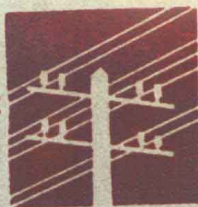


高等学校数学用书

电信线路设备

原编者：北京邮电学院线路设备教研组

审校者：邮电学院电信线路设备教材选编组



人民邮电出版社

高等学校教学用书

电 信 綫 路 設 备

原編者：北京邮电学院綫路設備教研組

审校者：邮电学院电信綫路設備教材选編組

人 民 邮 电 出 版 社

1962

內 容 提 要

本書重點地論述了有明綫和对称電纜的傳輸特性、內部和外部干擾以及防干擾的方法。同時，對電信綫路的維護、設計等方面的知識也作了講解。此外，對現代新技術，如同軸電纜和遠距離波導通信的基本理論也作了扼要的介紹。

本書是郵電學院有綫報話通信專業教學用書，也可作為一般綫路工程技術人員的參考書。

電 信 綫 路 設 備

原編者：北京郵電學院綫路設備教研組

審校者：郵電學院電信綫路設備教材選編組

出版者：人 民 郵 電 出 版 社

北京東四六條13號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 廠

發行者：新 華 書 店

開本 850×1168 1/32

1962年2月北京第一版

印張10 28/32 頁數 348 插頁 1

1962年2月北京第一次印刷

印刷字數 291,000 字

印數 1—3,650 冊

統一書號：K15045·總 1276—有 268

定價：(10)1.55元

序 言

在党的总路线、大跃进、人民公社三面红旗光辉照耀下，近几年来我国邮电事业得到了飞跃的发展，电信线路的建设，也得到了很大的发展。关于电信线路的电气理论水平，在明线交叉和电缆平衡等方面，也得到了显著提高。同时，邮电教育事业也相应地有了很大的发展。因此，各方面都迫切需要一本能结合我国实际情况的、适合高等学校用的电信线路设备教学用书。

为了适应目前和今后我国对电信线路通信质量提出越来越高的要求，本书着重讲述了电信线路设备中有关电气方面的基本理论知识。

关于电信线路的建筑施工方面的实际操作知识，因为可在实验、实习和生产劳动中进行；又由于与架空明线机械强度有关的基本理论已在工程力学等课程中讲授，故本书对上述两内容未作叙述和介绍。

本书计分九章，除重点论述了有关明线和对称电缆的传输特性，内部和外部干扰、防干扰方法以及维护设计等方面的知识外，并对现代新技术如同轴电缆和远距离波导通信的基本理论也作了扼要的介绍了。为了适合教学需要，本书内容力求简练，尽量避免一般现象的罗列以求达到重点突出的目的。从而使学生学习这门课程之后，能具备有关电信线路的基本理论知识，为今后参加工作打下基础。

本书原稿是北京邮电学院线路设备教研组通过几年来教学实践，于1961年加以整理和修订提出。最后在北京邮电学院负责主持下，经邮电学院电信线路设备教材选编组以上述原稿为基础，进行修改补充和审校而成。

