

变速器二挡从动齿总成断裂原因分析

牟健宁

柳州上汽汽车变速器有限公司 广西柳州 545006

摘要：售后市场反馈多起某D系列手动挡变速器存在挂二挡不走或二挡挂不进的问题，里程均在1万km以上，经技术人员分析发现均为变速器二挡从动齿总成断裂，造成变速器在二挡时动力中断。通过进一步分析验证，找出导致齿轮断裂的根本原因，制定相应改进措施，解决由该原因导致的整车动力中断问题。

关键词：变速器；齿轮断裂；焊接；受力分析

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.06.001

变速器作为整车动力传输的关键部件，具有动力传递、变速及换向的功能，不仅承接由发动机端传来的动力，同时本身也是动力输出端，负责将动力输出给汽车传动轴。而变速器内部齿轮和轴系的协同运作则是实现上述功能的关键。一旦变速器内部齿轮或轴系出现问题，则有可能造成整车动力中断或者车辆失速。本文将重点分析变速器齿轮失效的原因，制定优化方案。

故障现象

售后市场反馈多起某D系列手动挡变速器存在挂二挡不走或二挡挂不进的问题，里程均在1万km以上，经技术人员分析均为变速器二挡从动齿总成断裂，造成变速器在二挡时动力中断。

对断裂的二挡从动齿总成进行检查，断裂位置均位于结合齿与齿轮焊接位置旁。从动二挡齿总成断裂

位置如图1所示。

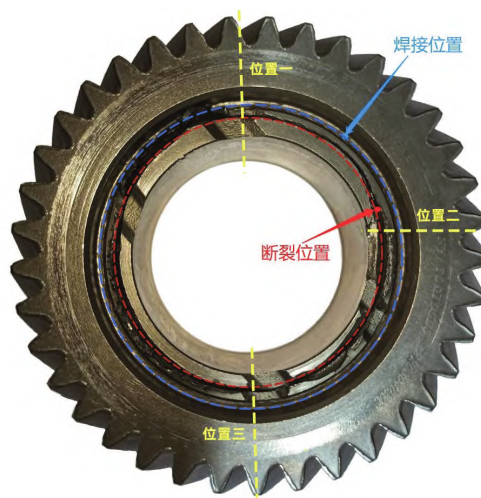


图1 从动二挡齿断裂位置

根据二挡从动齿总成的结构，可知其为反焊结构，进而得出其焊缝位置受力分析图，如图2所示。

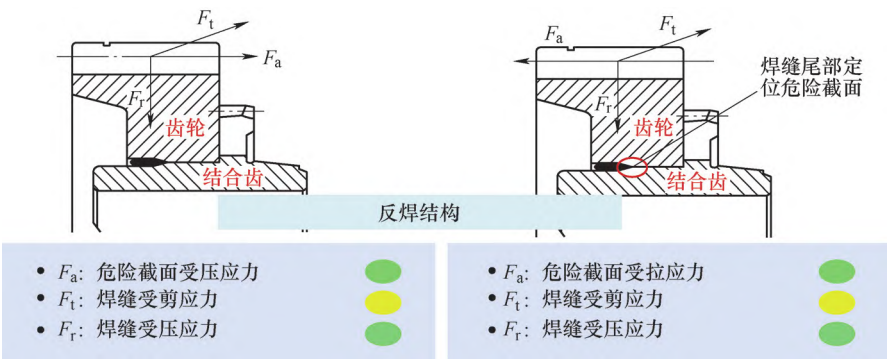


图2 D系列二挡从动齿总成焊缝受力示意

二挡从动齿总成断裂分析

通过对失效二挡从动齿总成的初步分析，同时结合齿轮结构特点，初步推断出造成二挡从动齿总成断裂的主要原因有以下几点：

- 1) 子零件关键尺寸超差。
- 2) 材料成分或热处理不符合工艺要求。
- 3) 焊接关键参数不达标。
- 4) 零件结构设计缺陷。

二挡从动齿总成断裂机理分析，如图3所示。

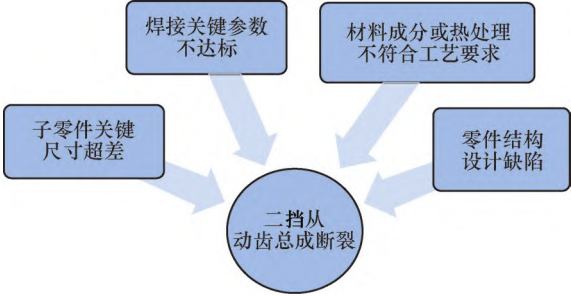


图3 二挡从动齿总成断裂机理分析

1. 零件关键尺寸排查

对故障二挡从动齿总成所涉及对应批次的子零件生产检验记录进行追溯反查，相关关键尺寸检测记录结果均符合技术要求，结果详见表1。

