

# 南海资源环境地理研究综述

张君珏<sup>1,2,3,4</sup>, 苏奋振<sup>1,3\*</sup>, 王雯玥<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国南海研究协同创新中心, 南京 210023; 4. 北京师范大学, 北京 100875)

**摘要:**南海及沿岸地带是亚太地区经济发展最有活力和潜力的地区之一, 受全球变化和人类活动的影响, 南海资源环境正发生快速变化, 对社会、经济、生态和环境带来新压力。本文从地理空间信息角度, 以海岸资源、海洋资源和珊瑚礁资源的地理研究为综述内容, 梳理了该区域岸线遥感监测、油气资源储量及渔业资源渔获量的地理差异、珊瑚礁地貌遥感监测与珊瑚白化等相关研究进展, 讨论了已有研究的成果及其薄弱方向, 依据发展趋势探讨了未来研究工作的重点。综述发现, 南海资源环境的地理空间研究中, 主要成果表现在资源环境的大面积快速监测与地理分异性方面, 但在资源分布的内在机制及资源开发的环境效应影响方面仍缺少足够的研究。未来可望获得突破的研究主要包括: 区域时空多尺度特征及其效应, 区域间自然和社会发展的分异和规律, 多源数据融合的南海资源动态监测的精度与时效的提高, 以及资源变化过程的海洋生态与环境综合效应研究等。

**关键词:**南海; 地理分异; 岸线资源; 海洋资源; 珊瑚礁

## 1 引言

近年来, 随着海洋贸易的兴盛, 世界经济重心由大陆向海洋倾斜。海洋资源的开发利用对沿海地区的发展起着重要的支撑作用。南海是西北太平洋最大的边缘海, 拥有着丰富的资源。岸线资源、油气资源、渔业资源和珊瑚礁资源都是南海地区具有较高价值且开发程度较高的资源, 受到广泛关注。针对这些资源, 开展它们的地理分布与时空变化研究, 有助于高效管理海洋资源, 为合理开发和勘探海洋资源提供科学依据。本文从地理空间信息角度, 按照区域, 自南海由外及内, 由最外围的南海海岸到南海资源主体, 再到最内层的南海珊瑚礁, 从以下三部分来讨论南海资源环境地理研究的最新进展。第一部分介绍南海周边岸线资源的变化监测; 第二部分聚焦南海海区, 回顾海洋资源(石油天然气资源和渔业资源)地理分异与监测的相关研究; 第三部分讨论珊瑚礁地貌和珊瑚白化现象。

## 2 南海区域地理背景

南海地处亚洲和大洋洲十字路口, 连接太平洋和印度洋(图1), 有时也被称为“亚洲地中海”(Morton et al, 2001)。南海周边分布着9个国家, 分别为中国、越南、柬埔寨、泰国、马来西亚、新加坡、印度尼西亚、文莱和菲律宾, 分别位于华南大陆、中南半岛、马来半岛和马来群岛。广阔的海域里散布着无数的岛屿、浅滩和珊瑚礁。

南海地处热带—亚热带地区, 雨量充沛, 渔业、石油、天然气资源丰富, 航运发达。平原、山脉交替出现, 是南海海岸带地貌最显著的特征。4条重要河流(珠江、红河、湄公河和昭拔耶河)流经南海海岸带, 沿岸土地肥沃, 港口贸易发达。周边国家人口稠密, 经济发展迅速。南海是中国面积最大的海区, 最重要的海岛和珊瑚礁、红树林等热带生态系统分布区, 也是中国面向东南亚地区开放的窗口。

收稿日期: 2016-10-09; 修订日期: 2017-06-19。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41421001) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41421001]。

作者简介: 张君珏(1987-), 女, 湖北省鄂州市人, 博士生, 研究方向为海岸带遥感、GIS应用, E-mail: zhangjj@lreis.ac.cn。

通讯作者: 苏奋振(1972-), 男, 研究员, 博导, 从事海岸带海洋空间信息系统及时空数据挖掘研究, E-mail: sufz@lreis.ac.cn。

引用格式: 张君珏, 苏奋振, 王雯玥. 2018. 南海资源环境地理研究综述[J]. 地理科学进展, 37(11): 1443-1453. [Zhang J J, Su F Z, Wang W Y. 2018. A review of geographical information research on resources and environment of the South China Sea region[J]. Progress in Geography, 37(11): 1443-1453.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.11.001

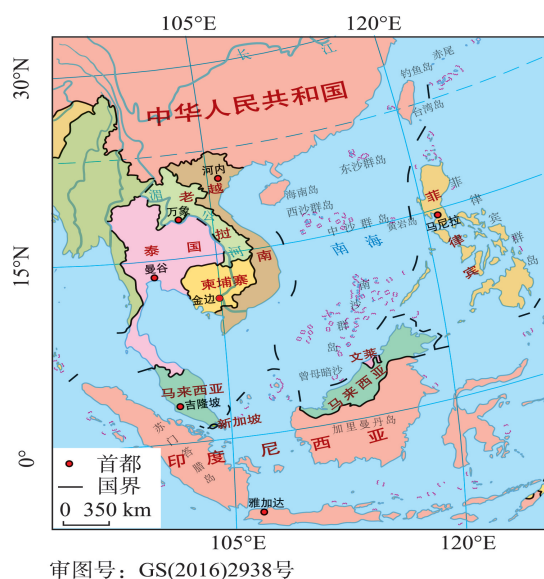


图1 南海地理区位图

Fig. 1 Location of the South China Sea

### 3 研究进展

#### 3.1 南海周边岸线资源相关研究

海岸线是海水与陆地的分界线,是海岸带开发的前沿阵地。南海地区拥有广阔的大陆海岸线和岛屿海岸线资源,也是重要的红树林分布区(图2)。常见岸线资源可划分为自然岸线和人工岸线,其中自然岸线包括基岩海岸、砂质海岸、淤泥质海岸和生物海岸(包括珊瑚礁岸和红树林岸)。国内外大量

学者对该地区海岸线的开发利用情况进行了研究。

国内对海岸线的动态演变研究较多,聚焦在岸线长度变化、类型转换等方面。刘百桥等(2015)对1990-2013年中国大陆海岸线的变化情况进行了分析,并对中国大陆海岸线资源开发利用特征进行了评估,发现大陆海岸线的开发利用负荷不断增加,海南省、广西壮族自治区未开发岸线比例高,可开发利用潜力较大。Wu等(2014)和Hou等(2016)提取了1940年以来的6期中国大陆海岸线数据,并分析了海岸线结构构成、变化速率和人工化程度,结果表明中国南海海区海岸线破碎化程度较高,人工化程度逐年递增,尤其在1990-2010年期间实现阶梯跃增,其中珠江三角洲又是海岸线开发的热点区域。高义(2011)针对珠江口海岸线的研究表明,该岸段海岸线人工岸线所占比例由1980年的43.5%上升到2010年的82.8%,主要是养殖围堤、建设围堤和码头围堤等所致。周相君(2014)对广西海岸线的研究发现,广西海岸线人工岸线持续增长,主要来自以填海造地为代表的人为改造活动,典型区域分布在防城港、钦州港和北海港。朱国强等(2015)提取了1990年、2000年和2010年南海海岸线并分析了其时空变化特征,结果显示新加坡人工岸线比例最高,其次为中国。20年内,人工岸线长度共增加了3100 km,所占比例由12.4%上升到22.9%,增长接近一倍,变化最剧烈的区域位于珠江三角洲、红河三角洲、曼谷湾、新加坡和马尼拉湾。自然岸

