



中等专业学校教学用书

长途电信电缆线路

原編者：陶 作 民

审校者：邮电院校长途电信电缆线路教材选編組

人民邮电出版社

新华书店

PDG

73.4285
611

中等专业学校教学用书

长途电信电缆线路

原编者：陶 作 民

审校者：邮电院校长途电信电缆
线路教材选编组



103447

DL17/4

内 容 提 要

本书除全面論述了长途电信电纜綫路的设计、敷設、安装和维护等方面的理論知識和实际操作外，与1958年所編的原书比較，有以下的补充和修改：首先是适当地补充了新技术的内容；其次是对一些不适合我国发展方向的内容或不宜作为教材的繁瑣内容作了适当精簡。

本书可作为邮电中等专业学校长途通信专业綫路專門化的試用教科書，也可供有关在职人員学习参考。

长 途 电 信 电 纜 綫 路

原編者：陶 作 民

审校者：邮电院校长途电信电纜綫路教材选編組

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四6条13号

(北京市書刊出版业營業許可証出字第〇四八号)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

发行者：新 华 书 店

开本 787×1092 1/32 1962年6月北京第一版

印張 10 24/32 頁數 472 1963年7月北京第二次印刷

印刷字數 250,000 字 印數 501-11680 册

統一書号：K 15045 · 总1303 有280

定价：(9) 1.20 元

序 言

在党的总路线、大跃进、人民公社的三面红旗的光辉照耀下，我国邮电事业和通信技术都有了很大发展；邮电教育事业经过教学改革，在教学内容、教学方法等方面，也有显著改进。本书即是为了适应这种新形势的需要而改编的。

本书是武汉邮电学院教师陶作民同志，根据他在1958年所编写的“长途电信电缆线路”一书，并结合三年来国内外长途电缆方面的新技术和自己的教学体会修改补充而成的。

在武汉邮电学院的主持下，本书经过邮电院校长途电信电缆线路教材选编组审核，可作为邮电中等专业学校长途通信专业线路专门化的试用教科书，也可供有关在职人员学习参考。

本书除全面论述了长途电信电缆线路的设计、敷设、安装和维护等方面的理论知识 and 实际操作外，与1958年编写的原书相比较，有下述两方面的补充和修改。首先是适当地补充了近年来发展的新技术内容：例如增添了长途电缆的电气防护一章，将强电流线路对电信电缆线路的影响及电缆防雷技术作了补充论述；又例如在高频对称电缆的平衡、电缆气压维护、电缆的安装接续技术和增音站分布的理论上，也都吸收了一些国内外的新成就，进行了适当的修改和补充；又如在同轴电缆的应用方面，补充了不均匀性影响和远距离供电的内容。其次，修订后的本书，对一些不合我国发展方面的内容或不宜作为教材的繁琐内容，也作了适当精简。例如将电缆加感理论（包括介入电缆）、水浸敷设方法、同轴电缆的结构、电缆的电气参数计算及低频电缆的平衡方法等都作了适当删减。这样，可使本书更适应今后教学需要。

103447

为了适应教学需要，本书在内容上力求简练，重点力求突出，说理力求清楚。但是由于作者水平所限，当仍有不妥之处，希望有关教师和读者指正。

参加本教材选编组的成员为武汉邮电学院教师陶作民，石家庄邮电师范学院教师卜永年，郑州邮电专科学校教师刘广典、胡书金，湖北省邮电学校教师胡月芬等同志。本书附图是由武汉邮电学院制图教研组协助完成的。

1962年3月



目 录

序言

第 一 章 长途电缆线路概說	1
§ 1-1 长途电缆线路的特点	1
§ 1-2 长途电缆线路的发展过程和分类	3
第 二 章 长途对称式电缆	7
§ 2-1 长途对称电缆的心线和絕緣	7
§ 2-2 长途对称电缆的扭絞	10
§ 2-3 电缆的被复物	15
§ 2-4 长途电缆的屏蔽	16
§ 2-5 长途对称电缆的类型	17
§ 2-6 长途对称电缆的一次参数	24
§ 2-7 长途对称电缆的二次参数	32
§ 2-8 市話电缆和聚氯乙烯絕緣电缆	36
第 三 章 电缆管道设备	37
§ 3-1 电缆管道的組成	37
§ 3-2 管筒的类型	38
§ 3-3 人孔和手孔	42
§ 3-4 混凝土	48
§ 3-5 管道的敷設和建筑	51
第 四 章 长途电缆的加感	56
§ 4-1 加感的目的与方法	56
§ 4-2 集总加感电缆的电气性能	58
§ 4-3 集总加感制	61
§ 4-4 加感箱的构造及裝置	66
§ 4-5 集总加感不均匀节距的处理	70
§ 4-6 均匀加感电缆	72

