

# 短波天波传播损耗预测与场强预测分析

袁晓波

(国家新闻出版广电总局 203 台, 内蒙呼和浩特 010070)

**摘要:** 简单介绍了短波天波传播在广播通讯中所起的作用, 重点阐述了短波天波传播损耗和短波天波场强的预测分析方法, 为改善接收效果提供辅助手段。

**关键词:** 短波天波传播; 传播损耗; 场强; 预测

**中图分类号:** TN925

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1131(2013)05-0011-02

短波天波传播是广播通讯重要手段之一, 它通过电离层反射进行传播, 具有可移动性、低成本和具有不易摧毁的中继系统——电离层等众多宝贵优点, 因而使得短波通讯目前仍然具有强大的生命力, 广泛应用于各种距离的广播通讯、移动通讯上。尤其是在应急通讯中, 更是发挥着不可替代的作用, 但由于传播过程中, 电波比较深入地进入电离层, 因而受到电离层的影响较大, 例如电离层、地面等介质的传播损耗, 会导致其通信质量降低, 而限制它的应用, 因此在进行短波天波通讯之前, 进行合理的短波天波传播损耗预测与场强预测分析是必不可少的一项工作, 通过预测可以最大程度地降低传播损耗和提高接收地点信号质量、收听效果。

## 1 短波天波传播损耗预测

电波在传输过程中, 有很多因素对传输损耗以及接收点场强有影响, 根据引起传输损耗的各种物理因素, 将电波在整个传播过程中所引起的基本传输损耗  $L_b$  分为四个部分: 自由空间传输损耗  $L_{bf}$ , 电离层吸收损耗  $L_a$ , 地面反射损耗  $L_g$ , 附加损耗  $Y_p$  等。若各项损耗均用分别 (dB) 表示, 则天波传播的基本传输损耗

$$L_b = L_{bf} + L_a + L_g + Y_p \text{ (dB)}$$

它们在工作频率、传输模式、通信距离和时间的函数。

### 1.1 自由空间传输损耗 $L_{bf}$

自由空间传输损耗是指电波能量随传播距离增加而自然扩散的一种现象, 传播距离越远, 这种损耗越大, 是天波传输损耗的主要分量。这里提出的自由空间, 是一种理想情况, 是指无限大的真空环境, 即媒介具有均匀、各向同性、电导率  $\sigma=0$ 、相对介电常数  $\epsilon_r=1$  及相对磁导率  $\mu_r=1$  的特点。下面就自由空间传输损耗  $L_{bf}$  进行预测。

设有一天线置于自由空间, 在其最大辐射方向上、距离为  $d$  的接收点处产生的场强  $|E_0|$  (V/m) 为

$$|E_0| = \frac{\sqrt{60P_t G_t}}{d}$$

式中,  $P_t$  为发射天线输入功率 (W);  $G_t$  为发射天线增益;  $d$  为距离 (m);  $E_0$  为自由空间场强振幅值。有时, 还需要计算接收天线的输出功率。由接收天线的理论可知, 当接收天线与来波极化匹配并且阻抗匹配时, 其接收功率  $P_r$  (W) 为

$$P_r = S A_e = \frac{P_t \cdot G_t}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 P_t G_t G_r$$

式中,  $S$  为坡印廷矢量 (W/m<sup>2</sup>);  $A_e$  为接收天线的有效面积 (m<sup>2</sup>);  $P_t$  为发射天线的输入功率 (W);  $G_t$ 、 $G_r$  分别为发射天线和接收天线的增益;  $\lambda$  为自由空间电波波长 (m)。

自由空间传输损耗  $L_{bf}$  是用自由空间中两个理想电源天线 ( $G=1$ ) 之间的传输损耗来定义的。它定义为: 自由空间中, 增益  $G_t=1$  的发射天线的输入功率  $P_t$  与  $G_r=1$  的接收天线的输出

