

重型卡车平衡轴支座结构优化

李运成

(陕西重型汽车有限公司, 陕西西安 710200)

摘要: 针对平衡轴支座在道路试验过程中发生断裂的问题, 通过理化分析和铸件解剖, 查找出断裂原因为铸造缺陷引起, 并对平衡轴支座结构和铸造工艺进行优化设计。采用有限元方法和数值模拟方法分析了该零件在整车不同工况下的应力大小及应力分布情况及铸造工艺的可行性。结果表明, 平衡轴支座结构优化后可满足整车强度需求, 铸造工艺改进后消除了铸造缺陷。经实车试验, 验证了平衡轴支座的可靠性, 并对铸件设计流程进行了总结和规范。

关键词: 平衡轴支座; 有限元; 结构优化

重型卡车平衡轴支座是后悬架与车架联接的关键部件^[1], 对板簧起支撑作用, 将来自板簧方面的力传递给车架, 其结构强度直接影响车辆的行驶安全。因此, 合理设计支架结构, 使其不但满足强度要求且质量最优, 有利于提高整车的可靠性和使用寿命。为了解决某重型卡车平衡轴支座的断裂问题, 保证车辆试验和使用可持续进行, 必须尽快查找出平衡轴支座断裂的原因, 同时制定解决方案并证实方案的有效性和可靠性。

1 平衡轴支座结构优化

1.1 平衡轴支座断裂原因分析

某重卡自卸车完成整车及零部件设计后, 经过图纸归档、样件试制, 完成了样车装配。为了验证整车满载情况下各零部件的使用性能, 对此辆样车安排10 000 km道路试验。但是, 道路试验进行到1 000 km时, 即出现平衡轴支座断裂现象, 导致整车试验中断。

断裂发生在平衡轴支座圆轴根部, 断裂处局部及断口形貌见图1。断裂处附近锥度表面环向约1/2区域有磨损, 漆膜被完全磨掉, 露出零件金属色, 其余部位漆膜基本完整。断口较不平整, 被泥浆覆盖, 简单清洗后可见断口上有明显的铸造缺陷, 缺陷面积约占整个断面的50%。

在失效零件断裂处附件进行微观检查, 该区域石墨球化及大小均无异常, 基体组织呈明显的枝晶分布, 基体为中等片状珠光体+铁素体+少量碳化物, 珠光体有偏聚现象, 检查面上可见微观疏松。石墨形态、微观疏松及基体组织见图2。经检测平衡轴支座断裂处附近基体硬度平均为HBW 211 (公司内标准要求160~230), 符合标准要求, 化学成分见表1。

为了进一步确认平衡轴支座内部确实存在铸造缺陷, 对该铸件按照原铸造工艺重新进行生产, 铸件毛坯经简单清理后, 将平衡轴支座从轴的中间部位锯成两半, 解剖后的结果看到平衡轴支座轴根部确实存在缩孔铸造缺陷, 且缩孔位置与断裂件缺陷位置基本一致(图3)。平衡轴支座断裂失效的主要原因为: 失效零件断裂处存在严重的铸造缺陷, 使其局部承载能力显著下降, 导致整车试验过程中引发断裂事故。

1.2 平衡轴支座结构优化

结合铸造工艺及存在的缺陷问题, 对平衡轴支座原结构进行详细分析, 发现在

作者简介:

李运成(1979-), 男, 工程师, 主要从事汽车铸件结构设计、优化、分析及铸造工艺的研究。电话: 029-86955837, E-mail: 278879105@qq.com

中图分类号: TG245

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)11-1286-06

收稿日期:

