

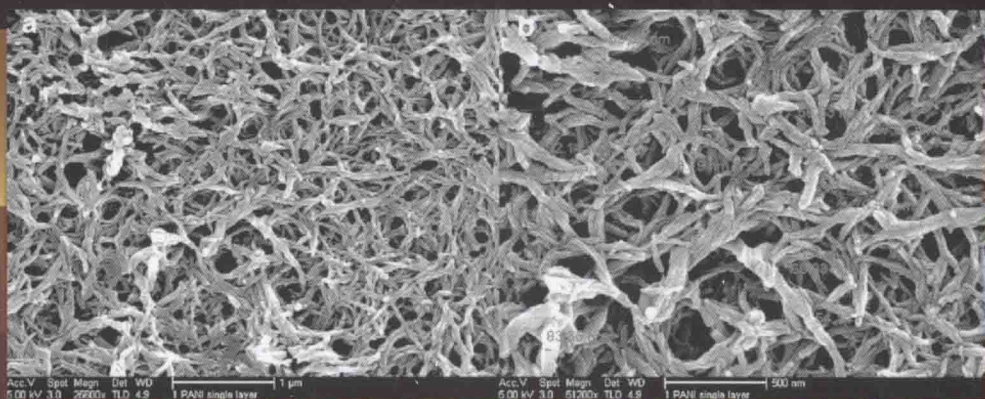


高新技术科普丛书

新型与特种纤维

NOVEL AND SPECIAL FIBERS

■ 张兴祥 韩娜 王宁 编著



化学工业出版社



高新技术科普丛书

新型与特种纤维

NOVEL AND SPECIAL FIBERS

■ 张兴祥 韩娜 王宁 编著

++++
++++
++++
++++
++++



化学工业出版社

· 北 京 ·

随着科学技术的发展,纤维用途已不仅局限于服装及人们生活的方方面面,还包括越来越多的高科技领域。本书以国内外先进、特种、新型纤维材料为内容,对其基本概念、前沿技术及其各行业方面的应用进行了重点介绍,涉及新型纤维成型技术与成型工艺,包括碳纳米管、石墨烯和碳纳米纤维、芳香族高性能纤维、全氟聚合物纤维、本征导电聚合物纤维、吸水纤维和水溶性纤维、吸油纤维、储热调温纤维、吸附与分离纤维和无机陶瓷纤维等。

本书综合了新型与特种纤维近年来最新理论和技术成果,可以在更大程度上满足读者实际需求,也可供行业管理人员、科研人员和相关专业在校大学生、研究生及教师阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据



新型与特种纤维/张兴祥,韩娜,王宁编著. —北京:化学工业出版社,2013.9
(高新技术科普丛书)
ISBN 978-7-122-17977-7

I. ①新… II. ①张…②韩…③王… III. ①纤维-普及读物
IV. ①TQ34-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第163152号

责任编辑:朱彤 仇志刚
责任校对:陶燕华

文字编辑:冯国庆
装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张10½ 字数187千字 2014年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定价:35.00元

版权所有 违者必究

出版者的话

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社自 2000 年以来组织出版了《高新技术科普丛书》。丛书涵盖了化学、化工、生物、材料、环境、能源、资源、先进制造、信息技术等专业领域，分四批出版，共计 44 个分册。有别于面向一般大众的科普图书，丛书面向科技工作者编写，知识起点更高，读者层次更专业，已构成了科普书的一个新类别。丛书已被列入“国家科普知识重点图书”，出版后广受读者好评，市场表现也非常突出。有专家评价该丛书“从理论到实践，从技术到工程化及产业化，既反映了最新成就，又充分体现了科学思想和科学精神，对开拓创新有重要作用”。

时至今日，丛书面市已逾 10 年。期间，化工技术有不小的应用进展，生物、材料、能源等技术领域又取得了许多重要的突破，很多新技术得以应用于生产，提供了更加优良的产品或服务。举例来说，2007 年，日本科学家山中伸弥所在的研究团队通过对小鼠的实验，发现诱导人体表皮细胞使之具有胚胎干细胞活动特征的方法，此方法为治疗多种心血管绝症提供了巨大助力，他因之获得了 2012 年度的诺贝尔生理学或医学奖。2011 年，基于中美两国的能源合作，中国国际航空公司使用现役波音 747-400 型客机加载由中国石油和美国 UOP 公司合作生产的航空生物燃料在首都国际机场执行本场验证飞行，获得圆满成功。

