

大城市周边城镇道路网级配结构合理性研究

Reasonable Structure of Road Functional Classification within Towns around Metropolitan Areas

马健霄¹ 杨涛² 韩宝睿¹ 吴颖¹

(1.南京林业大学汽车与交通工程学院,南京 210037;2.南京市交通规划研究所有限责任公司,南京 210008)

Ma Jianxiao, Yang Tao, Han Baorui and Wu Ying

(1. College of Vehicle and Traffic Engineering Nanjing Forest University, Nanjing 210037, China; 2.Nanjing Institute of City Transport Planning Co Ltd, Nanjing 210008, China)

摘要: 为使大城市周边城镇道路网规划更为合理,首先分析了最主要的2类城镇的发展模式和出行特征。基于规划年城镇交通供需平衡原则,提出了大城市周边城镇道路网级配合理性的判定方法。建立了路网级配结构合理性判定模型,并对模型参数进行了标定。以江苏省昆山市花桥镇为例,计算相关变量,对道路网级配结构合理性进行了判定,并对路网级配结构提出相应的调整建议,验证了合理性判定方法的实用性。

Abstract: Aimed at realizing rational planning for road networks in towns around metropolitan areas, the paper starts with an analysis on development patterns of two main types of towns and their travel characteristics. Based on the principle of balance between traffic supply and demand for a target year, this paper proposes an approach to evaluate the rationality of road networks in towns around a large city. A model for evaluating the structure rationality of road networks is established, followed by parameter calibration. Finally, the paper illustrates an application of the model to evaluating the structure rationality of road networks through a case study in Huaqiao, Kunshan (Jiangsu province). Relevant variables are calculated, and suggestions for adjustments are proposed correspondingly to the results.

关键词: 交通规划; 道路交通; 道路网级配结构; 大城市周边城镇

Keywords: transportation planning; road traffic; transportation models; structure of road functional classification; towns around large cities

中图分类号: U491.1³ 文献标识码: A

收稿日期: 2008-08-07

基金项目: 江苏省建设厅基金项目(JS200503)资助。

作者简介: 马健霄,男,博士,南京林业大学汽车与交通工程学院,副教授,主要研究方向: 交通规划。

E-mail:jxma@163.com

道路网级配结构合理性是研究城镇道路网总体布局的重要内容^[1-2],在城镇交通规划中,道路网发展规模一直采用定性分析法,依靠规划人员的经验和主观判断进行预测,而采用量化方法合理确定道路网发展建设总规模和道路级配结构是近几年兴起的研究课题。大城市周边城镇受到大城市的辐射、扩散,城镇空间体系与土地布局规划急需优化,定量研究路网级配结构合理性判定方法是优化城镇空间体系发展与指导城镇道路网建设的主要手段。

1 城镇发展模式与出行特征

不同发展模式的城镇由于其社会经济、人口规模、功能定位、交通区位等差异,造成其作为节点在区域道路网规划中的重要度各不相同,节点定位的差距又造成城镇对外交通道路网规划、镇域内部道路网等级分布以及道路网布局的差异。

本文研究的城镇已突破传统意义上介于农村村庄与城乡影响区的城镇,研究对象包括传统独立发展型城镇、改造及处于成长阶段的城镇“新城”、“亚新城”^[3],城镇规模主要根据土地开发、产业布局的需要以及交通经济学理论来确定。传统独立发展型城镇通常将商贸、居住作为其主要功能,且以单中心发展模式为主,这类城镇发展独立性较强,因此要求城镇区域具有较高的道路网密度,且与周边城镇有便利的联络通道;而改造及处于成长阶段的城镇“新城”、“亚新城”,通过土地空间演变发展、重构,以多中心发展模式为主。由于道路网体系包含完整城镇道路各类子系统,在交通规划设计上应以便捷、美观、技术经济合理为目标。