2019-01-02 收到初稿,
2019-04-10 收到修订稿。

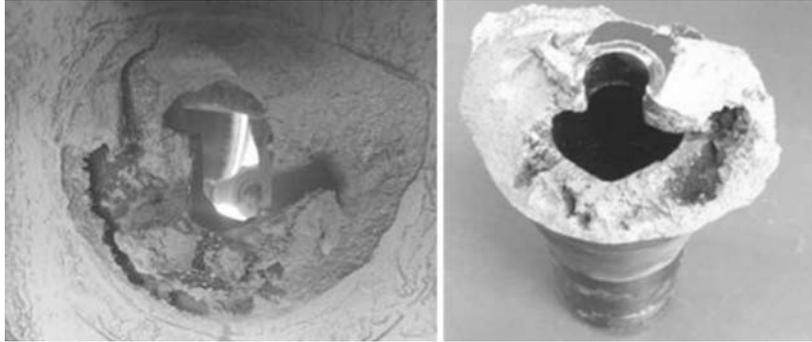


图1 平衡轴支座断裂零件局部及断口宏观形貌

Fig. 1 The local and macroscopic morphologies of the cracked balance-axle bracket

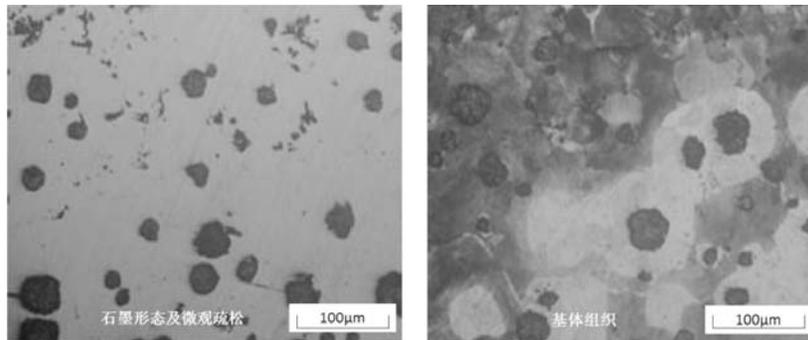


图2 金相组织

Fig. 2 Metallographic structure

轴根部位置壁厚较厚，导致轴根部形成较大的热节，且中间位置布置的圆环形加强筋也在轴根部，不利于此处砂芯的排气，因此造成铸造过程中易产生缩孔缺陷。

结构优化主要以减轻壁厚、调整腔体结构为平板布置加强筋、优化圆轴根部圆环形加强筋的布置为主，以此来缩小圆轴根部的铸造热节，从而避免铸造缩孔倾向。

主要改进有（见图4）：①改变位置1处加强筋的外形结构，使得垂直方向施加于平衡轴支座上的力更好的向下端传递；②将位置2处的腔体结构改为平面，同时在另一侧布置加强筋，并将位置2处原方案平面上的铰孔改为凸台结构，避免在孔周边产生应力集中，且有利于机械加工铣平面。③去掉原方案位置3处的减重孔，改为大平面，以保证轴与下端连接处有足够的强度；④去掉原方案位置4、5处的加强筋，使得此处的结构简单化，有利于金属液充型和凝固；⑤将原方案位置6处的半圆形加强筋向下移，避免铸件在轴根部形成热节^[2]。

1.3 改进后平衡轴支座结构静力学分析

在Hypermesh中建立平衡轴支座与车架的有限元模

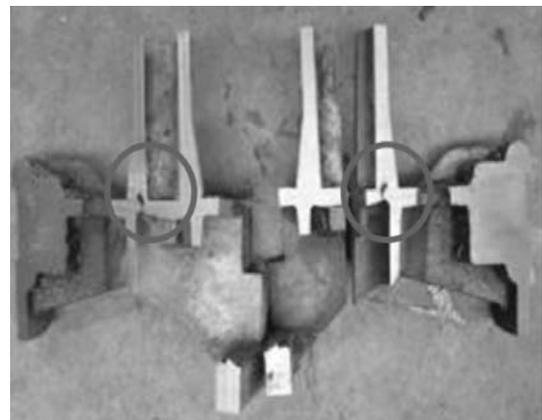


图3 铸件解剖结果

Fig. 3 Dissected bracket

表1 平衡轴支座断裂件化学成分
Table 1 Chemical composition of cracked balance-axle bracket

项目	C	Si	Mn	P	$w_B / \%$
实测值	3.7	2.40	0.40	< 0.080	
QT500-7 公司标准值	3.6 ~ 3.9	2.2 ~ 2.6	0.3 ~ 0.55	≤ 0.08	

