

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 22420101151359

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 SWAN 模型和缓坡方程的近岸台风浪数值模拟

Numerical simulation of the offshore typhoon waves based  
on SWAN model and mild-slope equation

郑祥靖

指导教师姓名: 潘伟然 副教授

专业名称: 物理海洋学

论文提交日期: 2013 年 06 月

论文答辩时间: 2013 年 06 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: 陈金泉 教授

评 阅 人: 陈金泉 教授

靖春生 研究员

2013 年 06 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

郑祥靖

2013年06月06日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：郑祥靖

2013年 06月 06日

## 目 录

中文摘要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论.....	1
1.1 研究的目的和意义.....	1
1.2 国内外研究综述.....	2
1.3 本文的研究内容与技术路线.....	6
第二章 模型简介.....	8
2.1 台风风场模型.....	8
2.2 SWAN 模型.....	11
2.3 缓坡方程模型.....	14
第三章 台湾海峡台风风场模型.....	17
3.1 经验模型风场.....	17
3.2 台湾海峡附加风场.....	18
3.3 背景风场.....	25
3.4 理想典型台风过程的风场计算.....	25
3.5 本章小结.....	27
第四章 台湾海峡台风浪数值模拟.....	28
4.1 区域选择.....	28
4.2 模型控制要素.....	29
4.3 “莫拉克”（0908 号）台风浪场的数值模拟与模型率定.....	30
4.4 “莲花”（0903 号）台风浪场的数值模拟—后报示例.....	38
4.5 本章小结.....	44
第五章 近岸波浪变形数值计算.....	45
5.1 近岸波浪变形数值实验.....	45
5.2 崇武西沙湾波浪数值实验.....	53

5.3 崇武西沙湾台风浪数值计算.....	63
5.4 本章小结.....	68
第六章 总结与展望.....	69
6.1 总结.....	69
6.2 展望.....	70
参考文献.....	72
致 谢.....	77

厦门大学博硕士学位论文摘要

## CONTENTS

Abstract(Chinese).....	I
Abstract(English) .....	II
Chapter.1 Introduction .....	1
1.1 Objective and meaning of research.....	1
1.2 Overview of domestic and foreign research .....	2
1.3 Main content and technical route of the paper.....	6
Chapter.2 Model intruduction .....	8
2.1 Typhoon wind field model .....	8
2.2 SWAN model .....	11
2.3 Mild-slope equation model .....	14
Chapter.3 Typhoon wind field model of Taiwan Strait.....	17
3.1 Experience typhoon wind field model.....	17
3.2 Additional wind field of Taiwan Strait.....	18
3.3 Remote sensing wind field.....	25
3.4 Calculation of wind field with typical typhoon processing .....	25
3.5 Conclusion .....	27
Chapter.4 Numerical simulation of typhoon waves in Taiwan Strait.....	28
4.1 Calculation domain .....	28
4.2 Parameters setting of model.....	29
4.3 Numerical simulation of 0908 Morakot typhoon wave field and model calibration .....	30
4.4 Numerical simulation of 0903 Lotus typhoon wave field—an example for hindcasting .....	38
4.5 Conclusion .....	44
Chapter.5 Numerical calculation of nearshore wave transformation.....	45
5.1 Numerical experiments of nearshore wave transformation .....	45

5.2 Wave numerical experiments in Chongwu Xisha Bay.....	53
5.3 Numerical calculation of typhoon wave in Chongwu Xisha Bay.....	63
5.4 Conclusion .....	68
Chapter.6 Summary and outlook.....	69
6.1 Summary .....	69
6.2 Outlook .....	70
References.....	72
Acknowledgements .....	77

## 中文摘要

本文综合考虑了台湾海峡水深地形、海峡宽度、两岸地形引起的风速变化、台风中心位置等因素对台风风场结构的影响,提出了台湾海峡台风风场的改进模式,再联合 SWAN 波浪模型和改进的椭圆型缓坡方程,利用波谱离散驱动边界,建立了台湾海峡和近岸波浪场数值嵌套模型。并选取 0908 号“莫拉克”台风过程的实测数据进行模型风场和波浪场的率定分析,结果表明,“莫拉克”台风过程期间模拟风速的平均绝对误差小于 5 m/s,相对误差普遍低于 20%;有效波高的均方根误差小于 0.5 m,计算结果较好地反映海峡内波浪对台风的响应过程。并应用该模型对 0903 号“莲花”台风期间台湾海峡波浪场的演变过程进行示范性后报模拟,以检验该模型投入预报性应用的可行性,得到了满意的结果。

