

学校编码: 10384
学号: 22320141151299

密级_____

廈門大學

硕士学位论文

利用拉格朗日方法研究黑潮水入侵台湾海峡的季节变化及其机制

Seasonal variability and its mechanisms of Kuroshio
intrusion into the Taiwan Strait using the Lagrangian
method

周红玉

指导教师姓名: 张文舟 副教授
专业名称: 物理海洋
论文提交日期: 2017年5月
论文答辩时间: 2017年5月

2017年5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
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	2
1.3 研究现状.....	3
1.3.1 黑潮由台湾海峡南部入侵的研究现状.....	3
1.3.2 黑潮由台湾海峡北部入侵的研究现状.....	11
1.4 研究内容.....	12
第 2 章 资料与方法.....	12
2.1 研究区域.....	13
2.2 海表漂流浮标观测数据及分析方法.....	15
2.3 HYCOM+NCODA 再分析资料.....	17
2.4 ERA-Interim 风场资料.....	17
2.5 拉格朗日粒子追踪模型.....	18
2.5.1 模型结构.....	18
2.5.2 插值方案.....	19
2.5.3 边界条件.....	22
2.5.4 模型运行.....	22
2.5.5 可行性分析.....	23
第 3 章 观测资料分析.....	25
3.1 表层漂流浮标轨迹的季节变化.....	25
3.1.1 春季漂流浮标轨迹特征.....	26
3.1.2 夏季漂流浮标轨迹特征.....	26
3.1.3 秋季漂流浮标轨迹特征.....	27
3.1.4 冬季漂流浮标轨迹特征.....	29

3.2 表层漂流浮标的拉格朗日流场及温度场.....	31
第3章小结.....	35
第4章 数值模拟试验	36
4.1 气候态模型流场分布.....	36
4.2 南部入侵试验结果.....	39
4.2.1 粒子轨迹垂向分布特征.....	39
4.2.2 15 m 层粒子的漂流轨迹	42
4.3 北部入侵试验结果.....	47
4.3.1 粒子轨迹垂向分布特征.....	48
4.3.2 15 m 层粒子的漂流轨迹	50
第4章小结.....	53
第5章 个例分析	55
5.1 春季个例分析.....	56
5.2 夏季个例分析.....	59
5.3 秋季个例分析.....	65
5.4 冬季个例分析.....	69
第5章小结.....	74
第6章 结论与展望	76
6.1 结论.....	76
6.2 不足与展望.....	77
参考文献.....	78
致谢.....	85

Table of Contents

Abstract (in Chinese)	I
Abstract (in English).....	III
Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Background.....	1
1.2 Significance.....	2
1.3 Research status.....	3
1.3.1 Research status of Kuroshio intrusion from the southern Taiwan Strait.	3
1.3.2 Research status of Kuroshio intrusion from the northern Taiwan Strait	11
1.4 Research contents.....	12
Chapter 2 Data and methods	12
2.1 The study area	13
2.2 Sea surface drifter data and Data processing	15
2.3 HYCOM+NCODA Reanalysis data	17
2.4 ERA-Interim wind data.....	17
2.5 Lagrangian particle tracking model	18
2.5.1 Model structure	18
2.5.2 Interpolation scheme.....	19
2.5.3 Boundary conditions	22
2.5.4 Model operation.....	22
2.5.5 Feasibility analysis.....	23
Chapter 3 Analysis of observational data	25
3.1 Seasonal variation of trajectories of the sea surface drifters.....	25
3.1.1 Trajectory characteristics of drifters in spring	26
3.1.2 Trajectory characteristics of drifters in summer	26
3.1.3 Trajectory characteristics of drifters in autumn	27
3.1.4 Trajectory characteristics of drifters in winter	29

