



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101820968 A

(43) 申请公布日 2010.09.01

(21) 申请号 200780100043.5

(22) 申请日 2007.07.26

(85) PCT申请进入国家阶段日
2010.01.26

(86) PCT申请的申请数据
PCT/US2007/074423 2007.07.26

(87) PCT申请的公布数据
W02009/014539 EN 2009.01.29

(71) 申请人 3M 创新有限公司
地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 安德鲁·R·福克斯
马尔文·E·琼斯

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理
有限公司 11112
代理人 丁业平 戚秋鹏

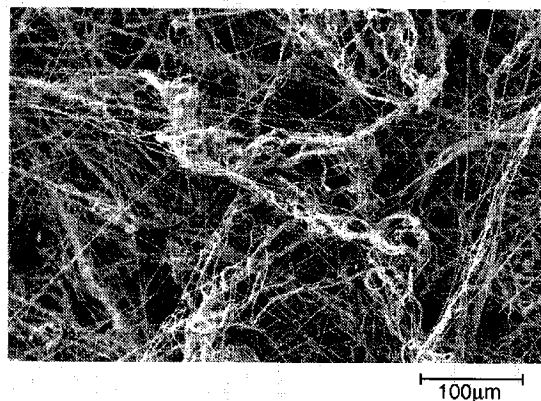
(51) Int. Cl.
B01D 39/00 (2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 7 页

(54) 发明名称
高度带电且电荷稳定的纳米纤维网

(57) 摘要

本发明涉及一种带电多层过滤器,所述过滤器包括水充电过滤层,所述水充电过滤层含有多根相互缠绕的有限长度为约 12 至约 300mm 的纳米纤维,位于多孔的可卷到卷加工的支承层上。



1. 一种带电多层介质,其包含:
 - a) 水充电的纤维过滤层,所述水充电的纤维过滤层含有多根相互缠绕的长度为约 12 至约 300mm 的纳米纤维,和
 - b) 可卷到卷加工的多孔的支承层。
2. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层中的所述纤维具有小于约 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的中值纤维尺寸。
3. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层中的所述纤维具有小于约 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的中值纤维尺寸。
4. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层中的所述纤维具有小于约 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的中值纤维尺寸。
5. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述纳米纤维具有约 25 至约 200mm 的长度。
6. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述纳米纤维具有约 50 至约 150mm 的长度。
7. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层中所述纤维的大多数为纳米纤维。
8. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层中所述纤维的约 60% 至约 98% 为纳米纤维。
9. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层中所述纤维的约 80% 至约 97% 为纳米纤维。
10. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述纳米纤维包含烯烃。
11. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述纳米纤维包含聚丙烯。
12. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层具有约 0.5 至约 300g/m^2 的基重。
13. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层具有约 2 至约 40g/m^2 的基重。
14. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层具有约 0.1 至约 20mm 的厚度。
15. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述支承层包含织造织物、针织织物、开孔泡沫或打孔膜。
16. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述支承层包含非织造网。
17. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,还包含防脱层、抗过敏层、增强层或吸附层。
18. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层是经静电充电和水充电的。
19. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中所述过滤层是经等离子体氟化并且水充电的。
20. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中当使用以 5.5 厘米 / 秒的表面速度流动的 $0.075\text{ }\mu\text{m}$ 氯化钠气溶胶进行评估时,所述带电多层介质具有至少约 $0.9\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 的初始过滤品质因子 QF。
21. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中当使用以 5.5 厘米 / 秒的表面速度流动

的 $0.075\ \mu\text{m}$ 氯化钠气溶胶进行评估时,所述带电多层介质具有至少约 $1.8\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 的初始过滤品质因子 QF。

22. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中当暴露于以 10 厘米 / 秒的速度流动的 $0.075\ \mu\text{m}$ 氯化钠气溶胶时,所述带电多层介质表现出小于 5% 的最大穿透率。

23. 根据权利要求 1 所述的带电多层介质,其中当暴露于以 10 厘米 / 秒的速度流动的 $0.075\ \mu\text{m}$ 氯化钠气溶胶时,所述带电多层介质表现出小于 1% 的最大穿透率。

24. 一种褶皱型过滤器,所述褶皱型过滤器包括根据权利要求 1 所述的带电多层介质。

25. 一种呼吸器,所述呼吸器包括根据权利要求 1 所述的带电多层介质。

高度带电且电荷稳定的纳米纤维网

技术领域

[0001] 本发明涉及空气过滤纤维网。

背景技术

[0002] 当暴露于含亚微米颗粒的空气流时,空气过滤网的过滤效率通常会下降。过滤效率可通过穿透率(%)测试来评估,该穿透率(%)测试采用了含有(例如)氯化钠颗粒或邻苯二甲酸二辛酯颗粒的测试用气溶胶。初始穿透率和最大穿透率均可根据此类测试来测定。最大穿透率值特别受到关注,因为它们提供过滤器的使用寿命指示。

[0003] 已采用了多种充电技术来改善过滤效率。然而,已知某些诸如油性气溶胶之类的物质会导致电荷量随时间推移而减少。使用带电的过滤介质(例如针刺毡、或带电的纺粘纤维网或熔喷纤维网)可实现高的初始过滤效率。然而,可能还会需要不希望有的高基重,对于具有较大直径纤维的带电介质而言尤为如此。粗纤维带电过滤介质通常具有高的初始效率,但当过滤器上积聚了极细的颗粒时,粗纤维带电过滤介质的效率可能会严重降低。带电过滤介质中的这种效率损耗可称为驻极体劣化。由美国采暖、制冷与空调工程师学会(ASHRAE)制定的名称为“Method of Testing General Ventilation Air Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size”(按粒度测试通用通风空气净化装置排除效率的测试方法)的标准 No. 52.2 定义了暖通空调(HVAC)过滤器最低效率通报值(MERV)的等级评定。为了解决驻极体劣化而提议的标准 No. 52.2 中的修改可能会改变该标准,结果使驻极体过滤器面临更大比例的小颗粒。如获通过,则这些对标准的修改可将典型驻极体过滤介质的 MERV 等级评定降低 2 至 3 个评级点。

[0004] 通常,细纤维(如纳米纤维)也可促进高过滤效率,但压降通常随纤维直径的减小而增加。例如,可使用包含亚微米纤维的玻璃纤维复合材料来实现高初始过滤效率,但实现这些良好初始过滤效率通常以较高的初始压降为代价。玻璃纤维也存在问题,因为这种纤维通常不可回收利用,并且会因其脆性而容易断裂。玻璃纤维碎屑还可能导致呼吸系统不适或表皮过敏。已采用由聚合物型纳米纤维制成的过滤介质来代替玻璃纤维。然而,聚合物型纳米纤维的耐化学性和耐溶剂性比玻璃纤维弱。例如,用静电纺丝制造的聚合物型纳米纤维至少会受到从其中纺出的溶剂的影响。另外,许多目前可用的纳米纤维通常以很低的速度制造,对于许多应用而言成本过高。静电纺丝纳米纤维通常是以每天若干克的速度率制造,并且与标准过滤介质相比,吹制玻璃纳米纤维相对较贵。即便是能够以高速度制造的海岛型纳米纤维,也造价昂贵,因为它们需要可移除的淀粉胶囊包封调和物与移除该淀粉胶囊包封调和物的工序。

[0005] 初始穿透率值与最大穿透率值的相关性有时会很差。这种相关性的缺乏使得很难根据初始穿透率测量值来预测最大穿透率值。可以改为测量最大穿透率,但对于暴露于极小(如亚微米级)颗粒的介质此测量可能需要长时间。当纤维网显示具有较差的初始和最大穿透率值相关性时,也会使过滤器的设计变得更加困难。

[0006] 空气过滤纤维网在以下文献中有记载:例如,美国专利 No. 4,011,067(Carey)、

4, 215, 682 (Kubik 等 人)、4, 592, 815 (Nakao)、4, 729, 371 (Krueger 等 人)、4, 798, 850 (Brown)、5, 401, 446 (Tsai 等 人)、5, 496, 507 (Angadjivand 等 人, ‘507)、6, 119, 691 (Angadjivand 等 人, ‘691)、6, 183, 670B1 (Torobin 等 人, ‘670)、6, 315, 806B1 (Torobin 等 人, ‘806)、6, 397, 458B1 (Jones 等 人, ‘458)、6, 554, 881B1 (Healey)、6, 562, 112B2 (Jones 等 人, ‘112)、6, 627, 563B1 (Huberty)、6, 673, 136B2 (Gillingham 等 人)、6, 716, 274B2 (Gogins 等 人)、6, 743, 273B2 (Chung 等 人) 和 6, 827, 764B2 (Springett 等 人), 以及 Tsai 等人在 2004 年 11 月 9 日至 11 日举行的第 14 届国际 TANDEC (纺织和非织造布研发中心) 非织造布研讨会上发表的“Electrospinning Theory and Techniques” (静电纺丝理论和技术)。其他纤维网在 (例如) 美国专利 No. 4, 536, 361 (Torobin) 和 5, 993, 943 (Bodaghi 等 人) 中有记载。

发明内容

[0007] 本发明提供带电的空气过滤介质, 该介质即便在暴露于含有小颗粒的空气流之后, 仍具有惊人的有效过滤性能。本发明所公开的介质具有极好的电荷保持性, 并且其初始穿透率值与最大穿透率值的相关性比典型的驻极体过滤介质好得多。在一个方面, 本发明的过滤介质包含:

[0008] a) 水充电 (hydrocharged) 纤维过滤层, 该水充电的纤维过滤层含有多个相互缠绕的长度为约 12 至约 300 毫米 (mm) 的纳米纤维, 和

[0009] b) 多孔的可卷到卷加工的支承层。

[0010] 本发明所公开的介质中的过滤层可以根据 (例如) 美国专利 No. 4, 536, 361 或 6, 315, 806B1 来制备, 并且可以根据 (例如) 美国专利 No. 5, 496, 507 进行水充电。与这些专利所公开的介质相比, 所得介质在暴露于细小颗粒之后显示具有更好的过滤效率, 并且具有相关性良好的初始穿透率值和最大穿透率值。

附图说明

[0011] 图 1a 和图 1b 为根据本发明的多层过滤介质的示意性剖视图;

[0012] 图 2a 为根据本发明的折褶皱型过滤器的透视图;

[0013] 图 2b 为根据本发明的一次性个人呼吸器的局部剖视透视图;

[0014] 图 3a 和图 3b 为根据本发明的所公开介质中过滤层的扫描电镜照片;

[0015] 图 4 为表示本发明过滤介质的压降与过滤层基重之关系的线图;

[0016] 图 5 为表示本发明过滤介质的穿透率与过滤层基重之关系的线图;

[0017] 图 6 为表示在各种过滤层基重下穿透率和压降的相互关系的线图;

