刘广志论

科学钻探

刘广志　编著

汤凤林
周国荣　审校

地质出版社

·北　京·

谨以此书

献给祖国的地球科学
和我毕生热爱的
探矿工程事业

刘广志

2005.10.1

内 容 提 要

本文集分五部分。分别介绍20世纪国外科学钻探情况与获得的科学成果，作者对中国进行大陆科学钻探的建议，大陆科学钻探的选址、钻孔设计、施工工艺，国外经验以及有关资料。本书可供钻探专业科研、教学工作者及有关院校师生参考阅读。

图书在版编目（CIP）数据

刘广志论科学钻探/刘广志编著. —北京：地质出版社，2005.11

ISBN 7-116-03546-X

Ⅰ.刘… Ⅱ.刘… Ⅲ.钻探-文集 Ⅳ.P634-53

中国版本图书馆CIP数据核字（2005）第131835号

责任编辑：冯士安 陈军中

责任校对：郭小丽

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路31号，100083

电 话：（010）82324508（邮购部）

网 址：http://www.gph.com.cn

电子邮箱：zbs@gph.com.cn

传 真：（010）82310759

印 刷：北京印刷学院实习工厂

开 本：787mm×1092mm 1/16

印 张：15.5

字 数：360千字

印 数：1—1000册

版 次：2005年11月北京第一版·第一次印刷

定 价：32.00元

ISBN 7-116-03546-X/P·2257

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页，脱页者，本社出版处负责调换）

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

序　　言

20 世纪中叶，美国和前苏联，分别对探索深部地球结构，付诸具体行动。例如，美国在 1960 年提出国际上地幔计划（IUMP，即 International Upper Mantle Project），有 47 个国家参加；1963 年美国又倡导莫霍面计划（Mohole Project），设想在海上钻探深达 6000 m 的深孔，由于当时海上施工技术设施和条件还处于初级阶段，在墨西哥海湾试钻时钻到了海上油气，中途终止。前苏联则比较稳妥，首先成立了由地质部领衔，各个工业部门（地质、航空、水利、地球物理等）参加的综合科学研究机构；通盘考虑了深部地质预测，超深井的钻探设备、工艺、测井以及获取深部岩心的井下储存管，孔底动力机，超深孔防止与处理事故的工具与措施等等；随即设计了北起摩尔曼司科克，南至乌拉尔的一系列深孔和超深孔方案。德国、瑞典、日本也制定了超深钻探与地质实验计划。一时间，一个探索地球深部奥秘的热潮，席卷全球。我国是一个地质大国，又拥有雄厚的探矿工程队伍。1979 年 9 月 11 日在北戴河召开的“文化大革命”之后的首次全国探矿工程学会上，作者出于对祖国地质科学发展的强烈愿望，在会上以“超深井钻探与深部地质学”为题作发言，得到了与会代表的热烈响应。会后作者到处寻觅美、日、俄的有关资料，进行了翻译，以这些材料为主编成书稿。由于当时条件所限，只用复印的办法印了几十本，分赠给有关地质界、物探界、钻探界的同行们参阅，得到了赵文津、孙枢、李廷栋、肖序常等专家的赞许，他们中有的人还专门写文章表示支持。此后，部里任命我担任国际岩石圈（ILP）（International Lithosphere Program）CC-4 组的中国协调员；又陆续参加了在前苏联、德国、加拿大、日本召开的国际会议，受益很深，大大增强了逐渐开展大陆科学钻探的意念和决心。

这本书包括自己译著的四十几篇文章，和汤凤林院士、张伟总工的 7 篇文章，涵盖了众多先进国家开展深部钻探、深部地球勘查的步骤和规划，甚至岩心的检测、测井等内容，以及若干实践中所遇到的困难和问题。我认为这是一本可供地学界参考的、带有一定启蒙性的集子。我还认为本书对地质、探矿工程专业的学生和院校培养研究生，作为辅助教本，也是有裨益的。正因如此，在部领导的支持下，增删修改书稿，把这本集子正式印刷出版；望读者批评指教，是为至盼。

中国工程院院士
刘广志
2005. 5. 1

原　前　言

1972 年 6 月，我从“五七”干校回来。当时身体不好，事情不多，翻阅了许多科技杂志。一个偶然的机会，在《American Scientist》上看到了一篇由 W. A. Nirenberg 发表的文章，题目是“Ten Years for DSDP”，即“深海钻探十年”。内容十分丰富，讲的是深海钻探的来龙去脉，其目的是为了研究大洋洋底的沉积和演化、证实、板块漂移说，打算钻穿地壳到达上地幔。这一宏伟的科学研究计划不仅吸引人的注意，更重要的是：它是地球科学的一门前沿科学，它取得的每一项科研成果，都将推动地球科学进一步向高层次发展，引起了我极为浓厚的兴趣和注意。于是我开始查阅有关书籍、文献、杂志，新资料不断涌来，兴趣也随之浓重。记得我写的第一篇文章是《超深井钻探与深部地质学》(地质论评，1983 年 1 月，29 卷 1 期)，是为纪念中国地质学会成立 60 周年而写的。

