

中国大陆科学钻探工程项目进展综述

王 达^{1,2}

(1. 中国大陆科学钻探工程中心 北京 100035; 2. 中国地质调查局 北京 100035)

摘 要 : 阐明了中国大陆科学钻探工程的意义与目标, 论述了工程建设的主要内容和项目的组织管理, 介绍了项目的进展情况。

关键词 : 中国大陆科学钻探工程; 意义; 目标; 主要内容; 组织管理; 进展

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1000-3746(2002)06-0047-07

Summary on Progress of Chinese Continental Scientific Drilling Project (CCSD) / WANG Da (1. Chinese Continental Scientific Drilling Project Center, Beijing 100035, China; 2. Chinese Geological Survey, Beijing 100035, China)

Abstract : This paper described the significance, goals, main contents, organization and management of the project. Some progresses were introduced in the paper.

Key words : Progress of Chinese Continental Scientific Drilling Project; significance; goal; main content; organization and management; progress

2001年8月4日中国大陆科学钻探工程(CCSD)胜利开钻, 1年后, 2000 m 先导孔高质量完工, 主孔上部井段扩孔、下套管、固井、安装顶驱系统和更换绳索取心钻进顺利完成。在新世纪到来的第一年, 中国就迈出了向地球深部进军坚实而有力的步伐, CCSD 的施工标志着我国的经济实力和整体的工程科学技术达到了世界先进水平, 这是特别值得钻探技术界骄傲的一件大事。

国家的欧洲科学基金会, 我国于1998年春天作为“参与成员”加入。



图1 “JOIDES(决心号)”钻探船

1 中国大陆科学钻探工程的意义与目标

1.1 科学钻探的由来与发展

地球为人类提供了资源、能源、生活的空间和生存的环境, 但同时又给人类带来了地质灾害(地震、火山、泥石流等), 人类迫切地需要了解地球。但迄今为止, 人类对地球内部仍然所知甚少。长期以来, 地球科学家们试图运用地质、地球物理和地球化学等方法来探测与研究地球内部, 但所获得的认识都是间接的。科学钻探是唯一能获得地下深处真实信息和图像的地质研究方法, 是人类解决所面临的资源、灾害、环境等重大地质问题不可或缺的重要手段, 被誉为“伸入地壳的望远镜”。

世界上最早的科学钻探活动始于海洋。海洋科学钻探从20世纪60年代末开始, 至今已实施了2个国际性的科学钻探计划——“深海钻探计划(DSDP)”和“大洋钻探计划(ODP)”。从1968年8月至1983年11月实施的“深海钻探计划(DSDP)”采用了“格洛玛·挑战者号”科学钻探船, 起初由美国单独执行, 后逐渐发展成有多国参加的国际性计划。“大洋钻探计划(ODP)”从1985年1月开始实施, 采用“JOIDES(决心号)”钻探船(见图1)。最初参与该计划的有美国、法国、日本、加拿大、澳大利亚、英国、德国和代表12个

大洋钻探计划实施30多年以来, 在全球各大洋钻井2000多口, 获取岩心数十万米和大量数据。根据获得的信息, 验证了大陆漂移和海底扩张假说, 创建了板块构造学说, 在海洋的历史、古气候和古生物的演化、海底火山喷发、沉积作用、海底矿产分布等研究方面, 取得了许多重大成果。目前, ODP 即将结束, 代之而起的是整合大洋钻探计划(IODP), 日本正在为其建造一艘名为“Chikyu”的57000 t的钻探船(见图2)。其主要规格与“JOIDES”对比见表1。

大陆地壳远比洋壳古老, 隐藏着更多的地球奥秘, 大陆还是人类直接居住、获取主要的矿产资源以及遭受地质灾害威胁最大的地方, 因此人们迫切希望通过大陆科学钻探来更多和更深入地了解大陆。大陆科学钻探始于20世纪70年代, 前苏联、德国、美国等在此方面做了大量工作。前苏联实

收稿日期: 2002-10-28

作者简介: 王达(1943-), 男(汉族), 天津人, 中国大陆科学钻探工程中心主任, 现场指挥部总指挥, 中国地质调查局党组副书记、副局长, 教授级高级工程师, 探矿工程(岩土钻掘工程)第六届编委会主任委员, 探矿工程专业, 北京市西城区冠英园西区37号(010)66127128。



图 2 “Chikyu”号钻探船

表 1 JOIDES 和 Chikyu 对比情况

型 号	Joides Resolution	Chikyu
长度/m	143	210
宽度/m	21.3	38
深度/m	9.8	16.2
排水量/t	约 7500	约 57500
钻塔高度/m	62	112
钻进方法	Riser-less drilling	Riser drilling
钻杆串长度/m	9150	10000
舱位/个	122	150
科学家/人	50	59

施了 11 口超深孔和深孔, 其中的科拉超深钻孔深达 12261 m, 为当今世界最深的超深孔, 并已成为世界第一个深部实验室(观测站)。德国的 KTB 在华力西缝合带的结晶地块中打了一口 9100 m 的超深井。美国到 1991 年为止实施了 7 个项目, 13 个钻孔, 目前正在夏威夷实施科学钻探。瑞典、法国及加拿大等国均制定了大陆科学钻探计划, 开展浅孔科学钻探工作。日本正在制定为期 10 年的超深钻计划, 拟在太平洋、菲律宾及亚洲板块结合带上打超深井。墨西哥正通过科学钻探研究世界上著名的 Chicxulub 陨石坑。据说 6500 万年以前发生在墨西哥尤卡坦半岛的一次陨石撞击地球事件曾经引起地球生物的大灭绝。

