

高油压大型厚断面注塑机模板球墨铸铁件 铸造工艺研发

宋贤发¹, 贾志欣², 李继强², 周宁¹, 项铮宇¹, 吴超¹

(1. 宁波拓铁机械有限公司, 浙江宁波 315100; 2. 浙大宁波理工学院, 浙江宁波 315100)

摘要: 大型厚断面模板是高油压注塑机的关键部件之一。本文介绍了该类球墨铸铁件的工艺难点, 设计了分型方案、浇冒系统和冷却系统, 并借助CAE软件模拟分析了缩孔与缩松缺陷。通过材料微合金化处理, 严格控制球化、孕育及浇注过程, 铸件超声波探伤检测结果符合EN 12680-3: 2011标准1级要求, 达到20 MPa油压要求。附铸试块的力学性能和金相组织均符合客户技术条件: 抗拉强度 ≥ 390 MPa, 屈服强度 ≥ 260 MPa, 伸长率 $\geq 8\%$, 球化率90%。

关键词: 球墨铸铁; 浇冒系统; 激冷系统; CAE分析

中图分类号: TG255.1; TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 05-0561-06

DOI: 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0075

Research and Development of Casting Process of Large-Sized and Heavy Section Ductile Iron Template Component for High Oil Pressure Injection Molding Machine

SONG Xian-fa¹, JIA Zhi-xin², LI Ji-qiang², ZHOU Ning¹, XIANG Zheng-yu¹, WU Chao¹

(1. Ningbo Tuotie Machinery Co., Ltd., Ningbo 315100, Zhejiang, China;

2. Ningbo Tech University, Ningbo 315100, Zhejiang, China)

Abstract: The large-sized and heavy section template is one of the key components of high oil pressure injection molding machine. This paper introduces the technological difficulties of such ductile iron castings, designs the parting scheme, the gating and feeding systems, and the cooling system, and simulates and analyzes the shrinkage cavity and porosity defects with the help of CAE software. Through material micro-alloying treatment and strict control of the spheroidization, the inoculation and the pouring processes, the ultrasonic flaw detection results of the castings meet the level 1 requirements of EN 12680-3: 2011 standard and reach the oil pressure requirement of 20 MPa. The mechanical properties and metallographic structures of the cast-on test blocks all meet the customer's technological specifications: tensile strength ≥ 390 MPa, yield strength ≥ 260 MPa, elongation $\geq 8\%$, and spheroidization rate 90%.

Key words: ductile iron; gating and riser system; cooling system; CAE analysis

1 高油压注塑机模板球墨铸铁件的 工艺难点

注塑机锁模液压系统结构较为复杂, 所需的液压缸铸件使用条件要求高, 如具备高的力学性能, 不允许出现裂纹、冷隔、缩孔、疏松和夹渣等缺陷, 且铸件不得渗油、漏油。由于液压铸件的铸造工艺难度大, 目前大多数注塑机制造厂家主要采用锻造钢件。本研发围绕HA5500高油压注塑机模板球墨铸铁件的技

术难点展开了攻关。

高油压注塑机模板产品毛坯重8 250 kg, 浇注重量9 150 kg, 材料为球墨铸铁QT450-10A, 外形尺寸2 022 mm \times 1 660 mm \times 1 020 mm, 最大壁厚365 mm, 属于大型厚断面球墨铸铁件, 需满足20 MPa高油压要求。

(1) 产品有8个铸孔直接作为油缸孔使用, 不允许有缩孔、缩松等铸造缺陷, 也不允许出现渗油、漏油现象; 孔壁加工后, 其内表面粗糙度要求为Ra0.4~0.8 μm , 同时需满足20 MPa油压要求。

基金项目: 2025年度浙江省省级工业新产品开发项目(202506A03386)。

收稿日期: 2025-11-24 收到初稿, 2026-01-24 收到修订稿。

作者简介: 宋贤发(1966-), 男, 教授级高工, 长期从事铸造工艺、铸造生产质量管理等方面工作。E-mail: sxf@nbtuotie.com

通信作者: 贾志欣, 女, 教授。E-mail: jzx@nbt.edu.cn

引用格式: 宋贤发, 贾志欣, 李继强, 等. 高油压大型厚断面注塑机模板球墨铸铁件铸造工艺研发[J]. 铸造, 2026, 75(5): 561-566.

