

FY-2 卫星的空间环境数据接收及警报系统

龚德铸 孙越强 刘一鸣 梁金宝 林华安 朱光武 王世金

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

介绍了 FY-2 卫星探测数据的流通过程及接收处理. 首先在 FY-2 卫星及探测器系统中, 环境探测数据被收集、调制并发射, 再由地基数据接收及解调系统将数据信号放大、解调还原并发送, 最后由数据处理及警报系统将数据接收处理、保存显示, 并对太阳质子事件、X 耀斑进行自动电话报警. 该系统是保障航天器安全和提高抗辐照水平的重要手段.

关键词 FY-2 卫星; 数据传输与接收; 自动报警

1 引言

1997 年 6 月 10 日风云二号气象卫星 A 星 (FY-2A) 发射升空, 6 月 17 日定点于东经 105° 的地球同步轨道 (36 000 km). 2000 年 6 月 25 日风云二号气象卫星 B 星 (FY-2B) 发射, B 星定点于东经 105° , A 星则调整为东经 85° . 该星为自旋稳定, 转速为 100 r/min, 自旋轴垂直地球赤道面. FY-2 装载的空间环境探测器有: 空间粒子探测器和太阳 X 射线探测器. 这两台探测器用于实时监测太阳活动、警报太阳质子事件、监测地磁扰动事件、监测地球同步轨道空间粒子辐射环境和太阳质子事件的 ^3He 成分, 为卫星的安全运行提供服务.

空间粒子探测器自加电以来, 工作一直良好. 每天 24 小时不间断地获得探测数据. 探测到大量磁层亚暴、磁暴, 以及太阳质子事件时高能带电粒子的扰动数据. 同时, FY-2 卫星的空间环境数据处理及警报系统则接收这些软、硬 X 射线、质子、电子等数据进行处理, 并向计算机传输、保存数据、绘图显示, 而且对太阳质子事件、X 耀斑进行自动电话报警.

在 FY-2 卫星上, 一次电源为 28 V, 经变压二次电源为 12 V, 为空间粒子探测器和太阳 X 射线探测器提供电源. 太阳 X 射线探测器和空间粒子探测器的探测数据都送入 32 路副交换子, 形成 12 路模拟量和 20 路数字量, 然后由卫星调制发送. 如图 1 的 FY-2 卫星部分所示.

星上的原始探测数据为 NRZL 2000 bps, 该 NRZ 码信号先对 32 kHz 副载波进行差分相移键控 (ΔPSK) 调制. 然后, 副载波再对载波 (1 702.5 MHz) 进行调相 (PM 调制度为 1 rad), 由遥测发射机发射至地面 (见图 2). 卫星的环境探测数据经调制发送后, 地基数据接收及解调系统先通过天线接收, 再经过信号放大、解调, 最后还原出原始探测数据送给数据处理及警报系统.

FY-2 卫星的空间环境数据接收及警报系统 (见图 1) 对太阳质子事件进行实时监测和警报, 使卫星和航天器有可能采取必要措施, 如设备断电、实时切换备份件、及时重新注入源程序、及时调整宇航员出舱和回舱的时刻表等, 克服或减少灾难性空间环境事件的影响, 因此, 对保障航天器安全运行和宇航员的生命安全是十分重要的。

