

一种整体式齿轮箱铸造工艺及模具设计研究

穆彦青, 肖恭林, 杨志刚, 杨 帅

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213011)

摘要: 针对一种整体式齿轮箱进行了铸造工艺设计、铸造CAE仿真及模具设计研究。通过合理地设计浇注系统、激冷冷铁和发热保温冒口等工艺措施, 并采用预埋覆膜砂型芯、整体筋板抽活块等模具设计方案, 成功开发了满足质量要求的整体式齿轮箱铸件。

关键词: 整体式齿轮箱; 铸造工艺; CAE分析; 模具设计

低地板轻轨车辆是现代城市新型交通装备, 其显著的特点是造价低、节能环保, 轨道可直接铺设在现有道路上, 车辆在地面停靠, 车辆距轨面距离低于40 cm, 方便出行, 适合中小城市以及大城市人流量相对较小的区域。按照车辆低地板区域占整个车辆地板面的比例, 可分为70%和100%两种型式。本文中所涉及的球墨铸铁整体式低地板轻轨齿轮箱应用车型为70%低地板轻轨车, 齿轮箱体为全悬挂式, 通过吊挂节点安装到构架上, 输入端与电机轴通过膜片式联轴器连接, 输出端通过空心轴联轴器连接到车轴上。

1 产品结构及要求

齿轮箱体结构如图1所示, 箱体材质为EN-GJS-400-18LT (QT400-18L), 要求-40℃低温冲击功 A_{KV} 三个试样平均值 ≥ 12 J, 箱体集成了齿轮箱、电机安装座、制动夹钳安装座等于一体, 结构复杂, 尺寸精度要求高; 主体壁厚8 mm, 厚大区域达到110 mm, 轮廓尺寸大, 浇注系统流程长, 壁薄区域容易出现冷隔、冷豆、气孔、夹渣缺陷, 壁厚区域易出现石墨漂浮、球化衰退等异常组织^[1-2]。表面磁粉探伤需达到EN 1369: 1997规定的1级要求, 射线探伤达到ASTM E446及ASTM E186中确定的A类(气孔)、B类(夹砂和夹渣)、C类(疏松)2级; 但不允许有D(裂纹)、E(热撕裂)、F(内冷铁)、G(斑纹)四类缺陷。

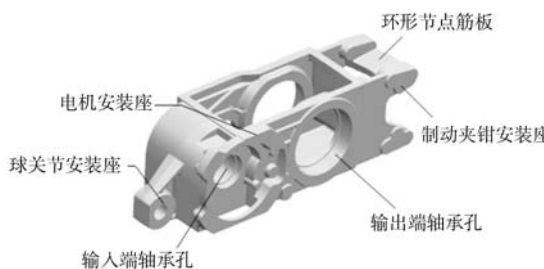


图1 箱体结构图

Fig. 1 3D drawing of box

2 铸造工艺设计

铸型采用呋喃树脂砂手工造型, 型砂采用40/70目原砂、木质改性呋喃树脂砂, 固化剂配比为65wt.%A型固化剂+35wt.%B型固化剂, 树脂加入量1.0%~1.2%, 固化剂加入量为树脂量的30%~50%^[3-5]。

作者简介:

穆彦青(1985-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为铸造材料及工艺技术。电话: 18761187689, E-mail: muyanqing209@163.com

中图分类号: TG143.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

01-0086-05

收稿日期:

2023-06-17 收到初稿,

2023-10-29 收到修订稿。

铸造工艺如图2所示，将箱体中心面作为铸造主分型面，箱体车轮侧置于上型，箱体电机一侧置于下型，铁液经浇注系统从窗口法兰下部侧面进入型腔，

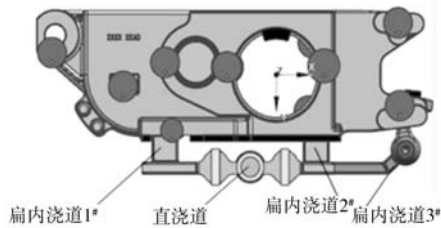


图2 铸造工艺图

Fig. 2 Casting process drawing

铁液经直浇道、横浇道、内浇道及进水侧冒口组成的半封闭式浇注系统进入铸型，直浇道分两段组成，第一段在上型外模通过预埋 $\Phi 50$ mm的陶瓷管成型，第二段在主体型芯通过预埋 $\Phi 50$ mm的陶瓷管成型，在直浇道底端预埋陶瓷碗，以避免浇注过程中铁液对直浇道侧壁及底部型砂的冲击。

