

大气时变特性对电波折射修正精度影响的实验研究¹

张 瑜

(电子工业部第二十二研究所 新乡 453003)

摘 要 要提高外弹道测量系统的精度,就必须提高电波折射修正精度,这样常用的球面分层折射修正公式就不能满足要求。因为大气参数是时空四维结构函数,所以新的大气折射修正公式不仅要考虑大气在垂直、水平方向上的变化,而且也需要考虑其随时间变化特性的影响,本文给出了大气时变特性对折射修正精度影响的实验结果。

关键词 大气时变特性, 折射修正

中图分类号 TN011

1 引言

随着外弹道测量精度的不断提高,对电波折射修正模型也提出了不同的要求。电波折射修正模型的确定依赖于大气结构模型,大气结构模型的准确度如何将直接影响折射误差计算的精度。因此,必须弄清大气结构在垂直方向和水平方向的变化特性以及随时间变化特性,以便改进修正方法,提高修正精度。在以往我们采用的电波折射修正公式^[1]中,是作了大气结构是水平均匀的假设,而没有考虑大气的水平不均匀性和时变特性。目前对大气水平不均匀性对电波折射修正精度的影响已作过了一些研究^[2],但大气时变特性对修正精度的影响的研究还很少。因此有必要对大气的时变特性对电波修正的影响加以研究。

我们知道,现在对用于电波折射修正的大气剖面是用一点或多点探空数据建立的,而要获得从地面到 20km 高处的一个完整气象剖面约需 40min 左右。在实际应用中忽略了气象参数时间延迟的影响,而视为同一时刻的参数。实际上底层和 20km 高处的气象参数在时间上已相差近 40min 左右,在这段时间里,由于受大气中水汽含量扰动的影响,以及因水平气压梯度、水平地转偏向力和热力对流、动力性对流所引起的大气水平运动和垂直运动的影响,大气的折射率将随时间变化,因此用此剖面进行电波折射修正,就会对修正精度有一定的影响。针对这一情况,经过用微波辐射计在新乡地区进行大气时变特性对电波折射修正精度影响的试验测量和分析,我们给出了实验结果。

2 辐射计测量大气时变特性原理

微波辐射计是根据大气传输理论和大气热辐射理论采用 Marcor 技术来进行电波折射修正,它是直接在电波传播路径上取得大气辐射信息的,不存在大气水平均匀和时不变特性的假设,因此其修正的精度较高,并且还可以全天候、快速、实时和连续地进行不同仰角和方位角测量,从而可实时地给出大气时变特性对电波折射修正精度的影响。

雷达测距时,大气折射引起的距离误差 ΔR 为^[3]

$$\Delta R = 10^{-6} \int_0^s N ds, \quad (1)$$

式中 s 为电波射线经过的路径长度 (km), N 为大气折射率,它由湿项 N_w 和干项 N_d 组成;

¹ 1997-12-16 收到, 1998-10-16 定稿

$$N = N_w + N_d, \quad (2)$$

$$N_d = 77.6 \times P/T, \quad (3)$$

$$N_w = 1721.4\rho_w/T; \quad (4)$$

$$T = 273.15 + t; \quad (5)$$

这里 P 为大气压强 (hPa), T 为大气温度 (K), t 为大气摄氏温度 ($^{\circ}\text{C}$), ρ_w 为大气中的水汽密度 (g/m^3)。这样, (1) 式可写为

$$\Delta R = 10^{-6} \left[\int_0^s N_d ds + \int_0^s N_w ds \right], \quad (6)$$

当测量目标的仰角大于 3° 时, 射线弯曲引起的测量误差很小^[4], 因此在 (6) 式可略去射线弯曲的影响, 这样可将上式写为

$$\Delta R = 10^{-6} \left[\int_0^R N_d ds + \int_0^R N_w ds \right], \quad (7)$$

