

文章编号: 1674—5566 (2009) 02—0252—05

· 研究简报 ·

## 3种节流机构在陈列柜制冷系统运行中的性能对比实验

谢 堃<sup>1</sup>, 陈天及<sup>1</sup>, 王智君<sup>1</sup>, 严志刚<sup>2</sup>, 李雪艳<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306

2 北京二商福岛机电有限公司, 北京 100038)

**摘要:** 在研制脉冲膨胀阀的基础上, 对 3 种节流机构在低温陈列柜制冷系统运行中进行了性能实验对比。结果表明使用脉冲膨胀阀的制冷系统运行状态有别于热力膨胀阀和传统的电子膨胀阀, 其蒸发器制冷剂蒸发温度在开机较短时间内达到稳定状态, 并继续维持这一稳定温度, 且系统蒸发器内制冷剂的过热度较小, 同时使用脉冲膨胀阀的陈列柜柜温降温速度较快, 柜温稳定性较好。同时脉冲膨胀阀可任意调节系统的供液系数来改变循环的制冷剂供液量及系统的蒸发压力和蒸发温度, 使系统更好的适应环境变化要求, 提高制冷系统的运行经济性。

**关键词:** 热力膨胀阀; 电子膨胀阀; 脉冲膨胀阀; 性能对比

**中图分类号:** TB 66      **文献标识码:** A

### Contrast experimental study on the performance of three throttle mechanisms employed in the refrigeration system of display case

XIE Kun, CHEN Tianji, WANG Zhijun, YAN Zhizhang, LIXueyan

(1 College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2 Beijing Er Shang-Fukushima Machinery Electric Co., Ltd Beijing 100038, China)

**Abstract:** The contrast experimental study on performance of three throttle mechanisms employed in the refrigeration system of low temperature display case individually was carried out based on the new impulse expansion valve developed by ourselves. The results show that the variation of temperature in the evaporator adopting impulse expansion valve is different from that using thermostatic expansion valve or electronic expansion valve. The inlet and outlet temperature of the evaporator can reach the steady evaporating temperature in a short time and the superheated temperature can be maintained in a small range. The temperature of the display case decreases quickly initially and then slows down gradually whereas the on/off interval of compressor is longer and the stability of the case temperature is better than those which employ the other two expansion valves. The results also show that the impulse electron signal can be adjusted at will to

收稿日期: 2008-04-21

基金项目: 上海海洋大学校长基金 (A-0212-02-0046)

作者简介: 谢 堃 (1970—), 女, 河南南阳人, 在职博士, 主要从事食品冷冻冷藏工程方面的研究

通讯作者: 陈天及, Email: tjcha@shou.edu.cn

alter the refrigeration system's operating condition. More effective impulse expansion valve system can be further developed to reduce energy consumption and improve the efficiency of the refrigeration system.

Key words: thermostatic expansion valve; electronic expansion valve; impulse expansion valve; performances comparison

在人们对节能和舒适性要求日益提高的今天, 制冷领域的各个层面都发生或酝酿着重大的革新<sup>[1]</sup>, 不断改善着传统制冷系统操作和能耗上的不足。近几年来, 一种新型的节流机构——脉冲式电子膨胀阀(简称脉冲膨胀阀)<sup>[2-4]</sup>得到了发展。这种节流机构通过调节脉冲信号来控制阀的启闭, 精确控制进入蒸发器的制冷剂流量来实现制冷循环, 是一种控制流量的节流机构。脉冲膨胀阀同传统的节流机构相比, 如热力膨胀阀和电磁式电子膨胀阀(简称电子膨胀阀)其实现节流膨胀过程的调节机理不同, 不是通过调节阀孔开度来达到调节制冷剂流量, 而是通过定时节制工质流动来控制制冷剂流量达到节流的目的。由于这种节流机构没有节流小孔, 使得制冷系统可任意调节循环高压降, 满足运行工况变化的要求, 为节省循环功耗提供了实现可能。本文在成功研制的新型脉冲膨胀阀的基础上, 对热力膨胀阀、电子膨胀阀和脉冲膨胀阀 3种节流机构在制冷陈列柜系统中的运行性能进行了对比研究, 为进一步开发改进脉冲膨胀阀奠定基础。