第五章 同轴电缆	74
§ 5-1 同轴电缆的构造	74
§ 5-2 干线同轴电缆的类型	80
§ 5-3 同轴电缆的电气过程	81
§ 5-4 同轴电缆参数的计算	85
§ 5-5 同轴电缆中的不均匀性	89
第六章 地下电缆及架空电缆的敷設	91
§ 6-1 长途电缆路线的选择	91
§ 6-2 电缆在敷設前的檢驗	94
§ 6-3 电缆的編組配盘	99
§ 6-4 直埋式电缆的敷設	101
§ 6-5 管道电缆的敷設	109
§ 6-6 架空电缆的敷設	113
第七章 水底电缆的敷設	120
§ 7-1 水线路由的选择	120
§ 7-2 水线的水底地沟	124
§ 7-3 水底电缆的敷設	127
§ 7-4 水线的岸上固定和保护設備	132
§ 7-5 水线应力的分析	134
第八章 电缆的安装和銲接	136
§ 8-1 安装銲接用的材料	136
§ 8-2 接續前場地的准备	139
§ 8-3 鎧甲和鉛皮的剝除	141
§ 8-4 电缆心线的接續	144
§ 8-5 鉛套管和鑄鉄箱的安装	149
§ 8-6 水底电缆的接續	154
第九章 长途电缆的平衡	156
§ 9-1 长途电缆的串音防卫度	156
§ 9-2 电缆回路間直接串音耦合	158

§ 9-3	低频电缆平衡的方法	163
§ 9-4	高频回路間的串音耦合分析	171
§ 9-5	高频复数耦合的測量	179
§ 9-6	高频电缆平衡步驟和方法	183
§ 9-7	集总平衡的反耦合元件	188
§ 9-8	集总平衡的方法	193
§ 9-9	平衡套管和平衡盘	204
第十 章	长途电缆的引入裝置	205
§ 10-1	增音站或終端站位置的选择	205
§ 10-2	引入增音站或終端站的方式	207
§ 10-3	电缆进线室的裝置	208
§ 10-4	电缆接入接头排	210
第十一章	介入电缆	213
§ 11-1	介入电缆概述	213
§ 11-2	自耦变量器匹配阻抗	216
§ 11-3	介入电缆的集总加感	218
§ 11-4	介入电缆的終結	222
第十二章	长途电缆的防蝕	227
§ 12-1	电缆铅皮的腐蝕类型	227
§ 12-2	土壤腐蝕	228
§ 12-3	电解腐蝕	234
§ 12-4	电缆对土壤腐蝕的防护	237
§ 12-5	在电車网上防止电蝕的措施	243
§ 12-6	电缆线路防止电蝕的方法	245
§ 12-7	电缆防蝕的电气測量	253
第十三章	长途电缆的气压維護	258
§ 13-1	气压維護概述	258
§ 13-2	供气設備	260
§ 13-3	信号监测系統	268

§ 13-4	查漏气点的方法	273
§ 13-5	埋式电缆的修理	280
第十四章	电缆线路的电气防护	282
§ 14-1	强电流线路对电缆影响概述	282
§ 14-2	电缆外壳的屏蔽作用	285
§ 14-3	对输电线危险影响的防护	288
§ 14-4	交流电气铁道影响概念	291
§ 14-5	电缆对雷电的防护	296
§ 14-6	土壤电阻系数的测量	302
第十五章	长途电缆线路的设计	306
§ 15-1	电缆线路的设计程序和勘测	306
§ 15-2	电缆程式的决定及电路分配	309
§ 15-3	增音站的布置	313
§ 15-4	远距离供电设计	323
附录 I	长途电缆每公里衰耗值	330
附录 II	不加感电缆的参数	331
附录 III	加感电缆的参数	334
附录 IV	安装浇灌料和附属器材规格(苏联)	335

第一章 長途電纜綫路概說

§ 1-1 長途電纜綫路的特点

電纜綫路的組成 電纜綫路是由下面三部分組成：電纜本身、電纜附屬品及綫路建築物。電纜本身為具有被復物的絕緣綫束，即通信綫路的回路設備。電纜附屬品為用來連接各段電纜或終結電纜的裝置，亦即回路附屬設備，如接續箱、鉛套管、分綫箱及加感箱等。這些設備也可以起保護作用，使有關部分不受機械和電氣的損害。綫路建築物是用來支持電纜及安裝電纜附屬品的設備，如引入管道、電纜杆、水綫房及電纜進綫室等。

