

# 基于仿真分析解决阀盖铸件泄漏问题

胡 玲

(柳州铁道职业技术学院, 广西柳州 545616)

**摘要:** 某公司生产的Z10-150阀盖铸钢件在试压过程中常在填料孔处发生泄漏, 平均泄漏率达到12.1%。应用自主开发的凝固模拟软件对原工艺方案进行凝固模拟分析, 发现原工艺补缩系统的设计存在补缩通道不畅通、温度场分布不合理, 造成了铸件本体存在缩孔倾向。对铸件浇注系统进行了分析, 并对工艺进行了优化, 改善了补缩通道。工艺改进后, 改善了阀盖填料孔缩松缺陷, 使泄漏率由12.1%降低到0.96%。

**关键词:** 凝固模拟; 阀盖; 泄漏率

阀门是工业管路的一个重要组成, 很多是用于管路流体输送系统中的控制部件, 用来改变通路断面和介质流动方向, 具有导流、截止、节流、止回、分流或溢流卸压等功能。阀门工作压力范围可以从0.001 3 MPa到1 000 MPa 的超高压, 工作温度可以从-270 ℃的超低温到1 430℃的高温。铸件是阀门的重要组成部分, 铸件质量的好坏直接影响阀门整体的质量, 特别是阀门铸件的内在质量, 往往是阀门失效的主要原因之一。目前我国阀门铸钢件的质量良莠不齐, 主要缺陷为三孔一裂(缩孔、渣孔、气孔、裂纹), 特别在铸钢材质的阀门上, 这些缺陷更加明显。

由于铸钢的特点是熔点高, 流动性差, 收缩大, 易氧化, 而且对夹杂物比较敏感, 所以要求铸钢件的浇注系统和补缩系统设计时力求简单, 以利于铸件的顺序凝固和冒口的补缩<sup>[1]</sup>。铸钢件的缩孔问题, 往往与补缩通道的设计有关。以往在设计浇注系统和补缩系统时, 通常是通过计算模数, 或者根据热节圆来确定尺寸, 属于典型的经验式设计方法, 因为产品结构和外部环境造成温度场变化, 有时并不能完全保障生产中的条件与理论是一致的。随着 AnyCasting、MAGMA 等铸造模拟软件的出现, 铸造过程数值模拟技术使铸造过程更直观, 对优化模具尺寸和浇注工艺、预测铸件的内部缺陷有很大帮助<sup>[2]</sup>。

本文中主要针对某公司熔模铸造Z10-150铸钢阀盖在试压过程中填料孔处因缩松而出现泄漏质量问题, 应用凝固模拟软件分析浇注过程和凝固过程, 找出阀盖填料孔区缩孔缺陷, 采用改进补缩通道等工艺措施, 解决了缺陷问题, 大幅度降低了阀盖试压的泄漏率。本文模拟用的R&Z CAST凝固模拟软件, 是一款本校依托软件开发和云计算的技术优势, 与某铸造公司合作, 共同开发的一款凝固模拟分析软件, 已经在该铸造公司正常使用。该软件采用有限差分算法, 包括网格剖分、温度场求解器、流场求解器和数据可视化技术, 可以开展充型过程的裹气分析、温度场分析、凝固过程的收缩缺陷分析。

## 1 阀盖铸件结构及原工艺方案

Z10-150阀盖产品的材质为WCB。该产品结构相对复杂, 主要结构为一个盖形的圆弧结构, 一个圆柱形的阀门口和四块连接紧固用的平板组成, 外形尺寸为540 mm × 450 mm × 250 mm, 平均壁厚16 mm, 重30 kg, 具体产品如图1所示。

该Z10-150阀盖采用熔模铸造工艺生产, 原工艺三维简图如图2所示, 工艺参数

作者简介:

胡 玲(1972-), 女, 副教授, 研究方向为云计算技术与应用、软件开发与应用。E-mail: 893520577@qq.com

中图分类号: TG245

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)

03-0301-05

收稿日期:

2019-12-10 收到初稿,

2020-02-10 收到修订稿。

见表1, 化学成分见表2。工艺出品率为54%。采用原工艺方案试生产5个批次Z10-150阀盖铸件, 在试压过程中出现泄漏现象, 几个批次阀体平均泄漏率12.1%, 有两个批次泄漏率超过19%, 一个批次泄漏率最低为5.25%。

