

中国科学院学部 科学与技术前沿论坛简报 第 108 次

学部工作局学术与文化处 编报
《中国科学》杂志社

2021 年 1 月 5 日

“印度洋与青藏高原的相互作用”论坛综述

一、问题的重要性与国内外研究现状

印度洋与青藏高原相互作用影响了中低纬度地区 1/3 的面积，形成了世界上独特的季风气候。受该季风气候的控制，亚洲大陆南部区域发育了独特的生物多样性资源。在实现关于“构建人类命运共同体”国家战略的过程中，受到印度洋与青藏高原相互作用影响的地区对于满足中国中、长期需求起着不可或缺的作用，是实现中国经济可持续发展的重要支撑。在大气、陆地、生物和海洋等诸圈层耦合的图景之中，印度洋与青藏高原的相互作用扮演着重要的角色。它不仅作用于周边地区，同时对北半球中低纬度的气候变化、维护社会可持续发展、维持生态系统功能和抵御自然灾害等方面均具有显著的影响。

印度洋与青藏高原的相互作用深刻地影响着东亚、南亚、中东、东非，乃至西太平洋一些岛屿国家的能（热）量、水汽的分布格局，调节冰川、植被和径流发育、地表与海底的地貌形态以及上层海洋的环流结构等。纵观国内外在海洋科学领域的动态和学科发展趋势，印度洋与青藏高原研究特点主要体现在以下几个方面。

1. 印度洋研究具有高度的国际化，前期是具有欧美主导的特点

20 世纪 50 年代后期，在世界范围成立的海洋科学指导委员会（Scientific Committee on Ocean Research, SCOR）掀起了针对印度洋研究的科学热潮，包括 IIOE-1（第一次国际印度洋研究计划）。随后，联合国教科文组织的政府间海洋学委员会（Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO/IOC）组织过多次国际联合的海洋科学研究计划。在上世纪 70 年代的国际地球化学断面计划（GEOSCE）和 90 年代的全球海洋碳通量计划（JGOFS）中，印度洋也是重点研究区域。在以国际地圈生物圈计划（IGBP）为主导的世界范围全球变化研究的 20 年间，印度洋在浮游生物与物理过程的相互作用、生物地球化学与生态系统的整合研究等领域的重要性被进一步认识。最近 10 年，第二次国际印度洋研究计划（IIOE-2）也取得了令人瞩目的成果。上述大规模海洋科学研究都是在欧美科学家的主导下进行，该地区周边国家（例如印度和巴基斯坦）都是参与者。

自本世纪初，在国家自然科学基金委员会的资助下，我国开展了针对印度洋东部赤道附近地区的系统观测。虽然观测能力不足，研究范围基本限制在东经 80°~95°、南北纬 10°的区域内，但是中国科学家关于印度洋的研究成果逐渐在国际海洋学术界产生了重要影响。

2. 我国在青藏高原的研究具有长期和持续的投入、成果具有国际上引领的特点

我国针对青藏高原大规模、持续性的研究活动始于 20 世纪 50~60 年代。新中国成立初期开展的青藏高原科考活动，在地貌（冰川）、气候、植被、矿产资源等不同领域取得了举世瞩目的成就。近期，中国科学家在欧洲和北美等地的学者支持下，发起并组织了第三极环境（TPE）和泛第三极环境（PAN-TPE）国际计划，引领了全球气候变化背景下关于青藏高原的研究。在青藏高原相关的学科领域，中国科学界的研究成果在世界上已形成明显的优势。

3. 印度洋与青藏高原的相互作用是重大的科学研究需求

世界约一半人口的聚居地与社会可持续发展受到印度洋与青藏高原相互作用的制约。印度洋影响着全球尺度的水循环，在不同海盆之间生命资源的连通、能（热）量和盐分的输送中起着重要作用。印度洋北部受青藏高原影响的地区，扼守着全球主要经济体之间的航运命脉，对我国的经济发展、国家安全具有重要价值。印度洋与青藏高原相互作用的区域，也是实现“人类命运共同体”国家战略的核心地点。

