

从“空间”视角看海洋科学综合发展新趋势

冷疏影^{1*}, 朱晟君², 李薇¹, 吴立新^{3*}

1. 国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085;

2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;

3. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室, 青岛 266100

* 联系人, E-mail: lengsy@nsfc.gov.cn; lxwu@ouc.edu.cn

不仅是海洋科学, 空间在地球科学(地学)的研究体系中一直处于核心地位, 其既可作为研究对象, 也可作为分析手段. 空间的概念并不起源于地学, 哲学、物理学和社会学等均按照自身的学科特点对空间进行了定义, 以致其内涵呈现出百家争鸣之态. 哲学是空间概念的源头, 亚里士多德提出的朴素时空观对空间内涵的发展具有开创性意义. 而康德归纳出的绝对空间、相对空间、物质空间与象征空间则是现在各学者研究空间的基本分类原则. 绝对空间意指空间的客观性, 突出空间是客观存在和发生的自然过程的载体. 相对空间则认为空间是参与研究过程的基本要素, 注重空间自身的属性对社会中其他要素的影响以及各要素间的相互作用, 强调空间是社会活动和社会关系的影响因素或产物^[1,2]. 据此, 相对空间虽提及空间的客观性, 但更侧重其社会性, 一方面突出不同地理位置的空间之间的相互作用, 另一方面强调人类和社会赋予的视角, 更多关注空间的社会内涵¹⁾. 绝对空间和相对空间均属物质空间, 而象征空间则表明空间主要是人类意向的产物, 具有不同的象征性意义. 物理学对空间的定义以牛顿、爱因斯坦的观点为代表, 他们的看法分别突出了空间的客观性与社会性. 社会学则以列斐伏尔^[3]、卡斯特尔^[4]、林奇^[5]等人的观点为代表, 对空间的社会性和象征意义进行了拓展与延伸.

地学内部各学科的空间概念受上述影响, 也具有侧重不同的特征, 且部分学科对空间的理解, 随时代发展而不断拓展. 如海洋科学的大部分研究仍属自然科学领域, 将海洋视为绝对空间时, 突出的是海洋作为地球过程载体的各种客观属性, 如物理的、化学的、生物的、地质的属性; 将海洋视为相对空间时, 考虑的是不同地域(垂直空间)海洋的特性及其对其他地域(垂直空间)的影响或者与其他地域(垂直空间)的相互作用. 海洋相对空间特性根植于自然属性, 但更多的是人类赋予的社会属性, 如海洋的资源



冷疏影 国家自然科学基金委员会地球科学部研究员, 中国地理学会第十一届理事会副理事长. 出版专著《地理科学三十年: 从经典到前沿》(中英文版)等.



吴立新 中国科学院院士, 中国海洋大学副校长, 青岛海洋科学与技术试点国家实验室主任、教授、博士生导师. 从事海洋环流和气候变化研究, 领导“透明海洋”等多项重大科技工程.

和环境属性已远远超出自然属性的范畴. 此外, 涉及海洋经济、地缘政治等方面的研究时, 海洋空间的社会属性进一步彰显, 如海岸带对区域可持续发展的作用、特定海洋空间作为一国海洋领土对国家海洋战略布局的意义等. 类似地, 地理学、地质学和大气科学都因分支研究方向的特征而呈现不同侧重点的空间内涵. 地球物理学着重研究地球内部的物理过程, 则整个学科均侧重在空间的客观性.

中国地球科学目前仍处于蓬勃发展阶段, 各分支学科的研究范式和内容均存在较大的拓展可能. 海洋科学的空间, 在借鉴不同学科空间的定义与研究范式基础上, 同样可以进行深化与完善. 本文通过分析中国地学内部各学科

1) 本文中的社会内涵和社会性所指的并非狭义的社会, 而是包含社会中的资源、环境、政治、经济、历史等方方面面的人文视角. 因此, 本文中社会性的定义采取李泽厚(1980)在“客观性”和“社会性”讨论中采用的“社会性”定义法, 特指广义的社会性.

空间的内涵与研究范式, 总结学科差异, 寻求学科间相互贡献的视角, 重点针对海洋科学的空间认知与综合研究提出完善建议。

1 地学各分支学科空间内涵与研究范式

根据教育部学位授予和人才培养学科目录(2018 年 4 月更新), 理学中的地球科学包括地理学、大气科学、海洋科学、地球物理学和地质学共 5 个一级学科。空间是上述每个学科的基础概念之一, 也是诸如地理学、海洋科学等学科研究的核心对象。

如上文所述, 空间的研究主要以绝对空间、相对空间和象征空间进行分类, 每种分类为空间赋予了不同的内涵, 而不同内涵也往往对应差异化的研究范式。地学早期主要应用经验科学研究范式研究绝对空间和相对空间内的客观与社会属性, 基于“所见与所闻”, 结合定量与定性方法, 积累出对空间的感性描绘和一般化特征总结。但这种研究范式存在较大的局限性, 对小尺度、特异化的空间解释力极为有限^[6]。

随着学科发展, 实证科学逐渐成为学者们普遍接受的空间研究范式。该范式的主要特征是通过实际观察或自然实验获取准确的数据, 通过统计学、动力学等方法, 基于定量与定性相结合的思想, 解释空间作用过程的内在机制。实证科学研究范式的定量研究主要针对: (1) 绝对空间, 包括空间的客观组成、分布格局或几何特征等。地质学研究岩石矿物组成、地理学研究地貌形态、海洋科学研究温度盐度和海流等均是针对空间客观性的研究。(2) 相对空间的客观性, 即分析不同地理空间内的客观存在之间的相互联系和相互作用, 如物理海洋学在全球尺度下分析不同大洋环流之间的相互影响时, 空间不仅是自然过程的载体, 同时也是影响机制的作用要素, 使得不同环流的相互作用呈现差异化特征^[7]。实证科学研究范式的定性研究部分则主要用于研究绝对和相对空间的社会性, 突出空间被赋予的社会、政治、军事、经济意义, 如旅游地理学和社会文化地理学在研究人的行为、流动性、空间尺度转换与人地关系过程中, 引入结构主义和人文主义^[8,9], 其中的定性研究往往采用来自于互联网、访谈、问卷、史志等的文本、照片、地图等资料进行分析。

在实证科学研究范式不断发展的基础上, 针对相对空间的自然属性研究, 虽以定量研究为主, 但由于人们认知或解读的视角不同, 对这些自然属性的描述结果差异很大。因此, 这类研究隐含着较强的定性意味在其中, 最典型的则属自然区划研究。气候、地貌、植被、土壤均为地球表层的客观组成, 且具有一定的分布规律, 刻画上述客观组成及其分布的“区划”研究看似完全属于定量研究。事实上, 地表并不存在某一条明确的连续界限, 使得“区划”中的两个区呈现截然不同的自然特征。区划仅仅是一种将过

渡带简化且抽象表达的方式, 因此不同的人划分的结果肯定有差异。同时, 区划的前提是具有某种视角, 如“综合自然区划”、“气候区划”、“农业区划”等分别具有不同的主导思想, 从而也就将同一个中国陆地表层划分出不同系列的区域了。因此, 从绝对空间研究到相对空间研究, 从相对空间中的自然属性研究到自然属性和社会性并存研究, 定量和定性研究正在互补和融合。

进一步地, 定量与定性不仅在方法层面上的界限越来越模糊, 其主要研究对象, 即自然过程和人类活动之间也并非相互独立, 两者实际上具有千丝万缕的联系。基于该思想, 地学提出了系统研究范式^[6], 突出空间内人类活动和自然过程的相互影响, 将空间的客观性和社会性作为整个人地系统的有机组成部分, 赋予其相互作用和相互依赖的特征。该范式同样借助定量与定性的方法, 从系统化的视角研究空间的客观与社会属性。如陆地表层复杂系统的行为特征和演化过程等方面的研究^[10], 综合了海洋生态、经济、政策和社会意义等方面的海洋空间规划研究^[11]等均是系统科学研究范式的应用典范。

针对象征空间的研究, 主要使用阐释性研究范式。阐释性研究范式也是定性研究的一种, 但是, 其不再强调空间的个性化含义, 而是集中分析现实空间在人类意识中的象征意义, 特定的现实空间被人类赋予的特定象征, 以及空间对人类精神世界的反作用等方面^[12]。

在上述基础上, 本章将阐述分析地学各学科当前研究的空间内涵与研究范式, 为后文从学科互补的角度完善海洋科学空间内涵和研究范式打下基础。

1.1 海洋科学的空间——社会性日益凸显

海洋科学是研究海洋的自然现象、变化规律, 及其与大气圈、岩石圈、生物圈的相互作用和开发、利用、保护海洋有关的知识体系^[13]。该学科的主要研究对象是占地球表面 71% 的海洋, 包括海水与其包含的物质、海洋中的生物、海底沉积和岩石圈, 海面上的大气边界层和河口海岸带等。海洋科学通常划分为物理海洋学、海洋化学、海洋生物学和海洋地质学等分支学科。海洋观测仪器的研制、开发与应用也属于海洋科学的任务。此外, 为了满足经济、社会发展需求, 学术界还建立了海洋技术科学、海洋工程学、海洋社会科学等学科, 以深入探讨应用性的问题和涉及海洋立法、管理等方面的问题^[14]。

基于海洋科学的主要研究对象与领域, 可知该学科主流研究属于自然科学范畴, 在涉及空间内涵时, 学者们强调其客观性与自然属性, 即将空间看成海洋中物理、化学、生物、地质等过程的承载容器, 既有绝对空间的海底地貌、海洋沉积与地球系统研究^[15-17]、深海热液生物及生态系统研究^[18,19]、海洋温盐流物理特性和海洋化学特性研究^[20-22], 也有相对空间的海陆相互作用的气候与环境效应研

究^[23~25]、海洋酸化与海洋生物及生态系统研究^[26]、海流、海洋生物与气候变化研究^[27~30]。

针对绝对空间和相对空间自然属性的研究目前基本采用实证研究范式中的定量方法, 但该范式下的定性研究也正在进入相对空间的自然属性研究中。以海洋生态系统可持续发展能力研究为例, 首先应该解构生态系统特征, 这部分研究毫无疑问须采用定量研究。但在评价生态系统可持续发展能力时, 如果运用信息熵构建海洋生态系统可持续发展能力评价模型, 分析各个指标对海洋生态系统可持续发展能力的影响^[31], 则可认为是定量研究; 如果运用生态红线技术框架探讨海洋生态系统保护与生态建设问题^[32], 则已包含很大的定性研究成分。

海洋相对空间研究中, 资源、环境、社会、经济、政治、军事等视角日渐丰富, 表明海洋相对空间的非自然属性研究越来越重要。最具代表性的即是“领海”、“内水”、“内海”、“专属经济区”和“公海”等概念的提出, 将海洋空间作为维护国家领土主权与促进经济发展的要素之一^[33], 突出了国家政治主权。这与福柯的“权力空间”概念, 地理学中的地缘政治研究均有相似之处。在此基础上, 海洋经济和国际海洋政治成为了海洋科学热点的研究领域。

在海洋的非自然属性研究中, 既包含实证研究范式的定量研究, 也包含定性研究。海洋经济地理学者和海洋管理学者针对海洋产业布局、海洋经济类型、海洋经济区域竞争力、海洋经济效率、蓝色经济区、海洋经济与陆域经济协同等开展了大量定量研究^[34~40]。国际海洋政治和公共管理学者则围绕主权国家海上权力、海洋利益和海洋责任、海洋控制、海洋发展和海洋治理等问题开展了大量定性研究^[41~45]。在海洋的非自然属性研究中, 越来越多的问题需要将定量研究和定性研究结合起来才能取得较为有效的研究结论。

海洋政策研究隐含着社会和政治视角, 以政策文件为分析对象, 采用定性研究的较为常见^[46,47]。但同样以政策文件为分析对象, 还可以运用内容分析法和词频分析法, 结合聚类分析、共词分析和多维尺度分析等基本统计方法, 开展海洋环境治理政策变迁的特点及其历史逻辑的定量研究^[48]。

