

膨胀阀在快速冻结行业的应用探讨

赵培忠

(南通宝雪冷冻设备有限公司 研发部, 江苏 南通 226000)

摘 要:根据连续速冻装置生产工艺和膨胀阀工作机理,分析了膨胀阀在应用过程中产生自激振荡现象原因及其破坏性。从实践应用的角度推理出连续速冻装置热负荷占比对膨胀阀选型的影响,得出了处理量在 1 500 kg/h 附近是热力膨胀阀稳定运行的极限的结论,超过 1 500 kg/h 产能时建议采用电子膨胀阀,进而提出了膨胀阀优化选型和自由振荡的解决方法。

关键词:快速冻结;膨胀阀;振荡

中图分类号: TM925.2

文献标识码: A

文章编号: 1671-9891(2017)04-0052-04

0 引言

低温快速冻结可抑制微生物在食品中滋生,同时可大幅降低冻结冰晶对食品结构的破坏,最大限度地保证了食品的初始风味。^[1]因此,近年来快速速冻装置得到了较大范围的应用和推广。干式膨胀制冷系统以其安装周期短、维护简便的优势,在快速冻结行业有着较为广泛的应用。然而,热力膨胀阀在应用过程中常常会产生“振荡现象”,会对制冷系统管道产生破坏性的影响。^[2]

引起膨胀阀振荡的原因较多,主要有膨胀阀选型相对过大、蒸发器分液不均、供液管道存在间歇气泡等。^[3-5]此外,在实践中发现当速冻装置制冷系统回气阻力过大也会引起膨胀阀振荡。分析认为,当回气阻力过大时,制冷压缩机抽气能力削弱,蒸发器回气提升管间歇性回气带液,造成膨胀阀时开时关,从而产生振动,当更换干净过滤器或直接拆除回气过滤器后,振动现象消失。目前,针对热力膨胀阀振动现象产生机理,国内外学者做了大量卓有成效的研究工作,本文从食品速冻行业工艺应用方面探讨膨胀阀优化应用方案。

1 食品快速冻结工艺方法

目前,市面上应用较多的连续进出料食品快速冻结装置可概括为螺旋隧道式速冻机和直线隧道式速冻机。这些速冻装置在对食品冻结前,需将库温降至 $-35^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。由于在食品快速冻结过程中热负荷相对稳定,因此,在计算蒸发器设备热负荷时,一般不按照标准中推荐的速冻间蒸发器选型方法,而是采用冻结物冷藏库和冷却物冷藏库蒸发器类似的选型方法,即总制冷负荷为保温结构跑冷热负荷 Q_1 、食品热负荷 Q_2 及风机电机热负荷 Q_3 之和,如果保温库体内还有减速机电机热负荷 Q_4 和其它加热设备负荷 Q_5 ,则需将此类负荷也计入总负荷之中。^[6]

由于库温较低,快速冻结行业制冷系统基本都采用带 MOP 控制的热力膨胀阀或电子膨胀阀,以适应中低温带经济器制冷机组和低温双段机应用范围要求。在快速冻结装置制冷系统空库降温前期阶段,因热负荷较大,膨胀阀在预设静态过热度最大开度状态下工作,由于制冷机组经济器未投入应用,热力膨胀阀负荷相对较小,机组回气过热度较高。随着速冻装置内部温度降低,系统回气压力持续降低,当降至压缩机最高工作蒸发压力点时(通常为 0.1 Mpa 左右),经济器投入使用,制冷系统回气过热度持续下降。当库内温度降到可进货条件时,回气过热度约 10°C 左右,此时开始进货。由于货物负荷是缓慢持续增加的,在进货的过程中,库温会持续下降 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,当货物占库内输送带一半左右时,库温会回至进货时的状态附近。

图 1 是江苏镇江某食品公司 800 kg/h 鸡柳制品双螺旋速冻装置空库降温实测数据。该装置采用复盛

收稿日期:2017-07-21

作者简介:赵培忠(1976—),男,安徽郎溪人,南通宝雪冷冻设备有限公司研发部工程师,硕士。

SDL-450B 单机蒸发制冷系统,设计工况为 $-42^{\circ}\text{C}/36^{\circ}\text{C}$,压缩机理论制冷量为 109 kW,库内装机容量为 24 kW。从图 1 可知,系统运行初期库温降温速度较快,当库温降至 -30°C 后,降温幅度逐渐放缓,至 -37°C 附近时降温已经相当困难,压缩机制冷能力与电机负荷、库体跑冷、设备热容负荷接近平衡。库温在 0°C – 2°C 之间时,库内降温幅度有个放缓趋势,这主要是由库内运转部件清洗后残留水冻结负荷较高所致。

