

基于变频空调的直流辅助供电系统 在城市轨道交通电客车的应用和研究

王楠 黄升

苏州轨道交通集团运营一分公司车辆中心

摘要：空调在城市轨道交通电客车上是除牵引、制动系统外主要的能量消耗设备。如何更有效地提高列车用电效率、降低车重，实现节能减排，降低运营成本，一直以来是城轨电客车努力改进的方向。直流辅助供电方案是综合考虑了车辆供电结构和变频空调的各自特点后提出的一种列车空调方案。节省了几个电能转换的环节，在保证变频空调效率不变的同时，提升了供电的效率。

关键词：变频空调；节能；供电结构

一、前言

变频空调主要是通过变频器调节空调压缩机转速，可以做到“不停机运转”。相比定频空调需要反复启停（定频压缩机启动电流冲击大，启动能耗大）能够更合理使用的能源。由于空调家用开启时间不长，平均一般在2~3个小时以内，使用定频空调启停也较少，导致变频空调的节电优势得不到体现。

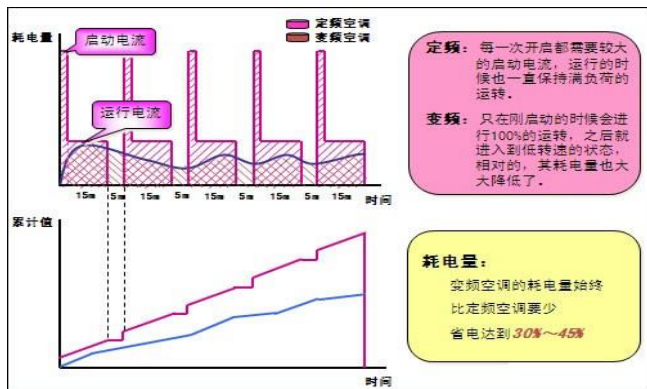


图1 定频、变频空调区别介绍

二、地铁变频空调应用情况

空调在城市轨道交通列车上是除牵引、制动系统外主要的能量消耗设备，其能耗约占列车运行能耗的30%。如何更有效地提高列车用电效率、降低车重，实现节能减排，降低运营成本，一直以来是城轨列车努力改进的方向。不同于家用空调，



图2 空调夏季制冷日负荷情况（单台空调制冷量37KW）

地铁空调平均每天运行超过12个小时，地铁空调是否有较大的节能优势呢？根据现在使用变频空调项目的反映来看，变频空调在地铁的应用也遭遇了“尴尬”。地铁空调虽然运行时间长，但是由于客流密度大、频繁上下车的原因，特别是在客流高峰时段，空调压缩机始终在全负荷工作。因此总体来看定频空调的压缩机停机次数也比较少，在一定时段、一定程度上限制了变频空调的节能优势。

三、直流辅助供电系统情况

目前，我国应用变频空调的城轨电客车主要基于原定频空调列车结构进行的改进，主流方案是在电客车的定频空调前增加了变频器控制，从而实现变频变压，提升空调的综合效率。这种方式对整车的更改较少，但是从变频空调供电结构看，由于变频结构比较烦琐，各个环节总的能量损耗大，供电的效率较定频空调来说，反而有所降低，从而制约了列车变频空调系统整体效率的提高。

直流辅助供电方案（以下简称C-LITE方案）是综合考虑了车辆供电结构和变频空调的各自特点后提出的一种列车空调方案。与原三相交流供电结构不同的是：变频空调由C-LITE方案中的空调直流电源供电，节省了几个电能转换的环节（原直-直-交-直-交变为直-直-交），在保证变频空调效率不变的同时，提升了供电的效率。同时，由于三相交流并网较直流并网过程复杂，因此也简化了供电系统及并网控制。下面是苏州地铁1号线直流辅助供电系统改造情况：

