

张霏, 吴立广, 任福民, 等. 孟加拉湾和阿拉伯海热带气旋活动双峰型差异及可能成因[J]. 热带气象学报, 2016, 32(3): 399-406.

文章编号: 1004-4965(2016)03-0399-08

孟加拉湾和阿拉伯海热带气旋活动双峰型差异及可能成因*

张霏^{1,2}, 吴立广¹, 任福民², 谢惠敏³

(1. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象科学研究院/灾害天气国家重点实验室, 北京 100081;

3. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要: 针对北印度洋热带气旋(TC)研究中存在的 TC 资料对比不足和 TC 活动双峰型特征的区域性差异分析不足的现状, 采用联合台风警报中心(JTWC)TC 资料和印度气象局(IMD)TC 资料开展了针对性的研究。结果如下: IMD 资料的时段(1990—2012 年)较短、且资料记录时刻规律性差; 而 JTWC 资料自 1977 年突变之后时段仍明显长于 IMD 资料、且资料记录时刻稳定; 故采用 1977—2012 年 JTWC 资料进行 TC 气候特征分析。1977—2012 年, 孟加拉湾 TC 频数呈下降趋势, 而阿拉伯海 TC 频数呈显著增多趋势; 两者多年平均 TC 频数分别为 3.6 个和 1.5 个; 两海区 TC 频数的季节变化都表现为双峰型, 但在双峰型的峰值时间、强度以及双峰的强弱配置上存在较大差异。研究表明, 纬向风垂直切变和相对涡度的季节变化可能分别是影响孟加拉湾和阿拉伯海 TC 活动双峰型的关键因子; 就整个北印度洋而言, 南亚夏季风开始前和结束后, 风垂直切变维持在 10 m/s 及以下、正的相对涡度、较高的海表温度、较大的相对湿度都是 TC 生成的有利条件。

关键词: 孟加拉湾; 阿拉伯海; 热带气旋; 资料对比; 双峰型; 成因

中图分类号: P444

文献标识码: A

Doi: 10.16032/j.issn.1004-4965.2016.03.011

1 引言

北印度洋是全球热带气旋(TC)活动的六大海域之一, 平均每年有 8 个热带气旋生成, 约占全球热带气旋总数的 13%^[1]。

近年来, 北印度洋热带气旋频发, 造成沿海地区灾害严重, 使得北印度洋热带气旋的研究正逐步成为新的热点。针对北印度洋 TC 活动的年际变化或年代际变化, Singh 等^[2]通过分析印度气象局(IMD)发布的 1877—1989 年北印度洋风暴图集和 1990—1998 年风暴数据, 发现活跃期 5 月和 11 月孟加拉湾的热带气旋数目呈明显增多趋势, 6 月和 9 月热带气旋数目呈减少趋势; Evan 等^[3]和 Wang 等^[4]认为自 1997 年起阿拉伯海 5—6 月热带气旋有所加强; 吴风电等^[5]采用 1977—2008 年

JTWC 资料对北印度洋热带气旋的气候特征分析指出, 其年际变化主要表现为 2~4 a 和 4~8 a 周期。针对 TC 活动的季节变化, Duan 等^[6]分析了 1945—2006 年 JTWC 孟加拉湾的风暴数据, 指出该海域热带风暴频数在 5 月和 10—11 月表现为两个峰值; 韩晓伟等^[7]采用 JTWC 资料分析了 1975—2008 年北印度洋热带气旋的基本气候特征, 指出 TC 逐月频数变化和生成源地分布主要受海温的影响; 吴风电等^[8]指出北印度洋热带气旋的双峰型分布主要与海温的季节变化和南亚季风的爆发相关; Evan 等^[9]研究指出阿拉伯海 TC 季节变化的双峰型主要是海表温度和低层风共同作用的结果; Li 等^[10]则认为与其他海域的单峰型相比, 孟加拉湾(含阿拉伯海)热带气旋季节分布的双峰型具有独特性, 是由于风垂直切变、涡度和海

收稿日期: 2015-02-04; 修订日期: 2015-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41375056, 91224004)资助

通讯作者: 吴立广, 男, 教授, 博士, 主要从事热带气旋研究。E-mail: liguang@nuist.edu.cn;

任福民, 男, 研究员, 主要从事热带气旋和极端事件研究。E-mail: fmren@163.com

温的共同作用所致。

可以看出,(1)上述研究主要使用了 IMD 和 JTWC 两套资料,但均未涉及资料之间的对比;(2)较多的文献关注到了北印度洋热带气旋季节变化的双峰型特征及成因,但主要是针对整个北印度洋或只针对单一海域,而关于孟加拉湾和阿拉伯海两个海域之间的差异性则未曾涉及。

