

基于网络分析法的快速公交系统方案选择

孙传姣¹, 周 伟¹, 王元庆¹, 宫俊涛²

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064;
2. 西安交通大学 管理学院, 陕西 西安 710049)

摘 要:为研究复杂因素影响下的快速公交系统方案选择问题,列出三种具有代表性的快速公交系统方案,运用网络分析法进行建模分析,模型考虑了经济因素、社会因素和其他因素3个方面11项指标。实例分析结果表明:网络分析有效集成了影响因素间的依赖、反馈关系,使得方案决策过程更加科学、客观。

关键词:交通运输管理;公共交通;快速公交系统;网络分析法

中图分类号:F503

文献标志码:A

文章编号:1671-6248(2008)01-0025-05

快速公交系统是利用改良型的公交车辆在分隔的公共交通专用道上运行,保持轨道交通特性且具备普通公交灵活性的一种公共交通方式,具有便利、快捷、舒适、低成本等特点。1937年美国的Harrington等率先提出了快速公交的理念。国外的许多研究者对快速公交系统的规划、实施案例进行了详细研究^[1-4]。国内学者对中国快速公交的发展战略、规划等情况进行了分析^[5-8]。

2005年北京开通了中国第一条快速公交示范线。目前,国内许多城市正在建设或者正在准备建设快速公交系统。已建的城市选择不同的快速公交系统方案,如北京采用封闭系统,中间专用道,车辆左开门。而昆明采用部分开放系统,中间专用道,车辆右开门。影响快速公交系统方案选择的因素是多方面的,如资源、资金、技术、政策等。这些因素有的可进行数量比较,但有的只能主观评价,并且因素间往往具有依存、反馈关系。如何将各方面的因素统一考虑并有效地提取决策信息是值得研究的问题。笔者引入网络分析法对快速公交系统方案选择研

究,通过对实际问题的建模分析,利用软件计算获得方案的优选效果,以期对决策提供帮助。

一、快速公交系统方案设计选择

快速公交的方案设计要点包括:路权、站台、公交车辆、售检票系统和ITS等方面。根据专用道、车站、系统配置等不同,快速公交系统可以有多种设计方案。不同城市应该根据各自不同的经济发展、社会需求、交通需求等特点,选择合适的快速公交系统方案。

(一)快速公交系统方案设计

快速公交系统按照路权分配可以分为混和行驶和公交专用道上行驶。在划出公交专用道的情况下,按照专用道位置可以分为中央车道与边侧车道。道路横断面位置方案的确定要考虑到公交车站的设置。公交车站有港湾车站、侧式站台、岛式站台等多种形式。对路权、专用道位置、车站形式进行合理的

收稿日期:2007-09-24

基金项目:霍英东优选资助项目(94025)

作者简介:孙传姣(1980-),女,山东烟台人,工学博士研究生。

组合,可以拟定多种备选方案。为了使研究具有代表性,笔者选择了三种代表性的快速公交系统进行研究。

高水平的快速公交系统为方案一,设置为封闭系统,即将道路中央的机动车道设置为快速公交专用道,快速公交专用道与其他车道之间设置护栏,在路段上设置中央岛式站台、车辆为左开门。按照快速公交的乘客流量和路段机动车流量,灵活考虑设置人行过街横道或者过街天桥。在交叉口根据相交道路交通特征,有条件地实施公交专用道信号优先。在站点设置电子售票系统,实现车站购票、检票进站。在站点和车上配置电子信息系统,方便乘客及时掌握出行信息。设置智能调度系统,实现可视化的、响应客流的实时调度。

中水平的快速公交系统为方案二,设置为封闭系统,即将道路中央的机动车道设置为快速公交专用道,快速公交专用道与其他车道之间设置护栏,路段上设置侧式站台、车辆为右开门。在站点设置电子售票系统,实现车站购票、检票进站。在站点和车上配置电子信息系统,方便乘客及时掌握出行信息。设置智能调度系统,实现可视化的、响应客流的实时调度。

低水平的快速公交系统为方案三,设置为开放系统,即在边侧车道中划出公交专用道,无物理隔离;侧式站台、车辆右开门;车上检票;无电子信息系统和智能调度系统。

为了更清楚地说明三种方案的技术特点,表 1 对这三种快速公交系统的技术特点进行了综合分析比较。由表 1 可以看出,方案一与方案二的特点是技术水平较高、投资费用较高、服务水平高。方案三的特点是工程量小,但实施效果不明显。单纯从技术特点分析,三个备选方案各有利弊,特别是方案一与方案二的差别不大,因此需要综合考虑各个方面的因素。