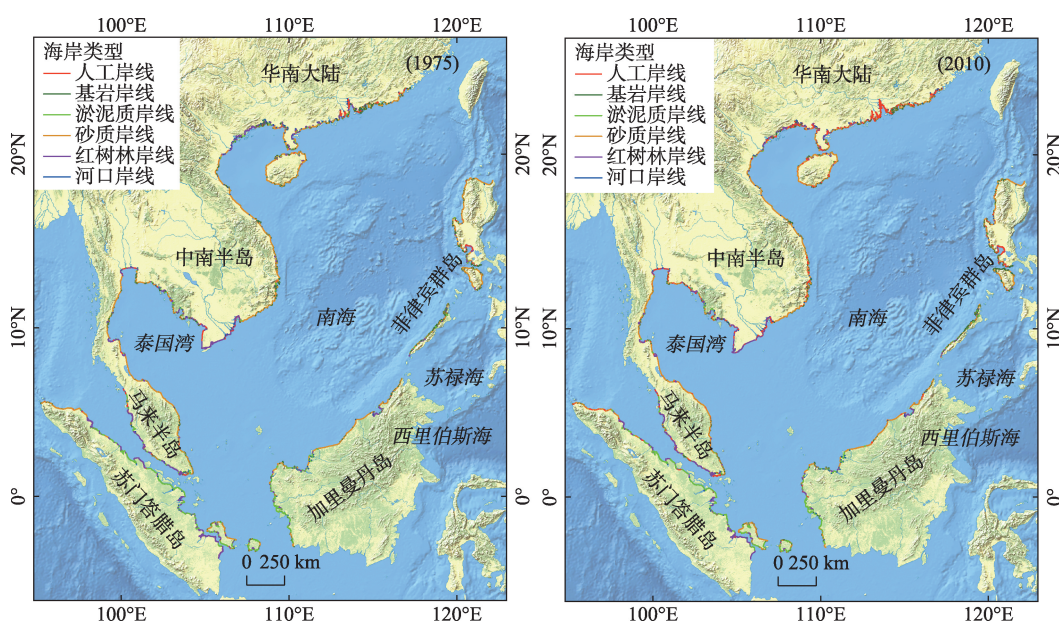


图2 南海海岸线分布

Fig.2 Distribution of coastline around the South China Sea



线消失显著,尤其是生物岸线,减少了29%。

国外针对海岸线的研究多围绕红树林岸线变化与海岸侵蚀展开。红树林广泛分布于南海海岸,集中分布区位于马六甲海峡、泰国湾、湄公河三角洲和北部湾。在北部湾地区,下龙湾红树林遭到严重破坏,2/3的红树林消失(Hens et al, 2000)。湄公河三角洲地区是越南红树林分布最广泛的地区,也是遭受破坏最严重的地区(Son et al, 2015)。Lam-Dao 等(2011)研究了越南金瓯半岛(湄公河南部)1973-2008年的土地利用变化情况和河岸侵蚀情况,结果表明1/2以上的红树林变成了养虾池,湄公河沿岸也遭到了严重侵蚀。在泰国,红树林消失的主要原因来自对虾养殖。泰国拥有2700 km的海岸线以及良好的热带气候条件,适宜于近岸水产品养殖。泰国对虾养殖扩张爆发于曼谷湾,继而向东部和南部转移,损毁了大量的红树林(Sathirathai et al, 2001; Barbier et al, 2002; Szuster, 2006)。Thampanya 等(2006)分析了泰国南部两侧岸线的变化情况,发现海岸侵蚀时有发生,泰国湾一侧海岸侵蚀比安达曼海一侧更为显著。在泰国北部,Anongponyoskun 等(2011)利用TM影像研究了泰国班武里府巴蜀地区2004-2009年间的海岸线变化,结果表明该地区遭受了严重的侵蚀。在马来西亚和印度尼西亚,油棕榈种植是红树林减少的潜在威胁,破坏严重的地区位于马六甲海峡和加里曼丹岛砂拉越河三角洲(Richards et al, 2016)。

综上所述,南海周边岸线资源的研究表明,近几十年来,南海周边岸线人工化程度逐渐增高,生物岸线逐年降低,红树林破坏主要原因来自水产品养殖、经济作物种植和城市化。目前,利用遥感技术进行岸线变化动态监测在技术上已趋成熟,也是现在和未来研究的重点,但在海岸线变化的机理模型研究、海岸线演变预测及海岸线变化的影响分析研究仍有欠缺,需重点加强。

### 3.2 南海海洋资源相关研究

#### 3.2.1 石油天然气研究

全球现有离岸石油、天然气开发基本上集中于“两湾两海一湖”区域,即波斯湾、墨西哥湾、北海、南海、马拉开波湖。南海的地质构造适宜于油气资源形成和聚集。中国南海位于欧亚板块,是太平洋板块和印度-澳大利亚板块的交汇地带,经历了长期而复杂的形成和演化。普遍认为,南海海盆形成于中生代。在新生代,南海历经三次构造运动,两次海底扩张,两次地块碰撞和一次弧陆碰撞(姚伯初, 1998)。复杂的板块运动和海底扩张塑造了南

海的地质结构:复杂交错的断裂线和大量不同类型的沉积盆地。这些沉积盆地具有厚度较大的沉积物和烃源岩,为石油和天然气的生成提供了良好的条件(莫杰, 2004)。目前南海油气的研究在油气成藏、地理分异与油气平台提取方面研究较多。

#### (1) 油气成藏/地理分异

在地理区位上,南海沉积盆地可分为两大部分:北部盆地和南部盆地(图3)。相关研究在沉积盆地形成演化、油气成藏条件及开采两方面开展。北部盆地的研究聚焦在珠江口盆地(何家雄等, 2012)、北部湾盆地(郭飞飞等, 2009)、莺歌海盆地(Nielsen et al, 1999)和琼东南盆地(万志峰等, 2007)。南部盆地的研究聚焦在湄公盆地(也称九龙盆地)(Lee et al, 2001)、马来盆地、东西纳土纳盆地(Todd et al, 1997; 刘海, 2012)、万安盆地(施秋华等, 2014)、曾母盆地(姚永坚等, 2008; Islam et al, 2012)、文莱-沙巴盆地(Tingay et al, 2009)、礼乐盆地和巴拉望盆地(杨明慧等, 2015)。研究表明南部盆地油气成藏条件与北部盆地差异较大。北部张性沉积盆地烃源岩体积更小,地温梯度也较小,不利油气成藏,大型油气田较南部盆地少(王建桥等, 2005)。北部盆地以珠江口盆地和莺歌海盆地油气成藏条件较佳,其次为琼东南盆地。南部盆地中,以曾母盆地和纳土纳盆地成藏条件最佳,储量最高,其次为马来盆地、万安盆地和文莱-沙巴盆地,许多大型油气田在此被开采(刘振湖, 2005; 刘海, 2012)。

