

中国大陆科学钻探工程

“科钻一井”钻探工程设计精要

王 达

(中国大陆科学钻探工程中心, 北京 100083)

摘 要:论述了中国第一口大陆科学钻孔“科钻一井”的地质意义以及其选址、地质目标和科学意义;重点介绍了“科钻一井”钻探工程设计主要思路和设计要点,整个工程设计体现了可变性的思路。

关键词:中国大陆科学钻探工程;科钻一井;大别-苏鲁超高压变质带;钻探工程设计

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3746(2001)S1-0005-04

中国第一口大陆科学钻探井——“科钻一井”于2001年8月4日在江苏省东海县正式开工了。这不仅是地质科学界的一件盛事,也是钻探工程界的一件大事。这标志着我国钻探工程技术水平上了一个大台阶。科学钻探,特别是科学深钻是利用现代最新的工程技术为完成特定的地球科学目标而实施的大科学工程,它是检验一个国家材料科学水平、设备仪器制造水平、钻探工艺水平、大科学工程组织管理水平等一系列工程科学技术水平的试金石。

科学钻探工程的设计是确保工程顺利实施的关键,也是多年来为此进行科学研究的成果的集中体现。藉此机会向同行们作一介绍。

1 中国第一口大陆科学钻孔的地质意义

1.1 世界大陆科学钻探的科学主题

- (1) 地球的历史与气候。
- (2) 撞击构造与集群灭绝。
- (3) 沉积盆地的演化和物理过程。
- (4) 地壳中的流体。
- (5) 岩石圈的动力学与变形。
- (6) 矿床成因。
- (7) 火山系统与热体制。
- (8) 会聚板块边界与碰撞带。
- (9) 地壳和上地幔地球物理。
- (10) 陆壳下的上地幔成分和性质。
- (11) 深部生物圈。
- (12) 基底区的构造和演化。

1.2 中国大陆科学钻探工程选址

1997年8月,在国际大陆科学钻探组织和中国地质矿产部共同资助与组织下,在青岛召开了“大别-苏鲁超高压变质带大陆科学钻探选址国际研讨会”。经过现场实地考察和认真研讨,中外科学家一致赞同在江苏北部(南苏鲁)东海县西南实施中国第一口5000 m深的大陆科学深孔。

1997年12月24日,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“五高两低”的原则(高密度、高电阻率、高波速和强反射、构造最深部位,低倾角和地温梯度低)和实际资料的分析,毛北孔址可作为中国第一口大陆科学钻孔的首选井位。

2000年4月10日,中国大陆科学钻探工程中心召开了孔区地球物理调查汇报会,项目研究专家展示了孔选区地球物理探测的最新成果。根据这一新进展,地学部于4月15日再次召开了中国大陆科学钻探工程孔区地质与地球物理建模讨论会。参加会议的国内知名地质和地球物理专家认为,虽然目前的地球物理研究已经达到了较高水平,但是由于地下地质构造的复杂性,特别是深变质结晶岩区的特殊性,要想建立精确的孔区三维地质与地球物理模型存在较大难度,单纯依据地球物理资料进行孔位选择具有很大的风险性。专家们认为先导孔与主孔的孔位应选在毛北榴辉岩体主带的东侧,原7号与23号勘探线之间。因为,这里的地表和地下浅部

收稿日期:2001-08-28

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,中国地质调查局党组书记,常务副局长,教授级高级工程师,中国地质学会探矿工程专业委员会副主任委员,《探矿工程(岩土钻掘工程)》杂志编委会主任委员,北京市海淀区学院路31号。

