

佛山长玻纤增强热塑性复合材料加工工艺的发展及推广应用（下）

李伟，廖灏飞，张海琛，童俊

（佛山大学机电工程与自动化学院，广东 佛山 528000）

（接上期）

3 国内外及佛山地区相关产业的发展现状

3.1 国内外产业发展现状

长玻纤增强热塑性复合材料在线配混注塑产品的发展符合绿色制造，是未来注塑制品发展的趋势。在此方面，美国、德国等工业发达国家已经将在线配混技术成功应用于产业化生产，欧洲已广泛使用长玻纤增强塑料粒料和直接注塑技术。美国除粒料外，也开发了直接长玻纤增强聚丙烯注射成型技术。连续在线配混注塑成型法在国际上目前公布的只有德国的Krauss-Maffei公司和Husky公司在1999年推出这项技术，Krauss-Maffei的设备注塑部分的锁模力715~5 940 t，已经能够商品化应用；Krauss-Maffei他们的技术特点是将传统的平行双螺杆挤出机和注塑机组合在一起，Krauss-Maffei公司由于其在注塑机和挤出机方面均掌握先进技术，并且采用集料器、起始阀等技术较好的解决了连续配混于间歇注塑的搭配问题。Husky公司是世界知名的注塑机制造商，Husky的设备的锁模力为330 t，目前也进入了市场化阶段，其配混设备则采用了德国W&P的双螺杆挤出机，他们的配混过程是随着注塑过程间歇进行的，这样对配混均匀性产生了不良影响。

我国在此方面还处于发展阶段。目前已知福建省科学技术厅报告了一个突破性项目，该项目成功研发并产业化应用了在线长纤维增强热塑性复合材料成型技术与成套装备。这包括了树脂的真空自动上料、连续失重式计量系统、玻纤短切连续计量系统、双螺杆机组塑化、混配、挤出系统等。国内几家领先的注塑机生产企业(东华机械、广东伊之密等)和国内华南理

工大学对于在线配混注塑成型技术的探索已经持续多年，进行了大量试验研究，并取得了初步成果。相对于国外先进技术水平来讲，我国长玻纤在线配混注塑成型技术存在整机总体设计、技术指标落后、高新技术的应用落后、设备可靠性差等差距，缺乏实用性成果而未能大规模商业化，并且由于巨大的设备投资成本，多数的中小制造企业尚无法承受。

3.2 佛山市高分子材料及加工成型产业的发展与创新

佛山市与高分子材料及高分子加工成型相关的产业基础雄厚，产业特色明显。该产业与陶瓷产业、家用电器产业、机械装备产业等构建了佛山市的支柱产业。在2023年初于深圳举行的“CHINAPLAS 2023国际橡塑展”上，广东省塑料工业协会的负责人符岸呈现了一份深度分析报告，命名为《2020-2022年广东省塑料行业发展概览》。据报道，大湾区的塑料制品年产量突破千万吨大关，占据广东省总产量的83%，而在全中国范围内的占比约为80%。报告中特别强调了佛山市在这一领域的重要贡献。2021年，佛山市的塑料制品产量高达578万t，不仅在大湾区九市中占据了近半数的份额，而且在广东省的产量中也占有相当的比重，使佛山市在全省的产量排名中位居前列。这份报告不仅展现了大湾区乃至佛山市在塑料制品行业中的重要地位，同时也反映了这一行业在广东省乃至全国范围内的发展趋势和前景，譬如以生产塑料管材制品闻名的联塑、雄塑、顾地等企业，以特种加工膜和功能材料著称的佛塑集团，以聚合物成型加工制造装备为代表的广东星联科技有限公司和广东伊之密精密机械股份有限公司等。目前这个行业正在向着循环利

用、节能减排、产品高端化和智能化的方向发展。佛山长玻纤增强热塑性材料加工技术及装备整体居全行业发展前列，也对广东省塑料制品配套的汽车、电子电器、医疗器械等行业有极大的发展前景。

