·工艺技术 Technology·

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2024.4072

# 某型船用柴油机缸盖铸造缺陷分析及解决方法

高 博[1],张 宏[2],雷王平[2],郑 俊[3],王梅东[3],闫月须[3],杨军军[2],田 英[2]

(1. 海军装备部,陕西 兴平 713102;2. 陕西柴油机重工有限公司,陕西 兴平 713102;3. 中核工程咨询有限公司,北京 100073)

**摘 要**:目前对于厚大球墨铸件的缩松缺陷研究较多,但缺乏对薄壁处缩松缺陷的研究,特别是复杂架构铸件薄壁缩松缺陷。针对本公司某型船用缸盖进排气筒缩松缺陷和弹簧座面夹渣问题,进行缺陷原因分析,并采取相应的措施进行工艺优化:①通过改进排气孔的冷铁工艺来消除孤立热节;②在弹簧座面增加加工余量,使得渣子充分上浮从而全部机加去除。通过后续机加结果表明,工艺改进后的缸盖缺陷全部消除,质量得到有效提升,合格率由 50% 提升至 93%。

**关键词**:缸盖;球墨铸铁;薄壁缩松缺陷;孤立热节

**中图分类号**:TG143.5; TG245 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2024)09-0901-05

## Analysis and Solution of Casting Defects in the Cylinder Head of a Certain Marine Diesel Engine

GAO Bo[1], ZHANG Hong[2], LEI Wangping[2], ZHENG Jun[3], WANG Meidong[3], YAN Yuexu[3], YANG Junjun[2], TIAN Ying[2]

(1. Department of Navy Equipment, Xingping 713102, China; 2. Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd., Xingping 713102, China; 3. China Nuclear Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing 100073, China)

**Abstract**: At present, there is much research on the shrinkage defects of thick and large ductile iron castings. However, less research has focused on shrinkage defects in thin-walled parts, especially in complex structure castings. This paper analyses the cause of the shrinkage defects in the intake and exhaust pipes of a certain type of marine cylinder head and the slag inclusion problem on the spring seat surface of our company. Corresponding measures were taken to optimize the process: ① the isolated hot spots were eliminated by improving the cold iron process of the exhaust hole; ② the machining allowance was added on the spring seat surface so that the slag was fully floated and removed by machining. The subsequent machining results show that all defects in the cylinder head after the process optimization have been eliminated. The quality has been effectively improved, with the qualification rate increasing from 50% to 93%.

**Key words**: cylinder head; nodular iron; thin-walled shrinkage defect; isolated hot spot

船用柴油发动机是船舶动力运行的关键部件,其缸盖质量直接影响柴油机整体性能和安全性[1-3]。同时缸盖也是发动机中服役状态最恶劣的零部件[4-5],在服役时缸盖需要承受交变高低温和脉动高低压作用,因此对缸盖零件质量要求极高[6-7]。

球墨铸铁由于具有较高的强度,较好的韧性以及耐磨性和耐冲击性,已成为大功率中高速柴油机机身首选材料[8-9]。但是球墨铸铁呈糊状凝固,具有较大的缩松缩孔倾向。球墨铸件缩松问题的研究大多数针对厚大部位,对薄壁铸件涉及比较少[10-11]。因此在缸盖的铸造工艺编制中,合理的浇注系统、冒口及排气系统设计是保证铸件质量的关键因素[12-17]。本文针对某型缸盖铸造过程中的进排气孔薄壁缩松缺陷进行原因分析,并提出解决方案。

## 1 缸盖结构与铸造工艺

图 1 为某型号缸盖,材质为 QT400-15,成分见表 1,外形轮廓尺寸为 775 mm×358 mm×411 mm,毛

收稿日期:2023-10-24

作者简介:高 博,1981 年生,硕士,工程师.主要从事柴油机监督验收方面的工作.Email: longdechs@163.com

通讯作者:张 宏,1994 年生,硕士,助理工程师.主要从事铸造工艺研究方面的工作.Email:1156822794@qq.com

引用格式:高博,张宏,雷王平,郑俊,王梅东,闫月须,杨军军,田英.某型船用柴油机缸盖铸造缺陷分析及解决方法[J].铸造技术,2024,45(9):901-905.

