

# SinoProbe - 05 深部探测项目钻探技术 问题总结与对策研究

胡郁乐, 张晓西, 张 惠, 吴 翔

(中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**为满足深部找矿和地球科学研究的需要,近几年,深度超 2000 m 钻孔数量在不断更新,岩心钻探深度记录也在不断打破。深部钻探由于科学目标更高、钻遇地层更多、压力层系复杂、钻进时间更长等客观实际,对钻探装备、工艺技术和管埋提出了新的要求。针对不同地域和区块,深部钻探均有不同的典型难点问题和技木挑战性。SinoProbe - 05 深部探测项目自 2009 年启动以来完成了西藏罗布莎、甘肃金川、云南腾冲、安徽庐枞、安徽铜陵和于都赣县等钻探任务,通过集成该深部探测项目过程中的技术问题,从装备、工艺、材料到机具等 10 个方面总结了该深部探测项目的成果,并结合近几年国内其他深部钻探项目一些经验,进行了策略研究和风险规避探索。

**关键词:** SinoProbe - 05 深部探测项目;深部钻探;科学钻探;钻探技术

**中图分类号:** P634      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672 - 7428(2014)09 - 0032 - 06

**Conclusion and Countermeasures of Drilling Technology of Deep Exploration Project/HU Yu-le, ZHANG Xiao-xi, ZHANG Hui, WU Xiang** (China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** To meet the needs of deep prospecting and geoscience research in recent years, the number of drill holes over 2000m depth constantly updated, and core drilling depth records were constantly broken. Due to the higher goal of the deep drilling, the more complex formation-pressure systems, the longer drilling time, lots of the new requirements were put forward in the different regions, such as drilling equipment, technology and management. And each chosen site has different typical technical challenging and difficult problems. SinoProbe - 05 project has completed the following drilling works, including Luobusa in Tibet, Jinchuan in Gansu, Tengchong in Yunnan, Luzong and Tongling in Anhui and Yudu in Jiangxi since 2009. Related techniques are introduced in the paper, especially some technical issues, including the total of 10 aspects of equipment, technology and materials etc. Combined with the experience of other projects of SinoProbe in recent years, the paper discusses some drilling risk-proof ways and strategies.

**Key words:** SinoProbe project; deep drilling; scientific drilling; drilling technology

## 0 引言

《大陆科学钻探选址与科学钻探实验》(SinoProbe - 05)是国家重大专项《深部探测技术与实验研究专项》所属项目之一。《深部探测技术与实验研究专项》项目结合当前中国经济发展与社会需求,提出大陆科学钻探的研究拟围绕中国大陆动力学基础地质的重大关键问题——板块会聚边界的深部动力学、重要的矿产资源集聚区的成矿背景、成矿条件和深部找矿前景、盆山结合带对油气资源制约以及火山-地热资源等方面的研究;在此基础上,运用不同技术方案实施了多个先导孔的科学钻探实验,以期为大陆科学超深钻探的选址提供依据。由于钻探是最基础的内容,费用投入最大。因此,如何以经济手段,高质、高效、顺利地实施是课题组与施

工单位共同面临的课题。目前,我国深孔取心钻探工作虽然已经有了长足进步,但均局限于某一种类型的矿产和地质条件,而科学钻探与常规岩心钻探相比,各项质量指标更加苛刻,无论是对钻孔的岩心采取率还是钻孔偏斜率以及岩心品质等都有着远远高于常规岩心钻探,加之目标钻探实验选区分散,选区地质条件十分复杂,前期深部地质资料缺乏,钻遇深部地层的地层压力系统较多,井壁稳定性差,硬、脆、碎、涌、漏、坍塌、缩径、钻孔轨迹难控制等各种复杂情况都在不同选区不同程度地出现。

本文将总结西藏罗布莎 LSSD - 1、甘肃金川 JCSD - 1、云南腾冲 TCSD - 1、安徽庐枞 LZSD - 1、安徽铜陵 TLSL - 1 等深部钻探项目中的共性和个性问题,特别是对一些“瓶颈”技术进行分析和总结。

收稿日期:2014 - 06 - 30

基金项目:深部探测技术与实验研究专项之“大陆科学钻探选址与科学钻探实验”(SinoProbe - 05)

