



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 11322.1—XXXX

代替 GB/T 11322.1—2013

## 射频电缆 第 0-1 部分： 详细规范的设计指南 同轴电缆

Radio frequency cables—Part 0- 1: Guide to the design of detail specifications—  
Coaxial cables

(IEC 60096-0-1:2012,MOD)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



目次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 符号 ..... 1

    4.1 所用符号 ..... 1

    4.2 结构组成部分编号 ..... 3

5 材料常数 ..... 3

    5.1 介质和护套的材料常数以及不同材料的数值表 ..... 4

    5.2 导体材料常数表 ..... 4

    5.3 结构常数 ..... 5

    5.4 编织单线尺寸 ..... 6

    5.5 衰减常数 ..... 6

6 特性阻抗和介质外径的标准值 ..... 7

    6.1 同轴电缆的标称特性阻抗 ..... 7

    6.2 同轴电缆的标称介质外径 ..... 8

7 电缆结构细节 ..... 9

    7.1 概述 ..... 9

    7.2 内导体 ..... 9

    7.3 绞合内导体 ..... 10

    7.4 编织外导体 ..... 10

    7.5 外导体和屏蔽层间的中间层 ..... 10

    7.6 编织层屏蔽 ..... 11

    7.7 护套 ..... 11

    7.8 质量计算 ..... 11

8 电气性能计算 ..... 12

    8.1 导体和屏蔽层单位长度的直流（DC）电阻 ..... 12

    8.2 衰减 ..... 12

    8.3 标称特性阻抗  $Z_0$  和单位长度的电容  $C_2$  ..... 13

    8.4 额定功率 ..... 13

    8.5 允许电压 ..... 14

    8.6 绝缘电阻 ..... 15

    8.7 同轴电缆的载流量 ..... 15

图 1 允许的最大输入功率计算用曲线 ..... 7

表 1 符号及其意义 ..... 1

表 2  $k_s$  系数的应用案例 ..... 3

表 3	$k_{xy}$ 系数的应用案例 .....	3
表 4	材料常数及材料数值 .....	4
表 5	电导率（在 20 °C 时）和密度 .....	5
表 6	覆盖层系数 <sup>a</sup> .....	5
表 7	镀锡铜线的覆盖层系数 .....	5
表 8	铜包钢线的覆盖层系数 .....	5
表 9	内导体的结构常数 .....	6
表 10	编织外导体和屏蔽层的结构常数 .....	6
表 11	编织单线尺寸 .....	6
表 12	计算衰减用的系数 .....	7
表 13	标称特性阻抗和介质外径标称值及公差 .....	8
表 14	外导体的设计特征 .....	9
表 15	内导体的设计特征 .....	10
表 16	编织外导体参数及计算 .....	10
表 17	编织屏蔽层参数及计算 .....	11
表 18	不同护套材料的尺寸参数 .....	11
表 19	电缆各部分质量计算公式 .....	11
表 20	直流电阻值计算公式 .....	12
表 21	频率 $f \geq 10$ MHz 时 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 和 $\alpha_3$ 计算公式 .....	13
表 22	护套的试验电压 .....	15

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 11322《射频电缆》的第0-1部分。GB/T 11322已经发布了以下部分。

——第0-1部分：详细规范的设计指南 同轴电缆。

本文件代替GB/T 11322.1—2013《射频电缆 第0部分：详细规范设计指南 第1篇 同轴电缆》，与GB/T 11322.1—2013相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了符号及其意义（见表1）；
- 增加了管状内导体单位长度的直流电阻计算公式（见表21）；
- 更正了内导体衰减 $\alpha_1$ 计算公式，外导体衰减 $\alpha_3$ 计算公式（见表21，2013版的表22）；
- 增加了额定峰值功率（见8.4.2）；
- 更正了绝缘电阻 $R_i$ 的值（见8.6，2013版的6.6）；
- 增加了同轴电缆的载流量（见8.7）；
- 删除了气候和机械耐久性（见2013年版的第7章）。

本文件修改采用IEC 60096-0-1:2012《射频电缆 第0-1部分：详细规范的设计指南 同轴电缆》。

本文件增加了“术语与定义”一章。

本文件与IEC 60096-0-1:2012的技术差异及原因如下：

- 增加了标称介质外径9.00 mm作为优选值（见表11）；
- 增加了推荐的介质外径 $D_2$ 优选值为0.87 mm、1.5 mm、2.95 mm、3.70 mm、4.80 mm、7.25 mm、11.5 mm、17.3 mm。（见6.2）。
- 对实心聚乙烯介质外径标称值，增加9.00 mm和11.50 mm，17.30 mm的公差0.40 mm改为0.30 mm；对泡沫聚乙烯介质外径标称值，增加2.95 mm、3.70 mm、9.00 mm、11.50 mm和17.30 mm（见表13）。

本文件做了下列编辑性改动：

- 图1中 $k_4$  (W/m<sup>2</sup>K)更正为 $k_4$  (W/m<sup>2</sup>K<sup>1.25</sup>)；
- 6.1中，标称特性阻抗的标准值从小到大排序；
- 更正了7.2的公式(1)；
- 更正了8.5.1的公式；
- 纳入了IEC 60096-0-1:2012/AMD1:2017的修正内容，所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直双线(∥)进行了标示。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国电子设备用高频电缆及连接器标准化技术委员会(SAC/TC190)归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第二十三研究所、贵阳中安科技集团有限公司、中天射频电缆有限公司、深圳市金环宇电线电缆有限公司、长飞光纤光缆股份有限公司、南京全信传输科技股份有限公司、上海锦宣微航天科技有限公司、中国电子技术标准化研究院、江苏昕讯光电科技有限公司、浙江联杰科技有限公司、红旗电缆电器仪表集团有限公司、深圳市拓普联科技股份有限公司、深圳市奔达康电缆股份有限公司、深圳市大宇精密工业有限公司、滁州润翰微波科技有限公司、安徽联信电缆集团有限公司、东莞市同亚电子科技有限公司、天津市华夏电缆有限公司、广东华新电缆实业有限公司、焦作汉河电缆有限公司、福建成田科技有限公司、深圳市康奈特电子有限公司。

