(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112263877 A
(43)申请公布日 2021.01.26

(21)申请号 202011110140.6

(22)申请日 2020.10.16

(71)申请人 浙江金海高科股份有限公司
地址 311817 浙江省绍兴市诸暨市应店街工业区

(72)发明人 丁伊可 张建青 刘朝军 张士忠 史锃瑛 方巧

(74)专利代理机构 北京汇思诚业知识产权代理有限公司 11444
代理人 周放

(51)Int.Cl.
*B01D 39/14*(2006.01)
*B01D 46/10*(2006.01)
*B01D 46/00*(2006.01)
*A41D 13/11*(2006.01)

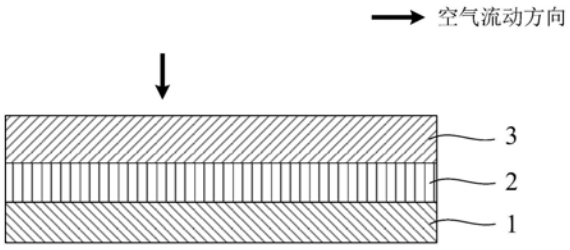
权利要求书1页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

空气过滤材料及过滤元件和应用

(57)摘要

本申请提供了一种空气过滤材料及过滤元件和应用，其中，该空气过滤材料包括依次复合而成的支撑层、纳米纤维过滤层和超细纤维滤材层；超细纤维滤材层的纤维直径范围为0.01-4μm；纳米纤维过滤层为纳米纤维膜；支撑层为纤维直径在0.05-0.16mm范围内的平织布，或纤维直径在0.1-100μm范围内的不织布，或纤维直径在0.02-4μm范围内的超细纤维布。本申请通过超细纤维滤材层、纳米纤维过滤层和支撑层的配合，可以实现较高的过滤效率、较低的过滤阻力和较高的容尘能力。




CN 112263877 A

1.一种空气过滤材料,其特征在于,包括:

依次复合而成的支撑层(1)、纳米纤维过滤层(2)和超细纤维滤材层(3);

所述超细纤维滤材层(3)的纤维直径范围为0.01-4μm;

所述支撑层(1)为纤维直径在0.05-0.16mm范围内的平织布,或纤维直径在0.1-100μm范围内的不织布,或纤维直径在0.02-4μm范围内的超细纤维布。

2.根据权利要求1所述的空气过滤材料,其特征在于,所述纳米纤维过滤层(2)为单层的纳米纤维膜或多层复合的纳米纤维膜。

3.根据权利要求2所述的空气过滤材料,其特征在于,所述纳米纤维过滤层(2)为多层复合的纳米纤维膜,所述纳米纤维过滤层(2)中位于上游的单层纳米纤维膜的孔隙率不低于位于下游的单层纳米纤维膜的孔隙率。

4.根据权利要求1所述的空气过滤材料,其特征在于,所述纳米纤维过滤层(2)的厚度为2-90μm。

5.根据权利要求1所述的空气过滤材料,其特征在于,所述超细纤维滤材层(3)的超细纤维为超细玻璃纤维或超细玻璃纤维和超细聚合物纤维的组合物。

6.根据权利要求5所述的空气过滤材料,其特征在于,超细纤维滤材层(3)为超细玻璃纤维和超细聚合物纤维的组合物,其中,所述超细玻璃纤维的组分比例不低于50wt%,所述超细聚合物纤维的组分比例不高于45wt%。

7.根据权利要求1所述的空气过滤材料,其特征在于,所述超细纤维滤材层(3)为单层或多层,所述超细纤维滤材层(3)中靠近所述纳米纤维过滤层(2)位置处的纤维填充率不低于远离所述纳米纤维过滤层(2)位置处的纤维填充率。

8.根据权利要求1所述的空气过滤材料,其特征在于,所述超细纤维滤材层(3)的厚度范围为0.06-0.4mm。

9.一种过滤元件,其特征在于,包括权利要求1-8任一项所述的空气过滤材料。

10.一种空气过滤材料的应用,其特征在于,所述空气过滤材料应用于口罩、过滤器、空气净化设备或空调中。

# 空气过滤材料及过滤元件和应用

## 技术领域

[0001] 本申请涉及空气过滤技术领域，尤其涉及一种空气过滤材料及过滤元件和应用。

## 背景技术

[0002] 近年来，随着全球工业化和城市化的加速推进，人类生产和生活中向大自然排放的大量有毒有害物质已远远超过了其自净能力，引起日益严峻的全球环境污染。其中，空气污染作为对人类生产和生活影响最为直接的一种而受到高度关注。空气污染以PM2.5污染对人类健康的威胁最大、最具代表性，它不仅是导致我国频繁出现持续雾霾天气的真凶，而且还极易被吸入人体进入支气管、肺泡和血液中而诱发哮喘、肺癌及各种心血管疾病如高血压、心力衰竭和心肌梗塞等，同时，还会导致现代精密制造业如大规模集成电路等产品的不良率升高。因此，如何有效降低空气污染尤其是PM2.5污染对人类生产和生活的影响已成为一项世界性的重大课题。

