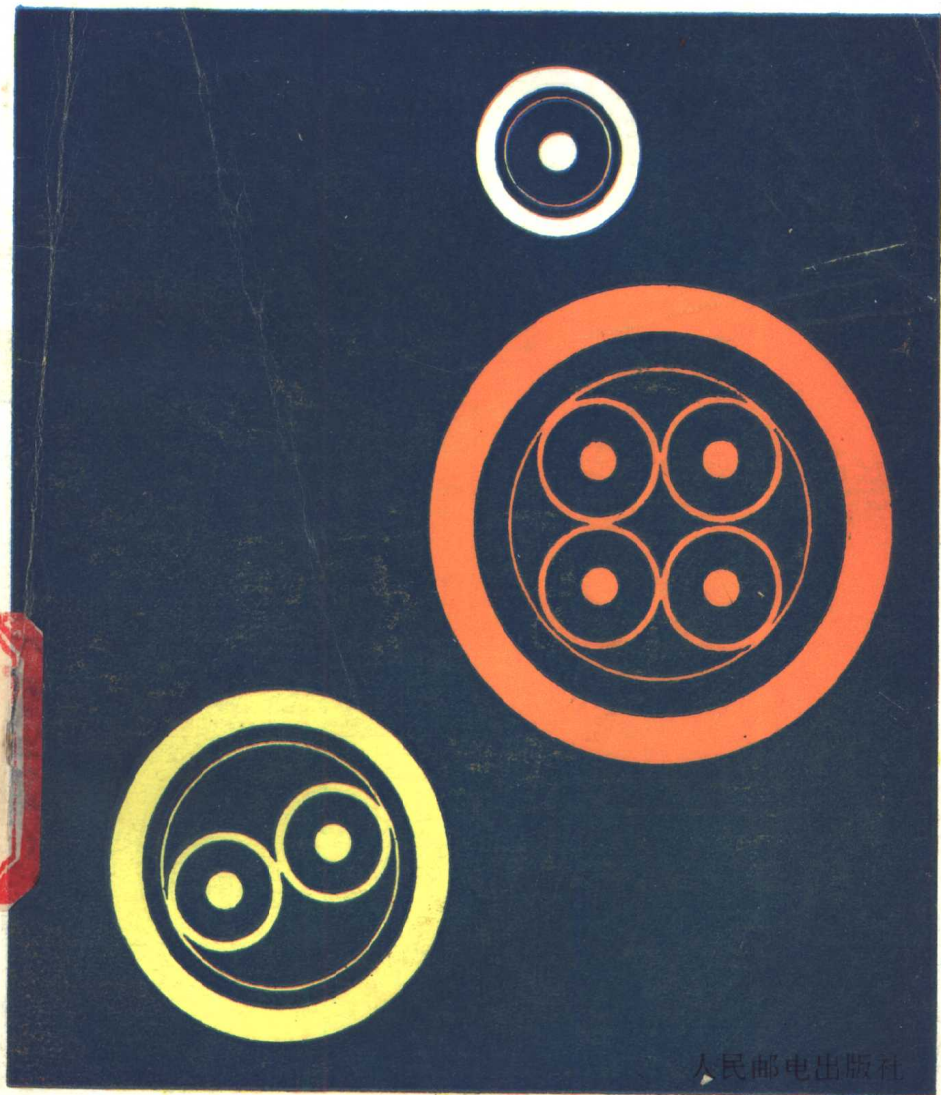


〔西德〕W·舒伯特 著

通信电缆和传输系统

罗炯光 译 章燕翼 校



人民邮电出版社

通信电缆和传输系统

【西德】 W·舒伯特 著

罗炯光 译 章燕翼 校

人民邮电出版社

COMMUNICATIONS CABLES AND TRANSMISSION SYSTEMS

by W. Schubert

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT

1985

内 容 提 要

本书介绍通信电缆的基本原理和有关传输的技术问题。内容包括通信电缆的组件和结构, 电缆防蚀, 管道电缆牵引长度的计算, 传输线的基本理论, 干扰及防护的原则和要求。基本上概括了在电缆系统设计和规划中所涉及的基本技术问题。同时简要地介绍了使用在通信电缆上的各种通信系统, 如电话、电报和数据传输系统, 遥测遥控和电力企业的专用通信系统。

