

基于 TransCAD 平台的 OD 矩阵反推综合效果对比研究

李海峰 韦献兰

交通部规划研究院

交通仿真与决策支持研究中心

北京市朝阳区曙光西里甲 6 号时间国际 2 号楼 4 楼 100028 电话 010 - 59629420

摘要：本文在介绍国内外现有的各种 OD 矩阵反推方法的基础上，提出基于 TransCAD 软件环境下基于路段交通量的 OD 矩阵反推方法，并设计采用不同的 OD 矩阵反推方案。通过方案反推结果之间的对比，研究基于路段交通量反推 OD 矩阵的结果精度与交通分配方法、通行能力、种子 OD 矩阵以及路段交通量调查点覆盖范围之间的关系。

关键词：OD 矩阵，反推方法，TransCAD

Application of OD Matrix Estimation Method Based on TransCAD

Abstract :

Key words :

引言

OD 矩阵是描述交通网络中所有起点 (Origin) 与终点 (Destination) 之间出行量的表格，能够反映小区之间的交通需求，是城市交通规划、控制与管理的基本依据，是现代交通系统研究中必需的组成部分，同时也是开展路网规划、交通建设项目可行性研究和交通组织管理方案评价等工作的重要基础。历史上 OD 矩阵中的数据是通过大规模的交通调查得到的，如家庭调查、电话调查和路边调查等，但是这种调查需要花费大量的人力、物力和财力，以及很长时间的调查准备工作和数据整理工作。在 20 世纪 70 年代后期，有学者提出了以一定的路段交通量推算 OD 矩阵的方法，即 OD 矩阵反推方法。由于路段交通调查与较大规模的入户调查相比，费用较少，因此常常需要根据路段交通量生成基准年出行矩阵，或更新已有的 OD 出行矩阵，使基准年 OD 矩阵较准确地反映出最新的现状交通

流量分布情况，以应用于交通规划管理。

本文将在介绍国内外现有的各种 OD 矩阵反推方法的基础上，提出基于 TransCAD 的 OD 矩阵反推方法，并设计基于全有全无法、用户平衡法、随机用户平衡法和系统最优法这四种不同分配方法的 OD 矩阵反推方案，通过对比分析调查路段观测交通量与 OD 矩阵反推结果再分配之后相应路段的估计流量之间的误差，确定 TransCAD 的 OD 矩阵反推时应选取的最佳分配方法。再基于该方法，设计种子 OD 矩阵获取方案，以及重新划分原路网的交通小区和设置调查点，最后对不同方案反推结果进行比选分析得出结论。

1、OD 矩阵反推方法综述

OD 反推理论的研究起始于 20 世纪 70 年代后期，先后有多名专家对此进行了研究，早期学者们对 OD 问题的研究主要在于用线性或非线性回归分析建立起重力需求模型，这类模型需要诸如小区人口、就业、平均收入等数据。此后有学者提出基于路网交通平衡的出行矩阵推算模型，重点将拥堵影响包括进来。还有学者尝试通过最大熵或最小信息模型得出与实测路段流量最接近的出行矩阵，以及用统计学方法基于先验矩阵推出未来矩阵。最近的研究主要是用线性规划、神经网络和模糊权重等方法解决 OD 矩阵推算问题。

虽然各国学者和专家进行 OD 矩阵反推研究的模型有所不同，但对于 OD 反推理论的基本思想，各国学者有如下的理解：OD 矩阵反推技术属于 OD 矩阵估计技术中的一种，作为交通分配的逆过程，OD 矩阵反推主要是利用先验矩阵和路段交通量，通过交通模型推算出与实际路网 OD 更相似的新 OD 矩阵。交通分配中的重力模型与 OD 矩阵反推相似，与交通分配不同的是，交通分配问题只考虑起始点的路段流量作为输入数据，而 OD 矩阵反推则还考虑到每个出行路径上的路段流量数据。

目前较为普遍应用的 OD 矩阵反推模型主要有：以极大熵原理为基础的极大熵模型（ME），以最小二乘原理为基础的广义最小二乘模型（GLS），以信息论原理为基础的最小信息量模型（MI），以最大似然原理为基础的极大似然模型（ML）和卡尔曼滤波模型（KF）。下面对上述模型的优缺点进行比较分析，如表 1 所示：

表 1 模型优缺点比较

模型	优点	缺点
极大熵模型	<ul style="list-style-type: none"> • 结构简单 • 不需确定权重和样本概率 • 求解方便，精度高 • 不受对象区域范围的限制 	<ul style="list-style-type: none"> • 要事先确定 OD 点之间径路选择概率 • OD 形式发生大幅度变化时，反推精度将欠佳
广义最小二乘模型	<ul style="list-style-type: none"> • 不必假设数据分布 • 无估计发散问题 	<ul style="list-style-type: none"> • 需要确定权重 • 应用不方便
最小信息量模型	<ul style="list-style-type: none"> • 信息利用充分 • 应用前景好 	<ul style="list-style-type: none"> • 模型复杂 • 求解困难
最大似然模型	<ul style="list-style-type: none"> • 原理简单 • 不需确定权重 	<ul style="list-style-type: none"> • 需确定样本概率密度函数
卡尔曼滤波模型	<ul style="list-style-type: none"> • 用于动态反推效果好 	<ul style="list-style-type: none"> • 存在滤波发散问题

根据处理对象问题的不同，或补充信息方法的不同，或确定推算解的依据的不同，可以对众多的 OD 反推方法从各种角度进行分类，分别为局域的方法和广域的方法、结构化方法和非结构化方法、比例分配法和非比例分配法、有现存 OD 交通量的方法和无现存 OD 交通量的方法和静态方法和动态方法。在静态 OD 反推理论方面，国内外研究起始于 20 世纪 70 年代后期。外国专家 Van Zuylen、Willumsen、Cascetta 等人及国内的杨海教授等人都做出了突出贡献。对于静态 OD 反推而言，理论已经基本成熟。纵观静态 OD 反推模型的发展阶段，可以总结为以下三个阶段，分别是：基于交通模型的方法、统计推断法和梯度法。在动态 OD 反推理论方面，国内外研究起始于 20 世纪 80 年代中期，Willumsen 1984 年首次提出将最大熵模型引入 OD 矩阵反推，即通过路段交通量进行动态 OD 矩阵反推。这个领域的学者主要有 Cremer 与 Keller、Nihan 与 Davis、Bell、Van Aerde、Ashok 与 Ben-Akiva、Maher、Chang 与 Wu 以及国内的杨海、王炜教授等人。综合国内外文献，目前基于城市道路网络的动态 OD 矩阵反推研究，主要是通过分析 OD 量与路段交通量的关系，建立相应的反推模型。由于动态 OD 矩

阵反推理论研究还处于发展阶段,对于动态 OD 矩阵反推方法的分类还没有统一的说法,主要存在以下两种分类方法,分别是:(1)统计推断法和状态空间法;(2)参数优化法和统计法。

2、基于 TransCAD 的 OD 矩阵反推方法介绍

2.1 TransCAD 概述

TransCAD 是一个用于交通数据管理和分析的交通规划软件,是第一个也是当前唯一一个将地理信息系统(GIS)和交通规划分析模型完美结合的软件包,它可以用来储存、显示、管理和分析交通数据,提供了其他 GIS 或交通模型软件所不能及的综合功能。其中,TransCAD 的交通功能主要表现为非凡的图形功能、强大的内置数据库、无限制的模型容量、高质量的文件功能和模型功能。具体包括出行生成/出行产生、出行吸引、出行平衡、出行分布、出行方式划分和选择分析、从 P-A 到 O-D 及全日小时转换、交通分配、高级的道路交通分配、公共交通、公共交通网络及路线、公共交通分配、非机动车交通分析、静态 OD 矩阵反推、货运应用、程序化 TransCAD、先进的地理编辑工具、数据存取和规划工具等。

