

【文章编号】1672-5328(2005)04-0054-05

转向比例与合理干路网密度研究

蔡 军

(大连理工大学建筑艺术学院, 大连 116024)

【摘 要】建立了居民平均出行距离、转向比例、交叉口间距之间的基本关系, 结合交通信号控制系统的特性, 对合理的交叉口间距、路网密度进行了分析。将街区尺度、路网密度、居民平均出行距离联系在一起, 指出大的街区尺度会造成较大的转向比例和绿波交通控制体系效益下降, 对其他学者提出的合理交叉口间距进行了补充解释, 并进一步缩小了合理干路网密度的取值范围。最后提出在规范修编中加大干路网密度的建议指标。

【关键词】转向比例; 干路网密度; 交通信号控制

【中图分类号】U491.1³

【文献标识码】A

Discussion on Ratio of Turning and Density of Urban Arterial Street Network

CAI Jun

(Architecture and Art School of Dalian University of Technology, Dalian 116042, China)

Abstract: Relations between average trip distance, ratio of turning, distance between intersections were put forward. According to the traffic signal controls, the reasonable distance between intersections of arterial streets and the reasonable density were analyzed. The relation of distance between intersections, density of arterial streets and average trip distance are pointed. It reinforced the conclusion of other scholars. The scope of reasonable density of arterial streets was made smaller. At last, the advice to the modification of the index for transport planning on urban road is given.

Keywords: ratio of turning; density of arterial street; traffic signal controls

左转比例是影响城市交叉口通行能力的关键因素, 同时, 左转、右转比例的高低还直接影响交通控制体系组织效率。可以将左转、右转比例作为一般概率事件进行分析, 这样有助于找出左转与右转比例的基本规律, 为路网规划与交叉口设计提供参考依据。

布概率与出发街区到目的街区的距离有关, 可以用函数 $f(m)$ 表示, 即居民出行距离为 $mL_{街}$ 的概率为 $f(m)$ 。如果假定每个街区均为均质的, 那么街区1的居民到任何距离为 $mL_{街}$ 的街区的出行概率相同。

1 分析条件假设

将城市道路网假设为方格网(见图1), 街区尺度(交叉口间距)为 $L_{街}$, 居民出行定义为居民从本街区到达另一个街区。居民出行距离分布可用图2表示。分

2 左转与右转比例公式推导

假设居民从街区1出发, 对于出行距离为 $mL_{街}$ 的居民来讲, 有若干条路径可以选择。由于存在交叉口转向延误, 居民一般只转一次弯。先走长边与先走短边所需要的出行时间基本相同, 所以, 可以认为先走

