

铸件的虚拟设计、虚拟制造、虚拟验证技术应用

张 肖, 李耀宗, 陆寅松

(七一一研究所, 上海 201108)

摘 要: 通过采用虚拟设计、虚拟制造、虚拟验证技术, 在零件设计阶段进行铸件的设计、制造、验证及改进工作; 在铸件生产前评估是否会发生冲砂、缩松、冷隔、裂纹、尺寸不符或性能不符等问题, 以提前解决在实际生产中可能出现的问题, 达到降低生产成本, 提高生产效率和铸件质量的目的。

关键词: 铸造; 虚拟技术; 机体

中图分类号: TG21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2018)01-0040-04

The Application of Virtual Design, Virtual Manufacturing and Virtual Verification Technology of Castings

Zhang Xiao, Li Yaozong, Lu Yinsong

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: By using the virtual design, virtual manufacturing, virtual verification technology, the work including manufacturing, verification and improvement of castings was carried out in the design phase. Before the production of castings, the problems such as sand cut, shrinkage porosity, cold shut, flaw, wrong dimension or bad performance could be evaluated, and avoided before actual manufacturing. This technology could reduce cost of production, improve efficiency, and enhance the quality of castings.

Key words: casting; virtual technology; engine block

0 引 言

制造业数字化、网络化、智能化是新一轮工业革命的核心技术, 应该作为中国制造 2025 的制高点、突破口和主攻方向^[1]。随着计算机技术的发展, 仿真技术在制造领域的应用越来越广泛。通过仿真分析得到与预期生产更为接近的试验结果, 从而获得更加量化的投资决策依据, 达到避免投资失误或浪费的目的^[2]。在铸造业利用数字化虚拟技术, 在虚拟环境下完成工艺设计、铸造生产和质量检验, 解决预知的问题, 可有效地从源头控制产品质量与效率。本文通过虚拟环境, 在零件设计阶段利用数字化手段完成铸件的设计、制造、验证、改进等工作, 评估及提高铸件设计的可制造性, 从而达到从设计源头提高产品质量与生产效率, 节省研

制成本、缩短研制周期的目的。

1 虚拟设计、制造、验证技术应用

1.1 虚拟技术原理

采用 UG 软件确定铸件的铸造方式, 删除不可铸出的孔和槽, 确定铸造方向、分型分芯方式, 增加加工余量, 设计冒口和补贴、冷铁、浇注系统。

采用 ProCAST 软件对铸件的浇注、充型、凝固、型内冷却过程进行仿真, 分析铸件的完整性、表面质量、内部质量、机械性能, 必要时对变形量、残余应力进行分析。依据这些分析结果对零件模型进行优化改进, 以满足质量要求。图 1 为铸件的虚拟设计、虚拟制造、虚拟验证的具体操作流程。

1.2 铸造过程的仿真与优化

ProCAST 是铸造过程模拟软件, 基于有限元

收稿日期: 2017-04-11

作者简介: 张肖(1992-), 女, 助理工程师, 主要研究方向为柴油机制造技术, E-mail: zhangxiao@csic711.com。

求解器和高级选项, 提供高效和准确的求解来满足铸造业的需求。与传统的尝试—出错—修改方法相比, ProCAST 是减少制造成本, 缩短模具开发时间, 以及改善铸造过程质量的重要工具。ProCAST 能够进行完整的铸造工艺过程预测评估, 包括充型、凝固、微观组织以及热力耦合模拟等, 使工艺设计人员可以很便捷地观察模具设计效果, 从而在制造过程的早期阶段就能进行正确的选择与决策。

