

六講補充：天線基本知識

6.1 天線

6.1.1 天線的作用與地位

無線電發射機輸出的射頻信號功率，通過饋線（電纜）輸送到天線，由天線以電磁波形式輻射出去。電磁波到達接收地點後，由天線接下來（僅僅接收很小很小一部分功率），並通過饋線送到無線電接收機。可見，天線是發射和接收電磁波的一個重要的無線電設備，沒有天線也就沒有無線電通信。天線品種繁多，以供不同頻率、不同用途、不同場合、不同要求等不同情況下使用。對於眾多品種的天線，進行適當的分類是必要的：按用途分類，可分為通信天線、電視天線、雷達天線等；按工作頻段分類，可分為短波天線、超短波天線、微波天線等；按方向性分類，可分為全向天線、定向天線等；按外形分類，可分為線狀天線、面狀天線等；等等分類。

6.1.2 對稱振子

對稱振子是一種經典的、迄今為止使用最廣泛的天線，單個半波對稱振子可簡單地單獨使用或作為拋物面天線的饋源，也可採用多個半波對稱振子組成天線陣。兩臂長度相等的振子叫做對稱振子。每臂長度為四分之一波長、全長為二分之一波長的振子，稱半波對稱振子，見圖1.2 a。另外，還有一種異型半波對稱振子，可看成是將全波對稱振子折合成一個窄長的矩形框，並把全波對稱振子的兩個端點相疊，這個窄長的矩形框稱為折合振子，注意，折合振子的長度也是為二分之一波長，故稱為半波折合振子，見圖1.2 b。

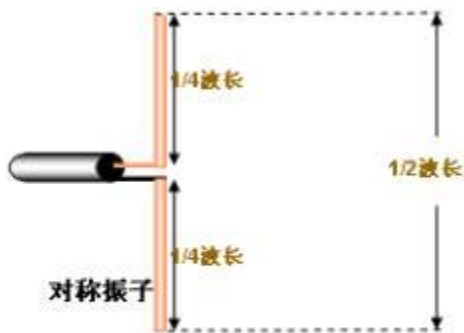


图1.2 a

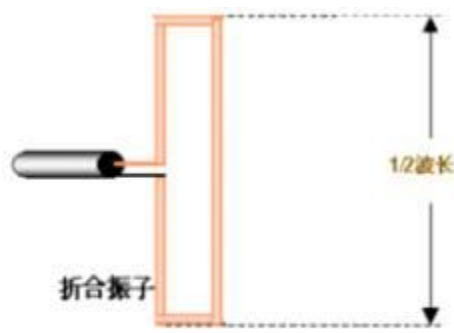


图1.2 b

6.1.3 天線方向性的討論

1 天線方向性

發射天線的基本功能之一是把從饋線取得的能量向周圍空間輻射出去，基本功能之二是把大部分能量朝所需的方向輻射。垂直放置的半波對稱振子具有平放的“麵包圈”形的立體方向圖（圖1.3.1 a）。立體方向圖雖然立體感強，但繪製困難，圖1.3.1 b與圖1.3.1 c給出了它的兩個主平面方向圖，平面方向圖描述天線在某指定平面上的方向性。從圖1.3.1 b可以看出，在振子的軸線方向上輻射為零，最大輻射方向在水平面上；而從圖1.3.1 c可以看出，在水平面上各個方向上的輻射一樣大。

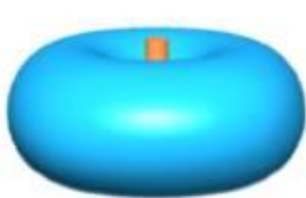


图1.3.1 a 立体方向图

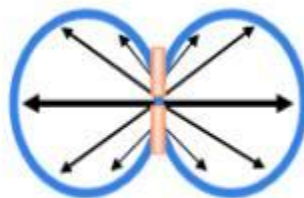


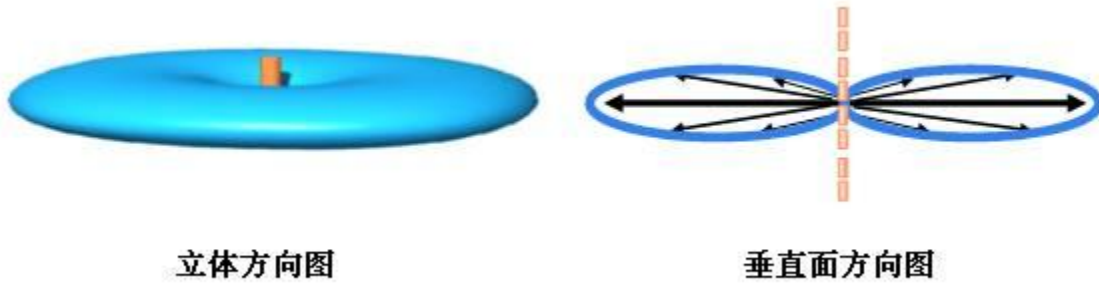
图1.3.1 b 垂直面方向图



图1.3.1 c 水平面方向图

2 天線方向性增強

若干個對稱振子組陣，能夠控制輻射，產生“扁平的麵包圈”，把信號進一步集中到在水平面方向上。下圖是4個半波對稱振子沿垂線上下排列成一個垂直四元陣時的立體方向圖和垂直面方向圖。



也可以利用反射板可把輻射能控制到單側方向。平面反射板放在陣列的一邊構成扇形區覆蓋天線。下面的水平面方向圖說明了反射面的作用--反射面把功率反射到單側方向，提高了增益。天線的基本知識全向陣（垂直陣列不帶平面反射板）。拋物反射面的使用，更能使天線的輻射，像光學中的探照燈那樣，把能量集中到一個小立體角內，從而獲得很高的增益。不言而喻，拋物面天線的構成包括兩個基本要素：拋物反射面和放置在拋物面焦點上的輻射源。