[0018] 图 7 为表示本发明过滤介质的氯化钠穿透率与氯化钠测试量之关系的线图;

[0019] 图 8 为表示本发明过滤介质的压降与氯化钠测试量之关系的线图;

[0020] 图 9 和图 10 为最大氯化钠穿透率与初始氯化钠穿透率的关系图; 以及

[0021] 图 11 为表示邻苯二甲酸二辛酯穿透率和压降与预计测试量之关系的线图。

[0022] 在各幅附图中, 类似的附图标记用来表示类似的要素。图中所示要素未按比例绘制。

具体实施方式

[0023] 本文所用术语的定义如下：

[0024] “气溶胶”是指含有固态或液态悬浮颗粒的气体；

[0025] 当用于过滤器或过滤层时，“基重”是指过滤器或过滤层的主表面每单位面积的过滤器或过滤层中一种或多种材料的重量；

[0026] 当用于纤维集合时，“带电”是指在暴露于 20 戈瑞吸收剂量的 1mm 经铍过滤的 80KVp X 射线之后，当在 7 厘米 / 秒的表面速度下评估邻苯二甲酸二辛酯的穿透率 (DOP%) 时，表现出至少 50% 的品质因子 QF (下文论述) 损耗的纤维；

[0027] 当用于纤维或纤维集合时，“连续”是指具有基本上无限的长宽比 (即, (例如) 至少约 10,000 或以上的长度与尺寸比) 的纤维；

[0028] 当用于纤维集合时，“有效纤维直径” (EFD) 是对于由任何横截面形状 (如圆形横截面或非圆形横截面) 的纤维构成的网根据如下文献中阐述的方法所确定的数值：“The Separation of Airborne Dust and Particles” (气载尘埃和颗粒的分离), Institution of Mechanical Engineers, London, Proceedings 1B, 1952, Davies, C. N；

[0029] 当用于过滤器时，“效率”是指由过滤器去除的测试用气溶胶的量 (以百分数表示), 如根据穿透率 (%) 测定的那样, 其中

[0030] $\text{效率}(\%) = 100 - \text{穿透率}(\%)$ ；

[0031] 例如, 具有 5% 的穿透率的过滤器将具有相应的 95% 的效率；

[0032] 当用于纤维集合时，“水充电”是指已使纤维与极性流体 (如, 水、醇酮、或极性流体的混合物) 紧密接触, 然后在足以使该纤维带电的条件下干燥。

[0033] “层”是指过滤器的一部分, 其具有两个主表面和等于这两个主表面间距离的厚度; 层可以沿主表面延伸无限远的距离, 或可以具有有限的边界；

[0034] “大多数”是指大于 50%；

[0035] “纳米纤维”是指中值尺寸如使用显微镜法和人工计数法测定的尺寸) 小于 $1\mu\text{m}$ 的纤维；

[0036] “非织造网”是指纤维网未以预定方式排列其纤维, 例如一组纤维以有序排列从另一组纤维的上方和下方穿过；

[0037] “聚合物”是指由单体形成的大分子, 并且包括均聚物、共聚物、以及聚合物共混物；

[0038] “聚合物材料”是指包括至少一种聚合物并可能包括除聚合物之外的其他成分的材料；

[0039] “多孔的”是指可穿透空气；

[0040] “压降”是指流体流 (如空气流) 在过滤器的上游侧和下游侧之间流动时, 流体流中静压的降低；

[0041] “呼吸器”是指被设计为可佩戴于个人呼吸通道上的系统或装置, 可防止污染物进入佩戴者的呼吸道, 或防止其他人或物暴露于佩戴者呼吸时排出的病原体或其他污染物, 呼吸器包括 (但不限于) 过滤面罩；

[0042] 当用于过滤器或支承层时, “可卷到卷加工”是指可以使用卷到卷纤维网处理设备制造过滤器或支承层, 并在需要时将其改制成单个的过滤器；

[0043] 当用于纤维时,“尺寸”是指对具有圆形横截面的纤维的纤维直径,或是指可以横穿具有非圆形横截面的纤维而构成的最长的横截面弦的长度;以及

[0044] “基本上所有”是指至少为 80%。

[0045] 图 1a 示出了本发明所公开的多层介质的一个实施例的示意性剖视图。介质 1 包括与支承层 4 相邻的纤维过滤层 2。层 2 包含纳米纤维 6,可以根据(例如)美国专利 No. 4, 536, 361 来制备。纤维 6 相互缠绕,纤维 6 以占层 12 中的大多数纤维为优选,占层 12 中基本上所有的纤维则更为优选。纤维 6 具有约 12 至约 300mm、约 25 至约 200mm 或约 50 至约 150mm 的有限长度,并且是不连续的。层 2 为多孔的,而且孔径细到足以捕获可能流经介质 1 的流体(如空气)中携带的小颗粒(如微米尺寸和更小的颗粒)。层 4 也为多孔的,而且其孔径通常比层 2 的孔径大。在图示实施例中,层 4 为有宽松网眼的针织织物。流体可以多个方向流经介质 1(如,垂直于介质 1 流经层 2,然后流经层 4,或者垂直于介质 1 流经层 4,然后流经层 2)。对于空气过滤而言,流体的典型方向是流经层 4,然后流经层 2。

[0046] 图 1b 示出了本发明所公开的多层介质的另一个实施例的示意性剖视图。介质 10 包括与支承层 14 相邻的纤维过滤层 12。层 12 包含中值纤维尺寸为一微米或更大的多根第一纤维 16 和具有亚微米尺寸并且最好占层 12 中大多数纤维的多根第二纤维 18。层 12 可以根据(例如)美国专利 No. 6, 315, 806B1 来制备。纤维 16 最好占层 12 中少于一半的纤维。纤维 16 可以(例如)占层 12 中总纤维(或其代表性样本)根数的约 1%至约 49%或约 2%至约 40%或约 3%至约 20%或约 5%至约 15%。纤维 18 可以(例如)占层 12 中总纤维(或其代表性样本)根数的约 51%至约 99%或约 60%至约 98%或约 80%至约 97%或约 85%至约 95%。纤维 18 具有有限长度(例如约 12 至约 300mm、约 25 至约 200mm 或约 50 至约 150mm),并且其平均长度可以小于或大于纤维 16 的平均长度。纤维 18 可以至少部分地缠绕于第一纤维 16 的其中一些周围,并且可在层 12 中由多根第一纤维 16 支承。层 12 为多孔的,而且其孔径细到足以捕获可能流经介质 10 的流体中携带的小颗粒。层 14 也为多孔的,而且其孔径通常比层 12 的孔径大得多。在图示实施例中,层 14 包括布置在非织造网中的纤维 20。流体可以多个方向流经介质 10(如,垂直于介质 10 流经层 12,然后流经层 14,或者垂直于介质 10 流经层 14,然后流经层 12)。对于空气过滤而言,流体的垂直方向是流经层 14,然后流经层 12。

[0047] 图 2a 示出了褶皱型过滤器 22 的透视图,该褶皱型过滤器是通过使本发明公开的多层介质(如介质 1 或 10)形成一些有间隔的褶皱行 24 而制成的。过滤器 22 可以“就这样”使用,或可以具有进一步稳定或增强(例如,用平面膨胀金属面层、热熔粘合剂增强衬里、粘合剂粘结增强条、或其他选择性增强支承体)的过滤器 22 的选定部分,并且可任选地安装在合适框架(例如,金属或硬纸板框架)内,以提供用于诸如暖通空调系统的可置换的过滤器。除了多层介质外,有关过滤器 22 构造的更多细节为本领域普通技术人员所熟悉。

[0048] 图 2b 示出了杯状一次性个人呼吸器 26 的透视图和局部剖视图。呼吸器 26 包括内覆盖网 28、由本发明所公开的多层介质(如介质 1 或 10)制成的过滤层 30 以及外覆盖层 32。焊接边 34 将这些层保持在一起,并且形成脸面密封区以减少通过呼吸器 26 边缘的泄漏。可以通过极软的柔韧鼻带 36 来进一步减少泄露,例如,该鼻带可由如铝等的金属或如聚丙烯等的塑料制成。呼吸器 26 还包括通过悬挂突出部 40 进行紧固的可调式头带和颈带 38 以及呼气阀 42。除多层介质之外,有关呼吸器 26 构造的更多细节为本领域普通技术

人员所熟悉。

[0049] 本发明所公开的过滤层最好直接在支承层上形成,而不是隔离地形成。过滤层可以包含一种或多种类型的纤维,该一种或多种类型的纤维由相同或不同的聚合物成纤材料制成。过滤层中的大多数纤维(最好是所有纤维)由能够承受适当的驻极体电荷且能保持足够电荷分离的成纤材料制成。优选的聚合物成纤材料为在室温(22℃)下体积电阻率为1014欧姆-厘米或更大的非导电树脂。该树脂的体积电阻率最好为约1016欧姆-厘米或更大。聚合物成纤材料的电阻率可以根据标准化测试ASTM D 257-93来测量。可以使用的聚合物的一些例子包括包含聚烯烃(例如聚乙烯、聚丙烯、聚丁烯、聚(4-甲基-1-戊烯)、环烯烃共聚物)的热塑性聚合物以及此类聚合物的组合。可以使用但难以带电或可能会迅速失去电荷的其他聚合物包括:聚碳酸酯、嵌段共聚物,例如苯乙烯-丁二烯-苯乙烯和苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯嵌段共聚物;聚酯,例如聚对苯二甲酸乙二醇酯;聚酰胺;聚氨酯,以及为本领域普通技术人员所熟悉的其他聚合物。该过滤层纤维中的某些或所有均可以根据需要由多组分纤维(包括可分裂纤维)制成。合适的多组分(如双组分)纤维包括并列型、皮/芯型、分割饼型、海岛型、尖端型和分裂型带纤维。如果采用可分裂纤维,可以通过多种本领域普通技术人员所熟悉的技术(包括粗梳法、空气喷射法、压花法、压延法、水缠绕法或针刺法)来进行或促进分裂。优选的方式是,过滤层由聚-4-甲基-1-戊烯或聚丙烯单组分纤维来制备,或由聚-4-甲基-1-戊烯和聚丙烯分层或皮芯构型的双组分纤维(如外表面上具有聚-4-甲基-1-戊烯或聚丙烯)来制备。最优选的方式是,该过滤层由聚丙烯均聚物单组分纤维来制备,因为聚丙烯能够保留电荷,尤其是在潮湿环境下。可向聚合物加入添加剂以提高过滤性能、驻极体带电能力、机械性质、老化性质、着色、表面性质或其他相关特性。代表性的添加剂包括:填料、成核剂(例如,可从Milliken Chemical商购获得的MILLAD™3988二亚苄基山梨醇)、驻极体带电增强添加剂(如三硬酯基三聚氰胺和各种光稳定剂,例如CibaSpecialty Chemicals的CHIMASSORB™ 119和CHIMASSORB 944的光稳定剂)、固化引发剂、硬化剂(例如,聚-4-甲基-1-戊烯)、表面活性剂和表面处理剂(例如,用于在油雾环境中改善过滤性能的氟原子处理剂,如Jones等人的美国专利No. 6,398,847B1、6,397,458B1和6,409,806B1中所描述的)。此类添加剂的类型和份量将为本领域普通技术人员所熟悉。例如,驻极体带电增强添加剂通常以小于约5重量%和更典型的小于约2重量%的量存在。聚合物成纤材料也最好基本上不含诸如防静电剂之类的组分,所述组分会显著增加导电率或以其他方式妨碍纤维承受和保持静电荷的能力。

