

射频电缆回波损耗、屏蔽衰减异常的分析 and 对策

方建成

1 引言

随着我国 CATV 事业的迅猛发展,国内 CATV 同轴电缆生产厂引进了多条物理发泡聚乙烯绝缘生产线,同时国内很多生产厂改造或添置了国产物理发泡聚乙烯绝缘生产线。这些厂家大部分配备了进口或国产网络分析仪,较好地控制了产品质量。物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆的主要电性能包括:平均特性阻抗、衰减常数、回波损耗和屏蔽衰减,其中回波损耗和屏蔽衰减常常是特别受关注的参数。本文将以 CATV 电缆为例着重对造成这两个指标异常的数据或某些波形进行分析,提出改进建议。

1.1 同轴电缆的回波损耗测量方法简介

同轴电缆阻抗均匀性的测量方法包括频域和时域法两种。频域法测量电缆的回波损耗,是反映电缆的回波损耗和频率的特性(回波损耗随频率而变化)。时域法测量电缆沿长度阻抗不均匀性等特性。本文仅涉及频域法的回波损耗测量方法。

试验方法为“IEC 61196-1-112(2006-03)回波损耗(阻抗均匀性)试验”,试验设备为矢量网络分析仪和带有校准标准(开路、短路、负载)的校准套件,通过 S11、S22 同时测量正反两方向的回波损耗。

国内很多生产厂仍在使用进口或国产的标量网络分析仪或单端口的矢量网络分析仪(包括带有校准标准(开路、短路、负载)的校准套件),必须分两次测量电缆正反两方向的回波损耗。

1.2 同轴电缆的屏蔽衰减测量方法简介

这里介绍的吸收钳法原则上与在通讯技术中使用的近端和远端串音的测量方法很相似。

(a) 直接测量法:适用于电缆试样外径小于吸收钳内孔时的屏蔽衰减测量。

(b) 延伸线测量法:适用于电缆试样外径大于吸收钳内孔时的屏蔽衰减测量。

以下仅介绍直接测量方法,它广泛用于 CATV 等同轴电缆的屏蔽衰减测量。试验装置按图 1 (a)、(b)连接。

IEC 已有新标准: IEC 62153-4-5: 2006 “金属通信电缆试验方法—第 4-5 部分: 电磁兼容(EMC) —耦合衰减或屏蔽衰减—吸收钳法”

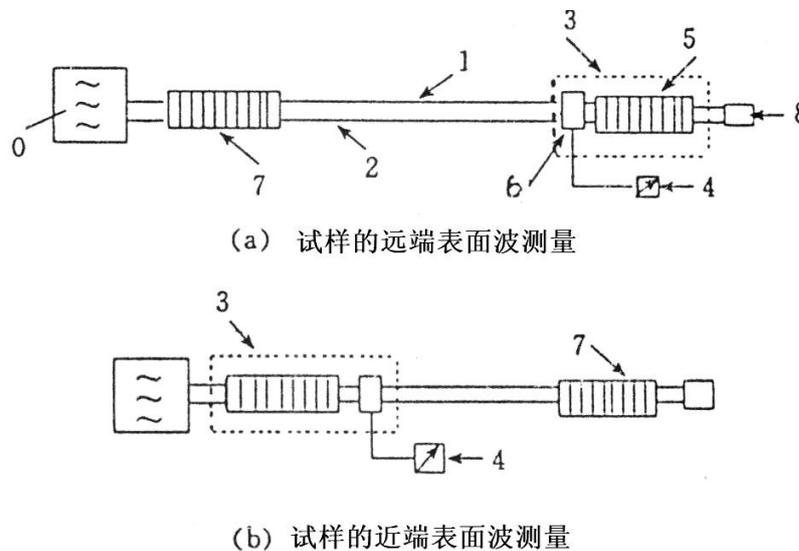
“IEC 62153-4-5 ”试验方法与“IEC 61196-1:1995 中 12.4 屏蔽衰减: 吸收钳法”关键内容大致相同,后者对象仅指同轴电缆,而前者除同轴电缆外,还包括对称电缆。

IEC 62153-4-5 基于一固定的吸收钳用扫频方式测量表面电流,分别在近端和远端进行,而 IEC 61196-1:1995 中 12.4 屏蔽衰减: 吸收钳法则是点频法,吸收钳位于近端或远端移动,测出最大泄漏。

本文所涉及的两指标的异常数据或某些波形的分析,是建立在正确测量基础上的,只有

这样，才能对射频电缆回波损耗和屏蔽衰减的异常作出正确分析并采取相应对策。

射频电缆回波损耗和屏蔽衰减测量中的注意事项见附录。



图中代号说明：0—信号发生器；1—电缆试样；2—电缆外导体的外回路；3—吸收钳；4—测量接收机；5—吸收器；6—电流转换器；7—吸收器；8—电缆试样的匹配负载。

图 1 直接测量法装置

2. CATV 电缆回波损耗测试波形分析与对策

2.1 电缆阻抗不均匀性的三种结构性变化

2.1.1 随机的阻抗不均匀性

阻抗不均匀性即具有不重复的特性或尚未发现重复关联的函数。

在通常正规制造的电缆，其不均匀性具统计特性。阻抗不均匀性会影响传输的宽带性能。（在生产长度上随机发生的变化，这种变化引起相位相互间不迭加的反射波，相当于回波损耗图上的基础水平区域。）

2.1.2 周期的阻抗不均匀性

由于在电缆中的等距离物理缺陷所产生的阻抗不均匀性，这些是因为制造中或电缆结构沿长度周期性的偏差所致。（电缆直径沿长度方向上有规则均匀分布的微小变化。对于一段电缆产品来说，直径的变化幅度虽很小，但由于是周期性的变化，总有某一频率，其反射波的相位是相同的（即相位上相差 2π 的整数倍），使反射信号由于同相位叠加而变得很大，造成回波损耗的最小峰值。

2.1.3 局部阻抗不均匀性

由于连接在一起的几根电缆的终端（输入）阻抗的差别引起的阻抗不均匀性，或由于连接点的瑕疵，或在局部电缆损坏点也会产生阻抗不均匀性。（电缆直径的短期变化，这种变化局限在短期内发生的任何幅值单独变化：例如电缆外径的偶发性肿大、细颈和气泡，

这种变化导致单独的回波出现。只有具有时域功能的仪器可测量。)

要满足CATV产品技术规范的要求，回波损耗是最重要的参数之一，它是由于电缆产品结构上的不连续所引起，它可能是由于电缆内的大缺陷所导致，可用肉眼或故障定位功能来发现；也可能是由于许多周期性排列的小缺陷所引起，其反射可能很小，但如果是周期性出现，则有可能在某些频率上的反射相当大。

