

SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUN JIAOCAI

石油化工职业技能培训教材



腈纶聚合装置操作工

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)

内 容 提 要

《腈纶聚合装置操作工》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。主要内容包括：湿法一步法聚合系统、湿法二步法聚合系统、干法聚合系统的工艺原理、工艺操作、工艺控制方法、设备使用与维护、事故判断与处理、安全生产要求、三废处理、节能和清洁生产等。

本书是腈纶聚合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

腈纶聚合装置操作工/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，2007
石油化工职业技能培训教材
ISBN 978 - 7 - 80229 - 431 - 8

I. 腈… II. ①中…②中… III. 聚丙烯腈纤维 - 化工设
备 - 操作 - 技术培训 - 教材 IV. TQ342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 148646 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 14 印张 342 千字

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

定价：30.00 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	取丽枫	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。

《腈纶聚合装置操作工》为第三层次教材,在编写时采用传统教材模式,不

分级别，按照先基础理论知识后技能操作的顺序，并把设备使用(操作)知识和工艺操作知识分开按章节表述。在教材编写结构上，采用不同工艺路线的工艺操作进行分章编写；在工艺流程和工艺操作编写时，由于相同工艺生产路线的工艺流程和工艺操作存在一定程度的差异，很难全部统一，因而采取以某种产能大的技术先进的生产装置为主线，在不同的部分进行补充介绍；在技能叙述过程中突出了统一性、通用性、可读性及可操作性。在工艺原理和理论知识方面，简化了复杂的公式推导和较深的理论叙述，以满足职工培训教育的不同层次需要，并使技能人员通过教材学习后，能够达到自觉地将理论知识应用到操作中的目的。

《腈纶聚合装置操作工》教材由上海石化负责组织编写，主编张放台(上海石化)，参加编写的人员有路金奎(上海石化)、姚家华(浙江金甬)、聂强(齐鲁石化)、李宏伟(抚顺石化)、张华(大庆石化)；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，主审唐杰、任国强、张景生；参加审定的人员有杨徐、黄翔宇、张蓬安、童宝军、黄志强、任翠霞，审定工作得到了茂名石化的大力支持；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 腈纶发展概况	(1)
1.2 腈纶纤维的主要性能及用途	(2)
1.2.1 腈纶结构的特点	(2)
1.2.2 腈纶纤维的主要性能	(2)
1.2.3 腈纶纤维的用途	(6)
1.3 腈纶生产的工艺路线	(7)
1.3.1 腈纶生产的工艺路线分类	(7)
1.3.2 国内腈纶生产工艺路线	(7)
1.3.3 腈纶生产的工艺路线比较	(7)
1.4 腈纶新品种	(9)
1.4.1 腈纶新品种研制与开发途径	(9)
1.4.2 腈纶主要新产品及性能	(11)

第2章 工艺原理及流程

2.1 主要化工料	(15)
2.1.1 第一单体(丙烯腈)	(15)
2.1.2 第二单体	(16)
2.1.3 第三单体	(18)
2.1.4 其他化工料	(19)
2.2 聚丙烯腈生产工艺原理	(26)
2.2.1 自由基链式聚合反应	(26)
2.2.2 溶液聚合	(33)
2.2.3 水相聚合	(36)
2.2.4 工艺条件对丙烯腈聚合的影响	(42)
2.3 工艺流程	(46)
2.3.1 湿法工艺流程	(46)
2.3.2 干法工艺流程	(51)

第3章 主要设备

3.1 湿法一步法聚合系统的主要设备	(54)
3.1.1 淤浆槽	(54)
3.1.2 反应试剂混合槽	(55)
3.1.3 进料温度控制器	(55)
3.1.4 聚合釜	(56)

3.1.5	脱单塔	(56)
3.1.6	原液混合槽	(57)
3.1.7	脱泡塔	(58)
3.1.8	板框压滤机	(58)
3.2	湿法二步法系统的主要设备	(60)
3.2.1	聚合釜、终止釜	(60)
3.2.2	脱单塔	(61)
3.2.3	水洗机	(62)
3.2.4	高剪切溶解机	(64)
3.2.5	脱泡塔	(65)
3.2.6	分散机	(65)
3.2.7	板框压滤机	(66)
3.2.8	废丝溶解槽	(67)
3.3	干法纺丝聚合系统的主要设备	(67)
3.3.1	聚合釜	(67)
3.3.2	一道真空过滤机	(68)
3.3.3	聚合物干燥机	(68)
3.3.4	喷淋室	(69)
3.3.5	马可混合机	(69)
3.3.6	原液混合及储存设备	(70)
3.3.7	二氧化钛砂磨机	(71)
3.3.8	废丝离心脱水机	(72)
3.3.9	废丝干燥机	(72)

