

# 发动机下缸体CAE收缩缺陷分析及模具型腔冷却设计

侯丽彬, 刘海影

(大连科技学院, 辽宁大连 116036)

**摘要:** 模具温度是影响压铸件成形质量的一个重要因素, 为保证压铸模在连续生产过程中保持在合理温度范围, 模具型腔的冷却至关重要。在压铸模设计前期采用CAE收缩缺陷分析, 确定模具型腔需要重点冷却的部位。基于CAE的分析结果, 结合下缸体铸件的结构分析, 合理地进行模具型腔部位的冷却系统设计, 缩短了模具设计制作周期, 提高了压铸生产率, 改善了铸件质量。

**关键词:** 模具温度; CAE; 型腔; 强制冷却; 缩孔

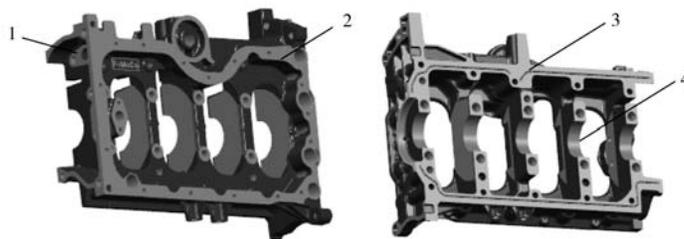
汽车发动机下缸体是发动机的重要组成部件, 上面与上缸体结合, 下面与油底壳结合, 因此需要足够的强度。图1是为某汽车厂生产的发动机下缸体, 材料为铝合金ADC12, 外形尺寸415 mm×325 mm×112 mm, 重量6.1 kg。下缸体铸件一般壁厚3.5 mm, 凸轮轴安装梁处壁厚20~22 mm。加工表面质量要求极其严格, 密封区域表面及凸轮轴安装表面气孔小于0.4 mm。密封性能要求气检时腔体在19.6 kPa压力下泄漏量小于15 cc/min, 油道在343.2 kPa压力下泄漏量小于3 cc/min, 以上两项密封要求水检不得泄漏。

由于下缸体壁厚不均, 存在局部厚大处, 在压铸成形后的冷却过程中会出现冷却速度不均, 局部厚大处冷却速度慢, 易产生缩孔铸造缺陷。而缩孔的产生, 会严重降低铸件的强度及其密封性能, 因此在下缸体压铸模的设计中, 对型腔部分的冷却方案的设计尤为重要。通过合理的设计冷却系统, 能够有效地减少缩孔的产生, 提高铸件的质量。同时, 通过对型腔的有效冷却, 能够降低生产节拍, 提高生产效率。

## 1 CAE收缩缺陷分析

压铸模CAE目前已广泛应用于汽车、航天、家用电器等零件压铸工艺和模具设计中, 借助于CAE技术可实现对连续多循环生产过程中的模拟分析, 包括充填顺序模拟、充填速度模拟、温度场和应力场模拟、凝固过程模拟等, 评估可能出现的缺陷类型、位置和程度等。本次采用的是韩国AnyCasting软件, 对下缸体进行模拟分析, 重点对铸件在冷却凝固过程中的收缩缺陷进行分析。

如图2所示, 对下缸体进行凝固分析, 铸件的凝固时间为27 s, 在壁厚厚大处存



1.侧油道孔 2.油底壳结合面 3.上缸体结合面 4.凸轮轴安装面

图1 下缸体零件3D图

Fig. 1 3D drawing of the lower cylinder block parts

作者简介:

侯丽彬(1968-), 女, 高级工程师, 主要研究方向为压铸工艺及模具设计。  
电话: 0411-86245040,  
E-mail: houlibin\_dalian@163.com

中图分类号: TG249.2  
文献标识码: A  
文章编号: 1001-4977(2022)03-0287-04

收稿日期:

2021-09-28。

在孤立的液相区。基于残留熔体模数法,对铸件进行缩孔概率分析,压铸成形冷却后,缩孔集中在局部厚大处,部分集中在孔周边,在高压条件下极易产生泄露。具体分析结果见图3。

## 2 压铸模成形零件冷却方案设计

压铸是指使用压铸机将铝、锌、镁、锡等的合金熔液注入模具后在熔融状态下加压成形并强制冷却,形成内部结构致密性好的铸件的过程<sup>[3]</sup>,在连续生产过程中,因模具成形部位与液态金属液接触,压铸模温度往往会不断升高,尤其下缸体局部有多处厚大部位,温度的升高除了会引起粘模,还可能出铸件没有完全冷却凝固就推出,导致零件变形、模具运动部件卡死、铸件缩孔严重等问题。因而,模具冷却循环水的合理设计和使用,在下缸体的复杂压铸模具中显得尤为重要。

