

應用無線電學

姚肇亭編著

蘇祖國校訂

上集

亞細亞股份有限公司出版

南京路三三三號

第一章 無線電概說

(1-1) 引言

溯自無線電實際應用以來，不過四十餘年。惟其理論發源，則遠在十六世紀。嗣後經各國科學家，先後作種種測驗，如西歷 1864 年，英人馬克司惠爾氏，澈數窮理，創立光之電磁理論。1879 年英人霍氏教授，發現凝屑器之作用，完成檢測電磁波之實驗。1888 年德人赫志氏，更追討幽奧，發表電磁波之性質。其他如英人法拉台氏，法人亨利氏，美人倍爾氏及愛迪生氏，以及舉世尊為無線電發明家之意人馬可尼氏等，咸專心致志以探求無線電學之寶藏。其間理論之研討，不知耗費幾許心血，實驗之成功，又不知經歷多少折磨。厥功之偉，誠足以爭輝日月而經緯宇宙也。

時至今日，無線電之應用，不僅為通信利器，諸凡海空航行之定向，生理疾病之醫治，測氣象，探礦產，控制機械，顯象傳影，以及教育政治之設施；工商事業之開展等，幾無一不利賴之。其裨益人類，實罕稱儔。今後循序發展，更奚可限量。未來之一切物力與人事，將莫不受無線電之影響與支配矣。

(1-2) 無線電報

利用無線電波作簡單之通訊工作者，是為無線電報。無線電報之組織，係將各字母或數字，以不同數之點與劃，依不同次序而編排之，每一種編排之點與劃，以之代表某一字母或數字。是以凡一字句或一數目，如含有若干字母或數字者，即能以若干種不同編排之點與劃代之。在字母與字母間或數字與數字間，又在字與字間以及在字句與字句之間，隔以相當之空間，以資區別。在拍發時，按各種點與劃之組織，依次按揷電鍵，結果在發報機之天線上，即有若干組無線電波，依點與劃組織之次序，向天線四週之空間發射。此種成組之無線電波，在進程中如遇收報機之天線，即被截收成為相當成組之高週電流，再經檢測而至聽筒，即成相當點與劃之聲浪。報務員乃辨其聲息之久暫，隨手譯成相當之字母與數字，電訊由是而通達。惟無線電訊亦有用機械抄錄者，例如將收得之點與劃之訊號，刻印於狹長之紙條上，為機械接收法之一種。

(1-3) 無線電話及廣播

無線電話者，乃藉無線電波傳達言語之機構也。當無線電話成功之初，咸以為非獨新奇，且幾乎令人目為神怪。然其藝與無線電報類似，於十九世紀之末葉，已聞名於世焉。其元始可謂與有線電話，同時並生。蓋倍爾 (Alexander Graham Bell) 氏者，即為創造有線與無線電話之鼻祖也。按倍爾氏為電話之發明者，摩爾司氏為電報之發明者。而無線電話之歷史，與無線電報緊相蟬連。有線電話之機構，係首將音波變成相當音週之電流，由導線傳導至遠處，然後將此電流還原成音波。至於無線電話，其音週與電流之轉變情形相同，不過傳遞之媒介，除一部份利用導線外，其主要部份則藉無線電波為之溝通耳。

無線電廣播為藉無線電波以廣播言語及音樂之機構。其設備與無線電話，雖不盡同。然其所恃以廣播之原理，則無二致。蓋廣播電台之節目，所以能收廣播之功效者，亦不過為音波與電波轉變之法則。又有所謂無線電播音網者，則為廣播電台，分設各處，當一台發送節目，各台為之轉播，如此則播音節目，不害於取材一隅，以濟偏枯；再則聽眾享受，不為區域所限，雖以簡小之收音機，亦能收聽千里以外之重要節目。蓋不獨各電台間，可以聲氣聯絡，有如蛛網而已也。至其轉播方法，約有二種，一為利用電話專線，將所發言語及音樂傳遞至各廣播電台，而後施以發射。二為各播音電台接收另一電台之播音，重行播送之。此種廣播網之組織，在歐美行之，成效頗著云。

