

美国大陆科学钻探计划的地壳深部研究项目

DOSECC CONTINENTAL SCIENTIFIC DRILLING PROGRAM

大陆地壳深部构造的研究是当代地球科学的前沿课题之一,它不仅对基础地球科学的发展具有重要意义,而且还能为矿产资源评价、地热开发和地震预报提供极有价值的资料。因此,美、苏等国在最近一二十年内投入了很大力量,竞相从事这方面的研究。

在美国,从50年代起就开始研究地壳和上地幔的结构,做了许多地球物理勘测工作。从1974年起,开始实施“大陆反射剖面计划(COCORP)”,利用石油勘查中的地震反射剖面技术对美国的大陆基底进行系统调查,取得了一系列引人注目的成果。目前,这项计划正在继续进行。但是,在以科学研究为宗旨的大陆深部钻探方面,美国的起步要比苏联晚得多。

美国的“大陆科学钻探计划”是1974年才开始提出的,当时,在著名的卡内基研究所的支持下,50多位各方面的专家联合提出了在美国开展大陆科学钻探的建议,并且拟定了一个初步的计划。1978年,美国国家科学院又组织106名专家对1974年计划作了修订。1978年计划共包括五大课题:断层和地震机制,热液系统和活动性岩浆房,地壳热流和热结构,北美板块周围的应力体制,大陆结晶基底的范围、区域构造和演化。在所提出的这几个课题中,关于现代地质作用的内容占有相当大的比重,而苏联的深部钻探计划更侧重于系统地研究地壳深部的结构、成分和含矿性问题,这是美、苏两国大陆深部钻探计划的不同之处。

在1978年计划提出以后的数年之内,由于种种原因,美国的大陆科学钻探工作并没有取得实质性进展,深井和超深井的钻进迟迟未能纳入议事日程。值得一提的是,在此期间内建立了大陆科学钻探计划的专用数据库,该数据库汇集了由

政府机构和私人公司投资的2 000口有科学价值的钻井的资料,免费为各方面的研究人员服务。

1983年12月,白宫科学技术政策办公室将大陆科学钻探计划列入1985财年应增加拨款的前沿课题。至此,大陆科学钻探计划才出现了转机。

1984年3月,“大陆地壳深部观测及采样团体(DOSECC)”宣告成立,这是一个非盈利性的机构,负责大陆科学钻探计划的协调、组织管理和成果出版工作。其目前的成员单位是39所大学,经费来源主要是美国国家基金会的拨款,部分经费由美国地质调查局和能源部提供。该机构设有执行委员会,主席是哥伦比亚大学拉蒙特—多尔蒂地质研究所的B.雷利。执行委员会下设科学顾问委员会,主席是俄克拉何马大学地学院院长F.斯特利。

1985年,DOSECC提交了在美国开展大陆深部钻探的总体设计,所提出的井位遍布美国各地,共29处。这项计划是美国“大陆科学钻探计划”的重要组成部分,与已经完成的“深海钻探计划”(1968~1983)和正在实施的“大洋钻探计划”遥相呼应。

“大陆地壳深部观测和采样”是一个长期的综合研究计划,所属项目按钻井深度和钻探对象可以分为两大类。第一类项目的钻井是浅井和中深井,最大井深5公里,钻井的目的是为了更好地了解大陆地壳内部正在进行着的各种地质作用。第二类项目将向钻井技术的极限冲击,预计达到的最大井深将超过15公里,有时还要克服高温、高压和腐蚀性流体对钻探的影响。这样深的超深井将不仅限于研究地壳内的动态过程,而且还要探索地壳的历史、结构和深部环境。由于经费的限制,目前正在实施的两个项目都属于第一类,包括“上地壳项目”和“卡洪山口项目”。

上地壳项目

这个项目由堪萨斯大学的R. 范施穆斯(Randy Van Schmus)和P. 比克福德(Pat Bickford)负责, 钻探地点集中在美国的中部大陆地区, 该区的地壳表层覆盖着厚度不太大的显生宙沉积物, 下面是前寒武纪基底。项目的主要目的是深入研究早—中元古代(距今10~25亿年)时期的大陆地壳形成过程。地质学家认为, 早—中元古代这个时期在地质历史中起着承上启下的重要作用。在这个时期之后是“标准的”板块构造体制在大陆演化中起作用的时期, 之前是地质年龄大于25亿年的太古代, 当时的全球构造体制与目前的板块构造模式可能大不相同。

