

# 長途電信電纜綫路

陶 作 民 著

人民郵電出版社

# 目 录

## 序言

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第一章 长途电缆线路概說</b> .....  | 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  |
| <b>第二章 长途对称式电缆</b> .....   | 6  |
| § 2-1 长途对称电缆的心线和絕緣 .....   | 6  |
| § 2-2 长途对称电缆的扭絞 .....      | 9  |
| § 2-3 电缆的被复物 .....         | 14 |
| § 2-4 长途电缆的屏蔽 .....        | 15 |
| § 2-5 长途对称电缆的类型 .....      | 16 |
| § 2-6 长途对称电缆的电阻和电感 .....   | 22 |
| § 2-7 长途对称电缆的电容和絕緣电导 ..... | 26 |
| § 2-8 长途对称电缆的二次参数 .....    | 30 |
| § 2-9 市話电缆和聚氧乙烯絕緣电缆 .....  | 35 |
| <b>第三章 电缆管道设备</b> .....    | 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 .....          | 41 |
| § 3-4 混凝土 .....            | 46 |
| § 3-5 管道的敷設和建筑 .....       | 49 |
| <b>第四章 长途电缆的加感</b> .....   | 54 |
| § 4-1 加感的目的与方法 .....       | 54 |
| § 4-2 集总加感电缆参数的計算 .....    | 56 |
| § 4-3 集总加感制的計算 .....       | 59 |
| § 4-4 集总加感制 .....          | 62 |
| § 4-5 加感箱的構造及裝置 .....      | 68 |
| § 4-6 集总加感不均匀节距的处理 .....   | 71 |
| § 4-7 均匀加感电缆 .....         | 74 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第五章 同軸電纜</b>         | 77  |
| § 5-1 同軸電纜的構造           | 77  |
| § 5-2 下綫同軸電纜的類型         | 83  |
| § 5-3 同軸電纜的電氣過程         | 85  |
| § 5-4 同軸電纜參數的計算         | 87  |
| <b>第六章 地下電纜及架空電纜的敷設</b> | 92  |
| § 6-1 長途電纜的路綫選擇         | 92  |
| § 6-2 電信電纜與強電流綫路間距離的決定  | 94  |
| § 6-3 電纜在敷設前的檢驗         | 100 |
| § 6-4 電纜的編組             | 103 |
| § 6-5 直埋式電纜的敷設          | 105 |
| § 6-6 管道電纜的敷設           | 112 |
| § 6-7 架空電纜的敷設           | 115 |
| <b>第七章 水底電纜的敷設</b>      | 122 |
| § 7-1 水綫路由的選擇           | 122 |
| § 7-2 水綫的水底地溝           | 125 |
| § 7-3 水底電纜的敷設           | 128 |
| § 7-4 水綫的岸上固定和保護設備      | 135 |
| <b>第八章 電纜的安裝和銲接</b>     | 136 |
| § 8-1 安裝銲接用的材料          | 136 |
| § 8-2 接續前場地的準備          | 139 |
| § 8-3 電纜在接續前的準備         | 140 |
| § 8-4 電纜心綫的接續           | 144 |
| § 8-5 鉛套管和鑄鐵箱的安裝        | 148 |
| § 8-6 水底電纜的接續           | 151 |
| <b>第九章 長途電纜的平衡</b>      | 153 |
| § 9-1 長途電纜的串音防衛度        | 153 |
| § 9-2 電磁耦合              | 155 |
| § 9-3 用交叉法減少電容耦合        | 158 |
| § 9-4 用補助電容器抵消電容耦合和不平衡  | 163 |
| § 9-5 低頻加感電纜的平衡順序       | 166 |

