

聚丙烯

——原理、工艺与技术

洪定一 主编

中国石化出版社

聚丙烯——原理、工艺与技术

洪定一 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书突出介绍了我国聚丙烯领域的重要技术进展,反映了当前聚丙烯工业的最新科研成果和生产技术水平。全书分为九章,分别论述了聚丙烯催化剂、聚合原理、聚丙烯的结构与性能、生产工艺及其相关技术、聚丙烯树脂牌号开发、聚丙烯的加工与应用以及聚丙烯行业的发展和展望。本书取材广泛,内容全面、系统,资料新颖、翔实。

本书可供从事聚丙烯科研开发、工程设计、工业生产、教学科研等领域的中高级技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

聚丙烯——原理、工艺与技术/洪定一主编.
—北京:中国石化出版社,2002
ISBN 7-80164-258-9

I.聚… II.洪… III.聚丙烯-基本知识
IV.TQ325.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 058262 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

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

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

三河市三佳印刷装订有限公司印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 42 印张 2 彩页 1069 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

定价:120.00 元

序 言

1954 年意大利 Natta 教授在实验室首次合成出聚丙烯, 1957 年聚丙烯即实现了工业化。在不到半个世纪的时间里, 聚丙烯已经成为发展速度最快、产量最大、牌号最多、用途最广的合成树脂品种之一。据统计, 2000 年世界聚丙烯生产能力已经达到 35.7Mt/a, 预计 2005 年可能增加到 45.2Mt/a。

聚丙烯生产能力的高速增长与聚丙烯领域的技术进步密不可分。40 多年来, 从催化剂、聚合工艺、产品开发, 直到加工应用技术都有着长足的进步。催化剂的研究发挥了先导作用, 引导着聚丙烯技术的进步。至今, 催化剂的发展至少经历了五次重大变化而且还在不断发展中。第一代到第四代催化剂研究开发的主要目标在于提高催化剂的效率和定向能力, 而第五代催化剂研究开发的目标主要在于能否制备出新的、性能/价格比更优良的聚丙烯产品。聚丙烯的工艺技术进步着眼于简化流程, 实现无脱灰、无脱无规物、无溶剂回收并最终实现无造粒的目标, 不同方法相互借鉴和组合, 形成了几种典型的工艺技术。在聚丙烯产品和应用开发方面也经历了巨大的变化, 目前聚丙烯已经成为包装、汽车、家电和建筑等工业领域不可或缺的基本材料。这些技术进步不仅直接推动了聚丙烯产业的发展, 而且也带动了整个聚烯烃工业的增长。

1970 年, 兰州化学工业公司 5 kt/a 聚丙烯装置投产, 我国的聚丙烯工业开始起步。70 年代末, 燕山石化 80 kt/a 聚丙烯装置以及陆续引进的装置建成投产, 80 年代在继续引进技术建设聚丙烯装置的同时, 采用国内开发的间歇法液相本体聚丙烯技术, 先后建成 400 kt/a 的聚丙烯生产能力。90 年代, 国内的聚丙烯技术获得空前的发展, 采用国内开发的技术建成了 8 套 70 ~ 100 kt/a 环管聚丙烯生产装置, 随后又开发了第二代环管聚丙烯技术, 建设了 200 kt/a 的生产装置,

1/10057/06

并成功地投入运行。自主开发的 N 型聚丙烯催化剂技术不仅在国内建设了制备装置，催化剂产品占领了国内的主要市场，而且专利技术出口国外，所生产的催化剂产品得到广泛应用。2000 年，我国聚丙烯生产能力已经达到 3200 kt/a，居国内合成树脂首位。

为了全面系统介绍聚丙烯技术，中国石化股份公司科技开发部组织中国石化北京化工研究院、中国石化工程建设公司、中国石化经济技术研究院、中国科学院化学研究所和长春应用化学研究所、浙江大学等单位的专家撰写了《聚丙烯——原理、工艺与技术》这部专著。该书取材广泛、内容新颖，包括催化剂、聚合工艺、聚合反应工程、结构性能以及加工应用等各个方面，反映了当今聚丙烯领域的技术进步，并突出介绍了国内在聚丙烯领域所取得的重要技术进展。