SONG Xianfa, JIA Zhixin, LI Jiqiang, et al. Research and development of casting process of large-sized and heavy section ductile iron template component for high oil pressure injection molding machine[J]. Foundry, 2026, 75(5): 561-566.

(2) 产品断面365 mm厚的部位有两层 $\Phi 30$ mm油道孔, 这些与油缸孔相连通的通孔直接作为高压油道, 不允许有缩孔、缩松等铸造缺陷, 且不允许出现渗油、漏油现象。

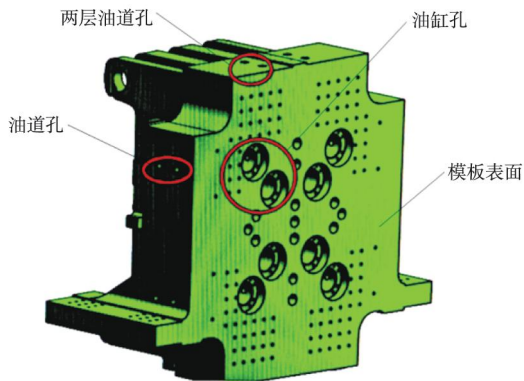


图1 注塑机用球墨铸铁模板三维铸件图

Fig. 1 3D casting diagram of ductile iron template used for injection molding machine

2 铸造工艺设计

2.1 分型面的选择

根据尽量将质量要求高的部位放在下部、将铸件的全部或大部分放在同一箱内、减少分型数量等原则^[1], 针对注塑机模板的结构特点, 将模板工作面放在底部。

2.2 浇注系统设计

以充型平稳、分散为原则, 合理设计浇注系统, 使铁液稳流进入型腔, 并起到挡渣、隔渣作用。设计底注式浇注系统, 采用分散内浇道平稳充型与同时凝固技术, 在横浇道与内浇道连接部位设置过滤网, 设置多道内浇道, 减少金属基体中夹杂物数量, 以提高铸件的力学性能。内浇道、直浇道用陶瓷管制作, 减少冲砂缺陷。

浇注系统各组元的大小: $F_{直}$ 为内径 $\Phi 100$ mm的陶瓷管1支; 横浇道有2个, 呈梯形, $F_{横}$ 为60/70 (高80 mm), 放置过滤网部位尺寸加大, 起到缓冲作用; 内浇道 $F_{内}$ 为内径 $\Phi 40$ mm的陶瓷管, 共8道。如图2所示。

出气孔应摆放在最易出现浮渣或排气不畅通的部位, 这有利于将铸型内的浮渣和气体排出型腔, 同时能引导并改变铁液的流动方向。为强化对铸件液态收缩的补给能力, 在铸件上平面的最高点设置2排 $\Phi 100$ mm \times 600 mm的缩颈补缩冒口, 且冒口高度 ≥ 400 mm, 以便于铸件在液态收缩时进行补缩。铸造工艺图如图3所示。

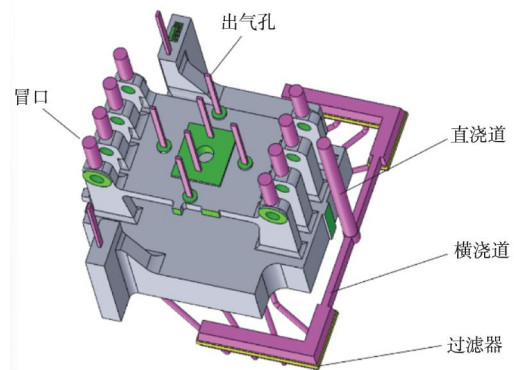


图2 浇注系统结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of gating system structure