GAO B, ZHANG H, LEI W P, ZHENG J, WANG M D, YAN Y X, YANG J J, TIAN Y. Analysis and solution of casting defects in the cylinder head of a certain marine diesel engine[J]. Foundry Technology, 2024, 45(9): 901-905.

中国知网 https://www.cnki.net

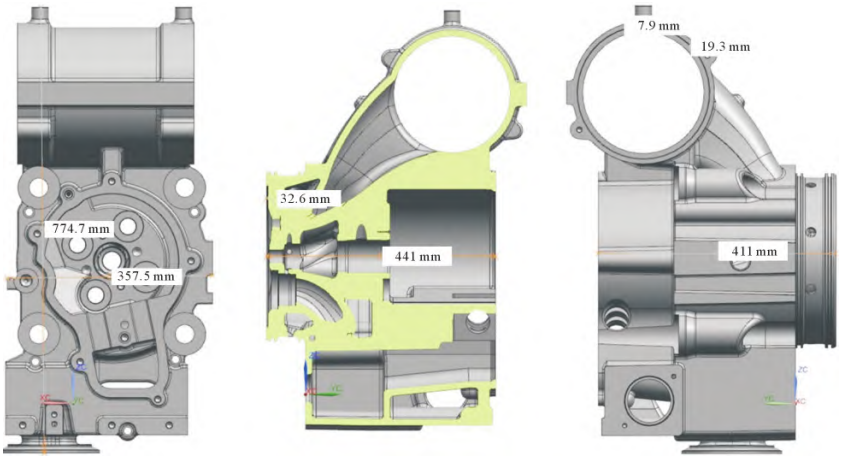



图 1 缸盖零件图
Fig.1 Cylinder head parts drawing

表1 QT400–15化学成分
Tab.1 Chemical composition of QT400–15
(mass fraction/%)

| Element | C | Si | S | P | Mn | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Content | 2.0～4.0 | 2.4～3.3 | ≦0.02 | ≦0.07 | ≦0.35 | 0.03～0.10 |

坯质量为 168 kg[18]。其壁厚相差悬殊，最大壁厚为燃烧面 30 mm，最小壁厚为进、排气道 8 mm。内外部结构复杂，型腔由进排气道、上下水、贯穿螺孔、喷油器、排气管等组成，使其生产难度增大[19]。

由于传统手工制芯方式无法满足缸盖复杂的结构尺寸，故其所有模具均采用灰铁材质，使用射芯机制作，砂芯为酚醛树脂，以此来保证砂芯强度和尺寸精度。采用上下型，燃烧面朝下的方式进行配箱，一箱两件，浇注方式为底注浇注，如图 2 所示。

## 2 存在问题及原因分析

由于铸造缺陷大部分都在铸件内部，只有通过机械加工后才会显现出来，此缸盖在机械加工后出现进排气孔缩松缺陷及弹簧座面夹渣问题，导致合格率不到 50%。

### 2.1 薄壁缩松缺陷

经分析此缺陷为缩松缺陷在前期的生产中发现机械加工后缸盖进排气孔缺陷(图 3)，占所有缺陷总数的 60%，由于柴油机运行时，吸入和排出高温气体，因此进排气管需要承受一定的高温与高压。当管孔出现缺陷时，会降低缸盖承受高温压力的能力，从而降低缸盖使用寿命，缺陷严重的还会导致产品报废无法使用。

缸盖出现缩松缺陷的原因有 2 个：①球墨铸铁凝固方式为糊状凝固，凝固前期首先会出现体积收缩，在凝固后期出现石墨膨胀现象，特别是厚大部位的石墨膨胀现象更加明显，通常也根据球墨铸铁的这一特性进行浇注工艺设计，充分发挥铸件自补缩能力，以达到铸件质量合格和降低成本的目的[10]。但若后期石墨膨胀不能抵消铸件凝固前期的体积收缩，就会导致铸件可能出现缩松缺陷，这就需要合理的冷铁冒口工艺[12]。②材料合金成分不稳定也会导致铸件出现缩松缺陷，在球墨铸铁中，CE(碳当量)过高或者过低以及铁液中过量的 Mg 元素也会增大铸