作者简介:胡郁乐(1970 - ),男(汉族),湖北人,中国地质大学(武汉)教授,地质工程专业,博士后,主要研究方向为钻探工艺技术和钻井仪表,湖北省武汉市鲁磨路 388 号,ylhuezhou@163.com。

1 钻探技术与对策研究

1.1 装备与机具配套问题

SinoProbe-05 深部探测项目设计孔深一般为 2000~3000 m 之间,以小口径绳索取心钻进工艺为主,围绕优质高效、经济有效的原则,选择的设备如表 1 所示。

表 1 SinoProbe-05 深部探测项目钻探装备配套表

| 名称   | 型号和特点                                       | 说明                                      |
|------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 钻机   | 立轴 XY-8 和 XY-9;转盘 ZJ15                      | 腾冲终孔 $\varnothing 152$ mm<br>钻机为 ZJ15 型 |
| 钻塔   | SG-24 m(A);A27;HS27-75                      |                                         |
| 钻机动力 | 160 kW(XY-9);90 kW(XY-9);<br>2×100 kW(ZJ15) | ZJ15 型钻机采用双<br>电机动力,浅孔时<br>单电机工作        |
| 泥浆泵  | BW-300/16,BW-250,3NB-500                    |                                         |
| 辅助设备 | SJD-3000 绞车;SQ114/8 液压钳                     |                                         |
| 钻杆   | S114,S95,S75,API31/2                        |                                         |
| 测试仪器 | 泥浆仪器、测斜仪器和地表钻参仪                             |                                         |
| 其他   | 冲击器;螺杆马达                                    |                                         |
| 备用   | 发电机组,空压机组                                   |                                         |

除腾冲钻孔之外,钻机选择以 3000 m 以上立轴钻机为主导,钻塔以传统 24 m(A)加重塔为优选,主要考虑钻深能力和提升效率问题,充分利用了纯机械传动钻机的能量效率和运行成本。从能量应用、运行成本、性价比和操作经验而言,这是目前国内 2000~3000 m 小口径钻孔的第一选择。从总的运行效果来说,虽然 XY-8、XY-9 型立轴式钻机性价比高,但目前尚存在着设计缺陷,钻机修理停待时间均超过总台月时间的 17% 以上,这是不可回避的问题。

从钻进参数控制角度,钻机和泥浆泵如果具有无极调速、调泵量,有优越的转速-扭矩、压力-排量性能曲线和恒功率调节能力是理想的选择,全液压钻机具有该方面的能力,但国内液压件的配套能力存在的问题,加之功率利用率和处理钻井孔内事故的软特性等因素影响,特别是深孔阶段的提下钻问题,导致全液压岩心钻机在孔深超过 2000 m 钻孔中的应用受到一定限制。尽管全液压钻机有较大的给进行程,但立轴 XY-8 和 XY-9 钻机行程已经分别达到 1 和 1.2 m。近年来,顶驱钻机吸引了同行的眼球,国内专家有 2 种观点,即电动顶驱和液压顶驱孰优孰劣问题,集中在液压系统的特点和顶驱本身的质量、尺寸方面。国外以液压顶驱为主要发展思路,这主要是考虑人工成本高和油料成本低的问题,在某种程度上,和国内并没有可比性。

