

同轴屏蔽工艺学

主 编 高桂屏

主 审 陈建国

1987年7月

前 言

为适应机械工业“三上一提高”的需要，有计划地加强对工人的技术理论培训，国家机械委电器局成立了技术工人教材编审委员会。在编审委员会领导下，由上海电缆研究所组织编写了电线电缆专业三十四个工种的中级工人技术理论培训教材，并作为全行业的指定教材。

这套教材是根据原机械工业部《工人技术等级标准》和《电线电缆行业专用工种工人中级技术理论教学计划、教学大纲》编写的，内容以电线电缆制造工艺为主，包括材料、设备知识和产品质量方面的分析，介绍了新技术、新工艺和新设备。

这套教材，课时一般以100—150学时为宜，各单位在保证培训质量的前提下，可根据实际情况适当调整。

参加这套教材编写的有沈阳电缆厂、上海电缆厂、郑州电缆厂、西安电缆厂、哈尔滨电缆厂和湘潭电缆厂的教育部门同志及工程技术人员。除此，昆明电缆厂、天津市电缆厂和北京市电线总厂的同志也参加了教材的审定工作。为了保证教材的质量，聘请毛安民、胡懋书、林必梁三位专家为顾问，对于以上的同志的辛勤劳动，表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，缺乏经验，不足之处，请读者批评指正。

国家机械工业委员会电器局

一九八七年三月

第一章 绪 论

一 现代电气通信及对通信电缆的要求

现代化的电气通信线路是国家的神经系统，它对社会主义四个现代化的建设有着极其重要的作用。

电气通信是用电磁波来传输信息的一种通信方式，如电话、电报、广播、电视、传真以及数据传输等。现代电气通信，采用无线传输和有线传输信息。两种传输方式各有优缺点：无线通信建设较快，维护简单，在经济上较为有利，但易受到电磁波干扰和大气条件的影响，而且使用稳定性和保密性差；有线通信在长距离传输中稳定、可靠、保密性强，但有线通信基建投资大，并将消耗大量的有色金属及其他有关材料，而且建设时间较长。

国民经济各个部门的迅速发展，要求无线和有线通信线路综合发展，协调配合。

我国目前有线通信线路以架空明线与电缆线路两种类型为主。电缆线路与明线线路相比较其主要优点是：

（一）电气参数稳定，传输质量高，不易受外界天气变化的影响；

（二）电缆不易受外界电磁波干扰或干扰外界通信线路及设备，保密性好；

（三）能容纳较多线对，复用程度高，在通信容量大时较为经济；

（四）可埋地敷设，节约占地，不妨碍市容；

(五) 电缆有护套, 可防止外界因素对电缆的损坏, 工作寿命较长。

在电气通信中, 对通信质量的要求是衰减小、失真度小和串杂音小。为此, 通信系统应具有高传输质量, 良好的通信设备和通信电缆线路。通信电缆的设计制造应满足以下几点要求:

1. 有较大的通信距离, 即在宽频带内电缆的衰减应尽可能小;
2. 电缆回路对相互干扰及外界干扰的防卫度高;
3. 电气参数稳定;
4. 电缆的结构设计经济合理, 便于制造、敷设及维修。

二、电缆线路通信的传输制式

(一) 二线制和四线制

二线制是来去两个方向的信号是沿同一线对传输的。四线制是去的方向用一个线对传输, 来的方向则沿另一个线对传输。在同一电缆内的二线制与四线制则各有特点:

1. 两种传输方式的线路利用率基本相同;
2. 两种传输方式的串音干扰不同。从防止回路间相互干扰的角度来看, 在同一电缆中二线制比四线制优越;
3. 两种传输方式的设备要求不同。对于通信容量要求不大的长途电缆线路, 可以采用双频带二线制通信方式。为了克服单电缆四线制应用时近端串音严重的缺点, 可以制造用屏蔽材料将电缆内不同传输方向回路分隔开的电缆。

(二) 单电缆制与双电缆制

对于四线制通信, 若传输来话和去话两个方向的回路都在同一根电缆内, 称为单电缆制。如果所有来话回路在一根电缆内, 而所有去话回路在另一根电缆内, 称为双电缆制。

三、通信电缆的用途和分类

(一) 根据通信电缆的用途和使用范围可以分为:

1. 市内通信电缆: 包括纸绝缘市内通信电缆、聚乙烯(泡沫)聚乙烯绝缘市内通信电缆、全填充式市内通信电缆、自承式塑料绝缘市内通信电缆、铝芯聚乙烯绝缘市内通信电缆和塑料绝缘局用配线电缆等。

2. 长途通信电缆: 包括纸绝缘低频通信电缆、纸绝缘高频对称通信电缆、塑料绝缘高频对称电缆、小同轴综合通信电缆、中同轴综合通信电缆、电气化铁道通信电缆和防雷通信电缆等。

3. 农用通信电线: 包括聚氯乙烯直埋通信电线等。

4. 通信设备用电线电缆: 包括局用通信电缆及电话软线等。

5. 电力系统及矿用通信电缆。

6. 海底通信电缆: 包括浅海对称通信电缆, 浅海同轴通信电缆及深海同轴通信电缆等。

7. 数字通信电缆。

(二) 根据敷设和运行条件可分为架空电缆、直埋电缆、管道电缆和水底电缆。

(三) 根据传输频谱可分为低频(10千赫以下)电缆和低频(12千赫以上)电缆。

(四) 根据通信电缆的结构可分为对称通信电缆和同轴通信电缆(不对称电缆)。

(五) 根据电缆中元件的组合情况可分为单一电缆和综合电缆。

四、通信电缆的型号

我国通信电缆产品型号采用汉语拼音字母和数字相结合的表达方法。

有类别用途、导体、绝缘层、内护层、特征、外护层和派生七项组成。1—5项以汉语拼音字母表示,6—7项一般以阿拉伯数字表示,如表1—1和1—2。

表 1—1 部分通信电缆产品型号

类别、用途	导体	绝缘层	内护层	特征	外护层	派生
H—市内话缆 HD—铁道电气化电缆 HE—长途通信电缆 HO—同轴电缆	L—铝线 芯	V—聚氯乙烯塑料 Y—聚乙烯塑料 YF—泡沫聚乙烯塑料	Q—铅包 V—塑料 L—铝包	C—自承式 D—带式 P—屏蔽	表 1—2	最高传输 频率

表 1—2 电缆外护层代号

标 记	铠 装 层	外 被 层
0	无	无
1	—	纤维层
2	双钢带	聚氯乙烯套
3	细圆钢丝	聚乙烯套
4	粗圆钢丝	—

五、同轴对制造

同轴对系指由同心放置的内外导体(中间全部或局部用绝缘支撑)所组成的线对。

同轴对可以在较宽的频带下复用,目前国际上1.2/4.4毫米的小同轴对最高复用频率有1.3兆赫、4兆赫、12兆赫和18兆赫,分别开通300路、960路2700路和3600路的单向话路。2.6/9.5毫米的中同轴对最高复用频率有9兆赫、12兆赫、18兆赫及60兆赫,分别开通1800路、2700路、3600路及10800路单向话路。同轴对所以能具有这样的宽频带,除它的特殊结构外,还决定精密的制造工艺,也就是同轴对内导体的偏差和外导体的偏差以及绝缘均匀性能的偏差,所有这些都反映在衰减和波阻抗的偏差。除了工艺上的高要求之外,无论是在所使用的材料,还是结构形式等方面都有严格的要求。

同轴对的绝缘决定内外导体严格的同心,除要求有较高的绝缘性能外,还应有优良的机械性能。在绝缘特性上尽可能接近理想介质——空气的特性,有较高的耐电强度,低的吸水性以及在长期使用中的稳定性。当外导体的形状沿全长是理想均匀一致的空心圆柱体时,同轴对才有较理想的电性能。在这样情况下,信号才能沿电缆轴向传输而无附加损耗和畸变。目前,我国生产的中同轴对的绝缘形式主要采用垫片式,外导体采用锁齿式。这种结构的稳定性、均匀性都较好,有较小的介电常数。小同轴对绝缘采用聚乙烯鱼泡绝缘和皱边外导体,这种结构的稳定性及电性能都较好。皱边式外导体可节省铜,工艺也较简单,并有较高的耐电压水平,但稳定性较差,经过两层反向绕包屏蔽钢带后,这个缺点也基本得以克服。

第二章 同轴通信电缆的电气特性

同轴通信电缆与其它类型的通信电缆，特别是与对称电缆相比较，有较宽的传输频带，较小的损耗，在高频下回路间和对外界干扰防卫度高，在大通路时整个通信体制比较经济，所以，同轴通信电缆目前已广泛地应用在长途通信线路的主干线上。

第一节 同轴通信电缆中的电磁场概述

一、同轴通信电缆中电磁场的分布

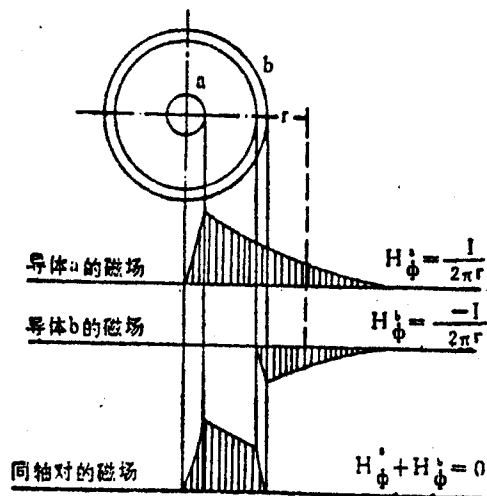


图 2—1 同轴对的磁场

同轴通信电缆中同轴对内磁场分布如图2—1。

图中 H_{ϕ}^a 和 H_{ϕ}^b 分别表示内导体a和外导体b的磁场强度。内导体的a内部磁场强度 H_{ϕ}^a 随半径的增加而增加，而在它的外部则按 $H_{\phi}^a = \frac{I}{2\pi r}$ 的规律减小 (I表示导体中流过的电流，r表示距内导体轴心的距离)。

外导体b的磁场 H_{ϕ}^b 在空心圆柱体内是没有的，而在它的外部象实心导体一样为 $H_{\phi}^b = \frac{I}{2\pi r}$ 。由于r对内导体和外导体是一样的，而两者通过的电流大小相等，方向相反。因而，在同轴对外部空间任何一点的内外导体的磁场 H_{ϕ}^a 和 H_{ϕ}^b 在数值上相等，方向相反，即在同轴对外部的合成磁场等于零 ($H_{\phi} = H_{\phi}^a + H_{\phi}^b = \frac{I}{2\pi r} + (-\frac{I}{2\pi r}) = 0$)，也就是说，在同轴对外面没有磁场，而同轴对以内的磁力线是按同心圆分布的。

由于内导体处在外导体的包围之中，因此从内导体发出的电力线将完全终止于外导体的内表面，所以在外导体外部无磁场存在。由此可以得出一个结论：理想结构的同轴对没有外部电磁场。

二、同轴对中内外导体电流的分布

在内导体a中电流密度的分布情况取决于集肤效应的作用。外导体中的电流不会在内导体内产生磁场，因而不能影响内导体中电流密度的分布。内导体中的电流由于集肤效应

第二章 同轴通信电缆的电气特性

同轴通信电缆与其它类型的通信电缆，特别是与对称电缆相比较，有较宽的传输频带，较小的损耗，在高频下回路间和对外界干扰防卫度高，在大通路时整个通信体制比较经济，所以，同轴通信电缆目前已广泛地应用在长途通信线路的主干线上。

第一节 同轴通信电缆中的电磁场概述

一、同轴通信电缆中电磁场的分布

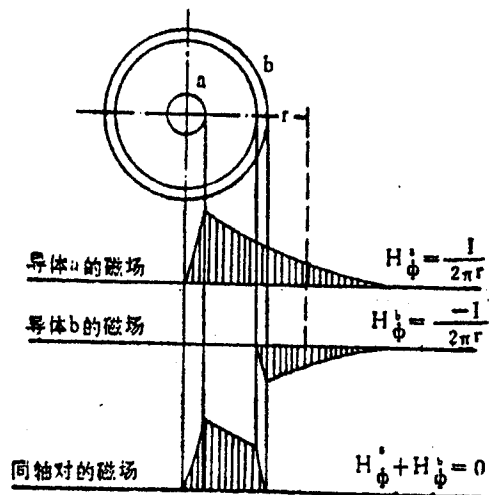


图 2—1 同轴对的磁场

同轴通信电缆中同轴对内磁场分布如图2—1。

图中 H_{ϕ}^a 和 H_{ϕ}^b 分别表示内导体a和外导体b的磁场强度。内导体的a内部磁场强度 H_{ϕ}^a 随半径的增加而增加，而在它的外部则按 $H_{\phi}^a = \frac{I}{2\pi r}$ 的规律减小（I表示导体中流过的电流，r表示距内导轴体心的距离）。

