

城市原生污水与其他 冷热源的比较研究^{*}

哈尔滨工业大学 吴荣华[☆] 张承虎 孙德兴

摘要 以黑龙江地区实际工况为例,以城市污水为重点,对几种冷热源形式的初投资、运行费作了调查与计算分析,对不同冷热源形式的一次能耗进行了对比,预测了几种冷热源形式的应用前景,认为城市污水源热泵应用前景广阔。

关键词 冷热源 城市污水 初投资 运行费 一次能耗率

Comparative study of urban wastewater and other cold and heat sources

By Wu Ronghua[★], Zhang Chenghu and Sun Dexing

Abstract Taking practical conditions in Heilongjiang region as examples, with urban wastewater as the main objective, investigates and analyses the initial investment and operation costs of several kinds of cold and heat sources. Calculates and compares their energy efficiency. Briefly states application prospects, and considers that urban wastewater heat pump has a wide prospect for engineering application.

Keywords cold and heat sources, urban wastewater, initial investment, operation cost, primary energy efficiency

★ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

0 引言

在北方严寒地区,冷水机组加燃煤锅炉、冷水机组加城市外网、直燃型吸收式机组和水源热泵机组是常见的几种冷热源形式,另外还有一些尚不普及的供暖空调方式:电供暖、燃油锅炉、空气源热泵和土壤源热泵等。随着环保力度的不断加强,燃煤锅炉加冷水机组将逐渐被其他形式取代,原有系统也在不断改造之中。与此同时,水源热泵机组近几年得到了大量推广应用,包括地下水、海水等,但由于水源问题的存在,目前地下水的利用并不乐观。其他几种系统形式各有优缺点,但不存在本质上的缺陷,相互间还具有一定的竞争性。

作为水源热泵的一种,城市污水冷热源热泵近两年得到了长足发展。城市原生污水数量巨大^[1],

遍布城市市区内,城市污水冷热源热泵同时还涉及到污水资源再生利用问题,因此得到广泛认可,发展迅速,是一个很好的应用方向。本文从初投资、运行费、一次能耗及应用前景等方面对上述冷热源形式进行了不同程度的分析与评述。

1 初投资估算

以黑龙江地区为例,根据目前的市场行情,考虑一定的市场价格波动,按市场价与实际底价折中取值,对几种系统形式初投资作如下估算。其中供暖热指标取为 $q_r = 70 \text{ W/m}^2$,空调冷指标取为 $q_l = 120 \text{ W/m}^2$,不同地区对应不同负荷时可根据负荷

①[☆] 吴荣华,男,1976年10月生,博士研究生,博士后
150090 哈尔滨工业大学市政环境工程学院 257 #
(0) 13936328058
E-mail: shwu122@sina.com
收稿日期:2004-06-25
一次修回:2004-08-09
二次修回:2005-06-08

^{*} 北京市供热供燃气通风及空调工程重点实验室开放课题(编号:kf200503)

对比折算。

1.1 燃煤锅炉加冷水机组系统

该系统中,燃煤锅炉只能是型煤锅炉。系统初投资见表 1。

表 1 燃煤锅炉加冷水机组系统初投资

	价格/ (元/m ²)	计算式	备 注
锅炉房系统	75		经验估算
冷水机组	66	120 W/m ² ×0.55 元/W=66 元/m ²	
冷却塔	12		折算值
辅材设备	19.5	(66+12)元/m ² ×25%=19.5 元/m ²	
末端系统	60		以一套系统计
高压配电系统	25	按配电功率 800~1 000 元/kW 计	无增容费
合计	257.5		

1.2 城市外网加冷水机组系统

一般民宅入网费为 40 元/m²,商场、酒店等为 60 元/m²。系统初投资见表 2。

表 2 城市外网加冷水机组系统初投资

	价格/ (元/m ²)	计算式	备 注
外网入网费	60		商场类
外网管线	5		
冷水机组	66	120 W/m ² ×0.55 元/W=66 元/m ²	
冷却塔	12		折算值
辅材设备	19.5	(66+12)元/m ² ×25%=19.5 元/m ²	
末端系统	60		以一套系统计
高压配电系统	25	按配电功率 800~1 000 元/kW 计	无增容费
合计	247.5		

1.3 直燃机组系统

目前,直燃机市场价格相差较大,介于 0.7~1.2 元/W 之间。系统初投资见表 3。

表 3 直燃机组系统初投资

	价格/ (元/m ²)	计算式	备 注
直燃机组	120	120 W/m ² ×1.0 元/W=120 元/m ²	参考价
冷却塔	20		折算值
辅材设备	35	(120+20)元/m ² ×25%=35 元/m ²	
末端系统	60		以一套系统计
合计	235	(不含燃气入网及其配套设备费)	

1.4 污水源热泵系统

如表 4,污水取排系统包括去污设备、污水泵、污水换热器及污水管线。

表 4 污水源热泵系统初投资

	价格/ (元/m ²)	计算式	备 注
热泵机组	84	120 W/m ² ×0.7 元/W=84 元/m ²	价格可靠
污水取排系统	35		价格可靠
辅材设备	21	84 元/m ² ×25%=21 元/m ²	
末端系统	60		以一套系统计
高压配电系统	25	按配电功率 800~1 000 元/kW 计	无增容费
合计	225		

以上数据是笔者根据工程实践和市场调查统计的,所取设备为国产设备。

1.5 系统投资取值分析

上述投资对比是折中取值,受市场行情、不同厂家产品所限,例如水源热泵不同厂家出厂价为 0.55 元/W 左右,而代理商售价却高于 0.7 元/W;高档次直燃机售价为 1.0~1.5 元/W,中档次直燃机在 1.0 元/W 以下,低档次直燃机则为 0.7 元/W 左右等等。

文中提及的污水源热泵系统的污水取排系统是笔者研制的,已成功应用于工程实践,目前市场尚无定型产品。至于配电系统,已将其分为高低压两段,低压系统投资已含在辅材设备中,高压配电系统不考虑增容费。另外,不同系统的装机容量还有一定的差异,除设计的保守余量外,水源热泵系统由于分散设置,机组投资可能要相对高出 5%左右。对于其他设备、辅材取值问题,由于属常规产品材料,市场价格相对稳定,估算相对准确,具有可靠性。

2 运行费用计算

全年耗热量与耗冷量可表示为

$$Q_r = q_r d_r h_r \times 3\,600 \bar{q}_r \tag{1}$$

$$Q_l = q_l d_l h_l \times 3\,600 \bar{q}_l \tag{2}$$

式(1),(2)中 Q_r 为全年耗热量,kJ/m²; q_r 为供暖热指标,W/m²; d_r 为供暖天数,d; h_r 为每天供暖时间,h;3 600 为换算系数,s/h; $\bar{q}_r$ 为供暖的平均负荷因数; Q_l 为全年耗冷量,kJ/m²; q_l 为空调冷指标,W/m²; d_l 为空调天数,d; h_l 为每天空调时间,h; $\bar{q}_l$ 为空调的平均负荷因数。

以黑龙江地区为例,供暖热指标 $q_r = 70$ W/m²,空调冷指标 $q_l = 120$ W/m²,供暖天数 $d_r = 180$ d,空调天数 $d_l = 60$ d,全天 24 h 运行, $h_r = h_l = 24$ h,设 $\bar{q}_r = \bar{q}_l = 0.67$ 。代入式(1),(2)中可得 $Q_r = 7.3 \times 10^8$ kJ/m², $Q_l = 4.2 \times 10^8$ kJ/m²。

2.1 燃煤锅炉加冷水机组

燃煤锅炉加冷水机组系统燃煤费用与空调费用可分别表示为

$$F_m = \frac{Q_r}{\eta_m R_m} M \xi + F_i \tag{3}$$

$$K_L = \frac{Q_l}{\epsilon_L \times 3\,600} D_l \xi \tag{4}$$

$$F = F_m + K_L \tag{5}$$

式(3)~(5)中 F_m 为燃煤费用,元/ m^2 ; η_m 为燃煤锅炉效率; R_m 为煤热值, kJ/kg; M 为煤价,元/kg; ξ 为辅助设备耗能因数; F_f 为燃煤辅助操作费(包括运煤、灰费用等),元/ m^2 ; K_L 为空调费用,元/ m^2 ; ϵ_L 为冷水机组制冷系数; 3 600 为换算系数, s/h; D_L 为空调电价,元/(kWh); F 为全年费用(不考虑补水、人工、设备折旧等),元/ m^2 。

当锅炉燃烧效率为 75%,煤价为 0.4 元/kg,煤热值为 188.4 MJ/kg,冷水机组效率为 4.0,电价为 0.67 元/(kWh)时, $F_m = 34$ 元/ m^2 (取 $F_f = 0$), $K_L = 23.5$ 元/ m^2 , $F = 57.5$ 元/ m^2 。

2.2 城市外网加冷水机组

设城市热网年费为 F_w ,夏季空调同 2.1 节,则全年费用 F 可表示为

$$F = F_w + K_L \quad (6)$$

当城市热网年费取 45 元/ m^2 (按哈尔滨市商业建筑考虑)时, $F = 68.5$ 元/ m^2 。

2.3 直燃机

直燃机系统供暖与空调费用可表示为

$$F_z = \frac{Q_r}{\eta_q R_q} Q \xi \quad (7)$$

$$K_z = \frac{Q_l}{\epsilon_z R_q} Q \xi \quad (8)$$

$$F = F_z + K_z \quad (9)$$

式(7)~(9)中 F_z 为直燃机供暖费用,元/ m^2 ; η_q 为直燃机燃烧效率; R_q 为燃气的热值, kJ/ m^3 ; Q 为燃气价格,元/ m^3 ; K_z 为直燃机空调费用,元/ m^2 ; ϵ_z 为吸收式制冷机制冷系数。

以人工煤气为例(天然气与之相差不大)。人工煤气单价 1.2 元/ m^3 ,热值 1.59×10^7 kJ/ m^3 ,直燃效率为 90%,制冷系数为 1.3,带入式(7)~(9)中,得 $F_z = 74.6$ 元/ m^2 , $K_z = 29.7$ 元/ m^2 , $F = 104.3$ 元/ m^2 。

2.4 污水源热泵

污水源热泵系统供暖空调费用为

$$F_b = \frac{Q_r}{\epsilon_{rh} \times 3\,600} D_r \xi \quad (10)$$

$$K_B = \frac{Q_l}{\epsilon_{lb} \times 3\,600} D_l \xi \quad (11)$$

$$F = F_b + K_B \quad (12)$$

式(10)~(12)中 F_b 为污水源热泵供暖费用,元/ m^2 ; ϵ_{rh} 为污水源热泵机组制热系数; D_r 为供暖电价,元/(kWh); K_B 为污水源热泵空调费用,元/

m^2 ; ϵ_{lb} 为污水源热泵制冷系数。

当取制热系数为 4.0,制冷系数为 5.0,供暖电价和空调电价均为 0.47 元/(kWh)时, $F_b = 28.5$ 元/ m^2 , $K_B = 18.5$ 元/ m^2 , $F = 47$ 元/ m^2 。

上述计算中,均取辅助设备的能耗因数 $\xi = 1.2$,不同系统可能有一定差异,但不会有很大变化,其他数据均具有可信度。

3 初投资运行费对比

通过详细分析计算,直燃机初投资较低,但运行费高于其他系统,另外三种形式基本相当。表 5 为不同系统的初投资与运行费用比较。

表 5 不同系统初投资、运行费用比较

	单位面积初投资/(元/ m^2)	单位面积运行费/(元/ m^2)		
		供暖	空调	全年
燃煤锅炉加冷水机组	257.5	34.0	23.5	57.5
城市外网加冷水机组	247.5	45.0	23.5	68.5
直燃机	235	74.6	29.7	104.3
污水源热泵	225	28.5	18.5	47.0

4 一次能耗分析

按前述计算冬季终端能耗为 $Q_r = 0.73 \times 10^6$ kJ/ m^2 ,夏季为 $Q_l = 0.42 \times 10^6$ kJ/ m^2 , $Q_l/Q_r = 0.575$,则一次能源利用率可表示为

$$E_0 = \frac{Q_r + Q_l}{\frac{Q_r}{E} + \frac{Q_l}{\epsilon}} = \frac{1 + \frac{Q_l}{Q_r}}{\frac{1}{E} + \frac{Q_l}{Q_r \epsilon}} \quad (13)$$

式中 E 为供暖一次能源利用率; ϵ 为制冷一次能耗率。具体计算结果如表 6 所示,按运行费计算中的实际工况取值。

表 6 一次能耗率对比(30%为电效率)

	E	ϵ	E_0
燃煤锅炉加冷水机组	75%	30% $\times$ 4.0	0.87
城市外网加冷水机组	75%	30% $\times$ 4.0	0.87
直燃机	90%	1.3	1.01
污水源热泵	30% $\times$ 4.0	30% $\times$ 5.0	1.29

