

某电动汽车前控制臂后衬套脱胶问题分析及改进

王龙飞，任亮亮

北京新能源汽车股份有限公司 北京 100176

摘要：针对某电动汽车的前控制臂后衬套脱胶问题进行了分析讨论，首先在整车上确认了故障状态，然后检测了故障件的外观、尺寸、材料和性能，发现是由于外套管清洁度差导致的金属外套管与硫化橡胶粘接不良，接着进行了生产工艺对标分析，最后根据故障原因确认了改进措施并做了充分的验证，最终彻底解决了该问题。

关键词：衬套；脱胶；清洁度；硫化

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.09.001

故障描述

某车型（下文简称C40DB）售后市场反馈出现前控制臂后衬套脱胶导致行驶过程中底盘异响，故障率约3%，故障车辆主要行驶在云南、湖南和福建等路况较恶劣的地区，故障里程集中在2万~5万km，运行时间为6~15月。产品基本结构及故障照片如图1

所示。

原因分析

故障件返回供应商后，进行了外观、尺寸、材料和性能的检测，发现金属外套管与硫化橡胶黏接不良，接着应用鱼骨图^[1]分析影响橡胶黏结力的关键要

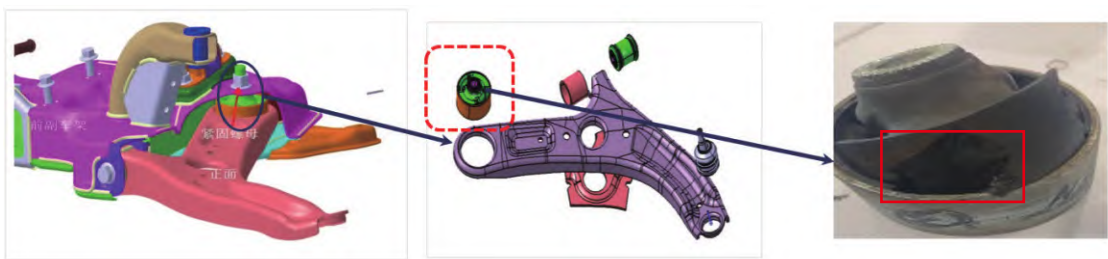


图1 产品基本结构及故障照片

素，逐项排查找出异常点。

1.故障件分析

故障件返回供应商后进行了外观、尺寸、材料和性能的检测，尺寸及材料无异常，剖切故障件发现橡胶本体与外套管脱胶，橡胶黏结面积<60%。前控制臂后衬套的设计要求为：橡胶黏结强度大于橡胶本体撕裂强度，进行衬套破坏性试验，橡胶与内外套管黏结面积大于90%，表现形式是硫化橡胶本体撕裂，故障件

