

覃丹宇, 李博. FY-2 双星亮温归一化及其在台风个例中的应用[J]. 气象, 2012, 38(12): 1449-1455.

FY-2 双星亮温归一化及其在 台风个例中的应用^{*}

覃丹宇 李 博

国家卫星气象中心, 北京 100081

提 要: 针对台风业务应用中发现 FY-2D 和 FY-2E 双星观测存在亮温差过大的问题, 本文以 2010 年台风鲇鱼(Megi)为例, 利用 2010 年 10 月 17 日 1030—1230 UTC 的 FY-2D/E 红外 1 通道数据, 提出了双星亮温归一化的解决方法, 结果如下: (1) 采用 CDF(Cumulative Distribution Function)匹配法对双星亮温进行归一化处理, 可有效利用 FY-2D 和 FY-2E 双星观测结果。个例分析表明, 经归一化处理以后, 双星的 PDF(Probability Distribution Function)分布更趋一致, 甚至在很多地方出现重合, 归一化效果良好。在台风定强分析, 如 ADT(Advanced Dvorak Technique)算法中, 归一化处理可作为数据预处理的一部分内容, 不影响后面的算法和流程。(2) 以 MTSAT 为基准, 经 CDF 匹配法对 FY-2D 和 2E 的 TBB 分别进行归一化处理, 将使得 FY-2 的亮温与 MTSAT 具有可比性, 便于比较国内外的台风定强分析结果和算法差异。

关键词: 台风, CDF 匹配法, 红外云顶亮温

Matching FY-2 Dual-Satellite Infrared Cloud Top Temperatures in Typhoon Monitoring Application

QIN Danyu LI Bo

National Satellite Meteorological Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract: Since typhoon operational monitoring found a large difference of infrared cloud top temperatures (TBB) between geostationary FY-2D and FY-2E satellites in a region of overlap, it is necessary to find a solution to typhoon intensity estimation by using both FY-2D/E satellites. For this motivation, the cumulative distribution function (CDF) matching algorithm, which uses the 10.3—11.3 μ channel TBB of FY-2D/E, is introduced to solve the problem. Case study of typhoon Megi, which is chosen for testing the algorithm during 1030—1230 UTC 17 October 2010, shows results as below: (1) The CDF matching algorithm works well to reduce the difference of FY-2D/E TBB, and depicts more consistent distribution of the probability distribution function (PDF). When estimating typhoon intensity, the CDF matching algorithm can perform independently with satellite data before going step by step to the intensity estimation scheme. For example, the Advanced Dvorak Technique (ADT) can directly use this normalized TBB as input data without any code modification. (2) Given MTSAT TBB as reference and FY-2D/E TBB as candidates, the CDF matching algorithm provides a normalized TBB of FY-2 D/E. Therefore, the typhoon intensity estimation by FY-2 D/E TBB only can be comparative with those from MTSAT, and this algorithm can also be checked.

Key words: typhoon, CDF (cumulative distribution function) matching, IR brightness temperature

* 国家自然科学基金面上项目(40975023)资助

2012 年 3 月 29 日收稿; 2012 年 5 月 24 日收修定稿

第一作者: 覃丹宇, 主要从事卫星气象研究. Email: qindy@cma.gov.cn

引言

我国是世界上少数几个受台风影响最严重的国家之一,平均每年约有 7 个台风(包括热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风,以下统称为台风)在我国登陆^[1]。自从有了气象卫星,对台风的监测无一漏网。尤其是静止气象卫星,具有高时间频次的观测特点,在监测台风方面具有得天独厚的优势,因此,在台风监测、分析和预报业务工作中发挥了巨大的效益。

