

# 轨道交通车辆空调系统智能控制技术研究

尹莉娟

北京市地铁运营有限公司 北京 100044

**摘要:** 当今全球前沿科技创新呈现迅猛发展趋势,以智能化和信息化为核心特征的新一轮科技革命和产业变革孕育兴起,人工智能、大数据、物联网技术与轨道交通装备不断深度融合。作为智能高铁中智能装备的重要组成部分,智能动车组通过对列车状态、运行环境信息广泛感知、融合处理,在智能行车、智能控制、智能运维和智能服务等方面提升智能化水平。  
**关键词:** 轨道交通车辆;智能控制;空调系统;故障诊断

## 一、硬件设计

### 1. 变频控制空调机组设计

变频技术通过控制压缩机工作频率控制制冷量的输出,在提升车辆乘坐舒适性及增大定员等要求的同时,避免压缩机频繁启动,节约能耗。空调机组通过变频压缩机、机组内增加2台变频器,每台变频器各控制1台压缩机、电子膨胀阀实现客室内温度的精细化控制。空调变频部件布置如图1所示。在结构布局方面,将变频器等电子部件放于回风口,利用回风降温,保证电子部件散热良好,同时避免受雨水等外界因素影响。对空调机组内主要部件压缩机等进行冗余设计。机组设有2个压缩机变频器,若1个变频器或1台压缩机发生故障,另一台压缩机将进入超频工作模式,以最大限度保持制冷能力(约70%);如空调控制器发生故障,机组可通过硬线控制实现手动全冷/半冷、全暖/半暖。变频压缩机设7级制冷,可实现制冷量的精确输出,能耗降低,实现节能<sup>[1]</sup>。

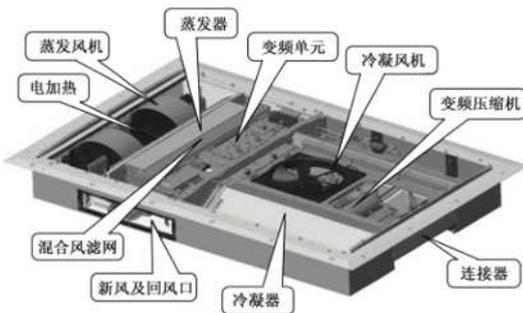


图1 空调变频部件布置

### 2. 空气净化装置设计

本研究在空调机组内增加空气净化装置,用于处理室外空气中含有的甲醛、TVOC、PM2.5等有害物质。空气净化装置利用特殊波长的光等离子管发出的超低频率电能,产生大量的高能量光等离子团,这些离子可以有效地破坏污染物,并将有机物等进行分解,从而起到净化空气的作用。空调控制器提供空气净化控制装置信号,控制空气净化装置工作或停机;空气净化控制装置可将空气净化装置的故障信息反馈给空调控制器,便于故障查询。采用等离子体空气净化技术,降低客室内甲醛及TVOC含量。空气净化装置采用光等离子管结构,空气净化原理如图2所示<sup>[2]</sup>。

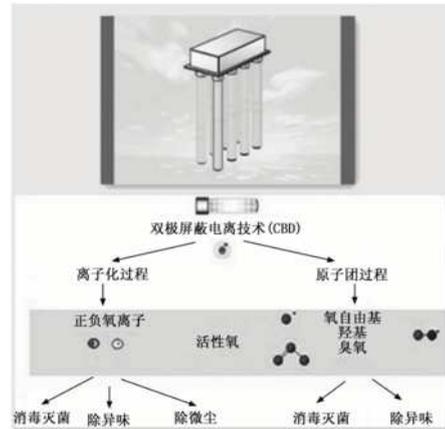


图2 空气净化原理图

### 3. 车内压力保护控制系统设计

智能控制空调系统采用被动式车内压力保护系统。列车高速进入隧道或会车时,安装在头车的压力波传感器检测到车外的压力波动信号后传递给压力波控制器,压力波控制器发出压力保护动作指令,从而起到压力保护作用。主要由压力波传感器、压力保护装置监控单元、压力保护阀等组成。压力波传感器头尾车近司机室两侧各一个,压力保护装置监控单元安装于车辆配电柜内,空调机组中设新风压力保护阀和废排压力保护阀。压力保护阀是压力保护系统中的执行机构。当车外压力变化超过设定要求时,压力保护装置监控单元驱动压力保护阀动作,在压力波产生影响的瞬间将车内外空气通路关闭,从而保证客室内气压的相对稳定。为实现客室及司机室内的压力控制,每辆端车安装1台压力波控制装置,用于检测压力波动,并发出压力波保护信号,控制新风口及废排风口的压力波阀关闭。压力保护系统组成如图3所示<sup>[3]</sup>。

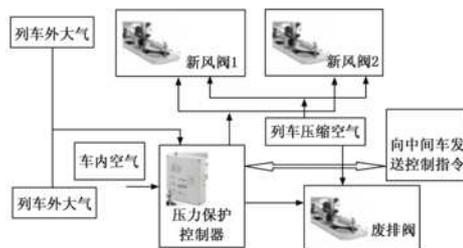


图3 压力保护系统组成

为提高车辆乘坐舒适度,避免列车压力波动对乘客造成不适,在既有车内压力保护系统基础上,增加ATP隧道信号自动获取。利用ATP信号精确获取线路隧道信息,通过网络发送给压力波保护装置,执行“隧道模式”,隧道前300m关闭压力保护阀,车内压力波动由 $\leq 500\text{Pa}/1\text{s}$ 降至 $\leq 300\text{Pa}/1\text{s}$ 。

