

学校编码：10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号：22420111151385

UDC\_\_\_\_\_

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

基于随机游动模型的北部湾水体动力特征  
解析

**Analysis of Hydrodynamic Characteristics Based on  
Random Walk Model in Tonkin Gulf**

王丽娜

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：2014 年 05 月

论文答辩时间：2014 年 05 月

学位授予日期：2014 年 05 月

答辩委员会主席：\_\_\_\_\_

评 阅 人：\_\_\_\_\_

2014 年 05 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):

年 月 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):

年    月    日

# 目 录

摘要.....	I
Abstract.....	III
<b>第 1 章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景和意义.....	1
1.2 研究区域概况.....	4
1.3 相关研究工作概述.....	5
1.4 本文主要工作.....	10
<b>第 2 章 模型介绍</b> .....	<b>13</b>
2.1 水动力模型介绍.....	13
2.2 SWAN 风浪模型.....	22
2.3 随机游动模型.....	25
2.4 水交换中常用的时间尺度.....	34
2.5 水交换矩阵.....	37
2.6 本章小结.....	39
<b>第 3 章 北部湾水体动力特征解析</b> .....	<b>40</b>
3.1 水动力模型的验证.....	40
3.2 北部湾水交换特性分析.....	51
3.3 琼州海峡西口和海南岛西侧水体的影响.....	57
3.4 沿岸径流输入的影响.....	60
3.5 台风的影响.....	62
3.6 本章小结.....	74
3.7 关于海岸海洋水交换机制的思考.....	74

<b>第 4 章 铁山港水交换</b> .....	<b>77</b>
4.1 数值模型.....	77
4.2 铁山港水体交换时间的时空分布.....	78
4.3 各分区水交换率.....	80
4.4 铁山港沿岸主要区域水体运输轨迹.....	82
4.5 铁山港海域水体运输对保护区的影响.....	84
4.6 本章小结.....	85
<b>第 5 章 总结与展望</b> .....	<b>87</b>
5.1 总结.....	87
5.2 展望.....	88
<b>参考文献</b> .....	<b>90</b>
<b>致谢</b> .....	<b>96</b>
<b>发表论文</b> .....	<b>97</b>

# CONTENTS

Abstract(Chinese) .....	I
Abstract(English) .....	III
Chapter 1 Introduction .....	1
1.1 Background and meaning of research .....	1
1.2 Overview of research region .....	4
1.3 Overview of related work.....	5
1.4 Main work .....	10
Chapter 2 Model introduction.....	13
2.1 Hydrodynamic Model .....	13
2.2 SWAN Model .....	22
2.3 Random Walk Model.....	25
2.4 Common time scale used in water exchange .....	34
2.5 Water exchange matrix .....	37
2.6 Conclusion.....	39
Chapter 3 Analysis of hydrodynamic characteristics in Tonkin Gulf.....	40
3.1 Validation of model .....	40
3.2 Analysis of water exchange in Tonkin Gulf.....	51
3.3 The influence of water sourced from Qiongzhou Strait and western Hainan Island .....	57
3.4 The influence of coastal streamflow .....	60
3.5 The influence of typhoon .....	62

3.6 Conclusion.....	74
3.7 Thinking of the mechanism of coastal ocean water exchange .....	74
Chapter 4 Water exchange in Tieshan Bay.....	77
4.1 Model .....	77
4.2 Spatial and temporal distribution of residence time.....	78
4.3 The rate of water exchange in each area .....	80
4.4 Water trajectories in the main area .....	82
4.5 The influence of water transport to reserve in Tieshan Bay.....	84
4.6 Conclusion.....	85
Chapter 5 Conclusions and Prospects .....	87
5.1 Conclusions .....	87
5.2 Prospects.....	88
References.....	90
Acknowledgement .....	96
Publications.....	97

## 摘要

为研究北部湾的水体动力特征,本文采用随机游动粒子追踪方法,建立了具有拉格朗日特性的随机游动模型。该模型在考虑水体扩散效果的同时,可以有效地避免对流扩散模型中可能的数值振荡及其导致的水交换计算偏差,还可以方便快速地实现驻留时间等水交换时间尺度的计算。该模型关于二维瞬时点源扩散的模拟结果与其解析值的比较表明它能够较好地模拟对流扩散问题。

