

城市出租车交通规划综合模型

一、问题重述

城市中出租车的需求随着经济发展、城市规模扩大及居民生活方式改变而不断变化。目前某城市中出租车行业管理存在一定的问题，城市居民普遍反映出租车价格偏高，另一方面，出租车司机却抱怨劳动强度大，收入相对来说偏低，整个出租车行业不景气，长此以往将影响社会稳定。

现为了配合该城市发展的战略目标，最大限度地满足城市中各类人口的出行需要，并协调市民、出租车司机和社会三者的关系，实现该城市交通规划可持续发展，需解决以下的问题：

(1) 从该城市当前经济发展、城市规模及总体人口规划情况出发，类比国内城市情况，预测该城市居民的出行强度和出行总量，这里的居民指的是该城市的常住人口。同时结合人口出行特征，进一步给出该城市当前与今后若干年乘坐出租车人口的预测模型。

(2) 根据该城市的公共出行情况与出租车主要状况，建立出租车最佳数量预测模型。

(3) 油价调整（3.87 元/升与 4.30 元/升）会影响城市居民与出租车司机的双方的利益关系，给出能够使双方都满意的价格调节最优方案。

(4) 针对当前的数据采集情况，提出更合理且实际可行的数据采集方案。

(5) 从公用事业管理部门的角度考虑出租车规划的问题，写一篇短文介绍自己的方案。

二、模型假设

1. 常住人口和暂住人口的出行特征相近，划分为第一类人，在所有分析过程中假设其出行特征完全一样。而短期及当日进人口为第二类。
2. 由于短期及当日进人口情况复杂，假设第二类人口在于乘坐出租车方面相关出行特征（如乘车出行强度等）在未来几年内保持不变。
3. 由于城市地理状况和居民的生活习惯在短时期内不易改变，所以在各交通小

区之间采用的出行方式也相对固定，假定居民从 A 地到 B 地所习惯采用的出行方式在未来几年内保持不变。

4. 假设居民中出行人口占总人口数的比例不变。
5. 假设对于出行人口而言，在出行方式选择方面的比例与出行人次的比例一样。
6. 假设在未来几年内，出租车固定营运成本不变。
7. 由于每次一起打车的人数，与居民的生活习惯相关，所以假设出租车每趟载客人次不变，即不受出租车数目和收费方案的不同而改变。
8. 基于题目给出的图表数据，假定出行与公交数据的统计口径只针对常住人口，不包括其他人口。
9. 由于数据的采集统计等存在误差，本文假定所有计算数据在 5%~10%误差范围内可以接受。

三、问题分析

题目中要求考虑城市的发展战略目标，人民群众的出行需要，减少环境污染和资源消耗，并结合该城市经济和自身特点，类比国内外城市情况，预测该城市居民出行强度和出行总量。由于题目附录给出的历史数据几乎只有 2004 年一年的数据，而做一次出行调查将耗费大量人力物力，所以对一个城市而言也无法得到太多出行特征的历史数据。为了更好地预测该城市居民的出行强度，必须通过对我国其他城市特别是规模相近城市的居民出行特征的分析，总结出规律并以此来预测。

对于乘坐出租车人口的预测的问题，由于人们生活习惯相对固定，所以在各交通小区之间采用的出行方式也相对固定。所以针对规划期中交通总量在各区中的增长，通过交通分布的 OD 矩阵如何计算出未来各区的交通量成为预测乘坐出租车的人口准确与否的关键。再者，题目给出的只是常住人口的出行方式的数据，而乘坐出租车的人口中即包括了常住人口也包括了流动人口，而且流动人口由于对城市的不熟悉，坐出租车的机会更大，所以必须充分考虑第二类人口对预测的影响。

如何预测该城市出租车的最佳数量，除了考虑乘坐出租车人口数量外，还必须考虑出租车的运行状况，通过考虑出租车所承担的城市客运交通量和出租车的

空驶率的关系，从而确定出租车的最佳拥有量和实际运营数量。

如何评价一种出租车收费方案的优劣，如何在油价调整后给出一种可行的收费方案，除了考虑空驶率外，应该兼顾公众、出租车方和社会环境等综合因素给出，本文将紧紧围绕这一线索在下文展开建模、求解和分析的过程。

四、符号定义

下标 r 、 t 、 s ：分别表示常住人口 (Resident)、暂住人口 (Temporary)、短期及当日进人口 (Shortdated)。而 1 表示第一类人，2 表示第二类人。

Pop_k ：表示 k 类人口的数量，如 Pop_r 表示常住人口的数量。

$Pop_k^{Traffic}$ ：表示乘坐某种交通工具的 k 类人口的数量。

$TI_{k,year}$ ：表示 $year$ 年 k 类人的出行强度 (Travel Intensity)，如 $TI_{r,2004}$ 表示 2004 年常住人口的出行强度，单位：人次。

$TQ_{k,year}$ ：表示 $year$ 年 k 类人的日均出行总量 (Travel Quantum)，如 $TQ_{r,2004}$ 表示 2004 年常住人口的日均出行总量，单位：人次/日；

GI_i ：分别表示表示 i 年的人均可支配收入 (Governable Incoming)，单位：元。

$CGI_{i,j}$ ：表示到 i 年 j 月累计人均可支配收入 (Cumulative Governable Incoming) 单位：元

$Q_{Traffic,year}$ ：表示 $year$ 年以 $Traffic$ 交通方式出行的 OD 分布矩阵，如 $Q_{Bus,2004}$ 表示 2004 年公交出行的 OD 分布矩阵，而 $Q_{All,2004}$ 表示 2004 年全方式出行的 OD 分布矩阵。其中 t_{ij} (t 是 $Traffic$ 交通方式单词的开头字母) 表示从 i 区到 j 区的以 $Traffic$ 交通方式出行量。

$R_{Traffic}$ ：表示在各交通小区之间采用的 $Traffic$ 出行方式所占的比例的 OD 分布矩阵，其中 t'_{ij} (t 是 $Traffic$ 交通方式单词的开头字母) 表示从 i 区到 j 区的以 $Traffic$ 交通方式出行占有所有交通模式的比例。该矩阵在未来几年

内保持不变。

G_i ：表示各交通小区 i 的交通发生量，单位：人次。

A_j ：表示各交通小区 j 的交通吸引量，单位：人次。

F_{gi} ：表示交通小区 i 的发生交通量的增长系数 F_{gi} 、 F_{aj} 。

F_{aj} ：表示交通小区 j 的吸引交通量的增长系数 F_{gi} 、 F_{aj} 。

C ：表示常量。

$Dist_e$ ：表示日均每辆出租车有效（Effective）行驶里程（Distance），即出租车载客时的日均行驶里程。

$Dist_{ine}$ ：表示日均每辆出租车无效（Ineffective）行驶里程（Distance），即出租车在未载客时的日均行驶里程。

$TDist_e$ ：表示日均全市出租车的总（Total）有效行驶里程。

$TDist_{ine}$ ：表示日均全市出租车的总无效行驶里程，

$Dist$ ：表示日均每辆出租车行驶的总里程，一天中有效行驶里程与无效行驶里程之和。

$TDist$ ：表示日均全市出租车行驶的总里程。

\bar{T} ：表示日均每辆出租车运营时间。

$\bar{V}_{working}$ ：表示平均运营速度，出租车全天行驶总里程与运营时间之比，平均运营速度与出租车行驶速度以及驾驶员等客、休息时间的长短有关。

\bar{P} ：表示平均每趟载客（Passenger）人数。

\bar{D} ：表示平均每趟载客坐出租车的出行距离（Distance）。

N ：表示某一年全市出租车的拥有量。

$N_{Working}$ ：表示出租车的每天实际运营的量，这是由于部分出租车处于年检或维修而没投入运营。

δ ：表示出租车中每日实际运营的弹性比例。

VR ：为空驶率。

五、模型的建立

1. 城市居民出行强度和出行总量的预测模型

由于考虑到出行强度的调查数据只能来自于对城市大规模的交通普查，在现实中考考虑到经济成本的原因，只能若干年做一次普查，所以一般不能得到详尽的常住人口出行强度的历史数据。

因此，只能通过对我国其他城市特别是规模相近的城市的居民出行特征的分析来取得对未来各年的常住人口出行强度预测的方法，这里主要采取了截面数据的多元回归预测的方法。即选择常住人口出行强度为因变量；城市（或区）常住人口规模、城市（或区）建成面积、人均可支配收入为自变量。

(1) 城市规模发展预测

我国城市在未来一段时间内，规模会不断扩大，人口会不断增加，人民生活水平将不断提高。针对城市的总体规划，可以根据未来人口规模（2010年及2020年）采用三次样条曲线进行插值。采用 Matlab 软件进行数据处理，得到 2004 年~2020 年各年预计的人口规模，如下表：

表 1.1：2004 年~2020 年各年预计的人口规模

| 年份 项目 | | 总体规划人口规模（单位：万人） | | | | | | | | |
|----------|--------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|--------|
| | | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | …… | 2020 |
| 常住人口 | | 185.15 | 199.37 | 212.82 | 225.51 | 237.44 | 248.60 | 259.00 | …… | 321.00 |
| 流动人口 | | 55.00 | 59.84 | 64.42 | 68.72 | 72.75 | 76.51 | 80.00 | …… | 100.00 |
| 其中 | 暂住人口 | 33.00 | 35.91 | 38.65 | 41.23 | 43.65 | 45.91 | 48.00 | …… | 60.00 |
| | 短期、当日 进出口 | 22.00 | 23.94 | 25.77 | 27.49 | 29.10 | 30.60 | 32.00 | …… | 40.00 |
| | 合计 | 240.15 | 259.21 | 277.24 | 294.23 | 310.19 | 325.11 | 339.00 | …… | 421.00 |
| 第一类人口 | | 218.15 | 235.27 | 251.47 | 266.74 | 281.09 | 294.51 | 307.00 | …… | 381.00 |
| 第二类人口 | | 22.00 | 23.94 | 25.77 | 27.49 | 29.10 | 30.60 | 32.00 | …… | 40.00 |

其中第一类人口包括常住人口和暂住人口，第二类人口包括短期及当日进出口，这是根据出行特征划分的，把出行特征相近的人口划归为一类。

通过观察 1980~1998 年南京等各主要城市面积与城市人口规模增长率的变化规律，大致呈现城市面积随着人口规模的增大而增大，具体参考文献[2]。但由于各城市的地理位置不同，具体的增长率亦有所不同。所以为简化起见，在此