[0003] 20世纪50年代初，美国海军研究室首次采用细度小于2μm的超细玻璃纤维在长网造纸机上抄纸成功，开启了制备100％超细玻璃纤维滤材的先河，并发现与植物纤维和合成聚合物纤维滤材相比，超细玻璃纤维滤材具有极好的过滤效率和较低的过滤阻力，且具有耐热、耐湿、防霉、抗腐蚀等优良性能，基于此，超细玻璃纤维滤材迅速在世界范围内得到大量推广，直至今日，超细玻璃纤维滤材在高效空气过滤领域仍占据重要地位。然而，由于超细玻璃纤维在使用过程中存在的高阻力等问题使设备能耗和噪音较高，这极大限制了超细玻璃纤维滤材的进一步发展，迫切需要开发一种新型的高效空气过滤材料。

[0004] 纳米纤维过滤介质具有比表面积大、分离精度高等显著优势，而且，由于单纤维附近的空气流动行为因其纳米尺寸效应而发生显著改变，使空气流在纤维表面发生明显的滑移效应而有效降低空气过滤的阻力。基于此，科研人员对纳米纤维空气过滤介质的生产工艺开展了大量研究，其中，以PTFE纳米纤维拉伸膜和静电纺丝纳米纤维膜的发展最为迅速并被公认为是最有可能取代超细玻璃纤维滤材的新型空气过滤材料。与超细玻璃纤维滤材相比，PTFE纳米纤维拉伸膜和静电纺丝纳米纤维膜具有以下显著优势：过滤效率可达到甚至超过超细玻璃纤维滤材；过滤阻力仅为超细玻璃纤维滤材的30-50％。但唯一不足的是，纳米纤维过滤介质的表面过滤机制使滤材的容尘能力普遍较低。

[0005] 授权号为CN106984201B的专利公开了一种纳米蛛网/串珠纤维复合空气过滤膜的制备方法，他通过自下而上设置纳米蛛网层、串珠纤维层和纳米蛛网覆盖层，使复合滤材形成一定的过滤梯度，达到改善滤材容尘能力的效果。但通过静电纺丝制备具有纳米蛛网和串珠结构的纳米纤维膜的工艺稳定性较差，蛛网覆盖率和串珠结构的调控效率仍然较低，其推广应用仍存在许多问题有待解决。

[0006] 申请号为201380020584.2的专利公开了一种高容尘PTFE纳米纤维拉伸膜的制备方法。他通过在能够纤维化的PTFE粉末中加入两种不发生纤维化的组分，即非热熔融组分和熔点小于320℃的热熔融组分，促使拉伸制备过程中多孔PTFE膜在厚度方向上形成结点部，调控PTFE膜中纳米纤维之间的堆积密度，制得较厚的PTFE多孔过滤膜，据称该方法制得

的PTFE膜可达到超细玻纤滤材同等的容尘能力。但这种方法存在的缺点是：原料体系复杂，对膜的拉伸工艺有较高要求，极易导致膜制备过程出现性能缺陷。

[0007] 授权号为CN206103594U的专利通过在PTFE纳米纤维拉伸膜上游复合厚度0.1-0.3mm并带有静电的涤纶或丙纶无纺布作为粗滤过滤层，以此改善PTFE过滤膜的容尘能力。但静电涤纶或丙纶无纺布的过滤效率和容尘能力受空气中颗粒物性质的影响较大，当颗粒物介电常数较大时，会导致过滤效率和容尘能力的快速衰减，因此，这种方法对滤材容尘能力的提升非常有限。

[0008] 授权号为CN208642034U的专利通过在PTFE纳米纤维拉伸膜上游复合第一无纺布和第二无纺布，并在第一无纺布和第二无纺布之间增设聚丙烯熔喷层，以此构造深度过滤层，达到提高滤材容尘能力的目的。但聚丙烯熔喷层的引入使复合材料的总厚度增加，限制了由其制备的空气过滤元件的有效过滤面积，且无纺布和聚丙烯熔喷层的过滤效率和容尘能力相对较低，无法有效提高PTFE纳米纤维拉伸膜的容尘能力。

## 发明内容

[0009] 本申请的目的在于提供一种空气过滤材料及过滤元件和应用，以解决上述现有技术中的问题，实现较高的过滤效率、较低的过滤阻力和较高的容尘能力。

[0010] 本申请提供了一种空气过滤材料，其中，包括：

[0011] 依次复合而成的支撑层、纳米纤维过滤层和超细纤维滤材层；

[0012] 所述超细纤维滤材层的纤维直径范围为0.01-4μm；

[0013] 所述支撑层为纤维直径在0.05-0.16mm范围内的平织布，或纤维直径在0.1-100μm范围内的不织布，或纤维直径在0.02-4μm范围内的超细纤维布。

[0014] 在一种具体的实现方式中，所述纳米纤维过滤层为单层的纳米纤维膜或多层复合的纳米纤维膜。

[0015] 在一种具体的实现方式中，所述纳米纤维过滤层为多层复合的纳米纤维膜，所述纳米纤维过滤层中位于上游的单层纳米纤维膜的孔隙率不低于位于下游的单层纳米纤维膜的孔隙率。

[0016] 在一种具体的实现方式中，所述纳米纤维过滤层的厚度为2-90μm。

[0017] 在一种具体的实现方式中，所述超细纤维滤材层的超细纤维为超细玻璃纤维或超细玻璃纤维和超细聚合物纤维的组合物。

[0018] 在一种具体的实现方式中，超细纤维滤材层为超细玻璃纤维和超细聚合物纤维的组合物，其中，所述超细玻璃纤维的组分比例不低于50wt％，所述超细聚合物纤维的组分比例不高于45wt％。

