【工程与技术】

基于 Moldflow 的路由器中框模具优化设计

赵美云[1,2]，汤正成[2]，蒋　婧[1]

（1. 铜陵职业技术学院 机电工程系，安徽 铜陵 244000；
2. 江苏大学 材料科学与工程学院，江苏 镇江 212013）

摘　要：在进行路由器中框件模具设计过程中，利用 Moldflow 软件分析成型窗口，得出工艺参数的选择参考范围，根据浇口数量与位置不同设置了 3 种方案，并进行充填模拟分析。通过对比分析结果，发现方案三的浇口位置最合理。在此基础上，进行了冷却翘曲分析，发现翘曲量较小，仅为 0.003 7 mm，与实际注塑产品较吻合。表明在一些结构较复杂的塑料件的模具设计过程中，计算机辅助工程技术具有很好的应用价值，它可以为设计人员缩短模具设计周期，节约设计成本。

关键词：路由器中框；浇口；充填分析；成型工艺；Moldflow

中图分类号：TQ 320.6　　**文献标识码：**A　　DOI：10.13486/j.issn.2097-4973.2024.03.007

塑料产品的使用已经深入人们的生活和生产，所以对塑料模具质量的要求也越来越高。近年来，随着模具的数字化、智能化、精密化发展，计算机辅助工程技术得到了推广与应用。目前国内外很多学者在模具设计的终端利用计算机辅助工程技术进行产品的冷却和翘曲分析以及工艺优化分析。Mehdi 等[1]进行了薄壁聚丙烯制件的注塑成型工艺优化研究；Mohan 等[2]进行了工艺参数对注塑件强度、收缩和翘曲影响的研究；王坤和杨波[3]进行了基于 Moldflow 的变压器上盖注塑制品翘曲分析及优化设计。这些研究都是在模具设计完成后针对工艺参数进行优化或者对产品质量进行分析，都需要设计多种优化方案，并且可能推翻前面所设计的模具结构或者所选择的工艺参数。

本文所研究的路由器中框，结构较为复杂，注塑成型过程伴随着复杂的物态变化。若仅靠设计者的经验进行产品的模具设计，需要做多次的试模修模工作，甚至出现废品现象，这样会增加模具的设计与制造成本。为缩短产品的成型周期、降低成本，在模具设计的前端，利用注塑模具设计中应用较多的 Moldflow 软件对其进行成型窗口、最佳浇口位置及充填分析，参考分析结果设计相应的成型方案，确定最优的模具浇注方案及可选工艺参数的范围，从而降低模具设计成本，缩短设计周期。

1　注射成型工艺分析

1.1　产品结构与材料分析

路由器中框主要作用是连接路由器的前壳和后盖，并在其相应结构处安装电子元器件，一般为薄壁壳

收稿日期：2023-06-14

基金项目：铜陵职业技术学院自然科学重点项目（tlpt2022NK003，tlpt2022NK010）；安徽省中青年教师培养行动项目（JNFX2023134）

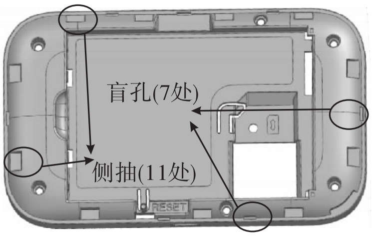
第一作者简介：赵美云（1981—　），女，山东菏泽人，副教授，硕士，主要从事材料成型研究。
E-mail：48711360@qq.com

体件。该产品作为电器面壳，要求不透明，外表面较光滑，无毛刺、明显翘曲变形、熔接痕及裂纹等缺陷。使用过程中要求其具有良好的绝缘性、耐热性和韧性，还需要一定的硬度及耐磨损性；精度要求达到 MT5 级以保证装配时能和其他零件良好配合。