收稿日期: 2004-05-10

作者简介: 蔡军(1970—), 男, 博士, 大连理工大学建筑艺术学院讲师。E-mail: caimans@vip.sina.com

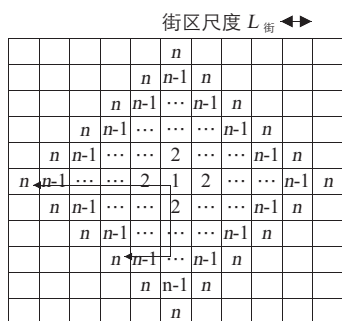


图1 路网基本模式假定

Fig.1 Basic pattern of supposed road network

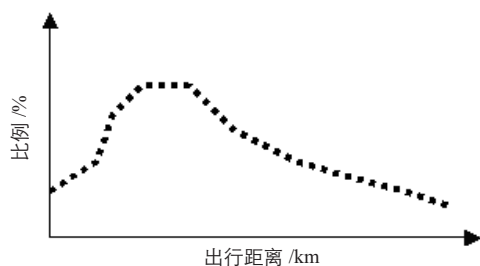


图2 居民出行距离分布

Fig.2 Distribution of trip distance

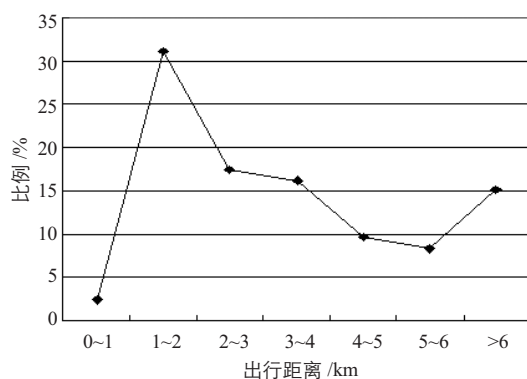


图3 邯郸主城区2001年居民出行距离分布

Fig.3 Distribution of trip distance of Handan city in 2001

长边与先走短边的概率相同。根据前面的假设, 该区向西出发的居民占出行距离为 $mL_{街}$ 的总出行量 P 的 50%, 其中转向南侧的与转向北侧的各占一半。那么从出发街区向西的道路上分布的从街区 1 出发的总人数为 $0.5P$ 。由图 1 可见, 距离出发街区为 $mL_{街}$ 的街区总数为 $4m$ 个, 其中该街区西侧有 $2m$ 个, 那么出发街区到其中任何一个街区的人数为 $P/(4m)$ 。每经过一个路口, 向西行进的总人数减少 $P/(2m)$, 直到最后一个

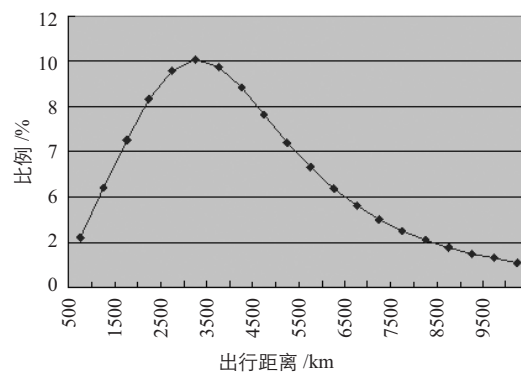


图4 居民出行距离分布模拟(平均4 km)

Fig.4 Simulation about distribution of trip distance (average trip distance is 4 kilometer)

路口减少到 $P/(4m)$ 。出发街区西侧有 m 个路口, 每个路口来自街区 1 的人数依次为: 第 1 个路口为 $P/2$, 第 2 个路口为 $P(1-1/m)/2$, 第 3 个路口为 $P(1-2/m)/2$, 第 4 个路口为 $P(1-3/m)/2$, ..., 第 $m-1$ 个路口为 $P/(2m)$, 第 m 个路口为 $P/(4m)$, 该路各路口通过的总人数 $P_{总} = P[(m+1)/2 + 0.5m]/2$, 那么左转或右转占通过总人数的比例为 $\frac{P}{P_{总}} = 1:2[(m+1)/2 + 0.5m] \approx 1:(m+1)$ 。

出行距离为 $mL_{街}$ 的出行者占该街区出发总人数的比例为 $f(m)$, 设街区 1 出行者总数为 N , 那么出行距离从 $1L_{街}$ 到 $nL_{街}$ 左转总量为:

$$N \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot f(1) + N \cdot \left(\frac{1}{3}\right) \cdot f(2) + N \cdot \left(\frac{1}{4}\right) \cdot f(3) + N \cdot \left(\frac{1}{5}\right) \cdot f(4) + \dots + N \cdot \left(\frac{1}{m+1}\right) \cdot f(m) + \dots + N \cdot \left(\frac{1}{n}\right) \cdot f(n-1) + N \cdot \left(\frac{1}{n+1}\right) \cdot f(n) = \sum_{i=1}^i N \cdot \left(\frac{1}{n+1}\right) \cdot f(n),$$

那么左转或右转比例 $R_{左}$ 与 $R_{右}$ 为:

$$R_{左} = R_{右} = \frac{N \sum_{i=1}^i \frac{1}{n+1} f(n)}{N} = \sum_{i=1}^i \frac{1}{n+1} f(n). \quad (1)$$

