

王素娟, 陆风, 张鹏, 等. 2013. FY2 海面温度产品质量检验方法与误差分析. 气象, 39(10):1331-1336.

FY2 海面温度产品质量检验方法与误差分析^{*}

王素娟 陆 风 张 鹏 张晓虎 崔 鹏 王维和

中国气象局国家卫星气象中心, 北京 100081

提 要: 主要介绍了风云二号静止气象卫星海面温度产品的质量检验方法及检验流程, 给出了 FY2E 业务海面温度产品和 FY2F 海面温度算法的质量检验结果, 并从误差统计、反演算法、系统设计等方面分析了目前 FY2 海面温度产品与国外卫星海面温度产品差异大的原因。现场海面温度质量检验和分析场海面温度交叉检验各有优缺点。现场海面温度质量检验能够对 FY2 SST 产品给予客观的评价。国外分析场海面温度具有时效性好、全球覆盖且质量均一的优点, 分析场海面温度交叉检验能满足 FY2 SST 质量检验的时效性, 是对 FY2 SST 的相对检验。通过静止卫星海面温度产品质量检验信息可以为产品研发人员和相关用户提供参考。

关键词: 海面温度, 质量检验, 误差分析, 气象卫星

中图分类号: P412

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2013. 10. 011

Quality Validation Methods and Error Analysis for FY2 Sea Surface Temperature

WANG Sujuan LU Feng ZHANG Peng ZHANG Xiaohu CUI Peng WANG Weihe

National Satellite Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Quality validation methods and validating process of FY-2 geostationary meteorological satellite sea surface temperature (SST) products are introduced. The validation of operational SST product of FY2E and SST retrieval algorithms of FY2F are given out. At present, compared with foreign satellite SST, the accuracy of FY2 SST is poorer because of various reasons, such as the error statistics method, the retrieval algorithm and the system design, etc. In situ SST validation and cross-product SST validation have their own advantages. In situ SST validation can give an objective evaluation of FY2 SST product. Analysis SST field has the advantages of global coverage, good timeliness and a more uniform quality. The cross-product SST validation by analysis SST field for FY2 SST can meet the need of timeliness, which can also provide relative quality information. The geostationary satellite SST product validation information can provide a reference for product development and related users.

Key words: sea surface temperature, quality validation, error analysis, meteorological satellite

引 言

中国的海岸线长, 海洋国土面积大, 国内用户对

海洋环境监测、海洋资源开发以及海洋气象预报有很大需求。许健民等(2010)指出提高风云气象卫星的应用水平亟待解决的问题之一是做好数据预处理、数据处理方面的研究工作; 李俊等(2012)指出由

* 国家自然科学基金项目(41175023)资助

2012 年 9 月 8 日收稿; 2013 年 5 月 7 日收修定稿

第一作者: 王素娟, 主要从事卫星遥感海面温度产品研发、FY2 产品质量检验及云导风 BUFR 编码。Email: wangsj@cma.gov.cn

于卫星辐射测量误差、反演算法误差、地气系统辐射相互影响的存在,导致反演的产品总是存在误差,需要通过产品的真实性检验工作来比对、分析反演产品精度,并通过检验结果来改进反演算法。本文正是在这一背景下对 FY2 静止气象卫星反演海面温度产品开展了真实性检验和误差分析工作。

由于自然界地球物理参数的绝对真值是无法获取的,因此对气象卫星海面温度(SST)产品的质量检验限于与其他手段获取的 SST 数据的相对比较,得到的信息可以为用户在使用静止卫星 SST 产品时提供参考。

