

一种具有人工智能的呼尘改障尘高聚能新材料

吕爱民©-3035

(北京健翔嘉业日用品有限责任公司)

2020. 02. 20

[摘要]呼吸性粉尘，是指空气动力学直径均在 $7.07\ \mu\text{m}$ 以下，空气动力学直径 $5\ \mu\text{m}$ 粉尘粒子的采样效率为 50%，简称“呼尘”。 $7\ \mu\text{m}$ 的尘粒只能到达人体鼻咽部， $2\ \mu\text{m}$ 以下的尘粒可以到达人体肺部造成尘肺。“呼吸性粉尘”对人体危害极大，对“呼吸性粉尘”的防御是世界课题。如果能将“呼吸性粉尘”改性成体量大于 $7\sim 10\ \mu\text{m}$ 以上不能进入肺部的“障碍性粉尘，人们不但可以避免罹患尘肺病，也可以避免空气污染环境下 $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物给人体造成的损害。

[Abstract]

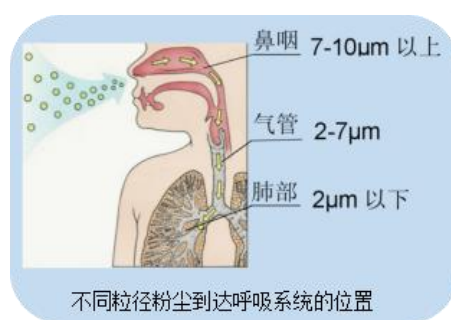
Respirable dust refers to dust particles with aerodynamic diameter of less than $7.07\ \mu\text{m}$, and the sampling efficiency of dust particles with aerodynamic diameter of $5\ \mu\text{m}$ is 50%, which is called "exhaling dust" for short. Dust particles of $7\ \mu\text{m}$ can only reach the nasopharynx of human body, and dust particles of less than $2\ \mu\text{m}$ can reach the lungs of human body and cause pneumoconiosis. "Respirable dust" has great harm to human body and the defense of "respirable dust" is a worldwide topic. People can avoid not only pneumoconiosis, but also the damage caused by $\text{PM}_{2.5}$ particles in polluted air if "respirable dust" can be transnated into "barrier dust" whose volume is larger than $7\sim 10\ \mu\text{m}$ and cannot enter the lungs.

尘肺病，是我国目前危害最严重且量大面广的职业病，是不可逆转不可治愈的致残性疾病，造成尘肺病的直接原因是接尘人员吸入

“呼吸性粉尘”并在肺中滞留引起巨噬细胞性肺炎和肺纤维化。

粉尘在空气中通常处于分散状态，空气是分散介质，粉尘是分散相，职业安全健康领域和民用日常健康领域对颗粒物的关注尺寸是微米级 μm ，（医疗卫生健康领域对细菌病毒微生物的关注尺寸即有微米级 μm 也有纳米级 nm ）。粉尘特性和几何特征是防尘技术体系中最基本的内容，凡涉及过滤材料及防尘口罩的制造和应用均离不开对粉尘特性和几何特征的描述，离开了对粉尘特性和几何特征的描述，有关过滤材料及防尘口罩的标准应用技术评价体系将无法建立。

呼吸性粉尘，是指空气动力学直径均在 $7.07\mu\text{m}$ 以下，空气动力学直径 $5\mu\text{m}$ 粉尘粒子的采样效率为50%，简称“呼尘”。 $7\mu\text{m}$ 的尘粒只能到达人体鼻咽部， $2\mu\text{m}$ 以下的尘粒可以到达人体肺部造成尘肺(图1)。



(图1)

如果能将“呼吸性粉尘”改性成体量 $>7\sim 10\mu\text{m}$ 以上不能进入肺部的“障碍性粉尘，人们不但可以避免罹患尘肺病，也可以避免空气污染环境下 $\text{PM}_{2.5}$ 颗粒物给人体造成的损害。

呼吸性粉尘对人体危害极大，对呼吸性粉尘的防御是世界课题，对呼吸性粉尘的技术防控是重点和难点，呼吸性粉尘涉及职业接触人群量大面广，防治专业技术水平要求高。2019年8月27日，国家卫生健康委员会发布的国家强制性职业卫生标准 GBZ2.1-2019工作场所所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素，将“呼吸性粉尘”列为优先防御目标。

