

高等纺织院校教材

合成纤维生产工艺学

(第二版)

(下册)

中国纺织出版社

977263

TQ342
4421E2
2

高等纺织院校教材

合成纤维生产工艺学

第二版

(下 册)

中国纺织出版社

(京) 新登字 037 号

内 容 提 要

本书为《合成纤维生产工艺学》(1981年出版)第二版的下册。本书上册详细讨论了合成纤维生产的工艺原理。本下册将原第一版的中册和下册合并为一册,详细讨论合成纤维各品种的生产工艺,分别介绍聚酯纤维(涤纶)、聚酰胺纤维(锦纶)、聚丙烯纤维(丙纶)、聚乙烯醇纤维(维纶)、聚氯乙烯纤维、聚氨酯弹性纤维(氨纶)、以及高性能和功能性纤维的生产工艺。

本书可供高等院校化学纤维专业或高分子材料加工专业的高年级学生作为专业教材,亦可供相应专业的技术人员和科研人员参考。

责任编辑:蔡秀卿

高等纺织院校教材

合成纤维生产工艺学

第二版

(下册)

董纪震 赵耀明 等编
陈雪英 曾宪珏

中国纺织出版社出版

(北京东直门南大街4号)

电话:4662932 邮编:100027

通县觅子店印刷厂印刷

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:23 字数:598千字

1994年6月 第二版第五次印刷

印数:19,000—25,000 定价:19.80元

ISBN 7-5064-1026-5/TS·0937 (课)

前 言

本书为全国统编教材，由原纺织工业部化学纤维专业教育委员会组织编写和修订，供高等院校化学纤维或高分子材料专业高年级学生学习专业课时使用。本书上册详细讨论了合成纤维生产的工艺原理，课堂讲授约需 60~80 学时；此次修订后的第二版下册，包括合成纤维各品种的生产工艺，课堂讲授约需 60 学时，并有丰富的内容供学生自学，或供工程技术人员参考。

《合成纤维生产工艺学》第一版中册的编写人员为董纪震、何勤功、濮德林，下册的编写人员为董纪震、吴宏仁、陈雪英等。此次修订（第二版）下册的编写人员分工如下：

第九章由邬国铭、庄慧卿修订；

第十章由赵耀明修订；

第十一章由童隆坝等修订；

第十二章由陈雪英修订；

第十三章由曾宪珉修订；

第十四、十五、十六章由董纪震修订。

全书由董纪震主持修订并统稿。

虽然本书已在教学实践中使用过十余年，但由于执笔者水平所限，此次修订后书中难免仍存在缺点和错误，希望广大读者批评指正。

目 录

第九章 聚酯纤维	(1)
第一节 聚对苯二甲酸乙二酯的制备	(2)
一、对苯二甲酸及乙二醇的制备.....	(2)
二、对苯二甲酸双羟乙酯的制备.....	(6)
三、聚对苯二甲酸乙二酯的生产	(20)
第二节 聚对苯二甲酸乙二酯的结构和性质	(33)
一、分子结构	(33)
二、分子量及其分布	(34)
三、流变性质	(35)
四、物理性质和化学性质	(37)
第三节 聚酯切片的质量指标及可纺性	(38)
一、聚酯切片的质量指标	(38)
二、聚酯切片中的不熔、不溶物	(39)
三、聚酯切片的可纺性	(40)
第四节 聚酯切片的干燥	(41)
一、切片干燥目的	(41)
二、切片干燥机理	(42)
三、干燥过程伴随的化学反应	(45)
四、切片干燥的工艺控制	(49)
五、切片干燥设备	(49)
第五节 聚酯纤维的纺丝	(58)
一、概述	(58)
二、纺丝熔体的制备	(62)
三、纺丝机的基本结构	(69)

