● 生产技术 Production Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.01.012

大型水轮机蜗壳砂型铸造工艺设计及优化

梅 益,杨幸雨,何佳容
(贵州大学 机械工程学院,贵州 贵阳 550025)

摘 要:针对水轮机蜗壳的结构特征、工作条件及铸造工艺要求,确定砂型铸造生产的工艺方案,以降低生产成本、缩短生产周期、提高生产效率。在此基础上,制定蜗壳相应铸造工艺参数、浇冒口系统等,运用 Any-Casting 进行了凝固模拟。结果表明,模拟结果较为客观、准确。就铸件存在的缩孔、缩松等缺陷,通过改变冒口参数与增加冷铁达到铸件工艺优化的目的,确定蜗壳使用砂型铸造方法的可行性。

关键词:水轮机蜗壳;砂型铸造;方案设计;工艺优化

中图分类号:TG255 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2019)01-0054-04

Sand Casting Process Design and Optimization of Large Hydraulic Turbine Volute

MEI Yi, YANG Xingyu, HE Jiarong
(School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to reduce the production cost, shorten the production cycle and improve the production efficiency, the technical scheme of sand mold casting production is determined according to the structural characteristics, working conditions and casting process requirements of hydraulic turbine volute casing. On the basis of this, the corresponding casting process parameters and gate system of hydraulic turbine volute casing were formulated, and the solidification simulation was carried out using Any-Casting software. The results show that the simulation results are more objective and accurate. According to the defects of shrinkage cavity and shrinkage cavity of casting, the feasibility of using sand casting method for hydraulic turbine volute casing is determined by changing the riser parameters and adding cold iron to optimize casting process.

Key words: hydraulic turbine volute; sand mold casting; scheme design; process optimization

砂型铸造较之其它金属铸件铸造方法成本低、生产工艺简单、生产周期短。如汽车的发动机气缸体、气缸盖、曲轴等铸件都是用砂型工艺生产的[1]。水轮机一般由引水、导水、工作、泄水及非过流部件组成,使用铸造方式成型的蜗壳刚度较大,能承受一定的外压力,常作为水轮机的支承点,并在它上面直接布置导水机构及其传动装置[2]。笔者针对采用砂型铸造方法生产单件、小批量的大型水轮机蜗壳铸件的铸造工艺设计、凝固模拟及工艺优化作了探讨。

1 水轮机蜗壳结构分析及建模

蜗壳是水轮机上的结构件,与导叶及转轮等配合使用。其作为引水部件,需保证把来自压力水管的水流以较小的水流损失,均匀、轴对称地引入导水机构,使转轮四周所受的水流作用力均匀;使水流产生一定的环量,以满足转轮的需要[3]。蜗壳的外形如图1所示,管道呈渐变半径特征的"漩涡"状。整体铸件轮廓尺寸为 1 622.5 mm×814 mm×1 510.3 mm,最薄部位是圆柱形通道内与叶轮构成外形为尖角的结构特征处,最大壁厚为 110 mm,属于大型壁厚不均铸件,蜗壳管道对称布置了 4 个凸耳,进口方向有法兰盘,中部圆柱环底有一直径 120 mm 的贯通圆孔。零件的整体壁厚不均匀,易出现铸造缺陷。根据实际工作情况,在重要工作配合面上增放机加工余量后,经计算铸件重 1 972 kg。

收稿日期:2018-04-17
基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2010);贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2014]2053)
作者简介:梅 益(1974-),贵州贵阳人,博士,教授.研究方向:材料成型计算机仿真技术及应用、现代装备制造.电话:13608556001,E-mail:mei_yi@163.com
通讯作者:杨幸雨(1994-),贵州毕节人,硕士.研究方向:先进装备制造及工艺.电话:18786737808,E-mail:78891196@163.com

表1 QT500-7化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of QT500-7

C	Si	Mn	P	S	Mg
3.55~3.85	2.34~2.86	<0.60	<0.08	<0.025	0.02~0.04

2 铸造工艺设计

蜗壳的材质为QT500-7，其化学成分组成如表1。铸件生产性质是单件、小批量生产。

2.1 铸造工艺方案

该铸件属于大型壁厚不均件，根据确定的生产纲领，采用砂型铸造工艺生产。使用呋喃树脂自硬砂进行手工造型；使用醇基涂料对铸型和砂芯表面进行涂刷，使其表面形成耐火保护层，并填塞砂型和砂芯表面孔隙[5]。对砂型或砂芯出现的裂纹、孔洞、掉角及不平整位置用胶补剂进行修补后喷涂银色石墨粉以便于脱模。