假定，该城市发展也大致满足该规律：城市面积的增长率大约等于该城市人口规模增长率的一半左右。由此可以得到 2004 年~2020 年各年预计的城市面积规模，如下表：

表 1.2: 2004 年~2020 年各年预计的各年预计的城市建成面积 (单位: 平方公里)

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| 年份 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | ..... | 2020 |
| 城市建成面积 | 181.77 | 195.73 | 208.94 | 221.39 | 233.1 | 244.06 | 254.27 | ..... | 315.14 |

观察附录 2 中的某城市 2002~2004 年 1~12 月份居民累计收入与消费情况，由于给出的数据有 4 个月份（即 1、2、11、12 月）的累计数据缺失，故选用了三年各月份都完整的其余 8 个月份的数据。

首先，利用普通最小二乘 (OLS) 的思想，找出一个平均的居民可支配收入年增长率 RGI (Rate of Governable Income) 来最小化：

$$\min_{RGI_i} \sum_{j=3}^{10} \left\{ [CGI_{2002,j}(1 + RGI_i) - CGI_{2003,j}]^2 + [CGI_{2003,j}(1 + RGI_i) - CGI_{2004,j}]^2 \right\}$$

在 Matlab 中，采用无约束优化中默认的 BFGS 算法，求出最近似的年增长率 RGI 为：11.09%；接着，根据 2004 年末居民累计可支配收入额，即 2004 年度居民累计可支配收入额： $GI_{2004} = CGI_{2004,12} = 8617.48$ (元)

最后，由 RGI 和 GI_{2004} 得到 2004 年~2020 年各年居民可支配收入，如下表：

表 1.3: 2004 年~2020 年各年预计居民可支配收入 (单位: 元)

| | | | | | | | |
|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|-------|----------|
| 年份 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | ..... | 2020 |
| 每年居民可支配收入 | 8617.48 | 9573.16 | 10634.82 | 11814.22 | 13124.42 | ..... | 46363.88 |

综上所述，该城市的整体规模如表 1 所示：

表 1: 2004 年~2020 年各年城市总体规划规模

| 年份 | | 城市总体规划规模 | | | | | | | | |
|--------------|------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | ..... | 2020 |
| 项目 | | 185.15 | 199.37 | 212.82 | 225.51 | 237.44 | 248.60 | 259.00 | ..... | 321.00 |
| 常住人口 | | 55.00 | 59.84 | 64.42 | 68.72 | 72.75 | 76.51 | 80.00 | ..... | 100.00 |
| 其中 | 流动人口 | 33.00 | 35.91 | 38.65 | 41.23 | 43.65 | 45.91 | 48.00 | ..... | 60.00 |
| | 暂住人口 | 22.00 | 23.94 | 25.77 | 27.49 | 29.10 | 30.60 | 32.00 | ..... | 40.00 |
| 短期、当日 进出口 | | 218.15 | 235.27 | 251.47 | 266.74 | 281.09 | 294.51 | 307.00 | ..... | 381.00 |
| 第一类人口 | | 22.00 | 23.94 | 25.77 | 27.49 | 29.10 | 30.60 | 32.00 | ..... | 40.00 |
| 第二类人口 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|--------|
| 人口总数 (万人) | 240.15 | 259.21 | 277.24 | 294.23 | 310.19 | 325.11 | 339.00 | …… | 421.00 |
| 建成面积 (平方公里) | 181.77 | 195.73 | 208.94 | 221.39 | 233.1 | 244.06 | 254.27 | …… | 315.14 |
| 每年居民可 支配收入 (元) | 8617 | 9573 | 10634 | 11814 | 13124 | 14579 | 16196 | …… | 46363 |

(2) 出行强度 (出行总量) 预测

为了给出该城市常住人口出行强度的预测，这里认为出行强度与城市自身的地理环境、经济情况等多方面有关系；这里仅提炼：城市（或区）常住人口规模、城市（或区）建成面积、人均可支配收入等三个考虑变量，数据来源参考文献 [2][3][4][5]。收集整理后数据如表 2 所示：

表 2：部分城市规模及出行强度表

| 数据对象 | 常住人口出行强度 (次/人日) | 市（或区）常住人 口规模（万人） | 市（或区）面 积（平方公里） | 每年可支配收入 (千元) |
|-------------|--------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| 2004 年该目标城市 | 1.93 | 185.15 | 181.77 | 8.61748 |
| 2000 年苏州市 | 2.43 | 108 | 缺 | 缺 |
| 1996 年苏州市 | 2.78 | 105 | 74.06 | 缺 |
| 1996 年无锡市 | 2.58 | 106 | 缺 | 缺 |
| 1993 年天津市 | 2.44 | 379 | 338.8 | 缺 |
| 1984 年广州市 | 2.28 | 225 | 缺 | 缺 |
| 1987 年成都市 | 2.16 | 142 | 79.5 | 缺 |
| 1994 年汕头市 | 2.63 | 66 | 85.5 | 缺 |
| 1998 年广州东山区 | 2.35 | 58.2783 | 17.20 | 11.25570 |
| 1998 年广州荔湾区 | 2.13 | 52.1107 | 11.80 | 11.25570 |
| 1998 年广州越秀区 | 2.21 | 44.7517 | 8.90 | 11.25570 |
| 1998 年广州海珠区 | 1.83 | 68.8968 | 90.40 | 11.25570 |
| 1998 年广州天河区 | 1.92 | 40.6802 | 108.30 | 11.25570 |
| 1998 年广州芳村区 | 1.93 | 13.1769 | 42.60 | 11.25570 |
| 1998 年广州白云区 | 2.52 | 34.6989 | 1042.70 | 11.25570 |
| 1998 年广州黄埔区 | 1.86 | 14.1386 | 121.70 | 11.25570 |

考虑因变量 TI 和自变量 Pop 、 $Area$ 、 GI 和人口密度 $\frac{Pop}{Area}$ 、人均占地面积 $\frac{Area}{Pop}$ 等形式，通过 Eviews 软件多次试验回归，建立一个回归结果相对合意的多元线性回归计量模型：

$$TI_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{Pop_i}{Area_i} + \beta_2 \cdot \frac{Area_i}{Pop_i} + \varepsilon_i, \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

回归结果：

$$TI = 1.785 + 0.0977 \cdot \frac{Pop}{Area} + 0.0233 \cdot \frac{Area}{Pop}$$

(0.000) (0.008) (0.004)

括号内为 5% 的 t 统计值，均显著， F 统计值为：0.0076，拟合优度 $R^2 = 0.804$ ，基本符合一般经济计量模型回归的几个指标。

其中由于引入居民年可支配收入变量 GI 的系数不显著，缺少个别地区的数据，这里不将该变量作为居民出行强度的解释变量。（可能与样本中无法获得 1998 年广州各区居民年可支配收入 GI ，只能用广州市平均的 GI 代替有关。）

若时间和数据允许，有更多其他城市的样本数据，应该可以发现 GI 对 TI 还是有解释作用的。毕竟居民可支配收入多了，带来的旅游购物等其他出行的需要也会相应增加。

将回归公式，和 2004 年~2020 年各年的数据，可以得到 2010 和 2020 年的常住人口出行强度约为：2.02 次/人日，2.18 次/人日。为了避免各年直接套用回归模型造成的出行强度波动过大，不符合实际。将 $TI_{2004} = 1.93$ 次/人日和 $TI_{2020} = 2.18$ 次/人日插值，得到各年预计的出行强度如下表

表 3：2004 年~2020 年各年预计的出行强度（单位：次/人日）

| 年份 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | …… | 2020 |
|------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|------|
| 各年常住人口出行强度 | 1.93 | 1.9456 | 1.9612 | 1.9769 | 1.9925 | 2.0081 | 2.0238 | …… | 2.18 |

从 2004 年到 2020 年常住人口出行强度的增加了 12.95%，年平均增长率为：0.76%，这说明该城市在短期内出行强度保持相对稳定，略带增长。

利用 2004 年~2020 年各年常住人口规模，利用下式，可以得到未来若干年常住人口出行总量的预计如下表：

$$TQ_{k,year} = TI_{k,year} \cdot Pop_{k,year}$$

表 4：2004 年~2020 年各年预计的日均常住人口出行总量（单位：万人次/日）

| 年份 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | …… | 2020 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|--------|
| 常住人口出行总量 | 357.34 | 387.89 | 417.38 | 445.81 | 473.10 | 499.21 | 524.16 | …… | 699.78 |

2. 乘坐出租车人口的预测模型

(1) 推算各交通小区不同出行方式 OD 分布中出租车所占比例

根据交通调查得到的居民出行全方式 OD 矩阵 Q_{All} 为：

$$Q_{All} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \cdots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix}$$

其中公交出行的 OD 矩阵 Q_{Bus} 为：

$$Q_{Bus} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \cdots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix}$$

由此可以得出公交车在居民出行全方式中的比例 OD 矩阵 R_{Bus} 为：

$$R_{Bus} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \cdots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} b'_{11} & b'_{12} & \cdots & b'_{1n} \\ b'_{21} & b'_{22} & \cdots & b'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b'_{n1} & b'_{n2} & \cdots & b'_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix}$$

其中， $b'_{i,j} = b_{i,j} / a_{i,j}$ ， $i, j = 1, \dots, n$ ；

由假设知道，在交通道路状况以及人们生活习惯一定的情况下，所以在各交通小区之间采用的出行方式也相对固定，即假定居民从 A 地到 B 地所习惯采用的出行方式在未来几年内不变，所以矩阵 R_{Bus} 在未来几年内不变。

表 5：居民不同时距出行方式结构

| 方式 分钟 | 步行 | 自行车 | 公交车 | 出租车 | 摩托车 | 其他 | 合计 |
|----------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|
| 0~10 | 73.56 | 9.08 | 3.07 | 1.47 | 8.73 | 4.09 | 100 |
| 11~20 | 45.95 | 21.01 | 14.29 | 3.65 | 9.08 | 6.02 | 100 |
| 21~30 | 18.58 | 25.55 | 34.89 | 6.32 | 7.89 | 6.77 | 100 |
| 31~40 | 10.57 | 17.09 | 50.26 | 9.11 | 4.79 | 8.18 | 100 |

| | | | | | | | |
|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-----|
| 41~50 | 6.45 | 12.05 | 58.27 | 10.39 | 3.92 | 8.92 | 100 |
| 51~60 | 6.51 | 11.12 | 67.72 | 0.29 | 4.62 | 9.74 | 100 |
| >60 | 6.87 | 10.25 | 66.47 | 0.08 | 3.72 | 12.61 | 100 |