|             |                        |            |
|-------------|------------------------|------------|
| § 9-6       | 高频电缆回路間的干扰分析 .....     | 170        |
| § 9-7       | 集总平衡法 .....            | 175        |
| § 9-8       | 高频电缆的平衡制度 .....        | 181        |
| § 9-9       | 电容器套管的安裝 .....         | 185        |
| § 9-10      | 耦合的測量 .....            | 186        |
| <b>第十章</b>  | <b>長途电缆的引入裝置 .....</b> | <b>188</b> |
| § 10-1      | 增音站或終端站位置的选择 .....     | 188        |
| § 10-2      | 引入增音站或終端站的方式 .....     | 190        |
| § 10-3      | 电缆进綫室的裝置 .....         | 191        |
| § 10-4      | 电缆接入接头排 .....          | 193        |
| <b>第十一章</b> | <b>介入电缆 .....</b>      | <b>196</b> |
| § 11-1      | 介入电缆概述 .....           | 196        |
| § 11-2      | 自耦变压器匹配阻抗 .....        | 199        |
| § 11-3      | 介入电缆的集总加感 .....        | 201        |
| § 11-4      | 补偿集总加感制 .....          | 204        |
| § 11-5      | 介入电缆的終結 .....          | 209        |
| <b>第十二章</b> | <b>長途电缆的防蝕 .....</b>   | <b>212</b> |
| § 12-1      | 电缆鉛皮的腐蝕类型 .....        | 212        |
| § 12-2      | 土壤腐蝕 .....             | 213        |
| § 12-3      | 电解腐蝕 .....             | 218        |
| § 12-4      | 电缆对土壤腐蝕的防护 .....       | 221        |
| § 12-5      | 电車網防止电蝕的措施 .....       | 225        |
| § 12-6      | 电缆綫路防止电蝕的方法 .....      | 227        |
| § 12-7      | 电缆防蝕的电气測量 .....        | 234        |
| <b>第十三章</b> | <b>長途电缆的技术維護 .....</b> | <b>240</b> |
| § 13-1      | 長途电缆維護的組織和任务 .....     | 240        |
| § 13-2      | 电缆气压維護的充气裝置 .....      | 241        |
| § 13-3      | 气压維護的告警設備和測定障碍 .....   | 245        |
| § 13-4      | 电缆对雷击的防护 .....         | 253        |
| § 13-5      | 直埋式电缆的技术維修 .....       | 255        |
| § 13-6      | 管道及管道式电缆的技术維修 .....    | 259        |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| § 13-7 電纜終端設備的技術維修 .....             | 261 |
| <b>第十四章 長途電纜綫路的設計</b> .....          | 263 |
| § 14-1 電纜綫路的設計程序和勘測 .....            | 263 |
| § 14-2 電纜程式的決定及電路分配 .....            | 265 |
| § 14-3 增音站的佈置 .....                  | 269 |
| § 14-4 電平圖的繪制和雜音的核算 .....            | 278 |
| § 14-5 遠距離供電設計 .....                 | 283 |
| <b>附錄 I 長途電纜每公里衰耗值</b> .....         | 287 |
| <b>附錄 II 不加感電纜的參數</b> .....          | 288 |
| <b>附錄 III 加感電纜的參數</b> .....          | 291 |
| <b>附錄 IV 安裝澆灌料和附屬器材規格 (蘇聯)</b> ..... | 292 |

# 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、電纜桿、水綫房及電纜進綫室等。

**長途電纜綫路的優點** 長途電纜綫路是綫路建設中最現代化的型式，它本身具有許多特点和優點。其主要優點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，使其通信頻率限制在 150 千赫以下，因之一對銅綫只能同時開通 16 個電話電路。這樣，一條架空明綫桿路最多能容納的電話電路數，按現有的桿面型式中五條八綫担來計算為  $6 \times 16 + 2 \times 4 + 12 \times 2 = 128$  個電路。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，則其容納的電路數已達 840 個電話電路。如果使用同軸電纜則還可開通更高的頻率和更多的電路。因此我們只要用小對數的對稱電纜或同軸電纜，就能够在長途電信中心局所在地的各大城市間建立大量的電路。