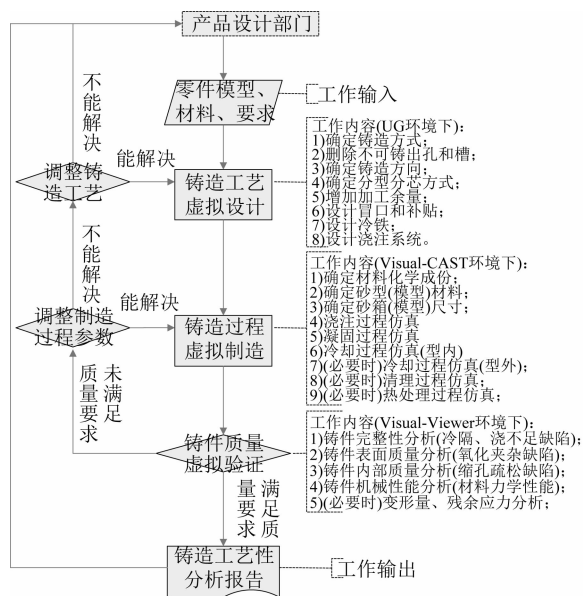


图1 铸件的虚拟设计、虚拟制造、虚拟验证操作流程

2 虚拟技术与现实生产

2.1 关系

虚拟技术与实际制造有着密切的关系。一方面, 虚拟技术不是无掘之水, 无车之木, 而是实际制造过程在计算机环境下的映射^[3]。传统的铸造分析是在产品铸造完成, 获得实际生产的铸件之后, 对铸件进行问题分析。目前国内大多铸造行业是在已固化的零件模型基础上对铸造工艺进行优化改进, 通过不断地生产、试制, 最终制造出符合质量要求的产品。而铸件的虚拟设计、虚拟制造、虚拟验证技术是通过对铸造参数的确认和过程的仿真, 对设计的零件本身进行优化改进, 在铸件生产前评估是否会发生冲砂、缩松、冷隔、裂纹、尺寸不符和性能不符等缺陷, 减少铸件在生产过程中的反复, 提前解决在实际生产中可能出现的问题, 减少生产成本, 缩短生产周期, 提高生产效率和铸件质量。

2.2 零件选择

机体为柴油机重要铸件, 因其结构复杂, 壁厚相差较大, 存在较多孤立热节, 铸造过程中易产生

缩孔缩松缺陷; 同时机体含有主油道、水道, 铸造过程中易出现管道变形或泵压渗漏等缺陷。本文通过虚拟技术对投入生产前的机体零件模型进行优化改进。

2.3 机体设计优化

2.3.1 减小厚大部位的热节

输出端凸轮轴孔周围 (图 2 (a))、自由端缸套孔齿轮箱侧 (图 2 (b)) 处存在厚大截面, 是铸造过程中的热节部位 (图 3), 易产生缩孔、缩松缺陷。建议通过增加毛坯孔、槽等特征, 消除厚大截面, 减小该部位的热节。

