

庄爱玉 主编

# 中国粉末涂料 信息与应用手册

ZHONGGUO

FENMO TULIAO

XINXI YU YINGYONG SHOUC



化学工业出版社

庄爱玉 主编

# 中国粉末涂料

## 信息与应用手册

### ZHONGGUO

### FENMO TULIAO

### XINXI YU YINGYONG SHOUCE



化学工业出版社

· 北京 ·

本书本着专业性、指导性、全面性、系统性、可读性、科普性编写,全书共分三篇12章。第一篇是粉末涂料原材料篇,介绍了环氧树脂、聚酯树脂、丙烯酸树脂、热塑性树脂、助剂、颜填料;第二篇是设备仪器及前处理篇,介绍了制粉设备、涂装前处理、涂装设备、检测仪器;第三篇是粉末涂料篇,介绍了热固性粉末涂料、热塑性粉末涂料;另外还有企业信息及国内外粉末涂料助剂生产企业及其主要产品。

本书详细介绍了粉末涂料及其原材料、制粉设备、涂装设备和检验设备,每类产品按产品类型和功用归纳分类和汇总,从产品的生产工艺、特性、功能、应用上加以阐述。为用户企业选购产品 and 应用产品提供参考和指导。另外还特别组织了各类产品的生产、贸易企业信息及国内外粉末涂料助剂的主要产品信息,为应用企业和读者查找和购买产品提供参考。

本书可供粉末涂料、粉末涂料原材料、制粉设备、涂装设备、分析检验仪器的生产企业和粉末涂料涂装企业从事与粉末涂料技术相关的采购人员、销售人员、工程技术人员、管理人员和质量检验人员使用,也可供高等院校、科研院所、企事业单位的有关技术人员阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

中国粉末涂料信息与应用手册/庄爱玉主编. —北京:化学工业出版社,2011.12  
ISBN 978-7-122-12792-1

I. 中… II. 庄… III. 粉末涂料-技术手册  
IV. TQ637-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第231269号

---

责任编辑:仇志刚

文字编辑:向东

责任校对:战河红

装帧设计:杨北

---

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:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张32½ 字数635千字 2012年3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:168.00元

版权所有 违者必究

京化广临字2011—56号

## 编写人员名单

主    编：庄爱玉

副 主 编：朱卫兵

编    委：胡宁先  陈    刚  王树波

程振塑  李正仁  梁平辉

童国忠  吴国林  庄爱玉

姚林生  张树增  朱卫兵

# 前 言

近年来我国热固性粉末涂料产销量一直居全球第一的位置。随着各国对环保要求越来越严,传统的溶剂型涂料的发展受到限制,并随着粉末涂料行业发展,一批新的产品、新的技术相继被开发出来,低温固化粉末涂料,超耐候粉末涂料,丙烯酸粉末涂料,MDF用粉末涂料,玻璃、塑料用粉末涂料;超临界技术,金属粉末涂料的Bonding技术等相继投入市场。粉末涂料作为环保型涂料必将得到长足的发展。

本手册本着专业性、指导性、全面性、系统性、可读性、科普性为原则进行编写,全书共分三篇12章。第一篇是粉末涂料原材料篇,共6章,第一章是环氧树脂,第二章是聚酯树脂,第三章是丙烯酸树脂,第四章是热塑性树脂,第五章是助剂,第六章是颜填料;第二篇是设备仪器及前处理篇,共4章,第七章是制粉设备,第八章是涂装前处理,第九章是涂装设备,第十章是检测仪器;第三篇是粉末涂料篇,共2章,第十一章是热固性粉末涂料,第十二章是热塑性粉末涂料;另外还有企业信息等附录。

本书第一章主要由商新学、朱新宝编写;第二章、第三章由姚林生编写;第四章由田家强编写;第五章由胡宁先编写;第六章由葛扣根、谢品雄、陈绍斌、张亚茹编写;第七章主要由邹立建、张浩编写,其中第七节热塑性粉末涂料生产方法与制粉设备由李正仁编写;第八章由万军、韩琳编写;第九章由朱卫兵、李正仁编写;第十章第一节粉末涂料常规性能检验用仪器由吴国林编写,其中“十七、炉温跟踪仪”由刘日新编写,第二节其它分析仪器由童国忠、袁焕宁、何叶华、杜金朋编写;第十一章由朱卫兵编写;第十二章由田家强编写;附录由胡宁先编写。