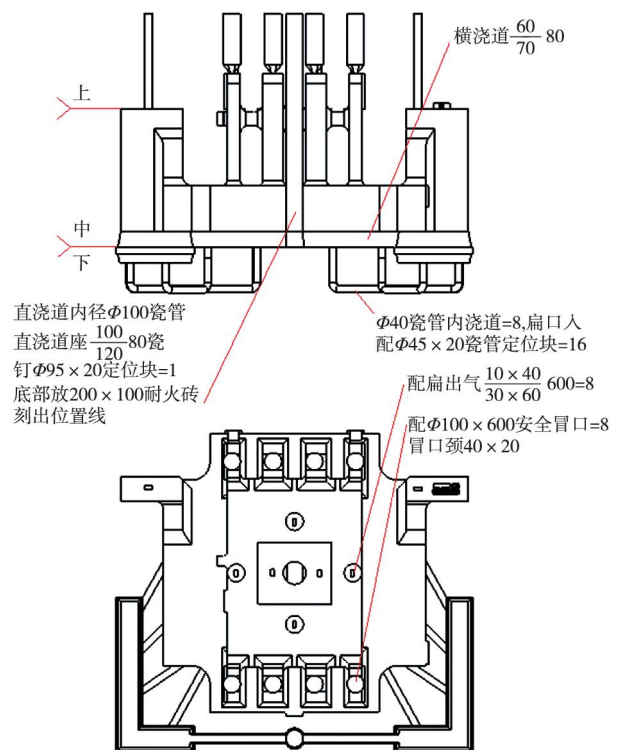


图3 铸造工艺图

Fig. 3 Casting process diagram

2.3 冷却系统设计

冷铁的作用是加快铸件热节部位的冷却, 防止产生缩松、缩孔等缺陷。通过对产品结构分析, 采用如图4所示的大量冷铁布局方案, 提高大型厚大断面的冷却速度, 消除热节处的铸造缺陷。

2.4 CAE 分析

计算机模拟技术为铸造工艺的合理设计提供了指导^[2-11]。采用ProCAST软件对铸件充型、凝固过程中的温度场、速度场、压力场和质量缺陷进行动态模拟, 为优化铸造工艺提供了保证。

