

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.08.020

节点优势度模型在干线公路网布局 优化中的应用

马书红, 胡美芳, 葛永, 汤薛艳
(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 为对具有一定规模的干线公路网进行布局优化, 将空间相互作用模型及交通对城镇发展影响的经济势理论结合, 构建了节点优势度模型, 并提出了基于该模型的干线公路网布局优化方法。该方法将节点优势度模型与叠层路网最优树、空间连通圆理论结合, 以此确定线路的走向与主要控制点, 并结合经验进行逐步调整, 最终通过重新测算不同布局优化方案的节点优势度评价比选出最优方案。应用实例表明: 该方法具有理论上的合理性和实际上的可操作性, 能切实起到优化干线公路网布局的作用。

关键词: 交通工程; 布局优化; 节点优势度; 叠层路网最优树; 空间连通圆; 干线; 空间相互作用模型

中图分类号: U491.1⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2016) 08-0133-07

Application of Nodal Superiority Degree Model in Optimization of Arterial Highway Network Layout

MA Shu-hong, HU Mei-fang, GE Yong, TANG Xue-yan
(School of Highway, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China)

Abstract: In order to optimize the layout of arterial highway network with a certain scale, combining the spatial interaction model with the theory of economy potential energy related to the impact of transport on urban development, we constructed the nodal superiority degree model, and put forward a method for optimizing arterial highway network layout based on this model. The method determines the line alignment and main control point by combining nodal superiority degree model with the theory of laminating highway road network optimization tree and spatial connected circle together, then it makes gradual adjustment with experience, and it selects the optimum scheme by recalculating the nodal superiority degree of different layout optimization schemes at last. The application example shows that the proposed method has theoretical rationality and practical operability, it can really play an effective role in optimizing layout of arterial highway network.

Key words: traffic engineering; layout optimization; nodal superiority degree; laminating highway road network optimization tree; spatial connected circle; arterial road; spatial interaction model

0 引言

干线公路是公路网的主骨架, 是区域交通的主要通道, 承担着长距离、高需求的交通运输任务。目前, 我国干线公路经过多年发展, 已经逐渐从瓶

颈制约向基本适应转化, 但在路网达到一定规模后, 结构的不断调整又对路网布局提出了新的要求。因此, 如何继续进行布局优化与完善是一个亟待解决的问题。马辉等^[1]运用公平性指标对原始节点的重要度进行修正, 并提出了相应的干线公路网布局方

收稿日期: 2015-09-14

作者简介: 马书红 (1975-), 女, 河北藁城人, 副教授. (msh@chd.edu.cn)

案;陈波等^[2]提出以公路网使用效率、运输成本、土地占用机会成本和建设成本为决策变量,构建公路网四因素指数,以便于布局方案的评价和比选;康文庆等^[3]在考虑市域干线公路网特点的基础上,将节点重要度法和交通区位法结合,提出了一种适合市域干线公路网布局的方法,论述了重要度法对过境交通需求引起的树状路网的附加联络线的确定意义;李娟^[4]通过分析最优树和完全图式布局方法的缺陷,提出了根据路线重要度和向量角的边删除法,进而实现了节点赋权网络的布局优化。上述方法分别就一定时期的路网布局优化从不同角度进行了研究,但在路网达到一定规模后,如何在现状基础上进一步完善路网功能,提高节点的通达效果和可达性还需进一步展开研究。而基于节点优势度模型的干线公路网布局优化方法综合考虑节点的经济发展特性和周边的交通联系状态,可通过重新测算不同布局优化方案的节点优势度进行方案比选,保证干线公路布局与社会经济发展相匹配,并与叠层路网最优树、空间连通圆理论结合,弥补传统路网最优树分层布局方法的不足,保证每一层次之间的基本连通,线路走向与实际情况更贴近,节点的通达效果和可达性也有所提高。

