

平衡悬架中轴断裂原因及改进方式分析

付文亮 张敏智

(湖北三环汉阳特种汽车有限公司 湖北 武汉 430050)

摘要: 车轮与地面摩擦产生的牵引力与制动力,通过推力杆、中轴传递给车架作用于车辆整体。中轴作为连接部件需要承受较大的作用力,中轴承受极限直接影响车辆的行驶性能。本文针对实际使用过程中发生的中轴断裂问题,通过理论分析、化学成分分析、仿真计算等方法进行原因分析,提出优化方案解决问题。

关键词: 金相组织;仿真分析;静压试验

0 引言

为能有效提高运输的效率以及降低物流成本,我国的重型卡车平衡悬架多轴结构应用较为广泛,平衡悬架系统是关乎重型卡车承载力以及整车平顺稳定的关键部件。其发展的水平就和我国重型卡车的整体发展水平有着紧密的联系。

1 研究来源

2020年5月,接到部队反馈HY5400A/Z在一次演习过程中发生中轴断裂事故,导致车辆无法行驶。于是对其他同型号车辆逐一进行排查,发现其他车辆中轴,发生变形,存在安全隐患。中轴安装结构如图1所示。

2 受力计算

2.1 中轴受力分析

由于其轴对称分布特性,认为1组上推力杆,2组下推力杆每组受力大小都相同。分析双后桥中轴受力情况,中轴一边套管受到的最大力F为三、四桥轮胎与地面接触产生的最大摩擦力的三分之一。

汽车受到的制动阻力或牵引动力都是通过轮胎和地面之间的摩擦提供的,车轮与地面之间的摩擦力达到最大值时(摩擦系数最大值 $\mu=0.7$),车辆的加速度值或减速度值

也是最大,此时中轴受到的作用力也最大,按整车满载双后桥桥荷23500kg进行计算,中轴受到的最大力F为地面能提供最大摩擦力的三分之一。

$$F = \frac{G_{\text{桥载荷}}}{3} \mu = \frac{23.5 \times 1000 \times g}{3} \times 0.7 = 53737N \quad (1)$$

公式(1)中,G桥载荷表示后二桥分配到的载荷,单位为N;

