

# 基于遥感数据的温度剖面预报研究

笄良龙, 李韦华, 韩梅, 濮兴啸

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266071)

**摘 要:**为了提高温度剖面的预报精度,提出了一种基于遥感数据的温度剖面预报方法。文中使用27个实测温度剖面 and 遥感 SST、SSHA 数据实现了对温度剖面的预报,并用该点的 ARGO 数据进行了检验。实验结果表明,将遥感数据同化到温度剖面的预报中是可行的,并能有效的提高温度剖面的预报精度。

**关键词:**温度剖面; SST; SSHA; 最小二乘

**中图分类号:**P732 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2011)06-0051-04

## 1 引言

海水声速是决定水声环境分析的重要因素,而温度对声速的计算起到主导作用,因此,提高温度剖面的预报精度具有非常重要的意义。而由现有的历史实测数据预报温度剖面已经不能满足当前的要求,随着遥感技术的发展,海表面温度(SST)和海表面高度异常(SSHA)的资料却是非常丰富的,将 SST、SSHA 数据同化到温度剖面的预报中,可能提高温度预报的精度。早在1987年, deWitt<sup>[1]</sup>研究湾流时就提出并建立了使用海表面高度预报次表层温度的模型,并被美国海军 FOX 等<sup>[2]</sup>采用,据此建立了海洋数据同化系统。Bruno<sup>[3]</sup>使用 CPR(coupled pattern reconstruction)的方法对温度剖面预报进行了改进。本文采用最小二乘的方法,将 SST、SSHA 数据与次表层的温度建立一元线性回归关系,实现了基于遥感数据的温度剖面预报。并分别对基于实测数据的温度剖面预报、基于 SST 数据的温度剖面预报、基于 SSHA 数据的温度剖面、基于 SST 与 SSHA 数据的温度剖面预报进行了比较分析,证明将遥感数据同化到温度剖面的预报中是可行的,并能有效的提高温度剖面的预报精度。

## 2 使用的数据资料

为了检验基于遥感数据的温度剖面预报方法在预报精度上的改进,本文分上述四种情形对 9°11'30" N, 127°25'05' E 这点的温度剖面进行预报,预报的时间为2008年10月16日。文中选取了27个实测温度剖面,以及每个剖面对应的遥感 SST、SSHA 数据。实测剖面来自于南海2008年1—10月期间的27个 ARGO 浮标数据,所选取实测温度剖面的海域范围为: 6°—13°N, 125.5°—129°E, 选取的剖面最大深度为2000 m,每个剖面在深度方向上分为69层。27个实测剖面与预报点的位置关系可见图1,图中三角形位置代表预报点的位置,其它点代表实测剖面的位置点。

图2给出了这27个温度剖面的曲线图,从图中可以看出,这些剖面的相似性比较好,温度差异较大处主要位于0—1000 m 左右。

选取的海洋遥感 SST、SSHA 数据来自于美国国家宇航局 NASA 网站的卫星数据,其中 SST 数据是 NOAA 系列卫星 AVHRR 传感器多通道反演的数据产品, SSHA 数据是 NOAA 系列卫星 Topex/Poseidon 卫星高度计测高数据。

收稿日期: 2011-04-08

基金项目: 总装预研基金项目 (9140A22050810JB1502)