铁液经直浇道分别从左右两侧进入下层横浇道，后分别经两个泡沫陶瓷过滤器进行过滤、整流，以过滤掉进入型腔的一次氧化渣，然后铁液通过上下搭接进入上层横浇道，起到缓流的作用。进入上层横浇道后，在横浇道底端设计扁内浇道1#和扁内浇道2#，尺寸均为 $80\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ ；在制动夹钳安装座处设计扁内浇道3#，尺寸为 $35\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ ，铁液先进入侧冒口进行滤渣，然后通过冒口颈进入型腔，侧冒口兼具内浇道、排渣和补缩的三种功能。

浇注系统中 $\sum A_{内}$ 、 $\sum A_{横}$ 、 $\sum A_{直}$ 的横截面积，分别为 $1\ 880\text{ mm}^2$ 、 $2\ 600\text{ mm}^2$ 、 $1\ 962.5\text{ mm}^2$ ； $\sum A_{横} > \sum A_{直}$ ， $\sum A_{横} > \sum A_{内}$ 以降低铁液进入型腔初期在浇注系统中的流动速度，避免紊流、卷气，有效地避免浇注过程中一次、二次氧化渣进入铸型。

在铁液浇注过程中，输入端轴承孔处于下型的最高点，铁液进入型腔后，气体将在此处聚集而无法排出型腔，在制作主体芯时，在该处预埋一个发热保温暗冒口，起到储存型内气体和补充轴孔收缩的作用，如图3所示。将石墨块状材料加工成环状随形石墨冷铁，在使用前在烘箱内进行烘烤 $1.5\sim 2\text{ h}$ ，去除吸附于随形石墨冷铁表面的水汽，并预埋入输入端型芯中，不仅有效地避免了铁质冷铁表面微孔易吸附水汽在浇注过程易形成冷铁气孔的问题，且减小了铸件模数降低了铸件缩松的风险。

为了避免内浇口附近铁质冷铁易被高温铁液长时间冲刷，冷铁表面与铁液反应而形成反应性气孔（见图4），在窗口法兰面下侧扁内浇道1#、扁内浇道2#两处附近不能设置冷铁，而设计一个发热保温冒口，

