

直流供电空调机组在城市轨道交通车辆上的应用

康伟¹ 赵钧² 齐心¹ 于广禄² 陈园²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春;

2. 石家庄国祥运输设备有限公司, 050035, 石家庄)

摘要 [目的] 目前城市轨道交通车辆的空调机组普遍采用 AC 380 V 电源供电模式, 该模式下供电至用电终端需要经历 2 次电源变换, 此过程不可避免地导致部分电能的损耗。鉴于此, 应研究直流供电空调机组在城市轨道交通车辆中应用的可行性。[方法] 介绍了常规 AC 380 V 电源供电的运行方式, 对 AC 380 V 供电、DC 600 V 供电 2 种模式下的空调机组电路拓扑进行了对比, 同时对这 2 种供电模式下空调机组的内部配置进行了对比。以我国某城市轨道交通线路车辆空调机组为案例进行节能测试, 分别测试了该车型下 2 种供电模式压缩机在不同频率下的空调机组能耗指标, 并对传统异步电机风机和 EC (电子换向) 风机的能耗进行了对比分析。[结果及结论] 与 AC 380 V 供电空调机组相比, DC 600 V 供电空调机组取消了车辆上的 2 次电源转换过程, 其节能效果更为显著, 且 DC 600 V 供电空调机组压缩机在低频运转时的节能效果更为明显。与传统异步电机风机相比, EC 风机更为节能。

关键词 城市轨道交通车辆; 空调机组; 直流供电; 节能性能测试

中图分类号 U270.383

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.02.032

Application of DC Power Supply Air-conditioning Units in Urban Rail Transit Vehicles

KANG Wei¹, ZHAO Jun², QI Xin¹, YU Guanglu², CHEN Yuan²

(1. National Engineering Research Center of Railway Vehicles, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China; 2. Shijiazhuang KING Transportation Equipment Co., Ltd., 050035, Shijiazhuang, China)

Abstract [Objective] Currently, air-conditioning units in urban rail transit vehicles predominantly use an AC (alternating current) 380 V power supply mode, which requires two power conversions before reaching the end-use equipment, inevitably leading to some energy loss. Therefore, it is necessary to study the feasibility of applying DC (direct current)-powered air-conditioning units in urban rail transit vehicles. [Method] The operation mode of conventional AC 380V power supply is introduced, and a comparison is made between the circuit topolo-

gies of air-conditioning units under AC 380 V and DC 600 V power supply modes. The internal configurations of air-conditioning units in these two power supply modes are also compared. An energy-saving test is conducted using air-conditioning units of a rail transit vehicle in a Chinese city as example. Energy consumption indicators of the air-conditioning unit compressors under different frequencies for both power supply modes are tested, and a comparative analysis is performed on the energy consumption of conventional asynchronous motor fans and EC (electronically commutated) fans. [Result & Conclusion] Compared to AC 380 V-powered air-conditioning units, DC 600 V-powered units eliminate the two power conversion processes on the vehicle, achieving more significant energy saving effects. Additionally, DC 600 V-powered air-conditioning unit compressors demonstrate more pronounced energy-saving effects during low-frequency operation. Compared to conventional asynchronous motor fans, EC fans are more energy-efficient.

Key words urban rail transit vehicle; air-conditioning unit; DC power supply; energy-saving performance testing

随着压缩机变频控制、送风量调节等技术在城市轨道交通车辆空调机组中的广泛应用, 车辆空调系统在保证车内舒适性的同时, 节能性也成为衡量其产品性能的一个重要指标。目前, 上海、广州、深圳等多个城市的轨道交通新建项目均采用变频空调作为车内空气的调节设备。变频空调与定频空调的主要差异为: 变频空调采用变频压缩机, 加装压缩机用变频器, 通过改变压缩机的输入频率实现较大范围内的无级调速, 以改变压缩机的排气量, 调节制冷系统中制冷剂的循环量, 进而实现可变容量制冷循环^[1]。与定频空调相比, 变频空调在解决车辆空调热负荷变化大、客室温度波动大等问题, 以及提高客室内乘客乘坐舒适性上更具优势, 是提高城市轨道交通车辆空调系统节能性及舒适性的重要手段^[2]。