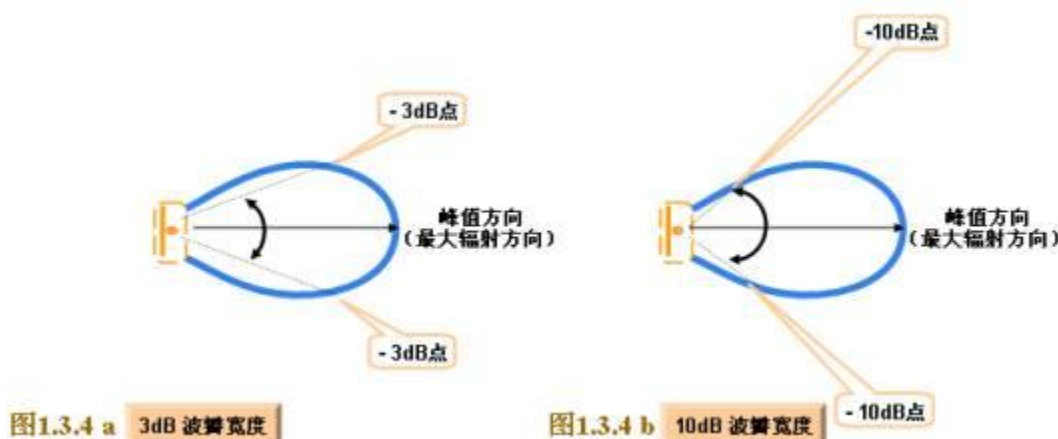


3增益

增益是指：在輸入功率相等的條件下，實際天線與理想的輻射單元在空間同一點處所產生的信號的功率密度之比。它定量地描述一個天線把輸入功率集中輻射的程度。增益顯然與天線方向圖有密切的關係，方向圖主瓣越窄，副瓣越小，增益越高。可以這樣來理解增益的物理含義-----為在一定的距離上的某點處產生一定大小的信號。如果用理想的無方向性點源作為發射天線，需要100W的輸入功率，而用增益為 $G = 13 \text{ dB} = 20$ 的某定向天線作為發射天線時，輸入功率只需 $100 / 20 = 5 \text{ W}$ 。換言之，某天線的增益，就其最大輻射方向上的輻射效果來說，與無方向性的理想點源相比，把輸入功率放大的倍數。半波對稱振子的增益為 $G = 2.15 \text{ dBi}$ ；4個半波對稱振子沿垂線上下排列，構成一個垂直四元陣，其增益約為 $G = 8.15 \text{ dBi}$ （ dBi 這個單位表示比較對象是各向均勻輻射的理想點源）。如果以半波對稱振子作比較對象，則增益的單位是 dBd 。半波對稱振子的增益為 $G = 0 \text{ dBd}$ （因為是自己跟自己比，比值為1，取對數得零值。）；垂直四元陣，其增益約為 $G = 8.15 - 2.15 = 6 \text{ dB}$ 。

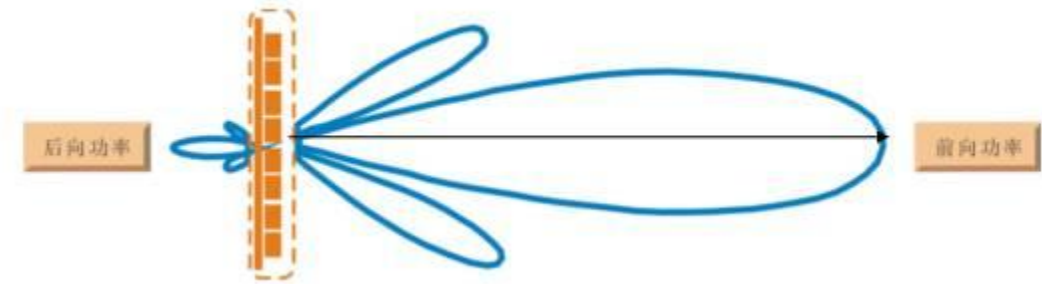
4 波瓣寬度

方向圖通常都有兩個或多個瓣，其中輻射強度最大的瓣稱為主瓣，其餘的瓣稱為副瓣或旁瓣。參見圖1.3.4 a，在主瓣最大輻射方向兩側，輻射強度降低3 dB（功率密度降低一半）的兩點間的夾角定義為波瓣寬度（又稱波束寬度或主瓣寬度或半功率角）。波瓣寬度越窄，方向性越好，作用距離越遠，抗干擾能力越強。還有一種波瓣寬度，即10dB波瓣寬度，顧名思義它是方向圖中輻射強度降低10dB（功率密度降至十分之一的兩個點間的夾角，見圖1.3.4 b）。



5 前後比

方向圖中，前後瓣最大值之比稱為前後比，記為 F/B 。前後比越大，天線的後向輻射（或接收）越小。前後比 F/B 的計算十分簡單--- $F/B = 10 \lg \{ (\text{前向功率密度}) / (\text{後向功率密度}) \}$ 對天線的前後比 F/B 有要求時，其典型值為（18 --- 30）dB，特殊情況下則要求達（35 --- 40）dB。



6 天線增益的若干近似計算式

1) 天線主瓣寬度越窄，增益越高。對於一般天線，可用下式估算其增益：

$$G(\text{dBi}) = 10 \lg \{ 32000 / (2\theta_{\text{dB,E}} \times 2\theta_{\text{dB,H}}) \}$$

式中， $2\theta_{\text{dB,E}}$ 與 $2\theta_{\text{dB,H}}$ 分別為天線在兩個主平面上的波瓣寬度；32000 是統計出來的經驗數據。

2) 對於拋物面天線，可用下式近似計算其增益：

$$G(\text{dBi}) = 10 \lg \{ 4.5 \times (D / \lambda_0)^2 \}$$

式中， D 為拋物面直徑； λ_0 為中心工作波長；4.5 是統計出來的經驗數據。

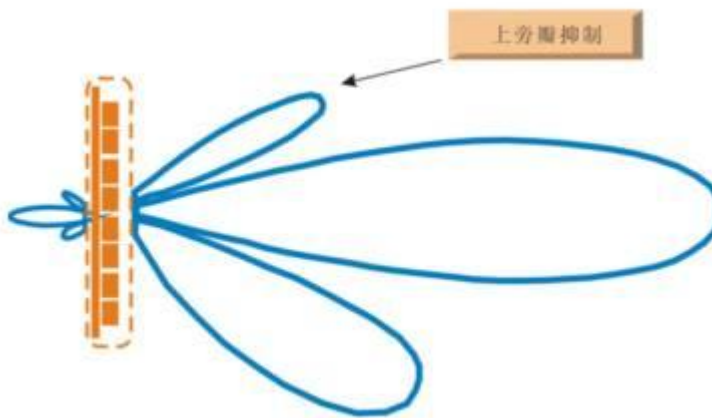
3) 對於直立全向天線，有近似計算式

$$G(\text{dBi}) = 10 \lg \{ 2L / \lambda_0 \}$$

式中， L 為天線長度； λ_0 為中心工作波長；

7 上旁瓣抑制

對於基站天線，人們常常要求它的垂直面（即俯仰面）方向圖中，主瓣上方第一旁瓣盡可能弱一些。這就是所謂的上旁瓣抑制。基站的服務對象是地面上的移動電話用戶，指向天空的輻射是毫無意義的。