GB/T 11322.1—XXXX

本文件主要起草人：肖怀远、余松吉、王传福、赵瑞静、林顺豪、王念立、李亚明、宋德柱、杨帆、徐龙龙、钟碧才、王克良、肖岚、侯少藩、彭文、李同福、陈震山、邓祥、王法波、林佳盛、薛利利、郭智昊、周文忠、吴承悬、殷海成、潘倩。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1989 年首次发布为 GB/T 11322—1989；

——1997 年第一次修订为 GB/T 11322.1—1997，2013 年第二次修订；

——本次为第三次修订。

射频电缆 第 0-1 部分：  
详细规范的设计指南 同轴电缆

1 范围

本文件提供了具有编织、金属带或管状外导体的射频同轴电缆的设计指南。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 符号

4.1 所用符号

符号及其意义见表1。

表1 符号及其意义

符号	意义	单位
$\alpha$	单位长度的总衰减，20 °C	dB/m
$\alpha_T$	单位长度的总衰减， $T \neq 20$ °C	dB/m
$\alpha_x$	组成部分x引起的衰减，20 °C	dB/m
$\beta_x$	组成部分x的编织角	°（度）
$\gamma_x$	组成部分x的材料的密度	g/cm <sup>3</sup>
$\delta_x$	组成部分x的材料的损耗角	rad
$\varepsilon_x$	组成部分x的材料的相对介电常数	—
$\chi_x$	组成部分x的材料的电导率，20 °C	m/Ω·mm <sup>2</sup>
$\sigma_x$	组成部分x的材料的电阻率	K·m/W
$B_x$	有关组成部分x的编织密度	—
$c_o$	在自由空间中的传播速度	m/s
$C$	介质直径	mm
$C_x$	组成部分x单位长度的电容	pF/m
$d_x$	组成部分x的单线直径	mm
$D_x$	组成部分x的外径	mm
$D_{xe}$	组成部分x的电气有效直径	mm
$D_{xm}$	组成部分x的平均直径	mm
$D$	护套直径	mm

表1 符号及其意义（续）

符号	意义	单位
$D_s$	外导体直径	mm
$d$	内导体直径	mm
$E_2$	介质允许的最大电压梯度（峰值）	kV/mm
$\varepsilon$	表面辐射系数(铠装=0.95，裸露=0.35)	
$f$	频率	MHz
$h_x$	有关组成部分x的覆盖层厚度	mm
$I$	载流量（安培）	—
$k_x, k_{xy}$	按表1和表2确定的计算系数	—
$L_x$	有关组成部分x的编织节距	mm
$\ln$	自然对数	g/m
$m$	单位长度电缆的总质量	g/m
$m_x$	组成部分x的质量	—
$N_1$	绞合内导体的单线根数	—
$N_x$	有关编织x的每个锭子的导线根数	—
$n$	电缆根数	—
$n_x$	有关组成部分x的编织中的锭子数	—
$P_{40}$	允许最大输入功率，环境温度40℃	W
$P_i$	泡沫、圆盘和空气介电材料的热阻率通常为13.0 K·m/W	—
$P_j$	护套材料的热阻率， 对于聚乙烯，通常为3.5 K·m/W 对于聚氯乙烯（PVC）护套，通常为7.0 K·m/W	—
$P_T$	允许最大输入功率，环境温度 $T \neq 40^\circ\text{C}$	W/m
$P_d$	单位长度允许的最大耗散功率	W
$q_x$	有关组成部分x的编织的填充系数	—
$R_x$	导电组成部分x的单位长度直流电阻	$\Omega/\text{m}$
	绝缘组成部分x的绝缘电阻	$\text{m}\Omega \cdot \text{km}$
$R_{ic}$	内导体电阻	在 $t_a$ 时 $\Omega/\text{m}$
$R_{ictc}$	导体工作温度下的内导体电阻（ $t_c$ ）	—
$R_{oc}$	外导体电阻	在 $t_a$ 时 $\Omega/\text{m}$
$R_{octc}$	导体工作温度下的外导体电阻（ $t_c$ ）	—
$R_{eoc}$	由于外导体的影响， $R_{ic}$ 增加	—
$R_{th}$	电路总热阻	K·m/W
$R_i$	介质热阻	K·m/W
$R_j$	护套热阻	K·m/W
$s_x$	组成部分x的标称厚度	mm
$s_{x\min}$	组成部分x的最小厚度	mm
$T_x$	组成部分x的温度	℃
$T_a$	环境温度	℃
$t_c$	导体工作温度	℃



表1 符号及其意义（续）

符号	意义	单位
$t_a$	环境温度	℃
$t_s$	电缆表面温度	℃
$U_t$	试验电压（40Hz到60Hz），圆整后的有效值	kV
$U_{tC}$	试验电压（40Hz到60Hz），圆整后的有效值	kV
$U_d$	放电试验电压，有效值	kV
$U_o$	允许的最大工作电压，圆整后的有效值	kV
$U_{oc}$	允许的最大工作电压，计算的有效值	kV
$v_r$	速比	—
$z_o$	特性阻抗，标称值	Ω

