

# 1978 ~ 2008 年渥太华快速公交 (BRT) 系统的发展评估报告<sup>①</sup>

Bus Rapid Transit in Ottawa, 1978 to 2008: Assessing the Results

Sami Al-Dubikhi Paul Mees 文  
陈鹏 译 潘海啸 蒋晗芬 审校

**【摘要】**如今,快速公交(BRT)系统已经成为城市公交系统中的重要组成部分,和轨道交通相比,它成本更低,灵活性更强。在城市由小汽车交通为主导的交通模式向公交主导的交通模式转变的过程中,渥太华快速公交系统的实践一直被视为一个成功案例,但是关于快速公交系统在渥太华公交体系中的具体作用却缺乏相关论述。因此,本文重点分析城市中公共交通的作用和快速公交系统在城市交通系统中的地位。经过分析,我们发现快速公交系统并不是渥太华公共交通系统成功的主要原因,其成功关键是在20世纪70年代出台的一系列改变小汽车出行与公共交通出行便捷性的综合政策。相对于那些应用于公共交通系统核心部分的精密技术,这些政策更应成为以减少小汽车依赖性为导向的城市规划的重点。

**【关键词】**渥太华 BRT 交通法规

**Abstract:** Rapid transit (BRT) is increasingly advocated as a lower-cost, more flexible alternative to urban rail, with Ottawa hailed as the pre-eminent BRT success story. However, there has been little detailed analysis of the effectiveness of Ottawa's BRT system in bringing about a mode shift away from

the car. This article seeks to address this deficiency by analysing the performance of the city's public transport and the role of BRT in this performance. We conclude that public transport in Ottawa can indeed be considered successful, but that BRT is not the main reason for this success. The cause was rather an integrated package of policies introduced in the 1970s, which changed the relative convenience of car and public transport travel. These policies, rather than the precise technology used for the trunk section of the public transport system, should be the focus of planning for reduced automobile dependence.

**Keywords:** Ottawa, BRT, transport policies

如今许多城市规划专家都将发展高质量的公共交通系统视为应对全球变暖以及石油价格飞速增长的有效措施。建设轻轨曾经风靡一时,仅在北美城市已经建成了24条以上的轻轨系统。但是近年来,尽管关于轻轨和快速公交系统优劣的争论持续不断(例如,1999年的纽曼(Newman)和肯沃兹(Kenworthy);2002年的匹克勒尔(Pickrell)),快速公交系统还是逐渐得到了更多城市的青睐,从哥伦比亚的波哥大到澳大利亚的布里斯班,越来越多的城市开始建设快速公交系统。

快速公交系统的支持者们认为,快速公交系统在建设和运营实施上相比轻轨更为经济,同时可以通过免费换乘政策更好地服务较为分散的出行需求。相反,汤普森和马托夫认为通过轨道交通和巴士接驳网络的重新设计可以为更多的目的地提供出行服务。<sup>[1]</sup>汉森尔在他的书中写到快速

作者: Sami Al-Dubikhi, 博士, 沙特皇家大学建筑和规划学院交通和土地规划专业助理教授  
Paul Mees, 博士, 墨尔本皇家技术学院社会科学和规划系全球化研究专业交通规划高级讲师  
译者: 陈鹏, 同济大学建筑与城规学院硕士研究生  
审校: 潘海啸, 同济大学建筑与城规学院规划系教授  
蒋晗芬, 上海市城市综合交通规划研究所副总工

① 本文原文于2010年发表在《城市规划研究》(Town Planning Review, Volume 81 Number 4)上。

公交系统的优势被各种政治因素扩大化,同时对于轻轨的支持只是一种缺乏客观的判断和分析的“盲从”。<sup>[2]</sup>还有许多分析家指出,轻轨系统远没有达到预期的载客量。

至少在发达国家中,BRT理论的拥护者的模式是加拿大首都渥太华的系统:公共汽车和公交专用道,它直接鼓舞了布里斯班公交专用道系统的建设,而通常被写入公共交通的成功发展史。<sup>[2-5]</sup>纽曼和肯沃兹为首的轻轨支持者认为渥太华自从开始推行公交专用道后,实际公共交通载客量反而呈现总体下降的趋势,但是他们缺乏有效的数据作为支撑。<sup>[6]</sup>里奇蒙德提出了不同的见解,渥太华是一个成功的公共交通案例,但是“其成功之处在于采用了相对低廉的方式提高了普通公交的服务水平和载客量。而其他公共交通设施的配套建设对于客运量只带来了少量提升,或者说至多只是起到锦上添花的作用”。<sup>[7]</sup>

现在渥太华公交专用道系统已经有了30年历史,建成最短的线路也已经有了10年历史。2006年加拿大开展的一次普查为公交专用道系统对于人们选择交通方式的影响分析提供了重要的数据依据。同时在2008年,渥太华政府由于对快速公交系统的效果不甚满意,因此决定采用轻轨系统取代快速公交系统。过去对于渥太华公交系统的研究大都集中在公交专用系统的技术、工程特点和投资消费上,缺乏对公交专用系统在地区公交载客量提升和交通出行方式转变过程中具体作用的分析,因此本文旨在弥补这方面的缺陷,重点关注了公交专用系统在改变交通出行方式上的作用。

## 1 渥太华交通现状

渥太华位于加拿大魁北克地区安大略省的边界和渥太华河的交界处,在渥太华河的北岸坐落着和渥太华并称为“双子城”的加蒂诺(过去称为“霍尔”)。渥太华大都市区人口普查的范围涵盖了加蒂诺和渥太华两座城市,这个地区在2006年的总人口为113.1万人,其中渥太华的常住人口为84.7万人,加蒂诺的常住人口为28.4万人。<sup>[8]</sup>

由于加拿大并没有类似于美国哥伦比亚特区或者是澳大利亚的首都领地这样的行政辖区,因此渥太华的主要运输和土地规划政策是由省一级或者城市政府负责编制的。1968年加拿大政府成立了渥太华—查尔顿地区政府,主要负责管理渥太华市区和周边的15个行政单元的各种事务,并在2001年将这个机构精简为现在的渥太华市政府。同样的情况也发生在对岸取代霍尔市和周边行政体的加蒂诺市政府。在20世纪50~60年代间,联邦政府成立了国家资本委员会(NCC),主要负责渥太华和加蒂诺的区域规划。但是在省级地区政府建立后,这个组织的角色就开始向咨询机构转变。渥太华和加蒂诺现在有各自独立的土地规划、公共交通政策和运输政策。尽管现在已经有规划将渥太华的快速公交系统拓展到河的北面,但是这个规划还没有进入具体的实施阶段,因此本文的主要研究对象依旧是被称为“渥太华”的安大略都市区。

表1是2006年加拿大主要都市区交通出行方式选择的普查数据,同时表格中选取澳大利亚主要都市区的数据

出行方式比例 (2006年普查)

表 1

都市区	人口 (人)	人口密度 (人/hm <sup>2</sup> )	自驾车 (%)	拼车 (%)	公共交通 (%)	慢行交通 (%)	其他 (%)
渥太华	846802	17.2	60.4	7.7	21.2	9.8	0.9
多伦多	5113149	27.2	63.6	7.5	22.2	5.8	0.9
维多利亚	330088	11.1	64.9	6.8	10.2	16.1	2.0
悉尼	4119189	20.4	65.0	6.2	21.2	5.6	2.0
蒙特利尔	3635571	19.8	65.4	5.0	21.4	7.3	0.9
温哥华	2116581	17.2	67.3	7.1	16.5	8.0	1.1
卡尔加里	1079310	14.0	69.1	7.5	15.6	6.7	1.0
加蒂诺	283959	15.6	69.5	9.0	14.4	6.3	0.8
温尼伯	694668	14.3	69.8	8.9	13.0	7.4	0.9
布里斯班	1763129	9.2	71.2	7.4	13.8	4.8	2.8
霍巴特	200524	10.3	73.2	9.4	6.4	8.7	2.3
堪培拉	368129	10.8	73.3	8.7	7.9	7.4	2.7
墨尔本	3592592	15.7	73.7	5.6	13.9	4.9	1.9
埃德蒙顿	1034945	10.1	75.0	7.8	9.7	6.2	1.2
佩斯	1445073	12.1	76.2	7.1	10.4	3.9	2.4
阿德莱德	1105839	13.8	76.4	6.7	9.9	4.7	2.3

(资料来源:加拿大统计局2007,2008;ABS 2007<sup>[8,10,11]</sup>)

作为对比和参照。选择澳大利亚的数据主要有两方面的原因：一方面，它的普查也是在 2006 年进行的；另一方面，它对于都市区的定义、划分与管理与加拿大相类似。古登伯格和墨瑟早在 1986 年就提出，和美国城市相比，加拿大城市更适宜于快速公交系统的发展，包括具有活力的城市中央商务区 (CBD) 和城市高速公路网络密度较低的地区。<sup>[9]</sup> 澳大利亚城市和北美城市在居住形式上都是以独立住宅为主，澳大利亚城市也有和加拿大城市相类似的繁华中心区和稀疏的高速公路网络。

通过分析表 1 数据我们可以发现，公共交通和步行这两种模式在渥太华使用率较高，而其私家车模式使用率仅为 60.4%，是所有城市中最低的。其 21.2% 的公共交通使用率也仅次于多伦多的 22.2%，与悉尼、墨尔本和温哥华等拥有轨道交通系统的城市数据相近。

1996 ~ 2006 年出行方式的变化 表 2

都市区	公共交通使用率 (%)		慢行交通使用率 (%)	
	1996 年	2006 年	1996 年	2006 年
渥太华	19.3	21.2	10.2	9.9
多伦多	22.0	22.2	5.4	5.8
维多利亚	9.9	10.2	13.7	16.0
悉尼	21.6	21.2	5.0	5.6
蒙特利尔	20.2	21.4	6.9	7.3
温哥华	14.3	16.5	7.5	8.0
卡尔加里	12.6	15.6	6.5	6.7
加蒂诺	11.1	14.4	5.5	6.3
温尼伯	14.3	13.0	7.6	7.4
布里斯班	12.5	13.8	4.2	4.8
霍巴特	7.1	6.4	6.7	8.7
堪培拉	8.3	7.9	6.5	7.4
墨尔本	12.2	13.9	5.0	5.6
埃德蒙顿	9.0	9.7	6.1	6.2
佩斯	9.0	10.4	3.2	3.9
阿德莱德	8.9	9.9	3.8	4.7

(资料来源：加拿大统计局 2008；Mees et al 2007<sup>[10,12]</sup>)

外界普遍认为，渥太华在推行公共交通的持续性方面做得并不是非常成功。加拿大在 1996 年才在普查中加入了出行方式选择这一选项，因此对于渥太华公共交通发展历程的研究具有一定困难。在后文比较分析中采用了肯沃兹 (Kenworthy) 和洛布 (Laube) 在 1999 年进行的“1960 ~ 1990 年人均出行变化”中的数据，但是缺少霍巴特和维多利亚两座城市的的数据。<sup>[13]</sup> 表 2 体现了 1996 ~ 2006

年间公众采用公共交通出行变化的趋势，而表 3 则表达了 1960 ~ 1990 年间人均采用公共交通出行次数的变化 (表 3 的数据统计中采用了“方式出行”的数据)。

1960 ~ 1990 年间人均采用公共交通出行次数的变化 表 3

城市	人均使用公共交通方式出行的次数			
	1960 年	1970 年	1980 年	1990 年
渥太华	115	91	187	164
多伦多	183	185	213	223
悉尼	253	204	142	160
蒙特利尔	n/a	n/a	228	222
温哥华	138	89	114	117
卡尔加里	94	73	120	94
加蒂诺	n/a	14	63	49
温尼伯	148	136	134	98
布里斯班	232	126	79	69
堪培拉	73	55	87	89
墨尔本	222	142	95	101
埃德蒙顿	98	108	140	109
佩斯	136	97	71	54
阿德莱德	143	83	83	76

(资料来源：肯沃兹和洛布 1999 年；Mees, 2010；92 页多伦多数据<sup>[13,14]</sup>)

通过数据分析我们可以发现，渥太华在 1960 ~ 1970 年间公共交通的使用率低于加拿大和澳大利亚的其他城市，但是在 1970 ~ 1980 年间，渥太华居民人均出行的总量几乎翻了一番。尽管在随后的 10 年中这个数据呈现一定的下滑趋势，但是其人均出行次数依旧高于澳大利亚其他所有城市和加拿大的大部分城市，排名仅位于多伦多和蒙特利尔之后。1996 年渥太华居民采用公共交通出行的比例还远低于多伦多、蒙特利尔和悉尼，但是在随后的几年中通过渥太华自身的努力逐渐缩小了和其他城市的差距。同时由于在渥太华采用步行和自行车出行的居民在比例上要高于其他三个城市，因此在采用私家车出行的比例上也是四个城市中最低的。在 1996 ~ 2006 这 10 年间，诸如温哥华和卡尔加里在公共交通出行的比例上虽然也有着很大的提升，但是和渥太华相比这些城市的主要交通出行模式还是以小汽车出行为主。

因此和加拿大还有澳大利亚的其他城市相比，渥太华在城市公共交通的推行中无疑是一个成功的案例，在后文中我们将着重分析其原因。

## 2 快速公交系统的发展

二战后渥太华的交通运输和土地使用政策基本上是依循美国、加拿大和澳大利亚的模式。<sup>[15]</sup>法国规划师雅克·格雷贝尔 (Jacques Greber) 在 1950 年曾经制定了一份以环城绿化带、卫星城和以小汽车为主导的交通体系《国家首都规划》。规划中提出采用林荫大道和快速路来取代过去的铁路和缆车系统,同时通过就业点的分散化发展缓解上班出行对城市交通带来的压力。在随后的 20 年中,格雷贝尔规划都逐步被实施。但是也有许多与构想不同的地方,例如在环城绿化带之间更多是一种城市蔓延的形态而不是最初构想的卫星城形式,同时主要就业依然在城市中心区聚集。

到了 20 世纪 60 年代中期,格雷贝尔的规划受到了两个事件带来的巨大冲击。第一是“婴儿潮”,它使得渥太华的人口总量迅速膨胀,远远超过了当时规划的预测。第二,许多规划专家提议采用高速公路路网作为发展快速交通的重要补充。这两起事件都是发生在由国家资本委员会主导和美国专家负责的“渥太华—霍尔地区交通研究”之后。这份研究报告 1965 年正式公布,它策划了一种和格雷贝尔规划不同的路网体系,这些延展自由的路网有些还穿越了已经建成的居住社区并且第一次提出要在高速公路中间建设公交快速专用道。这份规划提案主要是针对中心区和周边社区提出,只对地区内现状已经形成的路网系统补充,因此并没有作为一个独立的方案实施。

为了调节中心城市、郊区和国家资本委员会之间在发展上的矛盾,安大略省成立了渥太华查尔顿服务区

(RMOC)。<sup>[15]</sup>渥太华查尔顿服务区于 1969 年 1 月 1 日成立后即编制了一份新的“规划大纲”(Official plan)。这份规划大纲中的交通政策部分成为了各方争论的焦点,在讨论中公众对于 1965 年版规划中高速运输体系的焦虑、日益提高的环保意识和 1973 年的石油危机成为了三个重要的推动因素。富勒顿总结到,正是由于这些要素和公众参与的合力才使 1974 年的“规划大纲”中将公共交通作为交通政策中最重要的一部分,最终 1969 年的“交通平衡政策”被 1974 年的“公交优先”政策所取代。

在 1974 年的“规划大纲”之后,研究的重点就转向了什么形式的快速公交更适合渥太华。最后采纳的方案是在 1965 年规划的基础上修改而成的公共交通系统,最初的轨道交通系统采用在道路上设置公交专用道方式规划渥太华主要有四条通向市中心区的快速公交线路和一条位于魁北克地区渥太华河的线路,但是渥太华河沿线线路最终没有实施。<sup>[14]</sup>快速公交系统的建设开始于 1978 年,其中快速公交道路网络在 1983 年和 1996 年间完工。

现在这个完整的系统已经运行超过 10 年了。在科沃罗等学者的著作中都对公交系统做出过评价。<sup>[3]</sup>现在渥太华快速公交专用道路总长度已经达到了 31km,辅以高速公路和城市主干道上的公交专用道。而且,现在快速公交系统已经有了完备的公交时刻表和票价体系,同时在市中心区建设有两条单向公交专用道路。尽管渥太华在部分换乘站提供一定的停车位,但是大部分换乘还是以巴士接驳的方式为主。渥太华公交系统主要采用以下四种模式(图 1):

①在郊区通过专用主干道系统作为快速公交系统的延

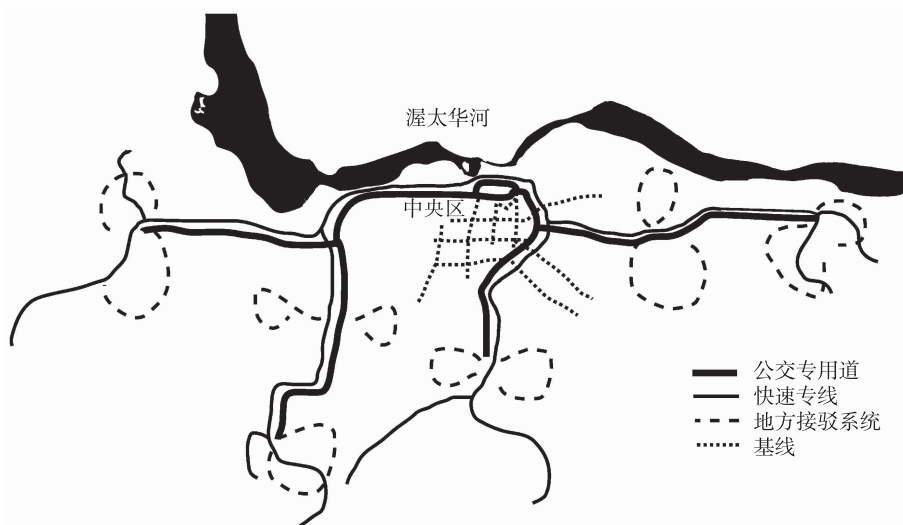


图 1 渥太华快速公交系统

伸,乘客从地区线路到主要快速公交系统间必须经过换乘。

②在高峰时段会开辟部分从周边地区始发的专用线路和快速公交系统并行使用,缓解换乘带来的压力。

③地区巴士接驳系统通过换乘中心和整体快速公交体系相连接,主要服务于郊区的公共交通出行。在高峰时段,部分接驳系统会转化为专用线路和中心区的快速公交网络相联系。

④最后,渥太华有固定的主要负责中心城区公交的“基本网络”服务 (“Base” services)。它的运营方式和其他地区相似,但是在有些路段会利用快速公交设施作为系统的补充。

### 3 渥太华公交系统运营状况

根据 2006 年的调查数据,我们可以发现渥太华采用公共交通出行的人数和比例在参与比较的城市中都是最高的。尽管在数据比较时无法区分使用公共交通作为非工作目的出行的人数,但是渥太华年均 160 次的出行(其中 40 次为换乘出行)已经高于包括悉尼、蒙特利尔、多伦多在内的澳大利亚和加拿大城市,也高于除了纽约之外大部分的美国都市区。渥太华的公共交通体系具有很强的吸引力,但是快速公交系统在其中究竟扮演着什么样的角色呢?