目前,国外极轨气象卫星反演 SST 的质量检验及监测系统已经非常成熟,美国国家海洋和大气局(NOAA)和环境卫星数据与服务局(NESDIS)的基于 Web 的准实时 SST 监测系统 SQUAM(Dash et al, 2010)作为全球主要 SST 产品的通用监测工具,已实现了对 L2、L3、L4 SST 的误差图像、直方图、时间序列等全面的基于 Web 的准实时质量监测。晴空海洋红外辐射及 SST 监测网 MICROS(Liang et al, 2011)也实现了基于 Web 的准实时 CRTM 模拟晴空红外辐射及 ACSPO SST 监测。

国外静止气象卫星 SST 产品的真实性检验主要包括:(1)根据现场的实测数据(in-situ SST)进行真实性检验;(2)同国外同类仪器资料的反演 SST 产品的交叉检验;(3)利用数值天气预报(NWP)和大气辐射传输的模拟计算结果进行检验等(Ignatov, 2010)。但国外静止气象卫星 SST 的准实时质量监测尚未公布。

国内卫星 SST 产品质量检验和评价方面已经开展了很多工作,毛志华等(2003)采用了一种标准 SST 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,将均方根误差从 5.71°C 降低到 1.75°C ,采用更严格的 2°C 阈值控制,使海表温度误差达到 0.75°C ;孙凤琴等(2007)对西北太平洋部分海域 AVHRR、TMI 与 MODIS SST 进行了初步检验。何全军等(2013)基于匹配数据采用最小绝对偏差方法通过线性模型对 SST 算法的精度进行了检验,并对反演的 FY3A VIRR SST 产品和 MODIS 官方产品进行了比较,结果显示两种 SST 产品具有很高的一致性。FY2(03)批 SST 质量分析系统正在研发过程中。

1 FY2 SST 质量检验方法与检验流程

1.1 FY2 SST 质量检验方法

1.1.1 基于现场海面温度的质量检验方法

基于现场 SST 质量检验一般是在卫星资料和外场 SST 匹配数据集的基础上进行的。现场 SST 一般选用浮标 SST,需要对浮标 SST 进行质量控制,选择高精度浮标 SST 作为检验源数据。

FY2 标称实时 SST 产品质量检验采用现场海温检验方法,用全球浮标资料作为检验源数据,通过时间匹配(30 min)和空间匹配(一个像元),进行误差统计。

现场 SST 质量检验比较客观,但由于现场海温测站稀少、分布和资料质量不均一旦实时性差,很难满足 FY2 SST 的准实时质量检验需求。

1.1.2 国外分析场 SST 产品交叉检验方法

FY2 标称日平均 SST 产品质量检验用英国气象局的业务 SST 和海冰分析产品 OSTIA,其分辨率为 $0.05^{\circ}\times 0.05^{\circ}$,产品精度为均方根误差 0.39 K (Stark et al, 2007)。美国 GOES-R(Ignatov, 2010)采用分析场周平均 OISST 作为检验源数据进行质量检验。

用 OSTIA 日平均 SST 或 OISST 周平均 SST 作为检验源数据,通过时间匹配(同一天)和空间匹配(一个像元),进行误差统计。

分析场海温具有时效性好,全球覆盖且质量均一的优点,但由于分析场 SST 由极轨卫星 SST 再分析得来,没有解决 SST 日变化问题,因此 SST 交叉检验仅用来对 FY2 SST 进行相对检验。

