

# 大型转轮体铸造工艺

梁敏<sup>1, 2, 3</sup>, 贾冠飞<sup>1, 2, 3</sup>, 周璟<sup>1, 2</sup>, 杨继红<sup>1</sup>

(1. 中信重工机械股份有限公司, 河南洛阳 471003; 2. 洛阳中重铸锻有限责任公司, 河南洛阳 471003;  
3. 河南省大型铸锻件工程技术研究中心, 河南洛阳 471003)

**摘要:** 通过转轮体的结构分析, 根据热节法、模数法设计冒口、补贴、冷铁等工艺参数, 借助MAGMASOFT模拟软件优化了铸造工艺设计。通过对转轮体的材料成分、熔炼工艺、铸造工艺的优化及实施工艺过程控制, 成功生产出净重155 t的ZG20Mn转轮体铸件, 而且铸件的内、外部质量都达到技术指标要求, 证明了改进工艺方案和工艺参数选择的合理性。

**关键词:** 转轮体; 数值模拟; 铸造工艺

随着水电技术的发展, 大型化轴流式水电机组将是今后水电市场的主流产品<sup>[1]</sup>。转轮体是大型水电站水轮机组的关键零件, 它承载设备转动载荷, 在较大的应力状态下工作, 因此对转轮体铸件的内部质量要求较高<sup>[2]</sup>。大型水轮机转轮体的重量大, 尺寸形状复杂, 欲获得高技术要求的优质铸件, 其设计结构是否具有好的铸造工艺性, 铸造工艺设计是否合理, 两者都至关重要<sup>[3]</sup>。

作者针对转轮体进行了结构分析, 借助MAGMASOFT模拟软件进行凝固模拟分析, 通过与传统工艺方案进行对比, 优化了转轮体的铸造工艺设计。

## 1 转轮体的主要技术要求

转轮体是单机容量200 MW轴流式水轮机组的核心零件, 具体结构如图1所示, 材质ZG20Mn, 净重155 t, 最大直径4 680 mm, 最大高度4 175 mm, 最大壁厚540 mm, 最小壁厚300 mm。与以往生产的转轮体相比, 其尺寸、重量、壁厚都是最大的。

### 1.1 化学成分

转轮体化学成分要求见表1。

### 1.2 力学性能要求

力学性能应满足表2的规定。

### 1.3 检测要求

铸件进行100%无损探伤检验, 超声波探伤按CCH70-3《水力机械铸钢件检验规范》的3级验收, 高应力区按2级验收; 磁粉探伤按CCH70-3《水力机械铸钢件检验规范》的3级验收。

## 2 转轮体生产的技术难点

### 2.1 熔炼方面

转轮体的钢液重量达326 t, 熔炼时应保证每包钢液的化学成分偏差较小, 同时降低S、P含量提高钢液的纯净度。每个钢包的钢液温度应尽量相匹配, 对炼钢顺序、出钢温度、浇注顺序都要求较高, 这些都给熔炼带来了较大的难度。

作者简介:

梁敏(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为大型铸钢件铸造工艺和技术。电话: 13598490962, E-mail: 165555817@qq.com

中图分类号: TG24

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)

07-0773-04

收稿日期:

2019-02-04 收到初稿,

2019-03-09 收到修订稿。

## 2.2 铸造方面

①转轮体的壁厚较厚，几何热节大而复杂（最大热节圆直径563 mm），在底部、内圆、外圆均存在分散热节（见图1），铸件结构不易集中补缩。②纵向和横向的补缩距离长，在凝固过程中容易产生缩孔、疏松等缺陷。③砂型底面将承受铸件、冷铁、型砂等约600 t重的压力，砂床产生的裂纹风险较大。④因钢液量大导致合浇的难度大。

## 3 转轮体的工艺及生产控制措施

### 3.1 熔炼工艺

熔炼工艺：EBT（Eccentric Bottom Tapping）电弧炉初炼（分包）→LF（Ladle Furnace）精炼（分包）→多包合浇。电弧炉初炼时脱碳、去磷、去除气体和夹杂物；采用留钢、留渣操作，严禁氧化渣进入精炼包；出钢时加铝预脱氧，加入合金进行精炼。LF精炼应控制还原渣的碱度，充分脱氧、脱硫；保证钢液脱氧效果，减少钢液中夹杂物，提高钢的纯净度。为了满足力学性能，控制 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.010\%$ ，同时加入Nb元素细晶强化<sup>[4]</sup>。铸件的钢液量重达326 t，3包合浇。浇注前对每包钢液测温，控制各包的钢液温度差在10℃之内，避免铸件局部过热而产生缺陷。