第4章 湿法工艺操作

4.1	化工料配制	(73)
4.1.1	化工料配制目的	(73)
4.1.2	化工料的收料操作	(73)
4.1.3	第三单体溶液的配制	(76)
4.1.4	氯酸钠溶液、氢氧化钠溶液、焦亚硫酸钠溶液的配制	(77)
4.1.5	二氧化钛悬浮液的配制	(79)
4.1.6	一步法反应剂混合液的配制	(81)
4.2	聚合工序	(81)
4.2.1	聚合釜(水相聚合)调试和开车准备	(81)
4.2.2	聚合釜开车	(87)
4.2.3	聚合釜停车	(93)
4.2.4	二步法聚合釜的使用注意事项	(96)
4.3	脱单工序	(97)
4.3.1	二步法脱单系统的调试和开车准备	(97)
4.3.2	脱单系统开车	(98)
4.3.3	脱单系统停车	(102)

4.3.4	脱单系统使用注意事项	(102)
4.4	水洗工序	(104)
4.4.1	水洗机调试与开车准备	(104)
4.4.2	水洗工序开车	(105)
4.4.3	水洗工序停车	(107)
4.4.4	水洗工序滤布拆装	(108)
4.5	吸收塔系统	(109)
4.5.1	吸收塔系统开车	(109)
4.5.2	吸收塔系统停车	(109)
4.6	聚合物的储存和使用	(110)
4.6.1	聚合物(淤浆)的储存	(110)
4.6.2	不合格聚合物的掺和使用	(111)
4.6.3	聚合物储槽排空	(111)
4.7	原液溶解工序	(112)
4.7.1	原液溶解工序调试和开车准备	(112)
4.7.2	原液溶解工序开车	(114)
4.7.3	原液溶解工序停车	(116)
4.7.4	清洗操作	(119)
4.8	脱泡工序	(120)
4.8.1	调试和开车准备	(120)
4.8.2	脱泡系统开车	(121)
4.8.3	脱泡系统停车	(123)
4.9	废丝溶解工序	(123)
4.9.1	废丝溶解开车准备	(124)
4.9.2	废丝溶解开车	(124)
4.9.3	废浆掺和使用操作	(125)
4.10	原液供纺工序	(127)
4.10.1	开车准备	(127)
4.10.2	原液供纺系统开车	(129)
4.10.3	原液供纺系统正常操作	(131)
4.10.4	原液供纺系统停车	(132)
4.11	二步法消光系统和分散机工序	(133)
4.11.1	消光系统开车	(133)
4.11.2	消光系统开停车注意事项	(135)

第5章 干法工艺操作

5.1	化工料配制	(136)
5.1.1	化工料配制目的	(136)
5.1.2	安全要点	(137)
5.1.3	配制前的检查	(137)
5.1.4	操作要点	(138)

5.1.5	消光剂溶液的配制	(138)
5.1.6	浅色剂的配制	(139)
5.1.7	试剂过滤器滤芯的更换	(139)
5.2	聚合工序	(140)
5.2.1	聚合釜进料的流量标定(转子流量计)	(141)
5.2.2	聚合釜开车	(141)
5.2.3	聚合釜停车	(146)
5.2.4	聚合釜系统的清洗	(148)
5.3	一道过滤系统	(150)
5.3.1	水封水系统开车	(151)
5.3.2	一道过滤系统开车准备	(151)
5.3.3	一道过滤系统开车	(152)
5.3.4	一道过滤系统开车注意事项	(153)
5.3.5	一道过滤系统停车	(153)
5.3.6	一道过滤系统停车注意事项	(154)
5.4	淤浆混合与分离	(154)
5.5	淤浆泵切换操作	(155)
5.6	二道过滤系统	(155)
5.6.1	二道过滤系统开车	(156)
5.6.2	二道过滤系统停车	(157)
5.7	更换真空过滤机滤布	(157)
5.7.1	准备工作	(157)
5.7.2	更换操作	(157)
5.8	干燥系统	(158)
5.8.1	干燥机开车	(158)
5.8.2	烘干机停车	(159)
5.8.3	烘干机操作注意事项	(159)
5.9	风送系统	(160)
5.9.1	风送系统操作	(160)
5.9.2	风送系统操作注意事项	(161)
5.10	原液制备	(161)
5.10.1	马可混合机开车准备	(161)
5.10.2	马可混合机开车	(161)
5.10.3	马可混合机停车和清洗	(162)
5.10.4	马可混合机正常操作	(163)
5.10.5	马可混合机操作注意事项	(163)
5.10.6	有光/半消光的转换	(163)
5.11	废原液制备	(164)
5.11.1	废丝洗涤	(164)
5.11.2	废丝切断机系统	(165)
5.11.3	废丝干燥机系统	(165)

