

文章编号: 1003- 207(2010)05- 0122- 08

城市路网运输性能退化成本评估模型

尹洪英, 徐丽群

(上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200052)

摘要:路网的运行受到诸多因素的影响而使得路网运输性能发生退化, 分析了路网运输性能退化的影响因素和作用机理, 给出了路网运输性能退化及退化的极端情况路段失效的成本分析过程框架。基于 BPR 路阻函数和用户均衡分配理论分析路网运输性能退化的成本函数, 建立了拥堵情况下城市路网路段失效的成本评估模型。最后, 通过实例分析了路网运输性能退化对出行成本影响的变化规律, 给出了路网运输性能退化的极端情况路段失效成本评估的具体过程, 研究表明路网运输性能退化对出行成本具有很大的影响, 二者成显著的正相关关系。

关键词:路网; 性能退化; 成本评估; 路阻函数; 用户均衡分配

中图分类号: F527; C931 文献标识码: A

1 引言

路网作为城市活动的载体, 是确保城市生命线能够正常运转的重要子系统, 它已成为现代日常生活中不可缺少的一部分。然而伴随着城市路网重要地位不断提高的同时, 交通事故、重大事件或活动、恶劣天气、道路保养或维修等交通事件时常会使得路网中部分车道关闭或整条路段中断, 给交通网络的运行带来巨大影响, 交通流量的分布也会产生变化, 还可能引起其它路段发生交通拥堵。我们把路网中道路受到外界因素干扰或系统内部因素变化失去部分或全部连通能力而导致路网运输功能或服务水平下降的性质称为路网运输性能退化。研究城市路网运输性能退化的影响, 分析路网运输性能退化的经济后果, 可以为预防、管理和减轻交通事件对路网的干扰提供依据。

诸多学者常用可达性指标度量路网运输性能退化的后果, 路网整体可达性是运输分析和城市规划中的一个重要概念^[1], 对路网总体性能评价起着重要的作用。Sohn(2005)^[2]建立了可达性指标 A_i 的函数评价每个县的可达性分值, 函数中包括了县与县之间的最短路径距离和县的人口数, 并对这两个因素构建的函数分别赋予权重分析了不同权重下马

里兰公路网的重要性。Taylor 等(2006, 2007)用增加的广义出行成本、Hansen 整体可达性和遥远度指标估计了澳大利亚的整体和偏僻路网运输性能退化的后果^[3,4]。Jenelius 等(2006, 2007a, 2007b)在已知路网 OD 对矩阵的情况下, 以用户增加的旅行时间成本作为度量路段重要性的方法研究了瑞典北部路网路段失效的后果^[5-7]。为了计算的方便和效率, 上述研究在衡量路网运输性能退化成本时没有考虑路网拥堵的情况, 也就是假定路段的旅行时间是不随道路负载的变化而变化的, 当路网中没有拥堵的时候, 这种假定是合理的。然而对于城市路网来说, 路网中的拥堵带来的影响是较大的, 不考虑拥堵得到的结果可能有很大的偏误。在拥堵的情况下, 必须用允许路段的旅行时间随着路段之间的流量负载而变化的动态网络模型。然而当前对拥堵情况下路网运输性能退化的研究还不多。Knoop 和 Hoogendoorn(2007)^[8]利用微观和宏观仿真的方法研究了鹿特丹拥挤的城市网络在路段阻塞下的效应, 但是他们没有提出路网运输性能退化成本的通用度量模型。Berdica 和 Mattsson(2007)^[9]基于 vd 函数(容量-延迟函数)对斯德哥尔摩的路网进行了研究, vd 函数如公式(1)所示。

$$t(V, l) = \begin{cases} [\frac{V}{k_1} + k_2(1 + (\frac{V}{k_3})^n)] \times l + k_4, & \text{if } V \leq \nabla \\ t(\nabla, l) + k_5(V - \nabla), & \text{if } V \geq \nabla \end{cases} \quad (1)$$

其中, $t(V, l)$ 代表 vd 函数(容量-延迟函数), V 代表每小时每条车道上的车辆数, l 代表路段的

收稿日期: 2010- 03- 26; 修订日期: 2010- 09- 12

基金项目: 国家 863 计划课题(2006AA11Z209)