5 几种冷热源的应用前景

5.1 燃煤锅炉加冷水机组

该形式将逐渐被其他形式取代。环保部门已有明文规定,若建设小型燃煤锅炉房,只能燃型煤,当附近已有城市外网时,不允许建燃型煤锅炉房。以不收取城市入网费为代价,建议改造原燃煤系统。对未改造用户,以收取高额排污费限制燃煤。由此可见,该形式的改造已迫在眉睫。

5.2 城市外网加冷水机组

该形式在严寒地区应用较多,通常末端系统均有两套,或设有换热系统,投资要高出一些。对一般宾馆、商场等用户,供暖费用均高出本文的计算费用,热力公司要收取 50% 以上的附加费。若无热计量措施时,商场等用户晚间耗热量很少,按面积收费后,运行费增加。另外,很多建筑物附近没有大的热网,只能选择其他方式。该方式是集中供热,对大面积民用建筑供暖是最好的选择。

5.3 直燃机

该形式运行费过高,很多用户都难以承受,目前水源热泵技术的不断成熟与发展对该形式有很大影响。以当前市场行情来看,应用呈下降趋势。

5.4 地下水源热泵

地下水源热泵应用的最大技术难题是井水回灌、水污染与地质等问题,目前所运行的系统,大部分无法完全回灌,另外还有打井初投资很大,水井老化、枯竭等问题^[2]。我国水资源贫乏,很多地区地下水缺乏或没有,各地区水务部门均严格控制打井取水。哈尔滨地区根本不让打井,长春地区基本无水,而沈阳地区尽管地下水相对充足,税务局却要收取 0.27 元/t 的取水费以保护水资源,这对供暖空调而言,是一笔很高的费用。因此,地下水源热泵的应用发展并不乐观。

5.5 城市污水源热泵

据统计,全国每年污水排放量达 $464 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,可供暖空调面积达 5 亿 m^2 以上。以黑龙江省为例,2000 年统计的全年污水排放量为 $11.4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,若考虑 70% 可用,可供暖面积为 1 100 万 m^2 ,可见其潜力巨大。若能进一步研究开发,利用污水的溶解热,则其前景将更为广阔。由于污水源热泵兼具节能、环保与污水再生利用三大优点,符合社会与经济的可持续性发展战略,得到推广应用是必然的。

6 结语

城市污水源热泵作为一项新技术,在国外已应用几十年^[3],国内近两年才开始应用^[4]。该技术能否得到推广使用,主要涉及初投资、运行费及其发展潜力等问题,而发展潜力又包括能源利用率、对环境的破坏性及实际的应用规模。故此,本文对目前的几种冷热源形式作了市场投资估算对比、详细的运行费用计算,对发展潜力也作了分析、评述。望能引起同行关注。

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,2005,35(6):31-37
- [2] 吴荣华.城市原生污水源热泵系统研究与工程应用[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2005
- [3] 徐邦裕,陆亚俊,马最良.热泵[M].北京:中国建筑工业出版社,1988
- [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

· 会讯 ·

江苏省暖通空调制冷 2005 年学术年会在无锡召开

江苏省暖通空调制冷 2005 年学术年会于 2005 年 11 月 9~11 日在无锡市召开。9 日上午大会开幕式由东南大学建筑设计研究院院长、江苏省制冷学会空调热泵专业委员会副主任委员葛爱荣教授主持,江苏省制冷学会空调热泵专业委员会主任委员、南京市建筑设计研究院副总工程师张建忠致欢迎词,江苏省建筑学会热能动力与暖通空调专业委员会主任委员、江苏省建筑设计研究院副总工程师夏卓平作工作报告。无锡市科协、无锡市建工局等部门领导到会祝贺。安徽、上海、山东等兄弟省市学会到会或发来贺电祝贺。到会正式代表 160 人,企业代表 100 多人。

大会开幕式后进行了一天的大会交流。同济大学张旭

教授、范存养教授,南京工业大学李志浩教授,江苏省建筑设计研究院副总工程师夏卓平等就目前暖通空调领域的地源热泵、日本世博会馆的大空间空调、多联机、南京奥体中心空调等作了专题报告,受到与会代表的好评。

10 日分成建筑节能、空调系统设计、施工图审查、多联机 4 个专题,进行了论文交流。这次大会共收到论文 100 多篇,为历次年会之最。

40 多家生产厂家利用大会进行了新产品发布。

在 10 日下午的闭幕式上,江苏省暖通空调信息网副理事长、东南大学建筑设计研究院副总工程师唐超权代表两会一网作了总结报告。

(夏卓平)