经对泄漏阀盖铸件统计分析, 发现Z10-150阀盖泄漏部位出现在填料孔周围, 且大多集中在薄筋的一侧(图3、图4)。最初采用碳弧气刨去除缺陷部位的表皮, 未能发现缺陷; 后经过每层1 mm破坏性车屑, 发现泄漏缺陷是缩松, 最初采用碳弧气刨解剖时, 因缺陷太小, 在碳弧气刨过程中缺陷已被刨除。

## 2 凝固模拟仿真和缺陷分析

在分析了产品的主要缺陷类型后, 采用R&Z CAST凝固模拟软件对Z10-150阀盖的原工艺方案进行了模拟分析。模拟选用阀盖材质为WCB, 型壳厚度为18 mm, 焙烧温度为800 ℃, 其他参数见表1。然后对三维图进行网格划分, 划分了1 000万个网格, 网格划分见图5、图6, 辐射率设定为0.8, 并进行了求解计算, 计算求解见图7。

通过对原工艺方案充型过程模拟, 可以看到, 金属液从浇口杯注入, 经浇口向两侧分别注入型腔中, 金属液充型过程较为平稳(图8)。



图1 Z10-150阀盖铸件

Fig. 1 Z10-150 valve cover casting

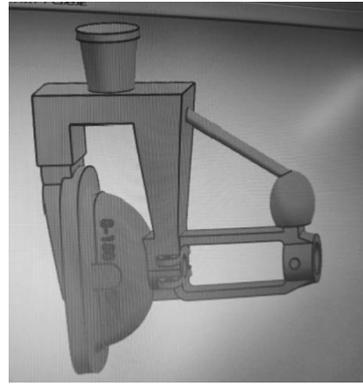


图2 Z10-150阀盖原工艺图

Fig. 2 Original process of Z10-150 valve cover

表1 Z10-150阀盖铸造工艺参数

Table 1 Casting process parameters of Z10-150 valve cover

浇注温度/℃	浇注时间/s	型壳厚度/mm	型壳温度/℃	冷却方式	铸件与型壳传热系数/(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )
1 580	10	18	800	空冷	1 000

表2 Z10-150阀盖化学成分

Table 2 Chemical composition of Z10-150 valve cover

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	w <sub>B</sub> /%
0.26 ~ 0.30	0.54 ~ 0.58	0.92 ~ 0.96	≤0.02	≤0.02	≤0.5	≤0.5	



图3 Z10-150阀盖缺陷

Fig. 3 Defect of Z10-150 valve cover

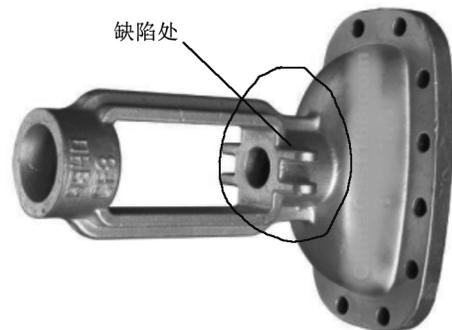


图4 Z10-150阀盖缺陷部位

Fig. 4 Defect location of Z10-150 valve cover

当型腔充填完毕后，铸件进入到冷却环节。凝固过程中，通过观察颜色逐步变化，发现在液相转化为固相时，从冒口到浇道，再到热节部位的颜色变化并没有遵循从远离冒口的热节部位先凝固，再逐步凝固上去，而是浇口与热节之间的部位先凝固。此时，可以看到填料孔部位还有液相颜色的点状分布，根据软件中铸造缺陷概率分析结果，说明在中间的冒口处下部有较高概率产

生缺陷。此冒口虽然仍具备有补缩功能，但冒口中的液态金属已无法起到补缩作用，填料孔部位的孤立液相区在后序凝固中无法得到有效补缩。

在NIYAMA判据输入0.6时，填料孔处显现缺陷部位出现了较多的孤立液相区，见图9c，说明在这个部位出现缩孔的几率较高。图9c和图3对比，模拟结果预测的缩孔位置与实物基本一致。

