

国家重点基础研究发展规划项目（2010CB951901）资助

中国近海

海洋环境特征概况及

波浪能资源 详查

郑崇伟 游小宝 周广庆 陈晓斌 著

国家重点基础研究发展规划项目（2010CB951901）资助

中国近海海洋环境特征概况及 波浪能资源详查

郑崇伟 游小宝 周广庆 陈晓斌 著

海洋出版社

2016年·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国近海海洋环境特征概况及波浪能资源详查 / 郑崇伟等著. — 北京 : 海洋出版社, 2015.11

ISBN 978-7-5027-9286-2

I. ①中… II. ①郑… III. ①近海-海洋环境-研究-中国 ②波浪能-海洋资源-资源调查-中国 IV. ①X145 ②P743.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第277468号

责任编辑：苏勤 杨传霞

责任印制：赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编：100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店经销

2016年1月第1版 2016年1月北京第1次印刷

开本：889mm×1194mm 1/16 印张：8.25

字数：203千字 定价：58.00元

发行部：010-62132549 邮购部：010-68038093 总编室：010-62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

迈向深蓝，评估先行。海洋环境对人类的生产、生活有着巨大影响，深入掌握海洋环境特征是人类高效开展军事、经济活动的先决条件。本书以数据为支撑，首先系统性、精细化地分析了中国近海的风候（海表风场的气候态）、波候（海浪场的气候态）特征。本书还系统性地梳理了中国近海的海洋环境特征，主要包括：最大波高、气旋中心的最大风速、海雾特征、潮汐类型、潮差、海表温度特征、表层盐度、表层环流、透明度、冰情等。此外，本书还整理了全球海域的水深、风场、海浪场、潮汐、海表温度、表层盐度、洋流体系等。期望本研究可以为海上施工、防灾减灾、航海、国防工程等提供科学依据；面对日益紧张的周边海洋态势，期望本研究可以为海洋权益维护的海洋自然环境建设提供科学依据、辅助决策，为人类社会的和平与发展尽绵薄之力。

沧海茫茫，灾害频发，让人类对海洋望而生畏。但是，如果能深入把握海洋的内在规律，同样可以给人类带来福祉。海洋不仅是人类生命的摇篮，更是一个巨大的资源宝库，蕴藏着丰富的资源：种类繁多的生物资源（含渔业、海洋生物制药等）、丰富的矿产资源（如油气、可燃冰等）、化学资源（各种金属和盐类），而且还储有取之不尽的动力资源（如波浪能、潮汐能、温差能、盐差能、海流能等）。随着资源危机、环境危机愈演愈烈，为了争夺生存空间、建立新秩序，海洋必将是人类未来角逐的焦点。在常规能源日益紧缺的困境下，海洋资源必将是21世纪人类社会赖以生存和可持续发展的有力保障。可再生、无污染、储量大、分布广、隐蔽性强等诸多优点使得波浪能成为时代的宠儿，波浪能资源在边远海岛的应用更是显示了其独特的优势。本书利用来自欧洲中期天气预报中心（ECMWF—European Centre for Medium-Range Weather Forecasts）的ERA-40海浪再分析资料，初次计算了整个西北太平洋的风浪能、涌浪能、混合浪能，希望可以为缓解能源危机、环境危机提供参考，为迈向深蓝提供能源支撑。

著者

2015年10月

目次

第1章 绪论	1
1.1 风、浪对人类的影响	1
1.1.1 对人类生产、生活的影响	1
1.1.2 对军事活动的影响	2
1.1.3 造福人类	4
1.2 风候、波候统计的必要性	5
1.3 风候的研究进展	5
1.4 波候的研究进展	6
1.5 本书的研究内容	8
参考文献	9
第2章 风候特征	11
2.1 资料介绍	11
2.2 海表风场的季节特征	12
2.3 风力等级频率	16
2.4 风向频率	18
2.5 极值风速	21
2.6 西北太平洋的台风情况	23
2.7 南海的台风情况	24
2.8 风速的长期变化趋势	25
2.8.1 整体变化趋势	26
2.8.2 变化趋势的区域性差异	26



2.8.3 变化趋势的季节性差异	27
参考文献	28
第3章 波候特征	29
3.1 方法介绍	29
3.2 数据的有效性	29
3.2.1 台风过程一	31
3.2.2 台风过程二	32
3.2.3 冷空气过程	33
3.2.4 与韩国、日本以及台湾省的观测资料对比	33
3.3 海浪场的季节特征	37
3.3.1 模拟海浪场的季节特征	37
3.3.2 风浪、涌浪特征	40
3.4 重点海域海表风速、波高的日变化特征	44
3.5 波浪等级频率	44
3.5.1 2.5 m以上大浪频率	46
3.5.2 4.0 m以上巨浪频率	46
3.6 波向频率	48
3.7 极值波高	50
3.8 波高的长期变化趋势	51
3.8.1 整体变化趋势	51
3.8.2 变化趋势的区域性差异	52
3.8.3 变化趋势的季节性差异	52
3.8.4 风浪、涌浪的变化趋势	53
3.9 大浪频率的长期变化趋势	54
3.9.1 大浪频率的整体变化趋势	55
3.9.2 大浪频率变化趋势的区域性差异	55
3.9.3 大浪频率变化趋势的季节性差异	56
3.10 海浪波周期的季节特征	57
参考文献	59

