浙江沿岸水对"魔蝎"台风的响应

陶 宇¹, 仲伟凡², 胡锋涛¹

(1. 浙江海测科技有限公司, 浙江 杭州 310052; 2. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310008)

摘要:台风"魔蝎"于2018年8月12日夜子时登陆浙江温岭,台风登陆前后造成了浙江近海海水物理特性的诸多变化。台风登陆时的最大风速约为27.5 m/s,登陆时正值天文大潮期间,引起了超过0.30 m的沿岸增水,增水持续了3~4 d。在台风登陆前的7 h内,锚系点水域的海水温度降幅超过1℃。分析表明,海气热交换引起的海水热量损失是锚系点水域温度降低的主要因素,而海水垂向混合带来的海水降温幅度有限。降温在水平区域分布上具有不对称性,台风路径两侧的降温中心呈现明显的不对称性,台风路径右侧的表层海水温度降幅明显强于路径左侧。长江口外至苏南外海水温降幅最为明显,最大降温接近3℃,舟山东南方向海域和温岭东南方向海域最大降温分别超过1.6℃和1.2℃,而在台风路径左侧海域,表层海水温度降幅普遍小于1℃。在台风登陆前的7 h内,海水盐度降低了1.2,研究表明台风带来的强降雨是海水盐度降低的主要因素。本研究,得到了台风"魔蝎"登陆前、登陆时和登陆后,锚系点及周边海域海流、水位、温度、盐度等的变化特征,初步获悉台风期间海水物理特性变化的动力因素,可以为台风影响研究、预防和降低台风带来的风险和损失等提供动力学方面的依据。

关键词:浙江沿岸水;台风;风暴湖增水;海表面温度;锚系观测 中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)12-0069-09 DOI: 10.11759/hykx20191015001

台风往往伴随着强风和降雨,且涉及海气相互作 用的一种重要天气现象。已有的海洋观测和数值实验 表明,缓慢移动的台风可能使海面降温 2~6℃^[1-4]。台风 经过的海域,海气相互作用引起海面温度降低^[5],同时 伴随着较强的风应力,将会增强垂向混合,且增大 上混合层的深度^[1,4,6-7]。

台风引起的海面降温、流速和波高变化,在水平 区域分布上往往是不对称的。在北半球,台风眼右后 方水域,海面降温会达到 2~5℃;而在台风眼附近水 域,海面降温一般只有 0~2℃^[8]。流速较强和波高较 大的区域往往也是发生在台风眼右侧海域^[9-11]。

此外,台风还会造成沿岸风暴潮增水,引发洪 涝灾害。特别是在天文大潮期间,天文大潮高潮水位 和台风增水相叠加,往往会造成异常的高水位^[11-12]。

台风灾害是浙江省主要的自然灾害之一,每年 都有台风登陆或者影响浙江沿海区域。有关海洋对 台风的响应的研究,大多数观测研究都是在台风经 过几天之后,台风期间的观测数据则较为稀少。从 2018 年 3 月底开始,我们在台州列岛以南布放了一 个锚系点,用于观测该海域的海流、表底层温度和底 层盐度,持续观测时间为 1 a, 2018 年 14 号台风"魔 蝎"正好经过锚系点周边水域。袁震洲等^[13]根据浙 江台州三门、温岭附近海域 4 个潮位站的潮位观测 数据,分析了台风"摩羯"对台州沿海的风暴增水影 响。本文研究基于台州列岛以南锚系点的锚系观测 数据、台风路径两侧各一个验潮站的潮位观测数据、 台风登陆点周边 1 个气象站的气象观测数据、卫星 遥感的海表面温度场和海面风场等,研究了台风登 陆前后海流、水位、海水温度和盐度的时间变化,分 析并探讨了引起各要素变化的主要原因。

1 资料和方法

为了解浙江沿岸水对台风"魔蝎"的响应,我们 收集了台风登陆前后的各项观测资料。包括一个锚 系点的潮流、温盐观测数据,2个验潮站的潮位观测 数据,1个气象站的风速风向降雨观测数据(图1)。大 区域风场来源于卫星散射计 Advanced Scatterometer

