

卫星遥感 SSH 数据在水下温度垂直分布反演中的应用研究

池建军¹, 孙祥年², 骆永军³

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

摘要: 结合 MODAS 基本原理, 应用动态气候态的数据同化概念, 阐述应用卫星遥感 SSH 数据反演水下温度垂直分布的理论和方法, 并利用西太平洋海区的 ARGO 数据进行试验, 建立了单点的温度剖面, 通过引入 SSH 数据进行水温反演, 演示结果显示了卫星遥感 SSH 资料同化的有效性, 并得出分析结论。

关键词: 卫星遥感; SSH; MODAS; ARGO; 水温反演

中图分类号: P405 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2010)01-0059-03

1 MODAS 介绍

1.1 MODAS 系统基本原理

模块化海洋数据同化系统(Module Ocean Data Assimilation System)MODAS 的基本原理简单的说就是: 使用最优插值方法把不同点的海洋温度值同化到所研究海区的网格点上。也就是说, 应用不规则分布的海水温度的观测资料, 客观地重新构造海水温度的空间分布场, 最优地表示瞬间状态, 并给出规则网格点上的海水温度值。

海水温度的现场观测通常使用深海温度测量器(BT)等探测器。在存在较大垂直温度梯度的海域, 如果没有丰富的海上 BT 资料, 静态的气候态的分析就会掩盖海洋真实的温度场。为解决某些海域 BT 资料稀少的问题, MODAS 使用了动态气候态的分析方法。动态气候态的原理就是把海洋看成是由许多水柱组成的水体, 当水柱内部热力结构发生变化时, 水柱的高度会发生变化, 表现为海面高度的变化。当然, 海洋水体温度变化所引起的海面高度的变化是复杂的。根据这种原理, 可以建立海面高度与海洋温度剖面的相关关

系, 并且在某些区域可以根据海面高度和海面温度来推导温度剖面, 即温度的垂直分布^[1]。

1.2 MODAS 的气候态

传统的气候态是指具有明确的空间网格和时间周期(例如月、季节或年)的水文气象要素资料的平均值。而由美国海军掌握的 MODAS 是一个可以同时处理气候态和实时数据的工具。从使用方式上来说, MODAS 属于一种静态气候态。但是, MODAS 又和传统的静态气候态有很大的不同。MODAS 提供了一种同化卫星遥感和现场观测数据的手段: 它既可以把表面观测资料向下进行垂直投射, 又可以把现场观测资料进行直接同化, 这种方式我们称它为动态气候态。

利用动态气候态, MODAS 得到的分析结果能够更加准确地反映温度中尺度的变化。动态气候态的分析方法的重大突破, 在于将卫星遥感海面高度(SSH)和海面温度(SST)数据用于构建海水温度剖面。相对于 BT 资料而言, SSH 和 SST 资料十分丰富, 使用 SSH 和 SST 分析得到的温度剖面, 又称为“合成剖面”。动态的气候态的分析方法, 对于没有 BT 资料的海区有着非常重要的现实意

义,而有BT资料的海区,BT资料又是对动态气候态的最好补充,“合成剖面”与实际BT资料可以同时使用^[1]。

2 水温反演基本原理及计算方法

水下温度与表面温度和位势高度异常存在着线性关系,利用这个线性关系可以对温度的垂直分布进行反演^[2-5]。

在MODAS系统中可以利用存储的回归关系通过输入海面温度和海面高度反演来获取温度剖面。其中,输入的高度异常 h_{alt} 表示整个海面高度相对于长期的(一般为6年)卫星高度计测高数据平均值所产生的偏差。为了使用这个偏差,位势高度异常 h 近似的等于全年测得的所有位势高度异常的年平均值 h_{ann} 加上通过高度计数据计算获得的高度偏差 h_{alt} ,即:

$$h = h_{alt} + \overline{h_{ann}} \quad (1)$$

在MODAS系统中,用于每个网格点处的平均数 h_{ann} 是近6个月(两月一次的)的位势高度异常的平均。

温度 T 是关于表面温度 sst 、位置 i 、深度 k 和时间 t 的函数,

$$T(i, k, t) = \overline{T_{i,k}} + a_{i,k} h_{alt} \quad (2)$$

其中 h_{alt} 为海面高度偏差;

