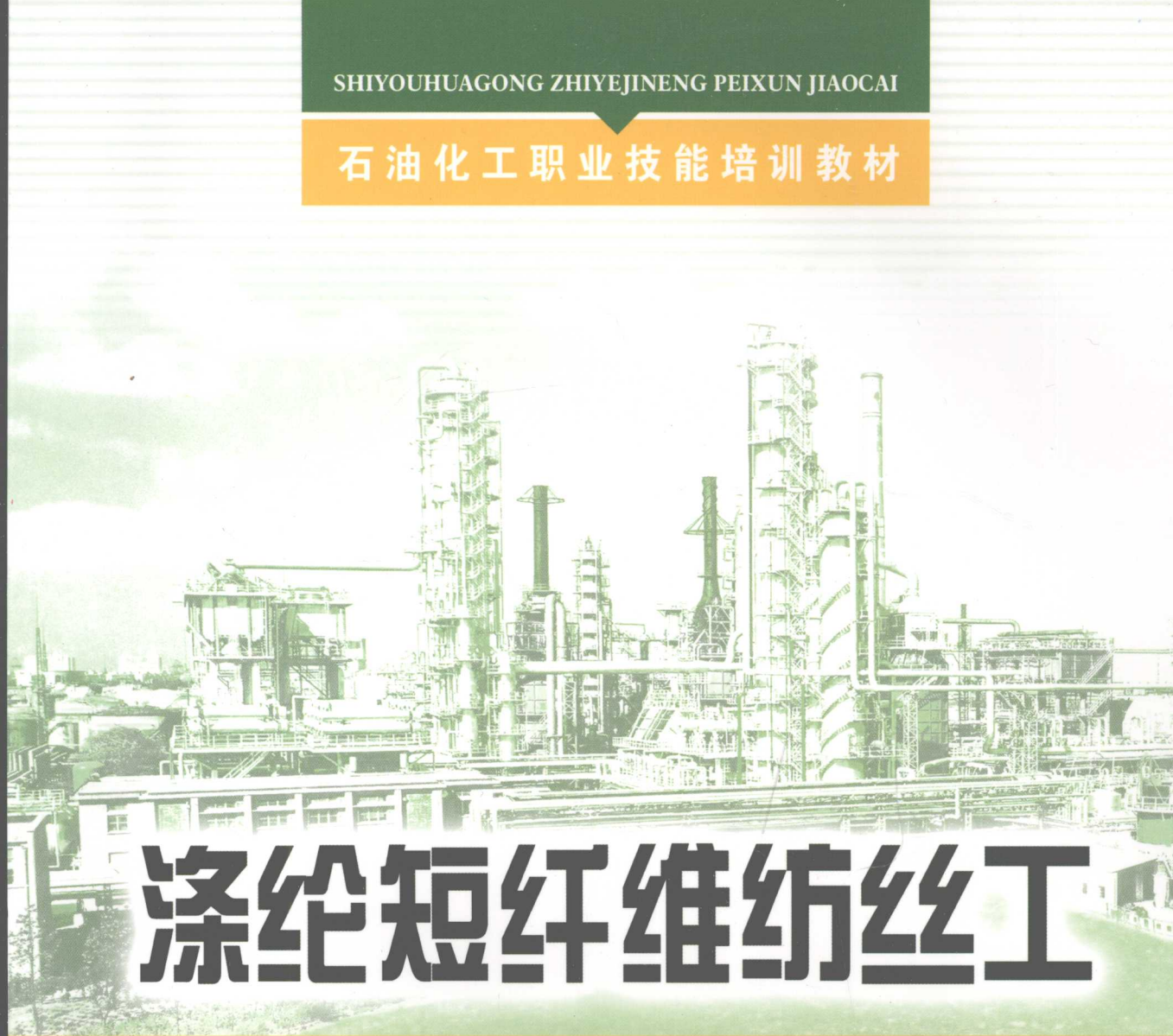


SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUN JIAOCAI

石油化工职业技能培训教材



涤纶短纤维纺丝工

中国石油化工集团公司人事部 编
中国石油天然气集团公司人事服务中心

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石化职业技能培训教材

涤纶短纤维纺丝工

中国石油化工集团公司人事部 编
中国石化天然气集团公司人事服务中心

中国石化出版社

内 容 提 要

《涤纶短纤维纺丝工》为《石油化工职业技能培训教材》系列之一, 涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》中, 对该工种初级工、中级工、高级工、技师、高级技师五个级别的专业理论知识和操作技能的要求。主要包括: 工艺原理、设备使用与维护、纺丝与后处理工艺操作、故障判断与处理、安全环保等。

本书是涤纶短纤维装置操作人员进行职业技能培训的必备教材, 也是专业技术人员必备的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

