

叶希莹, 夏丰, 李海燕, 等, 2019. 行星运动对台风生成频数与 ENSO 相互关系变化的影响[J]. 气象与减灾研究, 42(3):178-184.
Ye Xiyi, Xia Feng, Li Haiyan, et al., 2019. Influence of planetary motion on the relationship between Typhoon generation frequency and ENSO[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 42(3):178-184.

行星运动对台风生成频数与 ENSO 相互关系变化的影响

叶希莹¹, 夏丰², 李海燕¹, 刘子杰¹

1. 广州市气象台, 广东 广州 511430
2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080

摘要: 利用台风最佳路径数据集、1950—2016 年厄尔尼诺和拉尼娜事件、赤道太平洋海温关键区海温和行星冲日等资料, 运用统计方法研究了西北太平洋台风频数和 ENSO 的相互关系变化与行星运动的关系。结果发现: 西北太平洋台风频数与 ENSO 之间相互关系的变化无论长周期还是短周期都与行星位置变化密切相关。从年代际变化来看, 两者相互关系在 1990 年代初期(1993 年前后)发生明显改变, 在 1993 年之前, 两者为显著的负相关关系, 1950—1992 年相关系数高达 -0.439 , 检验通过了 99% 的置信水平, 而且, 台风频数的极多(少)年大多数与拉尼娜(厄尔尼诺)现象相对应, 但在 1993 年之后两者变为明显的正相关关系。这一改变恰好发生在 1993 年 7 月 12 日出现太阳、地球、天王星、海王星四星一线的特殊星象, 而在此前后的数年间, 天王星、海王星两大行星同时都保持在 6—7 月冲日, 对地球形成持续作用的引潮力迭加。从年际变化来看, 两者的相关系数变化与火星、木星和土星的位置也存在明显的联系: 相关系数的谷值与三大行星在夏至前后冲日相对应, 其中与火星在夏至附近冲日(此时视赤纬具有负极大值)对应的谷值最明显。通过谐波分析发现, 相关系数变化的显著周期恰好与三大行星运动周期一致。

关键词: 行星运动, 台风生成频数, ENSO, 年代际变化

中图分类号: P732

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2019)03-0178-07

doi: 10.12013/qxyjzj2019-029

Influence of Planetary Motion on the Relationship between Typhoon Generation Frequency and ENSO

Ye Xiyi¹, Xia Feng², Li Haiyan¹, Liu Zijie¹

1. Guangzhou Meteorological Observatory, Guangzhou 511430, China

2. Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China

Abstract: The relationship between Typhoon generation frequency in the northwestern Pacific Ocean and Sea Surface Temperature (SST) of eastern equatorial Pacific with planetary motion is discussed by using statistical methods. The results show that there is an obvious relationship between Typhoon frequency in the northwestern Pacific Ocean and SST of eastern equatorial Pacific in long or short cycle. Before the early 1990s (around 1993), it showed significant negative correlation, and high (low) typhoon generation frequency mostly corresponded with La Niña (El Niño) phenomenon. However, the correlation coefficient became significant positive after time when the Sun, Earth, Uranus and Neptune were in a line on July 12, 1993. Then, in the following several years, Uranus and Neptune remained opposition during the same period between June and July, with the greatest tidal-generating force to the Earth. Meanwhile, it is also found that the correlation coefficient as mentioned above is ob-

收稿日期: 2019-06-30; **修订日期:** 2019-09-08.

基金项目: 广东省气象局科技计划项目(编号:GRMC2018M31).

作者简介: 叶希莹, 硕士, 工程师, 主要从事天气预报业务工作, E-mail: 624390191@qq.com.

viously related to the position among Mars, Jupiter and Saturn in inter-annual variation, the valley of correlation coefficient is related to the position among the three planets, and the significant variation of the correlation coefficient coincides with the period of motion of the three planets by using harmonic analysis.

