

# 低噪音吹胀式蒸发器研究与应用

张亚虎 徐德林 方忠诚 任伟  
(美的冰箱技术研发中心 安徽合肥 230601)

摘要:吹胀式蒸发器具有换热效率高、装配简单、成本低廉等优点,但存在噪音大的问题。本文根据吹胀式蒸发器的结构及噪音产生机理,从质点振动学的角度,提出了将毛细管与回气管路分离的低噪音设计方案,并应用于某小型冰箱的噪音改善中。测试结果显示,冰箱整机前点声压级较改善前降低了10dB,后点声压级降低了13.8dB,降噪效果明显,从而说明了低噪音吹胀式蒸发器的降噪功能和效果。

关键词:吹胀式蒸发器;质点振动;低噪音;管路分离

## Research and application of low noise roll-bond evaporator

ZHANG Yahu XU Delin FANG Zhongcheng REN Wei  
(Refrigeration Division, Midea Group Hefei 230000)

Abstract:The roll-bond evaporator has the advantages of high heat exchange efficiency, simple assembly, low cost etc. However, it has loud noise. According to the structure and noise generation mechanism of roll-bond evaporator, put forward the low noise design of separating capillary from return line from particle vibration theory, which is applied to the noise improvement of a small refrigerator. The test results show that the sound pressure of front point is reduced by 10dB, point behind refrigerator by 13.8dB, which shows forcibly the function and effect of the low noise roll-bond evaporator.

Keywords:Roll-bond evaporator;Particle vibration;Low noise;Line separation

### 1 引言

蒸发器作为冰箱制冷系统核心零部件,一般分为丝管蒸发器、板管蒸发器、翅片蒸发器以及吹胀式蒸发器。吹胀式蒸发器是由两层铝板紧密压合而成,通过高压吹气在两层铝板中形成冷媒流道,集管路和换热板为一体<sup>[1]</sup>。由于吹胀式蒸发器制冷效率高、可靠性高、成本低廉、操作简单,普遍应用于小型冷藏箱中。

在冰箱产品结构中,100升以下的小冰箱市场份额占有很大比例。该类冰箱多采用吹胀式蒸

发器,由于现有吹胀式蒸发器自身的结构特点,且蒸发板裸露悬空,冷媒噪音很容易传出箱外,造成冰箱噪音超标,体感不良,引起用户投诉。因此设计低噪音吹胀式蒸发器以降低冰箱整机噪音显得愈发重要。

### 2 吹胀式蒸发器整机噪音摸底

现有的吹胀式蒸发器如图1所示,两层铝板紧密压合,由于工艺及毛细管与回气管路的要求,毛细管紧密缠绕在回气管上,且毛细管与回

气管并行连接在蒸发器的进口和出口端。

将装有上述吹胀式蒸发器的某小型冰箱置于背景噪音为18dB的半消声室中,前测点距离冰箱正面1m,高度为1m,后测点距离压缩机中心0.3m,高度0.15m,通电半小时后,待冰箱运行稳定后,采集冰箱前点和后点的声压数据,声压级历程曲线如图2所示。对声压曲线作平均处理后,得出冰箱整机前点平均声压值为41.3dB,后点平均声压级值为55.4dB。冰箱前点、后点声压值较大,严重超出了制定的冰箱噪音限定值。随后导