涤纶短纤维纺丝工/中国石油化工集团公司人事部,
中国石油天然气集团公司人事服务中心编. —北京: 中国石化出版社, 2008

石油化工职业技能培训教材
ISBN 978-7-80229-628-2

I. 涤… II. ①中…②中… III. 聚对苯二甲酸乙二酯纤维: 短纤维: 化学纤维-纺丝-技术培训-教材 IV. TQ342.064

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 088049 号

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 302 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

定价: 25.00 元

《石油化工职业技能培训教材》

开发工作领导小组

组 长：周 原

副组长：王天普

成 员：(按姓氏笔画顺序)

于洪涛	王子康	王玉霖	王妙云	王者顺	王 彪
付 建	向守源	孙伟君	何敏君	余小余	冷胜军
吴 耘	张 凯	张继田	李 刚	杨继钢	邹建华
陆伟群	周赢冠	苟连杰	赵日峰	唐成建	钱衡格
蒋 凡					

编审专家组

(按姓氏笔画顺序)

王 强	史瑞生	孙宝慈	李兆斌	李志英	岑奇顺
杨 徐	郑世桂	姜殿虹	唐 杰	黎宗坚	

编审委员会

主 任：王者顺

副主任：向守源 周志明

成 员：(按姓氏笔画顺序)

王力健	王凤维	叶方军	任 伟	刘文玉	刘忠华
刘保书	刘瑞善	朱长根	朱家成	江毅平	许 坚
余立辉	吴 云	张云燕	张月娥	张全胜	肖铁岩
陆正伟	罗锡庆	倪春志	贾铁成	高 原	崔 昶
曹宗祥	职丽枫	黄义贤	彭干明	谢 东	谢学民
韩 伟	雷建忠	谭忠阁	潘 慧	穆晓秋	

前言

为了进一步加强石油化工行业技能人才队伍建设,满足职业技能培训和鉴定的需要,中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心联合组织编写了《石油化工职业技能培训教材》。本套教材的编写依照劳动和社会保障部制定的石油化工生产人员《国家职业标准》及中国石油化工集团公司人事部编制的《石油化工职业技能培训考核大纲》,坚持以职业活动为导向,以职业技能为核心,以“实用、管用、够用”为编写原则,结合石油化工行业生产实际,以适应技术进步、技术创新、新工艺、新设备、新材料、新方法等要求,突出实用性、先进性、通用性,力求为石油化工行业生产人员职业技能培训提供一套高质量的教材。

根据国家职业分类和石油化工行业各工种的特点,本套教材采用共性知识集中编写、各工种特有知识单独分册编写的模式。全套教材共分为三个层次,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》各职业(工种)对初级、中级、高级、技师和高级技师各级别的要求。

第一层次《石油化工通用知识》为石油化工行业通用基础知识,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各职业(工种)共性知识的要求。主要内容包括:职业道德,相关法律法规知识,安全生产与环境保护,生产管理,质量管理,生产记录、公文和技术文件,制图与识图,计算机基础,职业培训与职业技能鉴定等方面的基本知识。

第二层次为专业基础知识,分为《炼油基础知识》和《化工化纤基础知识》两册。其中《炼油基础知识》涵盖燃料油生产工、润滑油(脂)生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识,《化工化纤基础知识》涵盖脂肪烃生产工、烃类衍生物生产工等职业(工种)的专业基础及相关知识。

第三层次为各工种专业理论知识和操作技能,涵盖石油化工生产人员《国家职业标准》对各工种操作技能和相关知识的要求,包括工艺原理、工艺操作、设备使用与维护、事故判断与处理等内容。

《涤纶短纤维纺丝工》为第三层次教材,在编写时按传统教材模式,未分级

别，在编写顺序上遵循先基础理论知识后技能操作、具体内容由浅到深的编写原则。在编写时充分考虑了不同工艺流程、设备装置的通用性，章节安排上把设备使用（操作）知识和工艺操作知识及前、后纺工艺操作分开编写，以使纺丝工和后处理工不同级别技能人员可以结合《国家职业标准》要求有选择地学习。

《涤纶短纤维纺丝工》教材由仪征化纤负责组织编写，主编孙华平（仪征化纤），参加编写的人员有詹领（仪征化纤）、杨勇（仪征化纤）、肖平（仪征化纤）、陆云芳（仪征化纤）、周桂存（仪征化纤）、张粉平（仪征化纤）、高玉文（仪征化纤）、白燕芳（天津石化）、李丽新（辽阳石化）；本教材已经中国石油化工集团公司人事部、中国石油天然气集团公司人事服务中心组织的职业技能培训教材审定委员会审定通过，主审任国强，参加审定的人员有罗来升、杨徐、魏家瑞、戚裕军、程天阁，审定工作得到了上海石化的大力支持；中国石化出版社对教材的编写和出版工作给予了通力协作和配合，在此一并表示感谢。