变频空调在城市轨道交通车辆上得以应用的同时,空调机组内送风机与冷凝风机的变频调节功能也逐步予以推广:①送风机的变频调节可实现车内送风量的多级调节,显著改善车内环境的舒适性^[3],在车内载客量较多时加大送风量,提高送风风速,降低人的体感温度;在车内载客量较小时可以降低送风量,在节能降耗的同时,有效减少低载荷时车内乘客普遍诟病的因“吹风感”带来的不适。②冷凝风机的变频调节可以提升空调机组对外部环境的适应性,在外界温度较高时提高冷凝风量,增强空调机组的耐高温性能;在外界温度较低或列车停站时适当减小冷凝风量,在节能的同时有效降低噪声。

1 城市轨道交通车辆空调机组供电方式

目前城市轨道交通车辆的供电方式为:通过车载辅助逆变器将 DC 1 500 V 网电隔离稳压转换为 DC 600 V,再将 DC 600 V 逆变为 3 相 AC 380 V/50 Hz 电源,然后供给空调机组。空调机组内部通过机组配置的变频器,先将 3 相 AC 380 V/50 Hz 电源整流为 DC 540 ~ 660 V 的直流电源,再转换为压缩机、送风机、冷凝风机等设备所需的电压及频率。变频压缩机的运转电压及频率须依照变频器的输出电压-输出频率曲线进行调节。以某型城市轨道交通车辆为例,该型车辆压缩机变频器的输出电压-

输出频率曲线如图 1 所示。

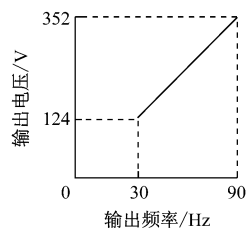


图 1 某型车辆压缩机变频器的输出电压-输出频率曲线
Fig. 1 Output voltage-output frequency curve of a vehicle compressor inverter

AC 380 V 和 DC 600 V 2 种不同的供电模式下,空调机组的电路拓扑对比如图 2 所示。

由图 2 中可以看到:空调机组采用 AC 380 V 供电时,存在 2 个能量转换环节:城市轨道交通车辆需要先通过车辆的辅助逆变器,将 DC 600 V 电源转换为 AC 380 V 电源供给空调机组,再经由空调机组内变频器,将 AC 380 V 电源整流为 DC 540 V 电源,其电路拓扑如图 2 a) 所示。空调机组直接采用 DC 600 V 供电时,其电路拓扑如图 2 b) 所示,相较 AC 380 V 供电模式,图 2 b) 减少了图 2 a) 所示的能量转换 1、能量转换 2 的 2 次能量转换。由于空调内部将 AC 380 V 整流为 DC 600 V 的效率一般为 90% ~ 95%,因此,与采用 AC 380 V 电源的空调机组相比,采用 DC 600 V 电源的空调机组至少可节能 5% ~ 10%。

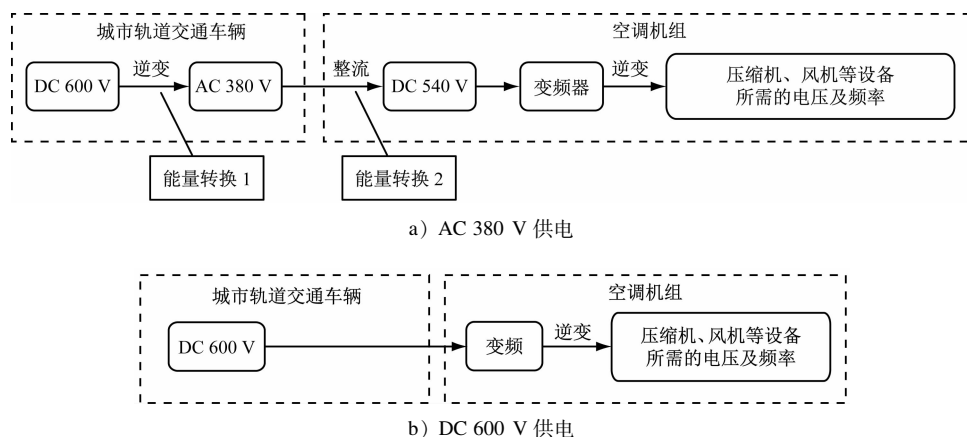


图 2 2 种供电模式下空调机组的电路拓扑对比

Fig. 2 Comparison of air-conditioning unit power supply circuit topologies under two power supply modes

2 2 种供电模式下空调机组的主要部件配置

对于常规的 AC 380 V 供电变频空调机组而

言,空调机组内的压缩机、送风机、冷凝风机等设备均需单独配置变频器,以通过不同的配置组合来实现空调机组制冷量、送风量、冷凝风量的分级调节。AC 380 V 变频空调机组内部配置如图 3 所示。

