

城市快速路建设时机的决策模型与准则

袁胜强¹, 曾小清², 张伟略¹, 盖松雪²

(1. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200092; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 提出了城市快速路建设时机包括首条快速路建设启动时机和快速路网建设时序安排两方面, 指出城市快速路建设时机存在缺少科学决策依据的问题. 在总结国内典型城市快速路建设时机安排经验的基础上, 分析了城市首条快速路建设启动时机的影响因素, 提出了基于经济总量、人口规模、城市面积、机动车保有量等指标的启动时机因素模型和相应决策准则; 分析了快速路网建设时序安排的影响因素, 将各影响因素标度量化后, 建立了基于土地开发(更新)、功能影响、交通需求、工程实施条件、建设资金等指标的快速路网建设时序迫切度模型, 并提出相应决策准则. 最后, 以嘉兴市为例说明模型和相应决策准则的应用.

关键词: 快速路建设; 启动时机; 因素模型; 建设时序; 迫切度模型

中图分类号: U412.37

文献标志码: A

Decision Model and Criteria of Urban Expressway Construction Timing

YUAN Shengqiang¹, ZENG Xiaoqing², ZHANG Weilue¹, GAI Songxue²

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China; 2. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Two elements of urban expressway construction timing, which were the timing of startup of expressway and the construction sequence of expressway network were put forward. The dilemma that current urban expressway construction was lack of scientific decision-making basis was pointed out. The experience of urban expressway construction arrangement in typical domestic cities were summarized. Then, the factors affecting the timing of expressway construction startup were analyzed, and a factor model which based on gross domestic product, population scale, urban area, vehicle ownership *et al* was proposed with corresponding decision criteria. Then, the influencing factors

of the construction sequence of the expressway network were also analyzed. Following the quantitation of influencing factors, an urgency model which based on land development (renewal) index, expressway functional impact index, traffic demand index, implementation condition index and construction capital index was proposed with corresponding decision criteria. In the end of the paper, Jiaxing expressway network was taken as an example to explain the models and corresponding decision criteria.

Key words: urban expressway construction; startup timing; factors model; construction sequence; urgency model

城市快速路作为城市路网系统的骨架, 是引导城市空间结构拓展和影响出行方式转变的关键. 快速路投资大, 超前或滞后的规划建设或是建设时序未能合理安排往往给城市的发展带来不利影响. 如果在出现严重交通拥堵后被迫修建快速路, 不仅不能充分发挥快速路对城市发展的引导和促进作用, 而且建设投资更大, 建设周期加长. 如果过度超前建设快速路, 会造成建设资金的浪费, 过早占用城市资源.

城市快速路的建设时机主要包括首条快速路的启动时机和快速路网建设时序安排两方面. 现行《城市道路交通规划设计规范: GB50220—1995》规定规划人口在 200 万以上的城市和长度超过 30km 的带形城市应设置快速路, 但没有提出快速路的建设时机的规定. 我国目前共有 4 个直辖市和 283 个地级市, 其中已有约 250 个城市人口规模在 200 万人以上^[1]. 然而不同的城市有不同的地理条件、城市发展格局、经济发展状况, 不能单独以人口规模作为建设快速路的先决条件.

目前尚无专门针对首条快速路的启动时机的研究, 欧心泉等^[2]对城市快速路建设的先决条件进行

收稿日期: 2018-10-11

基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划(17DZ1204000)

第一作者: 袁胜强(1971—), 男, 高级工程师(教授级), 管理学博士, 主要研究方向为道路交通设计、交通枢纽规划与设计、智能交通、BIM 技术研发等. E-mail: yuan_sq@163.com

了定性分析,但未能形成量化模型,理论指导意义不足。相关领域中,高咏玲^[3]利用实物期权模型对城市轨道交通建设时机进行了研究,该方法以轨道交通项目的经营价值和外部价值最大化为目标函数,采用 OptQuest 的分散搜索算法,智能有效地寻找项目的最佳建设时机;朱建宁^[4]采用差额评价指标法对高速公路建设时机进行了研究,基于不同时期建设方案的建设养护成本和运营收入折现后对比,判断不同启动时机方案优劣。不同于地铁、高速公路,城市快速路并没有直接的运营收入,其建设所带来的广义社会收入在不同计算口径下得出结论均不同,同时分散搜索算法计算过程复杂且所需参数较多,在工程实践中,受各种条件限制,难以准确获取全部参数取值,反而影响了模型预测的准确性。路网建设时序安排方面,Lavorlano 等^[5]采用项目安全、环境影响、区域发展影响等 12 项指标由决策者赋权后计算各项目综合得分,得出相应排序;董春娇等^[6]选取设施水平、区位条件两大类指标中若干项子指标,经专家打分法确定指标权重后,采用交通区位-节点重要度法计算项目得分,对建设项目排序。