型(图5), 设定平衡轴支座原材料为球墨铸铁QT500-7, 弹性模量 2.1×10^5 MPa, 密度为 7.8 g/mm^3 , 泊松比为0.28^[3]。

重型卡车在实际使用过程中板簧和车架对平衡轴支座施加的外载荷较大且种类很多, 在设计过程中主要考虑四种工况, 分别是垂直加速度、转弯、车架扭转和制动(表2), 分析平衡轴支座在各种工作环境中整体的刚度、强度和安全系数性能, 为设计提供理论指导。改进后平衡轴支座在各工况下静力学分析应力分布及安全因子计算结果见图6、表3^[4]。

1.4 平衡轴支座改进方案铸造工艺分析

利用AnyCasting软件对平衡轴支座铸造时金属液充型和凝固过程进行数值模拟分析, 以此分析结果初步确认平衡轴支座改进方案是否可避免铸造缺陷, 并为

铸造工艺设计提供参考。

平衡轴支座采用的是湿型砂铸造工艺, 前期试制阶段制作木模1套(包括芯盒3套), 改进后的平衡轴支座铸造工艺与原方案基本一致。考虑原方案铸造存在缺陷风险, 此次在铸造工艺中增加设置2处外冷铁及补缩冒口, 铸造工艺简图如图7所示^[5]。

根据上述铸造工艺设计, 在AnyCasting软件重建平衡轴支座分析模型, 设定分析条件并进行数值模拟分析, 结果显示, 铸件最终凝固位置位于冒口中, 从数值模拟分析角度确认圆轴根部的铸造缺陷已得到解决。

其次, 对该铸件重新制作模具, 进行铸件试生产后, 对铸件进行实物解剖, 解剖后可以看到, 铸件内部组织致密, 没有发现铸造缺陷, 此结果与AnyCasting铸造工艺数值模拟分析结果一致(图8)。

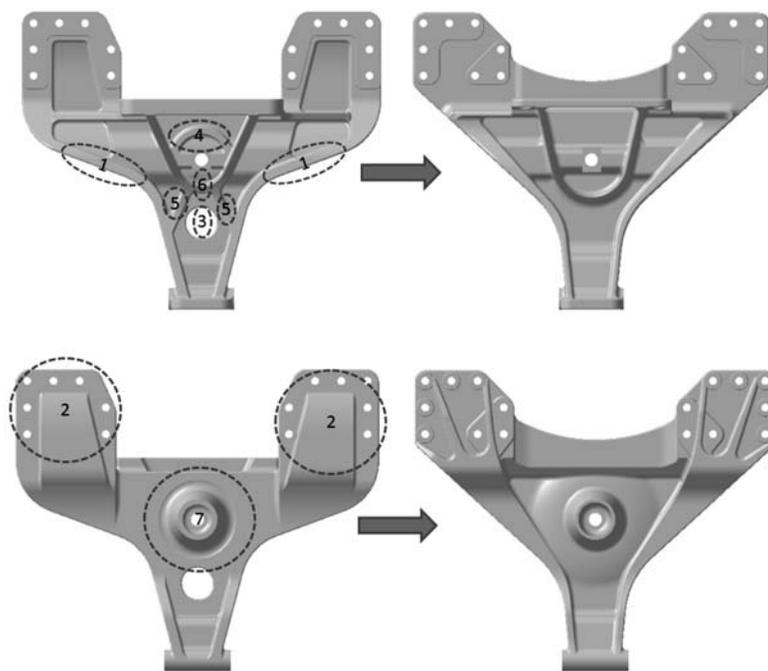


图4 方案对比(左:原方案;右:改进方案)

Fig. 4 Schematic diagram of original bracket (left) and improved bracket in structure (right:)

