

纯电动汽车两种节流装置空调制冷性能的试验研究

李 鹏, 袁永盛, 柯鹏辉, 邹 鹏

(长沙市比亚迪汽车工业有限公司, 长沙 410116)

摘 要:针对纯电动轻型汽车空调系统节流装置的优化设计,介绍两种制冷剂流量控制方案的优化制冷效果。

关键词:纯电动汽车; 空调制冷; 流量控制; 节流装置

中图分类号:U469.72⁺2; U467.3 文献标志码:A 文章编号:1006-3331(2023)03-0027-05

Test Study on the Refrigeration Performance of Two Throttle Devices in Air Conditioner for Pure Electric Vehicles

LI Peng, YUAN Yongsheng, KE Penghui, ZOU Peng

(Changsha BYD Automobile Industry Co., Ltd., Changsha 410116, China)

Abstract: This paper aims at the optimization design of a pure electric light vehicle air conditioning throttle device, and introduces the optimized refrigeration effect of two refrigerant flow control schemes.

Key words: pure electric vehicles; air conditioner refrigeration; flow control; throttle device

在电动货车中,一般动力电池与驾驶室的温度调节都由空调系统承担。因此空调系统制冷性能的好坏,成为了电动汽车动力性和舒适性的一个重要标志^[1]。热力膨胀阀与电子膨胀阀是广泛应用于空调制冷和低温冷冻系统的两种常见的节流装置。本文针对比亚迪电动货车空调系统制冷剂分配不均的问题,进行方案优化与验证,并简要分析不同节流装置在制冷系统中的作用和其对空调系统制冷性能的影响,为集成式热管理系统中出现的制冷量分配不均问题提供一种新的方法和思路,从而提升驾驶室的舒适度^[2-3]。

1 问题及原因分析

1.1 问题阐述

比亚迪长沙工厂新下线的轻卡车型,根据跟车驾驶员反馈,在车辆行驶过程中,驾驶室内空调制冷效果差;而且将该车型目前使用的空调旋钮至最低温度,开启最大风量,仍无法抑制驾驶室内的温度上升,

空调出风口处吹出来的风只是略带凉意或者纯粹只有自然风。但当驾驶员将车辆靠边停一会儿或者低速行驶时,驾驶室內的空调就会恢复制冷,重新吹出冷风。

1.2 整车空调系统方案介绍及原因分析

该车的空调系统有电池冷却功能^[4],在冷凝器出口和压缩机入口之间并联板式换热器支路,在支路入口增加节流装置来控制制冷剂分配^[5]。低温低压的制冷剂在板式换热器中与电池冷却液进行热交换,再通过低温的电池冷却液对电芯降温^[6],原理如图1所示。

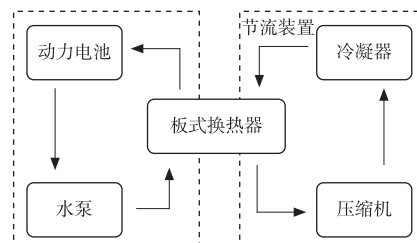


图1 电池降温制冷原理

收稿日期:2022-10-28。

第一作者:李 鹏(1983—),男,工程师;主要从事商用车整车研究与开发工作。E-mail:li_peng2@byd.com。

通讯作者:柯鹏辉(1988—),男;主要从事商用车整车电器及三电系统开发工作。E-mail:ke_penghui@byd.com。

该车制冷方案原理如图 2 所示,驾驶室冷却支路及电池冷却支路均采用电磁阀+热力膨胀阀方案。导致驾驶室制冷量低的主要原因为热力膨胀阀开度调节范围小、开度相对固定,当驾驶室侧与电池包侧同时有制冷需求时,因电池包侧制冷需求量更大,而电动空调系统又缺乏相应的检测与控制装置,导致驾驶室制冷支路的制冷剂流量减少,驾驶室的制冷效果变差。

