

# 地质勘探套管钻进技术研究

钱锋, 房勇, 胡立, 张宏刚, 李政昭

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

**摘要:**针对复杂地层钻探, 基于绳索取心钻进原理, 采用不提钻换钻头取心钻进方法, 开展地质勘探套管钻进新方法研究, 包括套管取心钻具、代替绳索取心钻杆使用的套管, 护壁措施、套管钻进工艺等, 野外生产试验取得了较好的技术经济效果, 并根据存在问题提出了进一步完善的建议。

**关键词:**套管钻进; 取心钻具; 套管; 不提钻换钻头

**中图分类号:** P634    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2013)07-0069-04

**Study on Casing Drilling Technology for Geological Exploration/QIAN Feng, FANG Yong, HU Li, ZHANG Hong-gang, LI Zheng-zhao** (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** According to the drilling in complex formations and based on the principle of wire-line drilling, the study on new methods for casing drilling for geological exploration are made by using coring drilling with retractable bit without lifting, including casing coring tools, casing replacing wire-line coring tube, wall protection and casing drilling processing. Good technical and economic effects are achieved in the field production test, and further improving suggestions are put forward according to the existing problems.

**Key words:** casing drilling; coring tool; casing; retractable bit without lifting

## 1 问题的提出

地质勘探经常钻遇断裂破碎带、裂隙发育、风化层、松散破碎等复杂地层。因地层稳定性较差, 钻孔垮塌、掉块、缩径和超径等钻进故障较普遍, 不仅影响钻探工程质量, 如钻孔未能按设计的轨迹和孔径终孔、岩矿心采取质量较差, 而且因频繁的钻进故障和孔内事故导致钻探效率较低。

套管护壁是缓解复杂地层钻进的有效措施, 但传统的套管护壁工艺必须先钻裸孔, 再下套管, 需要采取两道钻进工序才能完成套管成孔(护壁), 其有效性是建立在对地层全面了解的基础上, 优化钻孔结构设计, 但就地质钻探这种探索性工作, 实际与设计普遍不相符。具体钻孔工程中, 由于复杂地层的深度和厚度的不可预见性, 裸孔钻进工艺难有效穿越复杂地层孔段, 即使钻穿该孔段, 提钻和下套管过程中, 钻孔垮塌等故障难免, 导致套管难以下到计划孔深, 所以, 复杂地层钻进难的问题依然普遍存在。

近年来, 油气钻井行业成功研究了套管钻井技术, 如加拿大德士古公司的 casing drilling system、美国威德福公司的 DWC system 等, 其主要用途是通过一次成井提高钻井效率; 这些系统已经在油气井广泛应用, 完成钻井数百口, 钻进井深超千米, 套管直径  $4\frac{1}{2} \sim 13\frac{3}{8}$  in, 适用软、中硬地层。

针对地质勘探复杂地层钻进难题, 笔者借鉴套管钻井的成功经验, 结合钻孔直径较小, 需全孔取心, 地层多样化且换层频繁等钻探特征, 在中国地质调查局地调资金的资助下, 提出并开展了地质勘探套管钻进技术的研究, 其目的是研究一种有效穿越复杂地层的钻进方法。通过2年的工作, 研究完成了  $\varnothing 114$  mm 套管钻进技术系统, 在地质勘探中首次实现了套管钻进。

## 2 $\varnothing 114$ mm 套管钻进

### 2.1 总体技术方法的制订

采用绳索取心钻进基本原理, 采取不提钻换钻头取心钻进的技术思路, 研究和专用套管代替绳索取心钻杆传递钻压和扭矩, 采用套管取心钻具进行不提钻换钻头取心钻进, 实现随钻下套管; 钻至预定孔深, 打捞出孔底取心钻具, 将套管柱留在孔内作为技术套管, 完成套管钻进作业。

实现套管钻进的设备基础和需要重点解决的工艺技术问题如下。

(1) 基于国内常用的岩心钻探设备, 如以钻进能力  $\geq 1000$  m 的动力头钻机、或 XY 系列立轴钻机为主的钻探设备。

(2) 研制适用于复杂地层、斜孔等较恶劣钻进

收稿日期: 2013-06-15

作者简介: 钱锋(1983-), 男(汉族), 安徽安庆人, 中国地质科学院探矿工艺研究所助理工程师, 机械制造及其自动化专业, 从事岩心钻探工具研究开发工作, 四川省成都市郫县现代工业港(北区)港华路139号, 271623380@qq.com。

