

The analysis of Different Factors on Vertical U - tube Heat Exchanger

Gang Liu¹, Honglin Zhang², Bo Tang¹, Shibao Zhu¹

¹Chongqing Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development Nanjiang Hydrogeology and Engineering Geological Team, Chongqing, China

²Chongqing Jiaotong University, Chongqing, China

Abstract: The effect of different thermal conductivity, inlet flow velocity, inlet water temperature and well depth on the heat transfer of ground source heat pump system was analyzed by establishing U - tube single tube model. It is concluded that the increase of thermal conductivity will increase the heat transfer coefficient of ground source heat pump, The increase of the inlet flow rate of the buried pipe will increase the heat exchange of the unit pipe and so on, which provides a reference for the practical application in the future.

Keywords: ground source heat pump; buried pipe; heat transfer coefficient

不同因素对垂直 U 型埋管换热器的影响分析

刘刚¹, 张洪林², 唐波¹, 朱世保¹

¹重庆市地质矿产勘查开发局南江水文地质工程地质队, 重庆, 401174, 中国

²重庆交通大学, 重庆, 400074, 中国

摘要: 通过建立 U 型地埋管单管模型, 分析不同导热系数、进口流速、进口水温以及井深对地源热泵系统换热量的影响, 得出了导热系数的增加会增强地源热泵的换热系数, 埋管进口流速的增加会增加单位埋管换热量等结论, 为今后工程实际应用提供了参考依据。本电子文档定义了由香港新世纪文化出版社 (HKNCPP) 出版的各种中文学术会议论文集的标准文章格式。

关键词: 地源热泵; 地埋管; 换热系数模板

1 引言

地源热泵具有节能、环保的特点, 其优势很明显, 随着不可再生资源的利用消耗, 对于地源热泵, 国家越来越重视。但是, 整体来说, 地源热泵的应用及发展还是比较缓慢, 究其原因, 最重要的就是缺乏较为准确的工程设计参数, 没有成熟的技术, 达不到性能高效又节省投资的要求[1]。当前最常用的是垂直 U 型埋管换热器,

其结构示意图如图 1, U 型地埋管换热器的换热性能受许多因素影响, 如土壤物性参数、管内流速、钻井深度、水温以及管间距等等, 它是一个比较复杂的换热过程[2]。因此对土壤与埋管换热器之间的换热性能的研究有很重要的意义。

本文通过建立单管换热器模型, 模拟不同因素对地源热泵换热性能的影响状况, 得出的结论为地源热泵的应用及长期开发提供了依据, 为工程实际应用提供了参考。

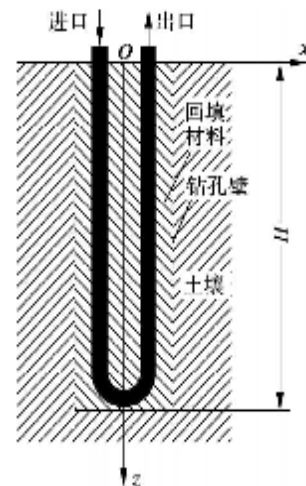


Figure 1. Vertical U-Tube Heat Exchanger Structure Diagram.

图 1. 垂直 U 型埋管换热器结构示意图

2 物理模型

2.1 对传热模型做出如下假设

- l 考虑到该模型是关于面 XY 对称的，因此在数值模拟中计算区域只取整个模型的一半；
- l 土壤与回填土均为固体连续性介质，不考虑土壤中水分对换热的影响；
- l 各点材料的热物性均为常数，且各点处均相同；
- l 忽略 U 型管管壁与回填材料之间和钻孔与土壤之间的接触热阻；
- l 忽略大气温度波动对土壤温度的影响，认为土壤温度为恒定的。

