射频同轴电缆选择指南

上海图越电子有限公司

对一项新的应用来说，选择最适合的同轴电缆需要了解这项应用，并且了解可选择的电缆种类。在为应用选择最合适的同轴电缆的过程中，下列的电缆特性需要被考虑。接下来的章节就详细地讨论了下列每种特性。

A：VSWR 和阻抗一致性

B：衰减

衰减一致性

衰减稳定性

C：额定功率

D：屏蔽性

E：截止频率

F：工作温度范围

G：柔韧性

H：电长度稳定性

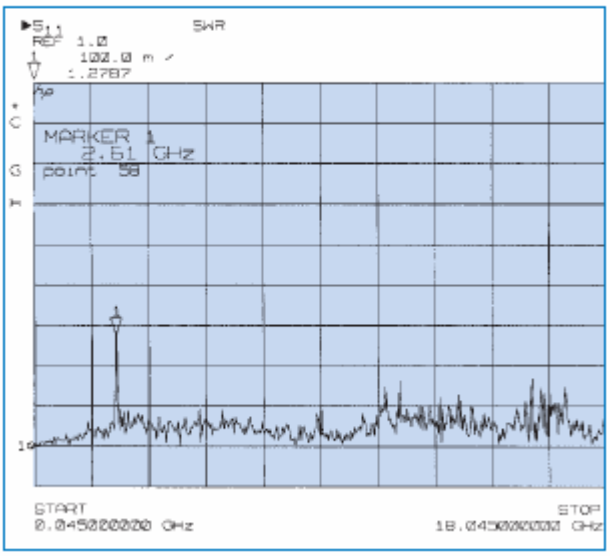
I：互调

J：环境适应性

A：信号反射：VSWR 和阻抗一致性

当射频信号输入到同轴电缆组件中时，有三种情况发生：（1）信号被传输到电缆的另一端，正如期望的那样；（2）信号沿着电缆传播时，被转换成热量或从电缆中泄露出去，以这两种形式损失掉；（3）朝着电缆输入的一端反射回来。信号沿着电缆输入的方向反射回来，这是由于沿着电缆长度方向上阻抗的变化引起的。这些变化就包括电缆和其相连的设备阻抗的不同。通常连接器和连接器与电缆的接口是反射的主要因素。另外，电缆本身也可引起反射，电缆反射的一种来源就是来自阻抗周期性的变化。而这种变化是在生产过程中，被加到一个特定的频率上时所产生的。当用一组频率扫描并观察，就会出现一个尖峰。图 1 就显示了一个尖峰的例子。

Fig. 1
VSWR vs. Frequency



反射的大小可以用几种方式表示。可能最熟悉的就是 VSWR 了。反射也可表示成回损，就是反射功率与入射功率的比。通常用 dB 表示。

低反射功率或低电压驻波比通常作为同轴部件的指标，包括电缆，连接器，和电缆组件。它表明了电缆的一致性沿着其长度保持得有多好，连接器是否恰当的被设计和被装接；也反映了连接器的尺寸和电缆线径过渡段的匹配有多好。它通常是频率的函数，当频率增大时，反射也增加。

在很多应用方面，低反射功率对于实现好的系统性能是关键的因素。在这种情况下，选择电缆和连接器是关键。另外，为了得到好的结果，还必须小心地将连接器连接到电缆上。购买电缆组件的时候应该考虑 VSWR 关键的应用。

要注意，在一个特定的频率下，实际的输入阻抗可能和电缆的特性阻抗有很大不同，这是线路中存在反射引起的。一段特定长度电缆的 VSWR 是电缆实际输入阻抗与它平均特性阻抗差别大小的指针。

B．衰减

衰减是信号沿着电缆传播的损耗，当射频信号穿过电缆，一部分转变成热，一部分通过外导体泄露出去。信号损耗通常用单位长度的 dB 数表示，而且是在某一特定频率时，因为衰减随频率增加而增加。

