负离子功能纺织品的研究及应用

杨述斌[1,2]，刘　敏[2]，曹　学[1,2]，刘健飞[1,2]，周元友[1]，左禄川[2]，梁倩倩[1,2,*]

（1.国家绝缘材料工程技术研究中心，四川 绵阳 621024；
2.四川东材科技集团股份有限公司，四川 绵阳 621024）

摘　要：介绍了负离子的产生与功效、负离子释放材料种类、负离子纺织品的制备方法以及负离子纺织品在净化空气、净化水质与人体保健方面的应用。

关键词：负离子；纺织品；制备；应用

中图分类号：TB34；TB195.6　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1673－0356(2020)08－0001－03

随着城市化建设的加快以及全球环境质量的改变，许多国家都针对“环境效益第一”提出了一系列的指导政策，中国在“大健康”政策的引导下，具有保健杀菌功能的负离子纺织品成为了纺织产业新的发展热点[1-2]。纺织品中的负离子能够直接作用于人体的中枢神经与血液循环，具有增强机体免疫力、舒缓身心疲劳、调节空气、抑菌杀菌等功效。近年来有关空气中负离子的产生与作用机理、负离子的功效、负离子纺织品的制备等相关内容已有大量研究，应用前景广阔。

1　负离子的产生与功效

1.1　负离子的产生

自然界中，负离子的产生主要有三大机制[3]：(1)大气电离。在宇宙射线、雷电、风暴、植物光合作用形成的光电效应等作用下，大气发生电离产生负离子；(2)水分子裂解。水在高速流动过程中发生强烈碰撞，水分子裂解产生负离子；(3)天然矿物材料。具有热电性或压电性的天然矿物材料或具有永久自发电极的无机多孔材料在环境改变时能够产生电极能，电离空气产生负离子。

1.2　负离子的功效

负离子的功效主要包括三个方面。(1)环保。负离子带负电，具有非凡的结合能力，环境中诸如粉尘、尾气等多种有害物质带有正电荷，空气中的负氧离子能够与这些有害物质聚合沉积，达到净化空气的目的[4]。(2)保健。国内外大量研究与临床实践验证，负氧离子主要对人体呼吸保健、血液循环以及机体免疫力有重大影响。负离子被人体吸收后，能够提高肺活量，促进新陈代谢，同时能够增加血液中氧含量，促进血液循环。当负离子与人体内的阳离子中和后，还具有活化细胞，增强机体免疫力的功效[5-6]，其含量与健康的关系见表 1。(3)杀菌。负离子能够与细菌结合，破坏细菌细胞机能，扰乱细胞生长，导致菌体死亡，达到杀菌和抑菌的功效[7]。

表 1　负离子含量与健康的关系

环　境	含量/负离子个数·cm^{-3}	关系程度
密闭空调住房	0～25	引发“空调病”症状
都市封闭住宅区	0～50	诱发生理障碍
街道绿化区	100～200	诱发生理障碍边缘
都市公园里	1 000～2 000	维持健康的基本需求
郊外、田野	5 000～50 000	增强人体免疫力和抗菌力
高山、海边	50 000～100 000	杀菌减少疾病传染
森林、瀑布区	100 000～500 000	自然痊愈能力

2　负离子释放材料

负离子有诸多功效，根据负离子的产生机制，提高空气中负离子含量主要有两种方法：一方面人们可对在自然条件下形成的空气负离子加以应用；另一方面可对自然界中释放负离子的天然物质进行利用，以功能粒子形式应用于纺织品、建筑材料、家居材料中，为都市住宅区内居民提供一个健康养生的生活环境。目前所发现的负离子释放材料主要包括具有压电性和热电性属性的天然矿石，例如电气石、蛋白石、奇才石、奇冰石等，材料的组分各不相同，详见表 2。作为一种天然负离子释放材料，当环境中温度与压力发生微小变化时，这类物质会产生热电效应和压电效应，即晶体两端表面出现电热差和电压差，这种静电电压差可以高达 1.0×106 eV，空气发生电离，使邻近的空气分子电

收稿日期：2020-05-27；**修回日期**：2020-06-02

作者简介：杨述斌(1966-)，男，工程师，学士，主要从事功能聚酯切片开发及产业化研究。

* **通信作者**：梁倩倩(1979-)，女，高级工程师，硕士，主要从事功能聚酯树脂及纤维的制备和产业化研究，E-mail：liangqianqian@emtco.cn。

离转化为空气负离子[8-9]。同样具有永久自发电极的无机多孔材料，例如海底沉积物、海藻炭、珊瑚化石以及硅藻泥等，当受到外界温度和压力细微变化时，这类物质也可以电离空气产生空气负离子，主要应用于装修涂料、乳胶漆等。负离子释放材料还包括某些光触媒材料，当大气中紫外线照射后，光触媒材料电子发生跃迁到导带，留下带正电的空穴，电子和氧结合产生负氧离子，带正电的空穴和水结合产生具有极强氧化活性的 OH－，负氧离子与 OH－能够分解微生物中各种成分，从而达到抑菌杀菌的目的[10]。

