

• 工艺技术 Technology •  
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.02.005

# KB-75 泥浆泵空气包外壳铸造工艺研究与优化

宋 伟,王高社,李继峰,王平怀,张亚林,曹凌升  
(宝鸡石油机械有限责任公司热工分公司,陕西 宝鸡 721000)

**摘要:**通过体视显微镜和金相显微镜对泥浆泵空气包外壳的缺陷组织进行了分析和探讨并采用三维凝固模拟软件验证了分析探讨的结果。采用三维凝固模拟对泥浆泵空气包外壳的铸造工艺进行了优化并制定了两种改进方案。新的工艺实现了顺序凝固,消除了缺陷,成功生产出合格铸件并提高了表面质量,验证新工艺方案的有效性。

**关键词:**空气包;缺陷;凝固;数值模拟;铸造工艺

中图分类号: TG269

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2021)02-0090-05

## Study and Optimization of Casting Process of KB75 Mud Pump Air Chamber Casing

SONG Wei, WANG Gaoshe, LI Jifeng, WANG Pinghuai, ZHANG Yalin, CAO Lingsheng

(Thermal Industry Branch of Baoji Oilfield Machinery Co., Ltd., Baoji 721000, China)

**Abstract:** The defect structures of steel mud pump air chamber casing was analyzed by using stereo microscope and metallographic microscope and also verified by three-dimensional solidification simulation software. The casting process of the air chamber casing was optimized and the two new improved casting processes were made by using the three-dimensional solidification simulation software. The new casting process has achieved sequential cooling, eliminated defects and improved surface quality. Steel air chamber casing castings were successfully produced which verified the effectiveness of the new process.

**Key words:** air chamber casing; defects; solidification; numerical simulation; casting process

近年来,随着钻井技术和钻井新工艺的迅速发展,随着石油钻采向深井、超深井发展,对钻井泵的各方面性能要求大大提高,需要有高性能、高稳定性、高质量、大马力的钻井泵,在钻井行业中,钻井泥浆泵被誉为钻机的“心脏”,是钻机循环系统的重要设备,钻井泵在钻井过程中将高压钻井液经循环管汇输送至井底,用于冷却钻头、清洁井底、破碎岩石、携带岩屑和平衡底层压力等<sup>[1-3]</sup>。作为泥浆泵的关键部件空气包则能够平衡泥浆高压管汇里面排量和压力波动,而空气包的外壳是钻井泵的一个关键的承压零件,同时它又是一个外露的零件。所以它的质量是否可靠对于钻井作业来说是直接影响安全生产的首要因素。空气包外壳工作状态要求具有高的密闭性和紧实度,内部不允许出现缩孔缩松等缺陷,需要很高的致密性保证,以防在高压下发生气体泄漏造成质量事故<sup>[4,5]</sup>。因此,本文作者通过对

KB-75 空气包外壳(以下简称空气包)质量缺陷的研究和分析,优化铸造工艺参数,从而提高产品质量及合格率。

## 1 空气包原铸造工艺分析

### 1.1 原铸造工艺方案

图 1 为空气包原铸造工艺方案,毛坯重 820 kg,浇注钢液总重为 1 220 kg,出品率为 67%,内浇道设置在铸件底部,保证了钢液平稳注入铸型型腔,同时有利于排气。空气包底部放置外冷铁,使铸件底部厚大部位激冷,首先凝固,保证铸件整体的顺序凝固,由于铸钢件收缩率大,故在铸件顶部放置了直径为

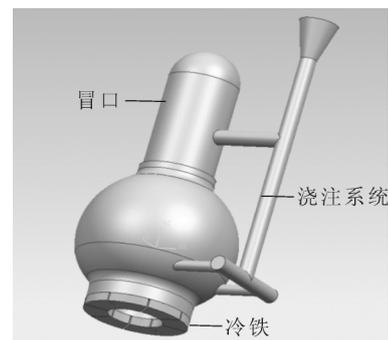


图 1 空气包原铸造工艺图方案  
Fig.1 Original casting process of air chamber casing

收稿日期: 2020-10-28

基金项目: 2019 年中国石油天然气集团公司资助课题(2019B-4014)

作者简介: 宋 伟(1984-), 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 工程师。主要从事合金熔体处理及其强韧化, 铸造工艺及凝固模拟技术研究方面的工作。电话: 0917-3855366,

E-mail: songwei-weiwei@163.com

$\phi 300$  mm, 高为 600 mm 的保温冒口, 使铸件能得到充分补缩, 同时给冒口通一道内浇道, 增强冒口的补缩能力<sup>[6-8]</sup>。

