

基于短波的天波传播衰减预测模型研究

徐义君, 汤云革, 蒙 洁

(中国人民解放军 63880 部队, 河南 洛阳 471003)

摘要: 建立短波天波传播衰减预测的计算模型, 为保障短波通信电路的可靠性提供参考依据, 建立的方法主要依据 ITU-R P.533-7。首先进行传播路径的判别, 进而进行频率预测, 最后建立传播衰减计算模型并与文献结果进行比对, 两者有较好的一致性。频率预测部分摒弃了 ITU-R P.533-7 中的全球预测方法, 采用了对我国来说较为准确的亚大方法。

关键词: 传播路径; 频率预测; 衰减计算

中图分类号: TN925

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)18-0056-02

The study of skywave propagation attenuation prediction model based on high frequency

XU Yi Jun, TANG Yun Ge, MENG Jie

(The Unit 63880 of PLA, Luoyang 471003, China)

Abstract: For offering the basis of reference which ensures the reliability of HF communication link, to build a calculation model of HF sky-wave propagation attenuation prediction according to ITU-R P.533-7. Firstly, differentiated the propagation path. Then, predicted the frequency. Lastly, built the calculation model of propagation attenuation and compared to the result of literature, and they showed greater consistency. In the portion of frequency prediction, abandoned the global prediction method in ITU-R P.533-7, moreover, adopted asia-oceania region method which was more exact for our country.

Key words: propagation path; frequency prediction; attenuation calculation

天波是指经电离层反射而传播的波, 亦称电离层波。电离层是太阳辐射构成的, 一年四季乃至每时每刻太阳照射的强弱都在变化, 因此各地电离层的情况各有所异。电离层的电离条件不断变化, 使通过天波传播的短波信道并不稳定, 它实质上是一种时变的色散信道。短波信道的路径衰耗、时延散布、大气噪声和干扰等均随时间、地点、季节、昼夜以及频率的不同而不断地变化。因此, 在短波通信中, 为了保障通信可靠性, 有必要对每一个具体的通信电路进行天波频率及传播衰减的预测。本文就是在 ITU-R P.533-7 推荐建议的基础上建立了短波天波传播衰减的计算模型, 并将计算结果与参考文献比对后进行了软件仿真实现。

1 天波传播路径的判别

短波天波主要靠电离层的反射进行远距离的传播, 电离层是分层的, 其范围大约从地球表面上空 50 km 处一直延伸到 2 000 km 左右, 按照电子浓度的分布

情况, 电离层通常分 3 层, 由下向上分别称为 D 层、E 层和 F 层。白天, F 层还可细分为 F1 层和 F2 层, F2 层位于地面上空 220 km 以上, 对短波通信起主要作用。短波天波传播路径主要依靠 E 层及 F2 层的反射来确定。

在短波通信的收发点位置确定以后, 依靠 E 层及 F₂ 层反射的最少跳数由式(1)确定。

$$n_0 = \text{INT} \left[\frac{D}{d_{\max}} \right] + 1 \quad (1)$$

式中: D 为大圆距离(单位 km), d_{\max} 为最大跳距。对于靠 E 层传播的路径, 首先按式(1)计算出第一径的最低跳数 n_{0E} , 然后顺序计算 $n = n_{0E}, n_{0E} + 1, n_{0E} + 2$ 共 3 个传播路径。同理对于靠 F₂ 层传播的路径, 按式(1)计算出最低起始跳数 n_{0F} 后, 再顺序计算 $n = n_{0F} + 1, \dots, n_{0F} + 5$ 共 6 个传播路径。

2 传播路径上各反射点的频率预测

欲建立可靠的短波通信, 不能在短波频段内任意选

网络与通信 Network and Communication

择一个频率。在给定距离和方向的路径上,在一定时间内短波通信只能用一个有限的频带,对于长时间的短波通信电路,通常需要几种频率以便在不同的时间内供选用。当考虑了最主要的影响天波传播的传播条件后,可以对短波通信的工作频率加以预测。由于天波传播条件随太阳黑子数目的多少而变化,因此可以把太阳黑子数作为短波传播的重要变化因素,以确定太阳黑子最大值及最小值条件下经 E 层和 F₂ 层传播的“极限频率曲线”。极限频率曲线表示了经 E 层和 F₂ 层反射的频率在一天中 24 小时的变化曲线,用这些曲线可以确定正常传播条件下的最高可用工作频带(即 MUF)。工作频率的选择一般应不高于 MUF,当依靠 F₂ 层反射时,最佳工作频率选择为 0.85MUF,当依靠 E 层反射时,最佳工作频率选择为 MUF,这是由于 E 层比较稳定。

2.1 E 层最大可用频率预测

E 层最大可用频率按参考文献[1]提供的计算方法进行预测,其计算公式如下:

$$EMUF(t, n) = f_0 E \times \sec i_{110} \text{ MHz} \quad (2)$$

其中 $f_0 E$ 为 E 层临界频率,它是一个随时间、季节、位置、太阳活动周期而变化的值, i_{110} 为 110 km 处的电波入射角。

2.2 F₂ 层最大可用频率预测

预测 F₂ 层的最大可用频率^[2-3]需要进行两个重要参数的预测,即 F₂ 层的临界频率 $f_0 F_2$ 及 F₂ 层 3 000 km 传输因子 $M(3\ 000)F_2$ 的预测,此两个参数的计算模型(对于我国一般采用亚大方法模型)的经验系数由电离层探测的数据进行统计得到。F₂ 层最大可用频率由下式确定:

$$F_2 MUF(t, n) = [1 + (\frac{C_d}{C_{3000}})(B-1)] \times f_0 F_2 + \frac{d_h}{2} (1 - \frac{d_h}{d_{\max}}) \text{ MHz} \quad (3)$$

