

SHIYOUHUAGONG ZHIYEJINENG PEIXUN JIAOCAI

石油化工职业技能培训教材



聚乙烯装置操作工

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

中国石化出版社

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

石油化工职业技能培训教材

聚乙烯装置操作工

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

中国石化出版社

内 容 提 要

《聚乙烯装置操作工》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。主要包括：低密度聚乙烯、高密度聚乙烯、线型低密度聚乙烯的基础知识、工艺流程及技术特点、主要设备使用及维护、化工三剂、工艺操作、故障判断与处理、安全环保与节能等。

本书是聚乙烯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

聚乙烯装置操作工/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，2008
石油化工职业技能培训教材
ISBN 978 - 7 - 80229 - 520 - 9

I. 聚… II. ①中…②中… III. 聚乙烯 - 化工设备 - 操作 - 技术培训 - 教材 IV. TQ325.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027948 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

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 19.25 印张 474 千字

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

定价：40.00 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。

《聚乙烯装置操作工》为第三层次教材,编写时根据国内聚乙烯工业生产

特点，分为低密度聚乙烯、高密度聚乙烯及线型低密度聚乙烯三部分，各部分独立成篇，且不分级别，对国内流行的各种聚乙烯生产工艺进行了介绍。在编写顺序上遵循先基础理论知识后技能操作的编写特点，并坚持以理论知识为基础，以技能知识为核心的原则，使得操作人员通过对本教材的学习后，达到自觉把所学知识应用到操作中的目的。

《聚乙烯装置操作工》教材由齐鲁石化负责组织编写，主编孙海涛（齐鲁石化），参加编写的人员有郑春光（齐鲁石化）、谢凡（齐鲁石化）、邢井进（燕山石化）、段秋红（燕山石化）。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，主审王强、彭国霖，参加审定的人员有万涛、杨徐、徐文俊、魏川、郭常辉、张宁、张庆雨、王双居、刘玉国、张晓霞、刘永锋、褚卫彬、李跃进、任翠霞。审定工作得到了燕山石化、上海石化、兰州石化及大庆石化的大力支持；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

概 论

- 1. 聚乙烯发展史简介 (1)
- 2. 聚乙烯技术发展动向 (1)
- 3. 国内外聚乙烯工业现状及发展前景 (3)
- 4. 国内与国外聚乙烯生产技术的差距 (6)

第 1 篇 低密度聚乙烯

- 第 1 章 基础知识 (8)
 - 1.1 低密度聚乙烯工艺的发展历史 (8)
 - 1.2 低密度聚乙烯聚合反应机理 (9)
 - 1.2.1 聚合反应机理简述 (9)
 - 1.2.2 动力学方程式 (10)
 - 1.3 主要原材料 (11)
 - 1.3.1 乙烯 (11)
 - 1.3.2 分子量调节剂 (11)
 - 1.4 产品特性、质量指标及应用 (12)
 - 1.4.1 产品特性及质量指标 (12)
 - 1.4.2 低密度聚乙烯树脂的应用 (14)
 - 1.5 低密度聚乙烯装置工艺概述 (14)
 - 1.5.1 齐鲁石化高压低密度聚乙烯装置 (14)
 - 1.5.2 燕山石化第一高压低密度聚乙烯装置 (14)
 - 1.5.3 燕山石化第二高压低密度聚乙烯装置 (15)
 - 1.5.4 大庆石化第一高压低密度聚乙烯装置 (15)
 - 1.5.5 大庆石化第二高压低密度聚乙烯装置 (15)
 - 1.5.6 茂名石化第一高压低密度聚乙烯装置 (16)
 - 1.5.7 茂名石化第二高压低密度聚乙烯装置 (16)
 - 1.5.8 上海石化第二高压低密度聚乙烯装置 (16)
- 第 2 章 工艺流程及技术特点 (17)
 - 2.1 低密度聚乙烯装置工艺流程 (17)
 - 2.1.1 齐鲁石化 LDPE 装置 (17)
 - 2.1.2 燕山石化第二 LDPE 装置 (19)
 - 2.1.3 大庆石化第一 LDPE 装置 (22)
 - 2.1.4 茂名石化 LDPE 装置 (26)
 - 2.1.5 上海石化第二 LDPE 装置 (30)