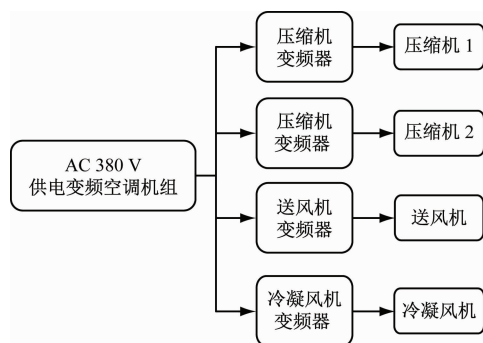


图3 AC 380 V 供电变频空调机组内部配置

Fig. 3 Internal configuration of AC 380V power supply variable frequency air-conditioning unit

空调机组内的送风机、冷凝风机除了采用变频器驱动传统异步电机、通过调压调频来控制转速外,还可以采用EC(电子换向)风机进行调速。EC风机是一种基于电子控制技术的变频风机,其驱动方式为:将直流电源馈送到EC风机内的电机中,由电机控制器精确地调整EC风机内电机的电流和转速,以实现风量、静压的精确控制。EC风机电机传动损耗小,效率高,振动小,噪声小,具有高智能、高节能的特点^[4]。与采用传统异步电机风机(功率因数一般为0.6~0.8)相比,EC风机的功率因数可达0.9及以上,节能优势明显。

空调机组采用DC 600 V供电后,可将图3中的送风机、冷凝风机优化为EC送风机、EC冷凝风机,以进一步提升设备的节能性能。DC 600 V供电变频空调机组内部配置如图4所示。

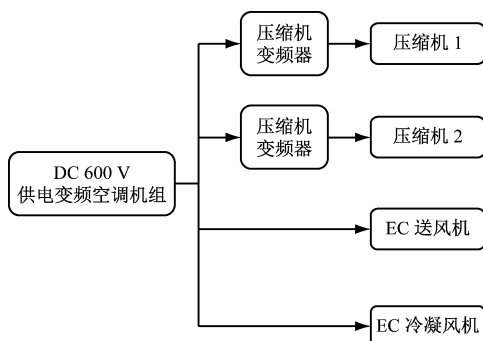


图4 DC 600 V 供电变频空调机组内部配置

Fig. 4 Internal configuration of DC 600 V power supply variable frequency air-conditioning unit

3 2种供电模式下空调机组节能性能对比试验

为了验证DC 600 V供电空调机组的节能性

能,仍以上文的车辆型号为例,制造DC 600 V供电变频空调机组并在测试车辆上安装。将该DC 600 V供电变频空调机组与原有的AC 380 V供电变频空调机组进行节能性能对比,提取相关试验数据。

试验方法为:将AC 380 V供电变频空调机组与DC 600 V供电变频空调机组置于同一实验室内,保证环境温度条件相同,送风量、冷凝风量相同。分别测试2种供电模式压缩机在不同频率下的空调机组能耗指标。2种供电模式下空调机组的能耗对比结果如图5所示。由图5可知:与AC 380 V供电变频空调机组相比,DC 600 V供电变频空调机组的节能效果显著,压缩机在低频运转时的节能效果更加明显。

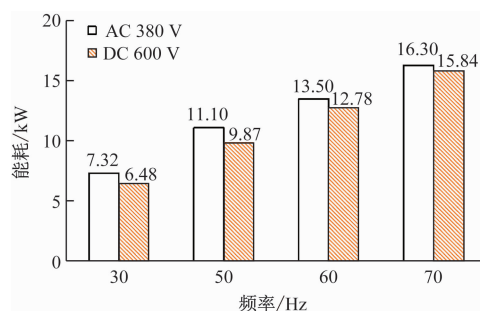


图5 2种供电模式下变频空调机组的能耗对比

Fig. 5 Comparison of energy consumption between variable frequency air-conditioning units under 2 power supply modes

在试验过程中分别测量了传统异步电机风机、EC风机的能耗,测试结果对比如图6所示。由图6可知:与传统异步电机风机相比,EC风机更节能。

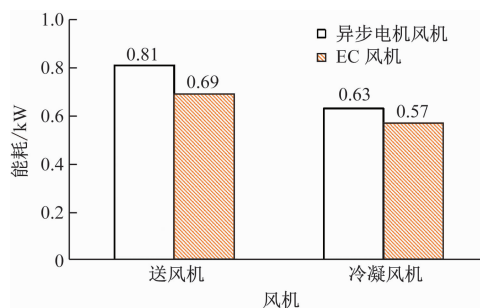


图6 传统异步电机风机、EC风机的能耗对比

Fig. 6 Comparison of energy consumption between conventional asynchronous motor fan and EC fan