2.2 模拟初始条件

选取砂岩、泥岩、灰岩三种岩层，其平均导热率为 $1.90\text{W/m}\cdot\text{K}$ 、 $2.23\text{W/m}\cdot\text{K}$ 、 $2.93\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，进口流速分别选取 1.2m/s 、 1m/s 、 0.8m/s 、 0.6m/s 、 0.4m/s 、 0.3m/s 、 0.25m/s 、 0.2m/s 、 0.12m/s ，埋管进口水温根据实验室设置情况分别为 2°C 、 4°C 、 6°C 、 8°C 和 10°C ，钻孔深度为 40m 、 60m 、 80m 和 90m [3-4]。

3 数值模拟结果与分析

3.1 冬季工况连续运行 48 小时换热量的变化

图 2 是不同导热系数出口温度随运行时间的变化图，从图 2 可看出，埋管出口温度随时间的推移呈现下降趋势，不同导热系数也呈现下降趋势，而且这种下降趋势越来越慢，原因是随着机组运行，土壤温度降低，温差变小，导致换热量减小，出口温度变低。另外，从图中可以看出，随着机组不断运行，不同土壤导热系数下出口温度出现了差距，导热系数越高，出口温度越大，说明土壤导热系数较高时，U 型地埋管换热效率会比较高，有利于地源热泵系统的运行。

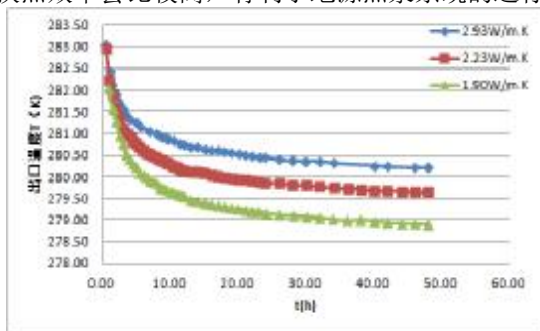


Figure 2. Different Thermal Conductivity Outlet Temperature Changes With the Running Time.

图 2. 不同导热系数出口温度随运行时间的变化

3.2 埋管进口水温和进口流速对 U 型埋管与土壤间换热性能的影响

图 3 为井深 60m 不同流速下单位管长换热量随进口水温的变化图，由图可知，随着流速的变化，单位管长换热量随进口温度的变化趋势一致，在冬季运行工况下，随着进口水温的升高，单位管长换热量呈现下降趋势，进口流速越大，单位管长换热量越小，因此可得出结论，在冬季工况下运行，进口流速越大，进口水温越低，有利于垂直 U 型管的换热，增强 U 型地埋管与土壤之间的换热。当流速为 0.4m/s ，进口水温为 2°C 时，单位管长换热量为 19.8w/m ，当进口水温上升到 4°C 的时候，单位管长换热量为 17.6w/m ，当进口水温为 10°C 时，单位管长换热量下降到 9.3w/m ，不及进口水温为 2°C 时单位管长换热量的一半，显而易见，当进口水温较高时，大大减弱了 U 型地埋管的单位管长换热量，从而减弱地源热泵的运行效率，不利于地源热泵的应用与推广。同理，在夏季工况下，增大土壤与进口水温的温差，及增大进口水温，可以显著提高 U 型地埋管的单位管长换热量，提高地源热泵的运行效率。

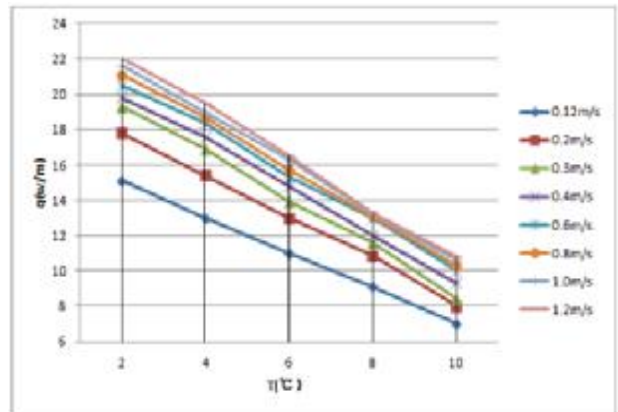


Figure 3. Variation Of Heat Transfer Per Unit Tube Length With Inlet Water Temperature at Different Depths of 60m.