第6章 工艺控制方法及联锁

6.1 湿法工艺的主要控制系统	(167)
6.1.1 化工配料工序	(167)
6.1.2 聚合工序	(168)
6.1.3 湿法原液配制工序	(171)
6.2 干法工艺的主要控制系统	(174)
6.2.1 化工配料工序	(174)
6.2.2 聚合工序	(175)
6.2.3 原液工序	(176)

第7章 故障处理和应急预案

7.1 化工配料工序常见故障处理和应急预案	(177)
7.1.1 化工配料工序常见故障处理	(177)
7.1.2 化工配料工序应急预案	(177)
7.2 聚合工序常见故障处理和应急预案	(177)
7.2.1 湿法聚合工序常见故障处理	(177)
7.2.2 湿法聚合工序应急预案	(185)
7.2.3 干法聚合工序常见故障处理	(189)
7.2.4 干法聚合工序应急预案	(192)
7.3 原液工序故障处理和应急预案	(193)
7.3.1 湿法原液工序常见故障处理	(193)
7.3.2 湿法原液工序应急预案	(196)
7.3.3 干法原液工序常见故障处理	(198)
7.3.4 干法原液工序应急预案	(199)

第8章 安全、节能和“三废”治理

8.1 腈纶聚合装置的安全生产	(201)
8.1.1 腈纶聚合装置安全技术特点	(201)
8.1.2 化工料的安全要求	(202)
8.1.3 安全操作要求	(203)
8.1.4 安全环保的应急处理	(205)
8.2 节能	(206)
8.2.1 节能途径	(206)
8.2.2 节能方法	(207)
8.3 “三废”治理	(208)
8.3.1 “三废”的产生及危害	(208)
8.3.2 “三废”处理	(208)
8.3.3 清洁生产的要求	(210)
参考文献	(211)

第 1 章 概 述

1.1 腈纶发展概况

聚丙烯腈纤维简称腈纶，是由聚丙烯腈或 85% 以上的丙烯腈和其他第二、第三单体的共聚物纺制的纤维。其中丙烯腈含量为 35% ~ 85%、共聚单体含量为 15% ~ 65% 的共聚物制成的纤维，又称为改性腈纶。20 世纪初法国化学家 C. Moureau 合成了丙烯腈。40 年代开始，美国和德国的许多公司研究寻找聚丙烯腈溶剂，以便通过溶液纺丝制备纤维。50 年代初期，美国杜邦公司选择二甲基甲酰胺(DMF)为溶剂的干法纺丝路线，首次工业化规模生产腈纶纤维，商品名为奥纶(Orlon)，之后各国腈纶生产迅速发展。80 年代后期，生产腈纶的工厂主要建于印度和中国。

当今，全球经济增长速度放缓，世界腈纶工业正处于调整阶段。例如日本腈纶市场本身消费不足，主要依靠国外市场。2006 年日本约有 78.2% 的腈纶产品销往海外，中国约占 39.5%，是其主要市场目标。面对激烈的市场竞争，日本一些企业为了适应潮流发展和提高竞争力，开始向海外投资，也特别看好中国这个大市场。目前，东南亚地区已成为世界腈纶生产竞争最激烈的市场。

从 1958 年开始研制腈纶到现在，我国的腈纶工业已经走过了 40 多年的历程。2005 年，我国腈纶的产量超过 780kt，产量位居全球首位，昂首迈入世界腈纶生产大国之列。纵观我国腈纶工业的发展历程，可将其归纳为以下三个阶段：

