

# 基于风云二号 X 射线监测数据的 短波通讯可用频率预报

单海滨<sup>1</sup>, 王劲松<sup>2</sup>, 赵文化<sup>1</sup>

(1. 广州气象卫星地面站, 广东 广州 510640;

2. 国家空间天气监测预警中心 (国家卫星气象中心), 北京 100081)

**摘要:** 介绍了风云二号气象卫星空间环境探测资料的处理、显示技术。研究了如何利用风云二号 X 射线探测数据计算短波通讯最低可用频率及电离层 D 层的电波吸收, 并设计了一个基于风云二号 X 射线探测数据的短波通讯最低可用频率经验预报模式。

**关键词:** 风云二号; X 射线; 短波通讯; 电离层电波吸收

**中图分类号:** P172.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2007) 03-0044-05

## 引言

通过电离层反射以天波方式传播的远距离短波通信和广播, 一次反射便可传输 4 000 km, 经多次反射可传播很远甚至可作环球传播。这种方法由于其传播距离远, 经济方便, 目前广泛用于远距离通信和广播。因天波传播受电离层特性的影响, 所以不是所有短波都能从电离层反射回地面, 在实际应用中, 我们需要知道短波通信的可用频率并计算其经电离层反射后的衰减。

电离层能反射的电波最大频率称为最高可用频率 (MUF), 电波经电离层的传播其能量还会被电离层吸收, 吸收的多少通常与频率的平方成反比。频率较低, 则信号电平因吸收增大而降低。当电平降低到刚能满足最低接收信噪比要求时, 所用的频率称为最低可用频率 (LUF)。关于 MUF 将在另文讨论, 本文主要探讨利用风云二号卫星的 X 射线探测数据对 LUF 进行预报的方法。风云二号是我国自行发射的第一代静止气象卫星, 目前在轨的有 FY-2C 和 FY-2D 两颗卫星, 风云二号卫星载有太阳 X 射线探测器, 该探测器实时监测太阳软硬 X 射线暴, 这些监测数据直接反映了太阳的活动水平。利用 X 射线通量可计算短波通讯最低可用频率及电离层 D 层的电波吸收。

## 1 利用太阳 X 射线通量预报 LUF 的原理

### 1.1 电离层 D 层的电离化程度与电波吸收

收稿日期: 2007-07-07

作者简介: 单海滨 (1964-) 男, 高级工程师. 主要从事卫星遥感应用及空间天气研究.

远距离短波通信依赖于电离层对于短波信号的折射作用, 电离层是由于太阳辐射使地球上空 90~300 km 的范围内大气层电离化形成的。电离层分为 D 层、E 层和 F 层, 白天 F 层又分为  $F_1$  层和  $F_2$  层, 各层电子密度峰值分别处于 90、110、180 和 300 km 附近。短波信号的折射作用发生在 E 层和 F 层。D 层是电离层中最靠近地面的一层。这一层只吸收无线电信号的能量, 而不反射他们, 所以电离层对电波的吸收主要发生在 D 层内。D 层电离化的程度越高, 吸收无线电波的能力越强。

### 1.2 太阳 X 射线通量与电离层电子浓度

太阳辐射使大气层中的氧原子和氮原子失去了电子, 形成离子。这些电离化的气体在地球上空形成电离层。太阳耀斑 X 射线波长范围是 0.1~0.8 nm, 正是这一波段导致电离层 D 层电离。因此, 太阳辐射 X 射线越强, 电离层 D 层的电离度越高。电离层 D 层在中午的时候电离程度最高。在晚上, 由于没有太阳辐射, D 层消失, E 层也变得很弱。 $F_1$  和  $F_2$  层合到了一起。

