

学校代码: 11059
学 号: 1606014014

合 肥 学 院

Hefei University

英语参考文献

ENGLISH REFERENCE



文献题目: Failure investigation of a tie rod end
of an automobile
steering system

学位类别: 学士学位

学科专业: 机械设计制造及其自动化

学生姓名: 王金彪

导师姓名: 王 磊

完成时间: 2019.03.09

汽车转向系统拉杆末端故障研究

A. H. Falah *, M. A. Alfares, A. H. Elkholy

科威特大学机械工程系, 科威特萨法特 13060, 信箱 5969 号

收稿日期: 2006 年 5 月 30 日; 刊登日期: 2006 年 11 月 19 日

网络发布日期: 2007 年 1 月 23 日

摘要

本文对运动功能型车(SUV)转向横拉杆端进行了故障分析, 其中转向横拉杆端部由两部分组成: 即螺纹连接组件和抱合杆组件。我们研究的这个 SUV 是行使了大约两年, 总里程 3 万公里, 其螺纹组件的成分是美国钢铁学会规定的 8620 号钢, 故障就是在这个地方发生的。本论文采取了多种方法对故障部分进行评测, 从而确定其发生原因并评定其故障后的完整性, 其中有可视化检测、图像文件系统、化学分析、硬度测试和金相检验。通过带 EDAX(能量弥散 X 线分析仪) 装置的电子扫描显微镜(SEM) 可以检测故障表面的任意部位的化学成分。结论指出如果螺纹组件的材料性能不好且处于不合适的热环境下, 其结合处的一个初始裂缝会因疲劳效应导致转向横拉杆末端的故障。

关键词: 疲劳效应; 初始裂缝/裂缝蔓延; 材料特性

1. 引言

配备普通悬架系统和循环滚珠式转向装置的汽车, 其转向横拉杆将中连杆和转向节连接起来, 如图 1。配备麦弗逊式悬架系统和带齿条齿轮转向器的汽车, 其转向横拉杆将齿条和转向关节连接起来, 如图 2。而转向横拉杆如图 1、2 所示分为内端和外端。

转向横拉杆将来自转向中连杆或齿条的力传向转向关节, 从而使车轮转动。转向横拉杆的外端连接一个调节套以伸缩拉杆的长度, 这样就可以调整汽车的车轮前端的角, 有时用来调整其转向节销的后倾角或外倾角。

汽车的转向和悬挂系统应该定期地检查, 一年至少进行一次全面的前轮校正。一个使用超期转向横拉杆, 由于摩擦和磨损作用, 会导致行车方向控制的不稳定和轮胎额外的磨损。如果需要更换转向横拉杆, 那么相应地也要进行前轮校正, 因为前者的更换会影响后者的定位。