## 1.2 原铸造工艺方案存在的缺陷

CPTDC 钻探装备部发现我公司生产的空气包内表面存在表面裂纹或热裂等铸造缺陷, 为此对空气包进行宏观和微观组织分析。

### 1.2.1 裂纹缺陷宏观分析

空气包大部分缺陷出现在大端, 主缺陷呈水平方向延伸如图 2、图 3, 部分缺陷有分叉现象如图 3。两个最大缺陷大约处在空气包壁厚减薄区域, 在同一高度, 大约呈 110 度圆心角夹角, 如图 3。



图 2 空气包缺陷分布情况  
Fig.2 Defect distribution of mud pump air chamber casing

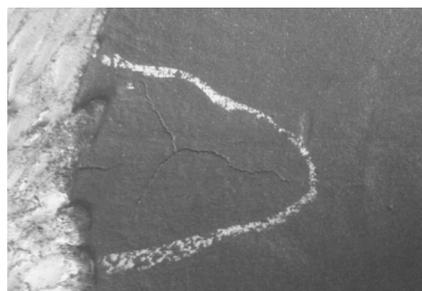


图 3 空气包缺陷局部放大图  
Fig.3 Local enlargement of defects of air chamber casing

由图 2、图 3 看出, 裂缝形状扭曲, 走向不规则, 附近也有一些较小的孔洞类缺陷。将空气包缺陷横向切开, 切开部分目视可见缺陷深度大约为 20 mm。在体视显微镜下观察, 其形貌如图 4。

将空气包缺陷打开, 在体视显微镜下观察, 其

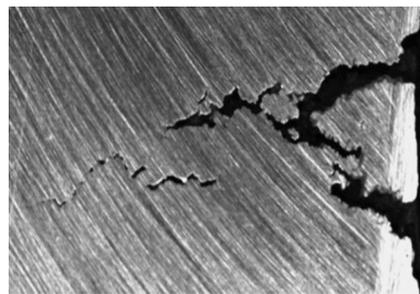


图 4 缺陷横切面形貌  
Fig.4 Defects morphology on cross section

断口形貌如图 5 所示。由图 4、图 5 看出, 其断口为结晶状断口, 端口表面覆盖着一层氧化皮。

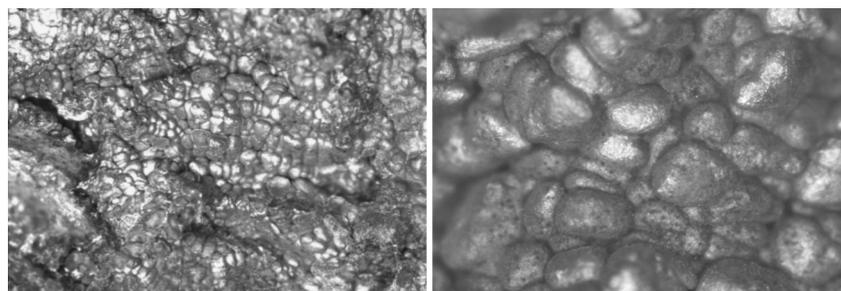
### 1.2.2 裂纹缺陷显微分析

对空气包缺陷附近组织分析, 采用焦亚硫酸盐系彩色金相腐蚀剂腐蚀后其组织如图 6。由显微组织照片可以看出, 缺陷产生处均为枝晶生长末端或枝晶间隙(如图 6(a)、图 6(b)), 在缺陷处有明显的脱碳现象如图 6(c)、图 6(d)所示。图 6(e)、图 6(f)为空气包材料组织, 由图 6(e)、图 6(f)可以看出, 空气包内表面附近材料的组织为贝氏体+回火索氏体。夹杂物大多分布在蓝色区域、大多为复合夹杂物, 基体材料组织为正常调质组织。

## 2 原铸造工艺方案模拟分析

用 UG 分别建立三维模型, 导出对应的实体模型 STL 文件。再将 STL 文件导入 CASTSOFT 软件在工艺方案模拟的前处理阶段。初始条件主要有: ①网格的划分: 网格划分为 1000 000; ②设定模拟条件: 空气包材料为 ZG35CrMoA, 化学成分见表 1, 目标工艺为砂型铸造, 分析类型为充型过程及凝固过程, 浇注温度为 1 570 °C, 浇注速度为 0.018 m/s; ③求解条件的设定: 设定求解方程、终止条件、数据保存等; ④求解, 启动求解器。