在台风的监测分析中,虽然有很多方面需要关注和分析研究^[2-4],但定位和定强始终是其中两项非常重要的工作。由于在广袤的海洋上缺少常规观测,依据卫星资料对台风进行定位和定强甚至已成为唯一的技术手段。回顾台风定强技术发展的过程,20 世纪 80 年代初,Dvorak^[5]发展了以红外和可见光图像云型识别为基础的台风位置和强度估测方法,即 Dvorak 技术(Dvorak technique,简称 DT),直至目前,仍然是全球台风业务部门估计海上台风位置和强度的主要工具和标准^[6]。由于 DT 技术依赖主观分析,不同的人得到的结果差异较大,因此,利用增强红外云图,基于 DT 技术的客观分析方法 ODT(Objective Dvorak Technique)逐渐得到发展^[7]。但 ODT 技术对强度达不到台风级别的热带气旋无法自动获得其强度估计,因此,Olander 等^[8]随后发展了能够适用于所有强度等级台风的强度估计算法,即 AODT(Advanced Objective Dvorak Technique)。随着卫星遥感技术和计算机技术的不断发展,新的台风客观定强算法已经不再局限于 DT 技术。目前,ODT/AODT 已改名为 ADT(Advanced Dvorak Technique),由美国威斯康辛大学 CIMSS(Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies)继续开发和使用,不断融入微波探测等最新的卫星遥感技术^[9]。

国内以卫星资料为主研究台风的成果很多,在定位和定强技术方面,方宗义等^[10]在分析热带气旋不同发展阶段的云型特征的基础上,提出了利用卫星云图估计热带气旋强度的方法。江吉喜^[11]在 DT 基础上,提出了一个利用增强红外卫星云图分析热带气旋的方法,包括确定热带气旋中心和估计热带气旋强度等两个部分。随着计算机图像处理和模式识别技术的迅速发展,一些自动定位方法也得

到了尝试^[12-14]。但总体而言,我国的自动和客观台风定强技术起步较晚,主要是引进和消化 ADT。

目前,国产静止气象卫星 FY-2D/E 在轨运行,通过双星组网观测,在汛期可获得最高时间分辨率达到 15 分钟(双星观测覆盖重叠区)的云图资料,大大提高了对台风发展和演变的监测能力。但由于 FY-2D 星下点位于 86°E, FY-2E 星下点位于 105°E,两颗卫星有 19°的距离,造成对地同一目标物的观测有角度误差,同时,星上仪器的性能差异、观测大气路径不同、观测云的位置差异、观测时间的不同等因素也会带来误差。在实际使用过程中发现,这些误差综合起来使两颗卫星对同一目标的观测值差别太大,反映在红外 1 通道亮温上相差太大,以至于 ADT 算法无法联合使用双星观测资料。

针对这种情况,本文以 2010 年台风鲇鱼(Megi)为例,利用 2010 年 10 月 17 日 1130 UTC 的 FY-2D/E 红外 1 通道数据,分析双星亮温在不同经度(不同观测角度)的亮温差分布,了解目前业务运行的 FY-2D/E 红外 1 通道亮温的实际差别有多大?以及这种差别在随经度的变化情况,进而,提出双星亮温归一化方法来解决亮温差异过大的问题,使后续 ADT 算法可正常使用。亮温归一化方法可作为 ADT 算法的数据预处理,其他时次的亮温资料均可参照进行归一化处理。本文不讨论具体的 ADT 算法及其应用效果。

1 FY-2D 和 2E 双星亮温差概况

风云二号系列静止气象卫星是我国第一代静止气象卫星,目前,在轨运行的业务星是 FY-2C、D 和 E 星,分别于 2004 年 10 月 19 日、2006 年 12 月 8 日和 2008 年 12 月 23 日发射成功。FY-2E 定位于 105°E 赤道上空, FY-2D 定位于 86.5°E 赤道上空,而 FY-2C 由于已超过设计寿命,被移到 123.5°E 作为备份。形成了“在轨备份、双星观测”的业务能力。汛期加密观测模式下,双星在观测重叠区范围内,可提供最高时间间隔为 15 分钟的双星观测云图。

常规业务观测模式下,即每年的 9 月 1 日 0000 UTC 至第二年的 5 月 31 日 2300 UTC 的非主汛期, FY-2E 和 FY-2D 卫星均处于“常规观测模式”, FY-2E 卫星每天进行 28 时次的全圆盘扫描观测,其中 24 时次全圆盘扫描观测从整点开始,另外用于测风 4 次的圆盘图观测从半点开始,即 2329、0529、

1129 和 1729 UTC;FY-2D 卫星每天进行 28 时次的全圆盘扫描观测,其中 24 时次全圆盘扫描观测从半点开始,另外用于测风 4 次的圆盘图观测从整点开始,即 0300、0900、1500 和 1700 UTC。

