

# 定向造斜及水平钻进连续取心技术

向军文<sup>1,2</sup>, 陈晓林<sup>2</sup>, 胡汉月<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所特钻中心, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**高精度定向钻进技术在石油钻井、可溶性矿产资源的利用开发等方面已经有了很高的水平, 绳索取心技术在我国也已有了几十年的使用历史, 都属于相对成熟的应用技术。将二者有机结合起来, 可以解决不规则沉积矿床、隐伏矿床等矿床勘探和特殊工程地质勘察难题。探讨了该技术的应用领域、关键技术及创新点, 简要介绍了实现该技术目前正在研制的相关钻具结构及其技术参数。

**关键词:**地质调查; 工程勘察; 定向钻进; 绳索取心钻进; 取心技术

**中图分类号:** P634.7   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-7428(2007)09-0033-04

**Continuous Coring Technology in Inclination Drilling & Horizontal Drilling/XIANG Jun-wen<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao-lin<sup>2</sup>, HU Han-yue<sup>1,2</sup>** (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** High-precision directional drilling technology has got to be a very high level in petroleum drilling and utilization & exploitation of soluble mineral resources and some other aspects. Similarly, wire-line coring technology has also been mature after decades of application. Combining these two technologies, some difficulties in investigation, such as exploration in irregular sedimentary deposit and blind deposit could be settled. The paper discusses the application area, key technology and innovation point of the combination of directional drilling and wire-line coring; briefly introduces the related drill tool assembly and technical parameters.

**Key words:** geological survey; engineering investigation; directional drilling; wire-line coring drilling; coring technology

## 1 问题的提出

地质勘探的最终目的就是要将岩矿心取出, 并进行矿产资源的勘探评估, 而钻孔是将岩矿心取出的既经济又可靠的技术手段。然而, 经历了数十年的地质找矿工作后, 我国的矿产勘探难度越来越大。传统的垂直或倾斜钻进取心作业方式受地形、地层构造等因素影响, 在很多场合下钻进效率低, 孔内事故频繁, 甚至根本不能进行钻进取心作业。目前国内主要采取垂直钻孔取样勘查手段对一些不规则的特殊沉积矿床进行勘探评估, 这很难准确获得该矿区的勘探评估报告, 即使在特殊情况下设计定向孔进行勘查取样, 也没有形成一套完整的钻进和取心方案, 造斜后采用常规回转钻进取心极容易发生孔内事故, 经常出现拉槽、卡钻、断钻杆、塌孔等孔内事故, 严重时导致钻孔报废。

定向钻进取心技术应用于固体矿产勘查与工程地质勘查等领域, 改变了目前单一采用垂直或倾斜钻进取心方法的现状。定向钻进取心方法则能以较少的钻进入射点、较短的钻进轨迹, 取得较大的有效

信息量, 与传统的垂直或倾斜钻进取心作业方式结合应用, 则可在绝大多数场合下(如海面上、地表建筑物密集区、地层倾滑区等)满足地质岩心钻探工作的需要。

采用高精度定向钻进取心技术后, 可精确地采取矿床区域的岩心, 快速准确地评价矿产资源, 保护矿产资源及地表环境。每年将可为国家节约大量的勘探费用, 同时也节省大量的土地。

应用于海底工程地质调查, 为我国军事设施建设作出贡献。目前, 许多国家正着手开发海底资源, 一个典型的应用就是在海底构筑军用物品储备仓库。为此必须对海底地质情况进行详细的勘查。本项目的取心方法具有传统取心方法无可比拟的优势, 与传统取心方法结合应用, 可以绘制高精度的地质结构图, 为海底地质勘探提供了又一项高技术手段。

该技术还可应用于民用工程地质勘察如公铁路隧道及地铁选址及隧道施工、矿产开采的超前地质预报等。

收稿日期: 2007-08-01

基金项目: 中国地质大调查项目“600米岩心钻探设备器具研制和钻进工艺方法研究”子课题之一(编号: 1212010660701)

作者简介: 向军文(1967-), 男(汉族), 湖北人, 中国地质大学(北京)博士研究生在读, 中国地质科学院勘探技术研究所特钻中心主任、教授级高级工程师, 地质工程专业, 从事定向钻进技术研究及开发工作, 河北省廊坊市金光道77号, (0316)2096010。

根据初步估算,对于定向孔的绳索取心钻进比定向孔的回转单次提钻取心钻进工期要缩短 50% 以上,钻探成本至少可节省 20%;对于海底地质勘探、隧道施工前的超前地质预报等工程地质取心,其勘察工作量至少可节省 70%,所取得的有效地质信息量却比垂直孔更快更直接。