总的来说,笔者认为:针对 2000~3000 m 深孔,

为规避深孔风险,宜选择“大马拉小车”模式,强调提升能力和扭矩,钻机应具备提钻取心和绳索取心的双重便利性。

机具配套应根据地层、设备和工艺要求相得益彰,周全考虑。附属设备应配备高效的拧卸设备和智能装备,对减轻劳动强度,保护机具和保障钻进过程的可视性和安全性均有意义。

1.2 工艺选择问题

深部探测项目小口径钻进均采用取心钻进为主的钻进工艺,S114/S95/S75 均得到了有效利用,其中安徽庐枞 LZSD-1(3000 m 钻孔)采用了绳索倒塔型组合钻具,充分考虑了绳索取心钻杆力学强度指标,取得了较好的效果。庐枞科钻采用绳索取心组合倒塔式钻杆施工完成 3008.29 m 钻孔。项目研究认为目前国内绳索钻杆,如 S95/S75 等使用的深度安全极限为 2000~3000 m,还需考虑地层复杂程度、钻杆新旧程度和质量稳定性等因素的影响,否则还要大打折扣。近几年,国内钻杆厂家虽然在材料、扣型、热处理和机加工方面已经有了长足的进步,但质的突破和飞跃还有待时日。研究还认为,在复杂地层情况下,绳索取心小环隙的特点使得很多优质泥浆体系不能应用,泥浆功能得不到充分利用和发挥,在地层极其复杂的情况下,特别是需要通过提高泥浆密度来保证钻孔孔壁稳定及安全的情况下,采用常规提钻取心,大环隙泥浆循环的钻进方法反而能取到相对理想的效果。云南腾冲 TCSD 钻孔由于主要为火山岩地层,酥松和坚硬并存,且漏失严重,实验采用了多工艺钻进方法,包括空气回转钻进、空气潜孔锤钻进、空气泡沫钻进、泥浆循环钻进、液动潜孔锤钻进、螺杆马达钻进,钻具采用了石油行业川 6-3 和地质行业 KT140 钻具,积累了许多经验和实验数据。研究认为:深孔钻进应充分利用设备、钻柱能力和地层的匹配关系,工艺方案储备充分,不能以不变应万变,而应未雨绸缪,多把钥匙能开多把锁。组合钻进工艺和组合钻具是保障钻孔质量、效率和安全的不二选择,也迫切期望岩心钻探行业能创新,突破“瓶颈”问题。

1.3 深孔钻孔结构问题

深部探测项目的钻孔深度均超过 2000 m,长径比超大,考虑地学研究需求和设备能力,终孔直径一般设计为 75 mm。由于钻深大,地层较为复杂,套管程序采用传统模式显然风险太大,若钻孔直径设计偏小,当孔内出现事故时,处理回旋余地小,但考虑钻探成本,套管级数也不可能太多,因此有限的套管

程序会造成许多复杂孔段裸眼时间过长而形成巨大风险。深孔钻进钻孔结构原则上应考虑:

- (1)以终孔为设计原点,考虑复杂地层部位区间和点数进行反推设计,还应预留风险套管级;
- (2)考虑循环携渣流速和绳索取心间隙尽量大的问题,优化套管结构;
- (3)考虑深孔周期长,根据深度要求宜采用 API 套管等级,固井质量可靠;
- (4)有条件考虑能采用孔底马达钻具和液动潜孔锤工作的尺寸空间,以满足高效钻进和纠造斜钻进等;
- (5)特别强调在套管级数确定后,某级套管下入深度应尽量动态确定,且在判定钻孔稳定的情况下越深越好,不能因为经济因素和设计因素而唯一确定套管下入部位。

我国近几年推荐的深孔钻孔结构如表 2 所示。而图 1 为金川 JCSD-1 和庐枞 LZSD-1 钻孔的钻孔结构(忽略深度参数),可以看出深部探测项目钻孔结构的复杂性。

| 表 2 近年国内建议的深孔钻孔结构 /mm |         |         |
|-----------------------|---------|---------|
| 地 层 情 况               | 地层简单    | 地层复杂    |
| 开孔口径/孔口管              | 122/114 | 150/146 |
| 第一层孔径/套管              | 96/91   | 122/114 |
| 第二层孔径/套管              | 96/91   | 96/91   |
| 终孔口径                  | 76      | 76      |
| 终孔口径备用套管/备用口径         | 73/60   | 73/60   |

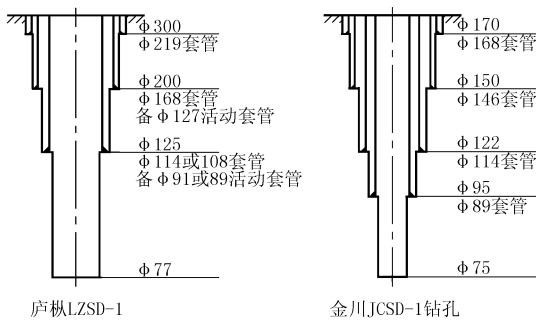


图 1 钻孔设计结构

1.4 钻井液和质量控制问题

绳索取心工艺在钻井液循环方面最显著的特点就是环隙小。深部探测项目采用的钻井液体系主要为无固相和低固相钻井液 2 大类,无固相中 PAM、植物胶、CMC、PVA、皂化油为主要添加剂,而低固相泥浆主要以 LBM 泥浆为主。现场均配置齐备的泥浆测试仪器和部分固控设备。项目研究得出以下认识。