外导体b的磁场 H_{ϕ}^b 在空心圆柱体内是没有的，而在它的外部象实心导体一样为 $H_{\phi}^b = \frac{I}{2\pi r}$ 。由于r对内导体和外导体是一样的，而两者通过的电流大小相等，方向相反。因而，在同轴对外部空间任何一点的内外导体的磁场 H_{ϕ}^a 和 H_{ϕ}^b 在数值上相等，方向相反，即在同轴对外部的合成磁场等于零（ $H_{\phi} = H_{\phi}^a + H_{\phi}^b = \frac{I}{2\pi r} + (-\frac{I}{2\pi r}) = 0$ ），也就是说，在同轴对外面没有磁场，而同轴对以内的磁力线是按同心圆分布的。

由于内导体处在外导体的包围之中，因此从内导体发出的电力线将完全终止于外导体的内表面，所以在外导体外部无磁场存在。由此可以得出一个结论：理想结构的同轴对没有外部电磁场。

二、同轴对中内外导体电流的分布

在内导体a中电流密度的分布情况取决于集肤效应的作用。外导体中的电流不会在内导体内产生磁场，因而不能影响内导体中电流密度的分布。内导体中的电流由于集肤效应

作用的结果，越靠近内导体的表面，电流越密度大，如图2—2所示。

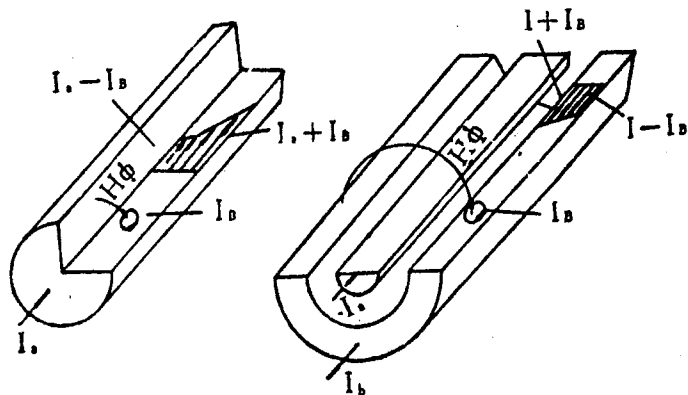


图2—2 内导体中电流密度的分布 图2—3 外导体中电流密度的分布

外导体b的截面上电流密度的分布情况取决于内导体a对它的邻近效应，以及本身集肤效应之和。由于合成磁场 $H\phi$ 的作用结果，将使外导体b中电流的分布变为越接近内表面，电流的密度就越大，如图2—3所示。

由于集肤效应和邻近效应作用的结果，同轴回路的电流分布分别集中在内外导体相向的表面上，如图2—4所示。

电流的频率越高，电流向内导体的外表面和外导体的内表面集中情况越严重，此时能量就好像是由金属内部向外被排挤出来一样，集中在同轴对的介质中，而导体只是限定了电磁波的传播方向。

随着频率的增加，集肤效应和邻近效应也更加显著，对

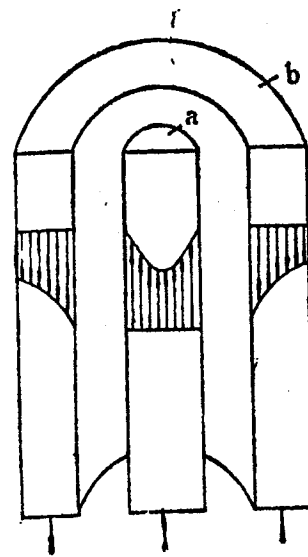


图2—4 同轴对中电流密度的分布

外界干扰的作用也越好。但是，在直流和低频情况下，电流通过导体的全部截面，同轴回路抗干扰的特点便不存在。所以同轴通信电缆不适于低频通信，对小同轴通信电缆传输频率的下限为60千赫以上，中同轴则在300千赫以上。

第二节 同轴通信电缆的等效电路

在同轴对中，内外导体所组成的来去回路里，导体上存在着电阻 R 和电感 L ，内外导体之间存在着电容 C 和绝缘电导 G 。根据电工学基本知识，把同轴对可等效看成一个无源四端网络，如图2—5所示。从探讨电气性能的角度出发，就同轴对的全长来看，它的等效

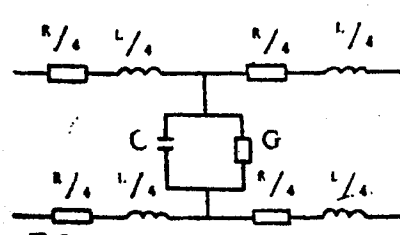


图2—5 同轴电缆等效电路

电路就是这些许许多多的无源四端网络串联而成, R 、 L 、 C 、 G 称为电缆的一次参数。这些参数与传输电磁波的电压和电流大小无关, 而与电缆材料结构及电流的频率有关。

第三节 同轴通信电缆的一次参数

一、同轴通信电缆回路的有效电阻

同轴回路无外部电磁场, 不会在邻近回路或金属中产生涡流而引起附加电阻。所以同轴回路有效电阻由内外导体本身的有效电阻所组成。有效电阻又包括直流电阻 R_0 和交流电阻 R_{\sim} 。

直流电阻 R_0 : 直流电阻 R_0 由内导体的直流电阻 R_{0i} 和外导体的直流电阻 R_{0e} 组成。

1. 内导体直流电阻 R_{0i} 为:

$$R_{0i} = \frac{4000\rho_i}{\pi d_i} \quad (\text{欧姆/公里})$$

2. 无钢带屏蔽的外导体直流电阻 R_{0e} 为:

$$R_{0e} = \rho_e \frac{1000}{\pi(D+t)t} \quad (\text{欧姆/公里})$$

外边绕几层钢带的外导体直流电阻为:

$$R'_{0e} = \frac{R_m \cdot R_{0e}}{R_m + R_{0e}} \quad (\text{欧姆/公里})$$

而导体的屏蔽电阻 R_m 为:

$$R_m = \frac{\rho_m \cdot 1000}{\pi(D+t+Q) \cdot Q} \quad (\text{欧姆/公里})$$

内、外导体均为铜, 在20℃时同轴回路有效电阻为:

$$R = R_i + R_e = 4.18 \sqrt{f} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_e} \right) \times 10^{-2}$$

(欧姆/公里)

式中: r_i —内导体半径(毫米)

r_e —外导体半径(毫米)

d —内导体直径(毫米)

D —外导体内径(毫米)

t —外导体厚度(毫米)

f —频率(赫)

ρ_i 、 ρ_e —分别为内外导体材料电阻率(欧姆)

n —屏蔽带层数

Q —屏蔽带厚度(毫米)

ρ_m —屏蔽钢带电阻率(0.098欧姆·毫米²/米)

由上式可看出:

(1) 内导体的有效电阻远远大于外导体的有效电阻。

(2) 有效电阻与导体半径成反比, 而直流电阻是与半径平方成反比。

(3) 有效电阻中的交流电阻远远大于直流电阻。

(4) 有效电阻与频率的平方根成正比, 虽然它也随频率的升高而增大, 但不是直线上升。

二、电感

同轴回路的电感 L 是由两部分组成, 一部分是由导体内部磁场决定的内电感。内电感又分为内导体的内电感 L_{i1} 和外导体的内电感 L_{i2} 。另一部分为内外导体间的空间磁场

所决定的外电感 $L_{\text{外}}$ 。

所以，同轴回路总的电感 L 为：

$$L = L_{\text{内}} + L_{\text{内}} + L_{\text{外}}$$

根据电磁场理论，电感的近似计算公式为：

$$L = L_{\text{内}} + L_{\text{内}} + L_{\text{外}}$$

$$= \frac{132}{\sqrt{f}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \times 10^{-4} + 21 \ln \frac{D}{d} \times 10^{-4} \right) (\text{亨/公里})$$

若内、外导体均为铜所组成，总电感的计算为：

$$L = \left(21 \ln \frac{D}{d} + \frac{132}{\sqrt{f}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \right) \times 10^{-4} (\text{亨/公里})$$

由上式可看出，同轴回路的内电感是随频率的增加而减少，而外电感则与频率无关。因此，频率越高，内电感在总电感中所占的比重越小。在频率 $f \geq 60$ 千赫时，内电感只占总电感的 7—8%。当频率更高时，内电感所占比例更小，所以可忽略不计。此时，电感 $L \approx L_{\text{外}}$ ，即：

$$L \approx 21 \ln \frac{D}{d} \times 10^{-4} (\text{亨/公里})$$

由此看出，同轴回路的电感仅由电缆的结构尺寸来决定。

三、电容

由于同轴对无外部电场存在，所以计算内、外导体之间的工作电容 C 可按圆柱形电容器的电容公式计算：

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D}{d}} (\text{法/公里})$$

式中： $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ — 组合绝缘的等效介电常数

ϵ_0 — 组合绝缘的等效相对介电常数

ϵ_0 — 真空的介电常数，其值为 $\frac{1}{36\pi \times 10^9}$ (法/米)

所以

$$C = \frac{\epsilon_0 \times 10^{-9}}{18 \ln \frac{D}{d}} (\text{法/公里})$$

由上式看出，同轴对的电容，取决于结构尺寸的比和等效介电常数。 D/d 是一定的，一般为 3.6 左右，所以降低 ϵ_0 值是减小同轴对电容的一个有效方法

四、绝缘电导

绝缘电导是说明绝缘层质量的一个重要参数，它表明绝缘层中能量的损耗，要求电导值越小越好。回路的绝缘电导可看作是回路工作电容并联的等效电导。

同轴对的绝缘电导由两部分组成，一是由绝缘介质极化作用造成电磁场能量的损耗而引起的交流电导 G_{\sim} ，二是由于绝缘的不完善而由漏电流引起的电导 G 。

$$G = G_{\sim} + G_0 = \omega C \text{tg} \delta_0 + \frac{1}{R_i} (\text{西门子/公里})$$

式中： $\omega = 2\pi f$

C — 电容 (法/公里)

R_i — 同轴对的绝缘电阻 (兆欧/公里)

$\text{tg} \delta_0$ — 组合绝缘的介质损耗角正切

$$\text{式中: } \operatorname{tg} \delta_D = \frac{\epsilon_1 V_1 \operatorname{tg} \delta_1 + \epsilon_2 \operatorname{tg} \delta_2 V_2}{\epsilon_1 V_1 + \epsilon_2 V_2}$$

$\operatorname{tg} \delta_D$ —绝缘材料的介质损耗角正切

ϵ_1 —绝缘材料的介电常数

V_1 —绝缘介质所占体积

$\operatorname{tg} \delta_2$ —空气的介质损耗角正切 $\operatorname{tg} \delta_2 = 0$

ϵ_2 —空气的介电常数

V_2 —空气所占的体积

同轴电缆 R_i 的标准为 10000 兆欧/公里, 而在同轴电缆的频带内 $\omega C \operatorname{tg} \delta_D \gg \frac{1}{R_i}$

所以, $G = \omega C \operatorname{tg} \delta_D$

五、一次参数与频率及外、内导体直径

一次参数与频率及内、外导体直径的关系, 如图 2—6 和 2—7。

从图 2—6 和 2—7 可看出:

(一) 有效电阻 R 随频率的增加而增加 (它与频率的平方根成正比)。

(二) 电感 L 随频率的增加而减小, 这是由于集肤效应使导体内电感 $L_{内}$ 和 $L_{内}$ 减小的缘故。外电感 $L_{外}$ 不随频率的变化而变化, 所以在频率增高至 60 千赫以上时, 电感近似为外电感 $L_{外}$, 当频率再高时电感 L 趋于常数。

