

中等专业学校试用教材

通信线路

洛阳铁路电务工程学校主编

中国铁道出版社

1981年·北京

4770

内 容 提 要

本书共分十章。包括：概论、通信电缆的结构、通信线路的电气参数及传输特性、低频电缆的加感、通信电缆回路间的串音、对称电缆的平衡、通信电缆线路的气压维护、地下电缆的防护、通信电缆线路的测试、通信电缆线路的工程建设。

本书为中等专业学校的试用教材，也可供从事通信线路工程和维修的技术人员、工人参考。

中等专业学校试用教材 通信线路

洛阳铁路电务工程学校主编
中国铁道出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：11.5 字数：285 千
1980年1月 第1版 1981年8月 第2次印刷
印数：14,001—21,500册
统一书号：15043·4065 定价：0.95 元

前 言

本教材是根据铁道部教育局1978年《铁路中等专业学校教学计划试行草案》编写的，为铁路中等专业学校有线通信专业的试用教材。

本书内容包括：对称电缆和同轴电缆的结构、电气特性；低频电缆的加感；电缆回路间的相互串音和对称电缆的平衡；电缆线路的组成、防护、电气测试、气压维护、工程建设等。

编写过程中，得到了铁道部教育局的具体指导和铁道部电化工程局有关单位的大力协助，在此表示感谢。

由于我们水平有限，经验不多，书中一定会有不少错误，请批评指正。

本书共分十章，除第八章第三节由电化工程局赵光初执笔外，其余诸章由洛阳铁路电务工程学校李学春执笔并主编全书。内江铁路技术学校邱德智协编，柳州铁路运输学校蒋振纲主审。参加审稿的还有天津铁路工程学校，武汉、济南铁路机械学校及黄土岗、兰州铁路技术学校。

编 者

目 录

第一章 概论	1
第二章 通信电缆的结构	4
第一节 对称电缆的缆芯.....	4
第二节 通信电缆的护层.....	7
第三节 同轴电缆的结构.....	11
第四节 几种常用的通信电缆.....	13
第三章 通信线路的电气参数及传输特性	19
第一节 通信线路的一次参数.....	19
第二节 电磁波在均匀传输线上的传输.....	31
第三节 传输电平.....	32
第四节 通信线路的二次参数.....	36
第五节 均匀传输线的传输方程式.....	47
第六节 均匀传输线的输入阻抗.....	49
第四章 低频电缆的加感	53
第一节 加感的基本原理.....	53
第二节 加感回路的终端方式和电气特性.....	54
第三节 加感箱的种类及安装.....	57
第五章 通信电缆回路间的串音	59
第一节 对称电缆回路间的串音.....	59
第二节 同轴电缆回路间的串音.....	73
第三节 长途通信电缆增音段的串音标准.....	74
第六章 对称电缆的平衡	76
第一节 平衡原理.....	76
第二节 高频对称电缆的平衡.....	78
第三节 低频电缆回路的平衡.....	97
第七章 通信电缆线路的气压维护	101
第一节 气压维护系统的组成.....	101
第二节 气压测量及气压维护标准.....	103
第三节 电缆自动充气设备.....	106
第四节 电缆气压自动测试设备.....	109
第五节 告警信号系统.....	111
第六节 漏气点的查找.....	114
第八章 地下电缆的防护	117
第一节 地下电缆的防蚀.....	117

第二节 地下电缆的防雷	119
第三节 地下电缆的防强电影响	122
第九章 通信电缆线路的测试	138
第一节 直流测试	138
第二节 交流测试	144
第三节 同轴电缆波阻抗及不均匀性的测试	155
第四节 电缆故障的测试	159
第十章 通信电缆线路的工程建设	162
第一节 通信电缆线路的构成	162
第二节 长途地下电缆经路的选择和施工定测	163
第三节 单盘电缆测试及配盘	165
第四节 地下电缆的敷设	168
第五节 电缆的接续	171

第一章 概 论

一、通信电线路的作用

各种通信方式，如电话、电报、传真、电视等，都是利用电磁波的传播来传递电信号的。电信号的传输，通常有两种形式：一种是沿导体（如架空明线、对称电缆、同轴电缆等）传输，称为有线通信；另一种是在空间传输，称为无线通信。它们各有优缺点。有线通信不易受外界干扰，信号稳定可靠，保密性能也较好，且易于沿线分歧复接，故在目前铁路通信系统中，有线通信还占主要地位，但需要用很大的投资去建设通信电线路。无线通信不需要建设通信电线路，在运行移动中，仍可保持通信联系，对减少列车运行事故，加强行车指挥能力，缩短列车停留时间，提高编组效率，节约劳力都有显著的作用，故铁路无线通信正在长途、站场、施工、养路等方面大力发展推广，但它易受外界干扰，稳定可靠性差。

目前，国外铁路多数是有线通信与无线通信并用，在同一条铁路上采用几种传输手段。例如，长途通信以小同轴电缆载波作为主要通道，同时用两套微波通道作为迂回通道和部分长途通道。当小同轴电缆载波通道发生故障时，立即自动转换到微波通道上，以提高通信的可靠性。总之，现代的铁路通信网，往往都是有线通信与无线通信兼而有之，互为补充，以使通信更加可靠、灵活、迅速、方便。