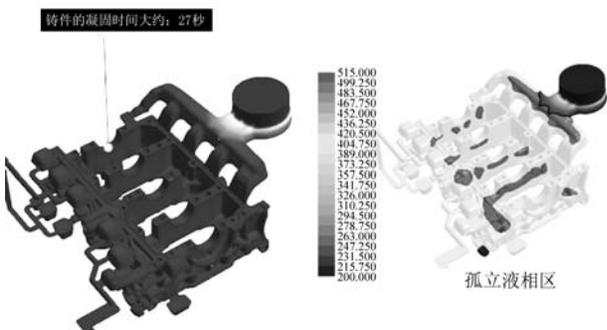


图2 下缸体零件凝固分析

Fig. 2 Solidification analysis of the lower cylinder parts

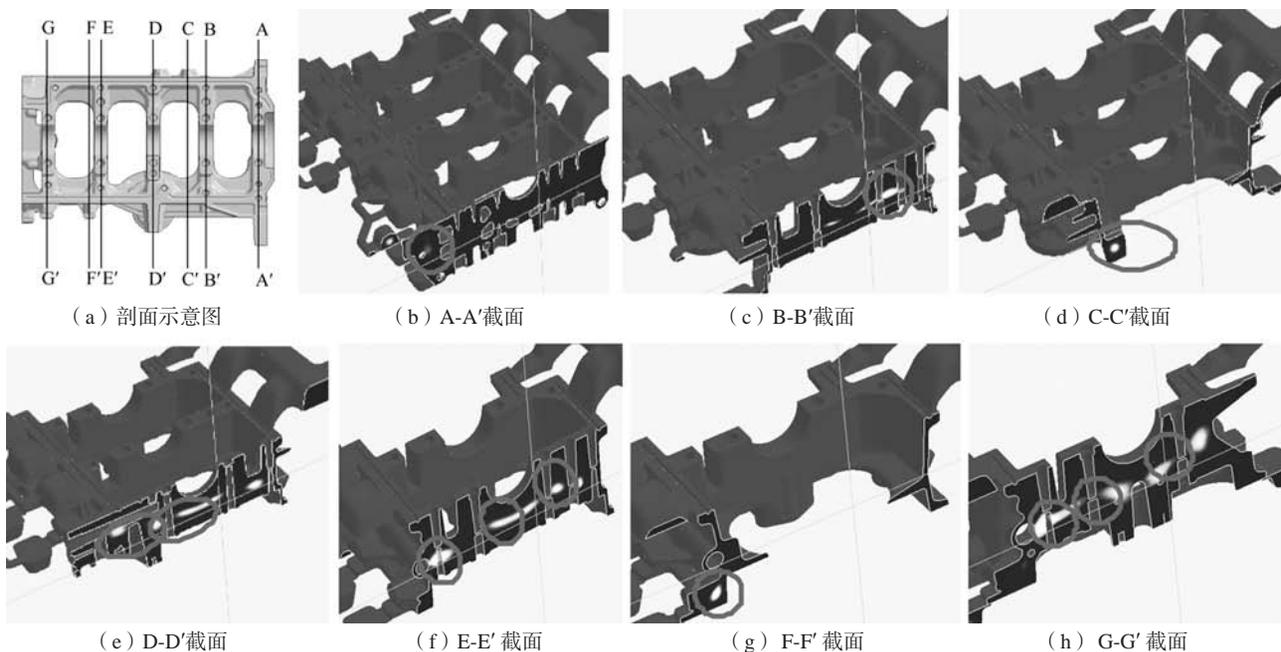


图3 缩孔概率分析

Fig. 3 Probability analysis of the shrinkage pore

成形零件是压铸模的核心部分,在压铸过程中压铸模成形部位直接与高温的金属液接触<sup>[2]</sup>,依据CAE对下缸体铸件进行缩孔概率分析,压铸成形冷却后缩孔集中在局部厚大处和螺栓预铸孔周边等温度集中的部位,以下是下缸体压铸模成形零件的冷却方案设计。

### 2.1 型芯冷却

由下缸体的零件结构特点决定模具上使用大量的型芯(动模21处,静模24处)做预铸孔,为保证预铸孔加工后的表面质量及减少内部缩孔产生,此模具所有预铸孔型芯均采用单点独立冷却方式,结构图如图4所示。型芯采用螺纹与后端的型芯喷管总成连接,采用耐高温O型密封圈进行密封,可以实现不拆模具进行快速更换。型芯前端用电火花打孔机打水道孔,保证成形部位最小壁厚2~3 mm。型芯内部的冷却水管采用不锈钢管材料,最小直径可达到 $\Phi 1.2$  mm,同时使用高压的纯净水,冷却水压力10个大气压,能够满足对型芯进行强制冷却的效果。

