

# CS1000P6L 型钻机在地表水平钻孔中的应用研究

李占锋, 翟东旭

(河南省有色金属地质矿产局第一地质大队, 河南 郑州 450016)

**摘要:**通过对 CS1000P6L 型钻机主要技术参数分析, 认为其在  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  的倾角范围内实现岩心钻探施工具有一定的可行性。通过对钻机的主要部件——动力头的进一步研究后, 选取了一个具体的项目进行了应用实验, 针对实验过程中发现的问题, 进行了认真分析并加以解决, 从而验证了该钻机在  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  倾角条件下工作性能的可靠性。还通过对钻机在水平孔施工时的相关配套研究, 不仅解决了施工人员的操作平台及钻杆钻具的摆放问题, 还解决了钻机在工作中位移控制问题。实践证明, 该设备完全可以在  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  的倾角范围内实现岩心钻探的施工工作, 为该型设备的拓展应用提供了可靠依据, 在岩心钻探领域具有良好的推广价值和现实意义。

**关键词:** CS1000P6L 型钻机; 钻探工程; 水平钻孔取心

**中图分类号:** P634      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672-7428(2015)12-0072-04

**Application Study on CS1000P6L Drilling Rig in Surface Horizontal Drilling/LI Zhan-feng, ZHAI Dong-xu**  
(No. 1 Geological Team, Henan Provincial Non-ferrous Metals Geological and Mineral Resources Bureau, Zhengzhou Henan 450016, China)

**Abstract:** By the analysis on the main technical parameters of CS1000P6L drilling rig, it is thought that core drilling construction is feasible in  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  angle range; after further study on the power head, a main part of the drilling rig, a specific project was selected for the application experiment, the problems found in the course of the experiment were carefully analyzed and solved, so then the performance reliability of the drilling rig working under the conditions of  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  angle was verified. Through the analysis on related matching facilities for horizontal hole construction, not only the operation platform and the drill pipe & drilling tools setting were arranged but also the displacement control of the rig was solved. Practice has proved that CS1000P6L drilling rig can realize core drilling operation in  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  angle range.

**Key words:** CS1000P6L drilling rig; drilling engineering; horizontal core drilling

## 1 应用背景

2013 年 9 月, 我公司承揽了浙江省常山县辉埠镇宋畈大嵛山石灰石矿钻探工程, 该工程要求施工水平取心钻孔, 孔深 400 m 左右, 终孔口径  $\leq 75$  mm, 全孔取心, 目的是通过岩心分析判明该区石灰石矿是否可作为涂料原料、化妆品添加剂原料或水泥原料。初步设计为 3 个钻孔, 钻孔有关设计参数见表 1。

表 1 钻孔有关设计参数

| 钻孔编号  | 设计孔深/m | 设计倾角/( $^{\circ}$ ) | 设计方位角/( $^{\circ}$ ) |
|-------|--------|---------------------|----------------------|
| ZK401 | 400    | 0                   | 175                  |
| ZK402 | 380    | 6                   | 355                  |
| ZK301 | 420    | 13                  | 355                  |

CS1000P6L 型钻机是由 Atlas Copco 公司生产的全液压力头钻机, 该钻机的设计参数中明确标明允许施工钻孔的倾角为  $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ , 设备厂家的有

关技术人员认为, 使用该设备必须严格按照设备使用说明书的要求进行操作, 况且在中国国内尚无使用该设备施工水平钻孔的先例, 如果超出设备设计参数范围进行使用, 一切后果由使用者自负。通过认真地分析和研究, 并在具体的工程施工项目中进行应用实验, 在实验的过程中发现问题, 并加以解决。

## 2 矿区概述

矿区位于浙江省衢州市常山县北东方向, 矿区属低山丘陵地貌, 地表溶沟石芽、溶槽、落水洞、溶蚀洼地发育, 局部扁溶洞较发育。切割强烈, 山势崎岖陡峭, 坡角  $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ , 最高海拔 +363 m, 最低侵蚀基准面 +108 m, 相对最大高差 255 m, 山上植被发育极少, 主要为荆棘、灌木、杂草等。这也是钻孔设计成水平孔的原因之一。

矿区主要矿层为奥陶系上统三衢山组二段( $O_3s^2$ ),其岩性主要为灰白—浅灰色,厚—巨厚层石灰岩,块状构造,微晶—细晶结构;主要矿物为方解石(占 80%)、生物碎屑(占 15%~20%)及少量泥质(占 5%);岩石质地致密均一,性较脆。本层厚度 > 900 m。

### 3 CS1000P6L 型钻机的主要技术指标

(1)取心最大深度。孔径 B、N、H、P 时的深度分别为 1070、610、460、305 m。

(2)主卷扬机卷扬能力。单线光卷筒:4082 kg;单线满卷筒:3720 kg;双线光卷筒 8:164 kg;双线满卷筒:7440 kg。光卷筒线速:24 m/min;满卷筒线速:38 m/min;钢缆规格:33.6 m×14.29 mm。

