

0505 号台风“海棠”灾害的初步诊断研究

Diagnose and Research on Typhoon Disasters Caused by 0505 Typhoon Haitang

薛根元/XUE Gen-yuan¹, 诸晓明/ZHU Xiao-ming², 朱 健/ZHU Jian²

1. 浙江省气象局, 杭州 310002
2. 浙江省绍兴市气象局, 浙江绍兴 313000

1. Zhejiang Province Meteorological Bureau, Hangzhou 310002, China
2. Shaoxing City Meteorological Bureau, Shaoxing 313000, Zhejiang Province, China

[摘要] 0505 号台风“海棠”(Haitang)是一个范围广、强度大、路径复杂的台风,在其生命史的各个阶段表现出不同的特征。该台风具有很强的破坏力,使我国许多地区遭受严重灾害。在对台风灾害和环流背景分析的基础上,利用 Q 矢量和螺旋度等诊断方法,对该台风在浙闽地区造成强降雨的成因作了初步的研究。研究表明,台风外围螺旋云带、台风密蔽云造成台湾省和大陆东南部地区强降雨,其外围东南急流中的云团也引发了强降雨,而台风减弱后的残留低压与西风带系统相互作用在华北区产生了强对流天气和强降雨。通过对该台风登陆前后 Q 矢量辐合辐散情况的诊断可用来判断当时的垂直运动分布,而对螺旋度的分析,发现该台风的螺旋雨带在低层相对螺旋度场上反映为正的大值中心。

[关键词] 台风“海棠”,台风灾害,诊断,研究

[中图分类号] P425.6⁺¹

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2005)10-0030-06

Abstract : The 0505 Typhoon Haitang has extensive confines, strong intensity ,intricate trace and different characteristics in its different stages. It caused very severe damage breakage and grave loss in China. Based on the analysis on the typhoon disasters and general circulation, this paper researches the basic reasons of heavy rain in Zhejiang and Fujian provinces by using diagnosing methods such as Q vector and helicity, etc. The helicoidal cloud cinctures within typhoon's periphery, close-grained cloud cinctures near its center caused heavy rain in Taiwan and southeastern China. And cloud agglomerates existing in the southeast jet in its periphery also made strong precipitation. Furthermore, the interaction between the typhoon's remnant low -pressure and the west wind systems brings strong convective weather phenomena and heavy precipitation in northern China. In the fore-and-aft typhoon landfalling, the convergence or divergence of Q vector can be used to estimate vertical motion field. Moreover, the typhoon's helicoidal cloud cinctures behaved as a positive maximum center on the lower level relative helicity field by means of analyzing the helicity.

Key Words : Typhoon Haitang, typhoon disasters, diagnosing, researches

CLC Number : P425.6⁺¹

Document Code : A

Article ID : 1000-7857(2005)10-0030-06

1 引言

台风是热带海洋上强烈的气旋系统(根据 WMO 规定,按照热带气旋的强度分别称为热带风暴、强热带风暴和台风,而把热带海洋上的气旋性环流或气压场上的低值系统一般称为热带低压),它是一种最严重的自然灾害,其发生频率远高于地震灾害,故其累计损失也大于地震灾害,1991 年 4 月在孟加拉国登陆的热带气旋曾夺去 13.9 万人的生命。我国是一个多台风的国家,也是受台风危害最严重的国家之一,主要受南海台风和西太平洋台风影响,建国以来,每年因台风造成的直接经济损失平均超过 100 亿元,其中 9417 号、9615 号、9711 号、0414 号、0505 号和 0509 号等登陆强台风 1 次造成的直接经济损失就超过百亿元^[1]。

台风灾害包括强降雨及小流域洪灾,有时强降雨还会引发滑

坡、泥石流等地质灾害;大风导致民房、厂房倒塌,并严重损坏城乡建(构)筑物,沿海地区受灾会更重;如果台风登陆时恰遇天文大潮,则会因为台风增水引起的高潮位迭加天文大潮而引发风暴潮等次生海洋灾害。特定情况下,如果强风、暴雨和高潮同时袭击沿海地区,就会因“三碰头”而造成重大台风灾害,5612 号、9417 号和 9711 号等台风就是“三碰头”的典型台风^[2]。台风深入内陆后,其强度变化快慢程度差异很大,一般有快速减弱和缓慢减弱两类,前者造成的灾害主要集中在台风登陆点附近,而后者沿途造成一系列灾害。有时虽然台风本身的强度已较弱,但若各种条件配置有利,台风残留低压或气旋性环流遇到如小槽或弱冷空气等西风带系统,使残留弱系统的大气斜压性增强或低压变性,则会产生强降雨。这类情况并不少见,如 9711、0414^[3]、0505 及 0509

收稿日期: 2005-08-29

作者简介: 薛根元,男,杭州市劳动路旧仁和署 38 号浙江省气象局,高级工程师,主要从事天气动力学与气候学研究;

