

大陆科学钻探施工用钻探技术和施工战略

张 伟

(中国大陆科学钻探工程中心,北京 100035)

摘 要 国外实施大陆科学钻探采用的钻探技术有地质岩心钻探技术、石油钻探技术、组合式钻探技术,以及前苏联和俄罗斯的具有鲜明特色的科学深钻技术,分别介绍了它们各自的技术特点及优缺点,并介绍了科学深孔和超深孔的 2 种施工战略,即超前孔裸眼钻进方法和双孔方案。

关键词 大陆科学钻探 地质岩心钻探技术 石油钻探技术 组合式钻探技术 超前孔裸眼钻进 双孔方案

中图分类号 TP634.5 ;TE24 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-3746(2002)03-0058-04

Drilling Technology and Strategy Used in Continental Scientific Drilling/ZHANG Wei (Chinese Continental Scientific Drilling Engineering Center, Beijing 100035, China)

Abstract :The mainly used drilling technology in continental scientific drilling oversea includes geological core drilling technology, petroleum drilling technology, and hybridizing technology as well as the technology used in former Soviet Union and Russia. The advantages and disadvantages of the technology mentioned above were introduced. Two types of drilling strategy for deep and super deep bore hole, that is advanced open hole drilling method and double hole method, were also presented.

Key words :continental scientific drilling ;geological core drilling technology ;petroleum drilling technology ;advanced open hole drilling method ;double hole method

科学钻探是一种十分有效并且相对较新的地学研究方法,世界上已有许多国家从事大陆科学钻探活动,主要有俄罗斯、美国、德国、法国、瑞典、瑞士、日本、加拿大等。各国在施工科学钻孔时采用了多种多样的钻探技术。钻探技术的采用是综合考虑地学研究要求、技术水平现状和经济情况的结果。

大陆科学钻探与常规的钻探施工(如地质岩心钻探和石油钻探)相比,或多或少地具有一些特殊性,需要采用特殊的钻探技术。我国在此方面正起步,参考借鉴国外的经验十分重要,可使我国从事这方面工作时节省时间和费用,少走弯路。因此有必要对国外科学钻探施工的技术和经验进行较为系统的总结,以便为我所用。

1 大陆科学钻探施工用钻探技术体系

国外实施科学钻探时虽然采用的技术种类繁多,但总的来说可以分成地质岩心钻探技术、石油钻探技术和组合式钻探技术 3 大类。

1.1 地质岩心钻探技术

地质岩心钻探常在坚硬的结晶岩中进行,钻进时全孔取心,一般钻孔直径<100 mm,深度<2000

m。

1.1.1 技术特点

- (1)采用金刚石绳索取心钻进方法施工;
- (2)采用高转速的立轴式或顶驱动力头式岩心钻机。

1.1.2 优点

- (1)地质岩心钻探设备和器具质量轻;
- (2)小口径金刚石绳索取心钻进效率高;
- (3)施工成本低。

1.1.3 缺点

钻探设备承载能力小,只能用于施工直径较小和较浅的钻孔。能力最强的岩心钻探设备,在终孔直径 6 in(152 mm)时,也只能钻到 2000~2500 m 深度。

由于终孔直径和深度能力的限制,该方法主要用来施工直径和深度较小的科学钻孔(见表 1)。

1.2 石油钻探技术

石油钻探技术是进行石油和天然气勘探钻进时采用的钻探技术。

1.2.1 技术特点

- (1)钻孔深度和直径一般较大;

收稿日期 2002-02-26
作者简介 张伟(1954-),男(汉族),湖北恩施人,中国大陆科学钻探工程中心办公室主任、现场总指挥,教授级高级工程师,探矿工程专业,从事大陆科学钻探工程技术管理工作,北京市西城区冠英园西区 37 号,(010)66127056。

表 1 用地质岩心钻探技术完成的一些科学钻孔

钻孔名称	施工国家	钻孔目的	钻孔深度/m	终孔直径/mm	取心钻进比率/%	钻机	钻进方法
VC-1	美国	调查地热和热液系统	856	76	100	地质岩心钻机	金刚石绳索取心
Echassieres	法国	研究矿化的花岗岩种	900	76	100	地质岩心钻机	金刚石绳索取心
Cezallier	法国	研究结晶岩中的热储	1400	60	100	立式岩心钻机	金刚石绳索取心
VC-2B	美国	调查高温地热和热液系统	1762	76	100	全液压动力头钻机	金刚石绳索取心
冰岛科学钻孔	国际合作	调查大洋中脊上部 2 km 的洋壳	1920	60	100	地质岩心钻机	金刚石绳索取心