条件、具备不提钻换钻头取心钻进功能的套管取心钻具。该钻具是实现套管钻进的技术关键,其实质是不提钻换钻头取心钻具。

(3)开发能够代替绳索取心钻杆进行钻进的套管。

(4)根据套管和钻具,配套套管升降和孔口夹持、钻具打捞等器具。

(5)制订维护套管钻进正常进行的护壁工艺。

依据我国地质钻探标准,结合常用套管规格(口径),套管钻进口径定为 $\varnothing 114$ 和 $91$  mm。

## 2.2 $\varnothing 114$ mm 套管取心钻具研制

### 2.2.1 设计思路及原则

$\varnothing 114$  mm 套管取心钻具,采用扩孔张敛式结构类型,借鉴 BH-75 不提钻换钻头钻具的结构原理,结合套管钻进特征和复杂地层等恶劣钻进条件,采取以下思路 and 原则,研制满足套管钻进工艺要求的 $\varnothing 114$  mm 套管取心钻具。

(1)套管钻进的工艺特征是不提钻取心和不提钻更换孔内钻头,要求钻具同时具备绳索取心和不提钻换钻头的功能,因此钻具设计为可打捞的主钻具和连接在套管底端的副钻具 2 部分;

(2)钻具设置主钻头和组合张敛式副钻头,通过张敛机构控制副钻头张开或收敛,使钻具完成升降(打捞或投送)和钻进 2 种工作状态的转换,实现不提钻取心和更换钻头;

(3)具备自动瞄向到位功能,使钻具投送后准确到位;

(4)具备钻具投送到位张开的报信功能,便于地面判断孔内钻具的工作状态;

(5)钻具张敛机构性能灵活可靠;

(6)专用连接件(或者特殊钻头)具备足够的抗压能力和抗扭能力,满足钻进所需的钻压和扭矩传递的能力。

### 2.2.2 钻具结构原理

钻具结构见图 1,主要包括主钻具和副钻具。主钻具主要由矛头 1、垫圈 2、弹簧 3 和 8、球头套 4、滑座 5、弹簧销 6 和 7、缓冲管 9、悬挂接头 12、报信阀 13、引流杆 14、悬挂环 16、O 形圈 17、钻头架 19、副钻头 20、张敛轴 22、收敛爪 23、圆柱销 24、分水接头 25、压盖 26、定位销 27、限位器 28、调节圈 29、垫圈 30、 $\varnothing 89$  mm 单动双管钻具 31(含扩孔器 32 和主钻头 33)组成,属于可打捞部分,相当于绳索取心钻具的内管总成,可在套管内升降;副钻具由 $\varnothing 122$  mm 扩孔器 10、上外管 11、密封环 15 和定位端管 18 组成,可直接连接在 $\varnothing 114$  mm 套管底端,属非打捞部分,相当于外管总成。主钻头为 $\varnothing 95$  mm 普通双管取心钻头。副钻头为 4 块组合张敛式钻头,张开后嵌入定位端管的梯形槽内,将主、副钻具连接,张开(成孔)直径 122 mm,收敛直径 $< 95$  mm,可随主钻具被打捞到地面。