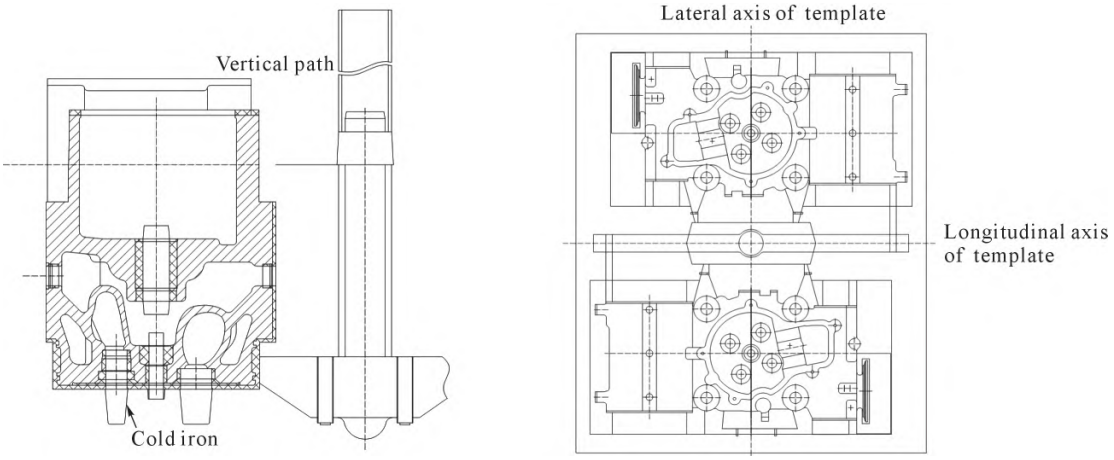



图 2 浇注工艺
Fig.2 Casting process

中国知网 https://www.cnki.net

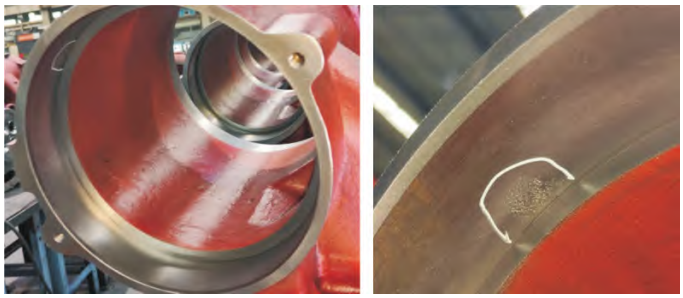


图 3　进排气筒缺陷
Fig.3　Defects in intake and exhaust pipe

件缩松缺陷的出现[14]。

对材料合金成分不稳定导致的缩松情况,由于本公司熔炼浇注时有严格的操作流程,采用碳硫分析仪进行炉前检测,并且其他相同材料的球墨铸铁件上没有出现类似缺陷,因此可知,造成缸盖进排气孔缩松的原因是由于补缩不足造成的后续将针对这一方面进行工艺改进达到消除缺陷的目的。

### 2.2　弹簧座面夹渣

机加后弹簧座面的夹渣缺陷也是造成缸盖不合格的主要原因之一,如图 4 所示。由于缸盖弹簧座面需要承受弹簧不断变化的压力,对此处的技术要求相对严格,一个细小的缺陷在经受长时间的往复撞击后也会成为材料失效的原因。因此弹簧座面的夹渣缺陷也是需要解决的问题之一。

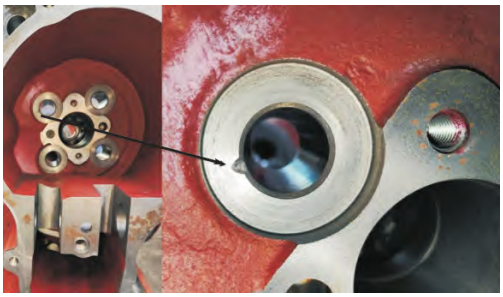


图 4　缸盖弹簧座面夹渣缺陷
Fig.4　Slag inclusion defect on the spring seat surface of the cylinder head

