

# 汽车连接器可靠性验证和失效分析

华碧实验室

陈娟芝

12-7, 2023



1

**汽车连接器可靠性要求**

2

**汽车连接器可靠性测试方案**

3

**汽车连接器可靠性验证及失效**

4

**测试能力简介**

## 什么是可靠性

- 产品在规定的条件和规定的时间区间内完成其规定功能的能力

## 车载连接器可靠性要求

### 规定的时间区间：

- 15年甚至更长
- 20万英里或30万公里

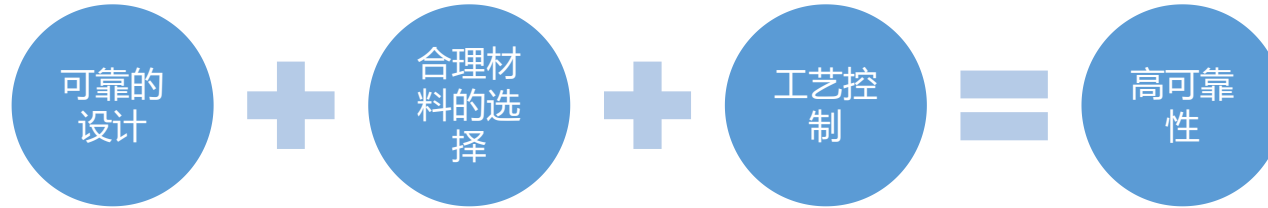
### 规定的条件：

- **机械环境**-----振动，冲击，微动等
- **温湿度环境**-----高温低温，温度变化，
- **腐蚀环境**-----湿度，盐雾，腐蚀类气体

### 规定功能：

- **机械性能**-----插拔力，插拔寿命
- **电性能**-----低频  
低速类连接器：接触电阻；  
高频高速类：信号完整性；  
绝缘电阻等

**目标：长期保持稳定的接触电阻和温升，信号无失真能量无损失**



## 合理的材料选择：

### ➤ 接触点基体材料：

- 材料特性:硬度,粗糙度,导电率
- 为防止插针弯曲损伤，一般选用机械强度较高的材料，而插孔选用高弹性材料防止塑性变形和应力松弛

### ➤ 接触点电镀材料：

- 特性---低电阻率，耐磨性，耐腐蚀，微孔率等；
- 材料常用的表面电镀层：
  - 金和其合金
  - 银及其合金
  - 锡及其合金

## 汽车连接器测试标准

三个主要系列：

欧系

美系

日系

- A. 欧系代表车厂--- 奔驰、宝马、奥迪、大众、戴姆勒、保时捷，欧系车厂大多集中在德国；  
欧洲主要标准：LV214、LV215、IEC 60512、ISO 8092-2、ISO 20860、ISO 6722、IEC 62196、ISO 60352-5、IEC 60352-2、ISO 14572、ISO 19642等；
- B. 美系代表车厂--- 福特、通用、克莱斯勒；  
美国主要标准：EIA 364、GMW3191、SAE/USCAR-2、SAE/USCAR-37、SAE/J1742、SAE/USCAR-21、SAE/USCAR-17、UL2251 等；
- C. 日系代表车厂--- 马自达、丰田、本田、日产；  
日本主要标准：JASO D616, HES-D-3217、JEVS G105/CHAdemo3.0；
- D. 法系代表车厂 --- 标致、雪铁龙、雷诺、布加迪；  
法系主要标准：PSA B21 7050；

# 汽车连接器可靠性测试方案

## 主要检测项目明细

### 01 机械测试

端子的插入力和拔出力  
端子对护套的插入力、止推力、保持力  
端子正向力/法向力  
连接器的接合力、分离力  
CPA、TPA的插入力和拔出力  
各种辅助结构机械强度

### 02 电学测试

温升测试  
载流能力  
电流循环  
降额曲线  
介电强度  
绝缘电阻  
接触电阻  
电压降  
信号完整性

### 03 环境测试

振动/冲击跌落/三综合  
防尘防水/气密性  
微动腐蚀  
高温/低温  
温度循环  
湿热循环  
冷热冲击  
中性盐雾/交变盐雾  
混合流动气体  
耐化学溶液

## 明确产品的应用环境和条件决定试验条件和等级

TABLE 5.1.4.1: COMPONENT TEMPERATURE CLASSES

Temp Class	Ambient Temperature Range	Typical Application
T1	-40 to + 85 °C	T1 is not recommended for new applications
T2	-40 to +100 °C	Suitable for use in passenger compartment
T3	-40 to +125 °C	Suitable for use in the engine compartment
T4	-40 to +150 °C	Needed for some on-engine applications near hot components
T5	-40 to +175 °C	For use as needed -- No specific applications are identified as T5

TABLE 5.1.4.2: COMPONENT SEALING CLASSES

Seal Class	Common Name	Typical Application
S1	Unsealed	S1 is suitable for use in passenger compartment or other dry areas on a vehicle such as the trunk
S2	Sealed	S2 is intended for connectors exposed to water
S2.5	Sealed Against Low Pressure Spray	S2.5 is intended for exposed locations at risk of direct splash
S3	Sealed Against High Pressure Spray	S3 is intended for exposed locations at risk of direct high-pressure splash (or car wash spray)

TABLE 5.1.4.3: COMPONENT VIBRATION CLASSES

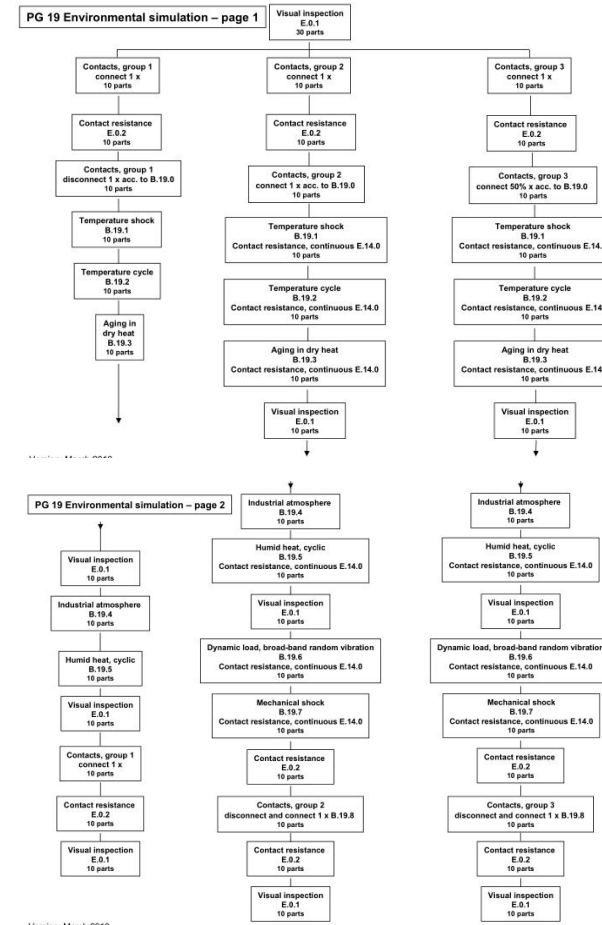
Class	Common Name	Typical Application	Other Requirements Met
V1	Chassis Profile	Components on sprung portions of vehicle not coupled to engine	None
V2	Engine Profile	Components coupled to engine with no severe vibration possible	Pass on V2 implies pass also for V1
V3	Severe On-Engine	Components subject to severe vibration	Pass on V3 implies pass also for V1 and V2
V4	Extreme Vibration	Used as needed to correlate to extreme vibration areas	Pass on V4 implies pass also for V1 and V2 and V3
V5	Unsprung Component	Wheel-mounted components	None

