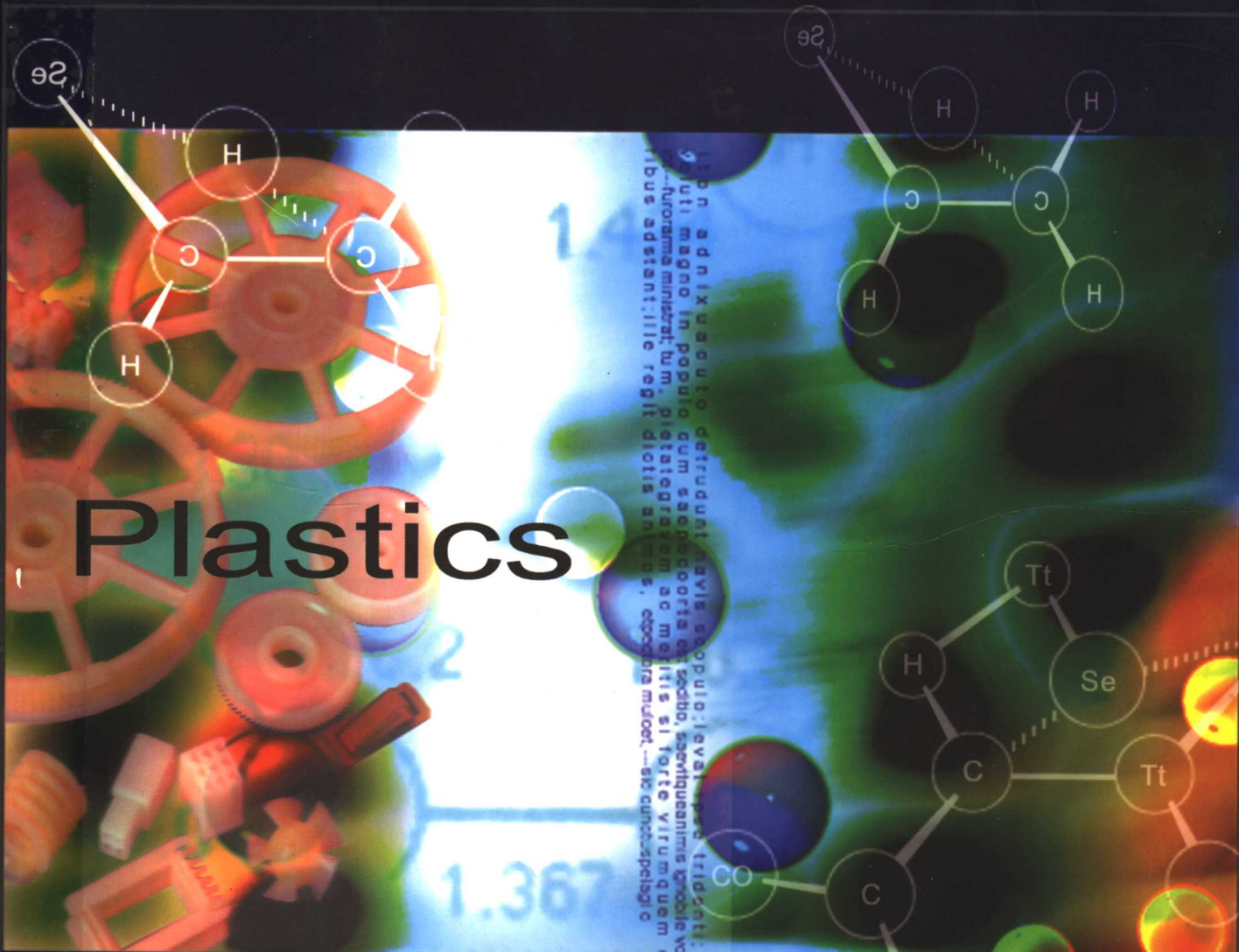




Plastics

2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会

论文集

余姚

2003 年 11 月

主办

中国工程塑料工业协会加工应用专委会
中国工程塑料工业协会塑料助剂专委会
第五届中国塑料博览会组委会

编辑出版《工程塑料应用》杂志社

序 言

“2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会”是中国工程塑料工业协会加工应用专业委员会、塑料助剂专业委员会和第五届中国塑料博览会组委会联合召开的一年一度的技术研讨会。本次会议在中国石油和化学工业协会、余姚市政府的大力支持下,与“第五届中国塑料博览会”同期在余姚市举行,赋予了“第五届塑博会”丰富的科技内涵,也使本届年会成为我国塑料行业的一次大规模、高水平、技经贸一体化的盛会。

为配合这次会议,《工程塑料应用》杂志社和《塑料助剂》编辑部从本次会议征集的众多来稿中遴选了 105 篇优秀论文,编辑出版了这本《论文集》。内容涉及有关塑料助剂和工程塑料的合成、改性、共混、着色、配混、生产、加工、应用、测试、模具、加工设备、文献综述、供需市场及预测等。

在这些论文中,有“工程塑料的发展和应用”、“我国 PVC 技术进展、供求分析及发展预测”、“塑料工程化研究新进展”和“无卤阻燃工程塑料”等对行业发展有指导意义的专论;也有“熔融共混法制造纳米塑料”、“聚合物纳米材料的制备与应用”及“CAE 技术在注射成型中的应用”、“液晶聚合物成型技术探讨”等反映塑料行业技术前沿最新发展的论文;还有“国内外塑料助剂进展及市场”、“塑料功能化助剂的应用现状及发展趋势”、“光稳定剂研究进展”和“世界塑料添加剂的新进展”等塑料助剂行业发展的最新动态和专项研究成果。

这百余篇论文,紧密结合科研、生产实际,内容丰富、技术水平高,集中研讨了工程塑料和塑料助剂行业人士关心的“热点”、“难点”问题,揭示当前我国塑料行业所面临的机遇与挑战,给塑料行业今后的发展指出了明确的方向。这百余篇论文,集中反映了我国工程塑料和塑料助剂蓬勃发展的现状,展示了我国工程塑料加工应用和塑料助剂领域的高新技术成果。它以丰富的内容、详实的资料为从事工程塑料和塑料助剂研究、生产和教学的同行们提供了一本不可多得的宝贵文集,架起了一座相互交流、共同发展的桥梁。

中国工程塑料工业协会加工应用专委会和塑料助剂专委会每年都将举办一次技术研讨会,希望广大会员单位,以及全行业的有志之士积极参与,把协会活动搞得更好,共同为推动我国塑料行业的发展而努力奋斗!

希望大家提出宝贵的意见和建议。

中国工程塑料工业协会加工应用专委会
中国工程塑料工业协会塑料助剂专委会
第五届中国塑料博览会组委会

2003 年 11 月

目 次

特邀报告

工程塑料的发展与应用	郑 恺(1)
我国 PVC 技术进展、供求分析及发展预测	张国民(4)
CAE 技术在注射成型中的应用	申长雨 王利霞 李 倩(8)
无卤阻燃 PA 最新研究进展	欧育湘 刘治国(16)
塑料工程化研究进展	吴春芝(19)
高分子材料功能助剂的应用现状和发展趋势	陈 宇 王朝晖(23)
非金属矿物在塑料工业中应用现状及发展趋势	刘英俊(34)
马来酸酐接枝 POE 对 PA6/纳米 CaCO_3 复合材料性能的影响	宋 波 黄 锐 魏 刚(45)
活性炭黑填充 PP 复合材料的交流电性能研究	丁乃秀 詹茂盛(47)
加强行业自律规范市场,促进 BOPET 薄膜行业健康发展	廖正品(52)

