

# 电动汽车空调系统解决方案

曹中义

(武汉理工大学汽车工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 为了保持电动汽车的舒适性, 本文探讨了电动汽车空调系统的几种解决方案, 分别对电动空调系统、电驱动压缩机系统、座椅空调系统以及冰水制冷剂制冷系统进行了介绍。对于电动空调系统, 分别介绍了电动热泵式空调系统、电动压缩机制冷与电加热器制热混合调节空调系统。

关键词: 电动汽车; 电动空调; 座椅空调; 冰水制冷剂

中图分类号: U463.851.02 文献标识码: A 文章编号: 1003-8639(2008)03-0001-04

## Solution to Air Conditioning on EVs

CAO Zhong-yi

(School of Automobile Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The author discusses on several solutions to the air conditioning on EVs, introduces the systems of air conditioning, motor compressor, seat air conditioning and ice water cooling. As for the air conditioning system, it introduces the types of the electric heatpump, motor compressor and electric heater hybrid regulating.

Key words: EV (Electric Vehicle); electric air conditioning; seat air conditioning; ice water cooling

在各种季节、天气及其它行驶条件下, 人们总希望车厢内保持舒适的状态。汽车空调的功能就是把车厢内的温度、湿度、空气清洁度及空气流动性保持在使人感觉舒适的状态。对于新一代的环保型汽车, 如纯电动、混合动力及燃料电池汽车, 也应给驾乘人员提供舒适的驾驶和乘坐环境。作为未来主要的潜在车型, 在其上匹配空调系统是完全必要的, 并且拥有一套节能高效的空调系统对开拓市场也是至关重要的。

电动汽车的能量供给方式与传统燃油汽车有很大的不同。在普通汽车中, 空调、动力转向、水泵、油泵以及风扇都通过皮带直接从发动机传动部件获取动力。而电动汽车拥有高压电源, 这些部件就可以采用电力驱动, 就可以在几乎恒定的电池电压下高效率运行。

## 1 电动空调系统

### 1.1 电动空调系统概述

电能驱动相对于传统燃油发动机驱动, 总的能量利用率更高(电动汽车的能量利用率大概为17.8%, 燃油汽车的能量利用率大致为10.3%), 而空调系统是电动汽车功耗最大的辅助子系统, 它的功耗占所有辅助子系统功耗的60%~75%<sup>[1]</sup>, 因此电动空调系统的使用相对提高了能量利用率。有资料显示, 在炎热的夏天, 比起发动机驱动的空调装置来, 由电

动机驱动的空装置所消耗的能量要少20%。

传统汽车与电动汽车空调系统的区别在于: 电动汽车没有发动机的余热可以利用或者不能完全利用发动机的余热, 需采用热泵型空调系统或辅助加热器; 电动空调压缩机可以采用电动机直接驱动, 但对压缩机高转速性和密封性的要求较高。

对于电动空气调节系统, 目前采用的方案主要包括电动热泵式空调系统、电动压缩机制冷与电加热器混合调节空调系统。

### 1.2 电动空调系统的优点

相比传统空调系统, 电动空气调节系统在环境保护、前舱结构布置以及车厢舒适性等各项指标上均处于优势, 其主要优点如下。

1) 电驱动压缩机空调系统可以采用全封闭的HFC134a(目前主要汽车空调用制冷剂)系统及制冷剂回收技术, 整体的高度密封性可以减小正常运行以及修理维护时制冷剂的泄漏损失, 从而减少了对环境的污染。

2) 电动空调的压缩机靠电动机驱动, 因此可以通过精确的控制以及在常见热负荷工况下的高效率运行来降低空调系统的能耗, 从而提高整车的经济性。如表1所示, 电动压缩机相对于传统机械式压缩机效率较高, 也可以减少能量消耗。