[0050] 过滤层可以具有多种基重、纤维尺寸、厚度、压降和其他特性,并且其自身可能足够脆而不可卷到卷加工。过滤层的基重范围可为(例如)约0.5至约300g/m²(gsm)、约0.5至约100gsm、约1至约50gsm或约2至约40gsm。对于过滤层优选相对较低的(例如)约2、5、15、25或40gsm的基重。过滤层中纤维的中值纤维尺寸可以(例如)小于约10μm、小于约5μm或小于约1μm。过滤层厚度可以为(例如)约0.1至约20mm、约0.2至约10mm、或约0.5至约5mm。以很低的基重加到某些支承层(如质地粗糙的支承层)上的纳米纤维过滤层不会改变总介质厚度。可以控制或调整过滤层的基重和厚度,例如,通过改变收集器速度或聚合物通过量来控制或调整。

[0051] 支承层足够坚固,以使得过滤层可以在支承层上形成,并且所得介质可以根据需要通过卷到卷加工设备进一步改制。支承层可以由多种材料形成,并且可以具有多种基重、

厚度、压降以及其他特性。例如,支承层可以为非织造网、织造织物、针织织物、开孔泡沫或打孔膜。优选的支承层为非织造纤维网。制备此类非织造网的合适纤维前体包括上述的聚合物成纤材料和其他不易接受或保持静电荷的聚合物成纤材料。支承层还可以由天然纤维或由合成纤维和天然纤维的共混物形成。如果由非织造网制成,则支承层可以采用(例如)熔吹、熔纺或其他合适的纤维网加工技术由熔融热塑性聚合物形成;采用粗梳法或通过 Rando-Webber 机器沉积由天然纤维或由合成纤维和天然纤维的共混物形成;或采用其他为本领域普通技术人员所熟悉的技术形成。如果由机织纤维网或针织物制成,则支承层可以由(例如)微细旦连续长丝或短纤维纱线(即,纱线的单丝纤度(dpf)小于约1)形成,并且通过为本领域普通技术人员所熟悉的合适加工技术加工成机织或针织支承织物。支承层的基重范围可为(例如)约5至约300gsm,最好为约40至约150gsm。支承层的厚度可为(例如)约0.2至约40mm、约0.2至约20mm、约0.5至约5mm或约0.5至约1.5mm。

[0052] 如果需要,可以向本发明所公开的介质添加附加层。代表性的附加层为本领域普通技术人员所熟悉,并且包括保护层(如防脱层、抗过敏层以及其他覆盖层)、增强层和吸附层。还可以通过为本领域普通技术人员所熟悉的方法将吸附剂颗粒(如活性炭颗粒或氧化铝颗粒)引入介质(如引入支承层14)。

[0053] 本发明所公开的多层介质的水充电可以通过多种技术来进行,包括将极性流体喷射、浸泡或凝结到介质上,然后干燥,以使得该介质带电。描述水充电的代表性专利包括上述的美国专利 No. 5,496,507、和美国专利 No. 5,908,598(Rousseau 等人)、No. 6,375,886B1(Angadjivand 等人,‘886)、No. 6,406,657B1(Eitzman 等人,‘657)、No. 6,454,986B1(Eitzman 等人,‘986)以及 No. 6,743,464B1(Insley 等人)。优选采用水作为极性水充电液体,并且优选使用由任何合适的喷雾装置提供的液体射流或液流,将介质暴露于该极性水充电液体。通常将用于水缠绕纤维的装置用来水充电,尽管水充电操作所用压力比通常水缠绕所用压力低。美国专利 No. 5,496,507 描述了一种示例性设备,其中使水射流或水流以足够的压力冲击到介质上,以使随后干燥的介质具有过滤增强驻极体电荷。达到最佳效果所必需的压力可以变化,这取决于所用喷射器类型、形成过滤层12的聚合物类型、介质的厚度和密度以及水充电前是否进行了预处理(例如电晕充电)。通常,合适的压力范围为约69至约3450kPa。用于形成水滴的水最好为相对纯净的水。蒸馏水或去离子水优选于自来水。

[0054] 本发明所公开的介质在水充电之前或之后可以接受其他充电技术处理,所述技术包括静电充电(如美国专利 No. 4,215,682、5,401,446 以及 6,119,691 中所述)、摩擦充电(如美国专利 No. 4,798,850 中所述)或等离子体氟化(如美国专利 No. 6,397,458B1 中所述)。优选的充电技术组合为先进行电晕充电,之后进行水充电和等离子体氟化,然后进行水充电。

[0055] 可以评估本发明所公开的多层介质以测定穿透率(%)、压降和过滤品质因子 QF,方法为使用包含 NaCl 或 DOP 颗粒的测试用气溶胶,以 NaCl 颗粒 60 升/分钟和 DOP 颗粒 85 升/分钟的流速(除非另外指明)递送,然后使用 TSI™8130 型高速自动化过滤器测试机(可从 TSI Inc. 商购获得)进行评估。对于 NaCl 测试,颗粒可由 2% 的 NaCl 溶液产生以提供含有在气载浓度为约 16-23mg/m³ 时直径为约 0.075 μm 的颗粒的气溶胶,并且该自动化过滤器测试机可在加热器和颗粒中和器均开着时工作。对于 DOP 测试,气溶胶可包含浓

度为约 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 时直径为约 $0.185\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒,并且自动化过滤器测试机可在加热器和颗粒中和器均关闭时工作。可在过滤器入口和出口处采用经校准的光度计以测量颗粒浓度以及穿过该介质的颗粒穿透率(%)。可采用 MKS 压力传感器(可从 MKS Instruments 商购获得)以测量通过该介质后的压降(ΔP , mm H₂O)。该公式:

[0056]

$$QF = \frac{-\ln\left(\frac{\text{颗粒穿透率}(\%)}{100}\right)}{\Delta P}$$

[0057] 可用于计算 QF。针对所选的测试用气溶胶进行测量或计算的参数包括:初始颗粒穿透率、初始压降、初始品质因子 QF、最大颗粒穿透率、最大穿透率时的压降以及在最大穿透率时颗粒堵塞的毫克数(对过滤器进行总重量测试,直到最大穿透率)。进行堵塞测试以测定最大穿透率,方法为用气溶胶连续测试过滤器,同时连续测量穿透率和压降;通常在观察到明确的最高穿透率后停止该测试。由于本发明所公开介质的初始穿透率和最高穿透率之间具有相对较好的相关性,因此初始品质因子 QF 值提供十分稳定的整体性能指标,其中较高的初始 QF 值表示较好的过滤性能,而较低的初始 QF 值表示较差的过滤性能。当暴露于流速为 $5.5\text{cm}/\text{s}$ 时的 $0.075\text{ }\mu\text{m}$ NaCl 颗粒时,该介质的初始品质因子 QF 优选为至少约 $0.9\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$,并且更优选为至少约 $1.8\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 。当暴露于流速为 $10\text{cm}/\text{s}$ 时的 $0.075\text{ }\mu\text{m}$ NaCl 颗粒时,该介质的初始品质因子 QF 优选为至少约 $0.4\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$,并且更优选为至少约 $0.8\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 。当暴露于流速为 $14\text{cm}/\text{s}$ 时的 $0.185\text{ }\mu\text{m}$ DOP 颗粒时,该介质的品质因子 QF 优选为至少约 $0.2\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$,并且更优选为至少约 $0.4\text{mm}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 。

[0058] 本发明所公开的多层介质可以片状形式使用,或者可以模制、折叠或以其他方式成型为具有三维构型的成形介质。例如,可使用诸如美国专利 No. 6,740,137B2(Kubokawa 等人)和美国专利申请公布 No. US2005/0217226A1(Sundet 等人,‘226)中所述的那些方法和部件,将本发明所公开的介质成型为褶皱型过滤器。褶皱的形成通常将辅助以加热,以使纤维在至少一些纤维交叉点处彼此粘结(或进一步粘结)。可使用本领域普通技术人员熟悉的其他方法和部件实施或增加褶皱的形成。还可通过添加顶端稳定层(例如,平面金属丝表面层或热熔粘结剂的线条)或周边增强(例如,边缘粘结剂或过滤器边框)来稳定或增强滤芯的所选部分。本发明所公开的介质还可以通过将为本领域普通技术人员所熟悉的方法成型为呼吸器,例如美国专利 No. 4,536,440(Berg)、4,547,420(Krueger 等人)、5,374,458(Burgio)、6,394,090B1(Chen 等人)、6,827,764B2(Springett 等人)以及 7,069,930B2(Bostock 等人)中所述的那些方法。

[0059] 除非另外指明,EFD 可采用如下文献中阐述的方法使用 $85\text{升}/\text{分钟}$ 的空气流速(对应于 $13.8\text{厘米}/\text{秒}$ 的表面速度)来确定:Davies,C.N.,“The Separation of Airborne Dust and Particles”(气载尘埃和颗粒的分离),The Separation of Airborne Dust and Particles, Institution of Mechanical Engineers, London, Proceedings 1B, 1952。

[0060] 本发明所公开的多层介质可用于供暖、通风和空调过滤(HVAC)应用,其中它们尤其有利于提高 MERV 12 过滤器和更大过滤器的效率。带电纳米纤维还可以用于洁净室过滤应用,洁净室过滤应用通常需要 HEPA(高效空气过滤器)、ULPA(超高效空气过滤器)以及更高效率的过滤器。本发明所公开的多层介质可用于个人呼吸保护装置,例如:免维护

呼吸器 ; 防尘面具 ; 以及半面罩式呼吸器、全面罩式呼吸器、或电动空气呼吸器的筒式过滤器。该多层介质还可以用于汽车舱室空气过滤器、入口空气过滤器、真空袋和其他真空过滤装置。该多层介质还可以用于室内空气净化器应用。

