

超大功率烟气轮机轴承箱体铸造工艺优化

刘致远¹, 韩云飞², 张育龙¹, 张亮亮¹

(1. 兰州城市学院培黎机械工程学院, 甘肃兰州 730070; 2. 兰州交通大学机电工程学院, 甘肃兰州 730070)

摘要: YL19000kW及以上超大功率烟气轮机轴承箱体体积大、结构复杂、铸造难度大。原模样结构设计不合理, 芯盒多, 组芯后容易产生错边、夹砂和气孔等铸造缺陷。通过模样结构优化设计, 外模体积及芯盒数量减少一半, 制模、造型、制芯及合箱工作量大幅减少。通过数值模拟, 预测到两处轴承座及底座热节处有显著的缩孔疏松缺陷。采取设置内、外冷铁及调整冒口尺寸等措施, 消除了各种铸造缺陷, 铸件质量得到了显著提高。

关键词: 轴承箱体; ZG230-450; 数值模拟; 模样结构; 优化设计

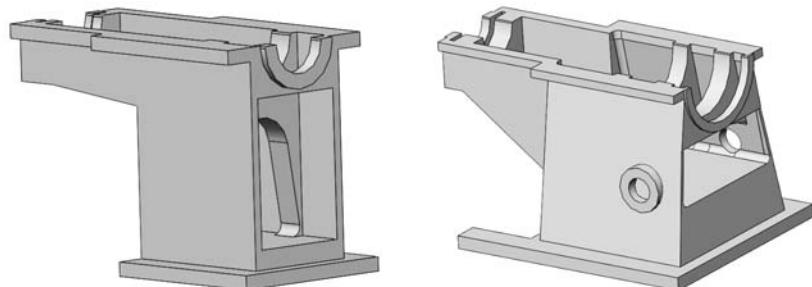
烟气轮机主要用于石油炼制催化裂化工艺过程中, 将具有一定压力和高温烟气中的能量转换成机械能或电能的透平机械, 是石油炼制催化裂化过程能量回收系统的主要设备之一, 可大幅降低炼化装置的能量消耗, 不仅给炼厂产生可观的经济效益, 还能降低催化剂粉尘的直接排放, 减少对环境的污染^[1-2]。一般将功率大于19 000 kW的烟气轮机称为超大功率烟气轮机, 由于输出功率大, 因此对烟气轮机的性能要求高, 设计、制造和维护难度大。

轴承箱体是烟气轮机的重要组成部分之一, 主要用于核心部件转子组的承载, 以及转动系统冷却液的储存。为满足整体刚度、结构稳定以及减震等性能, 该部件采用传统的铸造成形方法生产。相对于一般功率烟气轮机, 超大功率烟气轮机的转子组设计为双轮盘结构, 相应的其轴承箱体具有两排轴承座; 箱体的侧壁结构由垂直改为倾斜; 箱体的整体外形尺寸、壁厚、重量及底座支撑等都增加了近一倍, 如图1所示。这样给铸造生产带来了难度, 尤其是模样结构设计以及铸造工艺补缩系统设计等方面。

该箱体具有体积大、重量大、结构尺寸复杂等特点, 外形尺寸大致为3 000 mm × 2 000 mm × 1 600 mm, 毛坯重7.4 t, 材质为ZG230-450。

1 轴承箱体模样结构设计存在问题

考虑到箱体结构的复杂性, 第一次模样结构设计时将外模设计成一个近似立方体, 然后采用组芯方法, 来形成箱体的各部位结构, 如图2所示。这种设计模样芯盒



(a) 中小功率烟气轮机轴承箱体

(b) 超大功率烟气轮机轴承箱体

图1 中小功率烟气轮机与超大功率烟气轮机轴承箱体结构对比

Fig. 1 Expander bearing box structures of small-medium and super large power

作者简介:

刘致远(1971-), 男, 博士, 副教授, 主要从事耐热钢、高温合金、3D打印研发及铸造工艺设计与模拟工作。电话: 18693102972, E-mail: 2237917198@qq.com

中图分类号: TG242

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

05-0645-05

基金项目:

兰州城市学院博士科研启动基金(LZCU-BS2020-01)。

收稿日期:

2021-10-09 收到初稿,

2022-01-11 收到修订稿。

多、制作工作量大，也造成后续的造型、制芯及下芯等生产工作量大，铸件容易出现错位、错边等形状尺寸问题，以及夹砂、气孔等质量问题。

2 轴承箱体模样结构优化设计

在充分理解超大功率烟气轮机轴承箱体结构的基础上，进行模样结构的优化设计。优化设计时采用SolidWorks软件对其各部分进行三维呈现。首先，外模

形状应尽可能地与箱体的外形相一致，这样就能减少芯盒数量和模样制作，后续的造型制芯生产操作简单方便，同时也减少了木材的消耗。总结同类结构铸件尺寸收缩规律，重新确定主要尺寸铸造缩尺以及工艺补正量，减少铸造尺寸偏差。

图2为原工艺模样结构图，图3为原工艺芯盒组成结构图。由图可见，该模样设计采用两个分型面，对应的砂型为“上、中、下”三箱。为便于取模，中箱

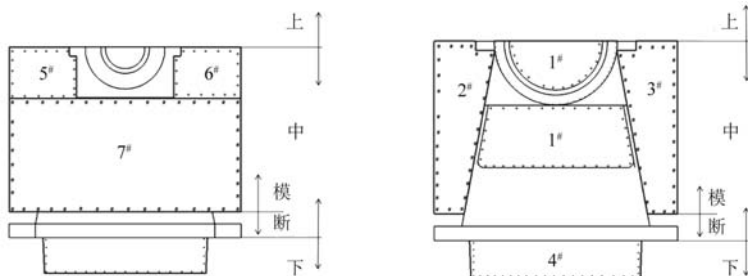


图2 原工艺模样结构图

Fig. 2 Pattern structure drawings of the original process

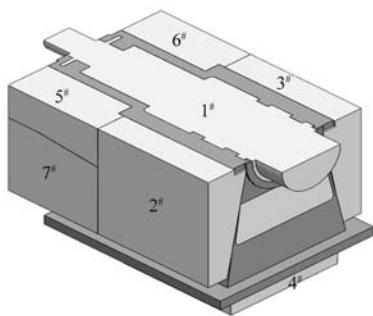


图3 原工艺芯盒组成结构图

Fig. 3 Core box structure drawing of the original process

部分的模样又采用模样断开设计，两部分模样分别从上箱和下箱方向取出。由于外模近似于长方体，所以需要组芯方式来形成铸件外部形状，该设计需要6个外部芯盒；内部空间需要一个主体芯盒，总共需要7个芯盒。这种模样结构设计繁琐，制作工作量大，造成后续的造型、制芯及下芯等生产操作难度大，铸件容易出现错边、错位等形状尺寸问题以及夹砂、气孔等质量问题。

新工艺模样结构设计见图4、图5。模样整体结构仍采用“上、中、下”三部分，中部结构断开。外模形状尽量接近铸件外形，为实现侧面取模，两侧各出一个芯盒；箱体内部出一个主体芯盒；底座部分出一个芯盒，总共需要4个芯盒。为利用原设计模样，上述芯盒从原芯盒基础上修改即可。

现工艺模样和原工艺模样相比较，外模体积减小近1/2，芯盒总数由7个减少为4个，其中主体芯盒新制，其余3个芯盒利用原芯盒修改，减少了木料用量，节约了工时和工期。后续造型、制芯工作量相应减