由下而上充满整个型腔，将上型外模所有发热保温冒口顶部打通预置排气孔，以便浇注过程中型腔中的气体的排出。

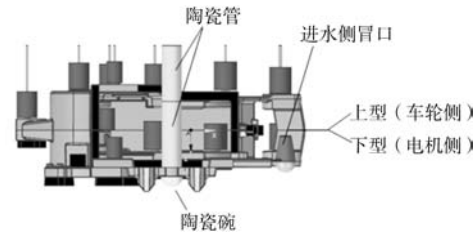


图3 输入端小轴承孔局部工艺图

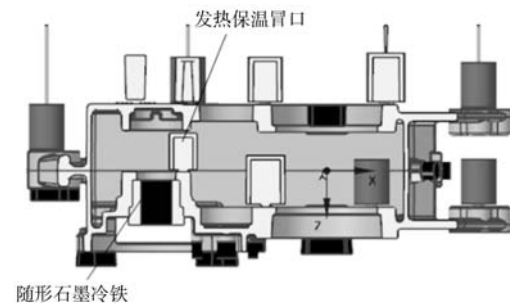


图4 箱体下侧窗口局部工艺图

Fig. 3 Local process diagram of small bearing hole at input end

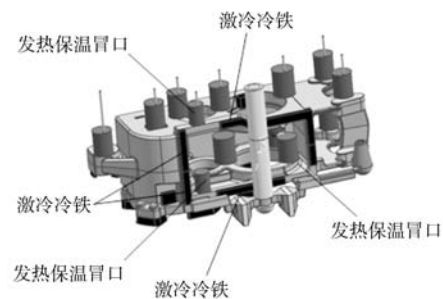


图4 箱体下侧窗口局部工艺图

Fig. 4 Partial process diagram of the lower window of the box

来消除该部位缩松缺陷；在窗口法兰面上侧，箱体最高处设置一个发热保温冒口，冒口顶部打通预置排气孔，起到补缩铸件、排气的作用，而不能设计冷铁，避免憋气。

3 铸造CAE模拟分析

图5为齿轮箱体Magma充型仿真分析图，铁液通过浇注系统进入型腔后，充型平稳，在内浇道1#与内浇道2#间冷铁部位铁液温度瞬间降低；但随着后续铁液的进入，温度逐渐回升，由于采用了三个内浇道，使整个充型过程及充型结束后，箱体温度较均匀，未出现明显地局部低温区，避免出现冷隔的风险。铁液最终汇

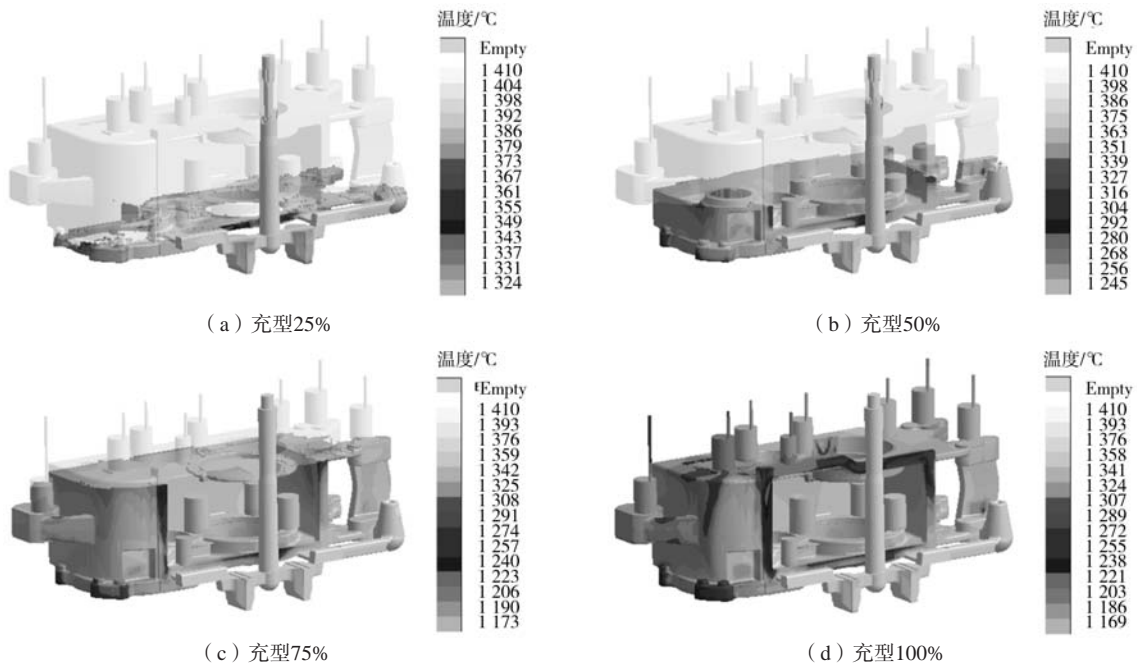


图5 箱体流动场计算

Fig. 5 Flow field calculation of box

合区为工艺设置冒口区域，型腔气体通过冒口上方预设的排气孔排出型腔，避免出现憋气的现象。

图6为铸件凝固场的仿真分析图，由图可以看出，采用激冷冷铁和发热保温冒口的配合使用，实现了铸件的顺序凝固，经缩松判据分析，铸件关键区域无缩松缺陷，满足箱体质量要求。

