



海洋科技书系

董 胜 郑天立 张华昌 编著

海岸防灾工程

COASTAL ENGINEERING
FOR DISASTER
PREVENTION



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

中国海洋大学教材建设基金资助

Coastal Engineering for Disaster Prevention

海岸防灾工程

董 胜 郑天立 张华昌 编著

中国海洋大学出版社

• 青 岛 •

图书在版编目(CIP)数据

海岸防灾工程 / 董胜等编著. —青岛: 中国海洋
大学出版社, 2011. 1

ISBN 979-7-81125-557-7

I. ①海… II. ①董… III. ①海岸工程—灾害防治
IV. ①P753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 012792 号

出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码 266071
出 版 人	杨立敏	
网 址	http://www.joucpress.com	
电子信箱	coupljz@126.com	
订购电话	0532-82032573(传真)	
责任编辑	李建筑	电 话 0532-85902505
印 制	文登市印刷厂有限公司	
版 次	2011 年 1 月第 1 版	
印 次	2011 年 1 月第 1 次印刷	
成品尺寸	170 mm×230 mm	
印 张	24.5	
字 数	450 千字	
定 价	38.00 元	

前言

据统计,我国沿海地区的面积占全国的 17%,人口占全国的 42%,而 GDP 占全国的 73%,其中沿海低洼地区约占整个海岸地区的 30%,有 70%以上的大城市、50%以上的人口和近 60%的国民经济集中在这些地区。在开发与整治海岸国土资源过程中,提高海岸防灾减灾能力,减少海岸灾害关系到沿海经济发达地区的稳定和可持续发展,对保障我国经济社会发展以及科技自身发展等具有重大的作用。

目前,“海岸防灾工程”在国内尚无此类教材。国外的相关书籍内容比较陈旧。随着我国海岸工程事业的迅速发展,涌现出许多新技术和新成果,亟待对海岸防灾的研究内容进行总结增补完善。中国海洋大学于 20 世纪 90 年代中期成立了海洋防灾研究所,在海洋灾害的工程防治领域进行了不懈的探索。中国海洋大学工程学院于 2008 年在研究生中开设了《海岸灾害及其工程防治》课程。本人在整理海洋工程环境与灾害防治研究成果的基础上,逐渐形成授课讲义。全书从海洋环境要素入手,提高学生的防灾减灾意识,注重理论、数值及试验的结合,培养学生对工程问题的分析、计算与动手能力。

本书介绍了海岸地区工程防灾的基本原理与方法。全书共分 9 章,主要包括绪论、海岸防灾工程潮位计算、波浪要素计算、波浪对建筑物的作用、海流、海岸工程泥沙、海堤的防御标准及其断面设计、海堤沉降与稳定性计算、海岸工程模型试验等内容。各章均附有例题、书后附有习题,以帮助读者巩固和加深对内容的理解与掌握。

本书第 1~7 章由董胜执笔,第 8 章由郑天立执笔,第 9 章由张华昌执笔。全书由董胜统稿、定稿。

在本书的出版过程中,作者得到中国海洋大学工程学院同事们的鼓励与支持;大连理工大学水利工程学院陈士荫教授和王永学教授在百忙之中审阅了初稿,并提出了宝贵意见;研究生宁萌、宁进进、纪巧玲、姚艳杰、张磊、侯鹏、田文华、迟坤、周冲完成了部分初稿的文字录入和插图绘制工作,在此表示衷心的感谢。在成书过程中,作者参阅了其他学者的论著,已列入书后的“参考文献”,在此对这些作者一并表示感谢。同时,要感谢中国海洋大学教务处等有关部门对

本书编撰工作的大力支持,还要感谢中国海洋大学出版基金、国家自然科学基金(50879085)、国家 863 高技术研究发展计划(2006AA09Z344)和教育部新世纪优秀人才资助计划(NCET—07—0778)对本书出版的资助。