1.2 FY2 SST 质量检验流程

1.2.1 基于现场 SST 的质量检验流程

FY2 SST 匹配数据集(MDB)的建立流程如图 1 所示。匹配的时间分辨率为 30 min,空间分辨率为一个像元。

在积累了一定时间段的匹配样本之后(一般 1~3 个月),进行回归分析,求得 SST 反演的回归系数,代入 MDB,即可求得卫星反演 SST。

以 MDB 为基础,用其中求得的卫星反演 SST 和高精度浮标 SST 即可进行误差统计分析。

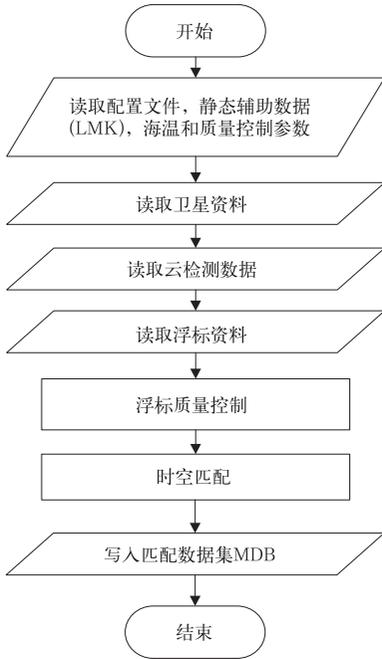


图 1 匹配数据集建立流程图
Fig. 1 The flow chart of creating matchup database

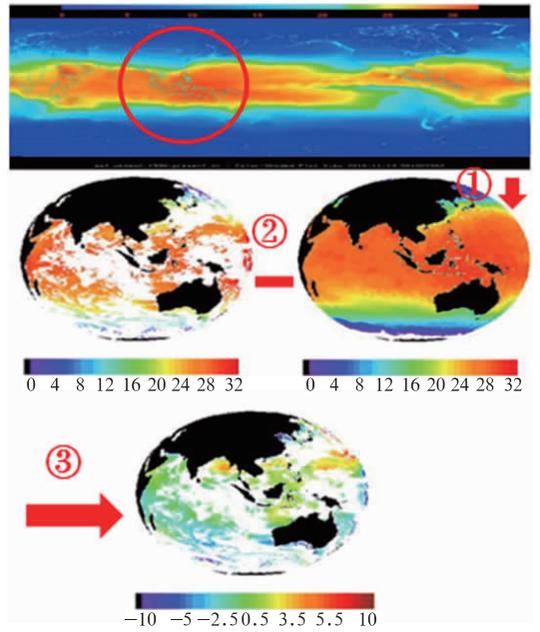


图 2 海温产品交叉检验流程示意图
Fig. 2 The diagram of SST validation process flow

1.2.2 国外分析场 SST 产品交叉检验流程

选取 OSTIA 日平均 SST 作为 FY2 日平均 SST 的检验源数据, 进行 SST 交叉检验, 检验流程示意图如图 2 所示。

(1) 选取同一天的 OSTIA 和 FY2 日平均 SST (以 FY2E 为例), 对 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 全球范围的 OSTIA 进行双线性插值, 得到 FY2E 标称全圆盘 2288×2288 像元分辨率的 FY2E_OSTIA;

(2) 用相同分辨率的 FY2E_SST 减去 FY2E_OSTIA;

(3) 得到和 FY2E_SST 有效 SST 像元一致的 FY2E_DIFF 标称数据。

在 FY2E_DIFF 的基础上进行误差统计分析。

2 FY2 SST 质量检验结果分析

2.1 基于现场 SST 的质量检验结果分析

用 2012 年 3 月 16 日至 4 月 14 日共 30 天的 FY2F 标称数据, 按照图 1 的匹配流程进行数据匹配, 得到 FY2F 匹配数据集(下称 FY2F MDB)。匹配样本共 21500 个。

FY2F SST 科研算法设计了 4 种反演模型, 分别为多通道海面温度反演 MCSST (Dash et al,

2010)、加入了分裂窗通道差二次项的 MCSST (下称 QDSST)、非线性海温反演 NLSST (Dash et al, 2010)、加入了分裂窗通道差二次项的 NLSST (下称 NQSST)。

经过回归分析, 得到 4 套回归系数, 分别代入反演模型, 即可得到 21500 个样本的 4 种反演算法反演 SST。

2.1.1 基于 FY2F MDB 的 SST 质量自检验

用 21500 个样本对应的现场海温对 4 种反演算法反演 SST 进行质量检验, 误差统计结果如表 1 所示。

表 1 基于现场海温的质量自检验
误差统计结果(单位: $^\circ\text{C}$)

