

13324

基本館藏

無線電學

下 冊

倪 尚 達 編 著



中國科學圖書儀器公司
出 版

2 倪

無線電學

下 冊

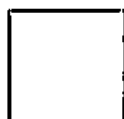
倪 尚 達 編 著

中國科學圖書儀器公司
出 版

無線電學

下 冊

版權所有



不准翻印

一九五二年三月初版

定價人民幣 0.50 元

編 著 者 倪 尚 達

出 版 者 中國科學圖書儀器公司
上海 (18) 延安中路 537 號

總發行所 中國科技圖書聯合發行所
上海中央路 24 號 304 室
電話 19566 電報掛號 21968

分 銷 上海西馬路 62 號
廣州：永漢北路 204 號

重 版 序 言

本書於一九二八年初版印行後，曾隨無線電之進步，再四增訂。至一九三七年內容更繁，搜集材料，計劃重版。七七事起，所有稿件，於前國立中央大學科學館無線電實驗室盡告遺失。抗戰期間，人事播遷，參考缺乏，無從編纂，以致斷板，不勝悵恨。一九四六年復員南京後，承各方愛護者，惠函催促，開始撰述，亦因環境關係，作輟無常，直至最近始行脫稿，而二次大戰後的無線電，已是面目更新。

昔時真空管製造採通用制，現代真空管設計變成專用化。就某種工作的特別性質，以成一種真空管的特別製造，極數增，結構繁，品類之多，不勝枚舉，僅擇典型，加以詮釋。雷達商用，電視風行，調頻廣播，漸有替代調幅之勢，故於短波，超短波乃至微波等的學理技術，如定向天線，傳遞線，導波管以及共振腔等等，掇其精華，廣為介紹。各種基本電路的分析，亦如初版，仍以中等數理程度為主，惟為說明簡便，微分符號隨處應用，一切演解可用作圖法或向量圖者，不避重複，詳加說明。至於微分方程或傅立葉級數等的解答，或作附註，或詳附錄，各隨所需，以便檢考。

總之，無線電早成一種專門學科，且隨電子學的發展，進步更快，範圍更廣。放大，調變，天線，微波等等，各有專籍，形成學術的高度專門化。萬緒千端，搜集難盡，故本書僅就無線電的普通範圍，依據作者廿餘年來的教學經驗，並照合理順序，分章編述。較之初版，取材仍是扼要，說理仍是淺出，內容則普遍提高，篇幅則幾增三倍。備作大學，或專科學校無線電的教學用書，或一般有志研究無線電者的參考用書。節目較繁，疏漏孔多，謹希讀者，隨時指正。

是書成，深感上海中國科學圖書儀器公司總經理鄧恂立先生的鼓勵，和編審處印刷部諸先生的協助，得使本書精緻印行。各種圖表，均承金陵大學同學石家瑞、樓朝城、郭作冬及同事李萱等諸先生，精細繪畫，謹此誌謝。

一九五一年五月一日作者誌於南京金陵大學

下 冊 目 錄

第十三章 傳遞線,導波管和共振腔

節數	頁數	節數	頁數
13-1 傳遞線的分類和結構.....	1	d. 阻抗配合器.....	44
13-2 無限傳遞線.....	4	e. 相移器和反相器.....	52
13-3 特性阻抗.....	5	f. 平衡換接器.....	53
13-4 衰減.....	11	g. 定頻控制.....	54
13-5 無損失傳遞線和實用 傳遞線.....	15	13-10 導波管的界說.....	54
13-6 入射和反射波動.....	22	13-11 導波管的類別和利弊.....	55
13-7 駐波.....	27	13-12 電磁波的邊界條件和 運用模型.....	58
13-8 非共振線和共振線.....	30	13-13 導波管的形成.....	59
a. 無損失線的負擔成捷 路者.....	31	13-14 電磁場模型.....	65
b. 無損失線的負擔成斷 路者.....	34	13-15 模型標誌規則.....	70
c. 無損失線的負擔為電 抗者.....	35	13-16 導波管傳能的解釋.....	74
d. 無損失線的負擔為電 阻者.....	38	13-17 斷絕波長.....	75
13-9 傳遞線的應用.....	40	13-18 共振腔的形成.....	80
a. 金屬絕緣器.....	40	13-19 共振模型.....	84
b. 濾波器和抗流器.....	41	13-20 導波管或共振腔的耦 合方法.....	89
c. 電抗器.....	43	13-21 阻抗配合.....	93
		13-22 導波管和共振腔的用途	101
		13-23 介質導波體.....	104
		習題20問.....	104-106

