

电缆用塑料材料气候老化试验方法比较

朱 萍

1. 前言

塑料产品在加工、贮存和使用过程中，特别是在使用过程中，电缆中导线的长期载流发热和受外界环境（如长期受光、氧、热等）的作用，导致塑料逐渐变色、发脆、力学性能下降以至最终失效，如不及时清除隐患则很容易导致火灾的发生，甚至还有可能引发爆炸事故。因此研究电缆绝缘材料的热老化寿命，对及时清除热老化隐患，减少火灾损失，保障人民财产安全具有重要的意义。

高分子材料由于受内外因素的综合作用，其性能逐渐变坏，以至最后丧失使用价值，这一现象就是老化，塑料材料的热老化是一种不可逆的化学过程，物质结构和成分的变化也是单向的，是高分子材料的通病，不同物质结构和成分决定着不同的热老化程度。老化是有机高分子材料的自然特性，是高分子材料在合成、改性和应用中所必须要考虑的一项重要指标。塑料在自然气候中的老化速度很慢，从实际使用环境中测定其寿命需要几年甚至更长的时间，因此可采用人工气候加速老化试验来推算其使用寿命，该试验是模拟和强化大气环境中主要气候因素的一种加速老化试验，可在较短的时间内获得近似于自然气候老化试验的结果，是评价塑料材料性能的重要方法之一。

自然环境中导致材料老化的三大主要气候因素为：光(日光辐射)、水(湿度)和温度。热化学反应会在较高的温度下发生，而在低温下这种反应速度很慢或者根本不会发生。对于暴露在户外的材料，温度、湿度、阳光和机械变形等都会加速材料老化并影响材料的最终性能。在试验室条件下模拟自然气候老化试验的方法主要有：

a) 空气烘箱老化；

b) 空气弹老化；

- c) 氧弹老化;
- d) 臭氧老化;
- e) 氙灯人工气候老化。

2. 自然气候老化与人工气候老化的相关性

自然气候老化是测试材料耐候性的首推方法,材料只有在典型气候条件下进行自然老化试验,才能比较全面、真实地反应出材料实际使用中的老化问题,这样才能有的放矢地解决问题,提高产品的耐候性。但是该方法需要的周期比较长。如果要在较短的时间内得出老化结果,提高效率,最好的办法还是人工加速老化方法。

塑料自然气候老化与人工气候老化的相关性是十分复杂的,自然气候时时刻刻在变化,最好的办法是有针对性地进行人工老化试验,即用设备精确控制各种环境,对材料进行人工控制的模拟环境老化试验,并进行老化试验前后外观检查和性能检测。塑料在放置和使用过程中除受到自然气候影响外,还受到许多人工因素的影响。人工气候老化试验的试验条件在试验开始前设定,在试验过程中很少更改,试验箱内的试验条件比自然气候条件更加简单,目前自然气候老化与人工气候老化的相关性没有规定的标准以及准确的关系。人工气候老化试验强化了自然气候条件,加速了塑料的老化,可以在较短的时间内获得塑料的耐候性能,并且试验结果的重现性好,但要推断其使用寿命,还需要与自然气候老化试验相结合。

3. 各类老化试验方法介绍

3.1 空气烘箱老化

电缆护套和绝缘材料的空气热老化试验方法,普遍采用标准GB/T 2951.12-2008即IEC 60811-1-2: 1985,该标准用于模拟试验产品在热空气环境下的耐热性试验,适用于最普通类型的绝缘、护套(弹性体、聚氯乙烯、聚乙烯和聚丙烯等)以及其他材料,该标准要求空气进入烘箱的方式应使空气流过试件表面。然后从烘箱顶部附近排出,同时要求在规定的老化

温度下，烘箱内全部空气更换次数每小时应在8~20次之间。

3.2 空气弹老化

电缆护套和绝缘材料的空气弹老化试验方法，可采用标准GB/T 2951.12-2008即IEC 60811-1-2: 1985，本标准要求试验中气体为无油、无潮气的空气，压力为 (0.55 ± 0.02) MPa，老化结束后应在不少于5min时间内逐渐将压力降至大气压力，避免试件中形成气孔，老化温度和时间应按相关标准或者客户提供的相关技术要求进行。

