



我国近海海洋综合调查与评价专项成果
“十一五”国家重点图书出版规划项目



QIHOU BIANHUA DUI
ZHONGGUO JINHAI
SHENGTAI XITONG DE
YINGXIANG

气候变化对 中国近海生态系统的影响

蔡榕硕 等 编著



海洋出版社

气候变化对中国近海 生态系统的影响

蔡榕硕 等 编著

海洋出版社

2010年·北京

图书在版编目(CIP)数据

气候变化对中国近海生态系统的影响/蔡榕硕等编著. —北京:海洋出版社,2010.9
ISBN 978-7-5027-7845-3

I. ①气… II. ①蔡… III. ①气候变化-影响-近海-生态系统-研究-中国
IV. ①X145

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 185547 号

责任编辑:钱晓彬 刘丽霞

责任印制:刘志恒

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 新华书店北京发行所经销

2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:9.75

字数:235千字 定价:36.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

Preface

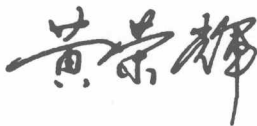
近百年来,全球气候正经历变暖的异常现象,它关系到人类的未来。由气候变化所导致的气温升高、海平面上升、极端天气与气候事件频发等已经并将继续对自然生态系统和人类生存环境产生严重的影响,已成为当今人类社会密切关注的重大问题。

我国地处东亚季风区,在全球变暖背景下,东亚季风的变异严重地影响着我国的气候与环境的变化,并对我国社会和经济的可持续发展造成了显著的影响。与此同时,我国海洋环境与生态系统对气候变化也产生了较为复杂的响应,这使得我国近海生态系统面临着较为严峻的态势。特别是由于气候变暖及近海的富营养化等原因,我国近海赤潮等生态灾害频繁发生,不利于我国沿海地区社会和经济的可持续发展。

目前,虽然已有许多关于气候变化对中国大陆环境与生态影响的研究和评估,但相比之下,有关气候变化对中国近海环境与生态影响的研究和评估还不是很多。限于海洋观测资料的缺乏和近海海域与陆地对全球气候变化响应的差异,使得研究气候变化对近海环境与生态的影响有较大难度。可喜的是,近年来,一些从事大气科学与海洋科学的研究人员合作,在这一领域进行了较为系统而有一定创新性的研究。本书则是这些研究中部分进展的总结,它包括了关于气候变化对中国近海海洋环境的影响、东亚海-气系统的年代际变异对中国近海生态的影响、台湾海峡海洋生态动力学模式与数值模拟、厦门湾海洋生态动力学模式与数值模拟等研究以及中国近海生态系统对气候变化的适应性评估等内容。这可能正符合国家当前应对气候变化的需要。

本书的出版可望为我国近海(特别是台湾海峡)的海洋生物资源与环境管理、沿海地区适应气候变化的对策等提供科学依据和重要参考。

中国科学院院士



2010年6月

前言

Foreword

我国沿海地区约占全国 13% 的陆地面积, 承载了全国 40% 以上的人口, 生产了约 70% 的国民生产总值, 是我国人口密集和经济发达的地区。由于我国近海陆架有丰富的生境和物种多样性, 是世界上生产力最高的陆架海之一, 因而我国近海生态系统成为我国沿海地区社会经济可持续发展的重要基础。

观测表明, 气候变暖正在改变着全球不同海域的生态系统。例如, 受海水变暖的影响, 从我国南海的珊瑚礁生态系统到亚北极白令海的浅海陆架生态系统均有显著的变化。特别是, 我国近海近几十年来呈现持续变暖态势, 海洋物种组成和生物地理分布变化明显, 大面积赤潮等生态灾害不断出现, 海洋渔业生物资源衰退严重, 这可能已影响到海洋生态系统的健康及其对人类社会的服务功能, 进而威胁我国沿海地区社会经济的可持续发展。

我国近海地处东亚强季风区并毗邻西北太平洋, 受到东亚季风、西北太平洋强边界流黑潮、沿岸流和江河冲淡水等气候因子的显著作用, 因此我国近海生态系统必然受到气候变化的明显影响。然而, 有关气候变化对我国近海生态系统的影响的认识还十分有限。在“我国近海海洋综合调查与评价”专项、“气候变化对中国近海海洋生态系统的作用”专题(908-02-01-02)、“公益性行业(海洋)专项”、“中国海平面变化预测及海岸带脆弱性风险评估技术与应用”项目(GYHY20100519)等科研项目的支持下, 我们研究了气候变化对中国近海若干典型海域生态系统的影响, 本书是这些研究工作的部分总结。

本书初步研究了全球气候变暖背景下东亚季风和西北太平洋对中国近海海洋环境的影响, 尤其是东亚海-气系统的年代际变异对中国近海环境与生态的影响, 采用了海洋生态动力学模式与数值模拟等方法, 研究了海洋生态系统的变化特征, 评估了海洋生态系统对气候变暖的响应, 提出了我国近海生态系统的气候变化适应性对策措施。

本书各章执笔人: 第 1 章, 蔡榕硕、陈际龙、张启龙; 第 2 章,

蔡榕硕、李翠华、杨清良；第3章，刘克修、高志刚；第4章，颜秀花、蔡榕硕；第5章，蔡榕硕、蔡怡、颜秀花、牟林。全书最后由蔡榕硕统稿，蔡榕硕、白娅舒、颜秀花校对。此外，参加本书工作的还有齐庆华、谭红建、张俊鹏等人。

