(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101687173 B
(45)授权公告日 2013.11.13

(21)申请号 200880022413.2
(22)申请日 2008.05.13
(30)优先权数据
60/966,558 2007.05.14 US
11/977,843 2007.10.26 US
(85)PCT申请进入国家阶段日
2009.12.28
(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2008/006082 2008.05.13
(87)PCT申请的公布数据
WO2008/143831 EN 2008.11.27
(73)专利权人 康宁股份有限公司
地址 美国纽约州
(72)发明人 K·P·加德卡里 B·Y·约翰逊 P·Q·邝 A·刘 Y·施
(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 沙永生 周承泽
(51)Int.Cl.
B01J 20/04(2006.01)
B01J 20/20(2006.01)
B01J 20/26(2006.01)
B01J 20/28(2006.01)
B01J 20/30(2006.01)
B01D 53/64(2006.01)
B01D 53/86(2006.01)
B01J 27/04(2006.01)
B01J 27/049(2006.01)
B01J 27/051(2006.01)
C01B 31/08(2006.01)

(56)对比文件
CN 1212903 A,1999.04.07, 说明书第2、4、10页.
CN 1212903 A,1999.04.07, 说明书第2、4、10页.
US 5601701 A,1997.02.11, 说明书第2-3栏.
US 6806398 B2,2004.10.19, 说明书第3栏.

审查员 李晶晶

权利要求书1页 说明书25页 附图3页

(54)发明名称

包含活性炭的吸附体、其制备方法及其应用

(57)摘要

包含活性炭的吸附体、它们的制备方法及其使用方法。所述吸附体可用于除去流体如气流中的有毒元素。例如,所述吸附体可用于从燃煤废气中除去元素汞或氧化态汞。

CN 101687173 B

1. 一种吸附体，其包含：

限定多个孔的活性炭基质；

硫；

碱土金属氢氧化物；以及

包含金属硫化物的原位挤出金属催化剂；

其中，原位挤出金属催化剂均匀地分布在整个活性炭基质中，所述的金属硫化物是铬、锰、铁、铜或钼的硫化物。

2. 一种吸附体，它包含：

活性炭；

硫；

碱土金属氢氧化物；以及

包含金属硫化物的原位挤出金属催化剂；

其中，至少一部分原位挤出金属催化剂通过化学方式结合到至少一部分硫上且均匀地分布在整个活性炭中，所述的金属硫化物是铬、锰、铁、铜或钼的硫化物。

3. 如权利要求 2 所述的吸附体，其特征在于，至少一部分的硫化学结合到活性炭基质中的至少一部分碳上。

4. 一种从流体中除去有毒元素的方法，它包括使流体与权利要求 1-3 中任一项所述的吸附体接触。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述有毒元素选自镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒，其中任何一种为任何氧化态。

6. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述有毒元素选自镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒，所述有毒元素是任何一种含该元素的化合物。

7. 如权利要求 2-3 中任一项所述的吸附体，其特征在于，所述金属催化剂可促进从与所述吸附体接触的流体中除去以下一种或多种有毒元素：镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷和硒，其中任何一种为任何氧化态。

8. 如权利要求 2-3 中任一项所述的吸附体，其特征在于，所述金属催化剂可促进从与所述吸附体接触的流体中除去以下一种或多种有毒元素：镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒，所述有毒元素为任何一种含该元素的化合物。

9. 如权利要求 2-3 中任一项所述的吸附体，其中该吸附体是蜂窝型整块体形式。

10. 如权利要求 7 中所述的吸附体，其中该吸附体是蜂窝型整块体形式。

包含活性炭的吸附体、其制备方法及其应用

[0001] 相关申请交叉引用

[0002] 本申请要求 2007 年 10 月 26 日提交的美国申请第 11/977843 号和 2007 年 5 月 14 日提交的美国临时申请第 60/966558 号的权益。

技术领域

[0003] 本发明涉及包含活性炭的吸附体、其制备方法及其应用。所述吸附体可用于除去流体如气流中的有毒元素。例如，所述吸附体可用于除去燃煤废气中的元素汞或氧化态汞。

背景技术

[0004] 向大气排放有毒物质已成为日益受到重视的环境问题，因为它们给人类的健康带来危险。例如，燃煤电厂和医疗废物的焚烧是与人类活动相关的主要汞排放源。排放到大气中的汞会飘移上千英里才沉降到地面。研究还表明，大气中的汞也会沉降在排放源附近地区。

[0005] 据估计，美国每年有 48 吨汞从燃煤电厂排出。美国能源部能源信息管理部 (DOE-Energy Information Administration) 的一份年度能源展望报告预测，随着煤电用量的增加，用于发电的煤耗将从 2002 年的 9 亿 7600 万吨增加到 2025 年的 14 亿 7700 万吨。然而，控制汞排放的相关法规在燃煤电厂并未得到严格执行。一个主要原因是缺乏成本合理的有效控制技术，特别是对元素汞的控制。

[0006] 一种用来控制元素汞以及氧化态汞的技术是活性炭注射 (ACI)。ACI 法包括将活性炭粉注射到废气流中，然后用织物纤维或静电沉积器收集吸附了汞的活性炭粉。一般地，ACI 技术需要高碳汞比才能达到要求的除汞水平（＞ 90％），这使得花在吸附材料上的成本较高。高碳汞比表明 ACI 没有有效利用炭粉吸附汞的容量。此外，若仅采用一个粒子收集系统，就牺牲了飞灰的商业价值，因为飞灰与受污染的活性炭粉混杂在一起。可以采用这样的系统，它包含两个独立的粉末收集器，第一个收集器收集飞灰，第二个收集器或袋滤室 (baghouse) 收集活性炭粉，将活性炭吸附剂在两个收集器之间注入。可将高收集效率的袋滤室安装在电厂设施中。然而，这些措施成本高，而且可能不实用，特别是对于小型电厂。

[0007] 既然在含高浓度 SO_2 和 HCl 的烟煤废气中，主要的汞物质是水溶性（氧化态）汞，那么烟煤电厂可以结合 NO_x 和 / 或 SO_2 控制技术，用湿法涤气器除去 90％的汞。对汞排放的控制也可作为控制微粒排放的附带效益得以实现。可将螯合剂加入湿法涤气器，阻止汞再次排放。由于存在金属涤气设备腐蚀和螯合溶液处理的问题，使用螯合剂增加了成本。在次烟煤或褐煤的废气中，元素汞是主要的汞物质，湿法涤气器对除去元素汞是无效的，除非向系统中加入其他化学试剂。可是，向废气系统中加入其他可能有害于环境的材料是不合适的。

[0008] 一些工业气体，如合成气和废气燃烧，可能包含有毒元素，除汞外，还有例如镉、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒。与汞类似，这些有毒元素可能以元素形式或含该元素的化合物形式存在。在将合成气供给工业和 / 或居民使用之前，或者在将

气体排放到大气中之前，非常需要大幅度降低上述有毒元素中一种或多种元素的含量。

[0009] 迫切需要一种吸附材料，它能从流体如废气和合成气中去除汞和 / 或其他有毒元素，并且比单用活性炭粉具有更高的容量。还需要以合理的成本生产这种吸附材料，并且该材料方便使用。

发明内容

[0010] 本发明的实施方式涉及包含活性炭的吸附体、其制备方法及其使用方法。所述吸附体可用于从流体如气流中除去有毒元素。例如，所述吸附体可用于从燃煤废气中除去元素汞或氧化态汞。

[0011] 本发明的实施方式具有以下一个或多个优点。本发明制备的包含活性炭的吸附体具有高比表面积和大量能吸附有毒元素或促进有毒元素吸附的活性位点，可用于有效吸附有毒元素，包括砷、镉、汞和硒。本发明的一些实施方式中的吸附体不仅能有效吸附氧化态汞，还能吸附元素汞。此外，根据本发明的一些实施方式的吸附体可有效地从废气除去汞，不管该废气包含高浓度 HCl 还是低浓度 HCl。根据本发明的一些实施方式的吸附体还能有效除去含高浓度 SO_3 的废气中的汞。

[0012] 其他特征和优点将在以下详细描述中列出，其中一部分在本领域的技术人员阅读该描述后将变得显而易见，也可通过按照该文字描述和权利要求书以及附图实施本发明而认识到。

[0013] 前面的概述和以下详述都仅仅是对本发明的举例说明，意在为理解要求专利权的本发明的性质和特点提供全面评述或框架。

附图说明

[0014] 附图用于进一步理解本发明，包含在本说明书中并构成其一部分。

[0015] 图 1 比较了本发明的包含原位挤出金属催化剂的吸附剂测试样品与包含浸渍金属但不含挤出金属催化剂的吸附剂的除汞能力随时间的变化。

[0016] 图 2 显示了本发明的一个实施方式的吸附体在不同入口汞浓度下的入口汞浓度 (CHg0) 和出口汞浓度 (CHg1)。

[0017] 图 3 是本发明的一个实施方式的包含原位挤出金属催化剂的吸附体的部分横截面的 SEM 图。

[0018] 图 4 是包含后活化的浸渍金属催化剂的对比吸附体的部分横截面的 SEM 图。

具体实施方式

[0019] 除非另有说明，说明书和权利要求书中所用的所有数值，如表达各成分的重量百分数、尺寸和某些物理性质的数值，都应理解为在所有情况下均受“约”字修饰。还应理解，说明书和权利要求书中所用精确数值构成本发明的另外的实施方式。发明人已尽力保证实施例中所披露的数值的精确性。不过，由于相应测量技术存在标准偏差，所以任何测量值都可能难免地包含某些误差。

[0020] 本文所用不定冠词“一个”或“一种”表示“至少一个（种）”，并且不应局限为“仅一个（种）”，除非有相反说明。因此，例如，“一种金属催化剂”的说法包括具有一种、两种

或更多种金属催化剂的实施方式，除非文中另有明确说明。

[0021] 除非有具体的相反说明，文中所用某组分的“重量%”或“重量百分数”或“基于重量的百分数”是基于包含该组分的组合物或制品的总重量。本文所用的所有百分数均基于重量，除非另有说明。有关气体的所有 ppm 均基于体积，除非另有说明。

[0022] 本文所用术语“硫”包括所有氧化态的硫元素，包括元素硫 (0)、硫酸盐 (+6)、亚硫酸盐 (+4) 和硫化物 (-2) 等。因此，术语“硫”包括任何氧化态的硫、元素硫或者含硫化合物或部分 (moiety) 中的硫。硫的重量百分数是基于元素硫计算的，在计算材料中硫的总量时，将任何其他状态的硫换算为元素硫。

[0023] 术语“金属催化剂”包括任何氧化态的任何金属、元素金属或者含金属的化合物或部分中的金属，它的存在形式能够促进有毒元素（如镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒，或者如镉、汞、砷或硒）从接触本发明的吸附体的流体中除去。金属元素可包括碱金属、碱土金属、过渡金属、稀土金属（包括镧系元素）以及其他金属，如铝、镓、铟、锡、铅、铋和铋。

[0024] 金属催化剂的重量百分数是基于元素金属计算的，在计算材料中金属催化剂的总量时，将任何其他氧化态的金属换算为元素态。以惰性形式存在的金属元素，如无机填料化合物中的金属元素，不视为金属催化剂，不计入金属催化剂的重量百分数。硫或金属催化剂的量可利用任何合适的分析技术测定，如质谱。

[0025] “原位挤出”意指通过将相关材料如硫和/或金属催化剂的至少部分源材料加入配混料 (batch mixture material)，将该材料引入该混合料中，使形成体包含加入其中的源材料。

[0026] 可以借助各种技术，包括但不限于微探针、XPS(X 射线光电子光谱）以及与质谱联用的激光烧蚀，测定硫、金属催化剂或其他材料在本发明的吸附体、挤出配混体 (batch mixture body) 或配混料中的分布。

[0027] 下文将描述对吸附体的特定横截平面中特定材料（例如硫、金属催化剂等）的分布的表征方法。所述方法称作“分布表征法”。

[0028] 若总横截面积大于 500 微米 ×500 微米，则至少选择大小为 500 微米 ×500 微米的横截面作为目标测试区。若总横截面积小于或等于 500 微米 ×500 微米，则整个横截面将作为单一目标测试区。目标测试区的总数是 p（正整数）。

[0029] 用格子将每个目标测试区分为多个独立的 20 微米 ×20 微米的区域。在下面的数据处理中，仅考虑有效面积（定义见下文）不小于 40 微米^2 的区域，有效面积小于 40 微米^2 的区域则舍弃。因此，目标测试区中所有方形样品区的总有效面积 (ATE) 为：

[0030] $$ATE = \sum_{i=1}^{n} ae(i),$$

[0031] 其中，ae(i) 是区域 i 的有效面积，n 是目标测试区中方形样品区的总数，其中 ae(i) ≥ 40 微米^2。以微米^2 为单位的各方形区的面积 ae(i) 计算如下：