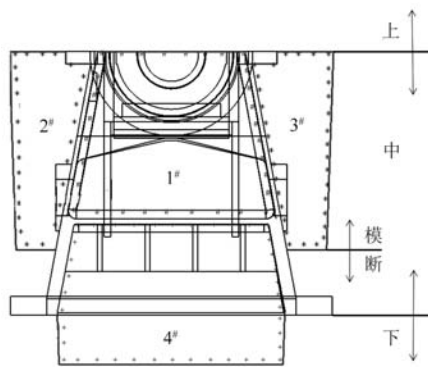


图4 新工艺模样结构图

Fig. 4 Pattern structure drawing of new process

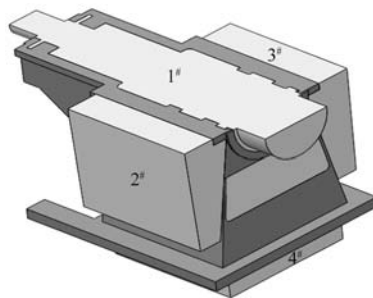


图5 新工艺芯盒组成结构图

Fig. 5 Core box structure drawing of new process

少，尤其是下芯工序大大简化，方便操作和检查，减少了铸件的尺寸误差和夹砂缺陷。

3 轴承箱体铸造过程数值模拟

超大功率烟气轮机轴承箱体冒口及浇注系统三维图如图7所示。按模数法计算确定冒口的尺寸大小，按

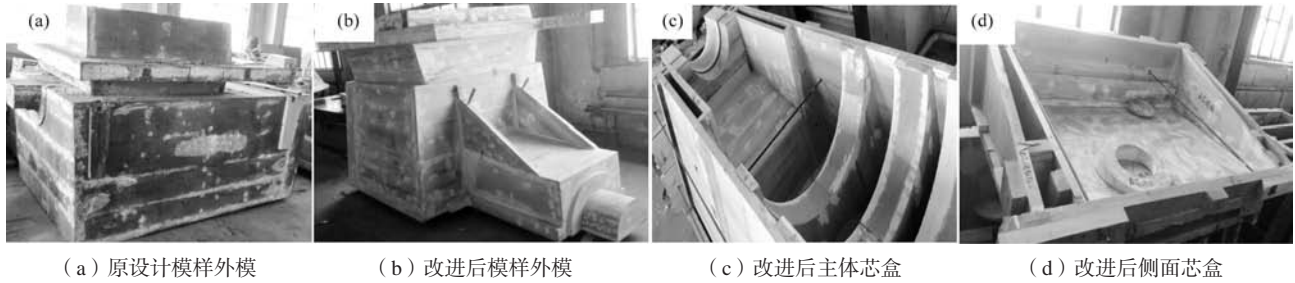


图6 改进前后的模样实物照片

Fig. 6 Pattern photos of different casting processes

水平方向的补缩范围计算确定冒口的个数，对法兰厚大部位进行补缩。实际生产采用呋喃树脂砂工艺造型制芯，浇注系统采用底注式，浇道全部用陶管组接。浇注方式采用漏包式，包口直径为 $\Phi 40$ ，直浇道直径为 $\Phi 70$ ，横浇道和内浇道直径分别为 $\Phi 50$ 、 $\Phi 40$ 。

利用华铸CAE/InteCAST（简称HZCAE）软件系统，对此工艺条件下的钢液充型和铸造凝固过程进行数值模拟。HZCAE基于有限差分法进行计算分析，先将计算区域内的几何实体按正六面体进行网格剖分^[3-5]。软件分为前处理模块、计算模块和后处理模块三部分，通过温度场和流动场的数值模拟，进行铸造

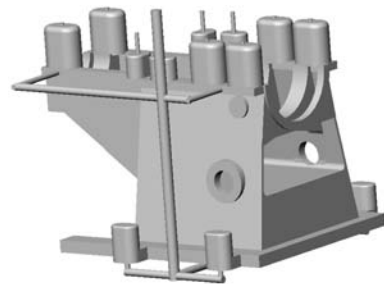


图7 轴承箱体冒口及浇注系统三维图

Fig. 7 Three dimensional drawing of the bearing box riser and gating system

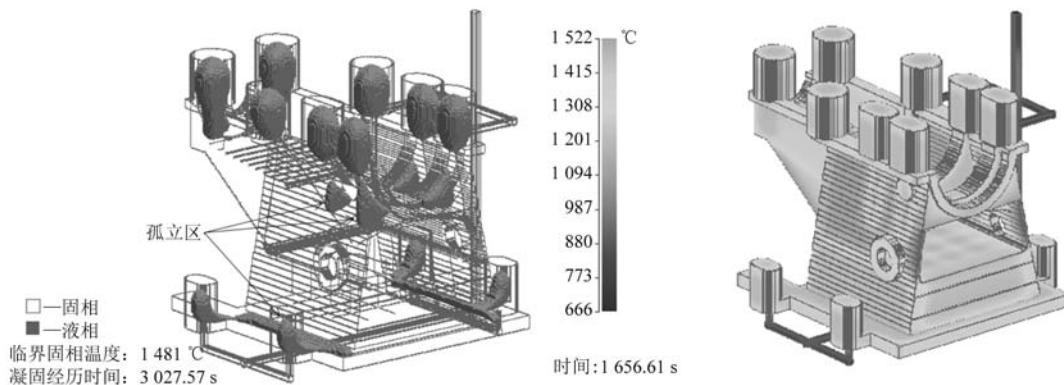


图8 原工艺充型凝固模拟结果

Fig. 8 Simulation results of the original process

工艺的辅助设计和验证。

从数值模拟结果可以看出，在箱体的两轴承座中、底座与箱壁相交处有明显的孤立区，这些部位的残留钢液得不到冒口的补缩，将产生疏松或集中缩孔，如图8所示。在烟气轮机长期服役过程中，受交变载荷及较高温度的影响，箱体的缺陷部位有可能发生疲劳失效，从而对烟气轮机的安全运营及寿命产生影响。

