

基于 Anycasting 的汽轮机阀体浇注系统优化模拟

周 扬, 申荣华

(贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 本文分析了生产中铸造质量要求较高的汽轮机阀体的浇注系统, 并对其进行改进。运用铸造模拟仿真软件 Anycasting 对原浇注系统及改进后浇注系统进行模拟仿真, 实验结果表明: 改进后浇注系统能获得优良铸件并且节约了大量钢材。研究对大型铸件工艺设计以及实际生产具有指导意义。

关键词: 汽轮机阀体; 铸造模拟; 优化; 浇注系统

Gating System's Simulation and Optimization of Turbin Valve Based on Anycasting

Zhou Yang , Shen Rong hua

(Department of Mechanical Engineering, Guizhou University , Guiyang 550003, China)

Abstract: This paper analyzes the gating system of turbin Valve which requires higher casting quality , and to improve it .The simulation experment by casting simulation software Anycasting to original cast system and improved pouring system show that: the improved cast system can be good and save a lot of steel castings. The study has positive significance to large casting process design and actual production.

Key words: Turbin Valve; Casting simulation; optimization; Gating system

我国是当今世界铸件产量大国, 产量超过 3350 万吨, 居世界首位。随着发达国家铸造业向发展中国家的转移, 我国铸造业必将有更大规模的发展。同时, 也应该认识到我国铸造生产总体水平还十分落后, 要从铸造大国变成铸造强国, 还面临着很大的挑战。经过最近几十年发展, 铸造过程计算机模拟仿真已经进入工程实用化阶段。铸件充型凝固的数值模拟可以帮助工程技术人员在铸件工艺设计阶段就对铸件可能出现的各种缺陷及其大小、部位和发生的时间予以有效的预测, 从而修改工艺设计方案, 缩短试制周期, 减少能源及材料的浪费, 降低生产成本, 提高企业竞争力。

汽轮机阀体是汽轮机中的最重要的部件。由于工作在高温、高压的环境下, 因此对阀体的铸造质量要求较高, 铸件内部不允许出现缩松、缩孔等铸造缺陷。本文所研究铸件尺寸大, 生产过程复杂。因此对该铸钢件生产工艺采用 Anycasting 软件进行模拟。

1 铸件充型过程的数值模拟

铸件充型的模拟过程实际是一个流场数值模拟过程。模拟过程采用微分方程求解, 这些方程均为偏微分方程, 变量多, 求解复杂。对此, 科研工作者做了许多研究, 提出几种求解技术。

1.1 SIMPLE 算法^[1]

在求解不可压缩流体的流场问题时, 动量方程与连续性方程离散得到的代数方程联立, 会得到一个庞大的方程组。对于工程问题, 直接求解几乎是不可能的。1972 年, Minnesota 大学的 Patankar 与 Spalding

提出了 SIMPLE 算法。

SIMPLE 算法是不可压缩的流体的动量方程数值求解中应用非常广泛的算法，并且也被广泛用于可压缩流体流场的数值计算。这种技术以及后来 Patankar 发展的 SIMPLER 算法，可用来计算定域，不稳定速度场的问题，是典型的比较全面的计算方法。SIMPLE 技术的最大特点是两场同时迭代。以二维直角坐标中的流动为例，其控制方程为：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0, i = 1, 2 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + B_j, i = 1, 2 \quad (2)$$

在 20 世纪 80 年代初期，以 SIMPLE 算法为基础，陆续提出了一些改进或加快非线性问题迭代收敛速度的方法，Patankar 等提出改进的 SIMPLEC 算法，Raithby 提出 SIMPLEX，Sheng 等提出了 SIMPLET 算法。但这些方法都是建立在 SIMPLE 的框架上对某一步或某一类问题进行的改进。

1.2 MAC 技术^[2]

MAC 即 Marker and Cell 的简称，是美国加利福尼亚大学的 F. H. Harlow 和 J. E. Welch 于 1965 年应用质点飘移法求解具有自由表面流体流动的 N-S 方程的数值计算方法。

