

蔡夕方, 王静菊, 何锡玉, 等. 东海区域蒸发波导变化特性研究[J]. 电波科学学报, 2020, 35(3): 372-376. DOI: 10.13443/j. cjors. 2019111901
CAI X F, WANG J J, HE X Y, et al. Research on change features of evaporation duct over the East China Sea[J]. Chinese journal of radio science, 2020, 35(3): 372-376. (in Chinese). DOI: 10.13443/j. cjors. 2019111901

东海区域蒸发波导变化特性研究

蔡夕方¹ 王静菊^{2,3} 何锡玉¹ 张守宝² 朱庆林² 胡建平¹

(1. 中国人民解放军 91001 部队, 北京 100161; 2. 中国电波传播研究所, 青岛 266107; 3. 海南热带海洋学院, 三亚 572000)

摘 要 为了分析东海蒸发波导高度的季节变化、月变化, 讨论其分布规律, 为雷达探测和无线电通讯提供参考, 利用 2008—2017 年的十年 NCEP-FNL 再分析数据和改进的 NPS 蒸发波导模型, 统计分析了我我国东海海域蒸发波导发生规律和时空分布特征. 结果表明: 东海蒸发波导高度在春季和夏季呈西北高东南低的特点, 其中春季为高度最高的季节, 5 月份东海西北部可高达 20 m, 夏季 6 月份在东海中部出现最低值; 秋季和冬季反之, 呈西北低东南高的特点. 分析表明, 东海蒸发波导高度存在明显的季节变化、月变化以及区域差异, 这可能与东海的地理特征和气候变化相关.

关键词 东海; 蒸发波导; FNL; 时间变化; 空间变化

中图分类号 TN011

文献标志码 A

文章编号 1005-0388(2020)03-0372-05

DOI 10.13443/j. cjors. 2019111901

Research on change features of evaporation duct over the East China Sea

CAI Xifang¹ WANG Jingju^{2,3} HE Xiyu¹ ZHANG Shoubao² ZHU Qinglin² HU Jianping¹

(1. Unit No. 91001 of PLA, Beijing 100161, China; 2. China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao 266107, China; 3. Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572000, China)

Abstract Based on the final analysis data(FNL) from National Centers for Environment Prediction (NCEP) reanalysis data and the improved NPS diagnostic model, the seasonal and monthly changes of evaporation duct over East China Sea are analyzed. The distribution of ducts is discussed to provide reference for radar detections and radio communications. The results show that the evaporation duct height of northwest is higher than southeast in spring and summer. Spring is the season with the highest duct height. The maximum of evaporation duct height over the northwest of East China Sea is in May, which is 20 m. For the central East China Sea, the lowest evaporation duct height is in June. On the contrary, higher in southeast in autumn and winter. There are obvious seasonal, monthly and regional differences in the height of the evaporation duct over the East China Sea. This may be related to the geographical characteristics of the East China Sea and climate change.

Keywords East China Sea; evaporation duct; final analysis data(FNL); time variation; spatial variation

引 言

由于大气温度、湿度、压强的垂直结构变化, 会产生异常的大气折射结构, 如大气波导. 其中, 蒸发

波导是发生在海洋近地层中的一种异常折射现象, 它能够改变电磁波的正常传播特性, 对雷达、通信等电子设备性能产生重要的影响. 蒸发波导高度是表征波导强度的重要物理量, 是确定影响雷达等电子

收稿日期: 2019-11-19

资助项目: 国家重点研发计划(2017YFC1404005)

联系人: 何锡玉 E-mail: hexynew@163.com

设备程度的关键因素。蒸发波导是由于海面蒸发作用而在一定高度形成剧烈的湿度梯度引起的,在海面上几乎永久存在。蒸发波导高度对雷达的测距和测高及雷达杂波等有重要影响,但在广阔海面上进行蒸发波导观测十分困难。

