

我国南海沿海台风风暴潮灾害分析及减灾对策

甘申东^{1,2}, 章卫胜^{1,2}, 宗虎城^{1,2}, 张金善^{1,2}, 林瑞栋³

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水利部应对气候变化研究中心, 江苏 南京 210029;
3. 宁波港镇海港埠公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 系统总结了我国南海沿海台风风暴潮的生成特点、灾害损失发生规律、灾害特征、灾害成因及强度影响因素等。重点讨论 1990—2009 年间台风风暴潮的特点, 指出近些年来南海沿海台风风暴潮发生频率及其强度均有增加的趋势, 特大台风风暴潮发生的频率及损失强度也加大了。最后针对如何有效防御台风风暴潮灾害进行了探讨, 以期对珠江三角洲以及海南等地区预防和抵御台风风暴潮灾害提供科学依据。

关键词: 台风风暴潮; 致灾因子; 成灾特点; 灾害分析; 防御对策

中图分类号: P731.23; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2012)06-0051-08

我国地处太平洋西海岸, 是风暴潮灾害发生频率最高、损失最严重的国家之一^[1]。台风风暴潮成灾地区几乎遍及我国大陆沿海, 但遭受台风风暴潮灾害的地区主要集中于大江、大河的入海口、海湾沿岸和沿海低洼地区: 江苏省南部至浙江省北部沿海地区, 其中长江三角洲和杭州湾是重灾区; 福建闽江口附近沿海地区; 广东汕头到珠江三角洲地区, 其中汕头沿海是重灾区; 广东省雷州半岛东海岸和海南省海口到清澜港沿海; 广西北部湾沿岸的低洼地区。根据相关资料统计, 我国沿海台风风暴潮灾害自 20 世纪 80 年代中期以来逐年攀升。特别是近些年来, 我国台风风暴潮灾害造成的损失有的超过了百亿。因此, 预防和抵御台风风暴潮造成的灾害损失已成为南海沿海地区防灾减灾工作中的重要研究课题之一。

1 南海沿海台风风暴潮灾害的发生规律

我国受台风风暴潮影响的主要地区为江苏、福建、浙江、上海、广东、广西和海南沿海地区。广东、广西、海南和福建沿海受灾最严重的地区主要集中在珠江三角洲地区以及海南沿海地区。广东和海南属于我国经济最为发达的地区, 其受台风风暴潮引起的损失较大。其中广东省每年登陆的台风约为 2~3 次, 海南省每年登陆的台风约为 1~2 次。南海地区特大风暴潮灾害有逐年增多的趋势, 2003 年南海地区发生了“伊布都”、“科罗旺”、“杜鹃”3 次特大风暴潮, 创下了历年来的最高纪录。

台风灾害给社会、经济和环境等带来了巨大的负面影响^[2], 南海地区是我国台风风暴潮灾害最严重的地区之一。其中, 广东沿海是我国沿海台风风暴潮最严重的地区^[3-6], 平均每年受到 5~6 次强热带气旋的袭击, 发生较严重潮灾 1~2 次。广东风暴潮灾害主要集中在 3 个地区^[7]: 一是汕头地区, 由登陆汕头的台风造成, 例如 6903, 7908 和 0606 号台风; 二是珠江口地区, 几乎每年均有风暴潮灾害发生, 主要是由登陆珠江口附近的台风引起; 三是雷州半岛及湛江地区, 受口袋状的海岸地形影响, 海水容易大量堆积, 在沿岸形成潮灾, 主要由南海西行台风造成。海南省台风入侵次数多, 且季节长, 每年约达 7 个月之久, 素有“台风走廊”之称, 平均每年受到 6~7 个热带气旋的影响, 其中在海南登陆的热带风暴以上强度的热带气旋平均每年约为

收稿日期: 2012-04-15

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费资助项目“气候变化对我国水安全影响及对策研究”(200801001); “中国海堤风险区划及风暴潮包络图谱研究”(200901061)

作者简介: 甘申东(1985-), 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生, 主要从事海岸工程研究。

通信作者: 张金善(E-mail: zhangjinshan@vip.163.com)

2 个. 从海南北部西行的热带气旋将影响广西岸段: 当强热带气旋进入北部湾后, 由于北部湾是一个半封闭海域, 因此整个湾区均可受到较大影响, 在热带气旋进湾之前, 岸边一般吹北风, 造成岸边减水, 当中心到达湾中部或登陆前后, 岸边西南风加大, 此时整个北岸几乎均发生增水现象^[7].

