高分子材料科学与工程
POLYMER MATERIALS SCIENCE & ENGINEERING

http://pmse.scu.edu.cn

工艺方法对水辅助注塑成型短玻纤增强聚丙烯管件壁厚、耐压性能及玻纤取向的影响

张　伟[1]，王茂增[2]，匡唐清[1]，柳和生[1]，徐有昊[1]

（1. 华东交通大学 机电与车辆工程学院，江西 南昌 330013; 2. 华东交通大学 材料与科学工程学院，江西 南昌 330013）

摘要：以短玻纤增强聚丙烯（SGF/PP）为实验材料，采用水辅助注塑溢流法（WAIM-O）、水辅助注塑短射法（WAIM-S）、水驱动浮芯辅助注塑溢流法（WPAIM-O）和水驱动浮芯辅助注塑短射法（WPAIM-S）四种工艺制备圆形管件，通过壁厚测量、扫描电子显微镜（SEM）表征及耐压测试，系统分析工艺对管件残余壁厚、玻纤取向及耐压性能的作用规律，明确宏观性能与微观结构的关联机理。结果表明，浮芯加入可显著优化水辅注塑熔体穿透稳定性，溢流法制品残余壁厚大于短射法，WPAIM 工艺残余壁厚小于 WAIM 工艺；四种工艺中 WPAIM-O 制品壁厚均匀性最优，WAIM-S 最差。SEM 表征显示，WAIM-O 制品玻纤呈无序取向，其余三种工艺制品玻纤多沿流动方向有序排列。耐压测试表明，壁厚、壁厚均匀性及玻纤取向共同调控耐压性能，其中 WAIM-O 制品耐压性能最优（7.3MPa），显著高于 WPAIM-O（5.1MPa），WPAIM-S（4.0MPa）及 WAIM-S（3.3MPa），得出壁厚越厚，均匀性越高且玻纤取向无序程度越强，制品耐压性能越优异。

关键词：工艺方法；短玻纤增强聚丙烯；壁厚；耐压性能；玻纤取向

水辅助注塑成型（Water-assisted injection molding, WAIM）是一种基于传统注塑（Conventional injection molding, CIM）技术演变而来的一种成型具有复杂形状结构中空或部分中空制品的新工艺，具有成型时间短、模具设计灵活、制品表观质量好等优点[1-2]。根据穿透介质的不同，WAIM 工艺可分为直接注射法和水驱动浮芯辅助注射成型（Water-powered projectile-assisted injection molding, WPAIM）两种工艺。直接注射法依靠高压水直接穿透熔体以形成中空截面；与之不同的是 WPAIM 工艺通过高压水推动浮芯向前穿透熔体获得中空截面；且浮芯的引入可使 WPAIM 成型制品的中空截面壁厚均匀性提升，制品截面尺寸可控，范围也更广[3]。

鉴于其独特的优势以及巨大的应用前景，WPAIM 工艺受到了众多学者的青睐。丁加新等[4]通过数值模拟和实验相结合的方法研究了浮芯大小和延迟时间对聚丙烯制品残余壁厚的影响。Oliveira 等[5]通过对比实验发现 WPAIM 制品的质量比 WAIM 的好，并分析了两种成型制品质量产生差异的原因。Kuang 等[6-8]通过数值模拟研究了熔体温度、熔体注射压力、模具温度、延迟时间以及水压对 WPAIM 聚丙烯制品残余壁厚和浮芯穿透行为的影响。胡礼彬等[9]通过实验研究了浮芯材料对 WPAIM 聚丙烯直管制品残余壁厚的影响。王彦卿等[10]通过实验探究了浮芯材料与尺寸对 W-PAIM

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2026.0128
收稿日期：2025-09-03
基金项目：国家自然科学基金资助项目（52303038）
通讯联系人：张伟，主要从事聚合物成型工艺及装备研究，E-mail: weizhang@email.ncu.edu.cn; zhangwei2022@ecjtu.edu.cn

弯管制品壁厚的影响，结果表明：采用 PA6 制备浮芯成型得到的管件，壁厚均匀性优于其他材质浮芯成型的管件；当浮芯直段长度为 7 mm、头部形状为抛物线型、直径为 13 mm 时，成型管件的壁厚均匀性更佳，成型质量更优。冯强[11]在 W-PAIM 基础上对弹头在熔体中的穿透行为及弹头材料与形态对制件质量影响的关系进行了进一步研究。在纤维增强聚合物方面，朱瑶瑶[12]通过实验对比了 WPAIM 溢流法（Overflow WPAIM, WPAIM-O）和气体驱动浮芯注塑成型溢流法长玻纤增强聚丙烯制品微观及宏观性能，发现 WPAIM-O 管件内壁质量及穿透性更好且残余壁厚更均匀。钟罗浩等[13]对比研究了溢流法气体辅助注塑成型和溢流法水辅助注塑成型直接法和浮芯辅助注塑四种工艺成型制品的性能，发现浮芯的加入使得制品纤维取向更有序。Zhang 等[14]通过实验研究了工艺参数对 WPAIM-O 制品性能的影响，发现延迟时间是影响 WPAIM-O 制品中纤维取向分布的主要工艺参数。