3.3 氧弹老化

电缆护套和绝缘材料的氧弹老化试验，可采用标准GB/T 2951.12-2008即IEC 60811-1-2:1985，该试验方法要求气体为纯度不低于97%的工业氮气，压力为 (2.1 ± 0.07) MPa，老化结束后应在不少于5min时间内逐渐将压力降至大气压力，避免试件中形成气孔，老化温度和时间应按相关标准或者客户提供的相关技术要求进行。

3.4 臭氧老化

电缆护套和绝缘材料的臭氧老化试验，可采用标准GB/T 2951.21-2008即IEC 60811-2-1:2001、GB/T 5013-2008，臭氧在大气中含量很少但却是材料龟裂的主要因素。将试样暴露于密闭无光照、含有恒定臭氧浓度的试验箱中，按预定时间对试样进行检测，从试样表面发生的龟裂或其他性能的变化程度来评价塑料在臭氧环境中的老化程度，臭氧老化试验能模拟和强化大气中的臭氧条件，研究臭氧对材料的作用规律，快速鉴定和评价材料的抗臭氧老化性能与抗臭氧剂防护效能的方法，进而采取有效的防老化措施，对提高产品的使用寿命具有重要意义。

3.5 氙灯人工气候老化

氙灯人工气候老化试验被认为是目前模拟性最好的一种人工气候老化试验方法，氙弧灯通过模拟全阳光光谱的来再现不同环境下存在的破坏性光波，其光谱能量分布与阳光中的紫外光、可见光部分最为相似，可以很好的模拟不同环境条件下，材料曝露在阳光或者商业照

明环境中所产生的变化，该试验方法能较全面地模拟自然气候条件的综合影响，包括光、温度、湿度、喷水亮暗交替等。其试验方法可参考标准GB/T 2423.24-1995、GJB 150.7A-2009和UL 2556-2007，此类标准中详细规定了辐照强度、辐照时间、温度、喷淋时间等试验条件。

4. 老化试验前后性能参数考察

对塑料进行老化试验性能参数的考察，常用的评价指标主要有外观、物理力学性能和电性能。外观包括颜色、光泽、起泡、裂纹、收缩、变形、分层、龟裂现象和粉化现象等，这是由于氧气以自由扩散的形式进入材料的内层，试样表层氧气呈现富集态，因此导致了表层试样溶液发生氧化和龟裂现象；物理力学性能主要有拉伸强度、断裂伸长率、冲击强度(包括悬臂梁和简支梁)及弯曲强度等，其中缺口冲击强度对温度和时间是极其敏感的，随着老化时间的延长和老化温度的 冲击强度显著降低。断裂伸长率和拉伸强度也是随着氙灯老化时间的延长呈下降趋势。

电性能主要有表面电阻率、体积电阻率、击穿电压、介质损耗角正切等；热性能主要有维卡软化点温度、热变形温度、熔体流动速率、分子量以及化学变化等，紫外光的照射使试样发生降解，分子链发生断裂而造成分子量的下降。

本文以阻燃聚烯烃材料老化前后物理力学性能参数抗张强度和断裂伸长率的变化来举例说明热老化条件对其性能的影响。

	抗张强度 (MPa)	断裂伸长率 (%)	试验条件
老化前	11.1	186	——
空气烘箱老化	11.8	130	(100±2)℃，168h
空气弹老化	12.2	126	(150±2)℃，168h
氧弹老化	12.5	115	(150±2)℃，168h

臭氧老化	11.6	129	(25±2)℃，24h，臭氧浓度(0.025～0.030)%
氙灯人工气候老化	11.3	140	GB/T 2423.24-1995：照射8h，停照16h，此24h为一个循环，每个循环的总辐射能量为8.96kW·h/m ² ，3个循环，辐照时为55℃，停照时为25℃，升温速率0.5℃/h，降温速率0.3℃/h。

5. 结束语

高分子材料中的不饱和双键、支链、羰基、末端上的羟基等受外界或环境因素如阳光、臭氧、水、机械应力、高能辐射、电、工业气体的影响发生断裂，分子量下降，分子链断裂得越厉害，塑料就越易变脆、越容易破裂。人工气候老化试验是考察护套和绝缘材料性能参数的最基本的试验之一，同时也是成品电缆检验的重要参数。因此人工气候老化试验对于原材料供应单位的研发和生产，对于光电线缆的生产制造单位而言，该试验都是检测产品质量的重要的试验方法。