2.1.6 燕山石化第一 LDPE 装置	(33)
2.2 低密度聚乙烯装置的技术特点	(37)
第3章 生产过程主要设备使用及维护	(41)
3.1 反应器	(41)
3.1.1 管式反应器	(41)
3.1.2 釜式反应器	(43)
3.2 一次压缩机	(44)
3.2.1 一次压缩机的用途及特点	(44)
3.2.2 一次压缩机的维护	(48)
3.3 二次压缩机	(48)
3.3.1 二次压缩机的用途及特点	(48)
3.3.2 二次压缩机的维护	(54)
3.4 挤压造粒机组	(55)
3.4.1 挤压造粒机的用途及特点	(55)
3.4.2 挤压机的维护	(57)
第4章 化工三剂	(58)
4.1 引发剂的性质、规格及使用	(58)
4.2 溶剂的性质、规格及使用	(59)
4.3 造粒助剂	(60)
4.3.1 爽滑剂的性质、规格及使用	(60)
4.3.2 开口剂的性质、规格及使用	(61)
4.3.3 抗氧剂的性质、规格及使用	(61)
第5章 工艺操作	(62)
5.1 压缩单元	(62)
5.1.1 压缩单元的开车	(62)
5.1.2 压缩单元的正常生产操作	(65)
5.1.3 压缩单元的停车	(67)
5.2 反应单元	(70)
5.2.1 反应单元的开车	(70)
5.2.2 反应单元的正常生产操作	(73)
5.2.3 反应单元的停车	(81)
5.3 造粒、风送单元	(84)
5.3.1 造粒、风送单元的开车	(84)
5.3.2 造粒、风送单元的正常生产操作	(86)
5.3.3 造粒、风送单元的停车	(88)
5.4 低密度聚乙烯工艺的有关计算	(90)
第6章 装置故障判断与处理	(91)
6.1 压缩单元的故障判断与处理	(91)
6.1.1 工艺方面的故障判断与处理	(91)
6.1.2 电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(94)

6.2 反应单元的故障判断与处理	(95)
6.2.1 工艺方面的故障判断与处理	(95)
6.2.2 电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(98)
6.3 造粒、风送单元的故障判断与处理	(99)
6.3.1 工艺方面的故障判断与处理	(99)
6.3.2 电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(101)
第7章 安全、环保与节能	(103)
7.1 安全	(103)
7.1.1 装置的总体安全措施	(103)
7.1.2 压缩单元的安全	(104)
7.1.3 反应单元的安全	(104)
7.1.4 造粒、风送单元的安全	(106)
7.2 环保	(107)
7.2.1 装置的总体环保措施	(107)
7.2.2 压缩单元的环保	(107)
7.2.3 反应单元的环保	(108)
7.2.4 造粒、风送单元的环保	(108)
7.3 节能	(108)
7.3.1 压缩单元的节能	(108)
7.3.2 反应单元的节能	(108)
7.3.3 造粒、风送单元的节能	(109)

第2篇 高密度聚乙烯

第1章 基础知识	(110)
1.1 高密度聚乙烯工艺的发展历史	(110)
1.2 高密度聚乙烯聚合反应机理及催化剂知识	(110)
1.3 主要原材料的物性、规格、质量指标	(111)
1.4 产品特性、质量指标及应用	(112)
1.4.1 产品特性及质量指标	(112)
1.4.2 高密度聚乙烯树脂的应用	(113)
1.5 国内高密度聚乙烯装置工艺概述	(113)
1.5.1 淤浆法高密度聚乙烯装置	(114)
1.5.2 齐鲁石化高密度聚乙烯装置	(114)
1.5.3 上海金菲淤浆法高密度聚乙烯装置	(114)
1.5.4 辽阳石化高密度聚乙烯装置	(115)
1.5.5 吉林石化高密度聚乙烯装置	(115)
1.5.6 茂名石化第二高密度聚乙烯装置	(116)
第2章 工艺流程及技术特点	(118)
2.1 气相法工艺流程及技术特点	(118)
2.1.1 气相法工艺流程	(118)