有线通信设备是由通信电线路和通信机械设备组成的。通信电线路的作用是把分布在沿线各点上的通信机械设备连接成一个整体，以把各种形式的电信号从甲地传输到乙地。因此，通信电线路的优劣，将直接影响到整个通信过程的质量。在整个有线通信系统的投资中，通信电线路占有很大的比例，一般都在百分之六十以上，而且一旦建成，就不易做很大的变动。

二、通信电线路的等级及分类

（一）等级

根据通信电线路在铁路通信网中所处的地位和铁路等级两个因素，通信电线路分为以下三个等级：

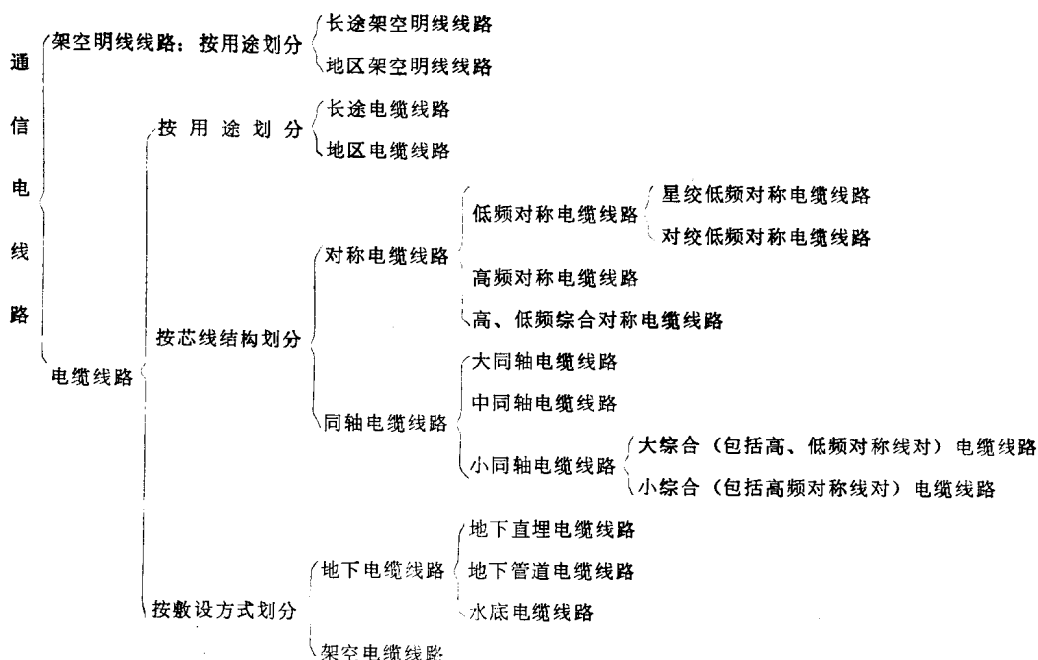
I级线路：铁路通信总枢纽、局间枢纽、局枢纽相互间及铁道部特别指定的长途通信电线路，或I级铁路的长途通信电线路。

II级线路：铁路通信局枢纽至分枢纽、端站间以及分枢纽、端站相互间的长途通信电线路，或II级铁路的长途通信电线路。

III级线路：除I、II级线路以外的长途通信电线路和地区通信电线路。

（二）分类

各种形式的通信电线路，按建设方式、用途、结构，大体可分类如下：



三、架空明线线路与电缆线路的比较

为了提高通信电线路的利用率，降低每一话路的成本，现代通信采用了高频复用方式，要求通信电线路传输的频带要宽，频率要高。架空明线、对称电缆和同轴电缆的电话通路数及传输频带，见表 1—1。从该表中可看出，电缆线路，尤其是同轴电缆的传输频带远大于架空明线。而且电缆线路埋设在地下，对大气影响和外界干扰有较高的防卫能力，具有通信稳定、容量较大、故障率低、寿命较长、维护工作量小等优点。因此，铁路通信电线路的发展方向是电缆化。目前，我国铁路在一些干线上正在采用和发展小同轴综合电缆线路，为铁路长途通信自动化和提高铁路运输效率创造了条件。

各种通信电线路的电话通路数及传输频带

表 1—1

线 路 类 型	电 话 通 路 数	传 输 频 带 (千赫)	增音段长度 (公里)
架 空 明 线	1 + 3 + 12	0.3~150	80~120
对 称 电 缆	1 + 3 + 12	0.3~150	16
对 称 电 缆	60	12~252	12~18
小同轴电缆	300	60~1300	8
小同轴电缆	960	60~4100	4
中同轴电缆	1800	300~9000	6
中同轴电缆	2700	300~12000	4.5
中同轴电缆	10800	300~60000	1.5

四、通信电线路发展简况

架空明线、对称电缆及同轴电缆的线路衰减 b ，是随频率的增高而有不同程度的加大，

如图 1—1 所示。这就使各种线路传输频带宽度的增加受到了限制。为了使传输频率更高，频带更宽，目前正在研究和应用波导线路和光导纤维线路。

(一) 波导线路

波导管是能够传输电磁波的金属管子，简称波导。用波导管组成的通信线路称为波导线路。波导线路能够传输 1000 千兆赫的极宽频带，但不能传输低频。它的高频段有着较低的线路衰减，其中 TE_{01} 波型随着频率的增高而线路衰减下降，如图 1—1 中的曲线 4 所示。波导线路突出的优点是容量大，若利用现在技术上成熟的 30~100 千兆赫的毫米波，频带可达 70 千兆赫，能够传输近百万路双向电话或数百路彩色电视。

