

# 标准动车 CR400BF 转向架 中心销生产工艺研究

张月<sup>1</sup>, 胡野<sup>2</sup>, 杨昊明<sup>1</sup>, 郝晓鹏<sup>1</sup>, 马丽雅<sup>2</sup>

(1. 辽宁工业大学材料科学与工程学院, 辽宁锦州 121001;

2. 锦州捷通铁路机械股份有限公司, 辽宁锦州 121100)

**摘要:** 以标准动车CR400BF转向架中心销为研究对象, 针对传统锻造工艺存在材料利用率低、加工周期长、生产成本偏高的问题, 在分析其结构特征与铸造难点的基础上, 采用覆膜砂壳型铸造工艺替代了原有树脂砂铸造工艺, 并运用SOLID CAST软件, 通过数值模拟验证了优化后的铸造工艺设计。铸件试制结果表明, 采用新工艺后, 成功解决了铸件厚大断面缩松缺陷难题, 铸件成品率由65%提升至76%, 铸件表面质量显著改善, 质量等级一级区达到ASTM E186-2020与ASTM E446-2020标准中Ⅰ级要求, 其他区域达到ASTM E186与ASTM E446标准中Ⅱ级要求, 最终生产出满足客户技术要求的产品。相较于原铸造工艺, 该工艺有效降低了铸造及机加工综合成本, 同时大幅提升了生产效率。

**关键词:** 标准动车CR400BF; 转向架; 中心销; 铸造工艺; 数值模拟; 出品率

**中图分类号:** U266.1; TG242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 03-0306-06

**DOI:** 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0043

## Research of Bogie Center Pin Production Process for Standard EMU CR400BF

ZHANG Yue<sup>1</sup>, HU Ye<sup>2</sup>, YANG Hao-ming<sup>1</sup>, HAO Xiao-peng<sup>1</sup>, MA Li-ya<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, Liaoning, China; 2. Jinzhou JT Railway Machinery Co., Ltd., Jinzhou 121100, Liaoning, China)

**Abstract:** Taking the bogie center pin of the standard EMU(Electric Multiple Unit) CR400BF as the research object, and aiming at the problems of low material utilization rate, long processing cycle and high production cost existing in the traditional forging process, the precoated sand shell mold casting process was adopted to replace the original resin-bonded sand casting process on the basis of analyzing its structural characteristics and casting difficulties, and the optimized casting process was verified through numerical simulation with SOLID CAST software. The trial production results show that, after the new process is applied, the problems of shrinkage porosity defects in thick and large sections of the castings have been successfully solved, the qualified rate of castings is increased from 65% to 76%, the surface quality of castings is significantly improved. The first-grade area of quality grade meets the Grade I requirements in ASTM E186-2020 and ASTM E446-2020 standards, and other areas meet the Grade II requirements in ASTM E186 and ASTM E446 standards. Finally, the produced products satisfy the technical requirements of customer. Compared with the original casting process, this process effectively reduces the comprehensive cost of casting and machining, and greatly improves the production efficiency.

**Key words:** standard EMU CR400BF; bogie; center pin; casting process; numerical simulation; yield rate

在轨道交通装备制造业快速发展的当下, 标准动车作为旅客运输的核心载体, 其运行安全性、可靠性与经济性备受关注<sup>[1]</sup>。CR400BF型标准动车, 作为我国

铁路客运的主力车型之一, 运营速度350 km/h, 最高试验速度420 km/h, 最大设计速度可达400 km/h。在如此高的运行速度下, 列车会出现一些在低速下不被重视