收稿日期: 2019-10-15; 修回日期: 2020-03-03

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LQ19D060007)

[[]Foundation: Zhejiang Provincial Natural Science Foundation, No. LQ19D060007]

作者简介:陶宇(1986-),男,浙江杭州人,工程师,学士,从事海洋测绘和海洋水文方面的研究,电话:0571-86875702,E-mail:631077932@qq.com

(ASCAT),由美国宇航局海洋矢量风科学团队提供^[14]; 海表面温度来源于卫星微波辐射计,由美国宇航局 The Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSST) 海表面温度科学团队提供^[15]。

2018年3月31日—2019年4月3日,在台州列 岛南部水域布设了一个锚系流速和温盐观测点。流 速观测仪器采用 Nortek 公司生产的声学波浪流速剖 面仪(Acoustic Wave And Current,简称 AWAC),型 号为 Nortek AWAC 600 kHz。观测期间,流速剖面采 样间隔为 10 min,深度单元大小(层厚)为 0.5 m,采 样层数为 50 层。在锚系点底座上固定了一台 RBR 温盐深仪,用于观测底层的温度和盐度;在锚系点 位置布设了一个表层浮标,用于观测表层的温度; 海水温度和盐度的采样间隔均为 1 h。

风暴潮增水的量值,通过实测的潮位减去预报 的潮位计算得到,其中预报的潮位是根据潮汐调和 分析方法计算的^[16-17]。余流的计算,首先采用 Godin-type 滑动平均滤波器^[18-19]滤掉海流中高频的 混淆信号,然后再次使用该滤波器滤掉全日的、半日 的以及周期更短的潮流信号^[17]。

为体现近海海表面温度(SST)对台风的响应,参 照前人经验^[20],通过比较台风到来前(海温还未受到 台风影响)的 SST 和台风登陆期间和登陆后的 SST, 从而得到台风经过研究海域前后的 SST 变化。将台 风过境前 3 天的 SST 温度平均作为参考温度场,在 此基础上,考虑温度变化的异常情况。 台风"魔蝎"的路径、中心风速和中心气压数 据取自于日本气象厅台风情报中心(图 1、图 2)。 2018年8月8日14时,第14号台风"摩羯"生成,其 中心位于台湾省花莲市东偏南方向约1330km的海 面上;2018年8月11日5时,台风"摩羯"的中心 位于浙江省象山县东偏南方向大约970km的西北太 平洋洋面上,中心附近最大风力达8级(18 m/s),中 心最低气压为998 hPa,七级风圈半径达250 km; 2018年8月12日23时35分前后,台风"摩羯"的 中心在浙江温岭沿海登陆,登陆时中心附近最大风 力达10级(28 m/s)。

2 结果与讨论

2.1 台风登陆前后的气象状况

台风登陆前后,石塘气象站的最低气压为990.3 hPa, 发生于 8 月 12 日 22:00;10 min 平均风速最大值为 27.5 m/s(对应风向为131°),出现在 8 月 12 日 23:00。 按照国际上台风等级的划分方法,台风"魔蝎"为强 热带风暴(最大风速 10~11 级)。

图 3 为台风登陆前卫星散射计观测的浙江近海 风场,该风场观测时间为 2018 年 8 月 12 日 21:18。 图中显示的海区内,最大风速为 19.4 m/s,出现位置 为 121.875°E, 28.125°N,位于台风路径的右侧,距离 锚系点的距离约为 22 km。从图中可以看出,台风路 径右侧的风速明显强于台风路径左侧。



图 1 观测站位和台风"魔蝎"路径 Fig. 1 Observation stations and the path of the typhoon "Yagi" 注: a. 台风路径和中心气压; b. 观测站位分布图



图 2 台风"魔蝎"的中心气压、最大风速和风速半径的时间变化过程曲线(来自于日本气象厅台风情报中心) Fig. 2 Time variation of the central pressure, maximum wind speed and wind speed radius of the typhoon "Yagi" (from the Typhoon Information Center of Japan Meteorological Agency)