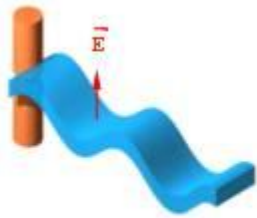


8 天線的下傾

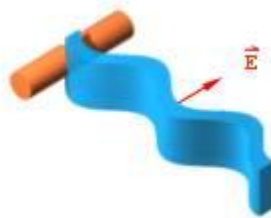
為使主波瓣指向地面，安置時需要將天線適度下傾。

6.1.4 天線的極化

天線向周圍空間輻射電磁波。電磁波由電場和磁場構成。人們規定：電場的方向就是天線極化方向。一般使用的天線為單極化的。下圖示出了兩種基本的單極化的情況：垂直極化---是最常用的；水平極化---也是要being用到的。



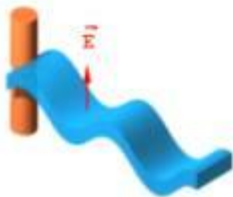
垂直極化



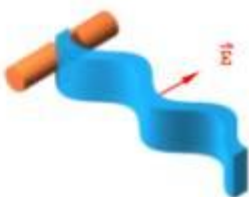
水平極化

1雙極化天線

下圖示出了另兩種單極化的情況： $+45^\circ$ 極化與 -45° 極化，它們僅僅在特殊場合下使用。這樣，共有四種單極化了，見下圖。把垂直極化和水平極化兩種極化的天線組合在一起，或者，把 $+45^\circ$ 極化和 -45° 極化兩種極化的天線組合在一起，就構成了一種新的天線---雙極化天線。



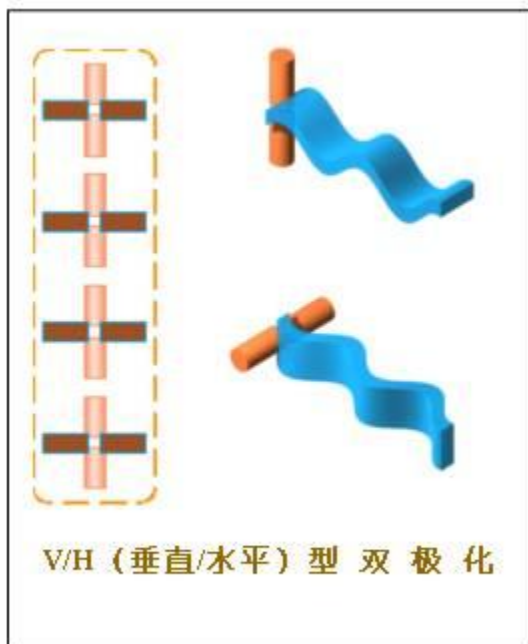
垂直極化



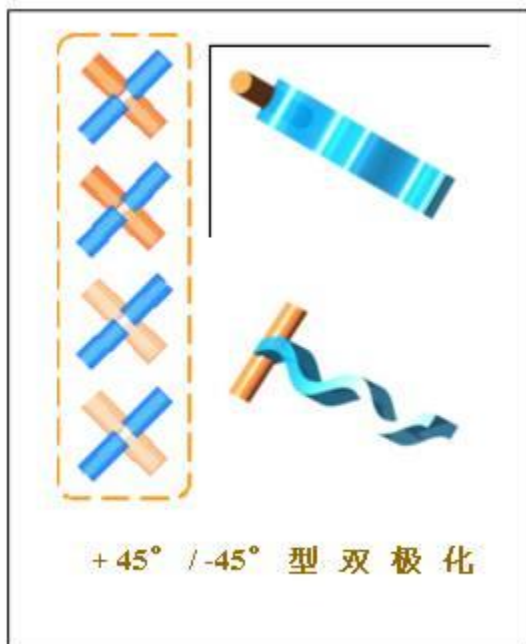
水平極化

 $+45^\circ$ 極化 -45° 極化

下圖示出了兩個單極化天線安裝在一起組成一付雙極化天線，注意，雙極化天線有兩個接頭，雙極化天線輻射（或接收）兩個極化在空間相互正交（垂直）的波。



V/H (垂直/水平) 型 雙 極 化

 $+45^\circ / -45^\circ$ 型 雙 極 化

2極化損失

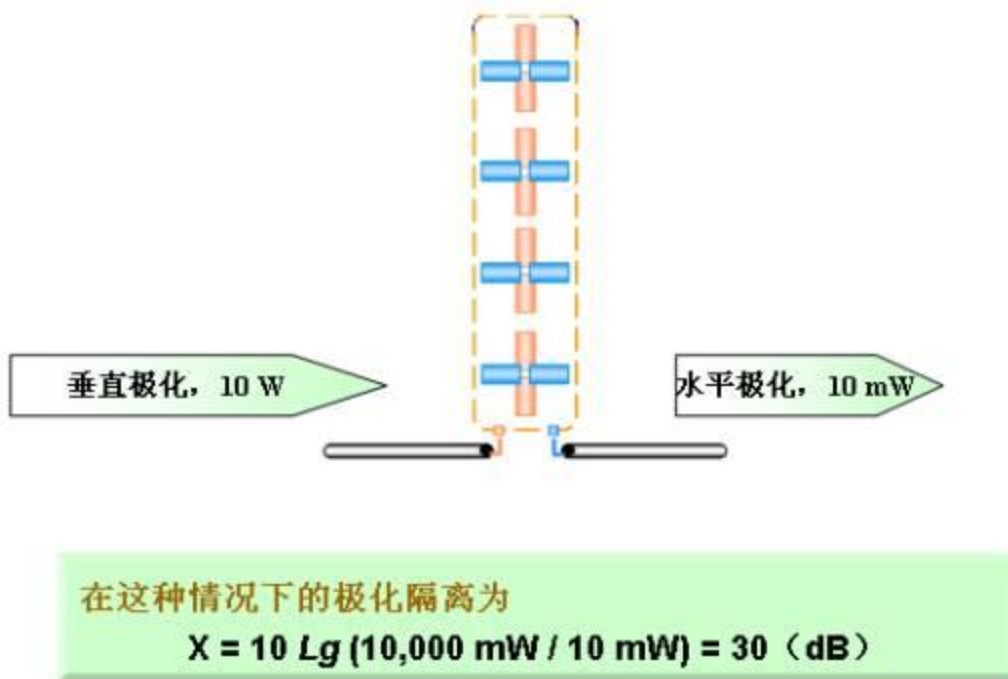
垂直極化波要用具有垂直極化特性的天線來接收，水平極化波要用具有水平極化特性的天線來接收。右旋圓極化波要用具有右旋圓極化特性的天線來接收，而左旋圓極化波要用具有左旋圓極化特性的天線來接收。當來波的極化方向與接收天線的極化方向不一致時，接收到的信號都會變小，也就是說，發生極化損失。例如：當用 $+45^\circ$ 極化天線接收垂直極化或水平