由于石油化工职业技能培训教材涵盖的职业（工种）较多，同工种不同企业的生产装置之间也存在着差别，编写难度较大，加之编写时间紧迫，不足之处在所难免，敬请各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

目 录

第1章 概 述

1.1 涤纶短纤维发展概况	(1)
1.1.1 聚酯纤维工业的发展史	(1)
1.1.2 涤纶短纤维工业的发展史	(2)
1.2 聚酯生产和聚酯性质	(4)
1.2.1 酯化与缩聚反应原理	(4)
1.2.2 PET 生产工艺简介	(5)
1.2.3 PET 的结构和性质	(5)
1.3 涤纶短纤维生产方法及产品简介	(12)
1.3.1 涤纶短纤维生产方法	(12)
1.3.2 涤纶短纤维产品简介	(13)

第2章 涤纶短纤维生产工艺及原理

2.1 纺丝工艺流程概述	(16)
2.1.1 直接纺工艺	(16)
2.1.2 间接纺工艺	(16)
2.2 纺丝生产工艺	(16)
2.2.1 熔体输送	(16)
2.2.2 熔体纺丝工艺原理	(21)
2.2.3 卷绕落桶	(30)
2.2.4 后加工工艺原理	(31)
2.3 主要原辅材料和公用工程规格	(35)
2.3.1 主要原辅材料	(35)
2.3.2 公用工程	(39)

第3章 辅助工程

3.1 油剂调配系统	(41)
3.1.1 工艺流程	(41)
3.1.2 纺丝上油的计算	(41)
3.1.3 调配的计算	(42)
3.2 纺丝部件清洗	(42)
3.2.1 工艺原理	(42)
3.2.2 清洗质量检验	(46)

3.3 纺丝空调	(48)
3.3.1 工艺原理及流程	(48)
3.3.2 冷却风对纺丝的影响	(50)
3.4 热媒加热系统	(51)
3.4.1 热媒性质	(51)
3.4.2 气相和液相系统	(54)

第4章 主要设备

4.1 熔体分配阀	(61)
4.1.1 作用	(61)
4.1.2 结构	(61)
4.1.3 检查维护	(62)
4.1.4 常见故障及处理方法	(62)
4.2 增压泵及其传动系统	(62)
4.2.1 作用	(62)
4.2.2 结构	(62)
4.2.3 检查维护	(63)
4.2.4 常见故障及处理方法	(63)
4.3 熔体过滤器	(63)
4.3.1 作用	(63)
4.3.2 结构	(63)
4.3.3 检查维护	(64)
4.3.4 常见故障及处理方法	(64)
4.4 直接纺纺丝机	(64)
4.4.1 作用	(64)
4.4.2 结构	(65)
4.4.3 检查维护	(68)
4.4.4 常见故障及处理方法	(68)
4.5 卷绕机	(69)
4.5.1 作用	(69)
4.5.2 结构	(69)
4.5.3 检查维护	(70)
4.5.4 常见故障及处理方法	(71)
4.6 盛丝装置	(71)
4.6.1 作用	(71)
4.6.2 结构	(71)
4.6.3 检查维护	(71)
4.6.4 常见故障及处理方法	(72)

4.7 后处理牵伸机	(72)
4.7.1 作用	(72)
4.7.2 结构	(72)
4.7.3 检查维护	(73)
4.7.4 常见故障及处理方法	(73)
4.8 紧张热定型机	(73)
4.8.1 作用	(73)
4.8.2 结构	(73)
4.8.3 检查维护	(74)
4.8.4 常见故障及处理方法	(74)
4.9 叠丝机	(74)
4.9.1 作用	(74)
4.9.2 结构	(74)
4.9.3 检查维护	(74)
4.9.4 常见故障及处理方法	(75)
4.10 卷曲机	(75)
4.10.1 作用	(75)
4.10.2 结构	(75)
4.10.3 检查维护	(75)
4.10.4 常见故障及处理方法	(75)
4.11 松弛定型机	(76)
4.11.1 作用	(76)
4.11.2 结构	(76)
4.11.3 检查维护	(76)
4.11.4 常见故障及处理方法	(76)
4.12 切断机	(76)
4.12.1 作用	(76)
4.12.2 结构	(76)
4.12.3 检查维护	(77)
4.12.4 常见故障及处理方法	(77)
4.13 打包机	(77)
4.13.1 作用	(77)
4.13.2 结构	(77)
4.13.3 检查维护	(78)
4.13.4 常见故障及处理方法	(78)
4.14 长边轴传动系统	(80)
4.14.1 作用	(80)
4.14.2 结构	(80)

4.14.3 检查维护	(80)
4.14.4 常见故障及处理方法	(80)

