



高职高专“十一五”规划教材

# 高聚物产品 生产技术

GAOJUWU CHANPIN SHENGCHAN JISHU

张晓黎 主编 关琦 副主编 杨小燕 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

# 高聚物产品 生产技术



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材主要内容分为两大模块：高聚物合成基础和典型高聚物产品生产技术。模块一重点阐述了高聚物合成的基本概念、聚合原理等相关的知识点，模块二分为十一个教学项目，阐述了典型高聚物产品的特性、岗位生产技术、常见故障判断及处理、安全环保注意事项等。

本教材题材新颖，实践操作性强，突出工学结合，注重学生能力（技能）训练，与国家职业资格考试和职业技能等级认定等国家职业准入制度的内容相衔接，可作高职高专化工技术类专业和高分子材料加工类专业以及相关专业的教材，也可供从事高聚物产品生产的工程技术人员、销售人员及相关技术人员参阅。

#### 图书在版编目（CIP）数据

高聚物产品生产技术/张晓黎主编. —北京：化学工业出版社，2010.3  
高职高专“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-122-07381-5

I. 高… II. 张… III. 高聚物-生产工艺-高等学校：技术学院-教材 IV. TQ316

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 010783 号

---

责任编辑：窦 臻  
责任校对：宋 夏

文字编辑：王 琪  
装帧设计：关 飞

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）  
印 装：化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 27¼ 字数 692 千字 2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：45.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

《高聚物产品生产技术》教材根据全国化工高等职业教育教学指导委员会化工技术类专业、高分子材料加工类专业委员会制定的人才培养方案和课程标准的要求组织编写,符合现代高等职业院校人才培养规格要求。本教材是在高聚物生产技术岗位典型的工作任务分析基础上,以高聚物产品生产工艺流程为主线,着重培养学生的岗位操作技能、高聚物产品质量控制、生产岗位的设备维护保养及故障处理等方面的能力。理论知识遵循“必需、够用、实用”的原则,做到了典型性与普适性相结合,教材内容与国家职业资格证书和职业技能等级认定等国家职业准入制度的内容相衔接,适合相关行业应用型人才的培养要求。

教材分为两大模块。模块一高聚物合成基础知识,介绍了高聚物的基本概念、高聚物合成反应的基本原理等基础知识;模块二典型高聚物产品生产技术,共有十二个项目:聚乙烯生产技术、聚苯乙烯生产技术、聚氯乙烯生产技术、聚苯乙烯生产技术、丁苯橡胶生产技术、聚对苯二甲基乙二醇酯生产技术、聚酰胺生产技术、脲醛树脂生产技术、聚氨酯生产技术、聚碳酸酯生产技术、聚甲基丙烯酸甲酯生产技术、高聚物制品加工技术。

南京化工职业技术学院张晓黎任主编、关琦任副主编、杨小燕任主审。具体编写人员分工:模块一、模块二中项目三、十二由张晓黎编写,项目一、二、八由关琦编写,项目六、七由南京化工职业技术学院伍凯飞编写,项目十、十一由南京化工职业技术学院王军平编写,项目四由兰州石化职业技术学院罗资琴编写,项目五由兰州石化职业技术学院王有朋编写,项目九由南京工业职业技术学院曹云萍编写;全书中的知识窗、附录由南京化工职业技术学院刘山编写。

教材在编写的过程中得到了南京工业大学、常州工程职业技术学院、江阴职业技术学院、新疆克拉玛依职业技术学院、中国石化扬子石油化工有限公司、江苏金浦集团北方氯碱化工有限公司、大庆石油化工总厂、广州石化公司、中国石化茂名分公司、扬州普立特化工技术有限公司等相关的高校教师及企业工程技术人员的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

本教材适用于高职高专化工类专业及高分子材料应用技术专业,也可供从事高聚物产品生产的技术人员使用。

限于编者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者  
2009 年 12 月

# 目 录

## 模块一 高聚物合成基础知识

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 单元 1 高聚物基本概念 .....              | 2  |
| 1.1.1 高分子这门学科研究的内容 .....        | 2  |
| 1.1.2 基本术语 .....                | 3  |
| 1.1.3 高聚物命名与分类 .....            | 5  |
| 1.1.4 高聚物相对分子质量及其分布 .....       | 12 |
| 1.1.5 高聚物形成反应 .....             | 16 |
| 知识窗 高分子化学的奠基人 .....             | 20 |
| 练习与讨论 .....                     | 20 |
| 单元 2 自由基型均聚合反应 .....            | 22 |
| 1.2.1 自由基型均聚合反应 .....           | 22 |
| 1.2.2 自由基型共聚合反应 .....           | 36 |
| 1.2.3 自由基型聚合反应引发剂、阻聚剂、缓聚剂 ..... | 44 |
| 知识窗 高分子小常识——高分子合金与聚合物的共混 .....  | 52 |
| 练习与讨论 .....                     | 53 |
| 单元 3 离子型聚合反应及配位聚合反应 .....       | 54 |
| 1.3.1 阳离子聚合反应 .....             | 54 |
| 1.3.2 阴离子聚合反应 .....             | 56 |
| 1.3.3 配位聚合反应 .....              | 60 |
| 知识窗 高分子小常识——乙丙橡胶 .....          | 65 |
| 练习与讨论 .....                     | 66 |
| 单元 4 缩聚反应 .....                 | 66 |
| 1.4.1 缩聚反应 .....                | 67 |
| 1.4.2 线型缩聚反应 .....              | 72 |
| 1.4.3 体型缩聚反应 .....              | 80 |
| 知识窗 燃烧法鉴别塑料 .....               | 82 |
| 练习与讨论 .....                     | 83 |
| 单元 5 聚合反应实施方法 .....             | 83 |
| 1.5.1 高聚物原料单体的生产 .....          | 84 |
| 1.5.2 高聚物生产过程 .....             | 85 |
| 1.5.3 聚合方法的选择 .....             | 86 |
| 1.5.4 其他聚合方法 .....              | 88 |
| 知识窗 通用塑料和工程塑料 .....             | 88 |
| 练习与讨论 .....                     | 89 |