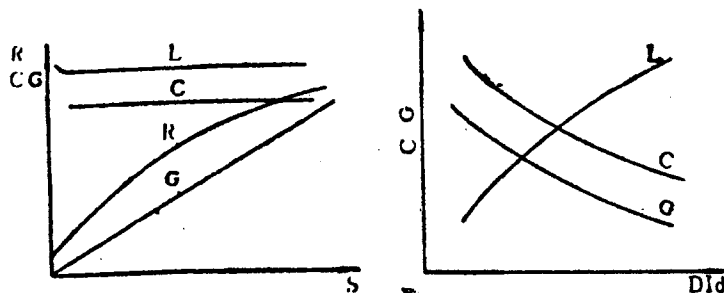


图2—6 同轴回路一次参数与频率的关系

图2—7 同轴回路一次参数随 $\frac{D}{d}$ 的变化关系

(三) 电容 C 与频率 f 无关。

(四) 绝缘电导 G 随频率增加而直线增长。

(五) 电感随直径比的增大而增加, 这是因为内外导体的空间面积加大, 磁通增多之故。

(六) 电容随直径比的增加而减小, 电导随直径比增加而增加。内、外导体间距离增大, 相当于极板距离增大, 电容减小。电导与电容成正比, 电容小了, 电导也就小了。

(七) 有效电阻值与 $\frac{D}{d}$ 无关, 而与外导体内径和内导体直径的绝对值有关, 导体越粗, 有效电阻就越小。

第四节 同轴通信电缆的二次传输参数

通信电缆回路的传输质量主要是依据回路的二次参数来衡量, 即传播常数 γ 和波阻抗 Z_c 。传播常数 $\gamma = \alpha + j\beta$ 。当电磁波沿电缆线路传播时, 振幅逐渐减少; 相位也随之而改

变, r 值就是表示这种变化的一个参数, 其实数部分 α 表示电磁能量的减少, 称回路的衰减常数。虚数部分 β 表示电磁相位的变化, 称为回路的相移常数。传播常数也是表示电磁波沿线路传输时幅值和相位的变化程度。

同轴通信电缆的二次传输参数波阻抗 Z_c 和传输常数 r 在线路的设计、生产和维护中, 是被用来衡量通信质量的几个主要参数。也是改善线路结构和传输质量的基础。

一、同轴通信电缆的衰减常数

同轴通信电缆使用的频带都是在 60 千赫以上, 这时, $\omega L \gg R$, $\omega C \gg G$, 衰减常数 α 可按式计算:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = \alpha_R + \alpha_G \text{ (分贝/公里)}$$

前者为同轴回路内金属损耗引起的衰减, 后者为同轴回路内的介质损耗引起的衰减。将一次参数 R 、 L 、 C 、 G 计算公式代入上式, 整理换算后得:

$$\alpha = (\alpha_R + \alpha_G) \times 8.686 = \frac{(8.35 \sqrt{f \epsilon_D} (\frac{D}{d} + 1) \times 10^{-3}}{12 D \ln \frac{D}{d}}$$

$$+ \frac{10}{3} \pi f \sqrt{\epsilon_D} \operatorname{tg} \delta_D \times 10^{-6} \times 8.686 \text{ (分贝/公里)}$$

式中: ϵ_D —等效介电常数

$\operatorname{tg} \delta_D$ —等效介质损耗角正切

由于同轴通信电缆的绝缘材料聚乙烯 $\operatorname{tg} \delta = 0.0005$, 电磁能在介质中的损耗 α_G 与金属损耗 α_R 相比是很小的, 因而

α_G 可忽略不计。

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \times 8.686$$

$$= \frac{(8.35 \sqrt{f \epsilon_D} (\frac{D}{d} + 1))}{12 D \ln \frac{D}{d}} \times 10^{-3} \times 8.686 \text{ (分贝/公里)}$$

(一) 衰减常数与频率的关系

在图 2-8 中, 衰减常数 α 随频率的增高而增大, 金属损耗 α_R 与频率的平方根成正比, 当频率增加到某一数值后, α_R 增加就缓慢了, 而 α_G 则随频率成正比增加, 当频率很高时, α_G 比 α_R 则增加的快。

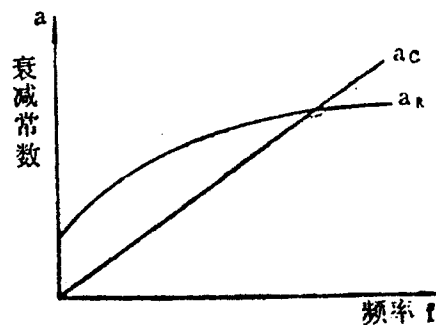


图 2-8 衰减常数与频率的关系

当频率 f 与介质 ϵ_D 确定后, α_R 的大小只决定与 $\frac{D}{d}$ 的比值, 当外导体内径 D 越大, 则 α 越小, 当 D 固定后, 即与内导体直径 d 有关。选择适当的 $\frac{D}{d}$ 的比值能使 α 减小。当 D 固定后, d 过小, 导线电阻 R 过大, α 则增加, d 增加, 可减

少电阻,但加大了电容,减小了电感。而 α_s 与 $\sqrt{\frac{C}{L}}$ 成正比,所以适当增加 d 可以减小 α_s ,但达到一定程度后再增加 d 值。由于邻近效应会使 α_s 增加,所以, $\frac{D}{d}$ 就存在着一个衰减最小的最佳比值。

根据高等数学用微分学求最小值的办法可求得,当内外导体均为铜时,即 $\frac{D}{d}=3.6$ 时衰减 α_s 最小。

当内外导体所用材料不同时, α_s 最小时, $\frac{D}{d}$ 则不是3.6,而是如下表2—1和图2—9所示。

表2—1 内导体为铜与外导体为不同材料时的最佳比值

最佳比值	材料	银	铜	铝	锌	铅
$\frac{D}{d}$		3.56	3.6	3.9	4.3	5.2

(二) 衰减与温度的关系

电缆回路的衰减常数 α 随温度变化而变化, α 值与温度关系可通过实验求得,并用温度系数 K_B 来表示。根据我国电缆敷设深度处地温的变化,同轴电缆线路设备是以13℃时为基准温度。因而

$$\alpha_t = \alpha_{13}(1 + K_B(t - 13))$$

式中: α_{13} —温度为13℃时的衰减值 α_s ;
—某一频率下测试温度 t 时衰减值

K_B —电缆的衰减温度系数

t—测试温度

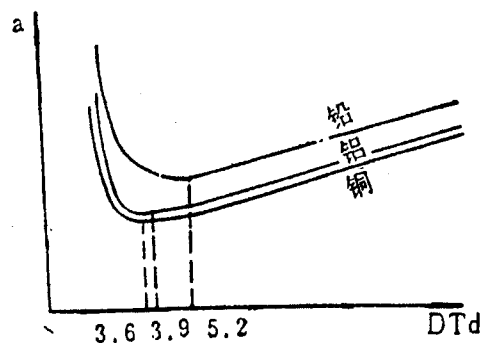


图2—9 内导体为铜、外导体为不同材料时, α 与 $\frac{D}{d}$ 的关系

二、相移常数和传播速度

在同轴电缆中,相移常数 β 和传播常数 v 由于使用频带在60千赫以上的高频范围内,因而

$$\beta = \varphi \sqrt{LC} \quad (\text{弧度/公里})$$

将 L 、 C 的公式代入上式得:

$$\beta = \frac{\varphi \sqrt{\epsilon_D}}{3 \times 10^5} \quad (\text{弧度/公里})$$

电磁波沿同轴对的传播速度为:

$$v = \frac{W}{\beta} = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_D}} \quad (\text{公/里秒})$$

式中: C —光速(电磁波在真空中的传播速度)
 $C = 3 \times 10^5$ (公里/秒)

ϵ_D —同轴对绝缘等效介电常数

从上式看出, 相移常数随频率的增高而线性增加, 这就使得同轴通信电缆在所用的频带内, 能量几乎完全的等速的传播。传播速度又随着等效介电常数的减小而增大。

三、波阻抗

波阻抗 Z_c 是指当电磁波沿均匀线路传输, 没有反射时所遇到的阻抗, 即传输过程无终端失配影响时电磁波所碰到的阻抗。

(一) 波阻抗的表达式

$$\text{波阻抗 } Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

将 L 、 C 的公式代入上式, 当频率很高时得:

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_D}} \ln \frac{D}{d}$$

由上式看出:

1. 同轴对的波阻抗取决于等效介电常数 ϵ_D 和结构尺寸 $\frac{D}{d}$;

2. 对于一定结构的同轴对 $\frac{D}{d}$ 和 ϵ_D 一定时, Z_c 是一个常数;

3. 当 $\frac{D}{d}$ 比值大, Z_c 大; D 大 Z_c 大; d 大 Z_c 小;

4. $\frac{D}{d}$ 一定时, Z_c 与等效介电常数 ϵ_D 的平方根成反

比。 ϵ_D 大, 即空气少, 绝缘厚; Z_c 小, 反之, ϵ_D 小则是绝缘薄, Z_c 大。

(二) 控制同轴对波阻抗值的意义

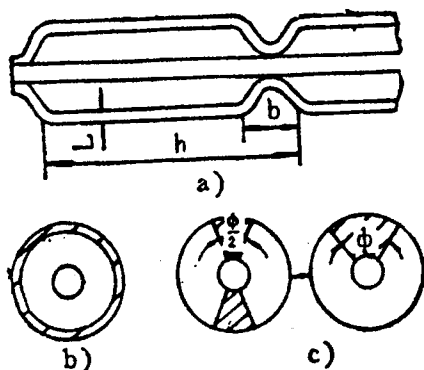
各种通信电缆都有其固有的波阻抗值。同轴对应严格控制波阻抗, 目的是要求电缆回路的波阻抗值同网络中机器的阻抗值相匹配, 避免网络出现反射引起附加衰减和串音。对于同轴电缆, 使用的频率较高, 为了严格控制质量, 在产品的标准中不仅对波阻抗值加以明确规定, 而且对波阻抗的最大偏差和一个回路的两端阻抗差值也要提高要求。

因为波阻抗与频率有关, 因此在电缆的标准中都规定了在一定的频率下的波阻抗值。中同轴的复用频率较高, 国际上对于中同轴对一般规定为2.5兆赫时波阻抗 $|Z_c|$ 的标称值为75欧姆, 对于小同轴对国际上规定频率为1兆赫时的波阻抗 $|Z_c|$ 的标称值为75欧姆。

第五节 同轴对的等效介电常数和介质损耗角正切

介电常数 ϵ_D 和介质损耗角正切 $\text{tg}\delta_D$ 是电缆绝缘设计时必须考虑的两个重要参数。因为 ϵ_D 和 $\text{tg}\delta_D$ 都与一次参数和二次参数有关。 $\text{tg}\delta_D$ 越小, 介质衰减越小。为了降低 ϵ_c 值, 同轴对的绝缘由聚乙烯和空气组合而成, 并尽可能在这种混合绝缘中增加空气的相对体积。

聚乙烯泡沫绝缘(如图2—10)的等效介电常数 ϵ_c 和介质损耗角正切 $\text{tg}\delta_D$ 的计算公式:



a) 鱼泡绝缘示意图 b) 管状区截面 c) 收缩区截面

图 2-10 聚乙烯鱼泡绝缘

$$\epsilon_D = \frac{h-b}{h} \times \frac{\ln \frac{D}{d}}{\ln \frac{D-2t}{d} + \frac{1}{\epsilon} \ln \frac{D}{D-2t}} + \frac{b}{h} \left[\frac{4(\epsilon-1)(Dt-t^2)}{D^2-d^2} + 1 \right]$$

式中: h —鱼泡节距(毫米)

b —收缩区宽度(毫米)

t —管壁厚度(毫米)

D —外导体内径(毫米)

d —内导体直径(毫米)

ϵ —介质的介电常数, 聚乙烯为 2.3

$$\text{tg} \delta_u = \frac{(h-b)\epsilon_1 \text{tg} \delta_1 + b\omega_2 \text{tg} \delta_2}{\epsilon_D h}$$