[0061] 在以下的示例性实例中对本发明进行进一步说明, 其中除非另外指明, 所有份数和百分比均按重量计。

[0062] 实例 1

[0063] 使用类似于美国专利 No. 6,607,624B2 (Berrigan 等人, '624) 和 6,916,752B2 (Berrigan 等人, '752) 中所示的设备和类似于 2006 年 7 月 31 提交的美国专利申请 No. 11/457,899 中所示的淬灭流加热器, 由得自 Total Petrochemicals 的熔融流动速率指数为 100 的 DYPRO™ 3860 聚丙烯制备三个聚丙烯纺粘支承层纤维网。支承纤维网特性在下表 1 中示出:

[0064] 表 1

[0065] 支承层特性

[0066]

试验编号	基重, gsm	厚度, mm	EFD, μm	聚合物自旋速率, 克 / 孔 / 分钟
1-1	114	1.12	18	0.9
1-2	85	0.94	12	0.2
1-3	112	1.22	19	0.9

[0067] 使用以 3 米 / 分钟的束带速度和 29kV 的电晕电压运行的四梁带式电晕充电装置对试验编号为 1-1 的支承层进行电晕充电, 然后使用以 1.5 米 / 分钟的束带速度、0.8MPa 的水压及去离子水运行的水充电装置对该支承层进行水充电。使该纤维网两边均受到水喷射和真空脱水。试验编号为 1-2 和 1-3 的支承层未被充电。在 Nanofibers, Inc. (Aberdeen, North Carolina), 通过单发射器、30.5cm 宽的成纤设备, 用基重为 5、15、25、以及 50gsm 的聚丙烯纳米纤维覆盖试验编号为 1-1 和 1-2 的支承层纤维网, 并且用基重为 5、8、10、以及 13gsm 的聚丙烯纳米纤维覆盖试验编号为 1-3 的支承层纤维网。施用于试验编号为 1-1 和 1-2 的支承层纤维网的聚丙烯由 Nanofibers, Inc. 人员选择, 施用于试验编号为 1-3 的支承层纤维网的聚丙烯为得自 Total Petrochemicals 的熔融流动速率指数为 350 的 FINA™ 3960 聚丙烯。该纳米纤维层很好地粘附于纺粘支承层。这似乎是由于纳米纤维沉积到纺粘支承层上时发生缠结和热粘结的结果。

[0068] 试验编号为 1-1 的支承层上的 5gsm 纳米纤维层和试验编号为 1-3 的支承层上的 11gsm 纳米纤维层的金 / 钨覆盖样品, 通过在高真空下以 15kV 的加速电压、15mm 的工作距离 (WD) 和 0° 倾斜的条件操作得自 Carl Zeiss SMT 的 LEO VP 1450 扫描电镜, 以 100X 至 3,000X 的放大倍数用扫描电镜法来评估。使用得自 University of Texas Health Science Center (San Antonio) 的 UTHSCSA IMAGE TOOL 图象分析程序, 对拍摄于 1000X 和更高放大倍数的图像进行纤维直径测量。纳米纤维的特性在下表 2 中示出:

[0069] 表 2

[0070] 纳米纤维过滤层特性

[0071]

特性	试验编号为 1-1 的支承层上的 5gsm 纳米纤维	试验编号为 1-3 的支承层上的 11gsm 纳米纤维
平均尺寸, μm	0.56	0.60
标准偏差	0.42	0.28
最小尺寸, μm	0.13	0.21
最大尺寸, μm	3.08	1.50
中值尺寸, μm	0.44	0.55
模式尺寸, μm	0.31	0.41
纤维支数	79	89

[0072] 11gsm 过滤层的扫描电镜 (SEM) 照片在图 3a(2000X) 和图 3b(250X) 中示出。这些照片示出其中纳米纤维相互缠绕并且具有亚微米尺寸。

[0073] 使用上述针对试验编号为 1-1 的支承层的步骤, 对多层介质的样品进行电晕充电、或电晕充电和水充电。在等离子体氟化系统上对额外的样品进行等离子体氟化, 使用的处理条件为在 300 毫托和 1.0kW 的 100sccm 全氟丙烷下暴露 1 分钟。将样品翻转并重复等离子体氟化处理。接着使用上述步骤对样品进行水充电。然后, 评估所得到的带电多层介质样品以确定压降。图 4 示出了结果。对于试验编号为 1-1 的支承层上的多层介质样品而言, 图中示出了在 85 升 / 分钟的流速下, 大约 10gsm 的纳米纤维会造成约 2.5-3mm H_2O 的压降。较低基重的纳米纤维层显示出对于最初几克的纳米纤维样品具有较高的边界压降, 这可能表示与基底的界面效应。25 和 50gsm 的纳米纤维样品显示在水充电时已压实, 从而导致压降增加。试验编号为 1-1 的过滤层显示比试验编号为 1-3 的过滤层含有更多短纤维和更多缠结 / 集束纤维, 以及较松散的纤维直径分布, 这些因素可以解释在试验编号 1-1 和 1-3 的结果之间观察到的某些压降差异。与对于其他样品所观察的压降相比, 试验编号为 1-3 的支承层上覆盖的纳米纤维显示出在每基准重量上具有实质上更高的压降。通过寻找更均匀的纳米纤维沉积特性, 可以部分地控制压降。

[0074] 评估试验编号 1-1(带电支承层) 和试验编号 1-2(不带电支承层) 上覆盖的多层介质以确定初始 DOP 穿透率和品质因子 QF 值, 然后将各纳米纤维基重的多层介质彼此比较。图 5 示出了 DOP 结果, 其中曲线 A 代表在纳米纤维层充电前试验编号为 1-2 的支承层上的样品, 曲线 B 代表在纳米纤维层充电前试验编号为 1-1 的支承层上的样品, 曲线 C 代表在纳米纤维层充电后试验编号为 1-1 的支承层上的样品, 以及曲线 D 代表在纳米纤维层充电后试验编号为 1-2 的支承层上的样品。这些曲线示出其中当多层介质的两层均被水充电

时,形成在试验编号为 1-2 的支承层上的多层介质具有较高的品质因子和较低的初始穿透率。曲线 A 还示出了不带电的支承层和纳米纤维层的机械过滤性能。曲线 B 的左侧原点示出了使用零纳米纤维重量的水充电支承层纤维网的效果。曲线 A 和 B 之比较表明,水充电支承层纤维网的效果和纳米纤维的效果对各个施用的纳米纤维重量均保持恒定。曲线 C 示出了当对本来就带电的支承层和纳米纤维充电时,支承纤维网不受影响(在零纳米纤维重量处观察到相同的穿透率),但当存在纳米纤维时穿透率则明显降低,从而表明纳米纤维自身已成为带电。如果纳米纤维不带电,则曲线 B 和曲线 C 将彼此重合。最后,曲线 D 示出了纳米纤维和支承层可以一起充电并且所得性能可能主要归因于纳米纤维,而非支承层。

[0075] 通过绘制各个纳米纤维基重下的压降与穿透率关系的线图,评估已经过电晕充电和水充电的样品。结果示于图 6 中。压降和穿透率值的相关性十分良好,其中当将压降与穿透率值的自然对数相比时,具有 78% 的经调整的 R^2 系数。

[0076] 比较形成在试验编号为 1-3 的支承层上的未充电样品和电晕 + 水充电样品,以示出各个纳米纤维基重下的初始 DOP 穿透率和品质因子 QF。此外,还对覆盖 10gsm 的且仅作了电晕充电处理或既作了等离子体氟化又作了水充电处理的纳米纤维的样品进行了检测,以表明恒定纳米纤维覆盖重量下各种充电处理的效果。结果示于下表 3a。

[0077] 表 3a

[0078] 初始 DOP 穿透率和品质因子 QF

[0079]

纳米纤维重量, gsm	0	5	8	10	13
平均压降, mm H ₂ O	2.00	8.70	8.95	10.50	10.60
DOP 穿透率 (%), 不带电介质	86.0	51.1	43.9	25.7	25.9
DOP 穿透率 (%), 电晕充电介质				18.90	
DOP 穿透率 (%), 电晕 + 水充电介质	32.10	5.47	9.13	6.77	19.10
DOP 穿透率 (%), 等离子体氟化 + 水充电介质				0.45	
QF, 不带电介质	0.08	0.08	0.09	0.12	0.13
QF, 电晕充电介质				0.18	
QF, 电晕 + 水充电介质	0.57	0.32	0.27	0.23	0.16
QF, 等离子体氟化 + 水充电介质				0.53	

[0080] 如表 3a 所示,与电晕 / 水充电介质、电晕处理介质或不带电介质相比,等离子体氟化 / 水充电介质显示具有更低的穿透率和更高的品质因子 QF 值。在 10gsm 纳米纤维重量下,等离子体氟化 / 水充电介质具有 0.53 的最高品质因子 QF。

[0081] 还进行了 NaCl 堵塞测试。使用 10 厘米 / 秒的表面速度来比较形成在试验编号为

1-2 的支承层上的电晕 + 水充电样品, 以示出各个纳米纤维基重下的初始压降, 初始 NaCl 穿透率、初始品质因子 QF、最大穿透率下的压降、最大穿透率 (%) 以及最大穿透率下的物质测试 (mass challenge)。结果示于下表 3b 中:

[0082] 表 3b

[0083] 试验编号为 1-2 的支承层的 NaCl 穿透率

[0084] 和品质因子 QF, 电晕 + 水充电样品

[0085]

纳米纤维重量, gsm	0	5	25	50
初始压降, mm H ₂ O	2.3	5.6	11.1	14.6
初始 NaCl 穿透率 (%)	5.37	4.69	1.43	1.45
初始品质因子 QF	1.27	0.55	0.38	0.29
最大穿透率下的压降, mm H ₂ O	5.1	11.3	11.1	14.6
NaCl 最大穿透率 (%)	34.6	6.88	1.43	1.45
最大穿透率下的物质测试 (mg)	38.4	9.8	0	0

[0086] 比较形成在试验编号为 1-2 和 1-3 的支承层上的不带电样品、电晕充电样品、电晕 + 水充电样品以及等离子体氟化 + 水充电样品, 以示出各个纳米纤维基重下的初始压降、初始 NaCl 穿透率、初始品质因子 QF、最大穿透率下的压降、最大穿透率 (%)、以及最大穿透率下的物质测试。结果示于下表 3c 中。

[0087] 表 3C

[0088] 试验编号为 1-3 的支承层上的 NaCl 穿透率和品质因子 QF

[0089]

纳米纤维重量, gsm	0	5	8	10	13	15
初始压降, mm H ₂ O, 不带电	1.4	6.8	6.2	8.1	7.8	5.7
初始压降, mm H ₂ O, 电晕充电				7.6		
初始压降, mm H ₂ O, 电晕 + 水充电	1.4	7.3	6.2	7.3	9.5	
初始压降, mm H ₂ O, 等离子体氟化 + 水充电				7.5		
初始 NaCl 穿透率, 不带电	92.4	42	41.4	12.6	9.63	