4.2 结构组成部分编号

结构组成部分编号如下所示：

- 1——内导体；
- 2——介质；
- 3——外导体
- 4——护套；
- 5——外导体和屏蔽层的中间层；
- 6——屏蔽层；
- 7——第一屏蔽层和第二屏蔽层的中间层；
- 8——第二屏蔽层；
- 等等。

$k_x$ 系数的应用案例如表2所示。

表2  $k_x$ 系数的应用案例

符号	意义	单位
$k_2$	由内导体决定的介质电压梯度系数	-
$k_4$	护套表面在空气中的散热系数	W/m <sup>2</sup> K <sup>1.25</sup>

$k_{xy}$ 系数的应用案例如表3所示。

表3  $k_{xy}$ 系数的应用案例

系数	有关结构组成部分			
	1	3	6	8
覆盖层系数	$k_{1c}$	$k_{3c}$	—	—
绞合或编织系数				
——对于衰减	$k_{1a}$	$k_{3a}$		
——对于直流电阻和质量	$k_{1r}$	$k_{3r}$	$k_{6r}$	$k_{8r}$
总外径与单线直径之比	$k_{1d}$	—	—	—
特性阻抗的有效直径系数	$k_{1z}$	—	—	—

5 材料常数

5.1 介质和护套的材料常数以及不同材料的数值表

介质和护套的材料常数以及不同材料的数值表见表4。

表4 材料常数及材料数值

符号	意义	单位	数值 <sup>a</sup>										
			实芯 PE	半空气 PE	泡沫 PE <sup>b</sup>			PTFE	FEP	泡沫 <sup>b</sup> FEP	ETF E	PFA	PVC
$\epsilon_2$	介质的 介电常 数	—	2.28	1.4	1.3	1.5	1.7	2.1	2.1	1.5	2.6	2.1	—
$\tan\delta_2$	介质的 损耗系 数	—	$25\times10^4$	$25\times10^4$	$4\times10^4$	$6\times10^4$	$6\times10^4$	<sup>c</sup>	<sup>f</sup>	$12\times10^3$	<sup>e</sup>	<sup>e</sup>	—
$E_2$	介质允 许的最 大电压 梯度	kV/mm	11	2	2	2	2	11	—	2	<sup>e</sup>	<sup>e</sup>	—
$\gamma_2$ $\gamma_4$	介质或 护套的 密度	g/cm <sup>3</sup>	0.93	0.36	0.28	0.44	0.58	2.2	2.2	0.90	1.7	2.2	1.4 <sup>b</sup>
$\sigma_2$ $\sigma_4$	介质或 护套的 热阻率	K×m/W	3.5	<sup>e</sup>	15	9	6	4.4	5.0	<sup>e</sup>	4.4	4.5	7.0
$T_1$	允许的 最高工 作温度	℃	85/80 <sup>d</sup>	85/80 <sup>d</sup>	70	70	70	250	200 <sup>g</sup>	200 <sup>g</sup>	150 <sup>g</sup>	200 <sup>g</sup>	70
<p><sup>a</sup> PE=聚乙烯；PTFE=聚四氟乙烯；FEP=全氟乙烯-丙烯共聚物；ETFE=乙烯-四氟乙烯共聚物；PFA=全氟烷氧基；PVC=聚氯乙烯。</p> <p><sup>b</sup> 典型值。</p> <p><sup>c</sup> 有关频率下 <math>\tan\delta_2</math> 值：频率为 1 MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>1\times10^{-4}</math>；频率为 10 MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>1.5\times10^{-4}</math>；频率为 <math>10^2</math> MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>2.5\times10^{-4}</math>；频率为 <math>10^3</math> MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>4.3\times10^{-4}</math>；频率为 <math>10^4</math> MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>2\times10^{-4}</math>。</p> <p><sup>d</sup> 85 ℃：高密度材料；80 ℃：其他密度材料。</p> <p><sup>e</sup> 正在考虑中。</p> <p><sup>f</sup> 有关频率下 <math>\tan\delta_2</math> 值：频率为 1 MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>4\times10^{-4}</math>；频率为 10 MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>4\times10^{-4}</math>；频率为 <math>10^2</math> MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>8\times10^{-4}</math>；频率为 <math>10^3</math> MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>10\times10^{-4}</math>；频率为 <math>2\times10^3</math> MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>10\times10^{-4}</math>；频率为 <math>10^4</math> MHz 时，<math>\tan\delta_2</math> 为 <math>7\times10^{-4}</math>。</p> <p><sup>g</sup> 仅对内、外导体镀银情况。</p>													

5.2 导体材料常数表

导体材料的电导率和密度见表5至表8。

表5 电导率（在 20 ℃时）和密度

材料	符号	单位	数值	符号	单位	数值
铜	$K_1、K_3、K_6$	$m/\Omega\cdot mm^2$	58	$\gamma_1、\gamma_3、\gamma_6$	$g/cm^3$	8.9
铝			35			2.7
锡			8.3			7.3
银			61			10.5
铜包钢线（30%）			17.4 <sup>a</sup>			8.15
铜包钢线（40%）			23.2 <sup>a</sup>			8.20
<sup>a</sup> 只适用于计算直流电阻						

表6 覆盖层系数<sup>a</sup>

导体	符号	数值
裸铜线	$k_{1c}$ 和 $k_{3c}$	1
镀银铜线		1
镀锡铜线		见表7
铜包钢线		见表8
<sup>a</sup> 覆盖层系数是覆盖层导线的射频电阻与裸铜线的射频电阻之比，它取决于频率及覆盖层厚度。		

