

季节条件对于地源热泵系统运行的影响

刘湘云, 陈颖, 杨敏

(广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510006)

摘要: 随着常规能源的不断消耗, 人类对可再生能源的需求日渐增强。而地源热泵作为一种先进、高效、节能、环保的技术, 得到了众多研究者的关注。地源热泵可以利用建筑地下温度恒定的特点从地下取热/冷, 具有零污染的良好品质。通过实验对比了夏季和冬季不同条件对于地源热泵运行系统的影响, 得到了如下结论: 如果单纯从地下取热或取冷, 在地源热泵周围的地下温度在 3 个月后会显著的变化, 而使得系统不能够继续正常运行。只有在热泵系统采用交替从地下取热和取冷的模式后, 地下土壤才能保持其作为热源的能力。

关键词: 气候条件; 地源热泵; 土壤温度; 模式

中图分类号: TK521 文献标识码: A

引言

由于较深的地层中在未受干扰的情况下常年保持恒定的温度, 远高于冬季的室外温度, 又低于夏季的室外温度。地源热泵就是利用地温恒定这一特点, 在冬季把地能中的热量“取”出来, 提高温度后, 供给室内的热用户; 在夏季, 把室内的热量取出来, 释放到地层中。地源热泵系统的基本结构可分为地上和地下两个部分。地上部分主要是热泵机组、补水水箱和水泵。地下部分主要是与大地耦合的埋地换热器, 通过这个换热器从大地中取热和放热^[1]。这就决定了埋地换热器的换热能力与当地的土壤、气候的类型有很大关系。Lund JW 详细研究了地源热泵技术^[2], 结果表明, 地源热泵的初期成本较空气源热泵的成本高约 30%~50%。一旦埋管安装完毕, 年运行成本大大低于其它形式的热泵系统(如空气源热泵系统)。在地源热泵应用系统中, 由于从地下提取热能是利用埋地换热器(GHE)完成的, GHE 和邻近土壤之间的传热主要是通过热传导, 并在一定

程度上依靠水分迁移^[3]。因此, 传热过程严重依赖于土壤类型、温度和土壤含水率。研究表明, 在制冷模式下垂直闭环系统能更好地运行^[4]。垂直埋地换热器通常是在垂直的钻孔中插入一个或两个高密度聚乙烯 U 型管充当接地环路。Olympia Zogou 研究还表明^[5], 尽管地源热泵具有很多优点, 但是地源也不是可以无限制的利用, 气候条件的变化对与系统运行有很大的影响。本文研究了制冷和供热两种模式下, 气候变化对于地源热泵系统运行的影响。

1 实验装置

本实验装置的原理如图 1 所示。实验装置建立在广东工业大学实验室内。该实验系统主要由两个

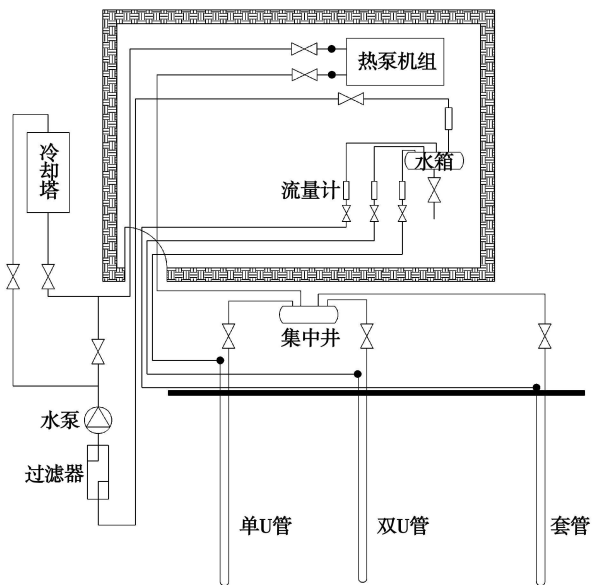


图 1 地源热泵系统

收稿日期: 2008-01-04; 修订日期: 2008-02-21

基金项目: 广州市科技计划基金资助项目(2005Z3-D0491)