[0019] 在一种具体的实现方式中，所述超细纤维滤材层为单层或多层，所述超细纤维滤材层中靠近所述纳米纤维过滤层位置处的纤维填充率不低于远离所述纳米纤维过滤层位置处的纤维填充率。

[0020] 在一种具体的实现方式中，所述超细纤维滤材层的厚度范围为0.06-0.4mm。

[0021] 本申请还提供了一种过滤元件，其中，包括本申请提供的空气过滤材料。

[0022] 本申请还提供了一种空气过滤材料的应用，其中，所述空气过滤材料应用于口罩、过滤器、空气净化设备或空调中。

[0023] 本申请提供的技术方案可以达到以下有益效果：

[0024] 本申请提供的空气过滤材料及过滤元件和应用，可以通过超细纤维滤材层过滤绝大部分较大尺寸的超细颗粒物，以及部分较小尺寸的超细颗粒物，以控制通过纳米纤维过滤层的超细颗粒物的尺寸和浓度，使该空气过滤材料在具有高效低阻的同时，还可以具有较高的容尘能力。而纳米纤维过滤层可以吸附小尺寸的超细颗粒物，由于空气流中极细颗粒物可降低对纳米纤维过滤层的孔的堵塞，达到纳米纤维过滤层在厚度方向上过滤的效果，从而有效延缓纳米纤维过滤层表面粉尘滤饼层的形成，提高了该空气过滤材料的容尘能力。

[0025] 应当理解的是，以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性的，并不能限制本申请。

## 附图说明

[0026] 图1为本申请提供的空气过滤材料的结构示意图；

[0027] 图2为超细纤维滤材层的纤维直径分布图；

[0028] 图3为纳米纤维过滤层的纤维直径分布图；

[0029] 图4为本申请提供的空气过滤材料分别与美国某公司生产的超细玻纤滤材和日本某公司生产的PTFE双向拉伸膜滤材的容尘性能对比图。

[0030] 附图标记：

[0031] 1-支撑层；

[0032] 2-纳米纤维过滤层；

[0033] 3-超细纤维滤材层。

[0034] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分，示出了符合本申请的实施例，并与说明书一起用于解释本申请的原理。

## 具体实施方式

[0035] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

[0036] 在本申请的描述中，除非另有明确的规定和限定，术语“第一”、“第二”仅用于描述的目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性；除非另有规定或说明，术语“多个”是指两个或两个以上；术语“连接”、“固定”等均应做广义理解，例如，“连接”可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接，或电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

[0037] 本说明书的描述中，需要理解的是，本申请实施例所描述的“上”、“下”等方位词是以附图所示的角度来进行描述的，不应理解为对本申请实施例的限定。此外，在上下文中，还需要理解的是，当提到一个元件连接在另一个元件“上”或者“下”时，其不仅能够直接连接在另一个元件“上”或者“下”，也可以通过中间元件间接连接在另一个元件“上”或者“下”。

[0038] 如图1至图4所示，本申请实施例提供了一种空气过滤材料，其包括依次复合而成的支撑层1、纳米纤维过滤层2和超细纤维滤材层3；超细纤维滤材层3的纤维直径范围为0.01-4μm；纳米纤维过滤层2为单层或多层复合的纳米纤维膜；支撑层1为纤维直径在0.05-0.16mm范围内的平织布，或纤维直径在0.1-100μm范围内的不织布，或纤维直径在0.02-4μm范围内的超细纤维布。

[0039] 如图1所示，支撑层1位于最下游层，超细纤维滤材层3为最上游层，纳米纤维过滤层2位于复合在支撑层1和超细纤维滤材层3之间。在该空气过滤材料在使用过程中，超细纤维滤材层3为最先接触空气的一层，然后空气流再依次通过纳米纤维过滤层2和支撑层1。本实施例中，支撑层1和超细纤维滤材层3可以使过滤材料形成梯度结构，提供部分效率和容尘能力，实现复合滤材的高效低阻化，同时可以保护复合在中间位置处的纳米纤维过滤层2。同时，该支撑层1和超细纤维滤材层3可以避免滤芯和空气过滤元件在制备过程中对纳米纤维过滤层2造成的损伤，赋予了纳米纤维过滤层2的高强度和高硬挺度。

[0040] 此外，超细纤维滤材层3主要作为容尘提供层，其可以过滤绝大部分较大尺寸的超细颗粒物，以及部分较小尺寸的超细颗粒物，以控制通过纳米纤维过滤层2的超细颗粒物的尺寸和浓度，使该空气过滤材料在具有高效低阻的同时，还可以具有较高的容尘能力。

[0041] 可以理解的是，该纳米纤维过滤层2主要为纳米纤维膜，即该纳米纤维过滤层2为纳米纤维膜层，该纳米纤维过滤层2设置在支撑层1的上游和超细纤维滤材层3的下游，该纳米纤维过滤层2是一个极薄的过滤层，其微观结构是呈现无规则杂乱排列的纳米级纤维。与超细纤维滤材层3相比，该纳米纤维过滤层2用于颗粒物的过滤，其优势有：该纳米纤维过滤层2极薄；纳米纤维过滤层2的纤维平均直径比超细纤维滤材层3的平均直径低一个数量级，如图2和图3所示，可使纳米纤维过滤层2对微细颗粒物的吸附力即范德华力增强，从而提高纳米纤维膜层对微细颗粒物的捕捉效率；同时，纳米级的纤维使空气流在其表面具有明显的滑移效应而有效降低纳米纤维过滤层2对空气流的过滤阻力。

