

整体式差速器一字轴锁销断裂分析

姜致强，黄苏刚，章文忠

江西江铃底盘股份有限公司 江西抚州 344000

摘要：某电驱动后桥总成在售后批量出现行驶过程中主减速器内部异响或卡死现象，经拆解分析为主减速器差速器锁销断裂，导致差速器半轴行星齿轮打齿故障。通过对整车的工况结合差速器受力分析，对各影响因子进行单因子变量试验，安排大量的对比台架试验，制定了改进方案，将一字轴及行星齿轮进行磷化表面处理，解决了一字轴锁销断裂导致的主减速器失效故障。

关键词：一字轴；锁销断裂；磷化；主减速器；异响或失效

后桥是汽车中的重要部件，差速器总成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，如果性能太差还有可能带来安全隐患。差速器总成根据结构形式不同可分为分体式差速器和整体式差速器两种，差速器包括行星齿轮、半轴齿轮、行星齿轮轴及锁销等零件，在整车行驶中起着承扭和转弯差速的作用。

随着整车承载负荷不断加大，对驱动桥承扭及承载要求也越来越高，特别是随着新能源电动汽车的发展，后桥输入转矩上升快，对差速器的润滑、瞬时承扭能力要求越来越高。因差速器相关尺寸设计、表面润滑不当引发的行星齿轮与行星齿轮轴拉毛导致的锁销断裂，进而导致汽车行驶时异响或失效的事故时有发生，严重威胁乘客的生命安全。

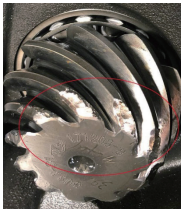
中后桥发出咕咕的响声，里程在2000~20 000km不等，售后电动汽车在江铃、吉利、东风及福田均出现十字轴卡死现象。经拆解主减速器总成发现，一字轴及行星齿轮内孔拉毛，一字轴锁销均断裂成3节，一字轴窜动，与从动齿轮发生磕碰，主、从动齿轮相继崩齿，产生异响或卡死（见图1）。



a) 锁销断成三节



b) 一字轴磨损



c) 主动齿轮崩齿

图1 主减速器内部故障件

锁销断裂原因分析

1.故障现象

根据售后反馈，西部地区陆续出现某皮卡在行驶

2.故障件及库存件分析

对故障件的材料成分、金相、硬度、尺寸及表面粗糙度等项目进行检测，符合图样及相关标准要求。

对库存一字轴、锁销、差壳进行材料成份、金相、硬度、尺寸及表面粗糙度等项目进行检测，也符合图样及相关标准要求。

3.差速器锁销受力理论分析及失效机理

差速器总成受力三维模型如图2所示。

1) 当车子在转弯或差速时，差速器总成内半轴行星齿轮转动工作，两个行星齿轮旋转方向相反，并传递转矩^[1]。

2) 当在差速工况中，正常情况下行星齿轮传递到一字轴上的转矩较小且相互抵消，但如果一字轴处于拉毛状态，可能会产生较大的磨擦力矩，两边产生较大差扭，使一字轴产生较大转矩。

