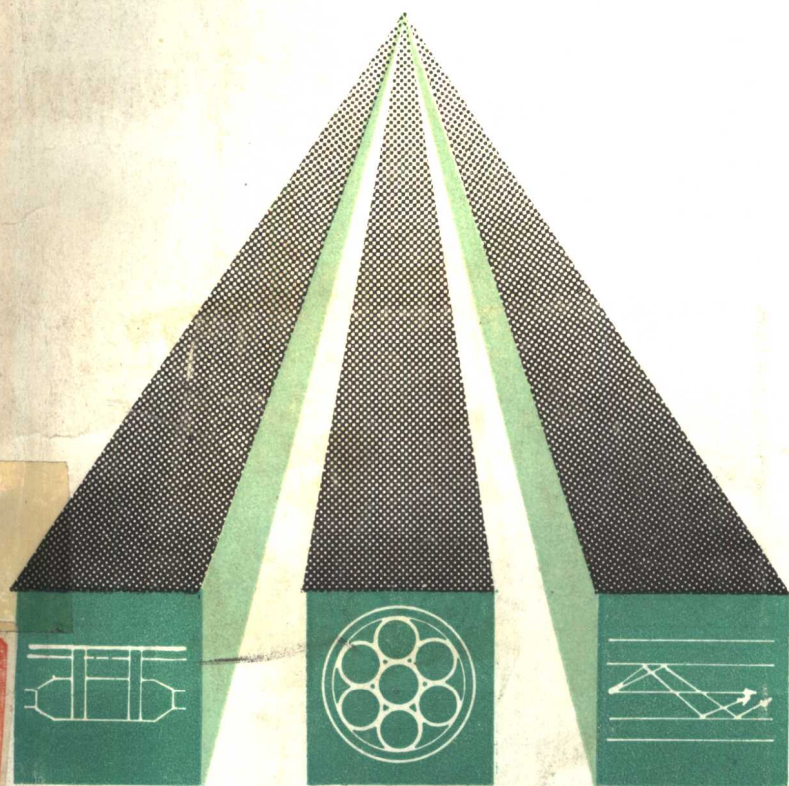


内线和外线 通信电缆

法兰克 W·霍恩 著 刘和 译 刘淮 审校



中国通信学会通信科普读物研究会主编

内线和外线通信电缆



Frank W. Horn 著

刘 桓 译

刘 淮 校

人民邮电出版社

CABLE, INSIDE AND OUT

Frank W. Horn

1979

内 容 提 要

本书在美国是以专业培训教材出现的。它全面总结了市话电缆的发展历程，阐述了电缆的设计技术、制造工艺、性能用途以及施工维护有关的配合技术。

全书共有二十六章，具体内容有电缆发展简史，传输技术，纸绝缘电缆，全塑电缆，护层与防护，各种室内局内电缆，包括PCM电缆、光缆在内的各种特殊结构和特殊用途电缆，成品检验，接续、接头与成端，施工与维护技术，电缆选择，以及对未来的展望。

本书可供电缆制造和通信线路技术员与工程师日常工作参考，可以充作电缆技术工人进修的学习材料。还可以作为通信电缆制造和通信线路专业技术学校师生的参考用书。

内 线 和 外 线 通 信 电 缆

Frank W. Horn著

刘 桓 译
刘 淮 校

•

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京北方印刷厂印刷

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 1987年1月第一版
印张：8 12/32 页数：134 1987年1月北京第1次印刷
字数：191千字 印数：1-2,000册

统一书号：15045·总3286—有5483

定价：1.55元

前 言

通信科学技术普及读物的编辑出版，以面向生产、面向群众、面向基层为方针。它不仅包括知识性的图书，而且以实用性的图书为重点，同时也介绍一些新技术的发展趋势。

通信科普读物的主要读者对象是从事通信工作的干部、工人以及广大关心通信事业的读者。根据他们的特点和需要，在内容和选材上力求密切联系通信科研、生产、使用、维护和管理上的需要；在叙述上力求通俗易懂、概念清楚、结合实际、生动活泼，以帮助读者学习钻研通信科学技术，为培养一代新人、提高全民族的科学文化水平作出贡献。

由于我们缺乏经验，难免存在不足之处，欢迎广大读者提出意见和建议。

中国通信学会科普读物研究会

作者原序

现代电话电缆的制造需要精密和复杂的技术。产品必须满足通信系统对传输媒质日益提高的要求。而经济方面的考虑则往往是产品选择的决定因素。此外，与其它大生产不同，尽管电缆暴露在极其严峻的环境中，它却是按30年或更长的年限设计的。