3) 采用电驱动, 噪声较低、可靠性高、使用寿命长、故障率低。

修改稿收稿日期: 2007-10-24

4) 对于一体式电动压缩机, 取消了发动机与压缩机之间的传动皮带, 没有了张紧件的质量, 相对于传统结构减小了整车质量。

5) 可以在上车之前预先遥控启动电动空调, 对车厢内的空气进行预先调节, 相比传统空调可增加乘客的舒适性。

表1 传统机械式压缩机与电动压缩机的效率比较<sup>[2]</sup>

机型	传输效率	容积效率	其他	总和
机械式压缩机	0.95	0.40	0.75	0.29
电动压缩机	0.65 <sup>6</sup>	0.90	0.75	0.44

注: 6表示从发动机到发电机, 再经逆变器到压缩机驱动电机的总效率。对于纯电动汽车来说, 是从电池到逆变器, 再到压缩机驱动电机, 因此该项值应该比列出的要高。

### 1.3 电动汽车热泵式空调系统

参考文献[3]介绍了由皮带驱动的直流无刷电机的电动汽车热泵式空调系统。其工作原理如图1所示, 空调系统的制冷/制热模式由四通换向阀转换, 实线箭头表示制冷工况, 虚线箭头表示制热工况。从原理上讲, 该系统与普通的热泵空调并无区别, 但是用于电动车辆上, 其专门开发了双工作腔滑片压缩机、直流无刷电动机和逆变器控制系统。在热泵工况下, 系统从融霜模式转为制热模式时, 风道内换热器上的冷凝水将迅速蒸发, 在挡风玻璃上结霜, 影响驾驶的安全性<sup>[5]</sup>。还有其采用的制冷剂为CFC12, 已经不能满足环保法规的要求。

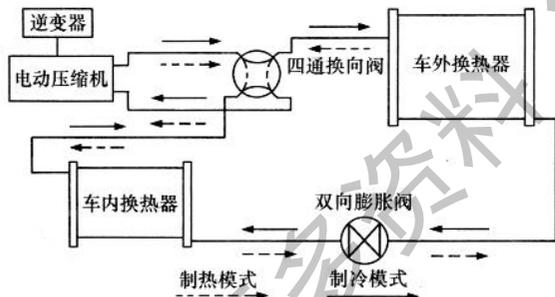


图1 电动汽车热泵式空调系统

电装公司开发的采用HFC134a制冷剂的电动汽车热泵空调系统, 其在热泵系统的风道中采用了车内冷凝器和蒸发器的结构, 如图2所示。制冷工况循环为: 由压缩机经四通阀至车外冷凝器, 再经电子膨胀阀1、蒸发器回到压缩机。制热及除霜工况循环为: 由压缩机经四通阀至车内冷凝器, 再经电子膨胀阀2、车外冷凝器、电磁阀回到压缩机。当系统以除霜/除湿模式运行时, 制冷剂将经过所有3个换热器。空气通过内部蒸发器来除湿, 将空气冷却到除霜所需要的温度, 再通过车内冷凝器加热, 然后将它送到车室, 解决了汽车安全驾驶的问题<sup>[5]</sup>。

其系统性能见表2。

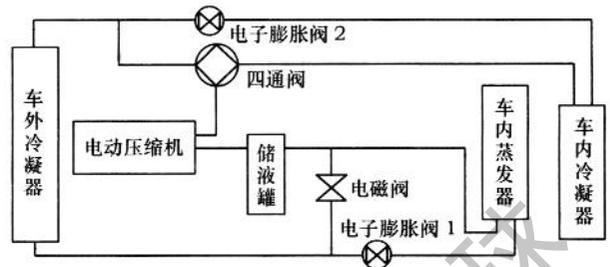


图2 日本电装电动汽车热泵空调系统

表2 DENSO电动汽车热泵空调系统性能

项目	环境条件	系统性能
制冷	环境温度40℃, 车室温 度27℃, 相对湿度50%	1 kW能耗获得2.9 kW 制冷量
	环境温度-10℃, 车室温 度25℃	1 kW能耗获得2.3 kW 制热量

