

深井地震、地球物理长期观测与研究

——现代地球科学的新进展

徐纪人¹⁾ 赵志新¹⁾ 许志琴¹⁾ 石井絃²⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 中国北京, 100037; 2) 日本东浓地震科学研究所, 日本岐阜县, 509-6132

地球科学是以观测为基础的综合科学。随着地球科学研究的深入发展以及解决人类所面临着的环境、资源、防灾等科学问题的需要, 20世纪90年代以来, 世界大陆、大洋科学钻探工程研究以及在钻孔深井内进行的地震、地球物理长期观测得到迅速发展, 取得了令人瞩目的研究成果, 成为21世纪地球科学发展中的新热点。

1 深井长期综合观测研究是现代地球科学发展的前沿

随着现代科技的发展, 近年来地球物理观测精度在不断提高。然而由于城市化、工业化、现代化发展带来的各种噪音以及地球表面效应, 严重干扰了观测效果, 极大地影响地球科学的发展。如1995年日本神户大震前仅记录到4个前震, 震后总结认为, 地面噪音掩盖了微弱前震与前兆信息, 导致6千余人死亡, 整个城市一度瘫痪(深尾良夫等, 1996)。

为了消除地面干扰噪音, 建立低干扰、高感度、高精度的理想观测站, 近年来仪器设置从地表开始向地下发展。国外井下观测站深度从数百米起逐步发展到千米以下, 成为深井观测站。地表、浅井与深井对比观测结果表明, 深井观测可以有效地排除各种地面噪音干扰, 大大提高了对微小地震及微弱地球物理信息的观测精度, 促进了科研与应用。

理论与实践都表明, 深井观测使地学研究直接深入到地球内部, 可以取得来自地球内部的真实信息。深井观测资料具有地面观测无法达到的高精度与高分辨率, 有力地推动了基础与应用地球科学的发展。深井长期观测是照亮地球内部的一盏科学明灯, 是现代地球科学发展的前沿。

2 世界深井地球物理长期观测与研究的最新进展

近年来, 深井地球物理综合观测在世界科学技术发达国

家迅速得到发展, 建立了大量深井观测站、观测实验室。仅在日本, 到2000年为止1000 m 以下的深井地震观测站已有22所, 深井综合观测的台站数目在逐年增加, 并在伊豆半岛地震群、神冈矿山活断层、南非金矿等观测研究项目中取得成功经验。2003年, 日本科学家在岐阜屏山活断层附近的1020 m 的深井中, 设置了目前世界最先进的, 包括高精度地震、应变、倾斜、地磁和地热的长期综合地球物理观测仪器, 并进行了不同深度的初期应力测量。结果表明, 与地面观测相比, 能提高观测精度1~2个数量级(Ishii et al, 2003)。目前, 他们正在开发研制能耐165℃以上高温, 100 GPa 高压的深井观测仪器, 积极开展4000 m 以下超深井长期观测与研究。

世界著名的德国大陆超深钻井计划(简称KTB), 与旧苏联的大陆深钻相比最大的不同是, KTB 钻井现场有世界最先进的地表与深井长期观测系统, 开展深井地球物理以及流体、地球化学等观测与研究。德国科学家建立了深井地壳长期科学试验观测站, 系统地进行地应力、地震等科学观测。2002~2007年期间进行水压实验等观测与研究。在此之前已完成了4000 m 先导孔注水, 利用40台宽频地震仪, 进行注水诱发地震的实验观测研究。发现了该区所有的诱发地震截止于10 km 深度, 即脆—延性过渡带的深度上(涂毅敏等, 2002)。目前, KTB 得到的各种观测成果已陆续在学术刊物上发表(Zoback et al., 1993)。

美国进行的圣安德列斯断层深部长期观测(简称为SAFOD), 是一个以深井观测为主的重大科研项目。其主要内容是在太平洋与北美板块边界地震活动区域的深孔钻井内直接观测深部地球物理状态与变化。(下转第542页)

注: 本文为国家“973”项目(编号2003CB716505)、国家自然科学基金资助项目(编号40399141)的成果。

(上接第537页) SAFOD主孔采取从地面到2200 m深为垂直钻井,随后向地震震源区转向倾斜打钻,终孔于4000 m深的圣安德列斯断层震源区内。主孔的工程和观测项目划分为三个阶段进行,采取了钻井—观测—钻井—观测,最后深入到震源区内进行20年长期观测的独特程序。观测内容包括地震、流体压力、温度、应变、倾斜等多种项目,2004年5月继续开始进行主孔钻井以及各种观测(Zoback et al., 1998, 2004)。SAFOD采取开放式管理,仅在2000年,就有近10所美国国内外大学和科研单位参加先导孔进行的各种观测与研究并取得多项科研成果,每年发表10篇以上的论文。其中,J. Andres Chavarria 和 Peter Malin 等人(2003)发表的,利用井下观测地震转换波得到的圣安德列斯断层2~4 km规模的次级断裂系统精确定位,其精度靠地面观测是绝对无法达到的。

3 中国大陆科学钻探深井长期地球物理综合观测规划与前景

综上所述,深井长期观测是现代地球科学的发展方向,也是我国地学界当前势在必行的创新科技项目。目前,进行中的中国大陆科学钻探工程(简称CCSD)为我国首次开展深井长期观测提供了最好的机遇。

