

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

超深井钻探与深部地质学

刘 广 志

超深井 (Super deep well) 的定义随着钻探工程技术的发展和钻井深度的不断加深而变化^[1]。1969 年以来,国际上习惯于将用旋转钻机 (石油钻机) 施工的 6000 米以深的井和用地质岩心钻机施工的 2500 米以深的钻孔,通称为超深井。

近三十年来,由于近代科学技术的飞速发展,促使地质科学向外层空间和地球深部 (内层空间) 两个方向发展,从而使人类探索地球深部的奥秘有了可能。深部地质学——一门新兴的地质学科正在兴起。为研究地壳与上地幔专门施工的地质井、地层井,赋予超深井以崭新的含义,称为莫霍井 (Mohole),深度通常为 10 公里至 15 公里。历年来超深井记录见图 1。

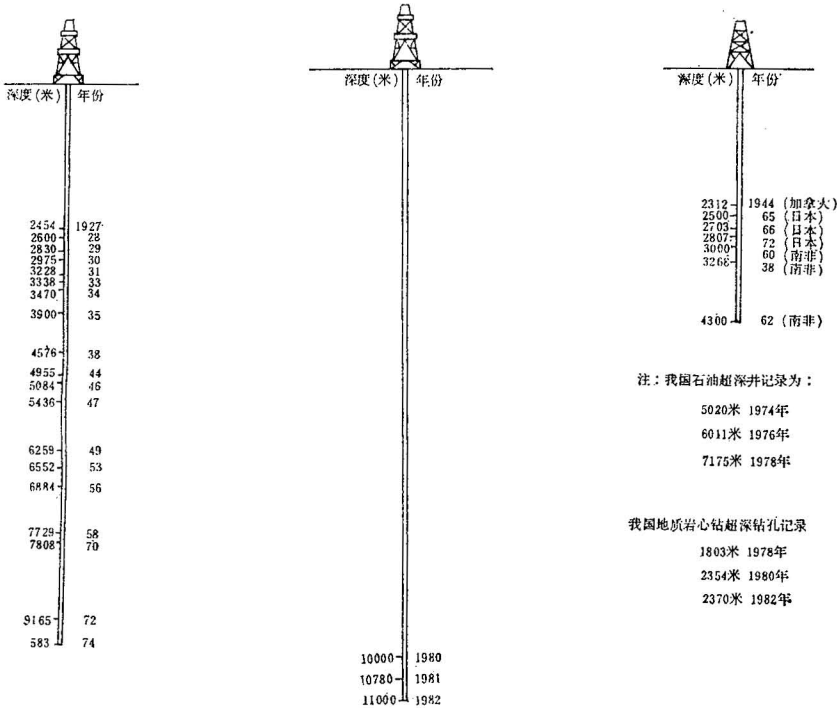


图 1 历年来超深井深度世界记录图^[2,3]

图左: 美国逐年保持的超深井井深记录 (用转盘钻机施工)。图中: 苏联在克拉半岛施工的 CT-3 号超深井
图右: 国外地质岩心钻探超深孔记录 (用立式式岩心钻机施工)

一、超深井的主要作用^[2]

(一) 作为研究深部地质学的重要手段之一

深部地质学是近十几年来兴起的一门地质学科,它研究的主要对象是地壳深部和上地幔,其研究的主要内容是地壳和上地幔的结构、构造特征,物质成分及其物理、化学特征,探讨地表构

造和地球物理场与深部运动的关系；了解深部成矿作用的过程，即其发生、发展和演化过程，从而探讨新的成矿理论以及其他地质学的若干基本理论问题等等。深部地质学的研究是一项全球性、多学科、领域广阔、带有一定战略意义的科学研究活动，引起了全世界科学界的广泛重视。1960年—1970年的《国际上地幔计划》(IUMP)和1970年—1980年的《国际地球动力学计划》(IGDP)以及《深海钻探计划》(DSDP)的实施，就是明显的例证。

深部地质学的研究方法和资料来源，目前仍以深部地球物理方法（深层地震测深、大地电磁测深、重力和磁法）为主，通过对地球物理场资料的分析研究，而取得表象认识。鉴于地球物理资料的多解性，因此，对深部地质的研究与认识，仍基于推断和间接的解释阶段。这是我国在深部地质学研究中与先进国家的明显差距。