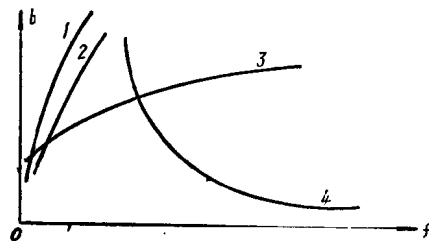


图 1—1 通信电线路的衰减频率特性
1——对称电缆线路；2——架空明线线路；
3——同轴电缆线路；4——波导线路 (TE_{01} 波型)。

(二) 光导纤维线路

由于激光技术的飞跃发展，光导纤维通信已进入了应用阶段。它是把激光发射机发出的光信号送入直径为 0.1 毫米如图 1—2 所示的透明玻璃丝中，经过这根玻璃丝，传送到远方的接收机，以达到通信的目的。这种能传导光信号的透明玻璃丝叫作光导纤维，简称光纤。由许多根光导纤维组成的通信电缆，称为光缆。由光缆组成的通信线路，即为光缆线路。光，实质上也是电磁波，只是它的频率极高、波长极短（如可见光的波长约为 0.38 微米~0.76 微米，其相应频率约为 $4 \times 10^5 \sim 8 \times 10^5$ 千兆赫）。因此，利用一对光纤可以同时传送 150 万路电话或 2000 路彩色电视。若用几十根乃至几百根光纤制成光缆，则容量更是大得惊人。光缆还具有结构轻便、节省金属、不受化学腐蚀、不怕雷击、不受强电或工业用电的干扰、保密性强及使用方便等优点。因此，光缆线路是一种有极大发展前途的通信线路。

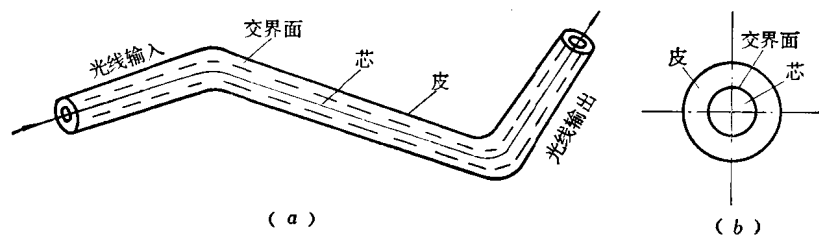


图 1—2 光在光导纤维中传输示意图

第二章 通信电缆的结构

通信电缆是由导电芯线、芯线绝缘及护层构成的。

第一节 对称电缆的缆芯

一、导电芯线

导电芯线是构成电信号传输回路的，故要求导电性能好，有良好的柔韧性和足够的机械强度。

导电芯线材料多采用铜和铝。市话电缆所用的铜芯线径为0.4、0.5、0.6、0.7毫米等，其中0.5和0.6毫米的芯线用得较多。长途对称电缆所采用的铜芯线直径则为0.8、0.9、1.0、1.2和1.4毫米等，其中0.9和1.2毫米的铜线用得最多。

目前对称电缆的芯线多是铜的，但由于铝具有资源较广、价格便宜、重量轻等优点，今后铝芯电缆将被广泛采用。铝的电阻率（ $0.028 \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米}$ ）较铜的电阻率（ $0.0175 \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米}$ ）大，如想得到与铜芯相同的电阻，应使铝芯的直径约为铜芯直径的1.28~1.3倍。如铜芯直径为0.5毫米的市话电缆，可用直径为0.65毫米的铝芯来代替。

二、芯线绝缘

绝缘的作用是防止各芯线之间的接触，同时还可以使芯线的相互位置固定，减少芯线之间的串音。

对绝缘材料的要求是有优越而稳定的电气性能，有良好的柔韧性和一定的机械强度，并且在加工制造时要方便。

绝缘材料的电气性能系指电阻率（ ρ ）要大，相对介电常数（ ϵ_r ）及介质损耗角（ δ ）要小。如果单从电气性能来考虑，则空气是最理想的介质（空气的 $\rho = \infty$ 、 $\epsilon = 1$ 、 $\text{tg} \delta = 0$ ），但是空气无机械强度，因此电缆的绝缘材料不可能完全用空气。通信电缆一般都采用空气和其他绝缘材料混合应用的办法，利用其他绝缘材料提高机械强度，利用空气提高绝缘性能。

对称电缆中采用的绝缘材料有如下几种：

1. 电缆纸：具有良好的介质特性（ ϵ_r 的数值小，绝缘电阻数值高）和耐热性能。缺点是容易吸潮而降低其绝缘程度，当使用的频率增高时，介质的损耗急剧增加。

2. 塑料：对各种溶剂具有较好的稳定性，防潮性能好，机械强度较高，有较好的弹性和延伸性，并且加工方便（容易挤、压、连接等），造价也逐渐降低。塑料作为通信电缆的绝缘材料，目前已广泛采用。如局用电缆、配线电缆以及农村电话电缆的芯线绝缘已全部采用塑料。塑料绝缘的电缆耐高温性能差，所以封焊时要求技术熟练、速度快，以免烫坏绝缘物。

