View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Xiamen University Institutional Repository

学校编码：10384　　密级_____
学号：22420090153265

厦门大学

博 士 学 位 论 文

九龙江冲淡水在台湾海峡西部扩展特征的观测与动力分析

Observation and Dynamical Analysis of Jiulongjiang River Diluted Water Discharging into the West Taiwan Strait

王代锋

指导教师姓名：胡 建 宇 教 授
专 业 名 称：物 理 海 洋 学
论文提交日期：2013 年 10 月
论文答辩时间：2013 年 11 月

2013 年 12 月

厦门大学博硕士论文摘要库

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）》。

声明人（签名）：

年　　月　　日

厦门大学博硕士论文摘要库

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。

声明人（签名）：

年　　月　　日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

本文以实测 CTD 数据、卫星遥感浊度资料为基础，分析了九龙江冲淡水在台湾海峡西部的水文特征和扩展模式；在径流量和遥感风场数据的基础上，探讨了九龙江冲淡水扩展方式的主要影响因素，并结合流体力学的知识和热力学统计模型对九龙江冲淡水的动力特征进行了研究；同时，本文还利用 ROMS 模式模拟了不同背景沿岸流下，理想化九龙江冲淡水的扩展情况，进一步了解理想化九龙江冲淡水对沿岸流的响应过程和动力机制。

通过对 2009-2012 年 6-7 月厦门湾口附近海域 CTD 资料的分析表明，2009 年、2010 年和 2012 年夏季九龙江冲淡水以射流的形式经厦门湾进入台湾海峡西部；进入台湾海峡后，九龙江冲淡水在扩展的过程中可能会发生淡水块的脱落，形成孤立的低盐区。通过分析厦门湾口附近海域 2008 年 11 月和 2012 年 2 月航次的 CTD 资料，结果显示：冬季厦门湾口附近海域被低温、低盐水覆盖，这些低盐水不仅来自九龙江，也有可能是浙闽沿岸流或闽江冲淡水；2008 年冬季航次期间，九龙江冲淡水不以射流的形式进入台湾海峡。

利用二维射流理论知识对实测资料进行分析结果表明，东山附近上升流区的低温、高盐水在某些航次期间会在西南风的驱动下，以射流的形式流经厦门湾口附近海域，与九龙江冲淡水射流相互作用，影响九龙江冲淡水的水文特征和扩展方式。

根据 MODIS 浊度资料和 CTD 资料，统计出夏季九龙江冲淡水主要有四种扩展形态：（1）沿岸向东北扩展的形态；（2）同时向东北和西南扩展的双向扩展形态，其中，2010 年和 2012 年夏季航次期间，九龙江冲淡水的扩展形态属于这一类型；（3）集中在厦门湾口向外扩展的形态，除上述两个夏季航次外，其他航次期间九龙江冲淡水的扩展方式属于该类型；（4）离岸向东北方扩展形态。分析表明径流量、风场、沿岸流和地形均对九龙江冲淡水的扩展有影响。

由于流场数据的缺乏，沿岸流对冲淡水的扩展有何影响不能定量描述，本文通过利用 ROMS 模型，设计在不同背景沿岸流的作用下，对理想化的九龙江冲淡水进行模拟，结果表明：背景沿岸流对冲淡水的扩展是有影响的，当背景沿岸流小于 0.05 m/s 时，理想化九龙江冲淡水主要沿岸向西南扩展；当背景沿岸流大

厦门大学博硕士论文摘要库

于 0.05 m/s 时，冲淡水主要向东北方扩展，扩展形态与岸线成一定的夹角；理论分析与模型结果显示，当背景沿岸流为 0.05 m/s 左右时，冲淡水趋于垂直于岸线，达到稳定状态。动量分析和理论分析表明，随着背景沿岸流的增加，冲淡水叠加在背景沿岸流之上，形成一个两层的垂直流速结构，上层的冲淡水处于准地转平衡状态，下层是由正压驱动的单向水流，动量平衡为正压和垂直涡动粘滞项，科氏力的作用变小。

关键词：九龙江冲淡水；射流；陆源 DOM；台湾海峡；ROMS；沿岸流

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

On the basis of the in-situ CTD data and the satellite remote-sensing turbidity data, the hydrological characteristics and the expanding patterns of the Jiulongjiang River diluted water (JDW) have been studied. The paper has also analyzed the influencing factors. Then the knowledge of fluid dynamics and a terrestrial dissolved organic matter (DOM) distribution model have been applied to reveal the dynamics of JDW. Meanwhile, the model of Regional Ocean Modeling System (ROMS) has been used to simulate the flowing patterns of the idealized JDW (IJDW) with different background coastal currents (BCCs), and investigate the dynamic response and mechanisms of the IJDW to the BCCs.