羣，以保證通信需要。這對於採用更現代化的接續制——立接制和自動化——尤為必要。再次，電纜綫路的另一優點為較明綫經久耐用，工作壽命較長，而且維護較明綫便利。這是因為電纜本身具有保護物（鉛皮鍍裝），而且長途電纜多在地下敷設，人為和外力的危害以及自然災害等都可以減少。

從經濟觀點說來，在業務量很大的城市間，敷設多路復用的長途電纜比架空明綫經濟得多。表 1-1 是根據蘇聯所採用各種通信程式的每公里耗銅量和成本比較的資料，這些數據充分說明了電纜綫路在技術經濟上的顯明優點。

表 1-1 各種通信程式每路公里經濟比較表

| 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<br>(以 K-1800 型為 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   | 12-103   | 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  | 15-20 厘米 | —          | 1600                        |
| 微波接力 | PM-240 | 6-8 厘米   | —          | 200                         |

由於電纜綫路具有上述優點，電纜除已在市話網中廣泛採用外，在長途通信網中，長途電纜便成為主要干綫最現代化的設備。

**對長途電纜的要求** 電纜既然是由許多密集絕緣心綫所組成的綫束，又要求它能復用到較高的頻率和通達較遠的距離，因此對長途電纜本身必須有許多嚴格要求。其主要的要求有下列幾點：

(1) 綫路的衰耗應尽可能達到最小，以保證增音站間能有較大的距離。電纜因為綫距太近，因之電容較大，也容易發生漏電現象，再加上綫徑較小，衰耗比明綫要大許多，因之要求絕緣介質應當有較好的電氣特性，以使絕緣電阻不會比明綫小，心綫的電容不

会太大。

(2) 回路間的串音衰耗应尽可能达到最大，以保証通信質量优良。在密集綫束的綫对之間是容易發生串音的，因此必須使心綫扭合排列妥善，結構穩固，以減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) 造价尽可能达到很小，以降低平均每电路的經濟指标。

## § 1-2 长途电纜綫路的发展过程和分类

**电纜的发展过程** 由密集的絕緣心綫所組成的电纜，在上述要求条件下，发展成为今日現代化的通信綫路設備，是經過無數科学技术工作者和工人同志的辛勤劳动，以不断改进电纜技术而获得的。早在十九世紀中叶电报發明不久以后，即出現了馬來膠絕緣水底电纜。这种电纜的構造是这样的：在多股扭成的 2 公厘左右直徑單心銅綫上包上一層馬來膠絕緣物，然后在馬來膠絕緣層上包上一層銅帶作屏蔽——以防止心綫間的干扰并防止馬來膠被水底虫类蛀蝕，將这些絕緣和屏蔽好了的單心綫直接排成正确的同心圓，便成为电纜总綫束，在总綫束外再包上大麻和鋼絲，便構成一条电纜。这就是正規的长途电纜的最初型式。这种电纜由于馬來膠在水中具有很好的电气特性和机械强度，所以沒有用鉛皮来包封。圖 1-1 即一根單心导綫的馬來膠电报电纜。后来因为馬來膠价格昂貴，相对介电常数大，且仅适用于水中，故又出現了以橡皮、帕拉格达膠、油麻及油紙等絕緣的电报电纜。这些电纜的心綫有單股的及多股扭合的兩種型式。多股扭合的心綫富有柔軟性，不易折断，宜于作水底电纜用。用油麻或油紙絕緣的电纜均有鉛皮包封，外面再加鋼絲或鋼帶鍍裝。這兩种电纜既可用于水底，也可用于陆地。圖 1-2 为油麻絕緣电报电纜断面圖。

自从載波电报發明后，因为可以利用一路載波電話开通 18 路載波电报，因此除油紙电纜有时可考虑作电报架空明綫的介入电纜及信号电纜外，电报电纜一般便不再制造和敷設了。但我国目前尚存