Key words: planetary motion; Typhoon generation frequency; ENSO; tidal-generating force

0 引言

关于台风生成频数与 ENSO 之间的相互关系已经有很多学者进行了研究,早在 1980 年代初,潘怡航(1982)就发现两者具有相反的变化趋势,即海温为正(负)距平时,台风次数偏少(多)。后来又有很多学者得到了类似的结果。何敏等(1999)研究发现,台风频数与赤道东太平洋海温有明显的联系,厄尔尼诺年台风活动减少,反厄尔尼诺年台风活动增加。董克勤和齐树芬(1990)计算了赤道东太平洋海温年际变化与西北太平洋中、西部台风形成频数的年际变化的相关系数,发现无论是同时还是提前 3 个月两者都有很强的负相关。李崇银(1987)分析了厄尔尼诺年和拉尼娜年西太平洋热带地区的大气环流和状态以及海水温度的变化,从动力和热力学角度对此现象进行了解释。黄勇等(2008)研究 106 a (1899—2004 年)热带气旋年频数多年变化,结果表明,西北太平洋台风频数既存在明显短周期的年际变化也存在明显长周期的年代际变化。在年代际尺度上,台风活动可以分为几个明显的活跃期和不活跃期,拉尼娜年相对于厄尔尼诺年会有更多的台风生成和登陆。但这些结论并不是一贯成立的。周学鸣等(2006)研究表明,当厄尔尼诺期间澳大利亚高压环流出现系统性异常时,南半球环流异常的影响则占主导地位,台风反而异常偏多。蒋国荣和沙文钮(1993)指出,用赤道东太平洋海温预测西太平洋热带气旋活动实际上只对热带气旋年际变化中的 ENSO 周期(3—5 a)和准 2 a 周期有效,而热带气旋中的其他一些周期变化是赤道东太平洋海温所不能预测的。另外,西北太平洋台风活动的年代际变化不仅表现在台风频数的峰值变化,也表现在台风频数与大气环流、海表温度、青藏高原冬季积雪等因子的相互关系上(卢秋珍等,2007;王咏梅等,2007;刘钦燕和周文,2010;余帆等,2012)。占瑞芬等(2016)研究了青藏高原冬季积雪与随后台风季节西北太平洋热带气旋生成频数之间的关系,发现两者的年际关系在 20 世纪 90 年代初发生了跃变。这些研究表明,台风生成频数与 ENSO 之间的关系既有相关性又有复杂性,分析这种相互关系的成因对于

人们认识台风生成的本质,进而做出准确预测具有重要意义。

研究表明,天体运动对于台风活动、ENSO 有重要影响。早在 20 世纪 70 年代,任振球(1975)就发现月球的朔望变化对台风的生成、加强和登陆具有明显的影响。陈广叙(1989)分析发现,台风活动周期大致与白道拱线进动周期相近,1960 年代登陆华南地区的台风中,有 65% 左右登陆时刻与当地月中天时刻相距小于 3 h;台风异常路线之一的南海台风“北翘”,往往与月亮处于黄白交点相伴随。叶更新等(2012,2017)的研究表明,行星运动的不同位置不仅与 ENSO 的不同相位有关,还对 ENSO 与东北夏季气温的关系产生影响。行星运动与台风频数和 ENSO 之间的关系对于深入研究台风生成机制,揭示大气变化、海气相互作用的奥秘具有重要意义。文中将利用实况资料和统计学方法对此进行研究,以期得到一些有意义的结果。

1 数据和方法

台风资料来自中国气象局热带气旋资料中心 CMA 最佳路径数据集,1950—2016 年 ENSO 循环中的厄尔尼诺和拉尼娜资料来自国家气候中心,赤道太平洋海温关键区 Niño3.4 区(170°—120°W, 5°S—5°N)海温资料来自美国地球系统研究实验室(Earth System Research Laboratory),行星冲日资料为 SKYMap Pro Version 8 软件提供。

对西北太平洋台风生成频数(以下简称“台风频数”)与 ENSO 相互关系的研究主要使用相关分析和谐波分析方法。选取不同年份时间段求出两者的相关系数,根据相关系数的大小分析两者相互关联的紧密程度及其变化与行星位置的联系,再利用谐波分析方法求出相关系数的显著周期并与行星运动周期进行比较。

2 台风频数与 ENSO 的关系

图 1 为台风频数与 Niño 3.4 区海温距平的年际变化。分析可知,台风频数从 1970 年代初期以后呈现明显减少的趋势,而赤道东太平洋海温总体上变化不大,但两者的关系在不同时段却有着明显的

变化。文中定义连续 5 a 中,如果位于中间年份的台风数多于(少于)其他 4 a 的台风频数,则该年为台风频数极多年(极少年)。在 1993 年之前,台风频数的极多年大多数与拉尼娜现象相对应,在 1950—1992 年,共有极多年 8 次,其中有 7 次发生在拉尼娜年,在 1993 年以后发生的 5 次极多年有 3 次发生在厄尔尼诺年,没有一次发生在拉尼娜年。而台风