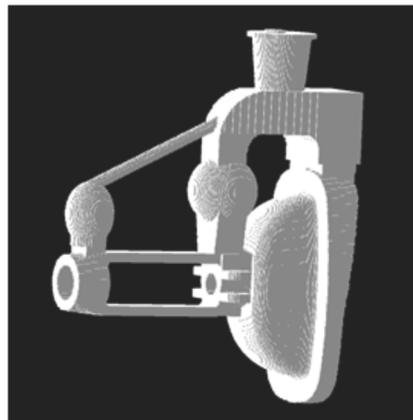


图5 网格划分

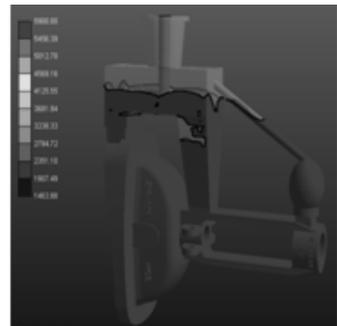
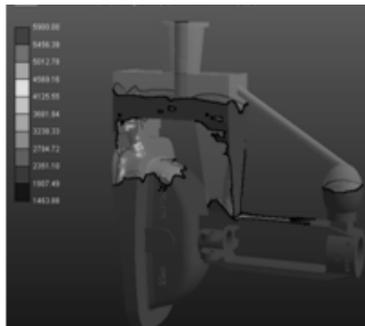
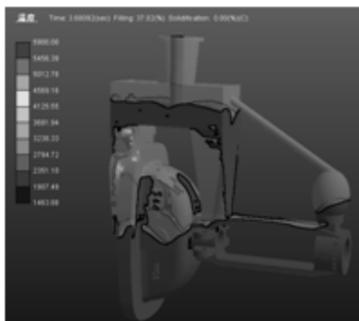
图6 网格划分后的图片

图7 计算求解

Fig. 5 Mesh generation

Fig. 6 Photo after mesh generation

Fig. 7 Computational solution



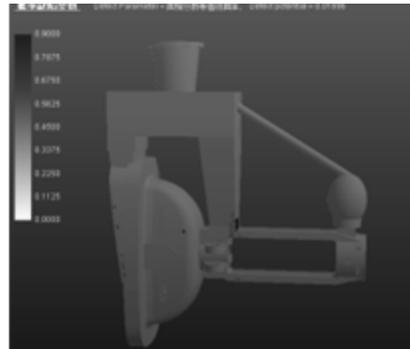
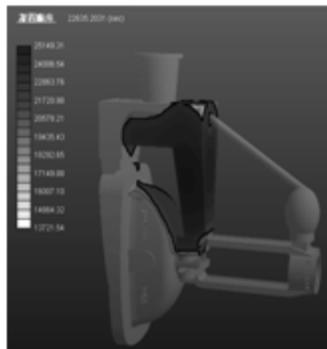
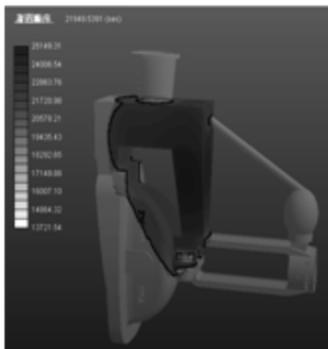
(a) 充型3.60 s

(b) 充型4.76 s

(c) 充型6.22 s

图8 Z10-150阀盖原工艺方案充型过程

Fig. 8 Filling process of original scheme



(a) 凝固21 949 s

(b) 凝固22 635 s

(c) 概率缺陷参数

图9 Z10-150阀盖原工艺方案凝固过程

Fig. 9 Solidification process of original scheme

从缩孔缩松的模拟结果来看,原方案补缩通道不畅通,没有形成热节部位先凝固,补贴、冒口再逐步凝固的顺序,造成了铸件无法得到有效补缩,从而使填料孔周围产生比较密集的缩孔缺陷。