衷心希望《聚丙烯——原理、工艺与技术》一书的出版能对合成树脂，特别是聚丙烯产业的科技进步起到积极的促进作用，为从事合成树脂生产、科研、设计及规划的科技人员提供一部理论与实践相结合的参考书。

袁 晴 棠

前 言

聚丙烯是合成树脂中发展最快的一个品种,随着丙烯聚合及催化技术的快速发展,聚丙烯的品种、牌号不断增加,应用范围不断扩展,聚丙烯已成为一种十分重要的合成材料。

近年来,世界聚丙烯生产能力不断增加,聚丙烯催化剂经历几代的发展不仅活性呈几百倍甚至上千倍的提高,其等规度也达98%以上;聚丙烯生产工艺更加简单,无需脱灰和脱无规物等;聚丙烯产品的表征手段进一步提高,牌号开发中微观设计已可达分子水平,聚丙烯产品品种不断增加;随着聚丙烯改性研究的深入,聚丙烯的应用范围更加广泛。我国已是世界贸易组织(WTO)成员之一,随着国际市场一体化进程的加快,我国国内的企业将面临更加激烈的竞争,企业的创新已迫在眉睫,为此,企业和科研单位等的技术人员需要更深入地了解 and 掌握聚丙烯的相关理论和最新技术,为企业的技术创新提供必要的基础。

我国聚丙烯的研究和发展已经历了40多年的历程,陆续从国外引进了大量的生产装置,国内的科研、设计和生产等部门积累了大量的技术和资料,但目前国内还没有有关聚丙烯的专门论著。为此,中国石油化工股份有限公司科技开发部组织有关专家撰写了《聚丙烯——原理、工艺与技术》专著,系统全面地总结聚丙烯的相关技术,并对聚丙烯行业的发展趋势进行展望。

本书的撰写力求做到以下几个方面:

(1) 学术性。本书对聚丙烯技术的相关经典理论进行了全面系统阐述,并对近年来新的理论系统也进行了介绍。

(2) 实用性。本书作者来自科研、教学、设计、生产及信息等方面,书中的许多内容是作者近年来科研成果、设计实例及教学、生产等的实践总结,具有很强的实用性。

(3) 新颖性。本书作者中有多位是“973”和“863”项目的专家,许多内容也是他们最新科研成果及理论(“973”、“863”和“九五”项目等)的首次公开论述。

(4) 全面性。本书从聚丙烯聚合到催化剂,从聚合反应工程到生产工艺,从聚丙烯的结构形态到产品牌号开发直到聚丙烯的成型加工和应用,进行了全面系统的讨论,最后对聚丙烯的发展进行了展望。

本书从2000年6月开始筹备和编撰,到2002年6月完稿,历经两年时间。

在本书的撰写过程中，各位编委及作者分工协作，共同努力，进行了大量的查阅、编写和总结工作，并多次在不同阶段进行了校稿，相信他们一丝不苟的工作精神会使本书更加严谨。由于本书涉及内容广泛，主编对各章进行了分工，确定了主要的负责人，具体分工是：第一章绪论，洪定一；第二章催化剂，金茂筑；第三章聚合，胡友良；第四章结构与性能，乔金梁、何天白；第五章聚合反应工程，阳永荣；第六章生产工艺技术，余学恒；第七章产品与牌号，王玉庆、吕立新；第八章加工及应用，张师军；第九章发展与展望，雷燕湘。此外，还有多位作者参加了撰写工作，中国石油化工集团所属上海石化、扬子石化和燕山石化的有关同志也参加了部分工作。

希望本书的出版发行能够使广大读者对聚丙烯行业的概况、聚丙烯工艺技术以及近年来聚丙烯技术的最新学术研究和科研成果等有一个较为全面的了解，特别希望能对聚丙烯技术和催化剂的研究开发人员、工艺生产技术人员、工程设计人员及聚丙烯产品销售人员等提供很好的帮助，同时希望本书能够成为高分子领域的研发人员、高校师生、设计人员、生产企业相关人员、销售人员及信息调研人员等的最佳参考资料。

由于时间紧迫，撰写者的水平和能力有限，书中难免有疏漏、不妥和失误之处，敬请读者批评指正。

洪定一

《聚丙烯——原理、工艺与技术》编委会成员

(按姓氏笔画顺序)