由于作者的学识有限，并且，本书研究领域涉及的学科较多，内容较为广泛，书中的不妥之处在所难免，恳请读者予以指正。

本书的工作得到了国家海洋局“908”专项办公室以及许多专家学者的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！

蔡榕硕

2010年6月于厦门

CONTENTS

气候变化对中国近海生态系统的影响

第 1 章 气候变化对中国近海海洋环境的影响	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 中国近海气候的基本特征	(2)
1.3 中国近海海洋与大气对气候变暖的响应	(4)
1.4 气候变暖背景下中国近海 SST 的时空变化特征	(15)
1.5 气候变暖背景下西北太平洋海洋环境的时空变化特征	(22)
1.6 结语	(28)
第 2 章 东亚海气系统的年代际变异对中国近海生态的影响	(30)
2.1 引言	(30)
2.2 近几十年中国近海赤潮生态问题回顾	(31)
2.3 东亚海洋和大气的年代际跃变特征	(33)
2.4 东亚海洋和大气的年代际跃变对中国近海生态的影响	(39)
2.5 台湾海峡海洋生物生态变化的气候背景	(46)
2.6 结语	(54)
第 3 章 台湾海峡海洋生态动力学模式与数值模拟	(56)
3.1 引言	(56)
3.2 中国海及邻近海区温盐资料的数值再分析研究	(58)
3.3 台湾海峡海洋生态动力学数值模式	(66)
3.4 台湾海峡海洋生态系统演变分析	(77)
3.5 结语	(86)
第 4 章 厦门湾海洋生态动力学模式与数值模拟	(88)
4.1 引言	(88)

4.2	厦门湾海域的自然环境与人类开发活动概况	(90)
4.3	厦门湾海域水动力模式与数值模拟	(91)
4.4	海洋生态动力学模式与数值模拟	(101)
4.5	厦门湾海洋浮游生态的演变趋势分析	(110)
4.6	结语	(116)
第5章	中国近海生态系统对气候变化的适应性初步评估	(118)
5.1	引言	(118)
5.2	气候变化的生态响应及关键途径	(119)
5.3	气候变化下中国近海生态系统的脆弱性问题	(121)
5.4	近海生态对气候变暖的响应评估——以渤海为例	(123)
5.5	近海生态系统的脆弱性初步分析——以东海为例	(130)
5.6	气候变化下中国近海生态系统的适应性对策	(132)
5.7	结语	(139)
	参考文献	(140)

第1章 气候变化对中国近海海洋环境的影响

1.1 引言

近百年来,全球气候正经历以变暖为主要特征的变化,在1860—2000年的140年当中,全球记录的地表气温明显上升了 $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (Houghton et al, 2001)。20世纪90年代是20世纪最暖的年代(IPCC, 2007)。然而,2000—2009年成为1850年有气象记录以来最暖的10年(WMO, 2010)。全球气候变暖的影响正以各种形式不断出现,如冰川退化、雪线升高、海平面上升、生物多样性减少、旱涝灾害频繁等现象加剧。这是当今人类面临的最具有挑战性的全球性问题。政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的评估报告(2007)认为未来50~100年全球气候可能继续向变暖的方向发展。对此,虽然存在许多不同的看法,但可以肯定的是全球气候变化已对地球的生态系统以及社会经济系统产生明显影响。一方面,人类排放温室气体等活动在相当程度上影响了全球气候变化。另一方面,全球气候变化又加剧了人类生存环境的变化,影响着社会的可持续发展,这已引起各国的密切关注。

海洋约占地球表面积的71%,其本身既是气候系统的重要组成部分,又是影响气候变化的重要因素。这是因为海洋拥有巨大的水体和热容量,是全球能量和水分循环中最为重要的环节。其中,海洋环流及其热输送调控着海洋-大气之间的能量交换,这也使海洋在气候的变化中有着重要作用。而因气候变化引起海洋环境的变动又会影响到海洋生态系统。例如,El Niño事件是热带太平洋地区海-气相互作用最重要的现象,除经常在全球引起严重的气候异常外,还会改变近海的海洋环境,影响海洋生物的时空分布,进而影响生物的种间竞争、群落结构和生物区系的变化,导致海洋生态系统的结构和功能的变化,使得许多国家沿海地区的渔业生产受到很大损失。

近几十年来,我国近海环境与生态有不断恶化的趋势,如基础生产力下降,生物多样性减少,渔业捕捞量大幅度减少。这些现象的产生,一方面,与人类对近海资源的过度开发以及陆源污染物排放的大量增加,致使水体富营养化和赤潮频繁发生等现象密切相关;另一方面,也与人们对近海生态系统的结构和功能及其对气候变化的响应缺乏较为深入的认识,没有建立有效合理的近海海洋资源的管理体制和开发利用计划有关。此外,由于海洋高生产力区几乎都位于近海上升流盛行的海域,受季风的变动影响较大,因此,全球气候变化背景下的季风变异和El Niño等海洋大气异常,均会引起上升流位置、强度的改变乃至一系列的生态系统的异常。

