汽车发动机前盖压铸模浇注系统及排溢系统设计

董淑婧 侯丽彬
（大连科技学院机械工程学院，大连 116036）

摘 要 对汽车发动机前盖形状、结构特点及技术要求进行分析，设计了该产品浇注系统和排溢系统，并采用计算方法设计出内浇口、横浇道、排溢槽的尺寸。在理论设计的基础上，使用AnyCasting软件对发动机前盖产品的压铸过程进行模拟，经过实际试模后对产品品质进行检查，对排溢槽尺寸进行微调。经过理论计算、模拟分析、试模调整后最终确定了浇注系统和排溢系统，经批量生产验证，产品品质高、模具运行稳定可靠。

关键词 前盖；浇注系统；排溢系统；模拟分析
中图分类号 TG249.2 **文献标志码** A DOI：10.15980/j.tzzz.2024.02.023

Design of Gating System and Overflow System of Bonnet Die Casting Die for Auto Engine

Dong Shujing, Hou Libin
（School of Mechanical Engineering, Dalian University of Science and Technology, Dalian 116036）

Abstract: The shape, structural features and technical requirements of automobile bonnet product were analyzed, and the casting system and overflow system were designed. Meanwhile, the calculation method was adopted to design the dimensions of the inner gate, runner and overflow slot. On the basis of theoretical design, AnyCasting software was used to simulate the casting process. Finally, through the inspection of quality after the mold test, the size of the overflow was tailored slightly . The gating system and overflow system were determined by theoretical calculation, simulation analysis and mold trial adjustment. The product quality is high and the mold operation is stable and reliable by batch product verification.

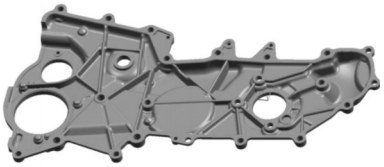
Key Words: **Bonnet, Gating System, Overflow System, Simulation Analysis**

压铸的浇注系统决定了金属液的流向、速度以及填充时间，同时对调节和控制压力传导、模具温度起到一定的作用，是决定压铸件品质的关键因素。排溢系统包括溢流槽和排气道，是将压铸过程中气体、冷料、污料排出的通道。在压铸模设计过程中，常常将浇注系统和排溢系统做为一个整体来综合考虑[1]。本研究以发动机前盖压铸模为例，介绍其浇注系统和排溢系统设计过程及设计方法，为同类产品开发提供参考。

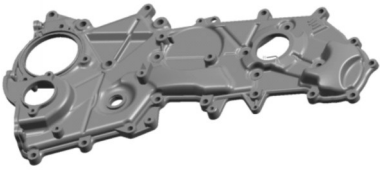
1 铸件的工艺分析

图1为某汽车公司开发的前盖，材质为ADC12合金，执行JIS-H5302-2006标准，其流动性好，具有良好的力学性能。铸件最大外轮廓尺寸为603 mm×320 mm×49 mm，一般壁厚为2.0 mm，投影面积为1 180 cm^2，单件质量为1.72 kg。腔体密封性要求在100 kPa下，允许泄漏量最大为10 mL/min。

由图1可见，前盖属于扁平薄壁件，铸件尺寸大，中间有3处大的通孔，不利于金属液充填，极易出现流痕、冷隔、



(a) 内腔



(b) 外腔

图1 前盖

Fig.1 Bonnet

收稿日期：2023-04-12；**修订日期**：2023-05-12
第一作者简介：董淑婧，女，1981年出生，教授，E-mail：dongshujing817@126.com
通信作者：侯丽彬，女，1968年出生，高级工程师，E-mail：houlibin_dalian@163.com
引用格式：董淑婧，侯丽彬．汽车发动机前盖压铸模浇注系统及排溢系统设计[J]．特种铸造及有色合金，2024，44(2)：277-281.
DONG S J，HOU L B. Design of gating system and overflow system of bonnet die casting die for auto engine[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys，2024，44(2)：277-281.

