

致使海平面下降百余米 面积超300万平方公里

印度洋中的“重力洞”是怎么形成的？

◎本报记者 张佳欣

我们生活在一个密度大致均匀的球体上，但你是否以为地球表面的重力在各地都一样？事实上，更精确的计算表明，不同地点的地球重力存在微小但可测量的差异，而这也导致了海平面的高低起伏。

在印度洋中部，有一个巨大的“重力洞”，这里的海平面比全球平均水平低了100余米，几十年来，它的形成之谜一直困扰着科学家。

这个覆盖超过300万平方公里的重力异常区域实际上并不是一个物理意义上的洞，而是指地球重力低于平均水平的海洋区域。

研究这个“洞”的科学家们长期以来一直认为，是海面下的某些物质导致了这种奇怪的现象。

但一项发表在《地球物理研究快报》上的新研究论文表明，研究人员应该“风物长宜放眼量”，将研究重点放在“洞”周围的板块运动上，而非其下方。研究发现，从古代海床的残余物中升起的热液羽流可能是形成“重力洞”的主要原因。

引力场变化与地球质量分布有关

为什么地球表面存在重力大小不一致的现象？

这项新研究的资深作者、印度科学研究所地球物理学家阿特雷伊·戈什在接受科技日报记者采访时表示，想了解地球各处重力的差异，首先要从地球的形状谈起。

“地球看起来是圆的，但实则偏向椭圆，就像一个马铃薯，赤道周围凸起，两极平坦。其表面重力的总体特征是，一般地球的重力常数是9.8米/平方秒，而赤道处最小，约为9.78米/平方秒；两极最大，约为9.83米/平方秒。”戈什解释道。

但是，由于重力与质量成正比，因此地球引力场的变化又与其内部质量的分布有关。想象一下，地球表面被平静的海洋覆盖，地球引力场的变化将使这个理想化的海洋上产生隆起和凹陷，二者分别对应着较大和较小的质量区域。这使地球表面看起来就像面团一样疙疙瘩瘩。由此形成的略有起伏的不规则曲面被称作大地水准面。

此外，戈什还告诉记者，地壳、地幔和地核质量与密度的不均是导致重力存在差异的次要原因。

用计算机模型追踪“重力洞”起源

戈什介绍道，印度洋下大地水准面的明显倾斜，被称为“印度洋大地水准面低点(IOGL)”。重力异常是指某个特定区域的重力低于地球平均重力。它就像引力场中的一个“洞”，影响着该地区的海平面。IOGL就是地球上最显著的重力异常区域之一，覆盖了印度洋的广阔区域。

这项研究的主要作者、印度科学研究所博士生德班詹·帕尔称，IOGL是1948年荷兰地球物理学家费宁·梅内斯在船上进行重力测量时发现的。自那以后，其他船上的探险队和卫星的测量都证实了IOGL的存在。但科学家们不知道它为什么会在那里。

在这项研究中，戈什和帕尔利用地面传感器和卫星进行了局部重力测量，比较了19种计算机模拟场景，通



图为印度洋安达曼海。新华社记者 张可任摄

过重建过去1.4亿年的板块构造运动来追踪“重力洞”的起源。

研究发现，IOGL是印度洋下方地幔质量缺乏的结果。具体而言，“低密度异常”即IOGL下的上地幔到中地幔中存在较轻的元素，是造成该地区低重力的原因。

那么，该地区为何有如此独特的地质构造？

戈什告诉记者，非洲下方地幔深处存在一个通常被称为“非洲斑点”的大型低剪切波速省(LLSVP)，它很可能是由地幔深处的“特提斯板块”运动形成的。

2亿多年前，古特提斯洋位于劳亚大陆和冈瓦纳超级大陆之间，但在大约1.2亿年前，随着冈瓦纳大陆和劳亚大陆的距离越来越远，古特提斯洋开始闭合，最终消失了，形成了现在的印度洋和大西洋。古特提斯洋的俯冲板块沉入地球内部，形成了一些温度异常区域，影响了地幔对流和地壳运动。其中一个异常区域就位于非洲下方，这就是“非洲斑点”。

