中国海洋大学张志伟教授团队提出海洋“亚公里尺度”新概念——

水平尺度10米到100米，海水是这样运动的

□青岛日报/观海新闻记者 **杨琪琪**

海面之上，波光粼粼；海洋深处，又是何种图景？在不少人的想象中，同一深度的海水运动模式是一样的。然而，真实的大海却更加变幻莫测。近日，中国海洋大学张志伟教授团队在教育部U40等项目的支持下，提出了海洋“亚公里尺度”(sub-kilometer)概念，用以刻画和解释水平尺度在10米到100米之间的海洋动力过程(海浪等波动排除在外)。

前不久，研究团队刚刚完成一次超高分辨率的海上观测实验，依托观测数据正式验证了他们所提出的概念的科学性。

海面之下，这些看似“微观”的海水运动实则牵动着更大尺度的海洋变化。认识这些变化，对维护国家海洋安全、保障海洋资源开发、认识全球气候变化等具有重要意义。



在“大”与“小”之间

传统研究当中，物理海洋学以水平尺度为标尺划分海洋动力过程：大尺度如大洋环流，中尺度如中尺度涡，亚中尺度如亚中尺度涡，更小的则是微尺度湍流。张志伟提出的“亚公里尺度”，指向的是水平尺度在10米到100米之间的海洋动力过程——它比亚中尺度涡小，又比微尺度湍流大。正是在这一尺度上，海洋动力过程变化剧烈，却长期缺少与之相匹配的高分辨率观测。

张志伟介绍，海水运动与大气运动颇为相似：二者同为地球流体，同样受到地球自转的影响，同样呈现出清晰的密度分层——一般而言，下层密度大、上层密度小，海表温度高、深海温度低。“以往的海洋动力学研究，把海洋运动简单地一分为二，大尺度至亚中尺度过程的水平运动远强于垂向运动，称之为(准)二维运动；而微尺度湍流各向同性，水平运动和垂向运动量级相当，被称之为三维运动。但在二维运动和三维运动之间，必然存在一个过渡过程，可以理解为‘2.5维运动’，这也更符合海洋中的真实情况。”张志伟说。

如何理解这样一项研究？张志伟打了一个比方：“这个‘2.5维运动’一定程度上可类比为大气中的龙卷风等极端强对流天气，虽然其垂向风速仍不及其水平风速，但已经强到了不可忽略的地步。”他说，自己研究的海洋“亚公里尺度”过程，就相当于研究海洋里的“龙卷风”——尺度不大，却直接影响着海水的垂向混合与物质能量交换，这样的情形同大气类似，只是过去人们观测不到。

张志伟回忆，小时候看动画片《海尔兄弟》，常有船只被跟船一般大小的涡旋吞没的情节，那时总觉得大海格外可怖——涡旋怎么会“吃人”？后来真正投身海洋研究后他才发现，以往的观测之所以从未记录到这类情形，一个重要原因是缺乏相应的观测技术和手段。受制于此，国际学界缺少能够分辨“亚公里尺度”过程的长期、连续的现场观测数据。如今，张志伟教授团队关于“亚公里尺度”的研究发现正在推开通往微观海洋的那扇窗。

新的认识，正是在更高分辨率的观测中浮现出来的。团队发现，海洋层结——通俗地说，就是海水温度在垂向上的变化——并不像过去认为的那样简单。以往一般认为，海洋的层结随深度增加先单调增强，再单调减弱，在温跃层处达到最强。而最新的观测显示，海洋层结垂向上并非简单的单调变化，而是强弱交替，呈现出明显的间歇性变化，且在水平百米尺度上出现层结剧变。与此同时，锋面的水平尺度可以细到30米，水平梯度极大，温度变化异常剧烈。换言之，在同一片海域里，层结的变化并不连续均匀，而是此强彼弱、时起时伏。

目前，张志伟团队已在南海相关海域完成水平分辨率1—100米级的超高分辨率观测实验，这在国际上尚属首次。“我们推测，这一概念具有普遍性。”张志伟说，在以往的间接观测资料中其实可以找到一些佐证，例如在海上进行石油勘探时，人工激发的地震波主要用于探明海底结构，但同时也留下了反映海水层结的声学反射数据，这些声学数据时常能捕捉到上述变化。团队希望基于实实在在的现场观测，把理论框架立起来。他解释，就现阶段而言，现有的数值模式还难以再现这一过程，模拟既不到位也不精准，唯有先把理论建立起来，才能把模拟做好，进而为预测打下基础，服务于资源开发、生态保护和国家安全等领域。

“要努力去设立新赛道”