- 王玉庆 中国石油化工股份有限公司科技开发部
教授级高级工程师
- 毛炳权 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院
中国工程院院士, 教授级高级工程师
- 吕立新 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院
教授级高级工程师
- 乔金梁 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院
教授级高级工程师
- 阳永荣 浙江大学 教授
- 何天白 中科院长春应用化学研究所 研究员
- 余学恒 中国石化工程建设公司
教授级高级工程师
- 张师军 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院
教授级高级工程师
- 张 勇 中国石油化工股份有限公司科技开发部
教授级高级工程师
- 陈 伟 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院
教授级高级工程师
- 陈 齐 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院
教授级高级工程师
- 金茂筑 中国石油化工股份有限公司北京化工研究院
教授级高级工程师
- 胡友良 中国科学院化学研究所 研究员
- 洪定一 中国石油化工股份有限公司科技开发部
教授级高级工程师
- 袁根乐 中国石油化工股份有限公司科技开发部
高级工程师
- 雷燕湘 中国石油化工集团公司经济技术研究院
高级工程师

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 历史与回顾	(1)
1.2 市场与需求	(1)
1.3 化学与工艺	(2)
1.3.1 催化剂	(2)
1.3.2 聚合机理	(2)
1.3.3 生产工艺	(3)
1.4 结构与性能	(8)
1.4.1 立构规整性与结晶行为	(8)
1.4.2 分子量和分子量分布	(10)
1.4.3 分子量和结晶性对聚丙烯性能的影响	(10)
1.4.4 耐化学性	(10)
1.4.5 典型的商品化聚丙烯物理机械性能	(11)
1.5 牌号与加工	(11)
1.5.1 产品牌号	(11)
1.5.2 加工	(11)
1.6 现状与发展	(13)
第二章 催化剂	(15)
2.1 概述	(15)
2.2 催化剂的发展历史及分代	(15)
2.2.1 第一代催化剂	(16)
2.2.2 第二代催化剂	(16)
2.2.3 第三代催化剂	(17)
2.2.4 第四代催化剂	(17)
2.2.5 第五代催化剂	(19)
2.2.6 第六代催化剂——茂金属催化剂	(19)
2.3 催化剂的化学及结构	(21)
2.3.1 Z-N 催化剂的化学及结构	(21)
2.3.2 单活性中心催化剂	(50)
2.4 催化剂的制备	(102)
2.4.1 Z-N 催化剂的制备方法	(102)
2.4.2 单活性中心催化剂的制备方法	(106)
2.5 催化剂的评价	(110)
2.5.1 实验室评价	(111)

2.5.2 中间试验评价	(112)
2.5.3 工业应用评价	(114)
第三章 聚合	(124)
3.1 烯烃配位聚合概述	(124)
3.1.1 丙烯分子与过渡金属间的配位作用	(124)
3.1.2 α -烯烃在金属-碳键上的插入反应	(124)
3.1.3 插入反应的立体选择性	(125)
3.1.4 单体插入的立体控制	(125)
3.2 催化活性中心	(127)
3.2.1 TiCl_3 催化剂的活性中心	(127)
3.2.2 MgCl_2 载体催化剂的活性中心	(133)
3.2.3 茂金属催化剂的活性中心	(140)
3.3 丙烯聚合反应动力学	(142)
3.3.1 丙烯聚合反应动力学模型	(142)
3.3.2 催化剂和助催化剂浓度的影响	(144)
3.3.3 聚合单体浓度和氢调的影响	(146)
3.3.4 聚合温度和时间的影响	(147)
3.3.5 聚合介质的影响	(149)
3.3.6 等规活性中心和无规活性中心	(149)
3.3.7 活性中心浓度和链增长速率常数的测定	(149)
3.3.8 链转移和链终止	(152)
3.4 丙烯与其他烯烃的共聚合	(153)
3.4.1 烯烃共聚合概述	(153)
3.4.2 丙烯的无规共聚	(155)
3.4.3 丙烯的序列共聚	(161)
第四章 结构与性能	(170)
4.1 概述	(170)
4.1.1 链结构与立构规整性	(170)
4.1.2 结晶行为和结晶结构	(171)
4.1.3 形态结构与性能	(175)
4.1.4 聚丙烯的晶型、聚集态结构及性能	(177)
4.2 聚丙烯微观结构表征	(189)
4.2.1 概述	(189)
4.2.2 聚丙烯均聚物	(189)
4.2.3 聚丙烯无规共聚物	(197)
4.2.4 聚丙烯抗冲共聚物	(201)
4.2.5 茂金属等规聚丙烯	(208)
4.2.6 热分级技术研究共聚聚丙烯的结晶序列	(211)
4.3 等规聚丙烯	(217)