[0032] ae(i) = 400-av(i)，

[0033] 其中，av(i) 是方形区 i 中任何大于 10 微米^2 的空隙、孔或自由空间的总面积，单位为微米^2。

[0034] 测定每个方形区 i 的平均浓度 C(i)，将其表达为对硫的每单位有效面积上硫原子

的摩尔数，或者在金属催化剂的情形中为其他相关材料的摩尔数。然后，将所有 C(i)(i = 1-n) 按降序列出，形成一个排列 CON(1)，CON(2)，CON(3)，…CON(n)，其中 CON(1) 是全部 n 个区域中最高的 C(i)，而 CON(n) 是全部 n 个区域中最低的 C(i)。在目标测试区的全部 n 个区域中，5％具有最高浓度的区域的算术平均浓度为 CON(max)。因此：

[0035] $$CON(\max)=\frac{\sum_{m=1}^{INT(0.05\times n)}CON(m)}{INT(0.05\times n)}$$

[0036] 其中，INT(0.05×n) 是大于或等于 0.05×n 的最小整数。本文所用运算子“INT(X)”生成大于或等于 X 的最小整数。

[0037] 在目标测试区的全部 n 个区域中，5％具有最低浓度的区域的算术平均浓度为 CON(min)。因此：

[0038] $$CON(\min)=\frac{\sum_{m=INT(0.95\times n)}^{n}CON(m)}{n-INT(0.95\times n)}$$

[0039] 目标测试区的算术平均浓度为 CON(av)。因此：

[0040] $$CON(av)=\frac{\sum_{m=1}^{n}CON(m)}{n}$$ 。

[0041] 然后，针对全部 p 个目标测试区，将所有 CON(av)(k)(k = 1-p) 按降序列出，形成一个排列 CONAV(1)，CONAV(2)，CONAV(3)，…CONAV(p)，其中 CONAV(1) 是全部 p 个目标测试区中最高 CON(av)(k)，而 CONAV(p) 是全部 p 个目标测试区中最低的 CON(av)(p)。全部 p 个目标测试区的算术平均浓度为 CONAV(av)。因此：

[0042] $$CONAV(av)=\frac{\sum_{k=1}^{p}CONAV(k)}{p}$$ 。

[0043] 在本发明的吸附体或材料的一些实施方式中，当相关材料分布在整个吸附体、活性炭基质或材料中时，较佳的是：在每个目标测试区，其分布具有以下特征：CON(av)/CON(min) ≤ 30，而 CON(max)/CON(av) ≤ 30。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 20，而 CON(max)/CON(av) ≤ 20。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 15，而 CON(max)/CON(av) ≤ 15。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 10，而 CON(max)/CON(av) ≤ 10。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 5，而 CON(max)/CON(av) ≤ 5。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 3，而 CON(max)/CON(av) ≤ 3。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 2，而 CON(max)/CON(av) ≤ 2。

[0044] 对于要“均匀分布”在根据本申请的吸附体或材料中以获得“均匀分布”效果的特定材料或组分，根据分布表征法测得的分布结果满足以下条件：在每个目标测试区，对于 0.1n ≤ m ≤ 0.9n 的所有 CON(m)：0.5 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 2。

[0045] 在一些实施方式中，较佳的是 0.6 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.1。在一些实施方式中，对于 0.05n ≤ m ≤ 0.95n 的所有 CON(m) ：0.5 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 2 ；在一些实施方式中，0.6 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.7 ；在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.1。在本发明（吸附体、挤出混合体等）及本发明材料的一些实施方式中，除本段在上面就每个单独目标测试区所述的任何一个特征外，相关材料（例如硫、金属催化剂等）在全部 p 个目标测试区的分布具有以下特征 ：对于 0.1p ≤ k ≤ 0.9p 的所有 CONAV(k) ：0.5 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 2 ；在一些实施方式中，0.6 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.1。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.95 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.05。对于 0.05p ≤ k ≤ 0.95p 的所有 CONAV(k) ：0.5 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 2 ；在一些实施方式中，0.6 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.1。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.95 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.05。

[0046] 本发明的一个方面是吸附体，其包含 ：

[0047] 活性炭基质 ；

[0048] 硫，为任何氧化态，可以是元素硫或者含硫化合物或部分 ；以及

[0049] 结束催化剂，为任何氧化态，可以是元素金属或者含金属的化合物或部分 ；

[0050] 其中，金属催化剂分布在整个活性炭基质中。

[0051] 在本发明的吸附体这一本实施方式及其他任何实施方式中，硫可分布在整个活性炭基质中。在一些实施方式中，金属催化剂和 / 或硫基本上均匀地分布在整个活性炭基质中。在一些实施方式中，金属催化剂的至少一部分化学结合到至少一部分硫上。因此，一种包含金属催化剂和硫的化合物如金属硫化物，可在吸附体中同时提供硫和金属催化剂。硫或金属催化剂的“至少一部分”是指吸附体中的一些或全部硫或金属催化剂。在又一些实施方式中，至少一部分的硫化学结合到活性炭基质中的至少一部分碳上。

[0052] 在本发明的吸附体的这一实施方式及其他任何实施方式中，至少有一部分硫、至少有一部分金属催化剂、或同时硫和金属催化剂的至少一部分处于能够与镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒发生化学结合的状态。例如，至少一部分的硫处于能够与汞化学结合的状态。

[0053] 举例而言，本文所述的这一实施方式及其他实施方式中的吸附体适合有用从流体流除去汞和其他有毒元素，所述流体流例如是燃煤或焚烧废物产生的废气流，或者煤气化过程中产生的合成气。这类气流可能包含各种含量的汞和 / 或其他有毒元素，如镉、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷和硒。在这些气流中，任何有毒元素如汞可以不同比例以元素态或氧化态存在，取决于原料（例如烟煤、次烟煤、城市垃圾和医疗废物）和处

理条件。在一些实施方式中，所述吸附体包含适合用于促进砷、镉、汞和/或硒自待处理流体流中的去除的金属催化剂。

[0054] 发明人相信，借助于物理吸附和化学吸附的组合，本发明的吸附体能够结合和捕集元素态和氧化态的汞及其他有毒元素。本发明的一些实施方式中的吸附体和材料对于除去废气流中的元素态汞特别有效。与除去元素汞通常没那么有效的其他一些技术相比，这是特别有利的。

[0055] 本发明的吸附体可具有多种形状。例如，所述吸附体可以是粉末、球粒和/或挤出整块体。本发明的吸附体可装入待处理流体流可能流经的固定吸附剂床。在一些实施方式中，特别是用于处理电厂的燃煤废气或煤气化过程中产生的合成气时，气流流经的任何固定床具有低压降是非常适宜的。为此，填充在固定床中的吸附剂球粒宜具有足够的气体通路。

[0056] 根据一些实施方式，吸附体为整块体形式。根据一些实施方式，吸附体为整块式蜂窝体，它具有多个供气体或液体通过的通道。

[0057] 在一些实施方式中，特别有利的是，本发明的吸附体为具有多个通道的挤出整块式蜂窝体。在挤出过程中，可调节蜂窝体的孔道密度(cell density)，以便在使用中获得不同程度的压降。在一些实施方式中，蜂窝体的孔道密度可为25-500个孔道/英寸^2(3.88-77.5个孔道/厘米^2)，在其他一些实施方式中为50-200个孔道/英寸^2(7.75-31.0个孔道/厘米^2)，在其他一些实施方式中为50-100个孔道/英寸^2(7.75-15.5个孔道/厘米^2)。在一些实施方式中，孔壁厚度为1-50密耳，例如10-30密耳。为了使气流与吸附体材料之间更紧密接触，在一些实施方式中，宜在吸附体一端堵塞一部分通道，在吸附体另一端也堵塞一部分通道。在一些实施方式中，在吸附体的每端，堵塞和/或未堵塞的通道宜形成跳棋盘图案。在一些实施方式中，当一条通道在一端（称作“参考端”）堵塞而在吸附体相反一端未堵塞时，至少多数（在其他一些实施方式中优选所有）紧靠它的通道（与该通道至少共一个壁）宜在吸附体的此相反端堵塞而在参考端上未堵塞。多个蜂窝体可以多种方式堆叠，形成具有各种尺寸、使用寿命等的实际吸附剂床，以满足不同应用条件的需要。

[0058] 本文所用“活性炭基质”意指由互联碳原子和/或粒子形成的网状物。在一些实施方式中，本发明的吸附体中的活性炭基质是不间断的连续体形式。如常规活性炭材料的情况，所述基质包含限定多个孔的壁结构。活性炭基质可与硫和金属催化剂一起提供吸附体的骨架结构。此外，在活性炭基质中，孔的累积面积大，提供了多个可直接吸附汞或者分布硫和金属催化剂的位点，所述硫和金属催化剂的分布又促进了汞的吸附。应当指出，活性炭基质所限定的孔与吸附体中实际存在的孔可能不同。例如，一部分由活性炭基质限定的孔可填充有金属催化剂、硫、无机填料及其组合和混合物。

[0059] 在一些实施方式中，所述吸附体包含50重量%-97重量%的活性炭，在一些实施方式中包含60重量%-97重量%或85重量%-97重量%。在其他一些实施方式中，所述吸附体包含至少50重量%的活性炭，例如至少60重量%，至少70重量%，至少80重量%，至少90重量%，至少95重量%，或至少97重量%的活性炭。当根据本文所述方法制备吸附体时，若制备时所采用的碳化和活化水平相同，则活性炭浓度越高，通常导致孔隙率越高。

[0060] 可将活性炭基质限定的孔分为两类：直径小于或等于10nm的纳米级孔和直径大于10nm的微米级孔。根据一些实施方式，活性炭基质限定了多个纳米级孔。金属催化剂或

硫可以例如存在于至少一部分纳米级孔的壁表面上。根据一些实施方式，活性炭基质还限定了多个微米级孔。

[0061] 吸附体中孔的孔径及其分布可利用本领域现有的技术测定，例如氮吸附法。纳米级孔的表面与微米级孔的表面一起提供本发明吸附体的总体高比表面积。在一些实施方式中，纳米级孔的壁表面占吸附体比表面积的至少 50％，至少 60％，至少 70％，至少 80％，或至少 90％。

[0062] 本发明的吸附体具有大比表面积。在本发明的一些实施方式中，所述吸附体的比表面积为 50-2000m^2/g，200-2000m^2/g，400-1500m^2/g，100-1800m^2/g，200-1500m^2/g，或 300-1200m^2/g。吸附体的比表面积越高，可为材料提供越多的用于吸附有毒元素的活性位点。然而，若吸附体的比表面积太高，例如高于 2000m^2/g，则该吸附体将变成高度多孔的，吸附体的机械整体性将受损。对于吸附体的强度需要满足特定阈值要求的一些应用来说，这是不利的。

[0063] 本发明的实施方式所包括的金属催化剂可促进从与吸附体接触的流体中除去一种或多种有毒元素，如镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒，其中任何一种都可处于任何氧化态，可以是元素形式或者含该元素的化合物。任何这样能够促进从流体如与之接触的待处理流体流除去有毒元素或化合物（本文也称“消除”有毒元素或化合物），如汞、砷、镉或硒的金属催化剂可包括在本发明的吸附体。这里的术语“除去”和“消除”在本文中可互换使用。而且，这些术语应理解为涵盖在一定程度上减少流体中有毒元素含量的情形，也就是减少一定的百分数，而不限于完全除去或消除有毒元素。在一些实施方式中，金属催化剂可通过以下一种或多种方式发挥作用，促进从与吸附体接触的流体中除去（或消除）有毒元素：(i) 暂时地或永久地通过化学方式（例如通过共价键和 / 或离子键）吸附有毒元素；(ii) 暂时地或永久地通过物理方式吸附有毒元素；(iii) 催化有毒元素与吸附体中其他组分的反应 / 吸附；(iv) 催化有毒元素与环境气氛的反应，将有毒元素从一种形式转化为另一种形式；(v) 捕集已被吸附体中其他组分吸附的有毒元素；以及 (vi) 促进有毒元素转移到活性吸附位点。

[0064] 根据本发明的吸附体的一些实施方式，所供金属催化剂为选自以下的形式：(i) 碱金属和碱土金属的卤化物和氧化物；(ii) 贵金属及其化合物；(iii) 钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、铌、钼、银、钨和镧系元素的氧化物、硫化物和盐；以及 (iv) 为 (i)、(ii) 和 (iii) 中两种或更多种的组合和混合物。

[0065] 例如，所供金属催化剂为选自以下的形式：(i) 锰的氧化物、硫化物和盐；(ii) 铁的氧化物、硫化物和盐；(iii) 为 (i) 与 KI 的组合；(iv) 为 (ii) 与 KI 的组合；以及 (v) 为 (i)、(ii)、(iii) 和 (iv) 中任意两种或更多种的混合物和组合。根据本发明的一些实施方式，所述吸附体包含碱土金属氢氧化物，作为促进除去有毒元素的金属，如 $Ca(OH)_2$。

