滤清器壳体压铸工艺设计及数值模拟

张双橹[1] 米国发[1] 王 凯[2] 毛长城[3]
(1.河南理工大学材料科学与工程学院；2.河南英利特科技股份有限公司；3.河南平原光电科技有限公司)

摘 要 根据滤清器壳体的结构特点，设计了压铸工艺方案，采用 Flow-3D 软件对压铸工艺方案进行数值模拟，通过分析卷气的分布情况预测产生缺陷的位置。初始方案模拟结果表明，型腔中间及两端存在较多卷气，容易产生气孔、缩松等缺陷。通过温度场分布判断压铸件凝固方式为逐层凝固，说明充型过程合理。优化方案调整了浇注系统的形状和位置，增强了溢流槽收集气体的能力。结果表明，铸件内卷气明显下降，缺陷消除，满足生产要求。

关键词 压铸；数值模拟；工艺优化；滤清器壳体
中图分类号 TG249.2；TP311 **文献标志码** A
DOI：10.15980/j.tzzz.2019.07.010 开放科学(资源服务)标识码(OSID)：

Numerical Simulation and Die Casting Process of Aluminum Alloy Upper Cover

Zhang Shuanglu[1], Mi Guofa[1], Wang Kai[2], Mao Changcheng[3]
(1.School of Materials Science and Engineering, Henan Polytechnic University;
2.Henan Elite Science and Technology Co., Ltd; 3. Henan Optics Electronic Co., Ltd.)

Abstract: According to the structural characteristics of the filter housing, the die casting process was designed. The Flow-3D software was used to simulate the die casting process, and position of the defect was predicted based on the distribution of the entrained air. The simulated results of the initial scheme reveal that there exist more entrained air in the middle and both ends of the cavity, resulting in defects such as blowholes and shrinkage porosity. It is judged by the temperature field distribution that the solidification mode of the die casting belongs to solidified layer by layer, indicating the reasonable filling process. Through adjusting the shape and position of the gating system, the ability of the over-flowing slots to collect entrained air was enhanced. The results reveal that the entrained air in the filter housing is reduced significantly, and the defects are eliminated, meeting production requirements.

Key Words: Die Casting, Numerical Simulation, Process Optimization, Fiter Housing

收稿日期：2019-01-28；**修改稿收到日期**：2019-02-23
第一作者简介：张双橹，男，1995 年出生，硕士研究生，河南焦作 (454000)，**电话**：15738510200，E-mail：610131033@qq.com

高铝液的充填速度，增加了顶模的排气性，避免了铝液充填到顶面时因为模具排气不畅而产生窝气的现象，防止前端容易被氧化的铝液在顶面停留，最终解决了活塞毛坯顶面氧化夹渣缺陷，小批量生产结果表明，活塞顶面缺陷由原来的 50%降低至 5%以内，效果明显。

参 考 文 献

[1] 刘云岗.车用发动机市场趋势及技术发展动向[J]. 国外内燃机，2015(1)：6-13.
[2] 邬智立. 发动机铝合金活塞铸件缺陷分析及铸造工艺改进[J]. 铸造，2018，67(1)：48-45.
[3] 饶牧成.铝活塞材料性能增强途径探讨[J].特种铸造及有色合金，2011(S)：77-79.
[4] SUN L, LI C A, TU J W, et al. Effect of surface treatment to inserted ring on Al-Fe bonding layer of aluminium piston with reinforced cast iron ring[J]. Journal of Central South University, 2014, 21(8): 3 037-3 042.
[5] 赵群宪，衣延山，王勇杰，等. 改进浇注系统解决铸件缩孔缺陷[J].现代铸铁，2012，32(4)：51-54.
[6] 汪学阳，黄志垣，陈振宇.基于数值模拟的铝合金冷却模块的压铸工艺开发[J].特种铸造及有色合金，2017，37(10)：1 078-1 080.
[7] SEVERINO G, PAIVA E J, FERREIRA J R, et al. Development of a special geometry carbide tool for the optimization of vertical turning of martensitic gray cast iron piston rings[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012, 63: 5-8.
[8] KASALA J, PERNIS R, ČAPLOVIČL', et al. Influence of gating system design on tensile properties of AlSi7Mg0.3 alloy[J]. Archives of Foundry Engineering, 2010, 10(1): 117-120.
[9] 宋亮，张屹林，闫汝辉，等.基于数值模拟的铝合金活塞设计与优化[J].特种铸造及有色合金，2015，35(2)：150-152.
[10] 旺小霞，纵荣荣，时建松，等. 发动机用铝活塞的铸造数值模拟[J]. 精密成型工程，2010，2(5)：78-82.
[11] 沈家栋，张海亮. 铝合金活塞铸造工艺数值模拟研究[J]. 机电工程，2013，30(3)：322-328.
[12] 纵荣荣. 金属型重力铸造铝活塞流场和温度场的数值模拟[D]. 合肥：合肥工业大学，2010.
[13] 陈元芳，胡建军，黄虹，等.CAE 技术在活塞铸造工艺设计中的应用[J].特种铸造及有色合金，2005，25(11)：661-663.
[14] 柳百成.铸造技术与计算机模拟发展趋势[J].铸造技术，2005，26(7)：611-617.