随着城镇的发展,建成区面积不断扩大,交通量将不断增加,社会、经济活动会进一步加强。由于城镇居民出行特征与大城市相比有明显的不同,如出行频率高,出行时间分布有明显的早、午前、午后和晚高峰现象,出行距离相对较短,出行时耗集中在30

min 以内等, 因此, 需建立级配结构合理、满足不同出行距离需求的城镇道路网体系。

2 道路网级配结构合理性判定方法

2.1 判定模型的建立

判定模型的建立以规划年城镇交通供需平衡为原则, 即在规划年当城镇各项交通基础设施配备完善, 城镇道路网合理的等级结构应该能使各类道路提供的交通资源比重关系 R_{Si} 与城镇发展所需承担的交通需求量比重关系 R_{Di} 相等或接近, 可用式(1)表示:

$$R_{Si} \approx R_{Di}, \quad (1)$$

式中: R_{Si} 为城镇第 i 类道路子系统占整个道路网容量的比重/%; R_{Di} 为城镇第 i 类道路子系统所需承担的交通需求量占总需求量的比重/%; i 为道路子系统类型, 取值为 1, 2, 3, 分别代表城镇中的主干路子系统、次干路子系统、支路子系统(包括集散性支路和生活性支路)。

一般城镇为干、支两套道路体系, 没有快速路。大城市周边城镇一般具有完善的道路网体系, 快速路一般为 1~2 条, 考虑到样本的有限性, 在本部分量化研究中快速路子系统不予考虑。

式(1)中 R_{Si} 与 R_{Di} 的测算模型分别为:

$$R_{Si} = \frac{C_i \gamma_i N_i a_i}{\sum_{i=1}^4 C_i \gamma_i N_i a_i}, \quad (2)$$

式中: C_i 为城镇第 i 类道路 1 条车道的理论通行能力/(辆·h⁻¹); γ_i 为城镇第 i 类道路 1 条车道的理论通行能力综合修正系数, 即道路有效长度修正系数、道路交叉口修正系数、道路综合折减修正系数的乘积^[4-6]; N_i 为城镇第 i 类道路的平均车道数/条; a_i 为第 i 类道路占整个城镇道路网的比重/%。

$$R_{Di} = \frac{\int_0^{L_i^*} l \cdot f(l) dl}{\int_0^{\infty} l \cdot f(l) dl}, \quad (3)$$

式中: L_i^* 为第 i 类道路的临界优势出行距离/km; L_{i-1}^* 为城镇第 $i-1$ 与第 i 级道路之间的临界优势出行距离/km; l 为出行距离; $f(l)$ 为出行距离分布概率密度函数。

2.2 参数标定

2.2.1 出行距离分布概率密度函数

1) 传统独立发展型城镇

鉴于国内传统独立发展型城镇大都以单中心布局为主^[7], 从建模角度出发假定这类城镇为同心圆布局形态, 建成区

的扩展不受地理条件限制, 市区各方向的通达性相同, 则城镇平均出行距离为:

$$\bar{L} = \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \quad (4)$$

式中: \bar{L} 为城镇平均出行距离/km; S 为城镇建成区面积/km²。

采用泊松分布来描述出行距离, 传统独立发展型城镇的出行距离概率密度总体上符合离散型分布。在某段时期 t 内出行距离保持在 \bar{L}_t 范围内, 而下一时期 $t+1$, 出行距离随着城镇发展变为 \bar{L}_{t+1} 。此类城镇的出行概率密度, 其参数可取为城镇 t 时期的平均出行距离, 则这类城镇的出行距离分布概率密度函数为:

$$f(l) = \frac{(\bar{L}_t)^k}{K!} e^{-\bar{L}_t}, \quad (5)$$

式中: $f(l)$ 为规划年 t 时期城镇平均出行距离达到 K 的距离分布概率密度函数; K 为规划年 t 时期城镇平均出行距离/km; e 为自然对数的底。

2) 改造及处于成长阶段的城镇“新城”、“亚新城”

