

城市轨道交通

广州地铁3号线北延线车辆客室 温度偏高问题分析

赵仁龙, 江现昌

(广州市地下铁道总公司, 广东 广州 510310)

摘 要: 结合广州地铁3号线北延线车辆空调及通风系统存在的客室温度偏高问题, 通过一系列试验和分析, 提出了针对性的改进方案, 为后续地铁车辆空调及通风系统项目采购提供技术支持, 以提高地铁车辆环境舒适性及运营服务质量。

关键词: 地铁车辆; 空调系统; 客室温度; 通风系统; 改进措施; 广州地铁3号线

中图分类号: U231; U270.38+3 文献标识码: B
文章编号: 1000-128X(2014)03-0083-03

1 问题的提出

广州地铁3号线北延长线(简称“广3北线”)自开通运营以来, 逐渐呈现客流量大、集中、快速增长的特点。随着客流量不断攀高, 在早、晚高峰期, 特别是夏季气温较高时期, 客室出现送风“短路”、短时温度急剧升高现象, 致使客室闷热, 影响地铁乘坐的舒适度。

2 原因分析

通过与车辆供应商多次联合调查, 正线测试试验, 分析造成列车客室闷热原因如下:

①空调系统控制曲线不精确, 空调压缩机的启、停控制时间设置不合理。出于对压缩机频繁启动方面的保护, 导致停机再次启动存在一定的时间间隔, 当客室温度急剧上升时, 压缩机不能立即启动。

②客流量过大, 影响客室气流的流动。由于高峰期客流量过大及频繁开关门影响, 导致客室新风不能有效地向下传递, 甚至出现客室新风直接从回风口流出造成送回风“短路”、热传递效率较低等现象, 严重影响客室温度及空调控制的准确性。

③空调风道设计不合理, 在乘客车门附近存在盲区, 造成局部温度偏高。

④空调机组送风量不足。

3 调查及改进

3.1 空调系统制冷量合理性计算分析

目前, 广3北线每节车均采用2台41 kW空调机组对列车进行制冷。为验证设计选择的空调机组是否满足

列车使用要求, 进行以下计算分析。

1) 空调装置有效制冷量 Q

地铁车辆空调装置有效制冷量用来平衡车内热负荷及新风热负荷, 其计算公式如下:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

式中: Q ——地面条件的车内冷负荷;

Q_1 ——通过车体隔热壁的传热量;

Q_2 ——进入车内的太阳辐射热量;

Q_3 ——车内旅客的散热量;

Q_4 ——车内机电设备的散热量;

Q_5 ——新风带来的热负荷。

以B车隧道条件(广3北线为全地下隧道线路)为例来进行计算, A、C车计算过程省略, 只给出计算结果进行分析。

在隧道条件下, 太阳辐射热 $Q_2' = 0$ 。

2) 通过B车体隔热壁的传热量 Q_1

根据TB/T 1957—1991《铁路空调客车热工计算方法》, 计算公式如下:

$$Q_1 = K \cdot F \cdot \Delta t_{AB}$$

式中: F ——车体传热面积, 取 198 m^2 ;

K ——车辆平均传热系数, 取 $2.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$;

Δt_{AB} ——车内外温差。

隧道条件下, $Q_1' = 2.4 \times 198 \times (38 - 26) = 5702 \text{ W}$

3) B车内旅客的散热量 Q_3

车内定员按AW2载荷241人计算。根据行业标准TB/T 1951—1987《客车空调设计参数》, 车内温度 26°C 时, 成年旅客的显热散热量为 69.8 W/人 , 潜热散热量为 46.5 W/人 , 群集系数取0.955, 则:

$$Q_3 = 0.955 \cdot n \cdot q$$

式中: n ——车内定员;

q ——平均每人散发的热量, W

隧道条件下系数为

$$Q_3' = 0.955 \times 241 \times (69.8 + 46.5) = 26767 \text{ W}$$

4) B车内机电设备散热量 Q_4

车内主要散热的机电设备为照明散热和电气屏柜散热。

$$Q_{\text{灯}} = 1.2 N_{\text{灯}}; N_{\text{灯}} = 28 \times 36 \text{ W} = 1008 \text{ W},$$

$$Q_4 = Q_{\text{灯}} + Q_{\text{柜}}; Q_{\text{灯}} = 1.2 \times 1008 \text{ W} = 1209.6 \text{ W}$$