2.2 必须选用优良的连接器，掌握良好的连接技术

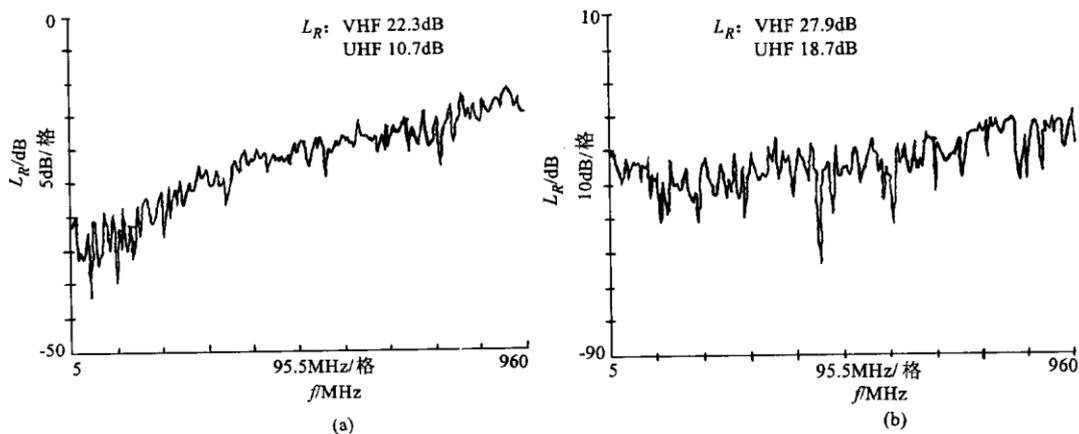
当测量成圈或成轴电缆时，一般都要用两个连接器(俗称电缆接头)。这些接头提供了电缆的界面，并作为电缆数据的一部分被测量。因此接头本身的优劣以及连接技术的好坏都会对电缆的测试结果带来影响。

1) 电缆接头的影响

典型的不良接头对回波损耗测量的影响是一种随频率向上倾斜的响应，通常在高频段上变坏。

例1 A厂SYKV—75—5电缆的回波损耗测试波形，发现高频段回波损耗偏小，且从低频到高频向上倾斜，后经了解分析是使用了FL10安装头的缘故。为了模拟这种情况，我们进行了两次测试。(1) 电缆先接FL10—FL10 / L16J13再接仪器，波形如图2(a)中所示。(2) 电缆先接测试用连接器L16J13再接仪器，测试波形正常，波形如图2(b)(注：为节省篇幅，此处只列出各一幅波形，实际应有四幅波形)。

结果表明电缆回波损耗完全合格，由于连接器失配而造成高端回波损耗偏小。



(a) 电缆接FL10连接器对回波损耗的影响 (b) 电缆接测试用L16J13连接器对回波损耗的影响

图2 电缆连接器对回波损耗的影响

例2 B厂送MC² 500型电缆测试，测试波形如图3所示，(a)用工程接头测，其中 L_R : VHF 22.1dB, UHF 14.1dB, (b)用测试接头测，其中 L_R : VHF 28.7dB, UHF 24.7dB。

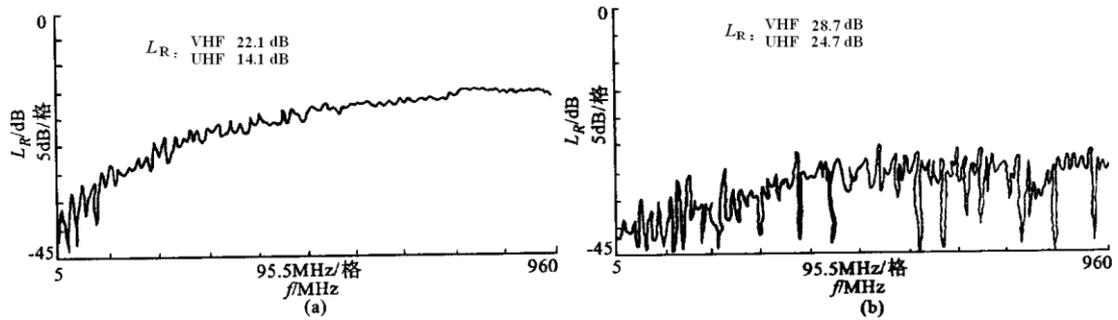


图 3 MC²500 型电缆用不同接头所测回波损耗波形图

为找出原因，我们用 100mm 长 MC² 500 型电缆（图 3（b）的波形证明该电缆回波损耗值均大于等于 25dB）接连接器。如取短段电缆做成电缆组件测，其结果应反映出接头水平。测试波形如图 4 所示：（a）用工程接头连接，其中 L_R ：VHF：21.2dB，UHF：10.9dB。（b）用测试接头连接，其中 L_R ：VHF：28.6dB，UHF：19.2dB。

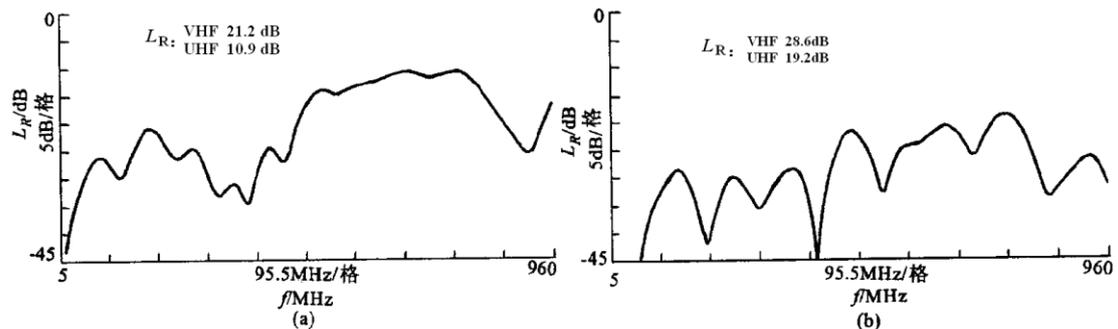


图 4 用工程头与测试接头组成 MC² 500 电缆组件的回波损耗波形

由于当时尚未配到专用的 MC² 500 型电缆测试接头，是配用 SYKV—75—12 的 L20J186 电缆接头测试。良好的电缆连接器的回波损耗应 ≥ 30 dB。不过所测波形同样说明良好专用接头的重要性。再次说明不良接头对电缆的回波损耗测量的影响是一种随频率向上倾斜的响应，通常在高频变坏，反映的并不是电缆的真实性能。

2) 连接优劣的影响

有时尽管接头符合要求，但由于连接不到位，也会造成波形不正常。

例 3 某次测试中 A 端(约定俗成：从电缆头往终端看标志是顺向的电缆起始端为 A 端，反之则为 B 端)未连接好即出现如下波形，如图 5(a)所示。

从图 5(b)来看如用标量网络分析仪或一般扫频仪测相当于另一端匹配负载未接好。对频率低端波形影响特别明显。

例 4 某次测试电缆回波损耗时， L_R ：VHF 27.2dB，UHF 14.5dB(14~18dB 间峰点 15 个)，后经检查系电缆一端连接的双阴转接头 N—75KK 一端内孔偏大，且两半圆片有些错位，后经修正后重测， L_R ：VHF 27.2dB，UHF 25.2dB。说明转接器连接不好对最终结果的

