

深海研究乃至整个地球科学领域规模最大、历时最久、成就最显著的国际大科学计划——

# 大洋钻探50年：探寻地球海陆变迁之谜

汪品先

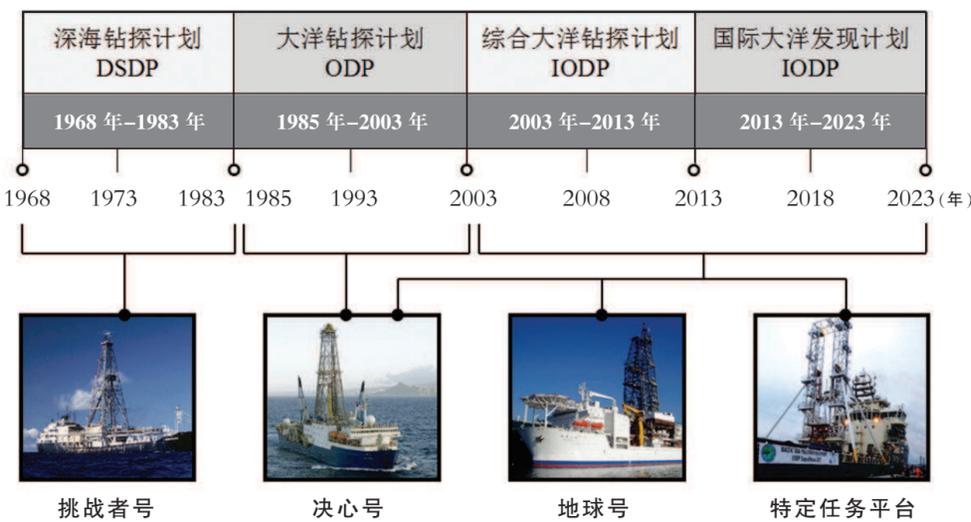
今年是国际大洋钻探计划50年、中国参加大洋钻探20年。这一计划成功运行50年，对人类认识海洋、理解地球演化规律，起到了巨大推动作用。

今年12月8日，“决心号”大洋钻探船完成了南海第十七个站位的深海科学钻探，胜利返航。这是由我国科学家主导的第三次南海大洋钻探，也是迄今为止打出的南海最深钻井，标志着我国已在国际深海大洋研究领域，迈出了坚实步伐。



▲“决心号”大洋钻探船在南海北部海域开展钻探，这是由我国科学家主导的第三次南海大洋钻探。

## 大洋钻探50年四大阶段



▲国际科学家团队相聚在“决心号”甲板上

### 国际大洋钻探历经四大阶段

大洋钻探是深海研究乃至整个地球科学领域规模最大、历时最久、成就最显著的国际大科学计划，目前有美国、日本、欧洲15国和加拿大、中国、印度、巴西、澳大利亚及新西兰等23个国家参与。

大洋钻探1968年始于美国，钻探船“挑战者号”首航墨西哥湾，开始了美国的“深海钻探计划”（DSDP），这是50年大洋钻探的开始。DSDP一路顺利，从1968年到1983年，15年里完成了96个航次，钻探624个站位，取芯约9.5万米，不断带来新发现。深海钻探的成功引起了各国的注意，1975年，前苏联、英国、日本和法国等国先后加入该计划，使得深海钻探成为举世瞩目的国际计划。

1985年，大洋钻探开始了被称为“大洋钻探计划”（ODP）的第二阶段，10500吨的“挑战者号”钻探船换成了18000多吨的“决心号”，设备更为先进。在跨越世纪的ODP阶段，大洋钻探在20年里完成111个航次，在669个站位钻井，取回岩芯22.3万米，发表国际成果7200篇。到2003年，参加ODP计划的国家和地区已达到22个。

进入21世纪，新出现的日本大洋钻探船“地球号”标志着深海科学钻探能力的进一步更新。与此同时，欧洲也不甘落后，以德、英、法三国为首组织了欧洲大洋钻探研究联盟，成为大洋钻探第三个核心。面对美、日的大洋钻探船，欧洲的对策是另辟蹊径，采用不打了钻的办法，专攻美、日大船打不了的海底，比如北冰洋、珊瑚礁等，这样不用花大钱就能点燃学术亮点，叫做“特定任务平台”。于是大洋钻探进入第三阶段“综合大洋钻探计划”（IODP 2003年—2013年），钻探能力从美国的一条钻探船变成三个钻探平台，国际大洋钻探出现了空前的繁荣期。