然而，现有研究多集中于探讨成型工艺参数对 WPAIM-O 制品壁厚与纤维取向分布的影响，尚未针对 WAIM-O、WPAIM-O、短射法 WAIM 和短射法 WAIM 四类主流水辅助注塑成型工艺开展系统性平行对比研究，无法明确不同成型工艺对短玻纤增强聚丙烯中空管件壁厚分布、玻纤取向以及最终耐压性能的调控规律，也尚未厘清“成型工艺- 残余壁厚-玻纤取向-管件爆破耐压”的内在联系。此外，既有针对 WAIM 工艺直接注射法的研究结果显示，成型工艺类型的差异会对高压水的穿透行为、制件壁厚分布与纤维取向特征产生调控作用，进而最终影响制品的综合使用性能[15]。由此可见，明确不同成型工艺对 WAIM 制品性能的影响规律，对推动 WAIM 工艺的产业化应用具有重要理论与实践意义。

基于此，本文依托课题组自主搭建的纤维增强聚合物 WAIM 实验平台，针对前述四类主流水辅助注塑成型工艺开展系统性研究，揭示不同成型工艺对纤维增强聚合物制品使用性能关键影响要素（壁厚均匀性、纤维取向分布及周向力学性能）的作用机制，进一步厘清“成型工艺-残余壁厚-玻纤取向-管件爆破耐压”的内在关联，从而为短玻纤增强聚丙烯承压管件的水辅助注塑成型工艺选型与工艺参数优化提供系统性实验依据与理论支撑。

1 实验部分

1.1 原料与设备

样品成型的原材料：国家能源集团企业有限责任公司生产的 20%SGFRPP，牌号为 GH42。

浮芯：课题组自制，如 Fig.1 所示；制造原材料是荷兰帝斯曼集团生产 PA6，牌号 1010C2。

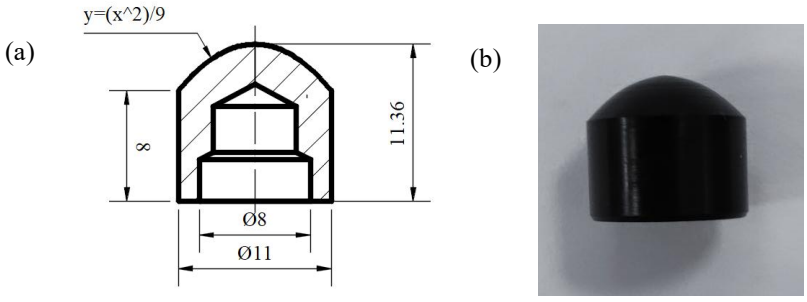


Fig. 1 Floating core: (a) size diagram; (b) physical model picture

实验使用的直管模具结构示意图如 Fig.2 所示。其结构主要由注水口、注胶口、主型腔、封针及溢流腔等组成。模具的主型腔尺寸为 245 mm x16 mm(长度 x 直径)，溢流腔直径为ϕ10mm。四种工艺使用的均是该模具，短射法与溢流法是通过型腔末端的封针（即 Overflow pin）的开启和关闭来实现。

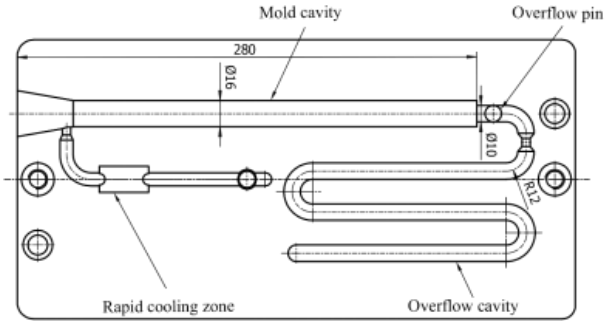


Fig. 2　Two-dimensional drawing of mold structure

1.2 样品制备

本文采用 WAIM-O、WPAIM-O、WAIM-S 和 WPAIM-S 四种工艺方法，工艺的成型示意图如 Fig.3、Fig.4、Fig.5 和 Fig.6 所示。WAIM 的两种工艺的过程均为：合模、注入熔体、注入高压水、保压及冷却、开模取件。其不同点在于溢流法是将型腔注射满熔体，而短射法则是基于熔体材料、熔体温度等因素的影响进行适当的调整，大约在 50%左右。WPAIM 的两种工艺则是在 WAIM 工艺的基础上加一个浮芯，流程上是：合模、放置浮芯、注入熔体、注入高压水、保压及冷却、开模取件。其余同 WAIM 的工艺过程一样。

