

博弈视角下绿色交通体系规划设计探讨

吴志涛 屈龙

【摘要】为提高佛山市交通系统绿色化程度,从交通方式间的博弈视角探讨了交通规划设计方法。从佛山市公共交通、慢行交通、小汽车交通和摩托车交通四种方式间的博弈现状出发,揭示了各方式竞争能力差别的内在原因,分析了相应的博弈约束条件,从而提出了利用高峰小时路网拥堵指数在一定时期内的变化状况为评判标准的博弈均衡方法;最后结合佛山市实际情况在城市空间布局、土地利用、公交和慢行双优先、小汽车发展调控、货运方式转变、绿色交通系统属性方面给出了规划设计应对方法。研究表明了各方式博弈达到均衡点即为传统交通系统转型为绿色交通系统的标识,对佛山市绿色交通系统建设具有一定的参考意义。

【关键词】绿色交通; 博弈论; 交通拥堵指数; 交通体系规划设计

1 引言

随着经济的发展,机动车保有量快速增长使我国大中城市交通问题日益突出。例如交通拥堵由点向面扩展,交通源排放的空气污染物总量在城市排放源中的比例逐年增高,昼夜等效声压级超标的路段数量也越来越多等。人们认识到传统的规划和设计理念、管理方式是导致交通问题的根源。为缓解交通供需矛盾,提高城市综合交通网的容量和服务水平,降低交通系统运行对社会环境、生态环境、环境空气和环境噪声的影响,交通工程师提出了绿色交通规划设计理念。世界范围内推行绿色交通规划设计理念已近二十年,取得了丰厚的研究成果和实践经验。许多专家学者对绿色交通的含义和内容进行了研究,并对可持续交通、低碳交通三者的区别和联系进行了辨析。

绿色交通的主要实现途径有交通与土地利用的相互反馈、调整城市交通方式组成比例、交通基础设施理性化建设和充分利用、交通新技术的应用^[1]。绿色交通的主要目的在于采取多种措施削减交通量,而非以“绿色交通方式”满足交通需求^[2]。根据既有的研究成果和交通系统的组成元素(人、车、路、环境),绿色交通系统规划设计的本质在于取得各种交通方式间的博弈均衡。虽然慢行交通和公共交通是最有利的交通方式,但其对其他方式的竞争力却有所不足。在目前佛山市经济快速发展和转型时期,短时间大规模建设绿色交通将一定程度制约经济发展,进而削弱绿色交通理念影响力。因此,有必要在“路”和“环境”两个元素上逐步、理性提高公共交通和慢行对其他方式的竞争力,促进交通模式转型,达到绿色交通系统所需的博弈均衡点。

佛山市马上要开展新一轮的综合交通体系规划修编工作。在修编过程中贯彻绿色交通规划设计理念需要相应方法的支持。考虑到各种交通方式之间存在竞争的关系,本文拟从博弈论视角探讨绿色交通体系规划设计方法,以为佛山市绿色交通系统构建提供一定的理论依据。

2 各交通方式博弈分析

2.1 博弈结果现状分析

根据佛山市 2010 年居民出行调查结果,慢行方式占全方式 30.95%,常规公交占 5.52%,两者之和占 36.47%。虽然随着广佛线的建成运营、公交优先政策的大力推进、禅桂新限摩政策的实施导致现状出行方式比 2010 年产生较大的变化,但慢行和公交出行比例仍偏低,竞争力依然不足。

慢行方式有其优势出行距离,大中城市自行车优势出行距离为 6km^[3]。在此距离内,自行车与公共交通耗时相当。由于小汽车情结,在慢行方式优势距离内,拥车家庭大部分仍采用小汽车出行,表明了慢行方式的弱势性。如果出行距离增大,拥车家庭采用小汽车出行的比例会更高。而随着收入水平的提高,小汽车保有量越来越大,拥车家庭数也越来越多,不管是短距离出行,还是长距离出行,小汽车在博弈中显示出强势性。

公交线路沿线 300m 范围内居民愿意乘坐公交出行,超过 500m 范围,绝大多数居民选择自行车或其他方式^[3]。现状公交基础设施建设不足、线网覆盖率低、服务水平偏低、发车间隔较长、年平均下雨天数较多等因素,使公共交通在对小汽车的博弈中也显现出弱势性。