第 4 章 重点海域的风、浪特征	60
4.1 钓鱼岛海域	60
4.1.1 海表风速、有效波高的月变化特征	60
4.1.2 风力等级频率、浪级频率	61
4.1.3 风向频率、波向频率	62
4.1.4 海表风速、有效波高的变化趋势	63
4.2 黄岩岛海域	64
4.2.1 海表风速、有效波高的月变化特征	64
4.2.2 风力等级频率、浪级频率	65
4.2.3 风向频率、波向频率	66
4.2.4 海表风速、有效波高的变化趋势	67
4.3 西沙海域	68
4.3.1 海表风速、有效波高的月变化特征	68
4.3.2 风力等级频率、浪级频率	68
4.3.3 风向频率、波向频率	70
4.3.4 海表风速、有效波高的变化趋势	70
参考文献	72
第 5 章 波浪能资源特征	73
5.1 波浪能的计算方法	73
5.2 波浪能的季节特征	74
5.2.1 风浪能	77
5.2.2 涌浪能	77
5.2.3 混合浪能	78
5.3 重点海域波浪能的月变化特征	78
5.4 能级频率	79
5.5 波浪能开发的可用波高出现频率	80
5.6 波浪能的稳定性	81
5.7 钓鱼岛、黄岩岛海域的波浪能	82

5.7.1	资源的月变化特征	82
5.7.2	有效风速、可用波高出现频率	83
5.7.3	能级频率	83
5.7.4	能流密度的长期变化趋势	84
5.7.5	资源储量	85
5.7.6	小结	86
参考文献		87
第6章 渤海、黄海、东海、南海的气候概况		88
6.1	渤海	90
6.2	黄海	91
6.3	东海	92
6.4	南海	93
参考文献		94
附 录		95
附录一	1—12月中国近海的海表风场	95
附录二	1—12月中国近海的海浪场	98
附录三	中国近海的最大波高、热带气旋中心最大风速	101
附录四	中国近海的海雾特征	102
附录五	中国近海的潮汐类型、潮差	104
附录六	中国近海海表温度的分布特征	105
附录七	中国近海的表层盐度	106
附录八	中国近海的透明度	107
附录九	中国近海的表层环流	108
附录十	渤海、黄海北部的冰情	110
附录十一	全球水深	111
附录十二	全球海表风场	112
附录十三	全球海浪场	114
附录十四	世界各地的潮汐类型	116
附录十五	全球海表温度	117
附录十六	全球大洋表层盐度	119
附录十七	全球洋流体系	120
参考文献		121

第1章 绪论

全球 70% 以上被海洋覆盖，海洋是人类生命的摇篮，更是一个巨大的资源宝库，蕴藏着丰富的资源：种类繁多的生物资源（含渔业、海洋生物制药等）、丰富的矿产资源（如油气、可燃冰等）、化学资源（各种金属和盐类），而且还储有取之不尽的动力资源（如波浪能、潮汐能、温差能、盐差能、海流能等）。随着资源危机、环境危机日益严峻，为了争夺生存空间、建立新秩序，海洋将是人类未来的主战场。“海洋开发，评估先行”，深入掌握海洋环境特征是人类高效展开军事、经济活动的先决条件。

伴着“辽宁”舰下水，我国由黄水迈向蔚蓝、深蓝的步伐不断加快。先期的海洋环境研究、海战场环境建设决定着未来海洋开发、海战的成败。本书在此就中国近海的风候（风场的气候态）、波候（海浪场的气候态）特征进行系统性、精细化研究。本书整理了中国近海各个海区的海洋环境特征，主要包括自然环境特征、气候特征（风、海雾、气温、降水等）、海洋水文特征（浪、潮汐、潮流等），为航海、海洋能开发、国防工程、海战场环境建设等提供便捷的查询。此外，本书还就中国近海的波浪能资源特征进行详查，结果可以为海浪发电、海水淡化等资源开发工作提供指导，缓解能源危机，尤其是边远海岛驻军、居民的电力困境，促进我国的可持续发展。

