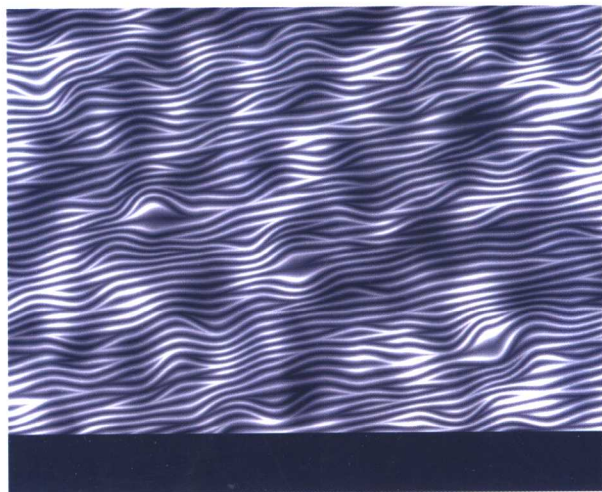


曾汉民 主编

功能纤维



Chemical Industry Press



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

功能纤维/曾汉民主编. —北京: 化学工业出版社,
2005. 2
ISBN 7-5025-6504-3

I. 功… II. 曾… III. 功能性纤维 IV. TQ342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137195 号

功 能 纤 维

曾汉民 主编

责任编辑: 王苏平

文字编辑: 林 丹

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 23 字数 626 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6504-3/TB·108

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

当今是知识经济时代，高新技术日新月异迅速发展，人民生活需求不断提高。人们对天然纤维和化学纤维的要求已不仅仅是具有很好的力学性能、耐热性能、耐磨性能及耐化学药品稳定性等基本性能，而且针对不同使用要求，纤维还需具有不同的功能，如导电、抗静电、导磁、光电、热电、压电、光致变色、贮热、亲水、亲油、生物医用、智能、抗菌消臭、芳香、阻燃、紫外线遮蔽等多种多样的物理或化学特性，使纤维及其织物更适合人类穿着的舒适性、保健性和安全性要求，并且满足装饰及工业使用的多样化需求。

现在，人们可以采用分子设计、结构设计、特殊加工技术对传统纤维进行化学改性（如大分子反应或接枝共聚）和共混改性（如不同的纤维共混或用微米或纳米级功能无机粒子共混改性），或用新的化学合成方法等高新技术制造多种多样达上千个品种的功能纤维及其织物。功能纤维及其织物已成为迅速发展的高新技术产业。

特别应指出的是，今天出现的多种多样不同品种的功能纤维及其织物是不同学科和技术有效相互交叉渗透的典范，只有知识集约化及不同技术整合，才能促进高附加价值的多种多样功能纤维及其织物的发展，及时满足不同的应用要求。为此，加速高性能功能纤维的发展必将推动科技研发体制的创新，从而达到最大的社会效益和经济效益。

我国对于功能纤维及其织物的研究起步较晚，相应的科技研发和生产及应用与发达国家（如日本、美国）有较大差距。然而，现今从事功能纤维及其织物研发和生产的单位与科技人员越来越多，而且各有特色。本书的编者们对功能纤维领域的重要性和多样性及

其日新月异的发展有深刻的认识,经过较长时间的酝酿,我们结合各自的研发领域,分别对不同功能纤维进行了整理、综述和评论,着重概述各领域主要功能纤维的新进展,使对这些领域感兴趣的读者对其有较为全面的了解。同时要指出的是,这本书不像一本教科书那样各章之间密切相关,各章作者阐述不同内容的方式也不一样,有的较为详细些,有的简要概述。然而,各章作者都是本领域深有研究的学者,各有特色和风格。本人作为主编针对有关本书的内容与作者们进行了多次商讨、组稿和审阅,经过近两年多的时间促成了《功能纤维》一书的完成。正如前面所说,功能纤维的发展日新月异,多种多样,我们不可能做系统的论述,希望通过结合作者们的工作,集思广益,重点介绍和评论功能纤维若干主要问题,对现代材料科学技术领域里功能纤维材料这个重要的发展方向给予重视,奉献给我国读者。

