



2025年8月18日 星期一

摸清海洋“脾气”，精研气候“算法”

——对话欧洲科学院院士、自然资源部第一海洋研究所副所长乔方利

(上接第一版)虽然气候系统包括海洋、大气、陆地和海冰等多个圈层,且各圈层之间存在复杂的相互作用。但由于海洋的热含量比大气热含量高千倍以上,所以海洋在气候变化中起控制性作用。可以说,海洋打个喷嚏,大气系统就会感冒,甚至是重感冒。

另一个事实是,所谓的全球气候变暖,是指人类活动所增加的温室气体使得全球气候系统热量不断增加。其中,全球增加的90%以上热量进入了海洋。因此,海洋是地球系统最大的空调。如果海洋没有吸收大部分的热量,我们地球的气候系统或许早已瘫痪。

控制气候变化的源头在哪里?虽然人类更多的是通过大气感受到气候变化,但事实却是,海洋在气候系统中发挥核心作用。所以,找到海洋与气候变化之间的规律,研发先进的海洋数值模式,提升海洋与气候预测预报能力,成为我的研究重点。

原创理论突破,引领海洋模式发展

记者:您开始从事海洋数值模式领域工作时,国内外的发展状况如何?

乔方利:长期以来,物理海洋关注的海浪、潮流、环流被当成三个“互不相干”的领域各自独立开展研究。当时,国内外海洋数值模式主要包括海浪模式、潮汐潮流模式和海洋环流模式。

我的导师袁业立院士与国际同步发展了第三代海浪数值模式,这是非常了不起的工作。海洋环流模式的研发工作当时国内仅有中国科学院大气物理研究所在开展。

记者:我们是如何在海洋数值模式领域实现突破、后来居上的?

乔方利:海洋模式的发展体现了一个国家的综合科技实力,但长期以来,海洋模式主要由海洋科技发达国家主导。而且,从海洋环流模式诞生至今,所有的模式一直存在巨大的共性偏差,严重制约了海洋环境的精细化模拟和预报。

为了提高海洋模式的模拟和预报水平,我跟随导师袁业立院士一起攻关。经过多年的科研探索,我们发现海浪、潮流、环流相互影响,这就表明了将海浪、潮流、环流“分而治之”的传统研究方式存在根本性缺陷。通过进一步深入研究发现,将海浪、潮流、环流这三类海洋动力过程实质性融合在一起的是海洋湍流。最终,我们揭示了海浪产生湍流的机制,发展了浪致混合理论,在国际上率先将海浪、潮流、环流在数值模式中耦合起来,建立了全球首个“海浪—潮流—环流耦合”的海洋模式,实现了我国海洋模式的跨越式发展。

记者:什么是湍流?湍流是如何产生的?

乔方利:在日常生活中,湍流无处不在。比如你乘坐飞机时,如果遇到湍流,那么飞机便开始剧烈颠簸。从科学角度来讲,湍流是极为复杂的现象,是流体在运动中表现出的强非线性的不稳定流动状态。湍流研究一直是整个物理学领域的国际尖端难题。被爱因斯坦称为“20世纪最睿智的理论物理学家”的理查德·费曼指出,“湍流是经典物理学中最后一个尚未解决的重要问题。”

在海洋里,湍流不断发生变化。我们在海上观测湍流时,需要一秒钟记录128次数据,湍流非常复杂。相对于海浪、潮流、环流这些大尺度、规律性强的海洋动力过程来说,研究尺度微小、变化几乎没有规律的湍流要复杂得多。

如果我们有一碗热粥,要想让它快速冷却,最好的办法是不停搅动,并不停吹气,这个“搅动”和“吹气”就相当于湍流。从物理海洋角度来讲,产生“搅动”的主要来源是海浪,风的作用就像“吹气”。

记者:也就是说,我们是通过多年的研究,发现了海洋湍流在海洋模式中的重要性,从而实现原创性理论突破。

乔方利:是的。经过20余年科技攻关,我们认识到以往海洋环流模式中忽视了海浪的作用,发现非破碎海浪是湍流的主要能量来源,而湍流的运动又将海浪、潮流、环流这三类海洋动力过程实质性融合在一起,由此发展了浪致混合理论,并建立了全球首个“海浪—潮流—环流耦合”的模式,将上层海洋的预报能力提升了约80%。美国和欧洲多国均通过应用浪致混合理论,显著改进了其数值模式的精准度。

建立新型预报模式,提高预报水平

记者:海洋与气候精确预测预报,为什么一直是个世界科学难题?

