

气动潜孔锤钻进技术在黔东南岩溶地区 地源热泵勘探井中的应用

刘明博, 陈轶平

(贵州省有色金属和核工业地质勘查局六总队, 贵州 凯里 556000)

摘要:气动潜孔锤钻进技术用于地源热泵勘探井施工,在地质条件复杂的黔东南岩溶地区累计钻进 568 m,不仅查明了拟建项目区地质体的地质条件和可钻性,而且通过钻进工艺的改变,成功地实施了一口测试井,确保了项目的顺利开展。文中分析了岩溶地区的钻遇问题,及时调整思路,结合钻井工艺的改变,并选择气动潜孔锤间接性跟管钻进技术,保证了钻进的连续性,取得的经验体会可供借鉴。

关键词:气动潜孔锤钻进;黔东南岩溶地区;地源热泵井;勘探井

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)01-0051-05

Application of pneumatic DTH hammer drilling technique in ground source heat pump exploration well in karst area of southeast Guizhou

LIU Mingbo, CHEN Yiping

(Guizhou Nonferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau Sixth General Team, Kaili Guizhou 556000, China)

Abstract: The pneumatic DTH hammer drilling technology has been used in ground source heat pump exploration well drilling in complicated geological conditions in the karst area of southeast Guizhou with accumulative drilling amount of 568m, which has not only found out the geological conditions and drillability of the proposed project area, but also successfully implemented a test well through the change of the drilling process to ensure the smooth development of the project. This paper analyzes the problems encountered in drilling in karst areas. With change of the drilling technique to indirect sim-casing drilling with the pneumatic DTH drilling hammer, the continuity of drilling has been ensured, and the experience gained can be used for reference.

Key words: pneumatic DTH hammer drilling; karst area of southeast Guizhou; ground source heat pump well; exploration well

0 引言

气动潜孔锤钻进作为一项高效钻探技术,现已广泛应用于工程施工钻探、水井勘探、矿山开采、地质勘探等多个领域^[1-2]。相对于传统的钻进工艺,其在施工过程中具有效率高、成本低、成井质量高、出水量大、寿命长等优点^[3-4]。但是随着钻遇地层的不同,潜孔锤钻进技术的表现也大不相同。黔东南地区碳酸盐岩出露面积广,岩溶发育,内填物以及地下水形态各异,这给气动潜孔锤钻进提出了新的

挑战。

黔东南从江县洛香镇拟建客运站,总建筑面积约 34815.27 m²,拟采用地源热泵空调技术系统。先期采用高密度电阻率法对场地进行物探勘查,并根据所测数据布置水源与地源勘探井,至钻探结束,总计施工 9 口勘探井,勘探井基本情况详见表 1。厂地内进行的地质勘探井不仅可以判断场地的地质条件和可钻性,而且通过热物性测试仪与 PE 管的结合可以在勘探井中获得地质体的换热物理参数,

收稿日期:2018-05-07; **修回日期:**2018-09-04 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.01.009

作者简介:刘明博,男,汉族,1989 年生,油气田开发工程专业,硕士,主要从事地热和地质勘探工作,贵州省凯里市环城西路 137 号地质六队 304 室,779174124@qq.com。

引用格式:刘明博,陈轶平.气动潜孔锤钻进技术在黔东南岩溶地区地源热泵勘探井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):51-55.

LIU Mingbo, CHEN Yiping. Application of pneumatic DTH hammer drilling technique in ground source heat pump exploration well in karst area of southeast guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):51-55.

进而为后期大规模埋管钻探施工提供技术支撑。

表 1 勘探井基本情况

Table 1 Basic conditions of exploration wells

井号	井深/m	描述	备注
kt1	108	48~54 m 见溶洞,下 PE 管 100 m	地源
kt2	141	20~42 m 见溶洞,掉块严重	地源
kt3	39	遇溶洞,停钻	地源
kt4	21	1 m 之后见淤泥地层,钻具放空,有坍塌,停钻	地源
kt5	27	27 m 未见基岩,跟管套管不足,停钻	水源
kt6	27	27 m 时周边地面冒水,跟管套管不足,停钻	水源
kt7	8	潜孔锤锤头断,更换井位	地源
kt8	151	采用适宜的方法钻进,成井 151 m,下 150 m PE 管	地源
kt9	46	未见水,重复出入基岩地层,含泥	水源

1 地质特点和勘探井钻进主要问题

拟建场地位于华南褶皱带,肇兴—洛香—郎寨近东西向断层从旁而过,根据周边地层出露(图 1),判断场地原为碳酸盐岩岩溶地貌,且被第四系冲洪积物所覆盖。



图 1 拟建场地周边地层出露

Fig.1 Surrounding strata of the proposed site

拟建客运站岩溶作用发育,多呈石芽、石柱,充填物为第四系砂砾石,饱和粘土(淤泥)。考虑到此项目工期紧,在与传统钻探工艺(附近房勘工程钻探资料)对比之后,决定采用气动潜孔锤钻进技术快速成井,查明该场地地质情况、地质体可钻性和物理参数。