变形等铸造缺陷。需要通过合理设计浇注系统、排溢系统并调整压铸工艺参数,解决铸件可能产生的铸造缺陷。

2　浇注系统设计

依据前盖的结构特点,选择侧浇道进行充填,侧浇道布置在分型面上铸件的长边方向,可以保证足够的内浇口截面积,并且可以缩短充填流程和充填时间。由于该前盖侧向有多个螺栓安装孔,为避免浇道充填时冲击型芯,侧向浇道设计成分支浇道布置在铸件两个相邻的螺栓安装孔中间,浇注系统结构见图 2。其具有以下优势:金属液充填流程短,可以快速充满型腔,减少热量损失;分支横浇道具有一定的长度,可以保证金属液的流向及顺序充填;避免金属液冲击型芯而引起的紊流和粘料;方便布置溢流槽和排气道,有利于排气;便于去除,并方便后序自动切边,防止铸件变形;有利于均衡模具温度。

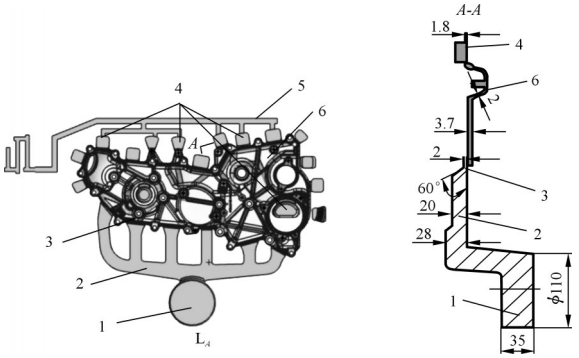


图 2　浇注系统及排溢系统

Fig.2　Gating system and overflow system

1. 直浇道　2. 横浇道　3. 内浇口　4. 溢流槽　5. 排气道　6. 铸件

2.1　内浇口设计

内浇口设计是浇注系统设计的关键,决定着金属液充填型腔时的流量、速度、充填顺序和流动状态。内浇口设计主要是确定内浇口位置、导流方向、形状和尺寸[1]。

(1)内浇口的位置及导流方向　由前盖的结构形状可知,前盖周边有 7 mm 宽的法兰面,法兰面上有多个螺栓安装孔,为保证金属液在充填过程中不直接冲击型芯,前盖采用侧向分支浇道。内部一般壁厚为 3.7 和 2.0 mm,分布在不同区域。为保证金属液的充填顺序和压力传递,前盖内浇口布置在一侧法兰面上,由厚壁向薄壁方向充填。内浇口与型腔的连接采用搭接式,搭接角度为 60°,可以避免金属液直接冲刷型腔壁而产生紊流并造成裹气。

(2)内浇口截面积计算　内浇口截面积首先要通过理论估算进行设计,之后通过数值模拟进行验证,最后进过试模加以修正。

内浇口截面积(A_g)理论估算的公式为:

$$A_g=m/(\rho vt) \tag{1}$$

式中,m 为通过内浇口的金属液质量,包括铸件和溢流系统的总质量,g;ρ 为铸件材料的液态密度,g/cm^3;v 为内浇口处金属液的流速,m/s;t 为填充时间,s。

压铸过程中金属液的流速选择主要与铸件壁厚和充填长度相关,图 3 是根据实际压铸经验确定的流速与铸件壁厚、充填长度的关系图[2]。根据前盖的壁厚和充填长度(前盖一般壁厚为 2～3 mm,6 处分支浇道充填长度为 160～308 mm),初选充填速度为 50 m/s。铸件的填充时间主要与铸件的复杂程度及平均壁厚相关。对于结构复杂的薄壁件,平均壁厚为 2～3 mm,推荐的充填时间为 0.02～0.03 s。

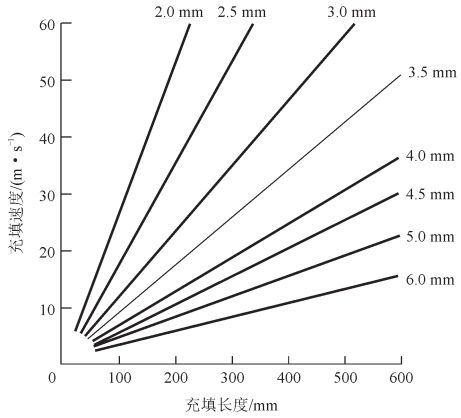


图 3　不同壁厚铸件充填速度与充填长度的关系

Fig.3　Relationship between filling speed and filling length of casting with different wall thicknesses