### 3.2 铸造工艺

根据转轮体的结构特点及铸造难点，结合以往生产转轮体的工艺方案和经验，根据热节法、模数法设计冒口、补贴、冷铁等，完成传统工艺和改进工艺的铸造工艺图绘制，并分别进行三维几何实体造型和数值模拟分析。传统工艺采用锥面朝上、外圆设置冒口的方案；改进工艺采用锥面朝下、内外圆分别设置冒口的方案。

#### 3.2.1 数值模拟

通过传统工艺和改进工艺（见图2、图3）的数值模拟结果对比发现：铸件凝固过程缩孔缩松和温度场的预测结果都证明了改进工艺明显优于传统工艺，而

且改进工艺比传统工艺节约钢液26 t。

#### 3.2.2 改进工艺的措施及方案

从质量和成本方面考虑，选择改进工艺进行生产，最终形成工艺和生产措施如下：①内、外圆分别设置冒口来实现内、外圆的分区补缩；②外圆和内圆分别设置补贴满足铸件补缩；③底部设置冷铁强化末端冷却，同时隔断内、外圆实现分区补缩；④采用三层开放式的阶梯浇注系统，在底部、中部、上部分别设置内浇口，其中每层浇注系统的直浇口：横浇口：内浇口=1：1.47：2.05；⑤内腔芯子设计为1/2结构+焊接的组合式结构，通过芯骨焊接的方式组合成整体结构，承受80 t自重和浇注时330 t浮力，同时减少模型费用；⑥制作整体硬砂床避免底面裂纹。

## 4 检验结果

经过严格的生产过程控制，成功制造了转轮体铸件（图4），其化学成分符合标准要求。力学性能检测合格，检测结果见表3。转轮体铸件经超声波探伤和磁粉探伤检测符合标准要求，已通过客户联合验收检查。从检测结果来看，生产的转轮体铸件完全达到标准要求。

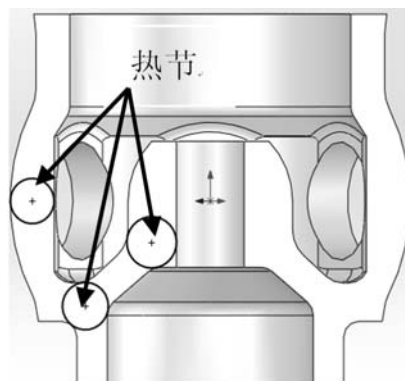


图1 转轮体

Fig. 1 Runner structural drawing

表1 转轮体的化学成分要求

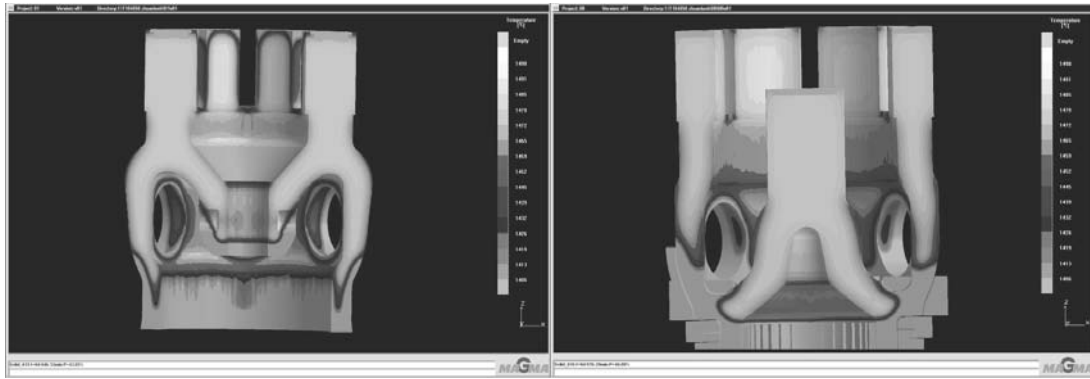
Table 1 Chemical composition requirements of runner hub

	C	Si	Mn	P	S	Ni	$w_B/\%$
	0.16 ~ 0.22	0.60 ~ 0.80	1.00 ~ 1.30	$\leq 0.030$	$\leq 0.030$	$\leq 0.40$	

