

# 卫星遥感业务系统海表温度误差控制方法

毛志华<sup>1,2</sup>, 朱乾坤<sup>1,2</sup>, 潘德炉<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012; 2 国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 提高卫星遥感海表温度的反演精度是各种反演模型追求的目标, 也是遥感系统业务化应用的关键。据相关文献报道, 在晴空无云的条件下遥感海表温度的精度达到了  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 但考虑到影响海表温度反演精度的多种因素, 在遥感业务系统真正实现 SST 精度在  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  以内是非常困难的。在北太平洋渔场速报制作系统中, 对遥感海表温度与船测温度误差统计显示均方根误差达到  $5.71\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 匹配点误差分布显示存在大量较大的负误差值, 最大的为  $-17.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 遥感温度图也反映出存在片状温度低值区, 这些区域很可能被错误地当作冷涡或冷锋区, 严重干扰渔情分析, 这些异常的温度误差很难通过海表温度反演模式和云检测技术来消除。采用一种标准海表温度参考图用于温度误差控制技术, 可有效地检测温度反演异常值, 将均方根值从  $5.71\text{ }^{\circ}\text{C}$  降低到  $1.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 如果采用  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  阈值控制计算均方根值, 则海表温度精度达到  $0.785\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该方法基本消除了遥感海表温度的低值现象, 明显提高了遥感海表温度的精度, 并已成功地应用于北太平洋渔区的海况速报产品制作中。

**关键词:** 遥感海表温度; 误差控制; 渔区海况速报

中图分类号: P731.11

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2003)05-0049-09

## 1 引言

大洋渔业生产需要及时得到渔区海况速报产品作为渔情分析和确定中心渔场的依据, 利用遥感卫星测量大面积海表温度(SST)图可以制作成速报产品, 海表温度需要从遥感卫星红外通道资料经过反演模型计算得到, 遥感海表温度的反演精度是影响速报产品质量的关键因素。相关文献报道了各种海表温度反演模型和精度<sup>[1-6]</sup>, Walton 等<sup>[1]</sup>认为采用非线性模型(NLSST)对 NOAA 卫星的改进型甚高分辨率辐射计(AVHRR)资料反演海表温度精度可达到

收稿日期: 2002-11-22; 修订日期: 2003-04-30.

基金项目: 国家“863”计划海洋监测主题资助项目(818-11-02, 2002AA639220, 2001AA630701); 国家自然科学基金资助项目(40006011); 国家重点基础研究发展规划资助项目(G1999043701).

作者简介: 毛志华(1966-), 男, 浙江省宁波市人, 研究员, 博士, 从事海洋遥感研究. E-mail: maozh@hznc.com

0.5 °C. 利用业务化 NLSST 模型对北太平洋渔区的 NOAA 资料处理得到的海表温度与准同步船测温度比较结果表明, 两者的均方根(RMS) 误差达到 5.71 °C, 说明在实际的遥感资料业务应用系统中, 海表温度误差很大, 提高海表温度精度是一种关键技术.

影响遥感海表温度精度的因素很多, 如传感器本身的精度、反演模式、大气条件、海况、实测温度精度等, 特别是云覆盖. 云覆盖减少了红外遥感资料的利用率, 严重影响卫星遥感系统业务化应用, 也是降低海表温度反演精度的主要原因<sup>[7]</sup>. 由于云对卫星接收的辐射影响的复杂性, 在许多情况下很难明确划分为晴空和云覆盖, 而不完全的云检测结果会明显降低海表温度的精度. 因此, 在遥感系统中必须开展海表温度误差控制技术的研究, 提高遥感系统业务化应用水平.

## 2 海表温度的误差分析

在海况速报产品制作中, 海表温度是最重要的因子, 是从 NOAA 系列和 FY-1C/1D 等卫星资料反演得到的. 目前海表温度的业务化处理算法是基于分裂窗技术<sup>[2]</sup>, 用于 NOAA 系列卫星的算法主要有: 多通道算法(MCSST)<sup>[3]</sup>、交叉海表温度算法(CPSST)<sup>[4]</sup>、非线性算法(NLSST)<sup>[1]</sup>和 Pathfinder 海表温度算法(PFSST)<sup>[5]</sup>, 这些算法的基础是光谱辐射传输理论.

