

低温污水源热泵在污水处理厂提温改造中的应用

何婷婷 李首臣

中国城市建设研究院有限公司 甘肃 兰州 730000

摘要：本文简要介绍了甘肃省张掖市山丹县污水处理厂利用低温污水源热泵系统冬季加热生化池厌氧池的工程实例，通过对本工程污水温度提升热负荷计算、热泵系统设计、设备选型的设计过程介绍，得出污水处理厂应用低温污水源热泵系统提升冬季处理流程中生化池污水温度的可行性。并与本项目采用常规市政集中供暖加热系统进行经济性比较，结果表明，采用低温污水源热泵系统具有较大的节能性及经济性。

关键词：低温污水源热泵；污水生化池；污水提温

北方寒冷地区冬季环境温度较低，进入污水处理厂原水温度最低为4℃。近年来广泛应用的氧化沟污水处理工艺过程中，当厌氧池和好氧池中污水温度低于7℃时，活性污泥中的生物菌进入休眠状态，污水生化反应过程减缓，污水处理中氨、氮、磷等指标严重不达标^[1]。故在原水进入生化池中温度低于7℃时加热池水是很有必要的。但是，由于污水处理厂处于城市下游地区，无集中供暖和天然气，厂区供暖很难解决这个问题。

近年来，随着我国城市建设及工农业生产的迅速发展，城镇用水量日益增长，伴随着排入污水量的增加，污水处理后低温中水中蕴含着大量的低位热能资源，利用低温污水源热泵将这部分热量提取出来，用于污水处理厂氧化沟生化池升温所需热量，解决了冬季污水处理过程中因污水温度较低而排放不达标的问题。

1 工程应用

1.1 项目概况

山丹县城区生活污水处理厂冬季污水最大日流量24000m³，污水最低入口温度为4℃，厌氧池和好氧池水温度5.0℃，生物菌进入休眠状态，活性差，污水处理不达标。生化池中的原生污水加热到12℃时总热负荷为8166kW，采用常规燃气锅炉提温需要耗费很大的燃气

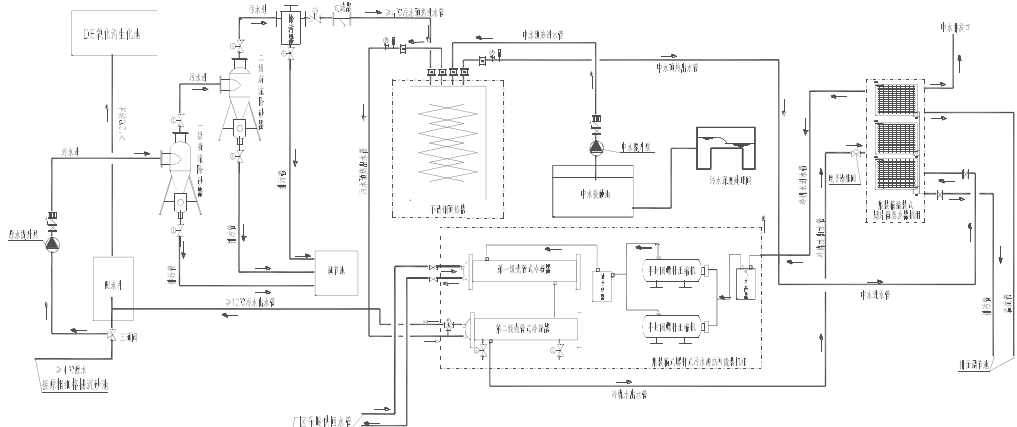
量，山丹污水处理厂处于城市郊区，无市政集中供暖。本工程设计利用低温污水源热泵系统，提取污水处理后中水中的低温热量，为污水处理厂厌氧池加热。冬季将污水生化池水温提升至12℃，确保生化池中生物菌的活性，提高冬季污水处理厂处理效率。

1.2 低温污水源热泵工作原理

污水源热泵系统是以污水作为冷、热源的水源热泵系统，由污水换热系统，污水源热泵机组，末端提温系统组成，其工作原理是“逆卡诺循环”，热泵压缩机系统消耗少量电能，将储存于污水中的低位热能“提取出来”^[2]，经过污水源热泵中的载冷剂，将提取出来的热量送至用户或需要加热的设备中，使污水中的低品位热能被再次利用。

1.3 低温污水源热泵系统设计

从污水细格栅后提取的5℃左右污水经过一级污水泵、两级快速拆卸式过滤器处理后，进入不锈钢污水预热器与12℃中水进行换热，换热后的污水再次进入低温污水源热泵壳管式加热器加热，污水温度达到12℃以上。升温加热后的污水进入污水池，与厌氧池、好氧池中的污水进行混合提温^[3]。处理后的中水进入水源热泵低温相变热蒸发器再进行放热，降温后的中水回到排水管道直接排出。



以上污水升温过程工艺流程如下:

原生污水: 经过沉淀→离心分离→粗格栅→细格栅(2mm自动清洗)→污水提升泵→两级旋流除砂→除污器过滤器处理后→进入预热器与12℃中水进行换热→低温污水源热泵机组中换热器换热→污水温度加热至12~18℃→加热后的污水进入生化池, 提高厌氧池、耗氧池温度。

达标后中水: 12℃中水进入预热器与污水换热→降温后的中水进入低温污水源热泵机组中的蒸发器→制冷剂气化吸取显热和相变热通过热泵循环热量传递给冷凝器中原生污水→中水变为-0.5~7℃→污水排放口。

1.4 污水处理厂设计热负荷计算

系统初次运行, 厌氧池污水所需的热负荷包括两部分, 加热入口污水需要的热量和污水经过厌氧池、氧化沟停留过程损失的热量。

加热入口污水所需的热量^[4]:

$$Q_b = \frac{Cm(T_d - T_f)}{24 \times 3600}$$

式中: Q_b ——补充污水加热所需的热量, kW;

m ——每日处理的污水量 (kg), 取24000m³; 污水的密度取1000kg/m³;

C ——污水的比热容, 取4.2kJ/(kg·℃);

T_d ——污水厌氧池计算温度, 12℃;

T_f ——污水入口计算水温, 5℃;

计算得 $Q_b = 8166\text{KW}$

山丹县冬季室外最低平均温度为-20℃, 持续时间约为50天, 当室外环境温度较低时, 厌氧池和氧化沟污水表面、池底、池壁、管道和设备等传导所损失的热量, 以及污水表面蒸发损失热量占污水入口加热温度耗热量的10%。则这部分损失热量为: $Q_s = 8166 \times 10\% = 816.6\text{kW}$ 。

经计算, 首次加热厌氧池污水总负荷: $Q = 8166 + 816.6 = 8982.6\text{kW}$ 。

以上热负荷的获取分为两个阶段完成, 加热流程为: 5℃污水通过预热器与12℃中水换热预热, 再通过低温污水源热泵换热将水温提升到12℃。

第一阶段: 污水经过预热器, 水温从5℃提到11℃, 换热量为7000kW。

$$Q = m \times C \times \Delta t / 24 / 3600$$

$$= 24000 \times 1000 \times 4.2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{℃} \times (11 \text{℃} - 5 \text{℃}) / 24 / 3600 \\ = 7000 \text{ kW}$$

热量来自于中水。

第二段: 利用低温污水源热泵提取中水的热量为厌

氧池加热, 加热流程为低温污水源热泵提温3℃, 污水水温从9℃提到12℃。

考虑到启动工况和运行中换热器结垢增加污垢系数, 影响换热, 污水经过预热器后水温提升至9℃, 低温中水源热泵机组负荷承担3℃温差, 即污水水温从9℃提升到12℃。所需要的热量为:

$$Q = m \times C \times \Delta t / 24$$

$$= 24000 \times 1000 \times 4.2 \times (12 \text{℃} - 9 \text{℃}) / 24 / 3600 = 3500 \text{ kW/h}$$

考虑10%的余量, 需要热量为: $3500 \times 1.1 = 3850 \text{ kW}$

由此可得, 污水经过两阶段升温过程总热负荷为 $7000 \text{ kW} + 3850 \text{ kW} = 10850 \text{ kW}$, 大于首次加热厌氧池污水所需总热负荷, 污水经过两阶段升温后可满足生化池处理要求。

1.5 设备选型

(1) 主机选型

根据提温改造系统设计, 经过预热后的污水从9℃升温至12℃, 热泵机组承担3℃温差, 所需热量为3500kW, 蒸发温度0℃, 冷凝温度22℃, 选用集装箱污水源热泵撬装机组1台, 其中单台机组压缩机头选用汉钟半封闭螺杆机RC2-1530B×3, 制热量1212.5kW×3, 轴功率: 148.7kW×3; 制热能效比8.154, 满足污水温度提升到≥12℃需求。

采用低温相变热蒸发器提取中水中的热量, 取热后的中水温度降至0℃。采用镍白铜耐酸碱腐蚀铜管换热器作为污水入口加热器, 使用大直径镍白铜管, 污水中的杂质能够顺利通过, 端板材料选用316L不锈钢, 通过蒸发器, 中水温度提升到12℃。

选用集装箱污水源热泵撬装机组总制热量为3637.5kW, 满足污水升温所需热量的需求。

(2) 相变热蒸发器选型设计

机组蒸发器换热量 $1063.8 \times 3 = 3191.4 \text{ kW}$, 选取3台1200kW的集装箱式相变热蒸发器机组, 满足热泵机组换热量的需求, 低温相变热蒸发器体积小、换热面积大, 耐腐蚀、集装箱式撬装无需机房。

(3) 不锈钢预热器选型设计

污水经过不锈钢预热器后, 温度从预热器提温6℃, 污水水温从5℃提到11℃, 换热量为7000kW。选择4台换热量为2000kW的316L不锈钢换热器, 满足系统换热量的需求。

该项目实施后, 提高了污水原水的温度, 使的污泥活性提高, 从而提高了污水处理量, 减少了冬季污水的排放量, 每年可以有效减排COD_{cr}为13.50t, BOD₅为8.70t, 总氮(TN)1.80t, 氨氮(NH₃-N)为1.20t, 总磷

(TP)为0.225t,

2 经济分析

本工程项目中,若采用常规市政集中供暖,在生化池中配套防腐换热热器,就能满足污水升温的需求。现将常规市政集中供暖与低温污水源热泵作为比较对象,对低温污水源热泵提温系统方案与市政集中供暖方案进行初投资及运行费用比较分析。

2.1 初投资比较分析

低温污水源热泵提温系统初投资由主要设备、管道辅材、电气设备,运费及人工费四部分组成,其中主要设备污水源热泵撬装机组、不锈钢预热器、低温相变热蒸发器,循环水泵造价为1039.5万元;污水、中水管道及阀门附件等造价为62.5万元;电气及控制系统部分造价为17.6万元;运费、安装及人工费用为73.6万元。由以上数据计算可得到,低温污水源热泵提温系统的总造价为1193.2万元。常规市政集中供暖升温方案中,专用污水换热器及污水循环泵造价为178.9万元,污水管道及阀门辅材等造价为19.7万元,电缆线、控制线等8.2万元,总计造价为206.8万元。

由以上数据可以看出,低温污水源热泵提温系统初投资比市政集中供暖升温方案高986.4万元。

2.2 运行费用分析

采用水源/污水源热泵技术建筑物供暖及应用污水热泵系统污水原水加热,国家建设部政策规定,可向当地建委申报,获得政府政策性的支持^[5],使用污水源热泵系统错过高峰用电时可享受到低价电。

(1) 低温污水源热泵提温系统

低温污水源热泵系统冬季加热厌氧池运行费用计算:冬季每天运行按24小时计算,污水提升时间段:日处理量 24000m³,运行天数按150天计算,由污水源热泵、中水循环泵、污水循环泵输入电功率可计算得到低温污水源热泵提温系统方案年耗电量为1590217kW·h,电价按照0.46元/kW·h计算,可得到低温污水源热泵提温系统方案年运行费用为73.15万元。

(2) 市政集中供暖方案

采用市政集中热源供热,冬季运行天数按150天计算,每天运行时间24小时,电价为0.46元/kWh,其中水泵耗电量为532797.8kW·h,运行费用为24.5万元;全年污水升温需要总热量为725274kW,折算成热量单位GJ为20169GJ。供热费用计算,根据供热公司市场供暖费用46元/m²·年、采暖负荷为50W/m²计算,全年每平方米消耗的热量为0.432GJ,每消耗1GJ热量的费用为106.5元/

GJ;则采用市政集中供暖消耗热量26109GJ的费用为:26109GJ×106.5元/GJ=278.06万元,加上水泵运行费用24.5万元,总运行费用为302.56万元。

由以上可知,低温污水源热泵提温系统方案年运行费用比市政集中供暖方案低229.41万元,增量投资回收期为4.3年。

3 结束语

本项目使用污水源热泵系统加热厌氧池污水,提高了污泥中生物菌的活性,解决了污水处理厂冬季污水处理效率低下的难题,具有以下优势:

(1)就近使用污水中的低温热源,系统在起始时段或停电后开启阶段,使用污水源热泵机组加热厌氧池中污水。当系统正常运行后,则采用处理后的中水来预热进入生化池中的原生污水,在不耗费电能的情况下,原生污水经过预热温度提高4~6℃,相比常规的污水源热泵热泵加热系统,增加了中水与污水的热交换过程,二次提取了中水中的低温热量,大大提高了污水源热泵系统的COP。

(2)我国北方地区,冬季采暖热源主要来自于燃烧煤、石油、天然气等化石燃料,导致冬季污染物气体排放严重超标^[6],本项目污水处理厂升温改造过程中就地使用污水中的低温热能,有效控制温室气体的排放。项目实施改造后,通过集装箱式撬装机组和低温相变热蒸发器提取污水中的热量加热厌氧池、好氧池,加热过程省去了燃煤、燃气、燃油等锅炉房系统,不产生任何废渣、废水、废气和烟尘,避免了排烟污染;同时,污水中的低温热能被有效地回收利用,对控制大气污染,建设节能型城市有重大的现实意义。

参考文献

- [1]吴荣华,岳利茜.原生污水源热泵对污水生化处理的影响[J].哈尔滨工业大学学报,2011,43(6):132-135.
- [2]李焰辉,刘献华,齐晓娜.污水源热泵系统的应用[J].工业设计,2011,000(006):126.
- [3]陈颖.再生水源热泵工程应用分析研究[D].哈尔滨工业大学,2009.
- [4]陆耀庆.实用供热空调设计手册(第2版)[M].北京:中国建筑工业出版社.
- [5]宋桂真.水源热泵系统在承德市的应用现状[J].科技经济市场,2011(8):2.
- [6]李焰辉,刘献华,齐晓娜.污水源热泵系统的应用[J].工业设计,2011,000(006):126.