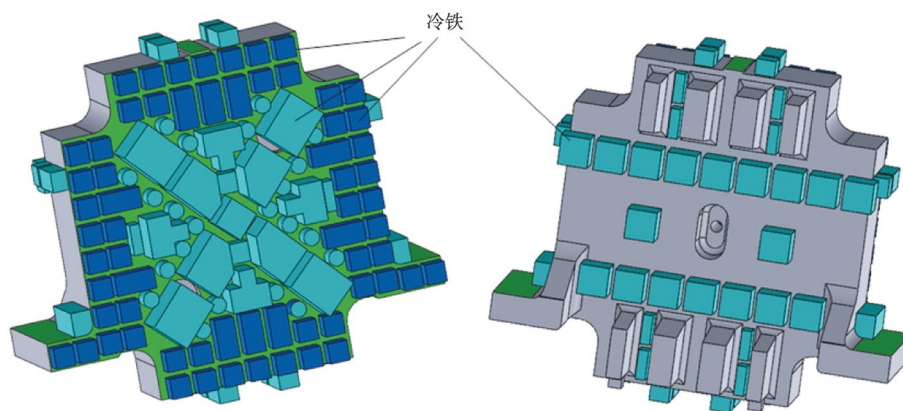


图4 冷铁布置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of chill layout

图5为充型过程的温度分布。由分析结果可知，金属液在充型流动过程中较为平稳，铸件温度分布较为均匀，无温度过低区域，充型时间为119 s。

图6是铸件凝固过程中的固相率分布，图7是缩松、缩孔缺陷预测图。可能产生缩松、缩孔缺陷的部位远离油道孔和油缸孔部位。根据模拟分析结果可

知，该浇冒系统和冷铁设计方案是合理的。

3 铁液制备与熔体处理

铸件属于大型厚断面球墨铸铁件，必须严格控制化学成分^[12-16]。合理控制碳、硅和锰的含量，尽量降低磷和硫的含量。

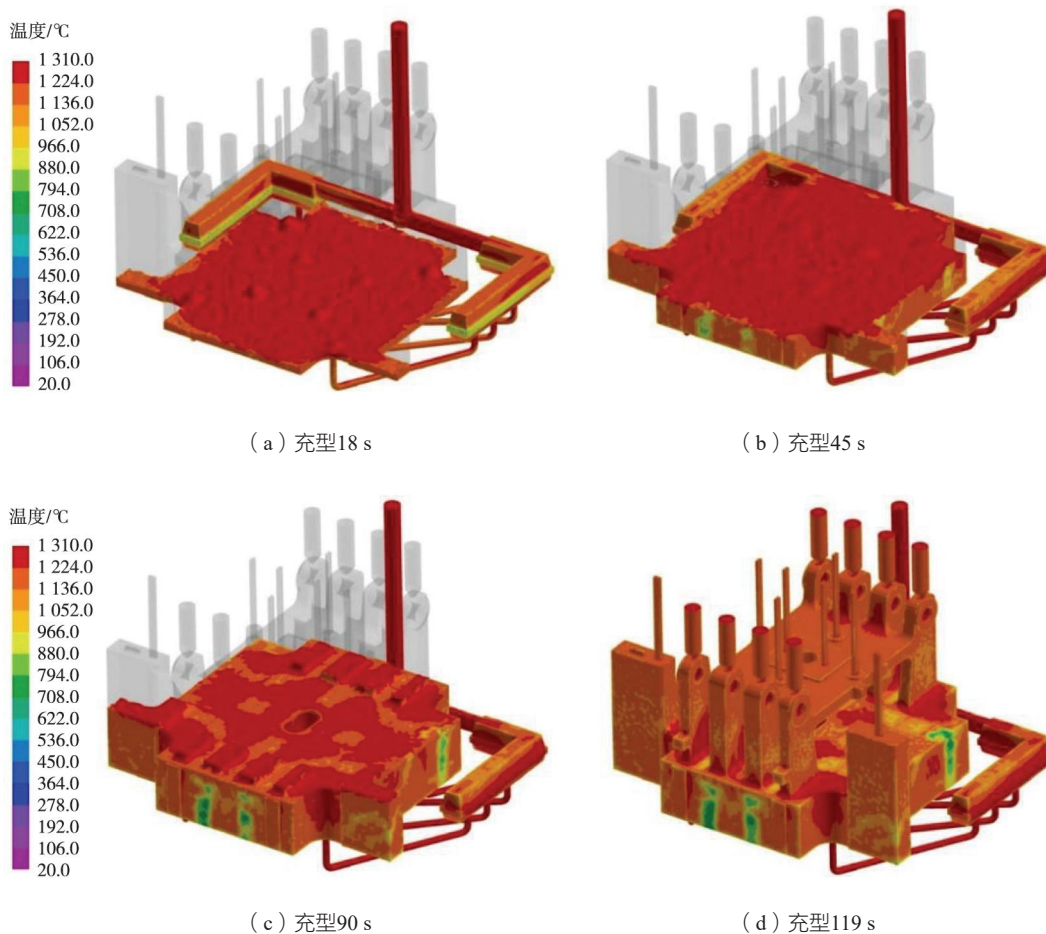


图5 铸件充型过程的温度场分布

Fig. 5 Temperature field distributions during mold filling process of the casting

