

# 辽宁省城市基础设施可持续发展能力分析

## ——基于灰色关联模型

项英辉,侯乐乐

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要:**通过构建城市基础设施可持续发展能力评价指标体系,为衡量城市基础设施可持续发展能力提供一种有效评价和量化方法,对缩小城市基础设施可持续发展能力差距,提高城镇化质量具有重要指导意义。以城市基础设施可持续发展能力为研究目标,通过查阅相关文献并咨询基础设施领域方面专家,从能力可持续、结构可持续、发展可持续3个层面构建15个评价指标,运用熵权法确定指标权重,建立灰色关联综合评价模型,对2013—2017年辽宁省14个城市基础设施可持续发展能力进行了评价。结果表明,2013—2017年辽宁省城市基础设施可持续发展能力总体呈上升趋势,但仍有较大提升空间;大连基础设施可持续发展能力最高,铁岭最低,城市基础设施可持续发展能力差异显著。

**关键词:**城镇化;城市基础设施;可持续发展能力;熵值法;灰色关联分析

**中图分类号:**F299.24      **文献标志码:**A

城市基础设施指城市生存和发展所必须具备的工程性基础设施和社会性基础设施,是城市中为顺利进行各种经济活动和其他社会活动而建设的各类设备的总称<sup>[1]</sup>。一般将城市基础设施系统分为六大类,分别为交通运输系统、能源设施系统、供排水设施系统、通信系统、环保环卫系统和防灾系统。改革开放以来,我国城市基础设施建设取得巨大的进步,但随着城镇化进程不断深入(截至2018年我国城镇化率已达到59.58%),快速的城镇化进程超过了城市基础设施的承受能力,城市交通过度拥挤、公共配套设施短缺落后、抗灾防灾能力不足等问题愈发严重,导致社会发展矛盾加剧,城市竞争力下降。基础设施作为城乡建设的基础要素,为城乡

一体化发展提供了必要的环境,因此,有必要探讨城市基础设施可持续发展问题,建立完备的城市基础设施可持续发展指标体系和评价模型,考量其水平层面和结构层面的发展趋势,进而制定相应的对策措施,指导城市基础设施可持续发展。

现有基础设施可持续发展研究主要体现在两个层面。第一个层面是基础设施可持续发展内涵研究层面。Patil<sup>[2]</sup>以印度基础设施为研究对象,认为PPP模式虽然解决了政府基础设施建设资金缺口问题,但是,私营部门仍更倾向于投资经济性基础设施,因而阻碍了基础设施建设可持续发展,建议PPP项目采购过程中注重基础设施的可持续发展;周君<sup>[3]</sup>从民生视角出发,构建成本评价模型,

重新定位城市基础设施在城市建设中的多重角色,认为基础设施建设应当与改善民生相适应,为促进基础设施建设工作开展,提出以政府、市场、社会三者为主导的增进机制,建立了带前馈反馈的监管体系,进行绩效评价;孙海玲等<sup>[4]</sup>研究大型基础设施项目,提出动态、静态和整体3种基础设施构建模式,从经济、生态、社会、技术、管理等5个方面,结合层次分析法,把可持续性引入评价大型基础设施投资决策,构建了大型基础设施可持续发展评价体系。第二个层面是基础设施可持续发展指标和评价方法研究层面,Cheng等<sup>[5]</sup>认为城市发展和经济增长需要基础设施可持续发展,现有研究多集中在某类项目或某类设施,有必要把基础设施纳入城市进行评价,建立基础设施可持续性评价指标体系,并以长三角为例进行了实证研究,结果表明:基础设施系统可持续性与地理位置和经济发展水平关联性强,经济发展水平越高的地区城市基础设施可持续发展水平也越高;程敏等<sup>[6]</sup>基于驱动力—状态—响应(Driving Force Status - Response, DSR)模型构建指标体系,采用综合评价方法,收集了全国31个省市基础设施数据,进行基础设施可持续综合评价和聚类分析;韩传峰等<sup>[7]</sup>运用模糊评价和层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP),从社会经济发展、资源利用状况、生态环境保护等维度构建了效益评价体系,指导大型基础设施项目决策;Shen等<sup>[8]</sup>通过文献研究基于可持续视角构建评价指标体系,研究地铁基础设施项目使用效率,对我国17个地铁项目使用效率进行了评价;孟俊娜等<sup>[9]</sup>从基础设施项目层面出发,从项目可建设性、运营维护及适应性方面深入研究基础设施建设对自然环境、社会产生的影响,构建了评价指标体系,在项目层面上,采用模糊熵理论对基础设施可持续性进行了评价。王德功等<sup>[10]</sup>引入系统动力学方法,分析城镇基础设施可持续发展影响因素,从经济、社会、管理、生态、技术等5个子系统构建城镇基础设施可持续发展系统模型,研究5个子系统以及各因素之间

