

研究与设计

扩频连接器及扩频方法

李明德

(中国电子科技集团公司第四十研究所,安徽 蚌埠 233010)

摘要:通过对 TNC、SMA 和 N 型射频连接器及其扩频连接器的结构分析对比,阐明了射频连接器的扩频原理和扩频方法。

关键词:扩频连接器;上限频率;扩频方法;射频连接器

中图分类号:TM503⁺.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6133(2002)04-0003-07

1 引言

随着科学技术的发展和进步,尤其是随着电子工业、通信和信息产业的高速发展,越来越需要具有较高工作频率的射频连接器。这就对射频连接器设计者提出了一个问题,能否在已有连接器的界面结构基础上,通过改进结构,不加大成本,实现频带的拓宽(扩频)呢?

国际电工委员会(IEC)于1980年发布施行的 IEC 169—17:外导体内径为 6.5mm (0.265in)、特性阻抗为 50Ω、螺纹连接的射频同轴连接器(TNC型)。到了1993年,IEC又发布实施了 IEC 60169—26:特性阻抗为 50Ω、频率范围为 0~18GHz、螺纹连接的射频同轴连接器(TNC 18GHz);同样,在美军标 MIL—STD—348A:1988《国防部界面标准 射频连接器界面》中,既给出了 TNC 系列插针和插孔接触件连接器界面,又给出了 TNCA 系列插针和插孔接触件空气界面连接器界面。这两种连接器均属 TNC 型,接口尺寸兼容,两者可互配连接,但工作频率不同,从前者的可达 11GHz 扩展到后者的可达 18GHz。IEC 标准和 MIL 标准所给出的界面结构尺寸基本相同。TNC

18GHz(TNCA)相对原 TNC 型产品是怎样实现扩频的呢?

还有,在目前各射频连接器系列中,外导体内径为 4.13mm(0.163in)、特性阻抗为 50Ω、螺纹连接的 SMA 型连接器(IEC 169—15:1979, MIL—C—39012/79~83),其连接螺纹为 1/4—36UNS—2;继而有 IEC 60169—23:1991《接 3.5mm 硬精密同轴线、外导体内径为 3.5mm(0.137 8in)的插针和插孔连接器》,其连接螺纹也是 1/4—36UNS—2。还有 2.92mm 和 K 型射频同轴连接器,其连接螺纹也是 1/4—36UNS—2。SMA、3.5mm、2.92mm 和 K 型这些连接器,后者均可与 SMA 相互连接,接口兼容,但工作频率不同。SMA 型通常接半硬电缆时其频率可达 18GHz,3.5mm 接精密同轴线时可达 34GHz,2.92mm 和 K 型连接器接半硬电缆通常可达 40GHz,也称可用到 46GHz。这就是说,接口与 SMA 兼容的 3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器相对 SMA 来说,均实现了扩频。这些连接器是怎样实现扩频的呢?

以上射频连接器:TNC、SMA、3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器均为螺纹连接器,N 型射频连接器也是螺纹连接器,且界面为空气,该型连接器标准一般规定其工作频率为 11GHz,接半硬电缆时可达 18GHz,它是怎样实现扩频的呢?

收稿日期:2002-10-08

本文将对以上这些问题进行分析讨论。

2 扩频原理与扩频方法

对于任何射频同轴连接器,其关键尺寸是外导体的内径,当这个尺寸与内导体的直径和绝缘介质组合在一起时,就确定了该连接器的特性阻抗以及它们的上限频率(或称截止频率,或称可能的模变频率)。

当然,由于实际尺寸和结构的原因,模变不可能自动产生,但它可能通过连接器内部的不良阻抗匹配而被激励,或者起因于不适当的装配或在测试接口应用了质量不好的转接器和测试用电缆组件。

射频同轴连接器的上限频率,通常由下式计算:

$$f_c = \frac{2c_0}{\pi(D+d)\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

式中 f_c 为表示连接器的上限频率; c_0 为电磁波在真空中的传播速度; D 为外导体内径; d 为内导体外径; ϵ_r 为绝缘介质的相对介电常数。

对于空气介质,其 ϵ_r 近似为1,代入(1)式,则有:

$$f_{c\text{空}} = \frac{2c_0}{\pi(D+d)} \quad (2)$$

由(1)式可见,连接器的上限频率 f_c 与 π 、 c_0 、 D 、 d 、 ϵ_r 有关,式中 c_0 通常认为是常数, π 也是常数,这样连接器上限频率的变化取决于 D 、 d 和 ϵ_r 。即 f_c 与 $(D+d)\sqrt{\epsilon_r}$ 成反比。这就是说,当改变连接器的外导体内径 D 、内导体外径 d 和绝缘介质的相对介电常数 ϵ_r 时,将影响连接器的上限频率。