其后，为追踪这门前沿科学的动态，迅速积累这方面的技术资料，我组织了多位钻探、探矿机械的教授、专家、翻译和研究人员，陆续翻译了历届国际科学钻探会议的有关技术论文和所能收到的重要资料。在部科技司领导和地科院的几位研究员、专家与部探矿工程研究所等的大力支持下，先后编印出版了八册科学钻探文集，约 250 万字（可装订为三卷），广泛发给了各界专家阅读参考。十多年来，伴随着国内宣传、国际交流，以及出国考察等活动，科学钻探的意义及其对地球科学的重要性引起了地学界的重视。许多知名专家纷纷在制定“九五”以至远景计划时，都支持立项起动，这是我国地学界的一件大事。

科学钻探是一项巨大的工程系统工程，更是一项重要而全新管理系统工程，为准备好比较简明而齐全的参考学习资料，特地把过去写的一些文章汇编成本册。

本册内容涵盖了科学钻探的基本概念、定义、特点、重要性、科学性、科研内容、预期各项地质成果；对已有的钻探工程如何适应科学钻探的新需要，应该设立哪些新的研究课题、设备、工具、仪器、器材等；对如何配套、人才如何培养等，都提供了若干意见。

刘广志于首都北京

1995 年 2 月 25 日

目　录

第一部分　综述国外科学钻探情况与获得的科学成果

科学钻探三十年 …… 刘广志 (1)
超深井钻探意义、作用与现状综述 …… 刘广志 (5)
科学深钻的科学意义与现实意义 …… 刘广志 (22)
俄罗斯的深部地质研究和超深井钻探 …… 汤凤林编译 (26)
俄罗斯专家在京作科学钻探学术报告 …… [俄] Y. A. 科兹洛夫斯基 (32)
美欧大陆超深孔科学钻探计划纪实 …… [美] 理查德·A·科尔 (34)
世界科学深钻最新成果综述 …… 刘广志 (38)
地矿部赴日科学钻探考察团取得丰硕成果 …… 良　模 (43)
国际大陆科学钻探会议在德国波茨坦胜利召开 …… 刘广志 (45)
钻探科技发展现状及其展望 (摘) …… 刘广志 (51)
欧洲一些国家的超深钻孔 …… 地质部情报所 (54)
日本大陆科学钻探概况 …… 刘广志编译 (56)
20 万年冰层被钻透获重要地质、气象信息——科学钻探最新成就 …… 刘广志 (71)
奥地利超深井钻探大事年表 …… 张伟译编 (72)
前苏联超深孔地质钻探大事年表 …… 刘广志、张　伟 (73)
美国超深孔地质钻探大事年表 …… 刘广志、张　伟 (75)
联邦德国超深孔钻探大事年表 …… 张　伟 (77)

第二部分　中国大陆科学钻探势在必行

科学钻探促动地球科学发展 …… 刘广志 (79)
大陆科学深部地质钻探势在必行 …… 刘广志 (90)
中国开展科学钻探的重要性与可行性 …… 刘广志 (93)
中国大陆科学钻探新进展 …… 刘广志 (97)
在京部分钻探专家座谈我国大陆超深孔钻探初步方案 …… 良　模 (101)
A Preliminary Plan for the Continental Scientific Drilling in China (CSDC)
…… Liu Guangzhi (102)
论大陆科学钻探的目的及未来 …… 刘广志 (110)
第一次中国大陆科学钻探 (CSDC) 研讨会 (钻探) 小结 …… 刘广志 (114)
关于迅速在我国开展大陆科学钻探的建议 …… 刘广志 (117)
我国大陆科学深钻筹备工作现状 …… 刘广志 (121)
国际岩石圈计划 CC - 4 组　主席给刘广志的来信 (摘要) …… 刘广志译 (125)

第三部分　大陆科学钻探的选址、钻孔设计、施工工艺与科研课题

综谈科学深钻的一般程序与基本要求 …… 刘广志 (126)
超深井 (孔) 钻探概念——1987 年在纪念勘探所成立 30 周年报告会上的讲话
…… 刘广志 (134)
日本超深钻探与地球科学实验项目 …… [日] 田中彰一等 (140)
垂钻系统钻探工艺——定向钻探发展的一个里程碑 …… [德] C. Chur (144)
中国大陆科学钻探先导孔的战略与设想 …… 刘广志 (150)
The Strategy and Concept of the Proposed Pilot Hole Drilling in China
…… Liu Guangzhi Prof. (158)
Report on the Current Status of Continental Scientific Drilling in the People's Republic
of China …… Liu Guangzhi (174)
Deviation in Deephole Diamond Drilling and It's Correction Measures (Abstract)
…… Liu Guangzhi (178)
联邦德国超深孔钻探计划——其目的与工作现状 …… [西德] H. J. Behr 等 (180)
超深孔硬岩钻进与取心技术 …… [西德] C. Marx, H. Rischmüller (192)
联邦德国大陆深钻计划 (KTB) 的技术设计与规划现状
…… [西德] H. Rischmüller, C. Chur (201)
全球性科学钻探技术工艺的发展前景 …… 刘广志 (209)
Scheme of Establishing Scientific Drilling Research Project in China …… Liu Guangzhi (214)