- (1)无固相和低固相泥浆能在常规地层中发挥作用。

- (2)在复杂长裸地层(时间或空间长度),依靠单纯的泥浆护壁将形成极大的安全隐患,需要采用套管固壁或其他固壁方式。

(3)环隙尺寸存在优化问题:环隙太小泥浆循环阻力大,造成憋漏地层或流速过大冲刷孔壁;环隙太大则需要钻头切削唇面厚度大,切削效率会降低,特别是对于可钻性 8 级以上的地层,将极大地影响钻进效率。毋庸置疑,环隙越大,泥浆调整的余地越大,能发挥不同体系泥浆的功能,在常规地层深孔绳索取心钻进,实践上已经通过增大环隙减少泥浆循环阻力(如图 2 所示),经过理论计算,金刚石钻头优化出刃在 2~4 mm 范围,出刃超过该范围对于减少压力降无显著影响。S95 和 S75 钻具钻头外径已经打破传统概念增加到 Ø97 和 77 mm,但对于复杂地层而言,进一步增大环隙是优先选择,如图 3 所示,西藏罗布莎钻孔采用了自制增环隙钻头取得了明显的效果,该方法在庐枞钻孔也得到最大程度的应用。但毫无疑问,采用该方法时必须首先确定钻孔所面临的主要矛盾,即岩石可钻性与循环压降对总体施工效率的影响孰大孰小。

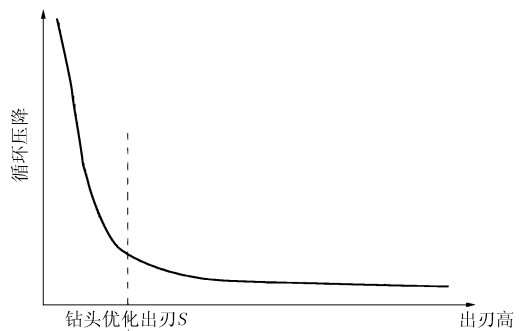


图 2 深孔钻头出刃优化尺寸

(4)环隙紊流与孔壁稳定性理论应该得到重视,环隙泥浆流速紊流时,易冲刷孔壁,造成垮孔,应该注重极限流速的界定或紊流雷诺数极限问题,实践证明,随着地层强度不同均存在不同临界流速,强度 0.1 MPa 岩石流速  $\geq 0.3$  m/s, 0.3 MPa 孔壁岩石环空流速  $\geq 1$  m/s, 否则是极度危险的。应注重雷诺数中的影响因子,雷诺数是惯性力和粘滞力的比值。雷诺数较小时,粘滞力对流场的影响大于惯性力,流体流动稳定;反之,若雷诺数较大时,惯性力对流场的影响大于粘滞力,流体流动形成紊流场。绳索取心由于小环隙和偏振,在雷诺数较小时就形成紊流冲刷孔壁。

- (5)提下钻压力“激动”与钻井液性能和起下钻速度密切相关,在复杂地层应根据地层情况严格控制



图3 西藏科钻自制增环隙钻头

提下钻速度,并坚持泥浆回灌制度。

(6) 钻井泥浆要保持性能的稳定。泥浆体系的突变或性能质量的变化,易导致孔壁失稳,即使更换泥浆体系也需要过渡性的更替。性能质量指标应根据地层找准关键控制指标并跟进调整。钻孔局部的失稳都会造成难以弥补的后果,如孔内形成“肚子”,该处容易产生岩屑堆积,孔底回转阻力大,易造成憋泵憋钻、断钻杆事故。

(7) 泥浆材料应用的品种和力度应该加大,在石油行业中的磺化类产品以及大钾、铵盐、重晶石类对复杂地层钻进有裨益。

(8) 注重泥浆的固控技术,石油固控的引入成本太高,但因地制宜应用固控设备对钻孔孔内安全极为重要。

### 1.5 复杂地层取心问题

深部探测项目为满足地质目的,岩心采取率均要求全孔岩心采取率 $\geq 85\%$ 。钻遇复杂地层,西藏 LSSD-1 和腾冲 TCSD-1 钻孔尤其突出。项目研究得出以下认识。

