

汽车用编织软管泄漏原因分析

汪先东, 张磊, 王智博

(北汽福田汽车有限公司, 北京 102206)

摘要: 针对某车型在制动过程中编织软管出现表面发黑、渗漏, 严重时产生失火现象的问题, 通过差示扫描量热分析, 初步判定故障是由极度高温引起的编织软管融化所致; 经整车负载试验、零部件耐温性能试验等验证及市场调查, 分析确认故障产生的根本原因是编织软管导电导致外层编织钢丝发热, 内部软管受热使其耐压性能降低, 制动时软管胀裂; 据此提出在车身与车架之间增加搭铁线、增加硬管表面涂层厚度、调整编织软管扣压工艺等解决措施。

关键词: 汽车; 编织软管; 渗漏; 导电; 制动

中图分类号: U463.55

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)03-0009-03

聚四氟乙烯软管组件(简称编织软管)是一种包裹金属丝增强层的导电聚四氟乙烯内管、两端组装或压接金属连接件的柔性管件, 具有耐气候、耐腐蚀、耐高压、装配难度低等优点^[1]。汽车制动总泵至 ESP(车身电子稳定系统)连接硬管长度短, 管径较粗, 成型后刚性大, 一端装配后另一端调整量偏小, 常出现不易对中导致装配难、装配工时长等问题。为解决该问题, 将制动硬管在中间合适位置断开, 用一定长度的编织软管扣压连接。用编织软管连接后硬管接头的自由度和调整量增大, 可有效解决硬管装配问题, 因而在汽车开发中应用较多。

售后市场反馈某车型总泵前腔硬管总成(或总泵后腔硬管总成)上的软管金属编织层出现表面发黑、软管渗漏现象, 部分车辆还出现失火现象。调查发现这类车辆数量极少, 整车使用里程或长或短, 无规律。踩踏制动踏板, 编织软管表面出现制动液渗漏, 严重的出现喷射现象^[1]。本文结合故障现象, 从整车和零部件两方面对带编织软管的硬管总成进行试验验证, 分析故障产生原因, 并探讨预防措施。

1 硬管总成的基本结构

编织软管组件由聚四氟乙烯内管及外钢丝编织层组成, 带编织软管的硬管总成由硬管和编织软管扣压连接而成(见图 1、图 2), 主要作用是将制动主缸中的高压制动液传输至 ESP 模块。编织软管总成包裹不锈钢金属丝后, 最小爆破压力达 82 MPa, 耐温范围为 $-54 \sim 204$ °C, 且其性能不随时间或环境改变, 耐久性好, 满足汽车使用环境要求^[2-4]。

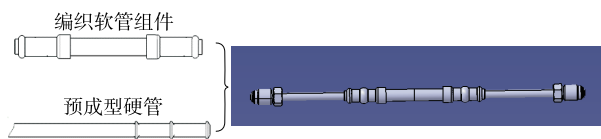


图 1 编织软管扣压成型示意图



图 2 编织软管压接后实物

2 问题描述

某车型行驶过程中制动失效。经统计, 故障车辆数量少, 行驶里程短则几百公里, 长有 1 万多 km, 使用区域无规律。经检查, 制动失效均由制动液泄漏导致, 故障件均为总泵前腔(或后腔)至 ESP 连接硬管总成, 泄漏点均位于编织软管位置(非扣压位置)。故障车辆静态制动时, 编织软管表面有制动液渗出, 严重的出现喷射现象。与未装车件比较, 故障件编织软管表面金属丝已变色(见图 3)。

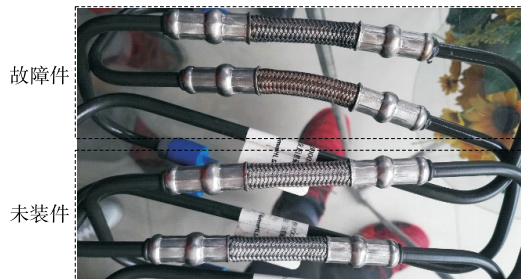


图 3 编织软管使用前后对比

3 故障原因分析

3.1 故障件外观分析

比较发现故障件的编织软管表面有乳白色颗粒[见图 4(a)],严重的表面有塑料毛刺,且颜色发黑[见图 4(b)]。拆解外观较好的故障件,其扣压部位软管状态正常,非扣压区域软管表面变软且有毛刺凸起[见图 4(c)]。

