

贵州岩溶疏干区浅层地热能地埋管施工技术

陈浩¹, 赵华宣¹, 贾玉川¹, 曾远明¹, 汤自华¹, 王虎², 李勇²

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局114地质大队, 贵州遵义 563000;

2. 贵州省地质矿产勘查开发局111地质大队, 贵州贵阳 550008)

摘要:贵州省浅层地热能资源丰富, 开发潜力巨大, 但碳酸盐岩地层分布广、浅表岩溶裂隙极为发育, 浅层地埋管施工难度大。以贵州仁怀妇幼保健院浅层地温中央空调地埋管工程为例, 采用偏心潜孔锤跟管钻进、潜孔锤钻进、简便除尘器除尘、固结封堵和圆木封隔溶洞、提吊法下管等技术措施, 解决了在由于溶蚀和断裂构造及河流深切切割作用造成的局部岩溶发育以及地埋管埋置深度内无水的岩溶疏干区进行地埋管施工面临的松散浅表回填及岩溶软弱层成孔困难、全孔段无液面潜孔锤钻进粉尘污染环境、溶洞跑管(PE管)等技术难题, 在保证工程质量、安全的同时提高了施工效率, 为类似工程提供了施工经验。

关键词:岩溶疏干区; 地埋管施工; 偏心潜孔锤跟管; 潜孔锤钻进; 提吊下管; 浅层地热能

中图分类号: P634; TK529 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2021)03-0170-08

Placement of shallow geothermal heat pipes in the dewatered karst area of Guizhou province

CHEN Hao¹, ZHAO Huaxuan¹, JIA Yuchuan¹, ZENG Yuanming¹, TANG Zihua¹, WANG Hu², LI Yong²

(1. 114 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Zunyi Guizhou 563000, China;

2. 111 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550081, China)

Abstract: Guizhou province is rich in shallow geothermal resource with huge exploitation potential. However, widespread carbonate strata and well-developed karst fractures in shallow formation cause great difficulties in placement of shallow underground heat pipes. In the case of placement of the underground heat pipes for the shallow low ground temperature central air conditioner of Maternity and Childcare Hospital of Huairan, Guizhou, various technical measures, including eccentric DTH (down-the-hole) hammer drilling with simultaneous casing, DTH hammer drilling, dust removal by the simple dust remover, sealing off karst caves with cement and logs, RIH of pipes with the auxiliary winch, have been adopted to solve the technical problems such as difficulty in borehole completion, environmental pollution by dust from DTH hammer drilling without underground water over full holes, laying the heat pipes (PE pipe) through karst caves due to presence of loose shallow backfilling and karst weak formation encountered in placement of underground heat pipes in the dewatered karst area characterized by local karst development and water shortage (produced by dissolution, rupture structure, and deep cutting by the river) over the length of the underground heat pipes. This not only guarantees project quality and safety, but also improves construction efficiency, providing

收稿日期: 2020-12-22; 修回日期: 2021-02-19 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.03.024

基金项目: 贵州省地矿局地质科研项目“贵州岩溶区浅层地热能垂直地埋管施工技术应用研究”(编号: 黔地科合[2018]21号)、“贵州岩溶区浅层地热能钻进技术研究”(编号: 黔地科合[2019]14号)

作者简介: 陈浩, 男, 汉族, 1983年生, 钻探工程院院长, 高级工程师, 工程硕士, 从事钻探工程施工管理及技术研究工作, 贵州省遵义市红花岗区桃溪河畔喜来登商务中心1402, 184760608@qq.com。

通信作者: 王虎, 男, 满族, 1985年生, 钻探工程部主任工程师, 高级工程师, 探矿工程专业, 主要从事钻探技术及管理, 贵州省贵阳市观山湖区石林西路171号贵州地质科技园5号楼, 516775129@qq.com。

引用格式: 陈浩, 赵华宣, 贾玉川, 等. 贵州岩溶疏干区浅层地热能地埋管施工技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(3): 170-177.

CHEN Hao, ZHAO Huaxuan, JIA Yuchuan, et al. Placement of shallow geothermal heat pipes in the dewatered karst area of Guizhou province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3): 170-177.

construction experience for similar projects.