频数的极少年与赤道东太平洋海温的关系类似,在 1993 年之前,台风频数的极少年大多数与厄尔尼诺年相对应,在 1950—1992 年,共有极少年 9 次,其中有 8 次发生在厄尔尼诺年,仅 1 次发生在拉尼娜年(1973 年),但在 1993 年之后出现的 6 次极少年却只有 1 次出现在厄尔尼诺年(2014 年),这与 1993 年以前的情况完全不同。

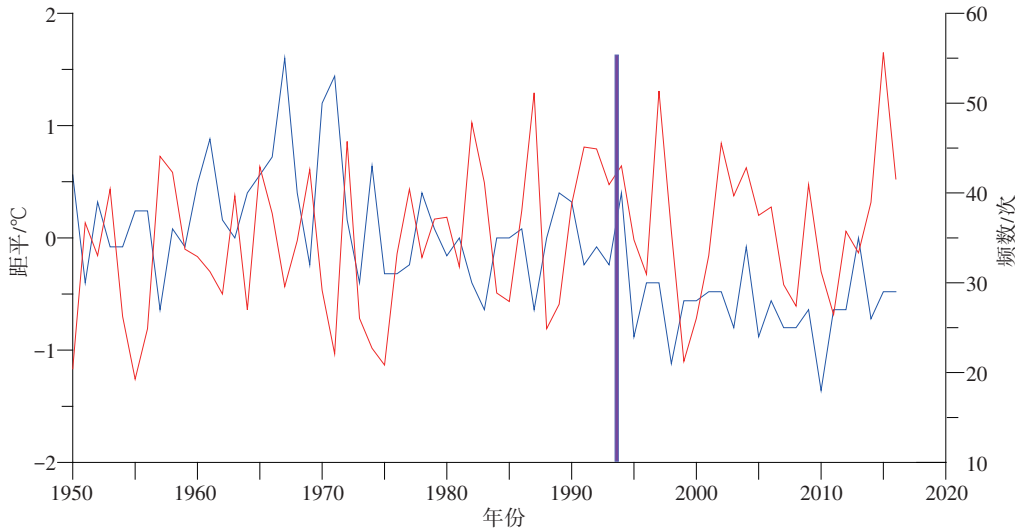


图 1 台风频数(蓝线)与 Niño 3.4 区海温距平(红线)的年际变化(柱线为两者相互关系发生明显变化的时段)

Fig.1 Inter-annual variations of Typhoon generation frequency (blue line) and anomaly of sea surface temperature in Niño 3.4 area (red line). The column indicates the period when the relationship between the two changes significantly

为了进一步分析台风频数与 ENSO 相互关系,计算了两者在不同时段的相关系数(表 1)。分析可知,尽管总体上台风频数与 Niño 3.4 区海温的相关系数为明显的负相关,1950—2016 年相关系数为 -0.277 ,检验通过了 95% 的置信水平,但两者的相关性具有明显的年代际变化特征:在 1990 年代初期(1993 年前后)以前,两者呈现明显的负相关关系,在 1950—1992 年相关系数高达 -0.439 ,检验通过

表 1 台风频数与 Niño 3.4 区海温距平在不同时段的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between typhoon generation frequency and sea surface temperature in the eastern equatorial Pacific during different periods

时段	时段说明	相关系数	样本长度
1950—2016	总体	-0.277^*	67
1950—1992	突变前	-0.439^{**}	43
1989—1998	突变期间	0.027	10
1999—2016	突变后	0.243	18

注:“*”“**”分别表示检验通过了 95%、99% 的置信水平。

了 99% 的置信水平,在过渡期间 1989—1998 年,两者的相关性不明显,但在其后的 1999—2016 年两者的相关系数为 0.243,为明显的正相关关系。这一结论与前面对极值年分析的结论一致。

3 台风频数和 ENSO 相互关系与行星运动

为了分析行星运动、台风频数和 ENSO 相互关系,计算了 Niño 3.4 区海温与台风频数 9 a 滑动相关系数(图 2)。图中标记了四大行星在关键点冲日的年份,其中年份代表连续 9 a 最中间的年份。分析可知,1950—2016 年, Niño 3.4 区海温与台风频数 9 a 滑动相关系数具有明显的年代际变化,在 1990 年代中期以前,两者呈现一致的负相关关系,而在之后又呈现一致的正相关关系。无论是正相关还是负相关,都呈现出高低相间变化的特征,这些变化与行星运动的位置有明显的关系。火星冲日时,视赤纬为负极值有 4 次(图中 M),即冲日发生在夏至附近,分别是 1954、1969、1986 和 2001 年,这些年