使得 f_c 增大有以下三种情况:

- ① ϵ_r 不变, $(D+d)$ 减小时;
- ② $(D+d)$ 不变, ϵ_r 减小时;
- ③ $(D+d)$ 和 ϵ_r 同时减小时。

对于空气介质, $\epsilon_r = 1$,只有当 $(D+d)$ 减小时。

射频连接器的特性阻抗由下式决定:

$$Z_0 = \frac{60 \ln \frac{D}{d}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

式中, Z_0 为射频连接器的特性阻抗; D 为外导体内径; d 为内导体外径; ϵ_r 为绝缘介质的相对介电常数。

对于空气介质:

$$Z_{0\text{空}} = 60 \ln \frac{D}{d} \quad (4)$$

(1)式与(3)式中 D 、 d 和 ϵ_r 的含义完全相同,因此,(1)式中 D 、 d 和 ϵ_r 的变化必须在符合(3)式要求的情况下变化。在特性阻抗 Z_0 保持不变的情况下, $\ln \frac{D}{d} / \sqrt{\epsilon_r}$ 为一常数,若 $\ln \frac{D}{d}$ 缩小,则 ϵ_r 亦应按比例缩小。空气介质时, D/d 是一常数,若 D 缩小,则 d 必须按比例缩小。

通常,增大 f_c 是在 Z_0 保持不变的情况下进行的。因此,使得 f_c 增大的三种情况其中①种情况应理解为: D 和 d 同向缩小,而保持 $\ln \frac{D}{d}$ 不变,②种情况不适用,③种情况应理解为 D 、 d 和 ϵ_r 按比例同向减小时。

由以上分析说明,射频连接器的上限频率是可以拓宽的,其扩频的方法是:

(1)在保持连接器的特性阻抗和绝缘介质的相对介电常数不变的情况下,缩小连接器的内外导体的直径。缩小得越小,频带就越宽。例如:外导体内径为16mm的7/16(L29)型连接器,其上限频率为8.3GHz;而外导体内径为1.0mm的1.0型射频连接器,其上限频率可达135.7GHz。

(2)在保持连接器特性阻抗不变的情况下,同时按比例缩小内、外导体的直径和绝缘介质的相对介电常数。例如:2.92mm、2.4mm和1.85mm等射频连接器,均遵循了上述设计思想。

固体绝缘介质,聚四氟乙烯(PTFE)的相对介电常数最小,IEC标准中通常按2.02计

算。气体是空气的相对介电常数最小,近似为1。降低绝缘介质的相对介电常数,就是设法改变绝缘支撑的结构与空气混合,扩大空气的占空比,达到降低相对介电常数的目的。

3 改进 TNC 系列

对于 TNC 型射频同轴连接器, IEC 60169—17; 1980 和 MIL—C—39012/26、MIL—C—39012/28 与 IEC 60169—26; 1993

和 MIL—STD—348A 第 313 部分,均给出了插孔接触件和插针接触件连接器的界面。IEC 标准与 MIL 标准的结构尺寸基本相同。MIL—C—39012/26、MIL—C—39012/28 和 IEC 60169—17 的界面结构如图 1 所示, MIL—STD—348A 第 313 部分和 IEC 60169—26 的界面结构如图 2 所示,其插合的界面结构分别如图 3 和图 4 所示。其相关尺寸列在表 1 中。

