

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.03.025

2013 ~ 2017 年我国滚塑行业技术进展

温原,严永兴,唐宇航,陈叶茹

(浙江瑞堂塑料科技有限公司,浙江慈溪 315323)

摘要:从公开出版的滚塑技术文献、滚塑材料技术研究、滚塑设备和模具技术研究及滚塑工艺研究等4个方面介绍了2013~2017年我国滚塑行业的技术进展情况。我国的滚塑行业技术发展迅速,与国外的技术水平差距逐步缩小,从5年前的单纯模仿、复制,开始进入原创阶段,有部分技术已经超越了国外的研究水平。我国滚塑行业技术的研究已经深入到各个环节,对滚塑过程细节的改进是目前我国滚塑技术研究的主要方向。

关键词:滚塑技术;进展;原材料;模具;设备;工艺

中图分类号:T-1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2018)03-0138-08

Technical Progress of China Rotomoulding Industry in 2013-2017

Wen Yuan, Yan Yongxing, Tang Yuhang, Chen Yeru

(Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd., Cixi 315323, China)

Abstract: The development situation of rotomoulding industry technology of China in 2013~2017 was introduced from 4 aspects of the public documents of rotomoulding technology, rotomoulding material technology research, rotomoulding equipment and mold technology research and rotomoulding process technology research. China's rotomoulding technology is developing rapidly, and the gap between China's level of rotomoulding technology and that of foreign countries has gradually narrowed, it begins to enter the original stage from the mere imitation and copying stage 5 years ago, the some technologies have exceeded the level of foreign research. China's rotomoulding technology research has been deep into all aspects, the improved details of the rotomolding process is the main research direction.

Keywords: rotomoulding technology; progress; raw material; mold; equipment; process

近5年来,我国滚塑行业发展迅速,行业规模急速扩大,社会对滚塑制品的认知度越来越高,滚塑新技术、新产品层出不穷。2017年8月,中国塑料加工工业协会发布了《塑料加工业技术进步“十三五”发展指导意见》,对滚塑行业提出了明确的发展要求:

制品方面——重点发展渔船、皮划艇、高级游艇等,物流领域的保鲜箱、防腐箱、冷冻箱等,环保领域的垃圾地埋桶、化粪池等,生活日用品领域的家具、灯饰等,工业领域的车辆装饰件、油箱、水箱等。

设备方面——重点发展多规格、成系列的烘箱摇摆成型设备取代明火加热,大型、多工位、自动化旋模滚塑成型装备,船舶滚塑装备,高效节能烘箱式滚塑成型装备,高效多层滚塑成型设备等。

工艺方面——将异型滚塑制品及巨型滚塑制品的设计

和成型技术以及新型滚塑游艇成型技术纳入了重点推广技术中,将巨型、智能滚塑成型装备技术纳入了重点装备技术中。

1 滚塑技术文献综述

由中华人民共和国国家知识产权局专利检索系统查询可知,到2016年底,我国公开的滚塑技术专利总数为1289件。表1给出了1988~2016年我国滚塑技术专利公开的数量,可以看出,近5年来,我国滚塑专利开始爆发式增长,年均增长率超过33%。

由中国学术文献网络出版总库查询可知,到2016年底,公开发表的滚塑期刊文献数量有444篇,表2给出了1979~2016年我国滚塑技术公开期刊文献的数量。近5年来,滚塑原创的技术论文仍然较少,大部分为应用领域的介绍。

通讯作者:温原,高级工程师,博士在读,中国塑协滚塑专委会常务副秘书长,长期从事滚塑材料研究和行业管理工作 E-mail: 10258@163.com

收稿日期:2017-12-14

引用格式:温原,严永兴,唐宇航,等. 2013~2017年我国滚塑行业技术进展[J]. 工程塑料应用,2018,46(3):138-145.

Wen Yuan, Yan Yongxing, Tang Yuhang, et al. Technical progress of China rotomoulding industry in 2013-2017[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(3):138-145.

表 1 1988~2016 年我国滚塑技术专利公开数量

年份	专利公开数量 / 件	年份	专利公开数量 / 件
1988	2	2003	10
1989	4	2004	2
1990	3	2005	4
1991	4	2006	13
1992	3	2007	14
1993	6	2008	33
1994	1	2009	37
1995	2	2010	60
1996	3	2011	90
1997	2	2012	127
1998	0	2013	169
1999	3	2014	119
2000	3	2015	209
2001	3	2016	356
2002	7		

表 2 1979~2016 年我国滚塑行业公开期刊论文数量

年份	专利公开数量 / 件	年份	专利公开数量 / 件
1979	2	1998	14
1980	2	1999	12
1981	0	2000	8
1982	2	2001	10
1983	1	2002	10
1984	9	2003	15
1985	8	2004	18
1986	4	2005	55
1987	8	2006	25
1988	4	2007	24
1989	4	2008	22
1990	0	2009	26
1991	5	2010	17
1992	2	2011	8
1993	1	2012	14
1994	5	2013	18
1995	2	2014	14
1996	4	2015	30
1997	16	2016	25

我国从事滚塑技术研究的硕博论文近年有长足的长进。表 3 列出了 2013~2016 年我国滚塑行业发表的硕博论文。由表 3 可以看出,2013~2016 年间,有 9 所院校共发表了 17 篇硕博论文,其中北京化工大学培养了 1 位博士和 9 位硕士,成为我国滚塑技术的研究中心,该校也是我国唯一一所持续进行滚塑技术研究的院校。而 2005~2012 年间,我国仅有 6 所院校发表滚塑方面的硕博论文 11 篇。

