

汽车空调平行流冷凝器性能研究与优化

韩雷 郭瑞安 蒋开涛

(珠海格力电器股份有限公司制冷技术研究院)

摘要: 根据汽车空调轻量化和已知冷凝器换热面积以及外形尺寸要求, 在给定测试工况的条件下, 采用微通道平行流的换热器。通过合理优化各项参数, 包括扁管参数、百叶窗翅片参数、流程布置等, 设计出换热热量更佳的冷凝器来替代某竞争对手的换热器方案。经不断优化整合, 最终的设计方案的实测换热热量优于参照样品的换热热量。

关键词: 汽车空调 平行流冷凝器 扁管 百叶窗翅片 流程布置

The Optimization and Study on Performance of Parallel Flow Type Condenser of Automotive Air-conditioner

Han Lei Guo Ruian Jiang Kaitao*

Abstract: According to the demand of lightweight of the automotive air-conditioner and the given heat transfer area and dimensions of condenser, under the given test conditions, we adopt micro-channel parallel flow type condenser. By optimizing parameters including parameter of flat tube and louvered fin and flow configuration, we can work out a scheme which has better measured performance on heat transfer to replace the scheme of the example.

Keywords: Automotive Air-conditioner, Parallel Flow Type Condenser, Flat Tube, Louvered Fin, Flow Configuration

★Refrigeration Institute of Gree Electric Appliances, Inc.of Zhuhai

1 引言

由于汽车内部空间的局限性, 汽车空调安装的空间极其有限, 汽车空调趋向于轻量化发展。作为汽车空调系统中重要的部件, 冷凝器的设计与制造经历了管片式、管带式、平行流的发展过程, 目前微通道平行流已经成为乘用车空调冷凝器的主流选择, 其具有结构紧凑、质量轻、可靠性高、换热效率高的特点, 相比于传统的换热器, 同等换热量下, 其体积能减少 30%以上, 制冷剂充注量也会减少 25%以上, 减少了向大气泄漏的冷媒量, 对于减缓温室效应也有一定的作用。平行流冷凝器与传统家用管翅式冷凝器相比, 设计参数大相径庭。下列就扁管参数、百叶窗翅片参数、流程布置等方面介绍一下平行流冷凝器设计方案以及思路。

2 微通道平行流冷凝器简介

目前汽车空调主流的平行流冷凝器如图 1 所示。



图 1 冷凝器部件

两端各布置有一根集流管, 在两根集流管上的相同方位冲多个槽, 微通道多孔口琴扁管(如图 2 所示) 两端同时插入集流管冲槽内一定深度, 多条相同长度的扁管依次平行从上至下均匀排列, 百叶窗翅片(如图 3 所示) 设置在相邻的扁管之间, 上下两端用无孔铝合金片封装。在左侧集流管一侧设置有圆筒状的干燥储液器, 在一体过冷型冷凝器中普遍存在, 另一侧的集流管设置有冷媒进出接口。此外为了配合安装, 集流管

上仍需焊接安装支架。整个冷凝器的焊接全部是在自动化钎焊炉中完成,汽车空调换热器目前广泛应用的是 NOCOLOK 钎焊法。

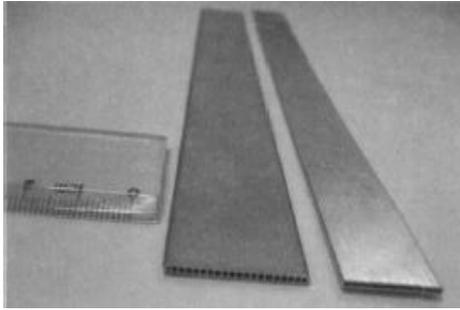


图2 多孔口琴扁管



图3 百叶窗翅片

3 各项重要设计参数

影响汽车空调冷凝器换热主要是制冷剂侧和空气侧的换热因子。影响制冷剂侧换热的因子主要是制冷剂侧换热面积、冷媒流速、冷媒压损,影响空气侧换热的因子主要是空气侧换热面积、截面风速、风阻。上述因子相互影响,因此,若要设计出换热优良的冷凝器,需要综合权衡各类影响因子。这些因子主要通过扁管参数、百叶窗翅片参数、流程布置等三类来体现。

