石先武，高廷，谭骏，等．我国沿海风暴潮灾害发生频率空间分布研究[J]．灾害学，2018，33(1)：49－52.［SHI Xianwu，GAO Ting，TAN Jun，et al. Research on Occurrence Frequency of Storm Surge Disaster Distribution in the Coastal Areas of China[J]. Journal of Catastrophology，2018，33(1)：49－52. doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2018.01.010.］

# 我国沿海风暴潮灾害发生频率空间分布研究*

石先武，高　廷，谭　骏，国志兴

（国家海洋局海洋减灾中心，北京 100194）

**摘　要：**基于我国沿海验潮站和水文站典型重现期数据，综合考虑风暴增水和超警戒潮位，分析了我国沿海一般潮灾、较大潮灾、严重潮灾、特大潮灾的发生频率，揭示了不同等级潮灾的发生频率在我国沿海空间分布特征。结果表明我国沿海大部分地区受风暴潮灾害影响，鸭绿江口沿岸、河北秦皇岛和唐山北部沿岸、成山头－青岛沿岸、广西防城港沿岸、海南东南部和南部沿岸风暴潮灾害发生的强度和频率都不大；渤海湾、莱州湾、长江口、杭州湾等区域是风暴潮易发区，发生特大潮灾概率较低但严重潮灾发生的频率较高；福建北部福州到浙江南部台风沿岸、广东珠江口到阳江沿岸、雷州半岛东部沿岸是风暴潮灾害严重区，特大潮灾发生频率最高。基于不同等级潮灾发生频率的空间分布提出了我国沿海风暴潮灾害防御对策与建议。

**关键词：**风暴潮灾害；发生频率；潮灾等级

**中图分类号：**X43；P954　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000－811X(2018)01－0049－04

doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2018.01.010

我国是世界上遭受风暴潮灾害影响最严重的国家之一。我国沿海从南到北几乎都遭受过风暴潮灾害，并且是世界上少有的既受台风风暴潮又受温带风暴潮灾害影响的国家，平均每年有 8～9 个台风登陆，几乎都会引起风暴潮灾害；北部沿海海域特别是渤海湾和莱州湾沿岸受温带风暴潮影响较为严重[1]。2016 年，我国沿海共发生风暴潮过程 18 次，其中，台风风暴潮过程 10 次，8 次造成灾害，直接经济损失 33.95 亿元；温带风暴潮过程 8 次，3 次造成灾害，直接经济损失 11.99 亿元[2]。历史上多次遭受特大风暴潮灾害，9711 号台风风暴潮是影响我国东部沿海最严重的一次台风风暴潮灾害，福建、浙江、上海、江苏、山东、河北、天津等省(市)沿海地区全部遭受影响，造成 342 人死亡，直接经济损失达到 287 亿元[3]。

风暴潮灾害的发生频率、强度及其空间分布是风暴潮灾害风险研究和应急管理关注的重点。已有研究对我国风暴潮灾害的地理分布格局及重要河口地区的风暴潮灾害风险分析有过深入探讨[4-6]，对于风暴潮的灾害发生频率研究主要是基于长时间序列观测资料利用频率分析方法对单个验潮站点的潮位、增水或浪高等要素的进行典型重现期估计。比如，董胜等[7]利用复合极值分布计算了水位和浪高的联合概率分布，推算了典型重现期风暴潮；王喜年[8]计算了我国沿海资料序列较长的 17 个验潮站增水重现期；方国洪等[9]基于我国沿海水文站 286 年观测资料，采用不同极值估计方法计算了各站增水、余水位、总水位。这些研究成果为我国沿海重点工程和防潮设施标准设计提供了重要参考，而从宏观层面系统性分析我国沿海不同区域风暴潮灾害发生频率研究较少。本文从风暴潮灾害宏观决策需求出发，基于沿海验潮站和水文站不同重现期风暴增水和潮位资料，结合不同等级潮灾划分标准，将我国沿海岸线划分为 10 km 岸段，揭示了不同等级潮灾在我国沿海发生频率的空间分布特征，基于此提出了我国沿海应对风暴潮灾害的对策与建议，对划分风暴潮灾害重点防御区以及国家层面风暴潮灾害的防灾减灾具有重要战略意义。

## 1　数据和方法

### 1.1　数据

本文主要采用国家海洋信息中心订正之后的 60 个沿海验潮站数据产品，包括 2 年、5 年、10 年、20 年、50 年、100 年、200 年、500 年、1000

