

土壤特性对地埋管换热器传热影响分析

——以唐山市区为例

赵金秀

(唐山学院 土木工程系, 河北 唐山 063000)

摘要:以唐山市区为例,介绍了土壤土质特性与建设土壤源热泵系统适宜性的关系,通过试验测定了土壤层温度的变化,给出了土壤导热系数的确定方法,并模拟分析了土壤层不同的初始温度和土壤导热系数对地埋管换热器传热的影响。

关键词:土壤土质特性;土壤初始温度;土壤导热系数;地埋管换热器

中图分类号:TK529 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2015)06-0065-03

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2015.06.023

An Analysis of the Influence of Soil Properties on Ground Heat Exchangers: a Case Study of Tangshan City

ZHAO Jin-xiu

(Department of Civil Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China)

Abstract: The author of this paper, with Tangshan City as the subject, introduces the relationship between soil properties and the suitability of ground heat pumping system, puts forward a method for determining the thermal conductivity of the soil by measuring temperature changes in the soil layers, and simulates and analyzes the influence of different initial temperatures of soil layers and the soil thermal conductivity on the transfer effects of ground heat exchangers.

Key Words: soil properties; initial soil temperature; soil thermal conductivity; ground heat exchanger

土壤源热泵系统是将地层土壤作为冷热源,冬季从土壤中取热,向建筑物供暖,夏季向土壤排热,为建筑物制冷。它通过地埋管换热器与地层土壤进行热量交换,所以土壤特性直接影响地埋管换热器的性能,是土壤源热泵系统地埋管换热器设计中需要考虑的最基本的参数。土壤特性主要包括土壤的土质、土壤层的初始温度、土壤的导热系数等。地埋管换热器是土壤源热泵系统最重要的换热装置,因此研究土壤特性对土壤源热泵系统的工程建设有着重要的意义。

1 土壤的土质

以唐山市区土壤的土质情况为例进行分析。唐山市区位于东经 $117^{\circ}31'$ — $119^{\circ}19'$,北纬 $38^{\circ}55'$ — $40^{\circ}28'$,坐落于开平向斜西北翼一狭长型地垒构造上,发育有一系列与开平向斜轴部平行的次一级断裂和褶皱,市区西侧为一高角度陡河正断层,断层西侧形成明显基岩陡坎和第四系等厚线较密集

的高梯度带,第四系厚度达380 m,下覆石炭二叠系;凸起带东侧是一隐伏的唐山断层,其东侧第四系厚度超过100 m^[1]。在断层间的是归类于中、上元古界的蓟县系基岩、青白口系基岩和寒武—奥陶系基岩,基岩除部分残地带出露外,其余被第四系松散层覆盖,覆盖厚度约在30~50 m。一般土壤成分为粘土、粉质粘土的第四系地层土壤,比较容易钻井埋设地埋管换热器,而基岩地层不易钻井,地埋管埋设困难。北方地区地埋管换热器的钻孔深度一般在80~150 m之间。所以唐山市区位于两条断层带东西两侧的区域,均适宜建设土壤源热泵系统,而位于两条断层带之间的区域则不太适宜。比如唐山市鹭港小区和唐山一中区域坐落于卑子院向斜西侧,下伏二叠系灰岩、页岩,第四系覆盖较厚,深度范围为90~120 m,比较适宜建设土壤源热泵系统;而位于唐山市路南区的万达广场一带和路北区的市体育场一带土壤

收稿日期:2015-09-08

基金项目:唐山市教育科学研究“十二五”规划课题(13LX109)

作者简介:赵金秀(1980—),女,河北唐山人,讲师,硕士,主要从事暖通和热泵节能技术研究。

层岩性归类于古生界寒武系的泥灰岩和灰岩,以及归类于青白口系的泥页岩和砂岩,还有部分归类于蓟县系的白云质灰岩和白云岩,其第四系的覆盖厚度在 30~50 m,不适宜建设土壤源热泵系统。

2 土壤层的初始温度

土壤层初始温度对土壤源热泵地埋管换热器的性能及其埋深和间距都有着直接影响。在土壤成分、地面的覆盖物以及环境气候特点影响下的土壤温度,存在地温分布规律和变化特征。一般将土壤的温度分布分为变温层(地下约 0~15 m,受环境气候影响大)、恒温层(地下约 15~30 m,温度基本不变)和增温层(地下约 30 m 以下,温度随深度的增加而增加)三部分。