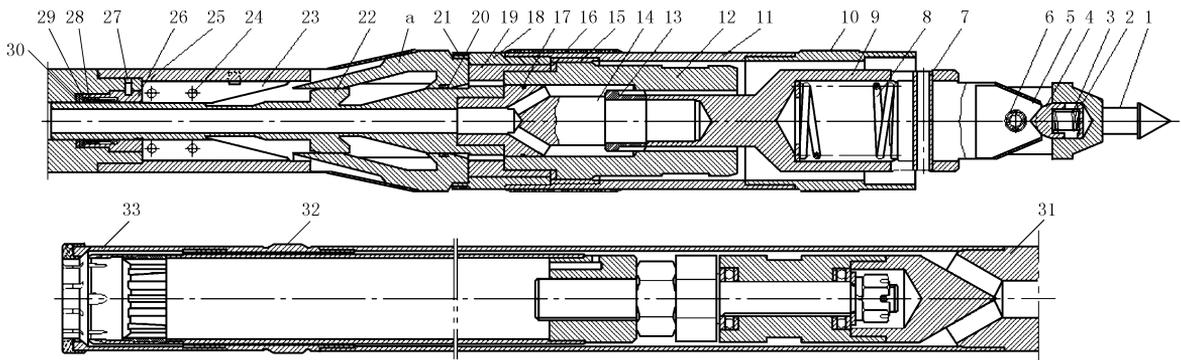


图 1  $\varnothing 114$  mm 套管取心钻具结构图

1—矛头;2—垫圈;3、8—弹簧;4—球头套;5—滑座;6、7—弹簧销;9—缓冲管;10— $\varnothing 122$  mm 扩孔器;11—上外管;12—悬挂接头;13—报信阀;14—引流杆;15—密封环;16—悬挂环;17—O 形圈;18 定位端管;19—钻头架;20—副钻头;21—磁性销;22—张敛轴;23—收敛爪;24 圆柱销;25—分水接头;26—压盖;27—定位销;28—限位器;29—调节圈;30—垫圈;31— $\varnothing 89$  mm 单动双管钻具;32—扩孔器;33—主钻头

钻具设置的功能机构及其原理如下。

(1)瞄向到位机构:由钻头架之外箭形花键与定位端管之内箭形花键组成,主钻具投送后,主、副钻具通过箭形花键自动导向到位,使副钻头与定位端管之梯形槽的方位一致。

(2)张敛机构:由张敛轴(装有收敛爪)和副钻头的斜面要素组成,副钻头由钻头架支撑,通过水力或打捞,控制张敛轴相对钻头架向下或向上移动,利用楔形张敛原理,使副钻头张开或收敛。

(3)报信机构:利用报信阀与悬挂接头(上部内

腔)的不同配合位置,即开启或关闭水路,造成泵压变换,反映孔内钻具状态。在收敛状态下,钻具水路关闭,开泵后,压力上升至一定值(报信压力),推动报信阀(张敛轴)下行,驱动副钻头张开;副钻头张开到位后,钻具水路开启,泵压随即下降至正常压力。驱动钻具张开的报信压力可通过加减调节圈调节。

承压传扭:套管-副钻具(定位端管)-副钻头-钻头架- $\varnothing 89$  mm 取心钻具。

$\varnothing 114$  mm 套管取心钻具到位张开后,呈图 1 所示的钻进状态下,此时,主钻头执行先导钻进,副钻头承担扩孔成孔任务;钻进回次结束后,在绳索打捞开始瞬间,副钻头收敛,解除主、副钻具之连接,主钻具可被打捞到地面,在采集岩心的同时,可对服役钻头进行检查或更换,实现不提钻换钻头取心钻进。

副钻头上嵌入磁性柱 21,直径 8 mm,厚 3 mm,底出刃 -0.5 mm,径向力 0.5 ~ 0.7 N;副钻头在径向力磁力作用下,具有永久收敛的趋势,在收敛机构和径向磁力双重作用下,保证收敛动作灵活可靠。在定位端管下端嵌入复合片,底出刃为 0,既提高抗磨损能力,又维持定位端管无切削岩石的能力,避免误操作导致定位端管磨损。

### 2.2.3 钻具主要技术参数

套管取心钻具技术参数为:钻孔直径 122 mm;岩心直径 68 mm;到位报信压力 0.5 ~ 1.5 Pm·MPa;主钻头为  $\varnothing 95$  mm 普通双管钻头;副钻头类型为 4 块组合张敛式,规格为  $\varnothing 122/93.5$  mm,张开直径 122.5 mm,收敛直径 93.5 mm;外管外径/内径为 89/80 mm,长度 1380 ~ 3380 mm;内管外径/内径为 77/70 mm,长度 1000 ~ 3000 mm;主钻具长度 1567 ~ 3567 mm,副钻具长度 480 mm。