影响福建省的台风中,53%为登陆台湾岛后穿过台湾海峡的穿岛型台风,造成的灾害也最为严重,南向进入台湾海峡的岛南型台风占 20%。通过对影响台湾海峡的台风风场与台风浪场的实测结果和数值模拟结果分析显示:台风沿各种路径接近台湾岛的移动过程中,海峡内提前出现大风天气,风浪的绕岛传播效应和台湾海峡地形效应的综合作用,致使海峡内波浪加强,且有效波高分布与台风风场结构相匹配。“莫拉克”台风登陆台湾岛时,台湾海峡有效波高最大值为 5 m,台风中心进入台湾海峡后,海峡东北部为巨浪到狂涛,有效波高最大值可达 10.5 m。而受强度较弱的“莲花”台风影响时,海峡南部和北部波浪为中到大浪,最大不足 4 m;海峡中部普遍为大浪区,最大有效波高接近 5.5 m。

结合波浪动力学在近岸工程的应用,以 JONSWAP 谱离散驱动嵌套模型,模拟了崇武西沙湾“莫拉克”台风期间台风浪传播的物理过程,并对近岸波浪场的特征进行分析,为本模型在海岸带开发、保护和利用的工程性实践中做了初步的探讨。结果表明:台风中心接近福建崇武沿岸时,偏东向台风浪向西沙湾内近岸传播,发生浅化、破碎、反射、绕射等变形现象,有效波高最大不足 2 m,最小仅为 0.2 m,波向趋于 SE 向,波峰线则趋于与峡湾岸线平行;崇武闽台贸易码头附近,大部分波浪受到阻挡作用发生反射,少部分发生绕射,使得码头以北水域波浪较小,有效波高仅为 0.2~0.6 m,对湾内避风坞起到较好的保护作用。

关键词: 近岸; 台风浪; SWAN 模式; 椭圆型缓坡方程; 台湾海峡



## Abstract

The present thesis proposes a modified typhoon wind field model around the Taiwan Strait by taking all factors that affect the typhoon wind field into consideration, such as the depth and topography of Taiwan Strait, the strait width, bilateral terrain of the strait, the position of typhoon center. Combining the SWAN (Simulating Waves Nearshore) model and the modified elliptic type mild-slope equation, this study also establishes a nested wave model for Taiwan Strait and the around coastal waters with the boundary driven by wave spectrum discretization. Then the measured data of wave and wind fields of the 0908 typhoon Morakot are employed for model calibration. The statistical results show that the mean absolute deviation of simulated wind speed is less than 5 m/s, the relative tolerances are mostly less than 20% and the RMSE (root-mean-square error) of the simulated significant wave height is less than 0.5 m. Therefore, the response of waves in the strait to the typhoon can be well reproduced by our models. Furthermore, in order to test the feasibility of the model for forecasting, the 0903 typhoon Lotus is taken as an example for wave hindcasting, the results are good.

Among typhoons influencing Fujian, 53% of them land on Taiwan Island and further move across Taiwan Strait, which cause the worst disasters; 20% of them move into the strait by the south path. By analyzing the simulated and measured results, the overall pattern and understanding of typhoon waves have been obtained in the strait when typhoons are approaching to Taiwan Island regardless of the path, gale weather appears in the strait ahead of time; wind waves propagating around the island and terrain effect of Taiwan Strait tend to reinforce waves in the strait, while distribution of the wave height matches well with the wind field. Moreover, the typhoon Morakot landed on Taiwan Island with the maximum significant wave height of 5 m in the strait; after the typhoon center moved into the strait, waves in the northeast strait became high or very high with the maximum significant wave height of 10.5 m. During the typhoon Lotus, waves of the northern and southern strait were moderate to rough, and the maximum significant wave height was less than 4m;

waves in the middle strait were rough and the maximum significant wave height was close to 5.5 m.