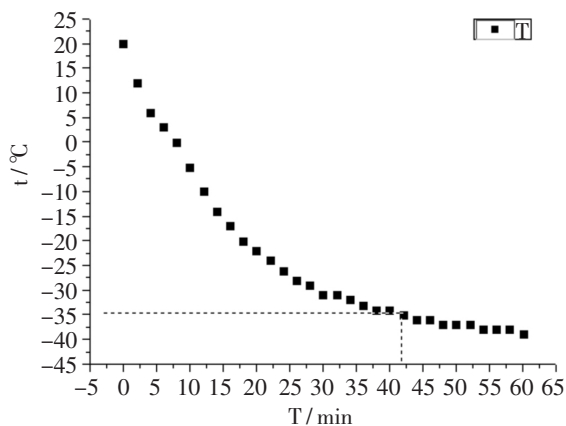


图 1 空库降温曲线

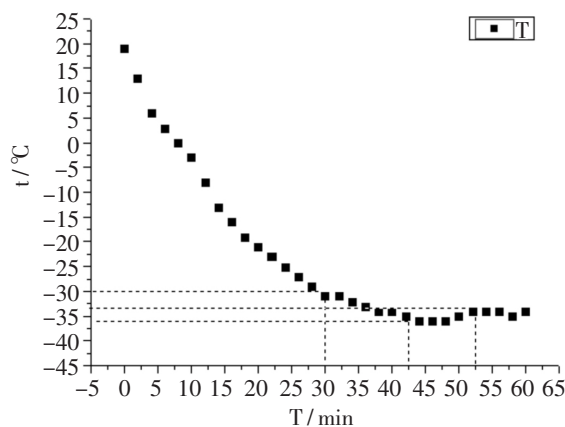


图 2 加载运行曲线

图 2 是客户在库内降温至 -30°C 附近进货时的库温变化曲线。从图 2 中可以看出:在进货过程初期,进货状态对库温降低趋势影响并不明显,当进货约 15min 后库内温度开始上升,在进货 25min 后,库内温度区域平稳,按输送带控制速度,此时冻结鸡柳已经开始出库。

2 膨胀阀振荡产生机理及工作特性

膨胀阀存在一个非稳定区,经典的热力膨胀阀非稳定区工作范围一般在阀门开启度的 0%~30%,经典的电子膨胀阀非稳定区工作范围一般在阀门开启度的 0%~10%。

图 3 为热力膨胀阀工作原理图。在制冷系统稳定运行过程中,感温包感应到的回气温度转换为感应压力 P_1 ,它与弹簧压力 P_2 和蒸发压力 P_3 关系如式(1)所示。

$$P_1 = P_2 + P_3 \quad (1)$$

当蒸发器过热度偏大或偏小时,关系如式(2)、(3)所示。

$$P_1 > P_2 + P_3 \quad (2)$$

$$P_1 < P_2 + P_3 \quad (3)$$

此时,膨胀阀膜片带动阀芯向压力小的方向运动,阀芯节流孔变大或缩小以调节进入蒸发器的制冷剂流量,感温包感受到的过热度趋向预设过热度,直至建立新的平衡。

由于阀芯升降具有非线性特征,加之制冷剂液体容易节流气化以及管温包感温滞后,故而当阀芯处节流孔减小到一定程度后,膨胀阀开关呈现振荡现象,膨胀阀阀芯时开时关,如此反复,膨胀阀就会产生“自激振荡”。

