

# “动中通”天线极化轴稳定性研究

徐贵民,黄建国

(西北工业大学 航海学院 陕西 西安 710072)

**摘要:**为克服动中通两轴稳定造成的极化失配问题,在对卫星天线波束特性和波束稳定实质进行分析的基础上,建立“动中通”卫星天线极化轴稳定的通用性模型。基于此模型对天线极化轴稳定性进行了仿真,定量地证明了极化轴稳定的必要性。最后根据所推模型给出了两种极化稳定方案。

**关键词:**动中通;极化;极化匹配;稳定

中图分类号:TN927<sup>+</sup>.23

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2008)05-116-03

## Research on Stabilization of Antenna Polarization Axis of Vehicle Satellite Communication in Motion

XU Guimin, HUANG Jianguo

(College of Marine Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072, China)

**Abstract:** For overcoming the polarimetric crossing as a result of the stabilization of antenna only on two axes in satellite communication in motion, a normal model of the stabilization of antenna polarization axis is established, based on analyzing the beam characters of satellite antenna and stabilization of beam. The stabilization of antenna polarization axis is simulated based on the model, and the simulation results quantitatively prove that it is obligatory to stabilize the antenna polarization axis. Finally, two methods for the stabilization of antenna polarization axis are given based on the model.

**Keywords:** satellite communication in motion; polarization; polarimetric matching; stabilization

随着卫星通信技术的发展,“动中通”——移动卫星通信系统已成为一种机动通信的良好手段,可用于汽车、火车、舰船、飞机等各种移动载体上,有着广泛的市场和应用前景。其核心技术是解决在载体的角运动干扰和长距离线运动干扰<sup>[1]</sup>的条件下,保证卫星天线波束始终对准所选定的卫星(一般为同步卫星),实现当前位置的最优通信。

目前,国内车载“动中通”大都在方位和俯仰二维上进行稳定<sup>[1,2]</sup>,只能实现天线波束轴线的稳定,不能隔离波束的滚动<sup>[3]</sup>,而国家标准规定,国内卫星系统均采用线极化方式<sup>[4]</sup>,这样就造成了通信时极化失配,导致极化损耗,影响着数据传输的误码率和通信质量<sup>[4,5]</sup>。李华<sup>[6]</sup>对机载动中通的天线极化轴稳定性进行了建模仿真分析,但前提是航向角变化不大,因此不具有通用性。

针对上述情况,本文以车载动中通为例,在分析天线波束特点的基础上,推导了基于“方位-俯仰-横滚”型结构天线<sup>[2]</sup>的动中通极化轴稳定的通用性模型,并进行了仿真,定量的证明了极化调整的必要性,最后根据所推得的模型给出了几种极化轴稳定的方案。

收稿日期:2007-09-03

基金项目:第二炮兵武器装备预研资助项目(203020201)

### 1 模型的建立

#### 1.1 建模原理

极化是指电场的瞬时分量随时间变化的方式或方向。假设电磁波沿z轴传播,如果电场矢量投影在与传播方向相垂直的x-y平面上的轨迹为一直线,则是线极化,此时,电场的幅度在变,而其方向保持不变。可见,任一电场可以分解为两个正交分量 $E_x$ 和 $E_y$ 。如果电场 $E$ 在y轴没有分量( $E_y = 0$ ),则称为水平极化;如果电场 $E$ 在x轴没有分量( $E_x = 0$ ),则称为垂直极化。如果 $E_x$ 和 $E_y$ 两个分量分别独自发射,只要分量之间保持同相,则空间上瞬时合成分量仍为线极化<sup>[8]</sup>。

极化匹配是接收天线的极化方向应与电波的极化方向一致,这时接收天线能接收电波的全部能量。若接收天线的极化方向与电波的极化方向不一致,则为极化失配,这时存在极化角,只能接收部分能量<sup>[4]</sup>。

