

電網及電工材料

(電纜部份)

北京鐵道學院

電網及電工材料
第五章 電纜綫路

5.1. 緒論



5.1.1. 電纜綫路的起況和發展

蘇聯電纜設備和長途通信的廣大發展，僅在十月社會主義革命以後才開始。在斯大林幾個五年計劃的年代裡，蘇聯已廣泛的建立了國內所有主要的和遠運的中心城市的長途通信網，建立了能出產一切新型的通信電纜的巨大工廠。除電話和電報通信外，傳真電報，廣播和電視也在迅速的發展着。

第一批通信電纜綫路的尖兵是和俄羅斯科學家西林格(П. Л. Шурмухр)和雅可比(Б. С. Якоба)的名字分不開的。

遠在1812年西林格(П. Л. Шурмухр)就利用了他所創造的絕緣導線作了水雷爆炸的表演。

1815年與建築十月鐵路的同時莫斯科、彼得堡間也敷設了以馬來膠絕緣的電報電纜。1890年莫斯科市內，1900年彼得堡市內相繼的建立了市內電話網。

本世紀初期第一批電纜的結構是用空氣紙絕緣對扭式，可作市內6公里以下的電話傳輸，以後傳輸距離增至30公里，作為長途通話電纜，同時傳輸頻帶也增寬至10千週，這就是紙絕緣的星型四扭或雙變四扭式電纜。雙變四扭解決了由四根心線組成的兩個異相路和第三個幻回路的問題。

1921年科學院通信院士柯瓦連科夫(В. И. Коваленко)研究出一種放大器。這放大器的應用就是通信技術發展的第三階段。放大器結合電纜的人工加感，提高了長途通信的質量。心線直徑也由2~3公厘減少到0.9~1.4公厘。

快到1930年的時候，多路合用制發展了沿電纜傳輸頻帶有必要的加寬，此時已入最後階段，結果出現了完全新型的電纜——同軸電纜。這種電纜可以在幾百萬週的頻帶內實行高頻

合用，並可把廣播節目傳輸到很遠的距離。

使用最大限度的合用電纜回路，且使增音站間仍保持相當大的距離這一意圖，促成了聚苯乙炔塑料絕緣均勻加感電纜的出現。1940年已開始使用。

最近通信電綫路已廣泛的應用電纜，而長途通信電纜的設備亦隨之日益改變中。因電纜設備的完善須服以于擴大傳輸頻帶這一任務，故與此相連系的，為了在高頻中沿電纜傳輸各種形式的通信，就須不斷的改善電纜的特性。

現在沿通信電纜傳輸的頻帶，是在數至幾十兆週的範圍內。

頻帶如此寬的電纜傳輸必需採用特殊的材料。新的結構和製造工藝，由於一些新的優良介質（聚苯乙炔塑料，聚乙炔，愛斯卡朋（Эскамон）和其他高分子塑料）和磁性材料的出現，已促進了這一問題的解決。

我國為配合國民經濟建設和對廣大國土上人民物質及文化生活的要求，電氣化計劃的實施是把全國各個角落緊密連系起來。和鄉村接近城市的主要環節，通信電綫路自然要起着重大作用。越是通信發達，不管在技術條件上和經濟價值上電纜都處於優先地位，那麼隨着電纜建設的需要，電纜製造工業的發展壯大就無須詳加說明了。

