

· 专题:双清论坛“全球海洋治理与合作的关键科学问题” ·

全球海洋治理与国际合作的关键科学问题^{*}

冷疏影^{1, 2}

柳欣⁵

乔方利^{3* *}

刘传周⁶

张亮¹

张占海^{7, 8}

林霄沛⁴

李家彪⁹

王永刚³

吴立新^{6, 4* *}

1. 国家自然科学基金委员会 地球科学部, 北京 100085
2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029
3. 自然资源部第一海洋研究所, 青岛 266061
4. 中国海洋大学, 青岛 266100
5. 厦门大学, 厦门 361005
6. 崂山国家实验室, 青岛 266237
7. 自然资源部, 北京 100034
8. 中国大洋矿产资源研究开发协会, 北京 100860
9. 自然资源部第二海洋研究所, 杭州 310012

[摘要] 当前海洋科学技术在气候变化应对、海洋生物多样性保护、海洋资源可持续开发利用、海洋污染治理和海洋生态修复的核心作用已成为全球海洋治理的重要议题。伴随着新时代全球海洋治理进程的推进与科技革命浪潮,海洋科学技术在海洋治理相关议题中的支撑地位和引领作用更加凸显。在此背景下,国家自然科学基金委员会组织了第366期“双清论坛”。本文基于论坛总结了围绕全球海洋治理与国际合作的主要问题,回顾了海洋科学和技术发展领域取得的进展和面临的挑战,凝练了该领域未来5~10年的重大关键科学问题和核心技术,探讨了海洋科技的前沿发展方向和自然科学基金重点资助战略。

[关键词] 海洋科技;全球治理;海洋系统;海洋观测;国际合作

海洋是生命的摇篮、资源的宝库和国家安全的屏障,是人类可持续发展的重要战略空间,是重大科学发现与颠覆性技术创新的孕育地^[1]。海洋科学与技术(以下简称“海洋科技”)的发展与人类社会的进步密不可分。我国海洋科技历经40余年的快速发展,在海洋科技的多个领域实现了几乎从零起步到跟跑、国际并跑,再到个别领域国际领跑的跨越式发



冷疏影 中国科学院地质与地球物理研究所研究员,主要从事海洋科学与极地科学、地理科学的学科发展战略研究及地球科学重大科研项目管理工作。以第一或通讯作者发表研究论文60余篇。



乔方利 自然资源部第一海洋研究所研究员,欧洲科学院院士,国际欧亚科学院院士。曾任联合国“海洋十年”咨询委员会专家,任第三届联合国海洋大会特聘专家,国际学术期刊 *Ocean Modelling* 共同主编,中国海洋研究委员会主席。一直从事海洋和气候模式发展、海洋湍流与海气通量过程研究,发表学术论文400余篇。



吴立新 中国科学院院士,美国地球物理学会会士、美国气象学会会士,崂山实验室主任。长期致力于海洋动力过程与气候、海洋地球系统观测、模拟与预测研究。领导发起了“透明海洋”研究计划,推动海洋超算、“两洋一海”立体观测系统等多项重大工程的实施。担任国家自然科学基金委员会西太平洋重大研究计划专家组组长。

收稿日期:2024-12-21;修回日期:2024-12-25

* 本文根据国家自然科学基金委员会第366期“双清论坛”讨论的内容整理。

** 通信作者,Email: qiaofl@fio.org.cn; lxwu@ouc.edu.cn

本文受到国家重点研发计划项目(2022YFE0140500)和联合国“海洋十年”OSF国际大科学计划的资助。

展^[2,3]。早期的全球海洋国际合作主要通过科学问题牵引实施国际大型综合调查研究项目开展。随着海洋科技实力的不断增强,我国由初期的跟踪参与已逐步转向为主动引领和积极担当,深入参与全球海洋治理中。