第5章 生产过程控制及联锁

5.1 纺丝主要控制回路	(81)
5.1.1 增压泵控制回路	(81)
5.1.2 热媒控制回路	(82)
5.1.3 环吹控制系统	(83)
5.1.4 卷绕往复控制系统	(84)
5.2 主要联锁	(86)
5.2.1 熔体管道联锁报警点的联锁	(86)
5.2.2 热媒锅炉联锁报警点的联锁	(87)
5.2.3 三甘醇加热槽联锁报警	(87)
5.2.4 纺丝控制点和联锁点的调试	(87)
5.2.5 集束控制	(87)
5.2.6 润滑油油压低报检测联锁控制	(88)
5.2.7 切断机速度与牵伸联锁控制	(88)
5.2.8 打包与切断、牵伸联锁控制	(88)
5.3 集散控制系统简介	(88)
5.3.1 TDC-3000 系统	(89)
5.3.2 PROFIBUS 现场总线控制系统	(89)
5.4 后加工多单元变频同步传动控制简介	(90)

第6章 纺丝生产操作

6.1 日常操作	(91)
6.1.1 切片纺丝熔体的制备	(91)
6.1.2 熔体过滤器切换	(93)
6.1.3 纺丝组件更换	(94)
6.1.4 喷丝板硅修整	(94)
6.1.5 环吹吹风过滤筒更换	(95)
6.1.6 卷绕生头	(95)
6.1.7 往复手动换桶	(95)
6.1.8 油剂调配	(96)
6.1.9 巡检	(97)
6.1.10 常见故障及处理方法	(97)
6.1.11 组件和滤芯的清洗	(100)
6.1.12 纺丝工艺空调调节	(101)
6.1.13 热媒系统的日常操作	(102)

6.2 日常停、开车操作	(104)
6.2.1 纺丝生产线日常停、开车操作	(104)
6.2.2 停电故障	(105)
6.3 首次开车操作	(106)
6.3.1 试车	(106)
6.3.2 投料开车	(122)
6.4 装置开、停车操作	(125)
6.4.1 纺丝装置大检修后开车	(125)
6.4.2 卷绕工序开、停车操作	(130)
6.5 产品转换	(130)

第7章 后加工生产操作

7.1 日常操作	(132)
7.1.1 盛丝桶的搬运	(132)
7.1.2 集束操作	(132)
7.1.3 牵伸操作	(133)
7.1.4 切断操作	(139)
7.1.5 打包操作	(141)
7.1.6 巡检	(142)
7.2 首次开车操作	(143)
7.2.1 单机试车	(143)
7.2.2 联动试车	(147)
7.2.3 投料开车	(148)
7.3 开停车操作	(149)
7.3.1 日常停开车操作	(149)
7.3.2 大检修停、开车操作	(149)
7.4 装置大检修停、开车操作	(151)

第8章 产品质量控制

8.1 短纤维生产过程工艺计算	(152)
8.1.1 基本工艺参数计算	(152)
8.1.2 纺丝变频器频率计算	(152)
8.1.3 后加工工艺参数计算	(153)
8.2 原丝质量指标及异常原因分析和控制	(154)
8.2.1 原丝线密度	(154)
8.2.2 原丝断面不匀率(DVC)	(155)
8.2.3 EYS1.5	(155)
8.2.4 含油率	(156)

8.2.5 纺丝疵点	(156)
8.3 成品质量指标及异常原因分析和控制	(157)
8.3.1 成品质量的分析项目及方法	(157)
8.3.2 主要成品质量指标的异常原因分析和控制	(161)
第9章 安全及环保	
9.1 生产安全技术	(165)
9.1.1 基本概念	(165)
9.1.2 危害识别方法	(165)
9.1.3 识别危害根源和性质	(166)
9.1.4 评价风险和影响	(166)
9.1.5 风险控制	(167)
9.1.6 纺丝装置安全生产有以下几个特点	(167)
9.1.7 机电仪硬件方面的安全措施及技术	(167)
9.1.8 转动设备、压力容器及起重设备安全措施	(170)
9.1.9 安全注意事项	(171)
9.2 危害识别与事故预案	(173)
9.2.1 危害识别	(173)
9.2.2 事故预案	(177)
9.3 环境保护	(182)
9.3.1 “三废”的处理	(182)
9.3.2 装置环境保护应急预案	(183)
9.4 节能减排	(184)
9.4.1 节能与能源综合利用	(184)
9.4.2 节水减排	(185)
参考文献	(186)

第 1 章 概 述

1.1 涤纶短纤维发展概况

1.1.1 聚酯纤维工业的发展史

化学纤维研究始于 1846 年。1891 年在法国第一次工业规模生产纺织用硝酸纤维，日产 50kg。1892 年生产出纺织用黏胶短纤维，20 世纪 30 年代建成黏胶纤维厂，并开发出高强力工业用长丝。