“上地壳项目”是1983年开始的一个类似项目的继续, 目前的工作主要是从旧钻井的岩芯中采集样品, 在有可能的情况下则加深旧井以便采集基底岩石样品。对所采集的样品进行岩石学、地球化学和地质年代学分析, 并且以大陆演化历史为线索来解释数据。研究人员还计划在缺少钻井资料的地区打一些专用钻井, 以便了解这些地区的基底情况。从美刊最近的报道来看, 这个项目今后有可能转入在最有意义的地区打专用浅钻井的阶段。

卡洪山口项目

这个项目是DOSECC和美国地质调查局的合作项目, 其核心是目前正在施工的卡洪山口深钻井, 这是DOSECC的第一口专用钻井。该钻井从一口1 800米深的旧井继续向下钻进, 计划加深到4 900米左右。钻井位于加利福尼亚州圣贝纳迪诺附近的卡洪山口, 处在著名的圣安德列斯大断层东北面约3.5公里处, 刚好布置在130年前发生过8.3级地震的一条断层的南端。整个项目是为了研究圣安德列斯断层和板块构造机制而设立的, 预计延续到1988年, 由斯坦福大学的M. 佐巴克(Mark Zoback)负责。主要研究人员和负责有关实验的专家共30余人, 分别来自十几所大学、美国地质调查局和几所著名的实验室。

卡洪山口钻井的主要目的, 是对圣安德列斯断层沿线及附近地区的地热体制与应力状态之间的基本关系进行研究。沿发震断层作应力测量可以更好地理解地震现象和驱动地震的构造力, 这种测量涉及对断层摩擦阻力(摩阻)的测定。在地震发生期间, 断层两盘的相对运动克服了摩擦阻力, 同时生成很大的热量。对卡洪山口附近的安德列斯断层所做的计算表明, 假如断层的平均摩阻为50~100兆帕, 则摩擦生成的热量就会使

断层沿线出现局部热流异常, 异常值为1热流单位(约40毫瓦/平方米)。通过热流实验可以证明, 0.1热流单位的异常就可以观测到, 但实际热流测量却没有发现任何异常。根据热流测量结果来推算, 断层的平均摩阻应小于10兆帕, 如果考虑到由于地震幅射而损失的一部分能量, 至多可以把断层的强度限定到20兆帕左右。

一般而言, 浅井应力测量结果与热流数据所指示的低摩擦应力是一致的。在深度下限为1公里的情况下, 剪切应力随深度而增大的速率约为10兆帕/公里, 这一速率值与岩石摩阻的实验室测定结果吻合。但是, 如果利用这个数据向深部外推, 就会出现明显的矛盾。若外推到5公里深度, 平均应力值就会增大到热流值所限定的最大应力值的二倍左右; 如果外推到发震带的底部, 应力值几乎超出一个数量级。这种矛盾的关系被称为“热流—应力疑题”。

科学家们已经提出了许多模式来解释上述矛盾现象, 其中最具有代表性的模式是以下两种。第一种模式假定, 上地壳内的平均摩擦应力很高(约100兆帕), 之所以探测不到相应的热异常是因为热量被循环的地下水带走了。如果情况果真如此, 在钻井底部就应当能同时观测到高的剪切应力值和高热流值。按照第二种模式, 平均摩擦应力很低(约10兆帕), 所生成的热量也很低, 原因可能是断层带深部的流体压力很高。

显然, 为了解决“热流—应力疑题”, 必须在钻井中获得最符合实际情况的热流测量和应力测量数据。为此, 已经作了详细的分工, 每项测量都有专人负责。井中应力测量采用两种不同的方法, 即广泛使用的水压破裂法和处于实验阶段的缆式应力仪测定法。后一种方法可以作应力解除分析, 并且采用了井底全息摄影技术。此外, 还要对岩芯应力随时间而变化的情况进行研究。热流测量将在钻进期间和钻进后的一段时间内进行, 以便确认钻井是否达到了热平衡。岩石的孔隙压力、渗透率和流体流量等参数对于理解应力状态和热流数据都有很大意义, 因此也要专门进行研究。

除了热流—应力实验以外, 还要进行门类繁多的其他研究, 例如: 钻井井位的区域地质背景和构造环境, 岩芯和钻屑的岩性鉴定, 基底岩石的地球化学分析, U-Th-Pb法和Rb-Sr法地质年代学研究和同位素地质学研究, 等等。

卡洪山口钻井采用普通的回转法钻进, 预定只在特定井段采取10%的岩芯, 另外还根据井内的岩性和构造情况补充取样。对井内情况的详细研究主要利用各种测井技术, 所采用的方法有: 常