本书适合于线路工程技术人员和通信企业中从事运营管理的 技术干部学习。

通信电缆和传输系统

[西德] W. 舒伯特 著

罗炯光 译

章燕翼 校

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1986年4月 第一版
印张: 8 1⁶/32 页数: 136 1988年4月河北第1次印刷
字数: 192千字 印数: 1—3 000册

ISBN7115—03537-7/TN

定价: 1.80元

译 者 的 话

本书第一版于1975年以德文出版，相当精炼地概括了当代通信电缆使用实践中所涉及的基本理论和技术问题。除了通信线路专业工作人员以外，正如作者所说，这本书对于希望了解通信电缆系统规划工作和工程技术的人们都是有益的。1976年出版的英文版，在我国曾受到一些同志的注意。1982年，作者又根据近年来电缆技术的发展作了全面的修订，出版了修订第二版。1985年又出版了第三版。第三版只作了个别修订，本书是按照第三版翻译的。

译者在翻译原文的过程中，在译文个别部分作了一些注释，译文如有不当之处，请读者指正。本书译稿经章燕翼同志作了细致的审阅，提出许多有益的意见，译者深为感谢。

译者 1986.9.

目 录

1. 通信电缆的组件	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 导体	(3)
1.1.2 绝缘材料	(3)
1.2 对称组件的导线结构	(7)
1.2.1 纸绝缘导线	(7)
1.2.2 塑料绝缘导线	(8)
1.3 对称回路组件	(10)
1.3.1 对绞	(11)
1.3.2 星绞四线组	(11)
1.3.3 复对绞四线组(DM四线组).....	(15)
1.4 不对称回路组件(同轴对)	(16)
1.4.1 用于长途业务的同轴对	(17)
1.4.2 高频传输的同轴电缆	(20)
2. 电缆结构	(21)
2.1 缆芯	(22)
2.1.1 分层绞合	(23)
2.1.2 单位绞合	(25)
2.1.3 缆芯的绕包	(26)
2.1.4 电缆标志	(27)
2.2 电缆内护套	(28)
2.2.1 铅护套	(30)

2.2.2	铝护套	(31)
2.2.3	轧纹钢护套	(32)
2.2.4	聚氯乙烯(PVC)护套	(33)
2.2.5	聚乙烯(PE)护套	(33)
2.3	保护被覆层	(35)
2.4	铠装	(36)
2.5	通信电缆的类型	(37)
2.5.1	信号和测量电缆	(38)
2.5.2	本地网电缆(用户电缆)	(39)
2.5.3	长途电话电缆 [*]	(49)
2.5.4	长途干线电缆	(53)
3.	通信电缆的防蚀	(55)
3.1	化学腐蚀	(56)
3.2	电解腐蚀	(59)
3.3	电气保护	(63)
3.3.1	对直流铁道的防护	(65)
3.3.2	阴极保护	(65)
4.	电缆引入管道牵引长度的计算	(68)
4.1	无铠装电缆	(68)
4.2	钢带铠装电缆	(68)
4.3	公式和例子	(69)
5.	传输工程	(72)
5.1	传输线原理	(73)
5.1.1	对称线路的线路常数 [*]	(79)
5.1.2	加感回路	(90)
5.1.3	同轴线对的回路常数和特性阻抗	(103)
5.1.4	大线径明线和不加感电缆回路在高频	

时(载频和同轴对)的近似公式	(106)
5.1.5 不加感小线径电缆的近似公式	(108)
5.1.6 小线径加感电缆的近似公式	(109)
5.1.7 测试结果对基准量 l_0 和 t_0 的换算	(112)
5.2 通信回路的传输质量	(114)
5.2.1 衰减	(114)
5.2.2 失真	(122)
5.2.3 噪音	(125)
5.2.4 侧音	(128)
5.3 参考当量	(128)
5.4 串音	(139)
5.4.1 对称回路间的串音——耦合	(142)
5.4.2 同轴回路间的串音	(152)
6. 通信电缆设备——干扰影响和防护措施	(154)
6.1 通信电缆设备	(154)
6.2 通信设备中的危险和干扰影响	(156)
6.2.1 危险接近	(156)
6.2.2 干扰影响	(157)
6.2.3 电压冲击的来源	(159)
6.2.4 防止通信电缆中电压冲击的措施	(160)
6.2.5 对电缆中通信回路的影响	(162)
6.3 通信设备的接地装置	(172)
7. 通信系统和设备	(175)
7.1 电话系统	(175)
7.1.1 电话电缆网	(175)
7.1.2 本地和长途交换中的信号方式和传输系 统	(176)