佛山的汽车产业发达，最著名的即是一汽大众。作为佛山年产值上百亿的龙头型企业，金属材料和高分子材料用量巨大。长玻纤增强型复合材料作为汽车内饰、保险杠、尾箱等结构件的主要材料，其使用量逐年增加。例如，在汽车前端模块的制作中，长玻纤增强型复合材料的使用可实现多个传统金属部件的一体化，如散热器、喇叭、冷凝器和支架等，带来了更强的耐腐蚀性能、更轻的重量（大约减轻30%）和更小的密度；在制作仪表板骨架和座椅靠背等部件时，长纤维增强聚丙烯能有效减轻部件重量，并提供更高的设计灵活性和改善的机械性能。长玻纤增强型材料在一台汽车上的使用量达到了90 kg。在实现了轻量化的同时，也节约了能耗和资源。

作为佛山的支柱产业之一家电行业，冰箱、空调、洗衣机、微波炉等外壳及承压结构件，逐渐推广采用长玻纤增强型复合材料，代替了以前的金属材料。佛山市以其完善的家电制造业链条而闻名，其中包括如美的、格兰仕等知名的本地领军企业。这些公司在产品的研发、设计及制造领域均有显著成就，并在品牌推广方面也取得了成功。随着家电行业逐渐转向数字化，如美的集团在其顺德微波炉工厂的数字化升级便是一个典型例子，这一转型不仅提升了工厂的生产效率，还降低了能源消耗，展示了佛山家电行业向着更高效、环保的生产方式的转变。这种数字化转型为应用如长玻纤增强型复合材料等新材料提供了机遇，特别是在轻量化、耐久性和环保等方面的家电产品改进上，在不增加重量的情况下，达到了使用的强度要求。疫情以来，佛山家电产业受到了冲击，效益直线下降，为了保持利润，稳定生产，对节能降本提出了更高的要求，急需新技术的应用。

佛山市的生物医药及健康产业正在快速发展，产业格局已经形成，以现代中药、医疗器械和化学药为基础，重点发展生物药和创新药，并以高端医疗装备为后续发展。2022年12月，佛山发布了《促进佛山云东海生物医药产业园高质量发展扶持办法》，旨在

推动医药产业的高质量发展。云东海生物医药港产业园是广东省七大产业集聚区之一，也是佛山市十大创新引领型特色制造业园区之一，它是粤港澳大湾区唯一一个拥有超过一万亩可开发用地的生物医药产业园区。在医疗器械的内部结构件制造中，长玻纤增强热塑性材料因其高耐磨性能和抗拉强度而得到广泛应用。这些内部结构件需要承受各种负载和摩擦，因此选用这种材料能够显著提高耐磨性和抗拉强度，确保医疗器械的长期稳定运行。此外，长玻纤增强热塑性材料还用于制造手术器械、医疗设备配件等各种功能部件。这些功能部件需要具备耐腐蚀和耐高温性能，以适应各种恶劣环境，使得这种材料成为理想的选择。

佛山地区相关行业对长玻纤增强热塑性复合材料需求巨大，且呈现高速增长的态势，给本项目成果的直接经济效益带来了市场。研究工作都是围绕降低塑料加工能耗、提高塑化加工效率、减小加工设备体积重量的目标而展开的创新研究工作。在保证制品质量的前提下，开发节能、可再生、新型环保成型技术，实现经济社会可持续发展。高分子材料加工成型技术的创新实践对高分子材料成型加工工作效率、降低能耗、促进行业绿色制造和可再生资源持续利用，具有极其重要的意义。项目规划的各个关键技术成功开发，将极大促进佛山市高分子材料成型加工技术的高端化，有效推进生产效率的提高和产品竞争力的加强，对整体提升佛山地区制造业的技术水平和科技含量，促进产业升级换代，具有明显的社会示范性。

4 长玻纤增强热塑性复合在线配混技术在佛山企业的推广

长玻纤增强热塑性复合材料因其杰出的力学性能和成本效益，在众多领域备受青睐。这类材料融合了长玻璃纤维的高强度与热塑性树脂的加工易性，成为众多工程应用的首选。但在常规注塑成型中，此类复合材料面临诸多挑战。一是在注塑过程中，受设备结构和成型工艺参数限制，长玻纤易发生严重断裂，这种断裂不仅削减了产品中纤维的有效长度，也降低了材料的综合性能，如强度和韧性；二是长玻纤在成型产品中的均匀分散同样关键。纤维分布不均可能导致