## 2.3 $\varnothing 114$ mm 套管

### 2.3.1 对套管的要求

套管钻进工艺要求,套管首先作为绳索取心钻杆使用,必须具备传递钻压和扭矩的能力;套管钻进作业完成后,将套管直接留在孔内作为技术套管。

根据常用钻探口径, $\varnothing 114$  mm 套管钻进孔深能力为 200 ~ 400 m。

### 2.3.2 套管结构

$\varnothing 114$  mm 套管结构见图 2,采用绳索钻杆结构形式,由套管管体 2 和接头 1、3 组成,材料采用 45MnMoB。单根套管设计为内平,便于取心钻具的投送和打捞;接头外加粗,调制 HRC30;单根之间采用锥形螺纹连接。 $\varnothing 114$  mm 主要技术参数为:外径

114.3 mm,内径 103.2 mm,螺纹长度 70 mm,适用孔深 200 ~ 400 m,接头外径 116.5 mm。

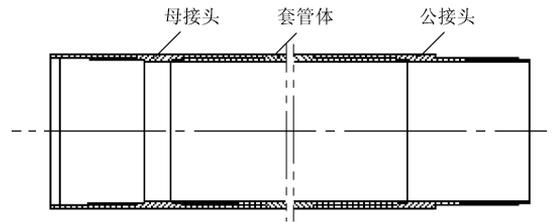


图 2  $\varnothing 114$  mm 套管结构图

## 2.4 护壁工艺

对于套管钻进而言,护壁工艺的主要目的是维持套管钻进期间的孔内安全,套管钻进结束后,护壁任务由套管承担,所以,可视为一种临时的护壁措施,但需要强化护壁的有效性。一般遵循以下原则,针对具体钻孔及其地层情况,采取相适应的护壁工艺措施。

硬脆碎地层、断裂破碎带,尽可能采用低固相泥浆或无固相冲洗液。

水敏性地层采用抑制效果好的泥浆,但泥浆材料必须完全分散,搅拌均匀,漏斗粘度 < 30 s。

钻孔全孔漏失,建议采用无固相冲洗液,并连续向钻孔环状间隙注入润滑液。

钻孔垮塌严重时,可采用投捞式注浆工具扫孔注浆。

## 3 生产试验

$\varnothing 114$  mm 套管钻进技术,于 2012 年 9 月 12 ~ 28 日,在福建马坑铁矿区石岩坑 ZK9501 钻孔进行生产试验,试验自孔深 25.84 m 开始,钻至孔深 183.18 m 结束,随钻下入  $\varnothing 114$  mm 套管 181.70 m,完成 ZK9501 孔上部的随钻下套管护壁任务,为下部钻孔施工奠定了良好的条件。

### 3.1 试验条件

#### 3.1.1 地层条件和钻孔结构

矿区岩性极复杂,岩相变化极大,断裂、褶皱十分发育,岩浆活动强烈。大部分岩石遭受强烈的热液蚀变,加之区内地形切割强烈,地形陡峭,测区地形坡度较大,植被覆盖严重,岩石主要为风化泥岩、砂质泥岩、细砂岩、构造角砾岩、砂卡岩、灰岩、黑云母花岗岩等。

ZK9501 孔设计孔深 1000 m,倾角  $90^\circ$ 。钻孔 2012 年 10 月 25 日达到地质目的,终孔孔深 603.28 m。

钻孔设计  $\varnothing 150$  mm 开孔,钻进 20 ~ 50 m,下  $\varnothing 146$  mm 套管。换  $\varnothing 130$  mm 钻穿上部灰岩,孔深

200 m左右,下 $\varnothing 127$  mm套管。换 $\varnothing 95$  mm钻进,下 $\varnothing 89$  mm套管,再换 $\varnothing 75$  mm绳索取心钻至终孔。套管钻进试验安排在 $\varnothing 130$  mm孔段进行。

### 3.1.2 设备、工艺条件

XY-5型立轴钻机;23 m高四角管子钻塔;BW-250型泥浆泵,泵压表(量程6 MPa); $\varnothing 6.3$  m钢丝绳。

试验孔段主要采用无固相冲洗液:清水+聚丙烯酰胺+润滑剂。

### 3.2 试验情况

套管钻进工序与绳索取心钻进基本相同,先将副钻具与 $\varnothing 114$  mm套管直接连接,于孔深25.84 m时直接下入钻孔,距孔底大于4 m;然后将主钻具投入钻孔,开泵送水,泵压表出现钻具到位张开压力值后,开始扫孔钻进;钻进回次结束,采用绳索打捞方法将主钻具捞到地面,进行取心或检查更换钻头。如此周而复始,直至完成套管钻进作业。钻进规程参数为:钻压8~20 kN,转数165~261 r/min,泵量90 L/min。