表7 镀锡铜线的覆盖层系数

$h_1\sqrt{f}$ 或 $h_3\sqrt{f}$	$k_{1c}$ 和 $k_{3c}$	$h_1\sqrt{f}$ 或 $h_3\sqrt{f}$	$k_{1c}$ 和 $k_{3c}$	$h_1\sqrt{f}$ 或 $h_3\sqrt{f}$	$k_{1c}$ 和 $k_{3c}$
0.01	1.01	0.06	1.25	0.15	2.24
0.02	1.03	0.08	1.44	0.18	2.46
0.03	1.06	0.10	1.67	0.20	2.60
0.04	1.11	0.12	1.91	$\geq 0.25$	2.70

表8 铜包钢线的覆盖层系数

$h_1\sqrt{f}$	$k_{1c}$ <sup>a</sup>	$h_1\sqrt{f}$	$k_{1c}$ <sup>a</sup>	$h_1\sqrt{f}$	$k_{1c}$ <sup>a</sup>
0.005	11.04	0.025	2.57	0.050	1.35
0.010	6.06	0.030	2.16	0.060	1.16
0.015	4.16	0.035	1.87	0.070	1.04
0.020	3.17	0.040	1.65	0.080	1.00
<sup>a</sup> 假定钢的电导率 $K=8 m/\Omega\cdot mm^2$ ，相对磁导率 $\mu_r=200$ 。					

5.3 结构常数

5.3.1 内导体的结构常数表

内导体的结构常数见表9。

表9 内导体的结构常数

符号	意义	不同绞线根数（ $N_1$ ）时的数值			
		1	7	12	19
$k_{1r}$	直流电阻和质量的绞合系数	1.00	1.03	1.03	1.03
$k_{1a}$	衰减的绞合系数	1.00	1.25	1.25	1.25
$k_{1s}$	有效直径系数	1.00	0.94	0.96	0.98
$k_{1d}$	总外径与单线直径之比	1.00	3.02	4.16	5.00
$k_2$	电压梯度系数	1.00	0.90	0.90	0.90

5.3.2 编织外导体和屏蔽层的结构常数表

编织外导体和屏蔽层的结构常数见表10。

表10 编织外导体和屏蔽层的结构常数

编织角 $\beta_3; \beta_6$	$\frac{L_3}{D_{3m}}; \frac{L_6}{D_{6m}}$	$k_{3r}; k_{6r}$
20°	8.63	1.06
25°	6.74	1.10
30°	5.44	1.15
35°	4.49	1.22
40°	3.74	1.30
45°	3.14	1.41
定义: $k_{3r} = \sqrt{1 + (\pi D_{3m}/L_3)^2} = \frac{1}{\cos \beta_3}$ , $k_{6r} = \sqrt{1 + (\pi D_{6m}/L_6)^2} = \frac{1}{\cos \beta_6}$		

5.4 编织单线尺寸

外导体和屏蔽层的编织单线尺寸见表11。

表11 编织单线尺寸

标称介质外径 $D_2$ mm	编织单线的标称直径 $d_3, d_6$ mm	
	单层编织	双层编织
0.87和1.50	0.09~0.11	—
2.95, 3.70, 4.80和6.40	0.13~0.15	0.13~0.15
7.25, 9.00, 9.80和11.50	0.18~0.20	0.16~0.18
17.30	0.24~0.26	0.18~0.20

5.5 衰减常数

计算衰减常数用的系数见表12。

表12 计算衰减用的系数

符号	意义	结构特征	数值
$k_{1a}$	内导体引起的衰减	实芯导线	1.0
		绞合导线	1.25
$k_{1c}$		镀锡铜线	见表7
		铜包钢线	见表8
$k_{3a}$	外导体引起的衰减	管状外导体	1.0
		编织外导体	2.0 <sup>a</sup>
$k_{3c}$		镀锡铜线编织	见表7
<sup>a</sup> 粗略的近似值（尚无可靠的理论）。			