**基金项目:** 辽宁省教育厅高等学校基本科研项目 (JYTQN2023217); 辽宁工业大学博士科研启动基金项目 (XB2023019) 和辽宁省科技计划联合计划项目 (2024-BSLH-119)。

**收稿日期:** 2025-10-31 收到初稿, 2026-01-15 收到修订稿。

**作者简介:** 张月 (1991-), 女, 讲师, 博士, 硕士生导师, 研究方向为超级奥氏体不锈钢组织与性能研究及轨道交通车辆零件材料及制备工艺的研究。E-mail: clxyzy@lnut.edu.cn

**通信作者:** 胡野, 男, 学士。E-mail: 491976548@qq.com

**引用格式:** 张月, 胡野, 杨昊明, 等. 标准动车 CR400BF 转向架中心销生产工艺研究 [J]. 铸造, 2026, 75 (3): 306-311.

ZHANG Yue, HU Ye, YANG Haoming, et al. Research of bogie center pin production process for standard EMU CR400BF [J]. Foundry, 2026, 75 (3): 306-311.

的问题<sup>[2-3]</sup>。在长期运营过程中,对转向架中心销的性能提出了更为严苛的要求。转向架作为动车的关键行走部件,直接决定了列车的动力学性能与运行稳定性<sup>[4-5]</sup>,而转向架中心销是动车转向架牵引装置的重要组成部分,中心销是车体与转向架的连接件,可以传递纵向和横向作用力,也可以作为牵引及回转的中心<sup>[6-7]</sup>。传统的中心销生产工艺多采用整体锻造后进行多道次切削加工的模式,存在材料利用率低、加工周期长和生产成本高的问题<sup>[8]</sup>。

有限元分析在轨道交通运输中也已得到了广泛的应用。李新康<sup>[9]</sup>通过构建有限元模型提出用端部底架子模型替代全尺寸车体进行疲劳试验,验证了其准确性,并表明该方法可获得偏保守的疲劳寿命评估结果。马哲<sup>[10]</sup>采用有限元方法构建了轨道车辆盘形制动温升快速分析方法,经多种典型结构、材料及工况评估,该方法计算准确且高效,首次提出适用于车载条件,能为列车制动盘相关系统提供支撑。采用数值模拟方法对铸件凝固过程进行分析,根据模拟结果优化铸造工艺,降低产品成本,提高生产效率已得到广泛的应用,其对提高铸造企业的竞争力有着至关重要的作用<sup>[11-13]</sup>。

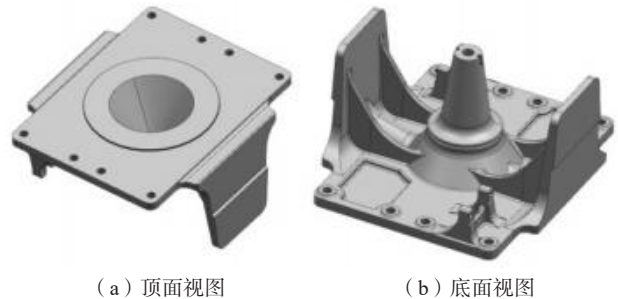
本研究根据长客350公里标动项目的技术条件(C版8辆和16辆编组CR400BF型动车组项目转向架铸钢件采购技术条件)及图纸(CCD2001-03-40-0001-DA中心销)中的技术要求,经过铸造工艺的设计及数值模拟,在原有铸造工艺的基础上,研发新版铸造工艺,经验证其力学性能、外观及内在质量均保持或优于原铸造工艺,实现了产品生产效率提升、成本下降,为高速动车组关键部件的低成本高质量高效率制造提供了可靠的技术解决方案。

## 1 中心销结构特点和质量要求

### 1.1 中心销的结构特点

中心销的总体运行条件为运营最高速度为350 km/h,最高试验速度为420 km/h。气温条件为-40~45 ℃,转

向架固定轴距2 500 mm,最大设计轴重17 t。中心销作为转向架的关键零部件,在车辆的安全运行中起着重要的作用,所以中心销铸件的品质优劣直接决定了列车的运行安全。中心销属于中心对称件,其轮廓尺寸大约为700 mm×630 mm×370 mm,最小壁厚16 mm,最大壁厚195 mm。中心销的结构如图1所示。由于铸件结构较复杂、壁厚差异大,铸造工艺设计时应考虑工艺补正量,避免铸件尺寸超差。