合成纤维的研究开始于 20 世纪初期。首先研究的是聚氯乙烯纤维，但没有得到开发和利用。1928 年美国杜邦公司的 Carotherse (Wallace H. Carotherse, 1896 ~ 1937 年) 对脂肪族二元酸和乙二醇的缩聚进行了研究，并最早用这种聚酯制成纤维。1931 年秋，Carotherse 在美国化学会正式发表其研究成果。该纤维具有丝的光泽，强力和弹性均可与蚕丝媲美，但其熔点低、易水解、不耐碱，没有实用价值，但这项研究最早证实了聚酯可以制成纤维的事实。

1935 年 Carotherse 合成出聚酰胺 66，1938 年 7 月杜邦公司完成了聚酰胺 66 的中试，同月用聚酰胺 66 做牙刷毛的牙刷开始投放市场。1938 年 10 月杜邦公司正式宣布世界上第一种合成纤维正式诞生了，并将聚酰胺 66 这种合成纤维命名为尼龙 (Nylon)。

从那以后，各种新型合成纤维一个接一个地被创造出来。1941 年，英国卡利科印染工作者协会 (CPA) 的 Whinfield 和 Dickson 在 Carotherse 工作启发下，继续研究聚酯纤维，选用具有对称结构的对苯二甲酸和乙二醇缩聚，制成聚对苯二甲酸乙二酯 (PET)，成功地在实验室中用熔体纺丝法制成了有实用价值的聚酯纤维——涤纶，其熔点达到 250℃，具有良好的耐酸碱性能，当时命名为“特丽纶” (Terylene)，1942 年 CPA 取得了专利权。1946 年美国杜邦公司在证实了特丽纶的优良性能后，购买了“特丽纶”的专利，开始了工业化试验。1947 年英国帝国化学工业公司 (ICI) 从 CPA 购得除美国外全世界专利权，1949 年建成年产 1000t 的试验工厂。1951 年美国杜邦公司决定建厂，商品名定为达克纶。该厂建在美国北卡罗里达州的金斯顿城，并于 1953 年建成，它是世界上第一个聚酯纤维生产厂，年生产能力为 16000t。1955 年英国 I. C. I. 公司在威尔顿城建成年产 5000t 的聚酯纤维生产厂，商品名仍为特丽纶。随后，德国赫斯特公司、恩卡公司、格拉斯道夫公司、法国隆波朗公司、意大利蒙的迪公司、日本东丽公司和帝人公司均引进了英国技术，于 20 世纪 50 年代后期相继建厂投产。

聚酯纤维在三大合成纤维中实现工业化最晚，但发展速度最快。1960 年聚酯纤维的产量超过聚丙烯腈纤维，1972 年超过聚酰胺纤维，跃居化学纤维第一大品种。目前大规模工业化生产的聚酯纤维是以聚对苯二甲酸乙二酯为原料制得的，按其原料的英文缩写称为 PET 纤维，我国的商品名称为“涤纶”。为了改善某些性能，不少公司也生产了 PET 和其他第三单体共聚的聚酯纤维。如美国塞拉尼斯 (Celanese) 公司研制出弹性较好的聚对苯二甲酸丁二酯纤维 (PBT 纤维)，年产量超过 10000t。但到目前为止，聚酯纤维中 90% 以上仍是 PET 纤维，所以聚酯纤维大多是指 PET 纤维。

我国化学纤维工业发展的历史并不久远,从20世纪50年代开始起步,直到60年代,限于当时资源、技术和国际环境条件制约,化学纤维工业发展的重点是以棉短绒为主要原料的黏胶纤维和以电石为主要原料的维纶。自70年代开始,我国化学纤维工业发展的重点转向以石油为基础原料的涤纶、锦纶、腈纶和丙纶,融入国际化学纤维发展的主流之中,特别是70年代末,我国实行以经济建设为中心的历史性转变,化学纤维工业进入高速度发展时期。

涤纶纤维是我国合成纤维中增长最快的品种,1965年我国涤纶纤维产量只有100t,仅约占合成纤维总产量的1.92%,位于锦纶、维纶和腈纶之后而居第四位。1976年涤纶纤维产量上升到2.69万吨,超过上述三种纤维而跃居首位,占合成纤维总产量的34.3%。1990年产量突破100万吨,达到104.2万吨。2001年产量猛增到632.6万吨,2005年我国涤纶产量为1270.16万吨,而2005年全球涤纶纤维的工厂消耗为3000万吨左右,中国涤纶纤维的产量约占全世界需求的42%。