塑料助剂

世界塑料添加剂的新进展	谢鹤成(56)
稀土热稳定剂技术进展	蔡伟龙 郑玉婴 傅明连,等(61)
有机锡热稳定剂及其发展现状和趋势	王建军 张露露(65)
塑料助剂的发展趋势与粒化	奚天鹏 刘传义(68)
PVC 助剂新产品、新技术、新应用	蒋平平 崇明本 卢 云(70)
通用塑料耐热改性剂	包永忠 黄志明 翁志学(74)
蜜胺磷酸盐类阻燃剂	骆介禹 骆希明(78)
塑料抗静电剂复配技术	韦坚红 王坚毅(85)
金属离子钝化剂	王克昌 丁著明(89)
硬脂酸稀土对 PVC 的热稳定作用	吴茂英(93)
农用聚烯烃棚膜功能化助剂的开发应用与发展中有关问题的讨论	高继志(96)
无卤阻燃剂三聚氰胺多聚磷酸盐的性能及应用	李曙红 毛顺利(102)
SS-218 硫醇甲基锡热稳定剂生产的质量控制	王斌忠 江从宇 姚玉玲,等(104)
光稳定剂在农膜生产过程中的消耗对产品质量的影响	周大纲(107)
PVC 发泡调节剂 ZB-531 的研制	王敬刚 崔长永 王来伟(110)
新型固体催化剂 QS-6 合成 DOP 的研究	王文阁(112)
PVC-U 波纹管、加筋管复合稳定剂的开发及应用	金春花 俞建华(114)
浅议我国塑料助剂出口中的问题	张之龙(116)
磷系阻燃剂的研究与应用	梁 诚(118)
阻燃剂 2,3-二溴丁二酸二(2,3-二溴丙)酯的合成	王彦林 赵 鑫 牛 谦,等(121)
缩聚交联型氮-磷阻燃剂的合成及其在 PP/玻纤增强材料的应用	卢灿辉 陈 晓 陈珍明,等(124)
塑料着色剂对着色塑料制品中抗氧剂、光稳定剂效能的影响	李 杰(128)

有机硅在塑料加工中的应用	白 德 孙 肇(131)
苯多元羧酸酯类增塑剂合成	叶照坚 邱孟杰 李 青(135)

工程塑料

MAH 接枝 EPDM 增韧 PA66 的研究	杨 其 张小军 毛益民,等(138)
PC/ABS 合金体系中增容剂的制备	方少明 周立明 刘东亮(142)
MC 尼龙制备工艺中的技术难题的解决方案	孙向东 孙旭东 张慧波,等(144)
国内长链 PA 工程塑料的研发现状	李卫华(146)
聚苯硫醚的生产及应用	崔小明(148)
聚苯硫醚共混改性合金的研究进展	杨 其 佟 伟 杨 杰(154)
聚苯硫醚工艺与应用	冉文卿(158)
改性 EPDM 增韧 PA 的研究进展	杨 其 毛益民 黄亚江,等(163)
Al ₂ O ₃ /聚四氟乙烯基纳米复合材料研究	李学闯 苏衍良(166)
PA/ABS/ABS-g-MAH 共混材料低烟无卤阻燃试验	鲍志素(169)
异辛酸稀土改性 MC 尼龙的研究	孙向东 孙旭东 王 庆,等(171)
纳米环氧树脂的开发与应用	汪多仁(174)
高阻隔性可吹塑尼龙 6 复合材料的研究	戚嵘嵘 金 星 周持兴(177)
隔热耐热材料研究新进展	宋学智(180)
聚氨酯反应体系的固化和温度	王伟力 曾家友 钟玉芬(183)
大豆蛋白复合材料研究进展	汪广恒 周安宁(186)
高力学性能的硬质聚氨酯泡沫塑料及其研究的几点看法	王伟力 钟玉芬 王明松(189)
磁性塑料的开发与应用进展	汪多仁(191)
聚苯醚、聚丙烯酸酯、聚砜改性酚醛树脂及其老化性能	张 剑 齐暑华 殷万春,等(194)
LCP/TP 原位复合增强材料研究进展	胡立华 周安宁(196)
工程塑料发展现状和预测	钱伯章(200)

改性塑料

PP/Mg(OH) ₂ 复合体系界面和性能的研究	方晓萍 欧玉春 杨桂生(202)
PS/胶粉共混体系的研究	张保卫 谭英杰(205)
刚性粒子增强增韧聚烯烃复合材料的研究	欧玉春 方晓萍 杨桂生,等(208)
ABS 熔体流变性能研究	李青山 李 超 胡玉洁(211)
抗静电剂在 PP、PE 中的应用	李 涛(213)
氯化聚丙烯研究与开发进展	徐润华(216)
IFR-2000 阻燃聚丙烯热性能研究	何思列 李曙红 毛顺利(219)
聚合物共混体系相容性的研究	杨 其 罗 勇 杨静玮,等(221)
DOP 与 DBP 对 PVC 糊树脂性能影响的比较	王圣武 韩永芹(226)
抗静电辐射交联聚乙烯的制备与研究	姚圣鸿(229)
纳米聚丙烯的开发与应用进展	汪多仁(231)
高固含量剥离型纳米蒙脱土母料的制备及应用	谢松桂 盛仲夷(233)

纳米 PMMA	汪多仁(234)
---------------	----------

加 工

气体和液体辅助注射成型技术	张惠敏(238)
聚碳酸酯的注射成型工艺	吴利英(241)
液晶聚合物成型技术探讨	周坤鲁 卢 翔 岳艳梅(244)
解决模压制品开裂问题之浅见	吴利英(247)
母料及色母使用中工艺问题的解决方法	虞 林(248)
ABS 注射成型收缩率的研究	杨 其 王鹏驹 雷 军,等(251)
影响聚砒制品表面质量的原因分析和预防措施	李惠元(254)
垃圾塑料研制聚乙烯蜡	李雄辉 张治平(257)

应 用

农用塑料棚膜的光学设计应用研究	张颂培 李建宇 刘英俊(260)
负离子弹性膜的研制	李青山 胡玉洁 沈新元,等(265)
有机锡体系塑料门窗型材配方概述	郭文乐 蔡忠义(266)
稀土多功能稳定剂在 PVC 消防管中的应用研究	俞天明(268)
PVC-U 芯层发泡管材性能与结构的关系	马一青(270)
土工合成材料的质量控制问题	周大纲(274)
HDPE 双壁缠绕排水管材的性能与应用	倪士民 孙淑荣 李柏峰,等(276)
累托石在聚合物纳米复合材料中的应用	汪昌秀 赵连强 陈济美,等(278)
阻燃尼龙制品的表面着色	杨序平 周坤鲁(282)

模 具

塑料注射模具的二次开发	吴崇峰(285)
模具结构的优化设计	李 刚(289)

测 试

Kevlar 纤维表面改性及其表征	傅明连 王灿耀 蔡伟龙,等(291)
塑料模塑收缩率测定方法的讨论	杨 其 雷 军 杨 坤,等(293)

老 化

聚丙烯材料环境适应性行为规律	胡行俊(296)
----------------------	----------

设 备

注塑设备的技术改进	李 刚(298)
-----------------	----------

市 场

- ABS 树脂的生产方法及国内市场分析 李玉芳(300)
国内外塑料助剂进展及市场 钱伯章(305)

综 述

- 新型塑料添加剂抗菌剂研究进展 季君晖(310)
聚烯烃阻燃技术的研究进展及发展趋势 刘 芳 吴小华 林晓丹,等(318)
芳纶及其复合材料的发展与应用 王灿耀 傅明连 蔡伟龙,等(323)
聚乙烯农用防雾棚膜及防雾滴剂研究现状、发展趋势 张成业 朴贞顺 许 烨,等(329)
光稳定剂研究进展 张 亨(332)
提高塑料门窗异型材的质量,加速发展我国化学建筑产业 李生德(337)
可生物降解材料研究进展 孙佰平 赵 伟(338)
玻纤增强热塑性复合材料界面结晶行为研究进展 牛艳华 吴智华(341)
PVC 耐热性研究与应用进展 唐爱东 黄承焕 舒万良(345)
农用大棚膜消雾剂的应用、现状和发展 陈祖欣(350)
稀土助剂在塑料中的应用研究进展 郑 德(353)
2001~2002 年我国塑料助剂技术进展 王 玮 刘 琴 杨小玲(357)

2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集

主 办:中国工程塑料工业协会加工应用专委会

中国工程塑料工业协会塑料助剂专委会

第五届中国塑料博览会组委会

编辑出版:《工程塑料应用》杂志社

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

加工应用专委会秘书处·《工程塑料应用》杂志社

地址:济南市 108 信箱 邮编:250031

电话:(0531)5816706, 5947355

传真:(0531)5947355

电子信箱:master@engplastics.net

网址:www.engplastics.net

塑料助剂专委会秘书处·《塑料助剂》编辑部

地址:南京市钓鱼台 119 号 邮编:210006

电话:(025)6626096, 2269447

传真:(025)6620386

电子信箱:paia@jlonline.com

网址:www.cepaia.com

出版日期:2003 年 11 月

工程塑料的发展与应用

郑 恺

(中国工程塑料工业协会,北京 100084)