在不少人看来，物理海洋学这样的基础研究，坐在电脑前操作一番便可见成效。张志伟对此却并不认同。“观测是基础，计算机算出来的东西并不代表真实的海洋。”张志伟说。

为了取得科学的观测数据从而印证这一概念，张志伟已带领团队在南海开展两次观测，在深水区和浅水区都发现了类似现象。今年7月，国家自然科学基金共享航次在南海北部实施，团队抓住宝贵的船时，开展了一次观测实验。

“要在海洋中开展这一空间尺度的现场观测难度极大，此前并没有针对这一尺度的现成观测设备。”张志伟介绍，没有现成设备，团队就用了个“笨”办法：把一条温度链绑在钢缆上，每隔一米固定一台仪器，测量温度和盐度，绑成一条百米长的链条，最下端坠上一个几百公斤的重块保持平衡，由船只低速牵引前行。这样一来，仪器每秒采样一次，船速约每秒两米，相当于每两米水平距离就能获得一组数据。结果令人振奋：观测清晰地捕捉到了海洋里的亚公里尺度——也就是百米尺度过程。

不过，共享航次的船时十分紧张，那次拖曳观测只进行了一个晚上，获取的数据比较有限，且缺乏定点组网观测。于是，团队又在南海自主设计了一项新的实验：采用潜标观测，由一根锚链自海底直达海表，实现连续观测。但一套潜标只能得到一个点的资料，他们便一次布放五套，呈十字形排布，相邻潜标间距150米，覆盖从海面以下10米到150米的水层。

过程远比预想曲折。时值开海，海上渔船密集，为了防止设备被渔网损毁，团队安排了两艘船协同作业：一艘负责布放，一艘专门值守。承担布放任务的是较大的科考船，费用较高，值守任务便交给一艘小型渔船。首次出海布放便遭遇台风，他们不得不返港避风一周；再度出海，潜标作业刚刚结束，台风又至，海上的浪一度高达三米，渔船在风浪中剧烈摇晃。为了守住来之不易的观测数据，守标船上的团队成员曾三天没能吃上一口热饭，只靠几口可乐支撑。

这段经历，让张志伟极为动容。“出发前，大家知道这是国际上头一回做这样的事，带着强烈的使命感，都憋着一股劲儿。”他说。这套潜标系统最终在海上坚守了8天，这也是国际上首次在百米尺度上布放潜标阵列。值守期间，团队同步开展温盐链拖曳观测，获得了更为丰富的拖链观测资料和潜标阵列观测资料。

“过去，从大尺度环流、中尺度涡、亚中尺度过程到微尺度湍流，海洋中几乎所有动力学尺度的概念都是由国外学者率先提出的。我们不能只满足于建立一个理论去解释别人提出的概念，更要敢于自己提出新概念。”谈到自己的选择，张志伟坦言，如今他比以前更“激进”了。这份“激进”，说到底是一种更深沉的科研志向。科技创新中常常提到“跟跑”“并跑”“领跑”等评价性词汇，而张志伟说：“我们要努力去设立新赛道，而不是总在别人设好的赛道上奔跑。”

向着建设海洋强国的目标，这群与风浪为伴的海洋科技工作者，正把目光投向更深、更远的海。

“陆海空”发力，智能制造加速进阶

莱西以智能网联汽车、游艇制造、低空经济三大战略性产业为支柱，构筑起“陆驰、海扬、空翔”的新质生产力产业格局

10月31日，2026年首届“莱西智造”高端装备展销会启幕，现场一派火热景象：新石器无人车、北汽212越野等上百款车辆产品，十余类无人机、低空装备以及14个品类的游艇集中亮相。客商手持产品册在不同展位间穿梭，会场内企业代表热议合作方向……这场为期两天的盛会，集中展现了莱西高端装备制造产业发展的成果。

“本届展销会以‘莱西智造 陆海空向新’为主题，在往年秋季车展基础上创新升级，涵盖燃油汽车和智能网联汽车产业、无人机及低空装备产业、游艇船艇产业、农业机械产业、高端装备产业等五大展销区，吸引了80家企业、180多个品类参展。”莱西市贸促会会长孟范俊介绍。

从智能汽车驰骋大道，到游艇扬帆出海，再到低空装备御风而起，莱西跳出传统产业发展定式，锚定智能网联汽车、游艇制造、低空经济三大赛道，统筹产业链培育、数字化改造、营商环境优化，推动“莱西智造”从单点突破迈向集群成势。