(a) 顶面视图 (b) 底面视图

图1 中心销三维结构

Fig. 1 Three-dimensional structure of center pin

### 1.2 质量要求

标准动车CR400BF转向架中心销采用铸钢GS-25CrMo4V材料,化学成分及力学性能要求如表1和表2所示。中心销产品质量等级为B,在铸造标识中体现,根据客户的技术条件,要求对铸件进行整体磁粉探伤检查,执行标准EN1369:2012,磁粉探伤是检测铁磁性工件表面及下表面的缺陷的一种无损检测方法<sup>[14-15]</sup>,采用磁粉探伤检测铸件表面缺陷;该产品需要进行射线探伤<sup>[16]</sup>,探伤标准为ASTM E446-2020(铸钢件厚度在2 inch(约51 mm)以下用基准射线照片)和ASTM E186-2020(铸钢件厚度在2~4.5 inch(约51~114 mm)之间用基准射线照片)其中关键区域Ⅰ级合格其他区域Ⅱ级合格。(Ⅲ级以上不合格)。

针对CR400BF标准动车中心销,其材质的化学成分及力学性能要求均比较高,为保证质量采用低P、S废钢,并采用调质热处理保证力学性能。质量要求关键区域如图2所示。

表1 化学成分要求

Tab. 1 Chemical composition requirements

$w_B$  /%

牌号	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	S
GS-25CrMo4V	0.22~0.29	≤0.60	0.50~0.80	≤0.02	0.80~1.20	0.20~0.30	≤0.015

表2 力学性能要求

Tab. 2 Mechanical performance requirements

牌号	$R_p$ /MPa	$R_m$ /MPa	A /%	$KV_2$ (室温) /J	$KV_2$ (-40 ℃) /J
GS-25CrMo4V	600~750	≥450	≥14	≥40	≥27

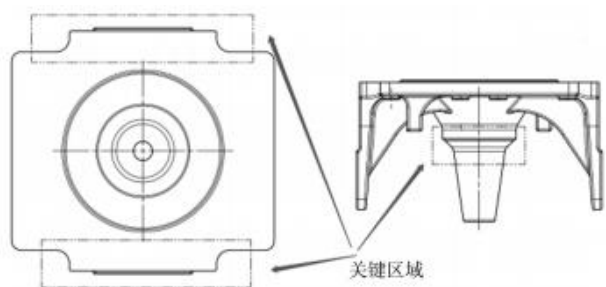


图2 质量要求关键区域

Fig. 2 Key areas of quality requirements

## 2 铸造工艺

### 2.1 铸造工艺分析

#### 2.1.1 铸造难点分析

根据产品使用情况、结构特点和质量要求，分析其主要铸造难度如下：

(1) 技术条件要对中心销所有位置进行X射线探伤检测，而部分区域厚度达195 mm，通用的X射线适用厚度为80 mm，故采用DR设备进行射线探伤，DR探伤有分辨率高、成像速度快和无探伤死角等优点，完全满足技术条件要求。

(2) 两侧横向止挡位置厚度为16 mm，内侧不加工，且树脂砂造型的退让性不如水玻璃砂，横向止挡区域更容易变形，导致横向止挡位置尺寸不满足技术条件中壁厚要求，所以采用反变形及增加补正量方式保证尺寸。

(3) 外观质量要求较高，且中心销厚大部分较多，对树脂砂造型生产提出挑战。

(4) P、S要求严格，中频炉熔炼需要严格控制化学成分及炉料的使用。

#### 2.1.2 铸造方式分析

根据中心销的结构特点及壁厚分布，针对锥头位置的补缩，决定放弃使用内冷铁。原因有两点：一是内冷铁的稳定性和较差，受外界因素影响较多；二是内

冷铁产生裂纹时，DR探伤对裂纹不敏感，难以发现。若产生质量问题，涉及安全，后果不堪设想。

为保证中心销尺寸及产品外观质量，决定采用覆膜砂壳型工艺进行生产，在大平板处与浇注系统处设置分型面，采用上中下三层壳型组合工艺，将所有重要非加工尺寸及平面放置于一侧模具上，通过覆膜砂壳型工艺提高表面质量与铸件尺寸精度。