# 汽车连接器可靠性测试方案

逻辑和相互关联的顺序试验，关注复合环境应力的作用

Test	5.9.6			5.9.7						5.9.8	5.9.9	5.9.10
	Vibration	Thermal Shock	Temp /Humidity	High Temp Exposure	Fluid Resistance	Temp/Humidity-Submersion	Temp/Humidity-PV Leak	High Temp Exposure-Submersion	High Temp Exposure- PV Leak	Temp/Humidity	Pressure/Vacuum Stand Alone	Salt Fog Stand alone test
Sequence ID	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Sample size	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10
5.1 General	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5.1.8 Visual Inspection	2,7	2,8	2,9	2,8	2,6	2,9	2,11	2,9	2,10	2,7	2,6	
5.1.7 Connector Cycling	3	3	3	3		3	3	3	3		3	
5.1.9 Circuit Continuity Monitoring	4	4										
5.3.2 Voltage Drop	6	5	5	5								
5.4.1 Terminal-Connector Extraction Force			8				10			6		
5.4.6 Vibration/Mechanical Shock	4											
5.5.1 Isolation Resistance <sup>(3)</sup>	5	6	6	6	4	5,7	5,8	5,7	5,8	4	5	3
5.5.2 Dielectric Strength		7	7	7	5	8	9	8	9	5		
5.5.3 Transfer impedance <sup>(1)</sup>												
5.6.1 Thermal Shock	4											
5.6.2 Temperature/Humidity Cycling			4			4 <sup>(8,7)</sup>	6 <sup>(8,7)</sup>		4 <sup>(8,7)</sup>	6 <sup>(8,7)</sup>	3	
5.6.3 High Temperature Exposure				4								
5.6.4 Fluid Resistance					3							
5.6.5 Submersion						6 <sup>(8,9)</sup>		6 <sup>(8,9)</sup>				
5.6.6 Pressure/Vacuum Leak							4,7 <sup>(5,8,9)</sup>		4,7 <sup>(5,8,9)</sup>		4	
5.6.7 Salt Fog												2

Test sequence chart: 5.9.6 Connector System Electrical, 5.9.7 Sealed Connector System Environmental, 5.9.8 Unsealed Connector Environmental, 5.9.9 Stand Alone Pressure Vacuum, 5.9.10 Stand alone Salt fog Exposure





## 连接器的主要失效模型

### ➤ 功能失效:

- 该通不通, 该断不断
- 瞬断

### ➤ 参数退化

- 接触电阻升高, 温升变大
- 信号失真
- 绝缘性能下降



## 环境应力对触点材料、镀层的影响

### ● 热老化

温度升高会使蠕变量增加导致应力松弛，弹性衰减，尺寸变化等现象导致产品失效

P 5.1	Contact opening dimension in the unused condition (optical measurement) – all test batches
L 5.1	One half (5 pieces each) of all test batches is inserted and extracted 5 times before further loading.
P 5.1	Contact opening dimension of the DUTs inserted 5 times (optical measurement) – all test batches
P 5.2	Contact normal force Determining the normal contact force – on test batch 1 The measuring method must be documented. Indirect measurement is permissible.
L 5.2	All DUTs of test batches 2 to 5 are inserted. The DUTs must remain connected until the measurement of the contact opening dimension and the normal contact force.
L 5.3	Aging in dry heat, plugged, as per DIN EN 60068-2-2* VDE 0468-2-2, Test B Duration: 1 000 h $T_{max}$ : Limit temperature from derating curve ( $I \neq 0$ A) Test batches 2 to 5 are aged and then successively removed at the respective times (1 h, 100 h, 200 h, 500 h, and 1 000 h), and the normal force is measured
P 0.1	Visual inspection as per DIN EN 60512-1-1
P 5.1	Contact opening dimension (optical measurement) – on test batches 2 to 5
P 5.2	Contact normal force Determining the normal contact force on all test batches The measuring method must be documented. Indirect measurement is permissible. <b>Requirement:</b> The normal contact force must be documented. Graphic representation (semi logarithmic time scale), extrapolated to 3 000 h Intermediate values at 0 h, 1 h, 100 h, 200 h, 500 h and 1 000 h The contact opening dimensions must be documented.

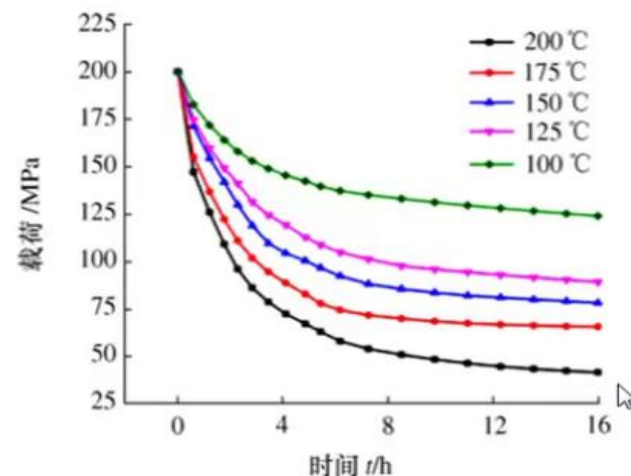


图 铍青铜 C17500 恒载不同温度下的松弛曲线

## 环境应力对触点材料、镀层的影响

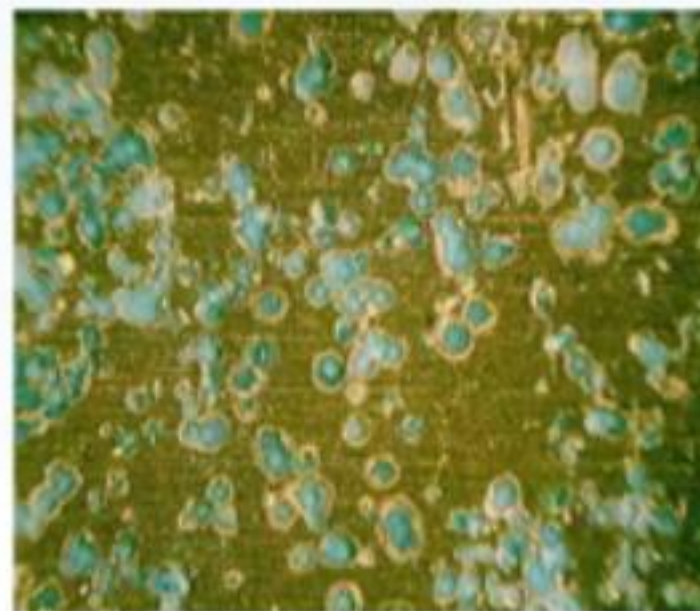
### ● 湿度和腐蚀气体

绝缘劣化

加电环境产生电化学迁移现场，锡须等

镀层表面微孔腐蚀等

B 19.4	Industrial climate (multi-component climate) (all groups) (0,2 ppm SO <sub>2</sub> , 0,01 ppm H <sub>2</sub> S, 0,2 ppm NO <sub>2</sub> , 0,01 ppm Cl <sub>2</sub> /25 °C/75% relative humidity/21 d) Flow rate: 1 m <sup>3</sup> /h	DIN EN 60512-11-14
E 14.0	Contact resistance continuous during B 19.5 with test current (100 mA) (Only groups 2 + 3) Measurement frequency: 10 measured values per min	
B 19.5	Humid heat, cyclic (all groups)  Relative humidity: 95% constant Duration: 10 cycles of 24 h each Temperatures: T <sub>u</sub> = 25 °C, T <sub>o</sub> = 55 °C  T <sub>u</sub> = lower cycle temperature T <sub>o</sub> = upper cycle temperature	DIN EN 60068-2-30 Variant 2