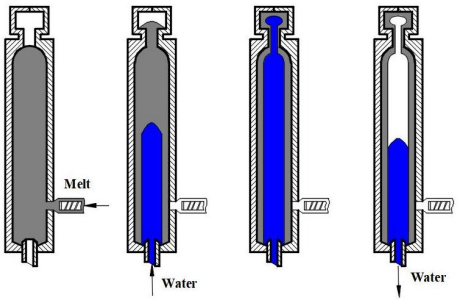


Fig. 3　WAIM-O Molding process

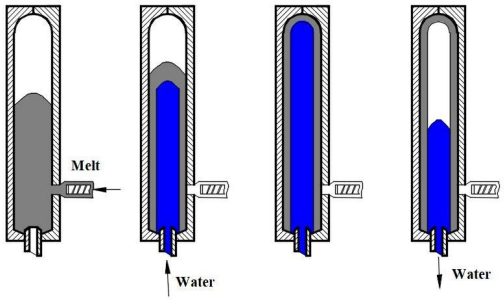


Fig. 4　WAIM-S Molding process

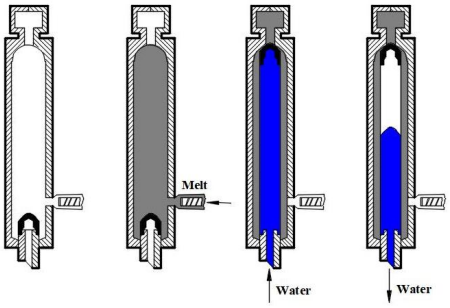


Fig. 5　WPAIM-O Molding process

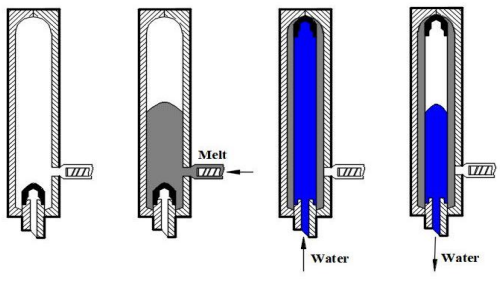


Fig. 6　WPAIM-S Molding process

之前 WAIM 实验表明，若成型参数设置不当，会使传统 WAIM 产品出现缺陷或无法成型[11-12]。

为全面比较这四种工艺的性能，本文基于以往的成型经验，设定了高、中、低三种工艺参数水平以制作样品，并以壁厚的厚度与均匀性这两项参考标准评判优劣，再从其中最优的一组水平中制取耐压和玻纤取向的样品。具体实验参数见 Tab.1。

Tab. 1　Forming process parameters

Parameter	Low	Middle	High
Melt Temperature/ ℃	210	240	270
Fluid injection pressure/ MPa	4	8	12
Injection delay time/ s	3	8	13
Mold temperature/ ℃	30	60	90
Melt injection pressure/ MPa	8	8	8
Melt injection speed/%	80	80	80
Backpressure/MPa	12	12	12
Melt injection volume-O/mm	58	55	51.5
Melt injection volume-S/mm	29.5	28	26

1.3 测试与表征

1.3.1 壁厚制样及测量：为得到精确的实验结果，从每种工艺方法成型的制品里抽取三根样品以测量壁厚，每根样品的测量位置与测量方式如 Fig.7 所示，最终把测量结果取平均值当作样品壁厚值。

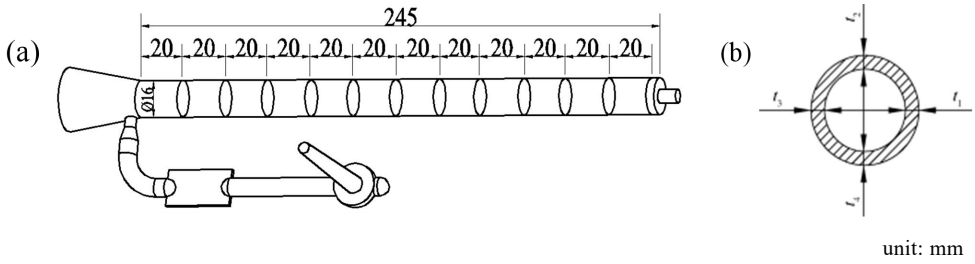


Fig. 7　Measuring method of residual wall thickness: (a) measure points; (b) measure method of each segment

1.3.2 纤维取向表征：从各成型工艺制品上截取一个长度为 5 mm 的圆环，随后置于液氮中冷冻 30min，接着实施脆断处理获得断面，如 Fig.8 所示。然后，将脆断面喷金处理后进行 SEM 表征。

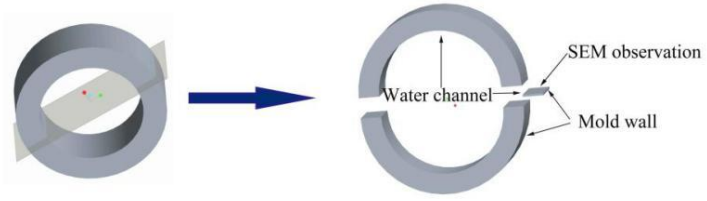


Fig. 8　Schematic of the sample preparation for SEM observations

1.3.3 耐压检测：采用的设备型号为天津美斯特试验机厂生产的 MTSH-06 管材耐压试验机测量样品的最大周向强度，考虑到制品前后端壁厚差异大影响测试结果，本文截取了中间段 150mm 长度的样品用于周向强度检测。先将样品的所取长度部分浸泡在耐压测试仪器中，本文实验均以 25℃作为实验标准；进行爆破实验前先浸泡 1 h 以便使管件处在一个稳定的状态然后再进行实验。

