

多孔类塑料件困气特性分析及优化策略

陈丽, 任小鸿, 刘悛, 梅静

(四川化工职业技术学院机械工程系, 四川 泸州 646099)

摘要: 注塑过程中, 多孔类塑料件困气问题是制约制件性能的主要因素。以典型电子秤底盘为研究对象, 从困气的机理出发, 充分考虑浇注方式及注射工艺参数对困气产生的影响, 构建了两点开放式浇注方式, 改变浇注中熔体的流动趋势, 减少困气产生的可能; 结合正交实验法, 将注射工艺参数在 Moldflow 软件进行模拟, 确定最优工艺参数, 明显减少了多孔类塑料件困气现象。实施结果表明: 塑料注射充填时间为 2.582 s, 最大压力为 66.2 MPa, 最大锁模力为 638.7 tone, 整体变形值 1.93 mm, 未发现明显的困气现象, 完全满足产品使用要求。优化后浇注方式及工艺参数显著降低产品的困气可能, 为类似产品困气特性分析提供借鉴, 推动多孔类塑料件注塑的快速发展。

关键词: 多孔类, 困气; 浇注系统; Moldflow

中图分类号: TQ320.63

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)03-0061-05

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.03.013

0 引言

塑料制件质轻、绝缘性强、性能稳定、加工性能好, 广泛应用于汽车、家电及电子产品中, 已成为日常生活产品的主要组成部分。根据结构与装配的需要, 出现了较多多孔类塑料件, 由于有孔洞的存在, 多孔类塑料件易产生困气、气泡、真空泡、乱流痕、冷流斑等缺陷, 最常见的缺陷是困气。困气是由于熔体前沿汇聚, 型腔中气体被困在塑件内部或型腔表面形成的气泡^[1]。注塑过程中的困气现象会导致制件出现熔接痕、眼纹等缺陷, 影响塑件的表面质量和力学性能。

要将困气问题彻底解决, 必须将困在熔体中的气体溶入到熔胶之中, 并通过模具的间隙排出。而将空气压入熔胶的时候, 气体的温度会随气压的增加而升高, 这样极易烧焦或发白。从其内部及外部影响条件分析: 塑件结构特点、熔胶材料特性、气体特性、模具结构、工艺参数等影响较大, 并根据影响因素权重, 合理设置模具结构与注射工艺参数, 以便高效解决困气问题。长期以来, 国内外学者对困气问题进行了一定研究, 如鲁勇基于成型参数对聚合物注塑成型中困气特性影响的可视化分析, 王梦寒基于 kriging 和 NSGA-II 的辅以困气改善的熔接痕优化策略, 前人的研究主要从困气过程中的参数和困气结构特征进行分析, 基于机理层面来寻找策略的少见, 特别是针对多孔类塑料件的研究更少见。文章以多孔类塑料件电子秤底盘为例, 如图 1 所示, 从困气产生的机理出发, 分别分析浇注系统、注射工艺参数对注射成型过程中

困气现象的影响, 并提出有关应对措施, 研究成果将为相关理论成果的完善和注塑成型过程中多孔塑料件困气的消除提供可靠的依据。



图 1 产品结构图

1 原始方案的缺陷及分析结果

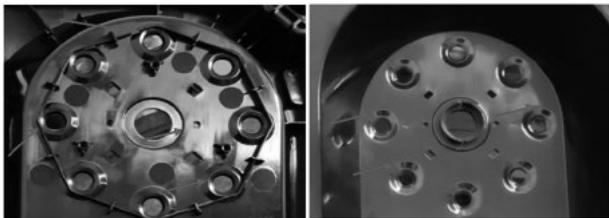
1.1 原始方案出现的缺陷

根据材料原始工艺参数, 按客户要求的浇注方式进行注射, 结果如图 2 对塑料件进行检查时: 在塑件背面孔的周边结构上表面及孔沿、凹槽内锥孔锥面处均产生严重的困气缺陷, 其中孔周边出现了圆孔不圆的现象, 影响产品的外观与使用, 锥面处出现的凹坑现象, 影响产品的刚性。总之, 产品的使用及外观不能满足要求。