目前关于天线稳定的建模前提大都是将天线波束看作一个向量<sup>[1,7]</sup>,在不考虑其大小的前提下,通过两个量就可以在一个坐标系中完全描述他,而由上述极化定义可知,在不考虑波束增益的前提下,需要三个量才可以在一个坐标系中完全描述一个波束。因此,我们考虑将天线波束看作一个坐标系,通过坐标系旋转的理论来求取为了稳

定所需调整的方位角、俯仰角、极化角。

### 1.2 坐标系定义

载体地理坐标系  $n$ : 以车体的旋转中心  $o_n$  为原点,  $o_nx_n$  轴指向当地的正东方向,  $o_ny_n$  轴指向当地的正北方向,  $o_nz_n$  轴垂直于  $o_nx_n$  轴、 $o_ny_n$  轴且构成右手直角坐标系。

车体坐标系  $b$ : 本坐标系与车体固联, 以车体的旋转中心  $o_b$ (即  $o_n$ ) 为原点,  $o_bx_b$  轴与车体的横轴重合, 指向车体前进方向的右侧,  $o_by_b$  轴与车体的纵轴重合, 指向车体前进方向,  $o_bz_b$  与车体的垂直轴重合, 指向车体上方。

车体天线坐标系  $T$ : 本坐标系与车载天线波束固联, 以天线的质心  $o_T$  为原点,  $o_Tx_T$  轴与电场矢量指向重合, 即天线馈源矩形波导口窄边平行于车体平面,  $o_Ty_T$  为天线电轴指向目标,  $o_Tz_T$  轴垂直于  $o_Tx_T$  轴、 $o_Ty_T$  轴且构成右手直角坐标系。

理想指向波束坐标系  $W$ : 以车体的旋转中心  $o_W$ (即  $o_n$ ) 为原点,  $o_Wx_W$  轴与所选定的通信卫星的极化方向一致,  $o_Wy_W$  轴指向所选定的通信卫星,  $o_Wz_W$  轴垂直于  $o_Wx_W$  轴、 $o_Wy_W$  轴且构成右手直角坐标系。

车体相对于车体地理坐标系的姿态由偏航角  $\Psi$ 、俯仰角  $\varphi$ 、横滚角  $\theta$  唯一表示, 其中  $\Psi$  指车体纵轴沿前进方向在水平面上的投影与正北的夹角表示, 以顺时针为正;  $\varphi$  指车体纵轴与水平面的夹角, 以向上为正;  $\theta$  指车体绕自身

纵轴转过的角度, 以逆时针为正, 当车体纵轴平行于水平面时为零。

天线相对于车体坐标系的姿态由方位角  $\alpha$ 、俯仰角  $\beta$ 、极化角  $\gamma$  唯一表示, 其中  $\alpha$  表示天线电轴在  $o_bx_b$  平面上的投影与车体纵轴的夹角, 以顺时针为正;  $\beta$  表示天线电轴与面  $o_bx_b$  的夹角, 以向上为正;  $\gamma$  指天线绕自身电轴转过的角度, 以逆时针为正, 当  $o_Tx_T$  平行于  $o_bx_b$  面时为零。

理想指向波束相对于车体地理系的姿态由方位角  $A$ 、俯仰角  $E$ 、极化角  $V$  唯一表示, 其中  $A$  表示波束轴线在水平面上的投影与正北的夹角, 以顺时针为正;  $E$  表示波束轴线与水平面的夹角, 以向上为正;  $V$  表示为了极化匹配而需要调整的极化角, 即波束绕自身轴线转过的角度, 以逆时针为正, 当  $o_Wx_W$  平行于当地水平面时为零。

### 1.3 模型推导

设载体(在北半球)所在点的经纬度分别为  $L_1$ (设东经为正, 西经为负)、 $B$ ; 卫星下点的经度为  $L_2$ , 则可得:

$$A = 180 + \arctan[\tan(L_1 - L_2)/\sin B] \quad (1)$$

$$E = \arctan\left\{\frac{[\cos B \cos(L_1 - L_2) - 0.151]}{\sqrt{1 - [\cos B \cos(L_1 - L_2)]^2}}\right\} \quad (2)$$

$$V = \arctan[\sin(L_1 - L_2)/\tan B] \quad (3)$$

根据坐标系旋转的数学知识可得:

$$C_n^b = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \Psi + \sin \theta \sin \Psi \sin \varphi & -\cos \theta \sin \Psi + \sin \theta \cos \Psi \sin \varphi & -\sin \theta \cos \varphi \\ \sin \Psi \cos \varphi & \cos \Psi \cos \varphi & \sin \varphi \\ \sin \theta \cos \Psi - \cos \theta \sin \Psi \sin \varphi & -\sin \theta \sin \Psi - \cos \theta \cos \Psi \sin \varphi & \cos \theta \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$C_n^W = \begin{bmatrix} \cos V \cos A + \sin V \sin A \sin E & -\cos V \sin A + \sin V \cos A \sin E & -\sin V \cos E \\ \sin A \cos E & \cos A \cos E & \sin E \\ \sin V \cos A - \cos V \sin A \sin E & -\sin V \sin A - \cos V \cos A \sin E & \cos V \cos E \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$C_b^T = \begin{bmatrix} \cos \gamma \cos \alpha + \sin \gamma \sin \alpha \sin \beta & -\cos \gamma \sin \alpha + \sin \gamma \cos \alpha \sin \beta & -\sin \gamma \cos \beta \\ \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta & \sin \beta \\ \sin \gamma \cos \alpha - \cos \gamma \sin \alpha \sin \beta & -\sin \gamma \sin \alpha - \cos \gamma \cos \alpha \sin \beta & \cos \gamma \cos \beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

若要使动中通的天线波束完全对准卫星, 实现通信性能的最优化, 必有:

$$C_n^W = C_b^T C_n^b \quad (7)$$

由于  $n$  系至  $b$  系的旋转过程中坐标系始终保持直角坐标系, 所以  $C_n^b$  为正交矩阵<sup>[1]</sup>, 即:

$$C_b^T = C_n^W C_n^b = C_n^W (C_n^b)^T \quad (8)$$

令:

$$C_b^T = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

比较式(6)和式(9), 得:

$$\begin{cases} \alpha_{\pm} = \arctan(T_{21}/T_{22}) \\ \beta = \arcsin(T_{23}) \\ \gamma_{\pm} = \arctan(-T_{13}/T_{33}) \end{cases} \quad (10)$$

表 1 方位角  $\alpha$  真值表

$T_{22}$	$T_{21}$	$\alpha$
$\rightarrow 0$	+	$90^\circ$
$\rightarrow 0$	-	$90^\circ$
+	+	$\alpha_{\pm}$
+	-	$\alpha_{\pm}$
-	+	$\alpha_{\pm} + 180^\circ$
-	-	$\alpha_{\pm} - 180^\circ$

表 2 极化角  $\gamma$  真值表

$\gamma_{\pm}$	$T_{33}$	$\gamma$
+	+	$\gamma_{\pm}$
-	-	$\gamma_{\pm}$
+	-	$\gamma_{\pm} - 180^\circ$
-	-	$\gamma_{\pm} + 180^\circ$

则当车体姿态角变化时,即可通过上述模型得到 $\alpha, \beta, \gamma$ 的相应的变化,以及为了始终对准卫星,天线各轴要进行相应的调整。

## 2 仿真实验

仿真条件:车在西安(经度 108.95,纬度 34.27),卫星为亚洲 3S(经度 110.5),水平极化,天线相对于车体初始姿态极化水平,车在地理坐标系中无平动,仅有姿态运动。

**实验 1** 设初始方位角为 $90^\circ$ ,俯仰角为 $5^\circ$ ,横滚角为 $0^\circ$ ;载体姿态变化:横滚角、俯仰角皆为零,方位角按照 $\theta = 90\sin(2\pi t)$ (即在爬坡时拐一个直角弯)的规律变化,仿真结果如图 1 所示。

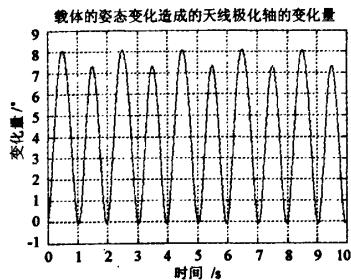


图 1 仿真结果(一)

