

長途電話电路設計基礎

張 煦 編 著

科學技術出版社

內 容 提 要

本書是根据苏联先進資料編寫而成，主要是介紹架空明綫長途電話电路的傳輸原理和干綫設計的基礎知識，包括明綫和介入電纜的衰耗計算，电平圖的繪制，串雜音干擾，穩定度，回音，非綫性失真，調節电平动态过程和电路品質有关問題的詳細分析。書中并扼要地介紹長途平衡電纜和同軸電纜干綫設計的要點，以及長途电路傳輸廣播節目問題。書末附錄簡單敘述長途電話机械室，遠距供电增音站的概況及集体放大器負載容量和非綫性失真的理論，以供电路設計的參考。

本書可作为高等学校和電信技術學校長途電信課程設計的參考書，并可供長途電信实际工作的技術同志們進修參考。

長途電話电路設計基礎

編 著 者 張 煦

*

科學技術出版社出版

(上海建國西路 336 弄 1 号)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 号

上海國光印刷厂印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書号:15119·490

开本 787×1092 耗 1/27·印張 14 18/27·插頁 1·字數 303,000

1957 年 3 月第 1 版

1957 年 3 月第 1 次印刷·印數 1—2,700

定价: (10) 2.30 元

序

在祖國第一個五年計劃和發展農業綱要中，都明確指出今後將大力加強全國通信網，配合社會主義建設高潮。因此，長途電話的工作同志和學習長途電話的同學，不僅需要掌握長途電話機線設備結構的原理，並且需要了解長途電話電路設計的原理。特別是長途電話明綫和電纜的干綫，裝置了多路載波電話，在高頻率運用，傳輸問題比較複雜，而品質和經濟的要求都很高。這種電路的設計是否完善，將決定通話品質是否合於服務標準，通話成本是否合於經濟原則。

所以，在長途電話課程的教學大綱中，有必要分配相當多的時間，闡述長途電話電路設計的原理和有關傳輸問題。在這方面，蘇聯莫斯科和列寧格勒電信工程學院長途電信教研組巴叶夫和易果洛夫 1948 年出版的“長途電話基礎”一書，是首先有系統地全面地分析了長途電話電路設計的基本理論，給我們很大的啓發。蘇聯專家吉杰列夫同志 1955 年來華講學，在長途電話課程設計時，作了具體的示范計算，給我們進一步的有力的幫助。此外，蘇聯 1952 年以後出版的各種電信書刊，特別是明綫十二路載波電話報導集、電纜二十四路載波電話報導集，以及同軸電纜載波電話講義，都是有價值的參考資料，這本書主要是學習這些蘇聯先進資料而編寫的。

這本書的內容，是着重在下列二方面：

(1) 對於電路電平圖的計算和繪制，包括明綫衰耗的計算，介入電纜衰耗的計算，進站設備衰耗的計算，各種氣候情況下最低容許電平的計算，以及增音站分布的設計，提供了具體數據和計算方法。

(2) 對於電路串雜音干擾、振鳴、失真的來源，它們在增音電

路的累積，以及电路的頻率特性、幅度特性、防擾度、穩定度和持恒度等品質指标的擬訂，進行了理論上的分析，并討論了提高电路品質的方法。

書中主要的資料是針對架空明綫的干綫設計，但亦扼要地敘述長途平衡電纜和同軸電纜干綫設計的要點，和長途电路傳輸廣播的要點。附錄又簡單介紹与干綫設計有关的長途机械室布置及遠距供电方法。末后附以集体設備負載容量及非綫性失真理論的摘譯資料。

書中資料曾經在上海交通大学电信工程系四年級講課時用作講義，并曾經送給武漢电信学校和南京电信学校各作課程設計和畢業設計的参考。這本書除了供給学校教学参考以外，还可以供給長途电信技術同志实际工作和進修時的参考。