After analysing the CTD data around the Xiamen Bay mouth in June and July from the year of 2009 to 2012, the results show that during the summer cruises of 2009, 2010 and 2012, the JDW debouches into the west Taiwan Strait in the form of jets through the Xiamen Bay. Four summertime cruises data also show that during the process of expanding, there may be patch of diluted water detaching from the main route of JDW. The wintertime cruise data in November 2008 and February 2012 show that low temperature and low salinity water covers the area around the Xiamen Bay mouth in winter, however, the low salinity water is not only from the Jiulongjiang River, but also part of the Zhemin coastal current or the Minjiang River diluted water; The results also reveal that during the winter cruise of 2008, JDW does not flow into the west Taiwan Strai in the form of jet.

By using the knowledge of jet to analyze the CTD data, this paper indicates that: as driven by the summer southwesterly wind, the upwelling-related Dongshan low temperature and high salinity water flows northeastward in the form of jet as well. To a certain degree, the Dongshan low temperature and high salinity jet may interact with the jets formed by the JDW, and then affect the hydrological characteristics and expanding patterns of the JDW.

Based on the turbidity and CTD data, there are mainly four types of spreading

厦门大学博硕士论文摘要库

patterns in summer for the JDW, including (1) going northeastward along the coastline, (2) extending northeastward and southwestward at the same time, (3) just spreading out near the Xiamen Bay mouth, and (4) flowing northeastward offshore. The results also indicate that the Jiulongjiang runoff, wind, the BCCs and topography all have effect on the extending patterns.

Due to the lack of current data, it is hard to quantitatively describe the influence of BCCs on the spreading of the JDW, so the ROMS is utilized to simulate the IJDW under the conditions of different BCCs. The results demonstrate that BCCs may modify the spreading patterns of IJDW. When the BCCs are less than 0.10 m/s, the IJDW largely flows southwestward along the coast; when the BCCs are greater than 0.10 m/s, the IJDW mainly spreads northeastward with an angle to the coastline. The results of model and theoretical analysis show that, when the BCCs equal to 0.05 m/s, the route of IJDW is almost perpendicular to the coastline, reaching a steady state. At the same time, the theoretical and momentum analysis results also indicate that with the increasing of BCCs, diluted water overlays on the BBCs and forms a two-layer vertical velocity structure with the upper layer in quasi-geostrophic balance and the lower layer in a one-way flow driven by barotropy which is balanced by the vertical viscosity term, while the effect of Coriolis term is diminished in the lower layer.

Key words: Jiulongjiang River diluted water; jet current; terrestrial DOM; Taiwan Strait; ROMS; coastal current