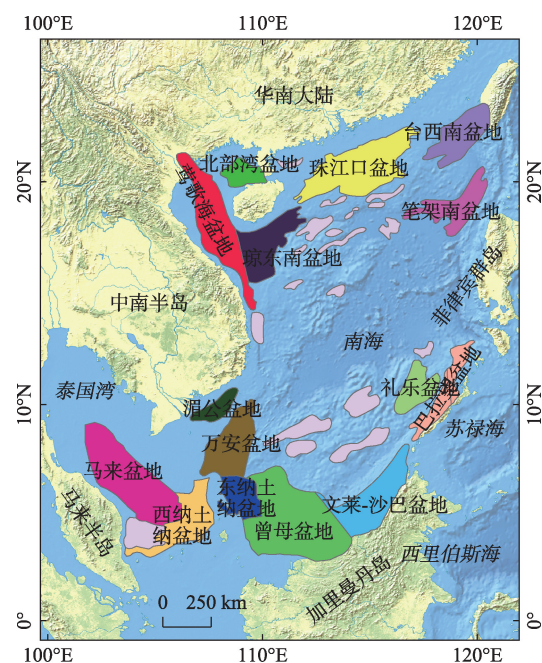


图3 南海石油天然气盆地

Fig.3 Oil and gas basins of the South China Sea

## (2) 油气平台提取

伴随着油气开采活动的增多,溢油问题日益严重。溢油往往与油气平台位置密切相关,故进行油气平台位置提取至关重要,且油气平台位置对于航道安全也有重要影响。采用SAR影像进行近海油气钻井平台检测是目前较为有效的方法。油气平台提取主要方法来自于海面目标提取算法-恒虚警率算法(CFAR)。王加胜等(2013)和万剑华等(2014)利用SAR影像,分别针对越南东南海域和南海某一海域进行油气平台提取并进行验证,论证了该方法的可行性。采用光学影像进行油气平台检测也取得了突破。Liu等(2016b)基于时间序列landsat8影像,利用油气平台尺寸特征和位置不变性特征,提出了离岸油气平台自动检测算法(AMEOP),并以SAR影像和高分影像进行验证,精度较高。目前,李强(2016)和Liu等(2016a; 2016b)分别采用高分一号数据、VIIRS灯光数据、landsat8数据和SAR数据提取了南海油气钻井平台,制作了覆盖南海全海域的钻井平台分布图。结果表明大部分钻井平台分布在浅水区,主要分布于油气资源丰富的珠江口盆地、湄公盆地、马来盆地、曾母盆地和文莱—沙巴盆地,与南海沉积盆地油气分布结果基本一致。

目前针对南海油气盆地的成藏机制和地理分布研究相对较多,但在油气储量和可采资源量方面的研究尚不成熟,争议较大。在油气平台提取方面,利用遥感影像提取油气平台精度已能满足要求,但在油气平台类型的遥感识别和油气产量估算方面依然困难重重。

### 3.2.2 渔业研究

南海自然环境优越,渔业生态环境类型多样,渔业资源丰富,形成了优良的捕捞渔场(陈铮等, 1994; 贾晓平等, 2004)。明清以来,中国渔民的足迹已遍布南海及周边海域(王涛, 2014)。

南海渔业活动频繁,过度捕捞对渔业资源造成严重的影响。目前,南海海域除中沙和南沙海域部分渔场渔业资源较丰富外,其他大部分渔场渔业资源大幅下降,南海北部大陆架渔场和北部湾渔场衰减剧烈,北部湾渔场实际捕捞量远远超过渔场自然生态恢复所能承受的程度(鞠海龙, 2012)。近年来,开展渔业资源时空分布研究、海洋环境要素与渔场分布分析及海洋渔情预报研究取得很多成果,对合理捕捞渔业资源、可持续发展意义重大。

#### (1) 南海渔业资源时空分布

南海潜在渔业资源量相当可观。据估计,南海

渔业资源潜在渔获量为500万吨(Masrikat, 2012)。其中,渔业资源富集于南海北部大陆架渔场、北部湾渔场、九龙江口渔场、峇眼亚比渔场和马尼拉湾渔场等海区。此外,群岛地区也是渔业资源富集区域。李永振等(2007)和陈国宝等(2005)分析了南海珊瑚礁水域鱼类的组成与分布、生物学特性、开发现状和开发潜力。结果表明西沙海域的潜在渔获量为1.7万吨,中沙海域为1.3万吨,南沙海域17.9万吨。关汉明(2000)对南海南沙群岛西南部渔场的底层渔业资源的开发利用状况进行了分析,认为虽然开发难度大、危险性高,但也可取得可观的经济效益。若在保持鱼类资源结构稳定的前提下全面开发鱼类资源,西沙海域的潜在渔获量为6.7万吨、中沙海域5.3万吨、南沙海域35.8万吨,比目前的潜在渔获量高1~3倍(周永灿, 2014)。此外,利用灯光数据获取渔业信息来分析渔场时空变化特征是一种有效的方式。根据鱼类的趋光性特征,许多渔民在渔船上安装大功率灯泡来开展渔业活动,为利用灯光数据进行渔业信息提取提供了可能。王雯玥(2016)利用2014-2015年VIIRS灯光数据提取南海渔船灯光,并制作了不同年份和不同月份南海渔船生产强度分布图。结果表明南海渔业生产强度自浅海向外海水域递减,主要渔船作业区分布于北部湾和九龙江口地区,季节差异也很显著,以春季整体生产强度较大,冬季渔业生产强度最低。

#### (2) 海洋环境要素与渔场分布分析

水温、叶绿素浓度和水深等对渔场形成有重要影响,其中,水温对鱼类的聚集和洄游起重要作用,是对鱼类行为影响最重要的因子(于杰等, 2007)。海面温度变化与渔场时空分布相关研究较多。张学敏(2005)研究了台湾浅滩渔场海表温度距平值与鲷鲷鱼类群聚资源的年际变动关系,表明鲷鲷鱼类资源自1988年来呈增长趋势,同该海区由冷变暖状态转换有关。于杰(2015)利用近10年遥感风场和海表温度(Sea surface temperature, SST)数据,研究南海中西部渔场上升流时空变化特征并分析风场对上升流中心位置变动的影响。上升流持续时间有增加的趋势,对南海中西部渔场渔业资源有积极影响。纪世建等(2016)利用南海及临近海域月平均SST和黄鳍金枪鱼渔场月平均单位捕捞努力量渔获量(CPUE)进行空间叠加分析,研究表明两者之间具有密切关系,黄鳍金枪鱼渔场最适宜海表栖息温度为26.9~29.4℃,春夏季黄鳍金枪鱼主要集中在南海北部区域(10°N~20°N),秋冬季黄鳍金枪鱼开始移向南部海域(0°~10°N)。



### (3) 海洋渔情预报

海洋渔情预报服务开展已久。1994年,国家海洋局海洋技术研究所针对海南岛海区和西沙海区,采用航空遥感和卫星遥感方法,制作了海面温度场分布图和渔场位置图,发布渔海况速报(井彦明等,1996)。中国在“九五”计划期间实施了“海洋遥感信息服务系统技术与示范试验研究”,建立了海洋遥感信息服务系统,可获得海面温度、叶绿素浓度信息,并结合渔船信息,实现对渔业生产指挥调度(苏奋振等,2002)。颜云榕(2014)以全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感(RS) 3S 技术集成平台,并结合船舶监控系统(VMS)、北斗卫星短报文信道、ARM 高性能处理器、NR 嵌入式操作系统等前沿技术,建立“南海渔业信息动态采集与实时自动分析系统”,初步实现了南海外海鳶乌贼渔场预报,进行渔业捕捞数据实时传送,生产海洋捕捞(分)渔区、渔船、鱼类产量数据分析专题图。