Key words: karst dewatered area; placement of underground heat pipes; eccentric DTH hammer drilling with simultaneous casing; DTH hammer drilling; RIH of the pipe with the auxiliary winch; shallow geothermal resource

0 引言

贵州省浅层地热能资源赋存量及开发潜力巨大,仅主要城市地表以下100 m深度内浅层地热能总热容量达 35.2×10^{13} kJ/°C^[1-2]。贵州浅层地热能勘查及开发起步较晚^[3-4],地埋管施工沿用复合片正循环回转或空气潜孔锤钻进、人工结合机械配重下管及原浆回填等相关工艺技术,适宜贵州绝大部分区域,也推动了浅层地热能的开发利用。

贵州属典型喀斯特地貌,碳酸盐岩地层占全省面积60%以上,浅表岩溶裂隙极为发育^[5-6]。局部区域在溶蚀、断裂构造及河流深切割作用下,岩溶裂隙(溶洞)发育、地下水位埋深大,地埋管埋置深度内无水,呈岩溶疏干区,地埋管施工面临浅表松散回填及岩溶软弱层成孔困难、全孔段无液面、潜孔锤钻进粉尘污染环境、溶洞跑管(PE管)等技术难题,沿用上述施工技术存在施工困难、效率低且工程进度、质量、安全难掌控的问题,需采取有效的技术措施以提高施工效率和质量及确保施工安全。本文通过贵州仁怀妇幼保健院浅层地温中央空调地埋管工程实例,介绍了厚度较大的松散软弱层采用偏心潜孔锤跟管钻进、潜孔锤钻进、不拆卸筒便除尘器除尘、提吊法下管等施工技术和成功经验,为同类地层地埋管施工提供借鉴和参考。

1 工程概况及地层特征

1.1 工程概况

贵州仁怀妇幼保健院浅层地温中央空调项目位于仁怀市盐津街道周林学校正西边约150 m、距盐津河250~500 m,高出盐津河面约200 m,为在建项目,房屋建筑面积55111.3 m²,地上4层、地下1层,采用地源热泵空调系统,供热、制冷面积46861.3 m²。地埋管系统沿建筑物周边场地分A~F总计6个区,设计钻孔690个,总延米82800 m。

1.2 地层特征

建设场地属扬子准地台黔北台隆遵义断拱凤冈北东向构造变形区,断裂构造发育。地埋管埋置区为新建开挖回填的场地,钻探揭露表层0.5~

4.0 m为回填及开挖破碎层,下伏地层为寒武系芙蓉统娄山关组白云岩,受溶蚀、袍桐坪断层及盐津河深切割作用^[7],浅层岩溶裂隙发育,局部软弱破碎(最深达22 m),下部溶蚀裂隙发育,A区沿地表溶洞与盐津河轴线90 m以深局部溶洞发育,地下水沿盐津河排泄,地埋管深度内无水,为岩溶疏干区,地埋管钻孔揭露地层及特征见表1。

表1 钻孔揭露地层及特征

Table 1 Strata characteristics revealed by drilling

层位	地层岩性特征	存在问题
表层	碎块石、砂土回填厚度0.5~2.0 m, BF区地下室剪力墙附近回填厚度2.5~4.0 m, 无胶结、无结构	孔壁垮塌掉块严重、厚度较大时成孔困难,需下管护壁
浅层	娄山关白云岩,岩溶裂隙极不发育,软弱破碎带多在0.5~5 m, BF区部分钻孔在8~22 m, 无水位	孔壁垮塌掉块严重、无快速护壁措施、成孔困难,需下管护壁
下伏地层	娄山关白云岩,岩溶发育呈间断裂隙(A区90 m以深局部溶洞发育),无水位。多见1~5 cm裂隙,少数钻孔见10~15 cm裂隙; A区5个钻孔在90~100 m间遇0.3~0.5 m溶洞,4个钻孔在110~115 m遇1.0~2.0 m溶洞	常规回转钻进,液体介质随钻遇岩溶裂隙流部溶洞发育,无水位。多见失全漏,不返屑,孔内余屑和沉渣多,安全风险大,成孔困难。从返屑利用和钻探安全考虑采用空气潜孔锤钻进工艺,但粉尘污染环境

2 施工要求及难点

2.1 施工要求

(1)技术要求:地埋管孔内“双U”PE连管,间距4 m×4 m,孔深120 m(有效孔深>100 m),钻孔直径>130 mm;下管前按规范试压检测PE管质量及充水带压下管;原浆回填密实,原浆不足采用5%的膨润土+细砂混合浆料回填。(2)工期要求及场地情况:工期3个月,含地埋管施工及水平管铺设。

2.2 施工难点

(1)钻孔数量多、工期紧、交叉作业多、费用低,施工应“短、频、快、省”。

(2)浅表松散和软弱岩溶破碎带,孔壁掉块垮塌严重、易孔斜、成孔困难。

(3)空气潜孔锤钻进粉尘污染环境。

(4)钻遇溶洞易导致下管时管道损伤或跑管(PE管),回填工序PE管需稳固。

3 钻探施工技术

钻孔结构和钻探工艺是地理管施工控制关键要素,其孔径、有效孔深及钻进效率直接影响地理管施工效率、质量和成本,施工中根据地层特征选取科学、合理、适宜的钻孔结构和钻进工艺。

