

一种双梯形构件、流化装置和硝基化合物的加氢反应方法

技术领域

本发明涉及一种流化装置，特别是流化床反应器。本发明还涉及一种双梯形构件和包含该双梯形构件的流化装置。本发明进一步涉及这些流化装置在硝基化合物的加氢反应方法中的应用。

背景技术

苯胺是一种重要的基本有机化工原料和精细化工中间体，由苯胺生产的下游产品多达 300 余种，广泛应用于染料、医药、农药、炸药、香料、橡胶、合成材料等行业。近年来，随着我国和世界范围内聚氨酯工业的迅速崛起，作为其主要原料 MDI（4，4-二苯甲烷二异氰酸酯）不可替代的基础原料之一的苯胺，得到了超乎寻常的快速发展。

目前工业化生产苯胺的方法有三种，硝基苯催化加氢法、苯酚氨化法及铁粉还原法。其中铁粉还原法由于生成的苯胺质量较差，逐渐被淘汰。苯酚氨化法则强烈依赖于苯酚的来源。现在的硝基苯催化加氢法为大多数厂家所采用。而硝基苯催化加氢法又分为气相催化加氢工艺与液相催化加氢工艺。硝基苯液相催化加氢工艺为美国杜邦公司首先成功开发，主要是采用贵金属催化剂在无水条件下进行，该工艺优点是反应温度低、催化剂负荷高、寿命长且设备生产能力大，缺点是所需压力高、反应物与催化剂及溶剂必须进行分离，设备操作成本高，催化剂价格昂贵，且催化剂活性过高导致副产物较多。流化床气相催化加氢法是原料硝基苯加热汽化与氢气混合后，进入装有铜-硅胶催化剂的流化床反应器中进行加氢还原反应。

硝基苯气相加氢法制苯胺在国内已有几十年的生产历史，国内不少苯胺生产厂家都采用的是流化床气相催化加氢工艺。

中国专利申请公开 CN1528737A 公开了一种装置，主要包括流化床反应器，设置在反应器底部的反应原料气体入口，设置在该入

口上部的第一气体分布器,设置在反应器轴向高度中部的将反应器分为两个催化剂密相区的第二气体分布器,设置在反应器内两个催化剂密相区中的换热器;设置在所述反应器外部或内部的分别与上下两个催化剂密相区相连的催化剂溢流装置,以及气固分离装置。

5 中国专利申请公开 CN1634860A 公开了一种苯胺合成流化床中的气体分布器及苯胺合成方法,其中该气体分布器由输送气体的主管、分管及与相连的分配气体的环形管道,以及设置在环形管道上的向下喷射气体的喷嘴和向上喷射气体的喷嘴构成。

10 发明内容

本发明的发明人发现,现有技术的制备苯胺的流化床反应器中普遍都设置了内构件,用于调整内部的气固流动,但是由于苯胺催化剂的强度较低,非常容易破碎,粒径会随着运行时间逐渐变小,细粉很容易泡入稀相区后增加了旋风分离器的负荷,从而使得催化剂跑损较为严重,随之带来的影响就是反应无法长周期运行,需要停车补剂等各种问题。本发明的发明人还发现,由于苯胺催化剂颗粒粒径较大,属于 Geldart B 类颗粒,不易于流化。现有技术一般通过加入内构件来调整反应器内床层的流化质量,但是不同的内构件导流的原理不同,对于流化质量的影响也不一样。本发明基于这些发现而完成。

具体而言,本发明涉及以下方面的内容:

1. 一种流化装置(特别是流化床反应器),包括壳体、气体分布器、以及由所述壳体的内壁与所述气体分布器的上表面限定的内腔,所述内腔具有底部(相应于所述气体分布器的上表面)和顶部,其中沿着所述流化装置的中心轴线方向,设所述底部与所述顶部之间的垂直距离为 H (单位是 m),从所述底部向上至 $0.1H$ 、 $0.2H$ 、 25 $0.3H$ 、 $0.4H$ 、 $0.5H$ 、 $0.6H$ 、 $0.7H$ 或 $0.8H$ 的内腔区域为下部区域,从所述顶部向下至 $0.1H$ 、 $0.2H$ 、 $0.3H$ 、 $0.4H$ 、 $0.5H$ 、 $0.6H$ 、 $0.7H$ 或 $0.8H$ 的内腔区域为上部区域,并且所述下部区域与所述上部区域之间的内腔区域为中部区域,所述中部区域沿着所述流化装置的

30

中心轴线方向的高度为 $0.005H-0.2H$ 、 $0.005H-0.05H$ 或者 $0.005H-0.02H$ ，在所述中部区域设置有多孔板（比如选自冲孔板、筛网和格栅中的至少一种，特别是格栅），所述多孔板包括外缘区域和中央区域，（1）设所述外缘区域的开孔率为 A_1 （单位是%），
5 设所述中央区域的开孔率为 A_2 （单位是%），则 $A_1/A_2=0-0.95$ （优选 $0.1-0.5$ ），或者所述外缘区域的开孔总面积（单位是 m^2 ）与所述中央区域的开孔总面积（单位是 m^2 ）的比值为 $1/10-1/2$ 或 $1/5-1/2$ 。

2. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中所述上部区域相应于稀相区，所述下部区域相应于密相区，所述中部区域相应于
10 颗粒溅射过渡区，和/或，所述多孔板距离所述气体分布器的上表面的轴向高度（单位是 m ）为所述密相区的轴向高度（单位是 m ）的 $1.05-1.5$ 倍或 $1.05-1.2$ 倍。

3. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中所述多孔板的数量为 1 个或多个（比如 $1-5$ 个，特别是 $1-3$ 个或 1 个），并且在
15 存在多个时，任意相邻两个所述多孔板沿着所述流化装置的中心轴线方向的垂直距离（单位是 m ）为 $0.001H-0.05H$ 。

4. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中所述多孔板的外周缘上任意一点与所述多孔板的中心点之间的直线距离为 R （特别是半径），将所述多孔板上与所述中心点直线距离为 r 的所有点
20 围绕而成的区域称为中央区域，将所述中央区域与所述外周缘之间的区域称为外缘区域，则 $r/R=0.2-0.99$ （优选 $0.5-0.9$ ，更优选 $0.7-0.85$ ）或者 $R/r=2/1$ 至 $9/1$ ，优选 $2/1$ 至 $5/1$ 。

5. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中所述中央区域的开孔（称为中央开孔）的数量为 $1-650$ （优选 $5-150$ ，更优选 $15-150$ ）
25 个/平方米所述中央区域，和/或，所述外缘区域的开孔（称为外缘开孔）的数量为 $0-4000$ （优选 $100-600$ ，更优选 $200-500$ ）个/平方米所述外缘区域，和/或，在存在多个时，多个所述中央开孔的当量直径彼此相同或不同，各自独立地为 $0.04-1m$ 、 $0.04-0.5m$ 、或者 $0.04-0.1m$ ，和/或，在存在多个时，多个所述外缘开孔的当量直径

彼此相同或不同，各自独立地为 0.005-0.2m、0.005-0.08m、或者 0.005-0.03m，和/或，所述外缘区域的开孔率为 2-40%（优选 8-20%），所述中央区域的开孔率为 30-100%（优选 40-80%），和/或，所述多孔板具有基本上圆形形状，所述圆形的直径为 1-10m，优选 2-5m，
5 和/或，所述多孔板的厚度为 5-40mm，优选 10-35mm。

6. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中在将所述多孔板水平放置时，分隔任意相邻两个所述开孔的支撑体沿垂直方向切割而形成的截面形状选自正方形、三角形、菱形、长方形、圆形、椭圆形、环形以及这些形状的任何组合，或者分隔任意相邻两个所述开孔的支撑体沿垂直方向切割而形成的截面形状使得基本上没有固体颗粒累积在所述支撑体朝向所述上部区域的表面上和/或使得与所述支撑体朝向所述下部区域的表面接触的固体颗粒基本上被拦截，或者所述支撑体是弯曲板状或者平板状（优选垂直设置或者从垂直方向朝向所述下部区域倾斜（特别是倾斜 0.1-60°、5-30°
10 或 10-20°）设置。
15

7. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中所述外缘区域和所述中央区域与所述流化装置的中心轴线同轴，和/或，所述多孔板的外周缘顺应所述中部区域的壳体内壁的形狀，并固定或者连接于所述壳体内壁，和/或，所述多孔板的外周缘与所述中部区域的壳体内壁气密性结合。
20

8. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中所述 H 是 5-60m（优选 10-30m），和/或，所述下部区域的直径为 0.5-12m（优选 1-8m），和/或，所述中部区域的直径为 0.5-16m（优选 1-10m）。

9. 前述或后述任一方面所述的流化装置，还包括设置于所述上部区域中的气固分离装置（比如旋风分离器）和设置于所述下部区域中的换热装置（比如换热管件），并任选包括设置于所述下部区域中的双梯形构件。
25

10. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中所述双梯形构件包括上挡板、下挡板和使所述上挡板与所述下挡板相对固定的连

接件,所述上挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形(称为第一梯形),所述第一梯形的上底边(较长底边)和下底边(较短底边)开口,两个侧边(腰)彼此互成夹角,所述下挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形(称为第二梯形),所述第二梯形的上底边(较短底边)和下底边(较长底边)开口,两个侧边(腰)彼此互成夹角,所述第一梯形的所述下底边开口与所述第二梯形的所述上底边开口彼此嵌套设置(优选所述第二梯形的所述上底边开口嵌套在所述第一梯形的所述下底边开口内)。

11. 前述或后述任一方面所述的流化装置,其中所述上挡板的所述中心轴线与所述下挡板的所述中心轴线同轴,和/或,所述上挡板的所述两个侧边的夹角(α)的范围为 $0-120^{\circ}$ (优选 $0-60^{\circ}$),所述下挡板的所述两个侧边的夹角(β)的范围为 $0-120^{\circ}$ (优选 $45-90^{\circ}$),和/或,所述上挡板的所述较短底边的长度与所述下挡板的所述较短底边的长度之比大于1(优选1.1-3),和/或,所述下挡板的所述较短底边与所述上挡板的所述较短底边的垂直距离(单位是mm)为0至小于 H_1 (优选 $0.01H_1$ 至 $0.5H_1$),其中 H_1 是所述第一梯形的高度(单位是mm),和/或,所述第一梯形的高度 H_1 是20-150mm,所述第二梯形的高度 H_2 是20-150mm。

