



“十二五”国家重点图书
合成树脂及应用丛书

不饱和聚酯树脂 及其应用

■ 李玲 编著



化学工业出版社



国家重点图书
合成树脂及应用丛书

不饱和聚酯树脂 及其应用

■ 李玲 编著



化学工业出版社

·北京·

Preface 序



合成树脂作为塑料、合成纤维、涂料、胶黏剂等行业的基础原料，不仅在建筑业、农业、制造业（汽车、铁路、船舶）、包装业有广泛应用，在国防建设、尖端技术、电子信息等领域也有很大需求，已成为继金属、木材、水泥之后的第四大类材料。2010年我国合成树脂产量达4361万吨，产量以每年两位数的速度增长，消费量也逐年提高，我国已成为仅次于美国的世界第二大合成树脂消费国。

近年来，我国合成树脂在产品质量、生产技术和装备、科研开发等方面均取得了长足的进步，在某些领域已达到或接近世界先进水平，但整体水平与发达国家相比尚存在明显差距。随着生产技术和加工应用技术的发展，合成树脂生产行业和塑料加工行业的研发人员、管理人员、技术工人都迫切希望提高自己的专业技术水平，掌握先进技术的发展现状及趋势，对高质量的合成树脂及应用方面的丛书有迫切需求。

化学工业出版社急行业之所需，组织编写《合成树脂及应用丛书》（共17个分册），开创性地打破合成树脂生产行业和加工应用行业之间的藩篱，架起了一座横跨合成树脂研究开发、生产制备、加工应用等领域的沟通桥梁。使得合成树脂上游（研发、生产、销售）人员了解下游（加工应用）的需求，下游人员了解生产过程对加工应用的影响，从而达到互相沟通，进一步提高合成树脂及加工应用产业的生产和技术水平。

该套丛书反映了我国“十五”、“十一五”期间合成树脂生产及加工应用方面的研发进展，包括“973”、“863”、“自然科学基金”等国家级课题的相关研究成果和各大公司、科研机构攻关项目的相关研究成果，突出了产、研、销、用一体化的理念。丛书涵盖了树脂产品的发展趋势及其合成新工艺、树脂牌号、加工性能、测试表征等技术，内容全面、实用。丛书的出版为提高从业人员的业务水准和提升行业竞争力做出贡献。

该套丛书的策划得到了国内生产树脂的三大集团公司（中国石化、中国石油、中国化工集团），以及管理树脂加工应用的中国塑料加工工业协会的支持。聘请国内 20 多家科研院所、高等院校和生产企业的骨干技术专家、教授组成了强大的编写队伍。各分册的稿件都经丛书编委会和编著者认真的讨论，反复修改和审查，有力地保证了该套图书内容的实用性、先进性，相信丛书的出版一定会赢得行业读者的喜爱，并对行业的结构调整、产业升级与持续发展起到重要的指导作用。

袁晴棠

2011 年 8 月

Foreword 前言



不饱和聚酯树脂是现代复合材料技术中最早的聚合物基体品种，1940年美国成功制成不饱和聚酯树脂/玻璃纤维军用飞机的雷达罩，从此不饱和聚酯树脂及其复合材料受到工业界的关注，第二次世界大战后，不饱和聚酯树脂基复合材料迅速扩展到民用领域，如汽车车辆部件、船艇、风力发电机组部件、门窗、火车行李架、运动器材、节能设备、冷却塔、贮水箱、化工防腐设备、管道设备、活动房、冷库、波形瓦、卫生洁具、食品设备及游乐设备等。不饱和聚酯树脂在日常生活中的应用也很广泛，如家具涂料、胶黏剂、锚固剂、宝丽板、纽扣、仿玉工艺品、人造大理石、人造玛瑙和人造花岗岩等等。已成为国民经济建设不可缺少的重要材料。

本书主要介绍了不饱和聚酯树脂的发展、不饱和聚酯树脂的合成、固化及其改性，重点介绍了不饱和聚酯树脂的低压成型、缠绕成型、模压成型和拉挤成型等成型特点、方法和应用实例及各种成型方法对不饱和聚酯树脂的要求；同时介绍了不饱和聚酯树脂用于人造大理石、人造玛瑙和人造花岗岩及涂料的基体树脂的要求和特点及成型方法；不饱和聚酯树脂基复合材料的测试项目和测试方法、不饱和聚酯树脂基复合材料生产安全和废弃不饱和聚酯树脂基复合材料的回收利用也作了简单的介绍；基本上涉及到不饱和聚酯树脂应用的各个领域、工业生产方式及不饱和聚酯树脂的应用特征，还包含作者近些年的一些阶段性的研究成果。

