

海洋卫星遥感数据同化在海洋声场研究中的应用

池建军^{1*}, 骆永军², 孙祥年³

(1.装备指挥技术学院 研究生管理大队,北京 怀柔 101416;2.海军大连舰艇学院 军事海洋系,辽宁 大连 116018;3.海军潜艇学院 作战指挥系,山东 青岛 266071)

摘 要: 卫星遥感数据同化技术已成为海洋学研究的一个有效手段。本文选取了日本以东黑潮流域作为研究海区,介绍了最优插值同化方法对海洋温度场和盐度场的分析,在此基础上对实验海区声场进行了研究。文中为了说明数据同化的优越性,利用 WOA 数据与其进行比较,体现了同化数据对真实场描述的可靠性。

关键词: 卫星遥感; 数据同化; 海洋声场

中图分类号: P715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2010)02-0063-08

1 试验海区及试验数据的获取

1.1 试验海区

本文选取了经纬度为 $142.5^{\circ} \sim 148.5^{\circ} \text{E}$, $32.5^{\circ} \sim 38.5^{\circ} \text{N}$ 的日本以东黑潮流域进行试验分析,选取了2000年7月3日和10月11日两天数据进行研究分析。一个是 WOA 数据场,另一个是同化了 SST 和 SSH 的数据场,这样一来,就产生了对应的要素剖面,从而使得试验结果能够得到合理有效的比较,便于分析卫星遥感 SST 和 SSH 数据同化的有效性和实用性。本文的重点就在于对这两天的四个场的特征进行比较分析。

1.2 试验数据的获取

本文使用的同化数据是 SODA 数据, SODA (Simple Ocean Data Assimilation) 即简单海洋数据同化系统。最初是马里兰大学在上世纪 90 年代为了进行海洋资料再分析而研制的。SODA 资料是马里兰大学 James A. Carton 等人制作的海洋模式同化资料,最新版本为 Beta7 版本。SODA 资料采用的

数值模式为 GFDL 的 MOM2.2b 版本,并在运行过程中同化了多年的海洋观测资料,时间跨度从 1950 年 1 月~2001 年 12 月,空间范围基本覆盖全球(经向环绕全球,纬向从 $60^{\circ} \text{S} \sim 60^{\circ} \text{N}$),分辨率在纬向均为 1° ,而经向在赤道地区约为 0.45° ,南北纬 10° 以外约为 1° 。SODA_1.2 是基于 POP_1.3 和 SODA 的 UMD 再分析数据,数据分析过程中采用最优插值(OI)同化方法。用于同化的实测资料有来自 NODC 的 WOA94 次表层海温资料与盐度资料、GTSPD 以及其他来源的 CTD 和 XBT 资料、TAO 热敏电阻海温资料,现场观测和卫星观测的 SST,从 T/P 导航网站获取的 GEOSAT, ERS/1, ERS/2 以及 TOPEX/POSEIDON 卫星高度计海表高度资料。这些数据经过最初的质量控制后,使用客观统计方法分析,最后与 COADS 和 NCEP 风应力驱动的 GFDL MOM2 模式同化。模式输出的同化资料经过误差检验,也与独立的观测资料进行对比,效果较好^[1-3]。

SODA 数据可以从马里兰大学的数据中心下载: http://dsrs.atmos.umd.edu/DATA/SODA_1.2/, 本文得到的是 2000 年 7 月 3 日和 10 月 11 日,实验

收稿日期: 2009-01-08

作者简介: 池建军(1982-),男,博士研究生,研究方向: 作战指挥,海洋卫星遥感。E-mail: mingrichi@sina.com

海区经纬度为 $142.5^{\circ}\sim 148.5^{\circ}\text{E}$, $32.5^{\circ}\sim 38.5^{\circ}\text{N}$ 的海温, 盐度数据。本文选择对海表到 1500 m 水深进行研究。