R 为雷达到目标的几何距离 (km)。

由大气结构剖面的探测和研究可知, 折射率干项 N_d 的剖面有规律且稳定, 可由地面气象数据比较准确地估算出来^[5]。而折射率湿项 N_w 的剖面没规律, 它随时间和空间而变化, 这样就不能由地面气象参数或有限的探空数据较准确地获得。辐射计方法就是采用对水汽含量敏感的微波辐射计来直接测量电波传播路径上的大气辐射亮度温度来得到折射率湿项的积分, 从而可得到折射率湿项对距离误差的贡献。

由于大气折射率湿项 N_w 和水汽的吸收系数 α_w 都与大气中的水汽密度 ρ_w 有关, 因此可以通过水汽密度 ρ_w 建立 N_w 与 α_w 的关系

$$\alpha_w = g \cdot N_w. \quad (8)$$

由文献 [6] 可得

$$g = 1.162 \times 10^{-3} T f^2 (300/T)^{3/2} \Delta f \times \left\{ (300/T) \frac{e^{-644/t}}{[(494.4 - f^2)^2 + 4f^2 \Delta f^2]} + 1.2 \times 10^{-6} \right\}, \quad (9)$$

$$\Delta f = 2.85 \times (P/1013) (300/T)^{0.626} (1 + 0.018\rho_w T/P). \quad (10)$$

这样就得到

$$\int_0^R \alpha_w dR = \int_0^R g \cdot N_w dR. \quad (11)$$

由 (9)、(10) 式可见, g 函数不但与频率有关, 而且与温度和气压有关, 因此它随高度而变化。由计算和研究表明^[7], 可在水汽吸收线附近选择一个微波辐射计的最佳工作频率 f^* , 在这个频率上, g 随高度的变化很小基本上接近一常数, 我们把这个频率上的 g 函数记作 g^* 。采用最佳工作频率时, (11) 式可写为

$$\int_0^R \alpha_w dR = g^* \int_0^R N_w dR. \quad (12)$$

根据大传输理论, 利用积分中值定理可得到大气吸收与大气辐射之间的关系:

$$\int_0^R \alpha dR = -\ln\left(\frac{1 - T_B/T_m}{1 - T_s/T_m}\right), \quad (13)$$

式中 α 为大气的总吸收系数, 由干项 α_d 和湿项 α_w 组成:

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_w; \quad (14)$$

T_B 为大气辐射亮度温度 (K), T_m 为大气平均辐射温度 (K), T_s 为宇宙源背景辐射温度 (K). 这样就可以导出

$$\Delta R_w = \int_0^R N_w dR = (1/g^*)[-\ln\left(\frac{1 - T_B/T_m}{1 - T_s/T_m}\right) - \tau_d], \quad (15)$$

$$\tau_d = \int_0^R \alpha_d dR. \quad (16)$$

由 (15) 式可见, 只需要用微波辐射计测出目标传播路径上的大气辐射亮度温度 T_B 和地面气象参数就可求出折射修正的距离误差.

3 结果和分析

为了分析大气时变特性对电波折射修正精度的影响, 我们在新乡地区用单频微波辐射计进行了连续测量, 得到了在新乡地区大气时变特性对电波折射修正距离误差影响的结果.

我们所使用的微波辐射计中心工作频率为 23.75GHz, 天线采用口径为 1.5m 的卡塞格伦天线, 辐射计接收机输出与输入线性相关, 其线性相关系数优于 0.999. 系统定标采用常温黑体负载和浸入液氮中的黑体负载在天线馈源口面进行两点定标, 接收机灵敏度优于 0.3K. 背景源的辐射温度 T_s , 只要天线不是指向太阳或月亮, 在微波波段通常 $T_s \leq 2.7K$, 因此在试验中取 $T_s = 2.7K$. 公式中的 g 、 T_m 、 τ_d 可由地面的气象参数计算得到.