耦合作用的机理,预测城镇基础设施可持续发展系统的动力趋势,结合关键影响因素优势效应提出城镇基础设施可持续发展的优化思路,找到了各子系统间并行发展的模式,从而实现了系统间均衡发展;于博等<sup>[11]</sup>分析社会、经济、人口、环境等与城市基础设施结构与功能的相互作用,构建了城市基础设施及其支撑体系的动态调控模型,为进行可持续发展的城市基础设施建设,提升城市竞争力提供理论参考。

学者的研究大多从项目出发,从内涵上对城市基础设施可持续发展能力进行评价研究,而城市基础设施可持续发展能力和所处状态能力在研究中未能体现,无法全面动态地了解城市基础设施可持续发展能力的总体变化趋势。笔者基于可持续发展视角,研究城市基础设施可持续发展能力,构建了较为完整的指标体系,以辽宁省为例,全面真实地评价了2013—2017年辽宁省14个城市基础设施可持续发展能力。

## 一、城市基础设施可持续发展能力评价指标体系的构建

基础设施建设是一项大型的复杂工程,具有建设运营周期长、投资参与方众多、协调管理难度较大、不同类型结构基础设施差异性较大等特点。影响城市基础设施可持续发展能力因素众多,国内外学者从不同角度出发,通过理论分析、案例研究等方法对基础设施可持续发展能力进行研究,但目前尚未形成统一的基础设施可持续评价体系。笔者认为,城市基础设施可持续能力研究就是要回答如何结构合理地、安全稳妥地、长期可持续地、重点突出地搞基础设施投资建设<sup>[12]</sup>,以满足人们日益增长的对基础设施的需要,达到供求平衡。为此笔者通过阅读相关文献、咨询专家,从能力可持续、结构可持续、发展可持续3个层面构建15个城市基础设施可持续发展能力评价指标体系(见表1)。

### 1. 能力可持续

城市基础设施能力可持续指在投资建设

表 1 城市基础设施可持续发展能力评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标性质
基础设施可 持续发展能 力指标体系 X	能力可持续 $X_1$	PPP 项目政府财政支出/政府年度一般预算内支出 $X_{11}$	正向指标
		人口净流动率 $X_{12}$	正向指标
		GDP 年度增速比 $X_{13}$	正向指标
	结构可持续 $X_2$	地区结构合理性 $X_{21}$	正向指标
		投资主体结构合理性 $X_{22}$	正向指标
		类型结构合理性 $X_{23}$	负向指标
		城乡结构合理性 $X_{24}$	正向指标
		人均拥有道路面积 $X_{31}$	正向指标
	发展可持续 $X_3$	用水普及率 $X_{32}$	正向指标
		燃气普及率 $X_{33}$	正向指标
		集中供热密度 $X_{34}$	正向指标
		污水处理率 $X_{35}$	正向指标
		人均绿地面积 $X_{36}$	正向指标
		建成区绿化覆盖率 $X_{37}$	正向指标
		每万人拥有城市公厕数 $X_{38}$	正向指标

过程中,在经济发展状况层面为基础设施项目建设可持续发展提供环境,从供需两端持续刺激城市基础设施项目建设。如果一个城市经济环境较差,很难为城市基础设施可持续发展提供有效供需结构。鉴于此,从 3 个方面进行分析。

