

# 短背射天线的研究\*

林昌禄                      宋锡明  
(成都电讯工程学院)        (黄河机器制造厂)

## 提 要

本文提出了短背射天线的一种分析方法,它较好地解释了背射天线的工作原理。按此分析方法研制的短背射天线的增益比普通短背射天线的约高2.5dB。

## 一、引 言

短背射天线自1965年问世以来<sup>[1]</sup>,由于它具有增益高、主瓣对称、副瓣电平低、馈电方便、结构简单、紧凑等优点很快地在卫星通信、雷达、遥控遥测、跟踪、电视等方面获得了应用。虽曾有人用“镜象法”<sup>[2-4]</sup>、“漏腔法”<sup>[5]</sup>、“双源法”<sup>[6]</sup>、“涡流法”<sup>[7]</sup>、“数字几何光学法”<sup>[8]</sup>等对其高增益特性进行过分析和解释,但各说不一,尚无定论。

本文用“等效反射面法”说明了短背射天线的工作原理,解释了边环的作用和增益提高的原因。本文还定义和计算了短背射天线的“等效焦点”。分析和实验表明:在不增大天线孔径的条件下,将馈源置于“焦点”的背射天线的增益比普通短背射天线的约高2.5dB。

## 二、基本思想

众所周知,垂射型反射器天线辐射的平面波窄波束是由焦点上的馈源辐射的球面波经反射面反射后形成的,而天线孔径上的等相位面则是由反射曲面的形状确定的。

我们把短背射天线近似地视为图1所示的等效曲面反射器天线。它也应有“焦点”。为了和垂射型反射器天线的焦点相区别,我们把它称为“等效焦点”。置于“等效焦点”上的馈源辐射的球面波经反射面反射后形成平面波窄波束。而天线孔径上的等相位面则是靠适当地选择大、小反射面的尺寸和位置、边环的宽度等来实现的。

基于上述设想,下面我们对短背射天线的工作原理、“等效焦点”、边环效应和增益等进行讨论。

## 三、工作原理

我们用波的相干性来解释短背射天线的工作原理。

\* 1982年3月2日收到。

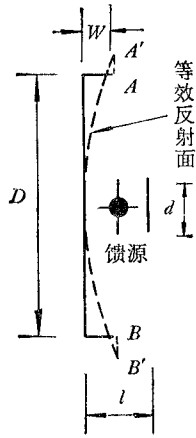


图 1 把短背射天线等效于反射器天线

Fig. 1 The short backfire antenna equivalent to the reflector antenna

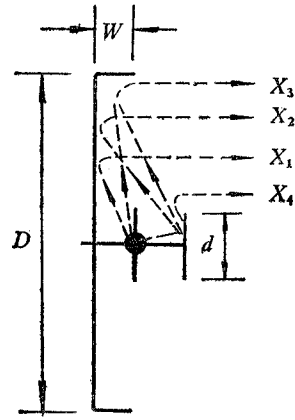


图 2 短背射天线辐射源示意图

Fig. 2 The schematic diagram of the radiation source of the short backfire antenna

我们知道，干涉波的合成振幅与各列波的振幅和初始相位有关。用半波振子作馈源的短背射天线向空间的辐射场可近似地认为由以下四个部分组成（见图 2），即

$X_1$ ——由馈源直接射向大反射器  $D$  后向空间辐射的波。

$X_2$ ——由馈源射向小反射器  $d$ ，转而又射向大反射器  $D$  后向空间辐射的波。

$X_3$ ——被边环  $W$  拦截转而向空间辐射的波。

$X_4$ ——所有经小反射器  $d$  边缘的绕射波。

当然，馈源辐射的波到达大反射器  $D$  后，在大、小反射器形成的腔内是会激励起高阶谐波的，它们对天线的增益也会有所贡献，但由于它们的幅度相对于上述四部分来说小得多，故这里未考虑。现设

$$X_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1), \quad (1)$$

$$X_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2), \quad (2)$$

$$X_3 = a_3 \sin(\omega t + \varphi_3), \quad (3)$$

$$X_4 = a_4 \sin(\omega t + \varphi_4); \quad (4)$$

于是，合成波可写为

$$X = A \sin(\omega t + \theta). \quad (5)$$

适当选择和调整大反射器直径  $D$ 、小反射器直径  $d$  和边环宽度  $W$  以及馈源与大、小反射器之间的距离，使  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 、 $\varphi_3$  和  $\varphi_4$  在轴向尽量满足同相叠加条件，则当它们之间的相位差为  $2n\pi$  ( $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) 时，则式 (5) 变为

$$X = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) \sin(\omega t + \varphi') \quad (6)$$