2.2 分型面的确定

通过分析铸件结构，采用两箱阶梯面分型，如图2。铸件法兰盘进口的轴心线与蜗壳管道及管道上的4个凸耳不在一个平面上，且整体蜗壳管道呈现渐小态势，为便于成型及取件，在法兰盘最大界面与凸耳高度中心之间设置成阶梯面分型，保证从铸件最大平面处分型，造型容易，方便起模，砂芯易于定位，方便落砂。

2.3 浇冒系统设计

蜗壳工艺设计参数中选取浇注系统为开放中间注入式浇注系统，此浇注系统的金属液充型平稳，对砂芯冲击力小，金属液氧化少，挡渣能力强，适用于大、中型铸件的浇注。根据蜗壳材质，确定浇口杯用耐火砖砌成。

采用截面比设计法计算该铸件的各个浇注系统尺寸[6]，选用封闭式浇注系统，根据截面比 $F_{内}:F_{横}:F_{直}=1.0:2.0:1.5$，采用中注式浇注系统，设置6道内浇道，横浇道环布于蜗壳外壳轮廓最大截面处，横浇道两端各多出60 mm的流道，以防前端金属液的回流，且有集渣、充型平稳作用。根据计算得到各部分截面积分别为 $F_{阻}=73.86\ cm^2$，$F_{横}=147.8\ cm^2$，$F_{直}=110.8\ cm^2$。并根据算出的数据确定浇注系统中直浇道高度为650 mm，上端直径 d_1=60 mm，下端 d_2=55 mm；横浇道截面积为梯形，上端宽 l_1=94 mm，下端 l_2=112 mm，高度为144 mm；内浇道为扁平内浇道，截面尺寸上宽 L_1=62 mm，下宽 L_2=70 mm，高度为68 mm；直浇道窝根据计算尺寸得直径 D=118 mm，高度为288 mm。在直浇道与横浇道连接处放置泡沫陶瓷过滤器，减少过滤后金属进一步氧化的可能，设计完成后浇注系统如图3。

该铸件若设置使用冒口补缩，会造成工艺出品率变低。因此，结合铸件材质，考虑到球铁件石墨化膨胀体积会有相应增加，同时选取多道内浇道的浇注系统，尽可能使铸件各部位可根据重力进行同步冷却及凝固。适度降低浇注温度后，可适度减少液态体积收缩。根据以上特点，采用无冒口的浇冒形式配合8个直径为30 mm的出气孔进行蜗壳的铸造，以便排出中间型腔内的气体。出气孔安放位置如图4[6]。

3 砂芯工艺设计

3.1 砂芯设计

采用呋喃树脂自硬砂制芯。由于蜗壳内壁整体

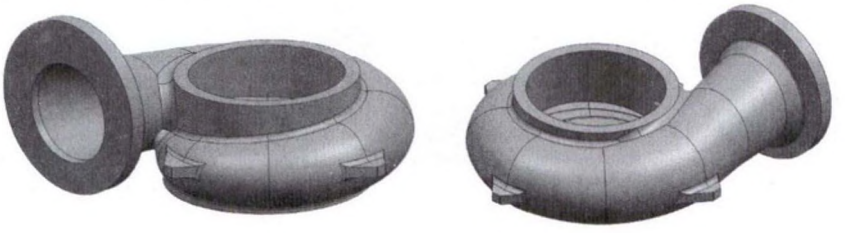


图1 水轮机蜗壳铸件三维实体模型
Fig.1 Three-dimensional solid model of hydraulic turbine volute casing