产品性能波动，影响其可靠性和品质。

为应对这些问题，本研究放弃了传统的两步成型法，转向更高效的一步成型技术。此技术采用特制螺杆一线式结构，有效减少纤维损伤，并优化了其在复合材料中的分散度。借助一步成型法，长玻纤可在螺杆挤出时直接均匀混入聚丙烯基体，生产出性能更优的复合材料。此外，一步成型技术还提高了生产效率，降低了能耗，使得长玻纤增强热塑性复合材料的生产更经济、环保。总体来看，这一创新技术不仅提升了产品性能，也为长玻纤增强热塑性复合材料的工业应用提供了新的方向。从整机测试和材料测试结果来看，都达到了国内领先水平。项目成熟以后，推广期间为5家以上企业进行纤维增强型复合材料制备技术现场宣传和推广：

（1）项目合作单位广东伊之密精密注压科技有限公司，致力于该技术的产业化，双方共同完成了科学技术成果鉴定（粤机学鉴字[2021]005号）：“长纤维在线配混注射成型关键技术及装备的研发与产业化”。

（2）2020年8月5日，佛山大学赴广东仕诚塑料机械有限公司宣传推广了目前主持的纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术及其应用推广情况，公司参会人员30人。

（3）2020年8月19日，佛山大学到佛山华新恒丰聚酯包装有限公司开展纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术推广应用培训和讲座，培新了120余人。

（4）2020年9月11日，佛山大学为佛山市南海华达高木模具有限公司开展纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术推广应用培训和讲座，公司参会人员20人。

（5）2021年11月5日，项目主持人作为特邀专家，参加了2021年佛山市南海区九江镇科技赋能活动-先进制造专场，给参会企业技术人员技术宣传推广，宣讲主题为“长玻纤增强热塑性材料三层共挤管材一步成型方法及设备”，参会人员40多人，得到了与会人员的好评。

截止目前，长玻纤增强复合材料的加工技术已经先后在佛山20家企业进行了技术推广与服务。其中包括广东伊之密精密注压科技有限公司、广东瑞洲科

技有限公司等知名企业。通过企业平台实现科技成果转化的同时，也对该技术的普及起到了很好的推动作用。在为企业提供技术服务的同时，通过给员工开展讲座，促进行业的转型升级。同时分层次、多方面为企业开展项目咨询及讲座方面的宣讲。服务企业20家，开展培训/讲座/咨询等服务8次，为企业/单位服务9次，培训及服务人数300人。

表1为培训/讲座/企业咨询情况：

表 1 长玻纤增强复合材料的加工技术培训 / 讲座 / 企业咨询情况

序号	培训/讲座/企业咨询
1	利用“高分子专业资源库”微信公众号对“一种空调底盘及空调底盘的制备方法”进行宣传和推广
2	“高分子专业资源库”微信公众号对“长玻纤增强热塑性复合材料的成型工艺及力学性能研究”进行了宣传和推广
3	“工程塑料应用”微信公众号对波浪螺杆影响注塑长玻纤增强聚丙烯的相关理论进行了宣传和推广
4	2020年9月29日20:00，本项目“纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术及其应用推广”系列线上讲座
5	2020年10月26日19:30，本项目“纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术及其应用推广”系列线上讲座
6	2020年12月6日，本项目“纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术及其应用推广”论坛
7	2019年12月，本项目技术成果“长玻纤增强聚丙烯在线配混注射工艺及关键技术研究”参加在潭州会展中心举办的创新成果交流对接会
8	2020年8月28日，佛山大学项目“一种转子泵式新型挤出机的研发及其产业化”进入了第三届高创杯2020广东高校科技成果转化路演大赛“先进制造”小组决赛，该项目基于拉伸流变挤出成型技术，提出了一种实现强制拉伸挤压的新设备。通过前期线上评审、初选、培训、初赛等，大力宣传和推广了该新设备

表2为企业服务情况如下。

表 2 长玻纤增强复合材料的加工技术企业服务情况

序号	服务企业/单位
1	广东伊之密精密机械股份有限公司
2	广东瑞洲科技有限公司
3	佛山华新恒丰聚酯包装有限公司
4	广东中科鼎新医疗科技有限公司
5	佛山市南海华达高木模具有限公司
6	广东仕诚塑料机械有限公司
7	广州研华机械技术有限公司
8	佛山市南海中南机械有限公司
9	佛山市三水合成电器实业有限公司
10	广州市哈尔技术有限公司
11	埃尔利德(广东)智能科技有限公司
12	广州搏泰精密机械有限公司
13	广州迈测机电设备有限公司
14	广东富羽新材料科技有限公司
15	广东嘉福新材料科技有限公司
16	江门市东璇塑料实业有限公司
17	广西中科鼎新产业技术研究院
18	广东科鉴检测工程技术有限公司
19	广东凌霄泵业股份有限公司

