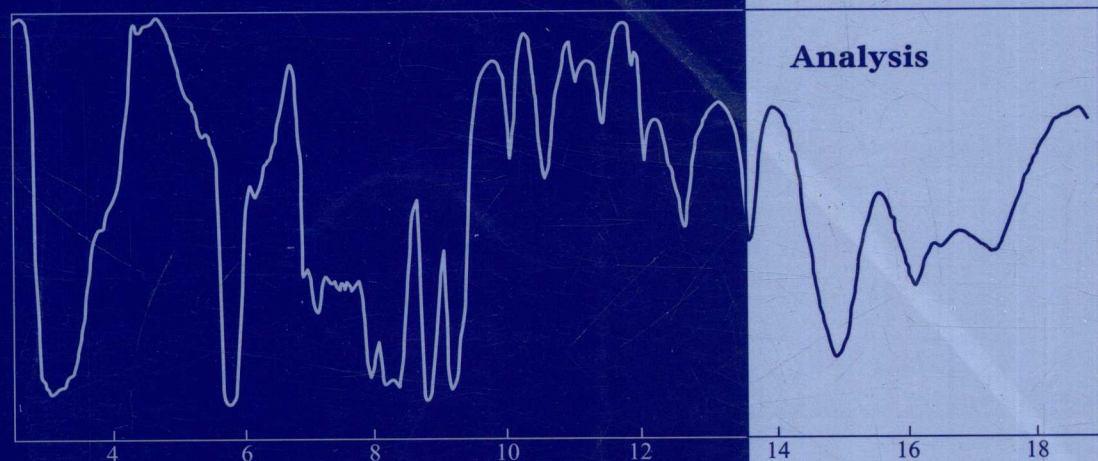
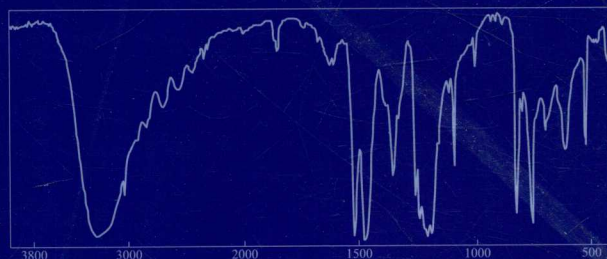
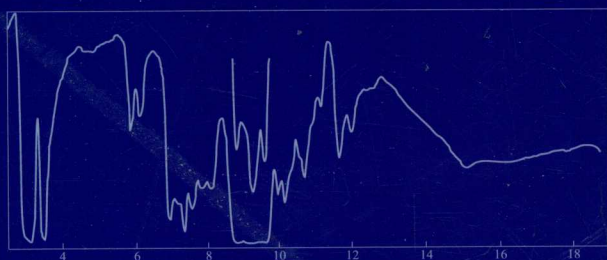


王正熙◎编著

# 高分子材料剖析 实用手册



Handbook

of

Polymer

Material

Analysis



化学工业出版社

王正熙◎编著

# 高分子材料剖析 实用手册

Handbook

of

Polymer

Material

Analysis



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从实用的角度出发,系统地介绍了在 高分子材料剖析中未知聚合物的初步鉴定,常用的分离方法,红外光谱、核磁共振波谱和热分析的原理、实验技术以及它们在 高分子材料剖析中的应用。本书收集和整理了聚合物和添加剂光谱近千幅,并对绝大多数光谱进行了解析,可以用于对未知物结构进行确定。

本书可作为工具书,供在化学化工研究院所、高校测试中心、企业和检测公司的红外实验室或专门从事 高分子材料剖析的人员参考;亦可作为塑料、橡胶、涂料、黏合剂和纤维专业学习的研究生、大学生等参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

高分子材料剖析实用手册/王正熙编著. —北京:化学工业出版社,2015.12  
ISBN 978-7-122-25525-9

I. ①高… II. ①王… III. ①高分子材料-手册  
IV. ①TB324-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 255458 号

责任编辑:仇志刚  
责任校对:蒋宇

文字编辑:向东  
装帧设计:刘丽华

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)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张43 字数1184千字 2016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:148.00 元

版权所有 违者必究

拿到书稿，思绪万千！把我带回到那个年代！

记得在那个年代，基础研究很少，那时的国家也拨不出这么多经费来让高分子科学家们来“玩”基础研究。当今开展的很多近期难以有广泛应用前景、又颇为费钱的所谓基础研究，诸如，什么组装呀、纳米呀、光电呀，等等，在那个年代是难以想象的，也不可能申请到大把的经费。我惊叹改革开放以来，国家发生的巨大变化！