由于中国近海地处东亚强季风区,并与西北太平洋相毗邻,因此,我们主要关注气候

变暖背景下东亚季风的变异和西北太平洋的变化对中国近海海洋环境的影响,以期为后续有关气候变化对中国近海生态系统的影响研究提供基础。

1.2 中国近海气候的基本特征

中国近海是西北太平洋的边缘海,包括渤海、黄海、东海和南海,东邻太平洋,西依欧亚大陆。由于海陆的热力差异,冬、夏季产生相反的气压形势,与之相适应,冬、夏季形成了方向相反的季节性风系——东亚季风。受东亚季风的控制和影响,中国近海气候具有很强的季风特点。冬季,西伯利亚寒潮经东亚大陆侵入中国近海,干冷气流使得北部近海区域具有明显的大陆性气候;而夏季,中国近海受控于来自大洋的西南和东南暖湿气流,形成比较一致的海洋性气候。

中国近海受海陆不同物理因素的影响,气象要素必然发生急剧变化,显示出强过渡性的特征。渤海、黄海、东海的环流系统大致由两大流系组成:一是外来的洋流系统,即黑潮及其分支或延伸体,也叫外海(暖流)流系,具有高温、高盐特性;二是当地生成的海流,即沿岸流系,具有低盐特性。总体而言,外海流系自南向北流动,而沿岸流则自北向南流动,大体上构成一个气旋式环流。通常,外海暖流经过的海区水温和气温都较高,气候温暖,雨量充沛;而沿岸流经过的海区水温和气温较低(夏季除外),雨量较少。因此,在两支不同性质的海流之间,容易形成较大的温度梯度,即海洋锋面。

中国近海南北狭长,地理上跨越热带、副热带和温带,加之海岸线漫长曲折,太阳辐射的不均匀分布及季节变化使得中国近海区域南北方向上的气候出现较大差异。中国近海受到不同纬度的天气系统影响,冬季寒潮、春季气旋、夏秋季热带气旋活动频繁,增加了气候的多样性。本节主要参考已有的相关文献(黄镇国等,2005),简要概述中国近海海区的主要气候要素(海面风、降水、气温、海温等)特征。

1.2.1 海面风

受东亚强季风控制,使得中国近海风力较同纬度洋面偏大,而且冬季风强于夏季风。

冬季风从9月底开始向南推进,直至12月遍及中国近海海区并维持2~3个月。1月为冬季风的强盛时期,风向自北而南呈顺时针改变,黄海、渤海盛行西北风或北风,平均风速为4~6 m/s,东海南部转为东北风,南海则为一致的东北气流。东海平均风速为5~7 m/s,台湾海峡及南海中部风速达9~10 m/s,南海赤道缓冲带区域风力较弱,只有3~4 m/s。4月,热带辐合带移至赤道附近,中国近海海风的经向分量增强,渤海和北部湾出现东南风,平均风速为5 m/s。5月,西南气流达到南海北部,台湾岛东面已出现副热带高压南侧的东南向气流,而东海西部仍保持一定频率的东北风。

5月中旬,夏季风首先在南海暴发,几天之内西南风控制南海海区,并向北推进,6月底遍及整个北部海区。7月为夏季风的强盛时期,南海受西南气流控制,南海中部平均风速可达7~8 m/s,东海、黄海、渤海盛行东南风,平均风力较弱,仅为3~4 m/s。整个过程约维持2个月时间,比冬季风相应时间要短。夏季风不如冬季风稳定,经常出现季风活跃和中断现象。季风活跃时不仅风速加大,雨量也加大;季风中断时,则大部分地区无雨。一般每月都有几次强度不等、时间长短不同的变动过程,每次增强过程持续10~

20 d。

中国近海的大风主要发生在冷空气活动、温带气旋、热带气旋等天气过程中,而且大风区多与地形有关。当气流通过宽窄不匀的海峡地带时,因狭管效应使风速增强。根据岛屿站与沿岸站出现8级以上阵风的全年日数统计,台湾海峡最多,约为170 d,渤海海峡、东海西部和黄海海区次之,为120~140 d,而南海南部最少,仅有4 d。

1.2.2 降水

受东亚季风影响,中国近海海区为同纬度降水量偏多的地区之一。由于近海南北狭长,各地距离海岸远近不同,空气中水汽含量有异,使得各海区间降水量差异悬殊,季节分配不均。同时由于东亚季风的年际变异较大,中国近海降水量年际变化也非常显著。

近海降水量分布的基本情况是南多北少,东多西少。渤海和黄海北部为夏雨型,降水主要集中在7—8月,占年降水量的50%。渤海年降水量为500~600 mm,黄海年降水量为800~1 000 mm。东海和南海北部降水受极锋影响,出现两个雨季,即春雨期(5—6月)和秋雨期(9月),夏季受副热带高压控制,雨量相对较少。东海西部年降水量为900~1 300 mm,由于受黑潮暖流影响,东部琉球群岛年降水量超过2 000 mm。南海北部年降水量为1 500~2 000 mm。南海中部也属夏雨型,降水集中于5—9月,占年降水量的60%~75%。南海南部年降水量达2 200~2 800 mm,集中于12月至翌年1月,属冬雨型;中南半岛附近年降水量为1 800~2 000 mm,9—12月降水量较多。菲律宾沿海年降水量达2 000~3 000 mm,冬季月份降水偏多。