乔方利:气候模式是气候预测的基础与核心,也是一个国家综合科技实力的象征。美欧由于在科学领域的长期丰厚积累,一直引领气候模式的发展,但同时也存在着巨大偏差。

我们知道厄尔尼诺现象会对全球气候产生重大影



▲乔方利参加海洋科学调查。

▼乔方利团队研制出超低成本、高精度、多要素海洋浮标,着力解决海洋观测成本高昂难题。



●海洋的运动、变化是有规律的,可以用一组方程式来描述。海洋数值模式就是在计算机上求解这组方程式,实现对海洋运动和变化规律的模拟与预测

●由于海洋的热含量比大气热含量高千倍以上,所以海洋在气候变化中起控制性作用。可以说,海洋打个喷嚏,大气系统就会感冒,甚至是重感冒

●湍流研究一直是整个物理学领域的国际尖端难题。被爱因斯坦称为“20世纪最睿智的理论物理学家”的理查德·费曼指出,“湍流是经典物理学中最后一个尚未解决的重要问题。”

●气候模式是气候预测的基础与核心,也是一个国家综合科技实力的象征

●改进气候模式分两步推进,每个阶段都耗时大约十年。第一步是用我们原创建立的浪致混合理论来改进气候模式。第二步是改进海洋与大气的热量交换,专业术语称为“海气通量过程”

●纵观国内,青岛已成为深度参与“海洋十年”的一座城市。青岛海洋科研优势突出,应该为全球海洋治理贡献科技智慧,发挥带头作用



■在第三十三届联合国海洋大会上,乔方利团队牵头研发的“滨海城市可持续发展海洋方案工具包(COAST)”正式发布。

响,厄尔尼诺现象就是赤道东太平洋海域的海洋表层温度异常偏暖0.5摄氏度以上并持续6个月以上,而气候模式偏差比厄尔尼诺的信号强若干倍。可以说,迄今还不能对未来气候做出较为准确的预测,这就直接影响了气候变化应对政策的制定。因此,如何降低气候模式的共性偏差,成为摆在科技工作者面前的世界性难题。

记者:我们是如何建立新型预报模式,提高预报水平的?

乔方利:自2004年起,我们开始组织团队布局气候模式研发。改进气候模式分两步推进,每个阶段都耗时大约十年。第一步是用我们原创建立的浪致混合理论来改进气候模式。2013年,我们建立了世界首个包含海浪的气候模式,显著降低了气候模式的共性偏差,参加了第五次国际气候模式比对计划,初次尝试就使我们的气候模式在国际上得到了认可。此后,世界气候模式研发的学术机构开始纷纷测试波浪的作用,并均显著改进了其

模式效果。

第二步是改进海洋与大气的热量交换,专业术语称为“海气通量过程”。经过10年攻关,我们发现海浪在海洋与大气之间的热量交换中起了很重要的作用,特别是破碎海浪产生的飞沫等微观过程在海气热量交换中扮演着关键角色。因此,我们又把海浪飞沫等物理过程引入到气候模式中,研发了第二代地球系统模式,模式性能得到进一步提高,参加了第六次国际气候模式比对计划,美国率多家科研单位综合评估,我们的气候模式对过去一百年的厄尔尼诺的综合模拟能力位居世界首位。我们在气候模式研发领域探索出了一条新的路径。

记者:对台风精准预报的难点在哪里?

乔方利:台风预报有两个核心指标,路径和强度,强度决定了破坏力的大小。近三十年来,世界各国科学家通过不断攻关,大大提升了台风路径的预报精度,台风的路径预报误差大约减少了50%—60%,但台风强度预报进展不大,几乎所有模式预报的超强台风强度都比实际观

测弱得多。其中最重要的原因是缺乏对海气通量过程的科学认识。

准确预报是台风防灾减灾的核心科学依据。我们研究发现,破碎海浪产生的飞沫等微观过程能够大幅度增加海洋与大气之间的热量传递,在台风过程中尤为明显。我们把海浪引进到台风模式的海气通量中,能够更准确地计算出海洋与大气之间的交换,将台风强度预报误差整体降低了50%以上。目前,我们正在中国气象局测试,预计明年新的台风预报模式将得到实际应用,服务于民众的日常生活保障。

