

# 精密组芯造型工艺在汽车缸体中的应用

乔新坤<sup>1</sup>, 江超<sup>2</sup>

(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:** 介绍了汽车缸体的铸件结构及技术要求, 根据高强度、薄壁、轻量化及高精度复杂缸体的特点, 设计了精密组芯造型生产线, 详细阐述了组芯造型工艺设计与生产线的流程。经生产验证, 铸件的壁厚达到 $3.5\text{ mm} \pm 0.3\text{ mm}$ , 尺寸精度达到DCTG8级, 产品的各项性能指标满足技术要求, 保证了铸件的品质, 缸体量产后合格率达到90%以上。结果表明, 由冷芯制芯系统、取芯浸涂机器人、组芯机器人、连续式砂芯烘干炉和砂芯立体库等主要设备组成的组芯造型线具有高度机械化、自动化的特点, 提高了砂芯的质量和组装精度以及铸件生产效率, 改善了工作环境和工人劳动强度。

**关键词:** 薄壁; 高精度; 组芯造型; 铸造装备; 机械化

传统柴油机多缸缸体的铸造多采用在线组芯、水平卧浇工艺。近些年, 随着产品结构升级以及客户的增多, 出现M78、M403系列以及汽车缸体等一批高强度、薄壁、轻量化及高精度的复杂缸体, 传统水平卧浇工艺无法满足上述关键特性的要求。这些缸体有如下显著的特点: ①壁薄, 最小壁厚3.5 mm; ②尺寸精度高, 要求尺寸精度为DCTG7~DCTG8级; ③缸体总体尺寸较小, 但要求铸件轮廓清晰, 缸孔处金相组织和硬度差小, 表面粗糙度 $Ra$ 在 $25\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ 之间; ④部分砂芯的制作难度大, 缸体水道、水套和油道结构复杂, 水套芯薄, 最小砂层厚度2.8 mm。根据这些产品特点, 通过CAE优化设计、手工样件试制, 开发出了适合这种类型缸体铸件生产的组芯立浇工艺。本文以某款4缸汽车缸体为典型案例, 介绍精密组芯造型工艺。

## 1 铸件结构与技术要求

缸体材料牌号为HT250, 铸件质量42 kg, 轮廓尺寸为 $411\text{ mm} \times 382\text{ mm} \times 217\text{ mm}$ , 一般壁厚3.5 mm。铸件结构复杂, 油道内腔与曲轴箱完全接通, 水泵突出, 如图1所示。技术要求铸件壁厚的公差为 $-0.5\text{ mm} \sim +0.8\text{ mm}$ , 铸件尺寸精度等级要达到DCTG8级。毛坯实际重量与理论重量偏差不得超过 $\pm 1\text{ kg}$ , 油路、呼吸器及水套内不允许有飞边、型砂。缸孔内不允许有飞边、型砂。

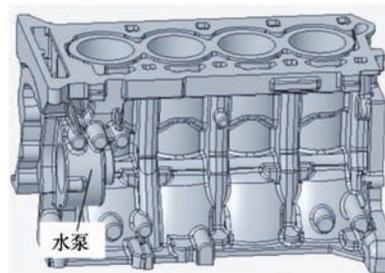


图1 铸件结构  
Fig. 1 Casting structure

该缸体铸造的技术难点在于: ①缸体属薄壁高强度缸体, 壁厚3.5 mm, 根据壁厚公差及重量公差的要求, 如果壁厚超过3.8 mm, 那么重量公差也就超过+1 kg。对铸件壁厚的尺寸要求很高, 也就意味着对砂芯的质量(尺寸、强度等)要求很高, 这些都需要有可靠的制芯工艺与设备予以保证。②水套芯薄, 最小砂层厚度2.8 mm, 容易产生脉纹、粘砂缺陷; 油道芯细长且形状复杂, 如图2所示。容易产生变形、断芯缺陷。

作者简介:

乔新坤(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造工艺研究及质量管理工作。电话: 18112892598, E-mail: qxx0371@163.com