作者简介: 刘湘云(1968-), 女, 山西河曲人, 华中科技大学在职博士后。

独立的回路组成:(1)水回路;(2)制冷剂回路。水回路中的水箱可以保证足够的水供应。制冷剂回路是由封闭的铜管组成,热泵中制冷剂为R22。实验中,热电偶的输出温度传送到给一个数据记录器,并记录在计算机内。为了得到埋地换热器的进出口水温以及冷凝器、蒸发器进出口制冷剂的温度,在管道内部每一个需要测试的位置都安装了热电偶。转子流量计用来测量每一个埋地换热器的流量,制热循环到制冷循环的转化通过热泵机组的一个四通阀实现。图中集中井的设置既可以平衡3个埋地换热器的压力,同时可以减少铺设管路。实验装置可以实现在夏季制冷,冬季供热。

埋地换热器采用并联方式工作。埋地换热器周围热电偶布置情况如图2所示。埋地换热器总深度为30 m,换热器之间的间距是5 m。埋地换热器周围垂直分布6组热电偶以采集土壤温度。热电偶之间的距离从下到上依次为10、8、6、3和3 m,如图2所示。埋地换热器采用了3种形式,如图3所示。

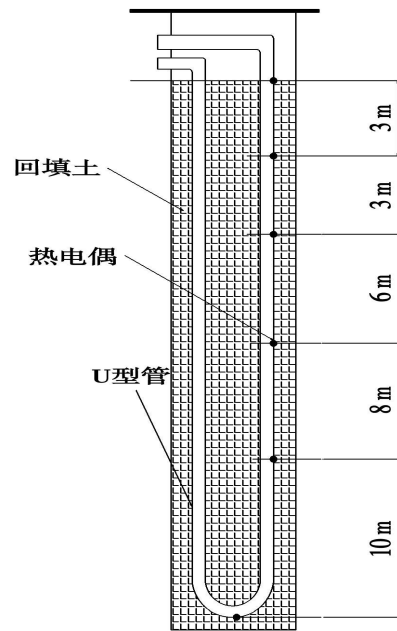


图2 埋地换热器周围热电偶的分布示意图

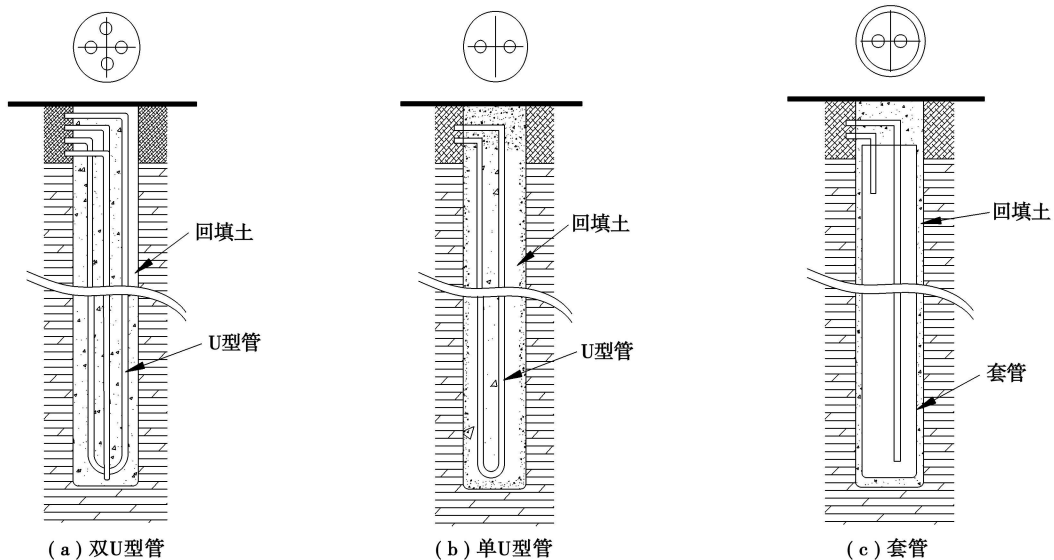


图3 垂直埋地换热器的3种形式

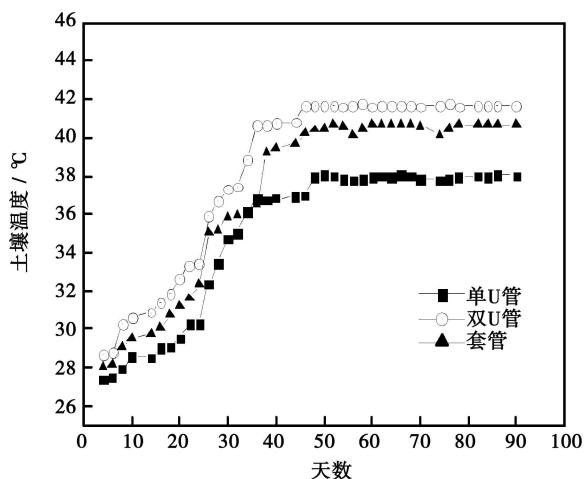
2 结果分析