高频段影响很大。

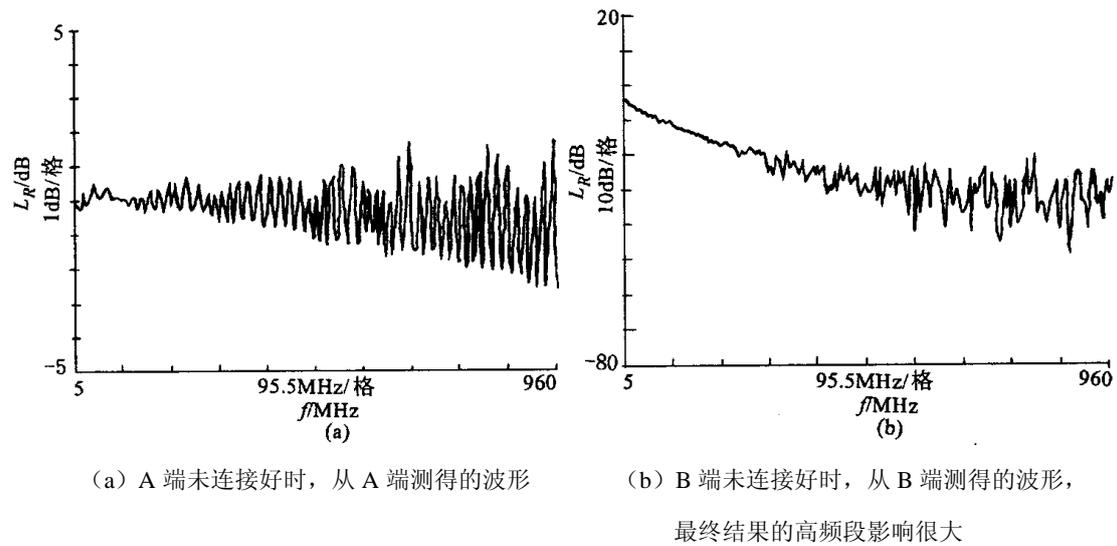


图 5 两端未连接好时的典型波形

2.3 周期性不均匀造成的典型波形

例 5 C 厂同一试样的一根或三根电缆正反方向回波损耗谱上 UHF 频段在同一频率或大致相同频率出现较低的回波损耗最小峰值，这可认为是同一重复规律因素所引起的现象。如图 6 所示。

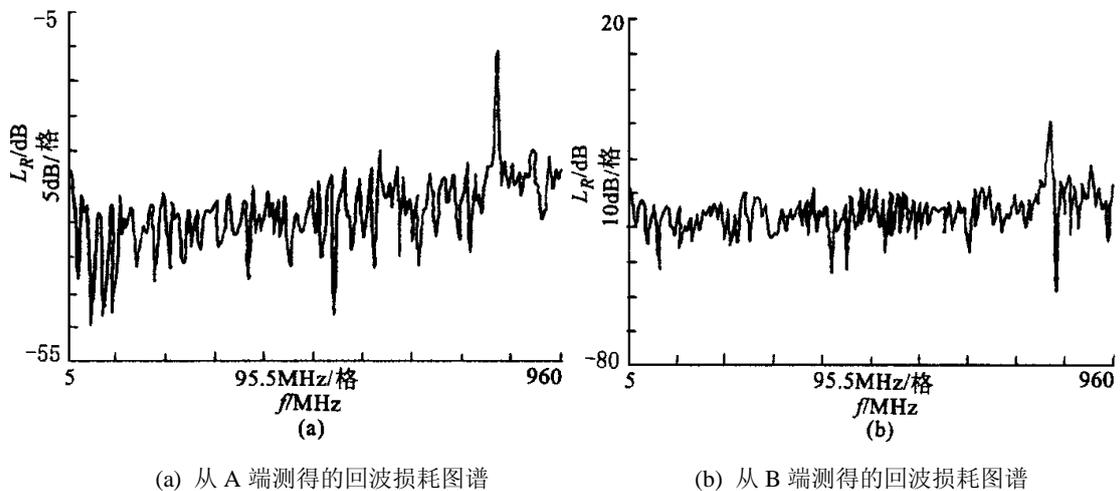


图 6 C 厂 SYKV-75-5 电缆的回波损耗图谱

可通过计算，找出生产线周期性重复的间隔距离 h 。

回波损耗最小峰值出现在 $\lambda = 2h$ 的频率点， h 可由下式计算：

$$h = \lambda/2 = 150 \left(f_0 / \sqrt{\epsilon_c} \right) = (\Delta f \cdot l) / f_0 \quad (1)$$

式中 λ —— 波长(m)；

f_0 —— 回波损耗最小峰值频率(MHz)；

ε_e ——绝缘结构的等效介电常数；

Δf ——相邻谐振频率差(MHz)；

l ——电缆长度(m)。

根据以上图谱计算如下：

已知 $l = 100\text{m}$, $f_0 = 835.5\text{MHz}$, $\Delta f = 1.201\text{MHz}$, 则 $h = \Delta f \cdot l / f_0 \approx 0.144\text{m}$ 。因此如能在生产线上找出 0.144m 周期性间隔因素, 则该回波损耗的最小峰值就能消除, 从而使该电缆回波损耗水平大大提高, 据估算可提高 $10 \sim 12\text{dB}$ 。事后到该厂回访, 发现挤出机头前有一导轮, 中间为梯形槽轮, 其圆周长与计算值很相近, 且导轮有明显轴向间隙。建议对策: 尽可能减小导轮轴向间隙, 改梯形槽轮为 V 形槽轮, 此现象即可基本消除。

例 6 D 厂生产 SYKV—75—5 电缆时, 将放线轮档板改成辐射形的铁杆(类似飞行员训练的伏虎), 当复绕好的 $\phi 1\text{mm}$ 铜丝退火后, 即上机放线, 每一层两端均有铜丝鼓出, 造成约 220mm 左右(内、外层略有变化)的周期性重复, 在回波损耗波形约 550MHz 处有较大的反射, 后经恢复成档板后此最小峰值即消除。

例 7 E 厂引进物理发泡生产线, 生产 SYWV—75—5 电缆, 也发现在正反两方向于 575MHz 处有较大反射, 后经实地仔细察看, 在挤出机前无约 210mm 间距的周期性的重复。但在介质芯出机头进入热水槽后, 发现热水槽是下进水, 水流冲向介质芯使其上下波动, 尽管波动较小, 但影响电缆的回波损耗。从水槽边干湿水迹看其波动的间距很接近 210mm 。后经在进水口加挡板, 改变了水流方向, 使介质芯上下波动降至最小。后来送样检测此反射已消除。

2.4 电缆回波损耗偏小时的影响

当电缆回波损耗偏小会造成衰减增大很多。

例 8 F 厂试生产 SYWY—75—12 电缆除了回波损耗基础水平较差外, 在 800MHz 处由于回波损耗仅 3.5dB , 造成衰减比指数曲线正常值大 18dB , 如果电视频道包括此频率, 就无法收看节目了, 其衰减及回波损耗波形如图 7 所示。

