

合成树脂及应用丛书

● 陈 平 王德中 编著

环氧树脂 及其应用



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

合成树脂及应用丛书

环氧树脂及其应用

陈 平 王德中 编著

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心
·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环氧树脂及其应用/陈平, 王德中编著. —北京: 化学工业出版社, 2004.2
(合成树脂及应用丛书)
ISBN 7-5025-5154-9

I. 环… II. ①陈… ②王… III. ①环氧树脂-生产
②环氧树脂-应用 IV. TQ323.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 005782 号

合成树脂及应用丛书

环氧树脂及其应用

陈平 王德中 编著

责任编辑: 周伟斌 邢涛

文字编辑: 谢蓉蓉

责任校对: 李林

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米 × 1168 毫米 1/32 印张 14 字数 336 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5154-9/TQ·1916

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

合成材料的发现、应用及推广，构成了人类的进步和文明。从 20 世纪 50 年代迅速发展起来的合成树脂是产量最高、需求量最大、应用面最广的合成材料，已成为继金属、水泥、木材之后的第四种支柱材料，在尖端技术、国防建设、国民经济和人民生活等领域发挥着重要作用。20 世纪 80 年代以来，我国合成树脂和塑料制品的生产量以每年两位数的百分比增长，塑料制品的产量已超过 2000 万吨/年，合成树脂消费量也逐年提高，成为仅次于美国的世界第二大合成树脂消费国。但我国合成树脂在产品数量和质量、生产加工技术与装备、科研开发力度，特别是应用技术等方面都落后于发达国家。进入 21 世纪，科学技术发展势头更快，合成树脂和塑料行业的科研开发人员、技术工人、管理人员和应用领域的科研工作者，都迫切希望提高自己的专业知识水平，掌握更先进的专业技术，以跟上时代的步伐。

为满足广大读者的愿望，我社组织国内有关的专家、学者编写了《合成树脂及应用丛书》。该丛书各分册如下。

| | |
|--------------|-----------|
| 聚酰胺树脂及其应用 | 有机硅树脂及其应用 |
| 甲基丙烯酸酯树脂及其应用 | 不饱和树脂及其应用 |
| ABS 树脂及其应用 | 聚氨酯及其应用 |
| 聚乙烯树脂及其应用 | 环氧树脂及其应用 |
| 聚丙烯树脂及其应用 | 酚醛树脂及其应用 |
| 聚苯乙烯系树脂及其应用 | |

该丛书全面、系统地阐述了各种合成树脂的制造技术、结构性能、改性技术、成型工艺与设备、模具制造、产品质量检测及

应用技术等，对广大用户关注的各种合成树脂的性能与应用在写法上给予了高度重视。在内容取舍上既充分注意了成熟、稳定、可靠、先进的技术内容，又对有发展前途的前瞻性技术给予了充分的反映。内容上突出科学性、实用性、针对性和通用性是本套书追求的主要特色。

希望本丛书的出版对广大读者有所裨益，并对我国合成树脂工业的发展起到促进作用。

化学工业出版社

前 言

环氧树脂是一类具有良好粘接、耐腐蚀、电气绝缘、高强度等性能的热固性高分子合成材料。它已被广泛地应用于多种金属与非金属的粘接、耐腐蚀涂料、电气绝缘材料、玻璃钢/复合材料等的制造。它在电子、电气、机械制造、化工防腐、航空航天、船舶运输及其他许多工业领域中起到重要的作用，已成为各工业领域中不可缺少的基础材料。

环氧树脂的研究是从 20 世纪 30 年代开始的，1934 年德国的 Schlack 首先用胺化合物使含有大于一个环氧基的化合物聚合制得高分子聚合物，并由 I.G 染料公司作为德国的专利发表。因二次世界大战而未能在美国取得专利权。稍后，瑞士的 Pierre Castan 和美国的 S.O. Greelee 所发表的多项专利都揭示了双酚 A 和环氧氯丙烷经缩聚反应能制得液体聚环氧树脂，用有机多元胺和二元酸均可使其固化，并且具有优良的粘接性。这些研究成果促使了美国 De Voe-Raynolds 公司在 1947 年进行了第一次具有工业生产价值的环氧树脂制造。不久，瑞士的 Ciba 公司、美国的 Shell 以及 Dow Chemical 公司都开始了环氧树脂的工业化生产及应用开发工作。当时环氧树脂在金属材料的粘接和防腐涂料等应用方面已有了突破，于是环氧树脂作为一个行业蓬勃地发展起来了。