[0042] 此外，该纳米纤维过滤层2在该空气过滤材料中的主要功能为基于布朗扩散效应过滤空气中的极细颗粒物，在本申请中，大尺寸的超细颗粒物经过超细纤维滤材层3的过滤后被大部分去除，小尺寸的超细颗粒物经过纳米纤维过滤层2时被纳米纤维所吸附，这种吸附力来自于范德华力。相对较大尺寸的颗粒物，空气流中极细颗粒物可降低对纳米纤维过滤层2的孔的堵塞，达到纳米纤维过滤层2在厚度方向上过滤的效果，有效延缓纳米纤维过滤层2表面粉尘滤饼层的形成，提高了该空气过滤材料的容尘能力。

[0043] 具体地，支撑层1可以是具有极好空气通透性的平织布或不织布，也可以是超细纤维布。

[0044] 当支撑层1为平织布时，平织布的纤维是聚合物长丝，该聚合物长丝的直径范围为0.05-0.16mm，优选为0.05-0.12mm，具体可以是0.06mm、0.07mm、0.08mm、0.09mm、0.10mm或0.11mm。该聚合物长丝可以是核壳复合结构，也可以是非核壳的单组分结构。本实施例中，聚合物长丝优选为核壳复合结构，其壳层聚合物可以是聚乙烯、聚丙烯、低熔点聚酯等，其核层聚合物可以是聚丙烯、聚酰胺、聚酯、聚偏氟乙烯等。该核壳复合结构的聚合物长丝可以通过环保的热复合工艺对上述纳米纤维过滤层2和支撑层1进行复合，并能够最大限度地降低复合滤材的过滤阻力。

[0045] 当支撑层1为不织布时，不织布可以是纺粘不织布、湿法不织布、热轧不织布、水刺

不织布的任意一种。不织布的纤维直径是0.1-100μm，其纤维可以是短纤维，也可以是聚合物长丝，短纤维和聚合物长丝可以是常规单组分纤维，也可以是包含壳层聚合物和核层聚合物的具有核壳复合结构的双组分纤维，还可以是上述单组分纤维与双组分纤维以任意比例混合的组合物。

[0046] 当支撑层1为超细纤维布时，超细纤维布的纤维直径分布范围是0.02-4μm。其中，支撑层1可以为湿法超细纤维滤纸，如湿法超细玻璃纤维纸，也可以为湿法水刺超细纤维不织布。其中，超细纤维的直径的测试可以采用扫描电子显微镜在1000-6000倍的放大倍数下对滤纸的表面进行观察，之后可以通过软件测量得到。

[0047] 作为一种具体的实现方式，为了提升空气过滤元件的总有效过滤面积，支撑层1的厚度可以是0.06-0.25mm，优选为0.08-0.15mm。

[0048] 作为一种具体的实现方式，支撑层1的单位面积重量是2-50g/$m^2$，优选为2-30g/$m^2$。

[0049] 作为一种具体的实现方式，支撑层1在基于有效面积100$cm^2$、气体流量32L/min的测试条件下，对0.3μmDEHS气溶胶的过滤效率不高于90.0％。

[0050] 此外，如图2所示，超细纤维滤材层3的纤维直径分布范围为0.01-4μm，也就是说，超细纤维滤材层3的最小纤维直径为0.01μm，最大纤维直径为4μm，超细纤维滤材层3中的纤维的直径并不完全相同，纤维直径可以为0.01-4μm范围内的任意值。其中，超细纤维滤材层3中的超细纤维的数量中值直径在0.08-0.7μm之间，即处于0.08-0.7μm直径范围的超细纤维分布最多，而且，超细纤维滤材层3中纤维直径在0.01-0.1μm之间的超细纤维数量占比不低于10％，纤维直径在1.2-4μm之间的超细纤维数量占比不超过18％，以保证滤材低阻高效和高容尘性。

[0051] 需要说明的是，超细纤维滤材层3是作为滤材部分过滤效率和容尘的提供层，为降低超细纤维滤材层3的过滤阻力，超细纤维的纤维直径分布是多分散的，以调控超细纤维之间的纤维填充密度，并控制超细纤维滤材层3对大尺寸超细颗粒物过滤效率、过滤阻力和容尘能力。

[0052] 超细纤维滤材层3的纤维的平均直径可以为0.4-2.5μm。其中，纤维直径分布和纤维平均直径的测试可采用扫描电子显微镜在1000-6000倍的放大倍数下任选一定数量的纤维，并通过软件进行测量然后取平均值即可。

[0053] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3的厚度可以为0.06-0.4mm，优选0.08-0.25mm。

[0054] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3的克重可以为5-50g/$m^2$，优选10-40g/$m^2$。

[0055] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3在有效面积100$cm^2$、气体流量32L/min的条件下对0.3μm的DEHS气溶胶具有至少95.0％的过滤效率。

[0056] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3在有效面积100$cm^2$、气体流量32L/min的条件下过滤阻力为10-200Pa。

[0057] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3在有效面积100$cm^2$、气体流量32L/min、终阻力为600Pa的条件下对质量中值直径0.26μm的NaCl多分散气溶胶具有0.5-4.6g/$m^2$的容尘能力。