2.2 基于 TransCAD 的 OD 矩阵反推方法

TransCAD 中的 OD 矩阵反推程序考虑了路段调查量的随机性,并可以采用任一种分配方法,通过交通分配与矩阵估算之间的多次迭代实现矩阵推算功能。OD 矩阵反推程序主要基于 Nielsen1993 和 1998 年的研究成果:使用单一路径 OD 矩阵反推方法(SPME)和多路径 OD 矩阵反推方法(MPME)。该方法的优点是以现状路网中路段的断面观测流量为基础,将观测流量当作随机变量,同时可以用于任何一种交通分配方法,比如可用于随机用户平衡分配法和用户平衡分配法。Nielsen 的方法是一个迭代过程,在交通分配阶段和矩阵反推阶段间来回转换,以一个初始 OD 矩阵作为演算起点,重复地进行“交通分配过程”以及“OD 矩阵反推过程”,直至满足设定地收敛条件后输出估算的 OD 矩阵。

(1) 单一路径 OD 矩阵反推(SPME)

这种方法力求预测的 OD 矩阵最大程度符合 OD 对间最优路段的交通量。其

目标函数为：

$$\min_{\overline{T}_{ij}} \left[f_1 \left(\overline{t}_{ij}, \overline{T}_{ij}, \overline{V}_a, \overline{T}_a \right) \right] \quad (1)$$

式中： \overline{T}_a ——交通分配模型 $\overline{T}_a = f_2 \left(\overline{T}_{ij} \right)$ 得出的路段交通量；

t_{ij} ——由交通小区*i*到*j*的初始出行矩阵；

$\overline{\overline{T}}_{ij}$ ——新的出行矩阵；

V_a ——路段*a*上观测的交通量；

T_a ——路段*a*上分配的交通量；

f_1 ——反推得到的新矩阵；

f_2 ——交通分配模型。

为了满足 OD 对间最优路径的观测交通量与分配交通量相符，需要计算观测路段的期望交通量：

$$T_{(E)ija} = \frac{V_a}{T_a} \cdot t_{ij} \quad (2)$$

式中： $T_{(E)ija}$ ——交通小区*i*到*j*的路段*a*上的期望交通量；

t_{ij} ——初始出行矩阵或前一次迭代中矩阵元素。

可以采用最大似然法中的算术平均值，用式(3)对每条最优路径进行检验：

$$T_{ij} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, r)}} \cdot \sum_{a \in (\tau, r)} T_{(E)ija} \quad (3)$$

式中： $T_{(E)ija}$ ——交通小区*i*到*j*的路段*a*上的期望交通量；

τ ——沿最优路径*r*的路段选择集；

N ——路径的交通量。

除此，也可以用调和平均值方法，按照公式(4)对路段的交通量和分配的交通量进行检验：

$$\min_{T_{ij}} \left[Err_{sqr} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, r)}} \cdot \sum_{a \in (\tau, r)} \frac{(T_{(E)ija} - T_{ij})^2}{T_{(E)ija}} \right] \Rightarrow T_{ij} = \frac{N_{a \in (\tau, r)}}{\sum_{a \in (\tau, r)} \frac{1}{T_{(E)ija}}} \quad (4)$$

在 SPME 方法中,首先执行分配,决定出 OD 间的最优单一路径,然后基于分配交通量和观测交通量做对比,并作相应校正来更新 OD 矩阵。该更新过程在一个迭代循环中重复进行,直到循环数达到一定值或者循环结果达到某一个收敛值为止。

(2) 多路径 OD 矩阵反推 (MPME)

SPME 方法升级后得到 MPME 方法,MPME 方法能够产生更加准确的结果。只有在用户平衡法 (UE) 和随机用户平衡法 (SUE) 中可以使用 MPME 方法。在 MPME 方法中,在每对 OD 间,最优多条路径上的分配流量将和观测交通量将相对比,并作相应校正。与单一路径 OD 矩阵反推不同,多路径 OD 矩阵反推根据 OD 对间多条路径的选择概率分配权重进行 OD 矩阵反推,即用公式 (5) 替代公式 (2)。

$$T_{ij(n)} = \sum_r (T_{(E)ijr} \cdot p_{ijr}) \quad (5a)$$

$$T_{(E)ijr} = \frac{1}{N_{a \in (\tau, r)}} \cdot \left(\sum_{a \in (\tau, r)} T_{(E)ija} \right) \quad (5b)$$

$$T_{(E)ija} = \frac{V_a}{T_{a(n-1)}} \cdot T_{ij(n-1)} \quad (5c)$$

式中： $T_{(E)ija}$ ——交通小区 i 到 j 的路段 a 上的期望交通量；

τ ——路段交通量选择集；

p_{ijr} ——交通小区 i 到 j 间选择使用路径 r 的概率；

n ——迭代次数。

在 MPME 方法中,需要决定每对 OD 间的多条最优路径。这就需要在每次 OD 更新循环中再执行一次分配。第一次分配计算流量,第二次分配更新 OD 流量。第一次分配的循环次数在 ODEM 对话框的 Globals 里指定。第二个分配的循环次数称为内循环数 (Inner Iterations), 在 O-D Matrix Estimation Settings 里定义。OD 矩阵的每次更新被称为外循环 (Outer Iterations), 见图 3。

2.3 基于 TransCAD 的 OD 矩阵反推流程及数据准备

OD 反推矩阵的质量，首先取决于路网交通断面观测交通量的覆盖程度、完整性和准确性。因此在 OD 矩阵反推前须进行充分的交通量数据收集，并进行充分的交通流量观测。在 OD 矩阵反推过程中，一般要考虑到以下 4 个重要因素：(1) OD 之间的交通分布结构；(2) 出行时间；(3) OD 之间出行路径；(4) 路网中路段交通量观测站点的空间分布及路段流量。以路段交通量反推 OD 矩阵的过程实际上就是调整分配交通量去逼近观测交通量。因此，OD 矩阵反推程序需要的输入包括：路网中路段的断面观测交通量、种子（初始）OD 矩阵，和所选交通分配方法所需的输入参数。

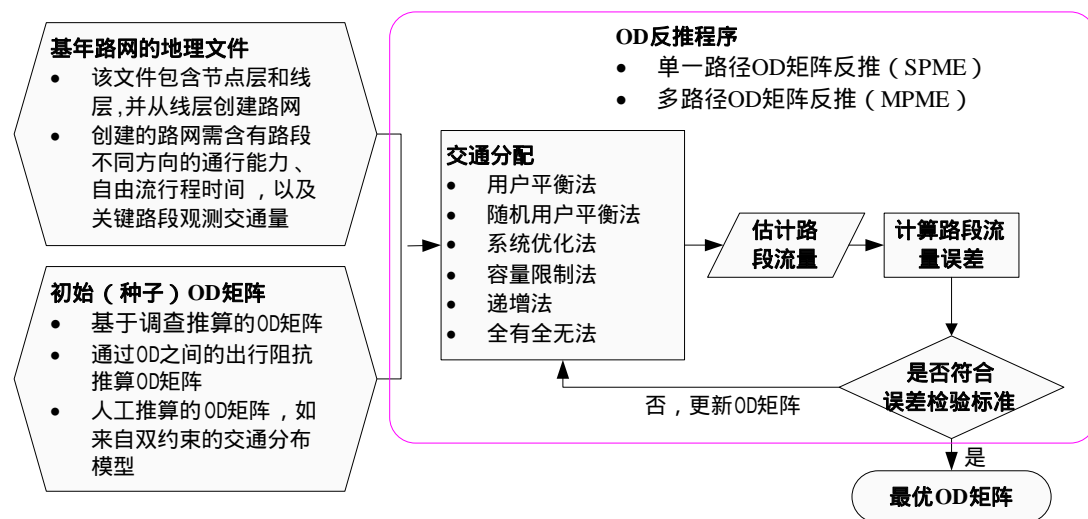


图 1 OD 反推矩阵流程及数据准备

由于实际中不可能获得所有路段的流量, 因此一般通过选取研究区域内有代表性的路段进行路段流量观测。路段流量的选取要依据一定的原则, 比如要选取路网中车辆经过较多的路段, 并且这些路段要相互独立, 流量线性不相关, 同时选取的路段数量要尽可能不低于总路段数量的 10%。除此之外, 数据采集工具的标准化以及采集点的合理化也非常重要。数据采集工具是否先进, 测量精确的可靠程度高低直接影响反推结果的准确性。

种子 OD 矩阵对 OD 矩阵反推非常重要, 高质量的种子 OD 矩阵可以反映 OD 之间的交通分布结构, 大大提高反推结果的精确度。种子 OD 矩阵可以直接采用历史的、过期的 OD 矩阵, 或对小样本的交通调查结果通过抽样率的扩算得出先验矩阵, 或者根据小区出行发生吸引量, 人口以及就业等信息, 利用重力模