为了协调世界范围内的大陆科学钻探活动, 减轻各国在实施该项活动时的成本和风险, 实现成果共享, 最终促进大陆科学钻探在地质研究中的推广应用, 1996 年 2 月由德国、美国和中国发起成立了“国际大陆科学钻探计划(ICDP)”, 其总部设在位于德国波茨坦的地质研究中心(GFZ)。该计划从启动以来, 已资助了一系列科学钻探项目, 并不断地有新的国家和团体加入或申请加入该计划。国际大陆科学钻探组织的成立, 标志着大陆科学钻探进入了一个新的发展阶段。

1.2 我国科学钻探的现状及项目立项过程

20 年前, 我国著名的地质学家和钻探工程专家就提出, 应采用科学钻探的方法进行地质研究, 并开始进行前期的资料搜集和信息研究工作。

从 1991 年起, 地质矿产部展开了较大规模的中国大陆科学钻探的前期研究工作, 包括通过地质和地球物理调查进行钻孔地点选择以及进行工程技术方面的准备, 先后完成了“中国大陆科学钻探先行研究”、“中国大陆科学钻探选址研

究”和“5000 米钻探工程技术方案研究”。

1994 年 2 月, 中国科学院地学部组织专家开展地球科学“入地”发展战略研究, 建议中国尽快开展大陆科学钻探工程。

1996 年 2 月, 我国作为发起国之一, 加入了“国际大陆科学钻探计划(ICDP)”。

1997 年 5 月, 国家计委组织两院院士审议并通过了地质矿产部提交的“中国大陆科学深钻工程立项报告”, 并于同年 6 月报国家科技领导小组批准, 列为“九五”国家重大科学工程项目。

1997 年 8 月, 由 ICDP 在青岛组织召开了“大别—苏鲁超高压变质带大陆科学钻探选址国际研讨会”, 60 多名与会中外科学家一致赞同在江苏北部东海县实施 5000 m 深的大陆科学深钻。

1998 年 4 月, 国际大陆钻探计划专家委员会批准“中国大别—苏鲁超高压变质带大陆科学钻探”项目列为国际大陆科学钻探计划项目。

1999 年 9 月 27 日, 国家计委批准了该项目的立项报告(计高技[1999]1423 号), 项目的实施时间是 2000~2004 年。项目总投资 14960 万元, 其中中央预算内基本建设投资 11000 万元, 包干使用, 其余投资由国土资源大调查经费解决(国土资发[1999]509 号, 中地调发[2000]144 号)。这标志着我国大陆科学钻探工程正式启动。

2000 年初, 中国大陆科学钻探工程中心与中国新星石油公司石油钻井研究所一起, 完成了项目可行性研究报告的编制, 并将报告报送国家计委。中国国际工程咨询公司受国家计委的委托分别于 2000 年 3 月和 4 月 2 次进行了项目可行性评估。国家计委于 2000 年 7 月 31 日批准了项目可行性研究报告(计高技[2000]1068 号)。

2000 年 7 月, 通过招标选定中国新星石油公司石油钻井研究所承担项目的初步设计。钻井研究所于 2000 年 11 月完成了设计报告的编制。国土资源部根据国家计委的要求于 2000 年 11 月 14~15 日组织召开专家审查会, 通过对钻井研究所提交的“中国大陆科学钻探工程项目初步设计”的审查。

2001 年 8 月 1 日国家计委批准项目开工。8 月 4 日在江苏东海县举行了隆重的开幕式, 宣告中国第一口大陆科学探井正式开钻。

1.3 项目的科学目标

中国大陆科学钻探工程的总目标是: 通过利用现代深部钻探高新技术, 在具有全球地质意义的大别—苏鲁超高压变质带东部的东海地区实施中国第一口 5000 m 科学深钻, 利用从钻孔中获取的全部岩心及液、气态样品分析数据和信息以及原位测井数据, 校正地球物理对深部组成与结构的遥测结果, 重塑超高压变质带形成和折返机制的边界条件, 研究中国南、北两大板块会聚边缘的地壳行为、壳—幔作用以及有关的成矿与流体作用, 建立天然、动态和长期的地下观测实验站及地壳深部物质研究基地。

具体的科学目标是:

揭示超高压变质岩的形成与折返机理;

再造大陆板块汇聚边界的深部物质组成与结构;

建立结晶岩地区地球物理理论模型和解释标尺；

研究板块汇聚边缘的地球动力学过程和壳-幔相互作用；

揭示超高压变质成矿机理,发现来自地幔深处的新矿物和新物质；

探索现代地壳流体-岩石相互作用与成矿机理；

研究地壳中微生物类型和潜育条件；

为资源的开发及地震发生机制的探索提供新的科学依据。

1.4 项目的科学意义

大陆科学深钻是目前直接获取地壳深部物质与信息的最唯一方法,为各种地球科学理论提供真实的依据,是地球科学发展不可或缺的重要基础。面临 21 世纪重大发展机遇的中国,必须解决资源、环境和经济社会可持续发展问题。近 30 年来,国际上大陆科学钻探成就一再证明,通过科学钻探对深部地壳进行原位探测,是研究岩石圈动力学、建立新地球科学观及解决当代人类面临的资源短缺、灾害频繁、环境恶化、工程稳定性等重大科学问题的基础和新的途径。