目前,在国内大城市快速路的规划和建设实践中,快速路建设时机的决策往往由政府的主要领导主观判断,缺少多角度的深入细致的定量和定性的分析,不少大城市的快速路的建设启动时机和时序安排存在较大问题。1987 年以来,我国已有数 10 个城市陆续建设了快速路系统,其中工程建设时机的相关经验可作为建立快速路建设时机数学模型的基础。

1 国内典型城市快速路建设历程概述

自 20 世纪 90 年代,随着经济的快速发展,为满足城市空间不断拓展、城市更新的需要及个体机动化出行的急剧增加的需要,我国城市快速路建设进入集中规划、建设时期。北京、上海等人口超过 1 000 万的超大城市率先在 90 年代初期开展了城市快速路的建设工作;2000 年前后,天津、杭州、成都、南京等人口超过 500 万的特大城市的快速路规划和建设得到空前重视和优先发展。目前超大城市基本形成完善的快速路系统,特大城市已逐步形成快速路系统,而大量的人口超过 200 万的大城市也已开始构建快速路系统。

国内城市快速路网建设一般都经历了“先环后射”的过程。最初城市建设快速环路是为了保护中心

城区,分离过境交通。随着城市规模的扩大,中心区人口逐渐向外围疏散,职住分离导致产生明显的向心性交通,因此催生了射线状骨架道路的建设。典型城市的快速路建设历程梳理如下:

(1) 北京市快速路(超大城市)。北京市的二环快速路是国内第一条城市快速环路,于 1992 年通车,是北京市的内环路及保护老城区以及城市核心区的屏障,随后三环、四环、五环快速路相继建成。2000 年后,北京市加强了快速联络线和放射线的建设,德外大街、学院路、阜石路高架路、德贤路等 10 余条快速路相继建成。

(2) 上海市快速路(超大城市)。内环线是上海首条快速路,浦西段于 1994 年建成,20 世纪 90 年代末期提出了“三环十射”快速路网系统的规划,并随之完成了外环线、中环线的建设。“十射”的建设起步晚于环路,从 1999 年开始,陆续完成了延安高架路、南北高架路等 10 余条快速路的建设。

(3) 苏州市快速路(特大城市)。苏州市中心城区绕城高速规划形成“井+环”快速路网。内环快速路最早开建,于 2007 年全线完工,随后中环快速路于 2015 建成。快速路射线在 2007 年后陆续建成,逐步完成“井字形”布局。

(4) 武汉市快速路(特大城市)。武汉首条快速路三环线于 2011 年贯通,2015 年二环路建成。期间有金桥大道、姑嫂树路、长丰大道、国博大道等放射线建成,总体形成“两环多射”的快速路网布局。

(5) 无锡市快速路(大城市)。无锡市规划有“两环十射两联”快速路网,内环线于 2008 年建成。随后机场路高架、太湖大道东延伸高架等相继建设,形成了“一环多射”的快速路网布局。

(6) 昆山市快速路(大城市)。昆山市规划有“两环一横九放射”快速路网,首条中环快速路于 2015 年通车。外环快速路、G312 快速路射线相继于 2017 年开工。

2 首条快速路启动时机

2.1 首条快速路启动时机的影响因素

快速路建设启动时机主要由城市建设资金供应和城市交通需求两方面决定,并受交通拥堵发展趋势等因素影响。其中,城市建设资金的供应主要由经济发展水平决定。根据 1987—2016 年 30 年间国内快速路建设工程实践经验及既有研究成果,得到部分城市首条快速路建成时相关因素分析表(表 1)。

(1) 经济发展水平. 快速路的建设和运营需要大量的资金支持, 以双向 6 车道的快速路建设成本为例: 地面形式为 $0.8 \sim 1.2$ 亿元 $\cdot \text{km}^{-1}$ 、高架形式为 $2.0 \sim 2.5$ 亿元 $\cdot \text{km}^{-1}$ 、地道形式为 $4.0 \sim 5.0$ 亿元 $\cdot \text{km}^{-1}$, 加上征地拆迁等成本, 平均造价甚至高达 $3 \sim 8$ 亿元 $\cdot \text{km}^{-1}$, 需要城市具备较强的经济实力. 联合国开发计划署研究认为: 发展中国家城市市政公用基础设施投资占 GDP 的 $3\% \sim 5\%$. 研究表明: 包括快速路在内的交通设施的投资约占城市市政公用基础设施的 $16\% \sim 20\%$ ^[7], 快速路网投资占交通设施的 $20\% \sim 50\%$, 则快速路网投资占城市 GDP 的 $0.12\% \sim 0.50\%$.