当然,预测预报永远不可能达到完全精准,但我们希望并致力于预报能力不断提升,不断趋近于精准。

记者:也就是说,虽然我们的研究领域偏向理论,但也一直致力于转化为现实生产力,服务于民众生产生活。

乔方利:基础研究与成果转化相辅相成,基础研究的水平决定了成果转化的深度和广度。一旦基础研究取得关键性突破,那么成果转化后的产品质量会得到显著提升。我相信,我们研发的新型海洋模式、台风模式和气候模式,在理论研究方面不断提升的同时,也能为社会经济发展提供直接的、重要的科学支撑。

携手“海洋十年”,服务全球海洋治理

记者:“海洋十年”是近年来联合国发起的最重要的海洋倡议。自其实施以来,您就深度参与并牵头发起了“海洋与气候无缝预报系统”(OSF)国际大科学计划,请问该计划进展如何?

乔方利:“海洋十年”旨在将海洋科技创新与全球海洋综合治理深度结合,推动形成海洋科学解决方案,促进海洋、气候和人类社会的可持续发展。

我所牵头的“海洋与气候无缝预报系统”(OSF)国际大科学计划进展非常顺利,在国际上获得了高度关注,参与国家从2022年申报时的25个拓展到现在的52个,课题数量从最初的6个拓展到现在的11个,合作伙伴与覆盖内容大幅提升。

OSF国际大科学计划取得了三项重大突破。一是通过理论创新,让海洋、台风和气候的预测能力得到显著提升;二是新型观测浮标研制取得突破,将仪器成本降至国际同类设备的大约5%,且实现了海气通量直接观测,对全球海洋和气候观测与预测能力的提升具有里程碑意义;三是发布了全球海洋综合治理工具包——滨海城市可持续发展海洋方案工具包(COAST),覆盖海洋与气候灾害早期预警、海洋航行安全、近海生态健康、海岸带综合管理、蓝色经济支撑和海洋素养等6个核心领域,为滨海城市提供了高质量公共服务产品,对于保护海洋生态系统、合理开发海洋资源、保障海上安全及推动可持续发展具有重要意义。

记者:您曾表示,希望在“海洋十年”框架下,积极推广自主研发的新型观测浮标在全球范围内的应用,提升海洋与气候的预测预报水平。请问这方面工作进展如何?

乔方利:尽管全球无数科技工作者为海洋观测付出了巨大努力,也取得了一系列技术突破,然而,观测成本高昂仍然是海洋观测面临的瓶颈问题。过去10余年,我们通过海洋多学科深度交叉融合,利用北斗等全球导航定位卫星系统(GNSS)信号,研制了一款超低成本、高精度、多要素海洋浮标,可以自由漂浮或者定点观测,引起了世界多国高度关注。

要想实现海洋观测能力的根本性提升,需要多国特别是主要涉海国家达成共识,联合开展布放与数据共享。目前已在全球海洋布放了多套观测浮标进行测试,成效非常显著。

记者:您对于青岛深度参与“海洋十年”、推动全球海洋治理方面,有哪些建议和期待?

乔方利:纵观国内,青岛已成为深度参与“海洋十年”的一座城市。青岛海洋科研优势突出,应该为全球海洋治理贡献科技智慧,发挥带头作用。

我建议青岛以联合国“海洋十年”海洋城市联盟为抓手,打造海洋城市可持续发展工具包,做好海洋治理示范;积极推动更多科学家牵头发起国际大科学计划,形成全球海洋治理团队,让青岛在世界海洋科技的这场革命中勇立潮头;构建更为紧密的蓝色伙伴关系,在海洋空间规划、海洋信息系统建设、海洋制度管理、海洋生态保护、蓝色经济可持续发展等领域开展深入有效的务实合作,推动海洋产业转型升级。

记者:当前和未来一段时间,您将在哪些方面发力,以期取得什么成果?

乔方利:全球气候变化、海洋极端灾害等问题是全球性挑战。我所牵头的联合国“海洋十年”海洋与气候协作中心和OSF国际大科学计划是非常繁重的科研、协调和科技转化任务。未来我将聚焦这两项重大任务,与众多国际合作伙伴一起,推动世界海洋科学的发展,提供系列高质量公共服务产品,助推海洋命运共同体构建,为全球海洋治理贡献智慧和力量。