1.1 登陆地点

图 1 是 1966—1995 年南海沿海和我国沿海台风登陆次数的统计. 从图中可见, 我国沿海台风登陆地点大部分都在南海沿海地区, 有些年份甚至所有台风都是在南海沿海登陆, 如 1991 年和 1993 年. 我国每年沿海登陆的台风约为 7~8 次, 南海登陆的台风约为 5 次, 约占 65%. 由此可见, 南海沿海地区是我国受台风影响最为严重的地区.

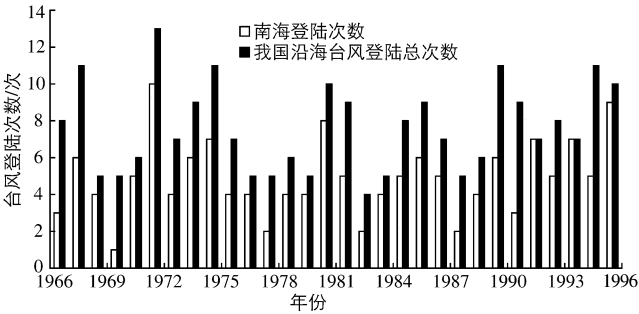


图 1 南海沿海台风与我国沿海台风登陆次数分布

Fig. 1 The storm surge frequency distribution of the south China coast and China coast

1.2 台风路径及增水

台风路径与其增水有着密切的关系, 同一强度台风由于路径的不同, 在同一地点造成的增水值可能有很大差异^[1]. 根据历史资料分析, 造成南海沿海风暴潮灾害的典型热带气旋路径主要有以下 5 条^[3]: (1) 西北太平洋的强台风经菲律宾或绕过菲律宾与台湾岛南部之间的海域在雷州半岛或徐闻县附近登陆; (2) 西北太平洋的强台风绕过菲律宾与台湾岛南部之间的海域在珠江口附近登陆; (3) 西北太平洋的强台风绕过菲律宾与台湾岛南部之间的海域在汕头附近登陆; (4) 台湾以东太平洋的强台风经菲律宾在广东省阳西县和电白县交界处附近登陆; (5) 西北太平洋的强台风绕过菲律宾与台湾岛南部之间的海域在海南岛万宁县附近登陆.

珠江三角洲主要验潮站最大增水统计见表 1^[5]. 珠江三角洲地区北津港 0307 号台风最大增水 3.19 m. 珠江三角洲其他验潮站最大增水值一般在 1.9~2.6 m.

表 1 珠江三角洲主要验潮站实测风暴潮最大增水

Tab. 1 The measured maximum sea level rise induced by storm surge of the Pearl River delta

站名 (所在地)	最大增水/ m	出现时间	相应台风 编号	统计年份	站名 (所在地)	最大增水/ m	出现时间	相应台风 编号	统计年份
港口(惠东)	1.14	1974-10-13	7422	1974—2005	横门(中山)	1.99	1993-09-17	9316	1953—2005
赤湾(深圳)	1.96	1993-09-17	9316	1964—2005	灯笼山(中山)	2.19	1993-09-17	9316	1960—2005
泗盛围(东莞)	2.62	1993-09-17	9316	1964—2005	三灶(珠海)	2.42	1993-09-17	9316	1965—2005
黄埔(广州)	2.53	1993-09-17	9316	1954—2005	黄金(斗门)	2.48	1993-09-17	9316	1960—2005
广州(广州)	2.00	1993-09-17	9316	1950—2005	黄冲(新会)	2.49	1989-07-18	8908	1960—2005
南沙(番禺)	2.45	1993-09-17	9316	1954—2005	北津港(阳江)	3.19	2003-07-24	0307	1957—2005

1.3 特大风暴潮

表 2 是 20 世纪 50 年代以来南海沿海特大台风风暴潮灾害的情况.