在本書編寫过程中，承錢尙平同志、李乐民同志指教、協助和鼓勵，特此表示感謝。

張 煦

1956年5月于上海交通大学

目 錄

序	1
第一章 長途電話電路的結構	1
1-1 通信網結構原則	1
1-2 電路的接續和傳輸標準	5
1-3 載波電路的直達與轉接	9
1-4 電路系統圖	12
第二章 電路的品質	16
2-1 影響傳輸品質的因素	16
2-2 等值衰耗和淨衰耗	17
2-3 頻帶寬度和動態範圍	20
2-4 電路品質指標	26
2-5 載波電話設備電特性指標	32
第三章 電路的衰耗	35
3-1 綫路型式的選擇	35
3-2 架空明綫的衰耗	38
3-3 介入電纜的工作衰耗	55
3-4 進站設備的衰耗	79
第四章 電路的電平圖	86
4-1 電平的定義	86
4-2 增音機的增益	88
4-3 傳輸電平圖	91
4-4 最低容許電平	95
4-5 最高容許電平	100
4-6 增音站的間隔	107
第五章 電路的干擾	119
5-1 雜聲的來源	119
5-2 雜聲電壓、電平和防擾度	124
5-3 增音電路雜聲的累積	133
5-4 串話衰耗和防擾度	136
5-5 增音電路串話的累積	142
5-6 載波電路的串話防擾度	144
5-7 增音機耦合的串話衰耗	149
5-8 電路中遏止干擾的方法	151
第六章 電路的穩定度	155
6-1 混合綫圈的平衡衰耗	155
6-2 增音段始端的平衡衰耗	163
6-3 介入電纜的平衡衰耗	172
6-4 整個增音電路的平衡衰耗	183
6-5 增音機的回輸失真	188
6-6 增音段綫路的容許長度	191
6-7 四綫電路的穩定度	193
6-8 長途電路的回音衰耗	202

第七章 电路的非綫性	206
7-1 电路的幅度特性	206
7-2 非綫性衰耗和頻率分析	209
7-3 增益电路非綫性失真的 累積	214
7-4 載頻差別引起的失真	218
第八章 电路的持恒度	220
8-1 净衰耗随时间的变化	220
8-2 調節电平設備的作用	222
8-3 热电式調節电平設備的 动态过程	224
8-4 机电式調節电平設備的 动态过程	229
第九章 架空明綫干綫設計	233
9-1 架空明綫干綫的經濟意 义	233
9-2 架空明綫电路設計步骤	234
9-3 傳輸电平圖的繪制	241
9-4 話音电路穩定度的檢查	249
9-5 壓縮擴展器使用的考慮	258
9-6 頻率交叉法使用的考慮	263
9-7 進局電纜的選擇	271
9-8 远距供电的考慮	274
第十章 長途電纜干綫設計	276
10-1 長途平衡電纜特性	276
10-2 二十四路載波電纜干綫 設計	281
10-3 同軸電纜構造和特性	289
10-4 同軸電纜干綫設計	292
第十一章 長途播音电路傳輸	310
11-1 國內播音網的結構	310
11-2 播音电路的品質指标	311
11-3 載波電話电路傳輸播音	314
11-4 電纜低頻电路傳輸播音	318
附錄一 長途電話机械室	321
12-1 長途電話机械室的分类	321
12-2 進綫、配綫和測量架	323
12-3 配电、电压調節架	328
12-4 增音机机架和載波机机 架	329
12-5 机架設備的位置	333
12-6 机械室的布綫系統	336
附錄二 远距供电增音站	341
13-1 远距供电的应用	341
13-2 明綫三路載波增音站的 远距供电	343
13-3 明綫十二路載波增音站	

的远距供电.....346	13-5 同軸電纜載波增音站的 远距供电 351
13-4 平衡電纜載波增音站的 远距供电.....350	
附錄三 多路集体放大器的負載容量和非綫性失真 356	
14-1 集体放大器的負載容量...356	14-2 集体放大器的非綫性失 真 368
参考書刊 386	

第一章

長途電話電路的結構

1-1 通信網結構原則

長途電話通信網結構的基本任務，是要將任何兩個用戶，不論它們地點相隔的遠近，能夠很快地連接通信，並且供給良好的傳輸品質。

為了完成這樣的任務，國內各地長途電話站可以互相連接起來，如圖 1-1 所示的方式，任何一個長途電話站與其他任何一個長途電話站都有直達線路，互相連接起來。但是，這種連接的方式是不經濟的，如果國家很大，長途電話站數目很多，就需要極多數量的線路，將全部長途電話站連接起來，倘長途電話站的數目是 n ，則線路數量將等於 $N = \frac{n(n-1)}{2}$ 。當 $n=6$ 時， $N=15$ ；當 $n=60$ 時， $N=1,770$ 。每一長途電話站連接的線路數量固然很多，但每一線路的負載卻是很小，就是說，線路的利用率很低，因此不合乎經濟原則。

