

文章编号:1001-893X(2012)10-1658-05

# 卫星通信站极化隔离度下降的排查及解决方法<sup>\*</sup>

周阳辉,罗黎希,罗 岩

(中国卫星海上测控部,江苏 江阴 214431)

**摘 要:**针对卫星通信站接收交叉极化隔离度下降的问题,首先利用 Matlab 软件绘制了隔离度与极化角、线圆转换器偏差的关系曲线,然后通过实测值和公式相比较,推导出偏差理论值。最后,根据推导出的结论,通过工程实践解决了极化隔离度下降的问题,调整后测试的结果也验证了该方法的可行性。

**关键词:**卫星通信站;极化失配;极化隔离度;线圆转换器;馈源网络

**中图分类号:**TN927      **文献标志码:**A      doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.10.020

## Analysis of and Solution to Polarization Isolation Decreasing on Satellite Communications Station

ZHOU Yang-hui , LUO Li-xi , LUO Yan

(China Satellite Marine Tracking and Control Department, Jiangyin 214431, China)

**Abstract:** For the problem of polarization isolation decreasing on Satellite Communications Station, Matlab is used to protract the graph about isolation with circular-linear switching and polarization angle. By comparison between measured value and expressions, excursion angle is derived. Finally, according to the conclusion, the problem of polarization isolation decreasing is solved by project practice. The test result validates the feasibility of the method.

**Key words:** satellite communication station; polarization mismatch; polarization isolation; circular-linear switching; feed network

### 1 引 言

接收支路交叉极化隔离度是卫星通信站(以下简称卫通站)重要指标之一,如果接收交叉极化隔离度降低,一旦接收的同频信号中出现反极化信号,会对卫通站的主用载波形成干扰,影响正常通信。而且移动地球站在跟踪线极化卫星时,由于地理位置的变化,极化方向会随之改变,天线的极化面也在自动调整。一旦极化失配会导致和差信号的增益变化,从而影响交叉耦合性能,引起天线失锁<sup>[1]</sup>。

某卫通站馈源网络中线圆转换装置与天线 A 极化输出方向的夹角转动范围为 -45°~0°,A、B 极化信号的分路通过收右旋、收左旋两信号通道引

出实现。2011 年 11 月,岗位人员对卫通站接收支路交叉极化隔离度进行测试,发现线极化、圆极化状态下极化隔离度均只有 16 dB 左右,不满足指标要求且相差较大,随即对接收极化隔离度降低的原因进行排查解决。

### 2 极化隔离度的定义

极化隔离度就是有用的主极化信号和无用的反极化信号功率之比:

$$I = P_1 / P_2 \tag{1}$$

式中, $P_1$  为主极化信号功率, $P_2$  为反极化信号功率。

如果用对数方式表达即为

$$I = 10 \lg(P_1 / P_2) \tag{2}$$

<sup>\*</sup> 收稿日期:2012-03-27;修回日期:2012-07-30

或者

$$I = L_1 - L_2$$

式中,  $L_1$  为主极化信号功率电平,  $L_2$  为反极化信号功率电平。

对于椭圆极化波来说极化隔离度与椭圆轴比之间的关系是

$$I = 20 \lg(V + 1)/(V - 1) \tag{3}$$

其中,  $V$  为椭圆轴比 (VAR)。国际卫星组织 INTEL-SAT 规定, 对于工作在圆极化方式的地球站天线: 老天线, 在天线跟踪波束带宽内, 其天线发射 VAR 不能超过 1.09, 相应交叉极化隔离度为 27.3 dB; 新天线, 在天线跟踪波束带宽内, 其天线发射 VAR 不能超过 1.06, 相应的交叉极化隔离度为 30.7 dB。对于工作在线极化方式的天线, 交叉极化隔离度为 30.0 dB。天线接收交叉极化隔离度的指标要求参照天线发射交叉极化隔离度指标<sup>[2]</sup>。

3 排查过程

影响卫通站接收支路交叉极化隔离度的可能因素包括接收下行支路存在串扰、线圆极化转换不到位、极化角不匹配等。

接收下行支路存在串扰, 主要是微波器件的自身问题, 需要找到串扰器件进行更换。本文的排查重点放在线圆转换极化器和极化面属于天线馈源网络部分, 厂所安装时都是在地面调试完毕后整体吊装。长时间使用后, 由于天线震动、器件老化、吊装偏移等原因导致隔离度下降, 必须由厂家对天线进行吊装拆解, 重新调整标定线圆转换极化器和极化面的位置。所以通信任务中出现反极化干扰时, 大多通过临时更换频点应急通信, 协调转发器资源难度大且成本高。