前盖净质量为 1.72 kg,排溢系统的体积相对要大些。初选排溢系统取零件质量的 30%,则 m=1.236 kg,液态铝合金密度 ρ=2.4 g/cm^3。将以上数值代入式(1)得内浇口截面积为 745 mm^2。

(3)内浇口厚度及形状　内浇口厚度与该铸件凝固模数相关,铸件凝固模数(M)的计算公式为:

$$M=V/A=637/1\,443=0.44 \tag{2}$$

式中,V 为铸件体积,mm^3;A 为铸件表面积,mm^2。

铝合金内浇口的厚度(W)与凝固模数关系如下:

$$W=3.7M+0.5=2.1\ \text{mm} \tag{3}$$

为便于试模后的调整,内浇口厚度一般取偏小值,因此将前盖内浇口厚度圆整为 2 mm。内浇口设计在分型面上动模一侧,采用搭接式,搭接在铸件上长 3 mm,具体形状及尺寸见图 4。

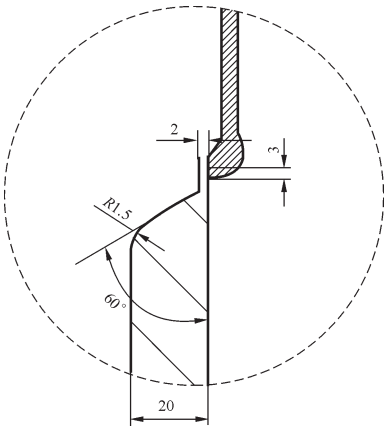


图4　内浇口的厚度及形状

Fig.4　Thickness and shape of inner gate

2.2　直浇道和横浇道设计

（1）直浇道设计　根据铸件的投影面积和压射所需的压射比压计算出的锁模力，确定此前盖使用20 000 kN压铸机生产，选用熔杯直径为ϕ110 mm。直浇道的厚度即压射后料饼的厚度，直接关系到增压压力的有效传递，如果料饼过薄，压力传递不充分，铸件的内部品质会降低；如果料饼过厚，浪费材料而且因冷却不够常出现爆料，严重影响生产节拍。直浇道的厚度一般取熔杯直径的25%，前盖的直浇道的厚度取30 mm 。

（2）横浇道设计　横浇道作用是将金属液从直浇道顺畅地引入内浇口，其形状、尺寸取决于内浇口的位置、形状和方向。前盖采用分支浇道，为防止金属液在拐角处出现分散，流道的截面积要有规律地减小并增大圆角半径。横浇道的结构设计见图2，横浇道的截面积取3～4倍内浇口截面积，截面形状采用梯形，与内浇口采用60°斜面R15 mm的圆角过渡。

3　排溢系统设计

排溢系统是金属液充填型腔的过程中排出空气、容纳残留涂料及最初充填冷合金的通道，对铸件的品质影响很大[3]。排溢系统主要包括溢流槽和排气槽，在溢流槽和排气槽的设计中要充分考虑浇道的位置、结构形式及金属液的导入方向。

3.1　排溢槽设计

（1）溢流槽的位置　设计溢流槽的位置时，首先要考虑将溢流槽放置于金属液在型腔的充填末端及多股金属液汇流的位置。根据前盖的结构特点并结合分支浇道的位置，将溢流槽设计在前盖浇口对面的最后填充的位置，分区域设计7处溢流槽。同时考虑铸件内部有两处大的通孔，此处的型腔结构会阻碍金属液的流动并改变金属液的流向，造成局部区域金属液汇流，严重时会出现充填不完整，因此在铸件中心两个大孔处设计溢流槽，有利于金属液的填充及冷却过程中补缩。溢流槽的位置及分布见图2。

（2）溢流槽尺寸的计算　一般来说，铸件溢流槽的体积占型腔体积的20%～50%，初始设计时取小值，后期可以根据试模情况进行调整。单个流槽的体积按其相邻部分铸件体积来确定，其占相邻型腔区域的百分比见表1。前盖一般壁厚为2 mm，因此外侧溢流槽的体积取相邻区域铸件体积的25%～50%。