分析表 1, 以样本城市中位数为参照, 超大城市、

特大城市、大城市 GDP 总量分别达到 1 000 亿、2 000 亿、3 000 亿时启动首条快速路比较合适.

(2) 城市交通需求. 城市道路交通需求可以用机动化交通总出行量乘以出行距离来衡量, 主要由机动车保有量、城市布局与土地利用、区域一体化程度等因素决定. 总结国内外快速路建设历程, 快速路在机动化水平达到每千人 100 辆时开始建设, 达每千人 200 辆后全面展开建设, 而达到每千人 500 辆后则逐渐进入成熟稳定期^[2]. 分析国内城市首条快速路建成时的机动车保有量, 北京、上海、广州等超大城市均值为每千人 35 辆, 天津、武汉、杭州、大连等特大城市均值为每千人 140 辆, 常熟、昆山等大城市均值为每千人 217 辆(表 1).

表 1 国内部分城市首条快速道路建成时间相关影响因素分析

Tab.1 Analysis of factors affecting the startup of expressway construction timing in some domestic cities

城市类别	城市	城市总人口/万人	首条建成年代	当年 GDP/亿元	当年机动车保有量/万辆		主城区		启动因数
					总数	汽车	面积/ km^2	人口/万人	
超大	广州	736	1987	185.41	24.21	8.89	214	219	1.33
	北京	1 045	1992	709.10	47.32	34.10	87	243	1.03
	上海	1 299	1994	1 971.92	35.15	27.02	280	640	1.56
特大	济南	554	1998	821.16	40.21	9.63	240	123	1.44
	深圳	405	1999	1 436.51	30.90	25.40	327	190	1.78
	南京	537	1999	899.42	24.99	9.72	199	193	1.35
	青岛	716	2002	1 518.17	81.43	20.94	193	120	1.38
	西安	717	2003	941.60	43.44	24.26	243	243	1.52
	天津	1 024	2004	2 931.88	96.63	62.18	177	384	1.42
	杭州	652	2004	2 515.00	96.50	41.08	137	96	1.28
	苏州	624	2007	5 700.85	167.22	69.79	177	235	1.49
	大连	614	2009	4 349.51	74.41	58.37	98	131	1.17
	武汉	827	2011	6 762.20	119.06	95.41	339	340	1.91
	宁波	576	2011	6 059.24	173.82	106.46	271	81	1.80
	郑州	903	2012	5 549.80	206.67	150.37	294	266	1.85
大	厦门	220	2004	883.23	31.48	11.91	135	360	1.26
	无锡	462	2007	3 858.54	110.36	43.23	71	77	1.03
	常州	441	2008	2 202.23	82.08	29.06	92	105	1.11
	常熟	151	2014	2 009.36	37.76	31.34	98	151	1.23
	昆山	165	2015	3 080.00	44.03	41.94	78	165	1.15

注: 本表数据来源为表各城市当年统计年鉴.

随着城市发展, 绝大多数城市选择优先向外拓展城市空间, 同时对老城区空间及功能布局实施有机更新和调整, 城市发展并不追求密集型布局, 更倾向分散组团式方向发展. 通过快速路网系统, 缩短城市各个组团之间的时间距离, 使城市的概念在时空上得到统一. 非机动化的出行一般在 $3 \sim 5$ km 范围内, 对应的出行覆盖面积约 $30 \sim 80$ km^2 , 小汽车出行一般在 5 km 以上, 主城区空间尺度大于 80 km^2 时应该启动快速路的建设.

城市群、城市圈的发展使城市间的出行需求愈加紧密, 而城际高速公路、高速铁路及航空运输系统

的出现极大地改变了城市间交通出行的特征. 修建与城市间快捷出行配套的城市快速路、提高城区内部的出行效率, 已成为区域中心城市推动区域一体发展的必然选择. 总结各大城市的发展经验, 城市快速路大多紧随城际高速公路的通车而启动, 超大城市的时间差通常为 $1 \sim 2$ 年, 特大城市通常为 $3 \sim 5$ 年, 大城市大多为 10 年以内^[2].