### 3 补缩系统改进

经过对原方案进行流场、凝固过程的模拟仿真及缺陷分析,已经明确Z10-150阀盖泄漏产生的原因:填料孔区域凝固补缩通道不畅,产生缩孔缺陷。因此,若要消除铸件的缩孔缺陷,应改变补缩系统,优化铸件充填过程中的流场分布,优化铸件补缩通道和凝固时的温度场分布,提高冒口的补缩效果使铸件得到有效的补缩<sup>[3]</sup>。为此,找出原工艺方案中的几个关键点:

(1)原工艺方案中从直浇道到横浇道再到铸件部位,采用的是直角拐弯,且为倒梯形结构,上大下小,散热较快。这样的结构浇注后,在热节部位未凝固之前,补缩通道已经凝固了,造成热节部位补缩不充分;

(2)补缩系统路径太长,金属液经拐弯到圆弧顶部时,温度下降较快,使得温度场分布没有按照顺序凝固的原则进行。

针对以上的问题,进行如下工艺改进:

(1)将横浇道拐弯部位改为圆弧过渡,同时拐弯后上下呈长方体结构,上下尺寸一样,使补缩通道更畅通;

(2)在圆弧顶部的横浇道中间增加一个球形的变截面,一方面相当于形成了一个冒口,为圆弧顶部补缩,另一方面可以改变温度场,对圆弧顶部部位进行热量补充,由此调整温度场分布。

改进后的Z10-150阀盖铸造工艺方案如图10所示。对新工艺方案阀盖浇注温度场进行模拟,工艺参数选择与原铸造工艺基本一致,网格划分仍然取1 000万个,辐射率设定为0.8。首先观察充型过程,整个充型

过程液面平稳上升,见图11。同时对冷却过程进行观察发现,当NIYAMA判据输入0.6时,铸件由热节部位、冒口部位依次凝固,冒口最后凝固;在热节部位凝固时,上面还有液态金属补缩下来,直到铸件全部凝固。从整个凝固过程可以看到,从铸件需要补缩的部位开始凝固,而补缩的通道是畅通的。至此,凝固后期的阀盖填料孔区域无孤立的液相区存在,且铸件其他部位也无孤立液相区。模拟结果表明,优化后的铸造工艺基本消除了填料孔位置的缩松缩孔缺陷(图12)。

### 4 优化工艺方案生产验证

根据优化后的工艺方案,进行Z10-150阀盖铸件小批量试产,泄漏缺陷得到改善。在批量的试生产中,共生产208件Z10-150阀盖铸件,试压泄漏铸件2件,泄漏率0.96%。至此,优化后的Z10-150阀盖工艺方案改善了阀盖填料区的缩孔缩松缺陷,大幅度提高了良品率,为大批量生产提供了保障。

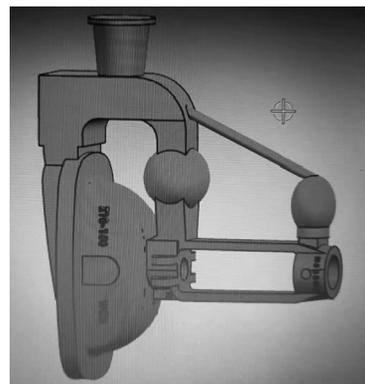
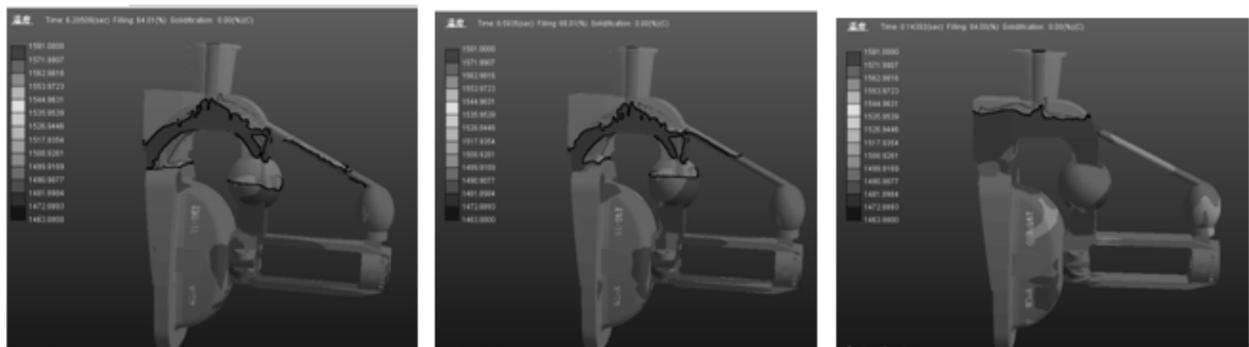