对于改造发展的城镇以及处于成长阶段的城镇“新城”、“亚新城”, 城区的发展已不能以简单的同心圆模式分析, 可借鉴城市出行距离二阶爱尔兰分布模型, 考虑这些城镇土地空间与交通系统演化形态, 对相关系数进行修正以计算出距离:

$$F(L) = \int (4\mu^2 l) \cdot e^{-2\mu l} dl = 1 - (2\mu l + 1) \cdot e^{-2\mu l} \quad (6)$$

式中: $F(L)$ 为出行距离小于平均出行距离 \bar{L} 的出行量在总出行量中的累积比例/%; μ 为二阶爱尔兰分布的模型参数, $\mu = \frac{1}{\bar{L}}$ 。

该类城镇平均出行距离采用下式计算:

$$\bar{L} = \alpha \sqrt{S}, \quad (7)$$

式中: α 为城镇形态参数(在城市形态参数的基础上修正取低值), 其取值范围^[8]为: 团块状城市, $0.28 \leq \alpha \leq 0.35$; 带状城市, $0.35 \leq \alpha \leq 0.45$; S 为城镇建成区面积/km²。

则城镇的出行距离分布概率密度函数可采用如下公式求得:

$$f(l) = 4 \cdot \mu^2 \cdot l \cdot e^{-2\mu l}. \quad (8)$$

2.2.2 最小成本的出行时间

临界优势出行距离的推算需要依据出行时间, 即寻找不同道路系统的出行时耗与出行距离之间的关系。在标定城镇道路网体系中各类道路的临界优势出行距离 L_i^* 时, 需对城镇道路网布局进行简化, 首先假定城镇道路网应具备完整的道路网体系, 包含干、支路网, 且交通流在各类道

路上按等级有序汇集；其次，城镇道路网采用最普遍的方格网布局形式，道路间距比较均匀。

按以上假设，定义研究的城镇面积为 S/km^2 ，道路网总长度为 L/km ，其中支路、次干路、主干路所占的比例分别为 α_1 、 α_2 和 α_3 ，则城镇道路平均间距为：

$$d = \frac{2S}{L} = \frac{2}{\delta}, \quad (9)$$

第 i 类道路的平均间距为：

$$d_i = \frac{2S}{L\alpha_i} = \frac{2}{\delta\alpha_i}, \quad (10)$$

式中： δ 为路网密度/ $(\text{km} \cdot \text{km}^2)$ ； d_i 为第 i 类道路的平均间距/ km ， $i=1, 2, 3$ 分别代表支路子系统、次干路子系统、主干路子系统。

在相同的镇域、相同的道路网体系中，可得到各类道路的平均间距与其在道路网中所占比例成反比：

$$d_1 : d_2 : d_3 = \frac{1}{\alpha_1} : \frac{1}{\alpha_2} : \frac{1}{\alpha_3}. \quad (11)$$

设个体一次出行距离为 l ，则其最小成本的出行时间计算公式为：

1) 传统独立发展型城镇

$$t_1 = t_0 + \left(\frac{d_1}{v_1} + \frac{l}{v_1}\right) \cdot 60, \quad (12)$$

$$t_2 = t_0 + \left(\frac{d_2}{v_1} - \frac{d_1+d_2}{v_2} + \frac{l}{v_2}\right) \cdot 60, \quad (13)$$

式中： t_1 为采用支路系统完成一次出行所需时间/ min ； t_2 为采用干路系统完成一次出行所需时间/ min ； t_0 为从住所、厂区等到达支路的时间/ min ； l 为个体一次出行距离/ km ； v_i 为第 i 类道路的平均行程速度/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$ ，新建城还需参考其他同类发展城镇调查数据； i 为道路子系统， $i=1, 2$ 分

别代表支路子系统、干路子系统。

2) 改造及处于成长阶段的城镇“新城”、“亚新城”

$$t_1 = \left(\frac{d_1}{v_1} + \frac{l}{v_1}\right) \cdot 60, \quad (14)$$

$$t_2 = \left(\frac{d_2}{v_1} - \frac{d_1+d_2}{v_2} + \frac{l}{v_2}\right) \cdot 60, \quad (15)$$

$$t_3 = \left(\frac{d_2}{v_1} - \frac{d_3-d_1}{v_2} + \frac{d_2+d_3}{v_3} + \frac{l}{v_3}\right) \cdot 60. \quad (16)$$