鉴于海洋渔业的模糊性、不确定性因素,采用统计方法、遥感方法、数值分析方法等进行海洋渔业空间分析均存在不足之处。综合遥感数据、实测数据和海洋环境要素数据,建立海洋渔业动态监测和预测模型,是今后研究的重要方向。

### 3.3 南海珊瑚礁研究

珊瑚礁是热带海洋中的石珊瑚及其间生活的其他造礁生物、藻类等死亡后的残骸堆积而成。作为海洋中一种特殊生态系统,珊瑚礁具有较高的生物多样性和初级生产力,有时也被誉为“海洋中的热带雨林”“蓝色沙漠中的绿洲”(赵美霞等,2005)。

关于珊瑚礁的研究由来已久。公元前2世纪的汉朝,中国先民就发现了西沙群岛和南沙群岛,并开始南海地区进行航行。公元3世纪三国时期的万震和公元5世纪刘宋时期的康泰在所著的《南州异物志》和《扶南传》中对西沙和南沙地貌特征作出形象而准确的描述。此后,随着海上丝绸之路的兴盛,中国渔民、商人和地理学家对此区域进行了持续的研究。20世纪,南海珊瑚礁研究进入一个新的阶段。许多科研机构,包括南海海洋研究所、中国水产研究院南海水产研究所、中国科学院南京土壤研究所、华南植物园和地理科学与资源研究所等针对珊瑚礁生态、渔业、土壤、植被和地貌环境开展了大量的调查研究(邢福武等,1993;李永振等,2003;王丽荣等,2006;龚子同等,2013)。

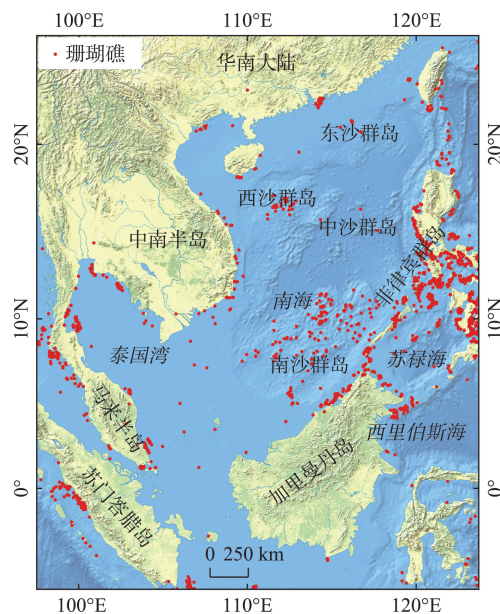
南海珊瑚礁历史悠久,面积辽阔,几乎覆盖了整个南海浅海区域(图4)。目前,珊瑚礁地理研究集

中在珊瑚礁地貌研究和珊瑚白化上。

#### (1) 珊瑚礁地貌

研究发现,作为一个相对独立半封闭的生态系统,珊瑚礁具有独特的地貌。19世纪,达尔文在热带海洋环球航行时对珊瑚礁地貌和形成进行了考察。他依据珊瑚礁与岸线的距离,将珊瑚礁划分为3类:岸礁、堡礁和环礁(Darwin, 1842)。岸礁邻近大陆或海岛;堡礁位于距离海岸线一段距离的浅水区域,呈带状分布;环礁位于深海地区。达尔文提出的学说极大促进了珊瑚礁的研究,并影响了后世近100年的时间。21世纪初,美国科学家 McManus (2001)依据珊瑚礁位置和形态,进一步将珊瑚礁划分为8个类别:岸礁、堡礁、丘礁、点礁、台礁、带状礁、新月形礁和环礁。

传统珊瑚礁实地调查方法耗时耗力,且难大面积观测,尤其是针对偏远岛礁。遥感方法具备大面积同步观测、时效性强、具有可重复性等优势,在珊瑚礁地貌研究中的应用日益增多。国内外许多学者利用不同尺度的遥感影像进行了珊瑚礁成图研究(Mumby et al, 1997; Pan et al, 2002; Phinn et al, 2012; 龚建明等, 2014; 周旻曦等, 2015)。在南海区域,刘宝银等(2000)和杨娟等(2014)采用遥感影像提取几何参数并构建模型来反映环礁开放类型。此类定量模型能为珊瑚礁开放程度机制研究和实时预测提供科学依据。龚建明等(2014)和周旻曦等(2015)分别采用面向对象多尺度分割方法提取了永



注:珊瑚点位数据来自 ReefBase(<http://www.reefbase.org/main.aspx>)。

图4 南海珊瑚礁位置分布图

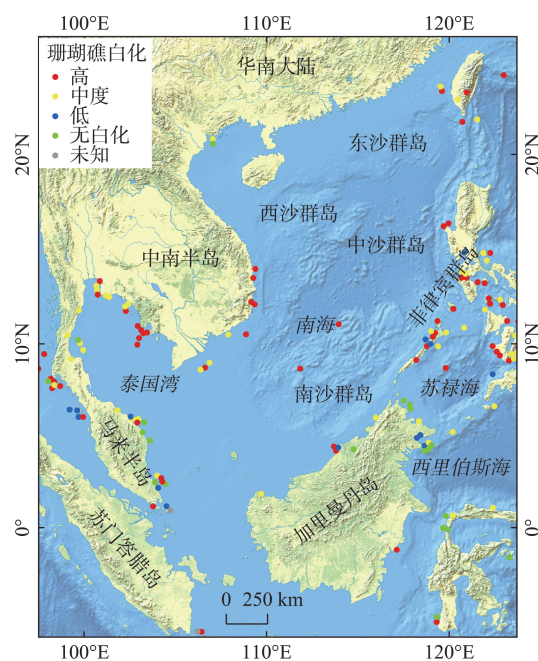
Fig.4 Coral reef locations in the South China Sea

乐环礁和簸箕礁地貌单元。此方法充分利用了珊瑚礁不同地貌带的异质性特征,能有效提高分类精度,保证地貌带的完整性。左秀玲等(2016)提出了一套详细的珊瑚礁地貌分类系统,将珊瑚岛礁自海向潟湖划分为水下礁脊、礁前斜坡、礁坪、潟湖、浅水礁塘、沙洲、灰沙岛,并基于此分类系统,采用高分辨率卫星遥感影像,针对南海主要珊瑚礁,制作了完整而详细的南海珊瑚礁地貌图。

## (2) 珊瑚礁白化

受海洋气候变化、自然灾害、海平面上升和人类活动影响,珊瑚礁生态系统具有高度脆弱性。由海面温度升高,太阳辐射增强,海水盐度下降和细菌腐蚀等原因导致的全球范围的珊瑚白化现象越来越频繁和严重(Brown, 1997)。珊瑚礁白化是珊瑚礁失去体内共生的虫黄藻或虫黄藻色素浓度降低导致珊瑚变白的现象(Glynn, 1993)。珊瑚白化对珊瑚礁生态系统有巨大的影响。它会导致珊瑚大面积死亡,珊瑚礁生态系统严重退化。此外,珊瑚白化还会影响新珊瑚的生长,降低珊瑚礁的生殖能力(李淑等, 2007)。据珊瑚礁全球信息系统(ReefBase)数据显示,南海地区是全球珊瑚白化最严重的区域之一(Baker et al, 2008)。1963-2016年,越南沿海、泰国湾近岸、菲律宾巴拉望岛近岸都发生过珊瑚严重白化事件(图5)。Hughes等(2013)研究表明在过去30年,中国大陆和海南岛沿海岸礁减少了至少80%,过去10~15年内,南海珊瑚环礁覆盖度由60%下降到20%。