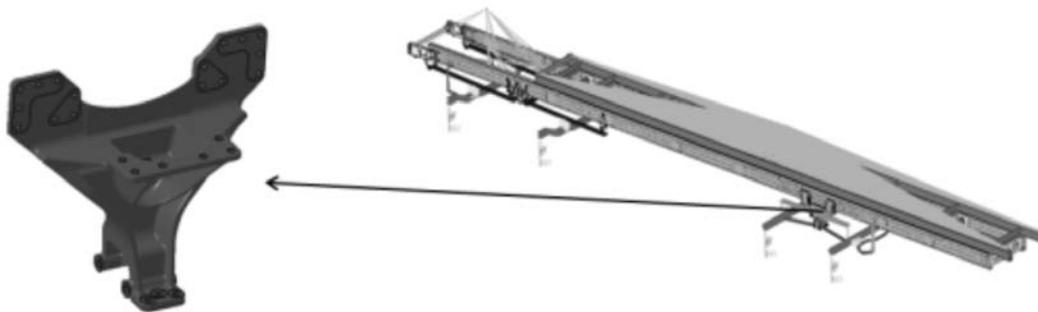


图5 平衡轴支座及车架总成有限元模型

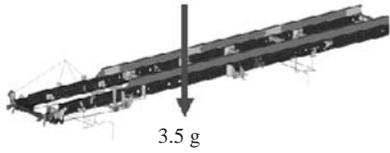
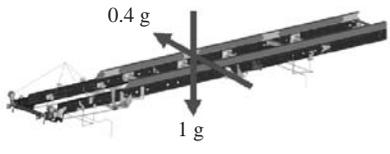
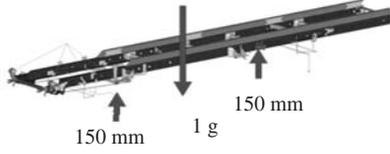
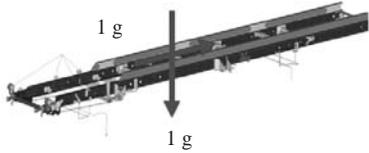
Fig. 5 Finite element model of balance-axle bracket (left) and frame assembly (right)

平衡轴支座改进前后方案，各工况下安全因子结果见表4。平衡轴支座改进方案结构静力学分析最小安全因子均 > 1，工况计算合格；各工况下最大应力比原方案均有降低，安全性能得到了极大提高。结构优化和工艺改进，铸造工艺性优于原方案，重量比原方案减轻10%，铸件制造成本降低10%。

1.5 铸件类产品设计规范

为了规范铸件类产品设计统一，加快铸造和机加工单位的生产节奏，节省生产成本，根据设计人员的设计经验，总结本次平衡轴支座改进优化过程，并在公司内部发布《铸件类产品设计规范》，为公司内铸件类产品设计过程提供参考。铸件设计流程见图9。

表2 平衡轴支座工况描述
Table 2 Description of working conditions of balance-axle bracket

	垂直加速度	-1 g+ (-2.5) g	
静态过载分析	转弯	-1 g+0.6 g	
	车架扭转	-1 g+150 mm	
增加的工况	制动	-1 g+ 1 g	

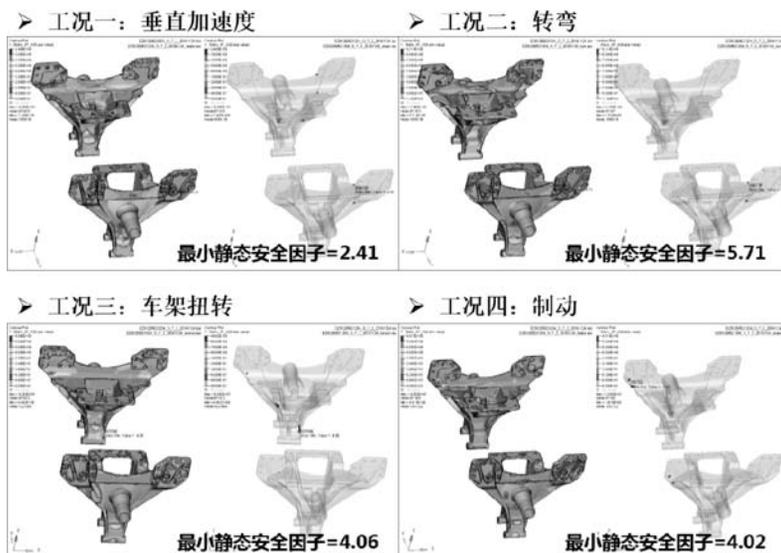


图6 各工况下平衡轴支座应力云图

Fig. 6 Stress cloud diagram of balance-axle bracket under various working conditions

