

降雨对山区高速公路运行车速的影响研究

马筱栋^{1,2}, 樊博^{1,2}

(1.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2.重庆市交通运输工程重点实验室, 重庆 400074)

摘要:山区高速公路地形复杂,降雨对不同道路线形路段运行车速影响具有明显的差异。文中以重庆市包茂(包头—茂名)高速公路渝湘(重庆—怀化)段天气数据、道路线形数据和高德地图获取的运行车速数据为基础,利用多层线性模型(HLM)研究降雨强度对不同线形路段的影响,提高降雨影响模型的可移植性。结果表明,降雨因素与道路线形因素存在交互作用,平曲线半径增大会削减降雨对路段运行车速的负面影响,坡度增大则会加剧降雨对路段运行车速的负面影响;相较于传统线性回归模型,运用 HLM 模型分析运行车速影响因素更合理。

关键词:公路运输;山区高速公路;运行车速;多层线性模型(HLM);降雨强度;线形条件

中图分类号:U491

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)05-0033-04

降雨天气会对道路运行车速产生不利影响,降低通行能力和出行效率,增加交通事故风险。山区高速公路受沿线复杂地形的影响,车辆运行速度特性及交通组成特性等不同于平原区高速公路。为提高降雨天气对山区高速公路交通流影响的预判能力,现阶段相关学者已将研究热点转向降雨天气对交通流的影响机理研究。如 HCM2000 认为小雨会导致自由流车速降低约 1.9 km/h,大雨会导致自由流车速降低 4.8~6.4 km/h;Chuang E.等通过对比不同降雨强度下运行车速,采用天气影响因子修正路段行驶速度;Bie Y.等发现东京高速公路在小雨和大雨天气下自由流速度分别折减约 5%、8%;张存保等采用实测数据对不同降雨强度下高速公路交通流特性展开分析,发现小雨、中雨、大雨天气下高速公路平均速度分别下降 4.7%、9.8%和 16.1%;Lin Z. H.等将交通流数据进行分层处理,利用多层模型研究了不同交叉口数、车道数等条件下降雨对城市交通流速度的影响;龚大鹏等利用北京市实时天气数据和浮动车车速数据,分析不同道路、不同时段、不同拥堵等级下降雨对行驶车速的影响,建立了城市道路降雨天气修正模型;李长城综合考虑车道数、车道位置、时间段等因素,研究了降雨对高速公路的运行速度影响,但并未将道路线形因素纳入变量范围。降雨天气对山区高速公路不同线形道路运行速度的影响存在明显差异,体现在特征参数、作用强度及方向等会因为时空差异而产生变化,难以通过交叉对比不同的研究结论得到不利天气对运行车速的基本影响模式。为增大降雨天气影响模型的可

移植性,实现对山区高速公路不同线形路段降雨天气下运行速度预判,该文同时考虑降雨强度及道路线形因素,引入多层线性模型(HLM)分析降雨强度与道路线形因素的交互效应。

1 数据准备与处理

1.1 数据准备

(1) 运行车速的采集。随着近年来手机地图用户的攀升,高德公司提供了发布实时路况的交通态势服务。高德交通态势数据能反馈一定长度路段的道路等级、平均行程速度等基本属性。可通过高德开发者平台官网申请 Web 服务 API 接口密钥 key,调用 Python 各爬取模块及本地数据库存储数据。选取重庆市包茂(包头—茂名)高速公路渝湘(重庆—怀化)段为研究对象,针对 4 个不同道路线形路段每隔 5 min 采集一次车速,采集时间为 2019 年 6 月每日 8:00—20:00,采集数据总量约 2.1 万条。

(2) 天气数据及道路线形数据。采用重庆市运输调度中心提供的历史天气数据和渝湘段道路线形数据。其中:历史天气数据包含 8 h 天气预报、实时降雨量和监测点位置;由包茂高速公路渝湘段设计文件整理并提取选取的 4 个路段的道路线形数据,包括平曲线半径、坡度等信息。

1.2 数据处理

(1) 不同降雨强度对同一路段运行车速的影响分析。以渝湘互通—南彭收费站段(全长 981 m)为研究对象,以 1 h 为时间跨度,分别对 6 月(每日 8:00—20:00)无雨、小雨、中雨、大雨天气下该路段

