

# DAB喇叭线束运输断裂机理解析

刘宏建，汪春平，蒙永昌，赖克锦，冯爱民

吉利汽车集团有限公司 浙江宁波 315336

**摘要：**汽车线束承载车辆动力、信号、信息安全传递等职能，使用中因环境、寿命、功能耐久等逐渐老化失效。线束断裂失效由多个小断面构成整体断裂大断面，裂纹源确认、裂纹扩展和最终断裂的机理，都与一般构件的断裂机理不同。通过一起汽车喇叭线束批量断裂的情况，解析小断裂构成大断裂的断裂机理，提出在设计验证阶段就能够发现和解决产品失效风险的办法。

**关键词：**线束；小断裂面；振动疲劳；设计；质量

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.04.004

汽车线束承载着车辆动力、信号、信息安全传递等职能，日常使用中会因环境、寿命、功能耐久等逐渐老化，引发各种用车安全风险和失效故障。因此，关注线束的可靠性能<sup>[1]</sup>极其重要。本文解析的是一批DAB喇叭线束在新车装配后PDI检查线发现的喇叭功能失效故障。

## 问题分析

### 1.故障调查

某厂新到一批DAB喇叭，在装配后上线测试，发现喇叭不响，拆解后发现，喇叭线束与接线端子处有黄白两根线，测试发现白线导通、黄线失效（见图1）。进而排查其他零件，发现故障件多达20多例。由

于DAB喇叭给多个车型供货，因此同时开展横向排查活动，未发现其他批次故障情况出现，故锁定为该批次零件存在问题。

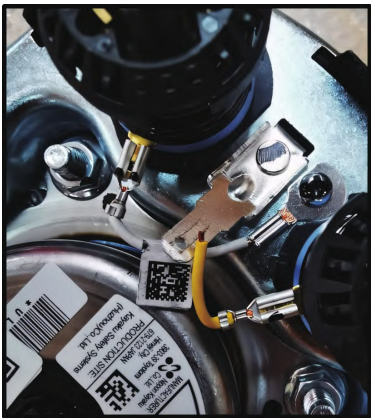


图1 喇叭故障件

2.结构分析

喇叭线束由黄白两线汇聚于环形接线端口，外覆绝缘表皮，各含7根铜丝，直径约0.240mm，直径、尺寸满足GB/T 3953要求<sup>[2]</sup>。黄线弯折度明显大于白线（见图2），但白线比黄线长约50%，故障件黄线断裂于环形端口下1mm处。



图2 线束接线端口

断口分析

1.EDS元素扫描

故障件尺寸太小，采用EDS做断面元素扫描，显示表面存在氧化，不同断面位置线束主元素Cu含量比重有差异。

2.机械性能测试

取故障件和正常件，分别依据标准GB/T 3953要求，采用SC-5伸长率试验机测试延伸率，100N拉力计测试线束拔脱力，结果符合技术要求，见表2。

3.断口分析

（1）宏观分析 对故障件采用超声清洗后，在体式显微镜下进行宏观断口观察：断口均呈红褐色，表面有黑绿色物质覆盖，断口形状基本保持原状，无明显颈缩，如图3所示。

表1 线束断裂口能谱成分质量百分比 (w<sub>i</sub>: %)

| 故障件 | C     | O     | Na   | Mg   | Si   | S    | CL   | Ca   | Fe | Cu    |
|-----|-------|-------|------|------|------|------|------|------|----|-------|
| 件1  | 29.76 | 10.03 | 4.74 | 1.11 | 0.25 | 0.42 | 6.05 | 0.73 | /  | 46.91 |
| 件2  | 20.31 | 10.03 | 5.87 | 2.01 | 0.31 | 0.37 | 3.73 | 0.43 | /  | 56.94 |

表2 力学性能

| 类别  | 1#    |         | 2#    |         | 3#    |         |
|-----|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
|     | 拔脱力/N | 延伸率 (%) | 拔脱力/N | 延伸率 (%) | 拔脱力/N | 延伸率 (%) |
| 故障件 | 89    | 21.9    | 88    | 21.9    | 90    | 21.6    |
| 正常件 | 90    | 21.7    | 88    | 21.6    | 92    | 21.6    |