表2 我国南海沿海特大台风风暴潮灾害(1949—2009年)

台风生成年份及 名称(或编号)		最大风暴潮 潮位/ m	经济损失及人员伤亡		
			发生地区	死亡人数/人	经济损失/亿元
1965	Freda	2.87	广东雷州半岛及广西沿海		>1
1969	Viola	3.02	广东汕头地区沿海	1554	3
1980	Joe	5.94	广东雷州半岛及海南岛东北沿海	414(654)	3.9
1986	8609(无名)	1.17	广西沿海	37(700)	11.1
	Wayne	3.52	广东雷州半岛及海南岛沿海	20(363)	13.2
1989	Cordon	2.04	广东珠江口以西沿海	30(145)	12.2
1996	Sally	2.00	广东西部、广西东部沿海	359	154.58
	9618		广东、海南沿海	100	50.54
1997	9713		广东湛江港、雷州半岛东岸沿海	6	21.00
2001	尤特	2.00	广东、福建沿海	14	31.40
	伊布都	3.19	广东沿海	3	21.54
2003	科罗旺	1.84	海南、广东、广西沿海	2	21.06
	杜鹃	1.76	广东沿海	19	22.87
2005	达维	1.97	海南、广东、广西沿海	25	121.30
2006	珍珠	1.81	广东、广西沿海		12.30
	派比安	2.20	广东、广西沿海	1	77.06
2008	黑比尔	2.70	广东、广西、海南沿海	22	132.74
2009	巨爵	2.10	广东、广西、海南沿海	13	24.04

2 近20 a 台风风暴潮灾害特征

图2为1990年以来南海沿海台风风暴潮造成的直接经济损失统计.可见,南海沿海台风风暴潮造成的直接经济损失年际变化较大,有些年份(1990,1994,2004年)没有直接经济损失,而有些年份(1996,2008年)损失惨重,直接经济损失高达170亿元以上.从灾害强度上看,从20世纪50年代到80年代中期风暴潮损失不超过5亿^[8],但到90年代初期,仅南海沿海的直接经济损失已经达到了10亿元以上,1996年的一场台风风暴潮的最大直接经济损失就达150亿元以上,扣除物价因素损失也是惊人的.

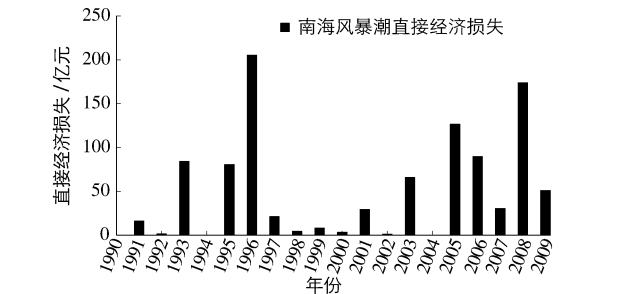


图2 1990—2009年南海台风风暴潮造成的直接经济损失
Fig.2 The direct economic loss induced by typhoon storm surge disaster along the south China coast from 1990 to 2009

可见,随着南海沿海社会经济的发展,台风风暴潮造成的损失强度在增大,因此以下两个问题值得我们思考和重视:(1)随着全球气候变暖,要加强对南海沿海台风风暴潮的研究,特别是特大台风风暴潮的研究,提高风暴潮预报能力;(2)改革开放以来,南海沿海的经济增长很快,但对台风风暴潮的抵御能力(对研究台风风暴潮的防御措施等)尚未同步增强.

2.1 强度时序变化

目前,我国尚未有统一的衡量风暴潮强度的定量指标^[13].许小峰^[7]、郭洪寿^[14]等建议,根据风暴潮产生的增水值大小,把风暴潮强度按0~6级依次划分为轻风暴潮、小风暴潮、一般风暴潮、较大风暴潮、大风风暴潮、特大风暴潮、罕见特大风暴潮,分别对应增水值为30~50,51~100,101~150,151~200,201~300,301~450 cm和大于450 cm.虽然影响风暴潮增水大小的因素很多,如风暴强度、风暴路径、风暴运动速度以及海岸地形等,但风暴增水的绝对量值大小仍然是风暴潮强度分级比较合适的指标^[15].