规的和高精度的地球化学测井,电子成像,多通道声波测井,井下电视,井中雷达,磁化率测定,复电阻率测定,井中重力测量,温度测井。为了研究与圣安德列斯断层有关的各种物理性质(如裂隙的各向异性、P波和S波波速等等),还有人提出了垂直地震剖面计划。这项工作的另一个目的是进一步追索钻井所揭示的地质构造现象,使之与周围邻近地区和井底以下的地质构造联系起来。作为对垂直地震剖面资料的补充,将进行区域性的共深点地震剖面勘测,以便对卡洪山口地区的区域构造背景作出解释。建议进行的其他工作还有天然裂隙系统调查、变形组构和岩石磁性研究,等等。

截止到1987年5月,卡洪山口钻井的井深已达到2 125米左右,在1830米套管以下的裸井井段做了水压破裂实验。待钻井完工之后,美国地质调查局将在井底安放仪器,建立永久性的地震观测站。据地震学家预测,卡洪山口地区在未来的几十年内发生强烈地震的可能性很大,长期观测站的建立将为地震预报提供很有价值的资料。

除了以上两个正在实施的项目以外,还有一系列其他项目正在拟议之中,其中包括“卡特迈项目”、“克里德项目”以及属于“超深井”范畴的几个项目。

卡特迈项目

卡特迈地区位于阿拉斯加州南部的阿拉斯加半岛上。1912年6月,这里发生了本世纪最大的一次火山喷发。喷发持续了60个小时,体积达15立方公里的岩浆穿透中生代岩层涌出地表,其中有相当大一部分是富含二氧化硅的流纹岩岩浆,这种类型的喷发是有史以来最强烈的一次。在主火山喷发时,其西北侧的谷地被火山碎屑物覆盖,谷地旁侧的寄生火山也同时活动,谷地内部出现了无数个大大小小的喷气孔,这就是著名的万烟谷。

目前,科学家正在制订一项计划,准备用一系列取芯钻井来探测万烟谷的火山口和喷发产物,最大井深为1公里。钻井的目的是为了查明富硅质岩浆侵入于地壳浅部时所表现出来的热性状、力学性状和化学性状。根据地球物理异常和地质资料推断,这个地区的地下在火山喷发时存在一个横向范围相当大的岩浆库,因此钻井有可能探测到岩浆作用的条件。如果钻探计划能获得成功,就将第一次揭示人类历史时期的一个大型火成岩侵入体就位后不久的状况。

“卡特迈项目”是DOSECC、美国地质调查

局、美国能源部和国家公园管理机构的联合研究项目,目前已提出了若干项具体研究计划,钻探工作可能在1988年开始。

克里德项目

这是一个在科罗拉多州克里德矿区进行科学研究的项目,该矿区的热液型贵金属矿化与一个多次活动的富硅质塌陷火山口杂岩体有关。同位素研究表明,塌陷火山口谷形洼地中的高盐度水溶液通过裂隙进入了成矿热液系统,并参与了矿石的形成。计划打一至二口1公里深的钻井穿透火山湖沉积物,以便确定浅部溶液系统的地球化学历史。然后再打一口3~5公里深的钻井,一直打到热源部位,以便研究成矿热液系统及其地球化学特征。目前,选择井位的研究工作正在进行之中。

超深井计划

DOSECC已经采纳了几项属于“超深井”范畴的建议,这些项目都有很大价值,但目前大都处于井位选择和设计编制阶段,在项目付诸实施之前还有许多工作要做,其中包括钻探技术方面的准备和经费的筹措。下面对已经选定的几个项目作简单介绍。

(1)阿巴拉契亚深部取芯钻井(ADCOH)。钻井布置在阿巴拉契亚山脉南段,位于佐治亚州和南卡罗来纳州的州界上。经过数年的准备工作,井位选择已告完成,在此期间内进行了地表地质制图、重力勘测和地震勘测,还做了浅部取芯钻探工作。这口钻井的预定井深为10公里,目的是检验COCORP项目在南阿巴拉契亚地区发现的大型逆掩断层构造。一些美国地质学家根据南阿巴拉契亚的深部地震反射剖面资料提出:在古大西洋闭合时发生的大陆碰撞期间,厚度约10公里的结晶岩岩板至少向西推移了260公里,掩覆于南阿巴拉契亚铲状平缓的古生代沉积岩之上,构成了典型的“薄皮构造”。这种看法突破了对造山带构造变形方式的传统认识,促进了板块构造理论的发展,同时还揭示了在被逆掩的沉积岩中找到石油和天然气的可能性。ADCOH项目的超深井将打穿“外来”的结晶岩岩板并进入下伏的古生代地层,还有可能打到“原地”的前寒武纪基底岩石。