以AC 380 V供电变频空调机组的能耗为参照值,进一步对DC 600 V供电变频空调机组的节能效果进行分析,得到结果如下:

1) 空调机组:压缩机频率为30 Hz、50 Hz、

60 Hz、70 Hz 时,与 AC 380 V 供电变频空调机组相比,DC 600 V 供电变频空调机组的节能幅度分别为 11.48%、11.08%、5.33%、2.82%;

2) 送风机:与 AC 380 V 供电变频空调的送风机相比,DC 600 V 供电变频空调送风机的节能幅度为 14.80%;

3) 冷凝风机:与 AC 380 V 供电变频空调的冷凝风机相比,DC 600 V 供电变频空调冷凝风机的节能幅度为 9.52%。

4 结语

本文对 DC 600 V 供电变频空调机组在城市轨道交通车辆上的应用进行了理论分析及试验验证,结论以下:

1) DC 600 V 供电变频空调机组取消了车上 2 次能量转换,具有一定的节能优势。

2) 在不同的压缩机频率下,DC 600 V 供电变频空调机组的节能效果有所不同。压缩机低频运转时,其节能效果更加明显。

3) EC 风机可实现风量的多级调节,且具有功率因数高的特点。与传统异步电机风机相比,EC 风机更具节能性。

参考文献

[1] 廖全平,李红旗. 涡旋变频压缩机[J]. 流体机械,2002,30

(2): 35.

LIAO Quanping, LI Hongqi. Scroll inverter compressor[J]. Fluid Machinery, 2002, 30(2): 35.

[2] 李剑,刘美堂,高福学. 城市轨道交通车辆变频空调系统节能及舒适性分析[J]. 城市轨道交通研究,2015,18(5): 99.

LI Jian, LIU Meitang, GAO Fuxue. Analysis of energy-saving efficiency of air-conditioning system and vehicle comfort in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(5): 99.

[3] 张丽,何昌艳. 城市轨道交通空调变风量控制对舒适性的影响研究[J]. 现代城市轨道交通,2019(6): 44.

ZHANG Li, HE Changyan. Study on effect of vent variable air volume control on ride comfort of urban rail transit air conditioning[J]. Modern Urban Transit, 2019(6): 44.

[4] 李朴桓,孙天宝,刘强,等. EC 风机在精密空调节能改造领域的应用[J]. 洁净与空调技术,2021(2): 97.

LI Puhuan, SUN Tianbao, LIU Qiang, et al. Application of EC fan in energy saving reformation of precision air conditioner[J]. Contamination Control & Air-Conditioning Technology, 2021(2): 97.

· 收稿日期:2024-08-05 修回日期:2024-09-05 出版日期:2025-02-10

Received:2024-08-05 Revised:2024-09-05 Published:2025-02-10

· 第一作者:康伟,正高级工程师,kangwei.ck@crrecg.cc

通信作者:赵钧,高级工程师,jun.zhao@guoxiang.com.cn

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 152 页)

JIA Xu, ZHAN Xue, ZHOU Xinhong. Experimental study on the seat leg cracking problem in EMU passenger compartment[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(2): 79.

[2] 成大先. 机械设计手册-第 1 卷[M]. 6 版. 北京:化学工业出版社,2016.

CHENG Daxian. Handbook of mechanical design-volume I[M]. 6th ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2016.

[3] 刘鸿文. 简明材料力学[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2008.

LIU Hongwen. Concise mechanics of materials[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2008.

[4] 刘德林,胡小春,何玉怀,等. 从失效案例探讨钢制紧固件的

氢脆问题[J]. 材料工程,2011,39(10): 78.

LIU Delin, HU Xiaochun, HE Yuhuai, et al. Hydrogen brittleness fracture of steel fasteners[J]. Journal of Materials Engineering, 2011, 39(10): 78.

· 收稿日期:2024-08-05 修回日期:2024-09-05 出版日期:2025-02-10

Received:2024-08-05 Revised:2024-09-05 Published:2025-02-10

· 第一作者:毕凯,正高级工程师,bikai.ck@crrecg.cc

通信作者:贾旭,正高级工程师,jiaxu20040902@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao.umt1998.com