1.2.3 气温

中国近海的气温受太阳辐射、海陆位置、地形和洋流等因素的影响,其分布特点是:北方海域冬冷夏暖,四季分明,南部海域终年炎热,长夏无冬;冬季,北方海域气温东高西低,等温线呈东北—西南走向,有很强的纬向温度梯度;夏季,陆地和洋流的影响减弱,等温线近于纬向。气温年较差最大值出现在西北部近岸,如渤海西部沿岸和日本海西北部沿海为28℃;最小值出现在赤道附近大洋上,年较差不到1℃。

冬季(1月),渤海北部平均气温为-3.9℃,南海南部为26.9℃,南北相差达30℃。春季(4月),南北气温差异较小,渤海北部与东海北部平均气温仅相差4℃,南海中部与南部平均气温相差不到1℃,在黄海、渤海沿岸,陆上气温已高于海上气温。夏季(7月),南北和东西方向上气温差异最小,平均气温从渤海北部的24℃到赤道上的28℃,南北相差仅4℃。29℃的高温区不在赤道上,而是在北部湾和海南岛附近,最高平均气温为29~30℃。秋季,降温时间从北向南逐渐推迟,渤海和黄海降温幅度最大的月份为10—11月,其他海区为11—12月。

1.2.4 海温

由于海水和大气之间时刻进行着热量交换,中国近海的海温和气温变化在长周期中几乎是同步的。海洋巨大的热惯性使之具有“记忆”能力和“滞后”效应。受太阳辐射、海陆位置、地形和洋流等多种因素的影响,在具体海区和具体时段上的气温和海面水温不完全相同,从而出现了海—气温差,如黑潮流经的海域冬季海面水温可高于气温4~6℃,

但通过不停的热量交换,海-气之间的温差会逐渐缩小。

中国近海海温的分布形式与气温基本相似,但某些海域仍有一定的差异。水温的年变化情况为,20°N 以北海区 2 月水温最低,8 月水温最高;20°N 以南海区 1 月水温最低,西南季风暴发之前的 5 月水温最高。2 月,20°N 以北海区平均水温比气温高 2~3℃,而黑潮主干区平均水温则高于平均气温 4~5℃;20°N 以南海区平均水温与气温差异较小,南海中部和南部平均水温为 26~27℃。5 月,渤海和黄海西部水温的升高滞后于气温,黑潮主干区的平均水温比平均气温高 1~2℃。南海除北部外,平均水温与气温很接近,西南季风暴发前云和降水很少,平均水温为一年之中最高,达 28℃左右。8 月,整个中国近海海区平均水温差为 6℃。南海及东海水温均在 28℃以上;成山头外海因受冷水团的影响,出现平均水温 24℃的闭合区;福建沿海由于上升流的影响,平均水温降为 26~27℃。

1.3 中国近海海洋与大气对气候变暖的响应

中国近海上空盛行季节性风系,区域内气候变化主要取决于东亚季风的变化。就东亚季风而言,它不仅受欧亚大陆和太平洋热力对比的影响,还受南北半球热力对比的影响。众多研究表明,在年际尺度上,东亚季风、西太平洋暖池、ENSO 循环之间的联系紧密。此外,受全球气候变暖和太平洋年代际振荡(PDO)等的影响,东亚冬、夏季风具有明显的年代际变化。而通过海气界面水分和能量的交换,东亚季风的这种变化势必影响到中国近海和邻近海的海洋环境要素(如海流、海水温盐度、海平面高度等),进而严重影响着海洋生态系统(洪华生等,2005;唐启升等,2005;蔡榕硕等,2010)。在众多气候因子中,全球气候变暖与中国近海生态资源的可持续性发展最为密切相关(苏纪兰等,2001)。

全球气候变暖是人类面临的最具有挑战性的全球性问题,也是全球变化的核心问题(Houghton et al, 2001; IPCC, 2007)。然而,全球变化不等于全球一致变化,各地区气候或自然系统具有不同的变化特征(IPCC, 2007; Tyson et al, 2002)。由于海表特性与陆地不同,海洋和陆地对人类活动所引起的全球增温响应不同。海洋状况比较均匀,它对全球气候变暖的响应不像陆地具有强的区域性,但由于海洋所处的气候带不同、上空大气环流和它本身海流的不同以及与陆地距离的不同,各个海域对全球气候变暖的响应也会不一样。特别是近海,由于陆源污染物的大量注入,致使近海水质恶化,加上气候变暖,导致赤潮频繁发生。这表明沿海和近海对于全球增温的响应与陆地对全球增温的响应既有联系,又有很大差异。因此,近海对全球气候变暖的响应,是值得深入探讨的科学问题(苏纪兰等,2001)。一些国际科学规划也已关注到近海对全球变化的响应与适应性研究的重要性(NASA, 2000)。

受全球气候变暖的影响,东亚季风有很大的年代际变化(黄荣辉等,2006),这种变化势必影响到中国近海和邻近海的海洋环流、海洋环境和生态系统,从而使得我国近海和邻近海的海洋环境和海洋生态系统由于全球增温而产生有别于其他海域的变化。此外,我国近海由于它的西部是我国东部沿海人口密集和经济发达区,大量的工业废水和生活污水排入这些海域,致使我国近海水质恶化,富营养化海域不断扩展,赤潮频繁发生(黄镇国等,2005),严重影响了海洋生态系统的健康。我国近海海洋环境和海洋生态所面临的日