在晴空无云的条件下, 大气对热红外通道的影响主要是水汽带吸收, 对水汽的红外吸收校正通道采用分裂窗技术, 每一个窗区对通道的水汽削弱量不同, 因此一个通道的削弱总量可由两个通道测得的温度差来估算. 把 MCSST, CPSST 和 NLSST 三种算法归纳为

$$SST = AT_4 + B\Gamma(T_4 - T_5) + C(\sec\theta - 1)(T_4 - T_5) + D, \quad (1)$$

式中,  $A, B, C, D$  由实测海表温度和卫星遥感值进行回归统计来确定;  $\Gamma$  参数是对海洋表面温度的估计值; 由于观测的是地球表面, 故要考虑加入卫星观测角订正项来提高精度. 美国 NOAA 根据浮标测量温度建立的 NOAA-16 卫星业务海表温度反演算法(NLSST 算法)为:

对白天遥感温度反演算法,

$$SST = 0.9171T_4 + 0.0795\Gamma(T_4 - T_5) + 0.7975(\sec\theta - 1)(T_4 - T_5) - 248.8961; \quad (2)$$

对晚上遥感温度反演算法,

$$SST = 0.9622T_4 + 0.0336\Gamma(T_3 - T_5) + 1.6073(\sec\theta - 1) - 261.3291. \quad (3)$$

遥感海表温度反演精度是渔场速报产品用户最关心的问题, 也是影响速报产品质量的最重要因素之一. Mcmillin 等<sup>[2]</sup>对分裂窗算法的 3 个红外通道的 8 种组合的反演模式统计均方根误差为 1.04~1.71 °C, 认为在无云条件下, 海表温度精度可达到 1 °C. McClain 等<sup>[3]</sup>对 MCSST 模型的误差统计结果分析得出遥感与实测温度的偏差为 -0.3~0.4 °C, 均方根误差为 0.5~0.6 °C, 相关系数为 0.3~0.7. Walton 等<sup>[1]</sup>认为采用 NLSST 反演模式可以使全球海表温度产品精度从 0.8 °C 提高到 0.5 °C, 但对这些精度的分析都是基于晴空无云条件的, 将超过 2 °C 偏差的值作为异常值处理<sup>[8]</sup>, 对其他区域和不同季节的卫星轨道数据, 特别在各种不同的复杂大气条件和海况条件下, 要对海表温度精度进行控制是相当困难的.

在北太平洋渔业遥感业务化运行系统中, 对遥感海表温度与同期船测温度值进行比较(见图 1), 图 1 中的误差分布是由遥感海表温度减去实测温度得到的. 遥感海表温度来自船载遥感系统接收的 NOAA-12, 14, 15 和 16 四颗卫星资料, 经几何投影、云信息提取、图像镶嵌、NLSST 反演模式等处理, 卫星接收时间从 2001 年 5 月 17 日到 12 月 8 日共 200 d 的资料, 区域

从 25° N/ 130° E 到 47° N/ 165° W, 船测温度从 2001 年 6 月 1 日到 11 月 23 日共 833 个实测温度值. 将船测温度值作为准确值来计算遥感海表温度的误差, 搜索同一天和相同地点的船测温度值并与遥感海表温度值进行比较, 共得到 474 个匹配数据点.

从图 1 可以看出, 遥感海表温度的误差分布并不理想, 尽管大部分匹配点的差值在  $\pm 2$  °C 以内, 但许多点的差值都超过 5 °C, 最大差值达到 -17.2 °C, 平均误差为 -3.04 °C, 均方根值为 5.71 °C, 这些统计结果与相关文献报道的相差很大. 这说明在海表温度图中存在大量温度反演异常值, 提高遥感温度精度的关键是在没有同步实测资料的海表温度图中识别这些异常值.