E-mail: xgy0129@yahoo.com.cn

号台风等都有类似的特点,而“75.8”特大暴雨则成为类似情况的极端天气事件,1975年8月4日7503号台风残留低压在河南省驻马店地区形成了特大暴雨洪水^[4],造成2座大型水库、2座中型水库和58座小型水库相继垮坝,致使河南省4地区29个县、市1100多万人受灾,死亡2.6万人。

0505号台风“海棠”范围大、强度强、路径复杂,影响我国时风力强且持续时间长、降雨强度大,这是近5年来登陆我国台湾省最强的一个台风,也是对浙江、福建、河南和河北等省影响严重的台风之一。本文对台风灾害和环流背景进行了分析,并利用 Q 矢量和螺旋度等诊断方法,对台风在浙闽地区造成强降雨的成因作了初步研究。

2 “海棠”台风概况

0505号台风“海棠”(Haitang)2005年7月12日8时在关岛东北洋面上生成并偏西移动,强度逐渐加强,13日20时、14日14时先后加强为强热带风暴和台风,其强度一度很强(910 hPa, 65 m/s, 16日20时)。18日14时50分第一次在台湾省宜兰市登陆(950 hPa, 45 m/s),穿越台湾后进入台湾海峡,19日17时10分再次在福建省连江登陆(975 hPa, 33 m/s)。以后继续向西北偏西移动,经过福建中北部,于20日15时进入江西(图1)。21日20时减弱为热带低气压并入湘,但其影响远未结束,对华北地区的影响一直持续至24日前后。

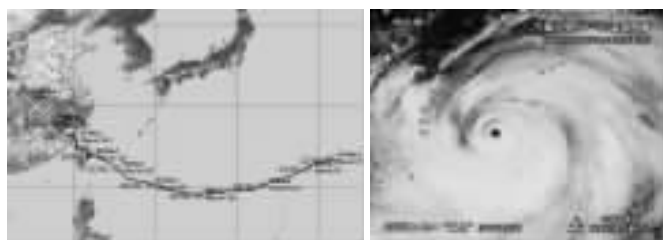


图1 台风“海棠”实况路径图

图2 17日18:41云图

“海棠”台风的影响大致分为以下几个阶段。

第一阶段,即台风生成至18日下午登陆前。从14日下午开始,随着台风增强和西进,对台湾地区的影响逐步加强,其中台湾东北部出现强降雨。图2中的台风眼区清晰,表明了台风这时已发展到了强盛阶段。该阶段在浙江中南部沿海海面、台湾东部海面和台湾海峡风力已加大到12级以上。此间,台风在台湾东部沿海出现第一次“打转”,时间长达7 h(18日07时至14时),正是这“打转”,不仅延长了台湾地区强降雨的维持时间,还对以后台风的演变及风雨分布产生了较大影响。

第二阶段为台风登陆台湾至再次于福建登陆(即18日14时-19日17时)。该阶段台湾地区持续强降雨与大风,福建、浙江南部地区降水普遍加大,浙江中南部沿海海面、台湾海峡和台湾沿海地区维持12级以上大风。图3a中,台风中心已进入台湾海峡,螺旋云带影响台湾、福建、浙江等地。在微波图像上,强降雨云系主要位于台风东部,浙江沿海地区也有强降雨云团(图3b)。至19日早晨其路径总体稳定为西北偏西,然而19日上午又开始了该台风的第二次转折,即由原来的偏西北路径折向北上,这可能

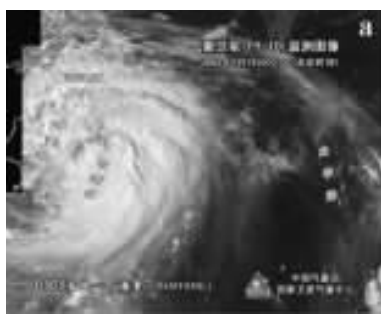


图3a FY-1D获得的中心进入台湾后的“海棠”台风可见光云图(7月19日07:01)

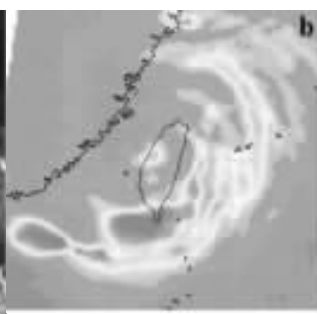


图3b NOAA-16微波图像获得的“海棠”台风云顶亮温图像(7月19日2:28)

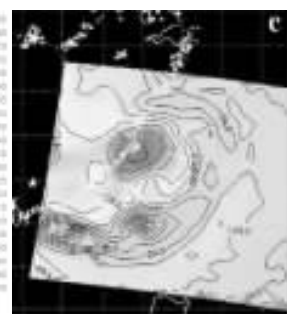


图3c NOAA-16微波通道反演的200 hPa温度距平图像(7月19日2:28)

与当时的环流和温度场有关,图3c表明高空的温度正距平中心位于西北方向。以后台风又折向西北路径,最终登陆连江,这一转折也同样影响了浙闽地区的风雨分布,并对台风登陆后的后续影响发挥作用。