1.2 原始方案模拟分析结果

将 UG 软件中的塑件模型导入 Moldflow 软件

作者简介: 陈丽(1975-), 女, 副教授, 主要从事机械传动及其信息化技术的研究。



(a) 孔各部的困气缺陷 (b) 背部凸台与槽的缺陷

图2 原始方案结果图

中,进行网格划分、网格处理、输入实际注射工艺参数、建立和与实际生产一致的浇注系统、选择本次生产所用的材料为PC-100,对电子秤底盘进行模拟分析,结果表明:塑件产品总变形较少,结合线分布均匀,收缩均匀且收缩率不高,主要出现气穴如图3所示,在图中粉红色小球表示气穴位置,主要分布在孔的周边、分型面和筋位末端,与上述实际注射情况基本一致,且注射压力和锁模力较大,较大的注射压力也无法消除其困气缺陷。因此,需要对塑件的困气,特别是孔周围的困气缺陷进行处理,以满足产品的需要。



图3 原始方案模拟图

2 产品工艺分析

2.1 注塑材料分析

目前,电子秤底盘材料常用黑色聚碳酸酯PC-110,该材料为热塑性树脂,主要性能参数包括:熔融指数10.0 g/10 min,密度1.2 g/cm³,拉伸强度为75 MPa,屈服强度为65 MPa,延伸率120%,弯曲弹性模量为2 400 MPa,热变形温度为143 ℃,成型收缩率为0.5%~0.7%,吸水率0.2%;材料流动速率较大,易成型,收缩率较小,良好的耐高温能力,适合壳体塑料件注射成型,但同时存在着树脂的熔体黏度高、对水分敏感等不足、给注射成型加工带来一定的难度,需要调整注射参数及优化模具结构来实现注塑。

2.2 多孔结构分析

电子秤底盘属于电子秤的核心零件,基槽内需要安装电气元件,外形与电子秤的其他元件装配,不能有明显的困气、熔接痕、缩痕等缺陷。外形尺寸412 mm×349 mm×61.5 mm,最小壁厚2.24 mm,最大壁厚4.0 mm,平均壁厚3.0 mm,筋位最大壁厚1.0 mm;

产品表面有缩痕风险;零件由两个凹槽组成,凹槽尺寸280×100,凹槽底部上下均布有16个直径为8 mm的锥孔、4个较大通孔以及多个小孔,对材料流动走向产生较大影响,特别是锥孔边缘,易产生困气缺陷;壳体四周有复杂的岛屿结构,岛屿深度大,也易产生困气缺陷。客户要求在产品顶面中心处设置入浇点,但由于产品面积大,或引起短射,这一点可通过模拟进行分析,客户担心的夹线或变形问题,后期可以通过在产品夹线的位置设计运水,生产时通过接热水或者冷水解决产品表面融接线或者变形问题,文章主要解决困气问题。

3 解决多孔类塑件困气的方案

如前所述,要彻底解决困气问题,需要将气体溶入熔胶中,并通过模具间隙排出。从困气影响因子分析,浇注系统的设计将有效改变熔体的流动走向,能解决部分困气缺陷;此外,注射工艺参数中熔体温度、注射速度、模具温度等对困气区域的面积和困气距离影响较大,其优化设计有效解决困气缺陷。

3.1 浇注系统优化设计

原始方案采用单点针阀式注射,塑件的外观面不能有拼接线,且不能在四周岛屿结构上表面、后模背面水平线、背部上端凸台处设置镶件进行排气,只能通过改变熔体的流动方式,使产品不产生汇流,以期解决塑件困气缺陷。基于以上分析,采用两点开放注射,并通过计算设计出主流道、分浇道及浇口^[6]。

浇注系统由流道与浇口组成,其中流道包主流道与分浇道,其设计的合理性对塑件消除困气和生产效率起到较好作用;浇口的种类较多,其确定依据产品的质量要求与生产效率,流道分为热流道与冷流道,相对而言,热流道针对产品质量高且生产效率高的塑件,但其造价较高,本塑料件采用冷流道。