Au0.3-Ni1.2-Cu HNO<sub>3</sub>腐蚀4小时

## 失效案例

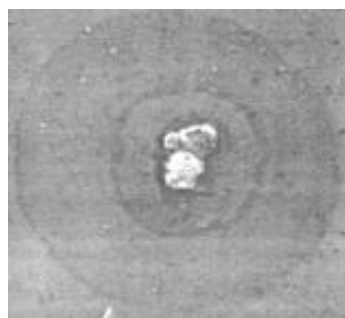
- **失效现象：** 发动机舱使用的连接器出现了气体腐蚀，造成了电接触失效
- **失效机理：** 发动机舱内较强的振动条件结合整车外界的复杂气体环境，包括SO<sub>2</sub>，Cl<sub>2</sub>等，对连接器端子造成腐蚀。



一个月



二个月



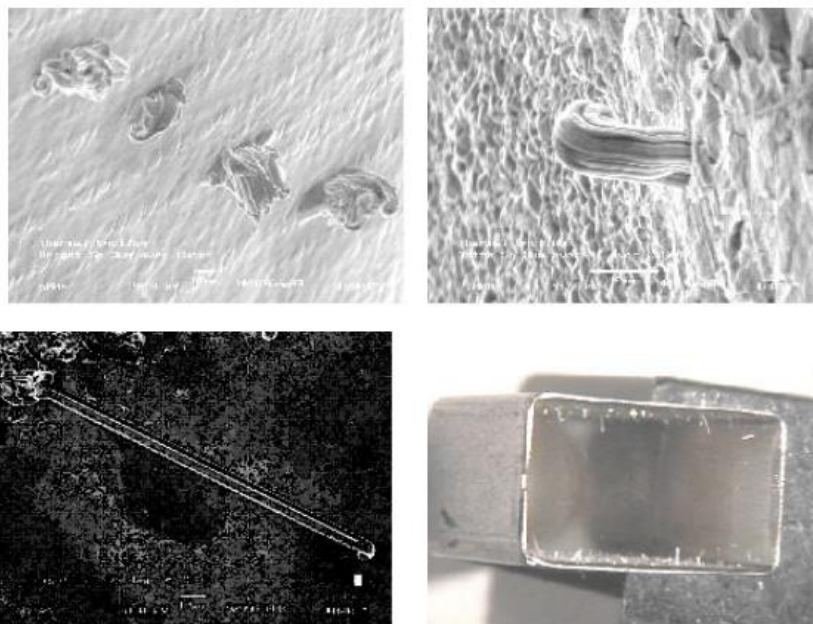
三个月



四个月

## 失效案例

- **失效现象：** 镀锡端子表面生长出了锡须，导致了相邻端子的电气短路
- **失效机理：**  
未设计镍底的纯锡镀层，表面应力作用下发生锡须生长



## 振动对连接器的影响

- 瞬断
- 磨损
- 腐蚀
- 应力松弛
- 疲劳

试验选择：干扰源类型，振动强度

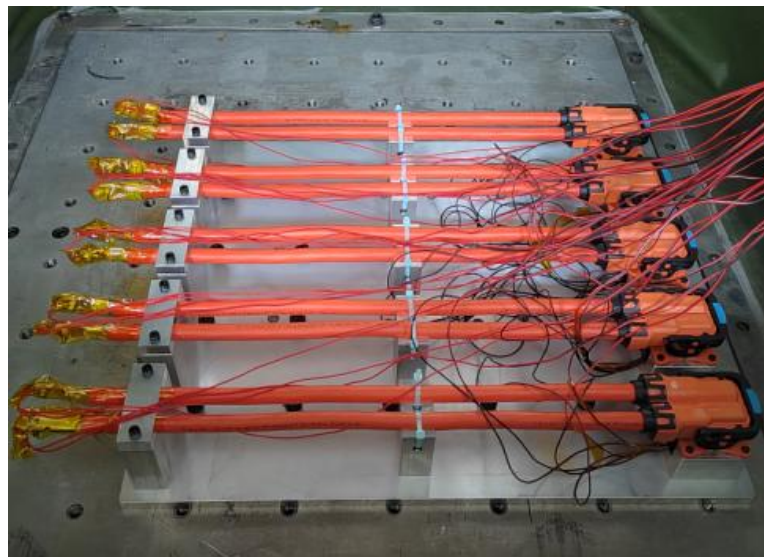
试验过程中监控瞬断，电压降，或者温升情况

TABLE 5.4.6.3A: SCHEDULE FOR SHOCK TESTING

Vibration Class	Shocks per Axis	Wave Shape	Direction ( $\pm$ )	Duration (ms)	Acceleration (g)	
V1	10	Half Sine Wave	Positive	5 to 10	35	
V2	10	Half Sine Wave	Positive	5 to 10	35	
For V3, V4, V5 only: Perform Tests 1 and 2	1	132 x 6 = 792	Half Sine Wave	Positive/Negative	15	25
	2	3 x 6 = 18	Half Sine Wave	Positive/Negative	11	100

TABLE 5.4.6.3B: SCHEDULE FOR VIBRATION DURATION AND TEMPERATURE

Vibration Class	Sine Duration (hours/axis)	Random Duration (hours/axis)	Total Vibration Time for each CUT (reference)	Chamber Temperature for Thermal Cycling
V1	N/A	8	24	N/A
V2	N/A	8	24	N/A
V3	22	22	132	$T_{min}$ per Table 5.1.4.1 with dwell time of 2 hours then transition to $T_{max}$ per Table 5.1.4.1 with dwell time of 2 hours
V4	32	50	246	$T_{min}$ per Table 5.1.4.1 with dwell time of 2 hours then transition to $T_{max}$ per Table 5.1.4.1 with dwell time of 2 hours
V5	N/A	22	66	N/A