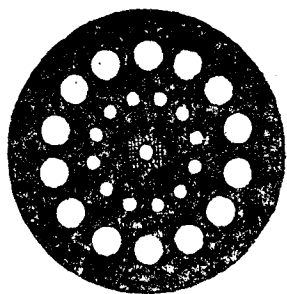


圖 1-1 馬來水膠深水電纜

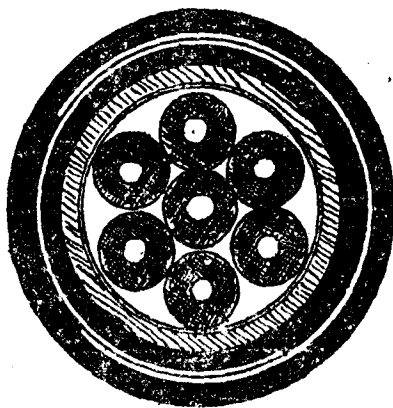


圖 1-2 油麻絕緣電纜

有少数过江水底电报電纜綫路。

至于電話電纜，自 1876 年電話發明不久后，为了解决市內電話用戶多而密集，架空明綫不能單獨适应的矛盾，便制造出来了 0.5 公厘綫徑的紙隔鉛包对扭式的市話電纜。不过那时因对電纜的絕緣材料和絕緣方式还研究不够，電纜的衰耗無法降低，而且那时維護技术也很差，不会測試障碍地点，因之電纜未能很快应用到長途電話方面去。1900 年后，加感綫圈在明綫上首先采用，但明綫加感因受到天气变化的影响，且使通信極不稳定。这个矛盾只有由不易受大气变化影响的電纜来解决。于是研究出来了 1.2—1.4 公厘徑的紙綑式絕緣的复对式電纜。这种電纜的电容和衰耗都比市話電纜小很多，因此与加感綫圈配合便能应用于長途通信。不过電纜衰耗畢竟比明綫大，只能通达 100 公里左右，这时曾有人試制心綫直徑为三公厘的粗綫徑電纜，以求電纜能够和架空明綫一样通达 600 公里的距离。但这种電纜制造困难，成本也很高，因此沒有推广。到 1914 年增音机發明后，電纜不能适用于長距离通信的困难乃得到解决，長途電纜遂成为区域較小国家的通信基础。接着不久載波電話發明后，電纜的制造技术也随着通信的發展有了不断的改进，使電纜能够适应于高頻載波通信。例如：在電纜絕緣材料上，

由紙繩式又進一步發展到聚苯乙烯及聚乙烯塑料絕緣；在纜對組合上，由復對式改成星型；在心纜的排列位置上，也比以往更穩固。同時，在通路的設計和安裝技術上也在不斷的提高，如電纜加感由中等加感改進到輕加感或不加感，安裝時的平衡技術也在不斷改進。這樣便開辟了對稱式電纜纜對可以復用到800千赫（180路）的高頻復用的途徑。隨着科學技術的提高，除對稱式電纜還在不斷發展外，1930年又發明了同軸電纜，這種電纜纜對除了可以開通1800個電話電路外，并可傳送電視節目。

電纜雖然已經有七十多年的發展歷史了，可是舊中國遺留下來的長途電纜線路却非常少，而且大都是外人敷設，作為侵略中國的工具。自1877年起，帝國主義者曾在我國沿海地區敷設了一些海底電報電纜。日本帝國主義者侵佔台灣時，曾陸續在台灣各地敷設長途電話電纜。日軍侵入我國大陸時，又曾在東北地區及河北省，敷設了些開通三路載波的長途電纜。這些電纜在目前說來，都是陳舊而落後的，或者在戰爭時期被敵偽破壞了。解放後，為適應恢復時期及第一個五年經濟建設的需要，政府曾大量改建、擴建和新建許多長途架空明綫及市話電纜網，並且已設廠試制長途高頻電纜。自第二個五年計劃起，我國擬在主要長途干綫上大量敷設長途高頻通信電纜，以逐步做到首都與所有省中心之間及省間中心至省中心之間都有高頻長途電纜相溝通。自黨提出建設社會主義的總路綫後，省內和縣內電信也都有採用高頻電纜的可能，以配合我國社會主義經濟文化建設的迅速發展。這些電路的敷設安裝和維護工作，將是長途電信工作人員今后的主要任務之一。