[0066] 贵金属 (Ru、Th、Pd、Ag、Re、Os、Ir、Pt 和 Au) 和过渡金属及其化合物是金属催化剂的例子。其他非限制性金属催化剂包括碱金属和碱土金属的卤化物、氢氧化物或氧化物；以及钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、铌、钼、银、钨和镧系元素的氧化物、硫化物和盐。金属催化剂可以任何化合价存在。例如，若存在铁，它可以 +3 价、+2 价、0 价或不同化合价的混合物形式存在，可以是金属铁 (0)、FeO、Fe_2O_3、Fe_3O_8、FeS、$FeCl_2$、$FeCl_3$、$FeSO_4$ 等。再举一个例子，若存在锰，它可以 +4 价、+2 价、0 价或不同化合价的混合物形式存在，可以是金属锰 (0)、MnO、

MnO_2、MnS、$MnCl_2$、$MnCl_4$、$MnSO_4$ 等。在一些实施方式中，金属催化剂不是氧化物形式。在其他实施方式中，吸附体包含至少一种非氧化物形式的金属催化剂。

[0067] 在本发明的吸附体的一些实施方式中，金属催化剂选自以下形式：碱金属卤化物；锰和铁的氧化物、硫化物和盐。在本发明的吸附体的一些实施方式中，金属催化剂选自以下形式：KI 与锰的氧化物、硫化物和盐的组合；KI 与铁的氧化物、硫化物和盐的组合；或者 KI 与锰和铁的氧化物、硫化物和盐的组合。研究发现，这些组合对除去气流中的汞、尤其是元素汞特别有效。

[0068] 根据本发明的一些实施方式，吸附体包含碱土金属氢氧化物，作为促进除去有毒元素的金属，如 $Ca(OH)_2$。实验表明，$Ca(OH)_2$ 对于促进从气流中除去砷、镉和硒特别有效。

[0069] 在本发明的一些实施方式中，金属催化剂是碱金属，如锂、钠或钾。在其他实施方式中，金属催化剂是碱土金属，如镁、钙或钡。在其他实施方式中，金属催化剂是过渡金属，如钯、铂、银、金、锰或铁。在其他实施方式中，金属催化剂是稀土金属，如铈。在一些实施方式中，金属催化剂是元素形式。在其他实施方式中，金属催化剂是金属硫化物。在其他实施方式中，金属催化剂是过渡金属的硫化物或氧化物。在又一些其他实施方式中，吸附体包含碱金属、碱土金属或过渡金属以外的至少一种催化剂。在其他实施方式中，吸附体包含钠以外的、钾以外的、镁以外的、钙以外的、铝以外的、钛以外的、锆以外的、铬以外的、锰以外的、铁以外的和 / 或锌以外的至少一种催化剂。在其他实施方式中，吸附体包含铝、钒、铁、钴、镍、铜或锌以外的至少一种金属催化剂，可以是元素形式或硫酸盐形式。

[0070] 吸附体中金属催化剂的含量可根据以下因素选择：所用的特定金属催化剂、使用该吸附体的应用、要求吸附体除去有毒元素的容量和效率。在本发明的吸附体的一些实施方式中，金属催化剂的量为 1 重量％ -20 重量％，在其他一些实施方式中为 2 重量％ -18 重量％，在其他一些实施方式中为 5 重量％ -15 重量％，在其他一些实施方式中为 5 重量％ -10 重量％。在又一些实施方式中，吸附体包含 1 重量％ -25 重量％的金属催化剂（在一些实施方式中包含 1 重量％ -20 重量％，1 重量％ -15 重量％，3 重量％ -10 重量％，或 3 重量％ -5 重量％）。

[0071] 在述及金属催化剂在活性炭基质中具有一定分布的一些实施方式中，若吸附体中仅存在一种金属催化剂，则该金属催化剂分布在整个活性炭基质中。若这些实施方式中存在多种金属催化剂，则其中至少一种分布在整个活性炭基质中。“分布在整个活性炭基质中”的意思是，指定的相关材料（金属催化剂、硫等）不仅存在于吸附体的外表面或孔壁上，而且深入吸附体内部。因此，具体的金属催化剂可以以下方式存在，例如：(i) 存在于由活性炭基质限定的纳米级孔的壁表面上；(ii) 存在于由活性炭基质限定的微米级孔的壁表面上；(iii) 浸入活性炭基质的壁结构中；(iv) 部分包埋在活性炭基质的壁结构中；(v) 部分填充和 / 或阻塞由活性炭基质限定的一些孔；以及 (vi) 完全填充和 / 或阻塞由活性炭基质限定的一些孔。在 (iii)、(iv)、(v) 和 (vi) 所述情形中，分布在活性炭基质中的金属催化剂和 / 或其他组分实际上构成吸附体的孔壁结构的一部分。在一些实施方式中，存在多种金属催化剂，它们都分布在整个活性炭基质中。然而，并不要求所有金属催化剂都分布在整个活性炭基质中。因此，在一些实施方式中，存在多种金属催化剂，其中至少一种分布在整个活性炭基质中，且其中至少一种基本上主要分布在吸附体的外表面区域和 / 或孔壁表面上，以及 / 或者所述外表面区域和 / 或孔壁表面下的一个薄层内。在一些实施方式中，至

少一部分金属催化剂可与吸附体的其他组分如碳或硫发生化学结合。在其他一些实施方式中，至少一部分金属催化剂可与活性炭基质或其他组分发生物理结合。在又一些其他实施方式中，至少一部分金属催化剂以纳米级或微米级粒子形式存在于吸附体中。

[0072] 可利用上文所述的分布表征方法测定和表征金属催化剂在本发明的吸附体或者其他形体或材料中的分布。在本发明的吸附体的一些实施方式中，金属催化剂的分布具有以下特征：在每个目标测试区，CON(av)/CON(min) ≤ 30，且 CON(max)/CON(av) ≤ 30。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 20，且 CON(max)/CON(av) ≤ 20。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 15，且 CON(max)/CON(av) ≤ 15。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 10，且 CON(max)/CON(av) ≤ 10。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 5，且 CON(max)/CON(av) ≤ 5。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 3，且 CON(max)/CON(av) ≤ 3。在其他一些实施方式中，较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 2，且 CON(max)/CON(av) ≤ 2。

[0073] 在本发明的吸附体的一些实施方式中，根据上文所述分布表征法的测定，至少一种金属催化剂均匀地分布在整个活性炭基质中。因此：在每个目标测试区，对于 0.1n ≤ m ≤ 0.9n 的所有 CON(m)：0.5 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 2。

[0074] 在一些实施方式中，较佳的是 0.6 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.1。在一些实施方式中，对于 0.05n ≤ m ≤ 0.95n 的所有 CON(m)：0.5 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 2；在一些实施方式中，0.6 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.1。在本发明的形体（吸附体、挤出混合体等）及材料的一些实施方式中，除本段在上面就每个单独目标测试区所述的任何一个特征外，相关材料（例如硫、金属催化剂等）在全部 p 个目标测试区的分布具有以下特征：对于 0.1p ≤ k ≤ 0.9p 的所有 CONAV(k)：0.5 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 2；在一些实施方式中，0.6 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.1。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.95 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.05。在一些实施方式中，对于 0.05p ≤ k ≤ 0.95p 的所有 CONAV(k)：0.5 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 2；在一些实施方式中，0.6 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.1。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.95 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.05。

[0075] 在本发明的一些实施方式中，金属催化剂存在于微米级孔的大部分壁表面上。在本发明的其他一些实施方式中，金属催化剂存在于微米级孔的至少 75％、至少 90％或至少 95％的壁表面上。

[0076] 在本发明的一些实施方式中，金属催化剂存在于纳米级孔的至少 20％、至少 40％、至少 50％、至少 75％或至少 85％的壁表面上。在一些实施方式中，吸附体的大部分比

表面积由纳米级孔的壁表面提供。在这些实施方式中，纳米级孔宜有更高百分比的壁表面上分布有金属催化剂。

[0077] 本发明的吸附体包含硫。硫在吸附体中的含量根据以下因素选择：所用的特定金属催化剂、使用该吸附体的应用、要求该吸附体除去有毒元素的容量和效率。

[0078] 在一些实施方式中，吸附体包含 1 重量％ -20 重量％的硫（在一些实施方式中包含 1 重量％ -15 重量％，3 重量％ -8 重量％，2 重量％ -10 重量％，0.1 重量％ -5 重量％，或 2 重量％ -5 重量％）。硫可以元素硫 (0 价）、硫化物（例如 -2 价）、亚硫酸盐（例如 +4 价）、硫酸盐（例如 +6 价）的形式存在。在一些实施方式中，硫不以硫酸盐形式存在，或者硫酸盐不是吸附体中唯一的硫来源。宜有至少一部分硫以能够与流体流中待除去的有毒元素（例如汞）发生化学结合的价态存在。为此，宜有至少一部分硫以 -2 价和 / 或 0 价存在。至少有一部分硫可化学结合或物理结合到活性炭基质的壁表面上。如上文所述，至少有一部分硫可以例如硫化物 (FeS、MnS、Mo_2S_3、CuS 等）的形式化学结合或物理结合到金属催化剂上。

[0079] 在一些实施方式中，至少有一部分硫为 0 价。例如，经 XPS 测定，活性炭基质的孔壁表面上至少有 10％的硫基本上为 0 价。在其他实施方式中，至少有一部分硫不为 0 价。在一些实施方式中，吸附体包含一部分 0 价硫和一部分非 0 价硫。在一些实施方式中，吸附体包含元素硫和以含硫化合物如金属硫化物形式存在的硫。

[0080] 在一些实施方式中，吸附体中宜有至少 40 摩尔％、至少 50 摩尔％、至少 60 摩尔％或至少 70 摩尔％的硫为 0 价。根据一些实施方式，经 XPS 测定，孔壁表面上有至少 10％、至少 20％、至少 30％、至少 40％、至少 50％或至少 60％的硫基本为 0 价。

[0081] 实验表明，除汞外，含活性炭、硫和金属催化剂的吸附体还能有效除去气流中的砷、镉和硒。实验表明，与总硫浓度基本上相同但不含元素硫的吸附体相比，含元素硫的吸附体往往具有更高的除汞能力。

[0082] 在一些实施方式中，硫分布在整个活性炭基质中。“分布在整个活性炭基质中”的意思是，硫不仅存在于吸附体的外表面或孔壁上，而且深入吸附体内部。因此，硫可以例如：(i) 存在于纳米级孔的壁表面上；(ii) 存在于微米级孔的壁表面上；(iii) 浸入活性炭基质的壁结构中；以及 (iv) 部分包埋在活性炭基质的壁结构中。在 (iii) 和 (iv) 所述情形中，硫实际上形成吸附体的孔壁结构的一部分。因此，在一些实施方式中，一些硫可与吸附体的其他组分如碳或金属催化剂发生化学结合（共价键和 / 或离子键）。在其他一些实施方式中，一些硫可与活性炭基质或其他组分发生物理结合。在又一些其他实施方式中，一些硫以纳米级或微米级粒子形式存在于吸附体中。

[0083] 可利用上文所述的分布表征方法测定和表征在本发明的吸附体或者其他形体或材料中的硫分布。

[0084] 在一些实施方式中，硫在任何目标测试区的分布具有以下特征：CON(max)/CON(min) ≥ 100。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(min) ≥ 200。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(min) ≥ 300。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(min) ≥ 400。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(min) ≥ 500。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(min) ≥ 1000。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(av) ≥ 50。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(av) ≥ 100。在其他一些实施方式中：CON(max)/CON(av) ≥ 200。

在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≥ 300。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≥ 400。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≥ 500。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≥ 1000。

[0085] 在一些实施方式中,对于分布在吸附体中的硫,它在全部 p 个目标测试区中的分布具有以下特征 :CONAV(1)/CONAV(n) ≥ 2。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(n) ≥ 5。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(n) ≥ 8。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(n) ≥ 1.5。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(av) ≥ 2。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(av) ≥ 3。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(av) ≥ 4。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(av) ≥ 5。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(av) ≥ 8。在其他一些实施方式中 :CONAV(1)/CONAV(av) ≥ 10。

[0086] 在其他一些实施方式中,对于分布在吸附体中的硫,在每个目标测试区中,其分布具有以下特征 :CON(av)/CON(min) ≤ 30。在其他一些实施方式中 :CON(av)/CON(min) ≤ 20。在其他一些实施方式中 :CON(av)/CON(min) ≤ 15。在其他一些实施方式中 :CON(av)/CON(min) ≤ 10。在其他一些实施方式中 :CON(av)/CON(min) ≤ 5。在其他一些实施方式中 :CON(av)/CON(min) ≤ 3。在其他一些实施方式中 :CON(av)/CON(min) ≤ 2。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≤ 30。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≤ 20。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≤ 15。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≤ 10。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≤ 5。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≤ 3。在其他一些实施方式中 :CON(max)/CON(av) ≤ 2。

