● 工艺技术 Technology ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.07.008

基于 ProCast 的大型柴油发动机缸体工艺设计

黄 鹏[1],邱 代[2],杨 屹[2],鲁晨光[1],薛佳利[1]

(1. 宜宾普什联动科技有限公司,四川 宜宾 644007; 2. 四川大学 机械工程学院,四川 成都 610065)

摘 要:利用 ProCast 铸造数值模拟软件对某大型柴油发动机缸体的 3 种铸造工艺方案进行了模拟分析。通过对充型速度、充型情况、型砂温度等方面的分析与研究,得出在缸体最大横截面设置内浇道的中注式浇注系统为 3 种铸造方案中的最优方案。

关键词:大型柴油发动机缸体;ProCast 软件;大型柴油发动机缸体;整铸工艺

中图分类号:TG251 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)07-0589-05

Casting Process Design of Large Diesel Engine Block Based on ProCast

HUANG Peng[1], QIU Dai[2], YANG Yi[2], LU Chenguang[1], XUE Jiali[1]

(1. Yibin Push Liandong Technology Co., Ltd., Yibin 644007, China; 2. School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Three casting process schemes of a large diesel engine cylinder block were simulated and analyzed by ProCast casting numerical simulation software. Through the analysis and research on the filling speed, filling situation and sand temperature, it is concluded that the middle pouring gating system with inner runner at the maximum cross section of cylinder block is the best one among the three casting schemes.

Key words: large diesel engine cylinder block; ProCast software; large diesel engine cylinder block; integral casting process

大型柴油发动机缸体是船舶、重载汽车的动力核心部件之一。传统的铸焊工艺生产出的大型柴油发动机缸体,常因其运行环境复杂、载荷较大等因素,导致铸焊区域出现应力集中、裂纹等问题,影响柴油发动机正常使用,甚至损坏整个机组[1-2]。因此,对大型铸件的整铸工艺的研究和应用逐渐被各个企业和研究机构所关注。随着计算机 CAD/CAE 的不断发展和应用,利用数值模拟技术对铸造过程的模拟分析,不仅有利于铸件的铸造工艺设计,而且对于铸件缺陷预测与实际生产缺陷诊断也有极大帮助,而对于大型柴油发动机缸体的铸造同样具有诊断和分析工艺方案的益处[3-5]。

在大型柴油发动机缸体的整铸工艺设计中,对于充型过程中的不同截面充型情况、充型速度以及型砂温度等因素进行合理有效的控制,可以有效降低大型复杂铸件常见的缩松、缩孔、气孔等缺陷的产生[6-8],可有效提高铸件的成品率和企业经济效益[9-10]。

收稿日期:2021-05-13

基金项目:宜宾市科技计划项目(21KJJH0039)

作者简介:黄 鹏(1987—),四川泸州人,硕士,工程师.主要从事铸造工艺方面的工作.电话:15196964924,Email:huangtiefei@126.com

通讯作者:邱 代(1993—),四川南充人,硕士研究生.研究方向:先进设备制造技术.电话:15729601036,Email:1107702294@qq.com

1 铸造工艺分析

1.1 缸体简介

本文中的大型柴油发动机缸体外观轮廓尺寸为 2 374 mm×692 mm×675 mm,总重量为 1 560 kg,属 V 型错排式发动机缸体,材质为灰 HT250;抗拉强度要求:250～350 MPa;硬度要求:190～240 HB;石墨形态及大小要求:A 型≥90%,4～5级。