12. 前述或后述任一方面所述的流化装置,其中所述上挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面,所述下挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面,和/或,所述上挡板的所述曲面的开孔率为10-50%,所述下挡板的所述曲面的开孔率为3-30%,

或者,

25 所述上挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面,所述下挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面,和/或,所述上挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为10-50%,所述下挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为3-30%,和/或,所述上挡板沿着其长度方向

的尺寸是 30-250mm，所述下挡板沿着其长度方向的尺寸是 30-250mm。

13. 前述或后述任一方面所述的流化装置，其中当所述双梯形构件的数量是多个（比如 4-240 个，优选 10-120 个）时，所述多个双梯形构件可以全部位于同一水平面内、分别位于不同水平面内或者其任意的组合，和/或，位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角 (γ) 为 30-90°，和/或，位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间的垂直距离 H3 不小于 100mm，和/或，位于同一水平面内的任意相邻两个所述双梯形构件之间的水平距离 H4 不小于 80mm。

14. 一种双梯形构件，包括上挡板、下挡板和使所述上挡板与所述下挡板相对固定的连接件，所述上挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形（称为第一梯形），所述第一梯形的上底边（较长底边）和下底边（较短底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述下挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形（称为第二梯形），所述第二梯形的上底边（较短底边）和下底边（较长底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述第一梯形的所述下底边开口与所述第二梯形的所述上底边开口彼此嵌套设置（优选所述第二梯形的所述上底边开口嵌套在所述第一梯形的所述下底边开口内）。

15. 前述或后述任一方面所述的双梯形构件，其中所述上挡板的所述中心轴线与所述下挡板的所述中心轴线同轴，和/或，所述上挡板的所述两个侧边的夹角 (α) 的范围为 0-120°（优选 0-60°），所述下挡板的所述两个侧边的夹角 (β) 的范围为 0-120°（优选 45-90°），和/或，所述上挡板的所述较短底边的长度与所述下挡板的所述较短底边的长度之比大于 1（优选 1.1-3），和/或，所述下挡板的所述较短底边与所述上挡板的所述较短底边的垂直距离（单位是 mm）为 0 至小于 H1（优选 0.01H1 至 0.5H1），其中 H1 是所述第一梯形的高度（单位是 mm），和/或，所述第一梯形的高度 H1

是 20-150mm，所述第二梯形的高度 H2 是 20-150mm。

16. 前述或后述任一方面所述的双梯形构件，其中所述上挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面，所述下挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面，和/或，所述上挡板的所述曲面的开孔率为 10-50%，所述下挡板的所述曲面的开孔率为 3-30%，

或者，

所述上挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面，所述下挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面，和/或，所述上挡板的所述两个侧面中至少一个（优选两个）的开孔率为 10-50%，所述下挡板的所述两个侧面中至少一个（优选两个）的开孔率为 3-30%，和/或，所述上挡板沿着其长度方向的尺寸是 30-250mm，所述下挡板沿着其长度方向的尺寸是 30-250mm。

17. 一种流化装置（特别是流化床反应器），包括壳体、气体分布器、以及由所述壳体的内壁与所述气体分布器的上表面限定的内腔，其中在所述内腔中设置有前述或后述任一方面所述的双梯形构件。

18. 一种硝基化合物的加氢反应方法，包括使作为反应原料的硝基化合物（特别是硝基苯）与氢气和加氢催化剂接触而获得反应产物（比如氨基化合物，特别是苯胺）的步骤（称为加氢反应步骤），其中所述加氢反应步骤在前述或后述任一方面所述的流化床反应器中进行。

19. 前述或后述任一方面所述的加氢反应方法，其中所述加氢反应步骤的反应条件包括：表观气速为 0.2-0.8m/s，氢气与所述反应原料（比如硝基苯）的摩尔比为 6-21，反应温度为 220-280℃，反应压力为 0.05-1MPa（表压），所述加氢催化剂为选自铜系负载型催化剂、镍系负载型催化剂和贵金属系负载型催化剂中的至少一种，和/或，所述加氢催化剂的堆密度为 300-1200kg/m³，和/或，所

述加氢催化剂的平均粒径为 30-800 μm (优选 40-500 μm 或 50-600 μm), 且粒径小于 80 μm 的催化剂颗粒占全部催化剂颗粒的质量百分比不小于 2wt% (优选 5-15wt%), 和/或, 所述硝基化合物是选自用以下结构式 (1) 表示的化合物中的至少一种。



在结构式(1)中, R 是任选取代的 C2-20 直链、支链或环状烷基(优选任选取代的 C4-20 环状烷基, 特别是任选取代的 C6-20 芳基, 更特别是任选取代的苯基)。

另一方面，本发明涉及以下方面的内容：

1、一种硝基苯加氢制苯胺反应装置,包括:流化床反应器(3)、气体分布器(2)、溅射分离构件(6)、旋风分离器(9)以及换热管件(11),其中气体分布器(2)、溅射分离构件(6)、旋风分离器(9)与换热管件(11)均置于流化床反应器(3)内,流化床反应器(3)内包括下方的密相反应区(4)、处于中段的颗粒溅射过渡区(5)以及处于上方的稀相区(7)。

2、前述或后述任一方面所述的确基苯加氢制苯胺反应装置，其特征在于所述颗粒溅射过渡区(5)内设置有溅射分离构件(6)，所述溅射分离构件(6)包括处于中间区域的疏通道区与设置在外周并围绕所述疏通道区的密通道区。

20 3、前述或后述任一方面所述的确基苯加氢制苯胺反应装置，其特征在于所述密通道区的通道的尺寸与疏通道区的通道的面积之比为 $1/10$ - $1/2$ 之间。优选的面积之比为 $1/5$ - $1/2$ 之间。

4、前述或后述任一方面所述的确基苯加氢制苯胺反应装置，其特征在于所述密通道区通道的当量直径在 0.005-0.08m 之间，优选的方案，直径在 0.005-0.03m 之间。

5、前述或后述任一方面所述的硝基苯加氢制苯胺反应装置，其特征在于所述密通道区和所述疏通道区均由具有均匀分布的孔的圆板、间隔分布的多个同心环形板，或间隔式平行设置的多个直板垂直或呈一定角度构成。

6、前述或后述任一方面所述的确基苯加氢制苯胺反应装置，其特征在于所述密通道区为圆形，所述疏通道区为圆环形，并且所述密通道区的直径与所述疏通道区的宽度之比在 2/1-9/1 之间，优选的方案，直径与宽度之比在 2/1-5/1 之间。

5 7、前述或后述任一方面所述的确基苯加氢制苯胺反应装置，其特征在于所述溅射分离构件（6）的数量为至少一个，并且沿着所述流化床反应器（3）的轴向分布。

8、前述或后述任一方面所述的确基苯加氢制苯胺反应装置，其特征在于所述溅射分离构件（6）距离底部气体分布器（2）的轴向高度为密相反应区（4）轴向高度的 1.05-1.5 倍，优选的方案为 1.05~1.2 倍。

9、一种确基苯加氢制苯胺反应方法，采用前述或后述任一方面所述的装置，包括如下步骤：

（a）、汽化后的确基苯与氢气原料进入气室后经过气体分布器
15 （2）进入流化床反应器（3）中，推动反应器内的催化剂流化后，在密相反应区（4）中进行反应，生产苯胺产物；

（b）、部分气相形成气泡，在密相反应区（4）的顶端发生颗粒溅射，形成颗粒溅射过渡区（5），溅射的颗粒经过溅射分离构件（6）的有效拦截后返回密相反应区（4）中继续进行催化作用；

20 （c）、小部分未被拦截的颗粒穿过溅射分离构件（6）的通道进入稀相区（7）中经过旋风分离器（9）进行分离，颗粒返回密相反应区（4），粗产品气（8）流出流化床反应器（3）进入后续分离工段。

10、前述或后述任一方面所述的确基苯加氢制苯胺反应方法，
25 其特征在于所述催化剂为金属负载型催化剂，以铜为活性组分，载体为三氧化二铝或二氧化硅，催化剂平均粒径为 50-600 μ m，且低于 80 μ m 以下的颗粒含量不小于 2%；反应条件为：流化床反应器（3）内的表观气速为 0.2-0.8m/s，氢气与确基苯的摩尔比为 6-21，密相反应区（4）内平均反应温度控制在 220-280 $^{\circ}$ C，气体分布器（2）

附近的温度控制在 320°C 以下，密相反应区（4）内反应压力为 0.05-1MPa。

技术效果

5 根据本发明的流化装置，催化剂损耗得到有效降低（比如降低 30% 以上）。

根据本发明的流化装置，气固接触效果好，能够抑制大气泡的生长，同时克服了常用导流内构件下方产生的“气垫”，对比现有技术，流化床内流化质量得到明显提升。

10

附图说明

图 1 为本发明的一个实施方式的流化装置的示意图，以硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器为例。

15 图 1 中，1 为汽化后的硝基苯与氢气原料；2 为气体分布器；3 为流化床反应器；4 为密相区；5 为颗粒溅射过渡区；6 为多孔板；7 为稀相区；8 为粗产品气；9 为旋风分离器；10 为料腿；11 为换热管件；H 代表流化床反应的底部与顶部之间的垂直距离。多孔板 6 的外周缘与颗粒溅射过渡区 5 的壳体内壁气密性结合。

20 汽化后的硝基苯与氢气原料进入气室后经过气体分布器 2 进入流化床反应器 3 中，推动反应器内的催化剂流化后，在密相区 4 中进行反应，生产苯胺产物；部分气相形成气泡，在密相区 4 的顶端发生颗粒溅射，形成颗粒溅射过渡区 5，溅射的颗粒经过多孔板 6 的有效拦截后返回密相区 4 中继续进行催化作用；小部分未被拦截的颗粒穿过多孔板 6 的开孔进入稀相区 7 中经过旋风分离器 9 进行分离，颗粒返回密相区 4，粗产品气 8 流出流化床反应器 3 进入后续分离工段。

