

文章编号: 1671-6612 (2021) 03-377-05

# 用于干燥地区的无动力汽车空调的研究

屈元<sup>1</sup> 黄翔<sup>1</sup> 严延廷<sup>2</sup> 李济尧<sup>3</sup> 韩伟娟<sup>1</sup> 王冲<sup>1</sup>

(1. 西安工程大学 西安 710048; 2. 南京天加环境科技有限公司 南京 210046;  
3. 深圳市英维克科技股份有限公司 深圳 518110)

**【摘要】** 新冠病毒在人群密集且封闭的汽车中能够快速传播,且确诊人数随空气温度和湿度的降低而升高,因此传统汽车空调不利于传染疾病的防控。无动力汽车空调利用汽车行驶中空气的相对运动产生的动能形成送风气流,利用喷管引射原理使超声波雾化水与空气混合实现对空气的降温效果,其车内送风温度和湿度比传统空调的高。同时该装置采用的全新风直流式运行模式能有效避免污染物滞留从而减少感染。研究还表明,该装置能降低汽车空调投资和运行能耗,避免氯氟烃类制冷剂对环境的影响。

**【关键词】** 汽车空调; 新冠病毒; 蒸发冷却; 引射; 节能  
中图分类号 G710 文献标识码 A

## Research on an Energy-saving Bus Air Conditioners Used in Dry Areas

Qu Yuan<sup>1</sup> Huang Xiang<sup>1</sup> Yan Yanting<sup>2</sup> Li Jiyao<sup>3</sup> Han Weijuan<sup>1</sup> Wang Chong<sup>1</sup>

(1.Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048; 2.Nanjing TICA Air-Conditioning Co., Ltd, Nanjing, 210046;  
3.Shenzhen Envicool Technology Co., Ltd, Shenzhen, 518110)

**【Abstract】** The new coronavirus can spread rapidly among people in enclosed vehicles. Some researches revealed that the number of confirmed cases increased with the decrease of air temperature and relative humidity. Therefore, traditional bus air conditioners could not prevent the spread of the disease. The kinetic energy generated by the relative movement of the air while the bus is moving pushes the air go into the air conditioner and then mix with water mist which is ejected from a Ultrasonic atomizer. After that the air is cooled and supplied to the bus. The air supply temperature and relative humidity are higher than the supply air's from traditional bus air conditioners. The direct primary air conditioning system can effectively avoid the retention of pollutants and reduce infection. The study also shows that the device can reduce the investment and operating energy consumption of automobile air-conditioning, and avoid the impact of chlorofluorocarbon refrigerants on the environment.

**【Keywords】** automotive air conditioning; coronavirus; evaporative cooling; ejection; energy saving

基金项目: 国家自然科学基金 (51676145); “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFC0700404)

作者(通讯作者)简介: 屈元 (1974-), 女, 硕士, 副教授, E-mail: 1318117890@qq.com

收稿日期: 2020-10-12

## 0 引言

2019 年 12 月中国中部地区特大城市, 历来被称为“九省通衢”之地, 中国内陆最大的水陆空交通枢纽——武汉出现了新型冠状病毒肺炎疫情 (2020 年 2 月 11 日, 世卫组织将这种疾病命名为 2019 年冠状病毒, COVID-19<sup>[1]</sup>)。根据武汉市卫生

健康委员会通报, 截至 2020 年 1 月 19 日 22 时, 武汉市累计报告新型冠状病毒感染的肺炎病例 198 例<sup>[2]</sup>。此时临近中国农历新年, 中国人口最大规模的流动已经开始。在 2020 年 1 月 23 日武汉市所有离汉通道暂时关闭<sup>[3]</sup>之前估计有超过 500 万人离开武汉<sup>[4]</sup>。2020 年 1 月 21 日起国家卫健委开

始进行全国范围内疫情通报。截至 1 月 20 日 24 时,除湖北省外,有 3 个省、市共出现 21 例确诊病例。截至 1 月 31 日 24 时,31 个省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团报告累计报告确诊病例 11791 例<sup>[5]</sup>。以上数据表明病毒在潜伏期通过人员流动蔓延到全国。