电装公司在2003年又开发了以CO<sub>2</sub>为冷媒的热泵空调系统, 如图3所示。制冷工况循环时要经过车内外两个冷凝器。该空调系统通过切换旁流阀来转换加热或冷却工况: 制冷时, 旁流阀1开启, 旁流阀2关闭, 车内冷凝器的混合气门完全闭合; 制热时, 旁流阀1关闭, 旁流阀2开启, 车内冷凝器的混合气门完全打开。通过关闭旁流阀2和控制膨胀阀2的开启程度进行除湿。

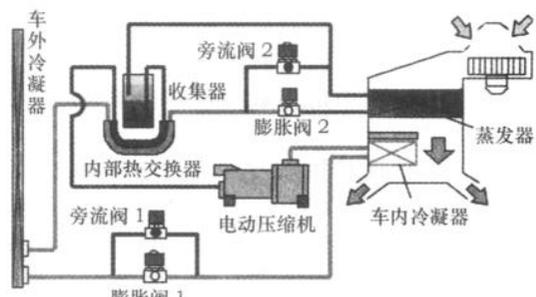


图3 CO<sub>2</sub>热泵空调系统

该系统应用在丰田公司的燃料电池混合动力轿车FCHV上。

### 1.4 电动压缩机制冷与电加热器制热混合调节空调系统

目前传统燃油车辆的空调装置以及热泵空调同时具有制冷和加热的能力。对于纯电动汽车来说, 没有发动机, 也没有发动机废热可以利用。采用该设计方案, 制冷由电机驱动压缩机执行, 制热由专门加热装置来实现。

相比热泵式空调系统, 该方案对整车结构改变较小, 制冷工况的实现通过采用电动压缩机取代机

械式压缩机即可实现。

目前最成功的混合动力车型丰田PRIUS采用的就是该种方案,空调为电动空调,暖风为PTC暖风,制冷制热迅速。该空调系统可以在发动机不起动的情况下正常运行,满足乘员的舒适性要求。

对于电动汽车以及采用42 V电源的传统燃油汽车,如果采用电动空调系统,图4即可作为供选择的供电方式之一。电池组的直流电经逆变器后为空调压缩机驱动电机供电,空调电机带动压缩机产生制冷效果。控制器将传感器送来的电池组电量信号以及温度控制信号进行处理后,通过输出端控制驱动逆变器,从而通过驱动电机控制压缩机的功率、转速。

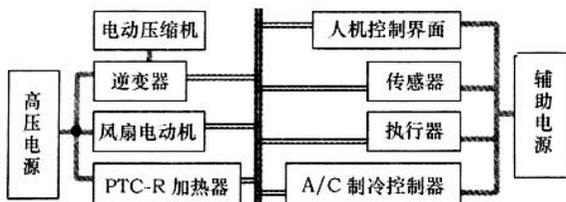


图4 电动空调系统供电方式

## 2 电驱动压缩机系统 以上2种方案均采用电驱动压缩机提供动力。这

里阐明一个概念,仿照电动汽车的命名习惯,将仅用电力驱动的压缩机称为全电动压缩机,如图5所示;将发动机和电机混合驱动的压缩机命名为混合驱动压缩机,如图6所示。将它们统称为电驱动压缩机。

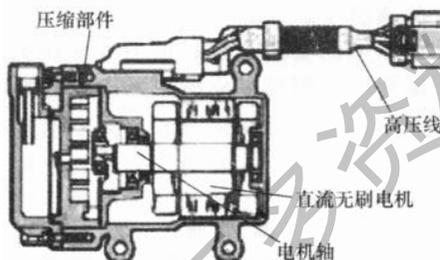


图5 全电动压缩机结构形式

2.1 全电动压缩机  
全电动压缩机的驱动方式可以分为独立式和非独立式。对于独立式,与传统压缩机的主要区别是:①传统压缩机采用主机作为动力,电动压缩机直接通过电机驱