2 结果与分析

2.1 工艺方法及工艺参数对残余壁厚的影响

四种工艺方法以表 Tab.1 中，低水平参数下成型的样品壁厚结果如 Fig.9 所示，从图中可知，WAIM-O 样品未能完全穿透，而 WPAIM-S 与 WAIM-S 样品虽能完全穿透，但其前后段壁厚差异较大；WPAIM-O 样品在完全穿透形成中空制件的前提下，其管件壁厚不但是最厚的而且也是最为均匀的。WAIM 制品残余壁厚大小及均匀性与辅助介质的穿透行为密切相关[3,9,12,14]，简单的来说这是由于熔体注入型腔后，高压水通过喷嘴射入熔体，其推进速度、压力稳定性等穿透行为，直接决定熔体分布。水压稳定、穿透规整，熔体被均匀推开，残余壁厚均匀；水压波动、穿透紊乱，则壁厚不均。穿透能力越强，残余壁厚越薄，反之则越厚，穿透行为直接主导壁厚大小与均匀性。

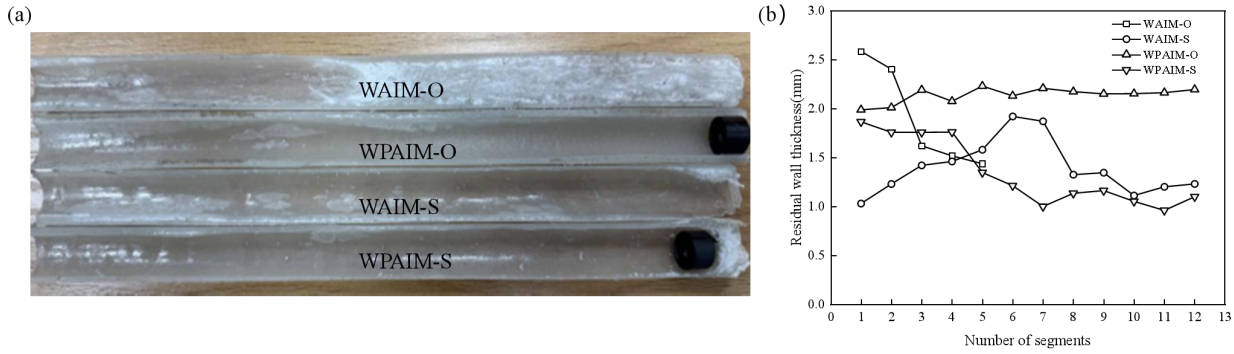


Fig. 9 Comparison of the quality of the final part molded under low level via four WAIM processes: (a) longitudinal sections of the parts; (b) residual wall thickness

在 WAIM-O 工艺中，熔体在较低熔体温度和模具温度下易被模具壁面和高压水前沿冷却，导致高压水穿透过程的阻力增大，从而使得高压水无法完全穿透熔体[12,14]。而 WPAIM-O 工艺中是采用的是固体 PA6 浮芯来穿透熔体，高压水不和穿透前沿熔体进行热交换，并且 PA6 材料与熔体热交换系数远低于水与熔体之间的，故此工艺的穿透过程阻力相比较 WAIM-O 工艺更小，制品能实现完全穿透[14]；再者，相较于水穿透过程，浮芯穿透过程受前沿熔体流变特性的影响较小，所以 WPAIM-O 工艺中的穿透过程更加稳定，制品壁厚亦更均匀[4,6]。而 WPAIM-S 与 WAIM-S 工艺属于短射法，熔体初始注射量较少，当辅助介质推动熔体向前超过第一次熔体填充最前沿后，辅助介质推动向前流动的熔体体积急剧减少，导致后段制品壁厚值急剧减小，故 WPAIM-S 与 WAIM-S 制品前后段壁厚差异较大[15]。此外，由于短射法中熔体量较少，WPAIM-S 与 WAIM-S 制品残余壁厚比 WAIM-O 和 WPAIM-O 制品的小很多，同时也是由于熔体较少，而穿透熔体的高压水水压与溢流法的相同，那么就会放大水穿透过程中的波动现象，从而使得壁厚均匀性较差。

为更全面地评估 WPAIM-O 工艺的成型效果在四种工艺中是否最佳，运用上述四种工艺，在中和高两个参数水平下制成了制品，结果均可形成完整的中空制件，壁厚和变化趋势可见 Fig.16。从图中可以发现，在中和高两个水平参数下 WAIM-O 样品都能完全穿透，其壁厚随着所取位置与浇口位置的增加而逐渐变大，与之前相关文献研究的结果相同[3]；WPAIM-S 与 WAIM-S 样品壁厚较小但前后段壁厚差异较大，WPAIM-O 样品壁厚均匀性最好且其壁厚随工艺参数水平的影响较小，这三