[0087] 在本发明的吸附体的一些实施方式中,硫的分布具有以下特征 :在每个目标测试区, CON(av)/CON(min) ≤ 30,而 CON(max)/CON(av) ≤ 30。在其他一些实施方式中,较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 20,且 CON(max)/CON(av) ≤ 20。在其他一些实施方式中,较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 15,且 CON(max)/CON(av) ≤ 15。在其他一些实施方式中,较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 10,且 CON(max)/CON(av) ≤ 10。在其他一些实施方式中,较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 5,且 CON(max)/CON(av) ≤ 5。在其他一些实施方式中,较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 3,且 CON(max)/CON(av) ≤ 3。在其他一些实施方式中,较佳的是 CON(av)/CON(min) ≤ 2,且 CON(max)/CON(av) ≤ 2。

[0088] 在本发明的吸附体的一些实施方式中,根据上文所述的分布表征方法的测定,硫均匀地分布在整个活性炭基质中。因此 :在每个目标测试区,对于 0.1n ≤ m ≤ 0.9n 的所有 CON(m) :0.5 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 2。

[0089] 在一些实施方式中,较佳的是 0.6 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中,较佳的是 0.7 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中,较佳的是 0.8 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中,较佳的是 0.9 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.1。在一些实施方式中,对于 0.05n ≤ m ≤ 0.95n 的所有 CON(m) :0.5 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 2 ;在一些实施方式中,0.6 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中,较佳的是 0.7 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中,较佳的是 0.8 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中,较佳的是 0.9 ≤ CON(m)/CON(av) ≤ 1.1。在本发明的形体(吸附体、挤出混合体等)及材料的一些实施方式中,除本段在上面就每个单独目标测试区所述的任何一个特征外,相关材料(例如硫、金属催化剂等)在全部 p 个目标

测试区的分布具有以下特征：对于 0.1p ≤ k ≤ 0.9p 的所有 CONAV(k)：0.5 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 2；在一些实施方式中，0.6 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.1。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.95 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.05。在一些实施方式中，对于 0.05p ≤ k ≤ 0.95p 的所有 CONAV(k)：0.5 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 2；在一些实施方式中，0.6 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.7。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.7 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.4。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.8 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.2。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.9 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.1。在其他一些实施方式中，较佳的是 0.95 ≤ CONAV(k)/CONAV(av) ≤ 1.05。

[0090] 在一些实施方式中，硫存在于微米级孔的大部分壁表面上。在本发明的其他一些实施方式中，硫存在于微米级孔的至少 75％、至少 90％或至少 95％的壁表面上。

[0091] 在一些实施方式中，硫存在于纳米级孔的至少 20％、至少 30％、至少 40％、至少 50％、至少 75％或至少 85％的壁表面上。在一些实施方式中，吸附体的大部分比表面积由纳米级孔的壁表面提供。在这些实施方式中，纳米级孔宜有更高百分比（如至少 40％、至少 50％或至少 60％）的壁表面上分布有硫。

[0092] 吸附体还包含无机填料。与金属催化剂不同，无机填料中的任何金属元素是化学惰性和物理惰性的。因此，无机填料中包含的金属元素不会通过以下的一种或多种方式发挥促进从与本发明的吸附体接触的流体中除去有毒元素的作用：(i) 暂时地或永久地通过化学方式（例如通过共价键和 / 或离子键）吸附有毒元素；(ii) 暂时地或永久地物理吸附有毒元素；(iii) 催化有毒元素与吸附体中其他组分的反应 / 吸附；(iv) 催化有毒元素与环境气氛的反应，将其从一种形式转化为另一种形式；(v) 捕集已被吸附体中其他组分吸附的有毒元素；以及 (vi) 帮助有毒元素转移到活性吸附位。

[0093] 出于降低成本、改进吸附体的物理性质（例如热膨胀系数；断裂模量）或化学性质（例如耐水性；耐高温性；耐腐蚀性）等目的，可以加入无机填料。这样的无机填料可以是氧化物玻璃、氧化物陶瓷或某些难熔材料。无机填料的非限制性例子包括：氧化硅；氧化铝；锆石；氧化锆；多铝红柱石；堇青石；难熔金属；等等。在一些实施方式中，无机填料本身是多孔的。无机填料的高孔隙率可改善吸附体的机械强度，而不会不适当地牺牲比表面积。无机填料可分布在整个吸附体中。无机填料可以极小粒子形式分布在吸附体中。依据吸附体的应用和其他因素，在一些实施方式中，吸附体可包含例如最多 50 重量％的无机填料，在其他一些实施方式中最多 40 重量％，在其他一些实施方式中最多 30 重量％，在其他一些实施方式中最多 20 重量％，在其他一些实施方式中最多 10 重量％。

[0094] 为了使吸附体获得高比表面积，若包含无机填料，则这种无机填料本身宜为多孔的，给吸附体贡献部分高比表面积。要在吸附体中加入比表面积与活性炭相当的无机填料通常较困难或者成本较高。因此，这种无机填料在给最终的吸附体带来通常的机械增强作用外，往往也会降低吸附体的总比表面积。在一些情况中，这是非常不利的。吸附体的高比表面积通常意味着有更多的吸附有毒元素的活性位（包括能吸附有毒元素的碳位、能促进或有毒元素的直接吸附的硫以及能促进有毒元素的吸附的金属催化剂）。发明人还相信，这三类活性吸附位在吸附体中紧密靠近有益于总吸附容量。

[0095] 大量无机填料的加入稀释了碳基质中的金属催化剂和硫，增大了这三类活性位相互之间的总体平均距离。因此，在一些实施方式中，吸附体具有较低百分比的无机填料（吸附体的余下部分为碳、硫和金属催化剂）。在一些实施方式中，吸附体包含少于 40 重量%、少于 30 重量%、少于 20 重量%、少于 10 重量%、少于 9 重量%、少于 8 重量%、少于 7 重量%、少于 6 重量%、少于 5 重量%、少于 4 重量%、少于 3 重量%、少于 2 重量%、少于 1 重量%或少于 0.5 重量%的无机填料。在一个实施方式中，吸附体不含无机填料。吸附体包含的无机填料越少，在活性炭基质壁的整个横截面上，汞捕集的分布更加均匀。因此，在一些实施方式中，吸附体总共包含至少 90 重量%（在一些实施方式中至少 91 重量%、至少 92 重量%、至少 93 重量%、至少 94 重量%、至少 95 重量%、至少 96 重量%、至少 97 重量%或至少 98 重量%）的活性炭、硫和金属催化剂。

[0096] 本发明的又一个实施方式是一种吸附体，它包含：

[0097] 活性炭；

[0098] 硫，为任何氧化态，可以是元素硫或者含硫化合物或部分；以及

[0099] 金属催化剂，为任何氧化态，可以是元素金属或者含金属的化合物或部分；

[0100] 其中，至少一部分金属催化剂通过化学方式结合到至少一部分硫上。

[0101] 如同本文所披露的吸附体的其他实施方式，至少一部分硫通过化学方式结合到活性炭基质中的至少一部分碳上。在一些实施方式中，硫和 / 或金属催化剂可分布在整个活性炭基质中。在其他实施方式中，硫和 / 或金属催化剂不是分布在整个活性炭基质中。此实施方式和任何其他实施方式的吸附体可包含例如金属硫化物，如硫化锰。此实施方式的吸附体还可具有本发明的任何其他吸附体的任何一个或多个其他特性，包括前面已描述的活性炭的、硫的和金属催化剂的特性。

[0102] 发明人相信，本发明的吸附体的实施方式能够从流体如合成气流和燃烧废气流中吸附并除去有毒元素，如镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒。已经发现，吸附体对从废气流中除去汞特别有效。吸附材料除去特定有毒元素如汞的能力通常用两个参数表征：初始除去效率和长期除去容量。就汞而言，利用以下程序表征初始除汞效率和长期除汞容量：

[0103] 将待测试吸附体装入固定床，具有特定组成的参照废气流在 160℃以 7500hr^{-1} 的空速通过该固定床。测定气流通过吸附剂床之前和之后的汞浓度。在任意给定时间，按下式计算瞬时除汞效率 [Eff(Hg)]：

[0104] $$Eff(Hg)=\frac{C_0-C_1}{C_0}\times 100\%,$$

[0105] 其中，C_0 是恰好在吸附剂床之前的废气流所含总汞浓度，单位为微克 / 米 ^{3}；C_1 是恰好在吸附剂床之后的废气流所含总汞浓度，单位为微克 / 米 ^{3}。初始除汞效率定义为加装新测试吸附材料之后的第一个小时内的平均除汞效率。一般地，随着吸附剂床载有越来越多的汞，固定吸附剂床的除汞效率随时间逐渐下降。除汞容量定义为：在上述测试条件下直至瞬时除汞效率减小到 90％时，吸附剂床中单位质量的吸附体材料所捕集的汞的总量。除汞容量通常表达为每克吸附材料所捕集的汞的毫克数（毫克 / 克）。

[0106] 一种示例性测试参照废气（本文中记作 RFG1）具有以下体积组成：O_2 5％；CO_2 14％；SO_2 1500ppm；NO_x 300ppm；HCl 100ppm；Hg 20-25 微克 / 米 ^{3}；余量的 N_2；其中 NO_x

是 NO_2、N_2O 和 NO 的组合；Hg 是元素汞 [Hg(0)，50 摩尔％ -60 摩尔％] 和氧化态汞 (40 摩尔％ -50 摩尔％) 的组合。在一些实施方式中，吸附体相对于 RFG1 的初始除汞效率为至少 90％、至少 91％、至少 92％、至少 95％、至少 97％、至少 98％、至少 99％或至少 99.5％。

[0107] 在一些实施方式中，对于包含 5％ O_2、14％ CO_2、1500ppm SO_2、300ppmNO_x、20-25 微克 / 米 ^{3}Hg 并具有高 HCl 浓度的废气，无论 HCl 浓度的高低，所述吸附体有利地具有至少 90％的高初始除汞效率。“高 HCl 浓度”是指待处理气体中 HCl 的浓度至少为 20ppm。“低 HCl 浓度”是指待处理气体中 HCl 的浓度至多为 10ppm。对于具有以下组成的废气 (记作 RFG2) ：O_2 5％ ；CO_2 14％ ；SO_2 1500ppm ；NO_x 300ppm ；HCl 5ppm ；Hg 20-25 微克 / 米 ^{3} ；余量为 N_2，一些实施方式的吸附体具有至少 90％、至少 91％、至少 93％、至少 95％、至少 96％、至少 98％、至少 99％或至少 99.5％的高初始除汞效率。与现有技术相比，这些实施方式对低 HCl 废气的高除汞效率是特别有利的。在涉及注射活性炭粉的现有技术方法中，通常要求向废气中加入 HCl，以获得足够的初始除汞效率。在低 HCl 浓度下具有高除汞效率的实施方式能够达到从废气流中高效率、高效益地除去汞，并且无需向气流中注射 HCl。

[0108] 在一些实施方式中，对于包含 5％ O_2、14％ CO_2、1500ppm SO_2、300ppm 的 NO_x、20-25 微克 / 米 ^{3}Hg 而无论 SO_3 浓度高 (如 5ppm、8ppm、10ppm、15ppm、20ppm、30ppm、40ppm) 还是低 (如 0.01ppm、0.1ppm、0.5ppm、1ppm、2ppm) 的废气，吸附体具有至少 91％的高初始除汞效率。“高 SO_3 浓度”是指待处理气体中 SO_3 的浓度至少为 3ppm。“低 SO_3 浓度”是指待处理气体中 SO_3 的浓度至低于 3ppm。对于具有以下组成的废气 (记作 RFG3) ：O_2 5％ ；CO_2 14％ ；SO_2 1500ppm ；NO_x 300ppm ；SO_3 5ppm ；Hg 20-25 微克 / 米 ^{3} ；余量为 N_2，一些实施方式的吸附体有利地具有至少 90％、至少 91％、至少 95％、至少 98％或至少 99％的高初始除汞效率。与现有技术相比，一些实施方式对高 SO_3 废气的高除汞效率是特别有利的。在涉及注射活性炭粉的现有技术方法中，通常要求从废气中除去 SO_3，以获得足够的初始除汞效率。在高 SO_3 浓度下具有高除汞效率的实施方式能够达到从废气流中高效率、高效益地除去汞，并且无需预先从气流中除去 SO_3。

[0109] 根据一些实施方式，对于 RFG1，吸附体的除 Hg 容量为 0.05 毫克 / 克，在一些实施方式中对于 RFG1 至少为 0.10 毫克 / 克，至少为 0.15 毫克 / 克，至少为 0.20 毫克 / 克，至少为 0.25 毫克 / 克，至少为 0.30 毫克 / 克，至少为 0.50 毫克 / 克，至少为 1.0 毫克 / 克，至少为 2.0 毫克 / 克，或至少为 3.0 毫克 / 克。