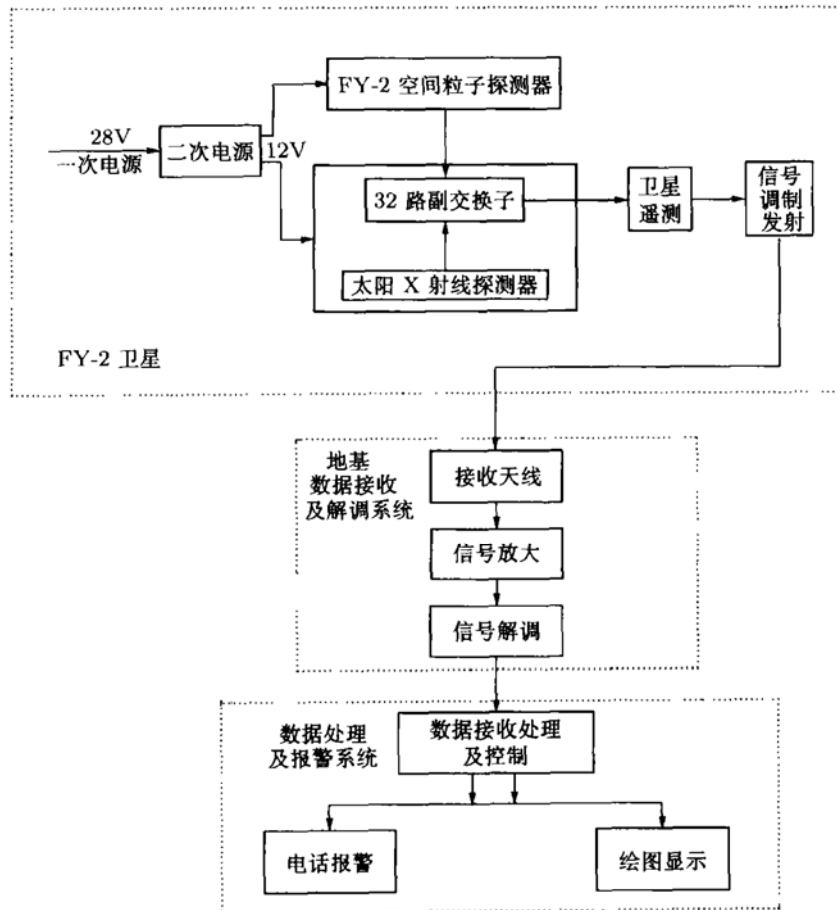


图 1 FY-2B 的数据接收及警报系统结构框图

Fig.1 Data receiving and alerting system of FY-2B

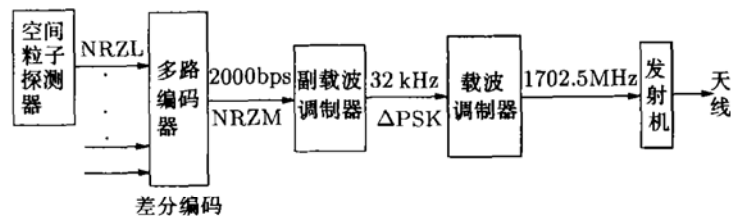


图 2 星上数据信号调制和处理

Fig.2 Modulation and proccession of data signal in satellite

2 系统原理

FY-2 空间粒子探测器和太阳 X 射线探测器, 监测软、硬 X 射线、质子、电子等粒子, 当传感器受到粒子撞击后产生电脉冲, 放大器把电脉冲转换成电压脉冲送到多路编码器, 产生 512 b/ 帧, 2000 bps 的多路复合 NRZ 码信号. 此 NRZ 码信号对 32 kHz 副载波进行差分相移键控 (Δ PSK) 调制. 然后, 此副载波再对载波 (1 702.5 MHz) 进行调相 (PM 调制制度为 1 rad), 由遥测发射机发射至地面, 见图 2.

地基数据接收及解调系统的接收解调过程是星上各种调制的逆过程, 见图 3.