4. 面临的困难和亟待解决的科学问题

对印度洋季风及其影响的认知多建立在前期关于印度洋北部表层和青藏高原之间的研究基础上。印度洋季风的成因、变化、影响和在全球变化中扮演的角色的研究，由于历史与地缘政治上的客观因素，起步相对较晚，在空间范围上比较狭窄，且缺乏详实和长期的观测资料。在技术上和观测能力上限制了学科的发展。印度洋的海水交换与初级生产力的变化受到与南大洋相关的经向环流（翻转）的制约，这在年代际尺度上会影响整个印度洋北部的环流与水文要素（如温度、盐度）的格局，进而影响到季风。诸如这些问题将影响今后海洋科学中的观测与研究的发展战略，也要求制定不同的观测策略、研究路线，乃至需要技术的进步和理念方面的提升。

二、论坛概况

以“印度洋与青藏高原的相互作用”为主题的中国科学院学部第108次科学与技术前沿论坛于2020年10月26~27日在上海召开。论坛由上海交通大学张经院士和中国科学院青藏高原研究所姚檀栋院士共同召集，中国科学院学部主办，中国科学院地学部和中国科学院学部学术与出版工作委员会承办，上海交通大学海洋学院、中国科学院青藏高原研究所和《中国科学》杂志社协办。

参加此次论坛的专家包括中国科学院大气物理研究所吴国雄院士、复旦大学张人禾院士、中国科学院地球环境研究所周卫健院士、

上海交通大学/自然资源部第二海洋研究所陈大可院士、中国科学院地理科学与资源研究所周成虎院士和于贵瑞院士、中国科学院青藏高原研究所陈发虎院士、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所崔鹏院士等。

论坛结合了线下和线上两种方式。上海交通大学校长林忠钦院士以视频方式致辞。中国科学院学部工作局、国家自然科学基金委员会地学部、上海交通大学科学技术发展研究院和海洋学院的有关领导及工作人员，以及来自中国科学院海洋研究所、中国科学院南海海洋研究所、北京大学、中山大学、中国海洋大学、兰州大学等高校和科研单位的 50 余名专家与学者现场参与了本次论坛。

三、论坛的目的、必要性、重点关注的问题

论坛总结了前期海洋、大气、高原的研究成果，前瞻性地探讨与“印度洋与青藏高原的相互作用”相关的核心科学内容与观测、技术等方面的瓶颈。根据对印度洋与青藏高原相关学科的发展趋势，凝练出一批学科前沿问题，甄别了制约学科发展的瓶颈。与会学者面向国家和社会的长远战略需求和学科特点，分析符合我国发展需求、具有地域特色的战略研究方向。论坛成果对今后进一步推动印度洋与青藏高原相关学科的协调发展和统筹战略，促进年轻人才培养和学术交流具有重要的价值。论坛围绕“青藏高原的大气、地表过程与全球变化”（议题一）、“印度洋的物理过程与气候”（议题二）、“印度洋的生物地球化学过程与生态系统”（议题三）等三个核心议题，进行了引导性报告和学术研讨。最后，针对三个核心议题的内涵与外延，安排了自由发言，以便对今后的学科发展战略和政策建议进行聚焦。