图 1 普通悬架系统

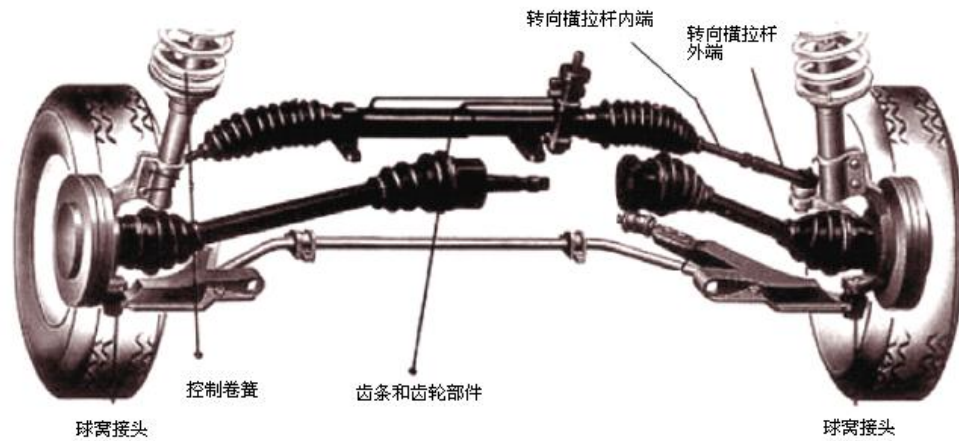


图2 配合齿轮齿条转向器的麦弗逊式悬架系统

转向横拉杆可能会有很多故障，但它除了在噪声等级和振动的少许增加上有所体现外，在其他方面常常没有故障的明显现象，除非横拉杆的所有的故障都发生了。通常情况下，每种故障都会有自己的特征迹象，如果经过详细的检查一般都会得到足够的信息来判断故障原因。转向横拉杆的故障类型常见的有：疲劳老化、冲击破坏、磨损和断裂[1]。其故障原因有一些已经得到了确认，包括设计缺陷、不合理的装配、超载、不固定的应力源、严酷环境下的隐患、材料使用错误、缺乏严格的制造过程和非正常受热[2]。一般说来，汽车悬架的转向横拉杆要能提供足够的扭矩和保持良好的可靠性。但是，故障还是时常发生，尤其是因为制造上的问题和不正确的驾驶方式[3]。

本论文所研究的情况针对某辆汽车转向横拉杆的外侧连接部分的故障。这个故障引发了一名 SUV 司机和卖给他汽车的供应商的一场官司，内政部的调查局也对转向横拉杆的故障进行了调查分析。汽车已经行驶了将近两年，行程还不到 3 万公里。这名司机原告陈述说当他正在驾驶汽车的时候，突然听到一声巨响，然后汽车就失去了控制并撞到了公路中间的隔离护栏。汽车被撞坏，司机受到一些轻伤。他认为导致事故的原因是这辆汽车的机械部件突然出现了问题，。可是，汽车销售商认为完全不是这样的，他的理由是汽车制造商每年都生产大量的此型号的汽车，可是从来没有接到如此严重故障的报告。汽车销售商认为是司机的不正确驾驶导致了汽车的失控，这样才造成了汽车撞上护栏并损坏。为了解决这个官司，就必须要对汽车操纵装置进行全面彻底的调查分析，确定故障原因。所有现场散落的操纵部件都被收集起来，它们虽然扭曲的比较严重，但是都很完整。只有转向横拉杆末端螺纹连接头部分断裂，但是横拉杆连接端的抱合杆部分除了有一些划痕之外仍然完好。转向横拉杆的故障部分的照片如图 3a 所示，这里将螺纹连接头断裂的两部分拼接起来，复现转向横拉杆故障之前的形状。图 3b 是断裂的两部分各自的状态。图 4 显示了抱合杆部分以及螺纹杆的断裂面朝上放置的照片。从这里可以很清楚的看到断裂是在螺纹杆的连接头部分发生的。因为这里横截面积太小并且是应力集中的地方，显然裂纹要在这里发生。需要对螺纹杆进一步地检查来确定故障原因。

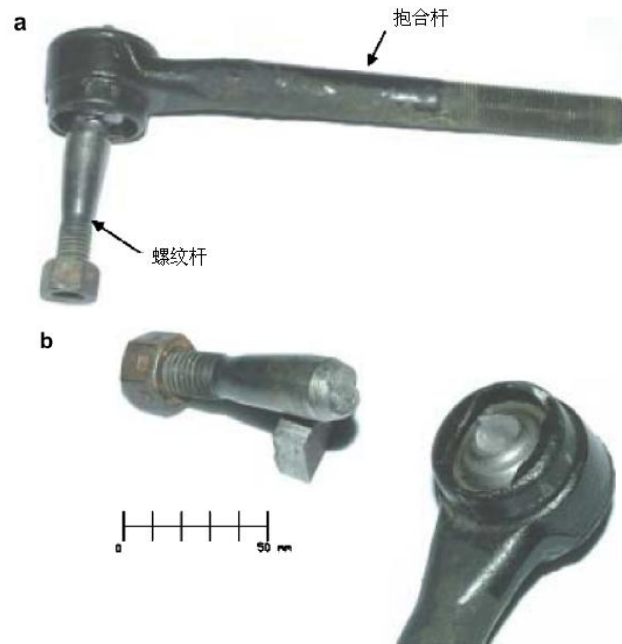


图3 转向横拉杆断裂部件 a) 总成 b)断裂

2. 实验流程

通过肉眼检查转向横拉杆发生故障的螺纹杆部分，并要避免对断面的破坏。然后对其进行超声波清洗，再采取金相试验，图像分析处理、化学分析，最后在断面的近端和远端进行硬度测量。在调查中使用使用了装备EDAX的电子扫描显微镜和光学显微镜。