状态不符合设计要求。初步分析是由于金属外套管与硫化橡胶黏结不良，衬套粘接力不能抵抗车辆的实际受力，在力的持续作用下，衬套外套管与橡胶发生脱离。

2.鱼骨图分析

根据前控制臂后衬套脱胶现象，识别影响橡胶粘接的关键要素，梳理出可能导致衬套出现脱胶的鱼骨图如图2所示。

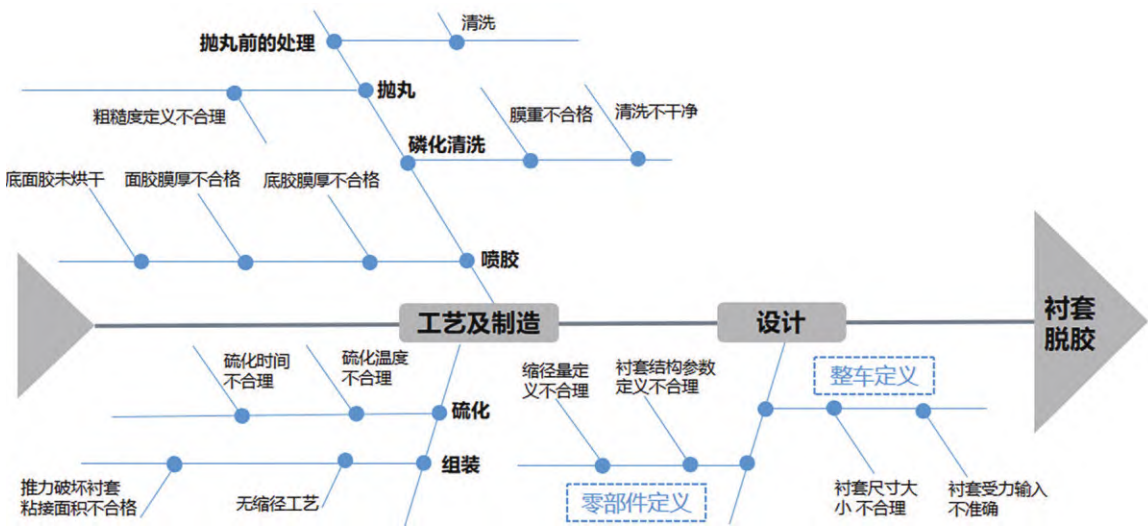


图2 衬套脱胶问题鱼骨图分析

排查影响因素及确认根因

对可能导致衬套脱胶的产品设计、工艺及制造的关键影响要素进行逐项排查，找出异常的因素，并确认问题根因。

1.设计因素排查

(1) 确认衬套尺寸大小设计得是否合理 衬套的直径和高度尺寸越大，则橡胶黏结面积越大，橡胶厚度也越厚，利于可靠耐久性。根据C40DB悬架结构型式及整车总质量，与其他车型的衬套大小进行对标。经过对比确认，C40DB衬套直径70.2mm，高度36mm，尺寸设计合理（见表1）。

(2) 确认衬套整车下的受力输入是否符合设计要求 根据C40DB整车的最大总质量，用Adams仿真软件进行衬套受力的提取并作为衬套结构耐久CAE分析的输入，在工况17（制动0.8g）下Y向，衬套受力最大，

表1 C40DB与其他车型衬套尺寸对比

序号	车型	整备质量/kg	衬套直径/mm	衬套高度/mm	黏结强度
1	C40DB	1640	70.2	36	黏结面积≥90%
2	威马EX5	1765	69	32	黏结面积≥90%
3	小鹏P5	1725	69	30	黏结面积≥90%
4	几何A	1635	69	28	黏结面积≥90%
5	N60	1935	65	30	黏结面积≥90%
6	吉利星越	1740	65	30	黏结面积≥90%

为9112N，与整车输入数据吻合。衬套做CAE分析，疲劳损伤系数为0.181（规定 ≤ 0.85 ），满足设计要求。

(3) 衬套结构参数定义是否合理 供应商根据衬套的尺寸大小和整车受力输入，对衬套进行结构参数定义和设计。核查衬套外径、外套管高度、内套管外径/内径/高度、橡胶轴向/径向厚度、阻尼孔间隙及橡胶压缩率等参数，都为常规设计值，无异常。

(4) 缩颈量的定义是否合理 根据衬套尺寸大小，供应商对缩径量进行定义和取值。经对比分析，缩径量为3mm，缩径率为4.1%，符合设计规范（ $\leq 5\%$ ）。

2. 工艺及制造因素排查

1) 确认外套管抛丸前状态，检测外套管表面清洁度。经过排查，发现来料外套管表面有油污和生锈（见图3），油污来源为钢材厂拉伸时的油污，生锈为流转过程中防护不当，潮湿环境导致。



a) 生锈

b) 油污

图3 外套管来料有油污和生锈

将有油污和生锈的外套管进行抛丸后，锈迹已被去除，粗糙度符合检验要求。接着做磷化及硫化后，做推力测试有明显脱胶，如图4所示。



图4 硫化后做脱胶验证试验

通过故障复现试验，有油污的外套管正常抛丸和磷化后产生脱胶，与市场件故障模式一致。由此确认外套管油污为关键影响因素。

2) 抛丸工序后，检查外套管的粗糙度。实测在

5~6 μm 之间，设计要求为3~9 μm ，在合格范围内。非真因。

3) 磷化清洗工序，检测磷化膜重。磷化膜密度实测为1.6~2.8g/m²，符合工艺要求。非真因。

4) 确认喷胶工序的底胶厚度、面胶厚度和烘干参数无异常。底胶膜厚实测6~10 μm ，面胶膜厚实测16~20 μm ，烘干温度（80~100℃）和烘干时间（2~3min）也无异常。非真因。