在专著方面,近 5 年来,仅有化学工业出版社在 2017 年 6 月出版了鲍志成编著的《滚塑成型基础知识与技术问答》一书。在汇编资料方面,中国塑协滚塑专委会在 2014 年编著了《中国滚塑三十年》,全面展现了我国滚塑行业的历史和现状。上海恒堃实业有限公司在 2016 年编著了《滚塑供应商名录》,中国塑料信息杂志社汇编了《1979 年~2011 年中国滚塑技术期刊论文合集》和《2012 年~2014 年中国滚塑技术期刊论文合集》,对滚塑行业的技术进步起到了推动作用。

2 滚塑材料技术研究进展

表 4 列出了我国目前生产的滚塑级聚乙烯材料性能。中石化齐鲁石化公司近年来开发了一系列滚塑基础材料,其中包括我国第一个高密度聚乙烯滚塑料 R444L,第一个茂金属己烯共聚聚乙烯 mPE R335HL,第一个高熔体流动速率滚塑专用料 R337L 等,2016 年,齐鲁石化公司生产的滚塑材料已经有 6 个常规品种,年产量达到 5 万 t^[1]。中国神华包头煤化公司在 2013 年短暂生产过滚塑级聚乙烯 DNDB7149,中石化镇海炼化公司在 2016 年开始生产滚塑专用料 R546U,目前已能正常排产,中石油四川石化公司于 2017 年 9 月生产了己烯共聚滚塑材料 DNDC7148,中石油大庆石化公司在 2017 年试制了试验级的滚塑级聚乙烯。

表 3 2013~2016 年我国滚塑行业发表的硕博论文

序号	论文题目	发表时间	作者	文献来源
1	整体成型电动汽车车身轻量化技术研究	2013-03-01	吕红萍	浙江工业大学 (硕士)
2	新型滚塑船艇设计与制造关键技术研究	2013-05-01	任永华	浙江海洋学院 (硕士)
3	天然气汽车燃料罐内衬材料的加工及性能研究	2014-02-24	乐晶晶	上海交通大学 (硕士)
4	全塑汽车车门一体化成型的研究	2014-04-06	陈承涛	青岛科技大学 (硕士)
5	低速纯电动汽车一次成型整体车身轻量化研究	2014-04-30	郭营锋	湖南大学 (硕士)
6	大型塑料制品的滚塑装备及工艺的研究	2014-05-30	张磊	北京化工大学 (硕士)
7	基于有限元的增强塑料埋地结构件关键技术研究	2015-04-01	宋佳	扬州大学 (硕士)
8	新能源汽车全塑车身设计及制造技术研究	2015-05-28	肖勇	北京化工大学 (硕士)
9	GMF-NEV 全塑车身仪表板及部分车身结构设计与分析	2015-05-28	刘迎林	北京化工大学 (硕士)
10	新能源汽车全塑车身结构及安全耐撞性能分析	2015-05-30	熊元	北京化工大学 (硕士)
11	全塑车身数字风洞理论研究	2015-06-01	谢非	北京化工大学 (硕士)
12	计及温度载荷的滚塑船结构强度评估	2015-06-01	孙风景	浙江海洋学院 (硕士)
13	大型塑料制品旋塑成型装备及工艺关键问题研究	2015-06-01	秦柳	北京化工大学 (博士)
14	软质仪表板制造材料的流变性能研究	2016-05-01	刘新春	吉林大学 (硕士)
15	交联聚乙烯滚塑成型工艺优化研究	2016-06-01	王晓乐	北京化工大学 (硕士)
16	基于有限元模拟的聚乙烯高整体容器的完整性评价	2016-06-30	郑英杰	暨南大学 (硕士)
17	基于试验测试的聚乙烯高整体容器的安全性评估	2016-06-30	胡丽丽	暨南大学 (硕士)

表4 我国目前生产的滚塑级聚乙烯材料性能

制造商	牌号	共聚单体	密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	熔体流动速率 / [$\text{g} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$]
中石化 齐鲁石化公司	PE R444L	丁烯	0.942	4.5
	PE R384L	丁烯	0.938	4.5
	PE R337L	丁烯	0.935	7.0
	mPE R335HL	己烯	0.936	5.5
中石化镇海 炼化公司	R546U	丁烯	0.936	5.0
中国神华 包头煤化公司	DNDB7149	丁烯	0.934	4.3
中石油 四川石化公司	DNDC7148	己烯	0.934	4.0

气泡是滚塑制品的典型缺陷,滚塑制品气泡的消除能力与加工效率、能耗等密切相关,如何降低滚塑的加工时间,快速消除气孔是业内研究的重要方向。中国石油化工股份有限公司^[2]开发了滚塑消泡母料,利用纳米碳酸钙进行成核,添加芥酸酰胺或油酸酰胺减少熔体表面张力,达到气孔快速消除的目的。在其另一个专利中^[3],提出先添加成核剂以加快结晶过程,降低气泡尺寸,同时使用交联剂降低结晶率,加快气泡的排出速率,制备厚度为4 mm的滚塑制品可以减少加热时间5 min,冷却时间5 min。浙江瑞堂塑料科技有限公司^[4]提出在滚塑材料中添加吸气性粉末,以减少气泡中的空气量,可大幅缩短排泡时间,降低表面气孔,除气率可达到98%。同时,该公司还指出^[5],加工温度是影响滚塑制品表面气孔的显著因素,粉末粒径和加工时间是非显著因素。慈溪德顺容器有限公司^[6]设计了双充气滚塑机,在滚塑加热阶段向模具内加压充气,可达到快速消除气孔、缩短加工时间的目的。利宾来塑胶工业(昆山)有限公司^[7]指出,使用预制铝板制造的滚塑模具,由于避免了铸造模具疏松的问题,提高了模具的导热能力,可以减少制品气孔的产生。无锡市华润环保设备有限公司^[8]在摇摆型滚塑机模具外壁安置了超声波发生器,利用超声波振动可加快熔体排泡过程。