求出矩阵 R_{Bus} 后再根据表 5 可以查出各区之间的大概时距，由于居民不同时距出行方式结构不变，所以可以推算出租车在居民出行全方式中的比例，即 OD 矩阵 R_{Taxi} ，由表 6 所示。

表 6：出租车占全出行方式比例的 OD 分布

| O \ D | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 区 | 0.0334 | 0.0008 | 0.0032 | 0.0008 | 0.0025 | 0.0641 |
| 2 区 | 0.0008 | 0.0244 | 0.0752 | 0.0910 | 0.1081 | 0.0726 |
| 3 区 | 0.0030 | 0.0756 | 0.0361 | 0.0771 | 0.0856 | 0.0596 |
| 4 区 | 0.0008 | 0.0912 | 0.0826 | 0.0422 | 0.1021 | 0.0721 |
| 5 区 | 0.0026 | 0.1045 | 0.0866 | 0.0966 | 0.0422 | 0.0722 |
| 6 区 | 0.0687 | 0.0760 | 0.0623 | 0.0620 | 0.0480 | 0.0287 |

同理，由于居民不同时距出行方式结构不变，所以矩阵 R_{Taxi} 在未来几年内不变。

(2) 交通 OD 分布预测

交通分布预测是推算各交通小区间的交通分布量，交通分布预测的方法可分为两类，增长率法和构造模型法。根据题目所给数据的特点，采用平均增长率法。用平均增长率法预测的基本步骤描述如下：

用 q_{ij} 表示现状 OD 表中从交通小区 i 到交通小区 j 的交通量。 $G_i^{(0)}$ 、 $A_j^{(0)}$ 分别表示现状交通发生量和交通吸引量。

用 G_i 、 A_j 表示各交通小区将来的交通发生量和交通吸引量。

用下式计算各交通小区的发生、吸引交通量的增长系数 F_{gi} 、 F_{aj} ：

$$F_{gi} = \frac{G_i}{G_i^{(0)}} \quad F_{aj} = \frac{A_j}{A_j^{(0)}} \quad (*)$$

作为要推算的交通量的第一次近似值 $q_{ij}^{(1)}$ ，可由 F_{gi} 、 F_{aj} 的函数，用下式给出：

$$q_{ij}^{(1)} = \frac{1}{2} q_{ij} (F_{gi}^{(0)} + F_{aj}^{(0)})$$

一般来说，由对交通分布量求和得到的交通发生量和交通吸引量分别为：

$$G_i^{(1)} = \sum_j q_{ij}^{(1)}$$

$$A_j^{(1)} = \sum_i q_{ij}^{(1)}$$

这时，用 $G_i^{(1)}$ 、 $A_j^{(1)}$ 代替 (*) 式中的 $G_i^{(0)}$ 、 $A_j^{(0)}$ ，算出增长系数。求解第二次迭代的近似值：

$$q_{ij}^{(2)} = \frac{1}{2} q_{ij}^{(1)} (F_{gi}^{(1)} + F_{aj}^{(1)})$$

重复上述作业，直至：

$$F_{gi}^{(k)} = \frac{G_i}{G_i^{(0)}}$$

$$F_{aj}^{(k)} = \frac{A_j}{A_j^{(0)}}$$

都接近于 1 时，相应的 $q_{ij}^{(k)}$ 即为所求的 OD 交通量。

(3) 居民乘坐出租车人次数

首先，根据前面预测出的城市居民出行总量，可以推算出把未来城市居民出行的总增量 Δ 为

$$\Delta = TQ_{\text{未来}} - TQ_{\text{现状}}$$

根据城市发展的战略目标，该增量在各区出行量中如何分配，有政府部门决定。即

$$\Delta_i = \alpha_i \Delta$$

式中 α_i ($i=1,2,\dots,n$) 为各区所占比重， $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1$ 。

从而可以推出各区出行发生平均增长系数 F_i 为

$$F_i = \frac{G_i + \Delta_i}{G_i} = 1 + \frac{\Delta_i}{G_i}$$

然后，利用平均增长率法预测出各交通小区间的交通分布量矩阵 $Q_{All, \text{未来}}$ 为：

$$Q_{All,未来} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \cdots & n \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix} \end{matrix}$$

由于居民不同时距出行方式结构不变，通过与表 6 中对应元素相乘，可以推出居民出租车出行方式的 OD 矩阵 $Q_{Taxi,未来}$ 为：

$$Q_{Taxi,未来} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \cdots & n \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n1} & t_{n2} & \cdots & t_{nn} \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \end{matrix} \end{matrix}$$

其中， $t_{ij} = a_{ij} \cdot t'_{ij}$ ， $i, j = 1, \dots, n$ 。

最后，可以得到居民以出租车出行的次数为 $TQ_{r,未来}^{Taxi} = \sum_i^n \sum_j^n t_{ij}$ 。

(4) 总人口中乘坐出租车人次数

因为第一类人口中常住人口和暂住人口的出行特征相近，所以暂住人口以出租车方式出行的强度一样，即

$$\frac{TQ_r}{Pop_r} = \frac{TQ_t}{Pop_t}$$

$$\therefore TQ_t = \frac{Pop_t}{Pop_r} \cdot TQ_r$$

而对于第二类人口而言，由于假设其出行特征保持不变，所以

$$\frac{TQ_1}{Pop_1} = C_1, \quad C_1 \text{ 为常数}$$

$$\therefore TQ_1 = C_1 \times Pop_1$$

综上所述，乘坐出租车的总人次为

$$TQ^{Taxi} = TQ_1^{Taxi} + TQ_2^{Taxi}$$

(5) 总人口中乘坐出租车人口

对于常住人口而言，假设其出行人口占总人口数的比例不变。

$$\frac{Pop_{\text{出行}}}{Pop} = C_2, \quad C_2 \text{ 为常数}$$

$$\therefore Pop_{\text{出行}} = Pop \cdot C_2$$

所以第一类人口中乘坐出租车的人口为：（假设出行方式结构一样）

$$Pop_1^{Taxi} = Pop_1^{\text{出行}} \cdot \delta^{Taxi}$$

式中， δ^{Taxi} 为出行方式结构中出租车所占的比例，即 $\delta^{Taxi} = \frac{TQ^{Taxi}}{TQ}$ 。

对于第二类人口而言，由于对城市不熟悉，所以坐出租车的几率最大，所以为简化，将此类人口都归入可能乘坐出租车的人口中，即

$$Pop_2^{Taxi} = Pop_2$$

所以乘坐出租车人口为

$$Pop^{Taxi} = Pop_1^{Taxi} + Pop_2^{Taxi}$$

3. 出租车最佳数量预测模型

在城市交通规划中，往往要进行城市居民与流动人口出行调查，结合出租车运营状况调查，获得可以为预测未来出租车拥有量的数据。出租车的空驶率与城市出租车拥有量有密切关系，从出租车所完成的城市居民和流动人口出行周转量入手，结合空驶率的分析，对城市出租车拥有量进行计算。在此参考陆建、王炜等专家对出租车拥有量模型进行建模，具体参考文献[7]。

在计算出租车的拥有量时，因为：

第一，平均每一趟乘坐的收费，只与每次乘坐的距离和乘车收费标准有关，其中每次乘坐距离假定与城市中出租车数量无关。城市中出租车数量也与乘车收费标准无关。

第二，平均每一天乘车的收费，就是第一中的平均每一趟乘坐的收费乘以平均每天乘坐出租车的次数。其中，平均每天乘坐出租车的次数，是对于居民本身而言的，不会因为出租车量的增加而这个次数有所变化。

综上考虑，这里的出租车数量与具体收费无关。在该问题求解中不纳入考虑。

(1) 空驶率

根据城市中出租车的日客运量 TQ^{Taxi} ，以及居民的平均坐出租车的出行距离 \bar{D} ，以及平均每趟载客人数 \bar{P} ，则可以推算出全市出租车总有效行驶里程 $TDist_e$ 为

$$TDist_e = \frac{TQ^{Taxi} \cdot \bar{D}}{\bar{P}} = (TQ_1^{Taxi} + TQ_2^{Taxi}) \cdot \frac{\bar{D}}{\bar{P}}$$

所以可以推出空驶率 VR 的计算公式为：

$$VR = 1 - \frac{TDist_e}{T \cdot V \cdot N}$$

(2) 出租车拥有量

将得到的空驶率 VR 的计算公式进行变换，得到城市出租车总量计算公式为

$$N_{Working} = \frac{TDist_e}{T \cdot V \cdot (1 - VR)} \quad (**)$$

一般情况下，出租车运营中的主要客源产生于白天，白天出租车的运营方式主要表现为行驶过程中沿途载客，而夜间居民和流动人口出行量大大减少，图 1 为某城市全日各时段出行量趋势图[3]。部分城市出行调查结果显示，从早晨 6:30 到晚上 19:30 的 13 小时中，集中了全天 90%左右的出行量，因此夜间出租车客源大为减少，出租车的运营方式表现为在行驶过程中沿途载客和在主要客源发生地等客 2 种方式。