(编辑：刘晨辉)

滤清器壳体是发动机上的重要零件，要求轻量化，不得漏气，表面平整光滑。为减少机械加工，孔和凹槽需铸出，若采用砂型铸造，铸件容易产生缩松、缩孔等缺陷。而压铸生产工序简单、工艺流程短，生产的铸件表面光洁[1,2]、尺寸精度高、力学性能良好，所以采用压铸工艺生产滤清器壳体。压铸时金属液以高速流经内浇口时，型腔内的气体来不及排出而被卷入金属液，最终形成气孔、冷隔等缺陷[3]。传统试错方法效率低、成本高，而数值模拟技术的应用，极大地提高了工艺设计效率。本课题利用 Flow-3D 软件来预测铸件在压铸过程中容易产生卷气的位置及卷气量，根据模拟结果对压铸工艺进行优化[4,5]。经优化工艺方案生产出的铸件缺陷减少，降低了废品率，节约了生产成本。

1　铸件结构及材料

图 1 为 YFQ-8 系列滤清器壳体铸件，总质量为 537.3 g，体积为 223.9 cm^3，轮廓尺寸为 136.5 mm×117 mm×202.5 mm。铸件主体为圆柱形长筒，最大直径为 117 mm，平均壁厚为 3.5 mm，中部有突起圆桶，属于厚大部位，一端为法兰盘，圆盘外围有 6 个孔。

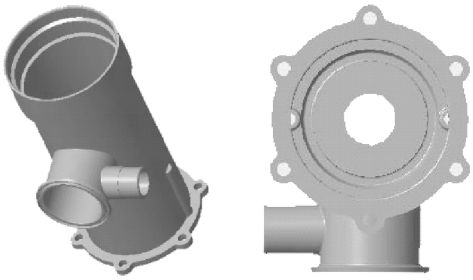


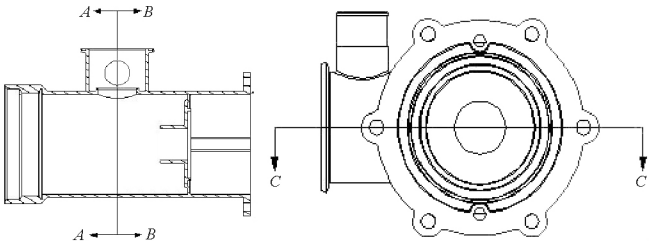
图 1　铸件三维图

选用 YL113 铸造铝合金，其属于 Al-Si-Cu 系合金，由于合金中加入了大量的 Si 元素，在熔融态下拥有较好的流动性，而且凝固过程中收缩小，热裂倾向小，因此铸造性能优良[6]。此外，合金具有很好的气密性和一定的耐蚀性能，符合产品的性能要求和工作条件。

2　压铸工艺设计

2.1　分型面确定

分型面位于压铸模的动模和定模的结合处，通常与开模方向相互垂直。如果选在压铸件的侧表面，也就是与开模方向一致的面，需要设置侧向抽芯机构。该压铸件有 3 种分型方案，*A*-*A* 分型面，*B*-*B* 分型和 *C*-*C* 分型面，均为该压铸件外形轮廓尺寸的最大投影面，但是设置 *A*-*A* 面或 *B*-*B* 面为分型面，在开模时铸件的法兰结构阻碍动模的移动，无法实现分型。因此选用 *C*-*C* 分型面作为本次设计的分型面。