(1) 研究阶段。此阶段可谓我国腈纶工业的起步阶段。期间对采用硫氰酸钠(NaSCN)、硝酸(HNO₃)、二甲基甲酰胺(DMF)、二甲基亚砷(DMSO)等溶剂的湿纺工艺进行了研究。1965 年，兰州化纤厂从国外众多成熟的湿纺工艺中选择并引进了英国 Courtaulds 公司 8000t/a 硫氰酸钠一步法工业生产装置，开始进行小规模生产，标志着我国腈纶生产的开始。

(2) 基础阶段。进入 20 世纪 70 年代，在消化、吸收引进技术的基础上，上海、大庆等地自行设计建立了一批中小型腈纶生产企业，我国的腈纶工业初具规模。各腈纶生产企业、科研单位和设备制造企业紧密协作，对硫氰酸钠一步法技术的共聚物组成、聚合和纺丝工艺原理、溶剂回收和净化工艺、设备和仪表控制等进行了全面的研究和改造，为我国腈纶工业的大力发展打下了坚实的基础。

(3) 快速发展阶段。1984 年，大庆腈纶厂从美国原氰氨(ACC)公司引进了水相聚合硫氰酸钠二步法技术，经改造于 1988 年建成了 50kt/a 的腈纶生产装置。该装置的建成投产，改变了我国腈纶工业工艺路线单一的局面。随后，淄博、抚顺、秦皇岛、宁波、茂名等地引进美国杜邦(Dupont)公司的技术及设备，建成 5 个总产能达 165kt/a 的二甲基甲酰胺干法生产企业，使我国腈纶生产工艺进一步多样化，我国腈纶生产进入了快速发展的阶段。

截至目前，我国已经拥有八条分别采用硫氰酸钠、DMF、DMAc(二甲基乙酰胺)、DM-SO 以及 HNO₃ 溶剂的工艺路线，生产能力在国际腈纶行业中居于首位。今后有机溶剂及二步法湿纺比例将进一步增加，一步法比例将相应减少。

世界腈纶的发展主要有三种模式，即产能集中模式、与纺织后加工紧密结合模式和向丙

烯腈靠拢模式。在上下游联手开发新产品方面，日本及中国台湾地区的纤维界、纺织界、服装界已经开始共同创造市场，向世界推出纺织新产品。在我国经济保持稳定高速增长前提下，腈纶工业保持了稳定的发展，但是我国腈纶工业也正面临着国际先进技术、先进管理和优质服务的挑战。我国腈纶工业发展最缺乏的就是与纺织后加工紧密配合。所以，我们应加快腈纶高新科技的开发、推广和应用力度，加快产业结构的调整，充分利用技术和管理的创新成果，积极探索文化理念创新，塑造腈纶工业的核心优势，培育自己的腈纶品牌，加快中国腈纶产品走向世界的步伐。

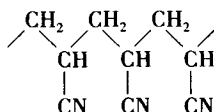
1.2 腈纶纤维的主要性能及用途

腈纶纤维具有一般合成纤维的共性，但又有其自己的特性。例如，腈纶膨体纱的制备方法是在毛条中混入具有一定比例的高收缩性腈纶(将经过牵伸、干燥和定型的纤维在加热情况下进行再次牵伸，使纤维再次大幅度地伸长，通过冷却将新的长度暂时固定下来)，再通过汽蒸，这部分腈纶就会发生大幅度收缩，将低收缩性的腈纶鼓出，而显现膨化性。腈纶纤维所以能用这样的方法制备膨体纱，是因为它具有其他结晶性纤维所没有的热弹性。涤纶或锦纶纤维是结晶性的高聚物，不具有热弹性，所以不能用这种方法制备膨体纱。

另外，由于腈纶的弹性，耐热性质不及结晶良好的涤纶或锦纶纤维。但是，我们却可利用它的热弹性，在生产上进行各种方法的热处理，从而改善它的性质，并扩大它的应用范围。

1.2.1 腈纶结构的特点

腈纶是由丙烯腈与其他乙烯基单体无规共聚组成，其分子结构的特点是线状大分子主链由丙烯腈首尾相连而成，与氰基(—CN)相连的碳原子间隔一个亚甲基(—CH₂)，因而主链为烷烃结构：