对接省级以上学会情况如下:

(1) 2020年10月13日,由中国塑料机械工业协会、中国塑料机械行业专家委员会主办的中国塑机科技创新论坛(云直播公益大讲堂)正式开讲,瞿金平院士作为本次论坛的开场嘉宾,演讲主题为“中国塑料机械技术发展趋势”,分享了塑料机械行业发展的新动态与新技术。本次直播累计获得了1 700多人次的观看。

曾作为瞿金平院士所在的华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心、聚合物成型加工工程教育部重点实验室的学生,项目负责人积极宣传并邀请了佛山市行业企业代表积极参加了该次会议。瞿金平院士结合自身30多年的研究经验,分享了“剪切拉伸化”、“化学物理化”等塑料机械技术,也涉及到本项目所积极推广的拉伸流变挤出成型技术,现场干货满满,获得了代表的一致好评。

(2) 2020年10月24日,由中国科协学会服务中心、广东省科学技术协会主办,中国机械工程学会、广东省机械工程学会支持,佛山市科学技术协会、佛山大学、佛山市机械工程学会承办的“发展高端装备制造业助力粤港澳大湾区建设论坛”在佛山举办。项目实施单位也邀请了佛山相关企业代表,并带领相关团队成员也参加了这一盛会,向企业代表、参会代表宣传和分享了纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术及其应用推广情况。

(3) 2020年10月24日,由中国科协学会服务中心、广东省科学技术协会主办,中国机械工程学会、广东省机械工程学会支持,佛山市科学技术协会、佛山大学、佛山市机械工程学会承办的“发展高端装备制造业助力粤港澳大湾区建设论坛”在佛山举办。项目负责人也邀请了佛山相关企业代表,并带领相关团队成员也参加了这一盛会,向企业代表、参会代表宣传和分享了纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术及其应用推广情况。

互联网对长玻纤增强复合材料在佛山的推广也起了非常积极的作用,微信公众号“高分子专业资源库”对“长玻纤增强热塑性复合材料的成型工艺及力学性

能研究”进行了宣传和推广。微信公众号“工程塑料应用”对广东伊之密精密注压科技有限公司的波浪螺杆影响注塑长玻纤增强聚丙烯的相关理论进行了宣传和推广。举办线上会议与讲座也是重要的推广手段。2020年9月~10月期间,通过对接学会开展学术交流,邀请了华南理工大学瞿金平院士、冯彦洪教授、五邑大学徐百平教授等对复合材料加工成型有深度研究的资深学者,就复合材料加工成型的发展趋势和先进技术进行宣讲与分享交流。

(4) 2023年12月9~10日,一场备受瞩目的学术盛会——广东材料发展论坛在佛山市隆重举行。这一论坛是由广东省材料研究学会、佛山高新区管理委员会以及广东省科学院新材料研究所的共同发起,并在广东省科学技术协会和广东省科学院的指导下,由广东佛山市陶瓷研究所控股集团有限公司负责承办。论坛集结了来自全国各地的超过700位专家和学者,共同探讨“新材料创新与制造业高质量发展”的主题。

此次论坛采取了多种形式进行交流和展示,包括主题报告、11个分论坛的讨论、青年学者论坛以及成果展览等。特别值得一提的是,论坛选择在全国唯一的制造业转型升级综合改革试点城市——佛山举办,这不仅彰显了其深远的学术意义,还具有实际的应用价值。这一盛会为推动广东省成为制造业强省,以及佛山市成为制造业强市提供了强劲的科技支撑和创新思路。