第四部分　国外经验

世界最大型钻机 KTB 的钻探设备 …… [西德] L. Wohlgemuth (216)
国际大陆科学钻探会议部分重要论文摘要 …… 刘广志 (219)
美国索尔顿湖科学钻探计划 (SSSDP) 一口钻井已钻成，初步资料令人瞩目
…… 地矿部情报所 (222)
德国 KTB 科学钻探超深孔顺利终孔 …… [德] Richard A. Kerr (224)

第五部分　重要附件

建议我国近期也制定大陆科学深钻井的长远规划 …… 顾功叙 (226)
地矿部石油海洋局钻成 5000m 以深深井有关数据 (截至 1993 年 8 月) …… (230)
美国大陆科学钻探 (1985～1993) 有关费用分布 …… (231)
编后话 …… (234)
附录 …… (236)
中国大陆科学钻探工程正式启动 …… 科技日报 (237)
一千三百天“入地”五公里 …… 经济日报 (238)
中国大陆科学钻探工程竣工 …… 科技日报 (239)

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第一部分　综述国外科学钻探情况与获得的科学成果

科学钻探三十年

刘广志

美国科学钻探简况

自 1960 年美国提出“国际上地幔计划”(IUMP，即 International Upper Mantle Project)以来，深部地质学研究走向一个新时期。当时有 47 个国家参加，历时 10 年(1960～1970)，于 1971 年进行了总结。

与此计划并行的是一系列科学钻探计划，诸如 1963 年开始的莫霍钻探计划(Project Mohole)。莫霍钻探计划的主持人是 Willard Bascom，这个计划的一项直接目标是从钻探船上把钻杆柱下到海底，然后从海底钻入 6 km 到“莫霍洛维奇不连续面”。这个不连续面环绕着地球整整一层，因此，它是地壳内部信息的主要来源，而且标志着地球的上地幔构成物质在这里出现重要变化。人们预估海底底下莫霍面深度为 5 km，比陆地上要好钻得多。在下加利福尼亚海域(Baja California)圆满地完成了试钻任务，不幸因意见不一致和预算猛增而遭美国参议院否决。

60 年代初，美国四所大学的海洋科学研究所组成“联合海洋地球深部取样机构”，简称 JOIDES(Joint Oceanographic Institutions of Deep Earth Sampling)，其后又有华盛顿大学等 5 所大学参加，由国家基金会(NSF)资助，钻探负责人为沃泽尔(J. L. Worzol)。

1965 年 JOIDES 正式制定了深海钻探计划，简称 DSDP(Deep Sea Drilling Project)，任命 Mclvin Peerson 为主任科学家，W. W. Rand 为地质学家兼海上钻探专家。

1968～1983 年历时 15 年，由“格洛玛·挑战者”号钻探船(Glomar Challenger)航行了 96 个航次，航行 60 万 km，在 624 个地点钻成 10926 个钻孔，取岩心约 95 km。最大工作水深达 6247 m，海底最大钻进深度 1412 m，钻入玄武岩最大深度 583 m，获取了大量的海洋与地质资料。其中 1975～1979 年作为“深海钻探国际阶段”，简称 IPOD(International Phase of Ocean Drilling)，苏、日、法、英、德等国参加，每年各出资 100 万美元，分享科研成果。

在深海钻探计划行将完成之前，1981 年在得克萨斯州奥斯汀举行了海洋科学钻探国际研讨会，回顾了深海钻探的卓越成就，制定新的大洋钻探计划。

1983 年末正式确定了“大洋钻探计划”，简称 ODP(Ocean Drilling Project)，1985～

1995 年为执行期，为期 10 年。ODP 的目标是查明全球海洋洋壳的结构与演化史，它将采取洋盆岩样与测井资料，并提出研究成果。ODP 是个多国合作项目，美、加、法、英、欧洲 12 国参加，由“ JOIDES Resolution ”(决心号) 执行钻探作业，预计 1991 年完成第一次环球钻探航行。目前“ 决心号 ”一直航行在大西洋、东太平洋、印度洋，并已穿过地中海、加勒比海和威尔德海，力图找到国际科学界提出的各种科学问题的答案。该船试验了高纬度区 (北极圈以北 105 航次，南极圈以南 119 航次) 的取心钻探作业，均获成功。1985 ～1989 年的 4 年中已完成 122 个航次，在 144 个地点钻成 330 个取心钻孔，取心 3. 7 万多米，为 20 个国家的 500 多位船上科学家提供 25 万件样品，作为各个国家进一步科研之用。截止到 1989 年 12 月已完成 129 航次。4 年的钻探作业已探索了第一届大洋科学钻探大会 (COSOD Ⅰ，1981) 的各项目标，1990 年起将着手解决 (COSOD Ⅱ，1987) 的各项目标。不久前，在厄瓜多尔以西太平洋中钻了一个 504B 孔，水深 3400 m，钻入洋壳 2000 多米，为世界第一海上深孔。

美国除领衔进行了海洋钻探的宏伟计划之外，对大陆科学深钻也十分重视:

1974 年在俄克拉何马州钻成了罗杰斯 (Betha Rogert No. 1) 1 号孔，深 9583 m，这一世界纪录一直保持到 1980 年，后被苏联打破。