By using the JONSWAP wave spectrum discretization to drive the nested wave model and combining the wave dynamics that applied on the coastal waters, the propagation of typhoon waves in the Chongwu Xisha Bay is simulated during the typhoon Morakot. A preliminary discussion on applying the model to development, protection, and using of the coastal zone is conducted. From the simulative results, it can be indicated that the wave experienced shoaling, breaking, reflection and diffraction when the typhoon center approached to Chongwu and the typhoon wave propagated eastward into the Xisha Bay. The maximum significant wave height was less than 2 m and the minimum value was only 0.2 m. Then the wave direction turned into southeast, and the wave crest line tended to be parallel to the fjord coastline gradually. Due to the blockade of the trade dock, most waves were reflected and a few waves were diffracted into the bay, making waves around the north dock rather small with a significant wave height of only 0.2~0.6 m, and it could protect the shelter port in the inner bay to a relatively good extent.

Key Words: Offshore; typhoon waves; SWAN model; elliptic type mild-slope equation; Taiwan Strait.

# 第一章 绪论

## 1.1 研究的目的和意义

波浪是海洋中最重要的运动形式之一，海洋表面受到外力扰动，水质点离开平衡位置作周期运动、水面呈周期起伏并向一定方向传播的现象即为波浪。外力扰动可以是风、大气压力的变化、天体的引潮力和海底的地震等，其中，受风扰动形成的风浪最为常见，风浪的大小和波形取决于风速、风时和风区长度的大小，常表现为海面连续变化的紊乱波峰和波谷，波形不规则，波浪传播方向变化不定。在传播过程中，周期、波高、波向和初相位不同的波浪相互作用而相长或相消，形成波浪的复杂运动特征。

台风是产生于热带洋面上极具破坏力的灾害性天气系统，中国位于全球台风活动最频繁的太平洋西岸，每年遭受台风灾害影响甚是严重，据 1949-2006 年台风年鉴资料统计表明，每年约有 7.6 个台风登陆我国，其中登陆福建的约 1.8 个。台风浪是台风过程中最严重的海洋灾害之一，海面上观测到最大风浪高达十几米。研究表明，灾害性台风浪巨大的破坏力远比台风本身大，因为海上破坏力的 90% 来自海浪，每年由海浪造成的直接经济损失达数亿元<sup>[1-3]</sup>。台风逼近近岸水域时，台风浪伴随着风暴潮和狂风暴雨，对海洋建筑、水产养殖、港口码头贸易、船舶运输等造成严重影响，甚至致使堤岸溃决、农作物受淹、房屋倒塌、生命濒危。因此，进行台风和台风浪的生成及演变规律的研究与探索对提高沿海地区防台减灾水平有意义，也利于海洋经济健康稳定地发展。

波浪是造成海岸带变化最重要的动力因素之一，也是海岸工程和船舶最主要的承受载荷之一，特别对海洋工程和海港设施、海岸带泥沙运动与岸滩变迁、通航、近海生态环境等问题均有密切关系。随着海洋开发事业的发展，许多涉海工程、军事工程均须计算波浪载荷，海洋资源的开发、保护和利用等许多课题也与海洋中的波浪运动有关。因此，波浪运动的力学理论在工程实践中具有重要意义。

波浪从外海向近岸传播，由于岸滩地形、障碍物、水流等因素影响，发生浅化、折射、绕射、反射、破碎、非线性耗散等一系列物理过程，导致波浪变形。由于波浪组成和传播过程具有的不规则性和非线性特征，研究人员提出了种种关于波浪传播的理论与计算方法，如射线理论、波能平衡方程和动能守恒方程、波

浪绕射方程、缓坡方程、Boussinesq 方程、势波理论等，因物理假定不同，各方法的研究深度、广度及适用范围有所不同<sup>[4,5]</sup>。随着计算机技术以及数值计算方法的飞速发展，数值模拟方法逐渐成为波浪研究中最简便、有效的手段，也是海洋预报及灾害预警强有力的辅助工具，而数值后报也能对水文资料进行补充。

