

小型同轴电缆

苏联 П. А. 伏 罗 洛 夫 著

徐 乃 英 李 侗 译

陶 作 民 校

人 民 邮 电 出 版 社



出版者說明

本書內多處引用了國際電信聯盟的組織機構國際電報電話諮詢委員會的建議、規定等。我們沒有加以刪節。但目前，國際電信聯盟及其所屬各專業機構，在美帝國主義的挾持下，非法剝奪了我國在國際電信聯盟的合法權利，繼續容納蔣介石集團殘余分子竊據中國的席位。因此該會的建議、規定等對我國是沒有任何約束力的。

譯 者 序

随着我国社会主义建設事业的迅速发展，我国的长途通信電纜技术也有了相应的发展。我国是一个地广人多的国家，为了建立一个以現代工具为主的四通八达的通信网，必須采用新型的通信電纜，并配以高频通信設備，来实现可靠和优良的通信以及传送广播和电视节目。于是中、小型同軸電纜的研制就成为一个重要課題。

近几年来，許多国家，其中包括苏联，在制造及运用小型同軸電纜方面进行了工作。小型同軸電纜在結構上比中型(2.52/9.4毫米)及大型(5/18毫米)同軸電纜要简单一些，可以用簡化的工序来制造，并且可以不用价格昂貴的鉛护套。这些電纜的复用机械目前可通300个話路，在将来計劃用小型同軸電纜来传送电视节目。

本书介紹了苏联小型同軸電纜的主要特性及所采用的結構元件的依据(同軸对的尺寸，絕緣类型，屏蔽結構等等)，給出了計算公式、参考数据及确定電纜內同軸对电气参数的方法。此外，还介紹了K-300复用系統的技术經濟指标和其它一些国家小型同軸電纜技术的概况。

本书可供邮电及電纜制造工业的科学研究單位和設計部門、高等院校、施工和維護部門的相关工程技術人員和师生參考。

1964年10月

目 录

出版者說明

译者序

I. 概述	1
II. 国际电报电话諮詢委员会的建議	2
III. 传输电气参数的計算	5
一次参数	5
二次参数	9
二次参数与介电常数的关系	12
二次参数与同轴对尺寸的关系	15
工艺特性的不均匀性对二次参数的影响	15
波阻抗不均匀性	17
IV. 同轴对之間的相互干扰	21
干扰参数的計算	21
串音衰耗的需要值	28
V. 小型同轴电纜结构元件的选择	32
电纜元件	32
同轴对的几何尺寸	32
同轴对絕緣类型	34
同轴对的屏蔽类型	36
电纜护套的种类	37
VI. 苏联的小型同轴电纜	38
电纜结构	38
敷設与安装特点	46
电气特性及标准	46
在运营过程中电纜完整性的監查	51
技术經濟指标	54

Ⅷ. 国外小型同轴电缆的主要型式	57
Ⅸ. 結論	61
参考文献	63

I. 概 述

小型同軸電纜或細徑同軸電纜，就是指同軸對直徑比國際電報電話諮詢委員會所建議的標準中型（2.6/9.4 毫米）同軸對小的同軸電纜。

小型同軸電纜用于省內通信，用來在一些大的行政中心或工業中心之間組織幾百個電話通路，也用來從主要的電纜幹綫及微波接力綫路上分支電話及電視通路。

小型同軸電纜及其复用設備的研究和製造正在蘇聯及其他許多國家（法、英、西德、意大利、瑞士、芬蘭、日本等等）內進行。所以對這種電纜引起興趣，是由于這種電纜綫路建設的初期投資及稀有的有色金屬消耗大大減少。在各個國家內研究了各種型式的小型同軸電纜，它們相互之間的不同在于同軸對的尺寸及數量，絕緣類型，有無對稱綫對和四綫組，電纜護層的類型，以及由此而產生的電氣性能。

分析各種型式的小型同軸電纜的結構可以得出它們的如下主要特征。這些電纜的尺寸小，重量輕，以及製造工藝比較簡單。它們一般用塑料護套來代替鉛護套；同軸對具有各種結構的聚乙烯絕緣（實心或泡沫聚乙烯，聚乙烯管及其他等）。

在蘇聯，採用具有 4 個有螺旋形壓紋的聚乙烯管絕緣的 1.2/4.4 毫米同軸對，5 個對稱綫對及一根裸心綫的電纜作為典型結構。電纜的護套是雙重的——由聚乙烯及聚氯乙烯製成。