全球海洋治理是解决全球海洋问题和实现人类与海洋可持续发展的重要手段,是获得制度性权力的重要途径和维护国家海洋权益的关键所在。海洋科技的创新与应用是全球海洋治理发展的前提和原动力。针对全球海洋治理,2017 年第 72 届联合国大会通过决议宣布设立“海洋科学促进可持续发展十年(2021—2030)”(以下简称“海洋十年”)。经过 3 年实施方案编制^[4],2020 年第 75 届联合国大会批准了实施方案并宣布“海洋十年”于 2021 年 1 月正式启动,其宗旨是基于海洋科技创新提升全球海洋综合治理能力,推动实现海洋和人类社会可持续发展。联合国“海洋十年”在世界范围内掀起了一场“真正的海洋科学革命”,让更多国家、机构和利益攸关方广泛而持续地参与到全球海洋治理中来,为全球、区域、国家以及地方等不同层级海洋管理提供科学解决方案,以遏制海洋健康不断下滑的趋势,使海洋长期为人类可持续发展提供强有力支撑,实现“构建我们所需要的科学,打造我们所希望的海洋”这一宏大愿景。海洋全球连通性决定了国际合作是有效推进海洋科技发展与全球海洋治理的唯一方式,深度参与“海洋十年”是世界大国承担全球治理责任的重要体现^[5,6]。

本次论坛是在联合国“海洋十年”背景下,围绕海洋科技变革与国际合作展开,分为联合国“海洋十年”与科学变革、海洋观测与技术变革、国际合作与创新治理等三个主题开展战略研讨,旨在剖析全球海洋治理与合作的现状、发展趋势及重大挑战,凝练全球海洋治理与国际合作中的关键科技问题和未来发展方向,为国家自然科学基金海洋领域支撑全球海洋治理与国际合作提供政策建议。

1 全球海洋治理与合作面临的主要问题

1.1 国际合作新形式新趋势带来新挑战

近期国际关系格局不断演变,海洋领域的国际合作亦呈现出诸多新形式与新趋势。一方面,多边合作机制日益复杂多样,在气候变化应对、环境和生物多样性保护、资源勘探与可持续利用等方面,出现了众多跨区域、多领域的合作项目与联盟,为各国在全球海洋治理中共享技术、数据和经验提供了前所

未有的机遇。例如,“海洋十年”有利于整合各国顶尖科研力量,有望加速海洋科技重大突破的进程。另一方面,国际关系和地缘政治因素对海洋国际合作的干扰也越发凸显,部分国家间领域争端、利益分配、政治分歧与竞争延伸至海洋科技领域,使得原本纯粹基于科学和环境考量的合作变得日益艰难。这些因素给全球海洋治理与合作带来了巨大挑战,导致一些全球性海洋问题因缺乏广泛国际合作而难以得到有效解决。

1.2 科学—技术—管理融合不足

全球海洋治理技术依赖于具有高度创新性和突破的海洋科技,然而,海洋科技的发展仍面临诸多重大科学问题和技术瓶颈。同时,海洋科技的研发成果也存在着无法及时在全球海洋治理中有效应用状况^[7,8]。从基础科学认知层面来看,我们在诸如海洋环流形成机制、海洋与气候变化联系、海洋生态系统相互作用、海洋板块运动规律等认知海洋的基础科学问题上取得了相当进展,但仍存在诸多未知领域有待解译^[9-11]。例如,海洋在全球气候变化和人类活动双重影响下的定量化厘定及其未来演化趋势,极端环境下的生态系统和生物多样性的协同演变等,科学界尚未完全洞悉,因此在制定海洋生态系统的保护策略过程中缺乏相关的科学依据^[12,13]。从技术层面来看,海洋探测技术和资源开发技术已取得长足发展,但在应用于海洋管理实践时仍面临诸多阻碍。例如,先进的深海探测技术发现了大量深海矿产资源,但与之相匹配的合理开发管理技术与海洋规范却相对滞后,导致在海洋资源开发利用过程中容易出现无序竞争和过度开采以及产生不可逆转的海洋生态破坏等问题。在管理方面,现有的海洋管理体系往往难以适应快速发展的海洋科技变革。不同海域治理安排和关注点难免存在差异,缺乏有效的协调与整合机制,难以形成统一高效的全球海洋治理体系。这使得在应对全球性海洋灾害、海洋生物多样性保护等重大问题时,无法充分发挥科学与技术的优势,治理体系的短板严重制约了全球海洋治理与合作的成效。