1 新常态下干线公路网布局优化的影响因素与要求

在新常态下,我国经济发展方式、经济结构等发生了转变,公路交通的发展水平需适应不同的经济发展阶段^[5],并且既有路网已达到一定规模,不会再进行大规模的新建,公路发展的重点应转向布局优化与结构完善,路网功能、品质与效率提升是关键,以切实起到路网对经济发展的助力作用,推动区域社会、经济、交通等方面的现代化进程。

在新常态下,以高速公路为骨架、干线公路为动脉、农村公路为微循环的四通八达的公路网已初步形成,同时各个省市均在大力发展当地的特色经济,加大旅游公路、产业公路的建设。这些地区承载的运输需求也大幅度提升,农村公路、旅游公路及产业公路的建设不能满足运输需求,而高速公路具有收费、封闭的缺陷。干线公路网作为联系高速公路、农村公路、旅游公路、产业公路的交通动脉,应更好地发挥集散、衔接作用。

在新常态下,铁路、航空、水运等运输方式快速发展,却不能实现门到门的运输服务,而公路交通运输因其机动、灵活的特点作用重大,其布局既要考虑与其他运输方式站场的有效衔接,又要保证

良好的路网可达性,因此有必要完善现有公路网布局方法,加快构建综合交通运输体系^[6]。

在新常态下,公路发展重点的转变、地方特色经济的发展以及构建综合运输体系的需求均对干线公路网布局优化提出新的要求,干线公路网布局应在公路网体系中充分发挥承上启下的作用,并提出更能体现节点发展情况的指标,将运输节点更加合理地纳入运输通道系统,完善规划布局方法。

2 节点优势度模型的建立

节点重要度指标不能反映节点周边的交通联系、不同运输方式对节点发展的影响等,且纳入节点重要度的各个指标需确定权重。因此综合考虑干线公路、铁路、水运等多种运输方式,结合节点经济发展情况,建立节点优势度模型,作为干线公路网规划的理论基础。

2.1 节点的选择及影响因素分析

在新常态下,干线公路网所发挥的作用与承担的功能发生了重大变化。除县级节点外,干线公路网需连接更小层次的运输集散点。中心镇、大型物流园区等虽为小层次运输节点,但仍属于省域经济发展中的重要增长极和潜在优势聚集点,而干线公路网的连通有利于打通这些地方的交通瓶颈。同时文献^[7]也指出,省域普通国省道连接重要区、市、县、重要交通枢纽(港口、飞机场、火车站、公路客运站)、大型物流园区、产业园区、旅游景区等节点。基于以上分析,干线公路网布局应站在发展的角度,将市、县以及具有发展潜力和需求的大型物流园区、旅游景区和中心镇等纳入规划,以更好地满足公路交通服务需求。

节点发展的快慢和功能的发挥与节点的规模、经济基础、节点与周边区域经济发展水平的差异、周边一定范围内的交通联系等密切相关。首先,节点功能的发挥与节点的人口规模、区域规模、资源规模以及周边公路网的发展规模等息息相关。例如,目前我国有2 800多个县级城市,其中约有70%的县城人口规模距最佳城市规模还有一定差距,对周边小城镇的发展不能起到很好的带动作用,因此县级节点仍具有进一步发展的潜力^[8]。其次,节点所属的中心城市对其的推力及其自身规模的大小是节点发展的关键因素之一。节点与其中中心城市间的经济水平差异在一定程度上反映了中心城市对节点的辐射带动作用。最后,干线公路、铁路等的建设为沿线经济带来了巨大的社会效益和经济效益。因此,

节点的发展主要与节点周边一定范围内的交通联系和节点到周边的同级节点及上级节点的距离(时间)有关。

2.2 节点优势度模型的构建

2.2.1 理论基础

节点优势度模型建立的理论基础是空间相互作用模型和交通对城镇发展影响的经济势理论。

空间相互作用模型由重力模型和潜力模型组成^[9]。其中,潜力模型的主要作用是测度定位于空间的既定点对某点所施加影响的总和。该模型通过比较区域中各节点吸引力的大小来描述其发展的优势和劣势,同时可以检验节点周边交通联系的变化对其吸引力的影响^[10]。