图1 吹胀式蒸发器

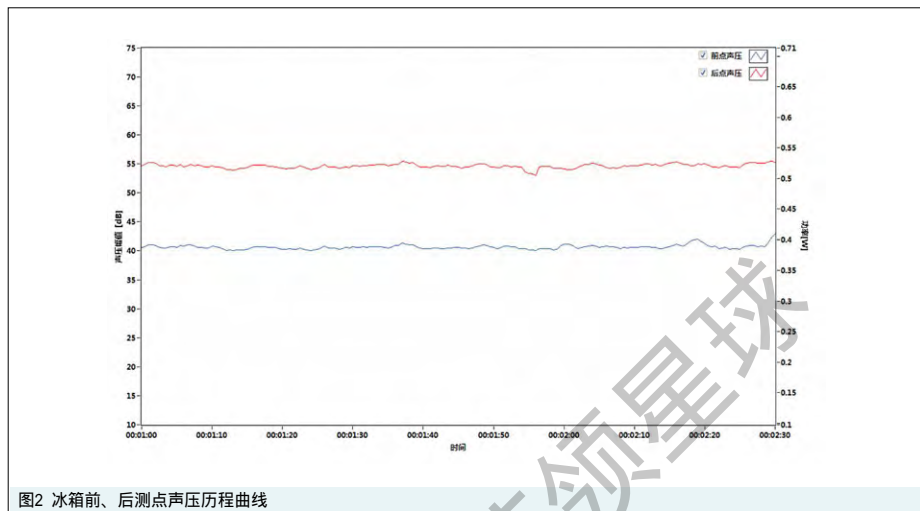


图2 冰箱前、后测点声压历程曲线

出冰箱前、后测点的声压频谱图进行分析,如图3所示。

由图3看出,整机在中心频带315Hz、400Hz、500Hz处的声压级较高,分别达到51dB、48.9dB、43.2dB,这是整机噪音大的主要原因,降低这几个频带的声压级,就能显著降低整机的总声压级,而且这三个声压频带正处于吹胀式蒸发器管路振动的频率范围内,接下来分析吹胀式蒸发器噪音产生的机理。

### 3 吹胀式蒸发器噪音产生机理

吹胀式蒸发器由于考虑到毛细管与回气管热交换的因素,且蒸发器进口处连接的毛细管较长,出于工艺操作的简便性,一般会将毛细管紧密缠绕在回气管上,如图4所示。

由图4可以看出,由于毛细管紧密缠绕在回气管上,且两管内冷媒的流动方向相反,热交换反应剧烈,导致两管内流体运动产生剧烈振动,发出低频噪音,且毛细管的流量一般低于压缩机的排气量,从而引起回气管有吸气脉动,导致周期性的发声。这是吹胀式蒸发器噪音大的一个因素。

另外,在吹胀式蒸发器进、出口处,如图5所示,连接蒸发器进口的毛细管与连接蒸发器出口的毛细管是并行的,两管间隙较小,且两管内冷媒运动反向,导致冷媒压迫管路,带动蒸发板发生强迫振动,总体噪音加剧。这是吹胀式蒸发器噪音大的另外一个因素。

