

越野车后桥主动锥齿轮轴螺纹断裂分析

郑州华威齿轮有限公司 (河南 452370) 高永强

我公司是生产汽车前后桥主、从动齿轮的专业化企业。2011年3月,一套齿轮在使用过程中主动齿轮轴螺纹发生断裂,现就该齿轮轴的断裂原因进行分析。

1. 齿轮副情况

该越野车行驶时传动轴脱落,经检查发现主减速器主动锥齿轮轴螺纹断裂(见图1),发生故障时行驶里程10 800km。



图1 断口状态

该主动齿轮轴选用20CrMnTi钢制造,工艺流程:锻造毛坯→正火→机械加工→渗碳淬火→回火→抛丸→螺纹M20×1.5高频退火→研磨中心孔→校直→精磨→配对研齿→成品检验后发往客户装配到差速器内。

该齿轮轴的热处理技术要求为:渗碳层深1.0~1.4mm,碳化物、马氏体、残留奥氏体级别为1~4级,表面硬度58~64HRC,心部硬度32~45HRC,心部无明显铁素体。通过郑州机械研究所强度中心故障诊断和失效分析专家张石山的指导,对该断裂的主动齿轮轴进行了分析,并找出了引起断裂的原因。

2. 断口分析

螺纹M20×1.5前端第五扣位置正是螺母前第一

扣的位置,裂纹起源环形带内约 $80^{\circ} \times (1 \sim 2)\text{mm}$ (见图2)。裂纹源有三个位于螺纹根部,受力时正是负荷最高的牙,应力集中(升高)是最大位置的3~4倍。裂纹源区(在扭转扩展区边缘)主要由拉应力或弯曲应力叠加一定的剪应力生成,放射状纹理由螺纹根部向中心发展1~2mm,而后左旋以 25° 角方向扩展(螺旋角)。形成长 $120^{\circ} \times (1 \sim 2)\text{mm}$ 环带(剪应力、扭矩逐步上升),带内人字形锥塑变纹理指向裂纹源区,在外圆上有 $0.1\text{mm} \times 8\text{mm}$ 的小剪切唇(见图3)。这些现象充分说明裂纹扩展的速度很快(比如一次性扩展),这正是剪应力(扭矩)增大的结果(扭转断裂)。从约 $200^{\circ} \times (1 \sim 2)\text{mm}$ 环带向内,属于快速断裂区,面积约



图2 裂纹源



图3 扭转断裂

80%，中间小台阶高约0.5mm，系瞬间扭断，最后合成台阶高7mm（见图4），裂纹深入台阶底部约12mm，破坏总周期较短。

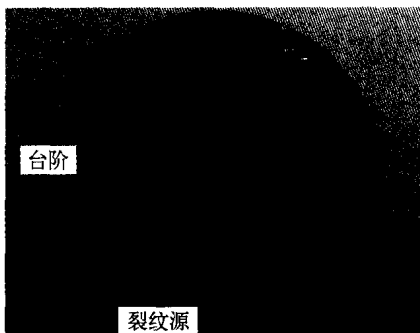


图4 合成台阶

另外，对螺纹底部及花键根部做了显微检查，同时又对花键的横剖面进行了金属清洗剂水溶液浸泡和酸洗，在工具显微镜下放大100倍和400倍进行观察，其根部圆角呈银白色，未见宏观裂纹，同时也未见酸洗裂纹。

3. 金相及硬度

由于该主动齿轮轴材料为20CrMnTi钢，经整体渗碳（含螺纹）淬火+回火，而后螺纹表面进行退火。退火后表面硬度要求为32~45HRC；渗碳层深要求为0.9~1.3mm，经检测该断裂的螺纹表面硬度为35.5HRC、36.5HRC、36HRC。其表面金相组织为索氏体（S）组织，该组织属退火组织。该螺纹心部硬度（距螺纹表面5mm处）为22HRC、25HRC、25.5HRC，心部硬度偏低。但心部组织为低碳马氏体组织；采用金相法测得渗碳层为1.05mm，在技术要求范围之内。

另外，又在距螺纹2mm处取横截面做了检验，从外观看，表面有约0.2mm的亮带，向内为1~1.5mm的黑色环，这说明黑色环是渗碳区，再向内为4~5mm淬火组织。渗碳、淬火及回火工艺正常。在工具显微镜下，可见到牙的环向“波纹”，说明回火后硬度正常（不高）。

4. 受力分析

正常工作条件下螺纹应该是不受力的，但是在装配时要保证主动锥齿轮的前后两个轴承的同轴度（靠差速器的两个轴承位来控制），否则将会引起附加应力。

如果螺纹处于预紧状态，螺纹内就会受到拉伸状态的预紧力，由于花键和弧齿锥齿轮无法做到同步

接触和变形，当螺纹在花键未接触时传递转矩，这样就产生了转矩冲击。一旦倒车（齿轮反转），同样螺纹连接传递起动转矩，直到花键接触。传递转矩时，带动齿轮旋转，同时产生向前拉应力及剪应力加载到螺纹上，这就要求对游隙（装配间隙）的设计要控制好。同时垫片与法兰相结合而产生滑动，由于法兰是固定的，支点在两轴承上，所以也会在螺纹上产生应力集中。

如果螺纹不预紧（螺纹不传递转矩），则轴在两轴承前后（外侧）存有间隙（大于轴承的游隙），如后轴承与花键轴结合面和螺纹垫片与花键套的结合面之间有间隙（间隙大小与工作质量有关），这样就解决了花键传递转矩和齿轮同步起动或倒车问题及齿轮轴向力支撑问题。

但这时花键则成了传动轴的一个支点，在车辆行走过程中会有冲击负荷，尤其是在路况不好时冲击负荷更大。也就是说这时的间隙、摆角增大，同时惯性冲击力也增大。这些工况在行车、加速及减速、倒车时不断变换，因此螺栓不预紧比预紧会好些。但是如果路况不好，颠簸摇摆等，花键承受冲击会大些，尤其是当一个车轮陷入泥潭时最差。这时后桥与前桥间倾斜变形大，即螺栓将受到大的扭转及弯曲。

对于汽车，尤其是越野车，其零部件承受随机载荷，受路况及操作特性的影响很大。由于车的功率大，一旦一个车轮陷入泥坑，突然前进或后退，尤其在泥坑中变向，就会产生较大的非设计应力，出现该处螺纹断裂的情况。

5. 结语

本汽车后桥主动锥齿轮轴在过应力下断裂周期较短，先由多个裂纹源产生约80°、1mm宽的裂纹。在很短的时间内扩展成约200°×1mm环状裂纹（剪应力升高造成的），由于偏载（不对中），附加应力（力矩）升高而扭断。裂纹源位于螺纹根部，应力集中系数较高，具有弯曲应力（正应力）叠加扭转应力破坏的特征。终断区直径约为18mm，占总面积约80%，几乎是瞬间扭断的。这说明产生高附加应力事件后在较短周期内螺纹就断裂了。由于螺纹止退垫完好，螺纹牙也是完好的，所以可以排除螺母松退的可能。MW

(20111221)