“陆海空”齐头并进，跑出县域特色赛道

没有老牌车企积淀，却在智能网联汽车赛道跑出产销旺势；不临深水大港，游艇产品照样扬帆远航、畅销海外；缺乏航空产业基础，仍实现飞机量产……放在县域经济的坐标系中审视，莱西工业一次次突破常规，从无到有。当下，以智能网联汽车、游艇制造、低空经济三大产业为支柱，莱西构筑起“陆海空”协同推进的新质生产力产业格局。

数据印证产业成长。今年，莱西智能网联汽车产业实现37.1%的增速，装备制造业以26.2%的增幅换挡提速……从无到有、由弱向强，“陆海空”三大产业并肩发力。

规模提速的背后，是链式思维的持续落地。莱西紧扣三大赛道持续补链、延链、强链，在夯实产业集聚底盘方面落子不断。汽车领域，落地1家整车制造企业、55家零部件配套企业，打通“零部件—电机—电池—整车生产—汽车后市场”完整产业链条；低空经济领域，从零起步搭建起集研发、制造、运营、服务于一体的低空经济产业生态；游艇制造领域，集聚19家游艇制造企业，年总产量达1.2万艘，现已形成从研发设计、生产制造到海外贸易的完整链条。

“我们打破县域产业发展固有定式，立足陆海空立体赛道精准布局，精心招商，构筑起‘陆驰、海扬、空翔’的新质生产力产业格局，加速培育‘莱西智造’发展动能。”莱西市投资促进中心党组书记、主任刘亮介绍。

高端装备展销会，正是莱西展示产业成果、链接市场资源的重要窗口。刘亮表示，下一步，莱西将持续用好展会平台牵线搭桥，不断引项目、育主体、拓场景，放大“陆驰、海扬、空翔”产业优势，擦亮“莱西智造”名片。

数智赋能，制造赛道迭代升级

智能化、绿色化、融合化是新型工业化的必由之路。抢抓“人工智能+”战略机遇，莱西正以数字化转型重塑制造业内核，推进产业升级换挡。

走进位于莱西市姜山镇的北京汽车制造厂青岛总部基地，93%的自动化率，直观展现先进制造的硬核实力。“企业累计投入5亿余元实施智能化改造，冲压、焊装、涂装、总装四大工艺全面升级焕新。”北京汽车制造厂设备能源部部长赵雪峰介绍。“依托技改赋能，我们推出极石01SUV增程版、212T01越野车等多款新车型，企业产值同比激增198.5%，达到80亿元，入选了青岛技改十大经典案例。”

产业转型不是一朝一夕之功。在推动制造业向高端智能升级的路上，莱西坚持“懂得产业、舍得投入、等得花开”。

“懂得，就是把握产业趋势和发展规律，做懂产业的同行者；舍得，就是认准赛道，敢于投入资源、推进制度创新；等得，就是保持战略定力，为企业提供全周期培育服务。”莱西市工业和信息化局局长孙学广说。

这份定力，也烙印在本土企业的发展基因中。扎根矿山装备赛道的青岛中鸿重机，深耕研发、稳扎稳打，成长为国内非煤矿山地下无轨装备研发制造的骨干企业。

持续的坚守与投入，换来硬核创新成果。不久前，国内首台25吨级大型无人铲运矿车在莱西正式下线，成功填补了国内大型无轨智能采矿装备领域空白，让我国跻身全球少数掌握大型地下智能采矿装备制造能力的国家行列，改变了地下矿山高风险、高能耗、低效率的传统作业模式，推动矿山开采由传统人力作业向智能化、无人化、高效化转型。

“这台FL25E是目前国内最大的地下铲运车，一铲斗可以达到25吨的铲掘力，面向大型地下矿山量身研发。”青岛中鸿重型机械有限公司技术负责人介绍，这款装备由中鸿自主研发，具备整体的结构件设计、整车的集成、电缆的收放算法，完全可以实现重大型装备在地下的自主采矿能力。

服务靠前，塑强企业发展信心

企业的需求如何被看见、被响应？创新链与产业链之间的“缝隙”如何弥合？在莱西，一套常态化助企服务体系正在探索。

莱西正式推出“企呼市应”企业服务机制，同步开通服务热线，搭建企业诉求“有呼必应、接诉即办、闭环落实”全新服务体系，打通服务企业“最后一公里”。

“全市统一企业服务总窗口设在市工业和信息化局，实现一号对外、全域受理。”莱西市工业和信息化局党组成员仉玮锋介绍，热线覆盖企业开办、生产经营、要素保障、政策申报等全生命周期服务，企业有政策咨询、困难诉求均可直接拨打。