工程塑料一般是指能在较宽的温度范围内和较长使用时间,保持优良性能,并能承受机械应力作为结构材料使用的一类塑料。广泛用于机械零件、电子电气制品、仪器仪表结构部件和人们日常生活用品等各个方面。工程塑料在中国发展很快,随着我国电子、汽车、机械、建筑工业的不断发展,工程塑料行业正走向一个快速增长的阶段。

我国是一个发展中的国家,工程塑料工业发展水平与发达国家相差较远,基础相对薄弱,目前主要生产厂大都是由科研院所和中小企业发展而来,资金实力与技术力量还很落后,随着国民经济现代化发展的步伐加快,各个领域对工程塑料的需求不断增长,供需矛盾十分突出,远远满足不了国民经济各部门和人民生活日益增长的需要,2001年五大工程塑料实际用量为50万t,比2000年增加10.8万t,增涨幅度为26.9%,是1999年的1.54倍。我国加入世贸组织后,加工行业发展迅速,工程塑料的需求量不断增加,一方面体现在进口树脂量的增长,另一方面体现在国内工程塑料改性行业加快发展速度,仅2001年在珠江三角洲一带,新上塑料改性生产线190多条,预计新增生产能力60万t,其中用于工程塑料改性的生产线40条,可形成年产超过8万t的生产能力。

近年来国外企业也纷纷来华投资建立改性加工厂,如GE在番禺建的掺混工厂三年内从2.5万t/a扩大到了6.3万t/a,在上海又建了一套2.5万t的工厂,2003年也将建到6万t;杜邦在深圳建立了POM改性工厂;普利万在苏州;DSM在江阴;罗地亚在上海;日本宝理、旭化成在上海都建有改性工厂;台湾晋伦、耐特、长春、南亚、中刚、国桥、奇美;香港毅兴行等也都在中国建有改性厂,另外还有一些国外厂商计划在中国设厂,如拜耳、帝人、BASF、出光、三菱、旭化成、大日本油墨等,这些国外公司的进入,将进一步推进国内工程塑料的生产水平和技术水平的提高,同时也将进一步加剧国内的市场竞争。

表1表2列出了我国近年来工程塑料的需求状况和进口情况。

表1 我国近年来工程塑料的需求量 万t

品种	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	平均增长率
PA	6.2	6.7	8.32	12	13.8	22.85%
PC	8.7	13	16.4	21.3	36	43.5%
POM	6.6	8.3	9.6	10.7	13	18.65%
PBT/PET	2.4	3.6	4.1	4.4	5.6	24.6%
MPPPO	0.57	0.9	0.98	1.5	1.8	25.6%
合计	24.47	32.5	39.4	50	70.2	30.3%

表2 近年来进口工程塑料的情况 万t

品种	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	年均增长率
PA	11.75	15	19.36	13.37	18.3	12.57%
PC	10.88	16.05	23.64	26.57	41.5	40.85%
POM	6.34	9.06	10.82	10.9	13.6	21.86%
PBT	1.9	2.1	2.2	2.3	3.3	15.82%
MPPPO	30.45	0.89	0.96	1.3	1.7	21.8%
合计	107.1	43.4	56.98	54.44	78.4	25.6%

1 聚酰胺

由于聚酰胺(PA)独特的低比重、高拉伸强度、耐磨、自润滑性好、冲击韧性好,具有刚柔兼顾的性能,加上在我国应用历史悠久,因此应用领域较为广泛,主要用于机械行业、交通运输行业、低压电器和民用工业。近几年来,通过改性和共混、填充,性能提高很多,品种也增加不少,产量也有大幅度提高。

2001年国内聚合能力为52万t,产量43万t,用于工程塑料的改性树脂量只占其中的5%,其它均为纤维制品;BOPA和复合薄膜以及工程塑料改性树脂绝大部分仍依靠进口。工程塑料主要消费领域是机械工业、电子、电气、汽车行业和部分民用产品其中汽车工业,运输业和包装行业将成为新的消费增长点。

在机械行业中PA以生产电动工具、气动工具为主,约占该行业总消费量的55%,在电器行业中以生产空气开关、断路器为主,约占该行业消费量的40%。汽车行业目前主要用于电器联接件,水箱水室,发动机装饰罩,正时齿带罩等。随着我国汽车行业的快速发展,材料消费结构也正向国际化靠拢,今后汽车的进气歧管、发动机气缸盖、罩盖也将采用PA,一汽已在江苏建立了PA进气歧管的生产厂,二

汽也有计划自己加工进气歧管。(目前 PA 进气歧管全部依靠进口)可以说:今后两年汽车行业是 PA 最大的潜在消费市场。

在改性技术方面,PA 合金近几年发展较快,各种牌号的改性 PA 与合金被广泛应用到各个领域,通过改性,不但能提高 PA 的冲击性能等力学性能、流动性能,还能提高 PA 的表面光洁度,而且还可以在增加矿物质填充量的情况下不影响外观,减小树脂的吸水变形。

在树脂合成技术方面,长碳链 PA 成为了中外观注的热点,我国自行研制开发的 PA1212、PA1313,已在国外引起了反响,上海赛路化工的 PA11 也引起国际市场的普遍关心。2001 年我国 PA 市场的消费结构见表 3。

表 3 PA 的市场消费结构

汽车	电子电气	机械行业	轻纺行业	包装行业	其它	合计
20%	30%	31%	4%	11.7%	3.3%	100%

2 聚碳酸酯

聚碳酸酯(PC)是一种综合性能优异的热塑性树脂。PC 具有优良的抗冲击强度、延伸性、尺寸稳定性、耐热性和耐寒性,透明性能良好,无毒、卫生、能着色,在国民经济各行业中有着广泛的用途。

在机械工业中,PC 可用来制作齿轮、齿条、蜗杆、螺帽等。在电子仪表行业中,PC 用于制作电器工具的外壳、仪表屏、计算器(机)和商业设备的外壳、垫片等。在安全及医疗器械方面,制作安全帽、防爆玻璃,做医疗器械、器皿能耐较高温度消毒。在建筑、照明工业上,主要是用作透明板材、建筑玻璃、路灯罩、指示标牌等。在包装材料方面,PC 主要用于生产饮用水桶和瓶、饮料瓶、牛奶瓶和家用食品容器等。在交通运输方面,可用于制造飞机、汽车、船的窗玻璃、灯、仪表盘以及汽车保险杠等。在其它应用领域,主要用于制造纺织用纱管,还可以用于制造如杯、盘、烤面包器、保温瓶、电吹风壳、电熨斗等日用品,以及用于文体器材及工业包装等。

PC 与其它材料共混,形成 PC 合金,其性能会更加完善,能适应多种独特的性能和需要。作为聚合物共混的 PC 类合金历史非常久,还在 PC 刚刚开始销售时就开发了 PC/ABS、PC/PE、PC/PMMA 等合金,随后 PC/PBT 类合金也开发出来。目前 PC/ABS 合金市场开发已活跃起来,在汽车和办公室自动化方面都需要大量的 PC/ABS 合金。如电脑外围设备、OA 设备、手提电话、电池及充电器外壳大量

使用 PC/ABS 合金。

PC 用量最大的方面还是光盘和 CD-ROM 等信息存储产品。2001 年仅光盘消费量就达到 6.7 万 t,2002 年约 10 万 t,2002 年较 2001 年 PC 用量增加 50% 以上,光盘用量的增长也起着关键的作用。目前光盘在工程塑料中是单一品种用量最大的产品。PC 在建材方面主要是生产阳光板。在机械行业用于电锤和空心钻以及食品加工机械和厨房设备,医疗器械等方面。在纺织行业原来 PC 主要用来加工纬纱管,纱管的用量占全国 PC 消费量的 40%,但近几年纱管基本用再生料加工,所以轻纺行业 PC 用量明显降低。在包装行业主要是用于生产 5 加仑饮水瓶和旅行杯、奶瓶。近几年相对用量也有所下降。我国 PC 的消费结构见表 4。

表 4 PC 的消费结构

汽车	电子电器	机械	建材	轻纺	包装	光媒体	其它	合计
4.7%	20.6%	10.6%	14%	2.8%	7%	31.3%	10%	100%

3 聚甲醛

聚甲醛(POM)具有优越的力学性能和化学性能。目前在国内使用较多的是生产精密度高的小模数齿轮,精密仪器计量仪表部件,塑料拉锁、纽扣、卡扣、窗帘导轨、打火机部件、自来水龙头、管道阀门和农用机械。由于它耐磨且润滑性好也用作轴承和一些机械部件以及承担动力体系的零部件。POM 本身无毒,自洁,不污染环境,因此也被用于食品加工业和乳制品机械。