通过对比其他相同工艺不同型号缸盖发现,弹簧座面夹渣缺陷也有出现,因此可以得出弹簧座面缺陷是由于此处的浇注工艺不合理。底注浇注使得铁液中的渣子上浮,当铸件凝固时渣子上浮至铸件表面,最后通过机加去除。缸盖燃烧面是缸盖服役过程直面燃烧室的部位,因此在缸盖铸造工艺中首先要保证缸盖燃烧面的质量,满足其使用要求,故缸盖都采用燃烧面朝下的底注浇注工艺。由缸盖零件图可以看出,这种浇注工艺会导致缸盖弹簧座面位于铸件顶部,渣子上浮至弹簧座面,如果不能完全上浮至加工余量位置,机加后就会在弹簧座面形成缺陷。

## 3　缺陷解决方案

### 3.1　薄壁缩松缺陷解决方案

由图 5a 进排气筒原冷铁方案可以看出,以前的冷铁方案在进排气筒孔仅放置 4 块冷铁,虽然可以使铸件快速凝固,从而防止铸件凝固收缩从而出现缩松、缩孔,但是由于缸盖进排气孔尺寸较大,冷铁相对较小,浇注凝固时就会出现冷铁处及冷铁附近的铁液先凝固,远离冷铁的铁液受冷铁激冷作用较小,变成一个局部热节,冷却速度相对慢,同时此处为薄壁自补缩能力不足,最终导致缩松缺陷的出现。后续改进方案就是消除局部孤立热节。

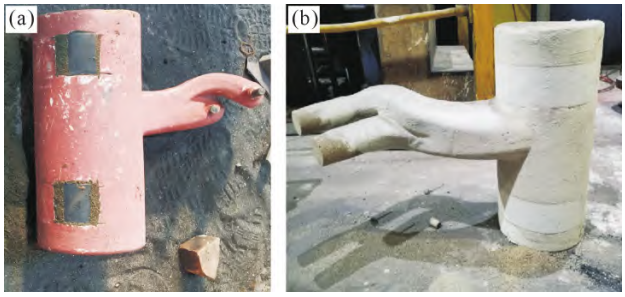



图 5　进排气筒冷铁工艺:(a) 冷铁间隔布置;(b) 改进冷铁工艺
Fig.5　Cold iron technology of the intake and exhaust cylinder: (a) cold iron of the original intake and exhaust cylinder; (b) improvement of the cooling iron process

对于球墨铸铁孤立热节可以从这几个方面来改进:①在热节部位设置冒口和排气,来达到补缩的作用,从而消除缩松缺陷;②改变冷铁工艺从而达到消除热节,从而防止出现工艺导致的孤立热节出现。对于通过增加冒口和排气来消除热节,由于缸盖砂芯都是采用射芯机制芯,如果增加冒口排气就需要改变砂芯机模具,操作工艺复杂成本较大。因此通过改变冷铁工艺来消除缺陷。原来的冷铁尺寸相对较小,无法对所有的进排气筒起到激冷作用,因此通过增大冷铁体积,将原冷铁按如图 5b 所示均匀覆盖在进排气筒所有表面,使得所有面受到相同的冷铁作用最终实现同时冷却凝固的目的,从而消除缺陷。

中国知网　https://www.cnki.net

### 3.2 弹簧座面夹渣解决方案

对于弹簧座面夹渣缺陷，通过增加加工余量的方法来消除缺陷。具体方案如图 6b 所示，在原有加工余量的基础上再增加 5 mm 的余量，使得铁液中的渣子可以充分上浮，最终消除弹簧座面夹渣。