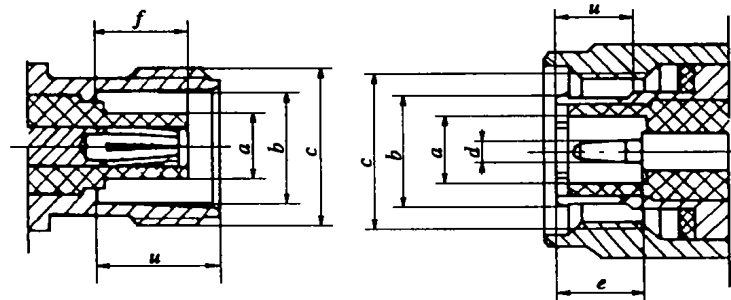


图 1 IEC 60169—17、MIL—C—39012/26 与 MIL—C—39012/28 界面结构

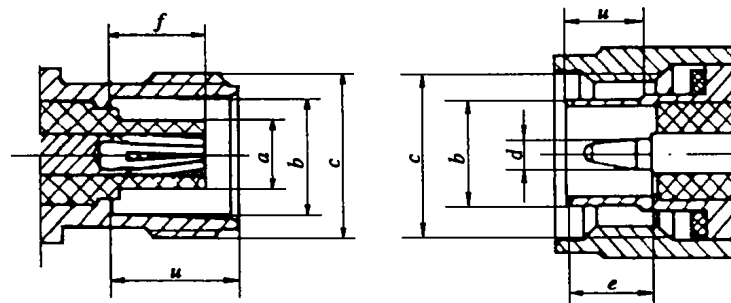


图 2 IEC 60169—26 与 MIL—STD—348A—313 界面结构

表 1 图 1 和图 2 中的结构尺寸

(mm)

界面名称		a	b	c	d	e	f	u
IEC 60169—17	插针	4.83 _{min}	(8.18)	7/16—28—UNEF—2B	1.32 ~ 1.37	5.33 ~ 5.84	—	—
TNC	插孔	4.72 _{max}	8.10 ~ 8.15	7/16—28—UNEF—2A	—	—	4.78 ~ 5.28	8.31 ~ 8.51
IEC 60169—26	插针	—	7.98 ~ 8.08	7/16—28—UNEF—2B	1.32 ~ 1.37	5.28	—	5.38
TNC 18GHz TNCA	插孔	4.12 ~ 4.72	8.10 ~ 8.15	7/16—28—UNEF—2A	—	—	5.03 ~ 5.28	8.31 ~ 8.51

从图1、图2的界面结构和尺寸看:IEC 60169—17和IEC 60169—26两标准规定的连接器的连接螺纹、插配深度,插针插配直径和插孔连接器的部分结构尺寸完全相同,因而两标准规定的连接器完全可以互配插合、相互兼容;两标准规定的界面结构主要区别在插针接触件连接器。IEC 60169—17标准规定的界面为一环状固体介质(PTFE),而IEC 60169—26界面则为空气介质。从图3和图4看得更清楚:IEC 60169—17的插合界面内、外导体间基本上为实芯固体介质(PTFE),而IEC 60169—26的插合界面内、外导体间有一环状空气介质。正因为该环状空气的存在,改变了它们的上限频率。

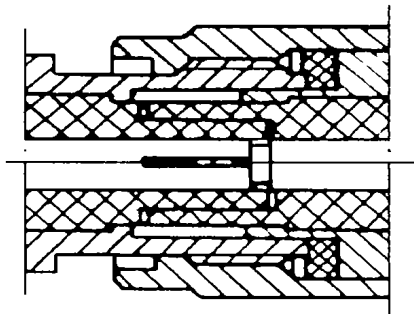


图3 IEC 60169—17 界面插合情况

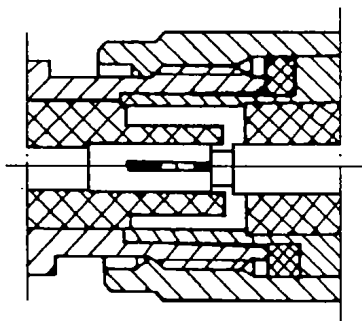


图4 IEC 60169—26 界面插合状况
由图3看,其上限频率按公式(1)计算:

$$f_c = \frac{2c_0}{\pi(D+d)\sqrt{\varepsilon_r}}$$

式中, $\varepsilon_r = 2.04$; $c_0 = 3 \times 10^{11} \text{ mm/s}$ 。

$$\text{则: } f_c = \frac{2 \times 3 \times 10^{11}}{3.1416(6.5 + 2.14)\sqrt{2.04}}$$

$$= 15.4765 (\text{GHz})$$

由图4 IEC 60169—26的插合界面结构(TNC 18GHz、TNCA)看,其上限频率为:

$$f_c = \frac{2c_0}{\pi(D+d)\sqrt{\varepsilon_r}}$$

这里的 ε_r 应为固体介质(PTFE)和空气介质组合的混合介质的等效介电常数 $\bar{\varepsilon}$,

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{r1}\bar{\varepsilon}_{r2}\ln\frac{D_2}{d}}{\varepsilon_{r2}\ln\frac{D_1}{d} + \varepsilon_{r2}\ln\frac{D_2}{D_1}} \quad (5)$$