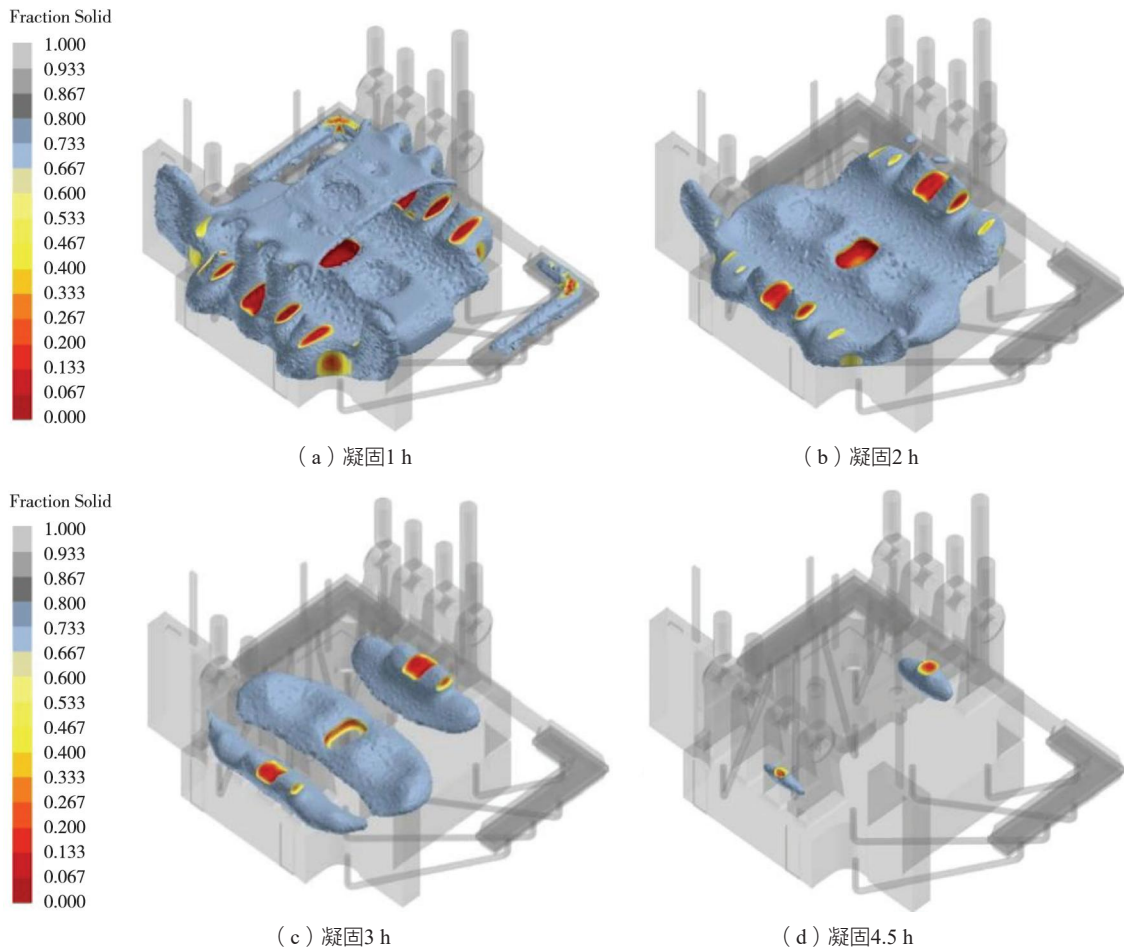


图6 铸件凝固过程中的固相率场分布

Fig. 6 Solid fraction field distributions during solidification process of the casting

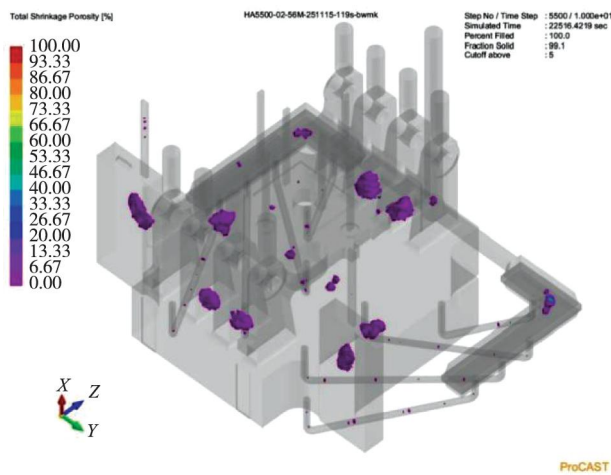


图7 缩松、缩孔缺陷模拟分析结果

Fig. 7 The simulation analysis results of shrinkage porosity and cavity defects

(1) 称取以下质量分数的原料：生铁40%，废钢40%，回炉料20%；增碳剂的加入量为生铁、废钢和回炉料总量的1.35%。

(2) 将全部生铁、废钢和回炉料放入熔炼炉内，

加料中途一次性加入增碳剂。加热使炉料熔化，待炉料熔清后加入FeSi75硅铁，硅铁的加入量为生铁、废钢及回炉料总质量的1.4%，得到原铁液。将原铁液继续加热到1 460 ℃，获得原铁液的成分及质量分数为：3.60% C，1.78% Si，0.25% Mn，0.021% P，0.019% S，其余为铁。

(3) 采用冲入法球化，在球化包一侧的球化堤坝内，先加入球化剂并紧实，接着加入粒径为3~8 mm的孕育剂和1~5 mm的预处理剂并紧实，最后加入占原铁液质量0.006%的纯铈。