- (2)采用转盘钻机；
- (3)主要采用牙轮钻头全面钻进,取心钻进比率 $\geq 5\%$ ；
- (4)通过提钻回收岩心。

1.2.2 优点

- (1)设备的钻孔能力强(直径和深度大)；
- (2)由于取心少,故施工成本相对较低。

1.2.3 缺点

不适合于全孔连续取心钻进,因为提钻取心需要提出全部钻杆,故升降钻具的时间相当长,最终导致整个施工时间太长。

石油钻探技术之所以在科学钻探中得到应用,是因为其钻探能力很强。现有石油转盘钻机的钻深能力可在终孔直径较大的前提下超过 10000 m。

测井是科学钻探获取地下信息的重要手段之一。由于耐温和耐压能力的限制,目前用于地质勘探的小直径测井仪的使用深度一般不超过 2000 m,在特殊情况下不超过 3000 m。因此施工深度大于

3000 m 的科学钻孔时,一般要考虑采用为深井油、气勘探研制的测井仪。石油测井仪一般直径较大,尽管一些方法也有小直径的测井探头,但科学钻探一般测井项目较多,要保证各种测井方法的探头都能下到钻孔内,总的来说要求钻孔直径比较大。国内外对测井技术进行调查的结果一致表明,要保证多种方法都能在同一口科学钻孔中得到使用,要求钻孔的终孔直径 ≤ 6 in。这就是为什么至今世界上深度大于 3000 m 的科学钻孔终孔直径 ≤ 6 in 的原因。而施工终孔直径 6 in、钻孔深度大于 3000 m 的钻孔,地质岩心钻机已是无能为力,需要采用石油转盘钻机。这也是为什么至今世界上深度大于 3000 m 的科学钻孔都是采用石油转盘钻机施工的原因。

采用该技术施工的科学钻孔有美国的索尔顿湖科学钻孔、卡洪山口科学钻孔和瑞典锡利扬科学钻孔等(见表 2)。正如以上提到的,该技术不适合于连续取心钻进,故这些钻孔的取心钻进比率都比较低。

表 2 用石油钻探技术施工的科学钻孔

钻孔名称	施工国家	钻孔目的	钻孔深度/m	终孔直径/mm	取心钻进比率/%	钻机	钻进方法
索尔顿湖科学钻孔	美国	调查热液系统和成矿过程	3220	156	12.5	石油转盘钻机	牙轮钻头全面钻进,金刚石钻头取心
卡洪山口科学钻孔	美国	地热机制和地应力减的关系	3510	165	5	石油转盘钻机	牙轮钻头全面钻进,金刚石钻头取心
锡利扬陨石坑科学钻孔	瑞典	在陨石坑中进行非生物油气勘探	6950	165	0.2	石油转盘钻机	牙轮钻头全面钻进
KTB 主孔	德国	地壳的结构、成分、动力学和演变	9101	165	<5	石油转盘钻机	牙轮钻头全面钻进,金刚石钻头和牙轮钻头取心

1.3 前苏联科学深钻技术

尽管石油钻探技术不适合于连续取心钻进,前苏联以及现在的俄罗斯在进行科学深钻时都采用了以这种技术为基础的钻探技术。前苏联对这一套技术进行了改进,形成了具有鲜明特色的前苏联科学深钻技术,并用这一套技术施工了大量科学深孔和超深孔,其中最深的 12262 m 的世界第一深孔——科拉超深孔。

1.3.1 技术特点

- (1)全孔连续取心钻进；
- (2)提钻回收岩心；
- (3)主要采用牙轮钻头进行取心钻进；
- (4)采用石油转盘钻机,钻头由孔底马达驱动；
- (5)采用轻质的铝合金钻杆。