为消除右侧两轴承座内部的集中缩孔，将其对应的4个冒口由 $\Phi 400 \times 500$ 加大到 $\Phi 500 \times 700$ 。模拟结果显示，即使冒口中有很充裕的钢液存在，但补缩通道已关闭，无法对其根部的轴承座进行有效补缩，右侧两轴承座内部仍存在较大的孤立区。说明仅仅通过

加大冒口尺寸仍无法消除轴承座内部的疏松、缩孔缺陷。

为消除铸件热节中的钢液孤立区，通常在厚大部位的中心或外侧放置内冷铁或外冷铁，使冷铁处的钢液先凝固，冒口中的钢液能够向热节处进行有效补缩，使铸件沿冒口方向实现顺序凝固，最终实现消除热节处疏松、缩孔缺陷的目的。

依据冷铁设计规则，在箱体模拟后存在疏松、缩孔的部位，全部放置了内、外冷铁，材质与箱体一致^[6-7]。冷铁的规格尺寸以及相对位置如图10所示。对应箱体位置为右侧两轴承座内、箱壁与底座交界处，这些全是内冷铁；侧壁两法兰外侧、底座与侧壁拐角处全部放置外冷铁。

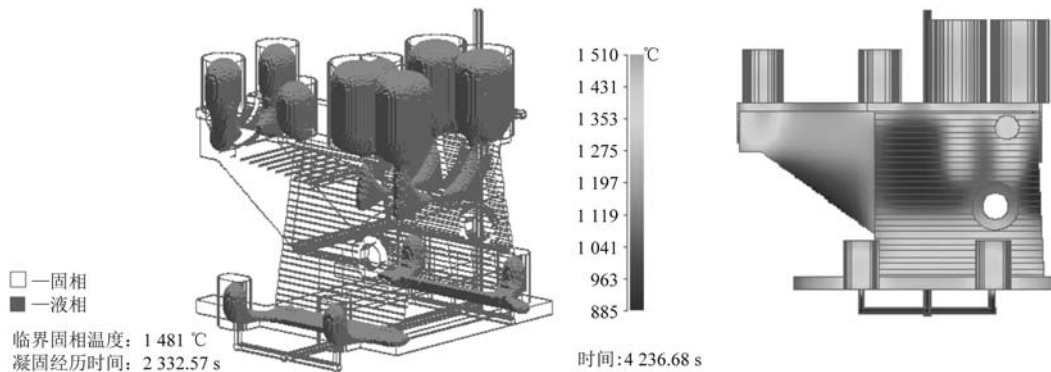


图9 加大冒口后充型凝固模拟结果

Fig. 9 Simulation results of the improved process

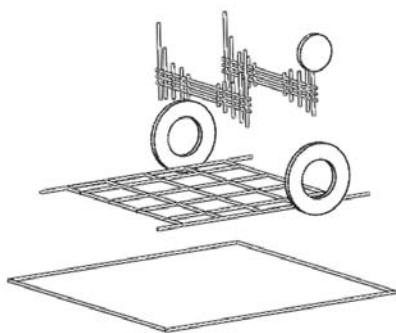


图10 内、外冷铁相对位置

Fig. 10 Location of the inner and outer chills

放置冷铁后的流动传热及耦合凝固模拟见图11。由图可见，右侧两轴承座热节部位冒口的补缩通道保持畅通，形成了明显的顺序凝固状态。随着型腔内钢液温度的下降，铸件不断凝固，冒口内的高温钢液不断补充到热节处，直至铸件完全凝固。这样就消除了热节部位存在的孤立区，避免了集中缩孔的产生，保证了铸件的致密性。