## 1.2 国内外研究综述

### 1.2.1 台风气压场与风场研究

早在 1860 年，气象学家就已对台风的低层结构有了初步的认识，随着全球无线电探测网的建立，研究者们开始对台风高层结构及风场分布特征进行研究，提出了许多圆对称台风气压模型，常见的有：V.Bjerknes<sup>[6]</sup>、高桥<sup>[7]</sup>、藤田<sup>[8]</sup>、Myers<sup>[9]</sup>、Jelesnianski<sup>[10]</sup>、Holland<sup>[11]</sup>等气压模型，它们计算简单，适用于开阔洋面上成熟的台风气压计算。此外，很多研究还提出了许多静止台风风场模式，如 Rankine 涡风场、Jelesnianski 风场<sup>[12]</sup>、Miler 经验风场<sup>[13]</sup>等，它们在风速计算中都有不同程度的偏差，Rankine 风场因在最大风速半径附近衰减太快使得计算结果偏小，Jelesnianski 风场则相反。基于前人的研究成果，陈孔沫<sup>[14-17]</sup>先后提出了 3 种优于 Rankine 和 Jelesnianski 风场计算模式，1991 年他提出了一种具有更加普适性的热带气旋风速分布一般式，在一定程度上提高了由气压场求风场的精度。实际的台风是不断移动的，具有不对称风场结构，为了表示台风这种不对称特征，宫崎正卫等<sup>[18,19]</sup>将台风移动过程所产生的风场与静止台风模式风场进行矢量叠加，但仍有不足：风场处理依然采用经验性表达式；在拟合过程中会多出现两个待调整的风场系数。为此，国内许多学者对台风气压分布和风场分布模式提出了改进的方法，章家琳等<sup>[20]</sup>通过引入无维参数  $\alpha$  来构造非相似形结构台风地面等压线，并且还能反映出台风眼的外形特征；盛立芳等<sup>[21]</sup>采用经验风与梯度风合成的模式来表示台风风场，也可以反映出台风的非对称性结构；朱首贤等<sup>[22]</sup>建立了基于特征等压线的不对称型气压场和风场模式，还提出了台风模型风场和背景风场合成以及单站资料同化的思想和方法，但其准确性依赖于天气预报提供的相关信息的准确度；杨支中<sup>[23]</sup>等采用台风外围闭合特征等压线推导出不含相关参数且考虑径向梯度风的非对称风场模型，使模拟结果更加合理。前人的研究，在体现台风不对称性结构特征方面做出了杰出的工作，但仍不能全面地描述台风发

生发展的物理过程及其内部的波动特征。

20 世纪 60 年代起, 台风的数值模拟成为国内外学者们对台风气压场、风场模拟的新入手点。Cardone 等<sup>[24]</sup>将台风风场模式嵌入到大尺度气压场中建立了台风海面边界层模型, 并将其应用于大西洋飓风边界层风场的数值计算; 程志强等<sup>[25]</sup>基于动力学方程组建立了模拟热带气旋风场的数值计算模式, 比利用公式法得到的风场更为合理些; 国家海洋环境预报中心于 1998 年将一种多重移动的套网格斜压台风模式应用于海洋环境数值预报工作<sup>[26,27]</sup>。而后, 发展较为完善的非静力中小尺度大气数值模型 MM5 (Mesoscale Model 5) 与中尺度气象研究模型 WRF (Weather Research and Forecasting Model) 被广泛应用于海洋科学研究, 比如, Li Ming 等<sup>[28]</sup>将 MM5 与三维水动力模型 ROMS 进行耦合建立一个综合性飓风预报模型, 并以“伊莎贝尔”为计算实例, 取得较好的效果; 谭凤等<sup>[29]</sup>将 WRF 中 10 m 处风速资料作为 SWAN 波浪模式的驱动风场, 联合模拟了 0713 号“韦帕”台风过程中海浪的演化和传播。对于利用中尺度大气与海洋耦合模式系统进行数值计算仍存在不少争议, 如大气和海洋模式耦合的物理基础以及原有的物理参数化方案在耦合模式系统中的适用性问题, 还有海气耦合模式怎样改进台风预报等等, 还有待进一步的研究<sup>[30]</sup>。

### 1.2.2 近岸波浪模式研究

以海洋学、流体力学和数学相结合方法为基础, 近年来, 国内外学者提出了一大批波浪数值计算模型, 并在应用上取得了很大的成就, 除去统计模型, 目前使用比较广泛的模型基本上可以分为三类, 一是缓坡方程模型, 它是计算海浪宏观上的整体特征, 并不涉及具体某一水质点运动过程; 二是 Boussinesq 方程模型, 它直接描述海浪运动过程水质点的运动; 三是能量平衡方程模型, 它是基于能量守恒原理的波谱模型, 主要用于深海、陆架海及近岸较大范围的波浪计算。