極化波時，或者，當用垂直極化天線接收+45°極化或-45°極化波時，等等情況下，都要產生極化損失。用圓極化天線接收任一線極化波，或者，用線極化天線接收任一圓極化波，等等情況下，也必然發生極化損失-----只能接收到來波的一半能量。當接收天線的極化方向與來波的極化方向完全正交時，例如用水平極化的接收天線接收垂直極化的來波，或用右旋圓極化的接收天線接收左旋圓極化的來波時，天線就完全接收不到來波的能量，這種情況下極化損失為最大，稱極化完全隔離。

3極化隔離

理想的極化完全隔離是沒有的。饋送到一種極化的天線中去的信號多少總會有那麼一點點在另外一種極化的天線中出現。例如下圖所示的雙極化天線中，設輸入垂直極化天線的功率為10W，結果在水平極化天線的輸出端測得的輸出功率為10mW。

6.1.5 天線的輸入阻抗 Z_{in}



定義：天線輸入端信號電壓與信號電流之比，稱為天線的輸入阻抗。輸入阻抗具有電阻分量 R_{in} 和電抗分量 X_{in} ，即 $Z_{in} = R_{in} + j X_{in}$ 。電抗分量的存在會減少天線從饋線對信號功率的提取，因此，必須使電抗分量盡可能為零，也就是應盡可能使天線的輸入阻抗為純電阻。

事實上，即使是設計、調試得很好的天線，其輸入阻抗中總還含有一個小的電抗分量值。

輸入阻抗與天線的結構、尺寸以及工作波長有關，半波對稱振子是最重要的基本天線，其輸入阻抗為 $Z_{in} = 73.1 + j 42.5$ (歐)。

當把其長度縮短（3～5）%時，就可以消除其中的電抗分量，使天線的輸入阻抗為純電阻，此時的輸入阻抗為 $Z_{in} = 73.1$ (歐)，（標稱75歐）。

注意，嚴格的說，純電阻性的天線輸入阻抗只是對點頻而言的。

順便指出，半波折合振子的輸入阻抗為半波對稱振子的四倍，即 $Z_{in} = 280$ (歐)，（標稱300歐）。

有趣的是，對於任一天線，人們總可通過天線阻抗調試，在要求的工作頻率範圍內，使輸入阻抗的虛部很小且實部相當接近50歐，從而使得天線的輸入阻抗為 $Z_{in} = R_{in} = 50$ 歐-----這是天線能與饋線處於良好的阻抗匹配所必須的。

6.1.6 天線的工作頻率範圍（頻帶寬度）

無論是發射天線還是接收天線，它們總是在一定的頻率範圍（頻帶寬度）內工作的，天線的頻帶寬度有兩種不同的定義-----

一種是指：在駐波比 $SWR \leq 1.5$ 條件下，天線的工作頻帶寬度；

一種是指：天線增益下降3分貝範圍內的頻帶寬度。

一般說來，在工作頻帶寬度內的各個頻率點上，天線性能是有差異的，但這種差異造成的性能下降是可以接受的。

6.1.7 移動通信常用的基站天線、直放站天線與室內天線

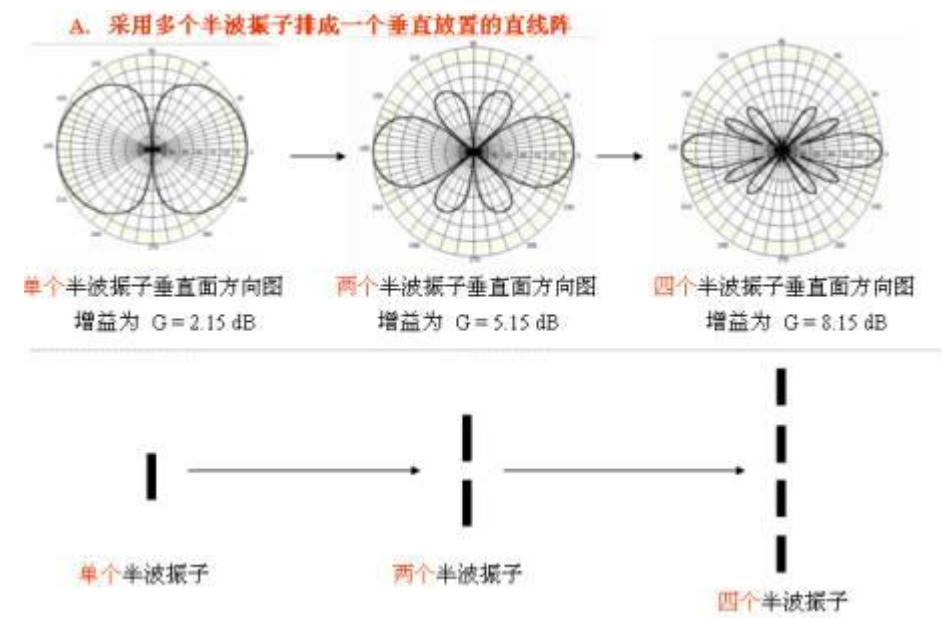
1 板狀天線天線的基本知識

無論是GSM還是CDMA，板狀天線是用得最為普遍的一類極為重要的基站天線。這種天線的優點是：增益高、扇形區方向圖好、後瓣小、垂直面方向圖俯角控制方便、密封性能可靠以及使用壽命長。板狀天線也常常被用作為直放站的用戶天線，根據作用扇形區的範圍大小，應選擇相應的天線型號。