作者简介: 尹洪英(1979-), 女(汉族), 山东人, 上海交通大学安泰经济与管理学院, 研究方向: 交通运输规划与管理、物流与供应链管理。

公里数长度, V 为路段的参考容量, k_i 代表依赖于路段速度限制和交通条件的参数, n 代表多项式参数。这个函数对于不同的路段, 依赖于路段的速度限制和交通条件。

仿真的方法需要对不同的路网分别进行建模, 不具有分析路网运输性能退化成本的通用性, vd 函数则需要分析不同路段的参数, 而且对 vd 函数中的参数较准确的确定也存在一定的困难, 这将会影响到最终的度量结果, 使得模型与实际存在一定的偏差。考虑到上述问题, 本文利用路阻函数和交通分配原理对拥堵情况下的路网运输性能退化成本进行分析, 构建了更为通用的城市路网运输性能退化的时间成本评估模型。

本文首先对路网运输性能退化的影响因素和作用机理进行分析, 然后给出了运输性能退化和退化的极端情况路段失效的成本分析框架, 利用路阻函数分析城市路网运输性能退化的时间成本, 研究了路网拥堵情况下城市路网运输性能退化的后果, 以路段失效造成成本的变化来衡量路段的重要性。通过实例分析路网运输性能退化对出行时间成本波动的影响, 并说明路段失效时路网运输性能退化的时间成本评估模型具体的分析过程和模型的有效性。

2 路段运输性能退化影响因素及作用机理分析

导致路网运输性能退化的影响因素很多, Husdal(2004, 2005)^[10, 11] 将这些影响因素分为结构相关的属性、自然相关的属性和交通量相关的属性三个方面, Srinivasan(2002)^[12] 将路段连接的脆弱性影响因素分为网络属性、威胁属性、流量属性和邻接属性几个方面。路网运输性能退化的时间成本必然是由于路网系统存在内部或外部的某种诱因而引起的, 根据诱因的来源本文把路网运输性能退化的影响因素分为内部影响因素和外部影响因素两大类。内部影响因素主要包括路网交通流流量状况(将日常流量看成是路网系统的一个组成部分)和道路条件特征。其中, 道路条件特征又包括路网拓扑结构、道路质量状况和道路通行能力等。外部影响因素主要包括自然因素和人为因素。自然因素主要包括恶劣气候、地质灾害等, 人为因素主要包括大型活动、路段维修、蓄意破坏和交通事故的发生等。所有这些因素都是通过改变路网的需求和供给来影响道路的运输性能的, 我们利用因果关系图来反映路网运输性能退化影响因素模型中各个因素之间的关系, 如图 1 所示。

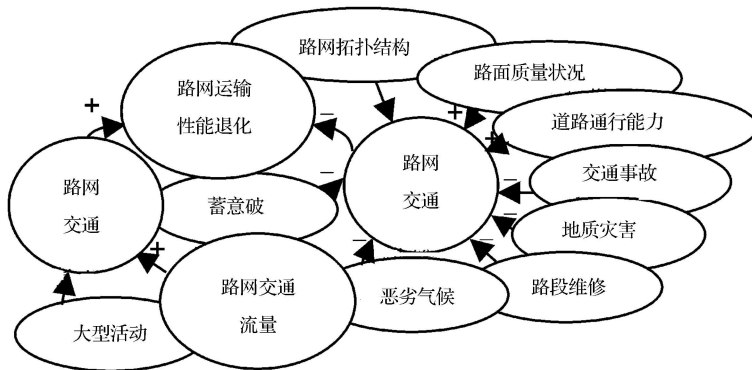


图 1 路网运输性能退化影响因素因果关系图

一方面, 路网的交通流量会由于外部因素的变化而发生变化, 如大型活动的举办会导致交通流量的增加。另一方面, 路网的道路通行能力会由于各种因素的影响而变化, 如大雨、大雪等天气可能使路面变得湿滑, 导致某些车道或路段的关闭或中断。有些外部因素的扰动可能只影响某一个路段的运行, 例如某些交通事故的发生, 有的因素则可能影响到整个路网, 如恶劣的天气。当一个路段的通行能力下降的时候, 这个路段可能造成其他路段拥堵。