(二)快速公交方案的选择

快速公共交通系统方案选择的决策权在政府,但是建设过程涉及到政府、公交公司及乘客三方面。政府需要考虑方案的社会经济意义,如提供的交通服务、对土地开发、旅游和就业等的贡献以及资金投入等。公交公司需要考虑方案能否提供更好的服务质量,减少运营费用,提高运营速度,降低对现有线路的影响等。乘客关心方案能否减少公交出行时间,降低出行成本等。因此,在快速公交方案选择的时候需要考虑到建设的工程量、系统运行情况、线路

整合情况、社会影响等方面的因素,这些因素相互影响,相互之间存在联系,如工程量与资金投入直接相关,资金投入与财政补贴相关,工程量还与环境影响有关等。如果不考虑因素之间的联系性,可能无法准确评估方案的优劣。

表 1 备选方案的技术特点比较

方案	优点	缺点
方案一	中央专用道保障公交车辆快速、安全行驶,不受干扰;岛式站台占用空间少;车站购票、检票减少行车延误;服务水平显著提高	工程量大,费用较高;公交车与社会车辆在交叉口处冲突;原有公交线路的整合力度大;公交车辆左开门,无法停靠在一般线路上
方案二	边侧专用道可以保障公交车辆快速、安全行驶;车站购票、检票减少行车延误;为一侧的乘客提供方便	社会车辆无法停靠到非交叉口路段的旁侧
方案三	工程量小,造价低;实施难度小	效果不明显;与社会车辆和非机动车辆的交叉点较多;服务水平无明显提高

当然,在快速公交项目可行性研究报告中需要对不同的建设方案进行对比分析,但是方案对比侧重国民经济指标和财务指标的估算与衡量,缺少社会因素及各种因素之间相互关系的考虑。因此,综合考虑各方面因素及其相互关系,建立快速公交方案选择模型是非常必要的。

二、网络分析法建模方法

网络分析法 (Analytic Network Process, ANP) 是 Saaty 于 1996 年在层次分析法 (Analytic Hierarchical Process, AHP) 的基础上提出来的^[9-10]。网络分析法同层次分析法的基本思想是一样的,即依据准则对系统构成元素 (组) 进行两两比较,经综合处理后可以得出构成元素 (组) 的相对重要性及可选方案的优先权。

(一) ANP 与 AHP 的对比

在 AHP 中,元素之间是按照层级结构排列的,假设同层元素之间是相互独立的,元素之间不存在反馈关系。但是在现实的复杂问题决策中,这一假设有些不合理,因而也妨碍了 AHP 的应用。ANP 取消了这一假设,以一种扁平的、网络化的方式表示元素之间的相互关系,允许元素之间存在相互依赖和反馈关系,与现实决策问题更为接近,可以更好地解决决策问题。特别对于交通这种复杂系统,系统组

成之间存在相互影响,不同层次之间、同层元素有着错综复杂的关系,假设它们是相互独立的显然是不合适的。ANP 方法建立交通决策模型比 AHP 更符合实际情况。

(二) ANP 的建模方法

网络分析法分析问题的步骤主要包含四个基本的步骤:构建网络、建立无权重超矩阵、求极限超矩阵、方案排序。

1. 构建网络

对决策问题进行详细的描述,包括该决策问题的目标、准则以及子目标。基于目标、网络构建 ANP 网络。典型 ANP 网络由两部分构成:一部分是控制层或者称为目标、准则层;另一部分是网络层,网络层是依据控制层的准则建立的,并且反映了在相应目标、准则下网内的元素或元素组是如何相互影响的。

2. 构建无权重超矩阵

在每一控制准则下,构建无权重超矩阵,即应用两两比较方法对元素进行两两比较。在构建的过程中,首先将构建网络时选取的准则作为主准则,以该网络中某一元素组中的各元素作为次准则,按照元素组中各元素对元素的影响程度或按照元素对元素组中各元素的影响程度构造判断矩阵,并求得归一化特征向量。如此,依次各元素作为子准则,与其中其他元素进行两两比较,构造各自判断矩阵,最后将各判断矩阵的归一化特征向量汇总到一个矩阵中。如此,依次将各元素组元素之间的内外关系进行比较,最终可获得无权重超矩阵。

3. 求得极限超矩阵

依据给定准则对元素组进行成对比较,可以获得在某一准则下反映元素组间关系的权重矩阵,用权重矩阵乘以无权重超矩阵得到权重超矩阵。对权重超矩阵进行归一化处理,得到极限超矩阵。由于元素间存在依存与反馈关系,因而归一化的过程是一个反复迭代、趋稳的过程。