针对上面两个问题,本文拟开展两方面研究。一是通过对比 IMD 和 JTWC 两套资料,选取一套合适的资料用于北印度洋热带气旋气候特征分析;之后对比分析孟加拉湾和阿拉伯海热带气旋的主要气候特征,重点关注两者季节变化双峰型特征的差异,并从影响热带气旋生成的四大因素的季节变化角度探讨这种差异的可能成因。

2 资料与方法

2.1 资料

北印度洋热带气旋资料包括联合台风预警中心的最佳路径资料(以下简称 JTWC 资料)和印度气象局最佳路径资料(以下简称 IMD 资料)。JTWC 资料的时长为 1945—2012 年,资料记录为世界标准时间(UTC)每日四次(00、06、12、18 时)TC 的中心位置、中心附近地面最大风速和气压,其中风速平均时段为 1 分钟;IMD 资料时长为 1990—2012 年,资料记录较不规则,主要为间隔 3 小时记录(缺测较多),其中风速平均时段为 3 分钟。

此外,还采用了 1977—2012 年 NCEP/NCAR $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 月平均大气再分析资料和 NOAA $2^\circ \times 2^\circ$ 月平均 SST 资料。

根据 TC 中心附近地面最大平均风速大小,采用 JTWC 的强度分类标准将 TC 强度划分为七个等级。热带低压(TD): <34 kt;热带风暴(TS): $34 \sim 63$ kt;1 级气旋(C1): $64 \sim 82$ kt;2 级气旋(C2): $83 \sim 95$ kt;3 级气旋(C3): $96 \sim 112$ kt;4 级气旋(C4): $113 \sim 135$ kt;5 级气旋(C5): >135 kt。

2.2 对比分析方法

关于热带气旋资料的对比分析,本文采用 Ren 等^[11]的方法。

首先,选出两套资料中的共有 TC,标准为:如

果存在任一时刻,两套资料中各存在这样一个 TC,它们的中心距离小于 200 km,就认为这两个 TC 为同一 TC。并将两套资料中的同一 TC 总量称为共有 TC,将两套资料未被选入同一 TC 的总量称为独有 TC。

其次,为了方便对比,定义了定强差

$$\Delta I = I_1 - I_2 \quad (1)$$

其中 I_1 为 IMD 资料 TC 的强度, I_2 为 JTWC 资料 TC 的强度,风速单位为 kt。

3 两套资料之对比

3.1 总体特征

在 1945—2012 年期间, JTWC 资料 TC 年频数(图 1)最显著的变化特征是在 1977 年前后出现突变,从 1945—1976 年北印度洋年均热带气旋个数由 14.9 个/年骤减为 5.2 个/年。针对 TC 频数突变的原因,一些学者^[12-16]试图从两种观点来进行解释,其一为 1970 年代末期的全球气温突变导致 TC 频数减少,另一种观点认为早期观测手段具有一定主观性造成资料的分歧。考虑到有卫星观测以来资料更为可信,1977 年以后的 TC 资料用于气候分析是比较合适的。IMD 资料仅在 1990—2012 年期间有观测,年均 TC 频数为 8.4 个,多于同期 JTWC 资料。

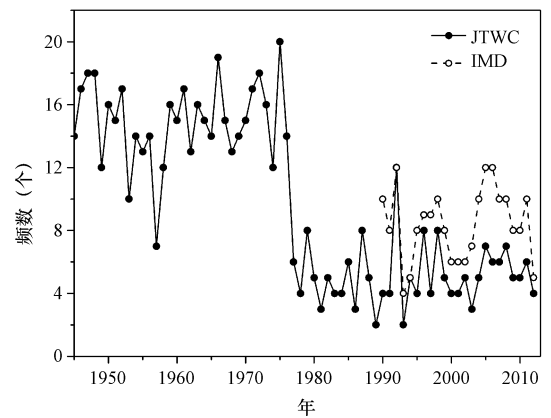


图 1 北印度洋热带气旋频数年际变化
实线为 JTWC 资料,虚线为 IMD 资料。

图 2 为北印度洋热带气旋个例之强度(最大风速)-时间分布。虽然 JTWC 资料从 1945 年就有 TC 记录,但直到 1970 年才有强度值。从图中可

以看出, JTWC 的 TC 强度 92.5% 都在 TS(含)以上, 且自 1970 年代以来, TC 最大强度呈显著增强趋势, 强 TC 主要集中在 1990 年以后; 同时, IMD 资料得到的 TC 强度为 TD 数目的比例高达 54.4%, 这期间 TC 最大强度未表现出明显的变化