施工中会遇到很多难点,主要问题如下:

(1)井位选择在石芽之间(间距较大时),而充填物为淤泥,钻进中通常套管无阻力下放,一般下放 20 多米,存在钻机携带套管不足、基岩埋深较深,以及由于钻机过重而钻机底部塌陷的风险,如图 2(a)所示。

(2)井位选择在石芽之间(间距较小),钻进过程中易于卡钻,后期无法处理,容易损失钻头,图 2(b)所示。



(a) 钻机底部出现塌陷

(b) 卡钻

图 2 钻探施工遇到的问题

Fig.2 Drilling construction problems

(3)井位选择在石芽之上,钻穿完整岩石之后,一般都会钻遇溶洞,且溶洞多为第四系淤泥充填,在钻进过程中,当溶洞中的淤泥随着空气携返至地表,空着的溶洞会被周边第四系充填物继续填满,进而导致了地表第四系土层向下灌入,引起钻机周边塌陷的不良地质现象^[5],导致施工无法继续进行。

2 技术思路

虽然根据物探资料布置了相应的钻井,如 kt2、kt3、kt4、kt5、kt6、kt7 和 kt9,深度在 8~141 m,基本掌握了拟建场地内的地质情况和地质体的可钻性,但仍未获得地质体的物理参数(导热性能)。因此,为了配合地源热泵测试的需要,在不改变气动潜孔锤钻进的同时,适时以场地内复杂地质情况下制定新的钻进工艺,确保至少成功开凿一眼测试井(深度设计要求 151 m)。主要技术路线和方案如下:

(1)井位选择要准,尽量选择在覆盖层较薄,且下伏基岩较为完整的地层(参照表 1)。

(2)为了保证成井,设计三开结构,一开采用表层套管隔开第四系松散岩层,二开直接钻进至溶洞底部,下入与溶洞相应深度的套管,隔开溶洞,三开

采用小孔径钻头到终孔。

3 成井施工工艺

3.1 设备选择

采用正远 SL600S 型钻机,空压机采用美国寿力 750XH-1050 型中低压系列柴油机移动式螺杆空压机-CUMMINS,公称容积流量 $21.2 \text{ m}^3/\text{min}$,额定排气压力 1.38 MPa,工作压力范围 $0.55 \sim 1.38 \text{ MPa}$,额定功率为 224 kW,机组总质量 4880 kg。同时配备钻探所需钻杆、钻头、冲击器等工具。

3.2 钻具组合

$\text{O}89 \text{ mm}$ 钻杆 + $\text{O}241.3, 183, 152.4 \text{ mm}$ PDC 钻头 + $\text{O}219.1, 177.8 \text{ mm}$ 套管。

3.3 钻进方法及过程

根据已经施工的地质勘探井可知:工作区内第四系冲积物厚度在 $0 \sim 33 \text{ m}$,钻进过程中,由于冲积物多孔疏松,风沿孔隙上升漏于地表,井内风压小于地层压力,井壁易坍塌,为使施工正常进行,该套疏松地层用 $\text{O}241.3 \text{ mm}$ 钻头钻进,并下入 $\text{O}219.1 \text{ mm}$ 套管;钻遇基岩之后改换 $\text{O}183 \text{ mm}$ 钻头,直至钻穿基岩钻遇溶洞,在溶洞处下入 $\text{O}177.8 \text{ mm}$ 套管(根据已施工钻孔资料,拟建场区内溶洞深度 $\geq 6 \text{ m}$),用以阻隔溶洞,防止周围第四系充填物充填溶洞而导致地表塌陷,保证继续钻进的岩屑正常上返,从而进一步确保施工正常进行;最后采用 $\text{O}152 \text{ mm}$ 钻头,钻至设计深度^[6-8]。

钻进过程中如遇大量粉尘,适当在井口加水,可降低扬尘污染^[9]。表 1 中 kt8 井(三开结构)为本项目成功案例,图 3(a)为施工现场,一开第四系冲积物采用跟管钻进技术(外套管不回转,内钻头冲击回转钻进)^[10-12],跟管 32 m 入岩,具体第四系冲积物岩性如下: $0 \sim 6 \text{ m}$ 为河漫滩泥砂砾, $6 \sim 32 \text{ m}$ 黄泥; $32 \sim 58 \text{ m}$ 为白云质灰岩,采用二开结构; $58 \sim 60 \text{ m}$ 为溶洞,充填物为黑泥,下入阻隔套管; 60 m 以深为砂砾岩,采用 $\text{O}152.4 \text{ mm}$ 钻头钻至设计深度,终孔 151 m。