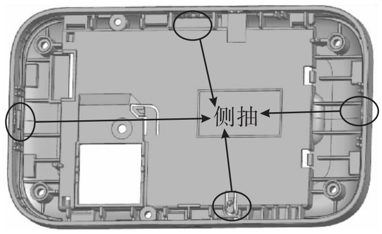
根据零件的使用要求，选择材料为 ABS，该材料具有以下特点：表面极易吸湿（吸水率为 0.2%～0.45%），容易使成型塑件表面出现斑痕、云纹等缺陷，因此成型之前必须干燥；比热容低，在注塑机中能很快被加热熔化，塑化效率比较高；固化快，模塑周期短；为非结晶高聚物，成型收缩率小，收缩率变化范围为 0.3%～0.8%；无明显熔点，熔体流动温度不高，在 160 ℃～190 ℃具有较好的流动性；热稳定性较好，高于 285 ℃时才出现分解现象，因此加工温度范围较宽，有利于成型[4-5]。

1.2 塑件成型方案确定

图 1 为路由器中框的三维模型。从图 1 可以看出，该塑件为薄壁壳体件，在制件内外表面沿脱模方向具有一定的斜度，有利于脱模；制件壳体厚度均匀，内部有较多的加强筋及安装配合的槽和孔，内外四周都有侧抽结构，并且侧抽方向不同，属于结构复杂壳体零件。



(a) 外面

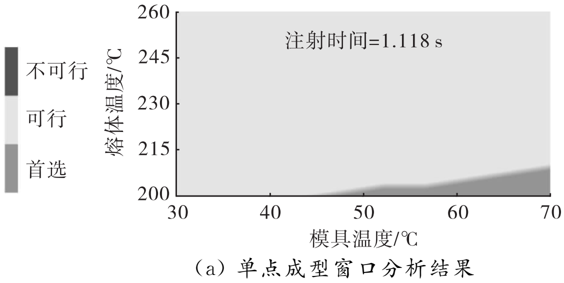


(b) 内面

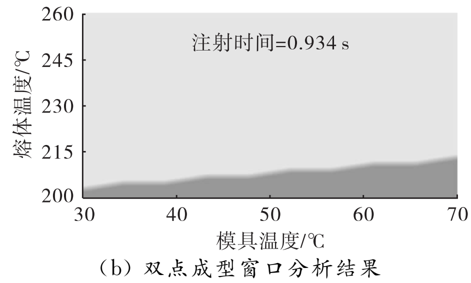
图 1 产品结构图

根据该塑件的结构特点，在注塑成型时，该产品若采取一模多腔形式成型将会使模具结构极为复杂，甚至可能无法顺利成型，所以最终采取一模一腔的生产方式。为了使工艺参数的选择更加合理，在模具设计前利用 Moldflow 软件对其进行成型窗口分析，该分析能够获得生产合格产品的成型工艺参数参考范围。虽然该塑件尺寸不大，但因其内部筋板较多，为保证后续塑料熔体能顺利充模，所以在成型窗口分析时，采取单点浇口和双点浇口两种类型进行分析比较。

成型窗口分析结果如图 2 所示。由图 2 可以看出，单点进浇时，推荐的模具温度范围为 45 ℃～70 ℃，最佳熔体温度在 200 ℃～212 ℃，最大可取到 260 ℃，最佳注射时间为 1.118 s；采取双点浇口时，模具温度推荐范围为 30℃～70℃，最佳熔体温度在 205 ℃～215 ℃，最大可取到 260 ℃，最佳注射时间为 0.934 s。双点浇口的成型工艺参数的最佳选择范围更宽。



(a) 单点成型窗口分析结果



(b) 双点成型窗口分析结果

图 2 成型窗口分析结果

从成型窗口分析日志可以得出，两种浇口类型推荐的塑件成型所需的最大设计注射压力、最大设计锁模力、推荐模具温度、推荐熔体温度、最佳注射时间如表 1 所示。该分析结果基本确定了生产合格产品的模具温度范围、熔体温度范围及注射时间。ABS 塑料属于流动性中等的塑料，根据成型窗口的分析，结合 ABS 塑料的成型工艺特性，最终确定成型工艺参数：熔体温度为 220 ℃，模具温度为 50 ℃，注射压力为