趋势。总体上来看, JTWC 资料的 TC 强度高于 IMD 资料, 这与 Knapp 等^[17]的结论相一致, 其原因可能主要与 JTWC 和 IMD 的强度分别为 1 分钟平均风速和 3 分钟平均风速有关。

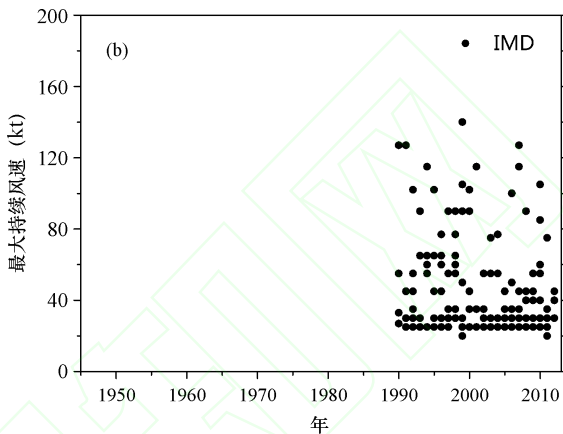
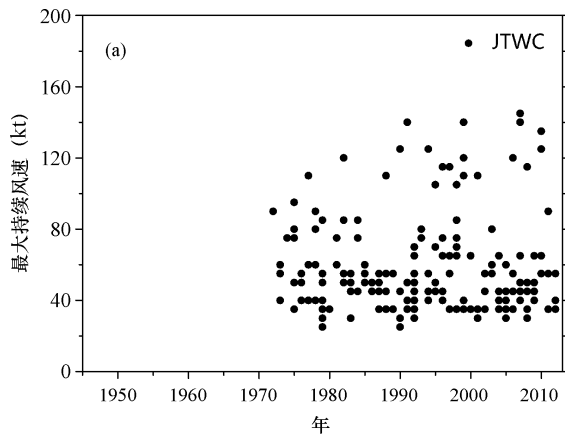


图2 北印度洋热带气旋个例之强度(最大风速)-时间分布

a. JTWC 资料; b. IMD 资料。

就两套资料的观测时次而言, JTWC 资料均为 UTC(世界标准时)的 00、06、12、18 时, 没有其他时次的观测, 故相邻观测时次间隔均为 6 小时; 而 IMD 资料共有 10 个观测时次(图 3a), 其中次数最多的为 12 时, 占总观测时次的 18.3%, 其次是 00、03、06、18 时, 分别占总观测时次的 15% 左右。相邻观测时次的间隔(图 3b)以 3 小时为主, 6 小时次之, 并存在较长时间间隔 9、12 和 15 小时的情况。

3.2 共有 TC 与独有 TC

进一步简要分析了两套资料集共有 TC 和独有 TC 的差异。在 1990—2012 年期间, JTWC 的 TC 数量为 123 个, 而 IMD 的 TC 数量高达 193 个, 二者的共有 TC 数量为 112 个。

从共有 TC 之正、负定强差观测频次进行统计, 总体上负定强差百分比(62.2%)明显大于正定强差百分比(15.8%), 即 JTWC 的 TC 强度明显强于 IMD 的 TC 强度, 尤其是 1992—1999 年和 2005—2012 年期间(图略)。

1990—2012 年 JTWC 独有 TC 为 11 个, 而 IMD 独有 TC 个数为 81, 图 4 给出了两套资料的独有 TC 路径分布。从地理分布上看, 总体上 JTWC 独有 TC 远离印度半岛, 且分布遍布北印度洋; 而 IMD 独有 TC 绝大多数登陆或影响印度半岛, 且主要集中在孟加拉湾西部。从路径走势来看, IMD 独有 TC 的路径多为折线组成, 与通常相对光滑的热带气旋路径特征不符, 这可能是由于 IMD 资料的记录时刻规律性差所致。从强度来看, 89% IMD 独有 TC 的强度为 TD 级别, 而 11 个 JTWC 独有 TC 中只有 4 个 TD。

