

# 基于排队论模型分析交通事故对城市道路通行能力的影响

付南南

**摘要:** 本文以交通事故中的占用车道为例进行研究,采用数据拟合和排队论的思想分析得到了实际通行能力以及事故中车辆排队长度与通行能力、事故持续时间、上游车流量间的关系,从而得出车道被占用对城市道路通行能力的影响。为解决日常生活中道路被占用而导致交通拥堵问题提出了建设性的意见。

**关键词:** 实际通行能力;数据拟合;排队论;交通事故

道路通行能力也称道路容量,是道路的一种性能,能度量道路疏导车辆的能力。随着我国社会经济的持续快速发展,城市已成为经济增长的重要地区,机动车也随之迅猛增多。道路上发生的交通事故、路边停车、占道施工等行为使车道被占用而导致道路横断面通行能力在单位时间内降低,若是不能及时得到解决,则会导致交通堵塞,影响人们的正常生活。合理的分析道路被占用的各个因素及其联系,建立起相关模型,可以尽可能的解决道路被占用所带来的困扰。

## 一、事故所处横断面的实际通行能力

1. 假设在理想的道路和交通条件下,当具有标准长度和技术指标的车辆,以前后两车最小车头间隔连续行驶时,单位时间内通过道路上指定断面的最大车辆数,记作  $N$  (辆/h)。

$$N = 1000 \frac{v}{d}, \quad (1)$$

记车速为  $v$  ( $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ), 前后两车最小车头间距  $d$  (m), 显然最小车头

间隔主要有刹车距离决定,而刹车距离又与车速密切相关。

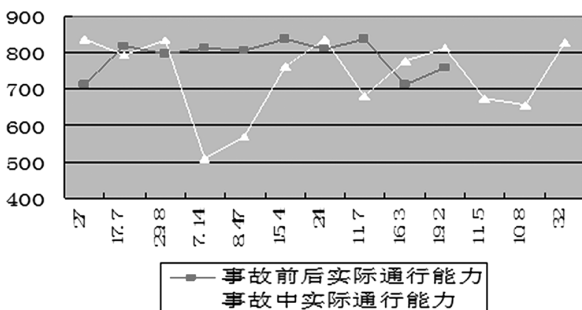
交通工程中常用如下公式计算最小车头间距  $d$ :

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = vt_0 + cv^2 + d_3 + d_4, \quad (2)$$

其中  $d_1$  为刹车时司机在反应时间  $t_0$  内汽车行驶的距离,  $d_2$  是刹车时从制动器开始起作用到汽车完全停止行驶的距离,称制动距离,  $c$  是与车辆自重、路面阻力、湿度、坡度等诸多因素有关的系数,  $d_3$  是两车之间的安全距离,  $d_4$  是车辆的标准长度。

2. 车道宽度对路段通行能力的影响:道路的通行能力  $C$  是车道宽度  $b$  的函数。车道的宽度达不到要求必然影响车速,车速的降低则意味着通行能力的减小。车道宽度对道路的通行能力和行车的舒适影响很大:从保证通行能力的角度考虑,必需的车道宽度  $b = 3.50 \text{ m}$ 。当车道宽度  $b$  大于  $3.50 \text{ m}$  时,不影响通行能力;当  $b$  小于  $3.50 \text{ m}$  时,则车速下降,通行能力减小;车道宽为  $3.25 \text{ m}$  时,通行能力修正系数  $a$  车道为  $0.94$ ;车道宽为  $3.00 \text{ m}$  时,通行能力修正系数  $a$  车道为  $0.85$ ;车道宽为  $2.75 \text{ m}$  时,通行能力修正系数  $a$  车道为  $0.77$ 。

3. 多车道对路段通行能力的影响:在一些城市主干道上,同一行驶方向的车道往往不止一条,在多车道的情况下,同向行驶的车辆由于超车、绕越、停车等原因影响另一条车道的通行能力。一般越靠近路中心线的车道,其影响越小,因此在无分隔带的同向车道上,靠近路中心线的车道通行能力为最大;靠近侧石的车道,其通行能力为最小,其影响用修正系数  $a$  条来表示。据观测,自路中心线起第一条车道的修正系数  $a$  规定为  $1.00$ ,其余车道的修正系数依次为:第二条车道为  $0.80 - 0.89$ ;第三条车道为  $0.65 - 0.78$ ;第四条车道为  $0.50 - 0.65$ ;第五条车道为  $0.40 - 0.52$ 。为了统一数据,我们在本论文中第一条  $a$  条采用数值  $1$ ,第三车道  $a$  条采用数值  $0.72$ 。