纳米纤维重量, gsm	0	5	8	10	13	15
初始 NaCl 穿透率 (%), 电晕充电				6.46		
初始 NaCl 穿透率 (%), 电晕 + 水充电	15.3	1.2	2.59	1.41	9.41	
初始 NaCl 穿透率 (%), 等离子体氟化 + 水充电				0.074		
初始品质因子 QF, 不带电	0.06	0.13	0.14	0.26	0.30	0.12
初始品质因子 QF, 电晕充电				0.36		
初始品质因子 QF, 电晕 + 水充电	1.34	0.61	0.64	0.58	0.25	
初始品质因子 QF, 等离子体氟化 + 水充电				0.96		
最大穿透率下的压降, mm H ₂ O, 不带电	1.5	6.8	6.2	8.4	9.6	5.7
纳米纤维重量, gsm	0	5	8	10	13	15
最大穿透率下的压降, mm H ₂ O, 电晕充电				7.6		
最大穿透率下的压降, mm H ₂ O, 电晕 + 水充电	2.8	9.9	10.6	8.6	9.5	
最大穿透率下的压降, mm H ₂ O, 等离子体氟化 + 水充电				13		
NaCl 最大穿透率 (%), 不带电	94.4	42	41.4	12.8	12.3	51.6
最大 NaCl 穿透率 (%), 电晕充电				6.46		
最大 NaCl 穿透率 (%), 电晕 + 水充电	59.9	1.52	4.56	1.72	9.41	
最大 NaCl 穿透率 (%), 等离子体氟化 + 水充电				0.35		
最大穿透率下的 NaCl 物质测试 (mg), 不带电	5.8	0	0	1.4	8.7	0

纳米纤维重量, gsm	0	5	8	10	13	15
最大穿透率下的 NaCl 物质测试 (mg), 电晕充电				0		
最大穿透率下的 NaCl 物质测试 (mg), 电晕 + 水充电	43.1	8.5	14.2	4.3	0	
最大穿透率下的 NaCl 物质测试 (mg), 等离子体氟化 + 水充电				16.8		

[0090]

[0091] 图 7 示出了包含 10gsm 纳米纤维过滤层的多层介质的穿透率与添加量之关系的曲线, 并且图 8 示出了对应的压降与添加量之关系的曲线。在图 7 和图 8 中, 曲线 A 示出了不带电介质的结果, 曲线 B 示出了电晕充电介质的结果, 曲线 C 示出了电晕 + 水充电介质的结果, 曲线 D 示出了等离子体氟化 + 水充电介质的结果。这些结果表明经 $0.075\ \mu\text{m}$ 的 NaCl 颗粒测试, 初始穿透率值低的样品的最大穿透率也低, 通常对于其他介质而言, 初始和最大穿透率结果的相关性较差。而且, 四种充电方法所形成的介质的压降堵塞曲线相类似。

[0092] 对添加行为作进一步的调查, 方法是对采用纳米纤维过滤层的各种不带电和带电的多层介质样品与各种带电的纺粘驻极体纤维网样品进行比较。所有样品均由 DYPRO 3860 聚丙烯制成, 并且所有样品均被水充电。样品的基重范围为 100 至 230gsm, 并且其 EFD 范围为 8 至大约 15 微米。一些样品用驻极体充电添加剂 (0.25 至 2% 的三硬脂基三聚氰胺或 CHIMASSORB 944) 制备, 而一些样品未用此类添加剂制备。将一些样品压延以改变表面纤维网性质, 而其他样品不压延。使用的压延图案既有平滑图案又有花样图案。一些样品在水充电前还被电晕充电, 而其他样品则不被电晕充电。图 9 示出了对于覆盖在试验编号为 1-2 和 1-3 的支承纤维网上的不带电和带电多层介质样品而言, 相同测试条件下初始 NaCl 穿透率和最大穿透率值之间的比较。图 10 示出了对于纺粘驻极体而言, 相同测试条件下初始 NaCl 穿透率和最大穿透率值之间的比较。图 9 示出了包含纳米纤维的样品 (其包括两种不同的载体纤维网和数种不同的充电方法) 落在一条直线上。因此, 可以根据初始穿透结果预测含纳米纤维样品的最大 NaCl 穿透率。图 10 示出了纺粘驻极体样品具有某个数量级或许更大的分散度, 因而最大 NaCl 穿透率值不能可靠地根据初始穿透结果来预测。

[0093] 针对包含 10gsm 等离子体氟化 + 水充电纳米纤维的多层介质并针对具有相同初始压降的不带电玻璃纤维样品, 进行补充测试以比较 DOP 堵塞和压降。DOP 有时被认为是比 NaCl 更能使品质劣化的测试物。经确认, 玻璃纤维介质样品提供 90-95% 的尘埃去除率 (dust spot rating) (MERV 14), 其性质示于下表 4 中。

[0094] 表 4

[0095] 玻璃纤维介质性质

[0096]

说明	密度, g/cc	基重, gsm	厚度, mm	压降, mm H ₂ O	密实 度, %	EFD, μ m
具有 90-95% 尘埃去除率 (dust spot) 的玻璃纤维 (MERV 14)	2.5	69	0.5	11.8	5.5	

[0097] 使用平坦的圆形纤维网样品以 85 升 / 分钟的流速进行堵塞测试, 直至捕获至少 200mg 的预计 DOP 堵塞量为止。反复短暂停止并又重新开始纳米纤维测试, 得到一条收集数据的连线。两个样品均具有大约 11.8mm H₂O 的初始压降。图 11 中的曲线 A 和曲线 B 分别示出了包含纳米纤维的样品和玻璃纤维介质样品的 DOP 堵塞曲线。曲线 C 和曲线 D 分别示出了包含纳米纤维的样品和玻璃纤维介质样品的压降曲线。如图 11 所示, 包含纳米纤维的介质从约 1% 的穿透率开始, 并且逐渐升至 200mg 预计堵塞量下的 13% 的穿透率。虽然未在图 11 中示出, 但包含纳米纤维的样品在 400mg 堵塞量下可达到约 25% 的穿透率, 而且在 400mg 以上显示出虽然缓慢却一直上升的趋势。玻璃纤维样品从 52% 的穿透率开始, 并且在 200mg 的预计堵塞量之后升至 64% 的穿透率。在 200mg 以上其显示出虽然缓慢但却一直上升的趋势。对于相等的 DOP 堵塞量, 两个样品均显示出类似的压降增加。

[0098] 作了进一步的测试, 对试验编号为 1-3 的支承纤维网上的包含 10gsm 等离子体氟化 + 水充电纳米纤维的多层介质与美国专利 No. 6, 183, 670B1 (Torobin 等人, '670) 所示的优选实施例 (“专利实施例”) 进行比较。“Torobin 等人, '670”中所述的专利实施例已根据美国专利 No. 5, 401, 446 作了静电充电, 并且具有“Torobin 等人, '670”的图 9 中所示的过滤性能。如“Torobin 等人, '670”中所述, 使用 TSI 8130 自动过滤器测试机和表面速度为 5.5 厘米 / 秒的 0.075 μ m 直径的 NaCl 颗粒流来评估含纳米纤维介质。由于手头没有该专利实施例的样品, 其过滤性能根据取自“Torobin 等人, '670”的图 9 中的值来计算。所得对比结果示于下表 5 中。

[0099] 表 5

[0100] 含纳米纤维介质与

[0101] 美国专利 No. 6, 183, 670B1 的优选实施例之比较

[0102]

介质	压降, mm H ₂ O	穿透率 (%), NaCl	品质因子 QF
包含 10gsm 纳米纤维层的不带电介质	3.8	13.6	0.53
“Torobin 等人, '670”的专利实施例	4.8 ⁽¹⁾	2.3 ⁽¹⁾	0.79 ⁽²⁾
包含 10gsm 纳米纤维层的经等离子体氟化且水充电的介质	4.0	0.026	2.07

[0103] (1) 根据曲线图估算

[0104] (2) 根据估算值计算

[0105] 含纳米纤维介质提供比该专利实施例大约低两个数量级的穿透率。该专利实施例实现了比不带电样品高大约 50% 的品质因子 QF, 而含纳米纤维介质实现了比不带电样品高大约 300% 的品质因子 QF。

[0106] 将用 5、25 和 50gsm 的纳米纤维过滤层覆盖的三个本发明所公开的多层介质样品电晕充电并且水充电, 存放十六天, 然后进行测试以确定初始 NaCl 穿透率和品质因子 QF。结果示于下表 6 中:

[0107] 表 6

[0108] 电荷稳定性

[0109]

纳米纤维基重, gsm	初始压降, mm H ₂ O	穿透率 (%), NaCl	品质因子 QF
5	5.6	4.69	0.55
25	11.1	1.43	0.38
50	14.6	1.45	0.29

[0110] 这些样品保留了大量的静电电荷。纳米纤维还可以通过静电纺丝制备。然而, 根据 Tsai 等人在 2004 年 11 月 9 日至 11 日举行的第 14 届国际 TANDEC (纺织和非织造布研发中心) 非织造布研讨会上发表的 “Electrospinning Theory and Techniques” (静电纺丝理论和技术) 中的报告, 静电纺丝纤维会在几天内失去其电荷。

[0111] 实例 2

[0112] 采用实例 1 的方法, 用 DYPRO 3860 聚丙烯制备基重为 35gsm、厚度为 0.018 英寸、并且 EFD 为 20 μ m 的纺粘纤维网。通过 Nanofibers, Inc. 的 76.2cm 宽的成纤设备, 用基重为 4.6、7.0 和 27.44gsm 的聚丙烯纳米纤维覆盖所得到的支承纤维网。纳米纤维的平均纤维直径为约 0.65 μ m。所得到的多层介质样品的附加特性示于下表 7 中。压降值是用 32 升 / 分钟的流速测得的:

[0113] 表 7

[0114]

试验编号	纳米纤维基重, gsm	介质总基重, gsm	介质总厚度, mm	压降, mm H ₂ O
2-1	0	35	0.46	0.15
2-2	4.6	39.60	0.43	0.58
2-3	7.0	42.03	0.47	0.67
2-4	27.4	62.44	1.09	3.37

[0115] 可以对这些样品水充电以提供包含纳米纤维过滤层的带电多层过滤介质。使用 SEM 检查试验编号为 2-2 的纳米纤维以确定纤维尺寸的分布。结果示于以下的表 8 和表 9

中：

[0116] 表 8

[0117] 试验编号 2-2 的纤维直径的数分布

[0118]

纤维直径(μm)	计数范围
<1	
0.2-0.4	24
0.4-0.6	62
0.6-0.8	19
0.8-1.0	10
1-1.2	7
>1.2	9

[0119] 表 9

[0120] 试验编号 2-2 的纳米纤维过滤层特性

[0121]