为解决防御呼吸性粉尘这一世界课题，北京健翔嘉业日用品有限责任公司，经过多年技术攻关发明了〈改性障碍性粉尘的高聚能复合阻尘材料及制备方法与应用〉。

障碍性粉尘，是指呼吸性粉尘与LV-2.1高聚能材料接触时发生黏附凝聚，将 $<7\mu\text{m}$ 的多分散粉尘改性团聚成体量 $>7\sim 10\mu\text{m}$ 以上的单分散粉尘，这种体量 $>7\sim 10\mu\text{m}$ 以上的单分散粉尘不能到达肺泡区，定义为“障碍性粉尘”，简称“障尘”。技术简称：呼尘改障尘高聚能新材料。

一、传统过滤理论与传统过滤材料

1.传统过滤理论，过滤是指将一种分散相从一种连续相中分离出来的过程，是分离捕集气体、液体、颗粒的一种方式和技术。过滤材料是一种具有较大表面积和孔隙的非纺织材料，它能有效地捕获固体颗粒，当含尘气流与滤料接触时，气流穿过滤料，固体颗粒被拦截在滤料上。传统过滤机理主要有：冲击作用、扩散作用、拦截作用、布朗作用、静电作用。无论哪种过滤机理，粉尘的沉积都是由尘粒与纤维表面碰撞而被捕集的，尘粒与纤维表面碰撞机会越多，越容易被捕集，这与纤维比表面积有关，比表面积越大，尘粒与纤维表面碰撞概率也越大，过滤效率也越高，引起的呼吸阻力也越大。

在常湿/高湿不同气象条件下，粉尘理化特性有着不同的表现特征，各过滤机理起的作用也不同，一般情况只有一个或两个过滤机理起主导作用，例如：在40%RH常湿环境下，熔喷过滤布可发挥过滤作用，在70%RH高湿环境下静电纤维几乎没有捕尘效能。

2.传统过滤材料主要有，聚四氟乙烯膜、溶喷过滤布、静电纤维。

2.1 聚四氟乙烯膜(PTFE)。优点是：膜薄、过滤效率95%~100%。**缺点是：**阻力高，接尘加载时易出现蠕变，耐磨性差，容易被磨琢性较高的铝尘、矽尘等金属粉尘或非金属无机粉尘磨破击穿，聚四氟乙烯膜是表面过滤，过滤时粉尘不能进入膜料内部，都挂在膜料表面，

容尘量少。煤尘*容尘性能测试显示：加尘 2h 聚四氟乙烯膜表面挂尘 $47\text{mg}/\text{m}^2$ ，吸气阻力就达到 454pa ，这个数值超过了 AQ1114-2014 煤矿用自吸过滤式防尘口罩标准 5.9 容尘性能 a) 加尘 2h 后，在 $(30\pm 2.5)\text{L}/\text{min}$ 流量时吸气阻力不大于 100pa ，在 $(85\pm 4)\text{L}/\text{min}$ 流量时吸气阻力不大于 300pa 的指标。〈*煤尘，强制性国家职业卫生标准 GBZ2.1-2019 工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素 4.2 工作场所空气中粉尘的职业接触限值 表 2，序号 23〉。GB2626-2019 呼吸防护自吸过滤式防颗粒物呼吸器，附录 B，表 B.1



(图 2 聚四氟乙烯膜)