注：拔脱力>60N，延伸率>21%。



图3 线束接线端口

取正常件和表面有发黑的件做EDS 能谱分析显示，正常件主要为Cu元素（见图4），而发黑部位除了Cu元素外，还存在大量的O元素和C元素（见图5），说明发

黑为烧蚀所致，应为零件安装后通电短路所致<sup>[3]</sup>。

（2）微观形貌分析 对断裂线束进行微观形貌

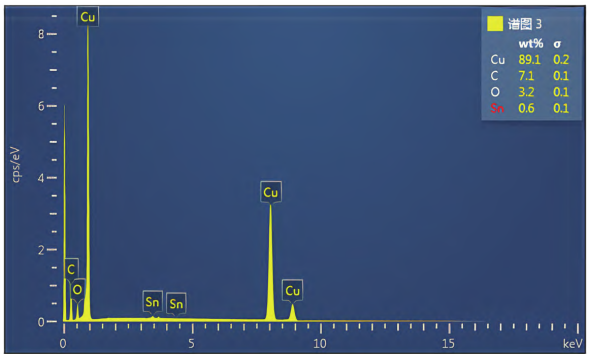


图4 正常件能谱图

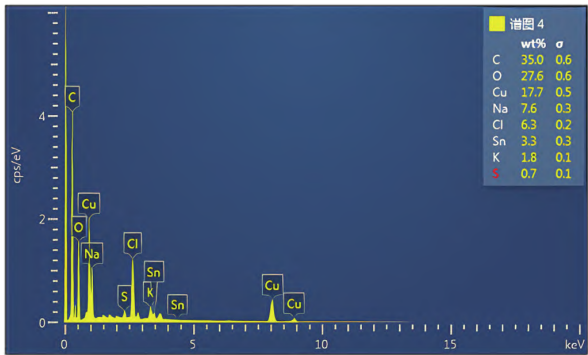


图5 发黑部位能谱图

观察，断口整体呈现阶梯状走势，2#、3#明显塑性变形，断口离接线端子最近，1#、7#、4#断口变形较小，处于中间梯次，5#、6#断口宏观上基本看不出颈缩情况。此外，各导线侧表面还存在不同程度的平行皴裂纹（见图6），边缘参差不齐。

首先观察2#断口，形貌存在塑性变形及一定的疲劳弧线，终断区孔洞及二次裂纹汇聚，断口整体破碎不堪（见图7）。



图6 导线侧面形貌

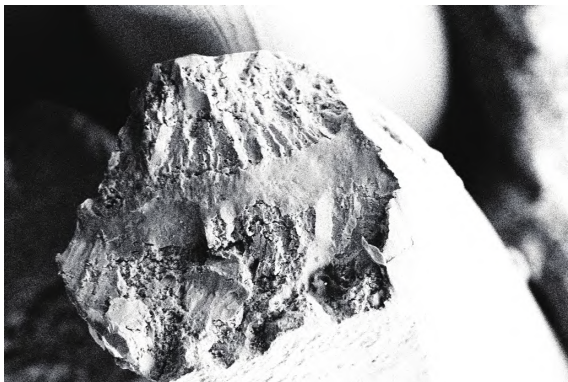


图7 2#断口

再选取1#断口观察发现：断口整体比较粗糙，多孔、磨损、皴裂并存。裂纹源有明显塑性变形，裂纹呈放射状扩展，终断于图中虚线处（见图8）。断口可见拉长的等轴状韧窝和显微孔洞（见图9）；在终断区可看到裂纹孔洞汇聚块，形貌粗糙（见图10）。