施工超深井(莫霍井)是研究深部地质学的直接手段，取出第一性地下地质实物资料—岩心与岩样；通过多种综合测井方法，取得深部地层物理化学特性资料；通过井下电视与地面录象，取得与观察到深部地质资料。

国外对超深井取得的岩心，视为至宝，都作了如下的各有关项目的分析：^[4]

- | | |
|--|-----------------|
| (a) 古地磁测量 | (b) 磁性测定 |
| (c) 年龄测定 | (d) 声速与密度测定 |
| (e) 岩矿鉴定 | (f) 常量、微量元素化学分析 |
| (g) X射线荧光分析 | (h) 洋底声速测量 |
| (i) 微古生物鉴定 | (j) 岩石学研究 |
| (k) 结晶学研究 | (l) 电子显微镜观测 |
| (m) 同位素研究 (Pb、Sr、O、H、C、S) | |
| (n) 痕量元素 (稀土元素、Sr、Rb、Zr、Y、Ba、Ni、Cr、Co、U、Th) 分析 | |
| (o) 其他等等。 | |

总之，超深井钻探是为深部地质学的研究，提供最直观最重要的第一性地质资料的重要手段。

(二) 作为人工地壳深处的观测点、实验站

可以设想，在一口深度为10,000—15,000米的超深井，井底按常温梯度将达300℃—450℃，实际高于此数，达500℃—600℃；井底压力（静液柱压力）至少达到1,000—1,500公斤/厘米²，这个压力和温度是还可以增高的。这不仅是一个人工的较为理想的高温高压实验室，工作起来还可以避免地面高温高压实验室容易产生的许多不安全因素。为实验岩石学的技术发展提供实验条件，研究岩石成因、变质作用、物相转化、矿物合成等等。

超深井还可以作为地球物理学家长期观测地磁、地电、地热、地应力的观测点，为掌握地壳活动规律，对预报地震将会作出贡献。

(三) 作为“干热岩体”地热的开发井

高热火成岩体所蕴含的热能，是由岩体中所含有的放射性元素衰变产生的，称为“非枯竭性能源”，其勘探与开发的研究，已引起国外科学界的高度重视。美国预期在十到十五年内付诸实现，亦即1995年用于地热发电。目前，进展速度很快，已在卡尔德拉 (Cardra) 打试验井。

他们的科研课题涉及到两个方面：

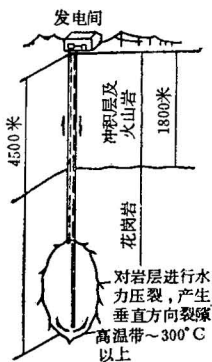


图2 美国洛斯·阿拉莫斯研究所研制用微型原子反应堆“核子钻”钻进干地热超深孔设想图

(1) 用全新的熔融式核能钻探机具, 代替传统的转盘式石油钻机打超深井, 将动力机放入井底, 大幅度降低动力消耗, 提高效率, 降低成本。

(2) 鉴于世界性能源短缺, 从长远观点着眼, 钻超深井, 开采地壳深部的“干地热”能源。

他们的试钻工作已经开始。在地面相隔30米处, 钻两口3200—4500米超深井, 直达火山岩体, 预计井底温度可达300℃以上。用水力压裂法将井底周围岩层压裂, 使两口井的井底贯通, 周围形成一个“热仓”。从甲孔注入冷水(见图2), 冷水到达热仓立即汽化, 从乙孔输到地表, 进入发电机发电。

二、国外超深井钻探简况及其对地质科学等方面的主要贡献

(一) 大陆超深井^[1]

为研究深部地质学施工超深井的国家, 目前只有美国和苏联。他们两国施工超深井的目的不同: 美国超深井计划早已开始执行, 在三种不同类型的地壳构造部位, 布置了14口超深井, 其深度保证9,000米, 争取15,000米。其中在俄克拉荷马州钻的罗杰斯1号井已于1974年完工, 井深9583米。当时创造的这个超深井世界记录, 一直保持到1979年7月。美国在旧金山附近圣安德烈斯断层, 明尼苏达河谷的古老片麻杂岩地区和纽约成三足鼎立之势, 进行超深地质钻探。

