

4G33V16 柴油机缸体的工艺优化

宋 阳¹, 江 超², 刘 宇¹, 唐中权¹, 徐小辉¹, 彭 朗¹

(1. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213011; 2. 常柴股份有限公司, 江苏常州 213002)

摘要: 介绍了4G33V16缸体的铸件结构及原铸造工艺, 分析了气孔和砂眼产生的原因。通过将浇注系统类型更改为封闭开放式, 增加最小截面积缩短充型时间, 增加横浇道长度, 设置铁液缓流区, 增设砂芯排气通道等措施可有效消除气孔缺陷。改善端面芯完整性增加砂芯强度, 优化横浇道设计避免铁液对端面芯持续冲蚀等措施可有效解决砂眼缺陷。优化后, 铸件综合成品率由不足80%提升至94%以上。

关键词: 缸体; 气孔; 砂眼; 工艺优化

4G33V16柴油机是4G33系列柴油机的的主力机型之一, 适用于收割机、拖拉机、工程机械等配套领域。其缸体(图1a)为四缸、干式缸套, 铸件轮廓尺寸为475 mm × 275 mm × 288 mm, 质量73.8 kg。该缸体为典型的薄壁复杂件, 最小壁厚为5 mm, 材料牌号为HT250。对金相组织、力学性能和尺寸精度要求均较高, 而且要求水道、油道不得存在渗漏现象。

1 原铸造工艺

德国KW静压线造型, 一箱2件, 砂箱尺寸1 380 mm × 1 000 mm × 350/300 mm。共12个砂芯, 其中四个曲轴箱芯和两个端面芯采用锁芯工艺由Loramendi制芯中心生产(图1b), 整体浸涂。盖板芯为普通三乙胺冷芯。挺杆孔芯和水套芯为覆膜砂芯, 手工浸涂。

缸体水平分型, 卧浇, 采用中注+阶梯式浇注系统, 轴承座上、下端面入水。放置一片陶瓷过滤网, 尺寸为100 mm × 75 mm × 22 mm。浇注时进行瞬时孕育, 浇注温度 $1\ 420\ ^\circ\text{C} \pm 10\ ^\circ\text{C}$ 。为加强排气和均匀温度场, 在上型模样缸筒顶面位置设置4个溢流冒口, 并在冒口上设置明通气针。

2 质量情况

缸体采用原铸造工艺共进行了两轮小批量试制, 质量情况如表1所示。由表1可知, 两轮小批量试制的废品率高达20.3%, 成品率不足80%。其中, 气孔和砂眼的废品率分别为8.2%和6.2%, 占总废品率的71%, 是造成缸体铸件成品率偏低的主要原因。气孔和砂眼缺陷如图2所示。

3 原因分析

3.1 气孔

发动机缸体此类薄壁复杂件中的气孔缺陷大多数为侵入性气孔^[1], 一般体积较大(图2a), 孔壁光滑, 气孔出现的位置主要集中在浇注位置的顶部, 即上型面^[2]。这是因为在铸造过程中, 浇注位置底部金属液压力大, 气体通常难以侵入, 即便气体进入金属液, 也会因金属液静压力较高而浮出铸件, 因此铸件浇注位置的底部较少

作者简介:

宋 阳(1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事轨道交通零部件铸造工艺设计。E-mail: songyang.qs@crccgc.cc

中图分类号: TG24

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)

09-0977-05

收稿日期:

2020-04-28 收到初稿,

2020-05-26 收到修订稿。

产生气孔缺陷；而铸件浇注位置顶部由于金属液静压力小，如气针眼根部、铸件热节等部位，气体易侵入，较铸件浇注底部更易形成气孔。由图2a可知，缸体气孔缺陷主要集中在上型面的凸台及加强筋部位，与上述分析一致。通过分析，产生气孔缺陷的原因如下。

3.1.1 浇注系统类型不合理

通过计算，浇注系统各组元最小截面积之比为 $\Sigma F_{直} : \Sigma F_{横} : \Sigma F_{内} = 1 : 1.72 : 2.11$ ，浇注系统为开放式，在浇注时开放式浇注系统的浇口杯为非充满状态，易卷气，而且充型不平稳，容易产生气孔缺陷。

3.1.2 阻流截面积过小，导致充型时间过长

浇注系统的阻流截面在直浇道处，直浇道最小直径为 $\Phi 40$ mm，截面积仅为 12.56 cm^2 ，实测充型时间长达 $27 \sim 28 \text{ s}$ ，不利于气体的快速上浮、排出^[3]。