滚塑制品大都在户外使用,有很高的耐候性要求。中国石油化工股份有限公司^[9]通过光稳定剂、抗氧剂和卤素吸收剂的复配,制备了氙灯老化时间 ≥ 6000 h的滚塑专用聚乙烯。浙江瑞堂塑料科技有限公司^[10]通过使用高岭土吸附复合耐候剂,降低了耐候剂的析出损耗,使得滚塑聚乙烯材料的氙灯老化时间及热氧老化时间均不少于8000 h。裴小静等^[11]通过耐候剂等的选型和配比,将己烯共聚滚塑级聚乙烯的氙灯老化时间提升到1600 h及以上。郭骏骏等^[12-16]对滚塑包装箱材料进行了自然老化和人工加速老化试验的对比研究,通过力学性能分析、红外光谱分析对材料的老化特征进行了比较,并对不同材料的老化机理和性能变化情况作了详细分析。

滚塑工艺被大量用于制备大型化学品储罐和防腐容

器、管道等,滚塑材料的防腐性能是首要考虑的指标。温原等^[17]测试了20多种化学溶液和滚塑级聚乙烯的相容性数据,研究发现,化学溶液除了造成材料质量和断裂伸长率的变化外,还会影响材料的尺寸和拉伸强度,尺寸变化会造成滚塑容器产生额外的内应力,拉伸强度的变化会造成滚塑容器设计安全系数的降低。郭峰等^[18]利用衰减全反射光谱研究了不同腐蚀液对聚丙烯衬塑复合钢管衬里的腐蚀情况,认为聚丙烯衬塑复合钢管不宜长期输送具有氧化性的液体。

交联聚乙烯仍然是业内开发的热点。北京低碳清洁能源研究所^[19]开发了一系列基于化学交联的滚塑聚乙烯材料,包括高刚型、高流动型、粘附型、微发泡型等,拓展了交联滚塑材料的应用领域。金旸(厦门)新材料科技有限公司^[20]使用多孔吸附材料预处理交联剂,制备了可造粒加工的滚塑交联聚乙烯。李实等^[21]通过化学交联法开发了聚丙烯和聚乙烯混合交联树脂,提高了新材料的耐热性能和拉伸强度,同时加入聚丙烯酸酯,消除了材料表面的静电聚集,提高了低温冲击强度,改善了表面耐环境开裂性能。顾丽^[22]在交联聚乙烯中添加超高分子量聚乙烯和二硫化钼,制备了耐磨型交联聚乙烯滚塑料,其磨损率从 $10.48 \times 10^{-10} \text{ kg}/(\text{N} \cdot \text{m})$ 下降到 $5.87 \times 10^{-10} \text{ kg}/(\text{N} \cdot \text{m})$ 。江西乐富军工装备有限公司^[23]在滚塑级交联聚乙烯中添加经过表面改性处理的核桃壳粉和椰壳粉,发现其磨损率可下降到 $2.01 \times 10^{-10} \text{ kg}/(\text{N} \cdot \text{m})$ 。江苏赛凯诺环保科技有限公司^[24]使用聚乙烯-有机硅嵌段聚合物作为增容剂,制备了聚乙烯/有机硅体系交联树脂用于滚塑加工,其悬臂梁缺口冲击强度 $\geq 50 \text{ kJ}/\text{m}^2$ 。

通过改性手段拓展滚塑聚乙烯的功能和应用领域一直是行业内研究的方向。浙江瑞堂塑料科技有限公司^[25-33]公布了一系列滚塑功能材料的技术专利,包括长效防藻类附着的滚塑聚乙烯材料、滚塑聚乙烯发泡材料、滚塑聚丙烯发泡材料、玻纤增强滚塑材料、具有特殊效果表面色的滚塑材料、高粘附力滚塑材料、多孔型滚塑材料、抗电击穿永久抗静电滚塑材料、尿素箱滚塑专用料等。北京化工大学^[34]开发了短纤维滚塑加工工艺,金旸(厦门)新材料科技有限公司^[35]开发了阻燃抗静电滚塑材料,广州亚雷森高分子材料有限公司^[36]开发了滚塑微孔结构材料。

湖南工业大学^[37]开发了一种由己内酰胺、环形对苯二甲酸丁二酯、纳米蒙脱土和催化剂体系进行阴离子聚合,通过滚塑成型加工方法制备得到高阻隔性能滚塑尼龙制品的制备技术。由于环形对苯二甲酸丁二酯和纳米蒙脱土的作用,制品对汽油24 h的透过率从 $12 \text{ g}/\text{m}^2$ 下降到 $0.35 \text{ g}/\text{m}^2$,同时制品具有良好的尺寸稳定性和力学性能。金华市捷特包装有限公司^[38]开发了一种聚乙烯/尼龙/乙烯-乙醇共聚物合金材料的制备方案,用于滚塑油箱的生产,该材

料在 40℃,24 h 下对汽油的透过率 $\leq 1 \text{ g/m}^2$ 。安徽省宁国天亿滚塑有限公司^[39]研发了一种聚乙烯/尼龙 6 合金的滚塑材料技术方案,和聚乙烯滚塑料相比,该材料具有较好的热稳定性和耐环境应力开裂性能。

苏州市医学教学模型制造有限公司^[40]使用聚氯乙烯和丁腈橡胶进行复配,在 50 份增塑剂用量下,制造出和人体直肠手感高度相似的滚塑医教用品。清华科教仪器有限公司^[41]研制了苯乙烯-乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SEBS)/苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)/白油体系热塑性弹性体材料,用于生产护理医教用仿真人体皮肤教学模型。天津微瑞超分子材料科技有限公司^[42]使用二异氰酸酯作为交联剂,制造了聚己内酯/聚四氢呋喃交联共混物,形成兼具柔韧性能又具塑化刚性的高分子滚塑材料。刘黎明等^[43]采用“双向扩散沉淀法(简称 DPS)”和“两级搅拌”法,在不改变聚合物分子结构和摩尔质量的条件下,制备出了具有双峰分布的 SEBS 微细粉末(粒径基本在 120 μm 以下),可直接用于搪塑或滚塑的生产。