关于空气中表面散热常数的最大允许输入功率的计算见图1。

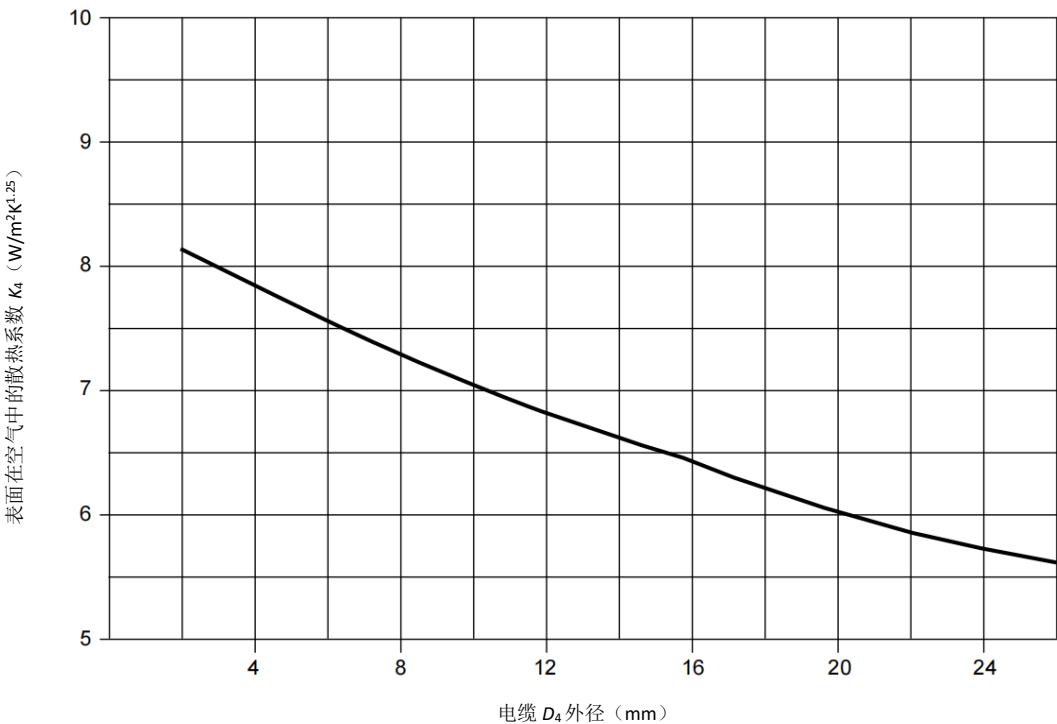


图1 允许的最大输入功率计算用曲线

与环境温度有关的最大允许耗散功率的更详细说明见8.4。

6 特性阻抗和介质外径的标准值

6.1 同轴电缆的标称特性阻抗

在本章中规定的所有阻抗都是在频率为200 MHz及温度20 °C时定义的。  
标称特性阻抗的标准值为：

- 50 Ω；
- 75 Ω；
- 93 Ω。

6.2 同轴电缆的标称介质外径

标称介质外径 $D_2$ 标称值及其公差应符合表13的规定。推荐的介质外径 $D_2$ 优选值为0.87 mm、1.5 mm、2.95 mm、3.70 mm、4.80 mm、7.25 mm、11.50 mm、17.30 mm。

表13 标称特性阻抗和介质外径标称值及公差

介质	特性阻抗		介质外径			
	$\Omega$		mm		in <sup>a</sup>	
	标称值	公差 ±	标称值	公差 ±	标称值	公差 ±
实芯聚乙烯 (实心 PE)	50	2.0	1.50	0.10	0.060	0.004
			2.95	0.13	0.116	0.005
			3.70	0.15	0.146	0.006
			4.80	0.20	0.189	0.008
			6.40	0.20	0.252	0.008
			7.25	0.25	0.285	0.010
		1.0 <sup>b</sup>	7.25	0.15	0.285	0.006
		2.0	9.00	0.25	—	—
			11.50	0.30	0.453	0.012
			17.30	0.30	0.680	0.016
			23.70	0.30	0.933	0.012
	75	3.0	1.50	0.10	0.060	0.004
			2.95	0.13	0.116	0.005
			3.70	0.13	0.146	0.005
		1.5 <sup>b</sup>	3.70	0.10	0.146	0.004
		3.0	4.80	0.20	0.189	0.008
			7.25	0.25	0.285	0.010
		1.5 <sup>b</sup>	7.25	0.15	0.285	0.006
		3.0	9.00	0.25	—	—
			11.50	0.30	0.453	0.012
			17.30	0.30	0.680	0.016
			23.70	0.30	0.933	0.012
泡沫聚乙烯 (泡沫 PE)	50	5.0	1.50	0.10	0.006	0.004
			2.30	0.10	0.090	0.004
			2.95	0.13	0.116	0.005
			3.70	0.13	0.146	0.005
		4.0	4.80	0.20	0.189	0.008
			5.85	0.20	0.230	0.008
			6.25	0.20	0.246	0.008
			7.25	0.25	0.285	0.010
			9.00	0.25	—	—
			11.50	0.30	0.453	0.012
			17.30	0.30	0.680	0.012
	75	5.0	2.95	0.15	0.146	0.005
			3.70	0.20	0.189	0.008
			4.80	0.25	0.285	0.010
			7.25	0.25	—	—

			9.00 11.50 17.30	0.30	0.453	0.012
半空气聚乙烯 (半空气 PE)	50	2.5	7.25	0.25	0.285	0.010
	93	5.5	2.50 3.70	0.15 0.13	0.098 0.146	0.006 0.005
聚四氟乙烯 (PTFE)	50	3.5	0.87 1.50	0.07 0.10	0.034 0.060	0.003 0.004
		2.5	2.95	0.13	0.116	0.005
		2.0	7.25 11.50	0.15 0.30	0.285 0.453	0.006 0.012
	75	5.0	1.50	0.10	0.060	0.004
		3.0	3.70 7.25	0.13 0.25	0.146 0.285	0.005 0.010
	93	5.5	2.60	0.13	0.102	0.005
泡沫全氟乙烯-丙烯共聚物 (泡沫 FEP)	50	2.5	2.40	0.08	0.095	0.003
	75	3.5	3.40 4.30 7.25	0.13 0.08 0.25	0.135 0.170 0.285	0.005 0.003 0.010
	93	5.5	3.70	0.13	0.146	0.005
注：此表是一些电缆尺寸的参考指南，但不限制较小或较大设计。						
<sup>a</sup> 仅供参考。						
<sup>b</sup> 紧公差电缆。						

7 电缆结构细节

7.1 概述

- 首先要确定：
- a) 标称特性阻抗  $Z_0$ （按 6.1）；
  - b) 介质外径  $D_2$ （按 6.2）；
- 注：本文件范围以外的其他直径能使用 7.3 中提供的公式计算。
- c) 介质的介电常数  $\epsilon_2$ （见表 4）。
- 计算外导体的有效直径  $D_{3e}$ ，见表 14。

表14 外导体的设计特征

外导体	直径 $D_{3e}$
管状	$D_{3e}=D_2$
编织	$D_{3e}>D_2$ （见 7.4）

7.2 内导体

内导体的电气有效直径  $D_{1e}$  按公式（1）计算确定：

$$D_{1e} = D_{3e} \times \exp\left(-Z_0 \cdot \frac{\sqrt{\epsilon_2}}{60}\right)^1) \dots\dots\dots (1)$$