本书可作为海洋、海岸、港航、水利、环境、土木等专业硕士研究生及高年级本科生的教材,亦可作为相关专业科研人员及工程技术人员的参考书。

随着研究的深入,海岸防灾领域新的理论、方法与技术不断涌现,由于作者从事该领域研究的时间短,水平有限,书中难免存在不足甚至错误之处,敬请读者批评指正。

董胜

2011 年 1 月

目 次

第1章 绪论	1
1.1 我国的主要海岸灾害	1
1.2 我国的风暴潮灾害	5
1.2.1 风暴潮的诱因与成灾	5
1.2.2 风暴潮灾害的特点	10
1.2.3 我国风暴潮灾害损失	11
1.3 风暴潮灾害防治与海堤建设	15
1.3.1 国外风暴潮灾害防治情况	15
1.3.2 我国风暴潮灾害防治工作进展与成效	17
1.4 海堤工程研究的主要内容和方法	20
1.4.1 主要技术问题	20
1.4.2 研究方法	22
第2章 海岸防灾工程潮位计算	24
2.1 潮汐的观测和预报	24
2.1.1 潮汐现象及其观测	24
2.1.2 潮汐的调和分析	29
2.1.3 基于潮汐表的潮位预报	31
2.2 风暴潮的推算	32
2.2.1 经验统计法	33
2.2.2 诺谟图法	33
2.2.3 数值模拟方法	34
2.3 工程设计潮位的推算	36
2.3.1 基准面与特征潮位	36
2.3.2 设计潮位的标准	37
2.3.3 设计潮位的推算	38
2.3.4 天文潮与风暴潮联合设计潮位	46

第3章 波浪要素计算	51
3.1 海浪观测与数据管理	51
3.1.1 海浪的观测	51
3.1.2 波浪观测数据管理	57
3.2 波浪要素的短期统计	63
3.2.1 波高的分布	63
3.2.2 波长的统计分布	72
3.2.3 周期的统计分布	72
3.2.4 波高与周期的联合分布	73
3.3 海浪谱及其估计	77
3.3.1 随机海面的描述	77
3.3.2 海浪谱的形式	80
3.3.3 海浪频谱的估计	84
3.3.4 频谱与海浪要素的关系	89
3.3.5 海浪的方向谱	95
3.4 波浪的长期统计分析	100
3.4.1 海岸工程波浪设计标准	101
3.4.2 基于长期测波资料的设计波浪推算	102
3.4.3 基于短期测波资料的设计波浪推算	109
3.4.4 与设计波高相对应的设计周期的推算方法	112
3.5 外海风浪尺度推算	113
3.5.1 风浪的生成、发展和衰减的机理	113
3.5.2 风场要素的确定	116
3.5.3 外海风浪要素的确定	120
3.5.4 涌浪要素的推算	123
3.5.5 台风波浪的估算方法	125
3.6 波浪浅水变形计算	127
3.6.1 波浪的浅水变化	128
3.6.2 波浪的折射	130
3.6.3 波浪的绕射	134
3.6.4 波浪的反射	137
3.6.5 波浪的破碎	137
3.6.6 港域内波高的计算	141

第4章 波浪对建筑物的作用	147
4.1 波浪作用力计算	147
4.1.1 直立式护面波浪力	147
4.1.2 斜坡式护面波浪力	168
4.2 波浪爬高计算	171
4.2.1 单一坡度海堤上的波浪爬高	172
4.2.2 复式斜坡堤上的波浪爬高	175
4.2.3 斜向入射波对波浪爬高的影响	175
4.2.4 折坡式断面上的波浪爬高	176
4.2.5 带防浪墙的单坡式海堤的波浪爬高	177
4.2.6 堤前有压载的波浪爬高	177
4.2.7 海堤前沿设有潜堤的波浪爬高	178
4.2.8 堤前植有防浪林的波浪爬高	179
4.2.9 插砌条石护面的波浪爬高	180
4.3 越浪量计算	180
4.3.1 无风条件下的越浪量	181
4.3.2 风对越浪量的影响	182
4.3.3 斜坡式海堤顶越浪量计算	182
第5章 海流	184
5.1 近岸海流概述	184
5.1.1 潮流	184
5.1.2 近岸波浪流	185
5.2 海流的观测与资料整理	186
5.2.1 海流的观测	186
5.2.2 海流资料的整理和计算	188
5.3 潮流的数值模拟	190
5.3.1 二维潮流的数值模拟	190
5.3.2 三维潮流的数值模拟	198
5.4 近岸海流特征值	200
5.4.1 海流最大可能流速的计算	200
5.4.2 近岸海区风海流的估算	201
5.4.3 海流随深度的变化	201
5.5 海洋结构上的海流荷载	201