采用新工艺再次投产了 130 件缸盖，经机械加工后如图 7 所示，进排气道没有发现缩松缺陷，弹簧座面缺陷也全部消失，合格率达 93%，提升了 40%。

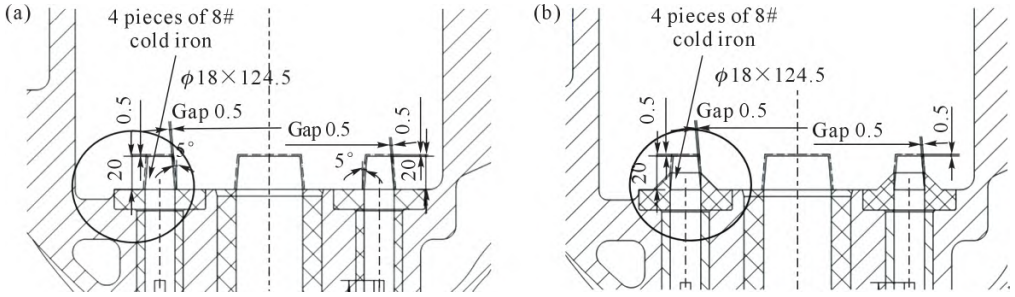



**图 6 缸盖弹簧座面工艺改进：(a) 原弹簧座面加工余量；(b) 改进后弹簧座面加工余量**

Fig.6 Improving the process of the cylinder head spring seat: (a) the original machining allowance of the spring seat surface; (b) improved machining allowance of the spring seat surface

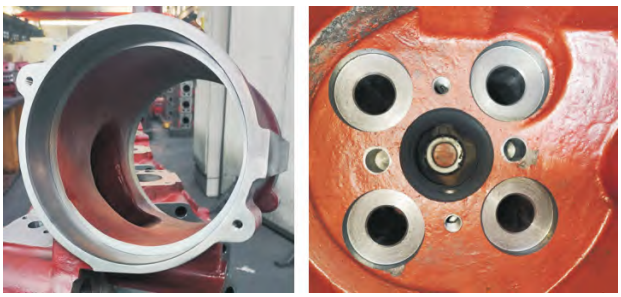


**图 7 改进后缸盖**

Fig.7 Pictures of improved cylinder head

## 4 结语

对于复杂球墨铸件的薄壁缩松缺陷可以通过全面覆盖冷铁，通过此方法可以有效消除热节，进而消除缩松缺陷。缸盖夹渣缺陷可以通过增加铸件加工余量，进而使得缺陷充分上浮铸件表面，最终实现消除缺陷的目的。

### 参考文献：

[1] WOODYARD D F. Pounder's marine diesel engines and gas turbines[M]. Amsterdam/Boston: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2009.

[2] 贾泽春. 大型船用柴油机气缸盖的工艺设计与铸造生产[J]. 铸造技术，2008, 29(11): 1617-1619.
JIA Z C. Casting technology design and production of the cylinder head in heavy diesel engine [J]. Foundry Technology, 2008, 29 (11): 1617-1619.

[3] 韩登峰，宇文建鹏，高永建，唐国林. 高强度船用中速柴油机汽缸盖生产技术[J]. 铸造技术，1998(4): 7-8.
HAN D F, YUWEN J P, GAO Y J, TANG G L. Production technology for medium speed high strength marine diesel engine cylinder covers[J]. Foundry Technology, 1998(4): 7-8.

[4] 刘芹，叶旭轮. 减少 QT400-15 飞轮壳缩孔、缩松的措施[J]. 现代铸铁，2013, 33(3): 19-22.
LIU Q, YE X L. Measures to reduce shrinkage defects of QT400-15 grade nodular iron flywheel housing [J]. Modern Cast Iron, 2013, 33(3): 19-22.

[5] 陈倩慧，傅明康，宋贤发，李凌羽，王茂森，金宇波. 船用柴油发动机机架铸件的浇注系统设计[J]. 兵器材料科学与工程，2017, 40(5): 100-103.
CHEN Q H, FU M K, SONG X F, LI L Y, WANG M S, JIN Y B. Gating system design for frame castings of marine diesel engine[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2017, 40(5): 100-103.

[6] 夏乐春. 基于 ProCAST 船用柴油机汽缸套离心铸造工艺设计与优化[D]. 镇江：江苏科技大学，2014.
XIA L C. Design and optimization of the marine diesel engine cylinder liner centrifugal casting process based on ProCAST [D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2014.

[7] 李永健. 球墨铸铁件激光增材再制造组织演变规律及性能控制[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2019.
LI Y J. Microstructure evolution and performance control of laser additive remanufacturing ductile iron component[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019.