1984 ～1994 年，美国计划用 5 ～10 年，通过由 23 所大学组成的“ 陆壳深部观测与采样组织 ”简称 ECDOSO (Earth Crust Deep Observation and Sampling Organization) ，在美国大陆布置了 29 口科学深孔，从地质学角度分布在下列四类地区: ①基底构造或深盆地 (16 口) ; ②活动断裂带 (6 口) ; ③热状态异常区 (5 口) ; ④矿化热液系统 (或岩浆系统) (2 口) 。第一口在阿巴拉契亚山脉南段施工以研究 Greenvill 期基底岩石学特征等，并为超深孔收集资料。在索尔敦湖打的一口高温地热井，深 3220 m，已于 1986 年 3 月完工，井底温度高达 353℃，为世界罕见的高温地热井。大陆科学深钻 (CSD) 正在按计划进行。

苏联科学深钻部署简况

1960 年苏联根据深部物探资料提供的地质构造，明确提出了 6 个施工地区。苏联地质部按苏联领土深部结构，研究分为三个阶段:

第一阶段 (60 年代) 主要是提出任务，进行科学准备，制造深钻、地球物理设备等。

第二阶段 (70 年代) 进行萨阿特累、科拉半岛深钻试钻，在一些地区进行深部物探。

第三阶段 (1981 年起) 转入有计划的苏联陆壳与上地幔进行综合研究活动。上述深钻试钻是综合研究计划的重要组成部分。

我国著名地球物理学家顾功叙先生认为: 科学发展到现在，人们渴望了解地球是这样一些方面: ①构造形态，②物质组成，③地壳演化历史过程; 而深部地震探测只能对构造形态提供一定的启示，对后两方面则无能为力。这种论点与苏联的论点不谋而合。

苏联在 1970 年设计卫星孔 (又称先导孔 pilot hole) 15 口，深度在 6000 m 以内，超深孔 3 口 (CT-1、CT-2、CT-3) ，深度均为 15000 m。卫星孔是先期施工的，取得第一手信息资料，验证超深孔选址是否正确，指导超深孔钻探工艺。

科拉半岛的 CT-3 井于 1970 年 5 月 25 日开钻，至 1975 年 5 月达深度 7263 m，完成第一阶段要求。此后 1978 年深达 8700 m; 1980 年 5 月 10 日达 10000 m; 1981 年 4 月 5 日达到 10780 m; 1986 年 3 月深度达到 12300 m。1975 年第 2 口超深孔 CT-2 开钻，位于萨阿

特累，1981 年钻达 7500 m。1978 年第 3 口 CI-1 井在马格尼托哥尔斯克复向斜上开钻。1970 ～1986 年设计的 15 口卫星井，在每口超深孔的周围各布置 5 口。

联邦德国大陆深钻（KTB）部署简况

1977 年德国研究协会（DFG）地学委员会提出联邦德国深钻计划。1981 年开始选址，从 40 个候选地中复选出 4 个。1982 年提出地震反射长测线计划（DEKORP）。1983 年 11 月正式选定候选地为 2 个。1984 年 4 月确定 KTB 计划由下萨克森地调所实施。DFG 开始在 Oberpfalz 两个孔位周围钻 10 个地温（地热流量）调查孔，深 100 ～300 m。

1985 年 2 月联邦科技部（BMFT）确认 KTB 计划。

1987 年 9 月 18 日 ～1989 年 4 月 4 日先导孔施工，终孔 4000.1 m（1989.4 ～1990.4，执行长期测井计划）。

1990 年 9 月 8 日科学深钻主孔开工（预计深 14000 m）。1994 年主孔预计达到 10000 m。

此外，日本、澳大利亚、法国、捷克和斯洛伐克、奥地利、英国、瑞士、瑞典以及北美加拿大等国地质部门参加或出资参加美国领衔的深海钻探计划（DSDP）、大洋钻探计划（ODP），参加科研活动、分享科研成果、培训人才。实质上科学深钻已成为继外层空间科考活动后，另一次探索地球内层空间的全球国际活动，但就其难度而言要甚于前者。

日本科学深钻进展简况

1986 年，“岩石圈动力学与演化计划”（DELP）日本分会内设置了“大陆科学钻探工作委员会”，正式开始科学深钻的研究、立案工作。其活动情况通过《科学深钻通讯》报道，该委员会简称“JSD”。同年，科技厅提出革新基础研究方面的调查，提出“大陆科学深钻”。

1987 年，该工作委员会的“科学钻探计划的研究”项目获文部省科学研究费用综合研究 B 类补助金。起草计划并进行钻探候选地的研究。

科学技术厅在航空、电子审议会内设置了地球科学技术部门。同年 7 月提出中间报告，在报告中提出“超深孔钻探计划”。着手研究超过 10000 m 的超深孔钻探。12 月接受该报告，并开始研究。

1987 年，日本对科学深钻的关注日益高涨。土力学与基础工程学会的《土与基础》会刊出版了《地球钻探》专辑（1987，6），石油协会提出“科学深钻”。

1988 ～1991 年，设置“科学深钻学习组”，是一个专门研究的组织；设置中心，开展前期反射、折射地震探查。钻探 1000 ～2000 m 钻孔作地表地质调查。

