

9153/18

42081

吴大诚等 编



合成纤维 熔体纺丝

科技新书目： 165—12

统一书号： 15041·1061

定 价： 2.50 元

合成纤维熔体纺丝

吴大诚 杨忠和 古大治 合编
何勤功 濮德林

纺织工业出版社

内 容 简 介

本书比较系统地介绍了合成纤维熔体纺丝的工艺及设备。全书分别阐述了成纤高聚物的制造、切片干燥、熔体纺丝、后加工等有关工序。对熔体纺丝和拉伸、热定型的工艺理论，各设有专门一章加以探讨。

本书适合合成纤维专业的生产技术人员、科学研究人员阅读，亦可用作高等院校化学纤维专业的教学参考书。

合成纤维熔体纺丝

吴大诚 杨忠和 古太治 合编
何勤功 濮德林

*

纺织工业出版社出版

(北京阜成路3号)

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

850×1168 毫米 1/32 印张：20 插页：1 字数：517 千字

1980年10月第一版第一次印刷

印数：1—5000 定价：2.50 元

统一书号：15041·1061

序

熔体纺丝是合成纤维生产中最重要、最普遍的纺丝方法。本书着重介绍了涤纶、锦纶和丙纶的熔体纺丝工艺与设备。其中以纤维加工部分为主，对帘子线、弹力丝和其它变形纱只作简要的论述。在设备的叙述中，也仅限于原理和较新的主要设备，没有罗列所用的各类设备。

随着整个合成纤维工业的大型化、高速化、连续化和自动化，有关工艺基础理论的研究越来越显得重要。为此，本书对于熔体纺丝和后加工，各设专门一章加以阐述。

本书编写大纲，曾请中国科学院化学研究所钱人元教授、成都科技大学徐信教授和上海纺织工学院孙桐副教授审阅，承他们提出许多宝贵意见；纺织工业部设计院、上海合成纤维研究所、上海化纤五厂和九厂、岳阳化工总厂研究所和涤纶厂、辽阳石油化纤总厂、抚顺涤纶厂、清江合成纤维厂等有关单位的许多同志也提出具体修改意见；纺织工业部化纤局、天津化学纤维研究所、北京维尼纶厂涤纶车间等单位有关同志，还对初稿进行了校阅。在此，表示深切感谢。

本书系成都科学技术大学高分子研究所部分教师编写，执笔分工如下：第一章——杨忠和、吴大诚，第二章——何勤功，第三、四章——濮德林，第五、六章——古大治，第七、八章——吴大诚。由吴大诚、何勤功对全书进行总校阅。由于编者水平所限，书中缺点和错误在所难免，望读者指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
一、合成纤维发展简史.....	(1)
二、合成纤维的纺丝成型方法.....	(3)
三、合成纤维熔体纺丝的工艺特点.....	(8)
第二章 成纤高聚物的生产	(13)
第一节 聚合反应的类型和实施方式	(13)
一、聚合反应的类型.....	(14)
二、聚合反应的实施方式.....	(22)
三、由高聚物的化学转化制备成纤高聚物.....	(25)
第二节 聚合反应工程概述	(26)
一、基本内容.....	(26)
二、聚合反应热力学.....	(27)
三、聚合反应动力学.....	(28)
四、数学模拟与应用.....	(31)
五、聚合反应设备特征.....	(34)
第三节 聚酯的生产	(38)
一、对苯二甲酸乙二酯.....	(39)
二、聚对苯二甲酸乙二酯.....	(52)
三、改性聚酯.....	(73)
第四节 聚酰胺的生产	(79)
一、聚己二酰己二胺.....	(80)
二、聚己内酰胺.....	(86)
三、芳香族聚酰胺.....	(101)
第五节 聚丙烯制造方法	(107)
一、概况.....	(107)

