

文章编号: 2095-4980(2017)06-1009-05

## 三轴卫星天线降低能耗研究

申 健, 王 敬, 魏遵培

(61112 部队, 黑龙江 牡丹江 157000)

**摘 要:** 针对三轴遥感卫星天线用户任务逐渐增多, 消耗的能源越来越多的现状, 简要介绍了天线控制系统的功能和组成。以功耗测试数据为依据, 分析了三轴遥感卫星天线的能耗情况, 从缩短天线闭环等待时间、第三轴下电抱闸等方面讨论了降低功耗策略和措施, 并提出一种智能化力矩偏置控制的设计, 通过智能力偏置电路去除力矩偏置值, 有效控制和降低设备的能耗。

**关键词:** 三轴天线; 能耗; 力矩偏置

中图分类号: TN827

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201706.1009

## Research for energy consumption reduction of tri-axis satellite antenna

SHEN Jian, WANG Jing, WEI Zunpei

(61112 Troops of PLA, Mudanjiang Heilongjiang 157000, China)

**Abstract:** As the use of tri-axis remote sensing satellite is increasing, energy consumption is going high. The paper briefly describes the composition and function of the antenna control system. To deal with this situation, the power test data is employed to analyze the energy consumption of tri-axis remote sensing satellite antenna. Besides, from the aspects of shortening the closed loop waiting time of antenna, a tri-axis to brake, strategies and measures are discussed to reduce energy consumption. An intelligent torque bias control is designed to reduce the torque bias value. Therefore the energy consumption of equipment can be effectively controlled and reduced.

**Keywords:** tri-axis satellite antenna; energy consumption; bias torque

随着遥感卫星的不断发展, 卫星的应用需求更加广泛。近年来, 天线的接收任务明显增多, 在天线接收的设备使用期间, 消耗的能源也越来越多。如何能既保障设备正常任务的顺利执行, 又有效降低能耗及使用成本, 成为一项具有重要意义的研究课题。

### 1 天线控制系统主要功能

#### 1.1 系统组成

天线控制子系统是天馈分系统的重要组成部分, 是实现天线各种功能控制的执行机构。该系统主要由天线控制单元(Antenna Control Unit, ACU)、天线驱动单元(Antenna Drive Unit, ADU)、极化控制单元(Polarization Control Unit, PCU)、轴角编码单元、变压器、远程加电单元、驱动执行部件、天线角度测量部件和安全保护部件组成<sup>[1]</sup>。天线控制子系统组成见图 1。

天线控制单元是天线控制子系统的控制中心, 完成天线运动的各种控制以及各种控制策略的实施, 最终完成天线对目标的精确跟踪。为提高跟踪性能, ACU 提供先进的控制算法。同时, 强大的显示功能使得用户对跟踪过程了如指掌。

天线驱动系统是实现天线运动功能的基础, 由功率放大、环路控制、驱动电机、逻辑与安全控保电路、配电设备组成, 采用双电机、双链驱动, 速度环路带有电消除能力<sup>[2]</sup>。

天线驱动单元承受的风力矩较大, 加速力矩也较大, 是一个大功率驱动系统, 由 1 个驱动柜和 3 个变压器组成。安装有功率放大器、电抗器、可编程控制器、低压电器、环路控制板及控制电路。

驱动电机采用永磁直流伺服测速机组，其方位(Azimuth, Az)、俯仰(Elevation, El)和第三轴(Tilt, Til)驱动电机的功率和转速分别为：Az(24 kW,2 000 r/min)，El(14 kW,2 000 r/min)，Til(5.2 kW,1 200 r/min)。