流道截面形状的选用对于塑件质量(包括消除困气)影响较大,常用的流道截面形状有圆形、梯形、U形等。截面积固定的前提下,圆形截面是最优化的选择,通过对塑件质量及面积的计算,对于不同形状的流道,使用流动阻力指标的水力直径公式来比较。

$$D_w = \frac{4A}{P}$$

其中 D_w 为水力直径(mm), A 为主流道截面积(mm²), P 为周长(mm)。根据上述公式初步确定水力直径。

流道的直径和长度会影响流动阻力。因此，需要对流道的直径进行优化设计，流道直径越大，其阻力越小，但浪费的材料越多。较小截面的流道对于塑件来讲可以节省原料，但由于剪切作用及摩擦易引起流道内温度的升高，塑料在流道内温度比在料筒中的高，较高的料温可以减小残余应力及翘曲变形的风险，易引起材料的劣化。采用下面的公式进行流道直径的初步计算，然而通过模拟软件对流道进行优化设计，选择最合理的流道。

$$D = \frac{W^{1/2} \cdot L^{1/4}}{3.7}$$

其中 D 为流道直径 (mm)， W 为塑件重量 (g)， L 为流道长度 (mm)，根据公式初步确定流道直径后，在 Moldflow 中进行浇注系统结构设计。如图 4 为客户要求的采用针阀式的单点注射方案，其优点在于塑件的流动方向稳定，但由于注射材料的黏度大，流动距离大会造成塑件产生较大的困气，综上，拟采用如图 5 所示的两点开放式浇注系统进行注射，并调整注射工艺参数进行注射。



图 4 针阀式单点注射 图 5 两点开放式注射

3.2 注射工艺参数的优化设计

前述注射工艺参数中熔体温度、注射速度、模具温度对于塑件困气体缺陷的影响较大，在低速注射时，熔体温度升高，使多孔类塑件中孔的周围熔体的相对差较小，产生困气也较小，高速注射时，熔体温度升高到一定时，能有效减少困气的产生，但持续的熔体温度增加会产生剪切现象；在低速注射时，模具温度的提高，有效减少困气的产生，高速注射时，随着模具温度的升高，型腔中的气体反作用力更加明显，困气缺陷更加明显，因此，需要进行合理参数的优化设计。

影响塑件困气的注射工艺参数主要有注射速度、熔体温度和模具温度，根据材料供应商及 Moldflow 推荐研究工艺参数的取值范围，表 1 所示为为工艺参数的极限值，注射速度为 3~6 m/s，深温度 250~310 °C，模具温度为 70~110 °C 共 3 个因素，每个因素分别取

4 个水平，为三因素四水平法，而充填时间及保压压力根据实际条件确定，其实验方案见表 2。

表 1 实验因素水平划分表

水平	注射速度 / (m·s ⁻¹)	熔体温度 / °C	模具温度 / °C
1	3	250	70
2	4	270	85
3	5	290	100
4	6	310	110

表 2 模拟实验方案

实验	注射速度 / (m·s ⁻¹)	熔体温度 / °C	模具温度 / °C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	2	1	2
6	2	2	1
7	2	3	4
8	2	4	3
9	3	1	3
10	3	2	4
11	3	3	1
12	3	4	2
13	4	1	4
14	4	2	3
15	4	3	2
16	4	4	1

4 多孔类塑件注射模拟及实施

4.1 多孔类塑件注射模拟

根据前面正交实验法给出的 16 种方案，利用 Moldflow 等软件建立图 6 的浇注系统，并采用网格分析、网格划分、材料及工艺参数设置对塑件进行前期分析与处理；主流道直径为 8 mm 热管 流道直径为 15 mm，热浇口为 1.5 mm，总共热流道体积为 114.5 cm³，与客户要求的进胶点不一致，经过多次模仿分析，序号 12 的参数效果最佳；随后，根据规律对参数进行优化，得出最优注射工艺参数见表 3 所示，充填时间为 2.582 s，无短射，充填平衡，充填时，V/P 切换时的压力为 66.2 MPa，最大压力为 66.2 MPa，最大压力合理，最大锁模力为 638.7 tone，比单点注射略大，未发现严重的困气现象，只在产品的周边有局部的困气点，如图 7 所示，整体变形值 1.93 mm，如图 7 所示，经与客户沟通，完全满足产品使用要求。