(a) *A*-*A*、*B*-*B* 分型面　　(b) *C*-*C* 分型面

图 2　铸件的分型面示意图

2.2　浇注系统设计

浇注系统主要由直浇道、横浇道和内浇口组成[7]。排溢系统主要有溢流槽和排气槽，作用是收集气体和冷污金属液，减少浇注系统设计不足带来的压铸缺陷[8]。

该件内浇口截面积的计算采用流量计算法[7]。

$$A_g=\frac{G}{\rho v t}\times 10^3 \tag{1}$$

式中，A_g 为内浇口截面积，mm^2；G 为通过内浇口的金属液质量，g；ρ 为液态金属的密度，g/cm^3；v 为填充速度，mm/s。

金属液总质量为 537.3 g，充填速度为 24 m/s，填充时间取 0.08 s，利用式(1)计算出内浇口截面积 A_g 为 116 mm^2，取整为 120 mm^2。根据合金种类和铸件壁厚，选定内浇口厚度为 2 mm。

横浇道的截面形状一般为扁梯形[8]，结合压铸件的结构特点，采用两个浇口导入金属液，横浇道的宽度取 30 mm；与内浇口连接端的横浇道宽度取 26 mm；与直浇道连接端的横浇道宽度取压室和浇口套直径同样的尺寸，为 60 mm；横浇道的长度取 80 mm。直浇道直径与浇口套内径相同，为 60 mm。

溢流槽大部分设置在分型面上，见图 3，选用梯形溢流槽，1～5 处溢流槽尺寸见表 1。

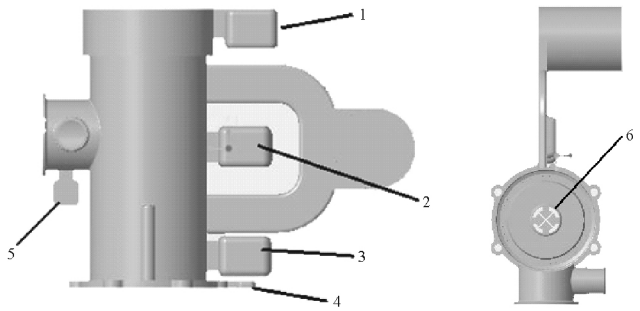


图 3　带有浇注和排溢系统的铸件图

表 1　溢流槽尺寸

序号	溢流槽/mm			溢流口/mm		
	长	宽	高	高	长	厚
1～3	40	30	10	8	22	2
4	15	6	6	6	6	2
5	20	16	7	6	12	2

溢流槽 6 为一圆饼状溢流槽，分成 4 部分，每部分对应一个溢流口，其主要尺寸为 ϕ19 mm×6.5 mm。

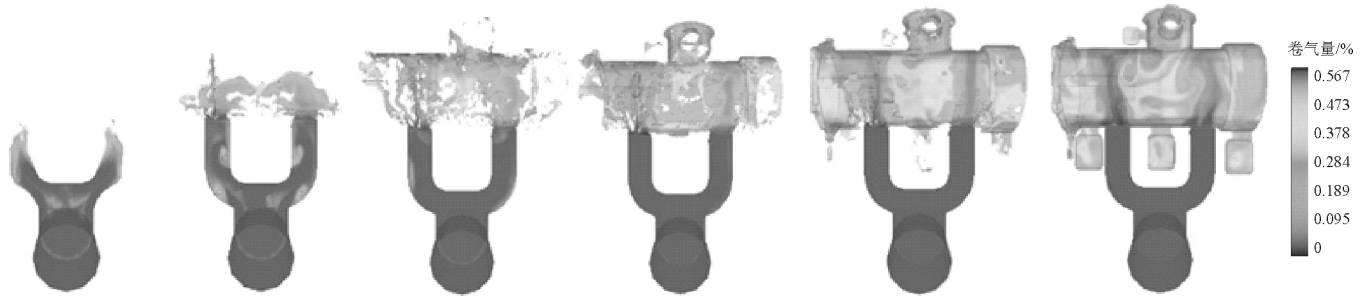
3　初始方案的数值模拟

将设计好的实体模型转化为 STL 格式，导入 Flow-3D 软件进行参数设置，压铸件模型网格数为 4 000，网格尺寸为 0.1 mm，浇注温度设定为 680 ℃，模具温度设为 230 ℃，充填速度为 24 m/s。

3.1　充型过程模拟

图 4 为充型过程的模拟图。由图 4 可见，金属液在 0.026 39 s 时充填横浇道，见图 4a；t=0.031 12 s 时金属液开始通过内浇口对型腔进行填充，见图 4b。在此之前，金属液在直浇道和横浇道中流动，且流动较为平稳。由于内浇口较小，金属液流过时会变得很不平稳。在 t=0.053 32 s 时，首先进入型腔的混有夹杂物、涂料残渣和气体的金属液开始流进溢流槽，见图 4e；t=0.062 66 s 时，金属液充型结束，整个充型过程耗时 0.062 66 s，见图 4f。