2.2.3 临界优势出行距离

由式(12)~(16)可描绘出不同道路系统的出行时耗与出行距离之间的关系：当 $t_1=t_2$ ，可推算出支路优势出行距离的上限值 and 次干路优势出行距离的下限值；当 $t_2=t_3$ ，可推算出次干路优势出行距离的上限值和主干路优势出行距离的下限值。这样便可导出不同等级道路之间的临界优势出行距离：

$$L_{i-1}^* = d_{i-1} + d_i = \frac{2}{\delta} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{i-1}} + \frac{1}{\alpha_i}\right). \quad (17)$$

式中： L_{i-1}^* 为城镇第 $i-1$ 与第 i 级道路之间的临界优势出行距离/ km ； d_{i-1} 为城镇第 $i-1$ 级道路的优势出行距离的上限/ km ； d_i 为城镇第 i 级道路的优势出行距离的下限/ km 。

依据所标定的参数，依次进行反推，最终将计算的参数带入上述公式进行验算，得到城镇道路网中对应于 i 类道路的总体通行能力和需承担的交通需求量的比重关系。

2.3 道路合理性判定

在城镇道路网系统规划实际应用中，计算 R_S 和 R_D 可以用于分析各等级道路在整体路网中设置的合理性以及既有道路网结构中哪一层面的道路相对缺乏或富余。在两类城镇中，片区组团不同的用地性质与开发强度决定了其内部路网结构，不同组团在路网面积率、密度、级配等指标上存在差异，所以在进行路网级配结构合理性比较时，划定的区域应更为细致，以城镇不同片区为单位进行评判。令：

$$\overline{R}_S = (R_{S1}, R_{S2}, R_{S3}), \quad (18)$$

$$\overline{R}_D = (R_{D1}, R_{D2}, R_{D3}), \quad (19)$$

这样即可通过雷达图(见图1)直观得到表示道路网供需变量的余弦角。图中实线和虚线分别表示道路网所能提供的的需求量和供给量，数据表示供给或需求的水平。根据余弦角大小比较判定规划或现有的城镇道路网是否合理，判定规则为夹角越大说明道路网等级结构越不合理。判定公式如下：

$$\theta = \arccos \left| \frac{\overline{R}_D \cdot \overline{R}_S}{|\overline{R}_D| \cdot |\overline{R}_S|} \right|, \quad 0 < \theta < \pi. \quad (20)$$

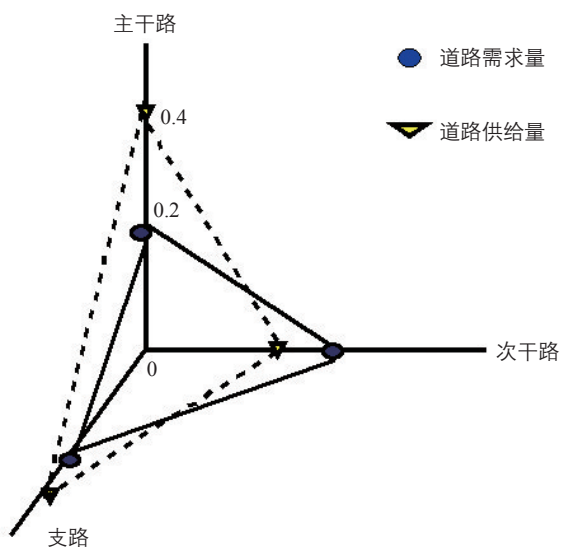


图1 判断道路级配结构合理性的雷达图

Fig.1 The radar map to evaluate the structure rationality of road network

采用以上方法可以初步确定城镇道路网级配结构的合理性,但仍需不断验算,直至计算的比例关系调整为城镇道路网提供的交通资源比重关系 R_{Si} 与所需承担的交通需求比重关系 R_{Di} 基本相等。传统独立发展型城镇在确立干、支路网合理性的同时,辅以路网密度的定性类比论证。