本书主要分为三部分:第一部分(吸附-分离功能纤维),离子交换与螯合纤维(第一章,原思国),活性碳纤维(第二章,陈水挾),中空纤维膜材料(第三章,王庆瑞);第二部分,生物医学纤维和智能纤维(第四、第五章,沈新元);第三部分,阻燃剂及阻燃纤维(第六章,齐鲁),抗菌剂及抗菌消臭功能纤维(第七章,吴兴惠、肖耀南)。在这里我要特别感谢各章作者给予本人工作的大力支持和帮助,同时要指出的是即便在论述每一章的内容时也不可能包揽无遗,但作者们都努力把基本内容和发展态势在各章中做了介绍。书中一些错误和疏漏在所难免,恳盼读者给予批评指正。

曾汉民

2004年9月于广州中山大学

目 录

第一章 离子交换与螯合纤维	1
第一节 离子交换纤维的历史、研究、开发与应用现状	2
第二节 离子交换纤维的形貌与结构特点	6
一、离子交换纤维与织物的外观形貌	6
二、离子交换纤维的微观形貌特点	7
第三节 离子交换纤维的使用、再生、物理化学及反应性能 ...	10
一、离子交换纤维的使用与再生性能	10
二、离子交换纤维的物理化学稳定性能	14
三、离子交换纤维的反应动力学性能	16
四、离子交换纤维对极性气体的吸附滤除	18
第四节 离子交换纤维与织物的制备加工与性能改进	19
一、离子交换纤维与织物的合成	20
二、制备离子交换纤维的骨架材料	22
三、离子交换纤维与织物的制备工艺和设备	31
四、离子交换纤维织物的加工成型	32
五、离子交换纤维物理化学性能改进	34
第五节 离子交换纤维材料物理化学结构与性能的分析表征 ...	36
一、离子交换纤维化学结构与性能的分析表征	36
二、离子交换纤维物理结构与性能的测试表征	45
第六节 离子交换纤维在不同领域中的应用	51
一、极性气体分子的吸附滤除	51
二、高纯水制备、工业废水净化与微量元素富集	55
三、在湿法冶金领域的应用	57
四、高分子催化剂	59

五、稀土元素提取	61
六、生化工程及天然产物的分离萃取	61
七、医用纺织品领域的应用	63
八、其他领域	65
第七节 离子交换纤维的发展与展望	66
一、新型有机功能纤维的合成	66
二、离子交换纤维材料的交换与吸附机理的研究	68
三、离子交换纤维品种的系列化及应用领域拓宽	69
参考文献	70
第二章 活性炭纤维	83
第一节 概述	83
第二节 活性炭纤维的制备	86
一、预处理	87
二、炭化	89
三、气体活化法	90
四、化学活化法	93
五、活性炭纤维的生产设备	94
六、各种原料基活性炭纤维的制备	96
七、制备条件对活性炭纤维结构性能的影响	105
八、中孔活性炭纤维的制备工艺	108
第三节 活性炭纤维的孔结构及其表征	109
一、活性炭纤维的分子及结晶结构	109
二、活性炭纤维的孔及比表面积	115
三、活性炭纤维的孔和表面积表征方法	122
第四节 活性炭纤维的表面化学性质及其表征	132
一、活性炭纤维的表面基团	132
二、表面化学性质的表征	134
第五节 吸附模型及活性炭纤维的吸附特征	141
一、吸附与吸附模型	141
二、活性炭纤维的吸附特征	147