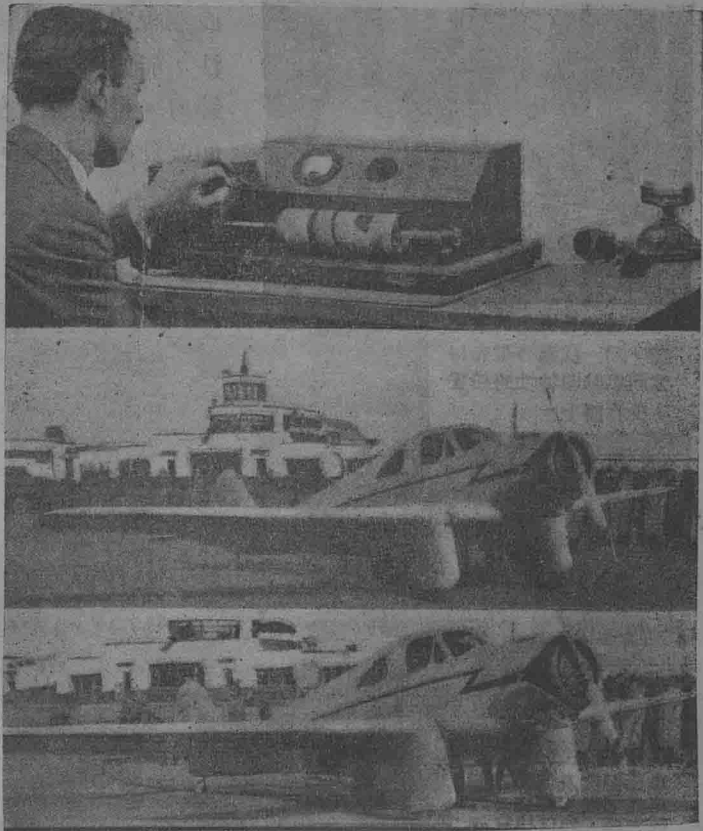
(1-4) 無線電視

無線電視簡稱電視，電視者，乃一種技術，藉無線電波之傳遞，使遠處活動，或固定之景物，表現於目前也。有時為區別起見，對傳遞靜止不變之景像者，曰無線電傳真 (Radio Transmission of Pictures 或 Forsimile)。對傳遞活動時變之景像者，則曰無線電電視 (Television)。

無線電傳真，係將形像分解成許多甚小之小點，然後由感光電池將各小點之光量，逐一轉變為相當強度之電流，而藉電線或無線電波為之傳遞，以達接收處，復藉氙氣燈或光閥之作用，將各強度之電流，逐一轉返成相當強度之光流，而構成原像。無線電傳真術，常應用以傳遞人物照片以及文書圖畫等等。

無線電活動景像之傳遞，與無線電傳真相似而不盡同。無線電傳真之發送，可在數分鐘內發送及記錄一完全之像影。但在電視之發送，在每秒內祇少須發送十五個完全之像影，蓋如此方能使所顯像影，其動作對於人目能續而逼真也。

以電視作用係極精巧之技術，在每秒內能起極繁複之變化。其分解成點與光量之工作，及再由各分點構成原像之工作，均極精細。凡電學上，機械學上之氣導作用，真空管擴大作用，調幅與檢波作用，化學上以及光學上一切問題，均包括在內。



(第 1—1 圖)

上為無線電傳真發射機，中為原來照片，下為用傳真接收機所得之照片。

第 1—1 圖為應用無線電傳真術所得之成績。第 1—2 圖為應用無線電電視術傳遞活動景像之情形。

無線電視在實驗室中相傳已十有餘年，歐美各國，競相研究，但因技術上尚有困難，致仍滯留於試驗階段。然十餘年來，析影與顯影術之改進，以及陰極線真空管之採用與改良，使此舉世期望已久之科學上大貢獻，在德國首先實現，一如普通無線電收音機，可供吾人隨時之使用矣。

德國之電視播送方法，係利用有聲影片，而以七公尺波長之無線電波，為之發射。同時利用電視採訪車，四出攝取風景新聞，以及時事變故等實地影片。在採訪車上，備有製造有聲影片之機械，故時事變故攝得

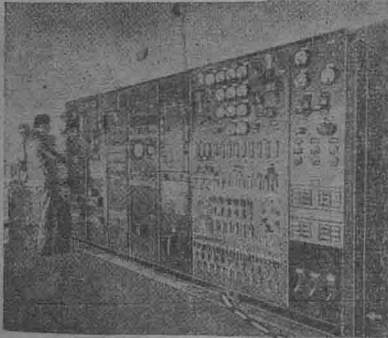
之後，即可在數分鐘內，製成影片，然後置於析影器中，使光波之強弱，在感光電池中變為顫動之電流，最後變成無線電波而發送之。此種電視播送方法，能使時事變故之真實狀態，在數分鐘內，可播送四方，使吾人足不出戶，而能目擊一切矣。



電視播演員在化妝室化妝，用一種適合燈光和電視攝影機特性的粉質，塗在面上。

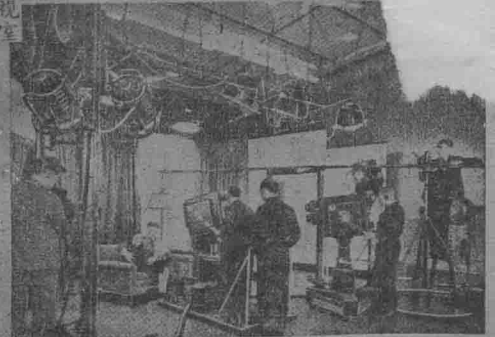
(第 1-2 圖)

電 視 播 送 程 序



由攝影機及傳聲器傳來之電流，經特製之放大器，加以相當放大，使成較闊之週率，因此每分鐘光與影之變動，不致被發射機損失。

至電視
播送室



播演員在電視攝影機和傳聲器前面，表演節目。

至控制室

至收音機

至發射機



放大之影像與聲音，藉特製之超高温發射機，發射至天空。



接收者用陰極線管電視收音機，即能收到從電視播送台所發出之影像與聲音。

(1-5) 航空與無線電

航空事業與無線電通信，均為交通設備上之新產兒，其利用空間，增進交通，洵具無上之功績。但航空得無線電以輔助，其事業愈廣。而無線電因航空之發展，其功用益著。夫機艇飛行於大氣之中，而欲隨時隨地能將氣象之報告與乎航空線之指示，俾能避免危險，而安然到達目的地，此種通訊利器，舍無線電其誰屬。