(1) 数模硬点坐标确认。在整车环境下，根据整车系统布置需求，结合零部件所属子系统、关键安装点、轴线、平面部位及附近相关零部件数模边界等要素，确定零部件数模硬点坐标。

(2) 绘制边界数模。拓扑分析用边界数模，需考虑不得和其他零部件干涉且不影响装配。

(3) CAE拓扑优化。a) 确定材料，具体材料的选用参考“铸件材料选用规范”；b) 在整车工况下，利用边界数模采用CAE拓扑优化的分析方法，得出最有利于受力的数模拓扑模型。

(4) 绘制数模。要综合考虑拓扑优化的结果、数模造型、铸造工艺性、机械加工工艺性，并注意要避免的一些常规影响铸造及机械加工的工艺问题。

(5) 工艺分析。数模绘制完成后，经过工艺人员结合供应商的铸造工艺、机加工工艺进行初步工艺性分析，分析结果合理，则进行CAE有限元分析，若存在不合理之处，返回绘制数模阶段，对数模进行优化。

(6) 铸件静力学分析。在整车工况下进行铸件静力学分析，分析结果需达到CAE分析人员要求的评判强度，若铸件强度合适，则进入下一阶段，若分析后铸件强度不足，则需返回绘制数模阶段，对数模进行强度方面的优化，之后重新进行流程。

(7) 铸造工艺数值模拟分析。根据铸件结构特点及材料属性，设计铸造工艺方案，并在AnyCasting软



图8 改进后铸件解剖结果

Fig. 8 Dissected bracket with improvement in structure

表4 平衡轴支座安全因子对比
Table 4 Comparison of balance-axle bracket safety factor before and after improvement in structure

方案	各工况下安全因子结果				重量/kg
	垂向	转弯	扭转	制动	
原方案	1.94	4.06	3.04	2.34	66.8
改进方案	2.41	5.71	4.06	4.02	60.2
变化百分数/%	+19.5	+28.2	+25.7	+41.9	-10

表3 平衡轴支座安全因子计算结果
Table 3 Safety factor of balance-axle bracket

工况	最小安全因子	标准要求	结论
垂向	2.41	> 1	合格
转弯	5.71	> 1	合格
扭转	4.06	> 1	合格
制动	4.02	> 1	合格

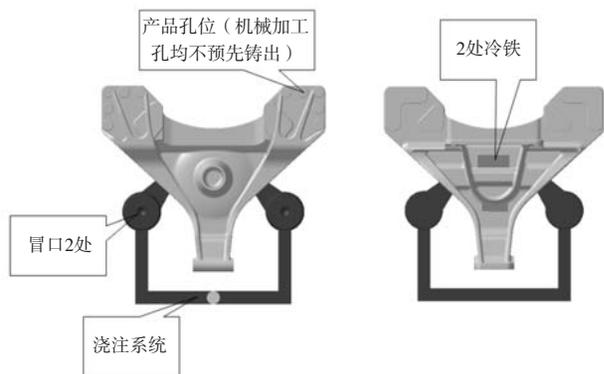


图7 平衡轴支座改进方案铸造工艺简图

Fig. 7 Schematic diagram of casting process for improved balance-axle bracket in structure