第三阶段,台风登陆并向内陆移动(19日17时至21日20时)。台风登陆后继续深入内陆,中心附近降水显著减弱,但期间台风外围的东南急流加强(图4),表现在云图上就是台风外围云系在台湾东部沿海加强,其中新生出强暴雨云团(图5),这些云团伴随东南急流影响浙东南沿海地区,造成该地区强降雨(图6),特别是19日20时(图5a)至20日14时,该区域降水异常强盛,使温、台两市出现特大洪水,部分城镇被洪水淹没,其中平阳县水头镇淹没最深处超过4 m。19日下午起主要降水云团移至浙江东北部(图5b)。台风低压倒槽与西风带弱冷空气结合,在江西境内出现的强降雨(如庐山,270 mm)也发生在这一时期。

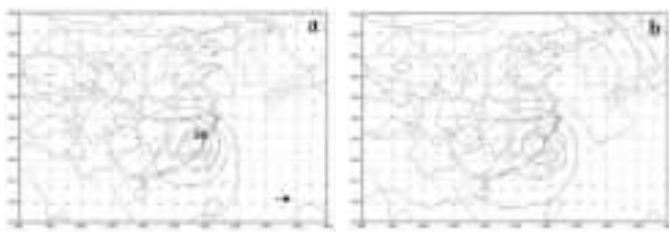


图4 19日20时850 hPa高度场和温度场再分析图(a.850 hPa, b.700,高度场:位势什米;风速:m/s)

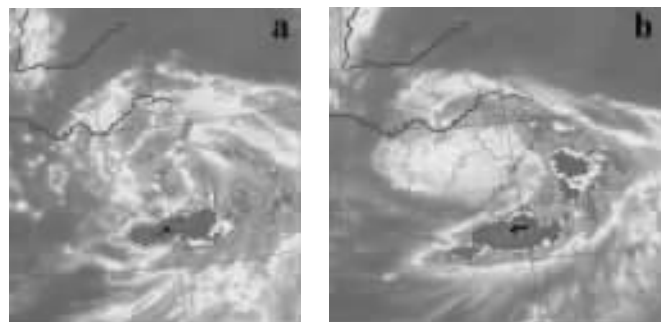


图5 FY-2C探测到的“海棠”台风红外卫星图

第四阶段,台风进入湖南后已变成弱低压,这时已处于消亡阶段,故其本身已无大的势力,在风场上也只是气旋性环流,由于台风倒槽、台风留余低压、台风低压外围东南急流的维持,恰与西风带弱冷空气在河南、河北、北京地区结合^[5],造成这一地区出现强降雨或雷雨大风等强对流天气(图7),并造成重大灾害。随着23-24日华北地区强降雨过程的结束,“海棠”台风残留的云也基

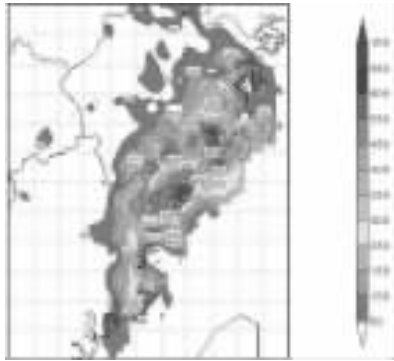


图6 18日08时-21日08时雨量(a 19日20时,b 20日20时)

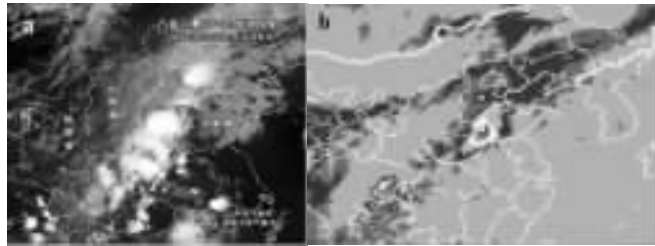


图7 FY-1D 获得的华北地区强对流云团的红外云图
(7月22日19:38,a.未增强显示,b.增强显示)

本消散,至此,“海棠”台风的影响才告一段落。

3 “海棠”台风主要灾害分析

“海棠”台风首先对我国台湾省造成严重影响。台湾地区自7月17日至21日出现强降水和大风,大部地区出现大暴雨,部分地区有特大暴雨,降雨量一般为500~1200 mm,部分地区达1200~1900 mm,个别超过2000 mm,部分地区出现12级以上的大风。至7月21日共造成12人死亡、5人失踪、36人受伤,仅农业直接经济损失就达32.6221亿新台币。该台风成为近5年来登陆台湾省最强的台风,造成的经济损失和人员伤亡也是近年来较重的。

“海棠”台风在浙江省造成重大灾害。18日傍晚起,浙江南部沿海地区10级以上大风持续近40 h,160站超过17 m/s(含中尺

度自动站),最大为赵山渡41.3 m/s、海山41.1 m/s。18日8时-21日8时,中部出现暴雨,东南部普降暴雨到大暴雨,东南沿海则发生特大暴雨(图6),其中117站超100 mm、75站超200 mm、48站超300 mm、19站超400 mm和8站超500 mm,最大的乐清礅头(水文站)和苍南县昌禅(气象站)分别达到736.1 mm。全省31个县(市)、762.4万人受灾,40多万人被洪水围困,直接经济损失72.2亿元,因灾死亡6人、失踪5人。