为获得广阔海域上的蒸发波导分布情况,美国采用1970—1984年志愿商船采集的海洋气象数据和PJ(Paulus-Jeske)模型建立了全球 $10^{\circ}\times 10^{\circ}$ 空间分辨率的蒸发波导数据库^[1]。在全球海洋,蒸发波导高度整体上随纬度增加有减小趋势^[2]。蔺发军等^[3]使用伪折射率模型和1982—1999年海洋观测资料对我国部分海域进行了蒸发波导特征统计;2007—2013年,美国海军研究生院基于再分析数据分别给出了西北印度洋以及附近区域、西北太平洋以及中国南海的蒸发波导气候学研究^[4-6]。杨坤德等^[7]利用开源美国国家环境预报中心(National Centers for Environment Prediction, NCEP)气象再分析数据和NPS蒸发波导模型统计分析了西太平洋 $1.875^{\circ}\times 1.9^{\circ}$ 分辨率的蒸发波导特征分布。刘成国等^[8]基于标准大气模式对蒸发波导的环境特性进行了分析。陈莉等^[9]利用MM5大气模式对中国近海区域进行了2007年的数值模拟,并利用该结果进行蒸发波导的诊断计算和统计分析。李建儒等^[10]选取我国南海某海域,分析了不同区域蒸发波导传播损耗的季节变化特征。2017年,焦林等^[11]利用被动式大气波导探测系统监测数据和国家海洋信息中心同化的数据库,对中国近海的蒸发波导进行了统计分析。

蒸发波导的分布具有显著的地域特征和季节变化特征,上述研究针对全球部分海域进行了不同程度的蒸发波导的特征统计分析,但没有针对我国东海进行专门的统计分析。东海纵跨温带和副热带,是中国大陆东侧太平洋的边缘海,是中国岛屿最多的海域。其大陆架宽广,具有丰富的石油资源和渔业资源,是我国海洋经济的重要组成部分。因此本文利用NCEP提供的再分析格点数据对我国东海海域蒸发波导特性进行统计分析。

1 资料与方法

目前蒸发波导预测模型是获取蒸发波导高度及其修正折射率垂直分布的主要方法^[8,12-14],主要有PJ、MGB、Model A^[15-16]、NPS^[17]、Babin^[12,15]、LKB^[17]和伪折射率模型^[8,18]等。其中NPS蒸发波导模型于2000年由美国海军研究生院发布,它采用海洋-大气耦合响应试验(tropical oceans global atmosphere and

coupled ocean atmosphere response experiment, TOGA-COARE)发展起来的海气通量整体算法COARE2.6版进行位温、比湿的特征尺度的计算。考虑到目前海气通量整体算法已经更新到3.0版本,因此本次分析采用最新发布的COARE3.0算法来确定海表层尺度参数和海面粗糙度的计算。

FNL数据是由NCEP提供的再分析格点数据,时间分辨率为6 h/次,每天02:00、08:00、14:00、20:00 LST有数据,空间水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 。本次分析基于FNL再分析资料2008—2017年的十年数据,首先基于每天四个时刻的水文要素诊断蒸发波导高度,然后再求均值,进行东海蒸发波导高度的年际统计分析。

2 变化特征分析

为分析东海蒸发波导高度的年内变化特征,分别给出2008—2017年1—12月份的平均分布情况,如图1所示。下文中蒸发波导高度单位均为m。

由图1可见,十年间东海区域蒸发波导高度月平均存在明显变化,呈现出明显的西北—东南向分布形态。

分析图2可以发现,东海春季(3—5月份)平均蒸发波导高度基本分布在9~15 m,在 28°N 靠近大陆一侧存在小于10 m的极小值区,台湾岛西北部海域存在大于13 m的极大值区。

其中,3月份起,东海蒸发波导高度开始普遍增高,江苏沿岸蒸发波导高度增加至15 m,而东南部蒸发波导高度明显降低。4月份,东海蒸发波导高度呈明显的西北高、东南低的形态分布,东南部已几乎找不到蒸发波导高度高于13 m的海域。5月份东东北部蒸发波导高度全年最高,基本分布在13~20 m,东南部蒸发波导高度分布在11~13 m(详见图1)。