1.3 SOLA-VOF 方法^[3]

SOLA-VOF 技术是美国 LOS Alamos 科学实验室发展起来的一种模拟技术。SOLA 即解法 (Solution Algorithm) 的简称，VOF 即体积函数 (Volume Of Fluid) 的缩写，SOLA-VOF 技术是用体积函数代替标识粒子来确定自由表面的位置，即定义：

体积分数函数 $F = \text{格子空间内流体体积} / \text{格子空间体积}$

2 汽轮机阀体铸件浇注系统设计及优化

2.1 汽轮机阀体特征

汽轮机阀体的零件简图如图 1 所示：

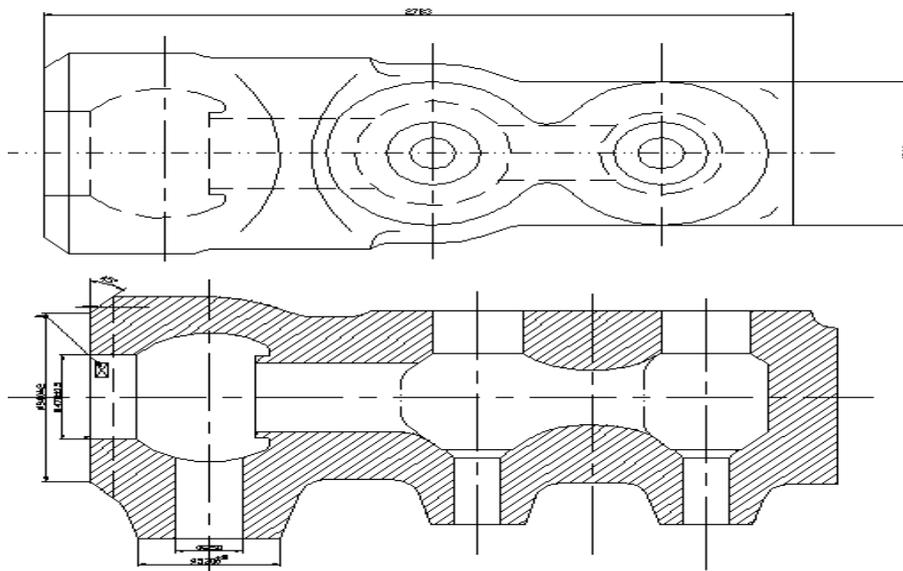


图 1 汽轮机阀体的零件简图

该阀体像一个“桶形葫芦”，高（长）为 2780 mm，大径 $\phi 1120$ mm，小径 $\phi 800$ mm，中心有一很深的盲孔（ $\phi 250$ mm \times 2300 mm）。阀体的材料为 20Cr10MoWVNbN-II（不锈钢耐热合金钢，国外材料标号 D9TC.）；工作条件为 600℃，20MPa 气压；生产性质是单件小批量生产。

2.2 汽轮机阀体原有浇注系统及优化后的浇注系统

在高温高压下使用，要求很高的气密性，故考虑阀体上的所有孔都不铸出（由机加工加工出来），铸件为一实体，这样做虽然浪费一些材料，但有其优点：① 易于冒口补缩，有利于确保铸钢件气密性；② 造型变得简单，操作方便；③ 省去了制芯、下芯、固定等工序及工作量，同时消除了因型芯刚度差、受热恶劣、钢液的冲刷等所发生的型芯变形、脱落、开裂、塌陷等造成的夹砂、夹渣、粘砂等铸造缺陷，易于保证铸件的品质、致密性和机加工性能；④ 做成实体件清理方便，若要铸出这些孔，则因中心孔是盲孔，这样给下芯、型芯的固定和排气带来困难。另外，还可能给后面的清理和机械加工带来相当的困难。

由于该钢为超临界耐热钢，而且熔点高，流动性差，收缩大，易氧化，夹杂物对铸件力学性能影响严重，要求浇注系统简单，截面积大，使充型快而平稳，流股不易分散，有利于铸件顺序凝固和冒口的补缩；采用开放式阶梯浇注系统，“卧作立浇”即卧式造型立式浇注，使用底注浇包，各浇道尺寸用上升速度法计算，并设置冒口补浇浇道，浇道采用专门的耐火管砌成，各浇道的形状及具体布置见图 2。

