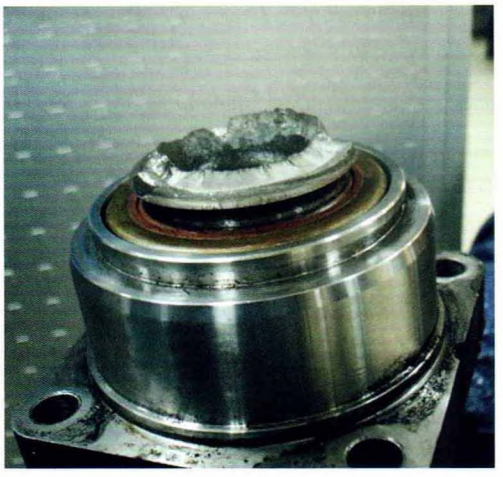
半浮式后桥半轴断裂原因分析

□ 江西江铃底盘股份有限公司/姜致强 万熊飞 谢建林



某半浮式后桥总成在试验场进行绕8字试验时，后桥半轴在法兰根部出现断裂故障，通过对故障件进行尺寸、材料、性能各方面检查，并结合CAE受力分析，找出其根本原因，然后重新制定了改进方案，解决半浮式半轴因结构限制（半轴轴承到轮胎中心距离小）使半轴法兰根部圆弧处半径过小而造成圆弧应力过大，半轴断裂的安全隐患。

后桥是汽车中重要部件，半轴是后桥中的关键零部件，其性能的好坏直接影响整车的使用性能，并有可能带来安全隐患。半轴根据其受力状况的不同可分为半浮式、3/4浮式和全浮式三种。其中半浮式半轴除传递转矩外，还要承受车轮传来的垂向力、纵向力及侧向力产生的弯矩，由此可见，半浮式半轴所承受的载荷较复杂。随着整车承载负荷不断加大，对半浮式半轴的承扭及承载要求也越来越高，并且随着轮边结构越来越紧凑，对半浮式半轴的结构及尺寸要求越来越高；因半轴的结构及相关尺寸设计、热处理不当引发的半轴断裂损坏，进而导致汽车行驶时半轴带轮胎脱出的事故时有发生，严重威胁乘员的生命安全。

半轴断裂原因分析

1.试验路况

车辆绕8字试验是美国福特汽车公司专项试验标准之一，该试验是考核轮毂、轮毂轴承、轮胎、转向系零部件、前后悬架零部件的可靠性，同时考核前、后桥密封件的密封性。

车辆绕8字试验是在车辆满载、50m×50m正方形的水泥铺装路面上进行的。试验要求：沿半径24m的圆以40km/h的车速左转一圈，连续做10次；沿半径24m的圆以40km/h的车速右转一圈，连续做10次；以25km/h的车速绕8字，如图1所示连续做10次，作为一个大循环。重复上述试验，共完成1 000个大循环为止。

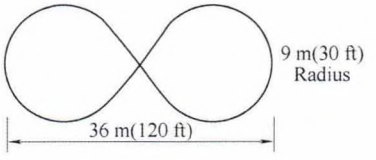


图1 车辆绕8字试验

2.试验故障现象及原设计

该半浮式后桥搭载在整车上进行绕8字试验时，左轮半轴断裂，轮胎飞出。样车累计完成循环数640个，其断口位置为ϕ56mm轴承座油封颈与法兰盘圆弧接口处，断面不规整，半轴断裂图片如图2所示。

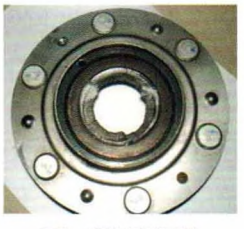


图2 半轴断裂图片

3.故障件分析

对故障件进行材料成分、金相、硬度、尺寸、粗糙度等项目进行检测，符合图样及相关标准要求；对断口进行扫描电子显微镜及能谱仪检测，样品未见明显组织缺陷，样品成份正常；对半轴进行探伤检测，无裂纹及锻造缺陷；对半轴各台阶处进行检测，无尖角而导致应力集中的问题。

4.半浮式半轴受力分析

该轻型载货汽车后桥是半浮式的，半轴除传递转矩外，还要承受车轮传来的垂向力、纵向力（驱动力或制动力）及侧向力所引起的弯矩。轻型载货汽车车绕8字试验行驶时，后车轮承受的垂向力，行驶中的滚动阻力，以及转弯时产生的侧向力。在极限位置时，忽略滚动阻力，半轴只受弯矩；侧向力$Y2$最大时，其最大值发生于侧滑时为$Z_2\phi_1$，侧滑时轮胎与地面的侧向附着系数ϕ_1在计算中取1.0，没有纵向力作用。