产生遥感海表温度误差的因素很多, 每一个环节都会产生误差. 卫星上红外传感器本身的精度和辐射定标精度可产生 0.15 °C 的误差<sup>[9]</sup>; 不同海表温度反演模式产生的差值为 0.5~0.7 °C<sup>[9]</sup>, Mcmillin 等<sup>[1]</sup>对 9 个模式归纳的差值为 0.15~1.59 °C; 相同模型在不同区域的精度相差很大, Emery 等<sup>[10]</sup>对 PFSSST 算法的总体数据统计得到均方根值为 0.5 °C, 但对热带和极地区域分别统计时得到均方根值都超过 2 °C; 遥感测量海表面辐射温度与实测水体温度可差  $\pm 1$  °C, 这种差异受风速、温度、云量、海况、昼夜等因素影响<sup>[6, 9]</sup>; 不同的实测平台(船只、浮标)、实测仪器(温度计、辐射计)、不同测量深度(0.5, 1.0, 2.0m 等)以及其他实测条件差异造成实测温度本身的均方根值在 0.5 °C 以上<sup>[10]</sup>; 即使对海表温度反演模式中的水汽进行校正也不可能做到非常准确<sup>[11]</sup>; 未检测的云是海表温度的主要误差源<sup>[7]</sup>.

晚上卫星轨道缺少可见光检测云的有利条件, 当云很低时云层的温度大于 0 °C, 由于反演得到的温度是正值, 尽管实际反演的是云顶温度, 但也很可能被当作正常的海表温度值. 云对红外辐射的吸收作用非常强烈, 100 m 厚的云层基本吸收了地表向外空的红外辐射, 阻断了海表红外辐射向卫星传输. 当云层厚度在 0~100 m 时, 云层的红外辐射处于半透明状态, 这时卫星接收到的红外辐射由两部分组成, 一部分是海表辐射经云层吸收而衰减后的能量, 另一部分是云层本身产生的能量, 如果这两部分能量的和小于实际的海表辐射就产生红外温度反演的误差, 一旦反演值处于正常范围, 很难由云检测技术来剔除. 由于薄云对可见光的反射影响非常小, 使薄云区的遥感反射率与来自海面的反射率最难区分, 不能作为云的信息而被剔除, 而薄云对温度反演影响很大, 有时可产生 -15 °C 以上误差, 但得到的反演值处于常温范围, 很难作为异常值消除. 误差大值对误差统计结果影响很大, 如对 10 个匹配点统计, 一个 -15 °C 的误差点可以使偏差从 0 °C 上升到 -1.5 °C, 均方根值从 0 °C 上升到 4.7 °C. 片状的海表温度反演低值区可能被当作假的冷涡或冷锋区, 严重影响遥感海表温度在渔场速报中的业务化应用.

在遥感海表温度业务运行系统中, 造成遥感海表温度较大误差的主要因素是云. 已开发了很多种云检测技术, 主要有对单波段和组合波段设置静态阈值、波段差分法、空间协调性法、主成分分析法、聚类分析法、纹理结构模型法、自适应阈值法、神经网络法、多时相判别法、混合