以渔业资源为代表的海洋生物资源研究是自然过程与社会经济过程密切结合的一个方向。如生境对渔业资源的影响研究中, 既可以从物理海洋、海洋生物地球化学循环、生态动力学的角度研究上升流和营养盐对渔场和渔业资源的影响^[49~53], 也可以用遥感和地理信息系统方法及统计分析方法研究生境变化与渔业资源变化的时空关联^[54~56], 还有学者从气候变化、海洋环境污染、人类过渡捕捞对物种灭绝风险及渔业资源衰减方面探讨海洋生态系统综合管理问题^[57,58]。海洋牧场和碳汇渔业是渔业资源研究中近期关注度较高的方面, 其落脚点既在增加渔业资源, 也兼具海洋生态保护和生态设计的重要内容。既可采

用定量方法研究水生生物固碳机制和固碳能力^[59]; 也可以采用定性方法研究碳汇渔业产业创新机制和政策制度安排、海洋水产养殖业的合理产业组织模式等^[60,61]。渔业资源养护和保护制度研究中涉及大量法律研究内容, 以定性研究为主, 也有一些定量研究。如学者们捕捉到渔业资源养护制度安排的社会公平性问题、养护制度是否遵循生态学规律问题, 渔业资源保护制度是否能够有效调节产业结构、制约破坏型作业问题, 渔业资源保护制度是否能平衡各利益主体的关系等^[62~64], 体现了政治、经济、社会 and 生态高度交叉的研究视角。

海洋空间规划体现了运用系统研究范式研究海洋空间的特点。其将城镇和土地空间规划的思想借用到海洋管理中, 将时间发展序列投影在地域空间上, 根据利用形式分析和划分“海洋三维空间”, 以生态系统保护为基础, 构建涵盖社会各主体的多层次规划管理措施, 从而实现生态、社会和经济等不同方面目标, 实现人口、资源、发展和环境的整合^[11,65~67]。海洋空间规划既需要研究政府的一般性管理角色, 也需要研究海洋空间所承载意义的复杂性以及生态系统的完整性^[68]。因海洋空间规划目标的多样性可衍生出多种专项规划, 如水产养殖、自然遗产保护^[69,70]和特殊生态系统保护^[71]等。海洋空间规划还研究不同国家的政府, 乃至一国内政府的经济、环保、法律、行政等多个部门的合作与制约机制^[72~74], 以实现不同利益主体获得规划效益的最大化。由此可以看出, 海洋空间规划展现了海洋科学整体性、宏观性与多层次性的视角, 并且纳入了地理学、生态学、规划科学、管理学、资源和环境科学等诸多学科的研究思想与方法, 极大地提升了海洋空间综合研究的广度和深度。

海洋科学研究与海洋工程技术及开发利用结合得越来越紧密, 体现在对海洋空间的资源利用、海洋环境与工程设施的相互作用、海洋观测与探测体系等多个方面^[75~80]。其中工程技术研究除遵循其自身发展规律外, 越来越多地还需要考虑非技术因素。波浪能等级区划是海浪发电、海水淡化等工程选址的主要依据, 是海洋科学与海洋工程密切相关的重要方向, 同时也体现了相对空间的自然属性与社会属性融通研究的特点^[81]。在考虑资源特征、海洋环境、成本效益的波浪能等级区划方案时, 主要研究相对空间的自然属性, 以系统研究范式的定量研究为主; 如果考虑专家评估、发电成本主导、可利用率主导等不同情况下的波浪能等级区划, 则更多研究的是需求权重, 包含相当多的定性研究成分。海洋工程技术产业结构、产业链、产业政策、产业溢出效应、海洋工程生态补偿等研究则较多采用定性研究, 当然也有定量研究的探索^[82~84]。

如上所述, 海洋科学的起源与主流研究内容仍属自然科学的范畴, 涉及空间内涵时仍强调其客观与自然属性。但随着社会经济发展和技术进步, 海洋空间研究与社会经济和工程技术的相互促进作用开始显现, 以现实需求和基

础科学问题为导引的学科大跨度交叉态势初见端倪。为此,加强海洋相对空间中的自然属性相互作用研究,加强自然属性与社会属性的相互作用研究,加强实证研究与系统研究范式下定量研究和定性研究的优势互补,更好地刻画海洋空间的综合特点,是当前海洋科学发展的重要任务。

1.2 地学其余学科的空间

1.2.1 地理学的空间——客观性、社会性与象征性的结合体

地理学被称为“空间”的科学^[85],其一直将空间作为研究的核心与传统^[86]。其中自然地理学、人文地理学和地理信息科学的空间内涵不尽相同,自然地理学主要突出空间的客观存在与载体作用;人文地理学强调空间作为要素和人类社会认知的产物参与到生产生活之中;地理信息科学以研究空间的客观性为基础,不仅刻画空间构成与其内的自然过程,同时还模拟空间在资源利用与环境保护、经济与社会发展、区域与规划设计等方面的作用。

自然地理学认为空间是由包括地形、气候、植被、土壤、人口等自然要素在内所形成的客观空间。典型的如:“地理空间是指地球表层现象的相关几何范围^[87],包括地球表层的固体地壳圈、液体水圈、气态大气圈、生命生物圈及人类社会圈^[88]”。上述定义的灵感来源于亚里士多德的朴素时空观与牛顿的绝对空间理论,即空间与物质是相互脱离的,空间可以单独存在,与其内是否有物质存在无关。在这种空间认识论下,无论是自然地理环境的空间分异与发展变化特征,如以生态环境差异^[89,90]、气候特征^[91,92]和植被分布^[93]等为标准的地理区划方案;抑或是人文要素的空间特征,如农业景观^[94]和城市景观^[95,96]的空间差异化现象等,都是将一定尺度的客观空间作为承载容器或背景加以讨论的。据此,自然地理学的空间研究范式主要对应实证研究范式的定量研究,空间并未被赋予政治、社会、文化、经济等含义。但是,正如前文对“区划”研究的剖析,在研究空间的客观存在时,研究结果和发现往往受到研究者个人感情和主观视角选择的影响,因此定量研究中隐含着定性研究的意味。

人文地理学的研究涵盖了空间的客观性与社会性。相比于自然地理学对空间客观性的研究,人文地理学者研究空间属性时,在定量实证研究的同时,更加侧重定性研究。如人文地理学者在研究社会经济要素的空间差异时,会引入计量模型等定量研究方法分析其分布格局的影响因素,但解释变量的选择则带有浓厚的定性色彩,需充分考虑背后的制度、经济、社会 and 关系等方面的作用,甚至也与研究者的主观意愿高度相关。典型的研究对象,宏观要素如人口^[97,98]和产业^[99,100],微观要素如银行^[101,102]和跨国公司^[103]等的区位研究。

针对空间的社会性,人文地理学大量引入了社会学者

对空间的定义,着重借助了定性的实证研究范式。典型的有:(1)列斐伏尔的“空间生产”概念,表明空间是作为一个整体而被利用来生产剩余价值的^[3]。在人文地理领域,学者们利用该理念研究了消费^[104]、旅游^[105]、文化景观^[106]等主体的自身特征。(2)福柯的“权力空间”概念,空间是任何权力运作的基础。某种空间形态的持续所指向的是某种权力配置的持续^[107]。在人文地理学研究中,“权力空间”的概念是政治地理学和地缘政治学研究的重要理论基础之一^[108,109]。政治地理学中,典型的研究为城市中的贫民窟^[110]、国际移民区^[111],国际范围内的政治共同体^[112]等空间主体的自身权力特征以及不同主体的相互关系探究。地缘政治学脱胎于政治地理学,主要关注国家地区间基于地理区位和历史地理等因素形成的政治权力联盟内部的相互关系和演变过程^[113]。典型研究领域为大国地缘战略,如中国“一带一路”倡议^[114]、全球地缘格局^[115]、地缘资源经济合作^[116,117]等。(3)卡斯特尔^[118]“流空间”的概念,不必地理相接即可实现共享时间的社会实践的物质组织等。针对流空间概念,人文地理学更加广泛地将其应用到各研究分支中,如城市地理学和经济地理学等,典型案例包括研究信息^[119,120]、贸易^[121]和人力^[122]等在全球范围内的流动。这些空间概念的侧重点各不相同,但核心在于空间从客观存在的容器或背景转变成为具有角色意义的过程要素,并且实现了维度上的超越,从单纯的地点空间转换成为了流动的空间。除直接性的应用以外,哈维^[123,124]、段义孚^[125]和雅各布斯^[126]为代表的地理学家,创造出马克思主义地理学和人本主义地理学的空间观,对列斐伏尔的空间生产概念在地理学方面进行了延伸,研究方法也涉及到了批判性与阐释性研究。

人文地理学与自然地理学虽对空间内涵的研究重点与方法均存在差异,但两个领域的学者也早已开始了交叉研究。而该交叉领域则主要应用系统研究范式来分析空间的客观性与社会性相互作用,投射在地理学中主要对应人地关系的研究,包括人类活动对自然地理过程的影响和重塑,以及地理环境对人类生活形态的重要作用。典型的研究分支包括:人地系统协调共生与耦合优化,认为需要根据环境承载力来控制人类需求,人与自然需要和谐共存^[127];人地系统危机冲突与错位异化,认为人类需求和自然资源存在巨大的差异,人类对自然过程的过分扰动会打破人与自然的相互均衡,从而导致人地关系危机^[128,129];人地关系分形辩证与系统构型,认为地球表层系统中的人文分形景观是人地非线性关系的混沌作用所致、需要以历史辩证唯物主义看待人地关系、从多方位构建人地关系系统理论等^[130]。上述研究中研究方法同样涵盖了定量与定性研究,且将定性理论框架、地理信息科学方法,数学模型模拟等加以灵活应用。并且,在人地关系的探索中也开始涉及批判性研究范式。

除上述以物质形态为基础的空间内涵研究外,地理学

将空间研究进一步拓展到了人类精神领域。以凯文林奇《城市意象》为典型代表,空间的象征意义也在地理学中占有了一席之地。人们对不同地标的主观意象为城市空间赋予了多样化的意义,也驱使地理学的空间研究不仅局限在物质空间,而且拓展到了象征空间。阐释性研究为该领域主要采用的研究方法。

地理信息科学(Geographical Information Science)源于“空间数据处理”(Spatial Data Handling)但又不止于空间数据处理,它包含对地理信息处理、存贮、提取以及管理和分析过程中所提出的一系列基本理论和技术问题,甚至地理信息服务^[131]。与之密切相关的概念还包括地球信息科学(Geoinformatics, Geo-information Science)和地球空间信息科学(Geo-spatial Information Science, Geomatics)^[132,133]。地理信息科学研究同时面对空间的客观性与社会性。地理信息从发生到表达的过程多与空间的客观性相关,如通过不同的模型与算法提取地理空间信息^[134,135],构建虚拟地理环境^[136]。在信息提取、数据管理分析及可视化过程中虽主要依靠定量方法,但仍有定性成分参与其中,如人为设置空间属性的识别阈值、关于特定空间内地质或地理现象的目视解译,如监督分类划分土地类型等。地理信息的应用既强调不同的地理空间对人类生产生活的影响^[137,138],也重视地理空间知识服务^[139]。地球大数据研究是地理信息科学与大数据科学的交叉领域,如数字地球系统通过庞大的地球与空间相关数据,对复杂地学过程与社会经济现象进行可重构的系统仿真与决策支持^[140];地理空间与人类行为过程的大数据研究则通过设计不同的模型将空间与行为数据进行整合,从而研究上述两个主体自身特征与交互作用^[141]。同时,地理信息科学正在将地理信息的定义,即“空间+属性”框架进行扩展,以更好地实现对地理现象空间分布、时空格局、演化过程、相互作用机理的集成表达、系统分析和高效管理^[142]。由此可见,地理信息科学实现了将实证研究与系统研究两个范式中定性和定量研究方法的相互结合,将空间与时间的刻画同步考虑,更好地认知和模拟了人地系统。