环氧树脂大规模生产和应用是从 1948 年以后开始的。由于它具有一系列优良的性能，所以在工业上发展很快，不仅产量迅速增加，而且新品种不断涌现。1960 年前后，相继出现了热塑性酚醛型环氧树脂、卤代环氧树脂、聚烯烃环氧树脂，以后又相

继出现了脂环族环氧树脂以及其他许多新型结构的环氧，如海茵环氧、酚酞环氧和含有聚芳杂环结构的环氧树脂。

我国环氧树脂应用研究开始于 1956 年，在沈阳和上海两地首先获得成功，1958 年上海开始工业化生产，以后不仅产量迅速增加，而且新品种不断涌现。目前环氧树脂正朝着“高纯化、精细化、专用化、系列化、配套化、功能化”六个方向发展。

1997 年由本人撰稿，化学工业出版社出版发行了《环氧树脂》一书，受到了全国广大科技工作者的欢迎，短短几年多次重印。但也时常听到同行们特别是企业界的同行们的呼声，希望在《环氧树脂》一书的基础上，扩写并充实应用方面的内容。

本书在保留了已有《环氧树脂》一书成功内容的基础上，对有关内容，特别是 20 世纪 80 年代以来关于环氧树脂最新的研究成果及其在工业领域中的应用作了较为详尽的论述。全书分为上下两篇，上篇是环氧树脂基础，包括环氧树脂、固化剂、促进剂的制造及基本性能，环氧树脂的分析，环氧树脂的固化反应，环氧树脂的改性及增韧，环氧树脂的转变与松弛，环氧树脂的加工流变学；下篇是环氧树脂的应用，包括环氧树脂在胶黏剂、浇铸、涂料、复合材料等方面的应用。

全书由陈平教授统稿。第 1 章至第 7 章由陈平教授主笔，第 8 章由刘胜平教授主笔。第 9 章至第 12 章由王德中教授主笔，第 13、14 章由陈平教授主笔。

由于环氧树脂内容广泛，发展迅速，新品种不断涌现，加之作者水平有限，书中缺点和不足在所难免，恳请广大读者不吝指正。

陈 平

2002 年 8 月于大连理工大学

内 容 提 要

本书较为全面、系统地介绍了环氧树脂各方面的内容，包括环氧树脂、固化剂、促进剂的制造及基本性能，环氧树脂的分析，环氧树脂的固化反应，环氧树脂的改性及增韧，环氧树脂的转变与松弛，环氧树脂的加工流变学及环氧树脂在胶黏剂、浇铸、涂料、复合材料等方面的应用。内容丰富，既有理论深度，又具有较强的实用性。

本书可供从事环氧树脂科研、生产、应用领域的技术人员参考和阅读。

目 录

上篇 环氧树脂基础

| | |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 环氧树脂概论 | 1 |
| 1.1 环氧树脂的定义 | 1 |
| 1.2 环氧树脂的种类 | 2 |
| 1.2.1 按化学结构分类 | 2 |
| 1.2.2 按状态分类 | 4 |
| 1.2.3 按制造方法分类 | 5 |
| 第 2 章 环氧树脂的制造和基本性能 | 6 |
| 2.1 双酚 A 型环氧树脂的合成 | 6 |
| 2.1.1 双酚 A 型环氧树脂的生成反应 | 6 |
| 2.1.2 制造方法 | 6 |
| 2.2 脂环族环氧树脂的合成 | 10 |
| 2.3 环氧树脂的基本性能 | 14 |
| 2.3.1 双酚 A 型环氧树脂 | 14 |
| 2.3.2 双酚 F 型环氧树脂 | 15 |
| 2.3.3 双酚 S 型环氧树脂 | 15 |
| 2.3.4 氢化双酚 A 型环氧树脂 | 16 |
| 2.3.5 线性酚醛型环氧树脂 | 16 |
| 2.3.6 多官能基缩水甘油醚树脂 | 18 |
| 2.3.7 多官能基缩水甘油胺树脂 | 19 |
| 2.3.8 具有特殊机能的卤化环氧树脂 | 20 |
| 第 3 章 环氧树脂的分析 | 23 |
| 3.1 环氧当量与环氧值 | 23 |
| 3.1.1 化学分析法 | 23 |
| 3.1.2 光谱分析法 | 25 |