150 MPa,锁模力为 7×10^4 N,注射时间为 1.12 s[4-5]。

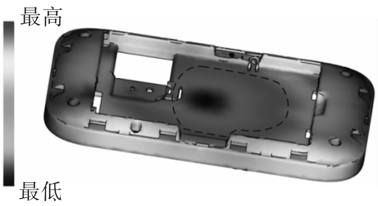
表 1　成型窗口分析推荐值

类型	单点浇口	双点浇口	类型	单点浇口	双点浇口
最大设计注射压力/MPa	180	180	推荐的熔体温度/℃	260	257
最大设计锁模力/N	7×10^4	7×10^4	最佳注射时间/s	1.118	0.934
推荐模具温度/℃	56.67	34.44			

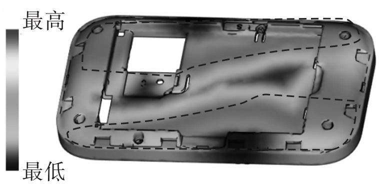
1.3　浇注方案预确定

利用 Moldflow 软件进行最佳浇口位置分析,根据分析结果选取合理的浇口位置,然后再进行浇注系统及其他结构的设计。最佳进浇位置可以保证平衡的流动路径和均衡的压力分布,并在最短时间内充填完整型腔。制品的翘曲变形、分子取向等受浇口位置的影响也较大,确定浇口位置时还要考虑塑件的几何形状和质量。

该路由器中框基本尺寸约为 100 mm×70 mm×9 mm,平均壁厚 1.5 mm。注塑过程如果只采取单个浇口可能会造成型腔充填不满,所以在分析浇口位置时,除进行单点浇口分析外,还进行了双点浇口分析,两种类型浇口的流动阻力显示如图 3 所示。从图 3 可以看出,单点最佳浇口位置在塑件中间,双点浇口在塑件长边的两侧。由塑件结构分析可知,其内部 4 个方向均需设置向内部的侧抽机构,所以内部很难设置浇口,浇口只能设置在外表面上。从图 3 分析可知,虚线框区域均可以设置浇口,可设浇口的区域较大。



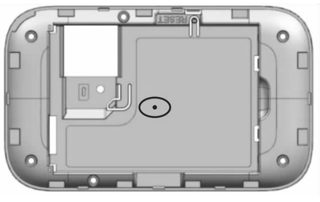
(a) 单点浇口位置流动阻力显示

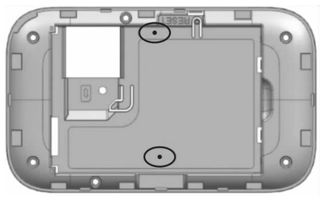


(b) 双点浇口位置流动阻力显示

图 3　流动阻力显示结果

因为塑件要求外表面质量较高,所以浇口痕迹不可过大或过于明显,结合塑件结构特点,采取点浇口进浇的方式。但是单点浇口进浇可能出现充填不足的缺陷,所以在不影响塑件表面质量的前提下设计了 3 种浇口预设方案。具体浇口设置位置如图 4 圆圈所标。在预设的方案里,先用 Moldflow 软件对 3 种方案塑料熔体的充模过程进行分析,确定出最合理的一种方案。