台风第二个登陆地福建省也是重灾区。从16日开始该省就受到台风外围的影响,其中特别值得重视的是受台风外围东南急流中北上的热带辐合带云团的影响,在台风进入江西、湖南后,21-22日福建省部分地区还出现暴雨、大暴雨等强降水,致使灾情加重。根据气象站资料(不含自动站)分析,全省有2个地市平均过程面雨量超过100 mm(宁德市260.5 mm,福州市149.4 mm),柘荣站过程降雨量和日降雨量分别达到671 mm和472 mm(图6),均打破登陆福建台风降雨的历史记录。台风登陆地附近出现12级以上大风,其中台山站为45.6 m/s、平潭和长乐为33 m/s级。台风造成该省213.4万人受灾,21人受伤,直接经济损失达到26.3亿元。

7月22日开始,台风的影响主要表现为其残留低压、气旋性环流、台风倒槽与中纬度小槽、弱冷空气相互作用而在华北地区出现强对流和强降水^[6]。河南省出现的情况最为典型,过程特点与“75.8”颇为相似,该省荥阳水文站过程雨量达到342 mm,24 h降雨量高达282 mm(23日8时至24日8时),超过该站历史极值。强降水在该省中部、北部造成严重洪涝灾害,其中强降雨中心郑州市尤为严重,全市15.39万人受灾,2人死亡,直接经济损失3.49亿元。

类似的情况也出现在河北省和北京市。随着低压与副高之间东南风暖湿急流向北的推进,强天气出现的区域也不断向北扩展。虽然台风减弱为低压环流,其本身的强度已很弱了,但低压中心与西太平洋副高之间的东南风急流却维持强盛状态,处在副高边缘的这支暖湿急流与西风带弱冷空气结合^[7],结果在北京和河北等地再次引发强降雨天气,22日下午,河北省沙河市发生特大暴雨,1 h降雨量为80 mm,造成1名女童死亡。分析降雨观测资料表明,22-24日该省出现强降雨天气过程,全省27个县(市)过程雨量超过100 mm,最大过程雨量定州站高达329 mm。同样,22日至23日晚9时,北京出现2005年入夏后的最强降水,全市平均降雨量达61 mm,其中最大的房山区张坊站达184 mm。

表1 “海棠”台风造成重点受灾地区的灾害统计与主要成因简表

受灾地区	主要影响时间	人员伤亡情况	直接经济损失	主要灾害	最大降雨/风力	成灾主要原因
浙江省	17-22日	死亡6人, 失踪5人, 受灾780.4万人	72.2亿元	强降雨、大风 洪涝、地质灾害	840.0 mm(乐清市礅头水文站) 41.3 m/s(平阳赵山渡)	台风直接影响带来强降水、大风,强降水形成洪涝,并引发多起地质灾害
福建省	16-22日	受伤21人 受灾213.4万人	26.3亿元	强降雨、大风 洪涝、地质灾害	671 mm(柘荣站) 33 m/s(连江黄岐)	台风登陆带来强降水、大风,强降水形成洪涝,并引发地质灾害
江西省	17-23日	受灾24.7万人	10.7亿元	强降雨、大风 山洪、地质灾害	270 mm(庐山站) 9~10级	台风(低压)中心经过地,带来强降水和大风,强降雨引发地质灾害
安徽省	19-20日	雷击伤亡1人	不明	部分出现大风和 短时强降水	88.4 mm 21.8 m/s(宣城)	台风外围云系影响,引发强对流和降雨
江苏省	18-20日	不明	不明	暴雨、雷雨、大风	62.1 mm(泰兴)阵风7~8级	台风外围云系降雨,台风与山东北部高压间的气压梯度风
河南省	19-24日	受灾232.6万人 2人死亡,14人受伤	9.66亿元	12个省辖市出现 暴雨、局部雷击	342 mm(荥阳水文站)	台风倒槽与弱冷空气结合,外围云系发展,产生强降雨,进而引发洪涝
河北省	20-24日	不明	不明	区域性暴雨、局部 雷雨大风和冰雹	27个县(市)≥100 mm, 最大329 mm(定州)	台风留下的低压倒槽与弱冷空气结合引发强降雨、强对流
山西省	20-24日	死亡3人,受灾人口 3600余人	570万元 (不完全统计)	短时强降雨,引发洪 涝灾害		台风留下的低压倒槽与弱冷空气结合引发短时强降雨

4 “海棠”台风灾害形成的主要特点

“海棠”台风灾害形成有多个特点。

1) 台风强度大 该台风在海上最强盛时曾发展到中心气压 910 hPa, 近中心最大风力 65 m/s, 台风第一次登陆台湾东部时正处于台风发展的旺盛阶段, 因此造成的损失也特别大, 即使是穿越台湾岛山区时有了消耗, 但仍有较强的势力。