* 收稿日期：2017－07－03　　修回日期：2017－08－21

基金项目：国家自然科学基金(41701596，41501560)；中国海洋发展研究会和中国海洋发展研究中心资助项目(CAMA11201706)；中国气象局气候变化专项(CCSF201719)；北京师范大学国际减轻灾害风险合作研究中心项目(CCSF201719)；海洋公益性行业科研专项(201505018，201305020)

第一作者简介：石先武(1986－)，男，湖北大冶人，高级工程师，主要从事风暴潮灾害风险评估研究．
E-mail：xianwu.shi@mail.bnu.edu.cn

年一遇增水和潮位计算产品，其中潮位数据基于各验潮站所在的平均海平面。河口地区是我国沿海风暴潮的主要影响区域，海洋系统验潮站在河口地区极少有分布，为了进一步精确刻画我国沿海风暴潮灾害危险性特征，从水利部门补充收集了长江口、珠江口、浙江和福建沿岸等地区 16 个水文站的不同重现期增水和潮位数据(其中 2 个站只有增水)。此外，还收集了上述 76 个站基于《警戒潮位核定方法(GB/T17839－1999)》[10] 核定的的警戒潮位值，并将所有潮位数据和警戒潮位值统一到了 85 高程参考基准。

为了客观反映我国沿海风暴潮灾害危险性分布，保证结果的科学性和适用性，本文对收集到的验潮站和水文站进行了筛选，选择的依据和原则是：①选择的站数量足够，可以从北到南覆盖我国沿海区域；②站点具有代表性，可以代表所在区域的风暴潮灾害特征，不能是距岸边较远的离岛站；③采用的站点观测记录序列长，一般至少有 20 年的序列观测资料，站点不同重现期增水和潮位计算结果足够精确。基于这三个原则，共选出 62 个验潮站和水文站的增水及潮位数据产品(其中两个站只有增水)。图 1 和图 2 分别表示选取的验潮站和水文站典型重现期增水和潮位数据，将站点沿着中国沿海从北到南依次顺序编号，图中横轴表示所选取站点的编号，纵轴表示各站点典型重现期对应的增水或潮位值。

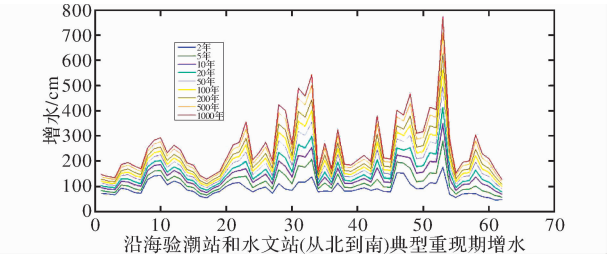



图 1 我国沿海验潮站和水文站(从北到南)典型重现期增水

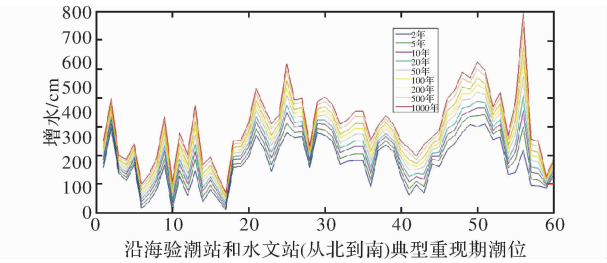



图 2 我国沿海验潮站和水文站(从北到南)典型重现期潮位

### 1.2 风暴潮灾害等级的划分

风暴潮灾害等级的划分包括风暴潮致灾强度和风暴潮灾害强度的分级，前者偏重风暴潮自然过程强度的分级，后者主要指灾害损失或是灾度的分级，本文的灾害等级划分针对前者。目前在我国并没有统一的标准，本文综合考虑风暴增水和超警戒潮位两个指标，风暴增水可以客观反映风暴潮自然过程致灾强度的大小，超警戒潮位值考虑了当地的设防能力，能够反映风暴潮过程可能导致的淹没情况。考虑到我国灾害应急响应等级一般划分为 4 级，基于杨华庭等[11] 和郭洪寿等[12] 人的划定标准，将风暴潮灾害划分一般潮灾、较大潮灾、严重潮灾、特大潮灾四个等级，详细划分标准见表 1。

**表 1 风暴潮灾害等级划分标准**

| | 特大潮灾 | 严重潮灾 | 较大潮灾 | 一般潮灾 |
|---|---|---|---|---|
| 超警戒潮位/cm | >200 | >100 | >50 | 超过或接近 |
| 增水/cm | >300 | >200 | >150 | >100 |