(a) 方案一


(b) 方案二

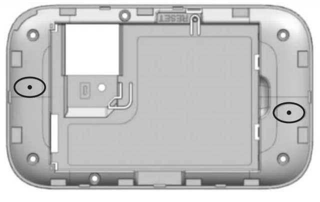

(c) 方案三

图 4　浇口预设方案

2　浇注方案分析

该塑件的 CAD 模型是用 ug 软件创建的,其格式为 prt,为保证任一版本的 Moldflow 软件均可识别模型格式,在进行分析前需把 CAD 模型转换为 stp 格式或者 x-t 格式。原零件模型中存在较多的圆角及加强筋,这些小的特征会对材料的流动和充填过程产生影响,尤其会对网格质量产生大的影响。而在实际的分析过程中,如果网格质量较低,分析结果就不准确[6]。所以在分析前,需要对零件模型进行一些处理,

提高网格质量，处理的前提条件是不能改变零件模型的主要工作结构，而只是去除一些不影响成型分析的特征。综合考虑划分网格后的修复工作，该零件在进行分析前，对内部较小的筋板进行了去除，对小的圆弧过渡进行了修正。

模具设计是否合理决定了产品成型质量的高低，为了节约成本，先利用 Moldflow 对所选择的工艺条件进行充填模拟分析[7]。通过几种不同浇口位置方案的充填分析结果比较，得出最优的浇口位置、数量以及最理想的浇注系统布局等。下面分别对上述 3 种方案的浇口进行充填分析，得出最优的位置，进而指导模具设计。

2.1 充填分析工艺参数设置

工艺过程参数在很大程度上影响充填结果，充填过程中要避免出现短射及流动不平衡等问题，同时尽可能采用较低的注塑压力、锁模力，从而降低产品生产对注塑机的要求。充填分析时主要设置的工艺参数有模具温度、熔体温度和充填过程中熔体流动的控制方式，根据前面对产品注射工艺参数的分析，在充填过程中熔体温度设置为 220 ℃，模具温度设为 50 ℃，充填控制方式采取“相对螺杆速度曲线”的控制方式，速度/压力控制采取“由%充填体积”的方式，具体设置参数如图 5 所示。

图 5 充填工艺参数设置

2.2 分析结果比较

对 3 种方案设置相同的工艺参数进行充填分析，充填分析结果主要用于查看制品的充填行为是否合理，充填是否平衡，是否对产品完全充填等[8-9]。通过模拟分析，3 种方案的充填时间、速度/压力切换时的压力、流动前沿温度、体积剪切速率、注射位置处压力结果比较如表 2 所示。

表 2 充填结果比较

	充填时间 /s	速度/压力切换时的压力 /MPa	流动前沿温度 /℃	体积剪切速率 /s^{-1}	注射位置处压力 /MPa
方案一	1.157	78.10	118.3	46 597	75
方案二	1.356	55.73	56.8	36 848	70
方案三	1.172	53.77	33.2	11 512	62

(1) 充填时间。充填时间主要反映送料熔体充填型腔过程中，最先充填位置、最后充填位置、充填总时间等。充填时间过长，则表明在充填过程中塑料熔体流动较慢，容易出现短射现象。由充填时间可以看出，在相同的工艺参数条件下，3 种浇注方案的充填时间分别为 1.157 s、1.356 s、1.172 s。这 3 个时间都不代表浇注系统设计好的实际注塑时间，但是通过比较可以知道方案一和方案三设计较为合理。

(2) 速度/压力切换时的压力。注塑成型周期内，压力不是保持不变的，而是随着注塑保压的过程而变化，一般最高的压力出现在速度/压力切换时，为保证产品质量，要求该值出现时不可过大，以免后续保压阶段造成过保压现象。在模拟结果中，3 种方案的速度/压力切换时，型腔未充填结果不同，压力差大小也不一样。由表 2 可知，3 种方案速度/压力切换时的压力分别为 78.10 MPa、55.73 MPa、53.77 MPa，但是塑件存在未填充满的现象。在实际充填时，速度/压力切换以后，可以通过保压补缩的方式使塑料熔体