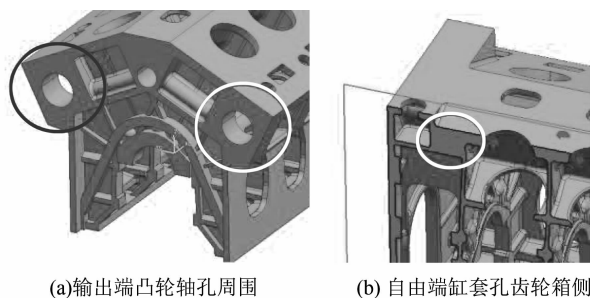


图2 机体存在厚大截面处

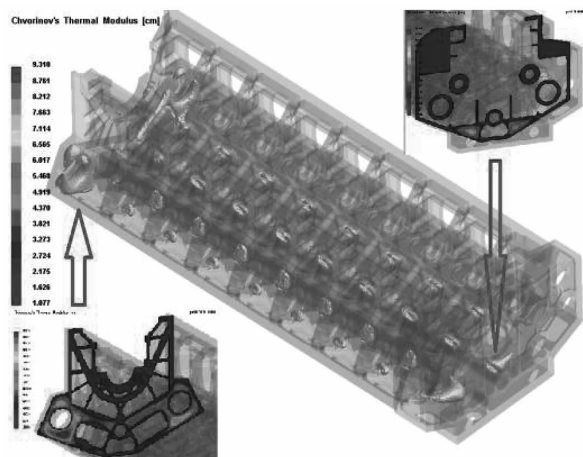


图3 铸造的热节部位

2.3.2 增加主油道周围壁厚

主油道内径 130 mm, 壁厚为 30 mm (图 4 (a)), 铸造时采用铸入钢管形成主油道, 铸入钢管厚度约为 5 ~ 10 mm。浇注过程中, 钢管温度较低, 对金属液有激冷作用, 导致金属液快速降温。钢管周围的壁厚薄, 金属液快速降温 (图 4 (b)), 流动性变差, 易产生浇不足、冷隔等铸造缺陷。建议将主油道周围壁厚增加 5 ~ 8 mm。

2.3.3 优化滑油油腔处结构

齿轮箱处的滑油腔 (图 5 (a)) 在铸造过程中须制作砂芯, 该砂芯面只有侧面腰圆孔可作为芯的定位孔, 砂芯易错位或移动, 从而引起尺寸偏

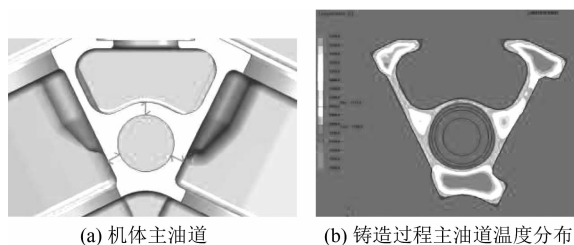


图 4 机体主油道及铸造过程主油道温度分布

差。建议在底部增加工艺孔。同时, 由于该砂芯落芯过程与其它砂芯存在干涉 (图 5 (b)), 建议对干涉位置做相应改进。

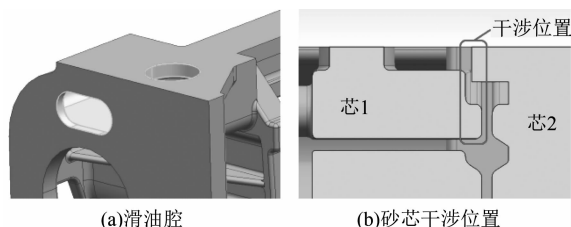


图 5 滑油腔及其砂芯干涉示意

2.3.4 增加凸轮轴箱与曲轴箱的连接孔

为提高机体整体尺寸精度, 可将凸轮轴箱、曲轴箱和缸套孔制作为一个砂芯。凸轮轴箱与曲轴箱处回油孔 (图 6 (a)) 为凸轮轴箱、曲轴箱砂芯的连接孔, 建议增加该孔的大小; 同时在凸轮轴箱与缸套孔的纵隔板处 (图 6 (b)) 增加工艺孔, 增加凸轮轴箱砂芯的强度及定位能力。

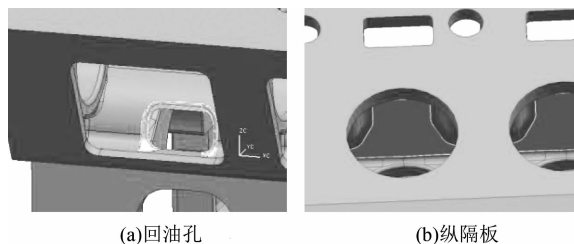


图 6 回油孔、纵隔板示意图

2.4 设计改进

综上, 在不影响零件可使用性的前提下, 对机体结构进行如下改进:

(1) 优化输出端凸轮轴孔周围、自由端缸套孔齿轮箱侧处结构, 减少厚大截面, 优化后的结构详见图 7 (a)、(b);

(2) 改进滑油腔处结构, 避免砂芯落芯时与其他砂芯产生干涉;

(3) 回油孔由 $160\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 增大至 $200\text{ mm} \times 120\text{ mm}$, 见图 7 (c);