2.2 熔喷过滤布。优点是：过滤效率 $90\sim 99\%$ ，纤维力学性能较好。**缺点是：**接收油性粉尘时容易被“糊死”，怕酸物质、热辐射、射线。一些口罩生产企业宣传其口罩所谓的“高效低阻”，仅仅是对洁净熔喷过滤布初始效率和阻力的评价，实际接尘中洁净熔喷过滤布只在极短的时间内出现，当粉尘颗粒沉积覆盖在熔喷布上形成颗粒层时，过滤形式就变成了典型的“尘滤尘”，颗粒层孔隙率为 $0.6\sim 0.9\%$ ，后续熔喷布的过滤形式是有颗粒层共同参与的拦截收集形式，口罩使用时，初始阻力来自于熔喷过滤布本身，容尘后的阻力来自于颗粒层。在气-固分离过程中，运动尘粒所受到的介质阻力始终存在，不稳定过滤贯穿整个过程，实体尘粒通常是非球形的，熔喷过滤布接触非球形尘粒的阻力比接触球形尘粒的阻力上升速度快，熔喷过滤布初始效率和阻力“高效低阻”的公式很快失去意义。另一个不可控的是，熔喷过滤布接受 40°C 烟尘时部分水蒸气凝结露形成露点，露点中含有的三氧化硫酸性物质，可形成酸露点，酸露点可使熔喷布过滤效率

下降，阻力上升。



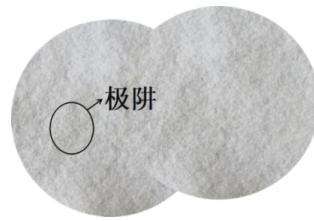
(图 3 熔喷过滤布)

2.3 静电纤维。静电纤维分两种，一种是驻极静电棉（图 4），一种是静电纺丝纤维（图 5）。

2.3.1 驻极静电棉。“驻”指施加“极”指电荷。简单地说就是将电荷附着在聚丙烯熔喷布表面。**驻极静电棉优点是：**干燥空气中可捕捉带电荷的粉尘颗粒，容尘量 $150\text{mg}/\text{m}^2$ 左右、阻力 25pa 左右。**驻极静电棉缺点是：**捕尘率低，只有 $51\%\sim 54\%$ ，究其原因：物质在粉碎过程中和流动中互相摩擦或吸附空气中离子而带电，粉尘荷电量除取决于其粒径大小、密度外，还与环境温度和湿度有关，温度高荷电增加；湿度高荷电减少，漂浮在空气中的尘粒 90% 带正电荷或负电荷，其中，带正电荷的约占 $40\%\sim 51\%$ ；带负电荷的约占 $37\%\sim 54\%$ ；不带电荷的约占 9% 。按带电顺序，任何两种物质接触，在前面的物质带正电荷，在后面的物质带负电荷（ \pm ）。驻极静电棉或带正电荷或带负电荷，带正电荷的静电棉只能捕捉带负电荷的粉尘颗粒，捕尘率为 $37\%\sim 54\%$ ；带负电荷的静电棉只能捕捉带正电荷的粉尘颗粒，捕尘率为 $40\%\sim 51\%$ ，驻极静电棉对其他 9% 不带电荷的粉尘颗粒没有引力捕捉作用。当空气湿度在 $70\%RH$ 以上时，粉尘颗粒表面被水气膜包裹不荷电，驻极静电棉表面电荷被水分子掩盖极性衰减，静电引力捕尘功能丧失，驻极静电棉蜕变成容尘棉。

另外，驻极静电棉电荷极阱浅，驻极纤维表面电荷易脱阱流失，静电引力捕尘效能不受控，油性粉尘或烟气或有机气体可以中和驻极静

电棉电荷，导致静电引力捕尘功能失效。



(图 4 驻极静电棉)

2.3.2 静电纺丝纤维，静电纺丝技术是利用高压静电作用使聚合溶液或溶体带电并发生形变，在喷头末端处形成悬垂的锥状液滴，当液滴表面静电斥力大于表面张力时，液滴表面就会喷射出高速飞行的射流，并在较短时间内经电场力拉伸、溶剂挥发、聚合物固化形成纤维，静电纺丝过程中聚合物溶液被负载上正电压，致使许多正电荷被注入纺丝液体系中，形成表面电荷及体积电荷。**静电纺丝纤维优点是：**纤维直径小，纤维均一性好，孔隙率高，过滤效率高。**静电纺丝纤维缺点是：**当空气湿度在 70%RH 以上时，粉尘颗粒表面被水气膜包裹不荷电，静电纤维表面电荷被水分子掩盖极性衰减，静电引力捕尘功能丧失，静电纺丝纤维力学性能与普通纤维材料相比仍存在一定的差距，使其服役性和耐久性难以进一步提升，如何增强静电纺丝纤维材料的力学性能一直是静电纺丝技术领域研究的重点和难点^[1]。