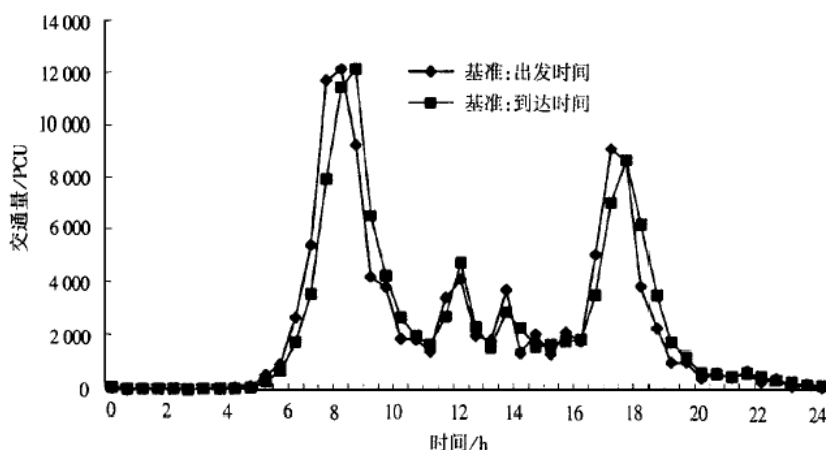


图 1：某城市全日各时段出行量趋势图

利用式(**)计算得到的出租车拥有量是在全日出行量平均计算基础上得到的，由于出租车客源在时间分布上存在着明显的差异，该出租车拥有量将超过夜间出行需求而无法满足白天的需要。因此，出租车拥有量应满足 90%出行量所对应的白天 T 小时的需求，应按照白天 T 小时的出行需求计算出出租车拥有量，对式(**)进行修正得

$$N'_{Working} = \frac{0.9TDist_e}{T \cdot V(1-VR)}$$

式中： $N'_{Working}$ 为以白天 T 小时出租车拥有量。

在对典型城市的出租车运营状况进行调查时发现，城市中的出租车并不都处于运营状况。有的出租车出于年检、修理、接受处罚或驾驶员个人情况等原因而没有投入运营。因此，城市出租车拥有量应为

$$N = \frac{N'_{Working}}{\delta} = \frac{0.9TDist_e}{T \cdot V(1-VR)\delta}$$

式中， δ 表示出租车中每日实际运营的弹性比例。

六、模型的应用求解

1. 出行特征现状分析

(1) 城市规模分析

依据《城市学》中指出人口在 100~200 万之间为大城市，该城市在 2004 年统计人口为 185.15 万，因此为大城市，而且这个统计标准还是仅根据城市本身的常住人口，并不包括大量的流动人口在内[25]。

2004 年城市建成区面积 181.77 平方公里，根据现有中国 36 大城市建成区面积的计较，这个城市排名在 12 位左右，基本可以推断出该城市属于发展中的大城市。该城市的人均道路面积 6.16 平方米，通过类比国内外城市可以知道，该城市人均道路面积偏低，需要加快道路建设与城市的发展同步[26]。

由该城市总体规划人口规模看到，这个城市在未来一段时间内人口规模会不断增加，城市规模也会相应的增大，交通需求量也会相应增加，需要对交通合理规划。

(2) 居民出行目的特征

题目中所给城市，按不同的出行目的构成如表 7 所示。在各种出行目的中，除回程外，上班出行比例最大，达 16.04%；其次为生活购物以及上学，比例分别为 11.41%和 11.17%。这 3 种出行比例之和为 38.62% ，加上这 3 种出行的回程，因上班、购物和上学而引起的出行比例约为 70.2 %。因此，解决好上班、购物和上学及其回程的交通问题，是完善该城市客运交通的主要内容。

表 7：居民出行目的的结构

| 目的 | 上班 | 上学 | 公务出差 | 生活购物 | 文体娱乐 | 探亲访友 | 看病 | 私有经营 | 回程 | 其他 | 合计 |
|------------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| 出行次数 (万人次) | 57.1 | 39.8 | 5.5 | 40.6 | 11.7 | 13.9 | 2.9 | 6.4 | 160.3 | 18.0 | 356.2 |
| 比例 (%) | 16.04 | 11.17 | 1.55 | 11.41 | 3.29 | 3.91 | 0.81 | 1.8 | 44.97 | 5.05 | 100 |

(3) 居民出行方式特征

出行方式结构，一般指城市居民日常出行采用各种交通工具的人数比例，是反映城市交通发展水平的一个重要指标。居民出行方式一般可分为步行、自行车、公交车、出租车、摩托车和其他等 6 种。同样的出行总量，不同的出行方式结构对城市交通系统的要求有很大的差异。该城市居民出行方式结构中步行和自行车比例最高，两者比例合计高达 56.19%；而出租车比例相对较小，只有 3.97%，是所有出行方式中比重最小的。说明目前该城市的整个出租车行业相比实际中的同类城市发展相对落后，存在一定的问题。

表 8：居民出行方式结构

| 方式 | 步行 | 自行车 | 公交车 | 出租车 | 摩托车 | 其他 | 合计 |
|------------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 出行次数 (万人次) | 139.5 | 60.6 | 91.6 | 14.2 | 27.4 | 22.9 | 356.2 |
| 比例 (%) | 39.17 | 17.02 | 25.71 | 3.97 | 7.69 | 6.44 | 100 |

(4) 城市公共出行情况

对于城市而言，中心区的交通路网发展比边缘区较为成熟，城市人口对于中心区的依赖程度也比边缘区高，一般来说，城市中心区的人口出行总量比边缘区的人口出行总量大。由表 9 可以看出中心区和边缘区出行强度存在较大差异。中心区较边缘区的出行强度 1 要高 39.24%，中心区较边缘区的出行强度要高出 15.95%。

表 9：城市不同区域居民的出行强度

| 内容 \ 区域 | 中心区 | 边缘区 | 全市 |
|----------------|---------|---------|---------|
| 人数 (人) | 1051420 | 791830 | 1843250 |
| 出行人数 (人) | 859357 | 536913 | 1376270 |
| 出行次数 (人次) | 2314398 | 1247167 | 3561565 |
| 出行强度 1 (次/人 日) | 2.20 | 1.58 | 1.93 |
| 出行强度 2 (次/人 日) | 2.69 | 2.32 | 2.55 |

注：出行强度 1：全部居民的平均出行强度

出行强度 2：有出行的居民平均出行强度

表 10：居民出行全方式 OD 分布

| D \ 0 | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 | 合计 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|
| 1 区 | 513783 | 29197 | 47260 | 22128 | 19459 | 3832 | 635659 |
| 2 区 | 27277 | 564929 | 77624 | 31281 | 35347 | 4938 | 741396 |
| 3 区 | 45356 | 78327 | 463226 | 48015 | 74922 | 10365 | 720211 |
| 4 区 | 21187 | 32373 | 50381 | 332097 | 85016 | 3081 | 524135 |
| 5 区 | 19226 | 36328 | 77676 | 78928 | 644256 | 4479 | 860893 |
| 6 区 | 3518 | 5048 | 7923 | 2808 | 6609 | 53364 | 79270 |
| 合计 | 630347 | 746202 | 724090 | 515257 | 865609 | 80059 | 3561564 |

通过对居民出行全方式 OD 分布表中数据分析，从 1 区出发到 1~6 区的出行次数为 635658 人次，从 1~6 区出发到达 1 区的出行次数为 630347 人次，平均进出人次为 633003 人次；同样的分析，可以推算出各区的平均进出人数，进行排序及累计加总，得到新的表 11 如下：

表 11：各区的平均进出人数

| 区域号 \ 出行次数 (人次) | 进入次数 (人次) | 出发次数 (人次) | 平均进出次数 (人次) | 累计进出次数 (人次) |
|-----------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 5 区 | 865609 | 860893 | 863251 | 863251 |
| 2 区 | 746202 | 741396 | 743799 | 1607050 |
| 3 区 | 724090 | 720211 | 722150 | 2329200 |
| 1 区 | 630347 | 635659 | 633003 | 2962203 |
| 4 区 | 515257 | 524135 | 519696 | 3481899 |
| 6 区 | 80059 | 79270 | 79665 | 3561564 |

由表中进出各区的人数排序和总量，第 5 区、第 2 区与第 3 区三个区的累计进进出人口次数为 2329200 人次，结合表 5 给出的进出中心区的次数为 2314398 人次，误差相差为 0.64%，可以认为这个城市中第 2 区、第 3 区及第 5 区为中心

区，其余的第 1 区、第 4 区及第 6 区这三个区为边缘区。

(5) 出租车的主要状况

根据附录给的数据可以知道出租车的每天实际运营量为

$$N_{Working} = \frac{\text{日客运量}}{\text{每车日均载客量}} = \frac{36.7 \times 10^4}{68.9} = 5326.6 \quad (\text{辆})$$

而题目中给出该城市的出租车拥有量为 $N = 6200$ 辆，所以出租车中每日实际运营的弹性比例为：

$$\delta = \frac{N_{Working}}{N} = \frac{5327}{6200} = 86\%$$

究其原因，可能是处于车辆检修、年检、接受处罚或者是驾驶员的个人情况等没有投入运营，因此在规划出租车拥有量时应考虑到一定的投入运营弹性。

由题目中，还可以得到该城市中出租车平均每趟载客 $\bar{P} = 1.7$ 人次，而平均每趟载客坐出租车的出行距离为

$$\bar{D} = \frac{\text{日均载客里程}}{\text{日均载客次数}} = \frac{210.07}{40.52} = 5.18 \quad (\text{公里})$$

出租车平均行驶速度为 $\bar{V}_{working} = 32$ 公里/小时，而平均的运营时间为：

日均营业里程 424.00 公里 / 日均行驶速度为 32 公里/小时 = 13.25 小时

$$\bar{T} = \frac{\text{日均营业里程}}{\text{日均行驶速度}} = \frac{424.00}{32} = 13.25 \quad (\text{小时})$$

这与前面分析结论一致。

根据调查结果，现状城市出租车平均空驶率达 $VR = 50.46\%$ ，大量道路交通资源被无效的出租车空驶所占用，出租车数量超过了实际需求。根据发达国家和国内出租车营运组织先进城市的经验，城市出租车空驶率大致为 $30\% \sim 40\%$ 较为合理。

出租车日客运量约为 36.7 万人次，其中常住人口出行次数占据了为 14.2 万人次，比例为 38.70% 。因为第一类人口中其出行特征相近，如果常住人口 185.15 万人对应 38.70% 的话，那么暂住人口 33 万人就对应的比例也为 38.70% ，所以第一类人口出租车出行的次数为：

$$TQ_1^{Taxi} = TQ_r^{Taxi} \cdot \frac{Pop_1}{Pop_r} = 14.2 \times \frac{218.15}{185.15} = 16.73 \text{ (万人次)}$$

$$TQ_2^{Taxi} = TQ^{Taxi} - TQ_1^{Taxi} = 36.7 - 16.73 = 19.96 \text{ (万人次)}$$

则第二类人口 22 万人却占了 54.4%，为 19.96 万人次，其出租车出行的强度为

$$TI_2^{Taxi} = \frac{TI_2^{Taxi}}{Pop_2} = \frac{19.96}{22} = 0.91 \text{ (次/人日)}$$

