

# 空气潜孔锤在松散地层中的钻进试验

卢予北<sup>1,2,3</sup>, 王建华<sup>4</sup>, 陈莹<sup>1,2,3</sup>, 罗园<sup>3</sup>, 程存平<sup>2,3</sup>, 申云飞<sup>2,3</sup>, 杜朝波<sup>2,3</sup>

(1. 河南省深部探矿工程技术研究中心, 河南 郑州 450053; 2. 河南省地热能开发利用有限公司, 河南 郑州 450053; 3. 河南省地矿局第二地质环境调查院, 河南 郑州 450053; 4. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**空气潜孔锤钻探工艺在基岩地区已是首选的一种技术。传统观念认为空气潜孔锤钻进工艺适用于坚硬岩石(硬、脆、碎地层),在松散地层中则需要常规泥浆回转钻进或冲击钻进。通过典型松散地层的试验证明:空气潜孔锤在松散覆盖地层中可以实现正常的钻进,并且具有效率高、成本低、劳动强度小等优点,在粘土和潮湿粘土地层中钻进效率最高可达 87 和 72 m/h。为解决页岩气、地热、煤层气、地下水等能源资源勘探时上覆地层的开孔或一开钻进提供了行之有效的方法,同时,也解决了缺水地区或严重漏失地层钻井液用水困难和传统开孔或一开泥浆回转钻探工艺复杂等问题。

**关键词:**空气潜孔锤;松散地层;钻进

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)07-0009-03

**Drilling Tests in Loose Formation with Air DTH Hammer/LU Yu-bei<sup>1,2,3</sup>, WANG Jian-hua<sup>4</sup>, CHEN Ying<sup>1,2,3</sup>, LUO Yuan<sup>3</sup>, CHENG Cun-ping<sup>2,3</sup>, SHEN Yun-fei<sup>2,3</sup>, DU Zhao-bo<sup>2,3</sup>** (1. Henan Engineering Research Center of Depth Exploration, Zhengzhou Henan 450053, China; 2. Henan Provincial Geothermal Energy Development & Utilization Co., Zhengzhou Henan 450053, China; 3. No.2 Institute of Geo-environment Survey of Henan, Zhengzhou Henan 450053, China; 4. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Air DTH hammer drilling is a preferred technology in bed rock area, which by tradition is suitable for hard rock drilling(in hard, brittle and broken formations); while for loose formations, conventional mud rotary drilling or percussive drilling should be used. Based on the test on typical unconsolidated formation drilling, it is proved that normal drilling can also be realized in loose overburden layer by air DTH hammer with advantages of high efficiency, low cost and small labor intensity, the highest drilling efficiency is up to 87m/h and 72m/h in clay and moist clay drilling respectively. This result provides an effective method to hole opening or the first spud section drilling for the exploration of shale gas, geothermal energy, coal seam gas and underground water in overlying layers and solves the water shortage for drilling fluid in water scarce areas or serious leakage formations and avoids the difficulties in the complicated processes of conventional mud rotary drilling.

**Key words:** air DTH hammer; loose formation; drilling

## 1 问题的提出

空气潜孔锤主要适用于坚硬的基岩地层钻进,与常规正循环泥浆钻进相比,具有钻进效率高、成本低、无地层污染等特点<sup>[1]</sup>,广泛应用于山区缺水地区找水打井、煤层气、页岩气、地热、地质资源勘查、浅层地热能埋管钻孔、水文水井钻探和基础工程等领域<sup>[2]</sup>。多数基岩地区上部由粘土、砂质粘土、亚砂土、洪积物、坡积物、卵石等松散地层覆盖,当遇到上部覆盖松散地层时,常规的钻探方法是在开孔或一开首先采用正循环泥浆钻进方法钻至完整基岩,下入孔口管或一开技术套管后,再使用空气潜孔锤工艺钻进<sup>[3,4]</sup>,或者采用跟管工艺实现正常钻