1.3.2 优点

(1)牙轮钻头取心钻进效率高,如在科拉超深孔的片麻岩、角闪岩和花岗岩层中,牙轮钻头平均钻进效率为 1.8 m/h ；

(2) 孔底马达驱动有利于减轻钻柱磨损、功率消耗和增强孔壁稳定；

(3) 技术上容易实现, 实施过程中的风险性较小, 钻杆柱的尺寸设计有足够的空间, 可保证钻杆柱强度, 增加施工的安全性；

(4) 铝合金钻杆质量轻, 大大降低了对设备能力的要求, 并增大了钻杆柱本身的安全性。

1.3.3 缺点

(1) 施工速度慢。这些钻孔都是全孔取心, 并都是通过提钻回收岩心, 提钻次数太多, 起下钻时间在整个施工中占的比例很大, 钻孔深度加大后尤其如此；

(2) 岩心采取率低, 这是牙轮钻头取心钻进通常弱点, 科拉超深孔的平均岩心采取率仅为 40% 左右；

(3) 牙轮钻头取心钻进只适合于直径较大的钻孔(一般不小于 8½ in), 否则岩心直径太小, 而较大的钻孔直径导致较高的施工成本。

1.4 组合式钻探技术

前面已说到, 地质岩心钻探技术适合于进行小直径的、钻孔深度较浅的连续取心钻进, 而石油钻探技术虽可用于大直径和深孔钻进, 但不适合于连续取心。为了解决直径和深度较大的取心科学钻孔施工问题, 一些国家推出了组合式的钻探技术。这一技术的基本思路是将地质岩心钻探技术和石油钻探技术结合起来使用, 即在石油转盘钻机上加装一套顶部驱动系统, 进行金刚石绳索取心钻进。

1.4.1 技术特点

(1) 采用地质钻探石油钻探组合技术, 即在石油转盘钻机上加装顶驱动力头系统, 进行金刚石绳索取心钻进；

(2) 全孔连续取心钻进, 通过绳索打捞回收岩心；

(3) 主要采用薄壁的孕镶金刚石钻头取心钻进。

1.4.2 优点

(1) 采用绳索取心方法, 可大大减少提钻次数, 从而较明显地减少施工时间, 增加纯钻进时间；

(2) 采用薄壁金刚石钻头和适合于金刚石钻进的高回转线速度(2 m/s 左右), 获得的钻进效率较高, 达到了与取心牙轮钻头相当的水平。以 KTB 先导孔施工为例, 在片麻岩和角闪岩中, 孕镶金刚石钻头的平均钻进效率为 1.66 m/h, 并同时获得了较理想的金

心采取率高。

(4) 与转盘驱动相比, 采用顶驱动系统有利于应付施工中遇到的孔内复杂情况。

1.4.3 缺点

(1) 需要一套特制的绳索取心钻杆。为减小碎石体积、提高钻进效率, 要求钻杆壁尽量薄, 但同时又具有足够的强度。这就要求最佳的钻杆柱设计、最佳的钻杆柱材料, 故在技术上实现难度较大。此外, 这样一套绳索取心钻杆柱的使用深度是有限的, 按照技术现状, 其极限使用深度为 5000 m。

(2) 需要一套特殊的钻杆柱驱动系统。由于采用绳索取心方法, 孔底动力的使用受到限制。科学深孔和超深孔的终孔直径一般都较大(由于需采用石油测井仪器的缘故), 现有的岩心钻探设备因其承载能力太低而不堪此重任, 通常的解决方法是采用石油转盘钻机。石油钻机的转盘转速太低, 不能满足金刚石钻进要求, 为此须在转盘钻机上加装一套高速回转的顶驱动系统。因此该项施工比一般钻探项目对钻探设备的要求要高。

据介绍, 采用这种组合式的钻探技术进行取心钻进, 可比采用石油钻探技术节省施工成本 1/3。该技术在一些科学钻孔和地质岩心深钻项目施工中得到了成功应用(见表 3)。

表 3 地质钻探/石油钻探技术组合系统及应用

公司名称	钻探目的	钻孔深度/m	终孔直径/mm	组合方式	设计钻深能力/m
Kenting 钻探公司(英国)	核废料储埋地点勘探	最深 2000	159	石油转盘钻机加装液压力头	用 5.5 in (139.7 mm) 绳索取心钻杆钻 3000 ~ 4000 m
KTB 项目组(德国)	地质科研	4000	152	石油转盘钻机加装液压力头	用 5.5 in 绳索取心钻杆钻 5000 m
Parker 钻探公司(美国)	金矿勘探	5071	122	石油转盘钻机加装直流电力头	用 Ø93 mm 绳索取心钻杆钻 6000 m

2 科学深孔和超深孔施工战略

由于在施工科学深孔和超深孔之前, 对地下的岩层情况往往了解甚少, 难以进行准确的钻孔设计, 这就加大了钻探施工的风险。因此实施科学深钻尤其是钻超深孔时, 一般采用以下 2 种施工战略 前苏联采用的‘超前孔裸眼钻进方法’, 德国采用的‘双孔方案’。