表 3 产品注射参数对比

工艺参数	原始方案	优化方案
料成型温度 / °	305	305
模具温度 / °	95	95
保压压力 / MPa	60.70	66.25
最大锁模力 / tone	852.8	638.7
充填时间 / S	2.607	2.58
注射速度 / (m·s ⁻¹)	4	5



图 6 困气方案的模拟仿真

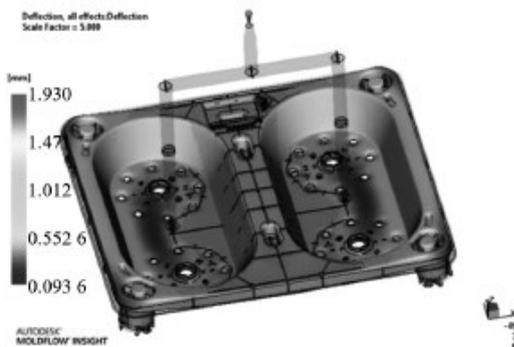


图 7 整体变形模拟仿真

4.2 解决困气方案的实施

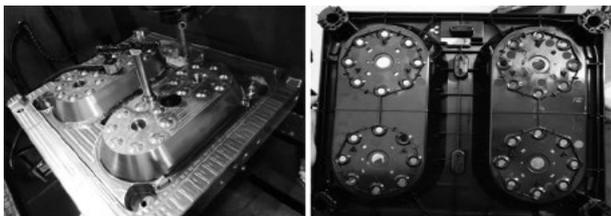


图 8 模具实物图



图 9 产品实物图

根据前面所述浇注系统与的相关参数进行实验，结果表明：在塑件的表面不存在熔体汇流现象，充填

过程没有出现困气问题，变形量小，提高了产品的表面质量^[7]，改进后的锁模力相对增加了，但在注射机可控的范围，模具如图 8 所示，产品实物如图 9 所示，完全符合使用要求。

5 结论

(1) 通过 MoldFlow 软件对多孔类塑料件电子秤底盘浇注系统优化设计，能分析产品困气产生的原因及相关区域。

(2) 浇注方式与浇注系统合理化设计，对塑件熔体在塑件区域的流动状况优化流动改变，有效地解决了多孔类塑件困气缺陷。

(3) 利用正交实验法与有限元分析软件，对模具结构进行优化设计以及注射工艺参数的优化，可以提前预判出塑件的注射缺陷，消除在产品注射中产生缺陷，有利于降低生产成本，提高企业的竞争力。

参考文献：

- [1] 沈剑. 注塑成型浇注系统及成型工艺参数的优化研究[D]. 苏州大学, 2012.
- [2] 鲁勇, 姜开宇, 左军超, 等. 成型参数对聚合物注塑成型中困气特性影响的可视化分析[J]. 机械工程学报, 2017,53(18):49-56.
- [3] 冯桂香. 基于 CAE 的汽车配件成型特性分析[D]. 浙江工业大学, 2011.
- [4] 涂顺利. 基于模拟仿真的多孔类塑料件熔接痕分类寻优策略[D]. 重庆大学, 2019.
- [5] 吴燕华, 王宏霞, 朱芬芳, 等. 浅析注射成型塑料制品常见缺陷及解决方法[J]. 现代盐化工, 2020,47(02):7-8.
- [6] 王梦寒, 涂顺利, 余春丽. 基于 Kriging 和 NSGA-II 的辅以困气改善的熔接痕优化策略[J]. 化工学报, 2018,69(10): 4 449-4 455.
- [7] 洪建明. 基于 Moldflow 流动模拟的电源按键困气缺陷改善[J]. 中国塑料, 2013,27(03):87-91.