3 应用实例

3.1 城镇道路网级配结构合理性的测算与评价

花桥镇位于江苏省昆山市沿沪产业带的核心位置,在原有镇域范围内规划的花桥国际商务城将成为江苏省未来3大区域性商务中心之一、上海市经济圈内的国际性商务服务卫星城。商务城总体规划(2004—2025年)中总人口约30万人,其中居住人口约25万人。新市镇空间布局呈现“一轴、两心、多组团”的空间模式,分为近(2004—2010年)、中(2011—2015年)、远(2016—2025年)三期建设完成^[9]。

花桥镇道路网规划采用区域差别化的原则,将规划年花桥镇划分为三大片区,即商务区、居住区、产业区^[9](见图2),分别对片区内各种类型道路的路网密度进行设计,基础数据见表1,表2。

应用本文所探讨的道路网级配结构合理性的判定方法,对花桥镇规划年道路网设计的合理性进行检验。

3.2 计算结果

花桥镇属于改造及处于成长阶段的城镇“新城”、“亚新城”这种类型,根据各片区所定义的不同等级道路所占比例、功能定位、通行能力、车道数等,根据式(1)~(3)、(6)~(10)、(14)~(20)进行计算,各片区计算结果如下:

1) 参数计算结果

商务区 $S=18 \text{ km}^2$, $\delta_{\text{商}}=9.8 \text{ km/km}^2$, $\alpha_3: \alpha_2: \alpha_1=16:13:71$;

居住区 $S=20.21 \text{ km}^2$, $\delta_{\text{居}}=8.15 \text{ km/km}^2$, $\alpha_3: \alpha_2: \alpha_1=24:17:59$;

产业区 $S=11.75 \text{ km}^2$, $\delta_{\text{产}}=5.25 \text{ km/km}^2$, $\alpha_3: \alpha_2: \alpha_1=28:25:47$ 。

2) 各片区平均出行距离

$\bar{L}_{\text{商}}=1.357 \text{ km}$, $\bar{L}_{\text{居}}=1.435 \text{ km}$, $\bar{L}_{\text{产}}=1.10 \text{ km}$ 。

3) 各片区临界优势出行距离

商务区 $L_1^*=2.85 \text{ km}$, $L_2^*=1.85 \text{ km}$;

居住区 $L_1^*=2.466 \text{ km}$, $L_2^*=1.859 \text{ km}$;

产业区 $L_1^*=2.884 \text{ km}$, $L_2^*=2.334 \text{ km}$;

4) 各片区 R_{Si} 与 R_{Di}

商务区: $R_{S1}=57.48\%$, $R_{S2}=18.35\%$, $R_{S3}=24.17\%$;

$R_{D1}=58.82\%$, $R_{D2}=31.62\%$, $R_{D3}=9.56\%$;

居住区: $R_{S1}=62.09\%$, $R_{S2}=29.07\%$, $R_{S3}=8.84\%$;

$R_{D1}=61.42\%$, $R_{D2}=22.93\%$, $R_{D3}=5.65\%$;

产业区: $R_{S1}=65.45\%$, $R_{S2}=25.23\%$, $R_{S3}=9.32\%$;

$R_{D1}=55.27\%$, $R_{D2}=25.56\%$, $R_{D3}=19.17\%$;