参加本书编写的编委有陈刚、程振塑、胡宁先、李正仁、梁平辉、童国忠、王树波、吴国林、姚林生、张树增、朱卫兵、庄爱玉。

在本书的编写过程中得到多家企业的支持,以及行业许多专家和同仁们在许多技术问题上的认真指导和帮助,使本书的内容更充实和准确,对此表示衷心的感谢;另外还感谢化学工业出版社的支持和具体指导。在本书编写过程中,参考了国内外标准和已出版的一些教材和专著,在此向有关部门和作者表示衷心感谢!

由于本书编写时间较紧,收集资料时间有限、参加编写人员较多、又分散在全国各地,编写人员共同研究和讨论机会较少,在资料的收集、编写过程中,由于水平所限难免会有疏漏和不足之处,敬请读者谅解和批评指正。

编者

2011年9月

# 目 录

## 第一篇 粉末涂料原材料

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 环氧树脂                | 1  |
| 第一节 环氧树脂种类              | 4  |
| 一、缩水甘油醚类环氧树脂            | 4  |
| 二、其它类型环氧树脂              | 5  |
| 第二节 双酚 A 环氧树脂           | 6  |
| 一、合成                    | 6  |
| 二、双酚 A 环氧树脂的技术指标        | 12 |
| 第三节 其它环氧树脂              | 17 |
| 一、线型酚醛环氧树脂              | 17 |
| 二、邻甲酚甲醛环氧树脂             | 20 |
| 第四节 环氧型粉末涂料用固化剂         | 21 |
| 一、双氰胺                   | 21 |
| 二、加速双氰胺和改性双氰胺           | 21 |
| 三、咪唑类                   | 22 |
| 四、其它改性多元胺               | 23 |
| 五、多元酸                   | 23 |
| 六、多元酚                   | 24 |
| 七、酸酐                    | 24 |
| 八、二酰肼类                  | 25 |
| 第二章 聚酯树脂                | 26 |
| 第一节 粉末涂料用聚酯树脂           | 29 |
| 一、E-12 环氧树脂交联的端羧基饱和聚酯树脂 | 29 |
| 二、TGIC 固化的端羧基饱和聚酯树脂     | 31 |
| 三、HAA 固化的端羧基饱和聚酯树脂      | 33 |
| 四、—NCO 固化端羟基饱和聚酯树脂      | 33 |
| 五、四甲氧基甲基甘脲固化的羟基饱和聚酯树脂   | 38 |
| 六、紫外线固化不饱和聚酯树脂          | 39 |
| 七、低光、无光泽粉末涂料用饱和聚酯树脂     | 42 |
| 八、超耐候粉末涂料用聚酯树脂          | 44 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第二节 粉末涂料用聚酯树脂发展趋势 .....          | 45  |
| 第三章 丙烯酸树脂 .....                  | 46  |
| 一、热塑性丙烯酸树脂 .....                 | 47  |
| 二、热固性丙烯酸树脂粉末涂料 .....             | 49  |
| 第四章 热塑性树脂 .....                  | 53  |
| 第一节 热塑性树脂基本特性 .....              | 53  |
| 一、热塑性树脂与热固性树脂的区别 .....           | 54  |
| 二、热塑性树脂的基本性能 .....               | 54  |
| 第二节 聚烯烃树脂 .....                  | 56  |