[0110] 根据一些实施方式，对于 RFG2，吸附体的除 Hg 容量为 0.05 毫克 / 克，在一些实施方式中对于 RFG2 至少为 0.10 毫克 / 克，至少为 0.15 毫克 / 克，至少为 0.20 毫克 / 克，至少为 0.25 毫克 / 克，至少为 0.30 毫克 / 克，至少为 0.50 毫克 / 克，至少为 1.0 毫克 / 克，至少为 2.0 毫克 / 克，或至少为 3.0 毫克 / 克。因此，根据这些实施方式的吸附体对低 HCl 废气流具有高除汞效率。与现有技术中消除汞的方法相比，这是特别有利的。

[0111] 根据一些实施方式，对于 RFG3，吸附体的除 Hg 容量为 0.05 毫克 / 克，在一些实施方式中对于 RFG3 至少为 0.10 毫克 / 克，至少为 0.15 毫克 / 克，至少为 0.20 毫克 / 克，至少为 0.25 毫克 / 克，至少为 0.30 毫克 / 克，至少为 0.50 毫克 / 克，至少为 1.0 毫克 / 克，至少为 2.0 毫克 / 克，或至少为 3.0 毫克 / 克。因此，根据这些实施方式的吸附体对高 SO_3 废气流具有高除汞效率。与现有技术中消除汞的方法相比，这是特别有利的。

[0112] 因此，本发明又一个实施方式是本文所述的任何吸附体，其中所述吸附体对于

RFG1、RFG2 和 / 或 RFG3 具有至少 90％的初始除汞效率，或者所述吸附体对于 RFG1、RFG2 和 / 或 RFG3 具有至少 0.05 毫克 / 克的除汞容量。

[0113] 基于上述内容，本发明的一个实施方式是一种吸附体，它包含 ：

[0114] 活性炭 ；

[0115] 硫，为任何氧化态，可以是元素硫或者含硫化合物或部分 ；以及

[0116] 金属催化剂，为任何氧化态，可以是元素金属或者含金属的化合物或部分 ；

[0117] 其中所述吸附体对于 RFG1、RFG2 和 / 或 RFG3 具有至少 90％的初始除汞效率。例如，该吸附体对于 RFG1、RFG2 和 / 或 RFG3 可具有至少 91％、至少 95％、至少 98％或至少 99％的初始除汞效率。在一些实施方式中，硫和 / 或金属催化剂可分布在整个活性炭基质中。在其他实施方式中，硫和 / 或金属催化剂不是分布在整个活性炭基质中。此实施方式的吸附体还可具有对本发明的任何其他吸附体所述的任何一个或多个其他特性，包括前面已描述的活性炭的、硫的和金属催化剂的特性。

[0118] 本发明的又一个实施方式是一种吸附体，它包含 ：

[0119] 活性炭 ；

[0120] 硫，为任何氧化态，可以是元素硫或者含硫化合物或部分 ；以及

[0121] 金属催化剂，为任何氧化态，可以是元素金属或者含金属的化合物或部分 ；

[0122] 其中所述吸附体对于 RFG1、RFG2 和 / 或 RFG3 具有至少 0.05 毫克 / 克的除汞容量。例如，该吸附体对于 RFG1、RFG2 和 / 或 RFG3 可具有至少 0.10 毫克 / 克、至少 0.15 毫克 / 克、至少 0.20 毫克 / 克、至少 0.25 毫克 / 克、至少 0.30 毫克 / 克、至少 0.50 毫克 / 克、至少 1.0 毫克 / 克、至少 2.0 毫克 / 克或至少 3.0 毫克 / 克的除汞容量。在一些实施方式中，硫和 / 或金属催化剂可分布在整个活性炭基质中。在其他实施方式中，硫和 / 或金属催化剂不是分布在整个活性炭基质中。此实施方式的吸附体还可具有对本发明的任何其他吸附体所述的任何一个或多个其他特性，包括前面已描述的活性炭的、硫的和金属催化剂的特性。

[0123] 本发明的另一个方面是从流体中除去有毒元素的方法，它包括使含有毒元素的流体与本发明的吸附体接触。有毒元素包括镉、汞、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷或硒，其中任何一种可以任何氧化态存在，可以元素形式存在，或者以含该元素的化合物存在。所述吸附体可用于例如处理流体流，包括含有毒元素如砷、镉、汞和 / 或硒的气流和流体流，以消除有毒元素。这些方法通常包括将所述吸附体放入流体流中的步骤。这种处理方法对于消除流体流中的汞特别有利。

[0124] 由于该方法能够从流体中除去元素汞，所以该方法的一个特别有利的实施方式包括将吸附体放入含汞的气流中，所述汞的至少 10 摩尔％、至少 20 摩尔％、至少 30 摩尔％、至少 40 摩尔％、至少 50 摩尔％、至少 60 摩尔％或至少 70 摩尔％为元素态。

[0125] 由于即便在气流中 HCl 含量非常低的情况下，该方法也能够从流体中除汞，所以该方法的一个特别有利的实施方式包括将吸附体放入含汞和 HCl 的气流中，其中 HCl 的浓度低于 50ppm（体积）、低于 40ppm、低于 30ppm、低于 20ppm 或低于 10ppm。

[0126] 由于即便在气流中 SO_3 含量非常高的情况下，该方法也能够从流体中除汞，所以该方法的一个特别有利的实施方式包括将吸附体放入含汞和 SO_3 的气流中，其中 SO_3 的浓度至少为 3ppm（体积），在一些实施方式中高于 5ppm、高于 8ppm、高于 10ppm 或高于 20ppm。

[0127] 本发明的又一方面是制备吸附体的方法，它包括 ：

[0128] (A) 提供由包含碳源材料、硫源材料、金属催化剂源材料和任选填料的配混料形成的配混体，其中金属催化剂源材料基本上均匀地分布在混合物中；

[0129] (B) 碳化配混体；以及

[0130] (C) 活化经碳化的配混体。

[0131] 在一些实施方式中，碳源材料包括：合成的含碳聚合物材料；活性炭粉；木炭粉；煤焦油沥青；石油沥青；木粉；纤维素及其衍生物；天然有机材料如小麦粉；木粉、玉米粉、坚果壳粉；淀粉；焦炭；煤；这些物质中任何两种或更多种的混合物或组合。所有这些材料包含在分子水平的结构单元中的含有碳原子的组分，所述组分至少部分保留在吸附体最终的活性炭基质中。根据一些实施方式，所述碳源材料包括酚醛树脂或基于糠醇的树脂。

[0132] 在一些实施方式中，所述合成聚合物材料可以是在环境温度下为溶液或低粘度液体形式的合成树脂。或者，所述合成聚合物材料在环境温度下可以为固体，并能通过加热或其他方法液化。有用的聚合物碳源材料的例子包括热固性树脂和热塑性树脂（例如聚偏二氯乙烯、聚氯乙烯、聚乙烯醇等）。在一个实施方式中，还进一步优选粘度较低的碳前体（例如热固性树脂），其示例性粘度在约 50-100 厘泊的范围内。在另一个实施方式中，可采用任何具有高碳产率的树脂。出于此目的，高碳产率的意思是，树脂碳化后，其起始重量的约 10％转化为碳。在另一个实施方式中，合成聚合物材料可包括酚醛树脂或糠醇基树脂，如呋喃树脂。酚醛树脂还是优选的，因为它们具有低粘度、高碳产率，相对于其他前体，它在固化后具有高交联度，并且成本低。合适的酚醛树脂的例子有甲阶段酚醛树脂，如 Plyophen 树脂。合适的呋喃液体树脂的一个例子有美国印第安纳州 QO 化学公司 (QQ Chemicals Inc.，IN，U.S.A.) 销售的 Furcab-LP。非常适合用作合成碳前体的固体树脂的一个例子是固体酚醛树脂或酚醛清漆树脂。更进一步，应理解酚醛清漆树脂与一种或多种甲阶段酚醛树脂的混合物也可用作合适的聚合碳源材料。酚醛树脂与其他材料混合形成配混料时，可预固化或未固化的。当预固化酚醛树脂时，预固化的材料可包含预先加载的硫、金属催化剂或任选的无机填料。在一些实施方式中，宜包含可固化而未固化的树脂，作为配混料中碳源材料的一部分。热塑性或热固性的可固化材料发生特定的反应，如增链反应、交联反应等，当处于固化条件如温和的热处理、辐射、化学活化等时，形成具有更高聚合度的固化材料。

[0133] 在一些实施方式中，挤出法和 / 或注模法中通常所用的有机粘合剂也可作为所述碳源材料的一部分。可用的粘合剂的例子有增塑的有机粘合剂，如纤维素醚。典型的纤维素醚包括甲基纤维素、乙基羟基乙基纤维素、羟丁基纤维素、羟丁基甲基纤维素、羟乙基纤维素、羟甲基纤维素、羟丙基纤维素、羟丙基甲基纤维素、羟乙基甲基纤维素、羧甲基纤维素钠及其混合物。此外，诸如甲基纤维素和 / 或甲基纤维素衍生物这样的纤维素醚尤其适合用作有机粘合剂，优选甲基纤维素、羟丙基甲基纤维素或其组合。甲基纤维素粘合剂的一个例子是陶氏化学公司 (Dow Chemical Company) 销售的 METHOCEL A。羟丙基甲基纤维素粘合剂的例子包括同样由陶氏化学公司销售的 METHOCEL E、F、J、K。同样由陶氏化学公司销售的 METHCEL 310 系列粘合剂也可用于本发明。METHOCEL A4M 是用于 RAM 挤出机的粘合剂的例子。METHOCEL F240C 是用于双螺杆挤出机的粘合剂的例子。

[0134] 可碳化的有机填料可在所述方法的一些实施方式中用作碳源材料的一部分。可碳化填料的例子包括天然和合成、疏水和亲水、纤维和非纤维的填料。例如，一些天然填料有软木，例如松木、云杉木、红杉木等；硬木，例如岑木、山毛榉木、白桦木、枫木、橡木等；锯

末；果壳纤维，例如磨细的杏仁壳、椰壳、杏核壳、花生壳、山核桃壳、胡桃壳等；棉纤维，例如棉絮、棉织物、纤维素纤维、棉籽纤维；短切植物纤维，例如大麻纤维、椰子纤维、黄麻纤维以及其他材料，如玉米棒、柑橘浆（经干燥）、大豆粉、泥煤苔、小麦粉、羊毛纤维、玉米、马铃薯、稻子、木薯等。一些合成材料有再生纤维素、人造纤维织物、玻璃纸等。一种特别适用的可碳化纤维填料是美国纽约州北拓那旺达市国际填料公司（International Filler Corporation，North Tonawanda，N.Y.）供应的纤维素纤维。此材料具有以下筛分的分析结果：1％-2％在40目网孔上（420微米），90％-95％通过100目网孔（149微米），55％-60％通孔200目网孔（74微米）。一些疏水性有机合成填料有聚丙烯腈纤维、聚酯纤维（絮状）、尼龙纤维、聚丙烯纤维（絮状）或粉末、丙烯酸类纤维或粉末、芳族聚酰胺纤维、聚乙烯醇等。这些有机纤维性填料一方面可作为碳源材料的一部分，另一方面可作为配混体的机械性质增强剂，再一方面可作为在碳化时将大部分挥发的成孔剂。

[0135] 金属催化剂源材料的非限制性例子包括：碱金属和碱土金属的卤化物、氧化物和氢氧化物；钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、铌、钼、银、钨和镧系元素的氧化物、卤化物和盐。金属催化剂源材料中的金属元素可具有各种价态。例如，若金属催化剂源材料中包含铁，它可以+3价、+2价、0价或不同价态的混合形式存在，可以是金属铁（0）、FeO、Fe_2O_3、Fe_3O_8、FeS、$FeCl_2$、$FeCl_3$、$FeSO_4$等。再举一个例子，若金属催化剂源中存在锰，它可以+4价、+2价、0价或不同化合价的混合形式存在，可以是金属锰（0）、MnO、MnO_2、MnS、$MnCl_2$、$MnCl_4$、$MnSO_4$等。

[0136] 根据一些实施方式，金属催化剂源材料的形式选自以下：(i) 碱金属和碱土金属的卤化物和氧化物；(ii) 贵金属及其化合物；(iii) 钒、铬、锰、铁、钴、镍、铜、锌、铌、钼、银、钨和镧系元素的氧化物、硫化物和盐；或者 (iv) 为 (i)、(ii) 和 (iii) 中两种或更多种物质的组合和混合物。根据所述方法的一些实施方式，金属催化剂源材料的形式选自以下：(i) 锰的氧化物、硫化物、硫酸盐、醋酸盐和盐；(ii) 铁的氧化物、硫化物和盐；(iii) 为 (i) 与KI的组合；(iv) 为 (ii) 与KI的组合；以及/或者 (v) 为 (i)、(ii)、(iii) 和 (iv) 中任意两种或更多种物质的混合物和组合。