### 1.3 电离层 D 层的电波吸收与 LUF

电离层 D 层的电波吸收大小与频率平方成反比。频率较低, 则信号电平因吸收增大而降低。当电平降低到刚能满足最低接收信噪比要求时, 所用的频率即为最低可用频率 (LUF)。一般将电波上行经过反射后下行衰减为 1DB 的频率作为本地的 LUF。小于 LUF 的频率衰减加大, 通讯所受影响显著。大于 LUF 的频率衰减少, 通讯所受影响相对较小。

### 1.4 太阳 X 射线通量与 LUF

由以上分析可见, 电波吸收及 LUF 与电离层 D 层的电离程度相关, 而电离层 D 层的电离程度与太阳 X 射线通量相关, 所以, 通过建立太阳 X 射线通量与 LUF 及电波吸收的经验模式, 可对电波吸收与 LUF 进行预报。

## 2 FY-2 空间环境监测器的组成

FY-2 空间环境监测器由空间粒子探测器和太阳 X 射线探测器两台仪器组成<sup>[1][2]</sup>。空间粒子探测器实时监测 7 道高能带电粒子:  $\alpha$  粒子、 $^3\text{He}$ 、P1、P2、P3、P4 和 E。其中前 5 道用于监测太阳质子事件, 并且由 P1、P2、P3 组成质子能谱; P4 监测 FY-2 轨道空间大于 1.1MeV 的质子; E 监测大于 1.4MeV 的高能电子。具体探测能档如下:

外辐射带电子 E: > 1.4 MeV 的电子

外辐射带质子 P4: > 1.1 MeV 的质子

太阳爆发质子能谱 P1: 3.5~26 MeV 质子

P2: 10~26 MeV 质子

P3: 26~300 MeV 质子

同位素及成分测量  $^3\text{He}$ : 3.5~26 MeV/n

$^4\text{He}$  ( ) : 3.5~26 MeV/n

探测器输出为粒子计数率, 数据采样周期为 16.384 s。

太阳 X 射线探测器监测太阳软、硬 X 射线流量, 共分 10 个能道。测量的 X 射线能量范围为 4~100 KeV。具体内容如下:

软 X 射线 X1~X5: 4.0~5.5~7.6~10.5~14.5~20.0 KeV

硬 X 射线 X6~X10: 20.0~27.6~38.1~52.6~72.6~100 KeV

数据采样周期为 8.2 s

### 3 X 射线及带电粒子监测数据的分析处理

从接收机收到的 FY-2 空间环境监测数据为压缩原码, 首先必须将其转换为相应的物理量, 才能作进一步的分析处理。

X 射线探测数据的原码为压缩的 8 位二进制码, 其中低 5 位为数据, 高 3 位为标志位。8 位数据原码与太阳 X 射线探测器的计数值关系如下:

设 8 位数据原码分别为  $b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_0$ , 其值为“0”或“1”, 则数据位部分的值为  $D=2^0*b_0+2^1*b_1+2^2*b_2+2^3*b_3+2^4*b_4$ , 标志位部分的值为  $n=2^0*b_5+2^1*b_6+2^2*b_7$ 。当标志位为“111”时, 该通道的太阳 X 射线探测器计数值为:  $N=D$ , 当标志位为“000~110”时, 该通道的太阳 X 射线探测器计数值为:  $N=(32+D)*2^{6-n}$ 。

空间粒子探测器数据的转换流程为, 首先把十进制探测器原码数据转换成 0~5 伏探测器测量电压值, 再将探测器测量电压值转换成粒子的科学计数。电压与十进制数之间的转换关系是: 把 5 V 电压平均分成 255 份, 每份为 19.6 mV, 也就是用 0~255 的十进制数 (8 位二进制数) 表示 0~5 V 的电压值。因此, 十进制数乘以 19.6 mV 得到的就是 0~5 V 间的电压值。即<sup>[2]</sup>:

$$V=19.6*DC \quad (1)$$

式 (1) 中, V 表示电压值, DC 表示十进制的原始数据。

从式 (1) 得到探测器测量电压值 V 之后, 就可将探测器测量电压值转换成粒子的科学计数, 粒子的科学计数与探测器测量电压值是形如下式的对数线性关系<sup>[2]</sup>:

$$\log C = a_0 + a_1 + a_2 \cdot 2 + \dots + a_n \cdot n \quad (2)$$

其中, 系数多项式的系数  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  是根据仪器的地面定标数据得到的, 阶数  $n=4$ 。把式 (1) 得到的电压值代入由式 (2) 确定的多项式可求得粒子的科学计数 C。