客室内电气屏柜、空调电气柜散热量取 500 W 。

隧道条件下, $Q_4' = Q_{\text{灯}} + Q_{\text{柜}} = 1209.6 + 500 = 1709.6 \text{ W}$

5) B车新风带来的热负荷 Q_5

新风热负荷计算公式: $Q_5 = V_w \cdot \rho / 3600 \cdot (i_e - i_l)$

式中: 新风体积流量 $V_w = 2600 \text{ m}^3/\text{h}$; 空气密度 ρ 取 1.145 kg/m^3 。隧道条件下, 在干球温度 38°C 、相对湿度 67% 时, 车外空气焓值 $i_e = 111.43 \text{ kJ/kg}$; 在干球温度 26°C 、相对湿度 58% 时, 车内空气焓值 $i_l = 57.17 \text{ kJ/kg}$ 。

$$Q_5 = 2600 \times 1.145 / 3600 \times (111.43 - 57.17) = 44.873 \text{ kW}$$

=44 873 W

6) 隧道条件下B车的制冷负荷 Q_A'

$Q_A' = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' + Q_5' = (5702 + 0 + 26767 + 1709.6 + 44873) \text{ W} = 79\ 052 \text{ W}$

7) A车、C车隧道条件的制冷负荷

同理, 可计算出A、C车隧道条件下的制冷负荷分别为77 910 W、79 052 W。

根据隧道条件A、B、C车的制冷负荷计算结果证实, 广州3号增购线车辆夏季空调制冷量需求最大约为79 052 W。即便考虑到广州日照时间长, 高温天气较多等情况, 每节车采用2台额定制冷量为41 kW的空调机组, 理论上讲可以满足车辆空调制冷的需求。

3.2 调整空调控制曲线法分析

空调控制曲线是通过温度传感器检测外部温度为基础, 在充分考虑人体舒适性情况下, 经过分析计算得出客室应达到的目标温度数学模型。但是不可否认, 实际控制中, 许多控制对象的曲线不是绝对精准的, 尽管通过计算获取, 但当外部设备因素或输入方式改变使之干扰的形式发生变化时, 通过计算获得的数学模型又可能变得不精确, 而空调的温度曲线正是属于这种。此时, 设计者尽量以实际情况为准, 通过计算给出相对合理的温度控制曲线, 并且这种控制曲线往往随着空调使用而需要逐步完善。

①广3北线列车空调系统原始模型为UIC553曲线, 目标温度设定如下:

当外界环境温度 $T_{\text{ext}} < 19^\circ\text{C}$ 时, 温度设定值为

$$T_{\text{ic}} = 22^\circ\text{C}$$

当环境温度 $T_{\text{ext}} > 19^\circ\text{C}$ 时, 温度设定值为

$$T_{\text{ic}} = 22^\circ\text{C} + 0.25(T_{\text{ex}} - 19^\circ\text{C}) \quad (\text{原始曲线})$$

空调使用过程中, 发现仍然存在车厢温度偏高的问题。

②为解决以上问题, 尝试修改原始曲线的基准温度, 将温度设定值整体下降 2°C :

当外界环境温度 $T_{\text{ext}} < 19^\circ\text{C}$ 时, 温度设定值为

$$T_{\text{ic}} = 20^\circ\text{C}$$

当环境温度 $T_{\text{ext}} > 19^\circ\text{C}$ 时, 温度设定值为

$$T_{\text{ic}} = 20^\circ\text{C} + 0.25(T_{\text{ex}} - 19^\circ\text{C}) \quad (\text{第1次修改})$$

经过1年的跟踪使用, 发现仍然存在车厢温度偏高问题。笔者认为, 仅仅通过降低 2°C , 当夏天隧道温度较高时, 客室目标温度较高, 同样可能导致某些时间客室温度偏高。

针对以上情况, 再次尝试修改空调控制曲线, 修改控制曲线斜率延缓温度上升速度:

温度设定值

$$T_{\text{ic}} = 22^\circ\text{C} + 0.25 \times (T_{\text{ext}} - 19^\circ\text{C}) - 0.2 \times (T_{\text{ext}} - 15^\circ\text{C})$$