[0137] 硫源材料的非限制性例子包括：硫粉；含硫粉化树脂；硫化物；硫酸盐；其他含硫化合物；或者它们当中任意两种或更多种物质的混合物或组合。含硫化合物的例子可包括硫化氢和/或其盐、二硫化碳、二氧化硫、噻吩、硫酐、硫的卤化物、硫酸酯、亚硫酸、硫磺酸、二甲基硫蒽（sulfatol）、氨基磺酸、三氧化硫、硫烷、硫酸及其盐、亚硫酸盐、磺酸、二苯砜及其混合物。当使用元素硫粉时，在一个实施方式中，其平均粒径优选不超过约100微米。更进一步，在一些实施方式中，元素硫粉的平均粒径不超过约10微米。

[0138] 配混料中不要求存在无机填料。不过，若存在填料，它可以是例如：氧化物玻璃；氧化物陶瓷；或者其他难熔材料。可用的无机填料的例子包括含氧矿物或其盐，如粘土、沸石、滑石等；碳酸盐如碳酸钙；铝硅酸盐如高岭石（一种铝硅酸盐粘土）、飞灰（煤在电厂燃烧后产生的一种铝硅酸盐灰）；硅酸盐如钙硅石（硅酸钙）；钛酸盐；锆酸盐；氧化锆；氧化锆尖晶石；镁铝硅酸盐；多铝红柱石；氧化铝；三水合氧化铝；勃姆石；尖晶石；长石；绿坡缕石；铝硅酸盐纤维；堇青石粉；多铝红柱石；堇青石；氧化硅、氧化铝；其他氧化物玻璃；其他氧化物陶瓷；或其他难熔材料。

[0139] 特别适用的无机填料的一些例子有堇青石粉、滑石、粘土和铝硅酸盐纤维［如美国纽约州尼亚加拉瀑布市卡勃兰德姆公司（Carborundum Co. Niagara Falls，N.Y.）以商品

名 Fiberfax 提供的铝硅酸盐纤维] 及其组合。Fiberfax 铝硅酸盐纤维的直径约为 2-6 微米，长度约为 20-50 微米。无机填料的其他例子有各种碳化物，如碳化硅、碳化钛、碳化铝、碳化锆、碳化硼和碳化铝钛；碳酸盐或含碳酸盐的矿物，如碳酸氢钠、苏打石、方解石、碳酸芒硝和利钙霞石；以及氮化物，如氮化硅。

[0140] 配混料还可任选包含成形助剂 (forming aid)。成形助剂的例子可包括肥皂；脂肪酸，如油酸、亚油酸等；聚氧乙烯硬脂酸酯等；或它们的组合。在一个实施方式中，硬脂酸钠是优选的成形助剂。任选的挤出助剂的优化量取决于组成和粘合剂。可用于改善配混料的挤出和固化特性的其他添加剂有磷酸和油。磷酸可改进固化速率并增加吸附容量。若包含磷酸，它在配混料中的含量通常约为 0.1 重量％ -5 重量％。更进一步，加入油可帮助挤出，并且可增加表面积和孔隙率。为此，任选的油在配混料中的加入量可在约 0.1 重量％ -5 重量％的范围内。可用的油的例子包括分子量约为 250-1000 的石油，它们包含石蜡烃族和 / 或芳族和 / 或脂环族化合物。优选主要由石蜡烃结构和脂环结构组成的所谓石蜡油。它们可包含添加剂，如防锈剂或氧化抑制剂，如商用油中常存在的这类抑制剂。一些可用的油是 3M 公司的三合一油，或者美国新泽西州怀因市瑞奇科尔曼公司 (Reckitt and Coleman Inc.，Wayne，N.J.) 的三合一家用油。其他可用的油可包括基于聚 (α 烯烃)、酯、聚 (亚烷基) 二醇、聚丁烯、硅酮、聚苯醚的合成油，CTFE 油，以及其他可商购油。也可用植物油，如葵花油、芝麻油、花生油、大豆油等。特别适用的是粘度约为 10-300 厘米、优选约 10-150 厘米的油。

[0141] 配混料还可任选包含天然和 / 或合成的成孔剂。成孔剂可在后面除去，例如在碳化和 / 或活化吸附体之前或期间。除去成孔剂可赋予吸附体的孔结构一些特性，如各种尺寸和维度的空隙。

[0142] 在一个实施方式中，成孔剂的例子可包括天然或合成的成孔剂，当吸附体碳化时，它们被烧掉，在吸附体中留下很少量残余物或不留下残余物。这种成孔剂的例子包括聚合物材料，如聚合物珠粒 (polymeric bead)。聚合物材料如聚合物珠粒的例子包括聚丙烯和聚乙烯材料和珠粒。在一个实施方式中，所述配混料可包含聚丙烯、聚酯或丙烯酸类粉末或纤维作为成孔剂，它们在高温 (＞ 400℃) 惰性气氛中分解，留下很少量残余物或不留下残余物。

[0143] 其他成孔剂包括天然和合成的淀粉。在一些实施方式中，当成孔剂是水溶性时，如淀粉，可在吸附体固化之后但在碳化之前，通过用水溶解的方法除去该成孔剂。在另一个实施方式中，合适的成孔剂可因粒子膨胀而形成大孔。例如，包含酸如盐酸、硫酸或硝酸的插层石墨 (intercalated graphite) 受热后会因为酸发生膨胀而形成大孔。更进一步，大孔也可通过溶解一些挥发性材料形成。例如，粒径与所需孔径相应的碳酸氢钠、碳酸钙或石灰石粒子可与含碳材料一起挤出，形成整块式吸附剂。在碳化和活化过程中，碳酸氢钠、碳酸钙或石灰石形成水溶性氧化物，然后将该整块式吸附剂浸泡在水中，即可将所述氧化物溶出，形成大孔。

[0144] 为了使金属催化剂分布在最终的整个吸附体中，非常适宜的是，将碳源材料与金属催化剂源材料充分混合，形成配混料。为此，在一些实施方式中，宜以细粉末形式，或者有可能的话，以溶液形式提供各种源材料，然后利用有效的混合设备充分混合。当采用粉末时，在一些实施方式中，其平均粒径不大于 100 微米，在其他一些实施方式中不大于 10 微

米，在其他一些实施方式中不大于 1 微米。

[0145] 可利用各种设备和方法将使配混料成形为所需形状的配混体。例如，可利用挤出法、注塑模法（包括反应注模法）、压塑法、浇铸法、压制法或快速原模法 (fast prototyping) 将配混体成形。所述批料混合体可在成形时，例如通过注塑法或压塑法成形时进行固化。或者，所述批料混合体可在成形之后，例如通过挤出法、浇铸法或快速原模法成形之后进行固化。根据一些实施方式，挤出的配混体或固化的配混体具有整块式蜂窝体的形状，它具有多个通道。

[0146] 在一些实施方式中，尤其优选用挤出法将配混料形成所需形状的配混体。挤出过程可利用标准挤出机（柱塞式挤出机、单螺杆挤出机、双螺杆挤出机等）和定制挤出模完成，制得具有各种形状和几何特征的吸附体，如蜂窝体、球粒、棒、条形等。制备具有多个可作为流体通路的空通道的整块式蜂窝体时，挤出法特别有效。挤出法之所以有利，是因为它在挤出过程中可同时将所有源材料充分混合。

[0147] 也可利用各种形状和尺寸的模具，通过注塑法、压塑法和浇铸法将配合料成形，这些方法均是人们熟知的成形技术。也可利用快速原模法将配合料成形，该方法利用固体自由成形制造 (solid freeform fabrication) 技术自动构造物理实体。快速原模法的一个优点是，用它几乎可产生任何形状或几何特征。快速原模法包括虚拟设计，例如计算机辅助设计，将该设计转化为虚拟的薄水平横截面，然后在物理空间逐一产生该设计的各个横截面，直至完成所需形状。一个实施方式包括获得成形配合料的虚拟设计，将该设计转化为虚拟的薄水平横截面，由该配合料在物理空间产生各横截面。快速原模法的一个例子是 3D 印刷。

[0148] 在一些实施方式中，配混料宜包含未固化的可固化材料。在这些实施方式中，在形成配混体时，通常将吸附体置于固化条件下，例如热处理条件，使得可固化组分固化，结果形成固化的配混体。固化的配混体往往比其未固化前身具有更好的机械性质，因此在下游加工步骤中更容易处理。不仅如此，尽管无意也无必要受任何特定理论的限制，但是发明人相信，固化步骤可得到具有碳骨架的聚合物网状物，这有益于在后续碳化和活化步骤中形成碳网状物。在一些实施方式中，固化一般在空气中于大气压力下，并且通常在 70℃ -200℃的温度下将所形成的配混体加热约 0.5 至约 5.0 小时。在一些实施方式中，分阶段将配混体从低温加热至更高温度，例如从 70℃加热至 90℃、至 125℃、至 150℃，在每个温度保持一段时间。或者，当使用某些前体（例如糠醇树脂或呋喃树脂）时，也可通过添加固化添加剂如酸添加剂在室温下完成固化。在一个实施方式中，固化可用于保持金属催化剂在碳中分布的均匀性。

[0149] 形成配混体、对其干燥或任选对其固化之后，对成形体进行碳化步骤。例如，可将配混体（固化或未固化）置于已除尽 O_2 的气氛中于升高的碳化温度下，对其进行碳化。碳化温度可在 600-1200℃的范围内，在一些实施方式中在 700-1000℃的范围内。碳化气氛可以是惰性的，主要包含非反应性气体，如 N_2、Ne、Ar、以及它们的混合物等。在已除尽 O_2 的气氛中于碳化温度下，配混体中包含的有机物质发生分解，留下含碳残余物。可预期，在此高温步骤发生了复杂的化学反应。这些反应可包括：

[0150] (i) 碳源材料分解，留下碳质体；

[0151] (ii) 金属催化剂源材料分解；

[0152] (iii) 硫源材料分解；

[0153] (iv) 硫源材料与碳源材料发生反应；

[0154] (v) 硫源材料与碳发生反应；

[0155] (vi) 硫源材料与金属催化剂源材料发生反应；

[0156] (vii) 金属催化剂源材料与碳源材料发生反应；以及

[0157] (viii) 金属催化剂源材料与碳发生反应。

[0158] 所产生的净效果可包括：(1) 金属催化剂源材料和 / 或金属催化剂的再分布；(2) 硫的再分布；(3) 由硫源材料（如硫酸盐、亚硫酸盐等）形成元素硫；(4) 由硫源材料（如元素硫）形成含硫化合物；(5) 形成氧化物形式的金属催化剂；(6) 形成硫化物形式的金属催化剂；(7) 金属催化剂源材料部分还原。在碳化过程中，碳化气氛可能吹扫掉部分硫（尤其是元素态硫）和部分金属催化剂源材料（如 KI）。

[0159] 碳化步骤的结果是形成其中分布有硫和金属催化剂的碳质体。然而，此碳化配混体通常不具有有效吸附有毒元素所需的比表面积。为获得具有高比表面积的最终吸附体，进一步活化碳化的配混体。碳化的配混体可在例如气体气氛中活化，所述气体气氛选自 CO_2、H_2O、CO_2 与 H_2O 的混合物、CO_2 与氮气的混合物、H_2O 与氮气的混合物以及 CO_2 与另一种惰性气体的混合物，例如在升高的活化温度下在 CO_2 和 / 或含 H_2O 的气氛中活化。所述气氛可以是基本上纯的 CO_2 或 H_2O（蒸汽），CO_2 与 H_2O 的混合物，或者 CO_2 和 / 或 H_2O 与惰性气体如氮气和 / 或氩气的组合。利用氮气与 CO_2 的组合可例如节约成本。可以采用例如 CO_2 含量低至 2％或以上的 CO_2 与氮气的混合气。为降低工艺成本，通常可采用 CO_2 含量为 5-50％的 CO_2 与氮气的混合气。活化温度可为 600℃ -1000℃，在一些实施方式中为 600℃ -900℃。在此步骤中，碳化的配混体的碳质结构的一部分发生温和的氧化：

[0160] $CO_2(g)+C(s) \rightarrow 2CO(g)$，

[0161] $H_2O(g)+C(s) \rightarrow H_2(g)+CO(g)$，

[0162] 导致碳质体的结构受到侵蚀，形成具有多个纳米级孔和微米级孔的活性炭基质。可调整活化条件（时间、温度和气氛），产生具有所需比表面积和组成的最终产物。与碳化步骤类似，由于此活化步骤在高温下进行，会发生复杂的化学反应和物理变化。非常适宜的是，在活化步骤结束时，金属催化剂分布在整个活性炭基质中。非常适宜的是，在活化步骤结束时，金属催化剂基本上均匀地分布在整个活性炭基质中。非常适宜的是，在活化步骤结束时，金属催化剂存在于至少 30％、至少 40％、至少 50％、至少 60％或至少 80％的孔壁表面上。非常适宜的是，在活化步骤结束时，硫分布在整个活性炭基质中。非常适宜的是，在活化步骤结束时，硫基本上均匀地分布在整个活性炭基质中。非常适宜的是，在活化步骤结束时，硫存在于至少 30％、至少 40％、至少 50％、至少 60％或至少 80％的孔壁表面上。