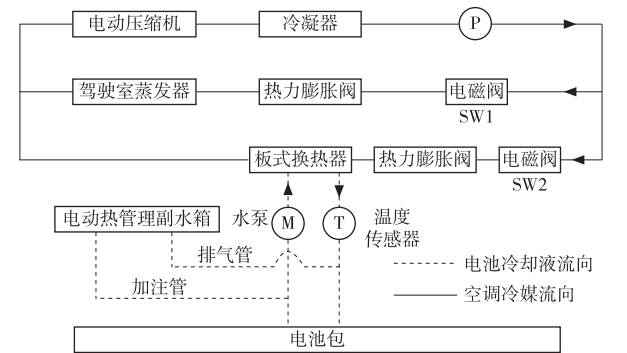


图 2 电磁阀+热力膨胀阀空调系统框图

2 试验方法及方案对比分析

本文对电池冷却支路的热力膨胀阀+电磁阀方案和独立电子膨胀阀方案进行对比分析。

2.1 试验方法

- 1) 环境温度 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$,空气湿度 50%RH。
- 2) 整车电量 $>95\%$ SOC,车辆 OK 挡,关紧门窗。
- 3) 开启 AC,最大制冷、最大风量、吹面模式、内循环。
- 4) 车速 $(80\pm 5)\text{ km/h}$,时间 60 min。
- 5) 记录室外环境温度,驾驶室头部温度,主驾左侧吹面温度。

2.2 电磁阀+热力膨胀阀控制流量方案

该方案在板式换热器支路和蒸发器支路都采用了电磁阀+热力膨胀阀控制制冷剂流量^[7],系统框架如图 2 所示。当仅有驾驶室制冷请求时,给电磁阀 SW2 通电以阻断板式换热器支路的制冷剂流动;当仅有电池冷却需求时,需给电磁阀 SW1 通电以阻断蒸发器支路的制冷剂流动;当电池制冷和驾驶室制冷都有需求时无需调节,两支路的电磁阀均不通电,冷媒同时流入驾驶室侧和电池侧支路。控制方案的具体策略见表 1。

表 1 电磁阀+热力膨胀阀控制流量方案策略

充电模式	电池冷却功能	电池冷却液温度 $T_1 \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开启压缩机,控制转速 $4\ 000\text{ r/min}$; $T_1 \leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时卸载压缩机;充电模式不响应驾驶室制冷请求
	驾驶室制冷功能	驾驶室有制冷请求时开启压缩机,控制转速 $3\ 000\text{ r/min}$;且蒸发器芯体温度 $T_2 \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时卸载压缩机, $T_2 \geq 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时重启压缩机
	电池冷却功能	电池冷却液温度 $T_1 \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时开启压缩机,控制转速 $4\ 000\text{ r/min}$; $T_1 \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时卸载压缩机
放电模式	驾驶室有制冷请求且电池冷却液温度 $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时进入双请求模式: 主驾左侧吹面出风温度 T_3 控制在 $14\sim 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, $T_3 \geq 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时不响应电池冷却请求,压缩机控制转速 $4\ 000\text{ r/min}$; $T_3 \leq 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时同时响应请求,压缩机控制转速 $5\ 500\text{ r/min}$; 蒸发器芯体温度 $T_2 \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时退出双请求模式,进入电池制冷模式, $T_2 \geq 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时恢复双请求模式; 电池冷却液温度 $T_1 \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 退出双请求模式,进入驾驶室制冷模式, $T_1 \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时恢复双请求模式。	
	双制冷请求	

2.3 独立电子膨胀阀控制流量方案

该方案的空调系统在电池冷却支路中板式换热器制冷剂入口管路处采用电子膨胀阀作为节流装置,并且在板式换热器制冷剂出口管路上增加了温度压力传感器(即图 3 中 P/T),根据制冷的温度和压力关系控制电子膨胀阀的开度^[8]。这样就可以通过电池冷却液温度与目标温度的差值变化来调节电子膨胀阀的开度,优化制冷剂在两个支路中的分配,具体系统框图如图 3 所示。

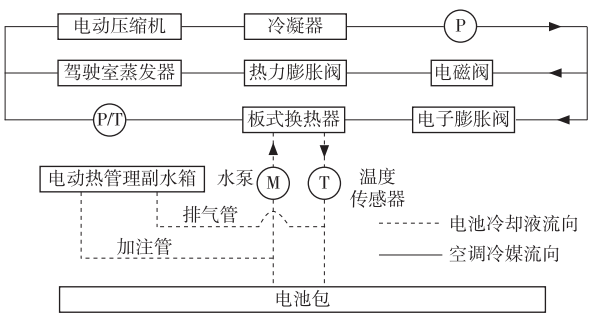


图 3 电子膨胀阀空调系统框图

该方案与前述电磁阀+热力膨胀阀控制流量方案的最大差异体现在电池冷却和驾驶室冷却双需求的工况下, 电子膨胀阀的开度控制由最小向最大调整, 具体策略不同点见表2。

表2 电子膨胀阀控制流量方案策略不同点

驾驶室有制冷请求且电池冷却液温度 $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 进入双请求模式:

- 1) 当板式换热器出口的电池冷却液温度比目标温度高 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且板式换热器出口制冷剂温度 $>8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 增大电子膨胀阀开度;
- 2) 当板式换热器出口的电池冷却液温度比目标温度高 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且板式换热器出口制冷剂温度 $<5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 减小电子膨胀阀的开度, 当且板式换热器出口制冷剂温度 $<3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 电子膨胀阀关闭;
- 3) 当板式换热器出口的电池冷却液温度比目标温度低 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 关闭电子膨胀阀。

3 试验结果分析

3.1 电磁阀+热力膨胀阀控制流量方案试验

根据电磁阀+热力膨胀阀方案进行试验验证^[9-10], 此次路试数据温度变化如图4和图5所示。

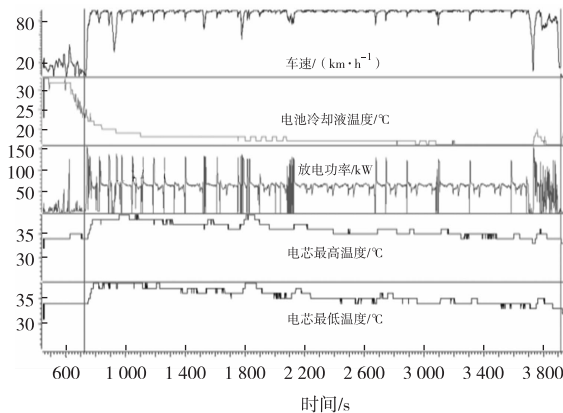


图4 电池参数温度变化图

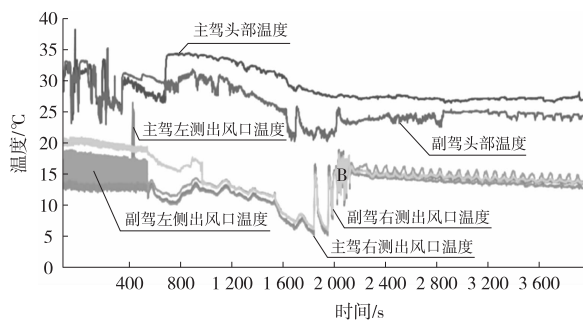


图5 驾驶室各参数温度变化图

根据电池参数温度变化(图4)可知, 在800 s时,

电池电芯温度 $>35\text{ }^{\circ}\text{C}$, 电池冷却需求响应, 同时电池冷却液温度迅速下降至 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。整车放电功率基本保持在75 kW左右, 电池冷却液温度保持在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 整个测试过程, 电池电芯温度逐步降低, 电池冷却效果明显。

根据驾驶室各参数温度变化(图5)可知, 在600 s时, 驾驶室内各温度开始波动, 出风口温度和主副驾驶头部温度整体都呈下降趋势, 在1800~2200 s之间温度波动最为剧烈, 易造成不好的驾乘体验。2200 s后驾驶室内温度开始稳定下降, 在2300 s后驾驶室内温度趋于稳定, 出风口温度维持在 $13\sim 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 驾驶室头部温度逐步降低, 从B点之后室内温度维持在 $25\sim 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 驾驶室降温效果良好。

试验结果显示, 整车的平均放电功率为70~80 kW, 驾驶室内出风口温度始终维持在 $13\sim 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 降温效果明显。电池冷却液温度维持在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时, 在电池冷却功能开启后, 电池电芯温度逐步降低, 并最终低于行驶电池报警温度。