可是，现在不少的年轻一代高分子科学家对那段历史时期的状况知之甚少，以至于有人脱离当时的背景，用异样的眼光来评价老一辈的高分子科学家，认为他们的学术成就似乎不那么显赫，发表的论文也不那么多，发表的刊物也不那么有名，引用率也不那么高，更没有什么 H-index，似乎他们与世界水平的差距太大了，他们根本不屑一顾。甚至，我在和一位略有成就的年轻高分子科学家聊天时感到，他隐约中还认为老一辈的高分子科学家都不那么努力！这完全是一种误解，甚至是对老一代高分子科学家的不敬，乃至侮辱，是对历史的亵渎！事实上，在那个年代，中国高分子科学与工业几乎完全空白，他们中不少人连自己的基本生活都常常难以保障，研究经费、化学试剂、仪器设备等研究条件极度缺乏，实验室安全条件毫无保障。在十分艰苦的情况下，他们自制仪器、克服各种困难、艰苦奋斗，为中国高分子科学和高分子工业的建立和发展做出了杰出的贡献！

在那个年代，对于只需要“一支笔、一张纸”，或者说不需要很多经费投入的纯理论工作还是取得了骄人的成就！依我个人之见，在唐敖庆先生的带领下，吉林大学的高分子理论团队在“聚合反应统计理论”等方面的工作，是当时世界上的所有其他研究小组所无法企及的，许多研究成果迄今仍是极其重要的，也仍是世界领先的。

至于需要更大经费投入的高分子实验科学，主要用一些科研人员自制的实验仪器开展工作。高分子材料的开发研究则基本是对国外的高分子材料的剖析和仿制。因此，也练就了那一代高分子科学家对未知高分子材料进行剖析的特殊能力。这种能力，是中国高分子科学这门学科和高分子工业的奠基。他们为中国高分子科学这门学科的建立与发展的贡献是历史性的。本书作者就是其中颇具代表性、又是很杰出的一员。我相信，我的这种评价并未高估。甚至，我还认为，这种能力，即便在科研仪器设备和手段十分发达的今天，仍是当今大多数高分子科学家所无法企及的。

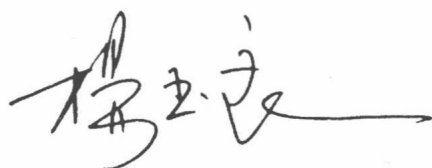
由此引发的另一个问题是：这种能力是否已经过时？我可以毫无顾忌地说，

对一个已知或未知的高分子材料的剖析，仍是当今高分子工业界的研发人员，乃至学术界的研究人员的技术开发和学术研究能力的重要体现之一。与当时的情况唯一有些不同的是：现在的仪器精度有了极大的提高，计算机的解析能力令人瞠目，新的分析、检测手段也层出不穷。但是，万变不离其宗，在方法学上没有根本的变化。因此，前辈们在实践中积累的知识与经验现在能得以以《手册》的实用方式提供出来，供大家查阅，这些确实都值得我们尊重、学习、传承和加以运用。

本书是作者王正熙教授数十年实际工作的经验总结和理论体会，并以《高分子材料剖析实用手册》的形式提供给读者。作者已经年届 77 岁高龄，在本领域已经积累了半个世纪的经验，把这些经验留存给后人是他的最大心愿。作为后辈，我甚为感动！按中国的古礼，也因自己学识贫乏，我是没有资格为这样一位令人敬重的老科学家的著作来作序的。我勉为其难为此作序，主要是为了表达对王先生，也对他们这一代高分子科学家表示崇高敬意！

当然，我还得郑重推荐本书，我认为这本《高分子材料剖析实用手册》无论对于工业界的分析和研发人员，还是对高校和研究机构的学术研究人员都是十分重要的。尤其是对正在进入高分子科学和技术的研究生们，或是现在高校中普遍设立的仪器分析中心的研究和技术人员等人群具有十分重要的实用的价值。我相信，在本书的使用过程中，读者一定会惊叹老一辈高分子科学家的智慧，也一定会感到有这样一本书存放在实验室的书架上，存放在你办公室的案头，这是何等的重要！