## 微动腐蚀

Friction displacement: 50  $\mu\text{m}$

Cycle time: 1 Hz

Number of cycles: 100 000

Electrical load:  $\leq 100$  mV, 10 mA

Visual inspection as per DIN EN 60512-1-1

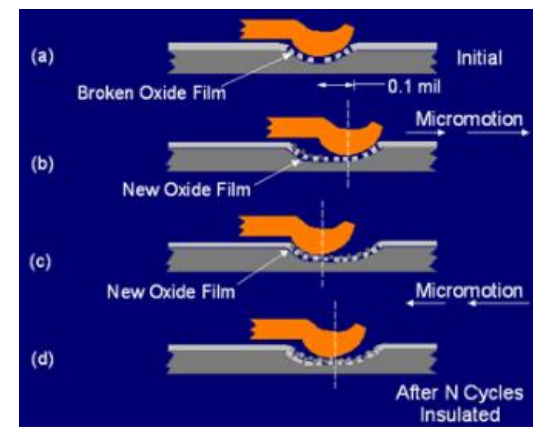
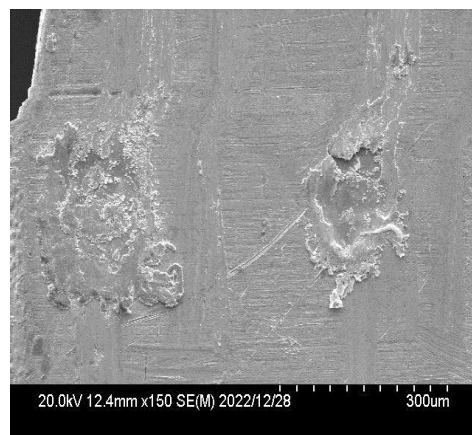
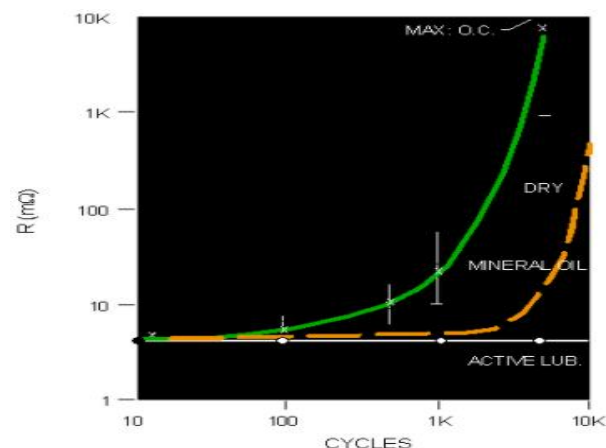
Requirements:

Graph: Progression of the volume resistance over the number of cycles

Specification of the number of friction cycles to achieve the volume resistance of 300 m $\Omega$

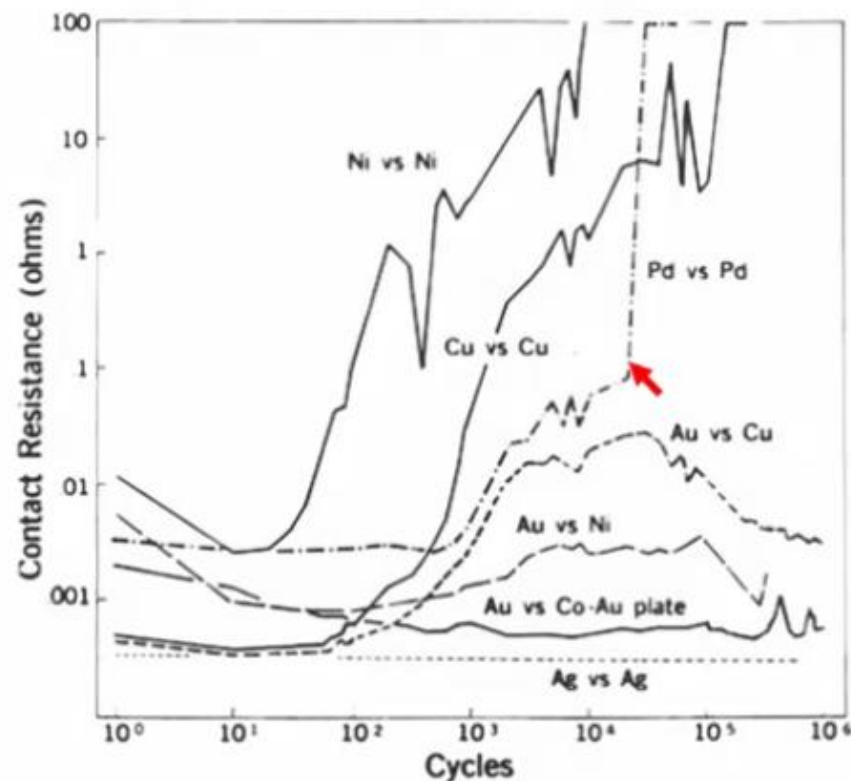
Specification of lubricants used (material and amount)

非贵金属电镀端子的  
主要失效机理



## 不同接触材料的微动特性

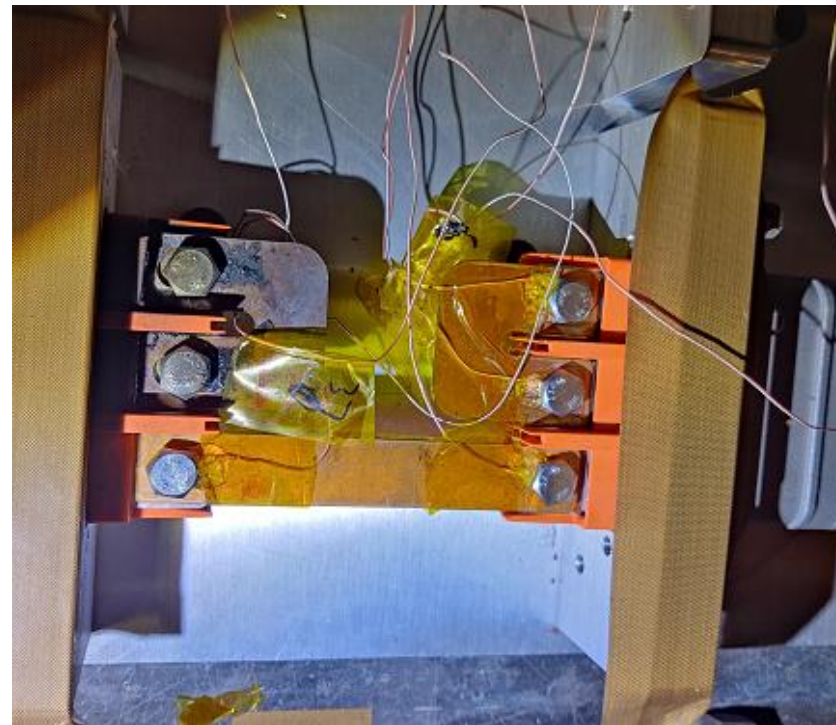
1. 相同接触材料，不形成或少量形成表面膜的金属  
Au-Au; Ag-Ag
  - 接触界面很稳定，不氧化，不生成摩擦聚合物，微动电阻低
2. 相同基础接触材料，微动腐蚀
  - Ni-Ni; Cu-Cu; Sn-Sn; Al-Al
  - 室温下自然生成的氧化膜被机械破坏，在初始的几个周期内电阻略有降低
  - 随着微动周期的增长，微动磨损颗粒的氧化和堆积使接触电阻迅速升高





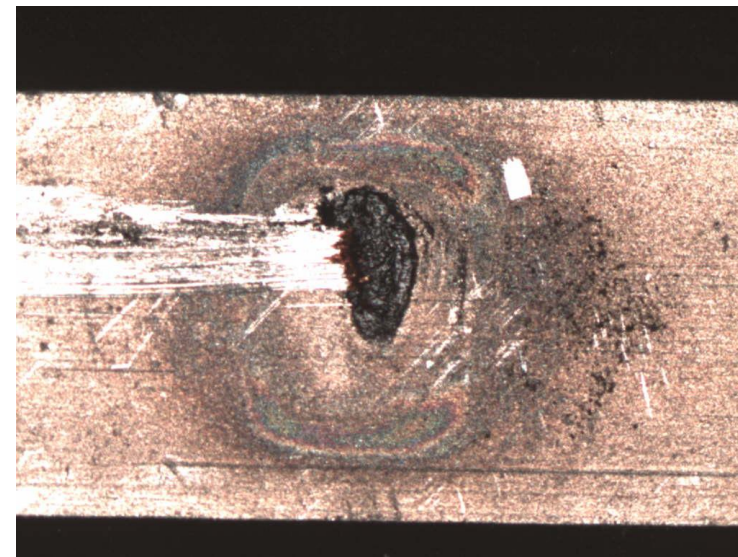
## 失效案例

- **失效现象：** 振动过程中通流温升变大后产品烧蚀
- **失效机理：** 产品电阻变大导致温度上升
  1. 公母端子配合正向力设计不合理；
  2. 端子应力松弛疲劳；
  3. 公母端子配合尺寸问题
  4. 端子安装方式应力松弛



