

论中国大陆科学钻探工程项目实施 对我国钻探技术的推动作用

张晓西

(中国地质科学院勘探技术研究所,河北廊坊 065000)

摘要:中国大陆科学钻探工程项目的实施既是对我国现有钻探技术的一个挑战,同时,更是一个全面提高我国整体钻探技术水平的、千载难逢的大好机遇。论述了中国大陆科学钻探工程项目的实施对推动我国钻探技术如组合式钻探技术、取心钻进技术、液动锤钻进技术、金刚石钻头应用水平等的发展的作用。

关键词:中国大陆科学钻探工程;钻探技术;取心钻进;液动锤钻进;金刚石钻头

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3746(2001)S1-0233-04

1 概述

中国大陆科学钻探工程是一项重大科学工程,是机遇,也是挑战。

中国大陆科学钻探工程是在现代深部钻探技术和地球物理遥测技术等构成的综合反馈系统基础上,在大别-苏鲁超高压变质结晶岩地区实施并深5000 m的中国第一口科学深钻井,获取完整的岩心及液、气态样品,取得原位测井数据,校正地球物理对深部组成与结构的遥测,研究作为建立新地球动力观窗口的大陆会聚板块边缘的深部组成、行为、壳幔作用及其动力学,并为资源、能源及地震发生机制提供新的科学依据,推动我国地球科学在21世纪更好地服务于国家经济和社会发展,并在一些重要领域跃居世界前列。这个重大科学工程完工后,将建成亚洲第一个现代深部地质作用长期观测与实验基地。

中国第一口大陆科学深钻井在获取地球深部信息方面,将超过世界上同等深度的任何一口科学钻井,并将极大地促进我国地球探测技术发展。工程的实施将揭示超高压变质岩形成和折返的奥秘,其科研成果将对地球科学发展起关键作用,其技术成果将使众多的钻探应用领域迅速赶上世界先进水平,带动钻探、实验测试、机械工艺及超硬材料等技术的开发与发展。

通过工程实施可培养造就一批跨世纪的地质研究与管理人才,促进地球科学与物理学、化学、生物

学、工程学、经济学和管理科学的联合与交叉,为发展新学科生长点提供机遇,从而为我国经济和社会发展带来巨大效益。

中国大陆科学钻探工程将要获得新的地学基础理论和钻探技术知识,将为建立地球科学知识创新系统、技术创新系统、知识传播系统和知识应用系统做出重大贡献。

钻探工程是该项目的核心与关键,是其它工程及研究项目赖以进行的基础和前提,能否顺利完成5000 m科学钻孔的施工,将直接影响中国大陆科学钻探工程项目的进度及众多科学目标的实现。

1.1 中国大陆科学钻探工程的科学目标

- (1)揭示超高压变质岩的形成与折返机理;
- (2)再造大陆板块汇聚边界的深部物质组成与结构;
- (3)建立结晶岩地区地球物理理论模型和解释标尺;
- (4)研究板块汇聚边缘的地球动力学过程和壳-幔相互作用;
- (5)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;
- (6)探索现代地壳流体-岩石相互作用与成矿机理;
- (7)研究地壳中微生物类型和潜育条件;
- (8)为资源的开发及地震发生机制的探索提供新的科学依据。

收稿日期:2001-05-30

作者简介:张晓西(1957-),男(汉族),河南偃师人,中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师,探矿工程专业,从事中国大陆科学钻探工作,河北省廊坊市金光道77号,(0316)2096132。

1.2 中国大陆科学钻探工程的技术目标

(1)形成一套完整的硬岩深孔(5000 m)大直径(终孔直径 ≤ 152 mm)金刚石绳索取心钻进技术体系。

(2)使具有中国特色的液动锤钻进技术更加完善,进一步提高我国液动锤技术应用效果,扩大包括孔深与孔径在内的应用领域。

(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。

很显然,中国大陆科学钻探工程项目的实施既是对我国现有钻探技术的一个挑战,同时,更是一个全面提高我国整体钻探技术水平的、千载难逢的大好机遇。

2 项目的实施有助于打破我国钻井行业内部部门的门户之见,发展组合式钻探技术

经过几代钻探工作者的努力,我国钻探技术整体上已达国际先进水平。特别是由于我国地大物博、地质现象丰富,几乎在世界各地所能遇到的不同地质条件下的钻探技术难题在我国不同地区、不同矿区都有所存在,并通过采取不同技术措施而得到解决,积累了丰富的宝贵经验。但在高硬度、强研磨性的结晶岩中施工5000 m深度的连续取心科学钻孔还是首次。大陆科学钻探既不同于常规地质矿产钻探,又与常规油气钻探有较大区别,这无疑是对我国钻探技术的一大挑战。

