

驱动桥差速器行星齿轮轴失效分析

田国才

辽宁曙光汽车集团股份有限公司 辽宁丹东 118001

摘要：描述了驱动桥差速器内行星齿轮轴的失效表现、失效所引发的一系列问题以及对整车的性能影响，综合分析了造成失效的原因及改进办法，以及试验验证的内容，最后给出了在预防和解决失效所采取的措施，有利于工程技术人员参考借鉴进行问题分析处理。

关键词：差速器；行星齿轮轴；润滑；挤压应力；测功机；卡滞

汽车差速器是能够使车辆两侧驱动轮实现以不同转速转动的机构。主要作用是当汽车转弯行驶或在不平路面上行驶时，使左右车轮以不同转速运转，保证两侧驱动车轮作纯滚动运动。

差速器根据功能形式分为开式差速器、限滑差速器和锁式差速器。在不同的工况场景匹配不同的差速器类型，可以有效提升车辆的动力输出提升，整车性能。差速器行星齿轮轴根据整车动力匹配又分为一字轴、Y字轴及十字轴等结构形式。

差速器结构如图 1 所示，主要由壳体、行星齿轮、半轴齿轮、行星齿轮垫、半轴齿轮垫、行星齿轮轴和锁销构成。

目前微型、轻型汽车差速器多采用开式差速器，行星齿轮轴多采用一字轴结构。行星齿轮轴是汽车动力传递的重要部件，汽车的动力输出流程为主动齿轮→从动齿轮→差速器壳体→行星齿轮轴→行

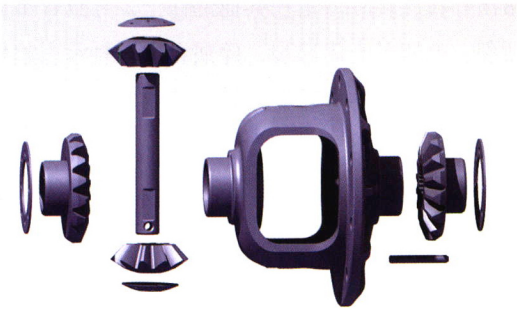


图1 差速器结构

星齿轮→半轴齿轮→半轴→车轮，行星齿轮轴的失效与否直接影响汽车的动力输出。同时行星齿轮轴的失效会引起一系列其他部件的失效。

失效表现及影响

下面以某轻客车型的行星齿轮轴的失效形式展开分析。行星齿轮轴失效表现分为三种：行星齿轮轴异

常磨损，行星齿轮轴和行星齿轮烧结；行星齿轮轴断轴。外部失效表现分为两大类，一是后桥内有异响但是有动力输出，车辆可以行驶；二是车辆失去动力，无法行驶。

通过对失效的驱动桥总成拆解分析发现，行星齿轮轴表现为异常磨损，汽车行驶时车辆依然有动力输出，但是后桥内部有异响或同时伴有撞击声响。拆解整桥及主减速器总成后发现，行星齿轮轴同行星齿轮配合位置已经磨损出沟槽，同时伴有撞击声的失效件有行星齿轮轴锁销断裂情况，行星齿轮轴一端有磨损现象，驱动桥内部有细碎的磨屑；行星齿轮轴断裂的失效状态使驱动桥无法完成动力传递，车辆无法行驶。

行星齿轮轴失效的同时会导致驱动桥内部一系列其他问题。首先会使行星齿轮轴锁销断裂，车辆正常行驶时锁销受力非常小，可以忽略不计。但当行星齿轮和轴磨损后两者摩擦力增加，在运转时会对锁销产生较大的剪切力，当超过锁销所能承受的极限时锁销将会断裂，锁销断裂后行星齿轮轴在其轴向上会自由窜动。