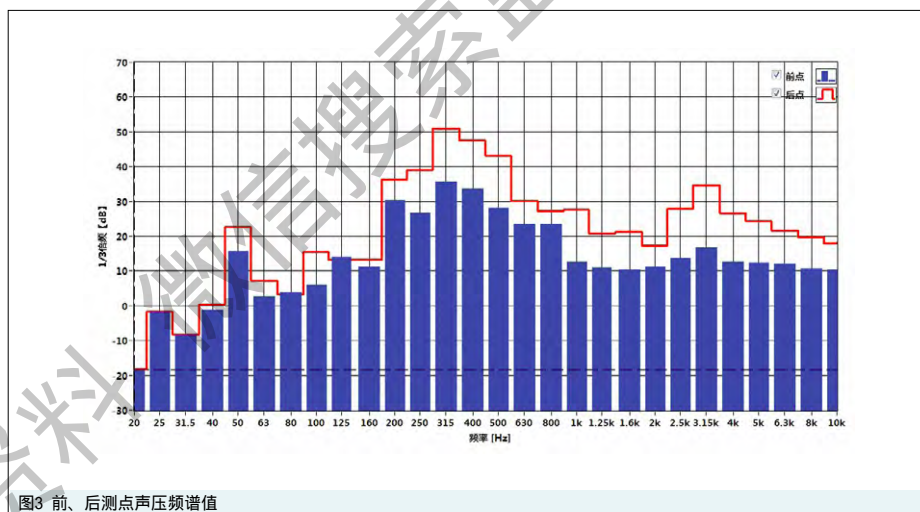


图3 前、后测点声压频谱值

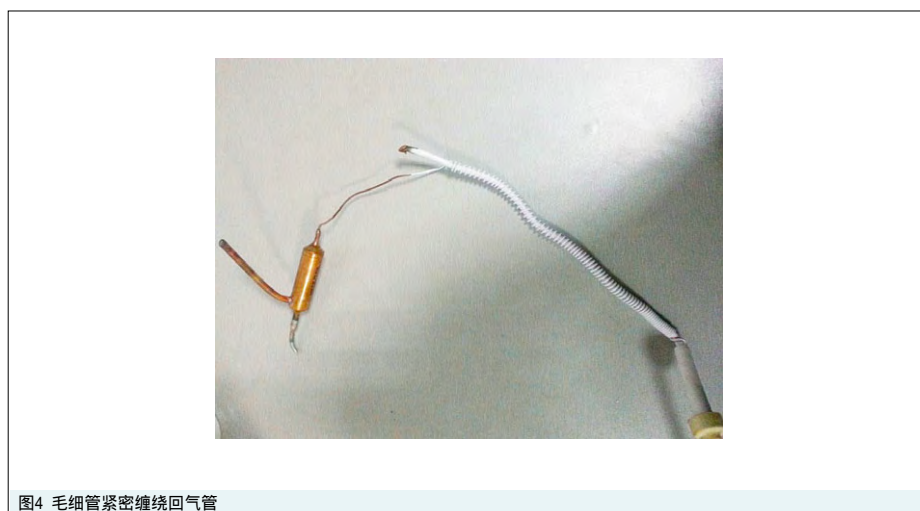


图4 毛细管紧密缠绕回气管

以上两个因素是吹胀式蒸发器噪音大的主要原因。从质点振动学的角度,可以将毛细管和回气管的振动看成一个弹簧振动系统,两管的剧烈振动属于强迫振动<sup>[2]</sup>的范畴。假设管路所受外力随时间变化是简谐的<sup>[3]</sup>,可以表示为:

$$F = F_a \cos \omega t \quad (1)$$

其中 $F_a$ 表示外力的幅值,  $\omega$ 表示角频率。将此外力加到质点振动系统,其强迫振动方程<sup>[2]</sup>为:

$$M \frac{d^2 \xi}{dt^2} + R \frac{d\xi}{dt} + K \xi = F_a \cos \omega t \quad (2)$$

上式中, $M$ 表示质点质量, $R$ 表示阻力系数, $K$ 表示系统的弹性系数, $\xi$ 表示质点位移。

而位移振幅 $\xi_a$ 表达式为:

$$\xi_a = \frac{F_a}{\omega |Z|} = \frac{F_a}{\omega \sqrt{R^2 + \left(\omega M - \frac{K}{\omega}\right)^2}} \quad (3)$$

$Z$ 为系统的力阻抗,表达式为:

$$Z = R + j \left( \omega M - \frac{K}{\omega} \right) \quad (4)$$

这里引入参量 $Q$ ,称为力学品质因素:

$$Q = \frac{\omega M}{R} \quad (5)$$

令 $\xi_{a0}$ 为静态位移振幅, $Z$ 为外有频率和固有频率的比值,则可以得到位移振幅的比值:

$$A = \frac{\xi_a}{\xi_{a0}} = \frac{Q}{\sqrt{z^2 + (z^2 - 1)^2 Q^2}} \quad (6)$$

以 $A$ 为纵坐标, $Z$ 为横坐标, $Q$ 为参数作曲线,则当 $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$ ,曲线在 $Z=1$ 处出现峰值,在此频率位移大大超过静态位移,从而达到系统位移共振, $Q$ 愈大,共振位移幅值就愈大,即共振现象愈显著。

由此可以得出,毛细管紧密缠绕回气管以及蒸发器的进出端口间隙过于狭小,导致了系统的共振,因此下一步在这两个方面进行改造,减小系统的共振,从而降低整机噪音。

#### 4 吹胀式蒸发器低噪音设计

结合以上分析,本文考虑管路分离的方式,即对原有的毛细管和回气管走线方式进行分离,减弱两管的强迫振动,进而降低吹胀蒸发器的整体噪音。

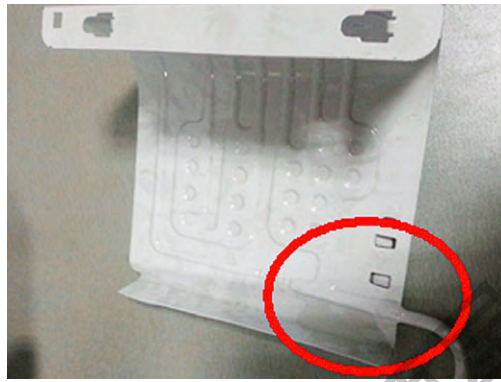


图5 毛细管与回气管并行进出蒸发器



图6 改善后的毛细管与回气管布线走向



图7 蒸发器进、出口分离

毛细管紧密缠绕回气管,由于冷媒的流向反向,管路振动剧烈,噪音加大,若直接将毛细管与回气管分离,虽然可以解决共振现象,但同时会导致两管无法充分换热,耗能增加。对此,本文考虑如图6所示的布线方式,即摒弃毛细管缠绕回气管实现换热的方式,改用铝箔胶带将毛细管与回气管紧密贴合,由于毛细管长度较长,未能与回气管贴合的毛细管则选用打圈的方式固定,这样不仅保证了吹胀式蒸发器的原有性能,还使得两管的振动大大减弱,噪音值随之降低。

吹胀式蒸发器进、出口处,毛细管与回气管间隙小,导致振动加剧,本文考虑如图7所示的方法,即将蒸发器进、出口分离,距离加大,这样毛细管与回气管的冷媒流动干涉大大减弱,管路振动及噪音也随之减弱。

将改善后的吹胀式蒸发器冰箱置于半消声室内测量,待运行稳定后,采集声压历程曲线如图8所示。经平均处理后,整机前点平均声压级为31.2dB,后点平均声压级为41.6dB,整机前点声压较改善前降低了10dB,后点声压降低了13.8dB,降噪效果明显。随后导出蒸发器改善前后冰箱前、后测点的声压频谱对比图,如图9、图10所示,冰箱声压频带在315Hz、400Hz、500Hz下降明显,进一步验证了吹胀式蒸发器改善后的降噪效果。

## 5 结论

现有吹胀式蒸发器由于毛细管与回气管布线问题,导致强迫振动加剧,整机噪音加大。本文从质点振动学的角度,通过分离毛细管和回气管的方式,重新设计蒸发器上毛细管与回气管的走向,减弱了系统的共振现象,整机噪音大幅度下降,从而说明了低噪音吹胀式蒸发器的功能和效果。

### 参考文献

- [1] 沈海波.降低冰箱噪音实验研究[J].制冷,2002,8(5):15~19
- [2] 杜功焕.声学基础[M].南京大学出版社,2001
- [3] 张海澜.理论声学[M].高等教育出版社,2012