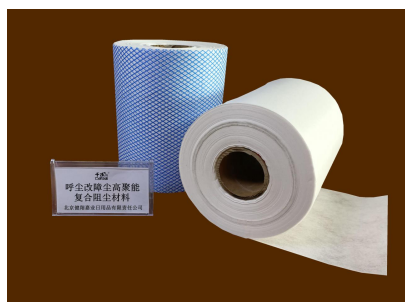
(图 5 静电纺丝纤维)

2.4 静电纤维捕尘条件与作用：从电子理论看，只有当电荷密度达到 10^{21} 个电子/ cm^3 时静电引力才有显著作用，实验中 5 个静电纤维采样标本一个测得的电荷密度为 10^{22} 个电子/ cm^3 ，一个测得的电荷密

度为 10^{14} 个电子/ cm^3 ，其余 3 个静电纤维采样标本基本没有电荷，干燥空气下，粉尘表面的最大荷电量约为 $2.73 \times 10^{-9} \text{C}/\text{cm}^2$ ，而天然粉尘和人工粉尘的荷电量一般仅为最大荷电量的 1/10 量级，电量很小^[2]。

静电力通常比液桥力和范德华力小，除非对荷电很强的粉尘静电才能发挥凝聚作用，而 $<1\mu\text{m}$ 的粉尘很难荷电，因此，即使口罩纤维界面静电存在，在人体呼出潮气水分子掩盖下它对捕尘的强度也是有限的^[3]。静电纤维接尘浓度超过 $40\text{mg}/\text{m}^3$ 时纤维表面电场被覆盖发生电极闭塞，静电捕尘性能归零，当粉尘不带电荷时，静电纤维引力捕尘就失去了评价的意义。静电纤维捕尘虽有一定的道理，但未检索到有价值的报告。从检测方法看，氯化钠是非离子不带电，用氯化钠介质测试静电纤维过滤效率反映的是诱导力不是静电力，诱导力的强度很小也很脆弱。

二、呼尘改障尘高聚能新材料，是呼吸防护装备技术领域最新一代人工智能防尘新材料，它是将 SMG 高分子物质溶入粘胶纤维经特殊工艺纺丝而成的具有表面活性的可将呼吸性粉尘改性成障碍性粉尘的高聚能材料（图 6），高聚能材料具有螺纹结构（图 7），这种螺纹结构特征有助于空气流通，可满足循环氧量和所需的调湿效应。呼尘改障尘高聚能新材料响应人体呼吸号召生成的活性因子具有优异的铺展性，稳定的共价键，材料柔软光滑，具有丝绸般的品质。



（图 6 呼尘改障尘高聚能新材料）



（图 7 呼尘改障尘新材料螺纹结构）

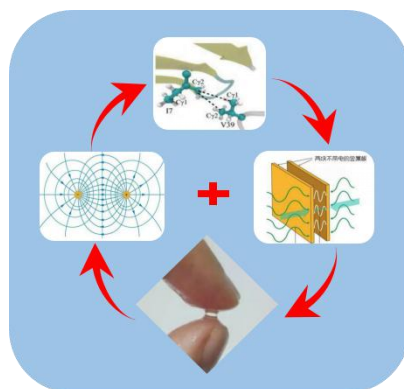
1、呼尘改障尘高聚能新材料效能测试：选用有毒性的、表面性质活跃的、黏性差的、疏水性的、最具代表性的、粒径为 $1.3\mu\text{m}$ 的标准呼吸性矽尘，作为呼尘改障尘高聚能新材料效能测试介质。矽尘是我国最严重的职业有害因素之一，我国接触矽尘的人数量大面广、患矽肺病的人数居世界首位。研究证实：新鲜矽尘（粒径 $<5\mu\text{m}$ ）在 JB6P⁺ 细胞中引起 AP-1 活化能力比在空气中放置一年的陈旧矽尘（粒径 $<5\mu\text{m}$ ）高 4.75 倍。动物实验结果显示：新鲜矽尘比陈旧矽尘更易引起肺炎，致病性更强。Saffiotti 报道对雄性 Fischer 大鼠而言，接触新鲜矽尘比陈旧矽尘更易导致肺部渗出液的形成，肺部损伤的生化改变^[4]。矽尘是强制性国家职业卫生标准 GBZ2.1-2019 工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素 4.2 工作场所空气中粉尘职业接触限值 序号 40 标准呼尘。呼尘改障尘高聚能新材料效能测试数据见表 1。