歐美各國航空事業已趨商業化，考其原因，乃由於陸與空之能密切連絡，而陸空連絡之密切，實借重於無線電之神妙。我國對於航空事業，方在積極提倡之中，航空線路上應有之無線電設備，亦宜講求，爰就所知，略述於后：

陸地通訊之設備

沿航空線路之各地，應分設無線電站，用以互通信息及氣象報告。各飛機飛離某台時，即將飛機離站時刻及飛機徽號名稱等，由出發站用無線電通知降落站，俾預為準備。又若天氣變化，各地不同，則站與站可互通消息，隨時傳報於正在飛行之飛機。站與站之通訊方法，歐美略有不同。歐洲均用無線電，其電力大率為1至5瓩特，通訊距離可達100哩。英國則無線電與有線電相互參用，每隔200哩設一無線電台，均可與有線電報連絡轉遞。

陸空通訊之設備

沿航空線路，每站設有無線電收發音機，飛機上亦設有無線電發音機，專供陸空通訊之用，俾知飛機之行程，及預報天時之變化。如飛機飛離某站，到達空間某地，將降落某站等等，陸空間均用電話通達，遙相呼應。氣象報告為陸空間連絡之唯一要務，如某處將有狂風暴雨，某處將有大霧大雪，陸地電台須隨時預報，俾飛行者事前預防，以保安全。至於搜集各地氣象之法，則由各電台在規定時刻中，播送其本地之氣象報告。俾各方收錄，互資參考。

指示航線之設備

飛機飛行大氣中，每易迷亂，陸地上應有指示航線之設備，即利用定向無線電是也。定向台之天線係用環狀天線，如屬四向指示之定向台，則用週率不同直角相交之兩環狀天線，因其發射電場與環狀之平行面最弱，垂直面最強，而在兩環面中分線上，兩天線電場所射者，至為均等，

航空線路之方向即依此中分線為標的。定向台除發射定向之電波外，並於相當間隙中，插報氣象。此種定向台機件之構造，除主振器外，用兩座天線及兩部週率不同之高週率強力放大器。一供發射定向之信號，一供播送氣象之報告。兩者相間播發。駕駛飛機者，一面注視其航程指示表，一面用聽筒聽取其氣象報告。聽覺與視覺同時並用，以保航空之安全，設備之週，可稱盡善盡美。

降落防險之設備

飛機航行空中，如遇氣候陡變，風雨交至，不得不即行降落。欲求是項被迫降落之安全，亦須有無線電之設備。例如在飛機場之附近，須備有主要航空幹線定向台，邊界定向電台以及起落航道定向台等。又對於降落高度調節之設備，則須設置直面短波來定向電台等，俾駛機者，對於降落之高度與前進之距離，可以恰屬適當，而能徐徐降落於停機場中，即在大霧迷漫，不辨咫尺時，亦可安然降落，是即所謂盲目飛行者也。

(1-6) 無線電報發展簡史

1842年美人亨利(Henry)氏，發現儲電器之放電為振盪性。1852年英科學家凱爾文(Kelvin)氏，用數理證明振盪電流之存在。1864年英數學家馬克司惠爾(Maxwell)氏倡言光之電磁理論，以數學證明振盪性之放電，能產生放射性之電磁波，其性質與光相似。1887年德教授赫志(Hertz)氏，作實地試驗，證實電磁波之存在，利用儲電器之放電，通過火花隙以生電磁波，復用金屬圈之小間隙，以測定電磁波之波長及波速等。又證明電波遇不通地之金屬導體則反射，遇絕緣體則能穿透。波長愈短，性質愈與光波相似。1894年意人馬可尼(Marconi)氏，實驗短距離無線電通信，至1896年馬氏首用天地線，藉火花放電以發射電波。復用同樣天地線及凝屑器與摩爾斯墨水記錄器，以接收所發之無線電波。1899年馬氏在英吉利海峽，完成32海里之遠程無線電通訊。是為無線電通信致諸實用之起端。至1901年自英國橫越大西洋至紐芬蘭之遠距離無線電通信，實驗成功。而橫斷大西洋之無線電通訊，遂於是年終開始實用。

最初無線電通信之利器，為普通火花式及回轉火花式。至1906年魏恩(Wien)氏發明瞬滅火花隙，其效較諸舊式者為高，小電力之陸地電台及船舶電台大率應用之。1900年達特兒(Daddel)氏由電弧得振盪電流，隨發明電弧交流發電機。越二年丹麥人普爾遜(Poulsen)加以改良，將電弧浸於氫氣中，可得電力甚大之高週等幅振盪電流。於是電弧發振機

，一時盛行於大電力長波無線電通信之電台。惟至 1903 年，有費信騰 (Fessender) 者，發明五萬週高週率發電機，亞歷山大生 (Alexanderson) 繼之研究，於 1909 年製成亞氏高週發電機。其後尚有多種高週率發電機之發明，例如哥爾修式，拉特爾式，泰立分江式及周特式等，咸能流行一時。