满载车辆以最大减速度制动,在惯性力作用下,车辆前后桥上的载荷会重新分配,此时双后桥载荷向前转移,分配系数约为0.9,此时中轴上的作用力约为48363N。

满载车辆以最大加速度牵引,在惯性力作用下,车辆载荷向双后桥转移,分配系数约为1.1,此时中轴上的作用力约为59111N。

根据上述极限工况分析,中轴所受最大推力为59111N。

2019年12月,5400A/Z底盘双后桥中轴套管总成发生断裂问题,为方便分析问题原因,根据底盘实际使用工况,进行强度分析计算。

2.2 双后桥中轴在极限工况条件下的受力情况

发射车底盘后悬架形式是倒置钢板弹簧平衡悬架,采

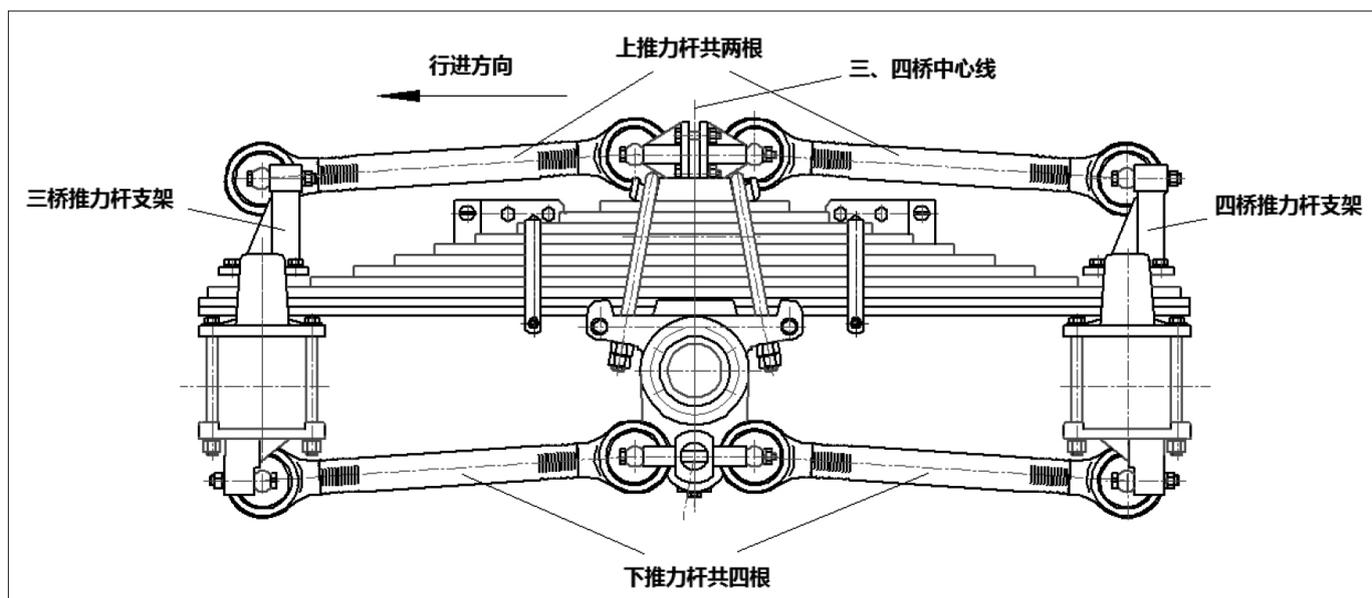


图1 中轴安装结构

用推力杆限制第三、四驱动桥前后轴距。上推力杆通过支架与安装底板连接车桥与车架，下推力杆通过中轴与下推力杆支架连接车桥和车架，后悬架及上推力杆支架总成安装示意图如图1所示。

在车辆行驶过程中，推力杆将车轮的驱动力传递到车架，带动整个车辆运动。后悬架三、四桥共有上推力杆2根，下推力杆4根，推力杆及支架沿三、四桥中心线呈轴对称分布。

2.3 计算

中轴断裂处截面如图2所示：

$$M_{MAX}=59111N \times 121.5mm=7181986.5N \cdot mm$$

$$I_z=1264327mm^4$$

$$y_{max}=35mm$$

$$\sigma_{max}=M_{max} \times y_{max}/I_z=198.8MPa \quad (2)$$

$$S=2560mm^2$$

$$\tau = F/S=59111N/(2560mm^2)=23MPa \quad (3)$$

$$\delta = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \tau^2}=200.1MPa \quad (4)$$

3 理论计算分析结果

根据分析结果，原设计应力极值小于屈服强度满足使用要求。故需通过金相分析和有限元分析的方式，分析中轴受力是否存在应力集中。

表 问题件的材料性能

问题件	材料	工况条件	作用力 F	屈服强度 σ	应力极值
	45# 钢	满载	53737N	355Mpa	200.1Mpa

4 金相分析

4.1 断口分析

送检的断裂分析样品为2件，均在演习过程中突然断裂，导致整车无法运行。其他零部件未出现损坏现象。路面不平整为土路。两件产品均为17年下半年的产品，材料为45号钢，问题件参数如表所示。图纸上除对焊接有要求外，无其他技术要求。

两件中轴样品的断裂位置相同，如图3中箭头所示。

断口宏观形貌如图4所示，两件样品均呈疲劳断裂特征，疲劳源从一侧扁方平面的表面起源向轴心扩展，扩展至一定深度后发生瞬时断裂。疲劳扩展区约占整个断口三分之一的面积。疲劳起源位置为轴的台阶处，此处为轴端扁方与轴80mm直径部分的过渡台阶。两件样品断口距离轴末端（与断口距离较近一侧）的距离均为225mm，断裂处台阶的圆角R尺寸均为R1。