图 2 的数据为上述 4 种公交模式的载客量,在分析的

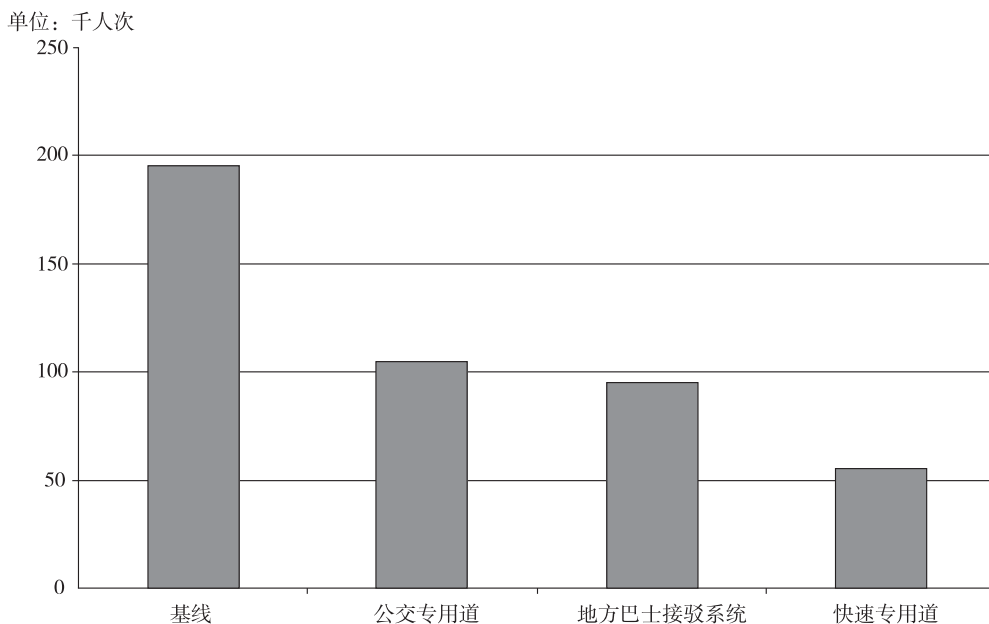


图 2 4 种公交模式载客量

(数据来源:渥太华市调查与预测组织,2006 年)

过程中区分了主线和支线。通过比较我们可以发现不采用公交专用道系统的基线和地方线路的乘客量占了较大的比例,而公交专用线路和直达线路的乘客量只有总客运量的三分之一。造成这样的情况主要有两个原因,第一是许多乘客采用地方线路换乘公交专用道的方式,数据中无法体现这个带动作用。

第二,相比其他城市,这个比例已经较高了。例如,温哥华露天轻轨系统在 2006 年的承载方式出行量为 6930 万次,但是仅占到乘客总量的四分之一。<sup>[16]</sup>

另外一种探讨快速公交专用道对渥太华公交系统作用的方法是比较其运营前后公交使用率的变化。在加拿大统计部门的数据中我们可以发现,自从 1996 年系统建成后,公交的使用率一直处于一个上升趋势(表 2)。但是由于缺乏 1996 年之前的数据,因此我们需要在研究中考考虑乘客总量这个数据。

近几年来,渥太华公共交通系统的发展得到了全世界的肯定,但是在具体研究中却很少使用时间维度方面的数据。许多专家都在报告中提到渥太华地区公交的使用率很高等等,但是他们往往忽视了这些成就都是在渥太华快速公交系统建立前形成的。例如,在 1995 年布里斯班的咨询报告中提出应向渥太华学习建设巴士专用道系统,并指出渥太华 1995 年的公交系统乘客量远高于 1971 年,但没有明确指出快速公交系统是否是主要原因。

图 3 是渥太华规划部门提供的相关数据,反映了自

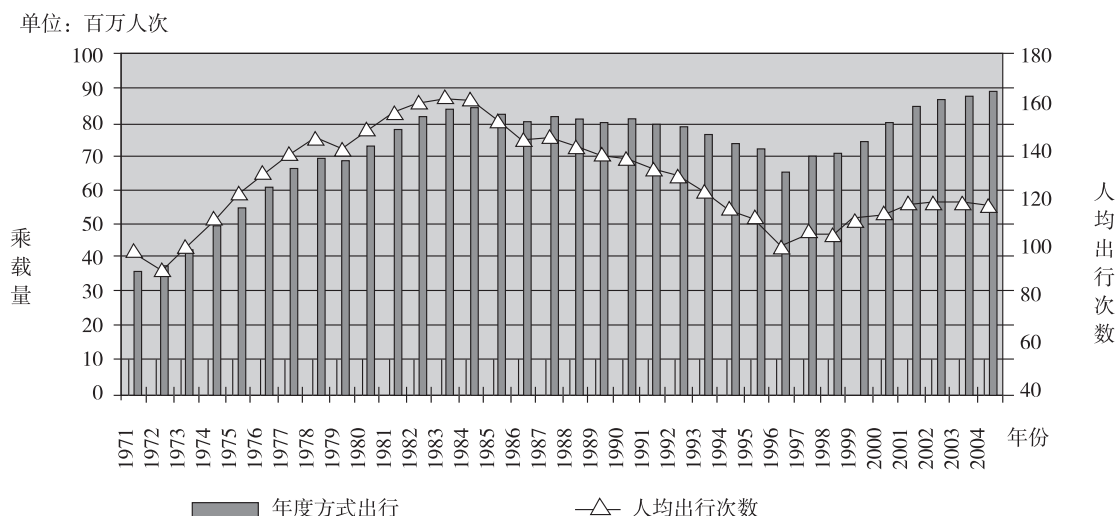


图3 1971~2004年渥太华年均公共交通承载量和人均出行次数

(数据来源: 渥太华市政府, 2005年)

1971年开始的年度公共交通乘客量和人均出行次数。<sup>[17]</sup>我们可以看到1972年几乎降至谷底后,在快速公交系统推行之前的1973年起乘客量就开始缓慢地上升了,1983年这个数字达到了峰值。但是在20世纪90年代快速公交系统运行后,这个数字却处于不断下降的趋势,1996年的公交司机罢工更是导致数字又一次探底。随后尽管乘客量在逐步回升,但是却再没能达到1983年巅峰时的数值。

过去,除了里奇蒙德<sup>[7]</sup>,大部分专家都将渥太华地区1972~1983年之间公交系统的成功归结于快速公交系统的建设。

#### 4 在快速公共交通系统开通前,渥太华公共交通乘客量上升的原因

1972年渥太华查尔顿公交公司的成立结束了战后渥太华公共交通乘客量持续下滑的现象。在1969年渥太华查尔顿服务区(RMOC)成立之初,并没有将交通纳入管理范畴。当时渥太华市区的公交主要承包给一家成立于1948年的公司,而周边郊区的公交服务则是由私人公司承担。正是由于在“规划大纲”中提出将交通政策转化为“公交优先”,所以渥太华查尔顿服务区向上一级提出申请,从而成立了渥太华查尔顿公交公司负责统筹管理地区公共交通的事务。<sup>[15]</sup>

公司成立之初推行了统一地区公交票价、向郊区拓展业务、开辟新路线、设置公交专用道路等一系列提升公交服务水平的措施。除去车票收入外,公司的其他资金主要来源于政府在公共交通部分的资金预算。联邦政府为了支持公共交通事业也实行了削减城市中心区停车位数量、推行分时下班等一系列措施。<sup>[15]</sup>以1973年的石油价格波动和叫停新建道路为重要外部条件,结合道路空间的合理分配和停车收费的调整,这一系列的政策在随后10年内推动了渥太华的公交快速发展。

尽管1983年后结合快速交通系统推行了公交专用道、

使用穿越生态绿化带公共交通的比例 (%) 表4

年份	外西线	内北线	外北线	外东线	内东线	外南线
1971	11	14	52	2	24	2
1981	27	39	70	25	33	23
1991	32	41	75	40	35	32

(资料来源: 霍夫曼 1999年表3.9<sup>[5]</sup>)

表4中是霍夫曼研究中的数据,主要为搭乘渥太华6条主要公交线路在1971、1981和1991年之间的比例变化。这些数据印证了我们在上文中的结论,即在1971年到1981年以及到1991年都是呈现上涨的趋势,但是1981~1991年间上涨的幅度远小于1971~1981年。例如,采用“内北线”进入城市中心区的百分比从1971年的14%上升到了1981年的39%,1991年这个数据甚至达到了41%。而选择需要穿越环城绿化带的“外西线”的数据则为11%、27%和32%。

因此我们可以发现早期实行的一系列鼓励公交优先的各种政策相比快速公交系统能起到更加大的作用。而

快速通道、巴士接驳系统和基本线路,但因为快速公交专用系统是在这些政策推行后才建设的,对于提升公共交通的乘客量仅仅起到了锦上添花的作用。最初快速公交系统是采用在道路中设临时车道的形式,随着公交体系不断完善,政府在道路建设中开始预留公交专用车道。但是这些举措并没有带来预期的公交乘客量的提升,反而迎来了一个逐步缩水的时期。

## 5 快速公交系统开通后乘客量下降的原因

相比 1983 年之前公共交通系统乘客量的上涨,1983 年后的下降似乎更难以解释。许多学者在研究渥太华的公共交通中都尽量避免这个问题,只有里奇蒙德提到过这个现象,但是也没有给出分析。<sup>[7]</sup>拉斯维尔和希金斯曾经提出过以下的解释:

“渥太华查尔顿公交公司的乘客量在 1985 年达到了巅峰。但是在随后的时间里,由于城市郊区办公园区的新建、政府机构的裁员和一批早期乘坐公交者交通模式的转变,乘客量呈现下降的趋势,到 1998 年仅为 7000 万人次。在这段时间内,快速公交系统始终处于稳定运行的状态。”<sup>[4]</sup>

经过分析比较,我们发现就业分布“离心化”(Decentralisation)并不是造成乘客量下降的主要原因。渥太华中心区的就业数在 1971~1981 年间由 47000 人提升到 68000 人,到了 1991 年这个数字更是达到了 82000 人。<sup>[13]</sup>中心区就业岗位的比例在 1981~1991 年间从 23.5% 下降到了 21.5%,但是这不能说明任何问题,因为在 1971 年这个数字为 26.5%。因此就业人数的变化不是影响公交系统乘客量的重要因素。

在 1980~1990 年间,渥太华查尔顿公交公司发生了一系列的财政危机,由于资金的不景气,公司不得不采取了提高票价、削减服务类型和减缓向郊区新建低密度居住区拓展的速度等措施,这些措施造成了乘客量的大幅下降。直到 1998 年公司财政状况恢复后,才又开始将交通系统向郊区低密度住宅区拓展,但是过去 10 年之间的这些措施导致的公交系统乘客量下滑已经无法挽回。

纽曼和肯沃兹将研究的重点放在公共交通系统自身是否会影响到乘客量的变化。<sup>[6]</sup>通过研究发现,正是非高峰时期快速公交系统存在的一系列问题导致了乘客量的下降。<sup>[18]</sup>公交系统的一个主要优势就是在于它能提供免费换乘<sup>[3,5]</sup>,但是在渥太华只有在高峰时期才会有这样的服务。在其他时间快速公交系统更多的是以轨道交通的模式运营,即乘客较多地依赖接驳系统。因此在进入中心区的公

共交通还是相对便利的,但是在从城市中心向外的公交换乘线路(‘Outward’ transfers)非高峰时期运营间隔高达 30 分钟,这导致了乘客量的下降。

渥太华在快速公交系统站点的设计上也存在着一定的问题。霍夫曼评论道:“一个好的站点设计应该可以鼓励乘客更好地使用和停留。在设计中应避免汽车尾气和硬质混凝土路面等消极要素对乘车环境的破坏。”<sup>[5]</sup>但是在渥太华交通站点的设计理念中往往缺乏对于人性尺度的思考,乘客为了换乘往往需要步行很长一段距离,翻越多段楼梯。同时由于这些车站集中建设于“粗野主义”流行的时期,因此许多站点也体现出粗野主义设计简单、主要采用硬质路面和混凝土材质的特色。这些对站点在非高峰时期吸引乘客有着消极作用。

一些专家认为渥太华城市中心区公交体系中两条单向道路所造成的交通瓶颈也是导致乘客量下降的原因。但是这个因素无法解释在非高峰时段乘客量也呈现下滑的现象。

尽管人口、就业等因素会带来乘客量的下降,但主要原因还是资金缺乏所造成的服务水平的下降。近年来随着服务水平和范围的提升,乘客量也呈现回暖的趋势。渥太华的案例还体现了有些公共交通系统可以在高峰时期有效地解决公共交通出行的问题,但是在非高峰时段却无法起到吸引乘客的效用。

## 6 发展新的趋势

由于服务水平下降等多种原因导致载客量下降后,在 20 世纪 90 年代中期由于服务水平的提升,渥太华公共交通使用率再一次提升(图 3、表 2)。但是这又带来了公众对于公交系统运载能力的不满。尽管公交系统和车站选点已经考虑到了大运量的客运交通,但是经过中心区的公交线路由于只有两条单向车道,依然成为了发展的交通瓶颈(表 4)。

经过中心区的线路运载力上限为每小时单方向 180 车次 10000 人左右,而现在已经趋于饱和。近年来,渥太华查尔顿公交公司将过去的专用线逐渐转化为接驳系统,以减少中心区的公交车数量。这其实在一定程度上否定了过去所认为的快速公交系统具有免费换乘的优势。为了缓解中心区交通拥堵的问题,渥太华政府决定采用轻轨系统取代过去的快速公交系统,并在市中心新建一条隧道。<sup>[19,20]</sup>

在 20 世纪 80 年代后,公众普遍认为快速公交系统造成了一系列城市交通问题,因此建设轻轨的呼声逐渐高涨。在 2001 年,渥太华利用货运轨道开设了一条全长



图4 高峰时期渥太华市中心交通堵塞

(照片来源: 作者拍摄)

8km 的柴油驱动轻轨, 代号为“O 号线”。“O 号线”每日载客力仅为 4500 人, 对于城市公共交通只能做出有限的贡献。在 2003 年渥太华的交通总体规划中, 在完善现有的快速公交体系的基础上规划新建一系列电力轻轨。<sup>[21]</sup>但是依据 2008 年的调查, 在电力轻轨取代了“O 号线”和公交专用道之后, 依然无法有效缓解中心区的交通问题, 却导致了非高峰时期载客量的下降。<sup>[18]</sup>

霍夫曼指出使用轻轨取代当时的公交专用道, 更多是出于政治考虑而不是技术上的分析,<sup>[5]</sup>但是正如富勒顿强调的, 正是由于政治上的考虑, 才会有 20 世纪 70 年代政策向“公交优先”倾斜。<sup>[15]</sup>除了最近的政策由轻轨向公交专用道改变外, 其他的公共交通政策都保证了渥太华的公共交通系统运作优于北美和澳大利亚的其他城市。

但是在实施中, 我们发现用轻轨取代公交专用系统是成功的先兆, 许多乘客都相信公共交通的运载力将被极大地提升。因此我们也发现一直被认为具有高运载力的快速公交系统, 如果仅仅将重心放在以中央商务区为向心的就业交通出行, 也不能完全发挥其作用。

## 7 渥太华公共交通成功的原因

依据数据分析, 渥太华公共交通的使用率高于北美地区其他同等规模的城市, 也高于加拿大的大部分城市。许多专家指出, 吸引力更强的城市中心区和不发达的高速公路体系 (Limited freeway) 是加拿大城市公交系统优于美国城市的原因。也有例如霍夫曼指出的, 渥太华公共交通系统相对于其他发展轨道交通系统的城市, 成功的原因是因为其推行了快速公交系统。<sup>[5]</sup>

通过表 1 中的分析, 渥太华在城市公共交通的使用比例上不仅仅高于温尼伯和加蒂诺等没有轨道交通的城市, 也高于卡尔加里、埃德蒙顿和温哥华等有轨道交通的城

市。同时我们也能发现城市密度和公共交通没有必然的关系, 因为渥太华的城市密度和温哥华相似, 也仅仅大于卡尔加里。科沃罗指出渥太华的公共交通系统也服务于城市中相对低密度的居住区。<sup>[3]</sup>

我们认为埃德蒙顿的低公交使用率不仅仅是因为低密度的城市形态, 城市公共交通投资战略也是主要原因。和邻近的卡尔加里将资金用于建设轨道交通系统不同, 埃德蒙顿将资金用于建设一条昂贵的城市隧道, 因此其轨道交通体系没有得到充分的发展, 它的规模只有卡尔加里的三分之一, 而且只是单行线。

温哥华公共交通的使用效率只有渥太华的四分之三, 造成这种情况的主要原因是就业集中程度的区别。渥太华是首都, 不仅仅有中心区也有相当数量的政府机关, 但是温哥华至今还不是一个省会城市。在 1991 年有 21.5% 的居民在渥太华市中心就业, 在温哥华只有 13.4%。但是通过比较, 我们还是认为温哥华和渥太华都有着运作成功的公共交通系统。

卡尔加里在就业集中程度上和渥太华具有一定的相似性, 1991 年卡尔加里 21.0% 的居民在市中心就业, 但是它的公共交通系统并没有渥太华成功。<sup>[13]</sup>一个主要因素是卡尔加里并没有和渥太华一样推行公交优先的政策, 同时卡尔加里缺乏对于中心区停车位的控制。依据调查, 1991 年卡尔加里的中心区每千个就业岗位车位数为 522 个, 而在渥太华每千个就业岗位车位数仅为 230 个。即使是在温哥华, 中心区的每千人停车位数为 433 个, 这其中还包括很大部分的居住停车位。

在分析中我们发现同样作为首都, 渥太华的数据和堪培拉的数据有着很明显的差距。作为澳大利亚的首都, 联邦政府成立了专门负责管理地区各种事务的国家发展资金委员会 (NCDC), 这个委员会负责管辖堪培拉地区土地的使用。<sup>[22]</sup>在堪培拉规划中设计了完善的公共交通系统, 在城市中心聚集着大量的就业机会和商业零售中心, 同时沿城市主要公交道路布置有四处地区一级的中心。但是在随后的发展中, 堪培拉选取了和渥太华截然不同的道路。在现实中, 堪培拉所有的快速公路都得到了建设落实, 而公交系统则没有得到有效地实施。同时在发展的过程中也没有对于中心区的停车进行限制, 堪培拉的千人停车位在 1991 年达到了 807 个。<sup>[13]</sup>尽管堪培拉的城市整体密度要低于渥太华, 但是其城市形态相比渥太华更适于公共交通的发展。正是由于整体政策偏向于“小汽车交通”优先, 因此堪培拉的公共交通使用率只有渥太华的三分之一, 使用自行车或者步行交通的比例也更低。



## 8 渥太华交通政策的借鉴

渥太华是一个发展环境友好公共交通系统的成功案例，但是不同专家对于其成功有着各种解释。渥太华曾经也以二战后北美城市的交通模式为主要形式，但是在 20 世纪 70 年代 ~ 80 年代早期它成功地由小汽车主导的交通模式转化为公交主导的交通模式。尽管在 20 世纪 80 年代中期到 90 年代之间，渥太华的公共交通乘客量有过下滑，但是其使用率仍然位列北美城市中的前茅。同时，大部分居民习惯采用步行或者自行车出行，渥太华私家车出行的比例远低于加拿大的其他城市。

与公交专用道路相比，20 世纪 70 年代早期渥太华政府制定的一系列关键政策对于地区公交的复兴起着更为重要的作用：

① “公共交通优先”政策引导使公共交通成为城市基础设施建设投资上的主要方向，从而减少了在新建道路上的投资。1960 年规划的许多高速公路最后都没有实施。

② 严格控制中心区的停车位数量，提高对临时停车位的收费。

③ 建立一个区域性的交通管理机构，统筹管理都市区交通线路、时刻表和收费。

④ 公交系统向郊区适度拓展，在郊区低密度地区也推行公共交通。

⑤ 减少对于“停车 + 出行” (P + R) 的交通模式，鼓励乘客使用接驳巴士系统。

⑥ 在道路上推行公交优先策略，确保公交可以避免大规模的交通堵塞。

快速公交系统可以作为对以上重要政策基础上的有效补充。但是如果以上政策，无论是在“前公交时代”还是“后公交时代”，快速公交系统都不可能取得现在的成功。通过分析，我们认为渥太华在公共交通上的成功还应归结于建立了一套完整的、体现公交优势的政策。因此不能将快速公交系统作为它成功的主要因素。

大卫·汉舍尔认为许多人对于轻轨系统的推崇只是一种不经过仔细比较的盲从或者对于技术的偏执。<sup>[2]</sup>通过对渥太华公共交通发展的分析，我们认为在快速交通系统的推崇者中也有很多盲从或者对于技术偏执的情况存在。渥太华作为公共交通的成功案例，其重要的主导因素不是快速公共交通系统而是其他公共交通政策。皮可热尔对于渥太华轻轨的批评基于相同的层面，他不是对轻轨系统和快速公交系统之间的比较，而更偏向于支持里奇蒙德<sup>[7]</sup>、汤普森与马托夫<sup>[11]</sup>和米斯<sup>[14]</sup>的理论。

我们并不是想就公交专用道作为一种交通运输方式展开讨论。因为对于渥太华快速公交系统的分析更多是一种地方特征所带来的问题，而不是规划理念上的问题。我们相信渥太华的经验是沃肯·乌西克 (Vukan Vuhic) 对于多种交通方式合作技术理念很好的阐释：

“从来就没有一种适合所有城市交通系统的简单‘最佳’模式……除了那些规模很小的城市，所有最佳的城市交通体系都应该融合多种的交通方式。”<sup>[23]</sup>

### 参考文献

- [1] Thompson, G. L. and Matoff, T. G. Keeping up with the Joneses: radial vs. multidestination transit in decentralizing regions [J]. Journal of the American Planning Association, 2003, 69: 296-312.
- [2] Hensher, D. A. Bus Transport: Economics, Policy and Planning [M]. JAI Press, Elsevier, 2007.
- [3] Cervero, R. The Transit Metropolis: A Global Inquiry [M]. Washington DC: Island Press, 1998.
- [4] Rathwell, S. and Schijns, S. Ottawa and Brisbane: comparing a mature busway system with its state-of-the-art progeny [J]. Journal of Public Transportation, 2002, 5: 163-182.
- [5] Hoffman, A. Advanced Network Planning for Bus Rapid Transit [R]. Washington DC: US Dept. of Transportation, Federal Transit Administration (report FL-26-7104-4), 2008.
- [6] Newman, P. and Kenworthy, J. Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence [M]. Washington DC: Island Press, 1999.
- [7] Richmond, J. A whole-system approach to evaluating urban transit investments [J]. Transport Reviews, 2001, 21: 79-141.
- [8] Statistics Canada. Population and dwelling counts, census metropolitan areas and urban areas, 2006 Census. Cat. 97-550-XWE200602, 2007.
- [9] Goldberg, M. A. and Mercer, J. The Myth of the North American City. Vancouver: UBC Press, 1986.
- [10] Statistics Canada. Commuting patterns and places of work of Canadians, 2006 Census. Cat. 97-561-X, 2008.
- [11] ABS (Australian Bureau of Statistics) (2007), 'Community profiles, statistical divisions and urban centres', 2006 census, Cat. 2005. 0.
- [12] Mees, P., Sorupia, E. and Stone, J. Travel to work in Australian capital cities 1976-2006: An analysis of census data. Melbourne, GAMUT Centre, 2007.
- [13] Kenworthy, J. R. and Laube, F. B. An International Sourcebook of Automobile Dependence in Cities, 1960-1990 [M]. Boulder, CO, University of Colorado Press, 1999.
- [14] Mees, P. Transport for Suburbia: Beyond the Automobile Age [M]. London: Earthscan, 2010.
- [15] Fullerton, C. A changing of the guard: regional planning in Ottawa, 1945-1974 [J]. Urban History Review, 2005, 34: 12-100.

