

# 改善抛物面极装置天线跟踪 同步轨道的方法

林南昌

(电教中心)

## 摘 要

本文根据调校卫星电视地面接收站的实践,分析目前抛物面极装置天线安装方法存在的问题,提出改善天线跟踪卫星同步轨道的有效方法,同时编程计算适合我国纬度范围的工程实用数据。

中国教育电视通过卫星成功地面向全国播出,标志着我国在发展和使用现代化教育技术方面已跻身于世界先进行列。随着卫星电视教育节目的播出,卫星电视教育地面接收站也不断地建立和发展起来。卫星电视教育地面接收站和卫星电视广播地面接收站一样,主要由抛物面天线、低噪声放大器、降频器、卫星接收机等装置组成。

抛物面天线按调整的方法可分为方位-仰角天线(即 X-Z 装置)和极装置天线(即 Ha-Dee 装置)。方位-仰角天线的方位轴与地面垂直,仰角轴与地面平行,调整时分别调整其方位与仰角,它适用于长期只收一颗卫星广播的地面站使用。极装置天线的极轴(Ha 轴)与地球的自转轴平行,另一轴(Dee 轴)与极轴垂直,天线绕极轴转动,可以跟踪卫星同步轨道,收看多颗卫星的广播。本文讨论极装置天线跟踪卫星同步轨道的方法。

## 一、概 述

为了使卫星波束复盖区内的每一个接收点在任何时刻都能收到卫星电视广播,广播卫星要在赤道上高35786km的圆形轨道上向东运行,其周期与地球自转周期相同。这种对地球相对静止的卫星叫做同步卫星,它运行的轨道叫做同步轨道。同步卫星得到广泛的应用,主要是因为它保证了波束复盖区内的等效全向辐射功率(EIRP)稳定,同时卫星地面接收站的天线定位后不必跟踪。

抛物面天线的波束是一个很细的针状形波束,其主瓣指向(主瓣轴线)与抛物面天线的中心轴重合,主瓣半功率宽度 $Q_{0.5}$ 可由下式近似计算:

$$Q_{0.5} \approx 70 \frac{\lambda}{D}$$

本文1987年8月2日收到。

对于工作波长 $\lambda = 0.075\text{m}$ 、天线口径 $D = 5 - 6\text{m}$ 的小型抛物面天线,可计算出半功率点波束宽度 $Q_{0.5} \approx 1^\circ$ 。当要求指向精度在波束宽度的五分之一以内时,指向误差就不能超过 $0.2^\circ$ 。

为了收看多颗卫星的广播电视,抛物面天线旋转时,其主瓣指向必须跟踪卫星同步轨道。

## 二、目前极装置天线调校的方法及存在问题

目前我国常见的抛物面极装置天线多数是引进的,它的结构如图1所示。根据有关技术文件的要求,采用调校天线的方法为:先将天线开口方向对准真南,然后使天线的极轴角等于当地的纬度,最后调节补偿角使天线对准真南的同步卫星(轨道)。