| 一、聚乙烯 .....                      | 57  |
| 二、聚丙烯 .....                      | 59  |
| 三、聚氯乙烯 .....                     | 60  |
| 第三节 聚酯树脂 .....                   | 61  |
| 一、聚酯的生产概述 .....                  | 61  |
| 二、聚酯的性质 .....                    | 62  |
| 第四节 聚酰胺 .....                    | 62  |
| 第五节 其它热塑性树脂 .....                | 64  |
| 一、氟树脂 .....                      | 64  |
| 二、聚苯硫醚 .....                     | 65  |
| 三、乙烯-乙酸乙烯共聚物 .....               | 66  |
| 四、氯化聚醚 .....                     | 66  |
| 第五章 助剂 .....                     | 67  |
| 第一节 粉末涂料助剂及其应用 .....             | 67  |
| 一、助剂运用的目的 .....                  | 67  |
| 二、助剂的作用机制及其应用 .....              | 67  |
| 第二节 助剂的选择原则 .....                | 110 |
| 一、确立与基料树脂或其它助剂反应基团的配套性与适应性 ..... | 110 |
| 二、掌握助剂与涂料体系的相容性 .....            | 110 |
| 三、重视表面张力变化的影响 .....              | 112 |
| 四、认识助剂功能的局限性 .....               | 113 |
| 第三节 树立节能和环保意识 .....              | 114 |
| 一、粉末涂料的节能责任 .....                | 115 |
| 二、粉末涂料的环保责任 .....                | 116 |
| 第四节 助剂效果的检查与配方调整 .....           | 118 |
| 一、进入配方前的定性定量试验 .....             | 118 |
| 二、实样试验结果的分析 .....                | 118 |
| 三、实际生产工艺的考验和配方调整 .....           | 119 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第六章 颜填料          | 120 |
| 第一节 一般颜料的选用      | 121 |
| 一、无机颜料选择         | 124 |
| 二、有机颜料选择         | 133 |
| 第二节 特殊效应颜料的选用    | 142 |
| 一、金属效应颜料         | 143 |
| 二、珠光颜料           | 146 |
| 第三节 一般填料的选用      | 148 |
| 一、碳酸钙            | 149 |
| 二、硫酸钡            | 149 |
| 三、滑石粉            | 150 |
| 四、云母粉            | 150 |
| 五、高岭土            | 150 |
| 六、二氧化硅           | 150 |
| 第四节 颜色的测定        | 151 |
| 一、颜色的定义          | 151 |
| 二、色差的意义和单位       | 153 |
| 三、粉体涂料的色差测量和注意事项 | 153 |