2) 台风的路径“怪异” 台风在 18 日早晨前其路径基本稳定, 以偏西路径为主; 18 日早上开始, 由于受大陆高压、副高与台湾中央山脉等因素与台风内力相互作用与平衡的影响, 台风在台湾花莲附近洋面上出现第一次“打转”, 时间长达 7 h; 台风进入台湾海峡后又出现第二次转折, 从而形成一条十分复杂多变的台风路径, 这对与台风相应的风、雨分布产生了很大的影响, 也影响到台风灾害的分布与强度^[9]。

3) 台风带来了强降雨 该台风带来的降雨在不同阶段其成因有所不同。从开始影响台湾地区到在福建二次登陆, 台风降雨主要来自于与台风直接有关的台风螺旋云带与台风中心附近的密蔽云系; 台风登陆以后至 21 日, 发生在浙江、福建及江西地区的强降雨主要是台风外围东南急流中从热带辐合带北侵的热带云团移至大陆, 由于受地形抬升等影响而产生强降雨, 期间在苏皖地区的降水也是由东南向西北向行进的云团所造成。这是浙江省第二波强降雨发生期, 与台风登陆前后的降雨相比, 只是主要降雨区有所北移。同时, 台湾南部、福建省南部地区又出现强降雨, 特别是台湾南部出现强降雨中心, 使台南地区个别测站过程雨量超过 2 000 mm, 这是本次台风最大的过程雨量。台风第三阶段的降雨发生于 22–24 日, 主要由于中低纬度系统的相互作用而在华北地区产生了强降雨和强对流天气。

4) 台风强降雨持续时间长 台风登陆后强降雨能维持较长时间, 重要原因之一在于东南急流的维持与源源不断的水汽输送^[9]。急流维持的主要原因: 一是台风登陆后尽管其本身强度减弱较快, 但由于与台风登陆前后同时发生的大陆高压减弱, 有利于台风残留低压和气旋性环流的维持; 二是西太平洋高压刚好处于一个加强期, 两种因素的存在与相互配合使得台风低压中心东北侧的东南急流维持, 有利于热带云团向西北方向输送(图 6)。分析辐合带形势, 随着台风登陆并深入内地, 台风外围云带并未与原有热带辐合带脱离, 相反在台风与辐合带之间始终维持云带通道, 致使热带辐合带中的云团维持向西北方向输送(图 5)。

5) 中低纬度系统相互作用 从 22 日开始, 尽管台风本身强度已显著减弱, 但由于残留低压外围的强东南急流的持续, 使得不断有大量的暖湿气流向华北地区输送, 而台风残留的弱低压则因在河南、河北、北京等地与西风带北冷空气相遇, 从而增强了大气的斜压结构, 以致在这些地区发生了强降雨和强对流天气。

5 “海棠”台风发生发展的大气环流形势背景

台风“海棠”发生于特定气候背景下^[10]。2005 年进入春季后, 南半球冷空气活动偏弱, 西太平洋热带对流持续偏弱, 副热带高压强、位置偏南; 5 月末至 6 月初夏期间, 季风爆发偏晚, 华南雨季偏迟, 副高持续偏南, 稳定少动, 华南前汛期雨带长期维持在江南至华南。由于 6 月副热带高压持续偏南, 使长江中下游地区未能稳定出现持续的梅雨天气。进入 6 月后副高脊线较 2004 年明显偏南, 但副高面积指数(110–180°E500 hPa 高度 ≥ 588 位势什米格点值)和副高强度指数(110–180°E500 hPa 高度值减去 587 位势米后的累计值)则显著加强, 表明副高强度和范围得到加强,

这是台风生成前期热带环流的主要特点。

6 月以后, 中高纬度欧亚地区冷空气活动频繁, 造成我国北方对流性天气盛行, 局地暴雨、冰雹和龙卷风等频繁, 黑龙江宁安沙河镇特大洪水就是这种特定环流背景下局地短时强降雨所形成。6 月末至 7 月初, 随着南半球不断有冷空气活动, 越赤道气流相应向北推进, 西太平洋热带对流活动加强; 副高突然北跳, 并且迅速越过长江, 到达 30°N 以北, 有利于“海棠”台风到达较北位置, 比常年 7 月上旬出现的台风登陆地区偏北。同时, 作为 2005 年第一个登陆中国大陆的台风, 比常年初台风登陆时间(常年平均日期在 7 月 1 日前后)偏晚半个多月, 但一般登陆在华南地区的广东、海南或福建南部地区。同时, 7 月 28℃等温线比 1971–2000 年 30 年平均其范围明显要大, 表明西太平洋海温比常年偏高, 为台风的形成提供了有利的海温条件^[11]。这是台风生成与发展期的低纬地区环流的基本特点。