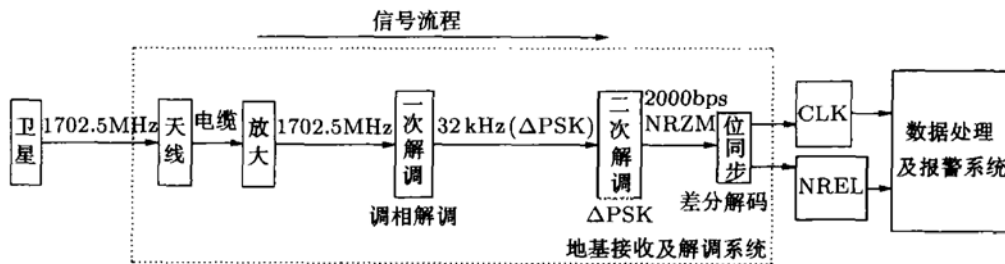


图 3 探测数据信号的系统框图

Fig.3 General system diagram of detected data

在地基数据接收及解调系统中, 先由直径为 4.5 m 的天线接收卫星下传的 1 702.5 MHz 的载波, 经过低噪声放大器后, 再经过一次解调, 即调相解调 (PM) 后得到 32 kHz 的 DPSK 信号. 接着在对此副载波信号进行二次解调 (Δ PSK) 得到差分非归零码信号 (NRZM 2000 bps), 经位同步电路从 NRZM 信号中提取码位时钟 (CLK), 再进行差分解码输出非归零码 (NRZL). CLK 和 NRZL 信号送给数据处理及警报系统. 其中, 一次解调时不能一次变频完成, 即不能从 1 702.5 MHz 一次解调出 32 kHz 的副载波, 否则增益过大. 具体方法为: 先将 1 702.5 MHz 的载波经低噪声放大器后与 1 565 MHz 的第一本振相混频, 降到 137.5 MHz, 再经一中放大后, 与 126.8 MHz 的第二本振二次混频, 得到 10.7 MHz, 最后经通带滤波器和二中放大, PM 解调后得到 32 kHz 的副载波信号. 其中, 有一环路滤波器调整第二本振与 137.5 MHz 的第二混频相位, 以确保解调的精确性, 参见图 4.

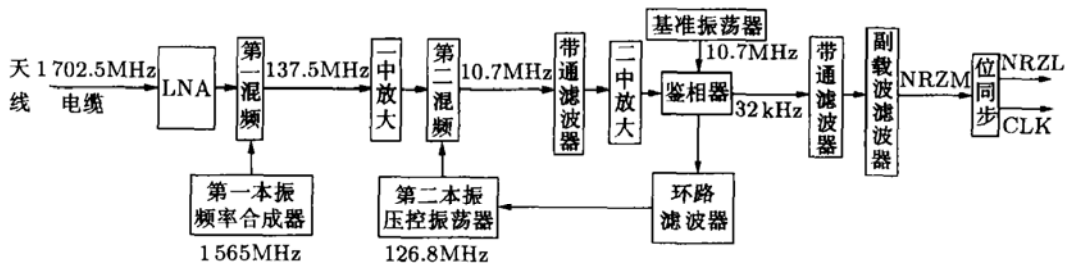


图 4 地基解调接收框图

Fig.4 Earth-based demodulating and receiving diagram

探测数据由地基接收及解调系统解调后, 经过数据接口进入数据处理及报警系统. 在数据处理及报警系统中, 数据经过 CPU 挑选、处理、存储, 并经过 RS-232 接口传送给计算机处理显示, 对太阳质子事件、X 耀斑进行判断并自动进行电话报警, 见图 5.