無線電信接收用檢波器，亦經多次改進。最初使用者，為凝屑器。後有馬可尼之磁性感檢波器，費生登之電液檢波器。至 1906 年第沃得氏發現矽炭晶體有檢波作用，所謂礦石檢波器是也。惟在 1904 年英教授弗蘭明氏已發明二極真空管，可以用為檢波器，工作較礦石為穩定。李特福勒氏更於 1906 年發明三極真空管，對於檢波之工作，尤見靈敏。至 1918 年赫爾氏發明四極真空管，嗣後各研究者羣起直追，對於真空管多所改革，於是五極六極以至多極合組等真空管，紛然出現，同時各式特種真空管如冷陰極無柵極陰極電視管等等，亦相繼問世。真空管之功效由是大著，無線電之為用，乃得無限擴展。

真空管之發明，實為無線電科學界之一大革命。其次則為短波無線電之應用。短波通訊之最初試驗者，為赫志氏，當時因使用減幅波，故效力較低，射程極近。後馬可尼氏於 1922 年成功定向發射，再二年英國與其殖民地間之通信，開始運用短波。時至今日，則更有所謂超短波之試用，其波長僅數公尺以至數公分。因電波愈短，性質愈近光波，天電干擾等問題，更可減免。目前各國無線電研究者，正羣向此新領域猛進中。

(1-7) 短波無線電發展簡史

短波無線電之發展，始自 1886 年。時有德人赫茲 (Heinrich Hertz) 氏者，於柏林用火花發射僅長 1 至 3 公尺之減幅波，而用火花測微器檢收之，當時因真空管尚未發明，所用檢收器，過於滯鈍，故通訊距離不能越出實驗工場之外。惟此次實驗，對於短波之易於反射，及短波可利用拋物線形反射器集中發射等特性，皆藉以證實。

嗣後在無線電接收方面，雖已知利用熱電偶法 (Thermocouple)，然短波通訊，除在實驗室中試驗外，仍少進展。考其原因，實因當時馬可尼與勞其二氏，根據高豎天線之作用，察知發射物體之構造，應加廣大，結果發射波長亦隨之加長。此外又因增高電力之需要，乃使機件與電路之體積，不得不隨之增大。凡此種種，足使當時無線電通訊之實驗，有增長波長之趨勢。故在無線電發展史之初期，僅見波長加長與電力增高之競爭，蓋在發射真空管發明以前，如欲在較短波長上發射較大電力，事實

上殊屬不易。是以在 1920 年，長波電台之電力，有高至數十萬瓦特，波長則長至 25,000 公尺。

雖然，在此時期內，馬可尼氏曾作多次之短波通訊實驗，例如在 1899 年，利用定向發射，使僅長 1 公尺之電波，在相距 $1\frac{1}{2}$ 英里之遠程，可以明晰收到。又在 1916 年，馬可尼與佛蘭克林二氏證實 2 至 5 公尺之短波，可用作相距 100 英里之通訊，同時證實反射器及集中發射器，對於短波發射，有甚大之裨益。至 1923 年，馬佛二氏用 100 公尺之短波，在天線上播送 12,000 瓦特之電力，日間射程達 1250 英哩。其時各國無線電學者，在短波通訊上發明及發現甚多，不能一一盡述。總之在短波無線電發展史上，無線電業餘家之功勳，殆不可磨滅。蓋一般認為非有特殊設備所不可能之事，竟為業餘家用極簡單之機件，使之完成，其努力與熱誠，實堪欽佩。是以自 1923 年以後，短波電台在實際應用上，即見激增，雖波長短至數公尺之發射，亦有電台實用之。迨至 1931 年，自 18 公分 (1,670,000 千週波) 波長作橫越英吉利海峽通話完成以後，無線電通訊更進展至超短波之波域矣。

(1-8) 無線電話發展簡史

在三極真空管未發明之前，無線電話無顯著之成效。初期無線電話，曾用電弧發振機及瞬滅火花機以及高週發電機等以產生等幅電波，但雜音百出，週率不定，故難期普遍實用。迨真空管發明，此等電機遂告廢棄。

自三極管發明後，可藉以產生高週電流，所謂振盪器是也。吾人將言語及音樂所造成之低週電流，調幅於高週電流上，乃由天線發射為無線電波，無線電話傳遞之方法，為之一新。1915 年真空管無線電話首次告成，試驗時由美國之亞林敦發送，能橫斷大西洋而達巴黎。又能越新大陸渡太平洋，而達夏威夷。

惟無線電話所需電力，遠過於無線電報，同一距離，其相差約數十倍，而被擾之機會更多，衰落程度亦大。以之代替有線電話，須用特殊設備於收發兩方，俾言語傳出非盡人可知，以保祕密。

無線電話之應用，可分為二：一為公眾無線電話，一為廣播無線電。前者因歐美之陸地長途有線電話，頗形發達，未見大加利用。不過在軍事警務上及越洋通訊上，其功效乃得特別發揮。其中著名之試驗，有

1926年英美間之直接無線電通話，旋即爲倫敦與紐約間正式開辦，效果甚佳。初時用長波，現則加用短波。1930年至1931年，英國國際電話試驗所，聯合法國電話材料試驗所，公開試驗短波發射無線電話，試驗結果甚佳。嗣後各國無線電話發展甚速，多利用無線電話以與國際通訊，組成國際電話網。今則航海之巨輪，航空之飛機，及汽車汽艇等，多裝有無線電話機。我國於民國二十三年間亦開始利用無線電話於國內外。