充满型腔。方案一的未充满区域在型腔末端，通过保压补缩可以完成型腔的充满。方案二中未注满的位置有两处，并且有一处在塑件中间位置，此位置很难通过保压补缩充满，即使充填满，也容易出现“包风”现象。方案三未填满位置在塑件的边缘位置，虽然比方案一的面积大，但是在塑件内部型芯位置处，也很容易通过后续的保压补缩填满型腔。由此可见，方案一、方案三的浇点位置更为合理。

(3) 流动前沿温度。流动前沿温度是塑料熔体在型腔内经过各个节点时的温度，最先到达的位置冷却时间长，所以温度最低，最后到达的位置温度最高。一般情况，模型内温度差在 50 ℃以内为合理，若型腔内温差过大，则成型的产品容易发生翘曲变形，甚至出现断裂现象。3 种浇注方案模拟结果显示的流动前沿温度分别为分别为 118.3 ℃、56.8 ℃、33.2 ℃。方案三的模型的总体温度差在合理范围内。

(4) 体积剪切速率。体积剪切速率为熔体截面的剪切率大小。根据材料不同在成型过程中，所能达到的值也不同，熔体流动过程中体积剪切速率不能超过材料所能达到的最大值。3 种方案的体积剪切速率大小分别为 46 597 s^{-1}、36 848 s^{-1}、11 512 s^{-1}。ABS330 的最大剪切速率为 50 000 s^{-1}，由此可以看出 3 种方案的体积剪切速率都在所选材料的最大剪切速率范围内，但是方案一的结果比较接近于临界值，实际注塑成型过程中，若增加注射压力或者改变浇注系统尺寸，很容易就超过了材料的临界值；方案二和方案三数值较小，更易控制在合理范围内，但是方案三最合理。

(5) 注射位置处压力。注射位置处压力表示在浇口位置处塑料熔体充模受到的阻力大小。该压力值曲线要求从塑料熔体进浇到型腔后平滑地过渡变化，若变化过大表示塑料熔体充填型腔时受到的阻力大，充填压力不平衡，可能会造成填充不满或者过保压，若整个过程变化过小或无变化，则成型的塑件内部可能会出现缩松和缩孔现象，导致使用性能下降。从 3 种方案的注射位置处压力（图 6）可以看出，方案一的压力值明显高于方案二和方案三，但是变化较为平滑，方案二、方案三压力变化曲线基本一致，但方案二的压力变化值大于方案三，且持续时间长于方案三，可能会造成过保压，综合评价方案三的曲线变化更为合理，所以后续的分析及模具设计过程中以第三种方案的浇口位置设置进行。确定好浇口位置后，对模具结构进行设计，为后续冷却和翘曲分析，提供较为完整的模型。

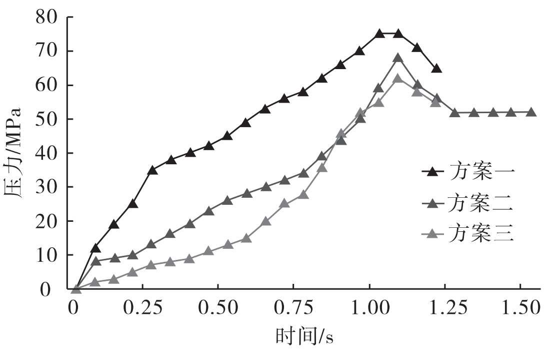


图 6　注射位置处压力

3　模具设计与验证

为保证后续的分析结果与实际生产结果更接近，结合注塑模具设计理论，应用 CAD 软件分别对模具的浇注系统、成型结构、冷却系统等结构进行相应设计[10-11]。浇注系统及模具总体结构如图 7 所示。