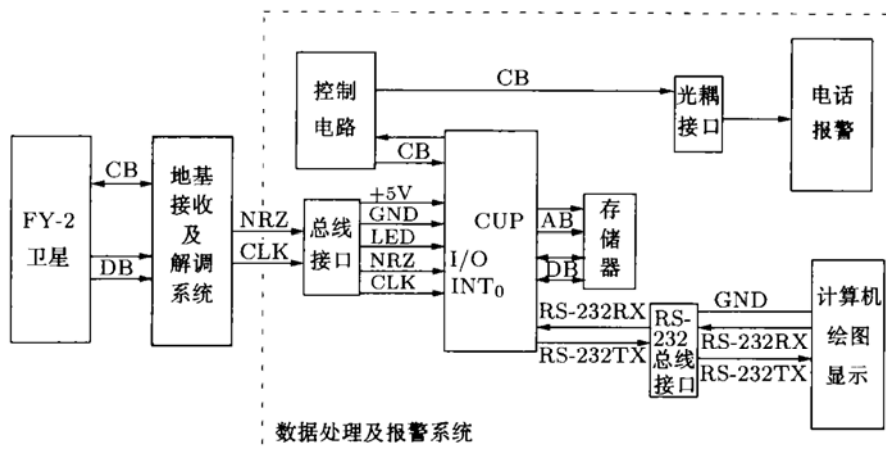


图 5 数据处理及报警系统原理

Fig.5 The principle of data processing and alerting system

3 信号传输协议和处理方法

数据信号从卫星到地基接收及解调系统再到数据处理及报警系统, 以及在其内部的传输都有各自的编码协议, 且信号处理也有不同的方法. 下面分别介绍这三部分的数据传输情况.

3.1 FY-2 卫星到地基接收及解调系统的数据传输

FY-2 卫星编码遥测的探测数据有数字和模拟两种格式. 数字码为 8 位或 16 位的二进制码, 模拟量为 $0 \sim +5\text{ V}$ 的电压, 并由编码器变换为 8 位二进制码, 量化精度为 ± 1 个码子, $\pm 20\text{ mV}$.

探测数据以帧为单位, 每帧由 128 路主交换子组成, 每路字长为 8 位, 无校验位, 高位在前, 低位在后. 帧结构为: 主交换子 128 路, 设 5 个副交换子, 其中, 32 路副交换子 V (空间环境监测器内) 接主交换子第 120 路; 主交换子的第 1 路为卫星代码 11010001; 第 127, 128 路为帧同步码 1110101110010000 (巴格码 EB90H), 在以后的数据处理及报警系统中, 将依靠巴格码 EB90H 寻找帧头. 具体帧结构见图 6.

编码遥测的码速率为 2000 bps , 因此主帧采样周期为 0.512 s , 32 路副帧采样周期为 16.384 s . 5 个副交换子与主交换子同步工作, 传完副 IV 交换子的第 128 路后, 帧同步码传一次反向巴格码 0001010001101111. 因此, 传输 128 帧主交换子参数, 才能传 4 帧副 V 参数.

在星上, 2000 bps 的多路复合 NRZ 码信号先对载波 (1702.5 MHz) 调制, 然后发送地基接收及解调系统, 地基接收及解调系统则将此信号解调还原后通过电缆送给数据处理及报警系统.

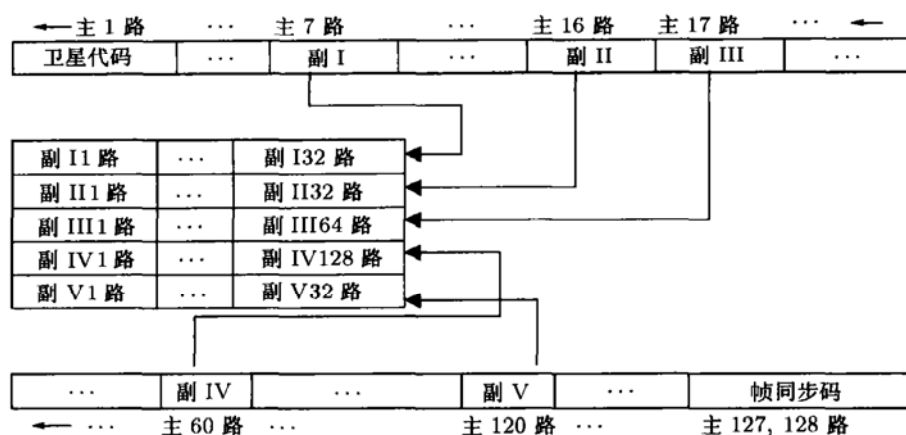


图 6 卫星遥测数据帧结构

Fig.6 The frame construction of satellite telemetering

3.2 地基接收及解调系统到数据处理及报警系统的数据传输

数据处理及报警系统通过总线接口与地基接收及解调系统信号线连接. 接口线共有 5 条: 电源 +5 V、地 GND、数据 NRZ、时钟 CLK、指示灯 LED. 数据 DAT 接到 CPU 的 I/O 口, 时钟 CLK 接到 CPU 的中断口. 每个时钟 CLK 上升沿引起一次中断, 则进行一位数据的接收. 见图 5.