5.1.2. 電纜綫路的組成

電纜綫路由以下三部分所組成：電纜，電纜附屬品和電纜設備。

電纜——將一根或數根的導綫（心綫）相互間和與大地間絕緣起來，並將其封在可以彎曲的外皮內。

絕緣的心綫，通常是扭成對或組（四扭），然後再將對或組圍繞中心層扭成層。於電纜心綫最外層的外邊纏上兩層絕緣紙或一層絕緣布，再用鉛皮包圍起來以防止濕氣的侵入。

這種電纜叫做裸鉛包電纜，用於架空綫路上或設於地下管

適裡。

如果直接敷設於地下或橫過河流時，那麼就將裸鉛色電纜的外面加上兩條鋼帶或一層鋼線保護起來以防止損害並保證其應有的強度，叫做鍍裝電纜。

電纜附屬品——是由連接的，蓄電器的和終端的接頭，電纜盒，分纜盒，交接箱，加感線圈等所組成。

電纜附屬品是把兩段電纜連接起來，把電纜分歧出去，和把電纜端部接於終端設備裡，並供電氣測試之用。

電纜設備——是由一些建築和裝置所構成，做為敷設或固定電纜，安裝電纜和裝配電纜的附屬品。電纜設備包括為安裝分纜盒用的電纜桿，為敷設地下電纜用的管路，電纜亭，電纜室和電纜井等。

通信電纜線路，是為供給在鐵路範圍內各站的各用戶相互間，或在大站同地域內各用戶相互間通話通報之用。

鐵路運輸通話較多的幹線路，和大站的電話所架空線的引入，廣泛的使用電纜以減低混線、斷線或因投線而造成的障礙。

架空線在有頻率150千周載波電話的有色金属回線的時候其引入電纜應採用高頻電纜。

在橫過鐵路、河流或高壓線時有時採用挿入電纜。

通信線路與高壓線路平行時，在特殊的區間裡為防止干擾起見有時也使用電纜。

5.1.3. 電纜線路和架空線路的比較

隨着社會主義工業及農業的蓬勃發展，居民文化水平的提高，要求電話通信有進一步的發展和增加，也就是說通信量愈大，則所需要回線的数量也愈多，同時更需要有充分的條件來保證通信設備的正常使用。

架空電線路，在技術條件上，有它相當的優良，不過在需要大量的回線時，在經濟上是不合算的，以及因為氣候的變化

和外界的干扰，有时使它不能满足通信上的要求。因此在电话化的现代，最好的方法，唯有使用电缆来进行通话和通报。

电缆的寿命一般来讲比架空线长，而且不易受暴风雨、水害和大雾的影响，装高压线并行时所受的干扰也比较小，虽然地下电缆有时因土壤成分不良（酸，碱，盐）能腐蚀电缆；电车线路的归还电流能造成电蚀现象；水底电缆又可能被流水碰伤；架空电缆可能与电车天线接触造成障碍或缩短电缆寿命，但是这些情况比架空明线发生障碍的可能性还少的多。特别市内电话回线繁多时，使用架空明线是不可能的，如该电缆比较经济且便于维修可以充分满足不间断通信的要求。在现阶段长途高频通信的多路制中，把电缆用于载波回路上，更表现了电缆的优越性。