1990—2009 年我国南海沿海台风风暴潮强度等级变化见图 3。从图 3 可见,近 20 a 来我国南海沿海台风风暴潮强度呈现波动变化趋势,其中 1990,1994 和 2004 年南海地区没有风暴潮发生。1991 和 2003 年风暴潮强度年最大值、年最小值、年平均值都是最大的。以 2000 年为界,前 10 a(1990—1999 年)风暴潮强度的年最大值、年最小值、年平均值的均值分别为 2.4,1.7 和 2.0,后 10 a(2000—2009 年)分别为 2.8,1.6 和 2.0。前后两阶段相比,南海沿海台风风暴潮强度的年最小值的均值后 10 a 比前 10 a 小,年最大值的均值后 10 a 比前 10 a 大,两阶段的年平均值相等,这说明台风风暴潮强度年最小值有减小的趋势,年平均值基本保持不变,但是年最大值有增大的趋势。

2.2 频次时间分布

1990—2008 年我国南海沿海台风风暴潮灾害次数月季分布见图 4。从图 4 可见:此阶段,我国南海沿海台风风暴潮主要发生在夏、秋季(夏季更为集中),6—10 月份发生灾害次数约占总次数的 93%。并且,台风风暴潮的时间跨度有延长的趋势:如 2008 年 4 月发生的自 1949 年以来最早的 0801“浣熊”台风风暴潮使广东省和海南省损失惨重;1995 年 11 月份海南三亚沿海出现了具有发展快、过程短特点的风暴潮。

1990—2009 年间,我国沿海发生的包括温带风暴潮灾害在内的风暴潮灾害共 113 次,其中南海沿海地区的台风风暴潮灾害共发生 54 次,占风暴潮灾害总次数的 47.8%。台风风暴潮灾害主要集中在 1993,1995,1996,2005 和 2007—2009 年,这几年的台风风暴潮灾害发生次数占总次数的 64.8%(图 5)。其中南海地区发生风暴潮灾害最多的年份是 1995 年,高达 9 次,为近几十年来的最高纪录;其次是 2008 年,发生台风风暴潮 6 次,灾害频次也是惊人的。

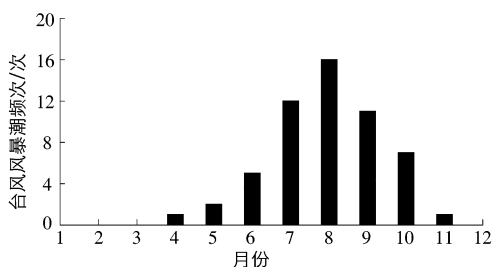


图 4 1990—2008 年我国南海沿海台风风暴潮灾害次数月季分布

Fig. 4 Seasonal distribution of typhoon storm surge disasters' frequency along the south China coast from 1990—2008

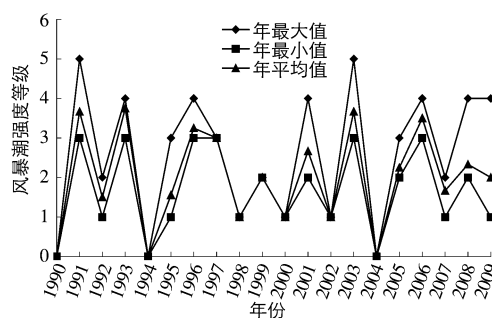


图 3 1990—2009 年我国南海沿海台风风暴潮强度等级变化

Fig. 3 Changes in typhoon storm surge intensity levels along the south China coast from 1990—2009

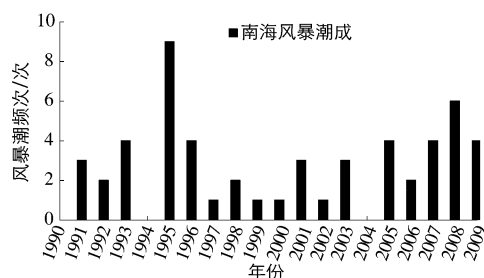


图 5 1990—2009 年南海沿海台风风暴潮灾害次数年分布

Fig. 5 Annual distribution of typhoon storm surge disasters' frequency along the south China coast from 1990—2009

2.3 特大风暴潮

图 6 为 1990—2009 年间登陆我国南海沿海并成灾的风暴潮以及我国沿海特大台风风暴潮灾害次数的统计,很多学者对台风风暴潮进行了数值模拟研究^[12-16]。由图可见:(1)我国沿海 2000 年以来造成特大风暴潮灾害的台风次数有增加的趋势,2005 年发生的特大风暴潮高达 6 次,创下历史最高纪录;(2)南海地区 2000 年以来台风风暴潮成灾次数也有增加的趋势,2008 年台风风暴潮成灾次数高达 6 次;(3)南海特大台风风暴潮在我国沿海特大台风风暴潮的比例明显增加,有的年份特大台风风暴潮全发生在南海沿海(2003 年)。