3.1 扁管参数

扁管参数主要有:扁管厚度、扁管宽度、扁管孔数、扁管孔形状、扁管孔尺寸、扁管壁厚。其中较为重要的参数为:

(1) 扁管厚度:目前有 3mm、2mm、1.7mm、1.4mm 到 1.3mm 甚至超薄型,多孔扁管越薄,单位面积内可排列的多孔扁管的数量越多,制冷剂侧换热总面积越大,但加工制造更难;

(2) 扁管宽度:目前流行宽度 16mm;

(3) 扁管孔数^[1]:由几个孔到 20 多个孔不等。从理论上分析,孔数增加,制冷剂湿周长和换热面积增加,冷凝时凝结核心增多,提高了扁管的冷凝换热。孔数增多,扁管加工制造难度也增加许多。

(4) 扁管孔形状:目前流行的是矩形孔,现在也开始出现圆形孔,矩形孔内还可以带内齿结构。

3.2 百叶窗翅片参数

百叶窗翅片是平行流换热器的一个特点,百叶窗翅片的波形、波高、波距、开窗角度、开窗数、厚度对于空气侧的对流换热具有比较大的影响^[2]。其中:

(1) 翅片波型:有 V 型翅片、U 型翅片、双 U 型翅片,目前最常用的是 U 型翅片,该类型美观,且与扁管接触面积较大;

(2) 翅片波高:目前翅片的波高主要在 4mm-8mm 之间,翅片波高越小,在外形尺寸一定下,扁管数越多,制冷剂侧换热总面积越大,但风侧阻力越大,换热量不是单调递增的;

(3) 翅片波距:一般在 2.0mm-4.0mm 之间,波距将影响换热面积以及风阻,也是一个引起换热量非单调增减的参数;

(4) 开窗角度和数量:影响风阻,影响空气侧与翅片的接触程度;

(5) 翅片厚度:汽车空调目前普遍使用的是 0.08mm。

3.3 流程布置^[1]

在冷凝器中,冷媒一般从集流管的同一侧进出,因此流程数目将是偶数个,比如 2 个、4 个、6 个甚至 8 个。高温冷媒在冷凝器中冷凝,将经历高温气态、气液混合态、过冷液态的相变过程,每个物理状态下所需的最佳换热面积数将呈现由多变少的过程。因此,每一流程的扁管数呈现先多后少的趋势,这将可以高效利用有限的换热面积来实现较高的换热量,而不是一味地增加总的外表面换热面积。随着流程数的增加,冷媒流动的局部阻力损失将会增大,设置流程数时应该考虑这一因素。一般汽车空调冷凝器采用 4 流程的居多。

4 样品测试对比分析

根据现有的模具可制作出几种样品,将其参数以及竞争对手的样品——标准样品的规格参数列表,如表 1 所示。先做单体换热器对比测试,

再做在不同冷凝器下的整机系统制冷量的对比测试以及冷凝器的换热量对比。

表 1 样品规格参数表

参数名称	单位	标准样品	样品 1	样品 2
流程布置	/	27-14-9-8	19-9-5-6	20-10-6-4
排数	/	1	1	1
过冷型		是	是	否
换热尺寸	mm	508×366	508×362	508×368
扁管数	/	58	39	40
扁管规格	/	16×1.0-20	16×2.0-16	16×1.3-16
孔尺寸	mm	0.62×0.58	1.2×0.58	0.73×0.66
翅片波型		U 型	U 型	U 型
翅片波高	mm	5.4	7.4	8.1
翅片波距	mm	2.74	2.15	2.74
翅片宽度	mm	16	16	16
翅片片厚	mm	0.08	0.08	0.08
开窗数	/	14	12	12
开窗角度	/	22	30	23

(注：扁管规格举例说明如下：16×1.0-20 表示扁管宽度为 16mm，扁管厚度为 1.0mm，20 表示扁管孔数。)

4.1 单体对比测试

首先设定单体测试的条件为：冷媒 R134a，测试工况 35℃，冷媒入口压力 1.55MPa，入口过热度为 25℃，出口过冷度为 10℃。在不同风量下测试得到的换热能力曲线如图 4 所示。