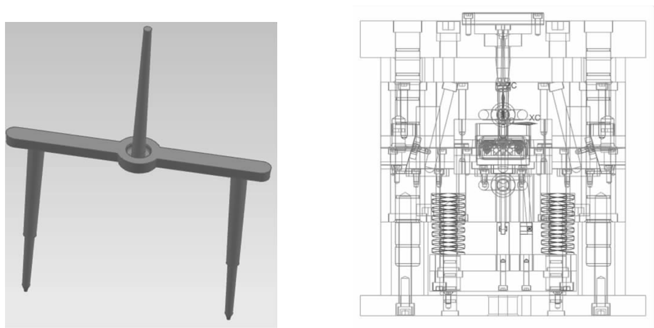
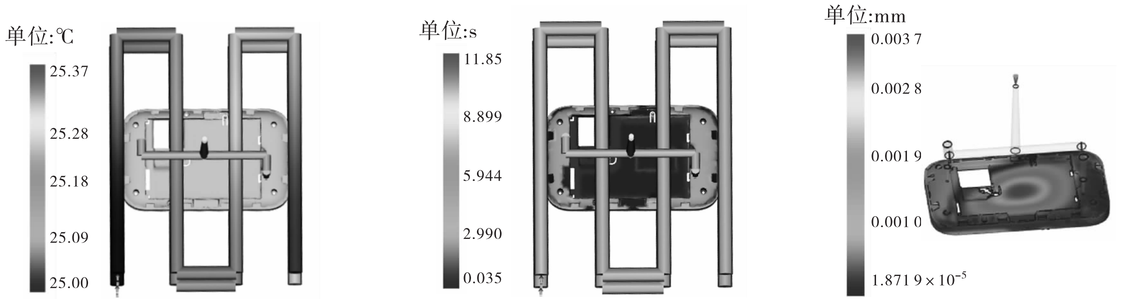


图 7　模具设计结构图

产品的成型质量高低取决于模具设计得是否合理，为节约成本，在模具制造前，根据所设计的模具结

构,又对产品进行了冷却和翘曲分析,从而进一步确定模具结构设计的合理性,分析结果如图 8 所示。



(a) 回路冷却液温度　　(b) 冷却时间　　(c) 冷却不均影响的变形量

图 8　冷却翘曲分析

在实际生产过程中,一般尺寸与精度要求不高的普通模具进出水口温差不能超过 5 ℃,而对精度要求较高的模具一般在 2 ℃～3 ℃[12]。由图 8(a)可知,冷却介质进出水口温差只有 0.37 ℃。由图 8(b)可知,表示塑件达到顶出温度的时间为 11.85 s,而该时间占塑件整个成型周期的大部分,证明冷却系统起到了有效的冷却作用。由图 8(c)可知,由冷却不均引起的翘曲的最大变形量为 0.003 7 mm,且发生在塑件中间位置。说明冷却不均引起的变形量很小,由此证明冷却系统设计合理。

通过分析可知,设计的模具结构可以保证生产产品的质量,对所要加工的型腔和型芯等主要成型零件及相应的结构零件,编制数控加工工序进行加工,然后进行装配试模生产,将工艺参数模具温度设为 50 ℃,熔体温度设为 256 ℃,保压压力第一段设为 80 MPa、第二段设为 100 MPa,注射及保压时间设为 40 s,注塑机型号为 HT230-720。其他条件都保持不变,进行实验验证。所生产的塑件如图 9 所示。通过检测部门的检测,塑件没有明显的翘曲变形,符合该产品厂家的实际要求。

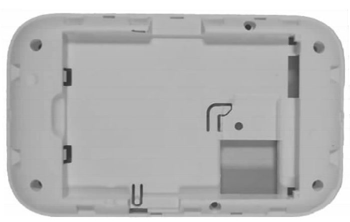


图 9　塑件成型图

4　结论

在研究过程中以计算机辅助工程常用软件 Moldflow 作为模流分析的平台,对路由器中框进行不同预设浇口位置的充填模拟过程及结果辅助分析。主要以模流分析软件为载体,通过对路由器中框的结构工艺分析、材料及成型工艺的分析,确定其成型方法,然后利用 Moldflow 对其进行成型窗口分析、最佳浇口位置分析、充填分析,得出该产品成型过程的参考工艺参数及最佳的浇口位置,确定最优的注塑方案,再结合产品实际成型的工艺要求,确定出所需的工艺条件,为后续的冷却翘曲分析做准备,从而提高了设计效率,使模具的设计制造更适应现代智能化制造的要求。

参考文献:

[1]　MEHDI M,CHALAK R M Q,VAHID P. Optimized injection-molding process for thin-walled polypropylene part using genetic programming and interior point solver[J]. The international journal of advanced manufacturing technology,2022,124(1/2):297-313.