3.1 钻孔结构

根据地理管孔径 >130 mm和浅表松散回填和软弱岩溶破碎带下管护壁需求,采用二开钻孔结构,护壁管孔段: $\text{O}180$ mm孔径开孔,进入稳定岩层 $1.0\sim 2.0$ m,下 $\text{O}168$ mm套管护壁;裸眼孔段: $\text{O}140$ mm孔径终孔。

3.2 浅表松散及软弱破碎层钻探技术

根据施工区域浅表地层松散、无胶结、全漏失特性及厚度和孔径等,施工中使用清水顶漏回转钻进、潜孔锤钻进、偏心潜孔锤跟管钻进,钻探工艺措施及效果见表2。

表2 浅表钻探工艺措施及效果

Table 2 Shallow drilling technology and results

钻探工艺	厚度/ m	钻速/ ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)	存在问题及措施效果
清水顶漏回转钻进(A区5个孔)	2~3	2.0~1.6	孔壁垮塌严重、易孔斜、钻速低、成本较高,需动力头送管、3 m以深需接短套管护壁及小径掏心,随深度增加困难增大、钻速降低,使用 $\text{O}168$ mm套管防斜钻具、不污染环境
	3~4	1.6~1.5	
	4~5	<1.5	
潜孔锤钻进	2~3	15~2	孔壁垮塌极严重、易孔斜、加杆困难、窜风对周边地层影响大,需动力头送管、3 m以深需接短套管护壁及小径掏心,随深度增加困难增大,存在粉尘污染、需注水除尘
	3~4	12~10	
	4~5	10~8.0	
偏心潜孔锤跟管钻进(B、F区)	2~3	12~10	增加空压机和偏心潜孔锤钻具,钻速高(同深度提高 $10\sim 7.1$ m/h),护壁管一步到位、效果好,避免孔壁垮塌诱发的安全风险
	3~4	10~9.1	
	4~9	9.1~7.7	
	10~22	7.6~7.0	

3.2.1 清水顶漏回转钻进

深度 2.5 m以浅松散软弱破碎层,动力头送套管能一次性到位护壁,采用不污染环境和成本较低的清水顶漏回转钻进工艺^[8], $\text{O}180$ mm孔径进入稳定岩层 $1.0\sim 2.0$ m,下 $\text{O}168$ mm套管护壁。钻探设备使用SL400/600型钻机和WQ30/120型泵,钻具组合为 $\text{O}180$ mm三翼复合片钻头+ $\text{O}168$ mm扶正器+ $\text{O}89$ mm钻杆。钻进参数:钻压 $6\sim 7$ kN,转速 $80\sim 100$ r/min,泵量 8.3 L/s。因钻进效率低施工5个钻孔停用,改用空气潜孔锤钻进。

3.2.2 空气潜孔锤钻进

深度 2.5 m以浅松散软弱破碎层,动力头送套管能一次性到位护壁,采用效率高、工艺简单、劳动强度小的空气潜孔锤钻进工艺^[9], $\text{O}180$ mm孔径进入稳定岩层 $1.0\sim 2.0$ m,下 $\text{O}168$ mm套管护壁。钻探设备使用SL400/600型钻机+空压机(1070XH、XHP1070、V90、寿力660型,2台钻机配1台空压

机),钻具组合为 $\text{O}180$ mm锤头+ $\text{O}170$ mm扶正器+SPMS60型潜孔锤($\text{O}152$ mm)+ $\text{O}89$ mm钻杆。钻进参数:钻压 $6\sim 8$ kN,转速 $25\sim 30$ r/min,风压 $1.0\sim 1.2$ MPa,风量 $18.6\sim 30.3$ m^3/min ,钻进时注水除尘。

3.2.3 偏心潜孔锤跟管钻进

深度 2.5 m以深松散软弱破碎层,常规工艺护壁管一次性到位困难至不能到位。使用护壁效果好、钻效高和防止孔壁垮塌的钻进工艺与下管护壁同步的偏心潜孔锤跟管钻进技术^[10-12],进入稳定岩层 $1.0\sim 2.0$ m,反转起出偏心潜孔锤钻具,套管留孔内护壁。钻探设备使用SL400/600型钻机+空压机(同空气潜孔锤),钻具组合为 $\text{O}140$ mm偏心潜孔锤头(偏心最大直径 190 mm)+SPM350/140/68型高风压潜孔锤(带 $\text{O}168$ mm套管)+ $\text{O}89$ mm钻杆。钻进参数:钻压 $8\sim 9$ kN,转速 $25\sim 30$ r/min,风压 $1.0\sim 1.2$ MPa,风量 $18.6\sim 30.3$ m^3/min ,钻进时注水