1.3 科技水平和治理能力区域差异显著

由于经济实力、科研投入和人才储备等各种因素的差异,不同国家海洋领域的科技水平和治理能力参差不齐。发达国家在海洋高端技术如深海勘探、海洋生物技术等方面往往占据领先地位,而许多发展中国家在这些领域的科学与技术则相对薄弱,科技水平的差距直接影响到各国在海洋治理中的参

与度与话语权。在国际海洋科技合作项目中,一些发展中国家因缺乏关键技术和设备,只能扮演边缘角色,难以深入参与核心研究与决策过程。同时,各国的海洋治理能力也存在较大差异,一些国家拥有完善的海洋法律法规体系、高效的监管机构和丰富的治理经验,而部分国家在海洋治理方面则面临着基础设施薄弱、执法不力等问题。这种不平衡导致在全球海洋治理合作中,难以达成公平合理的合作模式,往往出现强国主导、弱国被动接受的局面,严重阻碍了各国在海洋领域的共享共赢,不利于全球海洋可持续发展目标的实现。

2 全球海洋治理与合作的进展和机遇

2.1 “海洋十年”与科学变革

联合国“海洋十年”的启动使得海洋科学领域迎来了需求驱动的大科学时代。面向全球海洋与社会可持续发展路径这一重大需求,通过跨学科深度交叉与重塑,催生新的知识架构,从而在海洋与全球气候变化、深海深渊系统、极地环境演变、海岸带复杂人—地耦合等前沿领域取得新突破。目前亟待解决的关键科学问题包括:(1) 海洋系统演化与预测:海洋是多尺度、多圈层相互作用的非线性复杂耦合系统,海洋的时空演化及跨尺度相互作用是国际科学前沿,海洋预测是“海洋十年”的7大核心抓手之一,我国已在海洋浪致混合理论与预测领域取得重要突破^[14,15],未来需要大力推广中国的预测理论和模型;(2) 极地多圈层相互作用与观测探测:全球变暖背景下极地的海—浪—陆—气—冰多圈层相互作用是当前备受重视的国际前沿科学问题,开展极地的观测与探测不仅能揭示多圈层相互作用机理,推动全球极地科学研究的进展,而且可以切实深化国际合作交流,促进极地海洋治理;(3) 气候预测与海洋防灾减灾:海洋是全球气候系统的调节器,与所有的气候异常密不可分。气候变化的精确预测是海洋防灾减灾的科技基础;(4) 海洋生态安全与可持续供给:在气候变化和人类活动双重压力下,海洋生态系统的转捩点是重大科学问题^[13];(5) 海岸带复杂系统演变与临界过程:海岸带是链接人类和海洋的关键地带,海岸带复杂系统演变是全球关注的关键基础科学问题。

2.2 海洋观测与技术变革

海洋重大科学发现与新理论的创立离不开海洋观测与探测技术的革新。海洋观测与技术变革在今

后一段时间甚至更长时期内,是海洋重大科学发现的重要推动力。当前海洋观测进入陆海空全方位、立体综合观测新时代,已经实现了从亚中尺度到更小的湍流尺度、从大气圈/海洋表层到全水深和地球内部、从区域海洋到全球海洋的覆盖。海洋观测展现出以智能化平台为核心的海洋物联网+数字孪生体系,引领海洋卫星观测与探测、水下观测与探测、海底深部探测、物联网与数字孪生的技术变革。针对海洋观测与技术方面,应重点开展工作包括:(1) 以重大科学问题为牵引,以大科学设施为依托,支持推动全球共享航次(深潜、大洋钻探、海底空间站、海底观测网等);(2) 以2029年世界海洋观测大会为载体,推动双边和多边合作,共建区域与全球海洋观测网,如Deep Argo、BGC-Argo、新型GNSS表层漂流浮标与浮标网等^[16];(3) 支持发展新的变革性观测技术,并以此推动国际合作计划;(4) 抓住技术革命的有利契机,将现代信息技术、人工智能技术和物联网技术应用于海洋观测和探测技术革新中,实现我国海洋观测和探测能力的跨越式发展,使海洋观测与探测成为我国海洋科技创新从“跟跑”向“并行”甚至“领跑”的示范领域,以加快海洋强国建设,服务于“两个百年”目标。