2.1.2	气相法技术特点	(120)
2.2	淤浆法工艺流程及技术特点	(121)
2.2.1	淤浆法工艺流程	(121)
2.2.2	淤浆法技术特点	(123)
第3章 生产过程主要设备使用及维护		(124)
3.1	反应器	(124)
3.1.1	流化床反应器	(124)
3.1.2	釜式反应器	(125)
3.2	离心机	(125)
3.3	干燥机	(126)
3.3.1	干燥机的用途及特点	(126)
3.3.2	干燥机的使用及维护	(126)
3.4	混炼、切粒机	(127)
3.4.1	混炼、切粒机的用途及特点	(127)
3.4.2	混炼、切粒机的使用及维护	(128)
第4章 化工三剂		(129)
4.1	催化剂	(129)
4.2	溶剂	(130)
4.3	添加剂	(130)
4.4	高密度聚乙烯装置精制系统使用的催化剂及干燥剂(分子筛)	(131)
第5章 气相法工艺操作		(132)
5.1	催化剂配制单元	(132)
5.1.1	催化剂配制单元的开车	(132)
5.1.2	催化剂配制单元的正常生产操作	(133)
5.1.3	催化剂配制单元的停车	(133)
5.2	原料精制单元	(133)
5.2.1	原料精制单元的开车	(134)
5.2.2	原料精制单元的正常生产操作	(138)
5.2.3	原料精制单元的停车	(140)
5.3	反应单元	(141)
5.3.1	反应系统的开车	(141)
5.3.2	反应系统的正常生产操作	(143)
5.3.3	反应系统的停车	(147)
5.4	造粒、风送单元	(148)
5.4.1	造粒、风送单元的开车	(148)
5.4.2	造粒、风送单元的正常生产操作	(149)
5.4.3	造粒、风送单元的停车	(151)
5.5	高密度聚乙烯气相法工艺的有关计算	(151)
第6章 淤浆法工艺操作		(153)
6.1	催化剂配制单元	(153)
6.1.1	催化剂配制单元的开车	(153)

6.1.2	催化剂配制单元的正常生产操作	(153)
6.1.3	催化剂配制单元的停车	(155)
6.2	溶剂回收单元	(156)
6.2.1	溶剂回收单元的开车	(156)
6.2.2	溶剂回收单元的正常生产操作	(157)
6.2.3	溶剂回收单元的停车	(158)
6.3	聚合单元	(160)
6.3.1	聚合单元的开车	(160)
6.3.2	聚合单元的正常生产操作	(164)
6.3.3	聚合单元的停车	(167)
6.4	造粒、风送单元	(171)
6.4.1	造粒、风送单元的开车	(171)
6.4.2	造粒、风送单元的正常生产操作	(172)
6.4.3	造粒、风送单元的停车	(173)
6.5	高密度聚乙烯淤浆法工艺的相关计算	(174)
第7章	装置故障判断与处理	(176)
7.1	催化剂配置单元的故障判断与处理	(176)
7.1.1	工艺方面的故障判断与处理	(176)
7.1.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(177)
7.2	气相法原料精制单元的故障判断与处理	(177)
7.2.1	工艺方面的故障判断与处理	(177)
7.2.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(178)
7.3	反应单元的故障判断与处理	(179)
7.3.1	工艺方面的故障判断与处理	(179)
7.3.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(181)
7.4	回收单元的故障判断与处理	(181)
7.4.1	工艺方面的故障判断与处理	(181)
7.4.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(182)
7.5	造粒、风送单元的故障判断与处理	(182)
7.5.1	工艺方面的故障判断与处理	(182)
7.5.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(182)
第8章	安全、环保与节能	(184)
8.1	安全	(184)
8.1.1	催化剂配置单元的安全	(184)
8.1.2	反应、回收单元的安全	(185)
8.1.3	原料精制单元的安全	(185)
8.1.4	挤压切粒、风送单元的安全	(186)
8.1.5	料仓的安全	(186)
8.2	环保	(186)
8.2.1	催化剂配置单元的环保	(186)