1992 年召开国际地质学会（IGC），拟提请大会研究决定候选钻探地址。

1993 ～1994 年，钻先导孔，深 3000 ～4000 m。

1988 ～1994 年，科学深钻有关技术开发。

1994 年开始，钻主孔，深 15000 m，预计孔底温度 400℃。

日本科学界认为：日本科学深钻落后于苏联 15 年，落后于德国 10 年。其实不仅于此。

日本大陆科学深钻候选地。日本处于太平洋板块沉陷带上，其列岛正处在地壳形成或变动带地区。为直接验证地壳动力学有关内容，通过深钻查明地壳形成、构造过程、获取深部地壳及地幔物质等，具有优于其他国家的良好条件。现已提出 9 处候选地。

(1) 南鸟岛。勘探太平洋板块沉陷动态，掌握全球海平面变动。

(2) 伊豆半岛。沉陷带中的典型火山。

(3) 伊豆半岛。典型火山弧。

(4) 和歌山平原。伴随菲律宾板块的沉陷，地震高发区。

(5) 日本海东北沿岸清泽县，扩大到 15 Ma 的日本海东缘。

(6) 九州东部大崩山。在日本海扩大时，由四国深海盆的西南地壳熔融形成。

(7) 小笠原。位于扩大的菲律宾海的东缘，重力异常大。

(8) 三波川带。海洋板块上沉积物，随着沉降在深部变质。

(9) 日高山地。因板块冲撞，沉陷带岛弧断面出露。

除南鸟岛外都需要钻超深孔。钻探候选地最终选定拟在 1992 年在日本举行的国际地质学会（IGC）期间约请国际专家参谋确定。

国际岩石圈委员会第四协调组（CC-4），即大陆深钻组也准备 1992 年召开国际会议研讨陆壳深部钻探的国际合作的问题，以促进其发展。

科学深部地质钻探工作经过 30 年的发展，确实对地球科学起了巨大促进作用，做出引人瞩目的贡献。表现在:

(1) 使地质学从局部的微观的观察研究，进入了宏观的全球性的科研领域。

(2) 从深部地球物理工作入手，利用科学深孔钻探，取得深部地壳三维空间的实物地质信息。既验证深部物探成果，又深入以往矿床学研究禁区，为成矿理论研究，成矿预测以及找矿方向都提出了全新概念和重要线索。实现国外地质学家提出的“通过钻探观察陆壳”(Observation of the Continental Crust Through Drilling) 的新概念。

(3) 地球科学研究已进入从外层空间地球卫星，到利用内层空间的深钻孔的一个新时期。

(4) 从工业国家已实施的科学深钻成果来看，为地学发展开拓了许多新领域、新途径，值得人们认真学习，高度重视。

(地质科学院：第一次 CSDC 论坛摘要，1994 年 4 期)

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

超深井钻探意义、作用与现状综述

刘广志

为勘探地壳深部地质与矿藏等情况，需要钻超深井。井越深，技术难度越大，所以钻井深度常作为衡量一个国家钻探技术水平的重要标志之一。

超深井钻探技术又是钻探技术装备研制、钻探工程基础理论研究和钻进工艺水平的一项综合性成果。从技术装备来说，它是机械学、冶金学、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、冲洗液胶体化学及水力学；钻杆柱之弹性力学、断裂力学、震动力学性质；高温高压状态下新材料、新工具、新钻头及其具体钻进与成井工艺等。因此，一些工业先进国家对于超深孔钻探都十分重视。美苏等国均设有专门委员会，统筹有关科学技术规划，处理有关事宜。

超深井（super deepwell）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。1969 年以来，国际上习惯于将用旋转钻机（石油钻机）施工的 2500 m 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 10000 m 至 15000 m。历年来超深井记录，见图 1。

一、超深井的主要作用

(一) 研究深部地质学的重要方法之一

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、构造特性、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。1960～1970 年的“国际上地幔计划”（IUMP）和 1970～1980 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。