式中， $\varphi' = \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  或  $\varphi_4$ 。

可见，短背射天线各几何参数的选择和调整的实质，就是尽量使  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  各波的相位在轴向同相或相位差  $2n\pi$ （一般情况下，相位差不超过  $2n\pi \pm 30^\circ$  时，就可认为是接近同相），从而使得合成波振幅在轴向达到最大值，即天线增益达最高。

#### 四、“等效焦点”

如图 3 所示,短背射天线的辐射孔径为  $S$ ,我们来求轴线  $Z$  上某点  $F$  处的绕射场. 为简单起见,假设孔径场为等幅分布,且其值为  $E_0$ , 于是,按惠更斯原理, $F$  点的电场  $E$  可用下式计算

$$E = j \frac{CE_0}{\lambda} \int_s \frac{e^{-jKr}}{r} dS, \quad (7)$$

式中, $C$ 是常数, $K = 2\pi/\lambda$ ,  $r = \sqrt{f^2 + R^2}$  是各子波到  $F$  点的距离,  $dS = R d\varphi dR$ .

当反射器直径为有限大时,式(7)变为

$$\begin{aligned} E &= j \frac{CE_0}{\lambda} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{R_0} \frac{e^{-jK\sqrt{f^2+R^2}}}{\sqrt{f^2+R^2}} R dR \\ &= -CE_0(e^{-jK\sqrt{f^2+R_0^2}} - e^{-jKf}). \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)获得最大值的条件为

$$\left. \begin{aligned} Kf &= 2n\pi \\ K\sqrt{f^2+R_0^2} &= (2n+1)\pi, \end{aligned} \right\} n = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

此时, $F$  点的场强值为

$$E_m = 2CE_0. \quad (10)$$

我们称满足式(9)的  $F$  点为短背射天线的“等效焦点”;  $f$  为“等效焦点”的焦距. 因此,由式(10)可见,将馈源置于满足式(9)的短背射天线“等效焦点” $F$  处,并调整各几何参数使  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  满足同相条件时,即可获得最大增益.

将  $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $n = 1$  代入式(9),可得短背射天线的最短等效焦距为

$$\left. \begin{aligned} f &= \lambda \\ R_0 &\approx 1.12\lambda. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

#### 五、实验结果

为了证实以上的分析,我们进行了一系列实验.

1. 最佳馈源位置 按式(11)的分析结果,取大反射器直径  $D = 2R_0 = 2.24\lambda$ , 小反射器直径  $d = 0.5\lambda$ , 边环宽度  $W = 0.5\lambda$ , 将馈源位置在  $0.5\lambda$  到  $1.25\lambda$  之间变化,测得的方向图和增益分别如图 4 和图 5 所示. 从图可见,当焦距  $f$  为  $1\lambda$  左右时,辐射图最佳,副瓣电平小于  $-23\text{dB}$ , 后瓣电平在  $-25\text{dB}$  以下,且增益也最大,其值为  $17.5\text{dB}$ . 它比普通短背射天线的增益约高  $2.5\text{dB}$ . 图 6 是所研制天线的照片.