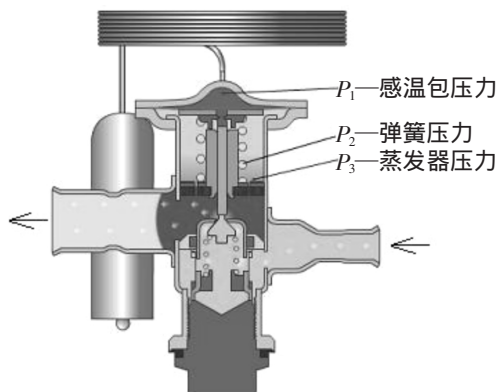


图 3 热力膨胀阀工作原理图

热力膨胀阀应用的过热度温差最小值通常在 5.5°C ,正常开启的过热度需达到 7°C ,极易产生自激振荡现象。^[7]经典的电子膨胀阀其过热度可以低于 5°C ,采用伺服电机控制阀芯开度大小 ,反应速度更快 ,精度更高 ,有效缩小了膨胀阀非稳定工作区域范围 ,减小了制冷系统运行故障的可能性。

从现场实验观察结果来看 ,自激振荡的破坏性较强 ,轻则整个制冷系统管道产生强烈振动 ,重则使管道、设备振裂、振坏 ,造成较大经济损失。为减小生产损失 ,快速解决膨胀阀振荡问题 ,常规的做法通常是减小膨胀阀阀芯规格 ,减小供液量 ,增大系统过热度 ,但此种做法基本都是以牺牲系统制冷能力为代价。因此 ,膨胀阀选型时 ,必须考虑膨胀阀在最小负荷状态的工作稳定性。

3 快速冻结装置热负荷分析

根据快速冻结装置制冷系统应用特点可知 ,制冷系统总负荷 Q 满足的关系如式(4)所示。

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (4)$$

设膨胀阀制冷系统稳定运行过程负荷为 Q_p 的计算如式(5)所示。

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (5)$$

从快速冻结装置投产工艺来看 ,在制冷系统工况稳定情况下 ,在满足投产条件时 ,保温结构跑冷热负荷 Q_1 、风机电机热负荷 Q_3 、减速机电机热负荷 Q_4 及其它加热设备热负荷 Q_5 是相对稳定的 ,而食品负荷是对制冷系统稳定运行的最大影响因素。假设快速冻结装置处于待进货状态 ,为保证膨胀阀不至于产生振荡 ,则膨胀阀稳定运行最小负荷 $Q_{p\min}$ 应满足式(6)。

$$Q_{p\min} < Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (6)$$

故考虑到膨胀阀非稳定工作范围 ,对于热力膨胀阀有式(7)成立。

$$0.3(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) < Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (7)$$

整理可得式(8)。

$$(Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5) / Q_2 > 3/7 \quad (8)$$

对于电子膨胀阀 ,有式(9)成立。

$$0.1(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) < Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (9)$$

整理可得式(10)。

$$(Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5) / Q_2 > 1/9 \quad (10)$$

然而 ,从时间上来看 ,对于不同的冻结食品 ,其食品负荷及库内电机配置情况是变化的 ,满足(8)式和(10)式的单位时间产品处理量是不同的。表1为双螺旋速冻机在冻结猪肉白菜馅水饺时的数据。食品负荷以进料中心温度 25°C ,出料中心温度 -18°C ,库温 -35°C 为计算依据 ,总负荷 Q 为实际计算负荷 ,压缩机理论热负荷还应考虑压缩机效率及管道、设备负荷损失。表2为非食品热负荷及其与食品热负荷的比值情况。

表1 速冻三鲜水饺各项热负荷

| 产能/kg/h | Q_1 | Q_2 | Q_3 | Q_4 | Q_5 | Q |
|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 800 | 10.50 | 67.00 | 18.00 | 5.50 | 0.00 | 101.00 |
| 1000 | 11.20 | 84.00 | 24.00 | 6.75 | 0.00 | 126.00 |
| 1500 | 12.40 | 125.00 | 32.00 | 7.50 | 0.00 | 176.90 |
| 2000 | 13.30 | 167.00 | 36.00 | 9.10 | 0.00 | 225.40 |
| 2500 | 14.60 | 209.00 | 48.00 | 12.01 | 0.00 | 283.70 |
| 3000 | 15.80 | 251.00 | 60.00 | 16.50 | 0.00 | 343.30 |
| 4000 | 17.10 | 336.00 | 78.00 | 17.20 | 0.00 | 448.30 |
| 5000 | 18.60 | 420.00 | 96.00 | 24.20 | 0.00 | 558.80 |