目前我国已有 POM 生产装置三套。云天化引进波兰技术建造的 1 万 t/a 装置,已将能力提高到 1.5 万 t/a,并准备再上一套同样装置,将生产能力提高到 3 万 t/a。吉林石井沟的装置已经恢复生产,上海溶剂厂也准备将原有的 3000 t/a 装置改造并恢复生产,并扩充为 2 万 t/a 的生产能力。日本宝理公司已决定在南通建 6 万 t/a 的 POM 厂,杜邦、旭化成决定在张家港建设一期 2 万 t/a 二期为 6 万 t/a 的 POM 厂。两个工厂都将于 2004 年建成 2005 年正式投产。

改性厂在国内有两个,一个是杜邦在深圳 1 万 t/a 的改性厂和宝理在上海 2500 t/a 的改性厂,预计到“十五”末期我国将有 9 万 t/a POM 产量,2001 年我国 POM 的消费结构见表 5。

表 5 2001 聚甲醛的消费结构

汽车	电子电器	机械	轻纺	其它	合计
8.3%	29%	8%	30%	24%	100%

4 热塑性聚酯

热塑性聚酯是一个比较大的家族,它包括了聚对苯二甲酸乙二酯(PET)、聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)、聚对苯二甲酸环己烷二酯(PCT)和聚对苯二甲酸丙二酯(PTT)、以及聚芳酯、聚酯弹性体等。其中作为工程塑料最常用的是PBT和PET。

PBT首先由塞拉尼斯公司1964年开发成功,于20世纪70年代以玻纤增强形式投放到市场。PBT工程塑料凭借其优异的综合性能广泛用于电子电气、汽车、机械、照明等行业。我国PBT树脂于20世纪80年代初开始生产,目前聚合生产能力已超过35 kt/a,在五大工程塑料中是开发最成功的一个。2002年树脂产量18 kt,改性PBT产量24 kt,但同国外相比,在技术水平、生产规模和市场竞争力方面,还存在着一定差别,进口树脂和进口改性粒料仍然占据了大部分的市场份额。

国外有汽车电子两大块市场,国内一直以电子电气行业为主。汽车消费不超过10%,而美国和日本PBT在汽车行业的消费量均超过了50%。国产PBT市场主要集中在节能灯方面,高性能高附加值的产品却为国外产品所占领。据说三房巷集团的30%玻纤增强PBT经过多年的改进,各项指标已基本与Valox420seo一致,有望进入高端产品市场。

PET的耐热性和表面光洁度都高于PBT,目前在国内应用较多的是杜邦FR530,国内也有几家工厂正在试生产,力争替代进口材料。PEN和PCT都是新型高性能工程塑料,但由于原料来源问题短期内较难形成生产规模。表6列出了2001年PBT/PET的消费结构。

表6 2001年PBT/PET的消费结构

汽车	电子电器	机械行业	轻纺	其它	合计
7%	73%	8%	3%	9%	100%

5 改性聚苯醚

改性聚苯醚(MPPO)是一种电性能优异,耐热性、阻燃性、耐热水性和耐候性都非常好的材料,长期使用温度在-120~120℃,在-40~80℃范围内其力学性能随温度、湿度的变化很小,相对密度小(仅1.06 g/cm³),因此广泛用于电子、汽车、办公设备、医疗器械、航天航空等领域。目前国内用量在15 kt/a左右。20世纪90年代初,我国曾建成两套聚合装置,形成了2 kt/a树脂生产能力的4 kt/a的掺混能力,但目前已停产,只剩下国内其他几个共混工厂,日超工程塑料、北京市化工研究院、福建多菱、

上海树脂所均有规模生产共混改性装置,产量在4 kt/a左右。最近在山西芮城准备新上一套1万t/a MPPO的聚合装置。表7列出了MPPO的消费结构。

表7 MPPO的消费结构

汽车	电子电气	机械行业	轻纺	其它	合计
15.4%	63%	5%	2.3%	14.3%	100%

6 工程塑料的市场预测

表8列出我国工程塑料的市场预测。

表8 工程塑料的市场预测

年份	PA	PC	POM	PBT PET	MPPO	合计
2003	16.5	40	14	6.8	2.2	79.5
2005	21	56	18	10	3	108
2010	40	78	25	18	6	167

7 行业的发展预测与建议

工程塑料是电子信息、交通运输、航空航天、机械制造业的上游产业,在产业循环中占据着有利的地位,其发展不仅对国家支柱产业和现代高新技术产业起着支撑和先导作用,同时也推动着传统产业改造和产品结构的调整。因此,加速发展和提高产业的竞争能力,已成为国家实施可持续发展战略的重要组成部分。

发展我国自己的工程塑料产业,首先要解决树脂的聚合技术与聚合工艺,着重发展一些有自主知识产权并能实现工业化生产的项目。加强工程塑料专用树脂的开发工作。本着有所为有所不为的精神对那些根本不具备竞争能力的项目暂时放一下,集中有限的资金,技术力量完成几项有竞争优势的树脂项目,解决一些行业发展中的关键问题,切实做好以下几个方面:

(1)逐步转变投资主体,加大投资力度。中石油、中石化等大型企业的介入,是提高我国化工竞争力的需要也是企业本身提高经济效益的需要。

(2)突破产业化瓶颈,重点开发自己专有技术和专利技术。

(3)扶持优势企业发展,加强行业统筹与协调,逐步规范市场秩序。

(4)加强引进外资,引进技术,加速产业化进程。

工程塑料的改性技术,在工程塑料工业的发展与应用中起着至关重要的作用。世界各大工程塑料

(下转第33页)

我国 PVC 技术进展、供求分析及发展预测

张国民

(中国氯碱工业协会, 天津 300020)

摘要 介绍我国 PVC 的品种、生产规模、生产技术及装备、消费状况等, 并对我国 PVC 发展前景进行了分析和预测。

关键词 聚氯乙烯 生产技术 市场 预测

聚氯乙烯(PVC)是我国的重要有机合成材料, 其产品具有良好的物理性能和化学性能, 广泛用于建筑、工业、农业、包装、电力、公用事业等领域。另外 PVC 作为最大的耗氯有机产品, 对我国氯碱工业的发展、碱氯平衡等具有极其重要的作用。随着市场经济的发展, PVC 的品种、生产技术等都在不断发展, 现对我国 PVC 技术、供求等进行分析和预测。

1 我国 PVC 现状

目前, 我国 PVC 生产企业有近 70 家(未包括我国台湾省), 2002 年生产能力 450 万 t, 产量 339 万 t, 2003 年 1~6 月的产量 194.5 万 t, 居世界第二位。

1.1 我国 PVC 生产企业分布

我国 PVC 生产企业主要集中在东部沿海地区。2002 年产量超过 10 万 t 的 10 个省市(见表 1)合计产量占全国总产量 84.8%, 2002 年产量最大的省市为天津市, 合计产量占全国总产量 16.5%。

表 1 2002 年我国 PVC 产量超过 10 万 t 的省市

省 市	产量/万 t	占全国比例/%
天津	56	16.5
江苏	45	13.3
山东	41	12.1
河北	33	9.7
上海	31	9.1
四川	23	5.9
辽宁	20	6.8
北京	14	4.1
河南	14	4.1
黑龙江	11	3.2

1.2 我国 PVC 生产企业装置规模

我国 PVC 生产企业平均规模近 7 万 t。从总体上看, 生产企业装置规模有一定差异。2002 年 PVC 产量超过 20 万 t 的企业有 5 家(见表 2 和表 3), 分别为上海氯碱化工股份公司 27.9 万 t、沧州化工实业集团公司 25.2 万 t、齐鲁石化氯碱厂 23.6 万 t、天津大沽化工有限责任公司 24.1 万 t、天津乐金大沽化学有限公司 21.4 万 t, 合计 122.2 万 t, 占全国总

产量的 36.1%。2002 年 PVC 产量 10~20 万 t 的企业有 8 家(见表 2 和表 3), 分别为锦化集团公司 16.7 万 t、北京化二股份公司 13.9 万 t、苏州华苏塑料有限公司 13.0 万 t、宜宾天原 12.6 万 t、四川金路 10.5 万 t、天津化工厂 10.4 万 t、无锡格林艾普化工股份公司 10.1 万 t、江苏华东化工股份公司 10 万 t, 合计 97.2 万 t, 占全国总产量的 28.7%, 2002 年 PVC 产量 5~10 万 t 的企业有 9 家, 合计产量 59 万 t, 占全国总产量的 17.4%。