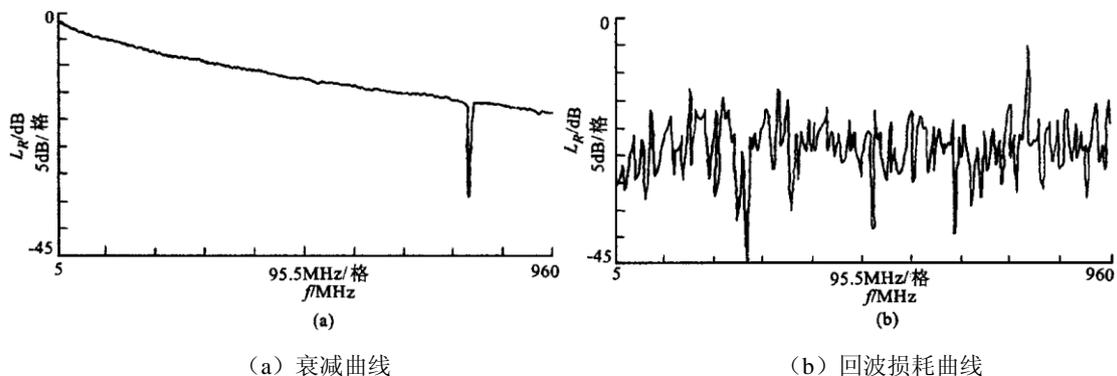


图 7 回波损耗太小时对衰减的影响

除了按 4.5 节计算周期性间距, 在生产线上找出原因外, 还要提高生产线的整体稳定性, 使回波损耗的基础水平提高。

2.5 发泡度明显变化时对回波损耗的影响

例 9 G 厂 SYWLY-75-12 电缆 (200m), 测得回波损耗的波形如图 8 所示。

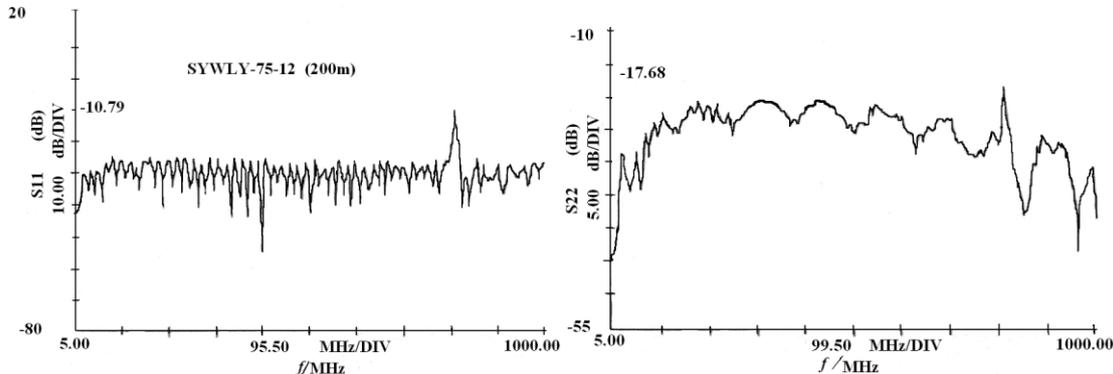


图 8 发泡度明显变化对回波损耗的影响

从图 8 可知, 电缆存在两种不均匀, 从 A 端所测 S_{11} 波形看在 800MHz 处有一周期性不均匀, L_R 比正常值小 10dB。从 B 端所测波形看, 除了 800MHz 的周期不均匀外, 尚有一类似纵孔聚乙烯绝缘电缆一端进水的波形, 采用时域反射计从 A 端测, 发现离 A 端约 150m 处有一明显峰值, 如图 9 所示。

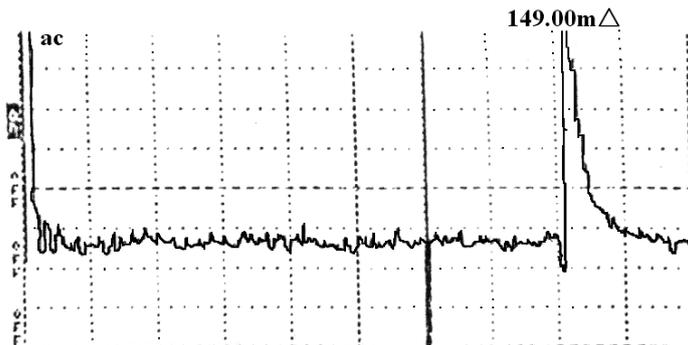


图 9 用时域反射计寻找阻抗不均匀处的波形

纵孔聚乙烯绝缘进水造成局部介电常数增大, 电容增加, 局部特性阻抗减小, 而物理发泡聚乙烯电缆由于局部发泡度减小, 也会造成局部特性阻抗减小, 出现类似回波损耗波形。

此外, 将剩余约 150m 电缆重测回波损耗, 则 A、B 端测量时的波形属正常, 见图 10, 仍包含 800MHz 处的周期性阻抗不均匀, 根据 $h = \Delta f \cdot l / f_0 = 0.648 \times 200 / 800 = 0.162m$ 。

如能在生产线上找出 0.162m 周期性间隔因素, 则该回波损耗的最小峰值就能消除, 从而使该电缆回波损耗水平大大提高。据估算约 10dB。

回波损耗是检验物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆的关键指标之一, 因此同轴电缆的回波损耗测量就显得十分重要。掌握回波损耗测量原理、测量要点及注意事项就能保证测量值的正确可靠。电缆的三种结构性变化中“随机的变化”主要取决于加工设备和工艺的稳定。具有时域功能的仪器可以测出“偶发性变化”。一般的网络分析仪及扫频仪可以测量“周期性的变化”, 根据个别回波损耗最小峰值的频率可计算出重复间距, 有可能在生产线上找出并消

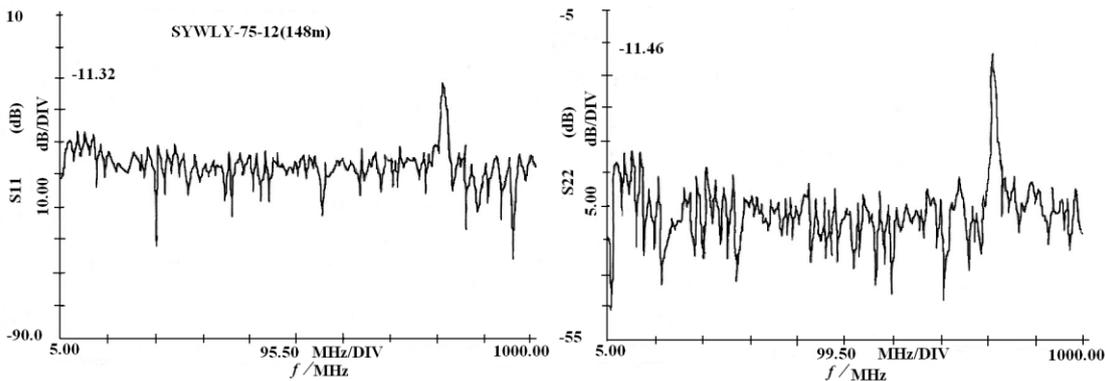


图 10 截去故障段后电缆的回波损耗

除该因素，则回波损耗水平可大大提高。目前很多厂均使用变频电机作收放线和挤出机的动力，并与激光测径仪连动形成负反馈，收、放线段均设储线器，放线段还加跳舞轮，大大提高发泡生产线的稳定性，大幅度提高了电缆的回波损耗。

总之凡是造成周期性不均匀不稳定的因素均应设法消除。

3. 影响物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆屏蔽衰减衰减的因素

主要取决于下列因素：

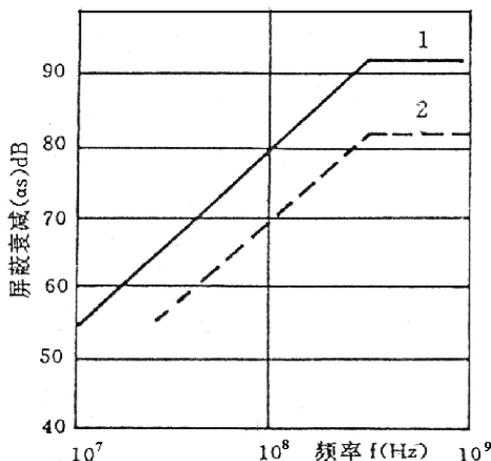
- a) 铝塑复合带的搭接宽度；
- b) 铝基厚度；
- c) 铝塑复合带的质量；
- d) 绝缘的等效介电常数；
- e) 外导体的编织密度；
- f) 铝塑复合带的纵包工艺；
- g) 电缆的敷设施工质量。