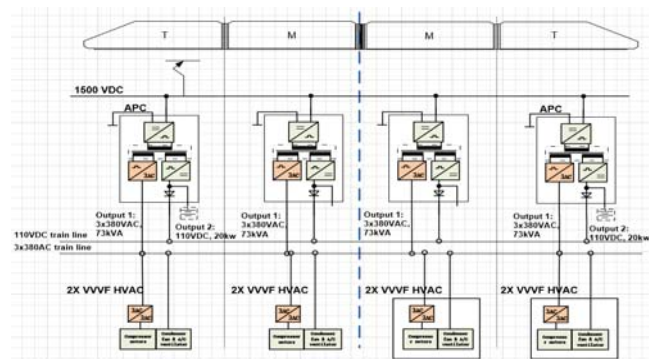


图3 原车辅助系统配置

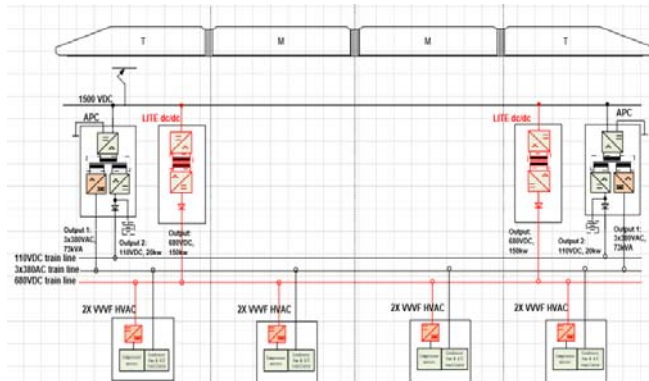


图4 C-LITE辅助系统配置

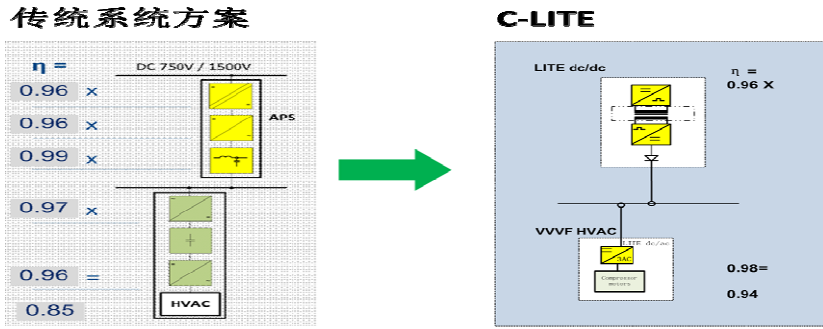


图5 C-LITE结构节能预测

列车中压使用了并网供电方式，改造前设有4台辅助逆变器，每个功率73KW，其中两个辅助逆变器带充电机模块。空调供电电源采用中压电源工频交流380V，经过在空调机组内部进行整流升压逆变输出控制变频压缩机。C-LITE方案将两个不带充电机的辅逆改为LITE单元，每个150KW，输出±340V直流电压，采用直供方式给空调机组提供DC680V直流电。相较于传统的空调系统，直流辅助供电系统的主要优势体现在以下三点：

第一，应用中频变压技术，显著减小辅助电源重量；

第二，应用直流供电结构，减少了电源系统的变流环节，节能效果明显；

第三，采用独立的供电母线，避免了传统变频空调的变频器对其他列车设备的谐波干扰；从功能上对列车供电结构进行了优化。

(一) 减重分析

改造列车为4节编组列车。原设计为每节车配置一台380VAC/73kVA的交流输出辅助电源，该电源重量为800kg（不带充电机）/880kg（带充电机）。因此辅助电源的总量为 $800 * 2 + 880 * 2 = 3360$ （kg）；此外每节车还配有4台、单台重量为20kg的空调变频器，因此空调内部的变流模块重量为 $20 * 4 * 4 = 320$ kg。故原车空调电源系统的总重为： $3360 + 320 = 3680$ （kg）。

使用直流辅助供电系统（C-LITE方案）改造后，两T车的辅助电源可替换为420kg的LITE电源；同时由于LITE电源输出为直流，也减少了空调内部变频器的变流环节，使得每台变频器的重量减为15kg。故改造后空调电源系统的总重为： $880 * 2 + 420 * 2 + 15 * 4 * 4 = 2840$ （kg）。因此使用C-LITE电源系统后，空调电源系统的整体减重为： $3680 - 2840 = 840$ （kg），6编组可减重880kg。由于整车重量减小，也将带来牵引能耗的相应减小。

(二) 节能分析

就调整整个供电而言，从接触网到进入空调系统，传统方案电源通过了逆变>变压>滤波>整流>再逆变，整体效率约为85%。而C-LITE平台系统仅逆变>变压>逆变，效率可达到94%，相比电源效率可提高约9%。由于能量转换环节的减少，C-LITE系统相比传统系统的效率而言，效率更高。电源效率的提升意味着列车能耗的减少。同时辅助电源和空调部件减少，故障率也相应会降低。

1. 辅助电源耗电量实测对比

通过TCMS能量数据计算传统方案列车辅助逆变器效率，通过安装电能表计算C-LITE列车辅助逆变器效率。电源效率计算仅与输入输出电量有关，与列车运营里程无关。通过控制对比列车使用的辅助电源输出电量相同，仅比较辅逆电源效率。实测传统方案辅助逆变器效率为81.15%，LITE电源效率为85.89%，能效提高了4.74%。

2. 空调耗电量实测对比

通过在所有空调输入端增加电表，并记录列车每天出、入库时的里程表和电表读数。设定有效里程阈值，剔除里程

数小于阈值（200km）的当天能耗记录，适用于所有的对比列车，避免列车停库、整备时长不一造成异常的空调能耗。经过实测计算，传统定频、交流变频、直流变频列车的空调综合单位能耗分别为1.134kwh/km、1.054kwh/km、0.903kwh/km，直流变频空调系统相较于传统定频空调、交流变频空调分别节能20.3%和14.3%。C-LITE整体节能达14.3%+4.74%=19.04%，高于预测节能的9%。

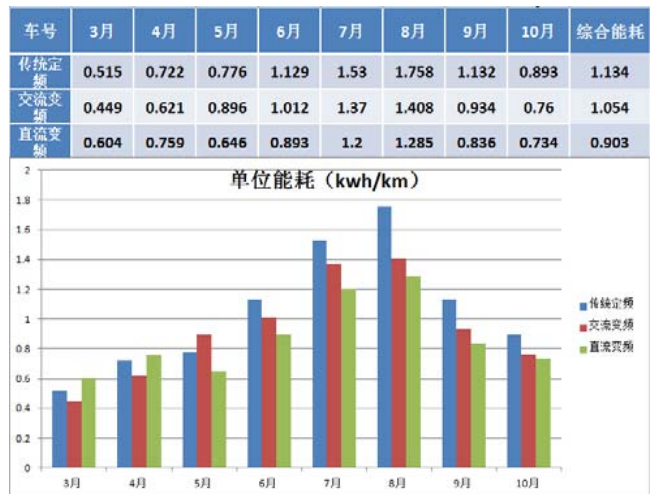


图6 各类空调春夏季能耗对比

(三) 供电结构优化

相比传统中压供电结构中主要负载有牵引系统风机、辅助系统风机、制动系统空压机以及空调负载，这其中空调负载功率最大，故障率最高。C-LITE方案增加了一条直流供电母线，将所有空调负载独立开来。首先避免了传统变频空调的变频器对其他列车设备的谐波干扰。另外，从对行车影响来看，避免了空调负载故障对整车并网供电造成影响，进而影响整车牵引、辅助、制动功能，造成更大的行车影响。

四、结论

除了上述优点外，直流变频空调性能与交流变频空调基本一致，继承了变频空调优秀的温度控制稳定性、温度控制快速响应能力以及低噪声等优点。综上所述，直流辅助供电系统进一步保证了变频空调在地铁列车使用中的节能优势，并在列车减重和供电结构优化方面也有较突出的作用。

参考文献

[1] 梁开义, 郑传海, 张振涛. 地铁车辆变频空调节能改造试验及应用前景分析[A]. 第四届全国智慧城市与轨道交通学术会议暨轨道交通学组年会论文集[C]. 2017.
 [2] 张艳萍, 毛如香, 马喜成, 杨天智, 李梁, 岳小鹤. 地铁车辆多压缩机定频空调与变频空调的比较[J]. 电力机车与城轨车辆, 2014, 37(06): 73-74.