由模拟结果可以看出, 在距  $\phi 432$  mm 下端面 120~160 mm, 空气包内壁 10 mm 范围内有一圈约  $\phi 20$  mm 大小的缩孔区域, 如图 7(a), 缩松范围较



(a)空气包缺陷断面(低倍) (b)空气包缺陷断面(高倍)

图 5 空气包缺陷断面

Fig.5 Defects on fracture section of air chamber casing

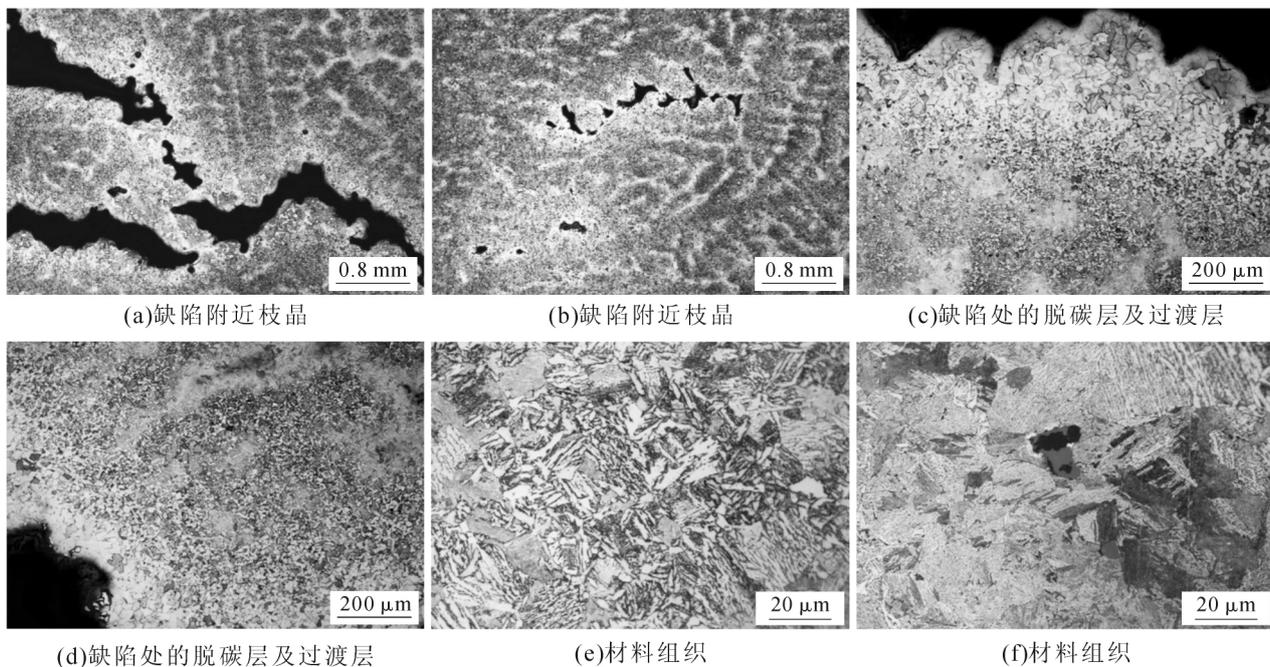


图6 空气包缺陷显微组织  
Fig.6 Microstructure of defects of air chamber casing

表1 ZG35CrMoA化学成分 w(%)  
Tab.1 Chemical constituents of ZG35CrMoA

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
0.30~0.37	0.30~0.50	0.50~0.80	≤0.025	≤0.025	0.80~1.20	0.20~0.30

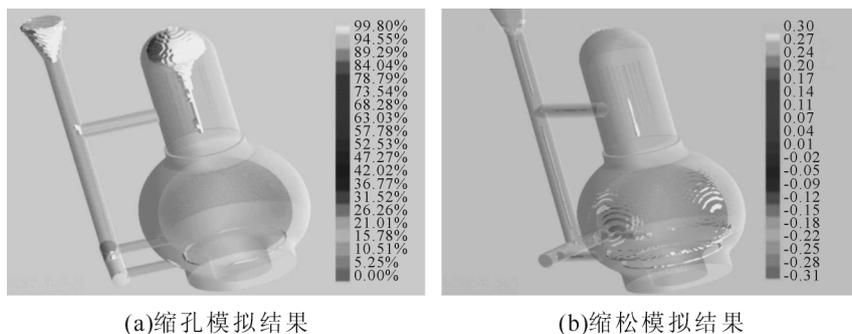


图7 原铸造工艺收缩缺陷模拟结果  
Fig.7 Simulation result of shrinkage defects of original casting process