经呼吸道飞沫传播和接触传播是新型冠状病毒的主要传播途径,病毒感染者是主要传染源。与感染者直接或间接近距离接触后,97.5%的被感染者会在 11.5 天内出现症状<sup>[6]</sup>。2020 年 1 月自武汉发出至全国报告出现 COVID-19 确诊病例城市的长途汽车、火车和飞机的频率与这些城市日累计病例数之间呈现正相关关系,而武汉到其他城市的距离与 COVID-19 病例数成负相关关系,并且相关性随时间推移越来越高并在 2 月 1 日后保持稳定。公共交通工具中,汽车发车频次最高,行驶距离最短,其相关性最高<sup>[7]</sup>。该研究表明新型冠状病毒在环境封闭、人群密集的汽车中得到快速传播。

## 1 传统汽车空调存在的问题

世界卫生组织(WHO)发布的防止病毒传播的措施包括保持安全社交距离、拦截咳嗽和打喷嚏时排出的液滴、定时清洁和消毒、保持手部卫生和使用个人防护设备等。然而在长途客车上很难完全做到以上几点。此时通入新风能提高空气中污染物的清除速度,降低传染风险。

新风进入客车有两种途径:通过车窗进入或通过空调、通风设备进入。客车行驶中开窗通风会造成较大风阻且强烈的吹风感会引起车窗附近乘客的不适。汽车空调通常设计为制冷剂直接膨胀封闭式系统。该系统无新风引入,车厢内的空气循环使用并通过空调风道输送到整个车厢,造成交叉感染。对此应避免使用回风,采用全新风运行模式。

传统汽车空调夏季送风湿度和温度都比较低。冬季由于没有加湿,车厢内空气干燥,甚至引起静电。有研究表明,新型冠状病毒的传播与空气温度和湿度有关。随着空气干球温度和相对湿度的提高,COVID-19 确诊人数和病死人数都下降;反之,确诊人数和病死人数都提高<sup>[8-10]</sup>。这是由于常规制冷剂制冷对空气进行除湿后,低湿度条件下呼吸道中纤毛对病毒颗粒的去除能力减弱,气道细胞损伤修复能力降低,免疫防御系统失效造成的<sup>[11]</sup>。

## 2 新风降温装置的设计原理

蒸发冷却技术通过空气和水之间的热湿交换在夏季对空气实现降温、加湿和净化作用,冬季可对空气进行加湿处理。由于采用水作为制冷剂,夏季送风温度和湿度均高于传统制冷空调的送风参数。全新风直流式运行模式不仅能缩短空气龄,迅速排除污染物,还能有效降低气溶胶传播病毒风险<sup>[12,13]</sup>。此外,该技术能减少温室气体排放、节约能源、安装快捷、经济性较传统空调有明显优势<sup>[14]</sup>。

基于蒸发冷却原理的汽车新风降温装置采用超声波雾化技术替代传统的湿膜加湿来实现空气的降温加湿过程。空气输送则利用空气与汽车相对运动时产生的动能,通过喷射器结构实现气体动能和压能的转换,在不增加动力设备的基础上通过结构设计实现增速降压和减速增压的目的,达到节省输送能耗的目的。

图 1 是该新风降温装置的结构原理图。客车行驶中空调进风口始终迎着来流方向,空气进入喷管后膨胀增速,在喷管出口的混合室内形成负压,将水雾发生器内的水雾不断吸入混合室。空气在混合室中与水雾直接接触,水吸热蒸发成为水蒸气进入空气中,空气被降温加湿,然后进入扩压管减速增压。空气中夹带的水滴经过扩压管末端的挡水板时被拦截,减少了送风过水量。空调送风进入车厢内部吸热并稀释空气中的污染物然后通过排风机排出。

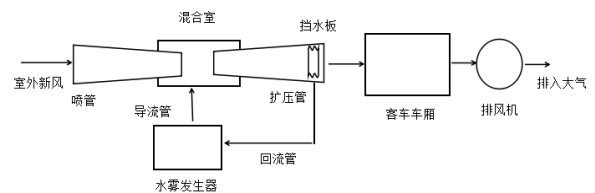


图 1 汽车蒸发冷却新风降温装置的结构原理图

Fig.1 Structural schematic diagram of automobile evaporative cooling fresh air cooling device