四、纺丝过程的主要工艺参数	(78)
五、聚酯短纤维的纺丝工艺	(89)
六、聚酯长丝的纺丝工艺	(92)
七、聚酯工业用丝的纺丝工艺	(94)
第六节 聚酯纤维的高速纺丝	(99)
一、概述	(99)
二、聚酯预取向丝的生产工艺	(101)
三、聚酯全拉伸丝的生产工艺	(107)
四、聚酯全取向丝的生产工艺	(111)
五、聚酯短纤维的高速纺丝	(113)
六、高速纺纤维的结构与性能	(116)
第七节 聚酯纤维的后加工	(121)
一、聚酯短纤维的后加工	(122)
二、聚酯长丝的后加工	(134)
三、假捻变形丝的加工	(137)
四、网络丝的加工	(146)
五、空气变形丝的加工	(150)
第八节 聚酯纤维的性质和用途	(157)
一、聚酯纤维的性质	(157)
二、聚酯纤维的用途	(159)
第九节 聚酯纤维的改性和新型聚酯纤维	(160)
一、聚酯纤维改性的途径及效果	(161)
二、新型聚酯纤维	(163)
第十章 聚酰胺纤维	(176)
第一节 概述	(176)
第二节 聚酰胺的制备	(183)
一、单体的合成	(183)
二、聚己内酰胺的制备	(186)
三、聚己二酰己二胺的制备	(205)

第三节	聚酰胺的结构和性质	(213)
一、	聚酰胺的结构	(213)
二、	聚酰胺的物理性质和化学性质	(220)
第四节	聚酰胺的纺丝	(229)
一、	概述	(229)
二、	聚酰胺纤维高速纺丝的工艺和设备特点	(230)
三、	聚酰胺高速纺丝工艺	(233)
四、	聚酰胺高速纺丝拉伸一步法工艺	(235)
第五节	聚酰胺纤维的后加工	(240)
一、	聚酰胺长丝后加工	(240)
二、	聚酰胺弹力丝后加工	(256)
三、	聚酰胺帘子线的后加工	(264)
四、	聚酰胺膨体长丝的生产	(271)
五、	聚酰胺短纤维后加工工艺特点	(274)
第六节	聚酰胺纤维的性能和用途	(274)
一、	聚酰胺纤维的性能	(274)
二、	聚酰胺纤维的用途	(278)
第七节	聚酰胺纤维的改性及新品种	(279)
一、	改性的目的和方法	(279)
二、	聚酰胺纤维的新品种	(282)
第十一章	聚丙烯纤维	(287)
第一节	等规聚丙烯的合成	(287)
一、	丙烯	(287)
二、	聚丙烯的制造方法	(288)
第二节	等规聚丙烯的结构和性质	(294)
一、	分子结构与结晶	(294)
二、	等规聚丙烯的性质	(298)
第三节	聚丙烯纤维的成形	(303)
一、	熔体纺丝	(305)

二、膜裂纺丝工艺及设备·····	(311)
三、聚丙烯纤维短程纺丝·····	(319)
四、聚丙烯膨体长丝的生产·····	(322)
第四节 聚丙烯纤维改性及其生产新工艺·····	(324)
一、聚丙烯纤维改性·····	(324)
二、聚丙烯纤维生产新工艺·····	(325)
第五节 聚丙烯纤维的性能和用途·····	(327)
一、聚丙烯纤维的性能·····	(327)
二、聚丙烯纤维的用途·····	(330)
第十二章 聚丙烯腈纤维·····	(334)
第一节 聚丙烯腈的制备及其性质·····	(335)
一、丙烯腈的合成及其性质·····	(335)
二、丙烯腈的聚合·····	(337)
三、丙烯腈聚合的工艺流程·····	(339)
四、影响丙烯腈聚合的主要因素·····	(343)
五、丙烯腈聚合的主要设备——聚合釜·····	(358)
六、聚丙烯腈的结构和性质·····	(359)
第二节 聚丙烯腈纺丝原液的制备及其性质·····	(366)
一、纺丝原液的制备·····	(366)
二、纺丝原液的性质·····	(378)
第三节 聚丙烯腈的湿法成形·····	(382)
一、工艺流程·····	(382)
二、湿法成形的凝固历程·····	(385)
三、影响纺丝成形的因素·····	(387)
四、纺丝机及其主要附件·····	(396)
第四节 聚丙烯腈的干法纺丝及其他成形方法·····	(402)
一、干法成形的工艺流程·····	(402)
二、纺丝原液的凝固和纤维的截面形状·····	(404)
三、干法成形的工艺参数·····	(405)