## 模块二 典型高聚物产品生产技术

|                    |    |
|--------------------|----|
| 项目一 聚乙烯生产技术 .....  | 92 |
| 单元 1 聚乙烯产品简介 ..... | 92 |



|            |                           |     |
|------------|---------------------------|-----|
| 1.1.1      | 聚乙烯引入                     | 93  |
| 1.1.2      | 聚乙烯牌号及命名                  | 93  |
| 1.1.3      | 聚乙烯的结构、性能及用途              | 96  |
| <b>单元2</b> | <b>低压高密度聚乙烯生产工艺</b>       | 99  |
| 1.2.1      | 低压高密度聚乙烯生产岗位概述            | 100 |
| 1.2.2      | 聚乙烯生产开停车工序                | 102 |
| 1.2.3      | 低压高密度聚乙烯的聚合原理             | 103 |
| 1.2.4      | 低压高密度聚乙烯的聚合因素             | 104 |
| 1.2.5      | 溶液聚合实施方法简介                | 105 |
| <b>单元3</b> | <b>高压低密度聚乙烯生产工艺</b>       | 107 |
| 1.3.1      | 国内高压低密度聚乙烯生产工艺简介          | 107 |
| 1.3.2      | 高压低密度聚乙烯的生产工艺流程           | 108 |
| 1.3.3      | 线型低密度聚乙烯工艺流程              | 111 |
| 1.3.4      | 高压低密度聚乙烯主要原料及作用           | 114 |
| 1.3.5      | 高压低密度聚乙烯聚合原理及工艺           | 115 |
| 1.3.6      | 本体聚合实施方法简介                | 117 |
| 1.3.7      | 本体聚合特点及实践本体聚合途径           | 118 |
| 1.3.8      | 聚乙烯聚合反应装置主要设备             | 118 |
| <b>单元4</b> | <b>异常现象处理、设备保养及安全注意事项</b> | 121 |
| 1.4.1      | 聚乙烯生产过程中不正常现象及处理方法        | 122 |
| 1.4.2      | 主要机组设备的开停及维护保养注意事项        | 123 |
| 1.4.3      | 聚乙烯岗位安全生产基本原则             | 124 |
| <b>知识窗</b> | <b>人物介绍</b>               | 126 |
|            | <b>练习与讨论</b>              | 127 |
| <b>项目二</b> | <b>聚丙烯生产技术</b>            | 128 |
| <b>单元1</b> | <b>聚丙烯产品概述</b>            | 128 |
| 2.1.1      | 聚丙烯产品的引入                  | 129 |
| 2.1.2      | 聚丙烯牌号                     | 130 |
| 2.1.3      | 聚丙烯产品命名及分类                | 130 |
| 2.1.4      | 聚丙烯产品的性能                  | 132 |
| 2.1.5      | 聚丙烯产品的消费情况简介              | 133 |
| <b>单元2</b> | <b>聚丙烯生产工艺</b>            | 134 |
| 2.2.1      | 聚丙烯生产岗位概述(以国内小本体液相聚合为例)   | 134 |
| 2.2.2      | 丙烯精制岗位                    | 135 |
| 2.2.3      | 丙烯聚合岗位                    | 138 |
| 2.2.4      | 聚丙烯产品闪蒸岗位                 | 140 |
| 2.2.5      | 丙烯生产主要原材料及辅料              | 141 |
| 2.2.6      | 丙烯聚合反应机理                  | 143 |
| 2.2.7      | 聚合过程中的影响因素                | 144 |
| 2.2.8      | 聚丙烯生产工艺方法简介               | 145 |
| 2.2.9      | 丙烯聚合主要采用设备                | 149 |
| <b>单元3</b> | <b>聚丙烯生产常见故障排除及安全生产</b>   | 151 |
| 2.3.1      | 聚丙烯产品生产常见故障、排除措施及安全环保     | 152 |