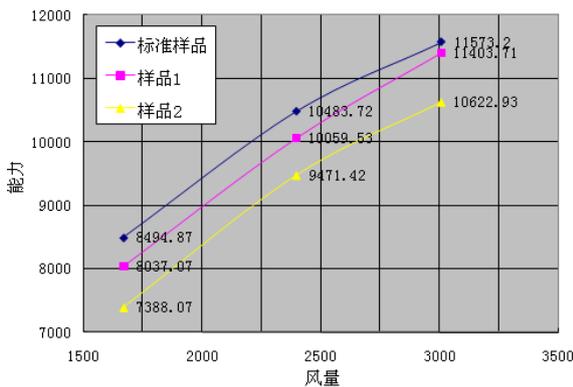


图 4 换热能力随风量的变化

由图 4 可知，三种冷凝器的换热量均随着风量的增加而增加，但是增加的幅度将会减缓，这是因为每个换热器都有一个极限风量，越接近极限风量，换热能力的增幅越小。样品 1、样品 2 的单体换热能力均不如标准样品，主要原因是：

扁管数偏少，导致制冷剂侧换热总表面积偏小。尽管样品 1 与样品 2 扁管数以及波高比较接近，但扁管规格、孔尺寸、波距还是有比较大的差别。样品 2 与样品 1 相比，扁管高度小 35%，孔的尺寸也相应的小了 40%，这就造成制冷剂侧换热的内表面积较小。同时波距方面，样品 2 比样品 1 大 27%，在长度方向尺寸一定的情况下，波距越大，翅片波形数越小，翅片的总面积也越小，这就造成风侧换热面积减小。因此，从制冷剂侧以及风侧换热面积来分析并验证得知，样品 2 的换热效果不如样品 1 的。但样品 2 风阻小于样品 1，如图 5 所示风量为 1672m³/h 的风阻对比图。

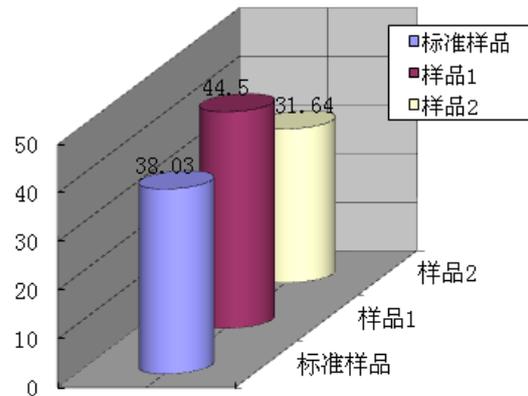


图 5 风阻对比

再单独提取样品 1 在同一风量 3010m³/h 下不同入口冷媒压力下与标准样品作对比，如图 6 所示。

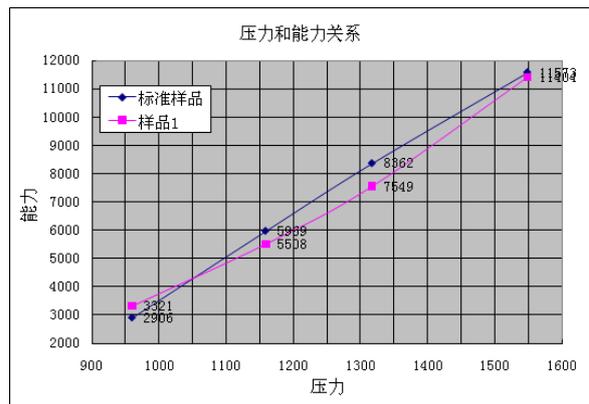


图 6 风量为 3010m³/h 时换热能力随入口冷媒压力的变化

从图 6 可知，平行流冷凝器的换热能力随着入口冷媒压力的增加而增加，样品 1 的换热能力在压力范围为 1.10MPa~1.55MPa 时与标准样品有明显差距，但在压力范围为 1.05MPa 以下时

优于标准样品。这说明在较低的入口冷媒压力下，扁管数较多的换热器换热不一定会高于扁管数偏少的换热器；又由于样品 1 的扁管孔尺寸大于标准样品，样品 1 的制冷剂湿周长较大，因此换热能力在低入口压力下较强。

4.2 整机系统对比测试

单体对比测试只能表征在设定的工况以及其他条件下的冷凝器换热能力的差距，实际制冷系统在运行过程中，冷媒压力以及过冷度并没有那么高，因此仍需做在整个制冷系统中只在冷凝器有差异的情况下的对比测试。采用冷媒 R134a 在最佳灌注量 $500\text{g}^{[3]}$ 左右和压缩机转速为 900r/min 条件下的制冷系统对比结果如图 7、8 所示。