佛山市五区的中心城区中除禅城区和南海区相邻外,其他与中心组团相距较远(大于 25km),主体出行大部分为区内出行,跨区出行比例较低。而禅城区东西跨度约 17km,南北跨度近 10km,在摩托车的优势出行距离范围内,加上地区性因素致使佛山市摩托车出行比例很高,在博弈中具有较强的优势。

若由各种交通方式自由竞争,不加约束条件,则各方式的竞争能力从大到小排名为:摩托车>小汽车>慢行>公共交通。博弈的结果会使摩托车和小汽车出行比例越来越高,交通系统发展越来越偏离绿色目标。

摩托车的单位里程能耗高,行驶过程中辐射的交通噪声级大,且驾驶的随意性会带来较大的交通安全和社会安全问题。即使不贯彻绿色交通理念,建设和谐社会也会促使决策者对摩托车发展进行大力限制。小汽车显示了城市经济发展活力,虽然给道路交通和环境带来压力,但其不仅拉动了汽车行业的发展和就业,而且也拉近了城市的时空距离,改变了出行结构,对经济发展有积极作用。在交通系统绿色化进程中需“引导+控制”并举,调控其发展方向和规模。除顺德区外的其他四区东西跨度和南北跨度均较小,且慢行设施落实到位,佛山市慢行交通拥有良好的通行空间,竞争能力强于公共交通。

2.2 博弈约束条件分析

为使佛山市综合交通系统逐步转型为绿色交通系统,在接下来的规划修编和新一轮的综合交通体系规划中,应在“路”和“环境”两方面理性提高绿色交通方式的竞争力,提高其在博弈中的强势性。“路”在本文中代表交通基础设施,“环境”代表自然环境(包括生态环境、环境空气、环境噪声、水环境等)、社会环境、交通政策、上层规划成果等。利用这些因素对交通系统进行约束,以期构建佛山市绿色交通系统。

土地利用是交通产生的根源,上层规划成果对交通生成特征有显著影响。研究和实践经

验表明，多组团式城市空间且次一级组团与中心组团距离在 5-25km 之间的布局可以降低交通系统的能耗^[4]；紧凑型发展和较小的城市单元设计对公共交通布线、营造良好慢行交通通行环境有积极作用^[5]；合理的容积率控制能减少地块交通生成量，防止对周边道路网背景交通产生过大干扰；混合的土地开发能在一定程度上增加本地就业/上学和本地居住的比例，减少长距离的机动车出行；快速公交沿线高强度的开发能提高公共交通的出行比例。

交通基础设施建设和运营会对城市生态环境和社会环境产生较大影响，尤其是拆迁过程。佛山市是历史名城，在绿色交通理念下的交通规划需要考虑保护历史文化。为适应干道日益增加的流量（主要为小汽车）需求，在无充分可行性研究的情况下拓宽道路，进行大规模的拆迁是不理性的，且过多的车道数增加了行人过街难度，对道路两侧阻隔效果严重，破坏了和谐的邻里肌理。

交通噪声和交通尾气是由运行中的车辆造成的。交通噪声与车辆性能、交通量、车型组成、行驶速度、路面状况、天气状况等因素有关。在相同的外部条件下，大型车单车辐射噪声级比小型车要大。随着速度的提高，小型车产生的轮胎噪声会显著增大。因此，在交通拥堵地区，公交车是最主要的噪声源；在通畅的路段上，快速行驶的小型车是主要的噪声源。机动车都有经济车速，在此速度下，车辆单位里程燃油消耗量最少、排放的污染物也最少。根据单车污染物排放因子和速度的关系，车速越小，单辆车单位里程排放污染物数量越多。因此，在交通拥堵路段和交叉口，交通流排放污染物最多；在通畅的路段和交叉口，交通流排放污染物最少。综合交通噪声和交通尾气产生的根源，得出两者存在一定的矛盾情况。随着路段和交叉口饱和度的提高，尾气污染越来越严重，噪声污染程度先变得严重，后严重程度又减小。两者对居民的身体健康和正常的生活学习都有影响，两者博弈的均衡点影响着全方式博弈的均衡点。