大陆科学深钻是一项涉及不同学科、不同领域的综合性系统工程,它除了带动地球科学发展以外,还将带动其它自然科学的进步。例如,大陆科学钻探工程同当代科学圣坛上四大理论问题:天体、地球、生命、人类起源和演化等理论问题密切相关。大陆科学深钻工程领域的某些重大发现和突破,如地磁反向、超微化石、超重新元素、深部流体、深部的生物、物理、化学过程等,将会给现代物理学、化学和生物学的发展提供新的生长点。例如,大陆深钻孔中 12 km 深处还存在喜温厌氧微生物,同样进行着沉淀、生油、成岩及成矿的地质作用,这一重大发现对生命科学研究提出新的挑战,开辟了新的领域。现代地球科学中的许多重大理论问题,如非平衡态热力学、统计热力学、化学热力学准晶态、化能自养生物研究等,同样也是其它基础和技术科学的难题,有些问题甚至是各自科学领域中的前沿课题。通过地球科学与物理学、生物学、化学、材料科学及工程科学的学科交叉与结合,将有助于在某些重大自然科学理论问题上取得突破。

超高压变质岩的发现被公认是继板块学说提出以来地球科学研究领域取得的重大突破性进展之一,是探索地球深部动力学过程和建立大陆动力学理论的窗口。超高压变质作用的研究是当前固体地球科学研究的前沿与热点。在具有全球地学意义的、世界上规模最大的大别-苏鲁超高压变质带实施我国第一口大陆科学深钻具有如下重大科学意义:

(1) 研究会聚板块边界深部物质组成、结构及动力学过程。现代大陆会聚边缘的碰撞造山作用正在举世瞩目的喜马拉雅山进行,但深部过程只能凭借地球物理手段遥测。大别-苏鲁地区出露了地质历史中这一深部过程的直接产物——超高压变质带,使其成为研究地质历史中板块会聚边界壳幔行为的全世界最好的地点。

(2) 揭示超高压变质岩的形成与折返机制。柯石英是来自地球深部的信使,它象一把金钥匙,打开通往地球深处的大门。研究表明,上地壳物质可以迅速带至地下 100 km 深处(或更深),又折返地面。这一“下地狱,又上天堂”的翻天覆地的地质过程,已成为地学研究的热点,以及将成为改变

传统地球动力学的窗口。

(3) 通过最短距离获得最深部信息。大别-苏鲁超高压变质带的科学钻井在世界已实施的大陆科学钻井中位于最深的构造部位——大陆碰撞带根部。因此在深部研究方面将超过国际已实施的任何一口大陆科学钻井。

(4) 后造山作用研究的理想场所。大别-苏鲁地区大量中生代(100 Ma 左右)花岗岩出露及周边中-新生代火山及含油沉积盆地的形成,表明该区最后成山始于中生代晚期。通过科学钻探可以深入研究与超高压变质带折返过程相伴生的后造山作用——隆升速率与冷却史,地壳局部熔融与岩浆作用,伸展-平移构造,韧-脆性变形转化及“盆-山”格局形成等,为后造山作用研究提供有利条件。

(5) 重要的经济和社会意义。超高压变质带中大型金刚石矿床的发现(北哈萨克斯坦),使超高压变质岩区成为 21 世纪金刚石战略找矿远景区,大别-苏鲁地区已有多处发现金刚石,并已开采金红石矿、兰晶石矿、镁铝石榴石矿及水晶矿,深钻的实施将为矿产资源开发及超高压变质带的成矿提供新的研究途径。

最近,美国科学家又一次提出地球核心是由甲烷组成的,石油、天然气可能是非生物形成的。如果这个假设成立,地球上的油气资源将能用 500 年。而要证明它,需要钻探 100 km。当然,目前人类只能钻探 12~15 km,离此目标还十分遥远。但是,科学钻探将有助于逐步解决这一关系人类生存的大问题。

郯庐断裂北、中段为强烈地震活动带,1686 年中国东部最大地震(8.5 级)曾在郯城发生。利用可抵达多震层(积累能量并用地震形式释放的圈层,5~10 km 深)上部的深钻孔进行地震及地应力长期观测,将为地震预报发生机理提供物理基础。

因此,可以说中国大陆科学钻探工程具有明确的科学目标和广泛的经济社会意义。

1.5 项目的工程目标、水平和先进性

为实现上述科学目标,需要在坚硬的结晶岩地区施工 5000 m 深的取心钻孔。尽管我国石油行业在沉积岩地层曾经钻探过深达 7000 多米的钻孔,也打过一些参数井。但真正意义的、以地球科学研究为目的的深部钻探工作则是空白。石油钻井,一般是在沉积地层施工,岩石比较软,多为点取心钻进,井中原始信息的提取和岩样的分析测试也比较简单,配套的工程也少。因此,大陆科学钻探工程是一项技术难度很大,极具挑战性、综合性,应用高新技术的大科学工程。全世界都以科学深钻作为衡量一个国家钻探技术乃至工程科学技术水平的标志。