一旦用于每个温度剖面的位势高度异常 h 和海面温度 sst 被确定,所有关于位势高度异常和海面温度的水温反演公式的系数就可以通过局部加权线性最小二乘回归来确定。

其中, $T_{i,k}$ 是在位置 i 和深度 k 处分析的观测资料的加权平均数,即:

$$\overline{T_{i,k}} = \frac{\sum_{j=1}^N b_{i,j} T_{j,k}^o}{\sum_{j=1}^N b_{i,j}} \quad (3)$$

$T_{j,k}^o$ 表示位置 j 和深度 k 处的温度观测数据, $j=1, \dots, N$ 表示共有 N 个观测点。

求解公式中权数的方法很多,但是为了解决不同海域的差异问题,同化不同海域的温度数据,采用下面便于运算的相关系数函数,即:

$$b_{i,j} = \exp \left[- \left(\frac{x_i - x_j}{L_x} \right)^2 - \left(\frac{y_i - y_j}{L_y} \right)^2 - \left(\frac{t_i - t_j}{L_t} \right)^2 \right] \quad (4)$$

式中, x 和 y 分别表示数据在东西和南北方向上的位置, t 表示时间, L_x 、 L_y 和 L_t 分别表示空间尺度和时间尺度。

时间尺度 L_t 是1000 h,空间尺度 L_x 和 L_y 由数据所在的纬度 λ (单位为度)决定,通过下式可以将 λ 转化为距离(km):

$$\begin{aligned} L_x &= \frac{240000}{0.35\lambda^2 + 300} \\ L_y &= \frac{240000}{0.35\lambda^2 + 400} \end{aligned} \quad (5)$$

但是空间尺度 L_x 和 L_y 有最小值的限制:在北半球为150 km,在南半球为250 km。(用于分析的观测资料是在分析日期最近45天内的数据)

3 数据获取及其处理

3.1 数据获取及确定研究海区

本文使用的卫星遥感SSH数据来自美国宇航局Topex/Poseidon卫星资料网站:ftp://podaac.jpl.nasa.gov/seasurfaceheight/,温度数据是从国家海洋局获得的历年全球ARGO数据。从中选取2007年8月1日,130.953°E,19.925°N点数据进行分析。

由于本文需要同化的温度数据必须是同一深度层上的,但ARGO数据是分散在各个深度上的,所以利用FORTRAN软件编辑程序对ARGO数据进行等步距线性内插(步距为10 m),得到10 m~490 m深度上的标准温度观测数据。

3.2 温度函数处理及数据演示

为了将处理的标准温度数据带入温度函数,演示海面高度数据对水下温度垂直温度分布的影响,需利用FORTRAN软件编辑程序,求解温度函数中的权重系数,得出最终的海水温度解析场^[6]。

3.2.1 数据的输入

(1) 预报地点的经、纬度,实时的海面高度数据以及具体的预报时间。

(2) 历史观测数据的经、纬度、具体的观测时间,以及标准温度数据。

(3) 一组相同位置 and 时间的卫星遥感数据及

ARGO数据。

3.2.2 同化历史数据, 得出 $T_{i,k}$

利用处理过的标准温度数据求解预报点处不同深度上所有观测资料的加权平均数, 从而得出预报点处的静态气候态数据 $T_{i,k}$ 。

3.2.3 求解权重系数 $a_{i,k}$

通过相同位置 and 时间的实测 ARGO 数据 $T_{i,k}(h)$ 及海面高度数据 h , 利用公式 $a_{i,k} = \frac{T_{i,k}(h) - \overline{T_{i,k}}}{h_{alt}}$ 求解温度函数中的权重系数 $a_{i,k}$ 。