似为序？是为序！



2015 年 4 月 16 日

20 世纪六七十年代, 由于国家经济实力较弱, 再加上引进的色散型红外光谱仪价格昂贵, 所以绝大部分仪器集中在中科院、著名高校和化工部等直属研究所。在国内红外光谱实验室数量相对较少, 而高分子材料剖析又只是在少数红外光谱实验室进行的, 因此, 在全国高分子材料剖析工作开展也较少。随着改革开放, 国家经济实力增强, 特别是 80 年代傅里叶变换红外光谱仪的引进, 近十余年计算机技术的进步, 傅里叶变换红外光谱仪的价格大幅降低, 国家对教育、科技投入大幅增加, 私企等创业潮特别是与材料剖析相关的检测公司像雨后春笋般地发展起来。估计目前从事高分子材料剖析的红外光谱实验室有上千家, 从业人员上万人, 高分子材料剖析正处在一个欣欣向荣的发展时期。

材料科学是国家发展的重点领域, 对于能够符合各种要求, 特别是在航天、航空、国防等高科技和重要领域的高分子材料获得了迅速发展。一个高分子材料的组成往往是很复杂的, 除含有一种或数种聚合物外, 还常常加入各种添加剂、加工助剂、填料、色料等, 因此, 高分子材料品种繁多、性能各异。对于一个完整的高分子材料剖析, 除了要确定聚合物本身的结构外, 还要鉴定添加剂以及它们的定量组成。不过在实际工作中, 还是要根据要求分析。通过剖析工作弄清未知物的组成, 可作为研制工作的借鉴, 这比从文献或网上得到的信息更直接更可靠。实践告诉我们: 高分子材料剖析是一项很重要的工作。

根据笔者数十年的工作体会, 进行高分子材料剖析, 最重要的手段是傅里叶变换红外光谱。可以说, 绝大部分鉴定工作是通过它完成的。正因为如此, 红外光谱实验室与高分子材料剖析工作结下了不解之缘。当然红外光谱也不是万能的, 有时也需其他仪器配合, 特别是傅里叶变换核磁共振波谱仪、热分析仪及质谱仪等。对于不太常用仪器, 由于篇幅的限制本书不再涉及。剖析工作者可以根据实际工作需要选用相关的仪器。

本书从实用的角度出发, 系统地介绍了在高分子材料剖析中未知聚合物的初步鉴定、常用的分离方法、红外光谱、核磁共振波谱和热分析的原理、实验技术以及它们在高分子材料剖析中的应用。本书收集和整理了聚合物和添加剂光谱近千幅。并对绝大多数光谱进行了解析, 可用于对未知物鉴定。作者将多年的工作经验融入书中。本书可作为从事高分子材料剖析的工具书使用。

原国务院学位办主任、原教育部研究生司司长、原复旦大学校长、中科院院士杨玉良教授在百忙之中为本书写序, 作者十分感激, 在此表示最诚挚的感谢。

近十多年来, 上海江天高分子材料有限公司总经理周红卫先生给予我多方面

的关心和帮助，并对我的工作给予了积极的评价，努力推荐本书出版。在此作者亦表示最诚挚的感谢。

数十年和我一起工作过的同事们在工作中给予我的支持和帮助，我的夫人薛立女士对我悉心照顾使我有充分时间投入工作和写作，在此一并表示谢意。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者和同行不吝指正。

2015年6月于上海

# 第一章 高分子材料的初步鉴定

1

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 第一节 样品的外观特性、来源和用途 .....    | 1 |
| 第二节 元素分析 .....             | 2 |
| 第三节 溶解性试验 .....            | 3 |
| 第四节 燃烧试验 .....             | 8 |
| 第五节 干馏热解试验 .....           | 9 |
| 第六节 聚合物密度、玻璃化转变温度和熔点 ..... | 9 |

# 第二章 高分子材料分析中常用的分离方法

12

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一节 溶剂萃取法 .....            | 12 |
| 一、方法概述 .....               | 12 |
| 二、溶剂萃取法特别适用的场合 .....       | 13 |
| 三、使用溶剂萃取时应注意的事项 .....      | 13 |
| 第二节 溶解沉淀法 .....            | 14 |
| 一、方法概述 .....               | 14 |
| 二、溶解沉淀法常用的溶剂和沉淀剂 .....     | 14 |
| 三、溶解沉淀法进行分离的例子 .....       | 14 |
| 第三节 常压和减压蒸馏法 .....         | 15 |
| 第四节 色谱法 .....              | 17 |
| 一、薄层色谱法 (TLC) .....        | 17 |
| 二、柱色谱法 (CC) .....          | 20 |
| 三、高效液相色谱法 (HPLC) .....     | 22 |
| 四、凝胶渗透色谱法 (GPC) .....      | 23 |
| 五、气相色谱法 (GC) .....         | 24 |
| 六、纸上色谱法 (PC) .....         | 27 |
| 第五节 光谱分离法 ( 吸光度减技术 ) ..... | 28 |
| 一、原理 .....                 | 28 |
| 二、在混合物分析中的应用 .....         | 28 |
| 三、影响吸光度相减光谱质量的因素 .....     | 30 |