(3) 交通拥堵发展趋势. 城市交通拥堵状况随着城市的建设与机动化的发展处于不断变化之中. 近年来, 随着大数据技术的发展, 通过对道路用户手机导航数据的大样本采集^[8], 分析自由流条件下与

高峰小时下路网平均运行速度的比值,判断城市路网拥堵状况,并可以季度或年度为周期,判断其未来变化与发展趋势。

通常,如高峰时段运行速度逐渐变慢,说明拥堵情况在加剧,快速路建设进程应加快;反之,则可按原定计划实施。

2.2 首条快速路启动时机模型

基于国内各城市首条快速路建成时的系列关键因素指标构建模型,具体思路为:以经验城市相关指标作为分母,目标城市指标作为分子,根据不同指标的影响程度取不同指数计算后相乘得出启动时机因数值,并将区域一体化程度和城市交通拥堵发展趋势作为修正参数。具体应用中,可根据实际情况对参数进行标定计算,最终得出快速路建设启动时机因素模型,如式(1):

$$Q = \left(\frac{M}{3.0}\right)^{0.005} \cdot \left(\frac{P}{200}\right)^{0.008} \cdot \alpha^{0.07} \cdot \left(\frac{A}{80}\right)^{0.3} \cdot \left(\frac{D}{6.5}\right)^{0.15} \cdot \beta \cdot \xi \quad (1)$$

式中: Q 为快速路建设启动时机因数; M 为城市GDP总量,千亿元; P 为主城区人口数量,万人; α 为

机动车保有量指数, $\alpha = \begin{cases} \frac{N}{100} (N \leq 150) \\ 1.5 (N > 150) \end{cases}$, N 为千人机

动车保有量; A 为主城区面积, km^2 ; D 为主城区内机动车平均出行距离, km ; β 为区域一体化程度指数, $\beta=1.1$ 表示已形成城市圈且建立高速公路联系, $\beta=1.0$ 表示已与周边主要城市建立高速公路联系, $\beta=0.9$ 表示尚未与周边城市建立高速公路联系; ξ 为交通拥堵发展趋势修正系数(见表2)。

表2 ξ 值取值

Tab.2 Value of ξ

运行速度年均下降率/%	ξ	运行速度年均下降率/%	ξ
<1	1.00	3~5	1.07
1~3	1.03	>5	1.10

快速路建设启动时机因数模型充分考虑了快速路建设启动时机的关键影响因素,易于理解,所涉及的各项参数易于取得,与既有城市的建设经验相吻合,利于相关人员进行决策。因此,在实际的工程研究中具有较高的实用价值。

2.3 首条快速路启动时机的决策准则

城市首条快速路建设可分为快速路网规划、工程设计、工程施工几个阶段,每个阶段需耗时1~3年,对表1中20个城市的 Q 值采用SPSS软件系统聚类分析后,将 Q 值分为5类,其中中间3类涵盖了

70%的城市(表3),该区间 Q 值为1.1~1.6,判断该取值区间为启动首条快速路建设的合理区间。

表3 Q 值聚类分析表

Tab.3 Cluster analysis table of Q

聚类编号	聚类中心	对应城市数量
1	1.03	2
2	1.31	6
3	1.14	3
4	1.49	5
5	1.84	4

Q 值大于1.6的城市中,以宁波为例,其首条快速路即机场快速路于2011年建成,并逐步建设了北环快速路、环城南路、东外环路等快速路,经后评估,至2017年,在城市人口与机动车保有量大幅增长的情况下,实现了骨干路网高峰时段平均饱和度由0.95降至0.78、平均运行车速由 $31.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 提升至 $38.7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,快速路网全面推进后显著改善了城市拥堵状况^[9],说明其快速路建设已经滞后,因此仅开展一条快速路的建设已不能满足需求,应全面推进快速路网建设。

Q 值小于1.1的城市中,以北京为例,其首条快速路即二环快速路规划始于20世纪50年代,在80年代即完成了北半环的建设,且长安街因其特定功能在当时亟需建设分流道路^[10],多重特殊因素影响下,二环快速路的建成年份偏早。对于一般城市,在 Q 小于1.1的情况下,可先期开展工程建设的前期规划、设计工作,待时机成熟即可上马。

综上,利用 Q 值决策准则为:① $0.6 \leq Q < 0.8$,进行快速路网的规划;② $0.8 \leq Q < 1.1$,进行首条快速路的设计;③ $1.1 \leq Q < 1.6$,进行首条快速路的建设;④ $Q \geq 1.6$,全面推进快速路网的建设。