[0058] 由此，本申请提供的空气过滤材料中的超细纤维滤材层3在一般条件下，如在有效

面积100cm$^2$、气体流量32L/min、终阻力为600Pa的条件下，具有较低的过滤阻力，以及较高的过滤效率和容尘能力。

[0059] 作为一种具体的实现方式，纳米纤维过滤层2为单层的纳米纤维膜或多层复合的纳米纤维膜。

[0060] 该纳米纤维膜可以为高度双向拉伸的PTFE纳米纤维膜，也可以是基于静电纺丝法制备的纳米纤维膜，也可以是碳纳米管膜。

[0061] 作为一种具体的实现方式，纳米纤维过滤层2为多层复合的纳米纤维膜，纳米纤维过滤层2中位于上游的单层纳米纤维膜的孔隙率不低于位于下游的单层纳米纤维膜的孔隙率。

[0062] 需要说明的是，位于上游的单层纳米纤维膜是指纳米纤维过滤层2中远离支撑层1的纳米纤维膜层，位于下游的单层纳米纤维膜是指纳米纤维过滤层2中靠近支撑层1的纳米纤维膜层。

[0063] 具体地，在纳米纤维过滤层2的厚度方向上，各层纳米纤维膜之间可以形成孔隙率梯度，从而可以纳米纤维膜多级结构，提升其容尘能力。其中，如果上游纳米纤维膜的孔隙率越大、材料越疏松，阻力越小；反之如果上游纳米纤维膜的孔隙率小，则会导致过滤阻力的增大。

[0064] 其中，位于最下游的单层纳米纤维膜的孔隙率为75％-96％，当然，由多层纳米纤维膜复合形成的纳米纤维过滤层2的孔隙率可以为75％-96％。该最下游的单层纳米纤维膜为直接复合在支撑层1上的一层纳米纤维膜。

[0065] 纳米纤维过滤层2的孔隙率可以采用如下方法测试：

[0066] 取一定面积的纳米纤维过滤层2精确称取其质量$m_1$和体积V，然后将纳米纤维过滤层2完全浸入无水乙醇中12h，再超声振荡2h，之后将膜表面的乙醇液滴迅速用吸水滤纸去除，快速精确称取此时纳米纤维过滤层2的质量$m_2$，纳米纤维过滤层2的孔隙率通过下式求得：

[0067] $$\varepsilon=\frac{m_2-m_1}{\rho V}\times 100\%$$

[0068] 式中，ε为孔隙率，％；ρ为乙醇的密度，g/cm$^3$。

[0069] 作为一种具体的实现方式，纳米纤维过滤层2的厚度可以为2-90μm。其中，纳米纤维过滤层2的厚度测试可以采用扫描电子显微镜在1000-4000倍的放大倍数下对膜的断面进行观察，之后可以通过软件测量得到。

[0070] 作为一种具体的实现方式，纳米纤维过滤层2在有效面积100cm$^2$、气体流量32L/min的条件下过滤阻力是30-210Pa。纳米纤维过滤层2的过滤阻力测试可通过如下方法进行：在纳米纤维过滤层2下游添加零过滤阻力的平织布或不织布作为支撑层1，然后采用TSI3160或TSI8130在有效面积100cm$^2$、气体流量32L/min的条件下测试过滤阻力。

[0071] 作为一种具体的实现方式，纳米纤维过滤层2在有效面积100cm$^2$、气体流量32L/min的条件下，过滤效率是85-99.999％。纳米纤维过滤层2的过滤效率测试可通过如下方法进行：在纳米纤维过滤层2下游添加零过滤效率的支撑层1，如平织布或不织布，然后采用TSI3160或TSI8130使用DEHS或DOP多分散气溶胶在滤速5.3cm/s下测试过滤效率，也可以采用TSI8130使用质量中值直径0.26μm的DEHS或DOP多分散气溶胶作为等效的测试方法。

[0072] 作为一种具体的实现方式，纳米纤维过滤层2在有效面积100cm$^2$、气体流量32L/min、终阻力为600Pa时对质量中值直径为0.26μm的NaCl多分散气溶胶具有0.9-3.2g/m$^2$的容尘能力。纳米纤维过滤层2的容尘能力测试可通过以下方法测得：在纳米纤维过滤层2下游添加零过滤效率和零过滤阻力的支撑层1，如平织布或不织布，然后采用TSI8130使用加载测试的方法测定纳米纤维过滤层2在终阻力600Pa时对质量中值直径0.26μmNaCl多分散气溶胶的容尘能力。

[0073] 由此，本申请提供的空气过滤材料中的纳米纤维膜的过滤层，可以在常规条件下，如在有效面积100cm$^2$、气体流量32L/min的条件下，终阻力600Pa时，可以具有较低的过滤阻力、较高的过滤效率和容尘能力。

[0074] 作为一种具体的实现方式，纳米纤维过滤层2的平均孔径可以为0.9-4.6μm，最大孔径可以为2.6-12μm。

[0075] 其中，当纳米纤维过滤层2的孔径过小时，其对颗粒物的过滤以拦截效应为主，会导致颗粒物在滤材表面的快速富集，降低滤材的容尘能力。限制孔径在0.9-4.6μm，可以使滤材对颗粒物的过滤由拦截效应向扩散效应转变，提升容尘能力。