## 失效案例

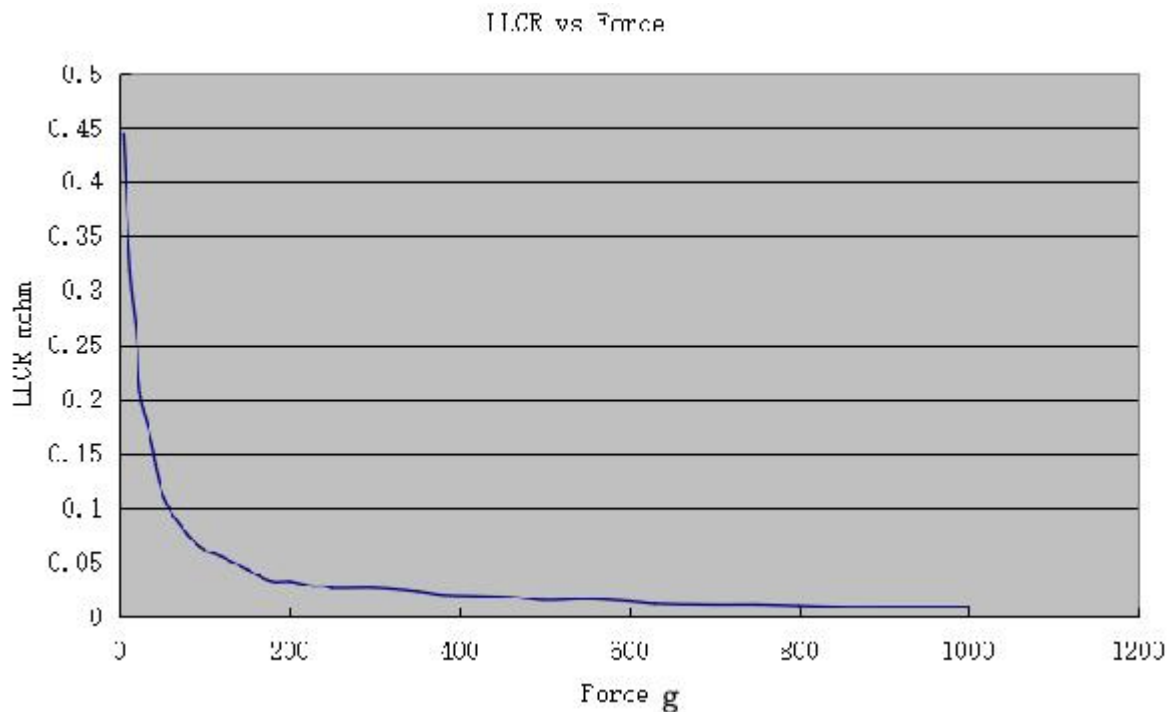
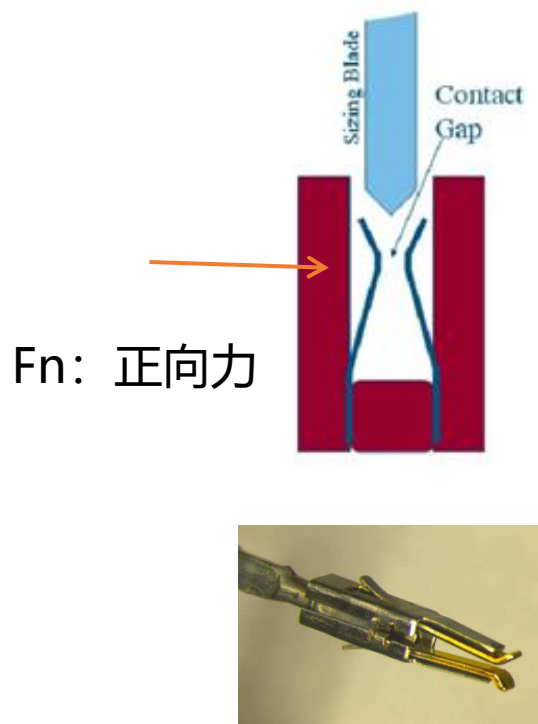
- **失效现象：** 由于接触界面微动磨损，导致触点接触电阻显著增大，电接触失效
- **失效机理：** 连接器接触界面微动磨损的原因主要有
  1. 公母端子配合正向力设计不合理；
  2. 弹性端子应力松弛；
  3. 公母端子配合尺寸问题
  4. 镀层材料选择及厚度
  5. 端子安装方式没有弹性保护来避免应力松弛



# 汽车连接器可靠性验证及失效

## 连接器端子正向力:

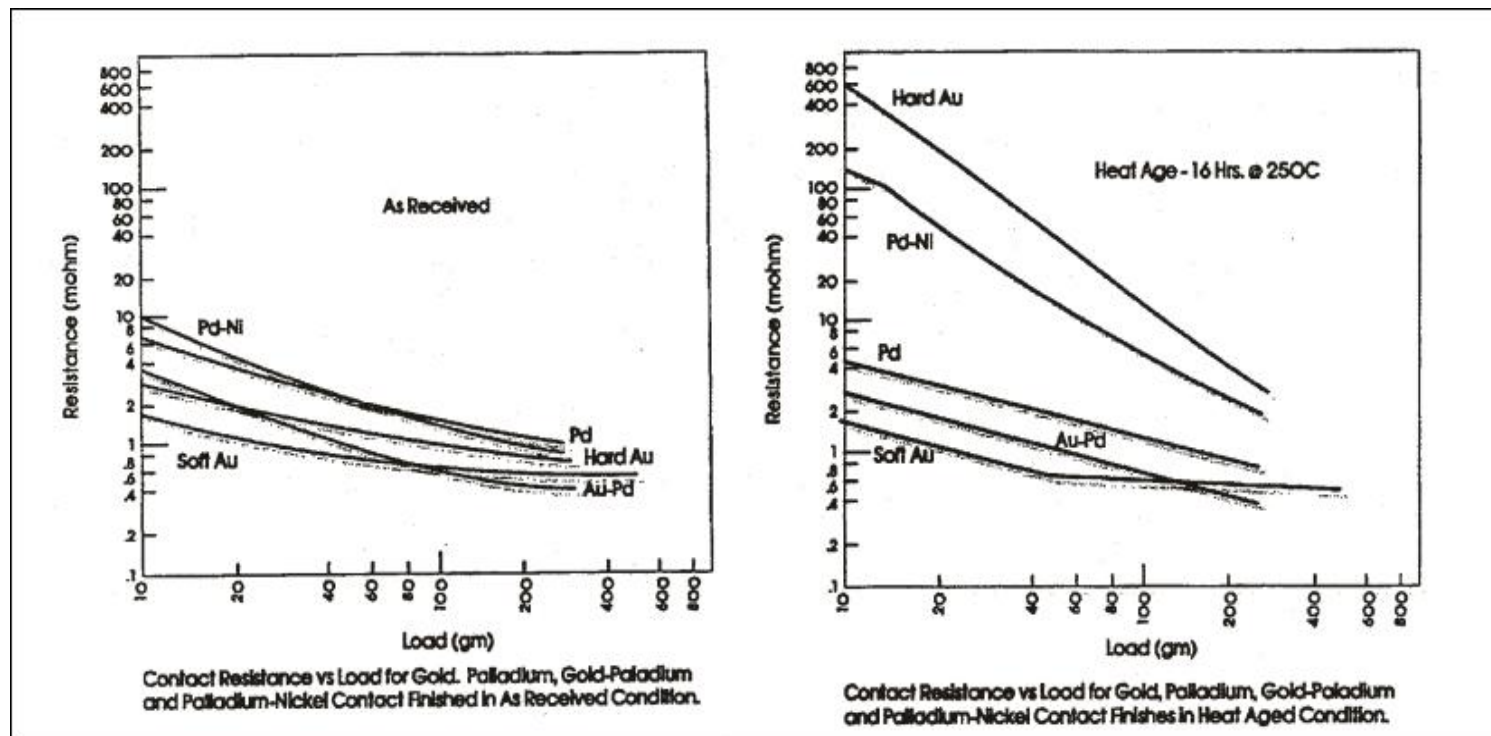
在连接器处于连接状态时，公端子与母端子接触点相互作用，垂直于接触面的力，即是连接器的正向力。