3.2 Lagrangian current and temperature fields derived from the drifters	31
Conclusion of Chapter 3	35
Chapter 4 Model experiment	36
4.1 The distribution of climatology model flow field.....	36
4.2 Southern intrusion test results	39
4.2.1 Vertical distribution characteristics of particle trajectories	39
4.2.2 Particle drifting trajectory at 15 m layer	42
4.3 Northern intrusion test results.....	47
4.3.1 Vertical distribution characteristics of particle trajectories.....	48
4.3.2 Particle drifting trajectory at 15 m layer	50
Conclusion of Chapter 4	53
Chapter 5 Case analysis	55
5.1 Spring case analysis	56
5.2 Summer case analysis	59
5.3 Autumn case analysis.....	65
5.4 Winter case analysis.....	69
Conclusion of Chapter 5	74
Chapter 6 Conclusion and prospects.....	76
6.1 Conclusion	76
6.2 Shortage and prospects	77
References	78
Acknowledgments	85

摘要

高温高盐黑潮水对台湾海峡的入侵,对海峡内的环流结构及生态系统具有极为重要的影响,黑潮水对台湾海峡的入侵已引起了国内外的广泛关注。然而现有的关于黑潮水入侵台湾海峡的研究多是通过水体温盐特性进行欧拉方法的分析,而通过拉格朗日方法的分析较少。此外,现有的研究只注意到了黑潮水从台湾海峡南部的入侵,从未考虑过黑潮水从台湾海峡北部入侵的可能性。本文旨在利用卫星追踪的海表漂流浮标轨迹数据及 LTRANS 粒子追踪模型模拟的示踪粒子试验结果,探究黑潮水从北部入侵台湾海峡的可能性、黑潮水入侵台湾海峡各种方式的季节变化,并根据示踪粒子试验结果选取黑潮水入侵台湾海峡的典型过程,结合长时间序列的 HYCOM+NCODA 再分析资料和 ERA-Interim 风场资料分析台湾海峡风场在黑潮水入侵台湾海峡过程中的作用。

通过对 1989-2015 年进入台湾海峡的海表漂流浮标的统计分析发现:春季,台湾海峡东部被北向流占据,海峡南部存在黑潮水的入侵,体现为沿海峡东部向北的入侵,流套路径则明显少于其他季节;海峡北部则不存在黑潮水的入侵。夏季,台湾海峡的南部和北部均未见黑潮水的入侵,台湾海峡被南海水占据,一部分南海水能够由吕宋海峡北部汇入到黑潮的西侧。秋、冬季节海峡的南部和北部均受到黑潮水的影响。秋季,大量来自于吕宋海峡区域的浮标由南向北入侵台湾海峡;台湾岛东北部黑潮水入侵到东海陆架,向西进入中国大陆沿岸流后沿海峡西部向南入侵台湾海峡。与秋季相比,冬季由台湾海峡南部端口向北入侵的黑潮水明显增多,但都被阻塞在澎湖水道内,台湾岛东北部黑潮水向陆架的入侵轨迹更贴近台湾岛北岸,随后沿海峡东部由北向南入侵台湾海峡。

浮标统计分析初步获得了黑潮水入侵台湾海峡的季节特征,但为了进一步探究黑潮水入侵台湾海峡不同路径的季节特征,利用 LTRANS 粒子追踪模型模拟了黑潮水分别由台湾海峡南部和北部的入侵,结果证实了黑潮水既能跨越吕宋海峡后由海峡南部端口向北入侵台湾海峡,也能在台湾岛东北部越上东海陆架进而从海峡北部端口向南入侵台湾海峡,并且均具有明显的季节差异。黑潮水由台湾海峡南部端口向北入侵时,存在三种主要入侵路径,这三种入侵路径在各个季节均存在。春季,随着东北季风的衰减,黑潮水主要以 s-path I 路径沿海峡东部向