3.1.3 横浇道设计不合理

为保证浇口杯具有充足的吃砂量，直浇道位置比

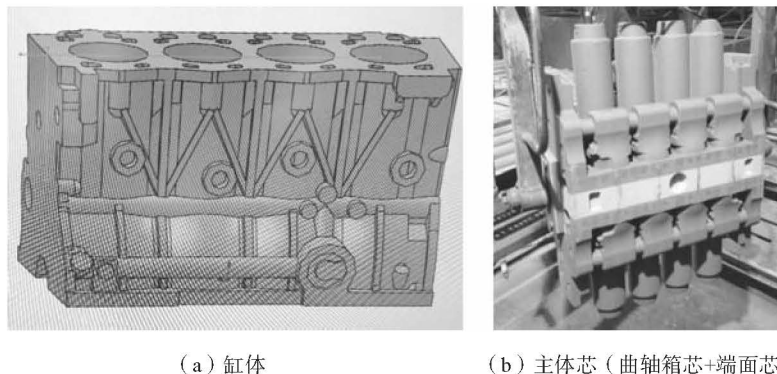
较靠近型板中心线，这导致与直浇道搭接的横浇道长度较短（图3a），铁液流速较大，充型不平稳，不利于防止气孔的产生。同时，下型横向横浇道直接与主体芯内部的竖向横浇道连接（图3b），未设置铁液缓流区，铁液易发生紊流，也易导致气孔缺陷的产生。

3.1.4 缺少砂芯排气通道，浇注时砂芯产生的气体无法排出

浇注时，主体芯、水套芯和挺杆孔芯均被铁液包围，在高温作用下，会产生大量气体。产生的气体不能及时排出型腔就会产生气孔缺陷。原制芯工艺仅将主体芯的缸筒中部掏空，减少主体芯的发气量，同时主体芯受热产生的气体可从该通道释放（图4），但是该通道并未与外模相连，阻碍了主体芯的发气排出型腔。此外，水套芯和挺杆孔芯均为覆膜砂芯，发气量大，但原制芯工艺未设计相应的排气通道。

3.2 砂眼

形成砂眼缺陷的因素有很多，大多是因为型砂



(a) 缸体

(b) 主体芯（曲轴箱芯+端面芯）

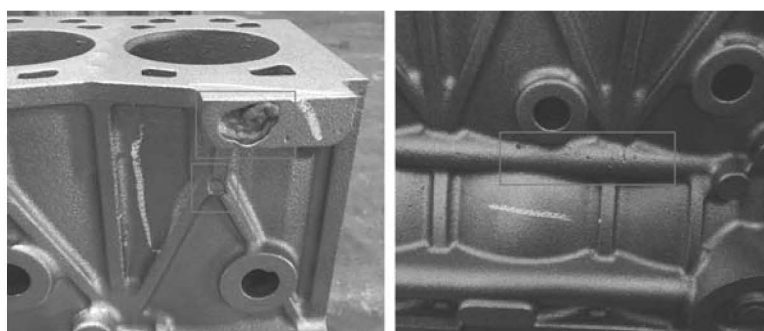
图1 缸体及主体芯（曲轴箱芯+端面芯）

Fig. 1 3D model of cylinder block and main core (crankshaft core + side core)

