

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.06.029

基于 Moldflow 的带金属嵌件打印机板浇口优化设计

刘成娟, 吴秋平, 何海琴, 李延平

(集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

摘 要:针对带金属嵌件打印机板使用传统注塑模具设计方法时,存在开发周期长、成本高且质量不易保证等缺点,采用计算机辅助设计软件 Pro/E 和有限元分析软件 Moldflow 相结合的方法对制品进行不同浇口位置方案下的“填充+保压+翘曲”模拟分析,从充填时间、流动前沿温度、气穴、熔接痕和翘曲变形等方面进行了综合比较和评测,确定了最佳浇口设计方案。结果表明,应用 Moldflow 软件进行模拟仿真,找出了制件在不同浇口设置环境下缺陷产生的原因,从而为避免或消除制件上的缺陷,进一步优化模具设计、降低生产成本,为指导实际生产提供合理的依据。

关 键 词:注塑模;浇口位置;金属嵌件;Moldflow 分析;翘曲;优化设计

中图分类号:TQ320.66 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2014)06-0111-05

Design Optimization of Injection Molding Gate for Printer Board with Insert Based on Moldflow

LIU Chengjuan, WU Qiuping, HE Haiqin, LI Yanping

(College of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021, China)

Abstract: Traditional mold design methods of printer board with insert have many disadvantages, such as long design cycle, high cost and difficult guarantee of quality. The mold flow of different gate design was analyzed by combining the computer-aided design software Pro/E and the finite element analysis software MoldFlow. Through comprehensive comparison in filled time, temperature at flow front, weld lines and warpage deformation, the best gate design was determined. The results showed that the application of Moldflow software, the reasons of defects under different gates environment were found, so as to avoid or eliminate defects on parts and further optimization mold design, reduce the production cost, provide the reasonable basis to guide the practical production.

Key words: injection mold; gate location; metal insert; Moldflow analysis; warping deformation; optimum design

目前,在珠三角、长三角和福厦沿海地区,已经形成了3个主要的打印机及耗材生产基地,然而大部分核心部件,如喷头、引擎、激光鼓等重要的元件基本依靠进口,在国内进行组装,完成后的打印机整机产品再出口。其中,高精度打印机板是针式打印机的主要核心部件之一,是金属与塑料的组合物,该零件不仅尺寸精度要求高,而且平整度要求更高,开发难度较大,目前该零件主要也是依靠进口。

为了加快针式打印机板的国产化进程,缩短带金属嵌件制件的研发周期,提高企业和高校的自主创新

能力,推动科技进步,推进计算机外设产业的发展,本文利用模流分析软件对制件浇口位置进行优化分析。浇口是注塑系统的重要部分,它是连接型腔和流道的桥梁,对打印机板的质量影响很大。浇口位置的设计直接关系到熔体在模具型腔内的流动,影响着聚合物分子的取向和塑件成型后的质量,不合理的浇口位置易造成流动不平衡,出现注射压力较高、内部残余应力较大、熔接痕、翘曲等一系列缺陷^[1-2]。传统的设计方法,对于带嵌件制件,各种注塑问题无法在模具设计阶段体现出来,只有依赖设计人员的丰富经验和技巧,这

收稿日期:2014-06-19;修回日期:2014-07-20

作者简介:刘成娟(1983),女,内蒙古呼盟人,硕士研究生,主要研究方向为模具 CAD/CAE。E-mail:qzcj11@163.com

样大大增加了模具研发成本和周期。

目前, Moldflow 是先进的模流分析软件, 它具有强大的功能, 能对整个注塑成型过程进行模拟分析, 包括充填、保压、冷却、残余应力与翘曲变形等分析模块。其中, 充填模拟模块可以进行最佳浇口位置、充填时间、流动前沿温度、熔接痕、压力场、温度场、速度场等的分析^[3]。本文以带金属嵌件的打印机板为例, 分析不同浇口位置时的充填流动过程, 综合预测塑件缺陷, 确定合理浇口位置, 为模具设计提供理论依据。