- [16] Translink. 2008 transportation and financial plan. www.translink.bc.ca, 2008-4.
- [17] Al-Dubikhi, S. A. Exploring the potential for successful public transport in Riyadh (unpublished PhD thesis) . Melbourne: University of Melbourne, 2007.
- [18] McCormick Rankin. A Busway Strategy for Brisbane City. Brisbane: Brisbane City Council, 1995.
- [19] Ottawa. City council approves new transit vision, (media release). 2008-5-28.
- [20] Ottawa. Downtown Ottawa transit tunnel planning and environmental assessment, 2009.
- [21] Ottawa (city) . Transportation Master Plan, Ottawa, 2003.
- [22] NCDC (National Capital Development Commission) . Tomorrow's Canberra [M] . Canberra: ANU Press, 1970.
- [23] Vuchic, V. R. Urban Transit: Systems and Technology, Hoboken, NJ, John Wiley and Sons, 2007. TPR81\_4\_04\_ Al -Dubikhi. indd 424 17/06/2010 14: 38
- [24] study: recommended plan, report to Transit Committee, 2009-12-9.
- [25] http: //www.ottawa.ca/calendar/ottawa/citycouncil/tc/2009/12-16/ACS2009-ICS-PGM-0214.htm, 2010-2-22.
- [26] Pickrell, D. H. A desire named streetcar: fantasy and fact in rail transit planning [J] . Journal of the American Planning Association, 1992, 58: 76-158.

# 面向低碳城市规划的土地利用及交通集成模型

## Integrated Land Use and Transportation Models for Low Carbon Urban Planning

高圣义

**【摘要】** 本文的目的是澄清有关土地、土地利用和土地利用模型的概念，讨论理想的土地利用模型的基本要素，以及介绍两个目前在美国加利福尼亚州广泛应用的土地利用模型：UPlan 和 PECAS。UPlan 土地利用模型能预测土地利用的类型和强度，为交通模型提供有关土地利用的输入，并计算与土地利用相关的温室气体排放总量。PECAS 是一个完全基于市场的城市模型，能用于分析交通和土地利用政策对经济和环境的影响，以及碳税对经济的影响，是低碳城市规划不可或缺的工具。

**【关键词】** 土地利用及交通集成模型 UPlan PECAS 低碳城市规划

**Abstract:** The purpose of this paper is to clarify the concepts of land, land use, and land use models, to discuss the elements of an ideal land use model, and to introduce two most popular land use models (UPlan and PECAS) in California, USA. UPlan is a rule-based land use model which is an extension of ArcGIS. It has some elements of economics and behavioral science and the capability to forecast future land use type and intensity, provides inputs for travel demand forecasting models, and has the capability to exogenously forecast the total emission of greenhouse gases based on land use. PECAS is a fully market based urban model. Besides the capability to provide the inputs of employment and households, PECAS has the capability to

analyze the impacts of transportation and land use policies on economy and environment. In particular, PECAS treat GHS emission permits as a commodity which is consumed by activities. It is an indispensable analytical tool for low carbon urban planning.

**Keywords:** integrated land-use/transportation model, UPlan, PECAS, low carbon urban planning

### 1 土地覆盖、土地利用与土地利用模型

土地、土地利用和土地利用模型作为三个专业词汇，既见于专业期刊中，也见于一般读物中。虽然这三个词有其特定的内涵，但最为普遍的情形乃是使用者很少在文章中明确无误地道出其内涵。究其原因，使用者可能认为，这些词词义简单，不言自明，不用解释读者亦当能明白其含义。然而，往往与使用者意愿相悖的是，由于没有明确的定义，读者对于这些词汇的理解与使用这些词汇的作者的原意有一定的偏差。从土地利用建模的角度来看，这种情况尤其明显。

土地，广义地讲，是指地球表面的陆地和水体（包括江、河、湖、海）；狭义地讲，仅指陆地。这里所理解的广义和狭义，是在地理学的范畴内。具体地说，就是地理学家在研究土地覆盖时所界定的范围。在欧洲环境局（European Environment Agency, EEA）所使用的土地覆盖分类系统中，土地的界定是广义的（表1），而美国地质调查局（U. S. Geological Survey, USGS）在其所使用的分类系统中，土地则界定于广义和狭义之间（表2）。从表1和表2中可以看出，这两个分类系统的共同点在于都对土地覆盖和土地利用作了区分。这样的区分是非常必要的，因

为土地覆盖和土地利用从根本上来说是完全不同的。土地覆盖强调的是土地物理属性的一面，即分类的信息可直接从地表的物理特征中提取，而土地利用则强调人类的社会经济活动，即拥有相同物理特征的土地被用于从事不同的社会经济活动，比如外表相同的两个建筑物，一个用作办公楼，一个用作居住。由于在制图中土地利用和土地覆盖总是同时存在，这两个概念常常被混淆。<sup>[1,2]</sup>

美国地质调查局 (USGS)  
土地利用/土地覆盖分类系统<sup>[1]</sup> 表 1

一级类		二级类	
1 城市/已建地	利用	11 居住用地	利用
		12 商业及服务用地	利用
		13 工业用地	利用
		14 交通、通讯及水电设施用地	利用
		15 工商混合用地	利用
		16 城市/已建混合用地	利用
		17 其他城市/已建混合用地	利用
2 农业用地	利用	21 作物和牧场用地	利用
		22 果园、种植园、苗圃、葡萄园、园艺用地	利用
		23 圈养用地	利用
		24 其他农业用地	利用
3 山地	覆盖	31 草地	覆盖
		32 灌木林地	覆盖
		33 混合山地	覆盖
4 森林	覆盖	41 落叶林	覆盖
		42 常绿林	覆盖
		43 混交林	覆盖
5 水域	覆盖	51 河流和运河	覆盖
		52 湖泊	覆盖
		53 水库	覆盖
		54 海湾	覆盖
6 湿地	覆盖	61 森林湿地	覆盖
		62 非森林湿地	覆盖
		71 干盐碱地	覆盖
7 裸地	覆盖	72 海滩	覆盖
		73 (非海滩) 沙区	覆盖
		74 裸露岩石	覆盖
		75 露天矿地、采石场	覆盖
		81 灌木冻原	覆盖
8 冻原	覆盖	81 灌木冻原	覆盖

续表

一级类		二级类	
		82 草地冻原	覆盖
		83 裸地冻原	覆盖
		84 湿冻原	覆盖
		85 混合冻原	覆盖
9 终年积雪或冰川	覆盖	91 终年积雪地	覆盖
		92 冰川	覆盖

经济学家对于土地的定义不同于地理学家。在古典经济学理论中，土地与资本和劳动力并列，是人类从事经济活动的三要素之一。土地具有三个重要属性：①生产力：人类最初对土地的利用，就是源于土地的自然生产力，即土地可用于种植作物和放牧以生产人类所需的谷物和肉类。生产力对于农业用地而言，十分重要，在很大程度上决定了土地的租金。生产力高的地块，其租金要高于生产力低的地块。②区位：区位在地理学上是指由地理坐标所标出的土地的地理位置，而在经济学中泛指与土地特定的地理位置相关的自然和经济条件的总称，它表征了土地在地表的空间分布属性。这一属性对土地利用模型而言，具有特别重要的意义，因为区位不同，其对经济活动的吸引力也不同，租金则会出现时间上和空间上的差异，土地的供需关系因此而受到影响，而这些恰恰是土地利用模型所需要解决的核心问题。③数量上的有限：土地数量上的有限，常常与土地的所有权和所讨论的土地利用的边界联系在一起。从全球范围来看，它由不同的国家所拥有，每一个国家都有自己的边界（国家间的边界争端不在本文的讨论范围），其土地资源的数量（或土地的总面积）也就限定在此边界内。对于一个国家的任何区域（比如一个城市）而言，无论所有权如何，其土地也有明确的边界。土地的边界限定了可用于各种经济活动的土地的最大数量。毋庸置疑，正是土地的这三个属性，强化了土地利用规划的必要性，从而使土地的生产力和区位优势能最大化而对环境的影响最小化。

土地利用模型，本文将其定义为用数学、统计学及计量经济学的方法，定量地描述土地利用变化的原因并预测土地利用变化的趋势。其形式可为电子表格、电脑应用程序、地理信息系统等等，其复杂程度，则与模型设计的目的和算法有关。这一定义，与瓦格纳<sup>[3]</sup>、米勒等人<sup>[4]</sup>以及亨特等<sup>[5]</sup>文章中所隐含的定义是一致的。依此定义，许多文献和规划实践中所使用的所谓土地利用模型，因为不具备预测土地利用空间分布和变化的能力而不是严格意义上的土地利用模型，只是用于评估不同的土地利用政策所可能产生的各种后果的工具。

欧洲 CORNIE 土地覆盖分类系统<sup>[1]</sup>

表 2

一级类		二级类		三级类								
1 人工地面	覆盖	11 城市结构	利用	111 连续城市结构	覆盖							
				112 不连续城市结构	覆盖							
		12 工业、商业及交通		121 工业或商业	利用							
				122 道路、铁路及相关用地	利用							
				123 港口	利用							
				124 机场	利用							
		13 采矿、堆放及建筑		利用	覆盖	131 采矿场	利用					
						132 堆放场	利用					
						133 建筑场地	利用					
						14 人工、非农业植被	覆盖					
		2 农业区域		利用	21 可耕地	利用	211 非灌溉可耕地	利用				
							212 永久灌溉土地	利用				
							213 稻田	利用				
							221 葡萄园	利用				
22 永久作物	利用		覆盖				222 果园	利用				
							223 橄榄种植园	利用				
							23 牧场	利用				
24 各种农业区域	利用		覆盖				241 一年生作物 (永久作物地)	利用				
							242 复合种植格局	利用				
							243 主要用于农业但有相当部分的自然植被	利用				
							244 混农林区域	利用				
							3 森林及半天然区域	覆盖	31 森林	覆盖	311 阔叶林	覆盖
											312 针叶林	覆盖
313 混交林	覆盖											
32 灌木和草地植被	覆盖	覆盖	321 天然草地	覆盖								
			322 荒野及石楠地	覆盖								
			323 硬叶林地	覆盖								
			324 过渡性林地/灌木林地	覆盖								
33 没有或有极少植被的空旷地	覆盖	覆盖	331 沙丘和沙地	覆盖								
			332 裸石	覆盖								
			333 稀疏植被区域	覆盖								
			334 火烧迹地	覆盖								
			335 冰川及终年积雪区域	覆盖								
			4 湿地	覆盖	41 内陆湿地	覆盖					411 内陆沼泽	覆盖
											412 泥沼	覆盖
42 海洋湿地	覆盖	421 盐沼					覆盖					
		422 盐碱地					覆盖					
5 水体	覆盖	51 内陆水域					覆盖	423 潮间地	覆盖			
								511 水道	覆盖			
								512 水域	覆盖			
								52 海洋水域	覆盖	521 海岸浅水湖	覆盖	
522 海湾	覆盖											
523 海洋	覆盖											

现代城市规划的主要任务，就是合理的利用有限的土地资源，满足不断增长的人口对食品、住房、就业等的需求，实现城市的可持续增长。具体任务包括科学地预测人口在不同时间和空间的数量、经济的发展趋势、就业市场对劳动力的需求、家庭的物质消费需求、家庭住房需求的数量及空间分布、城市交通需求、经济活动对环境的短期和长期影响等。这些任务实际上就是城市系统中的各个要素，彼此密不可分。要完成这些任务，除了要求城市规划人员有很高的专业知识外，基于经济学和行为科学理论的土地利用模型就日益显得十分必要。

## 2 理想的土地利用模型

土地利用模型的基本要素，需要从理论和实践两方面来考虑。在理论上，由于土地利用模型需要阐明经济、土地利用、交通和环境之间的关系而不仅仅是土地利用类型的转变，其主体是人类的生产活动，因而模型的理论架构必须是基于经济学理论和行为科学理论。在实践上，土地利用模型则必须能满足都市规划组织（Metropolitan Planning Organization, MPO）的实际需要，包括预测未来土地利用的性质、经济活动的数量、空间分布、土地及交通政策对住房市场的影响、住房与就业的平衡问题等，同时要考虑如何单独运行和与交通模型的整合。换言之，我们对于土地利用模型的评判也需要基于这两个原则。

这样，一个理想的土地利用模型需要有如下几个基本要素<sup>[3]</sup>：

①时间与空间：模型具有动态的时间系统，其基本单位为年，具备模拟从短期（1年）到长期（30年甚至更长）土地利用逐年变化的能力。空间的基本单位为具有单一所有权的地块。在每一地块上，具有容积率、规划的土地利用类型和实际的土地利用类型、土地利用面积、土地价格或租金等表征土地利用和房地产市场特征的指标。

②行为主体：模型应包括个人/家庭，公司和政府等行为主体。个人需要就学、就业、购物、娱乐和社交等，家庭需要选择居住地、选择什么样的住房类型以及住房的大小等。公司要选择从事生产或服务的地点、生产或服务场所的大小、雇工的类型和数量、购买生产资料的地点等。所有这些行为主体是非集计（Disaggregate）。

③过程：模型应包括人口、市场和区域经济等要素。人口的模拟必须是内源性的（Endogenous）以保证人口的结构特征具有代表性，且在各时间点上保持一致性。土地开发利用、住房、商务楼、劳动力等都是在经济市场中发生作用的，因此，模型必须明确模拟市场的供需关系及

价格确定的过程。相应的，与市场供需紧密相连的生产、交换和消费等过程的模拟也必须是内源性的。

④环境要素。模型必须要有模拟水资源分配、碳税等影响个人/家庭及公司选择行为（居住地、生产场所、生产技术、生产及消费数量）的环境要素，并且这种模拟是内源性的。

以上所列出的理想的土地利用模型（在一些文献中，也称为城市模型，并且城市模型似乎是更贴切的名称）的基本要素，让我们能较为容易地判断在实践中所使用的土地利用模型与理想模型的差距，并明确改进模型所需要努力的方向，也给MPO在选择土地利用模型时提供有益的参考。图1正是基于这些基本要素而画出的土地利用模型和交通模型的演进图<sup>[3]</sup>。

在图1中，地理学家经常使用的土地利用/土地覆盖模型<sup>[6-10]</sup>没有被提及，因为尽管其常常被称为土地利用模型，但严格地说，却不是本文所要探讨的土地利用模型，因为这类模型缺乏如上所述的诸多要素，其所关注的重点，是土地覆盖在何地、以何种速度转变成何种土地利用类型（表1、表2），而对于某一土地利用类型之中发生了什么，就几乎不关心，其输出就是一幅所预测的、在未来某一时点的土地利用/土地覆盖图。这是因为地理学家关心的是地理学问题。当土地覆盖变成了土地利用，比如，土地覆盖由林地变成了城市用地，地表覆盖的物理特性发生了改变，相应区域的生物地球化学循环也发生了改变，并进而影响局部的和区域的环境特征，最终累积而影响全球的气候。

土地利用/土地覆盖模型的典型代表是基于相同原理但不同原则建立起来的、有着各种不同名称的自动元胞机（Cellular Automata, CA）。在CA模型中，研究区域由具有相同尺寸（比如，100m×100m）的二维栅格（grid）组成，每个栅格只能有一种土地利用/土地覆盖类型，模型根据用户所确定的土地利用类型转变原则来决定每一个栅格在未来时间点的土地利用/土地覆盖类型<sup>[6-8]</sup>。

这类模型的优点在于获取数据十分容易（只需要卫星或航空图像即可），模型运行时间短，土地利用/土地覆盖的空间位置明确；其缺点是其土地利用转变原则过于偏重相邻栅格的土地利用/土地覆盖类型，缺乏能反映人类经济行为的指标和反映政府土地利用政策的指标。在地理学的应用研究中，比如分析预测城市扩张而引起的景观变化、生境的破碎化、区域小气候变化等是十分便利和有用的工具，而对于城市规划中的总体规划和控制性详细规划，以及交通规划的帮助极为有限。因此，这类模型在美国没有被任何MPO采用，在一些有关土地利用模型的综

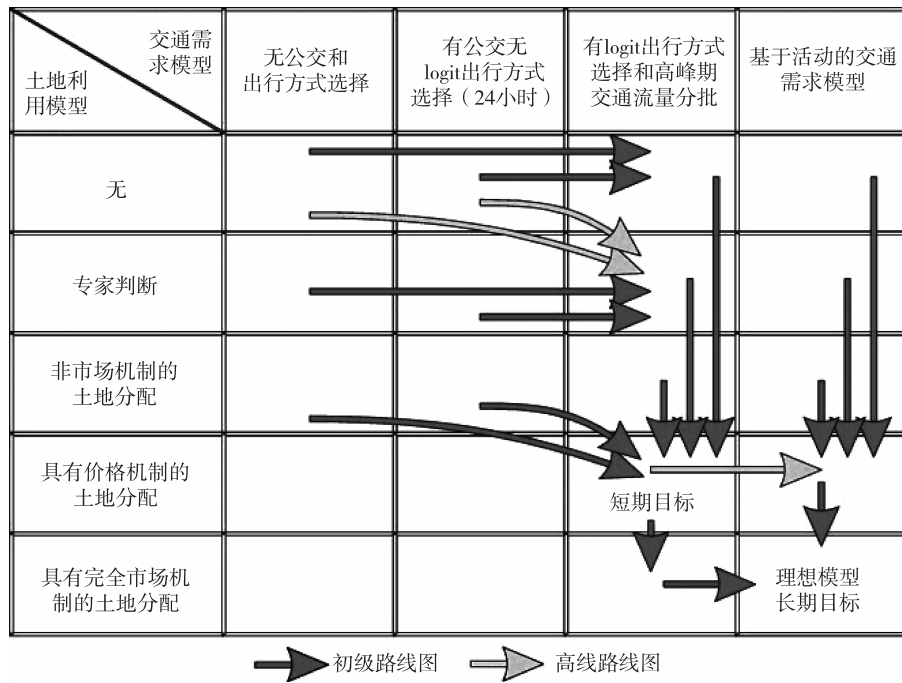


图1 土地利用模型和交通模型演化示意图<sup>[3]</sup>

述中也极少被提及<sup>[3,5]</sup>。

基于地理信息系统的规划支持系统，在图1中也没有直接提及。这类系统大体上可以分为两类，一类，比如PLACE<sup>3</sup>S, CommunityViz等，虽也常常被称为土地利用模型，但这些系统在设计上，不具备土地利用模型的基本要素，在功能上无法模拟土地利用行为主体的市场行为，以及这些行为主体在时间和空间上的变化。但这些系统主要针对普通公众的研讨会上，对于公众理解政府的土地利用规划、让公众参与政府的决策过程、展示公众的愿景，具有非常积极的意义，因为公众大多不具备土地利用模型方面的专业知识，对于以地图形式展示的、较为直观的土地利用规划愿景则易接受。因为这样的原因，这类系统在MPO的区域远景规划中，还是得到了一些应用。作者不倾向将这类系统称作土地利用模型。另一类，比如what if, UPlan等，常常被称作基于给定原则的(Rule-based)土地利用模型，除了具有前一类系统的特点外，另有部分土地利用模型的要素，具备预测未来土地利用变化的功能，同时具有进一步改进的空间。作者将以UPlan为例，对这一类模型做进一步的解剖。需要特别提及的是，ArcGIS本身支持以VBA编程的应用程序，当前一些土地利用模型在设计上的不足，完全有可能通过新的设计来弥补。事实上，将土地利用模型与ArcGIS强大的地理信息数据库及地图功能结合起来，正是许多研发者正在努