#### 1.2.2.1 能量平衡方程

波谱能量平衡方程在波浪预报模式中应用最广, 到目前为止, 海浪数值计算模式已经从第一代发展到第三代。第一代是以 Gelci 等基于动谱能量平衡方程开发的海浪数值计算模式为基础发展开来的, 该类模型的源项仅考虑风能输入项和白浪耗散项, 忽略波浪之间非线性相互作用, 使得波浪成长达到饱和状态后突然停止, 只能在简单地形或某些气象条件下适用, 适应性较差。上世纪 70 年代,

第二代海浪模式逐步形成,对海浪谱和非线性相互作用项运用参数化形式近似表示,提高了模型的性能,但在非线性能量传递问题上仍有不足之处,不能合理模拟快速变化风场下产生的波浪,另外,在风浪与涌浪传输机制处理上也遇到了一些难题。1985年起,西欧部分国家的海洋科研人员成立 WAM 研究小组,试图开发物理过程考虑更加全面、适用性更强的海浪数值计算模式。该研究小组在事先不对谱加以任何假定的基础上直接参数化所有的源汇项,就此发展了第三代海浪模式即 WAM 模式<sup>[31]</sup>。WAM 小组采用离散相互近似法(DIA)来估算非线性作用项,此方法不需要任何人为限制即可使计算自动达到稳定状态。

WAM 模型为后期一批第三代波浪模式的开发奠定了基础,具有代表性的有 Tolman 提出的 WAVEWATCH-III 模型<sup>[32]</sup>、荷兰 Delft 大学开发的 SWAN(Simulating Waves Nearshore)模型<sup>[33,34]</sup>以及丹麦水环境咨询研究机构(DHI)的 MIKE 21-SW 模型<sup>[35]</sup>等。WAVEWATCH-III 模型对 WAM 做了许多改进,特别是在控制方程、数值与物理处理方法、程序结构上,采用新的物理参数方案,引入并行计算方式,考虑了波流相互作用和风浪相互作用等物理机制的影响,在全球波浪模拟及海洋波浪预报方面应用广泛。MIKE 21-SW 模型为 MIKE 21 的全谱风浪模块,采用非结构网格计算,能够较好地模拟近岸海区风浪的成长和传播。SWAN 模型能够准确合理模拟潮流、特殊气象条件下的波浪场,加入了浅水效应项,物理过程考虑全面,边界条件可灵活选择,离散方式可选用有限差分或有限元法,无条件稳定,在近岸浅水区域中应用最为广泛。

在海洋模式开发和应用方面,国内学者也取得了许多研究成果,特别是文圣常提出的混合型波浪模式、袁业立改进 WAM 后开发的 LAGFD-WAM 海浪模式、尹宝树提出的 YE-WAM 模式都不同程度上推进了国内波浪模式研究的发展。在风浪模式应用于台风浪数值计算方面,陈庆丰<sup>[36]</sup>利用 WAVEWATCH-III 海浪预报模式计算了 2004 年“蒲公英”台风过程的风浪场,并将模拟最大波高与台湾联合台风预警中心发布的进行对比,结果表明该模型能够较好地反演出计算海域台风过程的最大波高;孙晓帆<sup>[37]</sup>对比了 WAVEWATCH-III 模型和 MIKE 21-SW 模型在我国邻近海域风浪模拟的适用性,表明 WAVEWATCH-III 模型使用谱分割方法能够提高计算精度,而 MIKE 21-SW 模型具有更好的便捷性和实用性;姬厚德<sup>[38]</sup>运用 SWAN 模式建立了台湾海峡及厦门湾大小网格嵌套模型,并以 0604 号“碧

利斯”台风和 9914 号“Dan”台风为计算实例，较好地揭示了台湾海峡和厦门湾台风期间的风浪场变化特征。

### 1.2.2.2 缓坡方程

1952 年, Eckart 第一个提出了适用于浅水的缓坡方程, Berkhoff<sup>[39]</sup>于 1972 年依据势波理论利用小参数展开法推导得到经典的缓坡方程,对推进近岸浅水海域波浪传播变形的研究做出了杰出的贡献。自此,国内外众多专家学者以缓坡方程为基础做了大量的理论和应用研究,主要体现在缓坡方程的改进、缓坡方程的数值求解方法及其简化近似计算等。