射频电缆组件三阶互调性能影响因素分析

叶菁蓁，殷海成

0. 引言

在综合的基站内，大功率放大器和接收机滤波器之间的任何无源器件都会产生一定的无源互调电平。基站天线塔的安装环境也会产生无源互调（PIM），例如天线附近有金属物体的直接反射波束传送到天线。随着电子通信及网络的高速发展，邻频信号以及双向信道传输的应用已越来越广泛。由于电缆组件自身的非线性效应所产生的寄生信号会影响到上述两种通信系统的传输，因此电缆组件的三阶互调性能正受到越来越多的关注。

1. 三阶互调的原理

在一个线性时不变系统中，若输入一个具有单一频率的信号，输出的也必定是一个同频信号。但在非线性系统中，信号会产生谐波。这就意味着每输入一个单一频率信号 f_1 （即基频信号），将输出一个含有一系列频率为输入信号 f_1 整数倍的分量（ $k_1 f_1$ ）。若输入两个或者两个以上频率混合起来的信号时，输出端将产生除了包含输入信号频率 $f_1, f_2, f_3 \dots f_n$ 以外， $k_1 f_1 + k_2 f_2 + k_3 f_3 + \dots + k_n f_n$ 的互调产物（其中 k 为整数）。

对于一个给定的互调产物，它的阶数 L 应等于所有基频之前系数的绝对值之和，即：

$$L = |k_1| + |k_2| + |k_3| + \dots + |k_n|$$

考虑到产生的互调阶数越高，信号强度就越弱。所以我们更关心阶数为 3 的无源互调产

物。而对于阶数为 3 的互调，有

$$L = \sum_{n=1}^N |k_n| = 3 \quad (\text{其中 } k \text{ 为整数})$$

因为频率不可能为负值，因此当 L 取到 3 的时候，k 只可能是 1 和 2 的组合。所以，三阶互调产物的频率也只有以下四种组合形式：

$$2f_1 \pm f_2, 2f_2 \pm f_1$$

综上所述，三阶互调是指当两个信号在一个线性系统中，由于非线性因素的存在，使得一个信号的二次谐波与另一个基频信号产生差拍（混频）后所产生的寄生信号。比如在移动通信 GSM 网络的上行（890MHz～915MHz）和下行（935MHz～960MHz）频段中，若给定两个输入信号 $f_1=930\text{MHz}$ ， $f_2=945\text{MHz}$ ，此时考察其三阶互调，可以发现，当出现 $2f_1+f_2$ ， $2f_2+f_1$ 这两种组合时，它们的幅值要远大于原始输入频率 f_1 和 f_2 ，故此两种组合往往不会干扰到系统的通信；当出现 $2f_1-f_2$ ， $2f_2-f_1$ 这两种组合， $2f_1-f_2=915\text{MHz}$ ，它就落在了基站的上行频段中。而 $2f_2-f_1=960\text{MHz}$ ，这又落在了基站的下行频段中。这就对通信系统的基带信号 f_1 ， f_2 的传输通信形成了严重干扰。

2. 射频电缆组件三阶互调性能影响因素的分析

2.1 电缆组件的设计定型阶段

简易的点接触连接器结构容易产生连接松动。为了保证电缆组件三阶互调性能的可靠稳定，设计连接器时应考虑增加内外导体的配接面积，使得其与电缆接触更加牢固与可靠。目前有些单位使用的连接器特意采用了加长型外导体卡环结构以确保组件接头部位在弯曲变形时的三阶互调性能。在对此类电缆和连接器的连接部位进行疲劳弯曲试验后，三阶互调结果无明显变化。另外，在连接器和电缆的连接部位可用塑胶注塑加以固定。

2.2 电缆组件的材料选择

电缆组件的连接器使用磁导率较小 ($\mu < 1.15$) 的金属材质对提高电缆组件的三阶互调性能有一定帮助。应避免采用铁镍材质，一般应用黄铜、铝合金材质，当有特殊要求时，表面可镀银或镀三元合金。