**長途電纜線路的分類** 綜合電纜的發展過程，可將長途電纜線路分成下述幾類：

按業務的類型分：

- （1）電報電纜——專供電報通信用；
- （2）長途通信電纜——供長途電話、電報和傳真電報用；
- （3）廣播電纜——用於從無線電收音室傳送廣播節目到無線電

广播發訊台或收訊台；

(4) 电视电缆——供大城市間交換电视节目；

(5) 綜合利用电缆——可以供上述数种業務同时利用。

按結構的类型分：

(1) 对称式电缆——这一类型电缆按綫对的組成方式，又可分为对式、复对式、星型；

(2) 不对称式电缆——即同軸綫对电缆。

以上两种电缆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、聚乙烯塑料等等。

按电气附屬設備分：

(1) 普通电缆；

(2) 加感电缆。

按敷設方法分：

(1) 架空电缆；

(2) 地下电缆；

(3) 水底电缆。

以上各种电缆类型（除电报电缆構造外）將在本書下面各章分別叙述。

## 第二章 長途对称式电缆

### § 2-1 長途对称电缆的心綫和絕緣

电缆是由导体、导体的絕緣物，以及被复保护装置三部分構成。

**長途对称式电缆的导体** 电缆的导体一般是由标准銅制成，但在需要減低电缆重量或銅供应不足的情况下，則由标准鋁制成。标准銅是純粹的电解銅，經過热的軋延和冷的抽拉，然后制成軟銅綫。在摄氏  $20^{\circ}$  时，銅綫的电阻率应不大于  $0.01754$  欧·平方公

厘/公尺，溫度係數為 0.00393。其機械性能在相對展長 18—25% 的情況下，抗張強度為 27—28 公斤/平方公厘。標準鋁的電阻率則為 0.0291 歐·平方公厘/公尺，溫度係數為 0.0037。

電纜的導體亦稱為電纜心綫。長途電纜的銅心綫直徑有 0.8, 0.9、1.0、1.2、1.4 公厘五種；如用鋁制成，則其綫徑應為上述銅綫綫徑的 1.28 倍，以獲得與銅心綫相同的電氣參數。

電纜心綫綫條應該是完全光滑沒有裂痕和接焊的。為了使綫對的電阻不平衡達到規定值 (0.5—1%)，因此對導體截面的均勻性要求很嚴，這一點對高頻通信電纜尤為重要。

**電纜導體的絕緣材料** 長途对称電纜的絕緣材料有干燥紙、聚苯乙烯塑料、聚乙烯塑料等三種。每一類型的電纜則根據其用途的不同而採用其中一種作為絕緣材料。

絕緣用的紙是由沒有漂白的木質硫酸塊或碱性的化學紙漿制成。電纜用紙所含雜質灰份必須小 (不大于 1%)，而且具有一定的氣隙，密度一般為 0.7 克/立方公分左右。由於紙的價格低廉、靜電容量較小，富有柔韌性，故廣泛被採用為電纜絕緣材料。聚苯乙烯系由乙烯與苯用合成法制成，也可以由煤干餾而制出，將聚苯乙烯加熱到 140°C 後再行加工，即可製出聚苯乙烯塑料。聚乙烯是在壓力為 1200—1500 大氣壓、溫度在 200°C 左右時聚合乙烯而制得的。

電纜的電容和絕緣電阻與絕緣材料的電氣特性有着直接的關係，而絕緣物的電氣特性在很大程度上又決定着電纜复用頻率的高低，因此要求其電阻率大，相對介電常數及介質損耗角小。表 2-1 為三種絕緣材料的電氣特性。由此可看出，聚苯乙烯和聚乙烯在高頻時的介質損耗角的正切均較小，故此二種材料最宜於作高頻通信電纜的絕緣物。