表 2 我国 PVC 生产企业装置规模分布状况

装置规模/万 t	2002 年产量/万 t	占全国比例/%
>20	122.2	36.1
10~20	97.2	28.7
5~10	59	17.4
<5	60.6	17.8
合计	339	100

表 3 2002 年我国 PVC 产量 10 万 t 以上生产企业明细表

企 业	产量/万 t
上海氯碱化工股份公司	27.9
沧州化工实业集团公司	25.2
齐鲁石化股份公司	23.6
天津大沽化工有限公司	24.1
天津乐金大沽化工公司	21.4
锦化集团公司	16.7
北京化二股份公司	13.9
苏州华苏塑料有限公司	13.0
宜宾天原	12.6
四川金路	10.5
天津化工厂	10.4
无锡格林艾普化工股份公司	10.1
江苏华东化工股份公司	10.0

1.3 原料路线

目前, 我国 PVC 生产工艺有乙烯氧氯化法、电石法、引进 VCM 单体和 EDC 原料法等。2002 年各生产方法构成比例为: 电石法生产 181 万 t, 占全国总产量比例为 53.4%; 乙烯氧氯化法生产 68.0 万 t, 占全国总产量比例为 20.1%; 进口 VCM 生产 74.5 万 t, 占全国总产量比例为 22%; 进口 EDC 生

产15.5万t,占全国总产量比例为4.5%。2002年,上海氯碱化工股份公司、齐鲁石化股份公司、北京化二股份有限公司、天津大沽化工厂基本上以乙烯氧氯化法工艺生产装置为主,锦化氯碱股份有限公司虽然有8万t乙烯氧氯化生产装置,但由于国内乙烯供应问题,基本以进口原料生产为主。沧州化工实业集团公司是我国引进EDC原料生产的最大企业。其它乙烯氧氯化法生产企业也有部分引进EDC原料生产。进口VCM的生产企业基本上集中在华东地区,其它地区也有少量企业。不同生产方法生产的PVC产量分布见表4。

表4 不同生产方法生产PVC的产量分布

生产方法	产量/万t	所占比例/%
乙烯氧氯化法	68	20.1
电石法	181	53.4
进口VCM法	74.5	22.0
进口EDC法	15.5	4.5
合计	339	100

1.4 聚合工艺

我国PVC聚合工艺同国外其它国家相同,以悬浮法为主。悬浮法树脂产量326.1万t/a,占全国总产量96.2%,乳液法树脂产量12.9万t/a,占全国总产量3.8%。

2 PVC技术进展状况

2.1 生产技术及装备状况

目前,我国PVC主要生产企业的技术及装备均采用国外先进生产工艺,主要有上海天原集团公司、齐鲁石化总公司引进日本信越公司技术,年产20万t悬浮法PVC生产装置;北京化二股份公司、锦化集团公司、福州东南电化集团公司引进美国古德里奇公司的生产技术;沧州化工股份公司、大沽化工厂及上海天原集团公司、北京化二股份公司、锦化集团公司新(扩)建项目中引进的日本窒素公司、欧洲氯乙烯、德国伍德公司的生产技术。国内PVC生产企业在引进国外先进生产技术的同时,开始了消化、吸收、国产化和自主创新的工作。通过技术攻关、技术改造,取得了较大成绩,特别是适合国情的70 m³釜聚合工艺成套技术的开发成功,使我国PVC技术水平有较大提高,该技术有以下特点:

(1)采用先进的工艺配方,可以提高产品产量和质量,降低产品成本。

(2)反应所用的各种助剂全部溶剂化,使用等温水入料技术,可以降低消耗,缩短生产辅助时间,减轻粘釜程度,提高产品质量。

(3)使用高效的防粘釜液和自动喷涂冲洗装置,可达到一年连续生产而不需清釜。

(4)反应过程中采用中途注水技术,可提高产品产率,降低消耗。

(5)密闭入料技术根据全自动入料而设计,适合于各种釜型(自控、半自控)及全自动DCS装置。该项技术具有提高釜使用率、工艺流程简单实用、加料准确、安全可靠、密闭无污染、检查方便快捷等优点。

(6)新型筛板塔汽提技术,采用最佳的工艺流程设计,配备合理独特的筛板结构,可完成PVC浆料中未反应单体的提取。该汽提塔具有结构简单、塔内无死角、能耗低、效率高、正压操作、维修方便和投资少等优点。

(7)新型旋风干燥技术为我国20世纪90年代自主开发的新技术,该项技术曾获得国家科技进步成果奖。旋风式干燥器具有结构简单、能耗低、效率高、床内无死角、自动化程度高、不需要设备维修和投资少等优点。

(8)高压回收VCM技术采用国产双段式水环压缩机,价格便宜。同时提高了回收单体的质量,单体回收效率高,尾气排放量小,降低了氯乙烯单体的消耗,工艺流程简单,使用设备少,不需要气柜,便于自控和用DCS控制。

(9)粉料输送和成品混料技术。在国内首次设计开发出气雾式PVC混料仓,提高了树脂品质的均匀性,改善了间歇式聚合对树脂品质均匀性带来的影响。该混料仓具有耗气量少、物料混合均匀、结构简单、混合时间短、卫生清洁的特点,尤其是具有将物料混合和储存结合为一体的优点。

(10)聚合全过程采用DCS控制,实现了全自动化操作。该技术投资只相当于国外引进技术的1/3。生产装置中的设备、自控阀门全部实现国产化,95%以上的控制仪表实现国产化。由于其投资少、技术水平高,目前在国内推广较快。

另外聚合工艺控制技术的开发成功,对国内30 m³釜生产能力有较大水平提高并基本达到国外同类工艺先进水平。从总体上讲,目前PVC生产技术水平、环保治理水平、树脂质量均比以前有较大提高。

2.2 产品品种

目前,我国PVC牌号主要有引进国外技术树脂牌号和国内技术牌号。PVC悬浮法树脂引进技术

牌号主要有日本信越公司、美国古德里奇、欧洲 EVC 公司、日本窒素公司的技术牌号。国内技术牌号主要有我国国标疏松型 SG、国内自行开发的高聚合度、低聚合度,卫生级、医用级、球形树脂等牌号。糊树脂牌号主要有我国国内牌号,引进日本钟渊化学公司、日本吉昂公司、日本三菱化成公司、法国阿托化学公司、美国西方石油化学公司、前东德布纳公司等公司牌号,总计有百个品种。

为了满足下游行业发展的需求,国内 PVC 生产企业和科研部门已经开发成功或正在开发各种专用树脂和专用混合料。

专用树脂主要有:

(1) 高聚合度 PVC 树脂 具有永久压缩形变好、回弹性好的特点,主要用于医疗用品、工业垫圈、电缆、鞋底、地板涂层、密封条等领域。

(2) 超低聚合度 PVC 树脂 具有高孔隙率的疏松型树脂,熔融及凝胶化温度低,熔融流动性好,塑化时间短,易于加工,用于注塑制品、搪塑制品、地板和粉末涂料。

(3) 球型树脂 具有高表观密度高、树脂颗粒规整、流动性好等特点,用于大口径管材挤出。

(4) 高抗冲树脂 利用丙烯酸酯、纳米 CaCO_3 等材料增韧 PVC 树脂,用于型材、管材、化学建材等 PVC 领域。

(5) 耐油树脂 使用丙烯酸酯改性的耐油 PVC 树脂,是具有较好耐油性和物理力学性能的热塑性弹性体。

(6) 消光树脂 在聚合体系中加入多官团单体,生产消光树脂,用于制作消光手柄、低光泽度仿皮革、标牌、装饰材料等。

(7) 掺混树脂 为降低糊树脂粘度的专用树脂,粒径 $20 \sim 60 \mu\text{m}$ 之间,用于改进加工流动性、涂布加工性能及降低成本等。

(8) 耐热树脂 提高 PVC 的耐热性。

(9) 粘合剂专用树脂 具有粘合性能高、力学性能高、耐热、耐水、耐溶剂、耐磨损性好等优点。

(10) 导电性 PVC 树脂 解决制品抗静电问题。

(11) 医用 PVC 树脂 采用反应性聚酯、氨基甲酸乙酯与 VCM 共聚,制成没有迁移性的 PVC。

专用混合料主要有:

(1) 高抗冲专用混合料 广泛用于型材、管材、化学建材等 PVC 领域。

(2) 高流动性专用混合料 广泛用于生产注塑

成型制品,如家用电器和自动化办公设备的外壳、部件及汽车工业配件等,拓宽 PVC 产品应用领域。

(3) 抗菌专用混合料 广泛用于食品包装、家用电器、卫生设施、日用物品、建材、通讯器材等领域。

(4) 高保温专用混合料 广泛用于农业棚膜、地膜等制品。

(5) 糊树脂专用混合料 利用自主开发的掺混树脂,与糊树脂配合,生产开发仿真皮、消光等高档人造革专用料,提高产品附加值。

3 我国 PVC 需求状况

3.1 需求状况

随着我国改革开放步伐的不断加快和市场经济体系的不断完善,特别是我国对节能、节材的化学建材的大力推广,使我国 PVC 树脂需求量增长较快(见表 5 和表 6)。

表 5 近几年我国 PVC 纯粉进出口状况

年份	进口量/万 t	出口量/万 t
1999	130.4	1.1
2000	144.5	1.76
2001	192	2
2002	170	1.7

表 6 近几年我国 PVC 树脂表观需求状况

年份	表观需求量/万 t	同比增长/%
1999	370	
2000	440	18.9
2001	530	20.4
2002	560	6

3.2 消费构成

目前我国 PVC 消费分两大部分:

(1) 软制品。主要包括电线电缆、各种用途的膜(根据厚度不同可分为压延膜、防水卷材、可折叠门等)、铺地材料、织物涂层、人造革、各类软管、手套、玩具、塑料鞋以及一些专用涂料和密封剂等。

(2) 硬制品。主要包括门窗、各种型材和管材、硬片、瓶等。

近几年,我国 PVC 消费构成变化较大,硬制品比例不断提高,现在我国硬制品比例已近 60%。据不完全统计,各种 PVC 制品消费构成比例见表 7。

3.3 消费流向

据有关部门统计,我国塑料制品加工能力分布情况为华南地区占总加工能力的 45.5%,华东地区占总加工能力的 32.2%,华北地区占总加工能力的 9.4%,西南地区占总加工能力的 5.5%,东北地区占总加工能力的 5.3%,西北地区占总加工能力的

表 7 PVC 制品消费构成比例

PVC 制品名称		消费比例/%	合计/%
软制品	鞋及鞋底材料	5.2	40.8
	人造革	6.0	
	薄膜	12.0	
	电缆料	7.0	
	地板革、壁纸、发泡材料	2.1	
	其它	8.5	
硬制品	管材	13.3	59.2
	管件	2.3	
	型材、门窗	22.9	
	硬片、板材及其它型材	9.0	
	其它	11.7	

2.3%。按省份排序广东省最大,占全国总加工能力的 34.5%,其次为浙江省、江苏省、山东省,分别占全国总加工能力的 9.8%、6.9%、5.8%。

4 我国 PVC 的发展前景

4.1 我国 PVC 产能变化情况

为改变我国 PVC 产能不足需的局面,近几年,不少生产企业新(扩)建 PVC 生产装置。据不完全统计,2002 年我国新增能力 70 万 t 左右,从分布来看,范围比较广,基本上是以现装置扩产改造或采用新技术提高单釜生产能力为主。2005 年底以前国内几个大型 PVC 项目将陆续建成投产,现基本确定的项目主要有齐鲁石化公司氯碱厂 37 万 t,天津大沽化工有限责任公司 17 万 t,江苏江东化工、无锡格林艾普、四川金路、江苏梅兰、新疆中泰、河南宇航、山东恒通等采用国内 70 m³ 釜工艺技术项目总计新增大于 50 万 t 装置能力,另外还有沧州化工股份公司 40 万 t、福建东南化工 45 万 t、锦西化工 40 万 t、天津大沽 20 万 t、上海氯碱化工 20 万 t、台塑(宁波)公司 30 万 t、陕西榆林 10 万 t、宁夏西部氯碱 12 万 t 等新(扩)建项目也将在 2005 年以后陆续形成生产能力。估计这些项目有的启动较快,有望提前得到实施,其它省份也有不少 PVC 扩建项目。根据以上规划保守估计,到 2005 年我国 PVC 总加工能力将达到 700 万 t 以上,如果项目进展顺利,到 2005 年,我国 PVC 总加工能力还将有一定幅度增加。新增能力主要分布在东部发达地区,另外西部地区 PVC 增长幅度较大。以上项目如果能够得到实施,将对我国的现有平均装置规模、原料工艺路线及供求状况有较大的改善。

4.2 塑料加工行业发展重点

据调查,“十五”期间乃至今后十年,我国塑料加工行业将有较大发展,发展重点为建筑塑料、农用

塑料、塑料包装材料、日用塑料制品、工业及工程塑料等领域,对 PVC 需求增长将产生一定的带动作用。

(1) 建筑塑料

“十五”期间乃至今后十年,建筑业的发展将为化学建材的发展提供广阔的市场前景。“十五”期间,我国城镇新建住宅每年仍以一定规模发展。

塑料的推广应用主要以 UPVC 和 PE 管为主,到 2005 年,在全国新建、改建、扩建工程中,建筑排水管道、热水供应和供暖管道、城市供水管道、村镇供水管道、城市燃气管道(中低压管)、建筑电线穿线护套管等采用塑料管道的比例都有一定程度增长。

在塑料门窗方面,以推广 UPVC 塑料门窗为主,到 2005 年,塑料门窗在全国建筑门窗市场的占有率、新型高分子防水卷材在全国防水工程市场的占有率都将有所提高。

(2) 农用塑料制品

据农业部门推测,到 2005 年,随着我国园艺设施栽培面积、地膜覆盖面积的不断增加。PVC 农膜的需求量会较目前有近两倍的增长。另外,据水力部门推测,我国节水灌溉工程面积要在目前的基础上有一定增长,因而需要各种塑料节水器材和各类管材、管件、灌水器、喷头、防渗用薄膜等。

(3) 包装材料

包装材料是塑料应用中用量最大的领域,它一直是 PVC 较大的消费市场。PVC 作为包装材料主要用于食品、餐饮、礼品及各类日用品和各类家具的包装。随着我国经济的快速发展和人们消费水平的提高所带来购物习惯的变化,对包装业将起到较大的拉动作用。今后包装业对 PVC 复合膜、包装膜、容器、周转箱等制品有很大需求。

(4) 日用塑料制品

塑料鞋、运动鞋、人造革等一直是 PVC 消费较大的市场。“十五”期间鞋类、箱包类、玩具类、日用杂品类的需求量还将平衡增长,中高档、高附加值的超细纤维鞋类合成革和透气服装类合成革将随其应用领域的不断开发而快速增长。

(5) 工业及工程塑料

在电子工业中,PVC 消费最大的电缆、电线料和电子、电器联接件以及仪器设备壳体等的用量在不断增加。

(下转第 15 页)

CAE 技术在注射成型中的应用

申长雨 王利霞 李 倩

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 45002)

摘要 注射成型工艺复杂, 制品质量受成型机械、模具、材料及成型工艺等多种参数的影响, 传统的生产方式难以满足现代行业对塑料制品产量、质量和更新换代速度的需求, CAE 技术与优化设计技术的结合, 可实现模具设计参数及工艺参数自动优化, 从而生产出高质量产品, 可从根本上解决依赖经验和技巧的方法和手段。利用 CAE 分析, 可方便地研究注射成型的控制理论, 建立更适用于注射成型过程的控制方法。系统介绍了注射成型 CAE 技术在模具设计、工艺优化及制品质量控制中的应用。

关键词 注射成型 CAE 技术 优化 神经网络 质量控制

注射成型是重要的塑料制品成型方式, 适于大批量生产形状复杂、尺寸要求精确的塑料制品。但是由于注射成型工艺的复杂性, 成型制品质量受到许多因素的影响。这些因素有: 与模具设计和冷却管道设计有关的几何参数, 材料性能参数包括聚合物材料的流变性能、热力学性能、物理性能、机械性能及在充填、保压和冷却过程中的工艺参数等。近年来, 随着注塑产品应用范围的变化, 对产品质量的要求也越来越高。