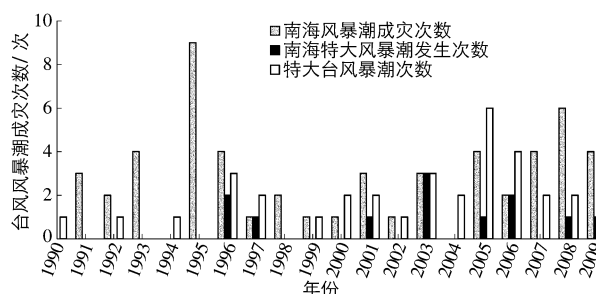


图6 1990年以来南海台风风暴潮、特大台风风暴潮和我国沿海特大台风风暴潮分布

Fig. 6 Typhoon storm surge frequency distribution along the south China coast and super typhoon storm surge frequency along both south China coast and China coast from 1990 to 2009

2.4 台风风暴潮强度与灾害损失相关关系

我国沿海台风风暴潮强度年最大值与对应的风暴潮灾害造成的直接经济损失存在一定的相关关系(图7),国外有学者对风暴潮强度等级与造成损失之间的关系进行了研究^[17]. 总体来说,台风风暴潮的强度等级越大,风暴潮造成的损失也就越大,但两者不一定成正比关系. 大的风暴增水不一定造成严重的经济损失;相反,小的风暴增水也可能带来较为严重的经济损失.

风暴潮强度是影响直接经济损失的一个最为重要的因素,但不是唯一因素. 风暴潮造成的经济损失与风暴增水、天文潮作用、海岸地形地势、洪水作用、地面沉降、海平面上升、经济发达程度以及是否正确作出风暴潮预报等因素有关. 风暴潮高峰时正与天文大潮相遇将可能会导致特大风暴潮,而风暴增水大,但是处在天文低潮时,则可能不成灾,如1992年6月28日04时4号台风使得南渡验潮站最大增水达178 cm,由于发生在低潮时段而未酿成潮灾. 经济越发达的地区,若没有及时正确预报风暴潮,造成的经济损失可能更大^[7].

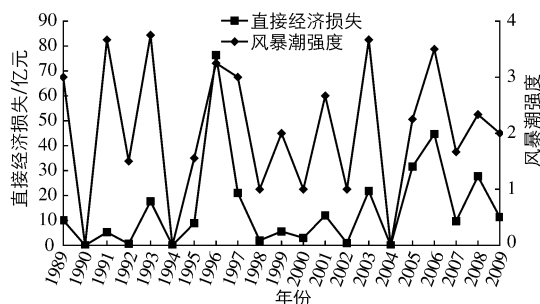


图7 1989—2009年我国南海沿海台风风暴潮强度与直接经济损失关系

Fig. 7 Relationship between the intensity and the direct economic losses of the typhoon storm surge along the south China coast from 1989—2009

3 我国南海沿海风暴潮灾害成因及强度影响因素

3.1 台风是风暴潮的主要因素

影响南海沿海的风暴潮主要是台风引起的台风风暴潮,包括强度、路径等. 较大的风暴潮灾害都是台风造成的. 根据历史资料分析,南海沿海特大风暴潮不都在天文大潮期间发生,灾害强度最大的几个特大风暴潮发生在农历廿五前后,如1996年9月9日(Sally,农历七月廿七),2005年9月26日(达维,农历八月廿三),2008年9月24日(黑格比,农历八月廿五). 相比较而言,损失强度较小的特大风暴潮如1989年7月18日(Cordon,农历六月十六),2001年7月2日(尤特^[18],农历五月十六)等与天文大潮相遇.

3.2 与天文潮作用

风暴潮高峰时正与天文大潮相遇,两者潮势叠加起来,就会使水位暴涨,导致特大风暴潮灾害的发生^[8]. 风暴潮是否成灾以及成灾强度大小都与之直接相关.

