

客车空调压缩机的对比试验与分析

胡海华¹, 齐洪磊¹, 韩经鲁¹, 朱树鹏¹, 李成宇^{1,2}

(1. 中通客车股份有限公司, 山东 聊城 252000; 2. 山东理工大学交通与车辆工程学院, 山东 淄博 255000)

摘要: 在环境模拟舱内对搭载三款国内外不同品牌压缩机的某型号客车进行空调性能测试, 以提供压缩机国产化替代的数据依据。结果表明, 国产品牌 B 与国外品牌 A 的制冷性能相当, 可满足车内热舒适性要求, 价格也更低, 推荐其替代进口。

关键词: 客车空调; 压缩机; 性能试验; 对比分析

中图分类号: U467.3

文献标志码: A

文章编号: 1006-3331(2024)06-0045-04

Comparative Test and Analysis of Bus Air Conditioner Compressors

HU Haihua¹, QI Honglei¹, HAN Jinglu¹, ZHU Shupeng¹, LI Chengyu^{1,2}

(1. Zhongtong Bus Holdings Co., Ltd., Liaocheng 252000, China;

2. School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

Abstract: In order to provide data basis for localization substitution of bus air conditioner compressors, the air conditioner performance with three different compressors at home and abroad is tested based on a bus in an environmental simulation cabin. The results indicate that the domestic compressor B has a comparable performance with the foreign compressor A, which can meet the thermal comfort requirements, and its cost is lower. So the compressor B is recommended as an alternative to compressor A.

Key words: bus air conditioner; compressor; performance test; comparative analysis

空调是维持客车内部热舒适性的关键^[1-3], 已成为客车的必选配置。压缩机作为空调系统的核心部件, 直接影响着制冷、能效及振动噪声等性能^[4-7]。传统燃油客车的压缩机通常采用开启式活塞压缩机^[8], 为避免工质泄露, 其结构设计复杂且加工要求极高。国外品牌压缩机^[8-10]虽然价格高, 但质量较为稳定, 一直占据我国客车空调的主体地位。近年来, 随着我国技术、制造能力的提升, 国产品牌压缩机发展迅速^[11-12]。寻找一款性能优良、价格便宜的客车空调压缩机来替代国外品牌产品非常必要^[13]。

本文以一款国外品牌和两款国产品牌的开启式活塞压缩机为研究对象, 基于某客车车型开展实车空调制冷性能的对比试验, 为大型客车压缩机的选型提供数据及依据。

1 样品基本参数及测点布置

用于对比试验的客车及三款四冲程开启活塞式压缩机的基本参数分别见表1和表2。表2中, A款为国外品牌, B款和C款均为国产品牌。

表1 车辆基本参数

参数	数值
车辆外形尺寸/mm	10 990×2 532×3 430
最大总质量/kg	15 000
乘员总数/位	49
最高设计时速/(km·h ⁻¹)	100
驱动方式	4×2
发动机额定功率/kW	199
发动机额定转速/(r·min ⁻¹)	2 100

收稿日期: 2024-05-31。

基金项目: 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)(2020CXGC010406)。

第一作者: 胡海华(1980—), 男, 硕士; 主要从事商用车新能源技术研究工作。E-mail: huhh@shig.com.cn。

表 2 各压缩机基本参数

参数	A 款	B 款	C 款
缸径/mm	65	65	38.5
活塞行程/mm	49	49	40
气缸数量	直列 4	直列 4	斜盘 7×2
能效系数	2.25	2.19	2.11
理论排量/(cm ³ ·r ⁻¹)	650.1	650.1	651.6
允许转速/(r·min ⁻¹)	500~3 500	500~3 000	500~4 000
质量/kg	32	31	24.8
单价/元	5 000	3 500	3 500

在车外环境、空调系统、车厢以及乘客区共布置 27 个温度测量点,全面测试空调系统性能及车内整体热舒适性,温度测量点的布置位置见表 3,座椅编号标记如图 1 所示。