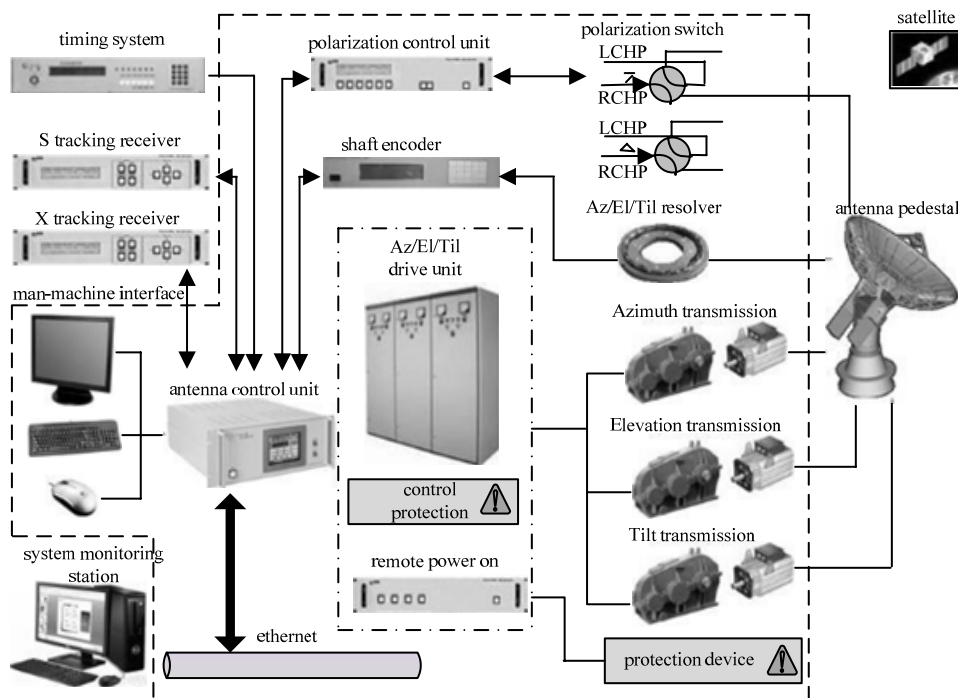


Fig.1 Block diagram of antenna control subsystem  
图 1 天线控制子系统组成框图

1.2 天线主要工作方式

天线采用方位/俯仰/第三轴的运动方式，增加了第三轴的运动控制。文中提及的天线工作方式主要指方位/俯仰轴的工作方式，第三轴的工作方式将标注说明。天线的工作方式(方位/俯仰/第三轴)如表 1 所示。

表 1 天线的工作方式

Table1 Operation mode of antennas

		operation mode							
Azimuth	standby	speed manual control	position manual control	handwheel manual control	program leading	auto track	return zero	collection	remote control
Elevation	standby	speed manual control	position manual control	handwheel manual control	program leading	auto track	return zero	collection	remote control
Tilt	standby	speed manual control	position manual control						

2 天线能耗情况分析

2.1 现有设备能耗测试

以 12 m 三轴天线功耗测试数据分析能耗情况，天线采用三相制供电，结构框图<sup>[3]</sup>如图 2 所示。

在试验场，在以下几种情况下，分别对配电箱输出功率瞬时值进行测试。均从配电柜总开关处测试并记录，结果见表 2~表 6。

表 2 设备电源正常加电，待机工作方式时功率 P<sub>1</sub>  
Table2 Power P<sub>1</sub> in standby mode under normal situation

	load current/A	phase voltage/V	instantaneous average power P <sub>1</sub> /kW
A phase	1.8~2.1	224	2.02
B phase	2.9~3.3	225	
C phase	3.9~4.2	224	

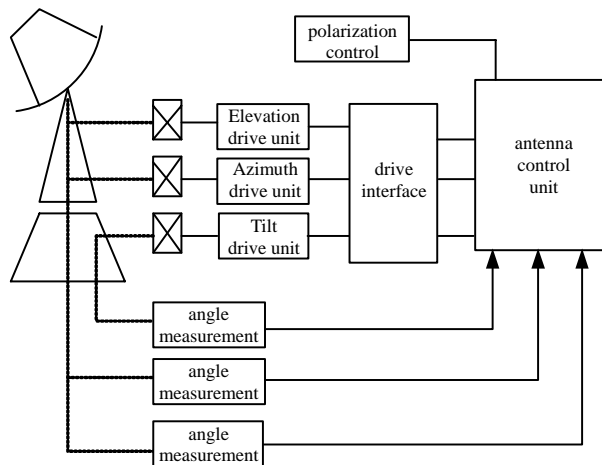


Fig.2 Structural block diagram of tri-axis antenna  
图 2 三轴天线结构框图

表 3 设备电源正常加电，速度手控工作方式时功率  $P_2$ Table3 Power  $P_2$  in speed manual control mode under normal situation

	load current/A	phase voltage/V	instantaneous average power $P_2$ /kW
A phase	33-35	229	
B phase	28-31	229	21.496
C phase	29-31	228	