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 2.3.2 聚丙烯生产岗位操作中的注意事项 .....              | 154 |
| 知识窗 人物介绍 .....                           | 157 |
| 练习与讨论 .....                              | 158 |
| <b>项目三 聚氯乙烯生产技术</b> .....                | 159 |
| <b>单元1 聚氯乙烯产品概述</b> .....                | 159 |
| 3.1.1 聚氯乙烯产品简介 .....                     | 160 |
| 3.1.2 聚氯乙烯产品型号 .....                     | 161 |
| 3.1.3 聚氯乙烯结构和性能 .....                    | 162 |
| <b>单元2 聚氯乙烯产品生产工艺</b> .....              | 163 |
| 3.2.1 聚氯乙烯生产方法简介 .....                   | 164 |
| 3.2.2 悬浮聚合聚氯乙烯用原材料 .....                 | 166 |
| 3.2.3 悬浮聚合及聚合机理 .....                    | 171 |
| 3.2.4 聚合物粒子形成过程 .....                    | 172 |
| 3.2.5 聚氯乙烯悬浮树脂颗粒特性的影响因素 .....            | 174 |
| 3.2.6 聚氯乙烯生产岗位 .....                     | 174 |
| 3.2.7 聚氯乙烯聚合岗位 .....                     | 175 |
| 3.2.8 聚氯乙烯料浆汽提 .....                     | 178 |
| 3.2.9 旋风干燥岗位操作 .....                     | 181 |
| 3.2.10 包装岗位操作规程 .....                    | 184 |
| <b>单元3 聚氯乙烯安全生产</b> .....                | 184 |
| 3.3.1 火灾危险性分类 .....                      | 184 |
| 3.3.2 职业性接触毒物 .....                      | 185 |
| 3.3.3 PVC 大气污染物最高允许排放限值 .....            | 185 |
| 3.3.4 水污染物最高允许排放限值 .....                 | 185 |
| 3.3.5 PVC 生产中的安全管理 .....                 | 185 |
| 3.3.6 原材料及中间体的燃烧、爆炸性能及防护 .....           | 186 |
| 3.3.7 PVC 生产过程中的“三废”综合利用 .....           | 187 |
| 知识窗 高分子新材料 .....                         | 187 |
| 练习与讨论 .....                              | 188 |
| <b>项目四 聚苯乙烯生产技术</b> .....                | 189 |
| <b>单元1 聚苯乙烯产品概述</b> .....                | 189 |
| 4.1.1 聚苯乙烯产品简介 .....                     | 190 |
| 4.1.2 聚苯乙烯产品的牌号说明用途 .....                | 190 |
| 4.1.3 聚苯乙烯品种及产品性能 .....                  | 191 |
| 4.1.4 聚苯乙烯的改性产品：ABS 树脂和聚苯乙烯型离子交换树脂 ..... | 192 |
| <b>单元2 聚苯乙烯生产工艺</b> .....                | 195 |
| 4.2.1 聚苯乙烯生产工艺方法简介 .....                 | 195 |
| 4.2.2 高抗冲击聚苯乙烯生产（连续热引发本体聚合方法） .....      | 198 |
| 4.2.3 聚苯乙烯生产（连续本体聚合生产 HIPS） .....        | 199 |
| 4.2.4 聚苯乙烯生产（连续本体聚合方法）操作过程 .....         | 208 |
| 4.2.5 苯乙烯自由基型热引发聚合反应 .....               | 208 |
| <b>单元3 苯乙烯生产常见故障的排除</b> .....            | 211 |

|            |                           |            |
|------------|---------------------------|------------|
| 4.3.1      | 原料系统事故处理                  | 212        |
| 4.3.2      | 反应系统和设备事故处理               | 212        |
| 4.3.3      | 真空系统的事故处理                 | 215        |
| 知识窗        | 高分子催化剂                    | 216        |
| 练习与讨论      |                           | 217        |
| <b>项目五</b> | <b>丁苯橡胶生产技术</b>           | <b>218</b> |
| <b>单元1</b> | <b>丁苯橡胶产品概述</b>           | <b>218</b> |
| 5.1.1      | 丁苯橡胶产品简介                  | 219        |
| 5.1.2      | 丁苯橡胶产品牌号                  | 219        |
| 5.1.3      | 丁苯橡胶产品的性能                 | 220        |
| 5.1.4      | 丁苯橡胶的制备及应用                | 220        |
| 5.1.5      | 丁苯橡胶产品消费现状及发展前景           | 221        |
| <b>单元2</b> | <b>丁苯橡胶产品生产工艺</b>         | <b>222</b> |
| 5.2.1      | 低温乳液聚合生产丁苯橡胶              | 223        |
| 5.2.2      | 溶液聚合生产工艺                  | 225        |
| 5.2.3      | 苯乙烯精制岗位                   | 226        |
| 5.2.4      | 丁二烯精制岗位                   | 228        |
| 5.2.5      | 丁苯橡胶聚合岗位                  | 229        |
| 5.2.6      | 冷冻岗位                      | 230        |
| 5.2.7      | 溶剂回收精制岗位                  | 231        |
| 5.2.8      | 掺混、凝聚岗位                   | 233        |
| 5.2.9      | 干燥岗位                      | 233        |
| 5.2.10     | 包装压块岗位                    | 234        |
| 5.2.11     | 乳液聚合工业实施方法                | 234        |
| 5.2.12     | 原料单体的生产工艺简介               | 237        |
| 5.2.13     | 丁苯橡胶聚合反应原理                | 237        |
| 5.2.14     | 溶剂对丁苯橡胶溶液聚合的影响            | 238        |
| <b>单元3</b> | <b>丁苯橡胶产品生产常见故障及排除措施</b>  | <b>239</b> |
| 5.3.1      | 回收精制岗位不正常现象及处理方法          | 239        |
| 5.3.2      | 丁苯橡胶聚合岗位不正常现象及处理方法        | 241        |
| 5.3.3      | 丁苯橡胶干燥岗位不正常现象及处理方法        | 242        |
| 5.3.4      | 包装压块岗位不正常现象及处理方法          | 243        |
| 知识窗        | 液晶高分子材料                   | 244        |
| 练习与讨论      |                           | 245        |
| <b>项目六</b> | <b>聚对苯二甲酸乙二醇酯生产</b>       | <b>246</b> |
| <b>单元1</b> | <b>聚对苯二甲酸乙二醇酯产品、结构、性能</b> | <b>246</b> |
| 6.1.1      | 聚对苯二甲酸乙二醇酯产品简介            | 247        |
| 6.1.2      | 聚对苯二甲酸乙二醇酯产品的质量指标         | 247        |
| 6.1.3      | 聚对苯二甲酸乙二醇酯结构、性能及应用        | 252        |
| <b>单元2</b> | <b>聚对苯二甲酸乙二醇酯生产工艺</b>     | <b>254</b> |
| 6.2.1      | 聚对苯二甲酸乙二醇酯原料的合成           | 254        |
| 6.2.2      | 聚对苯二甲酸乙二醇酯缩聚工艺            | 257        |