1.1 风、浪对人类的影响

1.1.1 对人类生产、生活的影响

海表风、浪与人类的生产、生活息息相关。通过对 2000—2009 年的《中国海洋灾害公报》统计发现，海浪灾害所造成的人员伤亡在所有海洋灾害中居首位，同时也带来了严重的经济损失^[1-4]。许福祥和吴学军^[5]指出：我国由海浪所引发的海难年平均有 70 余次，损失约 1 亿元，死亡 500 人左右；1949—1982 年的 34 年里，仅被交通部门和海军救助的船只就达 6 295 艘次（不包括渔民自救的渔船），其中约 1 500 艘船的海难事故是巨浪引起的。1982—1990 年间，中国近海因台风浪翻沉各类大小船只 14 345 艘，损坏 9 468 艘，死亡、失踪 4 734 人，伤近 40 000 人，平均每年沉损各类船只 2 600 余艘，死亡、失踪 520 余人。1979 年 11 月，我国“渤海 2”号钻井船受寒潮带来的大浪袭击而沉没；1999 年 11 月，“大舜”号客混船从烟台驶往大连途中，遭遇寒潮大风而倾覆，全船 304 人仅 22 人生还，直接经济损失 9 000 余万元；2011 年 12 月，



强冷空气造成的俄罗斯鄂霍次克海石油平台沉没，造成了巨大的损失。通过这些事故我们可以看到海表风、浪对人类的生产、生活有着非常大的影响，充分掌握风候、波候特征，对于防灾减灾有着非常实用的价值。

1.1.2 对军事活动的影响

狂风巨浪对军事非战争军事行动同样有着很大影响（表 1.1、表 1.2、表 1.3）。1944 年 12 月，美国第三舰队在菲律宾中部的民都洛岛附近集结，准备进攻日军占领的吕宋岛，但是，由于对“海尔赛”台风的位置和路径把握不准确，遭到台风侵袭，直接导致 3 艘驱逐舰沉没，2 艘航母严重受损，146 架舰载机被抛入大海，近 800 人非战斗减员。

随着我国军地海洋建设的快速发展，舰载机（含直升机、战斗机等）、巡航导弹、反舰导弹、无人机等掠海飞行器在海战场环境建设、海洋矿产勘探、防灾减灾等诸多方面得到广泛应用。有时候为了达到更优的效果，会要求低空或超低空飞行。台风浪、冷空气大浪对掠海飞行器的生存能力、隐蔽突防能力有着重要影响，飞行过高不利于隐蔽，飞行过低则容易撞海，影响飞行安全，还可能造成触发引信，从而导致任务失败。1999 年 8 月，台湾空军 3 架飞机遭遇台风浪损毁，其中含两架高性能的 F-16 战斗机；2004 年 12 月，美国海岸警卫队直升机在执行救援任务时，遇到恶劣海况坠毁；2012 年 3 月，台湾一架海鸥直升机救人时，遭遇恶劣海况而撞击海面。

海表风、浪对舰艇活动、海战场环境建设、航线选择、登陆作战、布设鱼雷、舰载机起降、导弹出水姿态、掠海飞行、非战争军事行动（如海洋权益维护、海上搜救）等都有着重要影响。

表 1.1 海况对舰船的影响

对舰船自身船体的影响	<p>海浪对舰艇活动的影响主要是使舰艇发生偏摆（纵摇或横摇）、中垂（所谓中垂是指波长的尺度与近舰船长度相接近时，舰船就可能同时受到两个波峰的作用，舰船首尾由波峰支撑，而舰船中部悬在波谷处，发生“中垂”现象）、中拱（所谓中拱是指波长的尺度与近舰船长度相接近时，舰船中部可能由波峰托起，而首尾则是悬在波谷处，发生“中拱”现象）、淹埋振荡、螺旋桨空转失速等。海浪较大时还会造成舰艇的倾覆，大涌能使近岸活动的舰艇触底搁浅。大浪能使航行中的舰艇航向和航速发生改变，能使锚泊的舰艇发生漂移。若中、小型舰船的长度和波长相近，大涌可能使舰艇发生“中垂”和“中拱”现象，会使舰艇遭到严重损伤，甚至损毁。</p> <p>潜艇在水面航行时受波浪影响较大。大风浪影响潜艇在通气管和潜望镜航行状态下的操作性及潜望镜的有效使用，影响潜艇对海面目标的搜索、观察，而适当的海浪对潜望镜又有隐蔽作用。海浪还会制约反潜舰艇的机动性能和作战性能，猎潜艇一般在 3~5 级海况下能有效使用武器，5~7 级海况下能安全航行。驱逐舰和护卫舰可在 8~10 级风浪中安全航行。</p> <p>船舶在系泊时也有遭遇海浪的危险。强大的涌浪袭入港内，使船舶摇晃而容易引起船舶断缆，碰撞码头；人员上下船时有掉入船与码头之间空隙的危险。热带风暴、台风等风暴系统造成的大浪直接会对舰船造成致命性破坏。</p> <p>高海况还会对舰船的补给和通信造成影响。</p>
------------	--