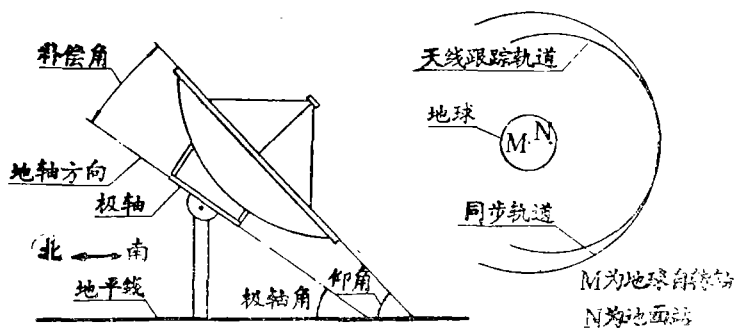


图 1

图 2

我们曾采用上述方法,对华侨大学电教中心的 KSA-3416 型天线进行反复调校,发现抛物面天线绕极轴旋转时,跟踪卫星同步轨道的误差较大。分析造成较大误差的原因,主要是天线在地球所处的位置造成的。抛物面天线的极轴与地球自转轴平行,天线主瓣轴线在天线绕极轴旋转时构成一个圆锥面,圆锥面与赤道平面相截得到一个圆。由于天线在地球所处的位置关系,这个圆与卫星同步轨道不同心,因此当天线旋转时其主瓣指向偏离卫星同步轨道,见图2。以华侨大学所处的地理位置(北纬 $24.9^\circ$ )为例,当天线绕极轴从真南转至方位角 $90^\circ$ 的位置时,天线指向偏差达 $0.54^\circ$ ,影响收看多颗卫星广播的效果。

## 三、极装置天线跟踪同步轨道的数学模拟

为了使抛物面极装置天线在绕极轴旋转过程中能够跟踪卫星同步轨道,可以采用使极轴离开与地球自转轴平行的方向,向真南方向倾斜一个角度,并把这个角称为修正角 $\delta$ ,如图3所示。

极轴向真南方向倾斜后,抛物面天线的主瓣轴线在天线绕极轴旋转得到一个圆锥面。在图4中, $O$ 为卫星地面接受站的位置, $S$ 为真南方向的同步卫星(轨道), $ON$ 与地球自转轴

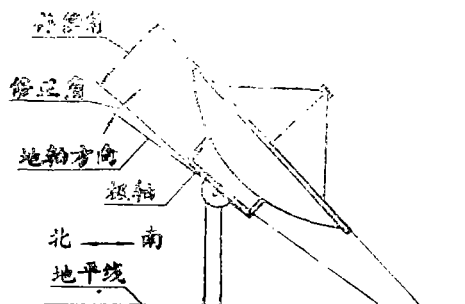


图3

平行且与赤道面相交于 $N$ ,  $OQ$ 与极轴平行, 极轴向真南方向倾斜的修正角为 $\delta$ . 根据卫星地面站与同步轨道的几何关系可得:

$$a = ON = R \cdot \sin \alpha$$

$$b = NS = H + R - R \cos \alpha$$

$$c = OQ = a \cos \delta = R \cdot \sin \alpha \cdot \cos \delta$$

$$d = OP = c \operatorname{ctg} \Psi = R \sin \alpha \cos \delta \operatorname{ctg} \Psi$$

式中,  $R$  为地球半径;  $H$  为同步卫星对赤道高度;  $\alpha$  为卫星地面站的纬度.

当卫星地面站的位置 (纬度  $\alpha$ ) 确定后,  $a$ 、 $b$  为定值,  $\delta + \Psi = \operatorname{arctg} \frac{a}{b}$  也就确定了.

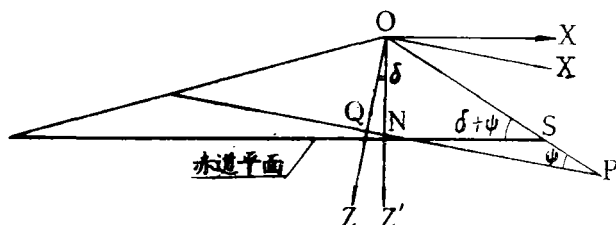


图4

在以圆锥面顶点 $O$ 为原点的坐标系 $O-XYZ$ 中 ( $OY$ 轴垂直低面, 指向外), 锥面方程为

$$\frac{x^2}{d^2} + \frac{y^2}{d^2} = \frac{z^2}{c^2} \quad (1)$$

作坐标变换: 令 $O-XYZ$ 坐标系绕 $OY$ 轴旋转一个角度 $\delta$ 得到一个新坐标系 $O-X'Y'Z'$ . 此时 $Oz'$ 轴与地球自转轴平行, 新、旧坐标系的关系为

$$\begin{cases} x = x' \cos \delta + z' \sin \delta \\ y = y' \\ z = -x' \sin \delta + z' \cos \delta \end{cases}$$