图 3. 井深 60m 不同流速下单位管长换热量随进口水温的变化

图 4 为井深 60m 不同水温下单位管长换热量随流速的变化图，由图可知，图中曲线的变化趋势基本一致，在不同进口水温下单位管长换热量随流速的增大呈现增长趋势，开始的时候变化幅度比较大，随着流速的增加，曲线的斜率逐渐降低，即单位管长换热量的增长幅度逐渐变小。井深为 60m ，进口温度为 6°C [5]，流速为 0.12m/s ，单位管长换热量为 10.8w/m ，当

流速增加到 0.2m/s 时，单位管长换热量增长到 12.6w/m，增长了 1.6w/m，而从流速 0.4m/s 到流速 0.6m/s，U 型地埋管单位管长换热量从 14.55w/m 增加到 15w/m，增幅只有 0.45w/m，从 0.8m/s 到 1.2m/s，单位管长换热量增幅只有很小的一点。所以，U 型地埋管进口流速的增大有利于增加单位管长换热量，提高 U 型地埋管地源热泵与土壤的换热性能，提高机组的运行效率。同时，在增加进口流速的时候，循环水泵的扬程也会逐渐增加，导致循环水泵的能耗增加，从而耗能增加，所以，在 U 型地埋管流速的设计中，选择一个合适的流速很重要，以冬季工况来考虑，进口流速 0.4m/s-0.6m/s 之间比较好，既能增加换热性能，又比较节能。

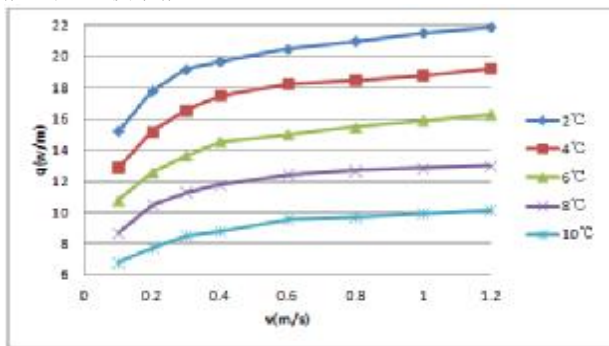


Figure 4. Variation of Heat Transfer Per Unit Tube Length With Flow Rate At Different Depths of 60m Water Depth.
图 4. 井深 60m 不同水温下单位管长换热量随流速的变化

3.3 井深对 U 型埋管与土壤之间换热性能的影响

图 5 为冬季工况进口温度为 6°C 时不同流速下单位管长换热量随井深的变化图。从图中可看出，在冬季工况进口温度为 6°C，流速为 0.2m/s 和 0.8m/s，当井深由 40 米增加到 60 米时，0.2m/s 流速下的单位管长换热量降低了 1.8w/m，降幅为 12.6%，而 0.8m/s 流速下的单位管长换热量降了 0.75w/m，降幅为 4.6%，对比发现，单位管长换热量在流速较低时比流速较高时随井深的增加降低的幅度大很多，差距比较明显。可以得出以下结论，当进口流速较大时，埋管深度对单位管长换热量的影响比较小，当进口流速较小时，埋管深度对单位管长换热量的影响比较明显，所以在 U 型地埋管的设计中，流速应该设置相对较大的数值，从图上可以看出，当流速在 0.4m/s 及以上的时候，埋管深度对单位管长换热量的影响较小，这样有利于发挥井深的优势，可以减少 U 型地埋管的占地面