除尘。

3.3 稳定基岩地层钻探技术

3.3.1 钻探工艺

下伏娄山关组白云岩地层,岩溶裂隙发育、岩层稳定,A区9个钻孔90 m以深见0.3~0.5 m、1.0~

2.0 m溶洞,埋管埋置深度内无水,常规工艺液体冲洗介质随钻遇岩溶裂隙流失、岩屑不能排出、事故隐患大,采用空气潜孔锤正循环钻进工艺以降低成本、提高钻进效率和保证钻孔安全^[13-14],施工区钻进情况见表3。

表3 空气潜孔锤钻进情况
Table 3 Air DTH hammer drilling results

施工区域	孔段	风量/ (m ³ ·min ⁻¹)	上返 风速/ (m·s ⁻¹)	风压/ MPa	钻速/ (m·h ⁻¹)	成本/ (元·m ⁻¹)	孔况及钻进效率
A、B、F	岩溶裂隙发育段	30.3	32.8	1.6~1.8	30~32	60~63	孔内干净、钻速高,供风量大、风压高
	A区溶洞后续孔段			1.7~1.9	23~25	65~67	钻遇溶洞漏风后钻速有所下降、排屑正常
C、E	岩溶裂隙发育段	22.0	23.8	1.3~1.6	28~30	55~58	孔内干净、钻速高,供风量适中排屑较正常
D	岩溶裂隙发育段	18.6	20.15	1.2~1.5	25~28	55~58	钻速较高,风量偏小、排屑能力偏弱、孔内有余屑

注:(1)上返风速为理论计算值,未考虑裂隙、溶洞漏风影响;(2)钻探成本主要由直接人工费、燃油动力费、设备机具使用费、钻头费等费用组成。

3.3.2 设备机具配置

(1)钻探设备配置:使用SL400/600型钻机,空压机A、B、F区使用1070XH、XHP1070型,C、E区使用V90型,D区使用寿力660型,空压机与钻机配置1拖2。

(2)钻具组合:Ø140 mm锤头+SPML50型高压潜孔锤+Ø135 mm扶正器(钻杆加工)+Ø89 mm钻杆。

3.3.3 钻进效果

埋管施工孔径较小,1070XH、XHP1070型空压机供风量大,钻进风压高(油耗大),排屑干净,钻效高,能满足溶洞地层要求,但成本较高。V90型空压机供风量适中,钻效较高,成本较低。寿力660型空压机供风量偏小,钻进效率相对较低。

3.4 钻探技术措施

(1)防斜措施:浅表松散软弱破碎层易孔斜,清水顶漏回转钻进用Ø168 mm扶正器防斜,潜孔锤钻进用SPMS60型潜孔锤+Ø170 mm扶正器防斜,岩溶裂隙(溶洞)发育稳定岩层用Ø135 mm扶正器(钻杆加工)钻具防斜。

(2)偏心潜孔锤跟管钻进使用高强度套管(钢级42CrMo、壁厚10 mm),防冲击震动和转动挤压变形,反扣螺纹连接防跟管钻进时丝扣松脱。

(3)偏心潜孔锤跟管钻进反转回收起出偏心潜孔锤钻具前排渣2~3 min,待孔内清洁后再回收钻

头,反转不宜过猛,以免将钻具反脱在孔内。

(4)简便除尘器除尘:空气潜孔锤钻进常用的鼓风机负压捕尘、钻机立管设高压水喷嘴喷水除尘^[14]等除尘装置存在装拆繁琐费时或除尘不及时、不彻底等问题,不适宜地埋管“短、频、快”施工和环境除尘要求,现场根据护壁管规格和高压水喷嘴喷水除尘原理,制作“外管+内滤管+上下密封环+外通水管”简便除尘器(图1)。

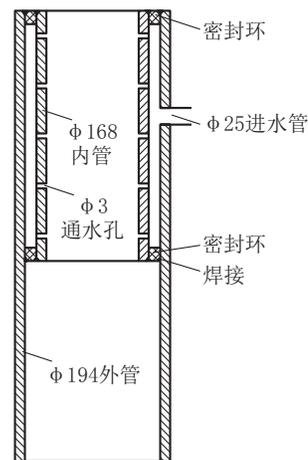


图1 简便除尘器

Fig.1 Simple dust arrester

在浅表层Ø168 mm护壁套管下好后,将简便除尘器罩在Ø168 mm护壁管上,开泵通水,压力水(0.3~0.4 MPa)从内管滤孔喷出,在内滤管处与返

出粉尘混合形成喷淋幕(图2),将钻进产生的粉尘清除,注水量根据钻进速度控制,以将钻进产生的粉尘完全除去为准,一般 $5\sim 7\text{ m}^3/\text{h}$ 。



