

突发疫情防控中公共汽车交通运营管理应对策略

刘海平, 肖尧

(南京市城市与交通规划设计研究院股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 自新型冠状病毒肺炎爆发以来, 对城市公共交通领域产生了史无前例的挑战。公共汽车交通作为城市公共交通的重要组成部分, 在疫情防控期间, 既要持续地为城市居民提供保障性出行服务, 又要有效地控制病毒传播的风险。在研究室内病毒通过飞沫在空气中的传播机理基础上, 分析公共汽车车内病毒传播的主要影响因素。结合公共汽车运营管理特征指标, 确定公共汽车交通在疫情防控过程中的7项具体控制指标。最后, 重点针对疫情恢复期的公共汽车交通, 从降低车内易感人群数量、防止出现车内感染者、缩短车内暴露时间和优化通风条件等方面提出应对策略。

关键词: 公共汽车; 运营管理; 新冠肺炎; 病毒传播; 疫情防控; 应对策略

Bus Operation and Management During Epidemic Control and Prevention

Liu Haiping, Xiao Yao

(Nanjing Institute of City & Transport Planning Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: Since the outbreak of the Coronavirus Disease 2019, the urban public transportation service has encountered unprecedented challenges. As an important part of urban public transportation, bus service must not only provide necessary travel services for urban residents continuously, but also effectively control crowd to minimize the virus transmission during the epidemic. By learning the indoor virus transmission through the droplets in the air, this paper analyzes the main influencing factors of virus transmission inside bus. Based on the characteristics of bus operation and management, the paper identifies seven control indicators for bus service during epidemic control and prevention. Finally, the paper proposes the bus service management during the recovery period of epidemic in several aspects: reducing the number of susceptible people on the bus, preventing the occurrence of infected passengers on the bus, shortening the exposure time on the bus, and improving bus ventilation.

Keywords: bus service; operation and management; COVID-19; virus transmission; epidemic control and prevention; response strategies

收稿日期: 2020-03-04

作者简介: 刘海平(1992—), 男, 江苏南京人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 交通规划与管理。E-mail: 854555141@qq.com

自2019年12月以来, 新型冠状病毒肺炎(以下简称“新冠肺炎”)以惊人的速度扩散蔓延, 抗击疫情已成为一场全民参与的防疫战。新冠肺炎属于一种急性感染性肺炎, 具有人传人的能力, 主要通过飞沫和接触传播, 这对城市客运交通产生了巨大挑战。在所有客运交通方式中, 公共交通具有客流聚集、环境复杂的特点, 是一种具有较高病毒传播风险的客运交通方式。公共汽车交通作为城市公共交通的重要组成部分, 在疫情防控期间, 无论在保障城市基本出行需求方面, 还是在支持城市经济发展方面, 都承担着不可或缺的角色。面对突发疫情, 公共汽

车交通如何应对已引起政府和市民的高度重视, 而在应对策略方面国内外理论研究缺乏, 尤其在疫情恢复期间, 难以有效地指导城市公共汽车交通有序恢复并保障疫情防控工作顺利开展。因此, 本文从病毒传播机理入手, 分析公共汽车车内病毒传播的主要影响因素, 找出公共汽车交通在疫情防控过程中的具体控制指标, 有针对性地提出应对策略。

1 新冠肺炎病毒传播机理

根据目前研究, 新冠肺炎主要的传播途

径包括呼吸道飞沫传播和间接接触传播，而气溶胶传播和粪口传播等途径有待研究证实^[1]，本文暂不予考虑。其中，飞沫传播是病毒传播的主要方式，易感者通过吸入感染者咳嗽、交谈时产生的带有病毒的飞沫而导致感染。而间接接触传播是指通过与感染者间接接触而传染，带有病毒的物质沉积在物品表面，接触后导致感染。本文以飞沫传播为例，研究室内病毒通过飞沫在空气中的传播机理，找出病毒传播的主要影响因素。