長途電纜綫路的优点 長途電纜綫路是現代化的通信綫路設備，它本身具有許多特点和优点。其主要优点首先表現在電纜可以不在地面上建築，而且有被復物（如鉛皮）的保護，可使通信少受大氣等外界的干擾影響，因此能保證通信在任何情況下都比較穩定。其次，電纜能容納較多的綫對和復用到較高的頻率，也就是說可以在一條綫路上開通較多的電路。架空明綫由於其衰耗不穩定，尤其是在冰凌情況下具有太大的衰耗，以及對無線電的干擾無屏蔽能力，使其通信頻率較低。這樣，一條架空明綫杆路最多能容納的電話電路數，一般在 200 個電路以內。而在電纜綫路中，對稱式電纜現在已正式復用到 60 路（其最高通信頻率為 252 千赫），目前還在向復用到 120 路及 180 路的方向發展（其最高通信頻率為 552 及 800 千赫），這樣，僅以 2 條 14 對心綫的電纜，按復用到 60 路計算，則其容納的電

路数已达 840 个电话电路。如果使用同轴电缆则还可开通更高的频率和更多的电路。因此我们只要用小对数的对称电缆或同轴电缆，就能够在长途电信中心局所在地的各大城市间建立大量的电路群，以保证通信需要。这对于采用更现代化的接续制——立接制和自动化——尤为必要。再次，电缆线路的另一优点为较明线经久耐用，工作寿命较长，而且维护较明线便利。这是因为电缆本身具有保护物（铅皮铠装），而且长途电缆多在地下敷设，人为和外力的危害以及自然灾害等影响都可以减少。

从经济观点来说，在业务量很大的城市间，敷设多路复用的长途电缆比架空明线经济得多。表 1-1 是根据苏联所采用各种通信程式的每公里耗铜量和成本比较的资料，这些数据充分说明了电缆线路在技术经济上明显的优点。

表 1-1 各种通信程式每路公里经济比较表

线路型式	载波程式	通信频率 (千赫)	每路公里 耗铜(公斤)	每路公里成本 (以 K-1800 型为 100)
架空明线	B-3	6-27	56	2000
架空明线	B-12	36-144	14	1500
对称电缆	K-12	12-60	56	900
对称电缆	K-24	12-108	28	440
对称电缆	K-60	12-252	1.2	240
同轴电缆	K-900	60-4100	0.2	150
同轴电缆	K-1800	60-8000	0.1	100
微波接力	PM-24	15-20 厘米	—	1600
微波接力	PM-240	6-8 厘米	—	200

由于电缆线路具有上述优点，电缆除已在市话网中广泛采用外，在长途通信网中，长途电缆便成为主要干线现代化的设备。

对长途电缆的要求 电缆既然是由許多密集絕緣心綫所組成的綫束，又要求它能复用到較高的頻率和通达較远的距离，因此对长途电缆本身必須有許多严格要求。其主要的要求有下列几点：

(1) 綫路衰耗应尽可能小，以保証增音站間能有較大的距离。电缆因为綫距太近，因之电容較大，同时也容易发生漏电現象，再加上綫径較小，衰耗比明綫要大得多，因之要求絕緣介质应当有較好的电气特性，以使絕緣电阻不会比明綫小，心綫的电容不会太大。

(2) 回路間的串音衰耗应尽可能大，以保証通信质量优良。在密集綫束的綫对之間是容易发生串音的，因此必須使心綫扭合排列妥善，結構稳固，以减少綫对間的直接串音，同时导电和絕緣都必須很均匀，以避免特性阻抗有偏差而产生反射串音。

(3) 造价尽可能小，以降低平均每电路的經濟指标。

§ 1-2 长途电缆綫路的发展过程和分类

电缆的发展过程 由密集的絕緣心綫所組成的电缆，在上述要求条件下，发展成为今日現代化的通信綫路設備，是經過无数科学技术工作者和工人同志的辛勤劳动，以不断改进电缆技术而获得的。早在十九世紀中叶电报发明不久以后，即出現了馬来胶絕緣水底电缆。这种电缆的构造是这样的：在多股扭成的2毫米左右直径单心銅綫上包上一层馬来胶絕緣物，然后在馬来胶絕緣层上包上一层銅帶作屏蔽——以防止心綫間的干扰并防止馬来胶被水底虫类蛀蝕，将这些絕緣和屏蔽好了的单心綫直接排成正确的同心圓，便成为电缆总綫束，在总綫束外再包上大麻和鋼絲，便构成一条电缆。这就是正規的长途电缆