以上因素在不同情况下影响程度又各不相同，详见“纵孔聚乙烯绝缘同轴电缆的屏蔽衰减”一文。但对其中几点共性问题及物理发泡聚乙烯绝缘的特殊性应详细讨论。

3.1 铝塑复合带 / 编织外导体同轴电缆的屏蔽衰减

(1) 铝箔/编织外导体同轴电缆的屏蔽衰减

这种电缆的屏蔽衰减随频率变化的曲线如图 11 中曲线 2) 所示。与曲线 1 大致趋势是



1-由 Z_T (转移阻抗) 界限推算而得 (铝箔/编织外导体)

2-半空气绝缘同轴电缆 (铝塑复合带/编织外导体)

图 11 电缆的屏蔽衰减

一致的。可见这类电缆低端的屏蔽衰减偏低，其矛盾焦点是如何设法提高低端的屏蔽衰减。

(2) 与国外同类产品的比较。英国标准 BS 5425—1986 中，半空气聚乙烯绝缘电缆规范中规定外导体内层由单层或多层金属带，外面覆盖金属编织或螺旋绕包形式组成。在频率 5~300MHz 时的最大表面转移阻抗 Z_T 为 5~0.5mΩ，换算成屏蔽衰减见下表 1：

表 1

f (MHz)	Z_T (mΩ/m)	a_s (dB)
5	5	59.9
10	3	70.0
30	0.5	94.4
300	0.5	112.5

当然，这里的 a_s 是根据经验公式推算而得（外导体内层由单层或多层金属带），实际 a_s 值可能没这么高。国外有报道，铝箔 / 铝丝编织外导体的发泡聚乙烯绝缘同轴电缆，其屏蔽衰减指标为 74dB，可见其频率低端（一般指 30~50MHz）屏蔽衰减已超过 70dB。而国产铝塑复合带 / 编织外导体电视电缆从实测结果看 50MHz 的屏蔽衰减要达到 60dB 也不是很有把握。

再从结构参数和所用材料相比，可看出我国此类电缆的外导体在结构和材料上存在差距，造成屏蔽衰减的差距，详见表 2。

表 2 我国与英国类似产品外导体结构比较

项目	我国	英国 (BS 5425)
1.内层金属带搭接宽度 (mm)	1~2 (实际是铝塑复合带)	≥2.5 (金属带)
2.最小金属厚度与 50MHz 时透入深度之比	0.82~1.23 (铝基厚度 0.010~0.015mm)	铜: 2.32; 铝: 1.80 (金属厚度: 0.022mm)
3.搭接间隙	塑料和粘合剂厚约 0.015~0.025mm	直接搭接

3.2 铝基厚度的影响

我们曾对通常用的单面铝和特制双面的铝塑复合带/编织外导体电缆的屏蔽衰减进行比较，详见表 3。

表 3

试样编号及规格	ϵ_e	外导体状况				屏蔽衰减 a_s (dB)					
						频率 MHz					
						50	100	200	550	800	1000
1# 75-5 双面铝塑带 总厚 60μm	1.63	3×16×0.12	2.0	25.9	32.8	78.5	88.6	83.9	75.3	84.2	81.4
2# 75-5 单面铝塑带 总厚 40μm	1.60	3×16×0.12	2.5	29.1	36.3	58.3	66.0	71.9	76.8	87.8	83.9

从表 3 可知，两种电缆的外导体状况几乎一样，仅 1# 为双面铝，2# 为单面铝。从 50~200MHz 的屏蔽衰减 a_s 可知，双面铝的 1# 200MHz 及以下频率明显提高 10dB 以上，其铝

基厚度约为 $24\mu\text{m}$ ，可见铝基厚度增加对提高低端的屏蔽衰减效果明显。

从不同的测试结果看，采用双面铝塑复合带要取得满意的效果，其总厚度应控制在 $40\sim 50\mu\text{m}$ 左右，太厚会在电缆弯曲时起皱拱起，形成泄漏间隙。塑料基带在不影响粘合工艺的前提下，适当采用较薄的带基，例如 $15\sim 20\mu\text{m}$ ，本身质量要好，纵向定向，横向也应有一定强度。其次粘合质量要高，每层铝基可用 $10\sim 12\mu\text{m}$ ，总铝层厚度为 $20\sim 24\mu\text{m}$ ，这样，总厚度控制在 $40\sim 50\mu\text{m}$ ，使编织纵包时两层搭接吻合较好。最后实际搭接宽度仍应大于等于 5mm ，对提高低端屏蔽衰减很重要。

3.3 绝缘等效介电常数的影响

这一点可从 IEC46A (sec) 113 提供的同轴电缆表面转移阻抗 (Z_T) 与屏蔽衰减 a_s 的转换公式 (见式 2) 进一步分析。

$$a_s = -20 \log \frac{Z_T \times C}{\sqrt{Z_1 Z_2} \times 2\pi f (\sqrt{\epsilon_{e1}} - \epsilon_{e2})} \quad (2)$$

式中 Z_T — 电缆的转移阻抗, Ω/m ;

C — 光速, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$;

Z_1 — 一次系统的特性阻抗, Ω ;

Z_2 — 二次系统的特性阻抗, Ω ;

f — 测量频率, Hz ;

ϵ_{e1} — 一次系统的介电常数;

ϵ_{e2} — 二次系统的介电常数。

二次系统的特性阻抗按下式计算:

$$Z_2 = \left(60 \ln \frac{\lambda_0}{\pi d} \right) \Omega + 7.2 \Omega \quad (3)$$

式中 d — 电缆外导体外径, m ;

λ_0 — 自由空间的波长, m 。

(1) 计算举例

下面根据具有不同 ϵ_e 的聚乙烯 (或半空气、空气) 绝缘的铝塑复合带/编织外导体电缆的 75-5 电缆为例, 计算 50MHz 时的屏蔽衰减 a_s 。

设: $Z_1 = 75\Omega$ 、 $Z_T = 14.3\text{m}\Omega/\text{m}$ 、 $d = 5.8\text{mm}$ 、 $\epsilon_{e2} \approx 1$

$$a_s = -20 \log \frac{8.369 \times 10^{-5}}{\sqrt{\epsilon_{e1}} - 1} (\text{dB})$$

计算结果见表 4。

表 4

ϵ_{e1}	a_s (dB)	a_s 的下降值 (dB)
2.3	75.81	0
1.7	71.20	4.6
1.6	70.01	5.8
1.55	69.33	6.5
1.5	68.58	7.2
1.4	66.81	9.0
1.35	65.73	10.1
1.3	64.48	11.3
1.2	61.14	14.7
1.15	58.74	17.1

从表 4 可清楚看出：绝缘的等效介电常数的减少对屏蔽衰减有降低的影响。因此 IEC 秘书处文件指出：进行屏蔽衰减的校正系数中最主要的是电缆内和电缆外的相对速率，也即电缆内外的介电常数，由于电缆外的速率基本是恒定的，主要取决于电缆内的介电常数。