2.3 国际合作与创新治理

全球海洋治理主要指在联合国框架下国际社会共同应对全球性海洋问题的管理体制、规则、方法和行动。当前全球海洋治理涵盖公海生物多样性养护、海洋在气候变化中的作用、国际海底矿产资源开发利用、海洋塑料污染治理、公海环境评估、公海渔业谈判等议题。保护和可持续利用海洋成为全球海洋治理的新趋势,海洋科技对全球海洋治理的支撑地位和引领作用更加凸显。我国是典型的“海洋地理不利国”,但同时也是海洋资源需求大国。因此,加快发展海洋科技力量,以科技创新提升我国全球海洋治理能力是保障我国发展空间的必然要求。我国应充分利用在上述领域的规则磋商、公共产品供给、国际合作等方面积累的丰富成果,深度融入“海洋十年”科学变革大潮,提高我国对全球海洋治理的引导力和支撑能力,为应对全球性海洋问题的管理体制、规则、方法和行动提出新的解决方案,争取在若干优势领域取得里程碑式的重大突破,培育具有国际竞争优势的海洋战略科技力量,服务于海洋强国建设和全球海洋治理。

针对全球治理与国际合作的关键科学问题,应

重点关注：(1) 海洋自然—生态—社会复杂系统的非线性耦合过程与协同机制，通过融合系统科学、可持续发展理论、数字孪生等新范式，深入开展人海复合系统耦合机理和协同过程研究，充分融通自然生态和社会经济系统边界，识别多维风险并形成预警及调控策略；(2) 近海生态系统健康评估及预测，需要厘清陆海过渡带关键污染物与有机碳耦合的源汇关系及循环机制，构建基于空—天—地—海遥感、环境 DNA(eDNA) 等地球与生物信息学结合的近海生态系统健康评估体系，研发结合人工智能的短期生态预测方法；(3) 面向极地海洋多圈层相互作用及其气候和生态效应、北极多圈层演变等关键科学问题，提出基于“共享航次计划”或“重大研究计划”等机制开展国际合作航次；(4) 针对“梦想号”大洋钻采船国际合作应用场景，提出大洋钻探计划国际合作新模式，包括通过国际合作开展地幔柱假说和俯冲带起始机制假说的地质学检验等；(5) 基于生态系统的国际渔业治理方面，开展气候变化、捕捞活动等多重因素影响下的中上层鱼类资源变动机制研究等。在国际合作体制机制方面，建议主动搭建国家自然科学基金委员会与联合国政府间海洋学委员会(UNESCO/IOC)的合作平台，支持联合国“海洋十年”大科学计划实施和协作中心建设，推进低纬度海洋和高纬度极地相互作用研究(“太极计划”)，推动国际共享航次和深钻等大型装备国际共享等。

3 发展目标和资助重点

3.1 发展目标

近二十年来，我国参与全球海洋治理和国际合作的水平显著提高。面对全球海洋治理与可持续发展这一国际重大需求和前沿热点，中国科学界应积极组建高层级大科学团队，推动牵头设立和实施国际协作中心和大科学计划，攻关海洋共性关键科技瓶颈，发表多学科交叉的原创性研究成果，并将科技成果转化为全球海洋治理的科学工具，逐步在全球海洋治理和国际合作中构建中国学派和形成中国方案。因此，我国要利用好“海洋十年”这一核心合作平台，整合我国强势科研力量，加强国际合作，明确我国和全球海洋治理的共通科学问题和共性关键技术，针对性加大海洋观测的颠覆性技术研发，利用精细化、全水深海海洋观测数据提出原创的海洋系统科学理论框架，构建全球海洋治理的海洋互联网与数字孪生系统，满足目前全球和我国海洋治理的重大