**实验 2** 设初始方位角为 $90^\circ$ ,俯仰角为 $0^\circ$ ,横滚角为 $0^\circ$ ;载体姿态变化:横滚角、方位角皆为零,俯仰角按照 $\theta = 5\sin(2\pi t)$ (模拟上坡下坡)的规律变化,仿真结果如图 2 所示。

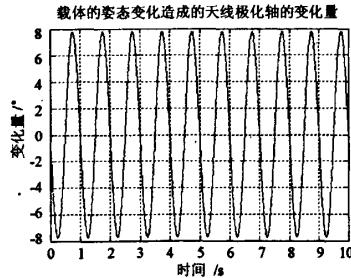


图 2 仿真结果(二)

**实验 3** 设初始方位角为 $180^\circ$ ,俯仰角为 $0^\circ$ ,横滚角为 $0^\circ$ ;载体姿态变化:俯仰角、方位角皆为零,横滚角按照 $\theta = 5\sin(2\pi t)$ (模拟车体左右颠簸)的规律变化,仿真结果如图 3 所示。

由以上 3 种条件下的仿真可以看出,车体的航向变化、俯仰变化、横滚变化对于天线极化皆有影响,在一定的条件下,天线极化轴变化量会比 $1.8^\circ$ 大很多<sup>[5]</sup>。如此就会造成通信时严重的极化失配,导致极化损耗,最终影响数据传输的误码率和通信质量。因此必须采取一定的措施

对由于载体的姿态变化造成的天线极化轴的变化量进行稳定补偿。

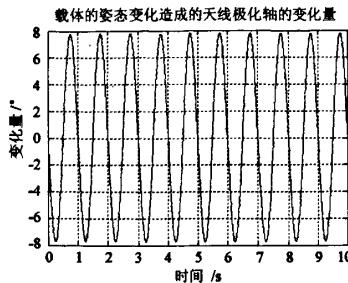


图 3 仿真结果(三)

## 3 解决方案

对基于“方位-俯仰-横滚”型结构天线的动中通,可在载体上安装捷联惯导装置<sup>[1]</sup>,实时输出载体的姿态角,进而利用上述模型得到天线极化稳定的实时调整角或改变量,通过驱动极化电机对其进行调整,对基于平板天线的动中通,则可以通过一个极化合成网络来实现极化的匹配,大体的工作流程为根据得到的极化调整角来实时调整极化调整单元中的移相器,使得卫星天线极化方式始终与卫星信号极化方式相匹配。

## 参 考 文 献

- [1] 腾云鹤. 移动卫星通信捷联式天线稳定系统[J]. 宇航学报, 2002, 23(5).
- [2] 王继东. 移动载体稳定跟踪平台测控关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2003.
- [3] 严武昇, 刘宏. 舰载雷达三轴稳定跟踪的研究[J]. 电子机械工程, 1996(1): 26~30.
- [4] 杨凤梅. 卫星电视接收天线的极化匹配问题探析[J]. 中国有线电视, 2004(24): 69~72.
- [5] 杨宝莉, 裴著伟. 卫星接收中线极化匹配的理论分析与调整方法[J]. 有线电视技术, 2001, 8(21): 24~27, 77.
- [6] 李华. 机载卫星通信天线极化轴的稳定分析[J]. 现代电子技术, 2002, 25(11): 47~49.
- [7] 周瑞青, 吕善伟, 刘新华. 捷联式天线平台数字稳定技术及仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(10): 2234~2236, 2247.
- [8] 盛振华. 电磁场微波技术与天线[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [9] 王秉钧. 现代卫星通信系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [10] 林培通. 卫星接收极化角计算公式的推导[J]. 宁德师专学报: 自然科学版, 2004, 16(4): 400~402.
- [11] 秦永元. 惯性导航[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

作者简介 徐贵民 男,1966 年生,江苏徐州人,在读博士。主要研究方向包括阵列信号处理理论与应用、移动卫星通信等方面。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>