分析北半球环流形势(图略), 与常年同期相比, 7 月北半球 500 hPa 高度场整体偏高, 西太平洋副高异常偏强, 仅次于 1995 和 2003 年, 为历史同期第三; 西太平洋副高面积仅次于历史同期最强的 1998 年; 副高脊线位置正常略偏北、北界位置偏北、西伸脊点偏西; 同时, 7 月极涡中心偏向东半球、强度偏弱, 欧亚中高纬纬向环流占优势。可见, “海棠”台风登陆地偏北是由于特定的大气环流背景, 特别是由于副高的活动所决定的。

6 台风登陆前后强降雨发生的成因分析

6.1 Q 矢量对暴雨发生条件的诊断

暴雨的发生和持续除了要有充足的水汽、湿不稳定层结等要素外, 还必须有强烈的垂直上升运动, Hoskins 推导出以 Q 矢量表示的 ω 方程避免了传统 ω 方程的缺点^[12], 以 Q 矢量散度为强迫项的非地转 ω 方程为:

$$\nabla_h^2(\delta\omega) + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2 \nabla \cdot \vec{Q} \quad (1)$$

Q 矢量表示作用在位温梯度上的地转速度水平形变的大小。(1)式的意义是, 非地转湿 Q 矢量散度表示的是产生垂直运动的强迫机制的强弱。(1)式左边与 $-\omega$ 成正比, 从而与 ω 成正比, 因此, 当 $\nabla \cdot \vec{Q} < 0$ 即 Q 矢量辐合时, 则 $\omega < 0$, 持续一定强度的上升运动, 为降水提供了有利的动力条件; 反之 $\omega > 0$, 垂直方向上为下沉运动。所以可以通过诊断 Q 矢量的辐合与辐散来判断垂直运动。

图 8a 是 18 日 20 时 850 hPa 等压面上的 Q 矢量散度场, 此时台风眼在台湾岛北部, 台风的西南象限和东北象限 Q 矢量散度为负, 并且西南象限负的 Q 矢量散度比东北象限强 1 倍左右, 而台风的东南象限和西北象限则为弱的 Q 矢量散度正区域。对照同时刻的 FY-2C 云图可以发现, 此时的台风云系呈东北–西南分布, 且台风眼西南方向是云系最集中的区域。19 日 08 时(图 8b)台风已经离开陆地来到台湾海峡的海面上, 此时福建沿海到



图 8 850 hPa Q 矢量散度场(a.18 日 20 时, b.19 日 08 时, c.19 日 20 时)

浙江沿海一线已经处于负的 Q 矢量散度区域,此时浙江南部的雨量开始增大。

19 日 20 时(图 8c)台风已经在福建沿海登陆,此时台风眼的东南和西北象限为正 Q 矢量区域,东北和西南象限为负 Q 矢量区域,且南方 Q 矢量散度远大于北方,呈不对称分布。对照雨量图可以发现,从浙江象山到福建平潭沿海一线开始出现大暴雨到特大暴雨,因此强降水主要发生在 Q 矢量辐合中心附近,850 hPa 等压面上的 Q 矢量辐合区与强降水有很好的对应关系。

6.2 螺旋度对暴雨发生条件的诊断

螺旋度定义为风速和涡度点积的体积分(式 2),它反映了旋转与沿旋转轴方向运动的强弱程度,数值越大表示环境中垂直风切变越大,垂直风切变产生水平涡管,沿着涡管方向的相对风速达到一定程度,将有利于强对流天气的发生发展^[13]。当气流流入螺旋系统内部就会倾斜上升,产生围绕垂直轴线的气旋式旋转运动,有利于风暴加强^[14]。由于采用了螺旋系统相对于周围环境的风速,因此这里的螺旋度又称相对螺旋度。螺旋度的表达式为^[15]

$$H = \int_V \vec{v} \cdot \nabla \wedge \vec{v} d\tau \quad (2)$$

本文采用的是 Devies-Jones 等的计算公式计算相对螺旋度:

$$H = \sum_{n=0}^{N-1} [(u_{n+1} - c_x)(v_n - c_y) - (u_n - c_x)(v_{n+1} - c_y)] \quad (3)$$

其中对流系统的移速 C 取 850~300 hPa 平均风速的 0.75 倍,风向取平均风向右偏 40° 。

由图 9a 可以看出,18 日 20 时在台湾海峡低层有一个绝对值非常大的正螺旋度中心,中心的东南象限也就是台湾岛上空等值线较密,中心的西北象限也就是福建沿海等值线较稀疏,因此强降水发生在正螺旋度中心附近,且梯度大的一侧比梯度小的一侧降水强度更大。当时相邻的福建、浙江等省份都处于正螺旋度区域中,但是强度较弱,等值线梯度也较小,实况雨量是闽浙内陆为小到中雨,沿海大到暴雨、局部大暴雨,台湾岛降水强度更大,台风在福建登陆前台湾降水达 500~1 200 mm。