中国大陆科学钻探工程由钻探子工程、测井子工程、地球物理子工程、钻孔地质与实验分析子工程、管理信息和网络系统子工程组成。

工程技术总目标是:通过项目的实施,研究开发出一整套新型的、适用于深孔硬岩恶劣条件的钻探技术体系,包括取心钻探设备、金刚石钻头、绳索取心系统、液动潜孔锤钻进系统、钻井液系统、垂孔钻进系统以及深孔硬岩钻进施工工艺和程序,使我国的钻探技术上一个台阶,达到 20 世纪 90 年代的国际先进水平。具体的工程技术目标是:

(1) 形成一套完整的硬岩深孔大直径金刚石绳索取心钻进技术体系;

(2) 使独具中国特色的液动潜孔锤钻进技术更加完善, 进一步巩固我国在液动潜孔锤技术领域中的领先地位;

(3) 研究与开发新型的以绳索取心为基础的组合式取心钻进系统, 如孔底马达/绳索取心二合一钻具、液动潜孔锤/绳索取心二合一钻具及其相应的钻进工艺, 其成果将居国际领先地位;

(4) 带动我国钻探器具和钻探材料生产制造技术与使用技术的进一步发展, 使其赶超世界先进水平;

(5) 建立一个地球物理测井新仪器、新方法、新技术的试验基地, 推动我国测井技术的发展和运用。

2 工程建设的主要内容

2.1 中国大陆科学钻探选址

科学钻探孔位选定, 要经过以下 3 个步骤:

选址先行研究, 选出科学目标明确而且工程上可行的世界级地质场址, 作为首选选区;

科学深钻靶区的选定, 在确定的选区进一步筛选出能全面实现科学目标的地段, 并通过国际研讨会确定科学深钻的靶区;

科学深钻孔位选定, 在通过对靶区进行精细的地质和地球物理调查后, 建立三维的地质地球物理模型, 据此确定钻孔坐标。

2.1.1 选址先行研究

1991 年, 地质矿产部启动深部地质研究项目“中国大陆科学钻探先行研究”。通过总结我国深部地质研究的关键问题, 初选出一批科学钻探候选项目。综合第一次及第二次科学钻探研讨会专家的意见, 共提出 12 个钻探选区, 它们是: 京津唐地区、胶南、大别、三峡、南阳盆地西缘、四川龙门山、四川攀西、甘肃金川、山东胶北、青藏高原、江南古陆东侧、阿尔金山地区。

在对各项目的科学意义、前期的地质和地球物理工作、工程实施的可行性等因素进行综合分析、比较之后, 确定以大别—苏鲁超高压变质带作为第一个中国大陆深钻项目的研究目标, 并围绕此目标, 开展了大量的地质和地球物理调查工作。

2.1.2 科学深钻靶区的选定

经过大量的地质与地球物理调查和专家建议, 在延绵 1000 km 的大别—苏鲁超高压变质带中选出了 3 个符合科学钻探选址条件的候选靶区, 它们分别位于: 山东诸城、江苏东海和安徽潜山。这 3 个地区的上地壳深度为 15 km 左右, 都发现有地震波速 $> 6.7 \text{ km/s}$ 、电阻率 $> 6000 \Omega \cdot \text{m}$ 的地层或透镜体, 推测为折返到地壳浅部的超高压变质岩块体。深入的研究及对比结果表明, 江苏省东海地区更有利于进行科学钻探。因为这里超高压变质岩分布广泛, 其中发现有金刚石, 地质构造层位也处于较深部位, 大量钻孔指示地下具叠置岩片构造, 并发现在 3~4 km 以上存在高波速、高密度体。同时, 该区矿产丰富, 交通便利, 经济相对发达。

在 ICDP 的资助下, 1997 年 8 月在青岛召开了“大别—苏鲁科学钻探选址国际研讨会”, 60 多名中外专家参加了会

议。专家一致赞同将位于苏北的东海地区作为中国科学深钻的首选靶区。1998 年元月, 由中国、美国、德国、加拿大、法国等 5 国科学家组成的联合专家组, 共同向 ICDP 总部提交了在苏北东海进行科学深钻的实施建议书, 并得到批准。

2.1.3 钻孔孔位的选定

为在东海地区选定孔位, 原地矿部中国大陆科学钻探研究中心组织各方面的力量, 进行了大量的地质与地球物理研究。研究表明, 东海县西南的毛北地区符合科学钻探的选孔原则。因为在该地区地下 3~4 km 存在高密度、高电阻、高波速的强反射体, 并位于整个超高压变质带的构造最深部位, 5 km 深钻就可以把它打穿。同时, 这里也是超高压变质带中倾角最缓的部位, 通过较短的距离可以穿过超高压变质岩的多个单元。地温测量表明, 这里的地温梯度不高(约 $25 \text{ }^\circ\text{C/km}$), 有利于钻探工程实施。

1997 年 12 月, 中国大陆科学钻探研究中心邀请了 40 多位国内专家对东海靶区内深钻孔位选定进行了研讨, 与会专家一致认为: 根据上述“五高两低”的原则和实际资料的分析, 毛北孔址可作为大陆科学深钻工程的首选孔位。