虽然我国在结晶岩中进行过相当多的地质矿产勘探钻进,但由于我国采矿现实技术水平的限制,勘探钻进深度一般在2000 m以内,且多采用小口径钻探技术,即钻孔口径通常为 $\varnothing 59 \sim 76$ mm,而这样的钻孔口径是无法满足科学钻探要求的,特别是无法满足多种测井仪器对孔径的要求。5000 m孔深对于常规油气勘探钻进来说虽然是常规深度,但通常油气钻进是在各种沉积岩中进行且多为非取心钻进。在结晶岩中连续取心钻进5000 m孔深,显然对常规油气钻进技术来说也是新课题。

然而,由于长期以来我国钻井行业内各部门间

缺乏必要的沟通与交流,一些先进的钻进技术虽在各部门的工作领域被证明为行之有效且取得了显著的经济效益与社会效益,但不能在更广阔的应用领域中发挥效益,甚至由于存在不同程度的门户之见,还导致不同部门间的技术封锁或抵制。而本项目的实施,由于其施工的特殊性,给我国钻井行业提供了一个打破门户之见、充分交流、彼此借鉴、共同提高的大舞台,因此,将现有各种钻探技术的优点通过技术改造而融合成一全新的钻探技术体系——组合式钻探技术,不仅有利于顺利完成本项目的钻探工程施工,更有利于将在项目实施过程中得到不断提高与完善的全新钻探技术体系应用于我国整个钻井行业,使其发挥出巨大的经济效益与社会效益。

3 项目的实施有助于进一步提高与完善取心钻进技术

绳索取心技术在地质勘探钻进领域早已是成熟技术并在世界范围内得到了广泛应用,但在石油钻井行业中,由于取心钻进比率低、孔深大而很少采用该项技术。然而一些石油钻井单位应用绳索取心钻探技术所取得的成功经验表明,将绳索取心钻探技术应用于石油钻井行业,不仅是可行的,而且其经济效益将由于采用该项技术后钻探效率和取心质量的提高而更为巨大,特别是随着我国石油天然气资源勘探开发区域的不断扩大,勘探开发难度亦越来越大。现石油系统长期以来沿用的取心方法虽经过不断提高与完善,但从取心技术本身来讲,并没有根本的突破性创新与进展。可以预见,在今后的油气资源以及煤层气勘探开发中,取心钻进比例将越来越大,地质条件也不可避免地会越来越复杂,使得如何高效率、高质量地获取地层深部岩心成为亟待解决的重大课题。而天然气水合物的勘探开发利用,对取得高质量地下实物资料提出了更高要求。

3.1 面临的新问题

然而,仅仅凭借传统的绳索取心钻探技术是无法全面满足未来各种矿产资源勘探开发要求的。就本项目而言,可以肯定的是,尽管本项目也是取心钻进,但由于工作条件的巨大差异,在坚硬的纯结晶岩地层完成孔径156 mm、深度达5000 m的连续取心钻孔,在世界上还是第一次(德国KTB先导孔孔径152 mm,终孔孔深4000.1 m),必将面临一系列前所未有的新问题,如:

(1)深孔小环隙钻井水力学研究;

(2)深孔高温高压条件下结晶岩钻孔稳定性研

究;

(3)深孔高温高压条件下的岩石力学和岩石破碎机理研究;

(4)防斜纠斜技术方法研究;

(5)孔底工程、地质信息实时检测、处理、传送与反馈控制问题研究等;

(6)高强度、高质量绳索取心钻杆、钻具的设计、加工和制造等;

(7)高效率、长寿命金刚石钻头的研发(超硬材料、制造工艺)等。

3.2 预研项目重点

在听取了本行业权威专家的意见并经反复论证之后,中国大陆科学钻探工程中心为确保本项目高质量取心钻进得以顺利完成,并进一步发展完善以绳索取心为基础的取心方法,在开展的预研项目中重点考虑了取心钻具,如:

(1)大直径绳索取心系统;

(2)绳索取心式液动锤钻进系统;

(3)绳索打捞式螺杆马达取心钻进系统;

(4)绳索打捞式涡轮马达取心钻进系统等。

这些项目立项的出发点是将绳索取心技术与其它先进的取心、钻进和孔底驱动方法有机结合,形成以绳索取心为基础的组合适取心钻进技术,在为本项目实施提供经济、有效的取心技术手段之外,更希望以中国大陆科学钻探工程项目的实施为契机,使我国的取心钻进技术水平有一个长足的进步。

4 项目的实施有助于推动我国液动锤钻进技术的推广应用

液动锤钻进是独具我国特色的一种优质、高效的钻进方法,目前该技术已得到了国际钻探界的高度重视,包括美国、德国、澳大利亚等工业发达国家均从我国引进了该项技术,并希望将其应用于大洋钻探(ODP)、大陆科学钻探和石油钻井。实践结果表明:液动锤钻进在中硬~坚硬岩层中的技术经济指标均优于常规回转钻进,且有利于防止孔斜及减轻岩心卡堵。

4.1 需做的研发工作

由于行业内部部门间缺乏必要的交流与沟通,有时甚至是部门间技术封锁或相互排斥,液动锤冲击回转钻进技术在油气勘探与开发钻进中尚未得到广泛应用。近年来,随着油气井钻进条件越来越复杂,如地层坚硬导致机械钻速极低,高陡构造使得井斜控制非常困难等,所有这些都直接导致效率低、材料

大、事故频繁,而液动锤冲击回转钻进技术的特点恰恰最有利于解决这些难题。当然,要把这一技术成熟地应用于油气钻进领域,还有大量研发工作要做,如:

(1)液动锤在大密度、高粘度条件下的工作性能及工作寿命;

(2)液动锤在深孔高背压条件下的工作性能;

(3)高温高压条件下液动锤运动机构的设计;

(4)冲击功与牙轮钻头之间的合理匹配关系;

(5)适合液动锤冲击载荷条件下工作的牙轮钻头的研发等。

众所周知,地质矿产勘探钻进与油气勘探钻进相比,不仅钻孔直径小,孔深也浅,且使用无固相或低固相冲洗液,有关研发单位早就想把液动锤技术应用用于油气勘探钻井领域,但由于缺乏必要的试验条件(如大排量泥浆泵、大直径深孔实钻等)而只能停留在技术方案阶段或初步试验阶段,然而只有在上述一系列问题均得到有效解决后才能真正把该项技术推向石油钻井行业。

4.2 液动锤钻进试验

1999年6~7月,中国大陆科学钻探工程中心曾在江苏东海县毛北组织进行了液动锤钻进试验。试验钻孔距中国大陆科学钻探工程预先导孔-II约20 m,设计孔深100 m,液动锤钻进孔段的钻孔直径分别为158 mm(上部固定式钻头钻进段)和152 mm(下部牙轮钻头钻进段)。钻进时不取岩心。

4.2.1 试验目标

此次试验是为中国大陆科学钻探工程项目的正式实施做准备。试验欲达到的具体目标如下:

(1)评价在硬岩中进行液动锤全面钻进的有效性;

(2)采用不同钻头对液动锤钻进效果的影响;

(3)不同的液动锤使用效果对比;

(4)液动锤钻进减轻孔斜的效果;

(5)现有液动锤系统用于硬岩全面钻进存在的主要问题。

4.2.2 试验所得结论

试验中采用了我国液动锤研究成果最显著的2家单位(吉林大学建设工程学院和中国地质科学院勘探技术研究所)的液动锤。试验钻孔由江苏地质六队施工。

通过此次试验,得出以下结论:

(1)液动锤钻进是在硬岩中进行大直径全面钻进的有效方法。

该孔的试验结果表明:在较软的片麻岩中,液动锤钻进的钻速达到了 5 m/h;在坚硬的片麻岩中,液动锤钻进的钻速接近于 3 m/h,远远高于在同一钻孔中和相距 20 m 的预先导孔 - II 的相同孔段采取任何其它钻进方法获得的钻速。