为此，我们紧密结合相关产业的国家“十二五”规划，遴选了一批今后有很大应用前景、对国家科技综合实力有重要影响的实用技术，请专家系统归纳整理出版，作为《高新技术科普丛书》的延续和新品，提供给从事相关领域研究的科技工作者，政府、企业的管理人员及相关专业的高校学生。

丛书介绍各类高新技术的原理、特点、重要地位、产业化现状、应用及发展前景，突出“新”及“高科技”；写作风格上力求深入浅出，图文并茂，做到知识性、科学性、通俗性、可读性及趣味性的统一；编写队伍源自国内知名的专家学者，他们均在各自领域取得了丰硕的研究成果。丛书第一批包括下列分册：

太阳电池及其应用

膜技术

新型与特种纤维

多孔固体材料

超临界流体技术及应用

RNA 干扰技术

作为出版者，我们由衷希望丛书的出版能在提升我国科学研究水平方面略尽绵薄之力，真诚祝愿我国科技事业蒸蒸日上、欣欣向荣！

化学工业出版社

2013 年 8 月

前言

Preface

我国历史悠久，是世界文明古国，也是世界上最早生产纺织品的国家之一。早在原始社会，人们就开始采集野生的葛、麻、蚕丝等天然纤维，并利用猎获的鸟兽羽毛，进行搓、绩、编、织的方法制成粗陋的衣服，以取代蔽体、防暑、御寒的草叶和兽皮，被世人誉为“衣冠王国”的中华文明古国创造了辉煌灿烂的服饰文化，但人类制造纤维的历史仅有一百多年。

1939 年在美国实现熔融纺丝工业化生产 PA66 纤维，第一种合成纤维问世，此后聚丙烯腈纤维（PAN，腈纶）、聚乙烯醇纤维（PVA，维纶）、聚酯纤维（PET，涤纶）、聚氨酯纤维（PU，氨纶）和聚丙烯（PP，丙纶）纤维等相继问世。其中，锦纶产品曾在第二次世界大战中风靡全球，甚至美军将锦纶与铝合金复合用于防弹衣，为诺曼底登陆的美军官兵抵挡德军滩头阵地上发射出的子弹。

我国化学纤维在 20 世纪 50 年代以后得到了迅速发展，经过 60 余年的建设，化学纤维产量已占世界总产量的 60% 以上，取得了令人瞩目的成绩，不但满足国内人民和各行业的需求，而且大量出口海外。随着科学技术的发展，纤维用途已不仅局限于服装及人们生活的方方面面，还包括航空、航天和医疗卫生领域等越来越多的高科技领域。

除了应努力开发纤维新品种、提高纤维的质量和产量外，如何充分认识纤维、用好纤维，多生产出质量上乘、生态友好、附加值高的各类特种纤维与新型纤维，以满足消费需求和我国国民经济各部门的特殊需要，是一项长期而艰巨的任务。为便于相关技术人员和新进入本领域的研究人员、技术人员及师生迅速掌握“新型与特种纤维”领域相关研究、开发状况，结合近年来本领域的最新技术进展情况，编写成本书。本书内容涉及化学纤维的概况、成型工艺、碳纳米管、石墨烯和碳纳米纤维、芳香族高性能纤维、全氟聚合物纤维、本征导电聚合物纤维、高吸水纤维和水溶性纤维、吸油纤维、储热调温纤维、吸附与分离纤维和无机陶瓷纤维等，力图从特种成纤材料合成、新型纺丝工艺、纤维的结构与性能及应用等方面使读者迅速、全面地掌握该领域的基本情况。

本书编者分工如下：第 1 章由韩娜副研究员、张兴祥教授编写，第 2 章由

张兴祥教授、韩娜副研究员编写，第3章由王宁副研究员编写，第4章由张兴祥教授、王宁副研究员编写，第5章由张兴祥教授编写，第6章由安树林教授编写，第7章由徐乃库副教授编写，第8章由石海峰副教授、张兴祥教授编写，第9章由张华教授编写，第10章由康卫民副教授编写。

国内外新型与特种纤维方面的研究日新月异，相关研究的某些方面也还不很成熟，致使本书的内容还存在许多需要完善之处。同时，作者较缺乏撰写科普书籍的经验，书中难免有疏漏和不足之处，敬请行业内专家、学者和广大读者批评指正，不胜感谢！