2 试验分析

2.1 水平均方偏差

为了便于对温度场和盐度场进行比对研究,

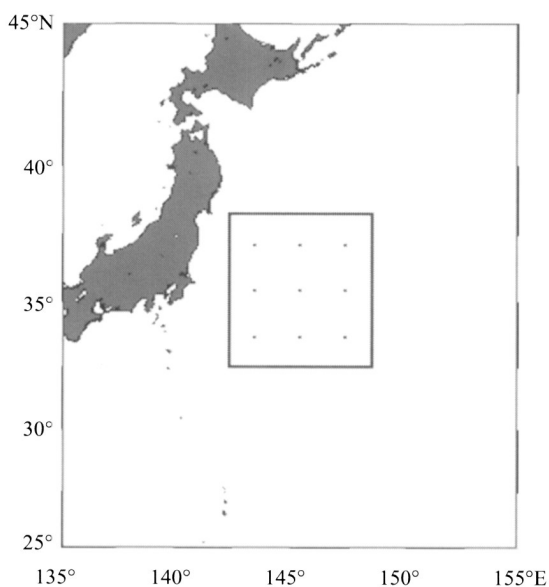


图1 试验海区

利用统计学方法对两组数据场进行处理。在每个网格点处, 都可以得到一对温度、盐度或声速的数据(WOA数据和同化数据)。以温度为例, 假设在深度 k 、位置 i 处, t 时刻的温度数据设为 $\psi(i, k, t)$, 则两组不同数据的差值用 $\Delta\psi(i, k, t)$ 来表示, 即:

$$\Delta\psi(i, k, t) = \psi_a(i, k, t) - \psi_o(i, k, t) \quad (1)$$

式中, $\psi_a(i, k, t)$ 表示同化数据, $\psi_o(i, k, t)$ 表示 WOA 数据。

以所有的数据差值 $\Delta\psi$ 作为子样, 可得子样平均偏差的计算公式为:

$$\Delta\bar{\psi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta\psi_i \quad (2)$$

则均方偏差 (Root Mean Square Difference) 的计算公式为:

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta\psi_i^2} \quad (3)$$

通过对试验结果的统计计算, 就可以获得两个不同数据场的温度、盐度和声速差值^[4]。本文主要统计了温度和盐度的水平均方偏差值, 为了便于比较, 利用 MATLAB 绘制了两组数据场结果分布图。

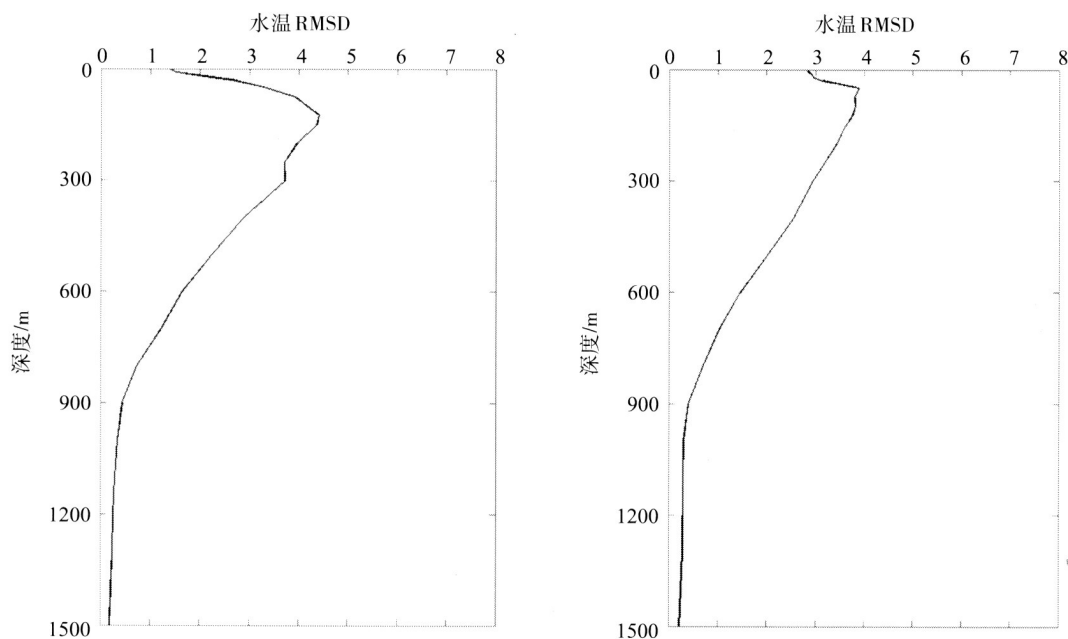


图2 7月3日(左侧)和10月11日(右侧)实验海区温度均方偏差值剖面

2.2 统计分析

2.2.1 温度场分析

水平均方偏差值的垂直分布是通过对各个深度层水平网格上的两组数据的所有差值利用均方偏差公式(3)求解获得的。通过绘制水平均方偏差的剖面图,能够清楚地显示两个数据场中要素最大差值的出现深度(见图2),通过对温度水平均