表1 前两轮试制质量情况

Table 1 Trial production quality of the first two rounds

生产总数	废品数	废品率/%	气孔	砂眼	断芯	损伤	漏箱	其他
306	62	20.3	25	19	8	6	2	2

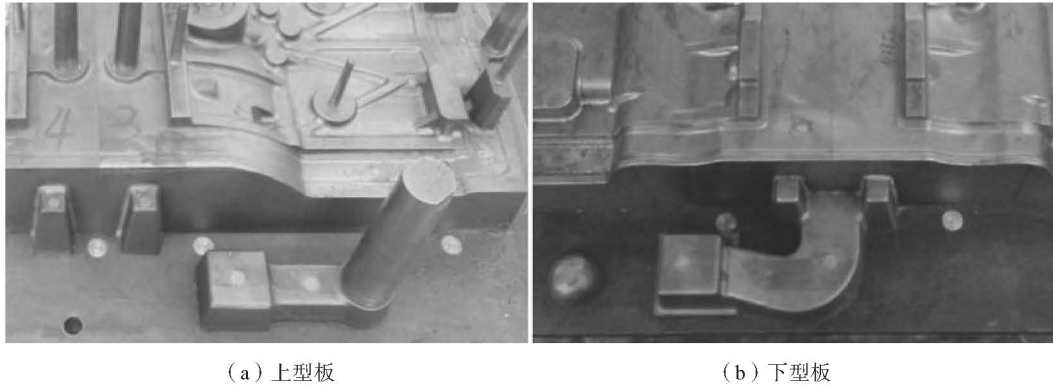


(a) 气孔缺陷

(b) 砂眼缺陷

图2 气孔缺陷及砂眼缺陷

Fig. 2 Blowhole and sand inclusion defects in the produced cylinder block casting by original casting process



(a) 上型板

(b) 下型板

图3 横浇道

Fig. 3 The runner

或芯砂被卷入铁液,并且未能在充型过程中有效地排出^[4-5]。主要有以下因素:①间隙设计偏小,导致下芯时擦砂,碎砂又未彻底清理,残留有浮砂等杂物;②砂芯、砂型强度低,在浇注过程中表层脱落,导致砂眼;③铁液温度过高,造成砂芯、砂型、涂料强度低于临界值,导致其剥落;④型腔排气不畅,内压力较大,类似开水沸腾,导致应该溢出的含杂质物的铁液无法排除,产生气爆从而出现砂眼;⑤浇注系统设计不合理,挡渣效果不佳。

针对以上可能产生砂眼缺陷的因素,逐一进行了分析,发现导致砂眼缺陷的原因如下。

3.2.1 砂芯局部完整性差,强度不足

图5所示的端面芯横浇道与定位槽之间射砂不实,出现较大区域的疏松。砂芯局部疏松,导致砂芯强度大大降低,而且疏松区域紧挨横浇道,充型时铁液很容易将碎砂冲入型腔,形成砂眼缺陷。

3.2.2 浇注系统类型不合理

缸体的浇注系统为开放式,开放式浇注系统挡渣效果较差,增加了砂眼缺陷产生的几率。

3.2.3 横浇道设计待优化

由图3b可知,横向横浇道向纵向横浇道过渡时,横向横浇道正对端面芯,充型时铁液对端面芯持续冲刷,冲下的碎砂随铁液流入型腔。若将横向横浇道改变方向,使其直接与纵向横浇道连接,可避开端面芯,显著减少因持续冲刷端面芯而带入型腔的碎砂。

4 铸造工艺优化

4.1 气孔对策

4.1.1 将浇注系统类型更改为封闭开放式

工艺改善前浇注系统各组元最小截面积之比为 $\Sigma F_{直} : \Sigma F_{阻} : \Sigma F_{内} = 12.56 \text{ cm}^2 : 21.6 \text{ cm}^2 : 26.55 \text{ cm}^2$,

阻流截面为直浇道。为将浇注系统更改为封闭开放式,只需增加直浇道最小截面积,使其大于横浇道最小截面积即可。经计算,将直浇道最小直径由 $\Phi 40 \text{ mm}$ 增大为 $\Phi 54 \text{ mm}$,直浇道最小横截面即可增大为 22.89 cm^2 ,这样横浇道便成为阻流截面。工艺优化后,浇注系统各截面积之比为 $\Sigma F_{直} : \Sigma F_{阻} : \Sigma F_{横} : \Sigma F_{内} = 1.29 : 1 : 1.22 : 1.5$ 。

4.1.2 增大最小截面积,缩短充型时间

要计算最小阻流截面积需先计算有效充型时间,缸体的有效充型时间按照如下公式计算^[6]:



图4 主体芯缸筒部位的排气通道

Fig. 4 Exhaust channel in main core

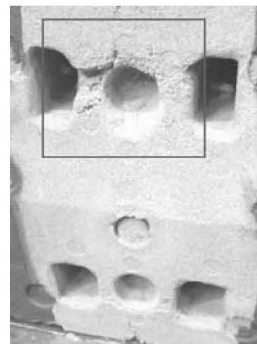


图5 端面芯

Fig. 5 Side core

$$t = \sqrt{G_{\text{件}}} + \sqrt[3]{\frac{1}{5} \delta G_{\text{件}}} \quad (1)$$

