

# 基于污水源热泵应用的污水沿管温变分析

贾洪愿, 薛凯, 李沁芸, 林真国

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

**摘要:** 分析了生活污水在管内换热的机理。采用热电偶温度计直接测量的方法,对重庆市某小区生活污水管道的污水温度进行了现场测试,分析了污水温度变化的原因。利用污水温度日较差和温度变化标准差等评价指标,研究了不同地点污水温度波动情况,并分析了原因。基于分析结果,对污水源热泵系统取水点设置进行了探讨。

**关键词:** 污水源热泵; 污水温度; 换热

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-3429.2012.03.011

中图分类号: TM823.3, X703

文献标识码: B

文章编号: 2095-3429(2012)03-0048-04

## Analysis of Sewage Temperature Variation along the Pipes on the Basis of Sewage Source Heat Pumps Applications

JIA Hong-yuan, XUE Kai, LI Qin-yun, LIN Zhen-guo

(College of Urban Construction & Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** The heat transfer mechanism of sewage in the pipes was analyzed. It was found that the heat transfer was associated with a variety of factors and the effects of the air above the sewage on its temperature varied with seasons. The all-day temperature of sewage in pipes of one residential quarter in Chongqing was measured by a thermocouple thermometer. And the reasons of temperature variation were analyzed. The temperature variation of sewage in different sites was studied by using daily range temperature, standard deviation and etc. The reasons were analyzed as well. Based on the conclusion, the selection of the intake point of sewage source heat pump system was discussed.

**Key words:** sewage source heat pump; sewage temperature; heat transfer

### 0 引言

能源是社会发展的基础。在高效利用现有能源的同时,人们也正在寻找和开发新的能源。城市污水是目前尚未被有效利用的低品位可再生能源<sup>[1]</sup>。采用污水源热泵系统来供暖和制冷,制冷、制热系数可达3.5~4.4,比传统空气源热泵要高出40%左右,而运行费用仅为普通中央空调的50%~60%<sup>[2]</sup>。在污水的特性参数中,污水温度决定了污水可利用热能总量,是换热工况

设计的重要参数。污水每升高或降低1℃,影响能耗1.5%~2.5%,影响投资2.5%~4.0%,当污水温度增减3℃以上时,还会影响热泵COP值5%~13%<sup>[3]</sup>。因此,污水温度对污水源热泵系统能否正常运行及其运行的经济性有很大影响<sup>[4]</sup>。城市生活污水进入污水处理厂处理后形成一、二级污水,因此生活小区污水温度对一、二级污水温度有直接的影响。深入研究城市小区生活污水温度变化规律,对城市污水源热泵技术的推广应用具

基金项目: 重庆大学科研训练计划项目(No.CQU-SRTP-2011692);

重庆市建委科技资助项目(No.城科学2011第2-38号)。

作者简介: 贾洪愿(1989-),男,山东济宁人,本科三年级在读。

有促进作用。

就污水冷热源的应用而言,国内外对污水温度变化规律有一定研究<sup>[3]</sup>。如戴通涌、刘安田、张素等对城市污水的主要热特性进行了分析<sup>[4]</sup>,周双、康侍民对污水水温与季节和地域关系开展了分析<sup>[5]</sup>,廖吉香、刘兴业、马庆艳等对污水热能特征做了研究<sup>[7]</sup>,钱剑锋对污水热能利用方式进行了探讨<sup>[6]</sup>。他们均采用一定的测量手段测试了城市一、二级污水管内温度、流量等全年变化情况,并分析得出了城市污水具有冬暖夏凉、受气候影响小的特征,但对污水沿管换热过程及污水温度变化的原因未作阐述。

纵观国内外城市污水温度变化研究现状可以看出,目前大部分研究仅着眼于城市一、二级污水,对城市小区生活污水温度特性的研究甚少,且只针对污水温度的季节和地域特征进行探讨,对污水温度变化原因缺乏详细分析。本文将针对城市生活小区污水温度沿流程变化作初步探讨。

### 1 污水沿管换热过程

污水在管道中为非满管流流动,沿程埋管深度连续变化,以保证污水在重力作用下顺利流动。污水管道材质一般为混凝土,在污水与周围介质换热分析中,其传热热阻不能忽略。若将管道视为土壤一部分,如果污水管道足够长,污水温度将不断向该处土壤温度靠近<sup>[9]</sup>,但由于管壁热阻的存在,其温度与土壤温度有一定差值。

污水在管内流动,加速了污水上方空气与污水之间的换热。这部分换热除包含污水与上方空气之间的显热交换外,还包括两者之间的潜热交换。若污水管道足够长,上方空气将最终达到饱和。

对于夏季,如图1所示。污水管内空气在与下方较冷的污水换热后,其温度低于室外空气温度,管内空气所受浮升力作用小,积存于污水管中,其与室外空气间

对流换热弱。因此,在夏季,污水上方空气对污水温度的影响有限。

而对于冬季则相反,污水管内空气与较热的污水换热后,温度高于室外空气温度,由于烟囱效应的存在,使得热空气沿管上升至污水检查井,相应的冷空气亦会进入管道中,在地面与管道之间形成环形流动,如图2所示。空气的对流作用加强了污水与上方空气之间的换热,促进了污水的沿程降温,这对于污水源热泵在冬季利用污水中的热能不利。

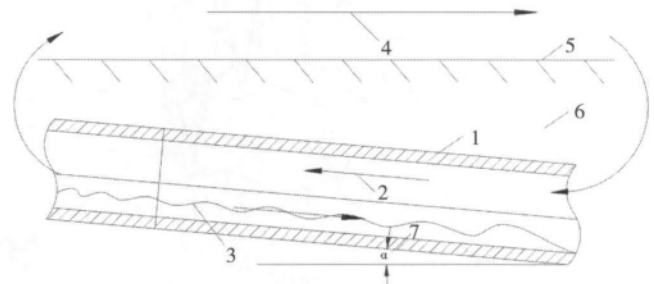


图2 冬季污水沿管换热图

1-污水管 2-污水管内空气 3-生活污水 4-室外空气  
5-室外地坪 6-土壤 7-倾斜角

### 2 污水温度实测分析

笔者对重庆市某生活小区污水管道内污水温度进行了实测,温度测点分布如图3所示。

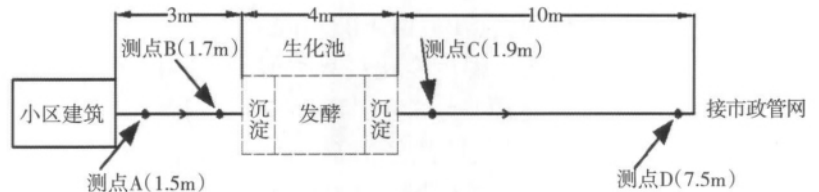


图3 小区污水测点分布图

该管道污水来自上游某生活小区。生活污水首先排入小区生化池,进行初步处理后流入该小区污水管道,最后汇入市政污水管道。各污水温度测点A、B、C、D,分别位于小区生化池入口前、生化池入口、生化池出口、污水管与市政管交汇处。笔者采用热电偶温度计对四个测点的污水温度进行了全天测量,某秋季典型日该污水管各测点污水温度测量数据见表1。

为使各测点温度变化情况更为直观,将各测点温度绘制成折线图,如图4所示。

由表1和图4可见,位于生化池入口前的测点A,用水高峰时间段出现在12:00~14:00及18:00~20:00。这是因为在该时段内,用户由于生活需要,热水使用量较多,温度最高可达22.6℃,而温度的最低值为17.7℃,出现在凌晨,其原因是由于该时段用户用水量较少,且冷

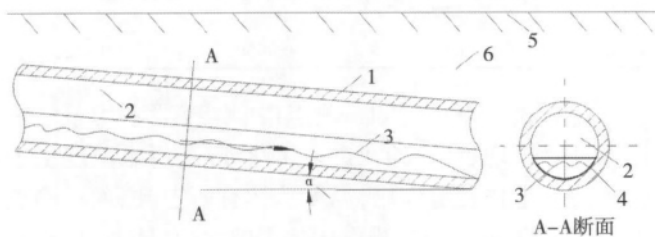


图1 夏季污水沿管换热图

1-污水管 2-污水管内空气 3-生活污水 4-污水流动湿周  
5-室外地坪 6-土壤 7-倾斜角

表1 各测点全天温度数据(秋季)

测点	时刻																							
	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
测点A	18.8	17.7	18.5	18.6	18.5	19.5	20.6	20.6	19.8	19.2	19.9	22.6	22.3	20.4	21.9	19.7	20.0	21.4	22.1	21.7	21.1	19.9	20.3	19.5
测点B	18.6	17.9	18.3	18.2	18.4	19.8	20.6	20.3	19.9	19	19.9	22.5	21.9	20.8	21.2	19.5	20.5	21.8	21.5	22	21	20.1	19.9	19.4
测点C	20.2	20.2	20.3	20.1	20.1	20.2	20.4	20.3	20.5	20.7	20.7	21.2	21.1	20.8	20.6	20.5	20.7	21	20.4	20.4	20.5	20.9	20.5	20.2
测点D	20.2	20.1	20.2	20.2	20.3	20.4	20.3	20.2	20.3	20.1	20.3	20.4	20.5	20.3	20.3	20.4	20.1	20.5	20.4	20.4	20.3	20.4	20.3	20.3

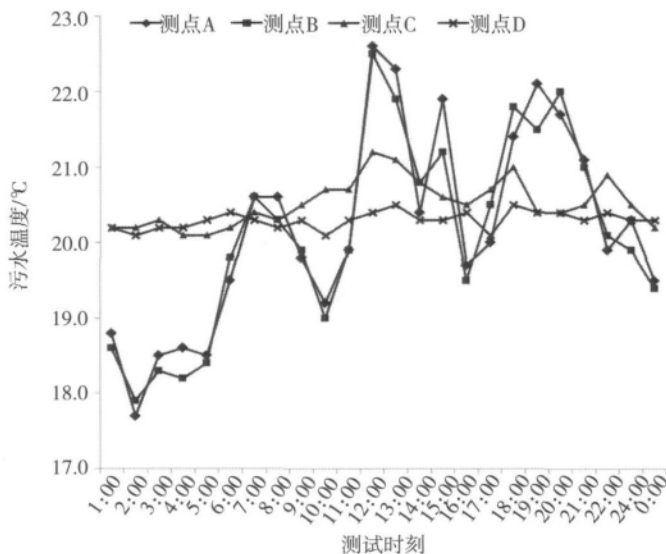


图4 污水温度全天变化图

水居多。另外,测试时间位于秋季,凌晨空气温度较低,与管内温度较高空气产生对流,进一步促进了污水温度的降低。

位于生化池入口的测点B,由于B点和A点距离不远,因此B点与A点的污水温度变化趋势类似,但是由于在流动过程中受到地温、空气温度等的综合作用而与测点A出现一定的差异,其温度最高值为22.5°C,同样出现在用水比较集中的时间12:00,最低值为17.9°C,出现在凌晨。由此可见,测点B温度极值出现时间与测点A十分相似,并不存在时间上的延迟。这是因为两测点相隔距离有限,地温等因素对污水温度的影响不明显。

与测点A、B不同,测点C的温度变化较小。这是由于其位于生化池出口,污水经过生化池内微生物稳定的发酵作用,温度升高,稳定在20.1~21.2°C。且生化池出口流量变化不大,小区住户用水情况对其影响已不再明显,这对于测点C处污水温度的稳定有利。

最后,对于测点D,温度波动同样较小,但较之测点C,整体来说有略微下降。这是因为D点距离生化池较远,污水沿途散热,虽然污水与地下土壤换热可使污水温度升高,但如前所述,由于该典型日位于秋季,存在污水管内空气与室外空气的对流作用,加速了污水降温。

统计各测点污水温度数据,并加入室外空气温度作为对照,见表2,可看出测点C处平均温度高于其它测点,说明生化池微生物发酵作用对污水温度影响较大。由于单独采用平均值并不能完全反应污水温度全天波动情况,因此引入各测点处污水温度日较差和标准差来衡量。其中测点A的日较差和标准差均为四测点中最大,最大温变速率达到2.7°C/h,说明温度波动最为剧烈。相反,测点D最小,全天温度较为稳定。这与前述分析结论一致。

表2 不同测点温度波动比较

项目	平均值/°C	日较差/°C	标准差	最大温变速率/°C/h
测点A	20.19	4.9	1.3302	2.7
测点B	20.13	4.6	1.3106	2.6
测点C	20.52	1.1	0.3134	0.6
测点D	20.30	0.4	0.1142	0.4
室外气温	15.12	4.7	1.3461	0.9

但同时也可发现,总体而言,各测点污水温度全天变化幅度并不太大,在5°C以内,测点C和D全天温度波动更是远小于空气;并且,对于8:00~22:00的集中使用空调时间段,各测点污水温度变化最大也只有3.5°C。说明生活污水水温总体比较稳定,可作为稳定的冷、热源,这有利于污水源热泵系统利用生活污水中的冷、热能进行供暖和制冷。

以上分析均为各测点污水温度随时间变化情况的比较,在此引入单位长度温度降 $R_t$ 的概念,用于比较污水温度沿管温降速率的大小。统计各点温度数据并计算各测点污水单位长度温度降 $R_t$ ,见表3。

表3 相邻测点之间温降比较

项目	测点A~测点B	测点B~测点C	测点C~测点D
$R_t$ , °C/m	0.0222	-0.0990	0.0221

在各相邻测点之间,测点B~测点C段平均单位长度温度降出现负值,即在进入生化池后,污水温度由于受池内微生物发酵作用,温度总体有所上升。而在测点A~测点B段及测点C~测点D段,均为正值且大致相等,说明污水在沿管流动中温度下降,且影响污水温度的各因素在这两段的作用大致相同。



### 3 取水点位置的探讨

以上结论对于原生污水的污水源热泵系统取水点的选择具有参考意义。作为污水源热泵系统的冷、热、热源,其温度波动应尽量小,且可利用温差应尽量大。由上分析可见,生化池出口处和汇入市政污水管前的污水温度波动在秋季相对较小。因此,在设置原生污水的污水源热泵系统进行制热时,应在生化池出口和汇入市政管前的管段之间取水,且应尽量靠近生化池出口处。若取水处距离生化池出口较远,可采取一定的保温措施,减少污水从生化池出口流至水泵吸入口之间的温变,更好地利用污水中的热能。

### 4 结语

(1)城市小区生活污水温度受地温、空气温度、管壁导热性能、污水成分及用户用水情况等多种因素影响,全天温度呈现一定的波动,但整体波动不大,可作为稳定的冷、热源。

(2)越靠近用户侧,污水温度受用户用水情况影响越大,波动也越大。

(3)生化池内微生物发酵作用可使污水温度升高,对稳定污水温度作用明显。

(4)对于原生污水的污水源热泵系统的制热工况,取水点应设置在生化池出口和汇入市政管前的管段之间,且应尽量靠近生化池出口处。

#### 参考文献:

- [1] 林真国,张素云,伍培.重庆市城市污水冷热资源利用的可行性探讨[J].科学咨询(决策管理) 2009(03):13.
- [2] 陈建平,魏剑锋,尹恒.污水热能利用变废为宝[J].建设科技 2005,(16):60-61.
- [3] 吴荣华,孙德兴,马广兴.城市原生污水冷热水源水参数特性与应用方法评价[J].可再生能源 2005(05):42-46.
- [4] 刘义坤,康侍民,冷先凯,等.重庆市污水源热泵系统的工程应用与分析[J].制冷与空调 2010(04):61-67.
- [5] 戴通涌,刘安田,张素云,等.重庆市污水源热泵应用前景分析[J].制冷与空调(四川) 2007,(01):59-61.
- [6] 周双,康侍民.重庆市城市生活污水热能的应用研究[J].四川建筑 2009,(01) 228-229 232.
- [7] 廖吉香,刘兴业,马庆艳,等.东北地区污水水源热泵现状分析[J].节能技术 2005(06):539-542 561.
- [8] 钱剑峰,张力隽,张吉礼,等.直接式与间接式污水源热泵系统供热性能分析[J].湖南大学学报(自然科学版) 2009(S2):94-98.
- [9] 吴荣华,徐莹,孙德兴,等.污水源热泵渠温受地温作用下的温变模型[J].哈尔滨工业大学学报 2008(12):1986-1990.

收稿日期 2012-04-24

修回日期 2012-05-30

(上接第 68 页)

### 5 结语

(1)单纯依靠 IPLV 大小来作为冷水机组选型的标准,从而认为高 IPLV 的冷水机组能表现出更好的全年综合运行性能是片面,特别是利用标准规定的 IPLV 计算公式。建议能针对具体项目根据 IPLV 权重系数计算方法,总结出适用于本项目的 IPLV 计算公式。

(2)除了应重视优化冷水机组的运行方式和策略,还需优化冷水机组容量的选择和匹配,从根本上提高机房优化运行的节能潜力。从实际意义上讲, IPLV 可以理解为冷水机房全年综合运行性能的简化指标,可以以此为参考结合冷水机组的部分负荷特性及市面可获得的冷水机组规格来优化冷水机组的选型。

(3)设置 1 台或部分变频机组作为容量调节使用可取得一定的节能效果,但不能错误地认为这就能够达到或基本达到全部采用变频冷水机组的效果。当由于容量的限制,不能全部设置变频机组时,应注意对大容量变频

冷水机组容量和台数的优化,使整个机房的 IPLV 尽量最大化。选用 1~2 台小容量机组作为调节作用是必要的,这些小容量机组最好利用变频冷水机组。

(4)本文仅从如何实现最佳的综合能效的角度对冷水机组的选型策略进行探讨。在实际工程中,冷水机组的台数和容量配置以及定、变频的选择,涉及到机房面积、初投资等多方面因素的影响,需要结合实际情况权衡考虑。

#### 参考文献:

- [1] 汪训昌.正确理解\_解释与应用 ARI550\_590 标准中的 IPLV 指标[J].暖通空调 2006 36(11):46-50.
- [2] ARI 550/590-2003,Water chilling packages using the vapor compression cycle[S]. 2003.
- [3] GB50189-2005,公共建筑节能标准[S].2005.

收稿日期 2012-04-10

修回日期 2012-06-06