式中: $\epsilon_1 \text{tg} \delta_1$ —聚乙烯的介电常数和介质损耗角正切

$\epsilon_2 \text{tg} \delta_2$ —空气的介电常数和介质损耗角正切

第六节 同轴对的绝缘电阻及耐电强度

一、绝缘电阻

绝缘电阻是表征电缆绝缘能力的特征值, 即在电场作用下, 电介质中载流子做定向运动时所遇到的阻力, 等于绝缘上所承受的电压与通过绝缘中总漏泄电流之比。

影响绝缘电阻的主要因素:

(一) 电场强度: 弱电场时, 绝缘电阻与场强几乎无关; 在高场强时, 绝缘电阻随场强的增加而下降。

(二) 杂质: 各种杂质离子, 特别是水分, 会使绝缘电阻大大下降。

二、耐电压强度

在产品标准中, 规定电缆产品应具有一定的耐电压强度, 目的是考核电缆产品在工作电压下运行的可靠程度, 发现绝缘中严重缺陷和工艺中的缺点。如绝缘中有严重的外部损伤, 导体上有毛刺, 外导体及屏蔽钢带边带刺, 扎破绝缘层等。因此耐电压是一项基本的电性能之一。

(一) 耐电压

在绝缘上加上高于工作电压一定倍数的电压值, 保持一定的时间, 要求产品能经受这一试验电压而不击穿。

(二) 耐电压数值的选定原则

选定耐电压值时, 既要能发现绝缘中的严重缺陷, 又不致损伤完好的绝缘。因此, 一般耐电压值为电缆额定工作电

压的2—3倍,加压时间2—15分钟。如小同轴对内外导体间耐电压为交流2000伏/2分钟不击穿。

第七节 同轴回路的干扰

一、同轴对间干扰的概念

从理论上讲,当同轴对内外导体完全同轴心时,即为理想同轴对,它的磁场被封闭在内外导体之间,同轴回路不会产生干扰。然而,在实际情况下,并非如此,它们不仅受到外界干扰,而且两个同轴回路的外导体所组成的第Ⅲ中间回路,以致同轴回路间均存在着相互干扰,也是通常所说的同轴对间的串音。它和主串与被串回路导线的互相位置、通信方式、结构及其均匀程度、所用材料及绕包方式有关,也和电缆回路的长度和传输信号的频率有关。

在同轴回路中,频率越高,集肤和邻近效应越显著,外导体上的电流集中于外导体的内表面上,外导体外表面上的电流就小了,因而外导体表面上的电压降越小,经过第Ⅲ回路的电流也就越小。同时,同轴回路本身的屏蔽作用增长了对邻近回路干扰的防卫能力,在很高频率下,全部电流集中于外导体内表面,外表面的电压降趋于零,屏蔽作用达到了最大。为了在较低的频带(低到60至300千赫)内得到较高的串音防卫度,通常采用两层镀锡钢带绕包于外导体上,对同轴对进行屏蔽。

二、耦合阻抗

耦合阻抗 Z_{12} 表示主串回路外导体外表面所产生的电压

U_c 与同轴回路流过的电流 I 之比值:

$$Z_{12} = \frac{U_c}{I}$$

耦合阻抗称为同轴回路的一次干扰参数。

第八节 同轴对的波阻抗不均匀性

一、同轴对不均匀性的一般概念

当电磁波沿着不均匀线路传播时,在线路的阻抗变化处就会产生反射,由于材料结构尺寸与制造工艺的缺陷和分散的影响,同轴对的波阻抗总是不均匀的。同轴对的不均匀性就是指同轴对的波阻抗值沿长度分布的不均匀性。同轴对的波阻抗的不均匀性用反射系数 P 来表示,波阻抗的不均匀性大,直接影响通信质量,所以,反射系数越小越好。

二、同轴对不均匀性的种类及产生的原因

(一) 内部(电缆制造长度内)不均匀性

同轴对主要由四部分所组成,一是标称直径的铜内导体,二是具有标称厚度和宽度的软紫铜带制成圆管形外导体,三是内外导体间有标称厚度、外径的绝缘层,四是绕在铜外导体外的两层镀锡钢带屏蔽层。这四部分构件在制造长度内的偏差、偏芯、不同心度,是不均匀的。在绕包钢带时绕包张力的变化等(如内导体直径沿长度的变化,绝缘厚度的不均匀,偏芯,外导体的变形,凹陷,即 Δd 、 ΔD 、 $\Delta \epsilon_D$ 、 Δt 等因素的变化),都会使同轴对波阻抗的不均匀性大。上述原因引起的不均匀性称为内部不均匀性。

同轴通信电缆在制造、存放、搬运、敷设等过程中的磕碰、压偏，也使外导体变形，也会造成不均匀性。

(二) 接续不均匀性

将波阻抗不同的电缆相互连接，必然在接头处产生反射，这种不均匀性称接续不均匀性，它主要是由于配盘和接续不当而造成。

(三) 机线连接不均匀性

同轴对和载波机、增音机的输入阻抗不完全匹配时，在每个增音段的两端或与载波机的接续处出现波阻抗的不均匀点，称机线失配不均匀性。

三、不均匀性对传输质量的影响

由于上述原因，同轴回路的波阻抗沿线路是不均匀的，因此，电磁波在线路传输时会产生反射现象。电缆内部的不均匀点也是阻抗的失配点。当电磁波沿电缆传输时，遇到不均匀点，会造成波阻抗的不均匀性大，即反射系数大，它使信号能量从始端向终端传输时，附加损耗大，而形成振幅失真及相位失真。振幅失真，影响通信质量，而相位失真，则对电视及影像的传输不利，如图2—11。

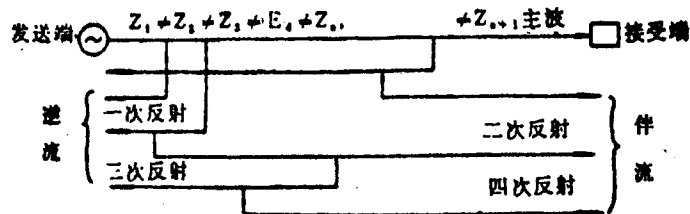


图2—11 电磁波沿线路的反射

从图2—11可看出，主波沿同轴对传输时，在不均匀点处产生反射，称一次反射。一次反射在返回始端途中，又遇到了其它不均匀点，又产生与主波方向一致的二次反射。同样，只要存在不均匀点，就会产生三次、四次……反射。由线路上各个不均匀点产生流向始端的奇次反射波称为逆流，逆流之和称逆流量。这类反射波返回始端，使其电压、电流的比值发生变化，从而引起输入阻抗的波动，它与标称值有一偏差，导致衰减频率特性的波动，使传输信号失真，影响通信质量。

所有与主波方向一致的偶次反射波称伴流，伴流之和为伴流量。二次反射波影响最为严重，四次以上的反射波能量已经很小，可以忽略。这种伴流传到终端经过的路程比主波长，因而与主波存在着相位差，对电视传输质量不利，会使接受信号发生重影，使电视屏幕模糊不清。

四、波阻抗不均匀性的表示方法

波阻抗不均匀性用反射系数P表示，公式是：

$$P = \left| \frac{Z_A - Z_B}{Z_A + Z_B} \right| = \frac{\Delta Z_c}{2Z_c}$$

式中： Z_A, Z_B —反射点两侧电缆波阻抗

Z_c —波阻抗的标称值

ΔZ_c —波阻抗的测试值与标准的偏差

也可以用反射衰减 b_r 表示波阻抗的不均匀性：

$$b_r = \ln \frac{1}{P} \text{ (奈)} \text{ 或 } b_r = 20 \lg \frac{1}{P} \text{ (分贝)}$$

还可以写成：

$$e^{b_p} = \frac{1}{p} = \frac{2Z_c}{\Delta Z_c}$$

$$b_p = -\ln p$$

反射系数 p 值大, 则反射衰减 b_p 值小, 说明波阻抗的不均匀性严重。

第三章 同轴对所用原材料

第一节 金属材料

一、铜导线

(一) 铜导线的主要特点

铜导线是生产通信电缆的主要导电线材, 具有优良的导电性和机械性能, 易加工和焊接。一般用于电缆的都是无氧(低氧)铜, 其纯度不低于99.8%, 符合国家标准GB466—64中的二号铜要求。

1. 电性能

- (1) 它是一种良导体, 导电率高, 仅次于银;
- (2) 具有足够的机械强度、抗拉强度和伸长率;
- (3) 具有良好的变形能力, 能经过拉伸、压轧成一定规格的线材;

(4) 易于焊接和敷设安装;

(5) 有较好的防腐性。

2. 物理性能

- (1) 比重为8.89克/(厘米³);
- (2) 熔点为1084.5℃;
- (3) 沸点为2310℃;
- (4) 线膨胀系数为 $1.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (20—100℃/时)
- (5) 比热(20℃)为0.0985卡/克℃

(二) 同轴对用铜导线

同轴对用导线做为同轴对内导体。铜导线是由铜锭经热

轧（或连铸连轧）成为铜杆，酸洗去氧化皮后拉制成铜线。为了减少或消除视在介质损耗，目前采用无氧铜杆。小同轴对内导体标称线芯直径1.2毫米，中同轴对内导体标称直径为2.6毫米，一般用半硬铜线。

由于同轴对的特点，要求线材直径是均匀的，内导体的任何变化对同轴对质量影响最大，通常允许标称直径公差为 ± 0.005 毫米，由表3—1可看出，当其它条件不变，而内导体直径变化超出允许公差时端阻抗的变化情况。表3—2给出了当其它条件都不变，保证端阻抗不变，内导体直径偏差和外导体内径偏差的关系。

表3—1 内导体直径偏差与端阻抗偏差的关系

内导体尺寸偏差（毫米）	± 0.006	± 0.007	± 0.008	± 0.009	± 0.01
波阻抗偏差（欧姆）	± 0.133	± 0.155	± 0.178	± 0.200	± 0.222

表3—2 内导体直径偏差与外导体内径偏差的关系

内导体直径偏差（毫米）	± 0.06	± 0.07	± 0.008	± 0.009	± 0.01
外导体内径偏差（毫米）	± 0.0218	± 0.0255	± 0.0291	± 0.0328	± 0.0364

铜线表面应光洁，不得有三角口、裂纹、毛刺、起皮、夹杂物、机械损伤、氧化等缺陷等。导线半成品应成卷或成盘供应，排线应整齐，不应有乱线和粘线等现象。

二、铜带

铜带也叫紫铜带，是生产同轴对的重要材料之一。铜带除了作为同轴对的外导体外，还是同轴对的屏蔽体。

（一）同轴对用铜带规格和尺寸

铜带牌号为T₂，状态为Y。小同轴对用铜带厚度及允许偏差为 $\begin{matrix} +0.015 \\ -0.01 \end{matrix}$ 毫米；中同轴对用铜带厚度及允许偏差为 0.25 ± 0.008 毫米。

（二）铜带的要求

同轴对用铜带表面应光亮、清洁，不得有裂纹、起皮、气泡、夹杂、斑点、辊印、压折和严重划伤等缺陷。带材应平直，带材侧边弯曲度每米不大于4毫米。带材两边切齐，无毛刺、裂边和卷边。

铜带厚度偏差越小越好，如厚度超差，影响同轴对的端阻抗。铜带厚端阻抗小，铜带薄端阻抗大。若厚度偏离标称值较远，也会使端阻抗不合格。铜带厚度不均匀，影响同轴对的反射系数，不均匀程度越大，影响也就越大，而两端厚度相差大，会使端阻抗的两端差不合格。铜带长度不均匀，会使阻抗不均匀性增加，厚度沿长度周期性变化则会产生有害的结构回损。所以，铜带的要求是非常严格的。

（三）验收规则和检验标准

带材由供方技术检查部门验收，保证产品质量符合要求。生产前每捆带材应进行尺寸测量和用肉眼进行外观检查。

三、镀锡铜带

（一）我国主要生产有热镀锡和电镀锡两种铜带。根据长期使用发现电镀锡与热镀锡铜带相比较，电镀锡铜带优点是镀锡均匀，表面光亮，铜带表面油污少。缺点是附着力差，锡灰较大。目前多数厂家使用电镀锡铜带。