图4 螺纹杆的断裂面和抱合杆边缘的划痕

3. 分析结果和讨论

取故障螺纹杆的几个部位，使用原子吸收分光光度测定法进行化学分析，在表1处给出了测试结果的平均值，同时给出了明确的化学成分。经过光谱分析显示出螺纹杆的材料是AISI 8620号钢，这种钢普遍应用于汽车操纵组件的主体部分。测试样本显示锰和铬的含量较低，这样这部分组件的硬度就大大地减小了。同时，高含量的镍将会使组件的硬度大大提高，从而使其机械性能中和，这样就

能承受住崎岖道路颠簸的冲击力。测量显示转向横拉杆断裂表面的硬度是 45.6 HRC。这说明转向横拉杆的硬度还不够，因为一般在这种应用环境下，其硬度应该是 50 HRC。

由图4可以证明，断裂表面存在两种截然不同的区域：一种是光滑的，而另一种相对粗糙。这是典型的疲劳断裂，即从光滑区域边缘首先产生裂纹，然后向粗糙部位蔓延，这导致了最终的故障。另一方面，由图4可以看出，断裂面大部分都是光滑区域。这说明转向横拉杆疲劳裂纹的延伸持续了很长时间，直到最后的故障发生。这是一个高周疲劳的典型案例。因此，SUV发生故障是转向横拉杆的螺纹杆的材料缺乏刚性，抵抗冲击的能力较弱造成的，从而螺纹杆产生了一个初始的裂纹，经过一段时间之后就导致了断裂。

表1

转向横拉杆产生故障的螺纹杆和AISI 8260号钢的化学成分

Element	Failed tie-rod end	Specified chemical composition of AISI 8620 steel	Comment
% C	0.195	0.18-0.23	Within range
% Si	0.238	0.20-0.35	Within range
% Mn	0.580	0.70-0.90	Low
% Ni	1.654	0.40-0.70	High
% Cr	0.089	0.40-0.60	Low
% MO	0.214	0.15-0.25	Within range
% S	0.017	≤0.040	Within range
% P	0.009	≤0.035	Within range

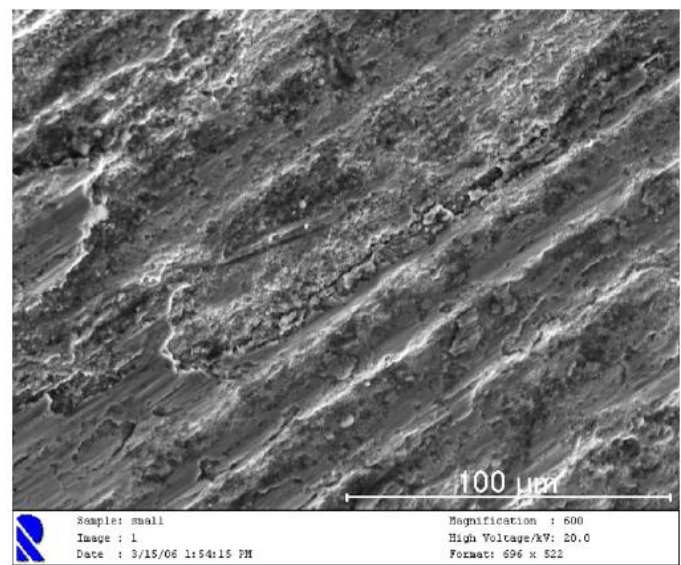


图5 SEM（电子扫描显微镜）显示裂纹延伸区域的微观图像

对断裂面样本经过金相处理，然后利用扫描电子显微镜观察，在断裂表面的光滑区域发现了典型的疲劳裂纹，其源头在区域的边缘，表明了这个源头所承受的压力是最大的。图 5 展示了断裂表面的裂纹蔓延过程，从中可以很清楚的看到海滩状条纹，这是疲劳故障的典型特性[4]。

疲劳区域的断裂表面是光滑的，中间带有海滩条纹，围绕着裂纹源头。这证明了疲劳裂缝最初是一个点，然后就慢慢延伸，形成断裂面。另外一小部分区域是粗糙的，呈锯齿状，螺纹杆最后断裂就是在这里发生的，并且在断裂面没有发现腐蚀现象。

图 6 所示的是在裂缝延伸的最终区域的脆性断裂。图 7 是断裂面粗糙区域的微观图像，其中有一块块的颗粒周围形成了薄薄的一层涟漪。图中发亮的线条围绕着若干块状颗粒，这是脆性断裂产生的晶间裂纹。图 8 特写了一些块状颗粒的