本书可供从事不饱和聚酯树脂手糊产品制造、不饱和聚酯树脂基复合材料管道和型材料制造、从事 SMC 材料和 SMC 产品制造、人造石材和人造玛瑙等领域的科技人员和管理人员以及高校复合材料专业、高分子材料与工程和应用化学及其相关专业的师生阅读参考。

在完成之际，向所有关心、帮助和支持本书的各方面人士表示衷心的感谢。由于本书涉及的内容和专业知识广泛，加之作者的水平有限，难免存在种种疏漏，恳请读者批评指正。

李玲
2011-12-10



第1章 绪论——1

1.1 不饱和聚酯树脂的发展	1
1.1.1 我国不饱和聚酯树脂工业的发展历程	1
1.1.2 国外不饱和聚酯树脂工业的发展历程	2
1.1.3 不饱和聚酯树脂科学与技术发展	3
1.1.4 不饱和聚酯树脂的发展趋势	5
1.2 不饱和聚酯树脂的特性	6
1.3 不饱和聚酯树脂的应用	6
1.4 常用不饱和聚酯树脂种类	7
参考文献	10

第2章 不饱和聚酯树脂的合成、固化与制造——12

2.1 概述	12
2.2 不饱和聚酯树脂的合成	12
2.2.1 缩合聚合反应	12
2.2.2 不饱和聚酯树脂低聚物合成原理	14
2.2.3 原料分子结构对不饱和聚酯树脂性能的影响	15
2.3 不饱和聚酯树脂的制造与设备	21
2.3.1 不饱和聚酯树脂合成用设备	21
2.3.2 不饱和聚酯树脂的合成方法与质量控制	24
2.4 不饱和聚酯树脂的固化反应	35
2.4.1 不饱和聚酯树脂固化交联单体	35
2.4.2 不饱和聚酯树脂的交联固化反应原理	36
2.4.3 不饱和聚酯树脂固化特性与动力学参数	41
2.5 不饱和聚酯树脂的结构与性能	45
2.5.1 不饱和聚酯树脂的结构与性能的关系	46
2.5.2 不饱和聚酯树脂改性	50
2.6 乙烯基酯树脂的合成	53

2.6.1	乙烯基酯树脂低聚物的合成	54
2.6.2	乙烯基酯树脂的交联与固化	55
2.6.3	乙烯基酯树脂的品种	57
2.6.4	乙烯基酯树脂的改性	59
参考文献		66

第3章 不饱和聚酯树脂的低压成型 68

3.1	概述	68
3.2	手糊成型	68
3.2.1	手糊成型不饱和聚酯树脂的要求	69
3.2.2	手糊成型原料	70
3.2.3	手糊成型设备	74
3.2.4	手糊成型工艺过程	75
3.2.5	手糊成型质量控制	80
3.2.6	手糊成型的应用实例	81
3.3	喷射成型	84
3.3.1	喷射成型对树脂的要求	86
3.3.2	喷射成型设备	86
3.3.3	喷射成型工艺过程	93
3.3.4	喷射成型质量控制	94
3.3.5	喷射成型应用实例	96
3.4	树脂传递模塑	97
3.4.1	树脂传递模塑成型工艺的优缺点	97
3.4.2	树脂传递模塑成型工艺对树脂的要求	98
3.4.3	树脂传递模塑成型设备	100
3.4.4	树脂传递模塑成型工艺	102
3.4.5	树脂传递模塑成型的应用实例	103
3.5	袋压成型工艺	108
3.5.1	压力袋成型工艺的特点	108
3.5.2	压力袋成型所用原料和设备	109
3.5.3	真空袋成型工艺的特点	109
3.5.4	真空袋成型所用原料与设备	109
3.5.5	真空袋成型的工艺过程	110
3.5.6	袋压成型应用实例	110
3.6	夹层结构成型	110
3.6.1	夹芯材料	111
3.6.2	夹芯结构成型工艺过程	112
3.6.3	蒙皮成型工艺过程	114
3.6.4	夹层结构成型工艺过程	115