每年的 6 月 1 日 0000 UTC 至 8 月 31 日 2300 UTC 期间,FY-2 卫星采用加密运行模式。在保持常规运行模式的基础上,FY-2E 和 FY-2D 卫星各增加 20 个时次的北半球半圆盘图观测。FY-2E 卫星圆盘图观测从每小时的整点开始,北半球观测从每小时的半点开始;FY-2D 卫星每小时的圆盘图观测从整点过 15 分开始,北半球观测从每小时的整点过 45 分开始。

本文所使用的例子中,恰逢 FY-2E 加密观测,而 FY-2D 采用常规观测模式,因此可以找到观测时间相同的半点观测资料,即 2010 年 10 月 17 日 1130 UTC,便于进行对比分析。

双星观测的优点是提高了云图的时间分辨率,但由于星上仪器性能有差异,观测角度不同等原因,即使在定位完全正确的情况下(实际也有误差),云

图上同样位置像元所反映的辐射问题也不尽相同。经过定标后得到亮温值,在合理误差范围内可视为真实结果,可用来反演大气和地表的一些物理参数。但如果双星对同一目标观测得到的亮温差异很大,则直接影响到应用。下面以 2010 年台风鲇鱼(Meggi)为例,说明双星观测亮温差异对台风定强的影响。

1.1 个例情况

不失一般性,选择 2010 年 10 月 17 日 1130 UTC 的 FY-2E 和 FY-2D 红外 1 通道 L1 级数据,进行等经纬度投影后得到如图 1 的云图,范围是 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $60^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$,分辨率是 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。再经过查找定标表,可转换成云顶亮温,即 TBB(the equivalent black body temperature)。在图 1a 中,经统计得知,FY-2E 云图 TBB 的变化范围是 $191.0 \sim 312.4 \text{ K}$,而 FY-2D 云图的 TBB 变化范围是 $180.0 \sim 312.5 \text{ K}$ (图 1b)。

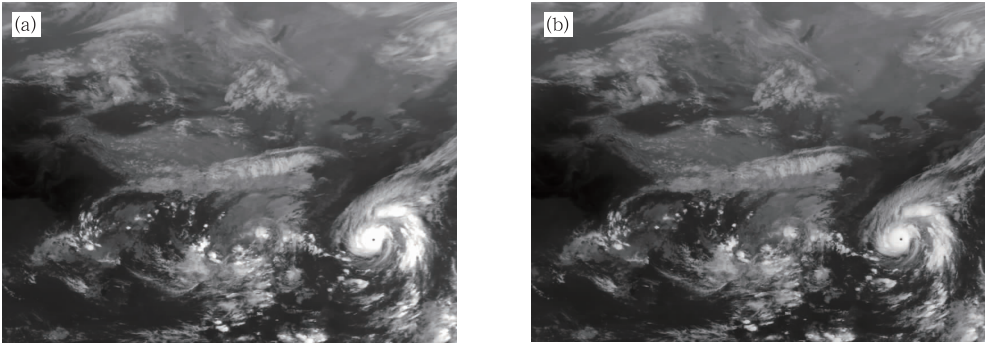


图 1 2010 年 10 月 17 日 1130 UTC 的 FY-2E(a)和 FY-2D(b)红外云图
Fig. 1 The IR images of FY-2 satellites at 1130 UTC 17 October 2010,
(a) FY-2E, and (b) FY-2D

1.2 FY-2D 和 2E 双星亮温差随经度的变化

图 2 的云图范围包括了东亚区域,为日常天气分析的关注范围,同时也是 FY-2D 和 2E 观测范围的重叠区,因此,分析该区域亮温差的均方根误差随经度的变化情况,可帮助我们了解双星观测角度对 TBB 的影响。

取同一经度上 FY-2D 和 2E 沿纬度变化的所有像元的亮温差,计算其均方根误差,计算公式为:

$$\overline{\Delta TBB_j} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (TBB_{2di} - TBB_{2ei}) \quad (1)$$

$$RMSE_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta TBB_i - \overline{\Delta TBB_j})^2} \quad (2)$$