# 汽车连接器可靠性验证及失效

➤ 为了保证电接触稳定性，不同电接触界面的特性/性质对正向力的要求不一样---贵金属镀层与非贵金属镀层的作用原理不一样。

- 贵金属(金, 钯, 铑, 钌, 铂...)不易被氧化, 被腐蚀, 所需正向力较小;
- 非贵金属(锡, 镍, 银, 铜...)易被氧化, 被腐蚀, 所需正向力较大。



## 正向力失效的危害

正向力失效包括：1) 正向力过大；2) 正向力过小。

### ➤ 正向力过大

- 影响连接器插入操作的手感和插拔寿命以及抗振动耐久性。
- 可能导致弹性零件发生塑性变形，弹性无法恢复，最终导致接触失效。

### ➤ 正向力过小

- 正向力过小，直接影响连接器触点接触的可靠性，出现以下危害：

A：接触电阻增大，载流温升升高或者信号传输距离缩短。

B：处于似接触非接触状态，产生飞弧，烧坏接触表面。

C：对仅依赖正向力的夹持保持连接器头座连接，正向力过小则可能导致头座自动分离。

D：正向力偏小，在使用中往往不容易主动发现，因此产生连接器质量问题的可能性更大。

## 额定电流测试

EIA-364额定电流测试，达到了产品寿命终止时的额定电流

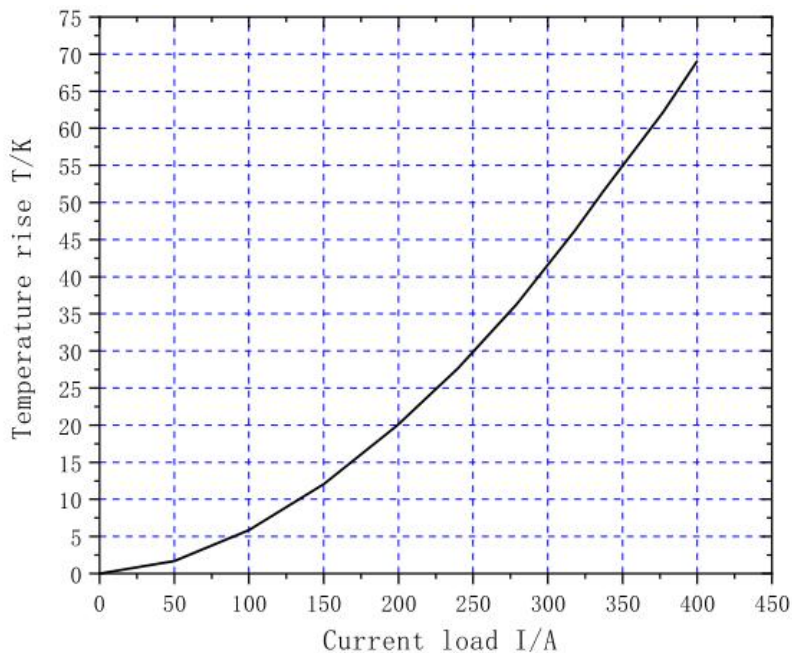
Table 1 - Tests and sequences <sup>1), 2)</sup>

Test or examination	Test procedure	Test group		
		1 <sup>3)</sup>	2 <sup>4)</sup>	3
		Test sequence		
Examination of product	EIA-364-18	1	1	1,3
Millivolt drop	EIA-364-06	2, 4 <sup>5)</sup> , 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	2, 4 <sup>5)</sup> , 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	
Current versus temperature rise	EIA-364-70	3, 17	3, 17	
Durability, preconditioning	EIA-364-9	5	5	
Thermal shock	EIA-364-32	7	7	
Temperature life	EIA-364-17	9	9	
Humidity-cyclic <sup>6)</sup>	EIA-364-31	11	11 <sup>6)</sup>	
Mixed flowing gas <sup>7)</sup>	EIA-364-65	13 <sup>7)</sup>	13	
Vibration <sup>8)</sup>	EIA-364-28	15	15	
Current cycling <sup>9), 10)</sup>	EIA-364-55			2

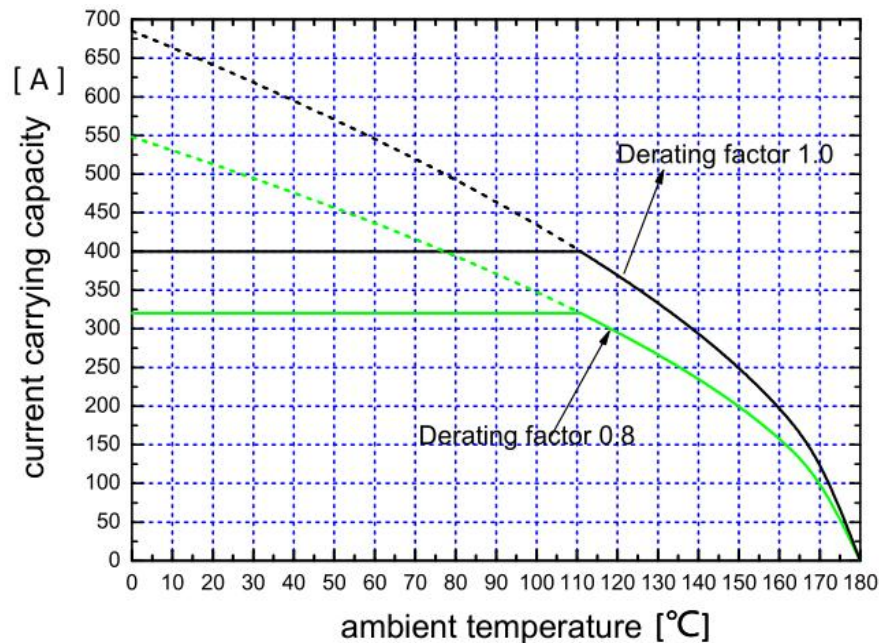
组1是针对镀锡产品，组2是针对镀金，银，钯等产品  
组3 电流循环是综合热老化温度循环和带电工作的综合测试