表1 断裂二挡从动齿总成零件追溯结果（单位：mm）

检测项目	技术要求	检验结果	结论
齿轮内径	$\phi 60 (0,+0.025)$	60.018/60.016	符合要求
结合齿外径	$\phi 60 (+0.041,+0.06)$	60.053/60.050	

通过表1可知，故障件所涉及子零件的相关关键尺寸均符合要求，因此可排除子零件关键尺寸超差导致

齿轮断裂的可能。

2. 齿轮材料成分及热处理金相检测

1) 对断裂二挡从动齿总成进行材料成分分析，结果见表2，其心部硬度检测值为440HV30，在合格范围内（340~480HV30）。

表2 断裂二挡从动齿总成材料成分及硬度检测结果（质量分数）（%）

检测项目	技术要求	检测结果	结论
C	0.1~0.23	0.19	符合要求
Si	0.17~0.37	0.18	
Mn	0.80~1.10	0.85	
S	≤ 0.035	0.003	
P	≤ 0.035	0.009	
Cr	1.00~1.30	1.26	
Ti	0.04~0.10	0.07	

通过表2可知，零件材料成分符合要求，因此可排除零件材料成分及热处理工艺不符合要求导致齿轮断裂的可能。

3. 齿轮形貌观测和分析

1) 对断裂二挡从动齿总成进行焊接关键参数检测，结果见表3。

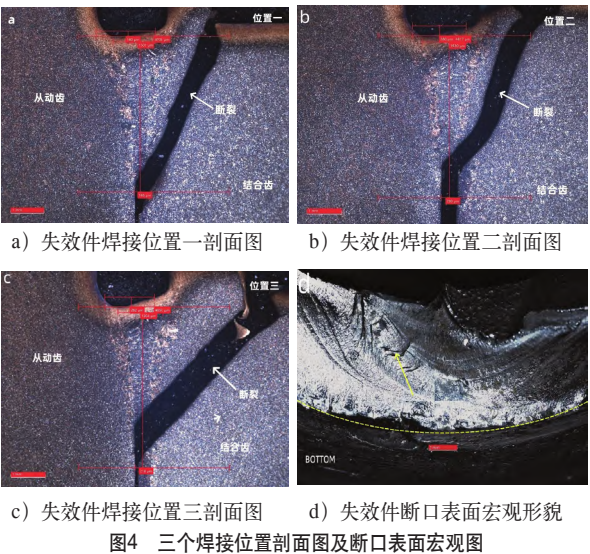
通过表3及图4可知，断裂二挡从动齿总成焊接关键参数符合要求，失效件断口裂纹源位于焊缝尾部结合面位置并沿结合齿 45° 方向扩展，因此也可排除焊接关键参数不达标导致齿轮断裂的可能。

2) 使用电镜对断口进一步分析，结果如图5所示。

由上述外观形貌图分析可知，故障二挡从动齿总成在焊接位置附近出现开裂，从D系列二挡从动齿

表3 断裂二挡从动齿总成焊接关键参数检测结果
(单位: mm)

序号	检测项目	技术要求	实测	评价
位置一	焊接深度	≥3.5	4.71	符合要求
	焊接宽度	≤2.5	1.50	
	焊接堆高	≤0.5mm	0.16	
	焊缝偏移量	±0.1	0.08	
位置二	焊接深度	≥3.5	4.61	符合要求
	焊接宽度	≤2.5	1.53	
	焊接堆高	≤0.5	0.28	
	焊缝偏移量	±0.1	0.09	
位置三	焊接深度	≥3.5	4.65	符合要求
	焊接宽度	≤2.5	1.30	
	焊接堆高	≤0.5	0.28	
	焊缝偏移量	±0.1	0.05	