常用的几种绝缘材料及电气特性如表2—1所示。

低频电缆常用的芯线绝缘是电缆纸和聚氯乙烯、聚乙烯及泡沫聚乙烯等。高频电缆常用

常用的几种绝缘材料及电气性能表

表 2—1

材 料	介电常数 ϵ_r	电气强度 (千伏/毫米)	电阻系数 (欧·厘米)	$\text{tg}\delta \cdot 10^{-4}$		
				$f = 50$ 赫	$f = 10^6$ 赫	$f = 10^8$ 赫
空气	1	3.2	∞	0	0	0
实心聚乙烯	2.3	30	10^{17}	3	4	5
泡沫聚乙烯	1.5	10	10^{17}	—	5	6
聚苯乙烯	2.2	100	10^{16}	2	2	2
泡沫聚苯乙烯	1.1	—	10^{16}	2	2	2
氟塑料	2.2	25	10^{17}	2	2	2
聚丙烯	2.3	80	10^{16}	4	4	4
聚异丁烯	2.3	23	10^{15}	4	6	6
聚氯乙烯	4 ~ 6	50	10^{12}	400	300	—

的芯线绝缘是聚苯乙烯、泡沫聚乙烯、纸绳纸带、塑料绳带等。

对称电缆常用的绝缘方式有如下几种：

(1) 纸浆绝缘：将纸浆均匀地包复在芯线上，经烘干后获得一种多孔的空气纸绝缘，如图 2—1 (a) 所示，它常应用在市话电缆上。

(2) 绕包纸带绝缘：将纸带稍有重叠地以螺旋方式绕包在芯线上，如图 2—1 (b) 所示，或用两条纸带绕包的方法，即在绕包第二条纸带时要把第一条纸带的间隙盖上。这样，在芯线上便形成了一种单层或双层的纸管。单层者常用在市话电缆上，双层者常用在长途对称电缆上。绕包纸带的厚度为 0.05、0.075 或 0.12 毫米。

(3) 纸绳纸带绝缘：先用纸绳按一定的节距以螺旋方式绕扎在芯线上，然后在纸绳的上面稍有重叠地绕包一或二层纸带，如图 2—1 (c) 所示。这种绝缘形式不仅在芯线周围有较多的空气间隙，而且还可减小电缆的工作电容，提高介质的电气特性。

(4) 泡沫聚乙烯绝缘：在聚乙烯塑料中加入发泡剂，形成泡沫聚乙烯塑料，然后挤压在芯线上形成绝缘层，形式同图 2—1 (a) 所示。

(5) 聚苯乙烯绳带绝缘：其方式与纸绳纸带绝缘相似。

(6) 实心绝缘：在导电芯线上挤压一层聚乙烯（或聚氯乙烯），如图 2—1 (d) 所示。

几种对称电缆绝缘方式的 $\text{tg}\delta$ 与频率的关系如表 2—2 所示。

由表中可见，塑料作为高频电缆的绝缘材料，有十分突出的优越性，这就是现在大部分通信电缆采用塑料绝缘的重要原因之一。

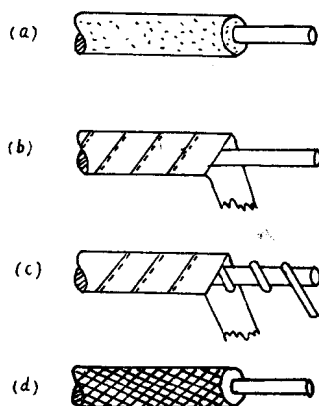


图 2—1 绝缘方式

几种绝缘方式的tgδ与频率f的关系表

表 2—2

频 (千 赫)	纸绳纸带绝缘 $\epsilon_r = 1.3 \sim 1.4$	聚乙烯实心绝缘 $\epsilon_r = 1.8 \sim 2.1$	泡沫聚乙烯绝缘 $\epsilon_r = 1.4 \sim 1.5$	聚苯乙烯绳带绝缘 $\epsilon_r = 1.2 \sim 1.3$
0.8	45	2	1 ~ 3	2
5	49	2	1 ~ 3	2
20	62	2	2 ~ 4	3
30	70	3	2 ~ 4	3.5
50	85	4	2 ~ 4	4
100	113	6	3 ~ 6	7
150	130	7	4 ~ 7	9
200	150	8	4 ~ 7	11
250	160	8	5 ~ 8	12

三、芯线的扭绞

对称电缆都是利用双线作回路，因此必须将两根（或四根）绝缘的芯线构成一个线组。为了减少线组之间的电磁耦合，提高线组的防干扰能力，并能在电缆弯曲的情况下，使结构稳定，仍保持圆形，线组中的芯线应当进行扭绞。所谓扭绞就是均匀地转换芯线的位置。电缆芯线顺着扭绞轴线转一个圆周的长度称为扭绞节距（简称扭距）。