厦门大学博硕士论文摘要库

目录

摘要.....I

Abstract.....III

第一章 绪论.....1

1.1 研究背景和研究意义.....1

1.2 河流冲淡水的主要研究方法和内容.....1

1.3 理想河流冲淡水的结构和影响河流冲淡水扩展的因素.....4

1.3.1 理想河流冲淡水的结构.....4

1.3.2 影响河流冲淡水扩展的因素.....6

1.4 九龙江冲淡水研究进展.....8

1.4.1 九龙江口-厦门湾海域九龙江冲淡水研究进展.....9

1.4.2 台湾海峡内九龙江冲淡水研究进展.....10

1.5 研究目的、方法和内容.....11

第二章 九龙江及其毗邻海域水文气象环境概况.....13

2.1 九龙江入海径流量.....13

2.1.1 资料来源.....13

2.1.2 九龙江入海径流量的变化周期.....14

2.1.3 九龙江入海径流量的极端值.....16

2.1.4 2009-2012 年航次调查前一个月九龙江入海径流量.....17

2.2 风.....18

2.2.1 季风.....18

2.2.2 2008-2012 年航次前两天的风况.....19

2.3 海流.....21

2.3.1 冬季台湾海峡海流特征.....21

2.3.2 夏季台湾海峡海流特征.....23

2.4 上升流.....23

厦门大学博硕士论文摘要库

2.5 潮汐 24

2.6 本章小结 27

第三章 九龙江冲淡水的现场观测与动力分析 29

3.1 观测资料 29

3.2 夏季厦门湾口附近海域温、盐度分布特征 29

3.2.1 2009 年 6-7 月厦门湾口附近海域温、盐度分布特征 29

3.2.2 2010 年 6 月厦门湾口附近海域温、盐度分布特征.....36

3.2.3 2011 年 6-7 月厦门湾口附近海域温、盐度分布特征 43

3.2.4 2012 年 7 月厦门湾口附近海域温、盐度分布特征.....47

3.2.5 讨论与小结.....53

3.3 夏季九龙江冲淡水分布的解释 54

3.3.1 二维射流理论.....54

3.3.2 2009 年 6-7 月航次九龙江冲淡水分布的流体力学解释 56

3.3.3 2010 年 6 月航次九龙江冲淡水分布的流体力学解释.....57

3.3.4 2012 年 7 月航次九龙江冲淡水分布的流体力学解释.....60

3.3.5 讨论与小结.....61

3.4 冬季厦门湾口附近海域温、盐度分布特征 62

3.4.1 2008 年 11 月厦门湾口附近海域温、盐度分布特征.....63

3.4.2 2012 年 2 月厦门湾口附近海域温、盐度分布特征.....68

3.4.3 讨论与小结.....73

3.5 本章小结 74

第四章 九龙江冲淡水的卫星遥感及动力分析 76

4.1 数据介绍 76

4.2 浊度分布特征及其解释 76

4.2.1 2010 年 6 月 28 日浊度分布特征.....77

4.2.2 统计热力学模型.....78

4.2.3 厦门湾口附近海域浊度分布特征的解释.....79

厦门大学博硕士论文摘要库

4.3 九龙江冲淡水的扩展形态 82
4.3.1 冲淡水的指示因子.....82
4.3.2 夏季九龙江冲淡水的扩展形态.....83
4.4 讨论 86
4.4.1 陆源 DOM 分布模型参数取值 86
4.4.2 九龙江冲淡水扩展形态的主要影响因素.....87
4.5 本章小结 92
第五章 理想化的九龙江冲淡水对沿岸流的响应 93
5.1 模型设置 93
5.2 结果分析 96
5.2.1 冲淡水的结构.....96
5.2.2 动量分析.....104
5.2.3 临界背景沿岸流的分析.....105
5.2.4 冲淡水流速结构的理论分析.....113
5.3 本章小结 116
第六章 总结和展望 118
6.1 总结 118
6.2 不足之处及展望 120
参考文献.....122
发表及完成的论文 137
致谢.....138

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Abstract in Chinese I

Abstract in English III

Chapter 1 Introduction 1

1.1 Background and Significance 1

1.2 Method and Content on Studying Diluted Water 1

1.3 Structure of the Idealized River Diluted Water and Influencing Factors 4

1.3.1 Structure of the Idealized River Diluted Water 4

1.3.2 Influencing Factors on the Spreading of Diluted Water 6

1.4 Research Advance of the Jiulongjiang River Diluted Water 8

1.4.1 Research Advance of the Jiulongjiang River Diluted Water in Xiamen Bay 9

1.4.2 Research Advance of the Jiulongjiang River Diluted Water in the West Taiwan Strait 10

1.5 Goal, Method and Content of the Present Study 11

Chapter 2 Hydro-meteorological Environment in the Jiulongjiang River and the Adjacent Sea Area 13