参考文献	116
------------	-----

第4章 不饱和聚酯树脂的缠绕成型————— **117**

4.1 缠绕成型工艺对不饱和聚酯树脂的要求	117
4.1.1 概述	117
4.1.2 缠绕成型工艺对不饱和聚酯树脂的要求	120
4.2 原材料	121
4.2.1 增强材料	121
4.2.2 缠绕用不饱和聚酯树脂	121
4.3 缠绕成型模具	122
4.3.1 芯模材料	122
4.3.2 芯模的结构	122
4.3.3 芯模设计	124
4.4 缠绕成型设备	128
4.4.1 概述	128
4.4.2 缠绕机的分类	129
4.5 缠绕成型原理	133
4.5.1 缠绕线型的分类	134
4.5.2 缠绕规律分析	136
4.5.3 缠绕规律设计	140
4.6 缠绕成型工艺设计	145
4.6.1 内压容器的结构选型	145
4.6.2 缠绕张力计算	148
4.6.3 缠绕线型的选择	150
4.7 缠绕工艺参数	152
4.7.1 纤维热处理	152
4.7.2 纱带浸胶与胶含量控制	152
4.7.3 缠绕张力	153
4.7.4 纱带宽度和缠绕位置	154
4.7.5 缠绕速度	155
4.7.6 固化制度的建立	155
4.7.7 缠绕制品的质量控制	157
参考文献	160

第5章 不饱和聚酯树脂模塑料的模压成型及其应用————— **161**

5.1 概述	161
5.1.1 模塑料及其分类	161
5.1.2 模塑料的用途	162
5.2 模塑料树脂的组成与选择	163

5.2.1	成型工艺对不饱和聚酯树脂的要求	163
5.2.2	成型工艺对不饱和聚酯树脂固化体系的要求	164
5.2.3	成型工艺对不饱和聚酯树脂阻聚体系的要求	164
5.2.4	不饱和聚酯树脂模塑料其他组分及作用	165
5.3	模塑料的配方设计	166
5.3.1	增稠方法	166
5.3.2	低收缩控制	169
5.3.3	配方设计	172
5.4	模塑料的生产工艺与设备	173
5.4.1	SMC 的生产工艺	173
5.4.2	SMC 的生产设备	177
5.4.3	SMC 的性能测试	180
5.5	模压成型工艺与设备	183
5.5.1	模压成型工艺	183
5.5.2	模压成型模具	187
5.5.3	模压成型质量控制	191
5.6	模塑料在汽车工业中的应用	195
5.6.1	在美国汽车工业中的应用	195
5.6.2	在欧洲汽车工业中的应用	196
5.6.3	在日本汽车工业中的应用	199
5.6.4	在我国汽车工业中的应用	200
	参考文献	203

第 6 章 不饱和聚酯树脂连续成型与应用————— **205**

6.1	概述	205
6.2	拉挤成型不饱和聚酯树脂的组成与特点	205
6.2.1	拉挤成型工艺的特点、发展、应用	205
6.2.2	拉挤原理	207
6.2.3	拉挤设备	208
6.2.4	拉挤工艺对树脂的要求	211
6.2.5	拉挤树脂的组成与选择	211
6.2.6	拉挤成型工艺参数	213
6.2.7	拉挤制品的设计	215
6.2.8	拉挤成型的质量控制	217
6.2.9	拉挤制品的实例	218
6.3	连续制管成型	220
6.3.1	连续制管成型工艺的发展、特点	220
6.3.2	连续制管成型对不饱和聚酯树脂的要求	220
6.3.3	连续制管成型工艺参数	221

6.3.4	连续制管成型设备	222
6.3.5	连续制管成型工艺过程	225
6.4	热固性和热塑性复合管连续生产	228
6.4.1	热固性和热塑性复合管材的特点、应用	228
6.4.2	成型原理	229
6.4.3	“EPF” 管材用不饱和聚酯树脂的特点	230
6.4.4	热固性和热塑性复合管材的生产工艺与设备	230
6.5	板材连续成型	231
6.5.1	板材连续成型工艺的发展、特点、应用	231
6.5.2	波纹板的连续成型对树脂和助剂的要求	232
6.5.3	波纹板的连续成型工艺过程	232
6.5.4	波纹板的连续成型设备	233
	参考文献	235