## 3 新风降温装置设计及实验验证

### 3.1 夏季送风参数和处理过程

根据《汽车用空调器》(GB/T 21361-2017)确定空调系统进口空气参数和车厢内空气设计参数。该国家推荐标准适用于乘用车、客车和货车等各种类型的汽车空调。标准规定的夏季实验名义工况见表 1,其中环境湿球温度无人规定。文献[15]将空

调室外设计湿球温度 18℃~21℃ 的区间划分为干燥较热区。因此取车外计算湿球温度为 21℃。冷却效率是蒸发冷却空调机组性能评价的重要标准, 直接蒸发冷却效率由公式 (1) 确定。按冷却效率为 90% 计算该装置夏季送风参数, 计算结果如表 1 所示。

表 1 夏季汽车空调实验名义工况及设计送风参数

Table 1 Summer operating condition parameters and design parameters of automobile air conditioner

试验条件	实验名义参数		设计送风参数	
	车外空气干球温度/℃	车内空气干球温度/℃	干球温度/℃	相对湿度/%
制冷工况	35	27	22.4	87.2

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{1s}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $t_1$  为蒸发冷却空调进口空气干球温度, ℃;  $t_2$  为蒸发冷却空调出口空气干球温度, ℃;  $t_{1s}$  为蒸发冷却空调进口空气湿球温度, ℃;  $\eta$  为湿球效率, %。

夏季新风处理过程见图 2。图中 W 点表示车厢外空气状态。新风经蒸发冷却降温处理后达到状态 O。过 O 点做车厢内空气热湿比线  $\epsilon$ , 该线与车厢内设计温度  $t_N$  的等温线相交于 N 点, 此为车厢内空气状态点。经计算, 车内空气相对湿度  $\phi_N=65\%$  满足民用空调设计相对湿度不大于 70% 的设计要求。送风温差  $\Delta t=t_N-t_0=4.6\text{℃}$ , 符合舒适性空调规范要求。

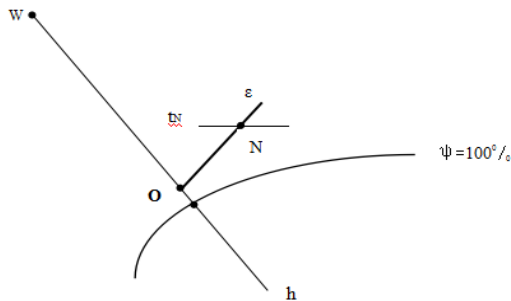


图 2 新风处理过程焓湿图

Fig.2 Enthalpy diagram of fresh air treatment process

W—夏季车厢外空调设计状态点; O—新风经蒸发冷却降温处理后达到的状态点, 即送风状态点; N—车厢内空气状态点

以 50 座空调客车为设计对象计算车内热湿负荷并按公式 (2) 计算送风量  $q_m$  (kg/s)。

$$q_m = \frac{Q}{h_N - h_O} \quad (2)$$

式中:  $Q$  为车厢内余热量, kW;  $h_N$  为车厢内空气的比焓, kJ/kg;  $h_O$  为送风状态空气的比焓, kJ/kg。

蒸发冷却降温处理过程加湿量  $W$  (kg/s) 根据公式 (3) 计算。

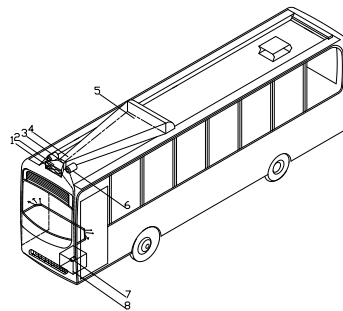
$$W = q_m(d_O - d_w) \quad (3)$$

式中:  $W$  为加湿量, kg/s;  $d_N$  为车厢内空气的含湿量, kJ/kg;  $d_O$  为送风状态空气的含湿量, kJ/kg。

### 3.2 喷射器结构设计

在汽车行驶速度 40km/h 条件下考虑进口过滤网影响取进口风速为 10m/s。空气喷射器主要由喷管、混合室和扩压管组成。根据客车外型尺寸及行驶中车体重心应尽量低的安全需求, 喷管进口截面设计为 700mm 宽 × 250mm 高的矩形以降低装置高度。渐缩管锥角取 45°, 沿着气流方向其当量直径逐渐减小, 出口截面为边长 250mm 的正方形以减小摩擦阻力。渐缩管后依次接喉管、混合室和扩压管。喉管为等径管, 长度取 5cm。为避免连接处管道截面突变造成流动损失和压力突然变化, 设计时混合室和扩压管锥角均为 10°, 扩压管出口截面为宽 1700mm, 高 400mm 的矩形。以上各处接口内径保持一致。喷射器总长度为 4.14m。

