

一个 L 波段海表盐度遥感反演的经验模式*

李 志¹⁾ 魏恩泊²⁾ 田纪伟¹⁾

1) 中国海洋大学物理海洋实验室, 青岛 266003)

2) 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(2006 年 5 月 19 日收到, 2006 年 10 月 16 日收到修改稿)

海表盐度是描述海洋的一个重要参量, 海表盐度的微波探测是海洋遥感研究的重要内容. 利用黄海实测盐度数据和海表亮温资料, 建立了一个适用于黄海近岸的盐度反演模式. 在没有海浪破碎情况下, 利用 L 波段的亮温资料反演海洋表层盐度. 本模式充分考虑了海面粗糙度的影响, 从海水亮温和海水的介电常数反演的表层盐度和实测的表层海水盐度基本一致, 其平均绝对误差为 0.288 psu, 与同类模式相比具有较高的精度.

关键词: 盐度, 亮温, 辐射率, 介电常数

PACC: 9410G, 9210B, 2960J

1. 引 言

研究海水盐度及其分布和变化规律对了解海洋自身特性以及海洋在海洋和大气这一复杂系统中的作用有着重要意义. 然而到目前为止, 海水盐度的航空遥感仍处于探索阶段. 国际上, 欧空局(ESA)的SMOS(Soil Moisture and Ocean Salinity)计划试图建立全球范围的海表盐度图, 然目前为止海水盐度遥感也还未完全实现卫星观测^[1]. 根据电磁辐射理论, 海水的介电常数是盐度和温度的函数, 并且海水辐射率随盐度变化^[2,3]. 对不同的微波频段, 盐度对辐射亮温有着不同的影响, 特别是在 L 波段(1400—1427 MHz), 海水辐射亮温对海表盐度具有较高的敏感性, 由于这一特性, 我们可以利用 L 波段测得的亮温资料来反演海表盐度. 该敏感度同时和海表温度也有着密切的联系, 如: 在海表水温为 20℃ 时海水辐射亮温的敏感度为 0.5 K/psu, 当海表温度降为 0℃ 时, 相应的敏感度为 0.25 K/psu^[4]. 此外, 在 L 波段上海洋表面的粗糙对亮温也有较强的影响^[5,6].

本文旨在建立一个盐度遥感模式, 来更为精确的反演海表盐度. 为了提高反演精度, 本模式考虑风和涌浪产生的海面粗糙的影响. 这一工作对盐度的航空遥感和卫星遥感有重要的现实意义, 也为以后

用遥感模式反演盐度建立更为精确的盐度图奠定了基础.

2. 模式建立

Gabarro 等人利用多个理论和经验海表发射率模式从 WISE(Wind and Salinity Experiments)的测量中反演盐度, 发现海表亮温和风速有很大的关系^[7]. 同时 Gabarro 等人也验证两个理论波谱模式^[8,9], 发现当利用 WISE 的观测数据反演盐度时, 经验模式比理论模式更为准确有效. Camps 等人利用 WISE 数据, 通过研究在不同入射角情况下亮温和风速的关系, 也给出了一个 T_{Brough} (粗糙海面亮温值)的经验公式^[1]. 然而, 所有这些模式只考虑了当地风速并未完全的考虑当时其他海况. 本文在此基础上考虑了涌浪的影响, 建立了一个新的遥感模式, 该模式由镜面海水辐射亮温和海表粗糙影响两部分构成, 具体模式表达式如下:

$$T_{\text{Bp}}(\theta, SST, SSS, U_{10}) = \epsilon_p(\theta, SST, SSS) \cdot SST + \Delta T_{\text{Brough}}(\theta, U_{10}, h) \quad (1)$$

在此 θ 是入射角, T_{Bp} 是亮温值, ΔT_{Brough} 是海面粗糙导致的海水亮温的变化值(p 指水平极化和垂直极化), SST 为海表面温度, SSS 是海表面盐度, U_{10} 是

* 国家自然科学基金(批准号: 40476062)和国家 863 项目(批准号: 2002AA639270, 2002AA633130)资助的课题.