## 第二篇 设备仪器及前处理

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第七章 制粉设备               | 156 |
| 第一节 制粉设备的用途、性能要求及分类    | 157 |
| 一、制粉设备各单机的作用           | 157 |
| 二、制粉设备的性能要求            | 158 |
| 三、各种单机的特殊性能要求          | 159 |
| 四、制粉设备的分类              | 160 |
| 第二节 制粉设备的主要结构及动作       | 161 |
| 一、混合机                  | 161 |
| 二、挤出机                  | 161 |
| 三、压片机                  | 163 |
| 四、磨粉机                  | 164 |
| 五、后混合机                 | 167 |
| 六、实验室设备                | 169 |
| 第三节 制粉设备的工作原理及对制粉生产的影响 | 170 |
| 一、混合机                  | 170 |
| 二、挤出机                  | 171 |
| 三、压片机                  | 174 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 四、磨粉机                   | 174 |
| 五、后混合机                  | 178 |
| 第四节 制粉设备的特点             | 179 |
| 一、不同产能设备的特点             | 179 |
| 二、不同安装方式设备的特点           | 179 |
| 三、不同结构设备的特点             | 181 |
| 四、不同用途设备的特点             | 182 |
| 第五节 制粉设备的选择             | 182 |
| 一、根据厂房条件选择设备            | 182 |
| 二、根据设备状况选择设备            | 182 |
| 三、从生产涂料的特性考虑设备的选择       | 183 |
| 四、实验室制粉设备的选择            | 184 |
| 五、实验室检测设备及仪器的选择         | 184 |
| 六、制粉辅助(配套)设备的选择         | 184 |
| 第六节 我国制粉设备的发展过程、现状及未来展望 | 186 |
| 一、我国制粉设备的发展             | 186 |
| 二、我国制粉设备的行业现状           | 187 |
| 三、我国制粉设备的发展             | 188 |
| 第七节 热塑性粉末涂料生产方法与制粉设备    | 188 |
| 一、机械粉碎法生产热塑性粉末涂料        | 189 |
| 二、化学粉碎法生产热塑性粉末涂料        | 192 |
| 三、干式混合法生产热塑性粉末涂料        | 193 |
| 四、复合粉碎法生产热塑性粉末涂料        | 194 |
| 第八章 涂装前处理               | 196 |
| 第一节 钢铁材料涂装前处理           | 196 |
| 一、涂装前脱脂                 | 197 |
| 二、钢铁除锈                  | 212 |
| 三、磷化前的表面调整处理            | 219 |
| 第二节 钢铁磷化                | 221 |
| 一、基本原理                  | 221 |
| 二、磷化膜的物理和化学性质           | 222 |
| 三、磷化分类与组成               | 223 |
| 四、磷化处理工艺                | 226 |
| 五、磷化膜的质量检验              | 232 |
| 六、磷化设备                  | 232 |
| 第三节 非铁金属涂装前处理           | 236 |
| 一、铝件表面处理                | 236 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 二、锌件表面处理·····            | 236 |
| 第四节 涂装前处理新技术·····        | 237 |
| 一、硅烷化处理·····             | 237 |
| 二、纳米陶瓷处理·····            | 239 |
| 第九章 涂装设备·····            | 241 |
| 第一节 静电喷涂原理·····          | 241 |
| 一、电晕放电式喷涂的静电原理·····      | 241 |
| 二、摩擦喷枪的喷涂原理与选择·····      | 245 |
| 三、电晕喷枪和摩擦喷枪喷涂的比较·····    | 248 |
| 第二节 静电喷涂设备的应用·····       | 249 |
| 一、粉末输送·····              | 250 |
| 二、高压源·····               | 251 |
| 三、喷枪·····                | 251 |
| 四、喷房·····                | 253 |
| 五、粉末回收·····              | 254 |
| 六、压缩空气·····              | 256 |
| 七、烤炉·····                | 256 |
| 第三节 涂装问题及解决·····         | 257 |
| 第四节 热塑性粉末涂装的方法及设备·····   | 261 |
| 一、流化床浸塑·····             | 261 |
| 二、静电粉末涂装·····            | 284 |
| 三、火焰粉末喷涂·····            | 287 |
| 四、幕帘散布粉末涂装·····          | 288 |
| 五、压送喷涂法·····             | 289 |
| 六、粉末回转涂装法·····           | 290 |
| 第十章 检测仪器·····            | 292 |
| 第一节 粉末涂料常规性能检验用仪器·····   | 292 |
| 一、粉末粒径及分布检测仪器·····       | 292 |
| 二、粉末涂料涂膜厚度测试仪·····       | 294 |
| 三、弯曲试验仪·····             | 296 |
| 四、涂膜冲击试验仪·····           | 297 |
| 五、杯突试验仪·····             | 299 |
| 六、涂膜耐磨性 (Taber) 试验仪····· | 300 |
| 七、涂膜划格试验仪·····           | 300 |
| 八、涂膜铅笔硬度试验仪·····         | 302 |
| 九、涂膜划痕试验仪·····           | 304 |
| 十、涂膜光泽试验仪·····           | 304 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 十一、涂膜颜色测试仪        | 306 |
| 十二、涂膜石击试验仪        | 307 |
| 十三、盐雾试验箱          | 307 |
| 十四、湿热试验箱          | 309 |
| 十五、冷热冲击试验箱        | 310 |
| 十六、人工加速气候环境试验仪    | 310 |
| 十七、炉温跟踪仪          | 311 |
| 十八、粉末/空气混合物流动性测试仪 | 314 |
| 第二节 其它分析仪器        | 316 |
| 一、红外光谱仪           | 317 |
| 二、热裂解器            | 322 |
| 三、色谱-质谱联用仪        | 326 |
| 四、差示扫描量热仪         | 330 |