表1　溢流槽容积推荐值

Tab.1　Recommended volume of overflow slot

铸件平均壁厚/mm	溢流槽容积占比/%	
	铸件有较低的表面粗糙度	铸件表面允许有少量折皱
1.3	100	50
1.8	50	25
2.5	25	25

溢流口的作用主要是连接溢流槽和铸件，是气体和冷料污料进入溢流槽的通道。溢流槽全部溢流口的截面积之和应等于内浇口截面积的60%～75%，约为447 mm^2。溢流口的厚度为1.8 mm，采用与内浇口相同的搭接方式，便于后序去除。溢流口的进料方向可通过流场模拟分析来最终确定。

3.2　排气槽设计

排气槽的作用主要是排出熔杯及模具型腔内的气体，在压铸过程中，如果排气不畅，型腔内的气体会阻碍金属液的充填，造成末端充填不良并且铸件内部会产生气孔。前盖的排气道结构设计见图2，充填末端的部分溢流槽汇集成一个通道，最终通过侧面的真空阀与真空泵相连。有密封性能要求的薄壁铸件，通过真空压铸，可以减少铸件内部气孔，提高铸件表面品质，降低压射比压，提高生产效率。

4　模拟数值分析

4.1　压射条件的确定

为分析浇注系统的充型效果和凝固情况[4]，使用AnyCasting软件进行数值模拟分析。设定的主要条件包括铸件材料和型腔材料、浇注温度和模具温度、压室直径及压射速度等。

首先确定压射速度，压射速度包括慢压射速度和快压射速度。依据经验，前盖的慢压射速度取0.15 m/s，快压射速度可以通过内浇口的填充速度进行计算[5]。根据等流量连续方程：

$$A_1v_1=A_2v_2 \tag{4}$$

式中，A_1为压室截面积；v_1为快压射速度；A_2为内浇口截面积；v_2是内浇口的填充速度。压室直径为ϕ110 mm，内浇口截面积为 745 mm²，内浇口速度为 50 m/s，代入式（4）得快压射速度 v_1 =4 m/s。其他压射工艺参数见表 2。