四、报告和讨论

（一）议题一：青藏高原的大气、地表过程与全球变化（主持人：张经）

吴国雄院士：印度洋海-气相互作用对青藏-伊朗高原影响亚洲夏季季风的调节作用

从海洋、大气和地理学科交叉角度，分析了印度洋的海-气相互作用如何受制和反馈于青藏高原的影响，即青藏高原如何影响亚洲季风。冬季在青藏高原南、北的高空大气中分别形成气旋式和反气旋式两个不同方向的定常气流，使得中纬度西暖东冷，低纬度西干东湿。夏季的“热力抽吸”作用使青藏高原东南面是季风降雨湿润区，西北面是干旱半干旱区。季风的爆发始于孟加拉湾，然后是南海，接下来是阿拉伯海。孟加拉湾作为季风爆发点原因之一是青藏高原的地形特征使得孟加拉湾在春季海表温度提升迅速，形成 31°C 的季节性、短寿命的暖池。高（200hPa）、低空（850hPa）的大气耦合也促进了孟加拉湾的季风爆发。青藏高原加热影响夏季印度洋的海水温度和流场，例如阿拉伯海西岸的上升流、苏门答腊西面的上升流，以及各个深度的海温分布等。高原加热改变了降雨分布格局，通过“抽吸”作用使印度洋上空的降水带向北移动，北印度洋北部表面温度下降，南部表面温度上升；中间出现了一个东西向的南北海表温度梯度带。印度洋海表温度的改变又引起季风环流和降水的改变。在北印度洋中部沿激发的海表温度梯度带形成表面西风异常带，沿该带及其北侧出现气旋式环流带和上升运动，降水增加；其北面环绕青藏高原出现下沉运动和反气旋式环流，降水减少。因此，印度洋的海-气相互作用部分削弱了青藏高原对亚洲夏季风的驱动作用。这解释了纯大气环流模式中亚洲夏季风强度过大、降水太强，而海-气耦合模式的模拟更为合理的结果。因此在模拟中需要考虑地形的影响和海温的效应。

姚檀栋院士：亚洲水塔的变化与季风-西风的协同作用

亚洲水塔与亚洲 20 多条河流之间关系密切。若没有青藏高原，现有的亚洲格局将不复存在。亚洲水塔的流域总面积超过 1000 万平方公里，影响 20 亿人口。目前年增温为 0.3~0.4°C，远超全球平均增温值。

第三极计划的酝酿和发起核心之一是认识“水塔”的变化对这个地区大河流的影响，这与占世界 1/2 人口的生计密切相关。现今的第二次青藏科考聚焦于大气、水、生态和灾害相关的环境变化影响和对策。研究青藏高原也需要考虑到与南、北极之间的互动。最近的研究对观测体系进行了改进，包括利用“浮空艇”对水汽传输的三维观测，垂向观测可达距地面 3000 米的高度，探测的内容包括湿度、黑碳、水汽、同位素等。气候变化（升温）引起冰川物质不断缩减，冻土面积和厚度在 20 世纪 80 年代后减少；随之而来的是高原的湖泊面积和数量增加，但湖泊面积在南、北部的变化趋势不同。亚洲水塔储量在南部减少、北部增加，导致冰湖溃决、冰崩灾害（引起河流的堵塞与生命、财产的损失）、高寒草甸的空间被挤占。西风与季风协同作用的叠加影响导致外来输运与内陆蒸发水汽的相互作用发生改变。究其原因，印度洋、青藏高原的热力差减小是水汽变化的主要因素。目前仍需深化的研究内容包括：印度季风减弱对亚洲水塔产生的影响；这一地区海-陆-气的变化规律；印度洋-青藏高原在气候变化下对世界其他地区的影响。

讨论情况：与会学者围绕高原冰盖的变化与青藏高原（65Ma）同亚洲季风相互作用的关系、南极的冷源（马斯克林高压）与青藏高原的热驱动在黄土高原中的记录、亚洲水塔的变化在海洋中的记录以及对生态系统的影响、海洋动力对生物多样性的影响等方面进行了讨论。有学者指出，今年西北地区降水的增加并非局地现象，而是欧亚大陆整体变化的结果；而且印度洋-青藏高原的相互作用可以激发出中纬度的异常，改变降水，其中的表现之一是印度洋与新疆的降水事件之间具有年代际特点的时间滞后。还有学者提出，新疆降水变化与伊朗高原的影响有关，也受到阿拉伯海的作用。印度洋与青藏高原的相互作用会影响到陆地生态系统的变化，其中包括植物叶面的反射与蒸腾作用的相互关系，以及由此对气温的反馈。亦有学者指出，考虑到青藏

高原以及毗邻地区社会与经济发展具有“易损性”的特点，印度洋与青藏高原的相互作用在未来会引起自然灾害的可预测性发生改变，产生从区域性到全球性的影响。在印度洋与青藏高原的相互作用体系中，海洋与大气的“记忆”时效不同。当大气与海洋耦合后，出现了一个由海洋影响的“慢波”。最后，在认识印度洋与青藏高原的相互作用中，具有“古今结合”思维的古气候研究不可或缺。