| | | |
|------------|--------------------------|-----------|
| 3.2 | 羟值与羟基数 | 25 |
| 3.3 | 氯含量 | 28 |
| 3.3.1 | 氧弹法 | 28 |
| 3.3.2 | 古罗蒂法 | 28 |
| 3.3.3 | 水解萃取法 | 28 |
| 3.4 | 双键的定量 | 30 |
| 3.5 | 黏度 | 30 |
| 3.5.1 | 杯式黏度计 | 30 |
| 3.5.2 | 旋转黏度计 | 30 |
| 3.5.3 | 毛细管黏度计 | 31 |
| 3.5.4 | 落球式黏度计 | 31 |
| 3.6 | 软化点 | 32 |
| 3.6.1 | Durran 水银法 | 32 |
| 3.6.2 | 环球法 | 32 |
| 3.7 | 分子量及分子量分布 | 33 |
| 3.7.1 | 平均分子量的定义 | 33 |
| 3.7.2 | 分子量和分子量分布的测定方法 | 35 |
| 第4章 | 环氧树脂的固化反应、固化剂和促进剂 | 36 |
| 4.1 | 环氧基的反应性 | 36 |
| 4.1.1 | 环氧基的电子云分布及反应活性 | 37 |
| 4.1.2 | 异质末端及其影响 | 38 |
| 4.2 | 与活泼氢化物的反应 | 40 |
| 4.2.1 | 与醇类的反应 | 41 |
| 4.2.2 | 与酚类的反应 | 43 |
| 4.2.3 | 与羧酸类的反应 | 44 |
| 4.2.4 | 与硫醇的反应 | 45 |
| 4.2.5 | 与酰胺、脲类的反应 | 46 |
| 4.2.6 | 与聚酯和异氰酸酯的反应 | 47 |
| 4.3 | 固化剂的概况 | 48 |
| 4.3.1 | 固化剂的种类 | 48 |
| 4.3.2 | 固化剂的固化温度和耐热性 | 49 |
| 4.3.3 | 固化剂的结构与特性 | 50 |

| | | |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 4.3.4 | 各种用途不同的固化剂 | 51 |
| 4.4 | 胺类固化剂 | 52 |
| 4.4.1 | 多元胺类固化剂 | 52 |
| 4.4.2 | 叔胺及咪唑类固化剂 | 66 |
| 4.4.3 | 硼胺及其硼胺配合物固化剂 | 79 |
| 4.5 | 酸酐固化剂 | 85 |
| 4.5.1 | 酸酐的固化反应机理 | 85 |
| 4.5.2 | 酸酐固化剂的种类与特点 | 92 |
| 4.5.3 | 酸酐固化剂的共熔混合改性 | 97 |
| 4.6 | 顺丁烯二酸酐及其几种改性固化剂 | 98 |
| 4.6.1 | 70 酸酐 | 98 |
| 4.6.2 | 桐油酸酐 | 98 |
| 4.6.3 | 647 酸酐 | 98 |
| 4.7 | 其他固化剂 | 99 |
| 4.7.1 | 线性酚醛树脂固化剂 | 99 |
| 4.7.2 | 聚酯树脂固化剂 | 99 |
| 4.7.3 | 液体聚氨酯固化剂 | 99 |
| 4.7.4 | 聚硫橡胶固化剂 | 100 |
| 4.8 | 环氧树脂固化用促进剂 | 101 |
| 4.8.1 | 亲核型促进剂 | 101 |
| 4.8.2 | 亲电型促进剂 | 102 |
| 4.8.3 | 金属羧酸盐促进剂 | 102 |
| 4.9 | 潜伏性环氧树脂体系固化反应动力学参数的特征 | 103 |
| 4.9.1 | 问题的提出 | 103 |
| 4.9.2 | 理论分析 | 103 |
| 4.9.3 | 一般性结论 | 106 |
| 第 5 章 | 环氧树脂用辅助材料及改性 | 107 |
| 5.1 | 稀释剂 | 107 |
| 5.1.1 | 非活性稀释剂 | 107 |
| 5.1.2 | 活性稀释剂 | 111 |
| 5.2 | 触变剂 | 111 |
| 5.2.1 | 触变性与触变剂 | 112 |