的最初型式。这种电缆由于马来胶在水中具有很好的电气特性和机械强度，所以没有用铅皮来包封。图 1-1 即一根单心导线的马来胶电报电缆。后来因为马来胶价格昂贵，相对介电常数大，且仅适用于水中，故又出现了以橡皮、帕拉格达胶、油麻及油纸等绝缘的电报电缆。这些电缆的心线有单股的及多股扭合的两种型式。多股扭合的心线富有柔韧性，不易折断，宜于作水底电缆用。用油麻或油纸绝缘的电缆均有铅皮包封，外面再加钢丝或钢带铠装。这两种电缆既可用于水底，也可用于陆地。图 1-2 为油麻绝缘电报电缆断面图。

自从载波电报发明后，因为可以利用一路载波电话开通 18 路载波电报，因此除油纸电缆有时可考虑作电报架空明线的介入电缆及信号电缆外，电报电缆一般便不再制造和敷设了。但我国目前尚存有少数过江水底电报电缆线路。

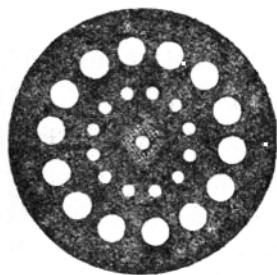


图 1-1 马来水胶深水电缆



图 1-2 油麻绝缘电缆

至于电话电缆，自 1876 年电话发明不久后，为了解决市内电话用户多而密集，架空明线不能单独适应的矛盾，便制造出

来了 0.5 毫米线径的纸隔铅包对扭式的市话电缆。不过那时因对电缆的绝缘材料和绝缘方式还研究不够，电缆的衰耗无法降低，而且那时维护技术也很差，不会测试障碍地点，因之电缆未能很快应用到长途电话方面去。1900 年后，加感线圈在明线上首先采用，但明线加感因受到天气变化的影响，且使通信极不稳定。这个矛盾只有由不易受大气变化影响的电缆来解决。于是研究出来了 1.2—1.4 毫米径的纸绳式绝缘的复对式电缆。这种电缆的电容和衰耗都比市话电缆小很多，因此与加感线圈配合便能应用于长途通信。不过电缆衰耗毕竟比明线大，只能通达 100 公里左右。到 1914 年增音机发明后，电缆不能适用于长距离通信的困难得到了解决，长途电缆遂成为区域较小国家的通信基础。接着不久载波电话发明后，电缆的制造技术也随着通信的发展有了不断的改进，使电缆能够适应于高频载波通信。例如：在电缆绝缘材料上，由纸绳式又进一步发展到聚苯乙烯及聚乙烯塑料绝缘；在线对组合上，由复对式改成星型；在心线的排列位置上，也比以往更稳固。同时，在通路的设计和安装技术上也在不断地提高，如电缆加感由中等加感改进到轻加感或不加感，安装时的平衡技术也在不断改进。这样便开辟了对称式电缆线对可以复用到 800 千赫（180 路）的高频复用的途径。随着科学技术的提高，除对称式电缆还在不断发展外，1930 年又发明了同轴电缆，这种电缆除了可以开通 1800 个电话电路外，并可传送电视节目。

电缆虽然已经有七十多年的发展历史了，可是旧中国遗留下来的长途电缆线路却非常少，而且大都是外人敷设，作为侵略中国的工具。自 1877 年起，帝国主义者曾在我国沿海地区敷设了一些海底电报电缆。日本帝国主义者侵占台湾时，曾陆续在台湾各地敷设长途电话电缆，侵入我国大陆时，又曾在东北

地区及河北省，敷設了些开通三路載波的长途電纜。这些電纜在目前來說，都是陈旧而落后的，而且有些也在战争时期被敌伪破坏了。解放后，为适应恢复时期及第一个五年經濟建設的需要，我国曾大量改建、扩建和新建了許多长途架空明綫及市話電纜网。今后也将逐步裝建长途電纜。

