

文章编号: 1671-6612 (2025) 01-121-06

建筑筏板基础下地源热泵系统应用分析

高朋 李永祥 甄璐莹 李俊岩 孙鹏飞 辛立明 王玉超

(北京市勘察设计研究院有限公司 北京 100038)

【摘要】 根据实际工程项目,从地质条件、建筑结构和埋管布置形式等方面对建筑筏板基础下地源热泵应用特性进行总结,建筑筏板基础下地源热泵系统实施前应着重考虑工程地质条件,在卵石或砂土地层可增加泥浆稠度,提高钻孔的自稳性;在地下水丰富地区需测算地下水水位或承压水头,必要时采取有效水位控制措施;地源热泵系统实施时应与建筑下返结构、建筑桩基持有一定安全距离,加强水平沟回填质量管控,减小地基扰动;同时根据基坑支护形式、检查井位置,合理选择埋管布置形式,优先选用少焊点埋管连接方式,提高施工质量,降低焊点渗漏风险。

【关键词】 地源热泵;埋管系统;建筑基础;建筑筏板

中图分类号 TK11 文献标志码 A

Analysis of the Application of Ground Heat Pump Systems Beneath Building Raft Foundations

Gao Peng Li Yongxiang Zhen Luying Li Junyan Sun Pengfei Xin Liming Wang Yuchao

(Beijing Geotechnical Institute, Beijing, 100038)

【Abstract】 Based on actual engineering projects, this paper summarizes the application characteristics of ground source heat pumps under building raft foundations from aspects such as geological conditions, building structure, and buried pipe layout. before implementing the ground source heat pump system under building raft foundations, special consideration should be given to engineering geological conditions. in pebble or sandy soil layers, the consistency of the slurry can be increased to improve the self-stability of the borehole; in areas with abundant groundwater, it is necessary to measure the groundwater level or artesian head and take effective water level control measures if necessary. when implementing the ground source heat pump system, a certain safe distance should be maintained from the building's substructure and pile foundation, and the quality control of horizontal trench backfilling should be strengthened to reduce foundation disturbance. at the same time, according to the form of foundation pit support and the location of inspection wells, the layout form of buried pipes should be reasonably selected, and the connection method of buried pipes with fewer welding points should be preferred to improve construction quality and reduce the risk of welding point leakage. Compared with conventional systems.

【Keywords】 Ground heat pump; Ground loop system; Building foundation; Building raft foundations

0 引言

在国家节能双碳的背景下,地源热泵作为可再生能源技术,在建筑供冷和供暖中逐步在推广应用,然而当前建筑用地往往较为紧张,实际工程中常不具备足够的埋管孔布孔区域,为此,埋管换

热器布置于建筑基坑筏板下的工程应用逐渐增多。茅靳丰等人^[1]对地源热泵在地下工程的应用前景进行研究分析;童仙敏等人^[2]结合实际工程项目对流塑状淤泥质软土地基下地源热泵施工技术进行总结;陈剑亮等人^[3]以上海浦江国际金融广场项目

为例，对临江区域承压水环境、复杂深基坑地质环境下，地源热泵埋管施工关键技术进行分析；高鹏等人^[4]结合实际工程对建筑基础下地埋管钻孔设计及施工工艺进行研讨；高朋等人^[5]对基坑内地埋管换热系统不同水平集管排布方式的热干扰程度及影响进行分析；齐志安等人^[6]结合实际工程项目，对基坑内地源热泵实施时发生的涌水事件原因及处理方式进行总结；鲍超等人^[7]针对不同规划条件、场地条件及建筑物基础形式提出多种地埋管系统连接工艺进行归纳总结。

综上所述，建筑筏板基础下地源热泵系统受地质条件和建筑结构等因素影响较大，不同于常规地源热泵系统，为此本文结合近年实际工程为例，对建筑筏板基础下地源热泵应用进行总结，旨在对建筑筏板基础下地源热泵系统应用提供参考。