3.3 结果分析

1) 商务区

$\bar{R}_S=[R_{S1}, R_{S2}, R_{S3}]=[0.5748, 0.1835, 0.2417]$,

$\bar{R}_D=[R_{D1}, R_{D2}, R_{D3}]=[0.5882, 0.3162, 0.0956]$ 。

2) 居住区

$\bar{R}_S=[R_{S1}, R_{S2}, R_{S3}]=[0.6209, 0.2907, 0.0884]$,

$\bar{R}_D=[R_{D1}, R_{D2}, R_{D3}]=[0.6142, 0.2293, 0.0565]$ 。

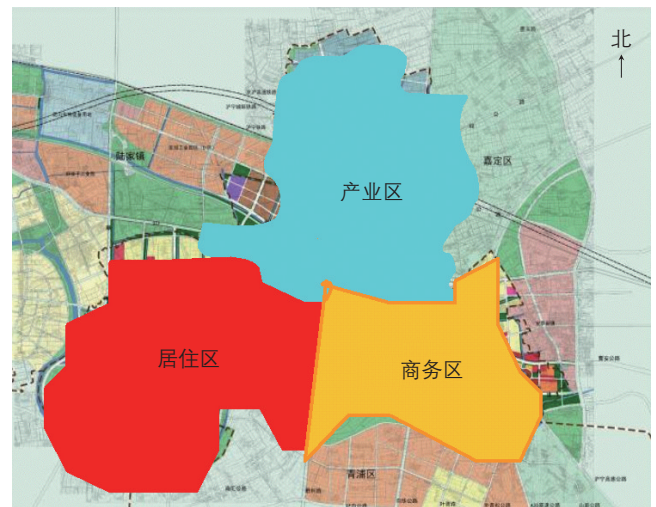


图2 花桥镇规划三大片区示意图

Fig.2 Three sub-regions in planning of Huaqiao

表1 花桥镇总体路网密度建议值 km/km^2

Tab.1 Suggestion on density values of general road network in Huaqiao

快速路	主干路	次干路	支路	总密度
0.038	1.7~2.0	1.2~1.4	4.0~5.0	7.0~8.5

表2 三大片区路网密度规划值 km/km^2

Tab.2 Density values of road network of the three sub-regions in planning

片区	主干路	次干路	支路	总密度
商务区	1.5~1.7	1.2~1.4	6.0~8.0	8.7~12.1
居住区	1.7~2.0	1.2~1.4	4.0~5.0	7.9~8.4
产业区	1.4~1.5	1.2~1.4	2.0~3.0	4.6~5.9

3) 产业区

$$\bar{R}_s = [R_{s1}, R_{s2}, R_{s3}] = [0.6545, 0.2523, 0.0932],$$

$$\bar{R}_D = [R_{D1}, R_{D2}, R_{D3}] = [0.5527, 0.2556, 0.1917].$$

根据式(19)可判定花桥镇规划设计的道路网级配结构的合理性:

$$\theta = \arccos \left| \frac{\bar{R}_D \cdot \bar{R}_s}{|\bar{R}_D| \cdot |\bar{R}_s|} \right| = \arccos \frac{\bar{R}_D \cdot \bar{R}_s}{(R_{D1}^2 + R_{D2}^2 + R_{D3}^2) \cdot (R_{s1}^2 + R_{s2}^2 + R_{s3}^2)}$$

$$\theta_{商} = \arccos(2.1802) = 0.9992761 \approx 8^\circ$$

$$\theta_{居} = \arccos(2.2560) = 0.9992761 \approx 8^\circ$$

$$\theta_{产} = \arccos(1.9984) = 0.9993918 \approx 8^\circ$$

三大片区测算的结果 θ 值较小,说明其规划年道路网级配结构,即片区路网密度设计比较合理,但仍需进一步调整完善。三大片区道路级配结构合理性雷达图见图3。

结合图3对规划年花桥镇道路网的规划设计方案具体调整分析如下:

1) 商务区的主干路需求与供给相当,基本满足需求;而次干路则严重不足,无法满足集散交通的需求;支路相对富余。可将一部分设施条件较好的支路改造为次干路,调整道路网体系中各类道路的资源分布,达到供需平衡。