编者

2013年10月

目录

Contents

◎ 第1章 新型纤维成型技术

001

1.1 熔融纺丝	001
1.2 湿法纺丝	004
1.3 干法纺丝	005
1.4 干湿法纺丝	005
1.5 液晶纺丝	006
1.6 冻胶纺丝	007
1.7 增塑熔融纺丝	008
1.8 静电纺丝	008
1.9 熔喷纺丝	010
1.10 闪蒸纺丝	010
1.11 离心纺丝	011
参考文献	011

◎ 第2章 碳纳米纤维材料

013

2.1 碳纳米管复合纤维及碳纳米管纤维	013
2.1.1 碳纳米管	013
2.1.2 聚合物/碳纳米管复合纤维	014
2.1.3 碳纳米管/聚合物复合纤维	016
2.1.4 碳纳米管连续纤维	017
2.2 石墨烯复合纤维和石墨烯纤维	020
2.2.1 石墨烯	020
2.2.2 聚合物/石墨烯复合纤维	021
2.3 静电纺碳纳米纤维	023
2.3.1 基材对碳纳米纤维制备工艺和结构的影响	024

2.3.2 碳纳米纤维的性能	025
2.4 碳纳米纤维的应用	026
2.4.1 高性能增强纤维	026
2.4.2 防静电、电磁屏蔽材料	026
2.4.3 超级电容器	026
2.4.4 传感器	026
2.4.5 驱动器	027
2.4.6 催化剂载体	027
参考文献	027

◎ 第3章 芳香族高性能纤维

030

3.1 芳香族聚酰胺纤维	030
3.1.1 芳香族聚酰胺纤维的结构	030
3.1.2 芳香族聚酰胺纤维的制造	032
3.1.3 芳香族聚酰胺纤维的共缩聚改性	033
3.1.4 芳香族聚酰胺纤维的应用	035
3.2 芳香族聚酰亚胺纤维	035
3.2.1 芳香族聚酰亚胺纤维结构与性能	036
3.2.2 芳香族聚酰亚胺纤维的制造	037
3.2.3 芳香族聚酰亚胺纤维的应用	040
3.3 苯并唑类芳杂环纤维	040
3.3.1 聚苯并咪唑纤维	041
3.3.2 聚亚苯基苯并二噁唑纤维	042
3.3.3 聚亚苯基吡啶并双咪唑纤维	043
3.4 聚芳硫醚纤维	044
3.4.1 聚苯硫醚纤维的性能	045
3.4.2 聚苯硫醚纤维的制造	047
3.4.3 聚苯硫醚纤维的应用	048
3.5 聚芳醚酮纤维	048
3.5.1 聚醚醚酮纤维的制造	050
3.5.2 聚醚醚酮纤维的性能	050
3.5.3 聚醚醚酮纤维的应用	051
参考文献	051

◎ 第4章 全氟聚合物纤维

053

4.1 全氟聚合物	053
-----------------	-----

4.2 聚四氟乙烯纤维	054
4.2.1 聚四氟乙烯的加工及应用	054
4.2.2 聚四氟乙烯纤维	055
4.3 熔纺聚全氟乙丙烯共聚物纤维	057
4.4 熔纺四氟乙烯-全氟烷基乙烯基醚共聚物纤维	058
4.5 全氟共聚物纤维的性能	059
4.6 全氟聚合物纤维的用途	060
4.6.1 在过滤材料方面的应用	060
4.6.2 在医疗卫生方面的应用	060
4.6.3 在航空航天方面的应用	061
4.6.4 在建筑方面的应用	061
4.6.5 在化工、机械行业的应用	061
参考文献	062

◎ 第5章 本征导电聚合物纤维

063

5.1 导电纤维	063
5.2 聚苯胺纤维	064
5.2.1 聚苯胺纤维	064
5.2.2 聚苯胺纳米纤维	066
5.2.3 聚苯胺/碳纳米管复合纤维	067
5.3 聚吡咯纤维	067
5.3.1 聚合物模板法	067
5.3.2 无机模板法	069
5.3.3 聚吡咯本体溶液纺丝法	071
5.4 其他导电纤维	074
5.5 导电纤维的用途	074
5.5.1 电磁波屏蔽	074
5.5.2 传感器和驱动器	074
5.5.3 电热织物	075
5.5.4 储氢材料	075
5.5.5 防伪、伪装防护材料	075
5.5.6 固相提取	075
5.5.7 电容器	075
参考文献	075