第六节 活性碳纤维的氧化还原特性.....	154
一、活性碳纤维的氧化还原特性概述.....	154
二、活性碳纤维的氧化还原机理.....	155
三、活性碳纤维还原能力的改进.....	158
第七节 活性碳纤维的应用.....	162
一、活性碳纤维的气相吸附应用.....	163
二、液相吸附应用.....	168
三、活性碳纤维的氧化还原特性在贵金属回收等方面 的应用.....	174
四、抗菌活性碳纤维的制备及应用.....	179
五、活性碳纤维在其他方面的应用.....	187
参考文献.....	195
第三章 中空纤维膜材料.....	207
第一节 概论.....	207
第二节 膜分离科学与技术.....	208
一、膜分离技术的发展概况.....	209
二、膜分离的基本概念和特点.....	210
三、膜的分类.....	212
四、膜分离过程.....	215
第三节 几种膜分离过程的分离机理.....	217
一、反渗透膜的分离机理和模型.....	217
二、超滤膜的分离机理和模型.....	223
三、微滤膜的分离机理和模型.....	227
四、透析过程及其分离机理.....	229
五、电渗析的分离机理和装置.....	231
六、气体分离膜及其分离机理.....	235
七、渗透蒸发膜过程及其分离机理.....	239
八、液膜.....	249
九、气态膜.....	253
十、控制释放膜.....	255

第四节 中空纤维膜材料	256
一、膜材料的选择原则	256
二、膜材料的基本性能	257
三、典型膜材料	261
第五节 中空纤维膜的纺制及膜分离装置	273
一、中空纤维膜的成形方法	274
二、成膜条件与膜结构和性能的关系	279
三、中空纤维膜装置	287
第六节 膜分离技术的应用	291
一、医疗保健功能纤维	291
二、水的纯化	332
三、废水处理及回收	337
四、食品和生物制品工业中的应用	354
五、气体分离	361
六、在石油化工中的应用	365
参考文献	376
第四章 生物医学纤维	378
第一节 概论	378
一、生物医学纤维材料的发展简史	378
二、对生物医学纤维材料的基本要求	380
三、生物医学纤维材料的种类	387
第二节 生物医学纤维材料的性质及测试方法	390
一、化学性质	391
二、物理性质	391
三、生物学性质	392
第三节 主要的生物可降解纤维材料	392
一、甲壳素类纤维	392
二、胶原纤维	410
三、聚乳酸及其共聚物纤维	418
四、其他医学纤维	436

第四节 生物医学纤维材料的主要应用	438
一、体外用生物医学纤维材料	438
二、体内用生物医学纤维材料	440
三、体外循环医疗器械用生物医学纤维材料	449
四、组织工程用生物医学纤维材料	450
参考文献	452
第五章 智能纤维	454
第一节 智能材料概论	454
一、智能材料与智能结构的概念	455
二、智能材料的主要类型	461
三、智能高分子材料的发展趋势	472
第二节 智能纤维材料概论	478
一、智能纤维材料的概念	479
二、智能纤维材料的设计思路	479
三、智能纤维材料的制备技术	485
第三节 主要的智能纤维材料	491
一、形状记忆纤维	491
二、自适应性凝胶纤维	498
三、蓄热调温纤维	510
四、变色纤维	520
第四节 智能纤维材料的应用前景	525
一、服装领域	525
二、装饰领域	530
三、产业领域	530
参考文献	534
第六章 阻燃剂及阻燃纤维	537
第一节 概论	537
第二节 纤维材料的分解与燃烧	539
一、纤维材料的热性能	539
二、纤维的燃烧性	541