5.CAE受力分析

（1）使用软件：前处理：ANSA13，求解器：ABAQUS6.9。

（2）模型:加载点坐标：X=-712.5mm，Y=0mm，Z=0mm；轴承中心点坐标：X=-666.2mm，Y=0mm，Z=0mm。

（3）边界条件：忽略驱动力和车轮滚动阻力。当车辆做8字回转试验时，车辆处于匀速行驶状态。车辆驱动力主要用于克服车辆行驶时的车轮滚动阻力，其折算到加载点的力和力矩相对于其他方向的载荷较小，忽略不计。车辆按22m半径，时速40km/h回转时，车轮受力状态复杂，需做假设。假定车辆处于最大侧滑状态，后轴重量全部转移到外圈车轮上，则有：外圈车轮垂向反力=1801kg×9.8=17649.8N。假定外圈车轮的附着系数为1，则有：外圈车轮侧滑阻力=17649.8×1=17649.8N，折算到加载点的合成力矩=侧滑阻力×342-垂向反力×46.3=5.22E6 N·mm。

（4）材料属性（见表1）。

表 1

	屈服强度	抗拉强度
40Cr调质	≥785	≥980
40Cr中频淬火	≥1077	≥1394

（5）评价指标—参考已量产半轴绕8字状态下失效部位应力（568 MPa）。

（6）故障件分析——半轴绕8字状态下失效部位的应力。轴承座油封挡到法兰端面的圆角为R5（已淬火），失效部位应力：924MPa，计算结果表明圆角过小是半轴失效的主要原因。

改进方案及验证

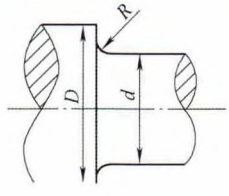
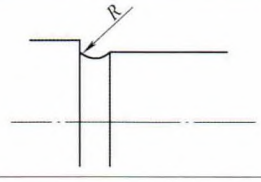
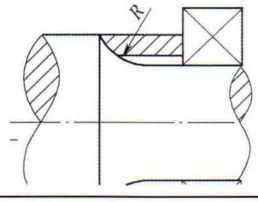
1.改进方案选择

经过理论分析及CAE受力分析可知，后桥半轴轴承座油封挡与法兰端面圆角过小，造成应力集中，是导致车辆在绕8字试验过程中后桥半轴断裂的根本原因。

表2列举了降低轴上应力集中的主要措施。

结合该后桥实际装配情况改进

表2 降低轴上应力集中的主要措施

	简图	措施	备注
圆角		加大圆角半径 $R/d>0.1$ 减小直径差D/d $<1.15\sim1.2$mm	R需要达到R15mm才能满足要求，没有结构空间
		加入凹圆角	R不需要很大（R12mm），有结构空间
		加退刀圆角	不适用于该部位
		加大圆角半径，设中间环	不适用于该部位

方案如下：

（1）半轴上油封到法兰端面的倒圆由R5加大为R12（结构空间不足，挖内凹圆角）。

（2）半轴止口和窝孔外移，保证离涡孔壁厚≥18mm(保留淬火)。

（3）淬火区域，要求淬到内凹圆角内，超过ϕ87mm范围。

2.改进后分析结果

采用以上改进方案时，半轴失效部位应力为492MPa（故障件应力924MPa），应力下降显著，且满足该后桥的紧凑装配要求。

实践经验：静应力计算时，如计算应力小于屈服强度的0.6～0.7倍（1 077×0.6=646），疲劳现象很难发生。

3.试验验证

某轻型载货汽车4×4汽油和柴油各1台重新装配了改进后的半轴后桥，在试验场进行绕8字试验，2台车都完成了该试验，并顺利通过。对试验后桥进行拆解分析，半轴、轴承等相关零部件未见异常。同时该车型后桥也通过了45 000km耐久验证，对试验后桥同样也进行拆解分析，半轴、轴承等相关零部件未见异常。

结语

本文详细对一种轮边结构紧凑且强度要求较高的半浮式后驱动桥半轴，在进行在绕8字试验过程中出现的半轴断裂问题进行了原因分析，结合有关理论知识对半轴进行了理论分析及相关CAE计算，制定了改进方案。结果表明，汽车绕8字试验，半轴不仅承受转矩，而且承受弯矩，在结构空间不足的情况下，可改进半轴法兰根部圆弧，使其凹入半轴法兰面内，保证了圆弧半径，并且为了保证离涡孔壁厚加长半轴止口，中频淬火区包含内凹圆弧（端）面。降低圆弧处应力，提高半轴高度，降低半轴断裂风险。该改进方案可为今后的后桥半轴设计提供有力的依据。AUTO1950

汽车工艺师 2017年 第6期 广告目次 Advertisement Catalogue

单位名称	查询编号	位置
汽车工艺师	6027	封面
SMALLEY钢圈有限公司	8086	封二
金属加工APP	8686	封三
浙江三维大通冷挤压有限公司	1739	封底
株洲钻石切削刀具股份有限公司	1512	1
第三届中德制造业文化交流会	8666	2
第三届汽车工艺创新发展论坛	0088	3
青岛金诺国际会展有限公司	6004	4