(3)取心绞车钢缆容量。单线光卷筒:995 kg;单线满卷筒:264 kg;光卷筒线速:119 m/min。满卷筒线速:445 m/min;钢缆规格:976 m×4.8 mm。

(4)钻架与进给系统。进给行程:1830 mm;进给速度快慢速可变控制;推力:6360 kg;拉力:9636 kg;钻进角度:45°~90°;钻架长度:8.38 m;拉高:6.08 m。

(5)动力装置。制造商: Cummins; 型号: 4BTA3.9L—4 缸, 6 BTA5.9L—6 缸; 功率: 86.5 kW; 转数: 2500 r/min; 发动机型号: 柴油燃气涡轮增压/后冷却; 冷却液: 水。

(6)液压系统。初始泵:最大工作压力为 24.1 MPa,流量为 173.0 L/min;二级泵:最大工作压力为 10.3 MPa,流量为 47.3 L/min;辅助泵:最大工作压力为 17.2 MPa,流量为 50.7 L/min。

(7)钻柱转速与转矩(见表 2)。

表 2 钻柱转速与转矩

| 齿 轮        | 转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 转矩/(N·m)  |
|------------|---------------------------|-----------|
| 第一 6.63: 1 | 130~196                   | 4382~3007 |
| 第二 3.17: 1 | 270~410                   | 2095~1437 |
| 第三 1.72: 1 | 500~756                   | 1138~780  |
| 第四 1.00: 1 | 857~1300                  | 662~454   |

范围选择:操作手控制台手动控制;铰接钻头:旋开式。

(8)卡盘组件。型号:整体液压;最大直径:H—头 92 mm,P—头 117 mm;夹持能力:11364 kg

## 4 钻机在水平孔条件下的使用性能研究

### 4.1 钻机施工能力的可行性分析

根据上述 CS1000P6L 型钻机的主要技术指标可以看出,在钻孔倾角  $\leq 45^\circ$  的情况下,完全可以满足孔深 400 m 左右、终孔口径  $\leq 75$  mm 的技术要求。随着倾角的减小,在钻杆钻具自身重力的作用下,钻杆钻具的外表面与钻孔孔壁之间的摩擦阻力会逐渐增大,当倾角为  $0^\circ$  时,且其它条件不变的情况下,该摩擦阻力达到最大值  $f_{\max}$ 。假设钻孔孔深  $h = 500$  m,选用  $\varnothing 71$  mm 的绳索取心钻杆( $k \approx 12$  kg/m),则:

$$f_{\max} = hk\mu = 500 \times 12 \times 0.26 = 1560 \text{ kg}$$

其中  $\mu$  为钻杆与钻孔孔壁间的静摩擦系数,其值为生产现场实验测得。

钻机进给系统的推力为 6360 kg,拉力为 9636 kg,可见,钻机的进给系统的能力能够满足钻杆钻具起下钻的需要。

### 4.2 钻机在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 倾角时工作性能可行性分析与研究

在  $0^\circ \sim 90^\circ$  范围内的任意倾角时,钻架可自由升降而不受其它干扰和影响。只是原来的两条辅助支撑腿的可调节范围为  $45^\circ \sim 90^\circ$ ,当钻架置于  $0^\circ \sim 45^\circ$  范围时,需要加工两条新的可调节辅助支撑腿,这不存在技术与制造工艺障碍。

根据设备厂家提供的设计参数,CS1000P6L 型钻机的钻进倾角范围为  $45^\circ \sim 90^\circ$ 。对于  $0^\circ \sim 45^\circ$  倾角的钻孔,经咨询厂家的技术人员,他们认为倾角过小时,一方面动力头齿轮箱内的润滑冷却系统可能会出现问題;另一方面,在生产实践中从来没有在  $0^\circ \sim 45^\circ$  的倾角范围内试验过,存在不确定风险。为了检验在  $0^\circ \sim 45^\circ$  的倾角范围内设备工作的可行性,在钻机进驻野外现场之前,先期开展了两项分析研究工作。

(1)将钻架放置为水平状态,就地打开了动力头齿轮箱的箱体盖子,认真了解齿轮箱内相关零部件的结构及传动关系,同时也分析研究了齿轮箱内润滑与冷却系统的工作原理。经现场认真查看并仔细研究后认为,负责润滑与冷却系统工作的是一个专一的小油泵,它的吸油口位于齿轮箱体的下角处,无论钻架置于哪个角度,均能保证吸油口的正常工作。可见,在钻架置于水平状态时,无论是传动结构还是润滑系统均不存在结构原理上的工作障碍。