三、纤维的燃烧性分类.....	542
四、纤维的发烟性.....	544
五、纤维组成与结构对其燃烧性的关系.....	546
六、阻燃基本原理.....	548
七、阻燃纤维性能评价.....	550
第三节 阻燃剂.....	553
一、阻燃剂概论.....	553
二、阻燃剂的作用.....	553
三、阻燃剂的选择.....	555
第四节 无机阻燃剂.....	556
一、氢氧化铝.....	556
二、氢氧化镁.....	558
三、锑系阻燃剂.....	559
四、磷系阻燃剂.....	561
五、硼系阻燃剂.....	562
六、其他阻燃剂.....	563
第五节 有机阻燃剂.....	564
一、有机磷系阻燃剂.....	564
二、卤系阻燃剂.....	567
三、三聚氰胺及其盐类阻燃剂.....	570
第六节 膨胀型阻燃剂.....	571
第七节 阻燃协同效应.....	572
一、卤-锑协同阻燃机理.....	572
二、卤-磷协同作用.....	574
三、磷-氮协同作用.....	574
第八节 添加阻燃剂制备阻燃纤维.....	575
一、添加阻燃剂制备阻燃纤维的方法.....	575
二、阻燃聚酯纤维.....	576
三、阻燃聚酰胺纤维.....	583
四、阻燃聚丙烯纤维.....	589

五、阻燃聚丙烯腈纤维.....	596
六、阻燃黏胶纤维.....	602
第九节 添加型阻燃纤维的发展趋势.....	607
一、功能复合化.....	607
二、绿色化.....	608
第十节 本质型阻燃纤维.....	610
一、聚对苯二甲酰对苯二胺纤维 (PPTA)	612
二、聚间苯二甲酰间苯二胺纤维 (MPIA)	613
三、聚苯硫醚 (PPS)	614
四、聚苯并咪唑纤维 (PBI)	615
五、聚对亚苯基苯并双噁唑纤维 (PBO)	616
六、石墨化碳纤维.....	617
七、酚醛树脂纤维 (Kynol)	618
八、三聚氰胺缩甲醛纤维 (MF)	618
九、聚四氟乙烯纤维 (PTFE)	619
十、其他类型的本质型阻燃纤维.....	620
参考文献.....	620
第七章 抗菌剂及抗菌消臭功能纤维	622
第一节 抗菌剂的需求背景.....	622
一、有害微生物的控制是一重要的环保问题.....	622
二、生活习惯和居住环境的变化.....	623
三、消费趋势的变化.....	624
四、芳香剂的多样化和恶臭成分.....	625
五、细菌、毒素和臭气.....	626
第二节 微生物的特点及分类.....	628
一、微生物的分类.....	628
二、现代微生物学的建立.....	631
第三节 有害微生物的防除方法.....	633
一、抗菌的定义及分类.....	633
二、物理杀菌法	635

三、生物杀菌法	636
四、化学杀菌法	637
第四节 抗菌及抗菌剂	640
一、抗菌剂及抗菌加工的发展历程	640
二、作为抗菌剂希望具有的特性	641
三、抗菌与防霉	642
四、无机系和有机系抗菌剂的特点	644
第五节 无机系抗菌剂	654
一、金属系抗菌剂	656
二、氧化物光催化系	660
三、银系抗菌剂的优点及存在的问题	660
四、无机抗菌材料的应用	664
第六节 有机系抗菌剂	666
一、有机系抗菌剂的分类	666
二、有机系抗菌剂的特点	668
三、典型的有机系抗菌剂	668
第七节 抗菌剂的抗菌机制	672
一、概述	672
二、有机系抗菌剂的作用机制	674
三、无机系抗菌剂的抗菌机制	674
第八节 银络合物系抗菌剂的制作及特性	677
一、银系抗菌剂的现状	677
二、银络合物系抗菌剂的制作	678
三、银络合物系抗菌剂的特点	680
四、银络合物系抗菌剂的抗菌效果	683
五、银络合物系抗菌剂的安全性	686
第九节 抗菌、除臭功能纤维	687
一、抗菌、除臭功能纤维的制备	688
二、抗菌、除臭功能纤维的发展前景	711
参考文献	712