内导体的实际特征见表 15。

表15 内导体的设计特征

实芯内导体	直径 $D_1$ 的计算值
绞合内导体	直径 $D_1 > D_{1e}$ (见 7.3)

7.3 绞合内导体

直径 $D_1$ 由电气有效直径 $D_{1e}$ 计算确定，见公式（2）：

$$D_1 = D_{1e}/k_{1z} \dots\dots\dots (2)$$

单线直径  $d_1$  由  $D_1$  计算确定，见公式（3）：

$$d_1 = D_1/k_{1d} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$k_{1d}$ 和 $k_{1z}$ ——按表9规定。

7.4 编织外导体

编织外导体参数及计算见表16。

表16 编织外导体参数及计算

有效直径 $D_{3e}$ 外 径 $D_3$ 平均直径 $D_{3m}$ 由介质外径 $D_2$ 和编织线直径 $d_3$ 计算确定： $D_{3e} = D_2 + 1.5d_3$ $D_3 = D_2 + 4.5d_3$ $D_{3m} = D_2 + 2.25d_3$ $d_3$ 按表 11
编织的填充系数： $q_3 = \frac{N_3 \cdot n_3 \cdot d_3 \cdot k_{3r}}{2 \cdot \pi \cdot D_{3m}}$ $d_3$ 和 $D_{3m}$ 如上所述 $k_{3r}$ 按表 10
外导体的编织密度和编织角按下式计算确定： $B_3 = 2q_3 - q_3^2 \quad \beta_3 = \arctan(\pi D_{3m}/L_3)$

7.5 外导体和屏蔽层间的中间层

外导体和屏蔽层间的中间层参数 $D_5$ 的计算见公式（4）。

$$D_5 = D_3 + 2s_5 \dots\dots\dots (4)$$

1) 60是从59.96圆整而成。



7.6 编织层屏蔽

编织层屏蔽参数及计算见表17。

表17 编织屏蔽层参数及计算

外径 $D_6$ 和平均直径 $D_{6m}$ 由中间层外径 $D_5$ 和编织单线直径 $d_6$ 计算确定： $D_6 = D_5 + 4.5d_6$ $D_{6m} = D_5 + 2.25d_6$ $d_6$ 按表 11	
编织的填充系数为： $q_6 = \frac{N_6 n_6 d_6 k_{6r}}{2\pi D_{6m}}$ $d_6$ 和 $D_{6m}$ 如上所述 $k_{6r}$ 按表 10	
屏蔽层的编织密度和编织角按下式计算确定： $B_6 = 2q_6 - q_6^2 \quad \theta_6 = \arctan(\pi D_{6m}/L_6)$	

7.7 护套

不同护套材料的尺寸参数见表18。

表18 不同护套材料的尺寸参数

单位为毫米

材料	屏蔽层的外径 $D_6^a$	标称厚度 $s_4$	最小厚度 $s_4 \min$
FEP	<2.5	0.25	0.15
PTFE	2.5~5.9	0.38	0.25
	6.0~9.0		0.30
PE	<2.5	$0.07 D_6^a+0.3$	$0.9 s_4-0.1$
PVC	$\geq 2.5$	$0.07 D_6^a+0.5$	
<sup>a</sup> 对于无屏蔽层的电缆，用外导体外径 $D_8$ 代替 $D_6$ 。			

7.8 质量计算

电缆的近似总质量 $m$ 按公式（5）计算：

$$m = \sum m_x \dots\dots\dots (5)$$

各部分质量计算公式见表 19。

表19 电缆各部分质量计算公式

实心内导体	$m_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 \cdot \gamma_1$	$\gamma_1$ 按表 5 $k_{1r}$ 按表9
绞合内导体	$m_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 \cdot N_1 k_{1r} \gamma_1$	

实心内导体	$m_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 \cdot \gamma_1$	$\gamma_1$ 按表 5 $k_{1r}$ 按表 9
介质	$m_2 = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \gamma_2$	$\gamma_2$ 按表 4 $D_1$ 按 5.3
管状外导体	$m_3 = \pi (D_2 + S_3) S_3 \gamma_3$	$\gamma_3$ 按表 5
编织外导体	$m_3 = \frac{\pi}{4} d_3^2 \cdot N_3 n_3 k_{3r} \gamma_3$	$k_{3r}$ 按表 10
外导体和屏蔽层之间的中间层	$m_5 = \pi (D_3 + S_5) S_5 \gamma_5$	$\gamma_5$ 取决于所用材料 $D_3$ 按表 16
编织屏蔽层	$m_6 = \frac{\pi}{4} d_6^2 \cdot N_6 n_6 k_{6r} \gamma_6$	$\gamma_6$ 按表 5 $k_{6r}$ 按表 10
护套	$m_4 = \pi (D_4 + S_4) S_4 \gamma_4^a$	$\gamma_4$ 按表 4
<sup>a</sup> 对于无屏蔽层的电缆，用外导体外径 $D_3$ 代替 $D_6$ 。		

## 8 电气性能计算

### 8.1 导体和屏蔽层单位长度的直流（DC）电阻

电阻值计算公式见表20。

表20 直流电阻值计算公式

实芯内导体	$R_1 = \frac{4}{\pi D_1^2 X_1}$	$X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 按照表 5 $k_{1r}$ 按表 9 $k_{3r}$ 和 $k_{6r}$ 按表 10 $d_3$ 和 $d_6$ 按表 11
绞合内导体	$R_1 = \frac{4k_{1r}}{N_1 \pi d_1^2 X_1}$	
管状内导体	$R_3 = \frac{1}{\pi (D_1 - S_1) S_1 \cdot X_1}$	
管状外导体	$R_3 = \frac{1}{\pi (D_2 + S_3) S_3 \cdot X_3}$	
编织外导体	$R_3 = \frac{4k_{3r}}{N_3 n_3 \pi d_3^2 X_3}$	
编织屏蔽层	$R_6 = \frac{4k_{6r}}{N_6 n_6 \pi d_6^2 X_6}$	