帕尔表示，当属于古特提斯洋的俯冲板块下沉到地幔内部并到达核幔边界时，造成了地幔中熔岩的强大向下运动。为了平衡这种向下运动，热而轻的地幔流开始从印度洋下面上升，形成所谓的“熔岩羽流”。这些羽流可能是IOGL形成的原因。这种熔岩羽流的上涌始于大约2000万年前。当羽流在岩石圈下面移动并接近印度半岛时，重力异常变得更加强烈和明显。

这些研究还表明，除了这些羽流外，周围的地幔结构也导致了“低密度异常”的形成。

“重力洞”成因仍众说纷纭

美国海洋网报道称，当地球核心的引力削弱地幔，使其更具浮力，更容易移动时，就会出现核心拉动削弱效应。这种效应被认为是构造板块运动和海洋地壳形成的原因。

因此，“重力洞”的发现表明，在地幔中部深度可能存在着的核拉动削弱效应，也就是说，这一地区的地幔可能比以前人们认为的更具浮力且更容易移动。这可能有助于我们理解板块构造和海洋地壳的形成。

尽管“重力洞”覆盖范围广阔，且该区域海平面低于平均水平，但戈什表示，“重力洞”的存在并不会造成什么影响。

“如果你乘船进入到这个区域，你会发现海面逐渐向下倾斜，但在经过之后，你的船又再次随着海面上升，回归到了一般水平的高度。”戈什说。

几十年来，印度洋的“重力洞”令无数科学家着迷。虽然对其确切成因尚未达成共识，但科学家们已经提出了几种理论来解释这种现象。

美国海洋网报道称，一种理论认为，“重力洞”是“板块墓地”的残余物。大约3000万年前，古老海洋寒冷而致密的残余物沉入非洲地下的“板块墓地”，并随着时间的推移不断堆积，形成了一个低密度岩浆区域，导致地壳凹陷。随着时间的推移，凹陷变得更深、更明显，最终形成了我们今天看到的“重力洞”。

另一种理论认为，“重力洞”的形成是因为地球开了“热点(hotspot)”，其中一股炽热的熔岩从地幔中升起，并将地壳熔穿。随着岩浆冷却和凝固，它会形成一个低密度岩石区域，导致地壳凹陷。

还有一些科学家认为，“重力洞”是这两个过程结合的产物。他们认为，一个“热点”首先形成了地壳凹陷，然后又充满了冰冷、致密的洋壳残余物。

尽管此次戈什与帕尔基于计算机模型调查出了“重力洞”的一种成因，但戈什强调，可能还有其他支持证据来解释IOGL的成因，因此还需要做进一步的研究。至于“重力洞”的未来变化，也要看地球内部会发生什么，目前还暂时无法预测。无论如何，“重力洞”提醒着人们，我们还远远没有理解我们生活的这个星球存在的所有奥秘。

新知

探索生命起源！ 我国研究团队又有新发现

◎本报记者 宋迎迎 通讯员 王敏

7月6日，记者从中国科学院海洋所获悉，国际学术期刊《地球物理学研究杂志—海洋》以封面文章形式报道了该所的最新研究成果。中国科学院海洋所的科研人员通过开展原位综合定量探测和微生物组学分析，发现全球广泛分布的火山—热液系统中富含氢气，并且孕育了可利用氢气的微生物群落。这一发现对于探索生命起源具有重要意义。

深海火山—热液系统主要由海底岩浆挥发性气体与海水直接混合或者海底火山爆发形成，是一种典型的“白烟囱”，在全球分布广泛。火山—热液系统也孕育了独特的生物群落，但其生物代谢过程与流体之间的关系尚不明确。传统的“先取样后高温高压分析”方式会使热液流体组分和参数发生明显变化，因此开展原位探测、获取流体原位参数是研究二者关系的重要手段。

中国科学院海洋所张鑫团队和孙黎团队合作，以西太平洋马努斯弧后盆地DESMOS火山口发育的火山—热液系统为研究靶区，利用“发现”号水下缆控潜器在温泉(Onsen)喷口区和本航次中新发现并命名的发现(Faxian)溢流区，分别开展原位拉曼综合探测以及流体、生物保真取样。结果发现，由安山岩组成的Onsen喷口区形成的超酸性高温流体含有大量氢气，浓度高达8.56毫摩尔/千克。而同一火山口的Faxian溢流区的中性低温流体却不含氢气而富含硫化氢，浓度为7.78毫摩尔/千克。针对这一特殊现象，研究团队基于上述原位定量结果和热力学模拟计算，认为两个区域由于海水混合程度的差异导致了不同的流体—岩石相互作用。