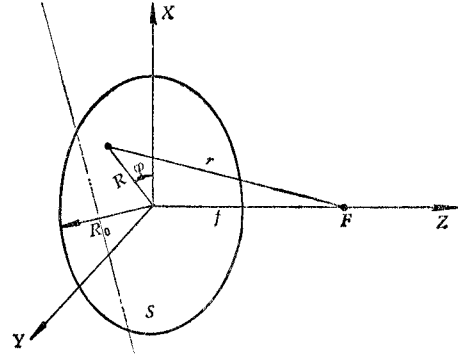


图 3 计算“等效焦点”的几何图

Fig. 3 Geometry for calculating equivalent focus

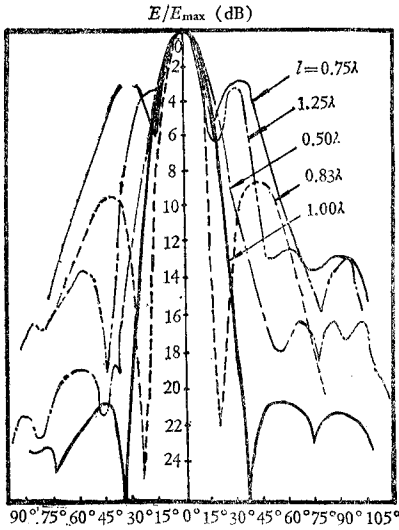


图 4 馈源位置对方向图的影响

Fig.4 The effect of the position of the feed on the pattern

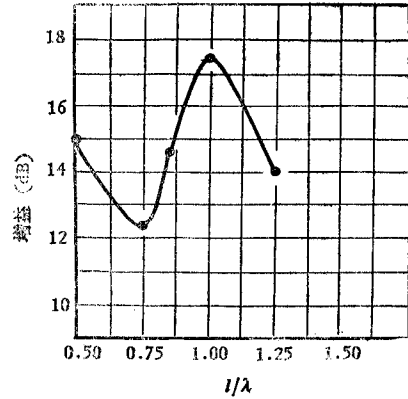


图 5 馈源位置对增益的影响

Fig.5 The effect of the position of the feed on the gain

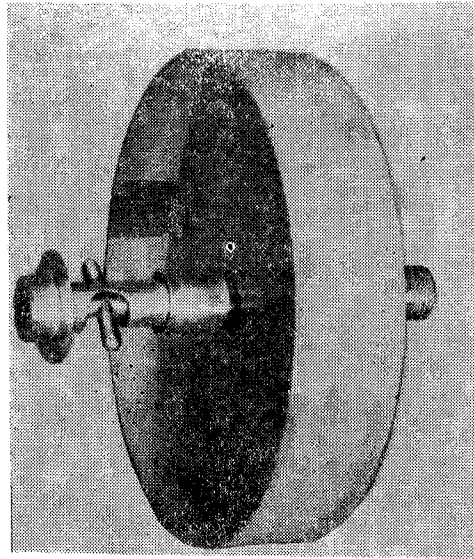


图 6 所研制天线的照片

Fig. 6 The photograph of the model

2. 最佳边环尺寸 如第三节所述,在大、小反射器尺寸和馈源位置固定不变的情况下,调整边环宽度 $W$ ,实质上就是改变 $X_3$ 的振幅和相位,使合成振幅最大,即天线增益达最高.显然,满足同相叠加条件的 $W$ 值必然是最佳边环宽度,小于或大于这个最佳尺寸,都会破坏同相条件而使增益下降.为证明这一点进行了如下实验.

保持 $D = 2.24\lambda$ , $d = 0.5\lambda$ , $l = 1\lambda$ ,将边环尺寸从0调到 $1\lambda$ ,测得的方向图和增益分别如图7和图8所示.从图可见, $W$ 的最佳值为 $0.5\lambda$ 左右.但由于 $W = 0.5\lambda$ 时,天线

的增益只比  $W = 0.25\lambda$  (普通短背射天线的边环宽度)时的高 0.5dB 左右, 故从结构上考虑,  $W$  取  $0.25\lambda$  为好. 因为这样也能获得较好的电特性, 这就是普通短背射天线的边环宽度不取其最佳尺寸的原因.