图 2 为本发明的一个实施方式的多孔板的立体示意图。

30 图 2 中，21 为外缘区域的支撑体（相对于水平面倾斜设置），23 为外缘区域的开孔（相对于水平面倾斜设置），22 为中央区域的支撑体（相对于水平面倾斜设置），24 为中央区域的开孔（相对于

水平面倾斜设置)。

图3是本发明的另一个实施方式的多孔板的立体示意图。

图3中, 31为外缘区域的支撑体(相对于水平面垂直设置), 33为外缘区域的开孔(相对于水平面垂直设置), 32为中央区域的支撑体(相对于水平面垂直设置), 34为中央区域的开孔(相对于水平面垂直设置)。

图4为本发明的另一个实施方式的流化装置的示意图, 以硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器为例。

图4中, 1为汽化后的硝基苯与氢气原料; 2为气体分布器; 3为流化床反应器; 4为密相区; 5为颗粒溅射过渡区; 6为多孔板; 7为稀相区; 8为粗产品气; 9为旋风分离器; 10为料腿; 11为换热管件; 13为双梯形构件(图示为4层); H代表流化床反应的底部与顶部之间的垂直距离。多孔板6的外周缘与颗粒溅射过渡区5的壳体内壁气密性结合。

汽化后的硝基苯与氢气原料进入气室后经过气体分布器2进入流化床反应器3中, 推动反应器内的催化剂流化后, 流经双梯形构件13时, 在双梯形构件13的作用下, 催化剂形成的团聚物、逐渐生长的气泡被有效破碎, 破碎后的气体与催化剂颗粒从双梯形构件13的孔/缝中喷出, 流化床反应器3的密相区4内的气固混合均匀, 温度分布均匀, 在密相区4中进行反应, 生产苯胺产物; 部分气相形成气泡, 在密相区4的顶端发生颗粒溅射, 形成颗粒溅射过渡区5, 溅射的颗粒经过多孔板6的有效拦截后返回密相区4中继续进行催化作用; 小部分未被拦截的颗粒穿过多孔板6的开孔进入稀相区7中经过旋风分离器9进行分离, 颗粒返回密相区4, 粗产品气8流出流化床反应器3进入后续分离工段。

图5是本发明的一个实施方式的双梯形构件的立体示意图。

图5中, 41为上挡板, 42为下挡板, 该下挡板的上底边开口嵌套在上挡板的下底边开口内, 45为上挡板的开孔(比如孔或缝), 46为下挡板的开孔(比如孔或缝), X代表双梯形构件的中心轴线,

L 代表双梯形构件的双向长度方向（也称为长轴）。连接件未图示。

图 6 是本发明的一个实施方式的双梯形构件的纵截面示意图。

图 6 中，41 为上挡板，42 为下挡板，该下挡板的上底边开口嵌套在上挡板的下底边开口内， α 为上挡板 41 两个侧边的夹角， β 为下挡板 42 两个侧边的夹角，X 代表两个挡板的中心轴线（重合），H1 是第一梯形的高度，H2 是第二梯形的高度。连接件未图示。

图 7 是根据本发明的多个双梯形构件的位置关系的示意图。

图 7 中， γ 为位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个双梯形构件之间长度方向的夹角；L 代表每一个双梯形构件的双向长轴；H3 代表位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间的垂直距离；H4 代表位于同一水平面内的任意相邻两个所述双梯形构件之间的水平距离。连接件未图示。

具体实施方式

下面对本发明的具体实施方式进行详细说明，但是需要指出的是，本发明的保护范围并不受这些具体实施方式的限制，而是由附录的权利要求书来确定。

本说明书提到的所有出版物、专利申请、专利和其它参考文献全都引于此供参考。除非另有定义，本说明书所用的所有技术和科学术语都具有本领域技术人员常规理解的含义。在有冲突的情况下，以本说明书的定义为准。

当本说明书以词头“本领域技术人员公知”、“现有技术”或其类似用语来导出材料、物质、方法、步骤、装置或部件等时，该词头导出的对象涵盖本申请提出时本领域常规使用的那些，但也包括目前还不常用，却将变成本领域公认为适用于类似目的的那些。

在本说明书的上下文中，所谓“基本上”指的是允许存在对于本领域技术人员而言可以接受或认为合理的偏差，比如偏差在 $\pm 10\%$ 以内、 $\pm 5\%$ 以内、 $\pm 1\%$ 以内、 $\pm 0.5\%$ 以内或者 $\pm 0.1\%$ 以内。

在本说明书的上下文中，表述“任选取代”指的是任选被一个或多个（比如 1 至 5 个、1 至 4 个、1 至 3 个、1 至 2 个或者 1

个)选自卤素、羟基、巯基、氨基、氨基羰基、硝基、氧代、硫代、氰基、 C_{1-6} 直链或支链(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基、 C_{2-6} 直链或支链(卤代)烯(氧、硫、氮、羰)基、 C_{2-6} 直链或支链(卤代)炔(氧、硫、氮、羰)基、 C_{3-20} 环烷基、 C_{3-20} 环烷(氧、硫、氮)基、 C_{3-20} 环烷基 C_{1-6} 直链或支链(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基、 C_{3-20} 环烷基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)烯(氧、硫、氮、羰)基、 C_{3-20} 环烷基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)炔(氧、硫、氮、羰)基、 C_{3-20} 环烯基、 C_{3-20} 环烯(氧、硫、氮)基、 C_{3-20} 环烯基 C_{1-6} 直链或支链(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基、 C_{3-20} 环烯基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)烯(氧、硫、氮、羰)基、 C_{3-20} 环烯基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)炔(氧、硫、氮、羰)基、 C_{6-20} 芳基、 C_{6-20} 芳(氧、硫、氮)基、 C_{6-20} 芳基 C_{1-6} 直链或支链(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基、 C_{6-20} 芳基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)烯(氧、硫、氮、羰)基、 C_{6-20} 芳基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)炔(氧、硫、氮、羰)基、 C_{4-20} 杂芳基、 C_{4-20} 杂芳(氧、硫、氮)基、 C_{4-20} 杂芳基 C_{1-6} 直链或支链(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基、 C_{4-20} 杂芳基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)烯(氧、硫、氮、羰)基、 C_{4-20} 杂芳基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)炔(氧、硫、氮、羰)基、 C_{2-20} 杂环基、 C_{2-20} 杂环(氧、硫、氮)基、 C_{2-20} 杂环基 C_{1-6} 直链或支链(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基、 C_{2-20} 杂环基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)烯(氧、硫、氮、羰)基和 C_{2-20} 杂环基 C_{2-6} 直链或支链(卤代)炔(氧、硫、氮、羰)基的取代基(在可行的位置处)取代。这些取代基在存在多个时,相邻的两个取代基之间(比如两个取代基的分子链末端)可以彼此键合而形成二价的取代基结构。比如,相邻的两个 C_{1-6} 直链或支链烷基可以彼此键合而形成相应的亚烷基结构。或者,相邻的两个 C_{1-6} 直链或支链烷氧基比如可以形成相应的亚烷基二氧基结构,相邻的两个 C_{1-6} 直链或支链烷氨基比如可以形成相应的亚烷基二氨基结构,相邻的两个 C_{1-5} 直链或支链烷硫基比

如可以形成相应的亚烷基二硫基结构,等等。作为优选的取代基,比如可以举出卤素、羟基、巯基、氨基、硫代、氧代或者 C₁₋₆ 直链或支链(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基等。在此,表述“(卤代)烷(氧、硫、氮、羰)基”的含义是:烷基、卤代烷基、烷氧基、烷硫基、烷氨基、烷基羰基、卤代烷氧基、卤代烷硫基、卤代烷氨基或者卤代烷基羰基,表述“(卤代)烯(氧、硫、氮、羰)基”的含义是:烯基、卤代烯基、烯氧基、烯硫基、烯氨基、烯基羰基、卤代烯氧基、卤代烯硫基、卤代烯氨基或者卤代烯基羰基,表述“(卤代)炔(氧、硫、氮、羰)基”的含义是:炔基、卤代炔基、炔氧基、炔硫基、炔氨基、炔基羰基、卤代炔氧基、卤代炔硫基、卤代炔氨基或者卤代炔基羰基,表述“(氧、硫、氮)基”的含义是,氧基、硫基或者氮基。在此,所述卤代包括一卤代、二卤代、三卤代或者全卤代等。

在没有明确指明的情况下,本说明书内所提到的所有百分数、份数、比率等都是重量为基准的,而且压力是表压。

在本说明书的上下文中,本发明的任何两个或多个实施方式都可以任意组合,由此而形成的技术方案属于本说明书原始公开内容的一部分,同时也落入本发明的保护范围。

根据本发明的一个实施方式,涉及一种流化装置。作为所述流化装置,特别可以举出流化床反应器,更特别可以举出硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。

根据本发明的流化装置,在应用于硝基苯加氢制苯胺时,催化剂损耗可以降低 30% 以上。

根据本发明的一个实施方式,所述流化装置包括壳体、气体分布器、以及由所述壳体的内壁与所述气体分布器的上表面限定的内腔,其中所述内腔具有底部和顶部。在此,所述底部相应于所述气体分布器的上表面。