5) 确认硫化工序工艺参数合格，硫化温度170℃ $\pm 5^\circ\text{C}$ 、加硫时间560s，锁模压力24 $\pm 1\text{MPa}$ ，都在正常范围。非真因。

6) 缩径工序，确认缩径设备正常，缩颈后衬套无损伤、尺寸符合要求。非真因。

结论：通过对设计过程及工艺制造过程排查，确认外套管油污是导致脱胶的关键因素，导致外套管与橡胶的黏结强度降低，。

3. 生产工艺对标分析

与其他主流衬套厂家进行生产工艺对标分析，总体对比情况见表2。

对标结果如下：供应商与其他四个厂家的抛丸、磷化、喷胶、硫化、缩径及推力检测工艺基本一致，但是缺少预脱脂工序和清洁度检查工序。

抛丸前的预脱脂工艺的主要作用：可去除油污、锈迹，防止抛丸过程中，油污及锈迹与零件机体分子形成交互和渗透，从而将污物留存在了机体表层。同时，抛丸过程中形成的凹凸粗糙度表面，增加了在磷化过程中对异物清洗清洁的风险。

结论：供应商的缺少预脱脂工序和清洁度检查工序，导致外套管抛丸和磷化后，表面油污未去干净，硫化后出现黏结力不足现象。

4. 确认问题根因

用5Why法分析问题产生的根因：

- (1) Why1 车辆行驶过程中有异响。
- (2) Why2 前控制臂后衬套脱胶。
- (3) Why3 外套管与橡胶的黏结力不足。
- (4) Why4 衬套外套管表面有油污。
- (5) Why5 外套管油污未去除干净。

表2 各厂家生产工艺对比

序号	工艺	工序	厂家1	厂家2	厂家3	厂家4	供应商	备注
1	来料	来料检验	✓	✓	✓	✓	✓	
2	出库	出库检验	✓	✓	✓	✓	✓	
3	预脱脂	预脱脂1（超声波）	✓		✓	✓	◎	关键因素1
		脱脂1	✓	✓	✓	✓	◎	
		水洗1	✓	✓	✓	✓	◎	
		水洗2	✓	✓	✓	✓	◎	
		酸洗	✓					
		水洗3	✓					
		水洗4	✓					
		脱脂2（超声波）	✓					
		水洗5	✓					
		热水洗	✓	✓	✓	✓	◎	
		烘干	✓	✓	✓	✓	◎	
4	清洁度检查	清洁度（张力墨水）	✓	✓	✓	✓	◎	关键因素2
5	抛丸	钢砂抛丸	✓	✓	✓	✓	✓	
6	磷化	预脱脂	✓			✓		
		脱脂1	✓			✓	✓	
		脱脂2	✓	✓		✓	✓	
		水洗1	✓	✓	✓	✓	✓	
		水洗2	✓	✓		✓	✓	
		中和					✓	
		水洗3	✓			✓	✓	
		水洗4	✓				✓	
		水洗5	✓					
		磷化	✓	✓	✓	✓	✓	
		水洗6	✓	✓	✓	✓	✓	
		水洗7	✓	✓	✓			
		水洗8		✓				
		热水洗	✓	✓	✓	✓	✓	
		烘干	✓	✓	✓	✓	✓	
7	喷胶	喷胶前套管预加热	✓		✓	✓	✓	
		底胶、面胶	✓	✓	✓	✓	✓	
8	硫化	硫化	✓	✓	✓	✓	✓	
9	缩径	缩径	✓	✓	✓	✓	✓	
10	推力检测	推力检测	✓		✓	✓	✓	
11	人力开胶检测	人力开胶检测	✓		✓	✓	✓	
12	抽样破坏性试验	抽样破坏性试验	✓	✓	✓	✓	✓	