### 2.2 型腔冷却

根据下缸体模具成形部位腔深壁厚的特点,在热量集中部位设置大量冷却水,型腔冷却水也采用与型芯冷却类似的结构形式,单点独立水冷却,目的是可以根据模具使用时实际温度进行单点精准调控。结构图如图5所示。镶块上冷却水道依据设计部位的热量不同,分别采用 $\Phi 16$  mm、 $\Phi 18$  mm、 $\Phi 20$  mm,水道孔距离型腔表面10~15 mm的壁厚。以静模型腔为例,冷却水的平面布置图见图6。

### 2.3 侧抽冷却

下缸体模具共上下左右四个侧抽，以右侧抽为例说明冷却水的设计方案，侧抽前端参与成形的主体部分，如图7所示，采用串联通水方式，一进一出，便于加工和装配。深腔部位均设计点冷却，尽可能消除局部过热而产生缩孔、裂纹及粘模问题。同时，单点独立水冷却，便于实现单点独立调控。为达到模具的热平衡，冷却水的走向应从温度较高的区域向模具温度低的区域流动。所以将靠近浇口处设为进水口，铝液充填末端处设为出水口。

从图3中E-E'剖面、G-G'剖面可以发现，侧抽芯与动静模型腔型芯所成的预铸孔之间温度高，模拟缩孔严重。而这个侧抽芯所形成的预铸孔，正是下缸体的油道，需要耐高压。因此，必须对侧抽芯采取强制冷

却措施，让预铸孔边缘形成激冷致密层，同时通过强制水冷减少缩孔的产生以及改变缩孔的位置。

## 3 下缸体模具冷却水的使用

### 3.1 确定模具连续生产温度

模具温度是影响压铸件成形质量的一个重要因素，压铸模具温度的控制范围是受压铸件材料、产品形状、结构、表面质量要求等级以及生产速度等因素影响的，表1为铝合金压铸模的工作温度。下缸体的材料为ADC12，零件结构复杂，部分壁厚达到20 mm，因此下缸体的模具温度工艺设定为180~240 ℃。

### 3.2 单点独立调整水流量

因为模具型腔设计大量的冷却水，而且多数冷却

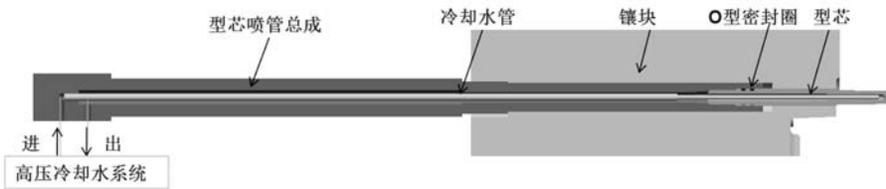


图4 型芯冷却方式结构图

Fig. 4 Structure diagram of the core cooling mode

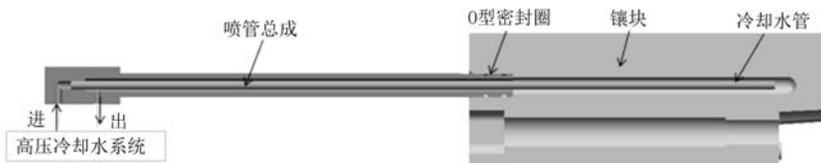
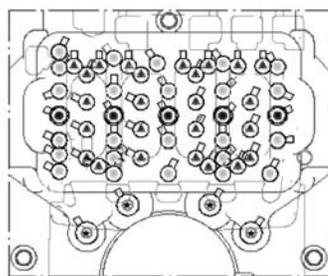
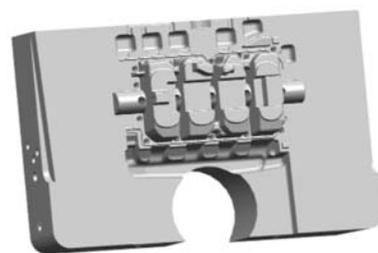


图5 型腔冷却方式结构图

Fig. 5 Structure diagram of the mold cavity cooling mode



(a) 背面水道



(b) 正面形状

1. 标注○为型芯冷却（24处）；
2. 标注●为型腔冷却（5处 $\phi 18$  mm）；
3. 标注▲为型腔冷却（25处 $\phi 16$  mm）；
4. 标注★为型腔冷却（4处 $\phi 20$  mm）

图6 静模型腔冷却布置图

Fig. 6 Cooling layout of the static mold cavity

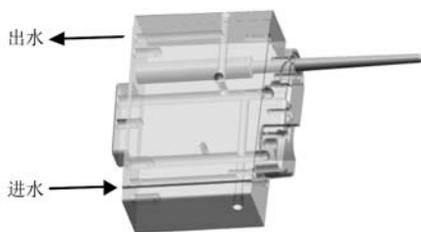


图7 侧抽冷却示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the side pumping cooling