需求，形成以海洋科技创新支撑全球海洋治理和社会可持续发展的应用示范。

3.2 资助重点

(1) 设立海洋与极地科研专项研究计划。针对海洋科学从单一学科转向多学科深度交叉融合、由过程研究转向为全球海洋治理提供关键科学支撑的重大变革，面向世界科技前沿和国家重大需求，更加突出海洋在地球系统演化中的重要作用，在我国业已取得海洋模式发展科学突破以及国际合作平台建设基础上，为应对全球气候变化提供基于海洋的解决方案。围绕“海洋系统演化与预测”“极地多圈层相互作用与观测探测”“气候预测与海洋防灾减灾”“海洋生态安全与可持续供给”“海岸带复杂系统演变与临界过程”等方向组织实施科研专项研究，推动实现基础研究与应用基础研究融通发展，实现复杂系统视角下地球系统科学研究与应用的重大突破和引领。通过加强科学、技术、工程与社会等深度融合，突破海洋关键科学问题和核心技术，为全球海洋治理提供科技支撑。

(2) 加大全球海洋治理人才培养力度。全球海洋治理过程涉及科学技术基础、议题框定、制度保障、规则制定、规则执行和评估程序等专业化问题。针对海洋大学科体系、多学科交叉融合与国际合作密集等显著特征，从海洋强国战略高度加大海洋科技人才尤其是国际科技组织复合型人才、全球海洋治理科技人才的培养力度，注重复合型青年领军人才培养，扩大现有人才体系项目的资助规模，设立培优计划，加速吸引国内外青年英才投身海洋科技发展，尽快形成全球海洋科技与治理创新的领军人才核心力量。具体举措包括：一是大力培育全球气候变化应对、海洋与气候防灾减灾、公海保护区选划、公海生物多样性保护、极地治理、国际海底矿产资源开发利用、公海环境评估、公海渔业谈判、海洋塑料垃圾治理等科学研究领域的优秀人才，鼓励他们深度参与全球海洋治理事务；二是优化目前的人才培养资助模式，积极引导并大力培育熟悉全球海洋治理的管理体制、规则、方法和行动经验、具备国际话语权的复合型人才，培养具有国际领导力的青年科学家；三是推动国际合作教育与科普传播工作，为我国深度参与全球治理提供人才保障与支持。

(3) 打造高端海洋科技国际合作平台。为更好地支撑“海洋命运共同体”建设以及“深度参与全球海洋治理”，抓住联合国“海洋十年”重要机遇，支持

我国科学家牵头实施联合国“海洋十年”协作中心 (<https://www.dcc-occ.com/>) 和大科学计划, 结合我国海洋科技未来布局, 规划组织实施一系列重大研究项目、人才培养项目、国际合作平台和重大设施共享平台项目。

(4) 提升共享航次计划开放共享程度。 发挥海洋共享航次计划成功实施经验, 以组织实施国际共享航次为依托, 通过建立海洋观测探测方法和技术标准、促进重大仪器装备和资料共享共用、组织国际培训等方式, 提升共享航次的辐射影响以及全球海洋议题框定和规则制定能力, 体现大国担当。进一步发挥国家自然科学基金的制度优势和引领作用, 继续加大投入, 在确保基金项目海上调查顺利实施的前提下, 推动面向全球海洋治理等海洋科技关键瓶颈问题的系列重大科考航次, 获取具有独特研究价值的第一手资料, 力争产生具有国际影响的重大成果, 服务全球海洋治理。

4 结 语

联合国“海洋十年”是我国积极参与全球治理、逐步实现全球海洋科技引领、构建新的海洋学科的重要机遇。迄今为止, 我国科学家牵头建设 1 个协作中心和 6 项大科学计划, 在全球所有国家中位列第三, 表现突出。针对海洋科技国际合作长期缺乏总体布局的问题, 自然科学基金委应加强海洋科技创新与我国深度参与全球海洋治理顶层谋划, 通过对海洋科学关键领域的科技投入, 打造系列海洋科学国际制高点。抓住“海洋十年”全球国际合作的机遇期, 推动海洋科学领域以我国为主的协作中心和大科学计划实施, 构筑部分学术高地; 支持我国科学家牵头申报或组织国际大科学计划, 以有效、持续的资助促进海洋科学和国家使命双驱动的国际合作, 探索有组织的科研资助新途径; 人才项目中应侧重选拔、培养具有国际领导力潜质的青年学者。