Analysis of trapped gas characteristics and optimization strategies for porous plastic parts

Chen Li, Ren Xiaohong, Liu Xing, Mei Jing

(Department of Mechanical Engineering, Sichuan Vocational and Technical College of Chemical Industry, Luzhou 646099, Sichuan, China)

Abstract: In the injection molding process, the issue of trapped gas in porous plastic parts is a major factor limiting the performance of the molded products. Taking the typical electronic scale chassis as the research object, starting from the mechanism of trapped gas, and fully considering the impact of the pouring method and injection process parameters on the generation of trapped gas, a two-point open pouring method

was constructed to change the flow trend of the melt during pouring and reduce the possibility of trapped gas generation. Combined with the orthogonal experimental method, the injection process parameters were simulated in Moldflow software to determine the optimal process parameters, significantly reducing the trapped gas phenomenon in porous plastic parts. The implementation results showed that the plastic injection filling time was 2.582 s, the maximum pressure was 66.2 MPa, the maximum clamping force was 638.7 tone, and the overall deformation value was 1.93 mm. No significant trapped gas phenomenon was found, fully meeting the product usage requirements. The optimized pouring method and process parameters significantly reduced the possibility of trapped gas in the product, providing a reference for the analysis of trapped gas characteristics in similar products and promoting the rapid development of injection molding for porous plastic parts.

Key words: porous materials; trapped gas; gating system; Moldflow

(R-03)



为梦想奋斗，为幸福打拼！双星举行 2025 总结表彰暨 2026 新年展望会

Strive for dreams, work for happiness!

Double Star holds 2025 Summary & Recognition Ceremony & 2026 New Year Outlook Meeting

近日，双星集团 2025 总结表彰暨 2026 新年展望会在双星国际会议中心举行。会上，总裁张军华报告了双星集团 2025 年度经营情况和为员工办的实事。各产业负责人分别作了 2025 年工作总结和 2026 年展望。大会还发布了“2025 年双星集团十大亮点”，并为赵衍刚、王磊、柳宇辰等“领军人物”“先进工匠”“新星”以及“重大创新突破”“领军团队”“先进团队”等颁发了奖杯和证书。双星集团董事长柴永森作了新年展望，对集团 2026 年指导方针和战略重点等进行了具体部署。

2025 年是“十四五”收官之年。“十四五”期间，面对内外重大不利因素，双星集团以党建为统领，以“创世界一流企业”为目标，全体员工团结一致，踔厉奋发、勇毅前行。加速实施生态化、高新化、当地化、数智化的“新四化”战略，坚持经营改善和创新突破双驱动，把一个个“不可能”变为“可能”，经营业绩、行业地位和品牌价值都得到巨大提升。与 2020 年相比，营收增长近 70%，利润增长超过 8 倍；轮胎营业额跃居全球前十、中国第二、山东第一，其中轿车胎和海外营业额稳居中国轮胎第一，进入“中国制造业企业 500 强”和“全球汽车供应链百强”行列；跨国指数位列“中国跨国公司 100 大”第二位；“双星轮胎”成为中国首个价值超千亿的轮胎品牌，并与锦湖轮胎联袂入选“亚洲品牌 500 强”（锦湖轮胎位居亚洲轮胎品牌第二位）；国企改革连续三年被国务院国资委评为“双百企业”最高等级“标杆”级。

柴永森董事长指出，2026 年是“十五五”开局之年，也是双星战略调整后进一步见效的一年。总体指导方针是“强基健体，创新突破，实现利润正常化，向世界一流企业迈出坚实一步”。希望广大干部员工继续以“新四化”为战略指引，转观念、打基础。抓住 AI+ 机器人的契机。发挥双星和锦湖的协同优势。用开放的视野、最快的速度、严谨的态度和流程，做好各自工作。踏准时代的赛道，跑出自己的风景。柴永森董事长还对平台和产业 2026 年各自战略重点进行了指导。

为梦想奋斗，为幸福打拼！双星全体干部员工将继续锚定目标任务，坚定信心、乘势而上，向世界一流企业奋力前行！

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)