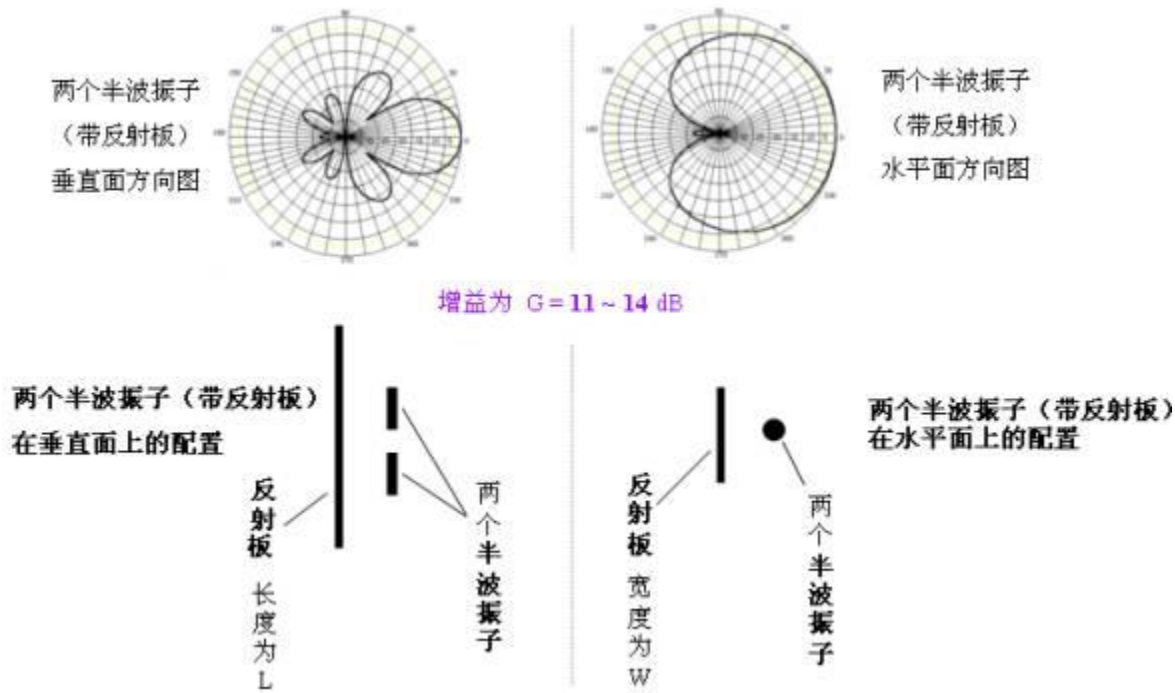
a 基站板狀天線基本技術指標示例

頻率范围	824-960 MHz	
頻帶宽度	70MHz	
增益	14 ~ 17 dBi	
极化	垂直	
标称阻抗	50 Ohm	
电压驻波比	≤ 1.4	
前后比	>25dB	
下倾角（可调）	3 ~ 8°	
半功率波束宽度	水平面 60 ° ~ 120 °	垂直面 16 ° ~ 8 °
垂直面上旁瓣抑制	< -12 dB	
互调	≤ 110 dBm	

b 板狀天線高增益的形成



B. 在直線陣的一側加一塊反射板（以帶反射板的二半波振子垂直陣為例）



C. 為提高板狀天線的增益，還可以進一步採用八個半波振子排陣

前面已指出，四個半波振子排成一個垂直放置的直線陣的增益約為8dB；一側加有一個反射板的四元式直線陣，即常規板狀天線，其增益約為14---17dB。

一側加有一個反射板的八元式直線陣，即加長型板狀天線，其增益約為16---19dB。不言而喻，加長型板狀天線的長度，為常規板狀天線的一倍，達2.4 m左右。



2高增益柵狀拋物面天線 從性能價格比出發，人們常常選用柵狀拋物面天線作為直放站施主天線。由於拋物面具有良好的聚焦作用，所以 拋物面天線集射能力強，直徑為1.5 m的柵狀拋物面天線，在900兆頻段，其增益即可達 $G = 20\text{dB}$ 。它特別適用於點 對點的通信，例如它常常被選用為直放站的施主天線。

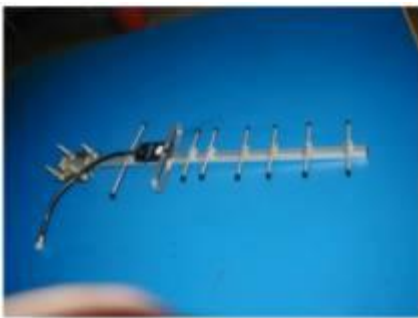
拋物面採用柵狀結構，一是為了減輕天線的重量，二是為了減少風的阻力。拋物面天線一般都能給出不低30dB的前後比，這也正是直放站系統防自激而對接收天線所提出的必須滿足的技術指標。



3 八木定向天線

八木定向天線，具有增益較高、結構輕巧、架設方便、價格便宜等優點。因此，它特別適用於點對點的通信，例如它是室內分佈系統的室外接收天線的首選天線類型。

八木定向天線的單元數越多，其增益越高，通常採用6—12單元的八木定向天線，其增益可達10~15dB。



4 室內吸頂天線

室內吸頂天線必須具有結構輕巧、外型美觀、安裝方便等優點。

現今市場上見到的室內吸頂天線，外形花色很多，但其內芯的構造幾乎都是一樣的。這種吸頂天線的內部結構，雖然尺寸很小，但由於是在天線寬帶理論的基礎上，借助計算機的輔助設計，以及使用網絡分析儀進行調試，所以能很好地滿足在非常寬的工作頻帶內的駐波比要求，按照國家標準，在很寬的頻帶內工作的天線其駐波比指標為 $VSWR \leq 2$ 。當然，能達到 $VSWR \leq 1.5$ 更好。順便指出，室內吸頂天線屬於低增益天線，一般為 $G = 2 \text{ dB}$ 。



5 室內壁掛天線

室內壁掛天線同樣必須具有結構輕巧、外型美觀、安裝方便等優點。

現今市場上見到的室內吸頂天線，外形花色很多，但其內芯的構造幾乎也都是一樣的。這種壁掛天線的內部結構屬於空氣介質型微帶天線。由於採用了展寬天線頻寬的輔助結構，借助計算機的輔助設計，以及使用網絡分析儀進行調試，所以能較好地滿足了工作寬頻帶的要求。順便指出，室內壁掛天線具有一定的增益，約為 $G = 7 \text{ dB}$ 。