参加原稿整理的成员是北京邮电学院教师区惟煦、王明鑑、秦鴻、高攸綱、陈庆凯、李国瑞等同志。

参加电信线路设备教材选编组的成员是武汉邮电学院教师陶作

民、重庆邮电学院教师屠善濂、北京邮电学院教师区惟煦等同志。

参加本书繪图、繕稿等工作的还有北京邮电学院工程画教研組教师和学生。

由于經驗不足，审編時間短促等原因，本书內容难免有不够妥善，甚至錯誤之处。希望讀者特别是使用本书的教师和同学积极地提出批評和改进意見，以便以后修訂提高。

1961年11月

目 录

序言

第一章 概說	1
§ 1-1 电信线路的作用和发展	1
§ 1-2 架空明线的组成和器材	3
§ 1-3 电缆线路的组成和结构	9
§ 1-4 电信线路的建筑过程	15
第二章 线路的传输特性	17
§ 2-1 引言	17
§ 2-2 线路的一次电气参数	19
§ 2-3 线路的二次电气参数	43
§ 2-4 线路一次电气参数测试的基本原理	52
第三章 明线回路间的干扰及防干扰的措施	55
§ 3-1 引言	55
§ 3-2 串扰原因的分析	55
§ 3-3 交叉回路的近端串音	70
§ 3-4 交叉回路的远端串音	82
§ 3-5 串音衰减和串音防卫度的标准	97
§ 3-6 有线广播馈电线与县内电话回路同杆架设的问题	100
§ 3-7 防止进局线路回路间的串扰措施	102
第四章 电缆回路间的干扰及防干扰措施	126
§ 4-1 对称电缆的串扰特性	126
§ 4-2 对称电缆在制造中采取的防干扰措施	127
§ 4-3 电缆回路间的电磁耦合分析	131
§ 4-4 耦合曲线的确定	137
§ 4-5 电缆施工中防干扰的各种措施	138
§ 4-6 市话线路高频复用	151
第五章 电信线路遭受强电的影响及其防护措施	153
§ 5-1 概述	153

§ 5-2 中点絕緣輸电系統的影响及其防护	155
§ 5-3 中点接地輸电系統和电气鉄道的影响及其防护	173
第六章 同軸电纜	191
§ 6-1 同軸电纜的特点	191
§ 6-2 結構不均匀对通信质量的影响及对这一問題的处理	194
§ 6-3 同軸綫对間的干扰及其防护措施	208
第七章 寬頻带远距离波导通信	225
§ 7-1 波导特性与波导結構	225
§ 7-2 波导傳輸的不連續性和伴流問題	235
§ 7-3 周期性波导	242
§ 7-4 介质膜波导	248
第八章 电信綫路的維護与設計	250
§ 8-1 綫路維護概述	250
§ 8-2 明綫綫路的維護	251
§ 8-3 电纜綫路的維護	268
§ 8-4 自然影响及防护	289
§ 8-5 綫路設計概述	294
§ 8-6 架空明綫設計特点	296
§ 8-7 电纜綫路的設計	297
第九章 电信网	305
§ 9-1 全国电信网总述	305
§ 9-2 长途电路的組成	315
§ 9-3 市內电话网	319
§ 9-4 县內电信网	337

第一章 概 說

§ 1-1 电信线路的作用和发展

邮电通信是我国国民经济重要组成部分之一。通信网对于建设社会主义社会，对于巩固与发展国民经济和国防力量，对于为劳动人民的文化生活需要服务是具有巨大意义的。电信网必须适应国家政治、军事、经济和文化生活等方面的需要，并很好地沟通人民之间的联系。它在社会生产力增长的推动下不断发展，反过来又替生产力的增长增添了更有利的条件，进一步对国民经济的发展起很大的作用。随着我国国民经济飞跃的发展，电信事业也必然会有计划、按比例地得到相应的发展。

1958年5月中国共产党第八届全国代表大会第二次会议提出“在全国范围内建立一个以现代工具为主的四通八达的运输网和邮电网”。争取达到这个宏伟的目标是我国邮电工作人员的光荣任务。

全国电信网包括有线和无线两个主要组成部分。有线和无线通信各有优点和缺点。无线电通信在技术经济上比较优越，建设较快，维护简便，但是保密性较差，一般说通路数目受到一定的限制，同时由于容易受到大气条件的干扰影响，运用过程中也不很稳定（无线电接力通信比较可以得到多的通路，受到的干扰也较少）。有线通信有很高的稳定性，保密性能好，同时具有很高的通过能力，可以得到大量的通路。不过，它要花费很大的初建费用在线路设备上，并且需要很长的建设时间。