在钻孔选区江苏省东海县进行了深入的地质和地球物理调查研究, 包括 1:5000 和 1:10000 地质填图; 反射地震与层析成像、重力和磁力调查; 施工深度 430 m 和 1028 m 的 CCSD 预先导孔 1 号孔 (PP1) 和 2 号孔 (PP2) 并进行地球物理测井、垂直地震剖面 (VSP) 和地热测量; 对 20 世纪 70~80 年代完成的一些浅钻孔岩心重新进行了整理、编录、分析和研究等。通过多学科综合研究, 完成了科学钻孔区的三维地质和地球物理模型的建立, 并据此提出了中国大陆科学钻探工程钻孔的地理坐标 ($X = 3809.530 \text{ km}$; $Y = 40377.874 \text{ km}$)。2000 年 10 月 27 日领导小组审议并通过了工程中心提出的主孔孔位精确坐标的建议 (中钻钻领 2000 11 号)。

2.2 工程技术方案

2.2.1 钻探子工程

钻探工程子系统的任务是钻进 5000 m 科学钻孔, 获取地学研究所需要的岩心、岩屑和流体, 为测井、孔内试验和长期观测提供通道。

钻进施工将遇到的岩石主要是片麻岩和榴辉岩, 岩层产状陡, 属于坚硬、难钻的强造斜性地层。为满足地学研究的需要, 要求 5000 m 钻孔全孔连续取心。为保证测井的实施, 钻孔的终孔直径 $\leq 6\frac{1}{8} \text{ in}$ (156 mm)。由这些条件可知, 该工程的钻进施工条件恶劣, 是一项高难度的钻探工程。

解决钻探技术难题的基本思路是: (1) 采用双孔方案和组合式钻探技术; (2) 除个别关键设备和器具考虑从国外引进外, 主要采用国内现有的钻探技术, 但须通过研究与开发, 对现有的钻探设备和器具进行改进和完善。

“双孔方案”: 即在施工难度较大的 5000 m 深钻之前, 先钻一口 2000 m 深的较浅钻孔。这样做的好处是: 可预先获得施工经验和进行深钻设计所需的地质参数, 提前试验将在深钻施工时采用的钻进器具和材料, 因此有助于降低深钻施工的风险。作为双孔方案的替代方案是: 如果先导孔施工质量优良, 孔斜在允许的范围内, 则直接将先导孔扩孔, 下套管升级为主孔。这样可以大量节约时间与经费。

“组合式钻探技术”: 是石油钻井技术和地质岩心钻探技

术的结合,即在石油转盘钻机上,加装高速回转的顶驱系统,采用地质岩心钻探常用的金刚石绳索取心钻进工艺方法。这种特殊的钻探技术体系是专为解决深孔、硬岩中连续取心施工的技术难题而开发的,其可行性在国外的科学深钻和地质岩心深钻施工中得到了成功的证实。

该项目的钻孔结构、套管程序和钻进施工程序设计采用了先进的“超前孔裸眼钻进方法”,其特点是:采用活动套管,以小直径取心钻进,需要下套管护壁时,回收活动套管后扩孔钻进。

设计中采用了具有我国特色的液动潜孔锤钻进技术,既能提高硬岩钻进效率,又有利于减轻孔斜。

实施此项工程所需的钻探设备和器具主要立足于国内解决。但技术难度较大的3个关键部件即高转速顶驱系统、高强度绳索取心钻杆和垂孔钻进系统,计划从国外引进,该措施有利于减轻钻探施工的风险和保障施工成功。

2.2.2 测井子工程

测井子工程的任务是:通过将仪器下放到钻孔中并进行测量,获取有关深部岩层的电、磁、声、热、核、震等各种物理场的原位观测数据,通过对测井资料进行计算机处理和综合性分析、研究,提取出丰富的地质和地球物理信息,为实现地质学研究目标和安全、顺利地完钻提供保障。

测井子工程的实施考虑到经济性原则,尽可能通过与ICDP的国际合作完成较多的测井项目,其余的测井项目将采用招标或委托承包方式由国内外测井公司完成。主要测井项目分为以下3类:

(1) 钻井过程中经常性的测井项目,包括电阻率、自然电位、自然伽玛、井眼几何形状、井液电阻率等,为地质及工程提供急需数据的测井项目,如层界深度、井身质量、协助处理钻井事故等,经常性测井项目将部分使用ICDP提供的有关仪器,由中方常驻井场测井技术人员完成;

(2) 与ICDP合作完成的中间及完井测井项目,包括LL3-MSFL(电法)、SP-Redox、IP、MEDX(微电阻扫描)、BHTV(超声井壁成像)、自然伽玛GR及自然伽玛能谱SGR、温度(DTS80)及热导率、三分量地磁仪及磁化率仪器MS、流体采样的FS等;

(3) 通过聘请国内(外)测井服务公司承担的测井项目,包括双侧向、岩性密度、补偿中子、全波列阵列声波、井中重力测量、元素测井等。

测井结果解释分为测井公司解释、专题解释和测井专家组综合解释3个层次。

2.2.3 地球物理子工程

地球物理子工程为中国大陆科学钻探工程的选址和大陆地壳超高压变质带岩块形成和折返机制的地质科学研究,提供地下地质体的各种地震地质信息资料,主要采用如下3种当今地质学领域的地震探测高新技术:

(1) 高分辨率三维地震测量:在毛北主孔地区,以主孔为中心,做 10 km^2 面积高分辨率三维地震测量。

(2) 垂直地震剖面(VSP)测量:在2000 m先导孔和5000 m主孔中,采用井旁地面激发,井下三分量地震观测,同时在地面作零偏移距2种观测系统接收,取得全井及井下纵向及横向速度资料。