3 快速路网建设时序安排

3.1 快速路网建设时序安排的影响因素

快速路网建设时序的影响因素主要包括土地开发(更新)指标、功能影响、交通需求、工程实施条件、建设资金等。

(1) 土地开发(更新)指标。城市空间结构发展有3种基本模式:旧城改造、摊大饼、造新城,3种开发模式均离不开便捷、高效的交通系统作为支撑。土地开发(更新)指标可以从土地开发(更新)时序优先级、土地开发(更新)完成率、产业及人口导入率3方面来衡量。决策准则:快速路网的建设时序应和城市土地开发(更新)指标相匹配,快速路建设时序安排

应支持城市空间布局的拓展和调整。

(2) 功能影响. 快速路功能影响通常包括: 形成中心城交通保护壳、疏解过境交通、缓解市区道路交通压力, 串联沿线组团、实现外围组团间及其与中心城间快速联系, 连接主要交通枢纽、承担枢纽集疏运体系等功能. 决策准则: 优先建设承担功能重要度高、串联组团多、显著缓解城市交通压力的快速路。

(3) 交通需求. 交通需求是反映快速路建设紧迫性的最直接的因素. 快速路沿线现状及未来的人口和岗位分布决定了沿线的交通发生量和吸引力, 而快速路吸引的交通量的大小直接影响快速路建设时序安排. 决策准则: 优先建设交通流量大、人口岗位分布密集区段的快速路。

(4) 工程实施条件. 不同的工程实施条件直接关系到快速路项目实施的难易程度, 由 3 个子指标组成: 征地拆迁、社会影响、施工技术难度. 近期实施的快速路必须具备可实施条件, 给后续实施的快速路也不增加实施难度, 同时还要考虑同期实施快速路之间的相互影响, 考虑相关的配套道路工程. 决策准则: 优先建设具备实施条件的快速路工程。

(5) 建设资金. 快速路网的建设是一项长期的工程, 需要有充足的资金不断投入, 才能保证建设有序进行, 避免出现建设资金不足的快速路仓促开工建设. 国内外快速路建设资金模式有多种, 主要有政府财政直接投入、国有融资平台、民间投资、PPP(公私合营)、BT(建设-移交)等. 决策准则: 优先安排建设资金能落实的快速路实施。

3.2 快速路网建设时序安排模型

城市快速路网的完全形成, 随着城市空间拓展需求变化, 一般需要经历较长的建设周期, 如时序安排缺少科学性, 容易带来不必要的交通拥堵以及道路功能重复等问题。

依据快速路建设的关键影响因素指标构建快速路建设时序迫切度模型, 具体思路为: 分析快速路建设的影响因素指标, 量化拟建设每条快速路的迫切度, 然后分别计算拟建序列快速路的迫切度, 并对结果进行聚类分析, 得到快速路建设时序结果. 快速路网建设时序的影响因素指标的度量标准或计量单位不一致, 在进行多目标决策分析前, 应对决策指标值与指标间关系进行量化. 最常用的规范化方法包括极差变换法、向量规划法、线性变换等^[11]. 根据指标特点, 量化思路如下: 步骤 1, 对于定量指标, 经计算, 参照指标分类的准则转化为定性指标, 如果是定性指标直接进入下一步; 步骤 2, 将定性指标转化为区

间尺度指标; 步骤 3, 将区间尺度指标进行标准化处理; 步骤 4, 快速路建设时序迫切度计算; 步骤 5, 快速路建设时序排序. 具体论述如下:

步骤 1: 交通需求指标和建设资金指标为定量指标, 其中交通需求属于效益型指标, 转化为定性指标可参照表 4; 建设资金属于成本型指标, 转化为定性指标可参照表 5, 分类的具体数值可根据实际情况进行调整; 土地开发(更新)时序指标、功能影响指标分别采用对应 3 个子指标的加权值(表 6、表 7), 属于效益型指标; 工程实施条件指标直接采用 3 个子指标的加权值(表 8), 属于成本型指标. 采用式(2)可分别计算出土地开发(更新)时序指标、功能影响指标、工程实施条件指标的得分, 式(2)中 R 为指标取值, r 为对应子指标取值, γ 为对应子指标权重, k 为对应子指标数量。

$$R = \sum_{k=1}^3 \gamma_k \cdot r_k \quad (2)$$

表 4 交通需求指标定性化转换

Tab. 4 Qualitative transformation table of traffic demand index

交通流量/ (pcu · h ⁻¹)	定性化转换 指标	交通流量/ (pcu · h ⁻¹)	定性化转换 指标
2 000	很低	8 000	高
4 000	低	10 000	很高
6 000	适中		