1 注塑充填过程的理论基础

注塑成型充填过程是复杂的非稳态、非等温的非牛顿流动和传热过程, 满足黏性流体力学的基本方程, 遵循质量守恒定律、动量守恒定律和动能守恒定律。

本文研究的制件采用带嵌件注塑成型技术, 因此, 有限元模型采用 3D 实体网格模型, 此模型与中面网格、表面网格相比, 具有很多优点, 它可以获得实体塑件表面和内部的流动数据, 计算数据完整, 流动仿真更加精确。但其熔体在型腔厚度方向的速度分量不再忽略^[4], 相比较, 其计算、控制方程和求解过程也比较复杂, 计算量大, 计算时间长。由连续介质力学及热力学理论, 得到 3D 实体网格充填状态控制方程^[5]:

连续性方程为

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho \bar{v}) = 0, \quad (1)$$

动量方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{v}) = \rho \bar{g} + [\nabla \cdot \sigma] - [\nabla \cdot p], \quad (2)$$

能量方程为

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla T \right) = \beta T \left(\frac{\partial p}{\partial T} + \bar{v} \cdot \nabla p \right) + \rho \nabla \cdot \bar{v} + (\sigma : \nabla \bar{v}) - \nabla \cdot (\kappa \nabla T). \quad (3)$$

式中, $\rho, \bar{v}, g, C_p, T, \beta, \sigma, \kappa$ 和 p 分别为密度、速度矢量、重力加速度、比热容、温度、热膨胀系数、应力张量、热传导系数和型腔内熔体压力。

常用的黏度模型: 幂律黏度模型、Cross 黏度模型和 Cross—WLF 模型 3 种类型。在充填过程中, 根据材料特性、计算时间、剪切速率等方面进行选择。3D 网格基于黏度的温度、压力和剪切速率的相关性, 选择 Cross—WLF 模型。

2 注塑成型 Moldflow 分析

2.1 制件的工艺要求

针式打印机板为大尺寸、薄壁细长件, 塑件部分基本尺寸为 304 mm × 26 mm × 6 mm, 如图 1 所示。

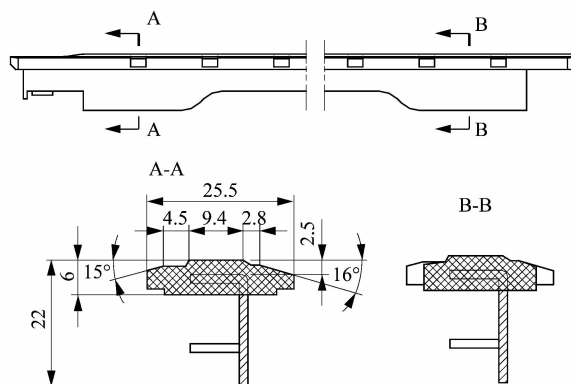


图 1 打印机板二维图

Figure 1 Two-dimensional diagram for printer board

该制件表面要求美观、光洁、无明显的熔接痕、流痕和银丝等缺陷。采用热塑性聚氨酯弹性体 (TPU), 牌号为 Pellethane 2355-95AE, 详细的材料热物性能参数见表 1, 它兼具橡胶和热塑性塑料的特性, 具有良好的外观质感、优异的耐磨、耐拉伸性能和粘结性能等^[9], 适合做打印机板。但 TPU 材料充型性一般, 由于带金属嵌件且本身还有 0.5 mm 左右的翘曲变形, 充型流程较长, 需要高速高压才能很好充满型腔, 但高速高压又会使嵌件定位困难, 变形加大; 同时这种材料的收缩变形较大, 制件壁厚不均, 收缩变形不均匀, 会产生较大的翘曲变形, 所以注塑难度较大, 对注塑模设计和注塑工艺要求较高。中间金属嵌件外形尺寸 280 mm × 24 mm × 10 mm, 板厚度为 1.2 mm, 采用合金件。针式打印机板, 需承担高负荷的工作, 要求打印板的硬度要适中, 并且具有较高的平面度和平行度。

表 1 TPU 的物理性能 (ASTM D1238)

Table 1 Physical properties of TPU (ASTM D1238)

熔体密度/ (g · cm ⁻³)	熔化 范围/℃	弹性模量/ MPa	最大剪切 应力/MPa	最大剪切 速率/s ⁻¹	泊松比
1.082 6	227 ~ 242	1 690	0.3	40 000	0.395

2.2 模型前处理及工艺参数设定^[6]