经济能量的一种表现趋向称为经济势。交通基础设施的建立促使自然资源和社会资源产生一种向经济能量转化的趋向,即交通促进经济势的产生。由于具有线路长、流量大的特点,承担客货运输重要任务的干线公路、铁路、水运等会在其沿线产生强烈的经济势。把一条交通线路视为一条载流导体,它对周围地区的影响与自身的交通流量相关,与所研究地区至该交通线路的距离相关,同时与该地区的周边环境相关。在实际研究中需考虑距离影响时,将场强与距离的平方视为反比关系较为合适。

2.2.2 模型构建

充分考虑节点的经济发展特性及其与周边的交通联系情况,并将潜力模型和经济势理论相结合,构建节点发展优势度模型,其表达式为:

$$A_s = K_s \sum_{i=1}^n \frac{\mu_s I_{si} / (\beta_s \alpha_{si})^2}{f^2(d_s)}, \quad (1)$$

式中, A_s 为节点 s 的发展优势度; K_s 为一定范围内节点 s 的介质函数,对特定的县级节点在一定时期内是一常数; μ_s 为灵敏度系数,用于反映节点 s 对于其周边一定范围内交通联系的敏感程度; I_{si} 为一定范围内第 i 条交通线路与节点 s 的联系强度; β_s 为距离修正系数; α_{si} 为交通联系线路 i 距节点 s 的直线距离; $f(d_s)$ 为交通阻抗函数。在实际应用中,利用基于时间和运费的影响边界界定模型^[11]确定高速公路经济带,经计算取半径为 30 km 的圆内的交通联系。

2.2.3 参数标定

模型初步建立后,需对各参数进行标定。结合节点的基本特性并参考相关文献,现提出如下标定方法:

(1) μ_s 的标定

μ_s 为灵敏度系数,反映所研究节点 s 对周边交通线路的敏感程度,只与节点本身的特性有关。这一特性综合反映了节点的资源丰富程度、市场发育状况、居民生活水平、人的素质以及产业分布状况等诸多因素。在分析节点的发展时,由于交通和经济联系紧密,人均 GDP 在分析交通问题时的应用十分广泛,故采用人均 GDP 来标定这一参数^[12]。

(2) I_{si} 的标定

I_{si} 为分析范围内第 i 条交通线路与节点 s 的联系强度,与该范围内交通出行的数量和频繁程度关系密切,一般考虑用交通量标定 I_{si} 值,这里简化为用线路的通行能力来代替,其合理性在于通行能力在一定程度上不仅反映现状需求也反映发展潜力。

(3) β_s 的标定

β_s 的作用是对节点 s 至交通线路的实际距离进行修正,地形特征不同则取值不同。在具体应用时以交通规划分析中的地形系数来代替。

(4) K_s 的标定

在引力模型中, K_s 为介质常数,对于节点与一定范围内的交通联系而言,其值和节点与其中中心城市的产业梯度密切相关。本文以地级市为单位,其中以市区为中心城市,以市内县级城市、中心镇等为外围次级城市。产业梯度主要用于描述中心城市和外围次级城市之间产业等级的高低、结构差异和互补性。借鉴关于地缘经济关系的测度思路^[13],节点与其中中心城市的产业梯度按式(2)计算:

$$K_s = \left[\sum_{j=1}^3 (X_{ej} - X_{sj})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

式中, X_{e1} 和 X_{s1} 分别为节点及其中心城市固定资产投资额占国内生产总值的比例; X_{e2} 和 X_{s2} 分别为节点及其中心城市第二产业产值占国内生产总值的比例; X_{e3} 和 X_{s3} 分别为节点及其中心城市第三产业产值占国内生产总值的比例。

(5) $f(d_s)$ 的标定

$f(d_s)$ 为节点 s 与周边节点 j (包括上级节点在内的以节点 s 为圆心,半径为 30 km 的圆内的节点)之间的平均出行时间,其表达式为:

$$t_s = v \frac{\sum_{j=1}^n t_{sj}}{n} + \omega T_s, \quad (3)$$

式中, t_{sj} 为节点 s 与第 j 个同级节点间的出行时间, $j=1,2,3,\dots,n$; T_s 为节点 s 与上级节点间的出行时间; v 和 ω 为权重系数,其取值分别为 $v=0.3$, $\omega=0.7$ 。式中的 t_{sj} 和 T_s 用节点 s 与周边节点的最短出行