(1)PPP 项目财政支出占政府年度财政一般预算比  $X_{11}$ 。该指标反映政府基础设施投融资财政能力,按照政府规定,应控制在财政预算 10% 以内,一般认为 10% 以内为正向指标,占比越大表明政府资金利用程度越高,可持续发展能力越强;若超过 10% 则认为是负向指标,表明政府财政压力过大,后续政府投资可持续能力越小。鉴于当前政府对 PPP 项目预算资金管控较严,绝大部分都控制在 10% 以内,2013—2017 年辽宁省 14 个城市该项指标占比均在 10% 内,故将该指标定性为正向指标进行处理。

(2)人口净流动率  $X_{12}$ 。大规模人口流入城市会对基础设施和公共服务造成巨大压力,在需求端持续刺激城市基础设施稳定供应,提升城市基础设施可持续发展能力。笔者用本年度城市常住人口与户籍年末人口之差同本年度户籍人口之比进行量化。

(3)GDP 年度增速比  $X_{13}$ 。现有文献研究表明 GDP 与基础设施投入存在正相关关系,发展中国家基础设施存量每增长 1% ,

GDP 就会增长 1%。政府对经济增长的要求必然会扩大对基础设施投资的需求,故选取 GDP 年度增速比来量化基础设施可持续发展能力,用本年度 GDP 与上一年 GDP 之差同上一年度 GDP 之比进行量化。

2. 结构可持续

城市基础设施发展过程中,要发挥基础设施所带来的红利,实现效益最大化,要求基础设施发展结构必须分布合理,分别从地区结构合理性、投资主体结构合理性、类型结构合理性及城乡结构合理性 4 个方面构建指标体系。

(1)地区结构合理性  $X_{21}$  指地区间基础设施投资合理,互相兼顾,协调发展,减少地区间基础设施投资差异,保证地区基础设施结构合理,拟用地区基础设施投资额/地区年均 GDP 考察不同地区间基础设施投资占比。

(2)投资主体合理性  $X_{22}$  指合理利用社会资本进行融资,盘活资本市场,增强基础设施资金使用透明度,降低政府财政压力,即基础设施投资主体结构合理性,拟采用地区社会资本固定资产投资/地区政府固定资产投资进行考察。

(3)类型结构合理性  $X_{23}$  强调协调发展各类基础设施,不孤立发展某类基础设施,发展传统基础设施的同时,共同发展创新型基础设施,相互兼顾,发挥基础设施带来的

最大效益。拟通过创新性基础设施投资额/传统基础设施投资额来对基础设施类型结构合理性进行量化,其中,创新型基础设施投资额指科教文卫及体育等社会性质的基础设施投资额,该指标为负向指标。

(4)城乡结构合理性  $X_{24}$  协调城市与农村基础设施建设,减小城乡基础设施投资差异,拟采用城乡基础设施人均投资额进行量化。

### 3. 发展可持续

基础设施发展可持续层面,拟从社会和谐、环境友好方面选取基础设施重要指标,以反映基础设施现状,结合以往专家学者对城市基础设施进行的可持续发展研究,社会和谐方面选取人均拥有道路面积  $X_{31}$ 、用水普及率  $X_{32}$ 、燃气普及率  $X_{33}$ 、集中供热密度  $X_{34}$  等指标;环境友好方面类选取污水处理率  $X_{35}$ 、人均绿地面积  $X_{36}$ 、建成区绿化覆盖率  $X_{37}$ 、每万人拥有城市公厕数  $X_{38}$  等指标对发展现状进行量化分析。

## 二、城市基础设施可持续发展能力评价指标权重获取与评价模型选择

### 1. 权重获取

为消除主观判断带来的干扰,指标权重的获取采用熵权法<sup>[13]</sup>,其原理是根据指标计算信息熵来反映信息量,熵越大信息量越大。利用熵值判断指标离散程度,指标离散程度越大,指标权重就越大,具体步骤如下。

(1)确定指标。假设有  $n$  个样本,  $m$  个指标,则  $X_{ij}$  为第  $i$  个样本第  $j$  个指标的数值 ( $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ )。

(2)指标无量纲化处理。

正向指标:

$$X'_{ij} =$$

$$\frac{X_{ij} - \min\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}\}}{\max\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}\}} \quad (1)$$