可惜好景不长，随着国际原油价格快速上涨以及金融危机和财政困难，日本政府对大洋钻探的支持力度大幅下降，加上在地震多发带钻探和2011年的日本东北大海啸，让“地球号”遭受多次重创。此外，美国和欧洲也因财源拮据，减少了原定组织的航次。

中国于1998年参加大洋钻探，当时只是一个参与国的身份，每年支付1/6的成员国费用。但幸运的是，1999年就争得了南海第一个大洋钻探航次。而随着中国的经济发展，特别是近五年来的地位明显上升。2013年开始的大洋钻探第四阶段“国际大洋发现计划”（IODP 2013年—2023年），中国不仅以全额会员身份加入该国际计划，还以“匹配性建议项目”的形式资助其航次。2014年至2018年，中国为大洋钻探提供了3300万美元资助，成为仅次于美、日和欧洲的第四大资助方，同时保证了南海三个半大洋钻探航次的实施。

20年来，我国先后有30多家单位的130余位科学家参加了大洋钻探航次，占“决心号”上船科学家总数的15%，仅次于美国。这种新局面，实际上是近年来国际经济重心转移的一种反映，也是我国在大洋钻探国际计划中发挥更大作用打下了基础。

### 南海最古老洋壳钻探成功

今年12月8日，“决心号”大洋钻探船完成了南海第十七个站位的深海科学钻探，胜利返航。这口U1503井水深3868米，从海底向下钻探1710米，合计将近5580米，是迄今为止在南海最深的钻井，其中一百多米打在玄武岩里，在世界大洋钻探玄武岩的深井中排行第五。

大洋钻探让我们对于南海有了全新认识。面积350万平方公里、水深5000多米的南海，是全球低纬度地区最大的边缘海。近二十年来，大洋钻探四个半航次在17个站位钻探，其中11处水深超过3000米。从钻井取上来的近万米岩芯，是南海产生、演变的直接证据，加上南海周围的几千万口油气勘探井，如今南海已成为世界上地质历史研究程度最高的边缘海之一。犹记得，当南海进行第二次大洋钻探时，文汇报曾以“大洋钻探：钻到海底之下揭开地球的秘密”为题，做过专版报道。现在回头再来看南海，发现五年里已经取得了一系列突破性进展。

1999年，第一次由中国科学家设计主持的南海大洋钻探的主题，是追溯“东亚季风演变”历史，主要钻取含有钙质微体古生物化石的沉积物，都是在水深两三千米的海底，钻井深度最多只有850米。近年来的航次则是探索南海产生的机制：从前的大陆岩石圈怎么会张裂开来，从地幔深处流出岩浆，形成深海盆地？因此钻探的主要目标就变为沉积层底下的岩石基底，不但埋藏更深，而且通常是坚硬的火成岩，钻探难度大为增加，水深达三四千米，最大井深超过1700米。最难打的就是之前提到的U1503井。这口井的目标是探索南海形成时

最早溢出的玄武岩岩浆，技术难度特别大。这口井的钻探成功，让我们掌握了南海海底扩张从东到西的岩芯证据。南海大洋钻探的进展，改变了南海成因的原有观点，有望刷新人们对于东亚和西太平洋演变的认识。由于难度很大，50年大洋钻探在许多海洋钻取了沉积层的岩芯，像南海这样连续几个航次钻探岩石基底的十分稀少，更加凸显出南海大洋钻探的科学价值。

### 跻身新十年大洋钻探世界核心

大洋钻探50年后，世界大洋仍留下了大片空白。以西太平洋为例，西太平洋俯冲带钻探目前“偏东轻西”，新一轮钻探将大有可为，而西太平洋边缘海的钻探将包括南海、东黄海、巽他陆架、菲律宾海、苏禄海等。大洋钻探好比深海研究的“奥林匹克”，是各国实力展现和较量的平台。我国在大洋钻探方面的国际活动，特别是在南海大洋钻探取得的成功，使我国在深海研究领域中的国际学术地位明显提高。南海的所有四次大洋钻探航次，都是由中国科学家提议、设计和主持完成的，其研究成果正逐步发表，保证了我国占领南海学术高点，确立了