交通政策对各方式博弈结果也有显著影响。佛山市远期全市禁摩，摩托车出行方式被淘汰，这部分出行会转移到何种交通方式，转移量是多少也直接影响各方式的博弈结果。

2.3 各方式博弈均衡方法

社会经济发展水平影响各方式的均衡结果。若慢行交通方式、公共交通方式和小汽车交通方式都从自身占有率最大化角度出发，则最后整个交通系统将无法正常运行，陷于瘫痪，各方式组合效率为零。当三者在一经济水平下达到一种稳态，以致不会改变任何一种方式的比例时，各方式博弈均衡，各方式组合效率最优，实现双赢。因为各方式的相互竞争，使得每种方式都达不到自身可能的最大占有率。

由于经济发展水平的波动性、城市出行特征演变的过程性和均衡点量化的困难性，导致各方式博弈难以达到绝对的均衡点。城市交通拥堵程度越来越高、拥堵区域面积越来越大、交通污染程度加剧说明了各方式博弈结果愈来愈偏离均衡点，出行向资源占用率高、能源消耗量大的方式转移。为修正这种偏移，结合前一节的分析结果，需添加外部约束条件进行调整。

虽然已有研究文献建立了交通系统的绿色化程度的评价指标，但是基础数据收集量大、

指标层量化困难、评价方法多以定性和定量相结合的方法（指标权重确定的不稳定性）导致评价结果带有相当程度的人为主观性。结合北京市建立的交通拥堵指数系统能实时反映城市道路网整体服务水平，本文采用高峰小时交通拥堵指数为评价指标，根据佛山市路网高峰小时期间的拥堵状况，判断各方式博弈结果是否偏离均衡点。若拥堵指数在一段时期内持续增大，则说明各方式博弈结果越来越偏离均衡点，需要在今后的规划设计中调整旧政策措施，采取新政策措施；反之，则说明各方式博弈结果向均衡点方向移动，现有政策措施是有效的。调整各方式比例以提高交通系统绿色化程度的流程如图 1 所示。

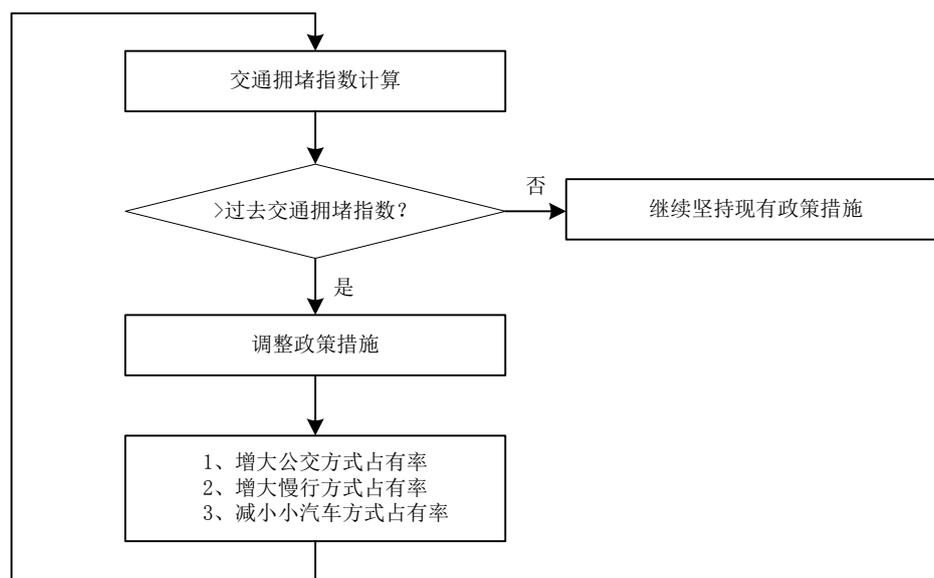


图 1 调整各方式比例流程图

根据国内外大中城市实践经验，促使各方式博弈结果向均衡点移动的主要手段有：转变上层规划理念、强化公共交通和慢行交通的优先发展地位、调控小汽车交通发展。

转变现有城市规划理念，弱化功能分区规划思想。强调构建多中心多组团式、组团内为邻里社区、紧凑的城市布局，重视土地的混合开发和合理开发强度，从根源上减少长距离的通勤出行。通过规划设计方案的调整优化、设施建设、交通管理措施出台、财政补贴等手段提高公共交通和慢行交通的通行优先权、覆盖率、可达性和服务水平。采取一定程度上不利于发展的措施来调控发展势头良好的小汽车交通，主要包括提高牌照、燃油、停车成本，增收碳排放税、拥挤费，合理限行，控制设施建设规模等。