时间表示。

3 基于节点优势度模型的干线公路网布局优化方法

传统的最优树路网布局方法是在节点、路段效益指标计算的基础上,通过混层布局、分层叠加布局、逐层展开布局^[14],逐步将可反映线路效益的某项指标(如路线重要度)从大到小纳入路网,使得最终路网效益最大。这种方法的缺陷是如果布局范围内各个节点差异显著,容易造成效益排序靠前的路段往往与某一或某些节点相关,使得路网最优树经常从某些节点连出大量放射线,不符合实际路网按路途远近灵活逐步连接的情况,并且在分层布局过程中容易忽略每一层次之间应保证的基本连通。而节点优势度反映了节点发展状况和优势^[15],通过控制道路走向和等级满足交通需求,达到强化优势节点、提升弱势节点的目的。因此,将节点优势度、叠层路网最优树和空间连通圆理论结合进行干线公路网布局优化,布局方案不仅可提高节点的通达效果和可达性,其规划形态也更符合实际路网的几何特征,布局思路如图1所示。

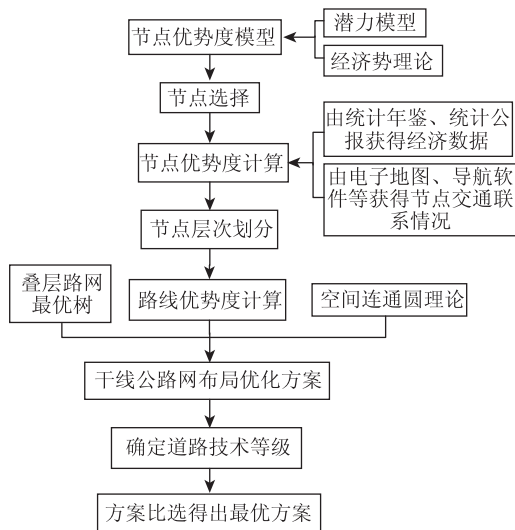


图1 基于节点优势度模型的干线公路网布局思路图

Fig. 1 Flowchart of design idea of arterial highway network layout based on nodal superiority degree model

3.1 节点优势度

节点*i*和节点*j*的连接道路称为路线 R_{ij} ,并定义路线 R_{ij} 的路线优势度为:

$$W_{ij} = \frac{A_i \times A_j}{L_{ij}}, \quad (4)$$

式中, A_i 和 A_j 为节点*i*和节点*j*的优势度; L_{ij} 为节点*i*和节点*j*的直线距离。

路线优势度表示网络中路线发展潜力的大小,其值越大说明该路线的优势越明显,将其连接更有利于激发两端节点的发展潜力。

3.2 叠层路网最优树

叠层路网最优树通过引入能体现上层节点优势度和地理位置的虚拟节点,将能代表上层节点层属性的因素纳入下层路网最优树的计算中,从而得到层层相扣的最优树,保证了相邻层次路网最优树的有效衔接。虚拟节点优势度值为上层所有节点优势度的平均值,空间位置为规划区域的心形^[16]。

其计算方法为:如图2所示,实心圆点为第1层次节点,空心圆点为第2层次节点。确定第1层次路网最优树后,将第1层次节点抽象为一个虚拟节点(节点1)。将节点1纳入第2层次节点中计算两两之间的路线优势度,根据路线优势度从大到小依次加入路网,直至第2层次节点均连通。如需要加入的路段含虚拟节点时,例如需将路段1-2加至路网最优树时,则将节点1换成最靠近节点2的上一层次节点,即将路段2-3加至路网最优树中,最终形成第2层次节点的叠层路网最优树。