上海三爱富新材料股份有限公司^[44]以全氟烷基乙烯为第三单体,全氟乙基乙烯基醚为第四单体,制备了透明乙烯-四氟乙烯四元共聚物,可用于滚塑加工,四元共聚物的拉伸强度 $\geq 40 \text{ MPa}$,断裂伸长率 $\geq 300\%$,透明度最高可达到 13%。

3 滚塑设备和模具技术研究进展

随着巨型容器、船艇等超大型滚塑制品的需求发展,大型化滚塑设备成为设备厂家抢占技术制高点的核心内容之一。温岭市旭日滚塑科技有限公司^[45]开发了直径为 6.5 m 的超大型穿梭式滚塑机,并获得 UL 认证。浙江本凡机械有限公司^[46]开发了直径为 7 m 的超大型穿梭式滚塑机,已经稳定出口中东地区和韩国。慈溪市德顺容器有限公司^[47]开发了长度为 15 m 的烘箱式摇摆滚塑机用于生产休闲船。

在提高滚塑设备热效率方面,重庆市韵诚塑料防腐设备有限公司^[48]设计了一种多口进气的加热炉,比现有单一通道进气的滚塑烘炉效率高,加热时间短。叶江富^[49]设计了一种单门滚塑机,减少了热量的流损,保温效果得到很大提升,其加热箱可沿底部中心旋转适应不同工位。温岭市旭日滚塑科技有限公司^[50]开发了底部斜进风模式的滚塑机,可使热气流直接作用于模具,具有加热时间短、受热均匀、深腔类塑料制品可直接成型、保持滚塑模具表面干净清洁、能耗低,节约能源等优点。另外该公司^[51]还在滚塑烘箱内部进风口设计了风机和排风罩,用于调节滚塑烘箱内气压,达到加快传热的目的。高元元等^[52]对滚塑模具不同外部结构的热传导性能建立了有限元分析模型,结果表明,圆柱状表面结构模具在加热过程中具有温度场均匀性较好、在冷却过

程中散热效率高等特点,有利于获得高质量的滚塑产品。

对于明火加热式的滚塑设备,无锡市华润环保设备有限公司^[53]设计了一种滚塑机火把组件,在组件喷射通道内设置一颈缩部,用该颈缩部对天然气进行压缩,使其流速加快,从而提高了火焰喷射的速度,提高了对模具的加热效率。淄博富邦滚塑防腐设备科技有限公司^[54]在火管内设置了一个扰风盘,使燃气通过时能更好地和空气混合,达到提高燃烧效率的目的。

现有滚塑机烘箱多为长方形、六角柱形、八角柱形或圆柱形,这些结构在加热过程中存在浪费区域的问题。烟台环通滚塑设备有限公司^[55]设计一种具有球形加热室的滚塑机,加热室由两个中空半球加热室组成,分别为左半球加热室和右半球加热室,模具架固定在一个双 A 臂上。常州飞盛塑料机械有限公司^[56]也设计了一种球型滚塑机,为上下半球开合模式,其传动部分均使用气动方式,模具使用吊装移动,达到高效节能的目的。

常规的滚塑机均为单边受热,热量从模具外部通过模具传导到材料和模内空气中。新乡市双诚环保设备有限公司^[57]设计了可在模具内部加热的摇摆型滚塑机,热源与塑粉间省去了传热介质,提高了热传递效率。慈溪市德顺容器有限公司^[58]设计了在模具内部加热的旋转型滚塑机,其技术方案是在燃烧器伸入风道内的喷嘴增设一喷管,喷管外包覆有可充入常温压缩气体的缠绕管,且缠绕管又与滚塑机工作臂上的充气口相连通,利用喷管和风道内的热量加热缠绕管内的常温压缩气体,并将加热气体通过送气管道送至滚塑机充气口、工作臂直至滚塑模具内,从而实现了滚塑模具的内加热过程。

常规滚塑机均使用燃气或煤气作为热源,存在有效热利用率低、安全性不好、人员操作环境差等缺点。烟台格林滚塑设备有限公司^[59]制备了我国第一套热油加热模具和设备,用于洗地机的生产。慈溪市德顺容器有限公司^[60]也设计了类似的热油加热模具。上海升运滚塑制品有限公司^[61]设计了在保温炉内壁预埋电热导管进行电加热的滚塑设备。无锡新开河储罐有限公司^[62]设计了一种可移动式温度精确可控型全塑储罐滚塑装置,该装置使用电热网加热,电热网外层使用绝热材料覆盖,模具外层使用高导热材料覆盖;电热网沿模具周向分为六个模块,采用独立供电方式,由配电系统控制供电顺序和供电电流;该装置采用闭环控制系统对温度进行精确控制;电热网外面的绝热层上加工有蛇形通道,可以实现模具快速冷却。浙江大学台州研究院^[63]在模具外部缠绕线圈,利用导电环供电,实现了采用电磁加热方式进行滚塑加工。

滚塑设备和模具的自动化水平是提升滚塑生产效率、

提高产品质量均一性的重要途径。应革^[64]设计了一种流水线式循环滚塑设备,该设备在流水线轨道上设置有滑动装置,滑动装置上装有若干台模具穿梭机,各模具穿梭机由PLC自动控制系统控制自加料区加料后,经等待区依次进入加热保温室和冷却保压室,并在完成相关操作后,进入脱模区脱模取件,从而完成一个工作循环。应革^[65]同时还设计了一种自动开模一次成型滚塑模具,模具主体及其滑块均使用自动开合机构进行工作。浙江斯凯瑞机器人股份有限公司^[66]使用一套滑轨系统和机器人组合,实现了滚塑制品的装夹、加热、冷却、卸料等一系列加工工序的自动化,无需人工操作。凯奇集团有限公司^[67-68]开发了滚塑模具合模锁紧装置和合模定位装置,扫除了滚塑模具生产自动化的障碍。上海升运滚塑制品有限公司^[69]设计了一套快速脱模机构,该机构是在模架盘上使用油缸的伸缩来控制滚塑模具的合模与脱模,油缸的伸缩由PLC控制器根据需要自动控制,顶部模具通过悬吊装置实现合模与脱模。博谊(上海)工业有限公司^[70]设计了一种双零件腔的滚塑模具,可在滚塑过程中将位于第一零件腔的注塑件和位于第二零件腔的滚塑件实现自动粘结。