2. 预测居民出行强度和出行总量

由题目所给数据，根据第五部分中的城市居民出行强度和出行总量的预测模型可以得到未来几年内居民的出行强度和出行总量如表 12 所示。

表 12：未来几年内居民的出行强度和出行总量

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 年份 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | ..... | 2020 |
| 人口规模 (万人) | 240 | 259 | 277 | 294 | 310 | 325 | 339 | ..... | 421 |
| 各年常住人口 出行强度 (次/人日) | 1.93 | 1.9456 | 1.9612 | 1.9769 | 1.9925 | 2.0081 | 2.0238 | ..... | 2.18 |
| 常住人口出 行总量 (万人次) | 357.34 | 387.89 | 417.38 | 445.81 | 473.10 | 499.21 | 524.16 | ..... | 699.78 |

3. 预测当前与今后乘坐出租车人口

(1) 总人口中乘坐出租车人次

从 2004~2020 年各年预计的出行总量看，对比 2004 年，到 2010 年该城市将新增出行总量可以按城市规划的具体划分按比例分配到中心区和边缘区。

这里假定，城市规划重点在于建设边缘区，按 1/3：2/3 的比例调配给中心区和边缘区。即具体每一区按规划分到了一定量新增的出行总量，如第 2 区的发生总量增加为：55.61 万人次 × (1/3) = 18.54 万人次。

表 13：未来各区的交通出行增量

| | | |
|----------------|-------------|------------------------|
| 项目 | 数量 (万人次) | 按 1/3：2/3 比例调配给中心区和边缘区 |
| 2004 年常住人口出行总量 | 357.34 | |
| 2010 年常住人口出行总量 | 524.16 | |

| | | |
|------------------|--------|---------------|
| 对比 2004 年，新增出行总量 | 166.82 | 中心区共新增：55.61 |
| | | 边缘区共新增：111.21 |
| 2020 年常住人口出行总量 | 699.78 | |
| 对比 2004 年，新增出行总量 | 342.44 | 中心区共新增：114.15 |
| | | 边缘区共新增：228.29 |

所以各区的交通发生量增长系数如表 14 所示。

表 14：各区的交通发生量增长系数

| | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 |
|-------------|---------|----------|----------|---------|---------|----------|
| 2004 年出行总量 | 635658 | 741396 | 720211 | 524135 | 860893 | 79269 |
| 2010 年出行总量 | 1006358 | 926762.7 | 905577.7 | 894835 | 1046260 | 449969 |
| 2020 年出行总量 | 1396625 | 1121896 | 1100711 | 1285102 | 1241393 | 840235.7 |
| 2010 年出行增长率 | 1.58 | 1.25 | 1.26 | 1.71 | 1.22 | 5.68 |
| 2020 年出行增长率 | 2.20 | 1.51 | 1.53 | 2.45 | 1.44 | 10.60 |

通过平均增长率法进行 OD 分布预测得到未来各年居民出行全方式 OD 分布如表 15.1 和 15.2 所示。

表 15.1：2010 年居民出行全方式 OD 分布 单位：人次

| D \ O | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 | 合计 |
|-------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 1 区 | 651895 | 40546 | 66000 | 28689 | 26289 | 9355 | 822775 |
| 2 区 | 37595 | 847504 | 117065 | 43980 | 51678 | 12668 | 1110489 |
| 3 区 | 63065 | 118498 | 704470 | 68096 | 110475 | 26761 | 1091365 |
| 4 区 | 27618 | 46101 | 72141 | 442099 | 117850 | 7642 | 713452 |
| 5 区 | 25753 | 53061 | 114065 | 107907 | 916537 | 11289 | 1228613 |
| 6 区 | 8457 | 12839 | 20220 | 6827 | 16530 | 198306 | 263179 |
| 合计 | 814382 | 1118550 | 1093961 | 697599 | 1239360 | 266021 | 5229873 |

表 15.2：2020 年居民出行全方式 OD 分布 单位：人次

| D \ O | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 | 合计 |
|-------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 1 区 | 797517 | 52464 | 85678 | 35613 | 33471 | 15053 | 1019795 |
| 2 区 | 48427 | 1145069 | 158602 | 57328 | 68874 | 20718 | 1499018 |
| 3 区 | 81638 | 160804 | 958579 | 89189 | 147906 | 43876 | 1481993 |
| 4 区 | 34391 | 60538 | 95025 | 558063 | 152409 | 12364 | 912790 |
| 5 区 | 32619 | 70674 | 152370 | 138423 | 1203275 | 18356 | 1615717 |
| 6 区 | 13542 | 20973 | 33063 | 10966 | 26865 | 351488 | 456897 |
| 合计 | 1008134 | 1510523 | 1483315 | 889582 | 1632800 | 461856 | 6986210 |

所以未来各年居民以出租车出行的次数如表 16.1 和 16.2 所示。

表 16.1：2010 年居民出租车出行 OD 分布 单位：人次

| O \ D | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 | 合计 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 区 | 21749 | 31 | 211 | 22 | 67 | 600 | 22680 |
| 2 区 | 29 | 20700 | 8798 | 4003 | 5586 | 919 | 40035 |
| 3 区 | 192 | 8955 | 25421 | 5247 | 9452 | 1595 | 50863 |
| 4 区 | 23 | 4204 | 5960 | 18676 | 12033 | 551 | 41446 |
| 5 区 | 68 | 5547 | 9880 | 10423 | 38654 | 815 | 65386 |
| 6 区 | 581 | 976 | 1260 | 423 | 794 | 5690 | 9726 |
| 合计 | 22642 | 40414 | 51530 | 38794 | 66586 | 10171 | 230136 |

表 16.2：2020 年居民出租车出行 OD 分布 单位：人次

| O \ D | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 | 合计 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 区 | 26608 | 40 | 274 | 28 | 85 | 965 | 27999 |
| 2 区 | 37 | 27968 | 11919 | 5218 | 7444 | 1503 | 54090 |
| 3 区 | 249 | 12153 | 34590 | 6872 | 12655 | 2616 | 69134 |
| 4 区 | 28 | 5520 | 7851 | 23575 | 15561 | 891 | 53427 |
| 5 区 | 86 | 7388 | 13198 | 13370 | 50747 | 1326 | 86114 |
| 6 区 | 931 | 1595 | 2061 | 680 | 1291 | 10086 | 16643 |
| 合计 | 27938 | 54664 | 69892 | 49743 | 87783 | 17387 | 307407 |

最后，可以得到居民以出租车出行的次数为

$$TQ_{r,2010}^{Taxi} = 23.0 \text{ 万人次}$$

$$TQ_{r,2020}^{Taxi} = 30.7 \text{ 万人次}$$

所以

$$TQ_{2010}^{Taxi} = TQ_1^{Taxi} + TQ_2^{Taxi} = (259 + 48) \times \frac{23.0}{259} + 32 \times 0.91 = 56.42 \text{ 万人次}$$

$$TQ_{2020}^{Taxi} = TQ_1^{Taxi} + TQ_2^{Taxi} = (321 + 60) \times \frac{30.7}{321} + 40 \times 0.91 = 72.84 \text{ 万人次}$$

(2) 总人口中乘坐出租车人口

$$Pop_{1,2010}^{出行} = Pop_{1,2010} \cdot \frac{Pop_{r,2004}^{出行}}{Pop_{r,2004}} = 307 \times \frac{137.6}{184.3} = 229.2 \text{ (万人)}$$

$$Pop_{1,2010}^{Taxi} = Pop_{1,2010}^{出行} \cdot \delta^{Taxi} = 229.2 \times \frac{23.0}{523.0} = 10.08 \text{ (万人)}$$

$$Pop_{2010}^{Taxi} = Pop_{1,2010}^{Taxi} + Pop_{2,2010}^{Taxi} = 10.08 + 32 = 42.08 \text{ (万人)}$$

$$Pop_{1,2020}^{\text{出行}} = Pop_{1,2020} \cdot \frac{Pop_{r,2004}^{\text{出行}}}{Pop_{r,2004}} = 381 \times \frac{137.6}{184.3} = 284.5 \text{ (万人)}$$

$$Pop_{1,2020}^{\text{Taxi}} = Pop_{1,2020}^{\text{出行}} \cdot \delta^{\text{Taxi}} = 284.5 \times \frac{30.7}{698.6} = 12.5 \text{ (万人)}$$

$$Pop_{2020}^{\text{Taxi}} = Pop_{1,2020}^{\text{Taxi}} + Pop_{2,2020}^{\text{Taxi}} = 12.5 + 40 = 52.5 \text{ (万人)}$$

4. 出租车最佳数量预测模型

根据以上建立的模型和数据，计算

$$N = \frac{0.9TDist_e}{T \cdot \bar{V}(1-VR)\delta},$$

其中 $TDist_e = (TQ_1^{\text{Taxi}} + TQ_2^{\text{Taxi}}) \cdot \frac{\bar{D}}{\bar{P}}$;

由现状分析有： $\bar{P} = 1.7$ 人次、 $\bar{D} = 5.18$ （公里）， $\bar{V}_{\text{working}} = 32$ 公里/小时， $\bar{T} = 13.25$ （小时）， $TQ_1^{\text{Taxi}} = 16.73$ （万人次）， $TQ_2^{\text{Taxi}} = 19.96$ （万人次）。

根据发达国家和国内出租车营运组织先进城市的经验，城市出租车空驶率大致为 30%~40% 较为合理。这里以空驶率 $VR = 35\%$ 为城市规划的目标，并进一步提高出租车的使用效率和交通资源，提高出租车中每日实际运营的弹性比例 δ 到 90% 的水平。代入数据求解得： $N_{2004}^{\text{最优}} = 4340$ （辆）。

关于最优出租车数量的验证： $\frac{N_{2004}^{\text{最优}}}{Pop_{2004}} = 1.81$ （辆/千人），经资料显示大于中

等城市最低的每千人出租车用有辆数 1.5 的下限标准。但还达不到大城市的 2.0 辆/千人的下限标准。

2010 年、2020 年最佳出租车数量的预测可以根据同样的方式计算求得，这里假设该城市平均每趟载客坐出租车的出行距离 \bar{D} 将随着城市面积的扩展而增大，通过计算可得为： $N_{2010}^{\text{最优}} = 7268$ （辆）， $N_{2020}^{\text{最优}} = 9834$ （辆）。因此，在 2010 年和 2020 年，这个城市的每千人拥有出租车数量将达到大城市的下限标准。这