Table 1 Statistics of SST self-validation
based on MDB (unit: $^\circ\text{C}$)

	NQSST	NLSST	QDSST	MCSST
偏差	0.005	-0.07	-0.01	-0.02
绝对偏差	1.337	1.444	1.503	1.533
均方根	1.683	1.836	1.900	1.938
相关系数	0.965	0.958	0.955	0.953

基于 FY2F MDB 的 SST 质量自检验结果表明: 4 种反演算法中非线性海温反演 (NQSST、NLSST) 优于多通道海温反演 (QDSST、MCSST); 加入分裂窗通道差二次项的海温反演优于不加二次项的海温反演 (即: NQSST 优于 NLSST, QDSST 优于 MCSST); NQSST 的质量检验结果优于其他 3

种反演算法,与现场海温的均方根误差为 1.68℃。

因这 21500 个样本参与了回归分析,用其对应的现场海温做质量检验存在自相关性,因此设计了基于 FY2F MDB 的 SST 独立质量检验。

2.1.2 基于 FY2F MDB 的 SST 独立检验

选用 2012 年 4 月 15—21 日共 7 天的 FY2F 标称数据,按照图 1 的匹配流程进行数据匹配,得到一周的 FY2F MDB,匹配样本共 4417 个。

用 4417 个样本对对应的现场海温对 4 种反演算法反演的 SST 进行质量检验,误差统计结果如表 2 所示,偏差统计曲线如图 3 所示,绝对偏差统计曲线如图 4 所示,均方根误差统计曲线如图 5 所示。

表 2 基于现场海温的质量独立检验误差统计结果(单位:℃)

Table 2 Statistics of SST independent validation based on MDB (unit: ℃)

	NQSST	NLSST	QDSST	MCSST
偏差	-0.498	-0.349	-0.777	-0.587
绝对偏差	1.21	1.444	1.689	1.64
均方根	1.468	1.695	1.969	1.907
相关系数	0.977	0.968	0.962	0.963

结果表明:4 种反演算法中非线性海温反演(NQSST、NLSST)优于多通道海温反演(QDSST、MCSST);NQSST 的质量检验结果优于其他 3 种反演算法,与现场海温的均方根误差为 1.47℃。

2.2 国外分析场 SST 产品交叉检验

2.2.1 FY2E SST 产品交叉检验结果及分析

按照 1.2.2 节所述的交叉检验流程,用 2012 年 1—2 月的 OSTIA 对 FY2E 业务系统生成的 2012 年 1—2 月的标称日平均 SST 产品进行了交叉检验,误差统计曲线如图 6 所示。从图 6 可以看出 2012 年 1 月 11—12 日和 2012 年 2 月 8—9 日之间