表 5 建设资金指标定性化转换

Tab. 5 Qualitative transformation table of construction capital index

建设资金/ 亿元	定性化转换 指标	建设资金/ 亿元	定性化转换 指标
20	很小	80	大
40	小	100	很大
60	适中		

表 6 土地开发(更新)时序指标定性化转换

Tab. 6 Qualitative transformation table of land development (renewal) time series index

土地开发 (更新)优先级	定性 指标	土地开发 (更新)完成率/%	定性 指标	产业及人口 导入率/%	定性 指标
1 级	很高	80	很高	70	很高
2 级	高	60	高	50	高
3 级	适中	40	适中	30	适中
4 级	低	20	低	10	低
5 级	很低	10	很低	5	很低

表 7 快速路功能影响指标取值

Tab. 7 Value table of expressway functional impact index

快速路功能影响指标	定性化取值
中心城影响程度	很大、大、适中、小、很小
沿线组团影响程度	很大、大、适中、小、很小
交通枢纽影响程度	很大、大、适中、小、很小

表8 工程实施条件影响指标取值

Tab.8 Value table of project implementation conditions index

工程实施条件影响指标	定性化取值
征地拆迁	很大、大、适中、小、很小
社会影响	很大、大、适中、小、很小
施工技术难度	很大、大、适中、小、很小

步骤2:将定性指标转化为区间尺度指标,可采用 Bipolar 尺度,具有 10 格的刻度,使用范围是 0~10,采用双极标度的方法可以同时表示成本型和效益型指标(表 9)。

表9 Bipolar 标度模糊语言定量化转换

Tab.9 Quantitative transformation table of Bipolar scale fuzzy language

效益型指标		成本型指标	
定性取值	定量化转换值	定性取值	定量化转换值
很高(大)	9	很高(大)	1
高(大)	7	高(大)	3
适中	5	适中	5
低(小)	3	低(小)	7
很低(小)	1	很低(小)	9

步骤3:采用式(3)将效益型与成本型的区间尺度指标进行标准化处理,式中 S_{ij} 表示第 i 条快速路关于第 j 个指标值, m 为快速路总条数, S_{ij}^* 为标准化后指标值,满足 $0 \leq S_{ij}^* \leq 1$ 。

$$S_{ij}^* = S_{ij} \cdot \max(S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{mj})^{-1} \quad (3)$$

步骤4:利用式(4)可以计算每条快速路建设时序迫切度指标,式(4)中 I_i 为区域内第 i 条快速路建设时序迫切度, γ_j 为第 j 个指标权重, n 为指标数量。指标赋权常用方法包括用专家咨询法、层次分析法等主观赋权法和变异系数法、相关系数法、熵值法等客观赋权方法。根据以往工程经验,由于城市交通系统构成元素复杂、影响因素众多,采用客观赋权方法所需大量参数难以获取和量化,因此,邀请深入了解城市情况的专家对难于直接计算的指标权重进行主观赋权,往往更为准确、高效,因此采用专家咨询法或层次分析法等对各指标赋权。

$$I_i = \sum_{j=1}^n \gamma_j \cdot S_{ij}^* \quad (4)$$

步骤5:一条快速路可以由若干不同的路段所组成,一条快速路建设时序迫切度指标为若干不同路段加权平均之和。决策者可根据 I_i 的大小将所有快速路项目进行排序,确定快速路建设项目集合。利用迫切度值决策准则是: $0.9 \leq I < 1.0$, 非常迫切建设项目; $0.8 \leq I < 0.9$, 迫切建设项目; $I < 0.8$, 一般建

设项目。可将建设项目分为:非常迫切建设项目集合、迫切建设项目集合和一般建设项目集合,科学合理地指导实际建设。

4 案例实践

嘉兴市位于长江三角洲杭嘉湖平原的腹心地带,是沪杭发展轴上的桥头堡。2016年,嘉兴市GDP总量3 760.12亿元,中心城区面积与人口分别为257.29 km²、120万人^[12],机动车保有量145万辆^[13],主城区内机动车平均出行距离8.7 km^[14],嘉兴境内已建成多条高速公路,区域一体化程度较高^[12-13]。将以上数据代入式(1)计算,嘉兴市快速路建设启动时机因数 $Q=1.82$,根据相应决策准则,应全面推进快速路网的建设,目前嘉兴市正全力推进全市快速路网建设工作,计划于2021年全部工程完工,与计算结果相符(详见表10)。