改进后的浇注系统由原四排改为双排浇道，一排放置在铸件右边，另一排放置在左边突出的法兰下边的轴线偏上一点，上下交错布置进行浇注，其余保持不变，见图 3 所示。

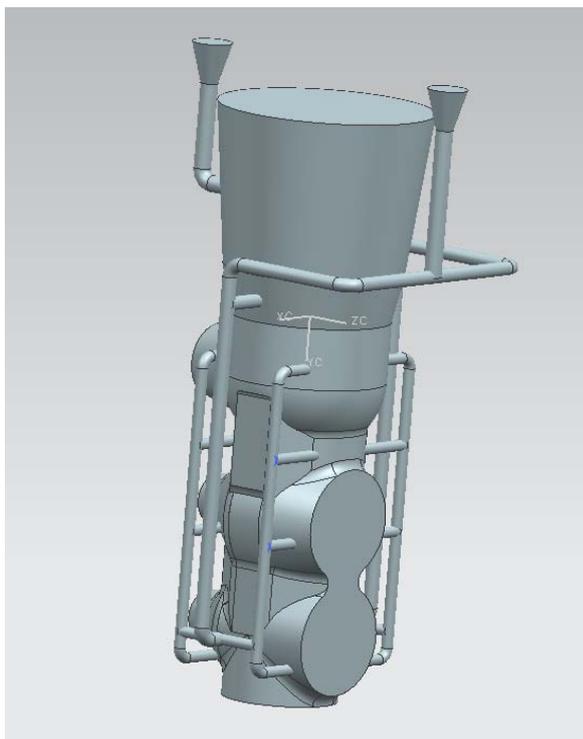


图 2 原铸造工艺示意图

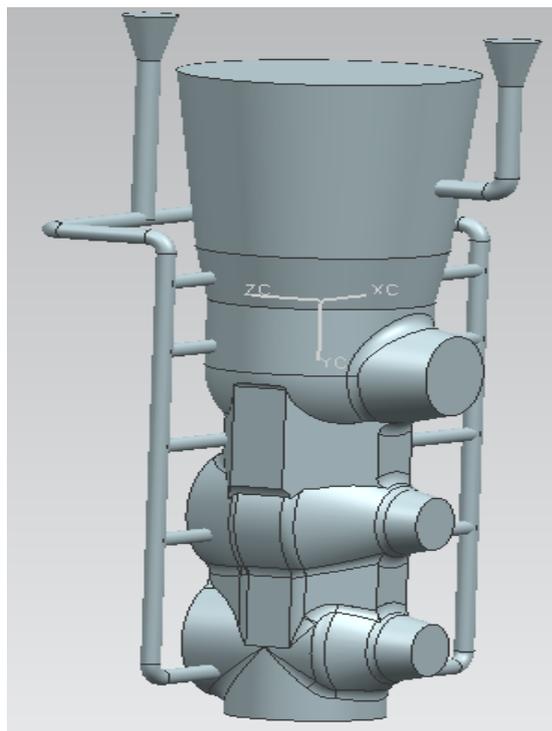


图 3 改进后铸件工艺示意图

3 汽轮机阀体浇注系统优化模拟

3.1 应用 Anycasting 进行铸造模拟仿真的基本流程图

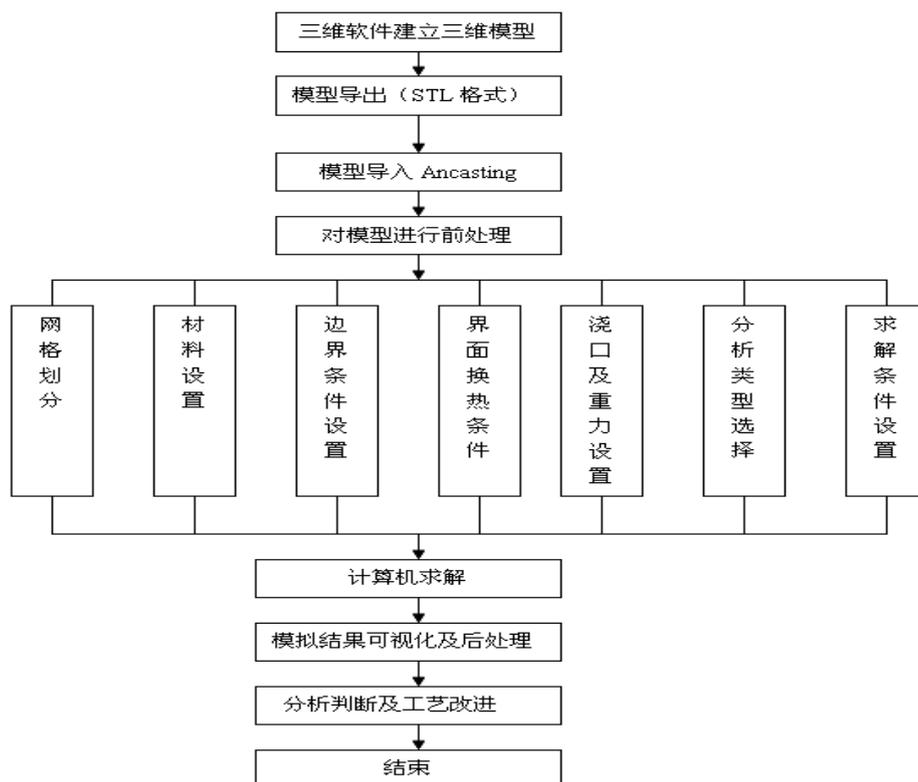


图 4 Anycasting 仿真流程图

3.2 汽轮机阀体模拟结果及分析

将铸件三维模型及浇冒口系统用 UG 建模并导出 STL 格式文件，导入 Anycasting 进行划分网格并设置各参数及边界条件，模拟仿真所得充型时间、温度梯度及概率缺陷如下所述。