1.2 设计方案

针对该柴油发动机缸体的结构特性与材质特性,设计了 3 种整铸工艺方案。具体方案如图 1 所示。

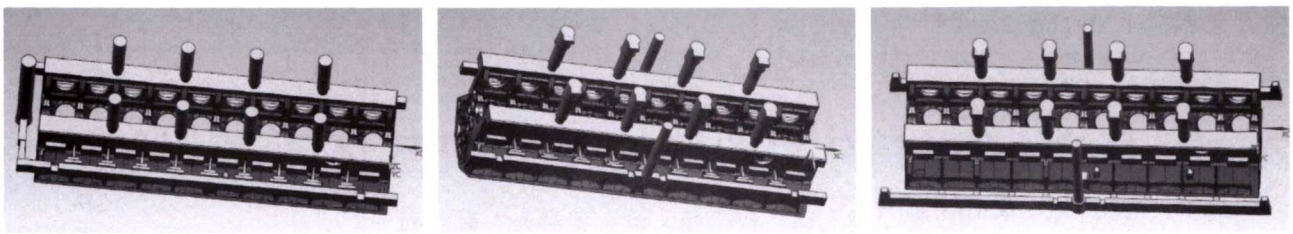
方案 1:直浇道设置于缸体自由端面一侧,分为两条横浇道,由缸体两侧龙门对型腔进行充型。

方案 2:在缸体左右两侧分别设置一条浇道,内浇道位置同方案 1。

方案 3:浇道设置同方案 2,在缸体左右两侧分别设置一条浇道,但内浇道设置于缸体水平截面最大处。

1.3 参数设置

对于模拟过程中的参数设置,应尽量准确且符合实际生产条件。3 种缸体整铸方案中,浇注温度、



(a)方案1　(b)方案2　(c)方案3

图 1 三种缸体整铸方案

Fig.1 Three casting schemes

型砂初始温度、换热系数等模拟参数均设置相同。但根据不同的浇注系统设计方案,对充型时间进行不同设置。模拟中相关参数设置如表 1 所示。

表 1 模拟参数

Tab.1 Simulation parameters

参数		方案 1	方案 2	方案 3
浇注温度 /℃			1 360	
型砂初始温度 /℃			20	
充型时间 /s		40	30	35
换热系数 /W·m^{-2}·K^{-1}	铸造合金—型砂		1 000	
	铸造合金—冷铁		2 000	
	型砂—冷铁		1 000	

2 模拟结果与分析

2.1 充型情况

为分析和研究内浇道与充型流量变化较大处(龙门壁与缸体主体交界处)的充型情况,分别取 A、B 两截面的充型状态进行分析。A、B 截面的位置如图 2 所示。其中,A 截面为内浇道水平截面,主要为便于对浇注时内浇道(横浇道)的充型情况进行分析;B 截面为缸体截面变化最大的截面,即缸体主体和支撑部位(龙门壁)交接处,主要便于分析在横截面变化最大处的充型情况。

图 3 所示为 A、B 两截面的模拟结果。从 3 种方案的两个截面的充型情况来看,方案 1 和方案 2 的充型情况基本一致,且金属液均在左侧第二个油道孔处交汇,横浇道与内浇道的金属液流量较大;方案 3 中各内浇道向型腔充型的时间基本一致,且相对方案 1 和方案 2 浇道内的流量较小。相较而言,方案 3 中的铁液分布更为均衡,充型更加平稳。