力的方向。

图1中的DRAM是指DRAM & EMPAL (Disaggregate Residential Allocation Model and Employment Allocation Model)，代表由洛瑞(Lowry)<sup>[11]</sup>重力模型(Gravity model)而演变出来的各种模型，以通达度(Accessibility)为主要标准，分派人口、就业及预测土地利用类型和数量的变化。这类模型在1970年代至1980年代十分流行<sup>[3,5,12]</sup>，但因缺乏市场机制被列在较为低级的阶段。DRAM & EMPAL(包括其变形METROPILUS)虽然在美国许多MPO都有应用，但也有许多不成功的案例。亨特等<sup>[13]</sup>所做的有关DRAM & EMPAL、TRANSUS和MEPLAN的模型比较研究，以实证研究的方式证明，仅仅基于通达度的土地利用模型不仅在理论上与理想的土地利用模型有很大的差距，而且在应用上，其预测结果也明显逊于基于城市经济学的土地利用模型。在最近几年，仅仅基于通达度的土地利用模型正在逐步被新一代的模型所替代。

完全整合的、基于市场的土地利用模型(有时也因此而称为城市模型)，具备理想的土地利用模型的基本要素。米勒等<sup>[3]</sup>所列举的、已在实践中被采用的这类模型包括MEPLAN、TRANUS、MUSSA、NYMTC-LUM和Urban-Sim。亨特<sup>[5]</sup>对上述5个模型(另外一个为DRAM & EMPAL，不属于这类模型)的时间与空间、行为主体和过程

进行了较为详尽的比较，列出了这些模型的共同点和不同点。这些模型在设计时，其基本功能就是为交通模型提供输入，从这个意义上讲，这些模型在功能上是大致相同的。另外，从主要的土地利用政策（房产税、商业开发区补贴、土地开发费、公共住房、控规、详规等）分析来看，这些模型的功能也大体相同。但这些模型对于这些要素采取了不同的处理方法，因而与理想的土地利用模型的相比，其缺陷也不尽相同。MEPLAN、TRANUS、MUSSA和NYMTC-LUM的主要缺点在于其产业过于集计（Aggregate），土地利用小区太大而致空间集计程度过高。UrbanSim的主要缺陷在于缺乏与土地利用有关的经济学指标，不能有效地度量经济活动的外部性（externality），也不能将这种外部性内部化。其他的土地利用模型<sup>[14]</sup>，或因实际上功能过于单一，或没有实际应用，而没有被亨特等<sup>[5]</sup>列入文中讨论。

因为十分了解这些模型的缺点，亨特和亚伯拉罕（Abraham）<sup>[15,16]</sup>设计了PECAS（Production, Exchange and Consumption Allocation System）城市模型。约翰斯顿（Johnston）和麦考伊（McCoy）<sup>[12]</sup>在评阅当今的主要城市模型后认为，PECAS和UrbanSim属于新一代的土地利用模型，前者具有更强的城市经济学理论基础，在解析经济、土地、交通和环境之间的关系方面，有其独特的优势。因此，将其选定为加利福尼亚州的全州土地利用模型。

### 3 土地利用模型与交通需求模型的集成问题

在美国，交通规划部门基于法律的要求，必须在其区域交通计划（Regional Transportation Plan, RTP）中使用交通需求预测模型。因此，所有MPO都有基于某一特定交通需求预测平台的交通模型。如图1所示，交通模型的发展，也经历了不同的阶段，目前正在由传统的四步模型向基于活动（Activity-based）或出行链（Tour-based）的模型过渡，但仍以四步模型为主。

MPO对土地利用模型的使用，从立法层面上讲，是自愿的。其主要目的是为交通模型提供具有空间信息的输入数据，比如家庭户数、每个家庭人数、每个家庭工作人数、车辆拥有数、就业数、城市土地利用形态特征，等等。就时间顺序而言，所有的MPO都是先有交通模型，后有土地利用模型。这两类模型在性质和算法上完全不同，因而必须独立运行；但二者互相影响，又必须以一定的方式连接起来，使得这种影响得以在两个模型间传递从而增加土地利用和交通需求预测的精度。<sup>[17]</sup>

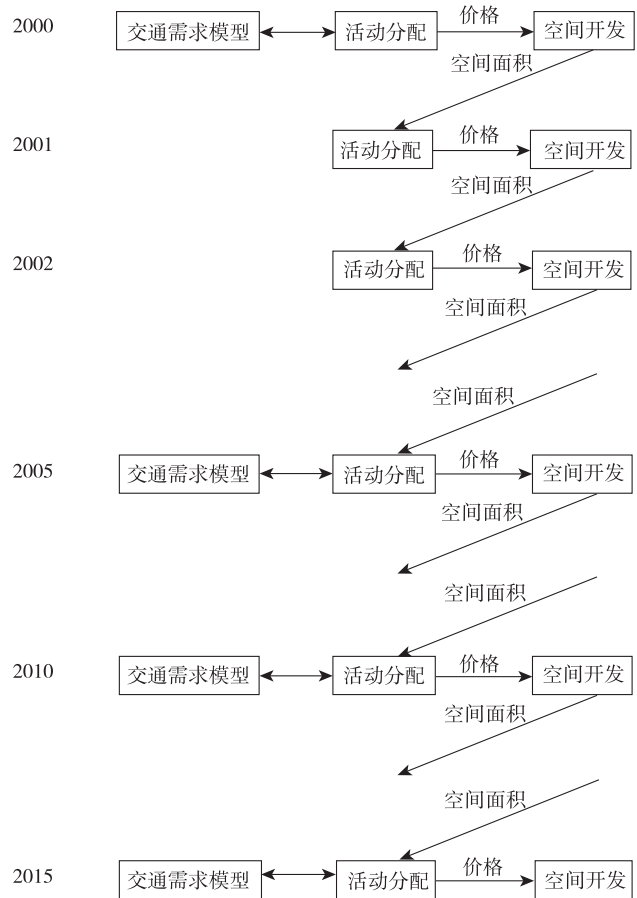


图2 PECAS与交通模型的整合示意图<sup>[17]</sup>

土地利用模型运行时以1年为时间单位，时间上是连续的。交通模型运行时通常以5年（或3年）为单位，在时间上是间断的。所以，两个模型连接只能发生在交通模型运行的那一年。在那一个时间点上，交通模型将土地利用模型的输出，转换成其所需的土地利用及社会经济等输入；而土地利用模型则用交通模型的输出，更新其在下一年度所要使用的通达度（Accessibility，通常以Logsum来表示）以及交通小区至交通小区的时间、距离和路桥费等（通常包含在skims中）。图2是加利福尼亚州土地/交通模型连接的示意图，TM表示交通模型，AA和SD是土地利用模型的两个模块，交通模型和土地利用模型都以2000为基准年份。在基准年份里，交通模型的输入均为观测值，且与土地利用模型里的值一致；土地利用模型里所使用的通达度、交通小区间的出行数以及交通小区至交通小区的时间、距离和路桥费等，则由交通模型输出。这些源于交通模型的输入被AA模块在2001年~2005年使用，在2006年时则用交通模型2005年的输出更新；而交通模型在2005年时的输入则源于土地利用模型2005年时的



输出。

需要强调的是,虽然几乎所有的土地利用模型和交通模型都用这种方式连接,但连接的内容和在模型中的连接点因模型的设计而不同,也因此而需要用不同的术语加以区别<sup>[5]</sup>。以 PECAS 为代表的、基于空间经济学的模型,采用巢式多项式罗吉特机率模型(Nested multinomial logit)的城市模型,将基于时间、距离和 logsum 的总成本包含在商品(包括货物、服务和劳力)购销的综合效用函数中,因此,这些与交通有关的成本影响到城市经济活动的每一个过程而不仅仅是区位选择。这样的连接方式称为完全整合。UrbanSim 采用多项罗吉特模型(Multinomial logit)模型进行区位选择,其综合效用函数中所使用的可达度是由 logsum 加权的出行数,交通系统的影响仅限于家庭居住和个人就业地点的选择。这样的连接方式称为连接。以 DRAM & EMPAL 为代表的重力模型采用与 UrbanSim 相似的连接方式。基于这样的原因,文献中许多模型不能被称为完全整合的土地/交通模型。

#### 4 目前加利福尼亚州流行的两个土地利用模型简介

在加利福尼亚州,AB 32 (Assembly Bill 32)、SB 375 (Senate Bill 375) 等以减少温室气体排放为目标的法律的实施,将土地利用模型的使用由自愿导向强制。SB 375 要求 MPO 在 2011 年 1 月 1 日后的 RTP 中,必须具有“可持续社区战略”(Sustainable communities strategy)或“可替代规划战略”(Alternative planning strategy)方面的内容,这已经超出了仅为交通模型提供输入的范畴。要做到这一点,MPO 就必须使用土地利用模型。目前,除加州大学戴维斯分校正在为加州交通厅(California Department of Transportation)开发全州的 PECAS 模型外,加利福尼亚州最大的 4 个 MPO (Southern California of Governments, SCAG; Association of Bay Area Governments, ABAG; San Diego Association of Governments; Sacramento Council of Government, SACOG) 也在开发 PECAS 城市空间经济/土地利用模型,中小 MPO 则使用 UPlan 进行土地利用远景规划。

可以预期的是,加利福尼亚州在应对全球气候变暖方面的努力,包括立法和行动计划,必然会对美国其他各州产生影响,甚至有可能影响到美国国会下一轮的交通资金法案的立法,因为美国国会 2004 ~ 2009 财政年度的交通资金法案 SAFETEA - LU (Safe, Accountable,

Flexible, Efficient, Transportation Equity Act; A Legacy for Users) (该法案已延长至 2010 年 12 月 31 日) 鼓励 MPO 开发使用城市模型阐明交通与经济、土地和环境的关系。新法案有可能在关于城市模型的开发利用方面有更具体的内容。换言之,城市模型的应用将越来越普遍。

##### 4.1 UPlan

UPlan 是一个基于地理信息系统平台的土地利用模型,由约翰斯顿(Johnston)、希巴赞(Shabazian)和高(Gao)<sup>[18]</sup>设计。UPlan 1.0 完成于 2001 年,其编程语言为 AVENUE,在 ARCVIEW Spatial Analyst 平台上运行,其输入全部使用栅格数据格式;UPlan 2.0 于 2005 年完成,在 ARCGIS Spatial Analyst 平台上运行,编程语言为 VBA。目前供免费下载的版本(包括用户使用手册)为 UPlan2.69 (下载地址为: <http://ice.ucdavis.edu/project/uplan>)。升级版 UPlan 3.0 已于 2010 年 12 月完成并于网上发布,供用户免费下载。截至目前为止,有正式记录的用户包括美国加利福尼亚州 22 个 MPO、特拉华流域区域规划委员会(涵盖美国新泽西州 4 个县和宾夕法尼亚州 5 个县市)、美国爱达荷州南部区域规划组织,加州大学伯克利分校和戴维斯分校的研究人员,以及印度、埃及和中国的研究人员。

UPlan 设计的目的是为城市规划提供一个便捷快速的情景测试工具(scenario tester),着重定量测试不同的土地利用政策对城市土地利用及环境(包括温室气体排放)的影响。其基本原理是将所研究的区域分成若干个栅格,每一个栅格都有一个土地总体利用规划土地利用类型和一个由吸引(Attraction)、阻力(Discouragement)和屏蔽(Mask)所叠加而成的吸引值(Attraction value);吸引值高的栅格,将按照土地利用总体规划中的土地利用类型而被优先开发利用,以此类推,直到所有预测的土地需求被分派完为止。预测的土地需求由以下公式确定:

人口增长数 = 将来人口 - 基准年份人口

家庭增长数 = 人口增长数 / 家庭平均人数

高密度住宅面积需求 = (家庭增长数 × 高密度住宅人口百分比) / 高密度住宅单位面积平均住宅数

中等密度住宅面积需求 = (家庭增长数 × 中等密度住宅人口百分比) / 中等密度住宅单位面积平均住宅数

低密度住宅面积需求 = (家庭增长数 × 低密度住宅人口百分比) / 低密度住宅单位面积平均住宅数

超低密度住宅面积需求 = (家庭增长数 × 超低密度住

宅人口百分比)/超低密度住宅单位面积平均住宅数

就业增加数 = 将来的就业预测数 - 基础年份的就业数

制造业就业数 = 就业增加数 × 制造业就业百分比

高密度商业就业数 = 就业增加数 × 高密度商业就业数

低密度商业就业数 = 就业增加数 × 低密度商业就业数

制造业用地需求 = 制造业就业数 × 制造业就业人口人均用地/容积率

高密度商业用地需求 = 高密度商业就业数 × 高密度商业就业人口人均用地/容积率

低密度商业用地需求 = 低密度商业就业数 × 低密度商业就业人口人均用地/容积率

以上公式中,高密度是指(加利福尼亚州各县市的)土地利用总体规划中每英亩的住宅数大于8;中密度是指土地总体利用规划中每英亩的住宅数在0.5~8之间;低密度是指土地利用总体规划中每英亩的住宅数在0.1~0.5之间;超低密度是指土地利用总体规划中每英亩的住宅数不超过0.1。高密度商业用地定义为楼层为三层以上的写字楼;低密度商业用地则指三楼及在以下的普通办公楼。容积率在土地分区规划中都有详细的规定。这些指标系根据加利福尼亚州的情形而定,其他地方应用时,用户可根据自己的需要来定义。

吸引是指任何能增加一个地块被开发利用可能性的因子。比如,靠近高速公路匝道的地块,享有更便利的交通,因而有利于吸引工商业;靠近湖泊的地块,有利于高级住宅区的开发;靠近大型商业区,有利于吸引普通住宅;靠近公交站点,有利于吸引商业、住宅等。政府鼓励开发利用的、实施补贴的区域,开发利用的成本较低。总之,任何这类因子,都能加以量化而作为吸引。

阻力是指任何降低一个地块被开发利用可能性的因子。比如,过于靠近高速公路、铁路,则噪音大,地块作为住宅的价值被降低;地块处于洪泛区,受洪水威胁大,则作为工商业和住宅用地的价值就大大降低了;坡度会导致建筑成本增加,相较于平地,其价值相对变小。高犯罪率的地方,也会降低住宅用地的价值。靠近污染源的地方,一般不适合作为住宅用地。

屏蔽是指因为物理的或政策的原因,不能被开发利用的地块。比如,受保护的城市自然绿地、湖泊、河流。已被开发利用的地块,除非被指定拆迁重建,通常都被当作屏蔽。

在加利福尼亚州,土地利用总体规划属于地方法规,由各县市自行制定,指导地方的土地利用详规,其有效期大多在15年以上。总体规划通常规定土地利用的类型和住宅密度(通常是一个范围区间,比如中等密度每英亩

4~6栋住宅)。由于总体规划的土地利用类型从一种类型转变成另一类型的概率较低,UPlan就以总体规划作为将来土地利用分配的基础。

UPlan的输出包括一个Excel电子表格(包含所有输入和输出信息)、吸引值分布图和土地利用分布图。土地利用分布图直观显示将来土地利用类型在空间上的分布。电子表格则包含有每一个交通小区(Traffic analysis zone,TAZ)的家庭户数和就业岗位数,而这些信息正是交通模型所需要的输入信息。特别需要指出的是,UPlan带有一个温室效应气体排放计算器。该计算器可以根据模型输出的土地利用类型和密度计算温室气体的排放数量。这样,在做不同的土地利用政策分析和情景测试时,定量测试温室气体的排放,并提供温室气体排放最小的备选方案。

UPlan包括3个设计原理相同,但操作略有不同的模型。县级模型(Single County Model)的分派区域为整个研究区域,分派完全由总规和最终的吸引值决定,适用于只有一个单一分派区域的情形。分区模型(Single County with Sub Areas Model)适用于一个研究区域内具有多个分派区域、每一个区域都有各自的人口和就业控制值的情形。聚类模型(Cluster Geographic Area Model)实际上就是同时运行多个县级模型。

UPlan的结构简单,程序开放,给用户留下了许多可以灵活发挥的空间。用户可以在数据处理时、或通过用户界面、或通过程序,定义所有的模型参数;自由增减吸引、阻力和屏蔽;自由定义总体规划中的土地利用类型;自由定义基于总体规划的详规原则;灵活处理模型输出的空间单位等等。另外,UPlan运行较快,对于一个中等大小的县,其运行只需5分钟左右,非常适合在研讨会中进行即席演示。运行UPlan所需要的数据非常容易收集,运行成本极低。因此,对于没有能力开发大型复杂土地利用模型的MPO而言,UPlan无疑是一个合适的工具。有关UPlan的应用,可参阅。<sup>[18-22]</sup>

## 4.2 PECAS

PECAS是一个模拟城市空间经济活动的理论架构。<sup>[15,16]</sup>在这个架构内,经济和人口的增长对于土地的需求是城市不断扩张的外在动力,而工业生产和家庭则是经济活动行为的主体,从事生产、交换和消费,并且在生产、交换和消费的过程中对环境产生影响。PECAS由两个模块组成:活动分派(Activity Allocation,AA)模块和空间开发(Space Development,SD)模块(图3)。

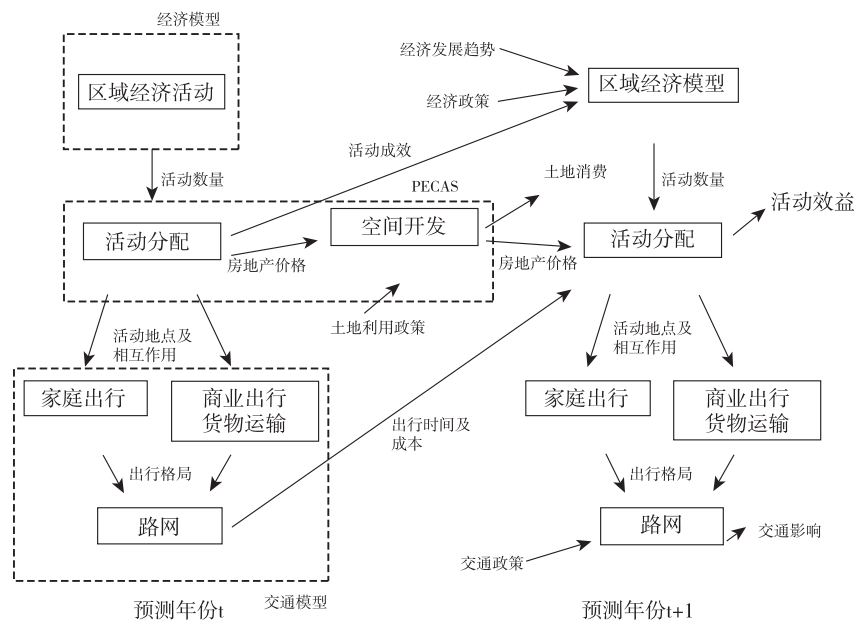


图3 PECAS AA 模块和 SD 模块及时间跨度示意图 (来源: Hunt, 2006)

AA 模块的功能是将宏观经济学模型所预测的、没有空间属性的家庭户数和就业数分派到各个土地利用小区 (Land Use Zone, LUZ), 分派过程采用 NML 模型 (图 4)。NML 模型的第一层是地点选择, 即根据随机效用最大化 (Random utility maximization) 理论, 为每一个活动选择一个地点 (土地利用小区) 和在该地点的数量; NML 模型的第二层称为技术选择, 即为已选定一个地点的活动选择生产或消费的商品的数量; NML 模型的第三层是商品交换选择, 即为在第二层选定的生产或消费的商品的数量, 选择销售或购买的土地利用小区和数量。