我国在南海的学术主导地位。南海大洋钻探的成功，改变了我国固体地球科学重陆轻海的偏向，建立了国际水准的深海研究队伍。大洋钻探吸引了我国固体地球科学领域众多学术带头人和青年学子“下海”，直接面对国际学术竞争，扭转了长期以来海陆脱节局面。

同时，南海大洋钻探推进了我国对南海深水油气勘探的理论认识，为南海油气勘探研究提供了对标的据点。比如首个大洋钻探的1148井，多年来已成为南海深水油气勘探的重要参数井，大洋钻探从基础研究角度，为资源开发提供了无可替代的宝贵资料。最近，我国提出了继美、日、欧之后，为世界大洋钻探提供第四个钻探平台的计划，准备学习借鉴欧洲的“特定任务平台”模式，争取实现南海南部巽他陆架的国际大洋钻探。同时，我国还计划发起和举办2024年后国际大洋钻探科学计划的国际学术大会，建设世界第四个大洋钻探岩芯库。

当前，我国学术界正摩拳擦掌，争取乘华夏复兴的东风，在深海科技的国际竞争中脱颖而出，跻身未来新十年大洋钻探的世界核心。（作者系中国科学院院士、同济大学海洋与地球科学学院教授，照片由中国大洋钻探办公室提供）

## 蕴藏在深海沉积层里不为人知的重要历史事件

大洋钻探是人类认识地球深处不可替代的手段，从而赢得了众多国家的共同支持。50年前，以板块学说为标志的地质革命横扫长期以来的陈旧观点，开创了地球科学的新纪元，而大洋钻探就是这场革命中的一面旗帜。

世界各国将科技的精华集中到大洋钻探船上，半个世纪来在世界各大洋深水底下钻井3700多口，取

芯40余万米，从根本上改变了人类对地球的认识，扭转了地球科学发展的轨迹。大洋钻探的学术贡献，从岩石圈地幔的蛇纹岩化，到玄武岩里的“长寿”细菌，全方位推进了学科发展。其中最直观的科学进展，当数地质历史上环境变化的深海记录。它们记录的，是深海沉积层里蕴藏的不为人知而又至关重要的历史事件。

### 案例一 盐层惊现地中海

1970年和1975年，大洋钻探两个航次在地中海的深海底，钻到了石膏和岩盐的蒸发岩层，引发学术界震动。

岩盐是要蒸发出来的，现在的地中海深达五千米，难道也曾一度变成盐场？事后查明，这是距今五六百万年前的产物，当时地中海和大西洋的通道切断，水面比大洋低几千米，加上气候炎热，海盆低洼区域变成了盐湖，周围沉淀的是石膏，中央还沉淀岩盐。据估算，总共有100万立方千米的岩盐在地中海沉淀下来，相当于世界大洋5%的盐分。经过30万年之后，地中海和大西洋恢复联通，重返深海景观。这场“地中海盐度危机”，成了地质历史上环境变迁的一大灾难。当时，这项惊世骇俗的发现很难

令人相信。在大洋钻探船上随即就分成两派：一部分科学家相信，当时地中海真的成了沙漠，海水蒸发的结果在盐湖里沉积了石膏、岩盐，首席科学家、著名华人科学家许靖华还写了本《古海荒漠》；另一些科学家觉得这不可思议，要么600万年前的地中海本来水就不深，容易蒸干，要么这些石膏、岩盐是在浅处产生，后来才掉到深处。这种争论，直到现在也未完全平息。

不过确凿的地质证据表明，地中海早已是深海，海底留下的沟谷也证明，地中海的海平面确实曾大幅降低。人类演化产生不过200万年，与地球46亿年的历史相比，只相当于一天里的半分钟，人类的历史太短、见识太少，很难理解这类神话般的巨变，需要大洋钻探这类研究来开拓视野。

### 案例二 绿萍飘浮北冰洋

2004年夏，三艘欧洲破冰船在北冰洋执行大洋钻探第302航次，其中只有一艘真的打钻，另外两艘负责专门破碎漂移来的几米厚的海冰，保证钻探船的稳定性。这场破天荒的“冰上大战”十分艰苦，在水深1300米的海脊上，打了428米的深井，离北极点只有250公里，却换来了巨大发现：5000年前，北冰洋居然是个亚热带的湖泊！