总成焊缝受力示意图可知：正托工况下，焊缝尾部位置受压应力；反托工况下，焊缝尾部位置受拉应力；而在受拉应力作用下，焊缝尾部应力较为集中。

从失效件三个位置的剖面图可以发现，零件焊接深度、焊接宽度和堆高满足技术要求，失效件断口裂纹源位于焊缝尾部结合面位置并沿结合齿 45° 方向扩展。经扫描电镜分析，失效件断口裂纹源区，在高倍下可见到明显的疲劳辉纹。

综上所述，故障二挡从动齿总成在反托工况下，焊缝尾部位置会受拉应力作用，因而焊缝尾部位置应力较为集中，从而易导致二挡从动齿总成发生疲劳断裂。

4. 零件横向对比分析

经调查发现，与D系列变速器内部零件结构极为相似的B/C系列手动挡变速器从未发生过二挡从动齿总成

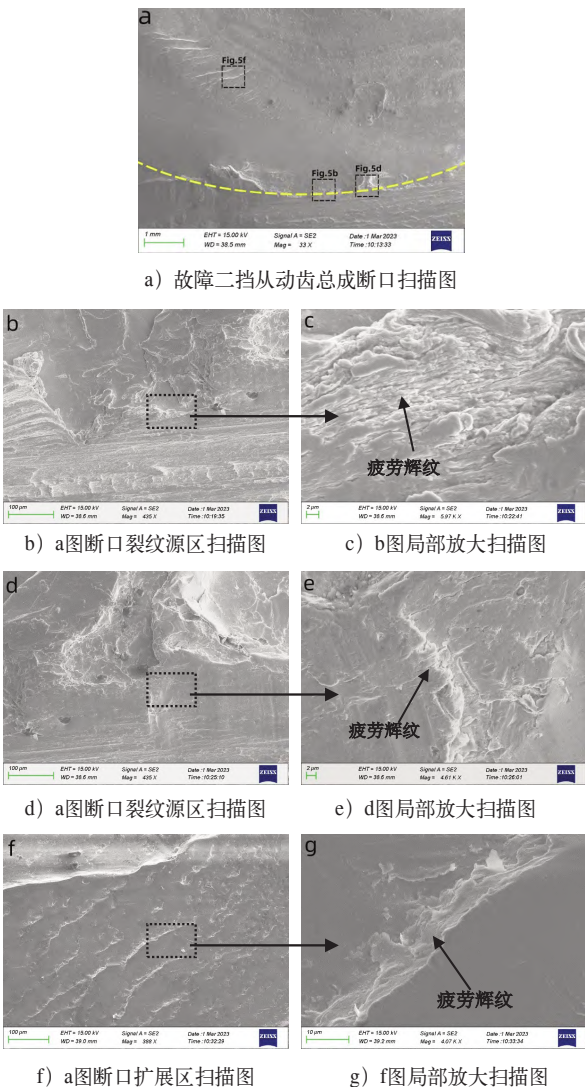


图5 故障二挡从动齿总成断口扫描图

断裂的情况，进一步对相关零件的结构进行对比，发现B/C系列的二挡从动齿总成为正焊结构，而D系列的二挡从动齿总成为反焊结构，如图6所示。

根据零件结构的差异，进一步对B/C系列与D系列二挡从动齿总成焊缝进行受力对比分析，如图7~图9所示。

由上述零件横向对比分析可知：在正托工况下，B/C与D系列的从二齿轮与结合齿存在贴合趋势，二挡从动齿总成焊缝尾部受力情况一致；在反托工况下，B/C与D系列的从二齿轮与结合齿存在分离趋势，但B/C系列的二挡从动齿总成底部的安装端面因受到输出轴轴肩的限位，所以B/C从二的焊缝尾部受到的拉应力较D系列的从二焊缝尾部受到的拉应力要小得多。