4.2 分析

断口宏观检验结果表明，两件中轴的断裂均属疲劳断裂。

中轴装配在车辆的双后桥悬挂处，连接推力杆，主要受推力杆传递的纵向作用力。中轴断裂时车辆载重23.5吨，接近满载，且路面不平为土路，据此可知车辆运行时中轴承受负荷较大。由于断裂位置位于轴的台阶处，测得台阶处圆角尺寸小，仅为R1，使得该处容易产生较大的应力集中，促进疲劳裂纹的萌生。

材质、性能检验结果表明，中轴化学成分、硬度未发现异常。材料强度符合45钢标准要求，但测得断面收缩率小于标准要求，说明材料韧性不足。金相检验结果显示组织呈魏氏组织状态，晶粒粗大，说明热处理工艺未控制好，这种组织会使得材料脆性增加，严重降低材料的疲劳强度。

中轴断裂处圆角半径偏小使得该处产生较大的应力集中，加上热处理工艺控制不当造成材料组织呈魏氏组织状态，晶粒粗大，材料脆性增加，疲劳强度下降。于是在外载荷循环应力下，中轴台阶处成为疲劳源，当疲劳裂纹扩展至剩余截面积不足以承载负荷时，便发生瞬

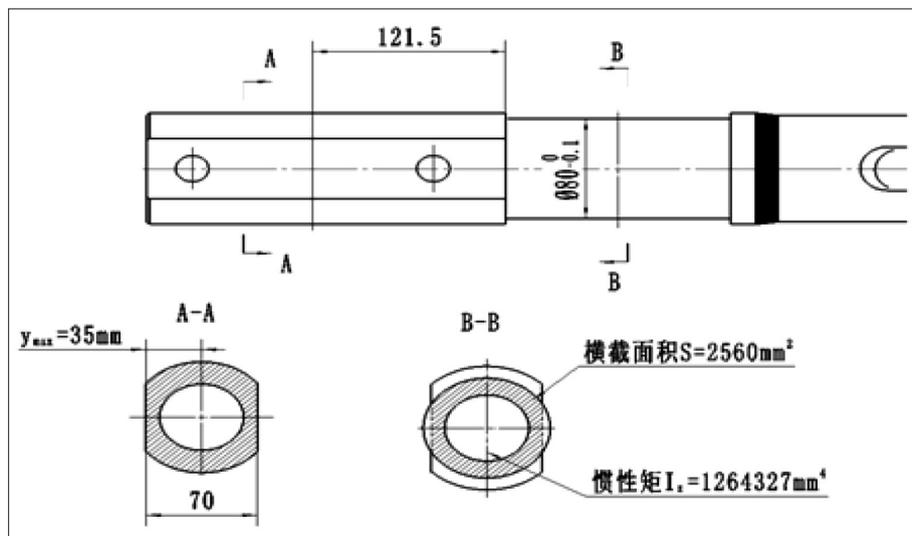


图2 断裂处截面

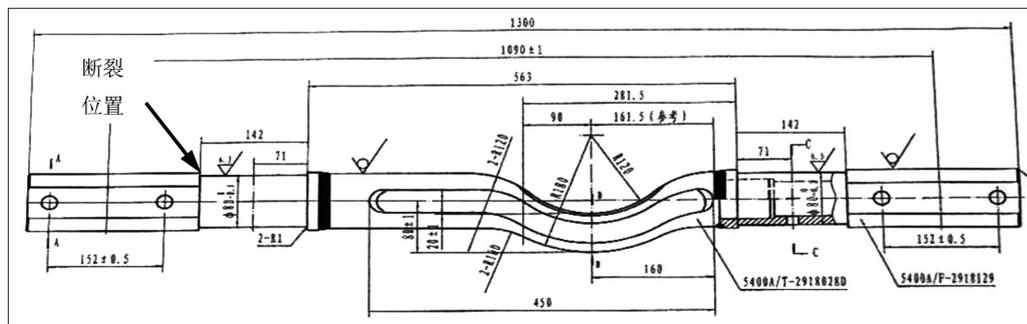


图3 中轴断裂位置图

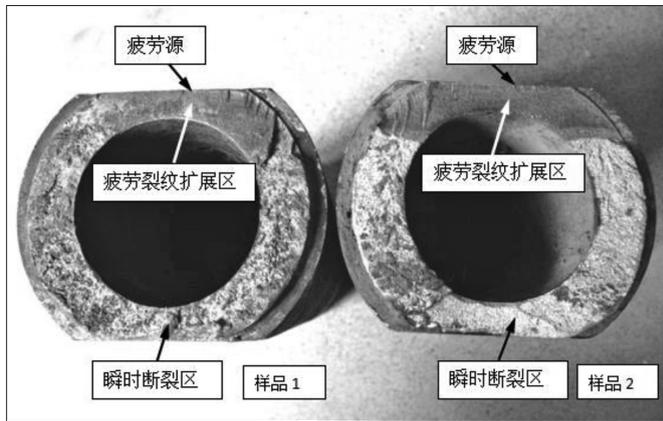


图 4 断裂中轴断口形貌

时脆性断裂。

4.3 金相分析结论

两件中轴的断裂均属疲劳断裂。

造成中轴疲劳断裂的主要因素：

(1) 中轴断裂处台阶圆角尺寸偏小，造成应力集中；

(2) 热处理工艺控制不当，使中轴材料组织呈魏氏组织状态，晶粒粗大。