续表

登陆作战	<p>登陆作战对海浪要求较高,海浪较大时影响舰船靠岸、登陆兵力的换乘、登陆兵力的抢滩,造成卸载和舰艇退滩的困难,在登陆编队庞大的情况下,易发生碰撞和混乱,直接影响上陆阶段的编队和冲击,海况差时甚至会造成严重的非战斗减员,拍岸浪较大时,部队不易登陆。“二战”中英美联军在诺曼底登陆,总的来说是成功的,但大的风浪造成了大量舰艇、坦克、人员的损失。</p>
影响舰船的操纵	<p>在大的风浪条件下,舰船的航行和操纵会受到严重制约,使舰艇发生摇摆,难以保持航向;海浪增加舰船航行阻力、降低航速。据研究计算,一般航速为18 kn的船只,在6级海浪中顶浪航行时,航速降低4 kn,在8级海浪中顶浪航行时,航速降低7 kn。当然,风浪再大时,航速还要降低,甚至完全不能前进。</p>

表1.2 海况对武器系统的影响

导弹	<p>水面舰艇常规导弹:海浪直接影响到掠海飞行器的击水概率,海浪能对雷达形成强烈的反射,当海浪杂波的强度超过一定程度时,就会使对海导弹末制导雷达产生虚警,捕捉并跟踪海浪,从而失去真正的目标。当导弹逆着或顺着海浪飞行时,导弹还会受到由海浪上下抽动空气引起的非正常垂直阵风的影响。非正常气动效应可能产生气动相位滞后,造成掠海飞行导弹在海浪最大高度附近降至最小高度,易被海浪淹埋;非正常气动效应还可能引起导弹弯曲或颤振,弯曲或颤振现象若出现在舵执行机构、速率陀螺和加速计带宽内的频率上,可扰乱自动驾驶仪,从而严重影响导弹巡航性能。在较高海况下,垂直阵风可能会造成较大的导弹高度变化,因而产生控制问题。因此,掠海飞行导弹的预定飞行高度应根据海况确定。</p> <p>潜射导弹:海浪较大时会影响导弹的出水姿态,发射导弹应选择海况等级较低的时候。海浪对导弹出水姿态有影响,主要取决于海浪传播方向、波高、波级和导弹出水时所处的波浪相位。在波高、波向一定的情况下,导弹出水姿态随出水相位而变化。在波峰和波谷附近出水姿态最大;在逆浪波谷和顺浪波峰处出水时,影响导弹的横向速度减小了,导致导弹攻角减小,形成较小的出水姿态。纵浪只影响导弹的俯仰状态,而横浪则是引起导弹偏航和滚动姿态变化的主要干扰因素。</p>
舰炮	<p>一般在5级海况以下才能保证舰炮正常射击。</p>
鱼雷	<p>鱼雷耐波性能较差,只能在近岸和4级海况下使用;鱼雷在航行中,会形成明显的航迹。因此当海面出现较为平静的海况时,鱼雷航迹较为明显,易被较早发现,通常2~4级海况有利于鱼雷发射,这种情况下鱼雷的航迹会和白色浪花混杂在一起,有利于浪花掩盖鱼雷航迹,不易被敌方发现。</p>
水雷	<p>大的海浪能使水雷漂离预定位置,从而影响布雷的准确性。</p>
舰载机	<p>大型水面舰艇本身可以经受较强的风浪,在恶劣海况下也能够航行,但舰载机的起降极易受到海况的影响。为此,美海军规定,航空母舰舰体必须在6级海浪以下、纵倾小于$2^{\circ} \sim 3^{\circ}$、横摇小于$4^{\circ} \sim 6^{\circ}$的情况下才能起降舰载机。一旦风力达到8级,海浪达到6~7级,大部分舰载机便难以起飞,此时仅有少数舰载机能够升空。这种情况下,还会影响直升机的悬停。即使这些飞机升空,发射武器也要受气象条件的严重影响。</p> <p>高海况下变深声呐和拖曳声呐很难放下和回收,会对直升机搜潜和反潜带来极大的困难。</p>
声呐	<p>波浪会对声呐浮标的探测性能产生极大的影响,3.04 m高的波浪将使声呐浮标的传输信息损失75%,4.57 m高的波浪几乎使声呐浮标的传输信息完全丧失。此外,雷雨及其产生的海面破碎波会在大面积的海域内增大环境噪声,使声呐接收机的信噪比降低,从而降低其对探测目标的识别能力。在水下活动的潜艇探测声呐较少受海面波浪的影响,从而在与水面舰艇和飞机的相互对抗性搜索中处于相对优势的地位。</p>

表1.3 海况对人员、非战争军事行动等方面的影响

非战斗减员	高海况会使得作战人员发生晕动病，造成精力和体力下降，严重时会引起非战斗减员，影响海上作业、训练和作战效果。据研究，一般风浪时人员晕船的发生率为10%~30%，大风浪时高达60%，未经训练的人晕船率为50%~90%。 台风所造成的台风浪直接会给人类的生命、财产安全带来巨大威胁。
国防工程	大浪对海上施工会带来影响，严重时甚至会将施工平台损毁，海洋工程中对极值波高都较为关注。
海上搜救	高海况会对舰船、飞机等的海上救援活动带来严重影响，使得救生器材、设备无法正常使用。
海洋权益维护	恶劣海况会对舰船的安全造成影响，从而对海洋权益维护的任务造成影响，这就需要在执行任务之前充分掌握相关海域的风候、波候特征，以便制定相应的方案预案。