如果此时行星齿轮和轴已经烧结在一起，那么行星齿轮轴会在不断地相对差速器壳体进行转动。因为差速器壳体强度低于行星齿轮轴，所以行星齿轮轴孔会在摩擦中不断变大，大到一定程度时行星齿轮将会失去原来的啮合位置导致打齿等问题。行星齿轮轴将会窜出并在旋转时撞击在其他部件上，导致行星齿轮轴断裂、差速器壳体碎裂，碎屑会进入轴承引起轴承烧蚀抱死、主从动齿轮打齿等失效现象，此时主减速器将被破坏无法工作。

如果锁销断裂后行星齿轮和轴没有烧结，那么行星齿轮轴在轴向上是自由运动的，其会直接沿着轴向窜出并在旋转时撞击在其他部件上，同样导致主减速器破坏无法工作，整车失去动力，将会有潜在安全风险。

行星齿轮轴失效原因综合分析

1. 润滑不足

行星齿轮和行星齿轮轴在主减速器总成内部的差速器壳体内，油液无法浸泡到其配合位置，两者之间的润滑依靠从动齿轮搅动油液后飞溅润滑。行星齿轮和轴之间属于间隙配合，动力传递时两者之间属于滑

动摩擦，所以及时润滑并形成油膜尤为重要，在配合间隙过小或者润滑不到位没有形成油膜的情况下，工作时温度会急剧升高导致配合表面高温退火，最终导致两者磨损或烧结在一起。

辽宁曙光汽车集团股份有限公司在给某轻客车型匹配后桥时出现此类问题，失效比率居高不下，后通过改善此处润滑条件，如增加导油槽长度使油液更容易进入配合位置并使油液留存在内，改善后此问题失效率降低并完成此失效问题的关闭。

2. 行星齿轮和轴之间的挤压应力过大

通过计算可以得出行星齿轮和轴之间的挤压应力，检查挤压应力是否有超出或者处于极限状态。挤压应力过大超过极限状态，材料表面破坏导致温度升高退火，破坏持续加剧。通过在测功机差速试验研究，合理的行星式轮轴选材及热处理工艺能够有效提升轴的性能。例如，由于失效问题，辽宁曙光汽车集团股份有限公司部分轴的材料由40Cr高频淬火改为20CrMnTi渗碳淬火，通过相同状态的差速试验后，后者的磨损量低于前者，渗碳淬火表面主要是针状马氏体组织，含碳量较高，加上弥散分布的碳化物及少量的残余奥氏体组织，表面含碳量越高表面强化越明显。

通过材料及处理工艺的改进，失效比率有明显的降低。同时，为了进一步降低轴表面的挤压应力，可以增加行星齿轮和轴之间的配合长度。通过以上方法能有效地降低行星齿轮轴的失效比率。

3. 杂质影响

驱动桥内部由于加工制造等因素会残留铁屑等杂质，同时整桥通过运转，各个运转零件之间会有磨屑产生，悬浮在齿轮油内。这些杂质一旦进入到行星齿轮和轴的滑动摩擦表面，将会对其产生持续的磨损和破坏，长时间或高强度运转会在配合面产生大量的热导致表面退火降低性能，引起行星齿轮轴失效。辽宁曙光汽车集团股份有限公司使用德国AVL测功机进行差速试验，分别使用新齿轮油和含磨屑的旧齿轮油，旧齿轮油的试验分别出现了差速器行星齿轮轴退火和较大磨损的情况，其中一件还出现了主动齿轮内轴承烧蚀抱死的情况。可见杂质和铁屑对行星齿轮和轴的失效有很大的影响，同时也影响整桥的运转。

(下转第59页)