4.3.1 概述	(217)
4.3.2 晶型结构	(218)
4.3.3 结晶过程	(220)
4.3.4 结晶形态	(230)
4.4 间规聚丙烯	(234)
4.4.1 微观结构与结晶形态	(234)
4.4.2 晶体结构	(237)
4.4.3 结晶性能	(240)
4.5 橡胶增韧聚丙烯的形态与性能	(243)
4.5.1 增韧聚丙烯概述	(243)
4.5.2 橡胶增韧聚丙烯的增韧机理	(246)
4.5.3 乙丙橡胶增韧聚丙烯	(249)
4.5.4 全硫化粉末橡胶增韧聚丙烯	(251)
4.6 聚丙烯类热塑性弹性体的结构与形态	(255)
4.6.1 概述	(255)
4.6.2 聚丙烯/EPM (EPDM)共混型热塑性弹性体	(255)
4.6.3 聚丙烯/橡胶动态全硫化热塑性弹性体	(256)
第五章 聚合反应工程	(269)
5.1 丙烯聚合过程的颗粒动力学	(269)
5.1.1 催化剂/聚合物的颗粒结构	(269)
5.1.2 颗粒热质传递的分析	(271)
5.1.3 扩散阻力与多活性中心	(279)
5.1.4 分子量分布曲线	(283)
5.1.5 聚合动力学和颗粒形态的相互作用	(284)
5.2 流化床气相聚合器	(287)
5.2.1 自由流化床聚合反应器	(287)
5.2.2 聚合物粉体的粒径及其分布	(293)
5.2.3 聚合流场的可视化	(299)
5.2.4 搅拌流化床的基本原理	(304)
5.3 淤浆搅拌聚合反应器	(311)
5.3.1 工艺与设备特征	(312)
5.3.2 丙烯淤浆聚合搅拌反应器操作特性分析	(314)
5.3.3 高抗冲聚丙烯合金反应器的操作特性分析	(318)
5.4 卧式搅拌聚合反应器	(323)
5.4.1 工艺设备	(323)
5.4.2 卧式搅拌浆的设计	(324)
5.4.3 反应过程分析	(325)
5.5 环管聚合反应器	(327)
5.5.1 工艺与设备	(328)

5.5.2 反应器的数学模型	(328)
5.5.3 环管反应器的操作分析	(330)
第六章 生产工艺技术	(338)
6.1 概述	(338)
6.1.1 生产工艺技术的发展	(338)
6.1.2 我国聚丙烯工艺技术的发展	(343)
6.2 浆液法聚合工艺	(346)
6.2.1 工艺概述	(346)
6.2.2 Montedison 公司浆液法工艺	(349)
6.2.3 Hercules 公司浆液法工艺	(350)
6.2.4 Amoco 公司浆液法工艺	(352)
6.2.5 三井油化公司浆液法工艺	(353)
6.2.6 现代浆液法工艺	(354)
6.3 溶液法聚合工艺	(357)
6.4 本体法聚合工艺	(358)
6.4.1 工艺概述	(358)
6.4.2 间歇法聚合工艺	(359)
6.4.3 连续式聚合工艺	(364)
6.5 本体法-气相法组合工艺	(370)
6.5.1 Spheripol 工艺	(370)
6.5.2 Hypol 工艺	(370)
6.5.3 Borstar 工艺	(384)
6.6 气相法工艺	(386)
6.6.1 气相法工艺概况	(386)
6.6.2 Novolen 工艺	(391)
6.6.3 Unipol 工艺	(396)
6.6.4 Innovene 工艺	(401)
6.6.5 Chisso 气相法工艺	(406)
6.6.6 住友(Sumitomo)气相法工艺	(407)
6.6.7 反应器颗粒技术及 Catalloy 工艺	(410)
6.7 工艺技术比较	(416)
6.7.1 技术性比较	(416)
6.7.2 经济性比较	(416)
6.8 原料及公用工程供应和消耗	(418)
6.8.1 丙烯的制造	(418)
6.8.2 丙烯等主要原料的规格和供应	(419)
6.8.3 公用工程的主要规格	(421)
6.8.4 原料及公用工程的典型消耗	(421)
6.9 聚合物的后处理	(422)