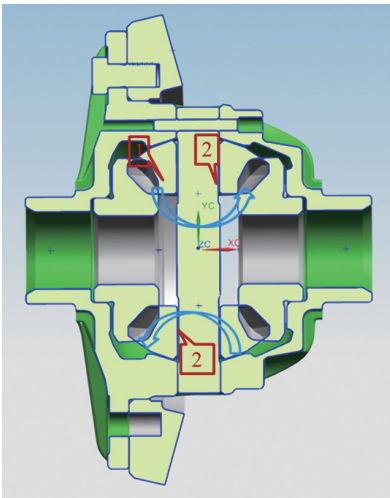


图2 差速器总成受力三维模型

3) 当一字轴产生转矩，而锁销穿过差壳及一字轴，锁销固定在差壳孔内，一字轴对锁销产生剪切力，从而剪断锁销（见图3）。

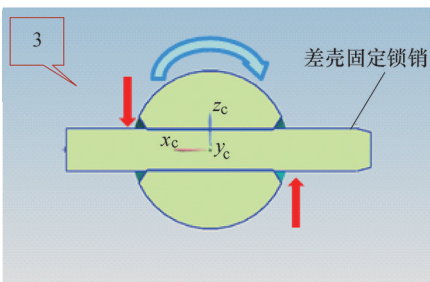


图3 锁销受到剪切力

4) 从故障件可以看出，锁销均从一字轴倒角处剪成三段，且排除疲劳断裂，为瞬间剪切断锁销（见图4）。



图4 锁销故障件及试验件对比

5) 当差速器总成产生差速并传递转矩时，行星齿轮同时给一字轴一个平移负载（冲击），如图5所示。

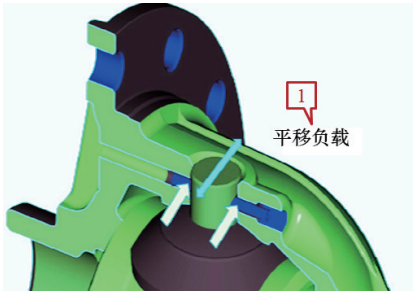


图5 一字轴受到平移冲击

6) 当一字轴与差壳一字轴孔间隙配合时，一字轴在差壳一字轴孔内产生平移，一字轴对锁销产生冲击剪切力（见图6）。

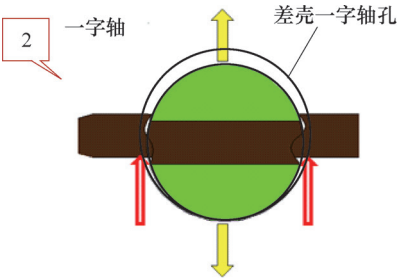


图6 一字轴对锁销产生剪切力

改进方案及验证

1.影响因子分析

经过理论受力分析及故障件失效机理分析可知，差速器锁销断裂主要是行星齿轮轴与行星齿轮相对运动后拉毛，从而使行星齿轮轴产生转矩剪断锁销造成。

影响行星齿轮轴与行星齿轮运转主要有以下因素：

1) 半轴行星齿轮间隙。

- 2) 行星齿轮与行星齿轮轴的配合公差。
- 3) 一字轴铣扁深度（影响齿轮油的润滑）。
- 4) 行星齿轮轴与行星齿轮表面处理，减小相对运动时磨损。
- 5) 后桥齿轮油清洁度。

2. 台架验证

结合售后故障后桥工况，拟在台架上进行故障再现，并对以上影响因子进行单因子变量对比台架试验，从而找到最优的整改措施。

台架试验如图7所示，台架工况设定^[2]：

- 1) 模拟整车10km/h车速，确定台架输入轴转速。
- 2) 模拟整车差速工况，一侧轮边完全停止，一侧轮边转动。
- 3) 模拟整车3挡正常行驶时的输入转矩。



图7 台架试验照片

经大量试验验证，得出试验结论：

- 1) 加大半轴行星齿轮侧隙，能有效降低温升情况，并减轻一字轴拉毛情况。
- 2) 行星齿轮磷化，消除一字轴与行星齿轮金属与金属直接摩擦，起到耐磨及润滑作用。消除300N工况下的拉毛情况，并包容了半轴行星齿轮小间隙情况下的拉毛情况。

3. 改进方案选择

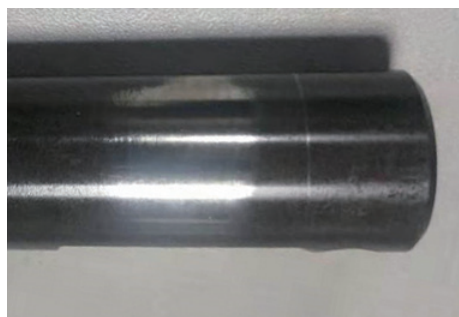
结合该后桥实际情况改进方案如下：

- (1) 行星齿轮及行星齿轮轴 产品增加表面锰系磷化处理，磷化膜厚度0.005~0.01mm。
- (2) 差速器总成工艺控制 半轴齿轮及止推垫与差壳之间轴向间隙控制由0.25~0.45mm更改为0.35~0.50mm。

行星齿轮轴改进前后对比如图8所示。



a) 改进前，行星齿轮轴拉毛



b) 改进后，行星齿轮轴运转正常

图8 行星齿轮轴改进前后对比

4. 改进后效果

通过优化行星齿轮及一字轴进行磷化处理，一字轴销断裂故障率已得到明显改善。该措施实施一年，一字轴故障的千台故障率由7.29降低到0。

结语

本文根据目前的电驱动桥及皮卡后桥因转矩上升快、速度提升快或某些特殊路况等特点，对售后造成的差速器行星齿轮轴烧蚀、断裂故障进行了原因分析，结合有关三维模型对差速器进行了理论分析及相关CAE计算。对主要影响因子进行大量单因子变量的对比台架试验，从而找到最优的改进方案，对行星齿轮及行星齿轮轴产品增加表面锰系磷化处理，该措施成本低，效果好，可全面推广至所有电驱动后桥，降低差速器相关故障，为后桥电动化提供坚实基础。

参考文献：

- [1] 刘惟信. 汽车车桥设计[M]. 北京：清华大学出版社，2004. **AUTO1950**