5.2. 电缆类型和构造

5.2.1. 电缆的分类。

电缆可按构造，传输的频谱和使用范围来分类。

A. 在构造上可分为两大类，即对称型电缆和同轴型（不对称）电缆。

对称型电缆中又可分为：

(1) 空气纸绝缘电缆——大部分是对称的，它用于距离在8公里以下的市内通信网（T.F. T.C 等牌号）在特殊情况下市内通信电缆也有制成星形四扭组的；

(2) 纸绳和聚苯乙烯（*смупофлекс*）绳纸绝缘电缆——作成星型，用于长途通信，市内中继，进局，横越河流，和横过高压线路之用；

(3) 油浸纸电缆——偏向电报局引入回线和横越河流及信号设备方面之用；

(4) 局内电缆——是心线涂漆后以棉纱绝缘之并在外表施以铅色或锡色，供局内配线之用。

此外尚有加感電纜用於加感線路裡。

同軸電纜由於用途和構造分為：

(1) 幹線用——適用於市外長途通話和電視節目。這種電纜頻率可達3000千週能供660話路和7000~10000千週為電視節目之用。

(2) 無線放射用——供給無線電台接收發射天線的饋電綫，也用於雷達設備。

五、由於頻譜分為：

(1) 低頻電纜到3千週；

(2) 高頻電纜用於載波可達60千週(12話路對稱型)或108千週(24話路對稱型)和7000~10,000千週(同軸型)；

(3) 無線天線或其他無線用電纜，傳送頻率為1000000千週(波長1公分)。

B、由於使用範圍和保護方法分類如下：

(1) 鉛色電纜——可設於地下管路程，架於電桿上，或設於建築物牆上；

(2) 鉛色加護電纜——是於鉛皮的外面再加以紙及浸於防腐油的黃麻色纏之為保護鉛皮之用。這種電纜用於空氣有害電纜鉛皮的地方，可以掛在桿上或建築物牆上；

(3) 鉛色二層鋼帶護裝電纜——是於上項電纜的外表上面再加設鋼帶二層。它用於防火的礦井，山洞或建築裡。

(4) 鉛色，二層鋼帶加護電纜——是於上項電纜的外面再施以黃麻和防腐劑。可以埋於地下。

(5) 鉛色，鋼線護裝電纜——是把鉛色加護電纜之外面纏以鐵綫之后再施以黃麻和防腐劑。它用於水底(圓形鋼綫)或斜坡(扁形鋼綫)地處。

5.2.2. 電纜心綫絕緣方式

電纜心綫一般是用圓形軟銅綫包以絕緣紙所製成，這樣能使各心綫間互相絕緣起來以維持它們間的電氣特性，而成通信目的。絕緣方法有下列各種：

(1) 空氣絕緣電纜——用植物纖維的紙於充分乾燥後包於心綫上，亦可用這種紙條將心綫纏捲之。

這種各辭是因為它是利用空氣和絕緣紙的作用而起的。這不僅是由於紙的絕緣而且由於紙的空隙間的空氣能使心綫相互間的電容減低，更有利於長距離通信。

最常用的方法是用紙條纏捲之。紙條的厚為0.05—0.06公厘，寬為5—7公厘。纏捲的方法有兩種。一種是用一根或二根紙條如螺旋形狀將心綫纏捲之如圖5.1.2所示，紙條邊緣應當相互壓住。另一種是用紙條橫着把心綫包上成為筒狀或三角形，然後用細的木棉綫散落纏繞之不使紙條伸張如圖5.1.5所示。這些方法市內電纜和部分的市外電纜，它們的心綫直徑如為0.7—0.8公厘時多用之。

(2) 紙漿絕緣——是用一層實心的多孔紙漿加在心綫上（圖5.1.2）

(3) 紙繩紙包絕緣電纜——先用紙繩以螺旋狀態纏於心綫上，然後再以絕緣紙條纏捲之。是利用紙繩為骨架使紙條與心綫間的空隙更為增加，能減低電容，也就是減低衰耗用來增強電氣特性，如圖5.1.6。

紙條的厚為0.12—0.17公厘，寬為9—10公厘。

用這種方法製造的電纜多用於市外的普通音頻回綫裡。如為高頻市外綫時，則將紙繩以高絕緣物質聚苯乙烯塑料（*Синтетический*）代替之。這樣不但能傳輸高頻而且距離也顯著的增加。這種塑料是由煤油的化學產品 *полистирол* 中提出來的。

(4) 油浸紙絕緣——在心線上用礦物油和松香浸過的紙條纏捲一層或數層。它多用於電報和信號設備用的電纜中。

(5) 用多氯化乙烯脂 (C_2H_3Cl) 得到的多氯化乙烯絕緣塑料來製作電纜心線的絕緣層，比紙絕緣要好的多。這種絕緣塑料最大的缺點是在太陽光下基化的最快。因此這種絕緣的電纜和外殼的電纜只用於室內。

(6) 硬膠片絕緣——是用特製硬膠片或其他材料作成圓形，於心線上每隔相當距離 (25—50 公厘) 按設一個使心線互相絕緣起來且得相等的間隙。或用螺旋形的絕緣線纏捲之亦可，如圖 5.1. g 和 5.1. e 所示。這種方法適用於同軸電纜。