式中, TBB_{2d} 和 TBB_{2e} 分别为 FY-2D 和 FY-2E 的 TBB,下标 i 为沿纬度变化的像元,下标 j 为经度, $\overline{\Delta TBB_j}$ 是在经度 j 上沿纬度平均的双星亮温差平均值, $RMSE_j$ 是在经度 j 上的双星亮温差均方根误差。由此,得到图 2。

从图 2 可以看出,纬度平均双星亮温的平均值呈现西高东低的分布特点。不难理解,这与云的分布有关(图 1),东部有台风活动,因此 TBB 会低一点,而西部主要是地表,或者只有少量卷云,造成

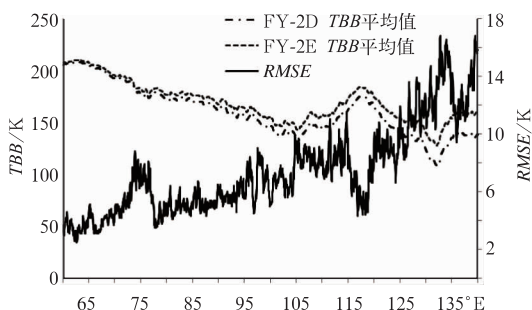


图 2 2010 年 10 月 17 日 1130 UTC 的
FY-2D 和 FY-2E 纬度平均 TBB
与 Δ TBB 均方根误差随经度变化图

Fig. 2 The distributions of latitude-mean RMSE
(solid line) and TBB along longitudes
at 1130 UTC 17 October 2010
(dashed line for 2E and dot-dashed for 2D satellite)

TBB 较高。FY-2D 与 FY-2E 亮温差平均值在高温端比较接近,而在低温端有明显的定标差异。在这个例子中,高温端的 TBB 差值在 3 K 以下,而低温端可超过 15 K。因此,双星亮温差均方根误差随经度的变化也是从西到东逐渐增加,最大值出现在 139.5°E 的台风区域,为 16.8 K,而 133.9°E 也有 16.5 K 的均方根误差,对应都是台风眼墙和螺旋云带上对流旺盛的区域。全图均方根误差为 9.67 K。可见,在无云,特别是没有云体很高的云(如对流云)的影响条件下,观测角度对 TBB 的影响很小,这与 FY-2 卫星红外 1 通道是窗区通道的特性相符。

1.3 FY-2D 和 2E 双星亮温概率分布函数

为了考察定标对双星 TBB 的影响,分别对图 1 的云图计算其概率分布函数(Probability Distribution Function,简称 PDF),PDF 能反映 TBB 的分布特征。图 3 显示了图 1 中所有样本像素点的亮温 PDF,可以看出,两星亮温 PDF 形态基本一致,PDF 最大值分别出现在 295 和 296 K 附近,最大值引起的亮温偏差最大约 1 K。但同时也可以看到,有些地方的 PDF 偏差较大,有超过 5 K 的偏移。

造成 FY-2D 与 FY-2E 亮温差较大的原因很多,在本文不作这方面的探讨。Joyce 等^[15]在进行多星红外云图的拼接工作时发现,静止气象卫星对目标观测反演得到的亮温在卫星天顶角大于 26°时就应进行角度订正,并且,角度造成的亮温误差要远大于定标和光谱造成的误差。已有研究成果和资料分析都表明,因观测角度造成双星亮温差异大的原

因主要是这几个方面:(1)反演误差。主要跟星载仪器性能有关,与其光谱响应函数等有关。(2)辐射路径上云和水汽的影响。如果有的路径上云和水汽的含量较多,而另外的路径受云和水汽的影响较小,显然会造成卫星接收到不同的辐射能量。(3)目标改变。如果目标云体较高,比如深对流云,小的观测角度可能是云顶的辐射占较大比重;但对于大的观测角度,则云体辐射的比重可能更重要,卫星观测的辐射包含了云顶和云体的辐射综合作用。(4)对于台风眼,大角度观测得到的亮温要低于小角度的亮温值,这是因为越大的角度所“看”到的台风眼在垂直位置上越高,而对流层大气温度垂直分布是递减的。