(二) 钢带用作同轴对的屏蔽层, 加强同轴对的机械强度。

(三) 镀锡钢带由0.5F、0.8F、B₁F、B₂F或类似的钢种制成。

(四) 钢带尺寸宽度及偏差是165或 200 ± 0.15 毫米, 厚度及偏差是 0.1 ± 0.01 毫米和 $0.15^{+0.02}_{-0.01}$ 毫米, 镀锡量 ≥ 0.1 68克/厘米²。

(五) 镀锡钢带表面应光亮平整, 镀层均匀, 附着力强。不应有分层、穿孔、裂缝、破边、毛刺及未镀上锡等缺陷存在。镀锡钢带质量对同轴对质量有很大的影响。附着力差, 给同轴对绕包带来很大困难; 锡灰易堵住模孔; 钢带有缺陷会使同轴对绕包不好, 引起电压击穿, 严重者会增加同轴通信电缆串音程度。

(六) 镀锡钢带的检验方法及验收标准

1. 成批验收, 每批应是同一炉罐号, 同一热处理炉号和同一尺寸规格组成;

2. 所有镀锡钢带, 外观质量均用肉眼检查; 厚度用精度为0.01毫米千分尺测量;

3. 钢带进行化学及物理检验, 包括深冲试验、弯曲试验、镀锡量的测量等。

第二节 绝缘材料

同轴对所用绝缘材料, 除了应具备高而稳定的介电性能; 良好的柔软性, 足够的机械性能, 易于加工的工艺特性

以外, 同时应具备电阻率大, 相对介电常数尽可能小(最好接近空气), 并要求其介质损耗角正切受频率的影响小。为了满足上述要求, 同轴对大都采用聚乙烯和空气组合绝缘。

一、聚乙烯

(一) 聚乙烯的基本特性

聚乙烯是白色或浅色的腊状固体物质, 可燃烧, 有很好的柔曲性、热塑性和弹性。

聚乙烯是由乙烯($\text{CH}_2=\text{CH}_2$)经聚合而制得的线型分子结构的高分子化合物。

(二) 聚乙烯的分级方法

聚乙烯的分级方法是熔融指数, 即温度在190℃和负荷为2160克时, 10分钟内从直径为2.090~2.100毫米的孔径内流出的重量(克数)。

熔融指数与分子量有关, 熔融指数愈小, 分子量愈高。值得注意的是, 熔融指数是在低剪切应力下测定的, 它不表示流动特性。

二、聚乙烯的性能

聚乙烯的主要性能见表3-3。

(一) 聚乙烯的物理—机械性能

聚乙烯的熔融指数、强度伸率、软化点和硬度均属于物理机械性能, 它与其分子量有关, 随着分子量的增大, 这些性能也有不同程度的增加。

机械性能与温度的关系较显著, 当温度升高时, 一部分结晶转化, 使结晶度、密度、机械性能降低, 塑性增加, 具

有良好的工艺成型的性能，并具有极小的吸水性。

表 3—3 高、低压聚乙烯的主要性能

性 能	高压 聚 乙 烯	低 压 聚 乙 烯
外 观	乳白色半透明粒子	乳白色半透明粒子
密 度 g/cm^3	0.915~0.925	0.94~0.96
吸 水 性 %	0.01	0.01
软 化 点 $^{\circ}C$	92~110	120~130
熔融指数 $g/10$ 分钟	0.2~2.0	0.3~0.5
低温脆点 $^{\circ}C$	<-70	<-60
抗张强度(断裂点) N/Cm^2 大于	1176	1960~2450
拉断伸率 % 不小于	300~600	100~300
击穿强度 kV/mm 大于	30	30
体积电阻率 $\Omega-Cm$ 大于	10^{15}	3×10^{16}
$t_{50}MC$ 时	2.3	2.3~2.35
$t_{60}MC$ 时 小于	2.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
膨胀比不大于	1.5	1.5

(二) 聚乙烯的电气特性

聚乙烯分子结构对称，因而有优良的介电性能，而且温度性能也很好。聚乙烯的介电常数与密度有关，随着密度增加，介电常数也随着增大。聚乙烯介电常数随着温度的升高略有下降。它的介电常数比较小，在电场的作用下，在广阔的频率范围内介电常数变化很小，几乎不变，所以被称为高频介质材料。

聚乙烯介质损耗角正切很小，它随频率的变化而稍有变化。随温度的改变也有一些变化。在加工的过程中，与氧接触而被老化，损耗将有增加。所以要在聚乙烯中加入稳定剂，以克服此缺点。

聚乙烯的电压击穿强度与厚度及温度有关。随着温度的

升高，击穿场强逐渐降低。试验证明，温度为 $60^{\circ}C$ 以上时，聚乙烯的击穿场强将急剧下降。

(三) 聚乙烯的化学稳定性

聚乙烯是非极性介质，在常温下，对臭氧有强的抵抗力。对其它化学药品也有稳定的忍耐性。它在水和空气中加热时，易氧化，引起变色、分解，机械性能和电气性能降低。长期暴露在大气中的聚乙烯由于日光中紫外线和空气中氧的作用，易变脆，即所谓的环境龟裂。所以聚乙烯中常加入抗氧剂，防止在加工过程中的氧化作用。

(四) 聚乙烯的工艺性能

同轴对所用聚乙烯加工方法主要是挤制，而聚乙烯易挤包成型，其质量与挤出机螺杆、模具和工艺制度等因素影响有关。同时聚乙烯的分子结构对加工性能也有一定影响。

(五) 聚乙烯的选用

聚乙烯主要用于同轴对内外导体间的绝缘介质和同轴对绝缘外包带。

作为绝缘介质，目前一般采用高压聚乙烯，要求聚乙烯不受潮，无水分，无杂质，电特性优越等。

三、聚乙烯的检查与验收

(一) 外观和清洁度用肉眼直观检查。

(二) 进行密度、吸水性、软化点、熔融指数、体积电阻率、相对介电常数和介质损耗角正切的测定。

(三) 进行耐寒性、机械性能和击穿电压强度的试验。

第四章 同轴对制造设备

第一节 中同轴对屏蔽机

一、机械设备

2.6/9.5中同轴对屏蔽机主要由放线部分、工作部分、牵引和收线部分所组成。

(一) 放线部分包括内导体放线架和铜带放线架。

(二) 工作部分

1. 嵌片部分由嵌片盘、校直装置、变速箱、振动料斗和防护罩等所组成。

嵌片盘系水平式，其转动由变速箱带动，垫片由电磁振动料斗送入嵌片盘，振动料斗及料槽直接放置在嵌片盘上。由于料斗振动，料筒内垫片依次振入料槽，顺槽进入嵌片盘内。

嵌片盘共有两只，结构相同。嵌片时先将垫片从径向切开并沿刀口交错地进入内导体。垫片切口互相交错 180° 。为了在漏片时能使设备及时停车，迅速补片，有自动停车装置。

还有一种单盘单料槽的嵌片机，其特点是不用电磁振动料斗，而是由机械机构使其摆动送料。切口上所用的刀直接装在出料口和下方托板间的中心位置，这种机构的优点是简单。变速箱由三联齿轮和两对蜗杆等组成，三联齿轮进行变速，可改变嵌片节距。

校直装置由放线盘出来的铜线进入导轮，使导线被校直。

2. 纵包部分由机架、纵包模、导轮、防护罩等组成，一般加吸尘设备。

3. 绕包部分由机架、绕包头、备带架、变换齿轮、导轮等组成。绕包头系同心式结构，可以提高速度。运动由离合器将总传动轴上的动力传入中间齿轮，通过变换齿轮，然后由齿轮、链条传到绕包头。绕包头的转向（即绕包方向）可通过改变变换齿轮的搭配方式来实现。离合器仅控制绕包头的动作和停止之用。

备带架主要用作放置备用钢带和绝缘带用。

(三) 牵引部分

牵引部分由牵引轮、齿轮箱、制动器和计米器等组成。

(四) 收线部分

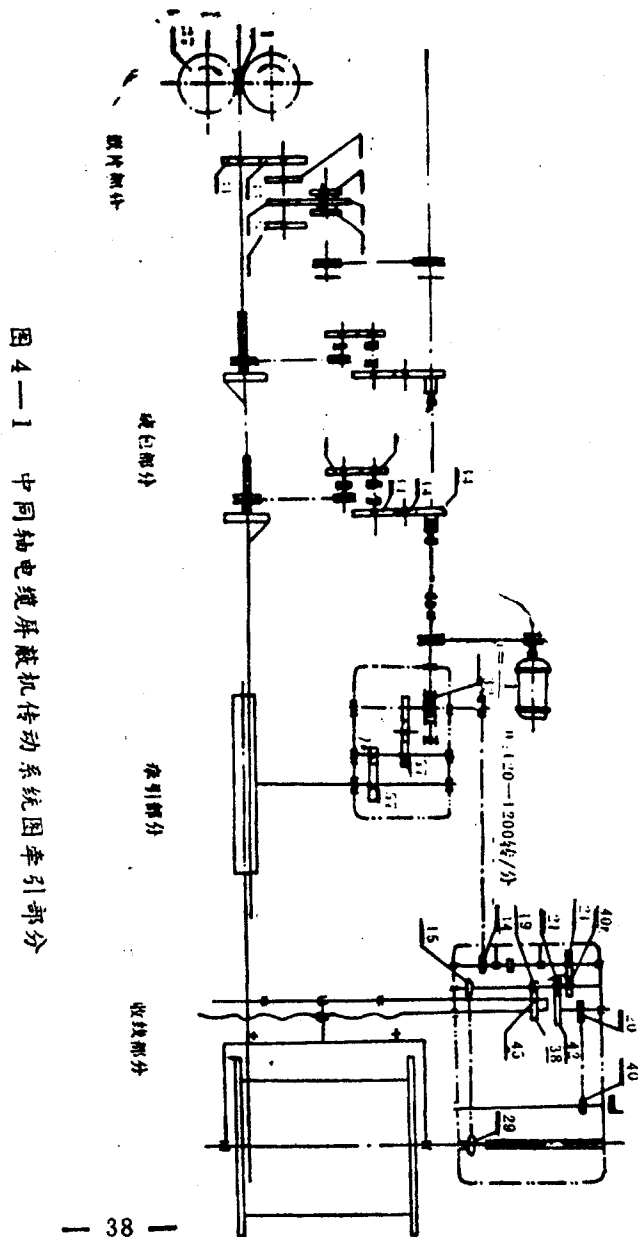
收线部分由齿轮箱、左右轴座、座板等组成。收线装置有两种结构，一种是不用单独排线装置，而靠线盘本身的轴向移动进行排线，所以线盘既要收线，又要排线。另一种则是传统的收线装置，即收线装置分成排线与收线两个部分。以上两种收线装置各有优缺点。

齿轮箱由圆柱齿轮及链条组成。

收线反向机构由拉杆两端弹簧和反向装置完成。收线时将收线盘放在带有滚动轴承的架上，顺着导轴移动。另一端机座固定不动，动力由牵引轮传来，经过齿轮箱的磨擦打滑装置（调节张力），分别传到收线和排线丝杠。

(五) 传动系统

传动系统如图4—1所示。电机通过主转动轴，由链条或齿轮传动使嵌片部分、各绕包头、牵引收线动作，达到要求的节距和嵌片距离。



1. 绕包头转速:

变换 Z_1 、 Z_2 可得到不同的绕包节距，几种不同的变换齿轮的绕包节距如表4—1。

变 换 齿 轮	Z ₁	49	44	41	37	33	30	25
	Z ₂	25	30	33	37	41	44	49
绕包节距 (毫米)	T ₁	6.4	8.6	10.2	12.6	15.7	18.5	24.7

$$U = (120 \sim 1200) \times \frac{145}{298} \times \frac{1}{22} \times \frac{20}{35} \times \frac{35}{34} \times \frac{20}{57} \times \pi$$

$$= 1.03 \sim 10.3 (\text{米/分})$$

3. 嵌片节距;
嵌片的转速 n_k 为

$$\begin{aligned} n_z &= (120 \sim 1200) \times \frac{145}{298} \times \frac{141}{141} \times \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{33}{31} \times \frac{1}{37} \\ &= (1.68 \sim 16.8) \times \frac{Z_1}{Z_2} \end{aligned}$$