|            |                                      |            |
|------------|--------------------------------------|------------|
| 6.2.3      | 聚合设备 .....                           | 262        |
| 6.2.4      | 固相缩聚 .....                           | 265        |
| <b>单元3</b> | <b>直接酯化法聚对苯二甲酸乙二醇酯生产工艺 .....</b>     | <b>267</b> |
| 6.3.1      | 开车 .....                             | 268        |
| 6.3.2      | 装置停车 .....                           | 274        |
| 6.3.3      | 装置正常操作 .....                         | 275        |
| <b>单元4</b> | <b>聚对苯二甲酸乙二醇酯产品生产常见故障及排除措施 .....</b> | <b>277</b> |
| 6.4.1      | 停电事故 .....                           | 277        |
| 6.4.2      | 停汽事故 .....                           | 277        |
| 6.4.3      | 冷却水故障 .....                          | 278        |
| 6.4.4      | 仪表风故障 .....                          | 278        |
| 6.4.5      | 工艺氮气故障 .....                         | 279        |
| 6.4.6      | 设备故障 .....                           | 279        |
| <b>单元5</b> | <b>聚对苯二甲酸乙二醇酯安全生产与环保 .....</b>       | <b>281</b> |
| 6.5.1      | 安全总则 .....                           | 281        |
| 6.5.2      | 环境保护相关处理措施 .....                     | 282        |
|            | 知识窗 具有光电、光热效应的高分子材料 .....            | 283        |
|            | 练习与讨论 .....                          | 283        |
| <b>项目七</b> | <b>聚酰胺的生产 .....</b>                  | <b>284</b> |
| <b>单元1</b> | <b>聚酰胺产品、结构、性能 .....</b>             | <b>284</b> |
| 7.1.1      | 聚酰胺简介 .....                          | 284        |
| 7.1.2      | 聚酰胺结构、性能及应用 .....                    | 285        |
| <b>单元2</b> | <b>PA6、PA66 生产工艺 .....</b>           | <b>290</b> |
| 7.2.1      | PA6、PA66 原料的合成 .....                 | 290        |
| 7.2.2      | 聚酰胺的缩聚工艺 .....                       | 297        |
| <b>单元3</b> | <b>其他聚酰胺 .....</b>                   | <b>307</b> |
| 7.3.1      | 尼龙 610 和尼龙 612 .....                 | 307        |
| 7.3.2      | 尼龙 11 和尼龙 12 .....                   | 307        |
| 7.3.3      | 共聚尼龙 .....                           | 307        |
| 7.3.4      | 尼龙 MXD6 .....                        | 307        |
| 7.3.5      | 尼龙 46 .....                          | 307        |
| 7.3.6      | 单体浇铸尼龙 .....                         | 307        |
|            | 知识窗 塑料光导纤维 .....                     | 308        |
|            | 练习与讨论 .....                          | 309        |
| <b>项目八</b> | <b>脲醛树脂生产技术 .....</b>                | <b>310</b> |
| <b>单元1</b> | <b>脲醛树脂产品概述 .....</b>                | <b>310</b> |
| 8.1.1      | 脲醛树脂产品引入 .....                       | 311        |
| 8.1.2      | 氨基模塑料命名 (GB 3403—1982) .....         | 311        |
| 8.1.3      | 脲醛树脂的性质 .....                        | 312        |
| <b>单元2</b> | <b>脲醛树脂生产工艺 .....</b>                | <b>312</b> |
| 8.2.1      | 脲醛树脂生产工艺流程 .....                     | 313        |
| 8.2.2      | 液状脲醛树脂的制备工序 .....                    | 314        |