大,较分散,主要位于空气包的中下部,如图7(b)。

通过宏观分析、断口分析和缺陷附近显微组织分析结果可以看出,空气包缺陷裂缝附近有内缩孔或缩松与之连通,缺陷附近枝晶形貌完整,断口枝晶形貌整齐排列,枝晶末端呈球形,即此缺陷的特征完全符合缩裂的特征,因此认为此缺陷是由于空气包浇注和凝固过程中的体收缩产生收缩缺陷而导致空气包缩裂,这也从铸造工艺凝固模拟得到验证<sup>[9,10]</sup>。

### 3 空气包铸造工艺方案优化

根据以上分析确定空气包裂纹缺陷是缩裂的特征,结合空气包原铸造工艺,分析认为该裂纹主要产生在大端面的颈部,是由于铸件补缩通道不

畅,从而造成该部位补缩不良,产生了缩孔缩松缺陷,导致空气包的缩裂。既然裂纹产生的原因是由于补缩通道不畅,造成在铸件凝固时补缩不充分形成缩裂<sup>[11-13]</sup>,因此铸造工艺的优化也就从此着手。

#### 3.1 空气包铸造工艺优化方案一

为了空气包在凝固过程中获得良好的补缩效果,加大了其补缩通道,空气包内外壁从下到上都逐渐加厚,由壁厚70 mm渐变到120 mm,改进后的空气包铸件重885 kg,浇注钢液总重1235 kg,出品率为71.7%。图8(a)为铸造工艺优化后的剖面图,图8(b)、图8(c)为缩孔、缩松的凝固模拟结果,从凝固模拟结果可以看出,工艺优化后,缩孔问题基本消失,但在大端面的颈部(内表面下20 mm左右)还有缩松现象。

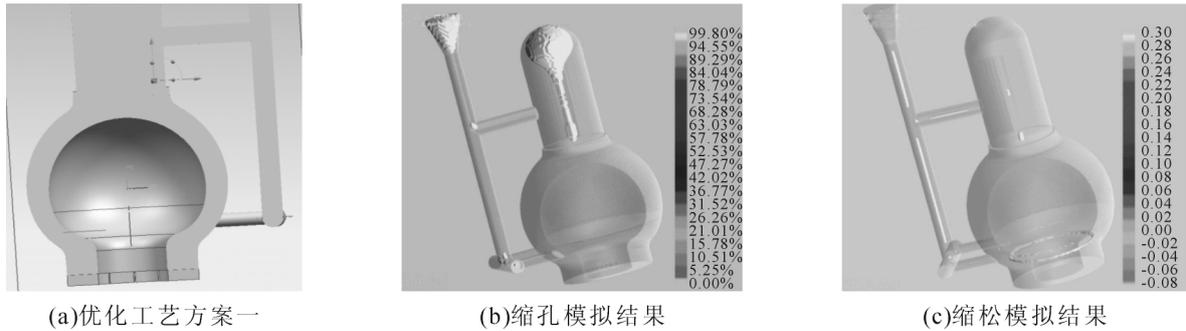


图 8 空气包优化工艺方案一及收缩缺陷模拟结果

Fig.8 Simulation result of shrinkage defects of optimizing technology plan 1

### 3.2 空气包铸造工艺优化方案二

优化方案一对空气包内外壁加厚,虽然解决了内壁的缩孔问题,但是内壁增加的厚度使得内腔的尺寸小于设计尺寸,满足不了安装气囊的要求,因此我们对空气包的补缩通道重新进行优化,为了便于加工,把壁厚上增加的厚度都放在外表面,同时为了使大端加快凝固,大端面的底面加上冷铁。

图 9(a)为铸造工艺重新优化后的剖面图,图 9(b)、图 9(c)为缩孔、缩松的凝固模拟结果,从凝固

模拟的结果可以看出,工艺重新优化后,铸件实现了顺序凝固,在大端面的颈部(内表面下 20 mm 左右)的缩松现象也基本消除。

## 4 空气包的生产及改进效果

按照空气包铸造工艺优化方案二,我们重新制作新模型,按照空气包铸造工艺优化方案二,生产试制 75 空气包共 7 件,对其中 2 件进行了解剖,具体见图 10,并进行了磁粉探伤,发现除大端面颈部有