第7章 不饱和聚酯树脂的其他成型与应用 236

7.1	概述	236
7.2	不饱和聚酯浇注成型	236
7.2.1	浇注成型工艺对不饱和聚酯树脂的要求	237
7.2.2	浇注成型工艺对不饱和聚酯树脂固化体系的要求	237
7.2.3	浇注成型工艺对不饱和聚酯树脂阻聚体系的要求	238
7.2.4	浇注成型工艺对不饱和聚酯树脂低收缩性的要求	238
7.3	不饱和聚酯树脂人造石材	239
7.3.1	人造大理石用原材料	240
7.3.2	人造大理石制品的设计和工艺设计原则	242
7.3.3	人造大理石制造工艺与质量控制	242
7.3.4	人造大理石配方	243
7.3.5	人造大理石的应用	245
7.3.6	人造大理石的发展前景	248
7.4	不饱和聚酯树脂涂料	248
7.4.1	不饱和聚酯树脂绝缘漆	248
7.4.2	道路反光涂料	253
7.4.3	不饱和聚酯树脂涂料的新进展	256
7.5	泡沫塑料	264
7.5.1	泡沫塑料制造方法	264
7.5.2	发泡剂的选择	265
7.5.3	泡沫塑料性能的影响因素	266

7.5.4 不饱和聚酯树脂泡沫塑料制备实例	266
参考文献	268

第 8 章 不饱和聚酯树脂基复合材料的性能测试————— **270**

8.1 不饱和聚酯树脂复合材料的力学性能测试方法	271
8.1.1 力学试验方法总则	271
8.1.2 力学试验方法	272
8.2 电性能的测试方法	280
8.2.1 电阻率	280
8.2.2 介电性能	281
8.2.3 介电强度	282
8.3 热性能测试方法	282
8.3.1 热导率	282
8.3.2 线膨胀系数	283
8.3.3 马丁耐热	283
8.4 不饱和聚酯树脂基复合材料的阻燃性测试方法	284
8.4.1 氧指数法	284
8.4.2 水平法和垂直法	284
参考文献	286

第 9 章 不饱和聚酯树脂基复合材料的生产和使用安全与 环境安全————— **287**

9.1 不饱和聚酯树脂原料的毒性及使用安全	287
9.1.1 不饱和聚酯树脂常用原材料的毒性	287
9.1.2 不饱和聚酯树脂的使用安全与防护	289
9.2 不饱和聚酯树脂及其复合材料生产过程的安全与防护	291
9.3 不饱和聚酯树脂制品的环境安全	292
9.3.1 概述	292
9.3.2 热固性树脂基复合材料 SMC 的回收方法	293
9.3.3 不饱和聚酯树脂基复合材料新的回收利用方法	299
参考文献	305

附录————— **306**

附录一 国内不饱和聚酯树脂生产厂家	306
附录二 国内不饱和聚酯树脂出版物	315

第 1 章 绪论

所谓树脂是指用来制造聚合物制品所需要的高分子原料，凡未经加工的高聚物或低聚物都可称为树脂。聚酯是指由二元羧酸（或酸酐）和二元醇通过缩聚反应而得到的聚合物。聚酯树脂可分为两类：一类是饱和聚酯树脂，其分子结构中不含有非芳香族的不饱和双键，如聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚对苯二甲酸丙二醇酯（PTT）和聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）等，属于热塑性工程塑料，它们既可以通过纺丝工艺得到聚酯纤维，俗称“涤纶纤维”，也可以经压延或吹塑工艺获得薄膜和中空制品，如聚酯薄膜和饮料瓶、化妆品瓶和药瓶等；另一类是不饱和聚酯树脂（unsaturated polyester resins），它是由不饱和二元酸（或酸酐）、饱和二元酸（或酸酐）与二元醇缩合聚合而成的含有酯键和非芳香族不饱和双键的线型低聚物。其相对分子质量为 1000~3000，在引发剂的作用下可以与含有不饱和双键的化合物（如苯乙烯）发生交联反应，生成三维网状结构的体型聚合物。