研究团队进一步分析发现，Onsen喷口区和Faxian溢流区存在不同的微生物群落，Onsen喷口区的微生物可以利用氢气，而Faxian溢流区的微生物主要通过氧化硫化氢获取能量，这表明在火山热液系统中，即便是同一岩浆来源的流体也会孕育不同的微生物群落。

上述研究发挥了深海激光拉曼原位定量探测的优势，实现了海洋探测技术、海洋地质学、海洋生物学的交叉融合。本航次基于激光拉曼原位定量探测技术，首次报道了火山作用主导的超酸性火山—热液系统的氢气浓度可达毫摩尔级，并为其孕育的化能生态系统提供了重要物质来源。以往富氢气流体主要是由超基性岩和基性岩发生蛇纹石化反应形成，大西洋失落之城(Lost City)海区的碱性热液系统由于蛇纹石化反应产生了大量氢气，这为早期生命提供了重要生存场所。但是全球碱性热液系统目前仅存在于大西洋失落之城海区，不具备适性，而地球早期海底火山作用频繁，孕育了广泛分布的酸性火山—热液系统，因此上述研究对探索生命起源具有重要的启示意义。



“发现”号水下缆控潜器开展激光拉曼综合原位探测。
中国科学院海洋所供图

首发精神分裂症患者相关研究发现 前瞻功能缺损影响快乐期待

◎实习记者 沈唯

此前有研究发现，慢性精神分裂症患者的前瞻功能存在缺损，而首发精神分裂症患者的前瞻功能是否存在缺损仍需考察。日前，中国科学院心理健康重点实验室神经心理学与应用认知神经科学实验室研究员陈楚侨与合作者探讨了首发精神分裂症患者的前瞻功能，相关研究成果论文在线发表在期刊《精神分裂症》上。

前瞻功能是指个体对未来场景进行想象并预先体验未来情绪的能力，其与计划未来、寻求愉快体验等的关系十分密切。因此，前瞻功能受损可能会使人们对未来的规划和决策不够完善，同时可能使人们的期待性愉快体验和动机水平降低。

“当人们想象自己在海滩度假的场景时，会预先体验到在海滩漫步时的放松和愉快。这些想象的内容和感受会影响人们作出是否度假的决策与规划，也使得人们体验到期待性的愉快感受，并且让个体有更高的动机开启旅行计划。”陈楚侨向科技日报记者描述了一个前瞻功能发挥作用的具体情景。

在这项研究中，研究人员找到了30名首发精神分裂症患者与31名健康对照组的被试，所有被试都需要完成一项有较高信效度的行为学任务。“在此项任务中，被试需要观看图片并根据图片内容想象一件未来的事情。在想象完成后，被试不仅要对象的事件进行说明，还需要评估一些与想象内容相关的指标。”陈楚侨介绍说。

研究显示，与对照组相比，首发精神分裂症患者的前瞻内容更不具体，且包含更少的想法与情绪。这表明，和常人相比，首发精神分裂症患者在想象未来时较少融入个人想法和情绪。“换言之，本研究发现，与对照组相比，首发精神分裂症患者所想象的事件更少地具体到某一个特定的事件。此外，首发精神分裂症患者所想象的内容涉及较少的与思维、情绪相关的信息。”陈楚侨说。

本研究在前人相关研究的基础上，将精神分裂症患者前瞻功能的表现从慢性精神分裂症患者拓展到了首发精神分裂症患者中。

“如果我们能够进一步发现精神分裂症的高危人群同样存在前瞻功能的缺损，那么我们就可以合理推测，前瞻功能缺损或许是精神分裂症的特质性标记物之一，这将有助于精神分裂症的早期诊断与治疗。”陈楚侨表示。

研究团队表示，未来的研究可继续扩大样本量来支持研究结论，还可进一步探讨精神分裂症患者前瞻功能的相关问题。

藏在硅藻里的人类迁徙“证据”

◎法伊莎 潘怡欣
本报记者 顾满斌

我们的研究证实，正是南西伯利亚和阿尔泰山地区温暖湿润的环境，促使颜那亚人在约5000年前从里海西北部一路向东迁徙过来，并孕育了铜石并用的阿凡纳谢沃文化，促进了农牧业的传播。