第十四章 天線和無線電波

節數	頁數	節數	頁數
14-1 電量,電流和電磁場	107	d. 飛機用天線	205
14-2 半波長天線	110	e. 汽車用天線	206
14-3 電磁場的分析	115	f. 多頻共振天線	206
14-4 大地的反射	119	14-21 接收天線	207
14-5 直立天線發射場的分佈	122	a. 一般接收天線	207
14-6 水平天線發射場的分佈	132	b. 廣播接收天線	208
14-7 電波之偏極化	137	c. 汽車用接收天線	211
14-8 負阻天線	140	14-22 微波天線	212
14-9 天線阻抗	144	a. 拋物線狀反射器	212
14-10 天線的互阻抗	147	b. 號筒發射器	214
14-11 發射電阻	153	c. 尖角反射器	216
14-12 定向發射和定向增益	157	14-23 定向儀	217
14-13 天線陣	160	a. 單座線圖法	217
a. 同軸天線陣	160	b. 直交線圖法	219
b. 平行天線陣	164	c. 阿達靠克天線法	220
c. 縱橫天線陣	173	d. 陰極射線管定向法	221
14-14 附屬天線陣	176	14-24 定向之差誤	223
14-15 天線陣的輸接	179	14-25 無線電指向台	227
14-16 線圈天線	187	a. 長波指向台	227
14-17 V字形天線	193	b. 超高频指向台	230
14-18 傾斜天線	194	14-26 地波	231
14-19 菱形天線	199	14-25 低空對於電波傳播的 影響	235
14-20 實用發射天線	201	14-28 游離層和天波	236
a. 長波天線	201	14-29 跳越距離和複次發射	240
b. 廣播天線	202	14-30 衰弱	245
c. 船舶和潛水艇天線	204		

14-31 回波.....	246	14-33 天電.....	249
14-32 游離層的變化.....	247	習題20問.....	250-254

附 錄 三

a. 電流的磁位	255
b. 接地直立四分波長 ($\frac{\lambda}{4}$) 的發射場	255
c. 接地直立天線的發射場	257
d. 不接地直立半波長天線的發射場及其諧波運用	259
e. 絕對方向率, 比較方向率和發射電阻	262
f. 天線陣因數 $[A(0)]$ 的極限	265
譯名索引.....	267-272

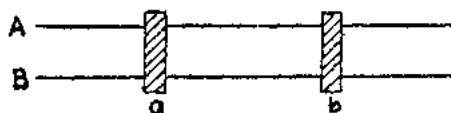
傳遞線、導波管和共振腔

13-1. 傳遞線的分類和結構 利用導線或導體，藉電導或引導電磁波的方法，將甲地的電能輸送至乙地，不論甲乙距離之遠近，統稱曰傳遞線(Transmission Lines)。傳遞線之最爲我人所熟悉者，則爲兩根架空的平行導線，輸送電力或電話或電報。從事電力，電話或電報的工程師或學者，對於傳遞線特性，早有詳盡的研究。但電力的頻率，低者 25 週/秒，高者 60 週/秒。任何電性的擾動，沿傳遞線前進，其速率約與空氣中的光速 ($= 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$) 相等。就 60 週/秒言，其相當波長 ($\lambda = v/f$) 爲 $5 \times 10^6 \text{ m}$ 或爲 5000 Km。故 500 公里(Km)，60 週/秒的電力傳遞線，外表看去，已覺甚長。比之波長，不過十分之一，猶屬較短。一波長相當的相角爲 360° 。故傳遞線於一波長範圍之內，就相角言，不同的距離，即有不同的相角。因此傳遞線上，各點的電流或電壓，各有不同。此種不同，有時爲我人所厭棄，必須設法糾正；有時爲我人所需要，可以充分利用。最短的無線電波，已以厘米計。故二三米的傳遞線，輸送無線電能者，較之波

長，已屬甚長。發射機或接收機與天線，用幾米或幾十米的導線來聯結，極是常事。因此傳遞線於無線電工程的重要，不言可知。

傳遞線式樣，約言有五：

a. 二根平行導線 此種傳遞線，最屬常見，已如前述。二線平行，距離一定。於一定長度的各小段恆用絕緣體支持，其簡型如 13-1 圖 a。建費低，效率高，而架設便易。除為一般商用電