4 模具设计（造型与制芯）

4.1 造型

造型通过上型模和下型模分别制作上型外模和下型外模，如图7、图8所示，砂箱通过两处定位销与砂箱定位，在砂箱四个角上分别设计四个3~5 mm的垫箱铁将砂箱垫高，以保证上、下外模成形后砂模平面高

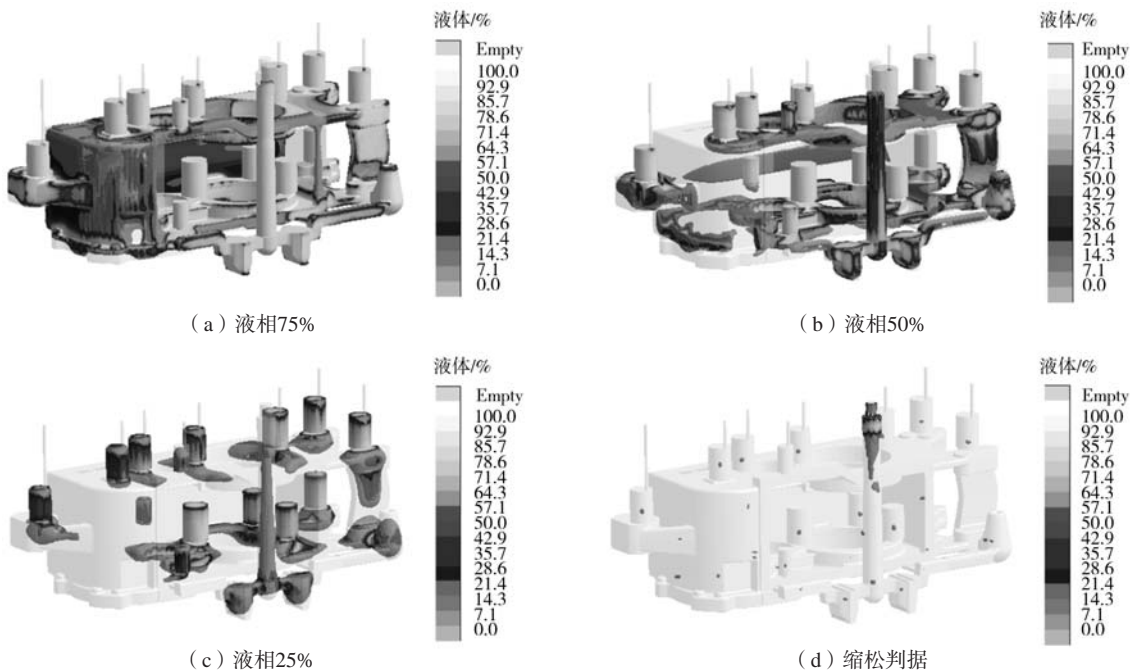


图6 凝固场分析、缩松判据

Fig. 6 Solidification field analysis and shrinkage criterion

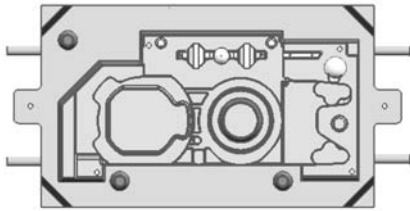


图7 下型模具
Fig. 7 Lower mold

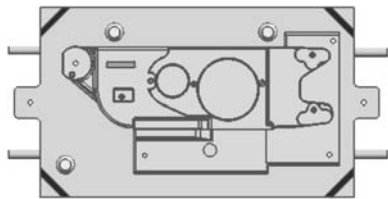


图8 上型模具
Fig. 8 Upper mold

出砂箱平面，避免在合箱后上下砂模间存在间隙而浇注过程中出现漏箱。

4.2 制芯

主体型芯通过主体芯模具制作，制作主体芯时，先将1#小型芯放入主体芯模具，用两根顶杆顶紧1#小型芯，通过锁紧螺母将螺杆锁紧固定；待树脂砂固化后，依次将锁紧螺母、顶紧螺杆取出，并将螺杆孔用树脂砂修补完整（见图9）。该种设计避免了小型芯1#与主体型芯间的拼接间隙，且覆膜砂具有良好的溃散性，提高了铸件尺寸精度高，避免了铸件粘砂造成的铸件报废。为了保证铸件的精度，侧面芯模具3#的设计，设计为整体成形抽模结构，以环环节点筋板中心作为侧面芯模具3#的分模面，将两侧筋板再一分为二；制芯时，型芯整体成形，树脂砂固化后，先将筋板抽模活块朝两侧抽出，然后再将剩余两侧模具分别脱模（见图10），避免了型芯分块制作而造成的尺寸误差，提高了铸件精度。

4.3 型芯组装

如图11所示，将制好的侧面芯1#通过型芯定位，使

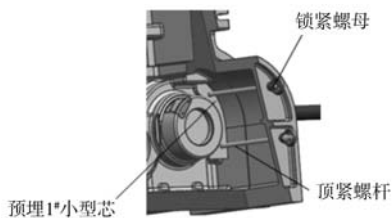


图9 主体芯模具