中图分类号: TG242.7  
文献标识码: A  
文章编号: 1001-4977(2025)05-0689-06

收稿日期:

2023-12-18 收到初稿,  
2024-02-03 收到修订稿。

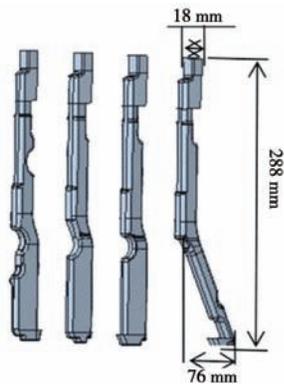


图2 油道芯形状

Fig. 2 Oil channel core shape

## 2 铸造工艺设计

### 2.1 制芯工艺

该缸体的砂芯由1#曲轴箱芯、2#冒芯、3#水套芯、4#水道芯、5#~12#油道芯等、13#水泵芯、14#~15#左右侧芯、16#~17#前后端芯、18#夹层芯组成1个缸体芯组。对于薄弱的水套芯与油道芯，采用低发气、低膨胀的覆膜砂热芯盒法制芯。由于宝珠砂具有热膨胀系数小、热导率高、颗粒强度高、不易破碎及耐火度高等特点，可有效解决缸体水套脉纹、粘砂问题及油道芯变形问题<sup>[1]</sup>，因此在砂芯配比中加入了40%的宝珠砂。有研究表明，焙烧砂具有发气量低、抗拉强度高等优点<sup>[2]</sup>，其余砂芯采用焙烧砂三乙胺冷芯盒工艺，提高砂芯的尺寸精度，减少砂芯发气量。

### 2.2 组芯造型工艺

采取组芯造型工艺，将曲轴箱芯（图3）作为所有砂芯总成的基础，制作成一个整体砂芯，其余砂芯以曲轴箱芯作为基准，通过芯头和芯座之间的凹凸定位与曲轴箱芯配合，尽可能减少二次定位产生的累积误差；砂芯之间的配合间隙、铸件壁厚设计均要考虑涂料层的补正；组芯造型所有铸型由砂芯形成，各砂芯采取自锁+打钉紧固组合成一个砂芯总成。通过上述工



图3 曲轴箱芯

Fig. 3 Crankcase core

艺设计保证砂芯之间的精密配合，从而提高铸件的尺寸精度等级。对于比较重的左右侧芯，根据砂芯的轮廓，只保留15~20 mm厚的砂层及加强筋，其余背部尽可能掏空，从而减轻砂芯重量、减少砂芯的发气量。

涂料采用水基铝硅酸乙胺涂料，波美度控制在20~30 Be'。浸涂后砂芯在连续式烘干炉中烘干，烘干温度为180~200 °C，烘干时间90 min，炉温均匀性控制在±5 °C。烘干后在组芯胎具上组芯，组芯后人工穿螺栓锁紧，如图4所示。造型采用KW气冲造型线，采用专用胎具和夹具下芯，上箱用钻气眼机和扎气板扎通通气孔。

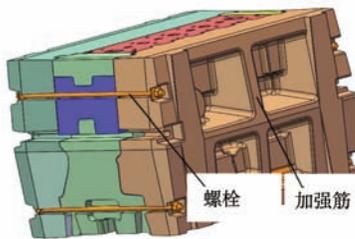


图4 砂芯装配图

Fig. 4 Sand core assembly drawing

### 2.3 浇注工艺

采用立浇、底注式的浇注工艺，为保证铁液充型平稳，采用开放式浇注系统，浇道比为 $\sum F_{内} : \sum F_{横} : \sum F_{直} = 1 : 0.65 : 0.58$ ，铁液自下而上充型，不易产生卷气、飞溅现象，易于排气。浇注时缸盖面朝上，从底部法兰处引入铁液，使油道芯受铁液浮力的影响小，不易产生漂浮变形。顶部设置溢流冒口及排气针，使型腔中的气体顺利排出，下箱横浇道放2片75 mm × 75 mm 泡沫陶瓷滤网，浇注时进行瞬时孕育。