(1) 复杂地层取心钻具结构的设计和选择极其重要,高保真取心必须满足的条件是岩心无阻碍进入内筒,岩心卡取牢靠。通过设计孔底钻具内筒悬挂部位的负压形成装置有利于取心;通过调整钻头内台阶和内管之间的局部反循环强度可以提高采取率;通过合理的钻头结构和选型可以使岩心快速进入内筒。

(2) 复杂地层,如破碎带岩心成柱性差,容易堆积在卡簧和钻头部位,互相碾磨,导致岩心采取率降低或相互卡死,后续岩心难以进入内筒,因此复杂地层控制或减少回次进尺有利于提高岩心采取率。

(3) 调整卡簧,钻头内径和内管级配有利于提高采取率,必要时采取多卡簧或封闭式拦簧均有裨益。

(4) 在无粘性不胶结地层,提高泥浆粘度,如添加植物胶有利于形成岩心柱并进入内筒。

(5) 采用孔底潜孔锤有利于岩心的进入,对减少岩心堵塞有利。

(6) 为了提取保形岩心,出岩心方式非常重要,传统的敲击法是不适宜的,采用多重管、半合管或组合式半合管,以及提高内管光洁度均有利于岩心采取和出心。云南腾冲钻孔采用专门的水力出心装置提高了出心效率和出心质量。

(7) 提高钻头锋利度,减少钻头唇面厚度、有利于快速钻进,同时通过提高钻头规径刃高度,能减少扰动式回转,减少岩心磨损,有利于提高岩心采取率。

(8) 为保障岩心外径尺寸,钻头内径保径长度的减短,特别是厚唇面钻头,减少了钻头内径部位对岩心的磨耗,有利于保护岩心,提高采取率。

(9) 绳索取心内管上接头防退扣装置以及单动装置及时检查和更新,是提高岩心打捞成功率的具体措施。

(10) 从司钻操作方面,要控制钻速的平稳,不能进尺忽快忽慢,容易堵心,立轴钻机倒杆时也要严格规定操作程序,避免人为堵心。

### 1.6 钻孔偏斜问题

深孔钻探钻孔偏斜超标,不仅偏离地质目标,而且增加钻杆柱回转阻力、套管下入难度增大,对于孔内安全隐患极大,因此,深部探测项目钻孔弯曲控制精度要求高和测斜频度要求高。项目研究得出以下认识。

(1) 绳索取心从原理上等同于满眼钻具,钻井弯曲的控制难度也高于石油行业,大口径钻进可以通过多种孔底钻具组合来达到控斜目的,而小口径需要从设备安装、开孔和换径控制、钻进参数的精确动态控制和采用非传统组合钻具来达到控斜目的。

(2) 钻遇沉积岩和变质岩时,要通过采取的岩心判断地层构造和层理发育情况进行提前动态预判,如果岩心表现出明显的高陡构造特征,就需要及时改变钻进参数,采取措施防斜,否则会显著增加控斜成本。

(3) 绳索取心钻具的结构形式需要动态改变,上、下扩孔器和钻头外径的微小变化可以达到增斜和降斜的目的,多节式组合钻具有利于稳斜,安徽铜

陵钻孔极易偏斜,采用了多节式组合钻具。

(4) 钻孔偏斜超标或绕障是深孔钻进很难回避的问题,螺杆马达造斜、连续造斜器造斜、偏心楔造斜等频度较高,掌握造斜技术并及时造斜是保障控斜精度根本。

### 1.7 深孔水泥灌浆问题

水泥灌浆作为孔内固壁堵漏的辅助手段,以及套管固井和井内架桥偏斜的主要手段,是必不可少的。随着孔深的增加,特别是小口径井眼的水泥灌浆材料的选择和工艺流程非常严格,如果操作不当会引起孔内事故或造成事故进一步复杂化。项目研究得出以下认识。

(1) 在套管程序已经无法满足的情况下,水泥灌浆是固壁或堵漏的重要手段和选择。

(2) 深孔灌浆的成功率与灌浆材料的选择和灌浆工艺的正确实施息息相关。

(3) 灌浆材料考虑的因素包括水泥品种、水灰比、水泥浆失水量、流动度、初终凝时间、水泥石强度、拌合水和孔内自由水的酸碱度硬度、外加剂、前置液、隔离液等。灌浆材料也需与灌浆目的匹配,固壁、填扩大井眼抑或是堵漏目的,材料需要灵活调整。