Z_1 、 Z_2 由三对滑移齿轮组成,可以得到三种不同的节距,即嵌片节距 $T=30$ 、25、20,如表4—2所示。

表 4—2

嵌片节距表

精 移 齿 轮	Z ₁	34	30	37
	Z ₂	26	30	33
嵌片节距(毫米)	T	20	25	30

第二节 小同轴对屏蔽机

一、设备用途及技术规范

1.2/4.4小同轴对屏蔽机供对外导体纵包、绕包屏蔽层及外绝缘层之用。该机最大制造长度1080米，绕包头最大转速1000转/分；牵引轮直径800毫米，最大生产速度11米/分，收线盘尺寸(D×d×L)=1000×760×290(毫米)。

二、机械部分

小同轴对屏蔽机的机械部分除嵌片部分外基本与中同轴对屏蔽机相同。

(一)放线部分包括内、外导体放线架。

(二)工作部分

1. 纵包部分由机架、纵包模、导轮等组成。

2. 绕包部分由机架、绕包头、备带架、导轮、防护罩、变换齿轮等组成。主要用于绕包屏蔽层和外绝缘层。它由离合器将总传动轴上的动力传入中间齿轮，通过变换齿轮、链条传给绕包头。改变变换齿轮的齿数，可改变包带节距。而绕包头的绕向则由齿轮的搭配方式来完成。小同轴对屏蔽

机有两种包带方式，一是钢带绕包采用同心式绕包；二是塑料带绕包，它又分为两种绕包方式，一种是同心式绕包，另一种是平面式绕包。同心式绕包具有适应高速地、平稳地旋转的特点。导线必须从中心通过，所以必须贮存足够的带盘备用。平面式绕包，带材在整个绕包过程中，由于大盘钢带张力小，小盘钢带张力大，因此带材在整个绕包过程中张力是在不断的变化，影响同轴对的波阻抗不均匀性。因而，在钢带绕包头上，装有钢带自动张力装置，用来调整绕包钢带的张力。

备带架是放置备用钢带和绝缘带。

(三)牵引与收线部分与中同轴对屏蔽机相同，在此不做详细介绍。

三、传动系统

小同轴对屏蔽机传动系统如图4—2。根据传动图求出各工艺参数：

(一)主机转速为1500转/分

(二)主传动轴转速 $n_{\text{主}} = 1500 \times \frac{120}{320} = 562.5 \text{ 转/分}$ ；

(三)3号绕包头转数 $n_{\text{线}} = n_{\text{主}} \times \frac{56}{64} \times \frac{A_3}{B_3} \times \frac{80}{80}$
 $= 492.2 \times \frac{A_3}{B_3}$

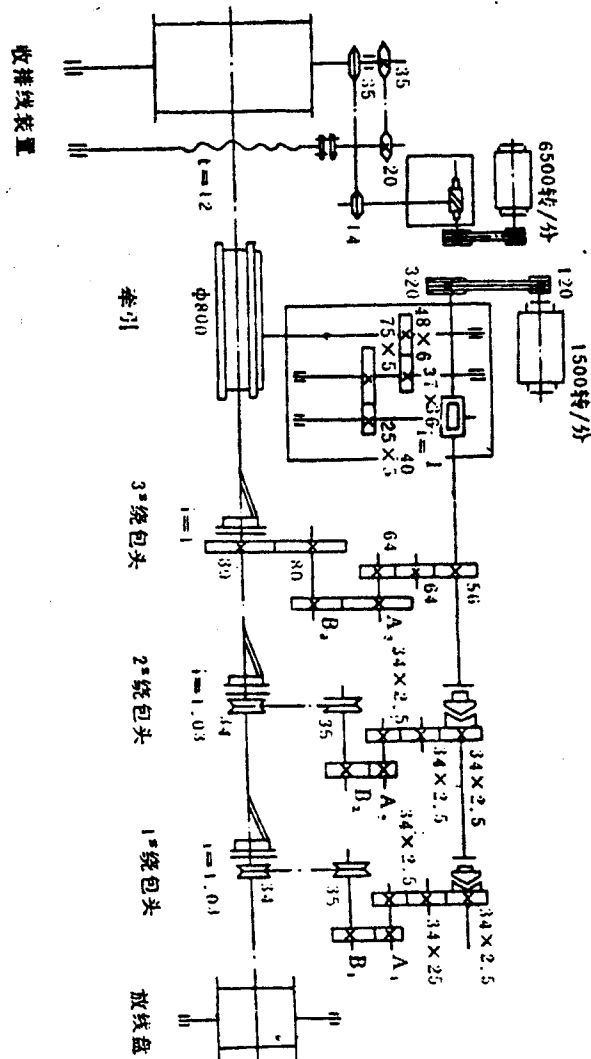
(四)牵引轮转数 $n_{\text{牵}} = n_{\text{主}} \times \frac{1}{40} \times \frac{25}{75} \times \frac{37}{48}$
 $= 3.61$

(五) 线速度 $U = n_{牵} \times \pi \times 0.8 = 9.07$

$$\begin{aligned} \text{(六) 绕包节距 } t &= \frac{\text{牵引速度} \times 1000}{\text{绕包头转数}} \\ &= 9.07 + 492.2 \frac{A_3}{B_3} \times 1000 \\ &= 18.4 \times \frac{A_3}{B_3} \end{aligned}$$

四、操作工艺要点

为了保证产品质量，起动主机时速度应缓慢提高，起动速度过快使同轴对突然受拉，造成端阻抗不均匀性。开车时，注意内外层钢带张力的变化情况，使钢带张力松紧适当，防止钢带张力过紧或过松，造成同轴对的端阻抗过大或过小，以及反射系数过大，稳定性差。



第五章 同轴对屏蔽的制造工艺

第一节 屏蔽的基本原理

交流回路间的干扰是由交变电磁场引起的。干扰源的电磁场穿过被干扰回路，在被干扰回路内产生干扰电流。屏蔽的作用就是用金属屏蔽体（钢、铜、铝、铅等），把主串回路和被串回路隔开，限制由干扰源所形成的电磁场作用，以此保证通信回路不受干扰和外来干扰的影响。

一、屏蔽体的种类

同轴通信电缆的屏蔽体可分为三种：

（一）静电屏蔽体

静电屏蔽体是把电场终止于屏蔽体的金属表面上，并通过接地的方法，把电荷送大地中去。屏蔽的效果好坏与接地质量有关。通常静电屏蔽体是由逆磁材料（铜、铝、铅等）制成。

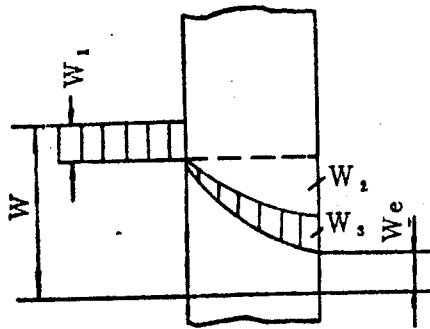
（二）静磁屏蔽体

静磁屏蔽体用强磁材料将磁场限制于屏蔽体内，只有少部分传入屏蔽的空间。屏蔽体的导磁越大，厚度越大，屏蔽效果越好。但屏蔽体的半径越大，则屏蔽效果越差。

静电和静磁屏蔽体只在低频时有效，频率增高后，屏蔽体内涡流作用增大，就会转入电磁屏蔽体的工作状态。

（三）电磁屏蔽体

电磁屏蔽体的作用主要是由于屏蔽体表面的反射和屏蔽体内高频能量衰减造成的，如图5—1所示。电磁能到达屏蔽体时，在介质与屏蔽体的界面上有 W_1 的能量反射回来。能量在穿越屏蔽体的过程中又损耗掉 W_2 的能量。当能量穿越第二个介面（屏蔽体—介质）又有一部分能量 W_3 反射回来，而剩下的一部分能量穿过屏蔽体进入被屏蔽的空间，由 W 衰减成为 W_c 。



二、屏蔽系数

屏蔽体的作用大小以屏蔽系数 S 来表示。屏蔽系数在数值上等于屏蔽层时，被屏蔽空间内某点的电场强度 E_s 或磁场强度 H_s 与没有屏蔽层时该点电场强度 E 或磁场强度 H 之比为：

$$S = \frac{E_s}{E} = \frac{H_s}{H}$$

屏蔽系数 S 的绝对值可从1变化到0，数值越小，屏蔽效果越好。

第二节 同轴对的屏蔽

同轴对的屏蔽作用主要取决于它的外导体及屏蔽钢带的结构及其电特性。外导体既是回路两导体的一根导线，也是屏蔽体，起着防卫干扰的作用。为了增加同轴对的屏蔽效果，在外导体外绕包两层两面镀锡的钢带作为屏蔽层。钢带镀锡主要是为了减少接触电阻，并形成锡—钢—锡多层屏蔽体的结构，以增强屏蔽效果。

同样的屏蔽结构，作为主串回路的同轴对的屏蔽性能，比作为被串回路的屏蔽性能要差些。被串同轴回路的屏蔽衰减要比主串同轴回路的屏蔽衰减大约高出 $L_{28}=3.3$ 分贝。

频率越高，屏蔽层越厚，越多，屏蔽效果越好。由于多层屏蔽体在层与层接触处的反射衰减，所以，多层屏蔽体的屏蔽衰减比一层同厚度的屏蔽体的屏蔽衰减要大。

第三节 同轴对工艺参数的

选择与结构计算

一、同轴对导体材料和尺寸的选择

目前，我国生产的同轴对均用铜作导体。对于一定尺寸的同轴对如全部采用铝导体时，衰减要比铜的同轴对大29%。在同样结构尺寸的情况下如果采用铜内导体，铝外导体的同轴对结构，则衰减比全铜的同轴对大6%，但可节约铜65%。因此，有的国家生产的单管中同轴通信电缆采用

铝外导体。

在同轴对中，内外导体存在着最佳尺寸条件。由于同轴对必须满足严格的波阻抗要求，当波阻抗规定后，等效介电常数 ϵ_D 与 $\frac{D}{d}$ 存在着一定关系：

$$\frac{D}{d} = e^{\frac{Z_c}{60} \sqrt{\epsilon_D}}$$

因此，实际上 $\frac{D}{d}$ 值决定于 ϵ_D 值，在目前的材料和工艺

条件下，为了保证全面的电气、机械性能， $\frac{D}{d}$ 总略大于

3.6。当 ϵ_D 和 $\frac{D}{d}$ 值确定后，全铜同轴对理想结构外导体内径的数值D就根据给定的衰减常数 α 值和下公式来确定：

$$D = \frac{8.30 \sqrt{\epsilon_D f} \left(\frac{D}{d} + 1 \right) \times 10^{-3}}{12 \alpha \ln \frac{D}{d}} \quad (\text{毫米})$$

式中：D—同轴对外导体内径（毫米）

d—同轴对内导体直径（毫米）

f—频率

ϵ_D —等效介电常数

α —衰减常数

内导体直径可根据D值和 $\frac{D}{d}$ 值来确定。

二、同轴对外导体厚度的选择

同轴对外导体的厚度选择要从电气性能、机械强度和制造工艺的条件出发。

当外导体厚度很薄时，低频段的信号电流将穿透外导体，这样，既引起固有衰减特性的明显波动，给增音机的低频均衡带来较大的困难，同时也对同轴通信电缆的串音带来不良的影响，机械强度也不能满足要求。铜带厚，衰减小，在低频时外导体厚度对衰减的影响最大，并随着频率的升高而迅速减小，并造成经济上不必要的浪费。铜带厚度的偏差对同轴对质量的影响较大。小同轴对在60千赫时，当铜带厚度偏差为0.01毫米时，衰减偏差为0.026分贝/公里，在500千赫时，当铜带厚度偏差为0.01毫米，其衰减偏差小于0.009分贝/公里。对于小同轴对，外导体选用0.15毫米厚铜带。对于中同轴对，复用频率从312千赫开始，在这以上的频率，0.25毫米铜带对衰减影响很小，所以中同轴外导体选用0.25毫米厚的铜带。