居民出行比例随出行距离的变化一般呈现图 3 的分布规律。图 4 为平均出行距离为 4 km 情况下的居民出行分布模拟。这样就可以结合模拟公式计算出转向比例。但这种算法太复杂, 而且数据难以获得。所以尽管存在误差, 也可以用平均出行距离简单估算转向比例。设居民平均出行距离为 $L_{平均}$, 那么可以得到式 (2)。根据前面的假定条件, 可以用该式表示全市平均转向比例和每个交叉口的平均转向比例。

$$R_{左} \approx R_{右} \approx 1 / \left(1 + \frac{L_{平均}}{L_{街}}\right) \quad (2)$$

3 分析验证

城市中的路网一般不会为纯粹的方格网，人口与就业分布、出行分布并不均匀，因此，上述结论只具有一般化的意义，还应当考虑城市的实际情况。如果考虑街区1到不同街区的出行人数不同，居民出行会选择最佳路线，路网非纯粹方格网，各街区的出行人数也不同，那么就可以采用交通规划的计算机模型进行计算，虽然得出的结论比较可靠，但这样的结论却不具有一般意义。因此本文仅采用一般统计数据验证，如果能解释这些数据，则表明公式(2)具有应用价值。

表1^[1]为美国某些城市的过境与入城交通比例。由表1可见，不同规模的城市进入商业区的交通比例基本接近，进入商业区的车辆只能采用左转与右转的方式进入，转向与直行比约为0.25。但我国不少城市中心区的左转、右转比例均较高，达到30%~40%，与国外相差很

大，转向与直行比约为0.42~0.66，见表2^[2]。

我国居民平均出行距离见图5。统计数据中包括约20%~30%的步行，其平均出行距离约1 km。那么自行车与机动车的平均出行距离应当比统计的平均出行距离大。设步行出行比例为 $R_{步}$ ，平均步行距离为 $L_{步}$ ，全市平均出行距离为 $L_{市}$ ，非步行平均出行距离为 $L_{非步}$ ，那么 $L_{非步} = (L_{市} \cdot 100\% - R_{步} \cdot L_{步}) / (100\% - R_{步})$ 。 $L_{步}$ 一般小于1.5 km，对于百万人口的城市，其平均出行距离一般略小于4 km(见图5)，步行出行比例取20%~30%，则 $L_{非步}$ 为4.6~5.07 km，约为平均出行距离的1.2~1.3倍。以南宁市为例(2002年，市区人口128万，建成区面积112 km²)，出租车平均每客乘距4.93 km，摩托车平均出行距离为5.4 km，可近似用出租车与摩托车的平均出行距离表示居民机动车平均出行距离，机动车的平均出行距离接近城区半径。

表2中的这些城市的规模约为50~100万人，根据图5，其平均出行距离可按4 km考虑。我国的路网较稀，街区尺度大，交叉口间距按700 m考虑，根据公式(2)，这些城市的平均左转与右转比例为12.3%，转向与直行比例为0.326。而美国的居民多住在郊区，主要到市中心去上班，出行距离较大，所以城市中心区转向比例较低。但表2的数值依然高于上述公式的推算数值。原因是：首先，这些交叉口均是出现交通问题而重新进行交通组织与信号控制的交叉口，转向比例很可能高于全市平均值。其次，交叉口周边地区的用地性质可能导致转向比例较高。根据居民出行调查，中小學生自行车出行比例较大。如果地块周围存在中小学，那么上学与放学期间自行车转向比例可能较高。如果周围

表1 美国某些城市的过境与入城交通比例

Tab.1 The proportion of trough traffic and into traffic in some American cities

城市人口 /千人	城市数量 /个	过境交通 量/%	入境交通 量/%	进入商业区 的交通/%	进入其他区 的交通/%
<5	11	53.9	46.1	22.9	23.2
5~10	29	52.4	47.6	23.6	24.0
10~25	43	38.5	61.6	26.0	35.0
25~50	36	26.6	73.4	24.8	48.6
50~100	25	21.7	78.3	21.6	56.7
100~250	31	17.9	82.1	20.2	61.9
250~500	6	10.7	89.3	21.4	67.9
500~1 000	9	8.6	91.4	12.5	78.4
>1 000	3	10.3	89.7	9.5	80.2