北穿越台湾海峡；夏季，随着东北向南海暖流势力的增强黑潮水则主要以流套的形式(s-path II)影响台湾海峡东南部；冬季，源于黑潮区的粒子入侵台湾海峡的数量最多，但绝大部分被限制在海峡东南部的澎湖水道内。秋季与冬季特征相似，沿三种路径入侵的粒子的比例相当。源于黑潮区的粒子由台湾海峡北部端口向南的入侵仅为入侵台湾海峡总量的 2.1%，其中 97.8%的入侵发生在秋冬季节，冬季约为秋季的三倍。黑潮水由台湾海峡北部端口向南的入侵存在两种主要入侵路径，其中秋季以 n-path II 路径为主，冬季则以 n-path I 路径为主。

本文通过个例分析的方法初步探究了台湾海峡风场在黑潮水入侵台湾海峡过程中的作用。结果表明：台湾海峡季节性风场通过影响海峡内流场进而影响黑潮水对台湾海峡的入侵。此外，台风作用也能造成海峡流场的短暂性转向，进而造成黑潮水的短暂入侵。

关键词：黑潮水入侵；拉格朗日方法；海表漂流浮标；季节变化；台湾海峡

Abstract

The high temperature and high salinity of the Kuroshio water has an important influence on the circulation structure and ecosystem of the Taiwan Strait. The Kuroshio intrusion to the Taiwan Strait has attracted wide attention both at home and abroad. Most of studies on the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait are the analysis based on water temperature and salinity by Eulerian method, but the analysis by Lagrange method is less. In addition, the existing studies only pay attention to the possibility of the Kuroshio intrusion from the southern Taiwan Strait and never consider the possibility of the intrusion from the northern Taiwan Strait. The purpose of this paper is to explore the possibility of the Kuroshio intrusion from the northern Taiwan Strait and the seasonal variations of the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait in various ways, using the satellite-tracked sea surface drifter trajectory data and tracer particle test results by LTRANS (Lagrangian Transport model). According to the test results, we select the typical process of the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait, and then we analyze the role of wind field in the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait, combining with the long time series of HYCOM+NCODA Reanalysis data and ERA-Interim wind field data.

Based on the statistical analysis of the sea surface drifters entering the Taiwan Strait during 1989 to 2015, we find some phenomena. In spring, the eastern Taiwan Strait is occupied by northward flow. The Kuroshio intrusion is mainly along the eastern Taiwan Strait and the intrusion by looping path is less than other seasons. There is no Kuroshio intrusion from the northern Taiwan Strait. In summer, the south and north of Taiwan Strait are both not intruded by Kuroshio. The Taiwan Strait is occupied by the South China Sea water and some water from the South China Sea can enter the western edge of the Kuroshio. The south and north of Taiwan Strait are affected by the Kuroshio water both in autumn and winter. In autumn, a large number of drifters from the Luzon Strait invaded the Taiwan Strait from south to north. The Kuroshio water invaded into the continental shelf of the East China Sea in the

northeastern of Taiwan Island and the Kuroshio flows along the coast of China from north to south into the Taiwan Strait. Compared with autumn, the Kuroshio intrusion from the south of Taiwan Strait increases significantly, but the Kuroshio water are blocked in Penghu channel. In the northeast of Taiwan Island, the trajectory of the Kuroshio intrusion is closer to the north shore of Taiwan Island and then the Kuroshio water intrude from north to south along the eastern Taiwan Strait.

We initially obtain the seasonal characteristics of the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait from the statistical analysis of drifters trajectory. But in order to further explore the seasonal characteristics of the different paths of the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait, we simulate the Kuroshio intrusion from the south and north of Taiwan Strait by LTRANS. The results confirm that the Kuroshio water can both intrude from the south and north of Taiwan Strait. Both intrusions have obviously seasonal difference. There are three main paths of the intrusion from the south of Taiwan Strait. And the three different intrusion paths can occur in any season. In spring, with the decay of the northeast monsoon, the Kuroshio mainly intrude along the eastern Taiwan Strait by s-path I. In summer, with the enhancement of the South China Sea warm current, the Kuroshio mainly influence the southeastern Taiwan Strait by looping path (s-path II). In winter, the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait enhance, but most Kuroshio water is limited to the Penghu channel. The characteristics of autumn and winter are similar, and the proportion of the three paths is similar. The Kuroshio intrusion from the northern Taiwan Strait is only 2% of the total intrusion. 97.8% of the intrusion from the northern Taiwan Strait occur in autumn and winter and the intrusion in winter is about three times that in autumn. There are two main paths of the intrusion from the northern Taiwan Strait. The n-path II is the main path in autumn, while n-path I in winter.