功率  $P_r$  之比, 即

$$L_{bf} = \frac{P_t}{P_r} \text{ (自由空间, 且 } G_t = G_r = 1)$$

并根据上式  $P_r$  的计算公式, 得到自由空间传播损耗

$$L_{bf} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

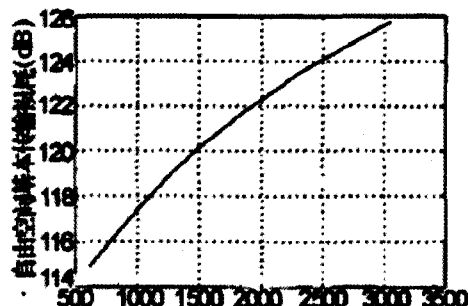
因此自由空间传输损耗的分贝 (dB) 表示

$$L_{bf} \text{ (dB)} = 32.45 + 20 \lg f + 20 \lg d_{eff}$$

式中, 频率以 MHz 为单位, 有效传播距离  $d_{eff}$  以 km 为单位。

从自由空间传输损耗  $L_{bf}$  计算公式可以得出, 当电波频率提高一倍或传播距离增加一倍时, 自由空间传输损耗增加 6dB。

下图为 14.5MHz 短波信号, 传输距离从 600km 到 3000km 的自由空间基本传输损耗。



### 1.2 电离层吸收损耗 $L_a$

电离层吸收损耗是指电波通过电离层时, 电离层中的电子、离子与中性分子, 因受电波场的作用, 相碰撞而产生热量, 与此同时, 电波自身失去能量。它是在天波传输损耗中占第二位的因素。短波传输时, 吸收损耗主要发生在 D 层, 因 D 层内中性分子较多, 碰撞损耗较大, 夜间 D 层电子浓度降低, 吸收损耗随之减小, 这种损耗主要是指非偏移吸收。而在 E 层或 F 层的发射吸收主要是指偏移吸收, 由于该吸收很小 ( $\leq 1$ dB), 一般可以忽略。

电离层吸收损耗与电波传播路径中的电子浓度  $N$ 、碰撞率  $\nu$ 、地磁场强度以及电波频率等因素有关, 然而上述的电离层参数  $N$ 、 $\nu$  等难以准确估计。因此在工程计算中常采用半经验公式进行计算和预测。

$$L_a = \frac{677.2}{(f + f_H)^{1.98} + 10.2} \sum_{j=1}^n \sec \phi_j \times I_j$$

式中,  $L_a$  为电离层吸收损耗;  $\phi$  为在 100Km 高处的入射角;  $f$  为工作频率 (MHz);  $f_H$  为在 100Km 高处的磁旋频率 (MHz);  $I$  为吸收指数;  $n$  为路径的跳数, 公式中所涉及的各项参数可通过电离层预报和作图等方式得到。

吸收指数  $I$  为

$$I = (1 + 0.037R)(\cos 0.881\chi)^{1.3}$$

式中,  $R$  为太阳黑子数,  $\chi$  为两个 100Km 高处吸收处的太阳天顶角。

### 1.3 地面发射损耗 $L_g$

地面发射损耗是指由电离层反射回到地面的电波, 再由地面向上反射时发生的, 这种损耗只发生在两跳以上的传播模式中。它与电波的极化、频率、射线仰角以及地质情况等因素有关。由于电波经电离层发射后极化面旋转且随机变化, 入射地面时的电波是杂乱极化的, 因此, 严格计算  $L_g$  值是有困难的。工程上处理的办法是对圆极化波进行计算。

假设辐射的电波是随机极化, 则无线电能等量分布于水平极化场和垂直极化场。这个损耗为

$$L_g = 10 \lg \left( \frac{R_v^2 + R_h^2}{2} \right)$$

式中,  $R_v$  为垂直极化波(电向量平行于投射面)的反射系数;  $R_h$  为水平极化波(电向量垂直于投射面)的反射系数。

反射系数的定义是反射波中的电向量的大小对投射波中的电向量的大小的比。一般来说, 由于地面的折射指数是复数量、所以反射系数也是复数量。  $R_v$  和  $R_h$  由下式给出:

$$R_v = \frac{n^2 \sin \Delta - (n^2 - \cos^2 \Delta)^{1/2}}{n^2 \sin \Delta + (n^2 - \cos^2 \Delta)^{1/2}}$$

$$R_h = \frac{\sin \Delta - (n^2 - \cos^2 \Delta)^{1/2}}{\sin \Delta + (n^2 - \cos^2 \Delta)^{1/2}}$$

式中,  $\Delta$  为射线在地面上辐射角;  $n$  为复数折射指数。

### 1.4 附加损耗 $Y_p$

这是指上述以外的其它各项损耗, 如电离层的散焦效应, 电波极化损耗、极圈损耗以及传播方向偏离大圆弧方向等的损耗。附加损耗与传播途径有关, 通过极圈途径的附加损耗较大。但如在传播过程中发生聚焦效应或极圈效应(传播到极圈的电波是由两个方向过去的), 这时接收点的信号场强将比正常传播条件下收到的更大。

## 2 短波天波场强预测分析

进行场强预测是有许多因素要考虑的, 除了上述讨论的自由空间损耗、电离层吸收损耗、多跳时地面发射损耗、附加损耗外, 还与发射功率、使用频率、天线增益等发射机的各项指标因素有关, 因此, 准确地计算接收地点的电场强度是非常困难的, 以下列出几种场强预测的方法, 作为参考。