球化剂加入量为原铁液质量的1.1%，球化剂是由70%轻稀土镁合金与30%钇基重稀土镁合金混合而成；爆镁反应持续时间为105 s。

轻稀土镁合金成分：5.9% Mg，0.49% RE，44.8% Si，0.98% Ca，2.5% Ba，0.49% Al，0.37% MgO，余量为Fe。

钇基重稀土镁合金成分：6.0% Mg，0.9% RE，43.5% Si，2.2% Ca，0.55% Al，0.35% MgO，余量为Fe。

孕育剂加入量为原铁液质量的0.70%，孕育剂为

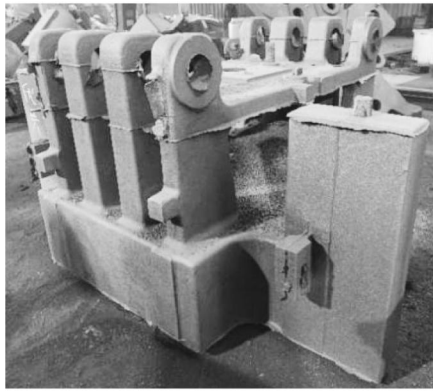
硅钡孕育剂，其元素质量分数为72% Si，1.0% Ca，2.0% Ba，0.70% Al，0.015% S，余量为铁。

预处理剂加入量为原铁液质量的0.20%，预处理剂为高钡处理剂，其元素质量分数为62% Si，0.8% Ca，10.5% Ba，0.65% Al，余量为铁。

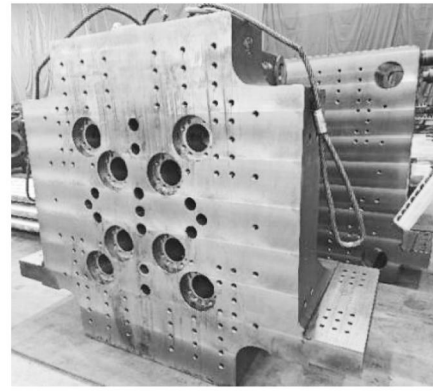
得到的铁液成分及质量分数为：3.42% C，2.77% Si，0.25% Mn，0.021% P，0.009 8% S，0.035% Mg，0.008 5% RE，0.005 6% Sb，CE=4.34，其余为铁。

(4) 将铁液转移至浇注现场，再次进行扒渣，扒渣后在铁液上表面用孕育剂进行浮硅孕育处理，孕育剂加入量为原铁液总量的0.08%。

(5) 浮硅孕育处理后，将铁液全部倒入浇注包内，静置5 min，当温度降至1 295 ℃时拔塞浇注。



(a) 铸件



(b) 机加工后

图8 模板球墨铸铁件

Fig. 8 The ductile iron template component

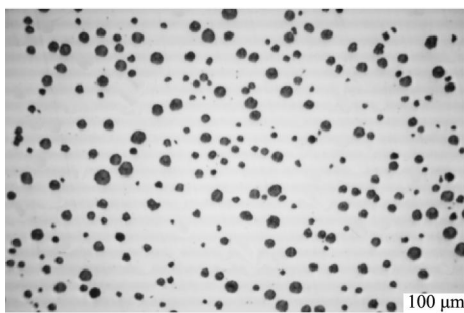


图9 附铸试块的金相组织

Fig. 9 Metallographic structure of the cast-on test block

表1 附铸试块力学性能

Tab. 1 Mechanical properties of the cast-on test block

项目	屈服	抗拉	伸长	硬度
	强度/MPa	强度/MPa	率/%	HBW
客户要求	≥390	≥260	≥8.0	130~170
实测值	421	365	20	149

4 实施结果

在CAE分析的基础上，严格控制铁液成分，加强球化和孕育处理，采用高刚度铸型。生产的铸件和机加工后的模板见图8。铸件进行无损探伤，超声波探伤检测结果符合EN 12680-3：2011标准1级要求；磁粉探伤检测结果符合EN 13697：2023标准的2级要求。附铸试块为GB/T 1348—2019标准的D型附铸试块（70 mm×105 mm×200 mm），其力学性能和金相组织分别如图9、表1和表2所示。石墨球形态圆整，分布均匀，球化率、石墨等级和力学性能均符合技术要求。机加工后，铸件油缸孔无铸造缺陷，表面粗糙度达到 $Ra0.4\sim0.8\ \mu\text{m}$ 。在20 MPa油压试验时，无渗油和漏油现象。