[0076] 需要说明的是，纳米纤维过滤层2和支撑层1之间的粘结固定可以采用热压复合，也可以是粘合剂复合。当选用热压复合时，组成支撑层1的短纤维或长丝可以是具有核壳结构的复合纤维，或单组分纤维与具有核壳复合结构的双组分纤维以任意比例混合的组合物。当选用粘合剂复合时，组成支撑层1的短纤维或长丝可以是单组分纤维，或具有核壳结构的复合纤维，或单组分纤维与具有核壳结构复合纤维以任意比例混合的组合物的任意一种。

[0077] 其中，所用粘合剂可以是热熔胶、水溶型粘合剂、溶剂型粘合剂的任意一种。具体可以为亚敏性热熔胶，水溶性丙烯酸粘合剂，氯丁橡胶等。基于粘结强度和对风阻的影响等角度综合考虑，粘合剂涂敷量可以是1-8g/m$^2$，优选1-4g/m$^2$。

[0078] 进一步，支撑层1与纳米纤维过滤层2的组合体与超细纤维滤材层3之间可以采用粘合剂复合，所用粘合剂可以是热熔胶、水溶型粘合剂、溶剂型粘合剂的任意一种。本实施例中，优选采用水溶性丙烯酸粘合剂。

[0079] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3的超细纤维可以为超细玻璃纤维或超细玻璃纤维和超细聚合物纤维的组合物。

[0080] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3为超细玻璃纤维和超细聚合物纤维的组合物，其中，超细玻璃纤维的组分比例不低于50wt％，超细聚合物纤维的组分比例不高于45wt％。

[0081] 相较于超细玻璃纤维，超细聚合物纤维具有纤维形态，且直径的可控性高，如可以制备表面有截面形状为三角形、矩形等形状的凸起结构的超细纤维，利用超细聚合物纤维的这种优势来调节超细玻璃纤维的堆积密度，进一步实现超细纤维滤材层3的低阻力、高效率，同时还可以改善玻璃纤维滤材韧性差、强度低的不足。

[0082] 作为一种具体的实现方式，超细纤维滤材层3可以为单层或多层，超细纤维滤材层3中靠近纳米纤维过滤层2位置处的纤维填充率不低于远离纳米纤维过滤层2位置处的纤维填充率。

[0083] 其中，在一种具体的实施例中，超细纤维滤材层3为单层时，单层的超细纤维滤材

层3在厚度方向可以具有相同的纤维填充率，该纤维填充率可以通过下式获得：

[0084] $$\alpha=\frac{m}{\rho\cdot d}$$

[0085] 式中，α为纤维填充率；m为滤材单位面积重量，g/m$^2$；ρ为纤维的密度，g/m$^3$；d为单层滤材的厚度，m。

[0086] 在另一种具体的实施例中，超细纤维滤材层3为单层时，单层的超细纤维滤材层3在厚度方向上自靠近纳米纤维过滤层2的任意位置处到远离纳米纤维过滤层2的任意位置处具有线性降低的纤维填充率。

[0087] 在第三中具体的实施例中，超细纤维滤材层3为多层，多层的超细纤维滤材层3在厚度方向上的各处均具有相同的纤维填充率。

[0088] 在第四中具体的实施例中，超细纤维滤材层3为多层，多层的超细纤维滤材层3在厚度方向上自靠近纳米纤维过滤层2的任意位置处到远离纳米纤维过滤层2的任意位置处具有线性降低的纤维填充率。

[0089] 本申请提供的空气过滤材料，可以通过仪器使滤材具有15-150mm的折山深度和6-25PPI的折密度，打折的过滤材料之间的分隔和固定可以采用热熔胶线，如EVA、PA、APAO、PUR，也可以采用铝箔板或胶板纸；根据需要，打折的过滤材料可以分别与W形过滤器框体、板式过滤器框体、筒式过滤器框体组合以制备不同外形的空气过滤元件。

[0090] 在一种具体的实施例中，该空气过滤材料可以包括支撑层1、纳米纤维过滤层2及超细纤维滤材层3。其中，支撑层1是单组分PET短纤湿法不织布，纳米纤维过滤层2是单层的PTFE膜，超细纤维滤材层3是单层的湿法超细玻璃纤维滤纸。该空气过滤材料的各层的特性数据如表1所示。

[0091] 表1

[0092]

| 项目 | 支撑层 1 | 纳米纤维层 | 超细纤维滤材层 3 |
|---|---|---|---|
| 克重/g/m$^2$ | 18 | 2.75 | 28 |
| 厚度/μm | 90 | 16.6 | 200 |
| 最大孔径/μm | / | 9.6 | 11.3 |
| 平均孔径/μm | / | 4.2 | 9.7 |
| 纤维填充率 | / | 0.075 | 0.056 |
| 纤维平均直径/μm | / | 0.073 | 0.781 |

[0093]

| | | | |
|---|---|---|---|
| 纤维最大直径/μm | / | 0.25 | 2.66 |
| 纤维最小直径/μm | / | 0.009 | 0.05 |
| 过滤阻力/Pa(@5.3cm/s) | 2 | 62.4 | 108.7 |
| 过滤效率/%(@5.3cm/s ,0.3μm) | 2.14 | 99.68 | 99.51 |
| 容尘能力/mg/m$^2$(终阻 600Pa) | / | 1680 | 3410 |

[0094] 首先，将亚敏性热熔胶在170℃的温度下以2.4g/m$^2$的量通过喷涂的方式均匀喷洒在支撑层1上，然后在2-2.6MPa的复合压力下将支撑层1与纳米纤维过滤层2复合，以得到复合层。将上述复合层通过辊涂的方法在纳米纤维过滤层2表面均匀涂敷3.1g/m$^2$的水性丙烯