在 Pro/E 中绘制带金属嵌件打印机板的 3D 结构图, 如图 2 所示。首先利用 Pro/E 软件对制件 3D 模型进行简化处理, 去掉小圆角、小孔等一些不重要的小特征, 这样并不会影响分析结果, 反而会提高网格质量和分析效率。其次, 在转档时, 对塑件和嵌件的 PRT 格式文件选择同一坐标系, 保证后续 2 个模型装配添加时保持正确位置关系; 精度控制采用相同的弦高和角度控制值, 使 2 个模型添加后在圆弧过渡处等非平面部位贴齐, 消除网格间隙和交错现象, 保证接触面网格接触状态良好。最后, 通过调整合适的控制偏差等参

数后分别输出 .STL 格式文件。

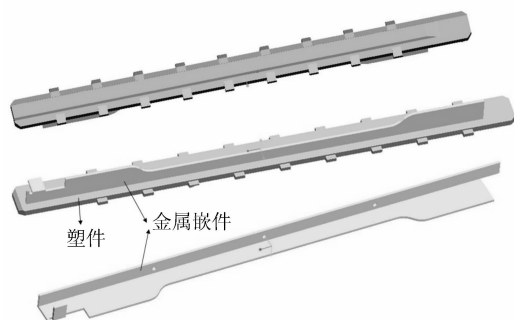


图2 打印机板 3D 结构图

Figure 2 3D diagram for printer board

在 Moldflow (MPI) 软件中,新建一个工程项目,将处理好的塑件 .STL 文件导入,设置全局网格边长为 1.9,进行网格划分。利用网格修复向导进行自动修复,当模型边界不存在重叠单元、倒置四面体单元和极大体积四面体单元,厚度方向细化均匀、平均纵横比达到 15 以下时,满足要求。然后把划分好网格的金属嵌件 3D 网格模型 (.sdy 格式文件) 添加到同一工程项目的塑件 3D 网格模型中,指定金属嵌件网格属性为零件镶件,如图 3 所示。其中,塑件部分节点数为 31 141,四面体单元数为 170 843。嵌件部分节点数为 9 415,四面体单元数为 48 663。注射成型工艺参数见表 2,其余均采用系统默认。

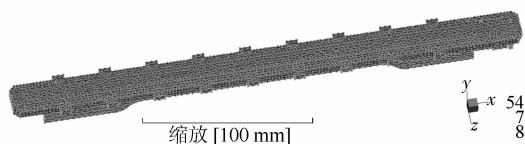


图3 3D 网格模型

Figure 3 3D meshing model

表2 注塑成型工艺参数

Table 2 Injection molding process parameters

模具 温度/℃	熔融 温度/℃	最大注射 压力/MPa	最大锁 模力/kN	速度-压力 切换/%	充填控制 方式
38	232	211.5	229.365	99	相对螺杆 速度曲线

2.3 基于零件基本结构的浇口位置预分析

注塑模具设计中,浇口位置是一个关键的设计参数,浇口的设计和位置的选择恰当与否,直接关系到塑件注塑成型质量。根据注塑件的形状、材料参数以及工艺参数,利用 MPI 软件的浇口分析模块,快速地预分析出产品最佳的浇口位置位于制件中部的深色区域,如图 4 所示。该结果只是一个参考值,为设计人员

提供很有价值的帮助。最佳浇口方案的确定需要综合考虑模拟仿真结果、模具结构、制件品质和成型工艺条件等多方面因素^[7]。



图4 预分析的最佳浇口位置

Figure 4 Best gate location

3 方案对比和分析

合理选择浇口位置是提高塑件质量的重要设计环节。该制件要求塑件表面不能有浇口痕迹,而分析得出的最佳浇口位置是基于熔融塑胶在模具型腔内流动平衡作为分析的出发点,它位于塑件中部的上表面,并不适合作为进浇位置。为保证制件品质和使用要求,需要综合考虑制件结构与工艺特征,塑件原材料的工艺特性和熔体在型腔内的流动状态,模具结构设计要求等因素,最后确定浇口只能设计在产品侧面。

在相同工艺条件下,设置 4 种浇口方案进行优化分析。如图 5 所示。方案 1,浇口位于制件侧面中部 A,节点 N 57 431。方案 2,浇口位于制件侧面中部 B,节点 N 58 704。方案 3,浇口设置在制件一端 C,节点 N 4 236。方案 4,浇口设置在制件另一端 D,节点 N 3 234。

