

吸收式热泵区域供热最大供热范围 与节能判据研究

赵 麒^{1,2}, 王 琛³, 谭羽飞²

(1. 长春工程学院能源动力工程学院, 吉林长春 130012; 2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江哈尔滨 150090; 3. 长春工程学院设计研究院, 吉林长春 130012)

摘 要:在国家建筑节能设计标准中的耗电输热比 EHR 的基础上, 结合一次能耗率引申得到一次能源消耗输热比 PEHR 的能耗比较标准, 并根据对吸收式热泵区域供热系统 PEHR 指标的控制要求, 得到了系统的最大作用范围, 推导计算了吸收式热泵区域供热系统比传统的锅炉房区域供热系统节能时, 热泵机组制热性能系数的下限值表达式。结果表明, 当吸收式热泵制热性能系数一定时, PEHR 控制值越大, 吸收式热泵的作用范围越大; a 值越大, 系统的供热范围越小。吸收式热泵的制热系数的下限值不仅随锅炉热效率的提高而升高, 而且随区域供热作用范围的增加而增大, 因而小规模吸收式热泵区域供热系统有利于系统节能的体现。

关键词:吸收式热泵; 区域供热; 合理供热范围; 一次能耗输热比

中图分类号: TU995 文献标志码: A

Study of reasonable heating range and energy-saving criterion of absorption heat pump district heating system

ZHAO Qi^{1,2}, WANG Chen³, TAN Yufei²

(1. College of Energy and Power, Changchun Institute of Technology, Changchun Jilin 130012, China; 2. College of Municipal Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China; 3. Design and Research Institute of Changchun Institute of Technology, Changchun Jilin 130012, China)

Abstract: On the basis of the ratio of electricity consumption to transferred heat quantity (EHR), combined with primary energy consumption rate and propagated in the national building energy efficiency design standard, the index of primary energy consumption ratio of heating supplied (PEHR) is established. According to the requirements of PEHR control index of the absorption heat pump district heating system, the maximum heating range is obtained. The lower limit heating coefficient of the heat pump unit expression is deduced when the absorption heat pump district heating system is more energy-saving than traditional boiler heating system. The results show that when the coefficient of the absorption heat pump is certain, the greater the PEHR control value, the more extensive the reasonable heating range; the larger the area value, the smaller the reasonable heating range. The lower limit of heating coefficient of the absorption heat pump not only increases with the improvement of the thermal efficiency of the boiler, but increases with the increase in the scope of the district heating range. Therefore the small-scale absorption heat pump district heating system is benefit for energy-saving.

Key words: absorption heat pump; district heating; reasonable heating range; primary energy consumption ratio of heating

收稿日期: 2012-10-11; 责任编辑: 冯 民

作者简介: 赵 麒(1982-), 男, 辽宁鞍山人, 讲师, 博士研究生, 主要从事节能技术及热泵应用方面的研究。

E-mail: hithot2@163.com

近些年,吸收式热泵技术及工质的研究日趋成熟,受到了越来越多的关注,并逐渐在工业生产中加以使用^[1-5]。随着中国经济的高速持续发展和人们对居住环境要求的提高,建筑供热带来的能源消耗与环境污染日益严重。国家出台了多部建筑行业的节能标准,并鼓励在建筑中使用可再生能源、清洁能源等以减少对煤等不可再生能源的依赖。许多学者建议用吸收式热泵回收热电厂循环冷却水的热量后用于区域供热^[6-9],由于热泵系统热水供回水温差比采用锅炉供热系统时的温差小得多,这样在输送相同的热负荷时,热泵系统所需的热水量变得很大,热水循环泵的能耗也必然随之增大,而且热泵系统中低温热源侧的循环泵也要消耗高品位的电能。虽然中国的电仍以燃煤火力发电为主,且发电效率很低,平均在 32.2%左右^[10],但锅炉房供热系统的效率在不断提高,如公共建筑节能设计标准中规定燃煤锅炉的额定热效率应不低于 78%^[11]。所以在实际的工程中,吸收式热泵供热系统究竟能否真正做到比传统的锅炉房供热系统更为节能确实需要仔细分析与探讨。

笔者将吸收式热泵与传统锅炉房区域供热系统相比较,在国家建筑节能设计标准中的耗电输热比 EHR 的基础上,结合一次能耗率引申得到一次能源消耗输热比 PEHR 的能耗比较标准,通过分析与计算,研究和讨论吸收式热泵区域供热系统的合理作用范围并试图找到如何判断该系统是否节能的依据。