表2 某些城市的自行车、机动车交叉口左转比例统计 %

Tab.2 Statistics of ratio of turning of bike and motor vehicle in some cities %

交叉口名称	自行车			机动车			摩托车		
	左	右	合计	左	右	合计	左	右	合计
廊坊市新华路— 金光道交叉口	20.63	24.62	45.25	26.20	26.62	52.81			
沧州市新华路— 新华大街交叉口	29.65			22.50	27.42	49.92	24.95	30.50	55.45
邯郸市人民路— 中华大街交叉口	21.65	15.61	37.26	12.62	19.51	32.13			
邢台市中兴路— 新华路交叉口	17.85	12.87	30.73	11.17	32.52	43.69			
杭州市文晖路— 湖墅南路交叉口	32.49	15.87	48.36	17.00	35.72	52.72	17.89	33.44	
杭州市保淑路— 体育场路交叉口	8.15	8.41	16.57	18.85	19.44	38.29			
唐山市建设路— 建华路交叉口	21.82	17.58	39.39	22.17	26.58	48.74			
唐山市卫国路— 北新道交叉口	14.14	13.63	27.77	16.79	24.42	41.21			
平均	17.09	12.10	29.20	18.54	21.31	39.85			
	18.35	12.07	30.42	16.58	23.35	39.94	21.42	31.97	

存在政府机关或其他办公用地, 机动车转向比例可能较高。

另外, 自行车平均出行距离一般小于机动车。根据公式推导, 对于同一个城市, 由于街区尺度一致, 所以自行车转向比例应当高于机动车, 表2却没用体现这一规律。这是因为我国的高收入家庭的居住位置往往靠近市中心, 而低收入家庭往往位于城市边缘区。高收入家庭的就业地点往往接近市中心, 低收入的家庭往往在城市边缘区上班。早、晚高峰主要为上下班出行, 在此期间, 小汽车的出行距离未必会比自行车大。因此, 市中心机动车转向比例与自行车的差异较小, 甚至高于自行车也可以得到解释。

4 合理干路网密度分析

虽然公式(2)不能准确得出某个交叉口的转向比例, 但可以得出居民平均出行距离、街区尺度与转向比例之间的基本关系与变化趋势。从式(2)可见, 宽而稀的路网, 街区尺度变大, 左转比例较大。所以通过扩大路网间距, 加宽道路提高道路通行能力的做法会因为左转比例的增加而具有通行能力降低的可能。而且绿波交通主要保证直行车队以最小延误通过, 转向车辆则会发生平均约1/4周期的延误。所以, 转向车辆越多, 信号交叉口控制体系造成的延误越大。

美国学者推出了一个表达交通信号控制系统通车效益的“互联指数”公式^[3]:

$$I = 0.5(Xq/Q-1)/(1+T), \quad (3)$$

式中 I 为互联指数; T 为车辆在两相邻信号交叉口间的平均行程时间, min, 其中

$$T = L / V, \quad (4)$$

L 为相邻信号交叉口间距, m; V 为平均行程车速,

m/min; X 为来自上游交叉口车流的条数, 即从上游交叉口驶入下游交叉口的直行车道和左右转弯车道的总和; q 为来自上游交叉口的直行车交通量; Q 为到达下游交叉口的交通量总和, 即从上游交叉口驶入下游交叉口直行车加左右转弯车的总和。

作为评价交通信号控制系统交通效益的一个指标。经测试, 得出了一个区分非系统控制与系统控制交通效益分界的互联指数标准, 最好大于0.43, 不低于0.35。为简化运算, 设从上游交叉口驶入下游交叉口的左右转弯交通量占上游交叉口驶出直行车交通量的百分比为 k , 则到达下游交叉口的交通量总和:

$$Q = q + kq = (1+k)q \quad (5)$$

用式(4)和式(5)可把式(3)转化为:

$$I = 0.5[X/(1+k)-1]/(1+L/V) \quad (6)$$

从式(6)可见: 相邻信号交叉口间距 L 越远、驶入左右转弯车辆比例 k 越高, 互联指数 I , 即交通信号控制系统通车效益越低; 平均行程车速 V 越高, 上游交叉口进入下游路段车道的条数 X 越多, 效益越高。