很明显, 美国着眼于现代地壳活动动态, 研究断层活动和地震形成的机制、热液系统和活动的岩浆房、北美与太平洋板块周围的应力变化等等。

苏联布置超深井的目的, 着重研究地质构造问题, 研究不同发展历史的构造单元和深部地质作用过程。苏联布置了三口著名的超深井: 第一口СГ-3号井在苏联西北端摩尔曼斯克以西科拉半岛的巴伦支海岸前寒武纪结晶岩基底, 1970年4月开钻, 1977年初井深7430米, 1980年7月达到10,000米, 1981年4月5日据苏联《劳动报》报道, 该井井深已达10,780米, 居世界领先地位。第二口在阿塞拜疆高加索山南部的萨阿特累, 设计深度为15,000米; 第三口在乌拉尔山东南侧的马格尼托哥尔斯克复向斜上, 设计深度为12,000米。苏联超深井的布局是以一口超深井为中心, 周围分置几口深度为6,000米左右的卫星井, 约15口, 其中有8口是苏联地质部负责施工的。这些卫星井都是为地质科研打的地层井, 通过对这些井取得的地质资料与钻探经验, 指导主超深井的施工, 同时作为深部试验室和深部地球物理实验场。在相邻两口井之间, 还可作两井间的地震勘探。

苏联钻超深井是用两台涡轮钻和两只并列的钻头, 成倒“丫”字型与钻杆柱相连接的, 实现井底动力机钻进, 在钻探工艺上是一大创新。

据已报道的资料, СГ-3井提供了一些出乎意料的地质资料。如在结晶岩中, 每百米增温梯度为1℃的假说未得到证实, 只是在2,000米深度以内, 此假说才成立。在7,000米深的层位里, 地震波的传播速度比在表层还要慢得多。2,000米以下地温增高很快, 7,000米深处可达120℃。在6,350米发现一个意想不到的水层。在极深处发现二氧化碳、氨和碳氢化合物。还在年龄为20亿年左右的岩石中发现微生物残骸。该井的主要目的是研究岩石圈, 以便对矿床形成与分布规律作些探索, 设计井深为15公里。

第二口井于1975年开始, 预计1981年达到7,500米以深。该井主要研究地壳上部构造, 探讨矿床形成的一些规律, 预计6,000—7000米遇花岗岩, 该处玄武岩埋深为12,000米, 钻井将钻入玄武岩层至少300米。

为进一步加强深部地质研究计划, 苏联已确定在第十一个五年计划期间(1981—1985), 在

乌拉尔和西伯利亚进行超深井钻探。

(二) 深海钻探^[5]

地质学家们推测, 莫霍洛维奇契不连续面 (Mohorovicic Discontinuity), 即莫霍面, 在大陆上位于地壳平均厚度约35公里的下面; 在大洋深处则只5公里。同时, 为了探索地壳深部只靠海底底质软泥取样, 已十分不足, 非要设法在深海海底钻井取样不可。

为实施深海钻探, 美国前后制定了若干个计划:

1963年制定了《莫霍面钻探计划》(Mohole Project), 钻了少数钻孔, 不幸因为某些原因而中断。

《联合海洋地球深层取样机构》(JOIDES) (Joint Oceanographic Institution of Deep Earth Sampling) 是在60年代初, 由美国哥伦比亚大学拉蒙特地质研究所、迈阿密大学海洋科学研究所、伍第霍尔海洋研究所和加州大学斯克里普斯海洋学研究所等单位发起组成, 由全国科学基金会资助, 试钻钻探船是《CALDRILL》号, 在布莱克海底台地水深1,000米试钻。

《深海钻探计划》(DSDP) (Deep Sea Drilling Project) 是由JOIDES发起组织的。1965年开始筹备, 1967年建造著名的深海钻探船《格洛玛·挑战者》号 (Glomar Challenger), 自1968年至1975年在海上钻探了整整7年, 取得了大量宝贵资料。