(1) 原有浇冒口系统及改进浇冒口系统的充型时间

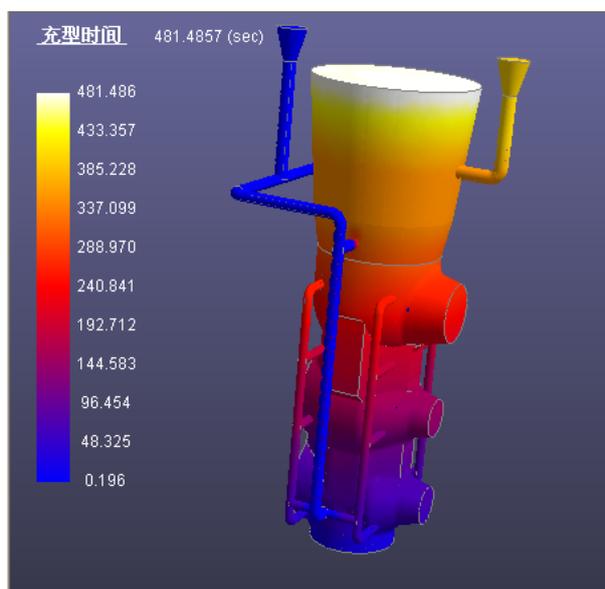


图 5 原工艺充型图

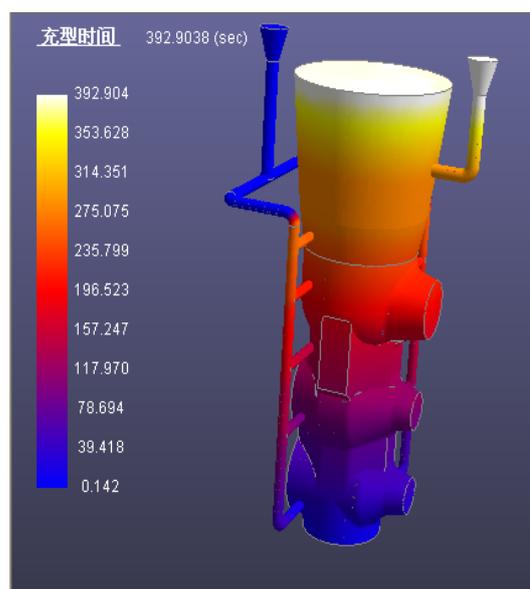


图 6 改进工艺充型图

图 5 为原有浇冒口系统的充型模拟图，由图可知铸件从浇注开始到结束需要 481s，液态金属首先从左边浇口杯经主直浇道再经分直浇道最后经过内浇道流入型腔，右边的浇口是为了防止左边浇道凝固后用来浇补缩冒口的。由于液态金属流经比较长的浇道以及在浇道中流动过程中的动能损失，所以需要较长的时间才能浇注完毕。图 6 为改进后的浇冒口系统充型模拟图，由于两边各减少了一排浇道，液态金属流经的路径短了，动能损失减少，浇注时间减小到 392s。对于浇注液体金属来说，温度和流动性降低幅度减小了，易于充满型腔，还可充分利用未凝固的合金液消除缩孔、缩松缺陷。