## 3 组芯造型生产线介绍

### 3.1 生产线设备

为了形成量产满足客户的要求，需要一条工艺成熟，产品品质提升的缸体组芯造型生产线来满足生产率的要求。由自动操作的多功能射芯机和后处理的工序联合组成的流水作业生产线，各工序紧密地联系在一起，组芯造型线方案平面图如图5所示。整条生产线主要设备如下。

(1) 冷芯制芯系统，由四台射芯机组成，同时配置供砂系统、集中供树脂系统、三乙胺系统、尾气处理系统、干燥空气系统等整套制芯匹配设备。

(2) 两种机器人及辅助系统：一种取芯浸涂机器人，负责从冷芯机上抓取砂芯到穿梭台上，浸涂后放置到辊道托板上；另一种组芯机器人，负责抓取表干后的曲轴箱体芯与左、右侧芯以及前后端芯放置到组

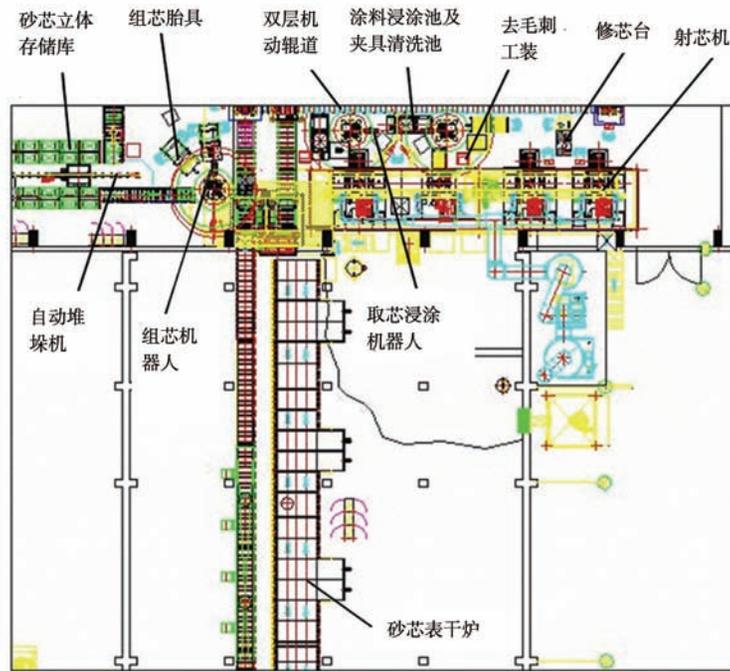


图5 组芯造型线方案平面图

Fig. 5 Plan view of core assembly molding line scheme

芯胎具上。同时配置涂料池、夹具清洗池、穿梭工作台、去毛刺工装、组芯胎具、机器人底座及围栏系统等。

(3) 连续式砂芯烘干炉系统：用于砂芯浸涂后的表干和冷却。主要由烘干炉、加热室、抽风排湿系统、冷却系统、电气控制系统、安全防护栏及工作梯等部分组成。

(4) 辊道+托板：通过机动辊道、移载机、托板升降台、升降机、托板转向机、托板等设备贯通整条运转生产线。

(5) 砂芯立体库：由双位自动堆垛机、组合式货架、托板、立体库电控系统等组成。

### 3.2 组芯造型线生产流程

根据砂芯的重量、大小与组芯的先后顺序等因素设计了组芯造型的流程。总的设计原则是：尺寸较大、重量较重的左/右侧芯、曲轴箱芯由机器人抓举浸涂、组芯，并在这两台制芯机旁增加去毛刺工装，用于机器人取出砂芯后自动去除分型面的毛刺、飞边；其他比较轻的砂芯如前后端芯、夹层芯和水道芯等，由人工浸涂、组芯和修芯；油道芯与水套芯采用热芯盒法制作，不在生产线内，在热芯盒工位制芯、修芯、浸涂和烘干后，人工搬运至生产线。组芯造型线生产流程如图6所示，具体生产流程如下。