### 8.2 衰减

单位长度的总衰减应按公式（6）计算：

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \dots \dots \dots (6)$$

式中：

$\alpha_1$ ——内导体引起的衰减分量；

$\alpha_2$ ——介质引起的衰减分量；

$\alpha_3$ ——外导体引起的衰减分量。

此衰减为电缆温度20℃时的值，当温度 $T$ 不等于20℃时，衰减 $\alpha_T$ 应按以下公式计算：

$$\alpha_T = (\alpha_1 + \alpha_3) \sqrt{1 + 0.00393(T - 20\text{ }^\circ\text{C})} + \alpha_2 \dots\dots\dots (7)$$

注：对于某些介质材料， $\alpha_2$ 可能与温度有关。  
频率 $f \geq 10\text{ MHz}$ 时 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 和 $\alpha_3$ 计算公式见表21，频率低于10MHz时的计算公式正在考虑中。

表21 频率 $f \geq 10\text{ MHz}$ 时  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  和  $\alpha_3$  计算公式

$\alpha_1 = \frac{4.58k_{1c}k_{1a}}{D_{1c} \ln D_{3c}/D_{1c}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_2 f}{X_1}}$	$X_1$ 和 $X_3$ ， $k_{1c}$ 和 $k_{3c}$ 按照表 5 和表 6
$\alpha_2 = 9.1^2 \sqrt{\varepsilon_2} \cdot \tan \delta_2 f$	$k_{1a}$ 和 $k_{3a}$ 按照表 12
$\alpha_3 = \frac{4.58k_{3c}k_{3a}}{D_{3c} \ln D_{3c}/D_{1c}} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_2 f}{X_3}}$	$\varepsilon_2$ 和 $\delta_2$ 按照表 4
	$D_{1c}$ 和 $D_{3c}$ 按照表 5.2 和表 14 或表 16

8.3 标称特性阻抗  $Z_0$  和单位长度的电容  $C_2$

标称特性阻抗 $Z_0$ 和单位长度的电容 $C_2$ 应按公式（8）和公式（9）计算：

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_2}} \ln \frac{D_{3e}}{D_{1e}} \dots\dots\dots (8)$$

$$C_2 = \frac{\sqrt{\varepsilon_2}}{3Z_0} \cdot 10^4 \dots\dots\dots (9)$$

式中：  
 $\varepsilon_2$ ——按表4；  
 $D_{3e}$ ——按表14或表16；  
 $D_{1e}$ ——按7.2。

8.4 额定功率

8.4.1 平均额定功率

平均额定功率应由衰减和环境温度40 °C时最大耗散功率计算确定。

单位长度允许的最大耗散功率（ $P_d$ ）取决于内导体允许的最高温度 $T_1$ ，而后者由介质允许的最高温度确定（见表4）。

内导体对于静止的周围空气的温升见公式（10）：

$$T_1 - 40\text{ }^\circ\text{C} = \frac{P_d}{2\pi} \left\{ \frac{\alpha_{1+1/2}\alpha_2}{\alpha} \sigma_2 \ln \frac{D_2}{D_1} + \sigma_4 \ln \frac{D_4}{D_6} \right\} + \left( \frac{1000P_d}{\pi D_4 k_4} \right)^{0.8} \dots\dots\dots (10)$$

式中：  
 $\sigma_2$ 和 $\sigma_4$ ——按表4。  
 $k_4$ ——按图1选取。

对于无屏蔽层的电缆， $D_6$ 用外导体外径 $D_3$ 代替。

公式（10）中的第一项是内导体对护套表面的温升（ $T_1-T_4$ ），第二项是护套对周围空气的温升（ $T_4-T_a$ ）。

求出 $P_d$ 之后，允许的最大输入功率按公式（11）计算：

$$P_{40} = \frac{868.6P_d}{2.2\alpha_T} = \frac{395P_d}{\alpha_T} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$\alpha_T$ ——按7.2。

最大衰减可比标称值大10%。由于外导体温度是未知的，计算时假定外导体温度和内导体温度相同。这样引起的误差可以忽略。

当环境温度 $T_a \neq 40^\circ\text{C}$ 时，额定功率应由经验公式（12）的 $P_{40}$ 计算确定：

$$P_T = P_{40} \times \left( \frac{T_1 - T_a}{T_1 - 40^\circ\text{C}} \right)^{1.14} \dots\dots\dots (12)$$

#### 8.4.2 额定峰值功率

传输线的额定功率受限于内外导体间的击穿电压。

击穿电压基本上与射频频率无关，但随着电介质类型、线路压力和加压气体类型（如果有使用）而变化。因此额定峰值功率通常针对以下标准条件：

- 电压驻波比（ $VSWR$ ）=1.0；
- 零调制；
- 海平面绝对干空气压力（101 kPa）。

除了满足平均额定功率外，同轴电缆的额定峰值功率 $P_{PK}$ 还应大于公式（13）：

$$P_{PK} = \frac{U_t^2}{SF \times Z_0} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- $U_t$ ——测试电压（r.m.s），单位是千伏（kV）；
- $SF$ ——安全系数（除非另有规定，一般都是1.5）；
- $Z_0$ ——电缆的特性阻抗。

对于不同的条件，最大允许的峰值功率 $P_t$ 应降至公式（14）：

$$P_t < \frac{P_{PK}}{(1+M)^2 \times VSWR} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- $M$ ——以十进制表示的调制百分比（100% = 1）；
- $VSWR$ ——电压驻波比。