† 联系人, E-mail: ration0606@hotmail.com

海平面 10 m 高度上的风速 U_{10} 是涌浪的平均浪高 h ， $e_p = 1 - |\Gamma_p|^2$ 是平静海面两个极化的辐射率， Γ_p 是非涅尔反射系数^[7,10]，入射角 θ 为一常值 35° 。结合黄海航空遥感实验各站位海表亮温资料以及船测各站位海表温度、海表盐度、风速和当日浪高的多年平均值等资料拟合得到中国黄海海域的风速和平均波高影响的海表亮温增益 ΔT_{Brough} 经验公式为

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{Broughh}} &\approx 0.295 U_{10} + 0.177 h, \\ \Delta T_{\text{Broughv}} &\approx 0.015 U_{10} + 0.177 h, \end{aligned} \quad (2)$$

该模式考虑了现场风速和涌浪 (h 是涌浪波高) 产生的海面粗糙的影响。结合 (1) (2) 式即为本文所述模式。

3. 结果分析

本文所用资料为国家 863 计划海洋观测项目提供。观测选择在盐度存在明显梯度的黄海某海域。2005 年 9 月 10 日，观测海域天气晴朗，有风和涌浪，海浪无破碎。08:30 观测船于庄河打拉腰港出发，沿航空观测路线前进，沿途进行了 9 个站位的定点观测。船测取得了现场风速、海表温度、海表盐度 (仪器 CTD) 等资料。同步航空观测获得了相应站位的海水辐射亮温资料。同时由于在实际海域实验作业，未能得到所有站点的浪高，故参考该海区当日浪高的多年观测值并结合现场观测涌浪高度得出实验当日该区域涌浪的平均浪高。本文的模式正是基于这些观测数据建立了本文的盐度遥感反演模式，并验证其反演盐度结果的准确性。

利用 (1) 式反演出的盐度与船测海表盐度相比，误差范围在 0.111 psu—0.549 psu，平均误差为 0.288 psu，见表 1 和图 1。Gabarro 等人建立的盐度反演模式，考虑了风速导致海面粗糙的影响，该模式在地中海北部的反演盐度的平均误差为 0.52 psu^[11]。利用 Gabarro 模式反演的黄海近海海表盐度误差超过 0.8 psu。可见本文所提供模式的反演精度明显高于先前模式。由于该实验首次尝试利用机载天线和船载仪器在实验海域同步采集数据，反演海表盐度，实验存在较大难度。数据采集量不是很大，但是实验站位基本覆盖盐度存在明显梯度的海域，从一定程度上描述了该海区的海表盐度变化特征，故本文所提出的模式对进一步完善海表盐度反演算法有一定的参考价值。产生误差的原因可能是由于该模式未考虑大气中离子的吸收和辐射、海气界面的温差、海表泥沙

等因素的影响。

表 1 盐度的模式反演值和实测值比较

站位	盐度反演值/psu	实测盐度值/psu	绝对误差/psu
1	27.44	27.232	0.208
2	28.05	27.501	0.549
3	28.23	27.801	0.429
4	28.74	29.108	0.440
5	29.39	29.250	0.140
6	29.52	29.391	0.129
7	29.33	29.067	0.263
8	29.72	30.045	0.325
9	30.86	30.971	0.111

从每个站位的观测数据中可知，海表温度变化从 23.4°C — 24.7°C ，风速 U_{10} 变化从 2.1 m/s — 5.8 m/s 。另外，在不考虑海面粗糙度的情况下反演盐度和观测盐度之间的误差范围为 0.89 psu — 3.20 psu ，平均误差为 1.58 psu ，见图 1。因此研究表明海面粗糙对盐度反演有较大的影响，考虑海面粗糙影响的盐度反演模式能很大程度地提高中国黄海海域的盐度反演精度。