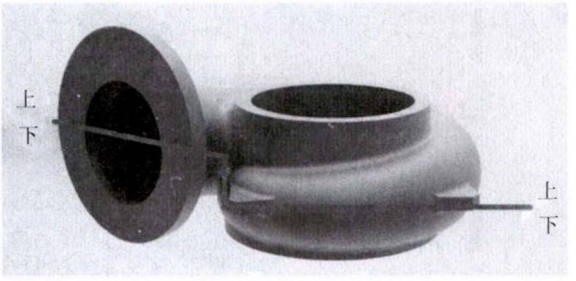


图2 阶梯分型示意图
Fig.2 Sketch diagram of step-shaped parting surface

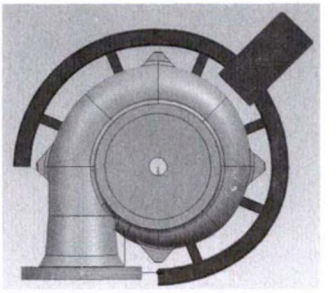


图3 浇注系统示意图
Fig.3 Schematic diagram of gating system

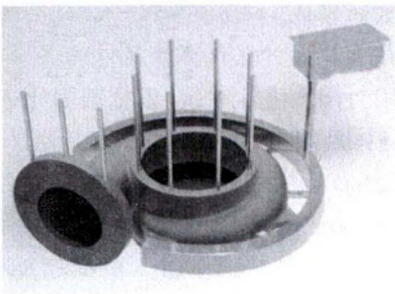


图 4 出气孔位置示意图
Fig.4 Sketch diagram of position of air vent

呈螺旋状，砂芯也呈螺旋状，为便于下芯，将砂芯分为 1# 与 2# 两部分，采用可拆卸式砂芯，在砂芯内添加芯骨，将两部分砂芯组装成整体砂芯。如图 5 所示。其中 1# 砂芯成形法兰盘头部分，芯头设计为矩形水平芯头；2# 砂芯成形蜗壳管道及中部空腔部分，因底部孔径较小，为保证支撑稳定，芯头设计为加大垂直芯头，高为 120 mm，斜度为 5°。同时在砂芯内埋入随形的蜡线，中部圆柱芯部分用通气针扎出排气道，有助于砂芯的排气。

3.2 芯撑设计

由于砂芯太高，若只靠芯头固定还难以稳固，因此考虑采用芯撑来加固砂芯，以起到辅助支撑的作用。由于铸件对底部质量要求较高，因此芯撑上设计有螺纹与凹槽的防漏措施。芯撑材料采用低碳钢，芯撑计算采用强度计算法，根据资料[4-6]计算得芯撑板的总截面面积为 $A_{总}$=1 165.6 mm²，选择如图 6 的 4 个单光柱圆形芯撑 DGY100 均匀分布在大底面上，起到支撑砂芯的作用。

4 铸造凝固模拟及优化

铸件的凝固过程与铸件的缩孔、缩松及应力集中直接相关。对铸件进行凝固过程模拟就是为了预测缩孔及缩松的位置。经过对该铸件物性参数的分析，确定了浇注温度为 1 390 ℃，浇注时间为 34 s 并不添加冷铁作为原始方案。

4.1 凝固模拟

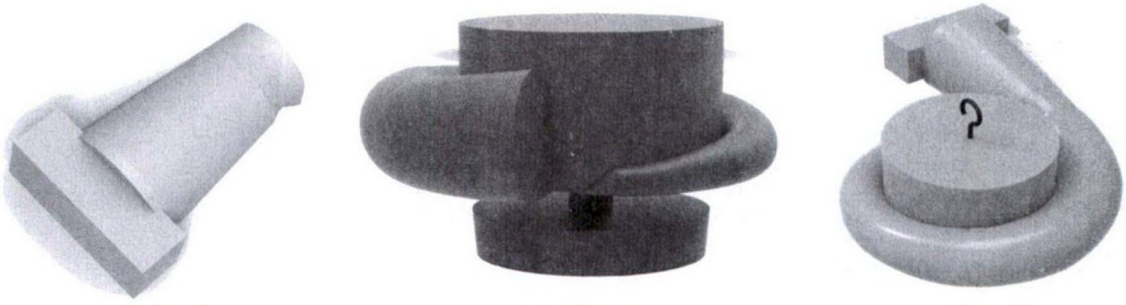
采用 Anycast 软件对原始方案进行凝固模拟。图 7 是蜗壳铸件充型凝固分析云图。由图可以看出，铁液从浇口杯进入浇注系统，从 6 个内浇道进入铸件型腔内。铁液首先从内浇道部位进入蜗壳螺旋管道流入蜗壳底部，然后逐渐往上充填蜗壳管道，最后充填部位是蜗壳中央圆筒壁及法兰盘顶部。

图 8 为模拟铸件凝固时间时的缺陷情况，在铸件壁最薄处与蜗壳管道内壁产生了夹渣缺陷，此圈是壳体管道内壁交接处，由于壁太薄，此处产生了缺陷。

4.2 冷铁的添加及优化

为减少铸件成型后可能出现的内部缺陷，需添加冷铁。由于铸件的模数较大，故选择石墨电极冷铁，不仅可以缩短凝固时间，同时也可提高铸件的石墨球化率。取冷铁的厚度为 $\delta=(0.8\sim1.2)T$=80 mm，宽度为 80 mm，长度为 200 mm[6]。冷铁安放位置及形状尺寸如图 9。