(4) 在凸轮轴箱与缸套孔的纵隔板中下部区域增加一腰形工艺孔, 见图 7 (d)。

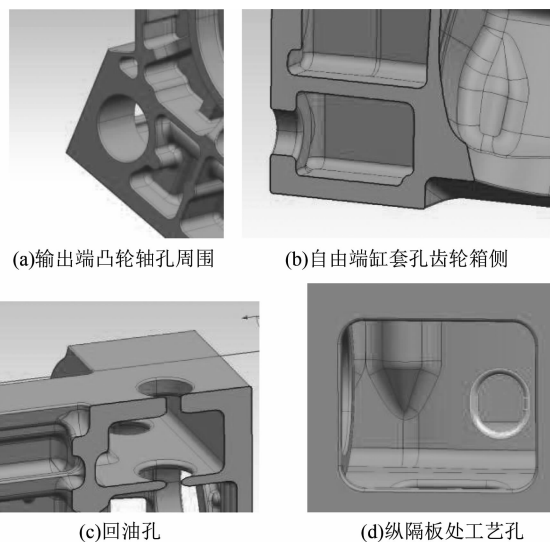


图 7 具体设计改进

经虚拟环境分析后, 最终确定铸造工艺模型, 详见图 8。

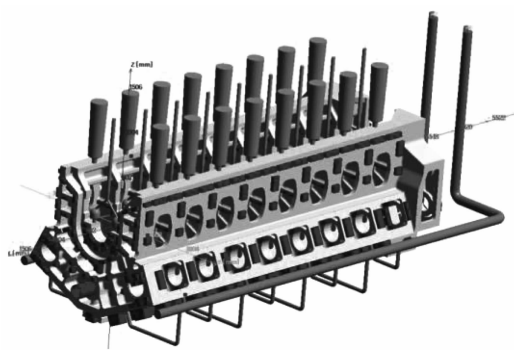


图 8 机体铸造工艺模型

经虚拟验证分析, 机体铸造过程充型平稳, 无严重涡流现象, 充型后温度场分布合理, 不会产生冷隔缺陷; 铸件凝固过程中, 无长时间过热位置, 不易产生粘砂缺陷; 整体趋于同时凝固, 无过大孤立液相区, 不易产生缩孔、疏松缺陷; 软件预测的缺陷均在可接受范围内, 材料机械性能分布满足零件使用要求。虚拟验证结果详见图 9。

2.5 实际生产

通过实际生产试制 (图 10 (a)), 零件 (图 10 (b)) 表面质量、内部质量和机械性能均达到使用要求。机体的设计、毛坯试制周期约为 11 个月。

2.6 产品验证

(1) 射线检测

切取第四档整段轴承档进行射线检测, 检验合格后在该缸盖螺栓孔及主轴承螺栓孔取试块, A 样、B 样、C 样, 位置示意详见图 11。射线检测和工业 CT 检测均合格, 部分轴承档部位工业 CT 结