In order to investigate the influence of the wind field on the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait, some cases are analyzed in this paper. The results show that the seasonal wind field in the Taiwan Strait affects the flow field in the channel and then influences the Kuroshio intrusion into the Taiwan Strait. In addition, the typhoon can change the direction of the Taiwan Strait northward transport temporarily and cause the

Kuroshio intrusion temporarily.

Key words: Kuroshio intrusion; Lagrangian method; Sea surface drifter; Seasonal variation; Taiwan Strait

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

黑潮是向西运动的北赤道流在遇到菲律宾沿岸阻挡后向北的分支，是继墨西哥湾暖流之后的全球第二大洋流。黑潮沿菲律宾东岸向北流动，流经吕宋海峡沿台湾岛东侧北上，在台湾东北部通过台湾以东苏澳和与那国岛之间的水道进入东海后，沿陆坡向东北向流动，于吐嘎喇海峡流出东海(图 1-1)，沿日本向东北流动，最终在 40°N 附近与亲潮相遇后汇入北太平洋洋流，总行程达 6000 公里(Nitani, 1972; 冯士筭等, 1999)。作为北赤道流的分支，黑潮具有北赤道流高温、高盐、低营养盐等水文特征。此外，作为西太平洋最强的一支西边界流，黑潮流速可达 1 m/s 以上，流幅宽约 200 km，深度可达 500-1000 m。

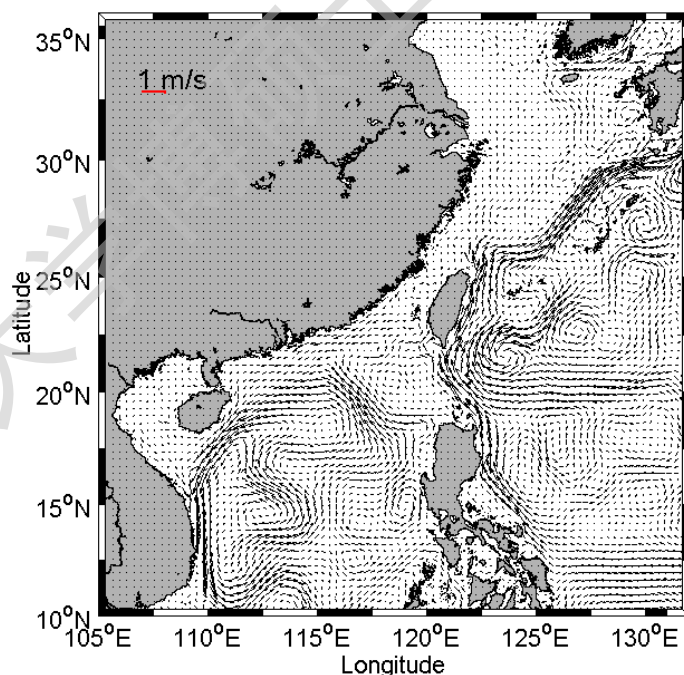


图 1-1 表层(15 m)多年(1996-2012)平均流场图(基于 HYCOM 再分析数据)

Fig. 1-1 Multi-year (1996-2012) of surface (15 m) averaged flow field (Based on HYCOM reanalysis data)