6.9.1 挤压造粒	(422)
6.9.2 产品均化及包装储存	(423)
6.10 工艺控制及先进过程控制	(426)
6.10.1 聚丙烯装置工艺控制	(426)
6.10.2 聚丙烯装置的先进过程控制	(430)
6.11 安全、卫生及环境保护	(437)
6.11.1 安全	(437)
6.11.2 三废及环保	(443)
6.12 生产工艺发展趋势	(445)
6.12.1 催化剂仍是工艺技术发展的推动力	(445)
6.12.2 改进现有技术或开发新工艺技术使产品进一步多样化和高性能化	(446)
第七章 聚丙烯树脂牌号开发	(450)
7.1 聚丙烯树脂牌号开发的目的、意义及采用的手段和方法	(450)
7.1.1 树脂牌号开发的目的和意义	(450)
7.1.2 树脂牌号开发的现状	(450)
7.1.3 牌号开发采用的手段和方法	(451)
7.2 树脂牌号开发中常用添加剂及其作用机理	(452)
7.2.1 概述	(452)
7.2.2 抗氧化剂	(452)
7.2.3 光稳定剂	(461)
7.2.4 铜抑制剂	(468)
7.2.5 抗静电剂	(468)
7.2.6 成核剂	(471)
7.2.7 爽滑剂、开口剂	(473)
7.2.8 分子量调节剂	(473)
7.2.9 抗菌剂	(475)
7.2.10 润滑剂	(477)
7.3 树脂牌号开发中添加剂配方设计	(478)
7.3.1 概述	(478)
7.3.2 聚丙烯配方设计实例	(479)
7.4 聚丙烯牌号开发中树脂微观结构设计	(486)
7.4.1 双轴取向聚丙烯薄膜(BOPP)	(486)
7.4.2 聚丙烯流延薄膜	(492)
7.4.3 聚丙烯纤维(丙纶)	(495)
7.4.4 编织袋用扁丝	(498)
7.4.5 注塑	(498)
7.4.6 泡沫成型、热成型等加工工艺用的高熔体强度聚丙烯	(499)
7.4.7 高刚性聚丙烯	(500)
7.4.8 热水管用聚丙烯(PPR)	(500)

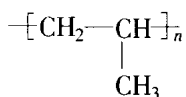
7.4.9 抗冲击型聚丙烯(嵌段聚丙烯)	(503)
第八章 加工及应用	(511)
8.1 引言	(511)
8.2 聚丙烯的流变学	(511)
8.2.1 聚丙烯的熔体流动特性	(512)
8.2.2 聚丙烯的粘弹行为	(517)
8.2.3 一组聚丙烯熔体流变数据	(522)
8.3 聚丙烯专用料的制备及应用	(525)
8.3.1 纤维增强聚丙烯	(525)
8.3.2 填充聚丙烯	(527)
8.3.3 阻燃聚丙烯	(531)
8.3.4 聚丙烯合金	(532)
8.3.5 聚丙烯热塑性弹性体	(538)
8.3.6 高熔体强度聚丙烯	(541)
8.3.7 反应型聚丙烯	(545)
8.4 聚丙烯薄膜	(549)
8.4.1 双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP 薄膜)	(549)
8.4.2 流延聚丙烯薄膜	(556)
8.4.3 吹塑聚丙烯薄膜	(558)
8.4.4 聚丙烯薄膜产品的应用	(560)
8.5 聚丙烯纤维的制备及应用	(568)
8.5.1 聚丙烯纤维的发展、应用及前景	(568)
8.5.2 聚丙烯长纤维的生产工艺	(572)
8.5.3 聚丙烯非织造布生产工艺	(580)
8.5.4 聚丙烯注塑制品、模压制品及应用	(584)
8.6 聚丙烯的挤出过程	(599)
8.6.1 热塑性塑料挤出的历史	(599)
8.6.2 聚丙烯混料挤出生产线	(599)
8.6.3 聚丙烯挤出片、膜材料	(602)
8.6.4 聚丙烯板材	(610)
8.6.5 聚丙烯挤出管材	(614)
8.6.6 聚丙烯挤出异型材	(620)
8.6.7 聚丙烯反应挤出	(624)
第九章 发展与展望	(637)
9.1 行业发展与展望	(637)
9.1.1 产能	(637)
9.1.2 需求	(638)
9.1.3 市场消费与应用	(639)
9.2 技术发展与展望	(640)