添加冷铁后，再次对铸件成形工艺进行模拟后



(a)1#砂芯　(b)2#砂芯　(c)总芯图

图 5 砂芯形状示意图
Fig.5 Sketch diagram of sand core shape

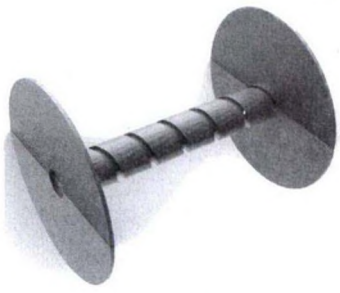
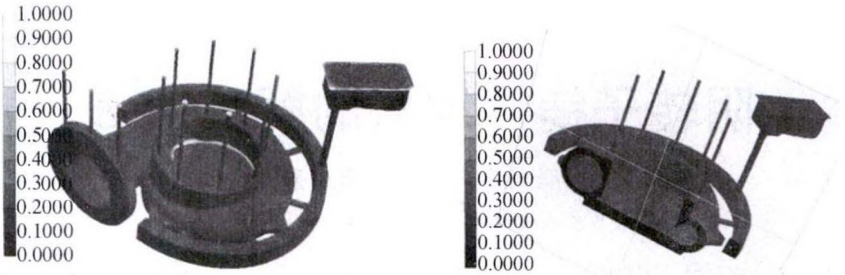


图 6 芯撑三维图
Fig.6 Core support 3D drawing

图 7 铸件充型凝固分析云图
Fig.7 Mold filling analysis cloud diagram of casting



(a)外部缺陷图　　(b)内部缺陷图

图 8 铸件内部缺陷情况图
Fig.8 Internal defects of castings

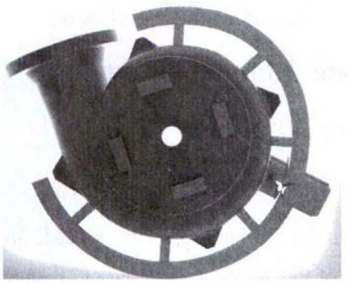
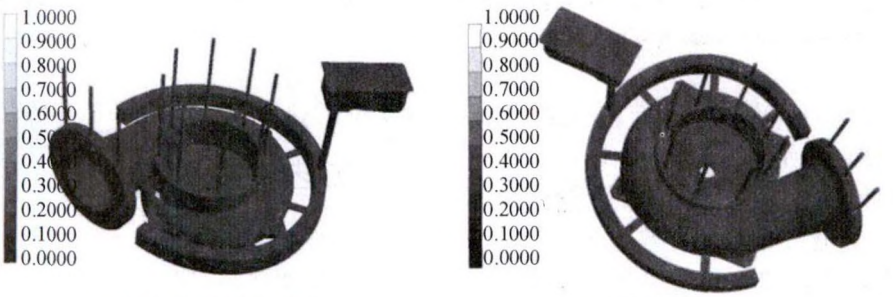


图 9 冷铁位置图
Fig.9 Position diagram of cold iron



(a)法兰盘处缺陷优化　　(b)底部缺陷优化

图 10 添加冷铁后缺陷优化图
Fig.10 Defect optimization diagram after adding cold iron

(2)对水轮机蜗壳的浇冒系统进行了设计，采用封闭式浇注系统配合无冒口方案，获取了可行性较高的铸造工艺方案。

(3)运用 AnyCasting 对蜗壳的铸造工艺进行模拟分析，确定了整体设计的合理性，得到了铸件的凝固顺序，预测了铸件缺陷位置，通过优化设计添加冷铁消除了缺陷。通过模拟分析，确定了工艺方案的正确性和有效性。

发现，管道内壁的缩孔缩松缺陷明显减小，同时在壳体切面处的缺陷也有所降低，同时考虑到球铁的石墨化自膨胀性，从图 10 中看出铸件管道内部的缺陷已明显消除。

5 结论

(1)对水轮机蜗壳的结构及工艺性进行了综合分析，采用砂型铸造的方法进行生产，采用树脂砂组芯进行造型。

参考文献：

[1] 李思，申荣华，肖华强，等. 大型轴承座砂型铸造工艺设计及优化[J]. 铸造技术，2016，37(4):802-804.

[2] 郑浩勇. 复杂涡轮蜗壳零件金属型铸造模具设计[J]. 模具技术，2016(4):21-25.

[3] 谭茂林. ZL201 合金双层流道蜗壳砂型铸造工艺 [J]. 航空精密制造技术，1997(4):40-42.

[4] 吕振林，周永欣，徐春杰，等. 铸造工艺及应用[M]. 北京：国防工业出版社，2010.

[5] 王文清，李魁盛. 铸造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2002.

[6] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册.第 5 卷，铸造工艺[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2019 年《铸造技术》杂志
国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：18 元/本　海外定价：18 美元/本