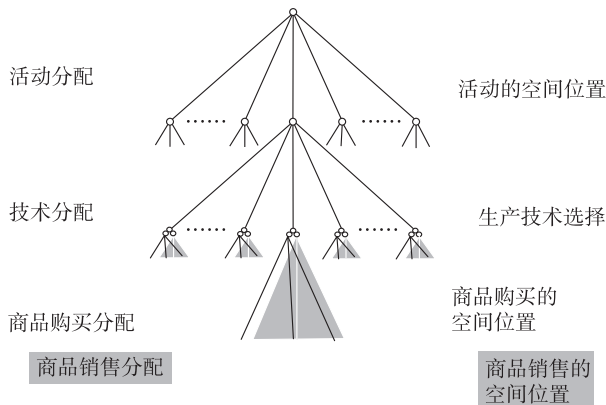


图4 AA 模块中的 Nested Multinomial Logit (NML) 结构<sup>[15]</sup>

AA 模块在运行的过程中, 首先计算商品销售或购买的综合效用, 然后再计算技术选择和地点选择的综合效

用, 因为第三级选择的综合效用是第二级选择综合效用的因子, 而第二级选择的综合效用则是第一级综合效用的因子。商品销售或购买的综合效用决定于商品的价格和交通成本 (时间、距离、路桥费和通达度)。当交通成本由于交通系统表现的变化 (比如拥挤增加而导致车辆运输时间变长, 道路拓宽导致车辆速度增加而行驶时间变短) 或由于政策的变化 (比如路桥费、汽油价格) 而变化时, 其不但影响商品的销售或购买, 而且影响地点和技术选择。如果以家庭为例的话, 交通成本的变化不但影响家庭居住地点和工作地点的选择, 还影响家庭成员对工业行业和职业的选择, 从而影响家庭收入, 这是纯粹的土地利用模型所不能解决的问题。

AA 模块中的工业活动和家庭统称为活动; 货物、服务、劳力和空间则统称为商品。工业活动消费货物、服务、劳力和空间生产货物和服务; 家庭则消费货物和空间而生产劳力; 交换是连接生产和消费的纽带。很明显, AA 模块中的活动是集计的, 就工业而言, 一类活动所代表的是一个工业行业, 由具有相似特征的公司组成; 就家庭而言, 则是一类具有一些共同特征 (比如收入、家庭成员人数等) 的家庭, 这些共同的特征由用户自己定义。在美国, 工业活动的集计通常使用 NAICS (North America Industry Classification System) 的分类方法 (相当于我国使用的工业行业分类系统), 集计水平由用户自己决定, 但通常是在前两位数的集计水平上。在加利福尼亚州 PECAS 模型中, 工业活动的集计水平从前两位数到四位数不等。

这样做的目的是为了强调某些行业的重要性。比如，农业在加利福尼亚州是很重要的行业，不同的农业部门对灌溉用水的需求不同，排放温室气体的数量也不同。为了测试农业用水政策和温室效应方面的立法对农业的影响，我们把农业的集计水平定在三位或四位数。定义集计水平的另外一个重要原则是活动的集计水平尽量与交通模型中的就业和家庭一致。基于这样的原则，我们在加利福尼亚州 PECAS 模型中，划分了 63 个工业部门，25 个家庭类型（基于收入和家庭成员人数）。

AA 模块中的商品代表了古典经济学中从事生产的三要素。生产者生产的商品，经过交换的过程而由消费者消费。事实上，生产者本身即是消费者，是生产和消费的行为主体。从交通规划的角度来看，在生产、交换和消费的过程中产生了出行，或者说产生了交通问题。货物需要从产地运输到批发商或零售商那里出售，这样就产生了货物运输出行；提供现场服务的行业，需要派遣服务人员到服务现场，这样就产生了基于工作的出行；家庭去批发市场或零售商那里购买生活必需品，形成了购物的出行；工人每天早出晚归，形成了例行的工作出行或通勤。土地/空间作为一种特殊的商品，为工业生产提供场所，为家庭提供居住场所。不同的行业所面对的消费者是不一样的，其对土地/空间的要求不一样，所能承受的生产场所的成本也不一样，因而在选择生产场所时会考虑诸多不同的因素。不同的家庭，收入有别，用于支付房屋和交通费用的能力也不一样，在选择居住地时，需要做不同的取舍。所有这些对于土地/空间的不同需求，导致土地/空间的价格需求而变化。当供需达到平衡时，土地的市场价格就形成了。

AA 模块的时间单位为一年，它寻求市场在每一个时间点的静态平衡。其运行时可以从期望的价格开始，也可从一个随机给定的价格开始。价格形成的过程，也就是模块收敛的过程。在 AA 模块中，用户可以自己设定收敛的标准。收敛的标准越严，则预测的精度越高，模型运行所需要的时间就越长。

AA 模型的输出包括 4 项：①活动的地点和数量，以及与此相对应的综合效用，其空间单位是土地利用小区或交通小区。从交通规划的角度，就是一个交通小区有多少家庭户数和多少就业岗位。②技术选择的比例，即每一活动所有不同技术选择的百分比；其空间单位亦是土地利用小区或交通小区。③生产和消费的商品的数量，即每一活动在某一个土地利用小区生产和消费了多少商品，包括空间的类型和数量。④商品价格，包括空间面积的价格（美元/平方英尺）。⑤小区之间的物流矩阵。它相当于交通模

型里的起点目的地矩阵（OD 矩阵），显示一种商品从一个小区被卖到其他小区的数量。因此，这些 OD 矩阵可以用作影子交通模型来预测货物运输出行（但没有方式选择）、基于工作地点的出行，以及个人的工作出行。

AA 模块的最大特色在于其内部化工业部门生产所产生的外部性的能力。就目前的热点问题而言，就是可交易温室气体排放许可证和碳税。在 AA 模块中，工业部门释放温室气体并因此而付碳税（目前还没有实施），碳税因此而成为工业生产成本的一部分。高碳排放的工业部门可调整其产业结构，转向低碳产业，从而降低生产成本；而低排放的产业，不但可以通过出售产品获利，也可通过出售碳排放配额而获利。AA 模块的这一独特特点，对于测试各种产业结构调整 and 土地利用布局具有特别的意义。

SD 模块模拟土地的开发利用行为，其空间单位为非集计的栅格或地块。每一栅格或地块都有一种土地利用现状和数量。开发商根据 AA 模块所提供的建筑面积的价格、建筑和维护成本来决定是否维持现有的土地利用现状和数量，或维持现有的土地利用现状但增加数量，或将房屋闲置，或将房屋报废，或改变现有的土地利用类型和数量。对于最后一种情况，开发商会进一步考虑盖什么类型的房屋及盖多少。这样，SD 模块就根据 AA 模块所提供的价格信息来决定建筑面积的供应，供 AA 模块在下一个年度作为输入以满足活动对建筑面积的需求。因为 SD 模块基于价格预测土地利用的类型和数量，是通常所理解的土地利用模型。

PECAS 是目前所有城市/土地利用模型中功能最强的用于分析经济、土地利用、交通和环境之间关系的工具。除了能分析平常的土地利用政策，诸如地税、开发费、精明增长、城市扩张、旧城改造、卫星城建设等，PECAS 能将经济/环境要素，如经济活动与静态源温室气体排放、碳税对土地利用和经济的影响、土地利用政策对低收入人群的不对称影响等也纳入到系统中。在与交通模型整合后，交通政策的影响，将通过其独特的 nested logit 结构和投入产出结构而影响整个生产、交换和消费的过程，而不仅仅是地点选择。受限于篇幅，本文仅对 PECAS 做简要介绍，关于 PECAS 的理论架构的细节，有兴趣的读者可参阅 PECAS 理论架构介绍的译文<sup>[16]</sup>和已发表的英文文献。<sup>[15,17]</sup>

#### 参考文献

- [1] Fisher, P., Comber, A. and Wadsworth R. Land use and land cover: contradiction or complement. Re-presenting GIS eds Fisher, P. and Unwin, D., pp. 85—98. Wiley, London, UK.
- [2] Comber, A., Fisher, P., and Wadsworth R. What is land cover?

- [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2005, 32: 199—209.
- [3] Wegener, M. Operational urban models: state of the art [J]. Journal of the American Planning Association, 1994, 60: 17—29.
- [4] Miller, E. J., Kriger, D. S. and Hunt J. D. Research and development program for integrated urban models [J]. Transportation Research Record, 1999, 1685: 161—170.
- [5] Hunt, J. D., Kriger, D. S. and Miller, E. J. Current operational urban land-use-transport modeling frameworks: A review [J]. Transport Review, 2005, 25: 329—376.
- [6] Clarke, K. C., Hoppen, S., Gaydos, L. Methods and techniques for rigorous calibration of a cellular automaton model of urban growth [C]. Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Fe, New Mexico, January. 1996.
- [7] Veldkamp, A. and Fresco, L. O. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects [J]. Ecological Modelling, 1996, 85: 253—270.
- [8] Verburg, P. H., van Eck, J. R., de Nijs, T. C. M., Dijst, M. J. and Schot, P. Determinants of land-use change patterns in the Netherlands [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2004, 31: 125—150.
- [9] Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. and Scholten H. J. (Eds), Modelling land-use change: Progress and applications. Springer. 2007.
- [10] Singh, R. B., Fox, J. and Himiyama Y. (Eds), Land use and cover change [M]. Science Publishers, Inc. Enfield (NH), USA., 2001.
- [11] Lowry, I. S., A model of metropolis. Rand Corp., Santa Monica, CA., 1964.
- [12] Johnston, R. A. and McCoy, M. C., Assessment of integrated transportation/land use models: Final reports. Unpublished., 2006.
- [13] Hunt, J. D., Johnston, R. A., Abraham, J. E., Rodier, C. J., Garry, G., Putman, S. H. and de la Barra, T., Comparison from the Sacramento model test bed [J]. Transportation Research Record, 2001, 1780: 53—63.
- [14] Webster, F. V., P. H. Bly, M. J. Paulley (Eds), Urban land-use and transport interaction: Policies and models, Report of the International Study Group on Land-use/Transport Interaction (ISGLUTI) [M]. Gower Publishing Company, Brookfield, Vermont., 1988.
- [15] Hunt, J. D. and Abraham, J. E., Design and application of the PECAS land use modeling system. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Computers in Urban Planning and Urban Management Conference [C]. Sendai, Japan, May., 2003.
- [16] 易汉文, 殷茵编译. PECAS—城市用地和交通集成化模型系统 [J]. 城市交通, 2006, 4: 12—20.
- [17] Gao, S., Lehmer, E., Wang, Y., McCoy, M. C., Johnston, R. A., Abraham, J. E. and Hunt, J. D., A preliminary test on the interactions between land use and travel models [C]. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Traffic & Transportation Studies. Kunming, China, August., 2010.
- [18] Johnston, R. A., Shabazian, D. and Gao, S., UPlan: A versatile urban growth model for transportation planning [J]. Transportation Research Record, 2003, 183: 202—209.
- [19] Merenlender, A. M., Brooks, C., Shabazian, D. Gao, S. and Johnston, R. A., Forecasting exurban development to evaluate the influence of land-use policies on wildland and farmland conservation [J]. Journal of Conservation Planning, 2003, 1: 64—68.
- [20] Thorne, J. H., Gao, S., Hollander, A. D., Kennedy, J. A., McCoy, M. C., Johnston, R. A. and Quinn, J. F. Modeling potential species richness and urban buildout to identify mitigation sites along a California highway [J]. Transportation Research Part D, 2006, 11: 277—291.
- [21] Walker, T., Gao, S. and Johnston, R. A. UPlan: Geographic Information System as framework for integrated land use planning model [J]. Transportation Research Record, 2007, 1994: 117—127.
- [22] Beardsley, K., Thorne, J. H., Roth, N. E., Gao, S. and McCoy, M. C. Assessing the influence of rapid urban growth and regional policies on biological resources [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 83: 172—183.

# 交通、停车与 TOD

## Traffic, Parking, and Transit-Oriented Development

James M. Daisa 王新军  
苏海龙 周锐 宋珂

**【摘要】** 本文着眼于交通和停车问题，并从以下几方面进行分析和论述：①概述了 TOD 模式及其与单一土地利用方式在交通和停车方面的差异；②阐述了 TOD 模式和公共交通服务的交通和停车属性特征；③重点探讨了 TOD 模式下交通和停车的规划与设计原则以及 TOD 性能的评估方法；④详细地分析了 TOD 发展过程中的各种阻碍因素和挑战，并有针对性地提出了五方面建议。结果表明，当前仍然需要开展大量工作，以确定 TOD 模式具体的停车和交通生成标准。

**【关键词】** 公共交通 停车 混合利用 区位效率  
TOD

**Abstract:** The paper focused on traffic and parking issues, and conducted the analysis and discussion from the following aspects: firstly, we summarized the TOD and the difference compared to single-use land uses in traffic and parking; secondly, we discussed the traffic and parking attributes of TOD, and the traffic and parking characteristics defined by transit service; thirdly, we probed the planning and design principles for minimizing traffic and parking, and performance measures of TOD; fourthly, we analyzed the factors impeding

the effectiveness of TOD and challenges in detail, and promoted five suggestions. Then we could draw the conclusion that there is a very real need for more work to specify specific parking and trip generation standards for TOD.

**Keywords:** transit, parking, mixed use, location efficiency, transit-oriented development

### 1 引言

美国各交通机构在公共交通系统上投入了数十亿的资金，但是仅能分担人们日均出行的一小部分。虽然人们有许多理由不选择公共交通，但最主要的原因是公共交通很难有效地为不断蔓延的郊区服务。城市中拥有大量的铁路、轻轨和公交系统，但其近郊与远郊地区仍未发展起来，这些地区的交通站点依旧孤立，仅被停车场所环绕。随着远距离低密度发展的逐渐增多，许多这样的交通站点主要被当作停车换乘的区域。为了最大限度地回报公共交通投资，我们不仅需要将公共交通引入社区，同时需要通过以公共交通为导向的开发（transit-oriented development, TOD）带来更多的人和就业机会，并且使公共交通成为便利和有吸引力生活方式的选择。但管理不善和缺少理解一直阻碍着这类项目的发展。

TOD 是规划和运输专家用来控制城市增长、减少交通拥堵、提供交通选择和提高生活质量的重要策略。尽管 TOD 不能完全解决我们的交通问题，但它能为此目标做出巨大贡献。本文从交通规划师的角度探讨了 TOD 的发展。

作者：James M. Daisa，美国交通规划师学会高级工程师

王新军，复旦规划建筑设计研究院院长，复旦大学教授

苏海龙，复旦规划建筑设计研究院副院长，高级规划师

周锐，复旦规划建筑设计研究院，博士

宋珂，复旦大学硕士研究生

作为一种“土地利用方式”，TOD 比单一土地利用方式复杂很多，诸如居住、办公或商业。单一土地利用的交通及停车的规划和评估相对简单，因为有大量出行和停车需求的数据可以使用。我们只需要简单地从已出版的出行和停车手册上，就能找到横跨全国的数百种调查数据。当然各个地方土地利用各不相同，但是北卡罗来纳州罗利市 (Raleigh, North Carolina) 的郊区办公停车场或大型零售中心与加州圣荷西 (San Jose, California) 的特征没什么区别。全国的平均值和原型也适用于这种土地利用，因为通常那里的交通只能选择汽车，也没有混合利用的复杂关系，所以这可成为单一模式规划的简单实践。

与此相反，TOD 的交通和停车特征取决于土地利用众多因素及其相互关系。由于美国现代 TOD 是一种相对较新的土地利用方式，因此几乎没有实证数据可用来构建交通规划原型。此外由于缺乏数据，所以对 TOD 是否能有效减少地方和区域水平的交通和停车需求没有确切的答案。为了发展交通规划原型来解决这些问题，我们可以先确定一个连续体，然后用离散学分解它。TOD 的交通和停车需求主要包括以下两个部分：

- ①与土地利用相邻的交通设施产生的需求；
- ②土地利用本身的需求。

此外，还有如下许多次要因素可用来辅助定义 TOD 特征及相互关系，包括：

- ①土地利用是否有利于公共交通方式乘客量的增加；
- ②混合土地利用是否促进了内部交通；
- ③影响交通模式的主要土地利用方式（例如，主要是居住或办公）；
- ④公共交通系统的类型、规模、互相连接程度以及覆盖范围；
- ⑤TOD 相对于整个区域的位置。

有些人认为 TOD 对出行的影响可以忽略不计。相对于整个市域的总出行量，单独的 TOD 带来的益处可能不明显，但遍布整个区域的 TOD 系统可带来实质好处。举一个简单的例子，一个可容纳 1 万个工人生活和工作的地方，因为没有公共交通，所以人们独自驾车出行，高峰时段在高速公路上平均行驶 15 英里，这将需要有 75 车道英里的容量。1 车道英里高速公路的建造需花费大约 150 万美元，这种需求的费用就超过 1.12 亿美元。如果把这些工人转移到 TOD 区域，他们可以在那里工作生活并采用公共交通出行，结果节省巨大的财政开支。在局部尺度上这种收益可能不太明显，但在集聚的区域尺度上，TOD 会

带来极大的益处。

## 2 TOD 模式的交通及停车属性

TOD 模式的交通和停车属性表现为区位效率，使高密度的混合利用不断趋近公共交通，并导致汽车使用率的减少。通过适度混合土地利用的协同作用，有可能进一步减少交通出行量。

### 2.1 区位效率和汽车出行

区位效率是一种提高不同土地利用和交通之间可达性的模式。高密度、混合利用开发和趋近公共交通都能增加区位效率。相反，郊区蔓延降低了可达性，因为在广阔的土地上，各种土地利用被刻意地分离，公共交通很难提供服务，依靠步行又很难到达。由于没有合理的交通工具可供选择，所以这种发展模式只会促使汽车出行量增加。如果不控制郊区扩张，未来 25 年，美国预计需要花费 9270 亿美元来建设道路以满足交通增长需求。而如果控制好增长并使之集中在现有都市区内，可使成本减少 1100 亿美元<sup>①</sup>。因此，基于区位效率的发展提供了一个遏制郊区增长与蔓延的机会。

### 2.2 土地利用间的协同作用

如果 TOD 有适当的混合土地利用，它将借助内部交通来减少总体交通出行。与单一土地利用产生外部交通相比，混合土地利用主要产生内部交通。目前已有大量研究关注混合利用对交通需求的影响。本文认为，混合利用结合其他因素，诸如对行人友好的模式和设计，能够减少非工作因素出行的数量和距离，尤其是中午和下午的出行。

内部出行需要各种土地利用来实现，以满足人们日常生活的各种需要，包括商店、餐馆以及个人和商业的服务。土地利用的混合度和丰富度，有利于控制交通出行。

### 2.3 为就业中心提供公共交通支持的土地利用

当被问起为什么不使用公共交通，很多乘客会说中午的出行要用到自己的汽车。当就业地点处于单一用途的环境中时，即使公共交通能提供很好的服务，人们可能仍需要汽车去处理每天的事务。但如果在步行距离之内有适当的零售服务，则可以鼓励人们使用公共交通。雇主发起的

<sup>①</sup> 交通研究委员会，华盛顿蔓延的成本：交通合作研究计划，2000。

交通服务，如公共交通补贴、骑车回家计划、个人可以使用公司汽车或汽车共享计划等，这些都可以大大增加公共交通的使用。最支持员工使用公共交通的土地利用包括以下内容：银行服务，各类餐馆，便利零售店如药店、食品市场，托儿所，个人零售业如干洗店、美发店、书店和健康俱乐部，商业零售业如办公文具店、复印店、快递，娱乐场所，公园，广场等。

#### 2.4 为住宅发展提供公共交通支持的土地利用

TOD的居民有很多和员工相同的需求，但也有他们自己不同的需要。尤其他们会在路上或下班后光顾的零售业和服务业，以下是主要为居民提供公共交通支持的土地利用：为街区提供服务的杂货店、各类就餐场所、药店和药房、银行服务、个人零售业（包括干洗店、美发店、书店和健康俱乐部）等。

#### 2.5 住宅密度在 TOD 的成功中起到的作用

人们普遍认为伴随居住密度增加，公共交通的使用也会增加，私家车的出行会减少。然而有研究显示，受众多的人口和社会因素影响，居住密度和公共交通使用之间的关系非常复杂。

究竟何等密度水平能促使公共交通的使用是一个议题。交通机构通常使用的规划标准是每英亩至少有7个住宅单位以支持基本的公交服务。某研究表明，每英亩至少有10个住宅单位才能使公共交通的使用稳定增长。<sup>①</sup>另一项研究发现，居住密度达到每英亩6~20个单位时，公共交通的使用和步行会大幅增加。<sup>②</sup>但这些最小值明显低于许多TOD居住区的密度，有些居住区的密度高达每英亩40~100个单位。罗伯特·瑟夫洛（Robert Cervero）针对加州面向轨道交通的发展研究表明，亲近公共交通和密度是预测公共交通使用的两个最强有力的因子。

### 3 由公共交通服务决定的交通及停车特征

从交通和停车的角度看，TOD由两部分组成，即交通设施及其周围的土地利用，它们都有自己的交通和停车特征。由于车站的种类和位置、公共交通服务的频率和覆盖范围不同，交通设施的特征也是各种各样的。公共交通引

导发展的问题之一是，虽然周边的土地利用可以减少交通和停车需求，但交通设施本身会产生与土地利用无关的需求。下面主要讨论以下两种主要交通设施的特点：

#### 3.1 公交设施

公交引导的开发可位于主要交通沿线或快速公交走廊节点，或者也可以位于公交中心或中转站。公交站本身产生极少的汽车交通和停车需求。相反，它们吸引来自周围土地上的行人。公交中心或中转站停车场可能有限，经常要为小汽车乘客提供接送转乘区域。运转中心势必会产生与周围土地利用无关的交通和停车需求，该需求的大小取决于该中心的规模、线路的数目和送达的目的地。

#### 3.2 轨道交通设施

轨道交通引导的发展可以是围绕轻轨站或通勤铁路站的场所或节点。轨道站点产生大量不依赖于周围土地利用的交通和停车需求。因为它们作为交通枢纽，要服务于更大的区域。轨道站点通常与其他换乘中心联合运输。许多轨道站点，尤其是设在郊区的通勤铁路站和轻轨站，都有大面积的停车场以及换乘区域。虽然城市轨道交通站停车场数量很有限或者根本没有，但乘客上下车时仍产生交通需求。自轨道站发展起来后，交通机构通常要求所有停车场重新开放使用，有时是将轨道站与新建的停车场结合起来，使共享停车成为可能。

### 4 使交通和停车量减到最少的规划与设计原则

随着TOD兴建得越来越多，人们不断从实践中总结经验教训，以构建更适宜的场所和实现最少汽车出行量。这些实践结合了交通规划、相关街道设计、建筑、城市设计及传统政策的变更。成功的TOD需要运用跨学科的方法，因为要想鼓励市民步行、乘坐公共交通，并实现内部交通的基本收益，TOD的规划者必须依靠有吸引力的、精心设计的、高密度的和混合土地利用的开发。如果没有三个“Ds”——密度、多样性和设计，围绕公共交通的开发只是简单的“与公共交通相邻”。以下是TOD主要的规划和设计原则：

① 圣荷西州立大学. 居住密度对交通使用和居住出行产生的影响. 都市研究, 1994.