9.2.1	传统催化剂和茂金属催化剂都将继续发展	(640)
9.2.2	工艺技术进一步完善	(643)
9.2.3	丙烯基聚合物向高性能化发展	(644)
9.2.4	双峰聚丙烯树脂生产技术崭露头角	(646)
9.2.5	新的接枝技术将推动聚丙烯树脂性能和应用进一步发展	(647)
9.2.6	开发先进的控制、预测模型, 生产装置与企业信息技术系统密切结合 ...	(648)
9.3	产品发展与展望	(649)
9.3.1	茂金属催化剂为聚丙烯替代其他材料和开辟新领域提供新的机会	(649)
9.3.2	高透明牌号推动 PP 包装市场增长	(650)
9.3.3	汽车工业对聚丙烯需求继续强劲	(650)
9.3.4	增强 - 填充 PP 发展迅速	(651)
9.3.5	聚丙烯有可能成为窗异型材的替代材料	(652)
9.3.6	聚丙烯在热成型片材市场将有较高的增长率	(652)
9.3.7	聚丙烯发泡制品将有所增长	(653)

第一章 绪 论

1.1 历史与回顾

聚丙烯(Polypropylene, 缩写为 PP)是以丙烯为单体聚合而成的聚合物, 是通用塑料中的一个重要品种, 结构式为:



1953 年德国 Ziegler 等采用 $\text{R}_3\text{Al}-\text{TiCl}_4$ 催化体系制得高密度聚乙烯后, 曾试图用 $\text{R}_3\text{Al}-\text{TiCl}_4$ 为催化剂制取 PP, 但是只得到了无定形 PP, 并无工业使用价值。意大利的 Natta 教授继 Ziegler 之后对丙烯聚合进行了深入的研究, 于 1954 年 3 月用改进的齐格勒催化剂紫色 TiCl_3 和烷基铝成功地将丙烯聚合成为具有高度立体规整性的聚丙烯。

1957 年 Montecatini 公司利用 Natta 的成果在意大利 Ferrara 建成了 6 kt/a 的生产装置, 这是世界上第一套 PP 生产装置, 使 PP 实现了工业化生产。同年 Hercules 公司在美国 Parlin 也建成了 9 kt/a 的生产装置, 这是北美第一套 PP 生产装置。到 1962 年德国、日本、法国等国家也纷纷建厂, 相继实现了 PP 的工业化生产^[1~2]。

PP 的热性能和机械性能的优异结合使其在很多领域如注塑和薄膜及纤维生产中得到广泛应用, 这种通用性加上其经济性使这种材料的应用在 20 世纪 60 年代和 70 年代初期得到快速的发展, 使 PP 很快成为最重要的热塑性产品之一。

1.2 市场与需求

近年来, 全球 PP 的生产能力增长迅速, 从 1994 年底到 1999 年底, 世界 PP 生产能力增长了 52%, 年增长率高达 10%^[3]。

2000 年中期世界 PP 生产能力达到 33900 kt/a, 世界各地 PP 生产能力的增长率显示出明显的不同, 北美和亚太(不包括日本)分别达 18% 和 15% 的高增长, 而西欧仅 5%^[4]。世界各地 2000 年中期的 PP 生产能力见表 1-1。

表 1-1 2000 年中期全球 PP 生产能力^[4]