腈纶特有的结构特点反映在下面腈纶纤维的主要性能上。

1.2.2 腈纶纤维的主要性能

腈纶的纵面有少量沟槽，截面随纺丝方法不同而异，干法纺丝的纤维截面呈哑铃形，湿法纺丝的则为圆形或肾-豆形。

由湿法纺丝和干法纺丝得到的典型纤维截面见图 1-1。

由于干纺纤维具有哑铃形截面，所以它的弯曲模量或硬度比圆形和肾-豆形纤维低，在可比较的相同线密度下，干纺纤维更为柔软或织物的美感更好；哑铃形截面使纤维的堆砌密度减小，从而使产品更蓬松，在可比较的相同纱线结构下比圆形和肾-豆形纤维分别粗



图 1-1 湿法和干法纺丝得到纤维的截面形状

30%和15%。

1.2.2.1 常规腈纶的机械性能

(1) 线密度。衡量纤维粗细程度的指标称为线密度。

(2) 强度。纤维的强度一般是指相对强度，即单位线密度的断裂负荷，常以 $\text{dN} \cdot \text{tex}^{-1}$ 作单位。根据测定的条件和方法不同，断裂强度可分三种：①干态强度(简称干强，为在标准温度、湿度下调湿后的强度)；②湿态强度(简称湿强)；③勾结强度(简称勾强)和结节强度(简称结强)。

影响纤维强度的因素很多，如聚合物的组成、相对分子质量及其分布、纤维的超分子结构和形态结构等等，其中尤以超分子结构中的取向因数对强度的关系最为密切。

(3) 断裂伸长。纤维的断裂伸长是指纤维拉伸至断裂时的长度与拉伸前纤维长度的比值(%)。

(4) 初始模量。初始模量是指纤维最初伸长为原长1%时的负荷。初始模量与纤维的超分子结构关系较为直接。纤维的初始模量大，有利于提高相应织物的尺寸稳定性和硬挺性。

(5) 回弹性。纤维在负荷作用下，可发生普弹形变、高弹形变和塑性形变。当外力除去后，可复的普弹形变和松弛时间较短部分的高弹形变将较快回缩，并留下部分形变，即剩余形变。一般剩余形变越小，纤维回弹性越好。测定纤维回弹性质的方法有两种：一次负荷回弹性，一般以回弹率表示；多次循环负荷回弹性，可从多次循环负荷延伸曲线加以研究。常规腈纶的回弹性为92%~99%，与羊毛接近，但其多次循环负荷弹性不如羊毛。

(6) 可燃性(LOI)。大于21%是不可燃的，普通腈纶可燃性为18.2%。

腈纶的主要性能见表1-1。

表1-1 腈纶的主要性能

性 能		腈 纶		改性腈纶
		短纤维	长丝束	短纤维
断裂强度/ $\text{dN} \cdot \text{tex}^{-1}$	干 态	2.2~4.8	2.8~5.3	1.7~3.5
	湿 态	1.7~3.9	2.6~5.3	1.7~3.5
断裂伸长/%	干 态	25~50	12~20	25~45
	湿 态	25~60	12~20	25~45
相对湿度/%		80~100	90~100	90~100
打结强度/ $\text{dN} \cdot \text{tex}^{-1}$		1.4~3.1	2.6~7.1	1.3~2.5
勾结强度		1.6~3.4	1.7~3.5	1.4~2.5
弹性模量/ $\text{dN} \cdot \text{tex}^{-1}$		22~54	35~75	18~48
回弹性/%(3%伸长时)		90~95	70~95	85~95
相对密度		1.14~1.17		1.28
回潮率	公定/%	2		2
	标准状态(20℃、65%RH)	1.2~2.0		0.6~1.0
耐热性/℃	软化点	190		150
	熔 点	不明显		不明显
	分解温度	327		
	玻璃化温度	80~150		

续表

性 能	腈 纶		改性腈纶
	短纤维	长丝束	短纤维
日晒牢度(曝晒 12 个月残留强度)/%	60		60
可燃性(LOI)/%	18.2		26.7
耐酸性	35% 盐酸、65% 硫酸、45% 硝酸对其强度无影响		35% 盐酸、70% 硫酸对其强度无影响

1.2.2.2 常规腈纶的物理与化学性能

(1) 密度。湿纺腈纶的密度(在甲苯中)一般为 $1.16 \sim 1.18 \text{g/cm}^3$; 干纺腈纶的密度为 $1.14 \sim 1.17 \text{g/cm}^3$; 具有中等取向度和经良好热处理后的湿纺腈纶的密度为 $1.2 \sim 1.24 \text{g/cm}^3$ 。常规腈纶的密度比羊毛轻 10%, 比棉花轻 20%。所以制品柔软蓬松, 特别是针织物, 因蓬松而含多量空气, 使人感到既轻又软还暖和, 与同类毛织物比较, 保暖性高 1.6 倍, 具有轻而暖的特点。