平均尺寸, μm	0.65
标准偏差	0.43
最小尺寸, μm	0.18
最大尺寸, μm	4.04
中值尺寸, μm	0.54
模式尺寸, μm	0.49

[0122] 实例 3

[0123] 在 50.8cm 宽的熔吹线上制备基重为 55gsm、厚度为 1mm 且 EFD 为 $8.4\mu\text{m}$ 的丙烯熔吹支承纤维网。使用实例 2 的方法,用由基重为 1.8、3.0 和 7.2gsm 的 DYPRO 3860 聚丙烯制成的纳米纤维覆盖支承纤维网。该纳米纤维的平均纤维直径为约 $0.77\mu\text{m}$ 。所得到的多层介质样品的附加特性示于下表 10 中。压降值是使用 32 升 / 分钟的流速测得的：

[0124] 表 10

[0125]

试验编号	纳米纤维基重, gsm	介质总基重, gsm	介质总厚度, mm	压降, mm H ₂ O
3-1	0	55	1.02	1.42
3-2	1.8	56.78	0.98	1.86
3-3	3.0	58.00	1.05	1.9
3-4	7.2	62.22	1.09	2.05

[0126] 可以对这些样品水充电以提供包含纳米纤维过滤层的带电多层过滤介质。

[0127] 实例 4

[0128] 在 30.5cm 宽的 Rando-Webber 机器上制备气纺非织造支承纤维网。进料纤维组合物包含由 76mm 聚对苯二甲酸乙二醇酯纤维（得自 Invista）制成的 80% 的 T293（纤度为 32）和由外皮熔点为约 110℃ 的 38mm 双组分 coPET/PET 皮 / 芯型纤维（得自 Invista）制成的 20% 的 CELBOND™ T254（纤度为 12）。气纺纤维网的平均基重为 42gsm。使用实施例 2 的方法，用基重为 30、41 和 126gsm 的纳米纤维覆盖支承纤维网。该纳米纤维的平均纤维直径为约 0.60 μm。所得到的多层介质样品的附加特性示于下表 11 中。压降值是用 32 升 / 分钟的流速测得的：

[0129] 表 11

[0130]

试验编号	纳米纤维基重, gsm	介质总基重, gsm	介质总厚度, mm	压降, mm H ₂ O
4-1	30	71.60	5.18	0.25
4-2	41	82.56	3.94	4
4-3	126	167.91	6.71	9.35