7.1.3 SPC [®] 交换系统的电缆网	(181)
7.2 音频和载频传输系统	(182)
7.2.1 音频传输系统	(183)
7.2.2 载频传输系统	(186)
7.2.3 时分多路系统	(190)
7.3 电力公司的电话设备	(192)
7.4 电报和数据传输	(194)
7.4.1 电报传输工程	(195)
7.4.2 遥控工程	(198)
7.4.3 长途数据传输	(200)
附录	(211)
I. 西德通信电缆电线的符号标志	(211)
II. 略语一览表	(221)
III. 公式中的重要符号一览表	(223)
IV. 英—汉词汇索引	(227)

1. 通信电缆的组件

1.1 概述

通信电缆基本上由金属导体，导体的绝缘，缆芯的绕包，护套和各种保护被复层组成。

这一章介绍导体所用的金属材料，各种绝缘材料，以及导线的结构；同时也讨论了对称的和不对称的芯线组件（绞合的单元）。

下面所讨论的结构，代表了当前使用的电缆的标准类型。

下面列举的概念，形成对这一课题的入门知识。

(a) 导体

导体由金属制成，它的用途是作为输送电荷的载体。

(b) 导线

导线是覆盖有绝缘物的导体。

(c) 回路

一个回路（又称为环路）包括几条——最少是两条——导体。按照德国电工协会（VDE）的规定，在**星绞四线组**或**复对绞(DM¹)四线组**内的回路叫做**实回路**。如图1。

实回路是最简单的回路。在**明线线路**中，实回路由两根导体组成；在**电缆**中，实回路包括两条导线（按对绞合时是一个**独立线对**，在四线组内是实回路1和实回路2）。利用一个四线组内的两个实回路，可以组成第三个通话回路，即**幻象回**

1) DM，发明者Dieselhorst 和 Martin的简写。

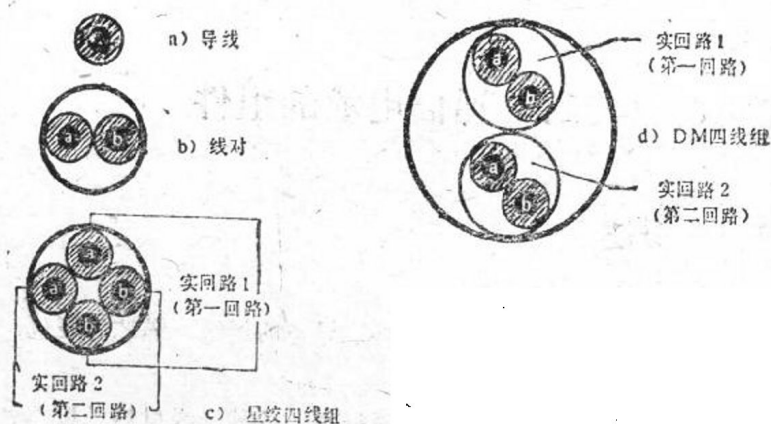


图 1 通信电缆的芯线

路。像这一类的电缆回路称为**对称回路**。而同轴回路便叫做**不对称回路**，如图 2。

电缆通常用它的线对数量来说明。这就没有必要考虑电缆究竟是由线对，星绞组，复对绞组或是由同轴对所组成的。两个线对组成一个星绞四线组，而一个同轴对相当于一个独立的线对。

这样，含有一个同轴对和八个星绞四线组的电缆，便相当于有17对线，或者说是17对的电缆。联邦德国邮电主管部门，习惯上常用形成电缆的对数来说明它的**电话电缆**（上例中的便叫做17对型电缆）。进一步用字母表中的字母来区别型号不同而对数相同的电缆。例如，长途载波电缆用(TFFK*)表示。