图2 除尘效果

Fig.2 Dust removal effect

该简便除尘器安拆使用方便、快速,满足埋管快速成孔施工要求,除尘效果好,钻进无粉尘飞扬,在7台钻机同时施工时场外均无可视粉尘,施工2.5个月无粉尘污染投诉和环境影响事件。

(5)钻遇溶洞处理措施:埋管钻探施工钻遇溶洞若不处理会导致后续施工跑管(图3)、回填料及回填料质量不可控。100 m以浅钻遇溶洞,不满足钻深 $>100\text{ m}$ 要求,提钻去潜孔锤和防斜钻具,下钻杆至距溶洞底 $0.3\sim 0.5\text{ m}$,灌注M20水泥砂浆固结封堵溶洞,待强度满足后重新钻进。100 m以深钻遇溶洞,满足钻深 $>100\text{ m}$ 要求,固结封堵费时耗力极不经济,用止浆垫+圆木封隔溶洞。

(6)认真、详细记录钻进岩溶裂隙、溶洞情况,尤其是准确记录钻遇溶洞位置和深度,以及时采取措施处理。

4 下管技术

下管是埋管施工关键工序,其施工质量对地源热泵系统运行性能起至关重要作用^[15],施工中应进行埋管入孔前后的试压检测和根据地层特性使用适宜下管工艺,以确保入孔使用时管路不漏失、无破损及下管深度满足要求。

4.1 管道试压检测

埋管管道试压检测是确保埋管系统质量

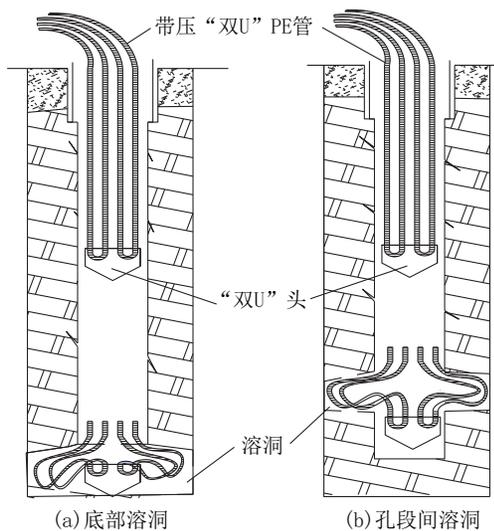


图3 溶洞跑管示意

Fig.3 Running tube in the cave

满足换热运行和寿命要求的重要工序,应严格按照设计和规范要求对埋管入孔前后作试压检测工作。

(1)下管前试压检测:埋管使用厂家定制成型的PE100级 $\text{O}32\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ “双U”管(长度130 m),下管前管道试压检测是检查其质量是否满足性能指标和运输中是否损伤的必须手段。在PE管与压力表热熔连接后,接洗车泵注清水加压,试验压力1.6 MPa,稳压15 min,压力降 $<0.1\text{ MPa}$ 及无渗漏为合格,带压0.4 MPa待用。

(2)回填前试压检测:埋管带压下到位(深度 $>100\text{ m}$)回填前,作管道严密性试压检测(下管过程是否损伤),接压力泵注清水加压至0.6 MPa,稳压60 min、压力降 $<0.02\text{ MPa}$ 为合格。

(3)水平连管前试压检测:水平连管开挖前,对回填埋管严密性试压检测,试验压力0.6 MPa,稳压8 h、压力降 $<0.02\text{ MPa}$ 为合格。

4.2 下管工艺技术

埋管较多使用人工下管、机械下管及重物下管工艺以克服孔内浆液浮阻力^[16]。在岩溶裂隙发育(局部溶洞)及孔内无液面、下管只有摩阻力和管、水自重(带压PE管质量 $>3.24\text{ kg/m}$)的岩溶疏干地层,易发生管道破损及跑管事故,造成经济损失和人员受伤的安全隐患。

人工下管到一定深度后下管速度难控制,PE管与孔壁快速摩擦和碰撞易导致管道破损,遇0.5 m以上未处理溶洞,柔性PE管失去孔壁束缚,易散开

向溶洞快速移动导致管道破损及跑管(图3)。施工初期A区发生2起跑管事故导致管道损失。施工中根据钻遇地层特性,采用提吊下管、提吊+支撑下管、控制下管速度和溶洞缚管的措施,有效地避免了跑管。