与实际的城市远景规划相一致。

七、关于出租车收费方案的讨论

题目中提出：按油价调价前后（3.87 元/升与 4.30 元/升），分别讨论是否存在能够使得市民与出租车司机双方都满意的价格调整方案。若存在，给出最优方案。

在讨论该方案时，我们先看看当前我国各大城市出租车收费改革的一个趋势：降低出租车起步价和起始计价的公里数；

带来的现象：就是空载率明显降低，而搭乘出租车的客运量增多，司机比以前更累了，短途的乘客比例明显增多，每部出租车每天的收入有的增加，有的减少。居民在这种价格改革中受益，慢慢改变了其出行的习惯和结构，长期来说是对出租车行业发展有利。

分析原因：

(1) 可能起步价低了，原来采用其他出行方式如“步行”和“公交车”会有一定比例的人会选择“打的”，即使出行结构中出现了“转移”现象。

(2) 减价后，可能对于结伴出行，“打的”可能相对“公交车”更划算。

下面，将分三点讨论这个问题：

1. 关于现行油价下，当前的收费方案是否合理的讨论

在上文模型求解的讨论中，本文认为：当前的城市的出租车情况不合理，原因是空载率高达 50%左右，大大浪费了交通资源和燃料等资源，使出租车的运行效率大大降低。而造成空载率没有达到国际合理的 35%水平的的原因是：不合理的收费方案和过多的出租车数量。

在不改变目前该城市出租车的总数量及实际运营数量的前提下，怎样挑选和评价一个合理的出租车收费方案，本文将在后面建立的 AHP 层次分析模型进行解答，并将证明近似存在这样的一种收费标准。

2. 关于油价价格调整前后，出租车营业状况变化的分析

比较油价价格调整前后，每部出租车的运营情况，在分析该问题之前，本文已经知道，在当前城市中 6200 辆出租车，实际运营 5300 辆不变情况下，油价调

价前后的收入和支出情况，如下表：

表 17：油价调价前后的收入和支出情况

| | 油价调价前 | 油价调价后 |
|-----------------------|---------------|---------------|
| 1. 日均营业里程 | 424.00 公里/日·车 | |
| 2. 油耗状况 | 10 升/每 100 公里 | |
| 3. 油价 | 3.87 元/升 | 4.30 元/升 |
| 4. 日均用油开支 (4=1*2*3) | 164.01 元/日·车 | 182.32 元 /日·车 |
| 5. 日均载客趟次 | 40.52 趟/日 | |
| 6. 每趟载客收费 (约) 注 | 12.17 元/趟 | |
| 7. 日均营业收入 (7=5*6) | 493.13 元/日·车 | |
| 8. 日均营业毛利润 (8=7-4) | 329.12 元/日·车 | 310.81 元/日·车 |
| 9. 年均营业毛利润(9=8*365) | 120129 元/ 年·车 | 113446 元/年·车 |
| 10. 年固定营运成本 | 112616 元/年·车 | |
| 11. 年均营运净利润 (11=10-9) | 7513 元/年·车 | 830 元/年·车 |

其中每趟载客收费 (6) 的简单估算中，假定暂不考虑远程载客和乘客临时停车费用，则有：

$$\text{每趟载客里程} = \frac{\text{日均载客里程}}{\text{日均载客趟数 (4)}} = \frac{210.07 \text{公里/日} \cdot \text{车}}{40.52 \text{趟/日}} = 5.18 \text{公里/趟};$$

然后由下表给出每趟载客收费的分解表如下：

表 18：每趟载客收费的分解表

| | 客运量分布权重 (现状分析中给出) | 时间 (小时) | 营运时间 (小时) | 载客收费分解 | 营运收入 (元) |
|----|----------------------|------------|--------------|----------------------------------|-------------|
| 白天 | 90% | 16 | 11.925 | 8 元 (起点) + 2.18 公里 * 1.8 元/公里 | 10.74 |
| 晚上 | 10% | 8 | 1.325 | 9.6 元 (起点) + 2.18 公里 * 2.16 元/公里 | 1.43 |
| 总计 | 100% | 24 | 13.25 | | 12.17 |

由上面两表分析可知，油价的上升直接给每部出租车的年用油开支增加了 6683 元/年·车 (7513 元/年·车—830 元/年·车)，而油价调价后每部出租车的年均营运净利润仅为 830 元/年·车，若考虑数据统计和计算上 5% 的误差，或者各部出租车之间情况差异，将不少的司机出现负的营运负利润。这将给有“现代骆驼祥子”之称的出租车司机雪上加霜，每天长时间劳作却不能保证固定营运成本(含司机基本工资)的完成。而如果缺乏对出租车司机的激励，对于出租车行业将会是致命打击。

同时，在考虑提高出租车收费标准时，要照顾到居民及其他各类人口的实际

接受水平，更要考虑到城市建设中出租车业的长远发展利益。一味的跟随油价的上升而调高收费，如果超出了合理的波动水平，则可能造成对出租车客运量的急剧减少效应，进而改变公众的出行习惯，在这种情况下，很多出租车司机和运营商将面临入不敷出，整个行业也将面临萎缩，想要重新恢复公众出行习惯就很难了。

所以，这里基于上述分析，本文提出以下几个粗略的观点：

1) 由于油价的调整，适度地提高出租车的收费标准是必须的；必须使每部出租车的年均营运净利润的因油价提高带来的损失不能超过 30%。

2) 高后的出租车收费标准应该使平均每趟的收费增幅不超过 10%。

3) 新的出租车收费标准应方便实行，比如容易找钱，不容易出现混淆等。

4) 新的出租车收费标准应该能使公众方和出租车方双方相互的满意度达到最大。

5) 也许存在一种可能方案，使到即使在油价调整后，收费标准没有太大的提高或降低，但是由于改变了收费方案的设计等其他因素，使到居民乘坐出租车的出行强度增加，空载率降低，从而使出租车的客运量增加，出租车方的利益和公众利益得到兼顾。

3. 建立评价收费方案合理与否的 AHP 层次分析模型

基于前面文章的分析，一个合理的出租车收费方案必须使到公众方和出租车方双方相互的满意，同时，该收费方案带来的乘坐出租车各方面(无论客运量，乘坐出租车出行强度，空载率等的变化)都应该满足政府在城市规划方面的可持续环境和经济发展的战略要求，因此一下构造了三个满意指数：

(1) 公众满意指数 Idx_{public}

(1.1) 空载率 VR (Vacancy Rate)

首先，由于模型求解中的模型的空载率分析，此处的空载率不仅考虑了居民的因素，更包括了第一类和第二类人口。

其次，居民认为出租车空载率越高越好，因为当想乘坐出租车时，可以方便找到车，不用等待太久。

在的空驶率构造中：

$$TDist_e = (TQ_1^{Texi} + TQ_2^{Texi}) \cdot \frac{\bar{D}}{P}$$

$$VR = 1 - \frac{TDist_e}{T \cdot V \cdot N}$$

出租车总客运量 TQ^{Texi} 和具体的收费方案是有关系的，合理的收费方案可能会在一定程度上提高出租车总客运量，即出现本来选择其他交通方式的人群向乘坐出租车方式转移，而较高的收费标准又不可避免出现反向转移。在该模型的求解中，本文将给出 TQ^{Texi} 和具体收费方案间的简化关系。

(1.2) 收费水平 $Chrg$ ：收费指数分两种情况考虑：

第一，平均每一趟乘坐的收费，与每次平均乘坐的距离和乘车收费标准有关，其中，不同的出租车收费方案将对应不同的每次平均乘坐距离，较低的收费标准使乘车的门槛降低，增加短途客运量，会导致每次平均乘坐距离的下降。

第二，平均每一天乘车的收费，就是第一中的平均每一趟乘坐的收费乘以平均每天乘坐出租车的次数。其中，平均每天乘坐出租车的次数，对于不同的收费方案也是有不同的。

综上所述，由于比较难以量化，在模型的求解中，将近似给出具体收费和具体收费方案间的简化关系。

(2) 出租车方满意指数 Idx_{taxi}

(2.1) 实载率 $1-VR$ ：

对于出租车方，实载率越高越好，高的实载率说明出租车载客的效率提高，可以很容易找到客源，即有利于增加收入，又有利于提高司机的工作成就感等。

(2.2) 收入水平 PI ：

对于不同的收费方案，出租车日营运总收入 TI (Total Income) 的营运收入是变化的。如：2004 年该市出租车日营运总收入为：为 254.96 万元；在新的收费方案下，可能有所变化。

因为出租车的总数量和运营数量是不变的，那么对于每个出租车司机，他面临的每日平均收入 PI (Personal Income)： $PI = \frac{TI}{WN}$ ；

(2.3) 劳动强度

衡量司机劳动强度的大小，是可以有很多因素考虑的。比如司机每天的营运时间，司机每天营运的距离，司机每天载客的趟数等。

同样由于时间和能力所限，这里作一个简化处理：仅考察平均每辆出租车每日的载客人次数。对于每部出租车，他面临的每日平均载客量 PC (Personal Carrying Capability), $PC = \frac{TC}{WN}$ 。

为了使建模 AHP 的指数值越大，表示方案越合理，这里用劳动强度的倒数作为模型方案层的一个成分。

(3) 环境综合指数: $Idx_{environment}$

环境因素，这里为简化，仅考虑自然环境和投资环境两项：

(3.1) 对于自然环境：

仅考虑一个空载率作为衡量指标，越低的空载率说明对资源的利用更高，比如城市的交通资源和燃料资源等，对自然环境越有利。

(3.2) 对于投资环境：

考虑到城市发展中第二类人口对城市发展的重要性，比如一些因商务出差、贸易、旅游等的短期流动人口对城市的经济发展等有不可忽略作用。而这部分采用出租车作为交通方式要更为频繁。过低的空载率将会难以满足这部分人口随时的交通需求，因此从这方面考虑，要提高空载率。