1 不同地质条件下地源热泵系统应用

相对于常规地源热泵系统，建筑筏板基础下地源热泵系统在建筑基坑开挖后进行实施，其工程地质条件和水文地质条件对地源热泵系统实施影响较为重要。

1.1 工程地质条件

建筑筏板基础下地源热泵系统在建筑基坑槽底进行施工(槽底一般预留 300mm~500mm 覆土)，其应用工艺和基底地层相关性较大。

以北京通州某项目为例，基坑基底设计标高为-10.60m，预留 300mm 覆土层，钻孔深度 150m，基底附近地层主要为新近沉积层细砂、粉砂④1层，下覆地层为细砂、中砂④层和中砂、细砂⑤层，深部地层以巨厚砂土层为主^[1]，如图 1 所示。该巨厚砂土层在钻进成孔过程中自成泥浆胶体率极低，护壁和排渣能力差，常规地源热泵施工工艺存在孔壁坍塌、孔底沉渣过厚等问题，需对泥浆的护壁性能进行重点控制。为此本项目采用优质纳土和羧甲基纤维素（CMC）配制泥浆，并钻进过程中检查泥浆性能，确保巨厚砂土层泥浆护壁稳定，同时确保浆液置换出孔底含砂量较大的泥浆。在地源热泵实施期间，也采用了泥浆沟敷设塑料布方式进行基底保护，如图 2 所示。

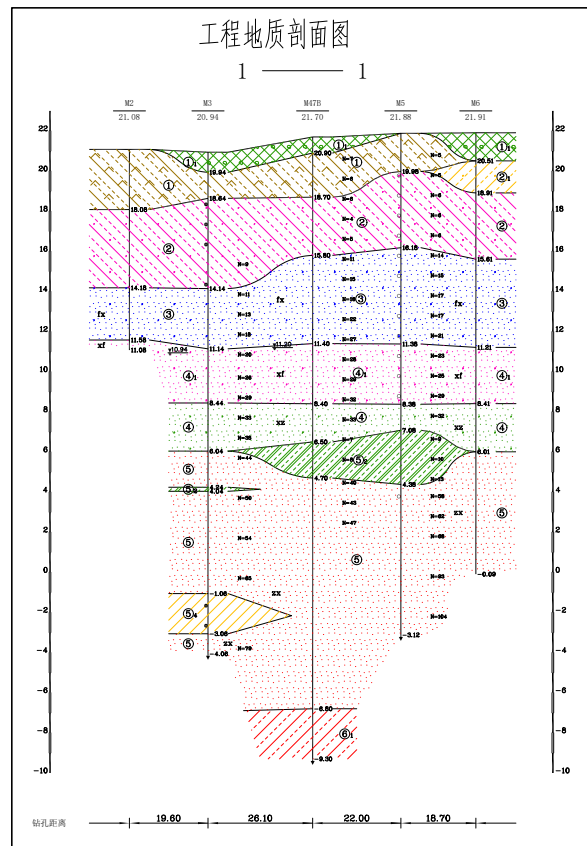


图 1 工程地质剖面图

Fig.1 Engineering geological profile map



图 2 泥浆沟敷设塑料布

Fig.2 Laying plastic cloth in mud ditch

又以北京丰台区某项目为例，基坑基底设计标高为-20.5m，钻孔深度 150m，基底为卵石及砂土层，在该类地层钻进成孔过程中卵石、砂土的自稳能力差，易发生孔壁坍塌或涌砂的问题，为此本项目泥浆性能进行调控，增加泥浆粘稠度和护壁性能。同时该类地层钻进过程在卵石层采用牙轮钻头，在砂土层采用三翼钻头^[2]。



图 3 基坑地质条件

Fig.3 Geological condition of foundation pit

再以北京大兴区某项目为例, 基坑基底设计标高为-11.52m, 钻孔深度 150m。地源热泵在个别区域钻进 130m 后, 其漏浆严重, 难以钻进。经查地质资料, 其工程附近存有活动断裂带。



图 4 项目附近断裂带

Fig.4 Fault zone near the project

1.2 水文地质条件

相比于常规地源热泵系统, 建筑筏板基础下地源热泵实施作业面较深, 与该地区的潜水层(或承压水层)水位接近, 项目所在地的水文地质条件对地源热泵系统的钻孔施工和水平管施工均有影响。