我国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。

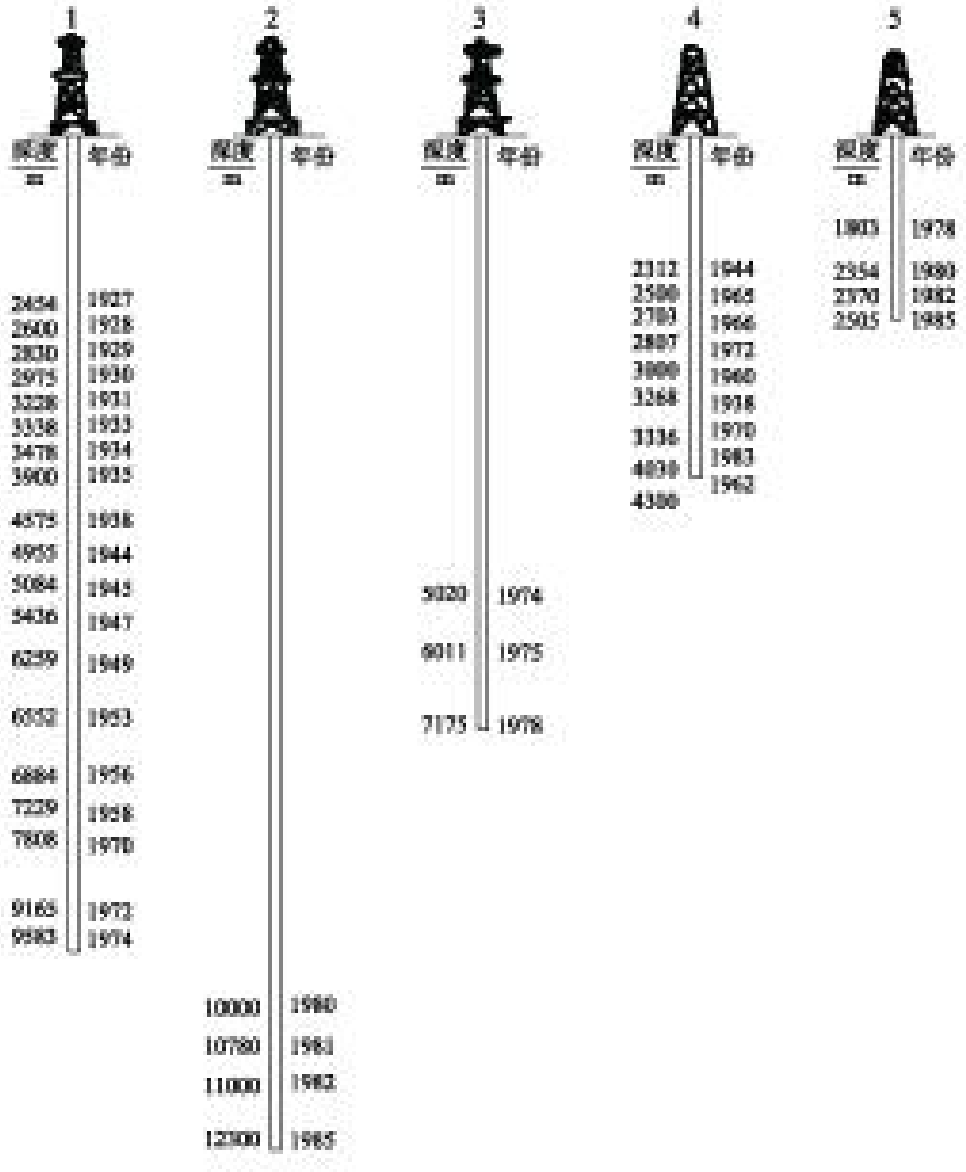

图 1　历年来超深井深度世界记录图

1—美国超深井井深记录（用转盘钻机施工）；2—前苏联在克拉半岛施工的 CT-3 号超深井；3—中国石油超深井记录；4—国外地质岩心钻探超深孔记录（用金刚石岩心钻机施工）；5—中国地质岩心钻探深孔记录（用金刚石岩心钻机施工）

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方法，可以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像，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，都做了如下的各有关项目的分析：

①古地磁测量；②磁性测定；③年龄测定；④声速与密度测定；⑤岩矿鉴定；⑥常量、微量元素化学分析；⑦X 射线荧光分析；⑧洋底声速测量；⑨微古生物鉴定；⑩岩石学研究；(11) 结晶学研究；(12) 电子显微镜观测；(13) 同位素（Pb、Sr、O、H、C、S）测量；(14) 痕量元素(稀土元素，Sr、Rb、Zr、Y、Ba、Ni、Cr、Co、U、Th) 分析；(15) 其他等等。

总之，超深井钻探是为研究深部地质学提供最直观最重要的第一性地质资料的重要方法。

(二) 地壳深处的人工观测点、实验站

可以设想，在一口深度为 10000 ～15000 m 的超深井，井底按常温梯度将达 300 ～

450℃，实际有时高于此数，达 500 ～600℃；井底压力（静液柱压力）至少达到 98.07 ～147.1 MPa，这个压力和温度还是可以人工增高的。这是一个较为理想的高温高压人工实验室，工作起来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，为研究岩石成因、变质作用、物相转化、矿物合成等等提供了条件。

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，对掌握地壳活动规律，预报地震将会做出贡献。

(三)“干热岩体”地热的开发井

高热火成岩所蕴含的热能，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 10 年到 15 年内付诸实现，亦即 1995 年将用地热发电。目前，进展速度很快，已在卡尔德拉(Cardra) 打成试验井。

他们的科研课题涉及两个方面:

(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，应钻超深井，开采地壳深部的“干地热”能源。

他们的试钻工作已经完成。在地面相隔 30 m 处，钻两口 3200 ～4500 m 的超深井，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。其详情虽然尚未完全公布，但钻井工程已完成。

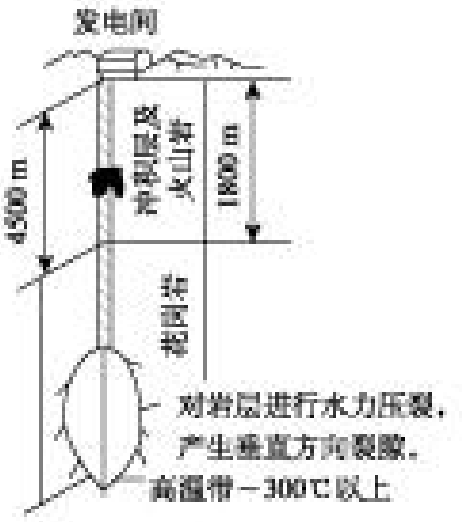

图 2　美国洛斯·阿拉莫斯研究所钻进干地热超深孔设想图

二、国内外超深井钻探简况

(一) 中国

我国超深井钻探起步较晚，第一口超深井是在 1974 年底打成的，深度为 5205.12 m。1976 年又钻成几口，其中最深的一口为 6011 m。1978 年 9 月又打成我国最深的一口 7175 m 的超深井，标志着我国钻井技术达到了一个新的水平。这口井取得三十三万四千多个地质数据，发现了三十多次油、气、水显示，对 7000 m 以下地层做了测试工作，为进一步开发深部油气资源提供了重要数据。