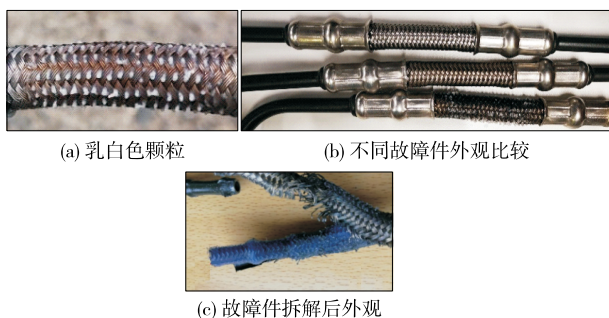


图 4 故障件表面特征

根据差示扫描量热分析结果,聚四氟乙烯软管被加热到凝胶点,内管材料被加热到 320 ℃软化点以上(见图 5)。

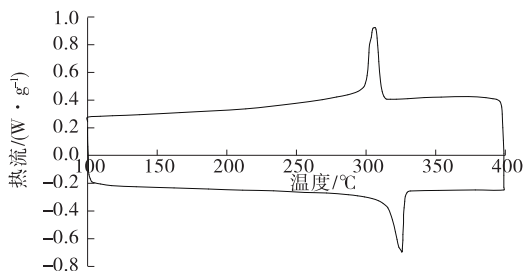


图 5 差示扫描量热分析结果

基于以上分析,初步判定制动液泄漏故障是由极度高温引起的编织软管融化所致。该样件装在机舱位置,进一步分析认为故障可能是由发动机舱温度过高导致,需排查整车设计和零部件选型是否有缺陷。

3.2 整车负载试验分析

在整车环境仓中进行全负载试验(空调开到最大,雨刷、电器等用电设备全开),试验结果见图 6。试验进行至发动机冷却液温度达到 120 ℃报警温度时,发动机热保护启动,发动机转速降低,引起发动机限扭。试验期间,编织软管表面温度最高达到 134 ℃。排查整车开发阶段的高温与耐久性试验车辆,未发现编织软管表面渗油、金属丝发黑等问题。以上试验和调查结果表明,整车结构布置无设计缺

陷,车辆在任何使用条件下均不会出现发动机舱过热问题。

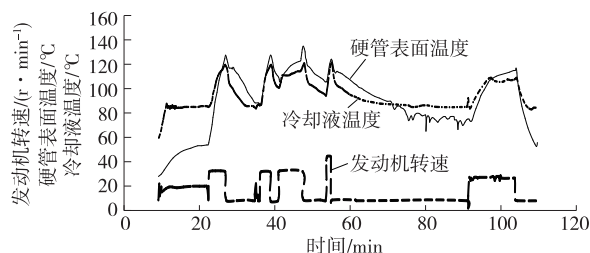


图 6 全负载试验下冷却液和硬管表面温度

3.3 零部件耐温性能试验分析

编织软管作为汽车制动用软管,其性能须满足 GB 16897—2010《制动软管的结构、性能要求及试验方法》的要求,其中在 143 ℃、11 MPa 条件下的爆破压力要求在 34.5 MPa 以上^[5]。为验证编织软管的耐温耐压极限能力,从成品库中随机选取样件进行耐温性能试验,试验条件与试验结果见表 1。根据试验结果,该编织软管总成耐温效果良好,满足整车使用要求,设计无缺陷。

表 1 硬管总成耐温性能试验结果

试验条件	试验结果
根据 GB 16897—2010 耐高温脉冲试验方法, 143 ℃加压 11 MPa, 150 个循环。样件数量为 3 个	表面无异常, 试验后爆破压力 > 80 MPa
143 ℃, 加压 15 MPa, 700 个循环。样件数量为 3 个	表面无异常, 试验后爆破压力 > 80 MPa
200 ℃, 加压 11 MPa 并保压 2 h。样件数量为 3 个	未泄漏, 编织软管表面无异常
250 ℃, 加压 20 MPa 并保压 2 h。样件数量为 3 个	试验过程中未产生泄漏, 试验后爆破压力为 60 MPa; 硬管表面涂层变成灰色

3.4 导电性分析

用万用表的蜂鸣档测量带编织软管的硬管总成的两端接头,发现库存件中所有零部件均能产生蜂鸣声,说明硬管总成是导通的。导通的原因是编织软管扣压时破坏了硬管表面的防腐涂层,使编织软管金属与硬管金属直接接触。将硬管总成两端短时多次触碰 12 V 电源正负极,发现总成上的金属丝产生高温并迅速变黑,进而冒出烟雾,最后自燃(见图 7)。