进<sup>[5]</sup>,这也是目前国内普遍采用的主要钻探方法。其主要问题是:采用常规正循环泥浆钻进松散覆盖层时,首先需要大量用水和钻井液材料,在缺水地区势必将增加钻井液成本和污染浅层地下水;其次,需要购置开孔或一开钻头,增加钻头成本;最后,开孔或一开常规正循环回转钻进时,由于钻压小,导致钻进效率低等。为了解决上述问题,简化钻具配套和钻进工艺,课题组结合 2013 年度河南省“两权价款”地质科研项目《页岩气钻探技术研究》设计内容,于 2014 年 4~5 月在河南省荥阳市万山进行了空气潜孔锤在松散地层中的钻进试验,试验结果表明:空气潜孔锤不仅适用于基岩地层钻进,在松散地

收稿日期:2014-05-14

基金项目:河南省“两权价款”地质科研项目“页岩气钻探技术研究”(2013-09)

作者简介:卢予北(1964-),男(汉族),河北平山人,河南省深部探矿工程技术研究中心主任兼总工程师、河南省地热能开发利用有限公司总经理、教授级高级工程师,河南省学术技术带头人,地质工程专业,博士,主要从事深部钻探、地热和页岩气地质能源和水文水井钻探(井)技术研究和管理工作,河南省郑州市南阳路 56 号,lu-yubei@263.net。

层同样可以实现正常钻进,并且具有显著的成效。

## 2 试验区地质与地层

### 2.1 地形与地貌

荥阳地处豫东平原和豫西黄土丘陵的过渡带,南西北三面低山丘陵环绕,中间为开阔微倾斜的冲积平原,总地势由南西向北东倾斜,坡降变化大,近山区为 10% ~ 15%,风洪积倾斜平原区为 2% ~ 3%,冲洪积平原为 0.5% ~ 1.5%。区内地貌依其成因、物质组成和形态特征,可划分为流水地貌和黄土地貌两大类,其中,流水地貌又分为侵蚀的和堆积的两种。

### 2.2 构造与地层

受区域构造应力影响,断裂构造较发育。荥阳万山试验区北侧主构造为郭小寨断层,走向北西西 290°左右,倾向北北东,倾角 67°,断距 100 ~ 340 m。

区内有湖积、冲积、冲洪积、风积等多种成因的第四系地层。主要岩性为粘土、细砂互层。新近系岩性以粘土为主,夹灰白色砂质泥灰岩,半胶结中细砂。下部基岩地层主要由泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、粗粒石英砂岩、页岩、白云岩及奥陶系石灰岩等组成。

## 3 试验钻孔设计及钻探设备机具

### 3.1 试验钻孔设计

试验钻孔位置分别选择在荥阳万山项沟关庄和王家庄,处于郭小寨断裂带和徐庄断裂带之间,上部松散覆盖层 26 ~ 36.7 m,主要有粘土、粘土含砾石、砂质粘土等组成;下部基岩主要由泥岩和砂岩互层,局部破碎。试验钻孔设计 4 个,孔深 80 ~ 150 m、孔径 155 ~ 205 mm(详见表 1)。

表 1 试验钻孔结构设计

钻孔序号	设计深度 /m	开孔口径 /mm	孔口套管 /mm	钻进口径 /mm	松散层厚度 /m
1	82.17	311	230	155	36
2	100.17	311	230	155	36
3	81.66	311	230	205	36
4	150	311	230	205	26

### 3.2 钻探设备机具选择

XD400B 型履带式多功能钻机,转速 60 ~ 120 r/min,适用于 500 m 以浅、口径 105 ~ 350 mm 的钻探;XHP1070 型空压机,额定压力 2.4 MPa、风量 30.3 m<sup>3</sup>/min;Ø102 mm 外平钻杆;Ø136 和 188 mm 冲击器;Ø155 和 205 mm 冲击钻头(球齿合金)(参见图 1、2)。



图 1 钻机和空压机试验现场



图 2 钻杆和潜孔锤

## 4 钻孔试验情况

### 4.1 不同孔径实际上返速度评价

采用空气潜孔锤实现正常钻进所需要的上返速度一般在 15 ~ 25 m/s。空压机供风量可按照下式进行计算<sup>[6]</sup>:

$$Q \geq 47K_1K_2(D^2 - d^2)v$$

式中:  $Q$ ——空压机供风量, m<sup>3</sup>/min;  $K_1$ ——孔深修正系数,孔深 100 ~ 200 m 时,  $K_1 = 1.05 \sim 1.1$ ,孔深 500 m 时,  $K_1 = 1.25 \sim 1.3$ ;  $K_2$ ——孔内涌水量影响系数,中、小涌水量时,  $K_2 = 1.5$ ;  $D$ ——钻孔实际直径, m;  $d$ ——钻杆外径, m;  $v$ ——上返速度,一般要求 15 ~ 25 m/s。