为了确定系统的整体性能,本地源热泵系统在稳态条件下进行实验。对于运行中由实验得到的每个埋管周围的温度(土壤温度)的变化情况,事实上反映了以下两部分的温度:首先也是主要方面反映了钻孔中的线源(U型管换热器)自身的运作造成温

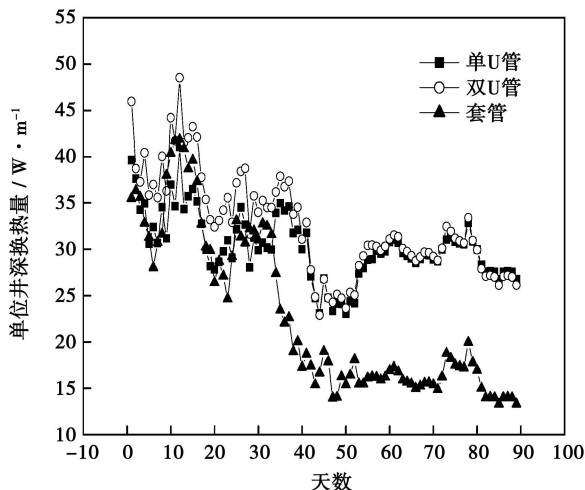
度的升高/降低,另外是反映了由土壤的湿度(季节变化引起)变化而引起的土壤温度变化情况。

在图4(a)和(b)为在地下20 m的深度条件下,地源热泵运行在夏季(单纯取冷)时,不同埋地换热器周围平均每天的地下温度以及不同埋地换热器换热量分布情况。温度初始点是在热泵启动运行40 h后开始采集。从图4(a)看出,在夏季实验开始时的地下温度约为28℃,随着实验的进行,地下温度很

快上升。在运行 20 天到 40 天期间, 温度上升很快, 在运行 40 天后直到结束实验的第 90 天的时间段, 随着热平衡的建立, 温度变换趋于平稳。对于不同的埋地换热器, 地下温度最终基本停留在一个稳定的值, 平均温度超过了 37 °C。另外从图(b)看出, 在最初运行的 40 天里, 双 U 的换热能力大于单 U 的换热能力, 40 天后传热开始恶化, 双 U 和单 U 的换热能力相当, 套管的换热能力最差。在这里需要说明的是, 实验过程中, 当夏季地下温度上升到 37 °C, 也就是运行 40 天后, 热泵机组开始出现停机现象, 说明地下温度已达到了传热极限, 不适合热泵机组继续运行。