为了满足不同的性能要求及施工准则，已经研制成功为数甚多的电缆结构。这样便使用户对电缆的选择复杂化了。幸运的是弗兰克·霍恩先生的“内线和外线通信电缆”一书对电缆技术做了广泛的介绍，对丰富读者的实际知识，增进对电话电缆的了解方面做出了杰出贡献。这本书描述了电话电缆从早期发展到今天的生动历史；详细讨论了现行的电缆结构，并就电缆的选择做出推荐。此外，这本书还为读者提供了一个电缆专家积累半个世纪的经验才能掌握的价值甚高的设计标准和对未来的发展的有说服力的预测。

依据本书的价值，我们还发行了它的西班牙语译本。这个译本当前在西班牙用作电信大学的教科书。并为沟通工厂与用户之间的信息作出有意义的贡献。

弗兰克·霍恩长期以来一直被公认为美国电话电缆界的权威之首，近年来又知名于国际电信界。我相信，以他在这一学科的广博知识为基础的新经验，必将会反映在这次修订本中，使它具有更普遍的价值。

A. Cueto

综合电缆公司国际工作部副总裁，总经理

译 校 者 序

本书作者曾在著名的贝尔实验室从事市话电缆研制工作，历时45年，具有一定的国际威望。

作者综观市话电缆发展的全过程，以通俗易懂的语言和层次清楚的笔法全面分析了电缆技术的演进，总结了产品设计技术，概括了生产工艺，并且为使用者阐明了性能用途以及与建设维护有关的配合技术。最后，作者还就电缆技术的发展前景作出自己的估计。

这本书是作为电缆专业培训教材撰写的。它的西班牙语译本还以电信大学教科书出现。诚如为原书作序的一位专家所言，它是初学者的必需读物，是实践经验者的工作基石，也是工程师们为丰富知识有永久价值的藏书。

我国目前介绍市话电缆的书籍还不多。可以指望，这本书将有助于对市话电缆的全面了解。人们将会从中发现我国市话电缆在品种设计、技术性能、生产工艺、原材料质量、以及施工维护水平等各个方面与国外的差距。这本书可以为工厂工程师在研究电缆技术发展的方向时提供有价值的参考，为通信部门的工程师在选择和使用电缆时提供帮助，为电缆技术工人进修以及通信电缆制造和通信线路专业技术学校师生提供学习材料。作为知识性资料，它还可以为与电缆工作有关的人员增加管理知识。

本书是以美国情况为主并以美国观点编写的，内容有一定的局限性。举例而言，美国至今还沿用美规线径系列，传输计

算一直保留英制标准，是不会为大多数国家接受的。同时，美国人采用对绞反对星绞，全塑电缆的组群结构不厌烦琐，以及拉丝与挤塑联动等等。这些问题，在技术先进国家之间是有争论的。不过，这一切并不影响国外先进技术对我们的借鉴作用。

原书共有二十五章，译本把原未纳入正文的“导言”更名为“通信电缆的发展简史”改列为第一章，因此全书增为二十六章。原书附录只有“电缆词汇”一项。为方便读者起见，译本增加了“线规对照表”和邮电部部颁标准YD322—84“铜芯聚烯烃绝缘铝塑综合护套市内通信电缆（试行）”的有关部分。

译本对原书的略语或缩写都加了译注或按语，对于个别费解词汇则用括号把原文照录。对于国际上已经通用的电缆结构简称，如ASP护层，PIC电缆等等，在书中第二次出现时均照原文书写。在国际技术交流日益发展的今天，这些简称也将为我国工程技术人员所习惯。

美国非利浦·道奇通信设备公司研究所所长 M.C. Biskorn、佛罗里达联合电话公司总工程师 H.W. Ramsey 和曾经长期担任美国乡村电气化管理局业务和标准处外线分部主管的 G.A. Lohsl 等也都为本书写了序言，做了很高的评价。为了减少篇幅，本书没有一一译出。