(3) 二维三分量($2D \times 3C$)多波地震剖面测量:穿过主孔井位并垂直底层走向,做一条长度为5 km的二维三分量多波地震剖面。采用井中激发三分量组合检波器接收。取得反射纵波、横波、转换波等多波地震资料,以了解主孔井下及周边岩体速度、岩性、流体层的存在和变化情况。

2.2.4 钻孔地质与实验分析子工程

分析测试的主要目的与作用是通过对钻进产生的岩石和地层流体样品的测试、分析、定位及鉴定,获得井孔中的各种地质信息以及与钻进施工有关的工程信息。分析测试由现场实验测试和场外实验测试2部分组成。现场实验测试主要对难以保存的、易变化的试样、重点气体和液体样品及部分时限性要求很强的项目进行分析测试。对不易变化的岩心样品的分析测试,外送到场外高水平实验室进行,既可减少设备投资,又可获得高质量的分析结果。

现场实验测试的内容是:进行流体的实时分析测试;对岩心、岩屑进行编录、描述和照像;对岩心和岩屑进行岩相学鉴定和构造分析,建立钻孔岩性和构造剖面。场外实验室的主要任务是对岩心(岩屑)和流体进行岩石学、矿物学、构造学、地球化学和岩石物理分析测试。

2.2.5 管理信息和网络系统子工程

大陆科学钻探工程的实施,将产生大量的数据信息,对地质研究和其它相关技术的应用研究具有重要意义。对这些数据资源进行有效的存储、管理和应用,主要由本项目的数据库管理和信息网络子系统来完成。该子系统由数据采集处理、数据库管理、网络管理、信息综合处理、公共信息服务等部分组成。井场信息中心的局域网系统将与国内、国外信息机构或信息网络实现互联。

2.2.6 土建工程

中国大陆科学钻探工程基地位于江苏省东海县毛北地区,峰泉公路西侧,东海县种畜场南约2.5 km处。地势平坦,占地约40亩(27000 m^2)。土建工程包括:基地建设、输变电、给排水、道路桥涵4个部分。其中建筑面积约2800 m^2 ,主体建筑为彩钢板平房,是集办公、科研、实验、会议、库房及生活于一体的综合性建筑。其中井场占地面积10200 m^2 (15亩);井队办公生活区占地4800 m^2 (7亩);现场实验室占地9000 m^2 (13.5亩);现场道路占地3500 m^2 (5.3亩)。

除现场实验室和未来钻孔保留地外,均为临时用地。

2.3 工程风险和环保措施

2.3.1 工程风险

对于中国大陆科学钻探工程项目来说,其最大的风险应数钻探工程子系统。钻探工程实施时的主要风险是孔斜和各种孔内事故,它们对工程进度、工程质量、工程费用都会起到显著的影响作用。

该项目的准备已进行了多年。在长期的准备工作中,项目实施单位在充分认识到钻探工程实施时可能遇到的风险和和技术难题的基础上,制定了周密的对策和一系列的技术措施。

2.3.2 环保措施

实施该项工程可能的污染源主要有:钻探施工产生的泥浆和水泥浆液、实验室产生的废酸碱液、工业污水和生活污水、废油、生活垃圾。将采取以下措施予以处理:钻进施工采

用无毒和无公害的泥浆,施工结束后将废泥浆和水泥浆液固化后外运到指定地点填埋。实验室每天产生少量的废酸、碱液以及设备运行产生的废油,将回收后外运到指定地点处理。生产和生活污水将处理达标后排放。生活垃圾通过焚烧处理。根据国家有关噪声及烟尘控制及排放标准,把噪声及烟尘控制在允许的标准范围之内。

3 项目的组织管理

3.1 项目组织管理体系

为保证中国大陆科学钻探工程的顺利实施,提高决策的科学化,加强对工程项目的监控和协调,组建了中国大陆科学钻探工程的领导决策、参谋咨询和实施管理体系,其组成为:

(1)中国大陆科学钻探工程领导小组:负责该项目组织实施的领导和重大决策。

(2)中国大陆科学钻探工程科学顾问委员会:由我国地学界不同领域的知名学者和专家组成,其职责是为领导小组和工程中心提供科学和技术咨询。

(3)中国大陆科学钻探工程中心:是独立的项目法人,是中国大陆科学钻探工程的执行机构,其主要职责是承担并组织实施此项科学工程以及与该项目配套的国土资源大调查项目和科研项目以及开展科学钻探领域的国际合作。

工程中心下设地学部、工程部和办公室。

地学部负责制定项目的总体科学目标、实施地学研究项目以及现场实验室和信息系统的建设、运行和管理。

工程部负责钻探和测井子工程的组织实施以及有关的技术研究与开发。

办公室负责工程中心的日常运转和管理以及与国内外有关部门的日常联系。

(4)施工现场指挥部:施工现场设指挥部,由总指挥、副总指挥、总地质师、总工程师、副总地质师、副总工程师组成,下设岩石物性实验室、岩石构造实验室、流体化学实验室、生产调度室、钻探技术室、测井监督与技术室、现场办公室、后勤服务室、信息中心等机构。

工程管理采用统一组织、分项实施、以招标方式为主的办法。工程项目实行合同制管理,通过合同明确中国大陆科学钻探工程中心(甲方)与项目承担方(乙方)的责、权、利。钻探和测井等施工的管理采取监督制,工程中心聘任具有合格资质的人员担任总监、副总监。工程实行统一设计、统一计划、统一招投标、统一监督、统一验收的管理体制。

