

· 天馈伺系统 ·

中图分类号: TN958.92

文献标志码: A

文章编号: 1004-7859(2011)05-0067-03

风云三号卫星接收天线过顶盲区跟踪实现

任立清, 王罡

(乌鲁木齐气象卫星地面站, 乌鲁木齐 830011)

摘要:采用12 m A-E天线座架的气象卫星接收系统在跟踪运行于太阳同步轨道的风云三号气象卫星时, 方位角误差随着俯仰角的增大而不断增大, 到天顶区域已无法满足跟踪要求。为了解决卫星站过顶盲区问题, 在接收天线上增加机械倾斜第三轴, 通过分析计算, 提出了实用的软件处理方法。实际运行情况表明, 此方法较好地解决了过顶跟踪的目标丢失问题。

关键词:风云三号气象卫星; 过顶盲区; 自动倾斜

A Study on Zenith Blind Zone Tracking of FY-3 Meteorological Satellite Antenna

REN Li-qing, WANG Gang

(Urumqi Meteorological Satellite Ground Station, Urumqi 830011, China)

Abstract: When tracking the FY-3 meteorological satellite in sun-synchronous orbit, the error of azimuth of the satellite reception system, which use 12 meters A-E antenna, is increased with the rising of elevation angel. In the overhead area, the reception system can not satisfy the tracking demand. In order to solve the zenith blinde zone problem, the mechanical tilt third axi is added in the antenna, and designed tilt overhead tracking control software according to theoretical analysis and calculation. Practical experiment shows that this method has solved the tracking zenithal targets effectively.

Key words: FY-3 polar-orbiting meteorological satellite; zenith blind zone; automatic tilt

0 引言

2008年5月27日, 我国成功发射第二代极轨气象卫星——风云三号(简称“风三”), 其第一颗星FY-3A搭载了可见光红外扫描辐射计、中分辨率光谱成像仪、微波成像仪等11个有效载荷, 可以对全球天气和环境实现全天候、三维、定量、多光谱遥感, 为灾害和环境的遥感监测提供了更为有效的手段。

气象卫星地面数据接收系统是气象卫星地面应用系统的前端^[1]。风云三号气象卫星地面数据接收系统负责接收风三卫星过境时发送的L波段实时气象资料(HRPT)、X波段实时气象资料(MPT)及X波段延时气象资料(DPT)等。每天国家卫星气象中心运行控制室向下属的4个站(北京、广州、乌鲁木齐、佳木斯)发送卫星运行轨迹的两行元素, 各地面站根据两行元素计算出风三卫星当天的每条轨道的卫星跟踪轨迹数据。在卫星入境的起始低仰角阶段, 地面站天线根据事先计算好的卫星过境轨迹数据进行程序捕获跟踪。

由于天线架设的地理位置与卫星运行轨道的关系, 风云系列气象卫星在乌鲁木齐气象卫星地面站过顶仰角较高(最高约88°), 且卫星过顶时相对运动速

度较快, 所以采用方位-俯仰型(即A-E型)的天线在跟踪气象卫星时地面站伺服系统动态滞后大, 存在较大的过顶盲区, 常导致过顶跟踪时数据精度不够甚至无法接收到卫星数据。乌鲁木齐气象卫星站的12 m天线接收系统设计机械倾斜轴第三轴, 并根据气象卫星的运行轨迹和雷达实际性能设计自动倾斜程序, 成功解决此问题。

1 12 m 接收天线工作方式

1.1 工作原理

接收天线对卫星的精确跟踪是保证卫星云图接收质量的重要环节。实际上, 在卫星过顶时, 接收天线与卫星距离较近且信号强, 此时的实时图像可信度最高, 数据也就显得特别重要。地面站接收系统一般采用程序跟踪和自动跟踪相结合的工作方式。天线预置为程序跟踪方式, 当接收到的信号电平超过捕获门限后, 控制系统自动转入自动跟踪。在跟踪过程中, 如果信号电平降落到捕获门限以下, 天线的方位轴、俯仰轴将以目标丢失前的运动轨迹滑行。若在设定的滑行时间内没有发现目标, 天线将自动转入程序跟踪方式, 发现目标后重新进入自动跟踪^[2]。

传统的A-E型天线座工作时, 方位角需要俯仰角

的正割补偿。当俯仰角增大时会对跟踪系统的方位角速度与角加速度提出更高要求,当要求超过方位角的最大加速度或最大速度后将出现跟踪目标丢失的现象,这就是所谓“盲区”^[3]。风云三号气象卫星天线口径达到12 m,由于结构谐振频率的限制,在跟踪风三卫星时“盲区”更大。