周建忠等^[71]对大型滚塑摇摆机的支承托轮接触进行了疲劳有限元分析,模拟发现,对于外径为830 mm的托轮,过渡圆角半径选用25 mm时,疲劳寿命值达到最佳值。

大连船舶重工集团有限公司^[72]在管道涂覆设备上安装了电磁振动装置,联动在敲击锤上,实现了往复敲击被涂塑管件外壁的功能。该装置通过对管壁的敲击,使管壁局部区域均匀适度震动,有效杜绝了积粉现象,提高了产品质量。

安徽省宁国天亿滚塑有限公司^[73]设计了一种滚塑模具用螺纹推杆挤注装置,可根据产品成型的直径大小确定推杆刻度,对熔融状态的塑料进行挤压,制成实心结构,既降低了成本,又提高了产品质量,经济实用。无锡新开河储罐有限公司^[74]也有类似的设计,用来生产实心滚塑法兰。

4 滚塑工艺技术研究进展

刘学军等^[75-76]建立了一种新的传热理论模型,该模型采用Fluent软件对滚塑的热交换过程进行耦合求解,通过该模型得出的模具外壁面温度和内部空气温度都与实验结果吻合较好,偏差不超过10%。利用该模型,进一步对滑梯形滚塑模具表面温度的均匀性进行研究,结果表明,提高进风温度将使模具表面温度分布的均匀性变差,而增大进风速度、设置进风口和回风口的周向位置更靠近烘箱上、下半圆筒的水平分界线,可以改善模具表面温度分布的均匀性。

现有滚塑成型理论将加热过程分为预热区、熔化区和消泡区三个加工区^[77]。温原等^[78]将消泡区细分为三个阶段:气孔完全消除前为消泡段,材料被氧化变黄后为氧化段,中

间为凝结段。并发现,在消泡段存在“加热陷阱”,材料的断裂拉伸应变和弯曲弹性模量存在低值区。滚塑材料最佳工艺区间为消泡区的凝结段。

温原等^[79]还采用不同冷却方式,对滚塑级线型低密度聚乙烯的结晶性能和力学性能进行了研究。结果表明,滚塑加工的冷却过程符合牛顿冷却定律,表征冷却速率的参数冷却系数和制品的结晶度之间线性相关,并从非等温结晶动力学理论中推导出符合牛顿冷却定律的结晶动力学方程;同时发现,结晶度和材料的拉伸强度、弯曲及冲击性能有着良好的线性关系。这为滚塑加工过程中通过控制冷却系数,精确控制制品的力学性能提供了理论基础和实验案例。

王晓乐等^[80]研究了交联聚乙烯的滚塑加工工程,通过交联度和低温冲击强度的表征发现,滚塑成型加热阶段存在时温等效性,加热温度升高10℃与加热时间延长1 min产生的效果几乎相同。

温原等^[81]通过对高密度聚乙烯滚塑皮划艇的变形情况进行工艺分析发现,在冷却过程中皮划艇不同部位的温度差异是产生变形的主要因素。保持材料温度在冷却过程中温度的均一性是缓解变形的控制要点。在冷却过程中,采用全面强制风冷、水冷等手段会扩大温差,从而扩大变形。应根据模具外部的实际温度情况,采用局部风冷、局部再次加热等手段减小温差,从而控制变形。

江苏大学^[82]利用非接触式温度传感器、滚塑模具气体流道结构及计算机等实现了滚塑模具内部空气流场温度的闭环控制,通过温度精确控温,大幅提高了滚塑储罐壁厚的均匀性。无锡新开河储罐有限公司^[83]在滚塑摇摆机中引入内部激光测距机构,该测距机构和燃气流量控制系统实现了反馈控制,从而实现壁厚的实时测量和调整,改善了成型情况,提高了壁厚均匀性。

在钢衬塑容器生产工艺方面,无锡新开河储罐有限公司^[84]开发了利用激光毛化金属表层,形成微凹凸结构,再使用硅烷化处理引入化学键,提高了钢基体与涂覆层的结合能力,可用于制备大型金属钢衬塑储罐,取代现有钢网焊接工艺。在其另外一个专利^[85]中,使用焊接“U”形套脚避免了传统焊接钢丝编织网工艺操作成本高的问题。同时,“U”形套脚的高度保持一致,并低于原工艺的编织网高度,不仅减小了衬塑层的厚度,还有效地节省了材料。

在滚塑工艺辅助用品方面,温岭市旭日滚塑科技有限公司^[86]开发了滚塑成型二次加料装置,实现了多次投料的自动化,该装置已经在大型包装箱体、大型船艇等制造工艺中应用。佛山金豹低碳科技有限公司^[87]、宁波星晖滚塑科技有限公司^[88]设计了基于聚四氟乙烯的侧面开孔模式的刚性通气管,浙江瑞堂塑料科技有限公司^[89]设计了基于硅橡

胶的柔性通气管,均可防止出气孔发生堵塞现象。此外,浙江瑞堂塑料科技有限公司^[90]还设计了一款滚塑镶件的拉拔器,可减少模具镶件的安装和拆卸时间,提高滚塑加工效率。

5 结论

通过持续的跟踪研究发现,近5年来,我国滚塑行业技术进步有以下特点:

(1) 技术水平和国外的差距在缩小。从5年前的单纯模仿、复制,开始进入原创阶段,有部分技术已经超越了国外的研究水平。

(2) 企业参与研究的热情越来越高,我国“双创”活动的大环境对滚塑行业技术进步有着积极的推动作用。

(3) 技术研究已经深入到各个环节,对滚塑过程细节的改进是目前主要的研究方向。

参考文献

- [1] 王栓,等. 齐鲁石化:深入推介滚塑料顶替进口多创效[EB/OL].(2016-11-25)[2017-11-09]. http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2016-11/25/content_1656890.shtml.
Wang Shuan, et al. Qilu Petrochemical:in-depth introduction of rotomoulding to replace the import to create more benefits[EB/OL].(2016-11-25)[2017-11-09]. http://www.sinopecnews.com.cn/b2b/content/2016-11/25/content_1656890.shtml.
- [2] 中国石油化工股份有限公司. CN102952322B[P]. 2014-09-24.
China Petroleum & Chemical Corporation. CN102952322B[P]. 2014-09-24.
- [3] 中国石油化工股份有限公司. CN104558784A[P]. 2015-04-29.
China Petroleum & Chemical Corporation. CN104558784A[P]. 2015-04-29.
- [4] 浙江瑞堂塑料科技有限公司. CN105315643B[P]. 2017-08-04.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN105315643B[P]. 2017-08-04.
- [5] 温原,等. 工程塑料应用,2014,42(2):52-54.
Wen Yuan, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(2):52-54.
- [6] 慈溪市德顺容器有限公司. CN201220349762.9[P]. 2015-09-09.
Cixi Deshun Container Co., Ltd.. CN201220349762.9[P]. 2015-09-09.
- [7] 利宾来塑胶工业(昆山)有限公司. CN106112419A[P]. 2016-11-16.
Nadfinlo Plastics Industry (Kunshan) Co., Ltd.. CN106112419A[P]. 2016-11-16.
- [8] 无锡市华润环保设备有限公司. CN202826210U[P]. 2013-03-27.
Wuxi Huarun Environmental Protection Equipment Co., Ltd.. CN202826210U[P]. 2013-03-27.
- [9] 中国石油化工股份有限公司. CN103571026A[P]. 2014-02-12.
China Petroleum & Chemical Corporation. CN103571026A[P]. 2014-02-12.
- [10] 浙江瑞堂塑料科技有限公司. CN104231408A[P]. 2014-12-24.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN104231408A[P]. 2014-12-24.
- [11] 裴小静,等. 合成树脂及塑料,2014,31(6):11-14.
Pei Xiaojing, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2014, 31(6):11-14.
- [12] 郭骏骏,等. 材料保护,2013,46(2):39-40.
Guo Junjun, et al. Materials Protection, 2013, 46(2):39-40.
- [13] 代军,等. 中国塑料,2015,29(8):82-86.
Dai Jun, et al. China Plastics, 2015, 29(8):82-86.
- [14] 郭骏骏,等. 材料工程,2015,43(1):96-103.
Guo Junjun, et al. Journal of Materials Engineering, 2015, 43(1):96-103.
- [15] 郭骏骏,等. 光谱学与光谱分析,2015,35(6):1520-1524.
Guo Junjun, et al. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2015, 35(6):1520-1524.
- [16] 郭骏骏,等. 功能材料,2015,46(15):15047-15051.
Guo Junjun, et al. Journal of Functional Materials, 2015, 46(15):15047-15051.
- [17] 温原,等. 工程塑料应用,2014,42(11):85-88.
Wen Yuan, et al. Engineering Plastics Application, 2014, 42(11):85-88.
- [18] 郭峰,等. 化工生产与技术,2015,22(3):53-56.
Guo Feng, et al. Chemical Production and Technology, 2015, 22(3):53-56.
- [19] 陈学连. 中国塑料,2015,29(12):8-13.
Chen Xuelian. China Plastics, 2015, 29(12):8-13.
- [20] 金旻(厦门)新材料科技有限公司. CN106977804A[P]. 2017-07-25.
Jinyang (Xiamen) Advanced Materials Technology Co., Ltd.. CN106977804A[P]. 2017-07-25.
- [21] 李实,等. 广东化工,2013,40(20):101.
Li Shi, et al. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40(20):101.
- [22] 顾丽. CN102492213B[P]. 2014-11-19.
Gu Li. CN102492213B[P]. 2014-11-19.
- [23] 江西乐富军工装备有限公司. CN106867092A[P]. 2017-06-20.
Jiangxi Lefu Military Equipment Co., Ltd.. CN106867092A[P]. 2017-06-20.
- [24] 江苏赛凯诺环保科技有限公司. CN104327358B[P]. 2016-08-24.
Jiangsu Saikainuo Environmental Protection Technology Co., Ltd.. CN104327358B[P]. 2016-08-24.
- [25] 浙江瑞堂塑料科技有限公司. CN104231382B[P]. 2016-09-07.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN104231382B[P]. 2016-09-07.
- [26] 浙江瑞堂塑料科技有限公司. CN105131411B[P]. 2017-07-18.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN105131411B[P]. 2017-07-18.
- [27] 浙江瑞堂塑料科技有限公司. CN105254989B[P]. 2017-07-18.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN105254989B[P]. 2017-07-18.