[0163] 根据一些实施方式，适当选择配混料，使得活化之后，吸附体包含少于 20 重量％的除碳、硫和金属催化剂以外的无机材料（在一些实施方式中少于 10 重量％，在其他一些实施方式中少于 5 重量％）。

[0164] 根据一些实施方式，适当选择配混料，使得活化之后，吸附体包含 30 重量％ -50 重量％的除碳、硫和金属催化剂以外的无机材料，所述百分比基于碳、硫和金属催化剂的总重量。

[0165] 在本发明方法的一些实施方式中，通过原位成形如原位挤出、浇铸等，将所有金属

催化剂源材料和所有硫源材料加入配混体中。除其他优点外，此方法还具有以下优点：(a) 省去了将金属催化剂和/或硫加载到活性炭体上的后续步骤（如浸渍），从而有可能减少工艺步骤，增加总体工艺产量，并降低工艺成本；(b) 所得活性吸附位点（金属催化剂和硫）在吸附体中的分布比浸渍法通常能获得的分布更均匀；以及 (c) 所得金属催化剂和硫可持久、坚固地固着在吸附体中，它们可在长期使用中经受住待处理流体流的流动。浸渍法会使浸渍物（如金属催化剂和硫）优先分布在孔的外壁上、大孔（如微米级孔）的壁表面上。将浸渍物加载到高百分比的纳米级孔的壁表面上可能既困难，又耗时。对于具有 400-2000 米^2/克的高比表面积的活性炭，其大部分表面积是由纳米级孔提供。因此，发明人相信，通常的浸渍步骤难以将浸渍物加载到这种活性炭材料的大部分比表面积上。不仅如此，发明人相信，通常的浸渍步骤会在孔的外壁和/或大孔壁表面上形成厚的、较致密的浸渍物层，它会阻塞流体进出小孔的通路，显著降低了活性炭的吸附功能。更进一步，发明人相信，在通常的浸渍步骤中，浸渍物主要借助较弱的物理作用力固着在吸附体中，这对于在流体流中长期使用来说是不够的。

[0166] 尽管如此，在一些实施方式中，不必将所有金属催化剂和/或硫分布在整个活性炭基质中，更不必说基本上均匀地分布。在这些实施方式中，不是所有的金属催化剂源材料和硫源材料都原位形成到配混体中。可以设想，在活化步骤之后，可进行浸渍某些金属催化剂和/或硫的步骤。或者，在活化步骤之后，可进行通过含硫和/或含金属催化剂的气氛处理活化体的步骤。对于无法经受碳化和/或和/或碳化步骤的金属，如基于有机金属化合物的金属，例如乙酰丙酮铁，这种在活化后加载金属催化剂的方法特别有用。

[0167] 一旦形成本发明的活化的吸附体，可以进行后精制步骤，例如造粒，研磨，通过堆叠组装等。然后，将本发明的各种形状和组成的吸附体加载到固定床，将该固定床放置在要进行处理的流体流中。

[0168] 本发明的另一个方面是挤出配混体，它包含：

[0169] (I) 包含未固化的可固化聚合物树脂的碳源材料；

[0170] (II) 含硫材料的粒子；

[0171] (III) 金属催化剂，其为金属的元素形式或含金属的化合物；

[0172] 其中金属催化剂基本上均匀地分布在形成挤出的配混体的材料中。

[0173] 根据本发明的挤出配混体的一些实施方式，含硫材料的粒子基本上均匀地分布在形成挤出配混体的材料中。

[0174] 根据本发明的挤出配混体的一些实施方式，含硫材料包含至少 50 摩尔%的元素硫。

[0175] 根据本发明的挤出配混体的一些实施方式，含硫材料包含元素硫、硫酸盐、亚硫酸盐、硫化物、CS_2 和其他含硫化合物。

[0176] 根据本发明的挤出配混体的一些实施方式，挤出配混体还包含：

[0177] (IV) 粘合剂；和/或

[0178] (V) 无机填料；和/或

[0179] (VI) 润滑剂。

[0180] 根据一些实施方式，挤出配混物包含少于 20 重量%的除碳、含硫无机材料、水和金属催化剂以外的无机材料，在一些实施方式中少于 10 重量%，在其他一些实施方式中少

于 5 重量%。

[0181] 根据一些实施方式，挤出配混物包含 20 重量% -50 重量%的除碳、含硫无机材料、水和金属催化剂以外的无机材料。在一些实施方式中，所述材料是在 800℃、在其他一些实施方式中在 1000℃具有化学稳定性的耐热无机材料。

[0182] 根据一些实施方式，挤出配混物包含选自以下的耐热无机材料：堇青石、多铝红柱石、氧化硅、氧化铝、其他氧化物玻璃、其他氧化物陶瓷、其他难熔材料及其混合物和组合。根据一些实施方式，耐热无机材料包含微米级孔。

[0183] 下面将通过以下非限制性实施例进一步阐述本发明。

[0184] 实施例

[0185] 实施例 1

[0186] 用 46%的液态甲阶段酚醛树脂、1%的润滑油、13%的堇青石粉、9%的硫粉、7%的乙酰丙酮铁、18%的纤维素纤维、5%的 Methocel 粘合剂和 1%的硬脂酸钠配制挤出组合物。混合此混合物，然后挤出。然后将挤出的蜂窝体干燥，在 150℃的空气中干燥，接着在氮气中碳化，在二氧化碳中活化。然后，测试活性炭蜂窝体样品的除汞容量。该项测试在 160℃进行，入口元素汞浓度为 22 微克 / 米 ^{3}。用于汞的载气包含 N_2、SO_2、O_2 和 CO_2。气体流速为 750 毫升 / 分钟。总除汞效率为 86%，元素汞的除去效率为 100%。

[0187] 实施例 2

[0188] 用类似于实施例 1 的程序挤出另一种挤出组合物，但该组合物中堇青石粉含量为 12%而不是 13%，并以 4%的乙酰丙酮铁和 4%的碘化钾代替 7%的乙酰丙酮铁。活化之后，这些样品显示 90%的总除汞效率和 100%的元素汞除去效率。因此，该组合物中 KI 的存在提高了效率。

[0189] 实施例 3

[0190] 在此实验中，挤出组合物包含 59%的甲阶段酚醛树脂、1%的磷酸、1%的油、9%的硫粉、3%的氧化铁、19%的纤维素纤维、7%的 Methocel 粘合剂和 1%的硬脂酸钠。将这些样品挤出，固化、碳化、活化，然后如实施例 1 那样测试除汞性能。总除汞效率和元素汞的除去效率分别为 87%和 97%。

[0191] 实施例 4

[0192] 在此实验中，使用氧化锰作金属催化剂源，组合物包含 6%的 MnO_2、13%的堇青石、7%的硫、19%的纤维素纤维、5%的 Methocel 粘合剂、1%的硬脂酸钠、47%的甲阶段酚醛树脂、1%的磷酸和 1%的油。基于此组合物的样品的总除汞效率和元素汞的除去效率分别为 92%和 98%。

[0193] 实施例 5

[0194] 在此实施例中，硫以与锰结合的 MnS 形式加入，代替元素硫。组合物包含 15%的堇青石、10%的 MnS、20%的纤维素纤维、5%的 Methocel 粘合剂、1%的硬脂酸钠、47%的甲阶段酚醛树脂和 1%的油。

[0195] 固化、碳化和活化之后，这些蜂窝体的总除汞效率和元素汞的除去效率分别为 84%和 93%。

[0196] 实施例 6

[0197] 重复实施例 5 的实验，但用二硫化钼 (MoS_2) 代替 MnS。这些样品的总除汞效率和

元素汞的除去效率分别为 90％和 96％。

[0198] 这些实施例表明，本发明的吸附体可具有高除汞效率。可以预期，本发明的吸附体还可用于从流体如废气流以及煤气化中吸附其他有毒元素，如镉、铬、铅、钡、铍、镍、钴、钒、锌、铜、锰、锑、银、铊、砷和硒。

[0199] 实施例 7

[0200] 在此实验中，挤出组合物包含 14％的木炭、47％的酚醛树脂、7％的硫、7％的氧化锰、18％的纤维素纤维、5％的 Mythical 粘合剂和 1％的硬脂酸钠。按照实施例 1 将这些样品挤出、固化、碳化和活化。

[0201] 然后测试样品的除汞容量。所述测试在 140℃进行，入口元素汞浓度为 24 微克 / 米 ^{3}。汞的载气包含 N_2、HCl、SO_2、NO_x、O_2 和 CO_2。气体流速为 650 毫升 / 分钟。总除汞效率和元素汞的除去效率分别为 100％和 99％。见下表 II。

[0202] 实施例 8

[0203] 在此实施例中，挤出组合物包含 16％的固化含硫酚醛树脂、45％的酚醛树脂、8％的硫、7％的氧化锰、18％的纤维素纤维、4％的 Mythical 粘合剂和 1％的硬脂酸钠。如实施例 1 所述将这些样品挤出，固化、碳化并活化。如实施例 7 所述测试活性炭样品。总除汞效率和元素汞的除去效率分别为 100％和 99％。见下表 II。因此，实施例 7 和 8 获得了优异的除汞结果。

[0204] 测试了包含不同组分的各种吸附体的除汞效率。测试结果列于下表 I。在本申请的所有表格和附图中，Hg^0 或 Hg(0) 表示元素汞；Hg^T 或 Hg(T) 表示总的汞，包括元素汞和氧化态汞；Eff(Hg^0) 或 Eff(Hg(0)) 表示相对于元素汞的瞬时除汞效率，Eff(Hg^T) 或 Eff(Hg(T)) 表示相对于所有氧化态的汞的瞬时除汞效率。如上所述，Eff(Hg(x)) 计算如下：

[0205] $$Eff(Hg(x)) = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%,$$

[0206] 其中 C_0 和 C_1 分别是 Hg(x) 在指定测试时间的入口浓度和出口浓度。

[0207] 比较表 I 中的样品 C 和 D，可以清楚看到，对于包含 MnS 的吸附材料，若配混料中还包含元素硫，则其性能比配混料中不包含元素硫时高。

[0208] 图 1 比较了本发明的吸附剂测试样品与对比吸附剂的除汞容量随时间的变化。左侧纵坐标轴是单位质量的测试吸附剂的测试样品所捕集的汞的合计量 (MSS，毫克 / 克)。右侧纵坐标轴是测试吸附剂的瞬时除汞效率 (Eff(Hg))，它是经测量后根据上式计算的瞬时总除汞效率。横坐标轴是样品接触测试气体的时间。此图中的部分 Eff(Hg) 数据也列在下表 III 中。本发明的吸附剂包含硫、作为金属催化剂源的原位挤出的 MnO_2 和约 45 重量％的作为无机填料的堇青石。样品 2.2 是不含原位挤出催化剂源的对比吸附剂，但它包含相当量的硫和堇青石，以及浸渍的 $FeSO_4$ 和 KI。曲线 101 和 103 分别显示了本发明的吸附剂的 Eff(Hg) 和 MSS。曲线 201 和 203 分别显示了对比吸附剂的 Eff(Hg) 和 MSS。从此图和表 III 中的数据可以看出，即使与总共包含约 20 微克 / 米 ^{3} 的汞的模拟废气接触 250 小时之后，吸附剂的除汞效率也未显示明显的下降，这表明吸附材料在达到饱和（或汞穿透点）之前，可捕集相当多的汞。曲线 201 和表 III 中的数据显示，从第 50 小时起至大约在第 70 小时测试结束时，对比吸附剂的瞬时除汞效率陡然持续下降，这表明该吸附剂过早达到饱和。曲线 103 和 203 在测试的早期阶段有一定程度的重叠，但曲线 203 在大约第 69 小时就结束

了。

[0209] 图 1 表明，与具有浸渍金属催化剂源的吸附剂相比，本发明的此实施方式中包含原位挤出的金属催化剂源的吸附剂具有高得多的除汞效率，特别是长期除汞效率。尽管无意也无必要受特定的理论是限制，但是发明人相信，本发明的吸附剂之所以具有优越的性能，是因为金属催化剂分布更均匀，活性炭基质中的孔被结束催化剂堵塞得较少。

[0210] 图 2 显示了本发明的一个实施方式中吸附体在不同入口汞浓度下的入口汞浓度 (CHg0) 和出口汞浓度 (CHg1)。此图清楚表明，本发明的一些实施方式中的吸附体可用于在不同汞浓度下有效除汞（从 70 微克 / 米 ^{3} 以上至约 25 微克 / 米 ^{3}）。

[0211] 图 3 是本发明的包含原位挤出金属催化剂的吸附体的部分横截面的 SEM 图。在图中未观察到金属催化剂或硫的优选聚集现象。图 4 是包含后活化浸渍的金属催化剂的对比吸附体的部分横截面的 SEM 图。在孔壁上清晰可见的白色材料层是浸渍的金属催化剂。发明人相信，此较致密的金属催化剂浸渍层可能堵塞进入孔壁中许多微米级孔和纳米级孔的入口，从而降低对比吸附体的总体性能。