1.2.2 大气科学、地质学和地球物理学的空间——客观性为主,社会性为辅

大气科学的主要研究内容,不仅包括研究大气状态及其变化规律和成因,而且涵盖了探究大气与其周围的海洋、陆面、冰雪和生物圈相互作用的动力、物理和化学过程^[143]。大气科学关注的研究对象仍以特定空间范围内的自然现象与过程为主,其对空间的定义同样突出其容器与背景的客观属性,但大气遥相关的研究则更多关注了相对空间属性。大气空间与人类生存息息相关,体现在人类对于天气变化(天气预报服务)、大气环境(灰霾等)、灾害性天气(热带气旋等)等的密切关注。脱胎于大气科学的全球气候变化研究,甚至已经超越科学问题而在一定程度上演化为社会与政治问题^[144]。大气科学空间的研究范式仍然以

实证研究范式的定量研究占据主导地位,对天气和气候现象的分布格局与变化过程进行分析^[145~148]。实证研究范式的定性研究也用于大气污染与大气环境治理绩效方面^[149]。值得一提的是,在利用实证研究范式定量研究大气空间的客观性时,由于低层大气与上层海洋空间息息相关,大部分研究均需考虑二者的耦合性,不可分裂开来进行研究。

地质学主要研究地球的物质组成、内部构造、外部特征、各层圈之间的相互作用和演变历史,是研究地球起源及其演变的一门自然科学。地质学的研究对象以岩石圈为主,也涉及水圈、大气圈、生物圈和岩石圈下更深的部位,以及其他行星和卫星^[14]。空间的概念,对地质学来说,主要是地质过程的载体和容器。随着社会经济的不断发展,人类活动对地球的影响越来越大,地质环境对人类的制约作用也越来越明显,地质学的空间也就不再单纯地作为背景和容器,而是参与到人类的生产生活之中,其社会性得以显现,如能源和矿产资源研究以及地质灾害研究。以地质灾害的空间分异与应对方法研究为例,不同空间位置的地质灾害过程对人类活动的影响存在显著差异,在人类活动密集区的地质灾害可能造成难以想象的后果^[150,151]。在此前提下,空间即被赋予了社会与经济层面的意义,采用实证研究范式定性研究方法是一种重要手段。地质学的空间研究目前仍以自然属性研究占主导,这种趋势从国内核心地质学研究期刊所发表的重要成果中可以证实。无论是大地构造研究、岩石矿物学研究,还是古生物与沉积地层学研究,现有研究多集中在对地质空间进行分析,探讨地质空间构成与地质现象的发生机制^[152~154]。

地球物理学是研究地球整体和其组成部分(大气圈、水圈、地壳及其以下各部分)的性质、状态、结构和其中所发生的各种物理过程的学科。地球物理学根据物理学的基本原理,利用地球物理观测仪器,观测各种地球物理场,采用地球物理正演和反演技术,揭示地球内部深不可及物质的物理性质和物理参数^[14]。由其定义可知,该学科研究对象基本聚焦在空间的客观与自然属性。学者们针对地球内部的圈层结构和物理过程、板块构造与驱动力、全球地学断面(GGT)、地震波动理论与计算方法、深部地温和大地热流、资源与能源的地球物理勘探等方面做出了大量的研究^[155~160]。在地球物理学研究领域内,空间的社会性极少被提及,整个学科主要聚焦在空间的客观性。

1.2.3 地学各分支学科空间内涵与研究范式小结

海洋科学发展初期以绝对空间论为主要研究基础,将空间作为海洋地质、生物、化学、物理等地球过程的载体进行客观性研究。但同时,不同地域(垂直空间)海洋特性差异巨大且与人类生存发展关系日益密切,因此海洋相对空间研究正变得越来越重要,相对空间中自然属性之间、社会属性之间的相互作用已被广泛涉猎,自然与社会属性之间的相互作用正在受到关注。

地理学一直以来将空间作为研究基础与核心概念,其

空间内涵发展最为丰富多样,空间的性质涵盖了客观性、社会性与象征性,既是地球过程在陆地空间的作用场所或容器,其自身对人类生活也具有政治、社会与经济意义,同时也与人类精神世界相连,在特定环境下具有了特定的象征意义.空间的研究范式也囊括了实证与系统研究范式下的定量、定性研究,以及阐释性研究范式.大气科学和地质学仍以客观性的空间内涵研究为主,但空间内涵在某些方面正孕育着拓展.而地球物理学总体上空间内涵相对专一于客观性(表 1).

综合其余学科空间研究的进展来看,海洋空间概念已经涵盖了客观性和社会性两个方面,但象征意义仍属待研究的领域;研究范式虽仍以实证与系统研究范式下的定量研究为主,但对应的定性研究将具有一定的发展空间.

无论是地理学、海洋科学,抑或是地学其余学科,空间及其研究范式之间应用的界线越来越模糊.为了解释空间的客观性或社会性,往往需要定量研究与定性研究相互交叉配合.如上文提到的地理学中人文地理学对空间客观性的研究、人地关系研究、海洋科学中海洋规划研究等.因此,在研究不同的空间属性时,地学各学科都应根据具体的研究问题和背景,全面、合理地选择研究范式与研究方法,从而得到系统且深入的研究成果.

2 推动海洋空间综合认知的初步思考

海洋科学结合了空间的客观性和社会性:一方面,海洋科学强调空间是地球过程(如物理、化学、生物、地质过程)的载体,客观性是学科基础;另一方面,该学科的研究对象——海洋空间,内含丰富的资源、环境、政治、经济和社会意义,社会性日益增强.从当前海洋研究的特点看,绝对空间研究和相对空间研究并存,相对空间内要素的相互作用研究日益加强,海洋科学与海洋工程技术和海洋空间开发利用结合得越来越紧密,海洋研究包容科学、社会与技术等多种特点已成为必须接纳的现实.但是,目前对于海洋研究的多种特点仍重视不足,海洋空间综合认知程度还不高.因此,亟待丰富和完善海洋空间内涵,加强学科交叉,吸纳不同研究范式,促进海洋空间研究的系统性,

提升海洋空间综合认知水平.主要体现在以下几个方面:

(1) 加强海洋时空观测能力.海洋科学本质上是一门以观测为基础的科学.而由于海洋环境的复杂性、观测手段的独特性以及考察船运行费用昂贵等困难,观测资料缺乏一直是制约海洋科学发展的重要瓶颈.现代海洋学大体经历了 3 个观测平台.20 世纪中晚期之前,以船基、岸基的观测为主要手段,被称为“采样不足的世纪”.其后遥感技术的发展为海洋提供了太空观测平台,锚系与浮标则提供了在海洋内部的连续观测.其中尤其值得一提的是 Argo 剖面浮标.国际 Argo 计划已在全球多个海域投放了约 1.5 万个自动剖面浮标,可提供 2000 m 以上的海温、盐度等资料^[161].而海洋观测最严峻的挑战来自深海空间.深海空间研究在世界范围内均处于初级阶段,整体上是海洋观测的盲区.海底观测网因而成为第三个海洋观测平台.海底观测网以光电缆传送能量和信息,连接传感器和分析设备,相当于将观测站和实验室建在海底^[162].深海空间不仅作为深部地球过程的载体,同时也是极端环境下生物资源、能源和矿产资源赋存区域.在深海观测探测技术的支持下,研究地球深部动力过程及物质能量迁移转化,研究资源短缺甚至枯竭情景下深海资源储备及其开发利用潜力,对从根本上认知地球演化规律及人类社会命运将具有重要意义.

(2) 加强海洋的气候效应研究.海洋作为地球圈层中热量、能量、水、碳等的巨大储库,在气候系统充当减震器的角色.如果没有海洋对热量和碳的吸收,那么工业革命以来的全球气候变化将远比目前的情况剧烈得多.近期工作进一步指出,几乎所有时空尺度的海洋过程,包括以往被忽视的海洋潮汐、海洋内部混合过程等,都与气候变化有密切关联.古气候研究也指出,大洋经圈环流在冰期气候突变过程中出现了截然不同的平衡态.而与海洋对气候系统的重要性不相称的是,目前对于海洋内部过程、海洋与其他圈层(尤其是大气圈层)相互作用的研究仍是碎片化和不完备的^[163].

(3) 加强陆海统筹研究.海洋既是全球共享的开放空间,也是国家陆域国土的延伸.海洋资源开发利用不仅带动海洋工程技术进步、海洋资源相关产业布局调整,也将关联国际海洋资源立法、国际贸易和全球环境治理政策.海上权力、海洋控制、海上军事活动在很大程度上则反映出国家安全需求和国家全球战略布局.海岸带是国家陆域国土内对外开放程度较高、经济较为活跃、人口和经济总量较为集中的地区,同时也是全球变化影响最敏感、海洋环境保护最艰巨、灾害风险等级最高的区域之一.因此,陆海统筹研究就是要全面研究海洋经济、政治、资源、生态、环境及社会要素之间的相互作用关系,为区域可持续发展和国家全球战略架起科学与决策的桥梁.

(4) 科学与技术融合共同促进海洋开发利用.海洋空间综合认知能力的提高依赖于技术进步.海洋空间研究的

表 1 地学各学科空间内涵性质划分

Figure 1 Connotations of space of respective disciplines in Earth sciences

学科名称	空间内涵性质	各性质研究比较
地理学	客观性、社会性与象征性	客观性=社会性>象征性
海洋科学	客观性与社会性	客观性>社会性(两者接近)
大气科学	客观性与社会性	客观性>社会性(两者接近)
地质学	客观性与社会性	客观性>社会性(较为显著)
地球物理学	客观性	

需求必将拉动技术创新。技术创新和科学认知共同促进海洋开发利用。深海资源蕴含巨大开发潜力,海底油气资源、可燃冰资源、多金属结核和富钴锰结壳资源等均可作为未来能源的重要来源。到目前为止,深海能源开采仍局限于少数发达国家主导的少数地区,且除了油气资源,其余资源仍基本处于未开发状态甚至未认知状态。深海资源开发的难度不仅是因为一国主权海域之中可能并无深海资源储备,而且主要是由于探测、开采技术与成本的要求非常高,从而使得诸多国家均难以在当下实现深海资源开采与管理。深海探测技术发展必将加深对地球深部过程的认知,促进深海能源资源形成演化与开发利用研究,并与海洋产业布局、陆海统筹规划、海洋权益保护以及全球海洋(空间)治理战略研究紧密结合。

中国深水资源探测技术已经实现了长足发展,以“蛟龙”号载人潜水器、“海龙”号无人有缆潜水器和“潜龙”号无人无缆潜水器组成的体系,成为深海资源“深潜”探测的主力军,深海装备产业水平不断提高。青岛海洋科学与技术国家实验室自主研发的无人无缆自主观测与探测装备“海燕-10000 m”水下滑翔机下潜 8213 m,极大助力我国海洋国土安全维护。该实验室主导实施的“透明海洋”计划已取得成效,在“世界第四极——马里亚纳海沟”构建起全球第一个马里亚纳海沟海洋科学综合观测网,并成功回收了世界首套万米综合潜标。2017年,由同济大学牵头、建设周期为5年的国家重大科技基础设施“国家海底科学观测网”正式立项。该观测网侧重于生态环境和海洋灾害观测,建成后将为深入认识东海和南海海洋环境的演变规律和变化机理提供优质的长期连续观测数据和原位科学实验平台。2018年,中国将加快设计和建造全球第3条大洋钻探船“梦想号”,并计划于2021下水。“梦想号”将带着中国思想和中国方案,汇聚中国地球科学界力量,为构筑新世纪地球系统科学研究平台,实现人类探索地幔的梦想,同时为深海新资源勘探开发、环境预测和防震减灾等目标作出中国贡献。

但是,总体上,我国深海远洋探测能力还很薄弱,极大制约了对海洋垂直空间和广阔大洋的认知和利用。因此,亟待加强海洋科学与观测探测技术的高度融合,以科学问题拉动技术创新需求,以技术突破深化科学研究水平。技术要素的融入既包括现有学科所产生的技术,如广泛吸纳地球物理学及其地球探测技术研究深海大洋问题,也包括开发研制新技术,如广泛吸纳机械、电子、信息、材料、化学、生物等领域科学家参与深海大洋观测、探测、信息传输、探测平台支撑与维护等方面的技术研发。