1.1 不饱和聚酯树脂的发展

1.1.1 我国不饱和聚酯树脂工业的发展历程

我国不饱和聚酯树脂工业的研究工作始于 1958 年，至今已有 53 年的历史，其发展历程大致可分为以下 6 个历史阶段。

(1) 研制阶段（1958~1965 年）北京化工研究院是我国最早开展不饱和聚酯树脂研制工作的单位，此后，天津市合成材料工业研究所和上海新华树脂厂建成 2 台 500t 反应装置，它们是我国最早进行不饱和聚酯树脂工业化生产的单位。

(2) 形成生产能力阶段（1966~1976 年）1966 年常州建材 253 厂从英国 Scott-Bader 公司引进技术与设备，建成了 500t/年的生产装置；1968 年天津合成材料厂采用天津市合成材料工业研究所的技术建成了 150t/年的生产装置，为我国不饱和聚酯树脂工业的发展奠定了基础。进入 20 世纪 70 年代之后，随着几个重点企业的扩建改造，生产能力逐年扩大，1976 年不饱

和聚酯树脂的总生产能力达到 1.2 万吨/年以上，70 年代末我国的不饱和聚酯树脂工业已初具规模。

(3) 初级发展阶段 (1976~1985 年) 这一时期，国内市场对不饱和聚酯树脂的需求量猛增，年均增长率达到 20% 以上。1985 年全国不饱和聚酯树脂产量已达 4 万吨以上。

(4) 成熟阶段 (1986~1990 年) 我国于 1985 年成立了不饱和聚酯树脂行业协作组，于 1987 年颁布了不饱和聚酯树脂及其测试方法的国家标准，这些都标志着我国的不饱和聚酯树脂工业已进入成熟阶段，缩短了与世界先进水平的差距。

(5) 成长发展时期 (1991~2000 年) 这 10 年间，我国的不饱和聚酯树脂年均增长速率超过 20%，远远高于同期 GDP 的增长速率，到 1999 年国内不饱和聚酯树脂生产总量已达 32 万吨，而且国内市场不饱和聚酯树脂消费量已达 40 万吨以上。

(6) 高速发展时期 (2001~2010 年) 进入 21 世纪以来，随着中外合资企业和台资独资企业的增多，产品结构发生了很大的变化，产能产量也不断剧增，使我国的不饱和聚酯树脂产业跨上了飞速发展的道路。2001 年我国不饱和聚酯树脂的产量为 50 万吨，到 2003 年产量超过 72 万吨，进口 13.7 万吨，出口 7660 吨，实际消费量突破 85 万吨，超过美国和日本居世界首位。据有关文献报道，自 1995 年以来，我国不饱和聚酯树脂消费量年均增长 21%；2004 年我国不饱和聚酯树脂消费量达到 94 万吨；2008 年的消费量为 145 万吨，年均增长率为 16.3%；到 2010 年我国不饱和聚酯树脂消费量达到 170 万吨。表 1-1 是国内不饱和聚酯树脂历年产量。

■表 1-1 国内不饱和聚酯树脂历年产量

单位：万吨

年份	1976 年	1983 年	1985 年	1989 年	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年
消费量	1.2	2.37	4.08	4	4.5	6	8	11
年份	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年
消费量	13	15	16	20	22	32	38	50
年份	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
消费量	56	72	84	94	120	136	145	153

1.1.2 国外不饱和聚酯树脂工业的发展历程

世界不饱和聚酯树脂的主要生产、消费国家和地区是美国、西欧、日本和中国。国外不饱和聚酯树脂是 20 世纪初由美国首先实现工业化的，随后英国、法国、意大利、日本和德国于 50 年代初期也相继投产，经过半个世纪的发展，至 20 世纪末，国外不饱和聚酯树脂生产和消费的地区主要集中在美国、西欧和日本三大地区。1984 年全世界不饱和聚酯树脂的产量为 126 万吨，虽然 20 世纪 90 年代末由于受东南亚金融危机影响，发展

速度有所减慢,但最近几年已经回升,2004年世界不饱和聚酯树脂的产量达到333.4万吨,总消费量约为327.4万吨。

1986年日本不饱和聚酯树脂的消费量为18.6万吨,1990年上升为27.3万吨,2004年日本不饱和聚酯树脂产量为18.7万吨。据日本化学工业统计年报报道,日本2007年不饱和聚酯树脂产量为16.4万吨,比2006年的16.8万吨减少2%。