综上所述，基于环境因素而言，维持一个合理的空载率更显得重要。上文中提及文献中认为发展中国家城市中出租车空载率为：35%比较合适。这里使用空载率偏离 $(VR - 35\%)^2$ 作为衡量指标。

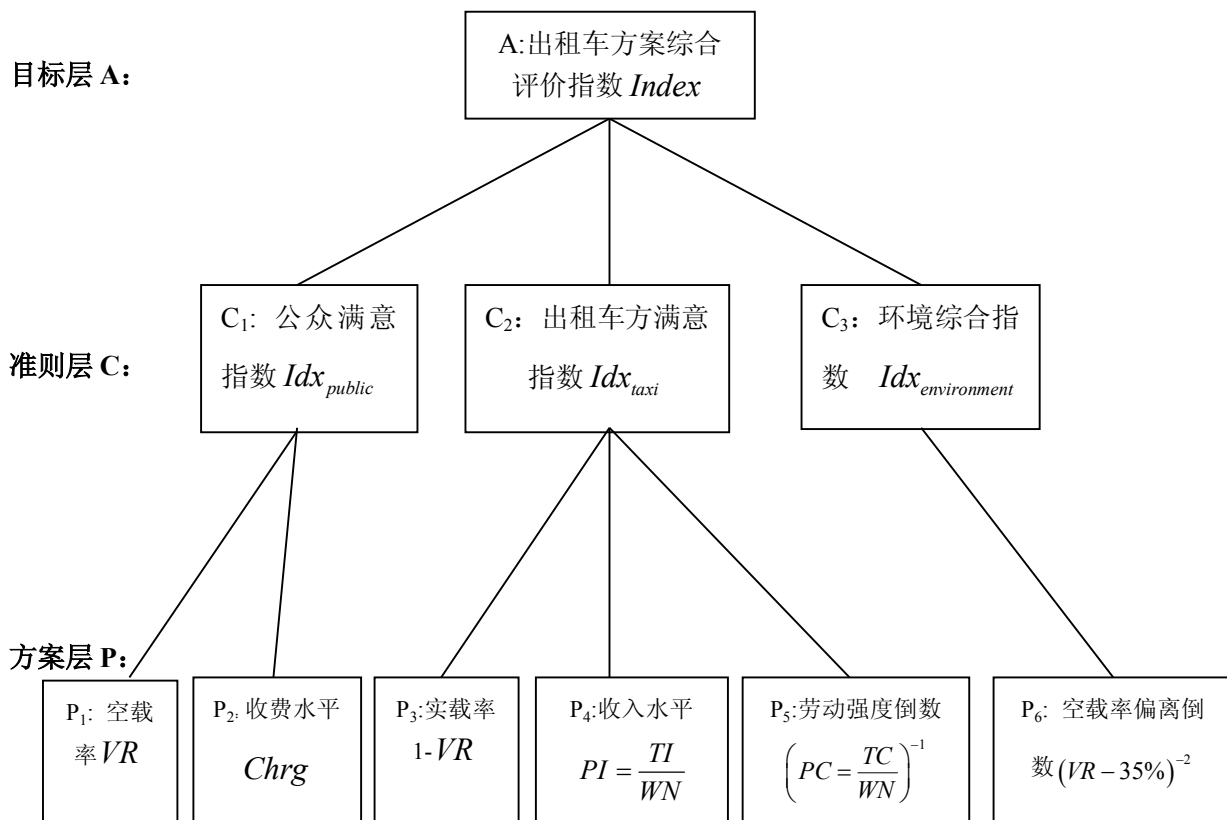
为了使建模 AHP 的指数值越大，表示方案越合理，这里用空载率偏离的倒数作为模型方案层的一个成分。

4. 根据上述建模，用层次分析法 (Analytic Hierachy Process, AHP) 对模型进行细化：

(1) 对衡量方案合理性建立综合评价模型

这里建立的出租车方案综合评价指数 $Index$ ，越合理的方案，其指数值越大。

图 2：层次分析结构图



这里选取了几种国内同类城市的出租车的价格方案作为备选方案(如下表)，说明该模型的运行求解过程：

表 18：全国部分城市出租车价格表

| 方案 | 城市 | 价格 |
|----|-----------|---|
| 1 | 上海 | 上海出租车起步价 10 元（3 公里），超 3 公里后每公里计价 2 元，超 10 公里每公里计价 3 元 |
| 2 | 成都 | 起价 5 元，每公里 1.4 元 |
| 3 | 广州 | 7 元 2.3 公里，超出后每公里 2.6 元 |
| 4 | 沈阳 | 7 元起步，3 公里以上每公里加价 1.67 元 |
| 5 | 南京 | 7 元起步，3 公里以上每公里加价 1.60 元 |
| 6 | 本文所考虑目标城市 | ① 起租基价 3 公里，基价租费：白天 8.00 元，晚上 9.6 元。 ② 超过起租基价公里，每车公里价：白天 1.8 元，晚上 2.16 元。 ③ 上日 21 时至次日凌晨 5 时为夜间行车时间。 ④ 远程载客从 10 公里开始，计价器将 50%回空费输入表内，加收回空费。 ⑤ 行驶中乘客要求临时停车 10 分钟内免费，后每超过 5 分钟按 1 车公里租价收取等候费。 |

给定这六种收费方案后，由于比较难以建立两者的关系，这里基于时间与能力限制，在当前的油价方案中，取定六种方案的几个方案层指标值的大小比较关系，而避免直接求解和标准化的复杂过程：

表 19：方案层指标值的大小比较关系

| 方案层指标 | 各收费方案指标值大小比较（相应赋值 6~1） |
|---|------------------------|
| P ₁ : 空载率 VR | 3>5>4>1>6>2 |
| P ₂ : 收费水平 $Chrg$ | 2>5>4>6>3>1 |
| P ₃ : 实载率 $1 - VR$ | 2>6>1>4>5>3 |
| P ₄ : 收入水平 $PI = \frac{TI}{WN}$ | 1>3>6>4>5>2 |
| P ₅ : 劳动强度倒数 $\left(PC = \frac{TC}{WN} \right)^{-1}$ | 1>4>5>2>6>3 |
| P ₆ : 空载率偏离倒数 $(VR - 35\%)^{-2}$ | 2>3>5>6>1>4 |

(2) 构造判别矩阵

因为判别元素的值反映了综合评价指数对各因素相对重要程度的认识，一般是采用数字 1-9 及其倒数来表示的。这里认为对于一种收费方案的评价，三个指数的影响是同样重要的，为简化计算，取各比例因子相等为 1，为因此构造判别矩阵如下：

表 20：构造判别矩阵

| A | C ₁ | C ₂ | C ₃ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| C ₁ | 1 | 1 | 1 |
| C ₂ | 1 | 1 | 1 |
| C ₃ | 1 | 1 | 1 |

| C ₁ | P ₁ | P ₂ |
|----------------|----------------|----------------|
| P ₁ | 2 | 1 |
| P ₂ | 1 | 1 |

| C ₂ | P ₃ | P ₄ | P ₅ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| P ₃ | 1 | 1 | 1 |

| | | | |
|----------------|---|---|---|
| P ₄ | 1 | 1 | 1 |
| P ₅ | 1 | 1 | 1 |

| | |
|----------------|----------------|
| C ₃ | P ₆ |
| P ₆ | 1 |

(3) 层次单排序及其一致性检验

通过判别矩阵 \bar{A} 的特征根求解 $(\bar{A}W = \lambda_{\max}W)$ 得到特征向量 W , 经过归一化后即得同一层次响应因素对于上一层次因素相对重要性的排序权值, 即进行层次单排序.

计算一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \text{ n 为判别矩阵的阶数;}$$

根据 1—9 阶判别矩阵的平均随机一致性指标 RI 的值:

表 21: 判别矩阵的平均随机一致性指标 RI

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 阶数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| RI | 0.00 | 0.14 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

计算出各层次排序计算及一致性检验的结果为

表 22: 各层次排序计算及一致性检验的结果

| 判别矩阵 | 特征向量 | λ_{\max} | CI | RI | CR |
|-------------------|------------------------------|------------------|---------|--------|--------|
| A-C | $(0.3333, 0.3333, 0.3333)^T$ | 3.000 | 0.0000 | 0.5800 | 0.0000 |
| C ₁ -P | $(0.50, 0.50)^T$ | 2.0000 | 0.0000 | 0.1400 | 0.0000 |
| C ₂ -P | $(0.50, 0.50, 0.50)^T$ | 2.0000 | -0.5000 | 0.5800 | 0.0000 |
| C ₃ -P | $(0.50)^T$ | 2.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

(4) 层次总排序

由最高层次到最低层次逐次进行对每一层次所有因素对于最高层 (总目标) 相对重要性进行排序

表 23: 最高层 (总目标) 相对重要性排序

| | | | | |
|------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| 层次 C | C ₁ | C ₂ | C ₃ | 层次 P 总排序值 |
| 层次 P | 0.3333 | 0.3333 | 0.3333 | |

| | | | | |
|----------------|---------|--------|--------|--------|
| P ₁ | 0.5000 | 0.5000 | | 0.3333 |
| P ₂ | | 0.5000 | | 0.1667 |
| P ₃ | | | 0.5000 | 0.1667 |
| P ₄ | 0.50000 | | | 0.1667 |
| P ₅ | | | 0.5000 | 0.1667 |
| P ₆ | | 1.0000 | | 0.1667 |

(5) 层次总排序的一致性检验

从高层到低层，逐层计算。设对层次 B 总排序的随机一致性比率：

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^m a_j CI_j}{\sum_{j=1}^m a_j RI_j}$$

其中，如果 B 层次的某些因素对于 A_j 单排序的一致性指标为 CI_j 相应的平均随机一致性指标为 RI_j。层次的排序一致性检验如下：

表 24：一致性检验

| 各方案 | P ₁ : 空载率 VR | P ₂ : 收费水平 Chrg | P ₃ : 实载率 1-VR | P ₄ : 收入水平 $PI = \frac{TI}{WN}$ | P ₅ : 劳动强度倒数 $\left(PC = \frac{TC}{WN}\right)^{-1}$ | P ₆ : 空载率偏离倒数 $(VR - 35\%)^{-2}$ |
|--------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|--|--|---|
| 1. 上海 | 3 | 1 | 4 | 6 | 6 | 2 |
| 2. 成都 | 1 | 6 | 6 | 1 | 3 | 6 |
| 3. 广州 | 6 | 2 | 1 | 5 | 1 | 5 |
| 4. 沈阳 | 4 | 4 | 3 | 3 | 5 | 1 |
| 5. 南京 | 5 | 5 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| 6. 本文所考虑目标城市 | 2 | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 |