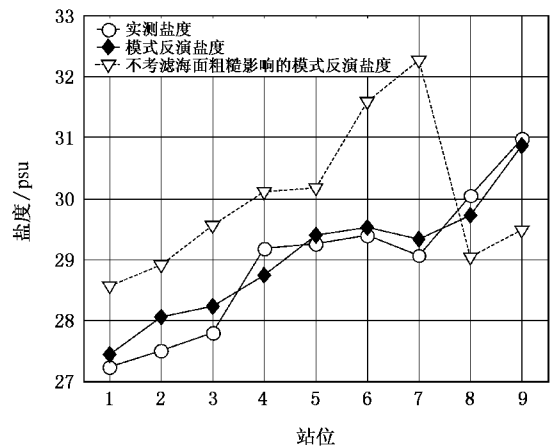


图 1 模式反演值和实验观测值的对比

从图 1 和表 1 可以看出，本文建立的反演模式具有很高的反演精度。同时，海面粗糙对盐度遥感有着很大的影响，因而，表明了海面粗糙是影响盐度遥感反演精度重要因素，在今后的盐度遥感研究中应当充分考虑该因素，特别是在海浪破碎下尤为重要。这些研究对进一步探索我国海洋盐度反演模式，建立大范围高精度的海洋盐度遥感图有着重要的意义。

4. 结 论

本文利用了国家 863 计划海洋观测项目提供的海洋观测资料,在考虑了由风和涌浪引起海洋表面粗糙的情况下,建立了一个简单的盐度遥感模式,该

模式的反演结果与实验观测值基本一致,其反演精度比以往的盐度遥感模式有很大提高,同时证实了海面粗糙度对盐度遥感具有重要影响,是不能忽略的重要因素之一.因为影响海水盐度分布、变化的海洋进程和要素纷繁复杂,所以该模式还有待于进一步完善和改进,以提高盐度的反演精度.

- [1] Le-vine D M , Abraham S 2002 *IEEE Trans Geosci Remote Sens* **40** 771
- [2] Klein L , Swift C 1977 *IEEE Trans Antennas Propag* **125** 104
- [3] Wei E B , Ge Y 2005 *Chinese Physics* **14** 1259
- [4] Lagerloef G , Swift C , Le-vine D M 1995 *Oceanogr* **8** 44
- [5] Hollinger J 1971 *IEEE Trans Geosci Electron* **GE(93)** 165
- [6] Lerner R , Hollinger J 1977 *Remote Sensing Environment* **6** 251
- [7] Gabarro C , Font J , Camps A , Vall-llossera M , Julia A 2004 *Geophys Res. Lett.* **31** L01309, doi :10.1029/2003GL018964
- [8] Durden S , Vesecky J 1985 *IEEE J. Oceanic Eng.* **OE(10)** 445
- [9] Elfouhaily T , Chapron B , Katsaros K , Vandermark D 1997 *J. Geophys Res.* **102(C7)** 15781
- [10] Xu Q , Liu Y G 2004 *Sci China Ser D-Earth Sci.* **47** 1045
- [11] Gabarro C , Vall-llossera M , Font J , Camps A 2003 *Internat J. Remote Sens* **25** 111

A new empirical model for retrieving sea surface salinity in L band *

Li Zhi¹⁾ Wei En-Bo²⁾ Tian Ji-Wei¹⁾

1 *Physical Oceanography Laboratory , Ocean University of China , Qingdao 266003 , China*

2 *Institute of Oceanology , Chinese Academy of Sciences , Qingdao 266071 , China*

(Received 19 May 2006 ; revised manuscript received 16 October 2006)

Abstract

Sea surface salinity is a key physical parameter in ocean science. It is important in the ocean remote sensing to retrieve sea surface salinity by the microwave probe technology. Based on the *in situ* measurement data and remote sensing data of the Yellow Sea , we have built a new empirical model in this paper , which can be used to retrieve sea surface salinity of the Yellow Sea by means of the brightness temperature of the sea water at L-band. In this model , the influence of the roughness of the sea surface is considered , and the retrieved result is in good agreement with the *in situ* measurement data , where the mean absolute error of the retrieved sea surface salinity is about 0.288 psu. This result shows that our model has greater retrieval precision compared with similar models.

Keywords : salinity , brightness temperature , emissivity , dielectric constant

PACC : 9410G , 9210B , 2960J

*Project supported by the National Natural Sciences Foundation of China (Grant No. 40476062) and National 863 Project of China(Grant Nos. 2002AA639270 and 2002AA633130).