此次试验结果基本满足测试标准, 达到了制冷要求, 但存在驾驶室温度波动明显, 易造成不良驾驶体验的问题。

3.2 电子膨胀阀控制流量方案试验

在同型号车辆上根据独立电子膨胀阀^[11-13]系统的方案来进行试验验证, 此次路试数据如图6所示。

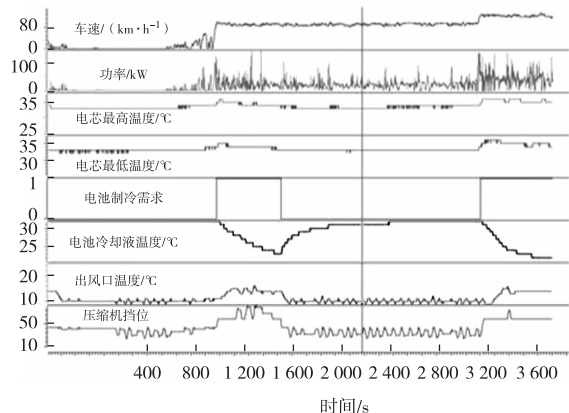


图6 驾驶室各参数温度变化图

根据图6中的数据进行分析: 前段车速80 km/h, 时间约1800 s, 后段车速85 km/h, 时间约500 s, BMS前段、后段时间开启电池冷却需求, 中间一段时间无冷却请求, 80 km/h过程中, 电池电芯温度维持在33

~34℃,当车辆速度提高至 85 km/h 后,电池电芯温度上升至 35~36℃,升温 2℃。

未开启电池冷却时,驾驶室内出风口温度为 10~11℃,电池冷却液温度为 32℃,电池电芯温度为 33~34℃;开启电池冷却时,电池冷却液温度由 32℃降至 23℃,驾驶室内出风口温度有略微升高,但随后趋于平稳。

试验结果显示,车辆在高速环道上以 (80 ± 5) km/h 的车速行驶,平均放电功率在 65~75 kW 之间,驾驶出风口温度始终维持在 13~17℃,降温效果显著,电池冷却液温度维持在 25℃以下,在电池冷却功能开启后,电池电芯温度逐步降低,并最终低于行驶电池报警温度。

此次试验基本符合空调热电子膨胀阀的方案设计要求,在满足电池冷却需求情况下,驾驶室温度稳定下降,波动较小,满足测试标准。

3.3 试验总结分析

根据上述两种方案的试验数据,我们可以得出车辆在 85 km/h 速度正常行驶时各关键温度对比(见表 3),以及整个试验过程中两种方案中电池冷却液温度、电芯温度、出风温度和驾驶室头部温度的对比曲线图(如图 7~图 10 所示),以此来显示温度的波动对比。

表 3 试验结果部分数据

测试标准		85 km/h 时实测数据		是否符合
		电磁阀+热力膨胀阀	电子膨胀阀	
出风温度	13~17	16	16	是
驾驶室温度	≤ 27	27	25	是
电池冷却液温度	≤ 25	23	23	是
电池电芯温度	< 40	36~37	35~36	是