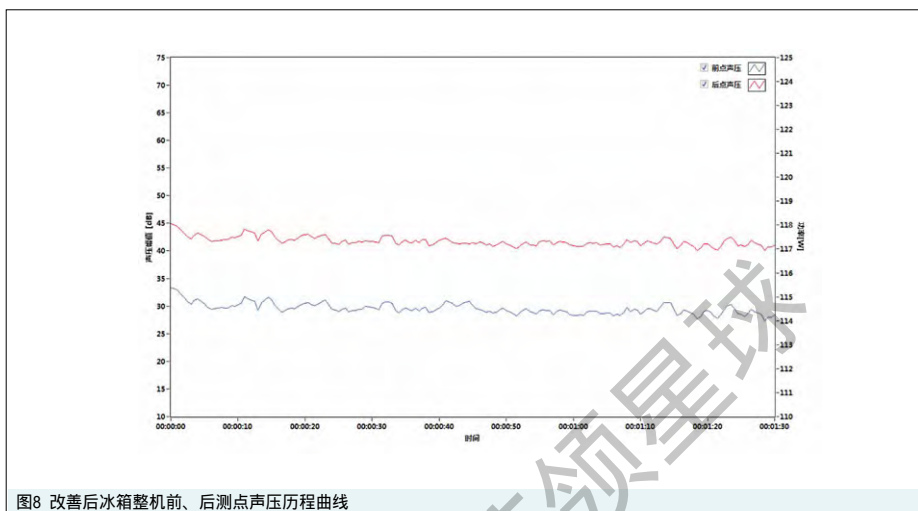


图8 改善后冰箱整机前、后测点声压历程曲线

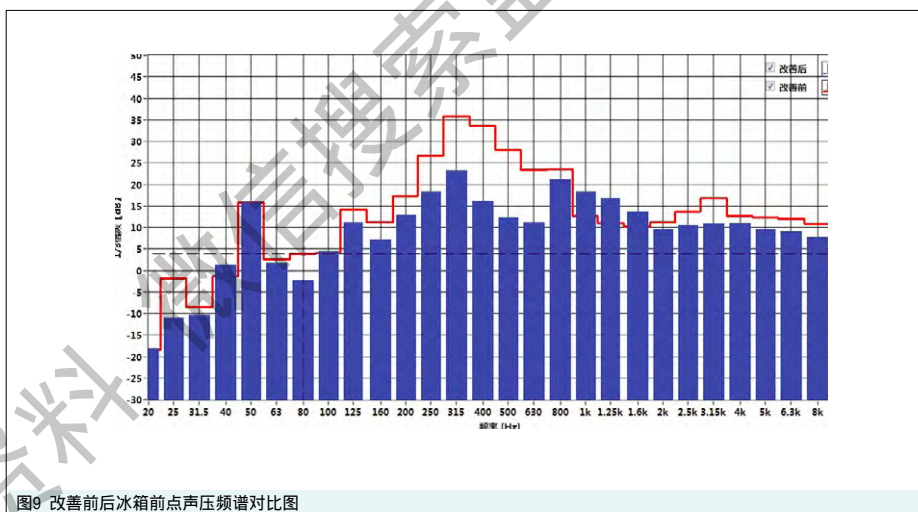


图9 改善前后冰箱前点声压频谱对比图

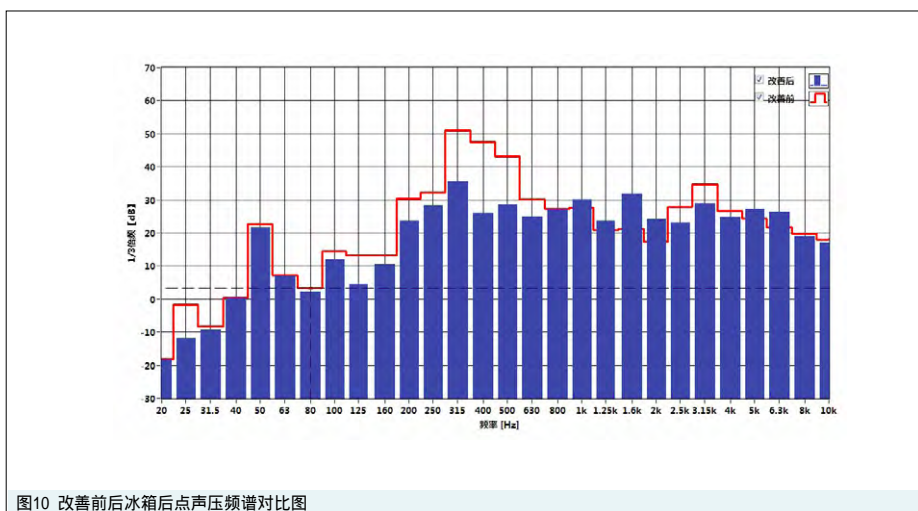


图10 改善前后冰箱后点声压频谱对比图