限于译校者水平，谬误之处，在所难免，希望读者批评指正。

目 录

第一章	通信电缆的发展简史	(1)
第二章	传输	(6)
第三章	纸和纸浆绝缘电缆的设计和制造	(13)
第四章	纸和纸浆绝缘电缆的结构和色谱	(21)
第五章	塑料绝缘电缆	(31)
第六章	塑料绝缘缆芯的结构——偶数制色谱	(39)
第七章	特殊结构	(48)
第八章	电缆护层	(58)
第九章	电缆的铠装及防护层	(71)
第十章	局内及用户安装电线及电缆、室 外用线	(81)
第十一章	接口电缆	(92)
第十二章	工厂测试	(99)
第十三章	填充电缆	(111)
第十四章	铝导体电缆	(124)
第十五章	低电容T 2 — LoCap 电缆	(133)
第十六章	城市中继电缆	(141)
第十七章	导线接续	(147)
第十八章	工厂预制接线器	(156)
第十九章	封套	(161)
第二十章	电缆终端设备	(170)
第二十一章	施工	(179)

第二十二章	维护.....	(191)
第二十三章	电缆的特殊要求.....	(200)
第二十四章	光导纤维.....	(208)
第二十五章	正确选择电缆.....	(216)
第二十六章	未来的展望	(222)
附录 I	电缆词汇.....	(224)
附录 II	线规对照表.....	(242)
附录 III	邮电部部颁标准 YD322—84 “铜芯聚烯烃 绝缘铝塑综合护层市内通信电缆(试行)” 的有关部分。.....	(245)

第一章 通信电缆的发展简史

电话电缆的诞生，可以认为是以实现电话线路埋入地下的早期努力为标志的。1882年，沿铁路埋设了一条5英里长的马来胶绝缘导线。敷设时的动力由火车头提供，“犁铧”是车箱上一个向外伸出的支架。尽管并不完全成功，但这次施工确实开创了以后广泛采用的开沟敷设法的历史。

在这以前，明线连接的电话系统被证明是不适合于像纽约和波士顿这样的大城市的。1890年纽约出现过一些高90英尺，有30条线担和300根导线的电杆。这个例子足以说明当时线路拥挤的程度。

1875年亚历山大·格拉海姆·贝尔首次发明的电话，曾被嘲笑为不过是一件没有商业价值的稀奇玩具。然而历史证明了当时人们的想法是错误的。尽管贝尔的电话是极其出色的发明，其实不过是一个重现送话器信号的接收装置。使用时要把它们连接在一起，这在当时却是一个难以解决的问题。

现今的防盗告警线和电报线便是当初用来连接电话机的导线。后来把线路布放在屋顶上，最后才用线担挂在电杆上。

随着对电话的认识和现代工业的发展，迫使人们寻找解决提供传输线路的方法。第一条电路是以大地作为回路的，但由于噪声几乎不能使用。这个问题通过采用第二根导线于1883年得到解决。然而导线用量成倍增加和投资的大幅度提高，几乎使电话工业夭折。尽管是明线结构，毕竟使传输电路按无噪声的方式解决了。

第一条地下电缆线路于1883年敷设在布鲁克林和波士顿。据查考到的记载称,这批电缆采用油渍丝包绝缘,但没有提到有任何其它护层。两年后铅护套问世,使电缆发展得到很大促进。

为电缆加上铅护层,曾经是一件既慢又不方便的事。首先要挤好铅管,随后将整个缆芯用机械方法穿过铅管,看上去就像是一群人在拔河一样。

有铅护层保护的缆芯免去油浸是可能的。于是干燥纸张便成为工业制造中的标准绝缘材料。由于降低了电容和大大地减少了通过绝缘的损耗,从而使绝缘电阻增加,电导降低,显著地改善了传输特性。

就像单根导线接地回路业已发现具有不可容忍的缺陷那样,电缆中的两平行导线能够听到外部信号,也同样不好。这样就发展了扭绞线对。

扭绞线对使得导致噪声的对地电容不平衡得到极大改进,但线对之间还有很高的信号能量转移(串音)。

尽管存在着上述缺陷,线对单一扭绞的结构方式在交错扭绞引用之前依然使用了相当长的时间。交错扭绞是对相邻线对采取不同的扭绞。这种早期的扭绞方式,仍旧是今天采用的复杂扭绞系统的基础。电缆从此进入成熟阶段。

到1896年,纽约的所有电话电路已经完全敷设在地下管道中了。其它大城市也建立了管道系统。这种用于线路拥挤地区的方式迄今仍在沿用。

后来发展了能够直接在缆芯上挤制护套的压铅工艺。干燥纸绝缘、扭绞线对加上铅护套,便成为电缆的标准结构。采用干燥纸绝缘使电容下降到 0.085 微法/英里¹⁾左右。这一数值已