这里根据标准规定: ε_{r1} 为固体介质, $\varepsilon_{r1} = 2.04$; ε_{r2} 为空气, $\varepsilon_{r2} = 1$ 。 $D_2 = D = 6.05 \sim 6.15$, $D_1 = 4.62 \sim 4.72$, $d = 2.24 \sim 2.34$, 取中值则: $D_2 = 6.10$, $D_1 = 4.70$, $d = 2.30$ 。

$$\begin{aligned} \text{则: } \bar{\varepsilon} &= \frac{2.041\ln\frac{6.10}{2.30}}{\ln\frac{4.70}{2.30} + 2.041\ln\frac{6.10}{4.70}} \\ &= \frac{2.04 \times 0.9754}{0.7146 + 2.04 + 0.2607} \\ &= 1.5964 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{2 \times 3 \times 10^{11}}{3.1416(6.1 + 2.30)\sqrt{1.5964}} \\ &= 17.9949 (\text{GHz}) \end{aligned}$$

由以上计算分析可见:IEC 60169—17给定的额定频率上限为11GHz,而理论上的上限频率在15GHz,IEC 60169—26的理论上的上限频率约为18GHz,可见TNC 18GHz或TNCA型与原TNC型相比,拓宽了频带。其扩频方法是:在插针接触件连接器的界面上采用空气介质。其实质是降低了该段内、外导体间绝缘介质的相对介电常数,实现了扩频。

4 拓展 SMA 家族

SMA系列射频同轴连接器,是由Bendix公司在50年代末期为配接半硬同轴电缆而设计的。它的界面空间用聚四氟乙烯介质填充,结构比较简单。虽然许多工程技

术人员常把 SMA 与频率可达 18GHz 联系起来,但是当人们应用软电缆时,电缆组件常常仅能达到 12.4GHz;当应用半硬电缆时,才标定到 18GHz。虽然连接器实际上具有 24GHz 的上限频率,但在最佳情况下,潜在的模变可能发生。

SMA 型连接器,当初设计时并没有打算长久使用,更没有作为一个精密连接器来考虑。因此,它是一个普通系统用的连接器。在当时情况下,由于它的体积小,能在较高频率下工作,很快得到了普及。可是由于它的先天性不足,也为后来发展小型射频连接器带来了一些影响。SMA 型连接器存在的主要问题是精度不高,不适合测试设备的需要;

其次是外导体的壁比较薄,内导体插孔又是两槽结构,使用中非常容易被磨损和损坏,因而可靠性差;再者是使用频率不高,不能适应工作频率达 40GHz 以上的系统的要求。

由于 SMA 存在这些不足,并具有潜在的宽带结构,为克服其缺陷,满足宽频带需要和测试用需要,一些制造厂商在 SMA 原有的结构基础上,开发了一批能与 SMA 兼容的连接器。主要型号有: 3.5mm、APC3.5、WSMA 以及 2.92mm、K 型。这些连接器克服了 SMA 的局限性。典型的结构为 3.5mm、2.92mm 和 K 型。图 5、图 6 分别是 SMA 型和 3.5mm、2.92mm、K 型连接器的界面结构图。