第一章 离子交换与螯合纤维

离子交换与螯合纤维 (IEF and CLF) 主要是指那些具有离子交换与吸附、配位螯合、反应性催化等功能的纤维状有机功能材料。它们的实验室制备、工业性生产以及在众多领域的应用是当今发展迅速的高新技术之一。此外,某些经化学改性或接枝反应制备的抗菌除臭纤维等由于多与离子交换纤维的制备方法和化学结构相同或近似,文献有时也将其归入离子交换纤维材料中讨论。需要指出的是,国外文献有时会出现纤维状离子交换剂 (fibrous ion exchanger) 和离子交换纤维 (ion exchange fiber) 两种称谓,其中前者是指各种合成、人造或天然纤维经化学改性与接枝后得到的纤维状离子交换功能材料;后者有时特指经化学改性后具有离子交换功能的纤维素 (cellulose) 产品,它们的外观形状可以是纤维状,但有时则为粉末或颗粒状。本章对纤维素类离子交换材料仅做简要介绍,而将重点放在纤维状有机离子交换功能材料的介绍上。

与传统意义上的颗粒型离子交换树脂 (granular ion exchange resin) 相比,离子交换纤维材料除了具有有效比表面积 (effective specific surface area) 大、吸附与洗脱速度快以及能以多种形式 (纤维束、纤维球、带状织物、针织布以及各种形式的非织造布等) 方便使用的优点外,它们的出现还使得离子交换这一常见的化学分离与富集工艺在气相非水体系下的实际应用成为可能。大约从 20 世纪 70 年代后期开始,这类材料的合成与应用研究呈逐渐加速的趋势,品种繁多、结构新颖的离子交换纤维材料不断出现,它们的应用领域也在迅速扩大中。时至今日,这类新型功能纤维材料已经逐渐走出实验室合成与性

能研究的文献积累阶段，开始进入工业制备与不同领域实际应用的广阔舞台。

第一节 离子交换纤维的历史、研究、开发与应用现状

人类有意识通过化学改性手段制备具有预期特殊功能纤维材料的历史至少可以追溯到半个多世纪以前。20 世纪 40 年代，F. M. Ford, W. P. Hall 及 J. D. Guttorie 等人首次采用磷酸化^[1]和胺化^[2]的方法将磷酸基、氨基等化学功能团引入到棉纤维内，分别制得具有一定离子交换容量的阴、阳离子交换纤维棉，从而开创了这一研究开发领域的先河。但由于受当时纤维材料品种和科技发展水平的限制，这类材料虽有缓慢发展，但总的来讲尚不能达到实际使用过程中对其物理、机械以及化学吸附等性能的要求。大约 20 世纪 50 年代，日本熊本大学以新兴的维纶纤维为基体制备了离子交换纤维^[3]，其后美国罗姆哈斯 (Rohm and Hass) 公司、苏联化纤研究院等也相继有离子交换纤维材料合成、性能研究和在不同领域应用的报道^[4~6]。值得注意的是，自 70 年代以来，随着反应性高分子化学的迅速发展以及社会对特殊功能材料需求的不断增长，离子交换和其他有机功能纤维材料的实验室研究、工业性制备与实际应用的技术开发等工作首先在前苏联和日本等国展开。其中，前苏联先后开发出数十种可进行工业性制备的化学吸附、反应催化、螯合吸附以及离子交换纤维材料，并成功地将其用于工业废气、含重金属离子废水的净化与富集回收^[7,8]等领域。此外在离子交换纤维材料物理化学结构与性能的关系^[9~11]、对水蒸气与各种介质的吸附解吸等温线、选择与分配、使用与再生过程中的渗透压和热稳定性^[12~14]以及吸附速度、催化机理、传质方式等方面^[15~18]都做出了许多系统性的基础工作。几乎与此同时，日本等国则敏锐地预见到这类材料有可能产生潜在的广阔应用前景，因此在无机^[19]、中空^[20]、海岛型^[21]有机功能纤维的合成与加工、稀土元素分离、抑菌消臭、高吸水（体液）、生物活性以及开发利用新世纪能源——从海水