目前,高精度的定向钻进技术在石油钻井、可溶性矿产资源的利用开发等方面已经有了很高的水平,孔底马达钻进技术也广泛用于定向造斜、侧钻和水平钻进等钻进施工中。绳索取心技术在我国也已有了几十年的使用历史。两种技术都属于相对成熟的应用技术,而高精度定向钻进虽然可以通过造斜精确控制进入矿层,但不能够获取岩心;现有的绳索取心钻进仅适合于直孔的钻进取心,对于造斜以后的钻孔根本无法应用,甚至连造斜后常规的回转钻进取心都很困难。

绳索取心钻进具有地质效果好、生产效率高、钻探成本低等一系列优点受到地质部门使用单位的一致好评,但目前实施绳索取心仅在垂直孔的条件下才能实现,因此迫切需要攻克定向造斜绳索取心钻进方法,它将对我国岩心钻探技术的提高产生巨大的影响,对加快我国目前不规则沉积矿床、隐伏矿床等特殊矿床的勘探与开发速度以及特殊工程地质勘察有着不可或缺必要性。

## 2 应用领域

(1) 定向钻进绳索取心可以用于勘查深部隐伏矿床,提高钻孔见矿率,精确提供见矿点的空间坐标,有利于合理评价矿产资源。

(2) 满足特殊地形的单工作点多孔取心勘探的需要。如图 1 所示。

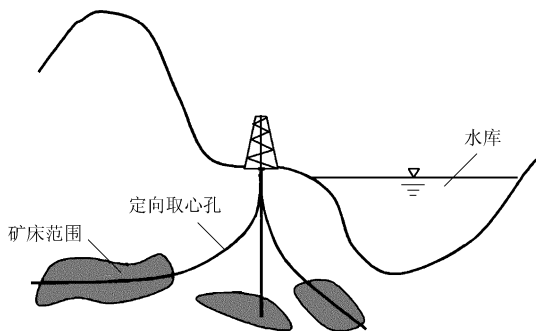


图 1 特殊地形单点多分支取心勘探示意图

在某些特殊地区,由于受地形及交通等限制,只能在某一特定地点布置钻机。这时如果采用单纯的直孔或直线斜孔钻进取心勘探,则很难有效地到达

矿床靶区。如果布置多个工作点进行钻进,不仅增加了简易公路及机台搬迁等投资费用,而且会增加施工工期,影响整体工作效率。

(3) 满足条带状矿脉跟踪地质调查的需要。如图 2 所示,某些矿产资源在地下分布状态呈条带状,且深度 > 500 m,厚度 < 3 m。在物理化学勘探后,需要取得更进一步的矿产资源评价。若采用垂直钻进则无效工作量过大,而取得的有效信息量过小。此时,若采用定向跟踪钻进取心,则可取得事半功倍的效果。

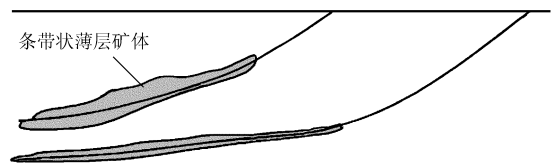


图 2 条带状薄层矿体的跟踪取心勘察示意图

(4) 可用于铁路、公路隧道工程的选址及施工超前地质预报。如图 3 所示,这类工程属交通通道构筑物,在地层中一般呈水平分布状态。如果采用垂直钻孔取心,不但工作量增加了数十倍,而且,在岩心分析时,真正反映隧道穿越区域地质特性的有效信息量并不大。水平定向钻进取心作业能够取得事半功倍的良好效果,即以最小的钻进工作量获得最大的有效信息量。

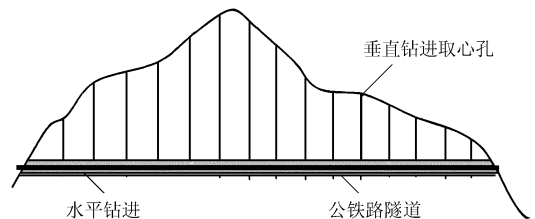


图 3 隧道选址时水平取心与垂直取心的比较

(5) 可用于海底水平岩心钻探。随着国民经济的日益发展,世界范围内,各国不断地在其海底建设战略性建筑物,广泛用于战略性物资储备及其它军事用途。由于其用途的特殊性,因此其地质勘探工作要求尤其严格。垂直钻进取心方法受其布点数量的局限性,对海床裂缝及断层的信息量相对不足。而水平定向钻进取心勘探方法直接取出海床地层建筑物所在之处的岩心,直观地反映了地层地质情况。垂直钻进与水平钻进结合应用,可以获得比较全面的地质资料。既可保证勘察工作的质量,又可保证地质调查工作的经济性,可节省大量的资金、人力和工期。该方法在新加坡的海底岩心钻探取样已使用的相当成熟。如图 4 所示。