第6章 海岸工程泥沙	203
6.1 海岸泥沙基本特性	203
6.1.1 海岸泥沙来源	203
6.1.2 海岸泥沙特性	204
6.1.3 海岸工程中的泥沙问题	210
6.2 海岸泥沙运动	213
6.2.1 波浪作用下的泥沙启动	213
6.2.2 波、流共同作用下的床面剪切力	215
6.2.3 波、流共同作用下的水体挟沙力	217
6.2.4 波、流共同作用下的推移质输沙率	217
6.2.5 波、流共同作用下的悬移质输沙率	218
6.2.6 波、流共同作用下的流移质输沙率	219
6.2.7 横向输沙	220
6.2.8 沿岸输沙	220
6.2.9 海岸泥沙冲淤的计算	221
6.3 泥沙运动数值模拟	231
6.3.1 平直岸线上突堤建设后泥沙淤积计算	231
6.3.2 悬沙数值模拟	233
6.3.3 浮泥流数值模拟	235
6.4 开敞航道粉砂骤淤长期统计	235
6.4.1 粉砂骤淤量估计模型的建立	235
6.4.2 外航道粉砂骤淤量长期预测	240
第7章 海堤的防御标准及其断面设计	242
7.1 海堤防御标准	242
7.1.1 我国海堤工程防御标准	242
7.1.2 基于浪潮组合的台风暴潮强度等级划分	249
7.1.2 青岛地区的台风暴潮灾害概况	250
7.1.3 致灾台风暴潮的长期分布	252
7.1.4 台风暴潮过程中极值潮位与波高联合概率分析	254
7.2 海堤断面形式	256
7.2.1 斜坡式海堤	257
7.2.2 陡墙式海堤	258
7.2.3 混合式海堤	259

7.3 基本断面尺度	260
7.3.1 堤顶高程	260
7.3.2 堤顶宽度	261
7.3.3 海堤边坡	264
7.3.4 平台	265
7.3.5 护脚	265
7.4 海堤主要构造	266
7.4.1 护面结构	266
7.4.2 旧海堤护面加固	273
7.5 消浪措施	273
7.6 岸滩防护	275
第8章 海堤沉降与稳定性计算	279
8.1 海堤沉降计算	279
8.2 海堤稳定性计算	283
8.2.1 海堤失稳的成因与类型	283
8.2.2 海堤失稳的典型模式	284
8.2.3 海堤稳定性的计算方法	284
8.2.4 计算参数和安全系数的选取	294
8.2.5 防止海堤失稳的工程措施	296
8.3 软土堤基处理	300
8.3.1 垫层法	301
8.3.2 反压法	302
8.3.3 排水井法	303
8.3.4 土工织物铺垫法	305
8.3.5 水泥土搅拌法	306
8.3.6 堤身自重预压法	309
8.3.7 地基固结度计算	309
8.4 海堤稳定性计算实例	314
第9章 海岸工程模型试验	319
9.1 量纲分析	319
9.2 相似原理	321
9.3 模型试验的分类及研究内容	325
9.4 试验设备和仪器	327
9.4.1 造波设备简介	327

9.4.2	测量仪器简介	328
9.4.3	试验设备和测量仪器要求	329
9.5	模型设计的相关规定及要求	330
9.5.1	模型长度比尺的要求	330
9.5.2	整体模型基本要求	331
9.5.3	断面模型基本要求	331
9.5.4	试验波谱的选择	331
9.6	物理模型试验的实施	333
9.7	物理模型试验实例	339
9.7.1	整体物理模型试验实例	339
9.7.2	断面物理模型试验实例	345
习题		350
附录		356
参考文献		374