我国地质系统 1978 年为配合试验 Ju-1500 型钻机，在浙江施工了我国第一口深岩心钻孔，深度为 1803.8 m。1979 年陆续施工一批深度为 2000 m 左右的超深孔，最深的一口为 2505 m。这些超深孔多是为找矿而施工的，还没有同深部地质科学研究有机地结合起来，这是一个亟待解决的问题。

(二) 美国

美国自 1938 年开始施工这类超深井，当时最深记录达 4576 m。从 1938 年至 1974 年已钻成 4500 m 深井和 6000 m 以上的超深井达 6000 多口（60 年代起，美国把 6000 m 以上的井称超深井）。仅 1969 年至 1975 年之间，已钻成超深井 397 口，其中 1973 年完成 74 口，进尺约 494000 m；1974 年完成 65 口，进尺约 427000 m。同年在俄克拉何马州钻成一口深为 9583 m 的超深井。

美国的超深井除了与深部地质学的研究进展有关外，主要与美国浅层油、气储量大幅度减少有直接关系；超深气井成功率可达 50% 以上，钻井深度为其他的三倍以上。

在超深井钻探计划中，有一部分工作量是用大型钻探船在深海实施的。迄今为止，深海超深井最深记录是 7659 m，这口井最大施工水深为 6247 m，海底岩层钻进深度为 1412 m。自 1967 年至 1977 年，美国深海钻探船已完成了全球海域深海踏勘阶段的深海钻探计划。

图 3　美国超深井井位布置图

1—揭露沉积盆地基底的井；2—揭露前寒武纪地台及造山带的井；3—研究古老地盾构造、化学变化过程和物理性能的井

在研究深部地质学施工超深井的国家中，目前美国和苏联居于领先地位。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（图 3），其深度保证 9000 m，争取 15000 m。其中在俄克拉何马州钻的罗杰斯 1 号井已于 1974 年完工，井深为 9583 m。当时创造的这个超深井世界纪录，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州，进行了超深井地质钻探，呈三足鼎立之势。

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。

美国新的大陆超深井科学钻探计划

美国酝酿已久的大陆超深钻探计划已经基本形成，预计从 1986 年起开始钻探工作。1984 年 3 月美国 23 所大学组成了协调超深井钻探工作的非营利机构，称“地球陆壳深部观测和采样团体”[以下简称大陆超深钻团体（ECDOSO）]。1985 年初一些大学的科学家提出了 33 份论述科学钻探计划的材料，其中有 29 份谈到了通过该团体专门申请拨款的问题。这些材料在国家科学基金会、美国地质调查所和能源部赞助召开的休斯敦专题讨论会都作了介绍。在休斯敦会议之后，制定了大陆超深钻井计划。

计划规定要用 5～10 年时间在美国东南部阿巴拉契亚山脉南段打一口 10670～15240 m 的超深井，并在全国各地广大地区打一系列深井乃至超深井。其中大多数钻井是要大量取心的新井，但也有几个地方是将原有旧钻井加深。这个计划是美国大陆科学钻探计划的组成部分，也是与前几年进行的大洋钻探计划和深海钻探计划珠联璧合的姊妹计划。计划将以广泛合作形式实施，目的是提高钻探工程质量与技术，加深对地壳的认识。