式中： $G_{\text{件}}$ 为型内铸件重量（不包括浇冒口）； δ 为铸件壁厚（通常指最小壁厚）。计算出有效充型时间为18 s。缸体浇注系统的最小截面积 $\Sigma F_{\text{阻}}$ 的计算公式^[7]为：

$$\Sigma F_{\text{阻}} = \frac{G_{\text{件}}}{\rho \sqrt{2gt\delta^\omega}} \quad (2)$$

式中： g 为重力加速度， $g=980 \text{ cm/s}^2$ ； ω 为灰铸铁材质指数， $\omega=0.24$ ； t 为式（1）中的有效充型时间； ρ 为灰铸铁密度， $\rho=7.1 \text{ g/cm}^3$ 。代入得 $\Sigma F_{\text{阻}}=17.7 \text{ cm}^2$ 。

4.1.1中增大直浇道最小截面积后，阻流截面积已由 12.56 cm^2 增大为 21.6 cm^2 ，大于最小截面积 $\Sigma F_{\text{阻}}$ 。工艺优化后，充型时间由27~28 s缩短为22~23 s。

4.1.3 改进横浇道设计

（1）将与直浇道搭接的横浇道长度增加45 mm（修改前见图3a），修改后如图6a。

（2）完善下型横浇道设计（修改前见图3b），增加铁液缓流区，修改后如图6b。

4.1.4 优化砂芯排气结构

（1）在挺杆孔芯芯头内开设排气通道，并在盖板

芯相应位置设置气针孔，与挺杆孔芯芯头内的排气通道接通，排出挺杆孔芯受热产生的气体；

（2）生产水套芯时，在芯头部位放置小钢管，钢管不仅可以起到芯骨的作用，其中空的结构也可作为排气通道排出水套芯产生的气体；

（3）在盖板芯设置主体芯气体排出通道，与主体芯缸筒头部的排气通道（图7）相连。考虑到气体的上浮，将排气通道设置于高于中心线20 mm处；

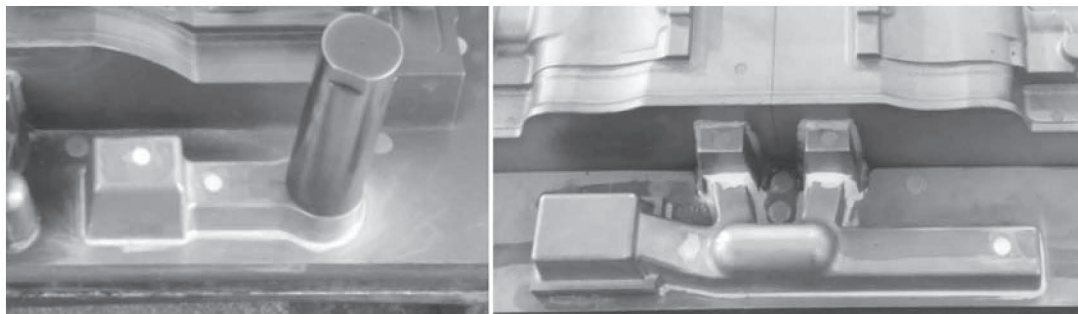
（4）在盖板芯背面设置扁排气通道，将所有的排气通道连接起来，并最终与外模上的冒口连接，使砂芯产生的气体排进冒口。

4.2 砂眼对策

4.2.1 改善砂芯完整性，提高砂芯强度

将端面芯定位槽由竖向排布更改为横向排布，避开横浇道，修改前见图5。修改后，端面芯侧面横浇道附近砂层厚度得到显著增加，端面芯完整性较好（图8），砂芯强度得到大幅提升。

此外，将定位槽改为横向排布后，定位槽处于四个横浇道所组成的矩形区域之外，当夹具在夹持主体芯进行转运时，定位槽处即使产生碎砂也不会落入横浇道，保证了横浇道内部的清洁，减少了碎砂的来源，有效降低了砂眼产生的概率。