型得出的矩阵。在事先没有种子 OD 矩阵时，可以将 OD 矩阵单元全部赋值为 1，但是这样推出的 OD 很难接近真实的交通分布结构。而基于调查推算或者根据交通分布模型获得的 OD 矩阵需要大量的关于交通小区人口、就业、平均收入等数据调查，因此也较少采用。又由于出行者的出行受到交通小区之间的出行阻抗的影响，因此可以基于交通小区间的出行阻抗（可以是行程时间和出行距离）推算种子 OD 矩阵。因为交通小区之间出行阻抗越大，则出行量越小，所以可以估计 OD 矩阵中各单元出行量占出行总量的比重，以此作为种子 OD 矩阵中交通小区之间的出行量。推算公式如下：

$$t_{ij} = 1 - \frac{f_{ij}}{\sum_i \sum_j f_{ij}} \quad (6)$$

式中： t_{ij} ——种子 OD 矩阵中交通小区 i 与 j 之间的出行量；

f_{ij} ——交通小区 i 与 j 之间出行阻抗矩阵中的阻抗值。

3、基于 TransCAD 的 OD 反推实例研究

3.1 基础路网搭建及数据准备

在此选取北京市通惠河周边路网进行实例分析，一方面是因为通惠河周边路网涵盖了多种道路类型，如快速路、主干路、次干路、支路等，比较具有代表性；另一方面，该仿真实例有项目为依托，可以获得很多相关数据，例如路段交通调查信息等，减少了一定的数据收集工作。以通惠河周边路网为基础路网，在 TransCAD 中搭建路网模型，具体范围为西至东二环、北至光华路、东至东四环、南至广渠门外大街所构成的区域。主要通道包括：(1) 纵向：东二环建国门段、永安里东街、东三环中路国贸段、西大望路和东四环中路四惠段；(2) 横向：光华路、建国门外大街-建国路-京通快速、通惠河北路和广渠门外大街。将该路网划分为 14 个交通小区，选取 14 条不同道路等级调查路段，分别位于不同的交通小区内。

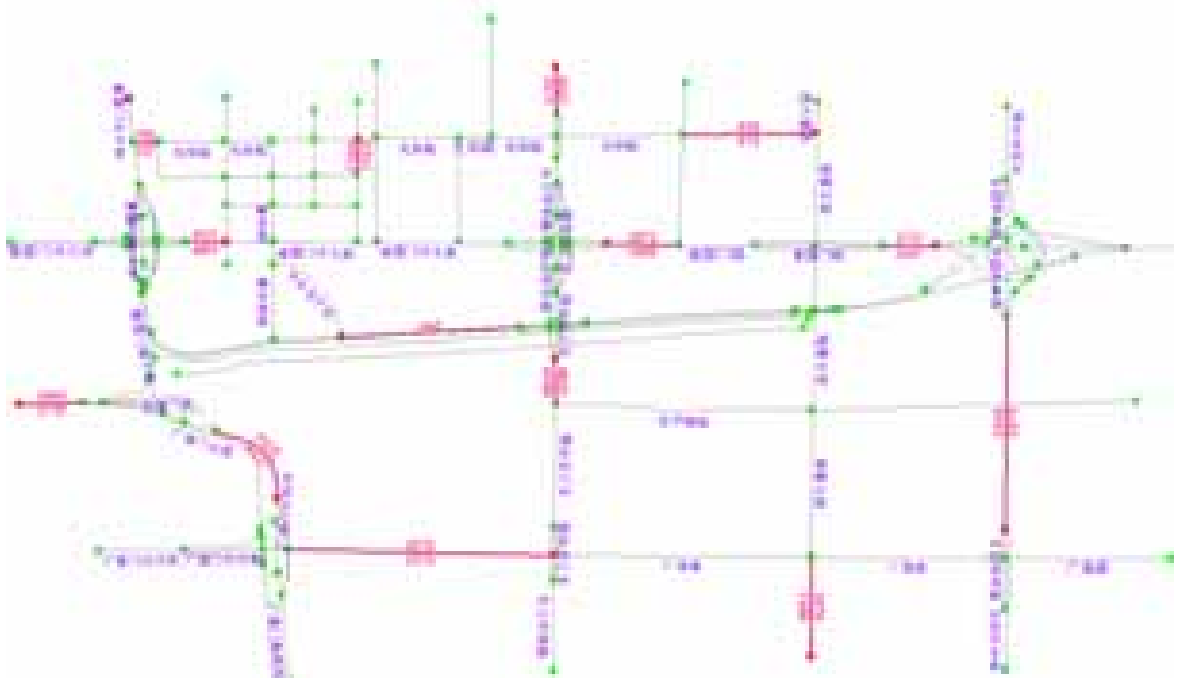


图 2 基础路网

路段信息包括道路等级、设计通行能力、自由流速度、路段实测交通量（高峰时段）通过交管局获得。种子 OD 矩阵通过两种方法获得，一种是矩阵所有单元赋值为 1，另外一种是通过交通小区之间出行阻抗推算而得。

3.2 不同方案 OD 矩阵反推结果分析

下述不同的 OD 矩阵反推方案设置迭代次数为 20，收敛标准为 0.000001。由于实例研究中不可能获得所有路段的流量，因此本案例按路段选取原则，先选取 14 条关键路段作为调查点，作路段断面流量调查，以此作为 OD 反推的输入文件。

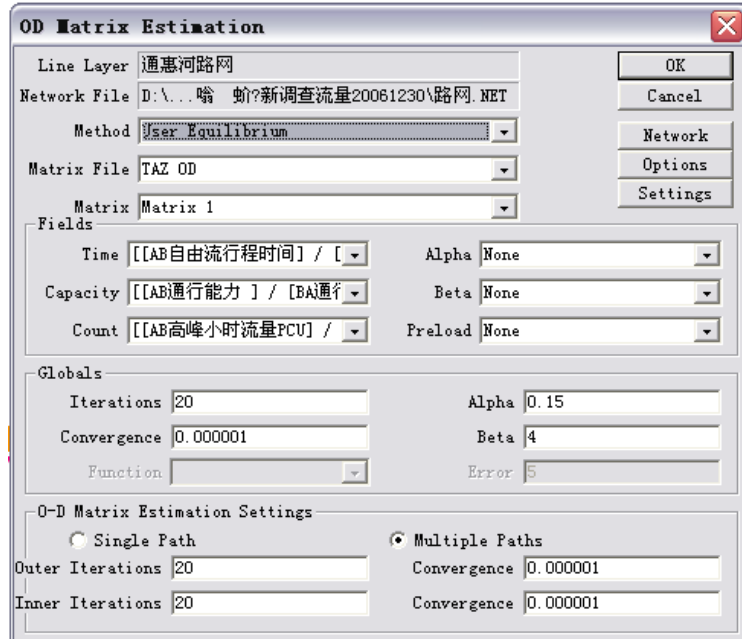


图 3 OD 矩阵反推参数设置

方案一：在基本通行能力条件下

基本通行能力 ($C_{基}$) 是指在假定理想的道路与交通条件下的最大通行能力，又称理论通行能力。此时，该路网中的段拥堵路段较少， V/C 比基本小于 1。因没有事先获得种子OD矩阵，将种子OD矩阵单元全部赋值为 1，分别基于四种交通分配方法进行OD反推，将反推所得的OD矩阵再分配，对比路段观测交通量和分配交通量如下图表所示（注：路段方向 0 代表双向，1 代表单向，与拓扑方向一致）：

表 2 不同分配方法的反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比表

路段调查点编号	路段方向	全有全无法与观测交通量对比		用户平衡法与观测交通量对比		随机用户平衡法与观测交通量对比		系统最优法与观测交通量对比	
		AB	BA	AB	BA	AB	BA	AB	BA
1	0	0.00%	0.00%	12.90%	6.71%	17.12%	28.27%	-4.20%	31.99%
2	0	0.08%	0.05%	1.24%	-1.24%	2.44%	-3.16%	2.70%	-9.38%
3	0	-0.04%	-0.04%	0.10%	0.98%	-0.37%	3.01%	0.11%	-0.11%
4	0	-0.05%	-0.07%	-4.98%	-6.64%	-0.35%	-3.46%	-7.41%	-7.62%
5	0	0.11%	0.17%	7.56%	9.31%	6.40%	8.76%	9.07%	16.47%
6	0	-0.03%	0.01%	-0.30%	-1.56%	0.81%	0.22%	3.65%	-2.22%
7	0	-0.30%	-0.06%	-8.90%	-8.86%	-7.55%	-7.51%	-8.37%	-6.16%