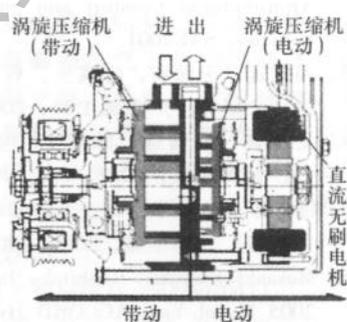


图6 混合驱动压缩机结构形式

动;②传统压缩机转速受主机转速限制,电动压缩机单独驱动,转速单独可调;③传统压缩机受主机限制转速范围较小,电动压缩机驱动电机调速范围较宽。

对于非独立式,在驱动形式上传统压缩机由发动机通过皮带带动,电动压缩机则由主驱动电机通过皮带带动。

## 2.2 混合驱动压缩机

对于混合动力车型来说,无论发动机模式或电动模式时都需要空调(或采暖),可以选用全电动空调形式,也可以选用混合驱动模式空调系统。

混合动力车为了节约能源,可以在发动机驱动模式和电力驱动模式之间切换。采用发动机与电机混合驱动的压缩机,电机驱动与发动机通过带轮驱动集成为一个整体。在发动机模式下,压缩机由发动机通过皮带驱动。在汽车临时停车(比如遇到红灯)或持续减速时切换到电驱动模式,由电池提供能量,以确保车室内保持舒适的温度,从而不必专为带动空调压缩机而使发动机怠速运转,这样就避免了在怠速工况下燃油经济性和排放性不佳的状况,减少了油耗和对环境的污染。

当驾驶者刚进入车内打开空调时,或者由于外界温度变化导致车内温度较大幅度变化时,发动机带动和电驱动可以同时工作,以提供良好的制冷性能。当驾驶室内温度快要接近设定温度时,只使电机驱动压缩机工作,从而通过对电机逆变器的精确控制迅速达到目标温度。至于发动机驱动的停止点,即电机单独驱动的起始点,可以通过对系统仿真研究作详细的分析。当然对于混合驱动的控制策略还可以作进一步的研究,以获得最有效的压缩机驱动模式,从而提高燃油经济性。

## 2.3 电动汽车对电动压缩机的要求

传统燃油车的空调装置一般要消耗大量的能量,如果电动汽车采用这样的能耗值,就会大大减少其续航里程。因此对于电动空调系统,尤其是电驱动压缩机系统有其特殊的要求。

电动汽车对电驱动压缩机的要求是:效率高、结构紧凑、质量轻、成本低、噪声低、能在各种气候下工作。在压缩机中,由于充满了制冷剂蒸气,采用有刷电机容易产生火花而酿成危险,因此压缩机驱动电机应该尽量选用永磁无刷电机。压缩机形式应该选用效率较高的涡旋压缩机,既可实现高效全封闭涡旋式压缩,又可实现制冷剂零泄漏。

## 2.4 电动压缩机的控制

在电动空调运转过程中,电机转子每旋转一周,由于压缩机内压力的变化,电机的负载转矩会产生周期性的波动。

为了提高空调压缩机的运行性能和实现永磁同步电机高性能控制,可以采用指令电流控制的办法,通过估算转子位置实时地计算转矩电流,并结合PI调节器对系统进行控制,不但可以保证估算算法的稳定运行,并抑制了速度的大范围波动,从而实现空调系统驱动电机的高性能控制,将转矩波动抑制在一定范围之内。