2.2 风暴潮增水

台风"魔蝎"登陆温岭时,正好是天文大潮期间 (农历八月初二)。因此,虽然台风"魔蝎"的风应力 强度中等,依然带来了较强的风暴潮增水。

大陈验潮站位于台风路径东北侧,距离台风路 径中心点的最近距离约为 38 km,台风过境期间,该 验潮站观测的最大增水为 0.36 m, 发生于 8 月 12 日 21:00; 坎门验潮站位于台风路径西南侧, 距离台 风路径中心点的最近距离约为 31 km, 台风过境期 间, 该验潮站观测的最大增水为 0.36 m, 发生于 8 月 12 日 23:00。从风速和增水的同步过程曲线可以看 出,大陈验潮站风暴潮最大增水的时间出现在最大 风速时间之前约 2 h, 坎门验潮站风暴潮最大增水的 时间与最大风速时间几乎同步(图 4)。大陈站和坎门 站分别位于台风路径两侧, 因而两个站最大增水出 现的时刻不同步。

台风登陆后,沿岸增水仍然持续了多天。大陈 验潮站 2018 年 8 月 13 日—8 月 16 日的每日最大增 水分别为 0.23、0.20、0.19、0.17 m,平均增水分别 为 0.11、0.12、0.10、0.04 m;坎门验潮站 2018 年 8 月 13 日—8 月 16 日的每日最大增水分别为 0.33、 0.24、0.26、0.16 m,平均增水分别为 0.10、0.14、 0.11、0.04 m。

根据风向和增水的同步过程曲线,风向对增水 有较为明显的影响。南风期间,由于 Ekman 风生流 原理,近岸海水向外海输送,导致沿岸增水减弱;东 北风期间,离岸海水向近岸输送,沿岸增水也显著 增强;西北风期间(8月16日),近岸海水向外海输送, 再加上此时台风的影响已渐渐远去,并没有造成明 显的增水。





海洋科学 / 2020 年 / 第 44 卷 / 第 12 期

72

"魔蝎"于 2018 年 8 月 12 日 23: 35(农历 7 月初二,为 天文大潮期间)登陆,登陆时中心气压约为 990 hPa, 引起了最大增水约为 0.36 m;台风"利奇马"于 2019 年 8 月 10 日 01: 45(农历 7 月初十,为天文小潮期间)登 陆,登陆时中心气压约为 950 hPa,造成了最大增水 约为 1.32 m。

2.3 沿岸流对风场的响应

锚系点距离台风路径中心点的最近距离约为 21 km。风对海流的影响是显而易见的(图 6)。台风 到来前,流速垂向梯度明显,从表层到底层,流速基 本呈现出逐渐递减的趋势。台风期间及台风过后,垂 向混合增强,流速垂向变化很小,特别是 2018 年 8 月 14 日—8 月 15 日期间,东南向的落潮流最大流速均 出现在次底层,而不是表层和次表层。台风到来前的 8月9日—8月12日,次表层和次底层平均流速分别为 0.39、0.28 m/s,台风期间及台风过后的 8 月 13 日— 8 月 16 日,次表层和次底层平均流速分别为 0.42、 0.38 m/s。台风到来前的 8 月 9 日—8 月 12 日,垂向 平均余流平均流速为 0.06 m/s,台风期间及台风过后 的 8 月 13 日—8 月 16 日,垂向平均余流平均流速为 0.13 m/s、8 月 12 日台风登陆当日,垂向平均余流平 均流速为 0.24 m/s(图 7)。

台风期间较强的风应力对流向影响较为明显。 在台风到来前的 8 月 9 日—8 月 10 日,半日潮流的 特征非常明显,涨潮流为西北向,落潮流为东南向; 然而,在 8 月 12 日台风登陆当日,潮流受到抑制,风 生流则得到加强,在强劲的东北偏北风作用下,落 潮流仍为东南向,但强度增强,而西北向的涨潮流 则基本消失不见,取而代之的是西南偏西向的流。