3 博弈均衡下规划设计应对方法

3.1 佛山市空间布局应对

2012 年修编的城市总体规划确定佛山市空间布局为“1+2+5”格局，东平新城为中心城区，狮山组团、大良容桂组团为次一级组团，西樵组团、西江组团、西南组团、大沥组团和陈村北滘组团为又次一级组团。2013 版《深圳市城市规划标准与准则》在研究深圳市成熟片区和国外公交发达城市路网密度后，提出路网密度在 10-15km/km²时对布设公交线、营造良好慢行环境有较大优势^[6]。为应对交通转型发展，佛山市应广泛借鉴珠三角其他城镇群成

功经验，在城市总体规划和道路网专项规划时，根据佛山市实际情况确定组团内部道路网密度取值范围，为各方式博弈结果向均衡点移动提供最基础条件。组团间保持相对的独立性，防止次一级组团对上一级组团的依赖性和组团间出行量大于组团内出行量现象发生。

3.2 土地利用

坚持 TOD 土地利用模式，地铁、有轨电车等快速公共交通沿线土地高强度开发，集约发展。组团内部各片区土地复合开发，一体化发展。

在控制性详细规划交通影响评价工作中，在现有规范规定的评价指标基础上，增加交通噪声等效声压级指标，评价交通流对临街建筑辐射的噪声强度。以此来优化规划成果，减轻道路交通噪声污染。

3.3 强化公交和慢行优先发展

3.3.1 构建轨道交通骨架

推进中心组团和其他次级组团的轨道交通规划和建设进程，构建组团间轨道交通骨架网。以快速、大运量、全寿命周期成本小的轨道交通满足各组团间的出行需求。

根据《珠三角城镇群协调发展规划》（2004-2020），佛山市在珠三角的定位为联系粤西地区西大门。为在加强佛山市对粤西地区辐射能力时提高对外交通绿色化程度，应推进广佛江珠、中南莞、广佛环城、广佛肇城际轨道交通的建设。

轨道交通能极大促进广佛同城发展，实现交通设施的共享共建。加快完善佛山轨道网，并与广州地铁实现对接，确定地铁在佛山市公共交通中的骨架地位，对加强广佛同城化，减少两市间的出行能耗起着积极作用。

3.3.2 继续提升常规公交服务水平

实施 TC（Transport Community，交通共同体）模式后，佛山市各区公交客运量都有大幅增加，年均增长 36.1%。表明 TC 模式有效提升了佛山市常规公交的服务水平。在此基础上，继续实施“公交优先”策略，构建常规公交为主体的公共交通系统。进一步加大常规公交设施投入和财税保障，从车辆更新、站点建设等方面提高乘车和候车环境质量；进一步优化公交线网，提高公交线路的可达性和覆盖率；进一步强化公交走廊上高峰小时期间公交的优先路权和通行权，保证准点率。进一步落实规划的公交首末站建设，保证公交首末站的充足用地。把洗车、维修、和夜间停放功能从首末站分离出来，首末站仅进行公交车调度、上下客和昼间停车，降低对周边居民的影响，使首末站落实更具可实施性。

3.4 加强小汽车发展调控

小汽车发展调控主要从牌照、停车设施供应、需求管理方面着手。严格小汽车准入门槛，利用牌照对佛山市小汽车实施总量控制。制定差别化的停车配建指标，公共交通发达的成熟片区和轨道交通站点 500m 范围内，降低建筑物的停车配建指标。提高中心城区公共停车场收费标准，增加小汽车拥车成本和出行成本。

3.5 货运交通方式转变

城市交通不仅有客运交通，而且有货运交通。货运交通各方式间也存在博弈。佛山市现状货运以公路运输为主，货运车辆具有较高的燃油消耗量和尾气产生量，对环境影响较大。为使公路运输、铁路运输、水路运输三种方式间的博弈均衡点向铁路运输比例大的方向移动，佛山市应推进贵广南广铁路、广茂铁路、南沙疏港铁路、西部沿海铁路建设，提高铁路运输和水路运输比例。并同时加快新能源货运汽车技术开发和推广，发展集装箱运输和多方式联合运输体系，降低佛山市货运汽车燃油消耗量，减轻交通污染程度。在修编工作中，应制定新能源货运汽车发展目标，明确铁路运输在未来的主力定位。

