

# 原生污水源热泵对污水生化处理的影响

吴荣华<sup>1</sup>, 岳利茜<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 青岛能源应用技术研究所, 266101 山东 青岛, wuronghua18@126.com;

2. 河北师范大学 后勤服务集团, 050016 石家庄)

**摘要:** 为了有效利用原生污水源热泵采暖空调, 需要明确对污水生化处理的影响. 论述了对污水采用加热处理工艺的正确性, 调查了原生污水的水温情况和污水温度降低后污水处理厂的电耗增加情况, 分析了水温与水处理效果的关系和热泵系统的取热降温幅度, 以实例形式测算了污水处理厂增加的电耗等情况, 提出了一些解决途径. 研究表明: 污水温度过低时采用投放低温菌的方式, 污水的温降引起污水厂增加“少许电耗”, 约 0.003 ~ 0.007 5 kWh/( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{t}$ ), 原生污水源热泵将使得污水厂需增加电耗约 0.01 kWh/t, 该电耗量仅为热泵系统耗电量的 0.6%. 原生污水源热泵对污水生化处理几乎没有影响, 前景广阔.

**关键词:** 原生污水; 热泵; 污水生化处理; 少许电耗

**中图分类号:** TU831.6      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0367-6234(2011)06-0132-04

## Effect of untreated sewage source heat pump on biochemical sewage treatment

WU Rong-hua<sup>1</sup>, YUE Li-qian<sup>2</sup>

(1. Qingdao Institute of Energy Application Technology, Chinese Academy of Science, 266101 Qingdao, Shandong, China, wuronghua18@126.com; 2. Hebei Normal University Logistics Group, 050016 Shijiazhuang, China)

**Abstract:** For the purpose of effectually utilizing untreated sewage heat pump for heating and air conditioning, it needs to know the effect of untreated sewage source heat pump on biochemical sewage treatment. The temperature of untreated sewage and the increased electricity consumption of sewage treatment plants for lowering the sewage temperature were investigated, and the relation between sewage temperature and effects of biochemical sewage treatment and the extent of the temperature lowered by pump system were analyzed. The electricity consumption of sewage treatment plants was calculated through an engineering example. The results showed that, when sewage temperature is too low, it was good to use cold-adapted microorganisms for biochemical sewage treatment, and a small quantity of electricity consumption (0.003 ~ 0.007 5) kWh/( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{t}$ ) is used. About 0.01 kWh/t quantity of electricity consumption would be used when heat pump system was exploited, which was only 0.6% of the quantity of electricity consumption of pump system. The effect of untreated sewage source heat pump on biochemical sewage treatment is very small.

**Key words:** untreated sewage; heat pump; biochemical sewage treatment; small quantity electricity consumption

利用原生污水(未处理城市污水)源热泵系统为建筑物采暖与空调具有重要的节能、环保及经济价值,设计较好的系统其节能幅度可达 45%

以上,是建筑节能减排的有效途径之一<sup>[1]</sup>,另外,原生污水水量大,分布面广,很适合因地制宜地建设热泵系统,较其他热泵系统具有更大优势<sup>[2]</sup>.但从原生污水中提取热量,降低原水水温,是否会影响到污水的生化处理过程,这关系到污水源热泵的应用前景问题.

收稿日期: 2009-12-20.

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(20060390808).

作者简介: 吴荣华(1976—),男,博士后,副研究员.

文献[3]主要从土壤对污水温度的调节角度,分析了污水的温度变化特点,由此对污水生化处理的影响程度.本文主要从污水源热泵造成污水处理厂需增加的电耗量的角度分析其影响问题,并提出一些解决途径.

## 1 污水加热处理的误解

对原生污水源热泵系统,还有一种说法认为“污水处理时绝大多数工艺要进行先加热再处理,如原生污水源热泵系统先提取了原水热量,污水厂再进行加热,这先节能,后耗能,所以原生污水热泵有局限性,尤其是在东北寒冷地区”<sup>[2]</sup>.这种说法显然是不成立的,简单算一下就知道,污水厂如加热污水升温,其能耗是非常巨大的,例如污水量 100 t/h,按升温 2 ℃ 计算,也需要 232 kW 的加热功率,每吨水需 2.325 kWh 的热量,即使用热泵系统升温,每吨水的耗电量也要在 0.5 kWh 左右,这样污水处理厂的运行能耗至少要翻一番,后续有相关数据说明污水温度相差 2 ℃ 时,水处理电耗相差仅约 0.01 kWh/t,因此污水处理厂不会采取任何加热处理的方式.

目前,我国的污水处理大都采用生物法,在高寒地区污水温度较低,水处理难度加大<sup>[4]</sup>,以前都采取保温、增大污泥回流量等措施,但也没有进行加热的方式,现采取投放低温菌和生物活性剂

的方式,该方式已很成熟,高寒地区有不少应用<sup>[5]</sup>.

除非污水温度低于 4 ℃,低于低温菌的活性范围,才有可能采取一点加热措施,但在我国基本不存在,即使是高寒地区,其水温最低也在 5 ℃ 以上.

另外,笔者也曾试图研究对污水进行加热再处理的方式,对污水先进行加热,待处理完排放时,利用已处理污水先预热原水进行一次热回收,然后再利用热泵提取已处理污水热量来加热预热后的原水,即使是这种加热工艺,每吨水的耗电量也要在 0.4 kWh 以上<sup>[6]</sup>,因为从热工的角度无论采取任何热回收工艺,总是存在一个传热温差的问题,上述按污水升温 2 ℃ 计算,实际上是考虑了进行热回收后的一个极小值.

这种加热再处理的工艺与采用低温菌方式是不可比的,因此说污水处理厂需加热再处理的说法,与理论和现有的实际情况都不相符.

## 2 原生污水的温度情况

原生污水的水温与季节、地区、昼夜变化及污水干渠的流量大小、位置有关.夏季水温一般在 16 ~ 25 ℃;冬季一般在 8 ~ 15 ℃.其中,冬季寒冷地区寒冷天时在 8 ~ 12 ℃.几个原生污水源热泵实际工程的水温情况见表 1.

表 1 几个实际工程的原生污水水温情况

工程名称	白天污水 温度/℃	夜间污水温度/℃		干渠大小	干渠位置	运行时间
		4—7 时	其他时			
哈尔滨望江宾馆	11 ~ 12	7 ~ 8	11 ~ 12	大	中途	03—09 年
哈尔滨太古商城	13 ~ 14	—	13 ~ 14	小	首端	04—05 年
哈工大南苑基地	13 ~ 14	8 ~ 9	13 ~ 14	大	中途	07—09 年
四平市滨河新苑	12 ~ 13	8 ~ 9	12 ~ 13	大	尾端	08—09 年
天津市天津公馆	12 ~ 15	—	—	中	中途	08—09 年

注:数据为冬季 12 月份、1 月份、2 月份的.

文献[4]调查的哈尔滨某污水处理厂入厂水温仅 6 ~ 7 ℃,与几个实际工程的水温情况一致,因为干渠中的污水进厂前沿途还会进一步散热<sup>[7-8]</sup>.

## 3 水温与生化处理效果的关系

通常污水生化处理采用的是中温菌,中温菌在 15 ~ 35 ℃ 之间有较好的活性.当污水温度降低但不低于 10 ℃ 时,可采取适当增大污泥回流量、适当增长污水停留时间等措施,此时需增加“少许电耗”,污水生化处理能正常进行.

当污水温度降低到 10 ℃ 以下时,中温菌活性严重降低或死亡,此时靠自然形成的低温菌进行处理,而增大污泥回流量、增长污水停留时间等措

施也是尽可能让低温菌代谢污染物,但水处理效果不好<sup>[9-10]</sup>.

以哈尔滨地区为例,冬季污水处理厂的原水温度最低 8 ~ 10 ℃,污水生化处理曝气池温度在 5 ~ 7 ℃,研究表明 COD 的去除效率仅为 40% ~ 50%.污水温度影响水处理情况<sup>[4]</sup>,如图 1 所示.

污水温度在 10 ℃ 以下时,COD 的去除率随污水温变相对稳定,水温在 7 ℃ 左右时,COD 的去除率约为 40%,水温在 4 ℃ 左右时,COD 的去除率约为 35%,此时的处理效果其主要功劳在于自然形成的低温菌,低温菌在 4 ~ 10 ℃ 之间有较好活性.

当污水温度降低至 10 ℃ 以下时,利用中温菌

的方式来处理时,靠自然形成的低温菌来代谢污染物,其水处理效果不好,而投放低温菌和强化剂的方式则效果良好,即采用低温菌的方式,该方式在哈尔滨、牡丹江等地区的污水处理厂都有应用<sup>[5-11]</sup>,此时温度再降低,在低温菌的活性范围内,可适当增大污泥回流量、适当增长污水停留时间等措施,增加“少许电耗”,污水生化处理依然能正常进行。

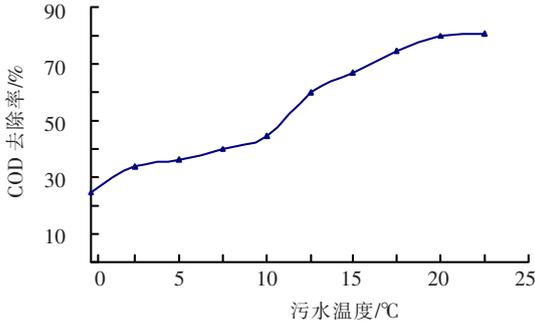


图 1 污水温度对 COD 去除率的影响

#### 4 水温降低引起的能耗增加量

污水厂运行的主要成本是电耗,污水温度降低时,增大污泥回流量、增长污水停留时间等措施,其运行电耗稍有增加。笔者调查了黑龙江省某污水处理厂不同水温下的能耗对比情况,见表 2。

表 2 某污水处理厂不同水温下的电耗增加量

年份	月份	进水温度/°C	能耗增加量/(kWh·t <sup>-1</sup> )
2007 年	10	11.8	0.006
	11	9.6	
2008 年	10	13.6	0.012
	11	8.2	
2009 年	1	6.3	0.015
	2	8.5	

由于该污水厂的污水进水温度最低已低于 10 °C,该污水处理厂投放了低温菌和强化剂。从表 2 可得到 2 个结论:

1) 污水温度的降低引起污水厂的电耗增加量极少,污水温度降低 2~4 °C 时,每百吨水多耗电 1 kWh 左右,污水温度越低,降低相同的温度需要增加的电耗量越多,但也是极少的;

2) 可初步折合成每吨水每降低 2 °C,运行电耗增加 0.003~0.007 5 kWh/(°C·t)。

#### 5 热泵系统的取温幅度

在具体建设某一污水源热泵系统时,热泵系统的装机容量按建筑物最大供热负荷确定,提取污水的温降一般为 4 °C,视附近污水干渠的水量

而定,水量大则温降小,水量小则温降大,但需要从污水中提取的总热量基本保持不变<sup>[12]</sup>。

例如,按 4 °C 温度设计,所需水量为 150 t/h,但干渠水量只有 100 t/h,则需温降 6 °C,但对污水处理厂而言,其水量巨大,在针对污水处理厂分析热泵系统的取温幅度时,则依然可以视为需水量为 150 t/h,温降 4 °C。

一个采暖季的采暖负荷除与季节有关外,还与每天的不同时段有关。在采暖季的寒冷天热泵系统每天按装机容量运行的时间一般为 16 h,或按 65% 左右的装机容量连续运行时间为 24 h。

要说明的是,实际热泵系统的装机容量都大于最大供热负荷,另外还有 20% 的水泵能耗至少相当于增大装机容量 5%,而且现在的供热情况是都未保证末端 24 h 全部达到供热标准,在午间或夜间都会适当低温维持。因此,实际热泵系统的运行时间比按供热负荷来考虑的时间要短。故此,按热泵系统的装机容量所需的污水量计算,寒冷天时污水的温降也不会超过 2.5 °C。

上述是按正常设计,如供热面积较大时,即使利用全部污水量,按 4 °C 温降设计还不够用,则该问题需另外考虑。

#### 6 影响程度分析

原生污水源热泵对污水生化水处理的影响将直接与取热降温幅度和用水量有关,即将污水处理厂的污水温度到底降低多少,污水厂将需要增加多大的“少许电耗”。为此,根据 5 中数据作定量分析和测算。

1) 如热泵系统所用水量仅为污水处理厂的总水量的 50% 时,正常设计,污水的取热温降为 2~2.5 °C,如按 50% 的水量计算,则污水处理厂的污水温降仅为 1.25 °C,此时对任何地区采用任何生化处理方式的污水处理厂都表现不出影响。

2) 如污水厂污水被全部利用,污水处理厂的污水温降为 2.5 °C,污水处理厂将需增加电耗 0.01 kWh/t。

以寒冷地区一个日处量为 10 万 t 的污水处理厂水量被全部利用为例。

1) 如电价按 0.7 元/kWh 计算,则污水处理厂每天增加成本为 700 元,每吨水增加成本为 0.007 元,增加吨水总成本不到 1%,再按 100 d 来考虑热泵系统引起污水温降造成电耗增加,则年增加成本 7 万元,约占年总成本的 0.3%。

2) 该污水厂水量可供应建筑物 60 万 m<sup>2</sup>,如每万 m<sup>2</sup> 年运行费按 15 万元计算,则年总运行费

用为900万元,污水处理厂增加的成本占热泵系统运行成本约0.8%,因此不影响热泵系统的经济指标。

3)按每万 $\text{m}^3$ 建筑热泵系统用水量70 $\text{t/h}$ 、用电量120 $\text{kW}$ 测算,污水处理厂增加的电耗约为热泵系统电耗的0.6%。

4)从能源消耗的角度看,按3)中数据,相当于降低了热泵系统的制热性能系数约0.5%,因此污水处理厂增加的这“少许电耗”根本不影响热泵系统的节能指标。

## 7 解决途径

在原生污水源热泵污水用量要超过50%时,可能引起污水处理厂增加“少许电耗”,解决途径可从两个大的方面考虑:一是制定规划,二是出台政策。制定规划包括如下几个方面:

1)根据该地区污水的分布、水量、水温等情况,确定供热区域、供热面积、污水的取水点、污水管线的走向等等。

2)根据该地污水处理厂的水处理工艺、水温等实际情况,确定污水处理厂的最大允许温降,确定最大供热面积。

3)由相关部门负责协调、审批和管理,合理地支持和鼓励污水源热泵的开发应用,协调好污水处理厂等部门或单位。

污水处理厂增加的这点“少许电耗”完全可以忽略不计,但污水处理厂与供热用户是两个毫无关联的实体,在具体项目实施时,尤其是大面积实施使用水量较大时,如污水处理厂提出异议,笔者认为可以从如下两个方面来出台政策协调:

1)政府支持应用该项目,按6中数据测算,政府部门给予污水处理厂1%的电价优惠政策,则这种“少许电耗”问题就得以解决。

2)污水处理厂与供热用户协调,按6中数据计算,如年增加成本7万元,按15年运行考虑,将增加105万元,折合到供热用户,相当于1.75元/ $\text{m}^2$ ,可由供热用户一次性补偿给污水处理厂。

上述2个解决途径是基于污水处理厂的水量被全部利用,若不超过50%,则“少许电耗”问题还不存在。

## 8 结论

1)污水处理并非采用加热处理工艺,也不可能采用这种方式,温度过低时采用投放低温菌的办法,效果良好。

2)污水温度在10 $^{\circ}\text{C}$ 以上时采用中温菌处理,低于10 $^{\circ}\text{C}$ 时采用低温菌处理,污水温度的降低对水处理效果弱有一定的影响,但在生物活性范围内降温时,适当增加少许电耗,污水处理完全正常运行。

3)污水的温降引起污水厂增加的电耗极小,约0.003~0.0075 $\text{kWh}/(\text{C}\cdot\text{t})$ ,可忽略不计。

4)正常设计的污水源热泵系统,设计污水温降4 $^{\circ}\text{C}$ 时,引起污水厂污水温降不会超过2.5 $^{\circ}\text{C}$ 。

5)当污水厂的水量被利用不超过50%时,对污水处理没有影响;当被全部利用时,污水厂需增加电耗约0.01 $\text{kWh/t}$ ,增加成本不到1%。

6)污水处理厂增加的运行成本占热泵系统运行成本约0.8%,不影响该项目应用的综合经济性;污水处理厂增加的电耗约为热泵系统电耗的0.6%,相当于降低了热泵系统的制热性能系数约0.5%,不影响该项目应用的综合节能指标。

## 参考文献:

- [1]吴荣华,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,2005,36(6):32-37.
- [2]吴荣华,孙德兴.城市原生污水与其它冷热源的比较研究[J].暖通空调,2006,36(1):43-46.
- [3]吴荣华,徐勇鹏.城市污水冷热源对污水生化处理影响研究[J].哈尔滨工业大学学报,2007,39(12):1882-1885.
- [4]孟雪征.冷适应微生物处理寒冷地区低温生活污水研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2001.
- [5]赵立军,马放.生物强化技术在污水厂快速启动中的工程应用[J].哈尔滨工业大学学报,2007,39(12):1886-1888.
- [6]吴荣华,徐莹.寒区污水处理中的热泵升温技术经济分析[J].太阳能学报,2008,29(3):267-271.
- [7]吴荣华,徐莹.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,2008,40(12):1931-1934.
- [8]吴荣华,徐莹.污水源热泵干渠取水降温后的可恢复特性[J].哈尔滨工业大学学报,2008,40(6):901-904.
- [9]孟雪征,姜安玺.用耐低温酵母菌处理寒冷地区生活污水的研究[J].哈尔滨建筑大学学报,2000,30(2):58-63.
- [10]姜安玺,韩晓云.投加复合耐冷菌提高低温生活污水省理效果的实验研究[J].黑龙江大学自然科学学报,2005,35(1):45-48.
- [11]赵立军,马放.低温地区市政污水厂工艺选择、设计与运行的探讨[J].环境工程,2005,23(1):24-27.
- [12]吴荣华,刘志斌.污水及地表水源热泵系统的规范化设计研究[J].暖通空调,2006,36(12):43-46.