方偏差的剖面图分析发现,7月3日温度的最大偏差值出现在水下125 m处,偏差达到了4.3℃;10月11日温度的最大偏差值出现在水下50 m处,偏差达到了3.9℃。随着深度的增加,偏差值趋于零。

为了便于对这些均方偏差值较大水深处温度平面分布进行分析,利用MATLAB绘制了温度均方偏差值较大水深处的温度平面分布图,图3~4显示了实验海区7月3日水下125 m处和10月11日

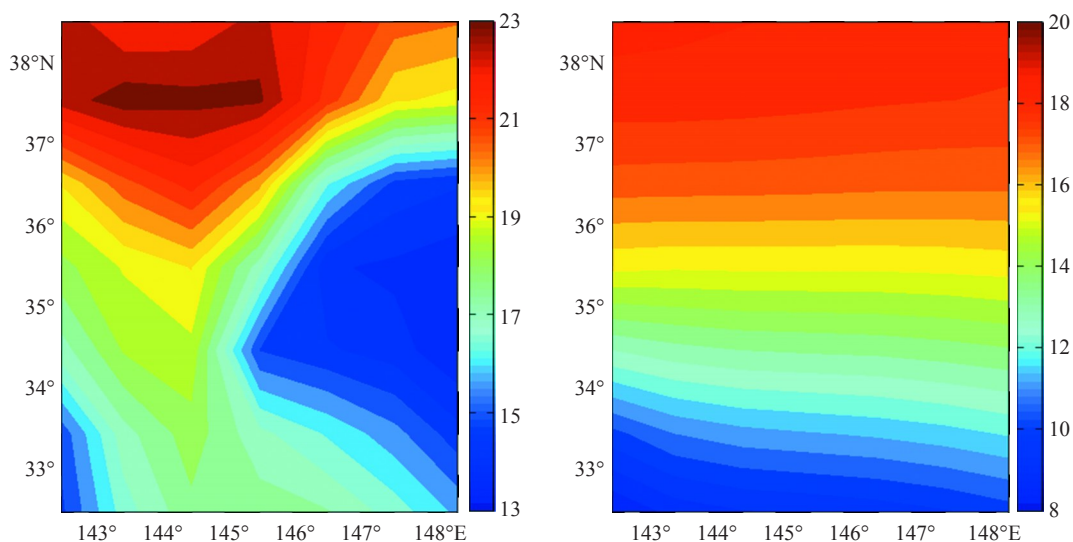


图3 7月3日同化场(左图)同WOA(右图)125 m温度平面分布

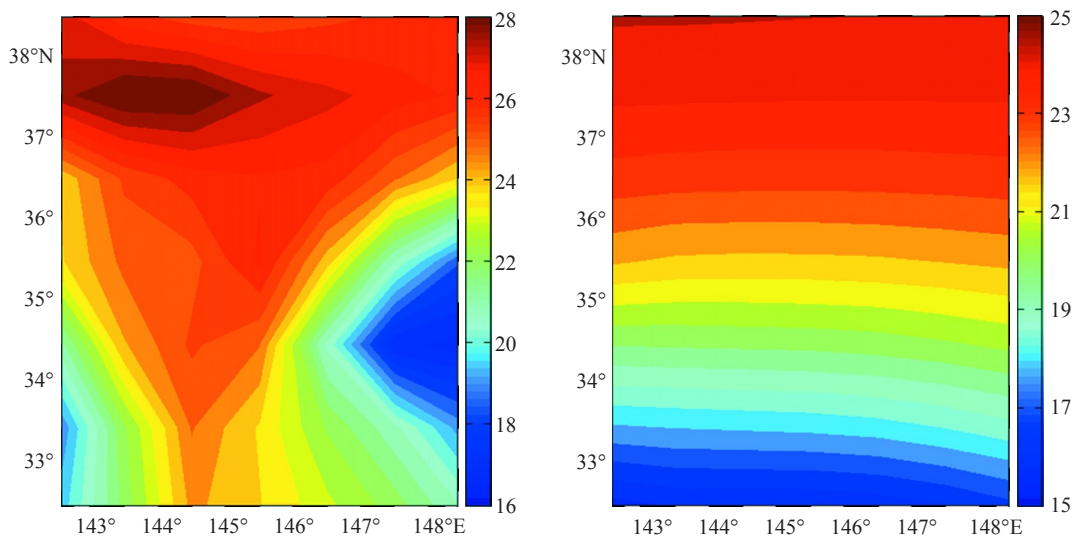


图4 10月11日同化场(左图)同WOA(右图)50 m温度平面分布

50 m处深度温度的平面分布。

图3左侧是同化了卫星遥感SST和SSH的温度场,左图整体海温要比右图高大约4.3℃。左图显示了水下漩涡体系的存在:它由西北部的一个暖涡、东部的一个冷涡和一个较强的极锋组成;而在右侧WOA温度场则没有漩涡出现。比较左右两图还可以看出,左图中处于低纬较冷水团的范围比右图要小很多。

图4左图显示的同化SST和SSH的温度场比右图WOA整体温度高大约4.0℃,左图北部的暖涡范围更大,东部的冷涡依然存在,但范围减小,西南角的水温基本没有变化。这些特征及变化无法从右图中得出。

从以上温度平面分布情况可以得出,实验海区总体温度要比历史同期高3~4℃,在实验海区有明显的暖涡存在,同化数据场能够较好的反映即时的海洋热结构分布情况,并能较为详细的描述海区温度的变化特征,而WOA则无法做的这一点。

2.2.2 盐度场分析

下面对两组数据场的盐度场进行分析(见图5)。通过对盐度水平均方偏差的剖面图分析发现,7月3日盐度的最大偏差值出现在水下200 m,偏差达到

了0.44 psu;10月11日盐度的最大偏差值也出现在水下200 m,偏差达到了0.39 psu。

同样,利用MATLAB绘制了盐度均方偏差值较大区域的平面分布图,图6和图7显示了7月3日和10月11日实验海区200 m深度盐度的平面分布。图6左图是同化了卫星遥感SST和SSH的盐度场,其中部有一个明显的锋面,而右图的WOA场则不存在。同样的情况也出现在图7,左图与右图形成了明显的对比。

3 声速剖面

为了便于声场的比较,我们利用声速剖面图(SSP)来进行两组数据声场的分析。图8和图9分别显示的是7月3日和10月11日实验海区选取的分布均匀的九个点对应的成对声速剖面(红色表示的是同化数据的声速剖面,蓝色表示的是WOA声速剖面)。图中九个面板的排列情况与在试验海区中的地理位置(图1标注点)是相对应的。这种排列方式使得分布图既能够显示出要素最大差值出现的深度,还可以显示出水平方向上的变化情况。