1.1.3 造福人类

狂风巨浪能给人类带来巨大的危害，但是，如果深入把握其内在规律，充分利用波浪能、海上风能资源，同样将给人类带来福祉。海表风、浪的巨大能量能用于风力发电、波浪发电，成为将来人类的巨大能源之一，海浪发电更是目前各发达国家追逐的焦点之一，海浪还会促进海水上下层的混合，使混合后的水层富有氧气，满足海中鱼类和其他动植物的需要，利于渔业。2011年1月李克强访问英国时，英国展示的高新成果就是海浪发电。我国管辖的海域约300万平方千米，岛屿众多，有居民的海岛能源十分紧张，严重制约了边远海岛的经济、军事活动。我国在2009年各种能源消耗的总量，相当于 22.52×10^8 t原油，首次超美国，成为世界第一大能源消耗国。能源危机已经成为制约我国持续发展的瓶颈。为此，国家采取了“西电东送”、大力开发核电等措施，即便如此，电力供应仍有很大的缺口。发挥沿海、边远海岛的可再生能源优势，大力实施海浪发电、风力发电，将有效缓解能源危机，促进我国的可持续发展，同时还可显著增强永暑礁、赤瓜礁等边远海岛的生存能力^[6-11]。

在远古时代，人类就开始利用风力作为船只航行的动力。海上风能资源还可用于风力发电，且比陆地更具优势，通常离岸10 km的海表风速比沿岸陆地大25%左右，且受环境影响小，可利用风力资源为陆上的3倍，海上风力发电可为远洋货轮提供电力补给，还可并入城市电网。

传统的应对危险天气多是以规避为主，而实际上危险天气是一把双刃剑。我们同样可以通过精确计算，有效利用台风浪、强冷空气大浪等恶劣海况为掩护，而这一切不能凭借主观臆断，必须是建立在对海战场环境建设的科学研究、合理统筹的基础之上。海浪会使雷达荧屏产生许多小光点，即海水杂波，当海浪较大时，光点会成片出现，能造成几海里范围内的目标回波被“淹没”。英阿马岛战争中，阿军使用“飞鱼”导弹击沉英军的“谢菲尔德”号便是以海浪为掩护的典型战例，但阿军指挥人员只是主观上强调导弹低飞，并不能科学地掌握海浪对导弹的威胁度。我们可以通过精确计算击水概率（撞击海面的概率），定量地把握海浪对掠海飞行器的威胁度，使导弹、舰载机等掠海飞行器达到隐蔽突防、出其不意的攻击效果^[12-13]。我国位于西太平洋边缘，夏季常常遭受台风的侵袭，冬季冷空气频发，深入研究海况对掠海飞行器击水概率的影响具有实用价值。

1.2 风候、波候统计的必要性

风候主要包括风速风向的季节特征和月变化特征、风力等级频率（尤其是大风频率）、风向频率、极值风速、风速的长时间变化趋势等。波候主要包括：波高波向的季节特征和月变化特征、海浪的波周期、极值波高、波浪等级频率（尤其是大浪频率）、波向频率、波高的长时间变化趋势等。

波候、风候特征对海洋水文保障、海洋国防工程、航海、工程海洋能开发、防灾减灾、海洋权益的维护等都有着非常实用的价值。如：极值风速、极值波高是国防工程（如防波堤的建设、围礁造岛等）、海洋能开发极为关注的要素；风向、浪向对舰船的航速航向、滑跃式舰载机的起降、防生化武器、防范漂雷、防范浮空武器等有着很大影响；海况对潜射导弹的出水姿态、舰艇的摇摆程度、舰载武器系统的射击精度、舰载机起降等也都有着很大影响。

随着科学技术的飞速发展，人们可以实现海表风场、海浪场的数值预报。但短期数值预报的时效通常为3~10 d，无法为中长期计划提供指导，尤其是进入陌生海域执行任务时，我们的航海人员、水文气象保障人员也没有太多经验可以借鉴。这就需要我们对中国海域乃至全球海域的风候特征进行系统性统计，为中长期计划、全球战略提供科学指导。