近年來，無線電話更利用超短波爲之傳遞。其優點在無衰落變音等弊端。且因波長極短，通信之祕密易於保持。對於軍事警務或其他交通上，有無限貢獻。超短波無線電話，曾於1931年在英之度佛 (Dover) 及法之加拉 (Calais) 兩地試驗，係採用雙工(即對講)通話方式，所用電波爲18公分(18Cm)，試驗結果，知超短波之無線電話，不易衰落，更不易爲雨或霧所吸收。更有一優點，即在每機內之波長，即各有不同，而發話仍可有效。現於實用上已頗完美。

至於廣播無線電，則世界第一次建立之廣播無線電台，爲美國西屋 (Westing House) 電氣公司所設，呼號爲KDKA。此台誕生之日，即1920年美國哈定總統選舉揭曉之日。稍後奇異公司之WGY等相繼成立。自此以後，無線電話之用廣播者，逐漸發達。至1929年，美國長短波廣播電台已有六百餘座，其間電力較大者，多在五百瓦特以上，收音機則幾爲家用必備之器。德國東北方海斯保 (Heilsberg) 及西南方麥拉克 (Mihlacker) 兩處電台，其電力爲一百五十瓦特；波蘭小國，總面積不及我國浙省四分之一，而華沙 (Warsaw) 電台之電力，竟大至一百二十瓦特。蘇聯爲宣傳主義起見，亦急起直追，先後建立廣播大電台多處，電力爲五百瓦特。我國廣播電台亦風起雲行，設置於各大城市內，其電力最大者爲首都之中央廣播電台，電力爲75瓦特，呼號爲XGOA，XGOY及XGOX。近則遷至重慶矣。

自廣播事業逐漸發達，空中秩序，紊擾殊虞，欲收甲台，則有乙台攙入，聽者苦之，播音者亦感不便。1927年，於華盛頓開國際無線電訊會議，與會者七十四國，會議結果，規定各國之固定移動及業餘電台之呼號，此等呼號，係用英文字母分配，並訂有條例，互相遵守。嗣後各國無線電台。除須用表內指定之呼號外，並須將各電台之波長，週率及呼號，向盤恩萬國無線電協會登記；同時該協會應保證一個呼號不應用於二個電台，且其呼號不能與他種簡號相混。我國電台之呼號規定採用XGA至XUZ，民國二十年交通部議定廣播電台之規程頒發施行。

(1-9) 我國之廣播事業

我國科學落伍，日趨貧弱，國際地位，遠遜列強，考其根源，實由於大多數人民，仍不知不識，墨守陋俗，毫無科學觀念。挽救之方，取效宏而設施較易者，惟有賴於新科學利器之無線電廣播。夫無線電廣播，能引起大眾之注意，震發全國之聾聵，使通都大邑，以及窮鄉僻壤之民衆，隨時隨地，均可受同樣教育。所謂集於一堂，治於一爐，以齊其志，以堅其信，固不必專賴學校及書館爲限也。惟是吾國無線電廣播事業，猶在發軔之期。近年來雖因研究者之興趣與當局者之注意，有蒸蒸日上之勢，然與東瀛及歐美各國相較，則仍瞠乎其後。考我國之有無線電廣播，始於民國十一年（西歷1922年），其初有美人亞司蓬，於上海創辦中國無線電公司（中國資本），創設播音台一座，電力五十瓦特，但質並不甚佳，閱三月，即告停止。繼而有美商新孚洋行名台維史者，於上海南京路五十二號，建造同上電力之廣播電台，同時經售無線電材料及收音機，惜以營業不振，半載後亦告停頓。至民國十三年夏，開洛公司成立，專售有線電話及無線電收發機，先造100瓦特播音機，後改爲250瓦特，電力既增，收效亦宏，國人對於無線電之興趣，由是開其端。惟電台爲西人所主持，其節目爲商情歌劇，教堂禮節及該公司之商品廣告等，對於吾國國情，殊少裨益。迨至民國十六年春，北平舊交通部始自行籌辦廣播電台，至五月天津廣播電台首告成立，電力爲五百瓦特。同年九月北平電台亦以一百瓦特之電力開始播音。在上海則有華商新新公司，亞美公司建立五十瓦特之播音台，於是吾國天空，始有關本國民情之電波，瀰漫其間。民國十七年一月，東北無線電台監督處，成立遼東二千瓦特之廣播電台，與哈爾濱一千瓦特之電台。民國十七年八月一日，中央政府於首都成立五百瓦特之播音台，節目以中央政聞爲主，而佐以科學講述及名人演說。同年十月浙江省政府亦以一千瓦特之播音台宣告成立。至十八年五月廣州市一千瓦特之播音台亦告完成，嗣後商辦廣播電台，相繼設立，其電力自五十瓦特至一百瓦特不等，統計可不下五六十座。