种工艺方法与低水平结果变化趋势相似。这些结果进一步显示，在 WPAIM-O 工艺里，浮芯穿透过程受前沿熔体流变性能的影响没有水穿透过程那么强烈，因此 WPAIM-O 工艺中的穿透过程更加平稳，成型效果相对最佳。

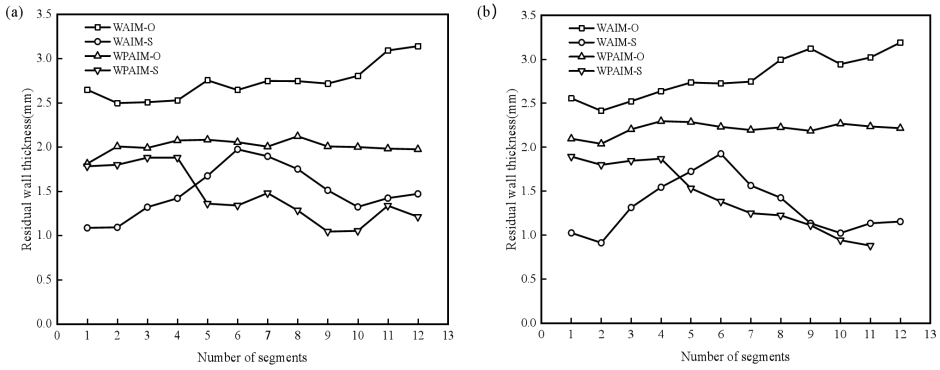


Fig. 10　Residual wall thickness of the part molded under two levels via four WAIM processes: (a) middle lever; (b) high lever

由残余壁厚结果可知，在中间参数水平时，四种工艺均可实现熔体的完全穿透。且其壁厚变化幅度相对高水平参数更小，在实验过程中的能耗也更低，同时制品周向性能测试需一定长度；基于此，后续检测中选用了中间参数水平下的制品开展相关检测。

2.2 工艺方法对玻纤取向的影响

对四种工艺成型制品中间位置取样进行纤维取向检测，结果如 Fig.11 所示。Fig.11(a) WAIM-O 工艺图，从左至右为近水层、中间层、近壁层：近水层有少量玻纤且存在一定取向，中间层玻纤含量最高但取向杂乱（横、纵、斜向均有，且越靠近腔壁越杂乱），近壁层玻纤含量极少且无明显取向。机理为水的穿透对熔体产生剪切力，其大于熔体内部作用力，迫使近水层玻纤沿水流方向定向排列，形成一定取向规律；中间层远离水流作用面，水剪切力逐渐减弱，同时熔体内部分子热运动加剧，玻纤受多重作用力影响，取向变得杂乱无章；近壁层紧靠模具型腔，熔体与模具壁接触后快速降温，分子流动性骤降，且该区域受水的剪切力最小，玻纤难以发生定向排列，故含量极少且无明显取向，同时快速降温使熔体界面快速凝固，形成光滑界面。Fig.11(b) WAIM-S 工艺图无明确分层，玻纤整体呈斜向取向，且取向优于 WAIM-O 工艺。机理为其一注射量仅为 WAIM-O 的 52%，同等熔体温度和注水压力下，单位体积熔体承受的水压力更大，单位面积受剪切力显著提升，剪切力的定向作用增强，促使玻纤沿受力方向规整排列，取向优于 WAIM-O 工艺；且其残余壁厚较薄，近壁层与近水层距离水流作用面较近，两层受水的剪切力差异较小，玻纤取向一致性提升，无明显分层现象。Fig.11(c) WPAIM-O 工艺 SEM 图从左至右为近水层、中间层、近壁层，整体玻纤取向极具规律，近壁层极少数玻纤倾斜可能由取件、制样滑动导致。核心机理为浮芯的存在，浮芯具有固定形状且成型过程中仅发生微小变形，可限制水流流动路径、稳定水-熔体界面，使水穿透时熔体受到均匀且持续的剪切力，避免了 WAIM-O 工艺中剪切力波动、水流紊乱的问题，大幅提升玻纤取向规律性，同时均匀的剪切力促使熔体均匀分布，壁厚均匀且较薄。与 WAIM-O 相比，其进水层玻纤含量更高，核心原因是水流剪切力集中作用于进水层，定向剪切力促使玻纤向受力集中区域聚集，说明作用力越大，玻纤取向越规则，且该区域玻纤含量有增多趋势；Fig.11(d) WPAIM-S 工艺 SEM 图玻纤取向高度规律，从左至右为近水层、中间层、近壁层，近壁层玻纤略有杂乱但整体规整，其形成原因也是与浮芯作用下熔体受稳定剪切力相关：浮芯固定水流路径，使熔体各区域受剪切力趋于均匀，玻纤沿剪切力方向定向排列，形成规整取向；近壁层因靠近模具壁，熔体降温较快，分子