|            |                                    |            |
|------------|------------------------------------|------------|
| 8.2.3      | 氨基模模塑粉生产工艺 .....                   | 316        |
| 8.2.4      | 脲醛树脂的形成机理 .....                    | 318        |
| 8.2.5      | 影响脲醛树脂质量的因素 .....                  | 319        |
| 8.2.6      | 氨基模模塑粉简介 .....                     | 321        |
| 8.2.7      | 脲醛树脂生产岗位的主要设备 .....                | 322        |
| 8.2.8      | 脲醛树脂制备工艺类型的选择 .....                | 323        |
| 8.2.9      | 脲醛树脂生产过程中的影响因素 .....               | 325        |
| 8.2.10     | 酚醛树脂生产技术 .....                     | 327        |
| 8.2.11     | 环氧树脂生产技术 .....                     | 331        |
| 8.2.12     | 溶液缩聚工业实施方法简介 .....                 | 333        |
| <b>单元3</b> | <b>脲醛树脂生产过程故障处理及安全环保注意事项 .....</b> | <b>335</b> |
| 8.3.1      | 脲醛树脂生产过程中异常现象及处理方法 .....           | 336        |
| 8.3.2      | 脲醛树脂生产过程中环保注意事项 .....              | 337        |
| 知识窗        | 人物介绍 .....                         | 339        |
|            | 练习与讨论 .....                        | 340        |
| <b>项目九</b> | <b>聚氨酯生产技术 .....</b>               | <b>341</b> |
| <b>单元1</b> | <b>聚氨酯产品概述 .....</b>               | <b>341</b> |
| 9.1.1      | 聚氨酯产品简介 .....                      | 341        |
| 9.1.2      | 聚氨酯用途 .....                        | 342        |
| 9.1.3      | 聚氨酯命名 .....                        | 343        |
| 9.1.4      | 聚醚多元醇规格 (GB 12008.2—1989) .....    | 344        |
| <b>单元2</b> | <b>聚氨酯主要原材料 .....</b>              | <b>344</b> |
| 9.2.1      | 异氰酸酯 .....                         | 345        |
| 9.2.2      | 多元醇 .....                          | 346        |
| 9.2.3      | 助剂 .....                           | 347        |
| <b>单元3</b> | <b>聚氨酯弹性体的生产 .....</b>             | <b>348</b> |
| 9.3.1      | 聚氨酯弹性体的合成 .....                    | 349        |
| 9.3.2      | 聚氨酯弹性体结构 .....                     | 349        |
| 9.3.3      | 聚氨酯跑道预聚体的生产工艺 .....                | 350        |
| <b>单元4</b> | <b>聚氨酯泡沫塑料的生产 .....</b>            | <b>351</b> |
| 9.4.1      | 聚氨酯泡沫塑料合成及泡沫体形成 .....              | 351        |
| 9.4.2      | 硬质聚氨酯泡沫塑料的成型 .....                 | 352        |
| 9.4.3      | 软质聚氨酯泡沫塑料 .....                    | 353        |
| 9.4.4      | 半硬质聚氨酯泡沫塑料 .....                   | 353        |
| 9.4.5      | 聚氨酯泡沫塑料的结构及性能 .....                | 354        |
| <b>单元5</b> | <b>聚氨酯合成革的生产工艺 .....</b>           | <b>354</b> |
| 9.5.1      | 聚氨酯浆料 .....                        | 354        |
| 9.5.2      | 聚氨酯革胶黏剂 .....                      | 355        |
| 9.5.3      | 聚氨酯革基材 (基布) .....                  | 355        |
| 9.5.4      | 离型纸 .....                          | 355        |
| <b>单元6</b> | <b>聚氨酯泡沫塑料的制备 (实训) .....</b>       | <b>357</b> |
| 9.6.1      | 实训目的 .....                         | 357        |
| 9.6.2      | 实训配方组成 .....                       | 357        |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 9.6.3 实训步骤 .....                    | 357 |
| 9.6.4 实训记录及数据处理 .....               | 357 |
| 9.6.5 思考题 .....                     | 358 |
| 知识窗 高吸水性树脂 .....                    | 358 |
| 练习与讨论 .....                         | 359 |
| <b>项目十 聚碳酸酯生产技术</b> .....           | 360 |
| <b>单元1 聚碳酸酯概述</b> .....             | 360 |
| 10.1.1 聚碳酸酯的引入 .....                | 360 |
| 10.1.2 聚碳酸酯牌号 .....                 | 361 |
| 10.1.3 聚碳酸酯的结构与性能 .....             | 362 |
| <b>单元2 聚碳酸酯合成工艺</b> .....           | 364 |
| 10.2.1 聚碳酸酯原料的合成 .....              | 365 |
| 10.2.2 聚碳酸酯合成工艺 .....               | 369 |
| 知识窗 高分子新材料——具有导电、导磁效应的高分子材料 .....   | 374 |
| 练习与讨论 .....                         | 374 |
| <b>项目十一 聚甲基丙烯酸甲酯生产技术</b> .....      | 375 |
| <b>单元1 聚甲基丙烯酸甲酯产品概述</b> .....       | 375 |
| 11.1.1 聚甲基丙烯酸甲酯的结构 .....            | 376 |
| 11.1.2 聚甲基丙烯酸甲酯的性能 .....            | 376 |
| 11.1.3 聚甲基丙烯酸甲酯的应用 .....            | 377 |
| <b>单元2 聚甲基丙烯酸甲酯生产工艺</b> .....       | 377 |
| 11.2.1 甲基丙烯酸甲酯的合成 .....             | 377 |
| 11.2.2 甲基丙烯酸甲酯的聚合 .....             | 382 |
| <b>单元3 聚甲基丙烯酸甲酯（有机玻璃）生产实训</b> ..... | 386 |
| 11.3.1 聚甲基丙烯酸甲酯制备原理 .....           | 386 |
| 11.3.2 聚甲基丙烯酸甲酯制备所需的化学试剂和仪器 .....   | 387 |
| 11.3.3 聚甲基丙烯酸甲酯制备工序 .....           | 387 |
| 11.3.4 思考题 .....                    | 388 |
| 知识窗 人物介绍 .....                      | 388 |
| 练习与讨论 .....                         | 389 |
| <b>项目十二 高聚物制品加工技术</b> .....         | 390 |
| <b>单元1 高分子材料的配方设计</b> .....         | 390 |
| 12.1.1 配方设计原则和程序 .....              | 390 |
| 12.1.2 高分子材料配方的设计方法 .....           | 392 |
| 12.1.3 高分子材料配方的表示方法 .....           | 392 |
| 12.1.4 塑料的配方方法 .....                | 393 |
| 12.1.5 橡胶的配方方法 .....                | 393 |
| 12.1.6 高分子材料配方实例 .....              | 394 |
| <b>单元2 塑料成型加工</b> .....             | 395 |
| 12.2.1 成型加工物料的配制 .....              | 396 |
| 12.2.2 塑料的混合及塑化 .....               | 398 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 12.2.3 混合与混炼设备 .....            | 399 |
| 12.2.4 塑料成型加工方法 .....           | 402 |
| <b>单元3 橡胶成型加工</b> .....         | 407 |
| 12.3.1 胶粒的配制 .....              | 407 |
| 12.3.2 橡胶配制工艺 .....             | 409 |
| 12.3.3 典型橡胶制品的成型 .....          | 409 |
| <b>单元4 化学纤维成型加工</b> .....       | 411 |
| 12.4.1 化学纤维的纺丝成型方法 .....        | 411 |
| 12.4.2 纺丝后加工 .....              | 412 |
| <b>单元5 复合材料及共混物的成型加工</b> .....  | 413 |
| 12.5.1 聚合物基复合材料的分类及组成 .....     | 413 |
| 12.5.2 复合材料的特点 .....            | 414 |
| 12.5.3 复合材料成型方法 .....           | 414 |
| 12.5.4 特种复合材料 .....             | 415 |
| 12.5.5 高聚物的共混 .....             | 415 |
| 知识窗 常见塑料薄膜的简易鉴别方法 .....         | 417 |
| 练习与讨论 .....                     | 418 |
| <b>附录 塑料及树脂缩写代号与中英文对照</b> ..... | 419 |
| <b>参考文献</b> .....               | 422 |