由图3可以发现:东海夏季(6—8月份)十年蒸发波导高度分布在9~16 m,呈北中部低、西北和西南高的状态;东湖北中部夏季蒸发波导高度分布在9~13 m,在台湾岛北部同样出现春季的局部蒸发波导高度大值区。

其中,6月份东海中部出现异常的蒸发波导高度年平均最低值中心,为6 m。7月份,东海中部的蒸发波导高度低值中心增加至9 m并逐渐向北移动,东海南部蒸发波导高度升高至13 m,同时江苏沿岸区域的蒸发波导高度出现明显增加。8月份,蒸发波导高度低值中心蒸发波导高度进一步增加(详见图1),中心效应此时逐渐减弱。

由图4可以发现,东海秋季(9—11月份)十年蒸发波导高度分布在11~15 m,蒸发波导高度分布呈东南高、西北低状态;东海西北部海域的蒸发波导高度较低,在11~12 m;东海东南部海域的蒸发波导高度较高,在13~14 m;仅台湾岛西北部存在局部的蒸发波导高度大值区。

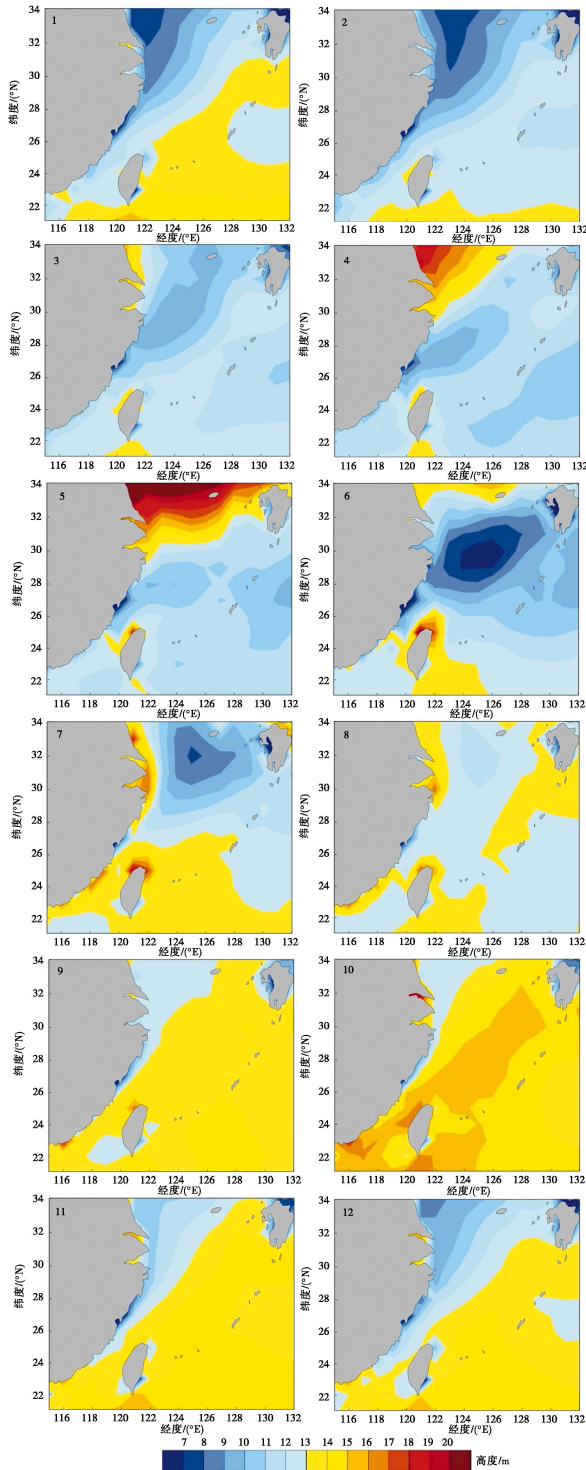


图1 2008—2017年东海蒸发波导月平均高度变化

Fig. 1 Monthly variation of the height of the evaporation duct in the East China Sea during 2008–2017