在新坐标系 $O-X'Y'Z'$ 中, 锥面方程为

$$\frac{(x' \cos \delta + z' \sin \delta)^2}{d^2} + \frac{y'^2}{d^2} = \frac{(-x' \sin \delta + z' \cos \delta)^2}{c^2} \quad (2)$$

将 $z' = a$ 代入(2)式得到赤道平面截锥面的截线方程

$$\frac{(x' \cos \delta + a \sin \delta)^2}{d^2} + \frac{y'^2}{d^2} + \frac{(-x' \sin \delta + a \cos \delta)^2}{c^2} = 1 \quad (3)$$

上式可整理为

$$\left[ x' + \frac{a \cos \delta \sin \delta \left( \frac{1}{d^2} + \frac{1}{c^2} \right)}{\frac{\cos^2 \delta}{d^2} - \frac{\sin^2 \delta}{c^2}} \right]^2 \left( \frac{\cos^2 \delta}{d^2} - \frac{\sin^2 \delta}{c^2} \right) + \frac{y'^2}{d^2} = - \frac{a^2}{c^2 d^2 \left( \frac{\cos^2 \delta}{d^2} - \frac{\sin^2 \delta}{c^2} \right)} \quad (4)$$

式(4)是一个椭圆方程,它说明当极轴向真南方向倾斜一个修正角 $\delta$ 后,抛物面天线主瓣轴线在天线极轴旋转时得到的圆锥面与赤道面相截的截线是一个椭圆.在卫星地面站的位置(纬度 $\alpha$ )确定后,椭圆方程中只有一个变量 $\delta$ (修正角).因此改变修正角 $\delta$ ,就可以改变椭圆的形状.

极装置天线绕极轴旋转的角度一般在 $180^\circ$ 以内,需要跟踪的卫星同步轨道的范围小于 $180^\circ$ (图5).只要选择适当的修正角 $\delta$ ,就可使处在上述区段的椭圆弧尽可能逼近卫星同步轨道.

#### 四、极装置天线修正角的确定

要在工程技术上利用上述数学分析的结果,关键是选定合适的修正角 $\delta$ .为此,对位于不同纬度的卫星地面站,求得其天线对准不同方位同步卫星所需的修正角 $\delta$ .表1是用 BASIC 语言编好程序通过计算机运算的结果.

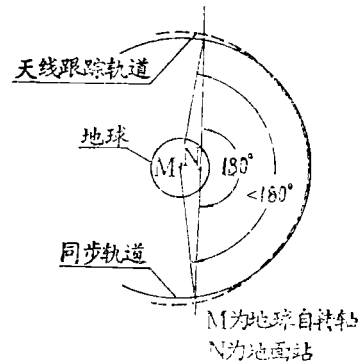


图 5

表 1 不同方位( $0-90^\circ$ )卫星所要求的修正角 $\delta$ 和补偿角 $\psi(^\circ)$

纬度 ( $^\circ$ )	$0^\circ$		$18^\circ$		$36^\circ$		$54^\circ$		$72^\circ$		$90^\circ$	
	$\delta + \psi$		$\delta$	$\psi$	$\delta$	$\psi$	$\delta$	$\psi$	$\psi$	$\delta$	$\delta$	$\psi$
20	3.45		.49	2.96	.48	2.97	.48	2.97	.47	2.98	.46	2.99
25	4.24		.58	3.66	.57	3.67	.56	3.68	.56	3.68	.55	3.69
30	4.97		.65	4.32	.64	4.33	.63	4.34	.62	4.35	.61	4.36
35	5.66		.69	4.97	.69	4.97	.68	4.98	.67	4.99	.66	5.00
40	6.28		.72	5.56	.72	5.56	.71	5.57	.70	5.58	.69	5.59
45	6.83		.72	6.11	.72	6.11	.71	6.12	.70	6.13	.69	6.14
50	7.31		.70	6.61	.70	6.61	.69	6.62	.68	6.63	.67	6.64

从表1可以看出,为了跟踪同步轨道,抛物面天线旋转至不同方位时,要求修正角 $\delta$ 有所变化,但变化范围较小,一般 $\Delta\delta < 0.05^\circ$ .因为修正角 $\delta$ 的变化范围很小,所以可选取其