流动性略有下降，部分玻纤未能完全跟随剪切力定向排列，故略有杂乱，但整体仍保持高度规整。同时其残余壁厚与 WAIM-S 相近，均薄于两种溢流法工艺，因浮芯的匀化作用，其壁厚均匀性优于 WAIM-S，玻纤取向一致性也更优。

综上，四种工艺成型制品的玻纤取向差异显著，浮芯辅助水辅助注射成型（WPAIM）工艺的玻纤取向规整度整体优于传统水辅助注射成型（WAIM）工艺，其中 WPAIM-O 工艺取向最具规律，WAIM-O 工艺取向最杂乱，这与各工艺的水流作用方式、熔体受力状态及壁厚分布密切相关

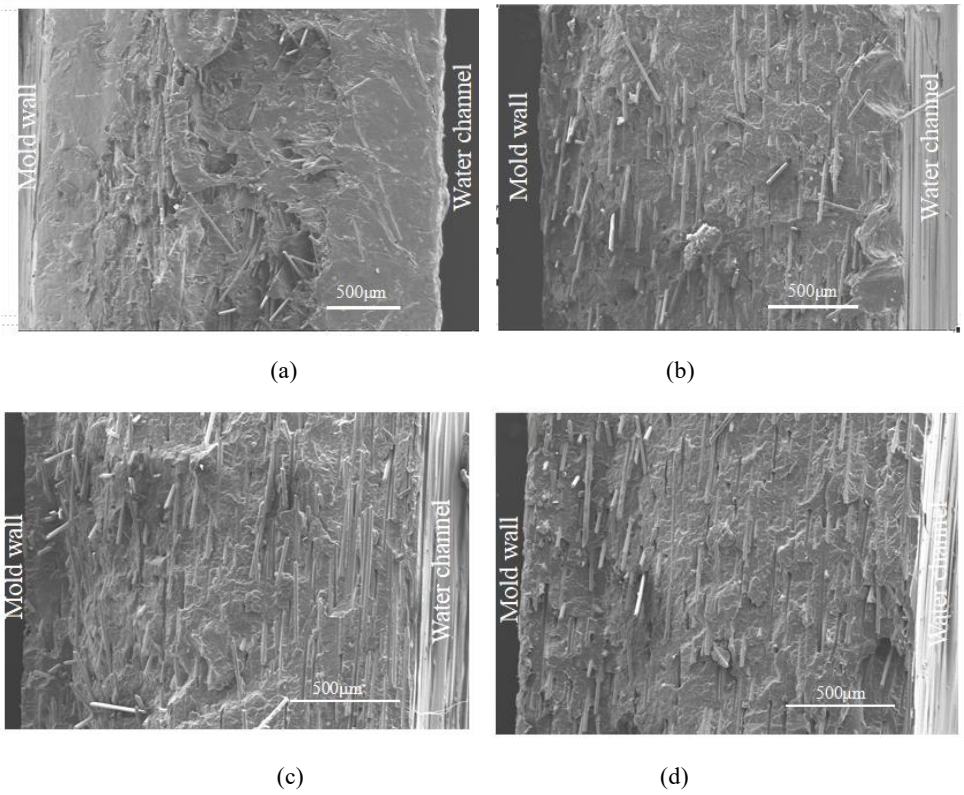


Fig. 11　SEM images of molded parts by the four WAIM processes: (a) WAIM-O; (b) WAIM-S; (c) WPAIM-O; (d) WPAIM-S

2.3 工艺方法对制件耐压性能的影响

Fig.12 为上述四种工艺方法制作管件的耐压结果。由图可知，耐压性能的排列顺序为 WAIM-O 制品（7.3MPa）>WPAIM-O 制品（5.1MPa）>WPAIM-S 制品（4.0MPa）>WAIM-S 制品（3.3MPa），这一趋势和 Fig.10(a) 中工艺方法对制品残余壁厚大小与均匀性变化的趋势相近，这是由于壁厚大小、壁厚均匀性以及纤维取向共同影响着制品的耐压性能[12]。在耐压检测样品中，这四种工艺成型制品的壁厚最小值分别是 2.2 mm（WAIM-O）、1.54mm（WPAIM-O）、1.10 mm（WPAIM-S）、1.04mm（WAIM-S）；结合壁厚和耐压数值可以发现，当壁厚相差较大时(WAIM-O 工艺和 WPAIM-O 工艺)对耐压性能取决定性作用的是壁厚，即使 WPAIM-O 工艺的玻纤取向更好，但壁厚远薄于 WAIM-O 工艺因此其耐压性能低于 WAIM-O 工艺；而当壁厚厚度相差不大时((WAIM-S 工艺和 WPAIM-S 工艺),玻纤取向对耐压性能有着较大的影响，WAIM-S 工艺与 WPAIM-S 工艺壁厚相差不大，但 WPAIM-S 工艺的玻纤取向明显好于 WAIM-S，从而使其耐压性能也高于 WAIM-S 工艺。另外，从 Fig.11 中的纤维取向分布能够发现，WAIM-O 制品里处于无序状态的纤维最多，能承受更大的周向压力，而其他三种工艺成型制品中的多数纤维沿流动方向呈有序取向，周向承受的压力相对较小。综上，四种 WAIM 工艺的玻纤取向、残余壁厚差异显著，壁厚是影响管件耐压性能的首要因素，玻