1) 美国采用英制单位,电容表示为微法/英里。

1英里=1.609km, 0.083 微法/英里= 0.0516 微法/公里。

非常接近现今用户电缆0.083微法/英里的标准。

这种早期电缆当时仅在相对距离较短的城市范围内使用。1898年出现了城市间使用的长途电缆。长途电缆规格较粗，采用美国线规（AWG¹⁾）14、13甚至10号的导体以获得低损耗传输。为了减小衰减，延长音频信号可以传输的距离，电容降低到0.042微法/英里以下。

大约在1900年前后，哥伦比亚大学明奇尔·普宾（Mincheal Pupin）教授发现了能够极大地扩大电缆传输范围的加感理论，电缆的研究取得了重大突破。就电缆中的线对结构来说，对应于给定电容的电感低于最佳传输所要求的电感。普宾教授发现沿电缆长度按一定间隔介入附加电感（加感线圈），可以达到最佳状态。通常每隔3000英尺或6000英尺的距离增加一个加感线圈，可以有效地改善传输性能，从而有可能用较细的导体或延长传输距离。这个发展经受了时间的考验，迄今仍广泛用于音频传输。不过，载波电路却不能加感。

四线组电缆的发明约在1910年。这种结构使每两对线能够增加一个额外的音频电路。为了组成四线组，两对线要扭绞在一起。在线路终端两个侧回路的转电线圈准确地从中间抽头，就可以形成称为幻象电路的额外音频电路。平衡实线电容，特别是平衡幻象电路与其侧回路之间的电容是非常困难的，通常不得不在电缆接续处通过交叉接续来补偿。

在20世纪20年代之前一段时间内，电缆设计除了采用交错扭绞以降低串音，较细的导体以节约铜材和将铅护套的成份改为铅、锡合金随后又改为铅、铋合金之外，保持了相对稳定。

在电缆设计保持相对稳定的期间，传输有了飞跃发展。发明了真空管放大器，首次实现了横贯美洲大陆的电话交谈。当

1) AWG是“美国线径标准”的简写。见附录2——译注。

时，这种成就的大部分还不是电缆承担的，横贯大陆电话电路主要仍用明线。然而，这种放大信号的能力却突破了距离的障碍，开创了以纵横交叉的电缆网连接整个大陆大小城市的新时代。

上述电缆的绝大部分是19号线规格的四线组长途电缆。这种结构盛行于20年代。它的生产于原料市场供应严重匮乏的1929年达到高峰。除星绞回路之外，大多数这种电缆还有两对良好平衡的16号线的“广播线对”，用来联系全国各地的广播系统。

按时间顺序，下一个重要的进展是贝尔系统发明的用于市话电缆的纸浆绝缘。由于绝缘是在金属导体上直接由纸浆成型获得的，所以较为便宜。但是生产这种绝缘的机器在使用上相当不灵活，只限于较大规模的生产。西电公司一直生产这种用于管道的电缆。60年代中期，其它一些非贝尔系统的公司也都敷设了纸浆绝缘电缆。

大约与此同时，单位式结构电缆投入使用。因纸浆绝缘的磨擦系数较纸带绝缘大得多，而单位式结构具有较高的柔软性，所以单位式结构对纸浆绝缘基本上是必要的。

单位式结构是经受了时间考验的另一种形式，是目前所有纸绝缘电缆或塑料绝缘电缆的标准结构型式。

1935年同轴电缆问世。这是一种大电路容量的长途载波电缆。与当初比较，今天的同轴电缆已经有了许多改进。现在，整个美国从东到西，从北到南都连接着同轴电缆。最新的工程是横贯北美大陆的20管同轴电缆。电缆埋深6英尺，以减少损坏的可能性。

由于大萧条年代和第二次世界大战的原因，这一期间市话电缆设计无多大进展。但是取代铅护套的研究工作一直在进行。

随后研制出带有轧纹金属带的综合护层，然而却未发展出适合的防腐涂料。

战后，塑料的时代到来。这时出现了具有轧纹铝屏蔽，聚乙烯护套的Alpeth¹⁾护层。稍后又发明了具有轧纹铝带、纵包搭接焊接轧纹钢带聚乙烯护套的Stalpeth²⁾护层。

这些基本设计或变化已为每一个电缆制造商接受。就像设计的细节不断变化一样，使用的材料也变化了。然而迄今所有电缆护层设计都以Alpeth和Stalpeth为基本概念。

这里必须指出的另一个主要设计特征是塑料绝缘导体(PIC³⁾)。在其被认真地考虑用于芯线之前，聚乙烯作为护套材料至少已经有五年的使用历史。尽管起步相当迟缓，但它具有改善电话电缆质量的优势。它的电气性能是出色的，防潮性能相对较高，而且可以得到多种令人满意的颜色。