(2)海湾调查和深部勘探(GUIDE)项目。GUIDE是一个国际财团,它建议在得克萨斯州德威特县的一个地点进行超深钻探。钻井将穿过具有地质构造意义和地层意义的沉积剖面,从而对墨西哥湾海岸的含油气沉积盆地进行勘探,最终将进入基底岩石。据信,基底的特征介于大洋型

地壳和大陆型地壳之间。钻井将布置在晚白垩世礁线的外侧,并且将穿透盆地岩相——石油的可能源岩。这口钻井在施工技术上可能会遇到困难,因为在深部将会遇到超压带和高温条件。不过,它可以提供十分难得的机会来研究一个潜力很大的油气盆地的整套沉积岩及其成岩作用,还可以了解以前所知甚少的基底情况。

(3)夏威夷项目。这是最新提出的超深井项目,包括两口钻井。第一口钻井是5~6公里深的取芯钻井,目的是从一座夏威夷式火山的内部采取熔岩和火成碎屑岩样品,以便详细研究夏威夷岛下面的地幔热点在火山整个活动期内的地球化学演化。这方面的资料对于研究地幔不均一性和热点本身的成因有很大价值。此外,这口钻井将第一次提供直接研究火山构造演化历史的机会,还可以提供其他方面的宝贵资料。第二口钻井是深达12公里的超深井,它将把夏威夷岛作为一个

巨大的海上钻井平台,对该岛下面的整个大洋地壳进行岩芯取样。井深达到12公里就有可能达到上地幔,从而提供前所未有的机会来采集“正常”大洋地壳的原状样品,还可以同时研究莫霍面的岩石学特征和地震学特征。夏威夷项目兼具大洋钻探计划和大陆钻探计划的特点,为了解决一些带根本特性的问题,两大计划有可能联合拟定一个研究项目。

总的来看,美国大陆科学钻探计划目前正在进行的工作仅限于浅部和中等深度的钻探,主要研究对象是地壳中正在发生的地质作用,下一步将转向深度更大的钻井和技术上更困难的实验。但是,为了能达到更大的井深或者实现在高温高压等不利条件下的钻进,还需要在钻井、取芯技术和测井技术的改进上下很大工夫。在大陆超深钻探这一领域内,美国暂时还落在苏联后面。

(石宏仁 编译)

科技动态

日本出现超高温技术研究热

超高温是指在4 000摄氏度以上的温度。用4 000~5 000摄氏度的超高温技术,可在一个气压以下制造出金刚石,其效率比现有的低温低压等离子体技术高120倍以上。

日本从1985年开始研究超高温技术,现已居世界领先地位。这一技术将使材料生产变得更加廉价和简便。

世界26个国家的170名专家和日本的460名专家于1987年8月31日至9月5日,在东京京王饭店举行了“等离子体化学国际讨论会”。这次国际会议主要讨论了超高温技术的研究与开发问题。

在讨论会上,科学技术厅的无机材料研究所发表了该所开发成功的人造金刚石的新的合成技术。

这次国际讨论会从各个方面表明了超高温技术的重要性和显示出日本在开发超高温技术方面的活跃程度。

超高温技术的利用范围广,就目前已经弄明白的情况看,超高温技术将使担负21世纪重任的新材料的生产更加简便。

也就是说,超高温技术有如下效果:

1. 能生产出用以往的方法所不能生产的新物质。
 2. 能生产出用过去的方法所不能生产的新的形状的物质。新材料的生产也能使极超微粒子的生产加入超高温革命的行列。
 3. 能够获得纯度极高的物质。
 4. 与过去的方法相比,生产率非常高。
 5. 可开发出新的石油和煤炭化学工程,如从石油和重油中提炼出乙烯和乙炔等。
 6. 能够产生从未有过的新的高级金属、精密陶瓷。
 7. 可以开发出连宇宙工厂也能使用的小型、附加价值高的材料的制造方法和制造装置,如弧光反射炉等。
 8. 可使生产加工工程单纯化,并使作业程序变得简单、容易。
- 当然,随着研究开发超高温技术的进展,就能开发出最新的、人们想像不到的材料并找到利用这些新材料的方法。

(转摘自新华社《世界经济科技》)