设驶入下游路段的转弯交通量占直行车的百分比为 $R_{\text{转/直}}$, 根据式(2)可以得到:

$$R_{\text{转/直}} = 2R_{\text{左}}/(1-2R_{\text{左}}) = \frac{2/(1+\frac{L_{\text{平均}}}{L_{\text{街}}})}{1-2/(1+\frac{L_{\text{平均}}}{L_{\text{街}}})} \quad (7)$$

$L_{\text{街}}$ 与交叉口间距 L 相同, 将式(7)代入式(6), 那么:

$$I = \frac{0.5}{(1+L_{\text{街}}/V)} \left[X-2X/(1+\frac{L_{\text{平均}}}{L_{\text{街}}})-1 \right] \quad (8)$$

交叉口间距、居民平均出行距离、道路车速、道路车道数、互联指数之间的关系见表3。从道路实际情况分析: 一般干路上, 从上游交叉口驶入下游路段的车道可有2~4条, 互联指数 I 最低值取0.35, 平均行程车速取24 km/h或30 km/h, 我国居民的平均出行距离一般小于5 km, 这里取5 km, 每条道路取单向3车道。由表3可以得出: 适合的交叉口间距为400~500 m。根据我国《城市道路交通规划设计规范》^[4], 双向6车道的道路, 而且是方格网中的双向6车道的道路, 其级别应当为次干路或主干路, 基本可以得出方格网道路体系的合理路网密度约为4~5 km/km²。当然, 这是路网饱和和度较高情况下的合理干路网密度, 但城市道路建设速度总赶不上车辆增长速度确是不争的事实,

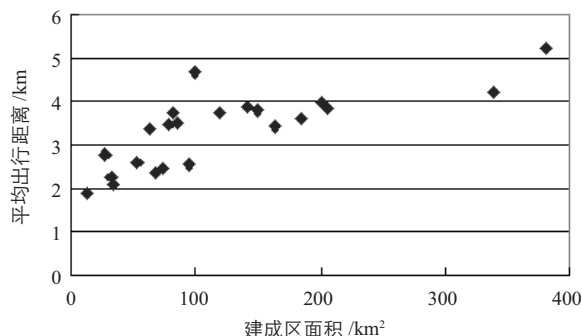


图5 我国城市平均出行距离与建成区面积之间的分布关系

Fig.5 Distribution of average trip distance on buildup area of cities in China

因此,路网规划应当着眼于这种实际情况。

杨佩昆教授运用式(6), k 取20%~40%, V 取20~30 km/h, 得出适合的交叉口间距为210~1 165 m, 并结合公交运行要求得出适宜的交叉口间距为500 m左右的结论^[3]。还有学者用TRANSYT方法对5种典型路网测试信号控制系统的通车效益, 也得出了相似的结论。我国学者通过对SCOOT自适应信号控制系统在北京市实际应用状况的分析, 也指出: 当相邻两交叉口的间距不大于500 m时, 系统通车效益较高。我国现行《城市道路交通规划设计规范》^[4]建议的干路网密度偏低, 杨佩昆教授提出“在新

一轮规范修订时, 建议把大、中城市的干路网密度提高到不小于4 km/km²”的修改建议。在此, 本文需要对上述建议补充一点: 4~5 km/km²的干路网密度是与我国平均居民出行距离相符的合理路网密度。

5 结语

尽管本文得出的居民平均出行距离、转向比例、街区尺度公式建立在假定条件基础上, 但这个简单的公式却具有一定的普遍意义, 指出了一种趋势, 即大的街区尺度会造成较大的转向比例, 会造成绿波交通控制体系效益下降, 将街区尺度、路网密度、居民平均出行距离联系在一起, 对其他学者提出的合理交叉口间距进行了补充解释, 并进一步缩小了其取值范围。今后伴随私家车的增加, 机动车近距离出行所占的比例会有所增加。而且特大城市交通压力大, 车速低(30 km/h的速度已经比较理想), 4~5 km/km²对于大城市、特大城市基本是合理的干路网密度。