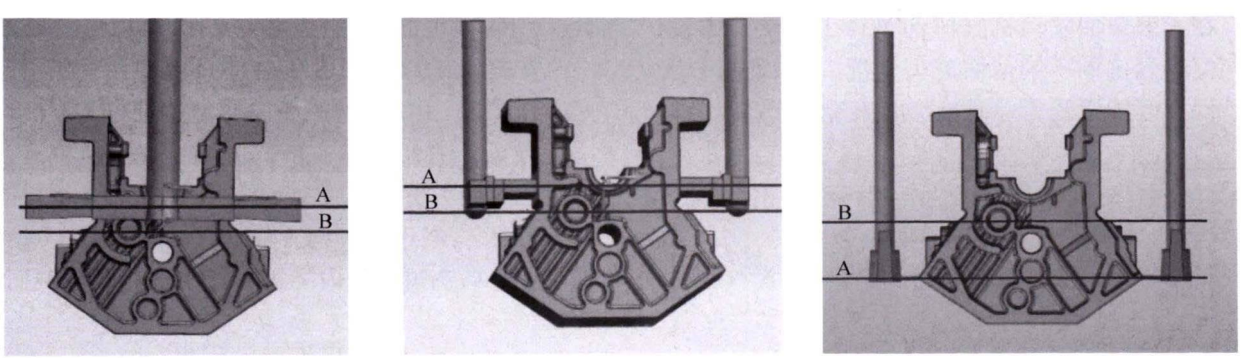
2.2 充型速度

3 种方案的初始充型速度如图 4 所示。方案 1 在直浇道转角处的流速较大,且由于金属液流向存在较大转变而对砂型产生较大冲击,不仅容易产生夹砂、夹渣等缺陷,而且易对砂型产生破坏,影响铸件精度。此外,近直浇道和直浇道两侧的充型速度存在较大差异,易在远直浇道一侧发生冷隔和浇不足现象;方案 2 和方案 3 的充型速度较为平缓,不存在方案 1 的缺陷。在方案 3 中内浇道和临近的型腔部位的流速较快,但因方案 3 内浇道设置于缸体横截面最大处,对缸体下半部充型时,缸体自身存在倾斜度,金属液对砂型的冲刷力较小,不影响铸件质量。

2.3 型砂温度

在造型、制芯和砂箱制作过程中选用的是呋喃树脂砂。基于呋喃树脂砂的瞬间发气量大和高温溃散性好的特点,为避免砂型受长时间受高温炙烤,引起型砂溃散等情况,需要对型砂温度和型砂高温时间进行控制。对于整个铸件而言,受热时间最长的应是浇注面(即 A 截面),尤其是内浇道与铸件交接处,因此对 A 截面的型砂温度进行分析,结果如图 5 所示。

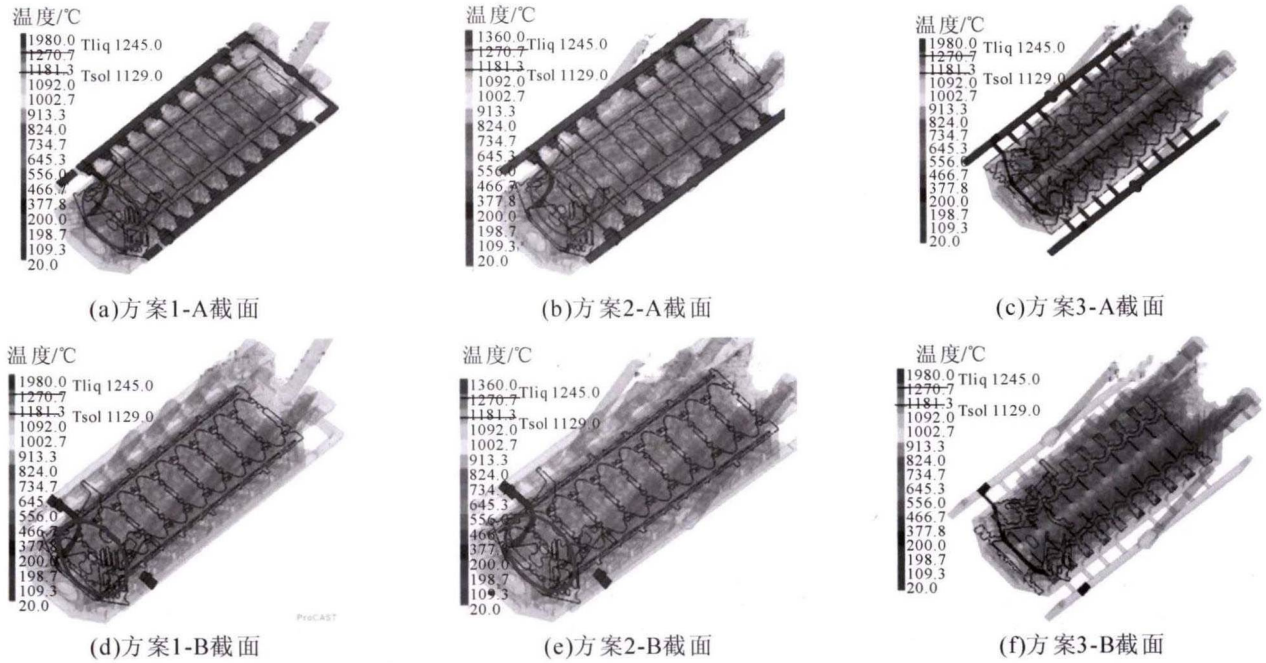
在金属液(红色区域)周边的受高温的型砂(绿色区域)即是型砂受高温烘烤的范围,可以看出在方