(2) 两种浇冒口系统的温度梯度

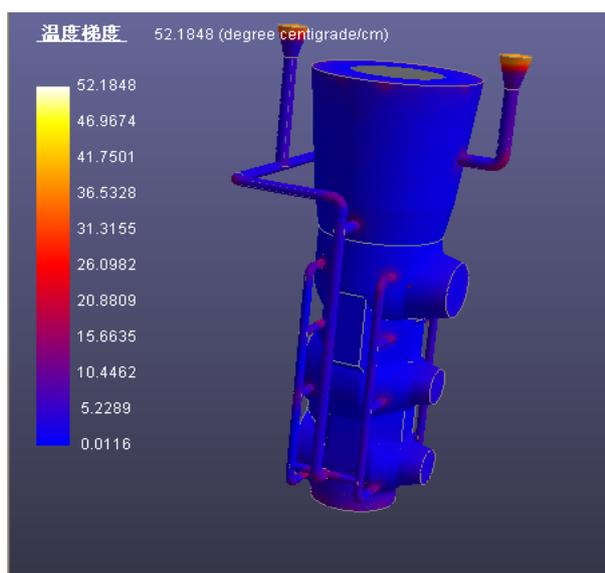


图 7 原工艺梯度图

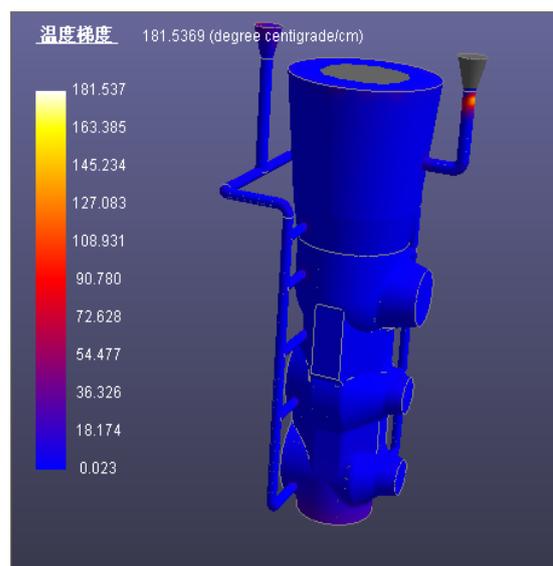


图 8 改进工艺梯度图

图 7 及图 8 为原有浇冒口系统及改进后浇冒口系统温度梯度对比图，原有浇冒口系统铸件表面大部分温度梯度较低，温度梯度较大的部分大部分集中在浇道及浇口部分，这对于铸件无任何影响。铸件底部有一小块区域温度梯度在 10~15℃ 的范围内，这对铸件的质量几乎没有影响。改进后浇冒口系统的温度梯度都很低，在浇口附近有一小块较大，底部一小块区域温度梯度较大部分与原有浇冒口系统比较范围变小，因此改进后的浇冒口系统使铸件更不容易出现变形与开裂等铸造缺陷。