图8中,显示的是7月3日实验海区相应点的声速剖面。顶部37.5°N的三个面板显示的两个声速剖面有较大的偏差存在,35.5°N和33.5°N面板

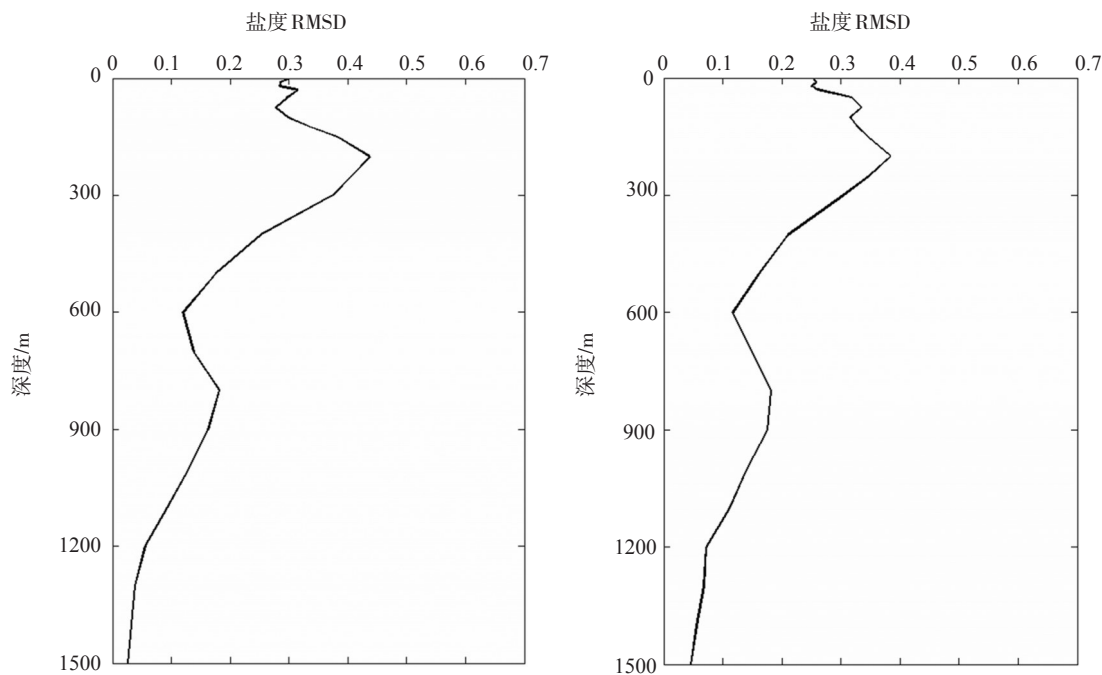


图5 7月3日(左侧)和10月11日(右侧)实验海区盐度均方偏差值剖面

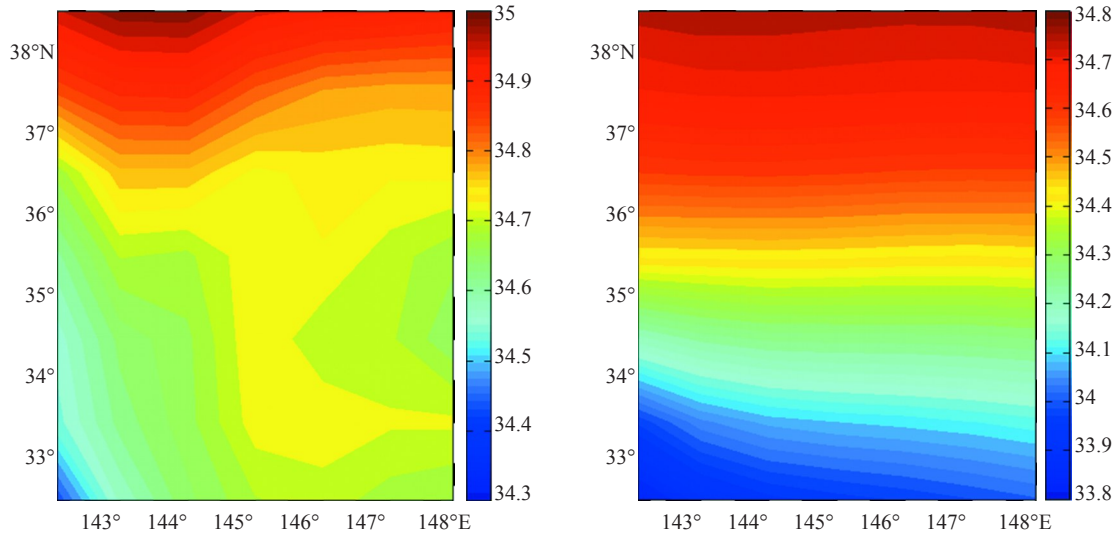


图6 7月3日同化场(左图)同WOA(右图)200 m盐度平面分布

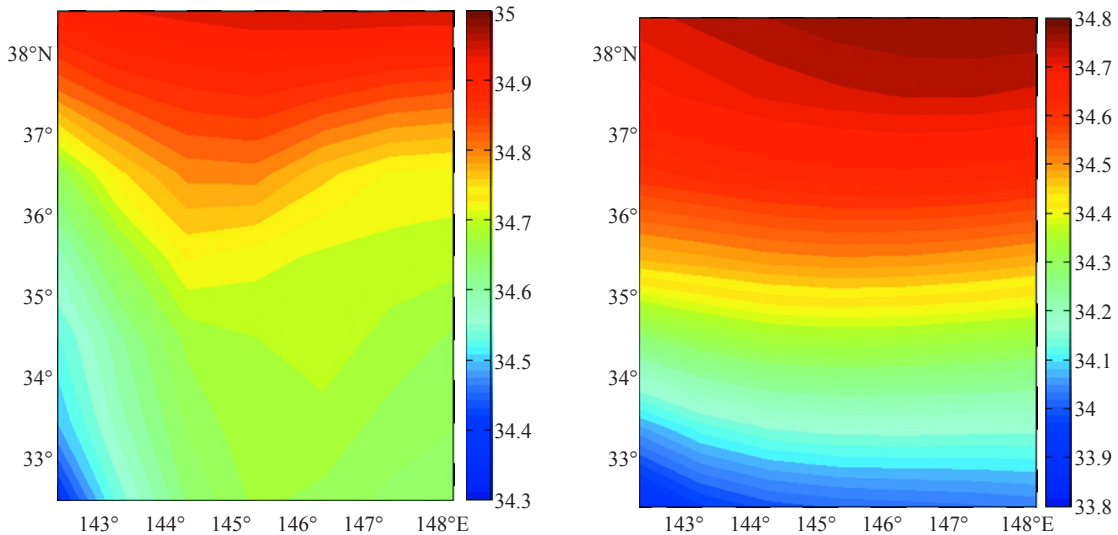


图7 10月11日同化场(左图)同WOA(右图)200 m盐度平面分布

显示的两个声速剖面偏差相对小一些。偏差较大面板所在的经纬度正好与图3中两个面板显示的温度差值较大处相对应。37.5°N~147.5°E, 35.5°N~147.5°E两个面板中利用海洋遥感数据同化的声速剖面都含有梯度较大极锋, 而WOA声速剖面则没有极峰出现, 较大的梯度的存在, 导致了较强的声道的产生, WOA并不能反映这一情况。在前面

讨论图3时曾提到过, 遥感数据同化的温度场显示在西北部存在一个暖涡, 相对应的图8中面板显示遥感数据同化的声速剖面数值更大; 相应东部存在一个冷涡, 对应图8中面板显示遥感数据同化的声速剖面数值较小。同时还可以看到, 有遥感数据同化的声速剖面有较多的跃层, 而且跃层的范围较为宽广。