份几乎都发生在相关系数绝对值大的谷值附近,也就是说,相关系数的变化与火星在太阳系相同位置冲日周期相对应。相关系数除了比较大的峰谷变化外,还有一些小的波动,这些小波动与木星的 12 a 周期有关,从木星 7 月冲日(图中 J)的年份看,大多数与相关系数的低谷年相对应。木星 5 次在 7 月冲日,有 4 次发生在相关系数极小值附近,分别是 1961、1973、1985、2001 年,而 1997 年则出现在峰谷值中间。土星共有两次在视赤纬负极值附近冲日

(图中 S),分别发生在 1958—1961 年和 1987—1990 年,也都位于相关系数谷值附近。值得注意的是,相关系数最大的负相关区发生在 1980 年代,这期间火星、木星、土星冲日都发生在夏至前后,而且天王星也持续在此期间冲日。由此可见,相关系数变化的谷值与四大行星在夏至前后冲日相对应(此时行星视赤纬在负极值附近)。相关系数在 1980 年代中期具有最大的负相关区,恰好与多个行星频繁在夏至前后冲日相对应。

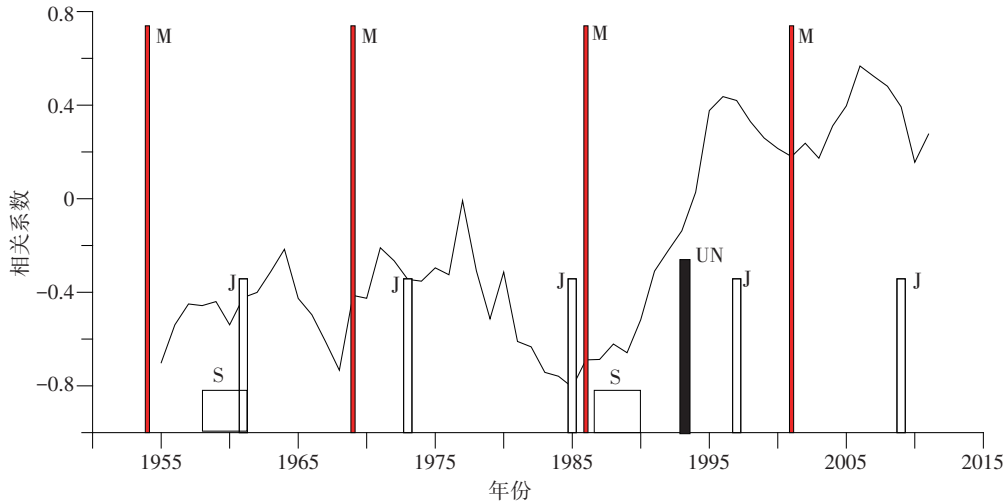


图2 台风生成频数与 Niño 3.4 区海温 9 a 滑动相关系数(红实心柱 M 为火星冲日时视赤纬负极值年;斜杠柱 J 为木星 7 月冲日年;空心方柱 S 为土星冲日时视赤纬负极值年;黑实心柱 UN 为天王星和海王星同时在 1993 年 7 月 12 日冲日日期)

Fig.2 9-year moving correlation coefficient between Typhoon generation frequency and sea surface temperature of Niño 3.4 area. The red solid columns M stand for the years when the apparent declination was negative extremum during the opposition of Mars, columns J represent the years when the opposition of Mars took place in July, hollow square columns S are the years when the apparent declination was negative extremum during the opposition of Saturn, the black solid columns UN stands for the simultaneous oppositions of Uranus and Neptune on July 12, 1993.