文献[2]为了估计传染性疾病在室内空气传播的风险进行建模，以CO₂是呼出气的标志物，将病毒传播风险直接与呼吸相关联，并基于连续的CO₂监测计算室内空间通过空气传播疾病的概率，提出经典的 Wells-Riley 公式

$$P = \frac{D}{S} = 1 - \exp\left(-\frac{I\rho qt}{Q}\right), \quad (1)$$

式中： P 为病毒传播概率/%； D 为患病人群数量/人； S 为易感人群数量/人； I 为感染者数量/人； ρ 为每人的呼吸速率/(m³·s⁻¹)； q 为感染者产生传染性物质的速率/(感染剂量^①·s⁻¹)； t 为室内暴露时间/s； Q 为室外空气供应速率/(m³·s⁻¹)^[3]。

分析公式(1)发现，在病毒传播概率(P)一定的情况下，患病人群数量(D)与易感人群数量(S)成正比；而病毒传播概率(P)与每人的呼吸速率(ρ)、感染者产生传染性物质的速率(q)、感染者数量(I)以及室内暴露时间(t)呈正相关关系，与室外空气供应速率(Q)呈负相关关系。因此，重点研究这些因素与病毒传播之间的相互影响关系对控制病毒传播具有重要意义。

2 公共汽车交通疫情防控具体控制指标选取

将 Wells-Riley 公式的室内病毒传播机理应用于公共汽车车内空间，得到影响车内病毒传播的主要因素分别是车内每人的呼吸速率、车内感染者产生传染性物质速率、车内易感人群数量、车内感染者数量、车内暴露时间以及车外空气供应速率。考虑到每人的呼吸速率、感染者产生传染性物质速率受到年龄、身体素质、生存环境等多种因素影响，处于不可控范围，与公共汽车交通疫情防控关联性较小，本次研究暂不予考虑。因此，从其他4个因素入手，参照公共汽车运营管理特征指标，选取其中关联性较大的具

体控制指标(见表1)，以指导公共汽车交通疫情防控应对策略的制定。

2.1 车内易感人群数量

在病毒传播概率一定的情况下，车内患病人群数量与车内易感人群数量成正比，即公共汽车车内易感人群数量越少，车内患病人群数量越少。因此，公共汽车交通疫情防控需要控制车内易感人群数量。在公共汽车运营过程中，所有乘客都有可能成为易感人群。由于存在频繁的上下客流，车内乘客数量不断变化，主要体现在断面客流量的变化，当断面客流量增多时，易感人群数量也将不断增加。

控制公共汽车断面客流量主要有直接和间接两种方式。

1) 直接方式。

直接方式是控制公共汽车满载率，即公共汽车实际载客人数与额定载客人数的比值^[4]，该指标可以体现公共汽车的使用率。为了直观了解如何通过控制满载率来控制车内易感人群数量，从而降低传染风险，以飞沫传播方式为例，建立模型计算疫情防控期间公共汽车满载率的合理范围。

研究表明，人说话、咳嗽或打喷嚏时产生的飞沫核可在1 m范围内移动^[5]，而在该范围内的易感人群极易吸入飞沫并发生感染。一般情况下，公共汽车荷载人数约为6人·m²，乘客之间基本没有安全防护距离，假设此时公共汽车满载率为100%。车内额定面积为 S/m^2 ，车上实际乘客数量为 $c/\text{人}$ ，车辆额定载客量为 $N/\text{人}$ ，公共汽车满载率为 $x\%$ ，乘客占据正方形边长为 y/m ，则有 $N=6S$ ， $x=c/N=c/6S=c/6cy^2=1/6y^2$ ，可得到计算公式

表1 公共汽车交通疫情防控主要影响因素与具体控制指标
Tab.1 Main factors and control indicators for epidemic control and prevention on buses

主要影响因素	具体控制指标
车内易感人群数量	满载率
	发车间隔
车内感染者数量	司乘人员卫生措施
	车辆卫生措施
车内暴露时间	乘客出行距离
	运行速度
车外空气供应速率	车辆通风条件

$$y = \frac{1}{\sqrt{6x}} \quad (2)$$

如图1所示,分析满载率与乘客占据正方形边长的关系曲线可以发现,当乘客占据正方形边长为1 m时,公共汽车满载率为16%左右,此时可以实现乘客之间1 m的安全防护距离,降低病毒通过飞沫传播的风险。当然,具体满载率控制指标应根据疫情防控要求、客流需求和公共汽车运力等相关因素综合确定。