2.4 水温盐度对魔蝎台风的响应

魔蝎台风登陆前后,海水温度和盐度均有明显 的降低,温度降幅超过1℃,盐度降幅超过0.8(图8)。 2018 年 8 月 9 日—8 月 16 日,每日平均温度分别为 30.06、30.51、30.75、30.44、29.67、29.76、29.99、 30.02℃,在台风登陆后的 8 月 13 日—8 月 16 日,随 着台风影响的渐渐远去,温度呈逐渐升高的趋势。8 月 9 日—8 月 16 日,每日平均盐度分别为 31.50、31.30、 31.03、30.72、30.13、30.13、30.00、28.50。台风登陆 前后,强劲的风应力导致海水垂向混合增强,表底层温 度差明显的缩小,8月9日—8月 16 日,每日垂向平均温 差分别为 0.60、0.23、0.06、0.01、0.10、0.11、0.05、 0.23℃,台风登陆当天的垂向平均温差只有 0.01℃。



Fig. 6 Velocity profile before and after the typhoon landing 注: a. 石塘气象站风矢量; b. 流速北分量剖面, 粗黑线表示流速为 0 的等值线; c. 流速东分量剖面





台风过程中,造成水温下降的因素主要有两个, 一是海水垂向混合,二是海气间的热量输送。在水深较 深的海区,夏季普遍存在较强的温跃层,特别是在中 国北部水深较深的海区,底层海水温度很低,台风到 来前表底层温差较大,所以在台风登陆前后,垂向混 合增强引起的海水温度变化通常都较为显著。例如台 风 2012 年台风"布拉万"登陆前,黄海东部海表面温 度为 27~28℃,底层海水温度小于 10℃,台风登陆后, 由于强劲垂向混合作用,造成海表面温度降至 16~ 20℃^[11]。由于锚系点水域水深较浅,台风到来前的 2018 年 8 月 10 日和 8 月 11 日垂向平均温差只有 0.23、 0.06℃,垂向混合带来的海水温度下降有限,而本次台 风登陆带来的海水温度降低超过 1℃,因而可以推断, 海水温度的下降主要是由海气之间热量输送造成的。

图 9 为台风登陆后东海海表面温度变化的平面 分布,锚系点周边水域温度降幅约为 0.4~1.2℃。从 图中可以看到,在台风路径两侧,降温中心具有明 显的不对称性,台风路径右侧的海水温度降幅明显 强于路径左侧。长江口外至苏南外海温度降幅最为 明显,最大降温接近 3℃,如前所述,夏季中国北部 海区,表底层海水温度差异较为明显,台风期间垂 向混合将会造成表层海水温度的显著降低。在台风 路径右侧的舟山东南方向海域和温岭东南方向海域 也分别有一个降温中心,最大降温分别超过 1.6℃和 1.2℃。而在台风路径左侧海域,没有明显的降温中 心,海水温度降幅普遍小于 1℃。



图 9 东海海域魔蝎台风登陆当天及台风过后的海面水温距平

Fig. 9 The sea surface temperature anomaly in the East China Sea on the day of the typhoon landing and the days after the typhoon landing

在外海,台风一般不会带来盐度的显著变化, 而在近海,台风降雨以及随之而来的径流对近岸海 域的盐度会有一定影响。在台风"魔蝎"登陆前的 9 h,累计降雨 41.5 mm,这大概是造成锚系点水域 海水盐度显著降低的原因。此外,从图 8 还能看到, 8 月 16 日前后,盐度有个显著的降幅,盐度从 30 降 到 28.2,由于 2018 年 8 月 16 日台风的影响已基本远 去,且 8 月 14 日—8 月 16 日的降雨也很少,合计只 有 4.5 mm,因而可以推测低盐水来源于其他海域。 从卫星散射计的东海风场(此处没有列出),东海海域 风场除了 8月13日为西北风,8月14日—8月15日均 为西南向风;此外,从图7可以看出 8月12日—8月 16日锚系点水域余流均为西南向,8月13日西北风 期间也不例外,因此,我们推测 8月16日前后的盐 度降低是长江冲淡水带来的。另外,从图9海表面温 度异常分布的日变化可以看出,8月16日从长江口到 浙南海域,降温中心基本连成一片,而在 8 月 16 日 之前,降温中心主要分布在苏南至浙北海域。

