

# Babin 模式特征分析及应用

成印河<sup>1,2</sup>, 何宜军<sup>1</sup>, 李海艳<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 讨论了气象条件对 Babin 模式的影响, 对比分析了 Babin 模式模拟结果与典型的 P-J 模式模拟结果, 前者一般小于后者; 还计算了南海海区的蒸发波导高度, 平均结果与现有文献上的此海区统计结果基本一致, 这为 Babin 模式用于研究蒸发波导气候变化提供了基础。

**关键词:** 蒸发波导; Babin 模式; P-J 模式

**中图分类号:** P732.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3096(2008)07-0042-04

电磁波在大气环境中传播不仅受到大气散射、吸收等影响, 还要受大气折射的影响。在大气环境中, 部分电磁波会被限制在一定厚度的大气层内传播, 称为大气波导传播, 形成波导传播的大气层称为大气波导。大气波导改变了电磁波正常的对流层传播特性。海上蒸发波导通常是永久性的或半永久性的, 它对海上运作的基于正常大气模式的雷达、通信等无线电系统有很大的影响<sup>[1]</sup>。已有的研究表明, 海上运作的雷达系统的作用范围, 尤其是近海面的作用范围, 在 80% 以上的时间需要确切获知蒸发波导参数才能准确预估。因此, 国内外都非常重视对海上蒸发波导的研究。利用海面气象要素预测蒸发波导参数的成为一个研究热点, 提出了多种确定蒸发波导高度的模式, 包括美国海军应用的 P-J 模式<sup>[2]</sup>、欧洲的 MGB 模式<sup>[3]</sup>、美国 Babin 提出的 Babin 模式<sup>[4]</sup>、国内的伪折射率模式。作者主要讨论了气象要素对 Babin 模式影响, 并与 P-J 模式进行了对比分析和应用研究。

## 1 Babin 模式原理

蒸发波导是由于海洋上海水的蒸发而形成的一种大气波导, 其高度是修正大气折射率梯度由负变为正时的高度, 是一个非常重要的物理参量。Babin 模式在计算蒸发波导高度时采用了先进热带海洋大气海气耦合响应试验 (TOGA COARE) 通量计算方法, 使用了一些新技术, 如采用 Serdrup 在 1942 年建议的盐度订正来计算饱和海水水汽压, 引入阵风性速度等。因此 Babin 模式可以在甚低风速下计算蒸发波导高度。该模式采用位温和比湿两个相似变量, 气压采用静力平衡方程就可以得到:

$$\frac{dN}{dz} = c_1 + c_2 \frac{d}{dz} + c_3 \frac{dq}{dz}$$

$c_1, c_2$  和  $c_3$  是由当时大气压、气温、比湿决定的常量。发生波导的临界条件是大气折射率梯度  $dN/dz = -0.157$ , 此时  $z$  所对应的高度就是蒸发波导高度  $z_d$ 。因此只要知道位温和比湿梯度就可以求得蒸发波导高度。位温和比湿梯度可应用莫宁-奥布霍夫理论得到:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dz} &= \frac{u_*}{kz} \phi \left( \frac{z}{L} \right) \\ \frac{dq}{dz} &= \frac{q_*}{kz} \phi_q \left( \frac{z}{L} \right) \end{aligned} \right\}$$

式中,  $u_*$ ,  $q_*$  分别是位温特征尺度和比湿特征尺度;  $\phi, \phi_q$  是微分形式的普适函数, 是由实测资料统计得到的经验函数;  $L$  是莫宁-奥布霍夫长度, 它是摩擦速度  $u_*$ 、位温特征尺度  $\theta_*$  和比湿特征尺度  $q_*$  的函数。摩擦速度  $u_*$ 、位温特征尺度  $\theta_*$ 、比湿特征尺度  $q_*$  3 个特征尺度可由 COARE 通量算法迭代得到, 联合普适函数  $\phi, \phi_q$  就可以求得蒸发波导高度。

## 2 Babin 模式仿真并与 P-J 模式对比分析

Babin 模式和 P-J 模式都是利用海面水文、气象要素的宏观观测资料, 根据近地层相似理论来确定蒸发波导高度。P-J 模式已被美国海军应用于评估电磁波传播业务软件系统 EREPS 中。