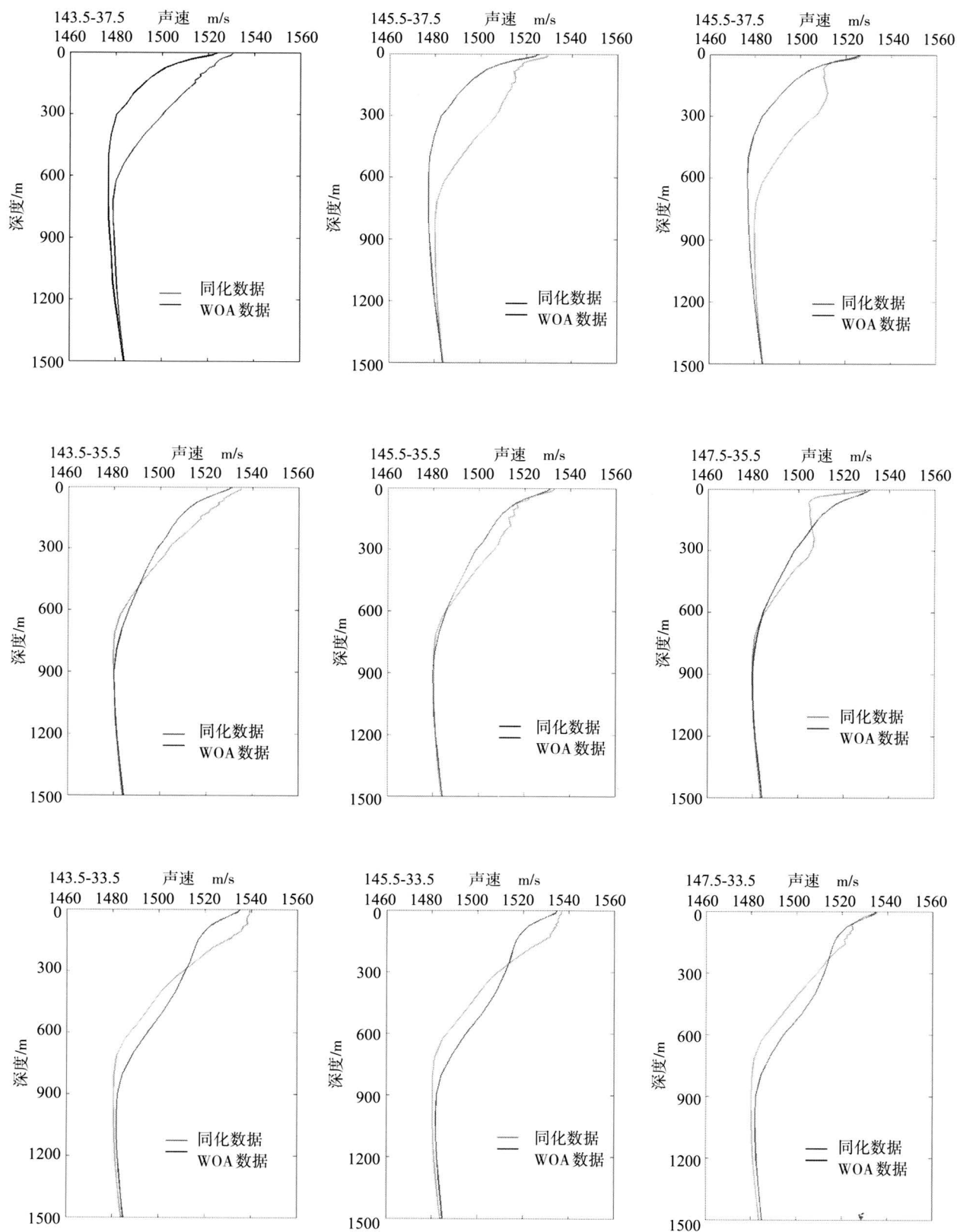


图8 7月3日数据同化场同WOA场的声速剖面(SSP)图

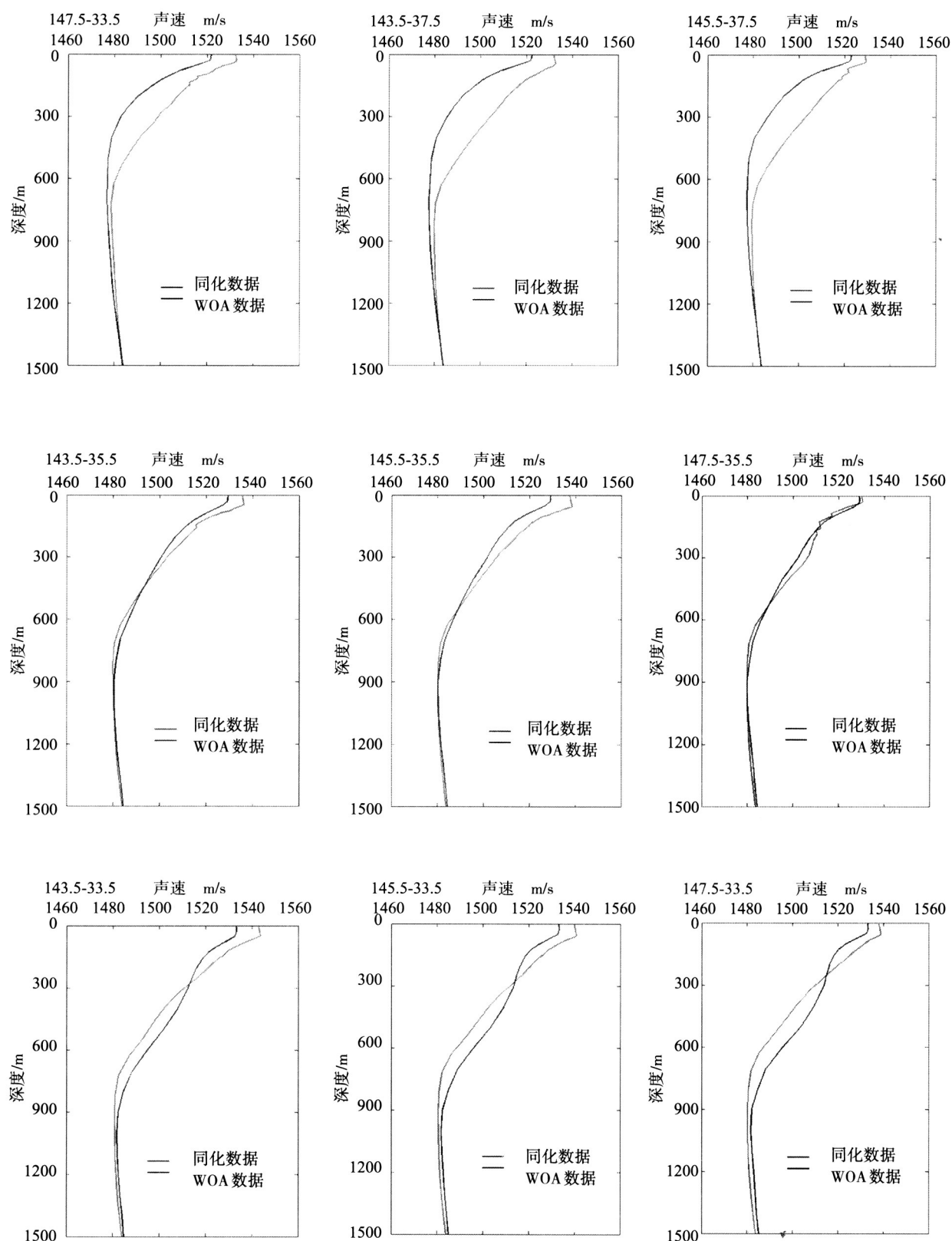


图9 10月11日同化数据场同WOA场的声速剖面(SSP)图

图9显示的是10月11日实验海区相应点的声速剖面。与图8相似,顶部37.5°N的三个面板显示的两个声速剖面有较大的偏差存在,35.5°N和33.5°N面板显示的两个声速剖面偏差相对小一些。这与图4中漩涡体系出现的位置相对应,九个面板中遥感数据同化场中温度较高处的声速明显偏高,温度较低处的声速则较低。还有一个比较明显的差别是在中心和底部的面板上,有海洋遥感数据同化的剖面有明显的表面声道,而WOA剖面显示的表面声道则弱得几乎不存在。

4 结束语

最优插值的突出的优点就是能够对各种观测资料进行处理,同时考虑到了观测资料的空间分布^[5-7]。本文利用获取的SODA和WOA数据,在日本以东黑潮流域选取部分海区进行了同化试验。为了便于对试验结果进行分析,本文使用统计学方法计算了温度和盐度的均方偏差值,通过对同化数据场和WOA场中温盐分布特征的比较,及两种场中声结构的分析,显示了卫星遥感SST和SSH资料同化对研究海洋声场结构的优越性。

参考文献:

- [1] D N Fox. The Modular Ocean Data Assimilation System (MODAS) [J]. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, february, 2002, 19: 240-252.
- [2] Peter C, Chu. Satellite Data Assimilation for Improvement of Naval Undersea Capability [J]. *Marine Technology Society Journal*, Spring 2004, Volume 38: 11-22.