② L. D. Frank & G. Pivo. 混合利用和密度对三种出行方式使用的影响. 交通研究报告, 1994, 1466: 44-52.



#### 4.1 连通性、街道设计和降低出行

TOD 和街道网络对待行人要像对待其他使用者一样友好, 这点非常重要。交通需求管理有助于鼓励出行行为的改变, 将交通量减至最少。下列指南有助于创建街区友好型的 TOD:

①接近公共交通的区域发展。有效的 TOD 是使住宅和办公场所尽可能趋近公共交通。公共交通站点与工作地点的最佳行走距离为 500 ~ 1000 英尺。为了乘坐公共交通, 居民愿意接受的行走距离为 1/4 ~ 1/2 英里。

②提供一个宜人的街道网络。土地利用和公共交通之间简捷的和直接相连的密集街道网络将鼓励步行。街道网络分流了交通, 实现了高交通量对行人的最小化影响; 并可提供多个备选路线, 既缩短步行距离, 又使之更有趣; 同时也让行人在乘坐公共交通的路上, 增加与底层零售业和服务业的接触。这使步行变得丰富多彩, 购物和办事更便利。宜人的街区的边长通常为 200 ~ 400 英尺。在规模较小的 TOD 项目里, 一个内部的步行系统可以取代街道。

③为当地和区域多用途的路径和步行道提供连接。鼓励更多的步行和自行车交通, 改进大型社区的可达性。

④使用多样化的街道设计。传统的街道设计标准旨在促进汽车行驶, 这可能不适合 TOD。街道设计层次的多样化, 重在提供一个均衡的交通系统。一些服务于较大地区的街道可能会强调汽车和公共交通, 但这个体系中的其余街道必须强调行人和自行车, 而且这个层次结构中的所有街道都必须保证行人安全。

⑤修改服务水平标准。地方和区域的机构设立了服务水平标准的要求, 以维持交通流量在“可接受”的水平。交叉口和道路不符合标准时, 解决办法通常是建立更宽的街道和增加交叉口的车道数。尽管这样能暂时缓解交通拥堵, 但会影响其他的交通模式, 例如会减少步行和自行车交通。许多机构认识到这一两难局面, 着手修改服务水平政策及交通影响分析方法, 力图反映 TOD 多模式的本质。目前正在使用的策略如下:

- 需要多模式的评估, 以缓解交通系统压力, 平衡所有用户的需求;
- 在面向公共交通和行人的区域, 放宽或取消汽车的服务水平标准;
- 不考虑交通影响, 使用环境审查程序;
- 发展多模式服务水平的方法, 建立能够反映以公共交通为导向发展的独特特征的新标准;
- 使用普遍的收费来代替减缓车辆措施, 再将费用用于改进多模式。

⑥规划地方和区域的交通线路。TOD 的类型从非常本土化地服务于地方的公交站节点, 到涵盖大型联合运输的交通中转站。每种类型都起到连接地方和区域的运输作用。地方和区域线路之间各异的街道设计, 能平衡区域交通站点的可达性。

⑦综合交通需求管理。临近公共交通, 并不能确保居民和员工改变出行行为。交通需求管理 (TDM) 是一整套策略、措施和激励机制, 能使交通资源的利用更有效。一个广泛的交通需求管理策略, 有着不同程度的成效。策略范围从改善交通的选择, 到改变人们出行的时间和地点, 一直到通过更有效的土地利用或替代的交通来减少交通的需求。分开来看, 这些措施在减少小汽车出行量方面有着不同程度的成效。例如, 土地使用模式、密度、混合利用, 都比单独改善交通服务更有效。结合土地利用、交通需求管理、公共交通和基础设施战略, 能最大限度地减少私家车出行。

#### 4.2 停车

免费停车的充足供应会诱引交通流量增加, 所以必须谨慎对待停车场, 以免妨碍行人。除了最有效改变出行行为的停车收费方法, 还可以采用如下策略:

①合理配置停车场。大量的地面停车场是行走的最大障碍之一, 这不但给行人留下汽车占统治地位的印象, 也占用了本可以创建优美场所的宝贵土地。停车场应远离行人区域, 设置在建筑物后面, 或最好在建筑物里面或地下。通过增加 TOD 的可开发土地的数量和密度, 也许可以抵消结构化停车的成本。

②停车收费。停车收费是最有效改变出行行为的办法之一。无论员工是否意识到这一点, 雇主提供免费且充足的停车位是在补贴他们的交通费用, 也是鼓励他们开车。停车收费可以直接 (收取停车费) 也可以间接 (停车套现或交通津贴)。适当收费的停车场可以减少 10% ~ 30% 的停车需求。依据土地利用或交通设施类型的不同, 可为实现具体目标而调整收费价格。例如, 为了发展零售业, 收费可以利于短期购物停车, 而不利于通勤者长期停车。

③减少占用路面的停车需求。分区制停车需求, 是以孤立的郊区用地对免费停车场的需求研究为基础, 并没有反映 TOD 的特征, 这会导致停车场过度设置并鼓励小汽车出行。TOD 有许多合理的理由减少停车需求量, 包括共享停车、内部交通、路边停车、交通需求管理计划和减少出行。其中街边停车的供应通常可以减少 30% 的停车需求。这种削减不是任意武断的, 而是建立在对特定的土地利用关系、效率及出行特征分析的基础上。

④街区保护。那些反对减少停车需求与停车收费的人，通常利用毗邻街区人口外流的影响为例，来说明人们对免费和充足停车的需求。虽然这种担心不无道理，但街区停车的影响，可以用时间限制、强制和住宅停车证等方案来减轻。一些地方已对街区的路边停车收费，而对街区内部居民没有收费或时间限制。规模较大的 TOD 方案，特别是零售业和娱乐业集中的 TOD，应该有一定的应急计划，这样才能满足不定期的特别活动和旺季之需。

⑤利用街道停车。开发项目中宜人的街道越来越密集，街道停车有助于减少小巷的停车需求，并为相邻的零售业和服务业提供停车场所。街道停车应始终受时间限制，并且可以计量，旨在减少员工停车。

⑥使用偏远的停车设施，通过往返汽车和快车连接到主要的交通中转站。发展交通站周围土地的挑战之一是如何替换现有的通勤停车场。一种解决方法是建立或租借偏远的停车换乘设施，并提供频繁的发往中转站的快速公共服务。

⑦停车分类。私人停车场通常包括出售或出租给住宅单元和商业楼宇。通过分离住宅或建筑物出售或出租的停车费，租户只要按需买单，任何多余的停车位都可以出售或出租给其他人，这样全面减少发展带来的停车需求。

⑧创建停车区。与 TOD 相邻的较大范围可以从停车区的创建中受益，这些停车区拥有市政停车设施，它们由替代费及每年的维修费资助。如果考虑共享停车的效率、交通方向和内在出行，资助市政停车设施费用的成本其实要低于给单独的建筑提供停车的成本。

## 5 TOD 功能评估

从交通和停车的角度来看，真正衡量 TOD 的标准，不在于其表现形式而在于其功能。TOD 的表现形式如密度、混合度、连通性、以行人为导向，这些都是体现其功能的重要因素。但是真正衡量 TOD 性能的是：人们出行共享而不是驾驶私家车和通过内部出行降低交通需求以求发展。TOD 的首要目标是通过增加步行、自行车出行、公共交通使用、保持内部出行来降低小汽车出行。因此，TOD 的功能主要通过方式划分和内部出行两种方式来评估。

### 5.1 方式划分

方式划分即采用特定方式出行的人的比例。最简单的方式通常包括私家车、合用汽车/共乘交通工具、步行、自行车和公共交通。从交通和停车的角度来看，TOD 最重

要的目标是大幅减少交通出行，尤其是上下班高峰期的私家车出行。因为这种方式对交通系统和社区宜居性的影响最大。作为功能评估的一种方式，方式划分是对外部影响的衡量：TOD 是如何减少交通堵塞？如何通过公共交通使人的出行更有效率？或如何在鼓励步行和骑自行车出行的同时，减少小汽车出行？

### 5.2 拥有内部交通和土地利用多样性

衡量 TOD 或任意混合利用发展的一种重要方法是，它们能在多大程度上维持内部发展？它们如何减少小汽车出行的需求，从而减少交通和停车的需求？因此评估 TOD 的指标包括：维持内部出行的百分比和反映混合土地利用的测度或指数。

交通专家非常需要了解更多关于混合土地利用和内部出行能力之间的交通关系的信息。美国运输工程师学会出版了一本计算混合利用发展的内部出行方法的书籍。尽管该方法被广泛使用，但是它局限于单一发展的项目和三大类用途，即办公、住宅和零售。所以这种方法不适合评估人口稠密的城市地区的混合利用，例如中央商务区。

用来评估 TOD 性能的另一个方法是土地利用的混合与多样性。研究人员正在试图完善量化测量土地混合利用的各种方法和指标。然而，这些指标只代表了土地利用多样性的多少，没有反映具体用途之间的最佳协同作用。

## 6 阻碍 TOD 发展的因素

### 6.1 免费和过度的停车场

人们在选择交通工具时，易用性和停车收费价格至关重要。工作场所免费和充足的停车场，鼓励了私家车的使用。在停车是一种商品并按市场价格收取费用的都市区，公交乘客数量远高于有大量免费停车场的郊区。一项研究表明，与无需为停车付费或者有停车补贴的员工相比，需要为停车付费的员工减少了 33% 的自驾比例，增加了 25% 的公共交通使用。

停车收费和停车位有限供给已经成为城市环境的一部分，但郊区的人们习惯于在目的地甚至是公共交通中心，都有免费和可用的停车场。不过随着郊区人口增加、土地价值上升、开发密度增大，这种情况正在改变。现在围绕交通站点的是广阔的停车场用地，这无疑将给 TOD 的发展提供一个机遇。旧金山湾区的捷运，已经推出收费停车场，并开始在外郊区的站点开发停车场。控制停车场的数量和成本会是一个渐进的过程，但要想 TOD 在郊区发挥作

用，这是不可或缺的。

### 6.2 糟糕的行人环境

TOD 的有效性极易受行人环境质量的影响。内部和外部的步行系统必须直达、连通性好、安全而且视觉效果良好。街景、城市设计、建筑朝向和公共场所这些因素都会影响步行的选择。特别重要的是，附近的居民区要有高质量的步行联结，没有阻断或大的障碍物。此外面向小汽车的街道设计标准也给行走制造了障碍。TOD 本身和进入 TOD 的街道需要多种样式，并强调步行交通。

### 6.3 公共交通的服务质量较差

公共交通服务的质量差会降低 TOD 的性能，尤其是当 TOD 沿公交路线布置时更甚。频率、可靠性和设施是维持公共交通客流的重要因素。保持高品质的交通仍然是一个挑战，因为公交公司必须与高昂的成本、萎缩的资金来源和降低服务质量作斗争。

### 6.4 不恰当的混合土地利用

有效的 TOD 的混合土地利用是能促进交通内部化，并为居民和员工提供各种所需的服务，让他们可以使用公共交通去办各种事情，而无需担心没有汽车。当土地使用缺乏协同作用时，各种功能将被孤立，交通和停车需求也变得复杂。

### 6.5 缺乏连接住宅和工作之间的公共交通

公共交通服务系统是否能服务于人们的工作场所，这是决定 TOD 内的居民是否会选择公共交通通勤的重要因素。同样，员工的住所也需要适当接近公共交通系统。当然，所有可以最大限度发挥 TOD 效益的交通类型，其先决条件都是能否利用公共交通送达目的地。

### 6.6 当前的分区标准

许多地方区划标准是 TOD 的障碍。传统的分区强调建立单一的土地利用，保护街区不受不协调土地利用的影响，限制住宅密度。这些死板的规定，已成为开发混合利用的障碍。此外，区划要求停车场的设计满足传统发展的要求，不提供共享停车的机会，而且往往导致停车场供过于求。所以，区划代码需要重新设计，以解决具体的公共交通引导的混合利用的效率问题，并灵活地应对停车需求。

## 7 挑战

在全国城市区域中，TOD 已经存在了几十年，而对郊

区而言，它还是一种相对较新的土地利用现象。伴随着 20 世纪 50 ~70 年代郊区发展模式的增长，规划和设计的关注重点逐渐由公共交通周边开发转向商业中心、住宅小区和商务园区。新一代的交通规划师和工程师主要依靠相关数据和技术来发展单一的汽车为导向的土地利用。过去的 50 年里开发格局的区划代码和工程标准不断演变，但现在对 TOD 的交通和停车的特征几乎一无所知。这带来了巨大的挑战，不仅是在 TOD 的规划和设计方面，还包括 TOD 的优势需要获得专业的、公共的和政治上的认可，并改变管理 TOD 的标准和制度。下面是交通专家讨论的一些关键挑战：

### 7.1 缺乏交通和停车特征数据

与传统的郊区单一土地利用有大量交通和停车信息不同，TOD 在这方面的信息非常有限。一方面是因为 TOD 领域相对较新，另一方面是因为土地利用与公共交通相互之间的独特关系。单一土地利用的研究较容易，只需要数汽车就可以开展。混合利用的开发需要量化内部出行、与土地开发相关的公共交通利用以及开发附近通常的交通模式。获取这些信息的最佳方法是综合调查，但至今尚无系统研究方法，也没有国家交流中心编制和发布的 TOD 相关信息。

### 7.2 TOD 的建模和评估尚没有系统且广泛认可的方法

交通专家的另一项挑战是：发展一种可以评估 TOD 优势、影响、性能和有效性的方法，这在进行地方尺度交通影响分析或环境评估时显得尤为重要。由于缺乏 TOD 的相关数据，因此在评估交通产生和停车需求时我们需要基于地方和国家分类或假定的参数来自定义一个模型。但由于缺乏广泛认可的数据，这种假设和方法常常受到质疑，结果导致其使用的保守，而且很可能错误地估计交通和停车。

### 7.3 相关标准降低 TOD 的效力

强调汽车出行的街道设计标准与建立有效的 TOD 的原则不相容。TOD 要求街道设计能平衡所有的出行模式，甚至相较汽车更重视行人出行。进入 TOD 的汽车和机动车是很重要，但不能达到影响行人环境的程度。服务于地方层次和区域层次的街道设计标准略有不同，这样才能提供一个多模式的平衡，但所有服务于 TOD 的街道都必须提高行人的可达性。虽然线性设计的标准可能保持不变，但如何应用它们正经历演变。灵活的街道或“语境关联性

设计”认识到多目标平衡的需求，用跨学科的方法反映社区价值观，它们鼓励工程师在设计过程中利用地区的内在本质。语境关联性设计已经成为一个热门话题，许多地方机构、国家交通部门、联邦运输机构和国家组织正在开发它的应用指南。

另一种标准是服务水平，它也严重影响了TOD的效用。作为解决交通拥堵的定性措施，服务水平标准完全专注于交通的快捷畅通。当服务水平的标准不能满足时，典型的解决方法是提供额外的车辆容量，这势必会影响其他交通模式。这些总是被忽略的次要的影响，甚至会与某些州占主导地位的环境和交通拥堵管理程序冲突。<sup>①</sup>解决这一难题的一种方式是采用多模式服务水平的方法和标准，以衡量所有交通模式的功能和影响。虽然全国各地的一些机构正在采用多模式的服务水平方法，但至今仍没有被广泛认可的做法。使用多模式方法的建议经常会遭到公共机构反对，理由诸如，它增加了另一个技术分析层，它的要素建立在例如行人环境质量的主观标准上，当需要借助杠杆作用让开发者资助交通项目时它缺乏必要的定量关系等等，总之认为它会影响到发展进程。当然，多模式评估是复杂的甚至有些主观，但当全面调查和提供所有用户的交通需求时，结果常常出人意料。

#### 7.4 机构不愿意降低停车标准

在涉及停车之前，TOD和精明增长的原则似乎很受欢迎。TOD关于降低停车率的建议通常被地方部门用事先准备好的理由否定，比如：缺乏TOD的经验，缺乏其他类似发展的停车数据，担心是否有足够的停车位。这些原因有想要提供充足停车位的倾向，他们宁愿采用为单一的小汽车引导土地利用制定的标准，而不愿使用停车管理这个可保证TOD成功的重要工具。出资人为迎合过时的区划代码规定，不愿意降低停车标准。当交通专家对TOD的停车特征和在多种发展模式下如何应用有更多的了解后，这个问题将逐步得到解决。

## 8 建议

以下建议是应对挑战的出发点，包括开展研究和开发经验信息数据库过程中强调全国性和全行业努力的重要性，促进跨学科合作的规划和设计，最后建立广泛认可的TOD的评价方法和标准。

### 8.1 完善交通规划中TOD的定义

除非有统一和公认的定义，否则在广泛的利益群体中，讨论TOD的发展不会很有效。类似交通行业的功能分类体系，TOD的定义应该有二级分类，通过土地利用、公共交通服务以及区域、次区域和地方功能来定义TOD。这些定义的完善与接受需要国家专业组织共同努力，诸如美国规划协会、新城市主义大会和交通工程师学会等。

### 8.2 广泛开展交通和停车调查

经验数据是交通规划师和交通工程师工作的基础，因为它为他们的分析提供了统计依据和科学基础。为了使规划师和工程师接受TOD，必须使他们对TOD的功能和影响评估有信心，而经验数据则是建立完善评估的基础。收集关于TOD的交通和停车数据比收集孤立的单一土地利用的数据复杂得多。交通、公共交通、停车数应与全面的居民、职工和用户的调查结合起来，以区分比较土地利用、内部出行、公共交通相比土地利用所产生的交通量与社会经济和人口特征的内在关联。

### 8.3 建立交通分析的系统方法

传统的基于土地利用的交通分析没有使用电脑预测模型，而是依靠三步骤模拟过程：即出行生成、出行分布和交通分配。这种传统方法对单一的土地利用的分析效果良好，但并不适用于TOD。混合利用的TOD的性质更加复杂，需要方式划分、内部出行和外部出行的分析。尽管运输工程师学会出版了一些指南和减少混合利用交通出行的方法，但交通行业仍然缺少一种广泛接受和相对简单的方法。随着时间推移，全国各地TOD项目的建设，经验数据和人口统计数据的编辑整理，一种系统化的方法将被开发和完善，并最终被接受。

### 8.4 对交通和停车专家进行交叉培训

工程师们常常被误解为面向行人和公共交通导向的障碍，因为他们遵守传统的设计标准而缺乏灵活性。目前这种看法正在转变，因为更多的工程师开始了解并促进语境关联性的街道设计。工程师及其他规划专家均受益于跨学科的基础知识培训，包括建筑、城市设计、交通工程、交通规划、经济学以及其他科目，例如地方决策和宜居性。

<sup>①</sup> 加州法案(SB 1636)。通过放宽堵塞管理计划中服务水平标准和填充就业机会区域，促进填充式和TOD模式的发展。

### 8.5 针对不同类型 TOD 的有效停车管理

也许我们最大的一个挑战是解决土地利用和交通设施的停车问题。因为没有一个是适用于所有类型 TOD 项目的标准,规划师和工程师需要充分了解各种停车管理工具以及如何有效地运用它们。

#### 参考文献

- [1] Brown M, Cheryl C. Building Healthier Neighborhoods with Metrorail: Rethinking Parking Policies [R]. A Chesapeake Bay Foundation Report. 2001.
- [2] Charles J A, Michael B. The Mythical World of Transit-Oriented Development: Light Rail and the Orenco. Neighborhood in Hillsboro [D]. Oregon. Cascade Policy Institute, 2003.
- [3] Dow A. 2001. Metro Transit-Oriented Development Program: Improving Accountability Through Enhanced Measures of Service Efforts and Accomplishments [R]. Metro Office of the Auditor. March.
- [4] Holtzclaw J, Robert C, Hank D, et al. Location Efficiency: Neighborhood and Socioeconomic Characteristics Determine Auto Ownership and Use-Studies in Chicago, Los Angeles, and San Francisco [R]. Transportation Planning and Technology, 2000.
- [5] Institute of Transportation Engineers. Trip Generation Handbook [C]. Washington, D. C. : Institute of Transportation Engineers, 1998.
- [6] Lapham M. Transit-Oriented Development: Trip Generation and Mode Split in the Portland Metropolitan Region [D]. Portland State University, 2001.
- [7] Lusche D R. The Odds on TODs: Transit-Oriented Development as a Congestion Reduction Strategy in the San Francisco Bay Area [J]. Berkeley Planning Journal, 1995, 10: 55-74.
- [8] Niles J, Dick N. Measuring the Success of Transit-Oriented Development [C]. American Planning Association National Planning Conference, 1999.
- [9] Niles J, Dick N, Aharon H. A New Planning Template for Transit-Oriented Development [D]. Mineta Transportation Institute, 2001.
- [10] Parker T, Mike M, Arrington G B, et al. Statewide Transit-Oriented Development Study: Factors for Success in California [D]. California Department of Transportation, 2002.
- [11] Thompson G L. TOD's Importance to Transit; Transit's Importance to TOD: Planning Scenarios for Sacramento [C]. 98th Meeting of Transportation Research Board, 1998.