3 结论

台风"魔蝎"于 2018 年 8 月 12 日夜子时登陆 浙江温岭,我们根据一个锚系点的流速、海水温度、 盐度观测,2 个验潮站的潮位观测,1 个气象站的风 速、风向和降雨观测,同时结合卫星散射计风场和卫 星微波辐射计海表面温度观测资料,分析了该台风 登陆期间及登陆后,浙江近海海水物理特性的变化 状况。

台风"魔蝎"登陆时,风应力较强,且正好是天 文大潮期间,引起了近岸水域超过 0.30 m 的风暴潮 增水,而且近岸增水持续了 3~4 d 的时间。风向对增 水有明显的影响,东北风有助于增强沿岸增水,而 南风则会减弱沿岸增水。

台风登陆时的强风,不仅增强了海水垂向混合, 也增加了海气热交换,海水温度也随之降低,同时 海水温度的垂向梯度减弱。在台风登陆前的7h内, 锚系点水域表层温度降低了1.42℃,底层温度降低 了1.38℃,降温持续了3d左右的时间。由于锚系点 水域的水深只有15m左右,没有明显的温跃层,因而 海水垂向混合造成的海水降温有限,海气热交换引起 的海水热量损失才是台风期间降温的主要因素。

台风引起的降温在水平区域分布上具有不对称 性,台风路径右侧的水温降幅明显强于路径左侧。长 江口外至苏南外海水温降幅最为明显,最大降温接 近3℃,舟山东南方向海域和温岭东南方向海域最大 降温分别超过 1.6℃和 1.2℃,而在台风路径左侧海 域,水温降幅普遍小于1℃。

在台风登陆前的 7 h 内,海水盐度降低了 1.2, 台风登陆前的强降雨是海水盐度降低的主要因素。

参考文献:

- [1] Price J F. Upper ocean response to a hurricane[J]. Journal of Physical Oceanography, 1981, 11: 153-175.
- [2] Emanuel K A. Thermodynamic control of hurricane intensity[J]. Nature, 1999, 401: 665-669.
- [3] Zedler S E, Dickey T D, Doney S C, et al. Analyses and simulations of the upper ocean's response to Hurricane Felix at the Bermuda Testbed Mooring site: 13-23 August 1995[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 2002, 107(C12): 25-1-25-29.
- [4] Oh K H, Lee S, Kang S K, et al. Oceanic response to

Typhoon Nari (2007) in the East China Sea[J]. Ocean Science Journal, 2017, 52(2): 1-9.

- [5] Cione J J, Uhlhorn E W. Sea surface temperature variability in Hurricanes: implications with Respect to Intensity Change[J]. Monthly Weather Review, 2003, 131: 1781-1796.
- [6] Price J F, Sanford T B, Forristall G Z. Forced stage response to a moving hurricane[J]. Journal of Physical Oceanography, 1994, 24: 233-260.
- [7] Wada A, Niino H, Nakano H. Roles of vertical turbulent mixing in the ocean response to Typhoon Rex (1998)[J]. Journal of Oceanography, 2009, 65: 373-396.
- [8] D'Asaro E A, Sanford T B, Niiler P P, et al. Cold wake of Hurricane Frances[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(15): L15609.
- [9] Firing E, Lien R C, Muller P. Observations of strong inertial oscillations after the passage of tropical cyclone ofa[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(C2): 3317.
- [10] Sanford T B, Price J F, Girton J B, et al. Highly resolved observations and simulations of the ocean response to a hurricane[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(13): L13604.
- [11] Kim C S, Lim H-S, Jeong K Y, et al. Response of coastal waters in the Yellow Sea to Typhoon Bolaven[J]. Journal of Coastal Research, 2014, 70: 278-283.
- [12] Moon I J. Effect of surface waves on Charnock coefficient under tropical cyclones[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(20): L20302.
- [13] 袁震洲,次旦多杰,扎桑达娃. 台风"摩羯"对台州沿海的风暴增水影响[J]. 科技创新与应用, 2019(35): 51-52.
 Yuan Zhenzhou, Cidan Duojie, Zhasang Dawa. Influence of

Typhoon "Yagi" on storm surge in Taizhou coast area[J]. Technology Innovation and Application, 2019(35): 51-52.