以北京通州某项目为例, 基坑坑底设计标高为-15.3m, 地源热泵施工作业面为-16.3m。该地区地下水层较多, 地源热泵钻井实施时需穿越多层承压水, 且⑤层承压水水头较高(10.2m)^[3], 地源热泵在试钻过程中涌水较为严重。针对此问题, 钻进前, 通过调换原有基坑疏干井水泵, 增大疏干井的降水量; 钻进时, 采添膨润土进行调浆, 增加循环浆液的黏稠度和比重; 钻进下管后, 及时采用“水泥+水玻璃”进行封堵, 以此解决钻孔时涌水问题^[4]。

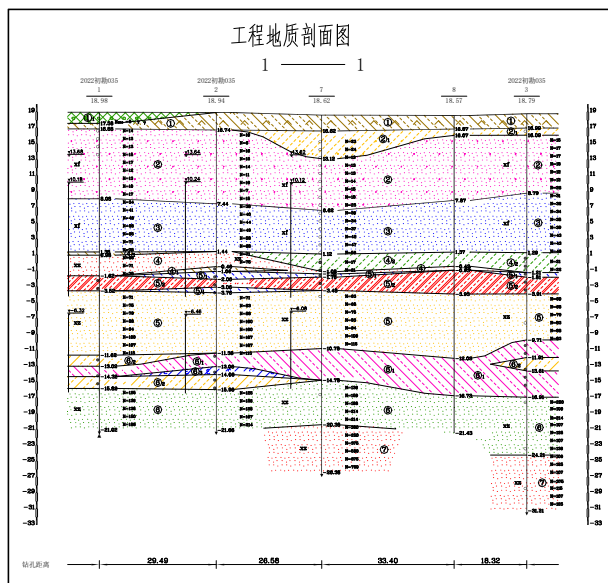


图 5 工程地质剖面图

Fig.5 Engineering geological profile map

综上所述, 建筑筏板基础下地源热泵系统实施时应开展工程地质调研, 在卵石或砂土地层可增加泥浆稠度, 提高钻孔的自稳性; 在地下水丰富地区需测算地下水水位或承压水头, 必要时采取有效水位控制措施, 避免出现钻孔涌水。

2 不同建筑结构下地源热泵应用

2.1 建筑结构

建筑的承台、集水井、电梯井等结构常为下反形式, 其设计标高低于建筑物筏板, 建筑筏板下地源热泵系统应对其充分考虑, 地埋孔位和水平管布置应进行躲避, 同时还应考虑建筑下返结构在开挖、放坡的影响范围, 地埋孔位和水平管的布置对其应持有一定距离。

2.2 桩基结构

建筑地基常采用桩基础, 如: CFG 桩、抗浮锚杆等。建筑筏板基础下地源热泵系统应用时应确保换地埋孔位、水平管管线与桩基具有一定距离。一方面避免实际工程中因测量误差、钻进垂直误差等因素引起施工碰撞; 另一方面避免因钻机钻进施工引起对工程桩周围土壤扰动, 进而对桩基的承载力或抗拔力产生影响。建筑筏板基础下地源热泵实施时还应做好与桩基单位的交叉施工, 以及成品保护工作。



图 6 地源热泵与抗浮锚杆交叉区域

Fig.6 Cross area between GSHP and anti-floating anchor



图 7 地源热泵与工程桩交叉区域

Fig.7 Ground source heat pump and engineering pile cross area

建筑筏板基础下地源热泵系统水平沟回填要求不同于常规地源地源热泵系统，其结构专业对水平管沟回填的密实度和承载力有更高的要求。根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012)中换填垫层的相关要求，建筑筏板基础下地埋管水平管沟可采取中粗砂或级配砂石进行回填，其压实系数应满足设计要求，并通过环刀取样法和灌砂法进行检测。