由于大气引起电波的折射误差主要是在对流层内, 并且仰角越小其影响越大, 因此我们主要研究在低仰角时大气时变特性对电波折射修正精度的影响, 即假设目标高度为离地面 60km. 时间上根据外测系统实际应用选在一小时范围内. 表 1 列出了 1995 年 5 月 8:00 ~ 9:00 点和 20:00 ~ 21:00 点. 仰角为 5° 和 10° 时的大气时变特性对电波修正精度影响的典型结果.

表 1 大气时变特性对电波修正距离误差的影响 $\Delta R(\text{cm})$

仰角 ($^\circ$)	5		10	
	早上	晚上	早上	晚上
10	1.13	0.98	0.67	0.35
20	4.50	3.21	2.01	1.11
30	9.04	7.12	5.78	3.98
40	5.65	3.98	2.43	1.87
50	2.26	1.11	1.00	0.62
60	9.04	8.01	6.70	3.56

从表 1 中可以看出, 大气时变特性对电波折射修正精度的影响在半小时和一小时时刻较大, 在其它时间内影响较小, 它们的数量都是在 1 ~ 10 cm 之内, 经过统计分析, 仰角为 5° 和 10° 时, 大气时变特性在一小时范围内对电波折射修正精度影响的距离误差标准差分别为 3.5 和 2.4cm. 在实验中也发现, 随着仰角的增大, 大气时变特性的影响减小. 影响的程度与气象条件的变化有密切的关系, 如果在精度要求不是太高的外测系统中可以不用考虑时变特性的影响, 但在高精度外测系统中就需要考虑大气时变特性的影响.

4 结 论

经过以上分析可得到一些初步的结论: (1) 随着仰角的增大, 大气时变特性对电波折射修正精度的影响逐渐减小. (2) 大气时变特性对电波折射修正精度的影响在半小时和一小时时刻较大. (3) 大气时变特性对电波折射修正精度的影响在早上比晚上大. (4) 在精度要求不太高时可以不考虑时变特性的影响, 但在高精度系统中就必须考虑大气时变特性的影响.

参 考 文 献

- [1] 江长荫. 低仰角无线电定位测速的大气层电波传播误差. 电波与天线, 1982, (1): 1-62.
- [2] 张 瑜. 三维大气电波折射修正实验研究. 电波科学学报, 1996, 11(4): 82-86.
- [3] 谢益希, 等. 电波传播 - 超短波, 微波, 毫米波. 北京: 电子工业出版社, 1990 年, 第二章.
- [4] 张 瑜, 高 霞. 低空大气电波时延和弯曲对无线电定位的影响. 电子技术与信息化, 1996 年, 4(3): 87-89.
- [5] Hopfield H S. Tropospheric effect on electromagnetically measured range: Prediction from surface weather data, Radio Science. 1971, 6(3): 357-367.
- [6] Ulaby F T, Moore R K, Fung A K. Microwave Remote Sensing, Vol I, 1981, 270-174.
- [7] 李 兰, 等. 用作对流层折射修正的双频辐射计最佳频率选择, 第四届全国电波传播学会论文集, 1991 年.

THE EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF TIME VARIATION OF ATMOSPHERE ON THE PRECISION OF RADIOWAVE REFRACTIVE CORRECTION

Zhang Yu

(China Research Institute of Radiowave Propagation,, Xinxiang 453003)

Abstract To improve the precision of the outer measuring system, the accuracy of radiowave refractive correction must be raised. The refractive correction's formulation in the assumption of atmospheric ballface stratification does not meet the requirements, because the atmospheric parameters are functions of the four dimension at temporospatial structure. The new refractive correction's formulation needs to study the atmospheric variations not only on space, but also on time. This paper gives the experimental results of the effect of the atmospheric time variation on the precision of the radiowave refractive correction.

Key words Atmospheric time variation, Refractive correction

张 瑜: 男, 工程师, 1963 年生. 曾在不同刊物上发表文章十余篇. 获部、省、市奖多次, 现主要从事电波折射误差修正和雷达低仰角跟踪研究.