对称电缆中芯线的扭绞常用的有对绞、星绞两种形式，如图 2—2 所示。

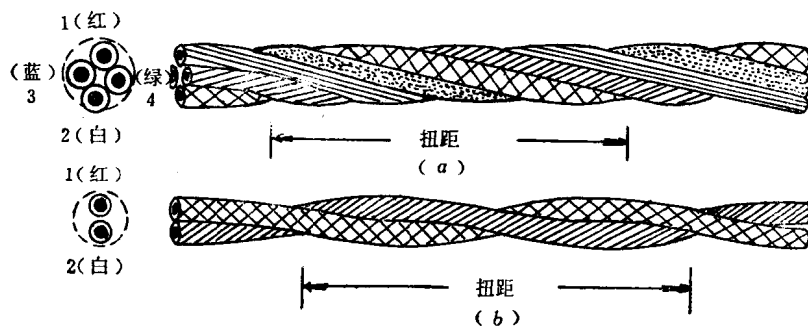


图 2—2 对称电缆的芯线扭绞方式

（一）星绞式

把四根绝缘芯线排列在截面为正方形的四个角上，然后扭绞在一起，其扭距约为 100~300 毫米，如图 2—2 (a) 所示。星绞式的芯线所占横断面积最小，结构比较经济。在一个星绞式四线组中，位于对角线位置上的两导线，分别组成一个通话回路。每一个星绞式四线组，都按规定的节距扭绞，以减少不同四线组中的串音，并使星绞式四线组结构稳定，易弯曲，所以长途通信电缆广泛地采用星绞式四线组的结构。

（二）对绞式

将两根绝缘导线依一定的扭距进行扭绞，其扭距根据电缆对数而定，但不超过 300 毫米，如图 2—2 (b) 所示。因其制造工艺较简单，故线对数量多的市话电缆，皆采用此种结构。

为了把扭绞组中的芯线彼此区分开来，以便于施工和维修，线组中每个芯线的绝缘都做成各种不同的颜色。如长途对称电缆的每个四线组中，其四根芯线绝缘的颜色分别为红、绿、白、蓝，其中红、白为一对，绿、蓝为一对。在市话电缆的每个对绞组中，其芯线绝缘的颜色一根为红色，另一根为白色，如图2—2所示。

四、缆芯的构成

将扭绞好的许多芯线组再扭绞在一起，便构成电缆的缆芯。缆芯的扭绞方式有下列几种形式。

（一）束绞

将扭绞好的许多线组以一个方向绞合成束状。这种绞合方式制作简单，生产效率高，其缺点是线对位置不稳定，相互有挤压，所以各相邻回路间的串音防卫能力低，一般用在市话电缆和低频电缆的芯线制造上。

（二）同心式层绞

如图2—3所示，是将扭绞好的许多芯线组围绕着中心层，有规则地一层一层绞合成缆芯。它与束绞不同之处，即它相邻层的绞合方向是彼此相反的，而束绞则同一个方向绞合。这样做是为了减少相邻层各层间的相互影响，同时也便于施工中把各层区分开。



图2—3 中心层由不同组数构成的同心式层绞

为了在施工时容易把各层电缆分开，缆芯的每一层都绕棉纱或塑料丝，同时每一层中还要有一个芯线组的绝缘颜色（或扎纱颜色）与其他各芯线组的不同，这个线组叫标志线组（也叫领示线组），计算这一层的线组数时，是从这个芯线组开始的。

同心式层绞的缆芯，虽然制作不便，但结构稳定，回路间的相互影响较小，所以在长途对称电缆星绞四线组绞合成缆芯时，常采用之。200对以下的市话电缆缆芯，也采用这种扭绞方式。

（三）单位式扭绞

200对以上的市话电缆，因采用上述同心式层绞制作不便，故改用单位式扭绞。即先将线对束绞成一个个单位，每个单位包含几十个线对（一般为50或100对），然后再将几个单位束绞成缆芯。单位式扭绞实质上仍为束绞方式，故结构不够稳定，线对相互之间的影响也较大。

第二节 通信电缆的护层

包裹在电缆缆芯上的保护层称为电缆护层。护层有如下作用：防止水分、潮气侵入电缆缆芯而影响其电气特性，防止外界电磁干扰，有一定的屏蔽作用，并能保护缆芯不受外界机

机械损伤等。在一般情况下，电缆护层由内护套和外护层组成。

一、内 护 套

目前，电缆的内护套有铅、铝两种，因其密封性能较好，故称密封层。铅护套具有柔软、易加工、易接续、耐腐蚀性能好等优点，故多年来铅护套应用十分广泛。但它的机械强度低、比重大、防震性能差（为提高防震性能，常在铅中加入0.4%~0.8%的锑）。由于铅系稀缺贵重的金属，是重要的工业原料，因此以铝代铅是电缆护套的主要发展方向。

铝护套虽在柔软、接续、耐腐蚀等方面不及铅，但它具有机械强度大、对外界电磁场防护性能好、重量轻的优点。随着电缆制造中压铝工艺的不断提高，以及护套防腐蚀、施工接续技术的不断改进，现在铝护套得到了越来越广泛的应用。

当缆芯直径在40毫米以下时，工厂制作的铝护套电缆一般皆为光铝护套，其柔软性可以满足使用的实际需要，只是在施工时要注意使其弯曲半径比相同直径的铅护套电缆约大一倍。当缆芯直径在40毫米以上时，制作时在光铝护层上再进行一道轧纹工序，制成皱纹铝管以增加其柔软性及机械强度。