受地面上气候环境的年和日的周期性温度波的影响,地下浅层土壤温度也有周期性温度波的变化特征,并且地下浅层土壤温度波的变化规律服从随土壤层深度的增大呈自然指数变化的特点。但是鉴于日温度波周期性变化的幅度不大,所以在工程实践中,日温度波周期性变化的影响常忽略不计,从而得到只考虑随土壤层深度 H 及年时间 τ 变化的土壤层温度 $T_s(H, \tau)$,其计算公式见式(1)^[2]。

$$T_s(H, \tau) = T_0 + 1.07KA \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}H\right) \cos(\omega\tau - \sqrt{\frac{\omega}{2a}}H). \quad (1)$$

其中: H 表示土壤深度(计算时从地面起算),m; τ 表示起算时间,h; $T_s(H, \tau)$ 表示 τ (h)、 H (m)处土壤温度,℃; K 表示土壤覆盖系数,若无覆盖, $K=1$; a 表示土壤热扩散率, m^2/h ; T_0 表示土壤平均温度,℃; ω 表示土壤年周期性变化温度波频率, $1/\text{h}$, $\omega=2\pi/8760$; A 表示土壤周期性变化温度波动的振幅,℃(注:后三个参数用年平均值)。

另外, $A \exp(-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}H)$ 表示土壤在深度 H 处的年周期性变化温度波动的振幅,其中将 A 随土壤层深度的增加所服从自然指数变化规律的减小程度表示为衰减度 V ,可写成:

$$V = \exp(-\sqrt{\frac{\omega}{2a}}H). \quad (2)$$

在土壤源热泵系统工程设计和计算中,常忽略日温度波及地热的影响,即取地层的恒温层在未受到人为影响时的温度为土壤的初始温度。不同地区土壤层的初始温度一般不同,即使是同一个地区的不同位置,因受到气候、周围环境的影响,土壤层的初始温度也会不同。《地源热泵系统工程技术规范》(GB50366—2009)中提到,进行土壤源热泵系统的建设必须以该区域的热响应试验为依据。因此,测试了位于唐山市高新区的唐山学院北校区所在区域土壤层的温度变化,其结果如图 1 至图 3 所示。从图 1 和图 2 中可以看出该区域恒温层的土壤温度为 14℃。位于土壤恒温层以下的增温层的温度变化规律是温度随着土壤深度的增加而增加。从图

3 唐山学院北校区增温层土壤温度的测试(测试深度为 40~160 m)曲线可以看出,该区域增温速率为 0.03℃/m。因增温层温度变化较小,所以工程计算中一般忽略此变化的影响。

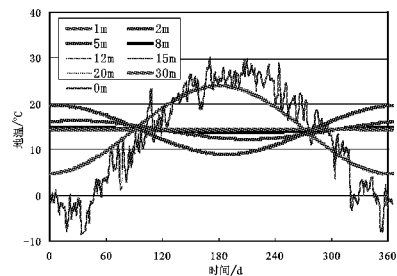


图 1 唐山学院北校区不同深度的土壤层温度变化

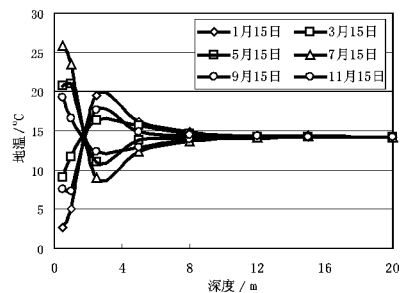


图 2 唐山学院北校区不同季节的土壤层温度变化

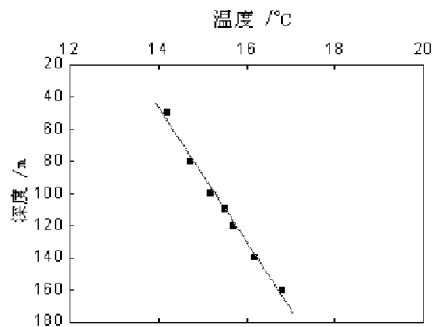


图 3 唐山学院北校区增温层土壤温度变化曲线

下面通过实验模拟不同土壤初始温度对地埋管换热器传热的影响,实验采用河北工业大学箱柜式测试仪,通过恒定热源法进行。图 4 给出了不同土壤层初始温度对地埋管换热器传热影响的模拟结果(实验加热功率为 3.8 W,即模拟夏季工况)。

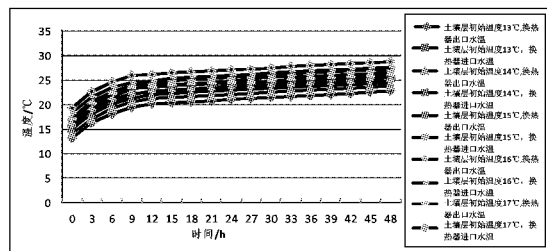


图 4 不同土壤层初始温度对地埋管换热器传热的影响

从图4中可以看出,地埋管换热器的进出口水温随着土壤层初始温度的增加而增加,运行时间达到48 h后进出口水温达到稳定状态。由此推断,当土壤层初始温度过高时,会导致地埋管换热器出口水温增加,使土壤源热泵系统的能效降低。