为了充分发挥通信设备的能力以满足各方面的需要，必须综合利用有线、无线通信方式。

有线电信线路设备是有线通信中的主要组成部分。线路设备一般包括明线和电缆两种形式，近年来还出现了一种新的波导管线路。

在生产发展的过程中，人们对通信的要求是：得到更多的通

路；能够传输更远的距离；有良好的电气性能，以保证一定的通信质量。因此，就要求通信设备通过的频带宽；传输衰减小；通话的语音清晰，无干扰失真现象。但是，这些因素都是相互矛盾的，往往为了加宽通过频带而使得串扰和衰减相对地变得严重。为了不断地解决上述矛盾，就促使线路设备结构类型有了不断的改进。

最早使用的明线线路是把单根铜线架设在弯螺脚隔电子上，以大地作为回路进行通信。以后线条逐渐增多，通信距离逐渐加长，干扰的影响就十分严重。这时，使用了双线回路，并逐步采用了线条交叉作为防止干扰的措施。目前铜线回路一般可以开通三个高频电路，通过频带到 27 千赫左右，当传输更高的频率时，衰减将急剧增加。铜线线路现在一般可以开通 16 个电路，通过频带到 150 千赫，当进一步提高通过频率时，回路间的串扰和无线电广播的干扰影响就会十分严重。我国的线路设备过去是以明线线路为主，同时它的初建费用较电缆低，在建筑和维护上都比较方便，考虑到业务量发展的可能速度，估计明线在今后相当长的时期内，在我国通信设备上仍将占有重要的地位。

电缆线路最初用于电报通信，后来由于市内电话用户多，线路比较集中，逐渐使用了电缆。以后并进一步采取加感的方法应用于长途通信。当载波电话发明后，由于电缆的制造工艺不断改进，开始开通多路载波电话。电缆加感可以降低衰减，但仅在一定的频带内有效。在长途高频通信中，不采用加感方法。电缆线路的主要优点是：对大气的影响和各种干扰影响具有很高的防卫度；在运用过程中比较稳定；使用寿命较长。对称电缆一般可以复用到 108 千赫(24路)，252 千赫(60路)，552 千赫(120路)和 800 千赫(180路)。当传输更高的频率时，涡流损耗(心线、铅皮与铠装的)将大大地增加；回路间的干扰将十分严重，很难保持必要的防卫度。

在本世纪三十年代以来，开始发展新型的不对称电缆(同轴电缆)线路。目前，在长途同轴电缆中使用的频率达到 8—10 兆赫，足以传输一个电视节目或 1920 个电话通路。同轴电缆的主要优点

是：在很寬的頻帶上具有較低的衰減；對回路間相互串擾和外来干
擾具有較高的防衛度；比較經濟。

為了遠距離地傳輸更高的頻帶（如厘米波和毫米波段），目前
各國正在研究使用一種空心金屬的波導管的綫路。這種波導管傳輸
信號的波長只有與管徑相當或波長短於管徑時才有效。在波導管中
傳輸 H_{01} 波的頻率特性是：頻率愈高，衰減愈低。這就使得採用波
導管作為長途干綫綫路成為可能。實驗證明：5 厘米直徑波導管傳
輸波長為 1 厘米的 H_{01} 波時，可傳輸 100 個電視節目或 10 萬個電
話通路，其增音站距離可達 60 公里。因此，它是一種有發展前途
的通信工具。

表 1-1 列出各種類型的通信綫路使用頻帶和經濟成本比較表。

各種通信綫路使用頻帶和經濟成本比較表

表 1-1

綫路型式	載波程式	通信頻率(千赫)	每路公里耗銅 (公斤)	每路公里成本 (以 K-1800 為 100)
架空明綫	B-3	6-27	56	2000
架空明綫	B-12	36-144	14	1500
對稱電纜	K-12	12-60	56	900
對稱電纜	K-24	12-108	28	440
對稱電纜	K-60	12-252	1.2	240
同軸電纜	K-900	60-4100	0.2	150
同軸電纜	K-1800	60-8000	0.1	100
微波接力	PM-24	1500-2000(兆赫)	—	1600
微波接力	PM-240	3700-5000(兆赫)	—	200