这里也可以这样理解，电磁波在电缆内外的介质中传播速度越快，越容易辐射。所以外导体结构材料相同，而绝缘的等效介电常数不同，其传播速率也不同，反映出屏蔽衰减理应不同。因此金属管外导体的同轴电缆其屏蔽衰减也应受其中绝缘等效介电常数的制约。例如我们曾测试一根皱纹铜管外导体 75Ω 电缆，按一般理解这种电缆的屏蔽衰减理应很高，然而测试结果却为 60~80dB。这是由于绝缘的 ϵ_e 为 1.15 左右，理论上要比 ϵ_e 为 2.3（实芯聚乙烯绝缘）的相同外导体材料和结构的电缆屏蔽衰减下降 17dB。这样对实测结果就容易理解了。所以即便是铝管外导体电缆（绝缘的 ϵ_e 为 1.15 左右）的屏蔽衰减能否在分米波段都达到 80dB 以上这还要通过实验验证。

（2）实验验证

以下从 SYV-75-5、SYKV-75-5、SYWV-75-5 几种不同 ϵ_e 而外导体均为铝塑复合带/镀锡铜丝编织的电缆，测得的屏蔽衰减加以验证，结果如表 5 所示。

实测中由于影响屏蔽衰减的因素很多，除 4# 搭接偏小，造成 a_s 明显偏小外，其测试结果证实了随着 ϵ_e 下降，屏蔽衰减也随之下落的趋势，与上述计算举例中不同 ϵ_e 的屏蔽衰减下降趋势是一致的。

表 5 不同 ϵ_e 对电缆屏蔽衰减的影响

试样号及型号	ϵ_e	外导体状况				50MHz 时屏蔽衰减	
		编织	搭接宽度 mm	节距 mm	编织密度 %	实测	相差
1#SYV-75-5	2.3	2×24×0.15	5	32.5	45.1	74.5	0
2#SYKV-75-5	1.71	4×16×0.12	6	20.0	51.1	66.3	8.2
3#SYKV-75-5	1.60	3×16×0.12	4	22.5	40	62.0	12.5
4#SYWV-75-5	1.53	3×16×0.15	2	34.0	42	57.6	16.9

(3) 物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆屏蔽衰减的实例

列举的实例仅指铝塑复合带 / 编织外导体, 详见表 6。

表 6 物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆的屏蔽衰减

试样号及规格	ϵ_e	外导体状况				屏蔽衰减 a_s (dB)					
		编织	搭接宽度 mm	节距 mm	编织密度 %	频率 (MHz)					
						50	100	200	500	800	1000
1#75-5	1.53	1×16×0.15	2.0	34.0	42.0	57.6	64.6	71.6	71.1	70.5	70.5
2#75-5	1.60	4×16×0.12	0.5-1.0	49.2	43.6	60.2	66.7	75.2	79.4	78.9	78.9
3#75-7	1.35	3×24×0.155	0.5-1.0	44.0	45.3	54.8	62.2	68.0	72.7	69.6	64.2
4#75-7	1.35	4×16×0.10	1.0	32.6	32.1	55.0	62.2	62.7	73.2	82.3	89.1
5#75-9	1.35	4×24×0.16	4.0	45.8	50.7	57.3	64.7	71.0	79.8	88.1	87.5
6#75-9	1.32	4×24×0.125	1.5	50.5	41.5	55.9	63.9	69.1	73.6	75.3	76.0
7#75-12	1.35	4×24×0.15	1.0	53.3	41.5	54.5	62.7	66.7	71.6	81.2	77.1

尽管影响这种电缆屏蔽衰减的因素很多, 从表 6 中可看出, 50MHz 时的屏蔽衰减 a_s 基本上达不到 60dB 的最低值, 200MHz 实测值也难以确保达到 70dB 的最低值。由于 ϵ_e 从 1.5~1.6 降低至 1.3~1.5, 50MHz 时的屏蔽衰减 a_s 均在 55~58dB 左右, 即使注意使铝塑复合带的搭接宽度增加到 4~5mm, 还是不能确保 50MHz 时达到 60dB 以上, 从理论计算结果看出, 由于 ϵ_e 的降低而带来屏蔽衰减 a_s 的下降值约为 5dB 左右。必须采取措施使 50MHz 这一点的屏蔽衰减提高 6~8dB。这 6~8dB 相当于 SYV-50-7-1 与 SYV-50-7-2 电缆即单层与双层编织 (编织密度均在 90% 以上) 电缆屏蔽衰减的相差值。因此, 必须充分认识到物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆衰减常数降低这一优点的同时, 由于 ϵ_e 的降低对屏蔽衰减所带来的负面影响。

3.4 编织密度的影响

关于编织密度的影响在“纵孔聚乙烯绝缘同轴电缆的屏蔽衰减”一文中已说得很清楚。

即铝塑复合带搭接宽度目前通用的为 1~2mm 时, 编织密度在 33~66% 范围内, 屏蔽衰减差别不大。当然编织密度过低不仅影响衰减常数, 还对屏蔽衰减有影响。当编织密度提高到 80% 以上, 虽然搭接宽度很小, 屏蔽衰减仍可达到相当高的水平。从这里可以清楚地看到, 要提高这种电缆的屏蔽衰减的关键并不在于适当提高编织密度, 而应采取综合采取其它措施来解决。

以 75-5 电缆为例, 当与其它措施配合采用 3×16×0.12mm 时, 编织密度达到 40% 左右就可以获得较满意的结果。然而至今相当多的电缆用户仍要求制造厂提供 4×16×0.12mm 的电缆, 认为这样能提高电缆的屏蔽衰减。这实际上是陷入了一种想当然的误区。如果其它工艺参数不变, 编织线从 3 股改成 4 股, 编织密度仅从 40% 提高到 50%, 对屏蔽衰减不会有多大影响。况且 3 股改成 4 股并未规定节距, 怎能保证编织密度有所提高呢? 为了迎合用户的要求, 有的工厂甚至将 3 股改成 4 股, 但线径从 0.12mm 改成 0.10mm, 这不是更荒唐吗! 因此电缆的用户和生产厂应该尊重科学, 根据本文提出的几点综合措施全盘考虑。生产厂在增加铝基厚度(可用双铝一塑复合带)和加大搭接宽度(不少于 5mm)上下功夫, 再加其它措施配合就能使电缆在 150~200MHz 以下频率的屏蔽衰减有较大提高。实验和计算说明通过以上措施达到的效果, 如果单从提高编织密度出发要从 3 股改成 7 股线才能达到。其材料成本增加的幅度可想而知的。

3.5 纵包铝塑复合带搭接宽度的影响

以 75-5 电缆为例, 搭接宽度是影响这类电缆屏蔽衰减诸因素中的首要因素, 从大量测试结果看, 当外导体的编织密度在 35~47% 之间, 绝缘的 ϵ_e 在 1.59~1.63 之间。不同的实际搭接宽度的屏蔽衰减变化较大。特别从 50MHz 时的屏蔽衰减可看出加大搭接宽度的明显效果, 详见表 7。

表 7 搭接宽度对屏蔽衰减的影响

试样号及规格	ϵ_e	外导体状况			屏蔽衰减 a_s (dB)					
		编织	搭接宽度 mm	编织密度 %	频率 (MHz)					
					50	100	200	500	800	1000
1# 75-5	1.61	4×16×0.12	6.0	47.2	89.2	78.8	83.4	90.8	94.1	94.4
2# 75-5	1.59	3×16×0.12	4.0	40.0	62.1	69.5	76.0	81.4	87.4	88.4
3# 75-5	1.595	3×16×0.12	3.0	35.3	59.9	68.6	73.7	78.2	82.7	83.8
4# 75-5	1.60	3×16×0.12	2.5	36.3	58.3	66.0	71.9	76.8	87.8	83.9
5# 75-5	1.63	3×16×0.12	1.5	36.6	58.5	67.3	74.0	75.9	83.0	73.9
6# 75-5	1.62	3×16×0.12	0.5	34.9	57.2	64.1	68.2	65.8	66.7	66.8