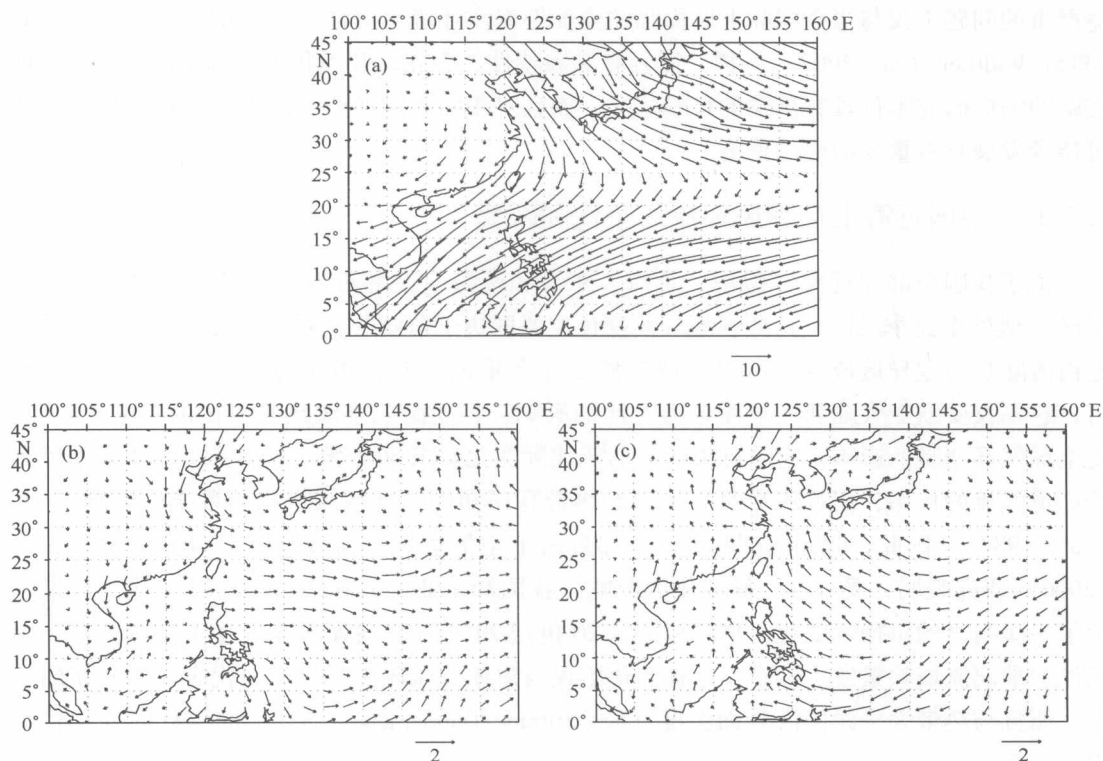
益严重的问题不仅与当今国际上所面临的全球性海洋环境与海洋生态问题 (Stenseth et al, 2002; Walther et al, 2002) 一样, 而且有其独特性。因此, 开展我国近海海洋环境对全球变暖的响应研究不仅具有重要的科学意义, 而且对我国海洋渔业、海水养殖业和海运业的可持续发展具有重要的应用价值。

1.3.1 中国近海上空季风环流的年代际跃变

由于我国东部和近海 (渤海、黄海、东海和南海) 及邻近海域 (热带、副热带西太平洋) 地处东亚季风区, 这些区域气候变化主要取决于东亚冬、夏季风的变化。因为季风是由海陆热力差异造成的, 所以全球气候变化严重地影响着季风的变化。就东亚季风而言, 它不仅受欧亚大陆和太平洋热力对比的影响, 还受南北半球热力对比的影响。因此, 受全球气候变暖的影响, 它具有很明显的年代际变化。东亚夏季风不仅受印度西南季风和跨赤道气流的作用, 而且还受西太平洋副热带高压和中纬度西风带扰动系统的影响 (Tao et al, 1987), 因此, 我国东部和近海、邻近海上空的季风环流变化十分复杂。黄荣辉等 (2006) 研究表明, 受全球气候变化的影响, 我国和东亚气候在 20 世纪 70 年代中后期发生了一次明显的年代际变化, 华北地区从 20 世纪 70 年代中后期至今发生了持续干旱, 而长江、淮河流域频繁发生洪涝。这种变化不仅与东亚季风环流年代际变化有非常密切的关系, 而且与热带太平洋的海表面温度 (Sea Surface Temperature, SST) 的年代际变化也有很大关系。

1.3.1.1 冬季

冬季 (12 月至翌年 2 月, 下同), 我国近海上空冬季风的风力比我国东部陆地上风力要强得多 (如图 1.1a 所示)。并且, 在我国华北、东北、渤海、黄海和东海盛行西北风, 在朝鲜半岛、日本海、日本和西北太平洋上空也盛行西北风, 而在我国长江以南地区 (包括华南)、中印半岛、南海、东南亚和热带、副热带西太平洋上空盛行东北风。图 1.1b 表明, 在 1976 年以前的冬季, 我国华北、华东以及渤海、黄海、东海和日本以南的副热带西太平洋上空有西北风距平, 而在我国华南和中印半岛北部出现东北风距平; 在南海西部和中印半岛南部有西南风距平, 而在南海东部出现偏北风距平; 从图 1.1b 中还可以看到, 在东亚上空出现一个气旋性环流异常, 而在我国南海南部上空出现一反气旋的距平环流分布。这些说明了在 1976 年之前我国东部以及我国近海和邻近海上空的冬季风偏强。然而, 从图 1.1c 中可以看到, 在 1976 年之后的冬季, 我国东部以及近海和邻近海上空出现与图 1.1b 相反的风场距平分布。如图 1.1c 所示, 在我国东部、渤海、黄海、东海以及 140°E 以西的副热带西太平洋上空出现东南风的距平风场, 而在华南、中印半岛出现西北风的距平风场, 在南海的西部和中印半岛的南部出现东北风的距平风场, 而在南海东部出现东南风的距平风场。从图 1.1c 还可以看到, 在东亚和西北太平洋上空出现反气旋环流异常分布, 而在南海南部却出现气旋性环流异常。这些都表明了从 1976 年之后我国东部、近海和邻近海上空冬季风大大减弱。