每小时的平均行驶速度进行统计,结果见图1。由图1可知:降雨天气下平均行驶速度明显低于无雨天气下平均行驶速度,且不同降雨强度下平均行驶速度呈现显著差异。

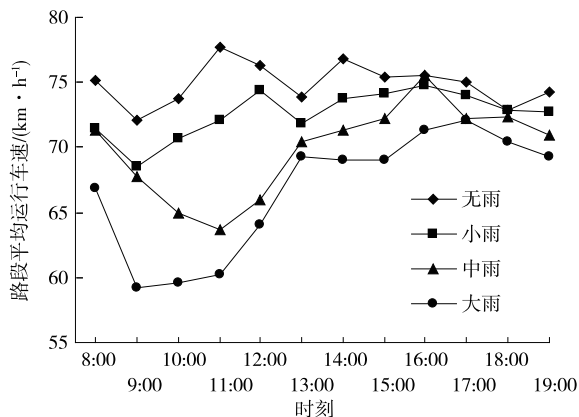


图1 不同降雨强度下运行车速

(2) 相同降雨强度对不同线形路段运行车速的影响。为研究相同天气对不同路段交通流影响是否存在差异,分别对选取的4个不同线形路段在不同降雨强度下的速度平均下降值和行驶速度平均偏差率进行统计计算,结果见表1。由表1可知:不同线形路段在相同降雨强度影响下的行驶速度平均偏差率存在明显差异。因此,有必要研究降雨和路段线形的交互效应。

表1 各路段不同降雨强度下速度变化

雨量	路段平均行驶速度偏差率			
	路段1	路段2	路段3	路段4
小雨	-0.015 8	-0.029 8	-0.014 9	-0.015 3
中雨	-0.018 5	-0.066 0	-0.058 0	-0.028 5
大雨	-0.043 2	-0.108 8	-0.072 0	-0.053 2

2 模型构建

2.1 HLM模型

HLM模型是针对具有巢形结构的数据而提出的一种统计技术,它通过复杂形式的普通最小二乘回归实现对个体和群体层级数据的同时处理。当预测变量处于不同层次时,该方法可将误差分解到各层次,并研究层次间的交互效应。该模型已广泛应用于教育学、心理学等领域,近年来被用于解释交通领域的问题。

处理过程中,先以第一层次(个体水平)解释变量建立回归方程,将该方程中的截距和斜率作为因变量,再以第二层次(群体水平)解释变量作为自变

量进行二次回归。第一层次模型为:

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

第二层次模型为:

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}\omega_j + \mu_{0j} \quad (2)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}\omega_j + \mu_{1j} \quad (3)$$

式中: Y_{ij} 为因变量; β_{0j} 为截距,是 Y_{ij} 的平均值; β_{1j} 为回归斜率; X_{ij} 为第一层次的解释变量; ϵ_{ij} 、 μ_{0j} 、 μ_{1j} 为随机效应; ω_j 为第二层次的解释变量。

2.2 模型构建

交通流的信息具有巢形数据结构。山区高速公路受特殊地形影响,各路段间道路线形存在较大差异。在以往降雨天气对运行车速影响研究中,多将天气因素和道路线形因素放在同一层次考虑,这可能会对研究结果造成一定误差。为精确反映降雨天气对运行车速的影响,将其分为两层,分别为交通流层(第一层次)和路段层(第二层次),利用HLM模型研究降雨强度对不同线形山区公路路段的影响。

模型1:(空模型)

模型1也称为空模型,是只含因变量和群组变量的二水平模型,是多层模型的基本模型。第一层次为交通流层,即个体水平层,表示不同降雨等级 i 下路段 j 的速度变化情况;第二层次为路段层,即群体水平层,表示相同降雨等级下不同路段的速度变化情况。第一层次模型为:

$$\Delta v_{ij} = \beta_{0j} + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

第二层次模型为:

$$\beta_{0j} = r_{00} + u_{0j} \quad (5)$$

结合模型为:

$$\Delta v_{ij} = r_{00} + u_{0j} + \epsilon_{ij} \quad (6)$$

式中: Δv_{ij} 为路段 j 第 i 组的行驶速度变化量; β_{0j} 为路段 j 行驶速度变化量的均值; ϵ_{ij} 为路段 j 平均行驶速度变化量均值的随机误差; r_{00} 为 Δv_{ij} 在各路段的总均值; u_{0j} 为路段 j 的平均行驶速度与总均值的随机误差。

模型2:(随机效应回归模型)