### 2.2 铸造工艺设计

公司原铸造工艺为树脂砂工艺，该工艺已稳定生产6年。工艺示意图如图3所示，铸件成品重为168 kg，毛坯设计重为260 kg，浇注重量为480 kg，成品率为65%，工艺出品率为54%。由于采用树脂砂工艺，毛坯表面质量一般，需要大规模的焊修打磨；冒口下有较多气孔粘砂缺陷，并且无浇注系统，上平面有较大加工余量。该工艺出品率低、生产效率低。为提高铸件品质、降低生产成本，开发覆膜砂工艺生产该产品。

根据铸件的结构特点设计新铸造工艺，采用封闭式浇注系统，设计浇注时间为23 s，采用覆膜砂壳型，浇注系统将横浇道与内浇道进行整合，方便分型及模具制作。并调整内浇道截面积，加强憋渣挡渣能力，来提高进入砂型的金属液纯净度，虽加大了对砂型的冲刷力，但因浇注时间设计较短，且在浇注系统内刷涂高渗透锆英粉涂料提升耐火度，可确保在较大压头和冲刷作用下砂型具备足够强度完成金属液充型。覆膜砂工艺如图4所示。新工艺铸件成品重量为168 kg，毛坯重量为220 kg，浇注重量为372 kg，成品率为76%，工艺出品率为59%。与原树脂砂工艺相比，新工艺的成品率和工艺出品率均得到了提升。为了减少加工余量，采用一个暗冒口和六个明冒口对铸件进行补缩。其中，暗冒口使用圣泉集团生产的发热冒口，并采用增加易割片的方式，这能有效减小毛坯重量。此外，通过机械法可简便地去除该冒口。

易割片放置位置如图5所示。六个明冒口的设计，

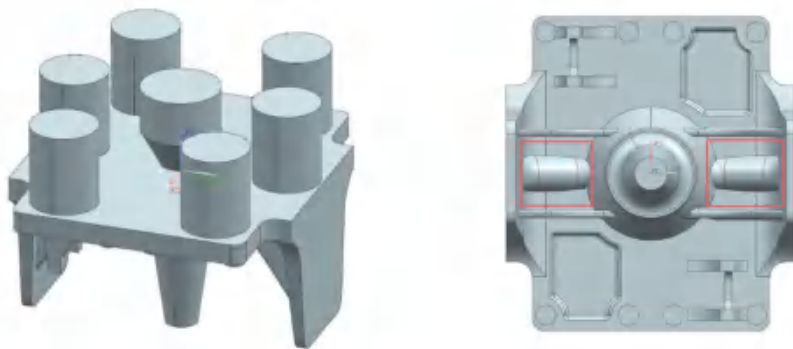


图3 树脂砂铸造工艺示意图与气孔粘砂区域示意图

Fig. 3 Schematic diagram of resin-bonded sand casting process and schematic diagram of pore sand sticking area



图4 覆膜砂铸造工艺示意图

Fig. 4 Schematic diagram of pre-coated sand casting process



图5 易割片放置位置

Fig. 5 Placement position of easy-cutting slice

不仅没有降低工艺出品率，还有效增强了冒口的排渣能力，减少了上平面的加工余量，确保加工后的大平面有较少的铸造缺陷。

### 2.3 铸造工艺数值模拟

采用SOLID CAST软件对原树脂砂铸造工艺方案进行数值模拟，结果如图6所示，图中显示，金属液在充型过程中流动紊乱。在金属液翻卷的过程中，夹杂物难以上浮，并且会产生较多的二次氧化物，造成夹杂物超标。此外，由于金属液持续冲击，该产品表面质量较差，需要较多焊补；同时，焊补过程中可能会造成表面裂纹等缺陷。缩松缩孔分布图如图6(c)所示，其中黄色不规则形状部分为缩孔缩松部分。可以看出，顶部缺陷主要存在于铸件冒口中，可通过后处理加工去除。