(2)验证在水平状态下工作过程中,动力头的上齿轮箱的油液能否顺利进入下齿轮箱内。启动动

力机,让钻机进行不加负载运转,观察润滑油的循环状态是否正常,并在高转速条件下连续工作了 2 h。结果发现齿轮箱内的润滑油循环正常,测得油液温度为 47 ℃,属于正常工作温度。

#### 4.3 齿轮箱箱体内外空气连通问题

为进一步验证钻机在  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  倾角时工作的可靠性,进行野外生产实验是必要的。钻机进驻工地施工的第一个钻孔为 ZK402 孔,设计孔深 380 m,倾角  $6^{\circ}$ ,方位角  $355^{\circ}$ 。开钻后约 40 h,发现动力头处冒蓝烟,并闻到刺鼻的油液燃烧时的味道,而且齿轮箱的壳体温度很高,已经不敢用手触摸齿轮箱的壳体了。因为正值凌晨 3 点左右,及时停机休息至第二天早上。待现场打开齿轮箱后发现润滑油油量明显减少,经仔细查找,终于找到了问题的原因:由于齿轮箱是密闭的,要维持箱体内润滑油的正常循环工作,就要保证箱体内部的气压与外界平衡。实现这一目的途径就是在箱体上连接一根通气软管,以保持箱体内与箱体外大气的连通。由于偶然的原因,软管的自由端没有在一定的位置得到约束,结果造成软管的出气口低于箱体内油面以下,导致润滑油的漏失,以至于箱体内传动件得不到及时地润滑和冷却,油温骤然升高。原因查明后,重新固定了通气软管,使软管的出气口始终高于润滑油的油面。然后,向箱体内加注了适量的润滑油,设备便可继续正常工作。

#### 4.4 工作平台的搭建

钻架置于水平状态时,动力头的回转中心距离地面约 1.5 m,施工人员站在地面上无法操作,因此要建造一个合适的工作平台。工作平台应满足:(1)要有足够的强度,确保操作人员及钻杆钻具的安全;(2)要有足够的平面尺寸,不但能为操作人员提供安全宽敞的操作空间,而且要为钻杆钻具、工具等提供足够的摆放空间;(3)要在一定范围内高度可调,满足  $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$  倾角情况下操作人员的工作效率和舒适性;(4)既方便安装和拆卸,又方便搬迁和运输;(5)建造成本越低越好,尽管与满足使用功能无关,但它影响施工成本和工程的经济效益。经过深入分析和反复比选各种方案,最后确定使用建筑工程用脚手架,按照预先的设计,就地租赁各种规格的钢管和扣件,在现场搭建起了一个高度约 1.3 m、平面面积近  $50 \text{ m}^2$  的工作平台,表面铺上质量和尺寸符合安全标准的木质工作台面,如图 1 所示。



图 1 工作平台

值得注意的是,在设计搭建平台时,在放置钻杆的区域内,支撑钢管要进行适当的加密布置,而在工作人员活动的区域内,支撑钢管的布置可适当稀疏一些。本项目的实施方案是:放置钻杆的区域内,支撑钢管的布置网度为  $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ ,工作人员活动的区域内,支撑钢管的布置网度为  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 。

#### 4.5 钻机在工作中位移的控制

在向孔内输送钻具或钻进过程中,钻机沿钻孔轴线有发生位移离开孔口的倾向,而在从孔内提拉钻具时,钻机沿钻孔轴线有发生位移靠近孔口的倾向,特别是在向孔内输送钻具或从孔内提拉钻具遇阻时,这种发生位移的倾向就会更加突出。所以,要采取有效措施对钻机沿钻孔轴线方向进行约束和控制。有 2 种固定方法:

(1)将孔口套管用水泥封固后,在露在孔外一端焊接法兰盘,与钻架底部相连接,即可实现钻机在工作中位移的控制;

(2)用搭建工作平台的钢管对钻架进行合理的支撑与连接,使钻机在沿钻孔轴线方向受到可靠的约束,也可实现钻机在工作中位移的控制。

本次应用实践中采用了第 2 种方法。

### 5 应用效果

(1)CS1000P6L 型钻机在上述岩心钻探工程项目中共施工 3 个钻孔,实际耗用工期 106 d,完成有效钻探进尺总计 1150.2 m。岩心采取率均  $\geq 95\%$ ,实测钻孔倾角与设计倾角的误差均符合相关技术标准。钻机工作运转正常稳定,整套钻机设备没有发现因为钻孔倾角太小而发生故障。