表 1 呼尘改障尘高聚能新材料效能测试数据

项目名称	指标数值
呼尘改障尘	将 $1.3\mu\text{m}$ 呼吸性矽尘改成 $7\sim 10\mu\text{m}$ 以上障尘，改成率为 77.04%。
呼吸气阻力	吸气 22.1pa，呼气 10.4pa。
透隙率	$\geq 80.6\%$ 。
容尘量	$\geq 90\text{mg}/\text{m}^2$ 。
回潮率	13%。
湿敏效应	湿度 40%RH 时 50%。湿度 70%RH 时 $> 90\%$ 。
PH 值	6~7。
呼尘改障尘高聚能材料+静电纤维+熔喷布过滤效率 $> \text{KN95}$ 或 KP95 。	
呼尘改障尘高聚能材料+静电纤维+熔喷布容尘量 $> 200\text{mg}/\text{m}^2$ 。	

2、国家知识产权局评价报告认为：呼尘改障尘高聚能新材料，是将普通过滤材料对粉尘的“单一过滤效率功能”改性成以范德华引力、卡西米尔引力、液桥引力和静电引力集合为“四位一体的引力团

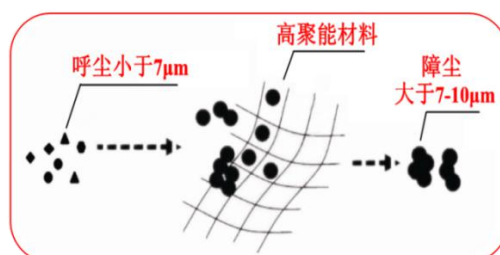
聚增大功能”，运用“四位一体引力团聚增大功能”，将多分散“呼吸性粉尘”改性成体量大于 $7\sim 10\mu\text{m}$ 以上不能进入肺泡区的单分散“障碍性粉尘”，“障碍性粉尘”因其体量庞大使之不能通过气管到达人体肺泡区，接尘人员可以避免罹患尘肺病或呼吸系统疾病（图8）。



（图8 四位一体引力）

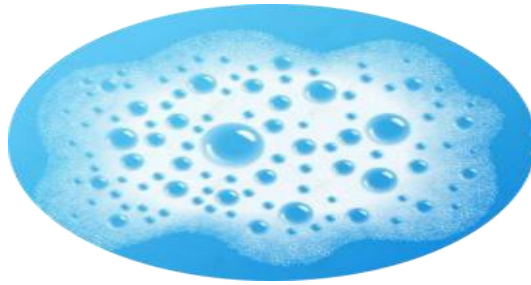
3、呼尘改障尘的过程是粉尘颗粒界面气-固-液三相变量过程；是物质从一相转移到另一相的过程，含尘气流体系中不仅有气体单相流动，也有气体-固体两相流动，还有气体-固体-液体三相流动。

4、呼尘改障尘高聚能新材料是具有人工智能的新技术，它对环境因素有感应能力；对粉尘特性有变量能力；对人的呼吸有调节能力，如同人的智慧一样，不仅能发现识别呼尘，还能将呼尘改成不入肺的障尘。呼尘改障尘高聚能新材料新技术方案改变了传统过滤技术一味追求高效率必然造成高阻力的结果，克服了传统过滤材料对有机尘、无机尘、带电尘、不带电尘、油性尘、非油性尘、金属尘、非金属尘等呼吸性粉尘无法实施统一防御的不足。



(图 9 呼尘改障尘变量)