另外，可以看出，铸件表面中心和两端以及凸出部位，卷气严重。图中灰色、灰白色以及深色的部位都是卷气集中的部位，同时也是表面缺陷严重的部位。可能



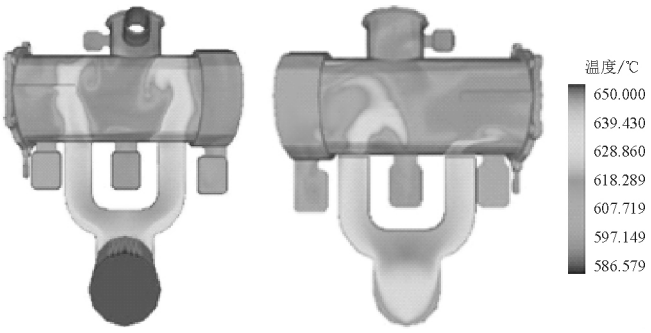
(a) t=0.026 39 s　(b) t=0.031 12 s　(c) t=0.035 94 s　(d) t=0.045 43 s　(e) t=0.053 32 s　(f) t=0.062 66 s

图 4　金属液充型过程示意图

是因为溢流槽位置不合理，不能起到很好的集渣效果。

3.2　温度场分析

压铸件充型完成后金属液的温度场分布见图 5。根据压铸件的温度场分布可知，沿着金属液流动方向，填充越晚，温度越高。在内浇口周围，远离内浇口，沿轴向存在正温度梯度。温度越高，凝固时间越长，所以铸件凝固方向和其温度梯度方向相反，因此可以判断压铸件凝固方式为逐层凝固，并且能够及时得到补缩，出现缩松、缩孔缺陷的几率不大。



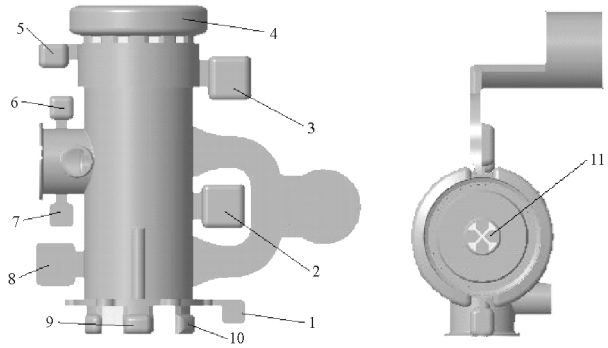
(a) 动模侧　(b) 定模侧

图 5　压铸件的温度分布图

4　优化方案及数值模拟

4.1　优化方案设计

结合实际生产对初始方案进行优化，将内浇口与横浇道的连接处设计为发散型，增大内浇口宽度，减小横浇道宽度，这样在充型时使金属液可以获得较大的轴向充型速度。另外，将铸件伸出项末端溢流槽去除，在伸出项周围增加溢流槽。优化方案的铸件三维图见图 6。



(a) 溢流槽 1～10　(b) 溢流槽 11

图 6　优化方案后带有浇注和排溢系统的铸件图

其中，铸件上的部分溢流槽尺寸见表 2。

表 2　优化后溢流槽尺寸

序号	溢流槽/mm			溢流口/mm		
	长	宽	高	高	长	厚
1	20	20	8	6	6	2
2、3	35	35	10	8	22	2
5	25	14	9	6	14	2
6、7	20	20	6	6	10	2
8	32	35	10	6	22	2

溢流槽 4 为环形溢流槽，高为 7 mm，长为 16 mm，内环半径为 10 mm，溢流口为配合溢流槽的扇形，高为 6 mm，内环半径为 10 mm，厚为 2 mm；溢流槽 9 和 10 的形状比较特殊，该结构紧邻型芯，既不能影响抽芯，又

不能影响开模；溢流槽 11 为一圆饼状溢流槽，分成 4 部分，每部分相互间隔为 2 mm 并各自对应一个溢流口，其主要尺寸为 ϕ17 mm×17 mm。溢流槽 4、9 和 10 在圆筒边缘位置，每个溢流口都是两股金属液的汇合处，也是气体、涂料残渣冷污金属液最集中的区域，所以设置溢流槽来改善充填、排气条件。