电缆组件中的电缆部分内外导体均应采用导电性能良好的金属材质，镀银的内外导体对提高三阶互调性能有一定帮助。不过镀银材质容易氧化，需注意其氧化导致的三阶互调性能急剧下降。我们曾对内导体氧化的电缆组件进行了对比测试试验，结果显示内导体氧化的组件三阶互调性能要下降 20dBc 左右，极端情况下会下降 30dBc 以上。

2.3 电缆组件的加工工艺

目前国内镀金工艺还不完善，黄铜材料镀金过程中需先镀镍，由于铁镍材质的掺入会影响电缆组件的三阶互调性能，因此连接器的内外导体电镀工艺应采用成熟的镀银和三元合金工艺。另外连接器加工过程中尺寸控制需引起注意。一方面要保证内接触件的插合强度应足够大，另一方面外接触螺纹尺寸要精确，以缩小拧接间隙从而保证连接的可靠性。通过对 RF 电缆组件进行大量测试，我们发现，连接器加工时尺寸控制非常重要，它与测试仪器的端口或转接器的匹配程度有可能是影响三阶互调测试结果的主要因素之一。对比试验中，我们曾用同批次的电缆分别装配上二家生产商生产的 DIN 型连接器，外导体螺纹连接相对紧密的那家三阶互调测试结果为 160dBc，而另一家只有 140dBc。

编织型外导体结构的电缆相对于铜管或铝管整体式结构外导体电缆的三阶互调性能的稳定性要差。编织结构的外导体由于非一体式结构，在编织加工过程中应紧凑严密，松紧有度，以避免在弯曲拉伸后发生形变，进而在连接器连接端口处产生畸变造成三阶互调不规则变化。下面表 1 几组数据是对外导体结构不同的电缆组件的测试比较：

组件中电缆结构	测试条件	使用连接器	测试结果 (dBc)
400 型编织外导体电缆	2000MHz, 20W	N 型	115~145

组件			
1/2" RF 铜管外导体电缆组件		N 型	160~165
SFX-50-2 镀锡编织半软电缆组件		N 型	145~155

表 1

2.4 电缆组件的装配工艺

组件装配连接器过程中应注意清理杂质污垢，如残留的焊剂或材料加工的颗粒等。内导体应采用高频焊接工艺，焊锡层应干净均匀，特别是多芯绞合内导体。外导体夹紧卡环装配时接触面应平整服顺以避免点接触，不能有褶皱重叠和受力变形。经大量测试结果分析，下面表 2 反映连接器装配造成的影响的数据：

组件中电缆结构	测试条件	装配情况	测试结果 (dBc)
1/2" RF 电缆组件	900MHz, 20W	良好	160~165
		装配时有杂质污垢	140~150
		内外导体装配不紧密 (弯曲前)	150~160
		内外导体装配不紧密 (弯曲后)	130~145

表 2

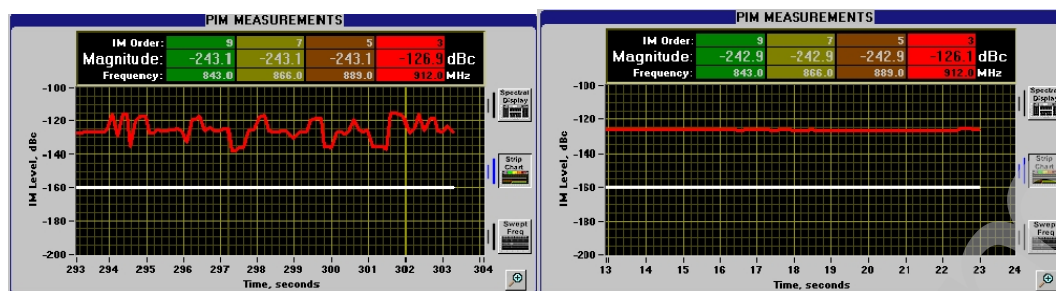


图 1.400 型电缆组件受力弯曲前后三阶互调变化波形

2.5 测试中的影响因素

1) 由于功率老化, 测试仪器的端口、转接器容易产生氧化, 故应用脱脂棉花蘸取酒精先将其擦拭干净。沾染氧化杂质的测试仪器端口经过擦拭后三阶互调结果能提高 10~20dBc。