### 2.1 气海温差和风速对蒸发波导高度的影响

任取相对湿度为 75%、气压为 1 013 hPa、海面温度为 25℃、风速分别为 5、10 和 20 m/s 的条件下,

收稿日期: 2007-08-01; 修回日期: 2008-01-26

基金项目: 中国科学院方向项目 (KZCX2-YW-201)

作者简介: 成印河 (1980-), 男, 山东滨州人, 博士研究生, 主要从事海气相互作用和大气波导研究, E-mail: heyj@ms.qdio.ac.cn

当气海温差由 -4 变化到 5 时,利用两种模式计算的蒸发波导高度见图 1。由图 1 显见,当相对湿度和风速不变时,在气海温差小于零的条件下,Babin 模式计算的蒸发波导高度随气海温差的代数值的增大而缓慢的降低;在气海温差大于零的条件下,受风速和气海温差的综合影响,情况比较复杂:在低风速的情况下,如静风和微风(低于 6 m/s),波导高度受气海温差影响较大,变化比较剧烈,在气海温差变化为从 0 到 1.5 范围内首先迅速增大一直超过 40 m,然后又迅速降低变为负值,在此蒸发波导高度已被限制在 0~40 m;在风速较高的情况下,如在和风(8 m/s 左右),波导高度变化缓慢,先增高后降低;在高风速条件下,如大风(17 m/s 以上)波导高度一直是随气海温差的增大而降低的。由图 1 还可见在气海温差不变的情况下,波导高度一般在低风速时随风速增大而增高,达到高风速时反而降低,这可能与水汽压对蒸发波导高度的贡献有关,在低风速时,湍流较少,水汽缓慢减少,当达到一定风速时湍流携带的水汽迅速减少,波导高度随风速降低。

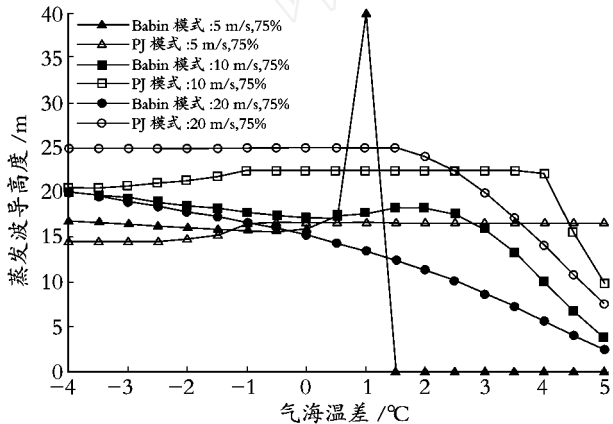


图 1 蒸发波导高度随气海温差及风速的变化

Fig. 1 Influences of air-sea temperature difference and wind speed on evaporation duct height

实线为 Babin 模式;虚线为 P-J 模式(图 2 同)

Solid line corresponds to Babin model; Dashed line to P-J model (the same as Fig. 2)

## 2.2 相对湿度对蒸发波导高度的影响

任取海表面温度 25、大气压 1 013 hPa、风速 10 m/s、相对湿度从 40% 到 100%,气温分别为 24.5 和 25.5 两种情况分别用两种模式进行了计算,结果如图 2。由图 2 显见,蒸发波导高度随相对湿度的增高而降低。这与蒸发波导的形成机理是一