3.2.4 数据演示

利用温度函数 $T_{i,k}(h) = \overline{T_{i,k}} + a_{i,k} h_{alt}$, 将获得的 h_{alt} 数据输入温度程序方程进行数据演示, 并输出温度随深度变化的数据。

3.2.5 数据对比

比较反演温度数据和实测 ARGO 数据, 绘制温度曲线(见图1)。

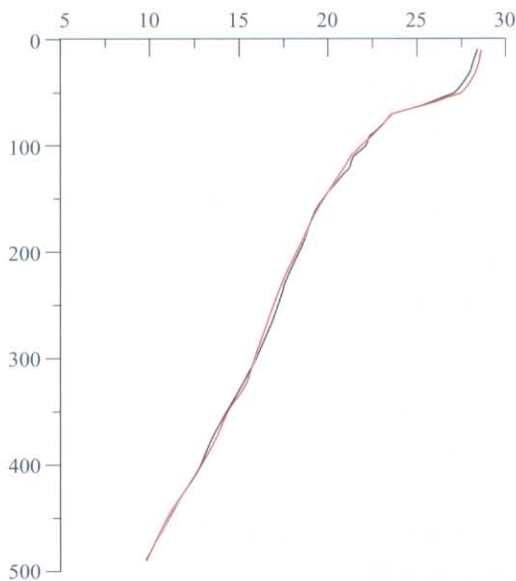


图1 红色曲线为预报数据, 黑色曲线为实测 ARGO 数据。

根据演示数据可以看出, 通过卫星遥感 SSH 数据可以将水下垂直温度分布规律反演出来。经过数据对比发现演示结果具有一下两方面的特点:

(1) 从温度曲线中可以发现, 海水温度大体上随着深度的增加而减小, 温度递减速率随深度的增加而减小。

(2) 预报温度数据与实测 ARGO 温度数据误差在各个深度层上有所不同, 在 50 m 以上水层水温反演精度在 0.5℃ 以内, 随着深度的增加反演精度总体上升高, 深层水的水温反演精度在 0.2℃ 以内, 这说明表层及次表层海水温度受到的影响因素较多导致反演误差增大。

4 结束语

本文在 MODAS 数据同化理论的基础上, 应用历史观测资料建立了单点的 MODAS 静态气候态的初始估计场, 再引入卫星遥感 SSH 数据进行水温反演, 反演结果能够较为清晰的反映出海水温度随深度的变化趋势, 显示了卫星遥感 SSH 数据同化的有效性。

同时, 利用卫星遥感反演海水温度还具有以下几个方面的特点:

(1) 由于在同一位置上缺少同一时间段连续的 ARGO 资料, 所以反演的水温在连续性上面没有实测 ARGO 数据加以验证。同时卫星获取的遥感数据在空间上精度较低, 一定程度上也影响预报数据的准确性。

(2) 因为用于分析的观测资料是在分析日期最近 45 天内的数据, 所以预报海区的初始场要根据时间的变化进行调整, 因而初始场的建立在时间上要具有连续性。

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] Kalman R E. A new approach to linear filtering and prediction problems [J]. Transaction of the ASME, Journal of Rasic Engineering, 1960, 82D: 34-45.
- [3] Miller R N. Direct Assimilation of Altimetric Differences Using the Kalman Filter [J]. Dyn. Atmos. Ocean., 1989, 13: 317-333.
- [4] Gasper P, Wunsch C. Estimation from Altimeter Data of Barotropic Rossby Waves in the Northwestern Atlantic Ocean [J]. Phy. Oceanogr., 1989, 19(2): 1821-1844.
- [5] Mellor G L, Ezar T A. Gulf Stream Model and an Altimetry Assimilation Scheme [J]. Geophys. Res., 1991, 96: 8779-8795.
- [6] 陈玉春, 吕世华, 朱伯承. 海洋模式对 1995 年 5 月南海 AXBT 海温资料的同化分析[J]. 高原气象, 2001, 20(4): 415-420.