表 2 释放负离子的功能材料及其组分

名 称	组分特征
电气石	$Na(Mg,Fe,Mn,Li,Al)_3Al_6[Si_6O_8](BO_3)_3(OH,F)_4$
奇冰石	主要含硼、少量铝、镁、锂的环状结构的硅酸盐
奇才石	$Na(Mg,Fe,Mn,Li,Al)_3Al_6[Si_6O_8](BO_3)_3(OH,F)/(Si_{12})(Mg_8)O_30(OH)_{48}H_2O$
蛋白石	含水非晶质或胶质的活性 SiO_2，还含少量 Fe_2O_3、Al_2O_3、Mn 和有机物等
海底矿物层	硅酸盐和铝、铁等氧化物为主要成分的无机多孔物质

3 负离子纺织品的制备方法

目前，负离子纺织品的制备方法主要有 2 种，一种为用具有负离子释放功能的纤维经纺织工艺制备；另一种是对纺织品进行后整理获取释放负离子能力。实际生产中可根据原料与生产工艺、生产设备的适用性，选择合适的制备方法。

3.1 负离子纤维的制造方法

负离子纤维的制造方法主要包括共聚法、共混纺丝以及纤维表面涂层改性。

共聚法是指在聚酯切片聚合过程中，将负离子功能粒子和原料一同加入，制备得到负离子切片，再进行纺丝，得到负离子纤维。共聚法的优势在于负离子添加剂在切片中分散均匀，切片可纺性良好，负离子释放能力稳定，但工艺复杂、生产成本高，目前鲜有利用共聚法制备负离子纤维相关报道。张凯军等[11]利用共聚法将负离子添加剂直接添加到对苯二甲酸(PTA)与乙二醇(EG)聚合过程中，制备得到负离子功能聚酯切片，再对切片进行熔融纺丝制备负离子纤维。结果表明，负离子添加剂在切片中均匀分散，切片可纺性能良好，纤维力学性能优异，静态负离子释放量为 23 个/cm^3。

共混纺丝法是指在纺丝前，将负离子功能性母粒与聚酯切片共混均匀，再进行熔融纺丝制得负离子纤维。与共聚法相比，共混纺丝法添加更加灵活，但负离子添加剂分散性较差，导致纤维吸湿性较差。国内研发的负离子纤维基本采用这种方法，首先利用一定方法制备纳米级无机负离子添加剂，再与树脂材料共混挤出制备负离子母粒，最后与聚酯切片混合纺丝制备负离子纤维。日本已做到对棉、麻、动物毛等天然纤维进行负离子改性。孙超[6]采用电气石作为负离子释放材料，利用化学和物理方法对其进行表面处理后，与聚酯载体按一定比例混合，熔融挤出制得负离子母体，将其进行干燥，按一定的配比与聚酯切片混合，进行纺丝制备负离子纤维，再与棉纤维、黏纤进行共织造，制备成负离子纺织品。结果表明，产品负离子释放能力保持在 2 000 个/cm^3 以上，经 40 次水洗后，其负离子释放能力在 500 个/cm^3 以上。

表面涂层改性法指在基础纤维的后加工过程中，利用表面接枝或吸附改性技术将负离子处理液固化在纤维表面，制备得到负离子纤维制品。与共聚法和共混纺丝法相比，表面涂层改性法可以对包括天然纤维在内的多种类型纤维进行改性，但纤维产生负离子的耐久性较差。罗金琼等[10]对比分析了多种表面活性剂改性负离子添加剂处理的聚酯纤维的性能差异。结果表明，当采用单组分表面活性剂时，乙烯－醋酸乙烯乳液、硅烷偶联剂的最佳改性浓度分别为 3 wt%与 1 wt%，纤维负离子释放量分别达到了 582 个/cm^3 与 6 260 个/cm^3；当采用复合表面活性剂时，2 种改性剂浓度均为 1 wt%时，纤维最大动态负离子释放量可以达到 33 437 个/cm^3。

3.2 织物后整理法

后处理改性是指在织物漂染过程中，利用含有负离子释放材料的处理液对织物进行浸渍、浸轧或涂覆处理，使负离子释放材料通过物理吸附、热固化或化学反应固着于织物表面，从而赋予纺织品负离子释放功能。相对于共聚法、共混纺丝法或表面涂层改性法制备负离子纤维进而进行织造制备纺织品，织物后整理法制备负离子纺织品具有操作技术简单，服务对象种类多，可将负离子释放材料处理液直接应用于各种材料的织物、成衣或其他纺织制品上，是目前国内外制备负离子纺织品的常用方法。程浩南[12]采用电气石粉体作为负离子释放材料，利用聚乙二醇与水性聚氨酯按照一定配比对电气石粉体进行改性制备超细负离子整理剂，浸渍处理聚酯织物 0.5 h，再进行烘焙处理，负离子功能纺织品的负离子释放量可到 2 000 个/cm^3 以