| | | |
|------------|------------------------------|------------|
| 5.2.2 | 在不含固化剂的环氧树脂中增稠 | 114 |
| 5.2.3 | 在含有固化剂的环氧树脂中气相二氧化硅的触变效果 | 115 |
| 5.3 | 填料对环氧树脂的改性 | 116 |
| 5.3.1 | 填料的种类及用途 | 116 |
| 5.3.2 | 填料的改性效果 | 116 |
| 5.4 | 纤维增强材料 | 121 |
| 5.4.1 | 玻璃纤维 | 121 |
| 5.4.2 | 碳(石墨)纤维 | 123 |
| 5.4.3 | 芳纶纤维 | 124 |
| 5.4.4 | 超高相对分子质量聚乙烯纤维 | 127 |
| 5.4.5 | 硼纤维 | 128 |
| 5.5 | 偶联剂对填料进行表面处理及作用 | 128 |
| 5.6 | 阻燃剂 | 131 |
| 5.6.1 | 无机阻燃剂 | 132 |
| 5.6.2 | 有机阻燃剂 | 134 |
| 5.7 | 脱模剂 | 140 |
| 5.7.1 | 脱模剂的分类 | 140 |
| 5.7.2 | 脱模机理 | 141 |
| 5.7.3 | 有机硅系脱模剂 | 142 |
| 5.7.4 | 有机氟系脱模剂 | 143 |
| 5.7.5 | 内脱模剂 | 144 |
| 5.8 | 合金改性 | 145 |
| 5.8.1 | 增塑剂的种类 | 146 |
| 5.8.2 | 增塑效果 | 149 |
| 5.9 | 环氧树脂的韧性改进途径及其增韧机理 | 149 |
| 5.9.1 | 环氧树脂的增韧途径 | 149 |
| 5.9.2 | 增韧机理 | 149 |
| 第6章 | 环氧树脂固化物的转变与松弛 | 161 |
| 6.1 | 酸酐/环氧树脂固化物的转变与松弛 | 162 |
| 6.1.1 | 玻璃化转变(α 松弛) | 162 |
| 6.1.2 | 玻璃态中的 β 松弛 | 162 |
| 6.1.3 | α 与 β 松弛之间的中间转变 | 167 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 6.1.4 | β 或 β' 松弛对环氧树脂固化物冲击强度的影响 | 168 |
| 6.2 | 胺/环氧树脂固化物的转变与松弛 | 169 |
| 6.2.1 | 玻璃化转变 (α 松弛) | 169 |
| 6.2.2 | 玻璃态 ($T < T_g$) 中的 β 转变 | 170 |
| 6.2.3 | α 与 β 松弛之间的转变 (α' 、 β') | 173 |
| 6.2.4 | β 和 β' 松弛与固化物力学性能的关系 | 173 |
| 6.2.5 | 玻璃态 ($T < T_g$) 中的 γ 松弛 | 174 |
| 6.3 | 羧酸/环氧树脂固化物的转变与松弛 | 174 |
| 6.3.1 | 网络的结构特征 | 174 |
| 6.3.2 | 具有不同网络结构的环氧树脂固化物的松弛机理及其 动态力学性能 | 175 |
| 6.3.3 | 交联密度与 T_g 的关系 | 179 |
| 6.3.4 | 网络结构与机械强度的关系 | 180 |
| 6.3.5 | 力学性能对温度的依赖性 | 180 |
| 第7章 | 环氧树脂固化物的结构形成-形态-性能间的关系 | 183 |
| 7.1 | 环氧树脂凝胶化形态 | 183 |
| 7.1.1 | 微凝胶体的形成 | 183 |
| 7.1.2 | 大凝胶体的形成 | 184 |
| 7.1.3 | 交联网络结构的形成 | 185 |
| 7.2 | 环氧树脂固化物结构与性能间的关系 | 186 |
| 7.2.1 | 交联密度 | 186 |
| 7.2.2 | 机械性能与交联密度之间的关系 | 188 |
| 7.2.3 | 机械性能对温度的依赖关系 | 189 |
| 第8章 | 环氧树脂的加工流变学 | 193 |
| 8.1 | 流变学基础概念 | 193 |
| 8.2 | 环氧树脂结构模型-流变性-加工性-性能间的关系 | 197 |
| 8.2.1 | 结构与流变之间的关系 | 198 |
| 8.2.2 | 固化行为的动力学研究 | 200 |
| 8.2.3 | 热固性树脂的流变模型 | 204 |
| 8.3 | 流变学在环氧树脂中的应用 | 206 |
| 8.3.1 | 固化行为与加工工艺性 | 207 |
| 8.3.2 | 玻璃纤维/环氧层压制品加工过程中的流变性质 | 209 |

| | |
|----------------------|-----|
| 8.4 环氧树脂加填体系的流变性质 | 212 |
| 8.4.1 影响浓分散体系流变性质的因素 | 212 |
| 8.4.2 刚性填料体系的牛顿性 | 213 |
| 8.4.3 填料对环氧树脂流变性质的影响 | 216 |