# 北美国家的交通减排策略及 交通排污评价模型浅析

## Transportation Improvement and Emission Reduction Strategies and Modeling Evaluation Approaches in North America

吴稼豪 宋兵

**【摘要】** 人类对地球气候变化所带来的灾难已经有了深刻的认识。我们城市交通的现代化发展是与大气环境变化的诸多因素相互制约的。经研究显示, TRB (美国交通研究会) 和 ITE (美国交通工程师协会) 等国际重要的交通学术研究机构已有许多重要的成果与相应的研究开发项目。美国加州 SB 375 法案要求建立定量模型系统来确定排污目标与城市发展, 这个排污目标由土地利用发展精明增长法、交通系统的有效性和车辆排污控制系统综合评价确定。依据上述规则, 加州形成了一套模型框架并已经在实践中得到应用。本模型框架将土地利用模型、需求预测模型和排污模型融合于一体。本文参考美国区域经济 3E (交通有效性、出行公平性和环境保护性) 指标系统并描述了模型构建过程, 给出了在路段和交叉口层面交通污染应用结果。研究表明存在着定义在排污 U 曲线上的最优出行速度和最优 HCM (公路通行能力手册) 服务水平。本文提出了在城市和交通快速发展的情况下得到交通排污最小值的计算方法的实例。

**【关键词】** 城市与交通规划 土地使用模型 交通需求模型 尾气模型 3E 评价体系

**Abstract:** In this paper, we will first review the importance of transportation related emissions and the regulations established in North America. Based on a technical review of this

subject, many research efforts are given in this field as part of research programs by TRB (Transportation Research Board) and ITE (Institute of Transportation Engineers). In California, the SB 375 (Senator Bill 375) requires the use of the land use and transportation modeling to meet the state emission target. This emission target depends on the smart growth strategies in land use development, efficiency of transportation system, and vehicle emission control. A 3E criteria system will be presented as well based on the San Francisco area regional transportation plan. Based on this observation, we will present a modeling framework that is already put into practice. The framework links together a land use model, a demand forecasting model, and an emission model. We will report some selected results of this modeling process. Emissions will be presented at both link and intersection levels. One interesting observation is that there are optimal travel speeds and optimal HCM based LOSs, called U - Curves for emissions. The objective is to minimize the transportation related emission, given the rapid urban and transportation developments. It is clear that this modeling system may need to be refined in different regions in China as well.

**Keywords:** urban planning, land use model, demand forecasting model, emission model, 3E criteria

### 1 研究背景

我国是《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》的缔约方, 我国政府已郑重向全世界宣布: 到 2020 年, 单位国内生产总值 (GDP) 二氧化碳排放量比 2005 年下降 40% ~45%。在提出上述目标的同时, 还提出要把

**作者:** 吴稼豪, 博士, 美国 W & S Solutions 总裁, 吴宋美加设计咨询 (上海) 有限公司总裁, 兼任任美国加州大旧金山地区交通工程师协会 (ITE) 秘书长、美国交通工程师协会 (ITE) 交通大气排放委员会委员  
宋兵, 美国注册工程师, 美国 W & S Solutions 副总裁, 吴宋美加设计咨询 (上海) 有限公司副总裁

绿色发展作为我国在可持续发展框架下应对气候变化的重要手段。因此,了解与研究碳排与温室气体排放的有关立法和交通减排策略与计算方法,是落实控制目标要求的一项重要重要的技术基础工作。北美交通方面(大部分来自于小汽车、卡车、公交车、火车和轮渡)排放的温室气体占到了35%,而旧金山湾区则高达40%以上。所以,交通的尾气排放与城市空间结构、交通状况的关系研究十分重要。

自2007年联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)因全球大气的研究成果而赢得了诺贝尔奖,各国对这个问题的关注度也越来越广泛。<sup>[1]</sup>许多科学家已经得出结论,人类活动导致的温室气体排放(GHG)正使全球变暖,这对自然资源、能源使用、生态系统、经济行为和我们的生活质量有着深远而紧迫的影响。

事实上,城市交通系统发展受到一些与气候研究相关因素的限制。例如:大气温度变化2℃,将导致危及全球的变化,4℃的变化将导致极端气候及生态系统的灭亡;温室气体的产生重量是有限的,基本上每人平均1吨温室气体;车辆排放与最佳车速及服务水平有关。

全世界在制定多方面的政策时都考虑到了气候变化的重要性。美国国会制定的综合性法律将影响社会上包括交通在内很多方面的能源利用与排放。35个州都认识到了温室气体(GHG)排放的问题,采取了相应的减排联合行动。一旦认识到减少交通温室气体排放的要求,就可以清楚地看到对交通温室气体排放的考虑与城市其他部门是分不开的。交通温室气体排放量的增减与城市管理部门、企业及个人每天重复的大大小小的决策有关。这些决策的范围包括车辆类型的选择到城市分区或细分后的道路设计与管理。如何协调降低由交通引起的温室气体排放与人们日常活动和职责将是一个复杂而有挑战的工作。亚洲开发银行2010年也对如何减少交通引起的碳排放量作了分析与建议。

我们对美国的交通系统历史的发展应作进一步深刻的反思。20世纪发起的以小汽车发展为导向的城市模式,使得大量的居民涌向郊区,寻求更好而宽敞的居住方式。那个世纪在交通和能源设施上的投资,维持了环境建设的较低密度稳定发展,但导致了一个交通高排放的区域城镇系统。

政府决策者早已认识到了土地利用与交通之间的重要关系,并出台了相关的法律文件来保证土地利用与交通规划之间的协调性。1990年美国的《清洁空气法修正案》(Clean Air Act Amendments, CAAA)、国家联邦政府出台的《国家环境政策法案》(National Environmental Policy Act, NEPA)以及1991年《综合运输有效法案》(Intermodal Surface Transportation Efficiency Act, ISTEA)的确立,加速了对交通与土地利用相互关系的研究进程,

其中CAAA与NEPA要求空气质量预测必须综合考虑交通与土地利用的相互关系,同时要求制订交通拥堵和环境污染的区域土地利用政策,以减轻交通对环境所造成的负面影响,ISTEA则要求在远期交通规划中考虑其对土地利用的量化影响。1998年,美国颁布了《面向21世纪的交通运输平等法案》(Transportation Equity Act for the 21st Century, TEA-21),进一步要求交通规划中需要考虑交通政策对土地利用和经济发展的影响。Woods Hole对如何协调州政府与地方政府政策以应对交通与气候变化提出了具体方案与建议<sup>[2]</sup>,而Daniel K. Hardy and Michael Sanderson则对交通工程师如何应对气候变化与能源问题提出了具体的建议。<sup>[3]</sup>

除了联邦的有关法案,也有不少州建立了相应的法规,许多城市也相应行动,改善目前的交通状况。2006年签订的加利福尼亚众议院的全球变暖解决法案(Assembly Bill 32)中提出到2020年要把温室气体排放量降到1990年的水平。这就意味着要减少2020年日常排放的30%,现在排放水平日常排放量的15%。法律要求加利福尼亚州的大都市规划组织开发出整合交通—土地使用和住房规划相结合的可持续社会策略(SCS),目的是减少小汽车和轻型卡车的温室气体排放。受加利福尼亚参议院SB375法案的制约,旧金山大都市交通委员会(MTC)和旧金山湾区政府协会(ABAG)已经开始制定旧金山湾区可持续社会策略/区域交通规划(SCS/RTP)。美国大都市交通委员会和旧金山湾区政府协会将与旧金山湾区空气质量管理部以及旧金山湾区保护发展委员会一起协调开发策略,和各地市政府、郡交通拥挤管理组织、公共交通组织、感兴趣的居民、股东以及社区组织一起研究与改进SCS。他们强烈地认识到气候变化会引起海平面上升和极端气候灾害,严重影响旧金山湾区公众健康、空气质量和交通设施的安全。在旧金山湾区,温室气体排放最大的来源是交通方面的矿物燃料消耗。事实上,交通方面(大部分来自于小汽车、卡车、公交车、火车和轮渡)排放的温室气体占到了湾区的40%以上。气候变化带来的温度上升将会导致更多的雾天、呼吸困难以及心脏病,而且将会破坏过去几十年里改进旧金山湾区空气质量的成果。

旧金山4个湾区组织(MTC、ABAG、BAAQMD、BCDC)已经积极着手联合起来,以应付气候变化对旧金山湾区带来的负面影响。区域组织的主要目的是“设计一个全加州、全国、乃至全世界共享通用计算的模型体系”,实现:

①预防:通过采用所有可行的、成本效益好的战略来实现到2020年将温室气体排放水平降到1990年排放水平

的目标；

②适应：各地区通过规划成本效益好的适应性策略来应对气候变化的影响；

③学习：衡量和评估计算的结果来不断地改进；

④交流：编制并出版相应的研究与应用成果，为人类的研究提供参考。

## 2 改善城市交通降低排放策略

与交通相关的排放尾气污染如二氧化碳等与城市的许多因素有关，如温度、车辆类型、车辆年龄质量、冷/热启动状态、运行速度、交叉口设计、车流量分布等。降低交通尾气污染物排放策略方法可归纳为车辆技术、城市规划、交通战略、交通规划与政策和交通改善计划等方面。

旧金山湾区政府联合会（ABAG）与旧金山湾区交通委员（MTC）计划实行一系列的措施来改进旧金山海湾地区可持续社会策略/区域交通规划（SCS/RTP）。到2010年底，ABAG和MTC要实现具体的、量化的绩效目标，来帮助构架旧金山海湾地区可持续社会策略/区域交通规划（SCS/RTP）的发展。该目标包括强化区域经济交通有效性（Economy）、促进出行公平性（Equity）和优化环境保护性（Environment），即著名的“3E指标体系”。由此可见，旧金山湾区可持续社会策略/区域交通规划（SCS/RTP）将ABAG 2009交通项目和2035交通规划的绩效指标和目标合并，依据州参议员SB375法案，减少人均温室气体排放和颗粒物排放、人均车公里数、人均延误、摩托车、自行车和行人的死亡率，提高公交与地方道路和国道的运行能力；增加非机动车到达工作和服务点的通道；降低低收入家庭在住房和交通上的花费；减缓对未来开发地区的开发速度。绩效评估的结果将为政府交通排放策略的决策提供良好的支持依据。它们可以：

①评估实现加州空气资源委员会设定的温室气体排放目标，以及开发一个“替代规划”的方案；

②强化土地使用与交通规划互动的理念和策略；

③为当地政府和ABAG开发区域住房需求分配提供信息；

④在财政约束下的区域交通规划（RTP）中，明确MTC的交通项目的选择方向。

另外一些行之有效的交通减排策略与近几年以及今后一段时期的具体有关项目也值得一提：

①推动新能源车尤其是电动车辆（EV）在旧金山大都市进行试点工作。电池的革命和环境的改善，将进一步摆脱对石油的依赖，是本次汽车革命的动力，大大地减

少车辆排污量。Better Place是一家成立于2007年总部设在加利福尼亚Palo Altos市的私营公司。在美国运输部及大城市的运输委员会支持下，它承诺实现使用可换电池的电动出租车计划，联合旧金山与圣荷西的城市在湾区形成一个“美国的电动汽车首都”地位的梦想。

②强化合理的城市空间规划。良好的规划能够在城市空间上分配好土地的布局，以适应城市政治、经济、社会发展的需要，将城市从单一中心的形态，向多中心就业与居住相互平衡的建设思维发展，以减少不必要的车公里数，实现低碳的目的。MTC和其他县正在制定土地使用与交通发展的发展战略，使规定排放指标可以达到。在这种情况下，重新分配的土地使用布局更重要。为此目的，建立土地使用的模型系统的工作也在完善之中。ICF Consulting Fairfax完成了一本使用说明书，为如何将土地使用的分配与交通项目结合起来提供了一套框架性的方法。<sup>[4]</sup>

③建立合理的交通规划管理政策，它包括实现交通拥挤与高容量车道收费（HOT），鼓励交通多模式（Multi-modal）的出行方式，充分利用城市空间与分时效应，鼓励公交导向模式（TOD）的城市开发模式发展，在中小城市大力推动非机动车（慢行）交通系统的改进、设计与建立。交通改善计划包括智能交通走廊与通道、高速公路立交的改进、高速公路拓宽与公交线网优化。例如，旧金山湾区MTC大胆地在其25年的区域规划中，添加了800英里HOT（高容量车道收费）系统。

④提升地区性的交叉口渠化方案/信号灯优化。MTC开发了一个有效信号控制计划，以改善区域信号操作系统，减少交通延误和提高交通运行效率。另外，已确定了几个智能化交通走廊，包括韦伯斯特街、新马泰县智能通道、州通道—880的综合走廊，进行交通管理、工程设计与智能技术的改进工作。

⑤发展智能交通系统（ITS）战略，它包括实时交通信息储存、处理、分析与公示（如著名的加州公路评价系统PeMS）、无线传感技术实时收集交通数据、高速公路的进出匝道流量自动控制系统中的可变信息标志牌。该系统已展示了其重要性与先进性，避免高速公路内的交通拥堵现象，减少尾气的排放量。

⑥鼓励TOD发展新的激励方案和建模过程的基础工作。根据其交通规划2035年计划，只有3%的预算用于道路扩建，行人、自行车及其他为2%，而公交的建设高达14%，余为维护费用。为实现海湾地区的世界级运输系统，TransForm（一个非营利组织）建立了一个为开发商提供一些在能实现减排优先领域的证书。这些领域包括SB 375的实现（海湾的可持续社区战略区域运输计划）、



保护新基金注入公交系统、HOT 交通车道收费、可持续公交发展、BRT (快速公交系统)、建立学校公交系统以减少家庭汽车的使用、改善自行车和行人系统,以鼓励多模式式联运的交通发展。

### 3 建立评价指标

量化与交通相关的温室气体排放的方法论有很多,包括简单的电子表格到复杂的建模程序。城市规划与交通规划和交通工程人员,也已逐渐认识到了交通温室气体排放和能源消耗的量化计算的重要性,以计算各种评价指标。目前,提出了新的“3E”(Economy、Environment、Equity)的评价指标,从交通有效性、出行公平性和环境保护性三个角度来评价交通规划的效果并实现“3C(Continuing、Cooperative、Comprehensive)”规划过程:

①第一个 E 显示高效安全,建立交通联系便捷、内部道路功能明确、级配合理、城市交叉口顺畅的道路网络,通过改善城市道路线性、等级、断面形式以及不合理交叉口,从道路网络上杜绝不安全因素。

②第二个 E 表示公平性,确保区域社区平衡、经济与

交通可达性平衡与交通不同模式的协调性。

③第三个 E 为环境指标,用于提倡低碳节能,减少车程。

④第一个 C 表示规划连续性,以适应城市与交通的不断变化与发展。

⑤第二个 C 表示综合规划过程,考虑各种交通模式的运输与枢纽联动,快速与慢行交通系统的综合。

⑥第三个 C 表示规划各部的互通与协调,平衡各团体利益与社会的发展目标。

2009 年出版的加州旧金山 2035 交通规划 (Transportation 2035 Plan) 计划中的报告使用的指标如表 1 所示。事实上,在指定规划工作中,有更多的计算指标供讨论与改进。表 1 是其中精心挑选且易懂的指标。具体的应用结果参见图 4。因为在规划中应用 3E 与 3C,交通模型的计算尤其显的重要,定性与定量相结合,从事计算的主要是交通规划与工程咨询公司来完成的,没有与开发商与政府有利益冲突,一般比较公正可靠。当然,整个规划与建设可能因此而受到时间上的制约和社会的阻止。美国的高铁建设迟迟没有上马就是一例,我们有必要认真研究其利弊,总结经验与教训。

加州旧金山 2035 交通规划 3E 评价指标

表 1

政策框架		
3E 名称	类别	评价指标
经济 (E)	维护和安全	改进日常维护 市内一般道路: 75% 以上的路面状况系数得到改进 州高速公路: 有问题的高速车道公路里程数不超过整个路网的 10% 公共交通: 平均设备使用时间不超过使用年限的 50% 来源: 州和地方政府规划
		减少交通事故伤亡 其中摩托车比现在减少 15%; 自行车或行人比 2000 年减少 25% 来源: 州政府高速公路安全计划
	可靠度	减少延误情况
	货运	人均比现在减少 20% (防止反复) 来源: 州长工作计划
环境 (E)	清洁空气	减少车公里数和污染物排放量
	保护环境	车公里数: 人均比现在减少 10% 固体颗粒物: 比现在减少 10% ~45% 二氧化碳: 下降到比 1990 年水平低 40% 来源: 相关法律法规
公平 (E)	可达性	提升住房的购买能力
	居民区	比现在减少 10% 的居住和交通成本 (对于低收入家庭)

(资料来源: MTC)

#### 4 概念性模型计算框架

城市空间形态、土地使用规模、交通系统、城市交通尾气污染是有必然关系的，参见图 1 与国际交通委员会 (TRB Special Report 245, 1995) 的研究报告。它是城市与交通规划应当关注考虑的重要组成部分。在城市空间形态、土地使用规模部分，包括城市发展空间形态与土地利用与城市设计；交通系统包括交通供应、需求与流量；城市交通排污直接受到交通速度大小、车辆种类不同和温度变化的影响。这些因素交织在一起，十分复杂。在实践中，每一阶段可以用先进的有关计算模型与软件系统配合使用，获得 3E 评价指标，供方案评价分析之用。

Grant 等研究人员对交通项目的温室效应估算方法做了评价。<sup>[5]</sup>通过文献整理与综合，我们给出一个概念性交通尾气污染排放模型计算框架。如图 2 所示，土地使用模型、交通模型、排放模型之间具有相互关联的互动关系。首先，土地使用模型是最基础的模型，在现有社会经济数据的基础上，使用土地使用模型可以得到基于规

划规则与理念的土地形态与分配方案。然后将土地分配方案的结果输入到交通模型中，得到相应的交通出行量、起讫需求分布、方式划分和各种交通流量与速度。据此，就可以使用车辆排放模型，得到交通排放量。根据有关规划与法定目标，交通排放量的结果可以用来对土地与交通系统进行调整。这种对城市土地与交通规划的反馈，能够为城市建设与交通策略的优化提供合理的依据。通过对交通模型与尾气排放模型结果进行分析，发现土地布局问题，又可以反馈到土地使用模型中，进一步优化土地分配方案。