第1章 绪论

随着三峡大坝等水利工程设施的建成,我国水灾害主要来自海洋。海洋灾害是指发生在海上或沿岸地区的灾害,其类型多种多样,按其成因可分为海洋环境灾害、海洋地质灾害、海洋生物灾害等。海洋环境灾害主要包括热带气旋、寒潮大风、海雾、风暴潮、巨浪、海冰、海啸等;海洋地质灾害主要包括海岸侵蚀、港口与航道淤积、海水入侵、海平面上升与地面沉降、湿地退化、海底滑坡、地震等;海洋生物灾害主要包括赤潮、海洋病原生物和外来物种侵入等。自然因素引发的海洋灾害,有的具有原生灾害的性质,如热带气旋、海雾、厄尔尼诺等;有的则为次生灾害,如海浪、风暴潮、海冰、海啸等,这些灾害的形成在很大程度上是由原生性质的大风、冰冻、地震等引发的。

1.1 我国的主要海岸灾害

我国是世界上少数海洋灾害最严重的国家之一,相比之下,风暴潮、巨浪、海冰、海岸侵蚀、赤潮、海啸等灾害是影响我国的主要海洋灾害,它们给我国沿海地区的安全带来巨大的威胁。

1. 风暴潮

风暴潮系指由于强烈的大气扰动,如强风和气压骤变引起的海面异常升高现象。在我国,风暴潮产生的灾害居各种海洋灾害之首。风暴潮的周期为数小时至数天,与正常的天文潮周期相近,而波浪具有数秒的周期,三者结合引起的沿岸涨水常常酿成巨大潮灾。

我国东临的西太平洋是各大洋中生成热带气旋最多的地区。来自高纬地带的冷空气与来自海上的热带气旋或温带气旋的交互影响,使我国沿海大风与巨浪接连不断,并在沿岸形成灾害性的风暴潮。风暴潮按其成因分为台风风暴潮、温带风暴潮和寒潮或冷空气激发的风潮。

风暴潮几乎遍及我国沿海,成灾概率较高。风暴潮不仅可使海上船只沉没,破坏海上设施,而且严重侵袭沿岸地区,造成人员伤亡,破坏房屋与工程设施,淹没城镇、村庄及耕地,造成严重损失。我国的风暴潮虽遍及沿海,但由北到

南,主要集中地段是山东莱州湾、江苏小洋河口至浙江北部的海门、温州、台州、沙埕及福建的闽江口、广东汕头至珠江口、雷州半岛东岸以及海南岛东北部沿海。

2. 海浪

海浪是指海面的波动现象,由此对物体造成破坏即为海浪灾害。海浪能够掀翻船只,破坏海洋工程和海岸工程,造成海岸侵蚀,并给海上航行、海上施工、海上军事行动、渔业捕捞、海洋养殖等造成直接危害。

海浪造成的灾害,通常不是波浪的独立作用造成的,而是几种力量共同作用的结果。不同强度的海浪对人类威胁的程度不同。海浪灾害的大小取决于波况与受灾体的相对脆弱性。南海石油平台在波高 20 多米的恶浪狂风中安然无恙,近海小船和小艇则在波高 2 m 的海浪里就有翻沉的危险。因此,只有在灾害性波况出现,同时,受灾体脆弱性达到极大时,才发生海浪灾害。

3. 海冰

我国海冰灾害主要发生于渤海、黄海北部。各海域的盛冰期一般为 1 月下旬至 2 月上旬。海冰可以推倒海洋平台,破坏其他海洋工程设施和船舶,阻碍航行,影响渔业生产和航运。