表 4 设备电源正常加电，跟踪方式下(EI 最大  $82^\circ$ )时功耗  $P_3$ Table4 Power  $P_3$  in auto track mode(EI at max  $82^\circ$ ) under normal situation

	load current/A	phase voltage/V	instantaneous average power $P_3$ /kW
A phase	36	227	
B phase	32	228	37.77
C phase	30	228	

表 5 测试所有设备正常加电，天线处于最大加速度瞬间时的功耗  $P_4$ Table5 Power  $P_4$  at the maximum instant acceleration under all equipments working situation

	Az maximum acceleration current			EI maximum acceleration current		
	load current/A	phase voltage/V	instantaneous average power $P_{4AZ}$ /kW	load current/A	phase voltage/V	instantaneous average power $P_{4EI}$ /kW
A phase	102-105	223		55-58	224	
B phase	110-113	225	74.82	54-57	223	39.2
C phase	113-116	224		58-60	225	

表 6 控制电源功耗

Table6 Power consumption control

power consumption	load current/A	phase voltage/V	average power $P$ /kW
standby	4	220	1.0
command or track	5	220	1.1

## 2.2 耗能数据分析

由以上功耗测试数据分析可知：

- 1) 控制电源功率在 1 kW 左右，基本稳定，在功耗中所占比重不超过 5%，比重很小。
- 2) 在测试最大加速度指标时，瞬间功率最大，方位可达 75 kW，俯仰可达 40 kW，但在任务期间多数圈次不会出现较大加速度，即便出现瞬间较大加速度，时间也非常短，仅有几秒，相比于每圈次 10 多分钟的任务，时间消耗的功耗所占比重很小。
- 3) 待机方式下，功率只有 2 kW 左右；速度手控静止或位置手控静止情况下，平均功率均达到 20 kW 以上，与正常任务圈次期间平均功率相当。非任务期间，速度手控静止或位置手控静止情况下，消耗的功率主要是消除力偏引起的对顶力矩，因此需要大大减小力偏值<sup>[4]</sup>。
- 4) 现设备每圈次功耗估算：从预置到任务完成，按 15 min 的任务时间，平均功率为 22 kW，总功耗约为 5.5 kW。

## 3 降低能耗的策略与措施

根据以上分析，为降低设备使用期间总的使用功耗，从以下几方面采取措施：

1) 目前设备每一次任务预置等待时，天线控制子系统一般提前 5 min 甚至更长时间在轨道预置点等待，此时为加电闭环使能状态，已开始消耗能源，且与任务执行期间所消耗的平均值等值。通过改变工作方式，缩短任务开始前的闭环位置等待时间，比如缩短到 1 min 或 30 s 时，闭位置环等待，可有效降低能耗<sup>[5]</sup>。

2) 第三轴预置到位后，去高压，制动器下电抱闸，第三轴电机无功率消耗。同时改善了高仰角、高动态时的伺服响应动态特性，天线平稳跟踪，拟在第三轴加装大力矩制动器，以减小方位轴与第三轴的串扰的影响。

具体方法为：第三轴 2 条结构传动链输入轴分别加装大功率制动器，采用制动器大力矩抱闸方法以减小方位轴高动态时对第三轴的冲击扰动。原电机自带制动器力矩为 50 N·m，仅为电机制动用，第三轴待机时，方位对第三轴的冲击远远大于 50 N·m，第三轴会来回摆动，现拟第三轴制动器力矩设计为 235 N·m。第三轴角度设置到位时，将其中一条传动链的制动器抱闸，另一条传动链继续低速转动，通过电路自动检测卸载电流门限，可确认传动链齿隙消除后，另一条传动链的制动器下电抱闸。此时，第三轴 2 条传动链的传动齿隙均已消除，第三轴平台接近刚体特性，克服了方位轴对第三轴的冲击扰动影响<sup>[6]</sup>。且第三轴预置到位后，可采取去高压，制动器下电抱闸工作模式，第三轴电机无功率消耗。

3) 任务执行前后的角度预置或大角度调转，以及非任务期间的使用均可通过智能力偏设置，以减小功率消耗。这种情况下，通过智能力偏设置电路，采用去除力矩偏置值，有效降低功耗。