(a) 1961—1990 年气候平均；(b) 1958—1976 年期间的平均距平（平均距平指某段时间内的平均风场减去 1961—1990 年期间的气候平均风场，下同）；(c) 1977—2000 年期间的平均距平

图 1.1 冬季中国近海上空 925 hPa 风场 (m/s)

[资料来源：取自 ERA-40 再分析资料 (Rayner et al, 2003)]

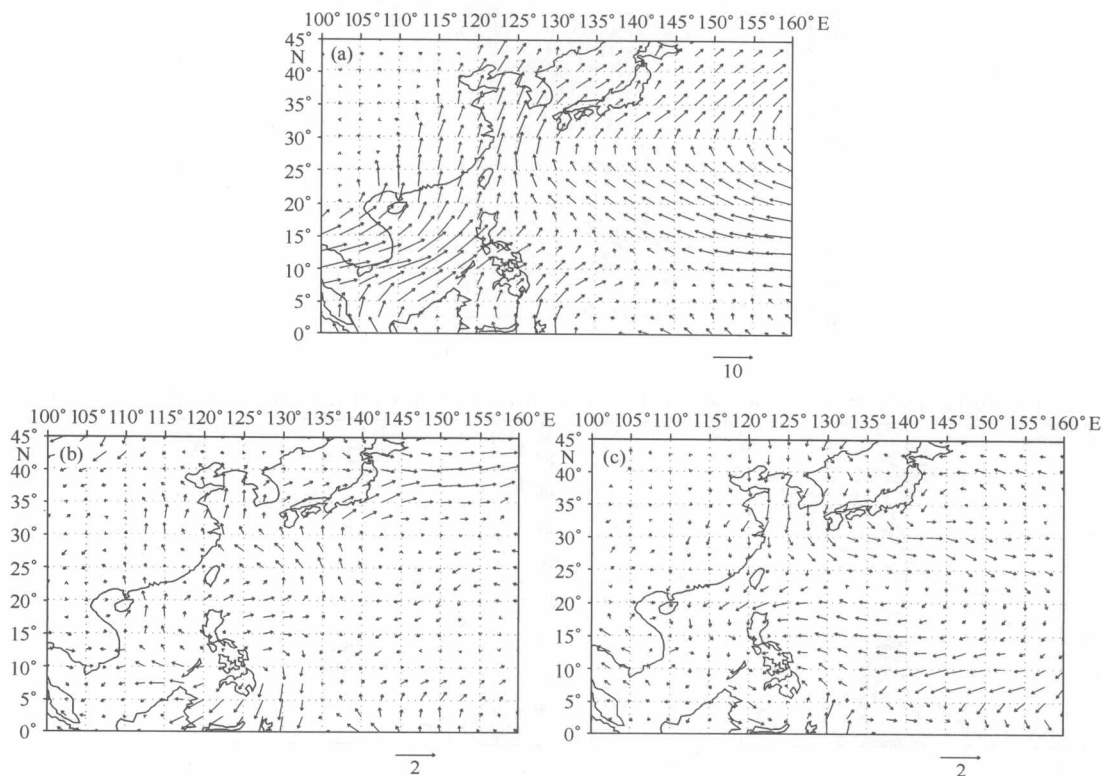
1.3.1.2 夏季

夏季（6—8 月，下同），我国东部陆地上的风力与冬季不同，仅稍弱于海上风力（如图 1.2a 所示）。最明显的是夏季的风向完全与冬季相反，在我国华南、华东和华北以及渤海、黄海上空盛行西南偏南风，而在南海和东南亚上空盛行西南风，东海和副热带西太平洋上空盛行东南风。图 1.2b 表明，1976 年以前的夏季，在我国东部、渤海、黄海上空有偏南风的距平风场，在东海上空有东南风的距平风场，而在西北太平洋上空有西南风的距平风场，南海中部和北部上空出现偏南风的距平风场；从渤海和黄海到朝鲜半岛、日本海和西北太平洋上空有反气旋的环流异常分布，在东海和副热带西太平洋上空出现气旋性的环流异常分布。此外，在南海和东南亚上空出现反气旋的环流异常分布。这也表明了 1976 年以前我国东部和近海、邻近海上空夏季风偏强。

然而，在 1976 年之后的夏季，我国东部和近海、邻近海域上空出现了与图 1.2b 相反的风场距平分布（如图 1.2c 所示）。在我国东部、渤海、黄海上空出现偏北风距平风场，而在东海和西北太平洋分别出现西北风和东北风的距平风场；从图 1.2c 中还可以看到，从渤海和黄海到朝鲜半岛、日本海、日本和西北太平洋上空出现气旋性环流异常分布，在东海和副热带西太平洋上空出现反气旋环流异常分布。此外，在南海和东南亚上空出现气