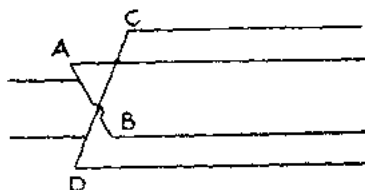
AB—平行導線

ab—絕緣體

13-1 圖 a

力，電話或電報的傳遞線外。無線電收發機和天線間，亦屬常用。用於 14 Kc 以下的較低頻段時，二線相距，約自 5 至 15 厘米。若至 38 Kc 以上，二線間的最大距離，約為 10 厘米。其缺點則在發射損失(Radiation Loss)較大。若於超高率段，且須靠近良導體者，不能應用。

b. 四根平行導線 此類傳遞線的簡型如 13-1 圖 b。四線架空，彼此平行。其橫面成較小的正方形，四線接於四頂點上。對角線兩端的二線，互相並聯，以成兩組，相似於二根

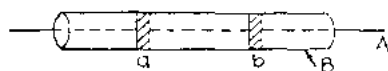


ABCD—為正方形的四頂點

13-1 圖 b

平行傳遞線，有後者的同樣好處。但鄰近導體，所受前者的互感作用，在同樣場合，較之後者，減小許多。

c. 同軸傳遞線 (Coaxial Transmission Line) 此種傳遞線，外觀為圓柱形管，管殼為導體，中軸為導線。中空，於適當距離，置有絕緣體，使二者分離。其簡型如 13-1 圖 c。亦有不成中



A—導線處於中軸 B—管殼亦為良導體
ab—絕緣體絕緣性必須極好為扁平的圓盤

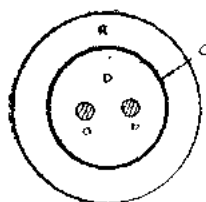
13-1 圖 c

空，實以柔軟的絕緣物，外殼用金屬線編成，頗似彎曲方便的電纜 (Cable) 者，惜其損失較高。此種傳遞線的最大好處，則在外殼可以接地，以成中軸導線的屏蔽。既無發射損失和鄰近良導體的互感作用，且又不能接受外界的电磁性干涉。架設方便，高頻運用，效率亦高。其壞處則在等長傳遞線，成本較 a, b 二種為大；超高頻的損失不小，僅能在短距離應用，避免中軸和外殼間的過份漏電損失，中空部份，必須使其乾燥，乾燥方法，可貯氮氣，其壓力須在每平方吋 3 磅至 38 磅。架設之初，即行按置。壓力維持定值，較大氣壓略高，使氮氣僅有外洩的機會。

d. 絞合傳遞線 (Twisted Pair) 此種傳遞線，實與家用電燈頭接線相似，特其絕緣質料，加工煉製。好處得任意彎曲；不好處則絕緣損失極大，僅能適用於較低頻段，或較近距離以及某種

場合，須受機械上的限制，非用此種傳遞線為不可者。

e. 屏蔽傳遞線 (Shielded Pair) 此種傳遞線的橫截面組織如 13-1 圖 d。兩根 ab 平行導線，處於軸線兩旁，距離相等。實



13-1 圖 d

以介質材料 (D)，如塑膠 (Plastic) 之屬，使 ab 固定。 C 為銅絲網，編成管狀，接地而成 ab 的屏蔽。 R 為橡膠質，附於最外層，以抗線外潮濕，並增加外部的堅韌力。故外表看去，此種傳遞線，實與馬達的電力接線，極屬相似。其最大好處，則在全線屏蔽，無

發射損失，又不受線外的電磁性干涉。且二線與地，地位對稱，所成的電容相等，易成平衡狀態。此種電容性的平衡，為 a 種傳遞線所難於求得。是因平行傳遞線和大地或其他鄰近的導體，所成電容，各不相等，形成不相等的旁路電抗，轉使二線上的電流不等，發射損失，份外增加。但於屏蔽傳遞線能有電容性的平衡，得使發射損失，減至最低程度，實屬可貴。惜其組織繁複，成本較大，不適於一般用途。五種傳遞線， a, c 二種，最為適用。故以下分析，亦以 a, c 二種為限。

13-2. 無限傳遞線 (Infinite Line) 理想的傳遞線，則為二根平行導線。質料均勻；截面等積；相距定值，遠較運用波長為短；線長無限，輸入電能，在無窮遠處接收，決無反射作用（見 13-6 節）；此為無限傳遞線。無限傳遞線的特性，比較單純，且因下列