◎ 第6章 高吸水纤维与水溶性纤维

078

6.1 概述	078
--------------	-----

6.1.1	高吸水纤维的分类	078
6.1.2	高吸水纤维的主要指标	079
6.1.3	高吸水纤维的制备方法	079
6.1.4	高吸水纤维的吸水原理	081
6.1.5	高吸水纤维的应用	082
6.2	聚丙烯腈系高吸水纤维	084
6.2.1	聚丙烯腈纤维原料	084
6.2.2	聚丙烯腈纤维的水解反应	084
6.2.3	纤维在水解过程中的变化	085
6.2.4	水解条件对纤维吸水性的影响	086
6.3	聚丙烯酸系高吸水纤维	088
6.4	水溶性纤维	090
6.4.1	聚乙烯醇水溶性纤维的发展概况	090
6.4.2	聚乙烯醇水溶性纤维的原料	091
6.4.3	聚乙烯醇水溶性纤维的溶解	091
6.4.4	聚乙烯醇水溶性纤维的纺丝	092
6.4.5	聚乙烯醇水溶性纤维的应用	094
	参考文献	095

◎ 第7章 吸油纤维

097

7.1	概述	097
7.1.1	吸油材料发展历程	097
7.1.2	吸油机理概述	098
7.2	吸油纤维及其非织造布产品	099
7.2.1	甲基丙烯酸酯系聚合物纤维	099
7.2.2	甲基丙烯酸酯系单体/其他单体共聚物纤维	101
7.2.3	甲基丙烯酸酯系聚合物/聚烯烃共混纤维	105
7.3	吸油纤维应用及再生利用	110
7.3.1	吸油纤维的应用	110
7.3.2	吸油纤维再生利用	111
	参考文献	112

◎ 第8章 储热调温纤维

116

8.1	纺织品舒适性	116
8.1.1	纺织品保温理论	116

8.1.2 纺织品舒适性	116
8.2 聚合物/相变材料混合储热调温纤维	117
8.3 聚合物/相变材料复合纺丝法制备储热调温纤维	117
8.4 聚合物/相变材料微胶囊复合纤维	119
8.4.1 溶液纺丝技术	119
8.4.2 熔融纺丝技术	121
8.5 聚合物(高分子)相变材料静电纺丝纤维	122
8.6 聚合物/相变材料微胶囊静电纺丝纤维	124
8.7 储热调温纤维的应用	124
8.7.1 军用服装	124
8.7.2 职业服装、运动服装	125
8.7.3 家用装饰、床上用品	125
8.7.4 汽车内饰物	125
8.7.5 保护性装置	125
8.7.6 医疗卫生用品	126
参考文献	126

◎ 第9章 吸附与分离纤维

128

9.1 概述	128
9.2 离子交换纤维	128
9.2.1 离子交换纤维的制备	128
9.2.2 离子交换纤维的结构与性能	131
9.2.3 离子交换纤维的应用	132
9.3 活性炭纤维	133
9.3.1 活性炭纤维的制备	133
9.3.2 新型活性炭纤维的制备	135
9.3.3 活性炭纤维的结构与性能	135
9.3.4 活性炭纤维的应用	136
参考文献	137

◎ 第10章 新型陶瓷纤维

139

10.1 概述	139
10.2 氧化铝纤维	139
10.2.1 三氧化二铝纤维的制备方法	139
10.2.2 三氧化二铝纤维的应用领域	142

10.3	连续玄武岩纤维	143
10.3.1	连续玄武岩纤维的制备方法	143
10.3.2	连续玄武岩纤维的结构与组成	144
10.3.3	连续玄武岩纤维的性能特点	145
10.3.4	连续玄武岩纤维的应用领域	145
10.4	碳化硅纤维	146
10.4.1	碳化硅纤维的制备方法	146
10.4.2	国内外碳化硅纤维性能	148
10.4.3	碳化硅纤维的应用	148
10.5	氮化硼纤维	149
10.5.1	氮化硼纤维的结构特点	149
10.5.2	氮化硼纤维的制备方法	149
10.5.3	先驱体法制备氮化硼纤维的发展史与现状	150
10.5.4	氮化硼纤维的应用领域	151
	参考文献	152

第1章

新型纤维成型技术

新型纤维成型技术是指将高分子溶液、聚合物溶液或熔体制备成纤维状材料的技术，既包括熔融纺丝、湿法纺丝、干法纺丝和干湿法纺丝等较为传统的成型技术，也包括液晶纺丝、冻胶纺丝、熔融增塑纺丝、静电纺丝、熔喷纺丝、离心纺丝和闪蒸纺丝等新成型技术。