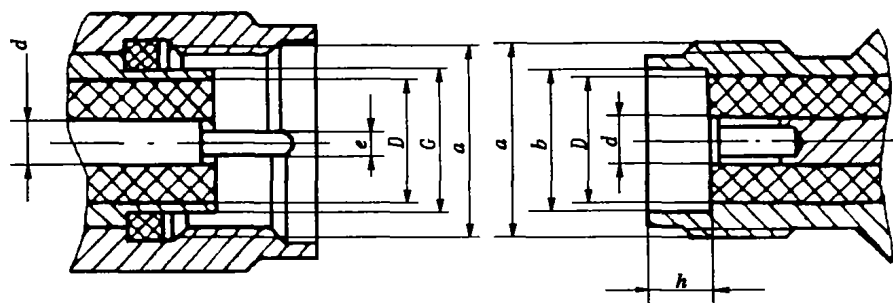


图 5 SMA 型连接器界面结构

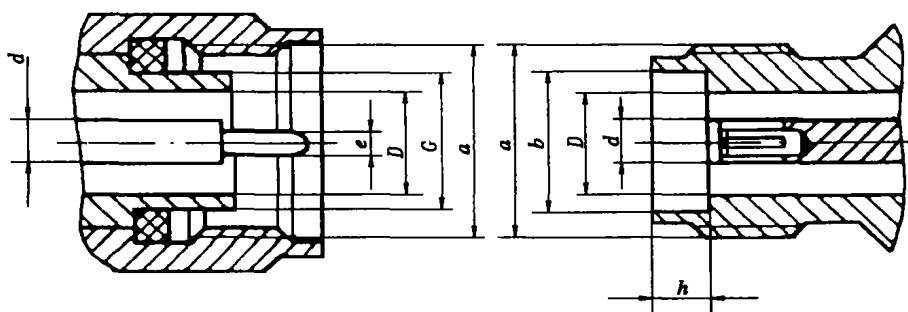


图 6 3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器界面结构

表 2 SMA、3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器界面尺寸

(mm)

型号	a	b	d	D	e	h	G
SMA	1/4—36UNS—2	4.6 ~ 4.67	1.245 ~ 1.293	4.10 ~ 4.13	0.902 ~ 0.940	1.88 ~ 1.98	4.521 ~ 4.592
3.5mm	1/4—36UNS—2	4.597 ~ 4.628	1.514 ~ 1.524	3.495 ~ 3.505	0.919 ~ 0.935	1.88 ~ 1.98	4.547 ~ 4.577
2.92mm	1/4—36UNS—2	4.62 ~ 4.65	1.25 ~ 1.28	2.93 ~ 2.97	0.91 ~ 0.93	1.88 ~ 1.98	4.57 ~ 4.59
K	1/4—36UNS—2	4.60 ~ 4.65	1.25 ~ 1.28	2.90 ~ 2.93	0.902 ~ 0.927	1.88 ~ 1.98	4.52 ~ 4.57

从以上界面结构尺寸可以看出, SMA与 3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器比较, 其相同点是:

①连接螺纹相同, 均为 1/4—36 UNS—2, 均为螺纹连接结构;

②插头部分外导体外径基本相同, 最大为 4.59mm, 小于插座端口直径 $b = 4.60\text{mm}$;

③内导体插针接触件直径基本相同;

④插座接口尺寸 b 基本相同;

⑤插座接口深度均为 1.88~1.98mm。

由这些相同点可知, 这些射频连接器可以互相插配, 相互机械兼容。

这些连接器的主要区别是:

①界面结构所用介质不同, SMA 为固体绝缘介质聚四氟乙烯 (PTFE), 而 3.5mm、2.92mm 和 K 型均为空气介质;

②外导体内径不同, 因而上限频率亦不同, 如表 3。

表 3 SMA、3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器
主要区别

型 号	SMA	3.5mm	2.92mm	K
外导体内径/mm	4.13	3.5	2.92	2.92
上限频率/Hz	24	38.8	46.5	46.5
工作频率/Hz	18	33	40	40

通过分析对比, 可以得出: 3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器均与 SMA 兼容, 可以互相插配。3.5mm、2.92mm 和 K 型连接器为 SMA 的扩频产品。其扩频方法是: 改变界面绝缘介质, 由充满聚四氟乙烯改为空气介质, 实质是将绝缘介质的相对介电常数由 2.02 降为 1; 其次是缩小外导体内径。

当外导体内径缩小后, 带来的不利因素是其内外导体之间的间隔变小, 使得耐压强

度降低, 从而传输功率也相应降低, 但驻波性能不会受影响。

5 N 型的扩频问题

在 MIL—C—39012/1~5 标准和我国行业军标 SJ 50681/1~5 中, 配接软电缆时, 其额定频率均为 0~11GHz; 而在 MIL—C—39012/129~132 和我国行业军标 SJ 50681/72~75 中, 配接半硬电缆时, 其额定频率均为 0~18GHz。奇怪的是, 两者除配接电缆有软硬之别外, 不能分辨出 N 型射频连接器在 11GHz 和 18GHz 时, 在阴性和阳性界面之间的差别。

对于 N 型射频同轴连接器, IEC 60169—16 标准规定, 特性阻抗为 50Ω 的 N 型连接器有三种型式, 各型式之间可以互相插合。通用连接器(2 级)在最高频率高达 12GHz 范围应用时, 最好与 60096 IEC 50—7 型射频电缆配用; 高性能连接器(1 级)其界面尺寸的公差介于 0 级和 2 级的尺寸公差之间, 可以用至最高频率达 18GHz; 标准试验连接器(0 级)具有一种严格控制的界面, 使用最高频率达 18GHz。该标准并给出了通用连接器和标准试验连接器的界面和尺寸。