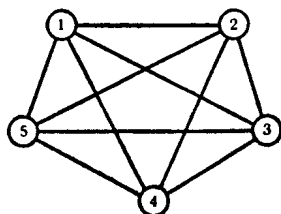


圖 1-1 長途電話站互相連接的一種方式

更經濟的方式是將一個國家的土地劃分為許多個基層地區，每一基層地區的面積不是太大，每一基層地區範圍內有若干個市內電話交換所（ГТС）。從這許多電話交換所之中，選擇一個交換所，它在這一基層地區不論是經濟上或政治上，比其他交換所最為集中，這交換所就組成爲長途電話終端站亦稱區交換所（РУ）。這

一基層地區內所有電話交換所，都連接到這長途電話終端站，通過這終端站的接續，各電話交換所相互間可以連接起來，它們又可以和全國長途電話通信網連接起來。在地域較小的國家，這種基層地區面積的半徑，亦就是以終端站為中心的半徑，約為 25~40 公里；在地域較大的國家，這種基層地區的半徑可能達到 500~600 公里。

由於國家很大，基層地區的數目可能很多，它們可以依照政治經濟的關係，分別集合成為小組。在這樣一小組的幾個長途電話終端站之中，可以選擇一個作為中心，它與小組內其他長途電話終端站的關係最為密切。這一小組中心，就作為長途電話轉接站，亦稱為省交換所 (OY)，在地域較小的國家，以這種長途電話轉接站為中心的作用半徑約是 150~200 公里，在地域較大的國家，轉接站作用的半徑達到 1,000 公里。

如果國家地域實在很大，這些長途電話轉接站的數目很多，經濟上還不值得把它們全部互相連接起來，它們可以依照政治經濟的關係，分別集合成為大組。在這樣一大組的幾個長途電話轉接站之中，可以選擇一個中心，作為長途電話總轉接站，亦稱為總交換所 (TY)。一個國家內長途電話總轉接站的數目不致太多，它們位置在國內各大城市或要衝地點，它們可以合理地互相直接連接起來。在地域較小的國家，以這種總轉接站為中心的作用半徑約是 500 公里，在地域較大的國家，總轉接站作用的半徑達到幾千公里。

圖 1-2 示依照這樣原則構成的長途電話通信網，是最經濟、合理的通信網結構，包含長途電話終端站、轉接站和總轉接站，正常連接的線路由圖上實線表示。在有些情形，兩個地點的終端站或轉接站，雖則位置在不同地區內，但由於話務較多，需要直接連接起來，如圖上所示虛線，就表示輔助的直達線路。從圖上看出，任何兩個長途電話終端站，如果要利用圖上實線表示的正常線路連

接起來，最多經過的中間轉接不致超過四次。如果利用圖上虛線表示的輔助綫路連接起來，最多的中間轉接可以減到二次。

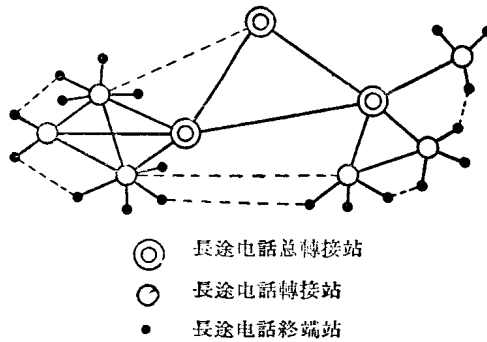


圖 1-2 通信網的合理結構

在有些情形，長途電話轉接站離開有些長途電話終端站較遠，那就值得考慮設置中間站，亦稱區間交換所 (MPY)。一個中間站管轄和連接幾個終端站。這樣，靠近轉接站的終端站，是有綫路直接連接轉接站，離開轉接站較遠的終端站，是有綫路直接連接中間站，而中間站則有綫路直接轉接站。