上，达到增强人体免疫力和抗菌力的浓度。杨宏林[13]以纯棉织物作为研究对象，采用负离子整理剂进行后处理，结果表明，当整理剂中负离子质量浓度 80 g/L、pH 值为 3～5，处理工艺中烘焙温度 130 ℃、烘焙时间为 2 min 时，处理的纯棉织物的负离子释放量最高，可达 2 050 个/cm^3。

4　负离子纺织品应用

随着负离子释放材料的不断开发，负离子纺织品制备工艺不断完善，产品的种类和应用领域不断增多，广泛用于服装、家居面料、汽车内饰以及医疗纺织品等[14－16]。

4.1　以净化空气为目的的纺织品

净化空气的负离子纺织品主要应用于办公室、电影院、交通工具内等人多密闭空间，主要包括室内纺织装饰面料、窗帘、地毯、沙发以及座椅面料等，人们需要利用这类负离子纺织品来净化密闭空间内的空气，尤其在家庭房屋装修之后，更需要使用负离子纺织品释放出来的负离子去吸附装修材料留下来的甲醛与挥发性有机物质，达到净化空气，保障人体健康的目的。

4.2　以净化水质为目的的负离子纺织品

负离子纺织品释放出的负离子一方面能够杀死水中细菌，另一方面能够与水中的重金属离子结合沉淀，达到净化水质的目的。利用这个原理，人们可以利用负离子纺织品作为水体过滤材料，最典型的代表作品就是用负离子涤纶纺织品做饮水机的过滤芯。同时，负离子纺织品能够增加水中的含氧量，用作植物用水过滤材料时，可以提高植物的成活率，缩短植物的成熟期。

4.3　以人体保健为目标的负离子纺织品

以人体保健为目标的负离子纺织品面对的是一个最为广泛的消费人群。这类产品可以是家庭或医院床上系列用品，例如床单、被套、床垫、蚊帐、睡衣等，也可以是针对运动员制作的运动套装，还可以是为某些特殊人群制作的各种护具、眼罩以及口罩等。

5　结语

负离子被称为“空气中的维生素”，具有优良的人体保健、环境保护与杀菌抗菌功能。目前中国市场已陆续推出多种商业化的负离子纺织品，如床单、被套、窗帘、服装、地毯、毛巾等，努力为消费者营造一个健康、环保、卫生的生活环境。但无论是消费者的健康环保意识，还是负离子纺织品的制备研究，或是应用推广研究方面，中国和国外发达国家相比，都还有一定的差距。但是中国电气石矿产资源丰富，如果能利用好这一巨大优势，将其运用于负离子纺织品的研究中，开发出更多具有多功能性、性价比更高的负离子纺织品，其市场前景与经济价值都是极大的。

参考文献：

[1]　贺志鹏，伏广伟，耿轶凡. 负离子纺织品及其测试与评价[J]. 染整技术，2013，(2)：6－8，10.

[2]　邵　敏，王进美. 负离子纺织品的开发与应用[J]. 纺织科技进展，2008，(4)：8－10.

[3]　陶　荣. 多功能负氧离子纺织品的研究与开发[D]. 杭州：浙江理工大学，2012.

[4]　黄世成，徐春阳，周嘉陵. 城市和森林空气负离子浓度与气象环境关系的通径分析[J]. 气象，2012，(11)：107－112.

[5]　沈国先，严　彪，余文明. 负离子保健床上用品的研发[J]. 现代纺织技术，2008，(2)：41－44.

[6]　孙　超. 负离子纺织品的开发与性能研究[D]. 上海：东华大学，2005.

[7]　刘　新，吴林豪，张　浩，等. 城市绿地植物群落空气负离子浓度及影响要素研究[J]. 复旦学报(自然科学版)，2011，(2)：206－212.

[8]　董飞逸. 负离子空气净化装饰织物的开发与性能研究[D].西安：西安工程大学，2016.

[9]　康文杰，王秀峰，江红涛. 电气石类负离子释放功能材料研究进展[J]. 硅酸盐通报，2013，(3)：47－51.

[10]　罗金琼. 功能型聚酯短纤维的制备及其释放负离子能力研究[D].北京：燕山大学，2016.

[11]　张凯军，李青山，罗金琼. 负离子功能聚酯短纤维的制备及表征[J]. 功能材料，2017，9(48)：184－188.

[12]　程浩南，何　源. 涤纶织物的负离子功能整理[J]. 印染，2015，(14)，42－47.