目前正在研製小型同軸電纜复用系統 K-300 的設備。這種設備可以在 60—1,300 千赫的頻帶內在兩個同軸對上組織 300 個話路，在 4 個同軸對上組織 600 個話路。K-300 系統的中間

增音站打算采用半导体器件装于小型的、无人维护的地下室内，这种地下室的结构与复用于单四线组电缆的 K-60 II 系统（用半导体的）的无人维护增音站的结构相类似。

采用半导体设备决定了可以采取保证从有人维护增音站向两边各供20个无人站的经济直流遥供系统。这样，在两个有人站之间共有40个无人站。在最高传输频率1,300千赫时，中间增音机的增益为4.2奈培。因此，对所采用本文所述的1.2/4.4毫米型聚乙烯管绝缘的小型同轴电缆的结构来说，增音段的长度将为5.7—6.0公里，而有人站之间的距离为240公里。

K-300型设备可以保证话路的质量指标完全满足国际电报电话諮詢委员会所建议的标准。这个系统包括业务通信装置，无人站情况的遥控装置及电缆绝缘电阻的遥控装置。利用在同轴对间的对称线对和裸的控制心线，可达到上述目的。

在将来，当工业上能生产用于更宽频带的半导体以后，在K-300系统的两个增音站之间再加入一个辅助增音站，也就是把增音段距离减为3公里，话路的数目可以增加两倍，并且有可能在小型同轴电缆上传送电视节目。

II. 国际电报电话諮詢委员会的建议

考虑到采用小型同轴电缆的远景，以及在许多国家内所进行的这些电缆及复用设备的科学研究及试制工作，国际电报电话諮詢委员会把关于小型同轴电缆通信系统主要特性的标准问题提到了议事日程上来，采用了下列主要的建议：

1. 小型同轴电缆是为了在初期在60—1300千赫的频率内

得到300个話路，而在将来可能增加話路及传送电视节目。

2. 建議在1兆赫时波阻抗 Z 有两种标称值 $Z=75$ 及65欧，并且主要采用75欧。

当 $Z=65$ 欧时，同軸对的尺寸比在 $Z=75$ 欧时略小一些。例如，当內导体为1.2毫米并用泡沫聚乙烯絕緣时， $Z=65$ 欧时，則其外导体的內直径等于4.2毫米，而在 $Z=75$ 欧时，則外导体直径等于4.9—5.3毫米（依泡沫聚乙烯的介电常数而定）。

对复用頻带內各頻率时的波阻抗的建議数值列于表1。

表1 小型同軸对波阻抗 Z 的数值

頻 率 (千赫)	在1兆赫时波阻抗具有标称值的同軸对的 Z 值，欧	
	75 欧	65 欧
60	79.8	70.1
100	78.9	68.5
200	77.4	67.3
500	75.8	65.9
1000	75.0	65.0
1300	74.8	65.0

当頻率为1兆赫时与波阻抗平均标称值之間的偏差不应超过 ± 2 欧。

3. 內导体的直径建議为1.15—1.2毫米。外导体的直径不予規定，因为它取决于絕緣的类型及所采取的同軸对波阻抗的标称值。

4. 在1兆赫时，衰耗常数 β 的最大值建議如下：

A 型同軸对——0.62 奈培/公里 (5.4 分貝/公里)，

B 型同軸对——0.78 奈培/公里 (6.8 分貝/公里)，

C 型同軸对——0.75 奈培/公里(6.5 分貝/公里)。

在 1300 千赫以下的頻帶內衰耗常数 β 不应超过表 2 所給的数值。

衰耗常数的温度系数 α_β 在 60 千赫时为 2.8×10^{-3} ，在 500 千赫以上时为 2×10^{-3} 。

5. 在制造长度內当频率为 60 千赫时同軸对間的串音防卫度应不小于 12 奈培。在 4.5—6 公里的增音段上远端串音衰耗应不小于 11.0 奈培。

表 2 在 $t = +20^\circ\text{C}$ 时各种小型同軸对的衰耗常数 β

同 軸 对 类 型	各种频率 (千赫) 时的 β 值 (毫奈/公里)					
	60	100	200	500	1000	1300
A ($Z=75$ 欧)	182	220	318	430	610	696
B ($Z=75$ 欧)	221	259	347	535	759	861
C ($Z=65$ 欧)	201	241	331	515	730	831