4. 方案排序

对每一控制准则的极限向量按照各准则权重加总,主要是对各可选方案的权重加总,再依据各可选方案的权重值排序。

例,应用 ANP 方法进行决策分析。西安市的路网结构是典型的方格网状,城墙内的车流量较大,只有几条贯通的主干道,支路较少。东西五路是仅次于东西大街的第二大东西方向走廊,该路段通过公交线路达 15 条以上,最大高峰小时客流量为 12 128 人次,该路段的主要道路断面形式路段为三块板形式,路幅宽在 40 m 以上,双向 6 车道,交通基础设施条件良好。

根据该路段交通状况、三种快速公交系统技术方案比较,通过各专家的建议与审核,建立影响因素 ANP 网络评价体系。笔者的评价体系从经济因素、工程因素和社会因素方面来进行综合评价。经济因素指标包括系统造价、商业效益、财政负担、票价的提升;技术工程因素指标包括工程量、对现有线路的影响、平均车速变化率;社会因素指标包括对环境的影响、平均车速变化率;社会因素指标包括对环境的影响、对土地价值的影响、民意倾向、对旅游的影响。根据上面 ANP 方法的步骤建模。

第一步,描述目标,建立网络。如图 1 所示。图 1 为在 ANP 方法的软件 Super Decision 中建立的公交系统的网络图,其中的双箭头表示两组之间有联系,而圆弧表示在同组的元素之间有联系。标有黑框的元素是指与凸显“平均速度变化率”有关系的元素。

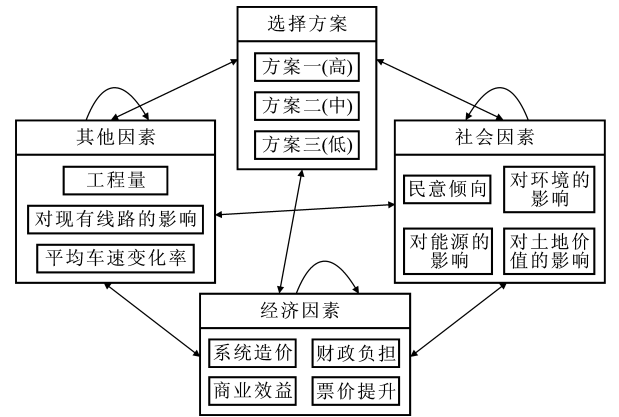


图 1 快速公交方案选择 ANP 网

第二步,确定两两比较方法,构建无权重超矩阵。所有具有相互关系的元素需要进行两两比较,原则是相对于准则两者的重要程度,用 1~9 之间的数字表示出来。表 2 给出方案一在经济因素之间的重要程度比较。

表 2 中第二行第二列的数值为 5,表示从经济因素角度考虑,对于方案一而言,票价提升比商业效益明显重要,由此说明了“方案一”更加关注票价的提升状况。

三、实例验证

笔者以西安市东西五路快速公交系统选择为实

表 2 经济因素与方案一准则下的判断矩阵

主准则:经济因素 次准则:方案一	商业效益	票价提升	系统造价	财政负担
商业效益	5	5	1/3	1/3
票价提升	1	3	1/4	1/5
系统造价	1/3	1	1/3	1/5
财政负担	4	3	1	1

按照上面的方法,依次可以构造多个判断矩阵。输入 Super Decision 软件中,得到无权重超矩阵,如

表 3 快速公交方案选择的无权重超矩阵

无权重超矩阵		项目选择			经济因素				社会因素				其他因素		
		方案一	方案二	方案三	商业效益	票价提升	系统造价	财政负担	对土地价值的影响	对旅游的影响	对环境的影响	民意倾向	对现有线路的影响	工程量	平均车速
项目选择	方案一	0.00	0.00	0.00	0.64	0.00	0.64	0.64	0.73	0.64	0.10	0.65	0.73	0.64	0.64
	方案二	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.26	0.26	0.08	0.26	0.26	0.22	0.20	0.26	0.26
	方案三	0.00	0.87	0.00	0.10	0.00	0.10	0.10	0.19	0.10	0.64	0.13	0.07	0.10	0.10
经济因素	商业效益	0.08	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	票价提升	0.05	0.17	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	系统造价	0.32	0.25	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
	财政负担	0.35	0.26	0.60	0.00	0.00	1.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
社会因素	对土地价值的影响	0.29	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.24	0.00	0.17
	对旅游的影响	0.06	0.22	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	1.00	0.00
	对环境的影响	0.36	0.35	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.70	0.00	0.00	0.00
	民意倾向	0.28	0.28	0.25	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.83
其他因素	对现有线路的影响	0.08	0.28	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.17	1.00
	工程量	0.62	0.14	0.33	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	平均车速	0.29	0.58	0.33	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.83	0.00