下篇 环氧树脂应用

| | |
|----------------------------|-----|
| 第9章 环氧树脂胶黏剂 | 219 |
| 9.1 土木、建筑用胶黏剂 | 226 |
| 9.1.1 港工混凝土潮差及水下部位修补胶 | 226 |
| 9.1.2 水利工程用潮湿面及水下修补胶 | 229 |
| 9.1.3 混凝土细裂缝灌浆补强胶 | 233 |
| 9.1.4 建筑结构胶黏剂 | 238 |
| 9.1.5 土木、建筑用胶黏剂的新进展 | 240 |
| 9.2 电子、电气用胶黏剂 | 240 |
| 9.2.1 导电胶 | 240 |
| 9.2.2 导热、导磁胶黏剂 | 243 |
| 9.2.3 环氧树脂云母制品 | 249 |
| 9.3 交通工具用胶黏剂 | 251 |
| 9.3.1 汽车工业用胶黏剂 | 251 |
| 9.3.2 船舶安装及零件修补用胶黏剂 | 254 |
| 9.3.3 飞机制造用胶接点焊胶黏剂 | 257 |
| 9.4 机械工业用胶黏剂 | 259 |
| 9.4.1 精密机械、模具、工夹具修补胶 | 259 |
| 9.4.2 机床维修用胶黏剂 | 260 |
| 9.4.3 光学零件用胶黏剂 | 261 |
| 第10章 环氧树脂浇铸料及反应注射成型 | 271 |
| 10.1 电气装备用浇铸料 | 272 |
| 10.1.1 环氧树脂浇铸绝缘料、浇铸工艺及影响因素 | 273 |
| 10.1.2 六氟化硫断路器拉杆和绝缘筒的制造 | 277 |
| 10.1.3 干式变压器浇铸料 | 278 |
| 10.1.4 其他电气装备用环氧绝缘浇铸料 | 281 |
| 10.2 工装模具用环氧树脂浇铸料 | 282 |

| | | |
|---------------|------------------------------------|------------|
| 10.2.1 | 铸造模具用环氧树脂浇铸料 | 282 |
| 10.2.2 | 金属薄板成型用环氧树脂浇铸料 | 282 |
| 10.3 | 光弹测试材料用环氧树脂浇铸料 | 283 |
| 10.3.1 | 树脂的选择 | 283 |
| 10.3.2 | 改性树脂 | 284 |
| 10.3.3 | 固化剂 | 284 |
| 10.3.4 | 制造光弹性材料必须解决的几个质量问题 | 284 |
| 10.4 | 环氧树脂的反应注射成型 (RIM) 及增强反应注射成型 (RRIM) | 286 |
| 10.4.1 | 环氧树脂的 RIM 工艺过程及原理 | 286 |
| 10.4.2 | 增强反应注射成型 | 288 |
| 10.4.3 | 互穿网络 (IPN) RIM | 289 |
| 第 11 章 | 环氧树脂模塑料 | 291 |
| 11.1 | 电气工业用环氧树脂模塑料 | 292 |
| 11.2 | 电子工业用环氧树脂封装模塑料 | 294 |
| 11.3 | 提高电子工业用环氧树脂模塑料性能的途径 | 297 |
| 11.3.1 | 特种环氧树脂 | 297 |
| 11.3.2 | 特种固化剂 | 304 |
| 11.3.3 | 特殊的固化促进剂 | 305 |
| 11.3.4 | 改进填充料的性能 | 306 |
| 11.3.5 | 选用增韧剂来改善封装用模塑料的性能 | 307 |
| 11.4 | 集成电路封装用环氧模塑料的发展方向 | 308 |
| 第 12 章 | 环氧树脂涂料 | 310 |
| 12.1 | 防腐蚀环氧树脂涂料 | 314 |
| 12.1.1 | 纯环氧树脂涂料 | 315 |
| 12.1.2 | 环氧树脂沥青防腐蚀涂料 | 317 |
| 12.1.3 | 无溶剂环氧树脂防腐蚀涂料 | 318 |
| 12.1.4 | 环氧树脂类防腐蚀涂料的发展方向 | 319 |
| 12.2 | 电气绝缘环氧树脂料 | 320 |
| 12.2.1 | 漆包线绝缘漆 | 321 |
| 12.2.2 | 浸渍绝缘漆 | 322 |
| 12.2.3 | 粉云母带黏合绝缘漆 | 328 |