作者简介: 笄良龙(1967-),男,教授,主要研究方向为水声环境效应技术。E-mail:dalianglong@sohu.com

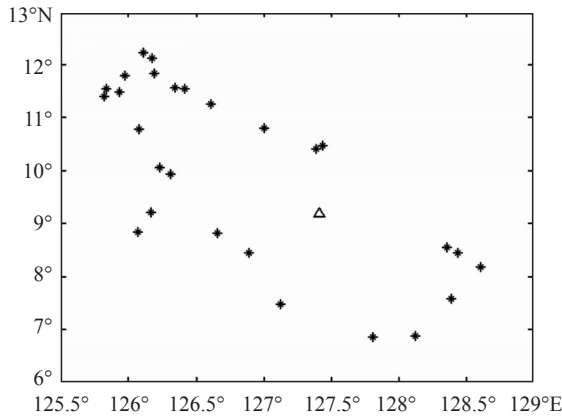


图1 观测数据点和预报点的位置分布

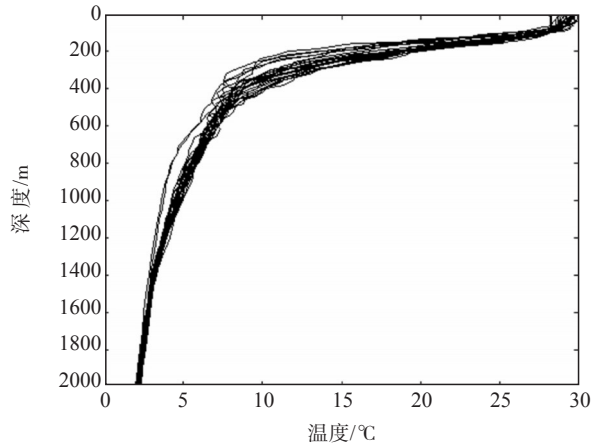


图2 实测数据温度剖面

### 3 基于遥感数据的温度剖面预报方法

对于遥感数据  $\psi$  (SST 或 SSHA) 的每一个值, 温度  $T$  是一个随机变量, 如果  $\psi$  对  $T$  的影响是线性的, 可用  $a+b\psi$  表示, 其中  $a$ ,  $b$  待定, 采用线性回归的方法求解。除  $\psi$  以外, 其它影响温度  $T$  的随机因素总和用  $\varepsilon$  表示, 于是  $T$  可以用一元线性方程表示为:

$$T = a + b\psi + \varepsilon \quad (1)$$

为了求解系数  $a$  与  $b$ , 这里采用最小二乘法对其进行回归分析。为了得到预报方程, 选择  $n$  个实测剖面  $T_i$ , 将它们代入一元线性方程得:

$$T_i = a + b\psi_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中  $\varepsilon_i$  是  $\varepsilon$  的取值, 看作相互独立且与  $\varepsilon$  同分布的随机变量。由于不同因素对分析点的贡献值不一样, 所以可以根据加权最小二乘准则来估计回归系数<sup>[4]</sup>, 误差平方和记为  $Q(a, b)$ , 可表示为

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n w_i [T_i - (a + b\psi_i)]^2 \quad (3)$$

利用极值的必要条件, 可得到关于  $a$  与  $b$  的两个方程:

$$\begin{cases} 2 \sum_{i=1}^n w_i [T_i - (a + b\psi_i)](-1) = 0 \\ 2 \sum_{i=1}^n w_i [T_i - (a + b\psi_i)](-\psi_i) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

对上式求解即可得到回归系数  $a$  与  $b$ :

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (\psi_i - \bar{\psi})(T_i - \bar{T})}{\sum_{i=1}^n w_i (\psi_i - \bar{\psi})^2} \quad (5)$$

$$b = \bar{T} - a\bar{\psi} \quad (6)$$

式中  $\bar{T}$  为某层的温度加权平均,  $\bar{\psi}$  为海表温度或海表高度异常加权平均:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i T_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad \bar{\psi} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \psi_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

而加权系数  $w$  是一个简单的、独立的、均匀的系数, 它随分析点位置和时间而变化<sup>[5]</sup>

$$w_{i,j} = \exp \left\{ - \left[ \frac{(x_i - x_j)^2}{L_x^2} + \frac{(y_i - y_j)^2}{L_y^2} + \frac{(t_i - t_j)^2}{L_t^2} \right] \right\} \quad (8)$$

式中  $x$  和  $y$  分别表示经度与纬度;  $t$  为时间,  $L_t$  为时间尺度, 一般为 1000h;  $L_x$  和  $L_y$  为空间尺度, 按式(9)计算:

$$\begin{aligned} L_x &= 240000 / (0.35\varphi^2 + 300) \\ L_y &= 240000 / (0.35\varphi^2 + 400) \end{aligned} \quad (9)$$

因此由实测温度以及遥感数据  $\psi$  (SST 或 SSHA) 两者组成的预报方程就可以表示如下:

$$T(S) = \bar{T} + a(\psi - \bar{\psi}) \quad (10)$$

而由实测温度、SST、SSHA 三者组成的预报方程可表示如下:

$$T_{i,k}(SST, SSHA) = \overline{T_{i,k}} + a_{i,k}^{T1}(SST - \overline{T_{i,1}}) + a_{i,k}^{T2}(SSHA - \overline{SSHA_i}) + a_{i,k}^{T3}[(SST - \overline{T_{i,1}})(SSHA - \overline{SSHA_i}) - \overline{SSHASST_i}] \quad (11)$$

式中  $\overline{SSHASST_i}$  是  $(SST - \overline{T_{i,1}})(SSHA - \overline{SSHA_i})$  的加权平均值, 其中各项的系数  $a_{i,k}^{T1}$ ,  $a_{i,k}^{T2}$ ,  $a_{i,k}^{T3}$  具体形式可根据式(5)类比得出。

## 4 结果与讨论

根据式(11), 利用27个实测温度剖面及遥感 SST、SSHA 数据对  $9^{\circ}11'30''N$ ,  $127^{\circ}25'05''E$  这点的温度进行预报, 预报的结果可见图3。从图中可以看到, 基于遥感 SST、SSHA 数据对温度剖面的预报结果比较好, 预报的误差主要存在于0—1000 m 之内。该点的温度剖面属于典型的跃层剖面, 温度跃层大约在500 m附近, 由于温度跃层随时间变化比较剧烈, 所以跃层处的精确预报比较困难。