- [14] Ricciardulli L, Wentz F J. Remote sensing systems ASCAT C-2015 daily ocean vector winds on 0.25 deg grid, version 02.1[R]. Santa Rosa, California: Remote Sensing Systems, 2016.
- [15] GHRSST Science Team. The Recommended GHRSST Data Specification (GDS) 2.0, document revision 4, available from the GHRSST International Project Office[R]. Leicester, UK: University of Leicester, 2011.
- [16] 方国洪. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京: 海洋 出版社, 1986.
 Fang Guohong. The Analysis and Prediction of Tide and Tidal Current[M]. Beijing: Ocean Press, 1986.
- [17] Codiga D L. Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions[R]. Narragansett, Rhode Island: Graduate School of Oceanography, Uni-

versity of Rhode Island, 2011.

- [18] Godin G. The analysis of tides[J]. University of Toronto Press, 1972, 22(9): 1005-1012.
- [19] Emery W J, Thomson R E. Data Analysis Methods in Physical Oceanography, 2nd edition[M]. America: University of Colorado, Elsevier, 2001.
- [20] 王琳艳, 郁诚成, 吴克俭. 南海 SST 对台风过程响应 分析[J]. 海洋湖沼通报, 2017(6): 67-74.
 Wang Linyan, Yu Chengcheng, Wu Kejian. Response of sea surface temperature to typhoon in South China Sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2017(6): 67-74.

Response of Zhejiang coastal water to typhoon "Yagi"

TAO Yu¹, ZHONG Wei-fan², HU Feng-tao¹

(1. Zhejiang Ocean Surveying and Mapping Technology Co., Ltd., Hangzhou 310052, China; 2. Zhejiang Surveying Institute of Estuary and Coast, Hangzhou 310008, China)

Received: Oct.15, 2019

Key words: Zhejiang coastal water; typhoon; storm surge water enhancement; sea surface temperature; mooring observation

Abstract: Typhoon "Yagi" landed in Wenling, Zhejiang Province at midnight of August 12, 2018. Before and after landing, it brought many changes in the physical characteristics of the coastal waters of Zhejiang Province. The maximum wind speed of typhoon landing was about 27.5 m/s, and the landing time was during the astronomical spring tide, causing more than 0.30 m coastal water increase, which lasted for 3~4 days. In the 7 hours before typhoon landing, the temperature drop of the sea water at the mooring site was more than 1°C. The heat loss of sea water caused by air-sea heat exchange was the main factor for the decrease of water temperature, while the cooling of sea water caused by vertical mixing was limited. The horizontal distribution of water cooling was asymmetric, and the cooling centers on both sides of the typhoon path were obviously asymmetric. The temperature drop on the right side of the typhoon track was obviously stronger than that on the left side of the track. From the Yangtze River Estuary to the southern Jiangsu sea, the temperature drop was the most obvious, the maximum temperature drop was close to 3°C. The maximum temperature drop in the southeast of Zhoushan Islands and the southeast of Wenling exceeded 1.6°C and 1.2°C, respectively. while in the left sea area of the typhoon path, the surface water temperature drop was generally less than 1°C. In the 7 hours before typhoon landing, the salinity of sea water decreased by 1.2, the heavy rainfall brought by typhoon was the main factor of the decrease of salinity of sea water. In this study, the variation characteristics of current, water level, temperature and salinity at the mooring site and its surrounding sea area before, during and after landing of Typhoon "Yagi" are obtained, and the dynamic factors of the variation of physical characteristics of sea water during typhoon are preliminarily learned, which can provide dynamic basis for the study of typhoon influence, prevention and reduction of risk and loss caused by typhoon.

(本文编辑: 刘珊珊)