5、呼尘改障尘高聚能新材料 SMG 活性因子吸收人体呼出潮气或吸收湿润空气产生湿敏效应生成极性泡沫群，**SMG 极性泡沫群随 pH 变化带正电荷或负电荷，带正电荷的泡沫可对带负电荷的细菌病毒结构实施破坏使其干枯分离死亡**。SMG 极性泡沫群对 $<100\text{mN/m}$ 低表面能粉尘和 $>100\text{mN/m}$ 高表面能粉尘均有润湿刺破表面气膜使之相互团聚变大沉降滞留的作用，效果十分理想。生命科学中，人体呼出潮气是不停息的；呼尘改障尘高聚能新材料 SMG 活性因子吸收人体呼出潮气产生湿敏效应起泡不停息；泡沫群对粉尘颗粒润湿团聚捕捉不停息；直到呼尘改障尘高聚能新材料容尘量达到容尘限值。

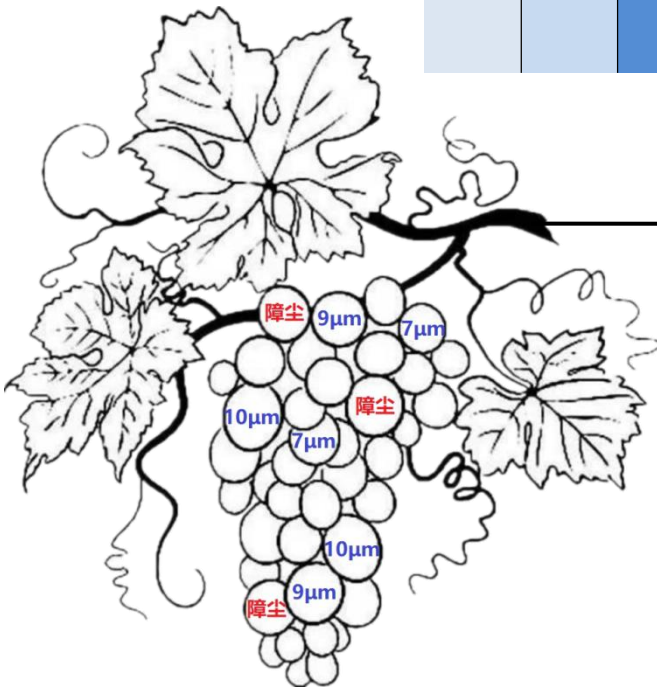


(图 10 极性泡沫群)

6、呼尘改障尘防护口罩材料组合模型。

干燥环境中可捕捉 51%~54%带正电荷或负电荷粉尘，湿润环境中粉尘不荷电，静电纤维表面被水分子掩盖电荷流失，静电引力捕尘功能降为零，静电纤维蜕变成容尘棉。

成串大障尘运行速度慢，成串大障尘受曳力拖拉作用被滞留在熔喷布上，熔喷布拦截网状成串大障尘时，空气分子扩散快，气固分离压力小，阻力低，效率高。



呼尘改障尘高聚能新材料 SMG 活性因子吸收人体呼出潮气或吸收湿润空气产生湿敏效应生成极性泡沫液桥，湿润环境中液桥力是主导力，液桥力可将 $1\mu\text{m}$ 小呼尘聚成 $7\text{--}10\mu\text{m}$ 大障尘，大障尘形如一串葡萄不能进入肺部。

(图 11 呼尘改障尘防护口罩材料组合模型)

预防尘肺病最有效的办法，是将呼吸性粉尘改成障碍性粉尘，障碍性粉尘不能进入肺部。呼尘改障尘高聚能新技术材料，成功地解决了卫生健康管理部门、工业企业用人单位、接尘人员和呼吸防护用品生产企业一直渴望解决但始终未能获得成功的技术难题。

参考文献

- [1] 丁彬，俞建勇. 功能静电纺丝纤维材料. 北京：中国纺织出版社，2019。
- [2] 彭丽娟，除尘技术，北京：化学工业出版社，2014。
- [3] 曾作祥，孙莉，界面现象. 上海：华东理工大学出版社，2016。
- [4] 叶萌，牛勇，张磷，朱钰玲，张文翠，职业健康风险评估与国家职业卫生标准制定项目矽尘。项目编号：1311400010903，2015。

本文作者信息：吕爱民，北京健翔嘉业日用品有限责任公司董事长，国家呼吸防护装备标准化技术委员会委员。手机：13910667012，微信同号。

邮箱：jianxianglv888@sina.com。