表 3 温度测点布置位置

编号	传感器作用	传感器位置
1~2	环境温度 1、2	车身左侧和右侧的外侧
3~5	出风口温度 1~3	乘客区左侧最前、中间、最后空调出风口
6	车厢温度 1	车辆中心线,距离前挡风玻璃 1 m,距离地面 1 m
7	车厢温度 2	车辆中心线,车辆前后风挡玻璃间中心,距离地面 1 m
8	车厢温度 3	车辆中心线,距离后挡风玻璃 1 m,距离地面 1 m
9~14	乘客区呼吸温度 1~6	座椅编号 1~6 呼吸点
15~20	乘客区脚部温度 1~6	座椅编号 1~6 脚步点
21	回风口温度	高度方向距离回风口平面 100 mm±10 mm
22	冷凝器温度	车辆顶部冷凝器风机进风网中心
23	蒸发器芯体温度	蒸发器芯体表面
24	膨胀阀前温度	膨胀阀前管路表面
25	膨胀阀后温度	膨胀阀后管路表面
26	压缩机排气温度	粘贴在压缩机处高压管表面
27	压缩机吸气温度	粘贴在压缩机处低压管表面

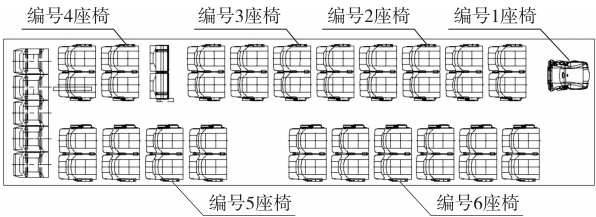


图 1 座椅编号标记

2 测试条件及步骤

如图 2 所示,将整车置于环境模拟舱中,舱内温度分别定为 38 ℃±1.0℃ 和 45 ℃±1.0℃ 两种工况。两种工况舱内其他参数设置如下:风速≤3 m/s,太阳辐射强度≥800 W/m²,环境相对湿度 50%±5%。各工况单次试验时长为 8 h。



图 2 某客车环模舱内试验照片

装置不同压缩机的客车均按照以下试验步骤实施:

- 1) 38 ℃降温测试。启动发动机,开启车辆空调系统,车速稳定在 50 km/h±2 km/h,记录各测点温度,根据编号 9~20 温度传感器的数据计算乘客区平均温度,每隔 5 min 做一次记录和计算,持续运行采样 1 h。
- 2) 45 ℃降温测试。测试方法完全同上。

3 试验结果与分析

3.1 38 ℃降温测试情况

图 3~图 5 分别为装配 A、B、C 三款压缩机的客车在 38 ℃环模舱内的相关测点温度变化情况。其中,车厢平均温度为车厢温度 1、2 和 3(编号 6~8 传感器)的平均值,乘客区平均温度为 6 个乘客区呼吸点(编号 9~14 传感器)及 6 个脚部(编号 15~20 传