代入公式

$$V = R \cdot P = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{16} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \dots & r_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} & \dots & r_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \vdots \\ p_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 4 & 6 & 6 & 2 \\ 1 & 6 & 6 & 1 & 3 & 6 \\ 6 & 2 & 1 & 5 & 1 & 5 \\ 4 & 4 & 3 & 3 & 5 & 1 \\ 5 & 5 & 2 & 2 & 4 & 4 \\ 2 & 3 & 5 & 4 & 2 & 3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.3333 \\ 0.1667 \\ 0.1667 \\ 0.1667 \\ 0.1667 \\ 0.1667 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.17 \\ 4.00 \\ 4.33 \\ 4.00 \\ 4.50 \\ 3.50 \end{bmatrix}$$

从分析中，可以看到，第五个方案（南京市的出租车收费方案）在油价调整前是

六个方案中评价指数最高的，即综合考虑了公众、出租车方和社会各方因素后得最合理方案。

南京市的收费方案：“7元起步，3公里以上每公里加价1.60元”，对比原来的方案在收费标准上是下调的。通过初步验证，实行该收费方案，每部出租车司机的营业净利润和居民在出租车上的开支也满足了第一步中的五点要求。

对于油价调整后的情况，同样可以根据该模型和方法，计算并在其他城市的收费方案中找寻更加合理的方案，由此来证明合理方案的存在性。

八、数据采集方案的讨论

综合本文的思路，数据方面的作用是不可忽视的。为了能使模型能更具有精确的可预见性，下面数据的采集和选择中的一些看法：

1) 最好能有该城市以前年度的一些交通出行数据，如出行强度、出行总量等。如果能有同类型城市的类似的出行强度等调查数据，对于建立一个更合理的模型及其预测运用都将帮助很大。

2) 在控制成本前提下，每隔若干年能通过调查问卷的形式对居民进行出行特征数据的采集，比如提问：“你认为在未来一年内（或若干年内），你的出行特征会怎么样呢？”。或采取网络问答手段，不时进行这方面数据的收集。

3) 例如在本文给出的截面数据多元回归分析方法中，如果能给出收集并提供该城市在经济方面（比如人均GDP等）、土地利用率等方面的数据。

4) 为了能更准确的给出未来城市出行的特征，最好能给出未来城市规划的一些重大投资项目或活动等政策信息。比如2008年北京举办奥运会、2010年广州举办亚运会对城市的未来交通情况和出租车需求将会有巨大的影响。

5) 在给出统计数据的同时，最好能一起注明统计数据的统计方法、统计无差和精度、统计口径等问题，对于交通预测模型的建立和应用将有很大帮助。

九、模型评价

1. 模型创新之处

1) 利用截面数据的回归计量模型对未来城市交通出行强度进行预测。由于

居民出行强度和出行总量的数据取得存在一定限制，因此在理论界，对未来出行强度的预测也十分困难。本文选择城市规模、人口规模及居民可支配收入等解释变量，利用相近城市已有的历史统计资料，尝试给出居民出行强度的回归预测方法。该模型可以推广到国内同类城市的交通出行强度预测，能极大降低交通数据调查的人力物力。

2) 基于居民全方式 OD 分布矩阵的平均增长法的交通模型，结合对未来各年新增出行总量的各区调配方案，迭代得到未来居民全方式 OD 分布表。在调配方案中引入政府控制变量，为实际政策调控留下空间。

3) 最大创新之处在于怎么样的出租车价格收费方案更合理，本文将这两者的评价标准用 AHP 层次分析模型，统一到最后一个简化的综合评价指数，综合考虑公众方、出租车方（包括司机和出租车运营商）和政府规划部门三者的利益关系，清晰、易理解。而且模型中空载率、收费价格以及规划部门侧重哪方利益的因子都可以进行调节，可以方便地推广到中国同类城市及城区交通问题的决策，具有较好的实用性及扩展性。

2. 模型不足之处

1) 由于缺乏大量的统计调查数据，预测城市居民出行强度模型中各个变量的权重及系数由常识或相关资料推导得出，与真实的情况稍有出入。

2) 在建立 AHP 的整个过程中，不一定能够完全涵盖现实中的所有相关因素，对现实的抽象必定造成与现实有出入的问题，在具体的实施上，也存在一定的量化难度。

十、模型扩展

1) 本模型在预测出行强度方面的多元回归模型形式上选择具有很大可扩展性。如能结合城市发展规划政策制定者、交通学专家和计量经济学家联手设计，选择更多更合理的解释变量，建立更合理的回归模型，将大大提高模型预测的精度。

2) 本文采用的全方式 OD 交通矩阵平均增长预测法可以扩展到其他更精确

的 OD 交通矩阵预测方法，比如：Frator 法和 Detroit 法。

3) 在评价出租车收费方案的 AHP 模型中，存在更具操作性的指标或指数作为方案层的因子。为有兴趣的学者提供进一步研究的空间。

十一、研究成果短文

出租车作为城市公共交通的一种特殊方式，由于其快速、便利、舒适、安全等特性，不仅是城市常规公共交通的重要补充，而且在建立城市形象、满足高层次的出行需求等方面都具有重要的意义。但是出租车行业的迅猛发展，给城市综合交通管理带来了许多新的问题和挑战，比如：出租车综合规划诸如城市中出租车的数量要控制在怎样的范围？空载率控制为多少？油价调整后该如何制定价格标准才能让城市居民和出租车司机都满意？

本文正是基于为城市交通规划种种问题分忧解难的角度出发，综合考虑各方利益，运用截面数据回归的方法预测未来城市交通的变化，以及借助层次分析模型，制定当前及未来最优出租车数量和合理的出租车收费方案。从结果我们发现，当前困扰该城市交通主要的问题是：空载率过高，车辆的最优数为：4340 辆，目前偏多了，收费方案也有不合理的地方。

综上所述，本文建议：

1) 对出租车数量的控制要缓慢增加出租车的数量，慢慢等待旧车淘汰，逐渐提高车辆的实际运营率；

2) 出租车的收费可以采取降低起步价和起点计费距离的方案。

3) 在城市经济实力允许下，逐步引入 GPS 智能调度系统针对各区的交通状况提供切合实际的出租车的调配方案，减少道路拥堵和尾气带来的污染。

4) 出台相关的税收政策（如燃油税等），引导出租车数量朝合理健康的方向发展。

5) 尽一切可能充分利用道路交通资源，提高出租车的运营效率，使市民满意、司机满意、各方满意，使出租车业的发展为城市未来的发展做出应有的贡献。

参考文献：

- [1] 罗伯特 S. 平狄克 (Robert S. Pindyck), 丹尼尔 L. 鲁宾费尔德 (Daniel L. Rubinfeld). 计量经济模型与经济预测 (Econometric Models and Economic Forecasts) [M]. 机械工业出版社, 北京, 1999
- [2] 中国交通技术论坛. <http://www.tranbbs.com/>
- [3] 曲大义, 杨明, 武勇等. 苏州市居民出行特征分析及交通发展对策研究[J]. 东南大学学报, 2001, 5(3): 118-123
- [4] 邓毛颖, 谢理, 广州市居民出行特征分析及交通发展的对策[J]. 城市规划. 2000, 11: 45-49
- [5] 《1999 广州统计年鉴》. 中国统计出版社. 1999
- [6] 黄建中, 1980 年代以来我国特大城市居民出行特征分析[J]. 城市规划学刊. 2005, 3: 71-75
- [7] 陆建, 王炜. 城市出租车拥有量确定方法[J]. 交通运输工程学报. 2004, 3(1): 92-95
- [8] 陈盛, 陆建. 出租车交通调查分析及对策[J]. 交通标准化. 2003, (5): 41-44
- [9] 陆建, 城市交通系统可持续发展规划理论与方法[D]. 东南大学, 2003
- [10] 王京元, 王炜, 程琳等. 居民出行调查中的抽样技术研究[J]. 公路交通科技, 2005, 4(4): 99-102
- [11] 刘景星, 宋学劳, 裴玉龙等. 营口市居民出行特征分析[J]. 城市规划汇编. 1997, 1: 47-54
- [12] 金治富. 道路交通规划与组织[M]. 中国人民公安大学出版社, 北京, 2004
- [13] 刘灿齐. 现代交通规划学[M]. 人民交通出版社, 北京, 2001
- [14] 傅鹏, 刘琼荪, 何中市等. 数学实验[M]. 科学出版社, 北京, 2000
- [15] 姜启源. 数学模型[M]. 高等教育出版社, 北京, 1987
- [15] 出租车司机: 调价可减少空载率.
<http://www.sinocars.com/sinocarnews/docnews/527000/2005/07/n122486.shtml>
- [16] 新华日报实政新闻, 出租车是否调价开始听证. <http://www.zzwb.com.cn/images/2005-08/12/rb02.pdf>
- [17] 出租车行业六大问题 政协委员建议降低营业指标
<http://news.sohu.com/20050120/n224030022.shtml>
- [18] 我们能做的不只是多付 1 元 http://gz.davoo.com/gb/content/2005-09/14/content_2221395.htm
- [19] 调价一个月见成效 省会的士空载率下降两成以上
<http://news.tom.com/4005/4483/4487/20050830-2429523.html>
- [20] 中国交通技术论坛. <http://www.tranbbs.com/>
- [21] 《1999 广州统计年鉴》. 中国统计出版社. 1999
- [22] 北京不再新增出租车 价格如调整将召开听证会
<http://apps.cctv.com/news/society/20050917/100156.shtml>
- [23] 交通安全阀: 快速轨道交通 http://www.sociology.cass.net.cn/shxw/qt/t20050415_5677.htm
- [24] 关于 2003 年城市道路交通管理等级评价的情况通报
<http://www.cin.gov.cn/indus/file/2004031801.htm>
- [25] 我国 36 个大中城市建成区面积比较
http://www.geographyonline.net/news/Article_Print.asp?ArticleID=318
- [26] 2000 年世界几大城市人均道路面积比较
<http://www.china-up.com/photonews/bjdczj/02.htm>