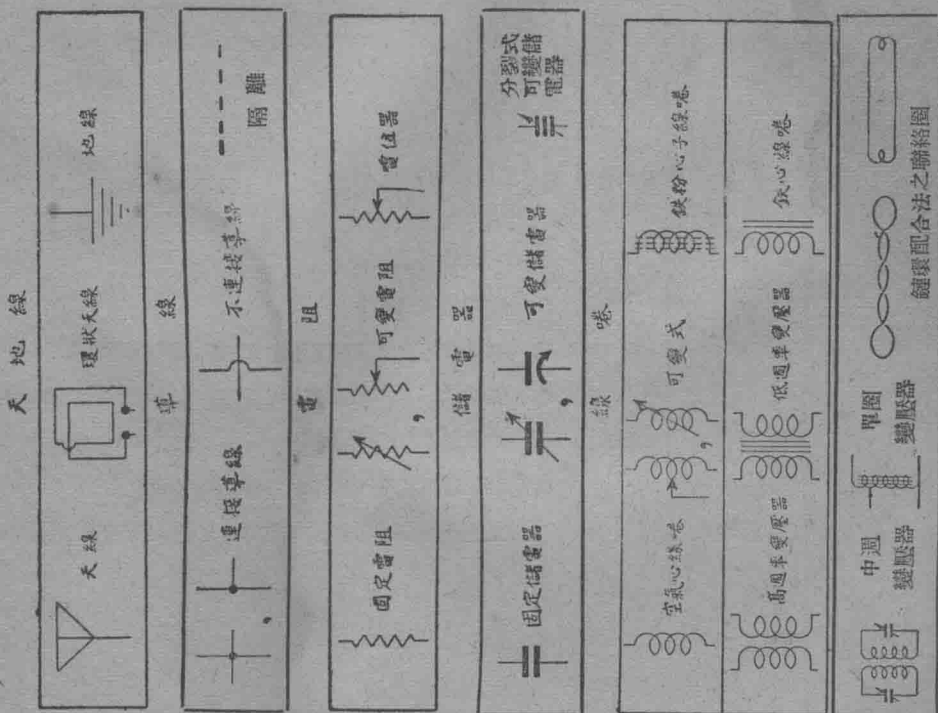
夫以吾國幅圓之廣，播音台電力所及，僅偏於一隅，欲收廣播之效，當不能以言可。中央以歷年播送之經驗成績，知欲使廣播全亞，非建有強有力之電台不可，遂着手籌備，旋由得律風根公司承辦，該公司願按五十瓦特機械價格，供給七十五瓦特廣播機，經營三載，至民國二十一年九月試驗成功，播音成績，遠勝過去。凡蒙古，新疆，印度，澳洲，及美國，加拿大西部等處，均能收聽，電力之宏偉，當時稱東亞第一。頌之者曰聲震寰宇，不亦宜乎。自戰事發生後，重建廣播電台三座；一爲

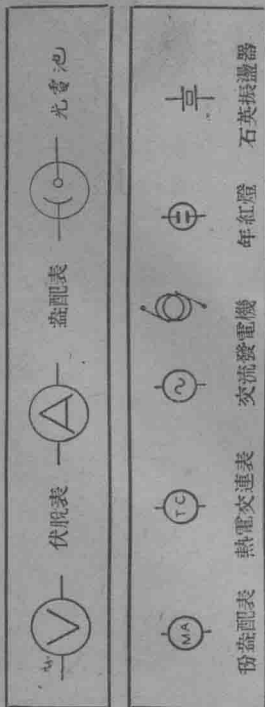
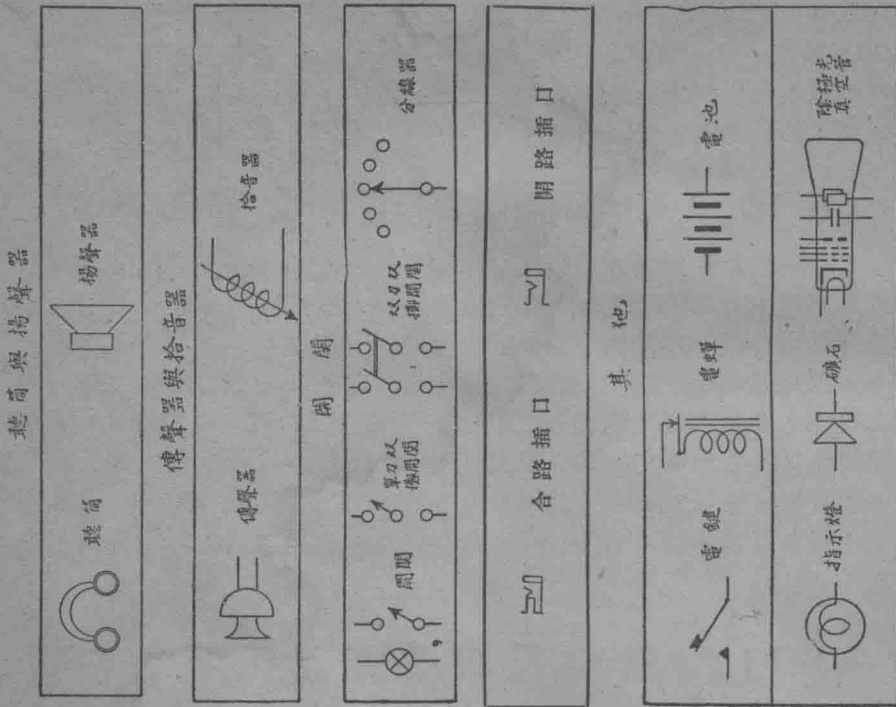
XGOA，電力10瓦特，週波為660千週，一為XGOX，電力30瓦特，波長19.2公尺，另一為XGOY，電力35KC，波長25公尺。深願自今而後，亦如歐美廣播網之完成，庶幅園廣闊之我國，減除隔閡，則國家與民衆之福利，非筆墨所能盡言者矣。