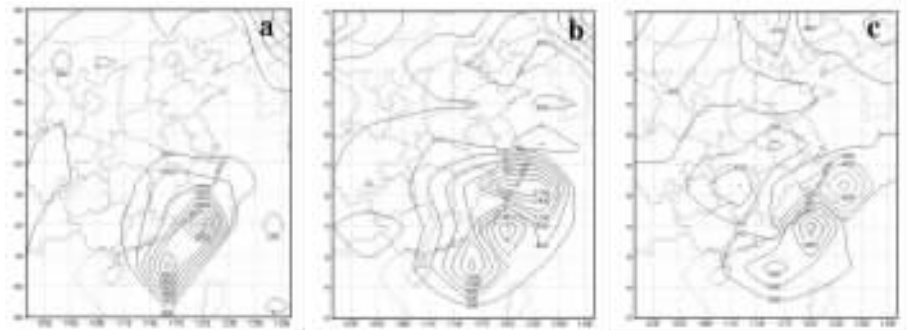


图 9 台风登陆前后低层相对螺旋度变化(a.18 日 20 时, b. 19 日 20 时, c. 20 日 20 时)

19 日 20 时,也就是台风“海棠”在福建沿海登陆后不久,正螺旋度中心值比 24 小时前有所减弱,正螺旋度区域明显扩大(图 9b)。此时以台湾海峡为中心,约 500 km 半径处的环形区域内为正螺旋度大值中心,台湾海峡此时为相对低值区,对照同一时刻的 FY-2C 卫星云图(图 5a)可以发现,正螺旋度大值中心正好对应台风的螺旋云系,此时的陆上强降水中心就在位于正螺旋度大值中心的浙江东南部。19 日 08 至到 20 日 08 时,该地区出现 50 mm 以上暴雨的台站有 25 个,出现 100 mm 以上大暴雨的台站有 13 个,出现 250 mm 以上特大暴雨的台站有 7 个。可见台风的螺旋雨带在低层相对螺旋度场上反映为正的大值中心,低层相对螺旋度场可以很好地体现台风云系的水平结构。

20 日 20 时台风已经进入江西境内,减弱为热带低压,由图 9c 可以看出,正螺旋度进一步减弱,陆上的中心值已经降为台风登陆前的 1/6 左右,正区域覆盖江西、安徽、湖北、湖南等地区,此时实况降水主要发生在江西、安徽南部、湖南和湖北的东部,且大部分地区为中等雨量,局部暴雨(图 5b)。此时台湾海峡的正螺旋度比 24 h 前反而明显增强,绝对值达到 19 日 20 时的 4 倍左右。分析其中的原因,可以看到原来台风外围留在海上的云团进入了台湾海峡,而这些云团进入这一区域,是由于台湾海峡和台湾地形的作用,即从中激发出重力波,其波动在发展过程中使热带暖湿气流的能量得以释放,使螺旋度急剧增大,从而也在这一时期造成了新的强降雨。

7 结论

本文在分析台风“海棠”概况的基础上,进一步研究了该台风演变的主要特征、台风灾害形成特点,并对台风发生发展的大气环流背景和登陆前后强降雨成因作了初步探讨。本文获得以下初步结论。

1) “海棠”台风具有路径“怪异”、雨量大且持续时间长、风雨影响范围广等特点,因此台风破坏力很强,台风带来的强降雨和大风,给沿途造成严重洪涝灾害与风灾。

2) “海棠”台风的演变基本可以概况为 4 个阶段,各阶段演变特征不同。对台湾地区的影响从第一阶段后期即开始,而对大陆的影响则从第二阶段开始,各阶段造成的风雨分布特点也有区别。

3) 台风强降雨出现的成因主要表现为:台风中心附近密蔽云带直接带来强降雨;台风外围螺旋云带深入陆地后受地形强迫抬升作用产生强降雨;台风与副高之间的东南风急流中的对流云团到达大陆后产生强降雨;台风残留低压在大陆上与西风带系统相互作用引发强降雨;台风外围的西南风急流经过台湾时,由于强迫和绕流作用激发重力波,这些重力波经过发展而生成强对流云团,在进入台风外围第一象限后影响大陆地区;热带辐合带中不断有对流云团卷入台风螺旋云带中,使螺旋云带得以维持。

4) “海棠”台风生成于特定的环流阶段,主要表现为:与常年同期相比,7 月北半球 500 hPa 高度场整体偏高,西太平洋副高异常偏强;副高脊线位置正常略偏北、北界位置偏北、西伸脊点偏西;7 月极涡中心偏向东半球、强度偏弱;欧亚中高纬纬向环流占优势。同时,7 月 28°C 等温线比 1971~2000 年 30 年平均范围明显要大。

5) Q 矢量的辐合与辐散可用来诊断垂直运动。“海棠”台风登陆前,云系呈东北-西南分布,且台风眼西南方向是云系最集中的区域,西南象限和东北象限 Q

矢量散度为负,并且西南象限负的 Q 矢量散度比东北象限强 1 倍左右;台风登陆后,强降水主要发生在 Q 矢量辐合中心附近,850 hPa 等压面上 Q 矢量辐合区与强降水有很好的对应关系。

6) 强降水发生在正螺旋度中心附近,且梯度大的一侧比梯度小的一侧降水强度更大。台风的螺旋雨带在低层相对螺旋度场上反映为正的大值中心,低层相对螺旋度场可以很好地体现台风云系的水平结构。