结合水动力模型,首先利用随机游动模型研究北部湾的水交换能力,计算北部湾水交换矩阵和水体驻留时间。结果显示,湾内水交换规律呈现出与环流结构相似的季节性变化特征;季风作用下的水体驻留时间较短,各分区之间水交换比较活跃;冬季东北风作用下的广西沿岸水驻留时间最长,红河河口水驻留时间最短;夏季西南风作用下广西沿岸水驻留时间最短,其水体可延伸至中部海域。

其次,利用随机游动模型研究北部湾的水体迁移特征。研究结果表明,琼州海峡与南部湾口为北部湾湾内水体与外海水交换的重要通道。在冬季环流和潮流影响下,源地在琼州海峡西口的水体可影响北部湾东北水域,该区域水体具备粤西沿岸水的特征;而源地为海南岛西侧海域的水体被限制在海南临高邻近海域;夏季源地为琼州海峡西口的水体主要贴近雷州半岛和广西沿岸逆时针方向移动,流幅窄;源地为海南岛西侧海域的水体向北拓展距离仅在40~50 km左右就转向西和西南方向。北部湾中部以西海域水体受入海径流的沿程影响,在局部范围是相当显著的。越南沿岸入海径流的影响范围主要集中于距海岸20-70 km左右的范围内,冬季影响范围明显扩大,离岸可达30 km左右,广西沿岸入海径流量相对较小,影响范围多局限在距海岸20 km以内的近岸区域。

最后,利用随机游动模型研究台风对中尺度海湾水体迁移的影响。结果显示台风路径东侧海域水体偏离原轨迹运动显著,受台风影响较大,西侧海域水体运动变化不大。从单纯潮、潮与月平均风、潮与台风三种不同条件下的粒子偏移初始位置距离差的对比中可以看出,海燕台风过境后对过渡性水域水体的动力过程影响最大,对越南南岸的水体影响最小。

研究还表明,铁山港通过沙田以南湾口处与北部湾海水进行交换,湾内水体



交换主要受潮汐控制,上层水体较下层水体水交换率大,湾口和湾中水交换较快;落潮期水体交换速度明显快于涨潮期;单点中性示踪粒子运动轨迹显示,儒艮保护区正处在铁山港与北部湾海水交换的活跃区内;山口红树林保护区受到沙田半岛本埠、石头埠和白沙河水体的影响。

**关键词：**水交换；半封闭型海湾；水交换矩阵；驻留时间；随机游动；数值模拟

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## Abstract

Based on Random Walk Particle Tracking method, Random Walk Model (RWM) is established to study the hydrodynamics in Tonkin Gulf. Considering the diffusion effect, the RWM is able to avoid the possible deviation of water exchange induced by numerical oscillation in a convection-diffusion model and calculate the water exchange time such as residence time quickly. The RWM is validated through comparison of model output and analytical resolution of two-dimensional diffusion of instantaneous point source.

First of all, the RWM is applied to study the water exchange in Tonkin Gulf with a hydrodynamic model. The obtained water exchange matrix and residence time show the similar seasonal variation between water exchange and circulation; The water residence time is short and exchange in each subarea is more active under monsoon; Guangxi Coastal Water residence time is longest and Honghe River Water residence time is shortest under northeast wind in winter; Guangxi Coastal Water residence time is shortest and stretches to the middle part of Tonkin Gulf.

Secondly, the RWM is used to investigate the water transportation in Tonkin Gulf. The simulation result indicates that the two most important channels are Qiongzhou Strait and the southern mouth of Tonkin Gulf connecting open waters. In winter, with the influence of circulation and tidal current, water sourced from Qiongzhou Strait could affect the northeastern of Tonkin Gulf where Guangxi Coastal water characters are found, while water sourced from the west area of Hainan Island is restrained in Lin'gao subarea. In summer, water from Qiongzhou Strait moves anti-clockwisely with narrow flow width along the coast of Leizhou Peninsula and Guangxi. The water sourced from western area of Hainan Island flow northward 40-50 km, then turned west and northwest. Streamflow has significant influence on western local waters in the Tonkin Gulf. River plume effects waters 20-70 km off Vietnam coast with expanded range in winter. The river low discharge from Guangxi Province is restrained within 20 km offshore.