1.1.2 涤纶短纤维工业的发展史

1.1.2.1 我国涤纶短纤维技术的发展简述

我国涤纶短纤维工业始于20世纪70年代初。70年代中期,从日本、西德、法国引进了聚酯和涤纶短纤维的生产技术及成套设备,同时在消化吸收国外技术的基础上,我国化纤工作者自主开发了VD405-LVD801、VD406-LVD802等成套涤纶短纤维设备,建立了一批中小型涤纶厂。80年代初,上海石化总厂二期工程及仪征化纤工业联合公司两个大型聚酯纤维工厂通过引进国外技术和设备相继建成,使我国涤纶短纤维产量和规模上了一个台阶。随后,仪征化纤公司、上海二纺机和郑州纺机等单位,通过技贸合作,消化吸收引进技术,开发了国产化的 $1.5 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的LHV452-LHV902型直纺涤纶短纤维生产线。

90年代初,辽阳石化公司、黑龙江龙涤集团、上海石化公司、上海联吉合纤公司等相继从德国吉玛公司、瑞士伊文达公司等引进了 $3 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的直纺涤纶短纤维生产线。随着聚酯装置的规模不断扩大,涤纶短纤维的单线生产能力不断提高,从单线日产25~50t提高到150~200t,生产成本降低,劳动生产率提高,市场竞争能力增强。90年代末,洛阳石化总厂和天津石化总厂分别从美国康泰斯公司和德国纽马格公司引进了 $5 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的涤纶短纤维生产线。

近几年,随着国内聚酯工业的高速发展。国内企业(主要是民营企业)纷纷引进大容量涤纶短纤维生产线。其中纽马格公司的 $6 \times 10^4 \text{ t/a}$ 生产线已在我国建成20多条,吉玛公司的 $5 \sim 6 \times 10^4 \text{ t/a}$ 生产线已建成6条。2003年2条国内 $3 \times 10^4 \text{ t/a}$ 直纺涤纶短纤维生产线成功投产运行,至2006年国产化 $3 \times 10^4 \text{ t/a}$ 涤纶短纤维生产线已在国内建成约30条。

1.1.2.2 国内大容量涤纶短纤维装置的特点

引进吉玛公司技术的装置前纺采用下装式纺丝组件,密闭式环吹风冷却方式;后加工采用一水一汽两道拉伸,紧张热定型工艺。

引进纽马格公司的装置前纺采用中心环吹冷却方式。后加工也采用一水一汽两道拉伸,紧张热定型工艺。前纺与后加工生产线可采取一对一和二对一的配套布置方式。

引进杜邦-康泰斯公司的装置前纺丝束喂入采用了杜邦公司特有的空气铺丝器,丝束喂入速度高,运行平稳,操作维护方便。后加工采用一气一汽两道拉伸工艺,第一道拉伸是干式拉伸工艺,拉伸在空气中进行。

几家公司的技术各有特色,在设备上的最大变化是前纺进行两道上油,环吹冷却系统中

整合了一个环形上油器，起到冷却丝束，消除静电，提高丝束抱合性能，减少丝束抖动的作用。后加工采用同步控制变频马达驱动，省去长轴驱动。

国内涤纶短纤维成套设备开发及制造商主要有中国纺织机械集团公司和上海太平洋机电(集团)有限公司，两家公司单线 $3 \times 10^4 \text{ t/a}$ 的生产线纺丝冷却系统均采用低阻尼中心环吹，后加工采用一水一汽两道拉伸和紧张热定型工艺。目前由中国纺织机械集团公司与康泰斯公司合作设计制造的国产单线 $5 \times 10^4 \text{ t/a}$ 涤纶短纤维成套设备已投产运行，该生产线生产能力大，自动化程度高，具有国际先进水平，并已出口到印度和巴基斯坦。上海太平洋机电公司单线 $5 \times 10^4 \text{ t/a}$ 涤纶短纤维成套设备也已出口巴基斯坦，装置已投产。

1.1.2.3 涤纶短纤维的发展趋势

随着石油资源稀缺的加剧和纺织材料应用领域的拓展，涤纶短纤维主要从生产规模大型化和纤维品种差别化两个方向发展。

从上个世纪 90 年代，为了降低生产成本，世界主要聚酯纤维生产厂就不断在原有生产线基础上进行增容改造，并研究大容量成套生产装置，生产规模越来越大。世界聚酯装置的单线生产能力，从最初的 $1.6 \times 10^4 \text{ t/a}$ 提高至目前的 $20 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，目前国内聚酯企业的单线生产能力也已达到 600 t/d 。涤纶短纤维生产装置单线生产能力已达到 $6 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，产业的内部规模经济效益也从中体现出来。随着涤纶短纤维生产技术国产化进度加快，新建聚酯装置的投资费用明显下降。