相关系数一个最为显著的特征就是具有年代际变化,其正负变化发生在 1993 年,这期间的星象极值很特别,那就是天王星和海王星在相同的方位(日期)冲日。表 2 给出了这两大行星在 1989—1998 年的冲日日期。可以看出,在 10 a 中,两个行星几乎每年都在 6—7 月冲日,特别是同时在 1993 年 7 月 12 日冲日,与太阳、地球形成了 4 星一线的奇观,这一现象出现的周期为 171 a,而最近一次发生这一现象时正好在台风频数与赤道东太平洋海温相关系数由负转正的过程中。对于大气与海洋相互关系的这种变化可以用引潮力迭加效应加以初步的解释,根

表 2 天王星和海王星在 1989—1998 年的冲日日期

Table 2 Dates of the oppositions of Uranus and Neptune during 1989 - 1998

年份	天王星	海王星
1989	06-24	07-02
1991	07-04	07-08
1992	07-07	07-09
1993	07-12*	07-12*
1994	07-17	07-14
1995	07-21	07-17
1996	07-25	07-18
1997	07-29	07-21
1998	08-03	07-23

注:“*”表示两星同日冲日。

据天文计算可知,行星冲日时对地球形成的引潮力最大,多个行星在相同日期冲日将产生引潮力的迭加效应,从而对地球大气和海洋产生影响。

以上分析表明,相关系数无论在小波动还是在大变化上都与行星运动周期有关。为了进一步验证这些关系的客观性,文中将对相关系数进行谐波分析。图3给出了台风生成频数与 Niño3.4 区海温 9 a 滑动相关系数的谐波分析。可以看出,1 波和 2 波的贡献率最大,分别为 48.7% 和 29.4%,其对应的 F 值分别为 25.62 和 11.24,远超过信度为 0.01 的显著性水平($F_{0.01} = 5.05$);另外两个贡献率较大

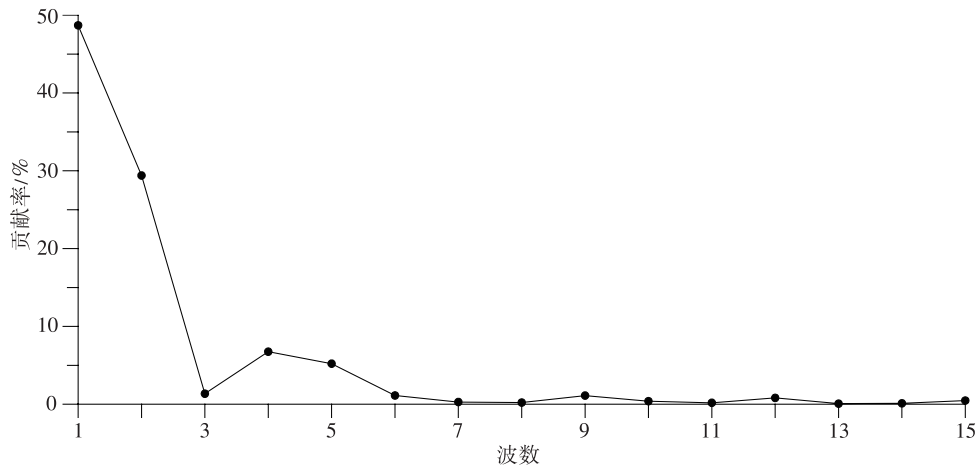


图3 台风生成频数与 Niño 3.4 区海温 9 a 滑动相关系数的谐波分析

Fig.3 Harmonic analysis of the 9-year moving correlation coefficient between the typhoon generation frequency and the sea surface temperature of Niño 3.4

4 结论和讨论

文中利用台风最佳路径数据集、1950—2016 年厄尔尼诺和拉尼娜事件、赤道太平洋海温关键区海温和行星冲日等资料,运用统计方法研究了西北太平洋台风频数和 ENSO 的相互关系变化与行星运动的关系,得到:

1) 从年代际变化来看,两者相互关系在 1990 年代初期(1993 年前后)发生明显的改变,即在此之前的 1950—1992 年,台风频数与 Niño 3.4 区海温 43 a 的相关系数高达 -0.439 ,检验通过了 99% 的置信水平,且台风频数的极多年大多数与拉尼娜现象相对应,台风频数的极少年大多数与厄尔尼诺年相对应,而在 1993 年之后发生的 5 次极多年有 3 次发生在厄尔尼诺年,没有一个发生在拉尼娜年;6 次极少年却只有 1 次出现在厄尔尼诺年(2014 年)。1999—2016 年两者的相关系数为 0.243,为明显的