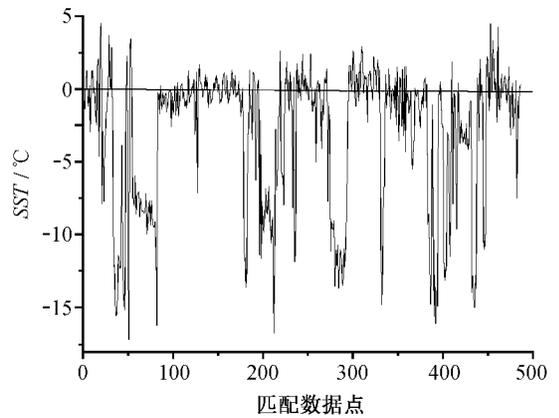


图 1 遥感海表温度误差的分布

方法等<sup>[7,12]</sup>,一般采用上述几种方法进行分级检测.由于缺乏同步云观测数据,对各种云检测的结果作定量化检验是相当困难的,基本上都采用单幅遥感图像作定性比较来判断云检测的效果.云检测技术都涉及阈值设置,如果设置阈值过严,尽管提高了海表温度精度,但也导致大量有效的海表温度值丢失,影响它在海表温度业务中的应用;过宽的阈值必然导致不完全的云检测,产生较大的海表温度误差.由于云系统的复杂性,如多层云、子像元云、云比辐射率、薄云、海雾等不同状态以及昼夜交替时的复杂反射、晚上对卫星轨道缺少可见光检测云的条件、在云边缘地带始终存在一些过渡区域等,这些情况都会不同程度干扰云检测的业务化运行效果.用云检测技术很难将一些区域明确归属为晴空或有云,而这些区域可产生海表温度反演的较大误差. Kilpatrick 等<sup>[5]</sup>根据资料质量控制条件将海表温度产品分为 8 级,最差的 0 级占 78%,最好的 7 级产品的均方根值为  $0.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但 1 级和 2 级的海表温度偏差分别为  $-9.5$  和  $-9.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,其均方根值都达到了  $4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[5]</sup>.因此,云检测技术很难有效控制海表温度误差.

在实际的遥感资料处理中很难定量测得大气影响,也无从对它们进行定量校正,在业务化系统中要实现遥感海表温度精度在  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  以内是非常困难的,而海表温度精度正是影响卫星遥感应用的关键.目前所采用的海表温度反演模式只是对水汽吸收进行校正.假定水汽吸收影响可通过双通道的亮温差来校正<sup>[1-5]</sup>,使卫星遥感能精确测量海面温度,但由于这种反演模式本身很难适应各种环境条件的变化,因此海表温度反演算法本身和云检层技术都很难完全消除海表温度反演的异常值,需要通过其他途径来检测和控制海表温度反演的异常值.

### 3 遥感海表温度反演误差控制的方法

由于海表温度反演算法本身和云检测技术都很难完全消除遥感海表温度反演的异常值,本文采用标准温度参考图作为判断准则来控制温度反演误差的技术.该方法基于同一海区在同一时期的温度值相对稳定,事先设置一组不同时期的标准温度参考图,将遥感海表温度值与标准温度值比较,如果反演的海表温度与标准值的误差超出了设置的阈值,就认为它是温度反演异常区而作为无效数据考虑.

标准海表温度参考图的产生是基于全球 15 a 的 NOAA 资料统计产生的平均遥感温度图,这些数据都经过严格的质量控制,没有经过云替补等人为加工,在精度方面是可靠的,每天一个文件,共 365 个文件.

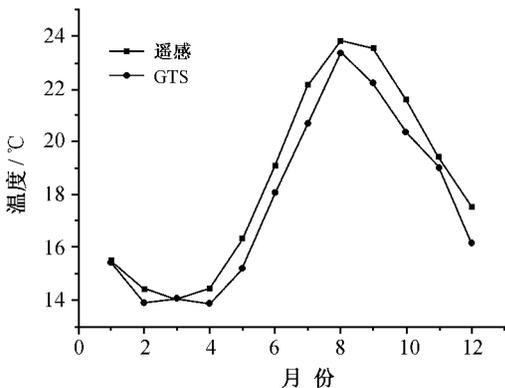


图2 GTS与遥感的月平均温度比较

用船舶报(GTS)海表温度数据对标准温度图进行误差检验,结果见图2. GTS是经过全球电传系统传输的船舶报资料,它是由志愿船测得的现场海表温度、气温、气压等数据,将1d的测量时间分为四次,即分别在GMT时间的00:00,06:00,12:00和18:00,采用1994~2001年共8a的GTS温度来检验平均遥感温度图的精度.

图2是遥感月平均温度与8a的GTS月平均温度的比较结果,从图中可以看出两者按月变化的趋势基本相同,最高月平均温度都出现在8

月, 分别为 23.82 和 23.37 °C, 遥感月平均最低温度在 3 月(14.06 °C), 但 GTS 的最低月平均温度在 4 月(13.88 °C), 而 3 月的平均温度(14.07 °C)比 2 月(13.92 °C)和 4 月(13.88 °C)都高. 考虑到大洋海表温度变化相对缓慢和数据量的因素, 将平均遥感温度图制作成每周一幅的标准海表温度参考图, 并与 GTS 周平均温度进行比较, 周平均温度误差基本上在 -0.4~0.8 °C, 大部分温度误差在 -0.2~0.3 °C. 因此, 周平均海表温度图可作为北太平洋渔区标准温度参考图, 用它作误差控制.