- [3] Fox D N, C N Barron, M R Carnes, M Booda, G. Peggion, J Gurvey. The Modular Ocean Data Assimilation System [J]. *Oceanography*, 2002a, 15 (1): 22-28.
- [4] Chu P C, W Guihua, C Fan. Evaluation of the U.S. Navy's Modular Ocean Data Assimilation System(MODAS) Using South China Sea Monsoon Experiment(SCSMEX) Data [J]. *Journal of Oceanography*, 2004.
- [5] 马寨璞, 井爱芹. 动态最优插值方法及其同化应用研究[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2004, 24(6): 574-580.
- [6] 张大明, 许东峰. 最优插值法及其在热带太平洋海表温度数据同化中的应用[J]. *海洋学研究*, 2005, 12(4): 2-3.
- [7] 吴振华, 骆永军. 模块化海洋数据同化系统(MODAS)研究[J]. *海洋技术*, 2007, 26(4): 62-65.

The application of ocean satellite remote sensing numerical assimilation in ocean sound speed field research

CHI Jian-jun¹, LUO yong-jun², SUN xiang-nian³,

(1. Company of Postgraduate Management, the Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China; 3. Dept. of Military Oceanography, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China; 2. Dept. of Combat & Operation Control, Qingdao 266071, China)

Abstract: It has become a useful method of ocean research by satellite remote sensing assimilation technology. This paper plot out part of Kuroshio current, which is beside the east of Japan, to carry out the assimilation experiment, and introduce the research method which account the ocean temperature field and salt field by Optimal Interpolation. In these cases, the ocean sound speed field could be studied in the researching sea area. Of course, in order to introduce the superiority than other methods, the WOA data is compared with assimilation data, at last the assimilation data is tested credibility.

Keywords: satellite remote sensing; data assimilation; ocean sound speed field