8.2.2	反应、回收单元的环保	(187)
8.2.3	原料精制单元的环保	(187)
8.2.4	挤压切粒、风送单元的环保	(187)
8.3	节能	(188)
8.3.1	催化剂配置单元的节能	(188)
8.3.2	反应、回收单元的节能	(188)
8.3.3	原料精制单元的节能	(188)
8.3.4	挤压切粒、风送单元的节能	(188)

第3篇 线型低密度聚乙烯

第1章	基础知识	(190)
1.1	线型低密度聚乙烯工艺的发展历史	(190)
1.2	线型低密度聚乙烯聚合反应机理及催化剂知识	(191)
1.2.1	配位聚合	(191)
1.2.2	催化剂知识	(192)
1.3	主要原材料的物性、规格、质量指标	(192)
1.4	产品特性、质量指标及应用	(194)
1.4.1	产品特性及质量指标	(194)
1.4.2	线型低密度聚乙烯的应用	(194)
1.5	国内LLDPE装置概述	(195)
1.5.1	UCC气相法工艺	(195)
1.5.2	BP气相法工艺	(195)
1.5.3	溶液法工艺(杜邦公司的Sclairtech工艺)	(196)
1.5.4	双峰聚乙烯工艺(BORSTAR)	(196)
第2章	工艺流程及技术特点	(199)
2.1	UCC气相法工艺流程及技术特点	(199)
2.1.1	UCC气相法工艺流程	(199)
2.1.2	UCC气相法的技术特点	(201)
2.2	BP气相法工艺流程及技术特点	(202)
2.2.1	BP气相法工艺流程	(202)
2.2.2	BP气相法的技术特点	(203)
2.3	杜邦溶液法Sclaietech工艺流程及技术特点	(203)
2.3.1	杜邦溶液法Sclaietech工艺流程	(203)
2.3.2	杜邦溶液法Sclaietech工艺的技术特点	(205)
第3章	生产过程主要设备使用及维护	(206)
3.1	流化床反应器	(206)
3.1.1	流化床反应器的结构及特点	(206)
3.1.2	流化床反应器的使用及维护	(206)
3.2	离心式循环气压缩机	(207)
3.2.1	离心式压缩机的结构及特点	(207)

3.2.2	离心式压缩机的使用及维护	(208)
3.3	挤压造粒机组	(208)
3.3.1	挤压造粒机组的结构及特点	(208)
3.3.2	挤压造粒机组的使用及维护	(209)
3.4	离心干燥器	(210)
3.4.1	干燥器的结构及特点	(210)
3.4.2	干燥器的使用及维护	(210)
第4章	化工三剂	(212)
4.1	UCC 工艺化工三剂	(212)
4.2	BP 工艺化工三剂	(214)
第5章	气相法工艺操作	(216)
5.1	UCC 气相法工艺操作	(216)
5.1.1	催化剂配制单元	(216)
5.1.2	原料精制单元	(218)
5.1.3	聚合反应、回收单元	(224)
5.1.4	造粒、风送单元	(238)
5.2	BP 气相法工艺操作	(245)
5.2.1	原料精制单元	(245)
5.2.2	溶剂回收单元	(250)
5.2.3	催化剂单元	(254)
5.2.4	预聚合单元	(258)
5.2.5	流化床聚合单元	(262)
5.2.6	挤压造粒单元	(273)
5.2.7	添加剂和母料制备单元	(275)
5.2.8	掺混单元	(278)
5.3	线型低密度聚乙烯工艺的有关计算	(279)
第6章	装置故障判断与处理	(281)
6.1	催化剂配制单元的故障判断与处理	(281)
6.1.1	工艺方面的故障判断与处理	(281)
6.1.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(281)
6.2	原料精制单元的故障判断与处理	(282)
6.2.1	工艺方面的故障判断与处理	(282)
6.2.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(283)
6.3	反应、回收单元的故障判断与处理	(283)
6.3.1	工艺方面的故障判断与处理	(283)
6.3.2	电气、仪表与设备方面的故障判断与处理	(284)
6.4	造粒、风送单元的故障判断与处理	(285)
6.4.1	工艺方面的故障判断与处理	(285)