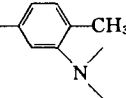
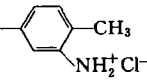
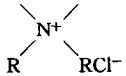
中富集铈等^[22~25]方面完成了许多实用性的探索。据了解,以 20 世纪 70 年代后期为一起点,有机功能纤维的发明专利、研究论文及相关综述^[26~30]大约以五年翻一番的速度增长,它们的应用领域也相继扩展到化学反应催化、贵金属湿法冶炼、工业废水净

表 1-1 国外几种常见牌号离子交换纤维的基本物理化学性能参数

白俄罗斯 FIBAN 牌号离子交换纤维						
纤维商 品牌号	活性功能基	类 型	最佳交换 容量 /(mmol/g)	最佳 溶胀 /(gH ₂ O/g)	pH 工作 范围	最高工作 温度/℃
FIBAN A-1	$-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{Cl}^-$	单功能基 强碱	2.7	0.8	0~14	50(OH ⁻) 100(Cl ⁻)
FIBAN AK-22-1	$\equiv\text{N}, -\text{NH},$ $-\text{COOH}$	多功能基	4.5 1.0	0.7	1~8	80
FIBAN K-1	$-\text{SO}_3^- \text{H}^+$	多功能基 强酸	3.0	1.0	0~14	100(H ⁺)
FIBAN K-3	$-\text{COOH}$ $-\text{NH}_2, \equiv\text{NH}$	多功能基	5.0 2.0	0.5	5~12	100
FIBAN K-4	$-\text{COOH}$	单功能基 弱酸	5.0	1.1	5~13	80
FIBAN X-1	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{COO}^- \\ \\ -\text{N} \\ \\ \text{CH}_2\text{COO}^- \end{array}$	亚氨基 二乙酸	3.5(COOH) 0.5(NR ₂)	0.6	5~128	80
FIBAN K-1-1	$-\text{SO}_3^- (\text{K}^+, \text{Co}^{2+})$ $\text{K}_x\text{Co}_y[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	强酸氰亚 铁酸钾钴 盐改性	3.0 10%(质量)	0.7	0~11	100
FIBAN A-5	$-\text{N}(\text{CH}_3)_2, \equiv\text{NH}$ $-\text{COOH}$	多功能基 (叔氨基为主)	4.2(NR ₂) 0.5(COOH)	1.4	1~8	80
FIBAN A-6	$(\text{C}_6\text{H}_5\text{O})(\text{CH}_3)_2\text{N}^+\text{Cl}^-$ $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$	多功能基 强与弱碱性 有机胺	2.0(N ⁺) 0.8(NR ₂)	1.2	0~13	80(Cl ⁻)
FIBAN A-7	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})(\text{CH}_3)_2\text{N}^+\text{Cl}^-$ $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$	多功能基 强与弱碱性 有机胺	2.1(N ⁺) 1.0(NR ₂)	1.6	0~13	80(Cl ⁻)

续表

俄罗斯 VION 牌号离子交换纤维

纤维商 品牌号	活性功能基	交换容量 /(mmol/g)	纤度 /tex	断裂 强度 /(cN/tex)	伸长率 /%	在 25℃ 下的溶胀率/%		
						水中	5% NaOH	5% H ₂ SO ₄
ВНОН КА-1	—COOH	5.0~7.0	0.2~1.0	7~10	20~30	40~50	150~200	40~50
ВНОН КС-2	—SO ₃ H	0.8~1.1	0.5~1.0	12~15	20~30	25~40	25~35	25~35
ВНОН АН-1		2.0~2.5	0.1~1.0	12~15	20~30	7~8	7~8	120~150
ВНОН АН-3	—NH, —NH ₂	3.0~3.5	0.1~1.0	7~10	20~30	10~15	10~15	100~120
ВНОН АС-1		0.8~1.2	0.1~1.0	7~10	20~30	20~25	20~25	50~60
ВНОН АС-2		0.7~1.1	0.1~1.0	12~15	20~30	20~25	20~25	70~80

