

DC 1 500 V 直进变频空调在城市 轨道交通车辆上的应用

李宝泉 张显辉² 岳小鹤² 曹春伟¹ 唐立国¹ 张淑环¹

(1. 中车唐山机车车辆有限公司, 064099, 唐山;

2. 山东朗进科技股份有限公司, 266071, 青岛//第一作者, 教授级高级工程师)

摘要 以节能降耗为目标, 依托新一代地铁 B 型车项目, 采用 DC 1 500 V 直进变频空调对城市轨道交通车辆空调供电方式进行了优化, 并与传统空调在整车减重和节能方面进行了对比分析。结果表明, DC 1 500 V 直进变频供电方案降低了空调机组重量和能耗, 减少了列车全寿命周期成本, 将会产生良好的经济效益和社会效益。

关键词 城市轨道交通; 车辆; DC 1 500 V 直进变频空调

中图分类号 U270.38+3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.08.035

Application of DC 1 500 V Direct Frequency Conversion Air Conditioning in Urban Rail Transit Vehicles

LI Baoquan, ZHANG Xianhui, YUE Xiaohu, CAO Chunwei, TANG Litu, ZHANG Shuhuan

Abstract Aiming at energy saving and energy consumption reduction, based on the new generation B type metro train project, the power supply mode of rail transit vehicle air conditioning is optimized by adopting DC 1 500 V direct frequency conversion air conditioning, which is compared with traditional air conditioning in respects of vehicle weight reduction and energy saving. The result shows that the installation of DC 1 500 V direct frequency conversion air conditioning could reduce air conditioning unit weight, energy consumption and vehicle life circle cost, therefore has better economic and social benefits.

Key words urban rail transit; vehicle; DC 1 500 V direct frequency conversion air conditioning

First-Author's address CRCC Tangshan Locomotive and Rolling Stock Co., Ltd., 064099, Tangshan, China

目前城市轨道交通车辆供电系统主要有 DC 1 500 V 和 DC 750 V 两种供电方式。传统定速空调由 DC 1 500 V/DC 750 V 经过辅助逆变电源(SIV)进行电源转换输出三相 AC 380 V/50 Hz 给空调供

电。而早期变频空调沿用传统技术路线,需经过交-直-交电源变换后给变频压缩机等部件供电。目前变频空调技术应用已经成熟,根据变频空调的技术特点,节省或减小中间电源转换环节,由 DC 1 500 V/DC 750 V 直接供电,可以极大提升电源利用效率,降低车辆制造和运营成本。

1 DC 1 500 V 直进变频空调与 AC 380 V 变频空调供电方案对比

1.1 AC 380 V 变频空调供电方案^[1]

传统定速或变频空调的供电方式是由车辆弓网的 DC 1 500 V/DC 750 V 经过 SIV 降压变换后,输出三相 AC 380 V/50 Hz 供给空调机组,如图 1 所示。传统变频空调的电气原理是将 SIV 输出的三相 AC 380 V/50 Hz 经过整流滤波为 DC 540 V 供给变频器,变频器输出三相电压和频率可调的交流电供给压缩机和风机等负载,如图 2 所示。

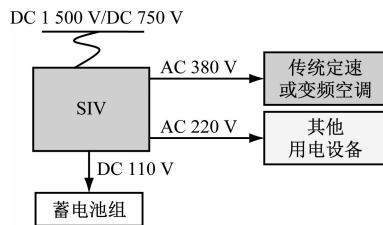


图1 传统空调供电原理图

1.2 DC 1 500 V 直进变频空调供电方案^[2]

由图3和图4可见,DC 1 500 V 直进变频空调机组直接从弓网取电,将 DC 1 500 V 降压成 DC 600 V 电压直接供给空调机组;SIV 根据其他小容量用电设备的要求进行匹配设计,因此,SIV 可以减小容量或直接取消^[3-4]。直流稳压电源与变频器安装在空调机组内部,由空调控制器统一控制,与传统供

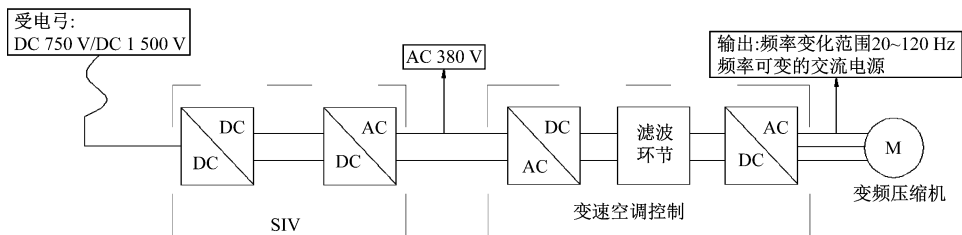


图 2 变频空调在既有车辆上应用的拓扑结构图

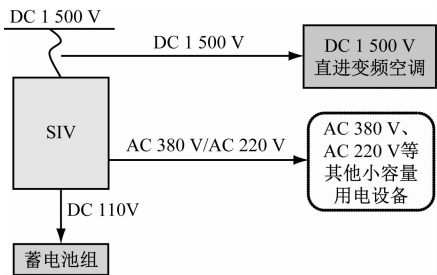


图 3 DC 1 500 V 直进变频空调供电原理图

电方式相比取消了电源变换过程中直-交-直部分，降压后直接给变频器供电。

2 DC 1 500 V 直进变频空调设计方案

2.1 DC 1 500 V 直进变频空调设计参数

DC 1 500 V 直进变频空调机(CK29/BPG-E14)外形尺寸(长×宽×高)为 3 800 mm×1 600 mm×300 mm,机组为顶置单元式,设计参数见表 1。

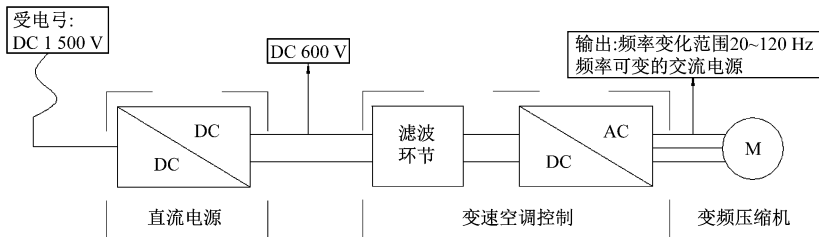


图 4 新型 DC 1 500 V 直进变频空调应用拓扑结构图

表 1 DC 1 500 V 直进变频空调机(CK29/BPG-E14)

设计参数	
项目	参数
额定制冷量/kW	≥29
额定制热量/kW	≥10
额定制冷输入功率/kW	≤12
额定制热输入功率/kW	≤9
通信方式	以太网
质量/kg	≤600
机组噪声/dB(A)	≤74
主回路	DC 1 500 V(DC 900 V~1 950 V)
控制回路	DC 110 V(DC 77 V~137.5 V)
机外静压/Pa	≥150
制冷剂	R407C
通风量/m³/h	≥4 000
新风量/m³/h	≥1 468
应急通风量/m³/h	2 000

2.2 DC 1 500 V 直进变频空调结构

DC 1 500 V 直进变频空调结构布局如图 5 所示。其空调机组分为蒸发腔,室外腔和电源腔三部分。送风方式采用底部送风,底部回风。变频器电控盒安装在回风口上部,采用混合风进行散热。

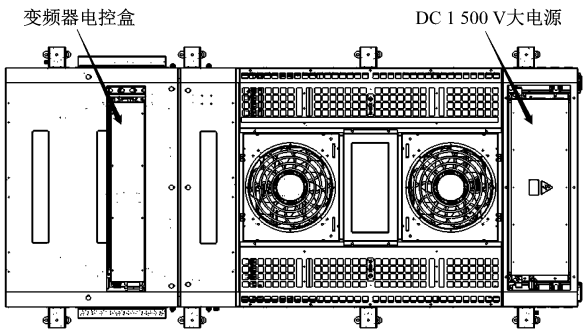


图 5 DC 1 500 V 直进变频空调结构布局图

2.3 DC 1 500 V 直进变频空调电控方案

该变频空调采用 DC 1 500 V 直进,不需要整流环节,减少了能量损失。直流稳压电源将弓网上 DC 1 500 V 电源经变压器隔离后,变换成稳定的 DC 600 V 供给变频器使用。5 个独立的变频器分别控制压缩机 1、压缩机 2、通风机、冷凝风机及电加热器运行。变频器根据空调控制器的指令,输出频率和电压可变的波形,控制相应的负载运行。

2.4 DC 1 500 V 直进变频空调系统方案

DC 1 500 V 直进变频空调系统由两套独立的

制冷回路组成。其原理图如图 6 所示。压缩机采用全封闭变频涡旋压缩机,根据需求自动调节空调机组的制冷能力,可实现制冷能力的无级调节,提高客室舒适性^[5]。制冷剂采用新型环保制冷剂

R407C。节流元件采用电子膨胀阀,可适时优化系统冷媒流量,保证任何工况下的最佳能效比输出^[6]。通过压力开关及温度传感器,检测系统运行状态,进而达到智能诊断、智能保护的目的。

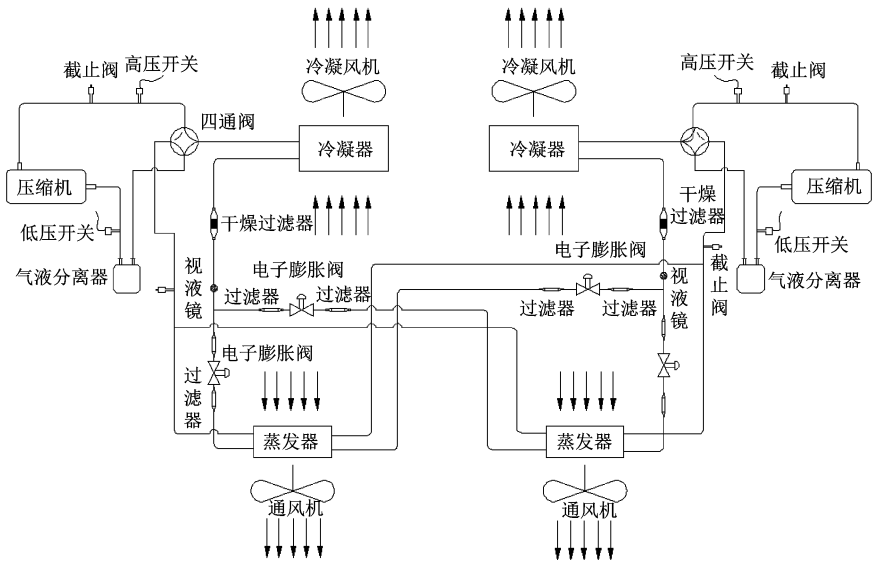


图 6 DC 1500 V 直进变频空调系统原理图

3 DC 1500 V 直进变频空调的优势

3.1 采用 DC 1500 V 直进变频空调可使整车减重

DC 1500 V 直进变频空调的紧急通风逆变器

集成在机组内部,整车取消了外置的逆变器,质量减轻;采用热泵制热,取消机组内部电加热器,机组质量进一步减轻。传统空调与 DC 1500 V 直进变频空调的减重分析如表 2 所示。

表 2 传统空调方案与 DC 1500 V 变频空调方案减重分析

部件名称	传统空调方案			DC 1500 V 变频空调方案			减重效果/kg
	单机质量/kg	数量/个	合计质量/kg	单机质量/kg	数量/个	合计质量/kg	
空调机组	680	12	8 160	600	12	7 200	960
紧急通风逆变器	43	6	258	0	0	0	258
辅助电源	1 650	2	3 300	850	2	1 700	1 600
空调控制柜	92	6	552	60	6	360	192
客室电加热器	150	6	900	104	6	624	276
车体布线	25	6	149	7	6	43	106
总质量			13 319			9 927	3 392

注:对比方案质量数据是统计大量车辆后得到的代表性数据,以整列车 6 节编组为例

空调机组节省了电源逆变及整流环节,电源在 DC/DC 降压环节同时实现隔离;壳体采用铝合金材质,优化机组结构设计,整机质量仅为 600 kg。^[7]

空调机组直接由 DC 1500 V 供电,无需 SIV 提供 AC 380 V 电源,因此 SIV 设计容量减小,体积和质量减小,利于整车设备布置及车体布线。

由表 2 可知:传统空调方案的合计质量为 13 319 kg,DC 1500 V 变频空调方案合计质量为 9 927 kg,整车总计减重近 3.4 t,减重 1.7% (整车质量约为 200 t),由此,牵引运行每公里能耗可降低

1.7%~2.0%。由文献[8]提供的数据可知,站间距为 1~2 km 时,在限速 70 km/h 下,牵引运行每公里能耗可减少 0.20 kW。

3.2 空调整体电源转换效率提高

变频空调不需要 SIV 提供 AC 380 V 电源,直接 DC 1500 V 供电,给原空调供电的功率部分不经过逆变(空调功率占 SIV 额定功率的 55% 以上),减少了此部分的功率损耗。此电源变换环节功率损耗约占整个 SIV 输入功率的 8%~10%。变频空调直接利用 DC 1500 V 电压,无需 AC 380 V 交流电