（二）议题二：印度洋的物理过程与气候（主持人：吴国雄）

袁东亮研究员：全球变化背景下的印度洋海洋环流和印太相互作用过程

印度洋与西太平洋交汇区域内暖池面积在增加，引发 MJO 等季节内事件显著变化，但暖池扩张的海气耦合动力过程还不清楚。伴随全球变暖，印度洋海平面加速上升，尤以最近的全球变暖减缓期间最为严重，可能是引起 2015/2016 强厄尔尼诺事件期间印尼贯穿流史无前例减弱的重要原因，但这些变化对印度洋偶极子的影响缺乏研究。印度洋偶极子的滞后负反馈机制与西边界反射密切相关，但启动机制还不清楚。季节内振荡调制的年际变化振幅很小，不足以引起年际变异事件。西边界反射可能涉及较强的非线性过程，目前也欠缺了解。孟加拉湾北部年降水约 3 米，这些降水须通过海洋环流跨赤道运输。由于缺乏海面盐度观测，输出的路径和机制还不清楚。2016~2017 年，在望加锡海峡观测到一次强次温跃层入侵事件，深度 200~800 米，从太平洋进入印度洋，流量约 7.5Sv，与上温跃层流量相当，可能来自太平洋 NECC 下面的 NESC，后者是一支新发现的潜流，横跨北太平洋海盆向西流动到印尼贯穿流源区，是南、北太平洋之间和印-太交汇区次温跃层环流的重要链接。最近的观测还发现贯穿印-太交汇区（从印度洋进入到西太平洋）的逆流和潜流。所以，印太交汇区的水交换可能有新的路径和机制。目前，印度洋次温跃层环流的研究还很匮乏。太平洋-印度洋年际信号的传播路径涉及印太海气相互作用和全球气

候变化，亟需观测数据的验证和支撑；对这一动力过程理解的不足，制约着对印太暖池的变化和热量分配等重大科学问题的解决，也制约着我们理解在全球变暖背景下印度洋热含量变化和再分配的机制。

周磊研究员：印度洋季节内变化与气候系统

在印度洋季节内变化与气候变化领域，海洋可以在海-气相互作用中起到主导作用。印度洋的季风降水受季节内振荡主导，其方差占总降水方差的 60%左右。季节内变化是指周期为 30~60 天的振荡，通常伴随强对流和降水。由此带来的灾害影响数十亿的人口。然而，在季节内尺度上海洋变化的空间尺度是百公里量级，而大气则是千公里量级。在一个量级的差距下，二者的相互作用是基础的科学问题。在海-气相互作用过程中，通过海表温度与潜热/感热之间的关系可以判定海洋强迫大气的区域，主要在孟加拉湾和热带南印度洋。进一步，季节内的变化与热带印度洋的小尺度混合和海洋上混合层深度的变化具有密切动力关系。综合现有的成果，虽然印度洋的观测系统有了长足的进步，但观测阵列仍然欠缺，建议今后在特定地区，譬如孟加拉湾、赤道中印度洋、东南印度洋，进行更有针对性的强化观测。

王东晓教授：印度洋的环流结构与物理过程

印度洋的环流对生态系统和经济活动的影响深远。在气候变化背景下迅速的升温将使热带风暴等灾害更加频繁。印度洋的变暖还可以加剧经向翻转过程，影响大西洋的温度增加。观测证实，热带印度洋环流对海盆尺度纬向和经向热量输送和水体输运十分重要，是印度洋浅层经向翻转环流形成与变异的关键一环，对区域乃至全球气候有着至关重要的影响。今后的研究宜侧重于认识三位一体的环流特点，针对跨越赤道、不同时间尺度的物理过程的嵌套（高频、小尺度的事件累计后形成更大与更长尺度的问题）、环流与生态系统及其和青藏高原的关系与产生的影响等方面。自 20 世纪 50 年代末期的 IIOE-1 研究活动以来，中间针对印度洋的海洋学观测“沉寂”了一段时间。近期，