旋性环流异常分布。这些季风环流异常分布正好与图 1.2b 所示的 1976 年以前季风环流异常分布相反。同时,夏季我国东部和近海、邻近海上空出现偏北风的风场异常,这表明了我国东部以及近海和邻近海上空夏季从 1976 年之后偏南季风气流减弱。

上面的事实表明了我国东部以及近海、邻近海上空无论是冬季风或夏季风从 1976 年之后都开始减弱。



(a) 1961—1990 年气候平均; (b) 1958—1976 年期间的平均距平; (c) 1977—2000 年期间的平均距平

图 1.2 夏季中国近海上空 925 hPa 风场 (m/s)

[资料来源:取自 ERA-40 再分析资料 (Rayner et al, 2003)]

1.3.2 中国近海海面风和风应力的年代际跃变

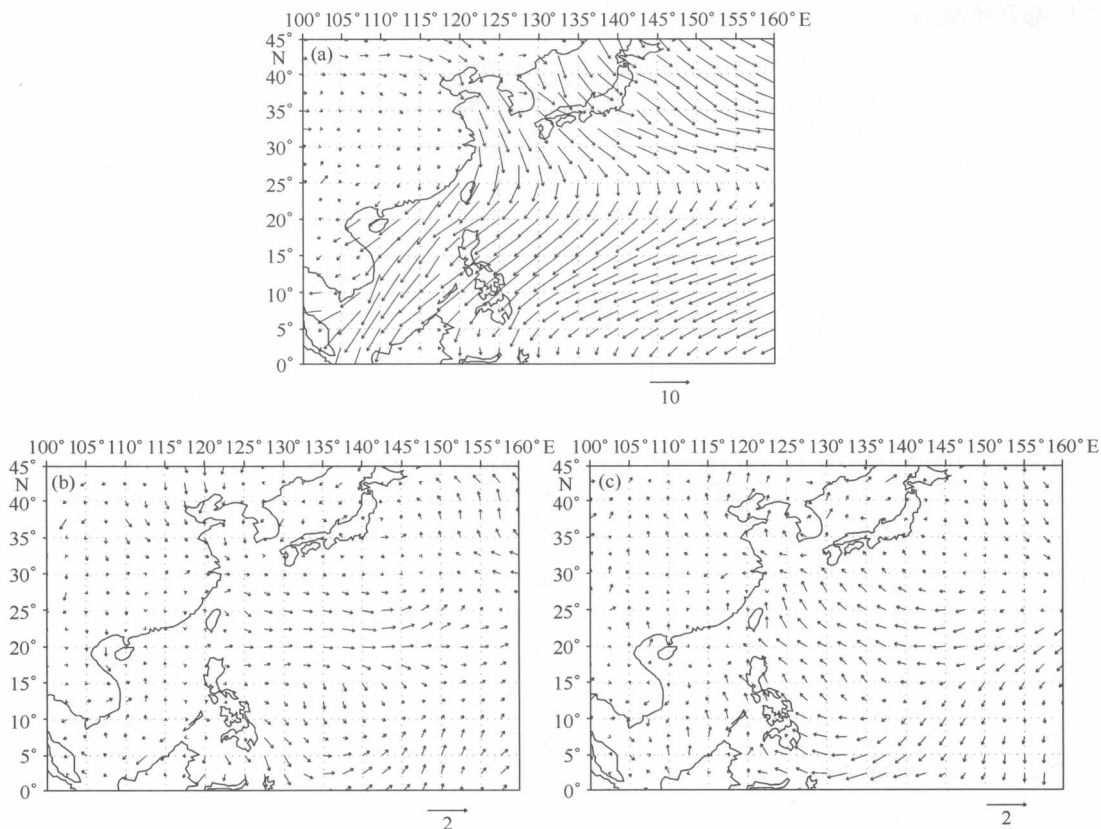
1976 年之后我国东部和近海、邻近海上空冬、夏季气流的减弱,势必影响我国近海和邻近海海面风和风应力的变化。

1.3.2.1 海面风

1) 冬季

冬季,比较图 1.3a~c 与图 1.1a~c,可以发现两者分布基本相似。从图 1.3a 可以看到,我国近海冬季海面风力明显大于陆地上风力,在黄海、渤海和东海海面附近的西北风风力可达 6.0~8.0 m/s,从台湾海峡到南海和副热带西太平洋海面附近的东北风风

力可达 10.0 m/s 以上。图 1.3b 和图 1.3c 分别表明在 1976 年之前,我国近海和邻近海有偏北风的距平风场,而在 1976 年之后有偏南风的风场。这表明,在 1976 年之前冬季我国近海和邻近海海面附近偏北风风力偏强;而在 1976 年之后,这些海域冬季海面附近的偏北风风力偏弱。