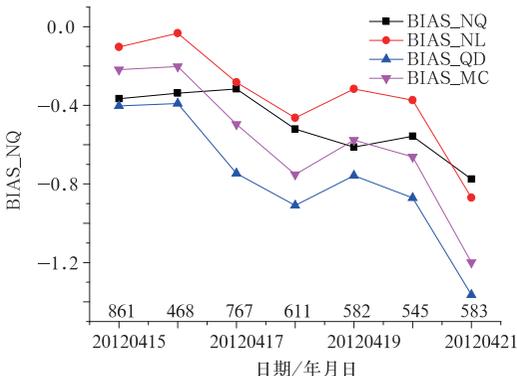


图 3 反演海温与现场海温的偏差统计图
Fig. 3 Bias of retrieval SST and in-situ SST

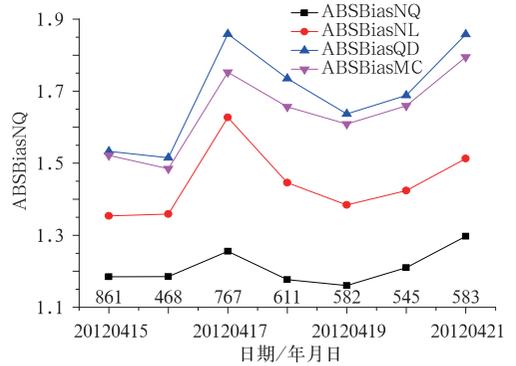


图 4 反演海温与现场海温的绝对偏差统计图

Fig. 4 Absolute bias of retrieval SST and in-situ SST

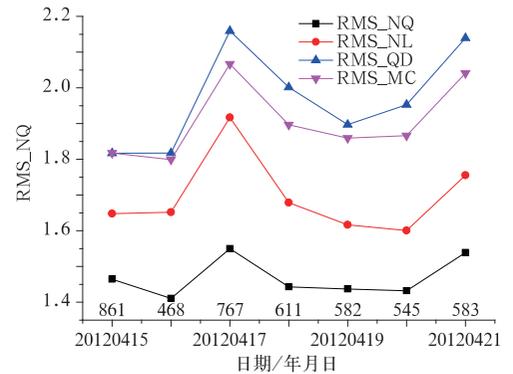


图 5 反演海温与现场海温的均方根误差统计图

Fig. 5 RMS of retrieval SST and in-situ SST

偏差曲线有两次明显的跳变。这两次跳变分别对应于 2012 年 1 月 12 日 FY2E 定标表更新和 2012 年 2 月 9 日的海温回归系数更新。

从图 6 还可以看出 2012 年 2 月 9 日的海温回归系数更新后,FY2E 海温产品的误差并没有得到改善,其原因是 2012 年 2 月 9 日的海温回归系数是由 2011 年 1 年的匹配样本统计回归得到的,用的是业务系统老的定标表,对于更新后的高精度的定标表并不适用。因此需要针对更新后的定标表进行匹配样本积累,以便得到适用于新定标表的海温回归系数,从而提高海温反演精度。

2.2.2 FY2F SST 产品交叉检验结果及分析

按照 1.2.2 节所述的交叉检验流程,参照 GOES-R SST 的质量检验方法,用 2012 年 9 月的 OISST 周平均海温对 2012 年 9 月的标称实时 FY2F SST 产品进行了交叉检验,全样本的误差统计曲线如图 7a 所示;选择和 OISST 周平均海温在 3℃ 以内的样本,统计结果如图 7b 所示;图 7c 给出

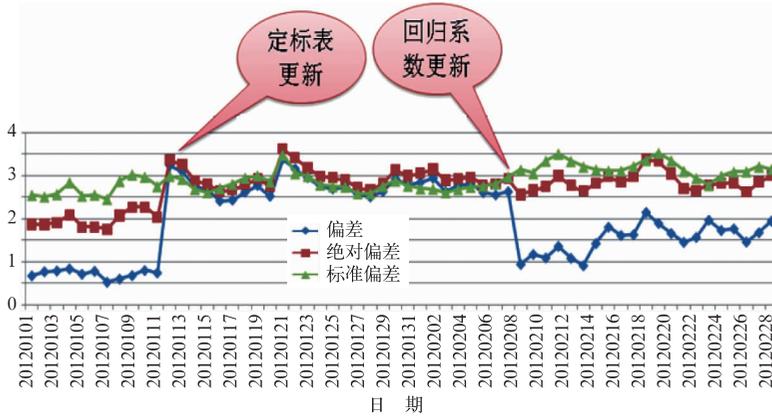


图 6 2012 年 1—2 月 FY2E 标称日平均 SST 与 OSTIA 误差统计图
 Fig. 6 Time series of validation accuracy (bias) and precision (STD) for FY2E daily mean SST and OSTIA errors