四、干法纺丝成形设备·····	(411)
五、干法、湿法纺丝工艺比较·····	(415)
六、聚丙烯腈增塑熔融纺丝·····	(415)
七、聚丙烯腈的干喷湿纺法·····	(421)
第五节 聚丙烯腈纤维的后加工·····	(426)
一、拉伸·····	(428)
二、水洗·····	(434)
三、上油·····	(436)
四、干燥致密化·····	(437)
五、热定型·····	(447)
六、卷曲·····	(454)
七、纤维的切断·····	(456)
八、干纺纤维的后加工过程·····	(457)
九、聚丙烯腈纤维的特殊加工·····	(460)
第六节 聚丙烯腈纤维的性能和用途·····	(463)
一、聚丙烯腈纤维的物理化学性能·····	(464)
二、聚丙烯腈纤维的机械性能·····	(469)
三、干纺纤维的性能特点·····	(472)
四、聚丙烯腈纤维结构与性能的关系·····	(473)
五、聚丙烯腈纤维的用途·····	(475)
第七节 改性和新型聚丙烯腈纤维·····	(476)
一、聚丙烯腈复合纤维·····	(476)
二、抗静电聚丙烯腈纤维·····	(477)
三、高吸湿吸水聚丙烯腈纤维·····	(478)
四、阻燃聚丙烯腈纤维·····	(480)
五、抗起球聚丙烯腈纤维·····	(481)
六、高收缩聚丙烯腈纤维·····	(482)
七、细纤度聚丙烯腈纤维·····	(483)
八、异形截面聚丙烯腈纤维·····	(483)

九、腈氯纶·····	(484)
十、其他差别化聚丙烯腈纤维·····	(487)
第十三章 聚乙烯醇纤维 ·····	(490)
第一节 聚乙烯醇的制备 ·····	(490)
一、醋酸乙烯的合成·····	(491)
二、醋酸乙烯的聚合·····	(492)
三、聚醋酸乙烯的醇解·····	(501)
第二节 聚乙烯醇的结构和性质 ·····	(508)
一、聚乙烯醇的结构·····	(508)
二、聚乙烯醇的性质·····	(512)
三、聚乙烯醇的品质指标·····	(519)
第三节 纺丝原液的制备和性质 ·····	(519)
一、纺丝原液的制备·····	(519)
二、纺丝原液的性质·····	(526)
第四节 聚乙烯醇纤维的成形 ·····	(529)
一、湿法成形·····	(529)
二、干法成形·····	(543)
第五节 聚乙烯醇纤维的后加工 ·····	(550)
一、工艺流程概述·····	(550)
二、聚乙烯醇纤维的拉伸·····	(552)
三、聚乙烯醇纤维的热处理·····	(560)
四、聚乙烯醇纤维的缩醛化·····	(563)
第六节 聚乙烯醇缩甲醛纤维的性能和用途 ·····	(576)
一、聚乙烯醇缩甲醛纤维的性能·····	(576)
二、聚乙烯醇缩甲醛纤维的用途·····	(577)
第七节 高性能和改性聚乙烯醇纤维 ·····	(580)
一、高强度、高模量聚乙烯醇纤维·····	(580)
二、水溶性聚乙烯醇纤维·····	(591)
三、离子及电子交换型聚乙烯醇纤维·····	(594)