岗位人员通过理论和实测数据相结合, 推导出线圆转换极化器和极化面偏差的理论值, 利用简易的方法进行了偏差纠正, 最后经过测试, 证实了方法的可行性, 达到了提高极化隔离度的目标。

3.1 线圆极化转换偏差的理论影响

设线圆转换装置偏离位置的角度绝对值为  $\theta$ , 由公式(1)、(2)可以推出 A、B 信号衰减强度与  $\theta$  近似关系为

$$A: y = -20 \lg \frac{1}{\cos \theta} \tag{4}$$

$$B: y = -20 \lg \frac{1}{\sin \theta} \tag{5}$$

由公式(4)、(5)可以知道圆极化测试中, 线圆极化转换对 A、B 通道信号影响如图 1 所示<sup>[3]</sup> (根据公式, 使用 MATLAB 软件绘制)。

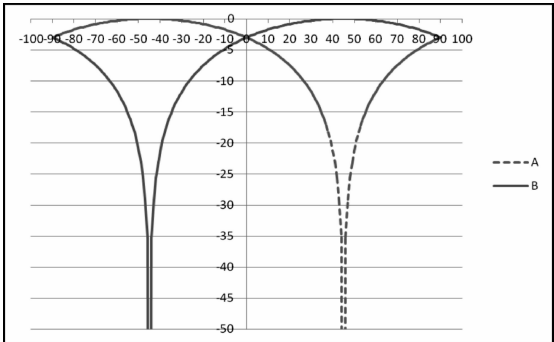


图 1 圆极化测试中线圆转换对 A、B 通道信号的影响  
Fig.1 The influence of circular-linear switching on channel A and B

图中, 横坐标为线圆转换装置与天线 A 极化输出口方向的夹角, 纵坐标对于 A、B 为信号衰减强度。右圆极化应该对应 -45° 夹角, 即图中 A 极化信号最大、B 极化信号最小的位置。0° 夹角对应天线的水平线极化状态 (圆极化信号下降 3 dB), 左圆极化应该对应 +45° 夹角, 即图中 B 极化信号最大、A 极化信号最小的位置。

3.2 极化角偏差的理论影响

设极化角偏离角度的绝对值为  $\theta$ , 由公式(1)、(2)可以推出 A、B 线极化信号衰减强度与  $\theta$  关系为

$$A: y = -20 \lg \frac{1}{\cos \theta} \tag{6}$$

$$B: y = -20 \lg \frac{1}{\sin \theta} \tag{7}$$

由公式(6)、(7)可以知道线极化测试中, 极化角变化对 A、B 通道信号影响如图 2 所示<sup>[4]</sup> (根据公式, 使用 MATLAB 软件绘制)。

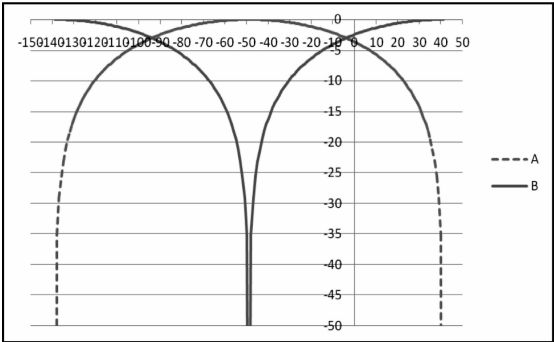


图 2 线极化测试中极化角变化对 A、B 通道信号的影响  
Fig.2 The influence of polarization angle variation on channel A and B

图中,横坐标为极化角,纵坐标对于 A、B 为信号衰减强度。A 极化信号的最高点对应卫通站所在地理位置的极化角  $-49.08^{\circ}$ ,此时 B 极化信号理论值为 0。

3.3 实测数据分析

主要方法:岗位人员利用卫通天线跟踪  $183^{\circ}\text{E}$  圆极化卫星(A 极化)和  $134^{\circ}\text{E}$  线极化(A 极化)卫星,跟踪正常后,转动线圆转换器和极化角,测试信标的变化情况。