然而，当在增音站变量器的綫路側进行系統交叉*，串音衰耗可降低到 9.0 奈培。

6. 在制造长度內以及在增音段上同軸对內外导体之間的絕緣电阻当温度为 $+15^\circ\text{C}$ 时应不低于 5000 兆欧/公里。

7. 絕緣的电气强度应不小于：

a) 在电缆制造长度內——1000 伏交流或 1500 伏直流，加于內外导体之間不少于 1 分钟；

6) 在安裝好的增音段上——1000 伏直 流，加上時間不少于 1 分钟。

* 譯名注——即倒相。

8. 波阻抗的均匀性应为:

a) 用于电话的电缆制造长度不小于 5.2 奈, 或不大于 5.5×10^{-3} ;

6) 在将来要开通电视的电缆制造长度上, 不小于 5.8 奈或不大于 3×10^{-3} ——对于 100% 同轴对测试组合并不小于 6.2 奈, 或不大于 2×10^{-3} ——对于 95% 同轴对测试组合。

b) 对于用作电话通信的安装好的电缆增音段上, 不小于 4.85 奈, 或 8×10^{-3} 。

r) 对于将来要开通电视的安装好的电缆增音段上, 不小于 5.5 奈, 或 4×10^{-3} 。

波阻抗的均匀性用脉冲仪器进行测量, 脉冲具有近于正弦平方函数的形状, 其半振幅的宽度用于制造长度时小于 0.1 微秒, 用于增音段时小于 0.4 微秒。

III. 传输电气参数的计算

一次参数

在小型同轴电缆所应用的 60 千赫以上的频带内, 它的一次参数可以足够准确地用下面的简化公式来计算。

同轴对的有效电阻 R 是由内导体有效电阻 R_d 及外导体有效电阻 R_D 相加而得。当在电缆上传送高频时, 由于邻近效应, 在内导体上的电流移到它的外表面, 而在外导体上的电流则移到内表面, 导体其他部分的电流密度变成很小。因此同轴对的有效电阻几乎与外导体的厚度无关, 并由下式来确定。

$$R = R_d + R_D = \sqrt{\mu_d f \rho_d} \cdot \frac{2}{\sqrt{10}} \cdot \frac{1}{d} +$$

$$+ \sqrt{\mu_d f \rho_D} \cdot \frac{2}{\sqrt{10}} \cdot \frac{1}{D} \text{ 欧/公里}, \quad (1)$$

式中 μ_d 和 μ_D ——内外导体的导磁率，高斯/奥斯特；

f ——频率，赫；

ρ_d 和 ρ_D ——内外导体的直流电阻率，欧·毫米²/米；

d ——内导体直径，毫米；

D ——外导体内径，毫米。

如果内外导体的材料是相同的，即假定 $\rho_d = \rho_D$ 和 $\mu_d = \mu_D$ ，那末有效电阻可以由下式计算：

$$R = A \sqrt{f} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \text{ 欧/公里}, \quad (2)$$

式中 $A = \sqrt{\mu \rho} \frac{2}{\sqrt{10}}$ 。

对铜导体 $A=0.0835$ ，而对铝导体 $A=0.108$ 。

内外导体均为铜的 1.2/4.4 毫米同轴对的 R 值列于表 3。

表 3 1.2/4.4 毫米同轴对的有效电阻值 R

f , 兆赫	0.06	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2	3
R , 欧/公里	21.6	28	39.6	62.8	88.7	109	125	153

f , 兆赫	4	5	6	7	8	9	10
R , 欧/公里	177	198	218	235	250	265	280

由其他金属和其他直径做导体的同轴对的有效电阻可以在表 3 所列数值上乘以下列系数：

0.98——对1.2(銅)/4.8(銅)的同軸对;

0.964——对1.2(銅)/5.3(銅)的同軸对;

1.06——对1.2(銅)/4.4(鋁)的同軸对;

1.28——对1.2(鋁)/4.4(鋁)的同軸对。

同軸对的电感 由导体間外电感 L_n 及导体的内电感 L_d 及 L_p 之和来确定:

$$L = L_n + L_d + L_p = \left[2 \ln \frac{D}{d} + \frac{A_1}{\sqrt{f}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \right] \times 10^{-4} \quad \text{亨/公里。} \quad (3)$$