四、含氮聚乙烯醇纤维·····	(597)
五、医用聚乙烯醇纤维·····	(599)
六、聚乙烯醇-聚氯乙烯共聚共混纤维·····	(603)
第十四章 聚氯乙烯纤维 ·····	(609)
一、聚氯乙烯的制备·····	(609)
二、聚氯乙烯的结构和性能·····	(611)
三、几种聚氯乙烯纤维生产的特点·····	(617)
四、聚氯乙烯纤维的性能和用途·····	(621)
五、新品种和改性聚氯乙烯纤维·····	(623)
第十五章 聚氨酯弹性纤维 ·····	(630)
一、弹性的由来·····	(630)
二、原料的准备·····	(631)
三、聚氨酯弹性纤维的制备·····	(633)
四、聚氨酯弹性纤维的性能·····	(635)
五、聚氨酯弹性纤维的产品类型及用途·····	(637)
六、其他类型的弹性纤维·····	(638)
第十六章 高性能和功能性纤维 ·····	(640)
第一节 含氟聚合物纤维·····	(641)
一、聚四氟乙烯的制备·····	(641)
二、聚四氟乙烯的结构和性能·····	(642)
三、聚四氟乙烯纤维的生产方法·····	(643)
四、聚四氟乙烯纤维的性能和用途·····	(645)
五、其他含氟纤维·····	(646)
第二节 碳纤维·····	(647)
一、聚丙烯腈基碳纤维·····	(648)
二、沥青基碳纤维·····	(656)
三、以粘胶纤维为原丝制碳纤维·····	(661)
四、碳纤维的结构、性能和用途·····	(662)
第三节 芳族聚酰胺纤维·····	(665)

一、聚对苯二甲酰己二胺纤维·····	(665)
二、聚己二酰间苯撑二甲胺纤维·····	(668)
三、聚间苯二甲酰间苯二甲胺纤维·····	(670)
四、聚对苯二甲酰对苯二甲胺纤维·····	(673)
五、聚对苯甲酰胺纤维·····	(675)
六、聚对苯二甲酰对氨基苯甲酰肼纤维·····	(676)
第四节 其他特种合成纤维·····	(678)
一、聚苯并咪唑纤维·····	(678)
二、聚双苯并咪唑-苯并菲绕咻纤维·····	(681)
三、聚酰胺亚胺纤维·····	(681)
四、聚酰亚胺纤维·····	(683)
五、聚苯撑噁二唑纤维·····	(685)
六、聚2,6-二苯基对苯醚纤维·····	(687)
七、聚对苯二甲酰草酰双脒脲纤维·····	(688)
八、酚醛纤维·····	(689)
第五节 超高分子量聚乙烯纤维·····	(691)
一、超高分子量聚乙烯的结构与性质·····	(692)
二、超高分子量聚乙烯纤维的制造·····	(694)
三、高强高模聚乙烯纤维生产的若干问题·····	(696)
四、高强高模聚乙烯纤维的性质·····	(701)
五、超高分子量聚乙烯纤维的用途·····	(703)
第六节 阻燃纤维·····	(704)
一、纤维材料的燃烧过程·····	(705)
二、阻燃机理·····	(706)
三、阻燃元素及阻燃剂·····	(708)
四、阻燃方法·····	(708)
五、几种主要阻燃纤维和阻燃加工·····	(709)
第七节 导电纤维·····	(710)
一、导电纤维的现状·····	(711)

二、导电纤维的类别和特征.....	(711)
三、导电纤维的性质.....	(713)
四、白色导电纤维.....	(713)
五、金属络合处理的导电聚丙烯腈纤维.....	(715)
六、导电纤维的消电机制.....	(717)
七、导电纤维的主要用途.....	(718)
参考文献.....	(720)

