

# A Study of Antimicrobial Ability of the Nano-Zinc Oxide Polypropylene Fiber

Jianguo Cai, Ruimin Cai

Jiangsu Yin Mao Holding Group Co.Ltd, Nanjing  
Email: cjc1960@hotmail.com

Received: Aug. 4<sup>th</sup>, 2013; revised: Aug. 9<sup>th</sup>, 2013; accepted: Sep. 20<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Jianguo Cai, Ruimin Cai. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** In this paper, we study the effect of changing concentration of nano-zinc oxide in nano-zinc oxide polypropylene fiber on its antimicrobial ability. The experimental result indicates that with a concentration of 1.5% nano-zinc oxide, the nano-zinc oxide polypropylene fiber is of great antimicrobial ability. Comparing the antimicrobial ability of polypropylene fiber with nano-zinc oxide and micronized zinc oxide, it shows that nano-zinc oxide has a better antimicrobial ability in polypropylene fiber than micronized zinc oxide. Moreover, nano-zinc oxide polypropylene fiber has a better antimicrobial ability than nano-zinc oxide polypropylene plastic film. In conclusion, nano-zinc oxide is an ideal antibacterial additive for polypropylene fiber.

**Keywords:** Nano-Zinc Oxide; Micronized Zinc Oxide; Polypropylene Fiber; Antibacterial Ability

## 纳米氧化锌聚丙烯纤维的抗菌性能研究

蔡建国, 蔡睿敏

江苏银茂控股集团有限公司, 南京  
Email: cjc1960@hotmail.com

收稿日期: 2013 年 8 月 4 日; 修回日期: 2013 年 8 月 9 日; 录用日期: 2013 年 9 月 20 日

**摘要:** 本文通过纳米氧化锌聚丙烯纤维纳米氧化锌含量的变化来研究对纳米氧化锌聚丙烯纤维抗菌性能的影响, 研究发现要使纳米氧化锌聚丙烯纤维具有良好的抗菌性能, 其纳米氧化锌最佳加入量为 1.5%, 同时对纳米氧化锌和微粉氧化锌在聚丙烯纤维的抗菌性能进行了对比, 对比得出在聚丙烯纤维中纳米氧化锌的抗菌性能明显优于微粉氧化锌, 而且纳米氧化锌在聚丙烯纤维中抗菌性能也优于纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的, 因此纳米氧化锌是理想的聚丙烯纤维抗菌添加剂。

**关键词:** 纳米氧化锌; 微粉氧化锌; 聚丙烯纤维; 抗菌性能

### 1. 引言

随着科学技术的日益进步和生活水平的提高, 人们对纺织品的功能要求也在提高, 我公司为了适应市场需求进行了纳米氧化锌聚丙烯抗菌纤维的抗菌性能研究进而开发功能性抗菌纤维。据相关资料介绍纳米氧化锌在涂料中 1% 的浓度对金黄色葡萄球菌杀灭

率为 98.8%, 大肠杆菌杀灭率为 99.9%<sup>[1]</sup>。同时纳米氧化锌与传统的银离子抗菌剂相比有较高的经济性。由于纳米氧化锌作为抗菌剂既有较强的抗菌性能, 又有较高的经济性, 因此我公司选择纳米氧化锌作为开发功能性抗菌纤维的抗菌添加剂。通过研究发现经改性后的纳米氧化锌和聚丙烯切片混纺, 当纳米氧化锌添

加到一定量的情况下，其混纺的纳米氧化锌聚丙烯纤维具有良好的抗菌性能，对金黄色葡萄球菌杀灭率达到 99.9%，下面就研究的过程和结果作一个介绍。

## 2. 试验方法及过程

关于纳米氧化锌聚丙烯抗菌纤维的抗菌性能研究主要进行了如下三个方面的研究：

1) 纳米氧化锌在聚丙烯纤维中含量的变化对纳米氧化锌聚丙烯纤维抗菌性能的影响。

2) 对纳米氧化锌和微粉氧化锌在聚丙烯纤维中的抗菌能力进行试验比较。

3) 纳米氧化锌含量相同对纳米氧化锌聚丙烯纤维和纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能进行试验比较。