参考文献(References)

- [1] 陈联寿,徐祥德,罗哲贤,等. 热带旋动力学引论[M]. 北京:气象出版社,2002. 317

直立式透空防波堤周围非线性波浪传播的数值模拟

Numerical Simulation of Nonlinear Wave Transformation Around Vertical Wave-permeable Breakwater

李 熙/LI Xi, 张素香/ZHANG Su-xiang

河海大学交通与海洋工程学院, 南京 210098

School of Ocean Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China

[摘要] 基于改进的 Boussinesq 方程的数学模型, 对非线性波浪在透空式防波堤周围的波浪变形进行了数值模拟。实例实验证明, 该模型可对非线性波浪在透空式防波堤周围的波浪变化作出准确的预测, 对透空式防波堤工程有一定的参考价值。

[关键词] 透空式防波堤, Boussinesq 方程, 波浪传播

[中图分类号] P753, P731.22

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2005)10-0035-03

Abstract : Based on modified Boussinesq type equations the problem of wave partial reflection and transmission by wave-permeable structure are solved. Compared with laboratory data in wave basin and engineering practice in field, the model gave accurate predictions of reflected and transmitted effects around the wave-permeable breakwater. The simulation results show that the wave model can be used as an accurate method of engineering reference.

Key Words : wave permeable breakwaters, Boussinesq equations, wave transformation

CLC Numbers : P753, P731.22

Document Code : A

Article ID : 1000-7857(2005)10-0035-03

1 引言

透空式防波堤的设计和应用在 20 世纪 70 年代兴起^[1], 现因重力式防波堤会引起环境的改变以及透空式防波堤结构上所具有的优势, 而使其再次成为海洋工程防波堤结构设计选择的主要模式之一。在非线性波浪作用下的透空堤计算, 是解决工程实际问题 and 提供设计参数的重要步骤^[2], 有关透空堤数值计算方法因其对能量衰减项的表达不同而不同, 透水率的计算方法^[3]是基于

试算的一种解法, 另外一些数值计算方法^[4-9]对该问题进行了不同描述。本文提供了考虑部分反射和透射的非线性波浪浅水变形的一种数值计算模式, 用于对透空式防波堤周围的非线性波浪变形进行计算, 并为工程实际提供了参考。首先针对一维的简化模型得出理论分析结果, 并通过水槽实验进行率定, 然后应用二维的数值计算给出非线性波浪在透空式防波堤周围的传播变形和波高分布, 并通过和波浪港池的物模实验对比进一步验证了模型

收稿日期: 2005-05-23

作者简介: 李 熙, 男, 江苏省南京市西康路 1 号河海大学交通与海洋学院, 讲师, 主要研究方向为海洋工程; E-mail: xili@hhu.edu.cn

- [2] 陈联寿, 孟智勇. 我国热气球研究十年进展[J]. 大气科学, 2001, 25 (3): 420~432
- [3] 薛根元, 俞善贤, 何凤翮, 等. 0414 号台风云娜的基本特征与强降水成因分析[J]. 科技导报, 2004, 9: 42~46
- [4] 陈联寿, 罗哲贤, 李英. 登陆热带气旋研究的进展 [J]. 气象学报, 2004, 62(5): 541~549
- [5] Parrish J R, Burpee R W, Marks J F D, et al. Rainfall patterns observed by digitized radar during landfall of Hurricane Frederic (1979) [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 1982, 110(12): 1 933~1 944
- [6] 朱宏石(岩). 台风与中纬度系统相互作用形成槽前大暴雨的数值模拟 [J]. 大气科学, 2000, 24(5): 669~675
- [7] 雷小途, 陈联寿. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究[J]. 气象学报, 2001, 59(5): 602~615
- [8] 钮学新, 杜惠良, 刘建勇. 0216 台风降水及其影响降水机制的数值模拟实验[J]. 气象学报, 2005, 63(1): 57~67
- [9] 李英, 陈联寿, 王继志. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度

- 环流特征[J]. 气象学报, 2002, 60(2): 167~179
- [10] 余晖, 端义宏. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征[J]. 气象学报, 2002, 60(6): 680~687
- [11] 李江南, 龚志鹏, 王安宇, 等. 近十年来台风暴雨研究的若干进展与讨论[J]. 热带地理, 2004, 24(2): 113~117
- [12] 赵宇, 吴增茂. 9711 号台风演变及暴雨过程的位涡诊断分析[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(2): 13~20
- [13] Lilly DK. The structure and propotation of rotation convective storm. Part2: Helicity and storm[J]. *J AtmosSci*, 1986, 43(2): 126~140
- [14] 陈华, 谈哲敏. 热带气旋的螺旋度特性[J]. 热带气象学报, 1999, 15 (1): 83~85
- [15] 侯瑞钦, 程麟生, 冯伍虎. “98.7”特大暴雨的低涡螺旋度和动能诊断 [J]. 高原气象, 2003, 22(2): 202~208

(责任编辑 胡春华)