(a) 土壤温度分布

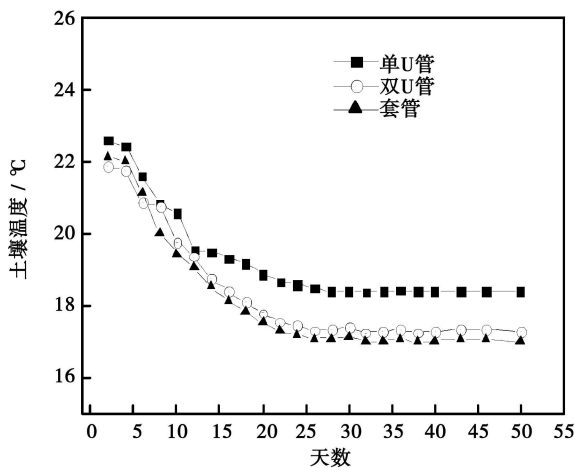


(b) 换热量分布

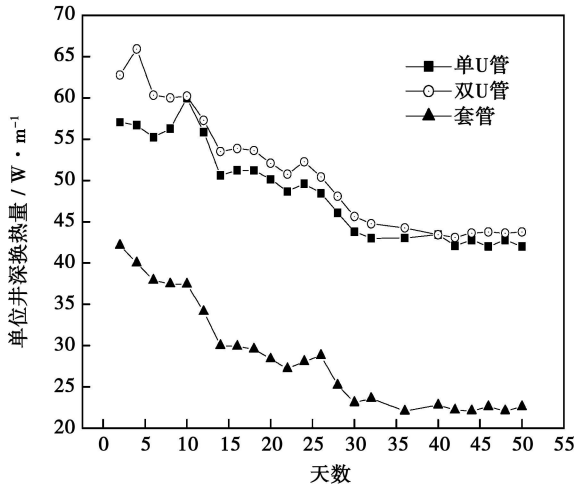
图 4 不同埋地换热器地源热泵周围地下温度/换热量分布(夏季)

受不同季节空气温度、湿度的影响, 地下温度也会发生变化。图 5(a)和(b)分别显示在冬季(单纯取热), 不同埋地换热器周围平均每天的地下温度

(20 m 下)以及不同埋地换热器换热量分布情况。此时的实验为夏季土壤温度恶化后, 系统停止运行两个月后, 受季节变化的影响, 土壤温度有所变化, 最初运行时土壤温度为 22 °C, 在运行 20 天后, 土壤温度降低到 17 °C 左右。从图(b)看出, 单 U 管和双 U 管从地下提取热量时, 换热能力从初始运行的 60 W/m 降到不足 45 W/m。套管的换热能力从 45 W/m 降到不足 25 W/m。在运行 30 天后, 热泵机组又出现停运情况。



(a) 土壤温度分布

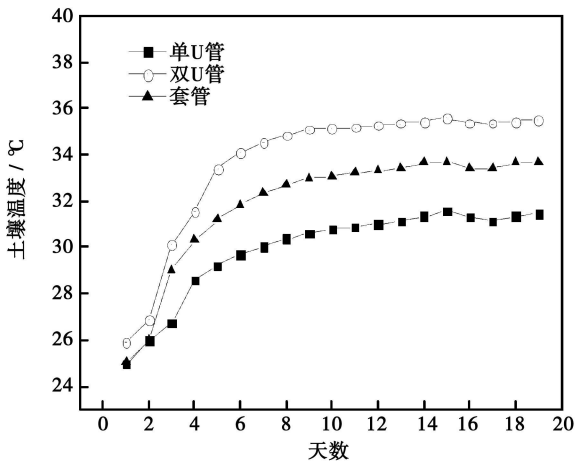


(b) 换热量分布

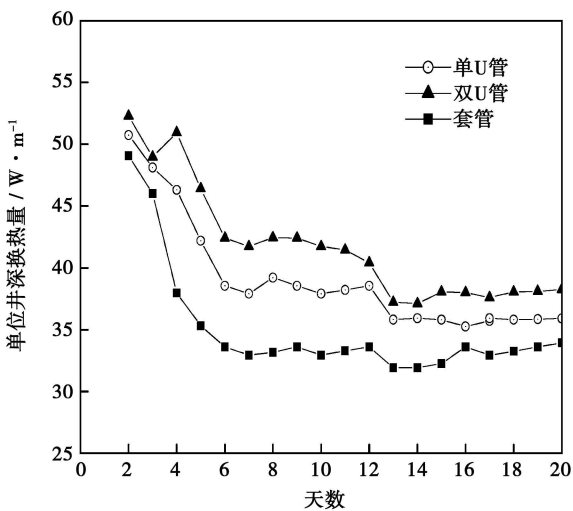
图 5 不同埋地换热器地源热泵周围地下温度/换热量分布(冬季)