(7) 木棉絕緣——是將心線用漆片和礦物油塗刷後再以木棉紗纏捲兩層。這種電纜多用於局內配線方面。

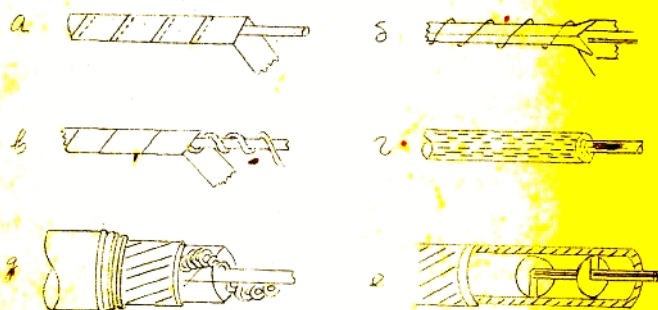


圖 5.1.

5.2.3. 電纜絕緣種類的選擇

我們知道線路衰耗決定於四個一次參數，在架空線路裡可以用增大線徑和增加線間距離等方法來減低衰耗，因而能達到在高頻的時候也能通信很遠，但是在電纜回路裡，由於體積的限制，高頻時回路間相互干擾的程度，不可能用增加線徑和增加線間距離的方法來減低線路衰耗，因為在經濟方面是不合算的。

我們再研究一下線路衰耗與參數的關係是像下列公式的樣

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G_0}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = \beta_R + \beta_G$$

式中 β_R — 電纜金屬部分損耗

β_G — 介質內的損耗

由上式可知，在 $R_C = L_G$ 的時候，線路衰耗為最小。但 L 是有一定程度的，而 R 又為某種心線直徑所限制，因此也只有從 C 和 G 這兩方面來想辦法，當然 G 也是受心線直徑的限制，不過 $G = G_0 + G_N$ 而 $G_N = \omega C t_g \delta$ 。

在通信電纜中由於介質極化所引起的損耗較由於絕緣不完善而引起的損耗要大得多，所以可以把電導 G_0 忽畧不計，那麼

$$G = G_N = \omega C t_g \delta \text{ 奈批。}$$

而
$$C = \frac{\lambda \epsilon}{36 \ln \frac{2a}{d} \varphi} \cdot 10^{-6} \text{ 法/公里}$$

式中： λ — 心線扭絞係數

ϵ — 介質常數

φ — 校正係數。

由以上兩式，可以看出通信電纜的線路衰耗與介質損角的正切和介質常數發生極大關係。

對稱型通信電纜一般是由介質和空氣組成了混合絕緣。作為介質的主要材料是紙或是聚苯乙烯塑料。

這種混合絕緣的介質損耗角和介質常數的合成值，決定於混合絕緣各組成部分的電氣特性 ϵ 和 $t_g \delta$ 。按其體積對比值，而且混合絕緣的 ϵ 和 $t_g \delta$ 的合成值接近於佔體積大的那一部分的 ϵ 和 $t_g \delta$ 值。

在紙捻空氣紙絕緣電纜內介質常常數 ϵ_0 的等效值（合成值）由於電纜結構不同是在 1.1 ~ 1.4 的範圍內變動着。在心線以紙漿絕緣和以空氣絕緣的電纜中 ϵ_0 高達 1.5 ~ 1.7，在聚苯

乙烯塑料絕緣時 ϵ_r 為1.2~1.25。

紙的 $\tan \delta$ 隨着頻率有顯著的增加，在音頻時約為 100×10^{-4} ，而在100千週時幾乎增加三倍。這時由於介質損耗係數值的劇增，此種紙絕緣電纜已不能使用。

