

# 向地心进军

## ——探索地球深部奥秘的科学钻探

曾几何时，“上九天揽月，下五洋捉鳖”一直是人类自古以来的梦想。如今，人类的航天探测器已在太空留下足迹，深潜器也一次次突破洋底极限深度。然而，比起“上天下海”，人类的“入地”之旅却由于地壳岩石阻隔而困难重重。地球深处到底什么样？一直吸引着科学家们孜孜不倦地探索。

### 一、伸向地球内部的“望远镜”

若想对地球内部结构和物质成分进行探测，最直接、最有效和最可靠的方法是向地球纵深打一口科学钻探井，将人类的“视距”向地球内部延伸数千米甚至上万米，进而一探究竟。通过科学钻探，在地质学方面，可以研究球深部构造及演化、地球深部流体及其作用，校验地球物理探测结果；在资源能源开发利用方面，可以研究成矿理论、油气成因，调查和开发深部热能；在环境科学方面，可以研究地震成因、火山喷发机理、地质灾害预警、地球气候演变、生命演化历史。因此，科学钻探被形象地誉为了解地球内部信息的“望远镜”。

科学钻探始于 20 世纪 60 年代，分为大洋钻探和大陆钻探，已有许多国家在洋底和大陆打了近百口深浅不一的科学钻孔。根据钻孔的深度，分为浅钻（小于 2000 米），中深钻（2000~5000 米），深钻（5000~8000 米）和超深钻（大于 8000 米）四级。

### 二、大洋钻探

美国是世界上第一个提出并实施大洋钻探计划的国家。1968 年 8 月，“挑战者”号深海钻探船驶入墨西哥湾，开始展开地学革命“大陆漂移学说”的最重要验证环节——深海钻探计划（DSDP，1968~1983 年）。在 DSDP 实施的 15 年间，“挑战者号”完成了 96 个钻探航次，总里程超过  $60 \times 10^4$  公里，在 624 个钻位上，钻探了 1092 个深海钻孔，采集深海岩心总长超过 97 公里，采集范围覆盖了除北冰洋之外的全球各大洋，所收集大量的钻孔数据完美地验证了南大西洋海底扩张理

论和板块构造学说，并创立了古海洋学，为地球科学带来了一场革命。

1985年，随着新一代钻探船“决心号”的建成，DSDP的继任者一大洋钻探计划（ODP，1985~2003年）正式开始运作。在ODP实施期间，共开展了111个航次的调查，行程355781海里，足迹遍布全球各大洋，共钻井近3000口，钻芯累计长达215公里。ODP揭示了洋壳结构和海底高原的形成，证实了气候演变的轨道周期和地球环境的突变事件，分析了汇聚大陆边缘深部流体的作用，发现了海底深部生物圈和天然气水合物，导致地球科学一次又一次重大突破。

我国于1998年正式加入ODP，成为ODP历史上第一个“参与成员”。与此同时，由中国科学家提出科学钻探建议书并主导，作为ODP第184航次计划，于1999年春天首次在中国南海顺利实施，标志着我国在这一领域的研究已跻身国际先进行列。

2003年10月，ODP结束，一个规模更加宏大、科学目标更具挑战性的综合大洋钻探计划（IODP，2003~2013年）立即开始实施。该计划由美国和日本牵头，欧洲作为联合体加入，中国和韩国分别于2004年和2006年加入。IODP以多个钻探平台为主，除了“决心号”钻探船以外，还包括日本的“地球号”钻探船和一些能在海冰区和浅海区钻探的钻探平台。其钻探范围扩大到全球所有海区，进入过去ODP计划所无法进入的地区，如大陆架浅海及极地海冰覆盖区。它的钻探深度也随主管钻探技术的采用而大大提高，深达上千米。其研究领域从地球科学扩大到生命科学，手段从钻探扩大到海底深部观测网和井下实验。IODP以“地球系统科学”思想为指导，为国际学术界构筑起新世纪地球科学研究的平台，同时为深海新资源勘探开发、理解极端气候和快速气候变化过程、环境预测和防震减灾等开辟了新的途径。

2013年，IODP结束之后，新的10年计划—国际大洋发现计划（新IODP，2013~2023年）立即展开，由24个国家合作参与。新IODP主要任务在科学计划中概括为：照亮地球过去，现在和未来。这个科学计划由19个科学探测项目组成，分为四个主题：气候和海洋变化，生物圈边界，地球圈层联系和地球运动。

中国已正式加入新IODP，并为中国的深海研究制定了三步走的发展战略。新IODP的第一个航次349航次也是由中国科学家提出科学钻探建议书并主导，

于 2014 年 2 月至 5 月在南海成功实施钻探。这是继 1999 年 ODP184 航次之后由中国人主导在南海实施的第二个科学大洋钻探航次。IODP349 航次在两个月的时间里完成了 5 个站位的取芯和 2 个站位的地球物理测井工作，钻探深度共 4300 m，其中沉积岩取芯约 2300 m、基底玄武岩取芯约 200 m，在深入认识南海的地质演化上迈出了跨越性的一大步。