(4) 灌浆工艺中灌浆方式、替水量的准确确定和候凝时间的准确掌握均非常重要。深部探测项目组编制了相关的计算软件可以快速进行计算。

(5) 井内水泥浆的稀释是造成灌浆失败的主要原因之一。替水量计算不准确,提升速度不当、灌浆中断,地层孔隙水压力过大、水泥失重、灌浆管直径和井眼直径不匹配、未采用隔离塞或隔离液等都会造成水泥浆的稀释,导致凝结时间过长,强度不能满足要求。其中水泥失重很容易忽视,水泥失重是指通过水泥浆的重度迫使井眼与地层孔隙水压力达到一种平衡,当水泥开始凝固时,失去了对地层的压力,简称失重,此时地层自由水会进入井内形成窜槽,造成部分孔段未凝固浆液的进一步稀释。

(6) 水泥浆和井壁的结合强度,即二界面质量问题是灌浆失败的另一重要因素,泥皮过厚,泥皮中含有抑制成分、井眼不规则,未采用紊流顶替,未采用前置液和前置稀浆(泥浆或水泥浆)均会造成结合强度不足等问题。值得重视的是水泥灌浆的环隙紊流冲刷对结合强度至关重要。要按流变学来设计和调整水泥浆性能,达到紊流顶替,清除浮泥饼,清除残存泥浆,提高顶替效率。在灌浆过程中的灌浆管的低速回转和有限的上下串动有利于紊流的实

现,提高灌浆效果。同时,井径扩大率超标,严重的“糖葫芦”井眼,当井径扩大率 $>15\%$ 的井段很难达到紊流顶替,很难实现水泥灌浆的效果。

(7) 除控制水灰比、采用高强度水泥外,水泥外加剂的应用对深孔灌浆非常重要,特别是减水剂、降失水剂和调节时间以及强度的外加剂的应用成为灌浆技术成功与否的重要手段,另外在水泥中加入膨胀剂有利于密实度增加。

(8) 孔底专门灌注器和干粉送入工艺在西藏钻孔都取得了较好的效果。值得一提的是深孔水泥灌注根据地层复杂程度,可能会采取多次灌入,逐步修补的方法来保障固井的强度,“大病不能大补,长治慢药跟进”也不失效果。

### 1.8 钻进过程参数检测与控制问题

如果说泥浆是钻井的血液,那么钻井参数的检测监控就应该称为钻井的眼睛。由于深部钻探周期长,工艺参数控制精度要求高,这就需要有配套的钻进参数检测系统。如在项目展开初期,由于XY-8型钻机扭矩不能及时检测控制,发生多次孔内钻杆在扭断的情况下司钻没有觉察,造成孔内复杂。项目研究得出以下认识。

(1) 深部钻井的录井工作对孔内安全有保障,对正确的工艺参数调节有重要指导作用。小口径录井可以不盲目借用石油钻井的做法,仪器昂贵(一般有防爆要求)、参数多(包括烃类检测和 $H_2S$ 等有毒气体检测、出入口密度、电导率等)和专人维护记录等等,可以针对岩心钻探的行业特点,配套检测关键参数,如扭矩、钻压、转速、泵量、机上余尺、钻速、大钩载荷、泵压、泥浆密度等参数形成一套性价比高的地表参数检测和监控系统。

(2) 深部岩心钻探由于小口径的特点,转速相对较高,钻杆相对薄弱,钻进参数的精确控制决定了孔内的安全。如果通过某些参数的约束,如获取了扭矩参数,在此基础上,根据钻杆柱的能力,以扭矩为目标函数,调整钻压、转速等参数使扭矩在安全窗口以内,达到安全钻进目的。关系式为 $f(N) = f(P, n, V, N_0)$ ,其中 $N, P, n, V, N_0$ 分别代表设定扭矩、钻压、转速、给进速度和钻杆安全扭矩。

(3) 目前立轴钻机的钻压控制精度很低,需要提高精度。深孔钻进转速无法提高,金刚石钻头的优化工况无法满足,需要研究孔底实际钻压、转速与金刚石钻头锋利度和寿命以及岩石之间的相关关系,形成适合于深井钻头研制的指导性原则。