从地基接收及解调系统到数据处理及报警系统的数据通信波特率为 2000 bps, 数据码 126 B, 同步码 2 B (EB90), 无停止位, 帧帧衔接.

数据处理及报警系统在收到计算机的开始接收命令后, 开始搜索同步码 (EB90). 当收到同步码后, 开始接收数据, 并将第 120 路字节存入存储器, 每个字节约需 0.512 s. 当搜索到一包数据 (32 个字节) 时 (约 16 s 1 包), 便通过 RS-232 接口送给计算机.

3.3 数据处理及报警系统内部的数据传输

在数据处理及报警系统内部, 见图 5, CPU、计算机和报警器之间相互连接, 各有功能. CPU 对接收到的数据进行挑选、处理、存储, 并向计算机传输; 计算机则对 CPU 送来的数据进行计算处理, 并发出各种命令; 报警器接到报警触发信号后, 截断用户话机, 根据预制号码和语音开始报警.

3.3.1 CPU 与计算机的数据传输

在数据处理及报警系统 (以下简称系统) 中, CPU 与计算机通过 RS-232 串行接口完成通信. 接口线共有 3 条: 发送、接收、地. 从 CPU 到计算机的通信波特率为 4800 bps, 数据位 8 bit, 停止位 1 bit, 无软件控制流. CPU 根据计算机的命令进行相应的工作, 具体 4 条命令如下.

命令名称	命令功能描述	命令代码 (hex)
开始接收命令	计算机发出此命令, 系统开始接收数据, 并通过 RS-232 接口送给计算机	10 40 10 03
停止接收命令	计算机发出此命令, 系统停止接收数据, 并停止向计算机发送数据	10 42 10 03
发生 X 耀斑	系统收到此命令后, 自动拨电话报警	10 44 10 03
发生质子事件	系统收到此命令后, 自动拨电话报警	10 43 10 03

系统 CPU(与数据存储器 and 程序存储器一起工作)在收到计算机的接收命令 (10 40 10 03) 后, 开始搜索同步码. 当收到同步码后, 开始接收数据, 每搜索到一包数据 (约 16 s 1 包), 便通过 RS-232 接口送给计算机. 每包数据格式如下:

EB90, 4He, 3He, P1, P2, P3, P4, X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, E, D1, D2, D3, V, T, X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10

接收的数据, 每天形成一个文件, 以二进制代码的形式, 根据计算机设置的时间间隔自动存储与当天运行程序目录下的子目录 \fy2dat 下, 文件名位为 fy2yymmdd.dat. 其中, yy, mm, dd 分别表示年、月、日.

文件由数据包组成, 包包相接, 每个数据包由帧计数、年、月、日、时、分、秒及数据体组成. 数据包格式为

帧计数	年	月	日	时	分	秒	数据体
-----	---	---	---	---	---	---	-----

3.3.2 自动报警系统原理

系统 CPU 与自动报警器连接主要采用光耦接口, 配与控制电路工作, 进行地隔离, 实现双方信号互不干扰. 当 CPU 接到计算机的报警命令 (10 44 10 03, 10 43 10 03) 时, 经光耦接口向报警器发送 5 V 电压 (约 2 s) 以触发报警器拨号报警.

该报警系统无需外部电源, 无需专用电话线路 (与用户电话线共用), 可预制 8 组电话号码和语音 (通过编程器预先存入报警器), 完全进行智能报警. 报警器原理框图如图 7 所示. 当收到来自系统 CPU 的触发信号后, 报警器的 CPU 控制截机开关截断用户话机, 并打开报警开关, 让通话电路、拨号电路和线路控制 3 部分工作. 此时, 拨号电路将按存储器中预制的电话号码进行拨号. 如果遇到电话线路受阻, 线路控制就通告 CPU, CPU 则命令拨另一组号码, 如此反复直到拨通. 如果电话线路通畅, 语音电路向通话电路输入语音, 通话电路则通过电话线报警.