8	0	0.01%	0.00%	-1.50%	1.74%	0.83%	6.45%	0.06%	33.05%
9	0	0.54%	0.08%	14.72%	13.19%	15.28%	15.60%	9.89%	8.39%
10	0	-0.08%	-0.01%	-11.90%	-3.04%	-7.06%	-1.62%	-15.81%	-1.89%
11	0	0.03%	-0.08%	6.96%	6.07%	6.56%	4.62%	4.51%	2.46%
12	0	-0.02%	-0.01%	-0.64%	-1.29%	-0.27%	-0.81%	-2.65%	-2.59%
13	1	-100.00%		2.07%		13.84%		-25.62%	
14	0	0.00%	-0.02%	-23.55%	-44.12%	-11.10%	-29.90%	-2.25%	-10.02%
路段平均误差		-7.13%	0.00%	-0.44%	-2.21%	2.61%	1.57%	-2.59%	4.03%

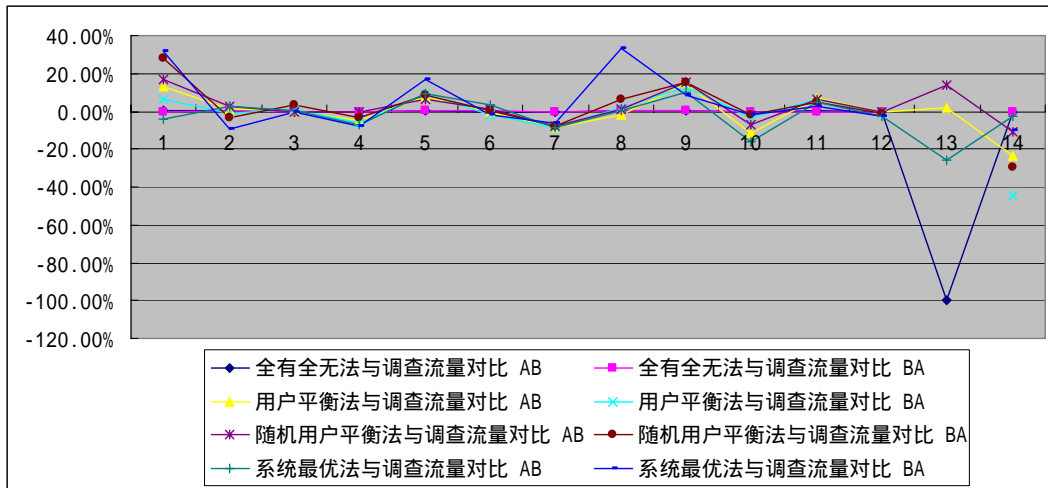


图 4 不同分配方法的反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比图

从图表中可以看出，除了系统最优法外，其他方法在 1-12 调查点路段流量基本一致，误差在 30%以内，基于全有全无法的 OD 矩阵反推方法路段平均误差最大，下降了 7.13%，系统最优法次之，上升了 4.03%。通过对比可发现基于用户平衡法的 OD 矩阵反推方法较优。

方案二：在可能通行能力条件下

可能通行能力 ($C_{可}$) 是指在实际道路和交通条件下的通行能力，是道路的实际最大容量。在实际中，完全理想的状况是不存在的，总有一些条件不符合理想的标准。这种实际条件与理想条件的差异，将会造成道路理论上的最大容量——基本通行能力的修正，故用式 (7) 来确定可能通行能力。

$$C_{可}=C_{基}k_1k_2k_3k_4k_5 \quad (7)$$

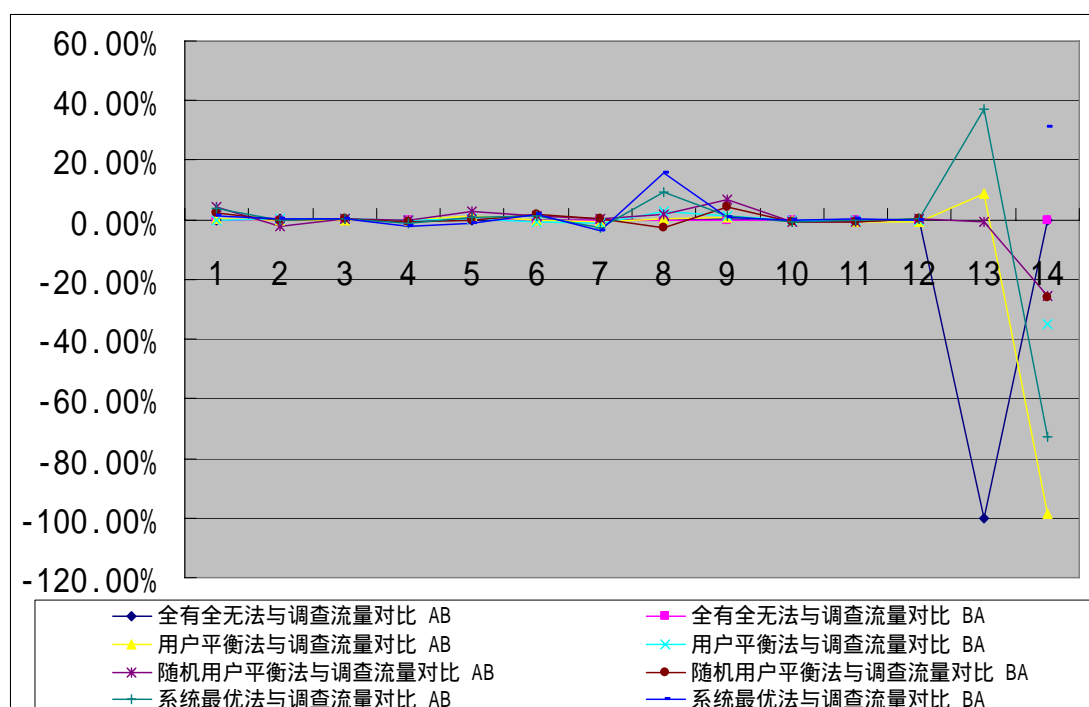
其中， k_1 ：车道宽度修正系数； k_2 ：侧向净宽修正系数； k_3 ：纵坡修正系数； k_4 ：视距修正系数； k_5 ：沿途条件修正系数。

在可能通行能力条件下，该路网拥堵路段较多，V/C 比基本大部分大于 1。

因没有事先获得种子 OD 矩阵，仍将种子 OD 矩阵单元全部赋值为 1，分别基于四种交通分配方法进行 OD 反推，将反推所得的 OD 矩阵再分配，对比路段观测交通量和分配交通量如下图表所示：

表 3 不同分配方法的反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比表

路段调查点编号	路段方向	全有全无法与观测交通量对比		用户平衡法与观测交通量对比		随机用户平衡法与观测交通量对比		系统最优法与观测交通量对比	
		AB	BA	AB	BA	AB	BA	AB	BA
1	0	0.00%	0.01%	0.25%	0.01%	4.43%	2.08%	3.64%	1.36%
2	0	0.18%	0.02%	0.07%	0.31%	-1.98%	-0.04%	-0.13%	0.26%
3	0	-0.13%	0.01%	0.07%	0.54%	0.20%	0.10%	0.23%	0.15%
4	0	-0.01%	-0.14%	-0.28%	-0.26%	-0.10%	-0.81%	-1.30%	-2.08%
5	0	0.07%	0.14%	1.10%	0.31%	2.83%	0.08%	0.79%	-1.26%
6	0	-0.01%	0.00%	-0.09%	-0.87%	1.16%	1.76%	1.51%	1.80%
7	0	-0.09%	-0.03%	-0.45%	-1.19%	0.29%	0.53%	-2.57%	-3.85%
8	0	0.00%	0.01%	0.22%	2.83%	1.81%	-2.47%	9.14%	15.52%
9	0	0.12%	0.04%	0.96%	1.17%	7.02%	4.19%	1.39%	0.76%
10	0	-0.01%	0.00%	-0.14%	-0.13%	-0.74%	-0.42%	-0.42%	-0.07%
11	0	0.00%	-0.03%	-0.44%	-0.30%	-0.57%	-0.42%	-0.07%	0.31%
12	0	-0.01%	-0.01%	-0.47%	-0.04%	0.10%	0.15%	0.16%	-0.03%
13	1	-100.00%		8.72%		-0.82%		37.05%	
14	0	-0.01%	0.00%	-98.51%	-35.21%	-25.30%	-25.84%	-72.62%	31.23%
路段平均误差		-7.14%	0.00%	-6.36%	-2.53%	-0.83%	-1.63%	-1.66%	3.39%