对于12 m接收天线采用机械倾斜第三轴设计,即在目标到达“盲区”前就将天线方位轴向某个方向(东或西)倾斜一个角度,使卫星过顶时偏离天线的跟踪盲区,从而降低对天线性能的要求,实现在该区域有效跟踪。

1.2 接收站盲区的计算

地面接收天线跟踪盲区大小与接收天线最大角速度及目标轨道高度有关。对于太阳同步轨道目标,接收天线所能跟踪的区域可看作等高、匀速、直线飞行目标^[4],如图1所示。

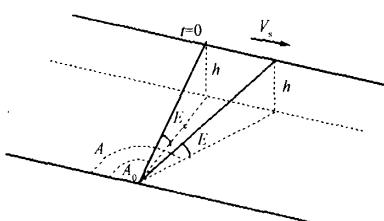


图1 太阳同步轨道目标近似模型

图中, h 为轨道高度; A_0 为过捷点时方位角; E_c 为过捷点时刻俯仰角,时间原点在目标过捷点处; A, E 则为 t 时刻目标对应方位角和俯仰角; V_s 为目标飞行速度。于是有

$$A = A_0 + \operatorname{tg}^{-1} \frac{V_s t \cdot \operatorname{tg} E_c}{h} = A_0 + \operatorname{tg}^{-1} at \quad (1)$$

其中, $a = \frac{V_s \operatorname{tg} E_c}{h}$ 。对式(1)求导,可得到

$$\dot{A} = \frac{a}{1 + (at)^2} \quad (2)$$

式中: \dot{A} 是天线的运动速度。当 $t = 0$ 时,式(2)变为

$$\dot{A} = \dot{A}_{\max} = a \frac{V_s \operatorname{tg} E_c}{h} \quad (3)$$

由此得

$$\operatorname{tg} E_c = \frac{h}{V_s} \dot{A}_{\max} \quad (4)$$

卫星运动角速度为

$$\omega_s = \sqrt{\frac{\mu}{b^3}} \quad (5)$$

式中: μ 为重力常数, $\mu = 3.98 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$; b 为目标轨道半径,对于圆轨道有 $b = R_E + h$, R_E 为地球半径。于是卫星飞行线速度可表示为

$$v_s = b \cdot \omega_s = b \sqrt{\frac{\mu}{b^3}} = \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{R_E + h}} \quad (6)$$

则有

$$E_c = \operatorname{tg}^{-1} \frac{A_{\max} \cdot h \sqrt{R_E + h}}{\sqrt{\mu}} \quad (7)$$

式(7)即为地面站可以接收到信号的最大区域计算公式。从此式可以看出,当 h 一定时,提高地面站天线的最大跟踪速度,则跟踪范围将扩大,跟踪盲区减小。同样,当天线最大转速一定时,降低轨道高度 h ,盲区也将减小。三者关系如图2所示。

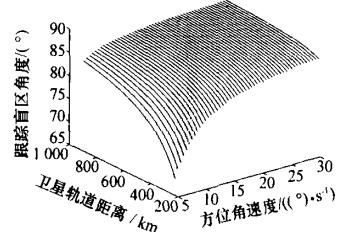


图2 雷达跟踪盲区与卫星轨道距离及方位角速度的关系

2 倾斜过顶跟踪软件设计

采用地面接收天线第三轴机械倾斜实现过顶跟踪是保证卫星资料接收完整的有效途径之一。利用风三气象卫星轨道预报,根据轨道预报数据判断天线跟踪状态,由此决定跟踪策略。如果未收到轨道预报数据或跟踪未知轨道卫星目标,倾斜过顶跟踪软件采样接收站实时输出方位、俯仰数据,推断卫星目标运行轨迹,辅助操作人员决策。

2.1 机械倾斜机构

根据风三卫星运行轨道,地面站接收天线的机械倾斜机构设计成东、西方向倾斜。天线安装2个线性传动机构,采用交流电机驱动。当线性传动机构传动时,天线座便相对于倾斜主体倾斜。当卫星目标接近过顶时,机械倾斜机构按照指令要求向合适的方向倾斜一个角度,使天线跟踪最大仰角小于盲区仰角,从而避免盲区,实现准确跟踪。