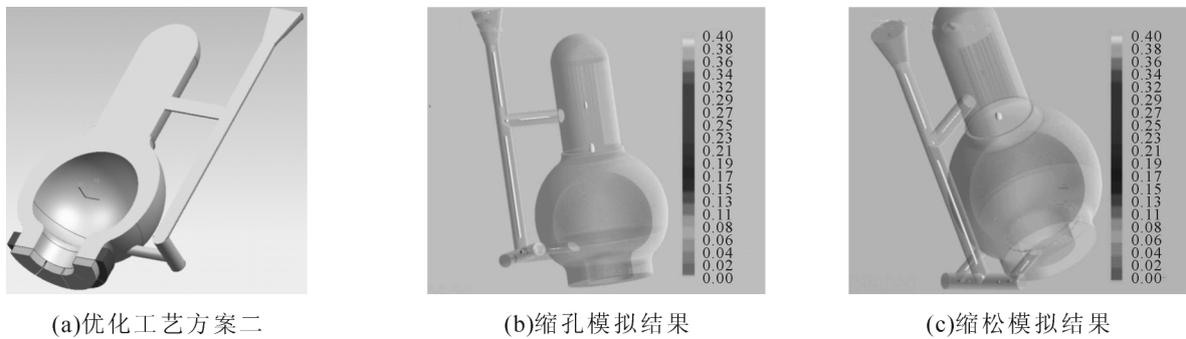


图 9 空气包优化方案二及缩孔缩松模拟结果

Fig.9 Simulation result of shrinkage defects of optimizing technology plan 2

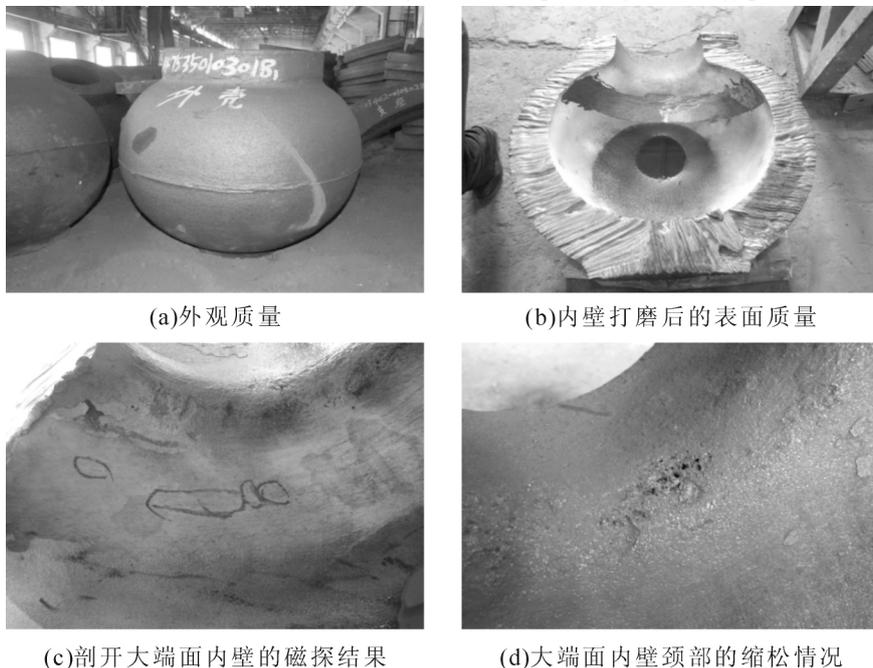


图 10 优化工艺后空气包质量情况

Fig.10 Quality situation of air chamber shell after optimized technology

局部缩松的现象,内壁裂纹的情况基本消除。

通过铸造工艺改进与优化,空气包的内壁裂纹问题虽然得到了解决,在空气包批量生产中还存在有砂眼、气孔等少量缺陷,针对此问题,采取了以下措施:一是通过改变芯盒结构,以便于捣实砂型,同时放置铬矿砂从而消除大端颈部砂眼;二是将冷铁

表面涂料进行烘烤,提高冷铁表面光洁度,以消除大端面的气孔<sup>[14-17]</sup>。

按照空气包铸造工艺优化方案二,采取以上措施生产试制 75 空气包共 8 件,对其中 1 件进行了解剖,对其内壁进行了磁粉探伤,发现内壁裂纹和缩松的现象基本消失。具体见图 11。