# 第三章 红外光谱在 高分子材料剖析中的应用

31

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第一节 红外光谱的基本原理 ..... | 31 |
| 一、红外光谱的产生和表示 .....  | 31 |

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 二、多原子分子的振动方式 .....                     | 32 |
| 三、吸收带强度 .....                          | 33 |
| 四、红外光谱区域的划分 .....                      | 33 |
| 五、红外基频区域的吸收 .....                      | 33 |
| 六、聚合物红外光谱的特点 .....                     | 34 |
| 七、最佳红外光谱图的测绘 .....                     | 35 |
| 第二节 高分子材料的一般制样方法 .....                 | 36 |
| 一、流延（浇铸）薄膜法 .....                      | 36 |
| 二、热压薄膜法 .....                          | 37 |
| 三、溴化钾压片法 .....                         | 37 |
| 四、反射光谱法 .....                          | 38 |
| 五、其他方法 .....                           | 38 |
| 第三节 特征基团频率与分子结构的关系 .....               | 38 |
| 一、影响特征基团频率位移的因素 .....                  | 38 |
| 二、烷烃 .....                             | 44 |
| 三、烯烃 .....                             | 47 |
| 四、 $X \equiv Y$ 和 $X = Y = Z$ 基团 ..... | 50 |
| 五、芳香烃 .....                            | 52 |
| 六、醇和酚 .....                            | 55 |
| 七、醚及相关基团 .....                         | 57 |
| 八、胺类 .....                             | 59 |
| 九、铵盐 .....                             | 62 |
| 十、酮类化合物 .....                          | 63 |
| 十一、醛类化合物 .....                         | 65 |
| 十二、羧酸 .....                            | 66 |
| 十三、羧酸盐 .....                           | 68 |
| 十四、酸酐 .....                            | 69 |
| 十五、酯和内酯 .....                          | 70 |
| 十六、酰卤 .....                            | 72 |
| 十七、酰胺 .....                            | 73 |
| 十八、氨基酸及其盐 .....                        | 75 |
| 十九、含硝基、亚硝基类化合物 .....                   | 76 |
| 二十、含硫化合物 .....                         | 78 |
| 二十一、含磷化合物 .....                        | 80 |
| 二十二、有机硅化合物 .....                       | 81 |
| 二十三、含卤素化合物 .....                       | 83 |
| 二十四、无机化合物 .....                        | 85 |
| 第四节 高分子材料的红外光谱解析 .....                 | 87 |
| 一、计算机检索 .....                          | 87 |
| 二、光谱解析法 .....                          | 87 |
| 三、聚合物吸收带系统鉴别法 .....                    | 92 |
| 第五节 衰减全反射 (ATR) 法在高分子材料剖析中的应用 .....    | 96 |
| 第六节 热解红外光谱法在高分子材料鉴定中的应用 .....          | 98 |
| 一、热解（干馏）法 .....                        | 98 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| 二、控制温度热解法 ..... | 99 |
| 三、部分热解法 .....   | 99 |

## 第四章 核磁共振法在分子材料剖析中的应用

101

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一节 概述 .....           | 101 |
| 第二节 基本原理 .....         | 102 |
| 一、原子核的自旋 .....         | 102 |
| 二、原子核的共振 .....         | 103 |
| 第三节 化学位移 .....         | 104 |
| 第四节 聚合物核磁共振样品的制备 ..... | 105 |
| 第五节 聚合物的核磁共振波谱 .....   | 106 |
| 一、聚烯烃 .....            | 106 |
| 二、聚卤代烯烃 .....          | 114 |
| 三、酯类聚合物 .....          | 117 |
| 四、醚类聚合物 .....          | 129 |
| 五、酚醛树脂 .....           | 134 |
| 六、含氮聚合物 .....          | 137 |
| 七、含硫聚合物 .....          | 144 |
| 八、有机硅聚合物 .....         | 146 |

## 第五章 热分析在分子材料剖析中的应用

149

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第一节 差示扫描量热法 .....          | 150 |
| 一、原理 .....                 | 150 |
| 二、差示扫描量热法在分子材料剖析中的应用 ..... | 151 |
| 第二节 热失重分析法 .....           | 153 |
| 一、原理 .....                 | 154 |
| 二、热失重法在分子材料剖析中的应用 .....    | 155 |