CCSD工程现场位于华北、华南块体交界的苏鲁超高压变质带内,郯庐断裂带东侧。以科学研究为主要目标的CCSD不仅进行全岩心取样分析和各种测井,最终将在5000 m主孔底部设置仪器,对我国东部的地震、地球物理场状态及变动进行十五年的长期综合观测研究(Xu et al., 1998)。通过深井仪器进行的直接观测,将揭示大陆地壳深部的物质组成与结构构造,探索地下深部应力、地球物理场状态与变化,监测地震活动,揭示地震发生规律,观察研究全球性环境变化与变迁等多学科研究。近年来对苏鲁超高压变质带的研究虽

然已经取得一些科研成果(徐纪人等,2003,2004;赵志新等,2004),但是仅有地面观测已经无法支持更深入的研究。深井长期观测将推动地学研究中长期未能解决的,如超高压变质带的俯冲折返机制等重大基础科研问题的研究。此外,作为伸入地球内部“望远镜”和“显微镜”,CCSD深井观测将监视郯庐断裂带等活动构造的地壳运动,在减轻地震、地质灾害,实现地震预报等方面发挥重要的作用。从长远看,它将为我国资源、环境、灾害预防以及科研等方面提供科学资料,发挥积极作用。

根据上述宗旨和中国大陆科学钻探实施状况,在充分调查研究了世界深井观测状况与进展的基础上,我们制定了CCSD深井长期综合观测规划。计划充分利用已有的CCSD预先导孔以及即将完成的5000 m主孔,引进并设置井下综合观测仪器,进行高感度地震以及高精度应变、地磁、倾斜、地温等地球物理场的长期观测与研究。根据国外经验,深井观测站可以监视周围100 km范围内的0级左右极微震活动;水晶温度计可以达到1/1000℃的观测精度;应变仪的观测精度可达 10^{-10} ,均比地面观测精度高出1~2个数量级。CCSD主孔深井观测站设置成功后,将成为世界最深的长期观测站。在仪器设置前,计划利用可回收智能型应变仪进行不同深度的初期应力测量。该技术属于世界先进水平,其优点为可以在不破坏井壁的情况下高精度测量应力值(Ishii et al., 2002)。

CCSD深井地震、地球物理长期观测将连续进行15年,分为三个五年计划进行。第一个五年期间要完成预先导孔与主孔内仪器设置、预观测,最终进入正常观测;建立数据库,逐步实现资料共享;进行深井不同深度上的垂直与地面水平的对比观测等多项观测研究项目(Xu et al., 2004)。

(下转第553页)

(上接第542页)

参 考 文 献

- 深尾良夫, 石桥克彦. 1996. 阪神・淡路大震災と地震の予測. 东京: 岩波书店.
- 涂毅敏, 陈运泰. 2002. 德国大陆超深钻井注水诱发地震的精确定位. 地震学报, 24(6):587~598.
- 徐纪人, 杨文采, 赵志新, 等. 2003. 苏鲁大别造山带岩石圈三维 P 波速度结构特征. 地质学报, 77(4):577~582.
- 徐纪人, 赵志新. 2004. 苏鲁造山带区域地壳山根结构特征. 岩石学报, 20(1):137~144.
- 赵志新, 徐纪人, 杨文采, 等. 2004. 中国大陆科学钻探孔区反射地震剖面的数值模拟与分析. 岩石学报, 20(1):127~136.
- Ishii H, Yamauchi T, Asai Y, et al. 2003. Continuous multi-component monitoring of crustal activities by a newly developed instrument installed in a 1200 m depth borehole—the deepest multiple observation in the world consisting of stress, strain, tilt, seismic wave, geomagnetism, temperature. IUGG2003 poster, Sapporo Japan.
- Ishii H, Yamauchi T, Matsumoto S, et al. 2002. Development of multi-component borehole instrument for earthquake prediction study: some observed examples of precursory and co-seismic phenomena relating to earthquake swarms and application of the instrument for rock mechanics. In: Ogasawara H, Yanagidani T, Ando M, et al, eds. Seismogenic Process Monitoring: BALKEMA, 365~377.
- Zoback M D, Apel R, Baumgartner J, et al. 1993. Upper-crustal strength inferred from stress measurements to 6 km depth in the KTB borehole. Nature, 365: 633~634.
- Zoback M D, Hickman S H, Ellsworth W L. 1998. Scientific Drilling into the San Andreas Fault at Parkfield, CA. Project Overview and Operational Plan, A Proposal to National Science Foundation.
- Zoback M D, Hickman S H, Ellsworth W L. 2004. San Andreas Fault Observatory At Depth (SAFOD). A Proposal to ICDP.
- Chavarria J A, Malin P, Catchings R D, et al. 2003. A look inside the Andreas fault at Parkfield through vertical seismic profiling. Science, 302:1746~17.
- Xu Jiren, Zhao Zhixin, Ishii Hiroshi, et al. 2004. Multiple Geophysical Observations by a Newly Developed Multi-component Borehole Instrument at the Continental Deep Drilling Site of the CCSD, Donghai, China. A Proposal to ICDP.
- Xu Zhiqin, Yang Wencai, Cong Bolin, et al. 1998. Drilling Operations in the Dabie—Sulu UHPM Belt, East China. A Proposal to ICDP.

(章雨旭 编辑)