第九章 聚酯纤维

聚酯纤维是由大分子链中的各链节通过酯基 ($\text{—}\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}\text{—O—}$) 相连的成纤高聚物纺制而成的合成纤维。英文缩写为 PET。我国将含聚对苯二甲酸乙二酯组分大于 85% 的合成纤维称为涤纶。

早在 1894 年 Vorländer 用丁二酰氯和乙二醇制得低分子量的聚酯；1898 年 Einkorn 合成聚碳酸酯；1932 年 Carothers 合成脂肪族聚酯。早年合成的聚酯大都为脂肪族化合物，其分子量及熔点都较低，且易溶于水，故不能纺制实用的纺织纤维。1941 年 Whinfield 和 Dickson 用对苯二甲酸二甲酯 (DMT) 和乙二醇 (EG) 合成聚对苯二甲酸乙二酯 (PET)，这种聚合物可通过熔体纺丝制得性能优良的纤维。1953 年美国首先建厂生产聚酯纤维。

随着有机合成和高分子科学与工业的发展，近年研制开发出多种具有不同特性的实用性聚酯纤维。如具有高伸缩弹性的聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 纤维；具有超高强度、高模量的全芳香族聚酯纤维等。目前所谓“聚酯纤维”通常指聚对苯二甲酸乙二酯纤维。

聚酯纤维问世虽晚，但由于具有一系列优良性能，如断裂强度和弹性模量高，回弹性适中，热定型性优异，耐热和耐光性好，织物具有洗可穿性等，故有广泛的服用和产业用途；近年石油化工飞速发展，为涤纶生产提供了更加丰富而廉价的原料；加之近年化工、机械、电子自控等技术的发展，使涤纶原料生产、纤维成形和加工等过程逐步实现短程化、连续化、自动化和高速化。目前，聚酯纤维已成为发展速度最快，产量最大的合成纤维品种。1990 年，世界涤纶总产量 862.1 万吨，占世界合纤总产量 (1771.5

万吨)的48.66%。

近年我国聚酯纤维生产发展迅速,先后建成金山、辽阳、天津、仪征、佛山、厦门等大中型涤纶生产基地。1990年产量达104.2万吨,居各化学纤维品种之首,占同年我国化纤年总产量(164.81万吨)的63.2%。

第一节 聚对苯二甲酸乙二酯的制备

聚对苯二甲酸乙二酯的制备包括对苯二甲酸(TPA)及乙二醇的制备,对苯二甲酸双羟乙酯(BHET)的制备和聚对苯二甲酸乙二酯的制备。

一、对苯二甲酸及乙二醇的制备

(一) 从石油制取芳烃

石油中各种烃类,大多可作为不同种类合纤的原料。而制造涤纶则主要利用石油中的芳烃(如二甲苯、甲苯等)。石油中芳烃含量约占5%~20%。从石油提取芳烃的方法主要是催化重整和催化裂化。

1. 催化重整 在一定温度、压力和催化剂铂等的作用下,使重质油(直馏头油)中的烃类分子结构发生改变,生成芳烃。

2. 催化裂化 重质油在温度400~500℃、压力0.1~0.2MPa条件下,加之催化剂 SiO_2 和 Al_2O_3 的作用,进行复杂的裂化反应生成芳烃。与此同时发生的异构化反应,亦会产生部分芳烃。

上述两法获得的芳烃(除苯以外),如甲苯、二甲苯(包括邻位、对位、间位二甲苯),都是制造涤纶的原料。对二甲苯(PX)的来源最广、且最经济,是制造涤纶的基本原料,目前约占97%。

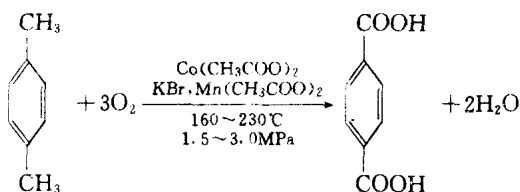
对二甲苯的分子量为106.16,熔点13.263℃,常态下为油状液体,沸点138.351℃,密度(20℃)0.8610g/cm³,比热容1.6986J/(g·K)。