根据本发明的一个实施方式,沿着所述流化装置的中心轴线方向,设所述底部与所述顶部之间的垂直距离为 H (单位是 m),从

所述底部向上至 $0.1H$ 、 $0.2H$ 、 $0.3H$ 、 $0.4H$ 、 $0.5H$ 、 $0.6H$ 、 $0.7H$ 或 $0.8H$ 的内腔区域为下部区域，从所述顶部向下至 $0.1H$ 、 $0.2H$ 、 $0.3H$ 、 $0.4H$ 、 $0.5H$ 、 $0.6H$ 、 $0.7H$ 或 $0.8H$ 的内腔区域为上部区域，并且所述下部区域与所述上部区域之间的内腔区域为中部区域，在所述中部区域设置有多孔板。在此，作为所述多孔板，比如可以举出选自冲孔板、筛网和格栅中的至少一种，特别是格栅。举例而言，所述 H 一般是 $5-60m$ ，优选 $10-30m$ ，但有时并不限于此。另外，所述下部区域的直径一般为 $0.5-12m$ ，优选 $1-8m$ ，但有时并不限于此。或者，所述中部区域的直径一般为 $0.5-16m$ ，优选 $1-10m$ ，但有时并不限于此。

根据本发明的一个实施方式，所述中部区域沿着所述流化装置的中心轴线方向的高度一般为 $0.005H-0.2H$ 、 $0.005H-0.05H$ 或者 $0.005H-0.02H$ 。

根据本发明的一个实施方式，所述上部区域相应于所述流化装置的稀相区，所述下部区域相应于所述流化装置的密相区，所述中部区域相应于所述流化装置的颗粒溅射过渡区。

根据本发明的一个实施方式，所述多孔板包括外缘区域和中央区域。具体而言，设所述多孔板的外周缘上任意一点与所述多孔板的中心点之间的直线距离为 R ，将所述多孔板上与所述中心点直线距离为 r 的所有点围绕而成的区域称为中央区域，将所述中央区域与所述外周缘之间的区域称为外缘区域，则 $r/R=0.2-0.99$ ，优选 $0.5-0.9$ ，更优选 $0.7-0.85$ ，或者 $R/r=2/1$ 至 $9/1$ ，优选 $2/1$ 至 $5/1$ 。在此，如果所述多孔板是圆盘，则 R 为所述多孔板或圆盘的半径，而 r 为所述中央区域的半径。优选的是，所述外缘区域和所述中央区域与所述流化装置的中心轴线同轴。此时，所述外缘区域呈现为环状，以 $R-r$ 为宽度，所述中央区域被所述外缘区域包绕，以 r 为半径。

根据本发明的一个实施方式，设所述外缘区域的开孔率为 $A1$ （单位是%），设所述中央区域的开孔率为 $A2$ （单位是%），则

$A1/A2=0-0.95$, 优选 $0.1-0.5$ 。在此, 所谓开孔率, 指的是所述多孔板上全部开孔的总面积 (单位是 m^2) 与所述多孔板的面积 (单位是 m^2) 的比值。

根据本发明的一个实施方式, 所述外缘区域的开孔总面积 (单位是 m^2) 与所述中央区域的开孔总面积 (单位是 m^2) 的比值为 $1/10-1/2$ 或 $1/5-1/2$ 。

根据本发明的一个实施方式, 所述多孔板距离所述气体分布器的上表面的轴向高度 (单位是 m) 为所述密相区的轴向高度 (单位是 m) 的 $1.05-1.5$ 倍或 $1.05-1.2$ 倍。在本发明的上下文中, 在没有特别明确的情况下, 所谓轴向, 指的是所述流化装置的中心轴线方向。

根据本发明的一个实施方式, 所述多孔板的数量为 1 个或多个, 比如 1-5 个, 特别是 1-3 个或 1 个。另外, 在所述多孔板的数量为多个时, 任意相邻两个所述多孔板沿着所述流化装置的中心轴线方向的垂直距离 (单位是 m) 一般为 $0.001H-0.05H$ 。

根据本发明的一个实施方式, 所述中央区域的开孔 (称为中央开孔) 的数量一般为 1-650 个/平方米所述中央区域, 优选 5-150 个/平方米所述中央区域, 更优选 15-150 个/平方米所述中央区域。

根据本发明的一个实施方式, 所述外缘区域的开孔 (称为外缘开孔) 的数量为 0-4000 个/平方米所述外缘区域, 优选 100-600 个/平方米所述外缘区域, 更优选 200-500 个/平方米所述外缘区域。

根据本发明的一个实施方式, 在存在多个所述中央开孔时, 多个所述中央开孔的当量直径彼此相同或不同, 各自独立地为 $0.04-1m$ 、 $0.04-0.5m$ 、或者 $0.04-0.1m$ 。另外, 在存在多个所述外缘开孔时, 多个所述外缘开孔的当量直径彼此相同或不同, 各自独立地为 $0.005-0.2m$ 、 $0.005-0.08m$ 、或者 $0.005-0.03m$ 。在此, 所谓当量直径, 指的是等效圆直径。

根据本发明的一个实施方式, 所述外缘区域的开孔率一般为 $2-40\%$, 优选 $8-20\%$ 。另外, 所述中央区域的开孔率一般为 $30-100\%$,

优选 40-80%。在此，所谓开孔率，指的是所述区域上全部开孔的总面积（单位是 m^2 ）与所述区域的面积（单位是 m^2 ）的比值。

根据本发明的一个实施方式，所述多孔板具有基本上圆形形状，并且所述圆形的直径一般为 1-10m，优选 2-5m。优选的是，
5 所述多孔板的外周缘顺应所述中部区域的壳体内壁的形狀，并固定或者连接于所述壳体内壁。更优选的是，所述多孔板的外周缘与所述中部区域的壳体内壁气密性结合。在此，所谓“气密性结合”，指的是所述多孔板的整个外周缘与所述中部区域的相应整个壳体内壁结合在一起，二者之间的结合处基本上不存在孔隙或縫隙以让气体（显然也包括固体颗粒）从该结合处通过。此时，所述多孔板的
10 直径一般与所述中部区域的直径相同，由此基本上没有任何固体颗粒或气体能够从所述多孔板的外周缘与所述中部区域的壳体内壁之间的结合处通过。

根据本发明的一个实施方式，所述多孔板的厚度一般为
15 5-40mm，优选 10-35mm。

根据本发明的一个实施方式，在将所述多孔板水平放置时，分隔任意相邻两个所述开孔的支撑体沿垂直方向切割而形成的截面形状选自正方形、三角形、菱形、长方形、圆形、椭圆形、环形以及这些形状中的任意组合。

20 根据本发明的一个实施方式，在将所述多孔板水平放置时，分隔任意相邻两个所述开孔的支撑体沿垂直方向切割而形成的截面形状使得基本上没有固体颗粒累积在所述支撑体朝向所述上部区域的表面上和/或使得与所述支撑体朝向所述下部区域的表面接触的固体颗粒基本上被拦截。

25 根据本发明的一个实施方式，在将所述多孔板水平放置时，分隔任意相邻两个所述开孔的支撑体是弯曲板状或者平板状，优选垂直设置或者从垂直方向朝向所述下部区域倾斜设置。在此，作为所述倾斜设置，比如可以举出相对于与水平面垂直的方向倾斜 $0.1-60^\circ$ 、 $5-30^\circ$ 或 $10-20^\circ$ 。

根据本发明的一个实施方式,所述流化装置还包括设置于所述上部区域中的气固分离装置(比如旋风分离器)和设置于所述下部区域中的换热装置(比如换热管件)。这些气固分离装置和换热装置等都是流化装置、特别是流化床反应器的常用构件,在此不再赘述。

参照图1,对本发明的流化床反应器进行更为具体的说明。所述流化床反应器包括:流化床反应器3、气体分布器2、多孔板6、旋风分离器9以及换热管件11,其中气体分布器2、多孔板6、旋风分离器9与换热管件11均置于流化床反应器3内,流化床反应器3内包括下方的密相区4、处于中段的颗粒溅射过渡区5以及处于上方的稀相区7。所述颗粒溅射过渡区5内设置有多孔板6。

根据本发明的流化床反应器,汽化后的硝基苯与氢气原料进入气室后经过气体分布器2进入流化床反应器3中,推动反应器内的催化剂流化后,在密相区4中进行反应,生产苯胺产物;部分气相形成气泡,在密相区4的顶端发生颗粒溅射,形成颗粒溅射过渡区5,溅射的颗粒经过多孔板6的有效拦截后返回密相区4中继续进行催化作用;小部分未被拦截的颗粒穿过多孔板6的通道进入稀相区7中经过旋风分离器9进行分离,颗粒返回密相区4,粗产品气8流出流化床反应器3进入后续分离工段。

根据本发明的一个实施方式,所述流化装置还包括设置于所述下部区域中的双梯形构件,以调节所述下部区域中的流化状态,改善流化质量。在此,所述双梯形构件包括上挡板、下挡板和使所述上挡板与所述下挡板相对固定的连接件。

根据本发明的一个实施方式,作为所述连接件,可以采取任何的结构形式,只要是可以将所述上挡板与所述下挡板相对固定即可,并没有特别的限定,但具体比如可以举出金属条、金属杆、金属丝和金属板等。另外,作为将所述双梯形构件相对于所述下部区域固定或连接的连接件,可以直接适用本领域用于固定或安装流化

床整流体的任何结构形式的构件，并没有特别的限定，但具体比如可以举出金属条、金属杆、金属丝和金属板等。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形（称为第一梯形），所述第一梯形的上底边（较长底边）和下底边（较短底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述下挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形（称为第二梯形），所述第二梯形的上底边（较短底边）和下底边（较长底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述第一梯形的所述下底边开口与所述第二梯形的所述上底边开口彼此嵌套设置。优选的是，所述第二梯形的所述上底边开口嵌套在所述第一梯形的所述下底边开口内。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述中心轴线与所述下挡板的所述中心轴线同轴。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述两个侧边的夹角（ α ）的范围为 $0-120^\circ$ （优选 $0-60^\circ$ ），所述下挡板的所述两个侧边的夹角（ β ）的范围为 $0-120^\circ$ （优选 $45-90^\circ$ ）。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述较短底边的长度与所述下挡板的所述较短底边的长度之比大于 1，优选 1.1-3。

根据本发明的一个实施方式，所述下挡板的所述较短底边与所述上挡板的所述较短底边的垂直距离（单位是 mm）为 0 至小于 $H1$ ，优选 $0.01H1$ 至 $0.5H1$ 。在此， $H1$ 是所述第一梯形的高度（单位是 mm）。