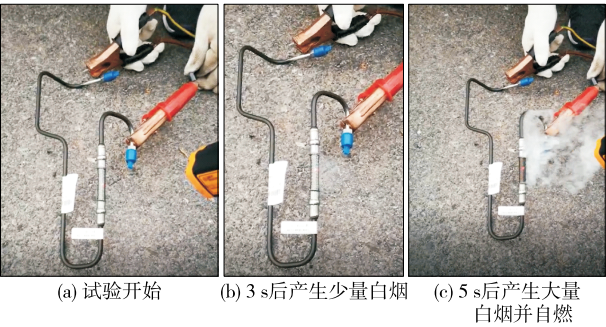


图 7 编织软管导电后表面变化

排查故障车,发现车身与车架之间均导电。拆除总泵前腔和后腔硬管总成,用万用表测量,车身与车架之间不导电。经反复测量确认,车身与车架之间的导电路线为车身—真空助力器带制动主缸总成—总泵前腔(后腔)硬管总成—ESP 模块—ESP 至车架硬管总成—车架(见图 8)。

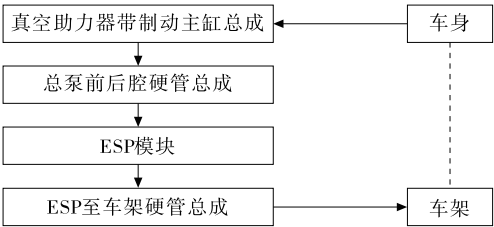


图 8 某车型电路导通路线

分析售后出现泄漏的故障车辆,发现这些车辆均进行了不同程度的改装或维修,如改防护杠、加装绞盘、车身或车架焊接等,其中共同点是进行了焊接。调查故障车辆的改装和维修过程,发现焊接时均出现了搭车身焊接车架或搭车架焊接车身的操作。经实车测试,电焊接一端搭车架焊接车身时,硬管总成上的编织软管组件冒出黑烟,金属丝逐渐变黑。

综上,确认编织软管泄漏的根本原因为焊接时硬管总成导电,导致编织软管组件上的金属丝产生高温,聚四氟乙烯软管融化,软管从编织层的缝隙中析出,形成白色塑料颗粒,软管组件耐温性能降低,制动时软管破裂导致泄漏,造成制动失效。

4 解决措施

(1) 车身与车架之间增加搭铁线。如表 2 所示,搭铁线分流效果明显,流过硬管总成上的电流极小,可有效避免硬管总成短路发热问题。

(2) 增大硬管表面涂层厚度,调整编织软管扣压工艺,避免硬管总成导电。经验证,增大硬管表面

表 2 搭铁线分流效果 单位:A

测试 电流	各部件的电流		
	总泵前腔硬管总成	总泵后腔硬管总成	搭铁线
9.10	0.13	0.01	8.97
19.65	0.21	0.02	19.45
29.80	0.40	0.02	29.46
40.16	0.50	0.02	39.60
51.00	0.16	0.14	50.60
62.40	0.19	0.20	61.20
75.20	0.17	0.07	74.80
83.90	0.24	0.24	82.80
99.30	0.39	0.35	96.30
119.40	0.48	0.39	117.00

涂层厚度,调整编织软管扣压工艺,可以保证硬管总成不导电。下线采用 100%导电测试,可有效避免导通故障件流出。

实施上述措施后,未再发生类似故障。

5 结语

本文通过整车和零部件耐环境试验确认编织软管的耐温性能满足整车开发要求。结合编织软管的故障现象和试验结果,分析确认导致编织软管渗漏的原因是编织软管外侧金属丝导电升温造成聚四氟乙烯内管受热,耐压性能急剧降低,制动时软管破裂出现渗漏故障。采取在车身与车架之间增加搭铁线、增大硬管表面涂层厚度、调整编织软管扣压工艺等措施,可避免出现编织软管渗漏现象,可为编织软管的应用提供借鉴。

参考文献:

[1] 程道骏.某型号高压聚四氟乙烯软管组件泄漏故障分析[J].上海化工,2013,38(5):14—16.

[2] 孙爱民,聂水湘,宋学勇,等.某型聚四氟乙烯软管组件泄漏原因分析与处理[J].液压与气动,2013(12):109—111.

[3] 聂水湘,陈明璟,巨筱,等.聚四氟乙烯软管组件耐久性初步研究[J].液压与气动,2014(8):88—94.

[4] 王影,谢国君,韩露.聚四氟乙烯软管渗漏原因分析[J].宇航材料工艺,2014,44(5):73—75.

[5] 中国第一汽车集团公司技术中心.制动软管的结构、性能要求及试验方法:GB 16897—2010 [S].北京:中国标准出版社,2010.