3.6 其他手段

各方式博弈结果接近或达到均衡点时，城市交通系统能耗低，在高峰小时期间拥堵指数小，路网运行通畅，整体交通流排放污染物量少，但在部分瓶颈路段和交叉口，交通拥堵状况和交通污染程度仍然会很高。为减轻这些路段和交叉口拥堵程度，可派驻交警协助引导交通流。为减轻车辆尾气污染程度，可在行人和交通量都很大的路段和交叉口，以及公交车到达率高的站点建设空气净化装置。为交通噪声超标的建筑采取工程措施降噪，提高声环境质量。

城市交通噪声和交通空气污染虽然是整体交通流的作用结果，但单车单位里程排放污染物量和单车辐射噪声级强度也是重要影响因素。因此，通过车辆技术升级、燃油品质升级、清洁能源替代等车辆改造能一定程度减少交通流排放的污染物和辐射的噪声级强度，尤其是对高出行率的车辆（公交车、环卫车、出租车、私家车）。进一步淘汰排放量大的黄标车和扩大禁止单车辐射噪声强度大的摩托车通行区域。

与现有交通系统相比，绿色交通系统有其自身特殊属性，其中之一表现在运行时绿色交通系统是容错的交通系统。它虽然强调交通参与者需遵守交通规则，规范交通行为，但同时也允许交通参与者在一定程度上的违规。交通参与者由于身体条件、遵守规则的愿意程度、出行目的、情绪状态等因素，使其在出行过程中不能完全按照预定的交通规则进行。因此，绿色交通系统必须有一定的容错能力。当交通参与者违反了规则，例如行人强行过街、车辆因故障停在道路中央、车辆非法停车、信号灯损坏等，绿色交通系统能通过一定的缓冲技术手段保障交通参与者的交通安全并继续正常运行。例如在街区内交叉口和行人流量大的 CBD 地区考虑行人过街请求的感应控制方式、考虑行人强行过街安全的控制方式。

当交通参与者掌握更多的路网信息时，选择出行路径的行为会变得更加理性。为增加交通参与者获得的路网信息，佛山市应推进 ITS 建设。通过构建实时信息采集系统，利用互联网、手机短信、电子信息公告牌、公交停靠站集成的信息板、广播等渠道实时向大部分交通参与者发布路况信息，使其了解路网整体运行状况，合理安排出行路径。

4 结语

绿色交通系统建设不是一蹴而就的，是当城市经济水平发展到一定阶段提出的交通转型发展要求，是一项系统工程。传统交通系统向绿色交通系统转变表现在慢行方式、公共交通

方式和小汽车交通方式的博弈结果向均衡点移动。除具备传统交通系统可达性属性外，绿色交通系统还有其特殊属性，包括出行信息的可获取性、容错性、低污染性、低能耗性。佛山市在建设绿色交通系统过程中，应充分认识到交通与经济社会、交通与文化遗产等因素的关系，明确交通自身功能要求。在下一轮综合交通规划修编和新一轮的城市总体规划时，根据博弈均衡下的规划设计应对方法，确定规划目标，提出包括组团布局优化、片区土地利用进一步优化调整、促进公交和慢行交通发展、调控小汽车发展、推广新能源发展、智能交通系统建设等具体应对策略和途径；在人本原则下，提出符合绿色交通系统属性的交通管理控制和设计要求。

【参考文献】

- [1] 王珍珍. 城市绿色交通评价指标及方法研究[D]. 北京: 北京交通大学城市交通工程学科硕士学位论文, 2012.
- [2] 殷广涛, 黎晴. 绿色交通系统规划实践——以中新天津生态城为例[J]. 城市交通, 2009, 7(4): 58-65.
- [3] GB 50220-95. 城市道路交通规划设计规范[S].
- [4] 向睿. 交通能耗在城市绿色交通规划中的应用[D]. 四川: 西南交通大学系统工程学科博士学位论文, 2006.
- [5] 张润鹏, 周春山, 明立波. 紧凑城市与绿色交通体系构建[J]. 规划师, 2010, 9(26): 11-15.
- [6] 深圳市规划和国土资源委员会, 深圳市城市规划国土发展研究中心. 深圳市城市规划标准与准则[S]. 2013.

【作者简介】

吴志涛, 男, 硕士, 佛山市城市规划勘测设计研究院, 助理工程师。电子信箱:
abc_smile@126.com

屈龙, 男, 硕士, 佛山市城市规划勘测设计研究院, 助理工程师。电子信箱:
qulonghust@163.com