晶体间和晶体内的裂纹。

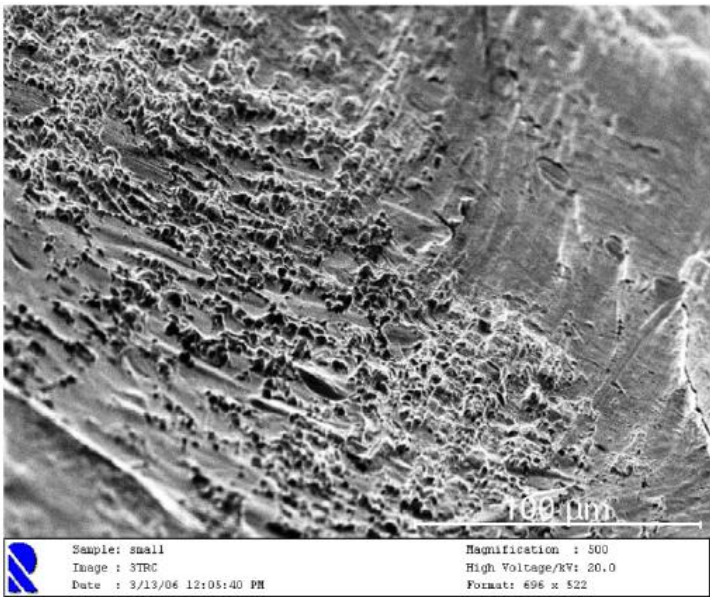


图 6 裂缝延伸的最终区域所观察到的典型脆性断裂的 SEM 图像

在断裂面上用带 EDAX 的电子扫描显微镜进行化学定量分析，以查明是否还有其他相关的成分。结果发现没有其他的引起故障的因素。

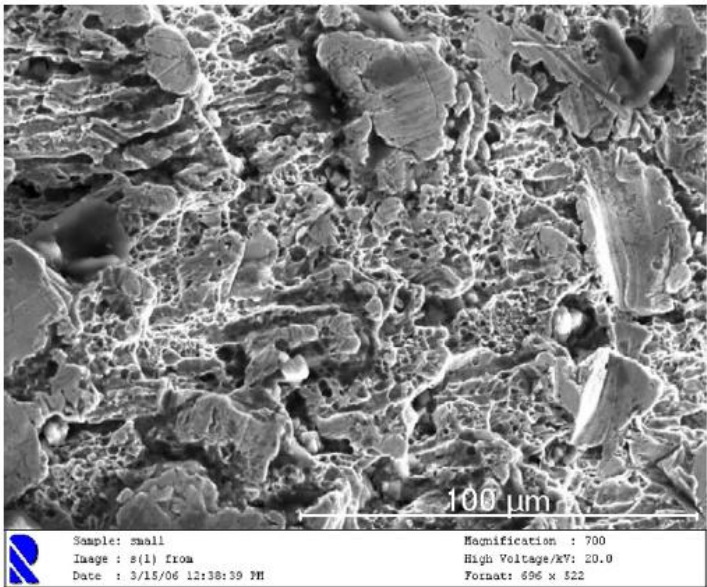


图 7 导致部件分离的最终断裂面 SEM 图像

图 9 是螺纹杆样本切片的金相学照片，样本已经过了抛光和 2% 的尼特溶液的蚀刻处理。其微观结构由珠光体（图中指纹状的图像）和铁酸盐（图中较黑的部分）组成。这是典型的未经硬化的低碳钢。图 9 未发现微观结构的异常。

通过以上的实验观察，可以确定故障是由施加在螺纹杆接头的高应力造成的，主要原因是不合适的化学成分造成了材料的硬度不够，不能提供足够的力。在崎岖不平的路上驾驶 SUV，汽车受到周期载荷，疲劳裂纹就是因这些应力集中点的冲击而形成的，也就是说，当应力超过材料的承受能力时，螺纹杆接头就断裂了。有一点需要提及的是，裂纹蔓延造成的不断增加的噪声和震动常常不会引起人们的注意，直到故障意外地发生。为了进一步地改善转向横拉杆对外加负