(1-10) 研究無線電應具之基本常識

無線電既為晚近科學上之偉大發明，又為吾人日常接觸之事物，則吾人不可不有以研究之。至其構造與組織，變化繁多，初不易窮窺堂奧。然苟加以分析，凡為無線電機構上所用一切物件，與乎電力之取給，蓋無一不根據電磁學之原理，加以組織而運用之。即以無線電波而言，其發射之特性，亦莫不因於電磁場之作用，始克加以利用而收其功效。況乎無線電於今日，方興未艾，其進展之速，固日新而月異。苟吾人對於電磁學識，未有相當根基，則隨時求解且將不及，遑論運用設計哉！是以研究無線電，當自電磁學始，茲首將電之基本觀念，次第敘述，以作初學者之進階焉。

(1-11) 無線電線路圖所用之符號





(各式真空管之符號圖見第十三章)

習題

- 1, 試述無線電之用途。
- 2, 何謂無線電報?
- 3, 無線電話與無線電廣播之區別何在?
- 4, 無線電傳真與電視之不同點何在?
- 5, 試簡述航空無線電之重要及其設施情形。
- 6, 學習無線電者, 何以必須研究電磁學?
- 7, 試將所能記憶之無線電應用之符號繪出, 並加註字。

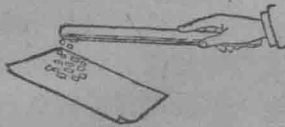
第二章

電之基本觀念

(一) 靜電現象

(2-1) 磨擦起電

實驗：



(第 2-1 圖)

取一玻璃棍，用絲絹擦之，持近燈
草球或紙屑（圖 2-1），則見諸碎
屑（通草或紙屑等）飛附於棍。

此種吸引力，希臘人於西歷前六百年時已觀察及之，所謂以絲巾擦琥珀能吸輕物如通草球者是也。惟當時祇識其端倪，而無以名之。迨西歷 1600 年，電磁二學之鼻祖吉爾伯氏 (Sir William Gilbert) 復發現此種吸引力，亦可得之其他各種物質之摩擦，如絲絹之與玻璃；火漆之與絨布；硬橡皮之與貓皮等。吉氏謂此種引性曰“電”，而謂此種摩擦動作曰“起電” (Electrification)。(按“電”之一字，相當於英文“Electricity”之意義，而此英字則由希臘字“Electron”所轉化，意即琥珀“Amber”也)。

摩擦起
電之由
來。

(2-2) 靜電之性質

電象之發現，雖始於希臘。然電象之表現於自然界中，為吾人類所熟視者，實不知始於幾千萬年，天空之閃電即為其一例。惟昔人對於摩擦所生之電與天空之閃電，視為二物。殆十八世之初，大科學家弗蘭克林氏將天際閃電，導儲於來登瓶內而考其體用，證實其與摩擦所生者無異，自此人類始知二者性質實二而一也。

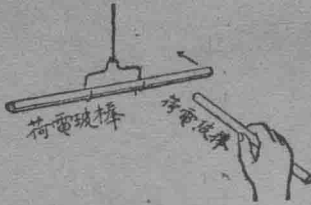
電象之
由來甚
古。

天電與
摩擦電
為一物
。

物體所起之電，因其常在靜止狀態中，故稱靜電。由靜電造成之現象，曰靜電現象。吾人在天氣乾燥日以橡質梳篦梳髮時，每於髮際發生輕微之爆裂聲，在暗室中尚能見微小火光，是亦靜電現象之一。又吾人對於荷電之物體，不論其由於摩擦起電，或由於其他方法，統稱荷電體。

何謂靜
電。

實 驗：



(第 2-2 圖)

用絲絹擦玻璃棍使荷電，以絲線懸之如圖 2-2。再用貓皮擦硬橡皮棍，亦使荷電而持近懸棍，則見兩棍相吸。如以另一由絲絹磨擦而荷電之玻璃棍持近懸棍，則見兩棍相拒。

荷電體有正負之分。

由上實驗，可知電性有二，因其一拒一吸，適相反對，於是名其一為正電（或曰陽電，以“+”為符號）；一為負電（或曰陰電，以“-”為符號）。昔人以玻璃與火漆二物為此二種電荷之代表，以絲絹擦玻璃所生之電為正電；以獸皮擦火漆所生之電為負電。惟此種正負定性，係任意命名並無絕對之理由。且物體因摩擦所得之電，其性之為正為負，須視所用之物質而定。例如以絲絹擦玻璃得正電，而以獸皮擦玻璃則得負電。各物質相互摩擦所得電性，可由下表決定之：

第 一 表

摩 擦 起 電 定 性 表

1. 獸皮	6. 綿布	11. 金屬
2. 法蘭絨	7. 絲絹	12. 火漆(封臘)
3. 象牙	8. 革皮	13. 松脂
4. 晶石	9. 人體	14. 硫磺
5. 玻璃	10. 木	15. 馬來樹膠