经过 4 个月春季的系统停运后, 到了第二年的夏天, 重新进行该实验, 发现地下温度已经恢复到热泵可以重新运作的水平。图 6(a)为第二年取冷条件下, 3 种不同型式的埋地换热器周围地下温度(20 m 下)分布示意图, 地下层的初始温度为 25 °C。可以看到, 相同的运行时间, 土壤温度与图 5(a)的温度分布相比, 随着运行时间的延长, 土壤温度升高幅

度较小。图6(b)为第二年取冷条件下,3种不同型式埋地换热器换热能力示意图,相同的运行时间,3个埋地换热器的换热能力与图5(b)的传热能力相比要高20%左右。该实验结果表明,埋地换热器和土壤的换热特性在经过前一年的夏季和冬季分别运行后,换热能力得到了提高。结果表明,从地下取冷和从地下取热的过程应该相对平衡,才能使系统正常运行。



(a) 土壤温度分布



(b) 换热量分布

图6 一年后地源热泵系统地下土壤温度分布和埋地换热器换热量分布示意图

3 结论

对地源热泵系统进行了一系列实验,研究了不同季节条件对地源热泵系统的影响。结果表明,气

候条件显著影响着地源热泵系统的工作性能。如果单纯从地下取热,两个月后,埋地换热器附近的地下温度将减少到不足 20 °C。如果单纯从地下取冷,3 个月后,地下温度将超过 37 °C,地源传热恶化,不再适合进行空气调节。为了保护好地源,使其成为可持续利用的土壤源,从地下取冷和从地下取热应该相对平衡。

参考文献:

- [1] 李新国,薛玉伟,赵军.不同方式地下埋管换热器的实验研究[J].制冷学报,2004,25(2):39-42
- [2] LUND J W, FREESTON D H. World-wide direct uses of geothermal energy 2000[J]. Geothermics, 2001, 30(3): 29-68
- [3] ARIF HEPBASLI A, OZAY AKDEMIR A, EBRU HANCI OGLU, et al Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system[J]. Energy Conversion and Management, 2003, 44(2): 527-548.
- [4] ONDER OZGENER A, ARIF HEPBASLI Effect of soil type and moisture content on ground heat pump performance[J]. Int J Refrig, 1998, 21(8): 595-606.
- [5] OLYMPIA ZOGOU, ANASTASSIONS STAMATELOS. Effect of climatic conditions on the design optimization of heat pump systems for space heating and cooling[J]. Energy Convers, 1998, 39(7): 609-622.

(编辑 何静芳)

· 书 讯 ·

《燃烧理论与技术》

本书主要讲述燃料性质、燃烧基础理论和燃烧技术等内容。其中第1~3章介绍固体、液体和气体燃料的物理性质;第4章介绍燃料的理论计算;第5章是化学动力学基础知识;第6章为着火与熄火的条件分析;第7章重点讲述预混可燃气中火焰传播和火焰稳定性等问题;第8~9章则是扩散燃烧及气体燃料燃烧技术;第10章对液体燃料燃烧过程与燃烧技术进行了介绍;第11章重点介绍了碳粒的燃烧机理及煤的燃烧过程、技术;第12章则介绍了燃烧污染的发生与防治。结合每一章所讲述的内容,在章节末尾都设计了思考题,目的是加强读者对概念的理解。