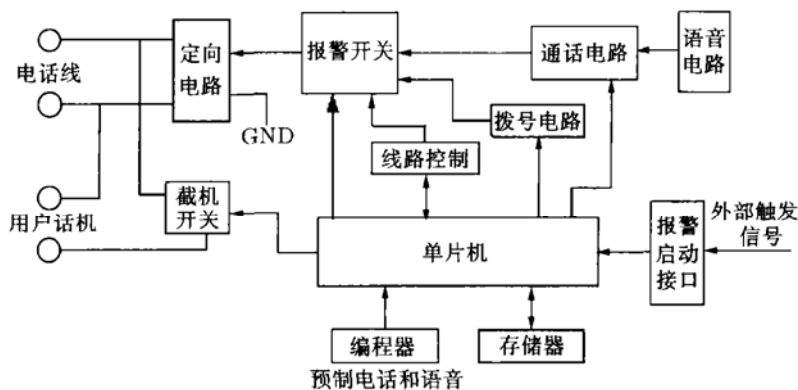


图 7 自动电话报警系统原理

Fig.7 Principle of automatic telephone alarm

4 结论

FY-2 卫星的空间环境数据接收及警报系统每日 24 小时不间断地接收 FY-2B 卫星空

间环境探测数据, 对其所接收的软、硬 X 射线、质子、电子等数据进行实时调制、传输、解调、处理、保存并绘图显示, 而且可对太阳质子事件、X 耀斑进行自动的电话报警. 其探测到大量磁层亚暴、磁暴, 以及太阳质子事件时高能带电粒子的扰动数据, 并及时发出了警报, 为航天器的安全运行做出了贡献. 例如, 1997 年 11 月 3 日至 12 日之间二次质子事件做出了警报, 并在 3 h 后空间粒子监测器观测到太阳质子流.

参 考 文 献

- [1] Schneider J R. Evolutionary Telemetry and Command Processor (TCP) architecture. In: Symposium 1992 on Mission and Safety Critical Systems Research and Applications, 1992
- [2] Dennis B R. Solar Flare Hard X-ray Observations. *Solar Phys.*, 1988, (1/2):49—94
- [3] Lin Huaan, Zhu Guangwu, Wang Shijin. A Solar Proton events monitoring-warning system soboard FY-2 and an attempt of proton events warning. *Chin. J. Space Sci.*, 2000, 20(3):251—256. in Chinese (林华安, 朱光武, 王世金. FY-2 卫星太阳质子事件监测报警系统及质子事件报警的尝试. 空间科学学报, 2000, 20(3):251—256)
- [4] Guo Tiyun *et al.* Data communication. Beijing: People Posts and Telecommunication Publication House, 1986. in Chinese (郭梯云等. 数据传输. 北京: 人民邮电出版社, 1986)

DATA RECEIVING AND ALERTING SYSTEM OF FY-2 SATELLITE

GONG Dezhu SUN Yueqiang LIU Yiming LIANG Jinbao LIN Huaan
ZHU Guangwu WANG Shijin

(Center for Space Science and Applied Research, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

FY-2 satellite is a geosynchronous meteorological satellite which is produced and lunched by China. The satellite carries the spatial particle detector and the solar X-ray detector used for detection of solar proton-event in high energy particle environment. The whole data receiving and alerting system of FY-2 consists of three systems: the earth-based system of data receiving and demodulating, the system of data processing and alerting. At first, environment detection data are collected, modulated and transmitted in the onboard system of FY-2 and detectors. Then data signals are magnified, demodulated and sent into the earth-based system of data receiving and demodulating. At last, data is received, processed, stored, displayed and judged to make alarm automatically by telephone for solar proton-events and X-ray flare in the system of data processing and alerting. It is an important way for guaranteeing space vehicle's safety and enhancing antiradiation's level.

Key words FY-2 satellite, Data transmitting and receiving, Automatic alerting