纤取向则在壁厚相近时起主导作用，浮芯的引入可有效改善玻纤取向规整性，为工艺优化提供了理论参考。

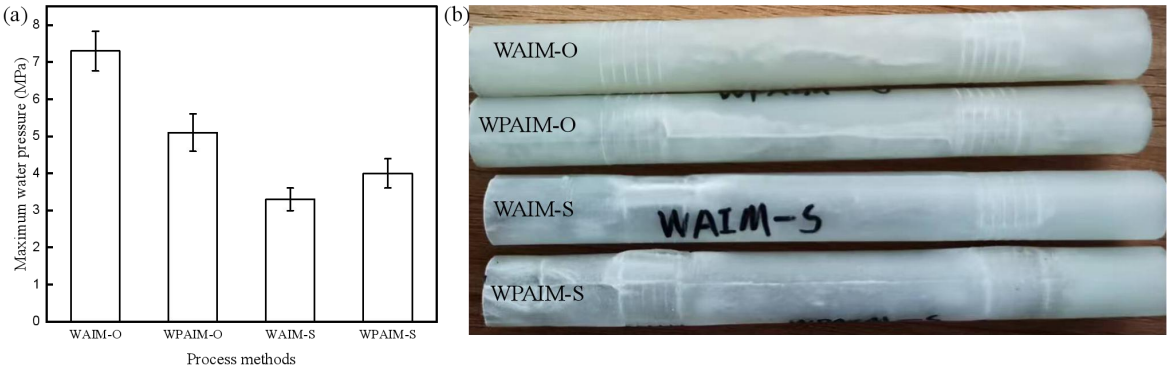


Fig. 12　Pressure resistance measurement: (a) measurement result; (b) tested samples

3 结论

本文通过自主搭建实验平台，系统探究四种水辅助注塑工艺对 20% 短玻纤增强聚丙烯制品关键性能的影响机制，核心研究结果与独特价值如下：明确了浮芯与工艺类型（溢流 / 短射）对制品残余壁厚的协同调控规律，证实浮芯可提升成型稳定性与壁厚均匀性，溢流法壁厚显著大于短射法，且 WPAIM-O 工艺壁厚均匀性最优，为复杂管件成型工艺选择提供依据。揭示了工艺诱导玻纤取向的差异化机制，明确 WAIM-O 制品玻纤无序取向、其余三种工艺玻纤沿流动方向有序排列的规律，阐明了微观取向与宏观耐压性能的关联。量化了制品耐压性能的影响因素，证实壁厚、均匀性及玻纤取向的协同作用，WAIM-O 制品以 2.2mm 最小壁厚及无序玻纤取向实现 7.3MPa 最优耐压性能。本研究填补了纤维增强聚合物水辅注塑多工艺对比的空白，提出的 “工艺 - 微观结构 - 宏观性能” 关联机制具有普适性，为纤维增强聚合物轻量化制品的工艺优化与性能提升提供关键理论支撑与技术启发。

参考文献：

[1] 张伟, 柳和生, 余忠, 等.水辅助注射成型制品质量的缺陷及工艺优化研究概述[J]. 中国塑料, 2018, 32(4): 12-17.
Zhang W, Liu H, YU Z, et al. A survey of defects and process optimization of water-assisted injection molded parts[J]. China Plastics, 2018, 32(4): 12-17.

[2] Yuan H, Pan Y, Liu X. Large-scale formation of shish-kebab in water-assisted injection-moulded high-density polyethylene with a high-molecular weight[J]. Bulletin of Materials Science, 2019, 42: 1-5.

[3] Jiang Q, Zhang W, Wan Z, et al. Experimental and numerical investigations on formation mechanisms of hollow structures in overflow water-assisted injection-molded parts of short-glass-fiber-reinforced polypropylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2024, 141: 1-12.

[4] 丁加新, 陈英龙, 周华. 水辅成型浮动芯注射对制品残余壁厚的影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2017, 51(5): 937-945.
Ding J X, Chen Y L, Zhou H. Effect on residual wall thickness of parts with floating core injection of water-assisted injection molding[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2017, 51(5): 937-945.

[5] Oliveira D, Mateus A, Carreira P, et al. Water assisted injection molding for single and multi-branched tubular

components[J]. Procedia Manufacturing, 2017, 12: 141-149.

[6] Kuang T, Feng Q, Liu T, et al. Numerical simulation on the penetration behavior of the projectile during the water injection stage of water-projectile-assisted injection molding process[J]. Advances in Polymer Technology, 2020, 2020: 6861216.

[7] Kuang T, Pan J, Feng Q, et al. Residual wall thickness of water-powered projectile-assisted injection molding pipes[J]. Polymer Engineering and Science, 2019, 59: 295-303.