(二) 从芳烃制对苯二甲酸

目前工业制取对苯二甲酸及其二甲酯的方法主要有高温氧化法、低温氧化法及氧化酯化法。

1. 高温氧化法 又称 Amoco 法, 或称 MC 法、SD 法。此法以醋酸为溶剂, 醋酸钴或醋酸锰为催化剂, 溴化物为促进剂, 在高温下, 通过空气液相氧化将 PX 一步氧化为 TPA。

此法的优点是反应快, 流程简单, 收率在 90% 以上。适合大型化生产, 是目前应用最广泛的方法。其反应为:



此法的缺点是设备腐蚀严重, 反应温度较高, 并需用溴化物作促进剂。

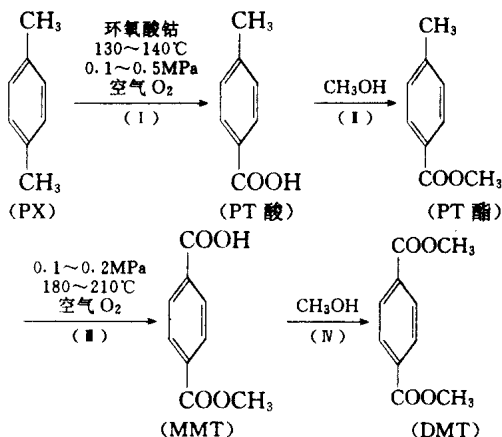
2. 低温氧化法 又称 Mobil 法。此法以醋酸为溶剂, 以甲(基)乙(基)酮为促进剂, 醋酸钴为催化剂, 在 130℃、1.5MPa 压力下, 以纯氧为氧化剂, 使 PX 氧化为 TPA。

此法的优点是反应温度、压力较低, 操作简便, 产品纯度高, 收率亦高; 缺点是需用氧化促进剂且副产醋酸需专门处理, 反应时间长, 动力消耗大。

3. 氧化酯化法 此法用对二甲苯分步氧化、酯化, 直接制取对苯二甲酸二甲酯 (DMT), 反应分四步进行。

此法不必分步制取 TPA 和 DMT, 而是将氧化和酯化过程两两合并, 故称合并氧化合并酯化法。此法反应不需醋酸作溶剂, 反应条件温和; 缺点是反应收率偏低, 仅为 85% 左右, PX 单耗大。

从 PX 制 TPA 的方法还有硝酸氧化法。虽然此法的流程简单, 产品纯度高, 收率高 (85%~98%), 反应快, 但由于设备腐蚀严重, 并有爆炸危险, 故目前已很少采用。



采用其他芳烃为原料亦可制取 TPA，如以苯酐转位（即第一 Henkel 法）和甲苯氧化歧化（即第二 Henkel 法）等，但目前都已淘汰。

上述制取对苯二甲酸及其二甲酯的方法中，目前以高温氧化法和合并氧化酯化法应用较广，其产量分别占聚酯中间体产量的 43.2% 和 42%，而低温氧化法近年发展也很快。

（三）对苯二甲酸的性质

纯净的 TPA 是无色针状结晶或无定形粉末。分子量 166.13，密度 $1.510\text{g}/\text{cm}^3$ ，比热容 $1.2029\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ ，升华点约 300°C ，熔点 425°C ，室温下难溶于水，也不溶于氯仿、乙醚等一般有机溶剂，仅溶于吡啶、二甲基亚砷、二甲基甲酰胺等几种特殊溶剂。具有羧酸的一系列性质。

作为纤维生产用的 TPA 质量要求如下：

外观	白色粉末
纯度 (%)	99.5~99.8
酸值 (mgKOH/g)	675 ± 2
灰分 (ppm)	≤ 15
水分 (重量%)	≤ 0.5
含铁 (ppm)	< 10