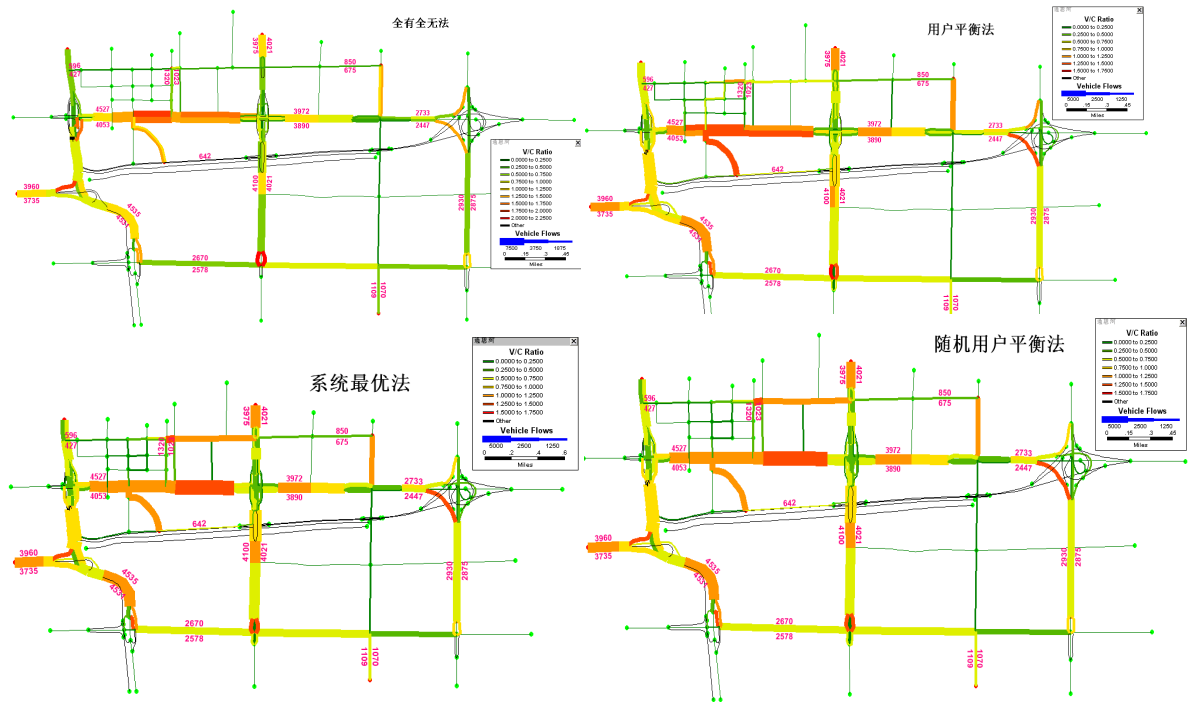


图 5 不同分配方法的反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比图

从图表中可以看出，除了系统最优法外，其他方法在 1-12 调查点路段流量基本一致，误差在 20%以内。基于全有全无法的 OD 矩阵反推方法路段平均误差最大，下降了 7.14%，用户平衡法次之，下降了 6.36%。通过对比可发现基于用随机用户平衡法的 OD 矩阵反推方法较优。

方案三：主要路段双向化

由于快速路、主干路等路段通行能力高，而且基本都有主辅路之分，不同方向间有隔栏，车流不会相互影响，因此将路网中的这些路段双向化，更能贴近实际。此时在基本通行能力条件下作 OD 矩阵反推。因没有事先获得种子 OD 矩阵，仍将种子 OD 矩阵单元全部赋值为 1，分别基于四种交通分配方法进行 OD 反推，将反推所得的 OD 矩阵再分配，对比路段观测交通量和分配交通量如下图表所示：

表 4 不同分配方法的反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比表

序号	路段调查点编号	路段方向	全有全无法与观测交通量对比		用户平衡法与观测交通量对比		随机用户平衡法与观测交通量对比		系统最优法与观测交通量对比	
			AB	BA	AB	BA	AB	BA	AB	BA
1	1	0	0.00%	0.00%	0.47%	-0.12%	0.48%	0.38%	-62.13%	-67.89%
2	2	0	0.08%	0.05%	2.27%	-0.16%	0.32%	-0.44%	10.18%	22.96%
3	3	0	-0.04%	-0.04%	-0.18%	0.36%	-0.18%	0.07%	-0.01%	0.02%
4	4	1	-0.05%		-0.98%		0.07%		-14.44%	
5	4	-1		-0.07%		-0.67%		-0.01%		-14.80%
6	5	0	0.11%	0.17%	2.38%	4.00%	0.29%	0.70%	-23.96%	-25.51%
7	6	1	-0.03%		0.27%		0.00%		-5.63%	
8	6	-1		0.01%		-1.39%		-0.84%		-4.13%
9	7	0	-0.30%	-0.06%	-7.14%	-5.81%	-0.73%	0.04%	11.49%	11.31%
10	8	0	0.01%	0.00%	12.08%	4.25%	0.89%	0.25%	-81.65%	-68.15%
11	9	0	0.54%	0.08%	7.03%	5.45%	2.11%	2.33%	4.21%	0.15%
12	10	1	-0.08%		-1.45%		-0.26%		2.21%	
13	10	-1		-0.01%		-2.00%		0.19%		0.08%
14	11	0	0.03%	-0.08%	-1.48%	0.15%	-0.25%	-0.21%	-0.20%	-0.02%
15	12	1	-0.02%		-0.76%		-0.08%		-0.03%	
16	12	-1		-0.01%		-0.36%		0.02%		-0.06%
17	13	1	-100.00%		1.89%		2.41%		-100.00%	
18	14	0	0.00%	-0.02%	0.12%	-3.52%	-10.54%	-8.29%	-0.23%	-4.37%
路段平均误差			-7.13%	0.00%	1.04%	0.01%	-0.39%	-0.45%	-18.59%	-11.57%

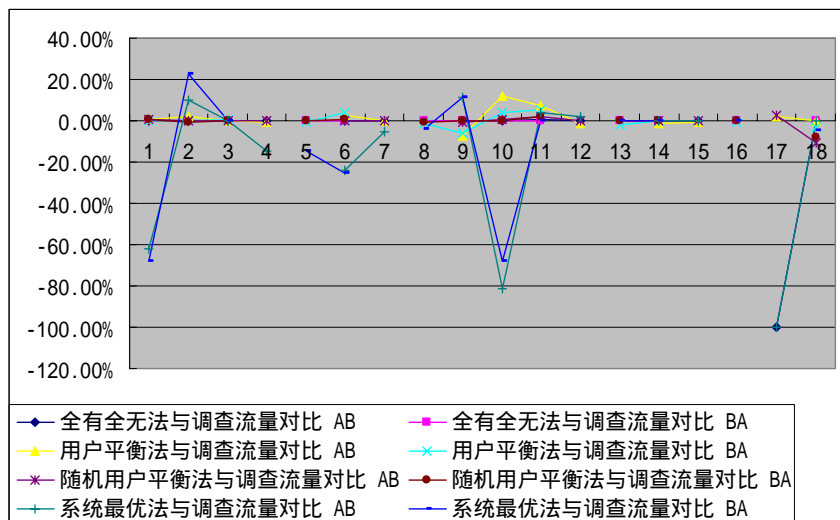


图 6 不同分配方法的反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差

对比图

从图表中可以看出，快速路、主干路双向化后，基于系统最优法的 OD 矩阵反推方法路段平均误差最大，下降了 18.59%，全有全无法次之，下降了 7.13%。通过对比可发现基于用随机用户平衡法的 OD 矩阵反推方法较优，更能反应路网的真实情况。

方案四：通过出行阻抗推算种子 OD 矩阵

通过使用 TransCAD 的命令 **Networks/Paths-Multiple Paths** 可以计算通惠河路网中不同交通小区质心点之间的多条最短路径的出行距离或出行时间(本案例选取出行时间)，以此作为交通小区之间的出行阻抗矩阵，再按公式(7)推算种子 OD 矩阵。



图 7 生成质心点之间多条最短路径的出行时间矩阵

推算种子 OD 矩阵之后，再分别基于两种不同的种子 OD 矩阵，采用随机用户平衡分配法进行 OD 反推，将反推所得的 OD 矩阵再分配，对比路段观测交通量和分配交通量如下图表所示：

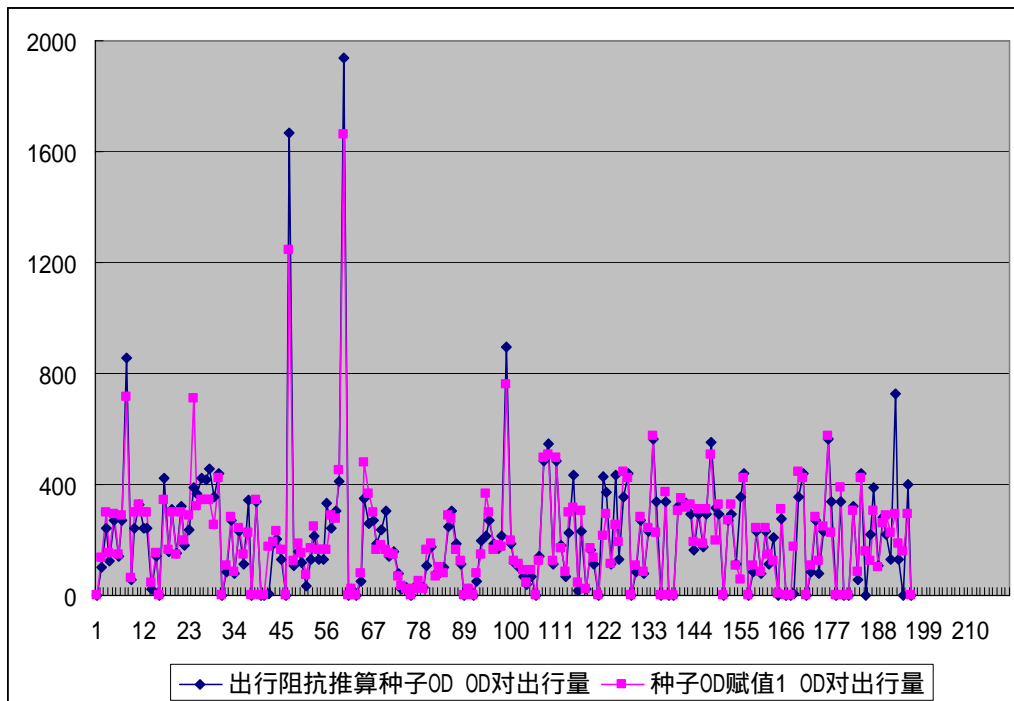
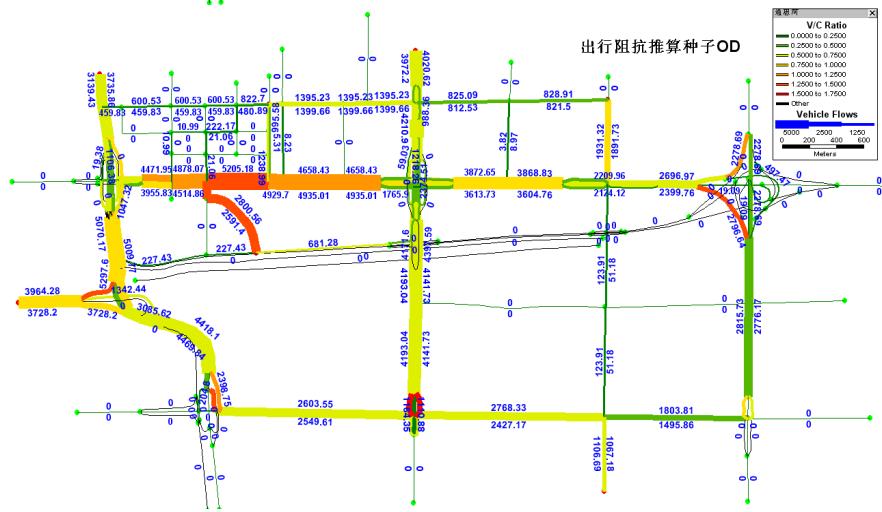
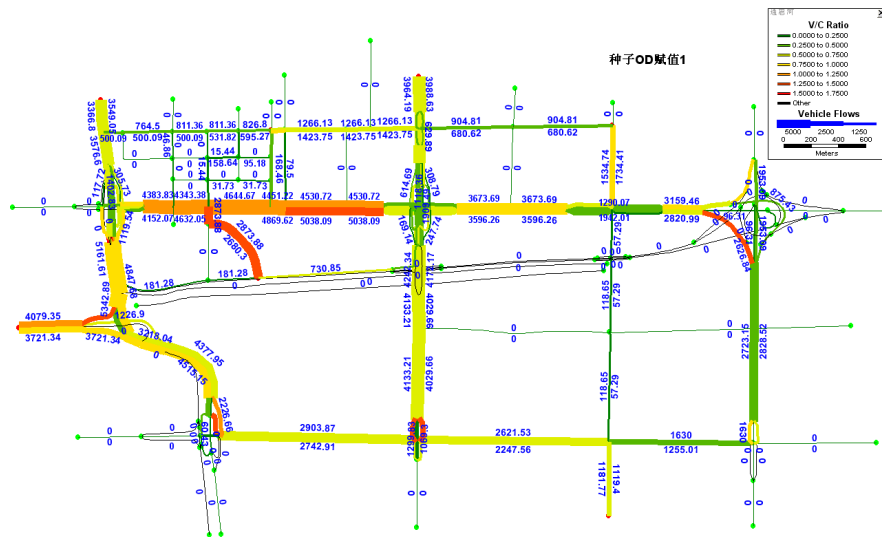


图 8 反推结果再分配流量主题图及反推 OD 对的对比图

表 5 不同种子 OD 矩阵获取方法再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比表

路段调查点编号	路段方向	随机用户平衡法与调查流量对比 (种子 OD 赋值 1)		随机用户平衡法与调查流量对比 (出行阻抗推算种子 OD)	
		AB	BA	AB	BA
1	0	17.12%	28.27%	7.69%	0.76%
2	0	2.44%	-3.16%	-2.40%	-1.22%
3	0	-0.37%	3.01%	-0.18%	0.11%
4	0	-0.35%	-3.46%	-1.35%	-2.58%
5	0	6.40%	8.76%	-1.10%	-2.49%
6	0	0.81%	0.22%	2.27%	3.00%
7	0	-7.55%	-7.51%	-7.10%	-2.50%
8	0	0.83%	6.45%	21.70%	-2.48%
9	0	15.28%	15.60%	-1.93%	-1.32%
10	0	-7.06%	-1.62%	-3.90%	-3.44%
11	0	6.56%	4.62%	-0.21%	-0.26%
12	0	-0.27%	-0.81%	-0.07%	-0.01%
13	1	13.84%	/	6.12%	/
14	0	-11.10%	-29.90%	-2.68%	-6.14%
路段平均误差		2.61%	1.57%	1.20%	-1.43%

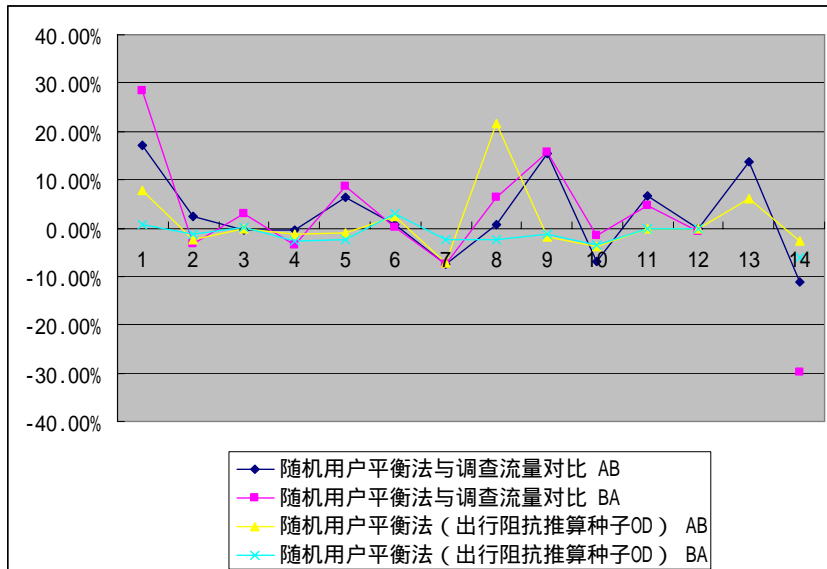


图 9 不同种子 OD 矩阵获取方法再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比图

从以上图表可以看出，利用交通小区之间的出行阻抗推算种子 OD 矩阵，调查路段的分配交通量与观测交通量的平均误差明显比直接对种子 OD 矩阵赋值 1 的小，更能真实的反应路网中各交通小区之间实际交通出行量。

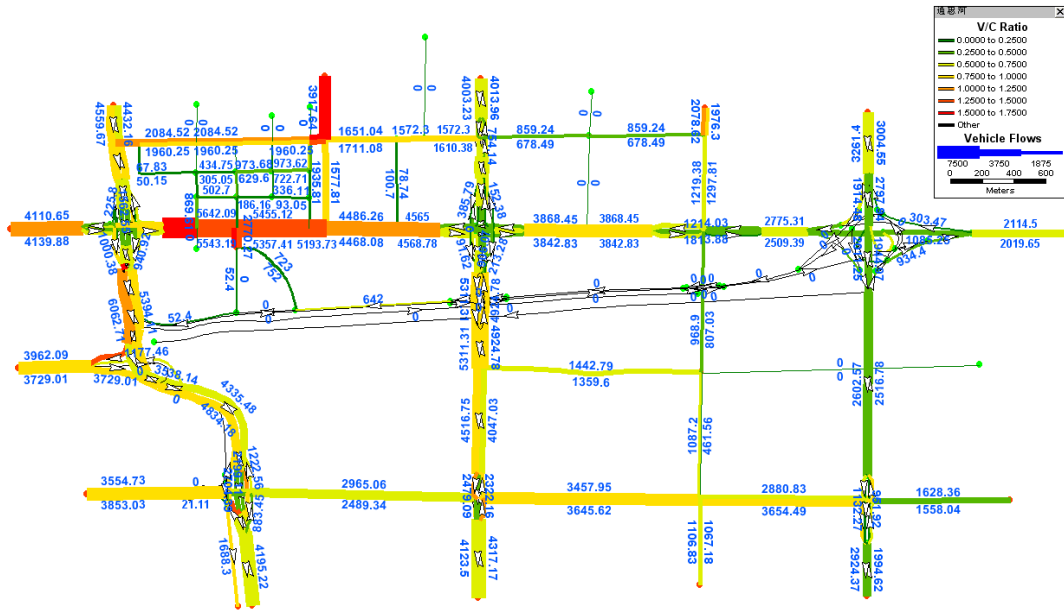


图 10 OD 矩阵反推结果再分配后的流量主题图

表 6 OD 矩阵反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比表

路段调查点编号	路段方向	随机用户平衡法与调查流量对比 (出行阻抗推算种子 OD)		路段调查点编号	路段方向	随机用户平衡法与调查流量对比 (出行阻抗推算种子 OD)	
		AB	BA			AB	BA
1	1	-0.07%	/	16	0	-0.32%	-0.22%
2	1	6.60%	/	17	0	0.27%	0.75%
3	1	-0.06%	/	18	0	-0.20%	-0.26%
4	0	0.90%	2.61%	19	0	-4.26%	-9.47%
5	1	-0.44%	/	20	0	0.52%	1.09%
6	1	-6.00%	/	21	1	0.015576	/
7	0	-1.21%	-2.61%	22	-1	/	-0.044
8	0	-0.16%	0.05%	23	-1	/	3.61E-05
9	0	5.30%	-6.11%	24	-1	/	-0.00089
10	1	0.01%	/	25	-1	/	-0.00175
11	1	-0.36%	/	26	-1	/	0.05249
12	0	-3.44%	11.05%	27	-1	/	-0.00545
13	0	2.55%	1.55%	28	0	-0.0133	-0.01383
14	0	-0.71%	0.55%	路段平均误差		-0.29%	-0.12%
15	1	-5.47%	/				

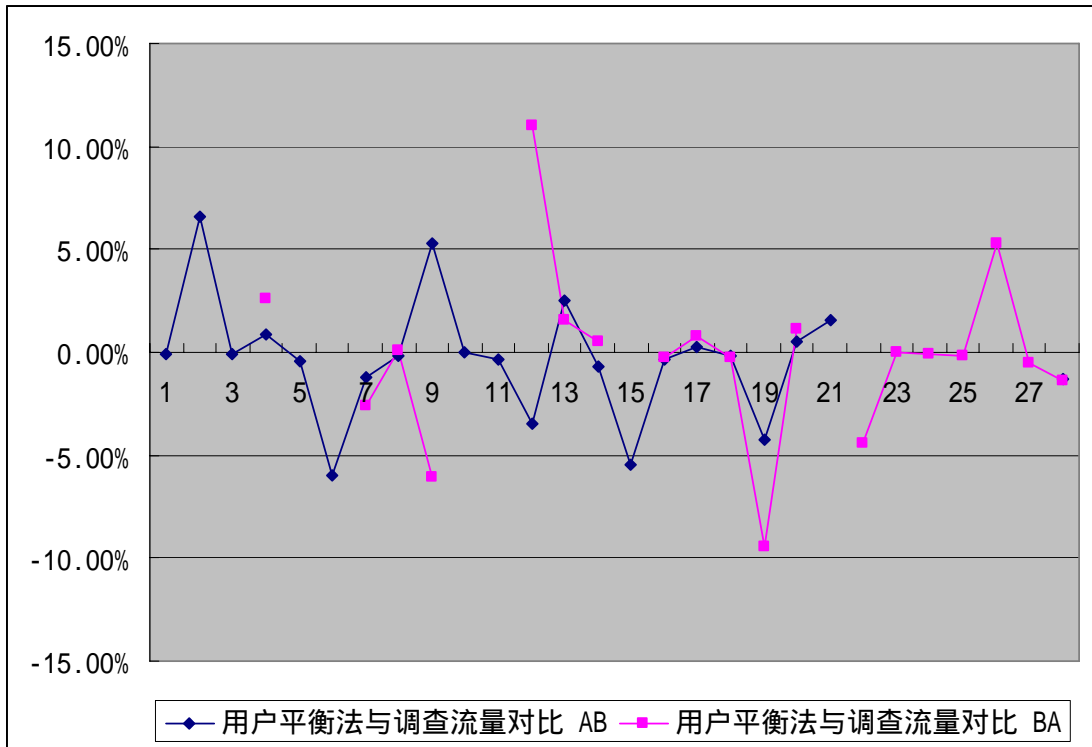


图 11 OD 矩阵反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差对比图

一般情况下 OD 矩阵反推程序后的分配交通量与实际观测交通量相对误差绝对值的平均值达到 20% ~ 30% 即视为反推结果满足精度要求。方案五综合前述各方案的优势进行 OD 矩阵反推, 最终的各调查路段观测交通量与分配交通量之间的误差都在 15% 以内, 实现了较为理想的精度。而且分配交通量能够均匀地分布于通惠河周边路网, 与实际更加符合。

3.3 结论

从以上不同方案设计条件下进行 OD 反推测试, 可以总结出 TransCAD 进行 OD 矩阵反推时要注意的关键问题。主要有以下几个方面:

(1) 选取的恰当交通分配方法非常重要。从方案一、二、三可以发现, 采取基于随机用户平衡法 (SUE) 的 OD 矩阵反推程序较好。这也反应了 SUE 分配程序比确定性的用户平衡 (UE) 分配模型的结果更接近现实, 因为 SUE 允许使用吸引力小的路径, 也可以使用吸引力较大的路径。吸引力小的路径具有较低的利用率, 但不会像 UE 方法中那样总是出现零流量。TransCAD 使用逐次平均法 (MSA) 来计算 SUE, 使分配结果逐渐收敛于给定的精度值。

(2) 不同条件下通行能力的确定很重要。从方案一、二可看出,在基本通行能力与可能通行能力条件下分别进行 OD 矩阵反推,发现在可能通行能力条件下,OD 矩阵反推结果再分配后调查路段分配交通量和观测交通量误差更小,反推结果精度更高。

(3) 应尽可能通过各种方式获取种子 OD 矩阵,这样可以确保反推结果的精确性。从方案四可看出,在事先没有种子 OD 矩阵时,采用基于交通小区间的出行阻抗(可以是行程时间和出行距离)推算种子 OD 矩阵是可行的。

(4) 划分合适的交通小区和合理设置调查点非常重要。因为路段流量数据是开展 OD 反推的重要信息,它对反推结果影响是最大的。然而实际中很难获取全部路网的路段信息,因此需要选择路网中 OD 出行使用较多的,且具有较强代表性的路段。从方案五可看出,路网中按不同的道路等级各选取 10%的抽样调查量进行路段断面交通量调查,同时应均匀地分布于各交通小区内,这样可以提高 OD 矩阵反推结果的精度。此外,由于将主要的道路双向化(更能反应主辅路特性)更能真实地反应路网状况,因此将路网中的快速路双向化也可以提高 OD 矩阵反推效果。

4、结束语

本文设计了 5 个案例,利用 TransCAD 软件对北京市通惠河路网进行了 OD 矩阵反推。在 OD 矩阵反推结果再分配后,对调查路段分配交通量和观测交通量误差进行分析,总结了不同方案下应用 TransCAD 进行 OD 矩阵反推的关键问题。案例分析结果表明,在整个研究路网中采用基于随机用户平衡法的 OD 矩阵反推方法最优。同时在反推过程中,划分合适的交通小区和设置合理的调查点非常重要,同时对道路等级高的路段进行双向化也可以使反推结果更加符合实际。实例研究也表明,基于 TransCAD 的 OD 矩阵反推方法具有较强的实用性和可操作性。

参考文献:

- [1] Otto Anker Nielsen . Two new methods for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts[R] . Travel Behavior Research Annual Report . Technical University of Denmark , 1998
- [2] 乔文鑫 . OD 反推理论研究 with 中观层次下的实例分析 . 北京交通大学学士学

位论文，2006.07.01

[3] 邵春福. 交通规划原理，中国铁道出版社，2004.04

[4] Caliper Corporation. TransCAD Transportation GIS Software (Travel Demand Modeling with TransCAD 4.8). America： Caliper Corporation, 2006

[5] 周伟、王秉纲. 路段通行能力的理论探讨. 交通运输工程学报. 2001, 1(2)

[6] 林建新. 集装箱综合交通枢纽设施布局和公路集疏运规划研究. 北京交通大学学士学位论文，2007.01.01

下阶段考虑问题：

在推算 OD 矩阵表时，经多次迭代后，个别通道（或路段）断面的分配流量与实际流量相差仍较大时，可从以下几个方面进行解决：

1. 检查该通道（路段）与其前后相邻通道（路段）的给定流量之间是否合理。举例如下：

A—————B—————C

AB 路段与 BC 路段相邻，其流量资料相差较大，但是从该区域的交通经济特征看，两路段之间并没有大的交通发生源，也无路线分叉或者无大的交通分流问题，AB 路段与 BC 路段的交通量应该相近才对，其流量资料相差较大不合理，解决的方法就是剔除其中明显不合理的流量资料，取其中一路段的资料进行模拟推算即可。

如果两路段之间存在交通发生源，其流量资料相差较大是符合实际情况的，则解决的方法就是在两路段之间相应增加交通小区，如该处已有交通小区，则应检查该小区的质心点是否为 B 结点或质心点连线是否连接到 B 结点。

2. 考察相应流向上小区划分是否合理

交通小区是用于代表交通发生吸引范围的单元，从数学方法上，目前所有分析软件都把小区的交通发生和吸引集中在小区的质心点点上，也就是用一个点代表一个面。就是说，所有从 A 区出发到其他小区的交通都看作是从 A 区的质心点出发的，反过来其他小区到 A 区的交通则看作是以 A 区的质心点终止的。然而，实际情况是小区中的任意点都有可能发生和吸引交通。因此，小区划分越细越逼近实际，越能反映切合实际的交通情况，小区划分宜细不宜粗，除非在分析时办不到或有困难。任何交通分配方法，都离不开最小阻抗原则，如果小区划分太粗，交通的发生过分地集中于一点上，则不能合理地分配交通量，交通量也会集中分配到一部分路段上，出现一些路段分配不到交通量，而一些路段分配的交通量较大。在可能的情况下小区划分尽量细些，这应是原则之一。

3. 检查路线结点的联结情况

分析路网应与实际一致，结点该连接的要连上，若未连上则路将不通，交通

分配时，车流就会绕道，使某些路段分配不到交通量，而某些路段分配交通量较大。

检查结点的联结情况的方法有：

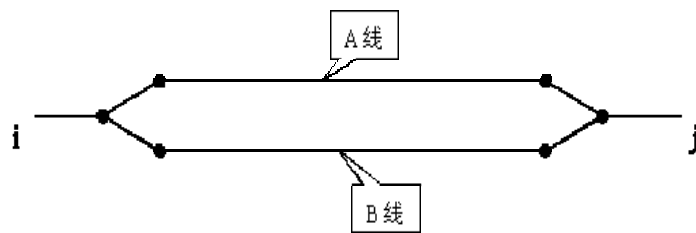
(1) 在需要检查的层里面 Tools-Map editing-Check Line layer connectivity 对话框中填上 Threshold 数值后，TransCAD 软件就会检查端点，然后就标出检查到的端点。这种方法并不一定可以检查出所有需要连接或者删除的线，还要用托拽的方法才能调整完成整条路网（在 Map Editing Toolbox 里点中箭头(Modify line)工具，然后选中要检查的节点后拖动，如果没有断点，应该是两条线或者多条线同时移动，如果有断点，就只有一条线动。在判断完成后选择不修改即可。

(2) 查阅种子、非过线 OD 表

种子 OD 表中，那些不为 0 的数值表示被判定为经过指定线的小区间的流量。根据路网形态，查看路网中 OD 间的最短路径。然后根据路网形态，判断所求路径是否正确，以此判断路线的某些结点是否连接。

4. 检查路段属性是否正确

路段的道路等级、通行能力、自由流速度等属性对交通分配结果的影响是明显的，不可随意输入。例如，小区 i 与 j 之间有两条路径，距离相近，A 线实际等级较高，实际流量较大（假设为 700），而 B 线实际等级较低，实际流量较小（假设为 300）。



如果在输入属性时，把 A 线与 B 线的等级属性反过来，则计算的 B 线的分配概率会是较大的（假设为 70%），而 A 线的分配概率则较小（假设为 30%）。

按 A 线的实际流量和计算的分配概率推算的 i 与 j 之间的流量为：

$$OD(i,j)=700/30\%=2333 \text{ 辆}$$

按 B 线的实际流量和计算的分配概率推算的 i 与 j 之间的流量为：

$$OD(i,j)=300/70\%=428 \text{ 辆}$$

可见，由于属性输入错误，所推算的 OD 不能同时满足 A 线和 B 线的给定条件。解决的方法：将 A 线和 B 线作为同一个通道考虑合并在一起，则 $OD(i,j)=700+300=1000$ 辆；分别详细设定 A 线和 B 线的属性。

虽然多路径概率分配模拟方法考虑了通道中各平行路径的分配概率，但在这一工作阶段较难于准确地确定路段属性所表示的某种交通阻抗，计算的分配概率与实际情况存在一定误差是必然的。因此，对于相距较近的平行路径（相对于小区范围，在同一小区经过），看起来就像缠绕在一起的，仍应作为同一个通道合并在一起考虑，进行推算。

5. 其他方面

检查交通小区 索引位置、模型引用是否有误等。