长途電纜线路的分类 綜合電纜的发展过程，可将长途電纜线路分成下述几类：

按业务的类型分：

(1) 电报電纜——专供电报通信用；

(2) 长途通信電纜——供长途電話、电报和传真电报用；

(3) 广播電纜——用于从無線电收音室传送广播节目到無線电广播发信台或收音台；

(4) 电视電纜——供大城市間交换电视节目用。

(5) 綜合利用電纜——可以供上述数种业务同时利用。

按綫对结构的类型分：

(1) 对称式電纜——这一类型電纜按綫对的組成方式，又可分为对式、复对式、星型；

(2) 不对称式電纜——即同軸綫对電纜。

以上電纜如果按其絕緣材料又可分为許多类型，如紙繩、聚苯乙烯塑料、聚乙烯塑料電纜等等。

按电气附属設備分：

(1) 普通電纜；

(2) 加感電纜。

按敷設方法分：

(1) 架空電纜；

(2) 地下電纜；

(3) 水底電纜。

以上各种电缆类型（除电报电缆构造外）将在本书下面各章分别叙述。

第二章 长途对称式电缆

§ 2-1 长途对称电缆的心线和绝缘

电缆由导体、导体的绝缘物以及被复保护装置三部分构成。

长途对称式电缆的导体 电缆的导体一般是由标准铜制成，但在需要减低电缆重量或铜供应不足的情况下，则由标准铝制成。标准铜是纯粹的电解铜，经过热的延展和冷的抽拉，然后制成软铜线。在摄氏 20° 时，铜线的电阻率应不大于 0.01754 欧·平方毫米/米，温度系数为 0.00393 。其机械性能在相对展长 $18-25\%$ 的情况下，抗张强度为 $27-28$ 公斤/平方毫米。标准铝的电阻率则为 0.0291 欧·平方毫米/米，温度系数为 0.0037 。

电缆的导体亦称电缆心线。长途电缆的铜心线直径有 0.8 、 0.9 、 1.0 、 1.2 、 1.4 毫米五种；如用铝制成，则其线径应为上述铜线线径的 1.28 倍，以获得与铜心线相同的电阻值。

电缆心线线条应该是完全光滑，没有裂痕的接焊。为了使线对的电阻不平衡达到规定值（ $0.5-1\%$ ），因此对导体截面的均匀性要求很严，这一点对高频通信电缆尤为重要。

电缆导体的绝缘材料 长途对称电缆的绝缘材料有干燥纸、聚苯乙烯塑料、聚乙烯塑料等三种。根据电缆的不同用途而采用其中一种作为绝缘材料。

绝缘用的纸是由没有漂白的木质硫酸盐或碱性的化学纸浆制成。电缆用纸所含杂质灰份必须小（不大于 1% ），而且具有

一定的气隙，密度一般为 0.7 克/厘米^3 左右。由于纸的价格低廉、静容量较小，富有柔韧性，故广泛采用为电缆绝缘材料。聚苯乙烯系由乙烯与苯用合成法制成，也可以由煤干馏而制出，将聚苯乙烯加热到 140°C 后再行加工，即可制出聚苯乙烯塑料。聚乙烯是在压力为 $1200\text{—}1500$ 大气压、温度在 200°C 左右时聚合乙烯而制得的。

电缆的电容和绝缘电阻与绝缘材料的电气特性有着直接的关系，而绝缘物的电气特性在很大程度上又决定着电缆复用频率的高低，因此要求其电阻率大，相对介电常数及介质损耗角小。表 2-1 为三种绝缘材料的电气特性。由此可看出，聚苯乙烯和聚乙烯在高频时的介质损耗角的正切均较小，故此二种材料最宜于作高频通信电缆的绝缘物。

表 2-1 绝缘材料的电气特性

材料名称	体积电阻率欧·厘米	相对介电常数	在各种频率下的介质损耗角正切			
			10^3 赫	10^4 赫	10^5 赫	10^6 赫
干燥的纸	1×10^{16}	$2\text{—}2.8$ ①	0.008	0.011	0.030	0.045
聚苯乙烯	1×10^{17}	2.2	0.00035	0.00014	0.00013	0.00011
聚乙烯	1×10^{17}	2.5	0.0002—0.0004②			

① 纸的介电常数与其密度有关，故其值在 $2\text{—}2.8$ 之间。

② 聚乙烯的 $\text{tg}\delta$ 值系在频率在 10^8 赫以内的略数。

长途对称电缆心线绝缘的方式一般均采用绳捻式，如图 2-1 所示。在每根心线上先用电缆纸或聚苯乙烯塑料制成的绳捻成螺旋地缠在心线上，其扭距一般为 $5\text{—}7$ 毫米。在绳捻之上，再用一两层纸带或聚苯乙烯塑料带，以 $15\text{—}30\%$ 的重叠率包绕。这样组成的绝缘方式构成了由介质和空气的混合绝缘层。