2) 间接方式。

间接方式主要是控制公共汽车发车间隔。发车间隔是指公共汽车发车的前后时间差^[4],它是衡量公共汽车线路客运能力的重要指标。一般地,公共汽车发车间隔的计算公式^[6]为

$$t = \frac{n}{C_V} = \frac{\max(N(j))}{C_V} \quad (3)$$

式中: t 为公共汽车发车间隔/min; n 为公共汽车最大断面客流量/人次; C_V 为公共汽车额定载客量/人; $N(j)$ 为公共汽车断面客流量/人次。

分析公式(3)发现,公共汽车发车间隔与最大断面客流量成正比。通过缩短发车间隔,将客流均匀地分配到同一条线路的多辆公共汽车上,可达到降低断面客流量的目的,并减少公共汽车内易感人群数量增加带来的病毒传播风险。

因此,可选取公共汽车满载率和发车间隔作为影响车内易感人群数量的具体控制指标。

2.2 车内感染者数量

病毒传播概率与车内感染者数量呈正相

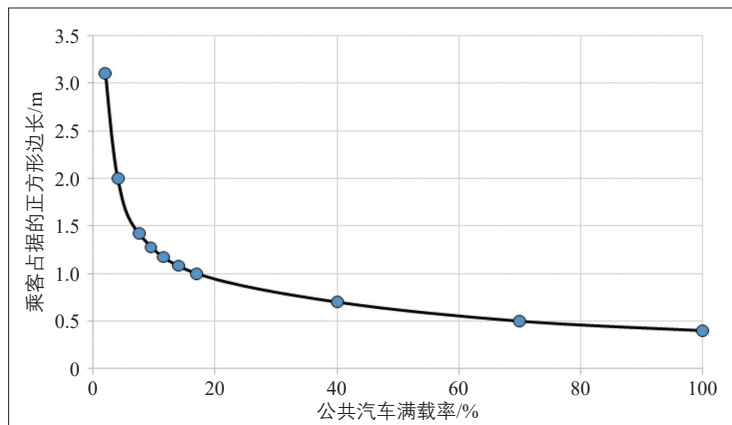


图1 公共汽车满载率与乘客占据正方形边长的关系

Fig.1 Relationship between bus occupation rate and the square area' dimension taken up by passengers

关关系,即车内感染者数量越少,病毒传播概率越低。因此,公共汽车交通疫情防控需要控制车内感染者数量,一般从控制传染源和传播途径两个方面入手。

1) 从控制传染源的角度出发,驾驶员和乘客都有可能成为传染源,为了降低车内感染者数量,采取司乘人员体温检测、个人防护等卫生措施非常重要。

2) 从控制传播途径的角度出发,公共汽车乘客人员密集,病毒易隐藏于车内设备以及车内的污物和空气中,给病毒传播营造了良好的传播途径,导致车内感染人数增加,有必要对车辆采取清洁、消毒等卫生措施。

因此,可选取司乘人员和车辆卫生措施作为影响车内感染者数量的具体控制指标。

2.3 车内暴露时间

病毒传播概率与公共汽车车内暴露时间正相关,即车内暴露时间越少,病毒传播概率越低。因此,公共汽车交通疫情防控需要控制乘客在车内的暴露时间。

乘客在车内的暴露时间取决于公共汽车出行时间,即乘客在一次公共汽车出行中使用的总时间,不包含上车前和下车后的出行时间^[4],它反映了公共汽车运行的效率。公共汽车出行时间由乘客出行距离与公共汽车运行速度决定,乘客出行距离越短、公共汽车运行速度越快,出行时间就越短,从而可以降低公共汽车车内病毒传播概率。

因此,可选取乘客出行距离和公共汽车运行速度作为影响车内暴露时间的具体控制指标。

2.4 车外空气供应速率

病毒传播概率与车外空气供应速率呈负相关关系,即车外空气供应速率越大,病毒传播概率越低。因此,公共汽车交通疫情防控需要加强车外空气供应,而车外空气供应速率与公共汽车通风条件有关,优化公共汽车通风条件将有利于降低病毒传播概率。