构造相对较为简单、岩性层位变化多、产状相对较缓,也有可能打到地球物理资料推测的“绕射体”和强反射界面,可以确保中国大陆科学钻探工程科学目标的实现。

1.3 “科钻一井”的地学目标与科学意义

1.3.1 “科钻一井”的地学目标

(1)通过钻探直接获得地球深部组成与结构的垂向、连续、真实变化剖面。

(2)直接验证地球物理等各种间接方法对地球深部组成与结构的遥测结果。

(3)揭示大陆板块俯冲—碰撞带的地球动力学及壳—幔相互作用。

(4)探索地表的岩石是如何被带到地下 100 多 km 深处,又是如何回返到了地球表面的,以及在这一过程中发生的一系列重大变化过程。

(5)发现来自地下几百公里深处的新矿物和新物质,寻找金刚石和金红石等重要经济矿床。

(6)揭示现代地下深处流体成分、空间变化以及正进行的各种物理、化学、成岩和成矿作用。

(7)探索现代地球深处高温、高压环境下微生物的生存与活动规律以及对地球演化和现代环境变化的影响。

(8)在地下深处直接监测地球的物理和化学场变化,探索地震的发生机理与规律。

1.3.2 “科钻一井”的科学意义

大别—苏鲁超高压变质带位于中国中东部,北中国板块(中朝板块)与南中国板块(扬子板块)之间的秦岭—大别造山带的东段。大别和苏鲁带两者原为一体,中生代之后被中国东部最大的断裂——郯庐断裂错开。1987 年在大别山岳西葛蒲地区首次发现榴辉岩中保存有来自 80~100 km 深、30~40 kb(1 kb=4448.22 N)压力条件下形成的超高压矿物柯石英,从而成为继挪威加里东造山带及西阿尔卑斯造山带的柯石英发现之后,世界第三、亚洲第一的柯石英产地。此后相继在大别—苏鲁带的许多地点发现了柯石英、微粒金刚石及其它的超高压矿物——钱十字石、灰闪石、菱镁矿物,构成了现今世界上已知的规模最大的超高压变质带。

1.3.3 中国大别—苏鲁超高压变质带已被公认为具全球科学意义的国际大陆科学深钻的优选场址

理由如下:

(1)研究会聚板块边界壳幔行为的最好地点。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;而大别—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全世界最好的地点。

(2)超高压变质带的形成与折返——地学研究热点。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(或更深),又折返地面,这一“下地狱,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观的窗口。

(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。在此处实施科学钻探,可通过最短距离获取造山带深部的精确信息。

(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)重要的实用意义。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。

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,在大别—苏鲁超高压变质带中实施大陆科学深钻不仅具有重大科学意义,同时在人类所需求的资源及减灾方面也具有重要的应用价值。

2 “科钻一井”设计的历史回顾(略)

3 “科钻一井”钻探工程设计主要思路

由于中国大陆科学钻探工程具有很强的探索性,设计依据中不可避免地存在很多不确定的因素,

因此,工程设计在一定范围内应具有相应的可变性。经过充分论证,钻探施工采用 2000 m 先导孔和 5000 m 主孔的双孔方案。该方案主要优点有:

(1)利用 2000 m 先导孔的完井地质、测井、地球物理等资料提高主孔选址的准确性;利用完井工程等资料对主孔钻探设计进行必要的修正。

(2)在先导孔中试验将在主孔中使用的钻探器具和材料,如金刚石钻头、孔内取心钻具和钻井液等;试验和选择将在主孔中使用的测孔方法和仪器。

(3)当存在严重井斜等问题时,先导孔的全孔取心,可使主孔与先导孔等深孔段不必取心,这样就可以在该段采用常规防斜钻具、VDS 及大直径液动锤全面钻进技术防止孔斜,从而增大主孔下部施工的安全性,减小施工风险。

(4)一旦条件适合,即先导孔与主孔孔位接近,且先导孔孔眼质量与主孔等深度段孔眼质量接近,就可以在先导孔孔位进行主孔钻进,从而既达到中国大陆科学钻探工程项目科学与技术目标,又可缩短工程完成时间,减少工程施工费用的目的,实现“双孔变单孔”。

4 “科钻一井”钻探工程设计要点

4.1 井身结构设计及其变更

在大量的地表地质调查、探槽开挖和浅孔钻探,以及深部地球物理测量的基础上,通过综合研究与分析,现已初步建立了钻探孔区的三维地质与地球物理模型,预测了 5000 m 深主孔的岩石-构造柱状图。