[8] 连炜，李福贵，吴继胜，邓宏运，魏兵. 薄壁球墨铸铁小件生产技术[J]. 铸造技术，2003, 24(6): 504-505.
LIAN W, LI F G, WU J S, DENG H Y, WEI B. Production process of thin section ductile iron castings [J]. Foundry Technology, 2003, 24(6): 504-505.

[9] 刘小芳，赖兰生. 球墨铸铁缩孔、缩松缺陷的微观观察及分析[J]. 铸造技术，1991(2): 12-14.
LIU X F, LAI L S. The micro-observation and analysis on defects of shrinkage cavity and porosity in ductile iron[J]. Foundry Technology, 1991(2): 12-14.

[10] 尹彦普，陈勇，任文光，翁烨，陶卫生，毛林鑫. 大型船用柴油机球墨铸铁机身铸造工艺优化设计 [J]. 铸造技术，2020, 41(5): 459-463.
YIN Y P, CHEN Y, REN W G, WENG Y, TAO W S, MAO L X. Optimiza tion design of casting process of ductile iron cylinder block of large marine diesel engine[J]. Foundry Technology, 2020, 41(5): 459-463.

中国知网 https://www.cnki.net

[11] 杨新华. 球墨铸铁件缩孔缩松缺陷影响因素的研究[D]. 杭州：浙江大学，2005.
YANG X H. Study on the influencing factors of shrinkage porosity defects in ductile iron castings[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.

[12] 洪恒发. 发动机缸盖铸造技术中若干问题的探讨[J]. 铸造，2012, 61(1): 61-68.
HONG H F. Discussion on several crucial issues about cylinder head foundry technology[J]. Foundry, 2012, 61(1): 61-68.

[13] 贺腾，李直，康进武. 超超临界汽缸体铸件新型浇注系统研究[J]. 铸造，2016, 65(1): 88-91.
HE T, LI Z, KANG J W. Study on a new type gating system for ultra supercritical turbine housing casting[J]. Foundry, 2016, 65(1): 88-91.

[14] 徐德民. 大型球墨铸铁中压外缸铸件的生产控制[J]. 现代铸铁，2017, 37(3): 29-33.
XU D M. Production control of large nodular cast iron medium pressure cylinder casting[J]. Modern Cast Iron, 2017, 37(3): 29-33.

[15] 牟行辉. 球墨铸铁铸件的补缩工艺[J]. 铸造技术，2011, 32(1): 7-10.
MU X H. Feeding process of the ductile iron castings[J]. Foundry Technology, 2011, 32(1): 7-10.

[16] 熊六一，陈阵. 运用均衡凝固理论解决燃气轮机壳体铸件的缩孔和缩松缺陷[J]. 铸造技术，2006, 27(3): 215-216.
XIONG L Y, CHEN Z. Solving the defects of shrinkage cavity and porosity by proportional solidification theory on gas turbine shell castings[J]. Foundry Technology, 2006, 27(3): 215-216.

[17] 冯淑花，孟庆丰，张燕明，刘增良，安禄政. 球墨铸铁缩孔、缩松形成机理的探讨与预防[J]. 铸造技术，2015, 36(8): 2153-2155.
FENG S H, MENG Q F, ZHANG Y M, LIU Z L, AN L Z. Formation mechanism discussion of shrinkage cavity and shrinkage porosity in nodular cast iron and its prevention measurements[J]. Foundry Technology, 2015, 36(8): 2153-2155.

[18] 张威，宋桂娃，严江波，王剑. 船用柴油机缸盖铸造缺陷问题的解决方法[J]. 热加工工艺，2014, 43(23): 97-98, 102.
ZHANG W, SONG G W, YAN J B, WANG J. Solving methods of casting defects for cylinder head based on marine diesel engine[J]. Hot Working Technology, 2014, 43(23): 97-98, 102.

[19] 陈富华. 船用柴油机缸盖的铸造工艺设计及生产[J]. 铸造技术，2009, 30(10): 1362-1364.
CHEN F H. Production and casting process design of diesel head for ship[J]. Foundry Technology, 2009, 30(10): 1362-1364.

中国知网　https://www.cnki.net