2) 居住区道路网的资源分配与交通需求较为合理,但需对道路网体系进行微调。主干路相对富余,需降低其供给量,次干路、支路相对不足,需调整增加二者的供给量。

3) 产业区的主干路基本满足需求;支路需求较低,供给相对富余;次干路相对不足,应增加其供给量,以满足集散交通需求。

4 结语

根据城镇的发展模式及交通特征,对城镇道路网的级

配结构与密度分布合理性进行了探讨,建立了路网级配结构合理性判定模型,提出了计算方法,并对城镇各级道路体系的匹配、功能结构进行量化分析。结合实例进行了模型算法验证。该判定方法可为城镇道路网合理规划提供依据,避免实施的盲目性,但量化计算参数标定中,出行距离分布概率密度函数的理论研究以城镇形态为假设前提,因此该部分还有待进行更加深入的研究。

参考文献

- 1 吕康娟, 关柯. 小城镇的网络化发展模式[J]. 城乡建设, 2004, (4): 36-37
- 2 刘索狭. 大城市郊区小城镇战略发展研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006
- 3 肖亦卓. 规划与现实国外新城运动与经验[J]. 北京规划建设, 2005, (2): 135-138
- 4 吴颖. 小城镇道路网系统规划理论方法研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008
- 5 李朝阳. 现代道路交通规划[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007
- 6 徐吉谦. 交通工程总论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003
- 7 石飞, 王伟, 陆建. 中小城市公共交通发展模式研究[J]. 城市规划师, 2004, 20(6): 75-77
- 8 陈尚云, 杜文. 我国大城市用地形态与交通发展模式研究[J]. 系统工程, 2003, 21(3): 53-57
- 9 南京市交通规划研究所有限责任公司. 昆山市花桥镇综合交通规划[R]. 南京: 南京市交通规划研究所有限责任公司, 2007

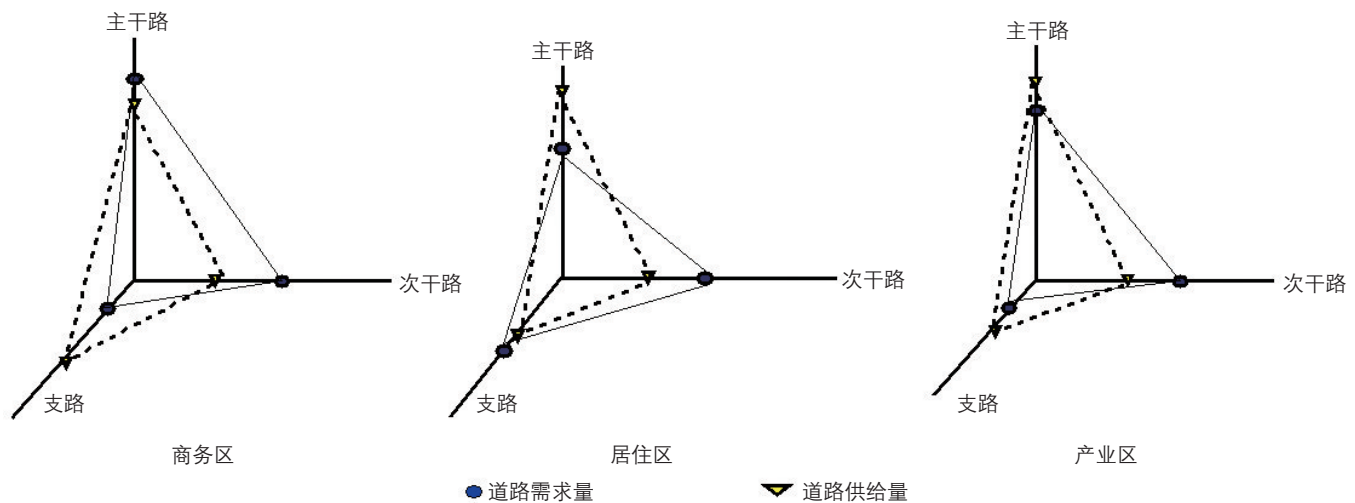


图3 三大片区道路级配结构合理性雷达图

Fig.3 The radar map to evaluate the structure rationality of road networks in three sub-regions