其中, d_h 、 B 、 d_{\max} 、 C_d 的计算表达式在参考文献[2]中有详细的介绍。

2.3 E 层最大截止频率预测

为了判断是依靠 E 层还是 F₂ 层传播,需进行 E 层最大截止频率的计算,当工作频率小于 E 层最大截止频率时,认为该频率因被 E 层截止而不存在 F₂ 层传播模式, E 层最大截止频率的计算公式为:

$$f_s = 1.05 \times f_0 E \times \sec(i_{110}) \text{ MHz} \quad (4)$$

3 天波传播衰减的计算方法

3.1 任意一条传播路径接收点场强计算

如果认为短波系统是闭合传输系统,由发射机输出开始,到接收机输入结束,则线路总损耗为自由空间损耗、电离层损耗、地面反射损耗、高于 MUF 损耗、极区损耗及其他损耗构成。

(1)任意一条短波天波传播路径损耗计算表达式为:

$$L_{bj} = L_{bjf} + L_{ij} + L_{mj} + L_{gj} + L_{lj} + L_z - G_t \text{ (dB)} \quad (5)$$

式中, L_{bjf} 是第 j 条路径的自由空间基本传输损耗, L_{ij} 是第 j 条路径的电离层吸收损耗, L_{mj} 是第 j 条路径的高于基本 MUF 的损耗, L_{gj} 是第 j 条路径的地面反射损耗, L_{lj} 是第 j 条路径的极区损耗, L_z 是其他损耗, G_t 是天线增益。

(2)则任意一条短波天波传播路径的接收场强为:

$$E_{mj} = 136.6 + P_t + 20 \lg f - L_{bj} \quad (6)$$

其中, P_t 为发射功率, f 为工作频率。

3.2 接收点多径合成场强计算

各接收点的场强进行功率叠加,可以计算求得等效的合成场强,其计算公式为:

$$E_s = 10 \lg \sum_{j=1}^N 10^{E_{mj}/10} \text{ dB}(1 \mu\text{V/m}) \quad (7)$$

3.3 传播衰减计算

天波传播衰减的计算方法是用自由空间传播的信号场强减去接收点合成场强,即:

$$A_s = E_f - E_s \text{ (dB)} \quad (8)$$

其中, E_f 为自由空间传播的信号场强, D 为大圆距离, G_t 为发方天线增益, P_t 为发方天线辐射功率。

4 结果比对

为了验证模型计算的准确度,将本文的天波传播衰减计算软件与参考文献[4]中提供的结果进行了比对。由于参考文献[4]中没有各路径的合成场强及总衰减的数据,因此主要对计算过程中的主要数据进行比较,计算过程中各参数计算结果的一致性,如频率、各路径损耗计算结果的吻合,完全可以保障两者最终衰减计算结果的一致性。

参考文献[4]中列举的一条具体电路:发射点经纬度(112.78, 35.08),接收点经纬度(113.99, 33.08),时间为2004年5月11时,收发天线增益 3.373 7 dB,发射功率 10 kW,工作频率选择 7 MHz,太阳黑子数量 40。模型计算与文献比对的结果如表 1 所示。

表 1 模型频率预测计算与参考文献[4]

的结果比对表

(MHz)

频率预测	E 层临界频率	EMUF	F ₂ 层临界频率	F ₂ MUF	E 层遮蔽频率
模型计算	3.267	3.083 9	7.739 9	9.078 9	3.083 9
参考文献	3.438	3.126	7.601	9.045 2	3.19
备注	以上为一跳时的计算结果				

由于工作频率 7 MHz 大于 E 层的遮蔽频率,所以电波穿透 E 层,依靠 F₂ 电离层来进行反射,故只对 F₂ 层各模式的损耗进行计算,模型计算与文献比对的结果如表 2 所示。

本文利用参考文献[2]建议标准对 7 000 km 以内的短波天波传播衰减建立了计算模型,模型仿真结果与参考文献[2]的计算结果较为一致。天波计算过程表明,频率

表 2 模型各路径损耗计算与参考文献的结果比对表 (dB)

损耗预测	F 模式 N_0 阶	F 模式 N_0+1 阶	F 模式 N_0+2 阶	...
模型计算	121.343	131.411	133.621 5	
参考文献	123.099	130.146	135.464	
备注	只对前三种模式进行比对			

预测的准确度与电离层探测归纳的经验系数有着很大的关系。另外,本文计算的衰减是相对于自由空间的衰减,如欲计算基本传输损耗,还要加上自由空间的损耗。

参考文献

[1] Rec.ITU-R P.1239 ITU-R REFERENCE IONOSPHERIC CHARACTERISTICS.

[2] Rec.ITU-R P.533-7 HF propagation prediction method.

[3] 孙宪儒.亚大地区 F_2 电离层预测方法[J].通信学报,1987,11(6):37-45.

[4] 邮电部北京设计院.电信工程设计手册-短波通信[M].北京:人民邮电出版社,1991.

(收稿日期:2010-04-16)

作者简介:

徐义君,男,1963年生,硕士,高级工程师,主要研究方向:电子信息对抗仿真。

汤云革,男,1971年生,硕士,工程师,主要研究方向:通信电子对抗仿真。

蒙洁,女,1963年生,硕士,高级工程师,主要研究方向:雷达电子对抗仿真。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.chinaAET.com