5 总结与展望

塑料产品的更新换代和上档次的关键之一是技术装备的更新、改造以及加工工艺的进步。佛山市高分子材料加工技术及装备整体居全行业发展前列,但除一些大型企业、产品骨干生产企业或外资企业外,不少企业技术装备仍落后,相当多企业仍在使用单位产值能耗高的设备,部份已到更新改造阶段。而好的技术装备基本是进口的,行业中具有自主知识产品、重大自主创新产品和技术不多。因此当前纤维增强型复合材料在线配混新技术及其应用亟待推广,该技术目前主要应用于汽车零部件及家用电器方面,在其他方面应用还有待普及推广的空间。在项目实施过程中,

既有技术方面的障碍，也有管理及认识方面的不足。主要表现在几个方面：

(1) 部分关键的元器件国产产品的性能和质量不能达到要求，需要采用进口产品，带来的问题是成本高、供货周期较长，售后服务及时性差。

(2) 对于小批量的精密零件，国内供应情况不理想。主要因为国内加工商的加工设备和水平较低，满足于低档、大批量生产，不能提供小批量，高精密的加工服务。

(3) 高水准技术工人的缺乏，因为长玻纤在线配混注塑成型技术中零部件加工精度要求高，加工工艺复杂不仅需要好的加工设备，还要有好的技术工人。而这方面已经是我国整个制造业面临的问题。我们应当采取的方法是立足于自己培养，首先挑选技术功底好、肯钻研的工人，然后会同设计人员、工艺编制人员建立专门的技术攻关小组（CMT小组）进行攻关，解决了关键部件的加工问题。这对广东省塑料制品配套的汽车、电子电器、信息、现代包装、建材等行业的制约作用不容忽视。

(4) 纤维增强型复合材料在线配混制备新技术及其推广应用面亟待扩大，目前该技术主要应用于汽车零部件及家用电器方面，在其他方面应用还有待普及推广的空间。

由项目承担单位联合多家单位进行的纤维增强型复合材料在线配混制备新技术及其推广应用开发的长玻纤增强热塑性在线配混注射成型机已经进入产业化阶段，凭借着优异的性价比，产品已经远销马来西亚和德国，设备主要应用于汽车、机械及高性能民用产品领域。该技术目前处于国内同行领先水平。后续将加大新产品的开发力度，积极开拓市场，进一步提高研发实力，积极实施人才扩充计划，增强自主创新能力，提升核心竞争力，为该项目未来发展积累良好的基础，采取以下措施确保该项目可持续发展：

a. 以市场为导向，保持该技术在现有注射成型设备市场的传统优势，并以此为基础开展相关多元化发展，重点向智能、柔性、精密、专业化的中小型注塑机、大中型及特大型注射机发展。通过前期市场反馈的信息来看，客户对该设备普遍反应良好，能满足大规模的长玻纤增强复合材料制品的生产。将继续加大

投入和开发力度，优化产品结构，拓宽设备应用领域；同时，继续研发同类型的新产品，优化配混系统和进纤系统，开发出更多种类的产品，为客户提供多类型的注射成型解决方案及自动化解决方案，争取未来5年占据国内60%的市场。

b. 在“让中国技术与世界同步”的共识下，优化企业现有生产工艺技术，培养技术工人，促进企业制造技术发展，提高企业在精密制造方面的综合竞争力，实现可持续的快速发展。

c. 在现有营销服务网点的基础上，继续加强企业在各细分市场的开拓力度，努力开拓新的客户，全面扩大企业在全国各个区域的市场占有率。优化营销管理模式，建设更规范化的营销队伍行为模式，确保该技术在国内市场的领先地位。在国际市场方面，公司通过现有的海外销售网络及新产品的推出，及时向海外市场推介该产品；同时，将对战略性市场进行一些策略调整，加大战略客户的开发力度，实现战略性市场的新突破，开拓有潜力的新市场。

d. 企业将不断完善优化用人计划，广纳优秀经营管理人才、营销人才和科研人才，建立科学的人力资源管理体系，进一步增强企业持续发展能力。

长玻纤增强复合材料的用途广泛，国内市场发展潜力巨大，而相应的制备工艺在国际复合材料市场上与外国公司还存在着一定的距离。但是国内复合材料的相关行业与科研人员，在设备结构和制备机理上，通过努力不断地在缩小与国外企业的差距。新的复合材料生产机理、新的生产设备的出现，在佛山可以得到良好的产业转化。佛山有关高分子复合材料的企业众多，国内许多走在行业前端的塑料制品生产商，复合材料加工设备制造商都出自佛山。佛山市作为国内制造业名城，有坚实的装备制造基础，在佛山可以更好的推广和发展长玻纤增强复合材料及其制造装备。未来随着国内智能制造的发展，重要零部件的自主生产能力提升，长玻纤增强热塑性复合材料制备新技术可以更好的服务佛山乃至全国各复合材料制造企业，推动中国复合材料绿色生产迈上新的台阶。