三項理由，只要無限傳遞線的特性清楚以後，即於事實上，並無此種傳遞線的存在，而有限傳遞線的特性，亦將便於分析。

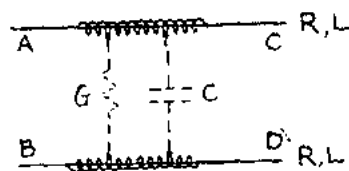
a. 有限傳遞線或稱實用傳遞線除近接收端 (Receiving End) 外，全線特性實與無限傳遞線同樣。

b. 於實用傳遞線的接收端，妥接負擔，全線各部的運用特性，實與無限傳遞線完全相同。此適當負擔的近似物，即為極長傳遞線，亦即無限傳遞線(見 13-3 節)的特性阻抗。

c. 任何傳遞線上，電磁波前進規律，可以同特性的無限傳遞線為例，而加以分析，二者結果，完全相同。

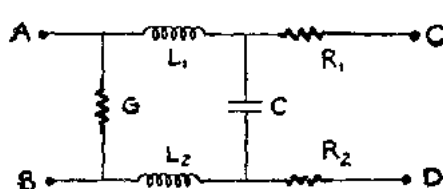
13-3. 特性阻抗 任何導線之有電阻，分佈自感以及二根平行導線間的分佈電容，已詳於 5-4 節和 5-8 節。故截取無限傳遞線的一單位長度如一米或一厘米而圖表之，當似 13-2 圖 a。

實線表示導線的本身； R 為電阻，因皮膚作用和發射損失，其有效值當較其本身的歐姆值為大； L 為分佈自感，以線圈沿傳遞線而纏繞者表示之；虛線所



13-2 圖 a

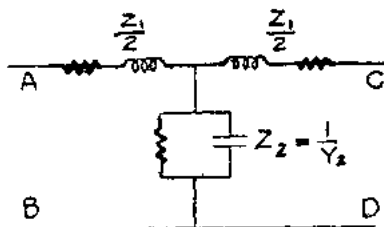
示的 C ，為二線間的分佈電容；又因二線之間，決不完全絕緣，接上電壓，恆有若干漏電損失，形成漏阻 (Leakage Resistance)，計算便利，取其倒數漏導 (Leakage Conductance) 而表示之，如虛線所示的 G 。以 13-2 圖 a，繪成等效電路，可似 13-2 圖 b。



- L_1 —AC 線的自感 h/m
 L_2 —BD 線的自感 h/m
 R_1 —AC 線的電阻 Ω/m
 R_2 —BD 線的電阻 Ω/m
 C —AC, BD 間的電容 f/m
 G —AC, BD 間的漏導 $1/\Omega m$

13-2 圖 b

13-2 圖 a 中,各項常數,是分佈的; 13-2 圖 b 所示者為集中的(Lumped), 理論上不能代表無限傳遞線一小段的特性,乃至全線的特性,當無疑義。倘截取之段,比較全線長度,以波長為單位時,若為極小,則 13-2 圖 b 所示者,實用上得無多大差誤。為分析便利起見,再將 13-2 圖 b 簡化之,如圖 c。稱為極短傳遞線的 T 段(T-section)。



13-2 圖 c

$$Z_1 = R + j\omega L \quad \Omega/m \quad (13-1)$$

$$Y_2 = G + j\omega C = \frac{1}{Z_2} \quad 1/\Omega m \quad (13-2)$$

任何傳遞線,不論長短,恆有 AB 和 CD 兩端。AB 接至電源如發電機或發射機的輸出部分,稱曰輸送端 (Sending End)。CD 稱曰接收端,可接相當阻抗,以成負擔,如天線之屬。以 ACBD 的段數,無限增加,串聯相接,亦即以 CD 二端無限延長,即成無限傳遞線。倘接於 AB 間電壓為 E_s , A 點的電流為 I_s ,

則：

$$Z_S = \frac{E_S}{I_S} \quad (13-3)$$

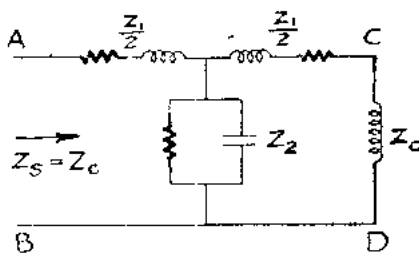
Z_S 稱曰輸入阻抗 (Input Impedance)。仿此，倘接於 CD 間的負擔為 Z_R ，自 C 流入 Z_R 的電流為 I_R ，其電壓降為 E_R ，則：