利用标准温度参考图来控制海表温度反演误差的关键是确定一个合适的阈值, 用该阈值来判断遥感海表温度是否为异常值. 对设置的不同阈值与误差关系进行了测试, 阈值分别设置为 10.0, 6.0, 3.0, 1.0 和 0.5 °C 五种. 设置 10.0 °C 阈值能部分控制薄云的影响, 平均误差从 -2.43 °C 降到 -1.62 °C. 当设置 6.0 °C 阈值时误差情况的改善比较明显, 平均误差为 -1.00 °C. 当阈值设置为 3.0 和 1.0 °C 时得到的平均误差分别为 -0.66 和 -0.49 °C, 但当阈值设置为 0.5 °C 时平均误差上升到 -0.65 °C. 从上述阈值对误差分布影响系列图来看, 随着阈值从 10.0 °C 逐渐减小到 0.5 °C, 它对温度误差控制的影响比较明显, 大误差的点数比例明显减少, 在 1.0 °C 的阈值时超过 4.00 °C 的误差不到 3%. 因此, 单从平均误差考虑, 阈值设置在 1.0 °C 是合适的.

由于标准温度参考图是基于多年的平均值, 在空间上分布比较均匀, 即使在海洋温度锋面范围内, 其温度变化的梯度仍然相当平缓, 但实际遥感海表温度图对锋面的温度变化非常敏感, 在理想的大气条件下可以很好地反映出实际海表温度锋面分布的情况, 这些锋面的温度值比附近海区的温度在空间上存在某种程度的突变现象, 而且锋面的温度值通常明显高于或低于标准温度值. 因此, 阈值的设置对锋面的影响很大. 对不同阈值与锋面关系进行了测试, 阈值分别设置为 10.0, 6.0, 3.0, 1.0 和 0.5 °C 五种, 当阈值从 10.0 °C 变为 6.0 °C 时, 对锋面基本不产生影响; 当阈值从 6.0 °C 变为 3.0 °C 时, 许多锋面被当作异常值去掉了; 当阈值在 1.0 和 0.5 °C 时, 大部分锋面被作为异常值.

阈值的设置产生两方面的影响: 小的阈值有利于提高误差控制精度, 从平均误差的统计结果来看, 1.0 °C 的阈值产生的平均误差最小; 从阈值对锋面的负面影响来看, 小于 5.0 °C 的阈值将去掉许多锋面, 6.0 °C 以上阈值不会对锋面产生明显影响. 鉴于海洋锋面在渔场海况速报产品和渔情分析中的重要作用, 阈值的设置不应海洋锋面产生影响, 因此本文设置的阈值为 6.0 °C.

## 4 海表温度误差控制精度检验

利用标准温度参考图对遥感反演温度图进行异常检测, 采用直方图统计方法来检验结果(见图 3). 图 3 是对选取的一幅典型海表温度图的温度值分布进行直方图统计, 它是遥感海表温度图的温度分布统计结果(见图 3a)和完成温度反演异常检测后的统计结果(见图 3b). 在图 3a 中存在明显的双峰分布, 峰值分别位于 18.7 和 27.1 °C, 两者的分割点位于 21.3 °C. 从直方图分布来看, 从 0 °C 到 21.3 °C 的反演值都是温度异常低值区, 应作为无效数据对待. 在图 3b 中利用标准温度参考图的误差控制技术来检测海表温度反演异常值, 基本上消除了双峰现象, 剔除了遥感反演的温度异常低值区. 因此, 单幅图的温度异常检测结果表明该技术对薄云引起的反演温度异常检测是比较有效的.