表 4 项目选择准则下的判断矩阵

准则:项目选择	经济因素	社会因素	其他因素
经济因素	1	1/7	3
社会因素	7	1	1/3
其他因素	1/3	3	1

依据各准则进行元素组之间的比较,将获得的判断矩阵归一化,合并后再与无权重矩阵相乘,即可获得权重超矩阵。在 ANP 方法中引入了反馈、相互依赖关系使得元素优先权的确定过程变得复杂,两个元素既需要进行直接比较,也需要进行间接比较,这个过程通过超矩阵的迭代反映出来,即极限超矩阵。极限超矩阵的各列数值相同,这是因为该 ANP 网络是一个具有外部反馈、且带有内部依赖关系的网络^[11]。

第四步,极限相对优先权的综合,可选方案排序。对 0.172 9、0.066 8、0.034 5 进行归一化处理,

表 3 所示。

第三步,构建权重超矩阵,求得极限超矩阵。在获得无权重超矩阵后对各元素组进行组间两两比较。表 4 为以项目选择为准则,按照 1~9 标度比较后各元素组形成的判断矩阵。表 4 中,第三行第二列的数值为 7,这表明对于项目选择而言,社会因素比经济因素更加重要。因为快速公交系统的主要效益体现为社会提供公共服务,社会效益要高于其经济效益。

得到图 2 的不同方案的决策优先权。由图 2 可以看出,方案一的优先权重最高为 0.631,而方案三的优先权重最低为 0.126。

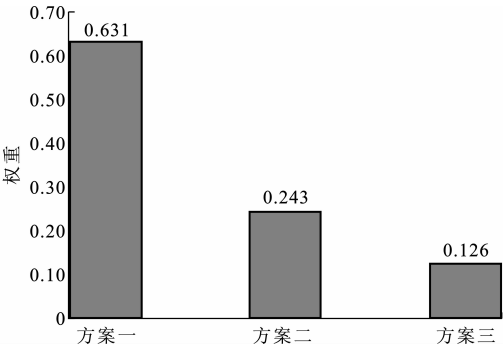


图 2 决策选择

建设高水平的快速公交系统,配合正在建设的西安地铁项目,将有助于改善西安的交通环境,提升城市形象,增加城市影响力,同时不会给财政带来较

大的负担。因此,方案选择的结果是需要建设高水平的快速公交系统以满足当前的需求。

四、结 语

快速公交系统的决策选择是一个需要考虑多方面因素的问题,由于因素中很多指标之间具有相互关联性,采用一般方法很难提取足够的信息。笔者采用 ANP 对快速公交系统方案选择进行建模分析,考虑系统内部因素的相互依赖和反馈关系,给出优化的决策方案,为科学决策提供了方便。在笔者中,笔者只给出三种代表性的快速公交系统方案,在今后的研究中可以考虑进行更多方案比选,选取最优的决策方案。

参考文献:

[1] Levinson, Herbert S, Samuel Z, et al. Bus rapid transit: An overview[J]. Journal of Public Transportation, 2002, 5(2) :35-48.

[2] National Research Council. Bus rapid transit: Case studies in bus rapid transit[R]. Washington D C: Transportation Research Board, 2003.

[3] Diaz R B, Schneck D C. Bus rapid transit technology in the American: An overview[R]. Washington D C: Transportation Research Record, 2003.

[4] Steven Chien, Zhaoqiong Qin. Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility[J]. Transportation Planning and Technology, 2004, 27(3) :211-227.

[5] 王显明, 姚洪伟. 巴西库里蒂巴市的城市公共交通[J]. 城市公共交通, 1999, 11(2) :33-34.

[6] 何 磊. 快速公共交通引导城市走健康之路[J]. 城市规划, 2002, 26(3) :83-86.

[7] 陈雪明. 巴士快速交通和中国公交优先策略[J]. 城市交通, 2003, 27(10) :28-33.

[8] 杨 敏, 陈学武, 王 炜. 我国发展巴士快速公交系统 (BRT) 问题初探[J]. 现代城市研究, 2003, 18(6) :41-44.

[9] Saaty T L. Decision making with dependence and feedback[M]. Pittsburgh: RWS Publication, 1996.

[10] Saaty T L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 45(1) :85-91.

[11] 王莲芬. 网络分析法 (ANP) 的理论与算法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(3) :44-50.

Alternatives for bus rapid transit from analytic network process

SUN Chuan-jiao¹, ZHOU Wei¹, WANG Yuan-qing¹, GONG Jun-tao²

- (1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;
2. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi, China)

Abstract: In order to study the alternatives for bus rapid transit (BRT) system under the influence of complex factors, three representative bus rapid transit alternatives are presented. The method of analytic network analysis is applied to model the choice process. The model consideres three aspects, including economic factors, social factors and other 11 specific indexes. Example results show that analytic network analysis can integrate the dependence and feedback relationship among factors, which makes the decision-making process more scientific and objective.

Key words: transportation management; transit; BRT; analytic network process