[2]　MOHAN M,ANSARI M,SHANKS R A. Review on the effects of process parameters on strength, shrinkage,and warpage of injection molding plastic component[J]. Polymer-plastics technology and engineering,2017,56(1):1-12.

[3]　王坤,杨波.基于 Moldflow 的变压器上盖注塑制品翘曲分析及优化设计[J].模具技术,2022(6):19-25.

[4] 董庆运，陈光军，季宁，等. 基于 CAE 的一模异穴浇注系统的注塑流动平衡优化设计[J]. 塑料工业，2023，51(10)：121-127.

[5] 尹小定，赵会娟，王登化. 多腔模设计中非平衡浇注系统优化与充填分析[J]. 吉林化工学院学报，2022，39(9)：99-104.

[6] 吴俊超. 基于 Moldflow 的汽车仪表板大型塑件注塑模工艺优化[J]. 中国塑料，2021，35(12)：121-128.

[7] 陈桂华，刘玉敏. 基于 Moldflow 的塑料模具冷却系统优化设计[J]. 中国设备工程，2021(3)：127-128.

[8] 程国飞，丁立刚，魏文强，等. 基于 Moldflow 的洗衣机上面板浇注系统优化设计[J]. 模具制造，2020，20(6)：54-57.

[9] 徐文俊，郑丽文，周建锋，等. 基于 Moldflow 的路灯灯罩浇注和冷却系统优化设计[J]. 塑料科技，2019，47(5)：56-62.

[10] 李福多. 洗发水瓶盖注塑模具的模流分析及优化设计[J]. 装备制造技术，2023(7)：230-233.

[11] 刘帮禹. 汽车双色尾灯固定侧灯罩注射成型工艺参数多目标优化[D]. 镇江：江苏大学，2022.

[12] JAHAN S A，El-MOUNAYRI H. Optimal conformal cooling channels in 3D printed dies for plastic injection molding[J]. Procedia manufacturing，2016，5：888-900.

Optimization Design of Router Frame Based on Moldflow

ZHAO Meiyun[1,2]，TANG Zhengcheng[2]，JIANG Jing[1]

(1. *Department of Mechanical and Electrical Engineering*，*Tongling Polytechnic*，*Tongling* 244000，*China*；

2. *School of Materials Science and Engineering*，*Jiangsu University*，*Zhenjiang* 212013，*China*)

Abstract：In the process of mold design for router frame，Moldflow software was used to analyze the molding window，derive the reference range for the selection of process parameters，set up three scenarios according to the number of sprues and different locations，and carry out filling simulation analysis. By comparing the results of the analysis，it was found that the gate position of scheme 3 was the most reasonable. On this basis，cooling warpage analysis was carried out，and it was found that the warpage amount of scheme 3 was smaller，only 0. 003 7 mm，which was more consistent with the actual injection molded products. It shows that in the mold design process of some complex plastic parts，computer-aided engineering technology has a good application value，which can shorten the mold design cycle for the designers and save the design cost.

Keywords：router frame；gate；filling analysis；molding process；Moldflow

(责任编辑：王新亮)

引用格式　赵美云，汤正成，蒋婧. 基于 Moldflow 的路由器中框模具优化设计[J]. 山东航空学院学报，2024，41(3)：53-59.
ZHAO M Y，TANG Z C，JIANG J. Optimization design of router frame based on Moldflow[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics，2024，41(3)：53-59.