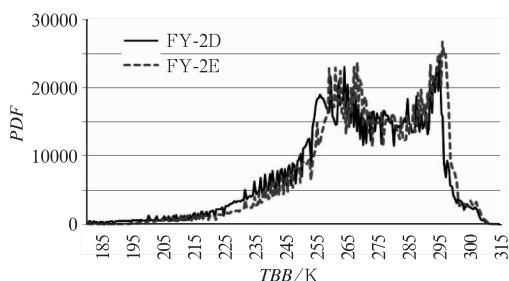


图 3 FY-2D 和 FY-2E 亮温的概率分布
(实线为 FY-2D PDF,虚线为 FY-2E
PDF,时间和区域同图 2)

Fig. 3 The probability distribution function
(PDF) of FY-2D (solid line) and FY-2E
(dashed line), the date and
area are same as Fig. 2

2 FY-2 双星亮温归一化

在台风定强应用中,双星观测亮温差大的问题已严重影响到双星联合应用的效果。以 2010 年台风鲇鱼(Megi)为例,取 2010 年 10 月 17 日 1030 UTC 到 1230 UTC 的 FY-2D/E TBB,在这期间, FY-2E 实施加密观测, FY-2D 为常规观测,可以获得一个共同观测时次,即 1130 UTC 来进行对比分析。利用 DT 的台风中心定位方法,可以得到每个时次双星观测的台风中心 TBB(表 1)。按卫星将其连线画出来,得到图 4。可以看到,对于单颗卫星而言,其观测的台风中心 TBB 随时间变化比较平稳。在 1030—1230 UTC 的时间段内, FY-2D 观测的台风中心 TBB 的增量为 6.7 K。在 1100—1200 UTC 的时间段内, FY-2E 观测的台风中心 TBB 的增量为 2.2 K。也就是说,在此 2 h 时间段内,卫星

观测的台风中心 TBB 的自然变化最大不超过 7 K, 如果考虑从 1130—1230 UTC 的 1 h 时间里, 台风中心 TBB 的自然变化在 2 K 以内。但在图 4 中, FY-2D 和 2E 双星观测的台风中心 TBB 差异远大于其自然变化幅度, 即使是在相同观测时间的 1130 UTC, 双星观测的台风中心 TBB 差值为 9.4 K, 远大于其自然变率。因此, 当双星联合使用的时候, 就会出现台风中心 TBB 在相邻的时次发生跳跃的问题, 导致 DT 或 ADT 方法对台风定强出现严重的误

差。由表 2 可见, 应用国家气象中心的 ADT 方法进行定强试验, 在 1130 UTC 时刻, FY-2D 和 2E 的现实强度指数分别为 8.1 和 7.1, 相差 1, 中心气压分别为 855.2 和 896.0 hPa, 相差 44 hPa。这样的台风定强差别, 使其无法直接用于业务预报。

为了解决双星观测出现的 TBB 不协调的问题, 采用累积概率分布函数 (Cumulative Distribution Function, 简称 CDF) 匹配法来对双星的 TBB 进行归一化处理。

表 1 DT 方法获得的 FY-2D 和 2E 2010 年 10 月 17 日 1030—1230 UTC 台风中心 TBB

Table 1 The FY-2D/E equivalent brightness temperature TBBs at typhoon Megi eye center, obtained by DT technique in 1030—1230 UTC 17 October 2010

FY-2D				FY-2E			
时次/UTC	纬度/°N	经度/°E	亮温/K	时次/UTC	纬度/°N	经度/°E	亮温/K
10:30	18.25	125.47	265.2	11:00	18.19	125.27	278.7
11:30	18.13	125.29	269.9	11:30	18.13	125.21	279.3
12:30	18.07	125.13	271.9	12:00	18.09	125.09	280.9

表 2 未进行双星亮温归一化前 ADT 方法确定的台风中心强度(2010 年 10 月 17 日 1130 UTC)

Table 2 The intensity estimations of typhoon Megi by ADT using FY-2D/E at 1130 UTC 17 October 2010

	经度/°E	纬度/°N	CI	气压/hPa	最大风速/kt	云区温度/°C
FY-2D	125.34	18.15	8.1	855.2	173.0	-92.5
FY-2E	125.25	18.12	7.1	896.0	143.0	-77.3