根据本发明的一个实施方式，所述第一梯形的高度 $H1$ 一般是 20-150mm，所述第二梯形的高度 $H2$ 一般是 20-150mm。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面，所述下挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述曲面的开孔率为 10-50%，所述下挡板的所述曲面的开孔率为 3-30%。在此，所谓开孔率，指的是所述曲面上全部开孔（比如存在一个或多个孔和

/或狭缝)的总面积(单位是 m^2)与所述曲面的面积(单位是 m^2)的比值。

根据本发明的一个实施方式,所述上挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面,所述下挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面。在本发明的上下文中,在没有特别明确的情况下,所谓“长度方向”,指的是垂直于梯形平面(同样也垂直于中心轴线)的方向。

根据本发明的一个实施方式,所述上挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为10-50%,所述下挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为3-30%。在此,所谓开孔率,指的是所述侧面上全部开孔(比如存在一个或多个孔和/或狭缝)的总面积(单位是 m^2)与所述侧面的面积(单位是 m^2)的比值。

根据本发明的一个实施方式,所述上挡板沿着其长度方向的尺寸一般是30-250mm,所述下挡板沿着其长度方向的尺寸一般是30-250mm。

根据本发明的一个实施方式,当所述双梯形构件的数量是多个(比如4-240个,优选10-120个)时,所述多个双梯形构件可以全部位于同一水平面内、分别位于不同水平面内或者其任意的组合。

根据本发明的一个实施方式,位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角(γ)为30-90°。

根据本发明的一个实施方式,位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间的垂直距离H3不小于100mm。在此,H3指的是不同双梯形构件的上挡板的较长底边之间的垂直距离。

根据本发明的一个实施方式,位于同一水平面内的任意相邻两个所述双梯形构件之间的水平距离H4不小于80mm。在此,H4指

的是不同双梯形构件的中心轴线之间的垂直距离。

根据本发明的一个实施方式，还涉及一种双梯形构件，包括上挡板、下挡板和使所述上挡板与所述下挡板相对固定的连接件。在此，作为所述连接件，可以采取任何的结构形式，只要是可以将所述上挡板与所述下挡板相对固定即可，并没有特别的限定，但具体比如可以举出金属条、金属杆、金属丝和金属板等。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形（称为第一梯形），所述第一梯形的上底边（较长底边）和下底边（较短底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述下挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形（称为第二梯形），所述第二梯形的上底边（较短底边）和下底边（较长底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述第一梯形的所述下底边开口与所述第二梯形的所述上底边开口彼此嵌套设置。优选的是，所述第二梯形的所述上底边开口嵌套在所述第一梯形的所述下底边开口内。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述中心轴线与所述下挡板的所述中心轴线同轴。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述两个侧边的夹角（ α ）的范围为 $0-120^\circ$ （优选 $0-60^\circ$ ），所述下挡板的所述两个侧边的夹角（ β ）的范围为 $0-120^\circ$ （优选 $45-90^\circ$ ）。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述较短底边的长度与所述下挡板的所述较短底边的长度之比大于 1，优选 1.1-3。

根据本发明的一个实施方式，所述下挡板的所述较短底边与所述上挡板的所述较短底边的垂直距离（单位是 mm）为 0 至小于 H1，优选 $0.01H1$ 至 $0.5H1$ ，其中 H1 是所述第一梯形的高度（单位是 mm）。

根据本发明的一个实施方式，所述第一梯形的高度 H1 一般是 20-150mm，所述第二梯形的高度 H2 一般是 20-150mm。

根据本发明的一个实施方式，所述上挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面，所述下挡板的所述两个侧边

围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面。

根据本发明的一个实施方式,所述上挡板的所述曲面的开孔率为 10-50%,所述下挡板的所述曲面的开孔率为 3-30%。在此,所谓开孔率,指的是所述曲面上全部开孔(比如存在一个或多个孔和/或狭缝)的总面积(单位是 m^2)与所述曲面的面积(单位是 m^2)的比值。

根据本发明的一个实施方式,所述上挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面,所述下挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面。

根据本发明的一个实施方式,所述上挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为 10-50%,所述下挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为 3-30%。在此,所谓开孔率,指的是所述侧面上全部开孔(比如存在一个或多个孔和/或狭缝)的总面积(单位是 m^2)与所述侧面的面积(单位是 m^2)的比值。

根据本发明的一个实施方式,所述上挡板沿着其长度方向的尺寸一般是 30-250mm,所述下挡板沿着其长度方向的尺寸一般是 30-250mm。

根据本发明的一个实施方式,还涉及一种流化装置,特别是流化床反应器。在此,所述流化装置包括壳体、气体分布器、以及由所述壳体的内壁与所述气体分布器的上表面限定的内腔,其中在所述内腔中设置有本发明前文任一实施方式所述的双梯形构件作为整流体。作为所述流化床反应器,特别可以举出硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。

根据本发明的一个实施方式,还涉及一种硝基化合物的加氢反应方法,特别是硝基苯加氢制苯胺的反应方法。在此,所述加氢反应方法包括使作为反应原料的硝基化合物与氢气和加氢催化剂接触而获得反应产物的步骤(称为加氢反应步骤),其中所述加氢反应步骤在本发明前文任一实施方式所述的流化床反应器中进行。

根据本发明的一个实施方式，在所述加氢反应步骤中，表观气速一般为 0.2-0.8m/s，氢气与所述反应原料（比如硝基苯）的摩尔比一般为 6-21。

根据本发明的一个实施方式，在所述加氢反应步骤中，反应温度（一般指的是密相区内的平均反应温度）为 220-280°C，反应压力（一般指的是密相区内的压力）为 0.05-1MPa（表压）。另外，该流化床反应器的气体分布器附近的温度一般控制在 320°C 以下。

根据本发明的一个实施方式，作为所述加氢催化剂，可以举出本领域为了实施硝基化合物的加氢反应而采用的任何催化剂，特别可以举出选自铜系负载型催化剂、镍系负载型催化剂和贵金属系负载型催化剂中的至少一种，更特别是铜系负载型催化剂。在此，所述铜系负载型催化剂一般以铜为主要活性组分，载体一般为三氧化二铝或二氧化硅。

根据本发明的一个实施方式，所述加氢催化剂的平均粒径一般为 30-800 μ m，优选 40-500 μ m 或 50-600 μ m。优选的是，所述加氢催化剂中粒径小于 80 μ m 的催化剂颗粒占全部催化剂颗粒的质量百分比不小于 2wt%，优选 5-15wt%。所述平均粒径比如可以通过粒度分析仪对采样的固体催化剂颗粒进行分析获得。

根据本发明的一个实施方式，所述硝基化合物是选自以下结构式（1）表示的化合物中的至少一种，特别是硝基苯。



根据本发明的一个实施方式，在所述结构式（1）中，R 是任选取代的 C2-20 直链、支链或环状烷基，优选任选取代的 C4-20 环状烷基，特别是任选取代的 C6-20 芳基，更特别是任选取代的苯基或苯基。

实施例

以下将通过实施例和比较例对本发明进行进一步的详细描述，但本发明不限于以下实施例。

在以下的实施例和比较例中，膨胀系数为流化床反应器内密相

区的高度与流化床反应器内催化剂静床高的比值。密相区的高度可通过流化床反应器内的轴向压力（表压）的变化获得。

在以下的实施例和比较例中，通过压力传感器测量床层某处测量点的瞬时压力 P_i （单位是 Pa），将任意时刻的瞬时压力 P_i 分解为平均值 $\bar{P}$ 与波动值 P' 之和，即， $P_i = \bar{P} + P'$ ，任意一个测量点的标准

偏差 Sd 为
$$Sd = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}$$
， N 为采样数据个数。

实施例 1

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 2 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 400 μ m，且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260 $^{\circ}$ C，密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.06kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg，结果详见表 1。

实施例 2

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。催化剂单耗为 0.07kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg ，结果详见表 1。

实施例 3

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 $1/5$ 。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005 。多孔板与中央区域的半径之比为 $2/1$ 。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。催化剂单耗为 0.073kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg ，结果详见表 1。

实施例 4

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 $1/2$ 。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005 。多孔板与中央区域的半径之比为 $2/1$ 。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体

为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。催化剂单耗为 0.082kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg ，结果详见表 1。

实施例 5

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的溅射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 $1/10$ 。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.03。多孔板与中央区域的半径之比为 $2/1$ 。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。催化剂单耗为 0.08kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg ，结果详见表 1。

实施例 6

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的溅射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 $1/10$ 。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.08。多孔板与中央区域的半径之比为 $2/1$ 。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒

含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C，密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.1kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg，结果详见表 1。

5 实施例 7

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
10 的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 5。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 400 μ m，且低于 80 μ m 以下的颗粒
15 含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C，密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.068kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg，结果详见表 2。

实施例 8

20 如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与
25 中央区域的半径之比为 9。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 400 μ m，且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，

氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260℃，密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.068kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg，结果详见表 2。

实施例 9

5 如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的溅射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为两个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 400 μ m，且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，
15 氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260℃，密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.063kg/t 苯胺，流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg，结果详见表 2。

实施例 10

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
20 溅射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为四个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 400 μ m，且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，
25 氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在

260°C, 密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.06kg/t 苯胺, 流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg, 结果详见表 2。

实施例 11

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
5 喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个, 多孔板距离底部
10 气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.2 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂, 以铜为主要活性组分, 载体为二氧化硅, 催化剂平均粒径为 400 μ m, 且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%; 反应条件为: 流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s, 氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平均反应温度控制在
15 260°C, 密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.067kg/t 苯胺, 流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg, 结果详见表 2。

实施例 12

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
20 喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个, 多孔板距离底部
25 气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.5 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂, 以铜为主要活性组分, 载体为二氧化硅, 催化剂平均粒径为 400 μ m, 且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%; 反应条件为: 流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s, 氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平均反应温度控制在
260°C, 密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.075kg/t 苯

胺, 流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg, 结果详见表 2。

实施例 13

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
5 喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与
中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个, 多孔板距离底
部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