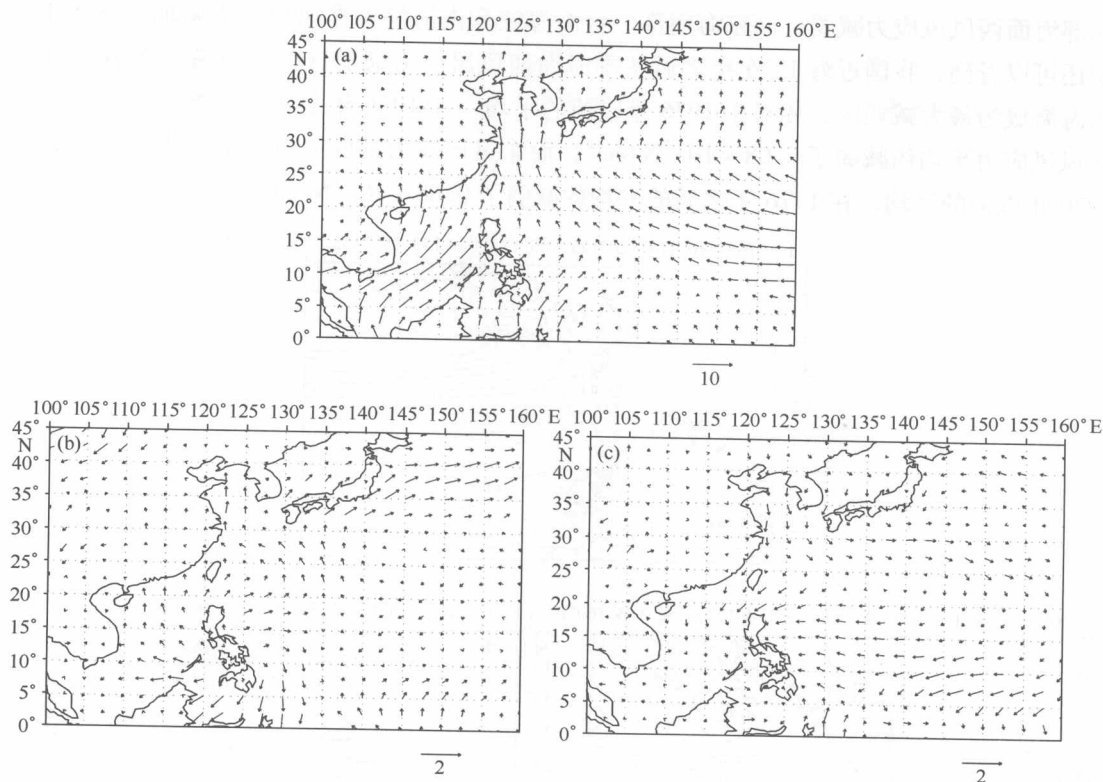
(a) 1961—1990 年气候平均; (b) 1958—1976 年期间的平均距平; (c) 1977—2000 年期间的平均距平

图 1.3 冬季中国近海海面附近 10 m 风场 (m/s)

[资料来源: 取自 ERA-40 再分析资料 (Rayner et al, 2003)]

2) 夏季

夏季, 比较图 1.4a~c 与图 1.2a~c 可以发现, 两者分布也基本相似。从图 1.4a 可以看出, 我国近海的夏季海面风力明显大于陆地上的风力, 在黄海、渤海和东海海面附近的东南风和偏南风的风力可达 $4.0 \sim 6.0 \text{ m/s}$, 从南海北部到台湾海峡和副热带西太平洋的西南风可达 4.0 m/s 左右, 在南海中部和南部, 西南风风力可达 8.0 m/s 左右。因此, 无论冬季或夏季, 南海中、南部的海面风力都较大。并且, 图 1.4b 和图 1.4c 表明在 1976 年之前我国近海和邻近海有偏南风的距平风场, 而在 1976 年之后有偏北风的风场。这表明, 1976 年之前, 夏季我国近海和邻近海海面附近的偏南风风力偏强; 而在 1976 年之后, 这些海域夏季海面附近的偏南风风力明显减弱。



(a) 1961—1990 年气候平均; (b) 1958—1976 年期间的平均距平; (c) 1977—2000 年期间的平均距平

图 1.4 夏季中国近海海表附近 10 m 风场 (m/s)

[资料来源: 取自 ERA-40 再分析资料 (Rayner et al, 2003)]

1.3.2.2 纬向风应力

1) 冬季

从图 1.5a 可以看到, 冬季在黄海、渤海和西北太平洋有西风风应力, 其值自西向东增大, 在日本以东的西风漂流区为最大, 达到 $1.2 \times 10^{-5} \text{ N/cm}^2$, 而在东海、副热带西太平洋和我国南海海面则为东风风应力, 其值由北向南增大, 最大东风风应力位于巴士海峡和菲律宾周围的南海和热带西太平洋, 达 $-1.0 \times 10^{-5} \text{ N/cm}^2$ 。这些与图 1.3a 所示的海面附近气候平均风场相对应。

图 1.5b 表明在 1976 年之前, 我国南海和渤海冬季海面有东风风应力距平, 而黄海、东海、副热带和热带西太平洋有西风风应力距平, 而南海的北部和南部有东风风应力距平。这是由于这些海域在 1976 年以前海面附近分别有西北风和东北风的风力异常所致。然而, 正如图 1.5c 所示, 1976 年之后, 上述海域的海面风应力异常分布正好与图 1.5b 所示的 1976 年之前的海面风应力距平的分布相反, 在南海、台湾海峡和东海南部有西风风应力异常, 而黄海、东海、副热带和热带西太平洋有东风风应力异常。

我国近海和邻近海冬季海面风应力距平的年代际变化与图 1.3b 和图 1.3c 所示的海面附近的风场异常年代际变化相对应, 它表明 1976 年之后的冬季, 我国黄海、渤海、东海