黑潮通过向岸入侵及与陆架水间的水交换,影响中国近海环流结构,调节近海生物化学组成,并将热量输送到我国近海(Lu 和 Lee, 2014; Umezawa 等, 2014)。黑潮在沿菲律宾东岸向北流动的过程中,对中国近海有两处入侵。吕宋海峡是黑潮沿西边界北上过程中遇到的明显的边界豁口,是黑潮入侵南海的重要通道。当黑潮流经吕宋海峡时,由于失去陆坡支持而发生一系列动力学和运动学性质的改变(贾英来, 2002),常以分支、流套或脱落的涡的形式进入南海(Li 和 Wu, 1989; Caruso 等, 2006; Yuan 等, 2008; Liang 等, 2008; Nan 等, 2011),其中绝大部分进入南海的黑潮水在台湾岛南部由巴士海峡返回太平洋,但黑潮的一个分支经常通过吕宋海峡向西北方向流入南海东北部,而后沿着大陆坡转向西,这一分支被称为黑潮南海分支(Guo 等, 1985)。这一黑潮分支的一部分可能从该分支中分离出来,通过高平海底峡谷入侵到台湾海峡东南部,而后沿台湾岛西岸向北流去(Hu 等, 2010; Jan 等, 2002, 2006, 2010)。随后黑潮水继续沿台湾岛东侧北上,在进入东海的过程中,由于失去台湾岛的“支撑”发生地转调整而在台湾东北部海域发生向东海陆架的入侵(苏纪兰, 2001; Liu 等, 2016)。黑潮水通常沿台湾岛北岸向西北向入侵或者在陆坡转折附近直接向岸入侵,其中在台湾东北部向陆架的入侵最为明显(Tang 等, 2000; Isobe, 2008; Liu 等, 2016)。黑潮对中国近海的两处入侵存在垂向差异和明显的季节性变化特征(伍伯瑜, 1982; 苏纪兰, 2001; Tang 等, 2000; Li 和 Qu, 2006; Jan 等, 2006; 胡筱敏, 2008; Yang 等, 2012; Liu 等, 2016)。

1.2 研究意义

台湾海峡是连接我国东海和南海的唯一重要通道,它不仅是南海与东海间进行物质运输和能量交换的必经之路,其南部和北部端口分别与流经吕宋海峡和台湾岛东北部的黑潮相临,容易受到高温高盐黑潮水的入侵。黑潮水在温盐特征和营养盐组成方面与南海水和东海水有着显著差异,因此黑潮水对台湾海峡的入侵必然会对海峡内的环流特征和水文状况造成一定的影响。此外,黑潮水对台湾海峡的入侵还将许多典型高温高盐生物种带入台湾海峡,或影响局地生物种的组成比例,反映了黑潮水对台湾海峡海洋生态的影响,如黑潮暖流使台湾海峡以西浮游介形类生物中暖水种数量增加(陈瑞祥等, 1992),以及大量日本鳗鲡幼苗经常

出现在福建沿海(熊国强等, 1992; 吕小梅等, 1999)等。

现有的研究都将台湾海峡南部端口作为黑潮水进入台湾海峡的唯一途径, 从未考虑过黑潮水由台湾海峡北部端口进入的可能性, 因而对入侵到东海陆架上的黑潮水是否影响台湾海峡、影响台湾海峡的方式及程度还不得而知。由于台湾海峡是南海水、黑潮水、东海水及中国大陆沿岸水的交汇处, 水文特征十分复杂, 仅从海峡内水团的温盐特性上分析黑潮水入侵台湾海峡的特征存在较大难度, 导致过去对于黑潮水入侵台湾海峡的研究主要停留在定性分析上。本文旨在通过拉格朗日粒子追踪的方法追踪由黑潮区释放的示踪粒子的运动轨迹, 进而从统计上直观地反映出黑潮水入侵台湾海峡的主要方式及入侵台湾海峡各种方式的季节变化, 从而为更好地理解黑潮水影响台湾海峡海洋环境和水文状况的途径和影响程度, 为台湾海峡区域海洋水文及海洋生态方面的相关研究提供科学依据。