因此,可选取车辆通风条件作为影响车外空气供应速率的具体控制指标。

3 公共汽车交通疫情防控应对策略

疫情恢复期间城市公共汽车交通逐步恢复运行,在不增加病毒传播风险的前提下,

如何科学合理地保障公共汽车运能、满足城市居民的刚性出行需求，是迫切需要解决的问题。基于公共汽车交通疫情防控的具体控制指标，建议有针对性地提出有关应对策略，有助于提高疫情恢复期间公共汽车服务的可靠性，保障运行效率。同时，在科技快速发展的时代，建议运用智能化、信息化手段，实现精准信息传达、高效指挥调度以及实时督促检查，对公共汽车交通疫情防控工作具有事半功倍的效果。

3.1 降低车内易感人群数量

1) 强化运行监控，及时掌握公共汽车断面客流量变化情况。

利用公共汽车IC卡自动收费系统、车载GPS定位系统、车载视频监控等智能化、信息化手段全面准确地掌握公共汽车在道路运行中的客流数据信息并充分挖掘分析，评价公共汽车运营情况，及时掌握断面客流量变化规律，为制定公共汽车交通疫情防控方案提供数据支撑。

2) 在保证公共汽车运力的基础上，合理缩短发车间隔，控制公共汽车满载率。

根据疫情防控要求、客流需求和公共汽车运力，通过缩短发车间隔和控制车辆满载率来控制公共汽车断面客流量，从而降低病毒传播风险。其中，建议公共汽车满载率控制在15%~20%范围，以维持乘车人员之间的安全防护距离。

3) 针对客运枢纽，灵活调整接驳公共汽车线路运营方式，减少客流聚集。

加强与航空、铁路、公路客运枢纽部门的对接，准确掌握客运信息，根据客流变化及时调整发车时间及发车班次，及时疏散大规模客流，最大限度地降低公共汽车断面客流量急剧增加的风险，积极做好配套服务，为市民出行提供安全的公共汽车出行保障。

3.2 防止出现车内感染者

1) 做好乘客上车前的体温检测工作，加强司乘人员的卫生防护措施。

乘客上车前加强体温检测，对体温超标的乘客要按规定程序在第一时间移交卫生健康部门。同时，乘客以及一线从业人员全程佩戴口罩，加强卫生防护。

2) 严格落实公共汽车的车辆清洁和消毒工作，强化从业人员培训。

公交企业严格落实车辆消毒、车内卫生

清洁工作，同时，加强交通运输工具消毒等操作规程和疫情防控措施的人员培训，重点提升员工疫情防控和应急处理的能力。

3.3 缩短车内暴露时间

1) 根据客流需求，灵活机动、合理开辟定制公交或临时班线，缩短乘客出行距离。

针对企事业单位员工通勤需求以及居民集中出行需求，利用公共汽车线路组织灵活的特性，开辟定制公交线路或点对点运输服务，避免不必要的绕行，减少中途上下客，不仅可以缩短乘客出行距离，还可以减少人员之间的接触频次，降低中途交叉感染的风险。

2) 合理开通大站快车，快速疏散客流，满足市民快速出行需求。

建议针对客流量较大的公共汽车线路在原有线路基础上开通大站快车，发挥快速疏散客流的作用。大站快车主要在客流量大的车站停靠，可以大大提升车速和运行效率，缩短乘客出行时间。

3.4 优化车辆通风条件

公共汽车在运营过程中要加强通风，促进车厢内的空气流通，建议在正常天气情况下，公共汽车开启车窗，以保证车辆的通风条件。针对通风条件较差的空调车，建议有条件的公交企业针对客流量较大的线路运营车辆进行改装，例如将全封闭的空调车辆进行侧窗改装^[7]，保证每辆空调车的车窗数量。

4 结语

新冠肺炎爆发背景下，本文将室内病毒通过飞沫在空气中传播的理论应用于公共汽车车内空间，发现车内病毒传播主要与车内易感人群数量、车内感染者数量、车内暴露时间和车外空气供应速率有关，并参照公共汽车运营管理特征指标，确定其中关联性较大的具体控制指标，有针对性地提出公共汽车交通疫情防控应对策略。后期需进一步研究公共汽车交通疫情防控与具体控制指标的关系，并结合公共交通系统整体性，进一步探究关于换乘公共汽车线路、接驳轨道交通线路等公共汽车线网方面的疫情防控应对策略，有助于构建城市公共汽车交通疫情防控体系。

(下转第92页)