模型2在第一层次模型中加入变量降雨等级来研究不同降雨等级对平均行驶速度的影响。第一层次模型为:

$$\Delta v_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (7)$$

第二层次模型为:

$$\beta_{0j} = r_{00} + u_{0j} \quad (8)$$

$$\beta_{1j} = r_{10} + u_{1j} \quad (9)$$

结合模型为:

$$\Delta v_{ij} = (r_{00} + u_{0j}) + (r_{10} + u_{1j}) X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (10)$$

式中: β_{1j} 为降雨等级对行驶速度的影响程度; X_{ij} 为路段 j 第 i 组的降雨等级; r_{10} 为降雨等级对行驶速度的平均效应; u_{1j} 为路段 j 的平均行驶速度与总均值的随机误差。

模型 3:(完整模型)

模型 3 在第二层次模型中加入变量平曲线半径、坡度来研究降雨和不同道路线形的交互作用。第一层次模型为:

$$\Delta v_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (11)$$

第二层次模型为:

$$\beta_{0j} = r_{00} + u_{0j} \quad (12)$$

$$\beta_{1j} = r_{10} + r_{11} C_j + r_{12} S_j + u_{1j} \quad (13)$$

结合模型为:

$$\Delta v_{ij} = (r_{00} + u_{0j}) + (r_{10} + r_{11} C_j + r_{12} S_j + u_{1j}) X_{ij} + \epsilon_{ij} \quad (14)$$

式中: C_j 为路段 j 的平曲线半径; S_j 为路段 j 的坡度; r_{11} 为降雨等级与平曲线半径的交互作用; r_{12} 为降雨等级与坡度的交互作用。

3 结果分析

3.1 空模型分析

空模型的建立是为了计算组内相关系数 ICC 。一般来说, $ICC > 0.059$ 时, 数据适合利用 HLM 模

型进行分析, 否则不适用。 ICC 的计算公式为:

$$ICC = \frac{\sigma_{u0}^2}{\sigma_{u0}^2 + \sigma^2} \quad (15)$$

空模型的计算结果中 $ICC = 0.078\ 11 > 0.059$, 表明约 7.81% 的平均行驶速度变化量由路段间的差异所造成, 属于不可忽略组间差距, 数据适合利用 HLM 模型进行分析。

3.2 随机回归模型分析

模型 2 的计算结果见表 2, 其中 r_{10} 的回归系数为 $-0.633\ 196$, 表明降雨等级与车辆行驶速度成负相关关系, 即车速随降雨等级的增大而减小。第一层次模型中加入降雨等级自变量后, 残差方差由 18.844 8 变为 7.857 744, 说明降雨等级平均解释 47% 的车速变化。残差方差改善比例 ES 的计算见式(16)。随机效应中 $Var(u_{1j})$ 所对应的 P 值 < 0.001 , 表明降雨强度对运行车速的影响在不同线形路段存在普遍差异。

$$ES = \frac{T_{\text{baseline}} - T_{\text{conditional}}}{T_{\text{baseline}}} = \frac{14.844\ 8 - 7.857\ 744}{14.844\ 8} \approx 0.471 \quad (16)$$

3.3 完整模型分析

模型 3 同时考虑路段层(第二层)的平曲线半径和坡度两个解释变量, 计算结果见表 3。在降雨对道

表 2 模型 2 最大似然法参数估计结果

固定效应				随机效应		
参数	回归系数	标准误	P 值	参数	方差	P 值
r_{00}	-3.538 289	0.743 012	<0.001	$Var(u_{0j})$	3.180 40	<0.001
r_{10}	-0.633 196	0.458 125	<0.001	$Var(u_{1j})$	1.244 99	<0.001

路运行车速的影响中, 平曲线半径和坡度均为显著变量。 r_{11} 的参数估计值为 6.826 251, 即随路段平曲线半径的增大, 降雨对路段平均运行速度的负面影响会减小; r_{12} 的参数估计值为 $-4.160\ 491$, 即随路段坡度的增大, 降雨对路段平均运行速度的负面影响会增大。以往的研究多将降雨对路段平均行驶速度的影响认为是一个定值, 而根据上述分析, 降雨对

路段平均运行速度的影响会由于路段线形的差异而不同, 且降雨与道路线形因素存在交互效应。

与传统研究中将降雨强度和道路线形因素放在同一层次进行研究不同, 利用 HLM 模型进行分析, 发现道路平曲线半径和坡度与降雨强度相互作用共同影响道路运行车速。该方法可应用于不同线形的道路, 可进一步提高降雨影响模型的可移植性。