# 汽车连接器可靠性验证及失效

## 载流容量/温升/降额



温升曲线



降额曲线

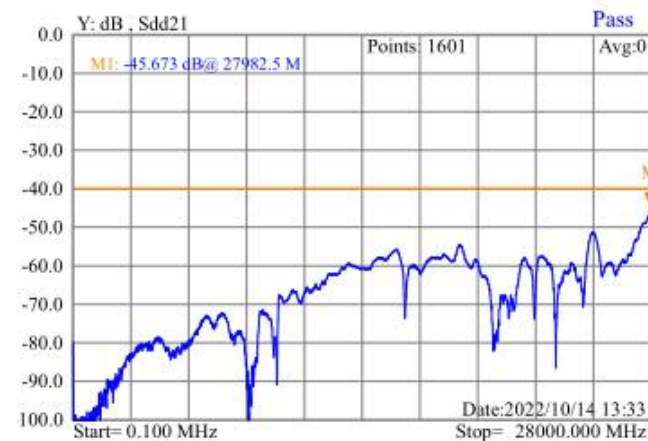
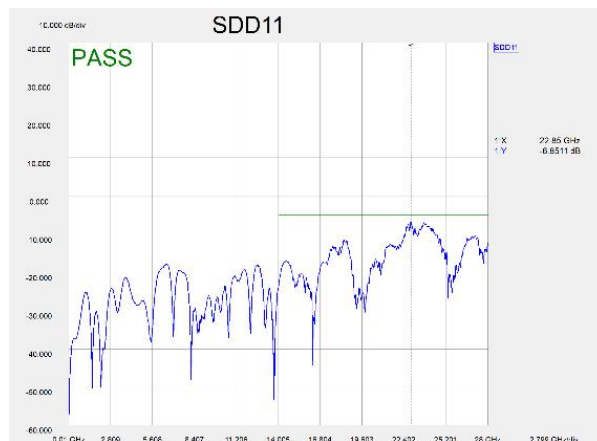
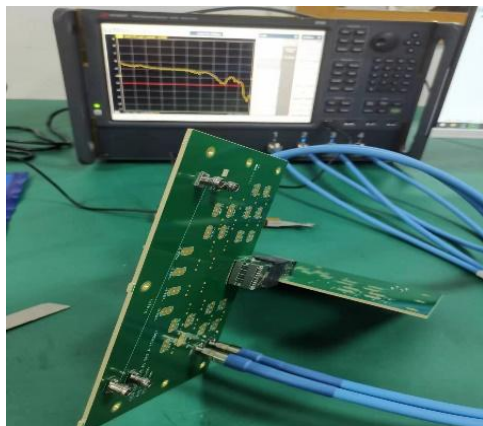
随着新能源车电流的加大, 和轻量化铝线的应用, 对线束、连接器, 线缆busbar的温升管控要求均为挑战。

# 汽车连接器可靠性验证及失效

## 高速高频连接器测试项目-信号完整性

随着时钟频率的日益提高，信号完整性要求越来越高，高速产品中互连线与数字信号的电压电流波形相互作用时对产品电气性能参数的影响变得重要。

- 特性阻抗
- 插入损耗
- 回波损耗
- 近端串扰
- 远端串扰
- 驻波比





# 汽车连接器可靠性验证及失效

## 高压连接器测试项目-屏蔽性能

屏蔽效能是衡量高压连接系统同轴电缆及连接器的抗干扰能力和抗泄漏能力的重要参数。衡量屏蔽效能的主要技术指标有两个：转移阻抗和屏蔽衰减。屏蔽衰减直接反映电缆的屏蔽性能，而转移阻抗间接反映电缆的屏蔽性能。

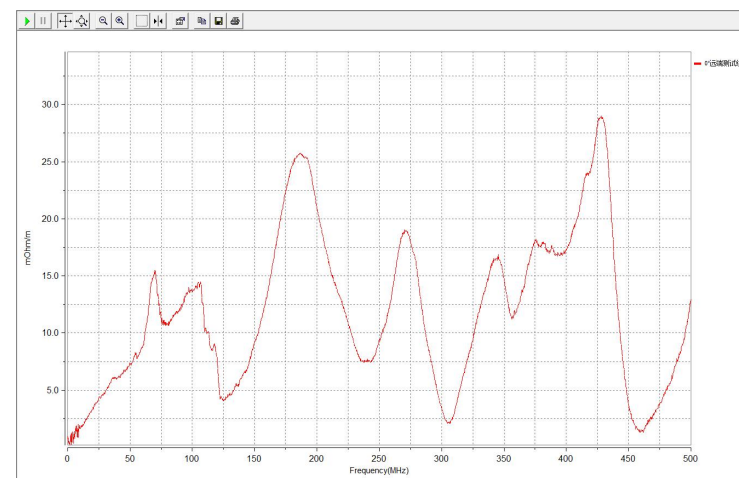
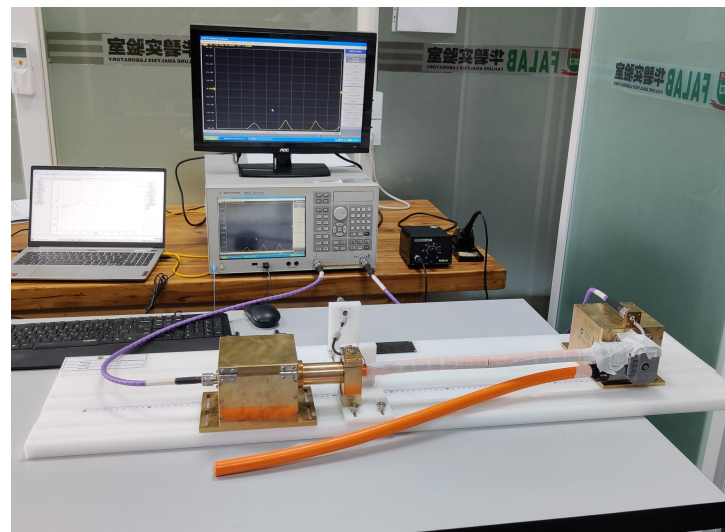
试验标准：