Finally, the RWM is run to study the influence of typhoon on mesoscale migration of Tonkin Gulf water. The results showed that a significant deviation from the original trajectory is found on the right waters of typhoon path but little difference on the left water. Comparison of trajectories of water movement in the Tonkin Gulf during typhoon Haiyan with three different driving force schemes, tide only, tide plus monthly mean wind, and tide plus typhoon, indicate that typhoon Haiyan has strongest influence on transitional water and minimal impact on Vietnam southern coastal water. In addition, the tidal current is revealed to play a decisive role in water exchange in Tieshan Bay. Higher exchange rate was found at the upper layer comparing the bottom layer, as well as at the mouth and middle of Tieshan Bay with comparison of its top. Also, higher exchange is found in ebb tide than flood tide. Single neutral particle trajectories shows that water exchange in Ruliang Reserve is active. Shankou Mangrove Natural Reserve is affected by water from Shatian, Shitoubu and Baisha river.

Keywords: Water exchange; semi-enclosed bay; water exchange matrix; residence time; random walk; numerical simulation

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景和意义

海洋可以提供丰富资源、影响全球气候、成为交通通道，对世界经济发展、政治格局和军事斗争产生着极其重要的影响和作用。“海岸海洋”表示陆地向海延伸部分以上的海域，即海岸带的水下岸坡、大陆架、大陆坡至大陆隆以上的水域。海岸海洋面积占全部海洋面积的8%，其水体仅为整个海洋水体的0.5%，但是全球90%的捕鱼量来自于这片水域，全球有机质残体的80%和河流悬移质、污染物的75%-90%滞留或作用于海岸海洋，全球海运港口、海峡航运通道多位于海岸海洋，当今探明的海洋石油储量和海上油井也都位于海岸海洋，世界上发生的局部战争也大都与海岸海洋有关。因此，海岸海洋的研究越来越受到人们的重视。在开发利用海岸海洋的同时，如何保护海岸海洋的环境，维护海岸海洋的生态平衡，是海岸海洋科学研究的重要课题。

海湾是海岸海洋的重要组成部分，其独特的水文地理环境共性、便利的海运交通条件和丰富的海洋资源区位优势，促使着人类对海湾及其近岸地区开发的不断深入和扩大。但是日益频繁的人类开发活动，给包括海湾、海岸带在内的海岸海洋造成了严重的干扰和压力，沿岸产业群生产废水和居住人口生活污水的直接排放，造成海岸海洋的污染物种类和浓度不断增加，导致水质恶化趋势日益加剧、水体富营养化程度日趋严重、生物多样性不断下降、生态系统正常功能大量丧失、有毒有害赤潮频发和规模不断扩大等，严重影响了沿海地区社会、经济和环境的健康发展和海洋自然资源的可持续利用。尽管海岸海洋水体具有一定的自净能力，但仅占全球海洋水体千分之五的海岸海洋水体，却要容纳和滞留全球80%的有机质残体和75%-90%的河流悬移质、污染物，且这种趋势还在加剧，因此，仅仅依靠水体本身的自净，效果显然是杯水车薪。其中，海湾大都具有半封闭性的地理地貌特征，水域的水深和宽度逐渐减小，水体的自净能力与其特有的地形地貌和潮汐、海浪和海流的水文特性有关，因此，对环境压力较为严重的半封闭型海湾进行相关的研究，是十分必要的。

海岸海洋大规模生长着某些类型的生物,形成了独特的海洋生态系统。当海岸海洋提供给这些生物适宜生存环境(包括水深、光照、水温、盐度、海水浑浊度、流浪等水文要素、海底条件等等)的同时,海洋水体则以各种存在形式提供了适宜的盐分、营养盐、有机质等物质,而这些生物的生存和繁殖活动也维持着海岸海洋生态系统的稳定发育,形成海洋生态环境和物质的良性循环。因此,了解海洋物质循环的机制是进一步研究海洋生态系统的基础。作为海洋物质成分的承载者,海水流体通过大小运动尺度的不同,流体质点在时间和空间中位置发生变化,从而实现水体中海洋物质成分的输运过程。从动力海洋学分析,海流、潮汐和波浪等物理海洋过程左右着海水流体的运动,是决定海水水体中物质成分输运迁移运动特性的关键物理过程。半封闭型海湾和其它海岸体系的海域,是海洋延伸入陆地的交界水域,海洋、陆地和大气的交互作用复杂而剧烈,包括潮汐、河流径流、大气驱动和从外洋入侵的中尺度涡旋等,从地球流体动力学衡量,大气系统和柯氏力效应的影响有时是不容忽视的;而陆地径流的淡水输入与外洋海水的相互作用和水体交换也将影响物质成分在海湾中的输送格局,河口及近岸海域由于密度分层和地形起伏等因素会呈现较为丰富的现象。海湾、近岸海域的水体交换是海洋物质循环中一个重要的水动力学过程,比如海湾里的污染物通过对流输运和稀释扩散等物理过程与周围水体混合,在与外海水交换的过程中,海域内海水污染物质浓度逐渐降低,水质也得到了改善,而整个对流—扩散—混合—交换过程的进度和程度,与区域水体的自净能力、环境容量、营养盐输运、生态环境等有着紧密的联系。因此,在了解和把握半封闭型海湾在潮汐、河流径流、大气驱动等动力作用下海水运动形式和特征的基础上,进而研究半封闭型海湾水体与外界水体的交换特征,对于掌握海湾水体中物质输运的机制和物质循环的规律具有重要意义。