沿长度均匀而完整的圆柱体是最好的外导体形式，在这

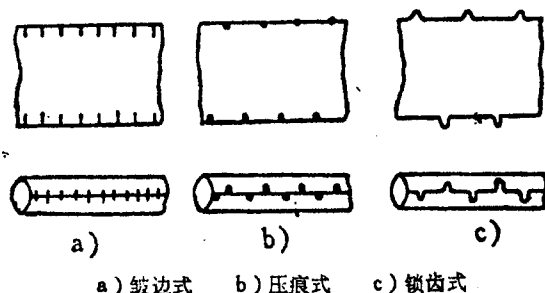


图5—2 外导体的结构型式

种情况下，所传输的能量在没有附加损耗与畸变的情况下，沿着同轴对传输，而且回路相互间及对外干扰的防卫度也较高。但它的柔软性较差，工艺复杂，因而目前采用纵包（纵缝）的圆管。纵缝的形式有以下几种：

（一）锁齿式外导体

如图5—2 c)所示，用厚为0.25~0.30毫米的有齿铜带纵包而成，铜带两边的齿是互相错开的，使纵包成型时，纵缝两边的齿互相咬合而形成坚固而又十分稳定的空管圆柱体。在结构和电气特性方面，这种外导体与理想外导体相当接近。其缺点是耗铜较多，加工工艺较复杂。这种结构的外导体主要用在中同轴对上。

（二）皱边式外导体

如图5—2 a)所示，预先在铜带两边连续轧出反向锯齿形波纹，使得纵包成型后一边凹部刚好对准另一边凸部，从而互相顶住，形成一个圆柱形空管外导体。它的优点是省铜，工艺较简单，而比锁齿式有较高的耐电压水平，一旦工艺成熟，操作水平提高时，对波阻抗及其均匀性均会带来很大的好处。目前，中、小同轴电缆主要采用这种结构。

（三）压痕式外导体

如图5—2 b)所示，它是皱边式的另一种形式，它是在铜带两边每隔7—8毫米滚压成有规则的压痕，两边的压痕相互错开，纵包时相互顶住，形成一个圆柱形空管外导体。

三、屏蔽层的选择

由于外导体是一个带纵缝的圆管，电磁波会从缝隙处穿出而影响其它电路，同时外界电磁场也会在低频时对同轴对

引起干扰。因此同轴对外导体外包屏蔽层,不仅增强了同轴对本身的机械强度,也使其电气性能稳定。从减轻干扰的要求来考虑,屏蔽层最好采用纵包并焊接的结构,但这会使电缆弯曲性能变差,加工工艺困难。目前采用较多的是双层绕包结构。

绕包钢带时,绕包角 α 在 $0 \sim 180$ 度之间。在这种屏蔽体中,电流将沿螺旋方向流动,如图5—3所示。这个电流用两个分量的形式来表示:纵向分量 I_z 及切向分量 I_φ 。屏蔽钢带绕包后,由于 I_z 和 I_φ 的作用,产生了 H_φ 和 H_z 磁场。 H_φ 处于同轴对内部,而纵向磁场 H_z 作用于同轴对外,成为同轴对之

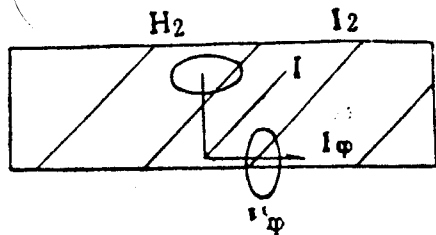


图5—3 在螺旋带内电流的纵向分量 I_z 及切向分量 I_φ

间附加相互干扰的根源。实验及理论分析证明,当采用以 $\alpha=45^\circ$ 角反向绕包的两层钢带的屏蔽层时,会取得良好的效果,因为在这种情况下,螺旋形所引起的纵向磁场 H_z 得以互相抵消。

在钢带绕包结构中,应当尽可能消除绕包钢带的螺旋效应,使串音电流沿同轴对纵向流动。为此,在钢带上镀有镀层,以减少钢带之间的接触电阻。我国采用在钢带上镀锡,也有的国家采用镀铜。

采用接触电阻较小的镀锡钢带时,两层钢带反向绕包

(其中一层必须重叠绕包)比同向绕包效果好。反向绕包结构较稳定,弯曲后钢带接触电阻变化小,故小同轴对通常采用反向,内层间隙,外层重叠绕包的屏蔽结构;而中同轴对由于串音已达到要求,为了改善弯曲性能和便于生产,一般采用同向间隙绕包结构。

四、钢带宽度的计算

钢带宽度的计算如图5—4。

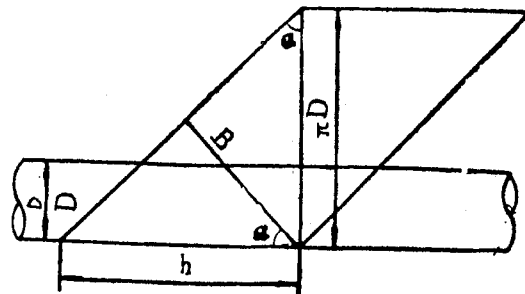


图5—4 螺旋绕包的展开图

$$(一) \text{ 绕包角 } \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{h}{\pi(D+t)}$$

式中: h —绕包节距(毫米)

D —外导体外径(毫米)

t —包带厚度(毫米)

$$(二) \text{ 钢带宽度 } B = \pi(D+t) \frac{1}{1 \pm K} \sin \alpha$$

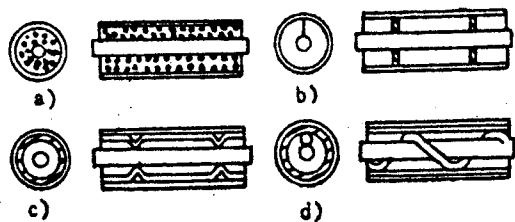
式中: K —重叠或间隙的宽度 c 与钢带宽 B 之比,重叠绕包采用 $1-K$,间隙绕包采用 $1+K$ 。

实验及理论分析说明,当采用以 45° 角反向绕包的两层钢带的屏蔽时,会取得良好的效果,因为这种情况下螺旋所引起的纵向磁场得以互相抵消。目前镀锡钢带大都采用宽度为12.5毫米,绕包角接近 45° 角的工艺。

五、同轴对内外导体间绝缘形式的选定

同轴通信电缆用来进行高频载波通信,因此要求其绝缘有较小的介电常数 ϵ_d 和介质损耗角正切 $\tan\delta_d$ 值,以减少信号传输时能量的损耗。再则同轴对的绝缘决定着内外导体间严格的同心性,因而,它也要具有良好的机械性能。目前一般采用的是以固体绝缘材料做支撑,在其中加入足够量的空气形成组合绝缘。这种绝缘形式具有良好的电气性能,可以减少信号在电缆传输时能量的损耗,同时又有一定的机械强度,从而能满足高频载波通信的要求。

同轴对的绝缘形式如图5—5。



a) 泡沫聚乙烯 b) 聚乙烯垫片 c) 聚乙烯鱼泡 d) 内扎绳管

图5—5 同轴对的绝缘形式

(一) 泡沫聚乙烯绝缘

泡沫聚乙烯绝缘如图5—5 a) 它是在聚乙烯中混入

一种发泡剂,将这种混合好的料放入挤塑机中,挤出时,因发泡剂受热分解产生气体,而使聚乙烯形成互相隔离的多孔塑料。也有用气体直接注入法使塑料发泡的工艺。泡沫绝缘保持了实心绝缘的某些优点,防潮性和耐压强度较好,也具有组合绝缘的优点,它的等效介电常数较低。

(二) 聚乙烯垫片绝缘

聚乙烯垫片绝缘如图5—5 b)所示,它是在同轴对内导体上每隔一定距离放置一个垫片作为绝缘。大都采用嵌片法,由嵌片机将预制的垫片嵌在内导体上。在进行嵌片时,有的使其侧面切口的位置周期地作 180° 变换,也有的不作这样的处理。还有采用直接注塑法在内导体上浇铸垫片。这种方法在生产中同轴电缆广泛使用。

(三) 聚乙烯鱼泡绝缘

聚乙烯鱼泡绝缘如图5—5 c),它是在内导体上挤壁厚为一定尺寸的聚乙烯管,在半熔融状态下通过“鱼泡”轧印设备,每隔一定距离轧上周期性的收缩印,将空管固定在内导体上。这种结构多用小同轴电缆上,其结构稳定性及电性能均好。

(四) 内扎绳管绝缘

内扎绳管绝缘如图5—5 d),它是在内导体上先以螺旋形绕扎塑料绳,外挤一定厚度的聚乙烯管而构成。根据电缆的不同要求,塑料绳可采用聚乙烯或聚苯乙烯等制成。这种绝缘形式的缺点是制造工艺复杂,质量不易控制, δ 值大。

此外，还有螺旋绝缘、聚乙烯竹节式绝缘等。

(五) 结构计算

1. 内导体的重量W

$$W = S\rho = \frac{\pi}{4} d^2 \rho \quad (\text{公斤/公里})$$

式中：S—导体截面积（毫米²）

d—导体直径（毫米）

ρ —所用材料的密度（克/厘米³）

2. 外导体的重量W

$$W = \pi (D+t) \cdot t \cdot \rho \quad (\text{公斤/公里})$$

式中：D—外导体内径（毫米）

t—外导体的厚度（毫米）

3. 绕包带材的重量W

$$W = \pi (D_1 + nt) nt \frac{\rho}{1 \pm K} \quad (\text{公斤/公里})$$

式中：D₁—绕包前外径（毫米）

n—绕包层数

t—带材厚度（毫米）

K—重叠或间隙的宽度e与带宽B之比值，重叠绕包

采用 1-K，间隙绕包采用 1+K

4. 内外导体间绝缘层的重量W

(1) 鱼泡绝缘层的重量W₁

$$W_1 = \pi (D-t) t \rho \quad (\text{公斤/公里})$$

式中：D—鱼泡管外径（毫米）

t—鱼泡管壁厚度（毫米）

(2) 垫片绝缘层的重量W₂

$$W_2 = \frac{1000G}{h} + \frac{G}{1000} \quad (\text{公斤/公里})$$

式中：G—一千只绝缘垫片的重量（公斤），每只垫片重约 0.12克

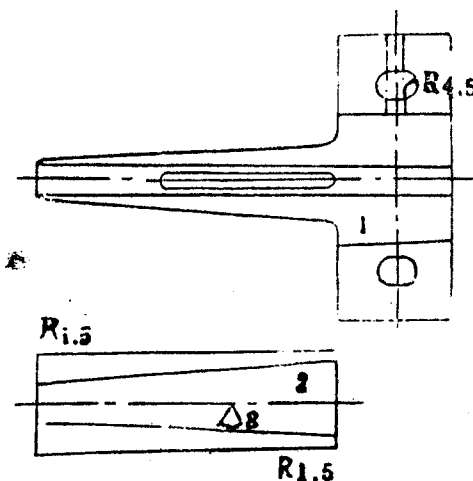
h—两只绝缘垫片间的距离（毫米）

第四节 模具及量具

一、主要模具的名称及作用

(一) 纵包模

绝缘线芯和铜带经纵包模将软化的铜带逐渐变成锥形进入成型模。纵包模包括纵包上模和纵包下模，如图5—6所示。



1. 纵包上模 2. 纵包下模

图5—6 铜带纵包模

(二) 成型模

位于纵包模前端。它是将从纵包模出来锥形外导体进一步成型为圆柱形, 保证铜带两边互相很好的合并, 如图 5—7 所示。

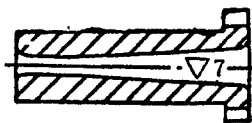


图5—7 成型模

(三) 定径模

此模设在离成型模很近的一个独立模架上, 其中心与前两模保持一致。它的作用是将铜带紧贴在聚乙烯绝缘管表面上, 达到理想圆柱结构尺寸, 如图 5—8 所示。

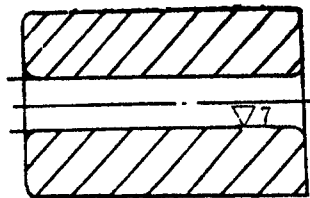


图5—8 定径模

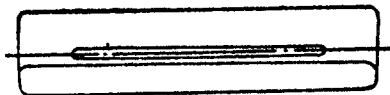


图5—9 重叠绕包模

(四) 重叠绕包模

镀锡铜带通过重叠绕包模平整地重叠绕包在同轴对上, 如图 5—9 所示。

(五) 整形模

设置在内、外层铜带及绝缘带绕包之后, 可使同轴管圆整, 以减小绕包时产生的振动和扭摆, 保证绕包质量, 如图 5—10 所示。

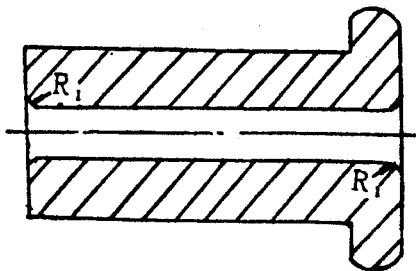


图5—10 整形模

为了保证同轴对质量, 所用模具除了应有正确的几何尺寸、合理的配置外, 还应具有相当高的硬度和耐磨性。为此, 所有模具应选用较好的钢材 (如工具钢等) 来制造, 并进行热处理, 硬度一般在 HR_{c60}° 左右。