聚苯乙烯，和聚乙烯等的材料，在寬頻帶內有很好介質特性和一些寶貴物理特性，因此可以用牠來製作高頻電纜。

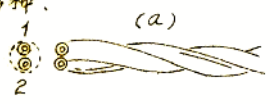
聚苯乙烯絕緣在 $f = 1000 \sim 1000000$ 週時 $\tan \delta = 0.0002$
在 $f = 10^7 \sim 10^8$ 週時 $\tan \delta = 0.00017$

聚乙烯絕緣在 $f = 10^8$ 週以下時 $\tan \delta = 0.0002 \sim 0.0004$

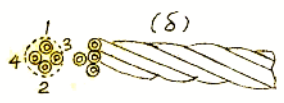
所以應用聚苯乙烯和聚乙烯絕緣的時候雖在高頻通信之下介質內的損耗也是很小的。那麼線路衰耗就得到了低減。在選擇電纜的時候應當注意頻率的高低適當的對絕緣種類加以考慮，針對着用途選擇出最合乎要求的絕緣方式，那麼線路衰耗才能保持在容許範圍以內而得到正常的通信。

5.2.4. 電纜心線的扭絞

將電纜的單根心線扭成對或扭成組的方法叫做扭絞。扭絞後可使工作回路裡的各對心線，對於任何外來的干擾成為相同的條件，並且能使在電纜彎曲時心線可以相互移動。扭絞的方法有下列各種：



(1) 對扭——是將一對絕緣的心線(圖5.2 a)和(2)互相扭成對。所佔的面積設施行絕緣後的心線外徑為 d ，則在扭絞後的線對的有效直徑 $d_p = 1.65d$ 。



(2) 星型四扭——星型四扭是將四根絕緣的心線扭成一組好像星型，因此叫做星型四扭。(圖5.2 b)。在星型扭絞後的組裡成

圖 5.2

对角线的两根心线作为一对，即1和2，3和4各为一对。因为对角线的两根线成为扭绞状态，同时心线的距离比相邻心线的距离远。扭绞后的外接圆直径为 $2.41d$ 而有效直径 $d_s = 2.2d$ 。

(3) 双绞四扭——是把两根心线扭成一对以后，再将两对互扭成组，(图5.2.6)。扭绞后的外接圆直径为 $4d$ ，而有效直径 $d_{DM} = 2.72d$ 。

这种四扭心线适用于长途电话，在音频里可组成实体回路二对幻象回路一对。

(4) 双星四扭——即将星型四扭两组再互扭之即成。外接圆直径为 $4.84d$ 而有效直径 $d_{DS} = 3.63d$ 。

电缆心线扭绞后的扭绞步距，在对扭中是相邻的三组互不相同，好像架空明线的交叉一样，以减低干扰作用。普通分为80公厘，120公厘和160公厘三种。

星型四扭的扭绞步距为150~250公厘。双绞四扭是按对扭步距扭绞之后，再以同样的步距两对心线扭绞之。双星四扭是由两个星型扭组所合成。它们的步距是200~400公厘。

5.2.5. 电缆心线的成层

电缆心线成层扭绞，是将已扭好的电缆心线顺序排列成层，以便易于识别和试验。方法是以中心对或中心组为基础，以外各层都围绕它作成成层的同心圆状态。

成层扭绞分为简单扭绞和复杂扭绞两种。简单扭绞是所有各层绝缘心线都单独的排列着，每层扭绞的方向相反。电话回线所用的电缆都是这种方法制成的。如图5.3.2。复杂的扭绞是将绝缘的心线作成对或依成组后再扭绞之。它又分为同线径或不同线径两种。市内电话用的铅包纸电缆都是同线径扭绞方法，有时也用在市外电缆里，如图5.3.8, 6。不同线径扭绞方法如图5.3.2。适用于长途通信。

在对称型電纜裡各层心綫的直径相同的和各层心綫直径不相同的互相扭捲起來叫做混合式扭捲。

電纜心綫成层，是以中心一对（組）或数对（組）作為圓

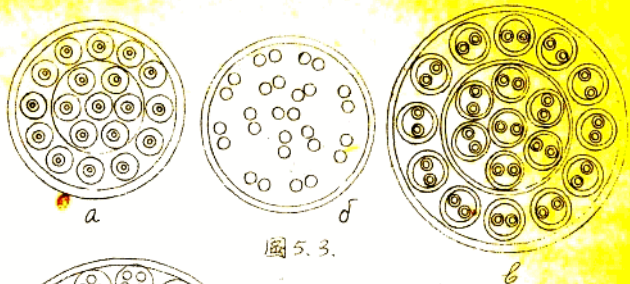


圖 5.3.