纳米氧化锌聚丙烯纤维抗菌性能的研究主要在上海东华大学进行，其抗菌性能的测试委托 SGS 通过标准技术服务有限公司上海分公司测试；纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能研究在南京航空航天大学进行，其抗菌性能的测试委托南京疾病预防控制中心测试；纳米氧化锌和微粉氧化锌的改性均在南京工业大学进行；试验所用纳米氧化锌和微粉氧化锌均为南京苏星锌业有限公司提供，纳米氧化锌的粒径分布范围经南京大学测试中心测试在 20~40 nm 之间，微粉氧化锌其质量指标符合 HG/T2572-1994 工业活性氧化锌的质量标准。

试验其纤维主要研究了纳米氧化锌和微粉氧化锌聚丙烯纤维抗菌性能，纤维的规格为 100 dtex/36f，加入的改性纳米氧化锌量为 0.25%、1.0%、1.5%，以及微粉氧化锌在聚丙烯纤维中加入量 1.5%，其聚丙烯纤维抗菌性能的测试标准为 GB/20944-2007 纺织品抗菌性能的评价，测试菌种为金黄色葡萄球菌，试验抗菌性能测试的纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜规格为厚 0.08 mm，加入的纳米氧化锌改性粉体为 1.5%，其测试方法为抑菌环法和 GB/T15979-2002 一次性使用卫

生用品卫生标准作为判断依据。

## 3. 试验结果及分析

根据试验发现纳米氧化锌在聚丙烯纤维中加入的量对纳米氧化锌聚丙烯纤维的抗菌性能有重大影响，纳米氧化锌只有加入到一定量以上纤维才具有良好的抗菌性能；微粉氧化锌和纳米氧化锌在聚丙烯纤维中均具有抗菌能力，只是纳米氧化锌和微粉氧化锌在加入相同的情况下纳米氧化锌的抗菌效率更高，而纳米氧化锌聚丙烯纤维和纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能比较纤维的抗菌效率更高。纳米氧化锌在聚丙烯纤维中含量变化对抗菌性能的影响见表 1。

从表 1 可以发现纳米氧化锌在聚丙烯纤维中含量达到 1.5% 纤维具有良好的抗菌效果，关于纳米氧化锌抗菌的基本原理如下，由于纳米氧化锌锌离子带正荷，而细菌等微生物细胞带负荷，当这些致病微生物接触到金属离子依据库仑引力与微生物正负电荷相互吸引，抗菌金属离子便有能力击穿微生物的细胞膜进入细胞质，使细胞蛋白质变性，使细胞无法呼吸、代谢和繁殖，直至死亡完成灭菌过程。通常杀抑微生物同时并不消耗抗菌剂本身，新的微生物到来时锌离子仍然会发挥灭菌作用达到长效灭菌效果<sup>[2]</sup>。同时本研究是将改性的纳米氧化锌粉与聚丙烯切片混纺而得到的聚丙烯抗菌纤维，因此不怕重复洗涤，达到聚丙烯抗菌纤维永久性抑灭菌效果。另外根据四川省疾病预防控制中心所进行的试验氧化锌属于无毒级产品<sup>[2]</sup>，表明纳米氧化锌作为纤维的抗菌剂对人体是安全的。

从表 1 还发现纳米氧化锌虽然具有高效的抗菌能力，但在材料中必需达到一定的浓度才能达到良好的抗菌效果，这是由于纳米氧化锌作为抗菌剂只有在抗菌材料的表面才能发挥抗菌作用，而在发挥作用时表面抗菌剂的浓度随着抗菌作用而降低，表面抗菌剂浓度的降低导致了抗菌材料的表面和内部的抗菌剂浓

**Table 1. The effect of changing concentration of nano-zinc oxide in nano-zinc oxide polypropylene fiber on its antimicrobial ability**  
**表 1. 纳米氧化锌在聚丙烯纤维中含量变化对抗菌性能的影响**

试验菌种名称菌种编号	纳米氧化锌含量(%)	抑菌率(%)	GB/20944-2007 评价标准	评价
金黄色葡萄球菌 (ATCC6538)	0.25	42.9		无抗菌效果
	1.0	92.6	当样品抑菌率 ≥ 90% 样品具有抗菌效果， 当样品抑菌率 ≥ 99% 样品具有良好的抗菌效果	具有抗菌效果
	1.5	99.9		具有良好的抗菌效果