综 述

1. 聚乙烯发展史简介

聚乙烯(PE)是以乙烯为原料经催化剂催化(引发剂引发)聚合而得的一种化合物。一般地讲,聚乙烯产品按照生产方式及分子结构的不同,分为低密度聚乙烯(LDPE,生产中常称为高压低密度聚乙烯)、高密度聚乙烯(HDPE)及线型低密度聚乙烯(LLDPE)三类。

聚乙烯的工业化生产是以高压低密度聚乙烯的研究开发为起点的。1939年英国帝国化学工业公司(ICI)实现了年产百吨规模的高压釜式法聚乙烯的工业生产,其产品成功应用于电缆、雷达绝缘材料等方面。1938年法国法本公司(Farben,今巴斯夫公司)研究成功高压管式法生产聚乙烯的技术。在这期间,聚乙烯是在压力100~300MPa、温度80~300℃下经催化聚合得到的,其密度在915~940kg/m³,由于聚合过程中分子内和分子间的链转移,导致主链上支链较多且长短不一,结构规整性差、结晶度低,因此密度较低,称为低密度聚乙烯(LDPE)。

1953年德国化学家齐格勒用三乙基铝-四氯化钛为催化剂,使乙烯在低压下聚合生成聚乙烯,并于1954年实现了工业化,这种方法后来人们称为齐格勒法或低压法。这类聚乙烯产品密度较高,在940~970kg/m³之间,故称为高密度聚乙烯(HDPE)。现在工业上生产的高密度聚乙烯分为均聚高密度聚乙烯和共聚高密度聚乙烯两类,均聚物无支链,结构规整性强,结晶度高,密度在960~970kg/m³之间;共聚物是用少量的 α -烯烃(如1-丁烯、1-己烯、1-辛烯)与乙烯共聚,分子链上由共聚单体引入少量的短支链,结晶度和密度有所下降,密度在941~959kg/m³之间。

到20世纪70年代末,美国联合碳化物公司(UCC,以下简称联碳公司)和加拿大杜邦公司(Du Pont, Canada)用高效齐格勒催化剂使乙烯和 α -烯烃(如1-丁烯、1-己烯、1-辛烯)共聚,在低压下生产出密度为914~940kg/m³的聚乙烯。这类聚乙烯分子的支链是由 α -烯烃共聚单体在与乙烯共聚时引入到主链上的,支链的数目和长短取决于共聚单体的链长及加入量。这种聚乙烯由于分子排列呈线型,没有长支链,结构规整性及结晶度较高压聚乙烯高,故称为线型低密度聚乙烯(LLDPE)。

此外,如果用齐格勒催化剂在低压下生产HDPE时不用氢气或其他调节剂来调节分子量,可以得到分子量很高的聚乙烯。一般分子量在60万以上的称为高分子量聚乙烯(HMWPE),分子量在100万以上的称为超高分子量聚乙烯(UHMWPE)。

2. 聚乙烯技术发展动向

近年来,世界聚乙烯技术进展主要表现在装置大型化、开发新催化剂和改进工艺流程方面。聚乙烯生产工艺的技术进展分述如下:

1) 低密度聚乙烯

(1) 大型化。单线生产能力不断扩大,最大管式法单线生产能力已达300kt/a,釜式法单线生产能力已达200kt/a。

(2) 使用较长的高压管。减少反应器的法兰数，即由原来的每 10m 长一对法兰改为每 15m 长一对法兰。

(3) 提高产品质量。采用计算机控制反应参数，明显降低了产品的分解和污染，大大提高了产品质量。

(4) 多点注入引发剂，提高单程转化率。采用低温高活性引发剂和其他引发剂的混合引发剂，引发剂实行多点进料，提高单程转化率。

(5) 使用急冷水冷却，提高转化率。许多管式法工艺在反应器夹套中使用冷却水，如用急冷水冷却，可提高转化率。使用德国巴斯夫公司专利的美国美孚公司的高压管式法装置使用急冷水撤热后，转化率比使用同样反应器的巴斯夫公司高压装置提高 10%，埃克森公司反应器使用急冷水撤热后，转化率提高 8%。

(6) 安装蒸汽回收管路，降低蒸汽消耗。釜式法装置用蒸汽为反应器保温，其蒸汽单耗一般在 0.1t/t 产品，而目前一些大的釜式法装置消耗高压蒸汽但副产低压蒸汽，能耗更低；管式法装置具有较大的撤热面积，可通过发生低压蒸汽来冷却反应物料，许多管式法工艺都可以副产低压蒸汽。

(7) 延长压缩机运转周期。高压压缩机一段柱塞表面采用涂碳化钨技术，二段柱塞采用碳化钨整体铸造，这一技术大大提高了压缩机的运转周期，柱塞寿命由原来的半年到一年半延长至目前的两年半。

(8) 生产高熔融指数（也称融体流动速率）的产品，提高装置产量。通常高熔融指数（MI）的产品不适宜加工成薄膜，但荷兰国家能源矿产公司（DSM）已开发出了高熔融指数、低熔融温度树脂的薄膜吹塑技术，这种技术可用较低的能耗，制得强度高的透明薄膜。如果这种加工技术广泛采用，高压管式法装置的产量又可进一步提高。

2) 高密度聚乙烯和线型低密度聚乙烯

近年来，世界 HDPE 和 LLDPE 的技术进展主要表现在开发催化剂和改进工艺流程方面。

(1) 开发新型催化剂

① 目前的 HDPE 和 LLDPE 工业生产中，除了采用传统的铬系、钛系催化剂外，美国菲利普公司（Phillips）新开发的双功能催化剂系统，具有乙烯共聚和齐聚两种作用。可只用乙烯一种单体在聚合反应器中使乙烯齐聚就地制得 α -烯烃，并同时完成乙烯与 α -烯烃的共聚生产 HDPE 共聚物，可简化工艺，降低生产成本。

② 茂金属催化剂是聚乙烯技术重要进展之一。茂金属催化剂具有单一催化活性中心，与齐格勒-纳塔催化剂的多活性中心相比，活性点分布均匀，并可得到分子量、共聚单体含量分布均匀的聚合物，从而提高现有聚合物品种的性能。此外，茂金属催化剂对乙烯及 α -烯烃的聚合催化活性约为当前广泛使用的齐格勒-纳塔高效催化剂的 4 倍，这就为现有装置的产能提高创造了有利条件。

(2) 浆液法的工艺技术进展

① 日本三井油化公司经过二十多年的努力，在提高催化剂效率的基础上，增加部分设备，单线能力已从原设计的 60kt/a 提高到 120kt/a。

② 美国菲利普公司开发了新一代浆液环管工艺，通过改进回收系统，使投资减少 25%，可以使用铬系催化剂、齐格勒催化剂和茂金属催化剂，从 HDPE 到 LLDPE 的切换时间仅 10h，乙烯单耗 1.007t/t，电耗 350kW·h/t。