的整流环节,不需要为空调配置整流电路,因此节省了变频空调内部的整流环节的功率损失(约占空

调输入功率的 3%)^[9]。由表 3 数据可知,空调整体节能效益达 254.925 万元。

表 3 城市轨道交通车辆节能效益分析^[10]

类别	运营公里数/(km/年)	使用年限/(年)	节电量/(kW·h/km)	电价/元	总额/万元	空调运行时间
空调制热	30 000	30	1.3	0.825	96.525	约 3 个月
空调制冷	50 000	30	0.8	0.825	99.000	约 5 个月
牵引节能	120 000	30	0.2	0.825	59.400	全年

3.3 整车电源购置成本减少

传统空调采用 SIV 输出的 AC 380 V/50 Hz 的电源供电,空调负载功率占 SIV 总输出功率的 60%~80%。采用 DC 1 500 V 直接供电,SIV 设计容量减小至传统空调方案一半,辅助电源购置成本和维修成本大幅降低。

3.4 布线工艺简单

DC 1 500 V 直进变频空调系统,简化了中间控制环节,优化了车辆整体布线。原 SIV 输出经空调控制柜到空调之间的车体布线全部取消,提高了车辆的生产效率。

3.5 空调控制系统匹配进一步优化

1) 直流电源与变频模块单元由空调控制器统一控制,设备各部件参数可以更好地进行匹配、调整与兼容。

2) 直流电源输出端直接带变频器负载,变频器采用软起动;空调风机、压缩机等部件顺序变频起动,起动冲击电流小。直流电源装置在空调内部,因负载冲击电流小,电源利用效率高,电源容量设计只需匹配此台空调功率即可。

4 应用 DC 1 500 V 直进变频空调的经济效益分析

对采用 DC 1 500 V 直进变频空调的车辆空调系统 LCC(全寿命周期成本)进行分析。若按城市轨道交通车辆设计寿命为 30 年,每年运营约 12 万 km,空调运行制冷时间为 5 个月、运行制热时间为 3 个月进行计算,可带来可观的经济效益(见表 4)。

整车节能分为整车减重带来的牵引能耗降低与变频空调本身运行能耗降低两大部分。参考国内各大城市轨道交通用电电价定价标准,取平均电价为 0.825 元/(kW·h),参考变频空调在各线路统计的每公里节电量数据,在 30 年运营期间,每列车牵引系统节能实现经济效益为 59.4 万元,空调系

表 4 城市轨道交通车辆 LCC 效益分析

分类	部件	列车 6 节编组 (与 AC 380 V 供电方案对比)	
		费用增加/ 万元	费用减少/ 万元
	空调	110.0	
一次性投入成本 (采购成本)	SIV		32.0
	紧急通风逆变器		4.8
LCC 维护成本 (运营维护)	空调与 SIV	空调系统内部增加直流电源维护成本略有增加,SIV 系统功率减少一半,维护成本减少,LCC 维护成本相当。	
节能效益	空调节能		195.5
	车辆减重牵引节能		59.4

统节能实现经济效益约为 195.5 万元,整车节能经济效益为 254.9 万元。

参考文献

[1] 肖彦君,吴茂杉.城轨列车辅助供电系统的技术要求和电路选型[J].现代城市轨道交通,2004(4):27.

[2] 国家铁路局.旅客列车 DC 600 V 供电系统技术条件:TB/T 3063—2002[S].北京:中国铁道出版社,2002.

[3] 张宁云.DC 1 500 V 供电的地铁辅助电源系统的研究[D].武汉:华中科技大学,2011.

[4] 李贯颖,李敬茂,杨晓庆,等.直流变速空调机组在铁路客车上的应用[J].铁道车辆,2013,51(2):29.

[5] 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.

[6] 姚兴.变频空调器电子膨胀阀开度控制方案分析[J].制冷与空调,2016,16(7):31.

[7] 宋文强,张永利,卢明书,等.DC 700 V 直进变频空调在轨道车辆工程中的应用[J].电子质量,2017(12):44.

[8] 刘海东,毛保华,丁勇,等.城市轨道交通列车节能问题及方案研究[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(5):68.

[9] 张永利,孟胜军.轨道车辆变频空调机组在轨道交通中的节能分析[J].现代城市轨道交通,2012(6):19.

[10] 王永鏢,欧阳仲志,刘忠庆,等.城轨车辆采用变频空调的节能试验研究[J].铁道车辆,2017,55(3):5.

(收稿日期:2018-11-06)