10 所用催化剂为金属负载型催化剂, 以铜为主要活性组分, 载体
为二氧化硅, 催化剂平均粒径为 300 μ m, 且低于 80 μ m 以下的颗粒
含量为 5%; 反应条件为: 流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s,
氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平均反应温度控制在
260 $^{\circ}$ C, 密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.071kg/t 苯
15 胺, 流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.6mg/kg, 结果详见表 3。

实施例 14

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
20 喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与
中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个, 多孔板距离底
部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

25 所用催化剂为金属负载型催化剂, 以铜为主要活性组分, 载体
为二氧化硅, 催化剂平均粒径为 400 μ m, 且低于 80 μ m 以下的颗粒
含量为 2%; 反应条件为: 流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s,
氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平均反应温度控制在
260 $^{\circ}$ C, 密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.062kg/t 苯
胺, 流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 5mg/kg, 结果详见表 3。

实施例 15

如图 1 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板,多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
5 区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
的开孔率为 18%。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与
中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个,多孔板距离底
部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。

所用催化剂为金属负载型催化剂,以铜为主要活性组分,载体
10 为二氧化硅,催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$,且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒
含量为 8%;反应条件为:流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s,
氢气与硝基苯的摩尔比为 10,密相区内平均反应温度控制在
260°C,密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为 0.08kg/t 苯胺,
流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.3mg/kg,结果详见表 3。

15 比较例 1

现有技术的硝基苯加氢制苯胺流化床反应器装置,与图 1 不同
的是,没有加多孔板。所用催化剂为金属负载型催化剂,以铜为主
要活性组分,载体为二氧化硅,催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$,且低于
80 μm 以下的颗粒含量为 5%;反应条件为:流化床反应器内的表观
20 气速为 0.3m/s,氢气与硝基苯的摩尔比为 10,密相区内平均反应
温度控制在 260°C,密相区内反应压力为 0.1MPa。催化剂单耗为
1.5kg/t 苯胺,流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量为 4.8mg/kg,结果
详见表 3。

实施例 16

25 如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板,多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。

多孔板的数量为一个,多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂,以铜为主要活性组分,载体为二氧化硅,催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$,且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%;反应条件为:流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ,氢气与硝基苯的摩尔比为 10,密相区内平均反应温度控制在 260°C ,密相区内反应压力为 0.1MPa 。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ,下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝,且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%;双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝,且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件,分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm ,双梯形构件交错均匀分布于反应器内,且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ,且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm 。

在所有的实施例中,上挡板的长度和下挡板的长度均为反应器直径的 0.6 倍。第一梯形的高度 H_1 为 25mm ,第二梯形的高度 H_2 为 30mm 。

流化床内密相区的标准偏差为 800Pa ,膨胀系数为 1.42,结果详见表 4。

实施例 17

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板,多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 $1/10$ 。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005 。多孔板与中央区域的半径之比为 $2/1$ 。多孔板的数量为一个,多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂,以铜

为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。

- 5 双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 0° ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm ，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm 。流化床内密相区的标准偏差为 1050Pa ，膨胀系数为 1.35，结果详见表 4。
- 10
15

实施例 18

- 如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005 。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。
- 20
25

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 120° ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上

的开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%; 双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件, 分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm, 双梯形构件交错均匀分布于反应器内, 且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° , 且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为 1080Pa, 膨胀系数为 1.33, 结果详见表 4。

10 实施例 19

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个, 多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂, 以铜为主要活性组分, 载体为二氧化硅, 催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$, 且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%; 反应条件为: 流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s, 氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平均反应温度控制在 260°C , 密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° , 下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 0° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%; 双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件, 分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm, 双梯形构件交错均匀分布于反应器内, 且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述

双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为 1170Pa，膨胀系数为 1.28，结果详见表 4。

实施例 20

5 如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。
10 多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa。
15

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 120° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开
20 孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在竖直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的
25 双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为

0.1MPa。流化床内密相区的标准偏差为 1215Pa，膨胀系数为 1.21，结果详见表 4。

实施例 21

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
5 喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜
10 为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 400 μm ，且低于 80 μm 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260 $^{\circ}\text{C}$ ，密相区内反应压力为 0.1MPa。

15 双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60 $^{\circ}$ ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90 $^{\circ}$ 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 50%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应
20 器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90 $^{\circ}$ ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏
25 差为 1030Pa，膨胀系数为 1.36，结果详见表 5。

实施例 22

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘

区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜
5 为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ，下挡板两个
10 侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 10%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形
15 构件互相平行且水平方向间隔 100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为 980Pa，膨胀系数为 1.35，结果详见表 5。

20 实施例 23

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
25 的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内

的表观气速为 0.3m/s, 氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平均反应温度控制在 260°C, 密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60°, 下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90°。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%; 双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 3%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件, 分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm, 双梯形构件交错均匀分布于反应器内, 且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90°, 且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为 975Pa, 膨胀系数为 1.37, 结果详见表 5。

实施例 24

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个, 多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂, 以铜为主要活性组分, 载体为二氧化硅, 催化剂平均粒径为 400 μ m, 且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%; 反应条件为: 流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s, 氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平均反应温度控制在 260°C, 密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60°, 下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90°。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%; 双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝, 且开

孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 30%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为 1000Pa，膨胀系数为 1.33，结果详见表 5。

实施例 25

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 2 个双梯形构件，分为 1 层。两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为

1243Pa, 膨胀系数为 1.18, 结果详见表 5。

实施例 26

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
5 喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。
多孔板的数量为一个, 多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密
10 相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂, 以铜
为主要活性组分, 载体为二氧化硅, 催化剂平均粒径为 400 μm , 且
低于 80 μm 以下的颗粒含量为 5%; 反应条件为: 流化床反应器内
的表观气速为 0.3m/s, 氢气与硝基苯的摩尔比为 10, 密相区内平
均反应温度控制在 260 $^{\circ}\text{C}$, 密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60 $^{\circ}$, 下挡板两个
15 侧面的夹角 β 的范围为 90 $^{\circ}$ 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的
开孔和/或缝, 且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率
为 20%; 双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝, 且开
孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应
器的密相区内设置 4 个双梯形构件, 分为两层。每层的两个双梯形
20 构件互相平行且水平方向间隔 150mm, 双梯形构件交错均匀分布
于反应器内, 且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个
所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90 $^{\circ}$, 且竖直方向上相邻的
双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏
差为 880Pa, 膨胀系数为 1.37, 结果详见表 6。

25 实施例 27

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板, 多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域

的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且
5 低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的
10 的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 300mm，双梯形构件交错均匀分布
15 于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为 1240Pa，膨胀系数为 1.19，结果详见表 6。

实施例 28

20 如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。
25 多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平

均反应温度控制在 260°C，密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60°，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90°。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 30°，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 150mm。流化床内密相区的标准偏差为 910Pa，膨胀系数为 1.36，结果详见表 6。

实施例 29

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 400 μ m，且低于 80 μ m 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C，密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60°，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90°。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应

器的密相区内设置4个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为45°，且竖直方向上相邻的
5 双梯形构件之间的垂直距离为150mm。流化床内密相区的标准偏差为906Pa，膨胀系数为1.37，结果详见表6。

实施例30

如图4所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的喷射过渡区内设置有如图3所示的多孔板，多孔板包括处于中间区域
10 的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为1/10。外缘区域的开孔的当量直径为0.005。多孔板与中央区域的半径之比为2/1。多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的1.05倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜
15 为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为400 μ m，且低于80 μ m以下的颗粒含量为5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为0.3m/s，氢气与硝基苯的摩尔比为10，密相区内平均反应温度控制在260°C，密相区内反应压力为0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为60°，下挡板两个
20 侧面的夹角 β 的范围为90°。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为8%。流化床反应器的密相区内设置4个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形
25 构件互相平行且水平方向间隔100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为60°，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为150mm。流化床内密相区的标准偏差为910Pa，膨胀系数为1.37，结果详见表6。

实施例 31

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板,多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
5 区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。
多孔板的数量为一个,多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密
相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂,以铜
为主要活性组分,载体为二氧化硅,催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$,且
10 低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%;反应条件为:流化床反应器内
的表观气速为 0.3m/s,氢气与硝基苯的摩尔比为 10,密相区内平
均反应温度控制在 260°C ,密相区内反应压力为 0.1MPa。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ,下挡板两个
侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的
15 开孔和/或缝,且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率
为 20%;双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝,且开
孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应
器的密相区内设置 4 个双梯形构件,分为两层。每层的两个双梯形
构件互相平行且水平方向间隔 100mm,双梯形构件交错均匀分布
20 于反应器内,且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个
所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ,且竖直方向上相邻的
双梯形构件之间的垂直距离为 80mm。流化床内密相区的标准偏差
为 780Pa,膨胀系数为 1.41,结果详见表 7。

实施例 32

25 如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器。在反应器的
喷射过渡区内设置有如图 3 所示的多孔板,多孔板包括处于中间区
域的中央区域与设置在外周并围绕所述中央区域的外缘区域。外缘
区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比为 1/10。外缘区域
的开孔的当量直径为 0.005。多孔板与中央区域的半径之比为 2/1。

多孔板的数量为一个，多孔板距离底部气体分布器的轴向高度为密相区轴向高度的 1.05 倍。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应器的密相区内设置 4 个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔 100mm ，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为 90° ，且竖直方向上相邻的双梯形构件之间的垂直距离为 300mm 。流化床内密相区的标准偏差为 1220Pa ，膨胀系数为 1.20，结果详见表 7。

实施例 33

如图 4 所示的硝基苯加氢制苯胺的流化床反应器，不设多孔板。所用催化剂为金属负载型催化剂，以铜为主要活性组分，载体为二氧化硅，催化剂平均粒径为 $400\mu\text{m}$ ，且低于 $80\mu\text{m}$ 以下的颗粒含量为 5%；反应条件为：流化床反应器内的表观气速为 0.3m/s ，氢气与硝基苯的摩尔比为 10，密相区内平均反应温度控制在 260°C ，密相区内反应压力为 0.1MPa 。