嘉兴市快速路网由“一环七射”组成,其中“一环”由中环北路、中环西路、长水路、三环东路组成;“七射”由城东路、城北路、东升路、桐乡大道、南湖大道、三环东路(延伸线)、广益路组成(图1)。其中,环线快速路交通需求量超10 000 pcu·h⁻¹,起到疏解过境交通、缓解市区拥堵等多重功能,周边用地开发强度较高,但建设成本较高,下穿现状铁路段施工难度较大,并涉及规划永久农田调整问题。7条射线中,三环东路(延伸线)、桐乡大道分别衔接高铁站与新机场这2个重要交通枢纽,预测流量超8 500 pcu·h⁻¹,工程建设成本相对较低,但该段周围民宅密集,社会影响较大;广益路是嘉兴市与上海及平湖对接的重要道路,南湖大道为嘉兴市门户性道路,衔接中心城区,与高速公路及外围组团,预测流量8 000 pcu·h⁻¹,建设条件较好,周边开发强度一般;城北路、城东路、东升路预测流量7 500 pcu·h⁻¹,联系外围组团与中心城,建设条件较好,周边地块开发强度相对较低。将各项指标利用前文所述方法量化并标准化处理后,利用式(4)计算快速路环线及7条射线的建设时序迫切度分别为:0.96、0.94、0.95、0.84、0.83、0.78、0.73、0.74。根据决策准则,快速环路、三环东路(延伸段)、桐乡大道为非常迫切项目,拟作为一期工程尽快实施;广益路、南湖大道为迫切项目,拟纳入二期工程,后续实施;城北路、城东路、东升路为一般项目,纳入储备项目,择机实施(详见表11);与目前嘉兴市快速路网建设计划相符。

表 10 嘉兴市快速路启动因数计算

Tab.10 Calculation table of startup factor model of Jiaxing expressway

年份	城市总人口/ 万人	当年 GDP/ 亿元	汽车保有量/ 万辆	主城区		启动因数	相应决策
				面积/km ²	人口/万人		
2016	352.12	3 760.00	105.27	257.29	120	1.82	全面推进快速路网建设

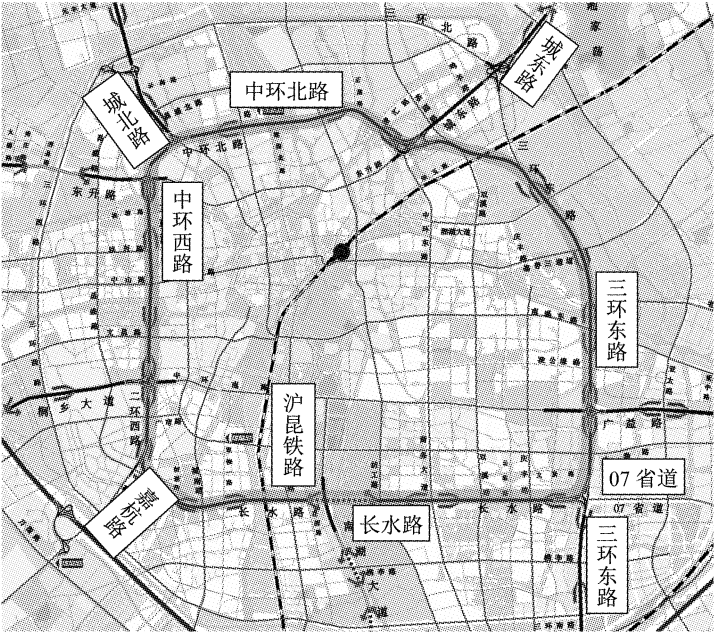


图 1 嘉兴市城市快速路网规划^[14]

Fig.1 Urban expressway network planning of Jiaxing^[14]

表 11 嘉兴市快速路建设迫切度计算

Tab.11 Calculation table of urgency model of Jiaxing expressway

快速路网 单元	交通需求/ (pcu · h ⁻¹)	周边土地开发	工程实施条件	功能影响	迫切度	相应决策
快速环路	>10 000	中心城区, 优先级高	下穿铁路, 临近民宅	疏解过境交通、缓解 拥堵	0.96	非常迫切, 亟待实施
三环东路(延伸 段)、桐乡大道	8 500	衔接重要枢纽, 优先 发展区域	临近民宅	连接中心城与主要枢 纽、外围组团	0.94、0.95	非常迫切, 亟待实施
广益路、南湖大道	8 000	重点发展区域	临近民宅	连接中心城与外围组 团、高速公路	0.84、0.83	迫切, 作为二期工程
城北路、城东路、东 升路	7 500	城北边缘, 优先级 稍差	较好	连接中心城与外围 组团	0.78、0.73、0.74	一般, 作为储备工程