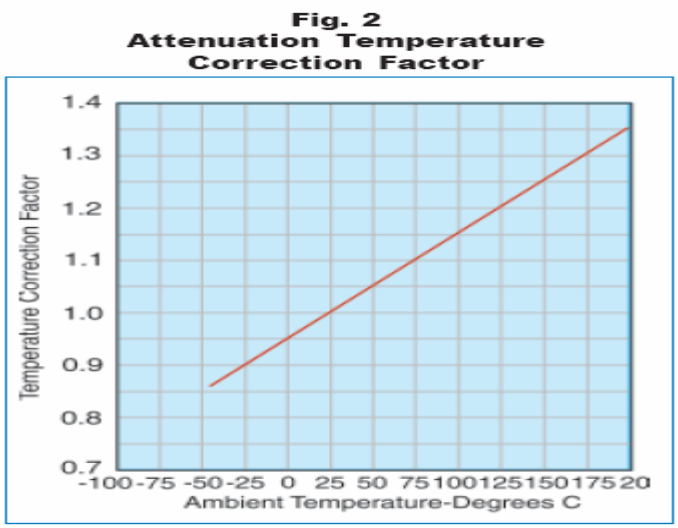
对于大多数应用来说，目的是要减少电缆中的损耗或者是在损耗预计范围内保持不变。对于同一结构类型的电缆，损耗随着直径的增加而减小，因此，欲使电缆损耗减小意味着可

以靠增加电缆的线径尺寸来达到。

衰减是由电缆的传导性和电介质损失所决定的。尺寸大的电缆的传导损失小，从而衰减少。而电介质的损耗和电缆尺寸大小无关，它随着频率呈线性增长。而导体的损耗随频率的平方根而增长。因此，当频率增加时，电介质的损耗就成了电缆总损失中比例较大的一部分。

根据周围环境的温度，衰减一定要被校准因子校正，见图 2。温度变高，导体的阻抗和电介质的功率因子增加，从而衰减增大（见图 6 关于校准因子）。

为一项特定的应用选择一种电缆结构，要确定系统需求中当频率最大时期望的衰减。确定被校正过的衰减用期望的衰减除以温度校正因子，然后选择最细的、满足表格里校正过的衰减值的电缆。对于低衰减电缆的尺寸大小，参看 S-flex 系列和Phase-Q系列的电缆。BLU102E、BLU147A、P07等电缆可以达到40GHz。BLU18A、BLU18D、P50等电缆可以达到18GHz。在低频段同样是适用的，比如BLU18A在18GHz时每米的插损约1.06dB，其在 1GHz 时的插损仅为 0.26dB，满足了低损耗的使用要求。

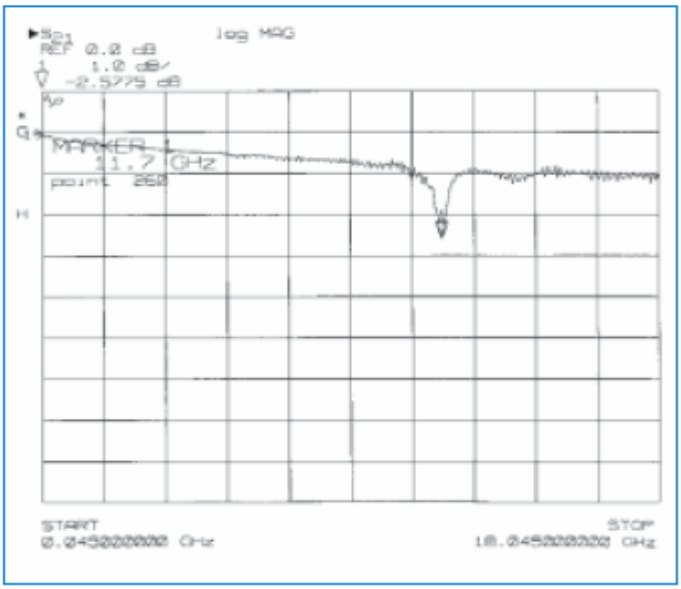


衰减的一致性（Attenuation Uniformity）

任何电缆的衰减都不一定随着频率改变而一致性地发生变化。随机性和周期性的阻抗变化带来了随机和周期性的衰减响应，象图 3 显示的窄带衰减尖峰是可能发生的。如果需要，电缆可以做成各种长度。此时，非正常的最大的衰减变化就可以被排除在客户需要的频率范围之外。通常，在长电缆的制作中要考虑到产生这种尖峰衰减的可能性。

衰减的稳定性

Fig. 3
Attenuation vs. Frequency



编织电缆的衰减随着时间和弯曲的增加而增加。随时间的改变可能是编织屏蔽层的受腐蚀引起的，也可能是由外套塑化剂导致的基本绝缘材料的污染引起，再有可能是穿过外套的潮湿引起。而这些影响都可以通过用合适的化合物来填满编织层,当频率大于 1GHz 时，衰减降低就更明显了。裸铜和镀锡铜编织物的电缆比镀银编织物的电缆的衰减更大。这些影响如图 5 中描述。