二、外 护 层

内护套外面的保护覆盖层称为外护层。仅有金属护套的电缆称为光皮电缆（或裸电缆），用于架空、沿墙敷设或在专用的混凝土管道中敷设。当直接敷设在地下时，为了增加电缆的机械强度，需加设钢带铠装。当跨越一般河流或在坡度大于45°的丘陵、山岳、矿井中敷设时，因电缆受到很大拉力，需用单层或双层细圆钢丝铠装。当穿越大江河及深海敷设时，由于电缆经常受到水中的冲击力和下垂力，需用单层或双层加粗的圆钢丝铠装。钢带和钢丝铠装电缆外护层结构如图2—4所示。

根据电缆敷设地带腐蚀的严重程度，外护层的选择有三种：普通外护层、一级外护层和二级外护层。

普通外护层对金属护套及铠装物仅有一般的防蚀作用，故只能用于铅包电缆，敷设在普通土质中。日常大量使用的地下直埋钢带铠装电缆，皆为普通外护层结构。铝金属的化学特性比较活泼，易与周围的物质起化学反应，故铝包电缆不能采用普通外护层，一般采用一级外护层，在腐蚀严重的地方采用二级外护层。

外护层的结构和代号，见表2—3所示。

除此以外，根据不同的使用需要，还设计和采用了一些新型的护层结构，如简易塑料护层和金属塑料综合护层等。

简易塑料护层：即护层采用聚氯乙烯或聚乙烯制成，因防潮性能比金属护套较差，称为半密封性护层。加之机械强度较差，故简易塑料护层电缆只能用于室内和管道内敷设，作为市话和局用配线电缆。目前有一种铝芯塑料绝缘的农话电缆，因其芯线绝缘外无外护层，而且直接埋在地下敷设，故芯线的聚氯乙烯绝缘层厚度约有1.6毫米以上。此种电缆因电气绝

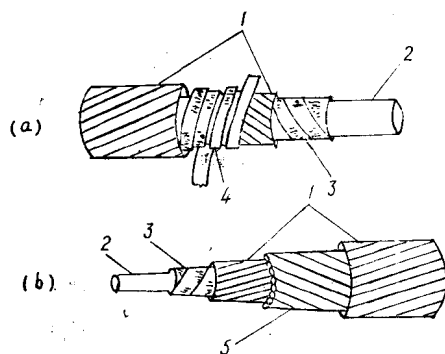


图2—4 铠装电缆

1——油麻；2——铅皮（或铝皮）；3——纸带；4——钢带；5——钢丝。

绝缘性能和机械强度都较差，故只适用于较低频率的短距离通信和不太重要的站内、市内或农村电话系统上。

金属塑料综合护层有如下两种结构：

(一) 铝-聚乙烯护层

在缆芯上纵包一层涂有聚酯塑料的橡胶，作为下一步挤塑时的隔热层，同时可增加芯线与护层间的电气击穿强度。然后再纵包上一层铝带，铝带对缝处要搭接，并采用聚异丁烯粘合剂粘合，以利于屏蔽和防潮。当缆芯直径大于17毫米时，铝带制成皱纹状，以增大电缆的柔软性。然后在铝带上外复一层热塑性材料做的胶粘剂，以增加铝带与其外面的聚乙烯护层的粘合，最后压挤一层聚乙烯护层，如图2—5所示。

这种电缆比同类铝护层电缆轻2~3倍，并且耐震动性能好，防止外界干扰影响也较好，防雷、防腐蚀以及防止机械损伤的能力均较铅护层好。但是这种护层的防潮性能要比铅护层差，潮气透过塑料仍会沿着铝带接缝处缓慢地扩散到绝缘芯线。因此，这种护层的电缆，其芯线不能使用纸绝缘方式，仅能使用实心或泡沫聚乙烯绝缘，并只能架空敷设使用，不宜作为直埋电缆使用。为了提高上述护层的防潮性能，目前正研究采用粘结护层的结构。即将上述护层中铝带的一面（或两面），预先涂上一层聚乙烯薄膜，使铝带与其外层聚乙烯紧紧地结合在一起，提高了防潮性能。有的国家目前还采用在铝带上涂一层乙烯-丙烯酸共聚物作粘结剂，使铝带与其外护层聚乙烯更能牢固地连接在一起，提高了密封性。故上述两种粘结护层的结构已可用于纸绝缘电缆中。

(二) 铝-钢-聚乙烯护层

在电缆芯线上纵包一层厚0.13~0.2毫米的皱纹铝带，再纵包一层约厚0.3毫米的皱纹钢带。钢带接缝是焊接的，在钢带上再涂一层热塑性材料，最后压挤上一层聚乙烯护层。这种电缆有良好的密封性，且机械强度较高，故可使用于塑料绝缘或纸绝缘的市话电缆上，并可以直埋敷设，如图2—6所示。

外护层结构和代号表 表2—3

外护层代号	名称
1	麻被护层
2	钢带铠装麻被护层
20	裸钢带铠装护层
3	单层细圆钢丝铠装麻被护层
30	裸单层细圆钢丝铠装护层
4	双层细圆钢丝铠装麻被护层
40	裸双层细圆钢丝铠装护层
5	单层粗圆钢丝铠装麻被护层
50	裸单层粗圆钢丝铠装护层
6	双层粗圆钢丝铠装麻被护层
60	裸双层粗圆钢丝铠装护层
31	镀锌钢丝编织护层
32	镀锡钢丝编织护层
11	裸金属护套一级外护层
12	钢带铠装一级外护层
22	钢带铠装二级外护层
13	单层细圆钢丝铠装麻被一级外护层
23	单层细圆钢丝铠装麻被二级外护层
14	双层细圆钢丝铠装一级外护层
24	双层细圆钢丝铠装二级外护层

