

文章编号:2095-7386(2016)04-0110-04

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2016.04.023

蒸汽压缩制冷实验装置改造及性能测试

郑立辉, 袁 喆, 王 敏, 胡廷平

(武汉轻工大学 化学与环境工程学院, 湖北 武汉 430023)

摘 要: 现有的蒸汽压缩制冷试验装置通过手动调节电压方法来控制加热功率, 以达到控制蒸发温度的目的, 当制冷剂冷凝温度不变时, 只能被动等待蒸发温度稳定, 实际上只能得到一组数据; 使用人工智能温度控制器, 自动调节加热功率, 实现蒸发温度的自动控制, 电子电能表记录显示用于加热消耗的电能, 在一定温度范围内自动控制蒸发温度。对改造后设备的性能测试数据表明: 蒸发温度在 $0 \sim -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内可根据需要调节, 制冷量、压缩机消耗功率、制冷系数随蒸发温度的提高而增大。证明改造是成功的。

关键词: 蒸汽压缩制冷实验装置; 温度控制器; 电能表; 改造; 性能测试;

中图分类号: TB 615

文献标识码: A

The retrofit and performance test of vapor compression refrigeration apparatus

ZHENG Li-hui, YUAN Zhe, WANG Min, HU Ting-ping

(School of Chemical and Environmental Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: The evaporating temperature of the available vapor compression refrigerating apparatus for student experiment is controlled by manually adjusting heating voltage, but it is not easy to operate and the test data is insufficient. The evaporating temperature of the apparatus was automatically controlled by employing temperature controller with artificial intelligence. The electric power was recorded by electronic watt meter. After retrofit, it is easy to control the evaporating temperature and more test data can be recorded. The performance of the apparatus was tested. The results show that the coefficient of performance of the apparatus is increased with the evaporating temperature elevation. The retrofit is successful.

Key words: vapor compression refrigerating apparatus for the experiment; temperature controller; electric energy meter; retrofit; performance test

1 引言

蒸汽压缩制冷^[1-6]广泛用于冰箱、空调、食品冷藏等生产生活电器中, 也用于恒温恒湿、低温等实验设备中^[7], 蒸汽压缩制冷实验发挥着理论教学无法

替代的作用, 通过蒸汽压缩制冷实验能使学生更好地了解实际制冷循环和理想制冷循环的区别、理解制冷剂在经过不同设备时物理状态的变化、热物理性质的变化, 理解节流原理、蒸发温度和冷凝温度对制冷效率的影响。很多高校都开设有蒸汽压缩制冷

收稿日期: 2016-07.

作者简介: 郑立辉(1963-), 男, 副教授, E-mail: whpuzlh@hotmail.com.