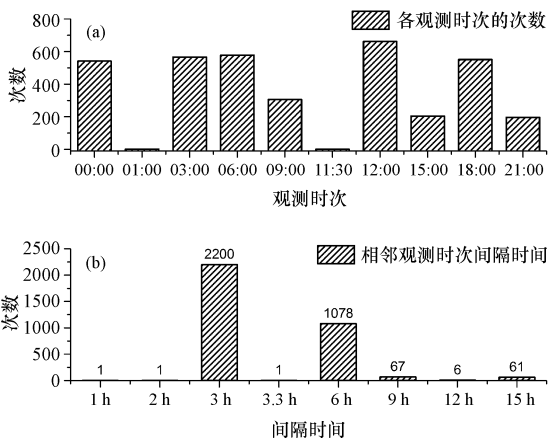


图3 IMD 资料观测统计分布

a. 观测时次-次数; b. 观测时次的间隔时间-次数。

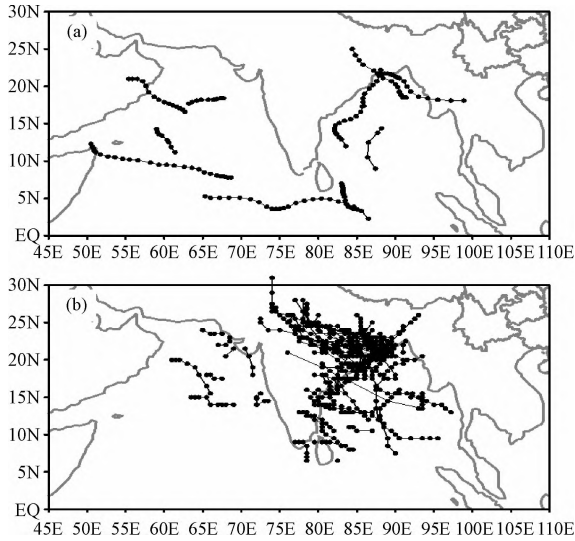


图4 1990—2012年两套北印度洋热带气旋资料独有TC路径分布 a. JTWC资料;b. IMD资料。

总之,考虑到IMD资料的时段较短、且资料记录时刻规律性差,而JTWC资料自1977年突变之后有资料时段仍明显长于IMD资料、且资料记录时刻稳定(间隔6小时),以下采用1977年以后的JTWC资料进行气候特征分析。

4 孟加拉湾和阿拉伯海TC基本气候特征

基于前面的分析,选用1977—2012年JTWC资料对孟加拉湾和阿拉伯海热带气旋的气候特征进行分析,并探讨两个海域的特征差异。

1977—2012年北印度洋TC源地分布(图5a)显示,热带气旋主要集中于孟加拉湾和阿拉伯海两个海区,而它们的频发区分别集中在 $85 \sim 95^\circ\text{E}, 4 \sim 20^\circ\text{N}$ 和 $63 \sim 73^\circ\text{E}, 7 \sim 20^\circ\text{N}$;以 80°E 作为两个海区的分界线,统计得到1977—2012年北印度洋生成的186个TC中,孟加拉湾和阿拉伯海的TC个数分别为131(占70.4%)和55(占29.6%)。路径图(图5b)显示,孟加拉湾TC主要以西北行登陆印度半岛为主,部分TC北上或东北行登陆中南半岛;阿拉伯海TC多为西行路径。

按照图5a的海区划分,得到1977—2012年两个海区TC频数演变曲线(图6)。可以看到,1977—2012年孟加拉湾TC年频数呈下降趋势,但未通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验;多年平均TC频

数为3.6个;TC年频数在1985年以后表现出较大的振荡,1992年达到峰值8个。1977—2012年阿拉伯海TC年频数呈显著(通过0.01的显著性检验)增加趋势;多年平均TC频数为1.5,但在1980年代出现连续8年均为1个的现象。

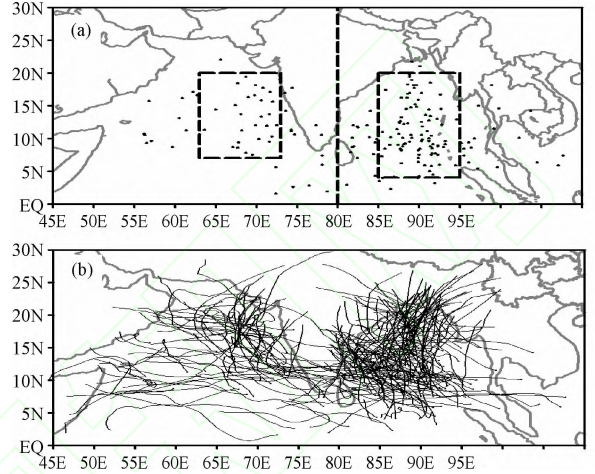


图5 1977—2012年北印度洋热带气旋源地与路径分布 a. 源地(虚框为TC频发区: $85 \sim 95^\circ\text{E}, 4 \sim 20^\circ\text{N}$ 和 $63 \sim 73^\circ\text{E}, 7 \sim 20^\circ\text{N}$);b. 路径。

进一步,分析了两个海区TC的强度和频数变化特征。图7显示,两个海区TC多数都在TS等级及以上,其中TS等级占主导,分别占阿拉伯海和孟加拉湾的TC总数的78.2%和61.1%。考虑到两海区TC的强度绝大多数都在TS或以上级别,图8给出了两海区多年平均TC频数的季节变化。可见,孟加拉湾和阿拉伯海的季节变化都表现为双峰型;但是,两者的双峰型在细节上存在较大差异。(1)在双峰出现的时间上存在区别:孟加拉湾