4.2.1 提吊下管

钻探施工未遇溶洞或100 m以浅溶洞已灌浆封堵钻孔,采用提吊法下管:将 $\text{O}6\text{ mm}$ 钢筋加工的外径 $\text{O}90\text{ mm}$ 保护环套在双U头锥形端,在保护环下面钻 $\text{O}8\text{ mm}$ 钢绳固定孔, $\text{O}6\text{ mm}$ 柔性钢绳从固定孔穿过,绕过保护环在双U头上端与提吊钢绳对中固定,利用钻机工具卷扬人工辅助送管,辅助提升装置匀速下放充水带压PE管,护壁管口套橡胶套防PE管破损(图4a),送管到位留不少于1.0 m的PE管作回填前试压检测,余管用于水平管连接,试压合格进入回填工序,不合格起出PE管、查明原因并解决后重新下入。

4.2.2 提吊、支撑下管

钻探施工中在100 m以深遇溶洞,其孔深满足埋管有效孔深 $>100\text{ m}$ 要求,采用提吊+支撑下管:用 $\text{O}130\text{ mm}$ 圆木(长度大于溶洞高度2.0 m以上),圆木上端面钉5~6层(厚度1 mm、外径 $>143\text{ mm}$)软橡胶止浆垫作支撑物,钻杆送支撑物入孔底以临时支撑和封隔溶洞,后用提吊下管法下入PE管,护壁管口套橡胶套防PE管破损(图4b)。

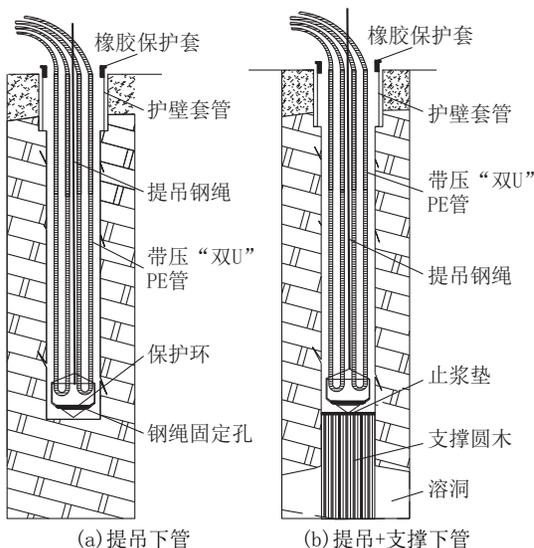


图4 下管施工

Fig.4 Placement of the pipe by lifting

5 回填技术

埋管回填是用低渗透率的材料充填埋管换热器(“双U”PE管)与钻孔壁环状空间,增强换热器与围岩换热和密封钻孔,其质量是保障埋管高效换热的关键环节,应根据地层特性使用适宜的回填材料和回填工艺措施。

5.1 回填材料

埋管回填较多使用钻孔碎屑、钻屑泥浆、膨润土回填料、吸水树脂、纯水泥浆、砂子和泥砂混合物等材料,使用膨润土基回填料、纯水泥浆基回填更利于环境保护和实际操作^[17]。下部遇局部溶洞钻孔,钻孔碎屑、钻屑泥浆、膨润土基回填料对PE管稳固性差,纯水泥浆基回填料流失大、成本高。本工程回填材料采用水泥砂浆+钻屑原浆:下部孔段回填水泥砂浆以减少流失固结充填裂隙(溶洞)和稳固PE管,上部孔段回填钻屑原浆。下部无溶洞钻孔采用钻屑原浆,原浆不足时采用“5%膨润土+细砂拌合”浆液。

5.2 回填工艺

埋管回填常采用插管机械灌注^[18],但在岩溶裂隙(局部溶洞)发育的疏干地层,插管机械灌注工艺存在浆液流失大、首次灌注量和灌注孔段不确定以及需反复多次回填充实等问题。本项目钻屑泥浆收缩率小,采用原浆沉淀+人工填砂,反复多次以确保填实。

5.3 回填施工

下管到位并试压合格后,将下管钢绳固定在钻孔周边地锚上防坠管,并采用麻绳绷紧直PE管固定,待回填至护壁管底起管时再收回钢绳和麻绳。

5.3.1 无溶洞钻孔回填

钻进施工无溶洞钻孔,采用钻屑原浆反复多次回填:将钻屑原浆或配置好的浆液从孔口缓慢灌入,每次4~6桶、间隔时间5~6 h至孔口满浆,后每2~3天检查一次,浆液沉淀密实过程中及时补填至满(图5a)。

5.3.2 遇溶洞钻孔回填

钻进施工下部遇溶洞及邻近其它钻孔,为防后续钻孔施工损坏PE管和支撑圆木损坏后PE管下坠,下部不少于30 m孔段用水泥砂浆回填,水泥砂浆现场机械拌置,用32.5级,砂为潜孔锤钻进钻屑,配合比参考M20水泥砂浆为水:水泥(32.5级):砂=0.9:1:3,从孔口灌入 0.55 m^3 水泥砂浆($\text{O}140\text{ mm}$