日本 IONEX 牌号海岛型离子交换纤维

编号	原纤维的 组分	离子基团	直径 /μm	强度 /(cN/tex)	伸长率 /%	容量 /(mmol/g)	含水率 /%
—	(ST/DVB)/PP	—	24	3.4	40	—	—
1	(40/10)/50.0	—SO ₃ Na ⁺	30	1.3	18	2.6	1.6
2		$\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_2 \\ \\ \text{Cl}^- \end{array}$	32	1.4	29	2.4	1.9
3	(90/7.5)/62.5		32	2.0	38	1.9	1.7
4	(20/5.0)/75.0		28	3.0	28	1.3	1.0

化、呼吸性个体防护、天然产物分离提取、抗菌除臭以及医用功能材料等领域。目前白俄罗斯、俄罗斯和我国等均有一定规模的离子交换有机功能纤维生产，其产品品种也比较齐全。例如，俄罗斯的 VION 和白俄罗斯的 FIBAN 两大牌号离子交换与化学吸附纤维产

品均包括强碱、强酸、弱碱、弱酸、两性、螯合等品种，其年产量估计超过百吨；此外日本商品牌号为 IONEX 和 TIN 等牌号的有机功能纤维也达到了一定规模，其中医用功能纤维与织物的年产量在 80 年代就达到了 2000 余吨的水平（包括后整理以及复合有机功能纤维材料）。此外，Smoptech 等厂家和乌克兰等独联体国家也有不同型号的离子交换纤维产品出售^[31]。国外几种常见牌号离子交换纤维的基本物理化学性能参数见表 1-1。

多年来，我国在离子交换与螯合纤维领域也做出了许多具有开创性的工作。早在 20 世纪 60 年代初，中山大学曾汉民教授等人就采用高价铈盐预氧化甘蔗渣黏胶纤维以及天然麻和维纶后，再与甲基丙烯酸接枝共聚的方法制得具有较高交换容量的离子交换纤维^[32]。据了解，这是我国首次在离子交换纤维领域开展的研究工作。70 年代后期至今中山大学在这一领域的工作更为活跃，不但先后研制出中空 IEF^[33]、强弱酸 IEF^[34,35]、半炭化 IEF^[36] 以及胍胍基^[37,38]、硫脲基^[39]、磷酸酯基^[40]、有机氨基^[41,42] 等螯合纤维 (CLF) 材料，并且对它们的制备方法、稀土元素分离^[34]、重金属离子吸附^[43,44]、三价金富集^[38] 以及螯合纤维材料对不同贵金属离子特异的氧化还原性能^[45]、吸金动力学^[46,47] 等方面都做了系统大量的工作。此外，兰州大学^[48,49]、北京服装学院^[50,51] 和天津纺织工学院^[52] 等也开展了离子交换纤维的制备、稀土分离、贵金属离子回收及 IEF 材料离子交换动力学等相关领域的理论研究。河南省科学院化学研究所自 1991 年起已先后研制开发出数种可进行工业批量生产的阴离子交换纤维^[53~55]、阳离子交换纤维^[56]、螯合^[57] 以及抗菌功能纤维与织物材料^[58]，并率先在国内开展了空气净化、人体呼吸防护和抑菌除臭功能织物研制及系列下游产品应用开发等的工作。

在医用功能纤维与织物方面，国内以 20 世纪 70 年代仿制开发整理型卫生功能产品为起端，逐步发展到创新性研制各种类型抗菌功能纤维与织物产品。例如，原中国纺织大学于 80 年代合成出含碱性氯和铜离子两种活性组分的 AB 型抗菌除臭有机功能织物^[59] 并进行了广谱抑菌实验和下游新产品开发，是国内有机抗菌功能纤维研制开发的一