6.2 電波傳播的幾個基本概念

目前GSM和CDMA移動通信使用的頻段為：

- GSM：890 --- 960 MHz，
- 1710 --- 1880 MHz
- CDMA: 806 --- 896 MHz
- 806 --- 960 MHz 頻率範圍屬超短波範圍；
- 1710 --- 1880 MHz 頻率範圍屬微波範圍。

電波的頻率不同，或者說波長不同，其傳播特點也不完全相同，甚至很不相同。

6.2.1 自由空間通信距離方程

設發射功率為PT，發射天線增益為GT，工作頻率為f，接收功率為PR，接收天線增益為GR，收、發天線間距離為R，那麼電波在無環境干擾時，傳播途中的電波損耗L0有以下表達式：

$$L_0 \text{ (dB)} = 10 \lg \left(\frac{P_T}{P_R} \right) = 32.45 + 20 \lg f \text{ (MHz)} + 20 \lg R \text{ (km)} - G_T \text{ (dB)} - G_R \text{ (dB)}$$

[舉例] 設：PT = 10 W = 40dBm；GR = GT = 7 (dBi)；f = 1910MHz

問：R = 500 m 時，PR = ?

解答：

(1) L0 (dB) 的計算

$$L_0 \text{ (dB)} = 32.45 + 20 \lg 1910 \text{ (MHz)} + 20 \lg 0.5 \text{ (km)} - G_R \text{ (dB)} - G_T \text{ (dB)} = 32.45 + 65.62 - 6 - 7 - 7 = 78.07 \text{ (dB)}$$

(2) PR的計算

$$P_R = P_T / (10^{78.07/10}) = 10 \text{ (W)} / (10^{7.807}) = 1 \text{ (}\mu\text{W)} / (10^{0.807}) = 1 \text{ (}\mu\text{W)} / 6.412 = 0.156 \text{ (}\mu\text{W)} = 156 \text{ (m}\mu\text{W)} \#$$

順便指出，1.9GHz電波在穿透一層磚牆時，大約損失(10---15) dB

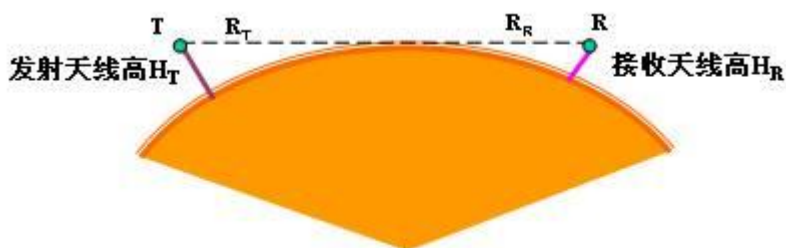
6.2.2 超短波和微波的傳播視距

1 極限直視距離

超短波特別是微波，頻率很高，波長很短，它的地表面波衰減很快，因此不能依靠地表面波作較遠距離的傳播。

超短波特別是微波，主要是由空間波來傳播的。簡單地說，空間波是在空間範圍內沿直線方向傳播的波。顯然，由於地球的曲率使空間波傳播存在一個極限直視距離Rmax。在最遠直視距離之內的區域，習慣上稱為照明區；極限直視距離Rmax以外的區域，則稱為陰影區。不言而喻，利用超短波、微波進行通信時，接收點應落在發射天線極限直視距離Rmax內。地球曲率半徑的影響，極限直視距離Rmax和發射天線與接收天線的高度HT與HR間的關係為：

$$R_{\max} = 3.57 \{ \sqrt{H_T \text{ (m)}} + \sqrt{H_R \text{ (m)}} \} \text{ (km)}$$



考慮到大氣層對電波的折射作用，極限直視距離應修正為 $R_{\max} = 4.12\{\sqrt{HT} (m) + \sqrt{HR} (m)\} (km)$ 由於電磁波的頻率遠低於光波的頻率，電波傳播的有效直視距離 R_e 約為極限直視距離 $R_{\max}$ 的 70%，即 $R_e = 0.7 R_{\max}$ 。

例如，HT 與 HR 分別為 49 m 和 1.7 m，則有效直視距離為 $R_e = 24 \text{ km}$ 。

6.2.3 電波在平面地上的傳播特徵

由發射天線直接射到接收點的電波稱為直射波；發射天線發出的指向地面的電波，被地面反射而到達接收點的電波稱為反射波。顯然，接收點的信號應該是直射波和反射波的合成。電波的合成不會像 $1+1=2$ 那樣簡單地代數相加，合成結果會隨著直射波和反射波間的波程差的不同而不同。波程差為半個波長的奇數倍時，直射波和反射波信號相加合成為最大；波程差為一個波長的倍數時，直射波和反射波信號相減，合成為最小。可見，地面反射的存在，使得信號強度的空間分佈變得相當複雜。實際測量指出：在一定的距離 R_i 之內，信號強度隨距離或天線高度的增加都會作起伏變化；在一定的距離 R_i 之外，隨距離的增加或天線高度的減少，信號強度將單調下降。理論計算給出了這個 R_i 和天線高度 HT 與 HR 的關係式： $R_i = (4 HT HR) / \lambda$ ， λ 是波長。不言而喻， R_i 必須小於極限直視距離 $R_{\max}$ 。

6.2.4 電波的多徑傳播

在超短波、微波波段，電波在傳播過程中還會遇到障礙物(例如樓房、高大建築物或山丘等)對電波產生反射。因此，到達接收天線的還有多種反射波(廣義地說，地面反射波也應包括在內)，這種現象叫做多徑傳播。由於多徑傳輸，使得信號場強的空間分佈變得相當複雜，波動很大，有的地方信號場強增強，有的地方信號場強減弱；也由於多徑傳輸的影響，還會使電波的極化方向發生變化。另外，不同的障礙物對電波的反射能力也不同。

例如：鋼筋水泥建築物對超短波、微波的反射能力比磚牆強。我們應盡量克服多徑傳輸效應的負面影響，這也正是在通信質量要求較高的通信網中，人們常常採用空間分集技術或極化分集技術的緣由。