5 结语

在城市发展过程中, 如何把握恰当的时机、选择合适的时间窗口推动快速路建设对于支撑城市发展有着重要的意义. 通过对已往 30 年间国内典型城市快速路建设的经验进行梳理, 从城市建设资金的供应和城市交通需求两方面出发, 归纳出快速路建设启动时的主要影响因素, 提出了简单可行的快速路建设启动时机因素模型和决策准则; 另外, 从城市土地开发(更新)指标、功能影响、交通需求、工程实施条件、建设资金 5 个方面入手, 提出了对于城市快

速路网的建设时序迫切度模型和决策准则. 最后, 以嘉兴市快速路为案例进行验证, 证明所提方法可靠、有效, 可为快速路建设决策提供参考.

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家统计局. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. City statistics yearbooks [M]. Beijing: China Statistical Press, 2016.

[2] 欧心泉, 周乐, 戴继锋, 等. 城市快速路建设先决条件分析[J]. 城市交通, 2012, 10(1): 32.
OU Xinquan, ZHOU Le, DAI Jifeng, et al. Urban expressway

- development analysis [J]. Urban Transportation of China, 2012, 10(1):32.
- [3] 高咏玲. 城市轨道交通建设时机理论与方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- GAO Yongling. Theory and methodology of construction timing for rail transit projects [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008.
- [4] 朱建宁. 差额评价指标分析高速公路建设时机的方法[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 13(7):309.
- ZHU Jianning. The method of evaluating the opportunity of highway construction by differential evaluation index [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development(Applied Technology), 2018, 13(7):309.
- [5] LAVORLTANO G H, BUMFIELD R G, GLISSON J H. Capital project priority setting at Southeastern Pennsylvanian transportation authority [J]. Transportation Research Record, 1990, 12(26):98.
- [6] 董春娇, 邵春福, 胡超凡, 等. 城市道路基础设施建设时序规划方法及实践[J]. 交通信息与安全, 2011, 29(4):10.
- DONG Chunjiao, SHAO Chunfu, HU Chaofan, *et al.* Method and practice for sequencing the urban roads construction [J]. Journal of Transportation Information and Safty, 2011, 29(4):10.
- [7] 王路. 城市基础设施建设合理比例关系探析[J]. 城市规划, 2000, 24(5):26.
- WANG Lu. On the proportional relationship in the urban infrastructure construction. [J]. City Planning Review, 2000, 24(5):26.
- [8] 高德地图. 中国主要城市交通分析报告(年度、季度) [R]. 北京: 高德软件有限公司, 2017.
- Amap.com. Traffic analysis report of major city in China (annual & quarterly) [R]. Beijing: AutoNavi Software Co., Ltd., 2017.
- [9] 袁胜强, 胡程, 景啸, 等. 宁波市快速路网建设后评估 [R]. 上海: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 2017.
- YUAN Shengqiang, HU Cheng, JING Xiao, *et al.* Post evaluation of Ningbo expressway network construction [R]. Shanghai: Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., 2017.
- [10] 陈永德. 北京二环快速路规划建设回想 [J]. 北京规划建设, 2009, 12(6):94.
- CHEN Yongde. Recalling the planning and construction of Beijing Second ring expressway [J]. Beijing Planning Review, 2009, 12(6):94.
- [11] 李美娟, 陈国宏, 陈衍泰. 综合评价中指标标准化方法研究 [J]. 中国管理科学, 2004, 12(Z1):45.
- LI Meijuan, CHEN Guohong, CHEN Yantai. Study on target standardization method of comprehensive evaluation [J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12(Z1):45.
- [12] 嘉兴市城乡规划建设管理委员会. 嘉兴市城市总体规划(2003—2020年)(2017年修订) [R]. 嘉兴: 嘉兴市政府, 2017.
- Jiaxing Planning and Construction Management Committee. Master plan of Jiaxing (2003—2020) (2017 revised) [R]. Jiaxing: Jiaxing Municipal People's Government, 2017.
- [13] 嘉兴市统计局. 嘉兴统计年鉴 2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- Bureau of Statistics of Jiaxing. Jiaxing statistical yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistical Press, 2018.
- [14] 袁胜强, 黄晓清, 徐慧丹, 等. 嘉兴市快速路环线工程可行性研究报告 [R]. 上海: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 2018.
- YUAN Shengqiang, HUANG Xiaoqing, XU Huidan, *et al.* Research report on feasibility of Jiaxing expressway network construction [R]. Shanghai: Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., 2018.