实验, 实验装置型号不同, 我们使用的蒸汽压缩制冷

实验装置流程图如图 1 所示。

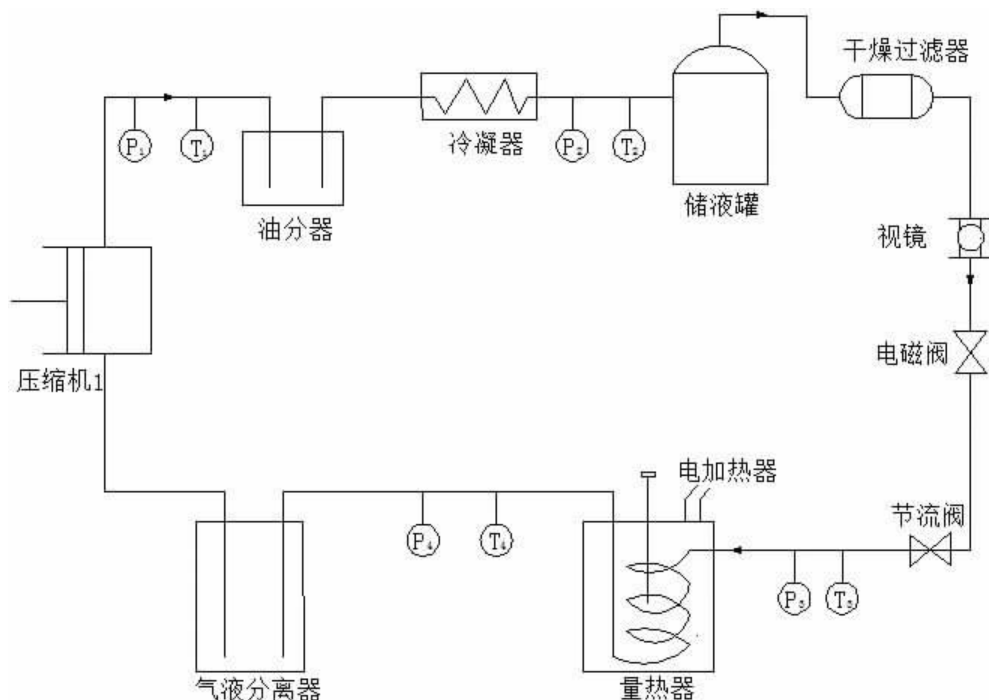


图 1 蒸汽压缩制冷实验装置流程图

该装置使用风冷强制换热冷却、冷凝压缩后的制冷剂, 实验时冷凝温度基本不变, 整个制冷循环的制冷量是通过量热器来计量的, 量热器的原理是制冷剂与载冷剂换热, 载冷剂温度降低, 但载冷剂中又安装有电阻加热器, 电阻加热器使载冷剂温度升高, 当制冷剂蒸发提供的冷量和电阻加热器提供的热量、载冷剂循环泵产生的热量、量热器的漏热量平衡时, 量热器内载冷剂温度恒定, 此时制冷剂蒸发所吸收的热量(制冷量)和电阻加热器提供的热量、载冷剂循环泵产生的热量、量热器的漏热量之和相等, 从而可以计算出装置的制冷能力、制冷效率等指标, 原装置存在的问题是: 电阻加热器的功率调节是依靠手动调节加热电压的方法来调节加热功率, 在环境温度不变时, 量热器(制冷剂蒸发)温度实际上无法调节, 被动等待量热器温度稳定的时间长达 70 min, 在环境温度不变时, 量热器的温度也不变, 实验测定的数据实际上只有一组, 制冷效率与制冷剂蒸发温度的关系、蒸发温度的变化对制冷量的影响等无法在短时间内测定出来, 针对这一问题, 在查阅资料的基础上, 将量热器温度的控制使用具有 PID 调节功能的人工智能温度控制仪表进行自动控制^[8], 而加热所消耗的电能使用高精度电能表来记录。

综合考虑控制精度、仪表的寿命、经济实用性, 选择宇电公司的 AI518F 温度控制仪表; 电能表采用力创 LCDG-DG113 导轨式单相计量显示电能表, 该

电能表的额定电压为交流 220 V, 额定电流为 60 A, 计量精度是 1 级, 完全可以满足电能计量的要求, 计量精度高。考虑到制冷剂的制冷量变化范围大, 因而安装四根功率分别为 1 kW 的加热管为量热器提供热量。图 2 是量热器结构示意图, 图 2 中数字 1, 2, 8 分别表示载冷剂进口、载冷剂出口、量热器温度传感器插孔, 其余表示电热管。

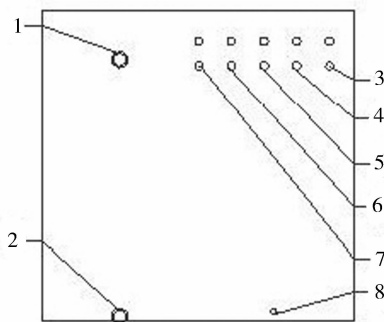


图 2 量热器侧面结构图

2 数据计算及改造后装置性能测定

由热力学第一定律, 对量热器进行能量衡算:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

其中 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 分别为电热管每秒提供的热量、载冷剂循环泵放出的热量、量热器的漏热量。当量热器温度不变时, 制冷剂蒸发提供的制冷量与量热器

内的提供的热量相等,由公式(1)求出制冷量。这二项分别由公式2和公式3计算得到。

$$Q_1 = V \times 3.6 \times 10^6 / t. \quad (2)$$

V 为电能表读数差,由电能表读数差得到,单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$, t 为实验记录时间,单位为 s 。

$$Q_2 = I_b V_b \cos \varphi_b. \quad (3)$$

量热器漏热量按标定数值计算。

由制冷剂处于压缩机出口、冷凝器出口、节流阀后及蒸发器出口的温度、压强等数值查阅制冷剂的压焓图可分别计算出循环单位制冷量、循环单位耗功、冷凝器单位热负荷、理想制冷系数、制冷剂流量、制冷量、冷凝器热负荷、压缩机理想功率、压缩机指示耗功率、系统总耗功、压机总耗功、实际制冷系数、压缩机综合效率、制冷循环能效比等指标。

为测试改造后设备的性能,设计系列装置性能(表1,表2)测试实验:室温为 15°C 、 25°C 时,设定蒸发温度间隔为 5°C 、 3°C 、 2°C ,蒸发温度分别为 -15°C 到 0°C 升温、 0°C 到 -15°C 降温等实验,以考察设备改造后性能。温度间隔为 5°C 升温实验是指量热器温度分别设定为 -15°C 、 -10°C 、 -5°C ,其余实验以此类推。

表1 原始实验数据

编号	1	2	3	4
量热器 温度/ $^\circ\text{C}$	-15	-10	-5	0
加热消耗电 开始数值	26.028	26.694	27.669	28.755
能/ $\text{KW} \cdot \text{h}$ 结束数值	26.140	26.880	27.920	29.096
电流 I_b/A	2.4	2.4	2.4	2.4
循环泵 电压 V_b/V	215	210	213	214
$\cos \varphi_b$	0.9	0.9	0.9	0.9
电流 I_c/A	7.8	7.9	8	8.5
总功耗 电压 V_c/V	215	210	210	214
$\cos \varphi_c$	0.94	0.95	0.97	0.97
压缩机 $T_1/^\circ\text{C}$	82.0	84.0	91.0	94.3
出口 P_1/MPa	1.00	1.02	1.08	1.16
冷凝器 $T_2/^\circ\text{C}$	22.0	22.0	24.0	27.0
出口 P_2/MPa	1.00	1.02	1.08	1.16
节流阀后 $T_3/^\circ\text{C}$	-11.5	-10.0	-8.6	-9.1
P_3/MPa	0.25	0.27	0.29	0.34
蒸发器 $T_4/^\circ\text{C}$	-20.0	-18.0	-15.7	-11.9
出口 P_4/MPa	0.24	0.25	0.28	0.32

表1、表2 分别列出4组实验原始数据及计算

结果,环境温度为 15°C ,实验时间为 10 min 。

表2 计算结果

$H_1/(\text{kJ/kg})$	462	464	468	471
$H_2/(\text{kJ/kg})$	230	231	232	234
$H_3/(\text{kJ/kg})$	230	231	232	234
$H_4/(\text{kJ/kg})$	397	400	402	402
循环单位制冷量 q_0/W	167	169	170	168
循环单位耗功 W_0/W	65	64	66	69
冷凝器单位热负荷 q_k/W	232	233	236	237
理想制冷系数 ε_1	2.57	2.64	2.58	2.43
制冷剂流量 q_m	6.9	9.4	11.7	15.1
加热管放出热量 Q_1/W	672	1116	1506	2046
载剂循环泵 产生的热量 Q_2/W	464.4	453.6	460.08	462.24
制冷量 Q_0/W	1158	1592	1988	2530
冷凝器热负荷 Q_k/W	1609.27	2194.34	2759.92	3569.45
压机理想功率 P_l/W	298	377	444	572
压机指示耗功率 P_c/W	450.9	602.7	771.8	1039.2
系统总耗功 P/W	1576.4	1576.1	1629.6	1764.4
压机总功耗 P_r/W	1376	1376	1430	1564
实际制冷系数 ε_2	0.842	1.157	1.391	1.617
压机综合效率	0.22	0.27	0.31	0.37
制冷剂环能效比 EER	0.73	1.01	1.22	1.43

实验数据证明随着蒸发(量热器)温度升高,制冷系数变大;蒸发温度降低时,实际制冷系数减小;

当其它条件不变时,随环境温度升高,冷凝温度也升高,制冷效果变差。这种变化趋势与压缩机制造厂商提供的压缩机性能测定数据一致。

教学中对实验消耗时间进行记录,其情况如下:

当环境温度为 15°C 时,量热器温度从开始启动的 7.5°C 到降温到 -15°C 耗时 90 min 。此后温度间隔不用耗时也不同,依次如下:

从 -15°C 到 0°C 升温时,温度间隔为 5°C 耗时 18 min 。

从 -15°C 到 0°C 升温时,温度间隔为 3°C 耗时 14 min 。

从 -15°C 到 -1°C 升温时,温度间隔为 2°C 耗时 12 min 。

当环境温度为 15°C 时,量热器从开始启动的 0°C 到降温到 -15°C 耗时 40 min 。此后温度间隔不同耗时也不同,依次如下:

从 0°C 到 -15°C 降温时,每隔 5°C 耗时 25 min 。

从 0°C 到 -15°C 降温时,每隔 3°C 耗时 15 min 。

从 0 °C 到 -15 °C 降温时, 每隔 2 °C 耗时 11 min。

3 结束语

根据实际测定数据, 证明改造是成功的, 改造后的实验装置性能稳定, 蒸发(量热器)温度调节方便, 可节约实验时间, 极大增加实验测定的数据, 更好理解蒸汽压缩制冷原理及蒸汽压缩制冷装置的性能, 根据实验教学学时, 可灵活测定多组实验数据, 以更好发挥实验设备的效能。综合考虑实验耗时, 建议提前开启实验装置, 先使量热器降温到 -15 °C, 节省时间。实验温度间隔建议设为 3 °C, 既可以清楚的了解实际循环过程、测定实际压缩制冷循环的性能, 又不至于耗时太久。

参考文献:

- [1] Smith J M, . Van Ness H C, Abbott M M. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics[M] (英文影印版). 北京: 化学工业出版社, 2002.

- [2] Stanley I Sandler. Chemical and Engineering Thermodynamics (英文影印版). 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] 马沛生, 李永红. 化工热力学[M] (通用型第二版). 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [4] 冯新, 宣爱国, 周彩荣, 等. 化工热力学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [5] 陈钟秀, 顾飞燕, 胡望明. 化工热力学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [6] 朱自强, 吴有庭编著. 化工热力学(第三版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [7] [美] William C Whiteman, Johnson M W, Tomczysz J. A. 制冷与空气调节技术[M], 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [8] 厉玉鸣. 化工仪表及自动化(化学工程与工艺专业适用)(五版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

(上接第 109 页)

容和方式, 换言之, 课程学习评价影响学生学习方法、活动、时间分配、努力程度及学习行为的各方面。我校新的课程学习评价体系在评价程序上充分调动学生的积极性, 在过程管理中保证学生全员参与, 设置了学生自评与互评环节, 教师根据课程特点设计学生自评与互评的评价指标, 调动学生成为课程学习评价的积极参与者, 充分发挥学生的主体作用。

5 结束语

合理的课程学习评价体系是对学生的知识、能力、综合素质进行评价的多元化系统, 课程学习评价方式变革是新的“以学生为中心”教育理念下的必然趋势。我校开展课程学习评价方式改革, 本着“以学生为中心”、紧密围绕人才培养方案、注重过程与能力考核的原则, 设计了详细的指标并给了解释说明, 制定配套激励和保障措施在全校范围内开展, 是顺应教育规律、提升本科教学质量的举措。因此, 学校将继续在教学工作中不断探索科学合理的多元化课程学习评价方式, 发挥其对教学的促进作用。

参考文献:

- [1] 刘文, 杨丽珠, 邹晓燕. 大学生学习评价体系的改革与探索[J]. 辽宁教育研究, 2002(5): 48-51.

- [2] 钟林, 付军. 改革高校考试制度培养创新人才[J]. 高教研究与实践, 2008(3): 51.
- [3] 林怡. 大学课程学习评价体系构建初探[J]. 中国农业教育, 2013(4): 22-25.
- [4] 王丽娜, 杨亭亭, 刘仁坤. 国内外高等教育学习评价现状研究综述-兼论对国家开放大学学习评价体系建设的启示[J]. 现代远距离教育, 2012(2): 34-39.
- [5] 潘菊素, 王海燕, 奚诚平. 构建多元化学习评价体系的探讨[J]. 中国大学教学, 2004(6): 47-48.
- [6] 泰勒. 方案评价原理·教与学文集教育评价[M]. 龚伟民, 译. 北京: 人民教育出版社, 1989: 253-254.
- [7] 陈晓平, 殷春芳, 李长杰. 高校课程学习评价体系改革的探讨[J]. 中国电力教育, 2008(125): 31-32.
- [8] 鲍泓. 高校学生学习评价中存在的问题与改革研究[J]. 湖南师范大学教育科学学报, 2011(4): 44-47.
- [9] 约翰·布鲁贝克. 高等教育哲学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2001.