载的承受能力，建议增加螺纹杆连接头的横截面积并且扩大其圆角半径。

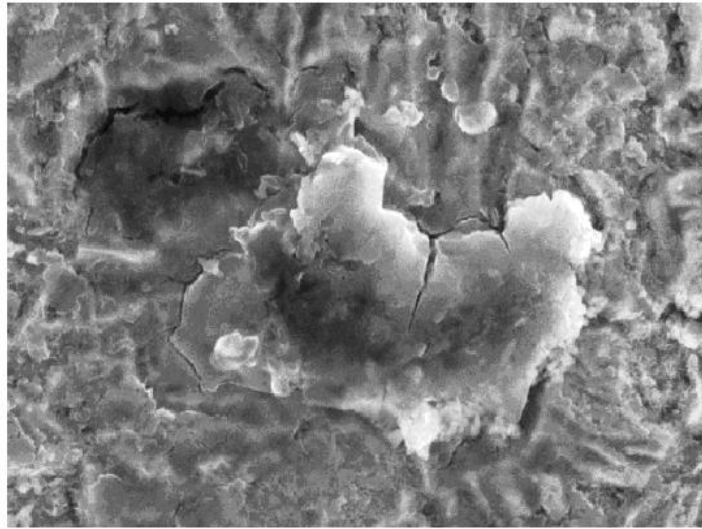


图 8 晶体间和晶体内裂缝的特写图像

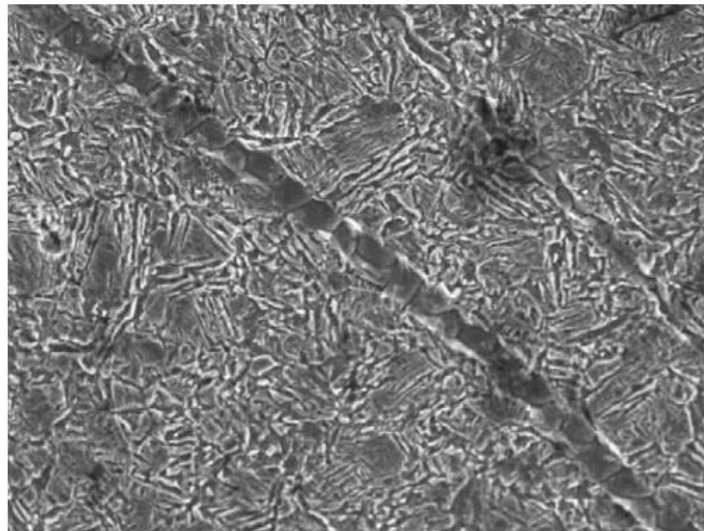


图 9 由珠光体（指纹状阵列）和铁酸盐(用 2%Nital 溶液蚀刻)处理过的螺纹杆微观图像

4. 结论

本论文研究点是基于SUV转向横拉杆的故障。光谱分析和硬度测量证明故障是由AISI 8620号钢造成的，其成分和硬度不符合规定的标准。金属断面在显微镜下的特征显示了转向横拉杆的故障是因为疲劳效应。在横拉杆的螺纹杆断裂面上，裂纹初始产生的地方和海滩状条纹清晰可辨。观察到了疲劳裂纹从螺纹连接头附近被破坏的区域开始产生，并由此蔓延开来。故障分析结果显示出转向横拉杆故障的主要原因是材料的不符合标准。裂纹初始形成和延伸导致了连接头最终的断裂，并且证明了SUV司机的观点是正确的，即汽车故障发生的原因是机械部件一转向横拉杆，不符合标准。

致谢

作者致谢科威特大学研究管理局，批准号：EM04/06。他们还感谢科学学院为开展这项研究提供的设施。同时还感谢Rafiq先生、Iqbal先生、Otaiby女士和Dashty女士在所有研究和数据汇编阶段提供的帮助。

参考文献

- [1] Sheldon GL. Unusual Failure of an automobile steering component, In: Failure prevention and reliability conference, Dearborn, Mich., USA, 1983; p. 27–31.
- [2] Kim HR, Seo MG, Bae WB. A study of the manufacturing of tie-rod ends with casting/forging process. J Mater Processing Technol 2002;125–126:471–6.
- [3] Sidders PA. Linked mulhead machines for operations on tie-rod ends. Mach Prod Eng 1970;30(December). p. 1054–62.
- [4] Fatigue and fracture. ASM handbook, Metals Park (OH): American Society for Metals, 1996, vol. 19.