据此确定的先导孔和主孔钻孔结构和套管程序见表 1、2。

表 1 先导孔钻孔结构和套管程序

开钻 次序	钻头尺寸		钻进深度 /m	套管尺寸		套管下深 /m
	/mm	/in		/mm	/in	
一开	444.5	17 3/4	100	339.7	13 3/4	100
二开	215.9	8 5/8	1000	177.8	7	1000
三开	156	6 1/4	2000	127	6	1800

①钻探孔现场情况定

表 2 主孔钻孔结构和套管程序

开钻 次序	钻头尺寸		钻进深度 /m	套管(尾管)尺寸		套管(尾管) 下深/m
	/mm	/in		/mm	/in	
一开	444.5	17 3/4	100	339.7	13 3/4	100
二开	311.1	13 3/4	2000	273	10 3/4	2000
三开	244.5	9 5/8	3250	219.1	8 3/4	3250
四开	200	7 7/8	4600	177.8	7	4600
五开	156	6 1/4	5000	127	5	4800

①钻探孔现场情况定;②钻探及套管下入现场情况而定

4.2 钻探设备的选择

钻机选择原则及选则依据:要在满足科学钻探施工的前提下,具有一定的先进性和经济性。除此以外,还应满足以下条件:

(1)满足钻探深度要求。 $\varnothing 156$ mm 钻具钻探深度 5000 m。

(2)大钩负荷满足提升最大钻(管)柱要求,并留有足够的拉力余量,以满足处理复杂情况要求。最大钻柱质量 145 t,除去浮力后 126 t;最大管柱质量 170 t,去浮力后 150 t。

(3)满足特殊钻探工艺要求。为满足绳索取心钻进需要,需配置高速顶驱及绳索取心绞车。

经过比较最终确定了国产 ZJ70D(ZJ60D)或 ZJ50D 电驱动钻机。

4.3 取心钻进设计及其变更

为满足大陆科学钻探全孔取心的要求,必须采用多种取心工艺技术:

(1)当孔浅时使用常规提钻取心钻探技术。

(2)当孔达到一定深度后,为减少起下钻时间,提高钻探效率,采用常规绳索取心钻探技术。

(3)当孔较深、扭矩大、不能使用地面回转驱动时,采用孔底马达绳索取心(二合一)钻探技术。

(4)如果孔底马达绳索取心钻具不成熟难以应用时,采用常规孔底马达提钻取心钻探技术。

(5)为提高硬岩钻速,可使用液动锤钻探技术,包括液动锤绳索取心(二合一)钻探技术和常规液动锤提钻取心钻探技术。

另外,为了防斜,各种取心钻探技术全部采用满眼取心钻具。

本工程施工中将采用德国 MICON 公司设计、生产的绳索取心钻具总成。该钻具主要由绳索取心钻具外管、绳索取心内管总成 2 部分组成。该钻具在内管总成的上部组合了钻孔倾角测斜仪,并且具有到位报讯和岩心堵塞报讯机构。

根据我国情况,对钻具做了必要的改进:钻杆接头由纯外平改为外加厚,每边加厚 3 mm;接头螺纹重新进行设计、测试。

由于顶驱系统和绳索取心钻具未能及时到货,先导孔二开时采用了螺杆马达带取心筒打金刚石钻进的方法。实践证明这是一种成功的尝试。

4.4 钻孔的防斜与纠斜

一般的防斜措施。

纠斜。

VDS 自动垂孔钻进系统。

4.5 钻井液设计及其实际应用

用于科学钻探的泥浆技术体系的研究。

LBM

科学钻探特殊的泥浆流变学问题。

4.6 活动套管设计

4.6.1 设计活动套管的必要性

一开下入 $\varnothing 339.7$ mm 套管后,改为 $\varnothing 156$ mm 取心钻进,泵量明显减小,为了确保必要的上返流速,改善泥浆携岩能力,同时防止长时间钻井时钻具对固定套管的严重磨损,在大套管中钻进时应采用活动套管技术。