在1988年、1989年、1993年时,美国不饱和聚酯树脂消费量分别为62.6万吨、58.6万吨和74.2万吨,1996年为71.8万吨,其不饱和聚酯树脂设备年平均利用率为75%。到2000年时,实际生产量为88.4万吨,消费量为89.8万吨。美国2004年不饱和聚酯树脂产量为87万吨。

1.1.3 不饱和聚酯树脂科学与技术发展

随着生产的发展,不饱和聚酯树脂的技术也日益成熟,目前已逐步形成了一整套自己独特的生产、应用理论与技术体系。

1.1.3.1 理论方面

不饱和聚酯树脂理论的发展研究,对生产技术水平的提高具有重要的指导作用,这种作用主要表现在以下几个方面。

① 在对不饱和聚酯树脂合成过程中缩聚反应机理的研究中,建立了合成过程中缩聚反应机理的理论,能够对不饱和聚酯树脂分子结构及其平均分子量与分子量分布进行设计、分析、推导与计算,预测及控制不饱和聚酯树脂缩聚产物的分子量,合理地确定分阶段反应过程、取得分子链结构均匀的优质产品。在此基础上产生了间苯型、双酚A型、新戊二醇型等不同类型的树脂产品,丰富了不饱和聚酯树脂的品种,拓展了其应用领域。

② 掌握了不饱和聚酯树脂的凝胶特性与固化机理,为正确建立各种不饱和聚酯树脂基复合材料成型工艺制度奠定了基础,为不饱和聚酯树脂基复合材料基体树脂的配方设计提供了技术支撑,丰富了不饱和聚酯树脂的品种以满足成型工艺多样性的要求。

③ 对树脂老化机理的研究可指导树脂合成及应用中应采取的多种防老化的技术和措施,并取得了显著的成果。

④ 增稠机理和低收缩添加剂作用机理的研究成果,解决了片状模塑料(SMC)生产过程中树脂高流动性、制品的固化收缩率大的技术难题,使得不饱和聚酯树脂能够进行模压成型,从而使得不饱和聚酯树脂制品的生产进入能够大规模、高效率、低成本和生产优质产品的新阶段。在此基础上,开发了团状模塑料(DMC)、厚片状模塑料(TMC)、高强度模塑料(HMC)、定向纤维模塑料(ZMC)和高强度片状模塑料(XMC)等模塑料品种。

⑤ 现代复合材料理论的发展揭示了不饱和聚酯树脂基复合材料原材料、工艺、结构与产品性能之间的关系,为不饱和聚酯树脂基复合材料制品的结

构设计与计算、生产与应用领域的拓展以及产品的多样性与可靠性提供了理论依据。

1.1.3.2 技术方面

(1) **树脂的合成过程的自动化** 合成不同的不饱和聚酯树脂,要求设计具有不同加热系统、惰性气体管系统的反应釜;蒸馏柱的效率要高,热交换器要方便设置;自动称量配料,自动调节反应工艺参数;设计合理的添加剂输入及回流管线;设立相应的贮存、输送、回流等装置以便于各种原料加热熔融后的贮存与输送。现代科学技术与制造技术的发展使得不饱和聚酯树脂的合成向着自动化生产的方向发展,实现了不饱和聚酯树脂合成过程的精确控制,建立了不同的合成阶段标准的反应程序,从原料的液态贮存与输送到产品入库,实现了自动化生产,提高了生产效率和产品质量的稳定性;目前仅仅是熔融法间歇生产采用传统工艺路线;连续反应工艺路线也在不断地发展。

(2) **树脂的配方设计** 随着应用领域的扩大,树脂的加工成型方法也逐渐增多。从手糊、喷涂成型发展到袋压、注塑、模压、缠绕、离心、连续制板和拉挤等成型方法,使得成型工艺设备有 15 种以上,其机械化、自动化水平也逐步提高,增加了产品质量的稳定性,降低了成本,实现了高效率生产。这就要求所生产不饱和聚酯树脂的性能满足用户的要求,因此,用户对树脂性能的要求即为设计树脂配方的依据。在配方设计中已形成了较系统的设计原理,可以灵活地调节树脂的组分与添加剂以满足不同用户的需求:

① 二元酸和二元醇的化学结构及用量的调节可以获得不同分子链结构的不饱和聚酯树脂;

② 选用不同的引发剂或多种引发剂联用以满足不同固化性能要求;

③ 确保促进剂与阻聚剂的平衡,以调节树脂的凝胶时间、固化时间与放热峰温度,从而使树脂的固化工艺更加灵活与可靠;

④ 各种特性添加剂(包括触变剂、抗氧化剂、阻燃剂、光稳定剂、表面隔离剂、润湿剂、消泡剂、抗氧剂和表面活性剂等)的使用使树脂的品种和性能更为丰富。

(3) **新品种树脂** 阻燃树脂、耐热耐腐蚀型不饱和聚酯树脂、SMC 和 DMC 专用树脂的研制成功,扩大了不饱和聚酯树脂的应用范围,使不饱和聚酯树脂基复合材料的成型逐步实现机械化和自动化。乙烯基酯树脂是一类不饱和聚酯树脂新品种,展示出良好的前景。其他还有柔性树脂、强韧性树脂、低吸水性树脂、发泡树脂以及低挥发性树脂等品种。

(4) **检测分析与质量控制** 分析检验和质量控制的方法日趋完善,各种检验用的仪器也日益安全,建立健全了严格的树脂原材料的检验制度,对树脂中间产物以及混溶稀释过程和成品进行在线监测与检验,为合格、优质产品的入库和出厂提供了保障。

在不饱和聚酯树脂基复合材料制品的生产过程中采用了一系列的技术和

手段来保证产品的质量。用质子核磁共振仪对树脂的微观结构进行分析,可以研究分子结构和固化机理;用凝胶渗透色谱法可以分析树脂的分子量分布;用热分解色谱法可以研究交联产物的结构;采用超声波扫描以及放射性指示剂等方法可以探测复合材料制品内部可能存在的缺陷。

1.1.4 不饱和聚酯树脂的发展趋势

总结不饱和聚酯树脂的发展历程,不饱和聚酯树脂工业应该向着以下几个方向发展。

1.1.4.1 改进树脂配方,减少苯乙烯用量

从材料成本、树脂贮存、成型操作和固化特性以及最终应用性能来看,苯乙烯是当前最合适的单体,然而苯乙烯在室温下的蒸气压较高,易挥发,有刺激性气味,因此,应该通过改进树脂配方,减少苯乙烯的用量。另外,从保护环境的角度,也应该减少苯乙烯的用量,以新的交联单体替代或部分替代苯乙烯,避免或减少由苯乙烯挥发造成的环境污染。

1.1.4.2 改进生产工艺

提高不饱和聚酯树脂合成过程中的自动化程度和在线检测控制,在保证不饱和聚酯树脂性能稳定的前提下,提高劳动生产率,从而降低成本。

1.1.4.3 发展专用树脂

不饱和聚酯树脂通过共混改性,可提高其加工性能,增强材料的浸润作用以及与添加剂的相容性和固化物的力学性能,改善制品表面形态及制品质量的稳定性。不饱和聚酯树脂可通过嵌段、接枝共聚、互穿网络及双环戊二烯改性等化学方法,开发新型结构不饱和聚酯树脂,如透明树脂、低挥发性树脂、耐热耐腐蚀型树脂、低吸水性树脂、不饱和聚酯树脂基复合材料渔船专用树脂以及强韧性树脂等,提高产品性能,增加品种数量,扩大应用领域。

1.1.4.4 规模经济化

随着不饱和聚酯树脂基复合材料成型技术的发展,社会对树脂的品种和质量及数量要求越来越高,因此,不饱和聚酯树脂工业应向着集约化、大型化、产业化方向发展。不饱和聚酯树脂生产企业必须放眼未来,建设具有一定经济规模的生产装置,生产高质量、低成本的不饱和聚酯树脂,服务社会的各行各业。

1.1.4.5 不饱和聚酯树脂回收与利用

废旧的不饱和聚酯树脂基复合材料制品不易分解,会对环境产生一定的污染,因此,要积极开发不饱和聚酯树脂及其制品废物回收再利用的技术和提高不饱和聚酯树脂的使用寿命、延时老化的技术,并研发防老化的不饱和聚酯树脂及其制品。另外,也要积极利用原料的下脚料、其他行业的下脚料