(a)方案1　(b)方案2　(c)方案3

图 2 A、B 两截面位置示意图

Fig.2 Schematic diagram of the positions of the A and B sections

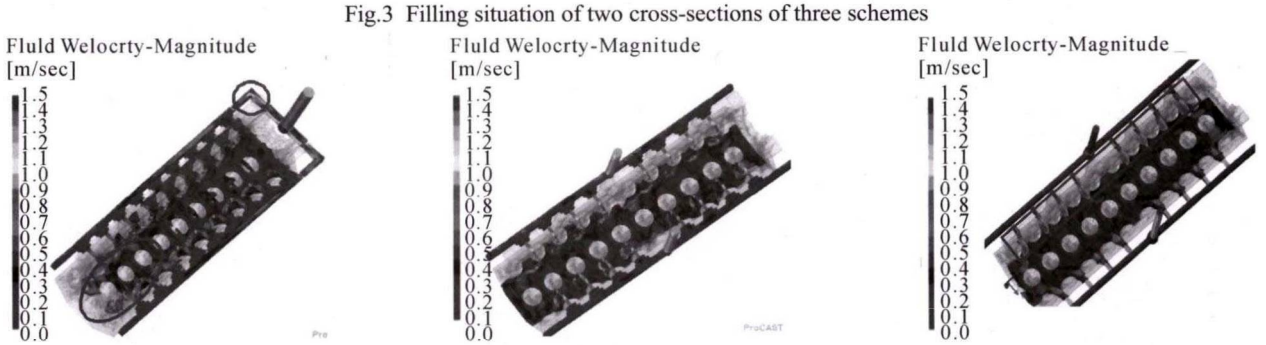


(a)方案1-A截面　(b)方案2-A截面　(c)方案3-A截面

(d)方案1-B截面　(e)方案2-B截面　(f)方案3-B截面

图 3　3 种方案的两个截面充型情况

Fig.3　Filling situation of two cross-sections of three schemes



(a)方案1　(b)方案2　(c)方案3

图 4　3 种方案的充型速度(初始充型)

Fig.4　Filling speed of the three schemes (initial filling)



(a)方案1-A截面　(b)方案2- A截面　(c)方案3- A截面

图 5　三种方案充型过程中型砂温度

Fig.5　Molding sand temperature during the filling process of the three options

案 1、2 中型砂受烘烤的范围明显大于方案 3。且在整个浇注过程中局部型砂温度超出 500 ℃，而 500 ℃以上的砂型强度几乎为零，极易产生砂型溃散、夹砂、夹渣等缺陷。

3　铸型制备

铸型制备主要包括造型制芯、组芯合箱等步骤。本文中所涉及的 V20 缸体采用呋喃树脂砂进行造型制芯，其型砂成分及相应指标如表 2 所示。其中，夏季与冬季固化剂占比存在差异，是由于气温差异导致固化剂的固化作用不一，同时砂型的固化强度也存在一定的差异。

组芯合箱过程中，主要采用轴心定位法，即在轴心位置安装一个定位杆，然后按照以下顺序进行组芯合箱：1# 空气腔芯组安装于下箱，将 8# 芯粘于 3# 缸筒芯，下缸筒芯组，分别下 2# 飞轮端芯和 4# 自由

表 2 型砂成分及指标

Tab.2 Composition and index of molding sand

糠醇含量(%)	游离态甲醛(%)	酸度	树脂占比(%)	固化剂占比(%)	固化强度 /MPa
70～75	≤0.5	4.5～7.5	0.75～1.15	25～40(夏季) 35～50(冬季)	2 h:0.4～0.6 24 h:0.8～1.2