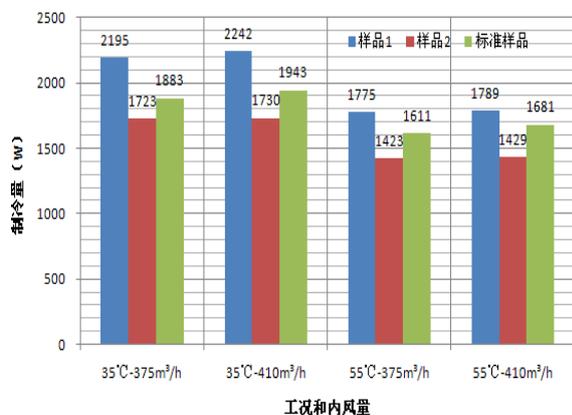


图 7 用不同冷凝器样品的制冷系统制冷量

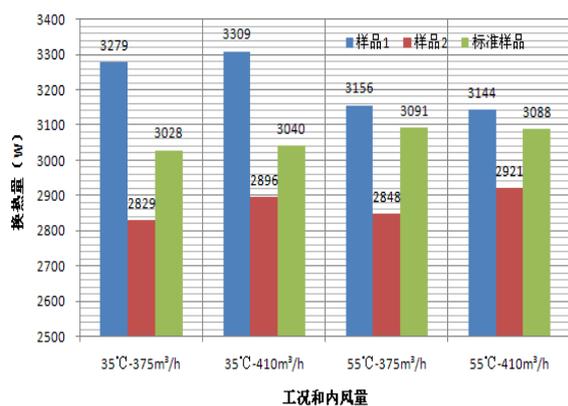


图 8 制冷系统中不同冷凝器样品的换热量

由图 7 和图 8 可知，无论是整个制冷系统的制冷量还是换热量，在实际制冷系统中，样品 1 优于样品 2 和标准样品。样品 1 在制冷剂侧风侧

的换热面积均大于样品 2，因此冷凝器样品 1 的系统由于样品 2 的；实际系统灌注量比较小，压缩机转速不高，冷凝器入口的冷媒压力和过热度较低，由于样品 1 的制冷剂流阻小于标准样品，样品 1 的实际冷凝温度高于标准样品，虽然样品 1 的风侧换热面积小于标准样品，但冷凝温度提高的效果大于风侧面积减小的效果，总体上表现出样品 1 在整机系统中优于标准样品。

5 结论

本文介绍了汽车空调微通道平行流冷凝器的特点以及重要参数，以此为依据做出了两种样品与竞争对手的样品——标准样品做测试对比，可得出以下结论：

(1) 车空调制冷系统中，灌注量较小，冷媒压力较低，冷凝器扁管数不宜过多，扁管过多会导致冷媒在冷凝器中的压损过大，冷凝效果欠佳；

(2) 在扁管数较为合理的情况下，可适当提高翅片波高，这样可以提高风侧换热面积，同时可以减小风阻。若提高波高后换热量出现下降，可以减小波距，这样也可以增加风侧换热面积，但是风阻会加大，实际运行中的风量会减小，总换热量不一定会增加；

(3) 微通道扁管的厚度应尽量选择 $1.0\text{mm}\sim 2.0\text{mm}$ 之间，在这一厚度区间内，扁管孔尺寸应选择较大，这样可以减少冷媒流动的阻力损失，孔数不宜过多；

(4) 汽车空调冷凝器应当采用一体过冷的型式，就是在过冷段前设置有干燥储液器，保证过冷度，提高换热量。

参考文献

- [1] 张凯, 王东, 杨志刚等. 汽车空调平行流冷凝器性能仿真分析. 计算机辅助工程, 2011, 20(3): 69-72.
- [2] 陈基镛, 梁荣光, 欧阳俊等. 汽车空调平行流式冷凝器优化换热的研究. 机电工程技术, 2008, 37(5): 20-22.
- [3] 刘杰, 赵宇, 祁照岗等. 制冷剂充注量对新型换热器汽车空调的影响. 制冷学报, 2011, 32(1): 12-15.