$$Z_R = \frac{E_R}{I_R} \quad (13-4)$$

Z_R 稱曰負擔阻抗 (Load Impedance) 或稱輸出阻抗 (Output Impedance)。

Z_S 不為傳遞線電阻 (R) 和 Z_R 的串聯值。因有分佈 L, C 和 G 的影響， Z_S 的實際數值，較之串聯值大不相同。已知 Z_R 後，如 13-2 圖 c，可照阻抗並聯串聯的算法，以求 Z_S 。再增一節 T 段而計算之， Z_S 當有若干改變。 T 段的節數漸增， Z_S 的變化漸小。增至無限， Z_S 即成定值。於無限傳遞線， CD 之間並無負擔，而依安培計和伏特計的方法，在 AB 二端，直接量得的 Z_S 稱曰傳遞線的特性阻抗，用 Z_c 表示之。

如 13-2 圖 c， CD 右邊為無限傳遞線， CD 左邊接以同樣的傳遞線，其長為一米或為一仟米。此段較短，傳遞線的常數，可以 $ABCD$ 間所註的 Z_1 和 Z_2 為代表。因傳遞線本身為無限，於其右邊增加或截去一節 T 段，實用上，決不影響其無限性。故



13-3 圖

依定義, CD 以右的阻抗為 Z_c , AB 間的 Z_s 亦為 Z_c , 簡示之如 13-3 圖。

由圖得

$$Z_s = Z_c = \frac{Z_1}{2} + \frac{Z_2 \left(\frac{Z_1}{2} + Z_c \right)}{Z_2 + \frac{Z_1}{2} + Z_c}$$

$$\therefore Z_c^2 = Z_1 Z_2 + \frac{Z_1^2}{4}$$

$$\therefore Z_c = \sqrt{Z_1 Z_2 + \frac{Z_1^2}{4}} \quad (13-5)$$

由 13-1 式和 13-2 式, 可知 Z_c 以 R, L, C, G 及 f 為函數, 直接和導線的粗細, 間隔有關, 而與長度無涉。理想的無限傳遞線, 毫無損失。換言之, R 和 G 均成零值。以之代入 13-1 式和 13-2 式, 得:

$$Z_1 = j\omega L \quad Z_2 = -j \frac{1}{\omega C}$$

$$\therefore Z_c = \sqrt{\frac{L}{C} - \frac{\omega L^2}{4}} \quad (13-6)$$

若 $\frac{L}{C} > \frac{\omega L^2}{4}$, 則平方根內, 恆為正數, Z_c 為純電阻。若

$\frac{L}{C} \gg \frac{\omega L^2}{4}$, 而 $\frac{\omega L^2}{4}$ 可以省略時, 則:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (13-7)$$

L 為單位長度導線的分佈自感, C 為單位長度導線間的分佈

電容, 二值相除, 長度相消。故 Z_c 和長度無涉之說, 自 13-7 式觀之, 更屬顯然。

如 13-3 圖, 以 CD 短路之, 並設此時的 Z_s 為 Z_{sc} ,

$$\text{則: } Z_{sc} = \frac{1}{2}Z_1 + \frac{Z_2 \frac{Z_1}{2}}{Z_2 + \frac{Z_1}{2}} = \frac{Z_1}{2} + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + 2Z_2} \quad (13-8)$$

又以 CD 成斷路, 並設此時的 Z_s 為 Z_{oc} ,

$$\text{則: } Z_{oc} = \frac{1}{2}Z_1 + Z_2 \quad (13-9)$$

以 13-8 式和 13-9 式左右相乘, 得:

$$Z_{sc}Z_{oc} = Z_1Z_2 + \frac{1}{4}Z_1^2 = Z_c^2$$

$$\therefore Z_c = \sqrt{Z_{sc}Z_{oc}} \quad (13-10)$$

實用上的傳遞線, 倘其 Z_{sc} 和 Z_{oc} , 分別量得以後, 利用 13-10 式, 該線的特性阻抗, 即可從而計算。

利用 5-6 式, 並使導線半徑 r 等於 a , D 等於 b , b/a 比較不小, 且又假定運用頻率甚高, 皮膚作用甚著, 則:

$$L = 0.92 \log_{10} \frac{b}{a} \quad \mu h/m \quad (13-11)$$

又自 5-13 式:

$$C = \frac{\frac{100}{0.9}}{9.2 \log_{10} \frac{b}{a}} \quad \mu f/m \quad (13-12)$$

以 13-11 式和 13-12 式代入 13-7 式, 得 Z_c 的近似公式如下: