

基于 ㉚ 分析的压缩冷凝机组试验方法比较

张忠斌, 黄 虎

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 从热力学角度考虑能量使用的完善性和合理性(㉚效率), 从经济学角度考虑最小初投资和运行费用, 综合考虑以上两个因素, 并将此作为容积式压缩冷凝机组性能试验方法选择的依据. 对目前广泛采用的容积式压缩冷凝机组两种性能试验方法——第二制冷剂热量器法和二次流体热量器法——做了试验方法上的介绍, 利用 ㉚ 流图进行了分析比较. 从热力学和经济学两个方面对容积式压缩冷凝机组性能试验方法做出综合性评价, 为容积式压缩冷凝机组性能试验方法提出了基于 ㉚ 分析的选择依据.

[关键词] ㉚ 分析, ㉚ 流图, 容积式压缩冷凝机组, 性能试验方法

[中图分类号] TU 831 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008)02-0041-05

Comparison Between Methods of Performance Experiment of Positive Displacement Refrigerant Compressor Condensing Units

Zhang Zhongbin, Huang Hu

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract Completeness and efficiency of energy application (Exergy Efficiency) are considered from thermodynamic aspect and minimum investment and operational expenses from economic aspect. The two aspects are comprehensively taken into consideration in this paper, and are used as the evidence of method adopted in the performance experiment of positive displacement refrigerant compressor condensing units. Discussion is focused on the two widely-applied experiment methods——with secondary refrigerant calorimeter and with secondary fluid calorimeter, and analysis and comparison are made with the help of the charts of exergy currency. From the two aspects of thermodynamics and economics, an integrated evaluation has been produced for the methods of performance experiment of positive displacement refrigerant compressor condensing units, providing evidence, based on exergy analysis, for choosing methods of performance experiment of positive displacement refrigerant compressor condensing units.

Key words exergy analysis, chart of exergy currency, positive displacement refrigerant compressor condensing units, methods of performance experiment

JB/T 9056-1999 容积式制冷压缩冷凝机组^[1]、ASHRAE 23-1993 Methods of Testing for Rating Positive Displacement Condensing Units^[2]提供的可供选择的机组性能试验方法多达 6 种. 在实际工程中, 选择性能试验方法的依据有多种, 比如从设备初投资、运行费用和投资收益等来衡量, 或者从整个试验装置的热效率角度来衡量等^[3]. 众所周知, 容积式压缩冷凝机组性能试验装置的运行需要使用大量的能量, 随着能源价格的提高和国家相关政策的出台, 节能与否已成为性能试验方法选择的重要衡量标准. ㉚ 分析就是对热过程和热系统进行计算和 ㉚ 平衡分析, 通过 ㉚ 平衡去发现损失最大的部位、环节并分析其原因. 这些部位和环节, 一般来说, 就是应当采取节能措施的主要对象^[4]. ㉚ 分析方法在研究制冷空调设备性能优化方面已经取得了不错的成绩, 黄虎等^[5]进行了风冷冷水机组冷热兼供工作过程的 ㉚ 分析, 结果表明冷热兼供模式对改善机组性能及节能均有积极意义. 朱秋兰等^[6]采用 ㉚ 分析的方法, 对各采暖方案进行分析, 结果表明水源热泵是一种值得推广的使用技术. 杨爽言等^[7]在 ㉚ 效率和能级匹配的基础上, 提出了经济系数的表达式, 并把其作为制冷方案选择的依据. 张龙等^[8]通过对过冷式小型冰蓄冷系统 ㉚ 分析模型的建立, 提出了减少 ㉚ 损失的途径, 并为系统的改进和优化提供了有力的理论参考. 但是, 基于 ㉚ 分析的

收稿日期: 2007-06-13

通讯联系人: 黄 虎, 副教授, 博士, 研究方向: 空调制冷系统与热泵. E-mail: huanghu@njnu.edu.cn

制冷空调性能试验方法方面还是尚待研究的一个领域,目前这个方面在公开刊物上发表的文献还不多. 基于焓分析的容积式压缩冷凝机组性能试验方法的研究,选择了目前广泛采用的机组性能试验方法:第二制冷剂热量热器法和二次流体热量热器法,通过焓平衡找出试验方法中能量损失最大的部位、环节并分析其原因,为容积式压缩冷凝机组性能试验方法提出了基于焓分析的选择依据,以实现性能试验装置用能的完善性和合理性.

1 第二制冷剂热量热器法和二次流体热量热器法系统方案

以某风冷和水冷综合制冷压缩冷凝机组性能试验装置为例. 该性能试验装置的制冷量测量范围为:3.5 ~ 30 kW. 压力、温度测点的精度要求依据 JB/T 9056 - 1999《容积式制冷压缩冷凝机组》的标准要求.

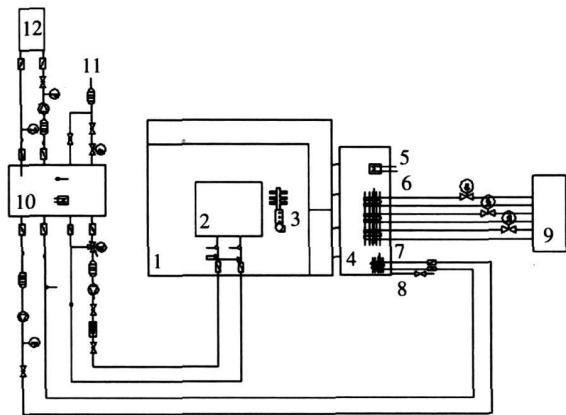
1.1 第二制冷剂热量热器法的系统方案

第二制冷剂热量热器法性能试验装置,按文献[1]的测试要求,进行机组的全性能测试. 如图 1 所示,试验装置由一个测试环境间、一套空气循环系统、一套水循环系统和一套制冷剂循环系统组成.

氟利昂工质循环系统和测点布置如图 2 所示,制冷剂循环系统采用第二制冷剂热量热器法实现. 为了实现大跨度被试机组的测量并且充分考虑测量的稳定性和准确性,制冷系统采用双节流阀 + 双热量热器的组成形式. 这种形式的试验装置可以满足被试机组工况范围宽、稳定工况快速的试验方案要求.

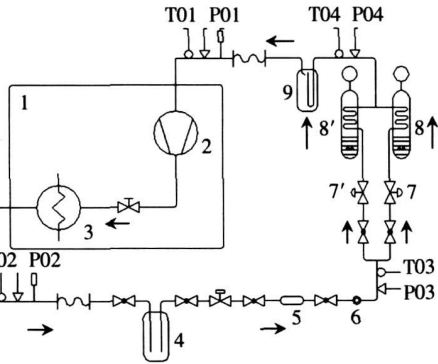
1.2 二次流体热量热器法的系统方案

二次流体热量热器法性能试验装置,按文献[1]的测试要求,进行机组的全性能测试. 如图 3 所示,试验装置由一个测试环境间、一套空气循环系统、一套水循环系统和一套制冷剂循环系统组成. 其中热量热器用于测量压缩冷凝机组的冷量.



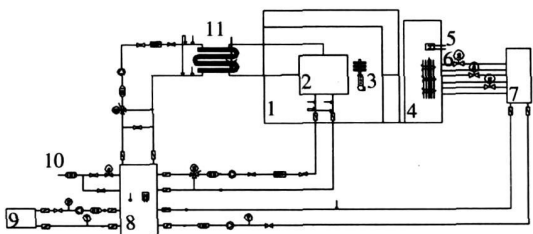
1.测试环境模拟间;2.待测试压缩冷凝机组;3.空气取样装置;4. 空气处理机组;5.电加热盘管;6.蒸发盘管;7.表冷盘管;8.表冷器放水管;9.风冷压缩冷凝机组;10.恒温水箱;11.补水;12.风冷冷水机组

图 1 第二制冷剂热量热器法空气处理和水路循环系统原理图
Fig.1 The principle figure of air-conditioning and water-circulation with secondary refrigerant calorimeter



1.压缩冷凝机组总成;2.压缩机;3.冷凝器;4.储液器;5.干燥过滤器;6.视镜;7.膨胀阀 1#;7'.膨胀阀 2#;8.量热器 1#;8'.量热器 2#;9.气液分离器;T.温度测点;P.压力测点

图 2 第二制冷剂热量热器法氟利昂循环系统原理图和测点布置
Fig.2 The principle figure and test-points arrangement in Freon circulation system with secondary refrigerant calorimeter



1.测试环境模拟间;2.待测试压缩冷凝机组;3.空气取样装置;4.空气处理机组;5.电加热盘管;6.蒸发盘管;7.水冷压缩冷凝机组;8.恒温水箱;9.风冷冷水机组;10.补水;11.量热器

图 3 二次流体热量热器法空气处理和水路循环系统原理图
Fig.3 The principle figure of air-conditioning and water-circulation with secondary fluid calorimeter

氟利昂工质循环系统和测点布置如图 4 所示,制冷剂循环系统采用二次流体热量热器法实现. 考虑到测量的稳定性和准确性,制冷系统采用双节流阀的形式. 这种形式的试验装置调节的工况范围比较宽,稳定工况的时间比较短. 在氟利昂制冷系统的相应位置上,布置了压力温度测点.