从上世纪 70 年代开始，世界各大化纤制造厂都开始注重差别化纤维的研究与开发，到 70 年代后半期，各公司先后开发出大量的差别化纤维材料，使差别化纤维在合成纤维中所占比重迅速增加。目前，日本差别化纤维的比重已经超过了 50%，其中原液着色、异形、复合及中空纤维加工技术早已成熟，在近年开发的高附加价值织物中被大量采用。美国早在 20 世纪 80 年代末，拥有的高科技功能化纤维占总产量的 2.4%，功能化纤维的应用已经超出了服用范围，广泛应用于土木建筑、农业、医疗卫生、空气净化、汽车工业和家庭用品等领域。除了通过对现有涤纶短纤维进行改性，开发具有各种不同风格特性的新品种外，为了满足各个领域的不同需要，特殊功能纤维和高性能纤维也获得了较快的发展。

另外，全球经济自 2001 年起恢复性增长，从 2003 年开始呈现全球原油需求急剧增加、油价飞速上涨的趋势。随着油价剧烈上扬，推动 PTA、MEG、PX 更大幅度涨价，上游原料高成本并不能有效向下游转移，下游纺织业不能消化，造成聚酯产业的利润大量向聚酯原料转移，导致大量聚酯生产厂亏损停产。目前新建的 PTA 及乙二醇都是以石油作为基本原料，而石油是不可再生资源，石化产品的高昂价格，推动化纤产业早日改变原料结构，寻求可再生资源生产聚酯原料具有战略意义。“绿色”生产技术与产品将是今后化纤生产的大趋势，采用“绿色”产品路线来生产聚酯原料成为国际上十分关注的课题。

我国涤纶纤维行业经过二十多年的高速发展，现在已成为世界上涤纶产量最大的国家。据业内人士分析，我国涤纶产业的发展将呈现出以下趋势：

产量增长的速度有所放慢。今后几年，我国涤纶的增长速度将大幅度下降，而且涤纶长丝的增速要明显小于涤纶短纤维。由于涤纶短纤维通过吸湿改造技术使之接近棉花的吸水性，加上各种功能性纤维的开发，涤纶产品将逐渐受到消费者欢迎。涤纶长丝最近几年的扩容速度太快，已超过了市场需求，且功能性纤维发展速度落后于涤纶短纤维，预计未来几年只能缓慢发展。

生产能力将越来越集中。涤纶工业的生产技术比较稳定，自动化程度较高，投资成本越

来越低,因而面对激烈的市场竞争,降低成本显得尤为重要。降低成本的重要举措就是扩大生产规模,达到经济规模,最终达到降低产品成本的目的。

高附加值产品将呈快速发展趋势。随着生活水平的提高,人们对服饰的要求不仅是保暖、舒适,并将更多的追求功能化。我国涤纶工业的科技创新和新产品开发还处于起步阶段,产品创新能力远远低于日本、美国、韩国及台湾省,许多新产品、高仿真纤维仍不能生产。

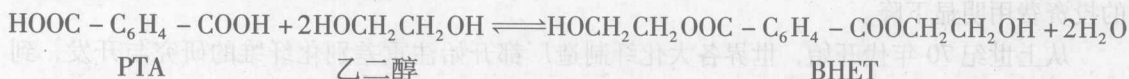
高性能、功能化、差别化、保护环境是化纤发展的方向,涤纶纤维生产要有生命力,必须满足人们日益增长的舒适性和环保性的要求。

1.2 聚酯生产和聚酯性质

1.2.1 酯化与缩聚反应原理

1.2.1.1 直接酯化反应

直接酯化反应可采用催化剂也可以不采用催化剂而在加压或在常压下进行酯化反应。PTA 直接酯化反应目前生产上一般不采用催化剂,因为 PTA 分子中羧酸本身就可起催化作用,这种催化实际上是氢离子催化。因此,在没有催化剂存在下的直接酯化反应被认为是一个酸催化过程。其化学反应式如下。

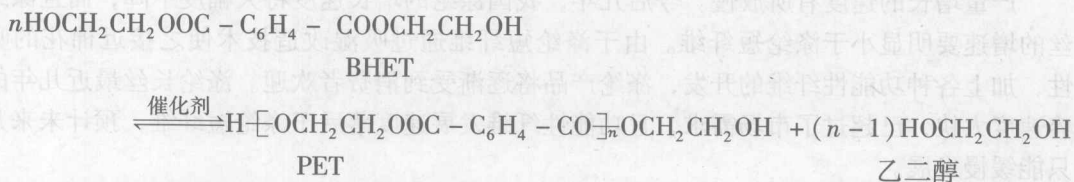


酯化反应是一个平衡可逆过程。直接酯化反应在非均相体系中进行,反应仅发生在已溶解的对苯二甲酸和乙二醇之间,最后得到对苯二甲酸乙二酯,也叫做对苯二甲酸双羟乙酯,简称 BHET。所释放出的低分子物是水,为了顺利地得到酯化产品,促使平衡向生成酯化物的方向移动,必须不断地把低分子副产物从反应区域内移走。