参 考 文 献

- [1] 吴立新, 荆钊, 陈显尧, 等. 我国海洋科学发展现状与未来展望. *地学前缘*, 2022, 29(5): 1—12.
- [2] “中国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)”项目组. *中国海洋科学 2035 发展战略*. 北京: 科学出版社, 2023.
- [3] Babanin AV. Ocean waves in large-scale air-sea weather and climate systems. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2023, 128(3): e2023JC019633.
- [4] Hotaling L. United nations decade of ocean science for sustainable development (2021-2030) annual special issue of the marine technology society journal. *Marine Technology Society Journal*, 2022(3): 7—8.
- [5] Ryabinin V, Barbière J, Haugan P, et al. The UN decade of ocean science for sustainable development. *Frontiers in Marine Science*, 2019, 6: 470.
- [6] 管松, 于莹, 乔方利. “联合国海洋科学促进可持续发展十年”: 内容与评述. *海洋学报*, 2021, 43(1): 155—164.
- [7] Visbeck M. Ocean science research is key for a sustainable future. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 690.
- [8] Pendleton L, Evans K, Visbeck M. Opinion: we need a global movement to transform ocean science for a better world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(18): 9652—9655.
- [9] 陈大可. 回顾中国海洋科技 70 年. *海洋学报*, 2019, 41(10): 1—2.
- [10] 魏泽勋, 郑全安, 杨永增, 等. 中国物理海洋学研究 70 年: 发展历程、学术成就概览. *海洋学报*, 2019, 41(10): 23—64.
- [11] 林间, 李家彪, 徐义刚, 等. 南海大洋钻探及海洋地质与地球物理前沿研究新突破. *海洋学报*, 2019, 41(10): 125—140.
- [12] 陈连增, 雷波. 中国海洋科学技术发展 70 年. *海洋学报*, 2019, 41(10): 3—22.
- [13] 孙军, 蔡立哲, 陈建芳, 等. 中国海洋生物研究 70 年. *海洋学报*, 2019, 41(10): 81—98.
- [14] Qiao FL, Yuan YL, Yang YZ, et al. Wave-induced mixing in the upper ocean: distribution and application to a global ocean circulation model. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(11): L11303.
- [15] Zhao B, Wu LC, Wang GS, et al. A numerical study of tropical cyclone and ocean responses to air-sea momentum flux at high winds. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2024, 129(7): e2024JC020956.
- [16] Liu Y, Li MH, Liu YX, et al. Real-time precise measurements of ocean surface waves using GNSS variometric approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, 115: 103125.

Key Scientific and Technical Issues for Global Ocean Governance and International Cooperation

Shuying Leng^{1, 2} Fangli Qiao^{3*} Liang Zhang¹ Xiaopei Lin⁴ Yonggang Wang³
Xin Liu⁵ Chuanzhou Liu⁶ Zhanhai Zhang^{7, 8} Jiabiao Li⁹ Lixin Wu^{6, 4*}

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

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3. First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061

4. Ocean University of China, Qingdao 266100

5. Xiamen University, Xiamen 361005

6. Laoshan Laboratory, Qingdao 266237

7. Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, Beijing 100034

8. China Ocean Mineral Resources Research and Development Association, Beijing 100860

9. Second Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Hangzhou 310012

Abstract The current global ocean governance agenda encompasses ocean-based solutions for climate change, marine biodiversity conservation, sustainable development and utilization of marine resources, marine pollution management, and the protection of ecological health. A key trend in this field is the growing emphasis on scientifically-based marine environmental protection and sustainable use of marine resources. With the advancement of global ocean governance and the wave of technological revolutions in the new era, ocean science and technology are increasingly demonstrating their pivotal roles in supporting and leading ocean governance issues. Against this backdrop, the National Natural Science Foundation of China (NSFC) organized the 366th Shuangqing Forum in Qingdao on 2–3 April, 2024. Focusing on the major challenges in global ocean governance and international cooperation, this paper reviews progresses and challenges of China's ocean science and technology, identifies key scientific questions and research priorities for the next 5–10 years, and suggests the future development goals and funding priorities for ocean science and technology.

Keywords ocean science and technology; global ocean governance; oceanic system; ocean observation; international cooperation

(责任编辑 陈鹤 张强)

* Corresponding Authors, Email: qiaofl@fio.org.cn; lxwu@ouc.edu.cn