海面温度升高是大面积珊瑚白化的主要原因。1998年,由于厄尔尼诺现象导致海水温度异常升高引发的全球珊瑚礁白化事件是目前为止范围最大、破坏最严重的案例(Goreau et al, 2000)。Goreau等(1994)的研究表明,1983-1991年长期月平均海水温度上升了1℃,大面积珊瑚白化发生。基于Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)卫星影像(0.5°, 50 km),美国国家海洋和大气管理局(NOAA)开发了大尺度珊瑚白化温度产品-白化热点(HotSpot)和周热度(Degree Healeng Weeks)。在南海区域,珊瑚白化研究相对较少,缺乏系统性。Chou (2002)分析了东南亚珊瑚礁生存状态,并列举了遭受1998年珊瑚严重白化影响的区域,如柬埔寨、泰国湾、越南 Con Dao 岛、印度尼西亚 Mentawi 岛等。Yu等(2006; 2012)采用高精度铀系年龄来重建南沙群岛过去一个世纪珊瑚死亡史。结果表明珊瑚死亡与厄尔尼诺现象高度相关,尤其在1982-1983



注:数据来自 ReefBase 数据库(<http://www.reefbase.org/main.aspx>)。

图5 1963-2016年南海珊瑚礁白化点位图

Fig.5 Coral reef bleaching locations in the South China Sea, 1963-2016

年,1991-1994年和1998-2000年。Guest等(2012)选择 Pulau Weh(印度尼西亚苏门答腊岛)、新加坡和 Tioman 岛(马来半岛)作为研究区,对比区域热史和白化史,来估算珊瑚白化和死亡指数。研究表明白化敏感性因区域温度差异性而具有显著的地域差异性。在温度上升缓慢的地区,白化相对不显著。Pulau Weh 地区的鹿角珊瑚和杯状珊瑚死亡率最高,分别为94%和87%,其次是 Tioman 岛,新加坡最低,仅仅为5%和12%。Zuo等(2016)利用高分辨率 SST 数据,分析了1982-2009年南海珊瑚礁热压力时空特征,结果表明南海北部温度上升速率高于南海南部,高频率珊瑚白化事件发生在吕宋岛西北。

由上可见,南海珊瑚礁资源丰富,白化现象也很严重。利用卫星遥感方法进行白化预测精度较高。但鉴于珊瑚礁多淹没在水下,而卫星传感器波段对水体穿深性弱,进行精细化珊瑚礁动态监测研究(底栖物质分析等)仍有欠缺。发展新的珊瑚礁监测遥感波段并开展珊瑚礁遥感物理模型研究是今后研究的重要方向。

## 4 结论与展望

### 4.1 研究结论

根据前文所述,本文从3个层次介绍了国内外



学者对南海地区资源环境地理研究的相关进展: 南海周边岸线资源、南海海洋资源和珊瑚礁。

当前的岸线研究多数围绕岸线的基本特征展开, 包括岸线长度变化、类型转换和面积消长等。已有研究表明南海海岸线正在经历快速的人工化过程, 典型区域在珠江三角洲、红河三角洲、曼谷湾、新加坡和马尼拉湾等地区。红树林岸线破坏严重, 在三角洲地区表现尤其突出。针对海洋油气资源和渔业资源, 国内外学者围绕其储量/渔获量, 在资源的地理时空分异性方面开展了大量的研究。南海南部盆地油气成藏条件优于北部, 相应地, 钻井平台分布也以南部居多, 包括湄公盆地、马来盆地、曾母盆地和文莱—沙巴盆地。渔业资源富集于南海北部大陆架渔场、北部湾渔场、九龙江口渔场、峇眼亚比渔场和马尼拉湾渔场以及群岛(南沙群岛)等区域。针对珊瑚礁的研究主要探讨珊瑚礁地貌提取、珊瑚覆盖度提取和珊瑚白化。南海地区是全球珊瑚白化最严重的区域之一, 高频率珊瑚白化多见于越南沿岸、泰国湾和菲律宾沿岸等南海北部地区。

当前的研究在资源的快速监测与地理分异性研究方面取得很多成果, 但受制于当前技术手段(遥感数据、实测数据和海洋环境数据的精度和时空分辨率), 在监测方法上仍需改进, 在资源分布的内在机理与机制研究及资源开发的环境效应评估研究方面仍有不足。

## 4.2 研究展望

综合国内外在南海资源环境的地理研究成果与不足, 未来研究可在以下几个方面加强。

### (1) 区域多尺度分析

受区域本底条件和人类活动的双重影响, 南海资源环境存在显著的复杂性和区域差异性。针对南海大区域, 单个国家和小区域等不同尺度, 应采用不同分辨率的数据、采样方法和分析方法, 研究区域资源环境多尺度地理时空分异特征。同时, 针对不同类型的海岸/海洋区块, 开展区域之间的对比研究, 挖掘其隐含的地理规律。

### (2) 多学科交叉、多数据源融合

多源遥感/地质/生物/气象数据融合与GIS空间分析技术应用于海洋资源监测与地理分析依然是今后研究的重点。同时, 发展更高分辨率和更多波段遥感数据和其他观测数据, 提高监测精度, 也是未来研究热点。

### (3) 机理模型研究

海洋资源受制于自然环境和人类活动影响, 其

变化具有复杂性。目前的研究在大规模海洋资源监测方面已日趋成熟, 但在精细化的机理模型研究, 如海岸线变化的原因机制/海洋渔业资源精细化管理/珊瑚礁遥感物理模型等方面, 仍有很大不足, 也是未来研究重点。

### (4) 环境效应研究

资源过度开发导致环境问题日益严重。海洋资源开发过程中, 岸线过度开发, 海洋环境污染, 珊瑚礁生态系统破坏等问题不断涌现。聚焦资源开发的生态环境效应, 并开展影响机制和模型的定量研究, 迫在眉睫。

## 参考文献(References)

- 陈国宝, 李永振. 2005. 南海岛礁渔业可持续利用的探讨[J]. 海洋开发与管理, 22(6): 84-87. [Chen G B, Li Y Z. 2005. Discussion on the sustainable utilization of fisheries in South China Sea islands[J]. Ocean Development and Management, 22(6): 84-87.]
- 陈铮, 李辉权. 1994. 南沙群岛西南部陆架区底拖网渔获主要经济鱼类的数量分布特征及主要渔场[J]. 海洋水产研究, (15): 141-151. [Chen Z, Li H Q. 1994. The distribution characteristics and the main fishery areas of the main economic fishes in the bottom of the continental shelf in the southwest of the Nansha Islands[J]. Marine Fisheries Research, (15): 141-151.]
- 高义. 2011. 我国大陆海岸线 30 年时空变化研究[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所. [Gao Y. 2011. Research on spatial and temporal changes of China mainland coastline in the past 30 years[D]. Yantai, China: Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences.]
- 龚剑明, 朱国强, 杨娟, 等. 2014. 面向对象的南海珊瑚礁地貌单元提取[J]. 地球信息科学学报, 16(6): 997-1004. [Gong J M, Zhu G Q, Yang J, et al. 2014. A study on the object-oriented model for geomorphic unit extraction of coral reefs in the South China Sea[J]. Journal of Geo-information Science, 16(6): 997-1004.]
- 龚子同, 张甘霖, 杨飞. 2013. 南海诸岛的土壤及其生态系统特征[J]. 生态环境学报, 22(2): 183-188. [Gong Z T, Zhang G L, Yang F. 2013. Soils and the soil ecosystem in the South China Sea Islands[J]. Ecology and Environmental Sciences, 22(2): 183-188.]
- 关汉明, 钟汝康. 2000. 南沙西南部渔场底层渔业资源的开发利用[J]. 海洋渔业, (3): 115-119. [Guan H M, Zhong R K. 2000. Exploitation and utilization of fishery resources in the southwest of Nansha[J]. Marine Fisheries, (3): 115-119.]
- 郭飞飞, 王韶华, 孙建峰, 等. 2009. 北部湾盆地涠西南凹陷油气成藏条件分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, (3): 93-98. [Guo F F, Wang S H, Sun J F, et al. 2009. Analysis on