双梯形构件的上挡板两个侧面的夹角 α 的为 60° ，下挡板两个侧面的夹角 β 的范围为 90° 。双梯形构件的上挡板的两个侧面上的开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 20%；双梯形构件的下挡板的两个侧面上有开孔和/或缝，且开孔和/或缝的总面积与侧面的面积之比的开孔率为 8%。流化床反应

器的密相区内设置4个双梯形构件，分为两层。每层的两个双梯形构件互相平行且水平方向间隔100mm，双梯形构件交错均匀分布于反应器内，且位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角为90°，且竖直方向上相邻的

5 双梯形构件之间的垂直距离为150mm。

流化床内密相区的标准偏差为825Pa，膨胀系数为1.39，结果详见表7。

比较例4

在流化床反应器装置中设置现有技术中使用的格栅式整流体，

10 催化剂平均粒径为400μm，其他工艺条件相同，流化床内密相区的标准偏差为1680Pa，膨胀系数为1.17，结果详见表7。

比较例5

在流化床反应器装置中设置现有技术中使用的大孔整流体，催化剂平均粒径为400μm，其他工艺条件相同，流化床内密相区的标准偏差为1660Pa，膨胀系数为1.18，结果详见表7。

15

比较例6

在流化床反应器装置中不设置任何整流体，即自由流化床，催化剂平均粒径为300μm，其他工艺条件相同，流化床内密相区的标准偏差为1810Pa，膨胀系数为1.05，结果详见表7。

20 显然，采用本发明的装置及方法，具有较大的技术优势，可用于制备苯胺的工业生产中。还可以用于其他流化床反应器中，尤其适用于粗颗粒流化床反应器中。

25 表1

	实施例1	实施例2	实施例3	实施例4	实施例5	实施例6
是否设置多孔板及构件型式	设置多孔板，型式如图2	设置多孔板，型式如图3	设置多孔板，型式如图3	设置多孔板，型式如图3	设置多孔板，型式如图3	设置多孔板，型式如图3

多孔板的外缘区域的开孔尺寸与中央区域的开孔的面积之比	1/10	1/10	1/5	1/2	1/10	1/10
外缘区域的开孔的当量直径, m	0.005	0.005	0.005	0.005	0.03	0.08
多孔板与中央区域的半径之比	2	2	2	2	2	2
多孔板的数量	1	1	1	1	1	1
多孔板距离底部气体分布器的轴向高度与区域轴向高度的比值	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
催化剂平均粒径, μm	400	400	400	400	400	400
低于 80 μm 以下的颗粒	5	5	5	5	5	5

含量						
催化剂 单耗, kg/t 苯 胺	0.06	0.07	0.073	0.082	0.08	0.1
流化床 出口的 粗苯胺 中硝基 苯含量, mg/kg	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8

表 2

	实施例 7	实施例 8	实施例 9	实施例 10	实施例 11	实施例 12
是否设置多孔板及构件型式	设置多孔板, 型式如图 3	设置多孔板, 型式如图 3	设置多孔板, 型式如图 3	设置多孔板, 型式如图 3	设置多孔板, 型式如图 3	设置多孔板, 型式如图 3
多孔板的外缘区域的开孔尺寸与中央区域的开孔的面积之比	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10	1/10
外缘区域的开孔的当量直径, m	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
多孔板与中央区域的半径之比	5	9	2	2	2	2
多孔板的数量	1	1	2	4	1	1
多孔板距离底部气体分布器的轴向与高度相区	1.05	1.05	1.05	1.05	1.2	1.5

轴向高度的比值						
催化剂平均粒径, μm	400	400	400	400	400	400
低于 80 μm 以下的颗粒含量	5	5	5	5	5	5
催化剂单耗, kg/t 苯胺	0.068	0.068	0.063	0.06	0.067	0.075
流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量, mg/kg	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8

表 3

	实施例 13	实施例 14	实施例 15	比较例 1
是否设置多孔板及构件型式	设置多孔板, 型式如图 2	设置多孔板, 型式如图 3	设置多孔板, 型式如图 3	不设置多孔板
多孔板的外缘区域的开孔的尺寸与中央区域的开孔的面积之比	1/10	1/10	1/10	

外缘区域的开孔的当量直径, m	0.005	0.005	0.005	
多孔板与中央区域的半径之比	2	2	2	
多孔板的数量	1	1	1	
多孔板距离底部气体分布器的轴向高度与密相区轴向高度的比值	1.05	1.05	1.05	
催化剂平均粒径, μm	300	400	400	400
低于 80 μm 以下的颗粒含量	5	2	8	5
催化剂单耗, kg/t 苯胺	0.071	0.062	0.08	1.5
流化床出口的粗苯胺中硝基苯含量, mg/kg	4.6	5	4.3	4.8

表 4

	实 施 例 16	实 施 例 17	实 施 例 18	实 施 例 19	实 施 例 20
夹角 α , °	60	0	120	60	60
夹角 β , °	90	90	90	0	120
上挡板两个侧面的 开孔率	20	20	20	20	20
下挡板两个侧面的 开孔率	8	8	8	8	8
双梯形构件个数	4	4	4	4	4
每层双梯形构件内 水平方向间隔, mm	100	100	100	100	100
夹角 γ , °	90	90	90	90	90
竖直方向上相邻的 双梯形构件间的垂 直距离, mm	150	150	150	150	150
床层压力标准偏差, Pa	800	1050	1080	1170	1215
床层膨胀系数	1.42	1.35	1.33	1.28	1.21

表 5

	实 施 例 21	实 施 例 22	实 施 例 23	实 施 例 24	实 施 例 25
夹角 α , °	60	60	60	60	60
夹角 β , °	90	90	90	90	90
上挡板两个侧面的 开孔率	50	10	20	20	20
下挡板两个侧面的 开孔率	8	8	3	30	8
双梯形构件个数	4	4	4	4	2
每层双梯形构件内 水平方向间隔, mm	100	100	100	100	100
夹角 γ , °	90	90	90	90	90
竖直方向上相邻的 双梯形构件间的垂 直距离, mm	150	150	150	150	150

床层压力标准偏差, Pa	1030	980	975	1000	1243
床层膨胀系数	1.36	1.35	1.37	1.33	1.18

表 6

	实 施 例 26	实 施 例 27	实 施 例 28	实 施 例 29	实 施 例 30
夹角 α , °	60	60	60	60	60
夹角 β , °	90	90	90	90	90
上挡板两个侧面的 开孔率	20	20	20	20	20
下挡板两个侧面的 开孔率	8	8	8	8	8
双梯形构件个数	4	4	4	4	4
每层双梯形构件内 水平方向间隔, mm	150	300	100	100	100
夹角 γ , °	90	90	30	45	60
竖直方向上相邻的 双梯形构件间的垂 直距离, mm	150	150	150	150	150
床层压力标准偏差, Pa	880	1240	910	906	910
床层膨胀系数	1.37	1.19	1.36	1.37	1.37

表 7

	实 施 例 31	实 施 例 32	实 施 例 32	比 较 例 4	比 较 例 5	比 较 例 6
夹角 α , °	60	60	60	现有技术 中格栅式支 撑体	现有技 术中大 孔支撑 体	无支撑 体
夹角 β , °	90	90	90			
上挡板两个侧面的 开孔率	20	20	20			
下挡板两个侧面的 开孔率	8	8	8			
双梯形构件个数	4	4	4			
每层双梯形构件内 水平方向间隔, mm	100	100	100			
夹角 γ , °	90	90	90			

竖直方向上相邻的 双梯形构件间的垂 直距离, mm	80	300	150			
床层压力标准偏差, Pa	780	1220	825	1680	1660	1810
床层膨胀系数	1.41	1.20	1.39	1.17	1.18	1.05

权 利 要 求 书

1. 一种流化装置（特别是流化床反应器），包括壳体、气体分布器、以及由所述壳体的内壁与所述气体分布器的上表面限定的内腔，所述内腔具有底部（相应于所述气体分布器的上表面）和顶部，其中沿着所述流化装置的中心轴线方向，设所述底部与所述顶部之间的垂直距离为 H （单位是 m ），从所述底部向上至 $0.1H$ 、 $0.2H$ 、 $0.3H$ 、 $0.4H$ 、 $0.5H$ 、 $0.6H$ 、 $0.7H$ 或 $0.8H$ 的内腔区域为下部区域，从所述顶部向下至 $0.1H$ 、 $0.2H$ 、 $0.3H$ 、 $0.4H$ 、 $0.5H$ 、 $0.6H$ 、 $0.7H$ 或 $0.8H$ 的内腔区域为上部区域，并且所述下部区域与所述上部区域之间的内腔区域为中部区域，所述中部区域沿着所述流化装置的中心轴线方向的高度为 $0.005H$ - $0.2H$ 、 $0.005H$ - $0.05H$ 或者 $0.005H$ - $0.02H$ ，在所述中部区域设置有多孔板（比如选自冲孔板、筛网和格栅中的至少一种，特别是格栅），所述多孔板包括外缘区域和中央区域，（1）设所述外缘区域的开孔率为 $A1$ （单位是%），设所述中央区域的开孔率为 $A2$ （单位是%），则 $A1/A2=0$ - 0.95 （优选 0.1 - 0.5 ），或者所述外缘区域的开孔总面积（单位是 m^2 ）与所述中央区域的开孔总面积（单位是 m^2 ）的比值为 $1/10$ - $1/2$ 或 $1/5$ - $1/2$ 。

2. 权利要求 1 所述的流化装置，其中所述上部区域相应于稀相区，所述下部区域相应于密相区，所述中部区域相应于颗粒溅射过渡区，和/或，所述多孔板距离所述气体分布器的上表面的轴向高度（单位是 m ）为所述密相区的轴向高度（单位是 m ）的 1.05 - 1.5 倍或 1.05 - 1.2 倍。

3. 权利要求 1 所述的流化装置，其中所述多孔板的数量为 1 个或多个（比如 1 - 5 个，特别是 1 - 3 个或 1 个），并且在存在多个时，任意相邻两个所述多孔板沿着所述流化装置的中心轴线方向的垂直距离（单位是 m ）为 $0.001H$ - $0.05H$ 。