[0131] 可以对这些样品水充电以提供包含纳米纤维过滤层的带电多层过滤介质。

[0132] 已描述了本发明的多个实施例。然而，应当理解，可在不脱离本发明的情况下做出多种修改。因此，其他的实施例也在后续的权利要求书范围内。

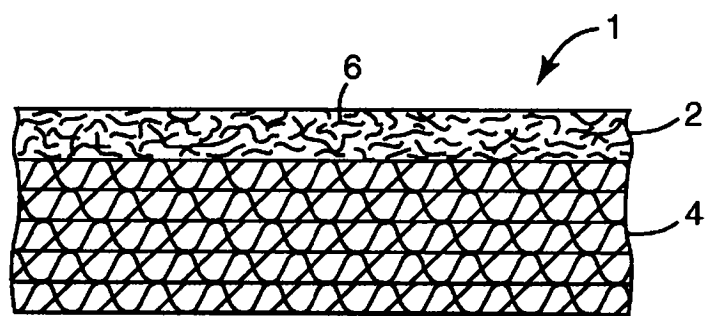


图 1a

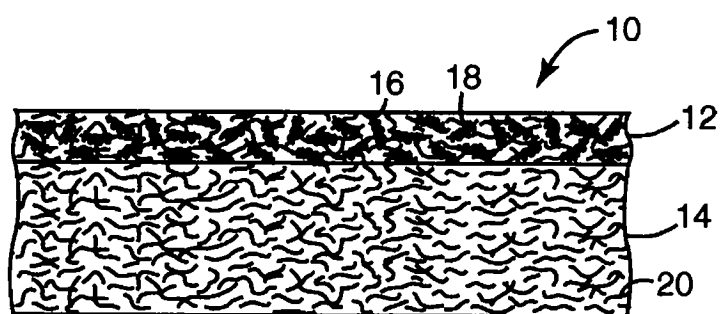


图 1b

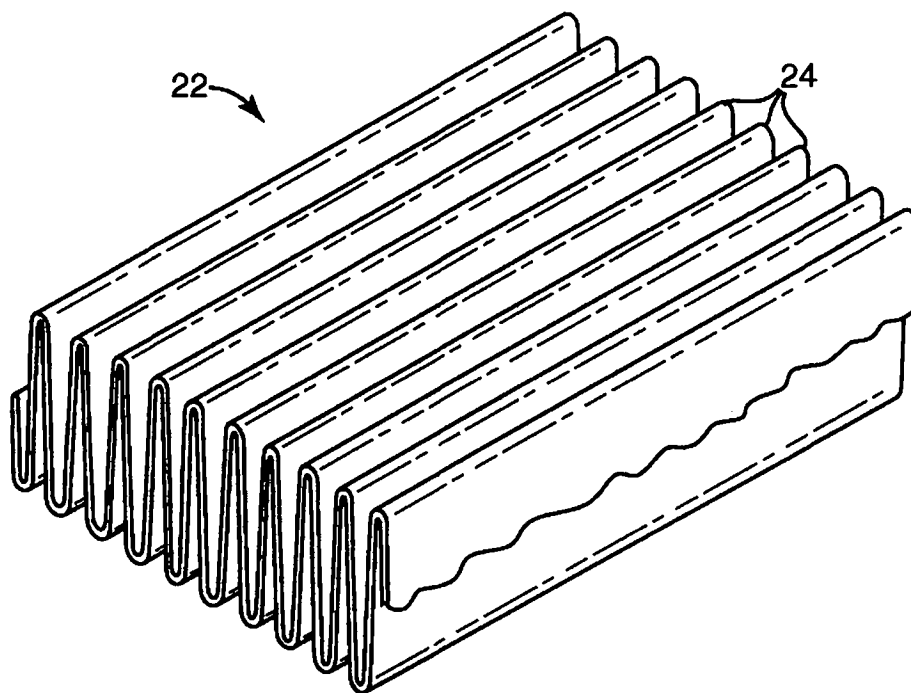


图 2a

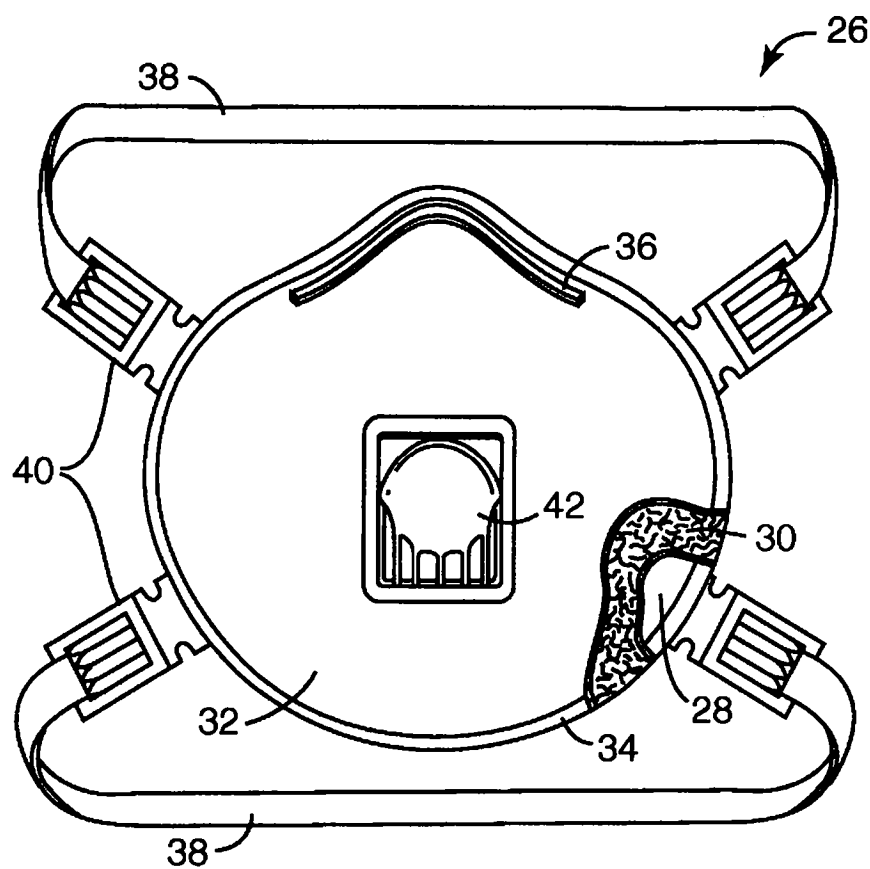


图 2b

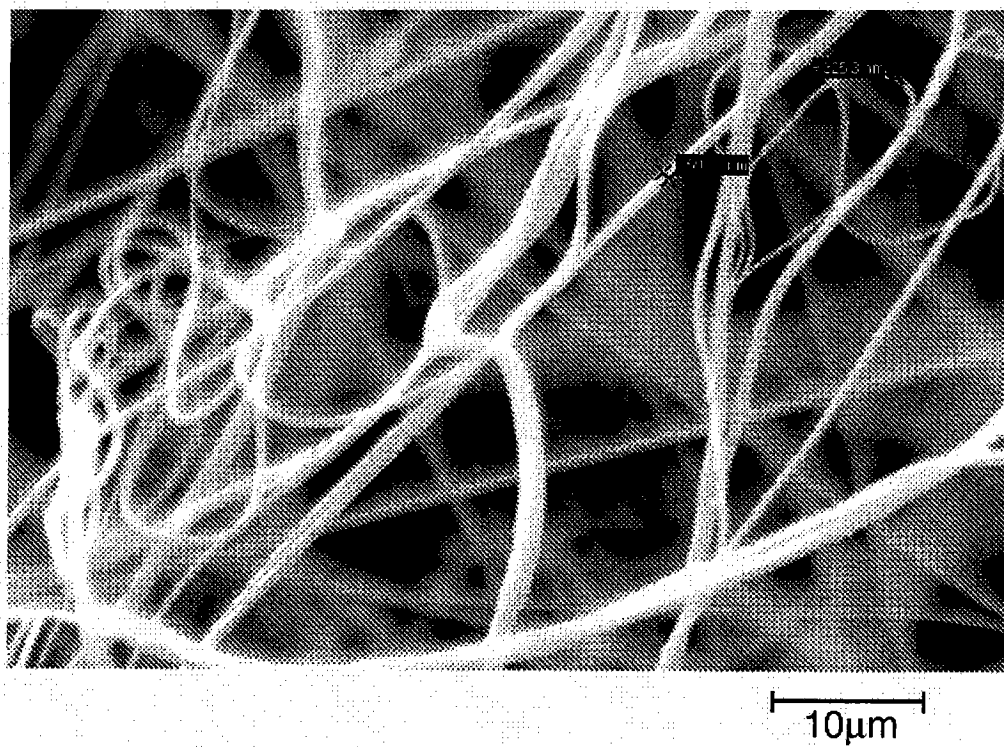


图 3a

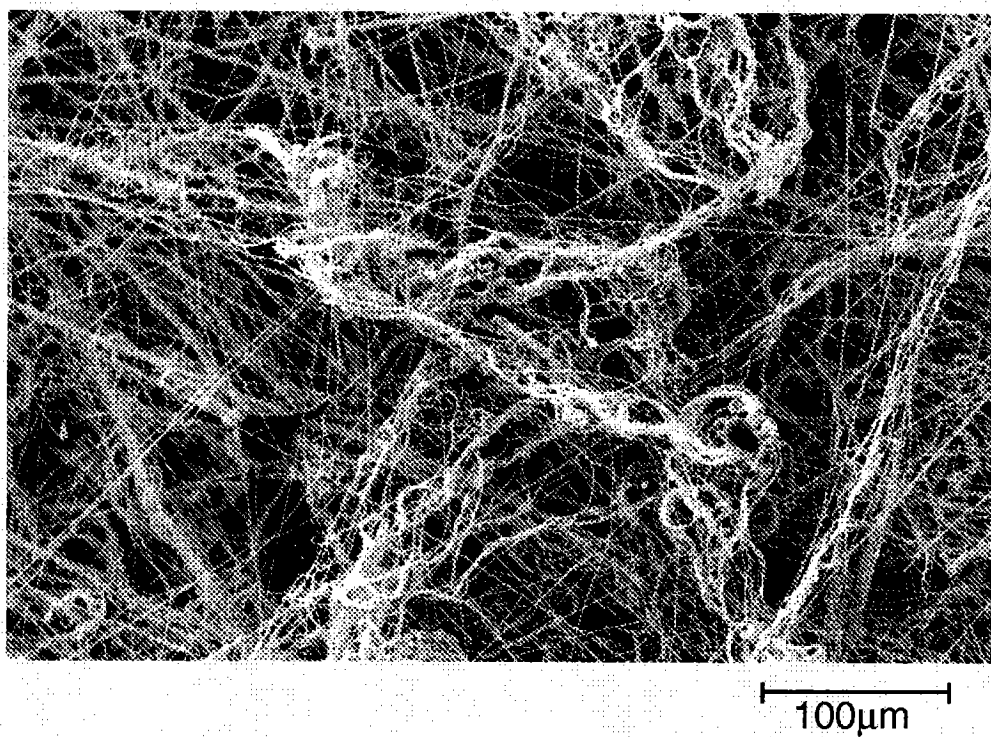