③ 加拿大诺瓦公司（Novacor，原加拿大杜邦公司）开发出一种新技术 Advanced

Scclairtech, 该技术采用一种催化剂, 在一条生产线上可生产全密度聚乙烯, 其密度范围为 $905 \sim 970 \text{kg/m}^3$ 。所采用的新齐格勒催化剂的活性是以往催化剂的 3 倍。使用两个带搅拌的反应器, 经过重新设计, 提高了混合效率。两个反应器以不同方式连接可预定产品特性, 生产宽分子量分布、双峰分子量分布的 HDPE 和 LLDPE, 加工性能优于茂金属催化剂生产的聚乙烯。由于使用 1-辛烯做共聚单体, 产品的耐穿刺性高, 透明性好, 加工性能好, 密封温度低。采用此技术已在加拿大建成 350kt/a 的工业化装置。

(3) 气相法的工艺技术进展

① 联碳公司在 20 世纪 80 年代发现流化床可实现带液的冷凝态操作。当循环气中液体含量在 10% 时, 可使装置能力提高 60%。1993 年该公司开发成功的 Unipol II 工艺, 采用冷凝态操作, 将气相聚合过程的循环气冷却到足够低的温度, 以液滴形式返回反应器, 通过液滴气化, 吸收大量的聚合反应热, 从而强化冷却作用, 提高生产效率。Unipol II 工艺还采用两个气相反应器, 生产具有高、低分子量的双峰聚乙烯树脂, 高分子量部分提供高强度, 低分子量部分提供高流动性。产品的分子量可在很宽的范围内自由调整, 可根据需要生产不同分子量和不同分子量分布的全密度聚乙烯。该工艺可采用传统催化剂, 也可使用茂金属催化剂, 或者两者混用的催化剂体系。采用 Unipol II 技术, 1995 年在美国路易斯安那州 Taft 建成 300kt/a 的装置, 1997 年在科威特建成 450kt/a 装置。

② 1995 年埃克森公司又开发成功超冷凝态技术, 可使大量液体返回反应器, 蒸发带走反应热, 从而增加反应器生产能力, 理论上可提高生产能力的 200%。

③ 英国石油公司(BP)改进了原有气相流化床的催化剂, 省去了预聚合工序, 催化剂直接进入反应器, 使这一工艺更具经济性。此外, 该公司还开发了高产率的气相聚合工艺, 使反应器的生产能力翻番。新装置投资可节省一半。1996 年雪弗龙公司(Chevron)利用此技术使原 100kt/a HDPE 生产能力增加到 240kt/a 。

(4) 开发新工艺 蒙泰尔公司(Montell)在生产聚丙烯的 Spheripol 工艺基础上, 使用一种高效催化剂, 采用 1-辛烯为共聚单体, 在一个液相环管反应器和一个或两个气相反应器中生产不需造粒的球形颗粒的 HDPE。由于产品呈球形, 可直接供用户加工, 使投资降低 20%。1995 年 200kt/a 的装置已投产。

此外, 北欧化工公司(Borealis)开发出液相环管反应器与气相反应器相结合的北星工艺(Borstar), 使用齐格勒催化剂, 生产双峰分子量分布的 HDPE 和 LLDPE。该技术在环管反应器中制得低分子量聚乙烯, 在气相反应器中制得高分子量聚乙烯, 并可以非常精确的控制聚合物的双峰特性, 所以能够使最终产品达到最佳的机械性能和挤出性能。该技术的特点是环管反应器采用超临界丙烷在温度 95°C 和压力 6.4MPa 的条件下操作, 以防止生成氢气泡, 避免生成低分子蜡, 从而有效提高收率。1995 年芬兰利用该技术建成 120kt/a 的装置, 2000 年扩大到 160kt/a , 2002 年上海石化引进该技术建成了 250kt/a 的装置。聚乙烯工业生产的进展情况见图 1 所示。

3. 国内外聚乙烯工业现状及发展前景

1) 世界聚乙烯工业的现状与发展前景

聚乙烯的工业化生产至今已有 60 多年的历史。LDPE 是在 20 世纪 30 年代实现工业化生产的, HDPE 是在 20 世纪 50 年代实现工业化生产的, 到 70 年代 LLDPE 也实现了工业化生