IIOE-2 期间的国际合作促进了针对印度洋气候系统过程及其变异的研究，提高了未来气候系统变化的预测能力，在海洋科学与社会需求之间架起了一座桥梁。

讨论情况：在引导性学术报告之后，与会学者针对印度洋环流与环境/气候变化之间的联系和区域性特点进行讨论。有学者指出，在印度洋不同尺度的环流、季风、西边界流与上升流等过程都很重要，其中，水团的形成与演化特点亦不可忽视。譬如，印度洋在南纬 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 附近出现翻转，时间是 20~30 年，而且海洋表面上空的水汽输送跨越赤道。有研究表明，在季风减弱的背景下，青藏高原的水汽储量却在增加。高原上冬季降水来自西风带（高层）和印度洋（低层），但是年际之间的差别主要取决于印度洋。在青藏高原水汽的输送中，季风发挥着桥梁作用。印度洋北部表层环流具有很强的季节性，从而引起在苏门答腊外侧的上升流（夏、秋季）。据研究，那里的上升流与开尔文波的传播有关，涌升的水来自于前期由西向东传输的释放。应该注意到，青藏高原附近也是地表自然灾害的聚集区域，占据了文献中报道的 90%。由于历史的原因，直至本世纪初，海-陆-气的研究中依旧侧重于水和能量的循环，现在则应该拓宽研究视野。有专家建议，宜从青藏高原水塔现在的功能、未来的趋势，以及对社会的影响为出发点，分析水循环与物质循环的关键作用。印度洋北部是一个季风驱动的系统，不同尺度研究的重点应有所差别。例如，在面对季节内的问题时，中间还穿插有台风的影响；在低频的方向上又有年际和年代际的变化。印度洋的“偶极子”的细节还应该深入地分析，其作用可能并不是两个相反的跷跷板，而是两个独立的区域。目前，“海上丝绸之路”沿线的国际学术交流活动进展较缓慢。可以考虑配套一个关于印度洋的观测计划，与研究项目相匹配。

（三）议题三：印度洋的生物地球化学过程与生态系统（主持人：陈大可）

张经院士：印度洋中化学元素的周转与深层水的经向运动

依据化学元素周期表中那些在天然环境中稳定存在的 90 多个化学元素的行为不同，可在认识海洋过程中提供不同的信息，包括甄别物质来源、归宿，经历的生物学事件，以及确定变化的时间等。譬如，来自南极绕极流的溶解态铅沿经向深层水一直被传输到印度洋北面的阿拉伯海与孟加拉湾的顶部，在 2000 米水深以下，都为这种低铅含量的“干净”水体占据，表明其年龄比较“新”。利用铅稳定同位素之间的比值，可以判断出这些铅源于澳大利亚、美国、南美的墨西哥等地。不同的元素，譬如铝和铁，在海洋中的行为不同、来源各异，因而对水团的来源和区分的作用也不一样。从化学元素参与的生物地球化学循环的角度，认识印度洋与青藏高原的相互作用，需要对南大洋的水进入印度洋的途径进行观测。

向荣研究员、张兰兰研究员：印度洋的季风演化与沉积过程记录

印度洋夏季风是南北半球热传输的重要通道，是全球气候变化研究的重要靶区。印度洋季风演化的海洋记录相对比较匮乏、且不同海区对季风的响应记录存在显著差异。譬如，沉积物中发掘的信息表明印度洋的季风在过去 8~12Ma 中加强，但不同古海洋研究关于这一加强信号的时间节点并不一致。同一夏季风指标在不同区域的指示意义也有差异。印度洋深水沉积扇的主要物源供应区是青藏高原，其沉积物的源/汇效应在冰期-间冰期的特点与季风、暖池的变化，以及海平面的变动之间联系紧密，是区域沉积物源/汇演化所关注的重点。印度洋不同地点的沉积物岩芯可以认识不同地质历史时期青藏高原的变迁以及陆源营养物质输运对印度洋生态系统的影响。有孔虫中钕同位素和碳同位素成分研究表明，在末次冰消期南极中层水可以进入并影响印度洋的北部，但南极中层水对北印度洋深层水体影响的路径以及可能的物质和能量交换规律尚不清楚。研究古海洋的技术中，包括粒度和元素端元组分、微体古生物群落结构及其壳体化学元素组成的变化