2.1 Runoff of the Jiulongjiang River 13

2.1.1 Data 13

2.1.2 Variation Period of the Jiulongjiang River Runoff 14

2.1.3 Extreme Values of the Jiulongjiang River Runoff 16

2.1.4 Average Runoff of the Jiulongjiang River One Month before the Cruises in the Year from 2009 to 2012 17

2.2 Wind 18

2.2.1 Monsoon 18

厦门大学博硕士论文摘要库

2.2.2 Wind Conditions Two Days before the Cruises in the Year from 2008 to 2012 19

2.3 Current 21

2.3.1 Characteristics of the Wintertime Current in the Taiwan Strait . 21

2.3.2 Characteristics of the Summertime Current in the Taiwan Strait 23

2.4 Upwelling 23

2.5 Tide 24

2.6 Conclusion 27

Chapter 3 Field Observation and Dynamical Analysis of the Jiulongjiang River Diluted Water 29

3.1 Observational Data 29

3.2 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in Summer 29

3.2.1 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in June-July of 2009 29

3.2.2 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in June of 2010 36

3.2.3 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in June-July of 2011 43

3.2.4 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in July of 2012 47

3.2.5 Discussion and Summary 53

3.3 Interpretation of the Characteristics of the Jiulongjiang River Diluted Water in Summer 54

3.3.1 Two-dimensional Jet 54

3.3.2 Interpretation of the Characteristics of the Jiulongjiang River Diluted Water in June-July of 2009 56

厦门大学博硕士论文摘要库

3.3.3 Interpretation of the Characteristics of the Jiulongjiang River Diluted Water in June of 2010 57

3.3.4 Interpretation of the Characteristics of the Jiulongjiang River Diluted Water in July of 2012 60

3.3.5 Discussion and Summary 61

3.4 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in Winter 62

3.4.1 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in November of 2008 63

3.4.2 Temperature and Salinity Characteristics off the Xiamen Bay Mouth in February of 2012 68

3.4.3 Discussion and Summary 73

3.5 Conclusion 74

Chapter 4 Sattelite Remote Sensing and Dynamical Analysis of the Jiulongjiang River Diluted Water 76

4.1 Data 76

4.2 Turbidity Distribution and Interpretation 76

4.2.1 Turbidity Distribution on June 28 of 2010 77

4.2.2 Statistic-thermodynamical Model 78

4.2.3 Interpretation of the Turbidity Distribution off the Xiamen Bay Mouth 79

4.3 Spreading Patterns of Jiulongjang River Dilted Water 82

4.3.1 Indicators of River Diluted Water 82

4.3.2 Spreading Patterns of Jiulongjang River Dilted Water in Summer 83

4.4 Discussion 86

4.4.1 Parameter Value for the Terrestrial DOM Distribution Model ..86

4.4.2 Major Influcencing Factors on the Jiulongjiang River Diluted

厦门大学博硕士论文摘要库

Water Spreading.....87

4.5 Conclusion 92

Chapter 5 Response of the Idealized Jiulongjiang River Diluted Water to Coastal Currents.....93

5.1 Numerical Model Configuration 92

5.2 Analysis 96

5.2.1 Structure of Diluted Water.....96

5.2.2 Momentum Analysis.....104

5.2.3 Critical Coastal Current 105

5.2.4 Theoretical Analysis of the Velocity Structure of Diluted Water 113

5.3 Conclusion 116

Chapter 6 Summarization and Expectation.....118

6.1 Summarization 118

6.2 Limitations and Prospects.....120

References 122

Published or Accomplished Papers 137

Acknowledgements 138

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景和研究意义

河流淡水入海后与海水混合形成冲淡水，因其密度比海水的密度小而浮在海水之上形成羽状体，在其内会形成羽状环流和羽状锋，羽状锋即为盐度水平梯度最大的区域（朱建荣等，2003）。羽状流是正压压强梯度力驱动的密度流，扩展到相邻海域中，是近海环流的一个重要动力组成部分，其扩展路径和强度会影响陆架环流。另外，在羽状流结构中，上层冲淡水与下层海水之间存在着密度差异，导致水体层化，层化即使非常弱，也会影响水体紊动强度和速度变化，使得垂向剪切加强，导致水体不稳定，水体的垂向混合过程加速（卢丽锋，2008）。羽状锋区作为一个动力屏障，阻止了溶解物、泥沙和动量等向外海的输运，使锋区内入海物质的浓度显著地高于锋区外的浓度，所以，锋区与海洋高生产力区是密切相关的，使其成为理想的捕捞场所，对水产养殖和海洋渔业资源具有重要意义。