端芯,分别下 5# 和 6# 边芯,合上箱,安放水口盆(浇口盆)。具体操作如图 6 所示。

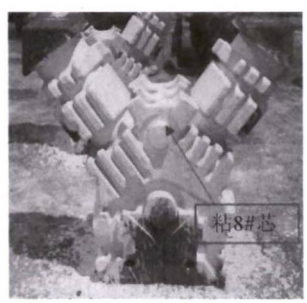
4 熔炼浇注

本文涉及的缸体为 HT250 材质，所使用原料主要为废钢和回炉料，其含量分别为 50%~60%和 40%~50%。实际使用比例主要以该缸体化学成分要求为主,以原料库存为次,在保证铸件成分合理的情况下,降低生产成本。其中该缸体的化学成分要求如表 3 所示。

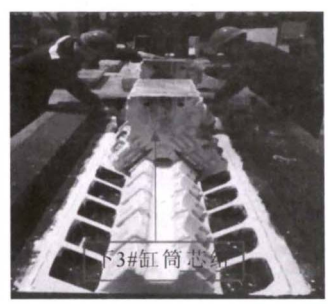
铁水熔化过程中保证炉料熔化充分，炉内炉料熔化后将铁水升温到 1 500~1 520 ℃,向炉内撒入除渣剂并充分搅拌使炉渣聚集在一起,然后进行打渣,且至少打渣清除 3 次,打渣后均需进行取样分析。取样方法:在铁水搅拌均匀并静置 5～10 min 后,取碳硫样光谱样。根据取样结果调整铁液的化学成分至要求范围内,方能进行浇注。



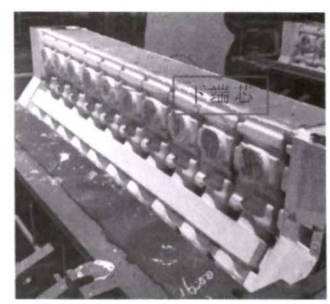
(a)下1#芯组



(b)组8#芯

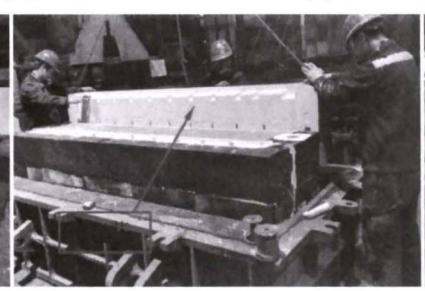


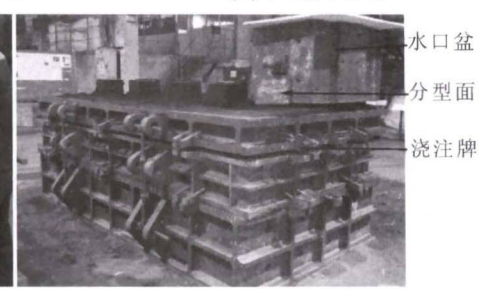
(c)下3#芯组



(d)下端面芯组


(e)下左边芯


(f)下右边芯



(g)合箱示意图

图 6 砂芯安装和合箱示意图

Fig.6 Schematic core assembling and mold closing process

表 3 化学成分要求

Tab.3 Chemical composition requirements w(%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg	Ti	Pb	Fe
3.25±0.05	1.85±0.05	0.75±0.1	≤0.06	0.09±0.05	0.22±0.02	0.80±0.02	/	<0.025	<0.0025	余量

5 实际生产结果

根据上述铸造工艺设计结果进行实际生产,最终在近一批次（100 件）该缸体铸件的成品率达到 95%以上,其中工艺出品率可达 90%。满足企业生产成本控制需求,生产出的部分缸体实物如图 7 所示。

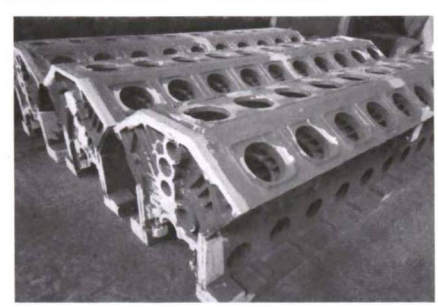


图 7 实际生产的缸体铸件

Fig.7 Actual produced cylinder block castings

6 结论

(1)通过 ProCast 铸造模拟软件,可以从不同截面的浇注情况、浇注过程中的浇注速度以及金属液对型砂的烘烤情况，对大型灰铸铁柴油发动机缸体铸造工艺设计方案分析和诊断，从而选取最优方案,可有效提高铸造工艺设计质量和新产品开发效率。