根据设计的铸造方案进行铸造工艺数值模拟。铸件材料选用GS-25CrMo4V，造型材料选用覆膜砂，采用圣泉集团的发热冒口参数。数值模拟结果如图7所示，由图7(a)流场结果可以看出金属液的流动过程；由图7(b)温度场结果可以看出，中心销的中部温度高，最后凝固；由图7(c)缩松缩孔分布图可以看出，铸件内部基本无缩孔，缩孔主要在浇注系统内部和冒口顶部。该模拟中灰色部分为质量等级一级区域。从数值模拟结果看，在理想状态下能够满足ASTM E446-2020和ASTM E186-2020标准下的整体I级要求，说明采用新铸造工艺可以满足铸件内部质量技术条件要求。

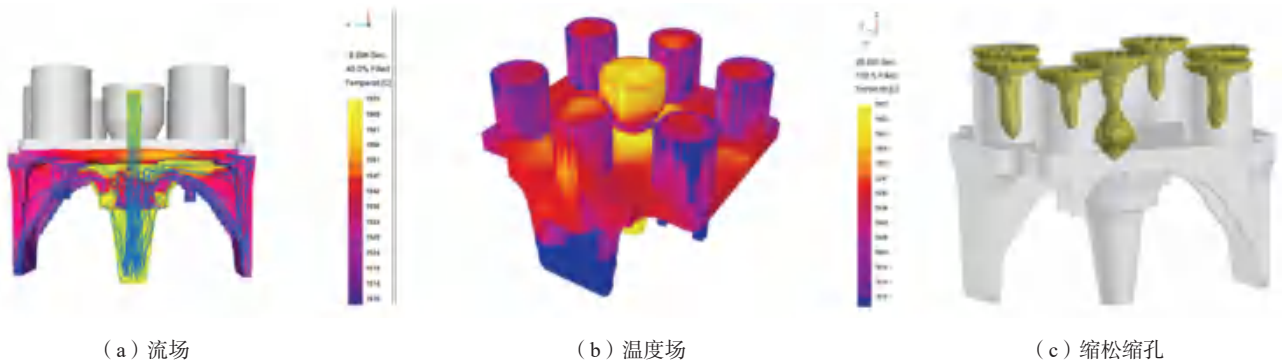


图6 树脂砂铸造工艺数值模拟结果

Fig. 6 Numerical simulation results of resin-bonded sand casting process

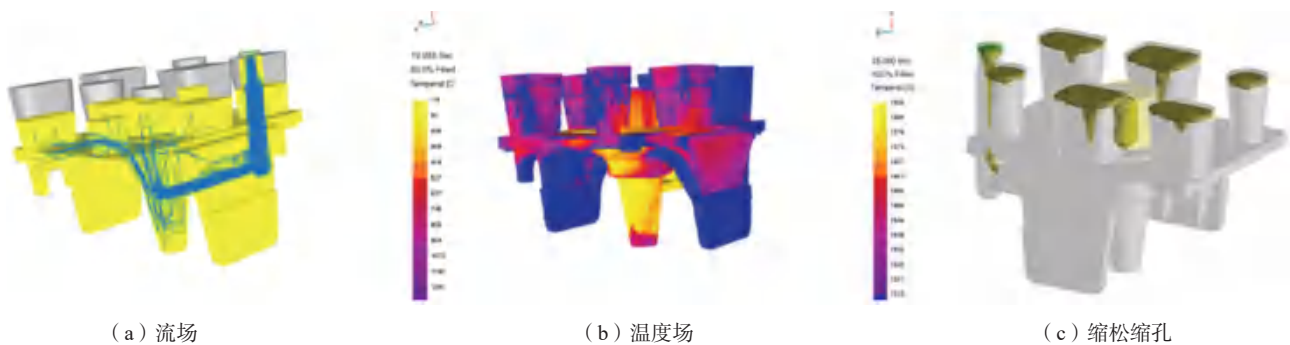


图7 覆膜砂铸造工艺数值模拟结果

Fig. 7 Numerical simulation results of pre-coated sand casting process

该铸造工艺具有如下优点：①工艺出品率高，生产效率高。采用发热冒口，工艺出品率高达59%；②毛坯重量较小。通过易割冒口降低了毛坯加工余量，数值模拟中预测的缩孔缩松部分均可加工去除；③生产成本低，铸造及加工成本均大幅下降。

### 3 中心销生产与成本核算

#### 3.1 铸造方式

为了提高生产效率与表面质量，采用覆膜砂壳型工艺进行生产。完成刷涂等待组合的覆膜砂壳如图8所示，采用低发气量覆膜砂，该覆膜砂由沈阳金安铸材联合开发，具有低发气量、高耐火度的特点，在生产40~200 kg的铸造毛坯方面优势明显，气孔少、粘砂少及桔皮面少。另外，使用钢丸掩埋既能保证壳型强度，又能降低生产成本。