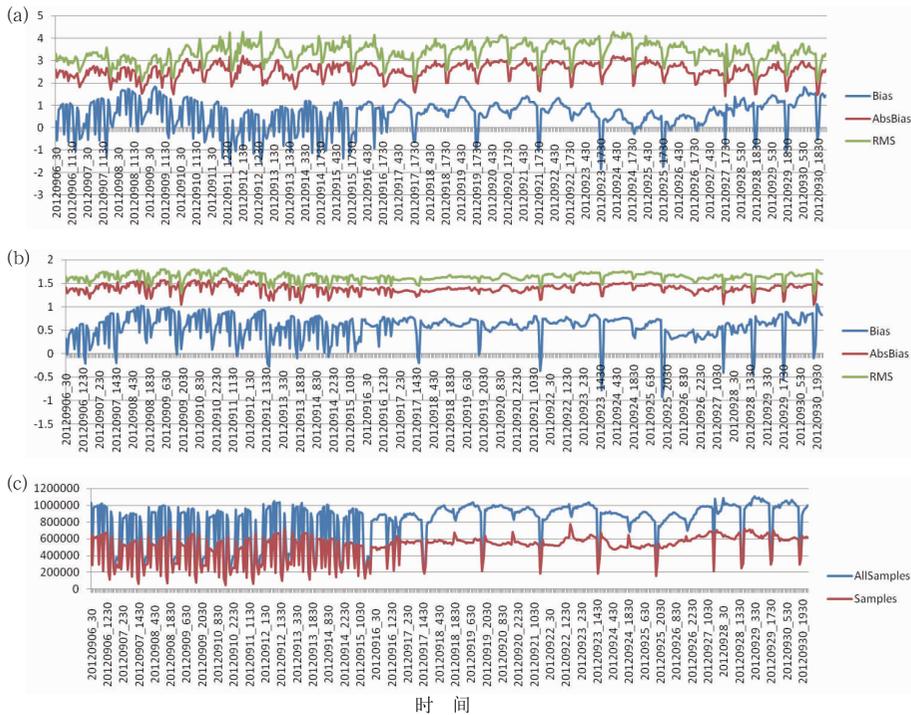


图 7 2012 年 9 月 FY2F 实时 SST 与周平均 OISST 误差与样本统计
 Fig. 7 Time series of validation accuracy (bias) and precision (RMS) for FY2F hourly SST and weekly OISST errors
 (c) the samples compared with Fig. 7a and Fig. 7b

了全样本与 3℃ 以内样本的统计图。FY2F SST 与 OISST 周平均海温误差统计结果如表 3 所示。

从图 7 可以看出,在 9 月 15 日之前,实时海表温度的误差(尤其是偏差 Bias)波动比较大,这与 FY2F 地面系统中业务定标软件的调整及由此带来的云检测产品异常有关,而海表温度产品的质量高度依赖于其上游的定标精度和云检测产品的质量。9 月 15 日之后,实时海表温度的误差波动相对较

表 3 FY2F SST 与 OISST 周平均海温误差统计结果(单位:℃)
 Table 3 Statistics of FY2F SST minus weekly mean OISST (unit: ℃)

	全样本	3℃ 以内样本
偏差	0.6	0.57
绝对偏差	2.57	1.4
均方根	3.37	1.64

小,但个别时次仍有跳变,从海温产品的上游产品云

检测图像来看,这些时次云检测结果异常。

3 FY2 SST 误差原因分析

目前,FY2 SST 与国外卫星 SST 相比存在以下方面的差异。

3.1 误差统计方法

国外卫星 SST 采取了严格的质量控制并赋予质量标识,参与误差统计的为最优像元而 FY2 SST 是全样本参与误差统计。NOAA 的 PFSST(Kilpatrick et al,2001)把 SST 质量分为 7 个等级,从其统计结果来看,质量等级差的(即等级为 1 和 2)两类样本均方根误差为 4.6°C ,而质量等级高的(即等级为 6 和 7)两类样本均方根误差分别为 0.69°C 和 0.59°C 。由此可见,对反演 SST 进行质量分级,用最优样本进行误差统计,有利于提高 SST 产品的可用性。