测试电缆由于经常会对电缆有移动和弯曲的作用,而稳幅电缆就是针对这种影响而特别设计的。我司Orange,S-flex,Phase-Q等系列在 18GHz 时的幅度稳定度小于0.05dB。

Fig. 4
Attenuation vs. Flexure

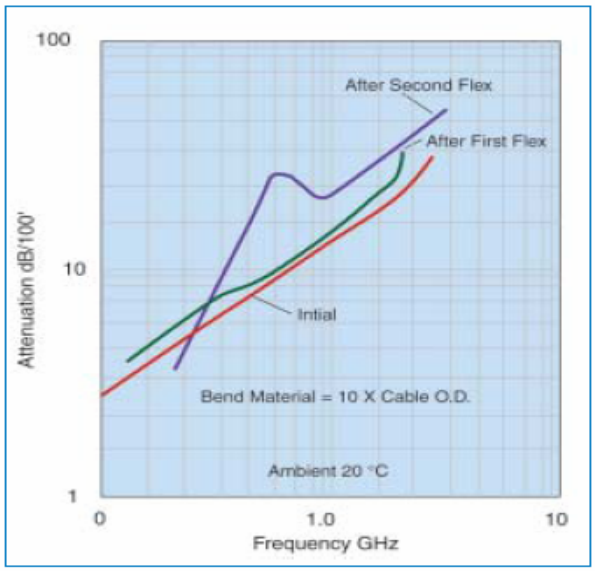
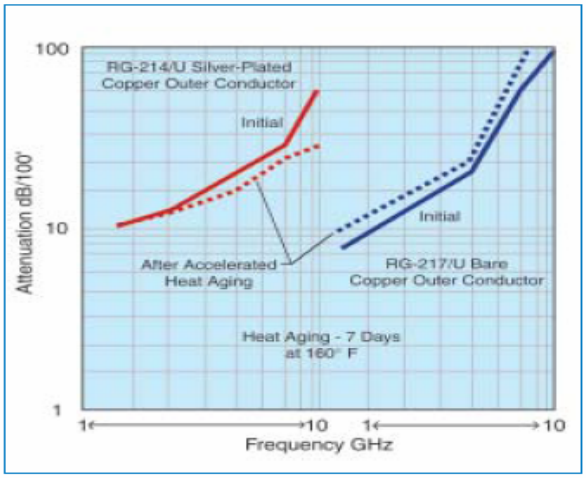


Fig. 5
Attenuation Stability



C. 平均额定功率

同轴电缆中的电损耗由内外导体，以及电介质中产生的热量所引起。而电缆的功率容量是和其散热的能力相关的。最终限制功率容限的因素是电缆中材料所允许的最大工作温度，尤其是电介质。这是因为大部分的热量是由内导体产生的。一般而言，对于给定的电缆，功率容量和衰减是成反比关系，衰减直接和其尺寸大小有关。其它因素是电缆的热转换特性，尤其是电介质。

在特殊应用时，电缆额定功率一定要通过校准因子降额，考虑到周围温度、高度、VSWR 等因素。高温和高海拔是因为通过妨碍热量从电缆中传导出去而降低了额定功率；VSWR 是使电缆中的发热点积聚来降低额定功率。