缓坡方程的改进方面,主要是将底摩擦耗散、波浪破碎、(弱)非线性作用以及波浪的不规则性等加以考虑,代表性的有:Booij<sup>[40]</sup>加入了底摩擦项( $i\omega W\phi$ )来考虑海底摩擦造成的能量损失及给出了非线性项的具体表达式;Kirby 等<sup>[41]</sup>认为底摩擦项也能反应波浪破碎造成的能量损耗,并给出了  $W$  的具体计算表达式;Yu<sup>[42]</sup>等提出依据随机波理论的线性叠加法,主要是假定各组成波独立传播变形,认为每一组成波均符合缓坡方程,继而建立了一个窄谱不规则波的波浪计算数学模型。缓坡方程按求解方式主要可以分为三种,即椭圆型缓坡方程、抛物型缓坡方程、双曲型缓坡方程,每一种都有其自身优缺点。最初的缓坡方程是椭圆型偏微分方程,具有不可分离的性质,仅限于小范围的波浪场计算,多见应用于港池中,计算精度高,但边界条件处理复杂,离散求解计算量很大。1979 年,Radder<sup>[43]</sup>用抛物型近似假定简化缓坡方程得到了抛物型缓坡方程,此假定认为波浪传播主方向上的变化尺度要大于其它横向上的变化,故将方程分成向前的透射波和反向的反射波两部分,并忽略反射波部分,使得求解变得简单,计算量小,适用于自外海传至近岸较大范围内海域的波浪传播变形的计算,但其没有考虑波浪的反射作用且要求波浪折射偏转角不能太大,否则计算误差较大。后来,Copeland<sup>[44]</sup>仿用 Ito 和 Tanimoto 的算子分裂法推出了双曲型缓坡方程,他将缓坡方程分解成连续性方程和动量方程两个方程,使得计算方法相对简单,计算精度也高,但是需采用很小的时间步长才能使得模型收敛,故对较大区域计算时间相对较长,且开边界处理上仍具有一定的难度。总体而言,需根据实际情况来灵活选择缓坡方程类型,进而得到合理的计算结果。

近年来,国内许多学者将缓坡方程应用到港口、航道、港湾、防波堤附近、

岛屿周围、破碎带等海域内的波浪场计算。最初的文献出现于 20 世纪 80 年代初，龚崇准等<sup>[45]</sup>引用在常水深假设条件下的 Helmholtz 方程，提出了两种双突堤波浪绕射数学模型，而变水深缓坡方程的应用出现于 1987 年张黎邦等<sup>[46]</sup>的波浪组合绕射和折射的杂交元法中。另外，以缓坡方程为基础，研究者们提出了许多不同形式的改进模型，比如：蒋德才等<sup>[47]</sup>导出缓坡非均匀流场中随机波传播的折射绕射联合的数值模式；郑永红等<sup>[48]</sup>以水波发展方程出发推出大区域缓坡水波数学模型，该模型求解速度快、程序结构简单；等等。

尽管缓坡方程研究内容丰富，应用广泛，但还不能说尽善尽美，今后还应从以下几个方面进行研究：进行理论上的不断完善与改进；研制高效稳定的数值求解方法，寻求更简便的边界处理方法；进行软件化和可视化研究；建立缓坡方程与其它海洋数学模型耦合机制<sup>[49]</sup>。

### 1.3 本文的研究内容与技术路线

#### 1.3.1 研究内容

台湾海峡地理位置特殊，周边海域地形复杂，遭受台风影响严重，综合考虑后，本文选用 SWAN 波浪模式结合椭圆型缓坡方程，并以附加台湾海峡地形作用的台风风场作为驱动风场，建立了台湾海峡和近岸波浪场的数值嵌套模式，旨在计算与分析台湾海峡及其周边海域台风期间波浪场的变化特征，具体工作内容如下：

第二章分别对台风风场经验模型、SWAN 海浪模型以及椭圆型缓坡方程模型进行简单介绍。

第三章建立了台湾海峡台风风场模式，包括经验模型风场、台湾海峡附加风场、背景风场三个模块，其中附加风场模块考虑了台湾海峡水深地形、海峡宽度、台风中心位置移动等因素对台风风场结构的影响。

第四章运用基于非结构网格的 SWAN 海浪数值模型，选择 0908 号“莫拉克”过程进行模拟与分析台风风场、波浪场的时空变化特征，并利用实测数据进行模型参数的率定分析，反复调整相关的模型参数，直到计算值与实测值的误差满足一定的范围。再以 0903 号“莲花”台风为计算实例，对台湾海峡台风风场、波浪场的演变过程进行示范性后报模拟，检验了台风浪对风场驱动的敏感性响应水



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