海冰的破坏力不仅大,而且形式多样。

(1) 海冰的膨胀力

淡水随温度降低而密度增大,4℃时,水密度最大,体积最小,这符合热胀冷缩的一般规律。但 4℃以下,随温度的下降,水的体积却要加大,这就是水的反常膨胀。海水也有这个特性,只是海水呈现最大密度的温度不是 4℃,而是随海水盐度的高低而变化,一般在-2℃以下。以此为界,温度再下降就会引起海冰的体积膨胀。冰的膨胀力十分惊人,不但能把船体挤压变形,使船体破裂进水,甚至破坏港口、码头及石油平台等工程设施。

(2) 海冰在风和海流作用下产生的推力

这种推力是海冰破坏力的主要形式,有些海洋建筑物在冰冻时被推倒,从而造成危害。

(3) 移动的冰撞击物体时产生的冲击力

冰的质量越大,漂流的速度越快,冰撞击物体时产生的冲击力也越大。例如,一个厚 30 cm,面积为 1 000 m² 的冰块,若漂移速度为 0.5 m·s⁻¹,则撞击物体时可产生 100 t 的冲击力。当行驶的船舶与冰块或冰山相撞时,两者之间的撞击力会更大。2000 年 2 月渤海海冰解冻时,陆续裂开的浮冰随潮流向南流去,形成了近 70 km 长的浮冰带,浮冰如尖刀,割断、撞坏了许多海带浮筏,给海水养殖带来巨大损失。

4. 海岸侵蚀

海岸侵蚀是指海岸在海洋动力作用下,沿岸供沙少于沿岸输沙而引起的海岸后退的破坏性过程。我国沿岸 70% 的海岸遭受自然侵蚀,其中比较严重的有辽宁、河北、山东、江苏、福建和海南诸省。山东省 80% 的海岸后退,莱州市 20 世纪 80 年代初的海水入侵速度每年 80 m。海南省清澜港近 10 年来岸线后退 150~200 m。

5. 赤潮

赤潮是水体中某些微小的浮游植物、原生动物或细菌,在一定的环境条件下,突发性地增殖或聚集,引起一定范围内一段时间中水体变色的现象。通常水体颜色因赤潮生物的数量、种类而呈红、黄、绿和褐色等。随着工农业生产的迅速发展,水体污染日益严重,赤潮也日趋严重。

我国是世界上赤潮灾害的重灾国之一,自 1933 年首次报道以来,至 1994 年共有 194 次较大规模的赤潮,其中 20 世纪 60 年代以前只有 4 次,1990 年以后则有 157 次。2003 年我国海域共发现赤潮 119 次,其中渤海 12 次、黄海 5 次、东海 86 次、南海 16 次,累计面积约 14 550 km²,直接经济损失 4 281 万元。

赤潮大多发生在富含营养物质的内海、河口、海湾或有上升流的海域,尤以水体富营养化程度高或自身污染严重的海水养殖区发生频率最高。赤潮的发生季节随水温等环境因子和赤潮生物的种类而异,一般以春夏季为其盛发期,但在热带或亚热带海区,冬季亦有赤潮发生。我国沿海纵跨热带、亚热带和温带,赤潮的发生时间有明显随海区所处纬度高低,从南往北逐步推迟的趋势。在南海虽终年可见赤潮发生,但以 3~5 月份发生频率最高;东海区主要发生在 5~8 月份,但象山冬季也常发生;渤海、黄海海区大多发生在 7~9 月份。

赤潮由于发生的种类、季节、海区及成因的不同,其危害方式及危害程度有着很大的差异。主要危害是破坏海洋环境,造成大量海洋生物和海水养殖生物死亡,破坏养殖业,同时对人类健康甚至生命也有影响。赤潮对海洋生态环境的危害主要表现在以下几个方面:

- 1) 分泌或产生黏液,黏附于鱼类等海洋动物的鳃上,妨碍其呼吸,导致窒息死亡。这种危害方式对养殖鱼类的危害较大。
- 2) 分泌有害物质,如氨、硫化物等,危害水体生态环境并使其他生物中毒。
- 3) 产生毒素,直接毒死养殖生物或者随食物链转移引起人类中毒死亡。
- 4) 导致水体缺氧或造成水体有大量硫化氢和甲烷等,使养殖生物缺氧或中毒死亡。