注射成型过程极为复杂, 影响制品的因素繁多, 传统的试凑法的生产方式难以满足现代行业对塑料制品产量、质量和更新换代速度的需求, CAE 技术由此应运而生。自上个世纪 70 年代末, C. Austin 首次推出注射成型软件 MOLDFLOW, 使注射成型的模拟成为国际上的研究热点, 由中面模型、表面模型发展到今天的实体模型模拟, 由一维的粘性流动、二维粘性流动, 发展到今天的粘弹性模拟、三维模拟及新型注射工艺的模拟(共注射、反应注射等), 有多个商品化软件如 CMOLD、MOLDFLOW、MOLDEX 等推出, 目前 CAE 技术已经广泛应用于模具设计。国内研究起步较晚, 在国家自然科学基金项目、“八五”“九五”“十五”科技攻关项目、攀登计划和“863”计划项目的资助下, 我国在 20 世纪 80 年代初开始高聚物成型数值模拟方面的研究, 近年来在数学建模、数值算法、前后置处理以及实验验证、工厂运用等方面取得了较大的发展, 研究领域涉及固体输送、熔融、熔体输送、流动、保压、固化、相变、分子取向、纤维取向、翘曲变形等塑料成型过程的变形历史和相态变化。目前, 该领域的研究非常活跃, 多家研究单位都在开展相关的研究工作, 推出商业化 CAE 软件, 如郑州大学的 Z-MOLD、华中科技大学

的 HSCAE 等。

CAE 技术的出现, 使得模具设计建立在科学分析的基础上, 提高了模具的设计水平, 从而使成型制品质量有了大幅度的提高。目前, 模具设计中已经广泛采用数值模拟辅助设计, 但现有的应用大多是“被动式”的, 并不能代替设计人员的创造性工作, 只能作为一种辅助工具帮助设计人员去判断设计方案是否合理, 难以提供一个明确的改进方向和尺度, 仍需通过反复交互(分析—修改—再分析), 才能将设计人员的正确经验体现到成型工艺及模具设计中去, 而设计方案的确定在很大程度上仍需依靠设计人员的经验和水平。将成型模拟理论、优化设计理论、模具设计方法及过程控制理论有机结合, 研究发展高聚物成型过程的反问题模型和理论方法、成型工艺参数优化方法、模具优化设计理论和求解算法、质量控制理论及算法, 实现模具、工艺参数的自动优化及制品质量控制, 可从根本上解决依赖经验和技巧的方法和手段。

1 注射成型 CAE 技术及研究现状

1.1 注射成型 CAE 技术

注射成型 CAE 技术是根据塑料加工流变学和传热学的基本理论, 建立塑料熔体在模具型腔中的流动、传热的数理模型, 利用数值计算理论构造其求解方法, 实现成型过程的动态仿真分析。使对塑料成型过程的认识从宏观进入微观、从定性进入定量、从静态进入动态, 为优化模具设计和控制产品成型过程以获得理想的最终产品提供科学依据和设计分析手段。注射成型 CAE 技术按成型工艺过程的特点, 分为流动、保压、冷却、残余应力及翘曲分析等软件模块。

流动模拟采用非牛顿流体非等温下广义的

Hele - Shaw 模型描述注射充填过程;用有限元/有限差分算法耦合求解动量守恒方程和能量守恒方程以获得压力场、温度场和速度场;用控制体积法跟踪熔体的流动前沿;用人工智能技术自动识别熔接线和气穴的位置。通过流动模拟可获得型腔内的温度、压力、速度及锁模力等信息,帮助工程技术人员合理地设计浇注系统、优选注射工艺参数,发现可能出现的成型缺陷并提出相应的对策。

保压过程继充填阶段之后,通过压力的保持将额外的熔体压入模具以弥补由于冷却而引起的收缩。保压分析研究熔体的 PVT 行为,考虑由于密度差异引起的熔体内部运动。保压分析主要用于预测熔体在型腔补料与压实过程的压力场、温度分布、计算体积收缩率和壁剪切应力,及密度变化的节点标量图。判断存在的问题,以便改进结构和工艺参数。

冷却模拟主要是利用边界元、有限差分等数值方法,对注塑模的冷却系统进行分析,计算型腔表面的温度场及冷却管道的热效率,优化冷却管道的布置及结构尺寸,缩短循环时间。

残余应力与翘曲变形分析,应用力学的基本原理及有限元/有限差分等数值算法,可用于预测塑料件内的残余应力分布情况及塑料件的成型尺寸,考察注塑机、材料、模具结构及工艺参数对制品尺寸精度的影响。结构分析可预测制品的使用性能。

1.2 注射成型 CAE 技术研究现状

在流动和保压分析方面,自 1980 年 Hieber & Shen^[1] 提出采用广义 Hele - Shaw 流动的数学模型以来,对注塑模具数值模拟技术产生了深远的影响。1986 年, Wang^[2] 等基于流动路径法思想,提出将控制体积法引入注射成型模拟中,实现了移动界面的自动跟踪,该方法一直是中面模型模拟的主导算法。目前,中面模型模拟技术相对已经较为成熟,研究热点已经由算法研究转向应用研究。该领域的代表是郑州大学和华东科技大学。中面模型技术虽然比较成熟,但无法描述一些三维的几何特征及三维流动现象如流动前沿的泉涌现象等,而且无法实现与 CAD 技术的无缝拼接。随着 CAD 技术的发展,实体造型得到广泛的应用,用户需要直接利用 CAD 的几何信息来进行塑料成型分析,而不是再建一次中面模型。为此, Fischer 等提出从实体模型抽取中面模型的方法,但需要用户的干预而且容易产生二义性,限制了它的实际应用。另一种方法是直接利用实体的表面信息 STL,在实体表面进行二维网格

划分,根据模型的几何特点对单元结点配对,使用 Hieber 方法计算压力场、温度场,再使用特殊的方法使配对的结点具有近似相同的物理意义如压力相等。这种方法既利用了中面模型快速、灵活的特点,又不需要重构几何模型,大大减轻了用户建模的负担,降低了对用户的技术要求,但从 CAE 的角度来看,它仍然无法解决中面模型无法解决的流动现象。采用实体模型和三维网格的三维流动模拟技术无疑是最理想的状况,该方法既能够更全面地描述充填过程的流动现象,又可以更方便地实现与 CAD 技术的无缝拼接,但面临的最大问题是计算效率问题,该问题成为限制三维流动分析的主要问题。在双面流和三维流动分析的研究方面,国内的郑州大学和华东科技大学也都取得了很大的进展。在注塑制品的残余应力和翘曲变形研究方面,由于目前对粘弹性、结晶分子取向以及各向异性等影响收缩和翘曲变形的内在因素还缺乏合理的物理解释,数学描述不甚完善,而且一些必须的材料参数很难通过实验得到精确的值,因此,注塑制品的残余应力和翘曲变形研究无论是模型、算法还是实验技术方面都有待更深一层的研究。

注射成型 CAE 技术发展到今天,已经开始广泛应用于注射成型的模具设计、工艺优化中,但只是作为一种辅助工具帮助人们去预测设计方案是否合理,而不能“自动”优化模具设计和工艺设置。因此,应用 CAE 技术实现模具和工艺参数的自动优化,将能使 CAE 技术更加有效地发挥作用。

2 CAE 技术在模具优化设计中的应用

应用注射成型数值模拟技术虽然可以对冷却系统设计效果进行预测,却无法给出明确的改进方向和尺度,再次修改往往也是凭设计者的经验和技巧,通常需要经过多次反复修改和模拟才能得到满意的设计。笔者把成型模拟技术与优化技术结合,利用 CAE 分析结果,借助与反演理论构造有效的反问题及算法,给出明确的改进方向和尺度,实现了模具设计参数的自动优化,改变了 CAE 技术的“被动式”设计方法。

2.1 灵敏度分析与注塑模冷却系统优化设计

这里基于注塑冷却分析结果,选定型腔各点温度与期望温度的均方差做为目标设计变量,计算状态变量(如位移、应力、温度、频率等)对设计变量的梯度,由灵敏度分析结果可给出明确的改进方向和尺度,确定了优化设计参数。灵敏度分析理论在注

塑模冷却系统设计中的应用取得了很好的效果。

图1为一半圆柱面塑料件及冷却系统几何模型,材料为ABS。塑料件几何尺寸为: $R \times L \times h = 20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 0.2 \text{ cm}$,冷却管道直径为1.5 cm,冷却介质为水,模具材料为工具钢。熔体温度为 240°C ,冷却水的入口温度为 31°C 。表1为经过6次优化迭代得出的冷却水管道位置,图2为优化前后塑料件的温度分布。