表 3 模型 3 最大似然法参数估计结果

固定效应				随机效应		
参数	回归系数	标准误	P 值	参数	方差	P 值
r_{00}	-4.739 044	0.453 665	<0.001	$Var(u_{0j})$	1.249 91	<0.001
r_{10}	-2.301 893	0.397 886	0.002	$Var(u_{1j})$	0.889 23	<0.001
r_{11}	6.826 251	0.226 963	<0.001			
r_{12}	-4.160 491	0.145 391	0.010 2			

4 结论

将交通流数据进行分层处理,综合考虑天气因素和道路线形因素,利用 HLM 模型研究降雨对不同线形路段运行车速影响的差异。结果表明,降雨对不同线形路段的影响具有显著的空间差异。

在分析不同道路线形的交通流方面,HLM 模型比传统回归模型更合适。天气因素与路段线形因素存在交互效应,路段平曲线半径增大会降低降雨对运行速度的负面影响,而坡度增大会加剧降雨对运行速度的负面影响。但文中对道路线形因素的选择存在一定缺陷,后期研究中将在平曲线半径和坡度的基础上加入其他线形因素。

参考文献:

- [1] 赵晓华,任贵超,陈晨,等.不良天气下驾驶行为研究综述[J].交通信息与安全,2017,35(5):76—81.
- [2] Transportation Research Board. Highway capacity manual[A].Washington D C:National Research Council,2000.

- [3] Chuang E,Ohtani O,Warita H,et al.Does weather affect highway capacity[C]//The 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Washington D C,2006:139—146.
- [4] BIE Y,QIU T Z,ZHANG C,et al.Introducing weather factor modeling into macro traffic state prediction[J].Journal of Advanced Transportation,2017(1):1—15.
- [5] 张存保,万平,梅朝辉,等.雨天环境下高速公路交通流特性及模型研究[J].武汉理工大学学报,2013,35(3):69—73.
- [6] LIN Z H,HE Z C,SUN W B,et al.Multilevel analysis for the effect of rainfall on traffic speed for urban roads [C]//Transportation Research Board 93rd Annual Meeting,Washington D C,2014:17.
- [7] 龚大鹏,宋国华,黎明,等.降雨对城市道路行程速度的影响[J].交通运输系统工程与信息,2015,15(1):218—225.
- [8] 李长城.不良天气下的高速公路交通流特性及引导控制研究[D].北京:北京工业大学,2015.

收稿日期:2020—03—16

(上接第 32 页)

辆到站语音播报,设置车辆预到站电子牌,开发功能完善的 APP,强化乘客与站点之间的信息交互。

(3) 提高服务质量,建立意见快速反馈机制。创建并简化乘客给有关部门提建议的途径,了解乘客的需求与建议,并根据乘客需求与建议对公交站点及时进行优化与调整。

(4) 注重生态发展,促进城市交通节能减排。充分使用太阳能、风能、雨水等天然资源,运用新技术建造节能、环保的公交站点。

4 结论

(1) 乘客秩序、上下车安全状况和公共安全对乘客安全性感知的影影响较大;上下车便利状况和车辆信息查找方便程度对乘客便利性感知的影响较大;拥挤状况、噪声状况和空气污染状况对乘客舒适性感知的影响较大。

(2) 武汉市民对公交站点的满意度评价为满意。其中乘客对公交站点安全性、便利性和舒适性的满意度评价为一般,安全性和便利性偏好,舒适性较差。乘客对于武汉市公交站点的期望指数较高,乘客忠诚度尚可。

(3) 可采取以下对策提高武汉市民对公交站点的满意度:完善站点结构,提高乘客候车舒适程度;强化信息交互,建立完备信息传递系统;提高服务质量,建立意见快速反馈机制;注重生态发展,促进城市交通节能减排。

参考文献:

- [1] HENSHER D A.Hierarchical stated response designs: An application to bus user preferences[J].Logistics and Transportation Review,1990,26(4):299—321.
- [2] ANDREASSEN T W.(Dis)satisfaction with public services:The case of public transportation[J].Journal of Services Marketing,1995,9(5):30—41.
- [3] 周艳芳,周磊山.城市轨道交通乘客满意度评价体系的构建[J].都市快轨交通,2007(5):25—28.
- [4] 张秉坤.基于结构方程的城市轨道交通服务质量与乘客满意度、忠诚度关系研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2014.
- [5] 沈玮薇,肖为周.基于 SEM 的轨道交通乘客满意度测评模型[J].武汉理工大学学报,2015,37(5):48—56.
- [6] 付惠琳.基于结构方程的公交乘客满意度评价[D].大连:大连交通大学,2017.

收稿日期:2020—01—04