在分析无催化剂存在下的 PTA 与乙二醇直接酯化的最初阶段产物的结果表明,随着 PTA 的第一个和第二个羧基的酯化,生成对苯二甲酸单羟乙酯、对苯二甲酸双羟乙酯,同时还发生少量的缩聚反应,形成二聚体、三聚体等。

1.2.1.2 缩聚反应

BHET 缩聚反应是一个可逆平衡反应, BHET 彼此间多次缩合,不断释放出乙二醇,而形成 PET 的缩聚反应是逐步进行的。在反应体系中,单体很快消失而转变成各种不同聚合度的缩聚物,产物的聚合度随反应时间而逐渐增加。缩聚反应过程既存在着使分子链增长的缩聚反应,又存在着使分子链变短的裂解反应,这两种反应进行着激烈的竞争。在前一阶段相对分子质量较小,此时由低聚物缩聚成较大分子的倾向占主导地位,因此黏度上升。在后一阶段分子链已较长,加上温度较高,于是裂解倾向趋于主导地位,表现出黏度逐步下降,两种反应竞争的结果,使黏度出现一个极大值,一般说来,这是缩聚反应的终点。其化学方程式如下:



实际上,酯化和缩聚并不是截然分开的,当酯化反应进行到一定阶段,即乙二醇酯基生

成到一定量时,两种反应同时进行。为使反应向高聚合度方向转移,并提高反应速度,必须将反应所生成的乙二醇尽快地从反应体系中排除。因此,缩聚反应一般都要求在真空下进行,特别是缩聚反应后期要求在高真空度下进行。

副反应:二元羧酸与二元醇进行酯化和缩聚反应时,可能产生一些副反应,生成羧基($-\text{COOH}-$),还可能生成醚键 $[-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-]$,以致破坏聚酯大分子的规整性,减弱分子间力,使熔点降低;副反应还可能生成环状齐聚物。在纺丝和拉伸过程中,在导丝辊和拉伸辊上所析出的白色粉末状物质,一部分就是这种环状齐聚物。

除此之外,还有酯基的水解、聚合物的热降解和氧化降解等副反应。副反应多会使产品质量下降,主要表现在端羧基含量增高并造成产品色泽发黄。

1.2.2 PET 生产工艺简介

聚酯生产工艺路线有直接酯化法(PTA 法)和酯交换法(DMT 法)。PTA 法具有原料消耗低、反应时间短等优势,自 80 年代起已成为聚酯的主要生产工艺和技术路线。大规模生产线多为连续生产工艺,半连续及间歇生产工艺则适合中、小型生产装置。PTA 法连续工艺主要有德国吉玛公司、美国杜邦公司、瑞士伊文达公司和日本钟纺公司等几家技术,其中吉玛、伊文达、钟纺技术为 5 釜流程,杜邦则开发了 3 釜流程(目前正在开发 2 釜流程),两者缩聚工艺基本相似,区别在于酯化工艺。如 5 釜流程采用较低温度及压力酯化,而 3 釜流程则采用高乙二醇/PTA 摩尔比和较高的酯化温度,以强化反应条件,加快反应速度,缩短反应时间。

PTA 法生产 PET 的工艺流程:

PTA 与乙二醇直接酯化反应生成单体 BHET, BHET 缩聚为 PET。

浆料配制→酯化→预缩聚→缩聚→PET

DMT 法生产 PET 的工艺流程:

DMT 法是由粗对苯二甲酸与甲醇反应生成对苯二甲酸二甲酯(DMT),然后与乙二醇进行酯交换得到对苯二甲酸乙二酯 BHET, BHET 缩聚为 PET。

酯交换→缩聚→PET

1.2.3 PET 的结构和性质

1.2.3.1 PET 的结构

高分子聚合物的结构可分为分子链结构和分子间结构。分子链结构决定了聚合物的基本特性。分子间结构又称为超分子结构或聚集态结构。聚集态结构是研究单位体积内许多分子链之间的几何排列关系。聚集态结构是加工过程形成的,故研究聚集态结构对聚酯纤维的加工过程是必要的。

1. 分子链的结构

典型高聚物的分子是按链状排列成大分子的,所以分子结构又称链结构。链结构又称一级结构,它表明一个分子链中原子或基团的几何排列情况。链结构包括尺度不同的两类结构:近程结构即第一层次结构,指单个高分子内一个或几个结构单元的化学结构和立体化学结构;远程结构即第二层次结构,指单个高分子的大小和在空间所存在的各种形状(构象)。高分子的链结构是反映高分子各种特性的最主要的结构层次,直接影响聚合物的某些特性,如熔点、密度、溶解性、黏度、黏弹性等。

① 组成和构造 聚对苯二甲酸乙二酯(PET)的分子链结构可用下列分子式表示: