



山东地区住宅建筑地埋管地源热泵性能测试

何理霞¹, 杜 涵¹, 高 鹏², 郑壮壮³, 崔 萍¹

(1. 山东建筑大学 热能工程学院, 山东 济南 250101; 2. 山东亚特尔集团股份有限公司, 山东 济南 250101; 3. 山东省煤田地质局第一勘探队, 山东 枣庄 277100)

摘 要: 采用实测方法,在供暖期、供冷期对3座采用地埋管地源热泵系统(兼具供暖、供冷)住宅小区A~C的室内温湿度、热泵用户侧循环水温度与流量、热泵地埋管侧循环水温度与流量、热泵机组耗电量、循环泵(热泵用户侧循环泵、热泵地埋管侧循环泵)耗电量进行实测计算。根据GB/T 50801—2013《可再生能源建筑应用工程评价标准》对地埋管地源热泵系统供暖期、供冷期能效比进行级别划分,评价3座住宅小区地埋管地源热泵系统的性能。3座住宅小区供暖期、供冷期室内热湿环境比较理想。3座住宅小区供暖期、供冷期均存在小温差、大流量运行情况。住宅小区A~C的供暖期能效比分别为2.89、2.12、3.07,供冷期能效比分别为3.86、2.44、4.11。根据GB/T 50801—2013的地埋管地源热泵系统的能效比划分,住宅小区A为3级,住宅小区C为2级,住宅小区B未获得评级。

关键词: 地埋管地源热泵; 住宅建筑; 供暖期能效比; 供冷期能效比; 性能测试

中图分类号: TU833+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-4416(2019)04-0A28-06

DOI:10.13608/j.cnki.1000-4416.2019.04.008

1 概述

为了提高地埋管地源热泵系统的运行效率,国内很多学者对公共建筑地埋管地源热泵系统的运行情况进行了测试分析^[1-3]。对于住宅建筑地埋管地源热泵系统的研究主要集中在方案探讨、适用性分析^[4-5],结合供暖期、供冷期实测数据对住宅建筑地埋管地源热泵系统供暖、供冷效果及性能进行评估和问题诊断并不多^[6]。

笔者选取山东地区3座采用地埋管地源热泵系统(兼具供暖、供冷)的住宅建筑,对用户室内温湿度、地埋管地源热泵系统运行参数等进行测试,对测试数据进行定量分析,分析地埋管地源热泵系统的供暖、供冷效果及运行情况,评价3座住宅小区地埋管地源热泵系统性能。

2 工程概况

① 住宅小区 A

坐落于济南,建筑面积为 $15.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。地埋管地源热泵系统配置1 000个钻孔,每个钻孔深度为120 m。地埋管换热器采用双U形地埋管,规格为D32×3.5。末端装置为风机盘管。

配置3台热泵机组:单台额定制冷量1 737 kW,额定输入电功率343 kW。单台额定制热量1 664 kW,额定输入电功率259 kW。配置4台地埋管侧循环泵:其中3台单台流量 $400 \text{ m}^3/\text{h}$,电机输入电功率55 kW,扬程32 m。另外1台流量 $206 \text{ m}^3/\text{h}$,电机输入电功率30 kW,扬程32 m。配置4台用户侧循环泵:其中3台单台流量 $300 \text{ m}^3/\text{h}$,电机输入电功率45 kW,扬程32 m。另外1台流量 $139 \text{ m}^3/\text{h}$,电机输入电功率22 kW,扬程32 m。

② 住宅小区 B

坐落于枣庄,建筑面积为 $1.33 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。地埋管地源热泵系统配置140个钻孔,每个钻孔深度为

作者简介:何理霞,女,硕士生,研究方向为可再生能源建筑利用技术。

收稿日期:2018-10-20; 修回日期:2018-12-16

100 m。埋管钻孔按数量平均分为两个区域(本文称为 1 区埋管、2 区埋管), 分别分配给两台性能参数相同的热泵机组。埋管换热器采用单 U 形埋管, 规格为 D32 × 3. 5。末端装置为风机盘管。

配置 2 台热泵机组: 单台额定制冷量 452 kW, 额定输入电功率 92 kW。单台额定制热量 358 kW, 额定输入电功率 108 kW。配置 6 台埋管侧循环泵: 单台流量 40 m³/h, 电机输入电功率 5. 5 kW, 扬程 30 m。配置 2 台用户侧循环泵: 单台流量 100 m³/h, 电机输入电功率 15 kW, 扬程 32 m。

③ 住宅小区 C

坐落于济宁, 建筑面积为 5. 2 × 10⁴ m²。埋管地源热泵系统配置 444 个钻孔, 每个钻孔深度为 100 m。埋管换热器采用单 U 形埋管, 规格为 D32 × 3. 5。末端装置为风机盘管。

配置 2 台热泵机组: 额定制冷量 1 350 kW, 额定输入电功率 243 kW。额定制热量 1 336 kW, 额定输入电功率 309 kW。配置 2 台埋管侧循环泵: 单台流量 320 m³/h, 电机输入电功率 45 kW, 扬程 32 m。配置 2 台用户侧循环泵: 单台流量 245 m³/h, 电机输入电功率 37 kW, 扬程 32 m。

表 1 测量仪表的性能参数及测量参数

测量仪表	测量范围	误差与准确度	测量参数
管外超声波流量计	0 ~ 3 × 10 ⁴ m ³ /h	测量相对误差 ± 1%	热泵用户侧、埋管侧循环水流量
贴片式温度传感器	0 ~ 100 ℃	测量绝对误差 ± 0. 2 ℃	热泵用户侧、埋管侧进出水温度
电流传感器	0 ~ 800 A	准确度 0. 5 级	热泵机组、循环泵输入电流
温湿度记录仪	温度测量范围 - 30 ~ 60 ℃ , 相对湿度测量范围 0 ~ 100%	温度测量绝对误差 ± 0. 3 ℃ , 相对湿度测量绝对误差 ± 3%	室内外温度、相对湿度

3. 2 测试时间

由于 3 座住宅小区分别坐落在不同地点, 因此课题组分别派遣 3 组人员在同一测试期进行测量。截止测试期, 3 座住宅小区的埋管地源热泵系统已投入运行 3 ~ 4 a。

由于被测对象为住宅小区, 因此在进行参数测量时应考虑到人员在室情况。对于热泵用户侧循环水流量、埋管侧循环水流量、热泵用户侧进出水温度、埋管侧进出水温度、热泵机组输入电流、循环泵输入电流, 测试时间为每日的 18: 00 至次日 8: 30, 供暖期与供冷期测试时间相同。供暖期测试期为 2017 年 12 月 25 日—2018 年 3 月 15 日, 供冷期测试期为 2018 年 6 月 12 日—9 月 15 日。

3 测试方案

3. 1 测量仪表与参数

3 座住宅小区的埋管地源热泵系统均未安装数据测量仪器仪表。笔者选取管外超声波流量计、贴片式温度传感器、电流传感器、温湿度记录仪、Fluke 数据记录仪等仪器仪表对埋管地源热泵系统的运行参数进行测量。测量仪表的性能参数及测量参数见表 1。Fluke 数据记录仪用于采集和记录电流传感器测量的热泵机组、循环泵输入电流。

人工记录: 考虑到住宅小区供暖、供冷具有间歇运行的特点, 测量人员在每个测试日的 22: 00 进行流量测量。待热泵用户侧、埋管侧循环水流量稳定后, 用管外超声波流量计连续测量 30 min。管外超声波流量计具有数据记录功能(数据记录时间间隔设定为 1 s), 将 30 min 测得的数据导出至计算机后, 由 Excel 软件计算 30 min 的平均流量, 作为该测试日的热泵用户侧、埋管侧循环水流量。

自动记录: 除电流传感器配置 Fluke 数据记录仪外, 贴片式温度传感器、温湿度记录仪也配置了数据自动记录仪。热泵机组、循环泵输入电流每 15 min 记录 1 次。热泵用户侧、埋管侧进出水温度每 15 min 记录 1 次。室内外温湿度: 供暖期每 5 min 记录 1 次, 供冷期每 15 min 记录 1 次。

对于室内温湿度测试用户, 考虑到室内温度响应时间, 测试时间为 19: 00 至次日 8: 30, 供暖期与供冷期测试时间相同。供暖期测试期为 2018 年 1 月 15 日—3 月 20 日, 供冷期测试期为 2018 年 6 月 12 日—21 日。

3. 3 室内温湿度测试用户

对于住宅小区 A ~ C, 分别选取 3 个用户进行室内温湿度的测试, 分别为距热泵机房最近的 1 个用户, 与热泵机房距离适中的 1 个用户, 距热泵机房最远的 1 个用户。

3. 4 数据处理

在数据处理时, 对明显存在问题的数据进行剔除。对处理后的数据, 将当前时刻的测量数据认为

是上一时刻与当前时刻间的平均值。

4 测试数据及分析

4.1 供暖供冷效果

① 供暖期

在分析各住宅小区供暖期室内温湿度时,笔者选取3座住宅小区中距机房最远的测试用户(以下简称最远测试用户)室内温湿度测试结果进行分析。

供暖期3座住宅小区最远测试用户日均室内温度、日均相对湿度分别见图1、2。由图1、2数据,可计算得到供暖期3座住宅小区最远测试用户测试期平均室内温度分别为23.58、21.35、20.19℃,测试期平均室内相对湿度分别为38.25%、45.32%、38.55%。由上述数据可知,在3座住宅小区中,住宅小区B最远测试用户室内相对湿度最高,走访发现,该测试用户供暖期有使用加湿器的习惯,还经常向室内地面洒水,这是导致室内相对湿度较高的主要原因。

根据GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》表3.0.2人员长期逗留区域空调室内设计参数,可以判定3座住宅小区供暖期室内热湿环境比较理想。

② 供冷期

在分析各住宅小区供冷期室内温湿度时,笔者仍选取3座住宅小区最远测试用户的室内温湿度测量结果进行分析。

供冷期3座住宅小区最远测试用户日均室内温度、日均相对湿度分别见表2、3。由表2、3数据,可计算得到供冷期3座住宅小区最远测试用户测试期平均室内温度分别为26.81、26.56、26.63℃,测试期平均室内相对湿度分别为52.85%、56.39%、57.36%。

根据GB 50736—2012表3.0.2,可以判定3座住宅小区供冷期室内热湿环境比较理想。

4.2 循环水温度

① 供暖期

笔者选取具有连续性的数据进行分析:对住宅小区A,选取2018年1月21日—3月20日的数据。对住宅小区B,选取2017年12月25日—2018年2月21日的数据。对住宅小区C,选取2017年12月26日—2018年1月26日的数据。供暖期3座住宅小区热泵用户侧日均进、出水温度、埋管侧日均进、出水温度分别见图3~5。

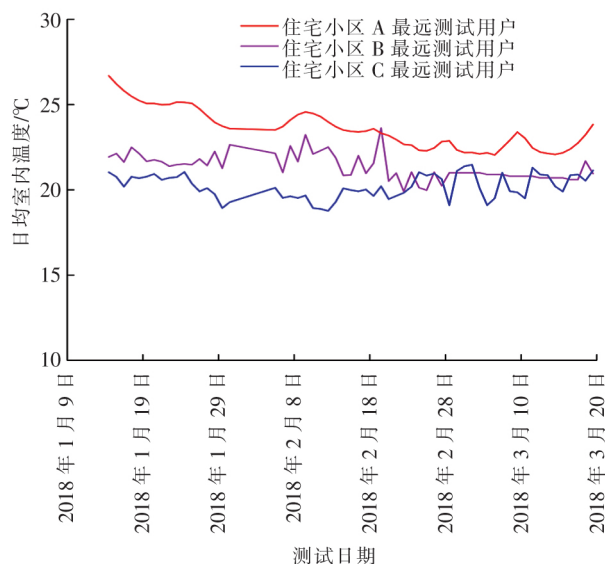


图1 供暖期3座住宅小区最远测试用户日均室内温度

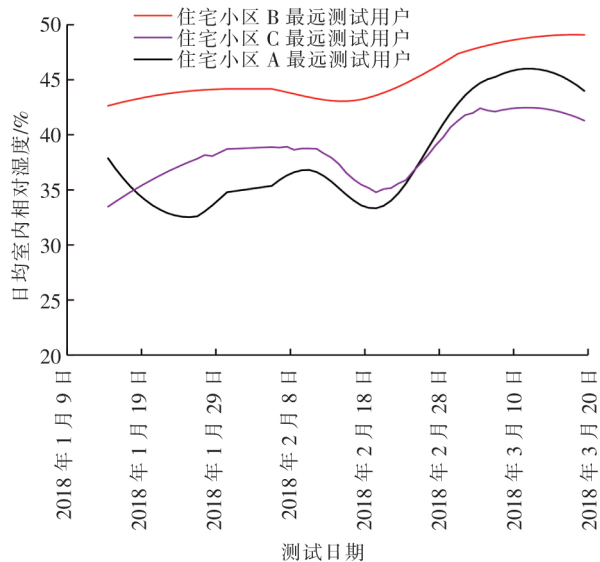


图2 供暖期3座住宅小区最远测试用户日均室内相对湿度

表2 供冷期3座住宅小区最远测试用户日均室内温度
℃

测试日期	住宅小区 A	住宅小区 B	住宅小区 C
2018 年 6 月 12 日	26.30	26.69	27.71
2018 年 6 月 13 日	26.90	26.30	26.81
2018 年 6 月 14 日	26.60	26.55	28.81
2018 年 6 月 15 日	27.19	26.08	26.50
2018 年 6 月 16 日	26.99	26.80	26.81
2018 年 6 月 17 日	27.19	26.00	25.81
2018 年 6 月 18 日	26.19	26.56	25.80
2018 年 6 月 19 日	27.19	26.40	26.10
2018 年 6 月 20 日	27.19	26.72	25.90
2018 年 6 月 21 日	26.36	27.56	26.14

表 3 供冷期 3 座住宅小区最远测试用户日均室内

测试日期	相对湿度 %		
	住宅小区 A	住宅小区 B	住宅小区 C
2018 年 6 月 12 日	52.03	56.32	57.42
2018 年 6 月 13 日	52.93	56.91	57.41
2018 年 6 月 14 日	52.94	56.33	57.40
2018 年 6 月 15 日	52.94	56.33	57.38
2018 年 6 月 16 日	52.94	56.33	57.37
2018 年 6 月 17 日	52.95	56.33	57.36
2018 年 6 月 18 日	52.95	56.34	57.35
2018 年 6 月 19 日	52.96	56.34	57.34
2018 年 6 月 20 日	52.96	56.34	57.33
2018 年 6 月 21 日	52.96	56.34	57.32

由图 3 可知,测试期住宅小区 A 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度比较平稳。测试期热泵用户侧平均进、出水温度分别为 37.75、39.74 °C,热泵地埋管侧平均进、出水温度分别为 8.90、6.66 °C。由图 4 可知,测试期住宅小区 B 用户侧日均进、出水温度、地埋管侧日均进出水温度出现小幅波动,测试期热泵用户侧平均进、出水温度分别为 36.19、37.23 °C,热泵地埋管侧(1 区)平均进、出水温度分别为 17.79、17.23 °C,热泵地埋管侧(2 区)平均进、出水温度分别为 12.59、11.24 °C。由图 5 可知,测试期住宅小区 C 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度比较平稳,测试期热泵用户侧平均进、出水温度分别为 35.46、37.14 °C,热泵地埋管侧平均进、出水温度分别为 12.32、11.66 °C。

由实测数据可知,这 3 座住宅小区在供暖期均存在小温差运行的情况。由图 1、2 可知,供暖期 3 座小区的室内温度比较理想。由此可以说明,3 座小区均存在小温差、大流量运行的情况。

② 供冷期

供冷期 3 座住宅小区热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度分别见图 6~8。由图 6~8 可知,供冷期 3 座小区热泵地埋管侧的进出水温度变化基本合理。供冷期,住宅小区 A 测试期热泵用户侧平均进、出水温度为 16.95、15.47 °C,住宅小区 B 测试期热泵用户侧平均进、出水温度为 16.15、13.35 °C,住宅小区 C 测试期热泵用户侧平均进、出水温度为 16.43、14.81 °C。

由以上数据可知,3 座住宅小区均存在小温差

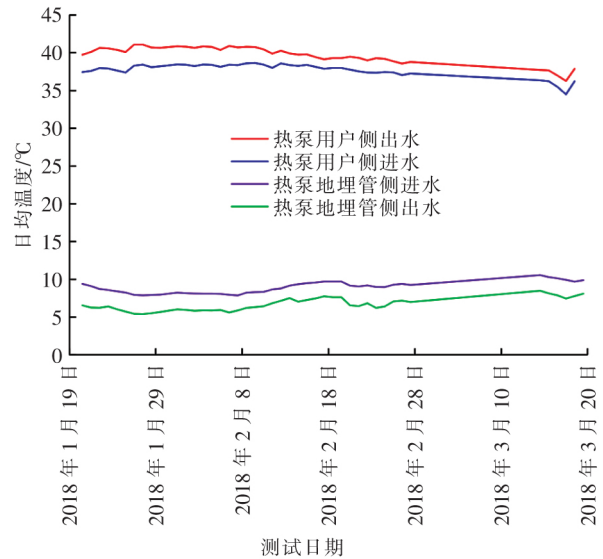


图 3 供暖期住宅小区 A 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度

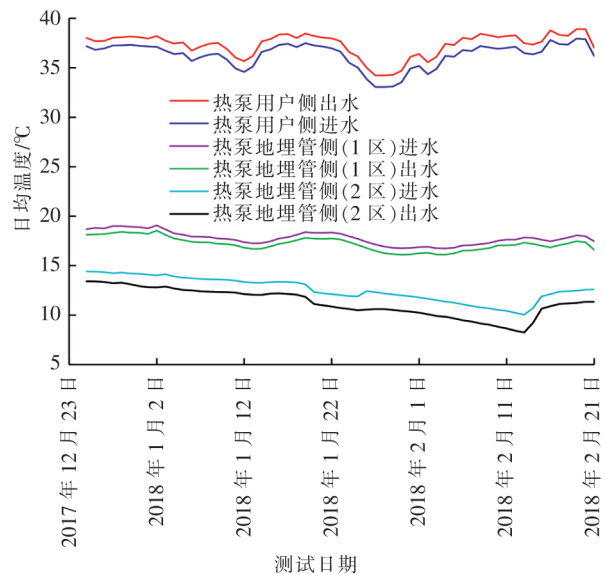


图 4 供暖期住宅小区 B 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度

运行情况。由表 2、3 可知,供冷期 3 座小区的室内温度比较理想。由此可以说明,3 座小区均存在小温差、大流量运行的情况。

5 能效比评价

采用供暖期测试时间 2017 年 12 月 25 日—2018 年 3 月 15 日以及供冷期测试时间 2018 年 6 月 12 日—9 月 15 日的相关测试数据,计算地埋管地源热泵系统供暖期能效比、供冷期能效比。

为方便计算,热泵机组的供暖期制热量、供冷期制冷量以 kW·h 计。地埋管地源热泵系统供暖期、

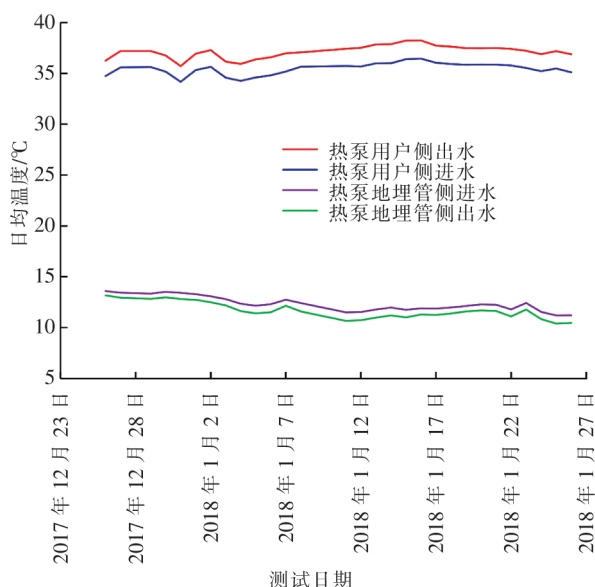


图 5 供暖期住宅小区 C 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度

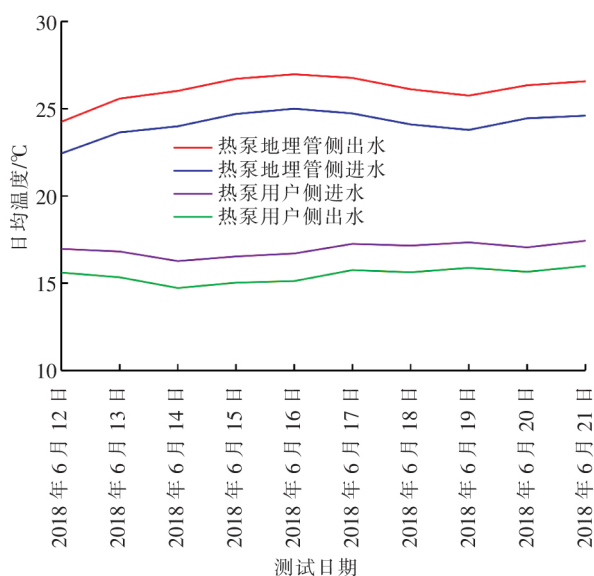


图 6 供冷期住宅小区 A 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度

供冷期能效比 I 的计算式为:

$$I = \frac{Q}{E_u + E_p}$$

式中 I ——地埋管地源热泵系统供暖期、供冷期能效比

Q ——热泵机组供暖期制取的热量、供冷期制取的冷量, $\text{kW} \cdot \text{h}$

E_u ——热泵机组耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$

E_p ——循环泵(包括用户侧循环泵、地埋管侧循环泵)耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$

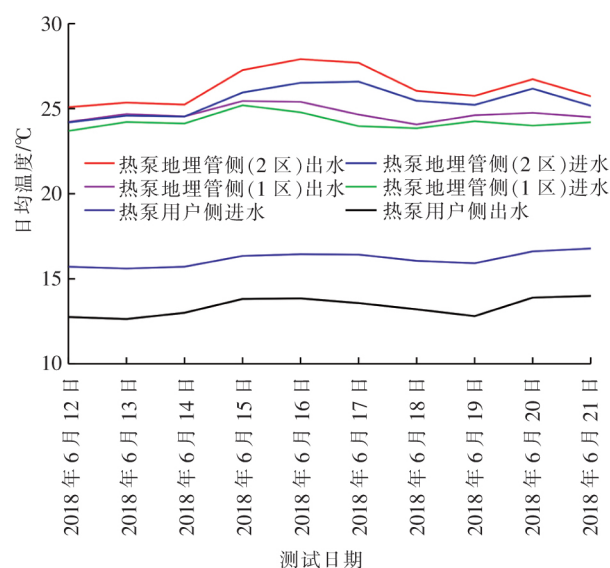


图 7 供冷期住宅小区 B 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度

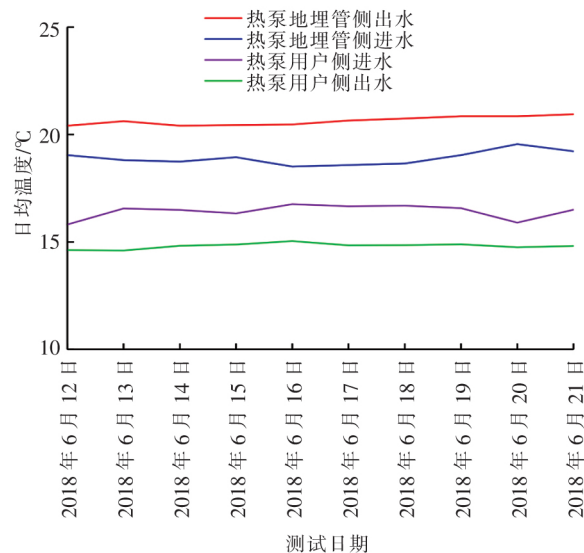


图 8 供冷期住宅小区 C 热泵用户侧日均进出水温度、地埋管侧日均进出水温度

热泵机组供暖期制取的热量、供冷期制取的冷量 Q 的计算式为:

$$Q = \sum_{i=1}^n t \Phi_i$$

式中 n ——实测时间, h

t ——时间, h , 取 1 h

Φ_i ——逐时平均制冷量、制热量, kW

热泵机组制冷量、制热量 Φ 的计算式为:

$$\Phi = qpc_p \Delta \theta$$

式中 Φ ——热泵机组制冷量、制热量, kW

q ——热泵机组用户侧循环水体积流量, m^3/s

ρ ——热泵用户侧循环水密度, kg/m^3

c_p ——循环水比定压热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 本文取 $4.186 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

$\Delta\theta$ ——热泵机组用户侧循环水温差, $^\circ\text{C}$

供暖期热泵用户侧循环水密度取 $994 \text{ kg}/\text{m}^3$,

供冷期热泵用户侧循环水密度取 $999 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

热泵机组、循环泵电动机耗电量 E 的计算式为:

$$E = \sum_{i=1}^n tP_i$$

式中 E ——热泵机组、循环泵电动机耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$

P_i ——逐时平均电功率, kW

热泵机组、循环泵电动机电功率 P 的计算式为^[7]:

$$P = 1.732 \times 10^{-3} UI\eta\lambda$$

式中 P ——热泵机组、循环泵电动机电功率, kW

U ——供电电压, V , 为 380 V

I ——实测输入电流, A

η ——传输效率, 本文取 0.95

λ ——功率因数, 本文取 0.85

由实测数据及上述计算式, 可计算得到 3 座住宅小区的供暖期能效比分别为 2.89 、 2.12 、 3.07 , 供冷期能效比分别为 3.86 、 2.44 、 4.11 。由计算结果可知, 在 3 座住宅小区中, 住宅小区 C 的供冷期能效比、供暖期能效比均最高, 住宅小区 A 居中, 住宅小区 B 最低。这反映, 住宅小区 C 热泵机组的配置比较合理, 运行策略比较得当。

GB/T 50801—2013《可再生能源建筑应用工程评价标准》表 6.4.3 给出的埋管地源热泵系统能效比级别划分见表 4。

表 4 埋管地源热泵能效比级别划分

级别	供暖期能效比 I_{HSPF}	供冷期能效比 I_{SEER}
1 级	$3.5 \leq I_{\text{HSPF}}$	$3.9 \leq I_{\text{SEER}}$
2 级	$3.0 \leq I_{\text{HSPF}} < 3.5$	$3.4 \leq I_{\text{SEER}} < 3.9$
3 级	$2.6 \leq I_{\text{HSPF}} < 3.0$	$3.0 \leq I_{\text{SEER}} < 3.4$

GB/T 50801—2013 第 6.4.4 条规定, 当地埋管地源热泵系统供暖期、供冷期均使用时, 应分别依据表 6.4.3 中供暖期、供冷期能效比级别分别进行分级, 当供暖期、供冷期能效比不同时, 按表 6.4.3 取

较低级别。由此可判定住宅小区 A 为 3 级, 住宅小区 C 为 2 级。由于住宅小区 B 供暖期能效比、供冷期能效比均比较低, 未能获得评级。

6 结论

采用实测方法, 在供暖期、供冷期对 3 座采用埋管地源热泵系统(兼具供暖、供冷)住宅小区 A ~ C 的室内温湿度、热泵用户侧循环水温度与流量、热泵埋管侧循环水温度与流量、热泵机组耗电量、循环泵(热泵用户侧循环泵、热泵埋管侧循环泵)耗电量进行实测计算。根据 GB/T 50801—2013《可再生能源建筑应用工程评价标准》对埋管地源热泵系统供暖期、供冷期能效比进行级别划分, 评价 3 座住宅小区埋管地源热泵系统的性能。

① 3 座住宅小区供暖期、供冷期室内热湿环境比较理想。

② 3 座住宅小区供暖期、供冷期均存在小温差、大流量运行情况。

③ 住宅小区 A ~ C 的供暖期能效比分别为 2.89 、 2.12 、 3.07 , 供冷期能效比分别为 3.86 、 2.44 、 4.11 。根据 GB/T 50801—2013 的埋管地源热泵系统的能效比划分, 住宅小区 A 为 3 级, 住宅小区 C 为 2 级, 住宅小区 B 未获得评级。

参考文献:

- [1] 夏婵, 卜震. 上海地区某联排别墅地源热泵系统冬季运行效果实测分析 [J]. 上海节能, 2016(5): 247 - 251.
- [2] 姜海洋. 严寒地区地源热泵系统运行后评估及优化模拟分析(硕士学位论文) [D]. 济南: 山东建筑大学, 2016: 3 - 7.
- [3] 刘玉峰, 赵凤丽, 张长兴. 寒冷地区地源热泵系统冬季运行特性分析 [J]. 制冷技术, 2017(12): 80 - 83.
- [4] 刘岳栋. 太原市某住宅小区地源热泵空调系统方案探讨 [J]. 山西建筑, 2013, 39(25): 117 - 118.
- [5] 王泽剑, 刘东, 项琳琳. 地源热泵在夏热冬冷地区高密度住宅建筑中的适用性分析 [J]. 节能技术, 2016(4): 368 - 371.
- [6] 杨泽鸣, 沈致和. 某小区地源热泵系统夏季运行检测与分析 [J]. 制冷与空调, 2015(6): 688 - 691.
- [7] 方正. 三相异步电动机运行功率估算方法 [J]. 电机技术, 2011(4): 43 - 45.

mode of inside into and outside out is adopted, the temperature of the circulating water in the inner tube gradually decreases in the process of descent, and the temperature of the circulating water in the annular flow channel gradually decreases during the rising process. When the flow mode of outside into and inside out is adopted, the temperature of the circulating water in the annular flow channel gradually decreases during the descending process, while the temperature of the circulating water in the inner tube gradually rises during the ascending phase. Although there is a thermal short circuit phenomenon between the annular flow channel and the inner tube under the flow modes of outside into and inside out, inside into and outside out, the thermal short circuit phenomenon under the flow mode of outside into and inside out is more obvious. Increasing the thermal conductivity of the inner tube wall significantly enhances the thermal short circuit phenomenon under the two flow modes. Increasing the thermal conductivity of the outer tube wall is beneficial to improve the thermal short circuit phenomenon under the two flow modes. When other parameters are unchanged, the temperature difference of the circulating water between the inlet and outlet of the heat exchanger, the energy efficiency and the heat exchange flow rate increase with the increase of the drilling depth. When other parameters are unchanged, the temperature difference of the circulating water between the inlet and outlet of the heat exchanger gradually decreases with the increase of the circulating water mass flow rate. The energy efficiency decreases with the increase of the circulating water mass flow rate and tends to stabilize. The heat exchange flow rate increases with the increase of the circulating water mass flow, but the increase rate gradually slows down. When other parameters are unchanged, the temperature difference of the circulating water between the inlet and outlet of the heat exchanger rapidly increases with the increase of the thermal conductivity of the outer tube wall, and then tends to stabilize. When other parameters are unchanged, the temperature difference of the circulating water between the inlet and outlet of the heat exchanger decreases rapidly with the increase of the thermal conductivity of the inner tube wall, and then tends to stabilize. The variation of energy efficiency and heat exchange flow rate is consistent with the variation of the temperature difference of the circulating water between the inlet and outlet of the casing-type ground heat exchanger with the thermal conductivity of the inner and outer tube wall.

Key words: buried pipe ground source heat pump; casing-type buried heat exchanger; temperature distribution; heat exchange performance

Performance Test of Buried Pipe Ground Source Heat Pump for Residential Buildings in Shandong Area

HE Lixia, DU Han, GAO Peng,
ZHENG Zhuangzhuang, CUI Ping

Abstract: The indoor temperature and humidity, the temperature and flow rate of the circulating water on the heat pump user side, the temperature and flow rate of the circulating water on the buried pipe side of the heat pump, the power consumption of the heat pump unit and the power consumption of the circulating pumps (the circulation pump on heat pump user side and the circulation pump on the buried pipe side of the heat pump) in the residential areas A to C using the buried pipe ground source heat pump system (both heating and cooling) during the heating period and cooling period are measured and calculated. According to *Evaluation Standard for Application of Renewable Energy in Buildings* (GB/T 50801 – 2013), the energy efficiency ratio of the buried pipe ground source heat pump system during the heating period and cooling period is classified, and the performance of the buried pipe ground source heat pump system in the three residential areas is evaluated. The indoor hot and humid environment during the heating period and cooling period in the three residential areas is ideal. There are small temperature difference and large flow operation during the heating period and cooling period in the three residential areas. The energy efficiency ratios during the heating period in residential areas A to C are 2.89, 2.12 and 3.07, respectively, and the energy efficiency ratios during the cooling period are 3.86, 2.44 and 4.11, respectively. According to the energy efficiency ratio division of the buried pipe ground source heat pump in GB/T 50801 – 2013, the residential area A is level 3, the residential area C is level 2, and the residential area B is not rated.

Key words: buried pipe ground source heat pump; residential building; energy efficiency ratio during heating period; energy efficiency ratio during cooling period; performance test

Application of Virtual Reality Technology in Natural Gas Distributed Energy System

ZHANG Xi, HAO Yinlong,
KONG Ruquan, YU Xiaoming

Abstract: The application of virtual reality