(4) 深部探测项目的随钻研究成果中形成了4

种不同规格满足于立轴钻机的地表检测和监控系统,如图 4 所示。在金川和铜陵现场进行了应用试验,高配仪器有电子班报表的记录功能。



图 4 深部探测项目配套的 4 种不同地表钻参系统

(5) 钻机和钻井泵在目前技术条件下完全可以采用调频控制的方法,以使得钻机转速的平稳过渡以及泥浆泵平稳开停,对保护钻杆和孔内安全意义重大。

### 1.9 数据录入与管理问题

科学钻探依靠科学的管理,QHSE 管理体系和机台的有机结合不能停留在理论概念上,应结合到每一个施工程序之中去。目前多数深钻的管理存在随意性,主观性太强,标准化机台的建设不能仅停留在标语标识的基础上,关键技术的决策不能由行政领导来干预。另外数据的录入应该规范化和科学化,每一个回次编号、钻头编号和出入井数据、泥浆性能指标的检测和调整,泥浆材料和泥浆量的配置、消耗都应准确在案。完备的数据录入便于钻进过程的总结和判断,形成更多的深部钻探成果。

### 1.10 合理钻探费用与风险预案储备问题

由于深部探测钻孔选址均是在前期钻探工作不足、无参考数据的前提下开展的,每一个钻孔在选址区域内都是一个记录,加之深孔钻探钻遇地层的复杂性以及工程隐蔽性使得钻孔风险极大,我国制定的《地质调查项目预算标准》(2010 年 1 月执行),最大预算深度为 2000 m,无更深的标准可遵循。同时,对科学钻探预导孔的施工质量要求也远远大于常规岩心钻探,则造成在现有预算标准下越级承担高难度工程,使得施工单位苦不堪言,长此以往,将会直接影响到各单位承担科学钻探项目的积极性。基于上述情况,钻探工作只能要求在有限的资金条件下,考虑到钻前工程复杂性(包括征地、修路、基

建)、套管消耗大、施工地域偏、运行成本高等决定了风险系数的增加,必须在钻探工程设计中对施工风险予以充分考虑并提前完成多级风险预案。统计结果表明,如果风险预案储备不足,施工企业鲜有盈利,对企业的积极性都会造成深度的影响。从钻探角度考虑,风险预案需要严密的论证和储备过程,生产物资的储备,工艺技术的调整,事故工具的配套均有条不紊,有章可循,有据可依。

## 2 结论

(1)《大陆科学钻探选址与科学钻探实验》(SinoProbe-05)项目中钻探工作的组织、管理与随钻研究工作给钻探技术人员提出了新的课题,如何优质高效、经济有效地实施深孔钻探需要钻探技术人员打破常规,多学科交叉,创新思维,对设备、工艺等诸多方面进行革新。

(2)深部钻探需要改进组织管理模式,充分挖掘现有钻探技术,注重随钻研究,通过多学科交叉,形成完备的深部钻探集成体系。

(3)深部探测项目除了没有钻遇高温地层外,其他难点问题都凸显出来,通过随钻研究 10 个方面的技术难题,探讨了深部钻探中的设备、工具、泥浆材料、钻探工艺及其管理等问题。每一个技术问题均需要进行深化和拓展研究。

(4)深部钻探风险大,钻探费用显著提高,需要从经费预算、技术方案、人才梯队等方面进行加强或强化。

(5)理论和实践的结合体现在深部探测项目中诸多环节中,现实和理想的差异也迫使我们钻探工作者应该加大创新力度,高效保质完成钻探任务,更好、更高效地为地学研究服务。

## 参考文献:

- [1] 胡郁乐,张惠,等.深部地热钻井与成井技术[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2013.
- [2] 陈庭根,管志川,等.钻井工程理论与技术[M].山东东营:中国石油大学出版社,2000.
- [3] 张晓西,杨经绥.科学钻探——深化岩石学研究的金钥匙[J].中国地质,2013,40(3).
- [4] 罗光强,胡郁乐.基于 LabVIEW 大钩高程监控系统设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):53-56.
- [5] 张晓西,胡郁乐,张惠,等.科学钻探选区预导孔钻探技术方案设计、组织实施与随钻研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):6-12.
- [6] 胡郁乐,杨涛,董海燕.金川科学深钻预导孔钻井液技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):13-5.
- [7] 杨国巍,张晓西,刘狄磊,等.深部钻探钻参数据库管理系统[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):16-19.