《深海钻探国际性阶段》(IPOD) (International Phase of Ocean Drilling) 是深海钻探计划的后续阶段。自1975年至1979年底止, 苏联、西德、日本、法国、美国参加了《IPOD》计划

《G·挑战者》号是专门设计用来进行深海钻探和岩心取样的专用船, 长122米, 排水量为10,668吨, 设计最大钻进深度7,570米, 最大作业水深6,100米, 钻塔高60米。船上配备有美国最现代化的技术装备, 如

(1) 电子计算机控制的动力定位装置 (图3)

(2) 各种取岩心样器具

(3) 卫星导航定位装置

(4) 重返钻孔系统 (包含水下声纳及船上钻柱定位指示器)

(5) 各种井中物探及岩心分析、研究、测试仪器。

《G·挑战者》号历时十多年 (1968—1979), 航行达70个航次, 在大洋底部钻井约700多口, 洋底进尺不下300,000米, 钻探最大水深6,247米, 水下最大钻进深度为1,412米, 取得岩心达廿多万米。《G·挑战者》号是世界上首次执行深海钻探任务的科学研究船, 该船的工作成果已汇编成《初步报告》, 出版38卷, 每卷约1,000页。

《G·挑战者》号对地质科学的主要贡献:^[5]

(1) 结束了海洋地质学家单凭地球物理方法、遥测方法或零星岩样认识海底地质的状态。

(2) 发展了宏观地质学, 使之从大量收集表面看来互不相关的现象资料, 转变为以大量实测资料, 以板块构造、大陆漂移理论为基础, 从大陆到海洋到环球, 作出全球性综合分析。

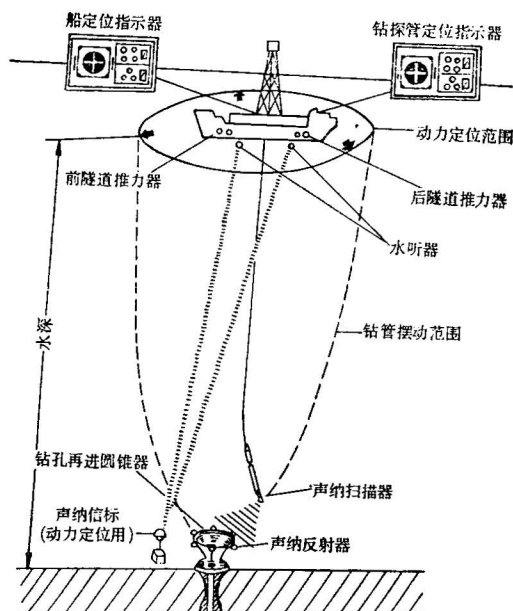


图3 《G·挑战者》号动力定位和再进钻孔示意图

(3) 对大西洋中脊两侧, 进行系列地大量地钻探证实距中脊越远, 海底沉积层年代越老。各相邻钻井中深层沉积物年龄可以对比。中脊裂缝里有硫化物热源溢出。

(4) 第一次发现深海石油蕴藏。也发现许多含铁沉积层和含铜、铬、钒等金属的迹象。

(5) 进一步证实了海底扩张学说, 扩张速率每年达几厘米。

(6) 探测到了奇特的地磁异常现象。通过岩石剩余磁性测定, 引导出地球磁极迁移的概念。

此处, 对海洋科学、海洋生物学、气象学等都作出了卓越的贡献。

三、我国急待筹备为深部地质学研究的超深井钻探工作

我国幅员辽阔, 资源丰富, 地质构造多种多样, 西部有青藏高原和喜马拉雅山, 濒临太平洋有漫长的大陆架、内陆盆地、褶皱山系、古地块等各种构造单元, 有各种发育良好的构造体系。自建国以来, 全国已大量地进行了系统的地质调查与勘探工作, 积累了丰富的地质资料, 为我国深部地质学的研究, 奠定了良好的基础。