長途对称電纜心綫絕緣的方式一般均採用繩捻式，如圖 2-1 所示。在每根心綫上先用电纜紙或聚苯乙烯塑料制成的繩捻成螺旋地纏在心綫上，其扭距一般為 5-7 公厘。在繩捻之上，再用一兩層紙帶

表 2-1

絕緣材料的电气特性

| 材料名称  | 体 积 电 率<br>阻 欧, 公分 | 相对介电<br>常 数        | 在各种频率下的介質損耗角正切             |                   |                   |                   |
|-------|--------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|       |                    |                    | 10 <sup>3</sup> 赫          | 10 <sup>4</sup> 赫 | 10 <sup>5</sup> 赫 | 10 <sup>6</sup> 赫 |
| 干燥的紙  | $1 \times 10^{16}$ | 2—2.8 <sup>①</sup> | 0.008                      | 0.011             | 0.030             | 0.045             |
| 聚苯乙 烯 | $1 \times 10^{17}$ | 2.2                | 0.00035                    | 0.00014           | 0.00013           | 0.00011           |
| 聚 乙 烯 | $1 \times 10^{17}$ | 2.3                | 0.0002—0.0004 <sup>②</sup> |                   |                   |                   |

① 紙的介电常数与其密度有关, 故其值在 2—2.8 之間。

② 聚乙 烯的  $\text{tg} \delta$  值系在频率在 10<sup>8</sup> 赫以內的略数。

或聚苯乙 烯塑料帶, 以 15—30% 的重叠率包繞。这样組成的絕緣方式構成了由介質和空气的混合絕緣層。因为空气是最好的絕緣材料( $\rho \approx \infty$ ,  $\text{tg} \delta \approx 0$ ,  $\epsilon_r \approx 1$ ), 所以混合絕緣層降低了絕緣的相对介电常数(减小 1.5 倍)及介質損耗角的正切, 亦即改善了絕緣的电气特性。



圖 2-1 繩撚式線絕

電纜根据其所用繩帶材料的不同, 分別称为紙繩絕緣電纜或聚苯乙 烯繩撚式電纜。我国目前自造的紙繩電纜, 因紙質繩撚制造較难, 故改用棉紗繩作代用品。棉紗繩具有与干燥紙近似的电气特性( $\epsilon_r = 2.0$ , 在频率为 30 至 500 千赫之間的  $\text{tg} \delta = 0.01—0.02$ ), 仅吸湿性較紙大和折痕系数較紙質繩撚略小。

紙繩絕緣的繩徑有 0.5、0.6、0.76、0.81 公厘四种。如電纜心綫的直徑較粗、傳輸频率較高, 則繩徑亦应較大, 如高频電纜的繩徑均为 0.81 公厘。繩在繩撚上的紙帶厚度有 0.08、0.12、0.17 公厘三种。聚苯乙 烯塑料繩撚直徑为 0.08 公厘, 其絕緣帶厚度則为 0.05 公厘。上述数据系根据衰耗的要求及經濟原則而設計出来

的。為了便于接續安裝，通常是把電纜紙及塑料体制成紅、黃、藍、綠四種顏色，以資區別心綫順序。

繩撚式絕緣心綫的總直徑 $d_1$ ，按下式計算：

$$d_1 = d_0 + 2\delta_k(1-\sigma) + 2\Delta, \quad (2-1)$$

式中： $d_0$ ——導體的直徑，

$\delta_k$ ——繩撚的直徑，

$\sigma$ ——繩撚的折痕系數(0—0.35)，

$\Delta$ ——絕緣帶的厚度。

長途对称式電纜的心綫絕緣方式除了繩撚式外，不久以前還曾發明用聚乙烯塑料的帶卷式，最近又由聚乙烯帶卷式改進成聚乙烯多孔式絕緣。這種方式是將聚乙烯制成泡沫狀的實體，並以此實體直接包在心綫上。泡沫多孔的絕緣體具有50%的空隙率。這種絕緣方式的電氣性能略次于聚苯乙烯繩撚式(如表2-2所示)。但隨着今後制造技術的提高，聚乙烯多孔式絕緣很可能成為一種新的發展方向。