1.3 风候的研究进展

前人对我国的风候、波候特征做过很多工作，起到了巨大的推动作用。齐义泉等^[14]利用约59个月（1992年10月23日至1997年8月12日）的T/P（TOPEX/Poseidon）高度计反演的海表风速，采用EOF [Empirical Orthogonal Function——经验（自然）正交函数分析]方法，分析了南海海表风场的时空分布特征，研究发现风场的第一典型场表现为影响南海较大空间尺度的天气现象，这一模态应该是季风强盛期的风场特征；第二典型场显示南海南、北部海域海面风速呈反位相变化，其分界线约在15°N线附近，这一模态揭示的是季风转换时期的风场特征。齐义泉等^[15-16]还利用1987—1988年两年的Geosat高度计遥感资料，对南海的海表风场的月平均、季平均特征进行过分析，研究发现南海的月平均海表风速在东北季风期较大，在冬季风向夏季风转换的时期较小，且在12月最大，5月最小；10月至翌年3月为东北季风影响的冬半年时期，4月、5月是冬季风向夏季风转换的时期，9月冬季风开始入侵南海东北部海域，10—12月东北季风逐渐加强。在西南季风期间，海表风速呈现出南大北小的特点，其余季节则表现出由南向北增强的分布特征，在10°N，110°E附近海域为常年的风速大值区。

王静等^[17]利用T/P高度计反演的约59个月（1992年10月23日至1997年8月12日）的SWH和海表风速，采用EOF方法对南海的海表风、浪场的研究，初步判定风场的第一典型场可能是季风强盛期的风场特征，第二典型场则体现出季风转换期的风场特征。

葛黎丽等^[18]利用数值模拟和资料同化技术，重构了南海1976—2005年风、浪、流等水文气象要素场，利用Weibull三参数极值统计模型，计算了南海深水区4个典型区块风、浪、流

的多年一遇极值,发现南海极值风速、极值波高的大值中心位于南海北部区域。

刘春霞等^[19]利用 QuikSCAT 散射计矢量风资料,对南海大风频数的月变化、空间分布特征进行过统计分析,结果表明 QuikSCAT 矢量风在南海海域具有较高的可信度,还发现南海东北风最大中心在巴士海峡、台湾海峡,南海中南部存在东北季风的次大中心和西南季风的极大中心。

赵喜喜等^[20]利用 1992 年 12 月至 2005 年 11 月共 13 年的中国近海范围的 ERS21、ERS22 和 QuikSCAT 散射计海面风场资料,对该资料进行矢量经验正交函数 (Vector EOF) 分解,发现距平风场第一模态 (VEOF-1) 表现为冬-夏震荡型,反映了中国近海海面风场的季风特征;第二模态 (VEOF-2) 表现为春-秋震荡型,主要反映了冬季风与夏季风之间的转换过渡时期的海表风场特征。

刘金芳等^[21]利用 1950—1995 年的西北太平洋 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的船舶报资料,分析了近 46 年的西北太平洋的风场特征,研究发现西北太平洋的季风特征非常明显。冬季风比夏季风持续时间长,风力强,范围大。冬季风力全年最强,过渡季节次之,夏季的风力为全年最弱。日本东部 25°N 以北的风力为全海区最强,全年有一半以上的时间平均风速在 8 m/s 以上,6 级大风频率在 20% 以上,最高大于 50%,8 级大风频率在 5% 以上,最高大于 15%。东海南部至南海东北部海域风力次之,且以 11 月、12 月为全年最强。

李培等^[22]利用 1950—1995 年的西北太平洋 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的船舶报资料,分析了近 46 年北太平洋的风场特征,主要统计了历年各月风向频率、平均风速、6 级和 8 级大风等。结果表明北太平洋季风变化明显,10 月至翌年 3 月为最强烈的冬季风季节,尤其以 1 月最强,该月在西伯利亚高压和阿留申低压之间的北太平洋西部吹很强的北-西北风,风向频率在 50% 以上;日本海、黄海以东洋面盛行西北风,风向频率 50% ~ 60%;黄海至东海盛行北-东北风,风向频率 53% ~ 65%;台湾以东洋面及南海则以东北风为主,风向频率 60% ~ 80%。夏季盛行西南季风,以 7 月最强。南-西南风扩展至整个季风区域。10 月至翌年 3 月冬季风期间,平均风速为 $7 \sim 12 \text{ m/s}$,6 级以上大风频率为 15% ~ 55%,8 级以上大风频率在 15% 以内。夏季整个洋面的平均风速为 $6 \sim 7 \text{ m/s}$,6 级以上大风频率基本都在 10% ~ 15%,赤道附近海域为 5%,8 级以上大风频率在 5% 以内。7 月为全年大风频率最小的年份。

1.4 波候的研究进展

李明悝和侯一筠^[23]曾利用 QN (QuikSCAT/NCEP) 混合风场驱动 WW3 模式,对影响东中国海 (包含渤海、黄海和东海) 的一次冷空气过程带来的大浪进行模拟,发现模拟的 SWH (有效波高—Significant Wave Height) 与浮标观测资料接近,还发现 QN 混合风场的风速与浮标观测风速一致。

徐艳清^[24]利用 QN 混合风场驱动 WW3 模式,对东中国海 2000—2004 年的波候进行模拟研究,发现模拟的 SWH 与浮标、观测船、高度计等观测的 SWH 一致,其中冬季的模拟效果

好于其他季节；徐艳清^[25]还分别利用NCEP风场和QN混合风场驱动WW3模式，对比发现QN混合风场驱动WW3模式得到的SWH精度高于NCEP风场驱动WW3模式得到的SWH。