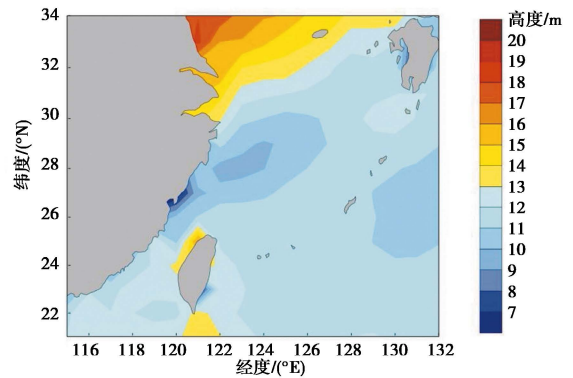


图2 春季东海蒸发波导高度平均分布

Fig. 2 Average distribution of evaporation duct height in the East China Sea in spring

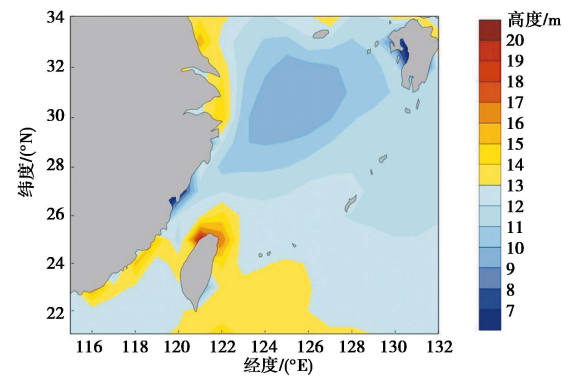


图3 夏季东海蒸发波导高度平均分布

Fig. 3 Average distribution of evaporation duct height in the East China Sea in summer

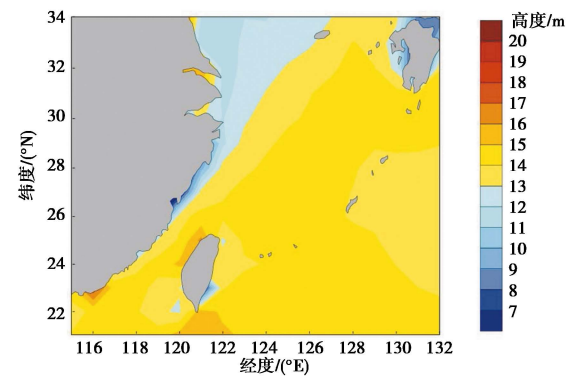


图4 秋季东海蒸发波导高度平均分布

Fig. 4 Average distribution of evaporation duct height in the East China Sea in autumn

其中,9月份东海蒸发波导高度从东南方向逐渐开始升高至13 m. 10月份东海的东南方向蒸发波导高度进一步升高至15 m,且蒸发波导高度大于13 m的范围为年平均月份中最广. 11月份,东海蒸发波导高度开始降低,低值区自东海西北部开始逐

渐向东南方向蔓延(详见图1)。

从图5可以发现,东海冬季(12—2月份)十年蒸发波导高度分布在8~13 m,东海蒸发波导高度呈西北低、东南高的分布形态。上海以北的东海海域蒸发波导高度在8~9 m。

其中,12月份,东海西北部蒸发波导高度从10 m降至8 m,蒸发波导低值区进一步向东南方向延伸。1—2月份,西北部江苏外海区域蒸发波导高度最低,其中最低处约7 m,此时东南部蒸发波导高度为13~15 m。尤其是2月份,东海海域蒸发波导高度已几乎全部低于13 m,北部出现大面积蒸发波导低于7 m的区域(详见图1)。