这里我们介绍一个称为 Uplan 的土地使用模型<sup>[6]</sup>，它较为简单，基于 ArcGIS 系统开发而成，可以应用于县、都市区、子城市等。在明确城市土地分类面积和城市发展政策因子的基础上，计算土地开发密度，输出如各种土地等级面积的数据。其结果可以应用到交通模型中，得出交通出行量。模型力图设计成为一个低成本的、易于使用的工具。UPlan 把城市增长分散成七种土地利用类型：四种居住密度（高密度、中等密度、较低密度、低密度），工业密度和两种商业发展密度（高密度商业、低密度商业）。

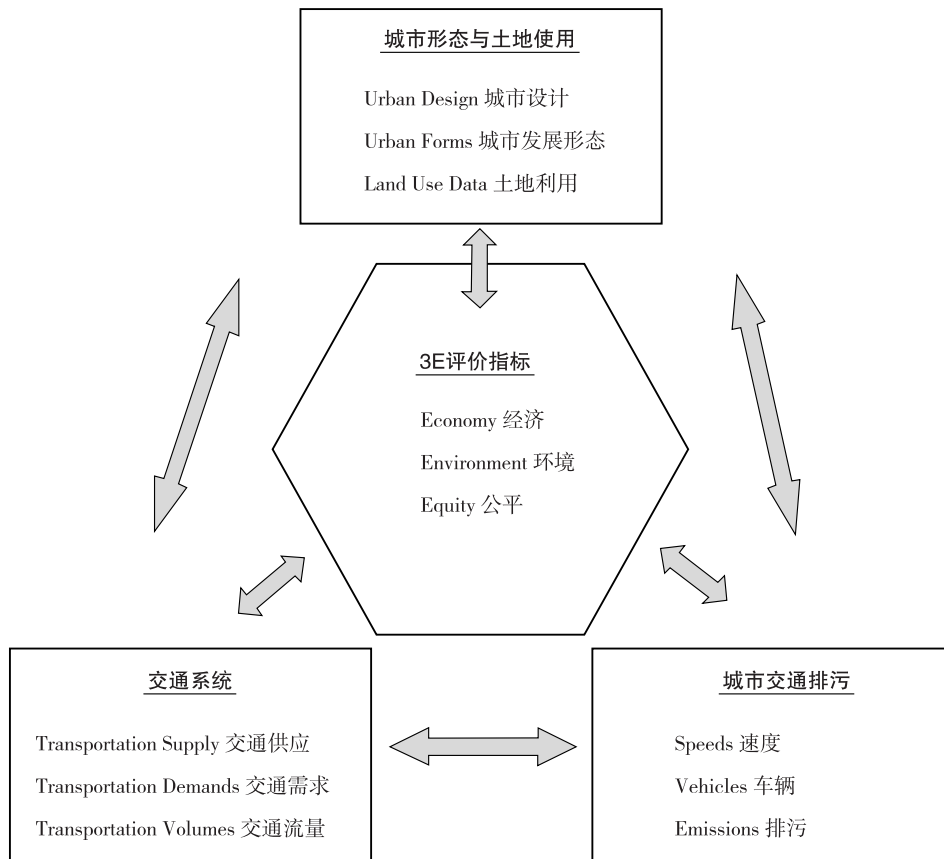


图 1 土地使用、交通系统、交通排污关系图

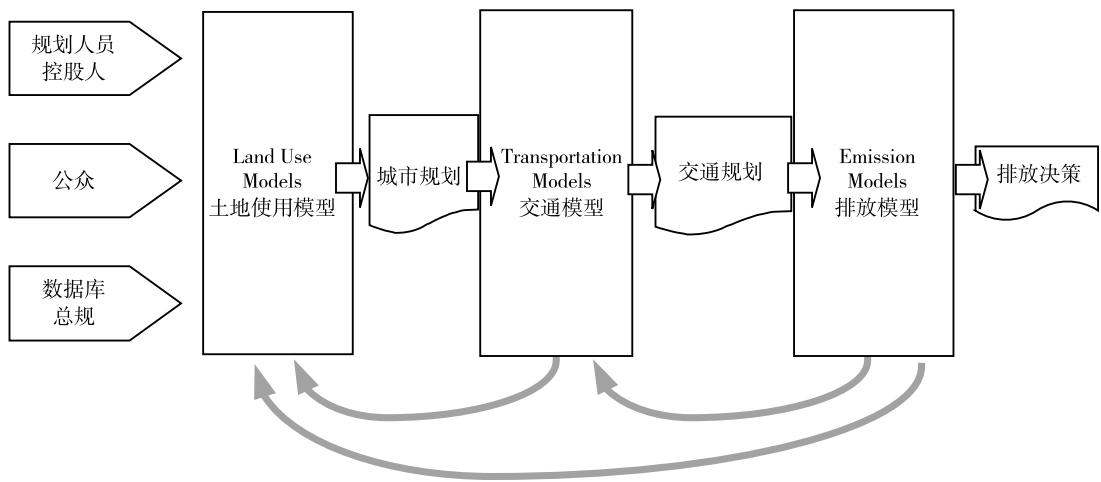


图2 土地使用模型、交通模型、排污模型框架图

UPlan 使用时基于以下假设：可将转化因子应用到就业和居住上，把人口增长转化为土地使用需求；新的城市发展要符合城市和县的总体规划；由于交通和设施的可达性，不同部分可有不同的吸引权重；有些地方，比如湖泊和河流，将不会被开发，其他地方比如生态敏感地和洪泛区，也将对其限制开发。Uplan 模型已在加州得到一定的应用。

其他的土地模型简介如下。美国住房和城市发展部的 Alonso 和 Lowry 开发了城市模型，Putman 等人研究开发出的非集聚的居住区分布模型（Disaggregate Residential Allocation Model, DRAM）和就业分布模型（Employment Allocation Model, EMPAL）是在美国应用比较广泛的两个模型。而从 20 世纪 70 ~80 年代 Putman 等人也在不断地对这两个模型进行改进，后来还开发出了可以将 DRAM 和 EMPAL 两个模型和传统的四步骤交通规划模型组件结合到一起的交通—土地利用软件包（Integrated Transportation-Land Use Package）。Anans 等人也开发出了包含 7 个子模块的土地利用—交通的模型 METRO-SIM，该模型包含的模块有：区域的基本产业分析模块、非基本产业分析模块、住宅和房地产业分析模块、空间分析模块、住户分析模块、通勤交通和非通勤交通及其分配模块。库拉索岛和委内瑞拉的拉—维多利亚使用了与 MEPLAN 类似但独立的 TRANUS 建模系统，同时 Rickay 也应用 TRANUS 完成了许多能量和城市结构关系的理想化仿真。1995 年，加利福尼亚大学戴维斯分校的 Johnston 正在萨克拉曼多试验了 TRANUS 模型，在那里它将 TRANUS 与加利福尼亚的城市未来模型（CUFM）结合起来。英国 Leeds 大学的 Wilson 等人是最早开始从事土地利用—交通模型研究人员之一，并将研究成果应用到实践中，加以分析检验。Johnston 在 2003 年的 TRB 年度会议上介绍了几

种为交通规划服务的基于 GIS 的通用的城市增长模型，例如 California Urban Futures Model (CUF)、Cellular Automaton Model、California Urban Futures Model - 2 (CUF -2) 及其他一些模型。文中介绍几个实际应用的案例，重点阐述了 Uplan 模型的特征及在实际应用中的优势。除了上面的研究之外，UrbanSim 也是美国应用比较广泛的土地利用的模型。UrbanSim 模型包含了住房、商业、开发商、政府的主要选址因素和在房地产市场上的相互作用。这种方法具有一种更加透明的理论结构，这种结构使得用户可以明确地吸收政策并评估政策的效果。UrbanSim 不仅仅是一个模型，它可以被认为是一个城市仿真系统，包含了模型实施的软件部分和模型的实施与环境之间的相互作用，用于城市增长管理、城市土地规划和交通政策分析。最近加州开始建立 PECAS 土地使用模型。

目前，有许多交通规划系统得到广泛应用，如 Emme, Cube, TransCAD, VISSUM 和 Aimsun。交通预测模型系统是被世界上很多交通规划师广泛应用的多模式平衡交通规划系统，它为交通规划师提供了一套综合的工具，来满足交通需求预测建模的要求，构建多方式网络，分析以及评估交通需求。有关 Uplan 与 Emme 的集成与应用的可能性，已在最近的一篇文章中详细讨论<sup>[7]</sup>，并在贵州省贵阳市一个主题公园的设计得到试验，获得初步成果。

与城市有关的污染计算系统一般可分为 3 种，分别定义在城市整个区域、道路路段与交叉口之上。有关交通污染的理论<sup>[8-10]</sup>已发表许多相关理论。属于第一类的 Uplan 系统提供一种基于加州能源委员会（California Energy Commission）的城市能源估计方法，并利用 Argonne 国

家试验室的 GREET 模型, 计算 GHG 的总量。尾气排放模型包括美国加州的大气资源委员会开发的污染物排放模型 EMFAC 2007 (Air Resources Board, 2007) 和美国环境部 (EPA) 开发的 Mobile 6 属于第二类。Mobile 6. 2<sup>[11]</sup> 模型使得交通规划者可以将机动车辆的空气有毒物质, 用计算结果, 反馈给社会来考虑。与 Mobile 6 排污率有关的因素有车辆年龄分布、车辆类型、温度、冷/热启动状态、建模年份等。美国的 MOVES 是 Multiscale、mOtor、Vehicle and equipment、Emissions System 的简称, 是一款综合的、多尺度的系统组合, 可以计算不确定性因素, 也可以利用车上数据, 同时与其他模型很好地结合起来的系统。另外, 美国的信号优化系统 Synchro 和 Traffix 7.9 属于第三类, 除计算交叉口通行能力与服务水平报告外, 还能获得交叉口交通污染物排放数据, 如一氧化碳、氮氧化物、挥发性有机污染物。Aimsun 在仿真过程中可以通过设置每种车辆的排放模型参数来实现计算所有车辆的污染物排放量。在燃料消耗模型中, 车辆的状态 (闲置、运行、加速、减速) 和车辆的速度或加速度可用于评估每个车辆在每个仿真过程中的排放量, 每种污染物类型和每种车辆都有不同的参照表格, 我们可以根据该参照表格来设置排放模型。一般都需要考虑三种排放量较大也是最常用的污染物 (一氧化碳、氮氧化合物和未燃烧完全的碳氢化合物), 当然如果有足够的数据也可以建立其他污染物的模型。

## 5 模型结果分析

上述的模型可用于估算城市规划与交通层面的 GHG 与尾气计算, 如基于土地面积的 Uplan, 基于路段的 Mobile 和 Moves, 基于交叉口的 Synchro 与 Traffix。Rafa et

al 对车辆尾气排污与 HCM<sup>[12]</sup> 的交通服务水平关系, 作出了定量的计算。表 2 给出了交叉口的服务水平的定义。表 3 显示每一种污染物质在特定的速度下每英里的污染物排放量。在特定的情况下, 当交通服务水平为 B 时, 交叉口的尾气排污为最小。而若考虑路段的状况, 当交通速度为 45 英里时, 路段尾气排污为最小, 见图 3。早在 1994 年, 本文作者之一吴稼豪参加了加拿大蒙特利尔交通中心<sup>[13]</sup> 对大蒙特利尔地区交通尾气排放的研究, 就证明了这一观点。研究表明存在着定义在排污 U 曲线上的最优出行速度和最优 HCM 服务水平。2009 年出版的加州旧金山 2035 交通规划 (Transportation 2035 Plan) 计划中的报告显示 (图 4), 采用精明持续法, 可以优化规划区域空间和提高公交投入。到 2035 年, 随着人口增加 26%, 交通出行量增加 37%、小汽车增加 32%、公交量大增了 75%, 同时, 令人注意的是, 平均出行距离却减少了 8%, 一氧化碳排放量减低了 14%。这个结果积极地回应了 SB375 法案对城市发展的要求。

服务水平 (LOS) 的标准 表 2

2003 年 ICU 有信号控制 交叉口服务水平 (LOS) 标准		2003 年 HCM 无信号控制 交叉口服务水平标准	
LOS	ICU	LOS	延误时间 (秒)
F	ICU > 1F	F	>50
E	0.90 < ICU ≤ 1.00	E	>35 - 50
D	0.80 < ICU ≤ 0.90	D	>25 - 35
C	0.70 < ICU ≤ 0.80	C	>15 - 25
B	0.60 < ICU ≤ 0.70	B	>10 - 15
A	ICU ≤ 0.60	A	<10

EMFAC 路网排放总量 表 3

方案	污染物排放量 (kg)				
	CO	TOG	SO <sub>2</sub> (g)	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
现状	33.00	2.00	0.040	5.00	1973
新建	157.62	13.10	0.189	24.30	10143
LOS E	154.06	11.33	0.185	23.80	9623
LOS D	152.07	10.71	0.183	23.65	9402
LOS C	148.90	10.19	0.178	23.35	9005
LOS B	143.94	9.47	0.174	23.41	8744
LOS A	144.22	9.47	0.175	23.49	8757



注：1 基于家庭工作车辆出行，2 基于家庭工作车辆出行。

图 3 平均速度与 CO<sub>2</sub> 排放的关系图

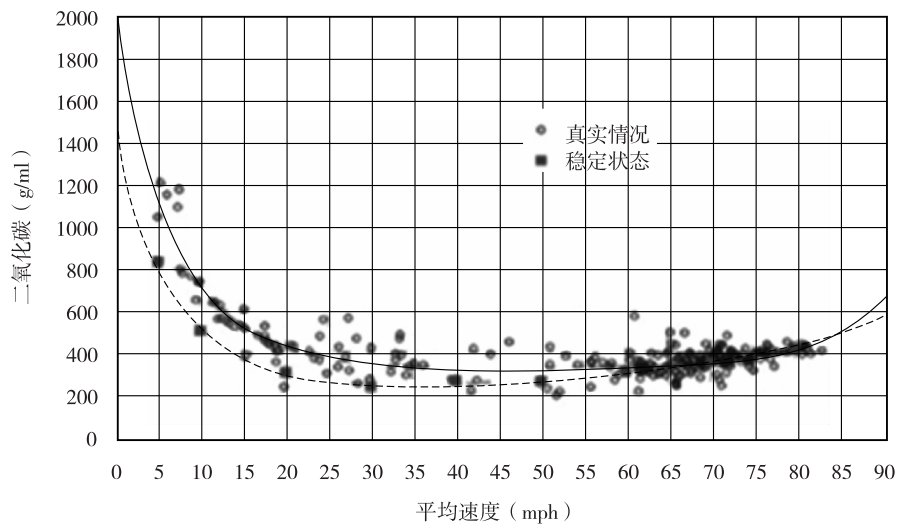


图 4 旧金山湾区交通规划区域统计数字、交通出行和空气质量指标

## 6 结论与思考

在城市与交通规划过程中，有必要设立环境发展政策与法规，以协调城市空间、土地使用与交通系统的关系，并优化平衡居住与就业结构的关系。同时制定政策，大力发展公交系统，应用交通一体化方法，以减少总体交通出行距离与交通排污量。应用先进的土地使用与交通模型，分析多方案的规划方案，进行科学对比，为城市与交通规划提供最优方案。提升城市空间、土地使用、交通规划及交通排污关系的理论与计算模型的水平，为城市与交通规划过程提供充分的理论依据，从而优化城市空间结构与交通系统，并降低交通尾气排放量，通过 3E 的评判指标，达到社会进一步的和谐与进步。

“城市交通规划与温室气体排放”的议题确实是一个非常主题。2010 年 8 月在上海复旦大学举办的“面向未来的城市规划与交通发展研讨会”充分认识到研究这个问题的必要性，首次倡议建立一个全国城市交通规划与温室气体排放研究平台，专门研究这个议题。该平台得到了大会参会代表与单位的热烈响应与支持，将起到进一步推进中国土地使用与交通规划及交通排污的关系研究的积极作用。

由于研究表明存在着定义在排污 U 曲线上的最优出行速度和最优 HCM 服务水平。我们的目的是在城市和交通快速与可持续发展的情况下，减少交通排污量，保持良好的生态环境。与此同时我们还可以在中国不同地区和城市改良这套模型系统，使之在中国得到积极的应用。为此，我们建议在以下方面开展研究与工作：

①建立环境发展政策与法规，积极影响城市与交通规划过程；

②协调城市空间、土地使用与交通系统关系；

③平衡优化居住与就业结构关系；

④制定政策，大力发展公交系统；

⑤建立智能低碳交通走廊，解决明显交通问题；

⑥改善交通管理水平，加强交通渠化力度；

⑦建立良好的交通隔离系统，解决机非混流现象；

⑧应用城市交通规划一体化方法，减少交通距离与排污量；

⑨建立交通服务水平定量体系，突现交通问题；

⑩提升城市空间、土地使用、交通规划及交通排污关系的理论与计算模型的研究；

⑪进行 GHG 与交通尾气模型的研究，得到不同地区参数，进行分析对比；

⑫跟踪交通发展，发布交通年报。

### 参考文献

- [1] Irving, William, et al. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change—National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.
- [2] Woods Hole. Integrated State and Local Government Policy Approaches to Transportation and Climate Change. NCHRP Project 08—36 (94) Summary of the Executive Peer Exchange, 2009, The National Academies Eric J. Jonsson Center, MA, Sponsored and Coordinated by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), the Center for Clean Air Policy (CCAP), and the Rockefeller Foundation.
- [3] Daniel K. Hardy and Michael Sanderson. Climate Change and Energy Concerns: What Can an ITE Member Do [J]? ITE, March 2010: 36—42.
- [4] ICF Consulting Fairfax, Virginia. Handbook on Integrating Land Use Considerations into Transportation Projects to Address Induced Growth. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Standing Committee on the Environment, 2005.
- [5] Grant, Michale, et al. Assessment of Greenhouse Gas Analysis Techniques for Transportation Projects. Transportation Research Board—87th Annual Meeting, 2007.
- [6] Johnston B., Lehmer E., Gao SY, Roth N., McCoy M. UPlan Land Use Allocation Model 2.6 User's Manual. Department of Environmental Science & Policy University of California, Davis, 2007.
- [7] 曹娟娟. 城市土地利用与交通规划一体化研究 [D]. 上海: 上海海事大学, 2010.
- [8] Barth, Matthew, et. al. Development of a Modal—Emissions Model, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 25—11, Transportation Research Board, 2002.
- [9] Coombe, Denvil, John Bates and Martin Dale.
- [10] “Modeling the Traffic Impacts of Highway Capacity Reductions.” Traffic Engineering Control, 1998.
- [11] United States Environmental Protection Agency. Users' Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2: Mobile Source Emission Factor Model. User's Manual. USA, 2002.
- [12] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. The National Academies, Washington, DC, 2000.
- [13] Audette, A., Deneault, L., Florian, M., Gendreau, M., and Wu, J. H. “Modelization of fuel consumption and emissions in Greater Montreal Region”, Publication, CRT, University of Montreal (in French), 1994.
- [14] Albeck, John & Husch, David. Synchro Studio 7 Users Guide. Trafficware. Sugar Land, TX, 2006.
- [15] Asian Development Bank and Ministry of Transport, People's Republic of China. Green Transport: Resource Optimization in the Road Sector in the People's Republic of China (Executive Summary). Asian Development

Bank and Ministry of Transport, People's Republic of China, 2009.

- [ 16 ] Asian Development Bank. Reducing Carbon Emissions from Transport Projects. Reference Number: EKB: REG 2010 -16, Evaluation Knowledge Brief, July 2010
- [ 17 ] California Air Resources Board. EMFAC 2007 Users Guide. State of California, Sacramento, CA, 2007.
- [ 18 ] California Air Resources Board. About the ARB. State of California. Sacramento, CA, 2008. www.arb.ca.gov/html/aboutarb.htm.
- [ 19 ] Cobian, R., Henderson, T., Mitra, S., Nu C., Sullivan, and E. Vehicle Emissions and Level of Service Standards: Exploratory Analysis of the Effects of Traffic Flow on Vehicle Greenhouse Gas Emissions [J]. ITE, April 2009: 30 -41.
- [ 20 ] Dowling, Richard, Robert Ireson, Alexander Skabardonis, David Gillen and Peter Stopher. Predicting Air Quality Effects of Traffic -

Flow Improvements: Final Report and User's Guide, National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 535. Transportation Research Board, 2005.

- [ 21 ] Environmental Protection Agency. National Air Pollutant Emission Trends, 1970 - 2002. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2005.
- [ 22 ] Environmental Protection Agency. Measuring the Air Quality and Transportation Impacts of Infill Development. United States Environmental Protection Agency (1807 - T) EPA 231 -R -07 -001, Washington, DC, 2007.
- [ 23 ] National Research Council. Expanding Metropolitan Highways: Implications for Air Quality and Energy Use. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1995.