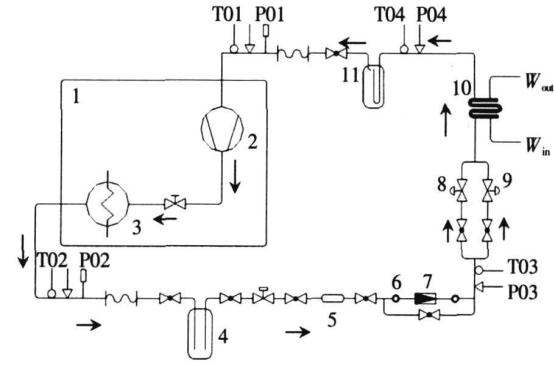
2 两种性能试验方法的焓分析计算和焓流图

图 5 为两种性能试验方法的空气处理机组和被试压缩冷凝机组的压焓图. 图中 1 - 2 - 3 - 4 - 1 表示

第二制冷剂热量热器法空气处理机组的制冷循环; 1 - 2 - 3 - 4 - 1 表示二次流体热量热器法空气处理机组的制冷循环; 1 - 2 - 3 - 4 - 1 表示两种性能试验方法的被试压缩冷凝机组的制冷循环. 1(1、1) 为吸气状态; 2(2、2) 为排气状态; 3(3、3) 为冷凝器出口状态; 4(4、4) 为蒸发器进口状态; h_n 表示 n 状态点焓值; S_n 表示 n 状态点熵值.

采用第二制冷剂热量热器法时, 如图 1 所示, 空气处理机组为风冷冷风型. 根据测试机组的工况要求, 蒸发温度取 5 , 冷凝温度取 50 , 过热度为 10 , 过冷度 5 . 采用二次流体热量热器法时, 如图 3 所示, 空气处理机组为水冷冷风型. 根据测试机组的工况要求, 蒸发温度取 5 , 冷凝温度取 40 , 过热度为 10 , 过冷度 5 . 依据 JB/T 9056- 1999 容积式制冷压缩冷凝机组的标准规定, 两种性能试验方法采用同样的工况条件, 被试机组的蒸发温度为 7 , 冷凝温度取 47 , 过热度为 11 , 过冷度为 5 .

两种性能试验方法的 分析计算^[9]及结果见表 1. 根据 分析计算结果, 依据文献 [10] 流图的绘制方法, 绘制出的两种性能试验方法的 流图^[10]见图 6 图 7. 图中阴影部分为 的流动情况, 空白部分表示各设备的 损失情况, 以压缩机功耗为 100% 基准, 的流动和损失按比例用线框表示. 流图可以定量的表示系统中的 流动情况和各个系统设备的 损失情况.



1.压缩冷凝机组总成;2.压缩机;3.冷凝器;4.储液器;5.干燥过滤器;6.视液镜;7.氟利昂质量流量计;8.膨胀阀 1#;9.膨胀阀 2#;10.量热器;11.气液分离器;T:温度测点;P:压力测点

图 4 二次流体热量热器法氟利昂循环系统原理图和测点布置

Fig.4 The principle figure and test-points arrangement in Freon circulation system with secondary fluid calorimeter

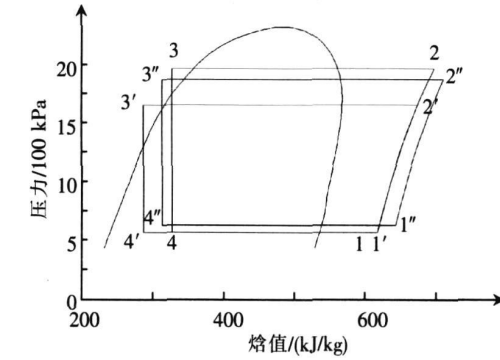


图 5 空气处理机组和被试压缩冷凝机组循环的压焓图

Fig.5 Chart of pressure and enthalpy of air-condition unit and the circulation of target refrigerant compressor condensing units

表 1 两种性能试验方法的 分析结果
Tab 1 Results of exergy analysis with two methods of performance experiment

计算项目	计算公式		计算结果 /(kJ/kg)		占功耗份额 %	
	第二制冷剂热量热器法	二次流体热量热器法	第二制冷剂 量热器法	二次流体 量热器法	第二制冷剂 量热器法	二次流体 量热器法
空气 处 理 机 组	压缩机耗功	$W = h_2 - h_1$	$W = h_2 - h_1$	$W = h_2 - h_1$	100	100
	冷量	$e_{40} = (T_0/T - 1)(h_1 - h_4)$	$e_{40} = (T_0/T - 1)(h_1 - h_4)$	$e_{40} = (T_0/T - 1)(h_1 - h_4)$	3.57	3.21
	热量	$e_4 = (1 - T_0/T_k)(h_2 - h_5)$	$e_4 = (1 - T_0/T_k)(h_2 - h_5)$	$e_4 = (1 - T_0/T_k)(h_2 - h_5)$	21.42	11.25
	压缩机 损失	$_{12} = T_0(s_2 - s_1)$	$_{12} = T_0(s_2 - s_1)$	$_{12} = T_0(s_2 - s_1)$	20.87	21.62
	冷凝器 损失	$_{25} = (h_2 - h_3)^* T_c/T_k - T_c(s_2 - s_3)$	$_{25} = (h_2 - h_3)^* T_c/T_k - T_c(s_2 - s_3)$	$_{25} = (h_2 - h_3)^* T_c/T_k - T_c(s_2 - s_3)$	5.37	5.18
	膨胀阀 损失	$_{34} = T_0(s_4 - s_3)$	$_{34} = T_0(s_4 - s_3)$	$_{34} = T_0(s_4 - s_3)$	13.34	11.20
	蒸发器 损失	$_{41} = T_0(s_1 - s_4)(1 - T^*/T)$	$_{41} = T_0(s_1 - s_4)(1 - T^*/T)$	$_{41} = T_0(s_1 - s_4)(1 - T^*/T)$	35.43	47.54
	总收益	$e_1 = e_{40}$	$e_1 = e_{40} + e_4$	$e_1 = e_{40} + e_4$	3.57	14.46
	总损失	$_{12} + _{23} + _{34} + _{41} + e_4$	$_{12} + _{23} + _{34} + _{42}$	$_{12} + _{23} + _{34} + _{42}$	96.43	85.54
			41.86	29.87		
被 试 压 缩 冷 凝 机 组	压缩机耗功	$W = h_2 - h_1$	$W = h_2 - h_1$	$W = h_2 - h_1$	100	100
	冷量	$e_{40} = (T_0/T - 1)(h_1 - h_4)$	$e_{40} = (T_0/T - 1)(h_1 - h_4)$	$e_{40} = (T_0/T - 1)(h_1 - h_4)$	30.21	30.21
	热量	$e_4 = (1 - T_0/T_k)(h_2 - h_5)$	$e_4 = (1 - T_0/T_k)(h_2 - h_5)$	$e_4 = (1 - T_0/T_k)(h_2 - h_5)$	24.84	24.84
	压缩机 损失	$_{12} = T_0(s_2 - s_1)$	$_{12} = T_0(s_2 - s_1)$	$_{12} = T_0(s_2 - s_1)$	21.52	21.52
	冷凝器 损失	$_{25} = (h_2 - h_3)^* T_c/T_k - T_c(s_2 - s_3)$	$_{25} = (h_2 - h_3)^* T_c/T_k - T_c(s_2 - s_3)$	$_{25} = (h_2 - h_3)^* T_c/T_k - T_c(s_2 - s_3)$	5.43	5.43
	膨胀阀 损失	$_{34} = T_0(s_4 - s_3)$	$_{34} = T_0(s_4 - s_3)$	$_{34} = T_0(s_4 - s_3)$	9.80	9.80
	蒸发器 损失	$_{41} = T_0(s_1 - s_4)(1 - T^*/T)$	$_{41} = T_0(s_1 - s_4)(1 - T^*/T)$	$_{41} = T_0(s_1 - s_4)(1 - T^*/T)$	8.22	8.22
	总收益	$e_2 = e_{40}$	$e_1 = e_{40} + e_4$	$e_1 = e_{40} + e_4$	30.21	55.04
	总损失	$_{12} + _{23} + _{34} + _{41} + e_4$	$_{12} + _{23} + _{34} + _{42}$	$_{12} + _{23} + _{34} + _{42}$	69.79	44.96
			26.50	17.07		
整个性 能试验 装置	系统总耗功	$W = W_1 + W_2$	$W = W_1 + W_2$	$W = W_1 + W_2$	100	100
	系统总收益	$e = e_1 + e_2$	$e = e_1 + e_2$	$e = e_1 + e_2$	16.00	35.60
	系统总损失	$_{12} + _{23} + _{34} + _{41} + e_4$	$_{12} + _{23} + _{34} + _{42}$	$_{12} + _{23} + _{34} + _{42}$	84.00	64.40
			68.36	46.94		

备注: T_0 为环境温度; T 为冷库温度; T_k 为冷凝温度; T^* 为蒸发温度; 系统的 效率为总收益 与耗功之比.