- the conditions of petroleum accumulation in Weixinan sag, Beibuwan basin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (3): 93-98.]
- 何家雄, 陈胜红, 马文宏, 等. 2012. 南海东北部珠江口盆地成生演化与油气运聚成藏规律[J]. *中国地质*, 39(1): 106-118. [He J X, Chen S H, Ma W H, et al. 2012. The evolution, migration and accumulation regularity of oil and gas in Zhujiangkou basin, northeastern South China Sea[J]. *Geology in China*, 39(1): 106-118.]
- 纪世建, 周为峰, 王鲁民, 等. 2016. 南海及临近海域黄鳍金枪鱼渔场时空分布与海表温度的关系[J]. *海洋渔业*, 38(1): 9-16. [Ji S J, Zhou W F, Wang L M, et al. 2016. Relationship between temporal-spatial distribution of yellow fin tuna *Thunnus albacares* fishing grounds and sea surface temperature in the South China Sea and adjacent waters[J]. *Marine Fisheries*, 38(1): 9-16.]
- 贾晓平, 李永振, 李纯厚, 等. 2004. 南海专属经济区和大陆架渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社: 329-391. [Jia X P, Li Y Z, Li C H, et al. 2004. Fisheries ecological environment and fishery resources in the exclusive economic zone and continental shelf of the South China Sea [M]. Beijing, China: Science Press: 329-391.]
- 井彦明, 谭世祥. 1996. 海南岛海区(含西沙海域)渔海况速报试验[J]. *海洋技术*, 15(3): 30-42. [Jing Y M, Tan S X. 1996. Test of rapid forecast of fishery hydrographic states in the Hainan Island sea areas[J]. *Ocean Technology*, 15(3): 30-42.]
- 鞠海龙. 2012. 南海渔业资源衰减相关问题研究[J]. *东南亚研究*, (6): 51-55. [Ju H L. 2012. Studies on the decrement of fishery resource in the South China Sea[J]. *Southeast Asian Studies*, (6): 51-55.]
- 李强. 2016. 基于多源数据的南海油气平台检测及油气资源安全态势评价[D]. 兰州: 兰州交通大学. [Li Q. 2016. Oil and gas platforms detection and oil and gas resources security situation evaluation based on multi-source data in the South China Sea[D]. Lanzhou, China: Lanzhou Jiaotong University.]
- 李淑, 余克服. 2007. 珊瑚礁白化研究进展[J]. *生态学报*, 27(5): 2059-2069. [Li S, Yu K F. 2007. Recent development in coral reef bleaching research[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 27(5): 2059-2069.]
- 李永振, 贾晓平, 陈国宝, 等. 2007. 南海珊瑚礁鱼类资源[M]. 海洋出版社: 213-236. [Li Y Z, Jia X P, Chen G B, et al. 2007. Coral reef fish resources in the South China Sea[M]. Beijing: China Ocean Press: 213-236.]
- 李永振, 林昭进, 陈丕茂, 等. 2003. 南沙群岛中北部重要岛礁鱼类资源调查[J]. *水产学报*, 27(4): 315-321. [Li Y Z, Lin Z J, Chen P M, et al. 2003. Survey for coral reef fish resources in the center & north waters of the Nansha Islands[J]. *Journal of Fisheries of China*, 27(4): 315-321.]
- 刘百桥, 孟伟庆, 赵建华, 等. 2015. 中国大陆 1990-2013 年海岸线资源开发利用特征变化[J]. *自然资源学报*, 30(12): 2033-2044. [Liu B Q, Meng W Q, Zhao J H, et al. 2015. Variation of coastline resources utilization in China from 1990 to 2013[J]. *Journal of Natural Resources*, 30(12): 2033-2044.]
- 刘宝银, 王岩峰. 2000. 南沙珊瑚环礁的遥感复合信息熵与类型[J]. *海洋学报*, 22(1): 43-51. [Liu B Y, Wang Y F. 2000. The remote sensing composite information entropy and types of Nansha coral reef atolls[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 22(1): 43-51.]
- 刘海. 2012. 东、西纳土纳盆地石油地质特征及对比研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京). [Liu H. 2012. Contrast and research of petroleum geological characteristics: West and East Natunabasin[D]. Beijing, China: China University of Geosciences(Beijing).]
- 刘振湖. 2005. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J]. *大地构造与成矿学*, 29(3): 410-417. [Liu Z H. 2005. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in southern South China Sea[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 410-417.]
- 莫杰. 2004. 海洋地质学前沿[M]. 北京: 中国海洋出版社. [Mo J. 2004. *Frontiers of marine geology*[M]. Beijing, China: China Ocean Press.]
- 施秋华, 夏斌, 万志峰, 等. 2014. 万安盆地构造沉降与沉积速率及其油气资源前景[J]. *沉积与特提斯地质*, 34(2): 43-46. [Shi Q H, Xia B, Wan Z F, et al. 2014. Tectonic subsidence, sedimentary rates and petroleum resources potential in the Wan'an basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 34(2): 43-46.]
- 苏奋振, 周成虎, 杜云艳, 等. 2002. 3S 空间信息技术在海洋渔业研究与管理中的应用[J]. *上海水产大学学报*, 11(3): 277-282. [Su F Z, Zhou C H, Du Y Y, et al. 2002. Applications of 3S spatial information technology in marine fishery [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 11(3): 277-282.]
- 万剑华, 姚盼盼, 孟俊敏, 等. 2014. 基于 SAR 影像的海上石油平台识别方法研究[J]. *测绘通报*, (1): 56-59. [Wan J H, Yao P P, Meng J M, et al. 2014. Research on detection method of the offshore oil platform based on SAR images [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, (1): 56-59.]
- 万志峰, 夏斌, 何家雄, 等. 2007. 南海北部莺歌海盆地与琼东南盆地油气成藏条件比较研究[J]. *天然气地球科学*, 18(5): 648-652. [Wan Z F, Xia B, He J X, et al. 2007. The comparative study of hydrocarbon accumulation conditions in Yinggehai and Qiongdongnan basins, Northern South China Sea[J]. *Natural Gas Geo Science*, 18(5): 648-652.]
- 王加胜, 刘永学, 李满春, 等. 2013. 基于 ENVISAT ASAR 的海洋钻井平台遥感检测方法: 以越南东南海域为例[J]. *地理研究*, 32(11): 2143-2152. [Wang J S, Liu Y X, Li M