邓兆青等^[26]利用RAMS模式输出的20年风场驱动SWAN (Simulating WAVes Nearshore)模式，对渤海近20年的海浪场进行了模拟研究，模拟的SWH与实测值符合较好，研究发现辽东湾的常浪向为SSW，强浪向为SSW，渤海中部的常浪向为S，强浪向为NE，渤海海峡的常浪向为NNW，强浪向为NNW，莱州湾的常浪向为S，强浪向为NNE，渤海湾常浪向为S，强浪向为NE；并利用Gumbel极值推算方法计算了渤海的极值波高，发现极值波高的大值区位于渤海东南部海域 ($38^{\circ}-39^{\circ}\text{N}$, $119.5^{\circ}-120.5^{\circ}\text{E}$)，百年一遇极值波高能达到6.7 m。

周良明等^[27]利用WW3模式对南海海域1976—2005年的波浪场进行了数值模拟，取得了较好的模拟效果，并发现南海的常浪向为东北向，北部海域的强浪向为偏东向，中南部海域的强浪向则以东北向为主；夏季波高为全年最小，冬季受东北季风影响，波高为全年最大；还发现南海百年一遇极值波高的大值区分布于海南岛东南部海域。

齐义泉等^[14]利用约59个月(1992年10月23日至1997年8月12日)的T/P高度计反演的海表风速和SWH，采用EOF方法分析了南海海表风场和浪场的时空分布特征，研究发现南海海表风场和浪场的第一、第二模态具有很好的相似性，第三模态却表现出明显不同的特征。齐义泉等^[15-16]还利用1987—1988年两年的Geosat高度计遥感资料，对南海的海表风场、浪场的月平均、季平均特征进行过分析，研究发现南海的月平均海表风速和SWH在东北季风期较大，在季风过渡季节较小，且在12月达到最大，5月最小；在西南季风期间，海表风速和SWH均呈现出南大北小的特点，其余季节则表现出由南向北增强的分布特征，在 10°N , 110°E 附近海域为常年的风速和波高大值区。

王静等^[17]利用T/P高度计反演的约59个月(1992年10月23日至1997年8月12日)的SWH和海表风速，采用EOF方法对南海的海表风、浪场的研究，初步判定风场的第一典型场可能是季风强盛期的风场特征，第二典型场则体现出季风转换期的风场特征，SWH的前两个模态与风场前两模态基本相似，得出南海的风、浪之间有很好的相关性。

葛黎丽等^[18]利用数值模拟和资料同化技术，重构了南海1976—2005年风、浪、流等水文气象要素场，利用Weibull三参数极值统计模型，计算了南海深水区4个典型区块风、浪、流的多年一遇极值，发现南海极值风速、极值波高的大值中心位于南海北部区域。

周兆黎和杨显宇^[28]利用NCEP风场驱动WW3模式，对影响南海的3次冷空气过程进行过模拟，并将模拟结果与Jason-1卫星高度计反演的SWH进行比对，发现模拟的SWH与Jason-1卫星高度计的观测资料一致性较好，还发现在冷空气活动末期以及近岸地区，模拟效果略偏差一些，但均方根误差和平均相对误差仍在可接受的范围内。

赵喜喜^[29]曾利用NCEP风场和ERS-2风场对中国近海的海表风场进行研究，得到中国近海处于东亚季风区，冬季盛行强势的东北季风，风力为全年最强，持续时间长，夏季盛行西南季风，春秋两季为季风转换季节。赵喜喜^[29]还利用NCEP和QuikSCAT混合风场驱动WW3模式，对中国近海的海浪场进行模拟研究，发现中国近海的月平均SWH分布特征与月平均海面风场十分相似，平均SWH在冬季最大，季风过渡季节和夏季的SWH较小，平均SWH在12月达



到全年最大,在5月为全年最小;通过对风场和浪场的 EOF 分析发现,浪场前两模态的时空分布特征与风场前两模态的时空分布特征一致,表明中国近海的风场和浪场有很好的相关性。

刘金芳和孙立尹^[21]利用1950—1995年的船舶报资料,对西北太平洋的海表风场、海浪场特征进行分析,研究发现该区域受季风影响显著,季风盛行期的风向、浪向(分为风浪和涌浪)较为一致,该区域赤道附近海域的浪向常年为东北向,冬季季风期间的 SWH 为全年最大,过渡季节次之,夏季最小。

1.5 本书的研究内容

前人对我国的风候、波候特征做过很多工作,起到了巨大的推动作用,但由于受到资料稀缺、工作量巨大等问题的限制,以往多是利用极为有限的资料,在单站或局部小范围展开的统计,即使是大范围海域的海浪统计,在空间分辨率方面也很粗糙,数据精度等方面都存在缺陷,不利于实用。