从 2 级和 0 级界面结构和尺寸看来, 其界面结构基本相同, 表明可以互相插配, 其主要区别是:

①尺寸公差宽严不同, 2 级宽, 0 级严;

②形位公差要求不同, 2 级基本无要求, 0 级对垂直度、同轴度均有严格要求;

③绝缘支撑的轴向位置要求不同, 2 级无尺寸标示, 0 级有明确定位尺寸, 即插头与插座插合时, 两绝缘支撑之间的距离最小时 ($10 + 4.47 = 14.47$) 大于两倍的外导体内径 ($2 \times 7 = 14$)。

从上限频率公式(1)和(2)看, 固体介

质充满界面与空气介质界面,其上限频率的关系为:

$$f_{c固} = \frac{2c_0}{\pi(D+d)\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$= \frac{f_{c空}}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

即表示:固体介质充满界面的上限频率小于空气介质界面的上限频率。空气所占空间越大,其上限频率越接近 $f_{c空}$;当完全为空气时,上限频率最大为 $f_{c空}$ 。从2级和0级N型连接器界面结构看,虽都为空气介质,但空气所占空间不同,即绝缘支撑在界面结构中的轴向位置不同。这就告诉我们,界面结构中,空气占空比越大,两绝缘支撑间距离越大,支撑(在满足机械性能条件下)越薄,则认为频带就越宽。由此可见,N型射频连接器的扩频问题关键在于对其绝缘支撑的轴向位置和其结构的设计。

6 结束语

通过以上对TNC、SMA和N型射频连接器扩频连接器和扩频方法的讨论,我们可以得到以下几点启示:

(1) TNC、SMA和N型射频连接器,通过一定的扩频方法,是可以进行扩频的,并可达到满意的效果。

(2) 对于其它型号的射频连接器,应具体产品具体分析,若既具有潜在的宽频结构,又客观需要,通过一定的扩频措施,一般来讲是可以达到扩频目的的。

(3) 对于扩频连接器,其接口机械兼容,可以互相插配。当混合使用时,电气性能不一定都如扩频后那样的好。

(4) 对于在18GHz的应用,选择TNC

型是在超小型SMA型和较大的N型连接器之间一个好的折衷方法,它可以应用在中等尺寸电缆,如SYV50—2、SYV50—3、RG142、RG141和RG250等获得好的射频性能,TNC型连接器可运用在比SMA型连接器较高的功率水平,由于TNC系列比N型连接器体积小且重量轻,它们更容易安装在需要密集封装的设备上。

(5) 调整绝缘支撑在连接器中的轴向位置和设计结构,有时既可达到降低绝缘支撑的相对介电常数,又可达到扩频的目的,也是降低连接器的电压驻波比的措施之一。由于计算误差和机械加工的偏差,应用时,应结合试验来确定绝缘支撑的位置和结构。

参考文献:

- [1] Donna M L, John M. Extended Frequency Connectors. M/A-Com Omni Spectra, Inc.
- [2] MIL—STD—348A; 1988 DEPARTMENT OF DEFENSE INTERFACE STANDARD[S].
- [3] IEC 60169—16; 1982 射频连接器第16部分:外导体内径为7mm(0.276in)、特性阻抗为50Ω(75Ω)、螺纹连接的射频同轴连接器(N型)[S].
- [4] IEC 60169—17; 1980 射频连接器第17部分:外导体内径为6.5mm(0.265in)、特性阻抗为50Ω、螺纹连接的射频同轴连接器(TNC型)[S].
- [5] IEC 60169—15; 1979 射频连接器第15部分:外导体内径为4.13mm(0.163in)、特性阻抗为50Ω、螺纹连接的射频同轴连接器(SMA型)[S].
- [6] IEC 60169—26; 1993 射频连接器第26部分:特性阻抗为50Ω、频率范围为0~18GHz、螺纹连接的射频同轴连接器(TNC 18GHz型)[S].
- [7] IEC 60169—23; 1991 射频连接器第23部分:接3.5mm硬精密同轴线、外导体内径为3.5mm(0.1378in)的插针和插孔连接器[S].
- [8] WILTRON 1990 Catalog.
- [9] Rosenberger Catalog 2.