已知空压机风量为 30.3 m<sup>3</sup>/min,取  $K_1 = 1.05$ ,  $K_2 = 1.0$ ,把已知数带入上述公式,计算出的 4 个钻孔的实际上返速度见表 2。

表 2 试验钻孔实际上返速度评价

钻孔序号	钻孔深度 /m	钻进口径 /mm	钻杆直径 /mm	实际供风量 / (m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	实际上返速度 / (m s <sup>-1</sup> )	评价
1	82.17	0.155	0.102	30.3	45.08	满足
2	100.17	0.155	0.102	30.3	45.08	满足
3	81.66	0.205	0.102	30.3	19.36	满足
4	150	0.205	0.102	30.3	19.36	满足

从表 2 可以看出:在空压机额定风量条件下,3 号和 4 号孔的上返速度为 19.36 m/s,1 和 2 号孔的

上返速度为 45.08 m/s, 满足正常钻进 15 ~ 25 m/s 的要求。

#### 4.2 钻具组合与试验效果

Ø155 mm 钻孔钻具组合: Ø102 mm 外平钻杆 + Ø136 mm 潜孔锤 + Ø155 mm 硬质合金钻头。

Ø205 mm 钻孔钻具组合: Ø102 mm 外平钻杆 + Ø188 mm 潜孔锤 + Ø205 mm 硬质合金钻头。

开孔用 Ø311 mm 钻头, 采用空气干钻方法钻至 5 ~ 6 m, 下入 Ø230 mm 孔口保护管, 用土固定和密实, 然后采用不同的钻具组合进行空气潜孔锤钻进。潜孔锤初始风压为 0.6 MPa, 在孔内工作时的工作压力在 0.8 ~ 1.2 MPa 之间。

试验钻孔钻遇地层(自上而下): 干粘土、砂土、粘土、粘土夹砾石、潮湿粘土、破碎地层、泥岩、砂岩等。图 3 ~ 8 是钻遇不同地层的钻进和返出地面的岩渣的情况。



图 3 砂土和粘土互层



图 4 山前粘土地层

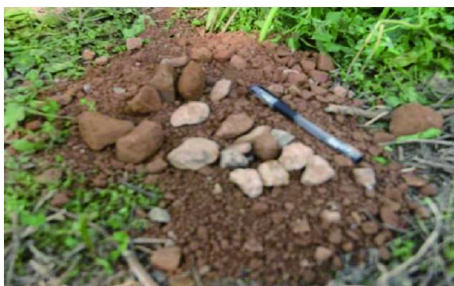


图 5 粘土夹砾石地层

上述钻遇地层相对复杂并具有代表性。通过空气潜孔锤在这类松散地层中钻进试验, 与常规泥浆



图 6 潮湿粘土地层



图 7 破碎地层返出的碎石



图 8 含水砂岩地层

回转钻进相比, 均能实现正常的快速钻进。表 3 是不同口径试验钻孔在不同地层中的机械钻速统计。

表 3 不同口径和地层机械钻速统计 / (m · h<sup>-1</sup>)

钻孔口径/mm	粘土、粘土夹砾石	潮湿粘土、砂土	泥岩	砂岩
155	87	72	21.6	42.6
205	57	43	13.4	32

从表 3 可以看出: 在空压机风量一定情况下, 同一技术经济条件下, 口径小的钻孔具有较高的上返速度和排渣能力, 钻探效率相对较高。所以, 在满足其它条件和要求的情况下, 尽量减小钻孔口径, 以求最佳的钻探效率。

#### 5 结论

(1) 通过试验表明: 空气潜孔锤可以用于松散 (下转第 27 页)