[13]　杨宏林，董淑秀，项　伟. 纯棉织物的纳米负氧离子整理[J]. 印染，2015，(16)：10－14.

[14]　燕大伟，李青山. 负离子功能纤维与织物新进展[C]// 全国第十七届红外加热暨红外医学发展研讨会论文及论文摘要集，2019.

[15]　张　莹. 负离子纤维结构性能与空调滤材功能织物研发[D]. 西安：西安工程大学，2006.

[16]　崔元凯. 负离子纤维及其针织产品的生产工艺及性能研究[D]. 无锡：江南大学，2009.

(下转第 7 页)

et al. Polysulfone membranes with CNTs/Chitosan biopolymer nanocomposite as selective layer for remarkable heavy metal ions rejection capacity[J].Chemical Engineering Journal,2020,388:124 267.

[17] SINGH L, PAVANKUMAR A R, LAKSHMANAN R, *et al*. Effective removal of Cu^{2+} ions from aqueous medium using alginate as biosorbent[J]. Ecological Engineering, 2012,38(1):119－124.

[18] MAJIDNIA Z, IDRIS A, MAJIDNIA Z, *et al*. Evaluation of cesium removal from radioactive waste water using maghemite PVA-alginate beads[J]. Chemical Engineering Journal, 2015, 262:372－382.

[19] JIANG X, AN Q D, XIAO Z Y, *et al*. Versatile core/shell-like alginate@polyethylenimine composites for efficient removal of multiple heavy metal ions (Pb^{2+}, Cu^{2+}, CrO_4^{2-}): Batch and fixed-bed studies[J]. Materials Research Bulletin,2019,118:110 526.

[20] REN H,GAO Z,WU D, *et al*. Efficient Pb(II) removal using sodium alginate-carboxymethyl cellulose gel beads: Preparation, characterization, and adsorption mechanism [J].Carbohydrate Polymers, 2016,137:402－409.

[21] 马玉单.羊毛角蛋白提取及角蛋白膜对铜离子吸附性能的研究[D].天津:天津工业大学,2016.

[22] 王闻宇,靳 许,史长曲,等.聚酯/角蛋白纳米纤维膜的制备及其铬离子吸附性能[J].天津工业大学学报,2019,38(3):15－21.

[23] 林燕萍,杨 陈.羊毛角蛋白/壳聚糖纳米纤维膜的制备及对铜离子的吸附性能研究[J].毛纺科技,2018,46(2):30－33.

[24] 周伟涛.丝素蛋白复合纳米纤维膜的制备及在污水中铜离子的吸附研究[D].无锡:江南大学,2011.

[25] 钱 飞,刘 艳.丝素蛋白纳米纤维及其复合材料的制备及应用[J].轻纺工业与技术,2017,46(6):18－20.

[26] KI C S, GANG E H, UM I C, *et al*. Nanofibrous membrane of wool keratose/silk fibroin blend for heavy metal ion adsorption[J].Journal of Membrane Science,2007,302(1):20－26.

[27] ZHOU W,HUANG H,DU S, *et al*. Removal of copper ions from aqueous solution by adsorption onto novel polyelectrolyte film-coated nanofibrous silk fibroin non-wovens [J]. Applied Surface Science,2015,345:160－174.

[28] SUN J,LI M,ZHANG Z, *et al*. Unravelling the adsorption disparity mechanism of heavy-metal ions on the biomass-derived hierarchically porous carbon[J].Applied Surface Science, 2019,471:615－620.

Application of Natural Organic Nanocomposites in the Adsorption of Heavy Metal Ions

CHENG Li-yuan, WANG Yi-wei, SUN Feng,
NIE Du, DAI Jia-mu*, ZHANG Wei, ZHANG Yu, LI Su-ying
(School of Textile and Clothing, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract:The research of the nanocomposites of cellulose, chitosan, sodium alginate and protein in the field of heavy metal ion adsorption was introduced. The application status and development prospect of this technology in the field of heavy metal ion adsorption was summarized.

Key words:adsorption of heavy metal ions; nanomaterial; modification

(上接第 3 页)

Research and Application of Negative Ion Functional Textiles

YANG Shu-bin[1,2], LIU Min[2], CAO Xue[1,2], LIU Jian-fei[1,2],
ZHOU Yuan-you[1], ZUO Lu-chuan[2], LIANG Qian-qian[1,2,*]
(1. National Insulation Engineering Technology Research Center, Mianyang 621024, China;
2.Sichuan EM Technology Co., Ltd., Mianyang 621024, China)

Abstract:The production and efficacy of negative ions, the types of negative ion releasing materials, the preparation method of negative ion textiles, and the application of negative ion textiles in air purification, water purification, and human health care were introduced.

Key words:negative ion; textile; preparation; application