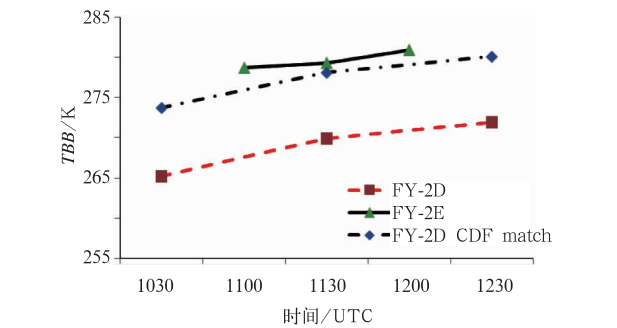


图 4 2010 年 10 月 17 日 1030—1230 UTC FY-2D 和 FY-2E 分别观测台风中心 TBB 随时间变化

Fig. 4 The evolution of equivalent brightness temperature TBB at typhoon Megi eye center in 1030—1230 UTC 17 October 2010

2.1 归一化方法

CDF 匹配法在诸如计算机图像处理^[16]、模式土壤湿度与卫星反演土壤湿度的融合^[17]、雷达定标^[18]

以及模式降水预报和实况的偏差订正^[19]等方面有着广泛的应用。CDF 匹配方法采用公式(3)表示, 其中, TBB 是 FY-2D 的某一个 TBB 值, TBB' 是需要计算得到的调整值, CDF_{2d} 和 CDF_{2e} 分别为 FY-2D 和 2E 云顶亮温的 CDF 函数。通过 CDF 匹配处理, 可以把 FY-2D 的 TBB 调整为与 2E 一致的概率分布。

$$CDF_{2d}(TBB') = CDF_{2e}(TBB) \tag{3}$$

图 5 中显示了图 2 两幅云图的 CDF 曲线。可以看到, FY-2D 和 2E 同一 TBB 值出现的概率并不相同, FY-2E 的比 2D 的要低。换句话说, 相同 CDF 情况下, FY-2E 的 TBB 比 2D 的高。

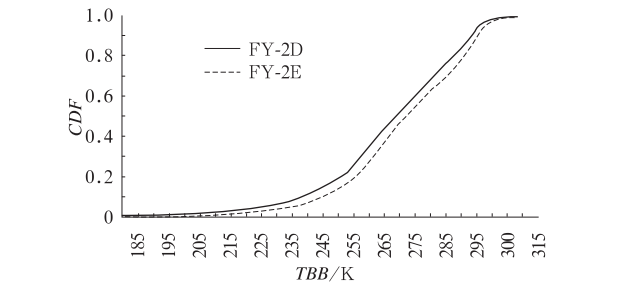


图 5 FY-2D 和 FY-2E 亮温的累积概率分布(时间和区域同图 2)

Fig. 5 The cumulative distribution functions (CDF) for FY-2D (solid line) and FY-2E (dashed line). The date and area are same as Fig. 2

2.2 FY-2D 和 2E 双星亮温互归一化

根据 CDF 匹配法,应用中可以将 FY-2D 亮温与 FY-2E 亮温进行归一化,也可以反过来,将 FY-2E 亮温归一化到 FY-2D 亮温标准上,具体做法应根据实际情况来选择。不失一般性,以 FY-2E 为基准,经 CDF 匹配法对 FY-2D TBB 进行归一化处理以后,双星的 PDF 分布更趋一致,甚至在很多地方出现重合(图 6),表明归一化效果良好。

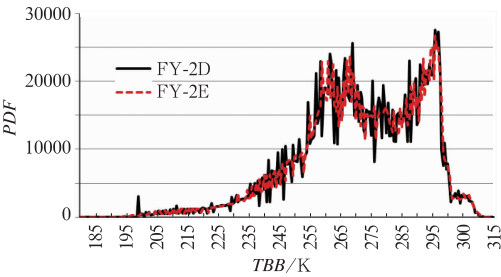


图 6 CDF 调整后 FY-2D 和 FY-2E 亮温的概率分布(说明同图 4)

Fig. 6 The PDFs for FY-2D (solid line) and 2E (dashed line) by performing the CDF matching algorithm. Legends are same as Fig. 4