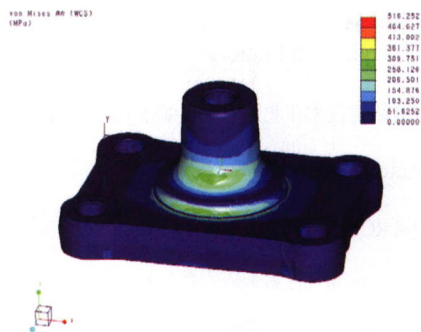


图4 轻量化后仿真结果

结语

针对重型汽车推力杆支座断裂问题，研究了支座的断裂问题，对断裂位置进行了仿真，证明了所建立模型的准确性，然后对支座结构进行改进，使安全系数系数达到了1.80，解决了断裂问题。

一名专业的工程技术人员，在进行设计工作时，不能简单地凭经验来判断，这样会产生极大的质量风险，导致后期维护成本翻倍，会浪费大量的人力、物力、财力，因此，这种通过仿真获得最佳设计、改进方案的方式，对产品设计和改进具有重要的意义。同时能大幅降低前期试验试错所带来的成本压力，减少

实验次数，缩短开发周期。

参考文献：

[1] 陶义，王宗彦，吴淑芳，等. 基于TRIZ矛盾分析法
的重型卡车弹簧支架轻量化设计研究[J]. 机械设计与
制造，2015（3）：188-191.

[2] 江金鱼，胡小文. 推力杆安装板开裂分析与改进设计[J]. 湖北理工学院学报，2015，31（6）：8-11.

[3] 董世运，石常亮，徐滨士，等. 重型汽车发动机曲
轴断裂分析[J]. 失效分析与预防，2009，4（3）：
138-142.

[4] 李亚智. 飞机结构疲劳和断裂分析中若干问题的研究
[D]. 西北工业大学，2003.

[5] 冯国胜，贾素梅，林昊，等. 55t重型自卸车平衡悬
架用推力杆断裂分析[J]. 石家庄铁道大学学报：自
然科学版，2013，26（4）：43-46.

[6] 牛晓钦，夏旭东，吕振伟. 25吨汽车起重机底盘推
力杆支座的优化改进[A]. 河南省汽车工程科技学术
研讨会论文集[C]. 河南省汽车工程协会，2014.

AUTO1950

（上接第56页）

4.行星齿轮和半轴齿轮运转卡滞

行星齿轮和半轴齿轮在装配时会因为间隙调整及制造精度等问题导致运行不顺畅，此时强行运转会加大行星齿轮和轴之间的挤压应力。如果此状态下工作将破坏工作表面油膜，损伤接触面，导致升温迅速引起配合件退火损坏失效。

改善措施

综上，通过对失效表现及原因的综合分析，行星齿轮轴的失效以及差速器的失效是相关联的，起因具有多样性，从设计、制造到使用环节都有影响。

- 1) 设计改进时减小行星齿轮和轴之间的应力，在差速器壳体允许的情况下增加行星齿轮轴径，增加配合长度来减少应力水平。
- 2) 行星齿轮轴在选材和处理工艺上进行改善，提升配合部位的耐磨性能。
- 3) 改善润滑条件，使工作表面更容易接触齿轮油或利于齿轮油的留存。
- 4) 行星半轴齿轮装配调整时要运转顺畅。需要控

制相关零部件的尺寸精度如差速器壳体的球面精度，行星齿轮轴孔精度等，装配时检验行星半轴齿轮转动扭矩加以控制。

- 5) 控制整桥清洁度，减少加工、运输过程杂质的进入，保持整桥清洁。
- 6) 整桥注入齿轮油加载运转后油放出，可减少驱动桥内磨屑存在。
- 7) 驱动桥使用过程中要按要求进行保养换油。

结语

汽车差速器是驱动桥内关键部件，其失效会引发一些问题甚至影响安全。通过对行星齿轮轴失效分析及试验研究能够找到引起问题的原因，通过改进措施的实施和市场验证，失效比率大幅度下降；通过研究改善可以有效降低驱动桥此类问题的发生，提升驱动桥可靠性满足用户和市场的需求。

参考文献：

[1] 刘惟信. 汽车设计[M]. 北京：清华大学出版社，2001.

AUTO1950