二、聚丙烯的制造方法	(107)
三、聚丙烯结构特征与性质	(113)
第三章 原液着色	(118)
第一节 原液着色概述	(118)
一、原液着色发展概况	(118)
二、原液着色的优缺点	(119)
三、原液着色纤维的用途	(120)
第二节 原液着色剂	(121)
一、原液着色剂的性质	(121)
二、原液着色剂的种类和使用方法	(125)
三、原液着色剂颜料的选择	(126)
四、原液着色剂的助剂	(130)
五、原液着色剂的配色	(134)
六、原液着色剂的制备	(139)
第三节 原液着色方法	(143)
一、概述	(143)
二、涤纶的原液着色	(144)
三、丙纶的原液着色	(148)
四、锦纶的原液着色	(149)
第四章 高聚物切片干燥和气力输送	(151)
第一节 切片干燥的基本原理和工艺	(151)
一、切片干燥的目的	(151)
二、切片干燥的基本原理	(152)
三、切片干燥工艺	(155)
四、干燥过程中高聚物结构的变化	(162)
第二节 切片干燥设备	(164)
一、真空转鼓干燥机	(164)
二、回转圆筒干燥机	(167)
三、沸腾式干燥设备	(168)

四、填充式干燥设备	(171)
五、聚酯切片联合式干燥设备	(174)
第三节 切片的气力输送	(178)
一、气力输送装置的类型和一般特点	(178)
二、气力输送的基本原理	(183)
三、气力输送装置设计	(189)
四、切片气力输送设备	(197)
第五章 熔体纺丝工艺原理	(203)
第一节 熔体纺丝概述	(203)
一、熔体纺丝工艺的一般特点	(203)
二、纺丝过程的一般物理规则和熔体纺丝过程 的主要参数	(205)
第二节 高聚物熔体的加工性质	(207)
一、高聚物熔体的流变性	(207)
二、高聚物熔体的可纺性	(230)
三、喷丝孔中熔体的流动和挤出胀大现象	(235)
四、通过多孔介质的流动	(256)
第三节 熔体纺丝动力学与传热	(268)
一、纺丝线上的直径变化和速度分布	(268)
二、纺丝线上的力平衡	(271)
三、纺丝线上的传热与温度分布	(279)
四、“拉伸共振”现象	(290)
五、非定态纺丝及对纤维不均匀性的影响	(294)
第四节 熔体纺丝过程中纤维结构的形成	(298)
一、熔体纺丝过程中的取向	(299)
二、熔体纺丝过程中的结晶	(307)
三、纺丝过程中的表观玻璃化转变	(323)
四、卷绕丝结构在存放中的变化	(325)
五、纺丝线上纤维固化过程总述	(329)

第六章 熔融纺丝机的结构和原理	(331)
第一节 炉栅与螺杆挤出机	(331)
一、炉栅.....	(332)
二、螺杆挤出机.....	(334)
第二节 纺丝箱及纺丝头组件	(379)
一、纺丝箱.....	(379)
二、熔体分配管.....	(382)
三、泵座与纺丝头组件.....	(385)
四、高分子量聚合物的高压纺丝设备.....	(390)
第三节 纺丝泵和喷丝板	(392)
一、熔体纺丝齿轮泵.....	(393)
二、喷丝板.....	(406)
第四节 丝条冷却装置	(418)
一、熔体丝条的冷却长度 L_R	(419)
二、丝条冷却的传热系数.....	(420)
三、丝条在冷却气流中的扰动.....	(424)
四、冷却气流的速度分布.....	(428)
第五节 卷绕机	(431)
一、油剂供给与上油系统.....	(431)
二、绕丝系统.....	(434)
三、高速纺丝与高速纺丝机.....	(440)
第六节 纺丝机的传动与变速	(450)
一、机械式无级变速器.....	(451)
二、电气式无级变速器.....	(455)
第七章 拉伸和热定型工艺的理论基础	(462)
第一节 拉伸过程的物理力学分析	(462)
一、熔纺法卷绕丝的拉伸特性.....	(462)
二、绝热拉伸和等温拉伸过程.....	(474)
三、连续拉伸过程的运动学和动力学.....	(479)