心叫做中心层。其外圍的各层順序排列為第一，第二，第三……等层。但為減少各层相互間的干扰作用起見乃將各层的扭捲方向成反对状态，有如交叉而使串話減少。

在長途電纜裡，於每組心綫和每层間用木棉綫或以印有不同顏色的絕緣紙條以螺旋狀纏捲之以便於分別。在最外层上面纏上屏蔽金屬帶或絕緣紙條，然後以鉛的合金色裝之。

電纜的成层普通以每层增加6個（70对以下的除外）的遞加方法構成之。即中心組為一对時，則第一层為7对，第二层為13对餘類推。

在成层容易变形扭絞的心綫時，可以不按照這種固定增加的方法，也可以多1-2对，也可以少1-2組。这在空氣紙絕緣的市内電纜内是毫無損害的，因為這種電纜对扭的变形並不改變為這種電纜所規定的参数。

但在電纜不平衡最大值已預先決定了的紙繩電纜中，不希望有上述的情形發生，在任何情況下，任一層的对扭不許差到一倍以上。

電纜心綫每層圍繞中心層為軸心扭絞一個圓周所走的長度叫做成層步距。

在一個步距內，扭絞心綫的長度對每一個步距的比值，亦即用以說明電纜內心綫較電纜長多少倍的係數叫做成層係數。

如果把扭絞的電纜表面展開為平面，則可得到一個三角形（圖5.4），其中一個直角邊是電纜圓周的長度 πD ，另一直角邊的長度等於成層步距 h ，而斜邊則等於在一成層步距內扭絞心綫長度 l ，根據這個三角形得出成層係數：



圖5.4.

$$P = \frac{l}{h} = \frac{\sqrt{\pi^2 D^2 + h^2}}{h} = \sqrt{\pi^2 \left(\frac{D}{h}\right)^2 + 1}$$

即成層係數決定於 $\frac{h}{D}$ 。這比值也表明扭絞特性的數值，通信電纜應該在20—40範圍以內。

顯然，在經濟上來考慮，希望 $\frac{h}{D}$ 大一些，那麼使用的材料就少一些，但是對電纜的柔韌性却因之減少了一些。

5.2.6. 電纜的屏蔽

電纜回路的屏蔽是防止干擾的最好辦法。屏蔽方法是利用金屬隔離物把通信的干擾回路和被干擾回路隔離起來。屏蔽體通常是用偏帶繞成重疊狀的圓筒，或是由細導綫編成的。作為屏蔽體的主要材料為銅、鋼或鋁。有時也採用雙金屬和多層的複合屏蔽體。

屏蔽須能使電磁場局限於本身材料內，以限制電磁場的作用。這樣能使回路防止相互的干擾和外界干擾。

根據作用原理，電纜的屏蔽體可分為三種：

(1) 静电的, (2) 静磁的, (3) 电磁的。

静电屏蔽体是由导电材料製成的(銅, 鋁), 並和地連接。静电屏蔽体的作用是使電場終止在屏蔽体的全金屬表面上, 並把電荷傳送到大地中去(圖 5.5)。

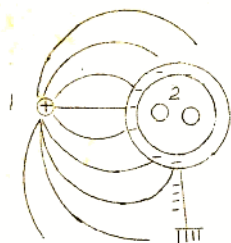


圖 5.5 静电屏蔽

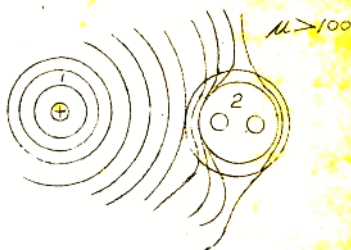


圖 5.6 静磁屏蔽

静磁屏蔽体是由强磁材料製成的(多半是鋼)。它的作用和静电屏蔽体相似。由於屏蔽很高($\mu \geq 100$), 静磁屏蔽体就能把磁場限制於本身內(圖 5.6)。