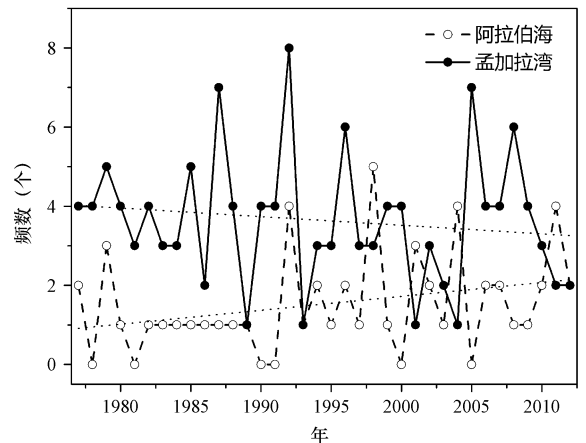


图6 1977—2012年北印度洋两海区TC频数年际变化

TC 主要出现在 5 月和 10—11 月,阿拉伯海 TC 则主要出现在 5—6 月和 11 月;(2)在双峰型的强度上孟加拉湾明显强于阿拉伯海,孟加拉湾的主峰值为 0.9 个/月,而阿拉伯海的主峰值为 0.4 个/

月;(3)在双峰的强弱配置上也不同:孟加拉湾秋季(10—11 月)为主峰,且强度明显强于 5 月,而阿拉伯海秋季(11 月)尽管也是主峰,但强度与 5—6 月很接近。

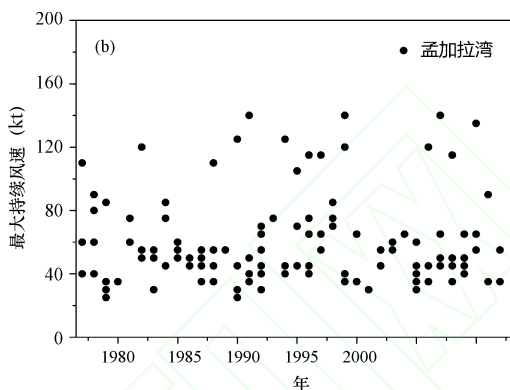
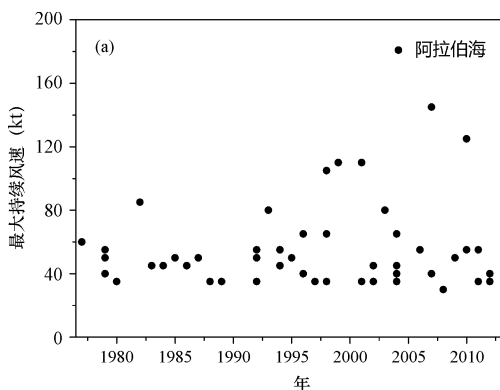


图 7 北印度洋两海区 TC 个例之强度-时间分布

a. 阿拉伯海;b. 孟加拉湾。

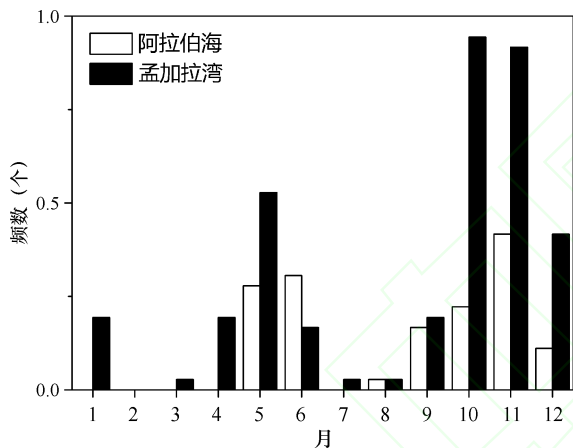


图 8 北印度洋两海区多年平均 TC 频数的季节变化

5 TC 活动双峰型分布的成因简析

针对孟加拉湾和阿拉伯海的 TC 活动双峰型分布,以下从 TC 生成的角度探讨其可能原因。根据影响 TC 生成的四大因子——海表温度、风垂直切变、中低层湿度和初始扰动,制作了 1977—2012 年 TC 频发区(详见图 5a)多年平均 TC 生成因子的季节变化(图 9),同时给出了两个海区 TC 频数与频发区 TC 生成因子季节曲线的相关系数(表 1)。图中所用到的风垂直切变为 200 hPa 与 850 hPa 纬向风差值的绝对值 $|U_{200 \text{ hPa}} - U_{850 \text{ hPa}}|$;中低层湿度为 600 hPa 的相对湿度;初始扰动为 850 hPa 的相对涡度。