图 8 基坑内水平沟回填环刀取样

Fig.8 Horizontal trench backfill ring knife sampling in foundation pit



图 9 基坑内水平沟级配砂石回填

Fig.9 Gradation sand and gravel backfill in foundation pit

综上所述，建筑筏板基础下地源热泵系统实施时应与建筑下返结构、建筑桩基持有一定安全距离，且应加强水平沟回填质量管控，减小地基扰动。

3 不同埋管布置形式

3.1 不同埋管连接方式

相比于常规地源热泵系统，建筑筏板基础下地源热泵系统后期不具备检修性，降低埋管焊接带来的渗漏风险，则是建筑筏板基础下地源热泵应用管控重点。当前建筑筏板基础下埋管主要连接形式如下。

(1) 常规埋管连接方式：采用与地上常规埋管相同形式，将建筑筏板基础下埋孔分组相连，汇成集管后再引至对应的分集水器或机房内^[5-7]。

(2) 无焊点埋管连接方式：由换热孔内至检查井分集水器之间的管道，采用一体成型的管材，保证每个回路的管道无接头，减少埋管焊接带来的渗漏风险。但在实施过程中埋管敷设量大，施工难度大，成本高，且存在系统水力平衡问题^[8]。

(3) 少焊点埋管连接方式：通常采用将 1 个或 2 个换热孔的埋管汇总成集管后，再引至对应的分集水器。此种连接方式介于上述两种方式之间，相对减少了埋管焊点。

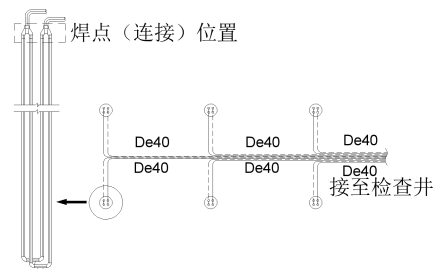


图 10 少焊点埋管连接方式

Fig.10 The connection method for buried pipes with few welding points

相对而言,少焊点埋管连接方式既可有效降低埋管焊点,规避渗漏风险,同时施工难度和施工成本相对较低。

3.2 不同埋管至检查井形式

建筑筏板基础下地源热泵系统水平埋管实施完后,需爬升处基坑,连接至建筑外(或内)检查井,根据建筑结构、基坑支护形式和检查井位置,建筑筏板基础下埋管连接至检查井形式如下:

3.2.1 检查井位于建筑外

当地源热泵检查井位于建筑外时,建筑筏板基础下埋管可根据基坑支护形式,利用基坑肥槽间隙,将埋管爬升出基坑后,连接至建筑外检查井,具体为:

(1) 当基坑支护形式为支护桩时,埋管沿基坑垂直壁相邻两护坡桩与横梁间的空隙进行敷设,并采用软扎带将埋管固定于护坡桩冠梁的槽钢处。

(2) 建筑基坑支护形式为土钉墙时,埋管可沿土钉墙进行敷设,并设置支架对埋管进行固定。

3.2.2 检查井位于建筑内

当地源热泵检查井位于建筑内时,建筑筏板基础下埋管穿建筑入户,并与分集水器相连,埋管穿建筑入户段可以分为下穿底建筑筏板和侧穿

建筑外墙两种形式。埋管穿建筑时应加设防水构件或防水套管,着重做好埋管入户处的防水处理。



图 11 非集式管埋管沿支护桩敷设

Fig.11 Non centralized buried pipes laid along support piles



图 12 非集式管埋管侧穿井室敷设

Fig.12 Non centralized buried pipes laid Side through well chamber

表 1 检查井埋管敷设形式实施要点

Table 1 The key points for implementing the buried pipe layout form of inspection wells

敷设形式	实施要点
埋管沿支护桩或土钉墙敷设	此种方式水平管段施工完成后需沿土钉墙或支护桩爬升至基坑外,水平管段多,工作量大
埋管穿底板式	此种方式穿底板管道垂直敷设时,采用保护套管进行包裹,需做好构件的防水工作
埋管侧穿外墙式	此种方式水平管侧穿地下室夹层防水套管入户,需保证防水套管的封堵质量

综上所述,建筑筏板基础下地源热泵系统埋管连接方式可优先选用少焊点连接方式,并根据检查井位置、基坑支护形式等因素确定埋管至检查井形式。

4 结论

针对建筑筏板基础下地源热泵系统实际项目应用特点,从地质条件、建筑结构和埋管布置形式等几方面进行总结分析,其主要结论如下:

(1) 地源热泵系统实施前应着重考虑地质条

件,在卵石或砂土地层可增加泥浆稠度,提高钻孔的自稳性;在地下水丰富地区测算地下水水位或承压水头,必要时采取有效控制措施。

(2) 地源热泵系统实施时应考虑建筑结构、建筑桩基等因素,埋管及水平管应与建筑下返结构、建筑桩基持有一定安全距离,且应加强水平沟回填质量管控,减小地基扰动。

(3) 地源热泵系统实施时应根据基坑支护形式、检查井位置,合理选择埋管布置形式,可优先选用少焊点埋管连接方式。

参考文献:

- [1] 茅新丰,潘登,耿世彬,等.地源热泵在地下工程的应用研究与展望[J].地下空间与工程学报,2015,11(S1):252-256.
- [2] 童仙敏.深基坑软土地基地源热泵直埋式换热管施工技术[J].施工技术,2014,43(1):64-66.
- [3] 陈剑亮.临江软基承压水环境下超深基坑的地源热泵埋管施工关键技术[J].建筑施工,2016,38(5):607-609.
- [4] 高鹏,刁乃仁,石磊.建筑基础下埋管钻孔设计施工探析[J].制冷与空调,2017,31(3):276-280,285.
- [5] 高朋,刘启明,魏俊辉,等.基坑内埋管换热系统水平集管热干扰模拟分析[J].建筑节能,2019,47(2):21-25.
- [6] 齐志安.基坑内地源热泵埋管换热孔管涌处理的研究[J].建筑技术开发,2020,47(24):131-133.
- [7] 鲍超,魏俊辉,褚赛,等.布置于建筑下的地源热泵埋管系统连接工艺研究[J].暖通空调,2021,51(S2):376-382.
- [8] 北京市勘察设计研究院有限公司.北京城市副中心职工周转房(北区)项目 11 号地块岩土工程勘察报告[R].北京,2017.
- [9] 明达海洋工程有限公司.丽泽金融商务区数字金融科技示范园项目岩土工程勘察报告[R].北京,2023.
- [10] 北京市勘察设计研究院有限公司.北京市通州经济开发区西区南扩区三、五、六期棚户区改造项目 FZX-1102-6002 地块 F3 其他类多功能用地项目岩土工程勘察报告[R].北京,2022.
- [11] 张志尧,鲍超,王珏,等.布置于地上的地源热泵埋管系统连接工艺研究[J].暖通空调,2021,51(S2):370-375.
- [12] 辛立明,高朋,王玉超,等.埋管地源热泵系统水平集管连管方式的研究[J].制冷与空调,2022,36(3):517-522.

(上接第 88 页) 建议开展实地测评、现状调研与能源利用规划、零碳建筑技术研究和新型能源系统研究,制定配套政策和标准,全面推动川西高原能源结构转型和可持续发展。

参考文献:

- [1] 孙延勋.关于我国采暖分区问题的历史回顾[J].暖通空调,2014,(6):1-6.
- [2] 张镔铨,李炳元,郑度.论青藏高原范围与面积[J].地理研究,2002,21(1):1-8.
- [3] 四川省统计局.国家统计局四川调查总队.四川统计年鉴 2023[M].北京:中国统计出版社,2023.
- [4] GB50176-2016,民用建筑热工设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016:63-64.
- [5] 刘国丹.无症状高原反应域低气压环境下人体热舒适研究[D].陕西:西安建筑科技大学,2008.
- [6] 姚凌云.生态安全屏障建设下的西藏能源发展问题探讨[J].西藏发展论坛,2013,(2):25-30.
- [7] 中国气象局风能太阳能中心.中国风能太阳能资源年景公报[R/OL].(2024-02-22)[2024-08-09]. https://www.cma.gov.cn/zfxgk/gknr/qxbg/202402/t20240222_6082082.html.
- [8] 钱江澎,谭超,袁伟,等.四川省地热资源特征及开发潜力[M].北京:科学出版社,2024.