2) 目前国内使用的三阶互调测试仪信号输出端口一般都是尺寸较大的 DIN 型端口, 生产厂家如此设计也正是考虑到增加内外导体接触面以提高测试精度。测试中应根据不同型号的组件连接器选用最直接简单的转接器, 尽量避免多余的转换装置介入, 也就是说中间转换环节越少越好。下面表 3 二组对比测试数据可供参考:

样品	测试条件	使用转接器	测试结果 (dBc)
SFT-50-2 电缆配接 N 型连接器	900MHz, 20W	DIN 型转 N 型	140
SFT-50-2 电缆配接 SMA 型连接器		DIN 型转 N 型、N 型转 SMA 型	120
1/2" RF 电缆配接 N 型连接器	900MHz, 20W	DIN 型转 N 型	150
1/2" RF 电缆配接 DIN 型连接器		无	165

表 3

由此可见，转接器与组件连接器和仪器输出端口间相互匹配性会直接影响三阶互调性能。

3) 电缆组件连接器在拧接测试仪器端口、负载时应注意螺纹对准，然后用专用的力矩扳手固定。使用非专用力矩扳手固定时，容易使被测件受力受压而变形，特别是连接器和电缆的接点部位。编织型外导体如果受力变形，数据特别容易波动。极端情况下有 30dBm 的波动。

4) 在测试端口接低互调电平负载时，测试仪器会测量出残余互调电平。残余互调电平是分析仪系统内部的传输电缆线、连接器、滤波器和双工器等产生的。一般三阶残余互调电平会大于接收机的噪声电平。而在实际测量中，当被测电缆组件的实际互调电平接近测试仪器的残余互调电平时，由于两者的矢量合成，这时互调电平的测量不确定度就会变大。因此需用高质量的耦合器、滤波器和精密的架构，来降低测试系统的残余互调电平。

3 结束语

综上所述，射频电缆组件的三阶互调性能受材料、工艺、装配等多方面的因素影响。在 GSM, DCS, PCS 以及其他无线系统中，三阶互调性能的好坏正受到工程技术人员越来越多的关注。本文对射频电缆组件三阶互调影响因素进行了综合分析，对温度、功耗等未涉及的方面有待进一步讨论和研究。

[参考文献]

[1] N.Kuga, K.Ohnishi, “Non-contact PIM measurement method for electrical connection inspection ” , Proc. of 2007 Asia-Pacific Microwave Conference, vol.1, pp.295-298,Dec.2007

[2]吴欣欣.同轴电缆中三阶互调的产生及其测量[J].有线电视技术,2009(8): 25-28

铜包铝线断面抛光样品制备方法

周姬旻

0. 前言

随着双金属复合技术的发展，人们利用铜的优良导电性与铝密度小的特点，在铝芯线外部牢固复合铜薄层，制成铜包铝线。铜包铝线是采用包覆焊接拉拔法，将铜层均匀而同心地包覆在铝芯线上，并使两者界面上的铜和铝原子实现冶金结合的双金属复合线，它具有导电性好，密度小，柔软，耐腐蚀，易焊接，价格低廉等特点。近年来铜价节节攀升，居高不下，铜包铝线更能显示性能上、经济上的种种特点，很多电线电缆企业都积极使用铜包铝线，以减少用铜量，降低原材料成本。考核铜包铝线是否符合使用要求有多项技术指标，其中铜层厚度的测定是最为关键且直接关系企业生产成本的重要指标。SJ/T 11223-2000《铜包铝线》行业标准规定铜层厚度最薄点的测定应采用“断面抛光测量法”，由于试样的制备对测试结果的准确性影响很大，我们经多次实践，积累了一定的经验，总结出以下断面抛光样品的制备方法供参考。

1. 断面抛光样品的制备

就我们国内金属试样金相研磨水平来讲，还是停留在比较原始的阶段，就工艺而言，大多数还是手工操作。对于铜、铝这样的较软的材质，不可以用砂轮片这样不易平整的材料进行加工，也不能用研磨料直接在研磨机上进行磨削。经反复实践我们推荐采用半人工的方式对铜包铝线的断面进行研磨，这样不但节省材料的消耗，也保证了所加工试样断面的平整。