(5) 探索海洋空间的象征意义。目前海洋空间的演进极少与人类的精神世界相连,进而未能赋予海洋空间以象征意义。在海洋空间的发展过程中,同样可以对其赋予象征性的含义,将海洋空间由物质研究领域拓展到精神研究领域。凯文林奇可以将城市中的空间赋予不同的象征意义,

而不同的海洋空间也可以具有差异化的精神含义。不同地理位置的海洋对不同区域的人类具有怎样的自然、经济与文化属性;而固定位置的海洋空间在不同群体的人类眼中又具有怎样差异化的精神象征。虽然人并不直接生活在海洋空间内,但相比于地质空间的隔绝与大气空间的虚无,海洋是除陆地外与人类联系最紧密的空间,除了现实主义驱动下的研究外,挖掘海洋空间的精神能量也是其完善的一个重要方向。

3 以国家战略引领中国海洋科学发展

地学是以自然科学研究方法论为主导的学科,其根据不同的研究方向将空间的客观与自然属性呈现到了技术可支持的极限水平。但随着学科与社会的不断发展,地学空间的社会属性不断显现,其内各学科也不同程度地关注到了该现象。空间客观性转向社会性的研究主要基于人地关系探索的视角。此时,若仅关注自然变化过程,而无法将其与人类社会紧密结合,将最终限制学科的发展前景。在空间属性扩展的基础上,其对应的研究范式也必将多样化,以提高从资源、环境、经济、政治、社会、文化、军事等方面综合刻画空间与人类相互作用的能力,深化对空间属性的探讨,最终完善以人类为核心的空间研究。

海洋科学具有空间客观与社会属性充分结合研究的特点,不仅着眼于海洋空间中的地球过程,同时关注了海洋空间的社会属性及其与人类活动的相互影响。但不可忽视的是,其客观性、社会性及二者的结合均有待进一步完善。最突出的体现在深海空间的探测与开发,将海洋空间研究在垂直尺度进一步深化,提升客观性研究的同时,引出空间背后更深刻的社会、政治、经济、资源、环境含义。除此之外,海洋空间的象征意义也是可以尝试发掘的新领域,将海洋空间的研究挣脱物质尺度的束缚,引入精神尺度中,为其赋予已有研究未曾涉及的全新意义。当然,海洋的气候效应研究、陆海统筹研究、海洋科学与技术融合促进海洋开发利用研究等也是完善海洋空间客观性研究,实现客观性向社会性研究转变的重要方向。

“当前,世界各国纷纷把目光聚焦海洋,我国海洋科技发展既面临赶超跨越的难得历史机遇,也面临差距进一步被拉大的风险”^[164]。长期以来,美国、法国、俄罗斯、英国、日本、澳大利亚等国在内的著名海洋研究机构一直引领着国际海洋科学与技术的发展趋势。近年来自然与社会结合的海洋科学研究产生了一些重要国际成果,如人类活动尤其是海洋渔业对海洋空间的影响^[165-167]和海洋空间变化对人类经济生活与政策制定的作用^[168,169]等。Woods Hole 研究所还设立了海岸研究和海洋政策研究两大研究中心,承担美国国家战略与国际合作计划的研究与制定。另一方面,自21世纪初以来,由上述国家的科学家主导的全球实时海洋观测计划(Argo)和综合大洋钻探计划(IODP)

极大推动了海洋科学与技术的融合,提升了对深海空间和开阔大洋的观测探测能力及综合认知水平. IODP 2013~2023 提出的 14 个重点挑战中,既有冰原与海平面对气候变暖的响应机制等以海洋空间客观性为基础的研究,也包括生态系统和人类社会对环境变化的敏感程度等以海洋空间的社会性为基础的研究. 且该计划强调需要将成果普及至公众,从而用于政策制定和工业生产. 我国海洋科学有幸抓住了发展的重要机遇期,积极参与上述国际计划且显示度正在提高. 在国际大洋钻探 2017 年论坛上,中国方面建议由中国牵头共同讨论 2023 年以后大洋钻探新阶段的科学计划“IODP beyond 2023”,得到会议的支持^[170]. 到 2018 年 5 月,中国 Argo 计划已在太平洋、印度洋、南大洋和地中海等海域布放了 416 个剖面浮标,约占全球 Argo 浮标数量的 2.5%^[161]. 虽然已成为国际 Argo 计划的重要组成部分,但必须认识到,中国布放的浮标数量远远落后于美国、澳大利亚、法国和日本等国家. 目前,国际 Argo 计划正由“核心 Argo”向“全球 Argo”拓展,并相继形成了“BGC-Argo”(生物地球化学 Argo)、“DEEP-Argo”(深海 Argo)等子计划,我国应以此为契机,积极推进南海等区域海洋观测网建设,力争早日建成覆盖“海上丝绸之路”的区域 Argo 海洋观测网^[171].

鉴于上述挑战和机遇,我国突出了以海洋科学等为代表的基础研究对国家创新进程的重要性. 2018 年颁布的《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见》指出,世界主要发达国家普遍强化基础研究战略部署,全球科技竞争不断向基础研究前移. 为了不断增强海洋科学服务国家重大需求的能力,必须加强顶层设计,全面提升海洋科学的战略地位,在人才培养体系、研究基地与平台建设、大科学计划和大科学工程设计、科学基金资助格局等方面全面营造和完善海洋科学发展氛围.

成立国家海洋发展战略咨询专家组,加强全球及区域海洋科技发展战略研究,顶层设计中国海洋科技跨越式发展路径,从“关心海洋、认识海洋、经略海洋”等方面推进建设海洋强国的战略布局,为构建人类命运共同体作出中

国海洋科学的应有贡献.

大力宣传海洋空间认知的综合性、复杂性和战略意义,引导从地球科学、资源环境科学、工程技术科学、人文社会科学等多个视角和学科方向加强海洋科学学科体系建设;在地球科学内部,以加强海洋空间与大气空间、深部固体空间的相互作用为突破口,推动学科交叉研究. 通过综合引导,培养具有综合知识结构和认知能力的海洋教育、研究、应用与决策咨询的高素质人才.

进一步总结和深化国家实验室的带动作用,加大对海洋科学研究平台的支持力度,探索军民融合研究、高校联合研究、省部及地方联合研究平台的建设,充分发挥前国家海洋局研究机构及国家测绘地理信息局涉海研究机构的积累,构建多层次的包含全球及区域海洋研究、观测探测工程、信息储备分析、应急与决策咨询全链条的综合研究平台.

高度重视远洋深海的重要资源能源、环境效应和生命过程研究,发展远洋深海观测探测技术,积极参与并争取主导国际海洋大科学计划;进一步突出近海及海岸带的区域特色,将国家权益与国土安全、陆海统筹、经济发展、生态文明与防灾减灾研究融合并聚焦于近海及海岸带可持续发展与空间规划研究. 统筹远海和近海,以大科学工程促进海洋科学与技术能力的全面提升.

完善科学基金资助格局,拓展学科交叉研究队伍,引领海洋空间综合认知的发展方向,将地球科学对海洋过程的研究视角与资源环境科学对海洋效应的研究视角紧密结合,促进海洋科学对地球过程的深入理解和对海洋空间综合认知水平的提高. 将海洋物理过程、海洋化学过程、海洋生物和生态过程以及海洋地质过程研究与气候变化、海洋环境保护、深海能源资源形成演化与利用、海洋生物资源形成演化与利用、海岸带与海岛可持续发展、海洋经济政治与全球(空间)治理战略研究融合发展,并着力加强海洋遥感与资源环境信息系统研究、深海大洋观测与探测技术研究,继续为科学基金海洋研究项目提供稳定、可靠的坚实保障,推动海洋科学调查资料和数据共享.

致谢 感谢北京大学贺灿飞教授、国家海洋局第二海洋研究所柴扉研究员、厦门大学焦念志院士对本文思路的启发及成文的建议.

推荐阅读文献

- 1 Li Z H. Objectivity and sociality of beauty—Li Zehou. Collected Papers of Beauty (in Chinese). Shanghai: Shanghai Wenyi Press, 1980 [李泽厚. 美的客观性和社会性——李泽厚. 美学论集. 上海: 上海文艺出版社, 1980]
- 2 Lin J R. On the sociality of space: An inquiry of a theoretical topic (in Chinese). Open Times, 2015, (6): 135–144, 8 [林聚任. 论空间的社会性——一个理论议题的探讨. 开放时代, 2015, (6): 135–144, 8]
- 3 Bao Y M. Modernity and Space Production (in Chinese). Shanghai: Shanghai Educational Publishing House, 2003 [包亚明. 现代性与空间的生产. 上海: 上海教育出版社, 2003]
- 4 Castells M. The Informational City: Information Technology, Economic Restructuring, and the Urban-Regional Process. Oxford: Blackwell, 1989

- 5 Lynch K. The Image of the City (in Chinese). Beijing: Huaxia Publishing House, 2001 [凯文·林奇. 城市意象. 北京: 华夏出版社, 2001]
- 6 Song C Q. On paradigms of geographical research (in Chinese). Prog Geogr, 2016, 35: 1–3 [宋长青. 地理学研究范式的思考. 地理科学进展, 2016, 35: 1–3]
- 7 Wu L X, Liu F Y, Hu D X, et al. Variability of the subtropical gyre in North Pacific and its impacts on dynamic environment of China marginal seas (in Chinese). Adv Earth Sci, 2017, 22: 1224–1230 [吴立新, 刘秦玉, 胡敦欣, 等. 北太平洋副热带环流变异及其对我国近海动力环境的影响. 地球科学进展, 2017, 22: 1224–1230]
- 8 Bao J G, Zhang J, Xu H G, et al. Tourism geography in China: Between hometown and alien land (in Chinese). Geogr Res, 2017, 36: 803–823 [保继刚, 张捷, 徐红罡, 等. 中国旅游地理研究: 在他乡与故乡之间. 地理研究, 2017, 36: 803–823]
- 9 Zhong H, Guo J W G, Wu W. The development and research characteristics of international social and cultural geography: Toward a quantitative analysis of published articles in Social & Cultural Geography (in Chinese). Geogr Res, 2017, 36: 1981–1996 [朱竝, 郭隽万果, 吴伟. 国际社会文化地理学研究发展与启示——基于 Social and Cultural Geography 论文统计分析. 地理研究, 2017, 36: 1981–1996]
- 10 Li S C. Research Paradigms of Physical Geography (in Chinese). Beijing: Science China Press, 2013 [李双成. 自然地理学研究范式. 北京: 科学出版社, 2013]
- 11 Williams R H. European Union Spatial Policy and Planning. New York: SAGE Publishing, 1996
- 12 Zhang J, Yan B J, Zhang H L, et al. Multiple paradigms of space humanities (in Chinese). Cult Stud, 2016, (4): 72–85 [张捷, 颜丙金, 张宏磊, 等. 走向多范式的空间综合人文. 文化研究, 2016, (4): 72–85]
- 13 China Association for Science and Technology, Chinese Society for Oceanography. Report on Advances in Ocean Science: 2007–2008 (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 2008 [中国科学技术协会, 中国海洋学会. 海洋科学学科发展报告: 2007–2008. 北京: 中国科学技术出版社, 2008]
- 14 National Natural Science Foundation of China, Chinese Academy of Sciences. Development Strategies of Disciplines in China in 10 Years: Marine Science (in Chinese). Beijing: Science China Press, 2012 [国家自然科学基金委员会, 中国科学院. 未来 10 年中国学科发展战略: 海洋科学. 北京: 科学出版社, 2012]
- 15 Wang P X. Deep sea sediments and earth system (in Chinese). Mar Geol Quat Geol, 2009, (4): 1–11 [汪品先. 深海沉积与地球系统. 海洋地质与第四纪地质, 2009, (4): 1–11]
- 16 Li J B, Ding W W, Wu Z Y, et al. Origin of the east China sea (in Chinese). Sci Sin Terrea, 2017, 47: 406–411 [李家彪, 丁巍伟, 吴自银, 等. 东海的来历. 中国科学: 地球科学, 2017, 47: 406–411]
- 17 Gao S. Discover more information from sedimentary records: Views based on contemporary earth surface dynamic processes (in Chinese). Acta Sed Sin, 2017, 35: 918–925 [高抒. 沉积记录研究的现代过程视角. 沉积学报, 2017, 35: 918–925]
- 18 Zhang L, Qin Y S. The characteristic of deep sea hydrothermal ecosystem and their impact on the extreme microorganism (in Chinese). Adv Earth Sci, 2017, 32: 696–706 [张亮, 秦蕴珊. 深海热液生态系统特征及其对极端微生物的影响. 地球科学进展, 2017, 32: 696–706]
- 19 Zhao W Y, Xiao X. Life in a multi-extreme environment: Thermococcales living in deepsea hydrothermal vents (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2017, 47: 470–481 [赵维旻, 肖湘. 多重极端环境中的生命: 深海热液中的超嗜热古菌 Thermococcales. 中国科学: 生命科学, 2017, 47: 470–481]
- 20 Chen D K, Su J L. Initial research on waves on continental shelves along China (in Chinese). Acta Oceanol Sin, 1987, 9: 1–15 [陈大可, 苏纪兰. 中国沿岸陆架波的初步研究. 海洋学报, 1987, 9: 1–15]
- 21 Dai M H, Wei J F, Zhai W D. An overview on the study of carbon biogeochemistry on the South China Sea (in Chinese). J Xiamen Univ, 2001, 40: 545–551 [戴民汉, 魏俊峰, 翟惟东. 南海碳的生物地球化学研究进展. 厦门大学学报, 2001, 40: 545–551]
- 22 Wang D X, Liu Q Y, Xie Q, et al. Progress of regional oceanography study associated with western boundary current in the South China Sea (in Chinese). Chin Sci Bull, 2013, 58: 1277–1288 [王东晓, 刘钦燕, 谢强, 等. 与南海西边界流有关的区域海洋学进展. 科学通报, 2013, 58: 1277–1288]
- 23 Wang P X. Global monsoon in a geological perspective (in Chinese). Chin Sci Bull, 2009, 54: 535–556 [汪品先. 全球季风的地质演变. 科学通报, 2009, 54: 535–556]
- 24 Zhang J. On the critical issues of land-ocean interactions in coastal zones (in Chinese). Chin Sci Bull, 2011, 56: 1956–1966 [张经. 关于陆-海相互作用的若干问题. 科学通报, 2011, 56: 1956–1966]
- 25 Qiao F L, Wang G S, Zhao W, et al. Predicting the spread of nuclear radiation from the damaged Fukushima Nuclear Power Plant (in Chinese). Chin Sci Bull, 2011, 56: 887–894 [乔方利, 王关锁, 赵伟, 等. 2011 年 3 月日本福岛核泄漏物质运输扩散路径的情景模拟和预测. 科学通报, 2011, 56: 887–894]
- 26 Tang Q S, Chen Z D, Yu K F, et al. The effects of ocean acidification on marine organisms and ecosystem (in Chinese). Chin Sci Bull, 2013, 58: 1307–1314 [唐启升, 陈镇东, 余克服, 等. 海洋酸化及其与海洋生物及生态系统的关系. 科学通报, 2013, 58: 1307–1314]