度差, 抗菌剂便依靠浓度梯度的推动向表面扩散, 因此抗菌剂在抗菌材料中要保持一定的浓度才能达到持续抑灭菌的作用<sup>[3]</sup>。通过试验纳米氧化锌和聚丙烯混纺纤维中的纳米氧化锌浓度达到 1.5%, 就可达到持续永久的抑灭菌能力, 按 GB/20944-2007 评价标准评价达到具有良好的抗菌效果。

在研究纳米氧化锌在聚丙烯纤维中的抗菌性能时也了微粉氧化锌在聚丙烯纤维中的抗菌能力, 通过试验发现纳米氧化锌在聚丙烯纤维中的抗菌能力明显优于微粉氧化锌在聚丙烯纤维中的, 见表 2。

在同样含量(1.5%)的情况下纳米氧化锌聚丙烯纤维按 GB/20944-2007 评价标准评价达到具有良好的抗菌效果, 而微粉氧化锌聚丙烯纤维按 GB/20944-2007 评价标准评价为无抗菌效果, 为什么同为氧化锌抗菌能力差别会如此之大? 造成抗菌能力差别会如此之大的主要原因是纳米材料的小尺寸效应和表面效应, 见扫描电镜照片图 1 和图 2。从扫描电镜照片发现微粉氧化锌和纳米氧化锌虽然都同样经过研磨改性, 但微粉氧化锌在聚丙烯纤维中分布的大量是两个微米左右的氧化锌颗粒, 而纳米氧化锌在聚丙烯纤维中分布的均为几十个纳米的氧化锌颗粒, 纳米氧化锌尺寸小表面积大, 当粒径由两个微米左右减小到几十个纳米时颗粒的比表面积要增大几十倍, 而抗菌能力也随之相应增加; 同时由于纳米微粒尺寸小表面积大, 位于表面的原子占相当大比例, 纳米粒子粒径的减小, 最终会引起其表面原子活性的增大而不稳定很容易失去电子形成空穴, 能对水或容存的氧反应产生氢氧根自由基(OH<sup>·</sup>)和负氧离子(O<sup>2-</sup>), 其中氢氧根自由基(OH<sup>·</sup>)具有很强的氧化能力, 几乎能将所有构成有机物分子的化学键切断分解, 通过氧化破坏了细胞内的辅助酶作用, 而使细菌或真菌的繁殖中止<sup>[4]</sup>; 而带正电荷的空穴的抑灭原理和前述关于纳米氧化锌抗菌的基本原理相同。因此微粉氧化锌在聚丙烯纤维中虽有抑灭菌功能但不明显, 而纳米氧化锌由于有纳米材

料的小尺寸效应和比表面积效应有较强的抑灭菌功能。对于微粉氧化锌和纳米氧化锌在聚丙烯纤维中不仅抗菌性能有较大差别, 而且可纺性和纤维的性能也有明显差别, 纳米氧化锌聚丙烯纤维的可纺性好、纤维性能优良, 本文就此不作重点论述。

本纳米氧化锌聚丙烯纤维的抗菌性能研究还和纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能做了一个对比, 其纳米氧化锌的含量均为 1.5%, 纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能测试结果见表 3。其测试的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌按 GB15979-2002 一次性使用卫生用品卫生标准要求都远远高于标准要求, 但按

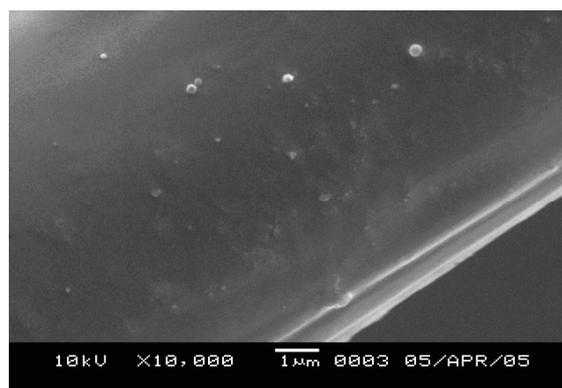


Figure 1. Polypropylene fiber with nano-zinc oxide SEM image  
图 1. 纳米氧化锌在聚丙烯纤维中分布扫描电镜照片 10000×