北部湾位于我国南海的西北部,是我国距东南亚各国以及南亚海湾区最近的口岸,战略地位显要。北部湾属浅海半封闭性大陆架海域,是典型的海岸海洋地理范畴。北部湾自然资源丰富,海底蕴藏着丰富的石油和天然气,沉积物中含有大量的砂矿,沿岸众多河流每年携带大量的营养盐、有机质进入海湾,加之海湾受沿岸水和来自湾口的混合水影响,聚集了大量生物,使得该海湾形成了由河口

生态系统、海湾生态系统和多个城市生态系统组成的独特自然环境，这里海洋生物种类众多，水产资源丰富，生物体系复杂，是我国著名的渔场之一。

近年来，随着我国对外开放和经济发展的需要，北部湾经济开发区经贸活动日益活跃，海岸带经济产业全面布局。然而，在北部湾海洋资源的开发利用不断加强、沿海港口城市化、工业化速度不断加快的同时，污染源也不断增多。工业废水、废渣和有害物质虽经过控制和处理，但总体上仍然有大量污染物排入海洋。2009年广西统计年鉴的工业污染排放数据表明，污染物的排放总量比2003年平均增加了1-1.5倍；《北海市2012年海洋环境质量公报》也显示，入海排污口邻近海域环境质量状况总体依然较差，与2011年相比未见改善，水体富营养化是入海排污口邻近海域的主要环境问题；2013年1月至9月发生了多起海水水质异常情况，经监测，造成海水水质明显变差的原因主要为无机氮、活性磷酸盐和化学需氧量超标，超标区域主要分布在沿岸主要入海河口区域和主要城市的排污海域。另外，一些海上活动如海洋倾废、船舶交通等也给海洋带来不同程度的污染，加之北部湾半封闭地形的约束，局部海域的海流较弱，潮汐属于全日潮性质，潮差水平比半日潮海湾较低，水交换的速度滞缓，污染物不易扩散，海水净化缓慢，长期的累积使北部湾出现了局部的环境污染情况，目前表现为海水富营养化程度有所增高，特别是河口和港湾水域污染较严重。部分海区水质环境趋于恶化，严重影响海洋生态系统平衡，导致海岸带以及近海部分生物资源衰退、沿海湿地减少、生物多样性下降、整体生态功能衰退。

铁山港是北部湾北部新兴的港口和城镇开发区，且其湾口处于山口红树林生态保护区内，该保护区是中国第二个国家级的红树林自然保护区，海湾沿岸多为滩涂湿地，淤泥肥沃，适宜红树林生长。海湾侵入内陆，封闭性好，风浪、潮汐、余流的作用较弱，岸滩比较稳定，海水污染程度很低，水质洁净，是红树林大面积分布和生存的理想区域，具有良好的海湾生态系统。近年来，为满足北部湾经济发展的长远需要，港口开发力度不断加大，对港域内的水动力条件和水域环境容量产生一定的影响。

要解决这些问题，除加强环境管理和资源保护之外，还依赖于研究北部湾海洋动力学特性的，研究海湾的水交换机制，认识海湾的物质输送与弥散特征，为

北部湾以及铁山港海域的环境治理和污染控制、合理开发利用海湾及港口资源提供重要的科学指导。

## 1.2 研究区域概况

北部湾位于我国南海的西北部,地理概位介于 $16^{\circ}$ - $22^{\circ}$ N, $105.5^{\circ}$ - $110^{\circ}$ E之间。其东面是海南岛、琼州海峡和雷州半岛,北面是广西壮族自治区,西面是越南陆地沿岸,南面紧接我国南海及越南南部海的一部分,湾东部通过琼州海峡与广州湾相沟通,是三面靠陆、一面临海的中尺度海湾。全湾面积12.8万平方公里,湾内海底地形平坦,地势从西北向东南倾斜,坡度约为0.3‰,等深线分布趋势大致与海岸平行,水深多在20-60 m之间,平均深度为39 m,仅湾口处水深变化较大,少数地方水深陡增至1000 m。北部湾属浅海半封闭性大陆架海域,地形、区位条件独特。