- C, et al. 2013. Drilling platform detection based on ENVISAT ASAR remote sensing data: A case of southeastern Vietnam offshore area[J]. *Geographical Research*, 32(11): 2143-2152.]
- 王建桥, 姚伯初, 万玲, 等. 2005. 南海海域新生代沉积盆地的油气资源[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 25(2): 91-100. [Wang J Q, Yao B C, Wan L, et al. 2005. Characteristics of tectonic dynamics of the Cenozoic sedimentary basins and the petroleum resources in the South China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 25(2): 91-100.]
- 王丽荣, 赵焕庭. 2006. 珊瑚礁生态系统服务及其价值评估[J]. *生态学杂志*, 25(11): 1384-1389. [Wang L R, Zhao H T. 2006. Coral reef ecosystem service and its value evaluation[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 25(11): 1384-1389.]
- 王涛. 2014. 明清以来南海主要渔场的开发(1368-1949)[D]. 上海: 上海交通大学. [Wang T. 2014. The fishing grounds development for the South China Sea since the Ming and Qing Dynasties (1368-1949)[D]. Shanghai, China: Shanghai Jiao tong University.]
- 王雯玥. 2016. 基于灯光遥感的南海渔业生产强度时空分布特征研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所. [Wang W Y. 2016. Spatio-temporal distribution of fishery production intensity in the South China Sea based on the night-time images[D]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences.]
- 邢福武, 吴德邻, 李泽贤, 等. 1993. 西沙群岛植物资源调查[J]. *植物资源与环境*, 2(3): 1-6. [Xing F W, Wu D L, Li Z X, et al. 1993. Investigation of plant resources in Xisha Islands[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2(3): 1-6.]
- 颜云榕, 王峰, 郭晓云, 等. 2014. 基于 3S 集成平台的南海渔业信息动态采集与实时自动分析系统研发[J]. *水产学报*, 38(5): 748-758. [Yan Y R, Wang F, Guo X Y, et al. 2014. Research and development of South China Sea fisheries information dynamic collection and realtime automatic analysis system based on GPS, GIS and RS integration[J]. *Journal of Fisheries of China*, 38(5): 748-758.]
- 杨娟, 苏奋振, 石伟, 等. 2014. 南海珊瑚环礁开放程度模型构建研究[J]. *热带海洋学报*, 33(3): 52-56. [Yang J, Su F Z, Shi W, et al. 2014. Research on building a model of the open type for coral atolls in the South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 33(3): 52-56.]
- 杨明慧, 张厚和, 廖宗宝, 等. 2015. 南海南沙海域主要盆地含油气系统特征[J]. *地学前缘*, 22(3): 48-58. [Yang M H, Zhang H H, Liao Z B, et al. 2015. Petroleum systems of the major sedimentary basins in Nansha sea waters(South China Sea)[J]. *Earth Science Frontiers*, 22(3): 48-58.]
- 姚伯初. 1998. 南海新生代的构造演化与沉积盆地[J]. *南海地质研究*, (10): 1-17. [Yao B C. 1998. The tectonic evolution and sedimentary basins of South China Sea in Cenozoic[J]. *Geological Research of South China Sea*, (10): 1-17.]
- 姚永坚, 吴能友, 夏斌, 等. 2008. 南海南部海域曾母盆地油气地质特征[J]. *中国地质*, 35(3): 503-513. [Yao Y J, Wu N Y, Xia B, et al. 2008. Petroleum geology of the Zengmu basin in the southern South China Sea[J]. *Geology in China*, 35(3): 503-513.]
- 于杰, 李永振. 2007. 海洋渔业遥感技术及其渔场渔情应用进展[J]. *南方水产科学*, 3(1): 62-68. [Yu J, Li Y Z. 2007. Recent progress on remote sensing technology for marine fisheries in China[J]. *South China Fisheries Science*, 3(1): 62-68.]
- 于杰, 王新星, 李永振, 等. 2015. 南海中西部渔场上升流时空变化特征分析[J]. *海洋科学*, 39(6): 104-113. [Yu J, Wang X X, Li Y Z, et al. 2015. Analysis of the upwelling in the fishing ground in midwestern South China Sea[J]. *Marine Sciences*, 39(6): 104-113.]
- 张学敏, 商少平, 张彩云, 等. 2005. 闽南—台湾浅滩渔场海表温度对鲷鲷鱼类群聚资源年际变动的影响初探[J]. *海洋通报*, 24(4): 91-96. [Zhang X M, Shang S P, Zhang C Y, et al. 2005. Potential influence of sea surface temperature on the interannual fluctuation of the catch and the distribution of chub mackerel and round scad in the Minnan-Taiwan bank fishing ground, China[J]. *Marine Science Bulletin*, 24(4): 91-96.]
- 赵美霞, 余克服, 张乔民. 2005. 珊瑚礁区的生物多样性及其生态功能[J]. *生态学报*, 26(1): 186-194. [Zhao M X, Yu K F, Zhang Q M. 2006. Review on coral reefs biodiversity and ecological function[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 26(1): 186-194.]
- 周旻曦, 刘永学, 李满春, 等. 2015. 多目标珊瑚岛礁地貌遥感信息提取方法: 以西沙永乐环礁为例[J]. *地理研究*, 34(4): 677-690. [Zhou M X, Liu Y X, Li M C, et al. 2015. Geomorphologic information extraction for multi-objective coral islands from remotely sensed imagery: A case study for Yongle Atoll, South China Sea[J]. *Geographical Research*, 34(4): 677-690.]
- 周相君. 2014. 1973-2013年广西大陆海岸线遥感变迁分析[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所. [Zhou X J. 2014. Shoreline change analysis of Guangxi mainland based on remote sensing from 1973 to 2013[D]. Qingdao, China: The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration.]
- 周永灿. 2014. 南海渔业资源及其可持续开发利用[C]//北京论坛(2014)文明的和谐与共同繁荣-中国与世界: 传统、现实与未来. 北京: 北京大学、北京市教育委员会、韩国高等教育财团. [Zhou Y C. 2014. Fishery resources in the South China Sea and its sustainable development and utilization [C]//Beijing Forum(2014)-The harmony of civilization and prosperity for all-China and the World: Tradition, Reality and Future. Beijing, China: Peking University, Beijing Municipal Education Commission, Korea Foundation