图 2 回路的类型

* TFFK—德文Trägerfrequenz-Fernleitung (载频—长途电缆)。

第二章讨论通信电缆的各种结构——如**缆芯**，**电缆护套**，**保护被覆层**和**铠装**。介绍德国电工协会VDE技术条件0816的有关解释，和其他一些有用的内容。与材料和电性能有关的各种技术条件和标准，可以从VDE0816查出。

一些特别有意义的电缆结构，也同样做了解释和图示。

1.1.1 导体

当前德国所用的通信电缆，其导体是由电解铜制成的，导电率（温度20°C时）为：

$$\eta_{20} \geq 57 \frac{S \cdot m}{mm^2}$$

式中的 S 是以 $\frac{1}{\Omega}$ （西门子）表示的单位导电率。

1.1.2 绝缘材料

早年用于外线电缆的马来树胶和天然橡胶绝缘，在当前已经不再具有重要的意义了。这些绝缘物质已经为具有高力学性能和良好电气质量的材料所代替，如**纸**，**聚氯乙烯**和**聚乙烯**等，其结果就有可能制成导体直径更小的通信电缆，从而降低了电缆的直径和重量，并且还能进一步改善电缆的传输特性。这些用于通信电缆中的绝缘物质，具有低的**相对介电常数** ϵ_r ，和低的**介质损耗因数** $\tan\delta$ 。

随着传输电气信息所要求的频带不断增加，对于构成线间介质¹⁾的绝缘被覆物所要求的技术条件也更为严格。绝缘材料同时还防止导体间发生相互的金属上的接触。

电缆中最经常使用的纸，是没有任何添加填充剂的非漂白

1) 不导电或导电能力很低的物质。

纯硫化纸浆做成的纸。干燥的时候，电缆纸有良好的电气特性，即：有足够的介电强度，低的介质损耗因数（800Hz时为 $\tan\delta\approx 3\cdot 10^{-18}$ ）和低的相对介电常数 ϵ_r （2.1~2.3）。

在自然状态下，电缆用纸呈浅棕色。所有这一类的纸当然都是特殊的纸，它的特性和允许偏差都规定于德国工业标准（DIN）46450。在德国，所有用于制造电缆的纸张都必需符合这一标准。

电缆制造用纸，由没有任何粘合添加剂的木浆纤维制成。在欧洲，用的几乎全都是松木纸浆。但在美国和其他一些国家，电缆纸通常以混合纤维为原料，如木材，麻，和棉花等。纸的生产有多种工艺过程。以长网造纸机为例，一个金属筛网像传送带一样，沿着支承滚轴和导向滚轴向前移动，纸浆在流程的始端供给，含有2%的固体物质。随着筛网的向前移动，所含的水份被吸收而排出，而没有潮气的纸张便连续不断地在循环筛网的终端卷绕成为鼓形。由于筛网移动方向的作用，纸张上的纤维主要是沿纵向排列。同时通过垂直于移动方向的横向颤动，可以在纵向纤维上叠加较密的或较疏的横向纤维。纵向纤维与横向纤维的比例，约为2:1。

至于在滚筒式造纸机中，有一个圆筒形的筛网，外表面的三分之一左右浸入纸浆之中。通过滚筒内部吸收水分，以排除纸浆中的潮气。

电缆用纸的绝缘电阻，决定于其中的水分含量。交货时的水分含量约为8%。然而接续以后通常要保证导线达到 $10000\text{ M}\Omega\cdot\text{km}$ 的绝缘电阻，或只有4%的湿含量。因此，由纸绝缘导线组成的电缆缆芯，当然就一定要进行干燥处理。

纸绳是用纸带经过一定的工艺流程制成的一种产品。

“绳”是旧式工艺采用的名称，实际上是一条搓捻的纸带。所

以，事实上应称为纸线^{*)}。

美国曾经研制了另一种用纸的电缆绝缘方式，这种方式是通过挤压过程把导体用纸浆绝缘。这种已经为美国和日本的若干电缆制造企业采用的绝缘方式，称为“纸浆绝缘”方式。

在最近的数十年中，出现了品种十分繁多的塑料产品，对消费者的经济和应用技术的领域，带来了从来没有过的深刻的冲击。那种认为塑料不过是一种材料代用品的原始观点，现在已经变成落后过时的了。与从前所用的材料比较起来，那些有目的地研究出来的塑料，起码具有同样优良的（常常是更好的）性质，如力学性能，电气特性，经受应力的能力，以及机械加工的适应性，等等。