(2)牙轮钻头配合采用液动锤在硬岩中进行大直径全面钻进可取得良好效果。

在钻进的第二阶段,由于岩石突然变硬,采用固定式钻头钻进时液动锤提供的冲击能量不足以在岩石中产生体积破碎,碎岩形式是疲劳破碎,钻进效率和钻头寿命都很低。在第三阶段,换用牙轮钻头后,钻进速度明显改善(从 0.83 m/h 提高到 2.94 m/h),钻头硬质合金齿磨损轻微,属于正常范围。对于液动锤与牙轮钻头配合使用,人们普遍担心的是,牙轮钻头能否承受高能量的冲击作用,使这一钻进系统在高效工作的同时,还具有较长的寿命。最主要的担心是钻头的轴承,对于小直径钻头尤其如此,因为小钻头的轴承更小、更弱。试验结果表明,牙轮钻头能够承受高能量的冲击作用。

(3)试验中采用的 2 种液动锤皆适用于浅孔和硬岩条件下进行的大直径全面钻进。

此次试验采用了 2 种液动锤,即吉林大学的 SC-127 型射流式双作用液动锤和勘探技术研究所的 YZX-127 型阀式双作用液动锤。总的来说,2 种液动锤皆能在试验条件(浅孔、硬岩、大直径钻孔、全面钻进)下进行有效钻进。

本项目的实施,为多年来得不到深孔试验条件的液动锤研发单位提供了一个千载难逢的试验机遇,为液动锤在油气钻探领域的应用提供了一个向国内外充分展示其优越性的舞台。中国大陆科学钻探工程中心亦在预研项目中重点支持了 2 家单位不同类型的液动锤应用于本项目的研究课题,并计划在 2000 m 先导孔中采用绳索取心液动锤,在 5000 m 主孔上部 $\varnothing 311$ mm (12 $\frac{1}{4}$ in)孔段全面钻进中采用大直径液动锤、下部 $\varnothing 156$ mm 孔段钻进采用绳索取心液动锤。

5 项目的实施有助于推动我国金刚石钻头应用水平的提高

曾经较普遍地认为,我国金刚石钻头研制与应用已达国际先进水平。但实际上,无论是在人造金刚石质量、胎体材料、加工精度、加工质量等以及实

际应用水平等方面,与国外先进水平相比都还存在一定的差距。只不过由于国内金刚石制品与国外相同产品在价格上相差悬殊,故在固体矿产勘探钻进领域,使用国内金刚石钻头(扩孔器)与使用同规格国外产品相比,综合性能价格比显然是国内产品占优,但就产品质量本身来说,尚不能说国内金刚石钻头(扩孔器)已经达到国际先进水平。

本项目的实施,既有从国外引进的、代表了国际先进水平的金刚石钻头,也有国内诸多生产厂家专为本项目加工制作的、充分反映了我国金刚石钻头(扩孔器)实际制造水平的各类产品,所有的产品均在同一个机台、同样的操作人员、同样的钻进参数、同样的钻孔、同样的地层中使用,这本身就是名副其实的擂台赛,是以最相近的施工条件来比较和检验我国金刚石钻头(扩孔器)实际水平的最佳场所。

参与本项目金刚石钻头(扩孔器)竞赛(竞标)的既有生产单位,也有大专院校、科研院所;既有国有企业,也有合资公司、民营企业;既有油田系统单位,也有地勘部门单位;既有热压钻头,也有电镀钻头。八仙过海,各显神通的共同目标只有一个,那就是:为中国大陆科学钻探提供当代先进水平的钻头,保证工程顺利完成,并力争名列前茅。

我国金刚石钻头(扩孔器)的真正技术水平将毫无疑问地由于各个参与单位在超硬材料、金刚石处理、胎体配方、保径措施、唇面形状、水口结构、制作工艺等方面采取科技攻关措施而充分展现出来,并一定能够获得长足的进步。

6 结论

(1)中国大陆科学钻探工程项目的实施既是对我国现有钻探技术的一个挑战,同时,更是一个全面提高我国整体钻探技术水平的、千载难逢的大好机遇;

(2)项目的实施有助于打破我国钻井行业内部部门间的门户之见,发展组合式钻探技术;

(3)项目的实施有助于进一步提高与完善取心钻进技术;

(4)项目的实施有助于推动我国液动锤钻进技术的推广应用;

(5)项目的实施有助于推动我国金刚石钻头应用水平的提高。