(a) 上型

(b) 下型

图6 工艺优化后的横浇道

Fig. 6 Optimized runner

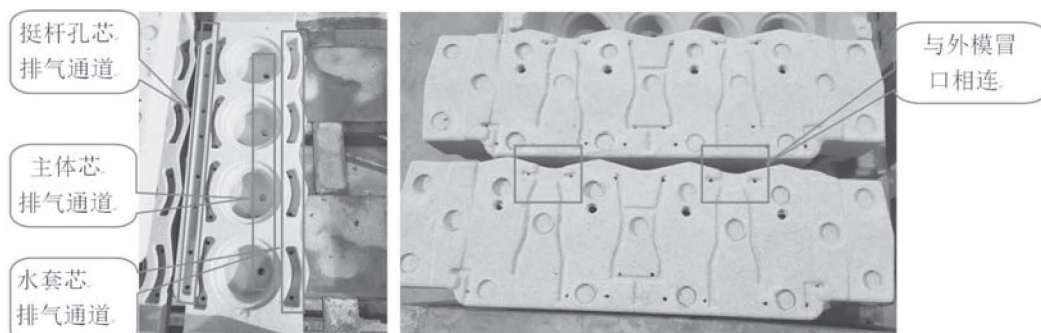


图7 盖板芯

Fig. 7 Cover core

4.2.2 更改浇注系统类型

在气孔对策中已将浇注系统类型更改为封闭开放式，封闭开放式浇注系统具有更好的挡渣能力，能进一步降低砂眼产生的概率。

4.2.3 优化横浇道设计

为减少铁液对端面芯的冲蚀，对图3b的横浇道进行了优化。在保证砂层厚度的前提下，将横浇道一分为二（图6b），使其直接与主体芯内部的横浇道相连，减少了一次铁液流动时的方向改变，降低了铁液流动的阻力，更有利于充型，有利于防止气孔和砂眼缺陷的产生。

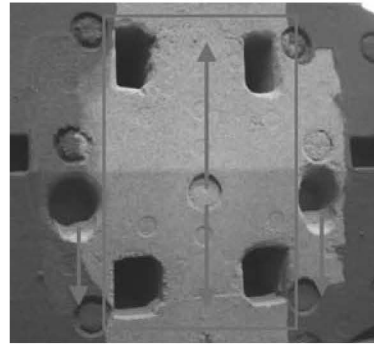


图8 工艺优化后的端面芯
Fig. 8 Optimized side core

陷，将气孔缺陷废品率由8.2%降至0.36%。

（2）改善端面芯完整性、优化横浇道工艺设计等措施，将砂眼缺陷比例由6.2%降至1.1%。

（3）工艺优化后，累计生产缸体37 574件，铸件综合成品率由不足80%提升至94%以上，达到了质量改善的目标。

5 结论

（1）将浇注系统更改为封闭开放式、缩短充型时间至22~23 s、延长横浇道长度、增加横浇道铁液缓流区、增设砂芯排气结构等措施成功地解决了气孔缺

参考文献:

- [1] 王振宇. 90D缸体逐渐缺陷的防止措施 [J]. 现代铸铁, 2014, 34 (4): 52-55.
- [2] 孟繁营. 汽车缸体铸件气孔缺陷及改进措施 [J]. 铸造技术, 2015, 36 (6): 1619-1621.
- [3] 刘增林. 大型柴油机气缸体的铸造 [J]. 铸造, 1997 (12): 20-22.
- [4] 吴炜, 钱辉, 席赟, 等. 4DA1柴油机缸体砂眼缺陷的解决 [J]. 铸造, 2010, 59 (10): 1088-1090.
- [5] 陈国桢, 肖柯则, 姜不居. 铸件缺陷与对策手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [6] 彭显平, 陈庚, 方琴, 等. WD615气缸体浇冒系统的优化设计 [J]. 铸造, 2013, 62 (10): 1011-1014.
- [7] 陈晓飞. 1300缸体的工艺设计与优化 [J]. 铸造, 2017, 66 (5): 509-511.

Casting Process Design and Optimization of 4G33V16 Diesel Engine Cylinder Block

SONG Yang¹, JIANG Chao², LIU Yu¹, TANG Zhong-quan¹, XU Xiao-hui¹, PENG Lang¹

(1. CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China; 2. Changzhou Diesel Engine Co., Ltd., Changzhou 213002, Jiangsu, China)

Abstract:

The casting structure and original casting process of 4G33V16 cylinder block are introduced. The causes of the blowhole and the sand inclusion are analyzed. By changing the type of gating system to chocked-unchoked gating system, increasing the minimum cross-sectional area, shortening the filling time, increasing the length of runner, setting the slow flow area of molten iron, and adding the vent channel of sand core, the blowhole defects can be eliminated; the sand inclusion defects can be avoided by improving the integrity of the end core, increasing the strength of the sand core, and optimizing the design of the runner to prevent the continuous erosion of the end core by the molten iron. After casting process optimization, the comprehensive yield of castings increased from less than 80% to more than 94%.

Key words:

cylinder block; blowhole; sand inclusion; process optimization