1.1 取样

从样品一端截取适当长度的铜包铝线试样，一般为 15mm 左右，切取时应尽量减小线材横截面变形。试样两端可用锉刀或者较粗的砂纸处理平整。

1.2 固化

对于直径 1mm 以下的小试样，将其每隔 2mm~3mm 的距离平行粘上一段宽度约为 10mm 的胶带。将胶带连同试样一起粘在直径约为 5mm、长度约为 15mm 的金属杆（铝杆或铜包铝杆）上。将金属杆和小试样一起放入铝管或塑铝管（也可截取一段比较容易取得的 PVC 水管）中，用环氧树脂浇注。环氧树脂与试样的接触面应紧密填实，待固化后备用，固化时间应大于 24 小时。

1.3 磨平

将已固化好的试样在中低速的金相试样抛光机上进行磨平或是手工打磨。先在较粗的砂纸上抛光，当磨痕方向一致后，换用较细的砂纸抛光。每更换一次砂纸，必须用纯棉花沾取酒精之类的清洁液对抛光表面进行仔细的擦拭，将上一道磨制的灰尘清除干净，然后将试样研磨的方向转动 45 度~90 度。磨平时须用水冷却试样，使金属的组织不因受热而发生变化。磨平试样的砂纸一般使用目数的顺序为：#120—#360—#600（可以根据实际情况进行调整）。

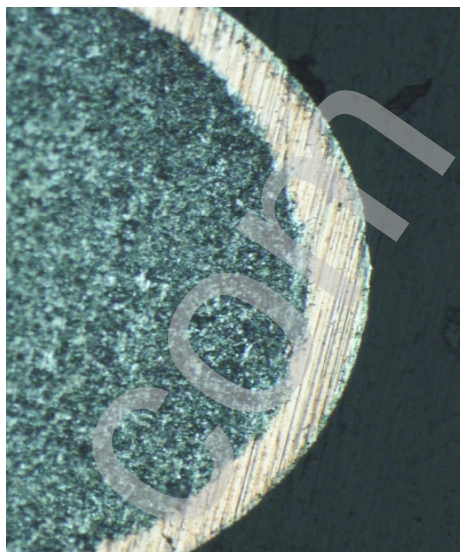


图 1 磨平后试样

1.4 研磨

经抛光机磨平、洗净、吹干后的试样，用手工依次由粗到细的在各号水砂纸上磨制。砂纸须平铺于平的玻璃、金属或板上，研磨时必须加水作为润滑剂。从粗砂纸到细砂纸，水砂纸一般的使用顺序为：#1000—#1500—#2000—#3000—#5000（可以根据实际情况进行调整）。可在 200 倍的显微镜下观察试样表面的磨痕，每换一次砂纸时，试样均须转 45 度~90 度与旧磨痕成一定角度，向一个方向磨至旧磨痕完全消失，新磨痕均匀一致时为止。若旧磨痕磨制一定时间后仍无法消失时，则表示新砂纸目数过高，应更换较低目数砂纸进行研磨。同时每次须用水或超声波将试样洗净，手亦应同时洗净，以免将粗砂粒带到细砂纸上。磨制试样时，

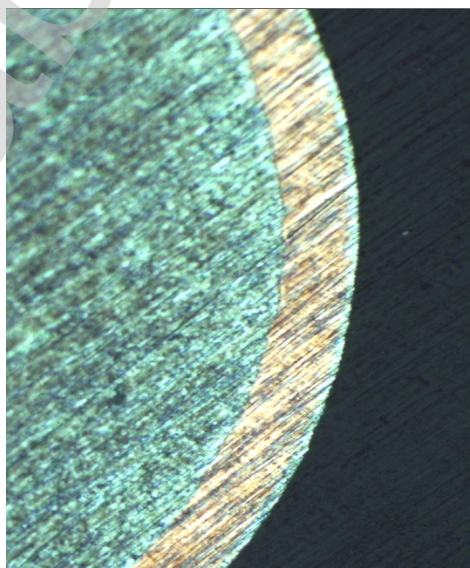
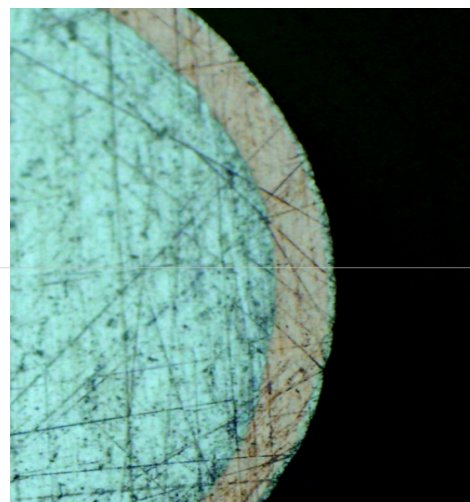