- [28] 浙江瑞堂塑料科技有限公司 . CN106380654A[P]. 2017-02-08.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN106380654A[P]. 2017-02-08.
- [29] 浙江瑞堂塑料科技有限公司 . CN106380677A[P]. 2017-03-08.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN106380677A[P]. 2017-03-08.
- [30] 浙江瑞堂塑料科技有限公司 . CN105754198A[P]. 2016-08-10.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN105754198A[P]. 2016-08-10.
- [31] 浙江瑞堂塑料科技有限公司 . CN105754199A[P]. 2016-08-10.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN105754199A[P]. 2016-08-10.
- [32] 浙江瑞堂塑料科技有限公司 . CN105713278A[P]. 2016-07-27.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN105713278A[P]. 2016-07-27.
- [33] 浙江瑞堂塑料科技有限公司 . CN105585767A[P]. 2016-06-15.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co., Ltd.. CN105585767A[P]. 2016-06-15.
- [34] 北京化工大学 . CN103692591B[P]. 2016-03-23.
Beijing University of Chemical Technology. CN103692591B[P]. 2016-03-23.
- [35] 金旻(厦门)新材料科技有限公司 . CN106977804A[P]. 2017-07-05.
Jinyang (Xiamen) Advanced Materials Technology Co., Ltd.. CN106977804A[P]. 2017-07-25.
- [36] 广州亚雷森高分子材料有限公司 . CN106867014A[P]. 2017-06-20.
Guangzhou Yaresen Polymer Materials Co., Ltd.. CN106867014A[P]. 2017-06-20.
- [37] 湖南工业大学 . CN106478942A[P]. 2017-03-08.
Hunan University of Technology. CN106478942A[P]. 2017-03-08.
- [38] 金华市捷特包装有限公司 . CN105111575A[P]. 2015-12-02.
Jinhua Jieta Packing Co., Ltd.. CN105111575A[P]. 2015-12-02.
- [39] 安徽省宁国天亿滚塑有限公司 . CN104877211A[P]. 2015-09-02.
Anhui Ningguo Teamplas Co., Ltd.. CN104877211A[P]. 2015-09-02.
- [40] 苏州市医学教学模型制造有限公司 . CN102477190B[P]. 2013-12-18.
Suzhou Medical Teaching Model Co., Ltd.. CN102477190B[P]. 2013-12-18.
- [41] 青华科教仪器有限公司 . CN105348820A[P]. 2016-03-23.
Qinghua Science and Education Instrument Co., Ltd.. CN105348820A[P]. 2016-03-23.
- [42] 天津微瑞超分子材料科技有限公司 . CN105504217A[P]. 2016-05-18.
Tianjin Weiruihao Molecular Materials Technology Co., Ltd.. CN105504217A[P]. 2016-05-18.
- [43] 刘黎明,等 . 塑料工业, 2016, 44(7):144-146.
Liu Liming, et al. China Plastics Industry, 2016, 44 (7):144-146.
- [44] 上海三爱富新材料股份有限公司 . CN105294915A[P]. 2016-02-03.
Shanghai 3F New Materials Limited Company. CN105294915A[P]. 2016-02-03.
- [45] 陈林剑 . 台州出口全球直径最大的滚塑机 [N]. 台州商报, 2014-08-07(6).
Chen Linjian. Taizhou exports to the global maximum diameter of rotomoulding machine [N]. Taizhou Business Daily, 2014-08-07(6).
- [46] 中国塑协滚塑专委会 . 2014年中国滚塑技术进展 [C]//2015年中国塑协滚塑专委会年会论文集, 温岭 :[出版者不详], 2015.
RPC-CPPIA. Progress of China rotational molding technology in 2014.//RPC-CPPIA annual conference proceedings in 2015, Wenling:[Publisher unknown], 2015.
- [47] 中国塑协滚塑专委会 . 中国滚塑三十年 [R]. 北京 :[出版者不详], 2014.
RPC-CPPIA. China rotational thirty years[R]. Beijing:[Publisher unknown], 2014.
- [48] 重庆市韵诚塑料防腐设备有限公司 . CN205272389U[P]. 2016-06-01.
Chongqing Yuncheng Plastic Corrosion Protection Equipment Co., Ltd.. CN205272389U[P]. 2016-06-01.
- [49] 叶江富 . CN103128895A[P]. 2014-12-17.
Ye Jiangfu. CN103128895A[P]. 2014-12-17.
- [50] 温岭市旭日滚塑科技有限公司 . CN104354255 B[P]. 2016-11-09.
Wenling Rising Sun Rotomolding Technology Co., Ltd.. CN104354255B[P]. 2016-11-09.
- [51] 温岭市旭日滚塑科技有限公司 . CN107160616A[P]. 2017-09-15.
Wenling Rising Sun Rotomolding Technology Co., Ltd.. CN107160616A[P]. 2017-09-15.
- [52] 高元元,等 . 机械设计与制造, 2014(9):255-259.
Gao Yuanyuan, et al. Machinery Design & Manufacture, 2014 (9):255-259.
- [53] 无锡市华润环保设备有限公司 . CN102825703A[P]. 2013-02-27.
Wuxi Huarun Environmental Protection Equipment Co., Ltd.. CN102825703A[P]. 2013-02-27.
- [54] 淄博富邦滚塑防腐设备科技有限公司 . CN204574046U[P]. 2015-08-19.
Zibo Fubang Rotomoulding Anti-corrosion Equipment Technology Co., Ltd.. CN204574046U[P]. 2015-08-19.
- [55] 烟台环通滚塑设备有限公司 . CN204322385U[P]. 2015-05-13.
Yantai Huantong Rotomoulding Equipment Co., Ltd.. CN204322385U[P]. 2015-05-13.
- [56] 常州飞盛塑料机械有限公司 . CN104118085B[P]. 2017-02-15.