## 模块一

# 高聚物合成基础知识



### 教学目标

#### 能力目标

1. 能正确应用高聚物基本概念；
2. 能对合成高聚物两大类型反应从定性上分析和定量上计算确定最佳条件；
3. 能正确选择合成高聚物中添加的各种助剂；
4. 能正确选择不同类型高聚物形成实施方法；
5. 能识别高聚物的降解、分解、老化过程及高聚物回收和利用。

#### 知识目标

1. 掌握高聚物的基本概念及高聚物形成反应的书写要求；
2. 熟悉各种进行连锁和逐步聚合反应单体结构特征和反应特征；
3. 了解各种类型的引发反应体系；
4. 掌握自由基型聚合反应、离子型聚合反应、配位聚合反应、缩聚反应的反应机理，各自显著特点及高聚物产品质量控制的方法。



### 工作任务

1. 识别各类高聚物；
2. 辨析聚合反应的类型；
3. 高聚物的质量控制；
4. 生产高聚物的生产方法。

# 单元 1 高聚物基本概念

## 教学目标

### 能力目标

1. 能正确书写高聚物聚合反应式；
2. 能对高聚物进行命名和分类；
3. 能识别四种不同高聚物相对分子质量；
4. 能辨别连锁聚合与逐步聚合的区别。

### 知识目标

1. 掌握高聚物基本概念；
2. 掌握相对分子质量及其分布；
3. 掌握连锁聚合反应单体的选择及单体反应的条件；
4. 了解高聚物形成反应类型。

## 相关实践操作

1. 列举身边见到的材料并说明它们的用途；
2. 将各种不同的材料进行分类。

### 1.1.1 高分子这门学科研究的内容

高分子概念的形成和高分子科学的出现始于 20 世纪 20 年代。1920 年德国著名科学家史道丁格 (H. Staudinger) 提出了长链大分子的概念。在分子科学的形成和发展过程中, 世界上许多科学家对此也做出了巨大贡献。如弗洛里 (Flory, 美国)、齐格勒 (Ziegler, 德国)、纳塔 (Natta, 意大利)、德热纳 (de Gennes, 法国)、黑格尔 (Heeger, 美国)、马克迪尔米德 (MacDiarmid, 美国)、白川英树 (日本) 等。我国的高分子研究起步于 20 世纪 50 年代初, 当时国内一批高分子研究的先驱者, 分别在不同领域开展了高分子方向的研究工作。如唐敖庆在吉林大学开展了高分子统计理论研究; 王葆仁在中国科学院上海有机化学研究所开展了有机玻璃和尼龙的研究; 冯新德在北京大学开设了高分子化学专业并开展了相关研究工作; 何炳林于 20 世纪 50 年代中期在南开大学开展了离子交换树脂的研究工作; 钱人元在中国科学院长春应用化学研究所建立了高分子物理化学研究组, 开展了高分子溶剂性质的研究; 钱保功在中国科学院长春应用化学研究所开始了高聚物黏弹性能及高分子辐射化学的研究; 徐僖在成都工学院 (现四川大学) 开设了塑料工程专业并开展了塑料成型加工的研究。在他们的带领下, 对于我国的高分子化学、高分子物理以及高分子工程三个分支学科领域的研究、形成和发展, 老一辈高分子科学家们做出了不可磨灭的贡献。

高分子科学是以高分子材料为研究对象的基础性、应用性的自然科学学科, 主要是研究高分子化合物的合成、反应、结构、性能、应用、设计和生产加工的一门新兴科学。

据报道, 近年来在美国的化学工作者中约有 50% 正从事着与高分子科学相关的研究、生产和应用开发工作。我国从事研究队伍的学科构成, 约有 65% 的人员从事高分子化学领域的研究, 25% 的人员从事高分子物理领域的研究, 10% 的人员从事高分子工程领域的研究。从研究课题情况来看, 几乎涵盖了国际上高分子研究的所有主要领域, 但是工作的深度