其中,  $X'_{ij}$  为标准化处理后的第  $i$  个样本第  $j$  个指标的数值。

负向指标:

$$X'_{ij} =$$

$$\frac{\max\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}\} - X_{ij}}{\max\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}\}} \quad (2)$$

(3)计算第  $j$  项指标下第  $i$  个样本值占该指标的比重。

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}} \quad (3)$$

(4)计算第  $j$  项指标的熵值。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (4)$$

其中,  $k=1/\ln(n) > 0$ , 所以满足  $e_j \geq 0$ 。

(5)计算信息熵冗余度。

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

(6)计算各项指标的权重。

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (6)$$

### 2. 评价模型选取

采用灰色关联分析<sup>[14]</sup>选择评价模型,基本步骤如下。

(1)参考数列、比较数列的获取。参考数列是系统的评判标准,用来反映系统行为特征,通常情况下由系统中正向指标最大值或负向指标最小值组成最优值,记  $X_0(j)$ ; 比较序列指系统评价对象,记为  $X_i = \{X_i(j)\}$ 。根据所建立的评价指标体系,构建城市基础设施可持续发展能力评价参考数列和比较数列。

$$X_0(j) = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(j)\}$$

$$X_i(j) = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(j)\} \quad i=1, 2, \dots, n$$

式中:  $j$  表示指标的个数,  $n$  表示参考数列的总数,即评价年份的总数。

(2)数列无量纲化处理。为解决指标量纲不同的问题,收集数据后进行评价前要对原始指标数据进行归一化处理,即无量纲处理。采用的无量纲化计算公式如下。

正向指标:

$$C_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{0j} - X_{ij}\}}{\max\{X_{0j} - X_{ij}\} - \min\{X_{0j} - X_{ij}\}} \quad (7)$$

负向指标:

$$C_{ij} = \frac{\min\{X_{0j} - X_{ij}\} - X_{ij}}{\max\{X_{0j} - X_{ij}\} - \min\{X_{0j} - X_{ij}\}} \quad (8)$$

式中:  $C_{0j}$  为参考数列处理后标准值,  $C_{ij}$  表示



比较数列标准处理后第  $i$  年第  $j$  个评价值的标准值; $X_{0j}$  为第  $j$  个指标的最优值。

(3) 计算各城市各指标灰色关联系数。对原始数据进行无量纲处理后,计算评价指标各年的灰色关联系数。

$$\delta_{ij} = \frac{\min_i \min_j |C_{0j} - C_{ij}| + \rho \max_i \max_j |C_{0j} - C_{ij}|}{|C_{0j} - C_{ij}| + \rho \max_i \max_j |C_{0j} - C_{ij}|} \quad (9)$$

式中: $\delta_{ij}$  为第  $i$  年比较数列与参考数列标准化后相对差值,即在第  $i$  年第  $j$  个指标的关联系数; $\rho$  为分辨系数,通常取  $\rho = 0.5$ 。

(4) 计算综合灰色关联度。以各指标各年的灰色关联系数为基础,计算各年基础设施可持续发展能力在能力可持续、结构可持续、发展可持续 3 个子系统的关联度数值,用  $E_{ki}$  表示;并进一步计算城市基础设施各年的综合灰色关联度,用  $E_i$  表示。

$$E_{ki} = \sum_{j=1}^{15} w_{kj} \times \delta_{ij}, k = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$E_i = \sum_{k=1}^3 w_k \times E_{ki}, i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

式中: $w_{kj}$  为权重; $w_k$  为第  $k$  层的权重; $k$  为 3 种指标可持续层面,即能力可持续、结构可持续、发展可持续; $E_{ki}$  为第  $i$  年第  $k$  层的灰色关联度,表示第  $i$  年能力可持续、结构可持续、发展可持续发展的得分,得分越高,表明对应方面可持续发展能力越高; $E_i$  为第  $i$  年的总体灰色关联度,即第  $i$  年基础设施可持续发展能力的得分,得分越高,表示基础设施可持续发展能力越高。