5 仿真受力分析和结构优化

对原中轴进行仿真受力分析，分析应力集中区域受力情况（如图 5 所示）。由仿真分析可以看出，在图示过渡区域存在应力集中现象（最大 512MPa），这些区域也与实际断裂区域相同。

为减少应力集中的发生，提高中轴的安全系数，对中轴过渡区域的结构进行优化（如图 6 所示）：

- (1) 过渡区域改为环状过渡；
- (2) 过渡圆角由 R1 增大至 R3；
- (3) 在应力集中区域开槽。

在重新对新结构进行仿真分析，从图 7 中可见应力集中现象的到明显减少（最大 253MPa）。

6 材料优化

材料方面从以下方面进行优化：

- (1) 由原来 45 号钢，改为 40Cr；
- (2) 由原来的三段焊接中轴改为整根钢管烘弯成型；

(3) 成型后整体调质，因中轴改为整根钢管，调质效果相较于三段式中轴明显加强。

7 试验验证

根据仿真计算结果，生产 3 根样件进行静压强度试验，测试 3 种测试中轴的屈服压力、断裂压力。

7.1 试件

试验试件三件（长度均为 1300mm）：

1 号为三段拼焊原装车件；

2 号为三段拼焊调质结构优化件；

3 号为 40Cr 钢管整体调质件。

7.2 试验设备

试验台架及压力机（压力机压力数据显示正常且在检定期内）。

7.3 静压强度试验方法

7.3.1 试件的安装

将试验样件固定在支架上，固定方式如图 8 所示。

7.3.2 载荷的加载

在中轴一端平面上施加向下垂直载荷，作用点在两孔的中心位置，载荷逐渐增加至中轴断裂。试件断裂后统计试验结果记录试件屈服压力、断裂压力。压力机极限压力为 50000N。