孔径30 m孔段容量的120%)。待水泥砂浆灌注1天后再用原浆回填方法回填上部孔段(图5b)。

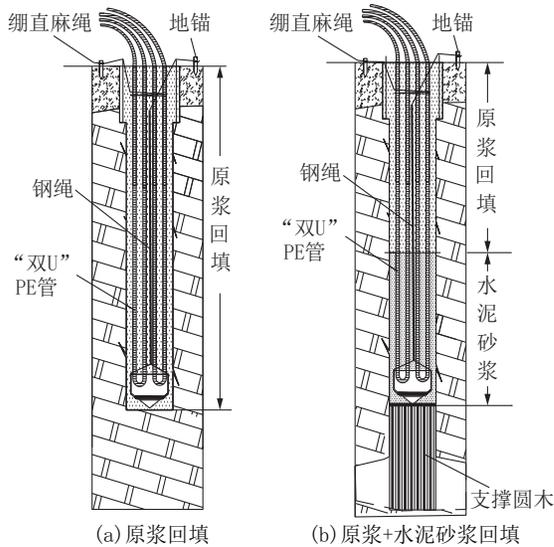


图5 回填施工

Fig.5 Backfilling

6 施工效果

(1)用时2.5个月完成653个钻孔,总延米81182 m,除施工初期因不熟悉疏干地层及下部局部溶洞特性,措施失当发生2起跑管事故外,未再发生跑管事故。

(2)热响应测试数据:导热系数达 $2.99\sim 3.0\text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$,容积比热容 $(2.15\sim 2.91)\times 10^6\text{ J}/(\text{m}^3\cdot^{\circ}\text{C})$,夏季(28°C)延米换热量 $49.71\sim 51.68\text{ W}/\text{m}$,冬季(6°C)延米换热量 $52.64\sim 54.7\text{ W}/\text{m}$,达到设计目的,换热节能效果良好。

(3)厚度较大的松散破碎浅表层采用偏心潜孔锤跟管钻进实现钻进与护壁下管同步,防止孔壁垮塌效果好、钻进效率高。

(4)稳定基岩地层采用空气潜孔锤钻进效率高,无溶洞地层钻速 $25\sim 32\text{ m}/\text{h}$ 、遇溶洞漏风钻速 $23\sim 25\text{ m}/\text{h}$ 。避免常规工艺液体冲洗介质钻进全漏、岩屑不能排出的埋钻风险。除尘使用的简便除尘器加工方便,安拆快速,满足埋管快速成孔施工要求,除尘效果好,钻进无粉尘飞扬,施工2.5个月无粉尘污染投诉和环境影响事件。

(5)下部钻遇溶洞时采取固结封堵和圆木支撑封隔措施,避免下管跑管和减少回填料用量,保证工程质量和提高施工效率。

7 结语

(1)贵州浅层地热能资源丰富,开采开发潜力巨大,但碳酸盐岩分布广,浅表岩溶裂隙极为发育,局部区域在溶蚀和断裂构造及河流深切割影响下,溶洞发育,地下水位埋深大。在埋管施工中应根据地层特性采取合理和行之有效的技术措施以提高施工效率和确保工程质量。

(2)岩溶裂隙(溶洞)发育地层埋管施工,应认真、详细记录钻进岩溶裂隙、溶洞情况,尤其是准确记录钻遇溶洞位置和深度并及时采取措施处理。

(3)厚度较大的松散破碎浅表层偏心潜孔锤跟管钻进护壁效果好,钻效高,可有效避免孔壁垮塌引发的复杂情况发生。

(4)溶洞发育的稳定基岩地层宜采用带扶正器的防斜组合钻具防斜,有效深度以浅钻遇溶洞采用水泥砂浆固结封堵,有效孔深以深钻遇溶洞采用止浆垫+圆木封隔以减少回填料用量和确保回填质量。

参考文献(References):