反映出亚热带环境，而且维持了大约80万年之久。当时这个“北极湖”的生产力极高，沉积物有机碳含量在5%以上，属于优良的生油岩。北极这种相对封闭的条件维持到大约距今1750万年，直到与大西洋畅通，才出现了北冰洋。总之，北冰洋大洋钻探不仅揭示了北冰洋的历史，还展现了北冰洋资源开发的美好前景。

地球上南极是大陆，北极是海洋，所以南极出现冰盖比北极早3000万年。但是，北极什么时候出现了北冰洋，没有人知道。这次大洋钻探的岩芯证明：北冰洋在5000万年前还是个湖泊，岩芯里有大量的真蕨植物“满江红”的孢子。这是一种小型浮水植物，幼时呈绿色，也叫“绿萍”，常在水面上长成一片，到秋冬季节呈现一片红色，所以叫做“满江红”，现在广泛分布于江南的水池和稻田里。但是5000万年前居然漂浮在北极水面上，



▲北冰洋5000万年前是个漂满绿萍的亚热带湖泊。

### 案例三 大洋酸化真实版

现代大洋海水的pH值是8.1，如果温室气体的增加不能控制，据说到2300年这一数值可能下降0.7，这就是“大洋酸化”，结果是海底的碳酸盐溶解，造礁珊瑚死亡。当然这些只是推测，谁也没见过。但是地质历史源远流长，我们没见过的，往往可以从地质历史中找到实证。

是一次最为戏剧性的大洋酸化事件。

果然，2003年在南大西洋的大洋钻探208航次，发现了大洋酸化真实版的沉积记录。取自深海底的岩芯，普遍发现富含碳酸盐的浅色软泥向上突然变为褐色粘土，碳酸钙几乎完全消失，而且从两千多米到四千多米水深的海底无不如此。分析表明，这场突变发生在距今约5500万年的古新世末期，

虽然这一事件的“祸根”还在调查，但有证据表明是由海底的甲烷大量溢出所致，可能是海底热液导致“可燃冰”融化，也可能是深海溶解有机碳库释放的结果。据推测，有上万亿吨的甲烷在两万里从海底放出，一方面激起温室效应，导致之后20万里海水平均温度升高5℃至8℃；另一方面造成大洋酸化，大洋碳酸盐堆积的最大水深减少了2000米。这场发现对生物圈造成的伤害，虽然没有像恐龙灭绝那样严重，但海洋底栖生物有孔虫在短短千年内就有1/3至1/2的属种灭绝。这警告我们绝不可忽视未来出现大洋酸化可能带来的危害。

### 案例四 恐龙灭绝破案记

中生代地球上横行一时的恐龙，在距今6500万年前消失。恐龙灭绝，谁是罪魁祸首？地质界有两种解释：火山活动和小行星撞击。结果是海洋钻探给出了答案：一颗直径10千米的小行星撞上墨西哥湾，砸出了直径180千米的陨石坑。科学界由此推想，这种超级撞击事件产生的云层所造成的长期寒冷，可能导致75%的生物灭绝，恐龙只是其中最显著的代表。

地球由于有板块运动，早期的撞击坑早就消失，墨西哥的撞击坑是地球上唯一保存完好的一个，具有极大的研究价值。有趣的是，撞击坑的一半在尤卡坦半岛的陆地上，而这里本就是玛雅文化的遗迹所在。地质历史和人类文化的遗迹同地产生，大大提升了当地的旅游价值。

大洋钻探的证据来自深海：在大西洋，尤其是美国东海岸到加勒比海一带，深海底层保留了6500万年前撞击事件的证据。原来含钙质化石的软泥突然被撞击产生的球粒层所覆盖，再上面的软泥里富集一种稀有元素铱（Ir），这是一种地球上罕见、陨石里富集的地外物质。这种球粒层厚度不一，从几毫米到9米不等，朝着墨西哥的尤卡坦半岛增厚，而那里正是撞击坑的所在。通过地球物理调查查明，这个陨石坑一半在陆上，一半在海里。2016年，大洋钻探就在海里打了一口1330米的深井，发现在撞击瞬间产生的高温高压下，地球深部的花岗岩会熔融上涌，其威力超乎想象。撞击事件在太空中十分常见，而



▲墨西哥撞击坑艺术想象图：一半在陆上，一半在海里。