3.2 工程进度与投资概算

3.2.1 工程进度

中国大陆科学钻探工程项目的先导孔计划于 2001 年 6 月下旬正式开钻。先导孔施工约需 9 个月。先导孔完钻后,要进行为期 3 个月的地球物理测井、地温梯度和 VSR(垂直地震剖面)测量。主孔计划于 2002 年 7 月开钻。主孔施工约需 2.5 年。主孔完钻后,要进行 3 个月的地球物理测井。然后,进行主孔完井,将主孔的主要孔段用套管保护起来,并安装好井口装置,为下一阶段深部地壳实验室的长期观测打好物质基础。整个工程项目结束的时间是 2005 年 6 月。

3.2.2 工程投资概算

实施中国大陆科学钻探工程项目国家计委批准总投资 14960 万元。根据项目初步设计概算为 16618.9 万元。

3.3 工程招标

钻探子工程和测井子工程的施工招标分别于 2000 年 11 月和 2001 年元月开始,对参加投标的 5 家钻井公司和 6 家测井公司的设备能力、人员素质、资质和业绩、管理情况和施工报价等进行了认真、细致的考察和评比。在评标委员会推荐的基础上,钻探子工程已确定中标单位为中原石油勘探局钻井三公司。由于工程费用不足,经三公司努力争取,中石化集团决定以科研经费名义资助 1000 万元。

此外,测井子工程、录井工程和工程监督招标工作也已进行,中标单位分别为胜利石油管理局测井公司、地质录井公司和华北石油管理局钻井研究院。

3.4 现场基建

现场基建包括道路、上下水、电力、通讯、视频及野外实验室、岩心库、办公室、员工宿舍等房屋建设。所有的基建施工项目均按照国家有关规定招标进行,现所有基建工作已全部完工。共修筑简易沥青道路 2.4 km、架设高压线 7.5 km、在基岩中施工了一口供水量达 8.4 m³/h 的淡水井、建筑各类房屋 3500 m²。

3.5 国际合作

作为 ICDP 的成员单位,在项目执行过程中得到 ICDP 的支持是非常重要的。2000 年 12 月与 ICDP 签署了关于大别项目的合作备忘录。2001 年又与 ICDP 的 OSG(技术支持组)就项目进展与执行情况进行了多次会谈,ICDP 已按照双方协议为我方培训了 3 批技术人员,并给予本项目 150 万美元的资助。同时,在 OSG 的协调下,中心顺利地从中德两国引进了先进的岩心扫描仪和绳索取心钻具,租用 ICDP 的液压顶驱系统也已到达现场。德方专家还多次来华指导工作计划及技术培训计划,并签署了有关纪要。

4 项目的进展情况

4.1 2000 m 先导孔顺利完工

先导孔于 2001 年 6 月 25 日上午 9:30 开钻,2002 年 4 月 15 日终孔,终孔深度 2046.54 m。钻进施工结束后进行了地球物理测井和 VSR(垂直地震剖面)测量,2002 年 5 月 5 日先导孔施工阶段宣告结束,施工总时间为 315 天。钻进分成 2 个阶段,即一开全面钻进井段和二开取心钻进阶段。

一开施工从 2001 年 6 月 25 日至 7 月 7 日,采用三牙轮全面钻进,井径为 17½ in(444.5 mm),完钻孔深 100.36 m,完钻孔斜 0°45',最大孔斜 1.2°。由于岩石坚硬,采用了镶硬质合金齿滑动轴承牙轮钻头。由于井眼直径大且井浅加不上钻压,此段施工机械钻速较低,平均机械钻速仅为 0.39 m/h。完钻后,下入 13⅜ in(340 mm)表层套管 100.36 m,并进行了固井。装井口后,下入 9⅝ in(273 mm)活动套管 101 m。

二开施工于 2001 年 7 月 16 日开始,从孔深 101 m 至 2046.54 m,采用 Ø157/96 mm 金刚石钻头进行取心钻进。钻进中,尝试了不同的取心钻进工艺方法,分别有:

(1)螺杆马达+金刚石双管取心钻进工艺方法;

(2)螺杆马达+液动潜孔锤+金刚石双管取心钻进工艺方法;

- (3) 转盘 + 金刚石双管取心钻进工艺方法 ;
 (4) 螺杆马达 + 金刚石单管取心钻进工艺方法。

通过对几种方法的机械钻速、回次长度、岩心采取率和岩心质量几个主要参数进行比较,认为螺杆马达 + 液动潜孔锤 + 金刚石双管取心钻进方法是一种优质高效的取心钻进工艺方法,因此在施工的后半段时间几乎全部采用该方法施工。

取心进尺总计 1945.54 m;平均岩心采取率 88.71%;平均机械钻速 0.93 m/h;平均钻头寿命 17.53 m,最高钻头寿命 75.23 m;平均回次进尺 2.96 m,最长回次进尺 8.72 m;平均日进尺 7.31 m,纯钻时间利用率 30.9%;起下钻时间占用率 45.9%;辅助时间占用率 18.21%。全井的最大孔斜为 4.1°,方位角为 340°~280°。