传感器)的温度平均值。

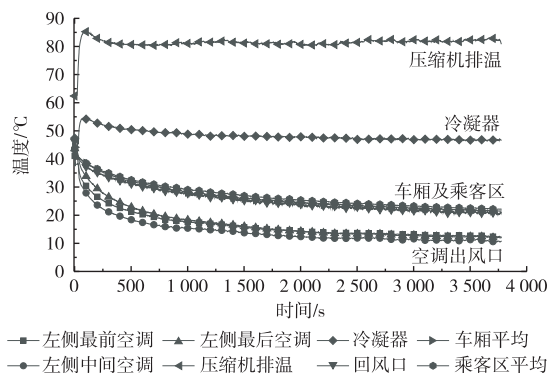


图3 搭载A款压缩机客车在38℃时温度变化曲线

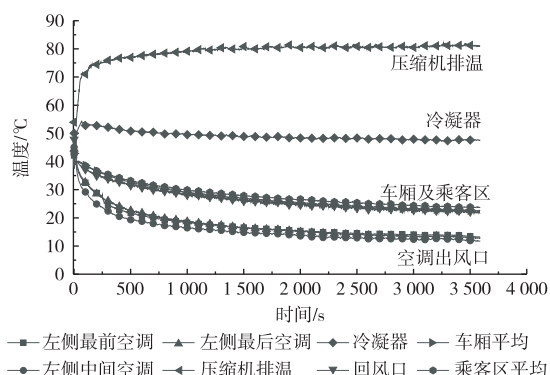


图4 搭载B款压缩机客车在38℃时温度变化曲线

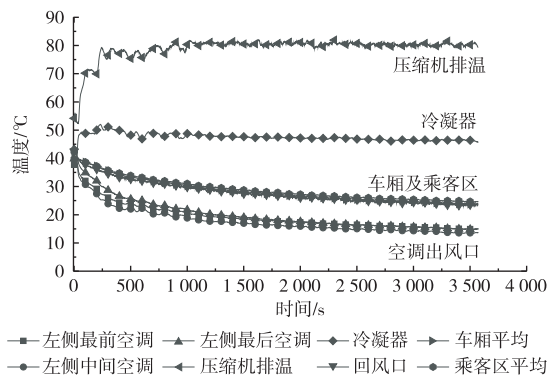


图5 搭载C款压缩机客车在38℃时温度变化曲线

1) 在空调运行初期,压缩机A的排气温度(编号26传感器)较高,随后由85℃逐渐降至80℃,最后稳定在82℃左右;冷凝器温度由53℃逐渐稳定至47℃左右;空调开启14 min左右时车厢平均温度由40℃降至30℃以下,35 min后降至25℃以下,降温速率约为0.43℃/min;乘客区平均温度与车厢平均温度差异不大;空调的出风口温度(编号3~5传感器)明显低于客车车厢温度(编号6~8传感器)和乘客区

温度(编号9~20传感器),逐渐降至12℃左右。由于风道内的热耗散及热渗透,导致前后出风温度比中部出风口温度高1.5℃左右。

2) B款和A款压缩机的性能整体较接近,但A款压缩机工作更为稳定;C款压缩机比A款和B款的出风温度更高,且压缩机工作波动较大,易引起空调出风及乘客区温度扰动。

3.2 45℃降温测试情况

图6~图8分别为装配A、B、C三款压缩机的客车在45℃环模舱内的相关测点温度变化情况。

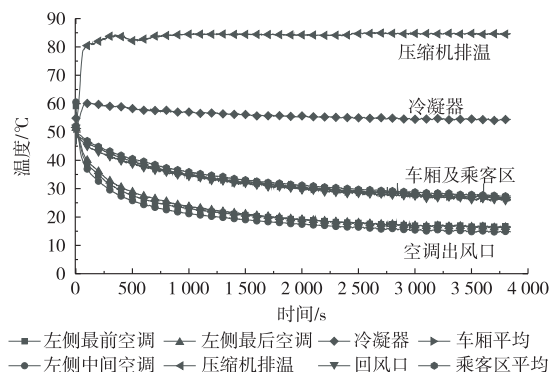


图6 搭载A款压缩机客车在45℃时温度变化曲线

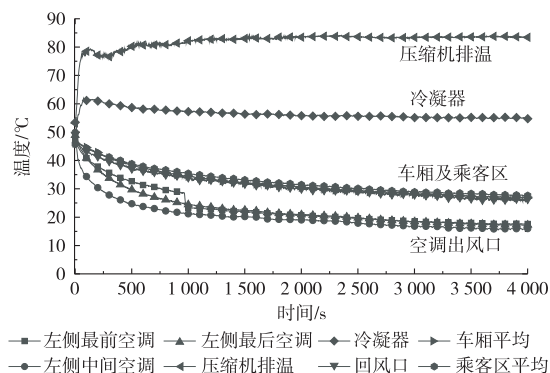


图7 搭载B款压缩机客车在45℃时温度变化曲线

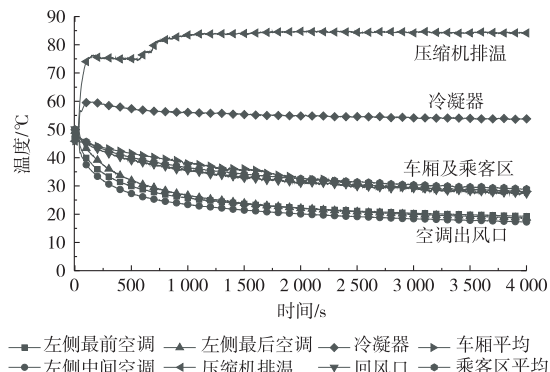


图8 搭载C款压缩机客车在45℃时温度变化曲线

1) 空调运行初期,压缩机 A 的排气温度在 82~84 ℃之间波动,最终稳定在 84.5 ℃左右;冷凝温度由运行初期的 60 ℃左右逐渐降至 54.4 ℃左右;空调开启 37 min 左右时车厢平均温度由 48 ℃降至 30 ℃以下,随后降温缓慢,60 min 后降至 27 ℃以下,降温速率约为 0.35 ℃/min。相比 38 ℃降温数据,空调的出风温度有所提高,最终降至 15 ℃左右。

2) 对比三款压缩机,A 款和 B 款压缩机在高温下的性能差异不大;C 款压缩机的冷凝器温度略低,车厢及乘客区平均温度较高,说明 C 款压缩机的工质流量偏少、制冷量略小,使其在 45 ℃环境温度下的性能衰减更为明显。

3.3 车厢温度详细对比

表 4 为空调开启 30 min 和 60 min 时车厢内部温度分布情况,其中车厢平均温度为表 3 中车厢温度 1、2、3 的平均值,乘客区平均温度为表 3 中 6 个乘客区呼吸点及 6 个脚部温度的平均值。

表 4 搭载不同压缩机的车厢内部温度

环境 温度/ ℃	时间/ min	压缩机 型号	车厢内部温度/℃					
			回风 口	车厢 前	车厢 中	车厢 后	车厢 平均	乘客区 平均
38	30	A	24.21	24.48	25.25	24.97	24.64	26.01
		B	25.54	25.13	26.71	25.81	25.88	26.89
		C	26.96	27.24	28.64	27.86	27.91	28.51
	60	A	20.86	21.01	22.31	21.86	21.73	22.53
		B	21.77	22.45	23.11	22.89	22.81	23.82
		C	23.58	23.52	24.56	23.91	24.00	24.80
45	30	A	30.53	31.04	32.55	30.91	31.50	31.80
		B	30.68	31.23	32.24	30.94	31.47	32.32
		C	33.08	33.27	38.06	36.07	35.80	34.39
	60	A	25.08	25.98	26.32	25.69	25.99	26.71
		B	26.37	27.45	27.91	27.47	27.61	28.29
		C	28.46	28.44	29.46	28.62	28.84	30.07

1) 环境温度 38 ℃下,压缩机 A、B、C 在 30 min 时车厢平均温度分别为 24.64 ℃、25.88 ℃和 27.91℃,乘客区平均温度分别为 26.01 ℃、26.89 ℃和 28.51 ℃;在 60 min 时,车厢平均温度分别为 21.73 ℃、22.81 ℃和 24.00 ℃,乘客区平均温度分别

为 22.53 ℃、23.82 ℃和 24.80 ℃。

2) 环境温度 45 ℃下,压缩机 A、B、C 在 30 min 时车厢平均温度分别为 31.50 ℃、31.47 ℃和 35.80 ℃,乘客区平均温度分别为 31.8 ℃、32.32 ℃和 34.39 ℃;在 60 min 时,车厢温度分别为 25.99 ℃、27.61 ℃和 28.84 ℃,乘客区平均温度分别为 26.71 ℃、28.29 ℃和 30.07 ℃。

3) 对比三款压缩机,其车厢温度均值差异和乘客区温度均值差异都在 3 ℃以内,特别是 A 款和 B 款,差异在 2 ℃以内,说明 A 款和 B 款的性能十分接近。依据车厢和乘客区的平均温度不高于 28 ℃的设计参照^[14],A 款和 B 款压缩机符合全工况要求,C 款压缩机在 45 ℃环境温度下可能导致舒适性变差。另外,三款压缩机的两种工况的车厢中部温度都略高,原因为回风口引起部分出风短路,从而降低了中部区域冷量的利用率。

4 结束语

本文在环境模拟舱内测试了装配三款不同品牌压缩机的客车空调性能。结果表明,国产品牌 B 与国外品牌 A 在高低环温下性能相似,运行 1 h 均可满足车厢 28 ℃的热舒适性要求,能效数据也接近,且单台成本能降低约 1 500 元,具有较好的替代性。国产品牌 C 在高温环境下性能相对较差,替代会影响热舒适性。综合考虑,推荐国产的 B 款压缩机替代进口的 A 款压缩机。

参考文献:

[1] 桓晓锋,南晓峰,白永超. 客车空调系统对客车舒适度的影响分析[J]. 客车技术与研究,2012,34(3):28-30.