第二节 拉伸过程中纤维结构的变化·····	(486)
一、拉伸中纤维结晶的变化·····	(486)
二、拉伸中纤维取向的变化·····	(492)
第三节 拉伸工艺路线和参数选择原则·····	(503)
一、拉伸方法的选择·····	(504)
二、卷绕丝质量对拉伸工艺的影响·····	(506)
三、拉伸工艺参数·····	(511)
第四节 热定型工艺原理·····	(515)
一、热定型中纤维结构的变化·····	(517)
二、热定型中纤维性质的变化·····	(523)
第八章 后加工工艺及设备·····	(527)
第一节 短纤维的后加工·····	(527)
一、概述·····	(527)
二、集束·····	(528)
三、拉伸·····	(532)
四、紧张热定型·····	(547)
五、卷曲·····	(549)
六、干燥和松弛热定型·····	(556)
七、切断和打包·····	(561)
第二节 长丝的后加工·····	(567)
一、概述·····	(567)
二、拉伸加捻设备和工艺·····	(568)
三、后加工其它工序设备和工艺·····	(593)
第三节 弹力丝和其他变形纱的加工·····	(607)
一、概述·····	(607)
二、传统的弹力丝生产方法·····	(612)
三、假捻变形法·····	(615)
四、其它变形方法简介·····	(622)
附录：主要参考书目·····	(629)

第一章 绪 论

一、合成纤维发展简史

自古以来，人类基本上依靠天然有机高聚物来提供衣着材料。上古时代，直接使用树皮和兽皮。随着人类文明的发展，逐渐使用各类农牧产品，其中主要包括毛、麻、丝和棉。

随着生产力的发展，需要更多更好的纤维材料。直接由自然界取得的天然纤维，无论是数量上和质量上，都不再能完全满足人类的需要。随着现代工业的兴起，人类若干年来制造“人造丝”的幻想，终于变成了现实。这类人工制造的纤维总是以化学方法为基础，因此称为化学纤维。化学纤维(尤其是合成纤维)在许多性质上都大大超过天然纤维，例如合成纤维与棉、毛的主要性质比较可参见表 1-1。因此，人类使用的纤维材料，即将实现由农牧产品向大规模工业生产的产品转变。

表 1-1 天然纤维与合成纤维性质的比较①

性 质	棉	毛	丝	合 成 纤 维			
				1920年	1940年	1960年	1970年
密度(克/厘米 ³)	1.54	1.30	1.25	0.93~2.2			
标准吸湿 (%)	7~8	15~17	11	0~10			
模量 (克/旦)	40~90	25~35	80~120	50	150	250	1050
强度 (克/旦)	3~5	1.0~1.7	3~5	2	6	9	25
断裂伸长 (%)	4~10	25~35	20~25	20	40	200	400

① 表中合成纤维的性质是指随着工业技术的发展所能达到的最大值。

化学纤维的发明，始于十九世纪末期，当时先后发明了硝酸纤维、铜氨纤维、粘胶纤维和醋酸纤维。这些纤维均以天然高聚

物——纤维素为基本原料，用化学方法制成。到本世纪二十年代，尤其是粘胶纤维的生产，已发展为一门独立的工业。这些再生纤维素或纤维素衍生物的纤维，加上再生蛋白纤维，合称为人造纤维。