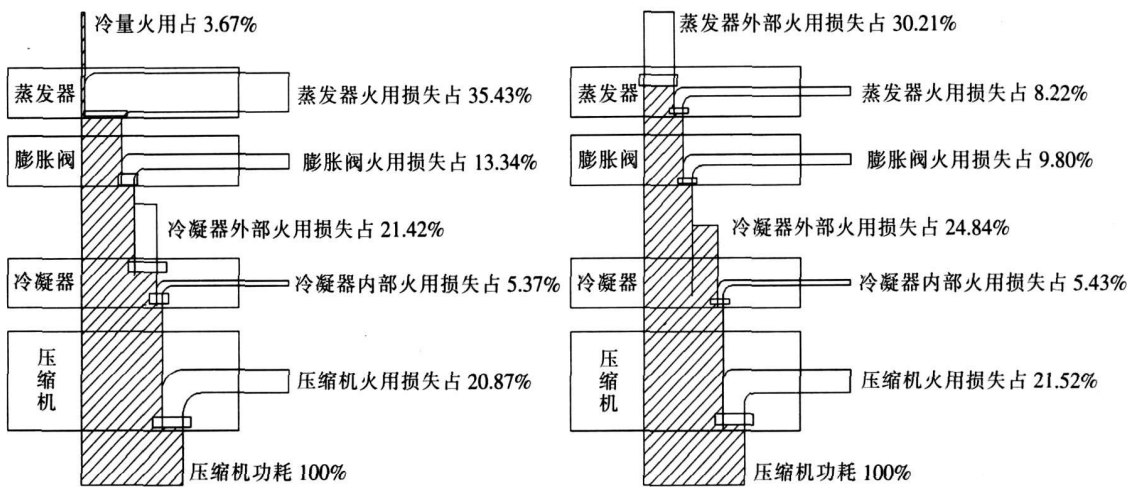


图 6 第二制冷剂量热器法被试空气处理机组的焓流图(左)和压缩冷凝机组的焓流图(右)

Fig.6 Chart of exergy currency of the target air-condition units (left) and refrigerant compressor condensing units (right) with secondary refrigerant calorimeter

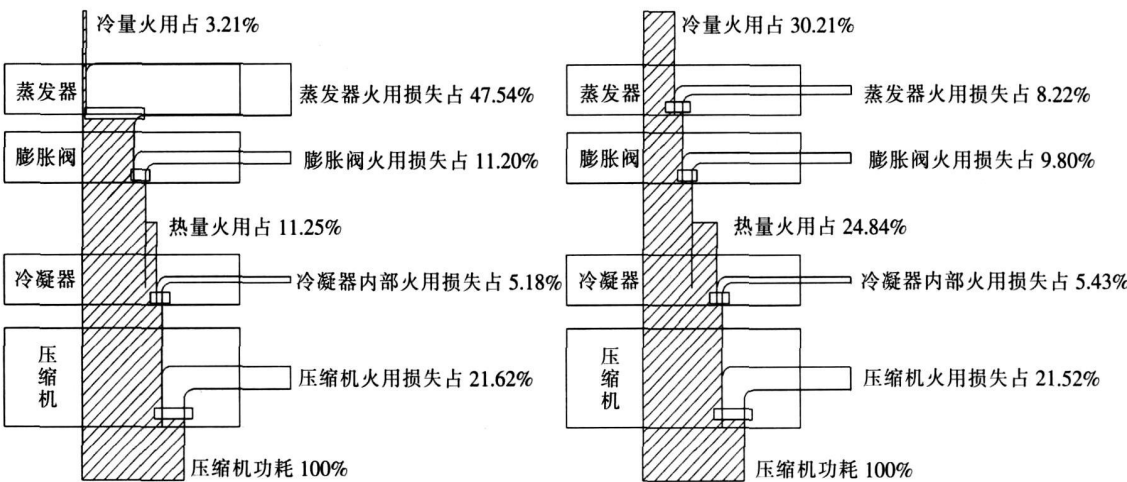


图 7 二次流体量热器法被试空气处理机组的焓流图(左)和压缩冷凝机组的焓流图(右)

Fig.7 Chart of exergy currency of the target air-condition units (left) and refrigerant compressor condensing units (right) with secondary fluid calorimeter

3 结论

采用二次流体量热器法的压缩冷凝机组性能试验装置, 比起第二制冷剂量热器法的压缩冷凝机组性能试验装置, 在空气处理机组和被试压缩冷凝机组方面以及整个试验系统, 其效率都有明显的提高. 通过表 1 可以计算得出: 空气处理机组的效率, 前者是后者的 4.05 倍; 被试压缩冷凝机组的效率, 前者是后者的 1.82 倍; 整个性能试验装置的效率, 前者是后者的 1.99 倍. 由此可见, 采用二次流体量热器法比有采用第二制冷剂量热器法的性能试验装置的效率更高更为节能. 从第二制冷剂量热器法和二次流体量热器法的系统方案可以看出, 两种试验方法在系统设备和初投资上相差不大, 在电气控制的实现上, 两者的难度相当.

综合考虑性能试验装置的系统部分和电控部分的初投资和运行费用以及整个系统的效率, 参考华贲等^[3]过程系统的经济分析优化研究, 比起第二制冷剂量热器法, 二次流体量热器法更为合理.

[参考文献] (References)

- [1] 国家机械工业局. JB/T 9056-1999容积式制冷压缩冷凝机组[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002
Chinese Bureau of Machinery JB/T 9056-1999 Positive displacement refrigerant compressor condensing units[S]. Beijing the Standard Press of China 2002 (in Chinese).
- [2] ASHRAE Standard 23- 1993 Methods of testing for rating positive displacement condensing units[S]. ASH IAW, American 1993
- [3] Hua B, Chen Q L. A new exergoeconomic approach for analysis and optimization of energy systems[J]. Energy- The International Journal 1997 22(11): 1 071-1 079.
- [4] 杨秀奇, 訾琨. 分析理论发展综述[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2004 29(2): 158-162
Yang Xinqi, Zi Kun. Review of exergy analysis theory development [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology Science and Technology Edition, 2004, 29(2): 158-162 (in Chinese)
- [5] 黄虎, 束鹏程, 李志浩. 风冷冷水机组冷热兼供工作过程 分析[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 1999 15(3): 260-263
Huang Hu, Shu Pengcheng, Li Zhihao. Exergy analysis of the performance in process of water-chiller and heat-pump[J]. Journal of Shenyang Arch and Civ Eng Inst 1999 15(3): 260-263 (in Chinese)
- [6] 朱秋兰, 史琳, 陈军, 等. 水源热泵采暖的综合经济性分析[J]. 华北电力大学学报, 2004 31(6): 93- 96
Zhu Qiulan, Shi Lin, Chen Jun, et al. Comprehensive economic evaluation on heating by a water heat pump[J]. Journal of North China Electric Power University, 2004 31(6): 93-96 (in Chinese)
- [7] 杨爽言, 李芹芳, 曹叔维. 经济系数在制冷方案选择中的应用[J]. 制冷技术, 2004(4): 16-17, 21
Yang Shuangyan, Li Qinfang, Cao Suwei. Exergy-economic coefficient in selection of refrigerating system schemes [J]. Refrigerating Technology, 2004(4): 16-17, 21 (in Chinese)
- [8] 张龙, 孙畅, 陈杰, 等. 过冷式小型冰蓄冷系统 分析[J]. 节能技术, 2005 23(4): 306-308
Zhang Long, Sun Chang, Chen Jie, et al. Exergy analysis of mini type oversooled refrigeration with ice storage system [J]. Energy Conservation Technology, 2005 23(4): 306-308 (in Chinese)
- [9] 朱明善. 能量系统的 分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988 230-235.
Zhu Mingshan. Exergy Analysis of Energy System[M]. Beijing Tsinghua University Press 1988 230-235. (in Chinese)
- [10] 信泽寅男. 能源工程中的浅释[M]. 朱明善, 等译. 北京: 化学工业出版社, 1983 206-216
Xin Ze Yin Nan. Discussion on Exergy in Energy Program [M]. Zhu Mingshan, et al Translated. Beijing Chemical Industry Press 1983 206-216 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]