致的,蒸发波导是由于湿度自海面饱和状态向上迅速递减而形成的,空气相对湿度越小则湿度垂直递减梯度绝对值就越大,蒸发波导高度就越高;反之,波导高度越低。

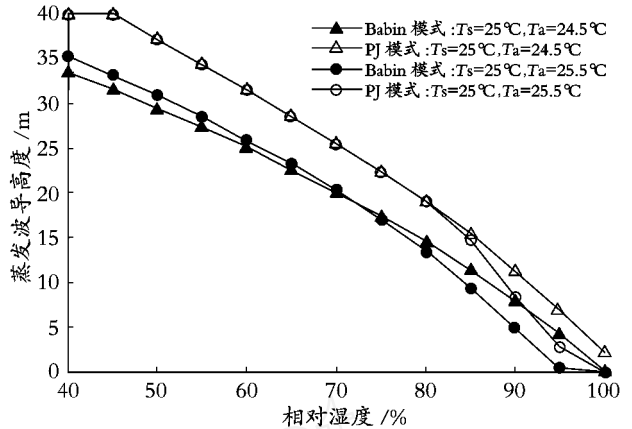


图 2 相对湿度对蒸发波导高度的影响

Fig. 2 Influence of relative humidity on evaporation duct

## 2.3 Babin 模式和 P-J 模式结果比较

由图 1 和图 2 可知,Babin 和 P-J 两种模式在同样输入的情况下,Babin 模式的计算结果一般比 P-J 模式的结果小,这可能与描写大气边界层的最新研究技术密切相关,考虑水汽的莫宁-奥布霍夫长度比仅采用温度和风速的理查森数更能描述大气稳定度,通量计算更为准确;偶尔出现大于 40 m 的情况,可能因为在稳定层结下,莫宁-奥布霍夫变化太大,这与各个参量粗糙度尺度有很大的关系,有待于进一步研究。在低风速气海温差小于零时,Babin 模式比 P-J 模式稍高,这可能是引入阵风性速度对海面平均风进行修正的结果。两种模式的结果虽然有一定的差异,但变化趋势基本一致。

## 3 利用 1998 年南海季风试验资料的计算结果

利用 1998 年西沙海气通量梯度观测资料进行了计算。观测塔建在西沙永兴岛(16°50'N,112°20'E)西南面礁盘边缘,距岛屿约 300 m,海面开阔。选取第 1 层水下 0.5 m 处水温作为海表面温度,第 3 层 6 m 风速,干湿球温度 10 min 平均作为输入,气压视为常量,利用 Babin 模式进行了计算,并与 P-J 模式的结果作了比较。因为观测塔固定观测,必须考虑潮位引起的测量高度相对于水面的变化,视 7 m 为真值,海面在 2 m 范围内变化,引起的蒸发波导高度的

变化见图 3。结果表明由于测量误差,船舶晃动或观测塔由潮汐引起的测量仪器与海面之间相对高度在 0~2 m 之内的变化对预估蒸发波导高度的影响不大,远小于用于电磁波传播模型所要求的偏差 2 m<sup>[5]</sup>。

选取 5 月 22 日蒸发波导高度一日内的变化情况,然后对选取有效数据 5 月 20 日到 5 月 24 日和 6 月 8 日到 6 月 22 日,其中 6 月 12,13 和 19 日没有数据,作了日平均和总的平均见表 1。季风爆发后的南海海面一般是高温,高湿(相对湿度 80% 以上)天气状态,Babin 模式和 P-J 模式两模式计算的波导高度一日内的变化趋势是一致的,Babin 模式结果较小,P-J 结果比较大。18 d 平均结果表明和其他文献中计算统计的夏季蒸发波导高度 14 m 结果基本一致<sup>[6]</sup>,Babin 模式较小的结果也许更为准确<sup>[7]</sup>。

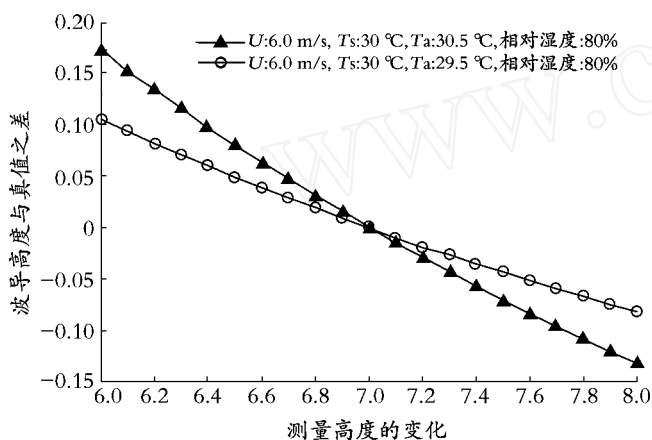


图 3 测量高度对蒸发波导高度的影响

Fig. 3 Influence of the measured height on evaporation duct height calculated with Babin model