化学纤维的另一大类——合成纤维，是以合成有机高聚物为基础制成的纤维。主要合成纤维的发展顺序示于表 1-2。合成纤维的发明是本世纪二十至三十年代开始的。虽然首先试生产的是氯乙烯-醋酸乙烯共聚物纤维，但性质极差；因此通常认为第一个真正的合成纤维是氯化聚氯乙烯纤维，1934 年在德国首先试验投产（商品名称为维紫）。随后，由聚酰胺 66 制成的纤维在 1939 年以商品“耐纶”问世，1942 年又生产出聚酰胺 6 纤维——贝纶 L。两种最重要的溶液纺丝合成纤维——聚丙烯腈纤维和聚乙烯醇缩甲醛纤维分别在 1950 年和 1952 年投产。目前产量最大的聚酯纤维的工业生产较迟，始于 1953 年，但随后得到极其迅速的发展，在 1972 年其产量超过发展历史悠久的聚酰胺纤维，

表 1-2 主要合成纤维发展概况

研制时期	纤维	成纤高聚物	生产国家
1928~1932	维紫(Vinyon)	氯乙烯-醋酸乙烯共聚体	美国
1931~1934	佩采(Pece)	氯化聚氯乙烯	德国
1932~1938	耐纶 66(Nylon 66)	聚酰胺 66	美国
1938~1940	贝纶(Perlon)	聚酰胺 6	德国
1942~1943	奥纶(Orlon)	聚丙烯腈	美国、德国
1940~1946	特丽纶(Terylene)	聚对苯二甲酸乙二醇酯	英国
1942~1950	维尼纶(Vinyon)	聚乙烯醇缩甲醛	日本
1953~1954	泰氟纶(Teflon)	聚四氟乙烯	美国
1958	科达尔(Kodel)II	聚对苯二甲酸环己二甲酯	美国
1955~1958	派纶(Pylen)	聚丙烯	意大利
1956~1967	诺曼克斯(Nomex)	聚酰胺 HT1	美国
1968	凯夫勒(Kevlar)	聚对苯甲酰胺 聚对苯二甲酰对苯二胺	美国

成为合成纤维的第一大品种。值得注意的是,近年来由于“石油危机”对资本主义世界的影响,整个化纤生产有停滞下降的趋势,但聚酯纤维仍在继续增长。由于全同立构聚丙烯的发现,使聚丙烯纤维的工业生产在1960年实现。从本世纪五十至六十年代开始发展了一些最重要的特种合成纤维,例如全芳香族聚酰胺纤维,其代表是芳纶(凯夫勒)14——聚对苯甲酰胺和芳纶1414(聚对苯二甲酰对苯二胺),是性质极佳的高模量高强度纤维。但由于熔点很高,这类特种合成纤维一般不适合于采用熔纺法。

目前产量较大的合成纤维品种,基本上可归纳为涤纶、锦纶、腈纶、丙纶、维纶和氯纶等六类。以此六大纶为主的合成纤维,在近二十年中以工业史上空前的高速度发展,最近虽然稍有减缓速度的趋势,但是在世界纺织纤维中已占有越来越大的比重(表1-3)。

早期的合成纤维只是简单地由均聚体所组成,这可称为第一代合成纤维。后来,为了改进性质,用化学方法加入新的组分缩聚或聚合,使之成为共聚体,包括无规、交替、接枝和嵌段共聚体,制成了第二代合成纤维。然而,仅用化学方法还是不能完全达到人们的预期效果,用化学组成与天然纤维相似的高聚物制得的化学纤维,并没有保持天然纤维的某些宝贵性质。例如锦纶和再生蛋白纤维,它们与羊毛都可视为酰胺类杂链高聚物,但羊毛具有较高的吸湿、高湿模量、永久卷曲等特性,比前两者要好得多。经过深入研究,发现这些特性与羊毛的双侧结构有关。后来人们模仿这种结构,又制造出了各种复合纤维,例如双侧复合纤维、皮芯复合纤维、基体-原纤复合纤维以及其它更复杂的复合纤维,又可称之为第三代合成纤维。

二、合成纤维的纺丝成型方法

合成纤维是按照纤维的主要化学成分进行分类的。如以成纤高聚物分子链的化学结构分类,合成纤维可粗略分为碳链纤维和杂链纤维。前者是主链(分子链骨架)完全由碳原子组成的高聚物