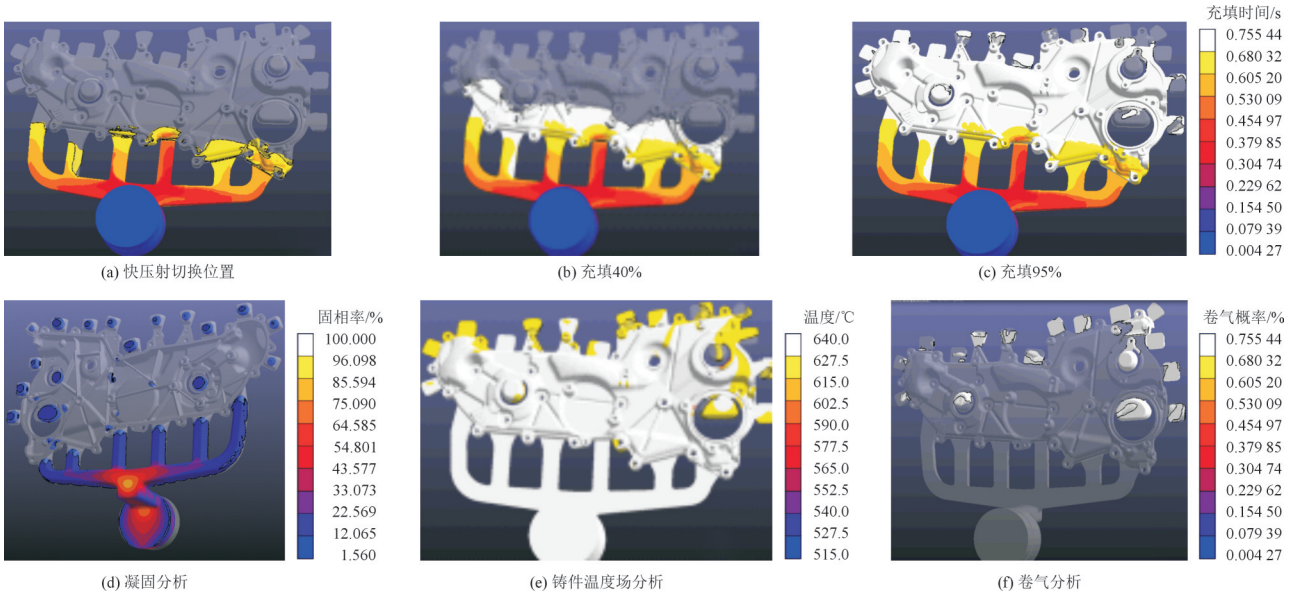
表 2　压铸工艺参数

Tab.2　Die-casting parameters

型腔材料	浇注温度/℃	模具预热温度/℃	慢压射速度/(m•s^{-1})	快压射速度/(m•s^{-1})	快压射位置/mm
W350	650	180	0.15	4.0	680

4.2　模拟数值结果分析

使用 AnyCasting 软件进行前盖压铸过程数值模拟分析，结果见图 5。可以看出，金属液通过压室进入横浇道，6 个分支浇道进料速度均匀，金属液到达内浇口进入型腔开始切换快速压射，整个铸件能够实现顺序充填，充填过程比较平稳。溢流槽布置合理，能够将汇流金属引入并辅助末端气体的排出。通过温度场分析，发现温度场均衡，大大降低铸件温度降低过程中产生缩孔和变形的风险。从铸件凝固分析结果来看，整个铸件凝固时间为 11.3 s，不存在孤立的液相区域，没有产生缩孔的风险。根据模拟分析结果，压铸模浇注系统和排溢系统的设计方案适合前盖零件。



(a) 快压射切换位置　(b) 充填40%　(c) 充填95%

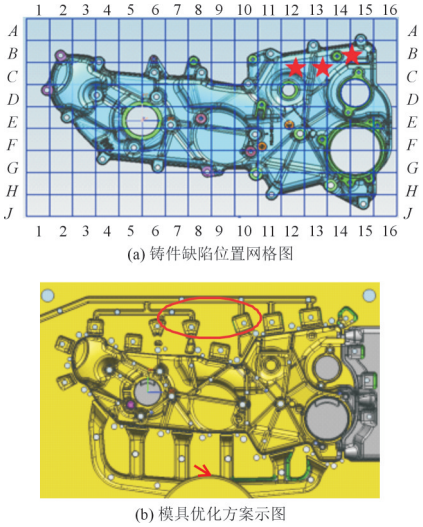
(d) 凝固分析　(e) 铸件温度场分析　(f) 卷气分析

图 5　模拟分析结果

Fig.5　Simulation analysis result

5　试模调整及批产验证

模具制作完成后，按上述进行模拟分析优化的工艺参数进行试模，采用力劲 20 000 kN 压铸机进行生产，铸造压力为（100±5）MPa。压铸 100 件前盖进行检测及品质分析，用网格图进行缺陷部位统计，发现 9% 的零件在 $C12\sim C15$ 及 $B15$ 区域存在轻微的冷隔，分析认为右侧分支浇道充填阻力较大，充填流程较其他分支浇道长，因此部分零件在充填末端存在轻微的冷隔缺陷。根据分析结果，对浇注系统和溢流系统做以下优化：首先，加大右侧分支浇道的过渡圆角，由 $R6$ mm 变更为 $R15$ mm，减少流道阻力；其次，加大缺陷部位溢流槽的体积，将图 6 中 3 处溢流槽深度由原 20 mm 增至 25 mm，通过加大其体积提高缺陷部位的模具温度，并可以更多地存储填充前端的冷料污料。



(a) 铸件缺陷位置网格图

(b) 模具优化方案示图

图 6　试模后的改善方案

Fig.6　Optimized scheme after mold test

试模后的优化方案见图 6b。经过调整和优化，模具投入批量生产后铸件表面无流痕、冷隔，内部无气孔、缩孔等铸造缺陷，铸件采用切边机切除浇注系统和排溢系统，平面度满足图纸要求，产品品质稳定。