

# 关于城市污水热能资源化 相关概念和分类的探讨<sup>\*</sup>

哈尔滨工业大学 张承虎<sup>☆</sup> 孙德兴 吴荣华 马广兴

**摘要** 从污水热能利用的技术角度将城市污水分为原生污水、一级污水、二级污水三大类,分析了不同污水的应用特点和应用前景,指出原生污水的热能利用在未来所占的主导地位。定义和区分了污水热能资源化、污水类冷热源、污水源热泵、污水源热泵系统等概念,指出了它们的类属关系和各自的地位。从技术角度对污水源热泵系统进行了分类,比较了直接和间接污水源热泵系统的优缺点,指出直接系统具有巨大的发展前景。介绍了直接系统的两种可实现的形式。

**关键词** 污水 热能资源化 热泵 概念 分类

## Concepts and classification concerning municipal sewage heat energy utilization

By Zhang Chenghu<sup>★</sup>, Sun Dexing, Wu Ronghua and Ma Guangxing

**Abstract** Classifies the municipal sewage as crude sewage, primary sewage and secondary sewage from the aspect of heat energy exploitation. Analyses the application characteristics and prospects, and states that the crude sewage will be the main source of heat energy usage in the future. Clarifies the concepts such as the sewage heat energy utilization, sewage-like cold/heat sources, sewage source heat pump, sewage source heat pump system (SSHPS), and points out their categorical relationship and status. Classifies the SSHPS as direct systems and indirect systems, compares their merits and faults, and indicates that the direct system has huge space to be developed. Presents two realizable forms for this system.

**Keywords** sewage, heat energy utilization, heat pump, concept, classification

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

### 0 引言

城市污水热能资源化是污水资源化和建筑新能源开发的前沿课题<sup>[1-2]</sup>。关于这一新兴领域的工程报道和研究文献正日益增多,出现了很多新概念、新定义和新术语,对行业的规范发展起到了重要的推动作用,基本上概括了存在的难点问题,反映了现在的进展情况,指出了将来的发展方向。但是这些概念基本上都是一家之言,没有系统的划分,使用上也有一定的混乱,在参考时容易引起混淆和误解甚至误导。本文的目的是要系统地澄清

这些问题。

随着工程技术的进一步发展,人们利用的污水种类越来越多<sup>[3-4]</sup>,其性质和成分越来越复杂,所面临的困难和所需解决的问题也在一步一步地升级,而带来的经济效益和应用前景也随之增大,已经不能再用好坏优劣一概而论了,对其必须进行区分。污水作为热泵系统的低位冷热源而为建筑物供冷

①☆ 张承虎,男,1980年2月生,在读博士研究生  
150090 哈尔滨工业大学二区市政环境工程学院 257 #  
(O) 13766830371  
E-mail: chenghuzhang@eyou.com  
收稿日期:2005-06-09  
修回日期:2005-08-14

供暖是污水热能利用的主要方式和真正有效的途径<sup>[5]</sup>,但并不是惟一的途径<sup>[4]</sup>,因此不能以偏概全地认为污水热能资源化就是污水源热泵系统。热泵的分类有许多种方法<sup>[6]</sup>,但是具体到污水源热泵系统的分类却没有,不同的工程背景和需求对污水源热泵系统提出了不同的工艺要求和系统形式,于是需要解决的问题和问题的难易程度也是不同的,取得成果的意义也就不同了,以此为出发点对污水源热泵系统进行分类才具有实质意义。

本文将首先讨论该领域对城市污水的分类,然后对污水热能资源化、污水类冷热源、污水源热泵、污水源热泵系统等相关概念进行必要的区分,最后对污水源热泵系统进行分类。同时也讨论污水热能资源化的研究内容和将来的研究方向。

## 1 从污水热能利用的技术角度对城市污水进行分类

城市污水的存在过程基本上是:形成、汇集、运输、物理处理、生化处理、排放<sup>[7]</sup>。上述不同阶段的污水所对应的热能利用价值和热能利用方法、工艺,以及需要解决的关键问题都大不相同。因为考虑问题的重点和出发点不相同,传统的排水工程或者污水处理工程中的污水分类方法在热能利用工程中并不适用。因此有必要对城市污水从热能利用的角度进行分类。

### 1) 原生污水

原生污水就是未经任何物理手段处理的污水。具有两大特点:其一,原生污水在空间位置上普遍存在于城市污水管渠网络中,即空间优越性;其二,原生污水中含有大量大、小、微尺度的机械杂质和复杂的化学生物成分,即成分恶劣性。

原生污水的空间优越性显示了其巨大的应用前景,决定了其在城市污水热能利用中的主导地位。城市污水量一般为城市供水量的85%以上<sup>[8]</sup>,取其5℃温差的显热就可以为北方城市10%的建筑物冬季供暖,若进一步开发利用30%左右的城市污水的凝固潜热,则理论上基本能够满足整个城市的供暖能量需求。与其他类污水相比,原生污水不受地理位置的限制,能真正意义上为整个城市的供暖服务<sup>[9]</sup>。城市原生污水热能的利用是解决建筑供暖能耗巨大这一问题的重要途径。但是原生污水的成分恶劣性给它的热能利用带来了许多难题,主要是:

① 大尺度杂物严重堵塞管道、阀门和换热设备。如图1(普通壳管式换热器中的封头的照片)所示,可以看到堵塞污染问题相当严重。目前



图1 设备堵塞与污染情况

采用的对策主要是采用浸泡式换热器或利用机械方法清堵。1 t污水所取热量的价值约为0.4元,而一般水处理的费用为0.7元/t以上,所以一般的水处理措施是不可行的。笔者建议最好将杂物阻隔在污水干渠中,不让大尺度杂物进入换热系统。

② 复杂的成分改变着原生污水的热工特性和流变特性,导致其有压流动特性和强迫换热机理与清水差别较大,甚至发生质的变化。日本学者远藤郁夫、金成英夫等人应用旋转黏度计对下水污泥进行剪应变速率升降循环试验,结果表明下水污泥的流动性随污泥的浓度变化,体积分数在 $4\ 000 \times 10^{-6}$ 以下为牛顿流体,大于 $4\ 000 \times 10^{-6}$ 为伪塑性流体,超过 $9\ 000 \times 10^{-6}$ 为宾汉流体或伪塑性流体<sup>[10]</sup>。原生污水的流动模型一般可采用固-液两相流或者非牛顿流模型。但是在污水热能工程设计中暂时无据可依。

③ 微小尺度杂物、各种微生物、复杂成分的化学物质在换热器表面形成污垢。污垢的存在主要有两个方面的影响,即增加流动阻力和降低换热效率。

④ 在污垢、水、溶解氧、微生物和多种电解离子等的综合作用下,会加快原生污水对金属的腐蚀和有机材料的老化,并增加运行费用,缩短系统的使用寿命。

### 2) 一级污水

原生污水经过汇集输运到污水处理厂后,经过格栅过滤或沉砂池沉淀后没有经过任何生化处理的污水称为一级污水,对应于污水处理的一级处理程度。工程应用中如果在沉砂池后即进行污水取热,利用的就是一级污水。集中后利用物理方法处理,基本上解决了原生污水物理成分恶劣性的问

题,避免了大尺度污染物对阀门和换热设备的堵塞问题,缓解了污水结垢后对换热器表面的污染程度,但是在缓解污水对金属材料的腐蚀方面改善不明显。虽然一级污水在热能应用方面避免了一些重大难题,但是同时却带来了空间局限性问题<sup>[11]</sup>,这也就限制了其在工程中的应用。污水处理厂一般位置偏僻,同时却是污水热能的集中地,这就构成了一对供需矛盾,处理不当就会造成污水热能的大量浪费。

### 3) 二级污水

经过物理处理之后的一级污水再经过活性污泥法或生物膜法等生化方法处理或深度处理后可称为二级污水,对应于污水处理的二级、三级或深度处理程度。工程应用中如果在污水处理厂的污水排放口处进行取热,利用的一般为二级污水。二级污水由于微生物和复杂化学成分得到净化,与一级污水比较而言,在结垢和腐蚀这两方面有了进一步的改善。而且其热工特性和流变特性跟清水相比,已经差别不大,经过深度处理的污水进行热能利用时基本上可以利用清水的所有设计理念。因

此,从污水热能利用的角度来看,已没有必要再区分二级污水与三级污水了。二级污水与一级污水相比,应用起来更简单。必须指出的是,二级污水同样具有空间局限性,同时还具有新的缺点,即热能损失性<sup>[5]</sup>。在各种处理过程中伴随着热量的流失,污水温度会下降 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这对温度下限已经很低( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )的污水的热能利用而言影响是很大的,不但使单位质量污水可取的热量减小 $10\%\sim 40\%$ ,而且会使热泵运行时的效率降低。

不难看出,对于不同种类的污水,在热能利用工程中所需解决的重点、难点是大不一样的。因此必要时应该加以区分,不能笼统地称为城市污水热能资源化或者污水源热泵,避免在工程参考时引起误解或者误导。目前国内外已有一些原生污水热能利用的工程报道<sup>[12-13]</sup>,但是也有许多一级、二级污水源热泵供热工程掺杂其中,工程参考过程中一定要加以区别。同时也应该看到,原生污水在污水热能资源化中占主导地位,所面临的难题也最多,也最具代表性,因此是今后污水热能资源化的主要研究领域。这三类城市污水的简要情况见表 1。

表 1 三类城市污水的简要情况对比

	处理措施	大尺度污染物	微尺度污染物	生化成分	空间的优越性	堵塞情况	结垢情况	腐蚀情况	应用前景
原生污水	无	很多	很多	很多	有	严重	严重	严重	广阔
一级污水	物理处理	很少	较多	很多	无	轻微	中等	严重	受限
二级污水	生化处理	无	很少	较少	无	无	轻微	轻微	受限

## 2 几个相关概念之间的区别与联系

城市污水热能资源化、城市污水类冷热源、城市污水源热泵系统是这一领域的三个新概念。它们之间既有区别,又有联系,应该加以区分,不能混为一谈。

城市污水资源化主要有三个方面的内容,即污水回用、污泥再利用以及污水热能利用<sup>[4]</sup>。因此,城市污水热能利用是城市污水热能资源化的通俗讲法。城市污水是一种余热型低品位能源,它的利用方式只有两种,即释热和载热,理论上又有显热和潜热之分,潜热又包括汽化潜热和凝固潜热两种。于是城市污水热能利用有许多途径,如污水冷却循环水(载热型)、冬天污水融雪(释热型)等,其中最主要也是最有效的利用手段是热泵利用(冬天释热,夏天载热)。就目前的工程应用和研究来看,污水热能利用还局限在温差显热方面,这是符合工程技术发展规律的,因为显热的利用要比潜热的利用简单得多。由于城市污水具有流动输运功能,因

此污水凝固的相变潜热利用在理论上是可行的。文献<sup>[14]</sup>指出体积分数为 $30\%$ 的冰浆仍然具有很好的流动特性。而利用污水的汽化潜热所需解决的难题就是局部空气污染问题。虽然污泥再利用中也涉及到热能利用,但是一般不把它归结到污水热能资源化中。

在暖通空调行业中,建筑热源一般指各种形式的锅炉,其中主要是指热水锅炉;而建筑冷源一般指各种冷水机组,其中主要是蒸气压缩式冷水机组。随着工业技术的发展,现在许多建筑中,压缩式或吸收式热泵既是建筑热源又是建筑冷源。城市污水热能的低品位性决定了它主要为建筑供暖空调所应用,而应用方式就是作为热泵供热时的低温热源或者热泵空调时的载热冷源。因此城市污水类冷热源这一概念指的是污水作为热泵的冷热源,而不是建筑的冷热源。同时,有些文献提到“城市污水冷热源”<sup>[15]</sup>,笔者认为对其含义的理解不可套用建筑冷热源的概念,即污水冷热源含义的重点

不在于给污水加热或冷却的能量来源,而在于污水可作为一种低位冷热源来加以利用。

污水源热泵是水源热泵的一种,一般都属于第一类(合流式)热泵。第一类热泵用高品位能贬质的自发过程来诱发和补偿低品位能升质的非自发过程,是一种利用高品位能提升低品位能再混合而得到中品位能(可用能质系数来量化)的装置(如图2所示),是一种在保证能量数量不变的情况下对

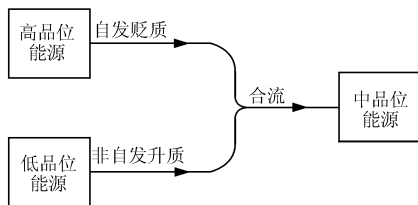


图2 第一类(合流式)热泵原理

能量质量的一种优化组合利用,节省的是宝贵的高品位能源。因此,污水源热泵系统是城市污水热能广泛利用的最佳实现手段<sup>[17]</sup>。由于污水以直流的方式进出系统,因此污水源热泵系统相对简单,效率也较高。虽然热泵一般都可以实现冬天供暖夏天供冷的双重功能,但是热泵的制热功率一般都高于制冷功率,于是作为冷热两用的污水源热泵,在华北、西北、东北等地区应用时,其功率上的匹配更易实现,初投资也将更小。污水源热泵的形式也有压缩式和吸收式两种。压缩式的动力来源可以是电动机、内燃机、汽轮机等。污水源热泵机组的开发将是这一领域的热点课题。

综上所述,污水热能资源化是一个比较全面的概念,凡是与污水有热量交换的工业和建筑应用都是污水热能资源化的一部分,其中又以为建筑物供暖供冷为主要内容,此时所采用的实现手段主要是污水源热泵系统,而在南方热带地区也可采用纯粹的污水源冷水机组系统。污水热能资源化、污水类冷热源及污水源热泵系统三者的类属关系见图3。一般而言,污水源冷水机组和热泵在应用中所面临

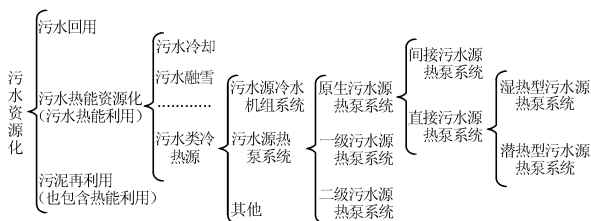


图3 相关概念之间的类属关系

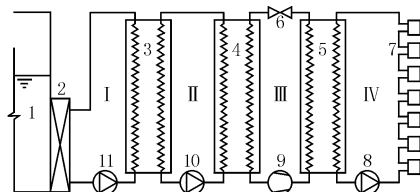
的主要难题是一样的,所以可以用污水源热泵来概括它们的共性问题。某些文献中的“污水冷热源”的概念不清晰,笔者在这里予以澄清。

### 3 污水源热泵与污水源热泵系统

一般而言,污水源热泵是污水源热泵机组的简称,主要由压缩机、膨胀阀、蒸发器、冷凝器等组成。但是污水源热泵系统却有着不同的意义。

1) 它是一种工程技术,有着多种多样的系统形式和污水处理工艺。

2) 污水源热泵系统由许多子系统组成,目前工程上普遍采用的污水源热泵系统主要有以下子系统(如图4所示)。



1 干渠 2 污水取排装置 3 污水换热器 4 蒸发器 5 冷凝器 6 膨胀阀 7 末端设备 8 末端水泵 9 压缩机 10 中介水泵 11 污水泵 I 污水系统 II 中介水系统 III 热泵机组 IV 末端水系统

图4 污水源热泵系统原理图

① 污水系统。主要由污水取排装置、污水提升泵、污水管路、管道设备如阀门等组成,其中污水取排装置是关键设备,兼具滤污和排污的双重功能。国外普遍采用的是污水自动筛滤器(auto-filter equipment, AFE)<sup>[17]</sup>。文献[18]中提到哈尔滨市望江宾馆采用的是平板旋转格栅。另外,由于污水提升泵的自吸能力很小,在设计污水泵房时应保证污水泵吸入口低于干渠污水面至少0.7 m,吸入口与排出口相距不小于8倍的污水管径<sup>[19]</sup>。

② 中介水系统。主要由中介水泵、中介水管路、管路设备等组成。中介水一般为清水,但是为了进一步对污水进行取热以满足高负荷要求,也可以采用乙二醇水溶液。乙二醇水溶液系统在设计时应该考虑到冬夏工况切换时如何减少乙二醇水溶液进入末端系统而造成的损失。

③ 热泵机组(或冷水机组)。污水源热泵机组有多种形式和种类,是污水源热泵系统的核心设备。

④ 末端水系统。主要由水泵、管路和管路设备、末端设备等组成。末端设备可以是风机盘管、辐射地板或顶板、散热器、空气处理机组等。由于

热泵的热水供应温度一般不超过  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，所以末端的设计与传统的供热工程(供水温度达到  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  或以上)还是有许多不同的。

以上 4 个子系统分别由污水换热器、蒸发器、冷凝器串联而构成一个有机整体，共有 4 种不同的热介质在其内流动，输运热量，即污水、中介水、制冷剂、末端水。

3) 污水源热泵系统中污水子系统的形式和性能决定了污水源热泵机组的形式和系统的整体性能，这也是目前的研究重心都放在污水的取排和过滤工艺上的原因。根据不同实际工程的现场要求，污水源热泵系统对污水有着多种多样的处理工艺，文献[20]在理论上就提出了 10 种之多。对有些污水源热泵系统而言，中介水系统是可以取消的，这也是将来的发展趋势。

因此，从系统工程的角度来看，污水源热泵(机组)是污水源热泵系统的一个组成部分，不能用来代替具有更广泛含义的污水源热泵系统。

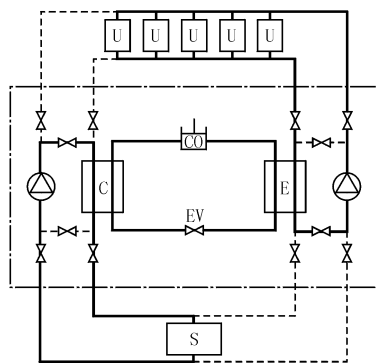
#### 4 直接污水源热泵系统与间接污水源热泵系统

笔者提出，根据污水与制冷剂之间的换热关系将污水源热泵系统分为两大类。若污水与制冷剂之间不通过任何中介媒质而仅仅通过换热器壁面进行间接换热的热泵系统就称为直接污水源热泵系统；若热量传递过程中存在中介媒质则为间接污水源热泵系统。需要明确指出，直接污水源热泵系统中，污水与制冷剂之间不存在混合，它们之间的传热方式依然是间接传热。概念中的“直接”是指污水作为热泵的低温热源是直接的，不可混淆为直接换热。

与间接污水源热泵系统相比，直接系统具有更为简单的系统形式和更高的制热效率。在间接系统中，热量的传递路线是：污水、中介水、制冷剂。从热力学的角度分析，中介媒质的存在增加了传热热阻，导致能量在转移过程中其品质有大幅度的下降，因此整个热泵系统的制热效率也随之下降。同时，中介媒质的存在也使污水的可利用温差区间减小，单位质量污水的供热量也就减小了。没有中介水系统的直接污水源热泵系统由于系统形式得到简化，初投资也随之减小，一般可节省  $5\% \sim 10\%$  (但是热泵机组的投资却增大了)，而且调试、调节操作简单，运行管理方便。

但是目前技术上比较成熟、工程上普遍采用的

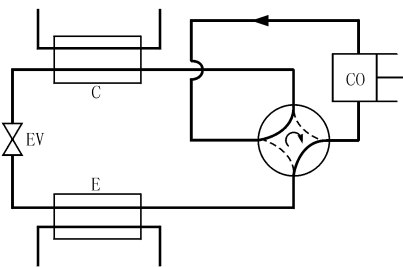
是间接系统，因为其对系统的核心设备——热泵机组的要求不高，也因为目前直接污水源热泵机组尚未被开发出来。从工程实现来分析，直接污水源热泵系统是一种内切换式热泵，而间接污水源热泵系统一般属于外切换式热泵。如图 5 所示，外切换式热泵系统的核心设备选用普通的冷水机组即可，无需重新开发，且其蒸发器和冷凝器的功能单一，技术要求不高。该系统通过机组外的中介水系统与



S 污水子系统 C 冷凝器 E 蒸发器 CO 压缩机  
EV 膨胀阀 U 末端设备 虚线为供热工况

图 5 外切换式热泵系统原理图

末端水系统的阀门切换来实现供热和供冷工况的切换。如图 6 所示，内切换式热泵系统的核心设备才是真正意义上的热泵机组，其蒸发器(或冷凝器)具有蒸发吸热和冷凝释热的双重功能，即“一器两用”，技术要求较高，应用污水时技术难度则更大。



图例同图 5

图 6 内切换式热泵系统原理图

该系统通过机组内的四通换向阀的旋转来实现两种工况的切换，不会影响到末端水系统和污水系统。

间接污水源热泵系统不能应用污水的凝固潜热。因为污水形成冰浆流的时候，其温度已经达到  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，为了满足温差传热，中介水的温度必须低于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，为  $-5 \sim -3\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右，而且制冷剂的蒸发温度将会更低，大致为  $-8 \sim -6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这种情况下不但中

介水存在严重的冻结危险,而且整个系统的效率随着蒸发温度的降低而急剧下降。直接污水源热泵系统就不存在这两类问题。大部分制冷剂在 $-3\sim-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下都能正常高效地工作。因此从利

用污水的凝固潜热这方面来看,直接系统比间接系统的应用前景更广阔。

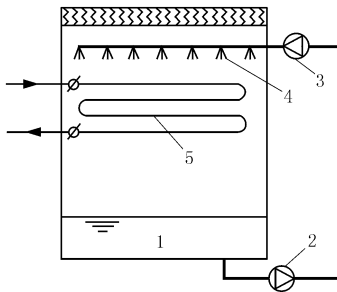
直接和间接污水源热泵系统各自的特点见表2。

表2 直接与间接系统的简要情况对比

	中介水	传热方式	机组要求	系统结构	系统形式	系统效率	潜热利用	供热能力	应用前景
直接系统	无	间接	高	简单	内切换	高	可以	大	广阔
间接系统	有	间接	低	复杂	外切换	低	不可	小	受限

## 5 两种直接污水源热泵系统形式

直接污水源热泵系统要求热泵机组的蒸发器(或冷凝器)能够“一器两用”,因此对蒸发器(或冷凝器)提出了特殊要求。根据污水源热泵机组“两器”的不同,直接污水源热泵系统主要有两种实现形式,即淋水式污水源热泵系统(sprinkling evaporator sewage source heat pump, SE-SSHP)和壳管式污水源热泵系统(shell-tube sewage source heat pump, ST-SSHP)。两个系统的蒸发-冷凝器分别如图7,8所示。



1 水盘 2 排水泵 3 喷淋泵  
4 喷淋装置 5 盘管

图7 淋水式蒸发-冷凝器

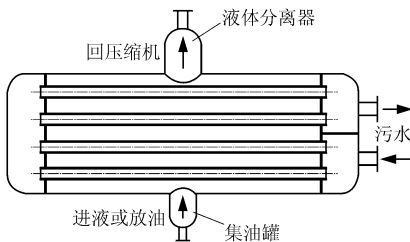


图8 壳管式蒸发-冷凝器

淋水式蒸发-冷凝器与一般的蒸发式水/空气冷凝器类似,体积庞大,占地较多。将污水喷淋在空心板或管束等换热元件的外表面,污水主要呈膜状流动并与空心板或管内的制冷剂进行换热。实验研究表明,污水的淋水换热系数在 $900\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 左右。运行时可用高压水冲洗换热管和用机械方法去除软垢。淋水式污水源热泵系统比较容易实现污水凝固潜热的利用,因为污水冻结对换热设备的堵塞可能性要小得多,而且容易解决。由于金属直接暴露在污水和空气中,腐蚀将会更加严重。

壳管式蒸发-冷凝器是一种满液式换热器,结构紧凑,占地少。污水在管内流动并与壳空间的制冷剂进行强迫换热,换热系数一般比淋水式要大。但是当污水中微尺度污染物含量较大时,换热面污垢不断增加,高达85%以上的换热热阻将集中在污水对流侧,如果没有较好的污垢去除措施,则其换热系数也将减小。日本采用换热管自动除污装置进行污垢清除,但增加了系统的复杂性和不稳定性<sup>[13]</sup>。另外由于换热管直径较小,利用污水凝固潜热时,换热管的冻结问题不易解决。

淋水式和壳管式污水源热泵系统的比较见表3,应该根据不同的工程需要综合考虑选用合理的系统形式。

## 6 结论

6.1 从污水热能利用的技术角度把城市污水分为原生污水、一级污水、二级污水三大类,虽然原生污

表3 淋水式与壳管式系统的简要情况对比

	结构	占地	污水流动方式	污水侧换热系数	制冷剂供液方式	制冷剂侧换热系数	污垢去除	冻结危险	腐蚀程度
淋水式	松散	多	膜流	较小	干式	较小	容易	小	严重
壳管式	紧凑	少	湍流	较大	满液式	较大	较难	大	一般

水在应用上存在更大的技术难题,但它是应用前景最为广阔的城市污水。

6.2 城市污水源热泵是城市污水源热泵系统的核

心设备,而后者是城市污水热能资源化的重要实现手段。污水子系统是污水源热泵系统的重要组成部分,也是研究重点。污水可以作为工业或民用的

多种形式的冷热源,因此笔者对污水冷热源概念进行了解释说明。

6.3 根据污水作为热泵低温热源的直接与否,将污水源热泵系统分为直接和间接两种形式。直接污水源热泵系统一般为内切换式系统,而间接污水源热泵系统一般属于外切换式系统。直接系统具有简单的结构和更高的效率,是未来的主流系统形式。

6.4 城市污水可利用的热能包括温差显热和凝固(或汽化)潜热。由于间接系统的冻结危险和较低的系统效率,应该采用直接系统来利用污水潜热。可实现潜热利用的直接污水源热泵系统形式主要有淋水式和壳管式。

6.5 污水热能利用工程应该根据污水种类、地理位置、工程投资、污水量和负荷、甲方要求等多方面因素综合考虑选择合理的应用模式和系统形式。

#### 参考文献

- [1] 马最良,姚杨,赵丽莹. 污水源热泵系统的应用前景[J]. 中国给水排水,2003,19(7):41-43
- [2] 刘光远,陈兴华. 俄罗斯热泵新技术介绍[J]. 能源研究与利用,2001(3):17-19
- [3] 大迫健一. 全国初の下水(未處理)を利用した地域冷暖房[J]. 建築設備と配管工事,1993,5(4):88-93
- [4] 尹军,陈雷,王鹤立. 城市污水的资源再生及热能回收利用[M]. 北京:化学工业出版社,2003
- [5] 李亚峰,陈平. 利用热泵技术回收城市污水中的热能[J]. 可再生能源,2002(6):23-24
- [6] 徐邦裕,陆亚俊,马最良. 热泵[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988
- [7] 张自杰,林荣忱,金儒霖. 排水工程(下册)[M]. 北京:

中国建筑工业出版社,2000

- [8] 尹军,韦新东. 我国主要城市污水中可利用热能状况初探[J]. 中国给水排水,2001,17(4):27-30
- [9] 尹军,韦新东. 我国回收污水中热能的可行性分析[J]. 中国给水排水,2000,16(3):28-30
- [10] 遠藤鬱夫,金成英夫. 下水污泥の摩擦損失係數に關する基礎的研究[C]// 土木学会論文報告集,1980:35-41
- [11] 尹军. 城市污水中的热能回收与利用[J]. 中国给水排水,1998,14(2):53-54
- [12] 王荣光,沈天行. 可再生能源利用与建筑节能[M]. 北京:机械工业出版社,2002
- [13] 吴荣华,张承虎,孙德兴. 城市污水冷热源应用技术发展状况研究[J]. 暖通空调,2005,35(6):31-37
- [14] 明岗. 冰浆在水平管中的流动和传热[D]. 上海:同济大学,1999
- [15] 吴荣华,孙德兴. 城市原生污水冷热源系统浸没式工艺应用实例[J]. 暖通空调,2004,34(11):86-88
- [16] 赵凯,刘颖超. 污水源热泵技术的开发应用[J]. 住宅科技,2003,10(5):35-37
- [17] Stijemstrom B. Feeding large heating pumps from sewage water treatment plants[C]// Proceedings of the International Conference on Applications and Efficiency of Heat Pump Systems, 1999:183-192
- [18] 吴荣华,孙德兴. 哈尔滨望江宾馆利用城市污水中的能源[J]. 中国给水排水,2003,19(12):92-94
- [19] 张承虎,吴荣华,孙德兴,等. 污水源热泵系统污水干渠横向取水研究[J]. 哈尔滨商业大学学报,2005,21(4)
- [20] 尹军,王宏哲,韦新东. 未处理城市污水热能回收方式综述[J]. 中国资源综合利用,2003,14(10):22-26

#### · 会讯 ·

### 2006 哈工大暖通燃气专业北京校友联谊会召开

2006年2月18日哈尔滨工业大学暖通燃气专业北京校友联谊会在北京稻香·湖景酒店隆重举行,在京的52届(1949—2001)暖通燃气专业420余名校友参加了此次联谊会。会议由许文发教授主持,哈工大北京校友会会长、原文化部部长刘忠德,暖通燃气专业北京校友会会长、哈工大北京校友会副会长、全国政协委员张青林,土木建筑系北京校友会会长、哈工大北京校友会副秘书长、北京市建委原副主任王立臣,建材专业北京校友会会长邹长森,哈工大河南校友会代表、郑州粮食学院原副院长、教授周乃如,哈工大辽宁校友会代表、辽宁省政协常委、建设厅原副厅长郎业丕,

哈工大校友会副会长、哈工大党委原副书记顾寅生,哈工大原城建系、土木系系主任屠大燕,哈工大建筑热能通风系主任赵华分别致辞。与会校友欢聚一堂,部分年级校友奉献了精彩的文艺节目,联谊会自始至终气氛热烈,充分展现了哈工大暖通燃气专业新老校友团结奋进、争先拼搏的精神风貌。恒有源科技发展有限公司为本次校友会提供了全程独家赞助,会上恒有源科技发展有限公司孙骥和杨自强分别介绍了公司概况及水源热泵系统产品的相关技术。