图5 盐重结晶的 Ø127mm 钻杆

更换盐水钻井液后,滤失量虽然很低(3~5 mL/30 min),但高矿化度条件下泥浆滤饼质量差,非常松散(测量完毕的滤纸一抖,泥皮就松散脱落);取心钻进施工裸眼井段较长,起下钻摩阻大。增添使用改性沥青粉(KAHM),一来改善泥饼质量,堵塞和覆盖泥页岩微裂缝,形成较坚韧的泥皮;二来,可起到润滑钻具降低摩阻的作用,尤其起下钻次数较多时,效果突出;三是,使用后完全不影响本井作为生产井的使用情况,盐岩使用水溶法开采,不会因为使用改性沥青粉覆盖产层而影响到后期的开采使用。

#### 4 结论及认识

(1)利用邻近区块钻井参数资料等对PDC钻头进行初步选型,辅以复合钻进,在该区不取心段提高

(上接第11页)

覆盖地层的正常钻进,并且具有工艺简单、效率高、成本低、劳动强度小等特点。

(2)在松散破碎含水较少的地层中,孔底岩渣和岩粉一部分随高压空气返出地面,另一部分充填在破碎或裂隙中,起到保护孔壁不坍塌的作用。

(3)在同样地层空气潜孔锤钻进,上返速度越高,钻进效率越高。

(4)小口径钻进可应用于浅层地热能地埋管钻孔施工或岩心钻探领域;大口径则可用于缺水山区找水打井工程、其它地质能源资源钻探的开孔或一开钻进。

钻井速度,开孔至2750 m用时30天,换盐水泥浆取心作业至3170 m终孔用时72天,共102天。施工效率明显优于其他勘探钻孔。

(2)孔壁的稳定性是使用双根取心器串联提高单次取心效率的前提,根据施工情况及时调整泥浆密度、粘度。但要控制起下钻速度(盐水泥浆滤失量很低,小于或等于5 mL/30 min,虽添加改性沥青粉泥饼有所改善,胶结程度较差,如不注意起下钻速度易引起掉块)。

(3)使用复合盐配制泥浆时,盐的种类、加量和加入顺序必须选配好。随温度变化溶解度较大的KCl的添加量应严格按照设计要求添加,添加量不超过10%。使用复合盐时必须添加0.5%~1% NTA,降低盐的重结晶。

#### 参考文献:

- [1] 谭松成,段隆臣,叶雪峰,等.硬岩钻进用石油钻头研究现状及发展趋势[J].地质与勘探,2013,49(2):373-378.
- [2] 刘同富,裴建忠,王安泰.胜利油田中深井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2003,31(4):7-8.
- [3] 张国斌,宋金宝.河北辛集—宁晋石盐资源赋存特征与开发利用评价[J].河北煤炭,2010,(4):7.
- [4] 刘建平,陈洪俊.聚丙烯酰胺+切削膏堵漏材料的工程应用及效果[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):31-33.
- [5] 中国石油勘探与生产分公司工程技术与监督处.钻井监督[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [6] 赵岩,黄健.宁晋岩盐勘探孔钻井液施工研究[J].西部探矿工程,2013,(9):27-28,32.
- [7] 郑若芝,张国钊.盐重结晶抑制剂NTA[J].油田化学,1991,(2):103-107.
- [8] 王建华.油田盐膏层钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(4):47-49.
- [9] SY/T 6709-2008,膏盐层钻井技术规程[S].
- [10] SY/T 5347-2005,钻井取心作业规程[S].
- [11] SY/T 5172-1996,直井下部钻具组合设计方法[S].

#### 参考文献:

- [1] 卢予北.空气潜孔锤在云南红层中快速钻井工艺应用研究[J].地质与勘探,2011,47(2):309-315.
- [2] 刘建华,魏淑华,徐爱臣,等.空气潜孔锤钻进技术在铝土矿钻探施工中的应用试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):28-30.
- [3] 陈怡.空气潜孔锤钻进技术在援豫抗旱找水成井施工中的应用[J].贵州地质,2012,29(2):128-131.
- [4] 杨富春.空气潜孔锤在水源钻井中的应用[J].中国煤炭地质,2009,21(6):71-73.
- [5] 赵建勤,李子章,石邵云,等.空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):55-59.
- [6] 耿瑞伦,陈星庆,等.多工艺空气钻探[M].北京:地质出版社,1995.