6.2.5 電波的繞射傳播

在傳播途徑中遇到大障礙物時，電波會繞過障礙物向前傳播，這種現象叫做電波的繞射。超短波、微波的頻率較高，波長短，繞射能力弱，在高大建築物後面信號強度小，形成所謂的“陰影區”。信號質量受到影響的程度，不僅和建築物的高度有關，和接收天線與建築物之間的距離有關，還和頻率有關。例如有一個建築物，其高度為 10 米，在建築物後面距離 200 米處，接收的信號質量幾乎不受影響，但在 100 米處，接收信號場強比無建築物時明顯減弱。注意，誠如上面所說過的那樣，減弱程度還與信號頻率有關，對於 216 ~ 223 兆赫的射頻信號，接收信號場強比無建築物時低 16 dB，對於 670 兆赫的射頻信號，接收信號場強比無建築物時低 20 dB。如果建築物高度增加到 50 米時，則在距建築物 1000 米以內，接收信號的場強都將受到影響而減弱。

也就是說，頻率越高、建築物越高、接收天線與建築物越近，信號強度與通信質量受影響程度越大；相反，頻率越低，建築物越矮、接收天線與建築物越遠，影響越小。因此，選擇基站場地以及架設天線時，一定要考慮到繞射傳播可能產生的各種不利影響，注意到對繞射傳播起影響的各種因素。

6.3 傳輸線的幾個基本概念

連接天線和發射機輸出端(或接收機輸入端)的電纜稱為傳輸線或饋線。

傳輸線的主要任務是有效地傳輸信號能量，因此，它應能將發射機發出的信號功率以最小的損耗傳送到發射天線的輸入端，或將天線接收到的信號以最小的損耗傳送到接收機輸入端，同時它本身不應拾取或產生雜散干擾信號，這樣，就要求傳輸線必須屏蔽。

順便指出，當傳輸線的物理長度等於或大於所傳送信號的波長時，傳輸線又叫做長線。

6.3.1 傳輸線的種類

超短波段的傳輸線一般有兩種：平行雙線傳輸線和同軸電纜傳輸線；微波波段的傳輸線有同軸電纜傳輸線、波導和微帶。

平行雙線傳輸線由兩根平行的導線組成它是對稱式或平衡式的傳輸線，這種饋線損耗大，不能用於 UHF 頻段。

同軸電纜傳輸線的兩根導線分別為芯線和屏蔽銅網，因銅網接地，兩根導體對地不對稱，因此叫做不對稱式或不平衡式傳輸線。

同軸電纜工作頻率範圍寬，損耗小，對靜電耦合有一定的屏蔽作用，但對磁場的干擾卻無能為力。

使用時切忌與有強電流的線路並行走向，也不能靠近低頻信號線路。

6.3.2 傳輸線的特性阻抗

無限長傳輸線上各處的電壓與電流的比值定義為傳輸線的特性阻抗，用 Z_0 表示。同軸電纜的特性阻抗的計算公式為

$$Z_0 = [60 / \sqrt{\epsilon_r}] \times \log(D/d) \text{ [歐]}。$$

式中， D 為同軸電纜外導體銅網內徑； d 為同軸電纜芯線外徑； ϵ_r 為導體間絕緣介質的相對介電常數。通常 $Z_0 = 50$ 歐，也有 $Z_0 = 75$ 歐的。

由上式不難看出，饋線特性阻抗只與導體直徑 D 和 d 以及導體間介質的介電常數 ϵ_r 有關，而與饋線長短、工作頻率以及饋線終端所接負載阻抗無關。

6.3.3 饋線的衰減係數

信號在饋線里傳輸，除有導體的電阻性損耗外，還有絕緣材料的介質損耗。這兩種損耗隨饋線長度的增加和工作頻率的提高而增加。因此，應合理佈局盡量縮短饋線長度。單位長度產生的損耗的大小用衰減係數 β 表示，其單位為dB / m（分貝／米），電纜技術說明書上的單位大都用dB/100 m（分貝／百米）。設輸入到饋線的功率為 P_1 ，從長度為 L （m）的饋線輸出的功率為 P_2 ，傳輸損耗 TL 可表示為：

- $TL = 10 \times \lg(P_1 / P_2) \text{ (dB)}$
- 衰減係數為 $\beta = TL/L \text{ (dB/m)}$

例如，NOKIA 7 / 8英寸低耗電纜，900MHz時衰減係數為 $\beta = 4.1 \text{ dB/100 m}$ ，也可寫成 $\beta = 3 \text{ dB/73m}$ ，也就是說，頻率為900MHz的信號功率，每經過73 m長的這種電纜時，功率要少一半。而普通的非低耗電纜，例如，SYV-9-50-1，900MHz時衰減係數為 $\beta = 20.1 \text{ dB / 100m}$ ，也可寫成 $\beta = 3 \text{ dB/15m}$ 也就是說，頻率為900MHz的信號功率，每經過15m長的這種電纜時，功率就要少一半！

6.3.4 匹配概念

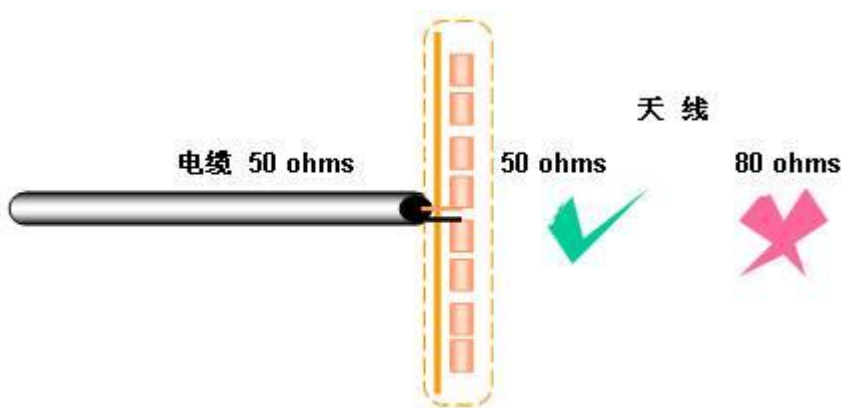
什麼叫匹配？簡單地說，饋線終端所接負載阻抗 Z_L 等於饋線特性阻抗 Z_0 時，稱為饋線終端是匹配連接的。