3.3.1 圆极化卫星测试数据分析

卫通天线对准  $183^{\circ}\text{E}$  圆极化卫星,测试 A、B 通道接收右旋极化信标( $3\,951.5\text{ MHz}$ )功率,测试结果见表 1(已经考虑 A、B 通道差)。

表 1 圆极化星极化隔离度测试记录表  
Table 1 Test record of polarization isolation for circular polarization satellite

| 天线极化角/(°) | 极化状态      | A 通道(底噪 $-89\text{ dBm}$ )/dBm | B 通道(底噪 $-85\text{ dBm}$ )/dBm |
|-----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0         | 圆极化 A     | -55                            | -67                            |
| 90        | 圆极化 A     | -55                            | -67                            |
| 0         | 圆极化 A→线极化 | 前期基本不变化,后期逐渐减小                 | 先下降至 $-79$ ,然后增大               |
| 0         | 线极化       | -58                            | -56                            |

结果分析:天线在圆极化 A 状态下,由于卫星信标为右旋圆极化信标,B 通道应该对此信号完全隔离,但在 B 通道上能观察到一定强度( $-67\text{ dBm}$ )信号,即可断定线圆转换装置位置存在偏差。极化角对圆极化信号理论上没有影响,极化角由  $0^{\circ}$  转到  $90^{\circ}$  时,A、B 极化信号无变化。

通过图 1 对圆极化偏差角度进行定量的理论推导。图中,理论上圆极化 A 应该对应  $-45^{\circ}$  夹角,即图中 A 极化信号最大,B 极化信号最小的位置。由于天线在由“圆极化”转换到“线极化”状态过程中(即夹角由  $-45^{\circ}\rightarrow 0^{\circ}$ ),A 极化信号前期不变化(斜率小,频谱仪无法分辨),后期一直减小,B 极化信号先降低后增加,对比图 1,说明天线“圆极化”状态不是对应夹角  $-45^{\circ}$ ,而向负方向发生了偏移。 $0^{\circ}$  夹角对应天线的线极化状态,此时,A、B 通道都能收到与最大信号值相差  $3\text{ dB}$  的信号。分析可得

$$B_{\max} = -56 + 3 = -53\text{ dBm} \tag{8}$$

$$B_{\text{test}} = -67\text{ dBm} \tag{9}$$

设圆极化器位置偏离角度绝对值  $\theta$ ,由于角度偏离引起的 B 信号衰减强度为

$$B_{\text{atten}} = B_{\text{test}} - B_{\max} = -67 - (-53) = -14\text{ dBm} \tag{10}$$

由公式(5)可知

$$B_{\text{atten}} = -20\lg\frac{1}{\sin\theta} = -14\text{ dBm} \tag{11}$$

解之可得

$$\theta = -11^{\circ}$$

所以卫通站“圆极化”状态对应夹角为  $-56^{\circ}$ ,与理论值  $-45^{\circ}$  偏差了  $-11^{\circ}$ 。直接从图 1 可以读出  $14\text{ dB}$  对应横坐标数值也为  $-56^{\circ}$  左右,图 1 和公式推理可以相互佐证。

3.3.2 线极化卫星测试数据分析

卫通天线对准  $134^{\circ}\text{E}$  线极化卫星,地球站地理位置线极化角的理论值为  $-49.08^{\circ}$ 。分别测试 A 极化(水平)和 B 极化(垂直)通道接收水平极化信标( $4\,199.825\text{ MHz}$ )电平,测试结果见表 2。

表 2 线极化星极化隔离度测试记录表  
Table 2 Test record of polarization isolation for linear polarization satellite

| 天线极化角/(°)     | 极化状态 | A 通道(底噪 $-83\text{ dBm}$ )/dBm | B 通道(底噪 $-83\text{ dBm}$ )/dBm |
|---------------|------|--------------------------------|--------------------------------|
| $-49.08$      | 收线   | -54                            | -69                            |
| $-39.68$ (手动) | 收线   | -54                            | $-83$ (底噪)                     |
| $51$ (手动)     | 收线   | $-83$ (底噪)                     | -54                            |
| $-39.68$      | 收圆   | -52                            | -72                            |

理论极化角为  $-49.08^{\circ}$ ,若天线实际极化角与理论极化角相同,则在 B 通道上接收到的水平信标信号应该基本淹没在底噪中。但天线极化角显示为  $-49.08^{\circ}$  时,在 B 通道信号  $-69\text{ dBm}$ ,说明存在两种可能性:其一,线极化状态与实际状态存在偏差;其二,极化角与实际值存在偏差。