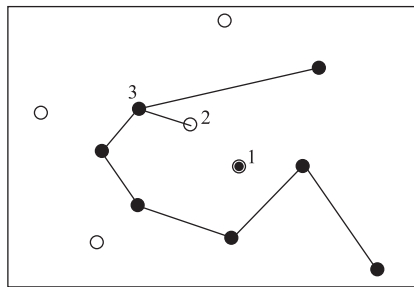


图2 叠层路网最优树计算示意图

Fig. 2 Schematic diagram of laminating road network optimization tree calculation

3.3 空间连通圆理论

空间连通圆指形成路网最优树时,以将要纳入路网的路段为直径画出的圆。其在路网最优树中的应用如图3所示。

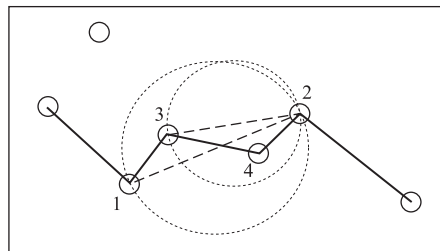


图3 空间连通圆计算示意图

Fig. 3 Schematic diagram of spatial connected circle calculation

图 3 中, 路段 1-2 为将要纳入路网最优树的路段, 则以路段 1-2 为直径画圆, 圆中包含 3 和 4 两个节点, 选择节点优势度较大的节点 (假设其为节点 3), 则删除路段 1-2 替代为以 3 为中转点的路段 1-3 和 3-2。继续以路段 1-3 和 3-2 为直径画圆 (在此仅以路段 3-2 为例), 圆中有节点 4, 因此删除路段 3-2 并替代为以 4 为中转点的路段 3-4 和 4-2。检查发现, 在以路段 3-4 和 4-2 为直径的圆中不存在其他节点, 从而结束空间连通圆计算。

本文将叠层路网最优树、空间连通圆理论与节点优势度相结合, 叠层路网最优树客观考虑了上层节点对下层节点的影响, 空间连通圆解决了从优势节点到一般节点间存在大量放射线的问题, 线路走向与实际情况更贴近。文献 [16] 通过计算得出基于空间连通圆的最优树布局方法, 在区域道路网空间形态、连通节点数、连通度和路网密度等方面, 均较传统的路网最优树有明显改进。干线公路网布局优化的步骤已在图 1 中展示, 现将节点优势度模型在干线公路网布局中的关键问题解释如下:

(1) 划分节点层次时根据节点优势度计算结果, 通过 SPSS 软件运用离差平方和法进行聚类分析。

(2) 从第 1 层次开始按路线优势度从大到小, 基于空间连通圆将相应路段依次纳入路网最优树。除第 1 层次外, 其他层次还要加入虚拟节点以反映上层节点对下层节点连通的影响, 该最优树允许回路产生, 最终布局一般成网。然而此后需根据规划区域的具体情况并结合规划人员的经验对规划路网的路线逐步调整, 进而得到更为具体的方案。

(3) 以 OD 调查数据为基础得到各交通小区交通的发生和吸引量与社会经济指标的相关关系, 由 TransCAD 软件得到未来年的路段分配交通量, 最后根据公路工程技术标准确定道路等级。

(4) 方案比选时重新测算不同方案的节点优势度, 以优势度整体提升比例最大为目标函数选择最优布局方案, 即:

$$\max \frac{\sum_{s=1}^N (b_s - a_s)}{a_s}, \tag{5}$$

式中, b_s 为优化后节点 s 的优势度; a_s 为优化前节点 s 的优势度。

4 案例分析

以陕西省汉中市为例, 验证节点优势度模型在

公路网布局优化中的应用。汉中市干线公路网现状布局图如图 4 所示。

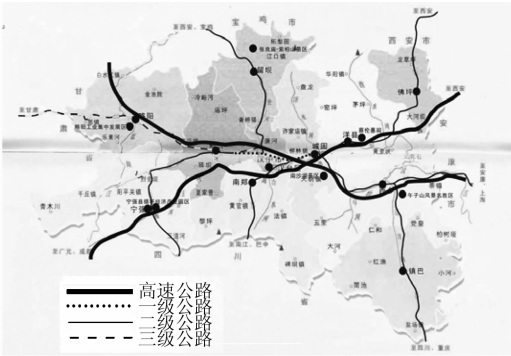


图 4 汉中市干线公路网现状布局

Fig. 4 Present layout of Arterial highway network in Hanzhong

汉中市下辖 1 区 10 个县, 即汉台区、南郑县、城固县、洋县、西乡县、勉县、宁强县、略阳县、镇巴县、留坝县和佛坪县。其中, 旅游景区和大型工业园区在县级节点内部或距离较近的, 不再重复考虑。汉中市节点优势度计算结果如表 1 所示。

表 1 2013 年汉中市节点优势度及相关参数计算

Tab. 1 Calculation of nodal superiority degrees and related parameters of Hanzhong in 2013

区域	产业 梯度	人均 GDP/ 万元	交通 阻抗	地形 系数	经济 势	优势 度
汉台区	1.00	3.30	0.99	1.0	6 680	6 816
南郑县	0.41	2.84	0.71	1.0	2 069	1 684
城固县	0.13	2.97	0.96	1.0	2 635	362
洋县	0.17	2.21	1.04	1.5	1 524	237
西乡县	0.33	1.90	1.38	1.5	2 656	467
勉县	0.14	2.71	1.04	1.0	2 180	275
宁强县	0.24	1.81	1.70	1.5	825	70
略阳县	0.12	3.26	2.28	1.5	1 122	26
镇巴县	0.15	1.94	2.57	1.5	382	9
留坝县	0.37	2.32	1.93	1.5	745	75
佛坪县	0.54	1.92	2.36	1.5	323	32
张良庙-紫柏山景区	0.12	2.32	2.31	1.5	361	8
南沙湖景区	0.03	2.97	0.94	1.0	4 824	177
午子山风景名胜	0.07	1.90	1.30	1.5	1 002	42
蔡伦墓祠	0.05	2.21	1.09	1.5	2 997	115
宁强县循环经济产业园区	0.14	1.81	1.34	1.5	3 622	282
略阳工业集中发展区	0.09	3.26	1.21	1.5	3 583	221

注: 经济数据取自《2014 年陕西省统计年鉴》、《2014 西安统计年鉴》及陕西省 2013 年国民经济和社会发展统计公报, 产业梯度计算时取汉中市为中心城市。

按照节点优势度大小经过聚类分析后将其分为 3 层, 分别为优势节点、一般节点和弱势节点。具体分层结果如表 2 所示。

表2 汉中市节点优势度分层结果

Tab.2 Layered result of nodal superiority degrees of

Hanzhong

层次类别	节点名称
优势节点 (>1 000)	汉台区、南郑县
一般节点 (100 ~ 1 000)	城固县、洋县、西乡县、勉县、南沙湖景区、蔡伦墓祠、宁强县循环经济产业园区、略阳工业集中发展区
弱势节点 (<100)	宁强县、略阳县、镇巴县、留坝县、佛坪县、张良庙—紫柏山景区、午子山风景名胜景区

计算各层次节点间的路线优势度并应用叠层路网最优树与空间连通圆理论后,确定汉中市干线布局中线路的大致走向与主要控制点,如图5所示。

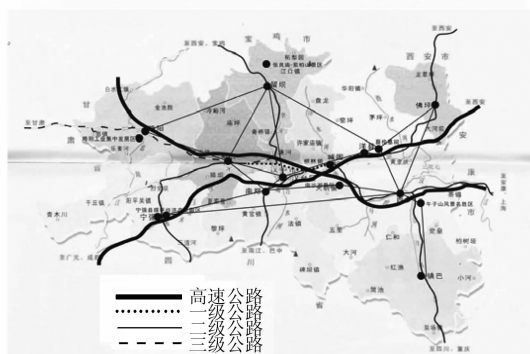


图5 汉中市干线公路网布局规划方案

Fig.5 Planning scheme of arterial highway network layout of Hanzhong

横1: 佛坪县—蔡伦墓祠—洋县—城固县—汉台区—勉县—略阳县—略阳工业集中发展区;

横2: 宁强县—宁强县循环经济产业园—南郑县—汉台区—南沙湖景区—西乡县—午子山风景名胜景区;

纵1: 佛坪县—西乡县—午子山风景名胜景区—镇巴县;

纵2: 张良庙—紫柏山景区—留坝县—汉台区—南郑县;

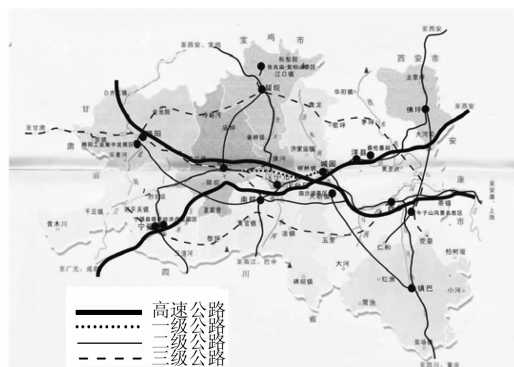
环1: 略阳工业集中发展区—略阳县—留坝县—蔡伦墓祠—西乡县—宁强县循环经济产业园区—宁强县;

环2: 留坝县—汉台区—南郑县—勉县;

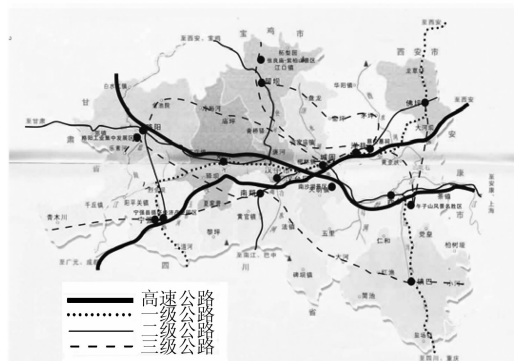
环3: 留坝县—勉县—略阳县。

根据规划区域的具体情况逐步调整后,给出两种布局优化方案(见图6)。

为了获得更好的干线公路网布局优化效果,根据式(5)从两种布局优化方案中选择最优方案。经计算,方案1的优势度整体提升比例为10.2,方案2



(a) 方案1



(b) 方案2

图6 汉中市干线公路网布局优化方案

Fig.6 Optimization schemes of arterial highway network layout of Hanzhong

为12.5,因此方案2优于方案1,为最终方案。

5 结论

本文将空间相互作用模型及交通对城镇发展影响的经济势理论结合,提出了节点优势度模型,其理论基础深厚。该模型综合考虑了节点的经济特性及周边的交通联系状态,相对于节点重要度指标考虑更全面,且无需确定权重。并且将节点优势度模型与叠层路网最优树、空间连通圆理论结合,解决了传统路网最优树分层布局中不能客观考虑上层节点对下层节点布局的影响以及路网节点连通过于机械的问题,布局形态与线路的实际走向更贴近。同时对于不同的布局优化方案,节点优势度模型可通过重新测算节点优势度选择出最优方案。

参考文献:

References:

- [1] 马辉,王建军,付会萍,等.基于公平性的干线公路网布局方法[J].长安大学学报:自然科学版,2013,33(1):78-84.
MA Hui, WANG Jian-jun, FU Hui-ping, et al. Layout Method of Arterial Highway Network Based on Fairness [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science