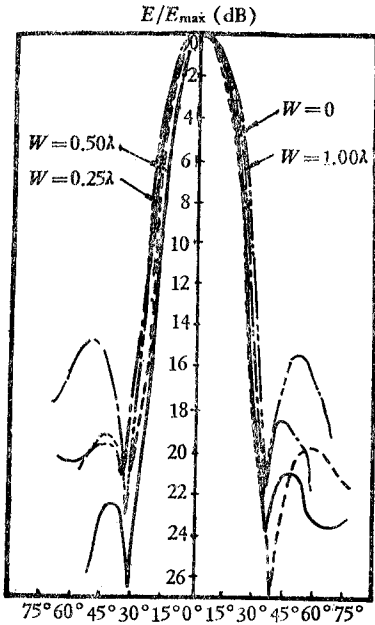


图 7 边环宽度对方向图的影响  
Fig. 7 The effect of the width of the edge ring on the pattern

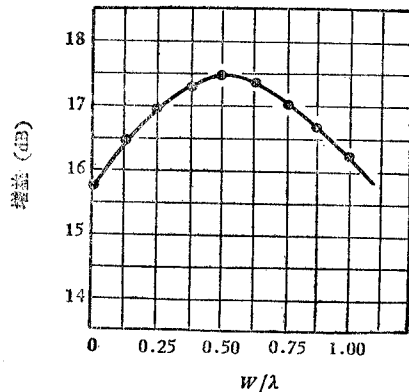


图 8 边环宽度对增益的影响  
Fig. 8 The effect of the width of the edge ring on the gain

边环宽度对天线方向图和增益的影响, 我们可以这样来解释: 因为我们将短背射天线视为等效垂射型反射器天线, 故可用普通孔径天线的增益公式来近似计算短背射天线的增益, 即\*

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_A \quad (12)$$

式中,  $S_A$  是天线的有效孔径面积. 一般情况下, 它比孔径的几何面积  $S$  小.

对于短背射天线, 由于边环的存在, 其有效孔径面积  $S_A$  比几何孔径面积大. 设几何孔径的半径为  $R_0$ , 有效孔径的半径为  $R_A$ , 它们的差值我们称为“有效孔径增量”, 并用  $\Delta R$  来表示, 即

$$\Delta R = R_A - R_0 \quad (13)$$

利用图 8 和式 (12)、(13) 我们可得到“有效孔径增量”  $\Delta R$  与边环宽度  $W$  之间的关系 (见图 9). 由图 9 可见, 当边环宽度为  $0.5\lambda$  时, “有效孔径增量”  $\Delta R$  最大, 其值为

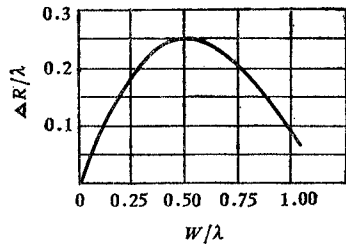


图 9 边环宽度对“有效孔径增量”的影响  
Fig. 9 The effect of the width of the edge ring on the increment of the effective aperture

\* 式 (12) 仅当反射器直径比波长大得多时才准确, 对于反射器电直径较小的短背射天线, 只能用它作近似计算.

0.25 $\lambda$ 。有效孔径的增大,是增益得以进一步提高的原因。

## 六、结 论

1. 短背射天线可近似地作为等效反射器天线来分析,它也有“等效焦点”。
2. 在不增大天线孔径尺寸的条件下,馈源置于“等效焦点”处的短背射天线的增益比普通短背射天线的约高 2.5dB。
3. 短背射天线的边环宽度有最佳值,大小约为 0.5 $\lambda$ 。

本文的大量实验工作是在马义明和饶伯良等同志的协助下完成的,在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] H. W. Ehrenspeck, *PIEEE*, 53(1965), 1138.
- [2] E. D. Nielsen, *IEEE Trans. on AP*, AP-18(1970), 367.
- [3] D. C. Patel, *PIEE*, 118(1971), 1150.
- [4] 林昌祿, 成都电讯工程学院学术报告专题选集, 1977年12月, 第125—146页; 成都电讯工程学院学报, 1979年, 第1期, 第97—102页。
- [5] M. H. Hong, D. P. Nyquist and K. M. Chen, *IEEE Trans. on AP*, AP-18(1970), 813.
- [6] H. W. Ehrenspeck, *IEEE Trans. on AP*, AP-22(1974), 329.
- [7] P. J. Muenzer, *Nachrichtentechn.*, 45(1972), 215.
- [8] J. Z. Hsieh, D. P. Nyquist and K. M. Chen, AD-730616.
- [9] 林昌祿, 天线测量, 国防工业出版社, 1981年。

## THE RESEARCH ON SHORT BACKFIRE ANTENNA

Lin Chang-lu

(*Chengdu Institute of Radio Engineering*)

Song Xi-ming

(*Yellow-River Machine Factory*)

In this paper, a method of analysing the short backfire antenna is proposed. Using this method, a new type backfire antenna is developed. Its gain is about 2.5 dB higher than that of a normal short backfire antenna.