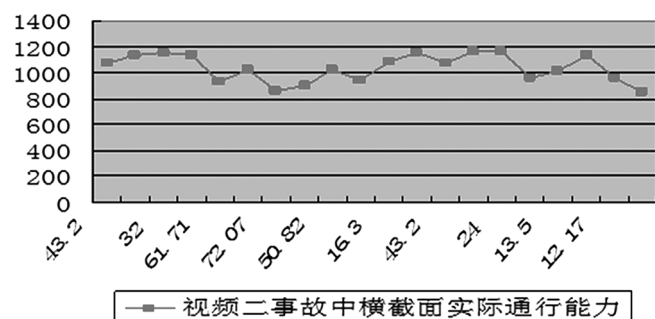
图一

注:上图中横坐标为速度,纵坐标为实际通行能力,速度是依据时间顺序依次测量的。

通过对图一中两折线图的对比,我们可以清晰得出事故从发生到撤离期间事故所处横断面的实际通行能力的变化趋势:在最开始的一小段时间内由于刚开始车辆较少,通行能力变化不大,但已有车辆开始滞留,过了一段时间之后由于上游路段绿色信号灯的作用,车辆的不断驶来,较多的车辆连续不断往事故处拥挤,使得此处的通行能力急剧下降,之后随着时间的推移,再加上上游信号灯固定的时间变化,事故处的实际通行能力开始回升,最后趋于相对平稳的范围内波动。

## 二、横断面车道三的实际通行能力

### 视频二事故中横截面实际通行能力



图二

折线图可以看出由于视频一与视频二所占车道不同,因而虽然是同一横断面,实际通行能力仍然存在着差异,这是由于在视频一中,车祸将直行车道、左转车道堵住,车辆只能从右转车道通过。而堵住的两个车道的流量比例占  $79\%$ ,处在这两个车道的车必须插入右转车道才能行使通过,由于被堵车道车多所以插入右转车道时间会比较长,故车祸发生后道路通行能力马上下降,道路通行能力减小到约为原来的三分之一,随着上游不断进来的车,事故发生点开始堵车,道路通行能力为实际通行能力,一直处于波动阶段,车祸撤离后恢复至原来的道路通行能力。在视频二中车祸发生点在右转车道与直行道处,直行、右转车道的车需要插入左转车道,由于左转车道的流量比例为  $35\%$ ,比右转车道高出很多,所以开始出现了不堵车的情况;当越来越多的车插入右转车道后才使得其通行能力下降使得道路被堵,直到车祸撤离后才缓解堵车现状,恢复到以前的道路通行能力。

## 三、实际通行能力和上游车流量与时间函数关系式的建立

我们假设道路发生事故的排队系统服从排队论中的成批到达的  $\frac{M^k}{M/1}$  排队模型。这种模型是指上游车辆到达事故处为最简单流,即由于上游信号灯的影响,车辆到达事故处的时间间隔是服从负指数分布的排队系统。

为确定每批车辆到达的时间间隔和等待时间分布的方法,一般是按照统计学方法,用理论分布去拟合实测资料并估计其参数值。本问题用到的输入过程和理论分布分别是泊松流和负指数分布。

1. 该系统的输入过程  $\{M(t), t \geq 0\}$  为 Poisson 流,平均到达速率为  $\lambda$  (单位时间内的到达次数,  $\lambda > 0$ ),但每隔一段时间到来的不是一辆车,而是一批车,设本问题中每批到达  $k$  辆车,车的数量为  $\infty$ ;

2. 对于每辆车在此路段的停留时间  $\{v_n, n = 1, 2, \dots\}$  相互独立并且都服从负指数分布,通过速率  $\mu$ ;

(上转第 258 页)