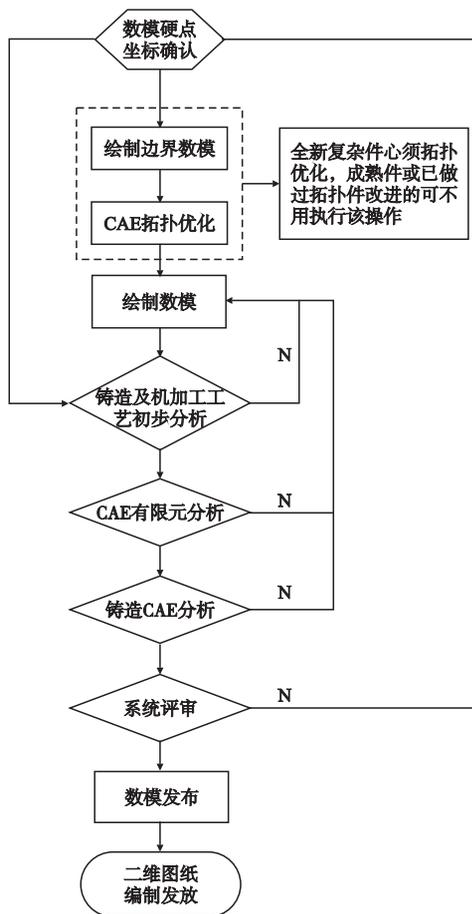


图9 铸件设计流程图

Fig. 9 Flow chart of casting design

件中选取相应的工艺分析模块和参数进行铸造工艺数值模拟分析,输出铸造工艺分析报告。若工艺分析通过,则进入下一阶段,若分析后工艺存在缺陷风险,则需返回绘制数模阶段,对数模进行结构方面的优化,之后重新进行流程。

(8) 系统评审。数模分析完成后,经专业人员参与系统及零部件的评审,若评审合格,则可以发布数模,若评审过程中对支架的硬点坐标或局部结构进行调整,则重新按流程进行设计。

(9) 数模发布。经过评审合格后可发布数模,之后进行二维图纸的编制。

(10) 二维图纸编制发放。二维图纸的编制需注意以下几点: a) 图纸尺寸标注尽量采用一个坐标系,方便铸造人员制作模具和机加工; b) 铸造表面质量控制参考“表面质量要求”; c) 涂漆要求参考“涂漆要求”; d) 可追溯性标识“标记可追溯性标识规范”; e) 二维图纸应和三维数模进行关联,数模更改后应将

存储于系统的二维图纸同时更改,不得出现系统上图纸和数模不一致的情况。

2 结束语

通过对平衡轴支座断裂失效原因进行深入研究和分析,准确地查找到导致平衡轴支座断裂的原因为铸造缺陷引起。根据铸件缺陷原因确定结构改进优化方案,改进后的方案经铸件静力学分析、铸造工艺数值模拟分析及实物验证,消除了铸造缺陷,并在后续的30 000 km试验中未出现失效现象,保证了整车的使用性能和可靠性。平衡轴支座改进方案安全性能得到了极大提高。

结合平衡轴支座设计改进过程,在公司内部发布《铸件类产品设计规范》,在铸件设计流程中引入铸件静力学分析和铸造工艺数值模拟分析过程,统一规范铸件设计过程,提高新产品铸件设计开发质量和正确性,从而缩短新产品研发周期。

参考文献:

- [1] 潘孝勇,柴国钟,刘飞,等. 悬置支架的优化设计与疲劳寿命分析[J]. 汽车工程, 2007(4): 341-345.
- [2] 石作维. 机械结构拓扑优化及其在重型卡车平衡轴支架改进设计中的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
- [3] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] 李楚琳,张胜兰,冯樱,等. Hyperworks 分析应用实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 李弘英,赵成志. 铸造工艺设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

Structure Optimization Design of Heavy Truck Balance-Axle Bracket

LI Yun-cheng

(Shaanxi Heavy Duty Automobile Co., Ltd., Xi'an 710200, Shaanxi, China)

Abstract:

Aiming at the problem of breakage of balance-axle bracket for heavy trucks during road test, physical and chemical analysis and dissection for the bracket castings were conducted to find out the reason of breakage. The optimum design of the balance-axle bracket structure and the improvement of casting process were carried out to eliminate the casting defects causing the breakage of balance-axle bracket. The magnitude and distribution of stress in the brackets under different working conditions were analyzed by finite element method, and the improved casting process was simulated by using AnyCasting software. The results show that the optimized structure of the balance-axle bracket meets the strength requirement of the whole vehicle, and the optimized casting process eliminates casting defects. The reliability of the balanced axle bracket castings was verified by the actual vehicle test, and the design process of the castings is summarized and standardized.

Key words:

balance-axle bracket; finite element; structure optimization