2.1 超前孔裸眼钻进方法

前苏联的钻探专家认为,在深部地层情况不清楚、钻孔设计依据不足的情况下,“超前孔裸眼钻进方法”是钻孔施工的最佳方案。

具体做法是:设计时先不确定全孔的钻孔结构和套管程序,而仅考虑钻孔上部,一般来说涉及第一层(有时到第二层)套管。钻孔上部下套管并用水泥固结后,在固定套管内下一层活动的、可回收的技术套管,然后以较小的直径,即能获得最佳技术经济指标的直径(一般 $8\frac{1}{2}$ in),往下钻所谓的“超前孔”。如果遇到复杂情况必须下套管护孔时,将活动套管拔出,扩孔、下套管、固井后,继续往下钻。根据套管直径和钻孔深度,可能在新下的技术套管内再悬挂一层活动套管。

这种施工战略的特点是:钻孔结构设计留有余地,可应付复杂情况。如果岩层稳定,可尽量采用小尺寸钻头钻进,一则钻进效率高,二则可简化孔身结构、减少下套管的数量,从而降低施工成本。前苏联的实践证明了这种施工战略的可行性。设计深度为 15000 m 的科拉超深孔、萨阿特累超深孔和乌拉尔超深孔都是按此战略施工的,其中科拉超深孔的超前裸眼孔段曾长达 1 万 m。

2.2 双孔方案

所谓“双孔方案”是科学深钻施工的一种新战略,即在钻深孔或超深孔之前,先在深孔或超深孔孔位附近钻一口直径相对较小、深度相对较浅的先导孔。后钻的深孔或超深孔称为主孔。一般 1 万 m 超深孔的先导孔深度为 3000~5000 m。主孔与先导孔的关系十分密切,其钻探和测井技术方案都要受先导孔施工的影响。按此战略施工万米超深孔,至少分为 3 个阶段:

第一阶段 在主孔附近,采用连续取心的方法,钻进深度为 3000~5000 m 的先导孔。在该孔中进行大量的测井。

第二阶段 钻进主孔的第一部分,即与先导孔深度相同的孔段,深度为 3000~5000 m。由于钻先导

孔时已全孔取心并进行了大量测井,故主孔在此孔段基本不取心和仅进行少量的测井。此时,钻探技术的重点放在垂孔钻进上,把孔钻得尽量直,为超深孔段的顺利施工打下好的基础。由于是全面钻进,对垂直孔钻进技术措施的采取十分有利。

第三阶段:从第二阶段达到的深度钻到主孔的终孔深度。

施工先导孔有以下一些好处:

(1)减少主孔取心钻进和测井的工作量和成本。因为钻先导孔时是连续取心并进行了大量测井,故可基本免除主孔此段的取心和测井。先导孔比主孔直径小很多,因此主孔此段的施工成本节省较多。

(2)验证预测的温度剖面,为主孔深度设计提供重要依据。

(3)提供有关复杂岩层,如漏失层、涌水层和破碎带以及地层压力梯度的信息,为主孔的钻探技术设计提供依据。

(4)检验和标定将用于主孔的钻进和测井的工具、仪器和方法。

(5)为以后钻孔间的地质实验提供基础。

除了超深孔之外,施工 4000~5000 m 深孔时也可采用“双孔方案”,不过此时先导孔的深度只有 1000~2000 m。

参考文献:

[1] E. A. 科兹洛夫斯基. 科拉超深井(下) [M]. 北京:地质出版社, 1989.

[2] H. Rischmueller et al. Advanced Drilling Technology for the Continental Deep Drilling Program of the Federal Republic of Germany [Z]. KTB REPORT, 93 - 2. 543 - 558.

[3] B. Engeser and L. Wohlgemuth. Das Kontinentale Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland - KTB Bohrtechnische Dokumentation [Z]. KTB REPORT, 95 - 3. Niedersaechsischen Landeamt fuer Bodenforschung, 1996.

[4] A. Kennedy. Deep hole drilling at sellafeld [J]. Geodrilling International, 1993, (4) 5 - 9.

[5] K. B. Gunn. 在巴拉圭小井眼取心钻进 9800 英尺 [J]. 国外钻井技术, 1996, (2) 33 - 37.

中国 20 大都市 2000 亿建地铁

据国家计委资料显示,“十五”计划期间,中国城市交通投资将达 8000 亿元人民币,其中至少有 2000 亿元将用于地铁建设。地铁建设将会在较长时间里,成为中国基础建设投资的重点之一。从长远规划看,中国城市的地铁建设刚刚开始。

目前中国有 20 个超大城市和特大城市正在建设和筹建轨道交通

通。其中,北京、上海、广州在建地铁。此外,深圳、南京已在动工兴建地铁。西安、沈阳、成都、大连、青岛、哈尔滨、郑州、天津、长春、重庆、武汉等城市已在拟建地铁及轻轨交通。

(据 中国公路网)