上表所列各物質，係依次排定，凡表中任何一物，如以任何後列之物摩擦之，即得正電。如以任何前置之物摩擦之，即得負電。故兩異類物體相摩擦，一得正電，一得負電。

再細察上述實驗之拒吸情形，實一定而不變，即兩同性荷電體持近時，必相拒；而兩不同性荷電體持近時，必相吸。因之可得拒吸之定律如下：—

同性電荷相拒；異性電荷相吸。

(2-3) 靜 電 之 測 度

兩荷電體間之作用力，首由庫倫 (Coulomb) 氏於 1785 年實驗得

二異類物體摩擦之，一得正電，一得負電。

拒吸定律。

靜電之庫倫定律。

之，稱曰靜電單位之庫倫定律 (Coulomb's Law of electrostatic unit of electricity)。其言曰二荷電體間之作用力，與二者電量之乘積成正比；而與二者距離之平方成反比。以公式表之，則為：

$$f = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \dots\dots\dots (2-1)$$

上式中之 f 表二荷電體間之作用力，
 r 表二荷電體間之距離，
 Q_1 與 Q_2 表二荷電體之電量，
 K 為一常數視二體間媒質之種類而定。(空氣之常數為 1)

假定在空氣中有二相等體積而荷電之圓球，球心相距 1 公分，各荷同性及同量之電，如兩者間之作用力為 1 達因 (Dyne) 時，則各球上所荷電量，為 1 靜電單位 (Electrostatic Unit) 之電量。此即電量之靜電單位。惟此種單位在實用上尚嫌過小，故又取其 3×10^9 倍，為電量之實用單位，名曰庫倫。

單位電體之規定。



(第 2-3 圖)

例題(1)： 茲有二小球置於空氣內，球心相距 4 公分，各荷同性電量，其斥力為 3 達因。設使此二球間之斥力為 4 達因，問其距離應為若干。

解： 以： $r_1 = 4$ 公分， $f_1 = 3$ 達因，二球之電量為 Q_1 及 Q_2 ， $f_2 = 4$ 達因， $r_2 = ?$ ($K=1$)

因： $f_1 = 1 \times \frac{Q_1 Q_2}{r_1^2}$ ， 或： $f_1 r_1^2 = Q_1 Q_2$

同樣： $f_2 = 1 \times \frac{Q_1 Q_2}{r_2^2}$ ， 或： $f_2 r_2^2 = Q_1 Q_2$

可知： $f_1 r_1^2 = f_2 r_2^2$ $3 \times 4^2 = 4 \times r_2^2$
 $r_2 = \sqrt{\frac{3 \times 4^2}{4}} = 3.46$ 公分。

例題(2)： 設上題之 Q_1 之電量為 Q_2 之二倍，問此二電量各為若干靜電單位(即 C. G. S. 制之單位)。

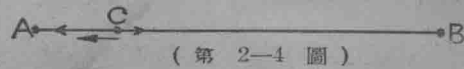
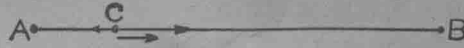
解： $f_1 \times r_1^2 = Q_1 Q_2$ ，但： $Q_1 = 2 Q_2$
 於是： $f_1 \times r_1^2 = 2 Q_2 \times Q_2 = 2 Q_2^2$
 $3 \times 4^2 = 2 Q_2^2$ ；即 $Q_2^2 = 48$ ，

$$Q_2 = \sqrt{24} = 2\sqrt{6} = 4.90 \text{ 靜電單位。}$$

$$Q_1 = 2Q_2 = 9.80 \text{ 靜電單位。}$$

例題(3): 茲有 AB 二小點正電荷，其電量一為 50 靜電單位，一為 200 靜電單位，相距 50 公分。若以另一小點電荷(其量為 5 個靜電單位)置於 AB 直線距離之間，距 A 點計 10 公分。問 AB 二電荷作用於 C 電荷之力為若干，其結果如何(參閱第 2—4 圖)。

解:



(第 2—4 圖)

假定電荷 C 為正性，則被 A 拒斥之力為：—

$$\frac{50 \times 5}{10^2} = 2\frac{1}{2} \text{ 達因。}$$

被 B 拒斥之力為：

$$\frac{200 \times 5}{40^2} = \frac{5}{8} \text{ 達因。}$$

二拒斥力之總斥力為：

$$2\frac{1}{2} - \frac{5}{8} = 1\frac{7}{8} \text{ 達因，}$$

此總斥力之方向係由 C 向 B。如第 2—4 圖 (A) 所示。

若電荷 C 為負性，則被 A 吸引之力為 $2\frac{1}{2}$ 達因，被 B 吸引之力為 $\frac{5}{8}$ 達因；此二吸引力之總吸力亦為 $1\frac{7}{8}$ 達因，但其方向係由 C 向 A，如第 2—4 圖 (B) 所示。

例題(4): 設二金屬球，形體相等，一荷 +45 靜電單位，一荷 -25 靜電單位。當二球球心相距 12 公分時，其間作用力為若干。又若使二球接觸後重行分置原地位，問此時二球間之作用力為若干。

解:

$$f = \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{45 \times (-25)}{12^2} = -7.8 \text{ 達因。}$$

上述答數之負號係表示二球間之作用力為吸引。二球之形體既相等，則二球接觸時，電荷必平均分佈於二球上(參閱靜電之傳導節)，即每球上所荷之電量為：

$$\frac{45 - 25}{2} = 10 \text{ 靜電單位。}$$