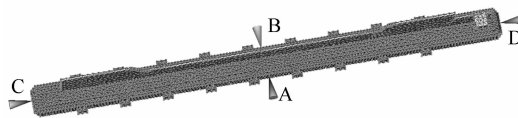


图5 4 种方案浇口位置

Figure 5 Gate locations of four methods

3.1 充填时间

充填时间指熔融塑胶注满型腔的时间。短时间完成充填,可以提高熔体流动速率,增加剪切热,减少熔体温差,改善力在型腔内的传递,获得密实、内应力小、精度高的制件,而且缩短成型时间,提高产能。同时,平衡的充填应使熔融塑胶同时到达型腔末端,表现是流动路径以浅色开始,以深色结束。不同浇口方案下的填充结果如图 6 所示。

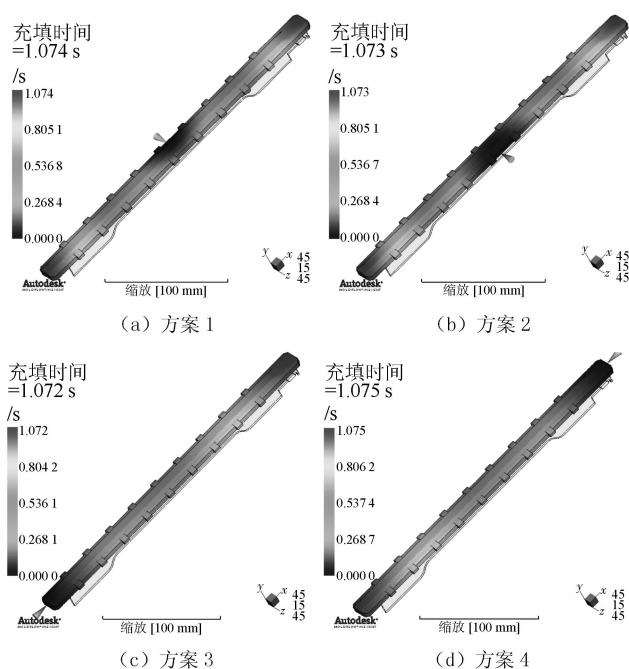


图6 充填时间

Figure 6 Fill time

从图中观察,填充时间都在 1.070 s 左右,方案3 填充时间最短。其中,方案1 和方案2,分别从制件中间位置两侧进胶,由于细长嵌件与塑件接触处是 L 形表面,导致塑胶充填过程复杂,熔融塑胶流程减半,充填时间并没有明显减少,而且方案1 比方案2 时间略长。各方案都以深色结束,均能充填完全,没有浇不足的现象。

3.2 流动前沿温度

流动前沿温度指熔融塑胶在流动过程中熔体前锋温度变化和差异。合理的温度分布应使流动前沿流经型腔时,整体分布均匀,温度变化小,熔体黏度低,充填流动性好,利于熔体融合,保证制件质量。从图7 流动前沿温度结果可以看出,4 种方案的温度分布都比较均匀,温差在 20 °C 以内^[8]。方案2 温差最大,降幅为 4.1 °C,方案1、4 居中,降幅为 3.8 °C 和 3.2 °C,方案3 的温差最小,降幅为 1.8 °C,熔体成型效果最好。

3.3 熔接痕

熔接痕是熔融塑胶流动时,冷料前锋相结合处所形成的细线缺陷。图8 是4 种方案浇口的熔接痕情况。在嵌件注塑成型中,由于嵌件、模具、熔体3 者温度的较大差异,导致熔体绕着嵌件融合时,产生熔接痕,从而影响塑件表面质量和强度。把熔接痕结果叠加到充填时间结果,可以看到在 L 形接触表面处,出现两面料流,因流速的差异,料流在直角内部的流速较慢,外部流速较快,产生凹状的流动前沿,最后在塑件