Fig. 9 Main core mold

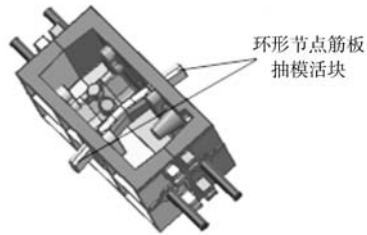


图10 侧面芯模具3#
Fig. 10 Side core mold 3#

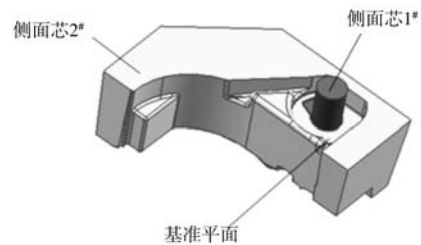


图11 侧面芯1#、2#组装图
Fig. 11 Assembly of side core 1# and 2#

用粘结胶与侧面芯模具2#组装成为一体，侧面芯1#与侧面芯2#组装采用U形凹凸配合，U形侧面可以防止圆柱形型芯与侧面芯2#组装后旋转，侧面芯1#U形凸台平面可以作为与侧面芯2#配合的基准平面，提高型芯组装精度。

4.4 下芯及合箱

将输入端型芯、组装后的侧面芯1#、2#、主体芯以及侧面芯3#依次通过型芯定位与下箱外模组装，然后通过三个定位销与上箱外模完成合箱。输入端型芯采用铸件外轮廓随形结构与下箱外模定位；组装后的侧面芯1#、2#和侧面芯3#采用自带凸台定位与下箱外模、主体芯定位；主体芯采用输出端轴承孔+两个圆柱定位销与下箱外模定位，侧面芯1#、2#、3#、主体芯与下箱外模形成相互定位，保证型芯定位精度。

5 熔炼工艺设计

合金熔炼时，依次向中频感应电炉中加入生铁、废钢，待炉料熔清后取炉前试样，进行炉前成分分析，根据分析结果调整炉内铁液中各元素的含量为3.7%~4.0% C，0.7%~0.9% Si，≤0.3% Mn，≤0.03% P，≤0.015% S，余量为铁。当铁液成分和温度满足要求后进行镇静、扒渣、出炉进行球化处理。在球化包底部包坑内加入稀土-镁合金球化剂，粒度为5~25 mm，加入量为出炉铁液质量的1.0%~1.2%，在球化剂上放入出炉铁液质量的0.4%~0.6%的硅钡孕育剂，粒度为3~8 mm，再加入出炉铁液质量的0.4%~0.6%的覆盖剂；出炉温度1 520~1 550 ℃。待球化反应结束后立即