## 第六章 聚烯烃的红外光谱

159

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一节 饱和线型脂肪族聚烯烃 .....    | 159 |
| 一、聚乙烯 .....             | 159 |
| 二、聚丙烯 .....             | 171 |
| 三、聚丁烯 .....             | 176 |
| 四、聚 1-戊烯 .....          | 178 |
| 五、等规聚 4-甲基-1-戊烯 .....   | 178 |
| 六、等规聚 1-辛烯 .....        | 179 |
| 七、热塑性聚烯烃弹性体 (POE) ..... | 180 |
| 第二节 脂环族聚烯烃 .....        | 183 |
| 一、萜烯树脂 .....            | 183 |
| 二、环化橡胶 .....            | 183 |
| 第三节 不饱和脂肪族聚烯烃 .....     | 184 |
| 一、聚丁二烯 .....            | 184 |
| 二、聚异戊二烯和天然橡胶 .....      | 189 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第四节 芳香族碳氢聚合物 ..... | 191 |
| 一、聚苯乙烯 .....       | 191 |
| 二、聚对二甲苯 .....      | 200 |

第七章 聚卤代烯烃的红外光谱

202

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一节 聚氯代烯烃 .....         | 202 |
| 一、聚氯乙烯类 .....           | 202 |
| 二、聚偏二氯乙烯类 .....         | 215 |
| 三、聚氯丁二烯（氯丁橡胶） .....     | 221 |
| 四、脂肪族聚烯烃氯化、氯化氢化产物 ..... | 221 |
| 第二节 聚氟代烯烃 .....         | 228 |
| 一、氟代烯烃均聚物 .....         | 228 |
| 二、氟代烯烃共聚物 .....         | 231 |

第八章 酯类聚合物的红外光谱

240

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第一节 酯类聚合物的一般红外光谱特性 .....      | 240 |
| 第二节 由脂肪族多元羧酸和醇或酚制备的饱和聚酯 ..... | 241 |
| 一、聚碳酸酯 .....                  | 241 |
| 二、脂肪族二元酸与二元醇聚酯 .....          | 244 |
| 第三节 由芳香酸制备的饱和聚酯 .....         | 246 |
| 一、邻苯二甲酸制备的聚酯（无油醇酸树脂） .....    | 246 |
| 二、对苯二甲酸制备的聚酯 .....            | 247 |
| 三、聚对羟基苯甲酸（聚苯酯） .....          | 250 |
| 第四节 可固化的不饱和聚酯树脂 .....         | 251 |
| 一、马来酸或富马酸制备的聚酯 .....          | 252 |
| 二、四氢邻苯二甲酸酐制备的聚酯 .....         | 252 |
| 三、内次甲基四氢邻苯二甲酸酐制备的聚酯 .....     | 253 |
| 四、四氯邻苯二甲酸制备的聚酯 .....          | 253 |
| 五、HET 酸制备的聚酯 .....            | 254 |
| 第五节 聚乙烯醇酯 .....               | 255 |
| 一、聚醋酸乙烯酯 .....                | 255 |
| 二、醋酸乙烯酯共聚物 .....              | 256 |
| 第六节 聚丙烯酸酯 .....               | 258 |
| 一、聚丙烯酸酯 .....                 | 258 |
| 二、聚 2-氯丙烯酸甲酯 .....            | 260 |
| 三、丙烯酸酯共聚物 .....               | 261 |
| 第七节 聚甲基丙烯酸酯 .....             | 262 |
| 一、聚甲基丙烯酸酯 .....               | 262 |
| 二、甲基丙烯酸酯共聚物和改性产物 .....        | 265 |
| 三、聚甲基丙烯酸甲酯混合物 .....           | 270 |

第九章 醚类聚合物的红外光谱

272

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一节 醚键在主链上的线型聚醚 ..... | 272 |
|-----------------------|-----|