- Edition, 2013, 33 (1): 78-84.
- [2] 陈波, 吴群琪, 孙启鹏, 等. 基于四因素指数的区域公路网布局形态比较分析 [J]. 公路交通科技, 2015, 32 (3): 117-123.
- CHEN Bo, WU Qun-qi, SUN Qi-peng, et al. Comparative Analysis of Regional Road Network Layout Based on 4-factor Index [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015, 32 (3): 117-123.
- [3] 康文庆, 晏启鹏, 许世雄. 重要度联合区位市域干线公路网布局法 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (4): 99-102.
- KANG Wen-qing, YAN Qi-peng, XU Shi-xiong. Associated Method of Important Degree-traffic Area Location for Regional Trunk Road Network Layout [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23 (4): 99-102.
- [4] 李娟. 重要度在公路网布局优化中的应用 [J]. 铁路运输与经济, 2007, 29 (7): 10-11.
- LI Juan. Application of Importance Degree on Optimization of Highway Network Distribution [J]. Railway Transport and Economy, 2007, 29 (7): 10-11.
- [5] 许乃星, 蒲之艳, 张静晶, 等. 公路交通与经济发展适应性评价研究 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2011, 9 (3): 79-86.
- XU Nai-xing, PU Zhi-yan, ZHANG Jing-jing, et al. Adaptability Evaluation for Highway Transportation and Economic Development [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2011, 9 (3): 79-86.
- [6] 姜镇. 综合运输体系下城市公路网络布局方法研究 [J]. 交通标准化, 2014 (13): 11-15.
- JIANG Zhen. City Highway Layout Method in Integrated Transportation System [J]. Transportation Standardization, 2014 (13): 11-15.
- [7] 薛萌. 省域干线公路网规划综合排序研究 [D]. 西安: 长安大学, 2012.
- XUE Meng. Research of Comprehensive Ranking of Provincial Trunk Road Network Planning [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [8] 马书红. 县级中小城镇客运交通发展浅析 [J]. 交通标准化, 2006 (10): 211-214.
- MA Shu-hong. Discussion on the Development of Passenger Transport in Medium and Small Towns at County Level [J]. Transportation Standardization, 2006 (10): 211-214.
- [9] 尼茨坎普 P. 区域和城市经济学手册 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2001.
- NIJKAMP P. Handbook of Regional and Urban Economics [M]. Beijing: Economic Science Press, 2001.
- [10] 马书红, 周伟, 王元庆. 基于潜力模型和经济势理论的卫星城发展研究 [J]. 城市问题, 2008 (1): 29-33.
- MA Shu-hong, ZHOU Wei, WANG Yuan-qing. Research of Satellite Town Development Based on Potential Energy Model and Theory of Economic Power [J]. Urban Problems, 2008 (1): 29-33.
- [11] 蒋霞英. 高速公路对沿线产业集群的影响与政策研究 [D]. 湘潭: 湘潭大学, 2006.
- JIANG Xia-ying. Research on Influence of Expressway on Industrial Clusters and Policy Recommendations [D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2006.
- [12] 王殿海, 汪志涛. 交通大动脉经济势理论研究 [J]. 公路交通科技, 1999, 16 (3): 81-83.
- WANG Dian-hai, WANG Zhi-tao. Research on the Theory of Economy Potential Energy along Transportation Artery [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1999, 16 (3): 81-83.
- [13] 石忆邵. 从单中心城市到多中心城市: 中国特大城市发展的空间组织模式 [J]. 城市规划汇刊, 1999 (3): 36-39.
- SHI Yi-zhao. From Monocentric City to Polycentric City: Spatial Organization Pattern in Development of Great Chinese City [J]. Urban Planning Forum, 1999 (3): 36-39.
- [14] 余国才, 周伟. 公路网布局优化的理论与方法 [J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18 (3): 45-49.
- YU Guo-cai, ZHOU Wei. Theory with Method of Highway Network Lay-out Optimization [J]. Journal of Xi'an Highway University, 1998, 18 (3): 45-49.
- [15] 马书红, 周伟. 卫星城发展优势度模型及其应用研究 [J]. 武汉理工大学报: 交通科学与工程版, 2009, 33 (6): 1100-1103.
- MA Shu-hong, ZHOU Wei. Theories and Application of New Towns Planning based on Superiority Degree Model [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering Edition, 2009, 33 (6): 1100-1103.
- [16] 程申. 基于空间连通圆的干线公路网布局优化方法研究 [D]. 西安: 长安大学, 2010.
- CHENG Shen. Study of Arterial Highway Network Layout Optimization Based on Spatial Connected Circle [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.