平均值作为工程实用的数据。对于不同纬度所推荐的修正角和补偿角值列于表 2。

表 2 修正角 $\delta$ 与补偿角 $\psi$ 值( $^{\circ}$ )

纬度	纬度( $^{\circ}$ )						
	20	25	30	35	40	45	50
$\delta$	0.48	0.57	0.63	0.68	0.71	0.71	0.69
$\psi$	2.97	3.67	4.34	4.98	5.57	6.12	6.62

由于表 2 推荐的修正角 $\delta$ 是一个平均值, 因此必须用这些数值去校验不同方位的卫星, 计算出现的偏差。表 3 列出校验的结果。

从表 3 可以看出: 在抛物面天线绕极轴旋转  $180^{\circ}$  的范围内, 采用表 2 推荐的修正角 $\delta$ 和补偿角 $\psi$ , 天线对准同步轨道的偏差小于  $0.03^{\circ}$ 。如前所述, 这个偏差在允许的指向精度以内。根据华侨大学所处的纬度, 计算出应采用的修正角 $\delta = 0.57^{\circ}$ , 补偿角 $\psi = 3.67^{\circ}$ , 用来调整 KSA-3416 型天线, 取得了较好的效果, 目前转动天线到不同方位, 可以收录不同卫星的多套广播电视节目。

表 3 天线主瓣指向与同步轨道偏差( $^{\circ}$ )

方位 ( $^{\circ}$ )	纬度( $^{\circ}$ )						
	20	25	30	35	40	45	50
0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0
54	0.01	0.01	0	0	0	0	0
72	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
90	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02

实际安装调试抛物面天线时, 需要了解当地纬度所应选取的修正角 $\delta$ 和补偿角 $\psi$ 的数值, 图 6 就是根据表 2 的数值画出的适合我国纬度范围(北半球)的地面站纬度 $\alpha$ 与修正角 $\delta$ 、补偿角 $\psi$ 的关系曲线。

从图 6 中可以看出, 随着卫星地面站纬度的增加, 补偿角 $\psi$ 是上升趋势, 而修正角 $\delta$ 在纬度 $40^{\circ}$ 以前呈上升趋势, 在 $40-45^{\circ}$ 达最大值,  $45^{\circ}$ 以后呈下降趋势。

## 五、结 论

小型卫星地面接收站的抛物面极装置天线绕极轴旋转时能够跟踪卫星同步轨道。为了提

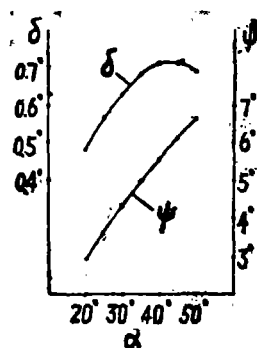


图 6

高天线在转动 $180^\circ$ 的范围内跟踪同步轨道的效果,天线安装调试的方法应予改进:(1)天线开口方向(极轴)对准真南;(2)天线的极轴角(极轴与地平线夹角)等于当地纬度 $\alpha$ 与修正角 $\delta$ 之和,修正角 $\delta$ 数值由图6确定;(3)调整补偿角 $\psi$ ,使其符合图6要求的数值。

### 参 考 文 献

- 〔1〕川桥猛著,卫星通信,エロメ社,(1976)。
- 〔2〕官宪一著,钱忠浩等译,卫星通信技术,人民邮电出版社,(1985)。
- 〔3〕刘国良,卫星通讯及地面站设备,人民邮电出版社,(1985)。

## A Method for Improving Paraboloid Antenna of Polar Mount to Trace Synchronous Orbit

Ljn Nanchang

### Abstract

Based on the practice of adjusting and correcting satellite television ground accepting station, this paper analyses the problems existed in the installation of paraboloid polar mounting antenna.

It Poses an effectice method for improving antenna to trace satellite synchronous orbit.

It computes by programming the practical engineering data, appropriate to the latitude range of our country.