#### 3.2 射线探伤

由于毛坯厚度较厚，故采用DR探伤，结果如图9所示。探伤结果显示，该铸造工艺能够满足内部质量



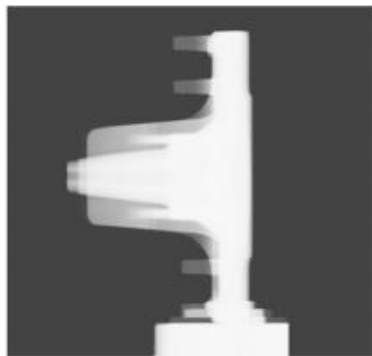
图8 等待组合的覆膜砂壳型

Fig. 8 The precoated sand shell molds waiting for assembling

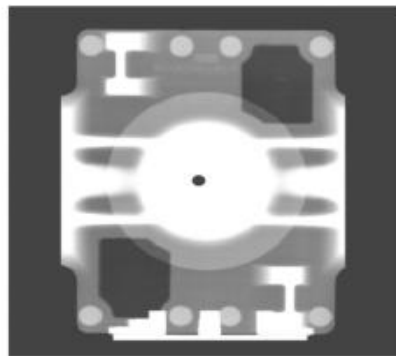
等级要求，满足客户要求的质量条件，故可安排后续批量生产。

#### 3.3 毛坯表面质量

采用覆膜砂壳型铸造工艺生产后，不仅降低了铸件毛坯重量，而且由于其更好的退让性，原加工位置更改为非加工位置。相较于树脂砂铸造工艺，显著提高了铸件表面质量，能够减少后处理的工作量。此



(a) 侧面



(b) 正面

图9 DR探伤结果

Fig. 9 DR Flaw detection results

外，毛坯重量的降低，使得热处理费用也相应降低。割口抛丸后的毛坯状态如图10所示（未焊修打磨）。铸件毛坯表面质量的提高不仅体现在表面粗糙度方面，表面的气孔、渣坑和粘砂等问题也有很大改善，显著减少了表面焊修打磨的工作量，降低了劳动强度，提高了生产效率。

#### 3.4 产品

加工后的产品，如图11所示。优化后的工艺相对树脂砂工艺，尺寸稳定性更好，加工效率显著提升，不仅通过铸造工艺的优化减少了上平面的加工余量，部分位置需要机械加工的区域通过覆膜砂壳型工艺优