而当一个路段关闭的时候, 车辆就需要寻找替代路径或者等待路段再次开放。不同的路段在路网中所起的作用不同, 分析这些不同的扰动因素下, 路段对路网整体绩效影响的变化规律以及识别其中的关键路段, 对路网的管理有着重要的作用。

3 路段运输性能退化成本分析框架与模型

3.1 路段运输性能退化成本分析框架

由于城市交通网络中存在着阻塞效应, 如果所

有的出行者都选择初始出行时间最小的路径, 随着流量的不断增大, 这条路径上的出行阻抗就会增大进而产生拥挤, 这样它将不再是最经济的出行路径, 还会出现其它的最小出行费用路径, 初始出行时间最小的路径将被其它最小出行阻抗的路径代替, 部分出行者会改变其出行路径。这样流量反复在路网上进行分配, 如果每个出行者都选择自己认为出行费用最小的路径出行, 最后达到 UE 平衡状态, 即满足 Wardrop 原则。

首先构建所要研究的路网拓扑结构, 对研究的

路网区域中的交叉口和路段按顺序标定并编号, 将所研究区域的路网对应于图 $G = (V, E)$ 。其中, 交叉口用顶点集 V 表示, 节点之间的连线代表道路, 用边集 E 表示, $E = \{(vi, vj) | (vi, vj) \in V \times V, vi \neq vj\}$ 。路网运输性能退化成本是指路网在受到内外部因素的影响下各个路段的旅行时间与路段流量的乘积与其在正常情况下各个路段的旅行时间与路段需求的乘积的差值。路网运输性能退化成本的分析框架如图 2 所示。

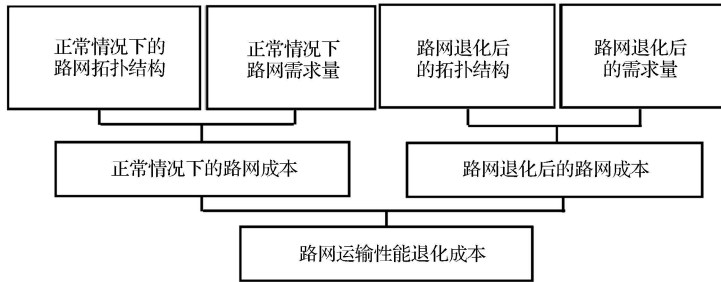


图 2 路网运输性能退化成本分析框架

路网运输性能退化的极端情况是某个或某些路段失效, 路段失效是路网运输性能退化的常见情况。基于 BPR 路阻函数, 结合交通分配理论可以进行路段失效成本分析。结合路网运输性能退化成本分析

的基本思想和框架图, 可以得到路段失效后果分析的框架。路段失效后果分析的框架如图 3 所示, 其大致过程如下:

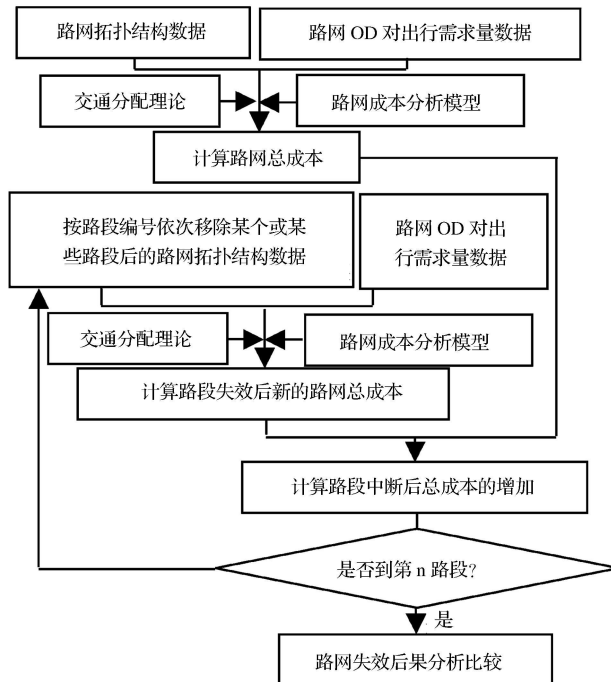


图 3 路网运输性能退化极端情况- 路段失效成本分析框架

(1) 根据路网拓扑结构数据和路网 OD 对出行需求量数据, 结合交通分配理论, 计算路网中所有路段在正常情况下, 路段的流量分配和相应的路网总成本;