对銅导体來說, $A_1=133.3$, 而对鋁导体則 $A_1=102.5$ 。实际上在高頻範圍內可以采用簡化公式:

$$L = L_n = 2 \ln \frac{D}{d} \times 10^{-4} \text{ 亨/公里。} \quad (4)$$

按公式(3)計算的 1.2/4.4 毫米銅导体同軸对的 L 值列于表 4。

表 4 1.2/4.4 毫米同軸对电感值 L

f , 兆赫	0.06	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2	3
L , 毫亨/公里	0.318	0.307	0.290	0.280	0.274	0.271	0.270	0.268

f , 兆赫	4	5	6	7	8	9	10
L , 毫亨/公里	0.267	0.266	0.265	0.265	0.265	0.265	0.264

1.2(銅)/4.4(鋁)及 1.2(鋁)/4.4(鋁)的同軸对的电感可以采用与表 4 所列相同的数值。1.2(銅)/4.8(銅)的同軸对的

电感比表 4 所列数值大 7%，而 1.2(銅)/5.3(銅) 的同軸对則大 10%。

同軸对的电容 C 由下式确定

$$C = \frac{\varepsilon}{81 \ln \frac{D}{d}} \times 10^{-6} \text{ 法/公里。} \quad (5)$$

等效介电常数 ε 是由聚乙烯与空气的体积或截面积之比来确定的，

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_n v_n + \varepsilon_a v_a}{v_n + v_a} = \frac{\varepsilon_n s_n + \varepsilon_a s_a}{s_n + s_a} \quad (6)$$

式中脚注 n 为聚乙烯，而脚注 a 为空气， v 为体积， s 为截面积。

当 ε 具有各种数值时，1.2/4.4 毫米及 1.2/5.3 毫米同軸对的 C 值列于表 5。

表 5 1.2/4.4 及 1.2/5.3 毫米同軸对的电容值 C

絕緣类型	介电常数 ε	同軸对电容 C , 毫微法/公里	
		1.2/4.4 毫米	1.2/5.3 毫米
实心聚乙烯	2.3	98	86
泡沫聚乙烯	1.5	64	56
管状聚乙烯	1.18	50	44.5

当 $\varepsilon = 1.3$ 时，1.2/4.8 毫米的同軸对的电容等于 52 毫微法/公里。

同軸对的絕緣电导 G 由下式确定，

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta \text{ 姆/公里,} \quad (7)$$

式中， $\operatorname{tg} \delta$ ——等效絕緣介质損失角的正切

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon_n s_n \operatorname{tg} \delta_n + \varepsilon_a s_a \operatorname{tg} \delta_a}{\varepsilon(s_n + s_a)}, \quad (8)$$

式中 脚注 n 为聚乙烯, 而 a 为空气。

对于实心聚乙烯絕緣 $\operatorname{tg} \delta = 4 \times 10^{-4}$, 对管状聚乙 烯及泡沫聚乙烯 $\operatorname{tg} \delta = 1 \times 10^{-4}$ 。

1.2/4.4 毫米管状聚乙烯絕緣 ($C = 50 \times 10^{-9}$ 法/公里, $\varepsilon = 1.18$ 及 $\operatorname{tg} \delta = 1 \times 10^{-4}$) 的同軸对及 1.2/5.3 毫米泡沫聚乙烯絕緣 ($C = 56 \times 10^{-9}$ 法/公里, $\varepsilon = 1.5$ 及 $\operatorname{tg} \delta = 1 \times 10^{-4}$) 的同軸对, 以及 1.2/4.8 的同軸对的絕緣电导实际上是相同的。它們与頻率的关系示于表 6。

表 6 1.2/4.4, 1.2/4.8 及 1.2/5.3 毫米同軸对的电导值 G

f , 兆赫	0.08	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2
G , 姆/公里	1.9	3.1	6.3	15.7	31.4	47.1	62.8

f , 兆赫	3	4	5	6	7	8	9	10
G , 姆/公里	94.2	125.6	157.0	188.4	220.0	251.2	282.6	314.0

二次参数

二次参数——衰耗常数 β 及波阻抗 Z 可以用在实际上具有很准确度的簡化公式来确定:

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ 奈培/公里}, \quad (9)$$

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ 欧。} \quad (10)$$

将由公式(4)及(5)得到的一次参数的值代入式(10), 得到:

$$Z = \sqrt{\frac{2 \ln \frac{D}{d} \times 10^{-4}}{\varepsilon \times 10^{-6}}} = \ln \frac{D}{d} \times \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \quad (11)$$