测试圆极化信号时,转到线极化状态,收圆极化 A 信号下降了  $3\text{ dB}$ ,符合理论值,说明线极化的位置没有太大偏差。而且如果线极化位置有误,无论如何转动极化角,都不能出现 A、B 极化信号降到底噪的情况。极化角的偏差是导致线极化信号隔离度差的主要原因。

手动顺转极化角,当极化角显示  $-39.68^{\circ}$  时,观察到 B 极化信号降到底噪。随后极化角继续转动开始抬升,当极化角转动到显示值为  $51^{\circ}$  时,A 极化信号降到底噪,B 极化信号达到最高点,与先前 B 极

化信号最低点(显示值  $-39.68^{\circ}$ )正好相差约  $90^{\circ}$ ,再一次验证了刚才的推断。天线极化角显示值与实际值相差约  $-9.4^{\circ}$ 。

下面通过图 2 对极化角偏差角度进行定量的理论推导。

由测试结果可知

$$B_{\max} = -54 \text{ dBm} \tag{12}$$
$$B_{\text{test}} = -69 \text{ dBm} \tag{13}$$

那么设极化角位置偏离角度绝对值为  $\theta$ ,由于角度偏离引起的 B 信号衰减强度为

$$B_{\text{atten}} = B_{\text{test}} - B_{\max} = -69 - (-54) = -15 \text{ dBm} \tag{14}$$

由公式(7)可知

$$B_{\text{test}} = -20 \lg \frac{1}{\sin \theta} = -15 \text{ dBm} \tag{15}$$

解之可得

$$\theta = 10.2^{\circ}$$

忽略天线角度旋变等系统误差,实测值和公式推导值基本一致,再次验证了极化角存在偏差的事实。同样在图 2 中,直接读取横坐标为  $-39.68^{\circ}$  的 B 极化衰减信号强度也为 15 dB 左右。

## 4 解决方法

### 4.1 线圆极化器调整

根据上面的理论推导,采用在接触铜条上加装撞块的方法调整圆极化器位置达到纠正收圆开关偏差的目的,主要步骤如下:

- (1)卫通跟踪  $183^{\circ}\text{E}$  右旋圆极化卫星信标;
  - (2)将和差网络合路器输出 A 通道信标信号接入频谱仪,频谱仪分辨带宽设置为 300 Hz,记录 A 通道信标信号的峰值和底噪;
  - (3)将低噪声放大器 2 # 输出的 B 通道信号接入频谱仪,保持频谱仪设置不变,记录 B 通道内 A 极化信标信号的峰值和底噪;
  - (4)由收圆→收线转动圆极化器,当 B 通道内 A 极化信标信号达到最小值时停止转动,记录 B 通道信标信号的峰值和底噪,记录接触铜条的位置,根据此位置测量加工撞块的尺寸;
  - (5)在接触铜条上加装撞块,使得撞块与限位开关紧密接触并使圆极化状态指示灯点亮;
  - (6)计算接收圆极化信号交叉极化隔离度,完成圆极化器的调整工作。
- 圆极化器调整前后测试结果见表 3。调整后接

收圆极化信号交叉极化隔离度为 28 dB,提高了 12 dB。

表 3 调整前后的 A、B 信号记录  
Table 3 Test record of A and B signal before and after installation

| 通道        | 峰值<br>/dBm | 底噪<br>/dBm | 电平值<br>/dBm | 隔离度<br>/dB |
|-----------|------------|------------|-------------|------------|
| A 极化      | -55        | -89        | 34          | /          |
| B 极化(调整前) | -67        | -85        | 18          | 16         |
| B 极化(调整后) | -79        | -85        | 6           | 28         |

### 4.2 极化面调整方法

根据上面的理论推导,采用调整旋变零位的方法调整极化面以达到纠正极化角偏差的目的。主要步骤如下:

- (1)卫通跟踪  $134^{\circ}\text{E}$  卫星水平极化信标,记录极化角的显示值  $\theta$ ;
- (2)将和差网络合路器输出 A 通道信标信号接入频谱仪,频谱仪分辨带宽设置为 300 Hz,记录信标信号的峰值和底噪;
- (3)将低噪声放大器 2 # 输出的 B 通道信号接入频谱仪,保持频谱仪的设置不变,记录 B 通道 A 极化信标信号的峰值和底噪;
- (4)转动极化面,当 B 通道信标信号达到最小值时停止转动,记录信标信号的峰值和底噪,记录此时极化角的显示值  $\beta$ ;
- (5)调整旋变位置,使得极化角的显示值  $\beta$  转变为  $\theta$ ;
- (6)计算线极化状态下接收信号交叉极化隔离度,完成极化面的调整。

极化面调整前后测试结果记录见表 4。调整后接收线极化信号交叉极化隔离度为 29 dB,提高了 13 dB。

表 4 调整前后的 A、B 信号记录  
Table 3 Test record of A and B signal before and after installation

| 通道        | 峰值<br>/dBm | 底噪<br>/dBm | 电平值<br>/dBm | 隔离度<br>/dB |
|-----------|------------|------------|-------------|------------|
| A 极化      | -54        | -83        | 29          | /          |
| B 极化(调整前) | -70        | -83        | 13          | 16         |
| B 极化(调整后) | -82        | -82        | 0           | 29         |

## 5 结 论

极化失配问题大多数由极化面和线圆极化器位置偏差引起,这一问题的产生主要原因有设备安装调试偏差、震动导致偏差、波导传导特性变化等<sup>[5]</sup>。

相关的文献中没有如何调整的叙述,岗位人员没有相关的工程实践经验。本次排查中,岗位人员按照先排查线圆极化位置后排查极化面角度的顺序进行,排除交叉干扰;通过公式和图形的结合,迅速判断出角度偏离的方向(正负)和大小,最后利用调整旋变和限位开关位置的方法进行解决。该方法简便易行、原理清晰,可以作为排查该类型问题的标准参考。但是对于其他原因引起的极化失配问题,本文没有涉及,仍然需要进一步深入研究。

## 参考文献:

- [1] 周阳辉.和差极化方式不同导致跟踪问题的分析[J]. 电讯技术,2010,50(10):109-112.  
ZHOU Yang-hui. Analysis of Tracking Problem caused by different Polarization Patterns of Sum and Difference Channels [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(10): 109-112. (in Chinese)
- [2] 沈民谊,蔡镇远.卫星通信天线、馈源、跟踪系统[M]. 北京:人民邮电出版社,1993.  
SHEN Ming-yi, CAI Zhen-yuan. Satellite communication antenna, feed, tracking system[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 1993. (in Chinese)
- [3] 李靖. TE21 模单通道自跟踪系统[J]. 无线电通信技术, 2005, 31(6): 42-44.  
LI Jing. TE21 single mode self-tracking system [J]. Radio Communications Technology, 2005, 31(6): 42-44. (in Chinese)
- [4] 米慧勇,袁博.卫星天线极化隔离度的测量与调整[J]. 有线电视技术,2011,30(9):72-74.  
MI Hui-yong, YUAN Bo. Satellite antenna polarization isolation measurement and adjustment[J]. Cable Television Technology, 2011, 30(9): 72-74. (in Chinese)
- [5] 陆善民.天线方向图及其在无线电比相系统中引入的相位误差[J]. 无线电工程,1980(1):1-13.  
LU Shan-min. Antenna directivity diagram and the phase error by it during Wireless phase system[J]. Radio Engineering of China, 1980(1): 1-13. (in Chinese)

## 作者简介:

周阳辉(1981—),男,江苏盐城人,2003年获学士学位,现为工程师,主要从事远洋通信方面的研究;

ZHOU Yang-hui was born in Yancheng, Jiangsu Province, in 1981. He received the B. S. degree in 2003. He is now an engineer. His research concerns ocean communications.

Email: zhouyanghuihui@yahoo.cn

罗黎希(1984—),男,重庆铜梁人,2007年获学士学位,现为工程师,主要从事远洋通信方面的研究工作;

LUO Li-xi was born in Tongliang, Chongqing, in 1984. He received the B. S. degree in 2007. He is now an engineer. His research concerns ocean communications.

罗岩(1989—),男,江西九江人,2009年获学士学位,现为助理工程师,主要从事远洋通信方面的研究工作。

LUO Yan was born in Jiujiang, Jiangxi Province, in 1989. He received the B. S. degree in 2009. He is now an assistant engineer. His research concerns ocean communications.