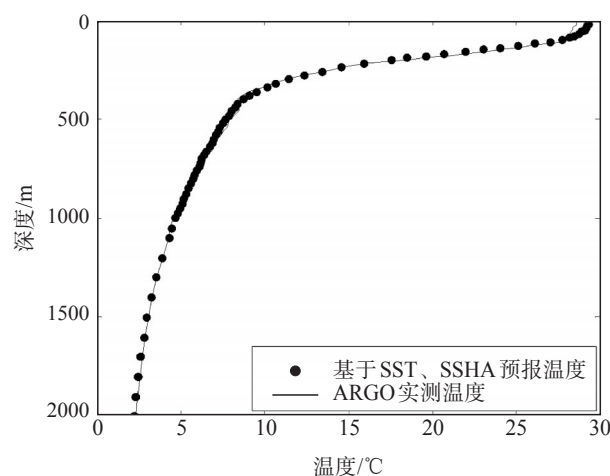


图3 预报温度与实测温度对比图

为了有效的比较得到的结果, 给出0—1000 m 深度范围内, 温度预报的均方根误差图(见图4)。从图中可以看出, 将海洋遥感卫星获取的海表面温度及海表面高度异常数据应用于温度剖面的预报时, 对预报结果起到了很大的改进作用, 预报的温度剖面与实测剖面的最大误差不超过  $1.3^{\circ}C$ , 与其它三种情形相比, 在各个深度处, 预报的结果都是最优的。水深在400—800 m之间时, 与只使用27个实测剖面进行预报相比, 基于遥感数据的三种温度预报结果都比较好, 这说明将遥感数

据应用于温度的预报中, 能很好的改善次表层以下的预报结果。

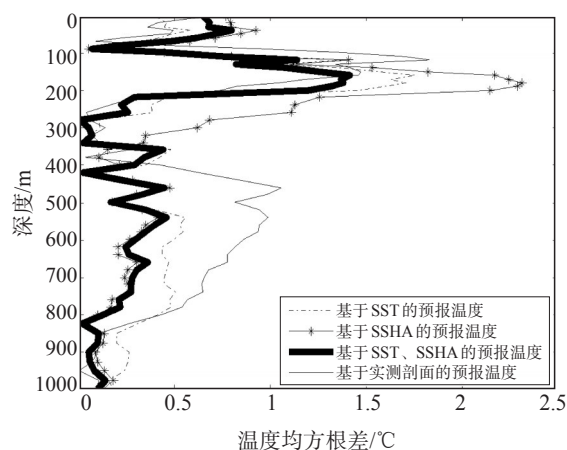


图4 温度均方根误差图

## 5 结论

通过对温度剖面预报结果分析, 得出以下结论:

基于 SST、SSHA 数据对温度的预报结果较好, 比仅使用 SST 和实测温度剖面, SSHa 和实测温度剖面, 实测温度剖面单独预报得到的误差要小, 更为接近实测值。

基于 SST、SSHA 数据的温度剖面预报效果表明遥感数据能有效校正次表层以下温度, 提高海水温度剖面的预报准确度。

### 参考文献:

- [1] DeWitt P W. Modal decomposition of the monthly Gulf Stream/Kuroshio temperature fields[R]. Naval Oceanographic Office Tech.1987: 265-297.
- [2] Fox D N, Teague W J, Barron C N, et al. The Modular Ocean Data Assimilation System (MODAS) [J].Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,2002, 19(2):240-252.
- [3] Bruno D N, Rosalia S. Reconstructing Synthetic Profiles from surface data. American Meteorological Society[J]. 2004,21(2): 693-703.
- [4] Eugenia Kalnay 著,蒲朝霞等译.大气模式、资料同化和可预报性[M].北京气象出版社,2005.
- [5] 韩梅,魏亮.最优插值法在海温数据同化中的应用研究[J].海洋技术,2008,27(4):90-92.

## Study on forecasting ocean temperature profile based on the satellite data

DA Liang-long, LI Wei-hua, HAN Mei, PU Xing-xiao

*(Navy Submarine Academy, Qingdao Shandong, 266071 China)*

**Abstract:** In order to improve the prediction accuracy of the temperature profile, a method for forecasting ocean temperature profile based on the satellite data is developed. By using 27 in situ temperature profiles data, remote sensing SST (Sea Surface Temperature) and SSHA (Sea Surface Height Anomaly) data, the prediction of the temperature profile is achieved. The prediction result of the temperature profile has been validated with the ARGO (Array for Real-time Geostrophic Oceanography) data. The experiment result shows that it is feasible by assimilating the remote data into the forecasting of temperature profile, and it improves the forecasting accuracy of ocean temperature profile effectively.

**Key words:** temperature profile; SST; SSHA; least squares