(注) 本表為 1957 年蘇聯參考資料

§ 1-2 架空明綫的組成和器材

I、架空明綫的組成和類型

架空明綫的組成 架空明綫綫路是由回路設備和杆路設備所構
成。回路設備包括導綫、隔電子、彎螺腳（亦稱彎鉤）、直螺腳、
綫担、撐腳及交叉設備（H 型鋼板、U 形鋼腳）等。根據回路設備

的装置不同，架空明线有不同的杆面型式，它是根据交叉程式而决定的。现以长途线路中的三种杆面型式为例说明之。图 1-1 为 88 式的杆面型式，是全部装线担的结构，最多可装 6 条八线担。图 1-2 为仿苏式的第三型标准杆面形式，它是由线担与弯钩混合组成的，线担上的直螺脚距离也与 88 式不同。图 1-3 为二线支架与弯钩混合装置，它是有线广播与电话回路同杆架设杆面中的一种，最上层的二线支架是开通有线广播的。

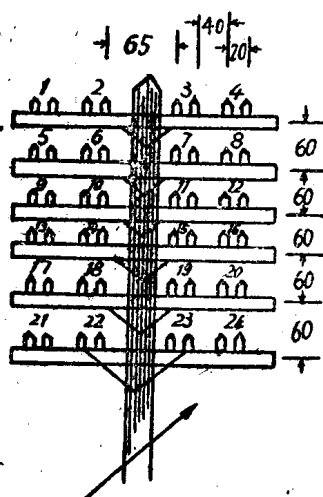


图 1-1 88 式杆面型
(单位：厘米)

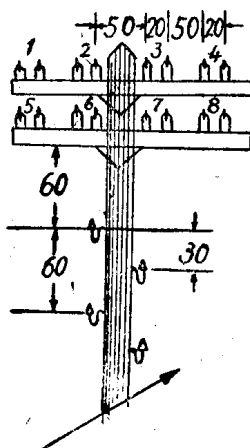


图 1-2 第三型杆面型
(单位：厘米)

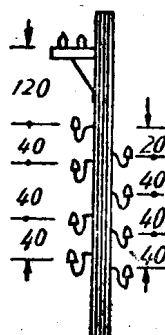


图 1-3 可开广播的
混合型杆面
(单位：厘米)

明线的杆路设备包括电杆、拉线或撑杆和横木等。其中电杆支持全部回路设备，按其装设地点的不同而有不同的名称。一般在直线线路上架设的电杆叫作中间杆。在线路转弯处的电杆叫作角杆。在线条终结处的电杆叫作终端杆。当明线跨越河流、山谷、铁路、公路、电力线等处作特殊建筑的电杆叫作跨越杆。在线路线条分支处的电杆叫作分线杆。为了测试方便，线条上装有试线夹的电杆叫作试线杆。图 1-4 为跨越河流时的装置情况，其电杆一般为 H 型结构。

明线线路的拉线可分为(1)角杆拉线和顶头拉线；(2)风暴拉线

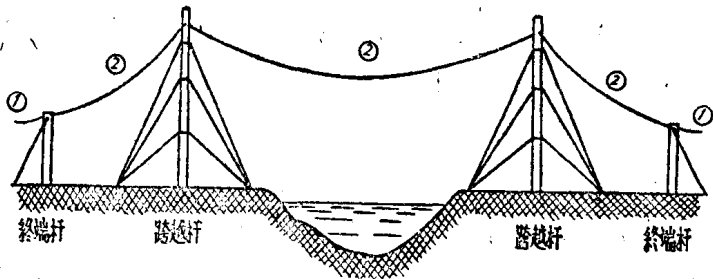


图 1-4 跨越裝置
①普通綫条；②飛綫綫条
(側面拉綫未繪出)

(双方拉和四方拉)两大类。其中第一类是平衡导綫不平衡张力用的；后一类为抗御意外的风暴用的，以防止大量倒杆現象发生。图 1-5为角杆拉綫的一种裝置法(按裝置法称为高桩拉綫)，图1-6为风暴拉綫中的四方拉綫(按裝置法称为地錨拉綫)。