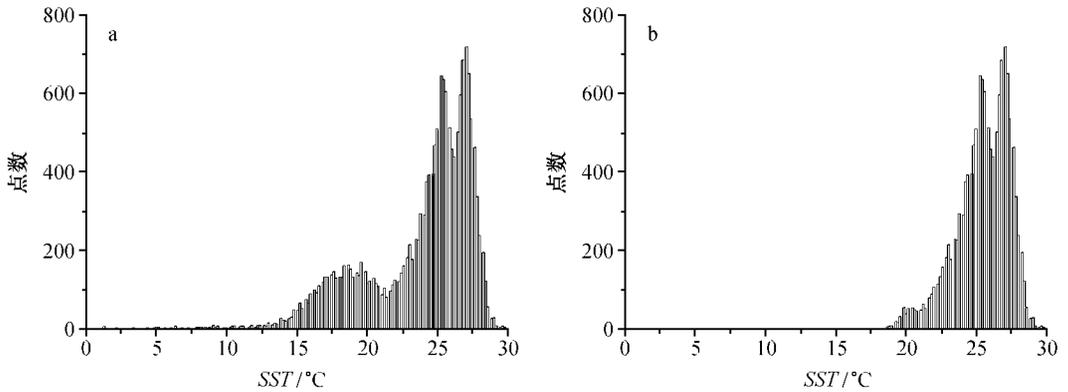


图 3 温度异常检测前的海表温度 (a) 和检测后的海表温度 (b) 分布直方图

利用船测温度值对误差控制效果进行检验, 采用二维关系图方法来比较(图 4). 图 4 表示反演温度异常检测前 2001 年的船测与遥感海表温度分布图, 图中除 A 区外, 两者的温度分布一致性很好, 大部分点分布在对角线附近, 说明温度遥感在晴空条件下可以很好地反映出实际海表温度. 从图中可以看出, 船测温度变化范围窄, 集中在  $13 \sim 18^{\circ}\text{C}$ , 少数几个点在  $20^{\circ}\text{C}$  以上, 平均温度为  $16.47^{\circ}\text{C}$ , 海表温度值范围为  $0 \sim 19^{\circ}\text{C}$ , 平均温度为  $13.38^{\circ}\text{C}$ , 比船测值低  $-3.09^{\circ}\text{C}$ . 在船测温度轴方向, 存在一定数量的海表温度低值分布, 有相当数量的点的遥感温度值明显偏低, 说明这些测试点上的反演温度并没有反映实际的海表温度情况.

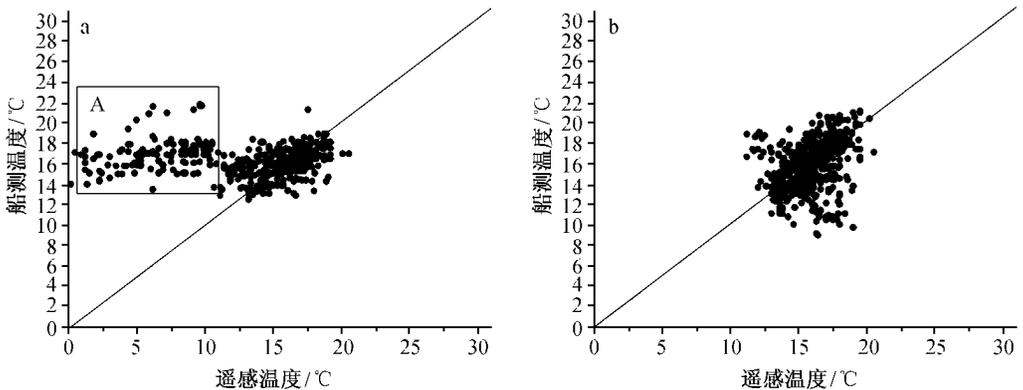


图 4 用二维关系图的海表温度与船测温度值的分布

a. 误差控制前的两种温度分布图, b. 误差控制后的两种温度分布图

用标准温度参考图对 2001 年接收的北太平洋渔区遥感反演温度图进行误差控制, 将异常温度值都作为无效值处理, 对检测结果用温度分布二维关系图表示(图 4b). 对照两幅二维关系图分布可见, 图 4b 基本消除了在海表温度轴上存在的海表温度低值分布现象, 大部分数据点分布集中在对角线上, 说明该方法对遥感温度反演异常检测效果相当明显. 图 4b 是对单天接收的 10 多幅卫星的海表温度资料融合后进行统计, 在融合前采用了温度异常控制, 增加了部分在图 4a 中没有的数据点.