匹配時，饋線上只存在傳向終端負載的入射波，而沒有由終端負載產生的反射波，因此，當天線作為終端負載時，匹配能保證天線取得全部信號功率。

如下圖所示，當天線阻抗為50歐時，與50歐的電纜是匹配的，而當天線阻抗為80歐時，與50歐的電纜是不匹配的。

如果天線振子直徑較粗，天線輸入阻抗隨頻率的變化較小，容易和饋線保持匹配，這時天線的工作頻率範圍就較寬。反之，則較窄。

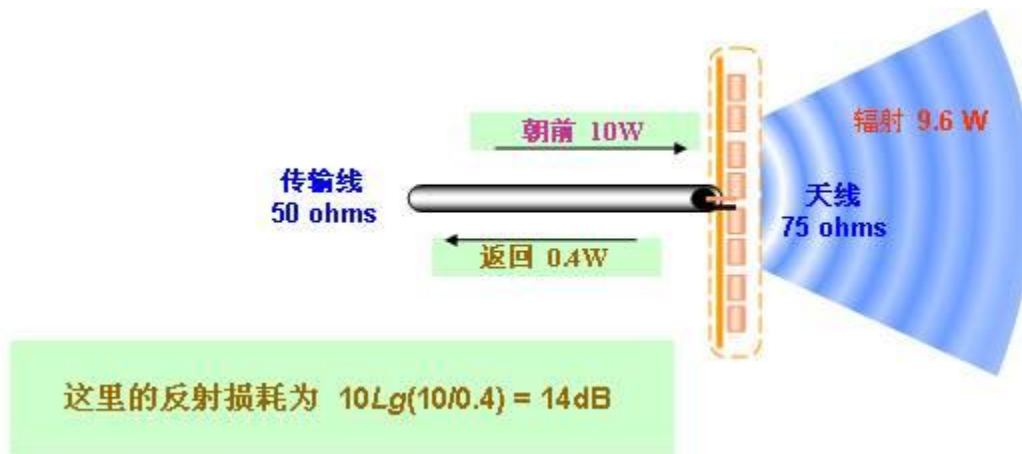
在實際工作中，天線的輸入阻抗還會受到周圍物體的影響。為了使饋線與天線良好匹配，在架設天線時還需要通過測量，適當地調整天線的局部結構，或加裝匹配裝置。



6.3.5 反射損耗

前面已指出，當饋線和天線匹配時，饋線上沒有反射波，只有入射波，即饋線上傳輸的只是向天線方向行進的波這時，饋線上各處的電壓幅度與電流幅度都相等，饋線上任意一點的阻抗都等於它的特性阻抗。而當天線和饋線不匹配時，也就是天線阻抗不等於饋線特性阻抗時，負載就只能吸收饋線上傳輸的部分高頻能量，而不能全部吸收，未被吸收的那部分能量將反射回去形成反射波。

例如，在右圖中，由於天線與饋線的阻抗不同，一個為75 ohms，一個為50 ohms，阻抗不匹配，其結果是



6.3.6 電壓駐波比

在不匹配的情況下，饋線上同時存在入射波和反射波。在入射波和反射波相位相同的地方，電壓振幅相加為最大電壓振幅 V_{max} ，形成波腹；而在入射波和反射波相位相反的地方電壓振幅相減為最小電壓振幅 V_{min} ，形成波節。

其它各點的振幅值則介於波腹與波節之間。這種合成波稱為行駐波。

反射波電壓和入射波電壓幅度之比叫作反射係數，記為 R

反射波幅度 ($Z_L - Z_0$)

$$R = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

入射波幅度 ($Z_L + Z_0$)

波腹電壓與波節電壓幅度之比稱為駐波係數，也叫電壓駐波比，記為 $VSWR$

波腹電壓幅度 V_{max} ($1 + R$)

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + R}{1 - R}$$

波節電壓幅度 V_{min} ($1 - R$)

終端負載阻抗 Z_L 和特性阻抗 Z_0 越接近，反射係數 R 越小，駐波比 $VSWR$ 越接近於 1，匹配也就越好。

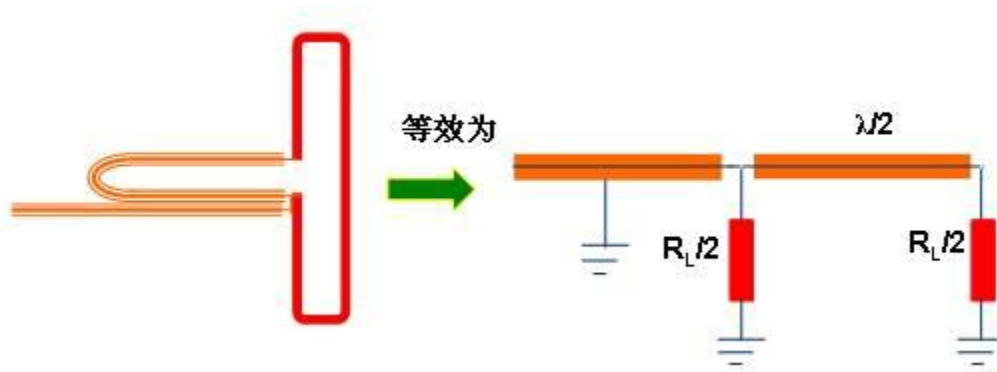
6.3.7 平衡裝置

信號源或負載或傳輸線，根據它們對地的關係，都可以分成平衡和不平衡兩類。若信號源兩端與地之間的電壓大小相等、極性相反，就稱為平衡信號源，否則稱為不平衡信號源；若負載兩端與地之間的電壓大小相等、極性相反，就稱為平衡負載，否則稱為不平衡負載；若傳輸線兩導體與地之間阻抗相同，則稱為平衡傳輸線，否則為不平衡傳輸線。

在不平衡信號源與不平衡負載之間應當用同軸電纜連接，在平衡信號源與平衡負載之間應當用平行雙線傳輸線連接，這樣才能有效地傳輸信號功率，否則它們的平衡性或不平衡性將遭到破壞而不能正常工作。如果要用不平衡傳輸線與平衡負載相連接，通常的辦法是在糧者之間加裝“平衡—不平衡”的轉換裝置，一般稱為平衡變換器。

1 二分之一波長平衡變換器

又稱“U”形管平衡變換器，它用於不平衡饋線同軸電纜與平衡負載半波對稱振子之間的連接。“U”形管平衡變換器還有1:4的阻抗變換作用。移動通信系統採用的同軸電纜特性阻抗通常為50歐，所以在YAGI天線中，採用了折合半波振子，使其阻抗調整到200歐左右，實現最終與主饋線50歐同軸電纜的阻抗匹配。



2 四分之一波長平衡-不平衡器

利用四分之一波長短路傳輸線終端為高頻開路的性質實現天線平衡輸入端口與同軸饋線不平衡輸出端口之間的平衡-不平衡變換。