果详见图 12。

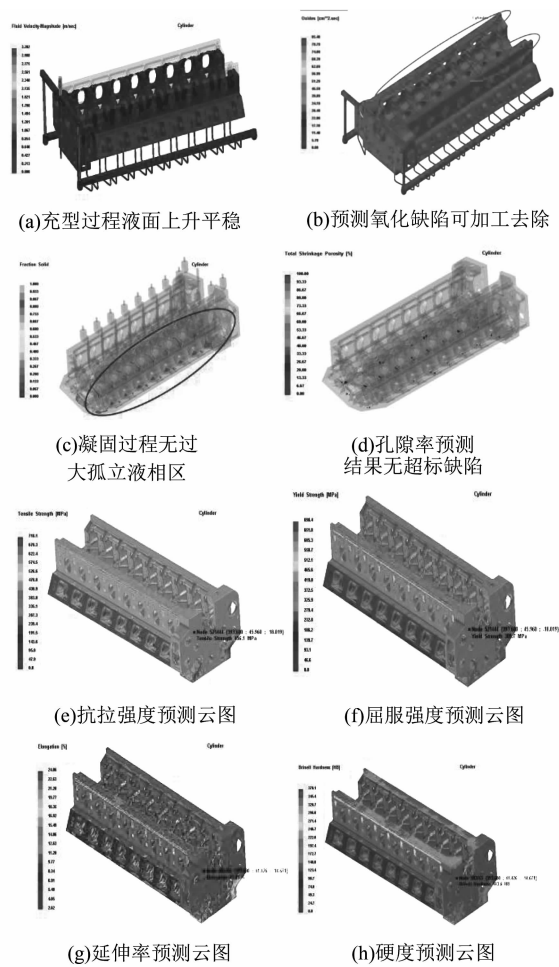


图 9 虚拟验证结果



(a)生产试制 (b)试制完成的机体
图 10 生产试制及试制完成的机体

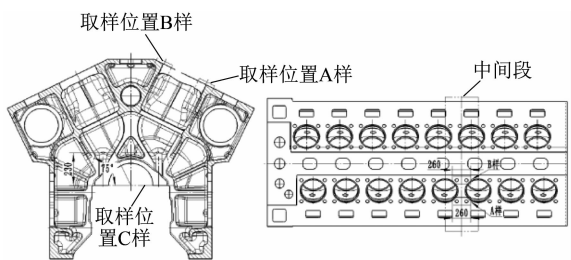


图 11 射线检测和工业 CT 检测试样制取示意图

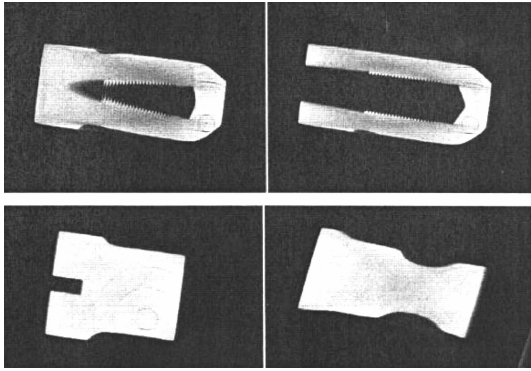


图 12 轴承档部位工业 CT 结果

(2) 本体力学性能检验

在机体的主轴承螺栓、缸盖螺栓和横向螺栓搭子处制取了 32 根工艺验证试样，取样位置详见图 13。对试样进行金相检测和力学性能试验，检测结果均满足技术要求。

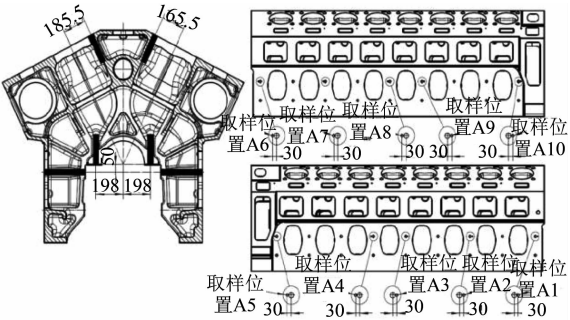


图 13 首件机体本体试块取样位置示意图

3 结 论

在机体零件设计阶段采用虚拟技术完成铸件的设计、制造、验证、改进等工作，提高了铸件的可制造性。机体铸件经虚拟改进后，获得符合零件使用要求的铸件工艺和生产过程控制参数，并指导后续实际生产，提高了成品率，从而缩短了研制周期、节省研制成本。

参考文献

[1] 周济. 智能制造—“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2005, 26 (17): 2273-2284.
[2] 曹彦存, 吴浚郊, 李彤. 生产仿真技术在铸造系统规划中的应用[J]. 中国铸造装备与技术, 2002 (1): 50-53.
[3] 赵维民, 胡爱文. 虚拟制造在铸造中的应用与发展[J]. 中国铸造装备与技术, 2004 (1): 1-6.