表 1-3 世界纺织纤维主要品种的产量估计和预测(单位:万吨)

年 代	合 成 纤 维			人 造 纤 维			棉 花	羊 毛	蚕 丝
	合 计	长 丝	短纤维	合 计	长 丝	短纤维			
1900	0			0.1					
1940	0.3			112			666	106	1.9
1950	0.8			156			1013	147	3.0
1960	70	42	28	260	113	147			
1965	205	112	43	333	137	196			
1968	378	197	181	353	142	211			
1970	493	251	242	343	139	204	1132	159	3.8
1971	589	305	284	344	140	204	1177	155	3.9
1972	635	321	314	355	134	221	1293	147	4.0
1973	757	380	377	367	137	230	1300	146	4.0
1974	745	377	368	351	129	222	1360	148	4.4
1975	736	377	359	297	114	183	1186	151	20
1980*	1200			370			1250	180	
1990*	2350			350			1200	200	
2000*	3500			350			1150	200	

* 预测值

形成的纤维，如聚乙烯、聚丙烯、聚乙烯醇、聚丙烯腈、聚氯乙烯等为基础的纤维；后者是主链除碳原子外还含有非碳的杂原子的高聚物形成的纤维，如聚酰胺、聚酯、聚醚、聚醛酮、聚胺酯、聚脲等为基础的纤维。

合成纤维的纺丝成型方法主要有熔体纺丝法和溶液纺丝法两种。

溶液纺丝是化学纤维传统的成型工艺，人造纤维就是用这种方法生产的。在溶液纺丝过程中，先将成纤高聚物溶解形成纺丝溶液。由于纤维素不溶于碱溶液中，因此必须进行化学变性，使之成为纤维素的黄原酸酯或铜氨络合物，然后才能形成纺丝液。相反，在合成纤维溶液纺丝中，纺丝液的制造则简单得多，通常只是简单地溶解，并不伴随化学反应的发生，即是用物理法制备纺丝溶液。纺丝液经过纺丝孔挤出而形成丝状射流，要使之凝固成为固体丝条，通常有两种方法。一种是将纺丝液射流纺入再生凝固浴中，高聚物在此时伴随化学反应而发生沉淀，或在沉淀剂作用下沉淀，从而形成固体状丝条，这种溶液纺丝称为湿法纺丝。另一种是将纺丝液射流纺入加热室中，此时由于溶剂蒸发，而得到丝条，这种溶液纺丝称为干法纺丝。从产量上看，湿法是溶液纺丝的主要生产方法。在人造纤维生产中，粘胶纤维是湿法纺丝的代表，醋酸纤维则是干法纺丝的代表。在合成纤维生产中，腈纶、维纶、氯纶基本上是由湿法制造的，但它们也有少量由干法生产，由此可得到某些特殊的性质。

合成纤维另一种重要的纺丝工艺，是熔体纺丝。此时成纤高聚物在高于熔点 $10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的熔融状态之下，形成较稳定的纺丝熔体，然后通过纺丝孔挤出成型，熔体射流在空气或液体介质（通常为水浴）中冷却凝固，形成半成品纤维，再经拉伸、热定型等后处理工序，即成为成品纤维。合成纤维的主要品种中，涤纶、锦纶和丙纶等都是由熔体纺丝方法生产的。因此，熔体纺丝是合成纤维纺丝成型中最重要的方法。