## 1 实验装置简介

在超市陈列柜制冷系统的基础上, 建立了 3种节流机构的制冷系统控制实验台。实验所用陈列柜是一台岛式冷冻冷藏陈列柜(BXS83 FEB型), 采用低温半封闭式压缩冷凝机组, 功率为 3.0 kW; 制冷剂为 R22。为了能进行 3种节流机构的对比实验, 将陈列柜热力膨胀阀的进出口管路进行了改装, 由一个通道改为并联的 3个通道, 分别对应 3种节流机构流道。每个节流机构的上游有一个手动截止阀, 用于调整制冷剂的通断。对比实验中采用的 3种节流机构分别为内平衡式热力膨胀阀(名义制冷量为 3.16 kW), 传统的电子膨胀阀(名义制冷量为 3.9 kW)以及自行研制的脉冲膨胀阀。其中电子膨胀阀为 CARLE公司生产的 E2V09BRB0型比例调节式电子膨胀阀, 配以 MASTERCASE控制器来控制电子膨胀阀的开度, 同时可对陈列柜柜温以及系统的运行进行控制。自行研制开发的脉冲式膨胀阀是在传统的电磁阀基础上进行了改制, 增强了其阀芯启闭的可靠性及灵活性。同时对传统的电子膨胀阀控制器也进行了改造用以控制脉冲膨胀阀的工作特性。图 1 为该实验制冷系统中 3种膨胀阀安装位置示意图。

在 3种节流机构前后, 蒸发器沿程上分别布置了 20个直径为 0.2 mm的铜-康铜热电偶, 所测数据经 Fluk数据采集系统记录, 以研究 3种节流机构在低温陈列柜制冷系统中的运行特性。

## 2 实验结果及分析

3种节流机构的性能对比实验是在相同环境工况下, 由 MASTERCASE控制器控制陈列柜柜内温度在设定值内运行, 来比较 3种节流机构制冷系统的降温及能耗等特性。

### 2.1 3种节流机构降温特性对比

根据陈列柜的运行特性, 我们可以把陈列柜制冷系统的整个运行过程分为两个阶段。第一阶段为柜降温阶段, 即陈列柜柜内温度从环境温度降低到设定温度的阶段, 第二阶段为达到柜温设定温度后

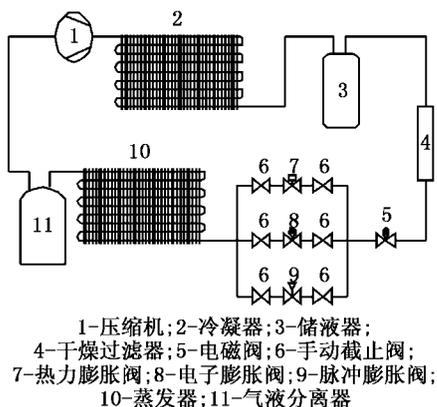


图 1 3种膨胀阀安装位置示意图  
Fig 1 Schematic diagram of the installation of three expansion valves

的柜温控制阶段。

在设定柜温 ( $-20 \pm 2$ )  $^{\circ}\text{C}$  的运行条件下, 3种节流机构对应的柜温降温阶段蒸发器制冷剂蒸发温度 (以蒸发入口处测点温度为例) 的运行工况, 如图 2所示。对应的柜温控制运行阶段蒸发器制冷剂蒸发温度 (同样以蒸发入口处测点温度为例) 的运行工况 (图 3)。其中脉冲膨胀阀对应选择的脉冲信号为开阀时间 5 s, 关阀时间 25 s 的组合。在相同柜温控制工况下, 3种节流机构对应的柜温变化曲线, 如图 4所示。降温阶段柜温以不同速度降低到设定温度  $-20^{\circ}\text{C}$ , 并在柜温控制阶段维持在 ( $-20 \pm 2$ )  $^{\circ}\text{C}$  范围内波动。3种节流机构制冷系统运行时的蒸发器降温特性及对应的柜温降温特性存在以下几点区别:

### 2.1.1 降温阶段

由图 2可见, 采用热力膨胀阀和电子膨胀阀的陈列柜其制冷系统蒸发温度都是持续降温, 直到柜温达到设定值后由控制器控制压缩机的开停运行。当柜温达到设定温度时, 热力膨胀阀的蒸发温度达到  $-35.5^{\circ}\text{C}$ 。且由于热力膨胀阀对过热度响应有所延迟, 导致阀交替开大和关小使得蒸发温度振荡降温<sup>[9]</sup>, 其平均振荡幅度达到  $6^{\circ}\text{C}$ 。电子膨胀阀蒸发温度在开机初始迅速降温到  $-18.5^{\circ}\text{C}$  后以缓慢的速度持续降温, 在柜温达到设定的温度时系统蒸发器温度达到  $-33.4^{\circ}\text{C}$ , 且降温曲线没有波动现象, 比热力膨胀阀降温曲线稳定。

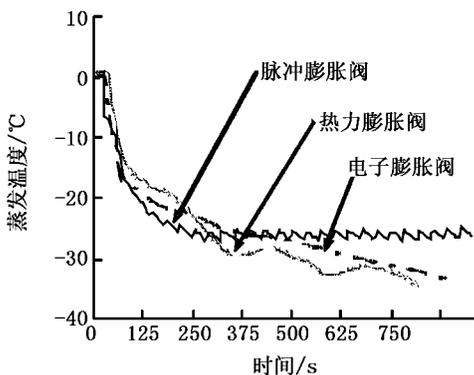


图 2 降温阶段蒸发器制冷剂温度变化规律

Fig 2 Change curves of evaporating temperature during the period of drop temperature

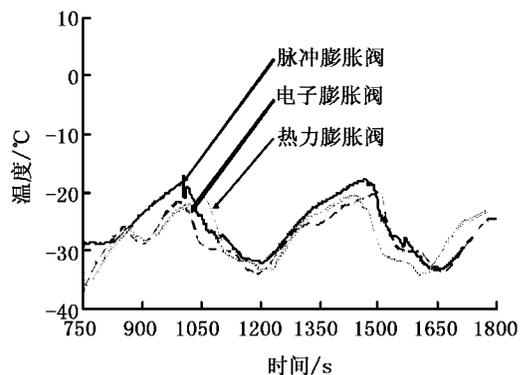


图 3 柜温控制阶段蒸发器制冷剂温度变化规律

Fig 3 Change curves of evaporating temperature during the period of temperature of display case controlled

脉冲膨胀阀与前两者节流机构的降温特性有较大区别。脉冲膨胀阀制冷系统的蒸发器运行温度与脉冲信号控制的制冷剂流量有关, 在 5 s—25 s 脉冲信号下, 蒸发器制冷剂温度在开机后 200 s 内就达到了对应的稳定运行蒸发温度  $-26.5^{\circ}\text{C}$ , 并能继续维持这一稳定温度。并且由于脉冲膨胀阀周期性开停, 在达到稳定温度后, 蒸发器制冷剂温度在稳定温度上下小幅波动, 波动范围在  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  内, 平均蒸发温度将保持恒定。

从图 4柜温对比中可以看出, 脉冲膨胀阀陈列柜制冷系统开机后柜内温度迅速下降, 在蒸发器制冷剂温度达到稳定温度后, 由于制冷系统运行的蒸发温度较高, 此时柜温降温速率较电子膨胀阀和热力膨胀阀有所缓慢, 有利于提高制冷系统运行的经济性。