历史上几次影响南海沿海地区最大风暴潮增水都没有与天文大潮相遇,如8007(Joe,农历六月十一,最大增水5.94 m),0307(伊布都,农历六月廿五,最大增水3.19 m),0606(派比安,农历七月初十,最大增水2.2 m)和0915(巨爵,农历七月廿七,最大增水2.1 m)等. 但这并不能否定天文大潮对风暴潮的加强作用,反而意味着南海沿海可能发生灾害损失强度更大的风暴潮. 一旦最大风暴潮与天文大潮碰头,南海沿海将可

能发生有史以来最大的风暴潮潮灾。

3.3 地形地势的影响

风暴潮灾害强度除了主要受大风和高潮位的影响之外,与当地的地形地势有着密切的关系,即不同的地理位置、海岸形状、岸上和海底地形,其受灾程度也不一样。地形条件主要通过风暴潮水的能量聚集和水体入侵范围来影响风暴潮增水值大小^[1]。由于广东省特殊地理位置的影响,使其常受台风影响,登陆广东省的台风约占登陆我国台风的 61%。

3.4 河口地区受上游洪水的作用

珠江口地区除受台风风暴潮影响外,还受珠江流域上游洪水的影响,历史上该地区洪水影响是不可低估的因素。若珠江口洪水、天文大潮和风暴潮相遇,造成的灾害损失将是巨大的。

3.5 海平面上升的影响

在沿海地区,海平面上升应该包括两个方面:气候变暖引起的海平面上升和沿海地区严重的地下水开采等人类活动导致地面沉降而引发的海平面相对上升。全球气候变暖导致的各地海面(包括高、低潮位)上升值和地面沉降引发的海平面相对上升值叠加使得相对潮位大大提高,风暴潮增水与潮位叠加将出现更高的风暴潮潮位,引发更大的潮灾。

4 我国风暴潮灾害的防御

我国沿海地区因特定的地理位置和丰富的资源而发展成为经济黄金地带,但沿海经济的迅速发展和台风风暴潮灾害日趋加重的现实形成了尖锐的矛盾。未来全球气候变化引起的、登陆中国的热带气旋的频次增加和相对海平面的上升,都将导致风暴潮灾害呈现加重的趋势^[10]。我国沿海主要几个经济发达地区:珠江三角洲、长江三角洲、闽江三角洲以及汕头、温州、台湾海峡都是风暴潮的重灾区,因此,对风暴潮防灾减灾策略的研究已是一个迫在眉睫的问题。

从风暴潮潮灾损失致灾成因来看,决定灾害损失强度主要有 3 个方面:(1)风暴潮发生的频率及其强度;(2)风暴潮影响地区的经济发达程度;(3)发生风暴潮地区抵御灾害的防灾减灾能力。因此,唯有提高防灾减灾能力,才能减少风暴潮灾害带来的损失,主要措施包括:

(1)加强江海堤防标准的研究,提高海堤建设标准。沿海地区经济发达,人口集中,一旦发生风暴潮灾害损失巨大。因此在重点地区要提高防护标准,工程设计参数要更加合理;海堤、水库等设施的加固处理要加快;提高防台工程建设质量和标准,并提高工程科技含量。

(2)尽快完善风暴潮灾害的预测和预报系统。我国现阶段风暴潮的预报手段主要是数值预报,而数值预报的精度又受限于研究方法和掌握的水文、气象资料等。因此,可以通过合理分布潮位观测站,完善海洋卫星和定点测量体系等来提高和完善风暴潮灾害的预测和预报体系,进而根据不同海域的特征制定相应的预报方案,达到防灾减灾的目的^[11]。

(3)制订规范的风暴潮灾情记录、统计和评估标准。我国是一个风暴潮灾害频发的国家,但至今仍没有一个灾害评估、统计和记录研究的规范或标准,许多历史资料无法借助新技术手段来研究。

(4)建立健全从中央到省市县各级政府的防潮减潮监管体系,加强非工程性防灾减灾体系建设。目前我国各项防灾减灾措施的实施和管理大都分属于不同职能部门,缺少统一协调性。国外十分重视海洋带的风险管理和灾害的防御,并已拥有一套方法。我国现阶段还需继续借鉴国外非工程性防灾经验,提高防御能力。建立健全风暴潮灾害损失保险和灾害风险防范机制,减少风暴潮潮灾造成的损失。

(5)积极开展风暴潮灾害防治基本知识的普及教育,其中包括风暴潮灾害发生发展的基本条件以及发生风暴潮时的减灾措施等^[12]。在一些风暴潮灾害多发区,应该根据实际情况开展必要的备灾演习,做到有备无患。

5 结 语

本文较系统地总结了我国南海沿海台风风暴潮的发生特点、造成灾害的损失规律、灾害特征、灾害破坏性、灾害损失以及强度影响因素等,指出近年来南海沿海台风风暴潮,特别是特大台风风暴潮的发生频率及其强度均有增加的趋势,并给出了风暴潮防灾减灾的防御对策。