黄小忠
兰州大学资源与环境学院教授

因此也具有不同的同位素特征。湖泊流域的化学风化作用会导致聚集在沉积物中的同位素浓度和组成发生改变，从而反映出不同时期的温度变化。

早在2011年，黄小忠就来到新疆喀纳斯湖进行野外考察，希望通过孢粉测量研究，分析当地古环境变化。“喀纳斯湖中硅藻的同位素和生物硅等指标可以揭示该地区全新世以来的温度变化历史。”黄小忠解释，“在生物生长的过程中，硅藻会优先吸收较轻的硅同位素，而当温度升高导致湖水分层，暖水中硅藻大量生长，水中的溶解硅相对不足，硅藻就会开始更多地利用偏重的硅同位素。换句话说，气候环境越温暖，硅藻中的硅同位素就越重。”

地理学者总在寻找更加理想的研究对象。此后，铁外克湖进入黄小忠的视

野。铁外克湖是一个被湿地包围的封闭小湖，周围的降水和积雪融水滋润了它。周围森林茂密，沉积环境更加稳定，为研究局地古环境气候变化提供了理想的条件。黄小忠等人先后3次前往铁外克湖进行实地勘测，提取沉积物档案。

此次研究显示，在6500—3600年前，阿尔泰山地区气候总体温暖，喀纳斯湖硅藻生长繁盛，其间，在4700—4300年前，气候异常温暖，硅藻中的硅同位素显著偏重。此研究结合铁外克湖钻孔孢粉、碳氮同位素等指标，并与区域湿度记录对比，显示在6500—3600年前，阿尔泰山地区的气候适宜，温暖湿润的气候可能吸引了在里海西北部暖干环境生活的颜那亚人。他们在5000年前左右迁移到西伯利亚南部及阿尔泰山地区、稍晚在更温暖的4800—4700年前，里海的水位因高温干旱变低，颜那亚人就迁徙到海拔更高的高加索地区以及纬度更高的北欧地区。

这与考古学和遗传学证据发现的——青铜时代早期颜那亚人在约5000年前从东欧草原东南部迁徙至南西伯利亚地区以及阿尔泰山西侧的推测不谋而合。虽然科学界在该时期人群远距离迁徙的驱动力上提出了多种假说，包括农业和语言的扩散与传播、马的驯化以及乳制品等次级动物产品的使用等。然而，气候背景因素尤其是温度变化历史及其对史前人群迁徙的影响显然也是重要一环。

持续追问，探索人类与环境的双向互动关系

在欧亚大陆内部核心地带阿尔泰山

地区的北方泰加林到干旱区之间，有一片广袤的草原带。目前该区处于寒温带，却是史前亚洲中部草原丝绸之路的关键区域和早期东西方文明交流的重要通道之一。

根据历史学家的研究，5000—4000年前生活在东欧草原上的颜那亚人与欧洲文明渊源极深。现在几乎绝大多数欧洲人身上都有他们的祖先颜那亚人的基因。

在世界迁徙史上，人类几乎都是从资源低的地方向资源高的地方转移，颜那亚人的迁徙之路有点相反。“我们的研究证实，正是南西伯利亚和阿尔泰山地区温暖湿润的环境，促使颜那亚人在约5000年前从里海西北部一路向东迁徙过来，并孕育了铜石并用的阿凡纳谢沃文化，促进了农牧业的传播。”黄小忠说。

一直关注并指导这项研究的中国科学院院士陈发虎发现，气候环境变化对人类活动及文明演化的影响很大，在早期文明发展阶段影响更大。因此本项成果把气候环境变化和人类活动历史结合起来，在探索跨大陆交流的环境动力等方面起到了关键证据作用。

“全新世跨大陆交流对欧亚大陆文明发展非常重要，这一时期人口数量更多，青铜、大麦、小麦、羊、马及东亚的粟作农业技术的东西向彼此传输，促进了欧亚大陆社会经济发展和新技术的使用。研究气候环境变化与人类活动的相互作用能够更好地帮助我们理解史前人类迁徙与跨文化交流。”陈发虎说，“下一步，团队会关注早期农业、游牧业建立后人类活动怎样影响环境、丝路沿线的文明发展。”