1 能耗比较标准

国家标准为了对消耗在热水输配系统上的能耗予以控制,规定了设计条件下的热水循环泵的耗电输热比 EHR。EHR 法只考虑了运行时水泵的能耗,而忽略了供热量来源的不同。笔者在 EHR 法的基础上提出一次能源消耗输热比法 PEHR(primary energy heat rate)即单位供热负荷所消耗的一次能源总量。则锅炉房区域供热的能源消耗输热比可由下式确定:

$$Y_{\text{PEHR}_1} = \frac{\varepsilon_1 / \eta_e + Q / \eta}{Q} \quad (1)$$

式中: Y_{PEHR_1} 为区域锅炉房一次能源消耗输热比; ε_1 为循环泵消耗的电量,kJ; η_e 为一次能源转换为用户电能的效率,根据中国现有能源状况,燃煤火力发电的效率平均在 32.2%左右^[10],若电能输送效率为 90%,则 $\eta_e = 32.2\% \times 90\% \approx 29\%$; Q 为系统供热量,kJ; η 为锅炉的热效率,国家标准^[11-12]中对燃煤锅炉额定效率规定,燃 II 类烟煤的锅炉效率取 78%,燃 III 类烟煤的锅炉效率取 82%。

吸收式热泵区域供热的一次能源消耗输热比 Y_{PEHR_2} 由下式确定:

$$Y_{\text{PEHR}_2} = \frac{\varepsilon' + \frac{Q}{\text{cOP} \cdot \eta}}{Q} \quad (2)$$

式中: ε' 为热泵系统的全部电能消耗。

$$\varepsilon' = \varepsilon_2 (1 + a), \quad (3)$$

式中: a 为低温热源侧水泵的耗电量占循环泵耗电量的比例; cOP 为吸收式热泵装置的制热性能系数; ε_2 为循环泵耗电量。

令温差比 $\beta = \Delta t_1 / \Delta t_2$,即为锅炉房供回水温差与吸收式热泵供回水温差的比值,则吸收式热泵区域供热系统与锅炉房区域供热系统循环水泵的耗电比为

$$\varepsilon_2 = \beta \varepsilon_1, \quad (4)$$

因为 $\beta > 1$,所以 $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$

2 吸收式热泵区域供热系统合理作用范围的研究

PEHR 可以理解为供热系统消耗的一次能源总量与系统总供热量的比值,该值越小,说明向用户输送同样的热量需要的一次能源消耗量越少,所以该值越小越好。

吸收式热泵系统的最大作用范围 R_{max} 是指室外管网主干线采用相同长度的供、回水管道及相同长度低温热源供、回水管道时,是总管网主干线总长度的 1/2。笔者以供回水温度为 95℃/70℃ 的锅炉房区域供热系统和供回水温度为 60℃/50℃ 的吸收式热泵区域供热系统为研究对象。

将文献^[11]中数据换算成对应的 PEHR,见表 1($a=0.10, \text{cOP}=1.25$)。

表1 PEHR₁与PEHR₂计算值
Tab.1 Calculation results of PEHR₁ and PEHR₂

$\sum L/m$	PEHR ₁		PEHR ₂	
	$\eta=78\%$	$\eta=82\%$	$\eta=78\%$	$\eta=82\%$
200	1.294 6	1.232 1	1.060 3	1.010 2
400	1.296 4	1.233 9	1.065 1	1.015 1
600	1.297 1	1.234 6	1.067 1	1.017 1
800	1.298 6	1.236 0	1.071 0	1.021 0
1 000	1.299 1	1.236 6	1.072 6	1.022 6
1 500	1.300 9	1.238 3	1.077 4	1.027 3
2 000	1.303 5	1.241 0	1.084 7	1.034 7
2 500	1.306 2	1.243 7	1.092 0	1.042 0
3 000	1.308 9	1.246 3	1.099 3	1.049 3
3 500	1.311 5	1.249 0	1.106 7	1.056 6
4 000	1.314 2	1.251 6	1.114 0	1.064 0

注： $\sum L$ 为锅炉房区域供热室外管网总长度。

PEHR值随总管线长度的增加而增大,相同管线总长度条件下,2种区域供热系统的热效率越高,PEHR值越小。如果将PEHR值限制在一定的范围内,则区域供热系统管道的最大作用范围就可确定。

由图1可见,随着 a 值的增大,系统的最大作用范围 R_{\max} 减小。当 a 由0.10增加至0.40时, R_{\max} 由3.225 km减小到2.325 km,(PEHR控制在1.15时)。