表2 非食品热负荷及其与食品热负荷的比值情况

| 产能/kg/h | $Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5$ | $(Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5) / Q_2$ |
|---------|-------------------------|---------------------------------|
| 800 | 34.00 | 0.51 |
| 1000 | 42.00 | 0.50 |
| 1500 | 51.90 | 0.42 |
| 2000 | 58.40 | 0.35 |
| 2500 | 74.70 | 0.36 |
| 3000 | 92.30 | 0.37 |
| 4000 | 112.30 | 0.33 |
| 5000 | 138.80 | 0.33 |

从表1和表2可以看出 ,当产品处理量大于 $1\,500\text{ kg/h}$ 时 ,产品非入货状态负荷处于热力膨胀阀的非稳定工作区域 ,采用热力膨胀阀的制冷系统极有可能会产生振荡现象 ,而电子膨胀阀仍然处于稳定工作状态。在实际应用过程中 ,水产品、蒸煮食品或水预冷食品表面含水量较大 ,传统的增强气流速度以增加冷空气与

食品表面换热效果的做法不适用,会引起库内“飞雪”,使产品表面品质变差。在这种情况下非食品负荷会更小,从而增大膨胀阀自激振荡的可能性。

为确保快速冻结装置库温为 $-35^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$,对干式膨胀系统而言,需保证蒸发温度为 -42°C ,这种蒸发温度下,制冷系统蒸发压力都在接近或低于 0MPa(G) 工况,轻微的压力波动会对蒸发温度造成几度的影响,更容易引起膨胀阀特别是热力膨胀阀自激振荡。^[8]

从以上分析可以看出,在快速冻结装置产量在 $1\,500\text{ kg/h}$ 左右时,空载状态的非食品负荷可能会进入热力膨胀阀的非稳定工作区域,在此产量情况及多于此产量情况的快速冻结装置制冷系统中,建议采用电子膨胀阀替代热力膨胀阀以增强系统运行的稳定性,而在产量低于 $1\,500\text{ kg/h}$ 时,从经济器角度出发,可考虑选用热力膨胀阀。

4 结束语

制冷系统设计缺陷会造成制冷系统非稳定运行工况。快速冻结装置在投产的过程中负荷波动较大,制冷系统最小热负荷状态很容易进入热力膨胀阀非稳定工作区域,使膨胀阀容易振荡而产生破坏性后果。因此,从应用工艺角度出发,膨胀阀的选型问题应得到重视。

参考文献:

- [1]包建强.食品低温保藏学[M].北京:中国轻工出版社,2011.
- [2]陈芝久,蒋文强.制冷蒸发器与热力膨胀阀调节回路的稳定性分析[J].上海交通大学学报,1990(2):58-62.
- [3]严启森,申江,石文星.制冷技术及其应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4]陈芝久,吴静怡.制冷装置自动化(2版)[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [5]吴业正.制冷原理及设备(3版)[M].西安:西安交通大学出版社,2010.
- [6]中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.冷库设计规范(GB50072-2010)[S].北京:人民出版社,2010.
- [7]李宪光.工业制冷集成新技术与应用[M].北京:机械工业出版社,2017.
- [8]曹德胜,史琳.制冷剂使用手册[M].北京:冶金工业出版社,2003.

Exploratory Discussion on Application of Expansion Valve in Fast-freezing Industry

ZHAO Pei-zhong

(Dept. of Research and Development, Nantong Baoxue Refrigeration Equipment Co., Ltd., Nantong 226000, China)

Abstract: According to the production technics of continuous fast-freezing device and working mechanism of expansion valve, the causes of producing self-excited oscillation phenomenon in the process of applying expansion valve and its destructiveness are analyzed. From the perspective of practical application, the impact of the proportion of thermal load of continuous fast-freezing device on selecting the type of an expansion valve is deduced. A conclusion is drawn that the processing capacity up to 1500 kg/h is the limit for stable operation of a thermal expansion valve. It is recommended to use an electronic expansion valve in excess of the capacity of 1500 kg/h , and further propose a solution for optimizing selection of the type of an expansion valve as well as free oscillation.

Key words: Fast-freezing; Expansion valve; Oscillation