### 三、大陆钻探

大陆钻探不仅起步晚于大洋钻探，而且以其特殊地质区别于大洋科钻。最早进行大陆钻探的国家是前苏联，全世界最深的钻孔也在前苏联，即科拉超深钻孔。这个超深钻孔从 1970 年开钻，钻探了将近 20 年，在 1989 年到达地壳 12262 米的深度，成为目前地球上最深的“地眼”。尽管该项目付出了巨大努力，但由于科拉钻探的科学目标不明确，当代欧美洲地质学家并不认可科拉钻探数据。

相对于科拉超深钻，欧美科学家更喜欢举世闻名的德国 KTB 深层岩芯项目（1987~1994）产生的数据。KTB 是德国在德国中部的 Windsctleschenbach 镇进行的大陆科学钻探，工程历时近 15 年，最终孔深达到 9101 米，重点研究大陆中一下地壳。来自 12 个国家 400 多位科学家在此共执行了 200 多项地学研究项目，以了解大陆地壳的结构、成分、动力学、演化过程。

1996 年 2 月，德国、美国和中国作为第一批成员，发起了国际大陆科学钻探计划（ICDP），至今已有近 20 个国家和团体加入该计划。ICDP 的成立为科学钻探降低风险和成本、装备技术和科学成果的交流 and 共享都起到了良好的促进作用，并与综合大洋钻探计划（IODP）签订协议，加强两项计划在科学钻探领域的合作与协调，共同出版《科学钻探期刊》（SDJ）。

目前，ICDP 已经实施了湖泊、陨石撞击和生物灭绝事件、研究火山和地热、断层带等几十个科学钻探项目。我国已成功申请到松科一井和二井工程、“大别—苏鲁”大陆超深钻、中国环境科学钻探青海湖工程等多项 ICDP 项目，在大陆科学钻探领域方面取得令人瞩目的成绩。

2006 年 8 月 18 日，在松辽盆地北部中央坳陷区开钻的中国白垩纪大陆科学钻探工程—松科一井被称为“中国第三钻”。该钻探工程分两孔进行，称为“一井双孔”。2007 年 10 月 20 日，松科一井顺利完钻，总取芯进尺为 2577 米，芯长

共计 2485 米，是迄今为止世界首次取得的最长的白垩纪陆相盆地沉积记录，为“白垩纪地球表层系统重大地质事件与温室气候变化”的后续研究奠定了坚实的基础。

松科二井于 2014 年开钻，目标是通过实施“2 井 1 孔”钻探，打穿松辽盆地白垩系，获取万米连续高分辨率的陆相地质记录，用以研究白至纪时期的温室气候变化。松科二井到目前已完成钻井深度 7018 米，成为亚洲国家实施的最深科学钻探井。

“大别—苏鲁”大陆超深钻是我国首例大陆钻探工程，2001 年开工建设，至 2005 年完成钻探施工任务。该工程是继前苏联和德国之后第三个超过 5000 米的科学深钻（5158 米），也是全世界穿过造山带最深部位的科学深钻，被国际地学界誉为超高压变质带大陆动力学的研究宝地。该工程建成了亚洲第一个深部地质作用长期观测实验基地，使我国超高压变质带和地幔物质研究达到国际领先水平。同时，该工程建立的适用于深孔硬岩恶劣条件的新型钻探技术体系，也使我国的钻探技术水平上了一个新台阶。

2005 年 7 月 21 日，青海湖环境科学钻探开钻，到 9 月 5 日结束，历时 47 天，分别在青海湖东盆，南盆等 5 个地点钻取了 13 支岩芯，共 548 米，取得岩芯 323 米。通过青海湖科学钻探研究，查明了青海湖湖盆形成演化，气候构造变化和青海湖波动的历史，达到了解东亚季风气候和内陆干旱化变迁的研究目的。

值得一提的是，中国白垩纪大陆科学钻探工程使用的是我国自主研发的中国万米大陆科学钻探专用钻机“地壳一号”，整机性能得到验证。

#### 四、“入地”难于“上青天”

科学钻探过程中会遭遇很多世界级难题，其中就包括地球的“三高”（高温、高压、高地应力）问题。在“三高”条件下，首先钻机的配件和电子元件能否正常工作？其次，在此条件下井壁岩石容易破碎，造成井壁垮塌、卡钻等井下事故。最后，从地表打至数千米深处，井斜度不能超过 18 度，由于无法有效地探知井斜的发生，这成为制约科学钻探的世界级难题。所以，表面上看是打一口井，实际上却是在考验一个国家的经济实力、基础工业实力和整个科技的发展水平。

## 五、结语

近半个多世纪以来，科学钻探一次又一次带给人们问号与惊叹，一次又一次推动地球科学取得重大突破，为人类了解地球内部、研究地球变化和勘探各种资源开辟了新的途径。

中国在国际科学钻探项目中所获得的高水平的研究成果得到国际相关领域的普遍关注和高度评价。随着中国科技实力的增强，科学家们将按照国家目标做更多探索，并引领世界地球科学的发展。

供稿：中国地质调查局地学文献中心 张凡