说明：打“✓”为有该工序，“◎”为缺少的关键工序

改进措施和效果验证

1. 制定改善措施

通过以上的综合分析，确认的改善对策如下：

1) 增加预脱脂工序和清洁度检查工序，包括预脱脂、脱脂、水洗1、水洗2、热水洗、烘干以及清洁度检查共七道工序。

2) 预脱脂和磷化后用答因笔检测法确认表面油脂是否去干净，检测标准如图5所示。

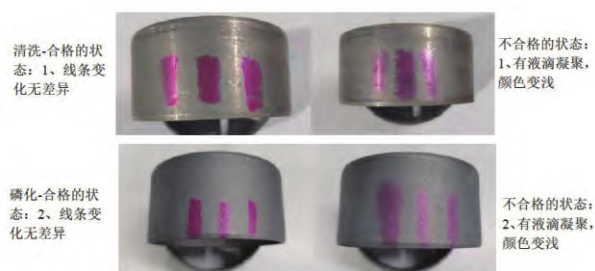


图5 清洗和磷化后的检测标准

3) 要求外套管供应商出厂前进行初步的油脂清洗，运转的物流器具上增加盖章，起到防尘以及防潮的作用。

2. 验证改善效果

改善措施实施后，对生产出来的衬套，随机抽取5个批次，每批次20件，经验证拉脱面积均在90%以上，拉脱力符合设计要求。抽取3个衬套搭载整车耐久（帕斯卡1坏路+帕斯卡2高速试验）共计3.6万km，衬套无开裂、脱胶等问题，改进措施验证通过。

结语

通过对前控制臂后衬套脱胶问题的分析，发现清洁度对橡胶黏结力影响较大，尤其是内外套管上的油污，如果没有进行有效的脱脂和清洁度检验，硫化后很容易出现拉脱力不足的缺陷。因此在生产工艺控制过程中要严格控制内外套管的清洁度，做好表面油脂的处理及检验。

参考文献：

- [1] 内田治，吉富公彦编. 图表解质量管理QC改善活动与QC七大工具应用[M]. 北京：机械工业出版社，2024. **AUTO1950**

（上接第51页）

未来研究方向：

1) 深度融合智能化技术。随着人工智能、大数据、物联网等技术的不断发展，精益生产将与这些技术深度融合，实现更精准的需求预测、更智能的生产排程和更高效的资源配置。

2) 持续优化的自学习系统。智能制造环境下的精益生产系统将具备自学习和自我优化的能力，能够根据实时数据和反馈不断调整生产策略和流程，以适应不断变化的市场和内部条件。

3) 绿色精益生产。在环保要求日益严格的背景下，精益生产将更加注重节能减排和资源的循环利用，实现可持续发展的绿色制造。

4) 跨行业的精益经验借鉴。不同行业之间的精益生产经验和最佳实践将得到更广泛的交流和借鉴，促进精益生产在各制造领域的创新和发展。

综上所述，精益生产在智能制造中的未来发展前景广阔，将为制造业带来更高的效率、质量和竞争力。

参考文献

- [1] 齐二石，霍艳芳，刘洪伟. 面向智能制造的工业工程和精益管理[J]. 中国机械工程，2022，33（21）：2521-2530.
- [2] 欧阳生，孔德洋. 工业4.0时代中国制造业新出路——《精益智能制造》推荐阅读[J]. 中国机械工程，2018，29（16）：2010-2015.
- [3] 梁中豪，金悦萌，杨洋. 人工智能背景下的大数据技术及其应用[J]. 电子技术与软件工程，2021（12）：162-163.
- [4] 江志斌. 论新时期工业工程学科发展[J]. 工业工程与管理，2015，20（7）：1-7. **AUTO1950**