分类,并设置多个执行部门来解决不同类的案件。既有通过案件繁简划分,也有通过案件性质阶段划分。但这种实践多是针对如何科学高效的运用法院内部有限的人员,以提升执行案件解决的效率,并不能完全解决执行中公正和效率的矛盾。

虽然法律和司法解释对于执行权限的划分有了一定的规定,但是都不够具体和明确,相比较来看,世界各国执行体制表现出的一个共性因素是行政性人员仅行使本原意义上的行政性执行权(实施权),而本原意义上的司法性执行权(裁判权)则由法官或其他司法人员行使,中国行政机构改革大的方向也应当相差不远。但是在中国现行的法律法规中,执行员的地位是不明确的。执行员同执行机构之间的关系似乎也并不明确,而新的民诉法、民诉法解释也没有着重规定。执行员的权限、分工问题都遗留到实践中去解决而没有统一的规定似乎不尽合理,也易于造成执行中的冲突和重合。<sup>[8]</sup>

#### 四、关于“执行乱”和“执行难”

“执行乱”的问题更多关乎行政机构权力分配和体制,如果能够在法律中明确法院内部各人员的地位,并设置合理的相互制约,“执行乱”的问题是可以民诉制度和组织方式的层面上解决的,这也是之前所探讨的主要问题。

“执行难”的问题就相对比较复杂。它更多的涉及当事人的社会权益而非程序权益,是执行机构整体所具备的执行权限同当事人所拥有的社会权利之间的博弈。

事实上,无论是关于执行权的性质还是执行机构的设置方式问题的讨论,探讨的都是如何最大程度的实现司法实践中效率与公正的平衡。现实生活中,民事执行难的问题多数情况下是社会问题而不仅是法律问题。而现实的困境是,法院作为司法机构,在我国行政体系中的支配力和话语权都远不如作为行政机构的政府,而行政机构又无法给予民事主体足够的安心感和权威性,行政机构和司法机构在法律上的权责也不够明确。当执行中遇到社会稳定问题与法律问题之间的冲突时,若法律无法给出明确的解答,就会产生无法解决的矛盾。

在法院的未结案执行案件中,无财产可供执行案件占有很大比重,但这是一个很复杂的问题。现实中,若第三人在被查封房屋未过户的情况下入住,法院一般只能放任之。而当这种情况下被执行人房屋以外的其他财产不足以清偿债务时,第三人的居住权就会与法院的执行权发生矛盾。理论上说,房屋并未过户,而法院已经查封房屋,被执行人拥有房屋这一可执行的财产,执行有继续的可能。但法院往往为了避免引发

社会不和谐因素和群众性争端而使执行趋于停滞。由此可见,查封和居住权的矛盾虽然是一个执行手段上存在的缺陷,但本质上是执行机构在保证社会稳定和谐的压力下,能够多大程度干涉当事人的社会权利的问题。法院执行机构在执行中要多大程度的顾及社会稳定问题,如何这个界限不能划清,那么无论行使执行权的是司法机构还是行政机构,“执行难”的困境都是不可避免的。(作者单位:华东政法大学)

#### 参考文献:

- [1] 2009年最高法院《关于进一步加强和规范执行工作的若干意见》:“各级人民法院统一设立执行局,并统一执行局内设机构及职能。高级人民法院设立复议监督、协调指导、申诉审查以及综合管理机构,中级人民法院和基层人民法院设执行实施、执行审查、申诉审查和综合管理机构。”
- [2] 2013年《民事诉讼法》228条:“人民法院根据需要可以设立执行机构。”
- [3] 2011年最高法院《关于执行权合理配置和科学运行的若干意见》:“中级人民法院对辖区人民法院的执行工作实行统一管理。下级人民法院拒不服从上级人民法院统一管理的,依照有关规定追究下级人民法院有关责任人的责任。”
- [4] 2013年《民事诉讼法》228条:“执行工作由执行员进行。”
- [5] 2011年最高法院《关于执行权合理配置和科学运行的若干意见》:“执行实施权由执行员或者法官行使。执行审查权的范围主要是审查和处理执行异议、复议、申诉以及决定执行管辖权的移转等审查事项。执行审查权由法官行使。”
- [6] 1998年《最高人民法院关于人民法院执行工作若干问题的规定》第129条:“上级人民法院依法监督下级人民法院的执行工作,最高人民法院依法监督地方各级人民法院和专门法院的执行工作。”
- [7] 2014年最高法院《关于执行案件立案、结案若干问题的意见》“本意见所称执行案件包括执行实施类案件和执行审查类案件…执行案件统一由人民法院立案机构进行审查立案。”
- [8] 2001年《法官法》52条:“对人民法院的执行员,参照本法有关规定进行管理。”;2006年《人民法院组织法》40条:“地方各级人民法院设执行员,办理民事案件判决和裁定的执行事项。”