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 一、聚甲醛 .....                       | 272 |
| 二、聚乙二醇 .....                      | 273 |
| 三、聚丙二醇 .....                      | 275 |
| 四、聚丁二醇 (聚四氢呋喃) .....              | 275 |
| 五、聚乙二醇的改性产物 .....                 | 275 |
| 六、氯化聚醚 (聚 3,3-二氯甲基环氧丁烷) .....     | 277 |
| 七、聚酚氧树脂 .....                     | 278 |
| 八、聚苯醚 .....                       | 279 |
| 九、聚芳醚酮 .....                      | 279 |
| 第二节 醚键在侧链上的线型聚醚 .....             | 281 |
| 一、聚乙烯甲基醚 .....                    | 281 |
| 二、聚乙烯乙基醚 .....                    | 282 |
| 三、聚乙烯异丁基醚 .....                   | 282 |
| 四、聚乙烯正丁基醚 .....                   | 283 |
| 第三节 聚合的缩醛和缩酮 .....                | 284 |
| 一、聚乙烯醇缩甲醛 .....                   | 284 |
| 二、聚乙烯醇缩乙醛 .....                   | 285 |
| 三、聚乙烯醇缩丁醛 .....                   | 286 |
| 第四节 环氧树脂 .....                    | 287 |
| 一、脂肪族缩水甘油醚和酯 .....                | 287 |
| 二、苯基缩水甘油醚 .....                   | 287 |
| 三、3-氯-1,2-环氧丙烷和双酚 A 缩合的环氧树脂 ..... | 289 |
| 四、3-氯-1,2-环氧丙烷和双酚 F 缩合的环氧树脂 ..... | 289 |
| 五、线型酚醛树脂与 3-氯-1,2-环氧丙烷缩合产物 .....  | 290 |
| 六、环氧树脂酯 .....                     | 291 |
| 七、酸酐固化的环氧树脂的化学降解 .....            | 291 |

## 第十章 醇、羧酸、羧酸盐和酸酐聚合物的红外光谱

292

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一节 聚乙烯醇 .....       | 292 |
| 第二节 聚合的羧酸和羧酸盐 .....  | 293 |
| 第三节 酸酐的聚合物和共聚物 ..... | 295 |

## 第十一章 酚醛树脂的红外光谱

298

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一节 酚醛树脂的结构特征与红外光谱的关系 ..... | 298 |
| 一、苯环取代类型 .....              | 299 |
| 二、桥键 .....                  | 300 |
| 三、取代基的性质 .....              | 301 |
| 第二节 线型酚醛树脂及其固化产物 .....      | 301 |
| 一、线型苯酚甲醛树脂 .....            | 301 |
| 二、线型甲酚甲醛树脂 .....            | 302 |
| 三、线型酚醛树脂模塑化合物 .....         | 303 |
| 第三节 甲阶酚醛树脂及其固化产物 .....      | 303 |
| 一、甲阶苯酚甲醛树脂 .....            | 303 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 二、甲阶甲酚甲醛树脂 .....       | 304 |
| 三、甲阶间苯二酚甲醛树脂 .....     | 305 |
| 第四节 烷基酚和苯基苯酚甲醛树脂 ..... | 305 |
| 第五节 醚化和增塑的酚醛树脂 .....   | 307 |
| 一、醚化的甲阶酚醛树脂 .....      | 307 |
| 二、增塑的酚醛树脂 .....        | 307 |
| 第六节 砵酚树脂 .....         | 309 |

第十二章 含氮聚合物的红外光谱

310

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 第一节 聚胺和聚亚胺 .....                            | 310 |
| 第二节 氨基树脂 .....                              | 313 |
| 一、苯胺甲醛树脂 .....                              | 313 |
| 二、三聚氰胺甲醛树脂 .....                            | 314 |
| 三、脲醛树脂 .....                                | 317 |
| 第三节 酰氨基在主链上的聚酰胺 .....                       | 319 |
| 一、脂肪族聚酰胺 .....                              | 319 |
| 二、芳香族聚酰胺 .....                              | 324 |
| 第四节 酰氨基在侧链上的聚酰胺 .....                       | 329 |
| 第五节 聚脲 .....                                | 331 |
| 第六节 聚酰亚胺 .....                              | 332 |
| 一、聚酰胺酸 .....                                | 332 |
| 二、聚酰亚胺 .....                                | 333 |
| 三、均苯四甲酸二酐、偏苯三甲酸和 4,4'-二氨基二苯醚合成的聚酰胺酰亚胺 ..... | 334 |
| 四、聚酰亚胺和聚酰胺酰亚胺的水解 .....                      | 335 |
| 第七节 聚氨基甲酸酯 .....                            | 336 |
| 一、合成聚氨基甲酸酯的原料——异氰酸酯 .....                   | 336 |
| 二、二聚异氰酸酯、“掩蔽”异氰酸酯、带有游离异氰酸酯的聚氨基甲酸酯 .....     | 337 |
| 三、脂肪族聚氨基甲酸酯 .....                           | 338 |
| 四、聚醚型聚氨酯 .....                              | 338 |
| 五、聚酯型聚氨酯 .....                              | 339 |
| 六、聚酯醚型聚氨酯 .....                             | 341 |
| 七、聚氨基甲酸酯的水解 .....                           | 342 |
| 第八节 含氰基的聚合物 .....                           | 343 |
| 一、聚丙烯腈 .....                                | 343 |
| 二、聚甲基丙烯腈 .....                              | 345 |
| 三、聚 $\alpha$ -氰基丙烯酸酯 .....                  | 346 |
| 第九节 芳香族聚噁二唑 .....                           | 346 |