从表 7 可知, 介电常数 ϵ_e 的影响可基本排除, 搭接宽度 ≥ 5 mm 时, 其 50MHz 时的屏蔽衰减要比搭接宽度 0.5~2.0mm 时提高 5~10dB, 这 6~8dB 要相当于双层编织和单层编织(编织密度 90% 以上) SYV-50-7 同轴电缆的屏蔽衰减差值。从这里可明显看出铝塑复合

带 / 编织外导体这种结构外导体的电缆，为了提高 50MHz 的屏蔽衰减，增加铝塑复合带的搭接宽度要比提高编织密度效果好得多，是既经济又实用的方法，希望制造厂及电缆的用户能重视这一点。

3.6 铝塑复合带的质量及纵包工艺的影响

铝塑复合带的质量及纵包工艺对屏蔽衰减的影响见表 8。

表 8 铝塑复合带的质量及纵包工艺不当对屏蔽衰减的影响

试样号及规格	ϵ_e	外导体状况			屏蔽衰减 a_s dB					
		编织	搭接宽度 mm	编织密度 %	频率 MHz					
					50	100	200	500	800	1000
1# SYV-75-5	2.34	3×24×0.15	4.5	60.0	63.6	65.7	66.2	53.1	59.2	64.8
2# SYKV-75-5	1.63	3×16×0.12	2.0, 双面铝	36.9	78.5	88.6	83.9	77.4	84.2	81.4
3# SYKV-75-5	1.63	3×16×0.12	双面铝, 个别处刚 搭接	36.9	76.2	90.4	84.5	78.6	76.0	74.3
4# SYKV-75-5	1.63	3×16×0.12	双面铝, 约 200mm 空白区	36.9	55.6	54.2	46.4	36.2	35.5	40.0
5# SYWY-75-7	1.36	4×16×0.10	1mm, 反折 1mm	32.1	55.0	62.2	62.6	73.2	85.3	89.1
6# SYWY-75-7	1.36	4×16×0.10	一头反向折皱约 1mm	33.5	13.2	29.7	42.2	38.7	50.9	52.8

(1) 铝塑复合带的质量对屏蔽衰减的影响

从 1# 试样讲，其外导体也是铝塑复合带 / 编织结构， $\epsilon_e=2.34$ ，搭接 4.5mm，编织密度 60%，应该说各种参数均达到很好配合，按理其屏蔽衰减应该不低，经解剖，发现铝箔与塑料带基粘合不好，稍用力即可撕开，有明显横向不规则裂纹，形成泄漏通道。

铝塑复合箔膜质量主要受胶合剂的质量及制造工艺的影响，铝塑复合箔膜质量的简易判断方法如下：

1. 用力拉伸箔膜，然后对着光亮处用眼看箔膜，质量好的箔膜没有可见孔隙或裂纹；
2. 用手搓揉箔膜，然后对着光亮处用眼看箔膜，质量好的箔膜没有可见孔隙或裂纹。

(2) 纵包工艺不当对屏蔽衰减的影响

2#、3#、4# 试样实际上是从同一电缆段取下的三根试样，2# 试样工艺正常，显示了双面铝塑复合带使用后对提高低频端屏蔽衰减的明显效果。3# 试样则在个别区域未形成完好搭接，铝塑复合带的两边相碰拱起，形成泄漏点，反映在 500MHz 以上频率范围的 a_s 有所下降。4# 试样中有近 200mm 长铝塑复合带未在圆周方向上包覆绝缘，形成菱形空白区，中间最宽处接近绝缘圆周的一半，形成强烈的泄漏区，所有测试频率在处于近端的该泄漏区出现最大泄漏电平，而在其它点及远端也测到很大泄漏电平，以致 100MHz 以上的屏蔽衰减为 35~46dB，分析其原因估计是停机后重新开机时未用手帮助形成封闭的圆筒搭接所致。

5#、6#实际上也是从同一电缆段上取下的两根试样，本来该电缆正常时搭接宽度达5mm左右，由于纵包工艺不当，造成铝塑复合带在某处开始反向折皱，形成空白区。6#试样露出较大范围的空白区，致使泄漏严重，屏蔽衰减大为降低。

以上举例说明在铝塑复合带纵包时，一要选择质量好的铝塑复合带，二是要确保编织工艺的质量，避免形成空白泄漏区，或反向折皱造成泄漏。

3.7 改进建议

我国物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆除75-9、75-12用铝管外导体外，75-5、-7、-9与纵孔聚乙烯绝缘同轴电缆一样，其外导体结构和材料近期不可能有根本改革，再加上物理发泡聚乙烯绝缘的介电常数下降对50~150MHz频率下本来就不高的屏蔽衰减更是雪上加霜，必须更下工夫。依据大量的测试验证和上述分析，提出下列改进建议：

(1) 最经济有效的办法是加大铝塑复合带的搭接宽度，以弥补搭接处外导体不直接接触造成的搭接间隙的影响。由于铝塑复合带纵包后，铝层并未形成密封的导体，搭接宽度一般为1~2mm，仍会引起泄漏，再考虑到测量屏蔽衰减时，先要进行弯曲试验，因此，实际搭接应不小于5mm，两者在50~200MHz低频段相差6~8dB。搭接宽度的增加造成成本提高小于1%，工厂能够自行消化。

(2) 应加大铝基厚度，从与透入深度之比看，至少应增至0.022mm。双铝一塑的铝塑复合带的应用已收到明显的效果。既增加了铝基厚度，又使搭接处铝基直接接触，形成密封的导电管道，减少了泄漏。

(3) 铝塑复合带的质量：应是经纵包的最终成品的各道工序弯曲后，从成品上对铝塑复合带取样，对着光看，无肉眼可见的横向不规则裂纹或细孔。目前一般均采用纵向定向塑料基带，希望横向也有一定的强度，粘合质量要好。

(4) 编织密度：满足上述搭接宽度条件下，一般取40%即可，这样可兼顾衰减常数和屏蔽衰减。

(5) 铝塑复合带纵包工艺的质量应确保。由于加大宽度，一般导向头最好做成过渡形（一般为金属管），且应尽可能靠近编织网形成处，喇叭口也应适当调整，使铝塑复合带处于良好搭接时就被编紧，这在重新开机时很重要，避免带子中间折皱或一边反向翻折，形成空白，减小实际搭接宽度，会使500MHz以上频率范围的屏蔽衰减降至40~50dB。

(6) 应提高电缆的敷设质量，避免在小孔或狭缝中强行拖拉，使铝层出现不规则的横向裂纹而引起泄漏，同时会使500MHz以上频率范围的屏蔽衰减减少到约50dB。所以施工不当也会使原来屏蔽衰减符合要求的产品泄漏大大增加，这一点作为有线电视系统的设计施工单位一定要向施工人员提出严格的施工要求。

(7) 必须充分认识到物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆衰减常数降低这一优点的同时，由于 ϵ_e 的降低对屏蔽衰减所带来的负面影响。因此，不要盲目追求提高发泡度来降低衰减常数，满足衰减常数并适当留有余地即可，应在衰减常数和屏蔽衰减（包括回波损耗）之间寻