表2 附铸试块球化率和石墨大小

Tab. 2 Nodularity and graphite size of the cast-on test block

项目	球化率/%	石墨等级	石墨球尺寸/mm
客户要求	≥90	5~8级	0.015~0.06
实测值	95	6级	0.03~0.06

5 结论

(1) 针对铸件不允许出现缩孔缩松等铸造缺陷、以及渗油漏油现象，合理设计铸造工艺，采用分散内浇道平稳浇注与同时凝固技术，消除热节，实现油缸铸孔等关键部位无缩孔、缩松等铸造缺陷，满足其内表面粗糙度为 $Ra0.4\sim0.8\ \mu\text{m}$ 、且在20 MPa油压下无渗油漏油现象的技术要求。

(2) 选用生铁、回炉料和废钢等材料，严格控制微量元素以及硫、磷等杂质元素含量，合理控制硅含量范围，并加入微量元素铈进行合金化；采用70%轻稀

土镁合金与30%钇基重稀土镁合金球化剂对铁液进行球化处理；采用高钡处理剂和硅钡孕育剂对铁液进行复合处理，使高油压大型厚断面注塑机模板的抗拉强度

≥ 390 MPa，屈服强度 ≥ 260 MPa，伸长率 $\geq 8\%$ ，球化率达90%。

参考文献：

- [1] 项铮宇, 张亚敏, 周宁, 等. 大平面注塑机模板球墨铸铁件的铸造工艺设计 [J]. 现代铸铁, 2020, 40 (3): 46-49.
- [2] 贾志欣, 李继强, 宋贤发, 等. CAE分析在二板式注塑机用百吨级球墨铸铁定模板开发中的应用 [J]. 铸造, 2014, 63 (5): 461-464.
- [3] 张鑫, 宋贤发, 李继强, 等. 高液压射台前板球墨铸铁件铸造工艺设计 [J]. 铸造, 2024, 73 (2): 239-243.
- [4] 宋贤发, 贾志欣, 傅明康, 等. 百吨级注塑机模板球墨铸铁件的生产 [J]. 铸造, 2014, 63 (8): 819-823.
- [5] 陈忠士, 邹泽昌, 蓝敏俐, 等. QT700-3球墨铸铁凸轮轴壳型铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2022, 72 (3): 315-319.
- [6] 唐玉龙. 球墨铸铁件缩孔缩松缺陷预测的数值模拟研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- [7] 苏飞, 汪东红, 薛菁, 等. 6 MW大型风电主机架铸造工艺数值模拟与优化 [J]. 铸造, 2025, 74 (1): 91-97.
- [8] 魏伟, 沈闯, 张磊磊, 等. 厚大断面球墨铸铁尾架的研制 [J]. 铸造, 2023, 72 (8): 1051-1055.
- [9] 邱国强, 丁旭, 袁庆霓, 等. 某机床球墨铸铁台架铸造工艺分析及优化 [J]. 铸造, 2024, 73 (11): 1588-1591.
- [10] 任现伟. 球墨铸铁汽车换挡拨叉的铸造工艺研究与实践 [J]. 铸造, 2023, 72 (11): 1426-1431.
- [11] YOU M, DIAO X G. Simulation of casting process for ductile iron wind generator rotor shaft [J]. Metallurgy Technology and Materials, 2012, 567: 141-145.
- [12] 陈鹏辉, 柯志敏. 铸态QT500-14射台前板铸件熔炼工艺浅析 [J]. 铸造设备与工艺, 2019 (5): 17-19.
- [13] 潘密, 邵斌, 杨宗明, 等. QT350-22AL厚大断面低温球墨铸铁件熔炼生产工艺 [J]. 铸造, 2022, 71 (9): 1169-1172.
- [14] 瞿铁, 刁晓刚, 魏伟, 等. 厚大断面球墨铸铁齿轮铸件的研制 [J]. 铸造, 2023, 72 (3): 315-319.
- [15] DONG Bowen, ZHU Chunchuan, ZHENG Huayi, et al. Novel insight into graphite morphology evolution in large-section ductile iron bearing seats and the influence on mechanical properties with the guidance of phase diagram calculation and Finite Element Method [J]. Journal of Materials Research and Technology, 2025, 36: 1730-1742.
- [16] BENEDETTI M, PEDRANZ M, LUSUARDI D, et al. Defect-sensitive fatigue assessment of heavy-section ductile cast irons: a comparative study of pearlitic and high-silicon ferritic grades [J]. International Journal of Fatigue, 2026, 206, 109455.