4. 权利要求 1 所述的流化装置，其中所述多孔板的外周缘上任意一点与所述多孔板的中心点之间的直线距离为 R （特别是半

径), 将所述多孔板上与所述中心点直线距离为 r 的所有点围绕而成的区域称为中央区域, 将所述中央区域与所述外周缘之间的区域称为外缘区域, 则 $r/R=0.2-0.99$ (优选 $0.5-0.9$, 更优选 $0.7-0.85$) 或者 $R/r=2/1$ 至 $9/1$, 优选 $2/1$ 至 $5/1$ 。

5 5. 权利要求 1 所述的流化装置, 其中所述中央区域的开孔 (称为中央开孔) 的数量为 $1-650$ (优选 $5-150$, 更优选 $15-150$) 个/平方米所述中央区域, 和/或, 所述外缘区域的开孔 (称为外缘开孔) 的数量为 $0-4000$ (优选 $100-600$, 更优选 $200-500$) 个/平方米所述外缘区域, 和/或, 在存在多个时, 多个所述中央开孔的当量直径彼此相同或不同, 各自独立地为 $0.04-1\text{m}$ 、 $0.04-0.5\text{m}$ 、或者
10 $0.04-0.1\text{m}$, 和/或, 在存在多个时, 多个所述外缘开孔的当量直径彼此相同或不同, 各自独立地为 $0.005-0.2\text{m}$ 、 $0.005-0.08\text{m}$ 、或者 $0.005-0.03\text{m}$, 和/或, 所述外缘区域的开孔率为 $2-40\%$ (优选 $8-20\%$), 所述中央区域的开孔率为 $30-100\%$ (优选 $40-80\%$), 和/或, 所述多孔板具有基本上圆形形状, 所述圆形的直径为 $1-10\text{m}$, 优选 $2-5\text{m}$,
15 和/或, 所述多孔板的厚度为 $5-40\text{mm}$, 优选 $10-35\text{mm}$ 。

6. 权利要求 1 所述的流化装置, 其中在将所述多孔板水平放置时, 分隔任意相邻两个所述开孔的支撑体沿垂直方向切割而形成的截面形状选自正方形、三角形、菱形、长方形、圆形、椭圆形、
20 环形以及这些形状中的任意组合, 或者分隔任意相邻两个所述开孔的支撑体沿垂直方向切割而形成的截面形状使得基本上没有固体颗粒累积在所述支撑体朝向所述上部区域的表面上和/或使得与所述支撑体朝向所述下部区域的表面接触的固体颗粒基本上被拦截, 或者所述支撑体是弯曲板状或者平板状 (优选垂直设置或者从垂直方向朝向所述下部区域倾斜 (特别是倾斜 $0.1-60^\circ$ 、 $5-30^\circ$ 或 $10-20^\circ$))
25 设置。

7. 权利要求 1 所述的流化装置, 其中所述外缘区域和所述中央区域与所述流化装置的中心轴线同轴, 和/或, 所述多孔板的外周缘顺应所述中部区域的壳体内壁的形状, 并固定或者连接于所述

壳体内壁，和/或，所述多孔板的外周缘与所述中部区域的壳体内壁气密性结合。

8. 权利要求 1 所述的流化装置，其中所述 H 是 5-60m（优选 10-30m），和/或，所述下部区域的直径为 0.5-12m（优选 1-8m），
5 和/或，所述中部区域的直径为 0.5-16m（优选 1-10m）。

9. 权利要求 1 所述的流化装置，还包括设置于所述上部区域中的气固分离装置（比如旋风分离器）和设置于所述下部区域中的换热装置（比如换热管件），并任选包括设置于所述下部区域中的双梯形构件。

10. 权利要求 9 所述的流化装置，其中所述双梯形构件包括上挡板、下挡板和使所述上挡板与所述下挡板相对固定的连接件，所述上挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形（称为第一梯形），所述第一梯形的上底边（较长底边）和下底边（较短底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述下挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形
15 （称为第二梯形），所述第二梯形的上底边（较短底边）和下底边（较长底边）开口，两个侧边（腰）彼此互成夹角，所述第一梯形的所述下底边开口与所述第二梯形的所述上底边开口彼此嵌套设置（优选所述第二梯形的所述上底边开口嵌套在所述第一梯形的所述下底边开口内）。

- 20 11. 权利要求 10 所述的流化装置，其中所述上挡板的所述中心轴线与所述下挡板的所述中心轴线同轴，和/或，所述上挡板的所述两个侧边的夹角（ α ）的范围为 0-120°（优选 0-60°），所述下挡板的所述两个侧边的夹角（ β ）的范围为 0-120°（优选 45-90°），和/或，所述上挡板的所述较短底边的长度与所述下挡板的所述较短底边的长度之比大于 1（优选 1.1-3），和/或，所述下挡板的所述较短底边与所述上挡板的所述较短底边的垂直距离（单位是 mm）
25 为 0 至小于 H_1 （优选 0.01 H_1 至 0.5 H_1 ），其中 H_1 是所述第一梯形的高度（单位是 mm），和/或，所述第一梯形的高度 H_1 是 20-150mm，所述第二梯形的高度 H_2 是 20-150mm。

12. 权利要求 10 所述的流化装置, 其中所述上挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面, 所述下挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面, 和/或, 所述上挡板的所述曲面的开孔率为 10-50%, 所述下挡板的所述曲面的开孔率为 3-30%,

或者,

所述上挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面, 所述下挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面, 和/或, 所述上挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为 10-50%, 所述下挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为 3-30%, 和/或, 所述上挡板沿着其长度方向的尺寸是 30-250mm, 所述下挡板沿着其长度方向的尺寸是 30-250mm。

13. 权利要求 9 所述的流化装置, 其中当所述双梯形构件的数量是多个(比如 4-240 个, 优选 10-120 个)时, 所述多个双梯形构件可以全部位于同一水平面内、分别位于不同水平面内或者其任意的组合, 和/或, 位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间长度方向的夹角(γ)为 30-90°, 和/或, 位于不同水平面内且在垂直方向上相邻的任意两个所述双梯形构件之间的垂直距离 H3 不小于 100mm, 和/或, 位于同一水平面内的任意相邻两个所述双梯形构件之间的水平距离 H4 不小于 80mm。

14. 一种双梯形构件, 包括上挡板、下挡板和使所述上挡板与所述下挡板相对固定的连接件, 所述上挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形(称为第一梯形), 所述第一梯形的上底边(较长底边)和下底边(较短底边)开口, 两个侧边(腰)彼此互成夹角, 所述下挡板沿其中心轴线的纵剖面为梯形(称为第二梯形), 所述第二梯形的上底边(较短底边)和下底边(较长底边)开口, 两个侧边(腰)彼此互成夹角, 所述第一梯形的所述下底边开口与所述第二梯形的所述上底边开口彼此嵌套设置(优选所述第二梯形的所述上底边开

口嵌套在所述第一梯形的所述下底边开口内)。

15. 权利要求 14 所述的双梯形构件, 其中所述上挡板的所述中心轴线与所述下挡板的所述中心轴线同轴, 和/或, 所述上挡板的所述两个侧边的夹角(α)的范围为 0-120°(优选 0-60°), 所述下挡板的所述两个侧边的夹角(β)的范围为 0-120°(优选 45-90°), 和/或, 所述上挡板的所述较短底边的长度与所述下挡板的所述较短底边的长度之比大于 1(优选 1.1-3), 和/或, 所述下挡板的所述较短底边与所述上挡板的所述较短底边的垂直距离(单位是 mm)为 0 至小于 H1(优选 0.01H1 至 0.5H1), 其中 H1 是所述第一梯形的高度(单位是 mm), 和/或, 所述第一梯形的高度 H1 是 20-150mm, 所述第二梯形的高度 H2 是 20-150mm。

16. 权利要求 14 所述的双梯形构件, 其中所述上挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面, 所述下挡板的所述两个侧边围绕其中心轴线形成封闭或不封闭的曲面, 和/或, 所述上挡板的所述曲面的开孔率为 10-50%, 所述下挡板的所述曲面的开孔率为 3-30%,

或者,

所述上挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面, 所述下挡板的所述两个侧边沿着其长度方向延伸而形成两个侧面, 和/或, 所述上挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为 10-50%, 所述下挡板的所述两个侧面中至少一个(优选两个)的开孔率为 3-30%, 和/或, 所述上挡板沿着其长度方向的尺寸是 30-250mm, 所述下挡板沿着其长度方向的尺寸是 30-250mm。

17. 一种流化装置(特别是流化床反应器), 包括壳体、气体分布器、以及由所述壳体的内壁与所述气体分布器的上表面限定的内腔, 其中在所述内腔中设置权利要求 14 所述的双梯形构件。

18. 一种硝基化合物的加氢反应方法, 包括使作为反应原料的硝基化合物(特别是硝基苯)与氢气和加氢催化剂接触而获得反应

产物(比如氨基化合物,特别是苯胺)的步骤(称为加氢反应步骤),其中所述加氢反应步骤在权利要求1或17所述的流化床反应器中进行。

19. 权利要求18所述的加氢反应方法,其中所述加氢反应步骤的反应条件包括:表观气速为0.2-0.8m/s,氢气与所述反应原料(比如硝基苯)的摩尔比为6-21,反应温度为220-280°C,反应压力为0.05-1MPa(表压),所述加氢催化剂为选自铜系负载型催化剂、镍系负载型催化剂和贵金属系负载型催化剂中的至少一种,和/或,所述加氢催化剂的堆密度为300-1200kg/m³,和/或,所述加氢催化剂的平均粒径为30-800μm(优选40-500μm或50-600μm),且粒径小于80μm的催化剂颗粒占全部催化剂颗粒的质量百分比不小于2wt%(优选5-15wt%),和/或,所述硝基化合物是选自用以下结构式(1)表示的化合物中的至少一种,



15 在结构式(1)中,R是任选取代的C2-20直链、支链或环状烃基(优选任选取代的C4-20环状烃基,特别是任选取代的C6-20芳基,更特别是任选取代的苯基)。