這種通信網結構方式的優點是：綫路數量比較少，仍舊可以把通信網的任何兩地點連接起來，實現通信；綫路利用率比較高，相同方向的負載是集中在同一綫路；通信作用比較穩定可靠，任一綫路如果發生障礙，可以經過其他綫路通達對方。

通信網中總轉接站相互間連接的電路，總轉接站與轉接站之間連接的電路，以及轉接站相互間連接的電路，通常都稱為長途電話干綫通信電路。通信網中低一級的電路，例如轉接站與終端站之間連接的電路，終端站相互間連接的電路，以及轉接站與中間站，中間站與終端站之間連接的電路，都稱為長途電話省內通信電路。

上面所說的通信網結構，基本上包含長途電話終端站或區交換所 (PY)，轉接站或省交換所 (OY)，總轉接站或總交換所 (TY)，

總轉接站每一個和其他每一個直接互相連接起來，因此，全國長途電話通信網的結構，成為三級接續制，國內任何二地用戶要互通長途電話，最多不會超過四次中間轉接。

在一個幅員極大的國家，像我們祖國和蘇聯，總轉接站的數目固然可以選擇得不太多，但有些總轉接站相隔的距離實在太遠。為求更經濟合理起見，在各總轉接站之中，以政治經濟的首要中心，亦就是以全國的首都，作為全國性的總轉接站，它與各總轉接站之間有直達電路，但一部分總轉接站相互間的直達電路可以減省。這樣，全國長途電話通信網的結構，成為四級接續制，任何二地用戶互通長途電話，最多不會超過五次中間轉接。

圖 1-3* 示四級接續制的長途電話通信網結構。在蘇聯，長途電話通信網是以首都莫斯科為總的中心。在我們祖國，長途電話通信網是以首都北京為總的中心，而以各重要城市和新的工業城市，例如沈陽、漢口、西安、包頭、上海等地作為重要中心。我國偉大的發展國民經濟的第一個五年計劃明確地指出，電信建設的首要任務是加強首都同各重要城市和新的工業城市的通信聯系。這意味着，第一個五年計劃要求加強全國長途電話通信網的幹線電路建設。第一個五年計劃的基本建設投資，要在主要幹線上增設載波電路，在最重要的幹線上裝置十二路載波電話設備，節省綫路資金，保證有充分電路。這樣加強了通信網的建設，再不斷努力提高勞動生產率，設備利用率，對現有機綫設備進行技術改造，可以保證適應國家和人民對長途電信的需要，又可保證完成電信企業在國家過渡時期中的基本任務，為不斷增漲的工農業生產，商品交流和人民物質文化生活的需要服務，並為國防服務**。

