0  | 5.0  | 5.0  |
| 选择性:                               |      |   |      |      |      |
| $\text{H}_2$ (%)                   | 0.84 | — | 1.1  | 1.2  | —    |
| 干气 (%)                             | 4.4  | — | 4.8  | 5.0  | —    |
| 液化石油气 (%)                          | 12.6 | — | 13.0 | 13.6 | —    |
| 汽油 (%)                             | 60.3 | — | 61.2 | 62.5 | —    |
| 轻循环油 (%)                           | 36.1 | — | 33.6 | 35.6 | —    |
| 焦炭                                 | 7.1  | — | 11.8 | 9.1  | —    |
| 轻/重 循环油比                           | 0.79 | — | 1.2  | 1.2  | —    |

## 实施例 7

按本发明实施例 4—6 所记述的步骤再制备三个催化剂并进行微反试验。

催化剂 E 含 CREY 沸石〔氧化硅:氧化铝=5.4(摩尔),单位晶胞大小 2.467nm〕、氧化硅、高岭土、硫酸脱铝的变高岭土(按照 EP0358261),以及如在实施例 2 中记述的改性、洗涤、干燥但不焙烧的氧化铝。

催化剂 F 和 G 均含有 USY 沸石(氧化硅与氧化铝的摩尔比为 5.6,单位晶胞大小 2.448nm)、氧化硅、高岭土和如实施例 1 中记述的改性氧化铝,该氧化铝在洗涤和干燥后于 400℃焙烧 3 小时。

催化剂 E、F、G 的组成及某些化学、物理性质列于表 4,其微反活性试验结果列于表 5。该结果表明,催化剂性能中令人满意。

表 4

| 催化 剂                                | E   | F   | G   |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|
| 沸石 (重%)                             | 20  | 40  | 40  |
| 氧化铝 (重%)                            | 10  | 5   | 10  |
| 高岭土 (重%)                            | 30  | 31  | 26  |
| 变高岭土 (重%)                           | 20  | -   | -   |
| 氧化硅 (重%)                            | 20  | 24  | 24  |
| Na <sub>2</sub> O (重%)              | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| SO <sub>4</sub> (重%)                | 0.3 | 0.2 | 0.3 |
| RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (重%) | 1.7 | 0.1 | 0.1 |
| 表面积 / g                             | 210 | 311 | 307 |

表 5

| 催化剂                                | E    | F | G |
|------------------------------------|------|---|---|
| 表面积, BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | 102  | — | — |
| 转化率 (%)                            | 69.5 | — | — |
| 动态活度                               | 0.54 | — | — |
| 剂/油比                               | 5.0  | — | — |
| 选择性:                               |      |   |   |
| $\text{H}_2$ (%)                   | 0.23 | — | — |
| 干气 (%)                             | 3.8  | — | — |
| 液化石油气 (%)                          | 17.0 | — | — |
| 汽油 (%)                             | 62.1 | — | — |
| 轻循环油 (%)                           | 25.0 | — | — |
| 焦炭 (%)                             | 6.0  | — | — |
| 轻/重 循环油比                           | 1.3  | — | — |

表 5 (续)

| 催化剂                          | E    | F    | G    |
|------------------------------|------|------|------|
| Ni (ppm)                     | 2511 | 2007 | 2019 |
| 表面积, BET (m <sup>2</sup> /g) | 100  | —    | —    |
| 转化率 (%)                      | 62.6 | 77.0 | 77.0 |
| 动态活度                         | 0.31 | 1.4  | 1.1  |
| 剂/油之比                        | 5.0  | 4.4  | 4.8  |
| 选择性:                         |      |      |      |
| H <sub>2</sub> (%)           | 0.52 | 0.17 | 0.20 |
| 干气 (%)                       | 4.3  | 3.6  | 3.0  |
| 液化石油气 (%)                    | 17.9 | 24.9 | 26.5 |
| 汽油 (%)                       | 61.8 | 68.3 | 66.6 |
| 轻循环油 (%)                     | 30.7 | 16.2 | 15.8 |
| 焦炭 (%)                       | 8.5  | 3.1  | 3.6  |
| 轻/重 循环油比                     | 1.1  | 1.2  | 1.2  |

# 说明书附图

1/1

图 1

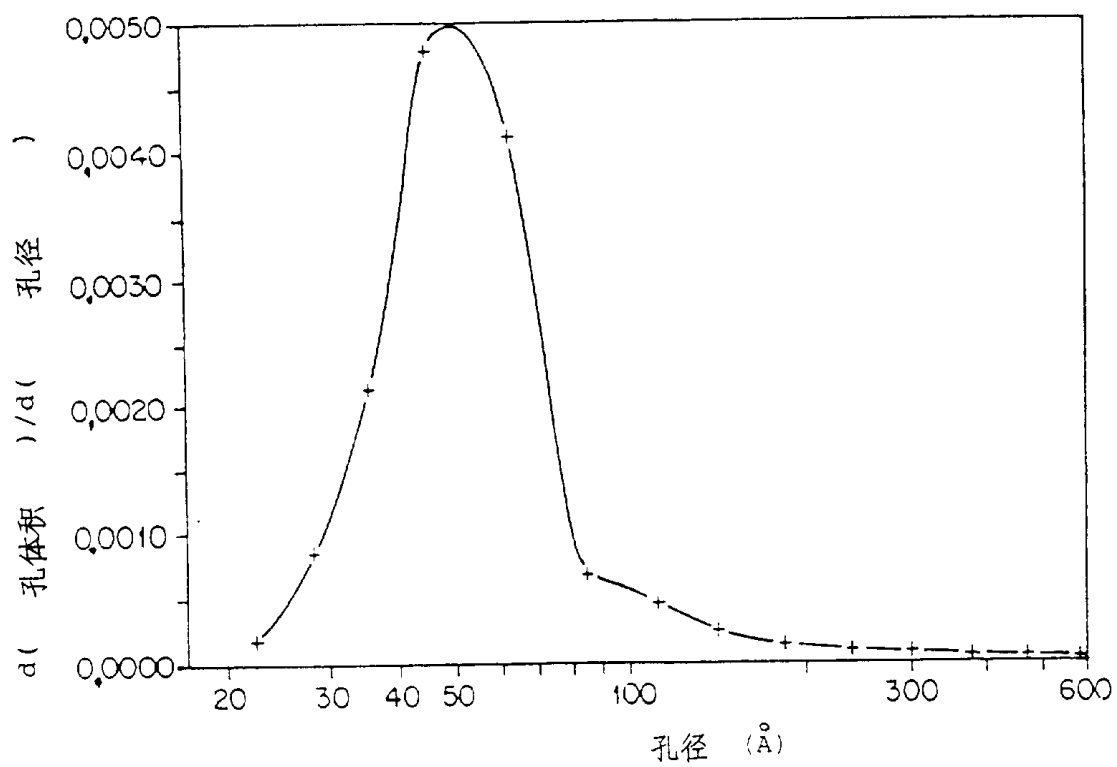


图 2