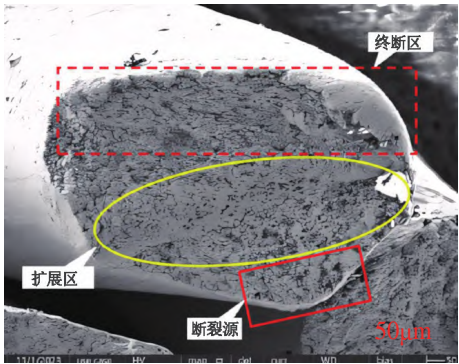


图8 断口全貌

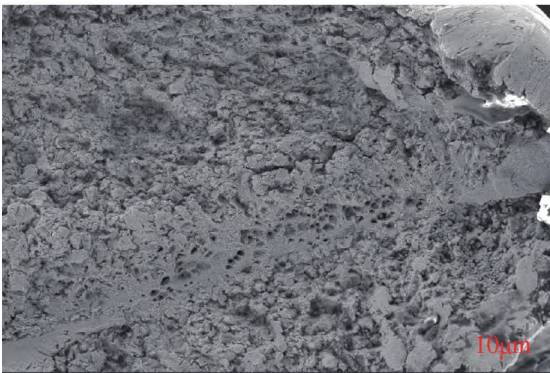


图9 扩展区

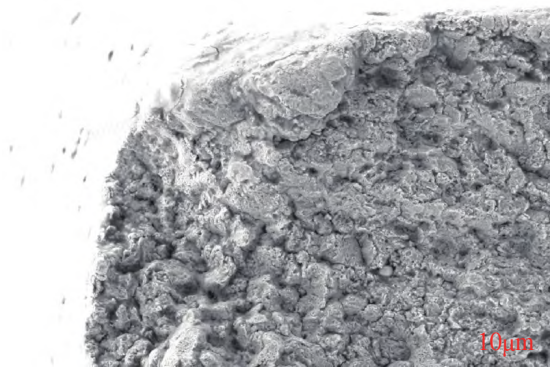


图10 终断区

最后观察5#断口，发现断口存在大量平行二次裂纹（见图11），中间还有疲劳裂纹线汇聚出现<sup>[4]</sup>，显示断口经受周期性力作用。

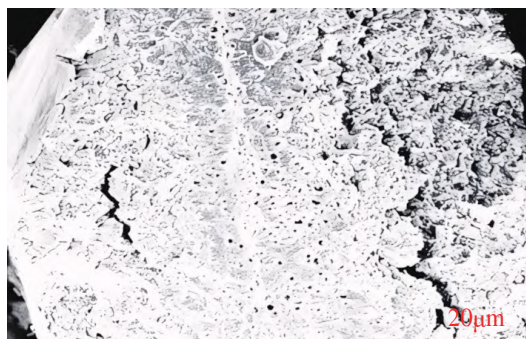


图11 平行的二次裂纹

## 原因分析

### 1.失效分析

线束断裂一般分为疲劳、过载和损伤。外在破裂显示存在应力损伤，第一梯次的塑性形貌显示存在过载情况，第三梯次的断口形貌显示断口有低周高应力疲劳情况。研究显示，尺寸较大的构件断口可明显分为疲劳源、扩展区和终断区，而对于小断面组成的大断面区，则很难区分疲劳源区、扩展区和终断区<sup>[5]</sup>。

从上面的形貌分析可以判断划分整个线束的断裂特点：断裂线束首先从2#、3#起始，扩展于1#、7#、4# 线束，最后在 5#、6#线束发生最终断裂。整体呈现出一个复杂的断裂受力特征。

### 2.机理分析

1) 黄色线束比白色线束短了50%，且弯折力度较大，对线束形成外在拉应力（2#、3#）和压应力（5#、6#）。

2) 查询工艺参数及产品技术要求发现，该批次产品线束连接部位发生2处设计变更，使得连接部位上下活动量增大，在振动环境下，对横向的线束拉扯力将变大。

3) 针对以上分析，对该结构的产品展开模拟运输和路试振动测试，用极限加速2g的加速度做振动测试，7h后故障复现，断口特征和故障线束一致（见图12）。

### 3.整改措施

针对该断裂机理，建议厂家及时调整线束尺寸、安装参数和防护措施，消除线束在交变载荷应力环境



图12 振动断口

中失效风险。

## 结语

1) 线束断裂整体属于振动疲劳断裂，裂纹源由外在作用力诱发塑性疲劳源，进而扩展至其他线束，最后在运输中发生振动疲劳断裂。

2) 线束的断裂与一般单一构件断裂不同，是由小的断裂面构成大的断裂面，需要从整体和单一个体逐一分析，最后结合样件所处的环境和技术要求，做出最终的分析判断。

3) 本次失效虽然发生于运输过程，但明显不是运输质量问题。产品在设计涉变验证时，不应该仅仅关注产品本身的质量要求，也应关注与之相配合的零部件质量特性，同时要尽可能多的考虑产品实际所经历所有过程环境，从而依此开展DOE功能模拟验证，以此来提升产品质量和功能寿命。

### 参考文献：

- [1] 恩云飞，罗宏伟，来萍.电子元器件失效分析及技术发展[J].失效分析与预防，2006（1）：40-42，47.
- [2] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 电工圆铜线：GB/T 3953—2024[S].北京：中国标准出版社，2024.
- [3] 王宇，姚旭东，欧文军，等.汽车用导线现状及发展前景[J].汽车电器，2020（4）：35-38，42.
- [4] 孙智.失效分析—基础与应用[M].北京：机械工业出版社，2005.
- [5] 张超，李玮，祝伟明.电线断裂失效的原因及特点[J].失效分析与预防，2012，7（2）：122-125.

**AUTO1950**