現在，蘇聯在第五個五年計劃，正進行敷設地下電纜幾千公

* 參閱“長途電話的組織和運用”第 22 頁，“長途電話基礎”第 12 頁

** 參閱“中華人民共和國發展國民經濟的第一個五年計劃”第 103 頁，“人民郵電”1955 年第 15 期，“電信技術通訊”1955 年第 8 期

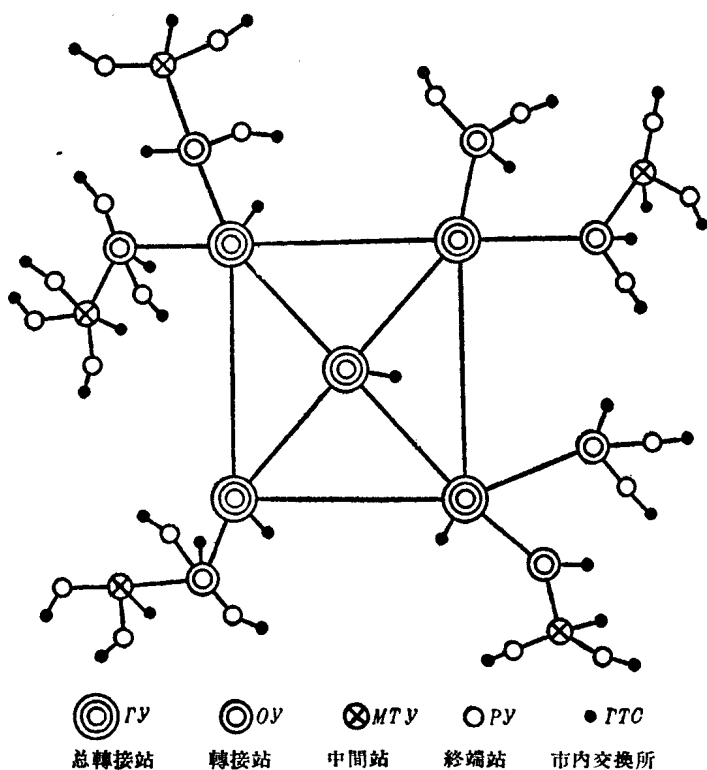


圖 1-3 四級接續制的通信網結構

里,包含同軸電纜。這樣,,全國通信網大大地加強,有些重要城市之間,可能有五百對用戶同時進行通話。

我國的首都北京,與蘇聯的首都莫斯科,已經建立了直達的長途電話電路。這個電路長達一萬幾千公里,是全世界最長的長途電話電路。由於這一重要長途電路的建立,溝通了兩個大國長途電話通信網相互之間的聯繫,不僅鞏固中蘇兩國間的牢不可破的友誼,並且加強世界上和平民主陣營的力量。

1-2 電路的接續和傳輸標準

依照上面所說的三級接續制,國內任一用戶要與其他任一用

戶通話，最多的轉接次數是四次。圖 1-4 示國內兩用戶間轉接最多的情形，可以看出，從一個終端站 PY 到另一個終端站 PY，最多經過轉接站 OY、總轉接站 ΓY、另一大組的總轉接站 ΓY、轉接站 OY、轉接站

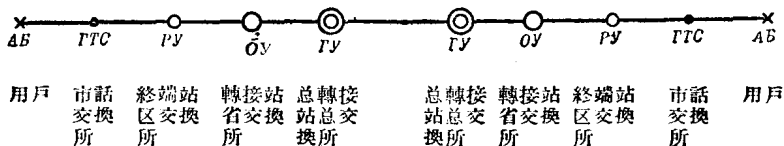


圖 1-4 國內用戶轉接最多的情形

OY，共計轉接四次。如果終端站 PY 直接連接總轉接站 ΓY，則最多的轉接次數將減少，如果用戶經過市內電話交換所，不是連接終端站 PY，而是連接轉接站 OY 或總轉接站 ΓY，則轉接次數亦將減少。表 1-1 示一個站與另一個站之間的轉接次數。

表 1-1 長途電話电路的轉接次數

大 組	在 同 一 大 組 內				在 不 同 大 組 內			
交 換 所	ΓY	OY	PY (連接 ΓY)	PY (連接 OY)	ΓY	OY	PY (連接 ΓY)	PY (連接 OY)
ΓY	0	0	0	1	0	1	1	2
OY	0	1	1	2	1	2	2	3
PY (連接 ΓY)	0	1	1	2	1	2	2	3
PY (連接 OY)	1	2	2	3	2	3	3	4

事實上，通信網的結構，是富有靈活性的，是根據需要而組成的，电路的开辟，主要是依靠話務的多寡和它的重要性而決定的。凡是話務到達了一定程度，轉接次數就減少，甚至开辟直达电路。譬如說，在全部長途電話話務中，大約 75% 是經過直达电路傳送，沒有任何轉接，大約 20% 轉接一次，4% 轉接二次，1% 轉接三次或四次。所以，最多轉接次數對於絕大部分話務，并無影響。

從一個用戶到另一個用戶，整個电路不僅包含長途電話电路，還包含終端电路；從一個長途電話終端站 PY 到另一個終端站 PY

之間的電路，稱為長途電話電路；從用戶 AB 到長途電話交換所 MTC 或長途電話終端站 PY 之間的電路，稱為終端電路；其中從用戶 AB 到市內電話交換所 RTC 之間的電路，是用戶綫電路；從市內電話交換所 RTC 至長途電話終端站 PY 之間的電路，是中繼綫電路。