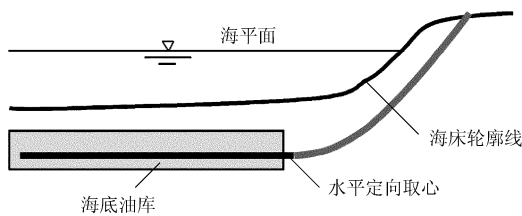


图 4 新加坡某海底地质岩心钻探工程示意图

(6) 可用于城市地铁选址及施工前地质岩心勘探。在地层以岩石为主的某些城市,在建造地铁时必须进行地质取心勘探,以论证选址是否合理,或用于地铁隧道开挖超前预报。因为城市是一个街道和建筑物密集分布的区域,所以如果采用垂直孔钻进取心方法,则有些钻孔位置刚好位于建筑物内,或位于交通繁忙的主干道上,这势必影响市民正常生活秩序或根本无法实施。而水平定向取心方法应用于此则可克服这一弊端,它仅需一个施工入射点位置即可。如图 5 所示。

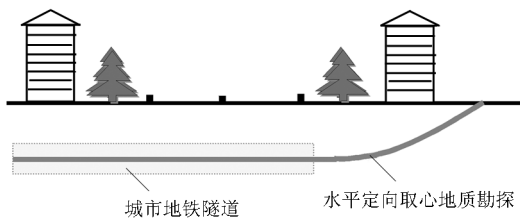


图 5 某城市地铁隧道沿线水平定向取心勘探示意图

### 3 关键技术

在定向造斜钻进和水平钻井时实施连续绳索取心作业,在技术方面具有很强的创新性。水平定向勘探取心技术是近 10 年来发展起来的高新技术,目前在世界范围内,仅有少数几个国家掌握该技术,其中以挪威和美国处于世界领先地位。

它有别于传统的定向钻进和取心钻进:传统的定向钻进只是全面钻进但并不能取心,传统的绳索取心钻进只能进行直孔取心钻进。该技术的研究成功可提高我国岩心钻探取心技术。

定向钻进连续取心钻具是定向钻进与绳索取心组合式取心钻具。该取心工具在钻进过程中随着井眼的轨迹而倾斜,其取心管受重力作用而下垂。在设计过程中需解决的关键技术有以下几点。

#### 3.1 导向造斜机构的设计

要求导向造斜机构在往下运送钻具过程中处于收缩状态,而在工作状态时通过施加钻压能使导向机构的伸缩弹片偏心伸出,产生对孔壁比较大的侧压力,卡住孔壁,从而使钻具形成夹角。导向机构外

管和传扭外管分动,取心钻头即可在轴向力和侧向力的作用下边钻进边造斜。如何实现这个动作是该钻具最主要的关键技术。

#### 3.2 定向测量系统的设计

在造斜过程中要掌握钻进的顶角、方位及工具面角等钻井参数,就必须下测斜仪随钻测量。随钻测量仪器必须放置于不转动的定向接头内,而该钻具传扭外管是处于转动状态的,因此定向接头不能与传扭外管相连。为了取得完整的岩心,取心管不允许旋转,设置了单动机构。该钻具的技术关键之一是如何把定向测量系统下放至钻具内且不旋转,达到测斜定向的目的。

#### 3.3 解决造斜钻进或水平钻进时内管和外管同步转动的问题

在造斜取心或水平取心过程中,由于取心工具的轴线和重力方向线形成一定夹角,这样在重力作用下取心工具斜卧和横躺在井眼低边上,在重力作用下取心内管靠在取心外管的内壁上,从而造成内岩心管随同外岩心管一起旋转,容易堵心。因此必须解决因重力引起的内外管同步旋转的问题。

#### 3.4 旋转机构方面

由于传扭外管和造斜外壳是相对旋转的,而内部又有取心内管总成需要通过,所以径向尺寸相当有限,安装普通轴承没有位置。因此如何在狭小空间内解决在转与不转之间的钻压传递和相对摩擦损耗也是关键技术之一。

### 4 技术创新性

定向钻进连续取心钻具的技术创新在于钻具思路采用了高精定向造斜与水平绳索取心技术有机结合,不但含有水平段取心,更具有造斜段取心功能。

#### 4.1 可伸缩的导向造斜机构

定向钻进连续取心钻具采用滑块式偏移机构实现伸缩动作。在下送钻具过程中,滑块处于收缩状态,当进行造斜时,滑块伸出,紧贴在井壁上,与传扭外管产生分动,但随同钻具一起滑行。滑块外部喷耐磨强度足够高的材料,适宜纵向滑行及克服径向摩擦。