(1) 把射制的水套芯、冒芯放到1#修芯平台上，清理砂芯分型面、抽块接合面处的披缝，磨平射砂嘴

处的积砂，细小疏松用修补膏修补。修芯完成后，将水套芯芯头插入冒芯，用枪钉把水套芯与冒芯固定，如图7所示。然后把组装好的冒芯和水套芯放进涂料池浸涂。浸涂完成后，人工把冒芯和水套芯从涂料池中拿出来甩干净，然后摆放到机动辊道托板上。

(2) 把射制的前端芯、夹层芯及后端芯等放到2#修芯平台上，清理砂芯分型面、抽块接合面处的披缝，磨平射砂嘴处的积砂，细小疏松用修补膏修补，然后将前端芯、夹层芯用枪钉固定。然后把组装好的前端芯、后端芯分别放进涂料池浸涂。浸涂完成后，把前端芯、后端芯分别从涂料池中拿出来甩干净，然后摆放到机动辊道托板上。

(3) 抓取浸涂机器人从冷芯机上抓取左、右侧芯放到去毛刺工装位置，自动去除分型面的毛刺、飞边。然后将左、右侧芯放到穿梭台上与水套芯、水道芯组芯后再度抓取浸涂，浸涂后甩干涂料，然后将砂芯放置到辊道托板上。