架空明綫的等級 一般分为三級。第一級是长途干綫，是首都通到各省省会、自治区首府、中央直轄市的綫路，以及这些省会、首府和直轄市相互間的綫路。此外，还包括首都到重要工矿、城市、

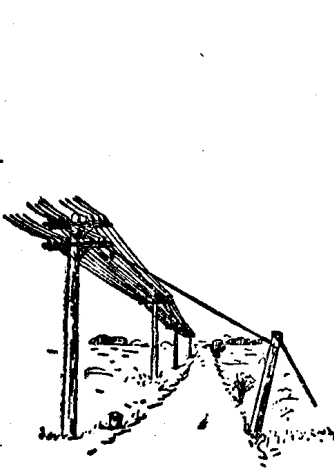


图 1-5 角杆拉綫

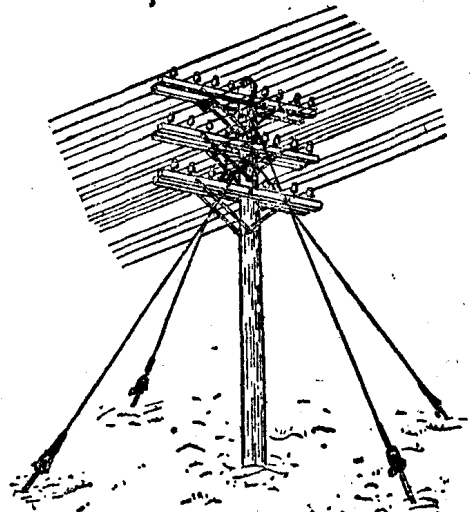


图 1-6 四方拉綫(防凌拉綫)

海港的綫路，首都通达国外的国际綫路，和某些重要的国防綫路。第二級是省內綫路也就是各省省会或自治区首府通到各县，以及各县相互間的綫路。第三級綫路是县內电话綫路，人民公社之間和公社至生产队的綫路，以及市內电话綫路都属于这一級綫路。

十分明显，綫路的等級是按照政治、經濟、国防和国际联系的重要性来决定的。如果这一条綫路同时具备两种等級，則按照它的較高等級算。除了上述三級綫路都是邮电部管理維護以外，鉄路运输机关和大的工矿企业，还有它們自己的通信綫路，專門为它們本身的业务需要服务。

架空明綫的类型 对于架空綫路來說，当同一級綫路架設在不同的地区时，由于自然条件的不同，在建筑上必須采用不同的規格，才能保証稳固和經濟合理。为了达到这目的，我們以一定的自然气候条件作为計算綫路强度的标准。根据强度的要求，可以将綫路建筑規格分为四个类型，如表 1-2 所示。我們將适合采用輕便型

綫路类型的計算标准

表 1-2

气 象 情 况	輕便型	普通型	加强型	特强型
冰壁的等效厚度 (毫米)	5	10	15	20
霜凌厚度 (毫米)	20	>20		
风速 (米/秒)				
导綫上無冰霜时	25	25	25	25
导綫上有冰霜时	15	15	15	15
温度为摄氏 +40° 及 -40° 时	0	0	0	0
空气温度 (摄氏度数)				
在结冰霜时	- 5	- 5	- 5	- 5
最高	+40	+40	+40	+40
最低	-40	-40	-40	-40

綫路的地区叫作輕負荷区，采用普通型綫路的地区叫作中負荷区，采用加强型綫路的地区叫作重負荷区，采用特强型綫路的地区叫作超重負荷区。

II、架空明綫的主要器材

明綫綫路的主要器材为导綫、隔电子和电杆。

1. 导綫

导綫应具备有：良好的导电性能，使傳輸損失小；足够的机械强度；对气体的耐蝕性强；产量多；价格低廉；便于鉚接等。

現在采用的导綫一般有三种类型：鉄綫（亦称为鋼綫，因为它是含低碳的軟鋼，其外表并鍍有鋅）；有色金属綫（銅綫，鋁綫）；双金属綫（銅包鋼綫，鋁包鋼綫）等。一般鉄綫导电性能較差，但产量較多，价格較廉，适用于低頻或三路以下的地方綫路。双金属綫机械强度最好，一般在跨越河流、跨越鉄道等机械强度較大的地方适用。銅綫导电性能較好，适用于高頻回路。它們的物理及机械性能見表 1-3 所示。