等内容，在实用中也需要结合峡谷地貌和底层的水动力条件等方面的知识。譬如，可以利用沉积物中保存的有孔虫、放射虫等反演过去的降水、上层水体中温/盐结构变化和古生产力的演变等。利用沉积物中的孢粉记录可重建历史上气候的干冷或暖湿的变化特点。沉积物捕集器中的记录与浮游生物多联网的观测数据均显示，在印度洋北部具有丰富的物种多样性和强烈的季节性特点。建议在今后的观测中开展关于现代的微体古生物在不同海区沉积物的调查。利用沉积物的源/汇、南极中深层水的影响等方面的研究成果，解决依据不同指标分析季风变化或古海洋环境演变的区域差异性问题的，从而提升我们对印度洋季风演化规律的认识，深入地理解青藏高原和印度洋之间就物质、水汽和能量交换的驱动机制与历史演变特点。

张武昌研究员：印度洋的生态系统特点及其在全球变化下的可持续性

印度洋的上升流区集中在阿拉伯海的西部。卫星遥感图像显示的南大洋“大方解石带”是印度洋亚热带海区和南大洋之间可视的边界。印度洋水域中生物量北部高于南部。夏季决定生产力的因素是上升流，冬季则是垂向混合造成的营养盐输送。印度洋是世界上金枪鱼和鱿鱼的重要渔场，也是我国捕鱼业的传统区域。阿拉伯海与孟加拉湾的缺氧水层的扩大对于浮游生物的生境具有压缩作用。在气候变化的背景之下，印度洋与青藏高原的作用可能会导致季风减弱、浮游生物的生物量减少、金枪鱼与剑旗鱼的分布区域向南极移动。目前，我国开放共享航次局限在暖池生态区的范围，建议进行跨越生态区边界的观测。

讨论情况：与会学者的讨论聚焦在印度洋与青藏高原的相互作用对海洋生态系统的影响与反馈。提出的问题包括：印度洋表层的初级生产力与底层水体溶解氧浓度之间是否存在相互的影响？若将孟加拉湾看作是“暖池”，那里的初级生产的垂向结构和溶解氧最小的变化为什么在近30年来南亚河流的径流量增加的背景下看不到？从冰芯的

“一孔之见”中，能否对印度洋海表温度的增加与高原的温度下降之间的联系进行准确地判断？会议讨论的内容还包括：季风的年际和年代际变化对西北干旱区的降水的影响。深层水的运动受海底地形约束，如何使用示踪元素表征其运动过程。在古气候反演中利用替代性指标（Proxy）存在运算的不确定性，如何进一步使用新的技术（例如：微生物）进行矫正。此外，海洋生态系统中不同元素循环的关联也应该以印度洋和青藏高原相互作用的角度予以重视。