(3) 原有浇冒口系统及改进后浇冒口系统的概率缺陷

图 9 与图 10 为原有浇冒口系统与改进浇冒口系统概率缺陷图。图中蓝色部分是预测不会出现缩松缩孔缺陷部分，原有铸件只在冒口部分及浇口部分出现很高的概率缺陷，铸件本身并不会出现什么铸造缺陷。改进后的浇冒口系统的铸件和原有浇冒口系统出现缺陷的部分基本一致，因此改进后浇冒口系统对铸件浇注质量无任何不良影响。

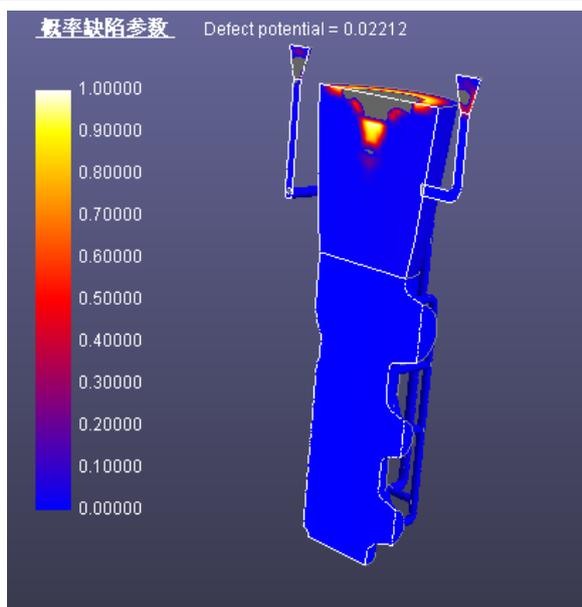


图9 原工艺缺陷图

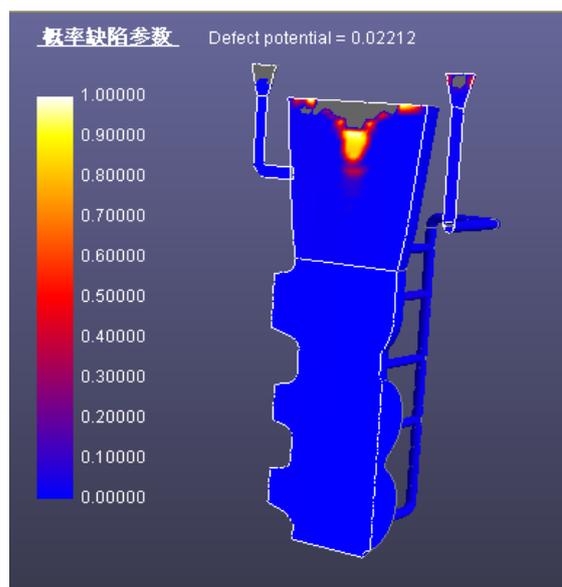


图10 改进工艺缺陷图

4 结论

运用铸造模拟分析软件 Anycasting 对原有浇注系统及改进后的浇注系统的模拟仿真，通过对充型时间、温度梯度及概率缺陷的仿真结果进行分析比较，得出：

(1) 改进后的浇注系统与原设计的浇注系统所得到的铸件品质相同，即对铸件质量没有影响。

(2) 改进后的浇注系统由原来的四排浇道减为两排浇道，不仅节约 1 吨左右的钢材且减少了浇道的安设及造型工作量，同时也保证了铸件品质。

参考文献：

- [1] 赵成志, 陈化民, 尹世滨. 600MW 汽轮机高压主汽调节阀阀体铸造工艺设计及其制造[J]. 铸造技术, 1997 (4).
- [2] 赵成志, 魏双胜, 周洪礼等. 超临界汽轮机高温铸钢的性能特征[J]. 材料导报, 2007.
- [3] 熊守美, 许庆彦, 康进武编著. 铸造过程模拟仿真技术. 北京. 机械工业出版社, 2007.