因此，在同等反托工况下，D系列从动二挡齿总成

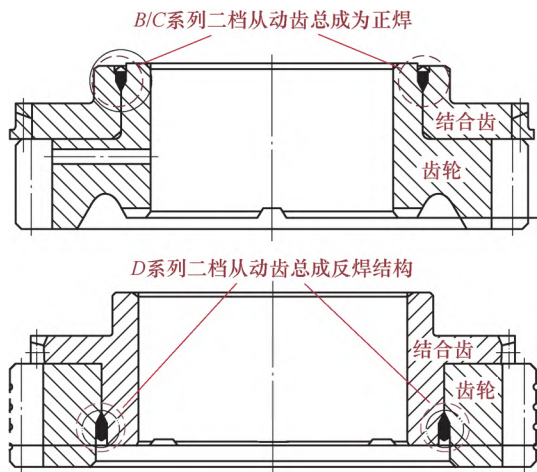


图6 B/C系列与D系列二档从动齿总成焊接方式

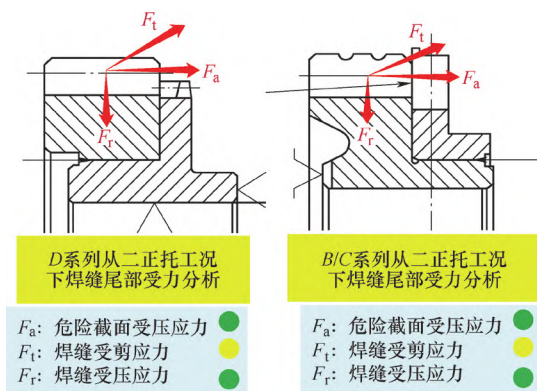


图7 B/C系列与D系列从二焊缝正托工况下受力分析

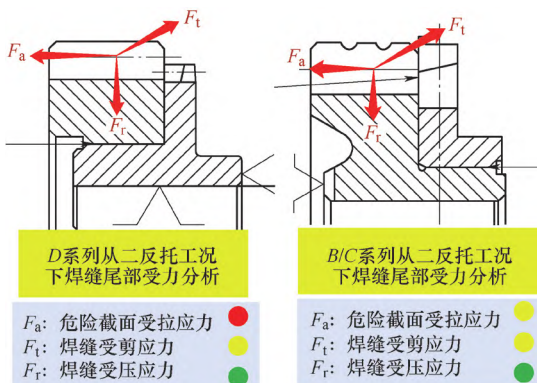


图8 B/C系列与D系列从二焊缝反托工况下受力分析

的焊缝尾部所受到的拉应力比B/C系列从动二档齿总成的焊缝尾部所受到的拉应力要大，二档从动齿总成也更容易因为所受拉应力的反复作用而发生疲劳断裂。自此可以确定：造成二档从动齿总成断裂的原因为零件结构设计存在缺陷，反托工况下易造成二档从动齿总成断裂，最终导致整车二档无动力。

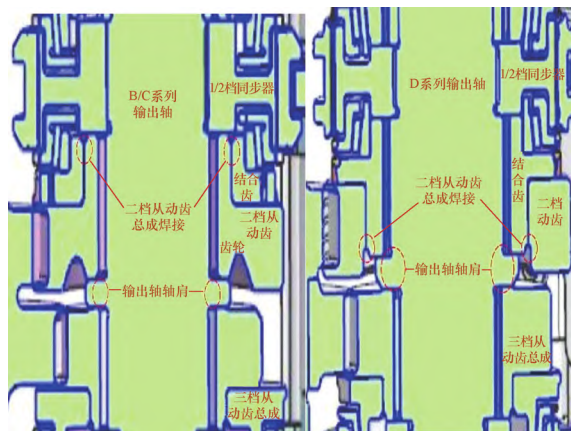


图9 B/C和D系列变速器从二总成与其他零件配合图

改进措施制定及跟踪验证

1.改进措施制定

根据D系列变速器二档从动齿总成零件结构设计存在缺陷，反托工况下易导致二档从动齿总成断裂的问题，主要采取的措施：更改现有D系列二档从动齿总成零件结构，由原先的反焊结构改为正焊结构，减少焊缝在反托工况下所受到的拉应力（见图10）。

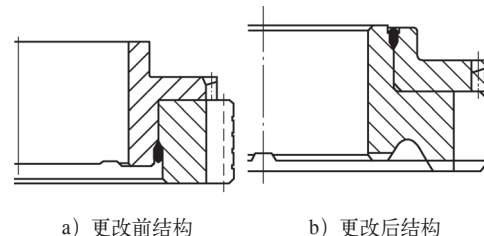


图10 二档从动齿总成结构更改

2.跟踪验证

自采取上述措施后，已持续跟踪统计约两年，该D系列变速器在客户现场及售后市场的质量表现，均未再发现二档从动齿总成断裂问题，证明上述措施有效、可行。

结语

通过以上措施的实施以及长时间、大批量的跟踪验证，结果证明上述措施有效，因零件结构设计缺陷导致的二档从动齿总成断裂问题得到彻底解决。仅以此文为变速器齿轮断裂问题的分析、解决提供一些实践参考。AUTO1950