北部湾天气过程季节性明显,冬季盛行东北季风,夏季盛行西南季风。由于其特殊的地形条件,全湾全日潮表现显著,半日潮较弱,潮流主要为往复流,潮流的流向大体与岸线走向一致。湾内入海河流众多,主要有广西沿岸的南流江、钦江、大风江、北仑河,海南岛西岸的昌化江、珠碧江,以及越南沿岸的有红河、马江和兰江。其中,红河的入海径流量最大,约占同期各河流注入北部湾年总径流量的75%左右。

铁山港地处北部湾东北部顶端,毗邻广东省英罗港。港湾呈鹿角状,湾口朝南,呈喇叭状敞开与北部湾相通,口门宽约32 km。该湾水域南北长约40 km,海湾面积340 km<sup>2</sup>,其中滩涂面积约占海湾总面积的50%。湾内水深岸阔,掩护良好,两岸多为开阔平坦的台地,可供开发的滩涂资源和港口资源非常丰富。铁山港潮汐属于不正规日潮,潮差较大,属强潮型海湾。铁山港湾内没有较大的河流注入,仅有一些小河溪从各个入海处汇入。

## 1.3 相关研究工作概述

### 1.3.1 水体交换特征研究现状

水体交换能力是海湾、近岸海域的重要水动力学特性，了解其水交换机制，对于海域环境容量及环境质量的评估和评价具有重要作用。迄今为止，水交换研究中常用的数学模型有：实测指示物质浓度法、箱式模型、对流-扩散交换模型和标识质点拉格朗日数值追踪法等。

早期的研究多采用实测指示物质浓度法，许多学者应用现场实测指示物质浓度资料对海湾水交换能力进行了大量的研究。王寿景<sup>[1]</sup>根据“厦门港湾海洋环境综合调查”选用盐度为指标物质，用 Parker<sup>[2]</sup>水交换率的方法计算厦门港西海域嵩屿—鼓浪屿和厦门—鼓浪屿断面的海水交换率。匡国瑞<sup>[3]</sup>运用中村武弘的水质预测公式，选用化学耗氧量（COD）作为指标物质，估算了芝罘西湾一个潮周期内的水交换率。毕远博和刘海映<sup>[4]</sup>利用小窑湾大潮汛期的调查资料，分别采用 Parker<sup>[2]</sup>和柏井诚<sup>[5]</sup>定义的海水交换率，对小窑湾的海水交换与环境事件的预测进行了分析研究。由于早期观测仪器技术水平的限制，经常会出现实测资料缺乏的问题，影响了水交换研究的科学性和准确性。此外，Parker 和柏井等人的统计方法更适用于混合能力强的小尺度海湾，对中尺度且混合能力弱的海湾则出现了一定的偏差。

箱式模型法既有将海湾或者所研究的区域看成一个整体的单箱模型，也可将研究区域分割成几个箱体连接的多箱模型。单箱模型、多箱模型都必须满足质量守恒定律和流动定常、通量为常数的基本假定，箱外水体进入箱内即与整个箱内水体充分混合；通过边界无扩散交换。高抒、谢钦春<sup>[6]</sup>根据狭长海湾的特点及口门潮交换和纵向弥散交换机制，建立了狭长海湾的多箱模型，研究了象山港的水交换机制。潘伟然<sup>[7]</sup>利用现场观测数据，采用单箱模型结合二维数值模型分别计算了湄洲湾海水的平均交换率、平均半更换期和湾内各区的海水半更换期；胡建宇<sup>[8]</sup>利用单箱模型计算了罗源湾海水的交换率。基于箱式模型的水交换研究获得了广泛的应用，但魏皓<sup>[9]</sup>指出箱式模型的应用有一定的适用范围。当通过界面的通量是非定常时，水体的更新时间有很大的偏差；周期性的潮流是非定常的，不符合定常流的基本假定，落潮流出海域的湾内水体还会随涨潮流回到湾内，降低



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