(2) 依次计算路网中每个路段失效后路网的总成本。这时, 按照路段编号依次移除路段得到新的路网拓扑结构连接数据, 然后对路段的流量进行重新分配, 并计算相应的新的路段总成本;

(3) 计算路段失效造成的路网运行成本的增加值, 可以将其作为路网失效后果的判断指标, 比较路段的重要性。

3.2 路段运输性能退化成本分析模型

路段的阻塞效应通常可以用费用(阻抗)函数来表示, 因此, 本文在考虑路段拥堵的情况下, 采用阻抗函数公式来度量路段的行程时间。由于存在拥挤的作用, 阻抗应该是流量的增函数。实践中最简单、最常用的阻抗函数公式是由美国公路局提供的 BPR 路阻函数 (U. S. Bureau of Public Roads — BPR), 即:

$$t_a = t_{0a} [1 + \alpha (\frac{x_a}{K_a})^\beta] \quad (1)$$

其中, t_a 表示路段 a 上的阻抗; t_{0a} 表示路段 a 上的零流阻抗, 亦即路段上流量为零时一辆车自由行驶所需的时间; x_a 表示用户平衡状态下路段 a 上的车流量; K_a 表示路段 a 的实际通行能力, 即容限。 α 和 β 为模型参数, 一般取 $\alpha=0.15, \beta=4$ 。无论路段是否拥堵, t_a 都可以用来衡量路段在流量 x_a 下的行程时间, 因此它具有更广泛的应用, 可以用于拥堵的情况, 也可以用于 Jenelius 等学者所描述的不考虑拥堵的情况。用路段行程时间与流量乘积总和来表示路网的总成本, 可以表示为 $C = \sum t_a x_a$ 。路网运输性能退化成本即为 $\Delta C = \sum t'_a x'_a - \sum t_a x_a$ 。其中, t'_a, x'_a 分别为路网在受到内外部因素的影响下各个路段的旅行时间和流量, t_a, x_a 分别为路网正常情况下各个路段的旅行时间和流量。

本文做如下三个假设: ①单位时间从 i 到 j 的出行需求量 X_{ij} 是不变和无弹性的; ②任意路段的失效不影响 OD 出行需求量; ③不考虑路段失效的信息传播时间, 即路网中的出行者能够很快知道路段失效的信息而对此做出反应。假定 OD 对之间的路段 k 在 $t=0$ 时刻关闭, 在经过 $t=\tau$ 时间后恢复正常。利用交通分配原理分别得到在路段 k 正常情况下和关闭的情况下每个路段上的车流量, 然后分别

计算路段 k 在正常情况下和失效情况下的阻抗, 每个路段 k 的成本变化用路段 k 关闭的情况下相应的路段车流量与路段阻抗的乘积与路段 k 正常情况下相应的路段车流量与路段阻抗乘积的差值来表示。在路段 k 关闭的情况下, 如果路段从 i 到 j 的需求可以通过改变到其他路径来实现, 那么出行者将改变原来的路径到新的路径上。路段失效成本变化的计算如式(3)所示。

$$\begin{aligned} \Delta C_{ij}^k &= \sum_{n=1, n \neq k}^m t_n x_n^k \tau - \sum_{n=1}^m t_n x_n \tau \\ &= \sum_{n=1, n \neq k}^m t_{0n} [1 + \alpha (\frac{x_n^k}{K_n})^\beta] x_n^k \tau - \sum_{n=1}^m t_{0n} [1 + \alpha (\frac{x_n}{K_n})^\beta] x_n \tau \\ &= \sum_{n=1, n \neq k}^m t_{0n} [x_n^k - x_n + \alpha (\frac{x_n^k}{K_n})^{\beta+1} - \alpha (\frac{x_n}{K_n})^{\beta+1}] \tau - t_{0k} [1 + \alpha (\frac{x_k}{K_k})^\beta] x_k \tau \\ &= \sum_{n=1, n \neq k}^m t_{0n} \Delta x_n \tau + \alpha \tau \sum_{n=1, n \neq k}^m \frac{t_{0n}}{K_n^\beta} [(x_n^k)^{\beta+1} - (x_n)^{\beta+1}] - t_{0k} [1 + \alpha (\frac{x_k}{K_k})^\beta] x_k \tau \\ &= \sum_{n=1, n \neq k}^m t_{0n} \Delta x_n \tau + \alpha \tau \sum_{n=1, n \neq k}^m \frac{t_{0n}}{K_n^\beta} [(x_n^k)^{\beta+1} - (x_n)^{\beta+1}] - C_k \end{aligned} \quad (3)$$