3 土壤的导热系数

土壤的热物性包括密度、含水率、比重、导热系数、热扩散率、比热容量等参数。其中对地埋管换热器性能起决定性作用的是土壤的导热系数,它关系到地埋管换热器的埋设深度、埋设间距,以及流体的进口温度、出口温度、换热量的大小。准确获得土壤的导热系数是地埋管换热器设计与地源热泵系统应用的必要条件。获得该参数的方法有多种^[3-6],但目前主要依靠试验测定^[6]。

采用恒热流试验,利用线热源模型处理试验数据,土壤的导热系数可以表示为:

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi a H} \quad (3)$$

式中: λ 表示土壤的导热系数, $W/(m \cdot k)$; Q 表示试验的加热功率, kW ; a 表示地埋管中流体温度随加热时间(对数值)变化的曲线斜率; H 表示试验的钻孔深, m 。

《地源热泵系统工程技术规范》(GB50366—2009)中提到:由于地质构造复杂,结构差异性大,所以对土壤导热系数进行的热响应试验得到的测试数据只能代表该工程或该项目所在地的土壤参数。因此,对唐山几个典型区域进行了热响应试验,得到唐山市东南区、西北区、西区深度120 m范围内的土壤导热系数在1.38~2.0 $W/(m \cdot k)$ 之间。在此基础上,实验模拟了不同土壤导热系数对地埋管换热器传热的影响(实验加热功率为3.8 W,即模拟夏季工况),模拟结果如图5所示。

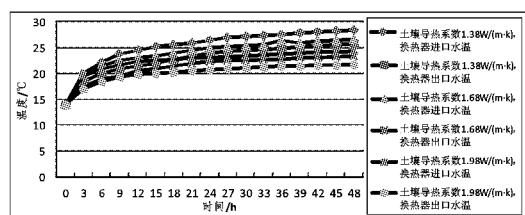


图5 不同土壤导热系数对地埋管换热器传热的影响

从图5可以看出,在土壤层初始温度不变的情况下,土壤的导热系数数值越大,地埋管换热器的进出口水温越低,

说明地埋管换热器的传热效果越好,土壤源热泵系统能效越高;从数据处理上还可以得出,土壤的导热系数越大,地埋管换热器的进出口水温达到稳定的时间越短,而且运行时间达到48 h后,地埋管换热器进出口水温都可以接近稳定,这与《地源热泵系统工程技术规范》(GB50366—2009)中提到的土壤的热响应试验通常在48 h后基本达到稳定的情况相符合。

4 结论

(1)通过对唐山市区土壤土质特征测试及分析,确定第四系覆盖深度在80 m以上的区域适宜土壤源热泵系统的建设。

(2)在土壤其他特性相同的情况下,土壤层初始温度对地埋管换热器的影响是使其进出口水温不同,但从实验模拟结果可以看出,土壤层初始温度对地埋管进出口水温温差的影响不明显,即对地埋管换热器的传热系数影响不明显。

(3)在土壤其他特性不变的情况下,土壤的导热系数越大,越有利于地埋管换热器的传热,而且地埋管换热器进出口水温达到稳定的时间越短,所以土壤的导热系数越大越好。

参考文献:

- [1] 魏风华. 唐山市岩溶塌陷机制分析[J]. 地质与勘探, 2006, 42(2): 86-89.
- [2] 刁乃仁, 曾和义, 方肇洪. 竖直U型管地热换热器的三维传热模型[J]. 热能动力工程, 2003, 18(4): 387-390.
- [3] Kavanaugh S P. Field tests for ground thermal properties methods and impact on ground-source heat pumps [J]. ASHRAE Trans, 1998, 104(2): 347-355.
- [4] 于明志, 彭晓峰, 方肇洪, 等. 基于线热源模型的地下岩土热物性测试方法[J]. 太阳能学报, 2006, 27(3): 279-283.
- [5] 高青, 余传辉. 地下土壤导热系数简化柱热源模型确定方法[J]. 太阳能学报, 2007, 28(12): 1402-1406.
- [6] 葛风华, 刘红楷, 王剑, 等. 严寒地区岩土热响应试验与地埋管地源热泵系统应用[J]. 暖通空调, 2014, 44(11): 104-108.

(责任编辑:李秀荣)