4) 在不执行任务期间，让全系统进入待机模式，可最大限度降低能耗。

采取以上措施后,设备每圈次从预置到任务完成按照 12 min 的任务时间,且预置和归零的功耗可降低 80% 以上,每圈次总功耗估计可降低到 4.5 kW 以下。

#### 4 智能化力矩偏置控制的设计

任务执行前后的角度预置或大角度调转,以及非任务期间的使用均可通过智能力偏设置,以减小功率消耗,通过智能力偏设置电路,去除力矩偏置值,大大降低功耗。

三轴系列天线驱动系统均采用双电机消除,在 2 个电机的电流环指令加入时,加入 1 个大小相等、极性相反的直流分量——力偏指令,让 2 个电机产生同样大小的对顶力矩,从而消除传动链中的间隙<sup>[7]</sup>。正是力偏指令使 2 台电机产生了一部分除了正常驱动天线之外的额外电流,这是除了天线本身负载能耗之外的一个重要的能耗来源。

智能力偏控制电路如图 3 所示。功率放大器力偏由 K5A 继电器控制加/去力偏,同时通过天线控制单元与天线驱动单元之间的通信协议,增加一个控制字节,从而控制速度环路板继电器,达到控制力偏的目的,并通过天线控制单元与天线驱动单元的通信,显示和控制力偏状态,从而有效地控制设备能耗状态,达到降低速度手控静止或位置手控静止情况下能耗的效果<sup>[8]</sup>。

智能力偏控制电路工作流程如下:

1) 天线处于对星跟踪状态下,天线控制单元下达控制指令,继电器 K5A 动触点连接 4,力偏信号经滑动变阻器 RP3、继电器 K5A 进入控制电路,产生对顶力矩,消除传动间隙,保证天线平稳保精度工作。

2) 天线在对星跟踪前后的角度预置或大角度调转,以及非跟踪期间使用时,继电器 K5A 动触点连接 2,此时继电器对地短接,力偏信号经滑动变阻器 RP3 接地,控制系统去除力偏信号,有效降低系统功耗。

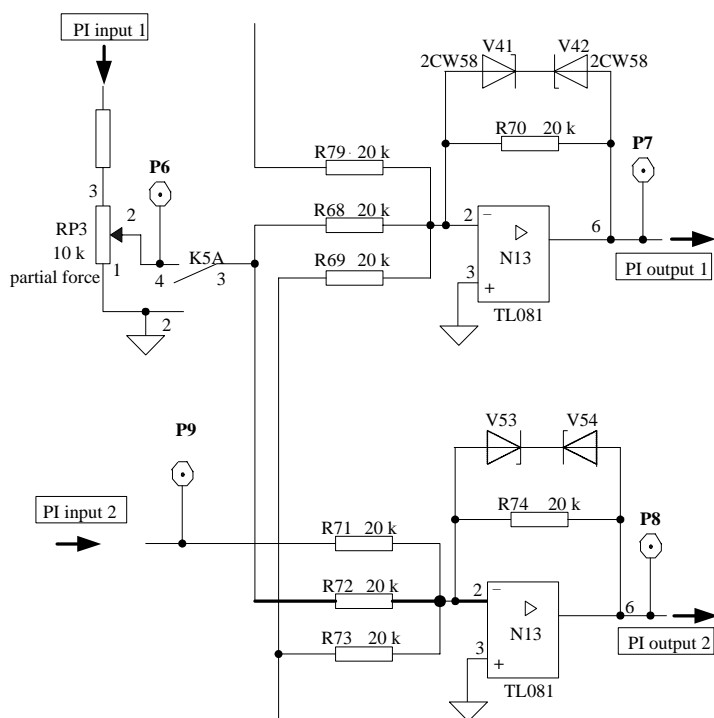


Fig.3 Intelligent control circuit of speed loop  
图 3 速度环路板智能力偏控制电路

#### 5 结论

随着遥感卫星数据的下传接收需求不断发展,接收天线的耗能也在逐步增强。最终,不断增长的卫星数据接收需求与接收天线的耗能方式将形成相辅相成、相互促进的良性循环。研究三轴天线的降低耗能策略,对天线有效减少耗能,降低使用成本具有重要意义。本文研究了降低耗能的有效策略及具体措施,并提出了智能化力矩偏置控制的设计,通过智能力偏设置电路,去除力矩偏置值,有效降低天线的功耗。