其中, ΔC_{ij}^k 表示从 i 到 j 的 OD 对中路段 k 失效使得整个路网行程时间成本的增加值; n 表示 OD 对之间的每个路段的编码 ($n=1, 2, \dots, m$); m 表示整个 OD 对之间的所有路段总数; t_{0n} 表示路段 n 上的零流阻抗, 也就是路段 n 上流量为零时一辆车自由行驶所需的时间; x_n 为路段 n 在所有路段正常情况下的车流量; x_n^k 为路段 n 在路段 k 失效情况下的车流量; $\Delta x_n = x_n^k - x_n$, 表示路段 n 在路段 k 失效情况下和所有路段正常情况下的车流量变化值; τ 表示路段 k 关闭的时间; K_n 表示路段 n 的实际通行能力; C_k 为所有路段正常情况下路段 k 上的阻抗, $C_k = t_{0k} [1 + \alpha (\frac{x_k}{K_k})^\beta] x_k \tau$ 。

在路段 k 关闭的情况下, 如果从 i 到 j 的需求不能被满足, 也就是没有替代路径而导致不可达, 出行者就只能等待路段 k 再次开放才能通过, 这不会影响其他路段上的流量, 这时路段失效的成本将变为无穷大。利用路段失效成本公式还可以计算路段的重要性, 比较不同路段在路网中的作用。路段重要度的计算公式(4)如下:

$$\begin{aligned} \Delta I_y^k &= \frac{\sum_{n=1, n \neq k}^m t_{0n} [1 + \alpha (\frac{x_n^k}{K_n})^\beta] x_n^k \tau - \sum_{n=1}^m t_{0n} [1 + \alpha (\frac{x_n}{K_n})^\beta] x_n \tau}{\sum_{n=1}^m t_{0n} [1 + \alpha (\frac{x_n}{K_n})^\beta] x_n \tau} \\ &= \frac{\sum_{n=1, n \neq k}^m t_{0n} [1 + \alpha (\frac{x_n^k}{K_n})^\beta] x_n^k}{\sum_{n=1}^m t_{0n} [1 + \alpha (\frac{x_n}{K_n})^\beta] x_n} - 1 \end{aligned} \quad (4)$$

4 路网运输性能退化成本评估实例分析

本文采用一个简单的路网来分析不同场景下路网性能退化对出行时间成本波动的影响的变动特

点,并说明路段失效时路网运输性能退化的时间成本评估模型具体的分析过程和模型的有效性。这里采用的路网拓扑结构如图 4 所示,它包括一个 OD 对(1, 4), 4 个节点和 6 条路段。从出发点 1 到目的地 4 共有 4 条路径,它们分别是路径 1: R1, 路径 2: R2→R5, 路径 3: R3→R4→R5 和路径 4: R3→R6。其中每条路段上的零流阻抗分别为: $t_0(R1) = 0.80h$, $t_0(R2) = 0.20h$, $t_0(R3) = 0.28h$, $t_0(R4) = 0.30h$, $t_0(R5) = 0.20h$, $t_0(R6) = 0.60h$ 。路段的实际通行能力分别为 $C_{R1} = 2000$ 辆/h, $C_{R2} = 3000$ 辆/h, $C_{R3} = 2500$ 辆/h, $C_{R4} = 2500$ 辆/h, $C_{R5} = 3000$ 辆/h, $C_{R6} = 2500$ 辆/h。