根据加湿量设计一个储水箱和两个雾化水箱, 其中储水箱供客车空调两小时使用, 配给电压 12V, 功率 20W, 最大扬程 6m, 流量 12L/min 小型水泵一台。雾化水箱与喷射器同高, 形状为半圆头流线型圆柱体结构, 每个水箱底部安装 4 个功率为 200W 的雾化器。喷射器、雾化装置和储水箱的装配方式如图 3 所示。



1-过滤网; 2-喷管; 3-喉管; 4-混合室; 5-扩压管;

2-6-雾化水箱; 7-水泵; 8-储水箱

图 3 蒸发冷却新风降温装置装配图

**Fig.3 Assembly drawing of evaporative cooling fresh air cooling device**

### 3.3 风系统设计

采用机械制冷的汽车空调夏季送风有两种模式：内循环模式和混合模式。内循环模式没有新风引入，车厢内空气经降温减湿后循环使用。混合模式指引入部分新风（约占总风量 10%）与车厢内空气混合后进入蒸发器处理然后送出。蒸发器处理后送风温差一般在 12℃~15℃之间。按 27℃设计参数计算，送风温度在 15℃~12℃之间，远远偏离人体舒适温度范围。

本设计汽车新风降温装置安装在车顶，总风道设置在汽车中部，冷风从主风道分流到车顶两侧的支风道里，然后从送风口吹出。排风窗选中悬式矩形天窗，置于汽车后门处顶部中间位置。气流组织为上送风上排风。本设计采用全新风直流式，大风量小温差送风，空气龄短，空气品质好，车厢内平均风速 0.35m/s，能满足人体对车厢内空气卫生和舒适性的需求。

### 3.4 实验验证

本新风降温实验装置由喷射器、超声波加湿器、风机和引射管组成。其中喷射器进口为渐缩喷管，出口处接喉管，喉管后接混合管和扩压管。喉管处接引射管，引射管另一端接在超声波喷雾加湿器出雾口。风机设置在喷管进风口。风机出口处设加热器以调节进风温度。实验台主要部件及测试仪器参数见表 2。实验期间模拟环境温度在 33℃~37℃之间，湿球温度在 21℃~23℃之间。夏季室外工况 1 对应空气干球温度 33.4℃，湿球温度 21.0℃；工况 2 对应空气干球温度 36.9℃，湿球温度 22.9℃。三档风速分别为 2.5m/s，3.5m/s 和 5.0m/s。两种工况下空气温降和进口风速关系如图 4 所示。实验表明空气温降随进口风速降低而增大，最大达到 12.4℃。在工况 1 条件下，风速为 5m/s 时，温降为 7.5℃，说明该装置在进口风速小于 5m/s 时（对应汽车行驶速度 18km/h）仍能有效引射水雾，在汽车低速行驶条件下达到通风降温目的。

表 2 实验台主要部件及测试仪器明细

Table 2 Details of the main components and test instruments

序号	名称	规格	数量
1	超声波加湿器	最大雾化量 250ml/h，功率 23W	1 台
2	风扇	144m <sup>3</sup> /h，功率 25W	1 台
3	喷射器	进口 Φ90×2mm，出口 Φ130×2mm	1 台
4	引射管	Φ10×1mm	1 根
5	温湿度计	温度精度±0.5℃，湿度精度±3%	1 台
6	风速仪	风速测量误差±5%	1 台

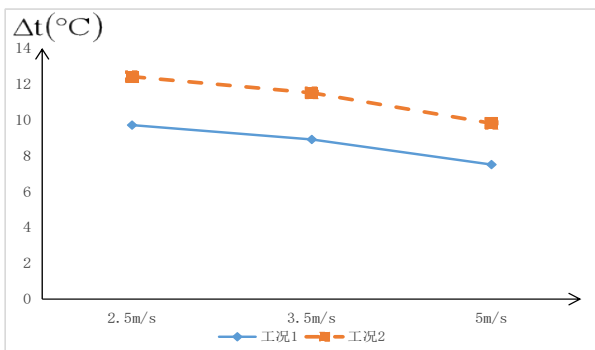


图 4 两种工况下进口风速对空气温降的影响

Fig.4 Influence of inlet air velocity on air temperature drop under two working conditions