FY-2 空间环境监测数据的压缩原码转换为相应的物理量之后, 数据本身就直接反映了太阳的活动水平, 将其按时间序列显示出来, 可直观地反映探测结果。在太阳耀斑暴发时, 由于 X 射线的实际光子通量有时可能超出 X 射线探测仪所能探测的最大值好几倍, 导致饱和现象, 所以必须对数据作进一步的处理, 以便更精确直观地描述事件。首先在峰值时刻前, 将各点的光子通量依次累加; 峰值时刻后, 将各点的光子通量依次递减。这样就把常规显示中的几个射线峰还原成一个峰。对于空间粒子探测器的数据, 在事件发生期间数据较大, 可采用对数坐标进行直观显示, 平时数据较小, 则采用比例坐标显示。

### 4 利用风云二号 X 射线监测数据计算 LUF 及电离层 D 层电波吸收

经以上分析, 我们可通过建立太阳 X 射线通量与 LUF 及电波吸收的经验模式, 利用风云二号 X 射线监测数据对电波吸收与 LUF 进行预报。步骤为: 实时接收风云二号 X 射线监

测数据, 对数据进行处理, 分析 X 射线通量的变化趋势; 根据 X 射线通量计算日下点的 LUF; 由日下点的 LUF 计算其它地区 LUF; 由 LUF 计算其它频率的衰减; 模式中的风云二号 X 射线监测数据处理公式 (1)、(2) 参考了国家卫星气象中心的工程文件, 太阳 X 射线通量与 LUF 及电波吸收的经验公式 (3)、(4)、(5)、(6) 参考了来自 [http://www.sec.noaa.gov/rt\\_plots/dregionDoc.html](http://www.sec.noaa.gov/rt_plots/dregionDoc.html) 的资料。

#### 4.1 计算日下点的 LUF

将电波垂直上行经过反射后垂直下行衰减为 1DB 的频率作为本地的 LUF。小于 LUF 的频率衰减加大, 通讯所受影响显著。大于 LUF 的频率衰减减少, 通讯所受影响相对较小。实验表明, 对于日下点, 太阳 X 射线通量与 LUF 的经验关系为 [3]:

$$LUF_{\text{SUBSOLAR}} = 10 \log X_{\text{flux}} + 65 \quad (3)$$

式 (3) 中  $LUF_{\text{SUBSOLAR}}$  为日下点的最低可用频率, 单位为 MHz,  $X_{\text{flux}}$  为 X 射线总通量, 单位为每平方米瓦特 ( $\text{W m}^2$ )。

#### 4.2 由日下点的 LUF 计算其它地区 LUF

其他地区的 LUF 随日下点距离增大而减小。日下点的 D 区电离度最大, 远离日下点电离度逐渐减小并在日夜交界处达到 0, 而地球夜面则不受太阳 X 射线的影响。根据几何关系, 由日下点的最低可用频率及某地区的太阳高度角, 可计算该地区的最低可用频率, 计算公式如下 [3]:

$$LUF = LUF_{\text{SUBSOLAR}} * [1 - \cos^{0.75}] \quad (4)$$

式 (4) 中 LUF 为某地区的最低可用频率, 单位为 MHz, 为该地区的太阳高度角。

#### 4.3 由 LUF 计算其它频率的衰减

得出某地的 LUF 之后, 可计算出电离层 D 区对其他频率的衰减, 在垂直传播条件下 LUF 的衰减为 1DB, 其他频率在垂直传播条件下的衰减用如下公式计算 [3]:

$$\text{absorption} [f] = (LUF)^2 / f^2 \quad (5)$$

式 (5) 中  $\text{absorption} [f]$  是频率为  $f$  的衰减, 单位为 dB。

在非垂直传播情况下的吸收根据路径仰角的正弦递减获得 [3]:

$$\text{absorption} [f] = [(LUF)^2 / f^2] / \sin \quad (6)$$

式 (6) 中  $\sin$  为路径仰角。

#### 4.4 系统处理流程

根据式 (3) 至 (6), 我们就可以建立一个基于风云二号 X 射线探测器数据的经验预报模式。该模式的输入数据为风云二号 X 射线探测器数据, 根据 X 射线通量的变化趋势, 输出当前及 12 小时的全球日面 LUF 分布图。同时, 输入某地的经纬度及拟使用的频率, 可输出未来 12 小时该频率的衰减系数。图 1 为系统处理流程图。

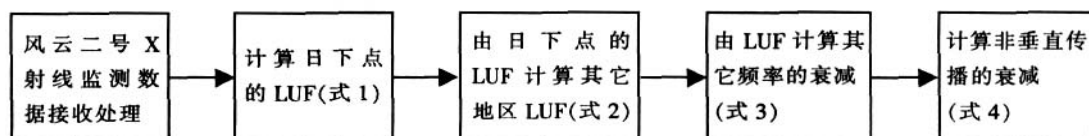


图 1 系统处理流程

Fig.1 The system processing diagram

## 5 小结

风云二号卫星的空间环境监测数据反映了太阳的活动水平, 通过对这些数据的接收处理, 可对一些空间天气灾害进行监测预警。利用风云二号卫星监测的 X 射线通量数据及经验模式, 可计算短波通讯最低可用频率及电离层 D 层的电波吸收, 但其可靠性有待进一步的验证。

### 参考文献

- [1] 朱光武, 李保田, 王世金, 等. 风云二号卫星空间环境监测器 [J]. 中国科学 G 辑, 2004, 34 (3): 354- 360.
- [2] 龚德铸, 孙越强, 刘一鸣, 等. FY\_2 卫星的空间环境数据接收及警报系统 [J]. 空间科学学报, 2003, 23 (2): 142- 148.
- [3] Davies, K. Ionospheric Radio [M]. Peregrinus Ltd., London, UK. 1990.
- [4] Stonehocker, G.H., Advanced Telecommunication Forecasting Technique, in Ionospheric Forecasting [M]. AGARD CONF. Proc. No. 49, Advisory Group for Aerospace Research and Development, NATO; Agy, V. (Ed) ,1- 27, 1970.

## The Forecast of Shortwave Communication LUF Based on the FY- 2 X- Ray Detecting Data

SHAN Haibin<sup>1</sup>, WANG Jinsong<sup>2</sup>, ZHAO Wenhua<sup>1</sup>

( 1.Guangzhou Meteorological Satellite Ground station, Guangzhou 510640, China; 2.National Satellite Meteorological Center (National Center for space weather monitoring and warning, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The FY- 2 satellites are a series of geosynchronous meteorological satellites, which is instrumented to observe high- energy particles and solar X- ray fluxes except for meteorological observation. The satellites carry the spatial particle detector and solar X- ray detector. The solar X- ray detector has 10 energy channels which range from 4keV to 100keV to detect the solar X- ray fluxes. Additionally, these X- ray detection data can be used to do some early- warning of space environment disasters. In this paper, we introduce the technique of processing and displaying of FY- 2 satellite space environment data. It is also introduced the way to get the shortwave communication LUF ( Lowest Usable Frequency) and the ionosphere D - region absorption by using X- ray detection data. A forecasting model of LUF was designed based on the FY- 2 X- ray detector data.

**Keywords:** FY- 2, X- ray, shortwave communication, LUF