读者对象:热能工程、能源动力等相关领域技术人员,热能工程等相关专业学生。

2008年5月出版

local pressure loss, pressure loss coefficient and friction resistance loss ratio of the bend. The results of the study show that with an increase of Reynolds Number Re , the local pressure loss of the bend will increase, but the pressure loss coefficient will first decrease and then increase. In view of the curvature radii being relatively small, the local pressure loss of the bend will be determined by the irregular flow loss and the path resistance produced by the lengthened axial line of the bend. The greater the curvature radius of the bend, the greater the critical Reynolds Number. The friction resistance loss ratio of the bend will first go down and then up with an increase of Dean Number. When the R_c/R of the bend equals 4, its local pressure loss, pressure loss coefficient and friction resistance loss ratio will all attain a minimum value. **Key words:** coal-water slurry, curvature radius, pressure loss coefficient, critical Reynolds Number

生物质再燃脱硝特性研究 = **Research on Biomass Reburning Denitration Characteristics**[刊, 汉] / GAO Pan, LU Chun-mei (College of Energy Source and Power Engineering, Shandong University, Jinan, China, Post Code: 250061), RUAN Lei (Construction Preparation Division, Dingzi Mountain Heat Source Sub-factory, Jinan City Southern Suburb Thermal Power Plant, Jinan, China, Post Code: 250002), LIU Zhi-chao (Thermal Energy Research Institute, Shandong Electric Power Academy, Jinan, China, Post Code: 250002) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(4). — 429 ~ 433

A multi-purpose denitration test rig was utilized to study the reburning denitration characteristics of aspen wood sawdust, peanut shell, rice husk and cornstalk under the condition of typical influencing factors on reburning denitration. The test results show that when the furnace temperature is between 700 ~ 900 °C, increasing the reburning temperature will result in a rapid increase of the precipitation speed of volatile matter in biomass followed by a quick enhancement of the denitration rate. At a temperature higher than 900 °C, the precipitation of the volatile matter attains a saturation state and a relatively high furnace temperature tends to make the biomass to be heated, which leads to coke formation, enhancing the positive pressure of the furnace and causing the denitration rate to drop somewhat. The stoichiometric ratio (SR) has a relatively similar influencing effect for the reburning denitration of the materials under experiment. Four kinds of biomass all attain their highest denitration efficiency when $SR=0.8$. Under the same conditions, the smaller the biomass particle diameter, the greater the initial NO concentration and the better the reburning denitration effectiveness. A relatively big reburning fuel ratio (RFR) can compensate to a certain extent the difference in the denitration rate brought about by the reburning material particle diameter and initial NO concentration. To extend the residence duration t in the reburning zone is favorable to enhancing the denitration rate. However, when $t > 0.81$ second, its influence on the denitration rate will not be significant. **Key words:** biomass, reburning, denitration rate, experiment

季节条件对于地源热泵系统运行的影响 = **Effect of Seasonal Conditions on the Operation of a Geothermal Pump System**[刊, 汉] / LIU Xiang-yun, CHEN Ying, YANG Min (College of Material and Energy Source, Guangdong Polytechnical University, Guangzhou, China, Post Code: 510006) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(4). — 434 ~ 437

With the continuous consumption of conventional energy sources, the demand of human beings for regenerative energy sources will grow with each passing day. As a kind of advanced, highly effective, energy-saving and environment-protection technology, geothermal pumps have attracted the attention of numerous researchers. The geothermal pumps can make use of the constant temperature under buildings to take the heat/cooling energy under the ground, achieving a good quality of zero pollution. Through experiments, the effect of different conditions in winter and summer on the operation of a geothermal pump system has been compared. The authors have come to the following conclusion: if the heat or cooling energy under the ground is taken purely and simply, a remarkable change will occur to the underground temperature around the geothermal pumps after three months, causing the system impossible to continue its normal operation. Only when a mode of alternatively taking heat and cooling energy under the ground is adopted for the geothermal pump systems, will the underground soil retain its ability to serve as a heat source. **Key words:** climatic condition, geothermal pump, soil temperature, mode