导綫的物理及机械性質

表 1-3

电綫的物理及机械性質	单 位	电 綫 的 材 料		
		鉄 綫	硬拉銅綫	銅 包 鋼 綫
比重.....	克/立方公分	7.85	8.89	8.3
摄氏 1 度綫膨胀溫度系数		12×10^{-6}	17×10^{-6}	12×10^{-6}
弹性系数.....	公斤/平方公厘	20,000	13,000	19,000—20,000
极限强度（最大强度）...	公斤/平方公厘	37—44	39—43	55—75
弹性限度.....	公斤/平方公厘		28	—
弹性伸长系数.....	平方毫米/公斤	50×10^{-6}	77×10^{-6}	52.5×10^{-6}
截面为 1 平方毫米的导綫 在 $t = \text{摄氏 } +20$ 度 时的直流电阻.....	欧/公里	138—146	17.9	—
溫度变化摄氏 1 度时直流 电阻变化的溫度系数		0.00455	0.00393	0.0043

为了节约銅的用量，在鉄綫上开通 3 路以上的載波，是今后綫

路工作的一个重要课题。

2. 隔电子

隔电子的作用是支持导线，同时使导线与其它装置绝缘。因此，要求隔电子具有足够的机械强度，并且有很高的绝缘电阻。

通常隔电子都是用陶瓷或玻璃制成。普通玻璃制成的隔电子，其电阻是不稳定的，在天气干燥时电阻很大、天气潮湿时电阻很小，且安装时间愈长电阻也随着减小。瓷制隔电子比玻璃隔电子要优越得多，电阻比较稳定，故多采用瓷隔电子。

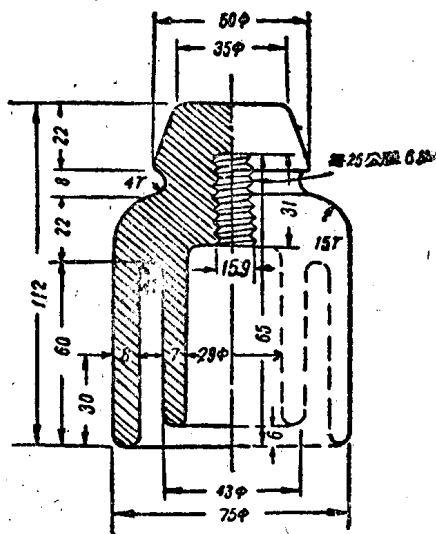


图 1-7 大号双层隔电子

形成隔电子洩漏电流的途径有两个，即通过隔电子表面的洩漏和通过隔电子绝缘介质的洩漏。为了使第一种途径的电阻大，提高隔电子的绝缘性能，隔电子往往做成双层形。按用途不同隔电子可分为大号、中号、小号、茶托、蛋形、鼓形、等各种隔电子。大号隔电子（图 1-7）用于长途线路，中号多用于县内或郊区线路，小号一般用于市话线路，鼓形一般用在室内线路，茶托隔电子常用在导线终结地

点。蛋形隔电子用于两段线条相互绝缘而相联结的地方，或用于接近输电线的拉线上。

3. 电杆

明线线路架设在广阔的原野上，故电杆必须承受起杆上一切设备的负荷和各种外力的影响。因此首先要求它具备有足够的机械强度，同时要求电杆挺直、径差均匀、产量多、价格廉、耐用等。

通常电杆是采用木杆和水泥杆两种。木杆价廉质轻，运输方便，

絕緣性能好。它的机械强度約为 370—1000 公斤/平方厘米,对一般通信綫路最适用。我国架空綫路中,大都用木杆。它的主要缺点是易于腐朽,自然寿命短,一般寿命是三年到十多年左右。若采用好的防腐措施,也可延长寿命 3—20 年。水泥杆是用鋼筋混凝土制成,它的强度主要依赖于鋼筋的机械强度(約为 4200 公斤/平方厘米),它的寿命在三十年以上。用水泥杆同时大大減輕了維修工作,从而降低了維修費用。它的主要缺点是过于笨重,运输不便,且澆制時間較长。