1.1 熔融纺丝

熔融纺丝工艺示意如图 1-1 所示，熔融纺丝技术适用于分解温度 (T_d) 高于结晶熔融温度 (T_m) 的结晶性聚合物 (表 1-1)。聚合物的熔融纺丝温度一般应在其 T_m 以上 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 。聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 和聚苯乙烯 (PSt) 是非结晶性聚合物，也可以在其 T_d 以下采用熔融纺丝技术生产。

熔融纺丝成型技术以工艺流程短、节电、节水、低污染著称，其水、电、气消耗和化学需氧量 (COD) 排放值仅为溶液法纺丝技术的几分之一到百分

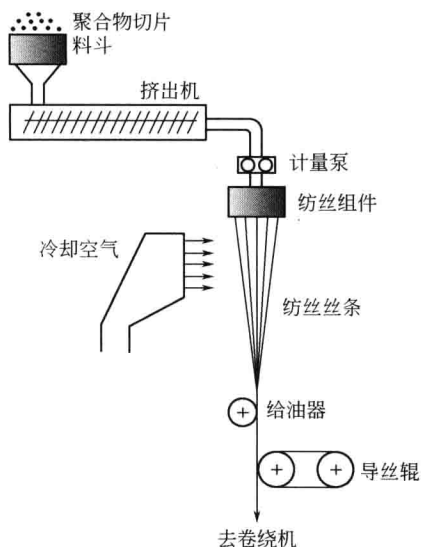


图 1-1 熔融纺丝工艺示意

之一，是当今使用最广泛的纺丝成型技术。2011 年我国采用熔融纺丝成型技术生产的合成纤维产量约占化学纤维总产量的 89%。

表 1-1 适用于熔融纺丝成型的聚合物

聚合物	缩写	密度 ρ /(g/cm ³)	玻璃化温度 T_g /℃	T_m /℃	T_d /℃
聚对苯二甲酸乙二醇酯	PET	1.38~1.4	67	265	350
聚对苯二甲酸丙二醇酯	PTT	1.33	45~65	228	350
聚对苯二甲酸丁二醇酯	PBT	1.35	20~40	225	320
聚萘二甲酸乙二醇酯	PEN	1.35	121	265	430
聚- α -吡咯烷酮	PA4	1.22~1.24		260~265	
聚己内酰胺	PA6	1.13	40~80	215	300
聚十一酰胺	PA11	1.04~1.05	-12.9	192	
聚十二酰胺	PA12	1.01~1.02		179	
聚己二酰己二胺	PA66	1.14	50~90	256	300
聚癸二酰己二胺	PA610	1.09~1.11		215~222	
聚癸二酰癸二胺	PA1010	1.04~1.09		200~210	
等规聚丙烯	PP	0.91	-17	175	350~380
聚 L-乳酸	PLLA	1.290(单晶) 1.248(非晶)	55~60	170~180	200
聚苯硫醚	PPS	1.37	88	285	500
聚醚醚酮	PEEK	1.32(结晶) 1.26(非晶)	143	340~343	577
聚偏氟乙烯	PVDF	1.75~1.79	-39	170	316
聚全氟乙丙烯	FEP	2.14~2.17	30	257~270	456
聚全氟丙基乙烯基醚	PFA	2.1~2.17		301~315	425

熔融纺丝成型技术中除单一成分纺丝外，复合纺丝成型技术的应用也非常普遍。复合纺丝成型技术是通过将两种或两种以上的成分在特殊结构的喷丝板中复合制成纤维，纤维的截面结构有并列、皮芯、层状、剥离、海岛及共混型等多种（图 1-2）。尤其是在制备自卷曲纤维、功能纤维、热熔黏结纤维和超细纤维的过程中，复合纺丝技术得到广泛应用。