### 第三篇 粉末涂料

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第十一章 热固性粉末涂料        | 336 |
| 第一节 热固性粉末涂料简介       | 336 |
| 一、粉末涂料基本概况          | 336 |
| 二、热固性粉末涂料的种类        | 339 |
| 第二节 粉末涂料的配方设计       | 345 |
| 一、粉末涂料基本配方设计要点      | 345 |
| 二、常见配方              | 346 |
| 第三节 氟碳粉末涂料及超细粉末涂料技术 | 399 |
| 一、氟碳涂料的发展和现状        | 399 |
| 二、粉末氟碳涂料的技术难点和最新进展  | 400 |
| 三、粉末氟碳涂料的优点         | 402 |
| 四、产品标准和涂层质量保证体系     | 403 |
| 五、超细粉末氟碳涂料          | 404 |
| 六、粉末氟碳涂料的局限和发展趋势    | 406 |
| 第四节 热固性粉末涂料生产工艺     | 407 |
| 一、生产工艺              | 407 |
| 二、实验设备和生产设备的应用      | 420 |
| 第五节 粉末涂料的应用         | 421 |
| 一、前处理涂膜的质量检验和判断     | 421 |
| 二、粉末涂料的选用           | 422 |
| 三、粉末涂料常见问题解析        | 431 |
| 四、粉末涂料安全数据          | 443 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第六节 粉末涂料的发展前景             | 446 |
| 第十二章 热塑性粉末涂料              | 448 |
| 第一节 概述                    | 448 |
| 第二节 原材料的选择                | 449 |
| 一、树脂                      | 449 |
| 二、颜填料                     | 449 |
| 三、其它                      | 450 |
| 第三节 配方设计                  | 450 |
| 第四节 生产工艺                  | 451 |
| 第五节 热塑性粉末涂料品种及性能          | 452 |
| 一、聚乙烯粉末涂料                 | 452 |
| 二、聚氯乙烯粉末涂料                | 454 |
| 三、聚酯粉末涂料                  | 455 |
| 四、聚酰胺(尼龙)粉末涂料             | 456 |
| 五、氟树脂粉末涂料                 | 459 |
| 六、其它热塑性粉末涂料               | 460 |
| 附录一 粉末涂料助剂生产企业及其主要产品      | 461 |
| 一、国外企业(按企业名称的英文字母排列)      | 461 |
| 二、国内企业(按企业名称的英文或汉语拼音字母排列) | 465 |
| 附录二 国内粉末涂料生产相关的企业名单       | 474 |
| 参考文献                      | 476 |

# 第一篇 粉末涂料原材料

## 第一章 环氧树脂

环氧树脂 (epoxy resin) 泛指含两个或两个以上环氧基  $\begin{array}{c} | & | \\ \text{C} & - & \text{CH} \\ | & / \backslash \\ & \text{O} \end{array}$  的脂肪族、

脂环族或芳香族为主链的高分子预聚物。环氧树脂的分子结构是以分子链中含有活泼的环氧基团为其特征, 环氧基团可以位于分子链的末端、中间或成环状结构。由于分子结构中含有活泼的环氧基团, 使它们可与多种类型的固化剂发生交联反应而形成不溶、不熔的具有三维网状结构的高聚物。绝大多数装饰性环氧树脂粉末涂料都是双酚 A 型环氧树脂 (化学结构式见图 1-1), 环氧当量为 680~850, 所用固化剂有多种, 如胺、酰胺、酚、有机酸 (酐)、有机酸盐及其加成物。最常用的固化剂是双氰胺、二酰肼、酸酐类固化剂、酚类固化剂、消光固化剂、咪唑类固化剂等。

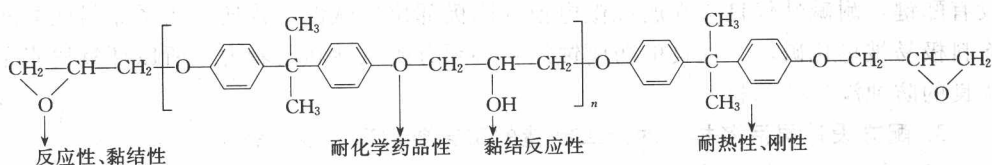


图 1-1 双酚 A 型环氧树脂化学结构及功能

粉末涂料用的双酚 A 型环氧树脂平均聚合度宜控制在 4~9 之间, 分子量分布不同, 树脂的性能与应用情况也有所改变。环氧当量 (EEW) 与分子量成正比, 随树脂分子量增加, 环氧基含量下降, 软化点相应提高, 固化产物具有较好的弯曲和抗冲击性, 粉末的储存稳定性也较好; 如果树脂分子量减少, 环氧基含量增加, 软化点相应偏低, 但它的活性反而较好, 交联密度增加, 固化产物附着力、黏结性和润湿性都优良。

对于粉末涂料, 如果采用 EEW 超出 680~750 范围的双酚 A 环氧树脂, 则树脂/固化剂比应当作适当调整。有时采用 EEW 低于 650 的双酚 A 环氧树脂制备低温固化的粉末涂料 [固化温度低于 250°F (121°C)], 但是这种树脂的玻璃化温度  $T_g$  很低 [可能低于 100°F (38°C)], 影响了体系的储存稳定性 (熔结稳定性)。