对综合评价值进行比较并排序,为能够直观地判断城市基础设施可持续发展能力发展状况,按照文献[15]的研究成果,依据城市基础设施可持续发展能力评价值,将其划分为 5 个等级(见表 2)。

表 2 城市基础设施可持续发展能力等级划分

等级	高	较高	中等	较低	低
范围	0.85 ~ 1	0.65 ~ 0.84	0.45 ~ 0.64	0.25 ~ 0.44	0 ~ 0.24

### 三、辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力评价

随着辽宁省工业化和城镇化一体化稳步

推进,新一轮东北振兴战略的实施,辽宁省城市基础设施建设得到一定的发展。基于此,评价辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力状况,对了解辽宁省城市基础设施可持续发展能力所处水平,深入分析辽宁省城市基础设施可持续发展能力差异,缩小辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力差距,加速辽宁省城镇化建设,提升城市竞争力等具有重要实践意义。

#### 1. 数据来源与处理

选用 2013—2017 年辽宁省 14 个城市统计数据,对辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力进行分析。数据来源于 2014—2018 年《辽宁省统计年鉴》、财政部政府和社会资本合作中心官网和明树数据库官网等。

研究所选指标原始数据基于现有统计年鉴确定,鉴于 2013—2017 年某些年份统计数据存在异常,且官方尚未公布修正数据,故本研究的评价是数据修正之前的评价。

#### 2. 评价指标权重获取

为消除主观赋权偏差,提升评价结果精度,笔者收集 2013—2017 年辽宁省 14 个城市指标数据,运用熵权法计算指标权重,获取 2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力 15 个指标权重数值(见表 3)。

从指标权重结果可以看出,准则层中能力可持续指标  $X_1$  (0.471 2) 对基础设施可持续发展能力影响最大,其次是结构可持续  $X_2$  (0.349 1) 和发展可持续  $X_3$  (0.179 7)。指标层中人口净流动率  $X_{12}$  (0.185 1) 权重最大,PPP 项目占政府年度预算比  $X_{11}$  (0.1795)、类型结构合理性  $X_{23}$  (0.144 2)、GDP 年度增速比  $X_{13}$  (0.106 5) 次之。相比之下,发展可持续指标权重普遍较低。

#### 3. 评价模型构建

为 2013—2017 年辽宁省 14 个城市建立灰色关联模型,以 2013 年为例进行灰色关联分析,求取评价对象灰色关联评价值,获取数据后,依据上述灰色关联步骤,首先获得参考序列  $X_0$ 、比较序列  $X_1$ 。

表 3 2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
基础设施可持续发展指标体系 X	能力可持续 $X_1$	0.471 2	PPP 项目政府财政支出/ 政府年度一般预算内支出 $X_{11}$	0.179 5
			人口净流动率 $X_{12}$	0.185 1
			GDP 年度增速比 $X_{13}$	0.106 5
	结构可持续 $X_2$	0.349 1	地区结构合理 $X_{21}$	0.040 5
			投资主体结构合理 $X_{22}$	0.068 2
			类型结构合理 $X_{23}$	0.144 2
			城乡结构合理 $X_{24}$	0.096 1
			人均拥有道路面积 $X_{31}$	0.028 5
	发展可持续 $X_3$	0.179 7	用水普及率 $X_{32}$	0.006 1
			燃气普及率 $X_{33}$	0.004 1
			集中供热密度 $X_{34}$	0.042 6
			污水处理率 $X_{35}$	0.010 6
			人均绿地面积 $X_{36}$	0.020 4
			建成区绿化覆盖率 $X_{37}$	0.012 0
			每万人拥有城市公厕数 $X_{38}$	0.055 5

$X_0 = \{0.13\%, 0.174\ 1, 0.098\ 5, 0.350\ 5, 0.259\ 3, 0.968\ 3, 35\ 974.88, 18.46, 1, 1, 35.621, 100\%, 14.95, 59.00\%, 960\}$