对反演温度误差控制前后进行误差定量统计,采用平均误差、均方根误差和相关系数三个值来衡量,基于周平均温度图进行统计,与该周内的实测值进行匹配比较,结果见表1。误差控制前的周平均误差都是负值,大多数的误差超过 $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,平均误差为 $-3.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,控制后的周平均误差的绝对值明显变小,大部分在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,平均误差为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。均方根值的改变也非常明显,基本上达到了 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,平均值从 $5.71\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降到 $1.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相关系数也明显提高,从平均 $0.399$ 上升到 $0.821$ 。上述统计结果表明,本文所采用的遥感温度反演误差控制技术是必要的,也是有效的,它提高了遥感海表温度的业务化应用水平。

表1 误差统计结果

日期	海表温度异常检测前的统计			海表温度异常检测后的统计			匹配点
	平均误差/ $^{\circ}\text{C}$	均方根/ $^{\circ}\text{C}$	相关系数	平均误差/ $^{\circ}\text{C}$	均方根/ $^{\circ}\text{C}$	相关系数	
6月1~29日	-4.14	7.26	-0.550	0.03	1.86	0.243	40
6月30日至8月5日	-12.80	12.50	0.328	-1.34	2.25	0.914	18
8月6日至9月2日	-4.67	6.17	0.389	1.07	1.54	0.931	46
9月3~9日	-1.07	3.23	0.508	-1.01	2.06	0.803	54
9月10~16日	-5.44	7.01	0.427	0.89	1.57	0.873	52
9月17~23日	-2.29	5.28	0.140	-0.19	1.47	0.809	62
9月24~30日	-4.92	7.26	0.220	-1.23	2.00	0.764	50
10月1~7日	-2.95	3.11	0.954	-0.30	0.95	0.936	36
10月8~21日	-3.89	7.40	0.239	1.90	2.34	0.806	55
10月22日至11月11日	-0.49	1.95	0.802	-0.28	1.18	0.823	61
平均	-3.04	5.71	0.399	0.05	1.75	0.821	474

本文采用的温度反演模式是美国NOAA公布的NLSST算法,只对北太平洋渔区的遥感海表温度精度进行统计,由于该模式本质上是回归统计模型,具有区域局限性,所以用于特定区域肯定存在较大误差。实测温度大部分来自不同渔船的测量值,在精度和可靠性等方面都没有经过严格检验。受实测资料数量限制,选择匹配点的要求只是1周内的测量,不是严格意义上的同步(1h之内)。上述因素在一定程度上影响了对精度的评价结果,如果对误差统计设置异常值( $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),就可明显改善统计结果,得到均方根的值为 $0.785\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 5 结语

利用美国NOAA提供的温度反演模式只有在非常晴空的条件下得到的海表温度值与实际海表温度值才相符,天气条件变化基本上引起遥感反演的温度值偏低,有些点的误差值达到 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。造成遥感海表温度反演误差的因素很多,而引起红外温度反演出现较大的负误差的主要原因是未检测的云覆盖,由于云对红外辐射的影响,使海表温度反演值明显偏离实际值,但得到的反演温度值仍属于正常的海表温度范围,温度反演模式本身和常规的云检测技术很难区分出这些异常温度反演值,而且块状的海表温度反演低值区,可能会被当作假的冷涡区,严重影响了海表温度遥感在渔业中的应用。

采用标准海表温度参考图检测遥感温度反演异常的方法用于误差控制,在遥感海表温度

业务化应用中是必要和有效的,用于解决温度反演模式本身和云信息提取技术都无法检测的海表温度反演异常值,可明显提高业务化运行的遥感海表温度反演精度.经温度误差控制技术处理后的遥感海表温度图可用于制作渔区海况速报产品,它能基本消除遥感海表温度反演的低值现象.