(4) 抓取浸涂机器人从冷芯机上抓取曲轴箱芯放到去毛刺工装位置，自动去除分型面的毛刺、飞边。然后将砂芯放进涂料池浸涂，浸涂后放置辊道托板。

(5) 托板移动到垂直升降机，提升到二楼砂芯烘干炉中进行表面干燥。

(6) 组芯机器人抓取表干后的曲轴箱芯与左、右侧芯，前后端芯放置到组芯胎具上。

(7) 人工将冒芯+水套芯、油道芯放置到组芯胎具上。

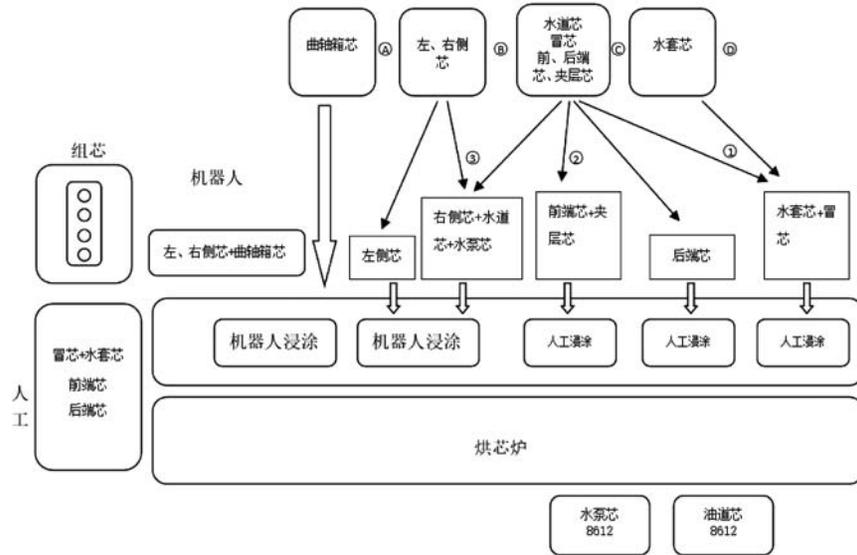


图6 组芯造型线流程图

Fig. 6 Flow chart of core assembly molding line

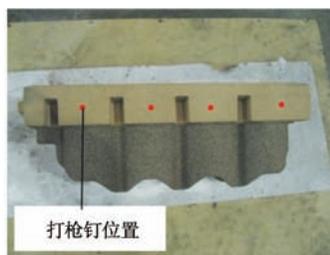


图7 水套芯与冒芯组芯

Fig. 7 Water jacket core and head core assembly



图8 组芯胎具上组芯

Fig. 8 Assembling cores on the pattern

(8) 在组芯胎具上组芯, 如图8所示, 人工穿螺栓锁紧砂芯。

(9) 机器人取走芯组, 放置到立体库进料辊道托盘, 自动堆垛机将托盘堆放到砂芯立体库。然后转运至砂芯立体库存储。

## 4 生产验证

按照上述组芯造型线的工艺对NSE缸体进行试

制, 首批试制了5炉158件铸件, 每一炉均挑选其中一个铸件检验产品的主要质量指标。经过检测, 铸件的化学成分检测结果如表1所示, 铸件金相组织与力学性能检测如表2所示。试制的铸件主要位置壁厚控制在 $3.5\text{ mm} \pm 0.3\text{ mm}$ , 尺寸精度达到DCTG8级, 满足了铸件壁厚与尺寸精度的技术要求, 铸件实际重量控制在 $42\text{ kg} \pm 0.9\text{ kg}$ , 满足了重量的要求, 铸件壁厚及质量检测如表3所示。铸件没有出现油道断芯、水套粘砂及

表1 铸件化学成分检测  
Tab. 1 Chemical composition testing of castings

项目	C	Si (终)	Mn	S	Cr	Cu	Sn	$w_B / \%$
标准	3.25~3.35	1.8~2.0	0.8~1.0	0.08~0.10	0.20~0.25	0.4~0.6	0.06~0.08	
实测1	3.28	1.97	0.83	0.082	0.24	0.55	0.068	
实测2	3.27	1.88	0.84	0.083	0.23	0.43	0.077	
实测3	3.24	1.95	0.82	0.092	0.22	0.47	0.069	
实测4	3.29	1.96	0.85	0.078	0.24	0.45	0.072	
实测5	3.28	1.93	0.81	0.088	0.21	0.51	0.071	

表2 铸件力学性能及金相组织检测  
Tab. 2 Mechanical properties and metallographic structures testing of castings

项目	本体顶面硬度HB	本体其他区域硬度HB	单铸试棒强度/MPa	石墨形态及长度等级	珠光体含量/%
技术要求	195~225	187~255	≥250	A型, 3~5级	≥95
实测1	213	229	312	A型, 4级	97
实测2	215	233	315	A型, 4级	98
实测3	206	224	296	A型, 4级	97
实测4	210	226	305	A型, 4级	96
实测5	202	221	291	A型, 4级	98

表3 铸件壁厚及重量检测  
Tab. 3 Wall thickness and weight testing of castings

项目	曲轴箱壁厚/mm	水套壁厚/mm	水道壁厚/mm	油道壁厚/mm	水泵壁厚/mm	铸件质量/kg
技术要求	3.5 <sup>+0.8</sup> <sub>-0.5</sub>	42 ± 1				
实测1	3.8	3.6	3.5	3.6	3.7	42.9
实测2	3.7	3.3	3.4	3.5	3.7	41.3
实测3	3.8	3.4	3.4	3.5	3.6	42.4
实测4	3.8	3.5	3.6	3.7	3.7	42.8
实测5	3.7	3.2	3.5	3.4	3.5	41.1

脉纹等缺陷。试制铸件的主要缺陷为砂眼，不合格数量为22件。通过现场调查，分析砂眼产生的原因是组芯后在运输及存储的过程中，砂粒通过砂芯顶面的排气通道掉入型腔。改进措施是在组芯完成后，砂芯顶面用硅酸铝纤维棉覆盖，以防止砂泥掉入型腔，浇注前拿掉硅酸铝纤维棉，从而解决了砂眼问题。缸体量产合格率为91.5%，量产铸件的主要缺陷类型为漏铁液，通过现场调查，分析漏铁液产生的原因是在浇注后，通过横浇道的铁液经过端芯与外模之间的间隙进入夹槽，然后再通过侧芯与外模之间的间隙进入侧芯背部掏空的地方，如图9所示。针对漏铁液问题，采取了以下两种措施：①将贯穿的夹槽局部堵住，防止铁液通过夹槽，如图10所示；②在外模上增加压环，宽度为8 mm，深度为1 mm，防止铁液经过侧芯与外模之间的间隙进入侧芯背部。采取上述措施后，消除了漏