## 2 不同等级风暴潮灾害发生频率分析

基于每个验潮站或水文站增水和潮位概率分布曲线，分别计算不同等级潮灾超警戒潮位和增水的重现期，取每个等级重现期较小者为该站点不同等级潮灾发生的年遇水平。按照最近邻准则，选取每一个岸段最具代表性的验潮站不同等级潮灾重现期为该岸段不同等级潮灾发生的年遇水平，将各岸段四个等级风暴潮重现期按照 2 年、5 年、10 年、20 年、50 年、100 年、200 年、500 年、1000 年为界限，划分为 10 个频率段，表征不同等级风暴潮发生频率空间分布，编制了一般潮灾、较大潮灾、严重潮灾和特大潮灾发生频率分布图(图 3)。

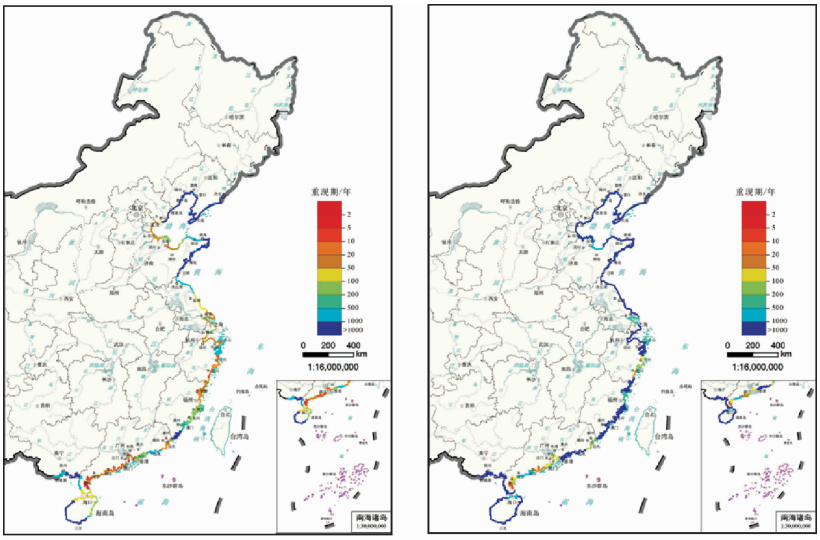
从一般潮灾发生频率分布图可以发现，我国沿海绝大部分地区都受风暴潮灾害的影响，一般潮灾在沿海都可能发生，对于辽东湾沿岸、河北唐山沿岸、山东北部沿岸(威海除外)、海南南部和西部沿岸区域，受风暴潮灾害影响很小，一般潮灾发生的概率在 10～20 年一遇，其他沿海区域一般潮灾重现期在 5 年以下。

从较大潮灾发生频率分布图可以发现，河北秦皇岛沿岸、辽东半岛沿岸、山东半岛威海沿岸、海南岛的南部和西部沿岸特大潮灾发生频率在 100 年一遇以上，这些区域会受到较大风暴潮影响，但是发生频率较低；而对于其他沿岸区域，发生特大潮灾发生频率大都在 50 年一遇一下，受风暴潮灾害的影响较大。

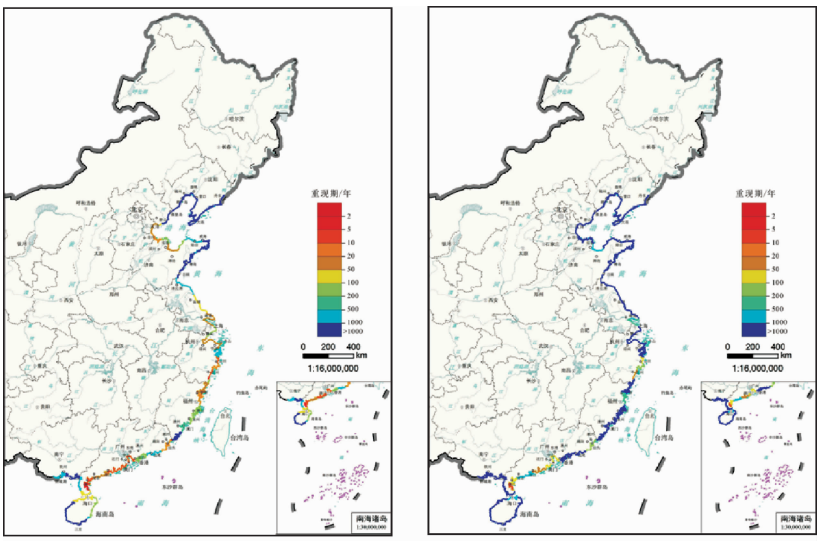
从严重潮灾发生频率分布图可以发现，渤海湾、莱州湾、长江口、杭州湾、浙江南部到福建北部沿岸、广州南部到雷州半岛东部沿岸严重潮灾发生频率都在 50 年以下，严重潮灾一般对一个区域的生产生活对造成较大影响，这些区域风暴潮灾害发生频率也较为频繁。