除了进行深部地球物理工作以外, 必须进行超深井钻探, 才能加速深部地质学的进展。无疑对促进我国地质科学向更高水平发展, 有着十分重要的战略意义。

超深井钻探技术是钻探技术装备研制、钻探工程基础理论研究和钻探工艺水平发展的一项综合性成果。从技术装备来说, 它是重型机械学、钢铁冶金学、固体物理学、电子学、工程力学等科学技术成果的集中表现。从钻探工艺来说, 首先要研究解决一系列理论与实践的问题, 如高温高压状态下岩石破碎机理、冲洗液胶体化学、冲洗液水力学和流变学; 长度 4,000—15,000 米的钻杆柱的弹性力学、断裂力学、振动力学性质; 高温高压状态下的新材料、新钻头、新工具, 超深井的测试技术与装备, 以及一些具体的钻进与成井工艺等。因此, 超深井钻探是从一个侧面衡量一个国家的工业技术水平和地质科学研究水平的标志之一。

国家科学技术委员会十分重视超深井的钻探工作, 已列入科学技术发展规划纲要中的《地质勘察技术学》学科计划之内。应该从速组织力量, 进行攻关, 为我国深部地质学的研究开展超深井钻探, 从以下几个方面做好思想、物质和技术准备工作:

(一) 在国家科委领导下, 召集有关部门和各有关学科, 统一组成国家超深井钻探委员会, 制定超深井实施计划及各学科在超深井中欲进行的各自科研计划。健全“地质勘察技术学科组”, 作为日常办事机构。

(二) 目前, 我国已具备研制超深井钻探技术装备和工艺基础理论的基础。以自力更生为主, 进口一定数量的必要设备, 以期早日做好研制技术装备的准备工作, 以及此后的调试、试验工作。

(三) 由中国地质科学院研究选定井位。第一批至少施工三口超深井, 成三足鼎立之势布置。并注意收集我国已施工的石油勘探井和地质钻孔资料, 以及其他地质资料, 制定超深井预想地质剖面图。

(四) 组织我国勘探技术研究院、所、队, 和地质院校中探矿工程系(科)的庞大科研力量, 按地球物理、地球化学、钻探工程、钻头钻杆研制、基础理论等几个方面按课题分工负责, 组织攻关, 定期完成。应重视对这部分力量的组织与运用。

(五) 建立强有力的超深井科技后勤工作队伍, 按照统一规划, 进行物资准备。

(六) 培养有关高级技术人员, 必要时可派少数人员出国作专题而短期学习。

深部地质学是一门带战略性的学科, 国家必须给予高度重视。它的研究与发展不能只停留在

作地表地质工作的程度上, 必须施工超深井为繁荣地球科学, 作出中国人民自己的贡献。

参 考 文 献

- 〔1〕《石油钻井技术》1978年3期, 地质出版社。
- 〔2〕“超深孔钻探概况”, 《探矿工程》1979年3期, 地质出版社。
- 〔3〕日本大深度钻探的现状 (地质二 1—2 1979年7月) 加藤完, 日本地质调查所。
- 〔4〕《国外科技》广东科技情报所 1978年8期, 广东人民出版社。
- 〔5〕《世界科技译丛》1979年2期, 上海科学技术出版社。

SUPER-DEEP DRILLING AND DEEP-SEATED GEOLOGY

Liu Guangzhi

Abstract

Super-deep well, the So-called “mohale”, has a depth of more than 6,000 meters to 15,000 meters, and is used to penetrate the earth crust at great depth. Some geological scientists want use it to drill into the upper mantle. The main functions of super-deep well drilling are:

(a) To be one of the main important measures for deep-seated geology research.

(b) To be the development well for “Hot Dry Rock” geothermal energy.

(c) To be a man-made hi-pressure, hi-temperature observatory station or laboratory in the deep part of the earth crust.

The world records of super-deep wells are:

U. S. A.	9583m	1974
P. R. C.	7175m	1978
U. S. S. R.	10,700m	1981
U. S. S. R.	11,000m	1982

The world famous “Deep Sea Drilling project” and “International phase of Oceano Drilling” (DSDP and IPOD) have been successfully finished by the “G. Challenger” drill ship and provided many valuable results for the study of the deep-seated geology, marine geology, oceanology, meteorology, mineralogy and etc.

The people's Republic of China should prepare a whole proposal or project for super-deep well drilling, which is a stratigic work for the development of geological science in the country.