各模具尺寸要符合工艺要求, 如有磨损、伤坏应及时更换。模孔不得有毛刺、裂纹, 光洁度要达到图纸要求。纵包、成型、定径模要保证同心, 严防铜屑、杂质进入模孔, 绕包模及导轮不得刮伤钢带。

二、常用量具

同轴对的生产要对原材料及成品进行结构尺寸的检查。通常使用的量具主要是游标卡尺和外径千分尺。

(一) 游标卡尺

属于万能量具。现常用的游标卡尺有三用游标卡尺、单面量爪游标卡尺和双面量爪游标卡尺三种。

游标卡尺是利用主尺和游标尺相互配合进行读数的, 主尺用来读出被测尺寸的整数部分, 游标尺是用来读被测尺寸的毫米小数部分。

(二) 外径千分尺

主要用来测量材料的厚度、外径尺寸。它是利用螺旋运动的原理, 把螺旋的旋转运动变成测杆的直线位移来进行测量的一种量具。

千分尺是贵重而精密的量具, 使用时要特别小心。使用前先用软布擦净两测量面, 然后旋转棘轮, 棘轮能带着微分筒灵活的旋转。使用前先校对“0”位, 然后进行测量。

第六章 常见废品的种类及防止的方法

在同轴对的生产过程中，由于结构尺寸的偏差，原材料和设备的技术性能，模具的精度，操作工艺和操作方法等对同轴对的质量有一定影响。

一、主要废品的种类及原因

(一) 端阻抗大于标称值

端阻抗大于标称值的主要原因是绝缘外径大，绝缘层偏薄，内导体直径小，纵包铜带宽度过大，铜带薄，定径模尺寸大等。例如鱼泡结构的小同轴对在生产鱼泡管时，由于管内充气过大，挤塑机出胶量过小或其它原因使鱼泡管外径大，管壁薄；钻石模过小使内导体直径小；屏蔽时所用的铜带宽度不合格，由于定径模使用时间过长或其它原因，使孔径过大，张力控制不好等都会造成端阻抗大于标称值。

(二) 端阻抗小于标称值

端阻抗小于标称值的主要原因是绝缘管外径小，绝缘层过厚，内导体直径过大，纵包铜带窄，铜带厚，铜带张力过大，定径模孔径小等。例如鱼泡结构的小同轴对在生产过程中，由于管内充气过小，挤塑机出胶量过大或其它原因使鱼泡管外径过小，管壁过厚；钻石模使用时间过长，孔径变大，使导线直径过大；屏蔽所用铜带过厚，铜带张力，特别是内层铜带张力太紧和屏蔽所用的定径模孔径太小等都会引起端阻

抗小。

(三) 两端阻抗差大

同轴对两端阻抗差值大的主要原因是导线外径偏差大，两端绝缘层和铜带厚度的尺寸相差过大，以及两端铜带张力相差过大所致。

(四) 反射系数大

反射系数大的主要原因是内导体直径大小不一；铜带的宽度、厚度及铜带张力变化比较突然；铜带回弹性过大；绝缘外径及绝缘厚度不均匀；内、外层铜带张力突变，特别是在换盘时，收线张力的不均匀；违反操作工艺规程等都会严重影响波阻抗的不均匀性。例如鱼泡结构的小同轴对，在生产过程中，由于设备或其它原因使鱼泡管外径和管壁厚度大小不一；鱼泡管有飞边，垫片不合格等现象而流入屏蔽中；铜带张力突变，特别是内层铜带换盘时张力控制不好；定径、成型、纵包三模调整不同芯等都会使反射系数大。

(五) 电压击穿

同轴对电压击穿的主要原因是导线有毛刺、起皮、太硬、有弯曲；内导体与绝缘层有缺陷；绝缘料不合格；铜带起皮、夹灰及切割时的“连刀块”等。

二、防止的方法

首先原材料及半成品均要符合工艺要求。铜线、铜带和铜带要挺直不弯曲，表面无麻坑、毛刺、氧化和铜沫，软化均匀，尺寸性能在整个制造长度均匀分布，椭圆度及厚度偏差越小越好。屏蔽时一定要选好纵包模、成型模和定径模的孔径，

且使三模在一个中心线上。内、外层钢带绕包张力和收线张力松紧适当，且使两个钢带张力趋于平衡，防止钢带扭转，并加强操作工艺水平，以保证波阻抗的均匀性。

第七章 小同轴通信电缆 产品标准及检查

一、产品标准

小同轴通信电缆的产品标准详见表 7—1。

二、检查

同轴对在生产过程中，要进行结构检查。同轴对生产好以后，要进行电气性能测试。

（一）结构检查

首先检查产品的外观是否合格，结构尺寸是否和工艺要求相一致。若符合要求，则进行电气方面的测试，否则要进行返修。

（二）电气性能测试

同轴对的电气测试，是在同轴对制造中确保产品质量的一项极其重要的工作。主要测试的项目有波阻抗、波阻抗不均匀性、长度、耐电压、绝缘电阻等。

三、电气性能测试仪表

（一）脉冲回波测试仪

用脉冲测试仪测定同轴对内部的波阻抗不均匀性，同轴对的端阻抗 Z_A 和 Z_B ，电缆长度以及障碍点的性质和距离。

脉冲回波测试法是利用信号在同轴对内传播的过程中，

表 7—1

小同轴对国家标准

项 目	指 标	换算公式
内导体直流电阻 Ω/km 20°C 不大于	16.0	$L/1000$
特性阻抗实部 Ω		
标 称 值 1 MHz	75	
允许偏差 1 MHz	± 0.75	
在各频率点上测得的平均值	见标准附录A	
端 阻 抗 Ω		
标 称 值	75	
允许偏差		
用 于 0.06~6MHz传输系统 不大于	± 0.75	
用 于 0.3~22MHz传输系统 不大于	± 0.50	
A B端阻抗差		
用 于 0.06~6MHz传输系统 不大于	0.70	
用 于 0.3~22MHz传输系统 不大于	0.50	
阻抗不均匀性		
用 于 0.06~6MHz传输系统		
100%不大于	4.0% (不小于 48dB)	
80%不大于	2.5% (不小于 52dB)	
用 于 0.3~22MHz传输系统或34 Mb/s传输系统100%不大于	3.0% (不小于 50dB)	
95%不大于	2.0% (不小于 54dB)	
三个最大不均匀性的平均值		
用 于 0.06~6MHz传输系统 不大于	3.5% (不小于 49dB)	
用 于 0.3~22MHz传统系统或34 Mb/s传输系统 不大于	2.8% (不小于 51dB)	

表 7—1 (续)

衰减常数 20°C	频 率 MHz	标称值 dB/km	允许偏差 dB/km	温度系数 $\times 10^{-3}$
	0.06	1.54	± 0.1	2.52
	0.1	1.84	± 0.1	2.35
	0.3	2.96	± 0.1	2.10
	0.5	3.77	± 0.1	2.00
	1.0	5.41	± 0.1	2.00
	1.3	6.12	± 0.2	2.00
	4.5	11.22	± 0.2	2.00
	12	18.36	± 0.2	2.00
	18	22.44	± 0.2	2.00
	22	24.80	± 0.2	2.00

遇到波阻抗沿电缆长度分布不同之处产生电磁反射的现象, 对同轴对的波阻抗及波阻抗不均匀性进行测试。

1. 脉冲的反射

在不均匀线路上, 信号沿线路传输, 当遇到线路的不均匀点时, 将产生信号的反射现象。如果输入的信号为恒定脉冲信号, 则反射脉冲的幅度大小相应地说明了线路波阻抗不均匀性的程度, 如图 7—1 所示。设线路不均匀点以前区段波阻抗为 Z_{c1} , 不均匀点以后区段的波阻抗为 Z_{c2} , 输入电

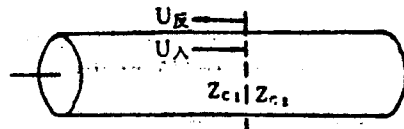


图 7—1 脉冲反射图

压幅度为 $U_{\text{入}}$, 反射电压幅度为 $U_{\text{反}}$, 则:

$$U_{\text{反}} = P U_{\text{入}} = \frac{Z_{c_2} - Z_{c_1}}{Z_{c_2} + Z_{c_1}} U_{\text{入}}$$

$$P = \frac{U_{\text{反}}}{U_{\text{入}}} = \frac{Z_{c_2} - Z_{c_1}}{Z_{c_2} + Z_{c_1}} = \frac{\Delta Z}{2 Z_c}$$

当 $Z_{c_2} = Z_{c_1}$ 时, 阻抗匹配, 脉冲信号能量全部被负载吸收, 反射系数 $P = 0$, 仪器荧光屏上不出现反射脉冲。当 $Z_{c_2} > Z_{c_1}$ 时, $P > 0$, 说明匹配阻抗过高(如线路断线或电感性故障), 当脉冲信号输入时, 会产生反射脉冲。此时, 反射脉冲的极性与发送脉冲相同。当 $Z_{c_2} < Z_{c_1}$ 时, $P < 0$, 匹配阻抗过低(如线路短路或电容性故障), 则反射脉冲的极性与发送脉冲相反。

2. 同轴对波阻抗不均匀性数值的测试

$U_{\text{反}} = P U_{\text{入}}$, 因此, 同轴对波阻抗不均匀性 P 的数值, 在保持发送脉冲电压恒定时, 即可用反射电压的幅度来表示。由于脉冲在同轴对回路中传输时存在着衰减, 因此, 脉冲在回路中遇到的各不均匀点, 即使其反射系数 P 相同, 但在回路中出现的地点不同, 脉冲回到始端所遭受的衰减也不同, 因此在荧光屏上显示的反射脉冲的幅值大小, 包括了电缆的衰减影响, 所以在测试中必须对衰减的影响进行校正。通常以 $P-L$ 校正曲线板校正电缆的衰减影响, 从而在脉冲荧光屏上可以直接确定沿线路各点波阻抗不均匀性的大小。

3. 不均匀点的位置及电缆长度的确定

由于各不均匀点是沿电缆长度分布的, 因此不均匀点的反射脉冲回到始端的时间就不同。越是离始端远的不均匀点, 其反射脉冲回到始端的时间越长。

若测得由线路始端发出脉冲到反射脉冲回到始端为止所经过的时间 t , 则可求得不均匀点到始端的距离为:

$$L = \frac{1}{2} U t$$

式中: U —脉冲信号在电缆中的传播速度(公里/秒)

t —反射脉冲到达始端时滞后于发送脉冲的时间(秒)

4. 同轴对端阻抗的测试

用脉冲回波测试法测出的同轴对波阻抗, 是两端短区段的波阻抗(区段的长短由脉冲宽度决定), 这与单一频率正弦波测出的同轴对的波阻抗是不同的。

(二) 测试方法

目前常用的测试方法是始端法。始端法是在仪器差动变压器或电桥的一端接被测同轴对, 另一端接模拟电缆端阻抗频率特性的平衡网络, 两根连接线必须保持平衡。在仪器发出脉冲后, 调整平衡网络, 当平衡网络调到与被测同轴对始端区波阻抗一样时, 则差动变压器或电桥输入仪器的脉冲电压为零, 在荧光屏上的电缆始端位置脉冲幅度将为零。这时平衡网络上的电阻值即是同轴对始端波阻抗值。目前所使用的国产 M693—1 型脉冲测试仪就是采用这种方法。除此方法外还有终端法, 由于终端法应用较少不作介绍。