为特定的需求选择电缆结构时，先确定系统在最高频率时的平均输入功率，然后再确定有效平均功率。

$$P_0 = P_1 * Cor_1 / Cor_2 * Cor_3$$

其中P_0是有效功率，P_1是平均功率，Cor_1是VSWR校正因子，Cor_2是温度校正因子，Cor_3是高度校正因子。

温度和高度校准如图 6 和图 7 中所示。

Fig. 6
Power Temperature Correction Factor

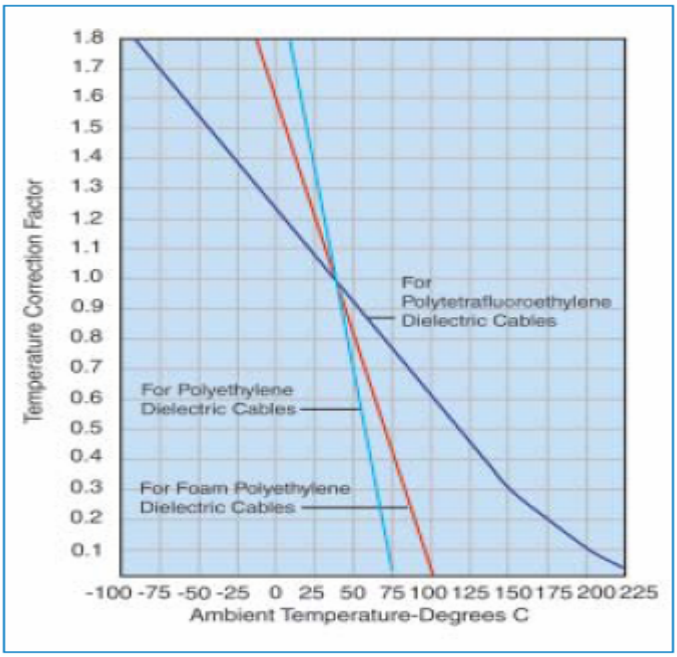
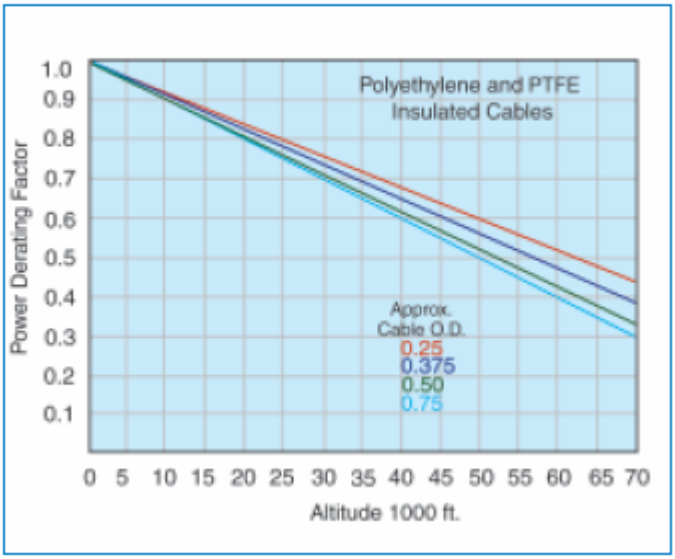