铸件划线后所有尺寸合格，加工余量合理，尤其是两轴承座间距及前后两端间距完全满足尺寸要求；0.4~0.6 MPa/h条件下的水压试验完全合格；消除了以前经常出现的气孔、夹砂等铸造缺陷。

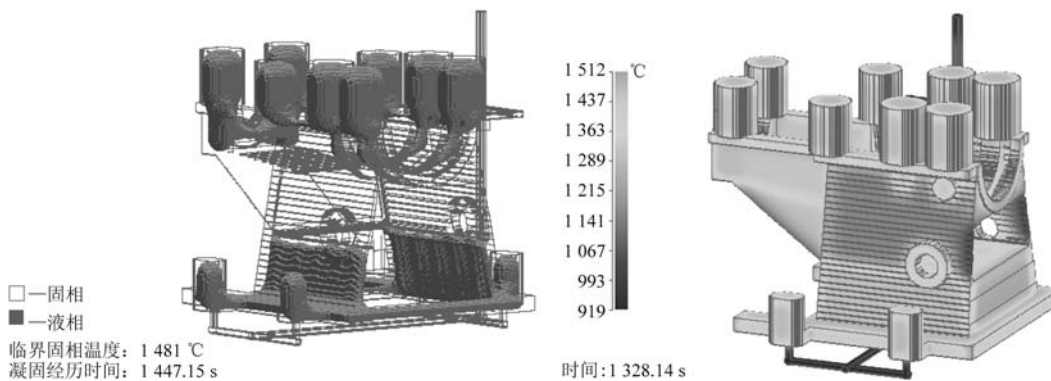


图11 放置冷铁后的流动凝固模拟结果

Fig. 11 Simulation results after setting chills

4 结论

(1) 通过模样结构优化设计，模样外模体积及芯盒数量减少接近一半，减少了模样制作、造型及制芯工作量，方便下芯操作和浇注系统摆放。生产的铸件外形规整，无明显错边、夹砂等缺陷，提高了表面质量和尺寸精度。

(2) 对轴承箱体铸件充型凝固过程数值模拟分析发现，原工艺条件下铸件的轴承座、底座与侧壁交界处等热节部位存在液相孤立区，凝固后形成集中缩孔或疏松缺陷，通过设置内、外冷铁工艺措施，实现了铸件顺序凝固。铸件水压试验合格，证明了新工艺的可行性。

参考文献:

- [1] 李玉超. 催化裂化装置中烟气轮机长周期运行问题研究 [D]. 北京理工大学, 2016.
- [2] 卢鹏飞, 冀江, 杨龙文. 中国催化裂化烟气轮机自主创新三十年的回顾 [J]. 中外能源, 2008, 13 (S1): 8-10.
- [3] 王智平, 杨磊, 刘致远, 等. 回转窑托轮结构及铸造工艺的计算机辅助设计 [J]. 铸造, 2008 (2): 150-153.
- [4] 李伟华, 陈成, 黄美静. 特大型后艉轴架的铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2018 (2): 172-174.
- [5] 周建新, 刘瑞祥, 陈立亮, 等. 铸造CAE技术在铸钢件中的应用 [J]. 热加工工艺, 2004 (11): 67-68.
- [6] 王亚青, 孙康辉, 刘致远, 等. CAE技术在轴承箱体铸造工艺优化中的应用 [J]. 铸造, 2009 (11): 1125-1128.
- [7] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

Casting Process Optimization of Super Large Power Expander Bearing Box

LIU Zhi-yuan¹, HAN Yun-fei², ZHANG Yu-long¹, ZHANG Liang-liang¹

(1. School of Bailie Mechanical Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, Gansu, China; 2. School of Mechanical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract:

The bearing box of super large power expander above YL19000kW was large in volume, complex in structure and difficult in casting. The original pattern structure design is unreasonable, there are many core boxes, and it is easy to produce casting defects such as shift, sand inclusion and porosity after core assembly. By optimization design of structure, the volume of outer pattern and the number of core boxes were reduced by half, and the workloads of pattern making, molding, core making and mold assembling were reduced greatly. Through numerical simulation for the casting process, it was forecasted that there were remarkable shrinkage and porosity defects at the two bearing blocks and the hot spot of the pedestal. Various casting defects were eliminated by setting the inner and outer chills and adjusting the riser size. The production cost was reduced and the casting quality was improved remarkably.

Key words:

bearing box; ZG230-450; numerical simulation; pattern structure; optimization design