最近出现一种不使用纺丝头挤出成型的熔体纺丝法，直接由熔体池表面牵引出熔体丝条，卷绕在筒管上。这种方法可称为无纺丝头熔体纺丝（简称无头纺丝）。

对于不能溶解于适当溶剂、也不能熔化形成具有可纺性熔体的那些高聚物，则只能将它分散在另一种成纤高聚物的纺丝液中，以悬浮液或乳液形式制成纺丝液，纺丝成型后，在适当条件下通过烧蚀或溶解将后一组分去掉，从而形成此种高聚物纤维，这种方法称为悬浮液或乳液纺丝。例如聚四氟乙烯纤维（氟纶）就是用这种方法生产的。此外，在芳香族聚酰胺纤维的开拓中，发展了一种液晶纺丝。与一般的溶液纺丝不同，液晶纺丝用的纺丝液是一种各向异性的液晶状态的流体，此种方法可制得迄今强度最高（25 克/旦）、模量最高（1050 克/旦）的合成纤维。以上方法可视为特殊的湿法纺丝。

另外，为了提高纺丝液中高聚物的含量，以干法纺丝为基础发展了闪蒸纺丝法。在高温、高压下，将纺丝液挤出，此时溶剂突然快速蒸发，从而经过冷却即可得到固体高聚物丝条。凝胶纺丝法是介于干纺法与熔纺法之间的纺丝法，其中高聚物含量可高达 35~55%，从外观上看来是一种凝胶，所用设备基本上与熔纺法相同，因此称为半熔体纺丝。但由于无气泡凝胶在制备上的困难，以及溶剂洗涤速度低于纺丝速度，而失去了熔纺法特征的高速纺丝的优点。为克服这些困难，又发展了相分离纺丝方法。在此法中，纺丝液温度较高，挤入纺丝甬道后，温度降低至某一临界温度以下，从而发生相分离，使丝条中高聚物含量大大提高。另外，由于干法与湿法溶液纺丝相结合，发展成干湿法纺丝，此法的纺丝液以干法方式从纺丝孔挤出，经过 0.3~10 厘米气体介质后再进入凝固浴，以后工序基本上同于湿法。由于干法挤出，温度较高，纺丝液中高聚物含量可提高，体系粘度可降低，因而可使用较大孔径的纺丝头。

上述纺丝方法均以成纤高聚物为原料。有人曾设想一种新的

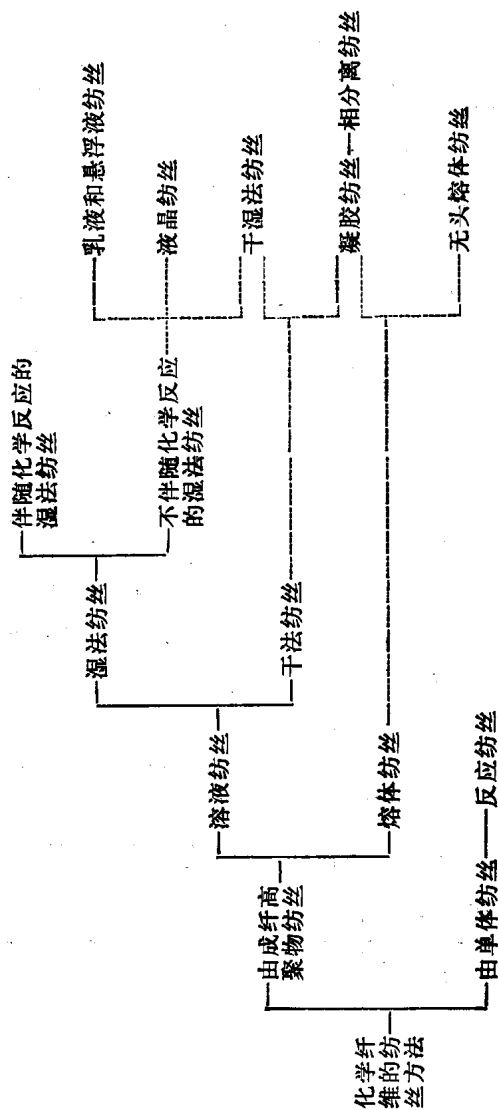


图 1-1 各种纺丝方法及其相互关系
(虚线表示方法的派生)