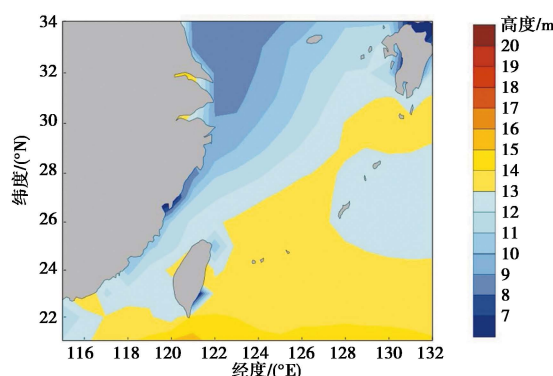


图5 冬季东海蒸发波导高度平均分布

Fig. 5 Average distribution of evaporation duct height in the East China Sea in winter

分析东海蒸发波导高度变化可以发现,蒸发波导高度分布在8~20 m,春季东海北部蒸发波导高度最高,呈北高南低状态。随后东海北部蒸发波导高度逐渐降低,东海东南部蒸发波导高度自台湾岛起逐渐增高,至秋季东海东南部大面积海域蒸发波导高度升高至14 m,东海西北部蒸发波导高度降低至11 m。至冬季,东海西北部蒸发波导高度进一步降低至8 m,此时东南部海域蒸发波导高度从东侧也开始逐渐降低。

3 结论

本文利用2008—2017年十年间的NCEP-FNL再分析数据和NPS蒸发波导模型,分析了东海十年间蒸发波导高度的季节变化和月变化,结论如下:

东海蒸发波导高度分布在8~20 m,存在明显的季节变化和区域差异。春季,东海西北部海域蒸发波导高度最高,可达19 m,东南部海域蒸发波导高度较低。夏季,东海海域蒸发波导高度整体下降,台湾岛附近蒸发波导高度略有升高,但仍然可划分

为东海西北和东南两部分。秋季,东海西北部蒸发波导高度进一步下降,东南部蒸发波导高度自台湾岛开始逐渐升高。冬季,东海西北部蒸发波导高度降至全年最低,最低可至8 m,东南部蒸发波导高度整体也略有降低。

东海蒸发波导高度存在明显的月变化。3月份东海蒸发波导高度从西北部海域逐渐开始升高,至5月份东海西北部蒸发波导高度最高,高达20 m,呈现西北高、东南低的特点。6月份东海中部出现蒸发波导高度最低值中心,为6 m,随后东海蒸发波导高度整体逐渐升高。至9月份,东海蒸发波导高度开始呈现西北低、东南高的特点。东南部蒸发波导逐渐升高,并随之不断向西北部蔓延。11月份开始,东海蒸发波导高度开始减弱。

中国东海蒸发波导的统计特征分析能够为雷达测距和雷达杂波反演等提供研究基础。与此同时,东海蒸发波导快速的月变化特点成因需进一步分析,这可能与东海的地理特征和气候变化相关。

参考文献

- [1] 郭相明,康士峰,韩杰,等. 蒸发波导数据库及中国海域的统计分析[J]. 电波科学学报, 2013, 28(6): 1152-1157.
GUO X M, KANG S F, HAN J, et al. Evaporation duct database and statistical analysis for the Chinese sea areas[J]. Chinese journal of radio science, 2013, 28(6): 1152-1157. (in Chinese)
- [2] YANG K, ZHANG Q, YANG S, et al. On analyzing space-time distribution of evaporation duct height over the global ocean[J]. Acta oceanologica sinica, 2016, 35: 20-29.
- [3] 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.
LIN F J, LIU C G, CHENG S, et al. Statistical analysis of marine atmospheric duct[J]. Chinese journal of radio science, 2005, 20(1): 64-68. (in Chinese)
- [4] TWIGG K L. A smart climatology of evaporation duct height and surface radar propagation in the Indian Ocean[D]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2007.
- [5] RAMSAUR D. Climate analysis and long range forecasting of radar performance in the western north pacific[J]. Monterey: Naval Postgraduate School, California, 2009.
- [6] MCKEON B D. Climate analysis of evaporation ducts in the South China Sea[D]. Monterey: Naval Post-

