

Study on Operation Characteristics and Energy saving Efficiency of Low-temperature Radiant Floor heating System of Ground Source heat Pump

Guanting Chen

School of Mechanical and Electrical, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: System which is based on TRNSYS software, set up two ground source heat pump low temperature radiant floor heating system, the traditional ground source heat pump low temperature radiant floor heating system and join the buffer tank of ground source heat pump low temperature radiant floor heating system, assess the performance of the two systems and the energy-saving efficiency of the research results show that adding water tank system heating load is 1.41 times that of the traditional heating system, the system total energy consumption and water pump energy consumption was reduced by 27.2% and 91%, respectively, is mainly due to the buffer tank running change the operation mode and control strategy of heat pump.

Keywords: Radiant floor system; Ground source heat pump; Dynamic simulation; TRNSYS

地源热泵低温辐射地板供暖系统运行特性与节能效率研究

陈冠廷

重庆交通大学, 机电与车辆工程学院, 重庆, 400047

摘要: 基于 TRNSYS 软件建立系统, 搭建了两种地源热泵低温辐射地板供暖系统, 传统地源热泵低温辐射地板供暖系统和加入缓冲水箱的地源热泵低温辐射地板供暖系统, 评价分析两种系统的性能及节能效率。研究表明, 加入水箱的系统供热量是传统系统供热量的 1.41 倍, 系统总能耗与水泵能耗分别降低了 27.2% 和 91%, 主要是由于缓冲水箱的运行改变了热泵的运行方式和控制策略。

关键词: 地板辐射; 地源热泵; 动态模拟; TRNSYS

1 引言

地热能作为一种可持续提供热能而不易耗能的环保型能源, 正受到越来越多的关注, 地热能利用地下相对恒定的土壤来进行蓄能, 在需要的季节通过热泵提取热量实现能源的多元化利用[1]。地源热泵系统是现如今常用的蒸汽压缩式热泵系统, 是如今为实现节能的环保清洁型系统, 实现能源的循环式利用。

低温辐射地板供暖系统以热舒适性强的特性被广泛运用, 与此同时, 近年来对不同热源端的辐射地暖系统的研究越来越多。邓杰[2]针对兰州的气象特点, 利用 TRNSYS 建立了太阳能辐射地暖系统讨论了太阳能结合地暖系统运行的可行性; 曾章传[3]针对空气源热泵地暖系统采用热力学第一以及第二定律建立热力分析模型, 为优化系统能耗以及各部件节能提供了理论依据; 焦玉洗[4]基于重庆地区对空气源

热泵结合地暖系统研究了室内温度分布以及供暖特性, 但是长江流域并非集中式供暖常用地区, 且并未分析蓄热装置对系统的影响。

TRNSYS 是由美国公司开发的一款模块化瞬态系统模拟软件, 其模块化和开源性使得人们可以更简单和贴合自身需求来搭建所需要的仿真系统[5]。基于上述问题, 本文使用 TRNSYS 搭建了两个仿真系统进行模拟, 针对模拟结果详细分析了缓冲水箱的加入对系统运行的影响。

2 系统介绍

2.1 实验仿真输入条件

本文模拟仿真系统主要以西安地区办公室为研究对象, 西安全年平均气温 14.3℃, 相对湿度为 62%, 风速为 2.2m/s, 气压为 968hPa。以西安地区的天气

特点对房间进行设计，房间高度为 3.3m，总占地面积为 200m²。

房间内部得热如表 1 所示，房间按照典型办公室工作时间设定[6]，周一到周五为工作日，每天 8:00-18:00 为工作时间，本文供暖时间为 11.15-3.15，共 2880 个小时。

Table 1. Internal heat gain
表 1. 内部得热表

内部得热	
照明	10 w/m ²
设备	10 台, 140w/台
房间使用	8 m ² /人

2.2 系统模型描述:

本研究共针对两种不同系统进行建模和比较，对地源热泵低温辐射地板供暖系统进行能量性能定量评价：第一种是传统系统（S1），地源热泵直接向室内提供供暖热水；第二种是在传统系统的热泵负荷侧端加入缓冲水箱（S2），地源热泵热水进入水箱后经过缓冲蓄热后再向室内提供热水。表 2 为本文热源设备的主要运行工况和设置。每个模拟案例的详细描述如下：

Table 2. Main operating conditions and Settings of heat source equipment

表 2. 热源设备的主要运行工况和设置

项目输入	
系统运行时间	8:00-18:00 (工作日)
缓冲水箱体积	30m ³
水箱温度	35℃-39℃
水泵额定功率	0.75KW
热泵参考 COP	3.5
地埋管钻井深度	60m
地埋管钻井数量	6 个
钻井半径	0.06m

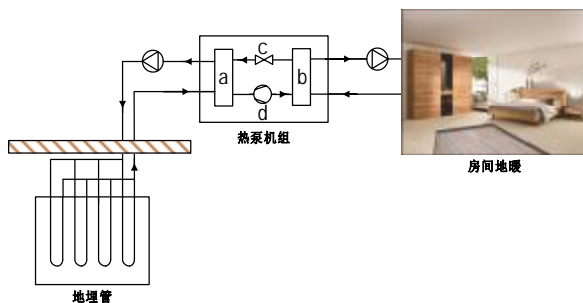


Figure 1. Ground source heat pump low temperature radiant floor heating system

图 1. 地源热泵低温辐射地板供暖系统 (S1)

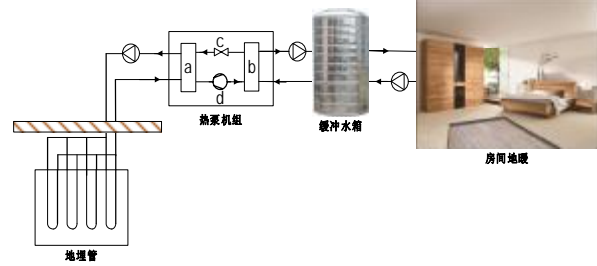


Figure 2. Low temperature radiant floor heating system of ground source heat pump added buffer tank

图 2. 加入缓冲水箱的地源热泵低温辐射地板供暖系统 (S2)

图 1 为地源热泵低温辐射地板供暖系统，在 S1 中，输送热源流体的管道形成闭合环路，地埋管埋在地下，热泵机组安装在地面上，根据需求通过吸收地下土壤热量来交换室内热量，整个环路供两个水泵，分别是热源侧循环水泵和负荷侧循环水泵。室内安装地盘管对房间进行加热，冷却盘管消耗的热水由热泵直接提供。

图 2 为加入了缓冲水箱的地源热泵低温辐射地板供暖系统。在此系统中，地埋管内的流体与土壤进行地热交换后流进热泵，冷却盘管中的热水流进缓冲水箱存储，当水箱负荷侧温度低于 35 度时热泵工作，当温度升高到 39 度时热泵停止工作，使水箱负荷侧温度保持在 35℃到 39℃之间进行供暖。缓冲水箱不带额外加热。

3 结果与分析

本研究的目的是为了对比传统地源热泵低温辐射地板供暖系统和加入缓冲水箱的地源热泵低温辐射地板供暖系统的供热性能，利用 TRNSYS 模拟仿真得到室内温度的变化、热泵机组的启停以及系统的能耗并通过对分析得出结论。

3.1 室内温度分析:

室内温度是评价低温辐射地板采暖室内舒适性的常用指标，在室内人体除了主要的辐射传热外，同时也受到建筑围护结构的辐射。人体舒适性取决于辐射强度和室内空气温度的综合作用，TRNSYS 中室内温度是由热平衡公式得到的，考虑了围护结构、室内设备得热以及室外温度的影响，所以使用 TRNSYS 输出的室内温度来衡量室内热舒适性[7]。图 3 和图 4 为供暖季节两个系统的室内逐时温度图，因为室内温度的变化和室外温度以及室内得热量有关，在设置的外

部条件一致的情况下，室内温度变化的总体趋势相同，S2 系统平均温度 17.41℃ 高于 S1 系统平均温度 17.37℃。

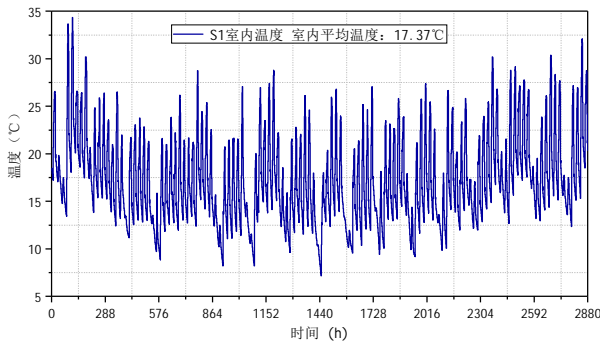


Figure 3. Hourly temperature in S1
图 3. S1 室内逐时温度

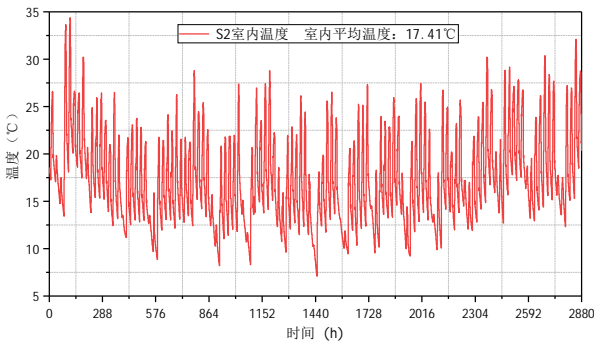


Figure 4. Hourly temperature in S2
图 4. S2 室内逐时温度

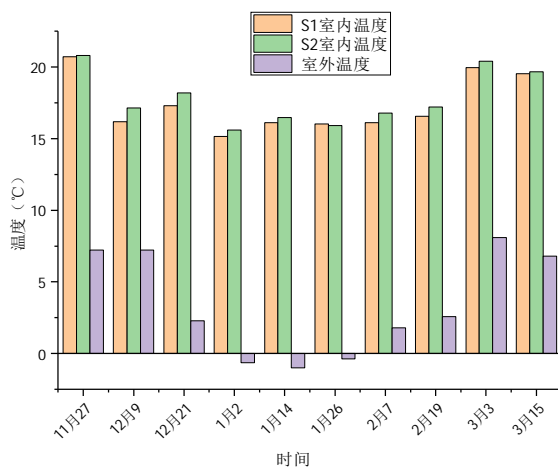


Figure 5. Columnar comparison of indoor temperature and outdoor temperature of the two systems in heating season
图 5. 供暖季两系统室内温度及室外温度柱状对比图

供暖季为 11.15-3.15，共 120 天，2880 小时，以 12 天分为 10 个时区，图 5 为供暖季两系统室内温度和室外温度柱状对比图，S2 室内平均温度高于 S1 室内平均温度，在 11 月份和 3 月份室内温度明显高于其他几个月，这是因为室外温度升高的缘故；在最冷的 12.21-1.26 内室内温度保持在 16℃，保持适宜的热舒适性。

3.2 机组启停及能耗对比分析

图 6 和图 7 为 S1 和 S2 两系统热泵机组启停信号图，供暖季，传统系统 S1 机组启动时间明显高于加入缓冲水箱的系统 S2，在传统系统中，热泵机组的启停的温差控制输入信号为热泵负荷侧出口温度，而在加入缓冲水箱的 S2 系统中的温差控制器的输入信号为缓冲水箱的负荷侧出口温度。加入缓冲水箱后的 S2 更利于热水的蓄热，启停率远远低于 S1，更加节能。