表1 铝合金压铸模的工作温度  
Table 1 Working temperature of the aluminum alloy die casting die / $^{\circ}\text{C}$

模具使用状态	压铸件壁厚 $\leq 3$ mm		压铸件壁厚 $> 3$ mm	
	简单结构	复杂结构	简单结构	复杂结构
预热温度	150~180	200~230	120~150	150~180
连续生产温度	180~240	250~280	150~200	180~240

水为单点独立冷却，为实现可以单点调整水冷却的效果，压铸机与压铸模水路采用一对一连接，在每个独立冷却水道的回水端设置流量阀，通过调整阀开度来调整冷却水的流量。

在连续生产中，用红外线成像仪监控模具温度，根据监控结果有针对性的调整冷却水的流量，因此可以实现单点精准地调控模具温度。

### 3.3 下缸体模具冷却水的使用效果

经过批量生产的验证，此模具运行稳定可靠，产品质量得到有效提升，铸件通过CAE模拟缩孔严重的剖面，内部质量得到有效改善，图8为下缸体批量生产时的内部剖切图片。同时，通过对冷却水的设计优化，有效地降低生产节拍，生产效率提高20%以上。

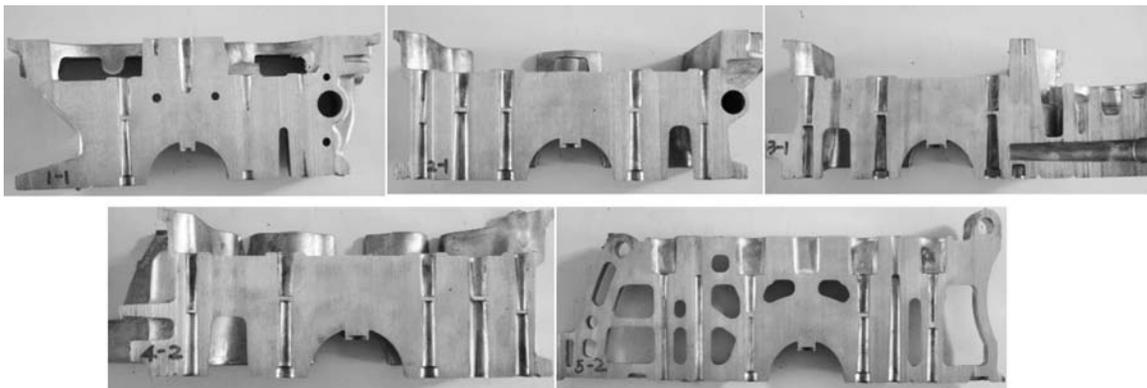


图8 铸件剖面状态

Fig. 8 Casting profile status

## 4 结束语

利用压铸模CAE收缩缺陷分析，可以确定下缸体铸件缩孔缺陷存在的位置。针对铸件水套与螺栓孔间产生的缩孔，会造成水道与螺栓孔间泄漏，通过加强对预铸孔型芯的冷却，使螺栓孔周围的铝液加快固化，有效地减少缩孔的产生并转移缩孔产生的部位，

#### 参考文献：

- [1] 江昌勇. 压铸成型工艺与模具设计 [M]. 北京：北京大学出版社，2019.
- [2] 潘宪曾. 压铸模设计手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.
- [3] 朱波儿，黎东升. 冷却水对压铸模具寿命及其铸件质量的影响 [J]. 机电工程技术，2002，31（3）：55-56.
- [4] 布仁. 发动机下缸体的压铸成形与优化 [J]. 铸造技术，2014（3）：630-632.
- [5] 常旭睿. 压铸模的冷却 [J]. 模具制造，2002（8）：48-50.

铸件的泄漏率得到了有效控制。而针对下缸体局部厚大处，采用大量的单点独立水冷却，并结合流量阀对冷却水流量的控制，有效地减少缩孔的产生，提高铸件的强度及生产效率。模具经过批量生产验证，模具运行稳定可靠，产品一次合格率居同类产品之首。

## CAE Shrinkage Defect Analysis and Mold Cavity Cooling Design of Engine Lower Cylinder Block

HOU Li-bin, LIU Hai-ying

(Dalian University of Science and Technology, Dalian 116036, Liaoning, China)

#### Abstract:

Mold temperature is an important factor that affects the quality of die casting. In order to keep the mold in a reasonable temperature range during continuous production, the cooling of mold cavity is very important. In the early stage of die design of the die casting, CAE shrinkage defect analysis was used to determine the key cooling parts of the die cavity. Through the analysis of the CAE results and the structural analysis of the lower cylinder block casting, the cooling system design of the mold cavity was carried out reasonably, the mold design period was shortened, the productivity of the die casting was increased, and the casting quality was improved.

#### Key words:

mold temperature; CAE; mold cavity; forced cooling; shrinkage