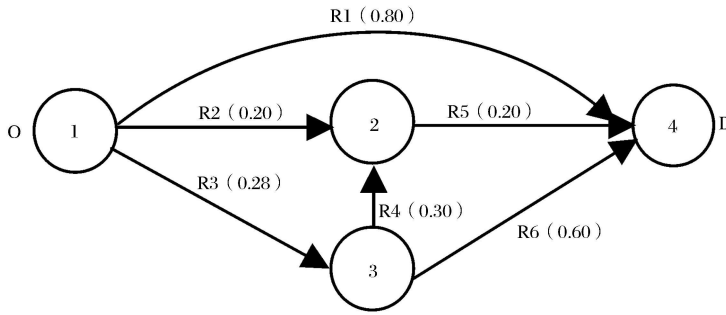


图 4 测试路网的拓扑结构图

4.1 路网运输性能退化与路网成本关系分析

根据第二部分对路网性能退化的影响因素和作用机理的分析可知,路网性能退化主要是受路网流量需求变化和道路通行能力变化的影响,在这里考虑如下几种场景路网总的出行时间成本的变化情况: ①保持路网中路段的通行能力不变的情况下, OD 对间的总流量从 0 到 10000 辆/h 之间以每次 500 辆/h 递增变化,这些场景模拟路段从较小的交通需求量到较大需求量的变化; ②所有路段通行能力均降低 10% 和 30%,这两种情况模拟路网在下雨或下雪时造成的影响。路段通行能力均降低 10% 表明天气变化对道路通行能力的影响较小,路段通行能力均降低 30% 表明天气变化对道路通行能力的影响较大,例如大雪导致通行能力极大下降的情形。

利用 MATLAB 7.0 编程实现对上述网络在不同情况下路网运输性能退化的模拟分析,每种情况运行 1000 次取均值,得到如下分析结果。

(1) 保持路网中路段通行能力不变的情况下,路网总流量递增变化的情况,分析结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出,随着总流量的增加每个路段和路网的总成本都是单调增的,路段的车流量近似于成比例的增加,路网的总成本曲线则是一个递增增加的凸函数曲线形式。

(2) 对于路段通行能力均降低 10% 和 30% 的情况,在不同的 OD 对流量变化的情况下,路网成本变动的分析结果如图 5 所示。其中 C1 是所有路段通行能力正常时路网的成本变化曲线, C2 是所有路段的通行能力均降低 10% 时路网成本的变化曲线, C3 是所有路段的通行能力均降低 30% 时路网成本的变化曲线。由图 5 可以看出,当车流量小于 4000 辆/h 时,路段通行能力正常、降低 10% 和降低 30% 的路网成本基本完全一样。当车流量大于 4000 辆/h 时,路段通行能力正常、降低 10% 和降低 30% 的路网成本出现差异。当车流量大于 8000 辆/h 时,路段通行能力正常、降低 10% 和降低 30% 的路网成本之间的差异很明显,路段通行能力降低 30% 时路网成本曲线上升的幅度非常快。可以看出,当路网流量大于某个临界值后,路网运输性能退化对出行成本具有很大的影响,二者成显著的正相关关系。