求折中。

附录： CATV 电缆回波损耗和屏蔽衰减测量中的注意事项

1. 回波损耗测量中应注意事项

除满足测试方法中对测量器件的需求及遵循有关测量程序外，还应注意以下几点：

(1) 电缆连接器、阻抗转换器、驻波电桥和匹配负载等器件的正确连接。应区分 75Ω 和 50Ω 两种器件，因其外径及连接螺纹相同，容易混淆。应避免将 75Ω 阳头与 50Ω 阴头连接，这样虽不会损坏连接器，但电路不连续无法测量；更应避免将 50Ω 阳头与 75Ω 阴头连接，这样虽然电路连续，但阻抗不匹配，还会损坏 75Ω 阴头的插孔，影响器件性能及最终测试结果。

(2) 阻抗转换器、匹配负载、驻波电桥及测量探头对其频率响应性能要求很高，均应小心轻放，妥善保管，应避免从高处跌落，以免影响其性能及最终测试结果。

(3) 各器件连接时，应注意连接转动时的手法，在转动活动件时只允许插针和插孔的直线运动。如果转动手法不正确，会引起插针和插孔在直线运动的同时会有圆周摩擦运动，很可能使内部零件松动而无法正常使用。

(4) 电缆连接器装好后，应仔细检查插针是否位于正中，必要时设法校正插针根部，避免损坏待连接的插孔。

(5) 目前连接器、转接器分公制(例如 L16 型)和英制(N 型)两种，虽然外型螺纹尺寸相近，实际上 N 型的螺纹直径稍小于 L16，使用时尽可能避免 N 型与 L16 型混用，否则连接不可靠而造成测试失准。进口仪器及高档国产标量网络分析仪均使用 N 型连接器，国产一般扫频仪目前仍使用 L16 型连接器。

以上 5 点要求也同样适用衰减、特性阻抗等有关测试。

(6) 使用网络分析仪时应注意连接射频输出端电缆(或称测试电缆)本身的回波损耗对测试结果的影响。对标量网络分析仪仅涉及射频输出端的一根电缆，而对双端口的矢量网络分析仪则牵涉到两根输出电缆。

在测试频率范围内，一般要求输出电缆的回波损耗 $L_{RC} \geq 26\text{dB}$ 。当 L_{RC} 为 20dB 时，对电缆试样的 UHF 频段的回波损耗测试结果有明显影响，有可能使原结果合格变成不合格。所以如产品的 L_R 接近 $25 \sim 30\text{dB}$ 时，要求射频输出端的连接电缆的 L_{RC} 应适当提高，例如进口矢量网络分析仪配用的输出电缆要求 $L_{RC} \geq 31\text{dB}$ ($f \leq 3\text{GHz}$)，同时还对其相位有要求。

(7) 测量点数对回波损耗测量结果的影响。

关键在于所测波形中回波损耗最小峰值曲线的陡度的影响，实际上反映了电缆阻抗不均匀的特性。如果陡度不是很大时测量点数的影响不太明显，同一电缆的 201 点与 1601 点的回波损耗测试误差在 $1 \sim 1.5\text{dB}$ ，如果波形陡度很大，则误差可能达 $2 \sim 3\text{dB}$ 甚至更大。模拟仪器当扫频宽度调至展宽到波形幅度不再增大时，其结果与数字仪器 1601 点测试结果相当。

不同仪器的测试结果总有些差别。

当测量大长度电缆的回波损耗时，由于沿电缆长度方向上的反射随机地（矢量）迭加，回波损耗曲线呈现为有很多尖锐的反射峰，其宽度很窄，即波形很陡。如取样点数不够多，反射峰被遗漏的概率较大，造成结果偏好的假象。增加测量点数可将回波的峰值真正捕捉到。从而达到提高测量长电缆回波损耗精度的目的。除了要满足 IEC 61196-1-100 《电性能试验方法—总要求》中规定：“除非另有规定，每十倍频间隔的最小频率点数应为 200。”此外，还要根据回波损耗测量方法的要求，选取合适的频率间隔和点数。

2. 屏蔽衰减测量中的注意事项（摘自 IEC 62153-4-5:2006 “金属通信电缆试验方法—第 4-5 部分：电磁兼容（EMC）—耦合衰减或屏蔽衰减—吸收钳法”）

(1) 吸收钳法适用于确定频率范围为 30MHz~1000MHz 的同轴通信电缆的或屏蔽衰减（或耦合衰减）。由于吸收钳法不确定的的外电路，在不同地方或实验室得到的试验结果至少会变化 $\pm 6\text{dB}$ 。

(2) 试验装置应有的背景噪声，至少优于装置（即试样）报告所需的辐射值 6dB。这意味着，例如，当考虑一般吸收钳和平衡不平衡转换器（如适用）的满衰减范围，具有至少 115dB 设备动态范围的试验，对测量最高约 90dB 耦合衰减或屏蔽衰减是必须的。任何设备的精度应优于 $\pm 1\text{dB}$ 。

(3) 测量装置能采用矢量网络分析仪来实现，或采用分列的发生器和选频测量接收机实现。

(4) 应将一垂直的金属板（其高和宽至少应为 800 毫米）直接置于发生器前面。该板应有能穿过被测电缆的中心孔。

(5) 试样的有效长度受吸收钳和铁氧体管所限，该长度应是 $600\text{cm}\pm 10\text{cm}$ 。

(6) 电缆应用其额定特性阻抗端接。终端负载（包括阻抗转换器）应良好屏蔽，这样不会使试验结果失真。

(7) 测量装置应进行校正，两吸收钳的插入损耗应保证抑制由吸收钳后的电缆产生的反射波。因此该插入损耗值必须大于 10dB。如果在低频（低于 100MHz）不能满足要求（注：插入损耗 $\geq 10\text{dB}$ ），在这些频率的结果应被满足要求的较高频率下得到的结果所代替。应采用水平直线进行外推。

(8) 良好屏蔽的测试引线（即至少是双层屏蔽），将用于连接网络分析仪或信号发生器到平衡不平衡转换器（如适用）或被测电缆。

(9) 位于非金属桌子上的吸收器离桌子边缘最大距离为 50mm。吸收钳和吸收器（注：这里通常指另一只吸收钳中的吸收器）间的距离应为 $600\text{cm}\pm 10\text{cm}$ 。

(10) **我们认为：在采取良好屏蔽措施前提下，采用吸收钳法并用矢量网络分析仪测量 75Ω 同轴电缆时可测最大屏蔽衰减：约为 85 dB**
测量 50Ω 同轴电缆时可测最大屏蔽衰减：约为 90 dB。

参考文献

- 1 方建成. 纵孔聚乙烯绝缘同轴电缆的屏蔽衰减. 传输线技术, 1992 (5): 24~28
- 2 方建成, 朱荣华. 物理发泡聚乙烯绝缘同轴电缆的屏蔽衰减. '95 国际有线电视技术研讨会论文集, 1995, 188~198
- 3 方建成. CATV 同轴电缆回波损耗测量及某些波形的分析. 光纤与电缆及其应用技术, 1998, (6): 23-27、1999, (1): 33-37。
- 4 IEC 46A(sec)113. Draft—Specification for surface transfer Impedance limits for flexible R.F.Cable.1987.21~7
- 5 IEC/SC 46A (C.O) 159.7.4 Screening Attenuation: Absorbing clam method.1991.251~271