圖 1-5 示國內任何兩用戶之間整個電路的傳輸分配或衰耗分配，這是根據技術指標和經濟指標而擬定的。從圖上看出，兩用戶之間的衰耗是 3.3 奈普，其中長途電話電路的淨衰耗是 1.3 奈普，而每一終端電路的衰耗各是 1 奈普。終端電路的衰耗，包含用戶綫衰耗、中繼綫衰耗和市內電話交換所與長途電話終端站的站內設備衰耗。這些衰耗都是在一個頻率（800 赫）用電表量測的。在 800 赫頻率，一般人耳能夠聽覺 1 微瓦的功率，與 1 毫瓦比較就是 3.45 奈普。所以，兩用戶間衰耗定為 3.3 奈普。

有時，為了更接近實際情況起見，電路上同時傳輸講話的全部頻帶，並由人耳收聽記錄，判斷電路的衰耗，稱為等值衰耗*。發話時的等值衰耗，並不與受話時的等值衰耗相等。話筒饋給電流的大小，話音頻帶的寬狹，以及外界雜聲電壓的高低，都將影響等值衰耗的大小。話筒饋給電流如減小，則話筒產生的電勢減小，等值衰耗加大。話音頻帶寬度愈狹，則聽筒收到的能量愈少，等值衰耗加大。外界雜聲如較大，則同樣訊號聲音响度，不易聽得清楚，就是等值衰耗加大。這樣決定的等值衰耗，確實代表實際通話情況，

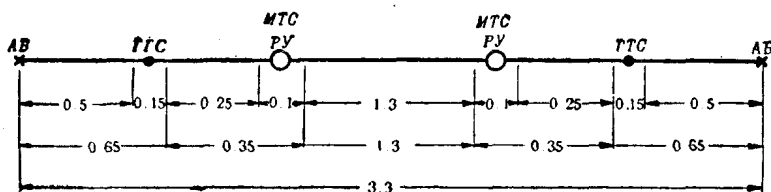


圖 1-5 兩用戶之間整個電路的傳輸分配（單位——奈普）

* 參閱“長途電話基礎”第 343 頁

但因量測方法很複雜，不能普遍採用。

長途電話电路，依照上面一節所解釋的，可以分為兩種：其一是長途干綫电路，另一則是省內通信电路。ГY 与 ГY 之間，ГY 与 OY 之間，以及 OY 与 OY 之間的电路，一般屬於長途干綫电路。OY 与 PY 之間，PY 与 PY 之間，以及 PY 与 MPY 之間，OY 与 MPY 之間的电路，都稱為省內通信电路。除了長途电路之外，還有終端电路。這三类电路是有顯著區別的，表 1-2 示三类电路的區別。

表 1-2 長途電話电路与終端电路的區別

电路种类	綫对数目， 綫对里程	長途話务量， 和話务重要性	每一电路距离，負載集中性
長途干綫电路	最少	最忙，最重要	每一电路虽長，負載很集中
省內通信电路	次多	次忙	介于两者之間
終端电路	最多	最閑	每一电路很短，散布甚廣

不难看出，从傳輸的观点，这样三类电路分为三級，是很合理的。長途干綫电路的傳輸标准，宜訂得嚴格，要求可以提高，事实上因为只是少数条干綫，建筑和維護的力量可以集中，較高的傳輸标准容易达到。而終端电路的傳輸标准，却应放得較寬，合乎經濟原則。省內通信电路則介乎两者之間。圖 1-6 示整个电路傳輸分配的举例，干綫电路的淨衰耗是 3 分貝（甚至可能減到 0 分貝），省內电路是 4 分貝，終端衰耗是 7 分貝。这样，兩用戶之間的总淨衰耗是 31 分貝。