5) 吸收阳光,遮蔽海面。

6. 海啸

海啸在滨海区域的表现形式是海水陡涨,骤然形成向岸行进的“水墙”,伴随着隆隆巨响,瞬时侵入滨海陆地,吞没良田和城镇村庄,然后海水又骤然退

去,或先退后涨,有时反复多次,造成生命、财产的巨大损失。海啸到达前,还常伴有地震灾害发生。

全球 90% 的海底地震发生在太平洋,但由海底地震引发的海啸灾害在我国属非频发性。1904~1968 年西北太平洋发生 350 次大于 7 级的地震,其中有 33 次发生于我国沿海,有 2 次引发海啸,仅占地震频数的 6%。值得注意的是,我国 1992 年在海南省西南部海域发生群震,海南省沿海 5 个验潮站均记录到海啸波,其中榆林港记录到最大海啸波 78 cm。海啸灾害历史表明,在我国,海啸主要发生在台湾省和南海沿岸,其中台湾省沿岸是高发区。因此,必须在注意防御经常性的风暴潮灾害的同时,结合研究和防御地震海啸灾害。

7. 海平面上升

全球气候变暖导致海平面逐渐上升,由此产生海岸侵蚀与盐碱化灾害。在过去近百年中,全球海平面上升了 10~20 cm,一些科学家推测,这种海平面上升趋势 21 世纪将有所加快。这种缓慢的海平面升高,以及许多城市地面下沉所导致的相对海平面升高现象,将使我国大河三角洲地区和沿海城镇附近低洼地被淹没,土地碱化,遇有强风暴潮,特别是发生在大高潮前后的强风暴潮,将大大加剧海岸侵蚀的危害。根据近 50 年资料,研究分析表明,我国沿岸海平面上升速度为 $1.4\sim 2.0\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。按海区划分,东海沿岸上升最大,南海和黄海次之。我国沿海地区的自然和人为海岸侵蚀日趋严重,已被人们关注。

8. 海雾

凡是大气中水汽凝结物使能见距离小于 1 km 时,称此天气现象为雾。若出现在海上,则称为海雾。按照种类分,我国沿岸有平流雾、辐射雾及锋面雾,其中以平流雾为最常见。年平均雾日数以黄海、东海沿岸较多,渤海和南海沿岸较少。从总的分布看,辽东半岛东部沿岸、山东半岛成山头至青岛沿岸、长江口至福建北茭沿岸及琼州海峡一带为多雾区。海雾浓重时,海面能见度只有几十米乃至几米,对海上交通构成极大威胁,对岸上交通也有很大的影响。据不完全统计,1950~1985 年,山东沿岸及濒临海区($34^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$, 125°E 以西的广大海域),因海雾而造成的海事和海难达 59 起,死亡 128 人。

改革开放以来,我国社会经济发展迅猛,其中沿海地区的发展水平又远远高于内地,已成为我国经济最发达、人口最稠密、资产最集中的地区。我国沿海地区现有 45 个建制市和 153 个县(市、区),其面积占全国的 17%,人口占全国的 42%,而 GDP 占全国的 73%。随着全球气候变化,如全球变暖、海平面上升、不可预料及更频繁的暴雨、飓风和洪水,海洋灾害更加频繁。在风暴潮、海浪、海冰、赤潮和海啸等海洋灾害中,对我国影响最大、发生频次最高,造成经济损失最严重的是风暴潮。2001~2007 年,平均每年风暴潮灾害损失约 161 亿

元,其中 2005 年和 2007 年经济损失总值分别达 333 亿元和 298 亿元。随着经济社会的发展和文明程度的提高,发展与安全的矛盾日益突出。风暴潮灾害正成为我国沿海对外开放和社会经济发展的一大制约因素。