(2)该型钻机的钻架为桅杆式,立塔放塔靠油缸完成,钻架可从水平状态到直立状态  $90^{\circ}$  范围内旋转。由于该型号钻机进给行程大,也提高了起下

钻的效率。另外,钻杆即为主动钻杆,起下钻可直接利用油缸,添加钻杆和拆卸钻杆可直接在动力头顶部分完成,钻杆加卸方便。

(3)搭建工作平台,8个人大约需要1 d时间,拆卸平台只需半天,租赁钢管和扣件的费用每天只需11元人民币。平台上放置400 m绳索取心钻杆及钻具时,平台十分稳固。实践证明,工作平台的建造既快捷又经济,使用既安全又可靠。

## 6 结论

(1)通过对CS1000P6L型钻机的各主要参数的分析,特别是在对钻机动力头部分的结构和原理进行认真研究的基础上,经过野外现场的生产实验,验证了该型钻机在水平钻孔施工中的性能是可靠的。从而证明了该型钻机在 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 的倾角范围内可以实现正常钻进工作。为该机型在岩心钻探施工领域拓展了应用范围,在同行业内具有良好的推广价值和现实意义。

(2)创新思维方式,采用了建筑工程常用的脚手架搭建工作平台,不仅为施工人员提供了安全方便的操作空间,还为钻杆钻具的摆放提供了安全可靠的支撑。工作平台的安装和拆卸十分方便,平台工作面的尺寸可随意扩大或缩小,制作成本低廉。

(3)工作平台与钻机的钻架连接在一起,有效地控制了钻机工作过程中的振动,增加了钻机工作的稳定性。另外,利用脚手架的连接方式,对钻机的钻架在钻孔轴线方向上进行了巧妙的结构支撑,有效地控制了设备与钻架工作过程中在钻孔轴线方向上的位移,增强了钻机在起下钻具时工作的可靠性。

## 参考文献:

- [1] 庞少青,李国东.全液压力头钻机存在的问题分析及改进建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):64-66.
- [2] 杨付伟,鲁建军.GYD-20型全液压力头工程钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):34-36.
- [3] 李增乐.中浅层水平井井眼轨道优化设计与现场施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):43-45.
- [4] 刘成才,朱发宪.全液压力头钻机的改进建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):40-41.
- [5] 伍晓龙,刘凡柏,刘智荣.3500 m全液压岩心钻机动力头结构设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):13-17.
- [6] 孙友宏,于萍,赵大军,等.JDY-1500型全液压力头岩心钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):43-45.
- [7] 吕冰.ZYW-1200煤矿用全液压钻机动力头的设计[J].矿业安全与环保,2010,37(4):51-52,55.
- [8] 臧臣坤,张金昌,冯起赠.全液压力头水井钻机国产化若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2):12-15.
- [9] 郑俊华,赵大军,孙友宏,等.JDX-1500型岩芯钻机给进与回转液压系统设计[J].工程机械,2008,(8):42-45,77.

(上接第71页)

(3)水力振荡器是首次在鸭儿峡鸭K1-7井使用,在考虑还有1000 m非常长的造斜和稳斜井段,为了确保其使用效果,其位置安放在距钻头约66 m。但是所钻地层白杨河组和中沟组,主要为棕红色泥岩,其对钻铤的粘附作用非常强。建议在以后使用时,缩短其距钻头的安放位置,离钻头越近,其振荡作用越强;或者可以考虑在其上部适当位置再加装另外一套水力振荡器,效果会更好。

(4)从水力振荡器外径来分析:钻铤外径为165 mm,水力振荡器的外径为172 mm,比与其相连接的钻铤外径大7 mm,是否存在支点影响,有待进一步分析研究。以后可考虑选用与钻铤外径相同的水力振荡器或采用其他过渡方式,消除不良影响。

## 参考文献:

- [1] 王吉现.大牛地气田DP31H井钻井难点与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):14-18.
- [2] 董志辉,胥豪.长水平段水平井井眼轨道优化设计方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):35-37,41.
- [3] 易先中,宋顺平,陈霖,等.复杂结构井中钻柱托压效应的研究进展[J].石油机械,2013,(5):100-104.
- [4] 陈勇,蒋祖军,练章华,等.水平井钻井摩擦阻影响因素分析及减摩技术[J].石油机械,2013,(9):29-32.
- [5] 张辉,吴仲华,蔡文军.水力振荡器的研制及现场试验[J].石油机械,2014,(6):12-15.
- [6] 许越永,黄根炉,王爱国,等.YM7-H1超深水平井施工困难及原因分析[J].石油钻探技术,2005,33(6):12-14.
- [7] 刘华洁,高文金,涂辉,等.一种能有效提高机械钻速的水力振荡器[J].石油机械,2013,(7):46-48.
- [8] Skyles L P, Amiraslani Y A. Converting static friction to drill further and faster in directional holes[R]. SPE 151221, 2012.
- [9] 王建龙,王丰,张雯琼,等.水力振荡器在复杂结构井中的应用[J].石油机械,2015,(4):54-58.