（四）议题四：印度洋与青藏高原的相互作用（主持人：周卫健）

围绕印度洋与青藏高原的相互作用，与会学者在最后半天进行了更为广泛的研讨。从国家利益诉求与科学研究的需求两个方面提出具有建设性的思路：

1. 进一步明确水、能量循环和动力机制等方面的重要性，包括在陆地（如尼泊尔）和海洋分别设立研究的断面；

2. 我国观测资料匮乏，在提升观测能力并用于大气模式发展方面有强烈的需求，后者则在防灾和减灾领域具有广泛的应用；

3. 关于青藏高原的研究不应局限于水汽和能量，也应该涵盖生态系统安全方面的内容，同时注意时间与空间的差别；

4. 印度洋与青藏高原相互作用的研究应是地学领域的集成，是科学前沿与国家需求的统一，也将是自动与船载观测技术结合的体现；

5. 在认识印度洋与青藏高原的相互作用时，应关注印尼贯穿流对印度洋经向翻转的影响，包括地形的约束、水循环与生物、碳通量等；

6. 从海洋角度看海洋是有局限的，应该将海洋与大气进行耦合分析；海洋学的研究是高投入的，需要持续且大量的经费支持；

7. 印度洋与青藏高原的相互作用也包括南、北半球之间的联系，观测区域的选取至关重要，否则观测结果难以体现相互作用的重要性；

8. 认识印度洋与青藏高原的相互作用，既需要着眼于远期的影响、也包括近期的落实，不能将研究单纯局限在“填补空白”；

9. 印度洋与青藏高原的相互作用的纽带是“季风”，且同“经向环流”建立联系或者从长周期的角度剖析对季风的影响；

10. 印度洋与青藏高原的相互作用牵涉不同学科，努力的方向不应停留在科学共同体内，需要在国家层面找寻“出口”；

11. 利用印度洋与青藏高原的相互作用的研究契机，建立与周边国家之间的合作，促进经验分享和借鉴。

五、共识和建议

论坛上，与会的专家和学者经过充分地研讨，提出了针对“印度洋与青藏高原的相互作用”研究在未来发展的一些重要科学问题。

1. 印度洋与青藏高原的相互作用不仅仅是气候变化的问题

印度洋与青藏高原的相互作用不仅是地球科学中跨学科的研究领域，还影响着亿万人口的生计与福祉。受到相互作用影响的区域在人类社会的历史演化过程中孕育出了7种不同的文明并相互交融。这个地区也是地表自然灾害频发的场所，还存在着诸如与水资源的调配、污染物的跨境输运、渔业捕捞配给、国际海底资源主张等诸多方面相关的地缘政治诉求与纷争，与实现国家的“人类命运共同体”的战略息息相关。

2. 以水、能量循环为主线研究印度洋与青藏高原的相互作用

经过比较充分的讨论后，与会学者提出认识印度洋与青藏高原的相互作用，宜以水循环与能量循环为主线，将大气、地理、古环境、生态、海洋等不同的学科交叉起来。以水和能量的变化为载体，可以将物质的跨境、跨圈层的输运和变化相结合。由此，可成为地球系统科学中的重要组成，还能够兼顾生态系统的安全与应对自然灾害。在实施过程中，需要建立针对重要研究问题的陆地与海洋相配套的观测计划和断面。目前，我国自己的观测资料太少，将观测资料用于数值模拟对于多学科整合、海-陆-气-生命一体化等方面具有迫切的需求。

3. “季风的变化”是认识“印度洋与青藏高原的相互作用”的切

入点

在印度洋与青藏高原的相互作用中，季节与年际尺度的突出表现是“季风”。季风的影响不仅体现在降水和洪涝、干旱等灾害方面，还改变了印度洋北部表层的动力格局，包括季节性的上升流。在季节内的尺度，季风也会影响台风的发生频率、强度和运动轨迹。季风本身又受制于行星尺度的大气、海洋、陆地之间的相互作用。在更长时间尺度上，印度洋与青藏高原的相互作用受到南半球高纬度环流的控制。有证据表明，南极的冷源与青藏高原热驱动之间的叠加，使印度洋南部的“马斯克林”高压增强，后者产生的影响在黄土高原中存在记录。

4. 认识印度洋与青藏高原的相互作用应将科学研究同国家需求结合

印度洋与青藏高原相互作用的地区扼守着国际航运的要道，影响着亚洲、非洲和欧洲之间的贸易和物资交流，对国家的安全与可持续发展至关重要。本次论坛针对大气、古气候、青藏高原的变化、印度洋的问题都进行了深入分析，但科学与技术的讨论应与国家战略相结合。在探索和分析科学问题时，需要科学院、工程院、基金委、科技部以及其他国家部委和地方政府的合作。印度洋与青藏高原的相互作用对南亚的影响除了季风之外，还应包括食品安全、生态系统稳定性与自然灾害等方面。否则，在科学共同体内“酝酿”出的科学问题可能形成不了可供实施的出口。

5. 深刻认识印度洋与青藏高原的相互作用在地球系统科学中的关键地位

与会学者认识到印度洋与青藏高原的相互作用对了解整个地球系统具有特殊意义。南大洋深层水和绕极流锋区附近的中层水驱动了印度洋的经向翻转过程，影响着阿拉伯海和孟加拉湾的水交换，制约海盆尺度的深层环流，而且在年代际尺度上影响着季风系统。由此产生的变化包括上升流的空间范围、强度，以及高原上的降水与冰川的发