如何提高我国南海沿海台风风暴潮防灾减灾能力是当前一个重要的课题,特别是对特大台风风暴潮的应对能力。人类要积极应对某种自然灾害,就必须先深刻地了解这种自然灾害。因此,进一步深入研究台风风暴潮的发生、发展,以及其成灾机理等是提高应对台风风暴潮灾害能力的前提和关键。

参 考 文 献:

- [1] 高建华,朱晓东,朱大奎,等. 台风风暴潮对我国沿海的影响及其防御对策[J]. 海洋通报, 1999, 18(3): 14-19. (GAO Jian-hua, ZHU Xiao-dong, ZHU Da-kui, et al. The impact of typhoon storm surge disaster on China coast and disaster defensive countermeasures[J]. Marine Science Bulletin, 1999, 18(3): 14-19. (in Chinese))
- [2] 叶雯. 广东省台风灾害特点及减灾对策[J]. 灾害学, 2002, 17(3): 54-59. (YE Wen. The characteristics of typhoon disaster and disaster countermeasures in Guangdong Province[J]. Journal of Catastrophology, 2002, 17(3): 54-59. (in Chinese))
- [3] 李洪才,王永信,林少奕. 广东沿海台风风暴潮可视化预报系统[J]. 海洋预报, 2004, 21(4): 81-87. (LI Hong-cai, WANG Yong-xin, LIN Shao-yi. Visible forecasting system on storm surge along Guangdong coast[J]. Marine Forecasts, 2004, 21(4): 81-87. (in Chinese))
- [4] 黄锦林,杨光华,曾进群,等. 广东沿海风暴潮灾害应急管理初探[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 139-142. (HUANG Jin-lin, YANG Guang-hua, ZENG Jin-qun, et al. Preliminary discussion on emergency management of storm surge disasters in coastal regions of Guangdong Province[J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(4): 139-142. (in Chinese))
- [5] 张俊香,黄崇福,刘旭陇. 广东沿海台风风暴潮灾害的地理分布特征和风险评估(1949—2005)[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(3): 393-402. (ZHANG Jun-xiang, HUANG Chong-fu, LIU Xu-long. Geographical distribution and risk assessment of typhoon storm surge disasters in coastal regions of Guangdong Province in 1949—2005[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2008, 16(3): 393-402. (in Chinese))
- [6] 潘安定,唐晓春,刘会平. 广东沿海台风灾害链现象和防治途径的设想[J]. 广州大学学报: 自然科学版, 2002, 1(3): 55-61. (PAN An-ding, TANG Xiao-chun, LIU Hui-ping. Preliminary research into the typhoon disaster chain in Guangdong coastal area[J]. Journal of Guangzhou University(Natural Science Edition), 2002, 1(3): 55-61. (in Chinese))
- [7] 许小峰,顾建峰,李永平. 海洋气象灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 52-70. (XU Xiao-feng, GU Jian-feng, LI Yong-ping. Marine meteorological hazard[M]. Beijing: Meteorological Press, 2009: 52-70. (in Chinese))
- [8] 张金善,赵建钧,章卫胜. 我国东南沿海台风引起的风暴潮灾害分析及减灾对策[C]//刘宁. 风暴潮灾害防治及海堤工程技术研讨会论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 83-91. (ZHANG Jin-shang, ZHAO Jian-jun, ZHANG Wei-sheng. Analysis on typhoon storm surge disaster on the southeast China coast and disaster defensive countermeasures[C]//LIU Ning. Symposium of Storm Surge Disaster Defensive Countermeasures and the Seawall Engineering. Beijing: China WaterPower Press, 2008: 83-91. (in Chinese))
- [9] 冯利华. 风暴潮等级和灾情的定量表示方法[J]. 海洋科学, 2002, 26(1): 40-42. (FENG Li-hua. Quantitative representing method for storm surge level and disaster[J]. Marine Sciences, 2002, 26(1): 40-42. (in Chinese))
- [10] 许启望,谭树东. 风暴潮灾害经济损失评估方法研究[J]. 海洋通报, 1998, 17(1): 1-12. (XU Qi-wang, TAN Shu-dong. Research on the method of evaluating the economic loss caused by storm surge disaster[J]. Marine Science Bulletin, 1998, 17(1): 1-12. (in Chinese))
- [11] 史键辉,王名文,王永信,等. 风暴潮和风暴灾害分级问题的探讨[J]. 海洋预报, 2000, 17(2): 12-15. (SHI Jian-hui, WANG Ming-wen, WANG Yong-xin, et al. Discussion on the storm surge and the disaster level[J]. Marine Forecasts, 2000, 17(2): 12-15. (in Chinese))