- 27 Wang F, Hu D X, Mu M, et al. Structure, variations and climatic impacts of ocean circulation and the warm pool in the tropical Pacific Ocean (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2012, 27: 595–602 [王凡, 胡敦欣, 穆穆, 等. 热带太平洋海洋环流与暖池的结构特征、变异机理和气候效应. *地球科学进展*, 2012, 27: 595–602]
- 28 Yuan D L, Zhou H, Wang Z, et al. The multi-scale variability of the ocean circulation at the Pacific entrance of the Indonesian through flow and its scientific importance (in Chinese). *Ocean Lim Sin*, 2017, (6): 1156–1168 [袁东亮, 周慧, 王铮, 等. 印尼贯穿流源区环流的多尺度变异及其科学重要性. *海洋与湖沼*, 2017, (6): 1156–1168]
- 29 Jiao N Z. Carbon fixation and sequestration in the ocean, with special reference to the microbial carbon pump (in Chinese). *Sci Sin Terrae*, 2012, 42: 1473–1486 [焦念志. 海洋固碳与储碳——并论微生物在其中的重要作用. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42: 1473–1486]
- 30 Jiao N Z, Li C, Wang X X. Response and feedback of marine carbon sink to climate change (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2016, 31: 668–681 [焦念志, 李超, 王晓雪. 海洋碳汇对气候变化的响应与反馈. *地球科学进展*, 2016, 31: 668–681]
- 31 Di Q B, Han Y X. Sustainable development ability of China's marine ecosystem in the perspective of entropy (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 2014, 34: 664–671 [狄乾斌, 韩雨汐. 熵视角下的中国海洋生态系统可持续发展能力分析. *地理科学*, 2014, 34: 664–671]
- 32 Huang W, Zeng J N, Chen Q Z, et al. Preliminary research on the zoning method of the marine ecological red line: A case study of Hainan Province (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2016, 36: 268–276 [黄伟, 曾江宁, 陈全震, 等. 海洋生态红线区划——以海南省为例. *生态学报*, 2016, 36: 268–276]
- 33 Shao J. *International Law* (in Chinese). 4th ed. Beijing: Peking University Press, 2011 [邵津. 国际法. 第4版. 北京: 北京大学出版社, 2011]
- 34 Jiang B G, Han L M. Strategies for building the Blue Shandong Peninsula Economic Zone (in Chinese). *J Shandong Univ*, 2009, (5): 92–96 [姜秉国, 韩立民. 山东半岛蓝色经济区发展战略分析. *山东大学学报*, 2009, (5): 92–96]
- 35 Han Z L, Wang M J, Zhang X X. Changes of regional differences and zonal centralizations of marine industry in China in the 1990s (in Chinese). *Geogr Res*, 2003, 22: 289–296 [韩增林, 王茂军, 张学霞. 中国海洋产业发展的地区差距变动及空间集聚分析. *地理研究*, 2003, 22: 289–296]
- 36 Han Z L, Hu W, Zhong J Q, et al. Sustainable development of marine eco-economics based on an emergy analysis in China (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2017, 37: 2563–2574 [韩增林, 胡伟, 钟敬秋, 等. 基于能值分析的中国海洋生态经济可持续发展评价. *生态学报*, 2017, 37: 2563–2574]
- 37 Zhang Y G, Wei D L, Wang G L, et al. Analysis of interprovincial space difference in marine economy and the building of marine economically strong provinces in China (in Chinese). *Geogr Res*, 2005, 24: 46–56 [张耀光, 魏东岚, 王国力, 等. 中国海洋经济省际空间差异与海洋经济强省建设. *地理研究*, 2005, 24: 46–56]
- 38 Ji J Y, Wang Q. A study on the marine economic efficiency and its influencing factors in China, based on stochastic frontier analysis tool (in Chinese). *J Ocean Univ China*, 2018, (1): 43–49 [纪建悦, 王奇. 基于随机前沿分析模型的我国海洋经济效率测度及其影响因素研究. *中国海洋大学学报*, 2018, (1): 43–49]
- 39 Yan B, Du J, Feng J R. Study on input and output efficiency and its influencing factors of marine science and technology of coastal provinces (in Chinese). *Ecol Econ*, 2018, (1): 112–117 [鄢波, 杜军, 冯瑞敏. 沿海省份海洋科技投入产出效率及其影响因素定量研究. *生态经济*, 2018, (1): 112–117]
- 40 Liu D H, Ou Y H H, Li S, et al. Research on constructing index for global Blue Economy—To take coastal states in G20 for example (in Chinese). *Inq Econ Issues*, 2017, (6): 176–183 [刘大海, 欧阳慧敏, 李森, 等. 全球蓝色经济指数构建研究——以 G20 沿海国家为例. *经济问题探索*, 2017, (6): 176–183]
- 41 Mu W F. Meta-Narratives on the sea: The influence of sea power upon the formation of the maritime legal order (in Chinese). *World Econ Polit*, 2014, (7): 63–85 [牟文富. 海洋元叙事: 海权对海洋法律秩序的塑造. *世界经济与政治*, 2014, (7): 63–85]
- 42 Wang Y. Law, politics and culture in current disputes on maritime rights and interests (in Chinese). *Wuhan Univ J*, 2015, 68: 92–97 [王勇. 当代海洋权益争端中的法律、政治与文化. *武汉大学学报*, 2015, 68: 92–97]
- 43 Cheng M. Expansion on the knowledge of recognition of ocean and construction of relationship based on ocean between China and Japan (in Chinese). *China Econ*, 2017, (12): 32–34 [程铭. 对海洋认知的扩展与中日海洋关系的构建. *经济师*, 2017, (12): 32–34]
- 44 Hu B. Trends of international maritime politics and China's strategic choices (in Chinese). *China Int Stud*, 2017, (2): 85–101 [胡波. 国际海洋政治发展趋势与中国的战略抉择. *国际问题研究*, 2017, (2): 85–101]
- 45 Chen M B. Study on the international political economy of China's ocean cooperative (in Chinese). *China Mar Econ*, 2017, (2): 208–228 [陈明宝. 中国海洋合作战略的国际政治经济学. *中国海洋经济*, 2017, (2): 208–228]
- 46 Li Q Z. The development trend of foreign marine policies and the implication for our nation (in Chinese). *Ocean Dev Manag*, 2008, (12): 36–41 [李巧稚. 国外海洋政策发展趋势及对我国的启示. *海洋开发与管理*, 2008, (12): 36–41]
- 47 Liu Z M. China's marine safety strategy against the background of transformation of international marine situation—A framework analysis