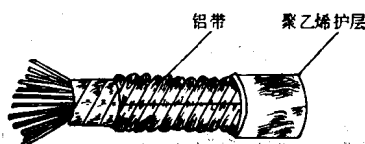


图2—5 铝-聚乙烯护层电缆

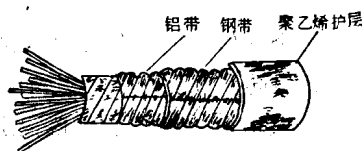


图2—6 铝-钢-聚乙烯护层电缆

三、通信电缆的型号和端别

电缆型号的命名方法，是根据国家统一规定，采用汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，其排列顺序及意义见表2—4。但当电缆导体为铜（T）及纸绝缘（Z）时，电缆型号中不作表示。

电缆型号分类代号表

表2—4

分类代号 (用途)	导体	绝缘方式	内护套	派生特性	外护层	传输 频率
H (市话)	T (铜)	Z (纸)	Q (铅套)	P (屏蔽芯线)	见 表 2—3	见 表 1—1
HE (长途对称)	L (铝)	M (纱包)	H (橡套)	Z (综合)		
HD (电气化通信专用)	G (铁)	V (聚氯乙烯)	B (编织涂蜡)	C (自承式)		
HJ (局用)		X (橡皮)	V (聚氯乙烯)	L (防雷)		
HP (配线)		YF (泡沫聚乙烯)	L (铝套)	J (加强)		
HO (干线同轴)		Y (聚乙烯)	Y (聚乙烯)			
HU (矿用电缆)		B (聚苯乙烯)	A (聚乙烯铝箔综合护套)			
P (信号电缆)		S (丝包)	VV (双层聚氯乙烯)			
HH (海底电缆)		F (复合物)	LW (皱纹铝管)			

例1：HDYFLZ₂₂-156-3×4×0.9+11×4×0.9+3×1×0.6型电缆，为铁路电气化通信专用（HD）、铜芯（T省略）、泡沫聚乙烯绝缘（YF）、铝护套（L）、综合（Z）电缆，其外护层为钢带铠装二级防腐护层（22），最高传输频率为156千赫，其缆芯由三个线径为0.9毫米的高频星绞四线组、十一个线径为0.9毫米的低频星绞四线组及三根线径为0.6毫米的信号线组成。

例2：HQ₂-50×2×0.5型电缆为市话通信用（H）、铜芯（T省略）、纸绝缘（Z省略）、铅护套（Q）、外护层为钢带铠装麻被护层（2），其缆芯是50对线径为0.5毫米的对绞线对。

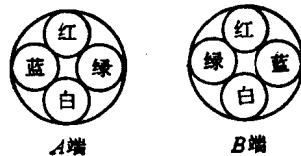


图2—7 以四线组芯线颜色识别电缆端别

为了统一标志，还规定了通信电缆的端别。端别的识别方法是面对电缆端：

1. 以四线组塑料丝（带）颜色识别：当绿线组在红线组的顺时针方向侧时为A端，反之为B端。
2. 以每个四线组芯线的绝缘物颜色识别：当绿色芯线在红色芯线的顺时针方向侧时为A端，反之为B端。如图2—7所示。
3. 以单根信号线绝缘物颜色识别：当绿色芯线在红色芯线的顺时针方向侧时为A端，反之为B端。

在电缆施工中，必须十分注意电缆的端别，要求做到一段电缆的 A 端与相邻电缆的 B 端相接。上行方向为 A 端，下行方向为 B 端。

第三节 同轴电缆的结构

在同轴电缆里采用同轴对（或称同轴管）作为信息的传输回路。同轴对的中心是一根圆柱形的铜线，称为内导体；外面是一个空心铜质圆筒，称为外导体。内、外导体间用绝缘物隔开，使内、外导体的轴心重合，便构成了同轴对，如图 2—8 所示。

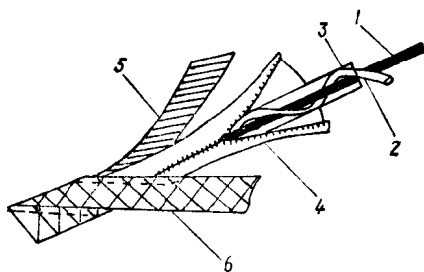


图 2—8 同轴对结构（内扎绳空管绝缘方式）

1——内导体；2——泡沫聚乙烯内扎绳；3——聚乙烯空管；4——外导体；5——内层钢带；6——外层钢带。

一、同轴对的内导体

同轴对的内导体必须是圆形的导体，它具有优良的导电率、足够的机械强度和一定的柔韧性。中、小同轴对的内导体均由导电性能良好的实心铜线制成，目前采用的小同轴内导体为直径 1.19 毫米的软铜线，中同轴内导体为直径 2.6 毫米的半硬铜线。为保证其电特性，内导体直径公差不能超过 ± 0.005 毫米。