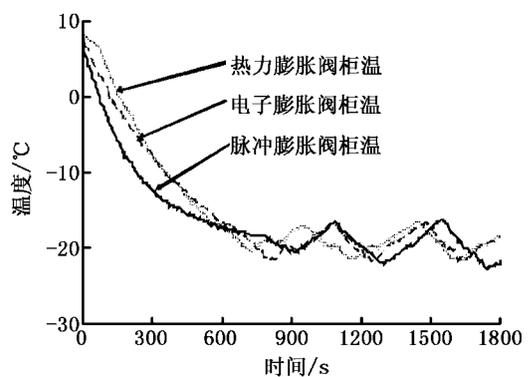


图 4 3种节流机构系统的柜温变化曲线

Fig 4 Change curves of the case temperature in the three expansion valve systems

### 2.1.2 柜温控制阶段

由图 3 可见, 3种节流机构在 750 s 后都进入柜温控制阶段, 即柜温到达设定的  $-20^{\circ}\text{C}$  时陈列柜制冷系统受柜温控制器控制压缩机的开停运行, 使得制冷系统蒸发器蒸发温度出现周期性波动, 见图 3 实验设定柜温波动值在  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  内。相应的柜内温度从 750 s 后也出现周期性波动, 见图 4。由图 4 可见, 在柜温控制阶段, 采用 3种节流机构的柜内温度的波动周期有所不同, 即压缩机启停时间不同。表 1 表示 3种阀的启停时间对比。从表 1 可以看出热力膨胀阀和脉冲膨胀阀在压缩机启停一个周期时间内其平均开机时间相同, 电子膨胀阀的开机时间较短。而热力膨胀阀压缩机停机时间最短, 平均停机时间只有 220 s, 其次是电子膨胀阀, 平均停机时间 250 s, 而脉冲膨胀阀的压缩机停机时间最长为 265 s, 这样可使制冷系统的能耗降低。

表 1 3种节流机构柜温控制阶段压缩机启停时间对比

Tab 1 Comparison of on/off interval of compressor in three expansion valve systems

	热力膨胀阀	电子膨胀阀	脉冲膨胀阀
压缩机停机时间 (s)	220	250	265
压缩机开机时间 (s)	160	155	160

### 2.2 3种节流机构过热度比较

由表 2 可见, 脉冲膨胀阀在降温阶段很快达到稳定运行蒸发温度后, 系统的过热度就会一直维持在较小的范围内, 过热度平均维持在  $2.3^{\circ}\text{C}$  左右, 使得系统蒸发器的传热面积得到充分利用; 而热力膨胀阀通过感应过热度大小来自动调节阀开度, 使得过热度变化较大, 最小的过热度也要达到  $5^{\circ}\text{C}$ ; 电子膨胀阀由控制器 PID 控制下自动调节过热度, 使得过热度逐步降低, 最终维持在过热度  $3.3^{\circ}\text{C}$  的范围内。

表 2 3种节流机构系统过热度对比

Tab 2 Comparison of superheated temperature in three expansion valve systems

	热力膨胀阀	电子膨胀阀	脉冲膨胀阀
降温阶段最小过热度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	5.0	3.3	2.3

### 2.3 3种节流机构能耗比较

实验对比了采用 3种节流机构在相同运行工况 (冷凝温度  $25^{\circ}\text{C}$ , 蒸发温度  $-33^{\circ}\text{C}$ ) 下, 其制冷系统运行 1 h 的能耗情况, 运行能耗见表 3。热力膨胀阀制冷系统的能耗较大, 运行 1 h 后系统能耗为  $0.70\text{ kW}\cdot\text{h}$  电子膨胀阀的能耗较小, 比热力膨胀阀的少  $0.02\text{ kW}\cdot\text{h}$  而脉冲膨胀阀的能耗介于电子膨胀阀和热力膨胀阀之间, 比热力膨胀阀少  $0.01\text{ kW}\cdot\text{h}$  可见脉冲膨胀阀的能耗要小于热力膨胀阀。

表 3 3种节流机构的能耗对比

Tab 3 Comparison of consuming energy in three throttling mechanisms

	热力膨胀阀	电子膨胀阀	脉冲膨胀阀
能耗 ( $\text{kW}\cdot\text{h}$ )	0.70	0.68	0.69

当环境工况变化时, 脉冲膨胀阀相对于传统的节流机构具有其控制优势, 可以通过任意调节脉冲信号 (脉冲膨胀阀开阀和关阀时间) 来改变循环的制冷剂供液量及系统的蒸发压力和蒸发温度, 使系统能更好地适应变化的环境工况, 达到提高系统蒸发温度, 减少循环压比, 节省能耗的目的。表 4 脉冲信号与系统蒸发温度的关系, 从表中可以看出改变脉冲膨胀阀的供液系数, 即改变相对应的脉冲膨胀阀开阀和关阀时间, 陈列柜制冷系统的制冷剂供液量就会发生变化, 其系统的蒸发温度也会发生改变。当供液系数相等时, 制冷系统的蒸发温度相近; 而增大系统的供液系数, 会提高系统的蒸发温度。