从特大潮灾发生频率分布图可以发现，雷州半岛东部沿岸部分地区在特大潮灾发生频率 10 年一遇以下水平，对于珠江口、浙江南部等区域，特大潮灾发生可能性在 10～50 年一遇之间，这些区域历史上都发生过特大潮灾，这些区域是我国沿海风暴潮灾害重点防御地区，有发生风暴潮极端灾害事件甚至巨灾的可能性。

我国沿海渤海湾底部沿岸和莱州湾沿岸是风暴潮多发区，以温带天气过程引发的风暴潮占主




(c) 严重潮灾　　(d) 特大潮灾




(c) 严重潮灾　　(d) 特大潮灾

图 3　我国沿海不同等级潮灾发生频率空间分布

导因素；而长江口沿岸、福建北部福州到浙江南部台州、广东惠州、珠江口到阳江、雷州半岛东部沿岸等沿海区域以台风风暴潮为主；南方风暴潮灾害易发区发生特大潮灾的可能性比北方要大。历史上温带风暴潮增水最大值曾达到 3.55 m，台风风暴潮增水最大值曾达到 5.95 m。长江角、珠三角一带是我国沿海经济和人口分布密集区，属于国家层面风暴潮灾害风险防范的重点区域。对于辽宁省大部分沿岸、河北唐山沿岸、山东北部沿岸、海南南部和西部沿岸受风暴潮灾害影响较小区域，几乎不可能发生较大风暴潮灾害。

## 3　风暴潮灾害防御对策与建议

随着我国沿海地区社会经济的发展以及国家对海洋灾害防灾减灾工作的重视，风暴潮灾害造成的人员伤亡呈逐年下降趋势，而风暴潮灾害造成的直接经济损失则呈明显增加趋势[13]，沿海地区面临的风暴潮防灾减灾形势依旧严峻。通过分析我国沿海地区不同等级风暴潮灾害发生频率分布特点，制定对应的风暴潮灾害防御对策才能更好地满足风暴潮灾害风险管理需求。综合考虑风暴增水和超警戒潮位，划分风暴潮灾害等级，不同等级潮灾的发生频率在我国沿海呈现明显空间分布特征，基于本文研究结果提出如下风暴潮灾害防御对策与建议：

(1)福建北部福州到浙江台州沿岸、广东珠江口到阳江沿岸、雷州半岛东部沿岸是风暴潮灾害严重且多发区，发生概率在 10 ~ 100 年一遇；严重潮灾发生概率在 5 ~ 50 年一遇，是我国沿海风暴潮灾害的最严重的区域，风暴潮灾害以台风风暴潮为主，发生频率和强度都较大。这些区域也是我国沿海社会经济最发达的区域，是我国风暴潮灾害重点防御区，风暴潮灾害设防标准应达到 100 ~ 500 年一遇。

(2)渤海湾、莱州湾、长江口、杭州湾等区域是风暴潮灾害易发区，发生特大潮灾概率较低但严重潮灾的频率较高，历史上这些区域也发生过

特大潮灾。渤海湾和莱州湾以温带风暴潮为主，目前防护能力主要以沙土堤、抛石为主，大多不是标准海堤。而长江口和杭州湾等地区受台风影响时，经常与上游洪水极易造成“三碰头”等洪水灾害，造成较大的人员伤亡和财产损失。这些区域应加强风暴潮灾害防御水平，设防标准应该以典型重现期极值水位作为参考，防御水平至少达到20年一遇。对于上海、天津等特大城市经济发达和人口密集区域，防御水平应达到100年一遇。

(3)对于鸭绿江口沿岸、河北秦皇岛和唐山北部沿岸、成山头－青岛沿岸、广西防城港沿岸、海南东南部和南部沿岸，风暴潮灾害发生的强度和频率都不大，发生较大潮灾的可能性都较小，对于风暴潮灾害发生频率较低的这些区域，防护标准可适当降低或不做工程性防护。