4 地质体换热能力测试

4.1 测试方法与原理

本项目是我队在从江县实施的第一个浅层地热地源热泵项目,掌握地质体的换热系数至关重要,



(a) 气动潜孔锤钻机施工

(b) 热物性测试

图 3 测试井钻探和测试

Fig.3 Drilling and testing of test wells

为此,我队采用了恒定工况法(即模拟热泵机组实际运行工况试验正常工况与峰值工况时地理孔换热器的换热能力)和恒热流法(即采用恒定热流对地质体进行的不间断加热的方法来试验正常工况与峰值工况时地理孔换热器的换热能力)2 种不同的测试方案开展测试工作。通过 2 种不同的试验方法来彼此验证项目所在地的地质体换热能力。

该试验的具体方法:采用电加热器提供热量,记录地理管换热器的温度响应情况,并利用数学模型计算岩土体热响应参数,进而设计地理管换热器。具体测试原理如下:将仪器的水路循环部分与所要测试换热孔内的 HDPE 管路相连接,形成闭式环路,通过仪器内的微型循环水泵驱动环路内的液体不断循环,同时仪器内的加热器不断加热环路中的液体^[13-15]。该闭式环路内液体不断循环,加热器所产生的热量就不断通过换热孔内的换热管释放到地下。在闭式环路内的液体循环的过程中,将进/出仪器的温度、流量和加热器的加热功率进行采集记录,用来分析计算土壤的热响应参数^[16]。测试原理见图 4。

4.2 测试过程及结果

具体过程是将注满纯净水的 151 m 双 U 型 PE 管下入 150 m 测试井内,然后采用原浆回填,并在井口使双 U 型 PE 管与热物性测试仪器连接,2016 年 11 月 14 日 17:00 至 2016 年 11 月 16 日 19:35 完成了测试,并最终取得了测试数据,现场测试如图 3(b)所示。

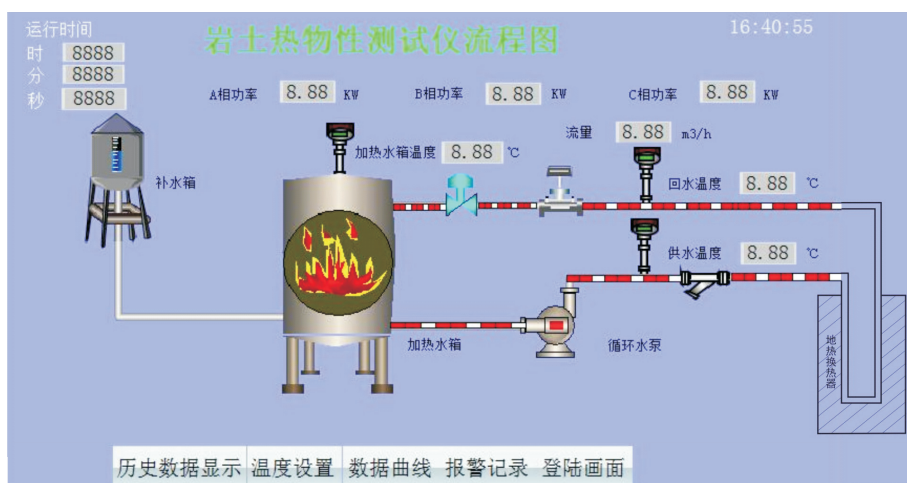


图4 测试原理图

Fig.4 Test schematic diagram

5 建议

气动潜孔锤钻进技术广泛应用于工程行业,以风为钻探岩屑的运载体,具有钻进时效快、搬运简单等特点,从江县洛香镇客运站拟建场地地质条件复杂,施工难度较大,在钻探施工过程中存在高风险,如:卡钻、地表塌陷、漏浆等,钻探成本高,不适宜建设地源热泵空调系统。

6 结论

通过拟建场地实际施工和资料研究,得出以下结论:

(1)气动潜孔锤钻进技术现已普遍应用于地源热泵空调项目的前期地质勘探和测试井钻探中,但其钻进效率因地而异,在洛香客运站项目拟建场地内,基岩为碳酸盐岩,且岩溶作用发育,基岩不完整,钻探中容易发生钻探事故,效率较完整基岩低。

(2)气动潜孔锤钻进技术虽然在岩溶发育地区钻探效率低,存在钻探风险,但是因地制宜地改进一些措施,可保证勘探井钻探顺利进行。

(3)拟建客运站地源热泵空调项目采用先物探后钻探再测试的前期地热体的数据收集方法,钻探工作在整个流程中有着承上启下的作用,本项目采用气动潜孔锤在拟建项目区先后实施9口勘探井,不仅验证了物探数据,而且探明了本区的地质体地质条件和可钻性,除此之外,完成了测试井的物理数据收集,进而对地源热泵空调系统是否可以在本地区内使用做出了判断。