另外,当 a 值一定时,随着PEHR限值的增大,最大作用范围 R_{\max} 也相应增大,例如,当 $a=0.20$ 时,若PEHR的限值从1.10增大到1.25, R_{\max} 也由1.3 km增加到6 km。因此,若要将 a 值一定的吸收式热泵区域供热系统的PEHR指标控制在一定范围内,就必须对供热系统的规模进行适当的控制。具体来说,当PEHR指标分别取1.10,1.15,1.20,1.25时,吸收式热泵供热系统的最大作用范围在 a 为0.3时应分别为1.125,2.575,4.025,5.450 km。

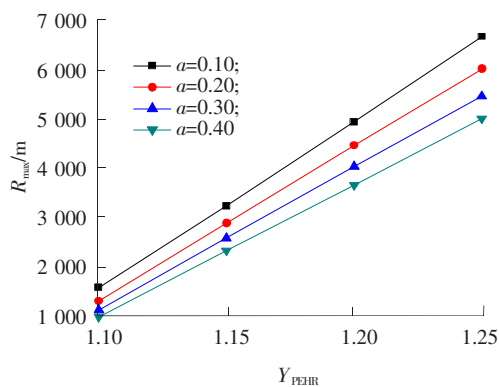


图1 PEHR限值时不同 a 值的最大作用范围($\eta=78\%$)

Fig.1 Maximum range under various values of a when PEHR is limited($\eta=78\%$)

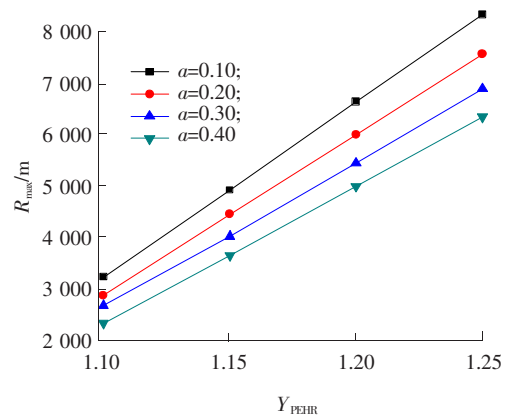


图2 PEHR限值时不同 a 值的最大作用范围($\eta=82\%$)

Fig.2 Maximum range under various values of a when PEHR is limited($\eta=82\%$)

由图2可见,锅炉燃烧效率不同的最大作用范围变化规律与图1相同。由图1、图2可以看出,当吸收式热泵制热性能系数和 a 值一定时,PEHR控制值越大,吸收式热泵的作用范围也越大;当PEHR控制值一定时, a 值越大,即低温热源侧水泵的耗电量占循环泵耗电量的比例越大,系统的供热范围越小。当 a 由0.10增大至0.40,在PEHR指标分别控制在1.10,1.15,1.20和1.25时,最大作用范围($\eta=82\%$)分别降低了27.9%,25.9%,24.8%和24.0%。由于吸收式热泵的驱动能源来源于热量,当热效率升高时,在其他条件相同时的最大供热范围会相应增大。

3 吸收式热泵区域供热节能判断

在给定系统的供回水温差、室外管网主干线总长度和锅炉的热效率等参数后,就可以确定当吸收式热泵区域供热系统比锅炉房区域供热系统节能时,对热泵装置的制热性能系数 cop 的最低要求。

要想吸收式热泵区域供热系统比锅炉房区域供热系统节能,则要求下式成立:

$$Y_{PEHR_2} < Y_{PEHR_1} \quad (5)$$

将式(1)~式(4)代入式(5)得吸收式热泵区域供热节能判据:

$$cop > \frac{1}{1 - [\beta(1+a) - 1] \frac{\epsilon_1}{Q} \cdot \frac{\eta}{\eta_e}} \quad (6)$$

根据本文建立的能耗比较标准,当 $a=0.10$ 和 0.20 时,在衡量指标下 cop 的低限值见表 2。

表 2 不同 a 值条件下 cop 低限值
Tab.2 Lower limit of cop with different a

$\sum L/m$	$cop(a=0.10)$		$cop(a=0.20)$	
	$\eta=78\%$	$\eta=82\%$	$\eta=78\%$	$\eta=82\%$
200	1.017 5	1.018 4	1.020 0	1.021 1
400	1.020 0	1.021 1	1.022 9	1.024 1
600	1.021 0	1.022 1	1.024 1	1.025 4
800	1.023 0	1.024 2	1.026 4	1.027 8
1 000	1.023 9	1.025 1	1.027 4	1.028 8
1 500	1.026 3	1.027 7	1.030 2	1.031 8
2 000	1.030 2	1.031 8	1.034 7	1.036 5
2 500	1.034 1	1.035 9	1.039 1	1.041 2
3 000	1.038 0	1.040 0	1.043 6	1.046 0
3 500	1.041 9	1.044 2	1.048 2	1.050 8
4 000	1.045 9	1.048 3	1.052 8	1.055 6