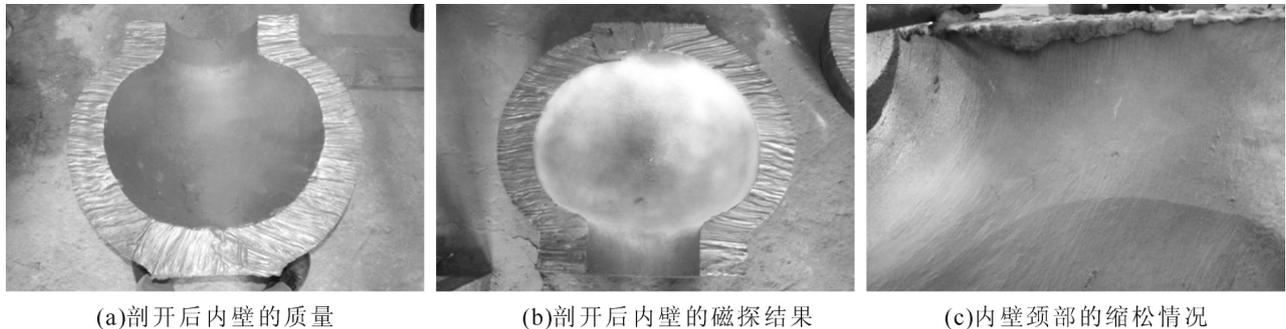


图 11 优化工艺后空气包质量情况  
Fig.11 Quality air chamber casing made by optimized process

## 5 结论

(1)采用体式显微镜和金相显微镜对空气包缺陷组织的分析,得出空气包大端颈部裂纹为缩孔缩松缺陷导致的缩裂,利用铸造模拟软件对空气包原铸造工艺进行模拟分析,缩裂是由于空气包补缩通道不畅,钢水补缩量不足,没有实现顺序凝固,在浇注或凝固过程中体积收缩而形成的。

(2)通过铸造工艺改进与优化,即增加空气包外壁厚度增大钢水补缩通道,采取合理芯盒结构,提高砂型紧实度,放置铬矿砂,提高冷铁表面光洁度等措施,可以有效的减少空气包的气孔、砂眼等铸造缺陷,同时为了使空气包大端加快凝固,大端面的底面加上冷铁,从而消除了大端颈部的缩松缺陷。

### 参考文献:

- [1] 周志雄,唐春晓,方太安,等.超深井钻机创新技术及其发展趋势[J].石油矿场机械,2018,47(4):14-18.
- [2] 张洪生,李跃强.国内外钻井泵发展现状与展望[J].化工机械,2019,46(1):1-3,57.
- [3] 何长江,周小冬.钻井泵的技术发展趋势[J].机械,2015,42(S1):22-24,45.
- [4] 陈云龙,魏航信.5000PSI 泥浆泵球形排出空气包壳体强度分析

[J].机械研究与应用,2014,27(5):168-170.

- [5] 孙松尧.三缸单作用钻井泵空气包体积的设计计算[J].石油矿场机械,2005(6):44-46.
- [6] 刘传宝.外冷铁在大型铸钢件生产中的应用[J].一重技术,2008(3):41-42.
- [7] 高宗为,王瑞权,张红专,等.基于保温补贴的铸钢件集中补缩方法[J].铸造,2014,63(11):1165-1167.
- [8] 贾泽春.出口铸钢件支座的工艺设计及铸造生产[J].铸造技术,2012,33(03):348-350.
- [9] 吕云霞.基于 ProCAST 软件的大型铸钢件缩孔缩松预测判据及铸造工艺优化[J].铸造技术,2015,36(11):2725-2727.
- [10] 王世昕.CAE 模拟技术在铸钢件工艺设计中的应用[J].铸造,2015,64(3):225-228.
- [11] 罗怀晓,李云.ZG25 铸钢件裂纹产生原因分析[J].铸造技术,2017,38(1):120-121.
- [12] 陈淑惠.阀门铸钢件的裂纹缺陷分析及工艺控制[J].铸造技术,2008(7):860-863.
- [13] 张文来,张坤,于普涟,等.铸钢件出料衬套缩裂缺陷的防止[J].铸造技术,2013,34(12):1820-1821.
- [14] 陈淑惠.阀门铸钢件的缩松、夹杂类缺陷分析及工艺控制[J].铸造技术,2008(8):995-998.
- [15] 张良.酯固化碱酚醛树脂砂铸钢件气孔防治技术分析[J].铸造技术,2010,31(5):544-546.
- [16] 王孝良,武晓峰.消失模铸钢件侵入性气孔产生的原因与防止措施[J].热加工工艺,2011,40(17):195-197.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2021 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:25 元/本 海外定价:25 美元/本