育。从地球系统科学的角度，印度洋与青藏高原的相互作用同南、北极之间具有密切的联系。无论从海洋学的观测或是地球系统模拟的角度，南大洋对印度洋北部的影响都需要予以重视。简言之，在印度洋与青藏高原的相互作用系统中，前者通过影响季风的规模和时间、水汽输送和能量制约着青藏高原，后者则通过影响表面环流、温度场、改变河流入海的通量等反馈于印度洋，而相互作用本身又在更大范围的行星尺度变化中发挥作用。

6. 理解印度洋与青藏高原的相互作用需要提升区域性国际合作

深刻地理解印度洋与青藏高原的相互作用并开展相关的研究活动，仰仗于一个广泛、持久和多方位的国际合作网络。前期，国内多个大学、研究机构已经在这个地区进行了有益的尝试并且取得了较好成果。然而，研究这一问题大多需要跨境解决。例如，来自中东的沙尘暴会影响到南亚地区。这个地区还存在不同种族、文化与宗教的相互融合，资源的诉求和地缘政治的博弈关系非常复杂。开展印度洋与青藏高原相互作用的研究需要依赖地区性的合作支持，并且通过这种学术活动助力实现“人类命运共同体”的国家战略。

六、与国外同领域研究相比较的优劣

新中国成立以来，国家通过资金投入、建设研究机构、发展研究队伍、支持野外台站建设等举措支持青藏高原的研究，并且取得了令人瞩目的成果。近期，国家在第二次青藏高原科考和青藏高原大气等领域给予了进一步支持，稳固了青藏高原研究的国际学术地位，促成中国科学家在国际学术共同体中担纲和发挥领导作用。

在印度洋与青藏高原的相互作用的研究领域内，海洋学的工作是“短板”。我国在印度洋的研究工作起步晚、研究活动薄弱。同国际上的研究相比，在时间范围与空间区域等方面都明显不足。此外，现今海洋研究集中在少数发达国家的重要原因之一是海洋观测花费巨大、过程艰辛；我国开展这方面的研究就需要国家在经费和资源等方面持

续支持。若从孟加拉湾顶（北纬 20°）到南极绕极流（南纬 60°）进行观测，单向航行距离大约 9000 公里。假定科考船航速为 18 节（相当于 30~35 公里/小时），加上观测，来回航行需两个月有余，中间还要靠港补给。观测期间船舶的消耗（如油料、水、生活物资）等就超过人民币一千万元。

七、特色和创新

1. 与会者学科范围广

本次论坛参会学者的研究领域涉及海洋、大气、地理、古气候、环境、生物、化学、数理等。覆盖多学科的学术报告会，虽然在组织内容和研讨方面具有一定的难度，但促使研讨内容更丰富、气氛更活跃，实现了学术思想的碰撞。

2. 与会者以中青年为主，年龄跨度大

本次论坛既特邀了资深教授和研究员，也欢迎刚刚入职的青年学者，还有一些学者自费注册并从外地前来参会。由于会议通过网络对外开放，吸引了大批科研人员通过线上参会，其中包括年轻的硕士和博士研究生，对于促进青年人才的培养起到了积极作用。

3. 线上互动活跃，跨越不同国家

本次论坛共有 200 多人线上注册参加研讨。线上与现场的提问互动和讨论非常活跃，而且，一些来自国外的学者也加入到提问和讨论的环节。讨论的问题也涉及到其他国家在印度洋与青藏高原的相互作用研究方面正在进行的项目，使得本次论坛学术影响得到极大地提升。

（作者：姚檀栋，中国科学院院士，中国科学院青藏高原研究所研究员；江山，华东师范大学河口海岸学国家重点实验室博士后；张经，中国科学院院士，上海交通大学海洋学院教授，华东师范大学河口海岸学国家重点实验室教授）

联系方式：中国科学院学部工作局学术与文化处，010-59358366