环氧树脂是环氧粉末涂料非常重要的树脂原材料品种, 其具有自身独特优势,

也存在固有的缺陷。

### 1. 极佳的附着力

环氧树脂本身只是一种半制品的涂料原料，经与各种不同的固化剂反应，充分交联之后才发挥其优良性质，最突出的是其与被涂覆基材的附着力。环氧树脂分子中含有极性的羟基、醚键等，即使对湿面也能有一定的附着，附着机理见图 1-2。

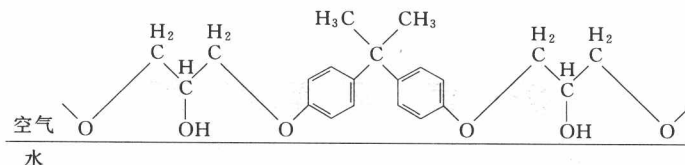


图 1-2 环氧树脂附着机理

有些树脂固化时体积收缩率高达 11%，产生高内应力，降低了附着力。环氧树脂固化时体积收缩率仅 2% 左右，而且环氧分子中的醚键使分子链柔软便于旋转，可消除内应力，所以附着力高。

### 2. 优良的耐化学性

环氧树脂中含有亲水的羟基及醚键，以及固化剂中的氨基虽会影响树脂的耐水性，但该树脂中的双酚 A 链段（二个苯环和一个亚丙基，共 15 个碳原子的烃基）则有疏水性，两个苯环的刚性屏蔽了羟基和醚键，保持了整体涂膜的耐水性。固化后的环氧树脂的玻璃化温度较高，有利于其耐水性。通用双酚 A 环氧树脂分子中没有酯键，耐碱性优良。在腐蚀微电池的阴极部位呈碱性，普通油脂系涂料或醇酸涂料极易被皂化破坏。优良的防腐蚀涂料必须有耐碱性和附着力，所以环氧树脂是优良的防蚀涂料的基料。

### 3. 配方设计灵活多样，对施工制造的工艺要求适应性很强

环氧树脂及固化剂品种丰富，配伍灵活；不同的环氧树脂固化体系分别能在低温、室温、中温、高温下固化，能在潮湿表面或水下固化，能快速固化或慢速固化。

### 4. 易紫外线老化

除特殊环氧树脂外，环氧树脂中含有醚键，涂膜经日光紫外线照射后易降解断链（见图 1-3）。所以环氧涂料不耐户外日晒，涂膜易失去光泽，然后粉化，不宜作面涂层。若必须用作户外，则必须加入足量能遮蔽紫外线的颜料，如铝粉、炭黑、云母氧化铁、石墨等，可阻缓粉化的速度。环氧涂料涂膜老化破坏主要表现为逐渐粉化而涂膜减薄，也有些涂料老化破坏出现龟裂。对防腐蚀涂料而言，龟裂比粉化更不利，在裂缝处会锈蚀，而且在维修重涂时，龟裂的表面必须填平后再涂，而粉化的表面揩净后较易重涂。环氧树脂老化降解机理见图 1-3。

由于环氧树脂的上述特性，决定了环氧粉末涂料多用于防腐用途和户内产品。在粉末涂料行业，环氧树脂体系的粉末涂料占有举足轻重的地位，市场占有率为粉

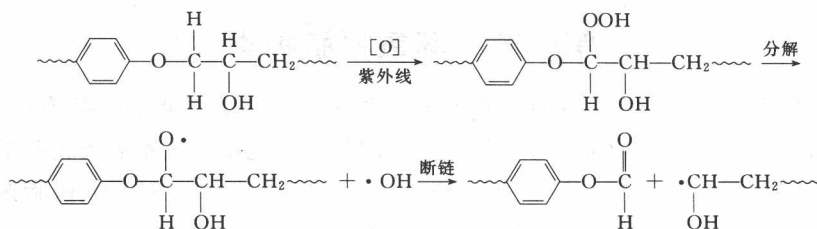


图 1-3 环氧树脂老化降解机理

末涂料总量的 1/2 以上。制作环氧型粉末涂料时选择合适的环氧树脂是配方设计的关键，没有任何一种环氧树脂可以解决所有问题。不同的环氧树脂各有其优缺点。许多环氧树脂可以相互配用，以实现技术要求。作为科技人员，要经常关注新的环氧树脂品种的开发情况，要有意识地从中寻找某些适宜的品种导入粉末涂料体系中，及时地利用新材料开发新的涂料品种或提升产品水平，加快技术进步。