第十三章 含硅聚合物的红外光谱

347

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 第一节 硅油及其制品 .....  | 347 |
| 一、纯硅油 .....       | 348 |
| 二、硅油制品分析 .....    | 354 |
| 第二节 硅树脂及其制品 ..... | 356 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 一、有机硅模塑料(硅氧烷模压混合料) | 356 |
| 二、有机硅层压塑料          | 356 |
| 三、有机硅玻璃树脂          | 356 |
| 四、有机硅树脂涂料          | 357 |
| 五、皮革、织物或纸张处理剂      | 357 |
| 六、硅树脂的红外光谱         | 357 |
| 第三节 硅橡胶及其制品        | 359 |
| 一、高温硫化硅橡胶          | 359 |
| 二、室温硫化硅橡胶          | 360 |
| 三、硅橡胶的分析           | 361 |

## 第十四章 含硫聚合物的红外光谱

364

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第一节 含有 $\text{SO}_2$ 基团不含氮的聚合物 | 364 |
| 一、聚砜                           | 364 |
| 二、木质素磺酸及其盐                     | 368 |
| 三、氯磺化聚乙烯(海帕隆)                  | 368 |
| 第二节 聚硫醚                        | 370 |
| 一、聚硫橡胶                         | 370 |
| 二、聚苯硫醚                         | 372 |
| 第三节 含氮和硫的聚合物                   | 372 |
| 一、硫脲甲醛树脂                       | 372 |
| 二、对甲苯磺酰胺甲醛树脂                   | 372 |