塑料的发展，同时导致了新的工艺方法的出现，其结果是使最终产品的费用有时相当明显地下降。

塑料化学中引入了许多新的概念和术语。下面把对我们有用的最重要的术语和概念进行说明。

单体：由微小的单一种分子组成的、同性或不规则形状的化学原料。

聚合：通过聚合，几个（甚至几百个几千个）单体分子形成了高分子。根据合成方法的不同，可以形成各种各样的高分子。

线状高分子（或称链式高分子）：每一分子只有两条键的高分子，每侧各有一条，如图 3。

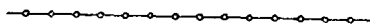


图 3 线状（链式）高分子

支链式高分子：每一分子的键多于两条的高分子，如图 4。

*) “绳”是多股的，“线”是单股的。

交联型高分子：这种高分子多数有三条键，使高分子结合成为球体。如图 5。

异分子聚合：指的是不同聚合塑料的化合，目的是改变原来的特性。也就是把不同的塑料单体聚合在一起。

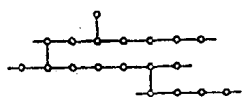


图 4 支链式高分子

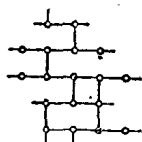


图 5 交联型高分子

热固性塑料（硬化）：这种塑料经过加热处理后，不经切削便可浇注硬化成为一定形状的产品。而且一经成型以后，再次加热也很难改变它的状态。环氧树脂和聚氨基甲酸酯，便是这类塑料中的两个例子。

合成橡胶：具有弹性的类似于橡胶的物质，其弹性与温度有关。

热塑性塑料（塑性体）：可以反复多次加热，重新成型，而又不损坏高分子结构的材料。不利的是：不恰当的过大的热量，将引起塑性的改变。所有的高分子聚合材料都属于这种类型，如聚氯乙烯(PVC)和聚乙烯(PE)等等。聚乙烯和聚氯乙烯的特性见 VDE0207。与金属比较起来，热塑性塑料有高的膨胀系数，并且能部分地（甚至于完全地）溶解于适宜的化学溶剂中。

聚乙烯能在芳香族的碳氢化合物和氯化碳氢化合物的作用下膨胀。聚乙烯的密度愈低，膨胀的程度愈大。聚乙烯不怕水，不怕盐溶液，也不怕许多种强度较弱或中等程度的酸和碱。聚乙烯容易受到强氧化剂的侵袭，如硫酸的烟雾和卤素（如溴，碘和氟化物）的烟雾等。对二甲苯，苯和芳香性油类

也有同样的情况。清洁剂和洗涤剂（如肥皂）之类产生表面作用的物质，可能在聚乙烯塑料的任一部分表面上产生裂纹，引起机械应力。因此，在用所谓“肥皂”法检查聚乙烯制品时，不能使用这一类材料。在制造电缆密封层或外护套的过程中，在本身颜色呈半透明奶状颜色的聚乙烯中加入2%左右的炭黑，以抵抗紫外线的辐射。用其它颜色的物质，不容易得到这种抗紫外线的特性。聚氯乙烯(PVC)像聚乙烯一样，也受酸类、碱类的腐蚀，同时在一定的程度上受到盐溶液和多数溶剂的破坏。加入特定的添加材料以后，可能使聚氯乙烯具有很强的抗油性。因此，用这种方法制成的PVC塑料，常在输油管线的电缆中用作外护层材料。

1.2 对称组件的导线结构

1.2.1 纸绝缘导线

纸绝缘的最简单的形式，是在导体外面缠绕一层或多层纸带，重叠至少占25%。根据缠绕方法的不同，有些制成的导线在导体和绝缘纸之间有一定量的空气间隙，而有些导线纸带紧紧缠绕在导体周围，导线间只有很小的中间空气层。