对台风中心的 TBB 进行比较,在 1030—1230 UTC 的时间段内,FY-2D 观测的台风中心的 TBB 分别为 273.7、278.1 和 280.1 K,比未处理时分别提高了 8.5、8.2 和 8.2 K,相同时刻(1130 UTC)双星观测的台风中心 TBB 差值由 9.4 K 降到了 1.2 K(图 4),因此,经过 CDF 匹配法调整 FY-2D 的 TBB 以后,FY-2D 和 FY-2E 观测的 TBB 更加接近,两者之间的均方根误差 $RMSE=7.58$ K,可联合用来进行 ADT 台风定强。

表 3 是经过 CDF 匹配法调整以后,通过 ADT

表 3 CDF 归一化后 ADT 方法确定的台风强度(其他说明同表 2)
Table 3 The ADT intensity estimations of typhoon Megi by CDF matching algorithm at 1130 UTC 17 October 2010

	CI	气压 /hPa	最大风 速/kt	云区温 度/℃
CDF 调整后 ADT 定强结果	7.6	876.6	158.0	-81.9
改进量	-0.5	21.4	-15.0	10.6

定强估计的台风强度。此时,台风现实强度指数调整为 7.6,降低了 0.5,中心气压为 876.6 hPa,升高了 21.4 hPa,最大风速估计为 158.0 kt,下降了 15.0 kt,云区温度为-81.9℃,升高了 10.6℃。

2.3 FY-2D 和 2E 双星亮温归一化到 MTSAT

为了使 FY-2 能够与 MTSAT 进行比较,以 MTSAT 为基准,经 CDF 匹配法对 FY-2D 和 2E 的 TBB 分别进行归一化处理。不失一般性,只取 1130 UTC 进行比较,此时 MTSAT 观测的台风中心 TBB 是 285.2 K,经归一化处理后,FY-2D 和 2E 观测的台风中心的 TBB 分别为 279.4 和 280.5 K,比未处理时分别提高了 9.1 和 1.2 K。从表 1 可以看到,此刻台风中心位于 125.2°E 附近,介于 FY-2E 和 MTSAT 星下点经度之间(FY-2E 星下点经度是 105°E,MTSAT 星下点经度是 140°E),因此,FY-2E 和 MTSAT 对台风中心的观测角度和距离大致相当,而 FY-2D 的观测角度和距离就远大于二者,故利用 CDF 匹配法对 FY-2D 亮温的调整幅度要大于 2E 的调整幅度。调整以后,台风区 FY-2D 和 2E 与 MTSAT 的均方根误差分别为 11.15 和 8.39 K,PDF 分布曲线基本与 MTSAT 的重合(图 7)。

因此,经 CDF 匹配法调整以后, FY-2D 和 2E 观测的 TBB 与 MTSAT 的 TBB 更加接近,可联合用来进行 ADT 台风定强。而且,以 MTSAT 为基准,采用 CDF 匹配法对 FY-2 TBB 进行归一化处理,将使台风定强分析结果与日本的结果具有可比性,便于分析双方的算法差异。

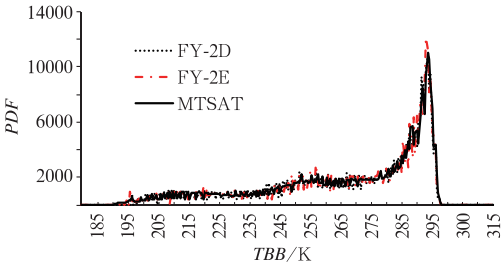


图 7 CDF 调整后 MTSAT、FY-2D 和 2E 亮温的概率分布(说明同图 4)

Fig. 7 The PDFs for MTSAT (solid line), FY-2D (dotted line) and 2E (dash-dotted line) by performing the CDF matching algorithm. Legends are same as Fig. 4

3 结 论

针对 FY-2D 和 FY-2E 双星观测的亮温差过大的情况, 本文以 2010 年台风鲇鱼(Megi)为例, 利用 2010 年 10 月 17 日 1030—1230 UTC 的 FY-2D/E 红外 1 通道数据, 提出了双星亮温归一化的解决方法, 得到如下结果。

(1) 采用 CDF 匹配法对双星亮温进行归一化处理, 可有效利用 FY-2D 和 FY-2E 双星观测结果。个例分析表明, 经归一化处理以后, 双星的 PDF 分布更趋一致, 甚至在很多地方出现重合, 归一化效果良好。在台风定强分析中(如 ADT 算法), 归一化处理可作为数据预处理的一部分内容, 不影响后面的算法和流程。