#### 4.2 具有较强的单动性

为了克服由于重力原因导致取心内管紧贴取心外管内壁上并随同取心外管一同旋转的难题,设计时取心内管总成采用两点扶正,即在取心内管中间设计扶正轴承短节,在钻头腔内设计滚柱扶正轴承,这样可使取心钻具在水平或造斜段中取心内管居中

且随同取心外管旋转,实现双管单动,有利于岩心进入并保持岩心完好。

### 4.3 既能造斜钻进又能绳索取心

该钻具最大的创新点是既能定向钻进,又能绳索取心。而且还能随时测量钻进时的顶角、方位及工具面角(见图6)。

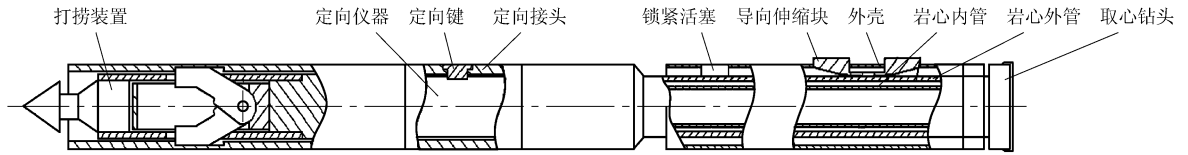


图6 定向钻进绳索取心钻具结构图

## 5 技术性能

所研制的定向钻进连续取心钻具主要技术参数:定向造斜孔径 76 mm,定向钻进取心直径 30 ~ 33 mm,水平钻进取心直径 45 ~ 55 mm,定向造斜孔段的“狗腿”度  $0.1^{\circ} \sim 0.4^{\circ}/m$ ,适用定向造斜孔的孔斜范围  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。

## 6 应用实例

(1)新加坡九龙岛海底储油库选址勘察(见图7)。单孔定向钻进取心深度达 500 m,其中水平段 300 m;共 6 孔,钻进总工作量 2400 m,全程取心。

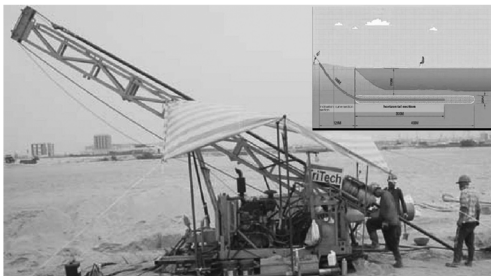


图7 新加坡应用定向钻进取心技术进行储油库选址地质调查

(2)挪威某海底应用定向钻进取心技术进行隧道选址地质调查(见图8)。

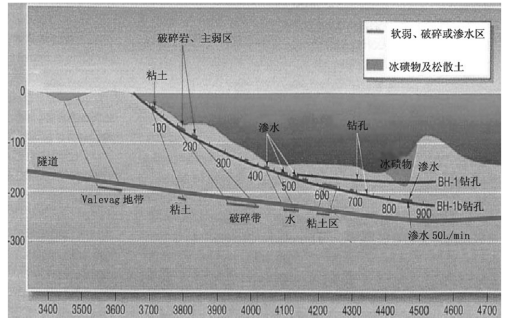


图8 挪威某海底应用定向钻进取心技术进行隧道选址地质调查

## 7 结语

(1)造斜及水平钻进过程中的连续取心技术属于定向钻进领域中的前沿技术,它结合了钻探、测井和自动化专业尖端技术,代表了钻探界较高的技术水平。

(2)随着国民经济的发展,该项技术将越来越广泛地应用于地质勘探、石油及煤层气开采、国防建设等工程领域。

(3)该项技术目前仅由国际上一二家公司所掌握,我国在这方面的研究尚处于起步阶段,应加强力量组织攻关。

(上接第 32 页)

(16)在定向造斜钻进过程中,如果出现泵压突然升高或降低的异常现象,应立即停泵,在技术人员未到场分析查找问题以前,不得上提活动钻具。

(17)造斜过程中钻具总长校正误差  $\geq 1\%$ 。

### 10.5 钻井液性能要求

(1)确保泥浆性能良好,具有较强的携带能力和悬浮能力,钻进过程中注意观察岩屑返出的情况,

如有异常,及时调整钻井液携岩粉能力和排量。

(2)定向井钻井液的含砂量要求全井控制在 0.5% 以下。定向井要严格控制钻井液的失水量和泥皮厚度:滤失量  $< 5 \text{ mL}/30 \text{ min}$ ,泥皮厚度  $\geq 0.5 \text{ mm}$ 。

(3)针对容易吸钻的泥岩地层,进入造斜段之后,泥浆中的原油混入一般不能低于 10%。