- (in Chinese). *Int Rev*, 2011, (3): 1–9 [刘中民. 国际海洋形势变革背景下的中国海洋安全战略——一种框架性的研究. 国际观察, 2011, (3): 1–9]
- 48 Xu Y. Overview, changes and developing trend of China's marine governance policy (in Chinese). *China Pop Res Environ*, 2018, 28: 165–176 [许阳. 中国海洋环境治理政策的概览、变迁及演进趋势——基于 1982–2015 年 161 项政策文本的定量研究. 中国人口·资源与环境, 2018, 28: 165–176]
 - 49 Chen J Q, Fu Z L, Li F X. A study of upwelling over Minnan-Taiwan shoal fishing ground (in Chinese). *Taiwan Strait*, 1982, (2): 5–13 [陈金泉, 傅子琅, 李法西. 关于闽南—台湾浅滩渔场上升流的研究. 台湾海峡, 1982, (2): 5–13]
 - 50 Cao X Z. Preliminary study on the seasonal process of the coastal upwelling off Zhejiang in the East Sea, China (in Chinese). *J Fish China*, 1986, (1): 51–69 [曹欣中. 浙江近海上升流季过程的初步研究. 水产学报, 1986, (1): 51–69]
 - 51 He D H, Yang G M, Fang S J, et al. Research on the ecology of zooplankton in upwelling area in Zhejiang- I. Biomass and the abundance of major groups (in Chinese). *Acta Oceanol Sin*, 1987, (1): 79–92 [何德华, 杨关铭, 方绍锦, 等. 浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究—I. 生物量及主要类群丰度. 海洋学报, 1987, (1): 79–92]
 - 52 Hong H S, Shang S L, Zhang C Y, et al. Analysis of the impact of the ecosystem in Taiwan Strait to annual change of marine environment (in Chinese). *Acta Oceanol Sin*, 2005, (2): 63–69 [洪华生, 商少凌, 张彩云, 等. 台湾海峡生态系统对海洋环境年际变动的响应分析. 海洋学报, 2005, (2): 63–69]
 - 53 Sun L F, Ke C, Xu Z L, et al. The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2013, 33: 1811–1821 [孙鲁峰, 柯昶, 徐兆礼, 等. 上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响. 生态学报, 2013, 33: 1811–1821]
 - 54 Zhang T Y, Shao Q Q, Zhou C H. Application of satellite altimeter data in fishery stock assessment (in Chinese). *Fish Sci*, 2001, (6): 4–8 [仇天宇, 邵全琴, 周成虎. 卫星测高数据在渔情分析中的应用探索. 水产科学, 2001, (6): 4–8]
 - 55 Wang M Y, Hu Q W. Impact of summer upwelling on the fisheries resources in the northern South China Sea based on remote sensing data (in Chinese). *J Hainan Trop Ocean Univ*, 2017, 24: 22–29 [王梦茵, 胡启伟. 基于遥感的南海北部夏季上升流对渔业资源的影响. 海南热带海洋学院学报, 2017, 24: 22–29]
 - 56 Cui X S, Wu Y M, Zhou A Z, et al. A Logistic regression model on relationship between sardine *pilchardus* fishing ground and environmental variables in the coastal waters of West Africa (in Chinese). *J Dalin Ocean Univ*, 2016, 31: 211–218 [崔雪森, 伍玉梅, 周爱忠, 等. 基于 Logistic 回归模型的非沿海欧洲沙丁鱼渔场与环境因素关系模型的构建. 大连海洋大学学报, 2016, 31: 211–218]
 - 57 Zhao S J, Lü B Q, Li R W, et al. A preliminary analysis of fishery resource exhaustion in the context of biodiversity decline (in Chinese). *Sci Sin Terrae*, 2015, 45: 1628–1640 [赵淑江, 吕宝强, 李汝伟, 等. 物种灭绝背景下东海渔业资源衰退原因分析. 中国科学: 地球科学, 2015, 45: 1628–1640]
 - 58 Sun S. Fishery version 3.0 (in Chinese). *Bull Chin Acad Sci*, 2016, 31: 1332–1338 [孙松. 海洋渔业 3.0. 中国科学院院刊, 2016, 31: 1332–1338]
 - 59 Li C H, Jia X P, Qi Z H, et al. Effect evaluation of a low-carbon fisheries production by marine ranching in Daya Bay (in Chinese). *J Agro-Envir Sci*, 2011, 30: 2346–2352 [李纯厚, 贾晓平, 齐占会, 等. 大亚湾海洋牧场低碳渔业生产效果评价. 农业环境科学学报, 2011, 30: 2346–2352]
 - 60 Xu J J, Qin T T, Han L M. A review of research on marine carbon sink fisheries (in Chinese). *Resour Sci*, 2018, 40: 161–172 [徐敬俊, 覃恬恬, 韩立民. 海洋“碳汇渔业”研究述评. 资源科学, 2018, 40: 161–172]
 - 61 Yue D D, Wang L M. Development path and stages of low carbon fishery in China (in Chinese). *J Ocean Univ China*, 2012, (5): 15–21 [岳冬冬, 王鲁民. 中国低碳渔业发展路径与阶段划分研究. 中国海洋大学学报, 2012, (5): 15–21]
 - 62 Tian Q Y. The ecological basis for legal institutions for sustainable fishery resources (in Chinese). *Mari Sci*, 2011, 35: 89–93, 99 [田其云. 海洋渔业资源恢复法律制度的生态学基础. 海洋科学, 2011, 35: 89–93, 99]
 - 63 Wei D C. An analysis of regulation system for the conservation of marine fishery resources under the UNCLOS (in Chinese). *J Ocean Univ China*, 2015, (6): 10–16 [魏德才. 《联合国海洋法公约》海洋渔业资源养护制度评析. 中国海洋大学学报, 2015, (6): 10–16]
 - 64 Fu X M, Wang X Y, Xue Z K. Game analysis on China's offshore marine fishery resources and marine fishery industrial development (in Chinese). *Mar Econ*, 2017, 7: 9–16 [付秀梅, 王晓瑜, 薛振凯. 中国近海渔业资源保护与海洋渔业发展的博弈分析. 海洋经济, 2017, 7: 9–16]
 - 65 Ehler C, Douvère F. Visions for a sea change: Report of the first international workshop on marine spatial planning. Technical Report. Intergovernmental Oceanographic Commission and the Man and the Biosphere Programme. UNESCO Headquarters, 2007
 - 66 Ehler C, Douvère F. Marine Spatial Planning: A step-by-step approach toward ecosystem-based management. Technical Report. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. UNESCO Headquarters, 2009
 - 67 Zhang Y F, Zhang Z K, Zhang J, et al. Research progress of marine spatial planning in the occident (in Chinese). *Mar Sci Bull*, 2013, 32: 352–360 [张云峰, 张振克, 张静, 等. 欧美国家海洋空间规划研究进展. 海洋通报, 2013, 32: 352–360]

- 68 Suárez de Vivero J L, Rodríguez Mateos J C, del Corral D F. Geopolitical factors of maritime policies and marine spatial planning: State, regions, and geographical planning scope. *Mar Pol*, 2009, 33: 624–634
- 69 Goodhead T, Aygen Z. Heritage management plans and integrated coastal management. *Mar Pol*, 2007, 31: 607–610
- 70 Hovik S, Stokke K B. Balancing aquaculture with other coastal interests: A study of regional planning as a tool for ICZM in Norway. *Ocean Coast Manag*, 2007, 50: 887–904
- 71 Christensen S M, Tarp P, Hjortsø C N. Mangrove forest management planning in coastal buffer and conservation zones, Vietnam: A multimethodological approach incorporating multiple stakeholders. *Ocean Coast Manag*, 2008, 51: 712–726
- 72 Douvère F, Maes F, Vanhulle A, et al. The role of marine spatial planning in sea use management: The Belgian case. *Mar Pol*, 2007, 31: 182–191
- 73 Pomeroy R, Douvère F. The engagement of stakeholders in the marine spatial planning process. *Mar Pol*, 2008, 32: 816–822
- 74 Smith H D, Maes F, Stojanovic T A, et al. The integration of land and marine spatial planning. *J Coast Conserv*, 2011, 15: 291–303
- 75 Zheng J L. Developing technology of marine engineering, exploiting space resources in the sea (in Chinese). *Ocean Devel Manag*, 1992, (2): 82–84, 78 [郑金林. 发展海洋工程技术, 开发海洋空间资源. 海洋与海岸带开发, 1992, (2): 82–84, 78]
- 76 Mou G P, Zhu R Z, Cheng J S, et al. Several key technical problems of hydrodynamics in the construction of offshore wind plants and the research and development of marine engineering equipment (in Chinese). *Nava Arch Ocean Eng*, 2009, (1): 19–22, 25 [缪国平, 朱仁传, 程建生, 等. 海上风电场建设与海洋工程装备研发中若干水动力学关键技术问题. 上海造船, 2009, (1): 19–22, 25]
- 77 Duan J Z, Hou B R. Reseach progress of biocorrosion, biofouling and their control techniques for marine steel and reinforced concrete infrastructure (in Chinese). *J Highw Transp Res Devel*, 2010, 27(Suppl): 118–121 [段继周, 侯保荣. 海洋工程设施生物腐蚀、污损和保护技术研究进展. 公路交通科技, 2010, 27(Suppl): 118–121]
- 78 Chen Y. Definition and development of ocean technology (in Chinese). *J Mech Eng*, 2014, 50: 1–7 [陈鹰. 海洋技术定义及其发展研究. 机械工程学报, 2014, 50: 1–7]
- 79 Task Force for the Study on Development Strategy of China's Marine Engineering and Technology Comprehensive Research Group. Development strategy of marine engineering and technology power (in Chinese). *Eng Sci*, 2016, 18: 1–9 [“中国海洋工程与科技发展战略研究”项目综合组. 海洋工程技术强国战略. 中国工程科学, 2016, 18: 1–9]
- 80 Wang F, Wang J N. Initial establishment of China's scientific observing network in western tropical Pacific Ocean (in Chinese). *Bull Chin Acad Sci*, 2016, 31: 258–263 [王凡, 汪嘉宁. 我国热带西太平洋科学观测网初步建成. 中国科学院院刊, 2016, 31: 258–263]
- 81 Zheng C W, Li C Y. Overview of site selection difficulties for marine new energy power plant and suggestions: Wave energy case study (in Chinese). *J Harb Eng Univ*, 2018, 39: 200–206 [郑崇伟, 李崇银. 关于海洋新能源选址的难点及对策建议——以波浪能为例. 哈尔滨工程大学学报, 2018, 39: 200–206]
- 82 Wang Y, Li Z, Li Z F, et al. Research on the development of marine engineering manufacturing industry based on the analysis of industry chain (in Chinese). *Ocean Devel Man*, 2015, 32: 40–43 [王伟, 李志, 李芝凤, 等. 基于产业链分析的海洋工程装备制造制造业发展研究. 海洋开发与管理, 2015, 32: 40–43]
- 83 Zhao L D, Hao Y R, Li R J. Employment effect analysis of marine energy exploitation and technological spillover (in Chinese). *Res Sci*, 2013, 35: 412–421 [赵领娣, 郝亚如, 李荣杰. 技术溢出视角下新能源开发的就业效应分析——以中国海洋能为例. 资源科学, 2013, 35: 412–421]
- 84 Li Y N, Bi Z Y, Zhang Q T, et al. Research on supporting technology of the ecology compensation management model of marine engineering (in Chinese). *Ocean Devel Man*, 2014, 31: 12–16 [李亚楠, 毕忠野, 张奇韬, 等. 海洋工程生态补偿管理模式支撑技术研究. 海洋开发与管理, 2014, 31: 12–16]
- 85 Hartshorne R. The concept of geography as a science of space, from Kant and Humboldt to Hettner. *Annals Assoc Amer Geogr*, 1958, 48: 97–108
- 86 Pattison W D. The four traditions of geography. *J Geog*, 1964, 63: 211–216
- 87 China National Committee for Terms in Geography. Chinese Terms in Geography (in Chinese). 2nd ed. Beijing: Science China Press, 2007 [地理学名词审定委员会. 地理学名词. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 2007]
- 88 Cai Y L. Methodology of Geography (in Chinese). Beijing: Science China Press, 2011 [蔡运龙. 地理学方法论. 北京: 科学出版社, 2011]
- 89 Fu B J, Liu G H, Chen L D, et al. Scheme of ecological regionalization in China (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2001, 21: 1–6 [傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案. 生态学报, 2001, 21: 1–6]
- 90 Zheng D. Research on Regional System of Ecological Geography in China (in Chinese). Beijing: the Commercial Press, 2008 [郑度. 中国生态地理区域系统研究. 北京: 商务印书馆, 2008]
- 91 Guo Z H, Liu X M, Xiao W F, et al. Regionalization and integrated assessment of climate resource in China based on GIS (in Chinese). *Res Sci*, 2007, 29: 2–9 [郭志华, 刘祥梅, 肖文发, 等. 基于 GIS 的中国气候分区及综合评价. 资源科学, 2007, 29: 2–9]