通常希望在导线周围尽可能少用绝缘材料。要使合成介电常数 ϵ 保持在一个低的数值上，可以按如下的方法缠绕纸带，即：在纸带的中部形成重叠。不过，在纸带下面垫一根纸绳，更能满足这一要求。

根据结构即绝缘物质覆盖下的空气量的不同，合成介电系数约在1.6至1.9之间变化。单层纸隔的管状绝缘导线只适用于

距离较短的电缆线路，如本地用户* 电缆。

对于必需要求有较低的互电容 C_b 和较小的传输衰减常数 α 的通信电缆线路来说，例如对称的中继线路和长途电缆以及长距离的用户电缆，当使用纸作为绝缘材料时，电缆的结构方案和材料的选择，应使合成介电常数在1.4与1.5之间（纸绳绝缘导线）。

1.2.2 塑料绝缘导线

PVC绝缘导线

纯净的聚氯乙烯（PVC）是以氯、碳和氢原子为基本成分的热塑性合成材料，纯品的PVC制品是硬而脆的。但加入所谓增塑剂以后，可以改变它的抗张强度、抗压强度、硬度和它的软化点。为了降低绝缘材料的价格，可以加入弱电解质的填料，如白垩粉和高岭土（陶土）等。

染料和润滑剂是进一步的添加物。按上面的过程处理后的PVC，可以认为是一种混合物；通过进一步处理辗压制备成为粒状物体，然后在 180°C 左右的温度下通过挤压机压附在导体上。如图6和图7。

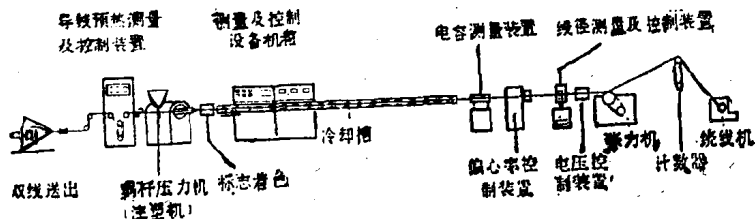


图 6 挤压电缆塑料护套的几个步骤

- 本地用户，即直接与交换局相连的用户，包括市话和农话用户。后文的本地电话局指直接连接用户的交换局，不论在市内或农村。

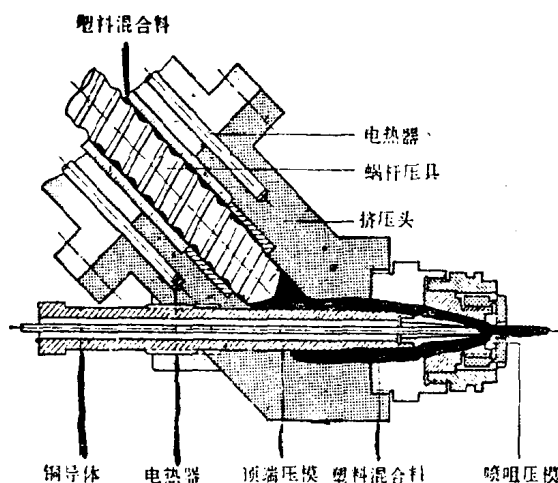


图 7 挤压机的断面简图

根据添加的增塑剂、染料和填充材料的不同，并根据环境温度的高低，PVC绝缘材料的相对介电常数在3与8之间变化。介质损耗因数 $\tan\delta$ 相对地较高；根据不同的环境温度，在1500Hz以下的频率时，在 $2 \cdot 10^{-2}$ 至 $7 \cdot 10^{-2}$ 之间变化。

所以，PVC通常只是在绝缘跳线，安装线，交换机台电缆和安装电缆中作为绝缘材料。因此，这种材料大多数用于室内安装工程。

PE绝缘电缆

聚乙烯(PE)是以碳、氢元素为基础的热塑性合成材料。PE具有特殊的电气特性，因而在用户电话网的通信电缆中，十分广泛地用作导线的绝缘材料。实心或泡沫聚乙烯绝缘的导线(见图8)绞成星形四线组以后，也可以在载波系统中使用

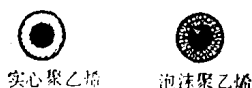


图 8 聚乙烯绝缘导线