广州夏季高温天气多、气温偏高, 在充分考虑乘客舒适性情况下, 客室目标温度应尽量保持较小的增幅, 从而避免客室温度随外界温度升高而明显提高。

温度控制曲线见图1。

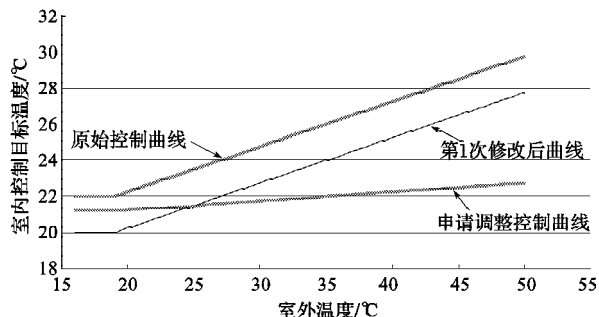


图1 温度控制曲线对比图

3.3 优化风道分配箱

地铁运营期间, 门区附近上下车方便, 此区域乘客聚集较多, 因此, 在此区域适当地增加送风量, 能有效提高乘客的舒适性, 避免送风死角问题, 车辆出风均匀性还能进一步改进。分配箱位于机组两端, 靠近门区(见图2), 其下部客室内的空气流动主要来自周围送风口的气流扩散, 因而分配箱下方区域的气流速度偏低。

通过对分配箱内部导流板结构及底板结构改进加孔, 使分配箱下方能够出风(图3), 达到提高分配箱下方区域的空气流速及流量, 同时补充地铁车辆频繁开关门引起的冷空气流失, 进而改善车门附近闷热的问题, 有效提高门区附近乘客的舒适性。

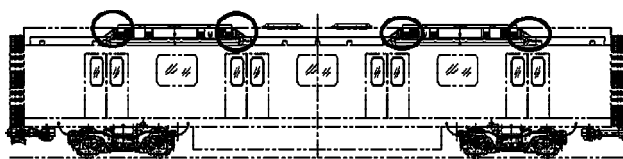


图2 分配箱位置

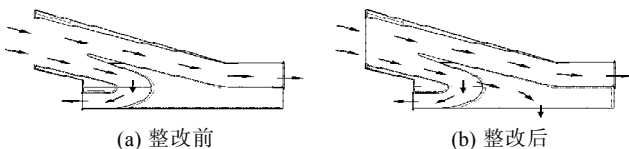


图3 分配箱整改前后截面及气流图对比

3.4 送风格栅问题分析

广3北线列车空调机组位于列车顶部, 送风通道位于客室上方左右两侧, 风从客室上方的送风通道流出, 经送风格栅把风梳理形成发散风(图4)。因客室4个回风口均位于送风通道中间, 非常容易导致送、回风短路(冷空气未能充分下沉即从回风口流出), 使得回风温度传感器检测到温度比客室内平均温度低。即客室实际温度未达到温度设定值时, 空调机组制冷便停止。这是造成车厢内实际温度偏高的原因之一。

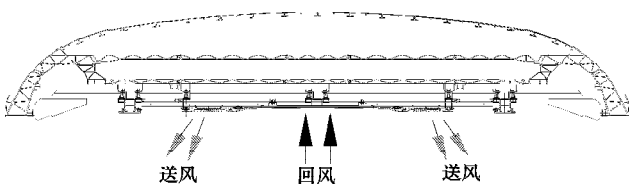


图4 送风格栅断面示意图

整改建议: 考虑到客室回风口处易引起送风短路, 建议对回风口处出风格栅进行改造, 即封堵回风口侧的半边格栅, 引导风朝着背离回风口方向流动(图5)。该方案减少了回风口的送风量, 规避了增加送风量而带来局部短路的风险, 改善了车内的气流循环。同时, 回风温度传感器检测也将更加准确地反应客室温度, 从而更准确地控制车厢内温度, 降低了送、回风短路而导致的压缩机频繁启停的影响。

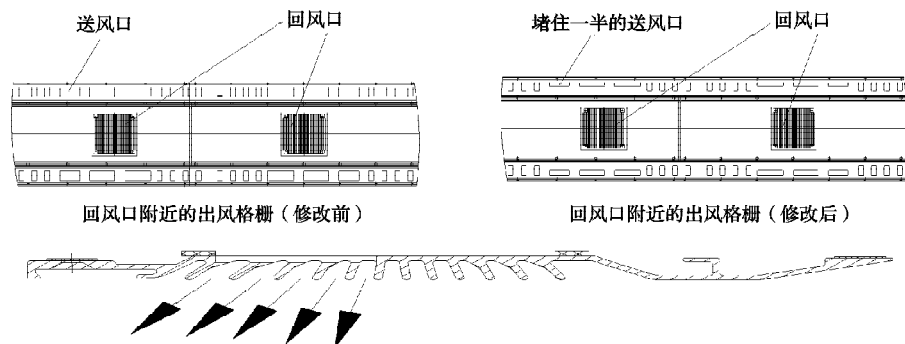


图5 改进后格栅出风口示意图

3.5 风量整改方案

广3北线列车使用的送风机采用双蜗壳离心风机, 测试03B045车总风量约为8 200 m³/h。分析客室送风量偏少冷空气流速较低, 加之人多拥挤是产生客室闷热的原因之一。

地铁车辆客室闷热问题, 不但受客室温度影响, 还受到客室风量的影响。但送风量多少才能使人感觉到舒适, 这是一个难以衡量的标准。因为人体的舒适性受多方面因素影响, 例如受温差骤然变化、风量大小、风速大小、个体抗寒情况等影响。而地铁车辆客室风量大小由空调送风机决定。2011年8月底地铁方面选定一列被多次投诉过热车辆(03045)进行风量测试, 03A045/03B045/03C045车的风量分别为8 600 m³/h、8 300 m³/h、8 100 m³/h。随后对03B045车更换了风量更大

的送风机, 测试送风量试验结果超过9 000 m³/h。随后对该车送风量的使用进行跟踪, 在2年使用过程中投诉客室闷热情况已完全消失, 新送风机跟踪使用效果良好。试验结果证明客室送风风速增加, 对降低客室内人员的闷热感有一定作用。

4 结语

根据地铁运营之初乘客多次反映车厢闷热的问题,

经过广州地铁与供应商多次联合调查分析, 提出文中的4项解决方案, 并逐步在广3北线实施, 随后车厢闷热投诉问题逐渐减少。直至2013年底, 广3北线列车空调系统未接到任何投诉。实践证明, 文中提出的改造为空调制冷效果的改善发挥关键作用。本方案及试验旨在为广州地铁3号线增购项目及其他地铁项目空

调制造与选型提供技术支持, 为乘客提供良好舒适的车厢环境。

参考文献:

- [1] 南车株洲电力机车有限公司. 广州3号线北延段工程车辆空调及通风系统技术规格书[S]. 株洲: 南车株洲电力机车有限公司, 2010.
- [2] 顾松彬. 深圳地铁车辆空调通风量和制冷量的初步计算[J]. 铁道机车车辆, 2000(5).
- [3] 易柯. 地铁车厢内回风方式数值仿真分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2012(2).
- [4] 刘洋. 地铁车辆风道系统出风均匀性设计[J]. 电力机车与城轨车辆, 2011(1).
- [5] 易柯. 地铁车辆空调系统气流组织数值计算与分析[J]. 城市轨道交通研究, 2009(11).

(上接第82页)

通过换装试验, 确认异响在车钩关节轴承部位, 并且橡胶轴承的更换有利于车钩异响问题的缓解。为此, 经主机厂、车钩厂家和检修基地集体会议决定, 对217车和219车除头车车钩以外所有端面进行橡胶轴承的更换。

结果显示整体更换橡胶轴承的217与219次列车车钩异响明显降低, 达到了乘客的舒适性需求, 且性能较为稳定。故为了从根本上解决车钩异响问题, 下一步计划实施对所有运营车辆车钩缓装置尾部关节轴承的更换作业(将所有端面的金属轴承更换为橡胶轴承)。

3 结语

经对异响车钩拆卸试验及后期换装对比试验确认

车钩异响部位为关节轴承, 整车试验结果表明更换橡胶轴承对车钩异响起到了明显的缓解作用。为解决天津地铁2号线车辆车钩异响问题, 经商定于近期开展所有车次车辆橡胶轴承更换作业。对于更换后车辆车钩的工作状态需密切关注。

参考文献:

- [1] 张振森. 城市轨道交通车辆[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.
- [2] 青岛四方车辆研究所. 天津地铁2号线半永久车钩拆解分析报告[R]. 青岛: 青岛四方车辆研究所, 2012.
- [3] 大连机车车辆有限公司. 天津地铁二号线电动客车维护手册—车钩缓冲装置[M]. 大连: 大连机车车辆有限公司, 2011.