## 4 结语

我国沿海大部分区域都会受到风暴潮灾害影响，风暴潮灾害的防灾减灾应从风暴潮灾害不同的管理目标需求出发，制作不同的风暴潮灾害评估产品。对于不同的区域风暴潮发生频率特点，制定符合当地实际的风暴潮灾害应急预案，为沿海地方政府风暴潮灾害的防灾减灾提供科学决策支持。全国的风暴潮灾害发生频率空间分布有助于从宏观尺度掌握我国沿海风暴潮灾害危险性分布特征，可为全国风暴潮灾害重点防御区划定以及沿海重点重大的工程区域性选址提供决策参考，用于指导全国性的风暴潮防灾减灾政策的制定。我国海岸线漫长，不同沿海区域海堤规范设计标准也不统一，大多数非标准海堤坝顶高度不一，而且现有海堤属于不同部门管理，部分地区缺乏统一规划，修建标准大多偏低[14]，海堤的标准化设计必须与当地风暴潮灾害发生的频率和强度相结合。

## 参考文献：


[1] 王喜年. 风暴潮灾害及其地理分布[J]. 海洋预报, 2001, 18(2): 70－77.

[2] 国家海洋局. 2016年中国海洋灾害公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2017.

[3] 国家海洋局. 1997年中国海洋灾害公报[R]. 北京: 国家海洋局, 1998.

[4] 宋学家. 我国沿海风暴潮灾害及其应急管理研究[J]. 中国应急管理, 2009, 2009(08): 12－19.

[5] 殷杰, 尹占娥, 于大鹏, 等. 海平面上升背景下黄浦江极端风暴洪水危险性分析[J]. 地理研究, 2013, 32(12): 2215－2221.

[6] Le Kentang. An analysis of the recent severe storm surge disaster events in China[J]. Natural Hazards, 2000, 21(2): 215－223.

[7] 董胜, 郝小丽, 李锋, 等. 海岸地区致灾台风暴潮的长期分布模式[J]. 水科学进展, 2005, 16(1): 42－46.

[8] 王喜年, 陈祥福. 我国部分测站台风潮重现期的计算[J]. 海洋预报服务, 1984, 1(1): 18－25.

[9] 方国洪, 王骥, 贾绍德, 等. 海洋工程中极值水位估计的一种条件分布联合概率方法[J]. 海洋科学集刊, 1993, 34: 1－30.

[10] 黄春霖, 颜国泰, 翁光明, 等. GB/T17839－1999 警戒潮位核定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

[11] 杨华庭, 田素珍, 叶琳, 等. 中国海洋灾害四十年资料汇编(1949－1990年)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.

[12] 郭洪寿. 我国潮灾灾度评估初探[J]. 南京大学学报, 1991(5): 18－22.

[13] 谢丽, 张振克. 近20年中国沿海风暴潮强度、时空分布与灾害损失[J]. 海洋通报, 2011, 29(6): 690－696.

[14] 张兴铭, 王喜年. 海洋自然灾害对我国沿海经济的影响及对策建议[J]. 海洋预报, 1994, 11(2): 35－42.


# Research on Occurrence Frequency of Storm Surge Disaster Distribution in the Coastal Areas of China


SHI Xianwu, GAO Ting, TAN Jun and GUO Zhixing

(*National Marine Hazard Mitigation Service*, *Beijing* 100194, *China*)



**Abstract**: Storm Surge Disaster(SSD) is one of the most serious marine disaster in the coastal areas of China. The occurrence frequency, intensity and its distribution is the key research issue of storm surge risk assessment. Based on data from tidal stations and hydrological stations in coastal areas, taking storm surge and ultra warning water level as well as SSD grading standard , that is general SSD, large SSD, serious SSD and extremely large SSD into consideration, this paper analyzed occurrence frequency of different scale of SSD in the coastal area of China. The results show that all the coastal area in China are influenced by SSD. The estuary of Yalu River, the north coastal area of Tangshan and Qinhuangdao City in Hebei province, from the coastal area of Chengshantou to Qingdao in Shandong province, the coastal area of Fangchenggang city in Guangxi province, the southeast coastal area of Hainan is the least affected by SSD . The Bohai Bay, Laizhou Bay, Yangtze Delta coastal area and Hangzhou Bay is prone area of SSD with high frequency of serious SSD. From the coastal area of south of Fujian province in Fuzhou to South of Zhejiang province, from the Pearl River Estuary to the coastal area of Yangjiang City and Leizhou Peninsula is the most serious area suffering SSD with high frequency of extremely large SSD. At last, Corresponding countermeasures and advices were given for storm surge disaster mitigation according to the spatial distribution characteristic of SSD occurrence frequency.



**Key words**: storm surge disaster; occurrence frequency; storm surge disaster scale