

污水源热泵技术在营口市应用分析

张志鹏¹ 杨宇锋¹ 刘琳² (通讯作者)

1. 营口市城乡建设与公用事业中心; 2. 辽宁省市县财政专员办服务中心

摘要: 污水源热泵供热是一种新型的城市供热形式, 它与传统燃烧燃料的供暖方式不同, 它具有环保、节能和经济等特点。是对现有城市供暖系统的补充和完善, 也是对城市污水收集利用的一种促进。本文综合分析污水源热泵的工作原理和特点, 并以营口市为例调查分析该城市在城市污水源热泵技术利用的现状以及存在的实际问题, 同时针对存在的问题提出推动城市污水源热泵应用的意见建议。

关键词: 城市废水利用; 污水源热泵

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.115

热泵是通过利用电能, 将环境中低品位能量转化为高品位能量的一种装置。工程中常见的是将土壤、空气、水资源中的热能通过热泵转化为能够用于改善环境舒适度的热能。由于电能可以从可再生能源得到, 减少煤炭和石油资源的消耗, 因此热泵也属于清洁能源设施。

一、污水源热泵技术综述

(一) 污水源热泵技术分类

从热泵热源种类区分, 可以分成地源热泵、空气源热泵和水源热泵。其中水源热泵系统中的水来源, 可以分为地表水源、地下水源和污水源。

污水源热泵中, 根据对污水源的使用方式不同可以分为直接式和间接式。对从城市污水管网系统中收集原生污水进行直接进入污水源热泵系统使用称为直接式。由原生污水先通过污水处理装置和换热设备后产生二级水后, 再进入热泵系统工作的模式称为间接式。

由于直接式系统无中间换热过程, 换热系数高, 但热泵系统需要考虑污水中杂质和腐蚀的问题, 造成热泵机组投资较高。间接式系统不收污水水质的影响, 工作性能相对更稳定。

(二) 污水源热泵技术工作原理

污水源热泵系统是通过利用城市污水作为热泵系统的冷热源, 由热交换器、热泵机组和末端供热装置等设备共同组成的。

热泵系统直接通过对城市污水中的热量通过换热进行提取, 用于供热系统使用。热泵系统也可以对城市污水进行先行处理, 达到使用标准后再对水中的热量进行提取, 用于供热系统供暖。整过程中热泵系统实现了消耗一定的电能实现能量转化, 进而实现改变室内环境舒适度的目的。

(三) 污水源热泵特点

由于城市原生污水的水温常年稳定处于20℃左右, 相对于周围环境具有冬暖夏凉的优点, 具备较好的制冷和制热的性能系数。与此同时, 由于我国城市化进程加快, 市政基础设施发展快速, 使城市污水资源丰富且稳定, 具备较好的利用条件。

(1) 具有一定的环保优势

由于污水源热泵在工作过程中只是使用电能, 不涉及不可再生资源的浪费。同时由于热泵系统无燃烧环节, 因此不会产生污染物排放。与传统使用热源厂作为热源供热, 最大程度减少了对水土和大气的污染, 环保优势明显。

(2) 节能效果明显

污水源热泵使用的是城市污水, 城市污水水温在冬季时高于环境温度, 夏季时低于环境温度, 使水温具有热交换的优势, 提升了热泵的工作效率。可以做到提供供热和空调系统的热源和冷源, 同时还可以提供热水供应。

(3) 系统运行稳定、便于维护

城市污水资源的水量常年保持稳定, 污水资源的温度变化幅度也较小, 小于环境的温度波动, 为热泵系统平稳运行提供条件。相对于空气源热泵在东北地区冬季供暖时表现的制热效率低和除霜等问题, 污水源热泵所表现出来的结构简单、运行稳定、供热高效和经济等优点具有较大优势。

(4) 为城市污水利用提供了新的途径

目前我国城市污水经过处理后的缺乏集中利用的途径, 除了部分用于城市市政公用设施用水和工业生产用水, 大多数处理后的污水都是直接排放到河流, 未得到有效利用。但采用污水源热泵可提高城市污水的利用率, 为城市低碳环保做贡献。

二、营口市城市污水收集与处理能力

(一) 城市污水处理能力建设情况

营口市主城区及周边城区的污水处理工作主要由四座污水处理厂完成。(图1)



图1 营口市市区内污水处理厂分部

(1) 东部污水处理厂

位于老边区中小企业园内, 占地12万m², 东部污水处理厂处理范围共5部分, 金牛山大街南、海澜街北、滨海路东、G305国道西, 营大路南、金牛山大街北、东升路东、G305国道西, 营口中小企业园, 营东新城, 老边区老城区等地区的城市污水。采用A-A-O生物脱氮

除磷处理工艺，于2010年初开始处理运行。该处理厂日处理污水能力11万 m^3/d ，处理后的水质能够达到国家一级A排放标准，出水合格率达到100%。配套建设的东部中水回用处理厂于2015年9月建设完成，具备日处理3万 m^3/d 中水的能力。

(2) 西部污水处理厂

位于西市区永远角路西侧，占地14.4万 m^2 ，西部污水处理厂收集处理范围为大辽河南、金牛山大街北、河堤路东、东升路西。2005年11月建成并通水运行，执行国家二级排放标准。为满足更高的排放标准要求，2014年9月西部污水处理厂进行提标改造，于2015年8月投产运行，该处理厂处理污水能力10万 m^3/d 。工程使用改良型A-A-0生物脱氮除磷处理工艺，处理后的水质达到国家一级A排放标准，出水合格率达到100%。与之配套建设的西部中水回用处理厂，中水日均供水量（2018年、2019年）1.5万 m^3/d ，中水输送管线23.4km，沿海产业基地内发电厂提供生产用水源。

(3) 北部污水处理厂

北部污水处理厂包含北五和虎庄河污水处理站，北五污水处理站坐落在大营口老港东侧，化纤厂潮沟北侧空地上，占地面积3845.06 m^2 ；虎庄河污水处理站坐落在虎庄河泵站南侧空地上，占地面积5112.31 m^2 ；处理区域为营口老港东、G305国道西，虎庄河南、营大路北。北部污水处理厂2020年建成，建设规模各均为1.0万 m^3/d ，采用A2/O+MBR处理工艺，处理后的出水水质达到一级A标准。

(4) 南部污水处理厂

位于沿海产业基地，收集处理范围为海澜街南、哈大高铁线北、河堤路东、博文路西；南部污水处理厂2010年建成，日处理污水12万 m^3/d 。目前每天处理能力为3万 m^3/d 。项目安装了先进的污水处理设备，采用CASS处理流程，处理后水质达到国家一级A排放标准。南部处理厂因覆盖工业区污水来源不足，尚有富裕处理能力9万 m^3/d ，其他污水处理厂基本满负荷运行。

(二) 营口市污水收集管网建设情况

营口市主城区污废水排水管道由合流制和分流制两种模式组成。G305国道以东为分流制。中小企业园区以金牛山大街为界，金牛山大街以北为合流制，以南为分流制。沿海产业基地滨海路以西为分流制，以东为合流制。全市建成区排水管网1300km，其中65%为合流管网，总长845km。16%为污水管网，总长208km。雨水管网占19%，为247km。

(三) 现阶段营口市主城区污水处理后利用的情况

目前营口市主城区四座污水处理厂中只有西部污水处理厂处理污水1.0万 m^3/d ，用于华能营口电厂发电系统循环冷却；此外还有部分污水处理后排入城市河流、人工湖等用于生态补水。但大部分污水处理后排入辽河，没有有效利用。

三、营口市城市污水利用存在的主要问题

(一) 城市污水处理设施和管网建设缺少整体规划

没有将污水处理后的再生水纳入地区发展和建设项目，缺少污水处理成为再生水系统性和完整性的专项规划，缺乏区域统筹规划。城市污水收集设施和处理厂未

实行统一运营管理，城市污水收集和处理相关信息不能及时整合。

(二) 营口市污水处理设施建设不足

工程设施投入不足，主城区大部分污水厂处理后的再生水氯离子不满足再生水利用水质标准要求。由于营口市靠海和大辽河入海口，海拔较低，海水倒灌，低水位较低的特殊地理位置，同时污水收集管网建设年代久远、老旧破损，含盐量较高地下水进入污水收集管网，造成污水厂进水氯离子较高，加之传统的污水处理工艺，处理后出水氯离子严重超标，限制了污水资源多用途利用。

(三) 再生水利用途径单一，污水源热泵未有效推广

营口市主城区内污水处理后的利用只有少量处理污水用于电厂发电系统循环冷却，大部分污水没有合理利用。南部污水处理厂缺乏对周边大型工厂的污水收集，部分工厂生产污水直接排放，影响污水处理利用和再生水资源的产量。缺乏对污水处理后进行污水源热泵技术采暖等深层次水资源潜力挖掘。

虽然在城市中区域性或单体建筑中使用污水源热泵供热已经在国内外有很多成功的案例，但在营口市的推广实施还有很大差距。营口市在此前利用污水源热泵作为低品位热源进行能力转化供热的案例较少。已有的一个住宅小区和一个商业广场项目由于规模小，未形成大的规模化效益和社会影响。行政主管部门和建设单位对污水源热泵缺乏认识，不能从长远利益进行考虑。而新技术的推广应用恰恰需要政府部门给予政策的支持。

在东北严寒地区运行大型污水源热泵系统对城市进行区域供暖，热泵系统的稳定性是一项重要的要求，关系到社会稳定，供热效果对技术推广应用起到决定性影响。此外系统的建设对配套设施的要求和与传统热源相互配合使用等，都是热泵系统在冬季能否持续稳定运行的重要因素。

四、营口市城市污水利用问题的主要原因

(一) 城市污水处理设施和管网建设缺少整体规划

各部门信息共享不及时，城市污水处理总体规划不到位。目前，营口市城市污水处理设施和管网现状缺乏全面调查。在政府行业管理方面，受职能整合影响，营口市污水处理相关业务管理历经了从政府部门到企业的多次变化。在实际运营方面，营口市污水处理设施由负责区域分属于不同的运营主体。运营单位之间互通有限，导致全市排水设施信息共享能力不足，导致排水设施在规划、建设、运维管理等环节不一致，职责边界模糊，全市管网运行无法形成整体调控，难以形成城市污水收集和处理的整体规划。

(二) 营口市污水处理设施建设不足

工程设施投入不足，污废水处理收集不充分，城市污水处理设施建设规模不大，与城市发展相比相对滞后，部分污水处理厂出现满负荷运行状态，对大型工业企业生产污水集中收集处理设施缺失是造成工业污废水处理不充分的主要原因。

技术储备不足，缺少有针对性的根据营口地区污水厂再生水水质特征，再生利用途径的研究相对滞后。城

市污水管网老旧,存在渗漏现象,地下中等腐蚀程度的地下水渗入管网后,加之传统的污水处理工艺,造成部分污水处理厂污水处理后的水质超标,限制再生水利用。

(三) 对城市污水处理利用途径的了解比较落后

工业方面,再生水利用途径单一和利用率较低,除少部分用于电厂冷却外,其他均直接排放。实际生产过程中使用的率低,主要是由于企业对污水处理后的再生水利用缺乏认识,政策缺少扶持。

民用方面,污水处理后再生水的使用程度单一主要原因是供水管网建设速度减缓,污水处理厂产出的中水在价格方面缺少优势,无法大规模推广,使城市污水处理产品缺乏市场,制约污水处理利用发展。

此外由于缺少成功案例,各级部门和建设单位缺少对污水热能利用技术的了解,限制了污水热泵利用的推广。

五、推进营口市城市污水热泵推广的意见建议

(一) 强化综合组织协调,形成整体规划

加强综合组织协调,城市污水排放和城市供热的相关各个部门的职责应分工明确,将污水热泵作为城市水资源管理利用的重要内容,加强污水源热泵的项目储备、行业指导和实施督促,协调解决相关问题。对各污水处理设施日常运行单位应结合各自辖区内管道网络的梳理和维护,提高效率。

根据沈阳建筑大学相关学者对沈阳地区污水源热泵技术应用前景的研究表明^[3],污水源热泵技术符合循环经济的理念,具备产生经济效益和社会效益的能力。经济和环保等方面优于传统的燃煤、燃气和燃油锅炉。应该将营口市城市污水热泵技术的应用纳入地区发展和建设项目,将城市污水资源收集纳入营口市有关水资源规划和生态环境保护规划。强化顶层设计,完成以城市污水收集减轻城市供暖热源压力为主线的系统性和完整性的专项规划,对城市生活区和东部、南部的工业生产区域的污水收集处理进行统筹规划。紧密结合营口市城市污水处理的需求,同时考虑解决水资源短缺的问题,按照“就近利用、优水优用、分质用水”的思路,在充分掌握城市污水水源的水质水量数据,并对污水再生水利用途径进行设计的基础上,进一步确定城市污水处理和利用的途径与规模。科学确定营口市新建污水热泵系统的输配设施布局,确保满足城市发展需要。

(二) 推广污水源热泵技术,推展城市污水利用渠道

民用领域除通过中水使用来推进污水处理利用,还可以拓宽思路,改变传统污水利用的思维方式,深挖城市污水自身资源。采用污水源热泵供暖,由于其技术稳定,经济性好等特点,更适合作为新建城区和老城区供暖改造的一种供暖替代模式。让污水提供者 and 供热使用者深刻体会到污水源热泵利用带来的丰富效益,提高社会面参与的积极性。

由于城市污水具有天然的水温优势,污水度变化幅度小,城市原生污水的年温度为20℃左右,具有冬暖夏凉的特性,是比较理想的热泵冷热源。此外,城市居民区不断建设,城市污水量排放量持续稳定,为利用污水

资源在供热方面利用提供了保证。也让污水热能回收与利用系统的运行成为可能。由于城市污水属于免费的可再生资源,供暖企业和城市污水处理企业在污水源热泵的建设方面进行小规模投资就可获得巨大的经济效益,同时可以减少传统冬季供暖热源的空气污染物排放具有显著的环境效益。利用城市污水源热泵技术,形成城市供暖新热源为建筑物进行供暖,是推动污水处理利用的新途径。同时为营口市城市绿色发展和补齐供热能力不足有推动作用。

(三) 强化污水收集处理和热泵的配套设施建设

由于污水源热泵的运行需要大量城市污废水,这就需要对市内各部分排水管道的排放量进行摸底统计。推进污水源热泵供热系统与传统供热热源的有效结合,根据城区各区域污水排放量建设污水源热泵装置。既就近获取污水能源,又可以降低输送管网投资的费用。

到2025年营口市建成区污水收集处理率目标应达到100%。目前主城区范围包括站前区、西市区和老边区。已经建成运行污水厂5座(西部、东部、南部、北部(北五和虎庄河)),目前营口市东部、西部污水处理厂日处理能力为10万m³/d,两座污水处理厂冬季采暖季节和夏季降雨季节,处理水量已经超负荷。北部污水处理厂日处理能力均为1万m³/d,处于满负荷运转状态。营口市主城区污水处理设施虽然能够满足现阶段城市污水处理规模和排水标准要求,但不满足2025年营口市城市发展预期要求,对营口市未来城市污水利用水平提升有限,因此可在老边区和自贸区建设新污水处理厂分担东、西部污水处理厂的收集处理压力。同时由于目前市区各污水处理厂周围有闲置土地,可以在现有各污水厂附近建立污水源热泵系统,有利于提升污水热泵工作效率。就近建设也有利于减少输配管网建设投资。例如,营口市在2022年建成的东部集中供热热源锅炉房工程与东部污水处理厂仅一路之隔,这样的布局优势对污水源热泵供热并网提供便利。

结语

城市生活污水出水量稳定,水量常年保持在一定范围内,但通常是被处理至国家排放标准后排放,忽略了其蕴含的低位热能。污水源热泵系统恰恰能利用城市污水具有低位热能这一特点,可对污水中或污水处理厂出水低位热能进行回收再利用。系统工作过程中无CO₂、SO₂和有害粉尘等大气污染物排放,对节能减排有重要意义。对于我国北方有采暖要求的城市,污水源热泵系统可以推广使用。

参考文献

- [1] 张宇航、李爽,浅谈污水源热泵在城市供热中的应用[J].中国设备工程 2023.05(上),225-227
- [2] 宋翠翠、陈芳、王亮、苏祥,某污水处理厂综合楼污水源热泵系统设计[J].自动化应用.2023,64(07),261-262、266
- [3] 张志超,沈阳市原生污水热能利用技术经济分析[D].2012.12

通讯作者:刘琳,女,从事工程建设与造价研究工作。