积。

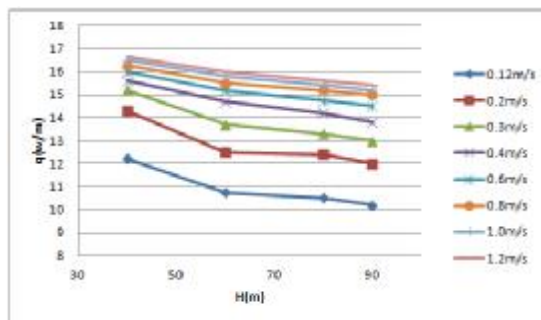


Figure 5. The Variation of Heat Transfer Per Unit Length With Well Depth at Different Flow Rates At Inlet Temperature of 6°C.
图 5. 进口温度为 6°C 时不同流速下单位管长换热量随井深的变化

由图 6 可知，在冬季工况进口温度为 6°C 的情况下，不同流速下 U 型地埋管换热器的总换热量呈现线性增长的趋势，同时也可以看出，流速越高，总换热量也越多，综合图 5 和图 6 可知，当流速在大于 0.4m/s 的时候，U 型地埋管换热器单位管长换热量受井深的影响较小，而总换热量是随着井深的增加呈线性增长趋势。从换热的角度来考虑，井深越深，总换热量越好，可以节省更多的占地面积，而从经济方面考虑，井深越深，所需要的投资费用也越多，埋管深度的增加导致系统的初投资有所增加。综上考虑，在设计 U 型地埋管换热器的设计参数时，应该综合考虑总换热量和经济性两个方面，来考虑选择合适的井深，这样既可以有效的增加机组的换热量，又可以节省初投资，有利于地源热泵系统的推广与应用。

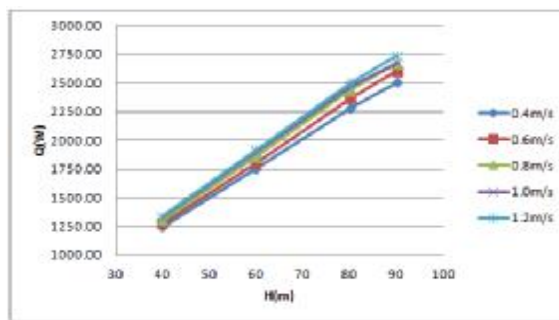


Figure 6. The Change of Total Heat Exchange With Well Depth at Different Flow Rates At 6°C Inlet Temperature In Winter Condition.

图 6. 冬季工况进口温度为 6°C 时不同流速下换热量随井深的变化

4 结论

本文通过建立单管模型，分析不同因素对埋管换热器换热性能的影响，得到如下结论：

(1) 导热系数的增加会增强地源热泵的换热系数，取一个合适的导热系数对系统换热强度有明显的提升。

(2) 埋管进口流速的增加会增加单位埋管换热量，流速达到一定程度，再增加流速所加强的单位管长换热量较小，所以流速为 0.4-0.6m/s 最佳，而进口水温与土壤温差越大，换热量越大，但随着温差的增加，换热量增加的幅度变小，所以冬季工况时进口水温不宜过低，夏季也不应该一味追求最大温差。

(3) 总换热量是随着井深的增加呈线性增长趋势，从换热角度考虑，井深越深，换热性能越好，从而可以减少占地面积，从经济方面考虑，埋管深度的

增加会系统初投资，所以在设计地源热泵系统的参数时，要综合考虑两方面的因素，这样才有利于地源热泵的应用及长期开发。

References (参考文献)

- [1] Wei Y, Jin Z, Wei X, et al. Current status of ground-source heat pumps in China[J]. Energy Policy, 2010, 38(1):323-332.
- [2] ZHI Qin, GONG Yan-feng. Research on heat transfer characteristics of underground tube heat exchangers under operating conditions [J].HVVIA, 2010,40 (05): 109-113 + 120.
- [3] Lund J.W. Direct-use of geothermal energy in the USA[J]. Applied Energy, 2003, 74(1-2): 33-42
- [4] Zhang Xiaowei, Cao Hongfen. Simulation of heat transfer in single U-type ground tube heat exchanger with ground-source heat pump [J]. Refrigeration, 2016,35 (01): 65-69.
- [5] Lund J.W. Direct-use of geothermal energy in the USA[J]. Applied Energy, 2003, 74(1-2): 33-42.