及学术水平总体上与国际水平仍有相当差距,我国仅在个别工作点上,特别是在应用密切的新材料、新技术研究方面,得到了一些在国际上有影响的成果。

材料、能源、信息是现代文明的三大支柱。其中材料是人类生活的物质基础,通常材料分为金属材料〔主要是指黑色金属材料(钢和铸铁)〕、有色金属材料(Al、Cu、Zn、Sn、Mg、Ni、Ti及其合金)、无机材料(主要是硅酸盐材料,如陶瓷、玻璃、水泥和耐火材料)、有机高分子材料(根据使用性质可分为塑料、橡胶、纤维、黏合剂、涂料等)。

### 1.1.2 基本术语

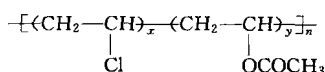
(1) 单体 能形成高聚物的低分子原料称为单体。如乙烯  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 、氯乙烯  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ 、对苯二甲酸、乙二醇  $\text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ 、己二胺  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ 、己二酸  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$  等。

(2) 结构单元 由一种单体分子通过聚合反应而进入聚合物重复单元的那一部分称为结构单元。如  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{Cl}-$ 。

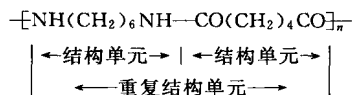
(3) 重复结构单元(链节) 大分子链上化学组成和结构均可以重复的最小单位。在分子物理中又称“链节”。如  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{Cl}-$ 、 $-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-$ 。结构单元与重复结构单元的关系是,重复结构单元大于等于结构单元。

(4) 均聚物 由一种单体参加的聚合反应称为均聚合反应,结构单元等于重复结构单元。此时的聚合物称为均聚物。如聚乙烯、聚氯乙烯。

(5) 共聚物 由两种或两种以上单体参加的反应称为共聚合反应,结构单元不等于重复结构单元。此时的聚合物称为共聚物。如氯乙烯-醋酸乙烯共聚物。



大部分共聚物中重复结构单元出现无规律性,很难指出正确的重复结构单元,只能代表大致的结构,但对聚酰胺、聚酯两种单体参加反应的结构式有着另一特征:重复结构单元大于结构单元。如尼龙-66。



上式中的重复结构单元由  $-\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}-$  和  $-\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}-$  两种结构单元组成。这两种结构单元比其单体己二胺  $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$  和己二酸  $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$  要少一些原子,是聚合过程中失去水分子的结果。

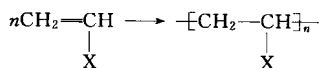
(6) 高分子 是高分子化合物的简称,是由成千上万个原子通过化学键连接而成的化合物。这类化合物相对分子质量很大,其值一般为  $10^4 \sim 10^6$ ,分子链长度一般为  $10^{-7} \sim 10^{-5}$  m。广义的高分子包括天然大分子和无一定重复单元的复杂大分子。狭义的高分子是指有一定重复单元的合成产物(由许多单体通过聚合反应连接而成的大分子物质),又称高聚物、聚合物。

(7) 聚合反应方程式(高聚物结构式书写规范) 对于高分子科学专业工作者而言,正确书写聚合反应方程式应该属于最基本的能力训练。书写聚合反应方程式要规范,要求:①正确选择并书写单体结构式(正确书写单体,不能想当然地“自造”出实际上并不存在或者制备非常困难的所谓“单体”,如乙烯醇、氨基甲酸酯等);②正确书写重复结构单元;③正确书写端基和小分子配平方程式;④书写聚合反应式将高聚物重复结构单

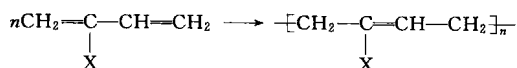
元写在方括号内，单体物质的量  $n$  写在方括号右下角，来表示一个大分子链中含有重复结构单元数目。若反应为不可逆，书写反应物和生成物之间则应用箭头“ $\longrightarrow$ ”表示（如加聚反应、开环聚合反应）。若反应为可逆反应，反应物和产物之间用可逆号“ $\rightleftharpoons$ ”表示（如缩聚反应）。

高聚物形成反应常见的类型有三种。

① 加聚反应 烯类单体反复多次加成聚合反应。

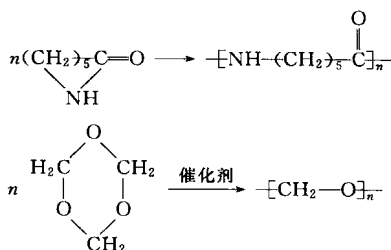


侧基 X 不同，聚合物的性质也非常不同，当 X 为 H、Cl、C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>、CH<sub>3</sub>、CH<sub>3</sub>OCO、CN 时，则制得非常有用的大品种聚合物——聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、聚丙烯酸甲酯、聚丙烯腈等。