诉求快响应，只是营商服务的第一步。莱西坚持以优质服务涵养产业生态，践行“有求必应、无事不扰”理念，用政府服务的真心，换取企业扎根发展的信心。

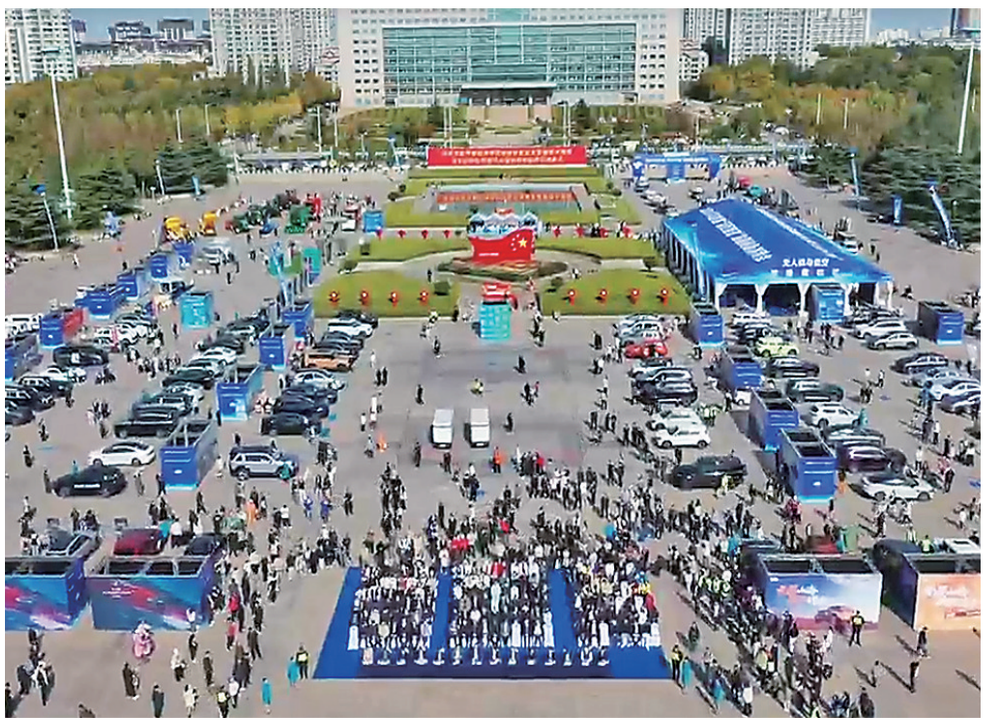
“企业‘引进来’后，能否‘留得住’‘行得远’，是考验企业生长土壤的‘晴雨表’。”莱西市行政审批服务局局长包顺善表示，面对融资难等制约企业发展的关键瓶颈，2025年莱西累计为中小企业提供融资支持10.48亿元，争取各类惠企资金超1亿元，通过政策红利有效降低企业生产经营和技术研发成本，持续激活先进制造业创新发展活力。

以雀巢为例，莱西为其提供了从项目落地审批、建设推进到政策兑现、研发环境配套的全生命周期、定制化服务，真正实现“企业只负责创新，琐事交给政府”。在这种服务保障下，雀巢落户30多年来不断投资扩产。

“一企一策”的精准服务，让企业在成长各个阶段都能获得适时支持。对龙头企业，支持其创新技改、解决转型难题，让“老树发新芽”；对高成长企业，加大产学研合作和成果转化力度，让“新枝竞茁壮”；对初创企业，注重梯度培育，提升核心竞争力，让“新苗早成材”。

“下一步，莱西将以‘企呼市应’服务机制为重要抓手，持续靠前服务、主动纾困解难，精准对接企业发展需求，高效化解经营堵点难点，用心用情当好企业发展服务员，助力企业在莱西安心经营、发展壮大。”孙学广表示。

（李德银 魏 康 于言朋）



▲2026年首届“莱西智造”高端装备展销会活动现场。



◀市民在首届“莱西智造”高端装备展销会活动现场参观。

本报社址：青岛市株洲路190号 邮政编码：266101 广告部咨询订版电话：66988527 82933666 零售1.50元 本报昨日开印时间：4时30分
青工商广字006号 电报挂号：1032 发行处电话：82880022 广告投诉电话：82933589 印务中心电话：68688658 印完时间：5时30分
青岛日报社法律顾问：琴岛律师事务所 侯和贞、王书瀚、王云诚律师
今日海浪水文预报：海浪：0.7m 涌向：-- 日平均水温19.2℃
海港潮位：第一次：高潮高343厘米 高潮时11时09分 低潮高176厘米 低潮时05时43分
第二次：高潮高 - 厘米 高潮时 -时 -分 低潮高 85厘米 低潮时18时04分