1.3 研究现状

1.3.1 黑潮由台湾海峡南部入侵的研究现状

已有的研究对于黑潮水能够由台湾海峡南端入侵的观点达成了共识。对于黑潮水入侵台湾海峡的认识最早来源于日本海图及海洋观测资料, Jan 等(2002)总结了 Nino 和 Emery(1961)及 Nitani(1972)的观点指出, 台湾海峡东部存在着黑潮水沿台湾岛西岸向北的入侵。尽管人们已经意识到了季风系统对海峡西侧流场的影响, 然而认为海峡东部黑潮水的入侵终年存在(图 1-2)。

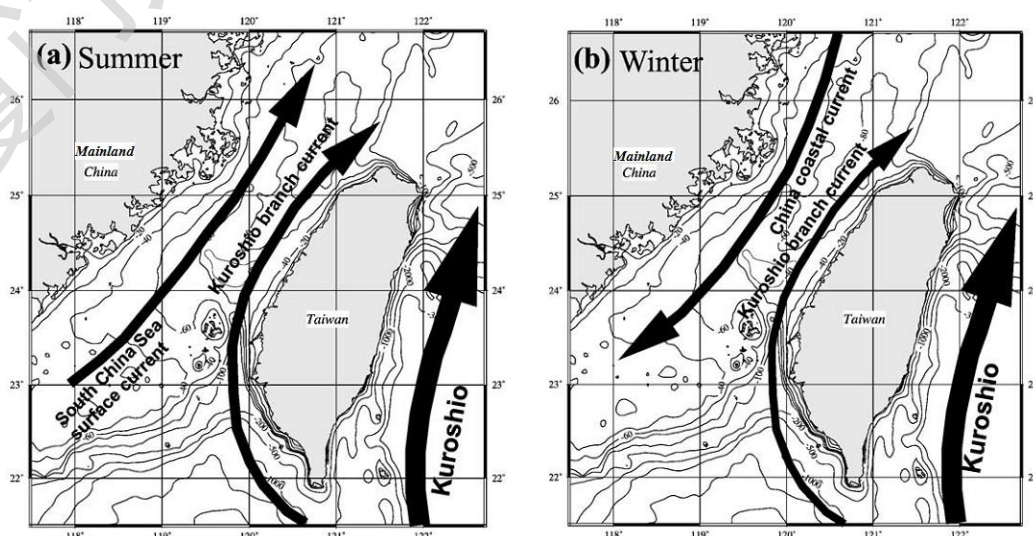


图 1-2 台湾海峡流场. (a)夏季, (b)冬季. (Jan 等, 2002)

Fig. 1-2 The Taiwan Strait circulation. (a) summer, (b) winter. (Jan et al., 2002)

20 世纪 80 至 90 年代随着水文调查的增多, 人们认识到了黑潮水对台湾海峡南部的入侵存在季节性变化。Hu 等(1990)提出了冬季台湾海峡三维环流结构(图 1-3), 指出表层黑潮南海分支与东北季风造成的西南向流汇合后进入南海, 该分支的右翼沿台湾西岸北流(Guo 等, 1985; Qiu, 1985), 这一入侵台湾海峡的分支由表及底均存在(图 1-3)。Hu 和 Liu(1992)又利用台湾海峡夏季海流调查资料提出了夏季台湾海峡三维海流结构(图 1-4), 指出夏季黑潮以流套形式入侵南海, 分支北端可以影响到台湾海峡的南部海域, 该分支北端的左侧能够产生一支沿台湾岛西岸北上的分支(Qiu, 1985; Li 和 Wu, 1989)(图 1-4)。此外, 人们开始认识到风应力对黑潮水入侵台湾海峡的季节变化的影响, Wang 和 Chern(1988)根据 1985 年 11 月至 1986 年 4 月间的 4 个航次的台湾海峡水文及风场数据指出: 冬季或早春强冷空气过后风应力的突然松弛能够诱发黑潮水入侵台湾海峡, 这一过程能够持续到春季甚至夏季西南季风爆发前。夏季西南季风期间, 南海表层水冲入台湾海峡, 黑潮水对海峡的入侵暂时停止(Fan 和 Yu, 1981; Fan, 1982)。

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