孔深60 m前,主钻具长度3.78 m,当转速高于261 r/min后,孔内常出现异常响声,时效仅0.2~0.3 m。后来,先后将主钻具缩短到1.79和2.53 m,在转速261 r/min,钻进平稳,钻速 $>1$  m/h。

套管钻进试验138回。到位张开134次,未到位张开4次,采取打捞-脱卡方法处理成功。在25.84~50.65 m孔段的20回次,由于钻具调试不当导致打捞失败7次;在50.65~183.17 m孔段的118回次,打捞成功率100%。

交替使用2套主钻具,进尺157.34 m,钻具磨损正常;副钻具磨损正常,但 $\varnothing 114$  mm扩孔器金刚石胎体脱层。

$\varnothing 114$  mm套管磨损正常。

配套钻头使用情况:试验初期主钻头采用热压钻头,钻速比较慢;后采用电镀钻头,平均寿命66.5 m;副钻头采用电镀钻头,平均寿命47.81 m。

孔深41.75 m出现1次烧钻事故。

### 3.3 试验技术经济效果、存在问题

试验初步表明,套管钻进顺利钻穿上部复杂地层,到达较完整的砂岩地层;随钻下入 $\varnothing 114$  mm套管181.70 m,为该孔后期施工创造良好条件。 $\varnothing 114$  mm套管钻进技术经受了复杂地层等较恶劣条件的考验,系统配套完善,钻具和配套器具满足套管钻进要求,钻进工艺具有可操作性,可及时调整和优化钻头使用方案。

试验主要技术经济指标和测斜数据分别见表1和表2。

表1 试验取得的主要技术经济指标

试验孔段/m	进尺/m	钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	回次长度/m	随钻下套管/m	试验台月效率/m
25.84~183.17	157.34	0.73	1.14	181.70	293

注:90%回次钻速 $\geq 1$  m/h;10%回次时效0.2~0.3 m。

表2 试验段钻孔测斜数据

孔深/m	顶角 $\theta/(^\circ)$	方位角 $\alpha/(^\circ)$
50.60	1.23	68.4
100.09	1.87	61.4
150	1.96	61.6

注:采用陀螺测斜仪。

试验存在问题:(1)主、副钻具连接刚度较差,较高转速时,孔内异常声响;(2)钻具报信压力反映不明显。

## 4 结语

(1)完成了 $\varnothing 114$  mm套管钻进技术系统,包括 $\varnothing 114$  mm套管取心钻具、 $\varnothing 114$  mm套管、配套钻头和配套器具,套管钻进工艺,系统配套完善。

(2)在马坑铁矿ZK9501孔的试验, $\varnothing 114$  mm套管钻进系统经受了钻探生产的考验,取得了较好技术经济效果,在我国地质勘探中首次实现套管取心钻进。试验表明, $\varnothing 114$  mm套管系统钻进性能可靠,满足地质勘探套管钻进工艺要求。

(3)需要改善 $\varnothing 114$  mm套管取心钻具连接刚度、提高钻具到位张开报信压力,进一步完善和提高系统可靠性,充分发挥套管钻进的技术优势。

(4)单一 $\varnothing 114$  mm套管钻进不能满足钻探的护壁要求,需要开展 $\varnothing 91$  mm套管钻进系统研究,两者组合,才能为复杂地层钻探提供有效支撑。

(5)需要配套完善打捞工具,为可能发生的孔内故障和事故提供有效处理手段。

## 参考文献:

- [1] 孔伟.套管钻进技术在煤矿复杂地层中的应用探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11).
- [2] 张伟.套管钻进及其在地质勘探中应用前景[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(7).
- [3] 薛万成.BH-75不提钻换钻头钻具及其钻进技术[J].探矿工程,1987,(6).
- [4] 李政昭,钱锋.不提钻换钻头钻进研究新进展[A].张金昌,等.2000m地质岩心钻探关键技术与装备论文集[C].北京:地质出版社,2012.
- [5] 聂上振.套管钻井工艺技术[J].石油钻采工艺,2000,22(3).