1.2 我国的风暴潮灾害

1.2.1 风暴潮的诱因与成灾

目前,风暴潮是我国最大的海洋灾害。风暴潮的发生一般伴有狂风巨浪,如果与天文大潮相叠加,往往造成滨海区域潮水暴涨,从而酿成巨大灾难。有人称风暴潮为“风暴海啸”或“气象海啸”,我国历史文献中称“海溢”、“海侵”、“海啸”及“大海潮”等,把风暴潮灾害称为“潮灾”。风暴潮灾害的空间范围一般为几十千米至上千千米,时间尺度或周期为 1~100 h,介于地震海啸和低频天文潮波之间,但有时风暴潮影响区域随大气扰动因子的移动而移动,因而有时一次风暴潮过程可影响 1~2 000 km 的海岸区域,影响时间多达数天之久。表 1.2.1 显示了我国沿海增水的极值分布。

表 1.2.1 我国沿海最大增水值分布统计

站名	最大增水值/m	备注	站名	最大增水值/m	备注
大 连	1.33		澈 浦	5.02	5612 台风
营 口	1.77		宁 波	2.51	
葫芦岛	2.05		温 州	3.88	
秦皇岛	1.83		沙 垵	2.11	
塘 沽	2.27		马 尾	2.76	
羊角沟	3.55		平 潭	2.47	
龙 口	1.54		厦 门	1.79	
烟 台	1.20		东 山	1.52	
青 岛	1.47		妈 屿	3.14	
石臼所	2.15		汕 头	3.02	6903 台风
吕 四	2.50		汕 尾	1.55	
吴 淞	3.53	4906 台风	赤 湾	1.96	
乍 浦	4.34		黄 浦	2.52	

(续表)

站名	最大增水值/m	备注	站名	最大增水值/m	备注
北津港	2.55		三 亚	0.84	
湛 江	4.56		八 所	1.15	
南 渡	5.94	8007 台风	石头埠	2.33	
海 口	2.49	8007 台风	北 海	1.61	
港 北	1.67		白龙尾	1.86	

1. 产生风暴潮的天气系统

资料分析表明,热带气旋、寒潮及温带气旋是影响我国风暴变化的 3 类天气系统。

(1) 热带气旋类

据统计,全世界平均每年约发生 62 个热带风暴,集中于 8 个特定的海域内(图 1.2.1),即东北太平洋、西北太平洋、孟加拉湾、阿拉伯海、西南印度洋、澳大利亚西北海面、西南太平洋及西北大西洋(包括墨西哥湾和加勒比海)。其中西北太平洋有 22 个,占全球的 36%。该热带风暴主要发源于南海中北部海域、菲律宾群岛以东和琉球群岛附近洋面、马里亚纳群岛附近洋面以及马绍尔群岛附近洋面。

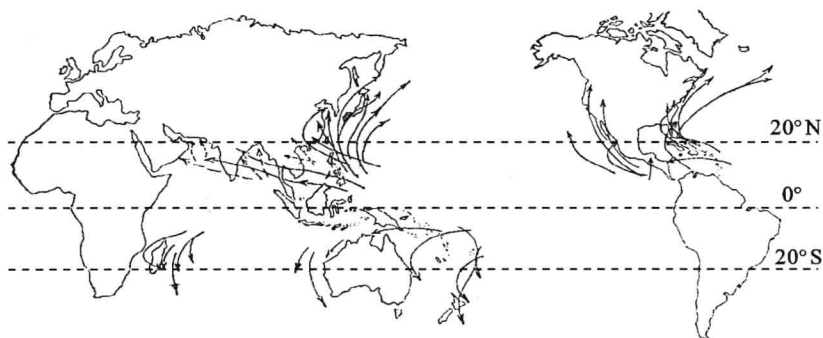


图 1.2.1 热带风暴形成的 8 个特定海区

我国是世界上出现登陆热带气旋最多的国家之一。影响和登陆我国的热带气旋主要来自菲律宾以东洋面、关岛附近洋面和我国南海中部,孟加拉湾风暴对我国西南地区也有影响。据 1949~1993 年资料统计,影响中国的热带气旋共发生 707 个,年平均 16 个,其中造成沿岸风力在 8 级以上的热带风暴和台风共 455 个,年平均 10 个,占总数的 64%。5~12 月都有风暴和台风登陆我