图10 割口抛丸后的毛坯

Fig. 10 The blank after cutting edge shot blasting



图11 加工后的产品

Fig. 11 Product after machining

化为非加工，降低了加工成本提高了加工效率。

### 3.5 降本核算

通过计算造型、熔铸和加工相关成本，该产品造型成本节约134元/件，熔炼成本节约233元/件，后处理成本节约85元/件，加工成本节约130元/件，合计每件

降低生产成本582元。

## 4 结论

(1) 新开发的覆膜砂壳型铸造工艺满足实际生产要求。该铸造工艺相对于原树脂砂铸造工艺，铸件表面质量高、生产效率高，一组模具每天可生产6.5 t毛坯。

(2) 在冒口设计中，易割片的使用不仅未影响冒口的补缩效果，而且有效减少了加工余量，提高了材料利用率。

(3) 通过在冒口下部进行涂料补刷，增加涂料厚度，有效防止了侵入性气孔的产生，提升了铸件表面质量。

(4) 通过工艺优化，生产成本降低，生产效率、产品品质均有大幅度提高。目前该工艺已应用于生产2 000余件，产品质量稳定。

### 参考文献：

- [1] 杨凯强. 高速动车组转向架枕梁疲劳断裂可靠性研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.
- [2] 左建勇, 郑仕泽, 王天一, 等. 高速列车碳陶与铸钢制动盘运用热散逸性能对比 [J]. 交通运输工程学报, 2025, 25 (3): 242-255.
- [3] DAI Z Y, LI T, ZHANG W H, et al. Investigation on aerodynamic characteristics of high-speed trains with shields beneath bogies [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2024, 246: 105666.
- [4] 冯成礼, 祝祝笈, 邹建美, 等. 出口安哥拉HZ20-AGO型转向架的研制 [J]. 内燃机与配件, 2020 (21): 77-78.
- [5] 吕宗敏, 何柏林, 于影霞. 超声冲击对高速列车转向架焊接十字接头超高周疲劳性能的影响 [J]. 材料导报, 2017, 31 (10): 77-81.
- [6] 顾华锋, 郭晓晖, 钱坤才. 高速列车转向架用中心销制造工艺 [J]. 机车车辆工艺, 2014 (1): 19-20.
- [7] 马东梅, 周云峰, 刘长江. 城铁车辆转向架中心销套压装技术研究 [J]. 机车车辆工艺, 2022 (1): 24-25.
- [8] 陈砚丰. 动车组转向架锻造铝合金部件结构疲劳强度研究 [D]. 大连: 大连交通大学, 2025.
- [9] 李新康, 王苏秦, 刘潮涛, 等. 基于子模型方法的地铁车体疲劳寿命评估 [J]. 西南交通大学学报, 2022, 57 (2): 295-300.
- [10] 马哲, 杨广楠, 金宇智, 等. 轨道车辆盘形制动温升过程的快速分析方法研究 [J]. 铁道科学与工程学报, 2025, 22 (10): 4650-4660.
- [11] 胡红军, 杨明波, 罗静, 等. ProCAST软件在铸造凝固模拟中的应用 [J]. 材料科学与工艺, 2006, 14 (3): 293-295.
- [12] 林启权, 邓志儒, 董文正, 等. 基于数值模拟的大型复杂灰铁铸件工艺设计 [J]. 材料科学与工艺, 2016, 24 (5): 58-64.
- [13] 赵国超, 张一鸣, 王慧, 等. ZG20SiMn铸钢摇臂壳体铸造过程数值仿真及工艺优化 [J]. 材料科学与工艺, 2024, 32 (3): 78-86.
- [14] SHI A X, WU Q, QIN X P, et al. Lightweight detector based on knowledge distillation for magnetic particle inspection of forgings [J]. NDT & E International, 2024, 143: 103052.
- [15] SHI A X, WU Q, QIN X P, et al. Automated crack detection of train rivets using fluorescent magnetic particle inspection and instance segmentation [J]. Scientific Reports, 2024, 14 (1): 10666.
- [16] PÁVAO J D, MAIA V P, LIRA M N D, et al. Probability of detection of discontinuities in 9% Ni steel pipe girth welded joints: comparison between phased array ultrasonic and radiographic testing [J]. Journal of Materials Research and Technology, 2025, 39: 5199-5209.