表2 转轮体的力学性能要求

Table 2 Mechanical properties requirements of runner hub

热处理状态	$R_m/\text{MPa}$	$R_{eL}/\text{MPa}$	$A/\%$	$Z/\%$	$A_{KU}/\text{J}$	HB	弯曲试验
正火+回火	$\geq 285$	$\geq 495$	$\geq 18$	$\geq 30$	$\geq 39$	$\geq 145$	180° 无裂纹

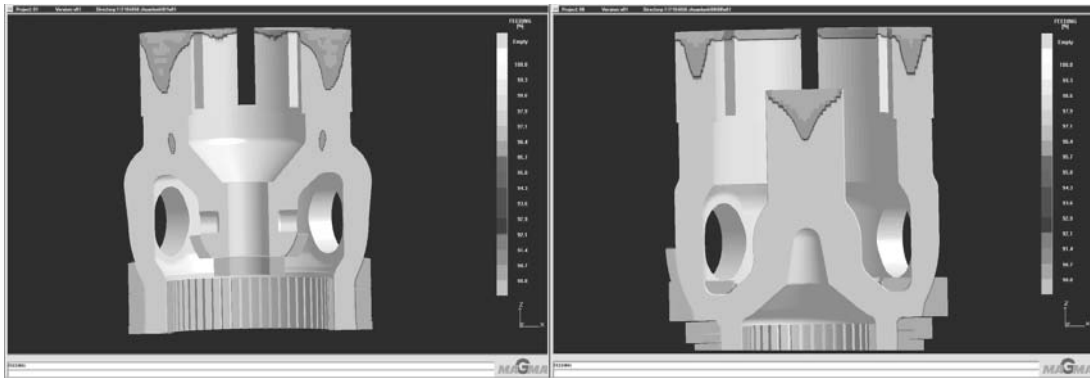


(a) 传统工艺

(b) 改进工艺

图2 铸件温度场

Fig. 2 Temperature field simulation



(a) 传统工艺

(b) 改进工艺

图3 铸件缩孔缩松模拟

Fig. 3 Shrinkage and dispersed shrinkage simulation



图4 转轮体

Fig. 4 Machined runner hub

表3 转轮体的力学性能

Table 3 Mechanical properties of runner hub casting

热处理状态	$R_{eL}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A/\%$	$Z/\%$	$A_{KV}/\text{J}$	HB	弯曲试验
正火+回火	400	528	31	62	92 (均值)	149	无裂纹

## 5 结束语

通过对转轮体的材料成分、熔炼工艺、铸造工艺的优化及工艺实施过程控制,成功生产出净重155 t的ZG20Mn转轮体铸件,与传统工艺相比节约钢液26 t,铸件内外部质量达到技术指标要求,证明了改进工艺方案和工艺参数选择的合理性。

### 参考文献:

- [1] 孙颖, 庞立军. 大型轴流式水轮机转轮体刚度对比分析 [J]. 机械工程师, 2012 (4): 106-107.
- [2] 郭凡. 水轮机转轮体的结构分析 [J]. 东北林业大学学报, 2002 (1): 68-70.
- [3] 施世葵. 转轮体铸造工艺的优化设计 [J]. 大型铸锻件, 1994 (4): 24-27.
- [4] 王祖滨, 东涛. 低合金高强度钢 [M]. 北京: 原子能出版社, 1996.

---

## Casting Process of Large Runner Hub

LIANG Min<sup>1,2,3</sup>, JIA Guan-fei<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Jing<sup>1,2</sup>, YANG Ji-hong<sup>1</sup>

( 1. CITIC Heavy Industries Co., Ltd., Luoyang 471003, Henan, China; 2. Luoyang CITIC Casting and Forging Co., Ltd., Luoyang 471003, Henan, China; 3. Henan Province Heavy Casting & Forging Technology Center, Luoyang 471003, Henan, China )

### Abstract:

Through the structure analysis of the runner hub, the technological parameters such as riser, pad and chill were designed according to the method of hot spot and modulus, and the casting process was optimized with the help of MAGMASOFT simulation software. By controlling strictly the charge and molten iron compositions and smelting process, ZG20Mn runner hub with a net weight of 155 t was successfully produced, and the internal and external quality of the casting reached the technical requirements, which proved the rationality of the optimized casting process and the selected process parameters.

### Key words:

runner hub; numerical simulation; casting process