参考文献

- 1 陆化普. 解析城市交通[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 94, 248
- 2 杨晓光. 城市道路交通设计指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003. 252~253
- 3 杨佩昆. 重议城市干道网密度——对修改《城市道路交通规划设计规范》的建议[J]. 城市交通, 2003, 1(1): 52~54
- 4 GB 50220—95 城市道路交通规划设计规范[S]

表3 交叉口间距、居民平均出行距离、道路车速、道路车道数、互联指数之间的关系

Tab.3 Relation of spacing of road intersection, average trip distance, lanes of road and I

$L_{\text{街}}/\text{m}$	$L_{\text{平均}}/\text{m}$	I	$V/(\text{m}/\text{min})$	$X/\text{条}$	$L_{\text{街}}/\text{m}$	$L_{\text{平均}}/\text{m}$	I	$V/(\text{m}/\text{min})$	$X/\text{条}$
150	5 000	0.339 806	500	2	150	3 500	0.321 391	500	2
200	5 000	0.302 198	500	2	200	3 500	0.279 923	500	2
250	5 000	0.269 841	500	2	250	3 500	0.244 444	500	2
300	5 000	0.241 745	500	2	300	3 500	0.213 816	500	2
350	5 000	0.217 152	500	2	350	3 500	0.187 166	500	2
400	5 000	0.195 473	500	2	400	3 500	0.163 818	500	2
450	5 000	0.176 243	500	2	450	3 500	0.143 238	500	2
350	5 000	0.472 787	500	3	350	3 500	0.427 807	500	3
400	5 000	0.432 099	500	3	400	3 500	0.384 615	500	3
450	5 000	0.395 944	500	3	450	3 500	0.346 436	500	3
500	5 000	0.363 636	500	3	500	3 500	0.312 500	500	3
550	5 000	0.334 620	500	3	550	3 500	0.282 187	500	3
600	5 000	0.308 442	500	3	600	3 500	0.254 989	500	3
650	5 000	0.284 725	500	3	650	3 500	0.230 487	500	3
550	5 000	0.525 526	500	4	550	3 500	0.455 614	500	4
600	5 000	0.487 013	500	4	600	3 500	0.415 743	500	4
650	5 000	0.452 097	500	4	650	3 500	0.379 780	500	4
700	5 000	0.420 322	500	4	700	3 500	0.347 222	500	4
750	5 000	0.391 304	500	4	750	3 500	0.317 647	500	4
800	5 000	0.364 712	500	4	800	3 500	0.290 698	500	4
850	5 000	0.340 298	500	4	850	3 500	0.266 071	500	4
150	5 000	0.321 271	400	2	150	3 500	0.303 861	400	2
200	5 000	0.282 051	400	2	200	3 500	0.261 261	400	2
250	5 000	0.249 084	400	2	250	3 500	0.225 641	400	2
300	5 000	0.221 024	400	2	300	3 500	0.195 489	400	2
350	5 000	0.196 885	400	2	350	3 500	0.169 697	400	2
400	5 000	0.175 926	400	2	400	3 500	0.147 436	400	2
450	5 000	0.157 582	400	2	450	3 500	0.128 071	400	2
350	5 000	0.428 660	400	3	350	3 500	0.387 879	400	3
400	5 000	0.388 889	400	3	400	3 500	0.346 154	400	3
450	5 000	0.354 021	400	3	450	3 500	0.309 754	400	3
500	5 000	0.323 232	400	3	500	3 500	0.277 778	400	3
550	5 000	0.295 875	400	3	550	3 500	0.249 513	400	3
600	5 000	0.271 429	400	3	600	3 500	0.224 390	400	3
650	5 000	0.249 473	400	3	650	3 500	0.201 951	400	3
550	5 000	0.464 675	400	4	550	3 500	0.402 859	400	4
600	5 000	0.428 571	400	4	600	3 500	0.365 854	400	4
650	5 000	0.396 123	400	4	650	3 500	0.332 760	400	4
700	5 000	0.366 823	400	4	700	3 500	0.303 030	400	4
750	5 000	0.340 625	400	4	750	3 500	0.276 215	400	4
800	5 000	0.310 692	400	4	800	3 500	0.251 938	400	4
850	5 000	0.294 017	400	4	850	3 500	0.229 885	400	4