本书利用高精度、高时空分辨率、长时间序列的多平台交叉校正(Cross-Calibrated, Multi-Platform, CCMP)风场资料,综合考虑风速、风向的季节特征和月变化特征、极值风速、风力等级频率、风向频率、风速的长时间变化趋势等,系统性、精细化地分析了中国近海的风候(海表风场的气候态)特征。本书还以 CCMP 风场驱动目前国际先进的第三代海浪模式 WW3 (WAVEWATCH-III),首次模拟得到长时间序列、高时空分辨率、高精度、覆盖整个中国近海及周边海域的海浪场数据。综合考虑波高波向的季节特征和月变化特征、波周期、极值波高、浪级频率、波向频率、波高的长时间变化趋势等,对中国近海的波候进行了系统性分析。本书还整理了中国近海各个海区的海洋环境特征,主要包括自然环境特征、气候特征(风、海雾、气温、降水等)、海洋水文特征(浪、潮汐、潮流等),为航海、海洋能开发、海洋权益维护、国防工程、海战场环境建设等提供便捷的查询。

此外,本书还对中国近海的波浪能资源特征进行详查,并重点就我国钓鱼岛、黄岩岛等重点海域的波浪能资源进行评估,结果可以为海浪发电、海水淡化等资源开发工作提供指导,缓解能源危机,尤其是边远海岛驻军、居民的电力困境,促进我国的可持续发展。

参考文献

- [1] 郑崇伟, 林刚, 邵龙潭. 1988—2010年中国海大浪频率及其长期变化趋势[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2013, 52(3): 395-399.
- [2] 郑崇伟, 邵龙潭, 林刚, 等. 台风浪对中国海击水概率的影响[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014, 35(3): 301-306.
- [3] 郑崇伟, 潘静, 黎鑫, 等. 1988—2009年中国海大浪频率对厄尔尼诺的响应[J]. 海洋通报, 2014, 33(2): 140-147.
- [4] 郑崇伟, 潘静, 田妍妍, 等. 全球海域风浪、涌浪、混合浪波候图集[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [5] 许富祥, 吴学军. 灾害性海浪危害及分布[J]. 中国海事, 2007, 4: 65-66.
- [6] Zheng Chongwei, Zhuang Hui, Li Xin, et al. Wind energy and wave energy resources assessment in the East China Sea and South China Sea [J]. Science China Technological Sciences, 2012, 55(1): 163-173.
- [7] 郑崇伟, 李训强. 基于WAVEWATCH-III模式的近22年中国海波浪能资源评估[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2011, 41(11): 5-12.
- [8] Zheng Chongwei, Pan Jing. Assessment of the global ocean wind energy resource[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 33: 382-391.
- [9] 郑崇伟. 西沙附近海域波浪能、风能资源开发的可行性研究[C]. 中国发展论坛, 2011.
- [10] 郑崇伟, 游小宝, 潘静, 等. 钓鱼岛、黄岩岛海域风能及波浪能开发环境分析[J]. 海洋预报, 2014, 31(1): 49-57.
- [11] 郑崇伟, 苏勤, 刘铁军. 1988—2010年中国海波浪能资源模拟及优势区域划分[J]. 海洋学报, 2013, 35(3): 104-111.
- [12] 郑崇伟, 潘静. 基于WW3模式的台风浪对掠海飞行器击水概率的影响分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2013, 14(4): 467-472.
- [13] 郑崇伟, 潘静, 黄刚. 利用WW3模式实现中国海击水概率数值预报[J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40(3): 314-320.
- [14] 齐义泉, 施平, 毛庆文, 等. 基于T/P资料分析南海海面风、浪场特征及其关系[J]. 水动力学研究与进展, 2003, Ser.A, 18(5): 619-624.
- [15] 齐义泉, 施平. 采用卫星高度计资料分析南海风、浪的月平均特征[J]. 热带海洋, 1999, 18(2): 90-96.
- [16] 齐义泉, 施平, 毛庆文. 南海海面风场和浪场季平均特征的卫星遥感分析[J]. 中国海洋平台, 1997, 12(3): 118-123.
- [17] 王静, 齐义泉, 施平. 南海海面风、浪场的EOF分析[J]. 海洋学报, 2001, 23(5): 136-140.
- [18] 葛黎丽, 屈衍, 张志旭, 等. 南海深水区风、浪、流多年一遇重现期极值的推算[J]. 中国海上油气, 2009, 21(3): 207-210.
- [19] 刘春霞, 何溪澄. QuikSCAT 散射计矢量风统计特征及南海大风遥感分析[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 107-117.
- [20] 赵喜喜, 侯一筠, 齐鹏. 中国海海面风场时空变化特征分析[J]. 高技术通讯, 2007, 17(5): 523-528.
- [21] 刘金芳, 孙立尹. 西北太平洋风场和海浪场特点分析[J]. 海洋预报, 2000, 17(3): 54-62.
- [22] 李培, 俞慕耕, 黄海仁, 等. 北大平洋气候若干特点分析[J]. 海洋预报, 2002, 21(3): 11-18.