表 4 脉冲信号与蒸发温度关系

Tab 4 Relationship between impulse electron signals and evaporating temperature

开阀 关阀 (s)	3 <sup>s</sup> -8 <sup>s</sup>	3 <sup>s</sup> -10 <sup>s</sup>	3 <sup>s</sup> -15 <sup>s</sup>	3 <sup>s</sup> -20 <sup>s</sup>	4 <sup>s</sup> -15 <sup>s</sup>	4 <sup>s</sup> -20 <sup>s</sup>	4 <sup>s</sup> -25 <sup>s</sup>	5 <sup>s</sup> -25 <sup>s</sup>	5 <sup>s</sup> -30 <sup>s</sup>
供液系数	0.27	0.23	0.17	0.13	0.21	0.17	0.14	0.17	0.14
蒸发温度 (°C)	-16.30	-19.80	-26.50	-29.60	-20.70	-26.60	-28.10	-26.50	-28.60

由于脉冲膨胀阀采用不同的脉冲信号时其制冷系统的能耗有所不同,因此选取更为合适的脉冲信号和开发出性能更为优良的脉冲膨胀阀系统,其制冷系统的能耗会进一步下降,并且在环境工况变化时,运行会优于传统的节流机构。据有关文献报道脉冲膨胀阀在英国 30 家超市 3 000 个陈列柜中得到应用,使用此节流机构的制冷系统节省了 30% 电能<sup>[2]</sup>。

### 3 结束语

为验证自行开发的脉冲膨胀阀的运行效果,对热力膨胀阀、电子膨胀阀和脉冲膨胀阀 3 种节流机构在冷冻冷藏陈列柜制冷系统的运行中进行了实验对比。实验结果表明:

(1) 脉冲膨胀阀制冷系统蒸发器温度变化规律区别于热力膨胀阀和电子膨胀阀。蒸发器入口和出口的温度在开机很短时间内就能达到稳定的蒸发温度,并且能继续维持这一蒸发温度,在陈列柜设定运行温度下使用脉冲膨胀阀制冷系统的蒸发温度可选择的比热力膨胀阀和电子膨胀阀的蒸发温度高,有利于制冷系统的节能运行。

(2) 脉冲膨胀阀的过热度小于热力膨胀阀和电子膨胀阀的过热度,特别是在开机达到稳定蒸发温度以后,脉冲膨胀阀能稳定在一很小的过热度内。

(3) 3 种节流机构系统的柜温都在设定值 ( $-20 \pm 2$ ) °C 范围内波动,使用脉冲膨胀阀柜温初期降温较快,同时柜温稳定性较好,压缩机停机间隔时间较长,运行的经济性也较好。

(4) 在相同工况环境下,脉冲膨胀阀的能耗小于热力膨胀阀,当环境工况变化时,可任意调节脉冲膨胀阀系统的供液系数来改变系统的蒸发压力,降低循环压力比,以提高制冷系统循环的经济性。

### 参考文献:

- [1] 陈芝久,孙文栋,于兵. 制冷装置节能控制与电子膨胀阀应用研究[J]. 制冷学报, 1998, 30(4): 39-44
- [2] Lawrence J M W, Lawson S. The "SUCCEEDS" algorithm: a novel control method for refrigerated cabinets[J]. Airah Journal, 1997, 61(9): 30-38.
- [3] Lawrence J M W, Mitchell R J, Johnson R M S. Electronic controls and their part in system optimization[J]. IMechE, 1999, 615: 13-20.
- [4] Lars F S, Larsen C, Thibo R. Anti-synchronizing control for supermarket refrigeration systems[C]. Beijing International Congress of Refrigeration, 2007.
- [5] 白梓运,陈芝久. 电子膨胀阀及其在蒸发器过热度自适应控制中的应用[J]. 暖通空调, 1996, 26(2): 21-24.