的波分别为 4 波和 5 波,贡献率为 6.8% 和 5.2%,在滤除 1 波和 2 波的影响后,贡献率为 30.8% 和 23.8%; F 值为 12.00 和 8.41,也超过信度为 0.01 的显著性水平。从这 4 个显著波对应的周期来看,1 波周期为 57 a,结合图 2 可以看出,57 a 的相关系数总体上类似于一个正弦周期,这与 1993 年相关系数发生突变有关;2 波周期为 28.5 a,与土星公转周期 29.5 a 相接近;4 波周期为 14.25 a,与火星在相同月份冲日的周期(15 a 左右)相对应,5 波周期为 11.4 a,与木星公转周期(11.86 a)相对应。这说明相关系数的改变与行星运动存在明显的关系。

正相关关系。这一改变恰好发生在 1993 年 7 月 12 日太阳、地球、天王星、海王星四星一线的特殊星象期间,而在此前后的数年间,天王星、海王星两大行星都同时保持在 6—7 月冲日,对地球形成持续作用的引潮力迭加。

2) 从年际变化来看,台风频数与 Niño 3.4 区海温 9 a 滑动相关系数的变化与行星运动位置变化具有明显的联系,表现在相关系数波动与行星运动存在明显的对应关系,相关系数的谷值与三大行星(土星、火星和木星)在夏至前后冲日相对应,其中与火星在夏至附近冲日(此时视赤纬具有负极值)对应的谷值最深,在 1980 年代中后期具有最大的负相关区,与土星、火星和木星多个行星频繁在夏至附近冲日相对应。

3) 利用谐波分析方法计算得到相关系数的几个显著周期分别为 28.5、14.25、11.4 a,分别与三大行星(土星、火星和木星)的运动周期相对应,这进一

步说明了行星运动位置的变化与相关系数变化的一致性。

行星冲日时太阳、地球、行星在一条直线上,根据计算,这时行星地球的引潮力达到最大,而行星在6—7月冲日太阳直射点最偏北,这时正是副热带高压加强北抬和台风开始活跃的时期,此时大行星冲日,特别是多个行星冲日必然会对大气环流和海洋产生影响,而因为天王星和海王星运动周期长,持续多年在该时段冲日,形成了量的积累,进而导致质的变化。

台风生成频数与海洋表面温度的相互关系是海气相互作用领域的一个重要问题,从以往的研究看,两者之间相互关系不是一成不变的,而是具有明显的年代际变化和年际变化特征。具体原因仍在不断研究探索。行星运动中引潮力的变化对台风的生成与 ENSO 相互关系具有重要影响,这说明在全球气候变化中,大行星的天文引潮力也是不容忽视的因子,不仅表现在行星运动与大气、海洋现象的直接关系中,也表现在其对大气与海温相互关系的影响中。

参考文献 (References)