4.2　充型过程模拟

图 7 为充型过程模拟结果图。通过观察发现，金属液在 0.008 70 s 开始充填横浇道，t=0.014 52 s 开始通过内浇口对型腔进行填充，在此之前，金属液在直浇道和横浇道中流动较为平稳；t=0.036 78 s 时，首先进入型腔的混有夹杂物、涂料残渣和气体的前端金属液开始填充溢流槽；当 t=0.047 06 s 时，型腔基本填充完毕，只有溢流槽尚未填充完毕，卷气基本都移动到溢流槽中；t=0.058 42 s 时，金属液充型结束。

另外，模拟结果显示，铸件上夹带气体的体积分数



(a) t=0.008 70 s　(b) t=0.014 52 s　(c) t=0.023 47 s　(d) t=0.036 78 s　(e) t=0.047 06 s　(f) t=0.058 42 s

图 7　优化工艺后金属液充型过程示意图

在 23%左右，极少部分部位卷气量达到 35%，且这些卷气主要分布在溢流槽周围。其他卷气都分布在溢流槽内，溢流槽有效发挥了集气集渣的作用。

4.3　温度场分析

压铸件充型完成后金属液的温度场分布见图 8。可以看出，浇注温度为 650 ℃，沿着金属液流动方向，填充越晚，温度越高，铸件凝固方向和其温度梯度方向相反，铸件凝固顺序合理，不会产生较大的缺陷。

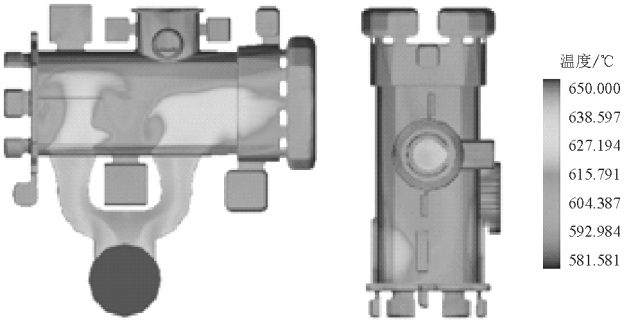


图 8　优化工艺后压铸件的温度分布图

基于优化设计生产出的铸件见图 9。可以看出，铸件表面光滑，没有缺陷，在实际生产中未发现渗漏现象，满足生产要求。

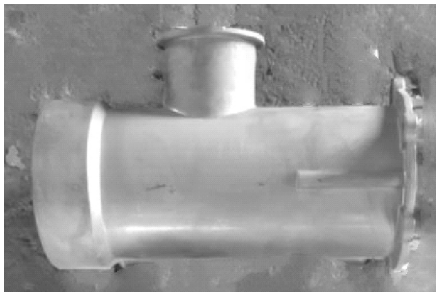


图 9　基于优化设计实际生产的铸件

5　结　语

根据铸件的结构特点，设计出初始压铸工艺方案，利用 Flow-3D 软件进行数值模拟，对充型过程进行分析并预测产生缺陷的大小和位置，然后设计出优化方案。初始方案浇注系统的结构以及溢流槽的位置不合理，导致卷气体积分数较高，优化方案改进了浇注系统，并且在铸件两端设置了比较特殊的溢流槽，使得铸件内卷气体积分数显著降低，生产出了满足需求的铸件。

参　考　文　献

[1] 肖世龙，黄勇，安振须，等，基于数值模拟的铝合金泵体压铸模具及工艺优化[J].特种铸造及有色合金，2016，36(6)：605-608.

[2] 王国祥，洪慎章. 实用压铸模设计与制造[M].北京：机械工业出版社，2011.

[3] 李帅君，熊守美，JOHN ALLISON. 压铸充型过程中卷气现象的数值模拟研究[J].金属学报，2010，46(3)：554-560.

[4] 罗康淳，铝合金压铸件压力铸造成形数值模拟研究[D]. 杭州：浙江工业大学，2009.

[5] 米国发，郑喜平，南红艳. 计算机模拟 1300 立式磨盘座铸造工艺设计上的应用[J].热加工工艺，2012，41(13)：60-62.

[6] 王桂青，耿浩然，滕新营，等，铸造铝镁合金[M].北京：化学工业出版社，2007.

[7] 中国机械工程学会铸造专业协会. 铸造手册(第 6 卷). 特种铸造[M].北京：机械工业出版社，1990.

[8] 欧阳维强，李平，彭学周. 铝合金壳体的压铸工艺优化设计[J]. 铸造，2015，64(11)：1 082-1 084.

(编辑：张正贺)