二、同轴对的外导体

外导体的理想结构是全长均匀的空心圆筒，要制造这种具有足够柔韧性且无纵缝的外导体，在工艺上是难以实现的。在实际生产中，采用纵包铜带来构成同轴对的外导体。根据纵缝的形式，有皱边式和锁齿式，分别如图 2—9 (a)、(b) 所示。

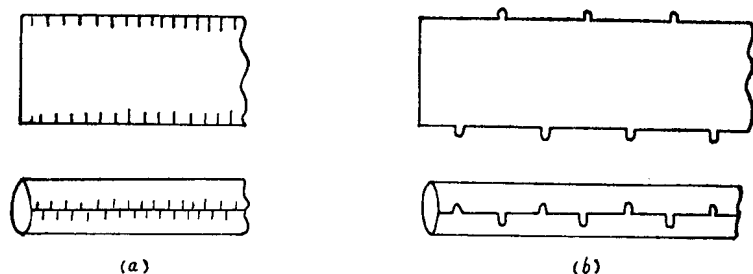


图 2—9 外导体形状

皱边式用于中、小同轴对，铜带的两边缘上压有反向锯齿形波纹，以便纵包成形时两边

缘的波纹互相顶住，以保持圆筒的直径和形状稳定。锁齿式采用边上有齿的铜带，两边的齿互相错开，纵包时两边的齿互相咬住而形成圆筒状，锁齿式仅用于中同轴对。目前我国小同轴对外导体的铜带厚0.15毫米、宽14.3毫米，而中同轴对外导体的铜带厚0.25毫米、宽30.6毫米。

同轴对的绝缘

同轴对的内导体通过一定的绝缘介质，才能正好处于外导体的轴线上。长途干线用的同轴电缆，均采用聚乙烯和空气混合绝缘。其绝缘方式很多，有泡沫聚乙烯内扎绳空管式（如图2—8所示）、管状鱼泡式、垫片式〔分别如图2—10（a）、（b）所示〕等。

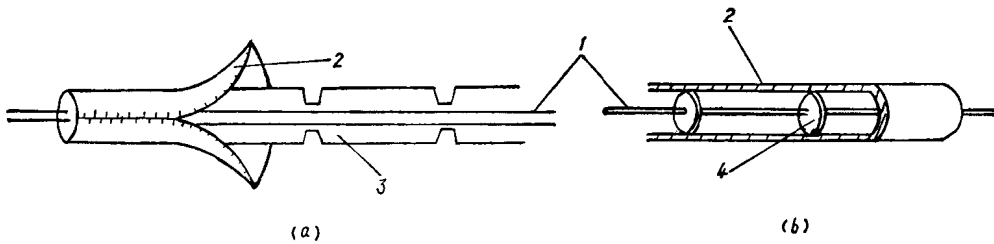


图2—10 同轴对绝缘方式

1——内导体；2——外导体；3——管状鱼泡绝缘；4——垫片绝缘。

目前使用的小同轴对，绝缘方式多数采用泡沫聚乙烯内扎绳空管式及管状鱼泡式。

泡沫聚乙烯内扎绳空管式绝缘是在直径为1.19毫米的内导体上，螺旋地绕扎一根泡沫聚乙烯绳，然后通过挤塑机，挤包上一定厚度的聚乙烯空管，组成空气和聚乙烯的混合绝缘，其介电常数 $\epsilon \approx 1.1705$ ，刚好能满足波阻抗的要求。鱼泡式绝缘也是在直径为1.19毫米的内导体上，通过挤塑机挤包上一定厚度的聚乙烯空管，但在挤塑机刚刚挤出，尚带有热塑性时，马上通过轧印设备，每隔一定的距离，在空管上周期性地轧印上收缩印，形成鱼泡形，使空管以内导体为轴心，固定在内导体上，组成空气和聚乙烯的混合绝缘，其介电常数 $\epsilon \approx 1.1705$ ，亦刚好能满足波阻抗的要求。垫片式的绝缘方式是把圆形聚乙烯垫片按一定的节距周期性地固定在内导体上。这种方式在中同轴电缆里得到广泛的应用。

四、同轴对的屏蔽钢带

为使同轴对具有足够的机械强度，防止同一条电缆中的同轴对间、同轴对与对称四芯组间的相互串音，在同轴对外导体的外面，再绕包两层镀锡钢带作为屏蔽。小同轴对采用厚0.1毫米、宽10~12毫米的镀锡钢带，内层钢带是间隙绕包的，外层镀锡钢带是反向重叠绕包的。中同轴对采用厚0.15毫米、宽14.3毫米的镀锡钢带。为了改善电缆的弯曲性能，中同轴对两层钢带均同向间隙绕包。在镀锡钢带外面，再绕包一或二层厚0.25毫米的聚氯乙烯带或电缆纸带，以保持同轴对间的相互绝缘，并提高靠近同轴对的其他电缆芯线的对地耐压强度。

五、同轴电缆的类型

根据同轴对内、外导体的标称尺寸，同轴电缆分为大、中、小、微四种类型。大同轴电缆中的内导体直径为5毫米，外导体内径为18毫米。中同轴电缆的内导体直径为2.6毫米，外导体内径为9.5毫米。小同轴电缆的内导体直径为1.2毫米，外导体内径为4.4毫米。微同