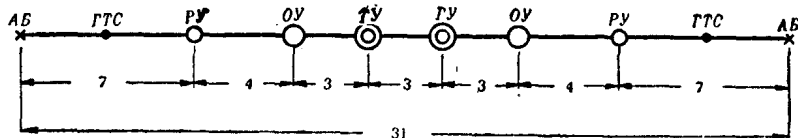


圖 1-6 兩用戶之間各級电路的傳輸分配（單位——分貝）

為了保證長途電話通信網的正確運用，电路的分級，和各級电路傳輸标准的適當訂定和嚴格遵守，是完全有必要的。

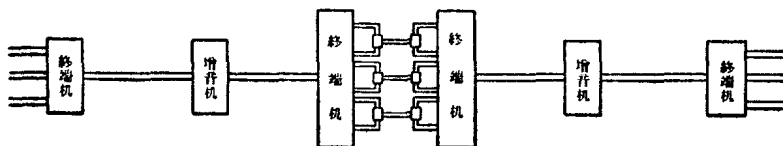
1-3 載波電路的直達與轉接

長距離的長途電話電路，或長途電話通信網的幹線電路，是由載波電路組成。不僅從經濟的觀點，載波電路可以節省綫路資金，仍能供給充分電路，並且從傳輸的觀點，長距離電話傳輸非依賴載波電路不可。

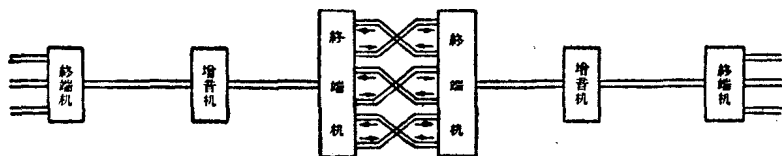
載波電話電路的展延，有兩種辦法：直達和轉接；轉接又分兩種：二綫轉接和四綫轉接。圖 1-7 示載波電路的直達和二綫、四綫轉接的比較。圖(甲)示兩地只有一對載波電話終端機，中間有許多增音機，高頻率的載波電路從一地傳送到對方，僅途中經過若干增音機的放大而已。圖(乙)和圖(丙)示兩地之間有兩對載波電話終端機，在中間站的两只終端機互相連接起來，稱為轉接。這樣，整個電路包含兩個轉接段。整個電路有兩個終端站，一個轉接站和若干增音站。用戶的話音，在發送端變為高頻率的載波電路，經



(甲) 直達



(乙) 二綫轉接



(丙) 四綫轉接

圖 1-7 載波電路的直達和二綫四綫轉接

过增音机的放大,到达轉接站,其中一只終端机將高頻率变还为話音,連到另一只終端机,又將話音变为高頻率,繼續傳送前去,經過增音机的放大,到达收受端,將高頻率变还为話音,使对方用戶听到。

这里,轉接站的轉接方法有两种。如果轉接站的两只載波電話終端机,都保留了混合綫圈,話音从一只終端机混合綫圈的二綫,連到另一只終端机混合綫圈的二綫,那就称为二綫轉接。顯然,二綫轉接的手續很簡單,只需一根塞繩就可以連好。两个轉接段的两对載波電話終端机,可以容許采用不同的型式,两對話頻振鈴器亦可以容許采用不同的型式。轉接站可以和任一終端站随时联系,又可以每一轉接段分別測試,非常便利。这些都是二綫轉接的优点。同时,二綫轉接亦有缺点,首先,由于二綫轉接是利用混合綫圈,混合綫圈的平衡是有限制的,因此电路的穩定度减低,不能随便提高增益,容易發生振鳴。其次,每一轉接段有一對話頻振鈴器,如果轉接段数目加多,整个电路中振鈴器数目随着加多,發生障碍的机会加多。最后,每一轉接段有一次調幅,一次反調幅,調幅的載波振盪器和反調幅載波振盪器的頻率可能有些差別,如果轉接段数目加多,載頻差別將累積起來,使話音失真嚴重。通話品質降低。

如果轉接站的两只載波電話終端机,不用混合綫圈,話音从这一只終端机反調幅器輸出的二綫連到另一只終端机調幅器輸入的二綫,話音又从另一只終端机反調幅器輸出的二綫,連到这一只終端机輸入的二綫,称为四綫轉接。顯然,四綫轉接和二綫轉接一样,轉接站可以和任一終端站随时联系,又可以每一轉接段分別測試,比直达电路便利。四綫轉接又和二綫轉接一样,每一轉接段有一次調幅和一次反調幅,如果轉接段数目加多,載頻差別引起的失真仍將累積起來,使通話品質降低。四綫轉接的手續比二綫轉接稍为繁复,由于反調幅器輸出的話音电平并不等于調幅器輸入的