§ 1-3 电綫綫路的組成和結構

I、电綫綫路的組成

电綫綫路由下面三部份組成: 电綫本身、电綫附属品及綫路建筑物。电綫本身为具有被复物的絕緣綫束,即通信綫路的回路設備。电綫附属品为用来連接各段电綫或終結电綫的裝置,亦即回路附属設備,如接續箱、鉛套管、分綫箱及加感箱等。这些設備也可以起保护作用,使有关部分不受机械和电气的損害。綫路建筑物用来支持电綫及安装电綫附属品的設備,如电綫管道、电綫杆、水綫房及电綫进綫室等。

其中加感箱一般用在音频回路上,对高频电綫綫路仅能用来开通 12 路載波的回路。分綫箱是在局外終結电綫并与明綫相連的設備,它是市話电綫綫路主要組成之一。电綫管道是在市区采用的电

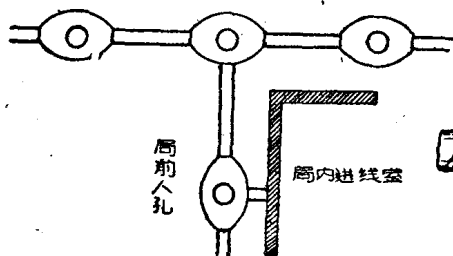


图 1-8 管道系統示意图



图 1-9 細捻式絕緣

纜附属設備，它既可保护地下電纜不受机械損伤；同时也便于地下電纜在增添、更換和修理时，不致經常挖掘市区的路面，避免妨碍市内交通。電纜管道由人孔和手孔及管路所組成。图 1-8 为電纜管道示意图，電纜敷設在管道的管孔中。地下電纜在郊外則直接埋在地下，称为直埋式電纜。

II、对称電纜的構造

对称電纜一般是由以下三个基本部份組成的：

(1) 导电心綫

心綫必須具有很高的导电率，良好的柔韌性和足够的机械强度。为了符合这些要求，最常用的材料是銅，有时也用鋁綫。心綫直径一般为 0.4；0.5；0.6；0.7；0.9；1.0；1.2；1.4 毫米等。长途電纜最常用的尺寸为 1.2 毫米；市話電纜最常用为 0.4—0.6 毫米。

(2) 导电心綫的絕緣層

絕緣层应具有很高的和稳定的介电特性，良好的柔韌性和一定的机械强度，同时并要求加工容易。市話電纜因一般仅用来作音頻通話，电气要求可以低一些，故通常采用紙帶或紙漿直接包在電纜心綫上，称为紙帶式或紙漿式絕緣。而长途電纜因为通信距离远和通信頻率高，要求心綫絕緣的电气特性接近空气的特性，因空气是最理想的介质。因此长途電纜一般采用絕緣材料与空气混合絕緣，称为绳捻式絕緣（图 1-9）。其中用電纜紙与空气混合的称为紙绳絕緣，用聚苯乙烯塑料与空气混合的称为聚苯乙烯绳式絕緣。前一种对潮湿的灵敏性很大，故在高頻范围内介质損耗較后一种高，因此开通 60 路以上載波的電纜以采用后一种較适宜。近几年来有些国家又制出一种聚乙烯多孔式（泡沫聚乙烯）絕緣，即将聚乙烯塑料制成含有 50% 的空隙海绵体，并以此絕緣物直接包在心綫上，这种絕緣电气性能略次于聚苯乙烯绳式絕緣。

電纜內的絕緣心綫都是扭絞在一起的，这样做一方面可以减少電纜內各回路間的干扰，以及外界对電纜回路的干扰；另一方面当電纜弯曲时，可保証各絕緣心綫都受到相同的移动，从而保証电特