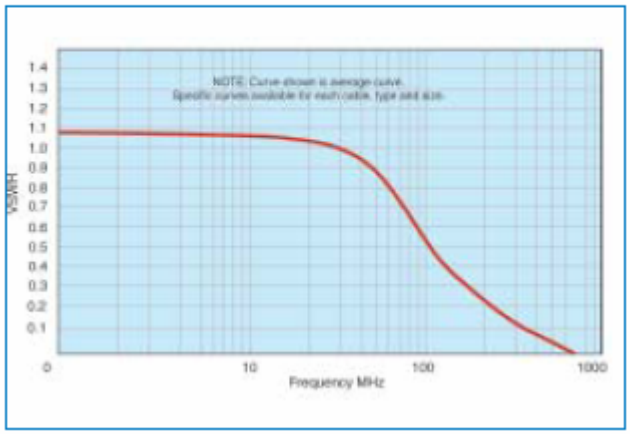
Fig. 7
Power Altitude Correction Factor



VSWR校正因子Cor_1=1/2(VSWR+1/VSWR)+1/2 k 1（VSWR-1/VSWR）

K 如图 8 中所示。在此有效功率电平上，再从衰减与功率的图中选出所需电缆。

Fig. 8
Second VSWR
Correction Factor Multiplier K



D. 屏蔽和串音干扰

1.屏蔽效率取决于外导体的结构。最常见的结构有：

单编织层：由裸铜或镀锡铜或镀银铜（70%-90%覆盖）

双编织层:由两个单编织层组成，中间没有绝缘层

三编织层：由两个单编织层组成，中间有绝缘层

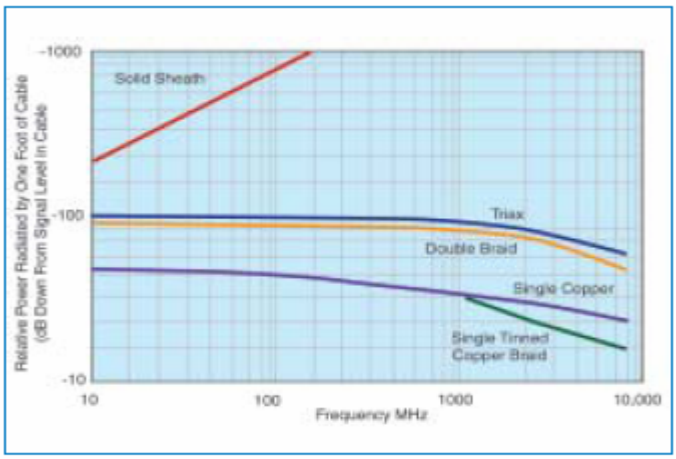
带状编织:由拉长的剥皮的铜线而不是圆状的导线组成（90%覆盖）。

剥皮的外导体/螺旋平伸剥皮：表现为 100%覆盖

固态外套：由铝或铜管组成（100%覆盖）

2. 在图 9 中，示出了这些结构频率范围从 10MHz 到 8GHz 时的相关屏蔽效率。这张图表显示了从每种结构的一个一英尺样品的外部屏蔽层泄漏出去的信号。基于测量数据，曲线描述了柔性电缆的性能，如三层编织，双层编织，单层编织的结构。

Fig. 9
Shielding Effectiveness



为了估计电缆中总的泄漏在 1100 英尺长度，再加上 20logL 到从表中读到的数字上。(L 是电缆长度，单位英尺）. 曲线显示了基于理论之上的半柔电缆的典型特性。而在实际中，由于连接器处的泄漏，半柔电缆的特性就被连接器的屏蔽效率限制了。

3. 两电缆间的隔离是两电缆隔离因子的和，以及两电缆之间的耦合因子引起的隔离的总和。耦合因子取决于电缆的相对间隔、位置、环境和地面的实际状况。耦合因子会本质上影响电缆间的隔离。

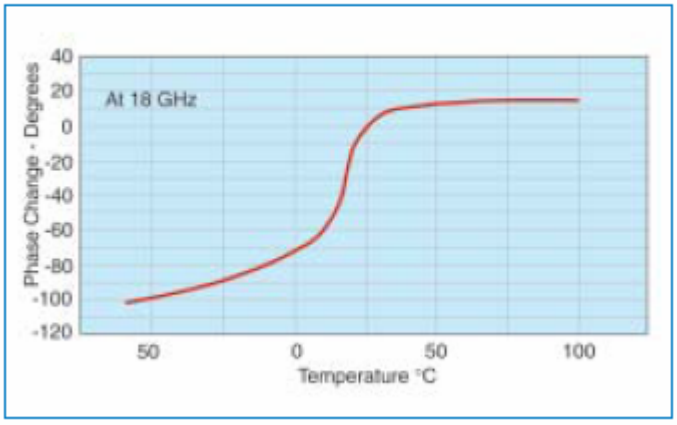
4. 测量表明在两个单编织长 20 英尺电缆间的射频（1-30MHz）隔离大约在 80db 以下。电缆被并排放着，间距也是 20 英尺。

5. 我们可以提供高屏蔽性能的特殊结构电缆，如 SS 系列电缆，屏蔽性达到 110dB；半硬和半柔同轴电缆的屏蔽性也较好，达到约 100dB；一般测试电缆的屏蔽性也较好，可以达到 90dB 以上。尤其对一些高灵敏度的应用和测试场合，屏蔽性的好坏会影响使用结果。

E. 电长度稳定性

像天线馈送系统的应用可能需要许多电缆组件，这些组件被调整到特定的电长度。这些应用中，电缆长度随着温度、弯曲度、张力和其它环境因素的变化是很重要的，尤其是在相控阵系统中。随温度发生改变的电长度对于标准柔性电缆来说，在图 10 中显示出来。

Fig. 10
Phase Stability



对于聚乙烯绝缘电缆：-100 — -250 parts/ million/℃

对于 TFE 绝缘电缆：-50— -100parts/million/℃

对于标准发泡介质的半柔电缆，电长度随温度变化是-20———-30 part/million/℃

通过特殊柔性和半柔电缆的设计，通过改进电长度，可以对抗温度特性。半柔电缆有随着温度变化的电长度小到 5parts/million/℃的。

在测试系统中，电长度的改变会引入测试误差，使用中需要选择稳相电缆。我们 Orange 系列和 S-flex 系列、Phase-Q系列电缆，有良好的稳幅稳相特性，适合于中高端的测试场合。S-flex 和 Ｐｈａｓｅ－Ｑ 系列由于精密、低插损等，非常适合系统互联，如相控阵系统中。