注: $\sum L$ 为吸收式热泵区域供热室外循环水与低温水管网的总长度(吸收式热泵作用范围)。

从表 2 可以看出,在要求吸收式热泵区域供热比锅炉房区域供热节能的前提下,随着吸收式热泵区域供热系统作用范围的增加,热泵装置的 cop 低限值也在增加,在热泵作用范围相同时,相比较的锅炉房燃烧效率越高,所需的热泵装置的 cop 低限值越大。表 2 中 a 值的变化对结果有很大影响,影响 a 值的因素有低温水的流量、密度、温差、比热、管网阻力及水泵的机械效率。在不同的工程条件下,影响 a 值的因素差异较大,这就造成热性能系数 cop 的低限值的变化。

由图 3 可见,锅炉的热效率为 78% 时随着 a 值的增大,吸收式热泵的 cop 低限值增大。当 a 由 0.10 增大至 0.40 时, cop 低限值由 1.113 7 增大到 1.170 7 (作用范围 6 km)。另外,对于同一 a 值,随着作用范围的增大, cop 低限值也相应增大。例如:当 $a=0.20$ 时,若作用范围从 2 km 增大到 10 km, cop 低限值也由 1.052 8 增加到 1.224 2。因此,若要 a 值一定的吸收式热泵区域供热系统比相应锅炉房区域供热系统节能,就需要热泵 cop 达到一定要求。具体来说,对于 $a=0.40$,当供热作用范围分别为 2,4,6,8,10 km 时,吸收式热泵 cop 最低值分别为 1.066 8,1.114 6,1.170 7,1.230 6,1.296 9。

由图 4 可见,锅炉的热效率为 82% 前提下的吸收式热泵 cop 低限值变化规律与前者相同。当 a 由 0.10 增大至 0.40 时, cop 低限值由 1.120 2 增大到 1.181 (作用范围 6 km)。当 $a=0.30$ 时,若作用范围从 2 km 增大到 8 km, cop 低限值也由 1.063 0 增加到 1.276 5。对于 $a=0.40$,当供热作用范围分别为 2,4,6,8

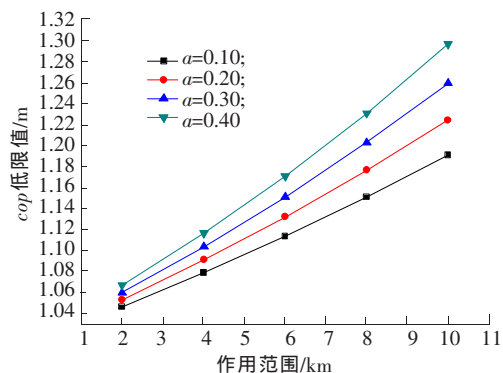


图 3 热泵 cop 低限值随作用范围变化 ($\eta=78\%$)
Fig.3 Lower limit of cop with the heating range ($\eta=78\%$)

km 时, 吸收式热泵 cop 最低值分别为 1.070 5, 1.123 1, 1.181 0, 1.245 3, 1.317 0。

4 结论

吸收式热泵系统已被作为一种节能环保的系统在中国开始应用, 为了提高该系统在规模化应用中的能源利用效率, 针对吸收式热泵区域供热系统的最大作用范围和区域供热节能判据进行了分析与计算并得到以下结论。

1) 在借鉴国家建筑节能设计标准中对供热系统热水循环泵的耗电输热比 EHR 的计算方法的基础上, 进一步提出了一次能源消耗输热比 PEHR 的概念, 计算发现当吸收式热泵制热性能系数一定时, PEHR 控制值越大, 吸收式热泵的作用范围越大; a 值越大, 系统的供热范围越小。

2) 吸收式热泵区域供热的作用范围越小, 对热泵装置本身的 cop 低限值的要求越小, 说明作用范围小的吸收式热泵区域供热系统更容易满足节能要求。

3) 在相同作用范围与燃烧效率条件下, a 值越小, 即低温热源侧水泵的耗电量占循环泵耗电量的比例越小, 满足节能要求的热泵 cop 的低限值越小, 吸收式热泵区域供热系统越易实现节能。