一般来说环氧树脂应具备如下条件。

(1) 树脂的熔融温度和分解温度 树脂的熔融温度和分解温度之间的温度差要大，因粉末涂料成膜要经过高温烘烤，流平成膜。当两者之间温差相近时，一旦烘烤温度过高，易使树脂发生分解，不但影响涂膜外观，也影响涂膜性能。

(2) 树脂的熔融黏度 树脂的熔融黏度与树脂的分子量密切相关，分子量小黏度就低。而分子量太低，树脂的玻璃化温度就低，会导致粉末涂料的贮存稳定性下降。一般在满足粉末涂料涂膜性能的前提下，环氧树脂的熔融黏度越低越好，以便于粉末涂料成膜过程中熔融流平，形成平整美观的涂膜。

(3) 树脂的稳定性 粉末涂料是环保、高回收率利用型涂料。如果树脂的稳定性不好，在回收过程中粉末涂料发生物理或化学变化，而影响粉末涂料的品质。也只有树脂的稳定性好，才能保证粉末涂料的使用稳定性。

(4) 机械粉碎性 粉末涂料的生产过程，是熔融挤出、冷却破碎的过程。这就要求树脂在常温下容易机械粉碎，容易制造粉末涂料，而且制造的各种粉末涂料贮存稳定性好，在常温下不易结团。

(5) 熔融流平性 该树脂在粉末涂料烘烤固化温度条件下，熔融黏度低，配制粉末涂料后涂膜的流平性比较好。

(6) 熔融润湿性 该树脂对颜料、填料的分散性好，对不同固化剂和交联树脂的匹配性好，可以配制不同涂膜外观和性能要求的各种粉末涂料。

(7) 树脂的电性能 粉末涂料以静电涂装为主，粉末涂料的带电性主要决定于粉末涂料组成中的树脂。在选择粉末涂料树脂品种时一定要考虑到这个因素。

(8) 树脂的颜色 粉末涂料用树脂从粉末涂料的质量和配色考虑，树脂颜色最好是无色或颜色很浅。

(9) 树脂的来源和价格 从粉末涂料的品质和成本考虑，这两个因素不可忽视。

## 第一节 环氧树脂种类

环氧树脂的种类很多,并且不断有新品种出现。环氧树脂的分类方法也很多;按官能团数量分类,环氧树脂可分为双官能团和多官能团;按室温下树脂的状态分类,环氧树脂可分为液态、固态等;国标(GB/T 1630—89)对环氧树脂按其主要组成物质不同分类,规定了命名原则,并分别给以代号。例如,E——二酚基丙烷环氧树脂,ET——有机钛改性二酚基丙烷环氧树脂,EG——有机硅改性二酚基丙烷环氧树脂,EX——溴改性二酚基丙烷环氧树脂。

通常按其化学结构和环氧基的结合方式,环氧树脂大体上可分为五大类:①缩水甘油醚类环氧树脂;②缩水甘油酯类环氧树脂;③缩水甘油胺类环氧树脂;④脂环族类环氧树脂;⑤脂肪族类环氧树脂。

复合材料工业上使用量最大的环氧树脂品种是上述第一类缩水甘油醚类环氧树脂,而其中又以二酚基丙烷型环氧树脂(简称双酚A型环氧树脂)为主。其次是缩水甘油胺类环氧树脂。

### 一、缩水甘油醚类环氧树脂

缩水甘油醚类环氧树脂是由含活泼氢的酚类或醇类与环氧氯丙烷缩聚而成的。包括双酚A型环氧树脂、双酚S型环氧树脂、双酚F型环氧树脂等,最具代表性的品种是双酚A型环氧树脂等。

#### 1. 双酚A型环氧树脂

双酚A型环氧树脂是应用最广泛的树脂之一,占环氧树脂总产量的90%。在分子结构中含有羟基和醚键,固化过程进一步生成新的—OH和—O—,使固化物具有很高的内聚力和黏附力。因此可以对金属、陶瓷、木材、水泥和塑料进行粘接。另外,双酚A型环氧树脂属无毒树脂,其白鼠的最低口服致死量 $LD_{50}$ 为11.4g/kg。粉末涂料多选用牌号为E-12的环氧树脂。