参考文献 (References):

- [1] 支跃.大孔径气举反循环潜孔锤动力学研究[D].黑龙江大庆:东北石油大学,2014.
ZHI Yue. The dynamics research of large size gas lift reverse circulation DTH hammer[D]. Daqing Heilongjiang: Northeast Petroleum University, 2014.
- [2] 许刘万,刘智荣,赵明杰,等.多工艺空气钻进技术及其新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10):8-14.
XU Liuwan, LIU Zhirong, ZHAO Mingjie, et al. Alternative process air drilling technology and its new development[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009,36(10):8-14.
- [3] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
LIU Jiarong, WANG Jianhua, WANG Wenbin, et al. Some problems on pneumatic DTH drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(5):40-44.
- [4] 孙承志,李文智.气动潜孔锤钻进技术在基岩地区水文钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(8):19-20,23.
SUN Chengzhi, LI Wenzhi. Application of pneumatic subsurface drilling hammer drilling technology in hydrologic drilling in bedrock area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(8):19-20,23.
- [5] 韩永泉.复杂地层潜孔锤跟管钻进工艺问题研究[D].四川成都,成都理工大学,2009.
HAN Yongquan. Research on the technology issue of down-the-hole hammer drilling with casing for complex stratum[D]. Chengdu Sichuan: Chengdu University of Technology, 2009.
- [6] 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.
LU Yubei. Application of air DTH hammer technology to fast drilling in red beds of Yunnan province[J]. Geology and Exploration, 2011,47(2):309-315.

- [7] 楼日新. 复杂地层潜孔锤跟管钻进技术研究[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2007.
LOU Rixin. Research on the technology of DTH hammer drilling with casing for complex stratum[D]. Chengdu Sichuan: Chengdu University of Technology, 2007.
- [8] 文鹏. 气动潜孔锤锚固成孔技术问题的探讨[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2012.
WEN Peng. Discussion of the technical problems about using pneumatic DTH hammer to anchor into the hole[D]. Chengdu Sichuan: Chengdu University of Technology, 2007.
- [9] 郭恒, 袁啸岩, 李金强, 等. 岩溶地区散土—硬岩复杂地层降水井施工技术研究及应用[J]. 施工技术, 2017, 46(19): 109—113.
GUO Heng, YUAN Xiaoyan, LI Jinqiang, et al. Research and application on construction technology of dewatering well in complex stratum and hard rock of karst area[J]. Construction Technology, 2017, 46(19): 109—113.
- [10] 丁晓庆, 何龙飞. 气动潜孔锤跟管钻进技术在岩土工程勘察施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(1): 17—21.
DING Xiaoqing, HE Longfei. Application of pneumatic DTH hammer drilling with casing in the geotechnical engineering investigation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(1): 17—21.
- [11] 江剑, 孟杉, 董殿伟, 等. 气动潜孔锤跟管钻进技术在基岩地区地埋管孔钻进工程中的应用—以北京市昌平区某地源热泵工程为例[J]. 城市地质, 2014, (S1): 93—96.
JIANG Jian, MENG Shan, DONG Dianwei, et al. Application of down-the-hole hammer drilling with casing technology in bedrock area—Take a ground source heat pump project in Changping district, Beijing as an example[J]. Urban Geology, 2014, (S1): 93—96.
- [12] 逢忠玉. 潜孔锤跟管钻进技术研究[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(6): 40—41.
PANG Zhongyu. Research on DTH hammer with pipe drilling technology[J]. Heilongjiang Science, 2017, 8(6): 40—41.
- [13] 于新. 土壤热物性测试仪的研发与应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
YU Xin. R&D and application of the geothermal response test device [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2010.
- [14] 王建辉, 刘自强, 刘远, 等. 岩土热物性测试仪的研发与应用[J]. 中国高新技术企业, 2016, (3): 49—50.
WANG Jianhui, LIU Ziqiang, LIU Yuan, et al. Research and development and application of geotechnical thermophysical tester [J]. China High-tech Enterprise, 2016, (3): 49—50.
- [15] 于晓菲. 岩土热物性测试方法和软件开发[D]. 山东济南: 山东建筑大学, 2012.
YU Xiaofei. Ground thermal properties measurement method and software development [D]. Jinan Shandong: Shandong Jianzhu University, 2012.
- [16] 黄鹏, 骆进, 顾晓敏, 等. 碳酸盐岩类地层地源热泵系统适宜性研究[J]. 城市地质, 2018, 13(3): 51—58.
HUANG Peng, LUO Jin, GU Xiaomin, et al. Research on the suitability of ground source heat pump system in carbonate strata[J]. Urban Geology, 2018, 13(3): 51—58.

(编辑 韩丽丽)