(2) 吸湿性。纤维的吸湿性是指在标准温湿度(20°C 、65% 相对湿度)下纤维的吸水率。一般采用两种指标: 回潮率和含湿。二者都是吸湿平衡后的含水百分率, 但计算公式不一样。回潮率的计算以纤维绝干重量作基础, 而含湿以含水纤维重量作基础。各种纤维吸湿性的大小, 主要取决于纤维大分子中基团的性质, 也与分子在纤维中的紧密程度有关。纤维的结构越紧密, 分子间相互作用力就越大, 则纤维的吸湿性就越小。

常规腈纶在标准状态下的回潮率为 1.0% ~ 2.5%, 回潮率为羊毛的 1/8, 因此它制成的织物易洗、快干, 不发生收缩变形。腈纶的回潮率与第二、第三单体的品种与用量、纤维成型和后处理工艺及纤维结构等有关。

(3) 染色性。常规腈纶共聚物中含有酸性基团, 可用阳离子染料染色, 特别是含有磺酸基团的腈纶。腈纶可以染得色谱齐全、日晒牢度高和水洗牢度较高的颜色, 比用酸性染料染色的羊毛或用分散型染料染色的其他合成纤维色泽鲜艳、美观。腈纶也可以用分散型染料染色。

(4) 熔点与分解温度。常规腈纶的分解温度为 $220 \sim 230^\circ\text{C}$ 。由于聚丙烯腈结晶不完整, 而且熔融前大分子已分解, 故其熔点不明确。

(5) 玻璃化温度。玻璃化温度是大分子链段热运动的转变点。在玻璃化温度以下, 大分子链段活动受到极大阻碍, 纤维不显现大幅度的高弹形变, 织物保持一定的尺寸和硬挺性。所以, 纤维的玻璃化温度要求足够超出一般使用环境的温度。

丙烯腈均聚物的玻璃化温度(T_g)有两个, 第一个 $T_{g1} = 80 \sim 100^\circ\text{C}$, 第二个为 $T_{g2} = 140 \sim 150^\circ\text{C}$ 。常规腈纶中, 由于共聚单体的加入, T_{g2} 向 T_{g1} 靠拢或消失, 故 T_g 一般只有一个, 约为 $75 \sim 100^\circ\text{C}$ 。

(6) 热弹性。由于聚丙烯腈的准晶区并不能阻止大分子链段的大幅度热运动, 因此经拉伸、水洗和热定型的腈纶, 在 T_g 以上进行二次拉伸和骤冷后遇热和遇湿的作用, 能发生大幅度的回缩, 这种热弹性是腈纶所具有的特性。腈纶结构中的准晶区并非真正的结晶, 仅仅是侧向高度有序, 这种准晶区的存在并不能阻止链段的大幅度热运动, 却使纤维发生热弹性回缩, 所以腈纶可制成各种膨体纱。

(7) 白度与耐热性。腈纶的白度有着两方面的意义, 一般是指未经热处理, 同时也包括

经热处理后的纤维白度。耐热性也包含两方面的意义，一是指纤维的高温处理后保持原有白度的能力；二是指纤维的物理-机械性能耐高温处理的性质。

未经热处理前，腈纶的白度主要与生产工艺有关，即与单体、聚合时的温度和 pH 值、从聚合物到纤维成品中间经历的一系列温度和时间、杂质及助剂等有关。

以偶氮二异丁腈为引发剂的一步法溶液聚合，聚合温度高达 80℃，反应较为激烈，产品易发黄。故一步法溶液聚合时采用加浅色剂二氧化硫脲来使聚合物保持较好的白度。在腈纶聚合生产中一般也采用耐热性较好的磺酸型第三单体来改善聚合体的白度。

二步法水相聚合采用氧化-还原引发系统，聚合温度较低，聚合物不易发黄。

加入消光剂钛白粉可提高腈纶的白度，是由于钛白粉颗粒对光的反射，有利于提高纤维白度。荧光增白剂能将紫外线转化为与黄色相补的色光。

由丙烯腈均聚物制备的腈纶耐热性好，在 150℃ 进行热处理时，其机械性质变化不大。随着共聚单体含量的增加，其耐热性有所下降。

(8) 对日光与大气作用的稳定性。腈纶对日光与大气作用的稳定性特别优异，超过所有的天然纤维或其他化学纤维主要品种。在经过日光与大气作用一年后，腈纶的强度仅下降 20% 左右，而大多数纤维均损失原强度的 90% ~ 95%。

