

# 暴雨天气对城市道路通行能力的影响分析

计寻<sup>1</sup>, 邵春福<sup>1</sup>, 王博彬<sup>1</sup>, 袁媛<sup>1,2</sup>, 王晓全<sup>1</sup>

(1.北京交通大学城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044;  
2.深圳职业技术学院汽车与交通学院, 广东深圳 518055)

**摘要:** 暴雨天气严重影响城市道路交通的正常运行, 其造成的路面积水和视线障碍, 降低了道路通行能力。以深圳市天气数据和线圈检测器数据为基础, 对比分析暴雨天气和正常天气、小雨天气、中雨天气的城市道路交通流特性, 分析不同天气下流量-密度关系, 基于格林希尔兹模型, 定量研究城市主干路和次干路通行能力的折减系数, 为城市道路应对暴雨天气的应急管理提供支持。

**关键词:** 暴雨天气; 道路通行能力; 折减系数; 城市道路交通

**中图分类号:** U491

**文献标识码:** A

## Impact of Rainstorm Weather on Urban Road Capacity

Ji Xun<sup>1</sup>, Shao Chun-fu<sup>1</sup>, Wang Bo-bin<sup>1</sup>, Yuan Yuan<sup>1,2</sup>, Wang Xiao-quan<sup>1</sup>

(1. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. School of Automotive and Transportation Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** The rainstorm weather seriously affects the operation of urban traffic, and the surface gathered water and its obstruction to vision lead to a decrease of road capacity. Based on the weather data and coil detector data in Shenzhen, this study compared the urban traffic flow characteristics under rainstorm, light rain, moderate rain and normal weather conditions, and their flow-density relationships were analyzed based on the Green-shields model. Moreover, the road capacity reduction coefficients for urban arterial and sub arterial roads were quantitative calculated respectively. The results can provide theoretical support for the emergency management of urban traffic operation under rainstorm weather.

**Key word:** rainstorm weather; urban road capacity; reduction coefficients; urban road traffic

城市道路交通系统是一个城市的骨架, 它不仅是客货运输、社会经济活动和市民生活的载体, 同时它也承受着自然灾害的威胁。近几年来暴雨灾害天气频发, 严重影响了城市道路交通的正常运行。暴雨造成的路面积水和视线障碍, 降低了车辆行驶速度和道路通行能力, 积水严重时甚至会阻断交通, 甚至人身伤亡等。

国内外现有的研究表明降雨天气会降低道路的通行能力。Smith B L 等<sup>[1]</sup>基于弗吉尼亚州汉普敦高速公路数据, 通过对观测流量排序, 取前 5% 的均值作为通行能力, 研究表明小

---

收稿日期: 2016-10-30

基金项目: “973” 国家重点基础研究发展计划项目资助 (2012CB725403); 国家自然科学基金国际重大合作项目资助 (71210001)

作者简介: 计寻 (1988—), 男, 博士研究生, E-mail: 13114241@bjtu.edu.cn

雨导致高速公路通行能力降低 4-10%，大雨导致通行能力降低 25-30%。Agarwal M 等<sup>[2]</sup>基于美国双子城 4 年的高速公路线圈数据和天气数据，分析雨雪天气强度的变化趋势，研究表明降水强度影响了速度、车头时距和通行能力。Akin D 等<sup>[3]</sup>分析了高速公路在降雨降雪条件下的平均速度、密度和流量的关系，与常态天气对比，降雨折减平均速度 8-12%，折减通行能力 7-8%。Lam William 等<sup>[4]</sup>通过实测香港城市道路交通流数据和降雨量数据，将降雨强度作为参数加入广义的速度-流量和速度-密度模型，并分析降雨强度对流量-速度-密度关系的影响。杨中良等<sup>[5]</sup>分析了气象数据对交通流参数关系的影响程度，标定了不同气象等级下上海市快速路通行能力的折减系数。张存保等<sup>[6]</sup>根据实际观测的高速公路交通流和降雨量数据，确定了各种降雨类型下微观交通流特性参数的分布规律，结果表明小雨、中雨和大雨天气下高速公路平均速度分别下降 4.7%、9.8% 和 16.1%，通行能力分别降低 10.5%、17.4% 和 27.1%。

以往的研究主要针对高速公路在小雨和大雨天气下通行能力的折减情况，而暴雨天气下通行能力的急剧变化，引起的交通拥堵问题更为严重。与此同时，城市道路建立在人口稠密区，暴雨天气对城市道路的影响更加复杂。本文通过分析暴雨天气下城市主干路和次干路的交通流量特性，研究城市道路通行能力在暴雨天气下的折减情况。

## 1 数据基础及数据处理

### 1.1 数据基础

本文的数据来源为分布在深圳市快速路和主干路上的线圈检测器。线圈传感器的采样时间为 5 分钟，即每个线圈传感器每 5 分钟向交通控制中心传输一次数据。数据包含以车道为基础的检测器编号、流量、占有率、平均速度、车头时间、时间信息以及日期信息等。线圈检测器数据由于设备本身的限制，存在一定的错误数据和缺失数据，不仅会导致数据库中信息的不完整，更将对数据在交通中的应用造成影响。为了在数据处理过程中得到更为可靠的数据，需要对数据进行预处理，主要包括数据过滤和数据补偿。

### 1.2 数据预处理

对于错误数据需根据过滤规则进行剔除，过滤规则为：平均占有率为 0，而流量不为 0，判定为数据错误；流量为 0，而平均占有率不为 0，判定为数据错误。在数据过滤时，对于流量和占有率均为 0 的数据，需进一步分析出现的原因。根据实际情况，高峰期两者均为 0 的情况一般都是数据缺失引起的，利用窗口滑动法通过前几个时段的交通流数据进行判断。以数据均值  $\bar{y}$  和方差  $\sigma$  作为判断依据，若数据值在  $(\bar{y} - 2\sigma, \bar{y} + 2\sigma)$  内，则数据正确，否则数据错误<sup>[7]</sup>。考虑到突发事件导致的异常数据，对于非 0 的变化率突变的数据不进行过滤处理。

常用的数据补偿方法有历史平均值法、相邻周期平均值法、线性估计法以及相邻检测器平均值法等，这些方法各有其优缺点。考虑到路网的交通流数据变化是一个平稳的随机过程，数据的变化率一般不会出现突变，因此利用同一检测器相邻时段的数据作为数据补偿参考值可以获得良好的补偿效果，本文针对交通流数据的缺失，采用改进的相邻周期平均值补偿法。

传统的相邻周期平均值补偿法采用的算法如式（1）所示。

$$\bar{y}_i(k) = \frac{1}{n} [y(k-n) + y(k-n+1) + \dots + y(k-1)] \quad (1)$$

式中： $y(k)$  为  $k$  时段实际数据； $\bar{y}_i(k)$  为  $k$  时段补偿数据； $n$  为计算平均值所取数据个数。

考虑到检测器的采样间隔较大，因此令  $n=3$  时，3 个时段之前的数据参考性明显小于 1 个时段之前的数据的参考性，因此本文采用改进的相邻周期平均值补偿法对小面积的数据缺失进行补偿，如式（2）所示。

$$\bar{y}_i(k) = [0.5 * y(k-1) + 0.3 * y(k-2) + 0.2 * y(k-3)] \quad (2)$$

### 1.3 占有率与密度转换

密度为车辆在道路单位长度上的测度指标，目前的交通流检测技术很难对其进行精确、可以实用的观测。线圈检测器获取的时间占有率可以与交通流密度进行相互转换，线圈的时

间宽度对应于一辆车从车头进入线圈前沿直至车尾离开该环形后沿这段时间。因此以车辆的平均长度和线圈有效长度为参数，可以进行时间占有率与密度的转换。赵娜乐<sup>[8]</sup>对于时间占有率和密度的转换公式和参数标定进行了深入研究，转换公式如式（3）所示。

$$p = \delta \times o \quad (3)$$

式中： $p$  为交通流密度； $\delta$  为参数，由车辆平均有效长度和检测器长度确定，取建议值 1.79； $o$  为时间占有率。

## 2 流量-密度关系特性分析

### 2.1 主干路流量-密度关系特性分析

为了研究深圳市主干路交通流量在暴雨天气下的总体特征，根据日降雨量数据，对比分析正常天气、小雨天气、中雨天气和暴雨天气下的深圳市主干路的交通流特性。研究选取 2014 年 6 月 14 日（正常天气）、6 月 15 日（小雨天气）、6 月 20 日（中雨天气）、6 月 22 日（暴雨天气）的深圳某主干路交通流为研究对象。采用相同路段同一检测器检测的数据，尽可能地排除其他个性化因素的影响，从而分析暴雨天气的交通流特性差异。

线圈检测器采集得到的数据为断面的实际流量，在特定的天气环境和道路状况下，流量与密度之间的关系体现了交通流的运行特征。本文研究根据不同时间采集到的交通流数据，绘制了不同天气下的流量-密度散点图。将暴雨当天所有检测器的数据和相对应的正常天气、小雨天气、中雨天气情况下的所有检测器的数据经过处理生成流量-密度图，如图 1、图 2、图 3 及图 4 所示。

正常天气、小雨天气、中雨天气的流量峰值集中在 1500veh/h~1800veh/h，暴雨天气的流量峰值集中在 1300veh/h~1400veh/h，从散点图的分布情况可以明显看出暴雨天气对城市主干路的交通流量影响很大，随着降雨强度的增加，流量明显降低。

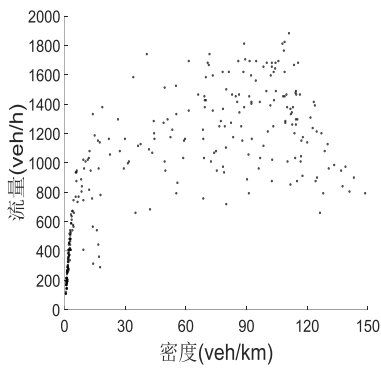


图 1 正常天气下主干路流量-密度散点图

Fig. 1 Flow-density scatter diagram of arterial road under normal weather

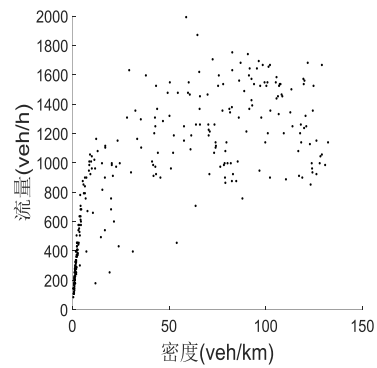


图 2 小雨天气下主干路流量-密度散点图

Fig. 2 Flow-density scatter diagram of arterial road under light rain

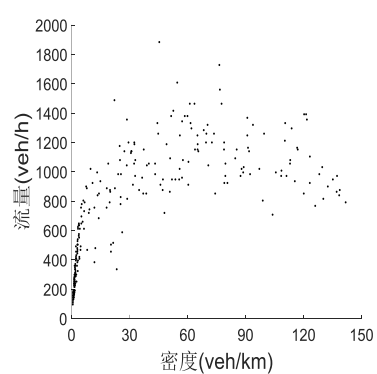
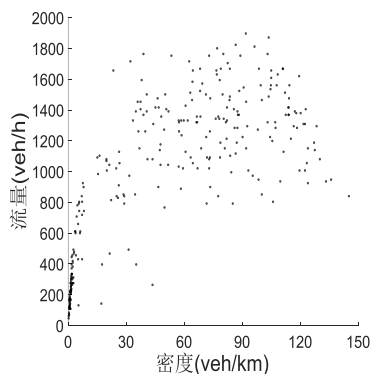


图 3 中雨天气下主干路流量-密度散点图

Fig. 3 Flow-density scatter diagram of arterial road under moderate rain

图 4 暴雨天气下主干路流量-密度散点图

Fig. 4 Flow-density scatter diagram of arterial road under rainstorm weather

### 2.2 次干路流量-密度关系特性分析

针对次干路的流量-密度关系特性分析,本文选取深圳市某次干路的交通流为研究对象,选择某断面的交通流数据,分析同一断面的同一检测器采集的数据。数据日期与快速路数据日期一致,绘制不同天气下的次干路流量-密度散点图,如图 5、图 6、图 7 及图 8 所示。

由图中可见,正常天气、小雨天气、中雨天气的流量峰值集中在 700veh/h~900veh/h,暴雨天气的流量峰值集中在 600veh/h~800veh/h,交通流量的变化趋势表明暴雨天气对城市次干路的交通流有影响,随着降雨强度的增加,流量明显降低。

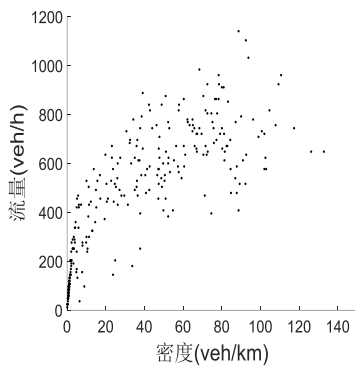


图 5 正常天气下次干路流量-密度散点图

Fig. 5 Flow-density scatter diagram of sub arterial road under normal weather

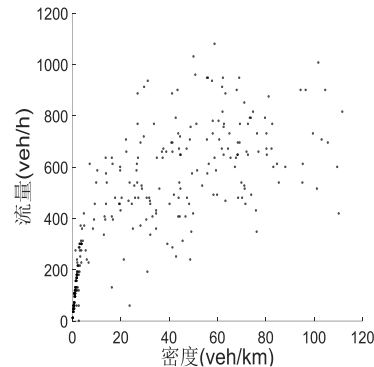


图 6 小雨天气下次干路流量-密度散点图

Fig. 6 Flow-density scatter diagram of sub arterial road under light rain

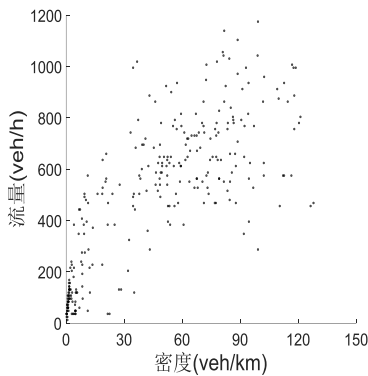


图 7 中雨天气下次干路流量-密度散点图

Fig. 7 Flow-density scatter diagram of sub arterial road under moderate rain

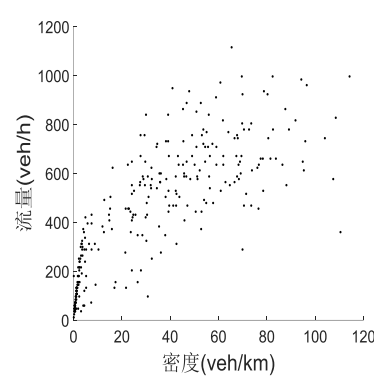


图 8 暴雨天气下次干路流量-密度散点图

Fig. 8 Flow-density scatter diagram of sub arterial road under rainstorm weather

### 2.3 通行能力折减

为定量分析暴雨对主干路和次干路通行能力的折减情况,本文以格林希尔兹模型为基础,按照道路等级,分别对正常天气、小雨天气、中雨天气、暴雨天气的流量-密度关系进行拟合,以拟合曲线顶点值为道路通行能力,依次得到深圳市某主干路、某次干路在不同天气下的通行能力以及折减系数,如表 1 所示。

随着降雨强度的增加,通行能力折减系数逐渐增大,与正常天气相对比,小雨天气主干路通行能力折减 2.6%,次干路折减 2.0%;中雨天气主干路通行能力折减 4.3%,次干路折减 4.5%,暴雨天气主干路通行能力折减 12.3%,次干路折减 9.3%。

表 1 主干路和次干路在不同天气下通行能力及折减系数

Tab 1 Capacity and reduction coefficients of arterial road and sub arterial road

	主干路	次干路
正常天气通行能力(veh/h)	1514	795
小雨天气通行能力(veh/h)	1474	779
小雨天气折减系数	2.6%	2.0%
中雨天气通行能力(veh/h)	1449	759
中雨天气折减系数	4.3%	4.5%
暴雨天气通行能力(veh/h)	1328	721
暴雨天气折减系数	12.3%	9.3%

### 3 结论

通过对深圳市正常天气、小雨天气、中雨天气以及暴雨天气下流量-密度关系分析,揭示了暴雨条件下城市主干路和次干路通行能力的折减情况,研究表明暴雨天气对城市道路通行能力影响较大。

未来研究将进一步细化暴雨,针对不同的暴雨强度,分析城市各等级道路通行能力的变化情况。同时研究方向将集中于短时强降雨条件下,城市道路通行能力的实时演化机理,以及由此导致的交通拥堵的扩散范围和影响程度,为交通管控、应急预案和资源配置提供科学的理论支撑。

#### 参考文献:

- [1] Smith B L, Byrne K G, Copperman R B, et al. An investigation into the impact of rainfall on freeway traffic flow[C] // 83rd annual meeting of the Transportation Research Board. Washington DC: 2004.
- [2] Agarwal M, Maze T H, Souleyrette R. Impacts of weather on urban freeway traffic flow characteristics and facility capacity[J]. In Mid-Continent Transportation Research Symposium, 2005, 20(5): 1121-1134.
- [3] Akin D, Sisiopiku V P, Skabardonis A. Impacts of weather on traffic flow characteristics of urban freeways in Istanbul[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2011, 16: 89-99.
- [4] Lam W H K, Tam M L, Cao X, et al. Modeling the effects of rainfall intensity on traffic speed, flow, and density relationships for urban roads[J]. Journal of Transportation Engineering, 2013, 139(7): 758-770.
- [5] 杨中良, 林瑜, 高霄. 恶劣天气条件下城市快速路通行能力研究[J]. 交通信息与安全, 2010, 28(1): 75-78.
- Yang Zhongliang, Lin Yu, Gao Xiao. Urban expressway capacity under adverse weather conditions[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2010, 28(1): 75-78. (in Chinese)
- [6] 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): 63-67.
- Zhang Baocun, Wan Ping, Mei Zhaohui, et al. Traffic flow characteristics and models of freeway under rain weather[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2013, 35(3): 63-67. (in Chinese)
- [7] 田智韬. 基于浮动车与固定检测器的交通流数据融合技术研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- Tian Zhitao. Traffic flow data fusion of floating cars and fixed detectors[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [8] 赵娜乐. 基于物理属性的城市快速路交通流特征参数模型[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- Zhao Nale. Traffic flow characteristic parameter models of urban expressways based on physical properties[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)