（1）超深井井位分布与钻探目的　超深井钻探计划提出的井位遍布美国全国各地，

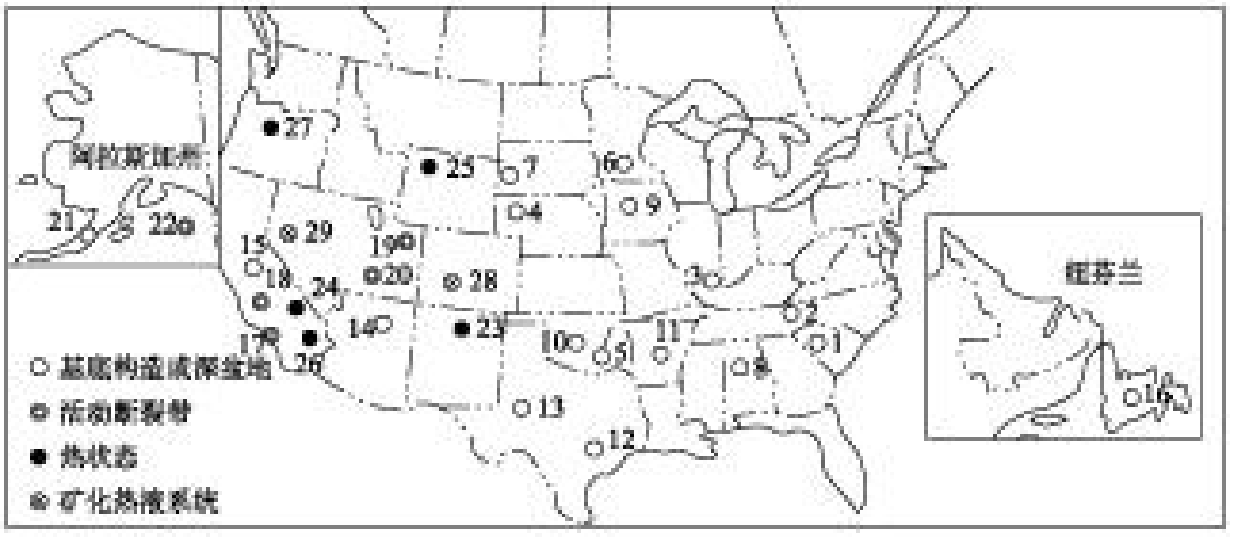

图 4　美国大陆科学超深井钻探计划的钻井井位布置图

数字为编号

共 29 处。从地质研究角度出发分布在下列四类地区（见图 4）：基底构造或深盆地；活动断裂带；热状态以及矿化热液系统或矿化岩浆系统。

第一口超深井预计在阿巴拉契亚山脉南段。担任“大陆超深钻团体”董事长的那康达矿产公司前副董事长 G·A·巴伯说，在阿巴拉契亚山脉南段打这口井，“对于收集资料为超深钻作准备来说是最合适的”。一些大学的科学家则认为，这口深井的其他目的是：研究格伦维尔期基底岩石的岩石学特征和逆冲岩片下地台盖层的地层情况和变形作用，测定不同深度发生地震的地壳应力状态，发展结晶岩中深井的测井和钻探技术，研究岩心的岩石学和地球化学特征，对比兰岭地表露头和 4～6 km 深的钻井岩心中，类似岩石组合变质作用的温压条件，研究布里瓦德断裂带和主逆掩断层不同深度的脆性和韧性断层岩石。

为确定获得最佳的深井位置，计划进行 200 测线公里的各种类型的地震调查，打四口 3000 m 的钻孔，以便收集更多的资料。

(2) 美国超深井钻探的组织机构　参加美国“大陆超深钻团体”的单位有加利福尼亚理工学院、马萨诸塞理工学院、南达科他矿业学院以及下述大学：布朗大学、纽约城大学、哥伦比亚大学、路易斯安那州立大学、宾夕法尼亚州立大学、斯坦福大学、得克萨斯农机大学、加利福尼亚大学、休斯敦大学、俄克拉何马大学、密执安大学、明尼苏达大学、南卡罗来纳大学、奥斯汀的得克萨斯大学和威斯康星大学。

该团体由美国国家科学基金会领导，基金会地学部主任 J·海斯是“大陆超深钻团体”成员。经费靠国家科学基金会拨款，美国地质调查所也提供一部分。政府其他机构可以赞助人员和资金，而私营石油和矿业公司也自愿提供技术。

该团体的主要职能是：

(1) 组织专题研究小组；

(2) 与联邦政府的其他科研计划进行协调与合作；

(3) 动员钻探界进行技术合作；

(4) 组织完成超深钻计划任务所需要的技术力量；

(5) 承包各个钻探、测井、处理事故和其他服务项目；

(6) 管理日常的钻探作业和井中科学研究工作;

(7) 为学术团体和其他组织出版有关研究成果。

美国“大陆超深钻团体”设执行委员会，主席是哥伦比亚大学拉蒙特-多尔蒂地质研究所的 B·雷利。执行委员会之下设董事长 (G·A·巴伯) 和科学顾问委员会 (主席由俄克拉何马大学地学院院长 F·斯特利担任)。委员会下设几个小组，向执行委员会提供决策意见和建议 (图 5)。

图 5　美国科学超深井钻探计划组织机构图

大陆超深钻井计划将利用现代化的钻探技术和设备实施。打算用常规钻机钻进 4570～6100 m，再往下采用专门设计的设备钻进 (笔者注：可能是核能站)。为了加强这方面的领导，组建钻探顾问小组。该小组的任务是协助钻探负责人审核并估算各种钻探提案所需的经费，向科学顾问委员会提出建议，解决与具体科学钻探项目有关的问题，规定对钻探及有关技术的要求，安排为满足深钻技术要求与实施，推荐适当的开发计划顺序。

1985 年，“大陆超深钻团体”已进行了紧张的开钻前的准备工作。科学顾问委员会和钻探顾问小组召开了首届会议，把各种钻探方案进行了排队比较，开始修建岩心库，制定了 1986 年的工作计划。

(三) 苏联

60 年代初期，苏联地质学家 H·A·别列耶夫斯基及 B·B·菲丁斯基根据深部地球物理工作提供的深部构造，明确提出，为了获得整个地壳剖面，至少要在六个地区 (萨累利阿、滨里海、乌拉尔、库里尔、外高加索太平洋) 施工超深井，见图 6。

苏联石油部 1964 年在钻井技术研究所内成立了超深井钻探实验室。1965 年该所提出了钻进 15000 m 超深井的具体途径、技术任务及措施。1970 年第一口设计深度为 15000 m

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com