(2) 以 MTSAT 为基准, 经 CDF 匹配法对 FY-2D 和 FY-2E 的 TBB 分别进行归一化处理, 将使得 FY-2 的亮温与 MTSAT 具有可比性, 便于比较国内外的台风定强分析结果和算法差异。

需要说明的是, 本文所提出的 CDF 匹配法只适合应用在云图的定性分析, 对于定量反演, 则应使用原始资料。一些统计分析和预报方法, 也可以使用本方法进行数据预处理。在台风定强应用中主要使用了统计方法, 因此, 经 CDF 匹配法处理的 FY-2D 和 FY-2E 的 TBB 仍然可以正常使用。

致谢: 国家气象中心的许映龙正研级高工为本文提供了 ADT 定强结果, 广西壮族自治区气象减灾研究所的何立高工为本文进行了部分图和数据整理工作, 在此一并表示感谢。

参考文献

[1] 许映龙, 张玲, 高拴柱, 等. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气象, 2010, 36(7): 43-49.

[2] 许映龙. 超强台风鲇鱼路径北翘预报分析[J]. 气象, 2010, 36(7): 821-826.

[3] 许映龙, 韩桂荣, 麻素红, 等. 1109 号超强台风梅花预报误差分析及思考[J]. 气象, 2011, 37(10): 1196-1205.

[4] 汤杰, 陈国民, 余晖. 2010 年西北太平洋台风预报精度评定及分析[J]. 气象, 2011, 37(10): 1320-1328.

[5] Dvorak V. Tropical cyclone intensity analysis using satellite

data[R]. NOAA Tech Rep NESDIS11, 1984: 47.

[6] Velden C, Harper B, Wells F, et al. The Dvorak tropical cyclone intensity estimation technique: A satellite-based method that has endured for over 30 year[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2006, 87: 1195-1210.

[7] Velden C S, Olander T, Zehr R M. Development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity from digital geostationary satellite imagery[J]. Wea Forecasting, 1998, 13: 172-186.

[8] Olander T, Kossin J P. The Advanced Objective Dvorak Technique (AODT)-Latest upgrades and future directions. Preprints[R]. 26th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL, Amer Meteor Soc, 2004: 294-295.

[9] Olander T L, Velden C S. The advanced Dvorak technique: Continued development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity using geostationary infrared satellite imagery[J]. Wea Forecasting, 2007, 22: 287-298.

[10] 方宗义, 周连翔. 用地球同步气象卫星红外云图估计热带气旋的强度[J]. 气象学报, 1980, 38(2): 150-159.

[11] 江吉喜. 增强显示红外卫星云图在热带气旋分析中的应用[J]. 气象学报, 1986, 44(4): 482-487.

[12] 牛海军, 杨凤基. 红外云图的台风中心智能定位方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(9): 195-196.

[13] 李妍, 陈希, 等. 基于红外卫星云图的台风自动定位方法研究[J]. 红外, 2010, 31(3): 11-14.

[14] 李妍, 陈希, 等. 基于遗传算法初始群体优化的台风中心自动定位[J]. 数据采集与处理, 2011, 26(4): 425-429.

[15] Joyce R, Janowiak J, George H. Latitudinally and Seasonally Dependent Zenith-Angle Corrections for Geostationary Satellite IR Brightness Temperature[J]. J Appl Meteor, 2001, 40: 689-703.

[16] Roland J P, Bloss V B, et al. Fast algorithms for histogram matching: Application to texture synthesis[J]. Journal of Electronic Imaging, 2000, 9(1): 39-45.

[17] Reichle R H, Koster R D. Bias reduction in short records of satellite soil moisture[J]. Geophys Res Lett, 2004, 31: L19501.

[18] Silberstein D S, Wolff D B, Marks D A, et al. Ground clutter as a monitor of radar stability at Kwajalein, RMI[J]. J Atmos Oceanic Technol, 2008, 25: 2037-2045.

[19] Syewoon H, Graham W, Hernandez J, et al. Quantitative spatiotemporal evaluation of dynamically downscaled MM5 precipitation predictions over the Tampa Bay region, Florida[J]. Journal of Hydrometeorology, 2011, 12: 1447-1464.