### 2.1 通过传输损耗进行预测

首先计算出自由空间的有效传播距离, 再根据传输过程中所产生的各种损耗, 以及考虑到发射机的使用频率、天线增益、输出功率等因素综合得出的一种计算方法。

由发射点 A 的经纬度 ( $x_1, y_1$ ) 及接收点 B 的经纬度 ( $x_2, y_2$ ), 求出经电离层反射 1 跳后的大圆传播距离

$$D_{gt} = d \times 111.1 \text{ km}$$

式中,  $d$  为 A、B 两边分别向地球中心的连线后所形成的夹角, 可从下式求出:

$$\cos d = \sin x_1 \sin x_2 + \cos x_1 \cos x_2 (y_1 - y_2)$$

发射方位角  $C_{AB}$  可从

$$\sin C_{AB} = \cos x_2 \sin \frac{\Delta L}{d}$$

求得, 式中

$$\Delta L = |y_1 - y_2|$$

自由空间的有效传播距离为

$$D_{eff} = 2 \left[ R_0^2 + (h' + R_0)^2 - 2R_0(h' + R_0) \cos \frac{180 D_{gt}}{2\pi R_0} \right]^{1/2}$$

式中, 虚高  $h' = \frac{c\tau}{2}$ ,  $c$  为光速,  $\tau$  为电波脉冲从地面到反射点, 又从反射点返回地面所需的时间;  $F_2$  层通常  $h' = 300 \text{ km}$ ; 地球半径  $R_0 = 6370 \text{ km}$ 。

根据上面所得出的短波天波传播的基本传输损耗

$$L_b = L_{br} + L_a + L_g + Y_p \text{ (dB)}$$

其中,  $L_{br} \text{ (dB)} = 32.45 + 20 \lg f + 20 \lg d_{eff}$ , 可得接收地点的场强(单位  $\text{dB} \cdot \mu\text{V/m}$ )为

$$E = 107.2 + 20 \lg f + G_t + P_t - L_b$$

式中,  $G_t$  为发射天线增益;  $P_t$  为发射机的输出功率。

### 2.2 通过经验图表进行预测

依据卡山契夫的方法, 接收点的电场强度按下式计算

$$E = E_0 \sqrt{P G e^{-T}}$$

式中  $E_0$  是当电波传播无损耗时, 辐射功率为  $1 \text{ kW}$  时的电场强度。  $P$  是发射天线的辐射功率, 以  $\text{kW}$  计。  $G$  为发射天线的方向增益系数。是电波在各层吸收的总和, 其表示式为:

$$\Gamma = \Gamma_D + \Gamma_E + \Gamma_{F1} + \Gamma_{F2}$$

式中,  $\Gamma_D$ ,  $\Gamma_E$ ,  $\Gamma_{F1}$  和  $\Gamma_{F2}$  分别是电波载电离层 D、E、F1 和 F2 层的吸收系数。这些系数和  $E_0$  皆可由图表查出。

### 2.3 通过仿真软件进行预测

目前, 所使用的场强预测仿真软件是 WPLOFT2000 软件并结合 ITU(国际电联)网站的部分参考数据, 进行预测求得。表 1 显示了仿真预测与试验数据的比较, 试验地点为北京、西安和拉萨, 日期为 7 月。拉萨为接收地点, 频率范围为短波广播波段 4.9-26M。

表 1 仿真场强预测值与试验收测场强值比较

频率 (MHz)	功率 (kW)	发射地点	接收地点	测量 时间	仿真预测 场强值(dB)	试验收测场 强值(dB)
15380	100	北京	拉萨	11:00	45	46
11835	150	西安	拉萨	15:00	45.6	47
7275	100	北京	拉萨	20:00	46.4	45

通过以上不同的发射地点, 不同的收测时间, 以及不同频率, 说明了仿真软件场强预测值与试验收测场强值的相似度, 由于使用该仿真软件可以较方便地进行预测, 节省了大量计算的过程, 因此成为场强预测的重要辅助手段。

## 3 结语

本文对短波天波传输损耗及天波场强进行了详细的预测和分析, 可以做为发射机部署通讯方案时的重要参考依据, 以保证接收地点达到最佳的接收效果, 确保短波天波通讯的实时、有效。

### 参考文献:

- [1] 王增和, 卢春兰, 钱祖平, 乐超. 天线与电波传播[M]. 机械工业出版社
- [2] 朱庆厚. 无线电监测与通信侦察[M]. 人民邮电出版社

作者简介: 袁晓波(1980-), 男, 工程师, 研究方向为无线电传播。