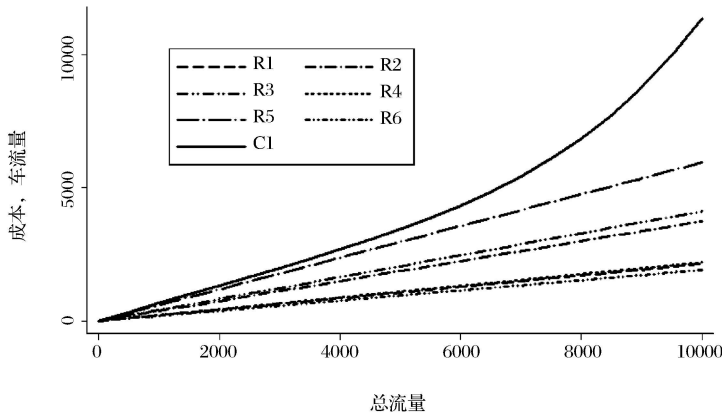


图 5 OD 对间总流量递增变化下路段车流量和成本变化曲线图

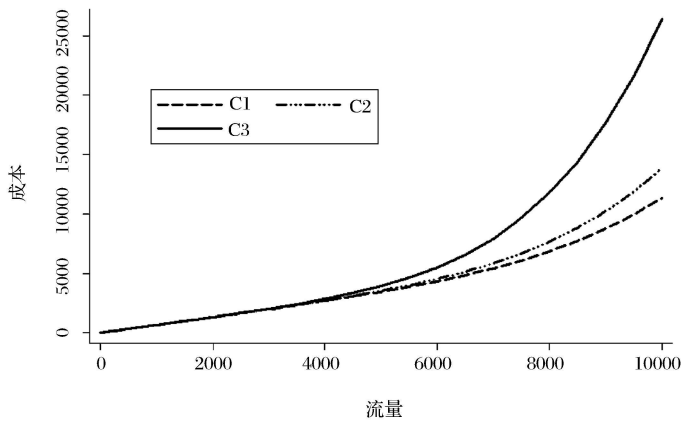


图 6 路段通行能力均降低 10% 和 30% 路网成本变化曲线图

4 2 路段失效后路网运输性能退化成本评估

路段失效是路网运输性能退化的极端情况,在这里主要分析出行需求量为 7000 辆/h 时,每个路段单独关闭时路网的成本变化,利用路段失效评估的分析框架和失效成本评估模型分析路网中的各个路段的重要性,这种情况主要用来模拟路段在维修或交通事故等情况下导致某一路段失效的情形。在出行需求量为 7000 辆/h 的情况下,对图 4 中的路网利用交通分配理论分析,可以得到用户平衡状态下各个路段上的车流量分别为 $x_{R1} = 1498, x_{R2} = 2621, x_{R3} = 2880, x_{R4} = 1541, x_{R5} = 4162, x_{R6} = 1339$ 。假定路段 R1 发生了中断,持续时间为 1 小时,即 $\tau = 1$ 。对移除 R1 的路网进行分析,可得相应各个路段流量分别为 $x_{R2} = 3378, x_{R3} = 3622, x_{R4} = 1943, x_{R5} = 5321, x_{R6} = 1679$ 。根据公式(3)可以计算出路段 R1 中断 1 小时的成本变化 ΔC_{14}^{R1} 如下:

$$\Delta C_{14}^{R1} = \sum_{n=2, n \neq 1}^6 t_{0n} \Delta x_{Rn} \tau + \alpha \tau \sum_{n=2, n \neq 1}^6 \frac{t_{0n}}{K_{Rn}} [(x_{Rn}^{R1})]^{\beta+1}$$

$$- x_{Rn}^{R1}] - C_{R1} = 1394.9$$

同理,可以得到其他路段中断 1 小时的路网运输性能退化成本值 ΔC_{14}^k ,利用公式(4)可以计算得到路段的重要度,具体结果见表 1。

表 1 路段运输性能退化成本变动分析

路段编号	R1	R2	R3	R4	R5	R6
路段失效成本变化值 ΔC_{14}^k	1394.9	3368.5	459.3	-476.5	6800	547.9
路段重要度	0.257	0.621	0.085	-0.088	1.253	0.101
路段重要性排序	3	2	5	6	1	4

通过上述分析可以看出,路段 5 失效的成本值是整个网络中最大的,这说明,路段 5 的中断对整个网络的影响是最大的,所以保证路段 5 的畅通是很重要的。路段 4 失效的成本值是整个网络中最小的,而且是负值,这说明路段 4 是该网络中的冗余路

段。根据表1还可以得到路网中不同路段的重要性程度。

为了较清楚地说明问题,本文只分析了一个OD对的简单实例,对于多OD对的路网分析,上述方法也是适用的,其基本过程和原理是相同的,只需要对多OD对矩阵应用路网流量分配原理得到各个路段的交通流量,然后计算各个路段失效情况下的新的流量值,再利用公式(3)就可以得到路段运输性能退化的成本。

5 结语

本文对路网运输性能退化的影响因素和作用机理进行了分析,发现这些影响因素都是通过改变路网的需求和供给来影响路网的运行的。当前对路网运输性能退化的分析很少考虑拥堵的情况,然而对于城市路网,路段的拥堵是必须考虑进去的,否则就可能产生很大偏误。针对这个问题,本文利用BPR路阻函数和交通分配理论研究了路网拥堵情况下路网运输性能退化的成本评估模型,分析了路网运输性能退化的极端情况路段失效的成本变动值并衡量路段重要性。通过一个OD对分析多种场景下路网运输性能退化与路网成本之间的变动关系,并给出了路段失效时运输性能退化的成本分析过程。研究结果表明路网运输性能退化对出行成本具有很大的影响,二者成显著的正相关关系,利用该模型可以对路段的重要性进行分析和排序。本文的模型具有更广泛的应用,既可以用于分析拥堵的情况,又可以用于分析众多学者所描述的不考虑拥堵的情况。模型避免了仿真方法对不同网络建模和分析较为繁杂的缺陷,同时也不需要针对不同路段中 v_d 函数的参数进行分析。