#### 参考文献:

- [1] 余华,初大庆,赵汉军. 电磁波与天线技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2010:123-127. (YU Hua, CHU Daqing, ZHAO Hanjun. Electromagnetic wave and antenna technology[M]. Xi'an, China: Xidian University Press, 2010:123-127.)
- [2] 郭建设. 三轴天线轴间耦合力矩分析及前馈补偿技术[J]. 电子设计工程, 2010,18(8):55-57. (GUO Jianshe. Analysis of coupling torque between three-axis antennas and feed forward compensation technique[J]. Electronic Design Engineering, 2010,18(8):55-57.)
- [3] 张洁. 天线伺服系统结构与控制集成设计[D]. 西安:西安电子科技大学, 2012:34-36. (ZHANG Jie. Integrated design of structure and control for antenna servo system[D]. Xi'an, China: Xidian University, 2012:34-36.)
- [4] 张杰超. 基于 PLC 的卫星天线控制系统改造方案[J]. 视听, 2015(8):173-174. (ZHANG Jiechao. Reconstruction scheme of satellite antenna control system based on PLC[J]. Seeing and Hearing, 2015(8):173-174.)

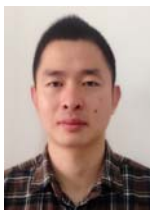
[ 5 ] 苏敬旺. 自跟踪地球站的天线控制系统的设计与研制[D]. 西安:西安电子科技大学, 2012:65-68. (SU Jingwang. Design and development of antenna control system for self tracking earth station[D]. Xi'an,China:Xidian University, 2012:65-68.)

[ 6 ] 张腊梅. 大惯量雷达天线驱动系统及传动链设计[J]. 现代雷达, 2012,21(3):24-25. (ZHANG Lamei. Design of driving system and transmission chain of large inertia radar antenna[J]. Modern Radar, 2012,21(3):24-25.)

[ 7 ] 李培,韩恩典. 船载天伺馈系统速度环路的 PID 控制调整[J]. 无线电工程, 2010(6):11-13. (LI Pei,HAN Endian. PID control to adjust the ship borne antenna servo system speed feedback loop[J]. Radio Engineering, 2010(6):11-13.)

[ 8 ] 杨文宁,武织才. 一种三轴过顶跟踪天线结构设计[J]. 河北省科学院学报, 2012(2):29-31. (YANG Wenning,WU Zhicai. Structure design of a three axis over head tracking antenna[J]. Journal of the Hebei Academy of Sciences, 2012(2): 29-31.)

作者简介：



申 健(1988-), 男, 武汉市人, 助理工程师, 主要研究方向为遥感数据获取与处理.email: shenjian@whu.edu.cn.

王 敬(1981-), 男, 辽宁省铁岭市人, 高级工程师, 主要研究方向为遥感数据获取与处理.

魏遵培(1988-), 女, 山东省济阳县人, 助理工程师, 主要研究方向为遥感数据获取与处理.

\*\*\*\*\*

2017 年度《太赫兹科学与电子信息学报》优秀编委

冯进军	中国电子科技集团公司第 12 研究所	何庆国	中国电子科技集团公司第 13 研究所
侯德亭	信息工程大学	秦 华	中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所
潘 鸣	中国电子科技集团公司第 50 研究所		

2017 年度《太赫兹科学与电子信息学报》优秀审稿人

尹应增	西安电子科技大学	王川川	电子信息系统复杂电磁环境效应国家重点实验室
石 荣	中国电子科技集团公司第 29 研究所	刘志伟	华东交通大学
张立东	上海无线电设备研究所	郑宏兴	河北工业大学

2017 年度《太赫兹科学与电子信息学报》优秀论文及作者名单

《运用太赫兹光谱技术检测天麻中的水分含量》	马 品	中央民族大学
《一种支持高效加法的 FPGA 嵌入式 DSP IP 设计》	王 楠	中国科学院电子学研究所
《差分时钟增益提高型 N 通道带通滤波器设计》	宋树祥	广西师范大学
《面向大数据的电信宽带接入点行为特征》	李 勇	清华大学电子工程系
《干扰环境下 MIMO 雷达波形与接收滤波联合优化算法》	李玉翔	信息工程大学
《子阱及非对称势垒对 GaN RTD 电学特性的影响》	苏 娟	中国工程物理研究院电子工程研究所