(9) 耐折皱保型性好。腈纶是一种热塑性纤维，适当加热很容易给予织物以持久的折痕。腈纶的模量是羊毛的 2.2 倍，并具有优良的压缩弹性，因此受外力不易变形，纯纺或混纺织物具有较好的抗皱保型性。

(10) 对化学试剂作用的稳定性。由于聚丙烯腈大分子中含有极性很强的氰基，溶剂要拆散这种作用力通常必须具有较强的极性。所以，腈纶溶剂较少，腈纶通常不溶解于醇、醚、酯、酮及油类等常用的溶剂，但对热的有机碱和硝酸较敏感。在高温下对含氮或氯的有机溶剂也不稳定。

(11) 耐霉菌和耐虫蛀性。由于大分子中含有氰基，腈纶具有优良的耐霉、耐菌的特性。干净的腈纶不怕潮湿，在潮湿的季节也不会生霉，衣服易于收藏。一般不会发生虫蛀现象。

(12) 耐火性。腈纶织物在燃烧时，不会像锦纶和涤纶那样发生熔融粘流，不会边燃烧边粘附在穿着者皮肤表面而造成严重的灼伤、烫伤。腈纶织物也不会像锦纶和涤纶那样，因热烟灰或类似物质溅落其上而熔成洞孔。但大量腈纶发生燃烧时，除氧化反应外，还伴随着高温分解反应，不但产生 NO、NO₂，并且有 HCN 和氰化物产生，毒性很大，救火时同时应注意防毒。无防毒面具者应在上风道救火以免中毒。

1.2.2.3 腈纶与其他常用合成纤维与天然纤维的性能比较

表 1-2 将腈纶与其他常用合成纤维与天然纤维的性能进行了定性比较(5 级表示最高，1 级表示最低)。

表 1-2 腈纶与其他常用合成纤维与天然纤维的性能比较

性能	聚酯纤维	聚酰胺纤维	腈纶	羊毛	纤维素纤维
第一类：要求较高性能					
耐磨性	4	5	3	3	3
强度	4	5	3	2	3
免烫性	5	3	3	1	1
防皱性	5	3	3	4	1
抗起球性	3	1	3	3	5

续表

性 能	聚酯纤维	聚酰胺纤维	腈 纶	羊 毛	纤维素纤维
第二类：要求较低性能					
蓬松性	3	3	5	4	1
水分迁移	3	2	5	3	4
抗静电性	2	1	4	5	5
干燥速度	5	5	5	1	1
第三类：不太重要性能					
阻燃性	5	5	3	5	1
抗干热降解性	5	3	5	5	3
抗湿热降解性	3	4	5	2	4
耐光降解(室外)	3	3	5	2	3
耐光降解(透过玻璃)	5	3	5	2	3
抗虫蛀性	5	5	5	1	1
抗微生物性	5	5	5	1	1
平均等级(第一类)	4.2	3.4	3.0	2.6	2.6
平均等级(第二类)	3.2	2.7	4.7	3.2	2.7
平均等级(第三类)	4.4	4.0	4.7	2.6	2.3
平均等级(总体)	4.1	3.5	4.2	2.8	2.5

由表中数据比较,腈纶在第一类性能中不如聚酯纤维和聚酰胺纤维,但优于羊毛与纤维素纤维;第二、第三类性能均优于其他纤维,这表明腈纶在服装市场的某些领域如对抗皱性要求较高的机织物,其用途受到限制,但由于腈纶抗微生物性和耐光降解性较好,适合于装饰及产业用织物市场。

1.2.3 腈纶纤维的用途

腈纶用途涉及服装、家居装饰和产业用途,服装用途占世界腈纶总使用量的70%。

(1) 腈纶的服装用途。腈纶在服装领域的最终用途基本相同,主要用于针织品。这是因为腈纶不仅在手感、穿着性及舒适程度方面十分接近羊毛,而且比羊毛易于清洗、易保管和耐用,比其他纤维更具蓬松性和回弹性。所以被广泛用于针织毛线衫、短袜、帽子、围巾、手套、起绒织物和起绒时装。