表 2-2

合成絕緣介質電氣性能比較表

| 項 目 \ 絕緣方式                                  | 聚苯乙烯繩撚式             | 多孔聚乙烯式               | 紙 繩 式                |
|---------------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| $\epsilon_r$                                | 1.2—1.5             | 1.4—1.5              | 1.3—1.4              |
| $\operatorname{tg}\delta(f=250 \text{ 千赫})$ | $12 \times 10^{-4}$ | $5-8 \times 10^{-4}$ | $160 \times 10^{-4}$ |

## § 2-2 長途对称電纜的扭絞

長途对称電纜都是利用雙綫作回路，因此必須將絕緣好了的單根心綫構成綫組。而且為了獲得綫對間的最小干擾，綫組中的絕緣心綫應當進行扭絞，以均勻地轉換導綫位置。電纜心綫順着扭絞軸綫轉了一個整圓周的長度稱為扭距。

長途对称電纜的綫組在構造上可分為四種：

(1) 对扭式——由兩根絕緣了的心綫相互扭成一对綫。

(2) 星型扭絞式——由四根心綫并列扭合而成(圖 2-2)。回路



圖 2-2 星型扭絞式

是由配置在对角上的心綫構成。在仿苏式電纜中，第一个回路  $a, b$  綫是由处在对角的紅及黃兩絕緣心綫構成，第二个回路  $c, d$  綫是由处在另一对角的藍及綠兩絕緣心綫構成。星型綫組可構成两个实綫回路和一个幻路。星型扭絞后的綫組直徑为絕緣心綫的 2.41 倍，但考虑到紙繩可能被压缩，故有效綫組直徑为絕緣心綫的 2.2 倍。

(3) 复对式扭絞——由兩对具有相同扭距的对扭式綫对再进行一次扭絞而組成(如圖 2-3)。这种四綫組也可以構成两个实路和一個幻路。复对式扭絞后的綫組总直徑为絕緣心綫直徑的 2.6 倍。

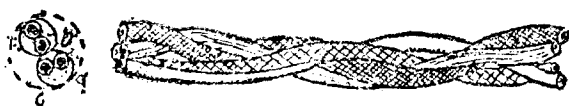


圖 2-3 复对式扭絞

(4) 复星型式扭絞——是由四个对扭式的綫对再按星型扭絞的方法扭成綫組(圖 2-4)，故每个綫組一共有八根心綫。每一綫組可構成四个实路和两个幻路。

在上述所有四綫組之上，均用彩色棉紗綫或塑料帶螺旋狀繞包，以使綫組結構穩固，并便于識別。

在電纜技術發展的初期，复对式曾廣泛的流行过，因为它的幻路具有較好的使用性能，而星型電纜的幻路因电容量太大，故使用价值差。但自高频載波電話应用于電纜后，幻路可以不再利用；并且此时要求電纜应具有穩定的电气特性，以免增大串音，而星型電纜在弯曲时最能保持原有电气特性；同时星型綫組構成的電纜外徑

最小，可以节省鉛和銅的用量，因之星型扭絞便被广泛采用。至于对扭式則因構成電纜外徑相当大，而且不便于进行安裝时的平衡工作，因此在長途電纜中除广播綫对外很少采用。复星型式則因制造和安裝都很复杂并未广泛推行。

在原則上，電纜心綫利用扭絞的方式以減少回路間的相互干扰，是与架空明綫的交叉相类同。但明綫交叉是在一定的点变换綫条的位置，而電纜扭合則是沿電纜均匀地轉換位置，因此其具体扭合設計并不同于明綫的交叉。我們已知，要消除綫对間的相互串音应当使綫对間的电感耦合和电容耦合都等于零。根据有綫傳輸原理的理論，兩回路間耦合系数等于：