(下接第264页)

3. 系统容量为有限值 $x$ ,当有车辆到达该路段的时候,若该路段的通行能力正常,则该车辆可以正常通过,而当此处发生交通事故时,道路的实际通行能力下降,此时若有一批车辆从上游驶过来,则这些到达的车辆要在队列中排队等待行驶通过。

我们设 $N(t)$ 表示 $t$ 时刻系统的排队长度,由于系统容量为有限值,故 $N(t)$ 的可能取值空间为 $I = \{0, 1, 2, \dots, x\}$ , $N(t)$ 的取值空间就是状态空间,系统可在这些状态之间变化,相邻状态就是相差不大于1的车辆数。系统中下一时刻车辆的数目只可能增加一个、减少一个或保持不变,也就是该随机过程的一步转移只能发生在相邻状态之间,或者说,用“生”表示车辆增加一个,“灭”表示车辆减少一个。

假设某时刻系统中已经有 $n$ 辆车,此时,当有一个批量为 $k$ 的车辆到来后,系统中的车辆立即增加到 $n+k$ 个,而事故处每次只能通行一辆车。

该系统在一定条件下是存在平稳分布的,即系统处于各个状态的概率均存在。如果我们根据以前的方法,依据平衡状态下流入流出量相等的原则列出等式,然后根据概率归一化条件求出概率分布,最后根据定义求 $L$ 等参数会非常复杂。因此,下面我们使用了较为简单的方法求解。

假设某时刻系统中的车辆已达到最大系统容量 $x$ ,此时,当有一个批量为 $k$ 的车辆到来后,必须等前面的车开始发动后后面的车辆才能向前行驶。设交通事故所影响的路段车辆排队长度为 $L$ ,车辆排队的等待队长为 $L_0$ 。

系统内有 $n$ 辆车的概率为 $P_n$ ,则:
$$P_n = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!c^{\mu-c}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0,$$

事故横断面的基本通行能力为:
$$N = \frac{1000}{\frac{t_0}{3.6} + cv + \frac{d_3 + d_4}{v}},$$

事故横断面的实际通行能力为: $N_0 = c_0 N$ ,  
则从事故处开走的车辆队长为: $L_1 = P_n N_0$ 。

故路段上游的车流量为 $L_2 = NT$ ,其中 $T = T_1 + T_2$ , $T_1$ 为事故从发生到撤离所需要的时间, $T_2$ 为事故撤离后车辆疏散完毕后这一过程所需要的时间,这两个变量均可以从视频监控器中读出。

由上面过程我们可以得出交通事故所影响的路段车辆排队长度:

$$L = L_0 + L_2 - L_1$$

#### 四、结束语

本文通过对问题的分析,合理地将问题进行模块化处理,使问题明朗化,并在一定程度上将其进行了简化。所建立的模型不仅适用于本事故,对于一般的城市道路事故也可使用,以便来解决实际问题,更好的舒缓交通,方便大家的通行。(作者单位:北京工商大学经济学院)

#### 参考文献:

- [1] 肖华勇. 数学建模竞赛优秀论文精选与点评 [M]. 陕西: 西安工业大学出版社, 2011.
- [2] 姜启源, 金星俊. 数学模型 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [3] 曾勇, 丽华, 建峰. 排队现象的建模、解析与模拟 [M]. 陕西: 西安电子科技大学出版社, 2011.
- [4] 郭耀煌, 钟小鹏. 动态车辆路径问题排队模型分析 [J]. 管理科学学报, 2006 (01).