### 8.5 允许电压

#### 8.5.1 介质的试验电压 $U_t$

最大电压梯度应在内导体表面求得，它受介质允许的最大电压梯度 $E_2$ 的限制，因此试验电压 $U_{tc}$ （计算有效值）按公式（15）计算：

$$U_{tc} = E_2 \cdot D_1 \cdot k_2 \ln \frac{D_{3e}}{D_{1e}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- $E_2$ ——按表 4；
- $k_2$ ——按表 9；
- $D_1$ ——按 5.3；
- $D_{1e}$ ——按 5.2；
- $D_{3e}$ ——按表 14 或 16。

然后应对 $U_{te}$ 值进行圆整，当电压值低于5 kV时。应将此值圆整到最接近0.2 kV的整数倍；当电压值为5 kV及以上时，应将此值圆整到最接近0.5 kV的整数倍，圆整后的试验电压用 $U$ 表示。圆整后的试验电压应施加2 min，频率为40 Hz～60 Hz。

8.5.2 介质的放电试验电压

放电试验电压 $U_d$ （有效值）按公式（16）计算：

$$U_d = 0.5U_t \dots\dots\dots (16)$$

但对于聚四氟乙烯介质按公式（17）计算且最小值为1 kV：

$$U_d = 0.4U_t \dots\dots\dots (17)$$

8.5.3 允许的最大工作电压

允许的最大工作电压 $U_{oc}$ （有效值）由试验电压 $U_t$ 求出，见公式（18）：

$$U_{oc} = 0.45U_t \dots\dots\dots (18)$$

但输入功率应不超过允许的最大输入功率 $P_{40}$ ，在所有情况下，必须满足公式（19）：

$$U_o \leq \sqrt{Z_o \cdot P_{40}/1000} \dots\dots\dots (19)$$

然后应对 $U_{oc}$ 值进行圆整，当电压值低于5 kV时，应将此值圆整到最接近0.2 kV的整数倍；当电压值为5 kV及以上时，应将此值圆整到最接近0.5 kV的整数倍，圆整后允许的最大工作电压用 $U$ 表示。

8.5.4 护套的试验电压

对聚氯乙烯护套的试验电压见表24。

表22 护套的试验电压

护套的标称厚度 $S_4$ mm	试验电压（有效值） kV	
	浸水试验	火花试验
$S_4 \leq 0.5$	不试验	不试验
$0.5 < S_4 \leq 0.8$	2	3
$0.8 < S_4 \leq 1.0$	3	5
$S_4 > 1.0$	5	8

8.6 绝缘电阻

绝缘电阻 $R_2$ 见公式（20）：

$$R_2 \geq 1 \ \Omega \cdot km \dots\dots\dots (20)$$

8.7 同轴电缆的载流量

8.7.1 原理

用于计算同轴电缆载流量的方法是安装在室内空气 中的电缆的热力学模型。考虑了从内导体和外导体通过电介质和护套材料的热流。

8.7.2 定义

在计算同轴电缆的载流量时，通常会考虑最坏的情况。由于室内电缆不能从风冷效应中获益，因此假设安装在室内或封闭区域的电缆是最糟糕的情况。计算没有考虑任何可能需要应用的降级因素，以解决外部应用中由于太阳辐射和风冷却效应造成的额外温度效应。

载流能力能通过求解公式（21）和公式（22）联立方程来计算：

$$I = \sqrt{\frac{0.00716 \times \varepsilon \times D \times (t_s - t_a) + 0.0714 \times (D \times 0.0393)^{0.75} \times (t_s - t_a)^{1.25}}{N \times (R_{ictc} + R_{eoc})}} \quad (21)$$

和

$$I = \sqrt{\frac{t_s - t_a}{(R_{ictc} + R_{eoc}) \cdot R_{th}}} \quad (22)$$

求解  $I$  和  $t_s$ 。

注：最终用户不需要实际知道变量  $t_s$  的值；但是需要使用联立的方程来计算这个值。

在所提供的方程式中， $R_{eoc}$  是由于外部导体的影响，计算如公式（23）：

$$R_{eoc} = \frac{R_{th} \cdot R_i}{R_{th}} \cdot R_{octc} \quad (23)$$

$R_{th}$  是从内导体到周围空气的热流动的总热阻，通过计算绝缘和护套热阻的总和，见公式（24）~公式（26）。电缆结构的金属成分被认为是等温线，因此不予考虑。材料的典型热阻见表4。

$$R_{th} = R_i + R_j \quad (24)$$

$$R_i = 0.522 \times P_i \times \ln\left(\frac{C}{d}\right) \quad (25)$$

$$R_j = 0.522 \times P_j \times \ln\left(\frac{D}{D_s}\right) \quad (26)$$

工作温度下的内外导体电阻见公式（27）和公式（28）：

$$R_{ictc} = \left(\frac{R_{ic}}{3281}\right) \cdot \left(\frac{228.1 + t_c}{228.1 + 20}\right) \quad (27)$$

$$R_{octc} = \left(\frac{R_{oc}}{3281}\right) \cdot \left(\frac{228.1 + t_c}{228.1 + 20}\right) \quad (28)$$

### 8.7.3 要求

要求如下：

- 最大载流量的计算值应四舍五入至最接近的 0.1 A。
- 除非相关章节或详细规范中另有规定，否则最大载流量应在 20 °C 和 40 °C 的  $T_a$  下计算。应在详细规范中规定计算值。
- 最高导体工作温度，如果不是 65 °C，应在相关的分规范或详细规范中规定。