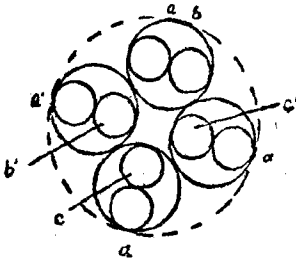


圖 2-4 复星型扭絞

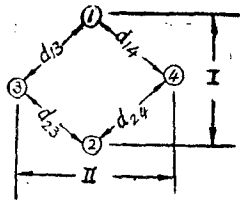


圖 2-5 星型綫組心綫距離

$$m_{I II} = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{d_{14} d_{23}}{d_{13} d_{24}} \quad (2-2)$$

$$C_{I II} = \frac{\pi \epsilon}{2} \frac{\ln \frac{d_{14} d_{23}}{d_{13} d_{24}}}{\ln \frac{d_{12}}{r_0} \ln \frac{d_{34}}{r_0}} \quad (2-3)$$

因此消除电感耦合及电容耦合的共同条件为：

$$\ln \frac{d_{14} d_{23}}{d_{13} d_{24}} = 0.$$

亦即，

$$\left. \begin{aligned} d_{14} &= d_{13} & d_{23} &= d_{24} \\ d_{14} &= d_{24} & d_{23} &= d_{13} \end{aligned} \right\} \quad (2-4)$$

也可以，

$$d_{14} d_{23} = d_{13} d_{24} \quad (2-5)$$

由圖 2-5 可以看出,星型四綫組是符合上述条件的,因此在四綫組內的兩回路間在理論上應該沒有相互干扰,其四綫組的扭絞仅为减少四綫組与四綫組間的相互干扰,与組內兩回路間的干扰無關。

至于复对式四綫組,其組內兩对綫是用同一扭距以 90 度的相移旋轉,如圖 2-6 所示。由圖可以看出,組內兩回路基本上是符合  $d_{13} d_{24} = d_{14} d_{23}$  条件的。这就是說,复对式組內兩綫对以同一扭距来扭絞,是为了减少組內回路的相互干扰,而四綫組的总扭絞則是为了减少四綫組間的相互干扰。

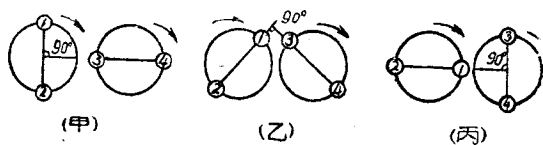


圖 2-6 复对式組內綫对的互相位置

現在我們再进一步說明减小綫組間的干扰問題。在星型四綫組和复对式四綫組的組內兩回路間能消除耦合,是由于沿電纜長度任何一点的横截面  $d_{13}$ 、 $d_{24}$ 、 $d_{14}$ 、 $d_{23}$  都能符合 (2-4) 或 (2-5) 式的条件,但在綫組与綫組間却只可以在一段電纜長度內縱的方向达到上述的条件。茲以相鄰兩对扭式來說明,設第一对綫的扭距为  $h_1$ ,第二对綫的扭距为  $h_2$ ,則  $h_1$  与  $h_2$  兩数具有一最大公約数  $B$  和最小公倍数  $l_s$ ,即。

$$l_s = \frac{h_1 h_2}{B}.$$

例如有兩綫对其  $h_1 = 50$  公厘,  $h_2 = 40$  公厘,則  $B = 10$ ,  $l_s = 200$  公厘。如圖 2-7 所示,在最小公倍数  $l_s$  長度內,兩綫对有整数的旋轉扭距,因之在電纜段  $l_s$  的終端各心綫位置和它在始端相同。在  $l_s$  電纜長度內,心綫的位置及綫距  $d_{13}$ 、 $d_{14}$ 、 $d_{23}$ 、 $d_{24}$  經常改变。在長度为  $l_s$  的以后各段,電纜心綫又重复出現第一段的情况。因此我們只要研究一个  $l_s$  長度內的情况就够了。最小公倍  $l_s$  長度可称为防衛节。