為了防止迅速交变电磁場, 我們採用电磁屏蔽体, 电磁屏蔽体的作用如下:

干扰电流的交变电磁場 H_n 在屏蔽体的厚度內引起渦流。

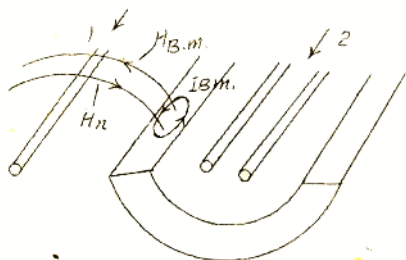


圖 5.7 电磁屏蔽

根据楞次定律渦流的途徑和磁力線有關係。

在屏蔽体内產生的渦流又造成交变磁場($H_{B.m.}$), 這磁場的方向和一次磁場的方向相反(圖 5.7)。

由於上述两种磁場的交互作用, 在屏蔽空間內的干扰磁場作用就顯著的減低了($H_n - H_{B.m.}$), 在适当的條件下它可能減低到零, 這樣便保

証了最完全的屏蔽效应。除屏蔽磁場外，电磁屏蔽体（如各种封闭外壳）亦能限制干扰的电場。

靜磁屏蔽体僅在低頻時有效。

隨着頻率的增高渦流的作用增大了，這樣就產生了把磁場從屏蔽体厚度內排擠出來的現象，於是屏蔽体具有很高導磁率特性，便失去意義了。因而在高頻範圍內，靜電屏蔽体就變成了电磁屏蔽体。

因而，基於限制電場的原理的靜電屏蔽体，和基於限制磁場的原理的靜磁屏蔽体，由於其材料具有很高的導電率和導磁率，故僅在低頻傳輸時有效。

逆磁外殼和強磁外殼都可用做电磁屏蔽，但考慮到由於屏蔽体在傳輸回路中引起的損耗時，我們最好採用逆磁外殼。

應該注意到，在屏蔽体厚度內由於交變磁場所造成的渦流會使屏蔽体發熱，於是引起熱能損耗，亦即是在屏蔽回路上增大傳輸能量的損耗。

屏蔽体内的渦流越強則屏蔽效应越高但同時回路內能量的損耗也就越大。在一定的高頻傳輸冰制時，這些損耗可能使傳輸回路的衰減顯著增大，這樣也就使通信的質量減低。因此在設計屏蔽体時，不僅要考慮屏蔽体的屏蔽效应，同時還必須考慮屏蔽体内的能量損耗。