- Changzhou Feisheng Plastics Machinery Co., Ltd.. CN104118085B[P]. 2017-02-15.
- [57] 新乡市双诚环保设备有限公司. CN205522181U[P]. 2016-08-31.
Xinxiang Shuangcheng Environmental Protection Equipment Co., Ltd.. CN205522181U[P]. 2016-08-31.
- [58] 慈溪市德顺容器有限公司. CN202846798U[P]. 2013-04-03.
Cixi Deshun Container Co., Ltd.. CN202846798U[P]. 2013-04-03.
- [59] 中国塑协滚塑专委会. 2013年中国滚塑技术进展[C]//2014年中国塑协滚塑专委会年会论文集.烟台:[出版者不详],2014.
RPC-CPPIA. Progress of China rotational molding technology in 2013[C]//RPC-CPPIA Annual Conference Proceedings in 2014. Yantai:[Publisher unknown]2014.
- [60] 慈溪市德顺容器有限公司. CN204869420U[P]. 2015-12-16.
Cixi Deshun Container Co., Ltd.. CN204869420U[P]. 2015-12-16.
- [61] 上海升运滚塑制品有限公司. CN104908183A[P]. 2015-09-16.
Shanghai Shengyun Rotomoulding Products Co., Ltd.. CN104908183A[P]. 2015-09-16.
- [62] 无锡新开河储罐有限公司. CN103264473B[P]. 2015-04-22.
Wuxi Xinkaihe Tank Co., Ltd.. CN103264473B[P]. 2015-04-22.
- [63] 浙江大学台州研究院. CN106493891A[P]. 2017-03-15.
Research Institute of Zhejiang University-Taizhou. CN106493891A[P]. 2017-03-15.
- [64] 应革. CN103192478A[P]. 2013-07-10.
Ying Ge. CN103192478A[P]. 2013-07-10.
- [65] 应革. CN103978600B[P]. 2016-06-08.
Ying Ge. CN103978600B[P]. 2016-06-08.
- [66] 浙江斯凯瑞机器人股份有限公司. CN205058436U[P]. 2016-03-02.
Zhejiang Sikesui Robot Co., Ltd.. CN205058436U[P]. 2016-03-02.
- [67] 凯奇集团有限公司. CN205086233U[P]. 2016-03-16.
Kaiqi Group Co., Ltd. CN205086233U[P]. 2016-03-16.
- [68] 凯奇集团有限公司. CN205086232U[P]. 2016-03-16.
Kaiqi Group Co., Ltd.. CN205086232U[P]. 2016-03-16.
- [69] 上海升运滚塑制品有限公司. CN106335152A[P]. 2017-01-18.
Shanghai Shengyun Rotomoulding Products Co., Ltd.. CN106335152A[P]. 2017-01-18.
- [70] 博谊(上海)工业有限公司. CN104608303B[P]. 2017-02-01.
Boyi (Shanghai) Industrial Co., Ltd. CN104608303B[P]. 2017-02-01.
- [71] 周建忠,等. 江苏大学学报:自然科学版,2015,36(2):153-158.
Zhou Jianzhong, et al. Journal of Jiangsu University:Natural Science Edition,2015,36 (2):153-158.
- [72] 大连船舶重工集团有限公司. CN105642509A[P]. 2016-06-08.
Dalian Shipbuilding Industry Corporation. CN105642509A[P]. 2016-06-08.
- [73] 安徽省宁国天亿滚塑有限公司. CN204977204U[P]. 2016-01-20.
Anhui Ningguo Teamplas Co., Ltd.. CN204977204U[P]. 2016-01-20.
- [74] 无锡新开河储罐有限公司. CN103112111B[P]. 2015-03-25.
Wuxi Xinkaihe Tanker Co., Ltd.. CN103112111B[P]. 2015-03-25.
- [75] 刘学军. 中国塑料,2013,27(10):58-64.
Liu Xuejun. China Plastics,2013,27(10):58-64.
- [76] 刘学军,等. 中国塑料,2017,31(6):79-83.
Liu Xuejun, et al. China Plastics .2017,31(6):79-83.
- [77] Crawford R J , Kearns M P .Practical guide to rotational moulding[M]. 2nd ed. Shrewsbury:Rapra Technology Ltd,2012.
- [78] 温原,等. 塑料科技,2017,45(2):55-58.
Wen Yuan, et al. Plastics Science and Technology,2017,45(2):55-58.
- [79] 温原,等. 工程塑料应用,2017,45(6):66-69.
Wen Yuan, et al. Engineering Plastics Application,2017,45(6):66-69.
- [80] 王晓乐,等. 塑料,2016,45(5):103-107.
Wang Xiaole, et al. Plastics .2016,45(5):103-107.
- [81] 温原,等. 工程塑料应用,2016,44(8):65-68.
Wen Yuan, et al. Engineering Plastics Application,2016,44(8):65-68.
- [82] 江苏大学. CN104526945B[P]. 2017-02-22.
Jiangsu University. CN104526945B[P]. 2017-02-22.
- [83] 无锡新开河储罐有限公司. CN103267487B[P]. 2015-08-05.
Wuxi Xinkaihe Tanker Co., Ltd . CN103267487B[P]. 2015-08-05.
- [84] 无锡新开河储罐有限公司. CN 103318578B[P]. 2014-12-10.
Wuxi Xinkaihe Tanker Co., Ltd . CN 103318578B[P]. 2014-12-10.
- [85] 无锡新开河储罐有限公司. CN103057191A[P]. 2013-04-24.
Wuxi Xinkaihe Tanker Co., Ltd . CN103057191A[P]. 2013-04-24.
- [86] 温岭市旭日滚塑科技有限公司. CN104802354A[P]. 2015-07-29.
Wenling Rising Sun Rotomolding Technology Co., Ltd. CN104802354A[P]. 2015-07-29.
- [87] 佛山金豹低碳科技有限公司. CN203957246U[P]. 2014-11-26.
Foshan Jinbao Low Carbon Technology Co., Ltd.. CN203957246U[P]. 2014-11-26.
- [88] 宁波星晖滚塑科技有限公司. CN106313399A[P]. 2017-01-11.
Ningbo Xinghui Rotomoulding Technology Co., Ltd.. CN106313399A[P]. 2017-01-11.
- [89] 浙江瑞堂塑料科技有限公司. CN205553005U[P]. 2016-09-07.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co.,Ltd.. CN205553005U[P]. 2016-09-07.
- [90] 浙江瑞堂塑料科技有限公司. CN106378896A[P]. 2017-02-08.
Zhejiang Rotoun Plastic Technology Co.,Ltd.. CN106378896A[P]. 2017-02-08.