国家或地区	生产能力/ (kt/a)	占全球总能力的 比例/%	国家或地区	生产能力/ (kt/a)	占全球总能力的 比例/%
北 美 ^①	8450	25	中东/非洲	1200	3.5
西 欧	8650	25.5	中/南美	1750	5
日 本	3000	9	中/东欧	1050	3
其他亚太地区	9800	29	总 计	33900	100

① 指美国和加拿大, 墨西哥包括在中/南美。

近年来, 全球 PP 生产商的合并和收购成为热潮, 2000 年, Shell 和 BASF 将它们的聚乙

烯合资公司 Elenac、Shell 的 Montell 和 BASF 的 PP 公司 Targor 合并, 成立了聚烯烃公司 Basell, 成为世界上最大的 PP 生产商, 其全球的 PP 生产能力达到 5100 kt/a, 比位于第二位的 BP (2200 kt/a) 高一倍多; Dow 接管了 UCC; Atochem 与 TotalFina 合并, 形成了 Atofina; BP 继收购 Amoco 之后, 又收购了 Arco。

目前世界上主要的 PP 生产商见表 1-2。

表 1-2 全球主要的 PP 生产商及其生产能力^[5]

公 司	生产能力/(kt/a)	公 司	生产能力/(kt/a)
Basell(Montell - Targor - Elenac)	5100	Borealis	1400
BP(BP Amoco - Arco)	2200	ExxonMobil	1010
Atofina(Total Fina - Elf Ato)	2100.5	Reliance Industries(印度)	1000
中国石化集团公司 ^①	2080		

① 原参考文献中未列, 数据来源参考文献[20]。

1999 年全球 PP 的消耗达到 26000 kt, 与 1998 年相比增长了 10.8%, 这是过去 5 年间最大的年增长率, 其中亚太地区占全球总需求的 37%, 北美占 24%, 西欧占 28%, 这三个地区占了全球总需求的 88%^[6]。

1999 年世界各地区需求增长速度最快的是亚太地区, 高达 13.7%; 其次是北美, 为 12.4%^[7]。

世界 PP 的消费结构见图 1-1。

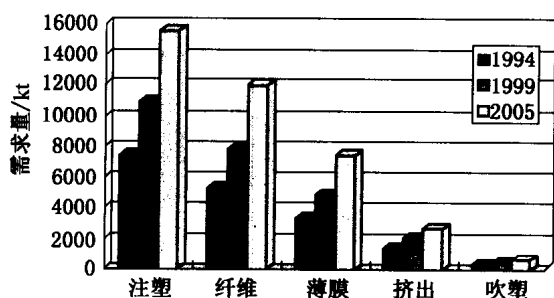


图 1-1 世界 PP 消费结构

我国的 PP 工业起步于 20 世纪 60 年代, 但发展很快, 尤其是经过“七五”、“八五”和“九五”的迅速发展, 截至目前我国 PP 生产能力已达 3083 kt/a, 其中连续法生产装置 31 套, 生产能力为 2338.5 kt/a, 占总能力的 75.8%; 间歇法生产装置 50 余套, 生产能力为 744.5 kt/a, 占总能力的 24.2%。

1999 年我国 PP 产量为 2666.4 kt, 与 1990 年的 377.9 kt 相比, 增长了 605.6%, 平均年增长率高达 24.9%。2000 年我国 PP 产量达 3100 kt, 其中中国石化集团公司生产了 2200 kt。

尽管我国的 PP 工业取得了迅猛的发展, 生产能力和产量大幅度增长, 但在数量、质量以及品种等方面仍不能满足国民经济高速发展的需要, 每年仍需大量进口, 且数量逐年上升, 2000 年我国进口 PP 达 1640 kt, 与 1999 年相比增长 11.4%^[8]。

1.3 化学与工艺

1.3.1 催化剂

Ziegler-Natta (Z-N) 催化剂经过 40 多年的改进发展, 已由最初的第一代 TiCl_3 常规催化剂发展到现在的高活性、高性能第三、四代催化剂, 不仅催化剂的活性呈几百乃至上千倍的提高, 而且 PP 的等规度达到 98% 以上的高水平, 产品无需脱灰和脱无规物。第四代催化剂还使 PP 的生产实现了无造粒, 极大地提高了经济效益。PP 催化剂的进展见表 1-3。