[0212] 对本领域的技术人员来说，显而易见的是，可对本发明作出各种改进和替换，只要不背离本发明的范围和精神。因此，本发明意在涵盖本发明的各种改进和变化形式，只要它们落在所附权利要求及其等价要求的范围之内。

[0213] 表 I

[0214]

样品编号	金属催化剂源	测试时间（小时）	Hg^T 入口浓度（微克 / 米 ^{3}）	$Eff(Hg^0)$ (%)	$Eff(Hg^T)$ (%)
A	MnO_2	20	22	98	92
B	MoS_2	24	22	96	90
C	MnS（配混料中含元素硫）	20	22	98	92
D	MnS（配混料中不含元素硫）	19	22	93	84
E	Cr_2O_3	24	22	98	88
F	CuO 和 Cu_2S	19	22	97	90
G	Fe_2O_3	20	22	97	87
H	乙酰丙酮铁 (FeAT)	19	22	100	87
I	FeAT 和 KI	20	22	100	90

[0215] 表 II

[0216]

样品编号	测试时间（小时）	Hg(T)，入口浓度（微克／米^3）	Hg(0) 除去效率（%）	Hg(T) 除去效率（%）
7	72	24	99	100
8	72	22	99	100

[0217]

表 III

除汞效率(%)		时间(小时)																				
bb \ aa		1	2	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	100	150	200	250
101		94	94	92	91	91	90	88	87	87	87	87	87	87	88	88	89	88	85	85	86
201		79	81	85	83	83	84	84	84	84	83	82	80	77	70	-	-	-	-	-	-

aa：时间(小时)；bb：除汞效率(%)；cc：图 1 中的曲线编号

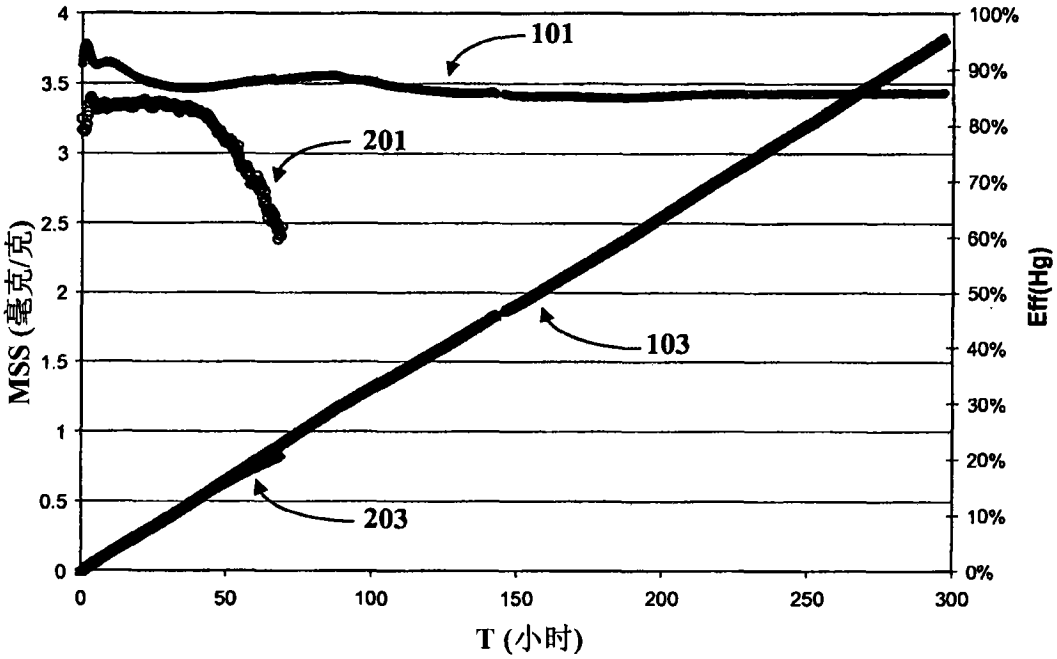

101
201
103
203
MSS (毫克/克)
Eff(Hg)
T (小时)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
0
50
100
150
200
250
300

图 1

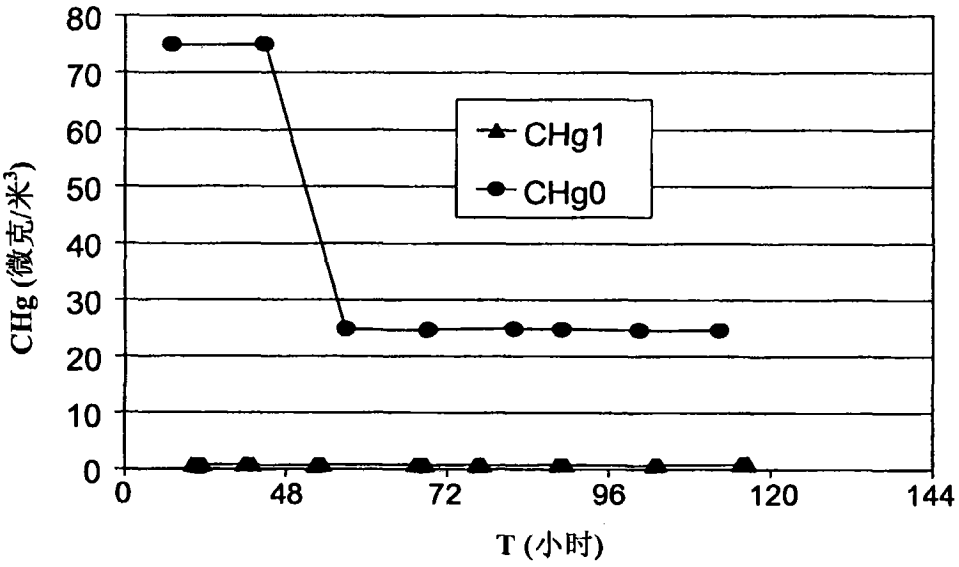

CHg1
CHg0
CHg (微克/米3)
T (小时)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
48
72
96
120
144

图 2

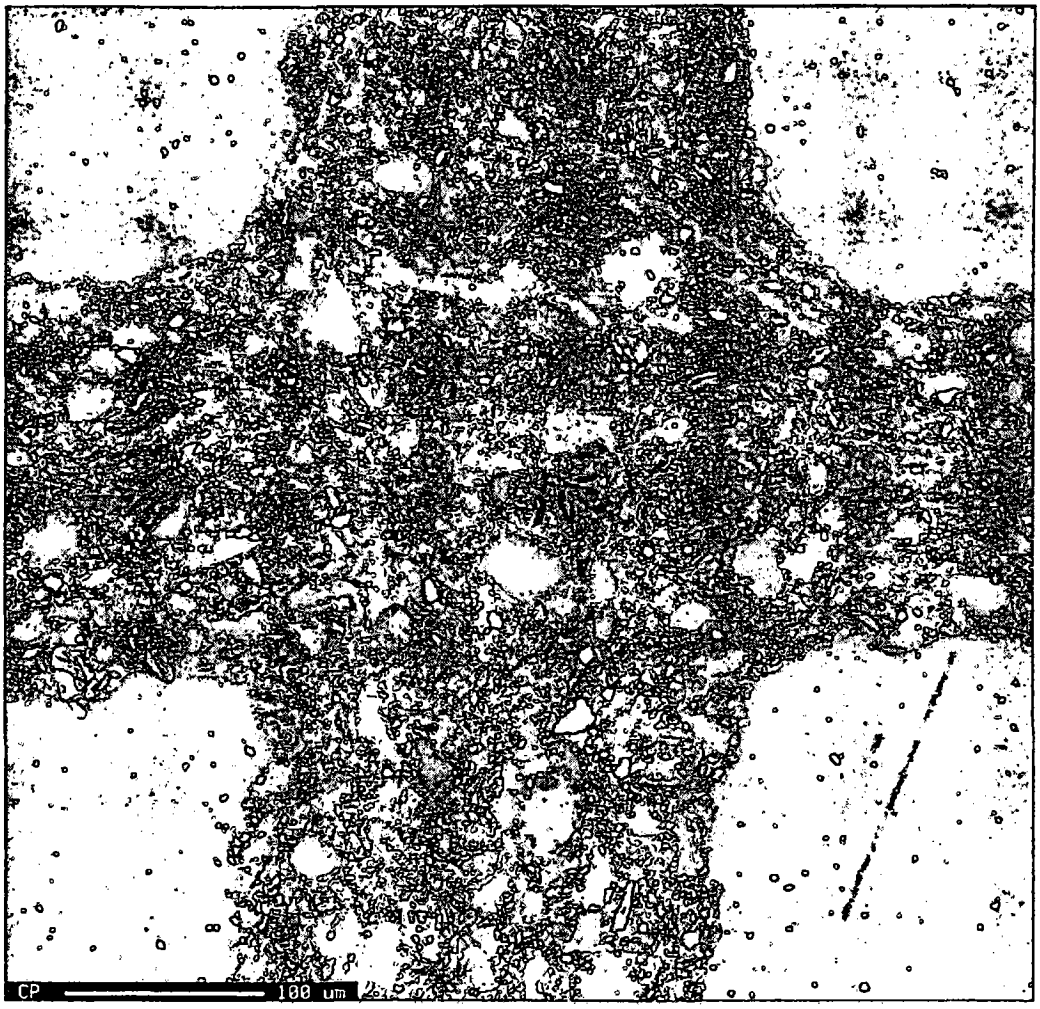


图 3

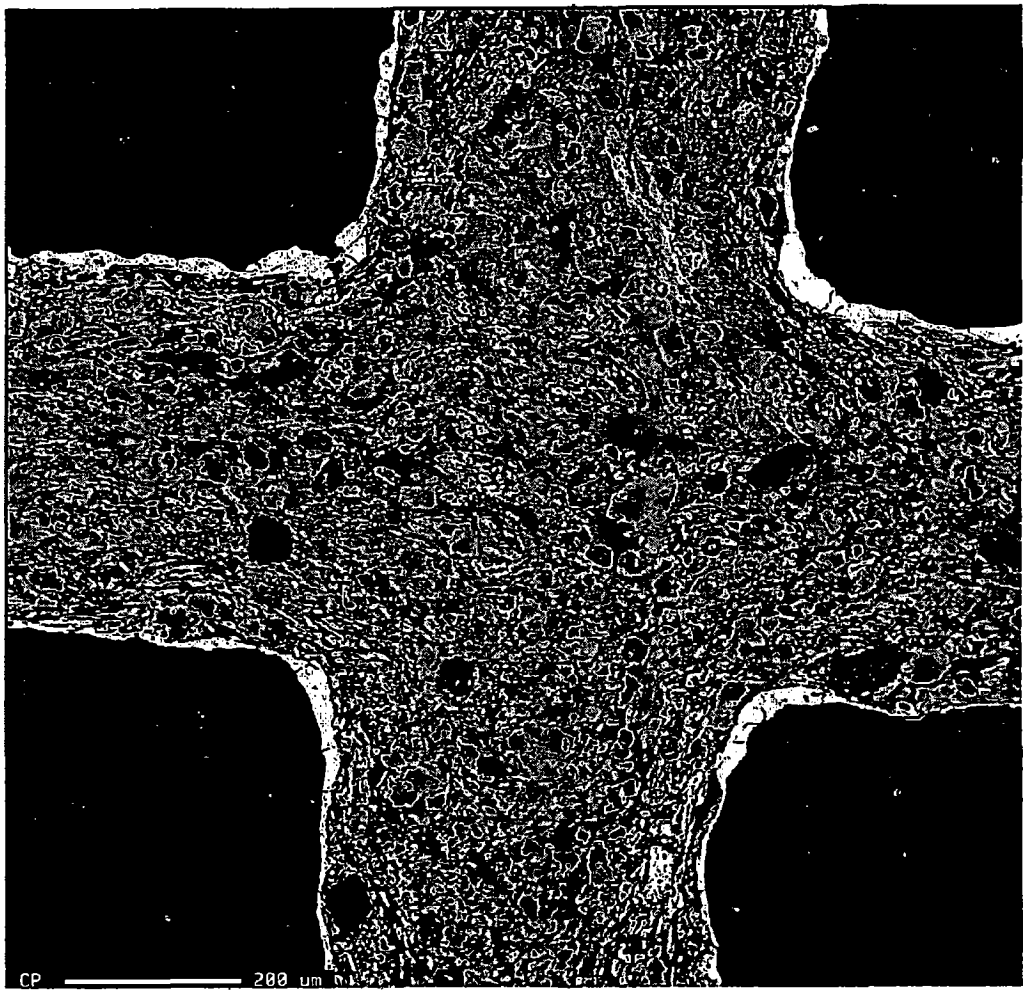


图 4