2.2 倾斜过顶跟踪软件设计

倾斜过顶跟踪软件包括2个部分:判读是否倾斜过顶程序和判断倾斜跟踪方向程序。

2.2.1 判断是否倾斜过顶

式(7)给出了天线跟踪过顶计算角度公式。实际软件设计中,根据此公式并考虑实际跟踪的精度和角度余量,采用查表方式给出盲区角度。对于500 km以上的卫星,设定盲区角度为85°,对于500 km以下的卫星,设定盲区角度为80°。对于有轨道预报的卫星跟踪,可直接判读是否需要倾斜过顶,对于无轨道预报的卫星,则按照以下算法计算。

假定 $(AZ_1, EL_1), (AZ_2, EL_2)$ 为实际跟踪时采样到的2点数据(第1点和第2点), AZ_1, AZ_2 为方位角数据, EL_1, EL_2 为俯仰角数据,则

$$\begin{aligned} Z_e &= Z_1 \times \sin |\arctg [Z_2 \times \sin(\Delta AZ) / (Z_1 - Z_2 \times \cos(\Delta AZ))]| \\ Z_1 &= 90^\circ - EL_1 \quad Z_2 = 90^\circ - EL_2 \\ \Delta AZ &= AZ_2 - AZ_1 \end{aligned} \quad (8)$$

式中: Z_e 为近站点的天顶距; Z_1 为第1点的天顶距; Z_2 为第2点的天顶距。

设 $EL_1 = 20^\circ, EL_2 = 50^\circ$, 即第1点及第2点的仰角分别是 20° 和 50° 。若最大仰角 $E_{\max} = 90^\circ - Z_e \geq 85^\circ$, 则 $Z_e \leq 5.0^\circ$, 由式(8)可得 $|AZ_1 - AZ_2| \leq 3.1^\circ$, 即如果在第1点和第2点采样的方位角数据 AZ_1, AZ_2 之差小于 3.1° , 则第三轴倾斜过顶;否则,天线座不进行第三轴倾斜。

2.2.2 判断倾斜方向

以接收站址为原点,正北方向为方位 0° ,依据仰角 $20^\circ, 50^\circ$ 时的方位角数据 AZ_1, AZ_2 作判断,判定倾斜机构的方向。

首先,判断天线转动方向,若 $AZ_2 \geq AZ_1$,则天线顺时针转动,天线方位角速度为正;若 $AZ_2 < AZ_1$,则天线逆时针转动,天线方位角速度为负。

然后,再结合方位角数据 AZ_2 所在的象限,就可以判断倾斜方向。

如图3所示,卫星由北向南运动时:天线逆时针转动,若 AZ_2 在4象限,如线a、线b所示,则向东倾斜过顶;若 AZ_2 在1象限,如线c所示,则向东倾斜过顶;天线顺时针转动,若 AZ_2 在4象限,如线d所示,则向西倾斜过顶;若 AZ_2 在1象限,如线e、线f所示,则向西倾斜过顶。

卫星由南向北运动时:天线顺时针转动,若 AZ_2 在3象限,如线g、线h所示,则向东倾斜过顶;若 AZ_2 在2象限,如线i所示,则向东倾斜过顶。天线逆时针转动,若 AZ_2 在2象限,如线k、线l所示,则向西倾斜过顶;若 AZ_2 在3象限,如线j所示,则向西倾斜过顶。

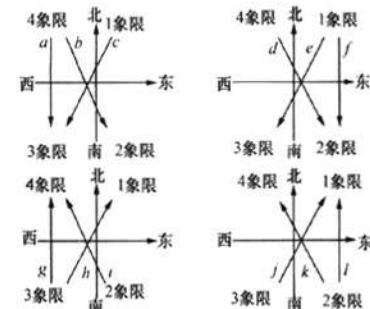


图3 卫星运行轨迹示意图

3 实际试验结果

采用本文的方法对乌鲁木齐站12 m接收天线进行了适应性改造,并进行了实际数据接收试验。图4~图6是记录下的试验结果。

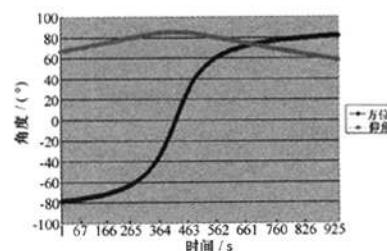


图4 风三卫星过顶时方位和仰角角度随时间的变化曲线图

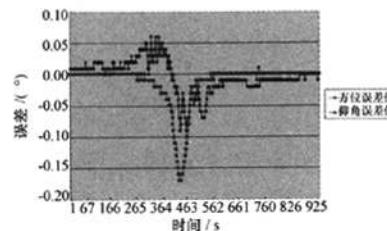


图5 风三卫星过顶时方位和仰角误差随时间的变化曲线图

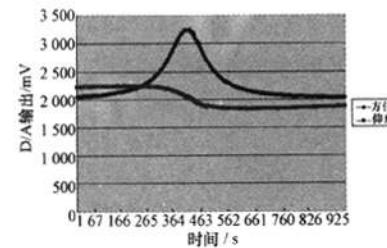


图6 风三卫星过顶时伺服控制器输出的方位和仰角D/A值随时间的变化曲线图

从图4~图6可以看出,增加机械倾斜第三轴,虽
(下转第76页)