酸粘合剂，然后在2-2.6MPa的复合压力下将上述复合层与超细纤维滤材层3复合并以3.2-4.0m/s的速度在150℃的高温烘道中烘干，由此制备了如图1所示的空气过滤材料。

[0095] 此外，将该高效空气过滤材料与美国某公司生产的超细玻璃纤维滤材和日本某公司生产的PTFE双向拉伸纳米纤维膜滤材的性能分别进行厚度、过滤效率、过滤阻力、容尘性能的对比测试，结果如表2所示。

[0096] 表2

[0097]

| 项目 | 本申请提供的滤材 | 超细玻纤滤材 | PTFE 膜滤材 |
|---|---|---|---|
| 克重/g/m$^2$ | 54.4 | 78.9 | 72.1 |
| 厚度/mm | 0.30 | 0.43 | 0.32 |
| 过滤阻力/Pa(@5.3cm/s) | 176.8 | 314.7 | 111.7 |
| 过滤效率/%(@5.3cm/s ,0.3μm) | 99.983 | 99.981 | 99.985 |
| 容尘能力/mg/m$^2$(终阻 600Pa) | 2816 | 1960 | 1452 |

[0098] 由表2和图4可知，本申请提供的空气过滤材料在终阻为600Pa的条件下的容尘能力为2816mg/m$^2$，而美国某公司生产的超细玻璃纤维滤材的容尘能力为1960mg/m$^2$，日本某公司生产的PTFE双向拉伸纳米纤维膜滤材的容尘能力为1452mg/m$^2$，由此可知，本申请提供的空气过滤材料的容尘能力远大于美国某公司生产的超细玻璃纤维滤材和日本某公司生产的PTFE双向拉伸纳米纤维膜滤材的容尘能力。同时，本申请提供的空气过滤材料的过滤阻力和过滤效率介于美国某公司生产的超细玻璃纤维滤材和日本某公司生产的PTFE双向拉伸纳米纤维膜滤材之间，使该空气过滤材料具有更优异的综合性能。

[0099] 此外，本申请提供的空气过滤材料的克重和厚度均小于美国某公司生产的超细玻璃纤维滤材和日本某公司生产的PTFE双向拉伸纳米纤维膜滤材所具有的克重和厚度，由此，本申请提供的空气过滤材料在应用到过滤元件上时，可以降低过滤元件的整体重量，同时提高过滤元件的有效过滤面积，并减小空间占用。

[0100] 本申请还提供了一种过滤元件，该过滤元件可以包括本申请任意实施例提供的空气过滤材料。

[0101] 本申请还提供了一种空气过滤材料的应用，该空气过滤材料可以应用于口罩、过滤器、空气净化设备或空调中。

[0102] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已，并不用于限制本申请，对于本领域的技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