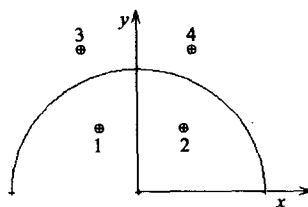
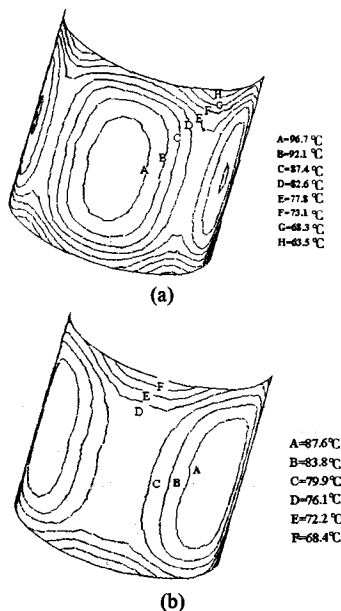


图1 冷却系统几何模型



a—优化前; b—优化后

图2 优化前后塑料件温度分布

表1 优化前后冷却管道位置

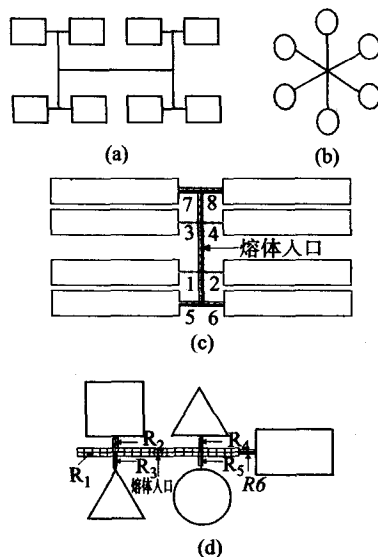
管道号	优化前		优化后	
	x/cm	y/cm	x/cm	y/cm
1	-10	10	-3.6	13.5
2	10	10	3.6	13.5
3	-18	18	-6.2	25.1
4	18	18	6.2	25.1

2.2 基于CAE技术的浇注系统优化设计

(1) 优化设计理论

根据几何布局,浇注系统为平衡布置和非平衡布置两类,图3 a,图3 b为常见的平衡布置,图3 c、图3 d为非平衡布置。对于图5所示的非自然平衡

流道,通常需要通过调整分流道和浇口的尺寸使流动平衡。



a—平衡布置; b—平衡布置; c—非平衡布置; d—非平衡布置

图3 浇注系统几何布局

传统的平衡流道系统设计是一个反复尝试的过程,反复试模、修模是一个代价高昂和费时的过程,且试凑法设计的浇注系统并不总是最优的。随着流动模拟软件的出现,人们已不再需要制造实际的模具就可预知流道系统的性能。然而,设计者仍需依据设计者的经验反复调节浇口尺寸直至获得满意的结果,无法直接给出优化的流道尺寸。

笔者基于流动模拟,把各流道半径作为设计变量,充填结束时各型腔未充填的体积作为目标函数^[3]对非自然平衡流道进行优化设计,见图4。在流道布置确定后,首先进行充填分析,通过动态监测各时间步长的充填情况确定最先充满的型腔,在该腔充满的一刻结束充填分析。然后根据分析结果计算各流道理论上需要减小的直径,并按“穷多富少”的原则把这些直径重新在各流道分配。该过程反

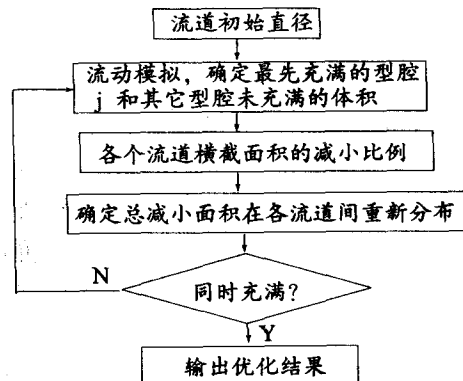


图4 浇注系统优化技术路线

复进行直到满足收敛条件。

该方法的优越性在于:一旦流道和型腔布局确定后,此方法可通过反复调节流道和浇口尺寸直至获得最终充填平衡。其最佳流道尺寸是借助于流动模拟软件方便、自动实现的,因此具有较强的实用性。

(1) 应用实例

对1模8腔模具流道进行优化。材料用聚乙烯(PE),注射速率 $62\text{ cm}^3/\text{s}$,熔体入口温度 20°C ,注射时间 1.5 s ,模壁温度 60°C 。

图5给出了1模8腔非自然平衡流道设计,在各分流道和浇口采用相同的截面尺寸时,经过数值分析发现短腔板首先充满(见图5 a),由于不平衡流动,最大充填压力达到 10.833 MPa 。基于CAE分析对流道进行优化,使各个型腔同时充满(见图5 b)。优化的流道尺寸见表2,最大充填压力降到了 6.782 MPa 。图6 a给出了充填过程中入口压力的变化过程,平衡流动压力变小,变化平缓。图6 b给出了充填过程中锁模力变化过程,非平衡流动使锁模力发生陡变,平衡流动的锁模力相对较小,流动愈平衡,则锁模力变化愈平缓。

表2 流道浇口尺寸/mm

流道/浇口	Rg	R1	R2	G1	G2
初始直径	8.0	6.0	6.0	1.0	1.0
优化直径	8.0	6.08	5.27	1.22	0.92
建议直径	8.0	6.0	5.0	1.31	1.0

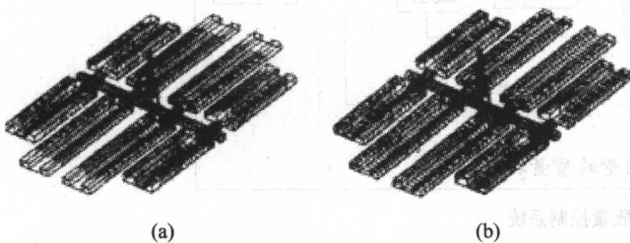
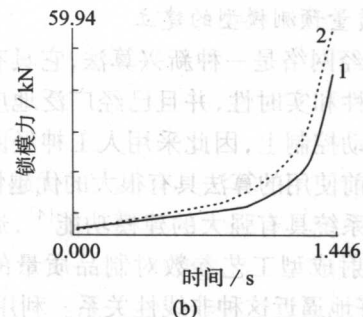
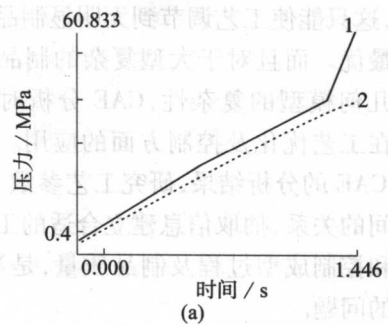


图5 多型腔模具的流动平衡分析

图7所示为上述浇注系统优化设计理论在1模8腔模具(各型腔相同)的浇注系统设计中的应用,图8为在一家族制模具设计中的应用。由图7、图8可见该优化设计理论可自动实现浇注系统的优化设计,而且取得令人满意的效果。

3 CAE技术在工艺优化及制品质量控制中的应用

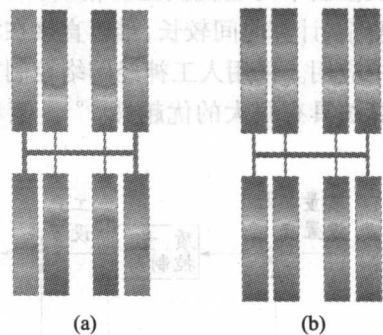
近几年,将优化算法与数值模拟结果结合自动优化模具设计的研究得到普遍重视。在工艺设置和调节方面,目前的应用仍仅限于应用CAE分析代替



1—非平衡; 2—平衡

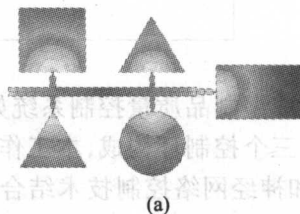
a—压力变化; b—锁模力变化

图6 充填过程压力和锁模力的变化



a—非平衡流道; b—平衡流道

图7 1模8腔模具的浇注系统优化



a—非平衡流道; b—平衡流道

图8 一家族制模具的浇注系统优化