[8] 匡唐清, 潘俊宇, 刘文文, 等. 溢流法水驱动弹头辅助注塑管件残余壁厚的形成与工艺参数影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2019, 35(4): 108-114.
Kuang T Q, Pan J Y, Liu W W, et al. Formation mechanism of residual wall thickness of overflow water-projectile-assisted injection molding pipe and the effects of processing parameters[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2019, 35(4): 108-114.

[9] 胡礼彬, 匡唐清, 赖家美, 等. 弹头材料对溢流法水驱动弹头辅助注塑制件的影响[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(5): 87-91.
Hu L b, Kuang T Q, Lai J M, et al. Influence of projectile material on overflow water-projectile assisted injection molding pipes[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(5): 87-91.

[10] 王彦卿, 匡唐清, 赖家美, 等. 水驱动弹丸辅助注塑管件壁厚的弹丸影响[J]. 中国塑料, 2021, 35(1): 60-66.
Wang Y T, Kuang T Q, Lai J M, et al. Effect of projectile on residual wall thickness of water-projectile-assisted injection molded pipes[J]. China Plastics, 2021, 35(1): 60-66.

[11] 冯强. 水驱动弹头辅助注塑工艺成型机理及关键技术[D]. 南昌: 华东交通大学, 2020.
Feng Q. Mechanism and key technology of water-projectile-assisted injection molding process[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2020.

[12] 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]. 南昌: 华东交通大学, 2023.
Zhu Y Y. Study on process–morphology–property of long glass fiber reinforced polypropylene in fluid-assisted injection molding[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2023.

[13] 钟罗浩, 匡唐清, 赖家美, 等. 成型工艺对短玻璃纤维增强聚丙烯注塑管件的壁厚分布及玻璃纤维取向的影响[J]. 中国塑料, 2021, 35(5): 11-16.
Zhong L H, Kuang T Q, Lai J M, et al. Effect of molding process on wall residual thickness distribution and glass-fiber orientation of short-glass-fiber-reinforced polypropylene molded pipes[J]. China Plastics, 2021, 35(5): 11-16.

[14] Zhang W, Wang M Z, Kuang T Q, et al. The investigation of overflow water-powered projectile-assisted injection molded short-glass-fiber-reinforced polypropylene[J]. Processes, 2024, 12: 2333-2344.

[15] Zhang W, Kuang T, Liu H, et al. Improved process moldability and part quality of short-glass-fiber-reinforced polypropylene via overflow short-shot water-assisted injection molding[J]. Journal of Polymer Engineering, 2022, 42: 362-373.

Effects of Processing Methods on Wall Thickness, Pressure Resistance and Glass Fiber Orientation of Short Glass Fiber Reinforced Polypropylene Pipe Fittings by Water-Assisted Injection Molding

Wei Zhang[1], Maozeng Wang[2], Tangqing Kuang[1], Hesheng Liu[1], Youhao Xu[1]

(1. School of Mechatronics & Vehicle Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. School of Materials and Science Engineering, East China Jiaotong University,

Nanchang 330013, China)

ABSTRACT: Using short-glass-fiber-reinforced polypropylene (SGF/PP) as the experimental material, circular tubular parts were fabricated by four processes, namely overflow-based water-assisted injection molding (WAIM-O), short-shot water-assisted injection molding (WAIM-S), overflow-based water-penetrated floating-core-assisted injection molding (WPAIM-O), and short-shot water-penetrated floating-core-assisted injection molding (WPAIM-S). Wall-thickness measurement, scanning electron microscopy (SEM) characterization and pressure-resistance tests were performed to systematically investigate how manufacturing processes affect the residual wall thickness, glass-fiber orientation and pressure-bearing performance of tubular parts, and clarify the correlation mechanism between macroscopic properties and microstructures. The results demonstrate that the introduction of a floating-core greatly improves the penetration stability of melt during water-assisted injection molding. Products made by the overflow method possess larger residual wall thickness than those from the short-shot method, and samples prepared via the WPAIM process have thinner residual walls compared with WAIM counterparts. Among the four forming methods, WPAIM-O yields parts with the best wall-thickness uniformity whereas WAIM-S delivers the worst-uniform walls. SEM observations reveal that glass fibers in WAIM-O samples are randomly distributed, while fibers from the other three processes are predominantly aligned along the melt-flow direction. The pressure-resistance testing proves that the wall-thickness level, thickness uniformity and fiber orientation collectively govern the pressure-bearing capacity. Specimens produced by WAIM-O achieve the optimum pressure-resistance property of 7.3 MPa, distinctly surpassing WPAIM-O (5.1 MPa), WPAIM-S (4.0 MPa) and WAIM-S (3.3 MPa). It is concluded that higher wall-thickness, better thickness uniformity and increased randomness of glass-fiber orientation collectively lead to superior pressure-resistance performance of final parts.

Keywords: processing method; short glass fiber reinforced polypropylene; wall thickness; pressure resistance performance; glass fiber orientation