3 测试结果

3.1 DC 参数测试结果

S/N-104225/001 NAME: MAPH-009393

PARM LIMIT MEASURED

T1; BVEBO < 800 mV = 571 mV

T2; VFBE > 100 mV = 570.7 mV

T3; BVCBO < 800 mV = 569 mV

T4; VFBC > 100 mV = 568.8 mV

T5; BVEBO > 3.50 V = 3.924 V

T6; ICES < 2.000 mA = 459.3 μA

T7; BVCES > 67.000 V = 69.95 V

SORT 1 BIN 1

3.2 RF 参数测试结果

测试结果均满足产品手册的要求,且与出厂检测结果波动不大。

表 2 RF 参数测试结果

管号	频率/MHz	P_o/W	顶降/dB	I_c/A	$P_{1\text{dB}}$	反射功率/W	$\eta_c/(\%)$	G_p/dB	RL/dB
104225/001	3150	133	0.10	0.73	140	1.20	50.6	9.48	11.0
	3175	135	0.12	0.76	143	0.80	49.3	9.54	12.7
	3200	137	0.14	0.78	145	0.50	48.8	9.61	14.8
	3225	136	0.10	0.77	147	0.50	49.1	9.57	14.8
	3250	135	0.10	0.77	148	0.50	48.7	9.54	14.8

4 结束语

微波功率管特征参数不但关系到对管子本身的评价,而且是微波功率放大器、振荡器等部件的设计师们最基本必不可少的工作,因此精确测试微波功率管的特征参数具有十分重要的意义。此外微波功率管特征参数的测试,对于生产厂家改进管子性能也具有重要意义。

参 考 文 献

[1] 袁 翎. SiGe 异质结功率晶体管的研究 [D]. 北京:北京工业大学, 2001.

Yuan Ying. Research of SiGe heterojunction bipolar power transistor [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2001.

(上接第 69 页)

然在卫星过顶时跟踪误差变大,但能够保证接收站不会丢失目标。使得乌鲁木齐气象卫星地面站风云三号卫星地面接收系统成功实现了对风云三号 A 星的过顶跟踪。

4 结束语

风云三号卫星升空后,对地面数据接收系统要求较风云一号和风云二号的要求更高。特别是由于卫星运行轨道的变化,采用第三轴倾斜的天线座方式完成对风云三号卫星的精密跟踪。通过两年多的实际运行,倾斜过顶机构和倾斜过顶软件都没有出现异常情况,保证了风云三号卫星资料的完整接收,也保证了风云三号气象卫星业务运行的成功率。

参 考 文 献

[1] 陈芳允. 卫星测控手册 [M]. 北京:科学出版社, 1992.

[2] 刘英坤. L 波段硅微波功率管 DMOSFET 研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2002.
Liu Yingkun. Research of L-band silicon microwave power DMOSFET [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2002.

[3] 陈星弼, 张庆中. 晶体管原理与设计 [M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2006.
Chen Xingbi, Zhang Qingzhong. Transistor principle and design [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing house of electronics industry, 2006.

[4] 薛正辉. 微波固态电路 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
Xue Zhenghui. Microwave solid-state circuits [M]. Beijing: publishing house of Beijing Institute of Technology, 2004.

聂 冰 女, 1969 年生, 高级工程师。研究方向为微波仪器的校准及微波元器件的测试方法。

Chen Fangyun. Satellite control manual [M]. Beijing: Science Press, 1992.

[2] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
Chen Boshi. Electrical towage automatic control system [M]. Beijing: China Machine Press, 1992.

[3] 刘学观, 郭辉萍. 微波技术与天线 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
Liu Xueguan, Guo Huiping. Microwave technology and antenna [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2001.

[4] 王秀春. 极大值法在卫星通信跟踪系统中的应用研究 [J]. 现代雷达, 1996, 18(6): 55-66.
Wang Xiuchun. The application research of maximum approach in the satellite communication tracking system [J]. Modern Radar, 1996, 18(6): 55-66.

任立清 女, 1967 年生, 高级工程师。研究方向为雷达遥感等技术。

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)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)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),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>