- 92 Yang X, Li D L. Precipitation variation characteristics and arid climate division in China (in Chinese). *J Arid Meteor*, 2008, 26: 17–24 [杨绚, 李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征. 干旱气象, 2008, 26: 17–24]
- 93 Fang J, Song Y, Liu H, et al. Vegetation-climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China. *Acta Bot Sin*, 2002, 44: 1105–1122
- 94 Wang Y L, Zhao Y B. A study on agricultural landscape of semi-arid and sub-humid zone in China—Taking Zhuolu area as an example (in Chinese). *J China Agric Res Reg Plan*, 2000, 21: 45–48 [王仰麟, 赵一斌. 半干旱半湿润地区农业景观格局研究: 以冀西北涿鹿地区为例. 中国农业资源与区划, 2000, 21: 45–48]
- 95 Ding X Z, Liu S Z. The geomorphological factors of influence on urban distribution and construction in China (in Chinese). *J South China Norm Univ*, 1990, 15: 453–461 [丁锡祉, 刘淑珍. 影响中国城市分布和建设的地貌因素. 西南师范大学学报, 1990, 15: 453–461]
- 96 Wu J G. *Landscape Ecology Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (in Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2007 [郭建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2007]
- 97 Feng J, Zhou Y X. The growth and distribution of population in Beijing metropolitan area (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2003, 58: 903–916 [冯健, 周一星. 近 20 年来北京都市区人口增长与分布. 地理学报, 2003, 58: 903–916]
- 98 Jiang L, Wu F L. Guangzhou population spatial distribution and polycentricity spatial structure evolution (in Chinese). *Trop Geogr*, 2013, 33: 147–155 [蒋丽, 吴缚龙. 2000–2010 年广州人口空间分布变动与多中心城市空间结构演化测度. 热带地理, 2013, 33: 147–155]
- 99 Yan X P, Yao Y M. Analysis on characteristics of development and spatial distribution of the tertiary sector in Guangzhou (in Chinese). *Econ Geogr*, 1997, (2): 41–48 [阎小培, 姚一民. 广州第三产业发展变化及空间分布特征分析. 经济地理, 1997, (2): 41–48]
- 100 He C F, Liu Y. Industrial agglomeration and sectoral distribution of foreign direct investment: A case of Beijing (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2006, 61: 1259–1270 [贺灿飞, 刘洋. 产业地理集聚与外商直接投资产业分布——以北京市制造业为例. 地理学报, 2006, 61: 1259–1270]
- 101 Zeng G, Fu R. Research on the spatial pattern of large commercial banks in China (in Chinese). *Rural Fin Res*, 2012, (6): 40–46 [曾刚, 傅蓉. 大型商业银行网点布局研究. 农村金融研究, 2012, (6): 40–46]
- 102 He C F, Liu H. Banking reform and locational strategy of state-owned commercial banks in China: An empirical study of Industrial and Commercial Bank of China and Bank of China (in Chinese). *Geogr Res*, 2013, 32: 111–122 [贺灿飞, 刘浩. 银行业改革与国有商业银行网点空间布局——以中国工商银行和中国银行为例. 地理研究, 2013, 32: 111–122]
- 103 Zhang Z R, Du D B. Empirical research on spatial linkage and location determinants of R&D investment in China by transnational corporations—An analysis of spatial econometrics based on provinces in China (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 2010, 30: 15–21 [张战仁, 杜德斌. 在华跨国公司研发投资集聚的空间溢出效应及区位决定因素——基于中国省市数据的空间计量经济研究. 地理科学, 2010, 30: 15–21]
- 104 Liu Y G, Wang F L. Production of space and the black cluster in the urban-rural frontier: A case study of M garbage pig farm in Guangzhou City (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 2011, (5): 563–569 [刘云刚, 王丰龙. 城乡结合部的空间生产与黑色集群——广州 M 垃圾猪场的案例研究. 地理科学, 2011, (5): 563–569]
- 105 Sun J X, Zhou Y. Study on the reproduction of space of tourism community from the perspective of everyday life: Based on theories of Lefebvre and De Certeau (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2014, 69: 1575–1589 [孙九霞, 周一. 日常生活视野中的旅游社区空间再生产研究——基于列斐伏尔与德塞图的理论视角. 地理学报, 2014, 69: 1575–1589]
- 106 Zhou S Y, Wu L P, Zhang R H. An analysis of the relation between festivals and production of space (in Chinese). *Geogr Res*, 2015, 34: 1994–2002 [周尚意, 吴莉萍, 张瑞红. 浅析节事活动与地方文化空间生产的关系——以北京前门—大栅栏地区节事活动为例. 地理研究, 2015, 34: 1994–2002]
- 107 Foucault M. *Security, Territory, Population: Lectures at the Collège de France, 1977–78*. Berlin: Springer, 2007
- 108 Du D B, Duan D Z, Liu C L, et al. Progress of geopolitics of Chinese geography since 1990 (in Chinese). *Geogr Res*, 2015, 34: 199–212 [杜德斌, 段德忠, 刘承良, 等. 1990 年以来中国地理学之地缘政治学研究进展. 地理研究, 2015, 34: 199–212]
- 109 Liu Y G, Ye Q L, Xu X X. Space, power and territory: A review on territory in political geography (in Chinese). *Human Geogr*, 2015, (3): 1–6 [刘云刚, 叶清露, 许晓霞. 空间、权力与领域: 领域的政治地理研究综述与展望. 人文地理, 2015, (3): 1–6]
- 110 Agnew J. Sovereignty regimes: Territoriality and state authority in contemporary world politics. *Annals Assoc Amer Geogr*, 2005, 95: 437–461
- 111 O'brien R. *Global Financial Integration: The End of Geography*. London: Royal Institute of International Affairs, 1992
- 112 Agnew J. The territorial trap: The geographical assumptions of international relations theory. *Rev Int Pol Econ*, 1994, 1: 53–80
- 113 Lu D D, Du D B. Some thoughts on the strengthening of geopolitical and geo-economic studies (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2013, 68: 723–727 [陆大道, 杜德斌. 关于加强地缘政治地缘经济研究的思考. 地理学报, 2013, 68: 723–727]
- 114 Liu W D. Scientific understanding of the Belt and Road Initiative of China and related research themes (in Chinese). *Prog Geogr*, 2015, 34: 538–544 [刘卫东. “一带一路”战略的科学内涵与科学问题. 地理科学进展, 2015, 34: 538–544]

- 115 Hu Z D, Ge Y J, Bao J, et al. The spatial pattern and differentiation laws of geo-setting in South Asia (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 2013, 33: 685–692 [胡志丁, 葛岳静, 鲍捷, 等. 南亚地缘环境的空间格局与分异规律研究. *地理科学*, 2013, 33: 685–692]
- 116 Fan J, Zhao Y X, Tian M, et al. Driving mechanism and approach of economic integration of Taiwan straits (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2003, 58: 415–423 [樊杰, 赵燕霞, 田明, 等. 台湾海峡两岸地缘经济整合的驱动机制与途径. *地理学报*, 2003, 58: 415–423]
- 117 Mao H Y. Geopolitical and geoeconomic situation in the surrounding areas and China's strategies (in Chinese). *Prog Geogr*, 2014, 33: 289–302 [毛汉英. 中国周边地缘政治与地缘经济格局和对策. *地理科学进展*, 2014, 33: 289–302]
- 118 Castells M. Grassrooting the space of flows. *Urban Geogr*, 1999, 20: 294–302
- 119 Shen L Z, Gu C L. Integration of regional space of flows and construction of global urban network (in Chinese). *Sci Geogr Sin*, 2009, 29: 787–793 [沈丽珍, 顾朝林. 区域流动空间整合与全球城市网络构建. *地理科学*, 2009, 29: 787–793]
- 120 Ai S W, Miao C H. "Space of places", "space of flows" and "space of actor-networks": From the perspective of ANT (in Chinese). *Human Geogr*, 2010, (2): 43–49 [艾少伟, 苗长虹. 从“地方空间”、“流动空间”到“行动者网络空间”: ANT 视角. *人文地理*, 2010, (2): 43–49]
- 121 He C F, Dong Y, Zhou Y. Evolution of export product space in China: Path-dependent or path-breaking (in Chinese)? *Acta Geogr Sin*, 2016, 71: 970–983 [贺灿飞, 董瑶, 周沂. 中国对外贸易产品空间路径演化. *地理学报*, 2016, 71: 970–983]
- 122 Shen J F. Modeling and decomposition of the contributions of migration factors to inter-provincial migration in China 1995–2000 (in Chinese). *J Subtr Res Environ*, 2010, 5: 1–9 [沈建法. 中国 1995–2000 年省间人口迁移模拟与迁移因素对迁移规模贡献的分解. *亚热带资源与环境学报*, 2010, 5: 1–9]
- 123 Harvey D. *Social Justice and the City*. London: Edward Arnold, 1973
- 124 Harvey D. *The Urbanization of Capital*. Oxford: Blackwell, 1985
- 125 Tuan Y. A view of geography. *Geogr Rev*, 1991, 81: 99–107
- 126 Jacobs J. *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Vintage, 2016
- 127 Cai Y L. Sustainable development: A new approach to man-earth system optimization (in Chinese). *Chin J Appl Ecol*, 1995, 6: 329–333 [蔡运龙. 持续发展—人地系统优化的新思路. *应用生态学报*, 1995, 6: 329–333]
- 128 Fang X Q, Zhang L S. Alienation of man-earth relationship and the research on man-earth system (in Chinese). *Human Geogr*, 1996, (4): 8–13 [方修琦, 张兰生. 论人地关系的异化与人地系统研究. *人文地理*, 1996, (4): 8–13]
- 129 Ye D F. The interactive mechanism of man-earth areal system and the sustainable development (in Chinese). *Geogr Res*, 2001, 20: 307–314 [叶岱夫. 人地关系地域系统与可持续发展的相互作用机理初探. *地理研究*, 2001, 20: 307–314]
- 130 Fang C L. Recent progress of studies on man-land relationship and its prospects in China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2004, 59(Suppl): 21–32 [方创琳. 中国人地关系研究的新进展与展望. *地理学报*, 2004, 59(增刊): 21–32]
- 131 Goodchild M F. Geographical information science. *Int J Geogr Inf Sys*, 1992, 6: 31–45
- 132 Chen S P. Initial discussion of geo-information science (in Chinese). *J Geo-inf Sci*, 1996, 1: 8–12 [陈述彭. 地球信息科学刍议. *地球信息*, 1996, 1: 8–12]
- 133 Li D R, Li Q Q. The formation of geo-spatial information science (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 1998, 13: 319–326 [李德仁, 李清泉. 论地球空间信息科学的形成. *地球科学进展*, 1998, 13: 319–326]
- 134 Zhou C H, Ou Y, Ma T. Progresses of geographical grid systems researches (in Chinese). *Prog Geogr*, 2009, 28: 657–662 [周成虎, 欧阳, 马廷. 地理格网模型研究进展. *地理科学进展*, 2009, 28: 657–662]
- 135 Wu C B, Lü G N. Spatial topological relationships: An overview and analysis (in Chinese). *J Geo-inf Sci*, 2010, 12: 524–531 [吴长彬, 闫国年. 空间拓扑关系若干问题研究现状的评析. *地球信息科学学报*, 2010, 12: 524–531]
- 136 Lü G N. Geographic analysis-oriented virtual geographic environment: Framework, structure and functions (in Chinese). *Sci Sin Terrae*, 2011, 41: 549–561 [闫国年. 地理分析导向的虚拟地理环境: 框架、结构与功能. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41: 549–561]
- 137 Zhao L N, Zhou C H. Application of GIS in environmental epidemiology (in Chinese). *Biol Tech World*, 2015, (6): 213–214 [赵莉娜, 周成虎. 试析地理信息系统在环境流行病学中的应用. *生物技术世界*, 2015, (6): 213–214]
- 138 Lü G N, Li F. The Planning of constructing GIS for highways in Jiangsu Province (in Chinese). *Trans Sci Tech*, 2000, (1): 18–22 [闫国年, 李峰. 江苏省公路地理信息系统建设规划(上). *交通科技*, 2000, (1): 18–22]
- 139 Gong J Y, Geng J, Wu H Y. Geospatial knowledge service: A review (in Chinese). *Geom Inf Sci Wuhan Univ*, 2014, 39: 883–890 [龚健雅, 耿晶, 吴华意. 地理空间知识服务概论. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2014, 39: 883–890]
- 140 Guo H D, Wang L Z, Chen F, et al. scientific big data and digital Earth (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2014, 59: 1047–1054 [郭华东, 王力哲, 陈方, 等. 科学大数据与数字地球. *科学通报*, 2014, 59: 1047–1054]
- 141 Pei T, Li T, Zhou C H. Spatiotemporal point process: A new data model, analysis methodology and viewpoint for geoscientific problem (in Chinese). *Geo-inf Sci*, 2013, 15: 793–800 [裴韬, 李婷, 周成虎. 时空点过程: 一种新的地学数据模型、分析方法和观察视角. *地球信息科学学报*, 2013, 15: 793–800]