图10 Z10-150阀盖优化后工艺方案  
Fig. 10 Modified process of Z10-150 valve cover



(a) 充型 6.2 s

(b) 充型 6.6 s

(c) 充型 8.1 s

图11 优化方案充型过程

Fig. 11 Filling process of optimization scheme

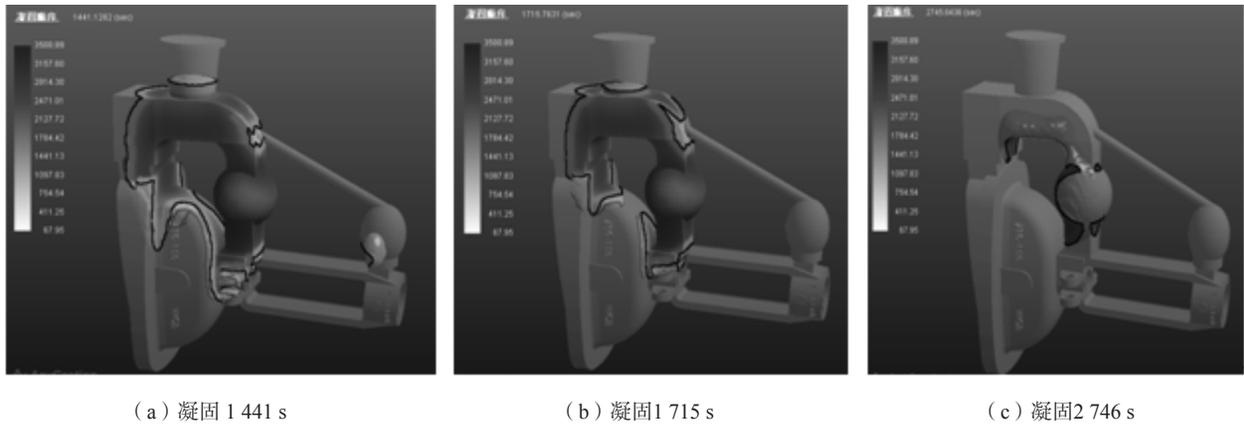


图12 优化方案凝固过程

Fig. 12 Solidification process of optimization scheme

## 5 结束语

Z10-150阀盖铸件填料区泄漏问题是由缩孔缩松缺陷引起，主要是原补缩系统对该区域补缩通道不畅，导致缺陷产生。优化后的补缩系统有效解决了缩孔缩松缺陷问题，使Z10-150阀盖铸件打压泄漏率由12.1%降低至0.96%，大幅度提高了良品率。

### 参考文献:

- [1] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 281-285.
- [2] 张向琨, 石伟, 高国峰, 等. 空心钢锭凝固过程温度场模拟与缩孔、缩松预测 [J]. 铸造, 2000, 49 (6): 344-348.
- [3] 石远进, 张战场, 刘睿. 基于流场优化的熔模铸钢件缩孔缺陷改善 [J]. 铸造, 2014, 63 (9): 910-914.

## Solving Leakage of Valve Cover Castings Based on Simulation Analysis

HU Ling

(Liuzhou Railway Vocational Technical College, Liuzhou 545616, Guangxi, China)

### Abstract:

Z10-150 valve cover steel castings produced by a company often leak at the packing hole during pressure test, with an average leakage rate of 12.1%. The self-developed solidification simulation software was used to analyze the solidification simulation of the casting process of the original casting process. It was found that in the design of the original gating system, the feeding channel is not smooth and the temperature field distribution is not reasonable, which results in the tendency of shrinkage in the casting body. The casting system was analyzed, and the process was optimized to improve the feeding channel. After the process is improved, the shrinkage defect of the valve cover packing hole is improved, and the leakage rate is reduced from 12.1% to 0.96%.

### Key words:

solidification simulation; valve cover; leakage rate