### 4 经济性分析

传统机械制冷汽车空调装置主要由压缩机、冷凝器、蒸发器、节流装置、储液罐、干燥器、液体管路、气体管路、风机等组成。与其相比，本新风降温装置在空气喷射器、雾化罐、储水箱、水泵、雾化器、软化装置和水管上的初投资小于机械制冷空调的费用。

以 50 座空调汽车为设计对象，以湖南岳阳某公司生产的 KQZD18 型整体顶置式汽车空调为参照与本设计汽车空调运行能耗进行比较，如表 3 所示。从表中可知本设计新型汽车空调每小时节省燃料 2.15L。

表 3 新型汽车空调与 KQZD18 型汽车空调能耗比较

Table 3 Comparison of energy consumption between new type automobile air conditioner and KQZD18 automobile air conditioner

供冷系统	适用车型	压缩机功率 /kW	水泵功率 /kW	雾化器功率 /kW	软化器 /kW	总功率 /kW	功率折合燃料消耗量 /L/h	节省燃料量 /L/h
机械制冷	30-40 座	8.5	0	0	0	8.5	2.68	0
新型系统	50 座	0	0.02	1.6	0.06	1.68	0.53	2.15

注: 每 1kW 功率折合燃料消耗 0.315L/h。

## 5 结论

本设计采用蒸发冷却技术实现了一种无动力直流式全新风的降温方式。它不仅解决了干燥地区传统机械制冷汽车空调高能耗和高排放的能源和环境问题, 还采用大风量小温差的送风方式, 缩短空气龄, 提高车厢内空气品质, 有效降低疾病传播, 改善了舒适性。

## 参考文献:

- [1] [https://www.sohu.com/a/373089347\\_727964](https://www.sohu.com/a/373089347_727964)
- [2] <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/202001/a5f1aec0660f4cd3a70518b6258fd15f.shtml>
- [3] <http://finance.ifeng.com/c/7tUbSW25KYy>
- [4] First F. Mayor of Wuhan: more than 5 million people left Wuhan Jan 26  
<http://news.sina.com.cn/2020-01-26/doc-iihnzakh6472836.shtml>; 2020.
- [5] <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/202002/84faf71e096446fdb1ae44939ba5c528.shtml>
- [6] Lauer Stephen A, Grantz Kyra H, Bi Qifang, et al. The Incubation Period of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) From Publicly Reported Confirmed Cases: Estimation and Application[J]. *Annals of internal medicine*, 2020.
- [7] Ruizhi Zheng, Yu Xu, Weiqing Wang, et al. Spatial transmission of COVID-19 via public and private transportation in China[J]. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 2020.
- [8] Hongchao Qi, Shuang Xiao, Runye Shi, et al. COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: A time-series analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2020.
- [9] Yu Wu, Wenzhan Jing, Jue Liu, et al. Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries[J]. *Science of the Total Environment*, 2020,729.
- [10] Ma Yueling, Zhao Yadong, Liu Jiangtao, et al. Effects of temperature variation and humidity on the death of COVID-19 in Wuhan, China[J]. *Science of The Total Environment*, 2020.
- [11] Kudo Eriko, Song Eric, Yockey Laura J, et al. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019,116(22):10905-10910.
- [12] 黄翔, 贺红霞, 褚俊杰. 干燥地区传染病医院的空调设计与应用[J]. *纺织高校基础科学学报*, 2020,33(1):7-14.
- [13] 杜芳莉, 沈关炳, 翁磊超, 等. 基于混合动力的节能环保客车空调系统的研究[J]. *制冷与空调*, 2020,34(4):473-476.
- [14] 宋祥龙, 黄翔, 薛运. 蒸发冷却式节能净化空调机组应用于西安某商场的经济性分析[J]. *制冷与空调*, 2014,28(6):681-686.
- [15] 张玉东, 宣永梅, 黄翔. 蒸发冷却适应性分区进展研究[J]. *制冷与空调*, 2013,27(1):33-38,51.