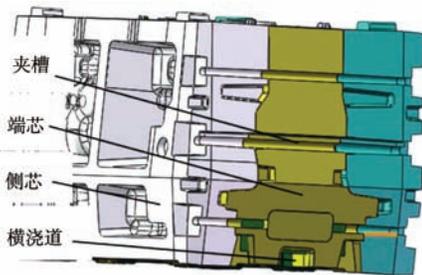


图9 修改前砂芯装配图  
Fig. 9 Assembly diagram of sand cores before modification

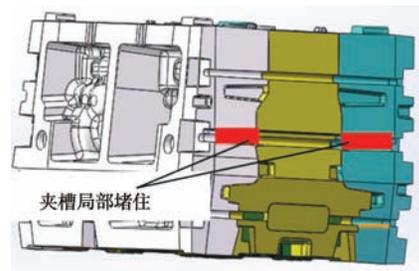


图10 修改后砂芯装配图  
Fig. 10 Assembly diagram of sand cores after modification

铁液缺陷。改进后缸体的合格率达到98.8%，达到了质量控制的目标。

## 5 结论

(1) 根据缸体的结构及技术要求设计了精密组芯造型工艺，通过选择曲轴箱芯作为整体砂芯的基准来减少二次定位产生的累积误差、铸件壁厚设计均考虑涂料层的补正、各砂芯采用自锁+打钉紧固组合成一个砂芯总成等措施，保证了砂芯之间的精密配合，从而满足了铸件壁厚与尺寸精度的技术要求。

(2) 组芯造型线通过冷芯制芯系统、两种机器人、机动辊道、连续式砂芯烘干炉系统和砂芯立体库等设备，将汽车缸体的砂芯射制、组装、浸涂料及涂料烘干等操作尽可能高度机械化、自动化，极大地提高了砂芯的质量和组装精度，提高了工作效率，改善了工作环境和工人劳动强度，年产量可达到8万件汽车

缸体, 满足了公司产品发展需求。

(3) 该类缸体的铸造工艺设计为后续开发高强

度、薄壁、轻量化和高精度的类似结构铸件打下了基础。

#### 参考文献:

- [1] 李忠泽, 刘满对, 王柏勤, 等. 宝珠砂在发动机铸件生产中的应用 [J]. 铸造技术, 2021 (11): 943-951.
- [2] 刘鸿勋. 铸造用砂的性能对缸体和缸盖铸件质量的影响 [J]. 现代铸铁, 2013 (1): 71-77.

---

## Application of Precision Core Assembly Molding Process to Automotive Cylinder Blocks

QIAO Xin-kun<sup>1</sup>, JIANG Chao<sup>2</sup>

(1. CRRC Qishuyan Locomotive and Rolling Stock Technology Research Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China; 2. Changchai Co., Ltd., Changzhou 213002, Jiangsu, China)

#### Abstract:

The structure and technical requirements of the automotive cylinder block castings are introduced. According to the characteristics of high-strength, thin-walled, lightweight, and high-precision complex cylinder blocks, a precision core assembly molding production line is designed, and the core assembly molding process design and production line workflow are elaborated in details. Through production verification, the wall thickness of the casting reached  $3.5\text{ mm}\pm 0.5\text{ mm}$ , the dimensional accuracy reached DCTG8 level, and the various performance indicators of the products met the technical requirements, ensuring the quality of the castings. The qualified rate of the cylinder blocks after volume production reached over 90%. The results show that the core assembly molding line composed of main equipments such as cold core making system, core removal and dipping coating robot, core assembly robot, continuous sand core drying oven, and sand core three-dimensional warehouse has the characteristics of high mechanization and automation, which improved the quality and assembly accuracy of sand cores, the casting production efficiency, and the working environment and labor intensity of workers.

#### Key words:

thin-wall; high precision; core assembly molding; foundry equipment; mechanization

---