### 3 其他电动空调产品

对于电动汽车来说,目前市场上还有可供选择的几种空气调节产品,可以作为电动空调的补充或者单独为驾乘人员提供舒适环境。

#### 3.1 座椅空调系统

座椅空调系统是指通过座椅直接对乘客身体加热或制冷,而不是调节整个车内空气。温度的调节通过座椅与乘客身体直接产生热传导,以及从座椅表面散发出的调温后的空气的对流来实现。制冷和加热由装在座椅内部的温差电敏器件(TED)和吹风机实现,通过控制模块调节温度、气流以及风扇转速。如图7所示。

座椅空调系统应用的是热电制冷/制热技术,其制冷效率可达90%以上,而制热效率远大于1。半导体材料的优值系数越高,制冷/制热效果越好。但是目前半导体制冷的效率只有机械压缩式的50%左右,在半导体材料的优值系数没有突破之前,半导体制冷/制热只能在小体积和微型化上比传统的机械压缩式制冷优越。对于短距离行驶的小型电动汽车,完全可以考虑采用座椅空调系统来提高乘坐舒适性。

美国Amerigon公司将2005年最新开发的气候控制座椅(CCS)应用到通用概念车STS- SAE 100上。安装该系统,乘客可以根据喜好自己调节座椅的温度。其可在任何气候条件下,在一年四季中的任何时候,让驾驶员和乘客单独为乘坐舒适而加热或冷却其座椅。据相关资料,该座椅耗电量低、制冷量大,只需用80W电量,就可制出150W冷量。目前,该系统已经被20多个汽车平台采用。

#### 3.2 冰水冷媒制冷系统

Swampy公司开发了一种12V的汽车空调制冷系统,通过冰水冷媒制冷,由电池提供电源。12V电源用于驱动水泵及风扇运转,通过水泵使冰水以每小时几百加仑的流量流过铜制热交换器。该系统如图8所示,上部为热交换器,下部为储冰箱使水冷却获得冰水。该系统为整体式结构的便携式系统,可以直接安放在驾驶舱内,不需考虑在发动机舱的安装。

通过热交换器,环境热量通过冰水媒质转移到



图7 座椅空调系统



图8 冰水冷媒制冷系统

储冰箱中,储冰箱中的冰融化吸热使冰水保持低温,冰水能够继续起到冷媒的作用。热交换器参数与储冰箱储冰量的参数之间经过优化,已经达到最佳比例状态。在不通风的情况下,该系统可以产生大约2.3kW的制冷量。在白天其耗冰量大约为9kg/h,而在晚上耗冰量大约为5.4kg/h。

对于该系统,汽车制造商不作为标准配置,车主根据自己的需要采用。

### 4 结论

经过以上介绍和探讨,可以总结出在未来潜在车型的电动汽车(包括纯电动汽车和混合动力车)上可以匹配的电动空调的形式。电动空调系统相对于传统空调系统具有很多优点,但是在纯电动汽车上匹配时需要注意对整车性能的影响,特别是续航里程和最高车速,不能厚此薄彼,要综合考虑,系统各部件的选用要以节能为中心。

电动汽车上的空调系统目前主要采用的是电动压缩机空调系统,但是其它形式的空调系统也有很大的发展空间。

#### 参考文献:

- [1] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光.现代电动汽车技术[M].北京:北京理工大学出版社,2002.
- [2] Gwael Guyonvarch, Christophe Aloup, etc. Electric Air Conditioning Systems (E-A/CS) for Low Emissions, Architecture, Comfort and Safety of Next Generation Vehicles. SAE2001.
- [3] 马国远,史保新,陈观生,等.电动汽车热泵空调系统的试验研究[J].低温工程,2000,(4):40-41.
- [4] 史保新,马国远,陈观生.电动车用空调装置的研究[J].流体机械,2002,(4):48-49.
- [5] 谢卓,陈江平,陈芝久.电动车热泵空调系统的设计分析[J].汽车工程,2006,(8):764.
- [6] Masaaki Kaizuka, Toshitaka Imai, etc. Development of 2005 Model Year ACCORD Hybrid. EVS21.

(编辑 文珍)