本文关于路网运输性能退化的研究中假定单位时间从 i 到 j 的出行需求量 X_{ij} 是不变和无弹性的,然而在现实中车流量是随着时间发生变化的,在高峰和平峰时可能会相差很大。今后的研究需要考虑出行需求量的变化,使得分析的结果更加接近现实。

参考文献:

- [1] Miller, H. J.. Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: Basic theory and computational procedures [J]. *Geographical Analysis*, 1999, (31): 187- 212
- [2] Sohn, J.. Evaluating the significance of highway network links under the flood damage: An accessibility approach [J]. *Transportation Research A*, 2005, (40): 491- 506
- [3] Taylor, M. A. P., Sekhar, S. V. C., D' Este, G. M.. Application of accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road networks [J]. *Networks and Spatial Economics*, 2006, (6): 267- 291
- [4] Taylor, M. A. P., D' Este, G. M.. Transport network vulnerability: A method for diagnosis of critical locations in transport infrastructure systems [C]. In *Critical infrastructure: Reliability and vulnerability*, ed A. T. Murray and T. H. Grubestic, New York: Springer, 2007: 9- 30
- [5] Jenelius, E., Petersen, T., Lars Göran, M.. Importance and exposure in road network vulnerability analysis [J]. *Transportation Research Part A*, 2006, (40): 537 - 560
- [6] Jenelius E, Geography and road network vulnerability: Regional equity vs economic efficiency [C]. Paper presented at the 9th Nectar Conference, Porto, Portugal, 2007: 1- 15
- [7] Jenelius, E.. Incorporating dynamics and information in a consequence model for road network vulnerability analysis [C]. Paper presented at the 3rd International Symposium on Transport Network Reliability (INSTRE), The Hague, The Netherlands, 2007, 6: 1- 8
- [8] Knoop, V., Hoogendoorn, S.. The need of spillback simulation in assessing robustness: Concepts and a case study with dynamic route choice [C]. Presented at the Sixth Triennial Symposium on Transportation Analysis (Tristan), Phuket Island, Thailand, 2007
- [9] Berdica, K., Lars Göran, M.. Vulnerability: A model based case study of the road network in stockholm [C]. In *Critical infrastructure: Reliability and vulnerability*, ed A. T. Murray, T. H. Grubestic, New York: Springer, 2007: 81- 106
- [10] Husdal, J.. Reliability and vulnerability versus cost and benefits [C]. The 2nd International Symposium on Transportation Network Reliability, Queenstown and Christchurch, New Zealand, 2004: 180- 186
- [11] Husdal, J.. The vulnerability of road networks in a cost-benefit perspective [C]. *Proceedings of the Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington DC, USA, 2005: 1- 17
- [12] Srinivasan, K.. Transportation network vulnerability assessment: A quantitative framework [R]. *Security Papers* (Knoxville: Southeastern Transportation Center, University of Tennessee), 2002: 60- 79.

Cost Evaluating Model of Transport Performance Degradation in Urban Road Networks

YIN Hong ying, XU Li qun

(Antai College of Economics & Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200052, China)

Abstract: There are a lot of factors influencing road network and lead by transport performance degradation. The influencing factors and mechanism of road network transport performance degradation are analyzed. The cost evaluating process framework of road transport performance degradation and road disruption is given. Road network disruption performance degradation cost model is analyzed based on BPR link performance function and user equilibrium assignment theory. Finally, an example is used to explain the basic law that road network transport performance degradation influences the travel cost, and the specific process of road network transport performance degradation cost evaluation. The study shows that the road network transport performance degradation has a great impact on the travel cost, and the transport performance degradation is significant positive correlation to the travel cost.

Key words: road networks; performance degradation; cost evaluation; link performance function; user equilibrium assignment