因为在小型同轴电缆内所采用的绝缘材料具有小的损耗, 由于介质损耗所引起的衰耗只有总衰耗的 1—2%, 所以式(9)中的第二项可以忽略。此时, 代入式(2)、(4)、(5)中 R, L, C 之值, 得到:

$$\beta = \frac{1}{2} A \sqrt{f} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \frac{1}{\ln \frac{D}{d} \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}}} = B \sqrt{f} \sqrt{\varepsilon}, \quad (12)$$

式中 $B = \frac{A}{2} \frac{\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)}{\ln \frac{D}{d} 60}.$

对于铜导体, 如上所述, $A=0.0835$ 。

相移常数

$$\alpha = \omega \sqrt{LC} \text{ 弧度/公里。} \quad (13)$$

国产(苏联) 1.2/4.4 及 1.2/4.8 毫米用管状聚乙烯绝缘的同轴对及 1.2/5.3 毫米用泡沫聚乙烯绝缘的同轴对的二次参数可以足够精确地用下列经验公式来计算:

$$\beta = 0.61 \sqrt{f} + 0.0012 f \text{ 奈培/公里,} \quad (14)$$

$$Z = 72.5 + \frac{2.5}{\sqrt{f}} \text{ 欧。} \quad (15)$$

对于用泡沫聚乙烯絕緣 (Z 的最佳值为 65 欧) 的 1.2/4.4 毫米同軸对, 国际电报电话諮詢委员会推荐下列經驗公式:

$$Z = 63.2 + \frac{1.8}{\sqrt{f}} \text{ 欧。} \quad (16)$$

在式(12)、(14)(15)及(16)中, f 用兆赫表示。

1.2/4.4 毫米銅导体同軸对 β 及 Z 的值按式(10)計算的結果列于表 7。

表 7 1.2/4.4 毫米同軸对的 β 及 Z 值

f , 兆赫	β , 奈培/公里	Z , 欧
0.06	0.163	80.0
0.1	0.177	79.0
0.2	0.256	77.4
0.5	0.412	75.6
1.0	0.610	75.0
1.5	0.750	74.2
2	0.850	74.0
3	1.034	73.8
4	1.205	73.6
5	1.356	73.5
6	1.497	73.3
7	1.613	73.2
8	1.719	73.0
9	1.835	72.8
10	1.950	72.6

1.2/4.8 毫米及 1.2/5.3 毫米銅导体的同軸对的 β 及 Z 值在全部 10 兆赫以下的頻带內与 1.2/4.4 毫米同軸对相等。

1.2/4.4 毫米用銅/鋁及鋁/鋁导体的同軸对实际上也可以用表 7 的 Z 值。

用其他材料做导体的 1.2/4.4 毫米同軸对的 β 值可以在表

7 所列的 β 数值上乘以下列系数:

1.06——銅/鋁导体,

1.28——鋁/鋁导体。

由此可知, 为了节省銅, 最好用鋁作外导体。

二次参数与介电常数的关系

讓我們来研究当同軸对尺寸 d 及 D 給定时, β 及 Z 的值如何随介电常数而变化。

由式 (11) 及 (12) 可知, 衰耗常数与 $\sqrt{\epsilon}$ 成正比, 而波阻抗与 $\sqrt{\epsilon}$ 成反比。换言之, 知道了——种 ϵ 为 ϵ_1 的同軸对的参数—— β_1 及 Z_1 时, 可以从式 (11) 及 (12) 来确定 ϵ 为 ϵ_2 的另一种同軸对的 β_2 及 Z_2 之值:

$$\beta_2 = \beta_1 \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} = \beta_1 K_1. \quad (17)$$

$$Z_2 = Z_1 \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}} = Z_1 K_2. \quad (18)$$

当 $\epsilon_1 = 1.18$ (管状聚乙烯絕緣) 而 ϵ_2 具有各种数值时, 系数 K_1 及 K_2 的数值列于表 8。

这样, 用表 7 及表 8 可以很容易地找出具有不同絕緣的 1.2/4.4 毫米同軸对的 β_2 及 Z_2 的值。

例如, 用实心聚乙烯絕緣 ($\epsilon_2 = 2.3$) 的 1.2/4.4 毫米同軸对在 10 兆赫时的衰耗常数等于

$$\beta_2 = 1.95 \times 1.4 = 2.73 \text{ 奈培/公里},$$

而波阻抗

$$Z_2 = 72.6 \times 0.715 = 52.0 \text{ 欧}.$$

在表 9 及图 1 中列出对不同的 $\frac{D}{d}$ 及 ϵ 值的 Z 值。