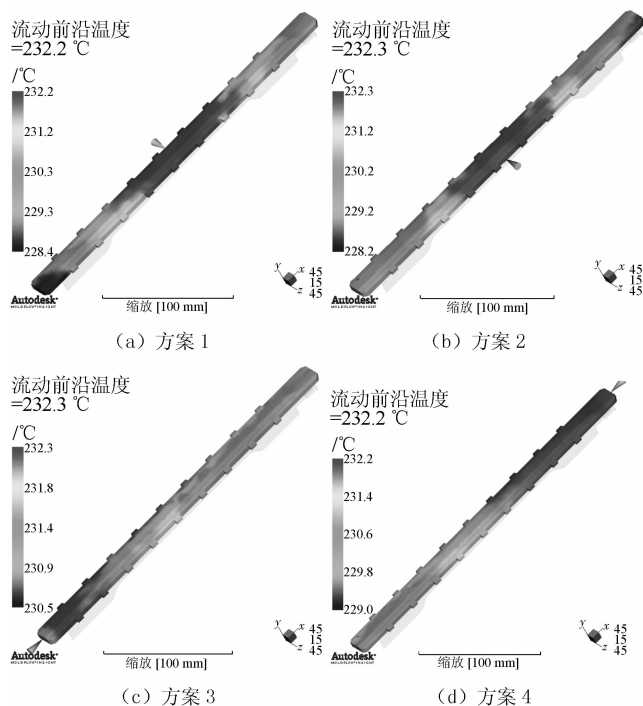


图7 流动前沿温度

Figure 7 Temperature at flow front

和嵌件结合处形成熔接痕。方案2 的熔接痕数量和长度最多,方案3 最少,而方案3 的流动前沿温度降幅最小,熔体流动性较好,同时通过提高模具温度、注射压力、注射速度、预热和干燥嵌件等措施进行优化,对高精度的制件品质不会造成影响。

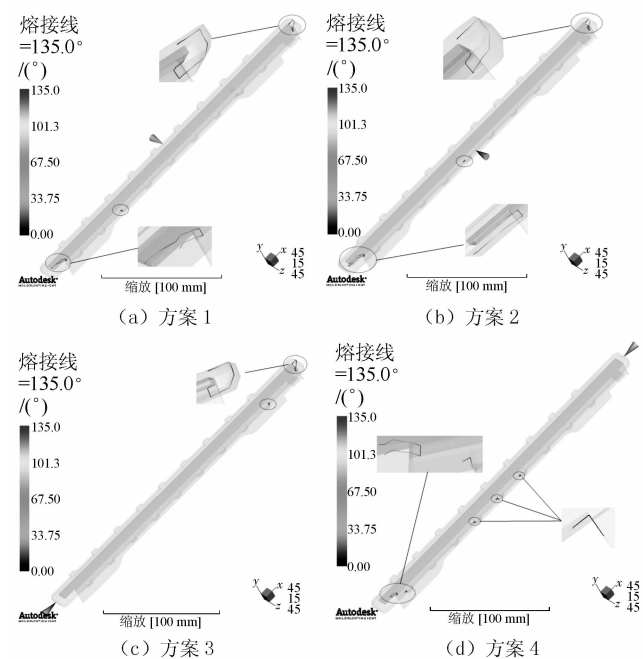


图8 熔接痕

Figure 8 Weld lines

3.4 翘曲分析

翘曲变形是指塑件的形状偏离模具型腔的现象,是注塑成型过程中比较棘手的问题之一^[9]。带金属嵌件的针式打印机板属高精度、薄壁细长件。由于金属嵌件的存在,塑件原来的壁厚分布被改变,造成壁厚不均,同时塑件和嵌件的收缩率不一样,塑件收缩率大,而嵌件的收缩率几乎可以忽略不计,塑件收缩时受到嵌件的阻碍产生内应力等,使得制件的收缩模式和翘曲变形变得尤为复杂,给实际的生产带来困扰。

如图9所示,方案1、2浇口在制件中间位置,方案3、4浇口在制件端部。浇口至充填末端的熔融塑料流动距离不一样,产品翘曲变形量也不一样,而且,距离浇口越远,则翘曲变形量越少^[10]。4种方案的翘曲变形结果,从总变形观察,变形量分别为0.7586,0.7767,0.7208,0.7343 mm,方案2的翘曲变形最大,方案3的翘曲变形最小。其他实验结果如表3。

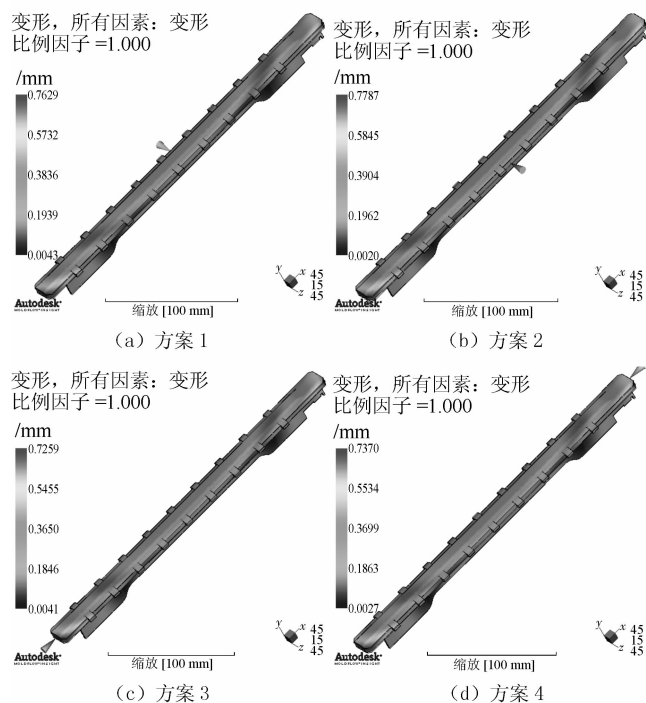


图9 翘曲变形

Figure 9 Deflection

表3 不同浇口方案下的主要结果

Table 3 Main results with different gate methods

方案	锁模力/ kN	达到顶出 温度时间/s	最大体积 收缩率/%	最大体积剪切 速率/s ⁻¹	速度/ (m·s ⁻¹)
1	30.674	14.93	17.20	2 929.1	341.6
2	28.596	15.13	17.14	4 866.2	507.4
3	62.289	15.01	17.13	8 080.8	812.5
4	64.523	15.26	17.06	4 155.2	513.3

综上所述,运用 Moldflow 分析软件,对制件设置不同的浇口位置,从填充时间、流动前沿温度、熔接痕、翘曲4方面进行分析比较,得出:方案3(采用一端进料)的模拟结果比较理想,达到设计要求。再以此方案为依据,进行现场试模,制作试模件如图10~11所示,试模结果与模拟预测结果相一致。

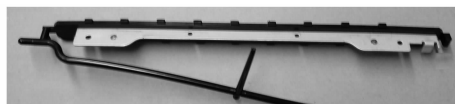


图10 带浇注系统试模件

Figure 10 Mold testing sample with gating system

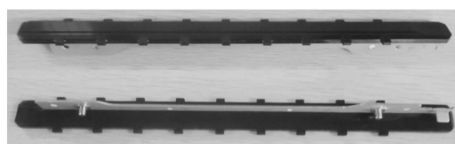


图11 试模件

Figure 11 Mold testing sample

4 结论

1) 带金属嵌件打印机板的注射成型工艺与常规注射成型工艺相比,对设计人员提出了更高要求,应做好充分的前期准备工作。应用 Moldflow 软件进行仿真模拟,能找出制件在不同浇口设置环境下缺陷产生的原因,从而尽可能地避免或消除制件上的缺陷,更好地指导实际生产。

2) 实践证明,利用 Moldflow 分析软件,对带金属嵌件打印机板进行浇口优化设计,不但缩短了生产周期,减少模具试模次数,而且节省试模成本,提高了制件质量,为工厂带来较好的经济效益。

参考文献:

- [1] 周桂云. 基于 MPI 的注塑件浇口优化设计[J]. 塑料, 2012, 41(5): 110-112.
- [2] 邹用生, 黄长林, 胡树根. Moldflow 在注塑模具浇口优化设计中的应用[J]. 塑料工业, 2005, 33(3): 39-41.
- [3] 刘琼. 塑料注塑 Moldflow 实用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [4] 贺灿辉, 刘斌, 邹仕放. 带金属嵌件的手机外壳注塑成型翘曲变形分析[J]. 工程塑料实用, 2011, 39(11): 29-31.
- [5] 董斌斌, 申长雨. 注塑成型过程 CAE 的工程技术应用研[D]. 郑州: 郑州大学, 2002: 3-4.
- [6] 申长雨. 塑料模具计算机辅助工程[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.
- [7] 付云龙, 王斌, 龚红英, 等. 基于 Moldflow 的开关面板支架浇口优化设计[J]. 塑料, 2013, 42(5): 99-100.
- [8] 陈望, 曾晶晶. 基于 Moldflow 软件的托盘注塑成型研究[J]. 塑料工业, 2013, 41(1): 63-66.
- [9] 高月华, 王希诚. 注塑制品的翘曲优化设计进展[J]. 中国塑料, 2006, 20(11): 8-13.
- [10] 陈乐平. 浇口设计对注塑件翘曲变形的影响分析[J]. 轻工机械, 2012, 30(4): 23-24.