(2)对于浇注过程中的充型速度和浇注系统结构，因尽量避免充型速度过快和较大的转角，同时因充分利用型腔自身结构引导金属液，从而避免因充型速度过快或金属液流向转变过大而对型腔产生冲击，造成冲砂、夹砂等缺陷。

(3)对于浇注过程中的流量分布，因尽量均衡合理，避免金属液对砂型产生长期烘烤而产生砂型溃散、气孔、夹渣、夹砂等缺陷。

参考文献：

[1] 贺大松，严平. 16V280 柴油机机体下缸孔惯穿性裂纹的焊修工艺研究[J]. 煤矿机械，2011，32(3)：126-128.

[2] 马玉临，邢进海，徐世武. 16V240ZJ 型柴油机铸焊机体焊修存在的问题及改进措施[J]. 甘肃科技，2010，26(14)：10-12.

[3] 杨智强，起华荣，郭红星，等. 国内铸造工艺数值模拟研究及应用现状[J]. 铸造技术，2017，38(9)：2072-2075.

[4] 杜旭初，樊振中，洪润洲，等. 铸造数值模拟技术发展[J]. 铸造技术，2013，34(11)：1531-1534.

[5] 陈映东，丁旭，沈刚，等. 大型球墨铸铁蜗壳件砂型铸造模拟分析与工艺优化[J]. 铸造技术，2018，39(10)：2249-2252.

[6] 王振宇，杜利峰. 6DL3 缸体铸件的生产工艺 [J]. 现代铸铁，2017，37(1)：43-47.

[7] 周立华，骆静，唐克岩，等. 基于 ProCAST 的制动器隔离盘低压铸造模拟分析[J]. 热加工工艺，2020，49(7)：68-70.

[8] 汪煦，赵玉涛，苏大为，等. ProCAST 在金属型重力铸造充型和模具温度场中的应用[J]. 铸造，2008，57(12)：1263-1266.

[9] 陈康，王丹丹，刘贯军. 基于计算机模拟的球墨铸铁件铸造工艺优化[J]. 铸造技术，2016，37(8)：1773-1775.

[10] 杨绍同，陈云龙，罗斌，等. 铸造模拟技术在缸体铸造工艺设计中的应用[J]. . 现代铸铁，2018，38(1)：80-85.

招贤纳士

襄阳聚力新材料科技有限公司

一、招聘销售工程师

任职要求：

1. 本科及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟悉二维、三维绘图软件者优先考虑。
2. 2 年以上铸造行业耐火材料销售或铸造涂料销售经验者。
3. 2 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 2 年以上铸造行业铁合金生产或销售经验者。
5. 2 年以上耐火材料技术研发或产品应用经验者。
6. 2 年以上铸造涂料技术研发或产品应用经验者。
7. 2 年以上有在铸造厂工作经验，对中频炉熔炼或造型工艺熟悉者。
8. 在压铸厂或铝厂工作 2 年以上，对有色金属铜铝熔炼工艺流程熟悉者。

二、招聘销售经理

任职要求：

1. 大专及以上学历，铸造、耐火材料、冶金、有色金属专业，熟练掌握办公软件，懂产品市场宣传，营销策划者优先考虑。
2. 5 年以上铸造行业耐火材料销售、铸造涂料或类似工业品销售经验者。
3. 5 年以上铸造行业用中频炉或压铸行业工业炉销售经验者。
4. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强。
5. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高。
6. 善于多部门或多层次沟通协调。

三、销售助理

任职要求：

1. 男性，30 岁以下，本科学历，身体健康，适合经常出差。
2. 性格外向，诚信可靠，乐观向上，抗压力强。
3. 逻辑思维清晰，做事干净利落，工作效率高。
4. 善于多部门或多层次沟通协调。

有意向者请将简历发送至邮箱 wuhaiyan@xyjllc.com