将球化包内铁液转至浇注包，倒包过程中向铁液中加入铁液质量的0.4%~0.6%的硅钡孕育剂，粒度为3~8 mm进行二次孕育处理；待铁液静置约10 s后扒渣浇注。控制浇注温度1 400~1 420 ℃，浇注时间17~20 s，保证浇注速度平稳。在浇注过程中进行随流孕育，随流孕育剂（硅铁粉粒度为0.2~0.7 mm）加入量为出炉铁液质量的0.05%~0.1%。

通过样件试制，铸件的力学性能、本体金相均达到技术条件要求，材料抗拉强度在400~411 MPa，伸长率在21.5%~26%，冲击吸收功单个值均在14 J以上；铸件本体球化率90%以上，基体组织为铁素体，如图12所示。通过上述工艺优惠措施后，生产出了符合要求的整体式齿轮箱铸件，见图13。

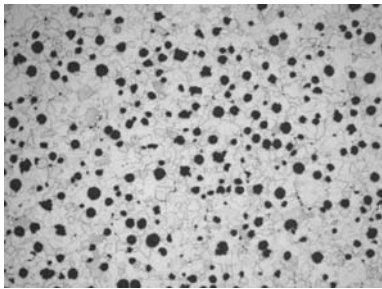


图12 铸件本体金相图

Fig. 12 Metallographic diagram of casting body

参考文献:

- [1] 李新亚. 铸造手册: 铸造工艺 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2011: 190-203.
- [2] 穆彦青, 肖恭林, 杨志刚, 等. 大轴重机车齿轮箱铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2020, 69 (3): 286-291.
- [3] 董鹏, 朱正锋, 封雪平, 等. 木质素改性呋喃树脂性能研究 [J]. 铸造, 2016, 65 (6): 512-515.
- [4] 韩文. 铸造用中氮低游离甲醛自硬呋喃树脂的研究 [J]. 铸造, 2012, 61 (12): 1452-1454.
- [5] 张集滕, 李瑞. 树脂和固化剂含量对自硬呋喃树脂砂抗拉强度的影响 [J]. 铸造, 2012, 61 (11): 1361-1362.

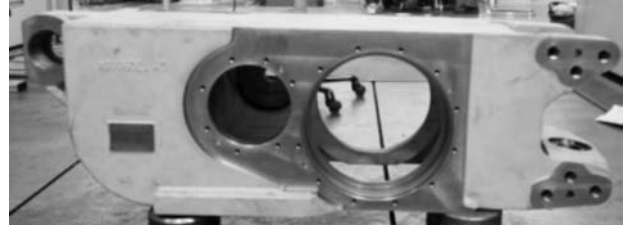


图13 整体式齿轮箱成品图

Fig. 13 Finished product drawing of integrated gearbox

6 结论

(1) 采用半封闭式底注工艺，通过陶瓷管/碗直浇道，扁内浇道结合进水侧冒口等工艺措施保证了进入型腔铁液的纯净度，铁液在整个充型过程平稳充型，充型结束整个铸件温度场均匀，有效地减少了充型过程形成的夹渣、夹砂、卷气、冷隔等铸造缺陷，铸件合格率达92%以上。

(2) 基于Magma仿真计算，合理设计了激冷冷铁和发热保温冒口控制铸件的凝固温度场，消除了铸件关键部位的缩松缺陷，铸件经射线探伤达到 ASTM E446及ASTM E186中确定的A类、B类、C类2级要求。

(3) 通过采用预埋型芯、U形定位型芯配合、筋板整体抽活块等模具设计方案，提高了模具的精度及铸件表面质量，获得了满足质量要求的铸件。

Research on Casting Process and Die Design of an Integral Gearbox

MU Yan-qing, XIAO Gong-lin, YANG Zhi-gang, YANG Shuai
(CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China)

Abstract:

In this paper, the casting process design, casting CAE simulation and die design research are carried out for a kind of integral gearbox. Through reasonable design of gating system, chill, heating and insulation riser and other technological measures, and adopting mold design schemes such as embedded coated sand core, integral rib plate pumping block, the integral gearbox casting meeting the quality requirements has been successfully developed.

Key words:

integral gearbox; casting process; CAE analysis; die design