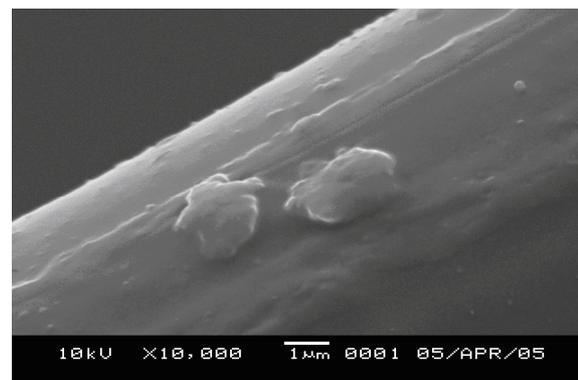


Figure 2. Polypropylene fiber with micronized zinc oxide SEM image  
图 2. 微粉氧化锌在聚丙烯纤维中分布扫描电镜照片 10000×

Table 2. Comparing the antimicrobial ability of polypropylene fiber with nano-zinc oxide and micronized zinc oxide  
表 2. 纳米氧化锌和微粉氧化锌在聚丙烯纤维中的抗菌能力比较

试验菌种名称 菌种编号	粉体种类	含量(%)	抑菌率(%)	GB/20944-2007 评价标准	评价
金黄色葡萄球菌 (ATCC6538)	纳米氧化锌	1.5	99.9	当样品抑菌率 ≥ 90%样品具有抗菌效果, 当样品抑菌率 ≥ 99%样品具有良好的抗菌效果	具有良好的抗菌效果
	微粉氧化锌	1.5	86.2		无抗菌效果

**Table 3. The antimicrobial ability of nano-zinc oxide polypropylene plastic film**  
**表 3. 纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能**

试验菌种名称菌种编号	抑菌率(%)	GB/T15979-2002 标准要求
大肠杆菌(8099)	97.2	≥50%
金黄色葡萄球菌(ATCC6538)	97.3	≥50%

GB/20944-2007 纺织品抗菌性能的评价还达不到具有良好抗菌效果的水平, 因此对于纳米氧化锌聚丙烯纤维和纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能相比, 虽然加的同一种纳米氧化锌, 加的量也相同, 但对聚丙烯纤维和聚丙烯塑料薄膜的抗菌性能还是有差别的, 造成这种差别的主要原因是纳米氧化锌聚丙烯纤维和纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜产品尺寸差别而产生的, 由于纳米氧化锌聚丙烯纤维比纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜尺寸更小, 因此纤维比薄膜的比表面积大, 纳米氧化锌在聚丙烯纤维表面裸露的机率比纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜大, 而相应的同含量抗菌剂的情况下纳米氧化锌聚丙烯纤维抗菌性能优于纳米氧化锌聚丙烯塑料薄膜的。

#### 4. 结论

通过上述试验研究可得出如下三点结论:

1) 纳米氧化锌在聚丙烯纤维中含量的变化对纳

米氧化锌聚丙烯纤维抗菌性能有较大影响, 要使纳米氧化锌聚丙烯纤维具有良好的抗菌效果其纳米氧化锌最佳加入量为 1.5%。

2) 纳米氧化锌和微粉氧化锌在聚丙烯纤维中均能表现一定的抗菌性, 纳米氧化锌具有纳米材料的小尺寸效应和比表面积效应因而体现出更强的抑灭菌功能。

3) 纳米氧化锌均能作为聚丙烯纤维和聚丙烯塑料薄膜抗菌添加剂, 都具有较好抗菌性能, 只是纳米氧化锌在聚丙烯纤维中抗菌能力发挥更充分。

总之通本试验研究发现纳米氧化锌作为抗菌剂添加到聚丙烯纤维中是完全可行的, 不仅纤维有良好的抗菌性能, 而且相比银离子抗菌剂还有良好的经济性, 纤维性能优良, 同时纳米氧化锌对人体安全无毒, 因此纳米氧化锌是化纤纤维理想的抗菌添加剂。

#### 参考文献 (References)

- [1] 张全勤, 张继文. 纳米技术新进展[M]. 武汉: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 金宗哲. 无机抗菌材料及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [3] 季君晖, 史维明. 抗菌材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [4] 倪星元, 沈军, 张志华. 纳米材料理化特性与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.