本文的方法与结论可为吸收式热泵区域供热的广泛应用提供理论指导。虽然研究主要针对吸收式热泵区域供热系统, 但该计算可以应用到区域供冷系统中, 只是此时循环水泵耗电输热比计算式中相应的数据要换成适合区域供冷系统的数据。

参考文献:

- [1] REN J, ZHAO Z C, ZHANG X D. Vapor pressures, excess enthalpies and specific heat capacities of the binary working pairs containing the ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium dimethyl phosphate [J]. Journal of Chemical Thermodynamics, 2011, 43(4): 576-583.
- [2] LI Yan, FU Lin, ZHANG Shigang, JIANG Yi, et al. A new type of district heating method with co-generation based on absorption heat exchange (co-ah cycle), Energy Conversion and Management, 2011, 52 (2): 1 200-1 207.
- [3] 胡桂秋, 陈 军, 王 刚. 中高温除湿干燥机的不同工质特性分析[J]. 河北科技大学学报, 2010, 31(4): 364-367.
HU Guiqiu, CHEN Jun, WANG Gang. Analysis of characteristics of different refrigerants for medium-high temperature dehumidification dryer[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2010, 31 (4): 364-367.
- [4] 谢英强, 甄 众, 甄秀语. 溴化锂吸收式制冷在热电厂中的应用[J]. 节能技术, 2007, 25(6): 541-543.
XIE Yingqiang, ZHEN Bing, ZHEN Xiuyu. Applications of LiBr absorption refrigeration in thermal power plant[J]. Energy Conservation Technology, 2007, 25(6): 541-543.
- [5] 江菊元, 殷雅冰, 张 克, 等. 热力网远程测控系统设计[J]. 河北工业大学学报, 2012, 41(5): 27-31.
JIANG Juyuan, YIN Yabing, ZHANG Ke, et al. The design of thermal nets remote measurement and control system[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2012, 41(5): 27-31.
- [6] HERENA T, DIETRICH S. Development of system concepts for improving the performance of a waste heat district heating network with exergy analysis[J]. Energy and Buildings, 2010, 42(10): 1 601-1 609.
- [7] SONG H C, SANG H K, SUNG-GEUN Y, et al. Optimization of a waste heat utilization network in an eco-industrial park[J]. Applied Energy, 2010, 87(6): 1 978-1 988.
- [8] 贺益英, 赵懿珺. 电厂循环冷却水余热高效利用的关键问题[J]. 能源与环境, 2007(6): 27-29.
HE Yiyong, ZHAO Yijun. The key problems of the efficient use of the waste heat of the cooling water in power plant[J]. Energy and Environment, 2007(6): 27-29.
- [9] 董 明, 谢 禹. 一项利用余热资源的新技术[J]. 技术创新, 2010(1): 60-64.
DONG Ming, XIE Yu. A new technology for the use of waste heat resources[J]. Technological Innovation, 2010(1): 60-64.
- [10] 中节蓝天投资咨询管理有限公司. 中国电力行业能效现状及节能潜力分析[J]. 电力设备, 2005(6): 109-111.
China Energy Conservation Blue Sky Investment Consulting & Management Company Limited. The status quo of energy efficiency and energy-saving potential analysis of China power industry[J]. Power Equipment, 2005(6): 109-111.
- [11] GB 50189—2005. 公共建筑节能设计标准[S].
GB 50189—2005, Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings[S].
- [12] JGJ 26—95. 民用建筑节能设计标准[S].
JGJ 26—95, Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings of Civilian Buildings[S].

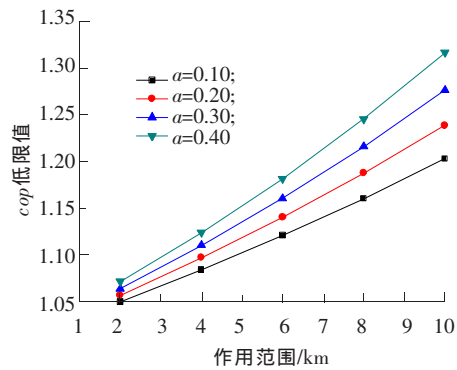


图4 热泵 cop 低限值随作用范围变化 ($\eta=82\%$)
Fig. 4 Lower limit of cop with the heating range ($\eta=82\%$)