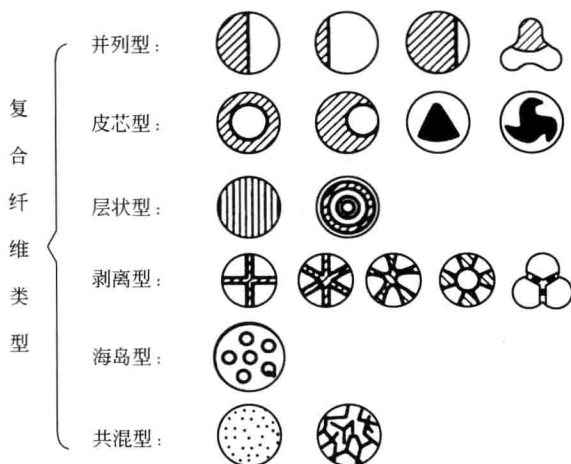


图 1-2 熔融纺丝复合纤维的截面结构示意图



图 1-3 复合剥离法和复合海岛法纺制超细纤维

1—海岛型复合纤维；2—花卉型复合纤维；

3—中空辐射型复合纤维；4—橘瓣型复合纤维

如对聚酯/聚酰胺橘瓣型复合纤维，可采用碱减量法，使双组分溶胀剥离，从而获得可用于人造皮革、电子揩布的超细纤维。

海岛型超细纤维是先将可熔融、可溶性聚合物与另一种可熔融、不可溶性聚合物制成双组分纤维（图 1-3），一种聚合物以微纤的形式（岛组分）分布于另一种聚合物基体（海组分）中，再用溶剂溶去可溶组分而制得的超细纤维，其加工纤度可达 $0.05 \sim 0.1 \text{ dtex}$ ，其中 0.05 dtex 纤维的截面直径约为 50 nm 。通常海岛型双组分复合纤维中海/岛组合包括：PSt/聚酯、PSt/聚酰胺（PA）、PSt/聚烯烃等。对 PA/PSt 海岛型复合纤维，可用三氯乙烯溶剂将 PSt 组分溶掉，留下直径为 $0.3 \sim 1 \mu\text{m}$ 的 PA 超细纤维。

为了获得高中空率的纤维，也使用了复合纺丝技术。如在双组分复合纺丝机上制备以 PP 为皮层，以由结晶性聚酯硬链段和低 T_g 聚醚或聚酯软链段组成的嵌段共聚物为芯层的皮芯型复合纤维，皮、芯两组分的质量比为 40 : 60。复合纤维在平牵机上进行牵伸，然后经碱减量处理，芯层的共聚酯在碱液中可水解，用碱液可溶除芯层，从而得到中空度高达 30%~50% 的中空纤维，而常规工艺生产的中空纤维中空度仅为 10%~15%。

1.2 湿法纺丝

尽管熔融纺丝成型技术具有诸多优点，但是对于那些 T_d 明显低于 T_m 或 T_d 与 T_m 很近的高分子材料或聚合物则只能采用溶液纺丝成型。表 1-2 中列出了适用于湿法、干法或干湿法纺丝成型的聚合物。湿法纺丝首先将高分子或聚合物溶入溶剂，制成质量分数为 1%~50% 的纺丝原液，经脱泡、过滤后，经喷丝板进入凝固浴中凝固成型，再经牵伸、水洗、干燥、热定型等工序制成纤维（图 1-4）。一般情况下，湿法纺丝所获得的纤维表面较为粗糙，截面也不是圆形的。

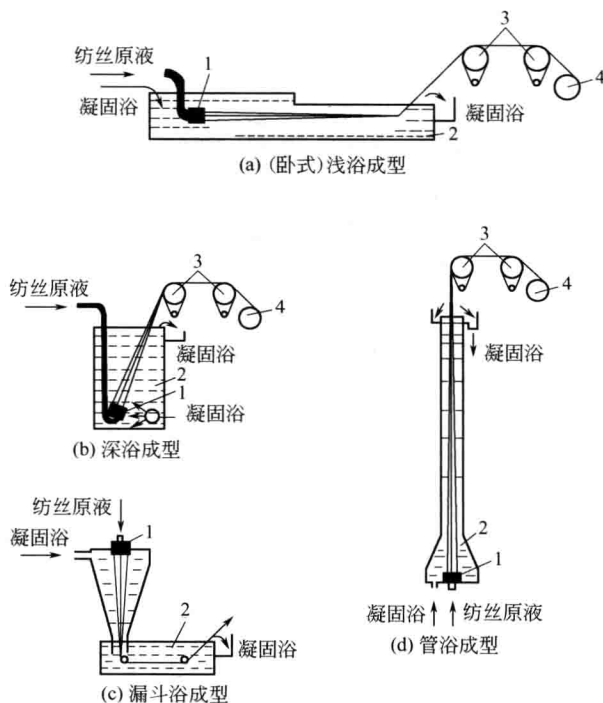


图 1-4 湿法纺丝示意

1—喷丝头；2—凝固浴；3—拉伸盘；4—卷绕装置