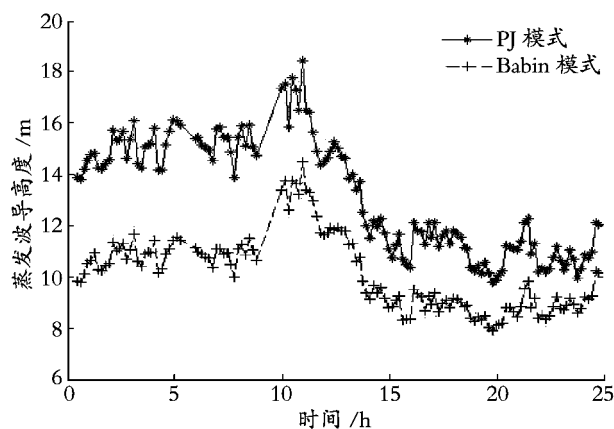


图 4 5 月 22 蒸发波导高度的日变化

Fig. 4 Evaporation duct height calculated with two models changes in a day

表 1 蒸发波导高度的日平均值及试验期间平均值

Tab.1 Mean duct heights of day and total mean duct height during the experiment period

日期(月 - 日)	Babin 模式结果(m)	P-J 模式结果(m)
05 - 20	12.950	16.341
05 - 21	12.218	14.754
05 - 22	10.154	13.215
05 - 23	10.060	11.990
05 - 24	10.942	12.728
06 - 08	12.465	16.372
06 - 09	9.658	14.436
...	...	...
平均结果	12.161	15.910

## 4 结束语

作者定性地讨论了不同大气层结下气海温差、风速、相对湿度对波导高度的影响,为研究蒸发波导提供理论基础。Babin 模式是基于 COARE2.0 版本,而 COARE 算法已经发展到了更高一级的版本 COARE3.0,考虑了更多的气象要素,应用到求解蒸发波导高度也许更准确,但需要输入的参数增多,实际应用较复杂,需要进一步深入研究。

利用南海实测资料运用 Babin 模式对南海蒸发波导进行了估算,和其他模式结果基本一致,但缺乏大气折射率梯度直接或间接资料进行比对。然而海上定点连续长期观测对于研究蒸发波导日变化规律和气候特征具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 刘成国,黄际英,江长荫,等. 用伪折射率和相似理论计算海上蒸发波导剖面[J]. 电子学报, 2001, 29(7): 970-972.
- [2] Paulus R A. Practical application of an evaporation duct model[J]. *Radio Science*, 1985, 20(4): 887-896.
- [3] Luc M G, Sylvie G, Eric B. A simple method to determine evaporation duct height in the sea surface boundary layer[J]. *Radio Science*, 1992, 27(5): 635-644.
- [4] Steven M B, George S Y, James A C. A new model of the oceanic evaporation duct [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1997, 36: 193-204.
- [5] 林伟, 蔡豪, 史建伟, 等. 蒸发波导仿真及误差分析[J]. 舰船电子对抗, 2006, 29(1): 20-26.
- [6] 蔺发军, 刘成国, 成思, 等. 海上大气波导的统计分析[J]. 电波科学学报, 2005, 20(1): 64-68.
- [7] 潘越, 崔伟. PJ 蒸发波导模型在沿海岸应用的分析研究[J]. 计算机仿真, 2005, 24(6): 86-89.

# The characteristic analysis and application of Babin model

CHENG Yin-he<sup>1,2</sup>, HE Yi-jun<sup>1</sup>, Li Hai-yan<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Received:** Aug. , 1, 2007

**Key words:** evaporation duct; Babin model; P-J model

**Abstract:** The paper discusses the influence of atmospheric factors on Babin model. Using the simulating test, evaporation duct height is calculated using Babin model and compared with P-J model's results. The former is smaller than the latter normally. Babin model is also used to calculate the duct heights from standard meteorological data of the South China Sea and the averaged result is consistent with other statistical results, which lays the foundation of study of climate change of evaporation ducts utilizing Babin model.

(本文编辑:刘珊珊)