#### 2. 双酚S型环氧树脂

双酚S型环氧树脂是由双酚S和过量环氧氯丙烷在碱性条件下缩聚得到的耐高温环氧树脂。双酚S为浅黄色固体,全名为4,4'-二羟基二苯双缩水甘油醚环氧树脂,胺类、酸酐、咪唑均能固化双酚S,其固化物具有热变形温度高、热稳定性能好的特点。这是因为分子中极性强的砜基— $SO_2$ —取代双酚A中的异丙基,提高了热稳定性;砜基改善了黏附力,增强了环氧基的开环活性。

#### 3. 双酚F型环氧树脂

双酚F型环氧树脂是由双酚F和过量环氧氯丙烷在碱性条件下,经醚化和闭环反应,缩聚而成的。低分子量双酚F型环氧树脂的黏度低,可用于碳纤维复合材料、玻纤增强塑料以及地下油井的灌封材料。

#### 4. 线型酚醛环氧树脂

线型酚醛环氧树脂是由低分子量酚醛树脂与环氧氯丙烷缩合,在碱性条件下,

经醚化和闭环反应，缩聚而成的。兼有酚醛树脂和环氧树脂的优点。线型酚醛环氧树脂包括有苯酚甲醛型、邻甲酚甲醛型环氧树脂等，它与二酚基丙烷型环氧树脂相比，在线型分子中含有两个以上的环氧基，因此固化后产物的交联密度大，具有优良的热稳定性、力学性能、电绝缘性、耐水性和耐腐蚀性。

线型酚醛环氧树脂一般黏度较高，从室温高黏度半固体到固体，平均官能度为2.5~6.0。

胺类、酸酐类和咪唑均能固化线型酚醛环氧树脂。在150℃以下固化线型酚醛环氧树脂比双酚A型环氧树脂具有更高的热变形温度。

### 5. 其它多羟基酚类缩水甘油醚型环氧树脂

这类树脂中具有实用性的代表有：间苯二酚型环氧树脂、间苯二酚-甲醛型环氧树脂、四酚基乙烷型环氧树脂，这些多官能缩水甘油醚树脂固化后具有高的热变形温度和刚性，可单独或者与通用E型树脂共混，供作高性能复合材料（ACM）、印刷线路板等基体材料。

### 6. 脂肪族醇多缩水甘油醚型环氧树脂

脂肪族醇多缩水甘油醚分子中含有两个或两个以上的环氧基，这类树脂绝大多数黏度很低；大多数是长链线型分子，因此富有柔韧性。

## 二、其它类型环氧树脂

### 1. 缩水甘油酯类环氧树脂

缩水甘油酯类环氧树脂和双酚A型环氧树脂比较，它具有黏度低，使用工艺性好；反应活性高；黏合力比通用环氧树脂高，固化物力学性能好；电绝缘性好；并且具有良好的耐超低温性，在超低温条件下，仍具有比其它类型环氧树脂高的黏结强度；有较好的表面光泽度，透光性、耐气候性好；但存在耐水、耐碱性差的不足。

### 2. 缩水甘油胺类环氧树脂

这类树脂的优点是多官能度、环氧基含量高，交联密度大，耐热性显著提高。国内外已利用缩水甘油胺环氧树脂优越的粘接性和耐热性，来制造碳纤维增强的复合材料（CFRP）用于飞机二次结构材料。

### 3. 脂环族环氧树脂

这类环氧树脂是由脂环族烯烃的双键经环氧化而制得的，它们的分子结构和二酚基丙烷型环氧树脂及其它环氧树脂有很大差异，前者环氧基都直接连接在脂环上，而后的环氧基都是以环氧丙基醚连接在苯核或脂肪烃上。脂环族环氧树脂的固化物具有以下特点：①较高的压缩与拉伸强度；②长期暴置在高温条件下仍能保持良好的力学性能；③耐电弧性、耐紫外线老化性能及耐气候性较好。

### 4. 脂肪族环氧树脂

这类环氧树脂分子结构里不仅无苯核，也无脂环结构。仅有脂肪链，环氧基与脂肪链相连。环氧化聚丁二烯树脂固化后的强度、韧性、黏结性、耐正负温度性能