图 2 研磨后试样

注意不可用力太重，每次时间也不可太长。试样研磨时，若发现较粗磨痕不易去除或试样抛光后在显微镜下观察发现有凹坑等磨制缺陷影响试验结果时，试样应重新磨制。



1.5 抛光

水砂皮研磨后的试样表面,在显微镜下仍有比较明显的磨痕。为了消除试样表面的磨痕,我们采用平的玻璃、金属或板上铺一层尼龙绸、天鹅绒或其他纤维细匀的丝绒,用油石加煤油作为润滑剂进行手工抛光。一般抛光到试样在显微镜下观察无明显磨痕,表面象镜面时为止,抛光后用水洗净吹干试样,使其表面不致有水迹或污物残留。这时候在显微镜下观察试样断面即可看到铜层和铝芯线之间的分界线,可以通过 μ 级以上的显微镜准确地测定铜包铝线的铜层厚度。

2. 样品制备中要注意的问题

2.1 环境要求

对精度要求在 $1\mu\text{m}$ 以上的试样须在一个清洁的抛光室内进行。若进行更加精密的抛光则必需一个绝对洁净的空间。灰尘、烟雾,头皮屑和口水沫都有可能报废数个小时工作后得到的高精密抛光表面。

图3 抛光后试样

2.2 浇注要求

试样浇注管用的材料的硬度应不高于试样的硬度,对于铜包铝线应采用铝管或塑铝管(也可采用比较容易取得的PVC水管)。环氧树脂浇注后与试样的接触面应紧密填实,待固化后备用,固化时间应大于24小时。试样抛光断面的浇注管四周应做倒角处理,使研磨断面能与研磨物表面吻合,避免研磨时因为浇注管的毛刺接触研磨断面而造成较深的划痕,导致试样磨制失败。

2.3 研磨抛光要求

砂纸须平铺于平的玻璃、金属或板上。从粗砂纸到细砂纸,当换用不同型号的砂纸时,抛光方向应变换 $45^\circ\sim 90^\circ$,这样前一种型号砂纸抛光后留下的条纹阴影即可分辨出来。在换不同型号砂纸之前,必须用纯棉花沾取酒精之类的清洁液对抛光表面进行仔细的擦拭,因为一颗很小的沙砾留在表面都会毁坏接下去的整个抛光工作。手工用油石和煤油进行精细研磨时,这个清洁过程更为重要。在抛光继续之前,所有颗粒和煤油都必须被完全清理干净,手亦应同时洗净,以免将粗砂粒带到细砂纸上。磨制试样时,注意不可用力太重,每次时间也不可太长。

3. 结束语

上述对铜包铝线断面抛光样品制备方法进行了论述。在实际应用中直径 0.50mm 以上的

铜包铝线通过以上断面抛光样品制备方法，制备的样品铜层与铝芯线的分层比较明显，测试结果准确性高。但直径 0.50mm 以下的铜包铝线用上述方法制备的样品，由于铜层较薄，铜层与铝芯线分界线难以磨制清晰，容易引起较大的测试误差，因此对于直径 0.5mm 以下的铜包铝线或是铜包铝镁线的铜层厚度采用其他方法（化学褪镀法、荧光测厚法）测试更为准确。而对于直径 0.5mm 以下镀锡铜包铝镁线由于镀锡层和铜层极薄，采用“断面抛光测量法”测试其三层金属之间的分界线较难清晰分辨，但目前对于这类线的金属层厚度又无更好的方法，如何提高此类试样铜层厚度的测试准确性还有待研究。

由于断面抛光样品制备方法主要还是靠人工完成，研磨抛光技术目前还是影响样品断面测量准确性的主要原因，只有在实践中不断改进才能达到更好的效果。