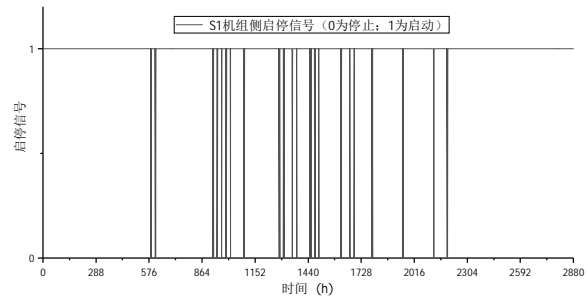


Figure 6. S1 heat pump unit start and stop signal
图 6. S1 热泵机组启停信号

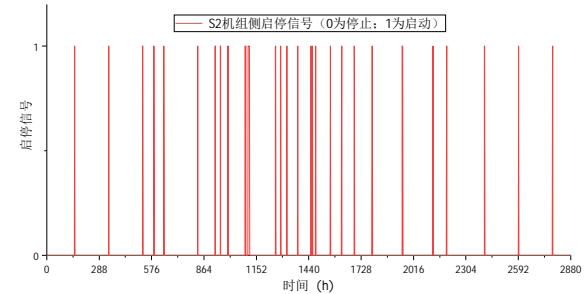


Figure 7. S2 heat pump unit start and stop signal
图 7. S2 热泵机组启停信号

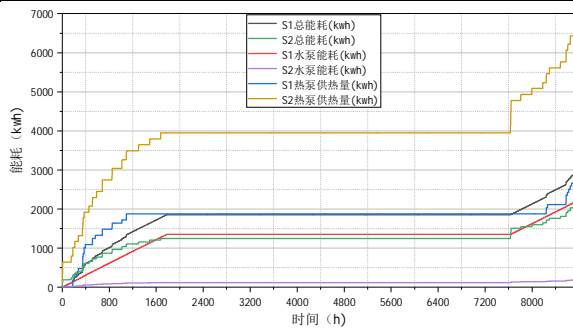


Figure 8. Energy consumption comparison diagram

图 8. 能耗对比图

从两个系统能耗对比图图 8 可以看出, 因为本系统仅在供暖季运行, 所以除供暖季其他时间的能耗变化为 0, 所有设备在供暖季启动, S1 的总能耗明显高于 S2 总能耗, S2 系统总能耗降低了 27.2%。系统总能耗为系统中所有水泵能耗和热泵能耗之和, S2 系统水泵能耗远远低于 S1 水泵能耗, S2 系统水泵能耗降低了 91%。除此之外, 我们在上图还可以看到, 在 S2 系统总能耗远远低于 S1 系统的情况下, S2 系统热泵供热量是 S1 系统供热量的 1.41 倍, 能源利用率是相当高的。

4 结论

加入缓冲水箱的地源热泵间歇性低温辐射地板供暖系统的室内温度高于未加如水箱的传统, 室内热舒

适性优于传统系统。

加入缓冲水箱后的 S2 更利于热水的蓄热, 启停率远远低于 S1, 更加节能。

在供暖过程中, 加入缓冲水箱的 S2 系统总能耗为 2155.6kwh、水泵能耗为 197.25kwh、热泵供热能耗为 6795.4kwh, 传统系统 S1 总能耗为 2955.63kwh、水泵能耗为 2205kwh、热泵供热能耗为 2822.8kwh; 加入缓冲水箱 S2 系统与传统系统 S1 相比, 系统总能耗与水泵能耗分别降低了 27.2% 和 91%, 热泵供热量是传统系统的 1.41 倍。

References (参考文献)

- [1] Kim M J, Seo B M, Lee J M, et al. Operational behavior characteristics and energy saving potential of vertical closed loop ground source heat pump system combined with storage tank in an office building. *Energy and Buildings*. 2018, 179, 239-252.
- [2] 邓杰, 王瑛, 王成琳, et al. 太阳能低温地板辐射采暖的 TRNSYS 模拟研究. *制冷与空调(四川)*. 2013, (5), 499-503.
- [3] 曾章传, 吴锦京, 魏新利. 空气源热泵直接地板辐射采暖系统实验研究及热力性能分析. *太阳能学报*. 2011, 32(8), 1151-1157.
- [4] 焦玉洗. 蓄能型空气源热泵地板辐射供暖系统在重庆居住建筑中的应用研究. 重庆大学. 2017.
- [5] 胡玮. 基于 Trnsys 的中央空调系统节能控制研究. 华南理工大学. 2012.
- [6] 陆耀庆. 供暖通风设计手册. 1987.
- [7] Wang Z, Song M, Wang F, et al. Experimental investigation and seasonal performance assessment of a frost-free ASHP system with radiant floor heating. *Energy and Buildings*. 2018, 179, 200-212.

The Simulation Research of ABS System based on Simulink

Wenyan Xia

School of Mechatronics & Vehicle Engineerings, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: Taking the single wheel vehicle model as the research object, the mathematical model of the automobile ABS system is established under the Simulink environment. The overall model of the ABS system is established by using the logic control strategy with the slip ratio as the main reference value. The simulation results are compared with those without ABS. The results show that the ABS system can significantly improve the braking performance of the vehicle and thus improve the safety factor of the vehicle during braking.

Keywords: Simulink; ABS; Logical control; Braking ability

基于 Simulink 的汽车 ABS 系统仿真研究

夏文艳

重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆, 400074

摘要: 以单轮车辆模型为研究对象, 在 Simulink 环境下进行汽车 ABS 系统的数学建模, 采用以滑移率为主要参考值的逻辑控制策略, 建立了汽车 ABS 系统整体模型, 并与无 ABS 的制动工况进行仿真对比分析。结果表明, 汽车 ABS 系统可以显著地提高汽车的制动性能, 从而提高车辆制动时的安全系数。

关键词: Simulink; ABS; 逻辑控制; 制动性能

1 引言

ABS 系统是一种防抱死制动系统, 可以在汽车制动工况下避免车轮抱死, 从而提高车辆行驶的安全系数。汽车在行车过程中, 运动状态、道路条件和轮胎附着情况均比较复杂, 特别是在高速行驶或弯道、冰雪路面等复杂路况下紧急制动时, 很容易出现车轮抱死拖滑, 从而导致制动距离过长, 前轮抱死时还会导致车身侧滑掉头, 失去方向控制能力, 严重威胁汽车, 乘客及行人的安全[1]。ABS 系统作为一种主动安全装置[2], 在汽车制动车轮不抱死的前提下, 尽可能地获取最大地面制动力, 首先满足行车安全要求, 进而优化车辆制动性。本文在 Simulink 环境下对某汽车 ABS 系统进行建模仿真, 并与无 ABS 的常规制动进行仿真结果对比, 分析防抱死制动系统对汽车制动性能的改善情况。

2 ABS 基本组成与工作过程

ABS 系统一般由传感器、电控单元和执行器等组成, 但不同类型的 ABS 系统具有不同的内部结构

和控制方法, ABS 基本组成示意图如图 1 所示。

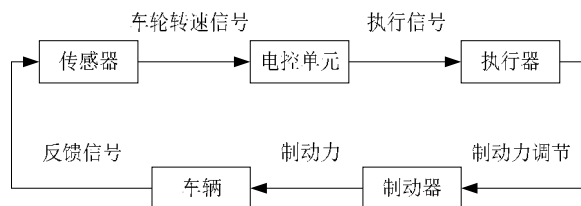


Figure 1. The sketch map of ABS basic component

图 1. ABS 基本组成示意图

汽车防抱死制动系统以最佳滑移率为控制目标[3], 通常是在制动过程中, 由传感器测得实时车轮转速值, 然后根据所得结果计算对应的车轮滑移率, 并与控制滑移率范围对比, 由对比结果进行决策, 自动控制制动器制动力大小直至车辆停止。车轮滑移率一直保持在控制范围内, 从而既能获得良好的侧向力, 又能得到较高的制动强度。

ABS 系统能够自动调节工作状态以适应各种随机条件。工作过程一般分为常规制动过程、减压过