3.2 反演算法

目前 FY2 业务 SST 采用多通道反演算法,国外卫星 SST 反演多采用物理反演作为质量控制手段,并采用以分析场 SST 为第一猜测 SST 的非线性 SST 反演算法。从 FY2F SST 反演算法质量检验结果来看,采用非线性 SST 反演算法有利于提高 SST 产品的质量,但由于第一猜测 SST 来自互联网,其时效难以保证,因此业务实施比较困难。

3.3 系统设计

舍入误差:早期由于传输带宽的限制,9210 SST 采用放大 10 倍的短整形存储(只保留了小数点后 1 位有效数字),标称 HDF 格式产品也沿用了该存储方式,这就使得早期 FY2 SST 存在 0.05° 的舍入误差。FY2(03)批从 FY2F SST 开始在系统设计时,采用浮点型数据存储,不再有舍入误差。

存档规格:目前的 FY2 地面应用系统,实时反演 SST 没有存档,只存档了 3 h 融合 SST 产品,不利于监测 SST 的日变化和进一步改进 SST 融合精度。从图 6 和图 7 的对比可以看出,图 7 给出了更详细的误差分布特征,剔除异常时次后,日平均海温的精度有望提高。

4 小 结

现场海温质量检验方法和分析场 SST 交叉检

验方法各有优缺点。

现场海温质量检验能够对 FY2 SST 的质量给与客观的评价,但由于现场海温资料稀少、分布和质量不均一旦时效差,很难满足 FY2 SST 质量检验的时效需求。

分析场 SST 具有时效性好,全球覆盖且质量均一的优点,因此 SST 产品交叉检验能满足 FY2 SST 质量检验的时效性,但由于它没有解决 SST 的日变化问题,仅作为 FY2 SST 进行相对检验的手段。

通过静止卫星 SST 产品质量检验信息可以为产品研发人员和相关用户提供参考。

通过对误差统计方法、反演算法、系统设计及业务流程的改进,会对 FY2 SST 产品的质量有所改善。

参考文献

- 何全军,曹静,陈翔,等. 2013. 基于非线性算法的 FY3A/VIRR SST 反演. 气象,39(1):74-79.
- 李俊,方宗义. 2012. 卫星气象的发展——机遇与挑战. 气象,38(2):129-146.
- 毛志华,朱乾坤,潘德炉. 2003. 卫星遥感业务系统海表温度误差控制方法. 海洋学报,25(5):49-57.
- 孙凤琴,张彩云,尚少平,等. 2007. 西部太平洋部分海域 AVHRR、TMI 与 MODIS 遥感海表层温度的初步验证. 厦门大学学报,46(Sup. 1):1-5.
- 许健民,杨军,张志清,等. 2010. 我国气象卫星的发展与应用. 气象,36(7):94-100.
- Dash P, Ignatov A, Kihai Y, et al. 2010. The SST quality monitor (SQUAM). J Tech, 27, doi:10.1175/2010JTECH0756.1, 1899-1917.
- Ignatov A. 2010. GOES-R Advanced Baseline Imager Algorithm Theoretical Basis Document for Sea Surface Temperature. <http://www.goes-r.gov/products/ATBDs/baseline/baseline-SST-v2.0.pdf>.
- Kilpatrick K A, Podestá G P, Evans R. 2001. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. J Geophys Res,106(C5), 9179-9197. doi:10.1029/1999JC000065.
- Liang X, Ignatov A. 2011. Monitoring of IR clear-sky radiances over oceans for SST (MICROS). J Tech, 28. doi:10.1175/JTECH-D-10-05023.1, 1228-1242.
- Stark J D, Donlon C J, Martin M J, et al. 2007. OSTIA: An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system. Oceans'07 IEEE Aberdeen, conference proceedings. IEEE.