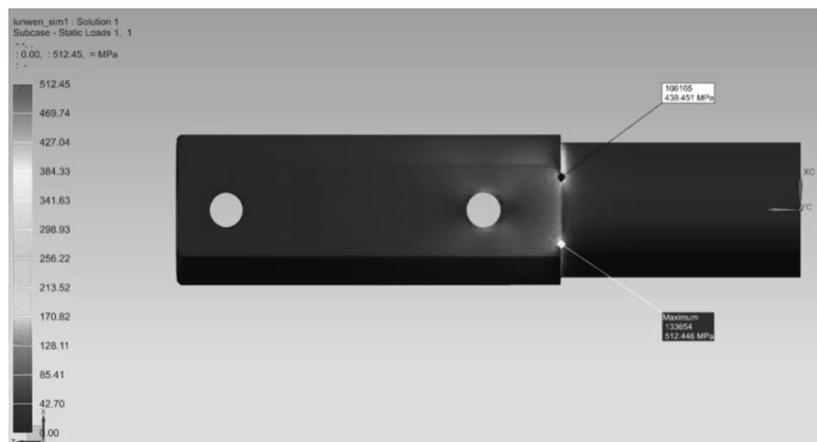


图 5 原状态中轴应力分析

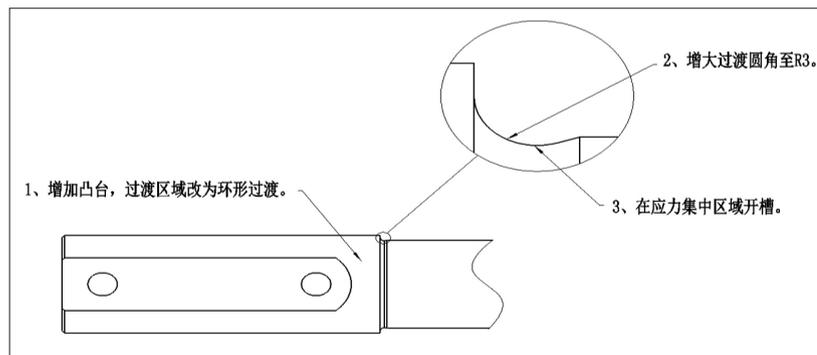


图 6 结构优化

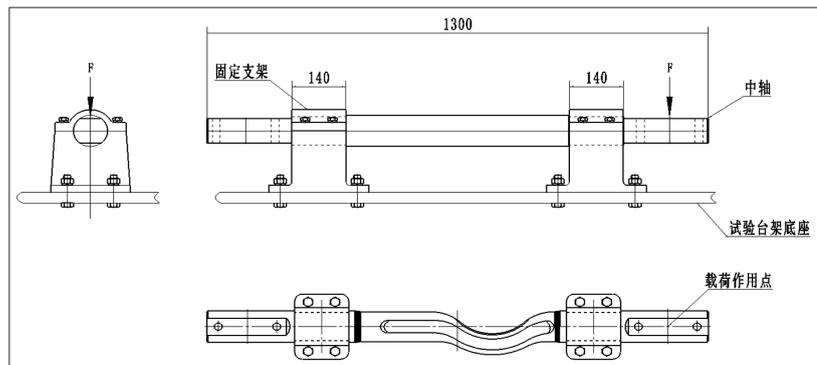


图 7 优化后中轴应力分析



图8 试验示意图

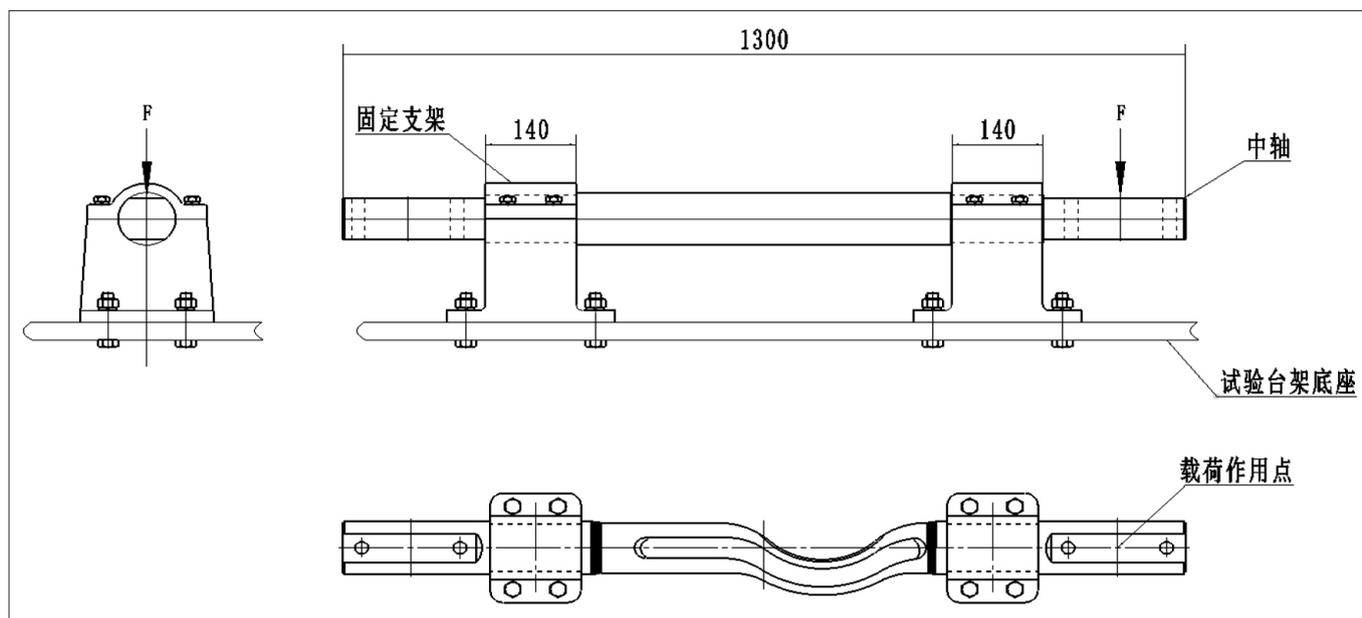


图9 2号样件试验完成后检测结果

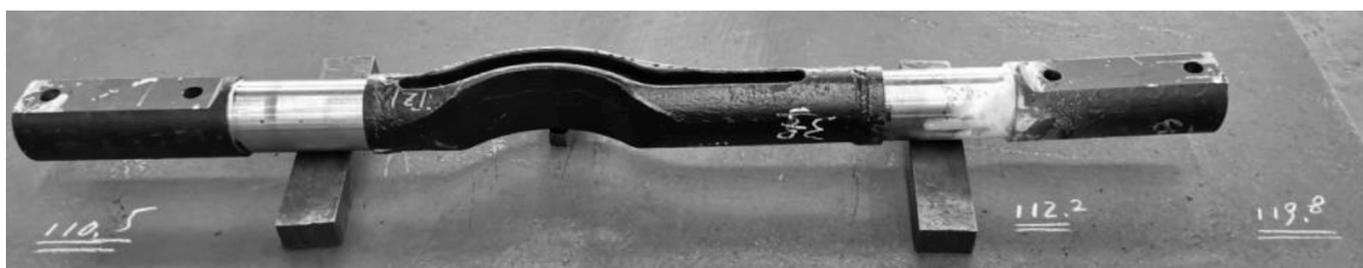


图10 3号样件试验完成后检测结果

7.4 试验结果

1号样件在约30000N压力下发生明显变形,45000N压力下发生断裂;

2号样件承受压力机极限压力未断裂,试验后对2号样件进行测量,发现受力端发生永久变形,变形量为7.6mm。(如图9所示)

3号样件承受压力机极限压力未断裂,试验后对3号样件测量,变形量为0.2mm。(如图10所示)

8 结语

针对中轴在演习过程中发生断裂问题,通过对中轴的受力分析、截面金相分析、仿真计算、试验模拟极限受力等

方法进行分析并加以改进。对中轴强度进行优化,减小应力集中,在承载能力及减少缺陷方面有较大提升,提高安全系数。现已在部分车辆上完成更换使用,在后期训练过程中并未发生类似事故,经过对中轴的优化加强可以满足,现阶段部队车辆的训练、演习使用要求。

参考文献:

- [1] 王勋.某重型车辆后悬架平衡梁断裂问题研究[J].重型汽车,2013(1):19-21.
- [2] 闵成.重型卡车平衡轴:CN2590787[P].2003-12-10.
- [3] 刘惟信.汽车设计[M].北京:清华大学出版社,2001.