图 3b

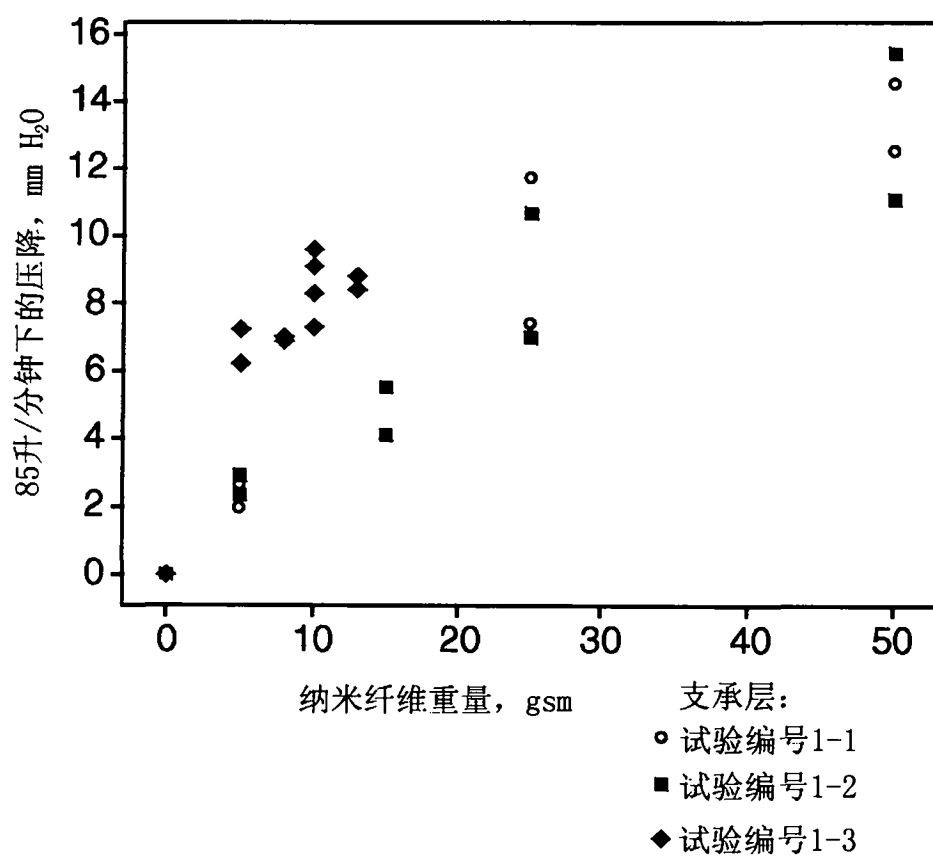


图 4

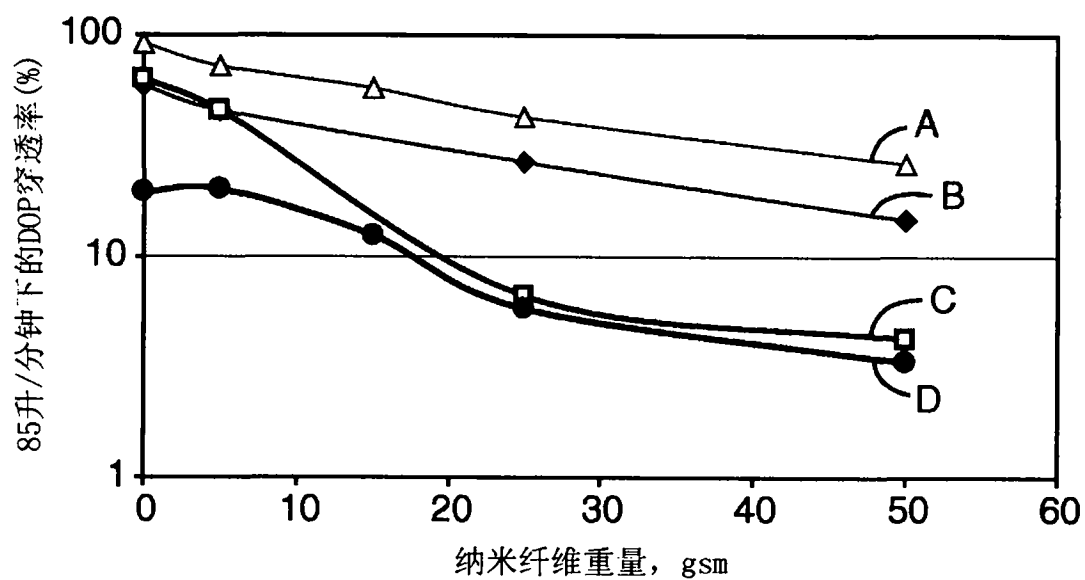


图 5

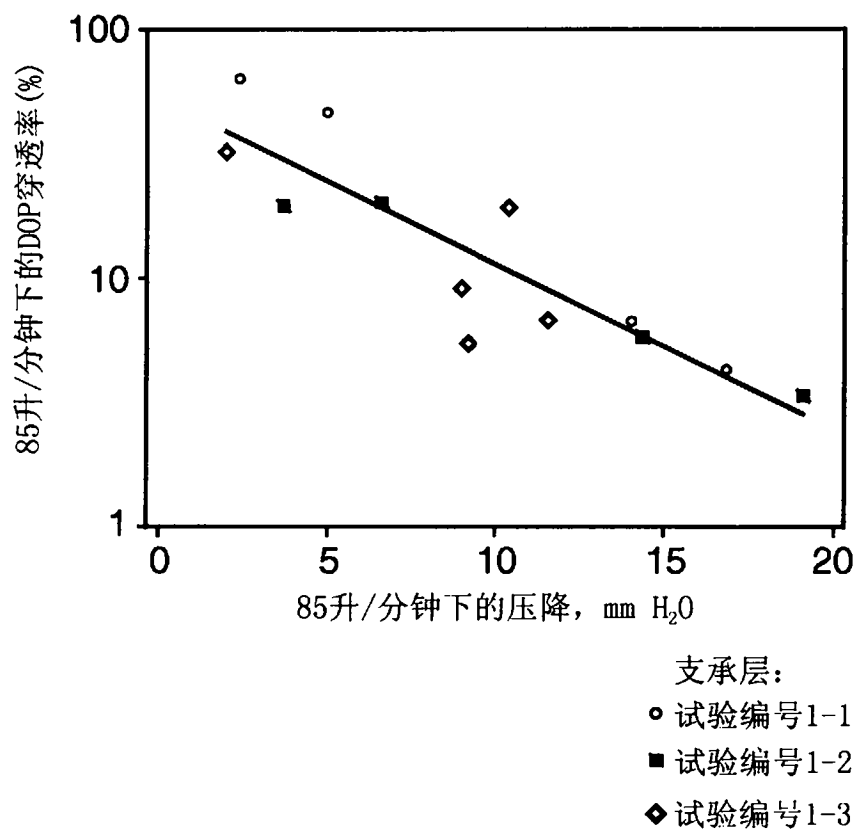


图 6

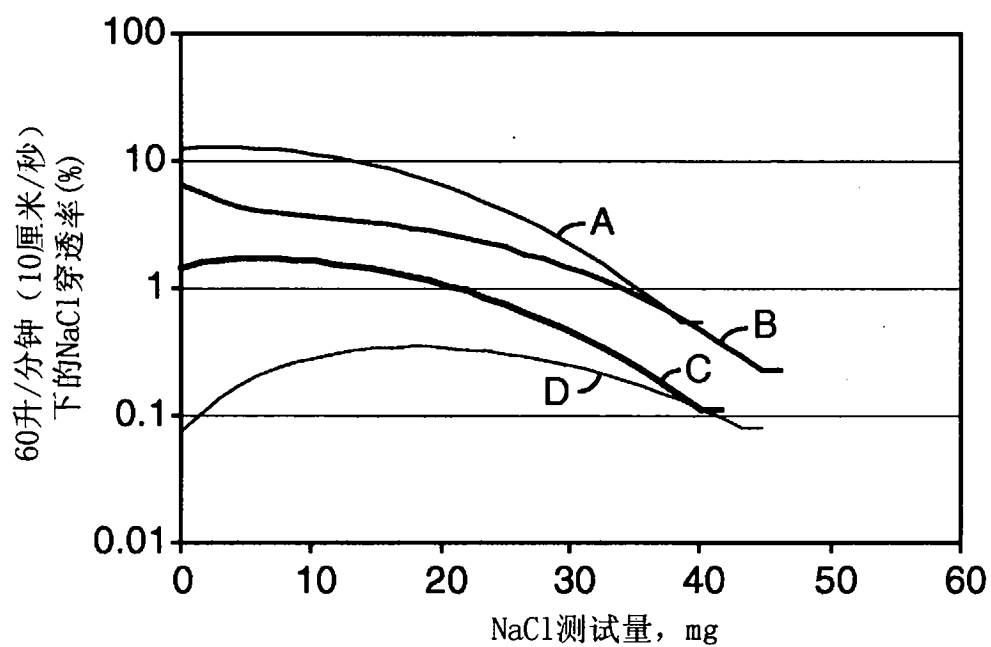


图 7

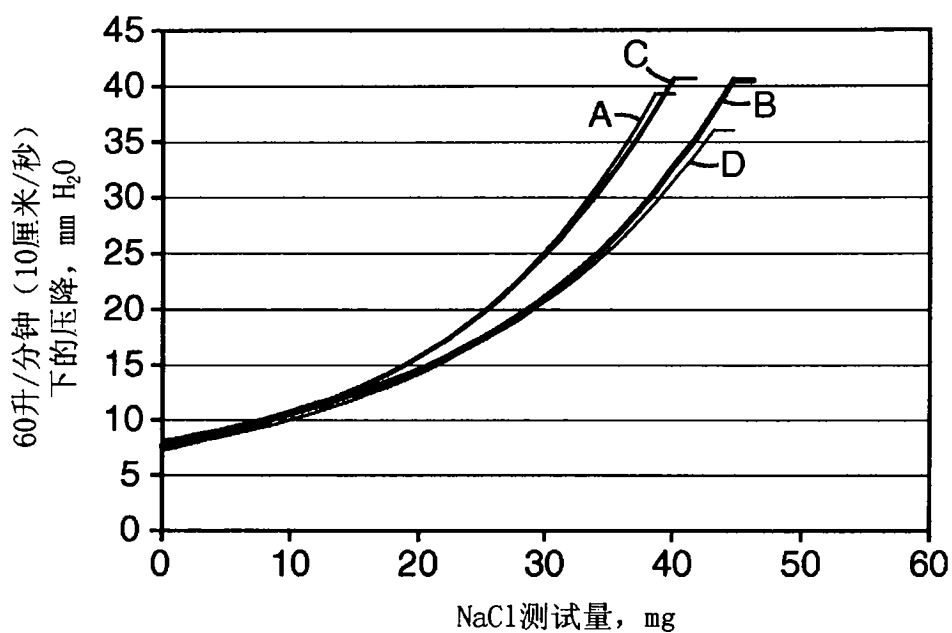


图 8

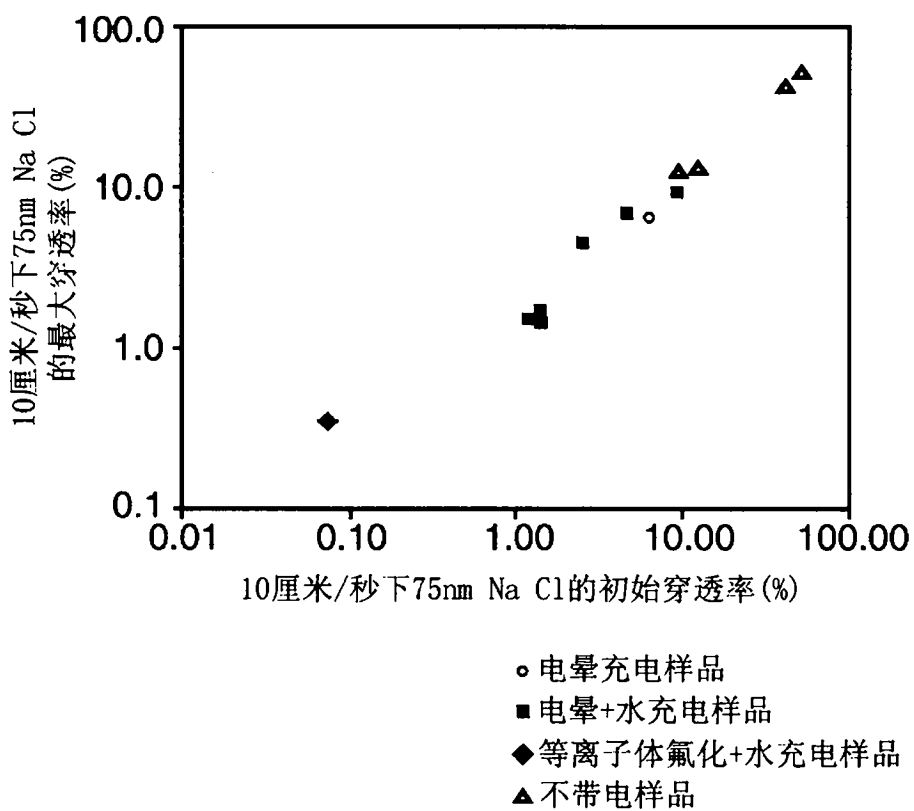


图 9

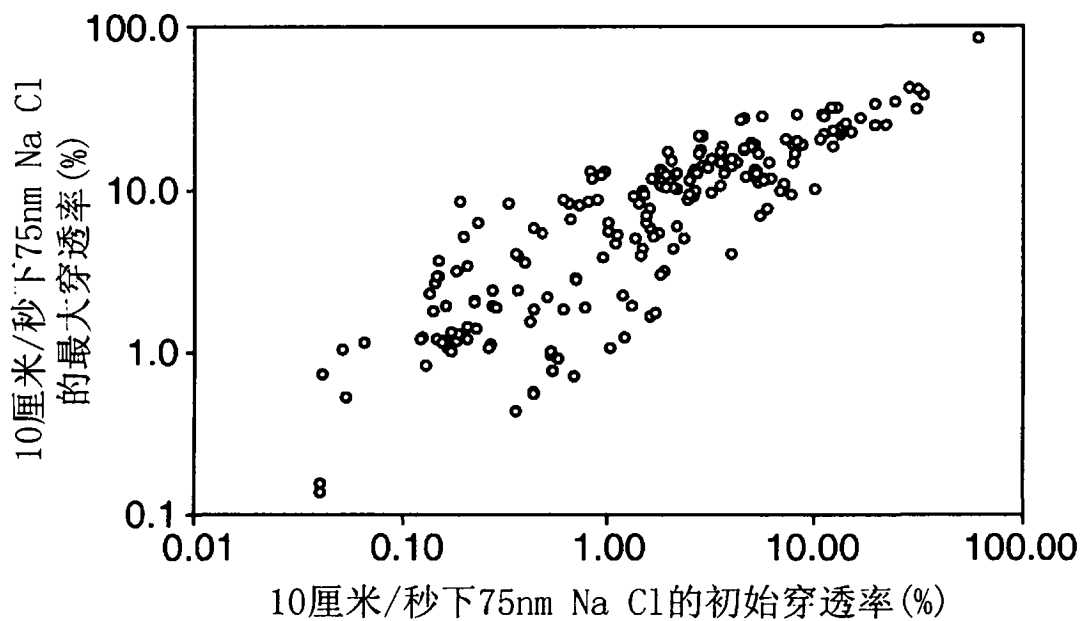


图 10

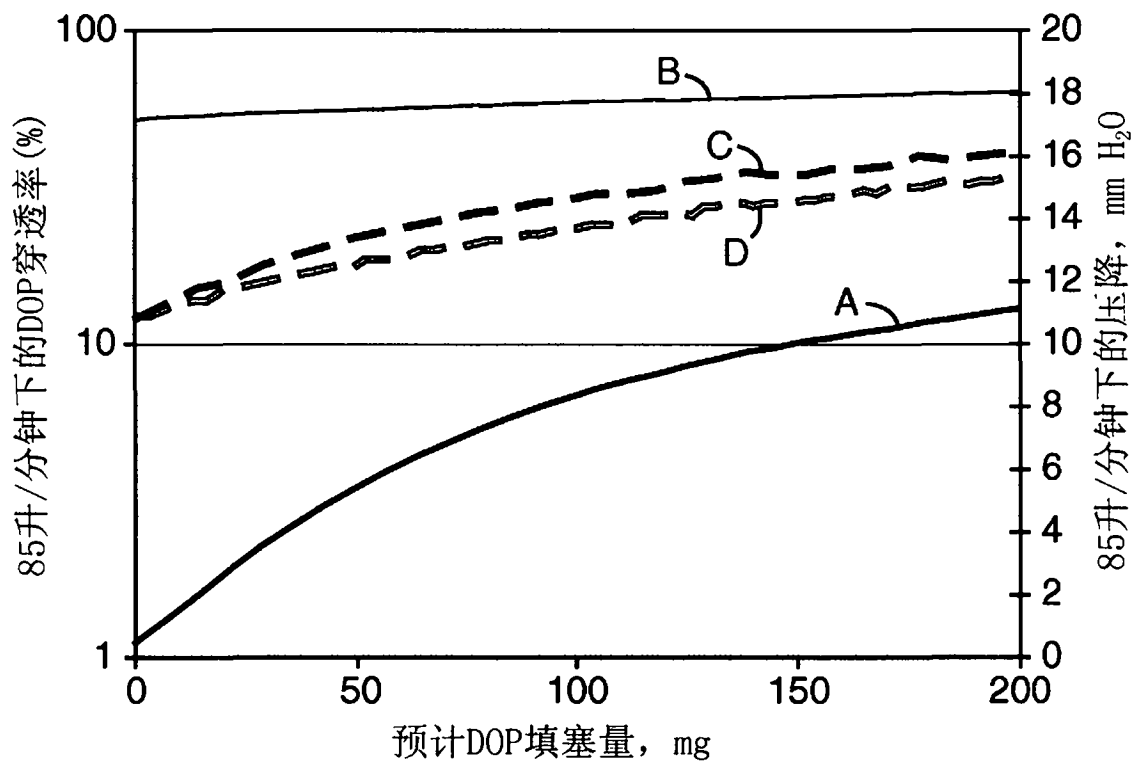


图 11