我国河流每年通过近海向海洋输送的大量泥沙和污染物，且主要河流入海污染物总量总体呈波动式上升趋势。河口区营养盐污染问题已日益严重，导致近海海域富营养化，富营养化是全球范围内有害藻华发生频率日益增加的重要原因之一，水体富营养化，刺激水体微型藻类快速增殖，藻类的呼吸和死亡分解大量消耗水体中的溶解氧，有可能导致水体缺氧。有害藻华和水体缺氧是近海富营养化所导致的最重要的生态环境问题。

正是由于河流冲淡水在生态学、环境学和水动力学等方面具有重要的科学、理论意义，同时，了解河流水体输运和扩展的过程对海水水质和海洋污染的控制有重要意义，所以，加强对河流冲淡水的研究是非常有必要的。

1.2 河流冲淡水的主要研究方法和内容

早期，人们对河流冲淡水的认识主要是基于现场调查与理论分析（毛汉礼等，1963；Garvine，1974a，b；浦泳修，1981；中国科学院南海海洋研究所，1985；广东省海岸带和海涂资源综合调查大队，1987；刘凤岳，1989；乐肯堂，1995），当时，海洋学者们关注的问题主要是河流冲淡水的扩展形态、影响因素，以及河流冲淡水所形成的锋面的特征。

厦门大学博硕士论文摘要库

研究河流冲淡水所利用的理论方法主要包括：射流理论（毛汉礼等，1963；乐肯堂，1984，1989）；拉格朗日分析法（顾玉荷，1985）；根据简化了的物质输运方程、海水运动方程和连续性方程，建立理论模型（偏微分方程组），并求解，进而对实际河流冲淡水进行分析（Zhang et al.，1987；张庆华等，1988）；对简化的理想区域河流冲淡水，利用所建立的三维原始方程模型进行模拟，以研究科氏力、风、潮、海底地形、河口和海岸形态、沿岸流等因素对理想河流冲淡水的影响，该方法是河流冲淡水研究的一个重要并且有效的理论分析方法，有利于把复杂问题简单化，并得到对一些基本问题的认识（Chao and Boicourt，1986；Wiseman and Garvine，1995；Marsaleix et al.，1998；Garvine，2001；Moffat and Lentz，2012；Lee and Valle-Levinsion，2013）。

随着科学技术的进步，计算机技术的飞速发展，数学模型得到了普遍的应用并得到了很好的发展，为定量分析河流冲淡水提供了有效的科学工具。袁耀初等（1982）建立了一个东中国海陆架环流的单层模式，研究了冬季和夏季长江冲淡水的流向与扩展范围。上世纪 90 年代以后，数值模型的应用得到了广泛的发展，所应用的模式主要包括：Ruddick et al.（1994a）建立的 MU-ROFI 三维水动力模型；De Kok（1996，1997）和 De Kok et al.（2001）建立的三维模型，用于 Rhine 河流冲淡水的模拟；朱建荣和沈焕庭（1997）以及朱建荣等（1997a，b，c）建立的三维非线性斜压陆架模式，主要应用于长江冲淡水的模拟；POM 模式（Bang and Lie，1999；Kourafalou，2001；Wong et al.，2004；Shu et al.，2011）；COHERENS 模型（Mestres et al.，2007；卢丽锋，2008）；ROMS 模型（Choi and Wilkin，2007；Zhang et al.，2009；Li and Rong，2012；Rong and Li，2012）；ECOM 模型（Fong and Geyer，2001；Zhu et al.，2004）；FVCOM 模型（Chen et al.，2008）；HYCOM 模型（Schiller et al.，2011）。

卫星遥感具有周期短、覆盖率高的优点，可以实时、同步、大面积以及高分辨率地对海洋进行观测，卫星遥感资料越来越多地用来研究河流冲淡水。Ruddick et al. (1994b）采用摄像机和侧视机载雷达对 Rhine 河流冲淡水进行了观测，以确定锋面的位置，并为水动力模型的验证提供了数据。Walker（1996）根据 NOAA 在 1989-1993 年内的超精度辐射计卫星数据，研究了 Mississippi 河流冲淡水的变

厦门大学博硕士论文摘要库

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 for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库