参考文献：

[1] 刘创彬，叶树林，李伟. 长玻纤增强热塑性复合材料的研究

- 进展 [J]. 广州化工, 2020,48(24):4-6.
- [2] 李梦. 长玻纤增强聚丙烯注塑成型的研究 [D]. 北京化工大学, 2017.
- [3] 洪林, 栾丛丛, 姚鑫骅, 等. 碳纤维复合材料原位增材制造设备与工艺 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2022,56(11):2119-2126.
- [4] 王耀先, 程树军. 高性能有机纤维增强复合材料的界面粘结性能研究 [J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2012(S1):25-29.
- [5] 王俊琦. 玻璃纤维增强热塑性树脂筋的弯折工艺及耐久性能研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2022.
- [6] 李伟, 张涛, 蒋小军, 等. 汽车轻量化用高分子材料成型加工研究进展 [J]. 广东化工, 2020,47(19):94-96.
- [7] 宋河海. 连续长玻纤增强聚丙烯复合材料的制备及其性能研究 [D]. 北京化工大学, 2014.
- [8] 蔡玄龙, 倪妮, 张兆峰. 碳纤维与芳纶纤维增强环氧树脂复合材料的动态力学性能 [J]. 理化检验 - 物理分册, 2023, 59(07):1-4.
- [9] 用螺杆式注射成型机加工热固性塑料时最佳螺杆设计和磨损问题 [J]. 塑料, 1974,(01):107-109.
- [10] 李晓雄, 杨小祥. 长玻纤增强聚丙烯在汽车翼子板上的应用 [J]. 玻璃纤维, 2021,(06):1-4.
- [11] 任峰. 长纤维增强聚丙烯复合材料浸渍工艺及机理的研究 [D]. 北京化工大学, 2018.
- [12] 吴夕科, 蔡凡一, 谭东现, 等. 玻纤增强尼龙材料在严酷环境条件下耐电痕化特性研究 [J]. 高压电器, 2020,56(11):34-38.
- [13] 李伟, 童俊, 胡满凤, 等. 在线配混工艺对 PP/LFT 复合材料力学性能影响 [J]. 工程塑料应用, 2022,50(08):59-65.
- [14] 朱瑶瑶. 长玻纤增强聚丙烯流体辅助注塑成型工艺 — 形态 — 性能研究 [D]. 华东交通大学, 2023.
- [15] Jianchuan Wang, Chengzhen Geng, Feng Luo. Shear induced orientation, fiber breakage and matrix molecular orientation in long glass fiber reinforced polypropylene composites [J]. Materials Science and Engineering A528(2011):3169-3176.
- [16] 贾舜宸. 原位聚合法制备 DL 聚乳酸 / β -磷酸三钙复合骨修复材料及性能研究 [D]. 四川大学, 2007.
- [17] 唐荣华, 杨旭静, 郑娟. 长玻纤增强聚丙烯复合材料热模压成型工艺的研究 [J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2016(08):62-67.
- [18] 李光波, 曾禹星, 袁象恺, 等. 悬浮浸渍拉挤成型长玻纤增强 ABS 复合材料工艺研究 [J]. 塑料工业, 2006,(07):15-18.
- [19] 曹铖, 赵军, 沈沉, 等. 长玻纤注射成型工艺制备的聚氨酯复合材料性能研究 [C]// 中国聚氨酯工业协会. 中国聚氨酯工业协会第十八次年会论文集. 万华化学 (北京) 有限公司, 2016:6.
- [20] 于宁. 面向工业设计的新材料与新工艺的应用研究 [D]. 哈尔滨理工大学, 2009.
- [21] 李伟, 张涛, 蒋小军, 等. 纤维增强型复合材料绿色制造制备新技术概述 [J]. 广东化工, 2021,48(03):70-72.
- [22] 蔡思琦. 叶片挤出机固体物料的压实过程及机理研究 [D]. 华南理工大学, 2011.

(全文完)