在干擾回路內可以採用屏蔽体，在被干擾回路內也可採用屏蔽体，但較為合理的是採用在干擾回路內，因為這樣便能直接限制干擾回路電源的干擾电磁場。

在長途對稱型高頻電纜裡，主要的採用間隔屏蔽体。有了這屏蔽体，便能採用單電纜通信制度。

間隔屏蔽体的型式有以下三種：

1. 直徑型的——把電纜分為兩半；（圖 5.8 a）。
2. 環型的——把電纜分作兩層；（圖 5.8 b）。

3. 組型的——包圍着一定的心綫組(圖 5.8 b)。

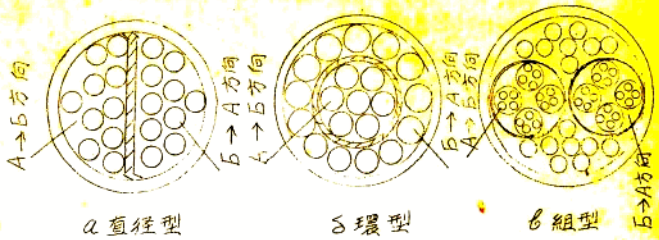


圖 5.8

以上三種型式裡，直徑型屏蔽體能得到相同數量的往返和反向通信回路，但在構造方面和生產方面是不大方便的；環型屏蔽體雖在製造方面比較簡單，但不能得到相同數量的往返通信回路；組型屏蔽體是採用在混合的電纜內。實際上我們採用的型式以環型屏蔽最為普遍。

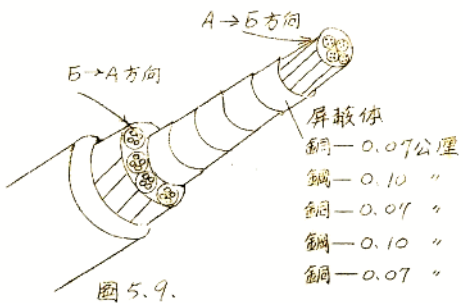


圖 5.9.

圖 5.9 為環型間隔屏蔽體的高頻長途通信對稱電纜。在中心的四組四扭(A → B)心綫上繞有五層普通屏蔽體

- 屏蔽體
- 銅—0.07公厘
- 鋼—0.10 "
- 銅—0.07 "
- 鋼—0.10 "
- 銅—0.07 "

將外層的四扭組(B → A)與中心的回路隔開。在外層的四扭組裡可以利用各組間的空隙安設幾組為其他通信用途的四扭組。

屏蔽體是由厚0.07公厘的兩條銅帶做成的，並在這銅帶的間隙裡纏繞0.10公厘厚的鋼帶，當頻率為60千週時，屏蔽體至少增加5奈批以上的附加串話衰耗。

以上所述的電纜，我們可以用單電纜來傳輸12路通話。

但是沒有屏蔽時，則必須採用兩條獨立的電纜，一條作往向通信之用，一條作返向通信之用。

在所有應用的頻帶內，採用鋼屏蔽體就可將串話衰耗增大至少3~6奈批。

低頻電纜多採用金屬紙作為屏蔽。

此紙也只是一種通常的電纜紙，不過在牠的一面上又蒙上一層厚為0.01~0.15公厘的鉛箔。在烘烤電纜時，為了使空氣循環得快一些，將金屬紙穿上小孔，這樣才會促使牠與鉛箔層更緊密的聯絡。

金屬紙帶厚0.15公厘，在寬為10公厘長為1公厘溫度為20°C時，其電阻不得超過0.3歐姆。

在切斷金屬帶時，為避免鉛層的脫落常將紙面上做些網紋。

在頻帶更高時，單只採用靜電屏蔽不夠的，因為電感耦合已可能與電容耦合相比擬，此處還要一些磁屏蔽體。為了滿足這個需要，或採用厚為0.1~0.2公厘具有較高導磁係數的鋼帶，或採用多層屏蔽體（鋼—鋼—鋼）。

屏蔽既然是防止干擾的最好辦法，它可以把往向和去向的電話回路分別開來做成合成電纜，以達到用單電纜通信的目的。當電報回線以及其他在鐵路運輸企業方面所用的高壓回線也可以用同樣的方法通過這條電纜來進行通報通話，因此可將電纜換成為包含各種不同直徑的心線；扭絞成方式不同的扭組，互相間施以屏蔽，這樣既可滿足技術上的要求同時對經濟方面和維修方面都是有利的。

混合電纜的採用，當然是為經濟着想，而我們却不能忘記單純線徑的電纜有着簡單省事及較大通融率等優點，而這些優點有時可以抵消混合電纜的經濟因素，這也是在設計時應當慎重考慮的問題。混合電纜中各種心線徑的數量，應根據經濟的電纜應援計劃以及這些心線今後如何有效的利用為基礎，加以