- [1] 于德福,丁丁. 贵州浅层地热能探采大有可为[N]. 中国国土资源报, 2016-12-12.
YU Defu, DING Ding. Shallow geothermal energy exploration and production in Guizhou is promising[N]. China Land and Resources Daily, 2016-12-12.
- [2] 宋小庆. 贵州主要城市浅层地热能利用潜力评价[J]. 中国岩溶, 2018, 37(1): 9-16.
SONG Xiaoqing. Evaluation on utilization potential of shallow geothermal energy in main cities of Guizhou [J]. Carsologica Sinica, 2018, 37(1): 9-16.
- [3] 段启彬, 孟凡涛, 宋小庆, 等. 贵阳市浅层地温能开发利用现状及发展利用前景[J]. 地下水, 2013, 35(1): 44, 58.
DUAN Qibin, MENG Fantao, SONG Xiaoqing, et al. Development and utilization of shallow geothermal energy in Guiyang [J]. Underground Water, 2013, 35(1): 44, 58.
- [4] 冉宇进, 张浩. 浅层地热能资源调查及开发利用研究[J]. 冶金与材料, 2018, 38(5): 1-2.
RAN Yujin, ZHANG Hao. Shallow geothermal energy resources investigation and utilization research [J]. Metallurgy and Materials, 2018, 38(5): 1-2.
- [5] 李宗发. 贵州喀斯特地貌分布[J]. 城市地质, 2016, 11(3): 49-53.
LI Zongfa. Distribution of karst in Guizhou [J]. Urban Geology, 2016, 11(3): 49-53.
- [6] 赵华宣, 李强, 陈涛, 等. 贵州碳酸盐岩地层地热深井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44

- (2):37-42.
- ZHAO Huaxuan, LI Qiang, CHEN Tao, et al. Research and application of air DTH hammer drilling technology for deep geothermal well in Guizhou carbonate formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(2): 37-42.
- [7] 汤自华,田小林,尹陈,等.袍桐坪断层对地下水控制作用分析[J].西部探矿工程,2020,32(7):153-156.
- TANG Zihua, TIAN Xiaolin, YIN Chen, et al. Control action of Paotongping Fault on groundwater[J]. West-China Exploration Engineering, 2020, 32(7): 153-156.
- [8] 陈涛,赵华宣,陈浩,纳雍县董地乡地热勘查DR1井钻井施工技术[J].西部探矿工程,2019,31(4):65-68.
- CHEN Tao, ZHAO Huaxuan, CHEN Hao. DR1 well drilling technology for geothermal exploration in Dongdi, Nayong county [J]. West-China Exploration Engineering, 2019, 31(4): 65-68.
- [9] 卢予北,王建华,陈莹,等.空气潜孔锤在松散地层中的钻进试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):9-11,27.
- LU Yubei, WANG Jianhua, CHEN Ying, et al. Drilling tests in loose formation with air DTH hammer [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(7): 9-11, 27.
- [10] 严君凤.潜孔锤跟管钻进技术在应急抢险中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):84-87.
- YAN Junfeng. Application of DTH drilling with casing technology in emergency rescue [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(7): 84-87.
- [11] 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.
- [12] 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[J].城市地质,2014,9(4):93-96.
- JIANG Jian, MENG Shan, DONG Dianwei, et al. Application of pneumatic DTH hammer drilling with casing technology in underground pipe drilling engineering in bedrock area [J]. Urban Geology, 2014, 9(4): 93-96.
- [13] 何文君,向贤礼,李勇刚,等.地埋管地源热泵技术在贵州岩溶地区的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):62-65.
- HE Wenjun, XIANG Xianli, LI Yonggang, et al. Application research on buried ground-source heat pump technology in karst area of Guizhou [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(8): 62-65.
- [14] 谭臣义,李营营.浅谈空气钻井施工技术[J].中国新技术新产品,2011(3):142.
- TAN Chenyi, LI Yingying. Talking about the construction technology of air drilling [J]. China New Technologies and New Products, 2011(3): 142.
- [15] 杨建强.地源热泵地埋管换热系统施工技术探究[J].Crectte Living, 2018(12):145-147.
- YANG Jianqiang. Study on construction technology of ground heat exchanger system of ground source heat pump [J]. Residence, 2018(12): 145-147.
- [16] 刘文正,王伟,耿靖功,等.地源热泵埋管施工技术[J].建筑施工,2012,34(1):70-74.
- LIU Wenzheng, WANG Wei, GENG Jingong, et al. Construction technology of GSHP pipe-laying [J]. Building Construction, 2012, 34(1): 70-74.
- [17] 杨灵艳,徐伟,周涛,等.土壤地源热泵竖直地埋管换热器回灌施工工艺技术要求[J].建筑技术开发,2016,43(4):25-27.
- YANG Lingyan, XU Wei, ZHOU Tao, et al. Grouting requirements of vertical tube of soil source heat pump [J]. Building Technique Development, 2016, 43(4): 25-27.
- [18] 黄炜,张文柳.竖直地埋管地源热泵施工中的若干问题探讨[J].暖通空调,2013,43(1):66-69,65.
- HUANG Wei, ZHANG Wenliu. Problems in construction of vertical pipe ground-source heat pumps [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2013, 43(1): 66-69, 65.

(编辑 周红军)