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 12.2.4 | 覆盖绝缘漆 | 330 |
| 12.2.5 | 硅钢片绝缘漆 | 331 |
| 12.3 | 汽车车身用环氧树脂涂料 | 332 |
| 12.3.1 | 水性环氧酯的合成和电沉积涂料的配制 | 332 |
| 12.3.2 | 阳极电沉积涂料 | 332 |
| 12.3.3 | 阴极电沉积涂料 | 333 |
| 12.3.4 | 两种电沉积涂料性能的对比 | 334 |
| 12.4 | 船舶环氧树脂涂料 | 335 |
| 12.4.1 | 环氧树脂富锌底漆 | 336 |
| 12.4.2 | 船底防锈涂料 | 337 |
| 12.4.3 | 船壳漆 | 338 |
| 12.4.4 | 甲板漆 | 338 |
| 12.4.5 | 饮用水舱涂料 | 339 |
| 12.5 | 食品容器用环氧树脂涂料 | 340 |
| 12.5.1 | 环氧树脂/酚醛树脂涂料 | 341 |
| 12.5.2 | 环氧树脂/甲酚甲醛树脂涂料 (FM 涂料) | 342 |
| 12.5.3 | 环氧树脂/氨基树脂涂料 | 344 |
| 12.5.4 | 环氧树脂/聚酰胺树脂涂料 | 344 |
| 12.5.5 | 易拉罐内外壁涂料 (紫外光固化涂料) | 345 |
| 12.6 | 土木建筑用环氧树脂涂料 | 346 |
| 12.6.1 | 环氧树脂地坪涂料 | 346 |
| 12.6.2 | 水泥管道内外壁涂料 | 354 |
| 12.7 | 粉末涂料 | 355 |
| 12.7.1 | 环氧树脂粉末涂料的组分 | 357 |
| 12.7.2 | 环氧树脂/聚酯树脂粉末涂料 | 362 |
| 12.7.3 | 环氧树脂酚醛树脂防腐型粉末涂料 | 364 |
| 12.8 | 环氧树脂涂料的新动态 | 366 |
| 第 13 章 | 纤维增强环氧树脂基复合材料 | 367 |
| 13.1 | 层压成型法 | 368 |
| 13.1.1 | 预浸料的制备 | 369 |
| 13.1.2 | 层压工艺 | 370 |
| 13.1.3 | 玻璃布增强环氧树脂覆铜箔板 | 373 |

| | | |
|-------------|----------------------------|------------|
| 13.2 | 纤维缠绕成型工艺 | 378 |
| 13.2.1 | 概述 | 378 |
| 13.2.2 | 原材料及芯模 | 381 |
| 13.2.3 | 纤维缠绕规律 | 386 |
| 13.2.4 | 缠绕成型工艺及参数选择 | 394 |
| 13.2.5 | 缠绕机 | 397 |
| 13.3 | 拉挤成型工艺 | 405 |
| 13.3.1 | 拉挤成型工艺特点 | 406 |
| 13.3.2 | 拉挤成型用原材料 | 407 |
| 13.3.3 | 拉挤成型模具 | 409 |
| 13.3.4 | 拉挤成型工艺的发展及其应用 | 410 |
| 13.3.5 | 环氧树脂的RIM拉挤工艺 | 413 |
| 第14章 | 环氧树脂泡沫塑料及齿科材料 | 415 |
| 14.1 | 环氧树脂泡沫塑料 | 415 |
| 14.1.1 | 成型方法 | 415 |
| 14.1.2 | 性能 | 419 |
| 14.1.3 | 用途 | 422 |
| 14.2 | 环氧树脂齿科材料 | 422 |
| 14.2.1 | 可见光聚合型齿科修复材料 | 422 |
| 14.2.2 | 复合补牙材料 | 424 |