- [12] 李杰, 于福江, 李洋, 等. 珠江口地区台风风暴潮的数值模拟试验[J]. 海洋预报, 2009, 26(2): 1-6. (LI Jie, YU Fu-jiang, LI Yang, et al. Numerical simulation of typhoon storm surge in the Pearl River estuary[J]. Marine Forecasts, 2009, 26(2): 1-6. (in Chinese))
- [13] 王喜年. 一个简单的台风风暴潮过程预报方法的研究[J]. 海洋学报, 1985, 7(2): 233-239. (WANG Xi-nian. Research on a simple typhoon storm surge prediction method[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1985, 7(2): 233-239. (in Chinese))
- [14] 吴少华, 尹庆江, 王喜年. 9316 号台风风暴潮数值模拟和预报[J]. 海洋预报, 1994, 11(3): 62-67. (WU Shao-hua, YIN Qing-jiang, WANG Xi-nian. Numerical prediction and simulation of storm surge for typhoon No. 9316 [J]. Marine Forecasts, 1994, 11(3): 62-67. (in Chinese))
- [15] XU Hong-zhou, ZHANG Ke-qi, SHEN Jian, et al. Storm surge simulation along the US East and Gulf Coasts using a multi-scale numerical model approach[J]. Ocean Dynamics, 2010, 60(6): 1597-1619.
- [16] YIN Bao-shu, XU Zhen-hua, HUANG Yong, et al. Simulating a typhoon storm surge in the East Sea of China using a coupled model[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(1): 65-71.
- [17] FENG L H, HONG WILLIAM. A quantitative expression for the magnitude and intensity of disaster of storm surges[J]. Natural Hazards, 2008, 45(1): 11-18.
- [18] 马经广. “尤特”0104 号风暴潮分析[J]. 海洋预报, 2002, 19(2): 36-40. (MA Jing-guang. Analysis on storm surge-typhoon “UTOP” (No. 0104) [J]. Marine Forecasts, 2002, 19(2): 36-40. (in Chinese))
- [19] 杨桂山. 中国沿海风暴潮灾害的历史变化及未来趋势[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(3): 23-30. (YANG Gui-shan. Historical change and future trends of storm surge disaster in China's coastal area[J]. Journal of Natural Disasters, 2000, 9(3): 23-30. (in Chinese))
- [20] 李鑫. 我国风暴潮灾害及防灾减灾对策初探[J]. 水利科技与经济, 2006, 12(2): 112-113. (LI Xin. Study on disaster of storm surge and proof measures in China[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2006, 12(2): 112-113. (in Chinese))
- [21] 黄金池. 中国风暴潮灾害研究综述[J]. 水利发展研究, 2002, 2(12): 63-65. (HUANG Jin-chi. Review on storm surge disaster in China[J]. Water Resources Development Research, 2002, 2(12): 63-65. (in Chinese))

Analysis of typhoon storm surge disasters along the south China coast and disaster prevention measures

GAN Shen-dong^{1,2}, ZHANG Wei-sheng^{1,2}, ZONG Hu-cheng^{1,2}, ZHANG Jin-shan^{1,2}, LIN Rui-dong³

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Research Center for Climate Change, MWR, Nanjing 210029, China; 3. Zhenhai Harbor Handling Branch of Ningbo Port Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: Such aspects as formation characteristics, the cause of the disasters, the law of disaster loss, disaster intensity and impact factors of the typhoon storm surge are systematically summarized in this paper. Especially the characteristics of the typhoon storm surge-induced disasters from 1989—2009 are analyzed, and then it is pointed out that both the frequency and the intensity of the typhoon storm surge disasters have an increasing trend along the south China coast in recent years, so do those of the super typhoon storm surges. Finally, we discuss how to efficiently defend against the disasters caused by typhoon storm surges so as to give a basis for prevention and defense against the disasters induced by the typhoon storm surges in the Zhujiang River delta and Hainan Province, which often suffer great losses from typhoon storm surges.

Key words: typhoon storm surge; disaster induced factors; formation characteristics of disaster; disaster analysis; prevention measures