F．截止频率

同轴电缆的截止频率是在能量传输的模而不是 TEM 模中产生的。这并不是说 TEM 模衰减很大。这个频率是导体平均直径和电缆传播速度的函数。较高的模只在阻抗不连续时产生，并且在很多情况中电缆可以工作在截止频率之上，而没有本质上的 VSWR 或插入损耗增加。但是，这里还是建议不要使用大于截止频率的电缆。

我司能提供高达 65GHz 的高频测试和低损耗电缆或电缆组件。

G. 工作温度范围

柔性电缆工作范围主要由电介质和外套材料的温度工作范围决定。注意只有镀银的导体才适合长期工作在 80℃以上的环境中。

H．柔韧性

采用绞合线中心导体和编织外导体的同轴电缆用于要重复弯曲的场合。绞合线中心导体的电缆相对于单根内导体表现出更高衰减。一般而言，绞合线的数量越多，电缆的柔韧性就越好，衰减也越大。

铝管或铜管做的外导体的同轴电缆，一般用做半柔或半刚电缆，将受不住超过 10 个 180° 弯， 其弯曲半径为电缆直径 20 倍的弯曲。半柔电缆通常被绕在半径是电缆外径的 20 倍的卷轴上运输。半柔电缆可以在现场安装时弯曲，建议最小的弯曲半径等于电缆外径的 10 倍。电缆弯曲是电缆外径的 5 倍时，可能产生机械特性和电气性能的下降。

I．互调

现在有许多的系统需要互调指标，比如无源互调测试，对电缆的指标要求非常高。如用在通信上的 IMD 测试电缆指标如下：

Return Loss: >24dB@DC-2.2GHz

IM3: <-165dBc@1.8GHz,

这就要求电缆和接头，甚至连接方式都要考虑 IM3 的影响。

J. 环境适应性

同轴电缆的特性取决于很多因素，而紫外线的照射、高潮湿、电化反应、海水和蒸汽的

腐蚀是电缆损坏的主要原因。另为，抗火花性也要考虑。

下面的指导运用：

a：阳光：对于低温电缆来说，它曝露在阳光下，高分子重量的聚乙烯，有特定碳棒黑色粒子大小，重量和粒子分布,建议作最大的寿命期望。乙烯聚合物的氯化物外套比恰当化合的聚乙烯的寿命期限少了 1/2。

b.潮湿或水蒸气：能进入柔性电缆，它可通过外套上的针孔、连接器或以蒸汽形式穿过外套。所有材料都表现出有限的蒸汽传输速率。举个例子，10 英尺长的并有聚合物的外套的电缆，表现出大约为 10^{-4} cc/sec/ft的氦泄露速率。甚至最小可渗透的热塑品，比如FEP，都不提供重要的改善。在航空应用上，有限蒸汽传输速率和极端高温的结合引起了电缆的凝聚。潮湿也可发生在较低的地方，会引起腐蚀或连接器的短路。一种阻止潮湿积聚的办法是把所有空隙都用防潮化合物填充，且电缆不会随着时间老化。

c.海水浸泡：如果导体置于海水中电缆的电特性会迅速受到影响。除非浸泡测试在外套上进行，否则就很有可能每 1000 英寸就有一个针孔。即使足够的测试可以执行，安装时的损坏或者侵蚀的破坏仍会引起泄露。此时，推荐使用紧压力、没有软管的、能抵抗住一定深度压力的电缆。

d.蒸汽腐蚀：锡和银涂层的使用的确对抗蒸汽腐蚀起到了保护作用。但是这种保护是短暂的。如果电缆要安装在靠近海水或化学工厂附近的话，推荐使用填充的电缆。

e.地下埋设&电化行为：地下潮湿开始和任何金属接触时，都会立刻引起腐蚀。铝管制的外导体在 90 天内就可以几乎完全损坏。因此，任何安装在地下的电缆都应该带有无针孔的外套。既然会发生安装技术和侵蚀而引起外套的损坏，用化合物填充的电缆就应该被使用。针对侵蚀情况，为了获得最大可靠性，建议使用铠甲的外套。

f.防火性：如果内导体在损坏前伸长 10%的话，电缆有不同的着火点针对破坏外导体的强度。必须小心对待覆铜的钢条或是合金内导体的电缆，因为只要有 1%——10%的拉长，电缆就可能损坏。特别地，导体尺寸小于 26AWG 时，在组装操作的时候，就很容易损坏。另外，特殊的合金导体也可以采用，因为它的张力可达到 110000psi 并且可拉长 10%。

参考：Times “A guide to the selection of RF coaxial cable”2007 catalog and handbook.