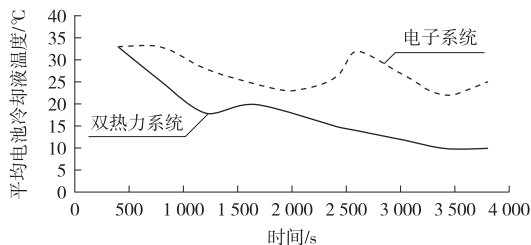


图 7 平均电池冷却液温度曲线

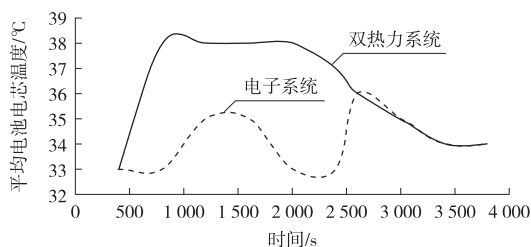


图 8 平均电池电芯温度曲线

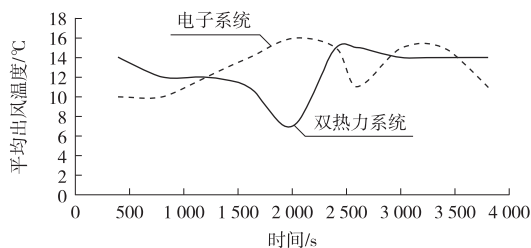


图 9 平均出风温度曲线

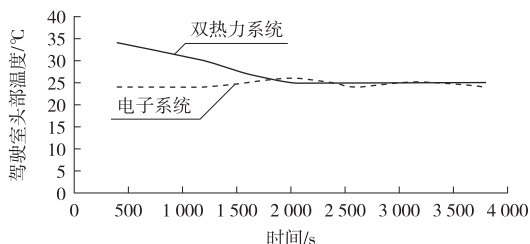


图 10 驾驶室头部温度曲线

根据上述两种制冷方案的试验验证,制冷效果主要是看驾驶室与电池的制冷剂分配是否两端均衡,温度波动起伏的频率与大小是否合理。

分别参考两次试验数据,两种系统各有优势。分析数据对比可知,车辆在正常高速行驶时各关键温度都能满足测试要求,但电子膨胀阀方案的驾驶室温度和电芯温度更低。

热力膨胀阀+电磁阀方案的电池冷却液温度在短时间内迅速降低并一直持续下降,而电子膨胀阀方案的电池冷却液温度比热力膨胀阀方案的电池冷却液温度略高,并恒定地维持在一个波动区间。热力膨胀阀方案前期电池电芯温度一直居高不下,后期温度才降下来,电子膨胀阀方案的电池电芯温度一直维持在一个波动区间,保持恒定温度,最后两者的电池电芯降温效果基本一致。

从驾驶室的温度波动曲线来看,电磁阀+热力膨胀阀方案的出风口温度和驾驶室波动幅度比电子膨胀阀方案要大。波动幅度越大则体现为温度的高低

变化越大,这可能会影响驾乘人员的舒适度及驾乘心情。电子膨胀阀方案的温度曲线波动幅度小,曲线趋于平稳,驾驶室维持在一个恒定的温度中。综合对比可知,在空调系统的制冷剂总量恒定的情况下,电磁阀+热力膨胀阀方案成本低且降温迅速。电子膨胀阀方案的制冷剂分配更加均衡合理,温度波动的幅度与频率小,能营造出适合驾乘人员的舒适环境。

4 结束语

本文以解决比亚迪纯电动轻型汽车空调系统制冷效果差的问题为研究对象,通过改变其制冷剂流量的分配,解决夏季制冷效果差的问题。通过试验分析可以得出:节流装置的选择直接影响到空调系统的制冷性能,精确控制制冷剂流量可以达到合理分配制冷剂流量的目的,从而实现驾驶室与电池组的稳定降温,对解决车辆行驶过程中出现的一些空调制冷问题提供参考。

参考文献:

- [1] 徐震原,王如竹. 空调制冷技术解读:现状及展望[J]. 科学通报,2020,65(24):2555-2570.
- [2] 李建民. 浅析汽车空调自动控制系统[J]. 汽车实用技术,2016(9):263-265.
- [3] 左世海. 制冷机组节流机构的应用分析[J]. 制冷与空调,2012,12(3):46-52.
- [4] 赵继岭,彭君,马香明,等. 电池冷却系统与空调制冷系统的协调控制策略[J]. 时代汽车,2020(20):95-97.
- [5] 韦秀梅. 卡车空调制冷性能优化浅析[J]. 汽车实用技术,2018(18):130-131.
- [6] 张凤麒. 纯电动汽车动力电池降温性能研究[J]. 客车技术与研究,2020,42(1):34-37.
- [7] 刘登辉,王芳,王秋实,等. 电动汽车空调系统中的电子膨胀阀性能研究[J]. 轻工机械,2020,38(6):27-32.
- [8] 李海军,张中来,苏之勇,等. 电子膨胀阀对客车用空调器制冷性能影响[J]. 低温与超导,2020,48(9):54-59.
- [9] 朱亮亮,丁亚东,段少勇. 汽车空调膨胀阀常见故障分析与排除[J]. 制冷与空调(四川),2017,31(1):81-85.
- [10] 韩景星,张明敏. 热力膨胀阀常见故障原因分析[J]. 机电信息,2020(33):121-122.
- [11] 胡鹏荣,陶乐,何俊,等. 电子膨胀阀开度对 R32 水源热泵系统性能的影响[J]. 制冷学报,2020,41(3):111-116.
- [12] 李文清. 电子膨胀阀的性能特性分析[D]. 天津:天津商业大学,2020.
- [13] 张苏韩,黄理浩,陶乐仁. 空气源热泵系统湿压缩与电子膨胀阀调控方式的研究[J]. 能源工程,2020(3):75-79.