(2) 腈纶的装饰用途。腈纶用于室内装饰用途有很多优点,能染成明亮色调,具有良好的着色耐晒牢度和耐磨性,优异的耐气候性,较高的耐污染性和良好的洗涤性。主要用作床毯、地毯、窗帘、床罩和沙发套等。

(3) 腈纶的产业用途。腈纶在产业用途的量仅为6%,远低于合成纤维的平均水平,主要用于室外纺织品,如遮蓬、船蓬、室外家具、沙袋;增强材料,如水泥增强、铅蓄电池极板增强;在一些腐蚀性环境中作过滤用织物;碳纤维原丝等。聚丙烯腈中空纤维具有透析、超滤、反渗透、微过滤等功能。可用于混合流体的选择性分离、浓缩和净化等。例如用于医用无菌水的制造,人工肾、人工肝、血液透析超滤器、腹水超滤器、血液浓缩器等。还可用于超脱盐水的制造,污水的处理和回用等。在室外纺织品方面的使用量,近年来增长较快。

把普通腈纶预先用某些试剂处理,在300℃左右的空气中预氧化,再在1500℃左右保持一定时间使其碳化,可获得含碳量93%左右的耐高温碳纤维;若在2500~3000℃下继续进行热处理,可获得石墨纤维。石墨纤维是目前已知的热稳定性最好的纤维之一,是宇宙飞行、火箭、喷气技术以及工业高温、防腐蚀领域的良好材料。

1.3 腈纶生产的工艺路线

1.3.1 腈纶生产的工艺路线分类

腈纶生产的特点是工艺路线繁多。就聚合工艺而言分为溶液聚合(又称一步法)、水相悬浮聚合(又称二步法)两大类;纺丝工艺分为湿法纺丝、干法纺丝两大类;纺丝所用溶剂又分为无机溶剂、有机溶剂两种。目前用于工业化生产的共有8种溶剂12种工艺路线。另外,腈纶干-湿纺丝、冻胶纺丝以及在增塑条件下熔融纺丝也已取得成功。

表1-3列举了12种腈纶生产工艺路线,其中腈纶生产量比较大的主要集中在硫氰酸钠湿纺二步法、DMF干法纺和硫氰酸钠湿纺一步法3种工艺路线;DMAc湿纺二步法、DMF湿纺一步法及二步法产量其次。20世纪90年代以后,DMF干法纺因发达国家逐渐退出腈纶市场,而所占比例有所下降。近年来DMF湿纺一步法、硫氰酸钠湿纺二步法及DMAc湿纺二步法在发展中国家发展较快。

表1-3 12种腈纶生产工艺路线

聚合制备方法	纺丝工艺	溶剂种类	主要生产厂商
水相沉淀聚合(二步法)	干 纺	DMF	金 甬
		丙酮	Tennessee Eastman 丙烯腈
	湿 纺	NaSCN	中石化、中石油
		HNO ₃	旭化成
		DMF	Hoechst, Phone Poulenc
		DMAc	Montefiber, 三菱人造丝
溶液聚合(一步法)	湿 纺	丙酮	钟渊化学工业
		EC(碳酸乙二酯)	Savinesti
		硫氰酸钠	中石化
		ZnCl ₂	Dow Chemical, 东邦贝丝纶
		DMF	台 塑
		DMSO	东 丽

1.3.2 国内腈纶生产工艺路线

目前我国腈纶厂主要有4种生产工艺路线,具体如下:

(1) 硫氰酸钠一步法。采用硫氰酸钠一步法工艺的企业主要有:上海石化腈纶事业部等。

(2) 硫氰酸钠二步法。采用硫氰酸钠二步法工艺的企业主要有:上海石化腈纶事业部、大庆石化腈纶厂、大庆炼化腈纶厂、安庆石化腈纶厂等。

(3) 采用美国杜邦公司的技术、以二甲基甲酰胺(DMF)为溶剂的干法工艺路线。采用DMF干法工艺路线的企业有:上海石化(金甬)、抚顺石化腈纶厂、齐鲁腈纶厂、秦皇岛腈纶厂等。

(4) 以二甲基乙酰胺(DMAc)为溶剂的湿法工艺路线。采用DMAc为溶剂的企业主要有:吉林奇峰化纤集团、浙江杭州湾腈纶有限公司。

1.3.3 腈纶生产的工艺路线比较

1. 一步法与二步法比较

聚丙烯腈的合成采用溶液聚合,聚合物不经过分离直接制备得到纺丝原液,称为一步