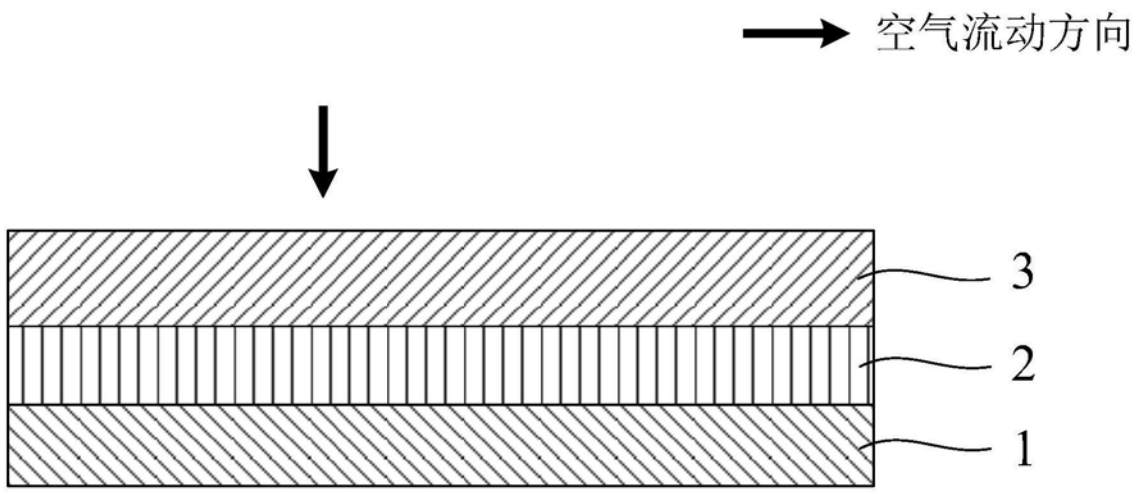



图1

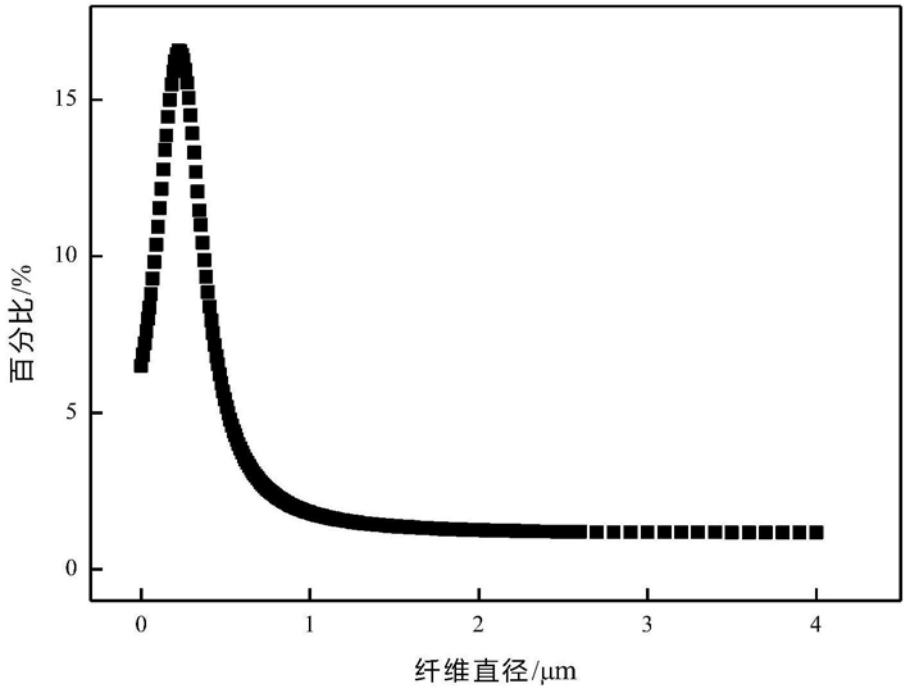



图2

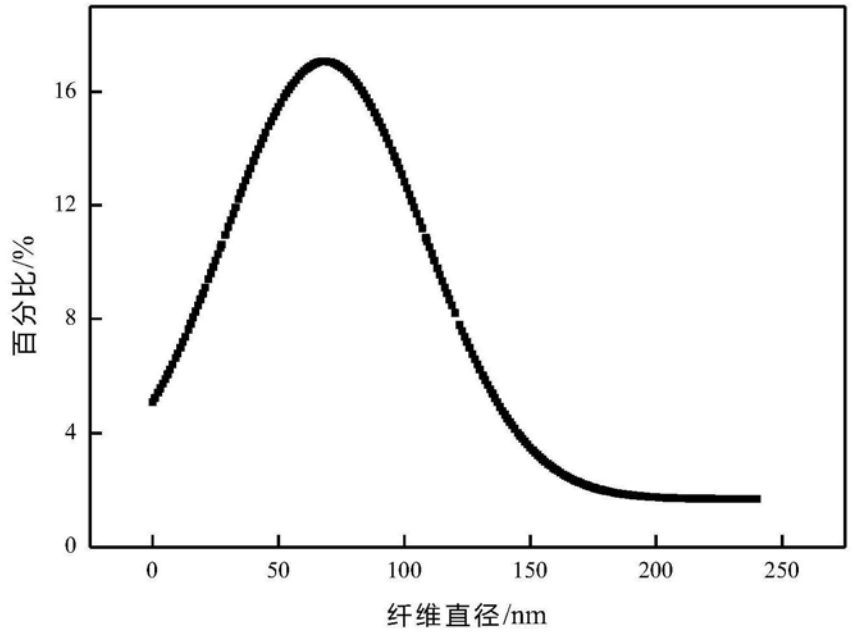

百分比/%
16
12
8
4
0
0
50
100
150
200
250
纤维直径/nm

图3

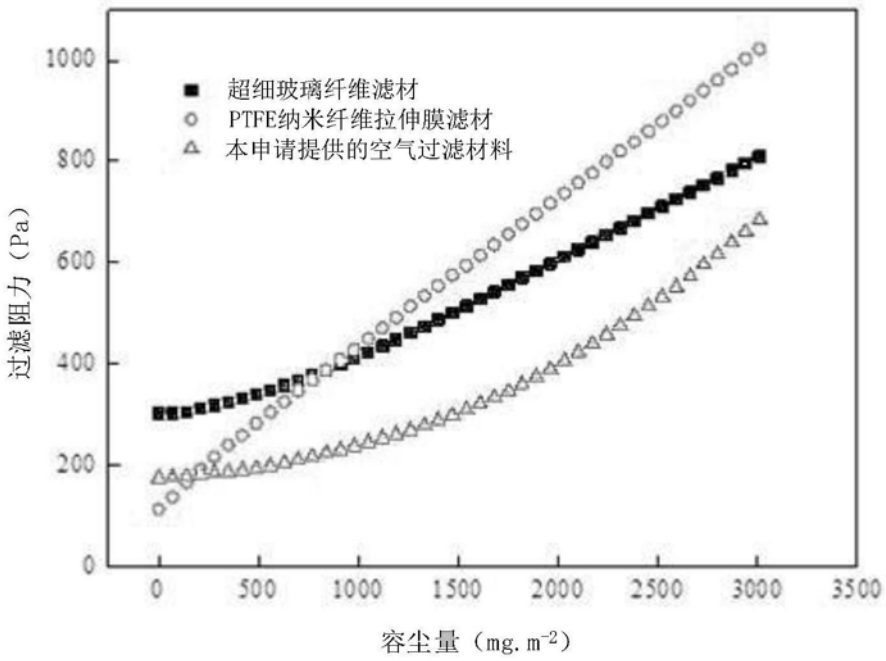

超细玻璃纤维滤材
PTFE纳米纤维拉伸膜滤材
本申请提供的空气过滤材料
过滤阻力（Pa）
1000
800
600
400
200
0
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
容尘量（mg.m-2）

图4