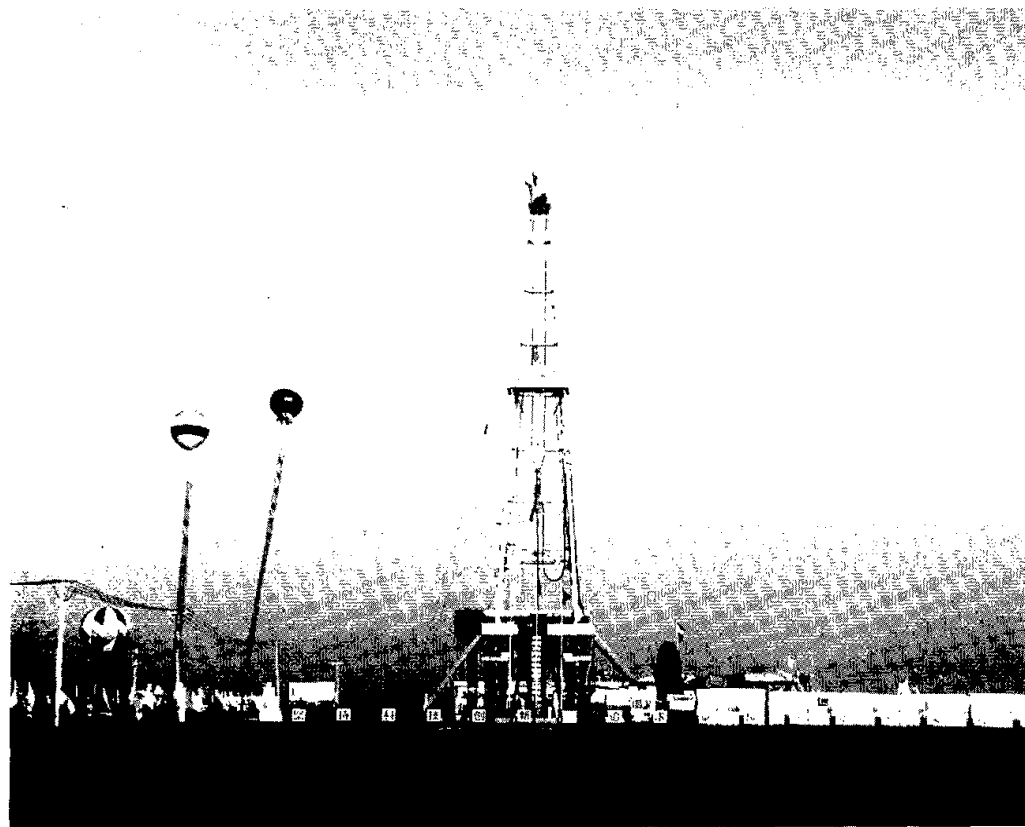
4.6.2 活动套管的安放、固定与回收

活动套管可通过套管挂座封在套管头上,套管头承担了 80% ~ 90% 的活动套管重力。套管挂与

套管头本体之间的密封防止了由于钻井液在活动套管内和活动套管与固定套管间的窜动造成的活动套管被岩屑卡死等问题。在活动套管上可使用弹性扶正器,提高其中部的稳定性。使用特制的大接触面带水槽的管鞋(外径 200 mm)可防止活动套管下移。预先钻成的长约 0.5 m、 $\varnothing 200$ mm 的小井眼可避免活动套管端部的径向移动。活动套管长期处在高速旋转钻具的冲击、磨损状态,为防止折断、磨穿套管,应采用切实合理的套管事故预防、处理及安全检查技术方案,并实施严格的套管安全管理措施。

4.7 固井设计(略)

5 “科钻一井”施工进展情况(略)



中国大陆科学钻探“科钻一井”施工现场