垂直切变和海表温度均表现出明显的双峰型,而中低层湿度为单峰型;对于孟加拉湾(图 9b),也有三个因子(风垂直切变、海表温度和相对涡度)表现出明显的双峰型,唯有中低层湿度为单峰型。从 TC 频数与生成因子季节变化之相关性(表 1)来看,孟加拉湾相关性因子排名依次为风垂直切变、相对涡度、海表温度和中低层湿度,而阿拉伯海相关性因子排名依次为相对涡度、海表温度、风垂直切变和中低层湿度;相关性检验结果显示,两个海域均只有一个因子通过了显著性检验,即孟加拉湾和阿拉伯海 TC 频数的季节变化分别与风垂直切变和相对涡度的相关系数为 -0.58 和 0.76 ,且分别通过了 0.05 和 0.01 的显著性检验。综合图 9 和表 1,相对涡度和风垂直切变可能分别是影响阿拉伯海和孟加拉湾 TC 生成的关键因子。

就孟加拉湾而言,在 TC 峰值期间 5 月和 10—11 月 TC 频发区风垂直切变平均维持在 10 m/s 以内,且在 11 月达到最小接近 0。众所周知,南亚夏季风 WYI 指数^[18]正代表了南亚大范围的风垂直切变;从图 9b 纬向风垂直切变的季节变化可以清楚看出,南亚夏季风期间(6—9 月)风垂直切变均超过 20 m/s ,不利于 TC 活动;而南亚夏季风开始前(5 月)和结束后(10—11 月)正好是风垂直切变最小的阶段,这为孟加拉湾 TC 活跃创造了十分有利的基础条件;与此同时,正的相对涡度($2.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$)、较高的海表温度($28 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$)和较大的

图 9a 显示,阿拉伯海的因子中,相对涡度、风

相对湿度也是 TC 生成必要条件。对于阿拉伯海,在 TC 峰值期间 5—6 月和 11 月 TC 频发区相对涡度平均维持正值($2.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$),为这一海域 TC

活跃创造了适宜的基础条件;这期间,较高的海表温度($28 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$)、较小风垂直切变(但 6 月份例外)和较大的相对湿度也是 TC 生成的有利条件。

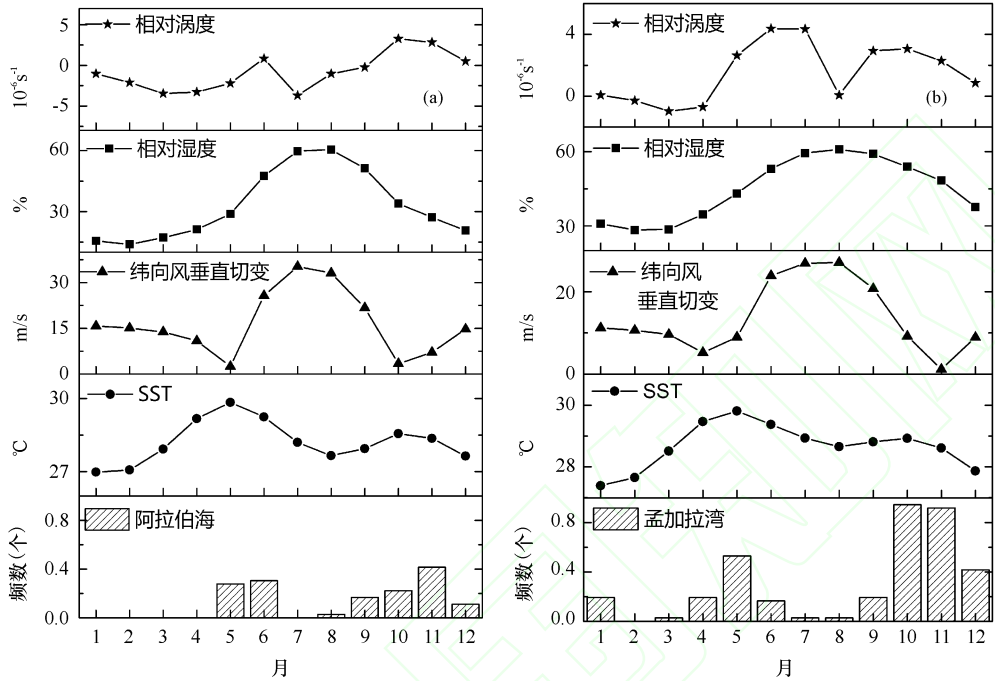


图9 北印度洋两个 TC 频发区之 TC 生成因子的季节变化

a. 阿拉伯海; b. 孟加拉湾。

表1 北印度洋两个海区 TC 频数与频发区 TC 生成因子季节变化之相关系数

因子	海表温度	风垂直切变	中低层湿度	相对涡度
孟加拉湾	0.19	-0.58*	0.17	0.33
阿拉伯海	0.55	-0.40	0.12	0.73**

注:**表示通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验,*表示通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