- 142 Lü G N, Yuan L W, Yu Z Y. Surveying and mapping geographical information from the perspective of geography (in Chinese). *Acta Geod Cartogr Sin*, 2017, 46: 1549–1556 [闫国年, 袁林旺, 俞肇元. 地理学视角下测绘地理信息再透视. *测绘学报*, 2017, 46: 1549–1556]
- 143 Huang R H. Review and prospects of the developments of atmospheric sciences (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2001, 16: 643–657 [黄荣辉. 大气科学发展的回顾与展望. *地球科学进展*, 2001, 16: 643–657]
- 144 Xiao W, Qian J X. The Climate change: From science to politics (in Chinese). *Fudan J (Soc Sci Ed)*, 2012, 54: 84–93 [肖巍, 钱箭星. “气候变化”: 从科学到政治. *复旦学报(社会科学版)*, 2012, 54: 84–93]
- 145 Ding Y H, Sun Y, Liu Y Y, et al. Interdecadal and interannual variabilities of the Asian summer monsoon and its projection of future change (in Chinese). *Chin J Atmos Sci*, 2013, 37: 253–280 [丁一汇, 孙颖, 刘芸芸, 等. 亚洲夏季风的年际和年代际变化及其未来预测. *大气科学*, 2013, 37: 253–280]
- 146 Zhang Q, Zhang H L, Zhang L, et al. Study on summer monsoon transition zone and its land-air interaction (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2017, 32: 1009–1019 [张强, 张红丽, 张良, 等. 论我国夏季风影响过渡区及其陆—气相互作用问题. *地球科学进展*, 2017, 32: 1009–1019]
- 147 Zhou T G, Wu B. Decadal climate prediction: Scientific frontier and challenge (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2017, 32: 331–341 [周天军, 吴波. 年代际气候预测问题: 科学前沿与挑战. *地球科学进展*, 2017, 32: 331–341]
- 148 Yu R C, Li J. Regional characteristics of diurnal peak phases of precipitation over contiguous China (in Chinese). *Acta Meteor Sin*, 2016, 74: 18–30 [宇如聪, 李建. 中国大陆日降水峰值时间位相的区域特征分析. *气象学报*, 2016, 74: 18–30]
- 149 Wang K L, Meng X R, Yang B C, et al. Study on the atmospheric environmental performance of China's regional economic development (in Chinese). *J Quant Tech Econ*, 2016, (11): 59–76 [汪克亮, 孟祥瑞, 杨宝臣, 等. 中国区域经济增长的大气环境绩效研究. *数量经济技术经济研究*, 2016, (11): 59–76]
- 150 Zhong J R, Zhang L X, Yu S J. Investigation and analysis of social influence after Lushan Ms7.0 earthquake (in Chinese). *World Earthq Eng*, 2015, 31: 82–88 [钟江荣, 张令心, 余世舟. 芦山 Ms7.0 级地震社会影响调查与分析. *世界地震工程*, 2015, 31: 82–88]
- 151 Zhou H J, Zhang C. Study on disaster type difference in largescale disaster relief: An analysis based on Wenchuan earthquake and continuous heavy drought in southwest China (in Chinese). *J Nat Disast*, 2017, 26: 100–107 [周洪建, 张弛. 特别重大自然灾害救助的灾种差异性研究——基于汶川地震和西南特大连旱的分析. *自然灾害学报*, 2017, 26: 100–107]
- 152 Xu Z Q, Li Y, Liang F H, et al. A connection between of the Paleo-Tethys Suture Zong in the Qinling-Dabie-Sulu Orogenic Belt (in Chinese). *Acta Geol Sin*, 2015, 89: 671–680 [许志琴, 李源, 梁凤华, 等. “秦岭-大别-苏鲁”造山带中“古特提斯缝合带”的连接. *地质学报*, 2015, 89: 671–680]
- 153 Zhang Z F, Zhang Z L, Li G X. The cambrian evolution of brachiopoda: Hypotheses problems and fossil discoveries (in Chinese). *Acta Palaeont Sin*, 2016, 55: 403–423 [张志飞, 张志亮, 李国祥. 寒武纪腕足动物起源: 假说、问题与展望. *古生物学报*, 2016, 55: 403–423]
- 154 Li S G, Wang Y. Formation time of the big mantle wedge beneath eastern China and a new lithospheric thinning mechanism of the North China Craton—Geodynamic effects of deep recycled carbon (in Chinese). *Sci Sin Terrea*, 2018, doi: 10.1360/N072017-00148 [李曙光, 汪洋. 东部大地幔楔形成和华北克拉通岩石圈减薄: 时代与机制——深部再循环碳的地球动力学效应. *中国科学: 地球科学*, 2018, doi: 10.1360/N072017-00148]
- 155 Teng J W. Great achievements in geophysics in the 20th century and developing frontiers for the 21st century (in Chinese). *Earth Sci Front*, 2003, 10: 117–140 [滕吉文. 20 世纪地球物理学的重要成就和 21 世纪的发展前沿. *地学前缘*, 2003, 10: 117–140]
- 156 Teng J W, Qiao Y H, Song P H. Analysis of exploration, potential reserves and high efficient utilization of coal in China (in Chinese). *Chin J Geophys*, 2016, 59: 4633–4653 [滕吉文, 乔勇虎, 宋鹏汉. 我国煤炭需求、探查潜力与高效利用分析. *地球物理学报*, 2016, 59: 4633–4653]
- 157 Dong S W, Li T D, Chen X H, et al. Progress of deep exploration in mainland China: A review (in Chinese). *Chin J Geophys*, 2012, 55: 3884–3901 [董树文, 李廷栋, 陈宣华, 等. 我国深部探测技术与实验研究进展综述. *地球物理学报*, 2012, 55: 3884–3901]
- 158 Zhang P Z, Deng Q D, Zhang Z Q, et al. Active faults, earthquake hazards and associated geodynamic processes in continental China (in Chinese). *Sci Sin Terrea*, 2013, 43: 1607–1620 [张培震, 邓起东, 张竹琪, 等. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43: 1607–1620]
- 159 Zhu R X, Fan H R, Li J W, et al. Decratonic gold deposits (in Chinese). *Sci Sin Terrea*, 2015, 45: 1153–1168 [朱日祥, 范宏瑞, 李建威, 等. 克拉通破坏型金矿床. *中国科学: 地球科学*, 2015, 45: 1153–1168]
- 160 Lü Q T, Dong S W, Tang J T, et al. Multi-scale and integrated geophysical data revealing mineral systems and exploring for mineral deposits at depth: A synthesis from SinoProbe-03 (in Chinese). *Chin J Geophys*, 2015, 58: 4319–4343 [吕庆田, 董树文, 汤井田, 等. 多尺度综合地球物理探测: 揭示成矿系统、助力深部找矿——长江中下游深部探测(SinoProbe-03)进展. *地球物理学报*, 2015, 58: 4319–4343]
- 161 An H Y, Zheng Y N. Entering in the era of “four-dimensional” in observing global ocean(in Chinese). *China Ocean News*, 2018-06-19(004) [安海燕, 郑雅楠. 跃入观测全球海洋的“四维”时代. *中国海洋报*, 2018-06-19(004)]

- 162 Wang P X. Coupled development in marine science and technology: A retrospect (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2011, 26: 644–649 [汪品先. 海洋科学和技术协同发展的回顾. *地球科学进展*, 2011, 26: 644–649]
- 163 Stocker T F. The ocean as a component of the climate system. In: *Ocean Circulation and Climate: A 21st Century Perspective*. Amsterdam: Academic Press, 2013. 3–30
- 164 Wu L X. The close connection between constructing a maritime power and owning advanced marine technology (in Chinese). *People's Daily*, 2017-11-07(07) [吴立新. 建设海洋强国离不开海洋科技. *人民日报*, 2017-11-07(07)]
- 165 Wu Z, Saito Y, Zhao D, et al. Impact of human activities on subaqueous topographic change in Lingding Bay of the Pearl River estuary, China, during 1955–2013. *Sci Rep-UK*, 2016, 6: 37742
- 166 Halpern B, Frazier M, Potapenko J, et al. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nat Commun*, 2015, 6: 7615
- 167 Gleckler P J, Santer B D, Domingues C M, et al. Human-induced global ocean warming on multidecadal timescales. *Nat Clim Change*, 2012, 2: 524
- 168 Petes L E, Howard J F, Helmuth B S, et al. Science integration into US climate and ocean policy. *Nat Clim Change*, 2014, 4: 671
- 169 Galbraith E D, Carozza D A, Bianchi D. Coupled human-Earth model perspective on long-term trends in the global marine fishery. *Nat Commun*, 2017, 8: 14884
- 170 Wang P X. Towards the new decade of ocean drilling: Preparing its science plan (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2017, 32: 1229–1235 [汪品先. 未雨绸缪——迎接大洋钻探学术新计划的制定. *地球科学进展*, 2017, 32: 1229–1235]
- 171 Liu Z H, Wu X F, Xu J P, et al. Fifteen years of ocean observations with China Argo (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2016, 31: 445–460 [刘增宏, 吴晓芬, 许建平, 等. 中国 Argo 海洋观测十五年. *地球科学进展*, 2016, 31: 445–460]

Summary for “从‘空间’视角看海洋科学综合发展新趋势”

Towards a comprehensive development of the Marine Science: A reflection from the spatial perspective

Shuying Leng^{1*}, Shengjun Zhu², Wei Li¹ & Lixin Wu^{3*}

¹ Department of Earth Science, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

² College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

³ Physical Oceanography Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

* Corresponding authors, E-mail: lengsy@nsfc.gov.cn; lxwu@ouc.edu.cn

Space is one of the key topics in Earth sciences. However, it has been conceptualized in various ways and examined via different research methodologies, resulting in distinct paradigms in different sub-disciplines. This study specifically analyzes various ways in which the idea of space has been perceived in all sub-disciplines in Earth sciences and the corresponding research paradigms. This paper pays particular attention to how space could be conceptualized in Marine Science and comes up with several suggestions about improving the understanding and research paradigms of it.

Space not only is the platform where a wide range of non-human activities take place, but also has some social, political, and economic meaning. In this sense, space in the Marine Science should have a dual nature. As it is widely acknowledged that marine space is mainly treated as the site where natural processes happen, including physical, chemical and biological processes, and this emphasizes the objectivity of it. Apart from that, this paper also believes that marine economy, industry, politics resource, and so on, are the typical examples to explain marine space as a process element, mainly showing its sociality, since all these activities have profound interactions with human, such as ocean economic zones, the Blue Economy, coordination of land and marine economy, and so on and so forth.

On account of different attributes mentioned above, Marine Science adapts both quantitative and qualitative methods of empirical and systematical paradigms to analyzing specific problems. Furthermore, boundaries have been more and more indistinct nowadays and it is necessary to use more than one paradigm to explain a particular attribute of space, meaning that those paradigms need to be combined to study a particular aspect of space, thereby blurring the boundaries among them. For example, analyzing the objectivity of marine space regularly requires quantitative methods of empirical paradigm. However, interactions of natural processes in different locations, or natural procedures and human rely on qualitative methods of empirical paradigm. Besides, considering marine space as a social process element requires qualitative methods first to identify the social significance, and then to apply quantitative methods to solve certain problems.

In order to improve concepts, attributes and paradigms of space in Marine Science, this study comes up with several prospects. First of all, there are still some methods that can be used to explore the objectivity of marine space, including promoting spatial-temporal detection, majorly focusing on improving the observation and the ability to exploit the deep sea. Secondly, it shows the importance of studying the sociality by applying both quantitative and qualitative methods of empirical and systematical paradigms, for instance, by paying more attention to marine climate and the interaction between the ocean and other spheres on earth and studying the land and the sea from a coordinating perspective. Next, technological breakthroughs are needed since they can make sure all the suggestions mentioned above can be fulfilled. Finally, considering that geography has already done some researches on the symbolic meaning of space, Marine Science can also explore this field to enrich the concepts of space in its own discipline.

In the end, this study also offers some policy suggestions for improving comprehensive research abilities for marine science based on space from a view of national strategy. In the first place, it is necessary to assemble different panels of experts, laboratories and research funds on a national level to strategically guide the development of Marine Science. Then, we show that promoting the participation in international research projects to acquire advanced concepts and methods can improve our understanding of Marine Science. Finally, more money is needed to invest in cultivating young talents, by which there can be more decent researchers with professional skills to prosper this discipline.

Marine Science, space, research paradigm, earth science, inter-disciplinary research

doi: 10.1360/N972018-00753