IEC 62153-4-6

GB/T 31723.406

MBN LV215/VW80332

ISO 20076: 2019

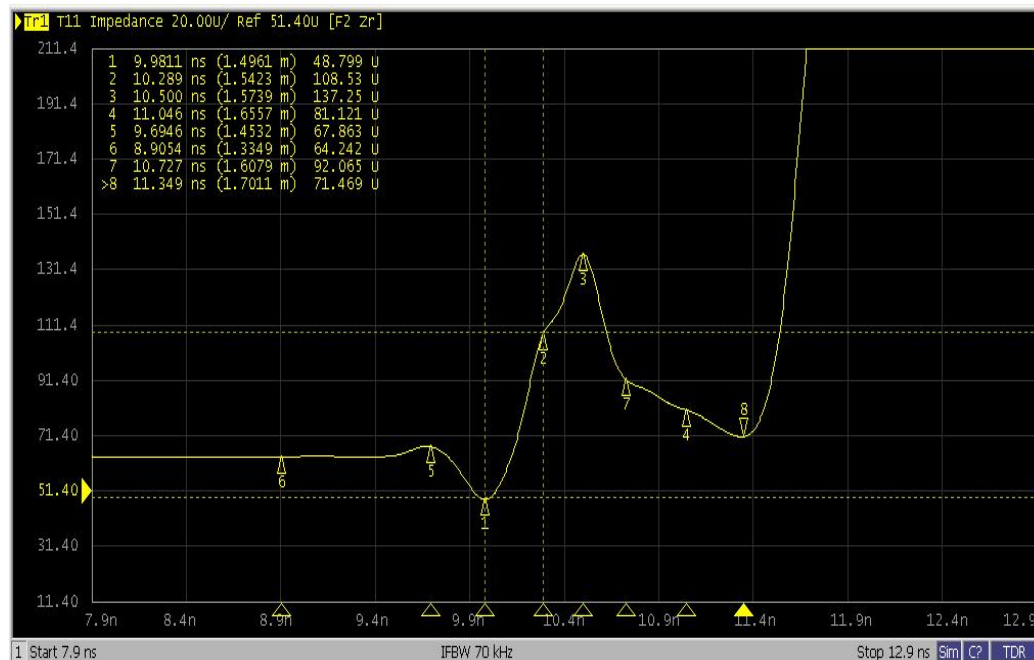


## 失效案例

➤ **失效现象：**模组各个部分的阻抗不匹配

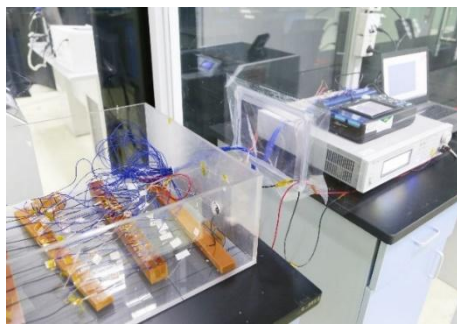
➤ **失效机理：**

- 1) 尺寸公差
- 2) 焊点性能
- 2) 内外导体同心度
- 3) 导体开槽结构因素
- 4) 绝缘层相对介电常数
- 5) 机械固定结构引起尺寸变化



## 电性能测试项目

- 温升测试
- 载流能力
- 电流循环
- 降额曲线
- 介电强度
- 绝缘电阻
- 低电平接触电阻
- 电压降



低压连接器温升房



高压连接器温升房



瞬断仪



热成像仪



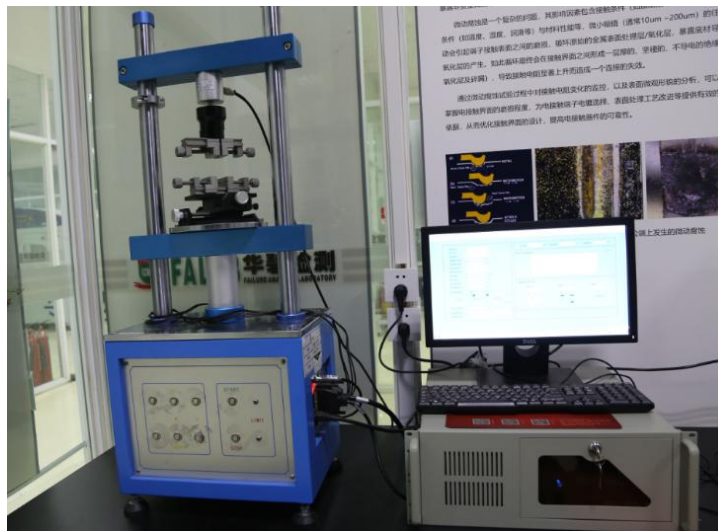
数据采集仪

专用温升测试房4间；  
各种规格交直流电源，最达电流达到2000A，电压达到1000V，满足新能源大电流温升测试的需求；  
各种监控及数据采集设备：瞬断仪，数据采集仪，红外测温仪；

## 力学性能测试

- 端子至端子的插入力和拔出力
- 端子对护套的插入力、止推力、保持力
- 端子正压力/正向力/法向力
- 连接器的接合力、分离力
- CPA、TPA的插入力和拔出力
- 各种辅助结构机械强度

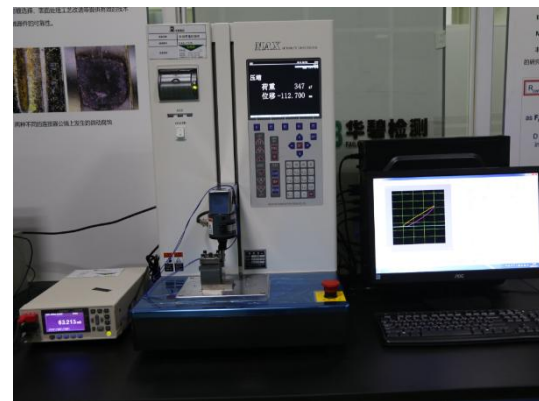
覆盖mN级到KN级的多  
台力学测试设备，满足端子  
正向力到充电枪插拔力的各  
种力学性能验证。



连接器全自动插拔力试验机



万能材料试验机



正向力及接触电阻测试系统

## 机械可靠性测试

- 插拔循环
- 连接器对插到位声响
- 自由跌落
- 滚筒跌落
- 金属箍保持力 (高压连接器)
- 密封圈保持力



密封圈保持力



插拔循环测试机



滚筒跌落试验机

## 机械可靠性测试

- 振动/机械冲击/三综合
- 微动腐蚀



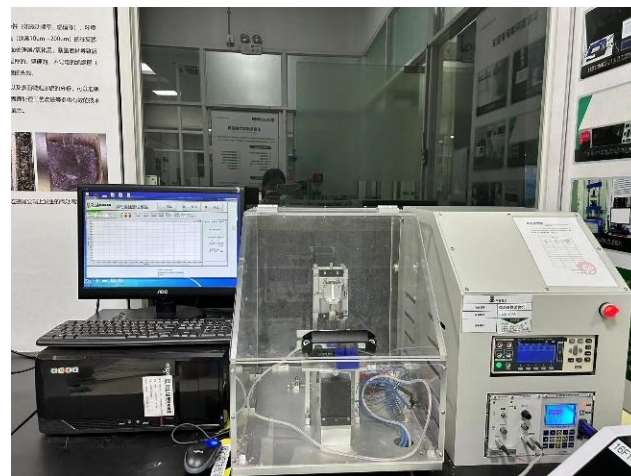
机械冲击



8吨三综合试验机

自主开发获得专利认可的微动磨损测试仪；

各种量级的振动冲击类测试设备，满足不同量级机械可靠性测试需求；



微动磨损测试仪

## 环境应力测试

- 高温/低温
- 温度循环
- 湿热循环
- 冷热冲击
- 快速温变
- 中性盐雾/交变盐雾
- 混合流动气体
- 氨水熏蒸
- 耐化学溶液



冷热冲击试验箱



温湿度试验箱



交变盐雾试验箱

## 环境应力试验

- 气密性
- 水密性
- IP全套
- 高压水冲击
- 防尘



高压水喷射



防水全套



## 华碧实验室提供全方位车规级连接器及线束测试与分析服务

苏州华碧微科检测技术有限公司

电话：18951117159

邮箱：lei.wang@falab.cn



扫码关注华碧实验室微信



上海实验室：上海市杨浦区国权北路  
1688弄53号B7栋2032室  
电话：021-62405529  
传真：021-55660436

苏州实验室：江苏省苏州市工业园区港  
田路99号  
电话：0512-69170010  
传真：0512-69176059  
华碧官网：<http://www.falab.com>



# THANKS

◆ 提升中国制造的质量水平！ ◆