然而，将电缆埋设地下的趋势却由于水进入塑料绝缘电缆而遇到许多困难。因此填充电缆或防水电缆便应运而生。作为被广泛认可的填充电缆以及由泡沫实心皮构成的双绝缘，已进入了如何降低成本的阶段。

光纤业已跻身这一领域，大量的开发性工作正在进行。它显示出极大的希望，但要精确地评价其对传统电话电缆的冲击，尚为时过早。

1) Alpeth是Aluminium Polyethylene的略语——译注。

2) Stalpeth是Steel aluminium Polyethylene的略语——译注。

3) PIC是Plastic Insulated Conductor的缩写，但不包括聚氯乙烯绝缘在内——译注。

第二章 传 输

在研究局内和外线电缆之前，搞清电缆应具备的基本功能是有必要的。概括地说，任何通信电缆系统的目的不外是在一定的距离之外接收传送过来的适当幅度的信号，失真和来自同一电缆中其它传输系统或电缆外部的干扰应该最小。

这个功能应当以最小的困难在许多年内得到满足。从设计的角度考虑，电缆的寿命最低不得少于30年。但实际使用的电缆都超过这个规定，有的在20世纪初敷设的电缆，至今仍在运行。

让我们粗略地回顾一下传输理论，看一看电缆是如何达到预期设计目标的。随着后面各章的讲述，我们会发现研制者和制造商显然花了许多时间和精力从事电缆物理特性以及电缆寿命的研究。电缆设计中应该考虑的十分重要的问题之一是其经济性。一根很贵的电缆可以具备预期的性能要求，但设计工程师应该认识到：在电缆用户心目中，低费用在电缆应具备的各种条件中占有很高的地位。

传输

首先考虑在一对线的接收端获得具有一定幅度要求的信号。任何信号沿电缆线对前进时都受到衰减（幅度减小）。对信号衰减起作用的有：导体电阻（ R ）、电导（绝缘材料中的能量损失 G ）、线对的互电容（ C ）以及电感（ L ）。这是四个一次参数。

必须考虑的另一个要求是向被叫用户发送呼叫信号的性能。最普通的方法是采取振铃、因此电缆导线必须具有低电阻，以使对端电话机具有足以激励电铃的可靠作用电压。

下边是一个相当复杂的公式。公式能够反映一次参数与信号传播的关系：

$$P = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

式中：

P = 传播常数，

α = 衰减常数，

β = 相位常数，

$j = \sqrt{-1}$ ，

R = 电阻，

L = 电感，

G = 电导，

C = 电容，

$\omega = 2\pi f$ 弧度/秒，

f = 以赫为单位的频率。

从这个精确公式中，可以看到衰减是公式的“实数”部分。就我们的认识来说，这是最重要的特性，对音频传输尤其重要。

在音频时，与 R 比较， ωL 可以忽略不计；与 ωC 比较， G 可以忽略不计。这样可以得到一个更适用的近似式：

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{R\omega C}{2}}$$

如果将电感线圈加到电缆线路上，该近似式变为：

$$\alpha \approx \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

高于音频而且不加感时， L 和 G 是不能忽略的。近似式变

为:

$$\alpha \approx \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

一次参数

衰减公式说明了一次参数的属性。现在再看看决定这些数值的因素是什么。

电阻 (R) —— 这是导线的交流电阻。在音频段内它与直流电阻基本相同,但在较高频段内随表面电流密度 (集肤作用) 的增加而增加。在低频段或直流时,电阻与导体的截面成反比。另一个与电阻有关的因素是导体金属的实际导电率。

电阻是唯一具有显著温度系数的一次参数。温度变化范围很大,特别是架空电缆,温度对信号衰减有极大的影响。

电感 (L) —— 通信电缆中平行线对的低频电感可按下列公式表示:

$$L = 1.483 \log \frac{2S}{d} + 0.1609 \quad \text{微亨/回路英里}$$

式中:

S = 导线的轴心间隔,

d = 导线直径。

可以看出L是完全由尺寸决定的,在电缆线对中始终很低。由于绝缘厚度是为获得给定电容而设计的,所以电容一旦决定,电感也就完全确定了。

电容 (C) —— 线对的两根导线构成一个电容器,电容器的互电容为一次参数C。为了说明电容的计算方法,图2-1左侧所示电缆中间的一对线相当于右侧所示的平衡线对 ($C_{01} = C_{02}$)。