#### 4. 风道系统设计

风道系统包括送风道、回风道以及废排风道。车顶送风采用侧顶隐形式送风;回风口设在车窗上部,通过回风道与机组回风口相连;废排通过侧墙下部排风道送入车下废排装置、卫生间废气通过废排风道直接排至车外。当空调机组运转时,外部新风通过机组两侧新风口吸入,与来自客室的回风在空调混合箱内混合后送入空调机组内,经空调处理后,通过送风风机送入送风道,并通过送风口送到客室内,通过台处由送风支风道提供送风。客室回风通过各回风口收集并经过回风道被吸入到空调混合箱内,混合箱将回风与新风混合后送入到空调机组进行处理,从而实现对车内温度、湿度等环境参数的控制。车辆空调风道系统布置如图4所示。空调系统通过新风格栅对新风进行初级过滤,并通过设置在机组内的混合风过滤网对混合后的空气进行二次过滤。为提高客室内空气质量,应对高铁沿线存在的雾霾、沙尘天气,将空调滤网过滤等级由G3级提高至F5级。空调滤网过滤等级提高通过更换滤料实现,滤网框可与既有空调通用<sup>[4]</sup>。

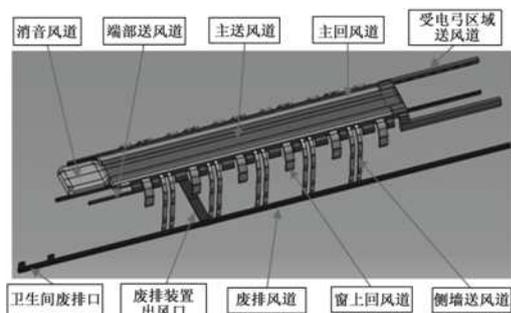


图4 车辆空调风道系统布置

#### 5. 客室内温湿度控制设计

为提高车内环境舒适度,本研究增加客室湿度传感器,控制客室内温湿度在适宜范围内。在压缩机启动时开启电加热,从而将客室内湿度控制在65%以下。空调制冷工作时,车厢内的温度和湿度超过设定值时,开启压缩机进行除湿;当客室内温度达到设定目标温度后,压缩机会停机,当车外湿度较大,将导致车厢内湿度超标。空调增加除湿功能后,空调控制器可根据客室内湿度传感器采集的湿度值自动与目标湿度值进行比较,当车厢内的湿度超过设定值(温度达到或低于设定值),则开启压缩机和电加热进行除湿模式运行,蒸发风机低速运转,使用电加热补偿客室内的热量,直至湿度达到设定值后退出除湿模式。进入除湿模式时,电加热器和压缩机同时工作,蒸发风机以低速运转。电加热器的投入工作是为了提升制冷运行档位,以便提高机组的除湿能力。<sup>[5]</sup>

#### 6. 空调控制柜设计

空调控制柜采用一体化交流柜设计方案,每辆车配置1台,采用以太网通讯方式,设触摸屏。除了客室空调控制功能,头尾车的控制柜还具有司机室空调和压力波控制功能。空调系统的控制元件均集成在客室空调控制柜中,空调控制柜以空调控制器为核心,配合断路器、接触器、继电器、传感器等元件,自动完成空调装置的控制、保护、故障诊断和故障记录功能,使空调系统工作在预冷、预热、通风、制冷、加热、除湿、紧急通风等模式,调节客室内的舒适度,同时也具有以太网通讯接口,可与列车网络通讯,实现指令和信息的交换。控制柜控制本车的空调机组、废排装置等。头尾车的客室空调控制柜带有司机室空调控制功能。空调控制器具有以太网接口,每辆车的空调控制器通过以太网相连,在端车的空调控制器上可以进行整列车空调系统数据交互、故障下载等。

#### 二、测试验证变频空调

##### 1. 测试车辆

选取智能地铁组2车跟踪测试。测试时车辆运行,空调工作。

##### 2. 测试方法

空调机组设定为“自动”模式,空调控制系统根据空调机组内新风温度传感器采集的新风温度,自动确定目标温度值。空调控制器接收客室内回风温度传感器采集温度,与目标温度值进行比较,自动控制压缩机运行频率,控制客室内温度。车厢内的湿度传感器检测客室内湿度值,并与相对湿度设定值进行比较,自动控制压缩机运行频率,控制客室内湿度。

##### 3. 测试结论

变频空调温湿度调节性能良好,客室内温度维持在 $21 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ,客室内温度波动范围在目标值的 $-1 \sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 内;客室内相对湿度维持在44%~65%。

#### 三、结束语

在轨道交通空调系统综合分析基础上,对高速列车空调系统智能控制技术硬件设计、测试验证进行了详细论述。结果表明,空调系统智能控制在综合经济性、环境舒适性及检修方便等均有提升。满足对轨道交通车辆设备的智能化发展推动的需求。

#### 参考文献:

- [1]刘长青.京张高铁智能动车组关键技术研究与应用[J].中国铁路,2019(9):9-13.
- [2]康伟,崔军胜,王绅宇.轨道交通车辆空调系统智能控制与大数据应用[J].城市轨道交通研究,2020(4):134-136.
- [3]吴永深,李玉奎,马英华.PHM技术在轨道车辆空调中的应用研究[J].技术与市场,2020(10)30-32
- [4]梁建英.高速列车智能诊断与故障预测技术研究[J].北京交通大学学报,2019(1)63-70
- [5]李平,邵赛,薛蕊,等.国外铁路数字化与智能化发展趋势研究[J].中国铁路,2019(2):25-31