- 陈广叙, 1989. 华南台风与“月相”[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), (1):37-43. Chen G X, 1989. Relationship between south china Typhoon and Lunar aspects[J]. J South China Normal University (Nat Sci Edi), (1):37-43.(in Chinese)
- 董克勤, 齐树芬, 1990. 赤道东太平洋海温与西太平洋台风频数年际变化的关系[J]. 海洋学报, 12(4):505-509. Dong K Q, Qi S F, 1990. The relationship between Typhoon frequency and El Niño [J]. Acta Oceanologica Sinica, 12(4):505-509.(in Chinese)
- 何敏, 宋文玲, 陈兴芳, 1999. 厄尔尼诺和反厄尔尼诺事件与西北太平洋台风活动[J]. 热带气象学报, 15(1):17-25. He M, Song WL, Chen X F, 1999. Typhoon activity in the northwest Pacific in relation to El niño/ La niña events[J]. J Tropical Meteor, 15(1):17-25. (in Chinese)
- 黄勇, 李崇银, 王颖, 等, 2008. 近百年西北太平洋热带气旋频数变化特征与 ENSO 的关系[J]. 海洋预报, 25(1):80-87. Huang Y, Li C Y, Wang Y, et al, 2008. Study on the variation characteristics of annual frequency for tropical Cyclones in western north Pacific during the last hundred years and relationship with ENSO[J]. Marine Forec, 25(1):80-87.(in Chinese)
- 蒋国荣, 沙文钜, 1993. 用赤道东太平洋海温预报西太平洋热带气旋[J]. 热带气象学报, 9(3):221-228. Jiang G R, Sha W Y, 1993. Investigation of the statistical forecast of interannual change of tropical Cyclone in the western Pacific by sea surface temperature in the eastern equatorial Pacific[J]. J Trop Meteor, 9(3):221-228.(in Chinese)
- 李崇银, 1987. 厄·尼诺影响西太平洋台风活动的研究[J]. 气象学报, 45(2):229-236. Li C Y, 1987. A study on the influence of el nino upon Typhoon action over western Pacific[J]. Acta Meteor Sinica, 45(2):229-236.(in Chinese)
- 刘钦燕, 周文, 2010. 西北太平洋台风数目与海洋热含量的年代际关系分析[J]. 热带海洋学报, 29(6):8-14. Liu Q Y, Zhou W, 2010. Relationship between Typhoon activity in the northwestern Pacific and the up-per-ocean heat content on interdecadal time scale[J]. J Trop Oceanograph, 29(6):8-14.(in Chinese)
- 卢秋珍, 胡邦辉, 王学忠, 等, 2007. 西北太平洋台风活动的年代际变化与大尺度环流因子的关系[J]. 热带气象学报, 23(6):629-635. Lu Q Z, Hu B H, Wang X Z, et al, 2007. Large scale circulation associated with interdecadal variations of Typhoon activity over the western north Pacific[J]. J Trop Meteor, 23(6):629-635.(in Chinese)
- 潘怡航, 1982. 赤道东太平洋热力状况对西太平洋台风发生频率的影响[J]. 气象学报, 40(1):24-34. Pan Y H, 1982. The effect of the thermal state of equatorial eastern Pacific on the frequency of Typhoons over western Pacific[J]. Acta Meteor Sinica, 40(1):24-34.(in Chinese)
- 任振球, 1975. 日、月引潮力与台风强度变化[J]. 气象, 1(9):18-20. Ren Z Q, 1975. Variation of daily and monthly tidal generation force and Typhoon intensity[J]. Meteor Mon, 1(9):18-20. (in Chinese)
- 王咏梅, 李维京, 任福民, 等, 2007. 影响中国台风的气候特征及其与环境场关系的研究[J]. 热带气象学报, 23(6):538-544. Wang Y M, Li W J, Ren F M, et al, 2007. Study on climatic characteristics of china-influencing Typhoons and the interrelations between them and their environmental factors[J]. J Trop Meteor, 23(6):538-544.(in Chinese)
- 叶更新, 刘玉清, 2012. ENSO 循环与行星位置的相互关系 (I): 木星、土星视赤纬与赤道东太平洋海温的联系[J]. 云南大学学报(自然科学版), 34(1):57-61. Ye G X, Liu Y Q, 2012. The relationship between ENSO cycle and planetary positions (I): the apparent declination of Jupiter, Saturn and the equatorial eastern Pacific Ocean surface temperature[J]. J Yunnan University (Nat Sci Edi), 34(1):57-61.(in Chinese)
- 叶更新, 王鹏宇, 2017. 行星运动对东北夏季气温与 ENSO 循环相互关系的影响[J]. 气象灾害防御, 24(3):1-4. Ye G X, Wang P Y, 2017. Effect of planetary motion on the interrelationship between summer temperature in northeast china and Enso cycle [J]. Meteor Disaster Prevention, 24(3):1-4.(in Chinese)
- 余帆, 李培, 李向军, 等, 2012. 近 60 年西北太平洋台风年代际变化特征及成因的初步分析[J]. 海洋预报, 29(1):1-5. Yu F, Li P, Li X J, et al, 2012. Preliminary analysis on interdecadal variation characteristics of Typhoon over the north western Pacific in the past sixty years[J]. Marin Forec, 29(1):1-5. (in Chinese)
- 占瑞芬, 丁一汇, 吴立广, 等, 2016. ENSO 在青藏高原积雪与西北太平洋热带气旋生成频数关系中的作用[J]. 中国科学: 地球科学, 46(10):1358-1370. Zhan R F, Ding Y H, Wu L G, 2016. Role of ENSO in the interannual relationship between tibetan plateau winter snow cover and northwest Pacific tropical Cyclone genesis frequency[J]. Scientia Sinica (Terrae), 46(10):

1358-1370.(in Chinese)

周学鸣,魏应植,吴陈锋,2006.夏季西太平洋台风频数异常与 ENSO 事件的关系及大气环流异常特征[J].热带气象学报,22(1):34-40. Zhou X M, Wei Y Z, Wu C F, 2006. Relationship

between summer Typhoon frequency anomalies in western Pacific and ENSO events, and the anomalous atmospheric circulation characteristics[J]. *J Trop Meteor*, 22(1):34-40. (in Chinese)