- graduate School, 2013.
- [7] 杨坤德, 马远良, 史阳. 西太平洋蒸发波导的时空统计规律研究[J]. 物理学报, 2009, 58(10): 7339-7350.
- YANG K D, MA Y L, SHI Y. Spatio-temporal distributions of evaporation duct for the West Pacific Ocean[J]. Acta physica sinica, 2009, 58(10): 7339-7350. (in Chinese)
- [8] 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.
- LIU C G, HUANG J Y, JIANG C Y, et al. Modeling evaporation duct over sea with pseudo-refractivity and similarity theory [J]. Acta electronica sinica, 2001, 29(7): 970-972. (in Chinese)
- [9] 陈莉, 高山红, 康士峰, 等. 中国近海蒸发波导的数值模拟与预报研究[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(1): 1-8.
- CHEN L, GAO S H, KANG S F, et al. Numerical modeling and forecasting of evaporation ducts over China Seas[J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(1): 1-8. (in Chinese)
- [10] 李建儒, 王红光, 赵振维. 一种基于海洋气象数据的蒸发波导传播统计方法[J]. 电波科学学报, 2013, 28(5): 891-896.
- LI J R, WANG H G, ZHAO Z W. Statistical method of evaporation duct propagation based on marine meteorological data[J]. Chinese journal of radio science, 2013, 28(5): 891-896. (in Chinese)
- [11] 焦林, 李云波, 张永刚. 中国近海蒸发波导区划研究[J]. 海洋技术学报, 2017(3): 7-12.
- JIAO L, LI Y B, ZHANG Y G. Research on the distribution of evaporation duct in China's offshore areas [J]. Journal of ocean technology, 2017(3): 7-12. (in Chinese)
- [12] BABIN S M. A new model of the oceanic evaporation duct and its comparison with current models [D]. Maryland: University of Maryland, 1996.
- [13] JESKE H. State and limits of prediction methods of radar wave propagation conditions over sea [M]// Modern topics in microwave propagation and air-sea interaction, Netherlands: Springer, 1973: 130-148.
- [14] 李云波, 张永刚, 唐海川, 等. 基于海气通量算法的海上蒸发波导诊断模型[J]. 应用气象学报, 2009, 20(5): 628-633.
- LI Y B, ZHANG Y G, TANG H C, et al. Oceanic evaporation duct diagnosis model based on air sea flux algorithm[J]. Journal of applied meteorological science, 2009, 20(5): 628-633. (in Chinese)
- [15] BABIN S M, YOUNG G S, CARTON J A. A new model of the oceanic evaporation duct[J]. Journal of applied meteorology, 1997, 36(3): 193-204.
- [16] 李诗明. 海上蒸发波导模式研究进展及面临的问题[J]. 海洋预报, 2005, 22(z1): 128-139.
- LI S M. Advances and questions in the model study of evaporation duct over ocean [J]. Marine forecasts, 2005, 22(z1): 128-139. (in Chinese)
- [17] BABIN S M, DOCKERY G D. LKB-Based evaporation duct model comparison with buoy data[J]. Journal of applied meteorology, 2002, 41(4): 434-446.
- [18] 刘成国. 蒸发波导环境特性和传播特性及其应用研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2003.
- LIU C G. Research on evaporation duct propagation and its applications [D]. Xi'an: Xidian University, 2003. (in Chinese)

作者简介

蔡夕方 (1966—), 男, 江苏人, 高级工程师, 主要从事动力气象、数值预报、物理海洋、大气波导等方面的研究工作。

王静菊 (1993—), 女, 山东人, 工程师, 主要从事数值天气预报及数据同化、蒸发波导模型、边界层气象、海雾、台风等方面的研究工作。

何锡玉 (1980—), 男, 江苏人, 工程师, 主要从事数值预报、卫星遥感、大气波导等方面的研究工作。

张守宝 (1985—), 男, 山东人, 高级工程师, 主要从事大气波导监测、大气波导数值预报及数据同化等方面的研究工作。

朱庆林 (1981—), 男, 河南人, 高级工程师, 主要从事大气遥感、GNSS 技术以及环境监测工作等。

胡建平 (1976—), 男, 山西人, 工程师, 主要从事数值预报、物理海洋方面的研究工作。