为进一步理解上述关系,逐年对比了 1977—2012 年间两个海区 TC 频数与频发区 TC 生成因子季节变化之相关系数(图表略)。结果显示,对于孟加拉湾,36 年中风垂直切变相关系数为最大的年份有 20 年,占 55.6%;相对涡度有 10 年相关系数为最大,而海表温度和相对湿度分别只有 5 年和 1 年相关系数为最大。对于阿拉伯海,36 年中在有 TC 生成的 30 年里,相对涡度相关系数为最大的年份竟高达 22 年,占 73.3%;海表温度有 6 年相关系数为最大,而风垂直切变和相对湿度均只有 1 年相关系数为最大。逐年因子重要性的对比分析进一步说明了关键因子的重要性,当然,在

不同的年份,对 TC 活动季节变化起主要作用的因子是可以变化的。

6 小结与讨论

(1) IMD 资料的时段(1990—2012 年)较短、且资料记录时刻规律性差;而 JTWC 资料自 1977 年突变之后时段仍明显长于 IMD 资料、且资料记录时刻稳定(每日固定四个时次、间隔 6 小时),故采用 1977—2012 年 JTWC 资料进行气候特征分析。

(2) 1977—2012 年,孟加拉湾和阿拉伯海年平均 TC 频数分别为 3.6 个和 1.5 个,阿拉伯海 TC 频数呈显著(达到 0.01 的显著性水平)增多趋势,孟加拉湾 TC 年频数呈下降趋势(未通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验)。两个海区 TC 频数的季节变化都表现为双峰型,但两者的双峰型在发生时间、强度以及双峰的强弱配置上存在较大差异:在双峰出现时间上孟加拉湾 TC 主要出现在 5 月和 10—11 月,而阿拉伯海 TC 则主要出现在 5—6 月和 11 月;强度上孟加拉湾明显强于阿拉伯海,孟加拉湾的主峰值为 0.9 个/月,而阿拉伯海的主峰

值为0.4个/月;孟加拉湾秋季(10—11月)主峰明显强于5月,而阿拉伯海秋季(11月)主峰强度与5—6月很接近。

(3)就两个海域TC生成因子的季节变化,除了中低层湿度表现为单峰型以外,风垂直切变、海表温度和相对涡度均表现出明显的双峰型。分析表明,纬向风垂直切变和相对涡度的季节变化可能分别是影响孟加拉湾和阿拉伯海TC活动双峰型的关键因子。就整个北印度洋而言,南亚夏季风开始前(5月)和结束后(10—11月),风垂直切变维持在10 m/s及以下、相对涡度表现为正值、海表温度较高(28~30℃)、较大的相对湿度都是有利的TC生成的条件。

理论上说JTWC 1分钟平均风速应该始终大于IMD 3分钟平均风速,通过对比北印度洋热带气旋IMD资料和JTWC资料的强度却发现,实际情况并非如此,甚至两套资料共有TC 15.8%的观测中IMD强度还超过了JTWC强度,这说明TC定强过程中定强技术如Dvorak技术在实际业务应

用时存在较大的主观性。Ren等^[11]对西北太平洋热带气旋CMA、JTWC和JMA三套资料强度的对比也反映出类似的结论。

针对孟加拉湾和阿拉伯海TC频数双峰型季节变化的可能成因,通过统计分析特别是相关显著性检验,指出纬向风垂直切变和相对涡度可能分别是影响孟加拉湾和阿拉伯海TC活动双峰型的关键因子。考虑到纬向风垂直切变很好地表征了南亚夏季风的活跃程度,不难理解6—9月南亚夏季风活动期间非常不利于孟加拉湾TC生成,而南亚夏季风活动对于阿拉伯海TC活动的影响则相对弱,如6月份是阿拉伯海的第一个峰值月份。当然,需要始终铭记的是TC生成的四大因素——较高的海表温度、弱的风垂直切变、正的相对涡度和适度的中低层湿度——对于任何海域TC活动而言都缺一不可,只是从季节变化的角度看,上述海域的“关键因子”相对于其他因子而言显得更加突出一些。

参 考 文 献:

- [1] GRAY W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms[J]. *Mon Wea Rev*, 1968, 96(96): 669-700.
- [2] SINGH O P, KHAN T M A, RAHMAN M S. Changes in the frequency of tropical cyclones over the North Indian Ocean[J]. *Meteor Atmos Phy*, 2000, 75(1-2): 11-20.
- [3] EVAN A T, KOSSIN J P, RAMANATHAN V. Arabian Sea tropical cyclones intensified by emissions of black carbon and other aerosols[J]. *Nature*, 2011, 479(7371): 94-97.
- [4] WANG B, XU S B, WU L G. Intensified Arabian Sea tropical storms[J]. *Nature*, 2012, 489(7416): E1-E2.
- [5] 吴风电, 罗坚. 1977—2008年北印度洋热带气旋统计特征分析[J]. *气象与环境科学*, 2011, 34(3): 7-13.
- [6] DUAN X, TAO Y, CUN C Q, et al. Spatial and temporal distribution of storms and their activities over the Bay of Bengal[J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2009, 1(5): 448-457.
- [7] 韩晓伟, 周林, 梅勇, 等. 1975-2008年北印度洋热带气旋分析[J]. *海洋预报*, 2010, 27(6): 5-11.
- [8] 吴风电, 罗坚. 北印度洋热带气旋月季变化特征及成因分析[J]. *海洋预报*, 2012, 29(4): 29-34.
- [9] EVAN A T, CAMARGO S J. A climatology of Arabian Sea cyclonic storms[J]. *J Clim*, 2011, 24(1): 140-158.
- [10] LI Z, YU W, LI T, et al. Bimodal character of cyclone climatology in the bay of Bengal Modulated by monsoon seasonal cycle[J]. *J Clim*, 2013, 26(3): 1033-1046.
- [11] REN F M, LIANG J, WU G X, et al. Reliability analysis of climate change of tropical cyclone activity over the western north Pacific[J]. *J Clim*, 2011, 24(22): 5887-5898.
- [12] 段旭, 陶云, 寸灿琼, 等. 孟加拉湾风暴时空分布和活动规律统计特征[J]. *高原气象*, 2009, 28(3): 634-641.
- [13] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来气温变化[J]. *气象*, 1994, 20(12): 19-26.
- [14] 马丽萍, 陈联寿, 徐祥德. 全球热带气旋活动与全球气候变化相关特征[J]. *热带气象学报*, 2006, 22(2): 147-154.
- [15] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势[J]. *气象*, 1990, 16(2): 11-15.

- [16] CHU J H, SAMPSON C R, LEVINE A S, et al. The joint typhoon warning center tropical cyclone best-tracks, 1945–2000[M]. Naval Research Laboratory, 2002, Reference Number NRL/MR/7540-02-16.
- [17] KNAPP K R, KRUK M C. Quantifying interagency differences in tropical cyclone best-track wind speed estimates[J]. *Mon Wea Rev*, 2010, 138(4): 1459-1473.
- [18] WEBSTER P J, YANG S. Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems[J]. *Quart J Royal Meteor Soc*, 1992, 118(507): 877-926.

DIFFERENCES OF BIMODE PATTERNS IN TC ACTIVITY AND THE POSSIBLE CAUSES IN THE BAY OF BENGAL AND THE ARABIAN SEA

ZHANG Fei^{1,2}, WU Li-guang¹, REN Fu-min², XIE Hui-min³

(1. College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

2. State key Laboratory of Severe Weather/Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

3. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: Facing the situation of inadequate research in comparison of tropical cyclone datasets and regional differences in TC bimodal patterns in the North Indian Ocean, a targeted study on these issues has been carried out using the Joint Typhoon Warning Center (JTWC) TC dataset and the India Meteorological Department (IMD) TC dataset. Results are as follows: time period (1990—2012) of IMD dataset is much shorter and data recording time is irregular, while time period (1977—2012) of JTWC dataset after the abrupt change in 1977 is much longer and data recording time is regular. Then, JTWC dataset of 1977—2012 is adopted in TC climatic characteristics analysis. During 1977—2012, the Bay of Bengal (BoB) TC frequency decreases, while the Arabian Sea (AS) TC frequency increases significantly. Average TC frequencies are 3.6 and 1.5 in BoB and AS, respectively. Meanwhile, seasonal variations of TC frequencies show bimodal pattern with two peaks in both BoB and AS, with obvious differences in bimodal peak time, intensity and strength configuration. It is revealed that vertical zonal wind shear and seasonal changes in relative vorticity might be the key factors affecting the bimodal patterns of TC activity in BoB and AS, respectively. Meanwhile, for the whole North Indian Ocean, before the onset and after the season of South Asian Summer Monsoon, below 10m/s vertical zonal wind shear, positive relative vorticity, higher sea surface temperature and higher humidity are all favorable conditions for TC genesis.

Key words: the Bay of Bengal; the Arabian Sea; Tropical cyclones; Data comparison; Bimodal pattern; Causes