## 第十五章 天然产物的红外光谱

375

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 第一节 天然树脂及其改性产物  | 375 |
| 一、天然树脂          | 375 |
| 二、天然树脂的改性产物     | 377 |
| 第二节 多肽          | 379 |
| 一、多肽的红外光谱特征     | 379 |
| 二、丝             | 380 |
| 三、羊毛            | 380 |
| 四、酪朊及其塑料        | 381 |
| 五、明胶            | 381 |
| 第三节 纤维素         | 382 |
| 一、天然纤维素         | 382 |
| 二、纤维素酯          | 382 |
| 三、纤维素醚和其他纤维素衍生物 | 387 |
| 第四节 工业石油沥青和木沥青  | 392 |
| 一、地沥青和石油沥青      | 392 |
| 二、煤焦油木沥青        | 392 |
| 三、褐煤沥青          | 393 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一节 缩合型聚合物水解产物 ..... | 417 |
| 第二节 水解产物及其光谱解析 ..... | 417 |
| 一、多元胺、氨基酸 .....      | 417 |
| 二、多元醇、醚醇、酚、酚醚 .....  | 420 |
| 三、多元羧酸 .....         | 421 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 第一节 芳香酸酯 .....    | 450 |
| 第二节 脂肪族二元酸酯 ..... | 460 |
| 第三节 聚酯 .....      | 463 |
| 第四节 脂肪酸酯 .....    | 463 |
| 第五节 环氧脂肪酸酯 .....  | 464 |
| 第六节 多元醇和醚 .....   | 465 |
| 第七节 磷酸酯 .....     | 466 |
| 第八节 磺酸衍生物 .....   | 468 |
| 第九节 碳氢化合物 .....   | 469 |
| 第十节 氯化碳氢化合物 ..... | 470 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一节 抗氧化剂 .....        | 472 |
| 一、酚类抗氧化剂 .....        | 472 |
| 二、胺类抗氧化剂 .....        | 488 |
| 第二节 光稳定剂 .....        | 499 |
| 一、苯酮衍生物 .....         | 499 |
| 二、水杨酸酯 .....          | 503 |
| 三、氰基取代的苯基丙烯酸衍生物 ..... | 506 |
| 四、苯并三唑衍生物 .....       | 506 |
| 第三节 热稳定剂 .....        | 509 |
| 一、无机盐稳定剂 .....        | 509 |
| 二、有机酸盐稳定剂 .....       | 512 |
| 三、有机锡稳定剂 .....        | 516 |
| 四、环氧化合物 .....         | 519 |
| 五、含磷化合物 .....         | 520 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第一节 胺类固化剂 .....  | 522 |
| 第二节 酸酐类固化剂 ..... | 526 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <b>第二十一章 阻燃剂的红外光谱</b>                      | <b>532</b> |
| 第一节 阻燃剂的阻燃机理及理想阻燃剂应具备的性能 .....             | 532        |
| 一、阻燃剂的阻燃机理 .....                           | 532        |
| 二、理想的阻燃剂应具备的性能 .....                       | 532        |
| 第二节 常用阻燃剂及其红外光谱 .....                      | 533        |
| 一、反应型阻燃剂 .....                             | 533        |
| 二、添加型阻燃剂 .....                             | 534        |
| 三、无机阻燃剂 .....                              | 540        |
| <b>第二十二章 表面活性剂的红外光谱</b>                    | <b>542</b> |
| 第一节 概述 .....                               | 542        |
| 一、表面张力和表面活性 .....                          | 542        |
| 二、胶束与临界胶束浓度 .....                          | 542        |
| 三、HLB 值 .....                              | 543        |
| 第二节 阴离子表面活性剂 .....                         | 544        |
| 一、羧酸盐型阴离子表面活性剂 .....                       | 545        |
| 二、磺酸盐型阴离子表面活性剂 .....                       | 553        |
| 三、硫酸酯盐型阴离子表面活性剂 .....                      | 562        |
| 四、磷酸酯盐型阴离子表面活性剂 .....                      | 568        |
| 第三节 非离子表面活性剂 .....                         | 571        |
| 一、多元醇型非离子表面活性剂 .....                       | 571        |
| 二、聚氧乙烯醚型非离子表面活性剂 .....                     | 576        |
| 第四节 阳离子表面活性剂 .....                         | 584        |
| 一、铵盐型阳离子表面活性剂 .....                        | 584        |
| 二、季铵盐型阳离子表面活性剂 .....                       | 588        |
| 第五节 两性表面活性剂 .....                          | 597        |
| 一、氨基酸型两性表面活性剂 (N-烷基- $\alpha$ -氨基乙酸) ..... | 597        |
| 二、甜菜碱型两性表面活性剂 .....                        | 601        |
| <b>第二十三章 填料的红外光谱</b>                       | <b>603</b> |
| 第一节 概述 .....                               | 603        |
| 第二节 高分子材料中常用无机填料 .....                     | 604        |
| <b>第二十四章 溶剂的红外光谱</b>                       | <b>613</b> |
| 第一节 溶剂在高分子材料剖析中的重要性 .....                  | 613        |
| 第二节 高分子材料剖析中常用的溶剂及其红外光谱图 .....             | 613        |
| <b>第二十五章 高分子材料剖析实例</b>                     | <b>628</b> |
| 实例 1: F 级聚酯酰亚胺浸渍漆组成分析 .....                | 628        |
| 一、实验方法 .....                               | 628        |
| 二、结果和讨论 .....                              | 629        |

三、结论 ..... 632

实例 2: 白色橡胶片材成分分析 ..... 633

一、实验部分 ..... 633

二、结果和讨论 ..... 635

三、结论 ..... 637

实例 3: 防水涂料片材剖析 ..... 637

一、实验部分 ..... 637

二、结果和讨论 ..... 637

三、结论 ..... 641

实例 4: 防火涂料(白色黏稠物)剖析 ..... 641

一、实验部分 ..... 641

二、结果和讨论 ..... 641

三、结论 ..... 644

实例 5: 两种甲醚化树脂成分比较 ..... 645

一、实验部分 ..... 645

二、结果和讨论 ..... 645

三、结论 ..... 650

实例 6: 多层薄膜纸组分剖析 ..... 651

一、实验部分 ..... 651

二、结果和讨论 ..... 651

三、结论 ..... 654

实例 7: 耐高温环氧树脂成分分析 ..... 655

一、原样样品的红外光谱测定及组成的初步推断 ..... 655

二、样品分离及聚醚增韧剂的鉴定 ..... 655

三、样品的核磁共振波谱及各组成分定性和定量分析 ..... 656

附录 1 波长与波数关系换算表 ..... 658

附录 2 聚合物英文缩写及中英文对照 ..... 665

参考文献 ..... 671