[2] 方晓南. 汽车空调制冷舒适性的对比试验及评价[J]. 汽车实用技术,2022,47(6):86-89.

[3] 林飞跃. 城市客车热舒适性空调系统结构改进[J]. 客车技术与研究,2019,41(3):25-27.

[4] 陈浩. 大型电动客车热泵空调系统设计与实验研究[D]. 郑州:中原工学院,2016.

[5] 覃京翎. 某汽车空调压缩机振动噪声原因与控制分析[J]. 内燃机与配件,2021(14):155-156.

顶盖密封性的研究设计具有积极的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 全国汽车标准化技术委员会. 客车防雨密封性限值及试验方法:QC/T 476—2007[S]. 北京:中国计划出版社,2008:1-5.
- [2] 全国汽车标准化技术委员会. 客车防雨密封性试验方法. GB/T 12480—1990[S]. 北京:中国标准出版社,1990:2-10.
- [3] 中国科学院计算机语言信息工程研究中心. 汉英汽车技术词典[M]. 北京:人民交通出版社,2004:100-108.
- [4] 刘开春. 客车车身设计[M]. 北京:机械工业出版社,2012:54-70.
- [5] 黄金陵. 汽车车身设计[M]. 北京:机械工业出版社,2007:30-42.
- [6] 孙凌玉. 车身结构轻量化设计理论、方法与工程实践[M]. 北京:国防工业出版社,2011:65-68.
- [7] 德国 BOSCH 公司. 汽车工程手册:第2版[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005:281-299.
- [8] 刘永博,王微,詹国臣,等. 客车车身结构精细化设计[J]. 客车技术与研究,2023,45(4):35-39.
- [9] 吕晓龙,梁爽. 客车车身骨架轻量化材料与轻量化设计[J]. 客车技术与研究,2022,44(6):41-44.
- [10] 陆永飞. 铝舱门纯胶粘工艺研究[J]. 客车技术与研究,2022,44(3):50-52.
- [11] 宋树森. 客车铝舱门用双组分粘接胶研究[J]. 客车技术与研究,2022,44(3):53-55.
- [12] 周月,宋树森. 客车顶棚 PP 板胶粘研究[J]. 客车技术与研究,2023,45(3):48-51.
- [6] 黄磊,夏博雯,谭亮红,等. 商用空调压缩机的噪声特性测试与控制[J]. 噪声与振动控制,2015,35(1):191-194.
- [7] 赵二庆. 现代汽车空调压缩机工作性能与制冷作用试验研究[J]. 内燃机与配件,2023(14):97-99.
- [8] 王作函. 博客在中国仍将走高端品牌之路——大排量 FK50 系列客车空调压缩机登陆中国[J]. 商用汽车,2009(3):113-114.
- [9] 冯飏. 制造公交喜爱的客车空调压缩机——比泽尔·中国[J]. 城市公共交通,2014(9):5-6.
- [10] 何静梅. GEA 博客:客车空调压缩机完美解决方案[J]. 人民公交,2014(9):102-103.
- [11] 李永惠. 国产制冷压缩机对比[J]. 化学工程与装备,2014(2):171-173.
- [12] 刘颖,邬志敏,吴俊云,等. 滚动转子式压缩机国产化性能研究[J]. 流体机械,2005(11):1-4.
- [13] 方金湘. 客车空调压缩机国产化实用性研制[J]. 制冷与空调(四川),2014(2):215-218.
- [14] 梁晓娟,王瑞金. 客车空调舒适性评价指标分析[C]//制冷空调新技术进展——第四届全国制冷空调新技术研讨会论文集,2006:529-531.

(上接第48页)