由于先导孔施工质量好,根据工程中心的建议,经领导小组批准采用了替代方案。

4.2 主孔扩孔、下套管、固井全面完成

中国大陆科学钻探工程科钻一井的扩孔钻进于 2002 年 5 月 7 日开钻,这标志着主孔钻进正式开始,至 8 月 27 日以 2028 m 的深度胜利完钻,施工时间总计 111 天。

扩孔钻进是科钻一井施工第二阶段,任务是将 $\varnothing 157$ mm 的先导孔扩大到 $\varnothing 311$ mm,完钻后下套管、固井,为主孔 2000~5000 m 井段取心钻进打下一个稳固的基础。

在坚硬的结晶岩中进行长井段和大直径扩孔钻进,在我国尚属首次,施工中从钻进方法、施工工艺、钻头与钻具组合和材料器具等方面,进行了大量的试验研究工作,取得成功。共计使用了 33 只扩孔钻头(其中中国地质科学院勘探技术研究所带导向扩孔钻头 27 只,江汉钻头厂带导向扩孔钻头 3 只, KZ311 牙轮钻头 3 只),平均钻头进尺 58.38 m/只,平均钻头钻进时间 58.40 h/只,平均机械钻速 0.99 m/h,最高钻头进尺 136.53 m,最长钻头寿命 105.94 h。钻孔轨迹基本沿原孔扩大,在 1871.47 m 处使用钟摆式稳斜钻具、无导向的牙轮钻头,拟将钻孔下部井斜纠正过来。但从实际效果看,没有达到预期目的。

扩孔后下入 10 $\frac{3}{4}$ in($\varnothing 273$ mm)套管,注水泥固井、通井,再下入 7 $\frac{5}{8}$ in($\varnothing 193.7$ mm)活动套管,安装套管头。至此,主孔的上部井段施工全部完成。

4.3 钻机加装液压顶驱系统的改造通过验收,绳索取心钻进即将开始

科钻一井第三阶段施工的主要技术手段是绳索取心钻探,为此,工程中心采取了以下技术措施:

(1) 改装钻机,加装顶驱系统。ICDP 同意以低租金的方式向中国提供一台液压顶驱系统,但是需要中方自行配备导轨等金属结构。工程中心自己设计、委托宝鸡石油机械厂加工制造了导轨,并自行安装了整套系统;液压泵站及顶驱动

力头的检修、安装、管线连接全部顺利完工,经德方验收,已试车成功,对 ZJ-70D 型钻机进行少量改造,以适应绳索取心钻进的需要。

(2) 准备配套的工具。绳索取心钻探最危险的工序是起下钻。绳索取心钻杆是外平的,提升钻杆采用加接“蘑菇头”的方法,并特别配制了专用吊卡。拧卸钻杆用的液压大钳必须对钳口进行改造,以减轻对钻杆的损伤,上口必须拧到设计要求的预拧扭矩。起下钻作业必须十分小心,其中又以井口夹持器(石油行业称之为卡盘)最为关键。本工程采用了 QD450 型气动套管卡瓦。

(3) 设计加工制造了专用打捞工具。

(4) 广泛征购全国各钻头厂家生产制造大口径、高品质、适用的绳索取心钻头,组织加工螺纹及螺纹量规,安排生产了一批卡簧,用以弥补进口卡簧的不足。从而逐步形成绳索取心钻具国产化配件的生产能力。

4.4 地学研究的初步成果

4.4.1 主要实物工作量

完成 2000 m 取心井段的岩心编录,包括岩石、构造和矿化 3 方面的编录以及岩心的光学扫描和自然 γ 能谱扫描。

连续对地层中的流体进行了监测,包括气体在线监测和高采样频率的回流泥浆检测。

对钻进获取的岩心进行了 7 种物性参数(渗透率、孔隙度、平均磁化率、电阻率、密度、波速、热导率)的测定。

4.4.2 主要初步成果和发现

完成了 2000 m 的岩性剖面、构造剖面、矿化剖面、岩心扫描剖面、自然伽玛异常剖面及各种测井剖面。

在国内首次运用 5 种方法准确地进行岩心深度和方位的归位。

揭示了 2000 m 岩层中超高压榴辉岩的厚度超过 1000 m,地幔橄榄岩的厚度为 80 m,部分熔融形成的片麻岩厚度达 400 m。在原定的金红石矿体下又发现了 400 m 厚的达工业品位的新的金红石矿体。

确定了重要的构造岩片边界。

发现了在 476、869 及 1935 m 深处可能为深源气的甲烷和二氧化碳气体高异常,在 500 多米深处发现含铀和钍的高伽玛异常。

在 100 m 井深以上的岩屑中发现了可能来自深部的新矿物。

采集了研究地下生物圈的样品,经初步研究发现与地球目前已知生物不同的 DNA 显示,正在进行深入的研究。

采用点面结合的研究方法,将东海钻探获取的岩心与西部阿尔金、祁连、秦岭发现的榴辉岩进行对比研究,提出了绵延 4000 km 巨型超高压变质带是中国南北构造分界的新设想。

四川将建设环状公路网

据悉随着绵广高速公路、成南高速公路年底通车,四川省公路下一步发展的重点主要有 2 个:建设成都—绵阳—广元—巴中—达川—广安—南充—成都的环状高等级路网,主要是打通广巴路,西昌至

攀枝花高速公路争取年内动工,雅安(攀)枝花高速公路也要尽快上马,打通成都与攀西地区的快速通道。这样,成都到各市州均能实现半天到达。