- for Higher Education.]
- 朱国强, 苏奋振, 张君珏. 2015. 南海周边国家近 20 年海岸线时空变化分析[J]. 海洋通报, 34(5): 481-490. [Zhu G Q, Su F Z, Zhang J J. 2015. Analysis on spatial-temporal changes of the coastline in the countries around the South China Sea in recent two decades[J]. Marine Science Bulletin, 34(5): 481-490.]
- 左秀玲. 2016. 全球变化下南海珊瑚礁遥感监测与未来演变模拟研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所. [Zuo X L. 2016. Remote sensing of coral reefs in the South China Sea and their future evolution under climate change[D]. Beijing, China: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences.]
- Anongponyoskun M, Tharapan S, Doydee P, et al. 2011. Satellite Images for Detection of Coastal Landuse and Coastline Change in MueangPrachuapKhiri Khan District, Thailand during 1987-2009[J]. Witthayasan Kasetsart, 45: 1064-1070.
- Baker A C, Glynn P W, Riegl B. 2008. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 80(4): 435-471.
- Barbier E, Cox M. 2002. Economic and demographic factors affecting mangrove loss in the coastal provinces of Thailand, 1979-1996[J]. Ambio, 31(4): 351-357.
- Brown B E. 1997. Coral bleaching: causes and consequences [J]. Coral Reefs, 16(1): S129-S138.
- Chou L M, Tuan V S, Philreefs Y T, et al. 2002. Status of Southeast Asia Coral Reefs[C]//Status of Coral Reefs of the World. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science, 123-152.
- Darwin C. 1842. The structure and distribution of coral reefs [M]. Tucson, AZ: The University of Arizona Press.
- Glynn P W. 1993. Coral reef bleaching: Ecological perspectives[J]. Coral Reefs, 12(1): 1-17.
- Goreau T J, Hayes R L. 1994. Coral bleaching and ocean "hot spots"[J]. Ambio, 23(3): 176-180.
- Goreau T J, McClanahan T, Hayes R, et al. 2000. Conservation of coral reefs after the 1998 global bleaching event[J]. Conservation Biology, 14(1): 5-15.
- Guest J R, Baird A H, Maynard J A, et al. 2012. Contrasting patterns of coral bleaching susceptibility in 2010 suggest an adaptive response to thermal stress[J]. PLoS One, 7(3): 1-8.
- Hens L, Nierynck E, Van Y T, et al. 2000. Land cover changes in the extended HA long city area, North-Eastern Vietnam during the period 1988- 1998[J]. Environment, Development and Sustainability, 2(3-4): 235-252.
- Hou X Y, Wu T, Hou W, et al. 2016. Characteristics of coastline changes in mainland China since the early 1940s[J]. Science China Earth Sciences, 59(9): 1791-1802.
- Hughes T P, Huang H, Young M A L. 2013. The wicked problem of China's disappearing coral reefs[J]. Conservation Biology, 27(2): 261-269.
- Islam A B M S, Jameel M, Jumaat M Z. 2012. Oil and gas energy potential at Malaysian seabed and Spar platform for deep water installation[J]. International Journal of Green Energy, 9(2): 111-120.
- Lam- Dao N, Pham- Bach V, Nguyen- Thanh M, et al. 2011. Change detection of Land use and riverbank in Mekong Delta, Vietnam using Time Series Remotely Sensed Data [J]. Journal of Resources and Ecology, 2(4): 370-374.
- Lee G H, Lee K, Watkins J S. 2001. Geologic evolution of the Cuu Long and Nam Con Son basins, offshore southern Vietnam, South China Sea[J]. AAPG Bulletin, 85(6): 1055-1082.
- Liu Y X, Sun C, Sun J Q, et al. 2016a. Satellite data lift the veil on offshore platforms in the South China Sea[J]. Scientific Reports, 6: 1-9.
- Liu Y X, Sun C, Yang Y H, et al. 2016b. Automatic extraction of offshore platforms using time-series Landsat-8 Operational Land Imager data[J]. Remote Sensing of Environment, 175: 73-91.
- Masrikat J A N. 2012. Standing stock of demersal fish assessment in southern part of South China Sea[J]. Journal of Coastal Development, 15(3): 276-281.
- McManus J W. 2001. Coral reefs[J]. Encyclopedia of Ocean Sciences, 1: 524-534.
- Morton B, Blackmore G. 2001. South China Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 42(12): 1236-1263.
- Mumby P J, Green E P, Edwards A J, et al. 1997. Coral reef habitat mapping: how much detail can remote sensing provide? [J]. Marine Biology, 130(2): 193-202.
- Nielsen L H, Mathiesen A, Bidstrup T, et al. 1999. Modelling of hydrocarbon generation in the Cenozoic Song Hong Basin, Vietnam: a highly prospective basin[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 17(1): 269-294.
- Pan C M, Ding Q, Cao W Y. 2002. TM image analysis of island reef topography of the Nansha islands[J]. Remote Sensing for Land & Resources, (2): 34-38.
- Phinn S R, Roelfsema C M, Mumby P J. 2012. Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs[J]. International Journal of Remote Sensing, 33(12): 3768-3797.
- Richards D R, Friess D A. 2016. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000-2012[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(2): 344-349.
- Sathirathai S, Barbier E B. 2001. Valuing mangrove conservation in southern Thailand[J]. Contemporary Economic Policy, 19(2): 109-122.



- Son N T, Chen C F, Chang N B, et al. 2015. Mangrove mapping and change detection in Ca Mau Peninsula, Vietnam, using Landsat data and object-based image analysis[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(2): 503-510.
- Szuster B. 2006. Coastal shrimp farming in Thailand: Searching for sustainability[M/OL]//Hoanh C T, Tuong T P, Gowling J W, et al. *Environment and livelihoods in tropical coastal zones: Managing agriculture-fishery-aquaculture conflicts*. <https://www.researchgate.net/publication/266567304>.
- Thampanya U, Vermaat J E, Sinsakul S, et al. 2006. Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand [J]. *Estuarine, coastal and shelf science*, 68(1): 75-85.
- Tingay M R P, Hillis R R, Morley C K, et al. 2009. Present-day stress and neotectonics of Brunei: Implications for petroleum exploration and production[J]. *AAPG Bulletin*, 93(1): 75-100.
- Todd S P, Dunn M E, Barwise A J G. 1997. Characterizing petroleum charge systems in the Tertiary of SE Asia[J]. *Petroleum Geology of Southeast Asia*, 126(1): 25-47.
- Wu T, Hou X, Xu X. 2014. Spatio-temporal characteristics of the mainland coastline utilization degree over the last 70 years in China[J]. *Ocean & Coastal Management*, 98: 150-157.
- Yu K F, Zhao J X, Shi Q, et al. 2006. U-series dating of dead Porites corals in the South China Sea: Evidence for episodic coral mortality over the past two centuries[J]. *Quaternary Geochronology*, 1(2): 129-141.
- Yu K F, Zhao J X, Shi Q, et al. 2012. Recent massive coral mortality events in the South China Sea: Was global warming and ENSO variability responsible?[J]. *Chemical Geology*, 320: 54-65.
- Zuo X L, Su F Z, Wu W Z, et al. 2015. Spatial and temporal variability of thermal stress to China's coral reefs in South China Sea[J]. *Chinese Geographical Science*, 25(2): 159-173.

## A review of geographical information research on resources and environment of the South China Sea region

ZHANG Junjue<sup>1,2,3,4</sup>, SU Fenzhen<sup>1,3\*</sup>, WANG Wenyue<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Collaborative Innovation Center for the South China Sea Studies, Nanjing 210023, China; 4. Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The South China Sea and its coastal zone are one of the most active and high potential areas for economic development in the Asia-Pacific region. Affected by global changes and human activities, the resources and environment in the South China Sea region were changing drastically, imposing new pressures on the society, economy, ecology and environment. This article reviewed related geographical research of coast zone, marine and coral reef resources from the perspective of geospatial information. It examined various current works of remote sensing monitoring on the shoreline, the geographical difference analysis of oil-gas reserves and fishery catch, and remote sensing monitoring on coral reef landform and coral bleaching. This article also discussed the existing research results and shortcomings and analyzed the possible focus of future research based on development trends. The results show that the geospatial research on resources and environment of the South China Sea had made many achievements in the large scale rapid monitoring and geographical differentiation of resources so far. Meanwhile, research on the internal mechanism of resource distribution, as well as the environmental impact of resource development, is insufficient. Studies that can be expected to achieve breakthroughs in the future include: multi-scale analysis of spatiotemporal feature of the region and their effects, differentiation and pattern analysis of inter-regional natural and social development, improvement of dynamic monitoring accuracy and timeliness of the South China Sea resources based on the integration multiple-source data, and the comprehensive effects of marine ecology and environment in the process of resource change.

**Key words:** South China Sea; geographical differentiation; coastal zone resources; marine resources; coral reef