#### 参考文献:

- [1] WALTON C C, PICHEL W G, SAPPER F J, et al. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with NOAA polar orbiting environmental satellites[J]. J Geophys Res, 1998, 103: 27 999—28 012.
- [2] MCMILLIN L M, CROSBY D S. Theory and validation of the multiple window sea surface temperature technique[J]. J Geophys Res, 1984, 89: 3 655—3 661.
- [3] MCCLAIN E P, PICHEL W G, WALTON C C. Comparative performance of AVHRR based multichannel sea surface temperatures[J]. J Geophys Res, 1985, 90: 11 587—11 601.
- [4] WALTON C C. Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data[J]. J App Meteor, 1988, 27: 115—124.
- [5] KILPATRICK K A, PODESTA G P, EVANS R. Overview of the NOAA advanced very high resolution radiometer pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated match up database[J]. J Geophys Res, 2001, 106: 9 179—9 197.
- [6] 高郭平, 钱成春, 鲍献文, 等. 中国东部海域卫星遥感 PFSST 和现场观测资料的差异[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 121—126.
- [7] SIMPSON J J, MCINTIRE T J, STITT J R, et al. Improved cloud detecting in AVHRR daytime and night time scenes over the ocean[J]. Int J Remote Sensing, 2001, 22: 2 585—2 615.
- [8] KUMAR A, MINNETT P J, PODESTA G, et al. Error characteristics of the atmospheric correction algorithms used in retrieval of sea surface temperatures from infrared satellite measurements: global and regional aspects[J]. J Atmos Science, 2001, 60: 575—585.
- [9] BROWN J W, BROWN O B, EVANS R H. Calibration of advanced very high resolution radiometer infrared channels: a new approach to nonlinear correction[J]. J Geophys Res, 1993, 10: 18 257—18 268.
- [10] EMERY W J, BALDWIN D J, SCHLUSSEL P, et al. Accuracy of *in situ* sea surface temperature used to calibrate infrared satellite measurements[J]. J Geophys Res, 2001, 106: 2 387—2 405.
- [11] EMERY W J, YU Yur yue, WICK G A. Correcting infrared satellite estimates of sea surface temperature for atmospheric water vapor attenuation[J]. J Geophys Res, 1994, 99: 5 219—5 236.
- [12] KARNER O, GIROAM O L D. On automatic cloud detection over ocean[J]. Int J Remote Sensing, 2001, 22: 3 047—3 052.

# A temperature error control technology for an operational satellite application system

MAO Zhihua<sup>1,2</sup>, ZHU Qiankun<sup>1,2</sup>, PAN Delu<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography of State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China; 2. Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** The accuracy of satellite measured sea surface temperature (SST) is the key for both SST algorithms and applications, which is reported to reach 0.5 °C. In fact, the accuracy of satellite measured SST is affected by many factors, it is very difficult to obtain root mean square (RMS) error within 1 °C in an operational satellite SST application system. Many values of SST are found to be much lower than temperature measured by the ships in evaluating the accuracy of SST derived from NOAA satellite data. The error distribution shows that larger negative values of temperature bias take up a high proportion with the maximum up to -17.2 °C. Many patches of low temperature abnormality, distributing in the SST images, are caused by thin clouds or fogs, which may be mistakenly taken as eddy or front. The temperature abnormality is very difficult to be detected by SST inversion algorithm and cloud detection technology. A temperature error control technology is developed employing standard reference temperature images to detect the temperature abnormality. This method can efficiently detect the temperature abnormality to remove the abnormal low values of SST and improve the accuracy of satellite measured SST. The RMS error is improved from 5.71 to 1.75 °C in an operational SST system. It has been applied to drawing the fishery chart products of the North Pacific.

**Key words:** remote sensing; SST; temperature error control; fishery chart

(上接第 48 页)

国际货运与物流常用词汇手册	20.00 元	南极洲地名辞典	160.00 元
远洋渔业技术经济手册	28.00 元	中国海洋药物辞典	51.00 元
海洋监测质量保证手册	30.00 元	英汉海洋科技词汇	(估) 100.00 元
海岸带管理手册	65.00 元	1999 年中国国土资源报告	40.00 元
中国环境保护工作手册	120.00 元	我们的渤海	18.00 元
英汉极地科学缩略语词汇	42.00 元	中国的海洋国土	10.00 元
海洋生物学辞典	88.00 元	决策科学理论与方法	48.00 元
英汉海事缩略语词典	55.00 元	海洋赤潮知识 100 问	10.00 元
海洋百科全书	38.00 元	海洋知识问答	9.00 元
英汉环境科学词汇	68.00 元	中国海洋产业高技术化研究	20.00 元
日拉英俄汉鱼类名称	45.00 元		

邮购地址: 北京市复兴门外大街 1 号海洋出版社邮购部

电话/传真: 010-68038093

邮编: 100860

邮资: 20%