式中，X 为取代基，分别为 H、CH<sub>3</sub>、Cl 时可得聚丁二烯、聚异戊二烯和聚氯乙烯。

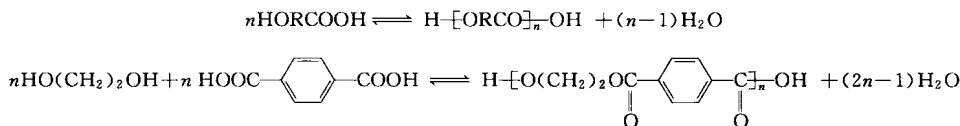
② 开环聚合反应 环状的化合物通过开环形成高聚物的化学反应。例如：



③ 缩聚反应 是由两个（线型缩聚反应）或两个以上（体型缩聚反应）官能度的单体分子间逐步缩合形成高聚物，同时析出低分子产物（如水、醇、氨、卤化氢等）的化学反应。

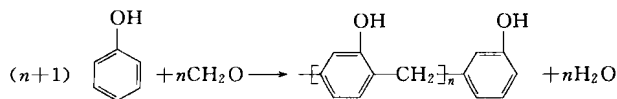
正确书写这类反应要注意一定要遵守相应的有机化学反应规则。正确书写聚合物的端基，再写出生成的小分子，由一种单体进行的“均缩聚反应”生成的小分子副产物通常记作  $n-1$ ，由两种单体进行的“混缩聚反应”生成的副产物通常记作  $2n-1$ 。

a. 线型缩聚反应

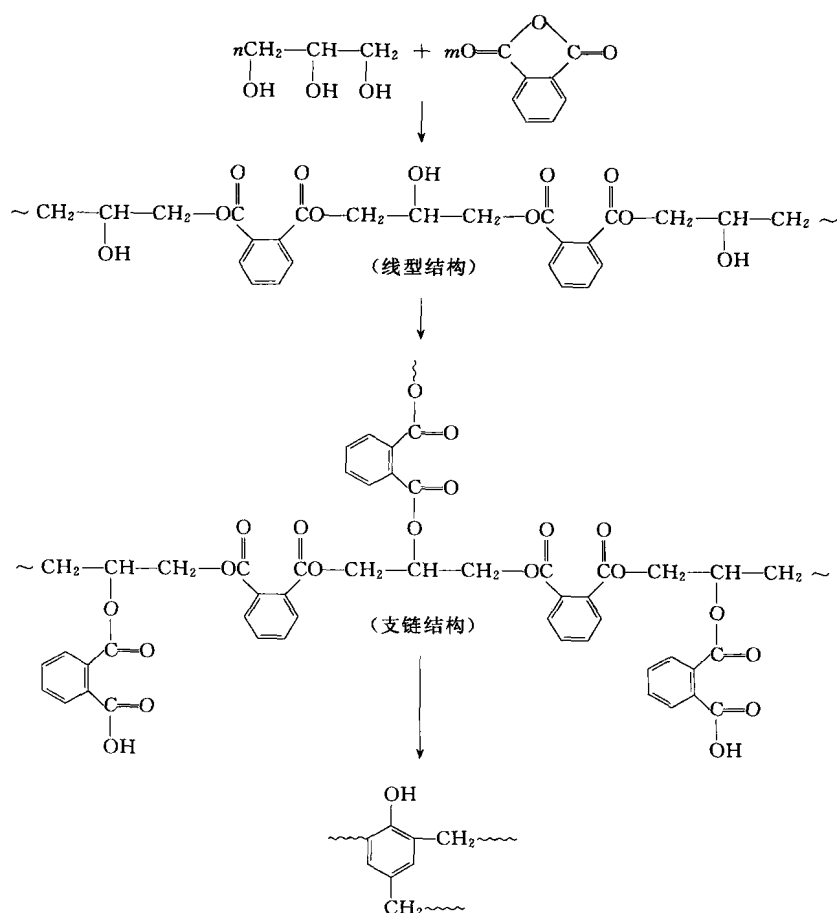


b. 体型缩聚反应 两个以上官能度的单体分子间逐步缩合形成高聚物，只需写出有代表性的局部结构，如丙三醇与邻苯二甲酸酐缩聚生成交联体型聚合物，具有僵硬、外形尺寸稳定的性质。

如苯酚与甲醛合成酚醛树脂：



甘油与邻苯二甲酸酐的体型缩聚反应：



### 1.1.3 高聚物命名与分类

#### 1.1.3.1 高聚物的命名

高聚物有许多命名法，也比较复杂，但主要有通俗命名法和系统命名法（IUPAC法）。这里重点介绍常用的通俗命名法。

(1) 单体名称前冠以“聚”字命名高聚物 如氯乙烯聚合的高聚物称为聚氯乙烯；丙烯聚合的高聚物称为聚丙烯；己内酰胺开环聚合的高聚物称为聚己内酰胺。

(2) 单体名称（或简名）后缀“树脂”两字命名高聚物 如苯酚和甲醛聚合的高聚物称为酚醛树脂；尿素和甲醛聚合的高聚物称为脲醛树脂；甘油和邻苯二甲酸酐聚合的高聚物称为醇酸树脂。但现在树脂二字的应用范围已扩大了，未加工的高聚物也常称为树脂，如聚苯乙烯树脂、聚氯乙烯树脂、聚酯树脂、ABS树脂等。

(3) 单体名称中各取代表字后缀“橡胶”两字命名高聚物 如丁二烯与苯乙烯聚合的高聚物简称为丁苯橡胶；丁二烯与丙烯腈聚合的高聚物简称为丁腈橡胶；在特定条件下用丁二烯聚合（以顺式结构为主）的高聚物简称为顺丁橡胶。

(4) 高聚物的结构特征命名高聚物 如对苯二甲酸与乙二醇聚合的高聚物称为聚对苯二甲酸乙二醇酯；己二胺与己二酸聚合的高聚物称为聚己二酰己二胺。

由于高聚物已普遍使用，因此，出现了不少常用的习惯名称或商品名称以及英文缩写名称，见表 1-1-1。