$X_1 = \left\{ \begin{array}{l} 0.00\% \ 0.135\ 8 \ 0.084\ 2 \ 0.215\ 4 \ 0.073\ 3 \ 0.857\ 6 \ 21\ 206.87 \ 13.55 \ 100.00\% \ 100.00\% \ 35.621 \ 95.00\% \ 12.39 \ 2.22\% \ 960 \\ 0.08\% \ 0.174\ 1 \ 0.092\ 5 \ 0.278\ 1 \ 0.082\ 1 \ 0.146\ 0 \ 35\ 974.88 \ 13.5 \ 100.00\% \ 99.98\% \ 32.325 \ 95.96\% \ 11.22 \ 44.69\% \ 471 \\ 0.00\% \ 0.031\ 6 \ 0.079\ 8 \ 0.162\ 6 \ 0.080\ 1 \ 0.346\ 8 \ 12\ 196.71 \ 8.81 \ 100.00\% \ 100.00\% \ 16.218 \ 87.00\% \ 11.23 \ 8.70\% \ 207 \\ 0.00\% \ 0.040\ 1 \ 0.084\ 2 \ 0.141\ 7 \ 0.127\ 0 \ 0.193\ 2 \ 8\ 712.573 \ 10.39 \ 98.63\% \ 97.60\% \ 20.477 \ 75.00\% \ 10.36 \ 41.69\% \ 249 \\ 0.00\% \ 0.134\ 2 \ 0.073\ 1 \ 0.206\ 0 \ 0.078\ 5 \ 0.107\ 3 \ 16\ 142.11 \ 10.78 \ 97.89\% \ 93.40\% \ 18.040 \ 92.24\% \ 10.26 \ 49.74\% \ 274 \\ 0.00\% \ 0.012\ 3 \ 0.090\ 5 \ 0.265\ 8 \ 0.093\ 6 \ 0.968\ 3 \ 12\ 278.44 \ 16.15 \ 100.00\% \ 97.99\% \ 12.120 \ 62.99\% \ 10.99 \ 39.08\% \ 52 \\ 0.00\% \ 0.009\ 1 \ 0.082\ 3 \ 0.156\ 2 \ 0.147\ 3 \ 0.162\ 0 \ 6\ 869.631 \ 11.24 \ 100.00\% \ 99.09\% \ 10.794 \ 74.96\% \ 12.83 \ 41.77\% \ 151 \\ 0.00\% \ 0.050\ 9 \ 0.095\ 5 \ 0.204\ 1 \ 0.094\ 5 \ 0.575\ 8 \ 13\ 283.44 \ 7.17 \ 97.17\% \ 94.02\% \ 10.998 \ 79.00\% \ 10.15 \ 39.38\% \ 162 \\ 0.00\% \ 0.062\ 2 \ 0.098\ 5 \ 0.350\ 5 \ 0.109\ 4 \ 0.190\ 7 \ 11\ 282.04 \ 6.43 \ 98.77\% \ 75.01\% \ 16.159 \ 51.12\% \ 12.09 \ 41.75\% \ 251 \\ 0.00\% \ 0.029\ 2 \ 0.079\ 5 \ 0.128\ 3 \ 0.150\ 8 \ 0.322\ 6 \ 7\ 699.308 \ 16.56 \ 100.00\% \ 98.02\% \ 15.750 \ 100.00\% \ 9.54 \ 40.97\% \ 272 \\ 0.00\% \ 0.115\ 2 \ 0.085\ 2 \ 0.261\ 9 \ 0.048\ 8 \ 0.186\ 0 \ 27\ 430.2 \ 13.35 \ 100.00\% \ 100.00\% \ 22.209 \ 100.00\% \ 11.63 \ 39.30\% \ 95 \\ 0.00\% \ 0.116\ 9 \ 0.057\ 4 \ 0.183\ 9 \ 0.187\ 8 \ 0.061\ 3 \ 6\ 282.994 \ 18.46 \ 97.70\% \ 97.36\% \ 6.961 \ 100.00\% \ 11.95 \ 59.00\% \ 137 \\ 0.00\% \ 0.122\ 1 \ 0.089\ 3 \ 0.134\ 8 \ 0.259\ 3 \ 0.143\ 2 \ 3\ 981.988 \ 6.57 \ 98.84\% \ 94.69\% \ 6.775 \ 93.00\% \ 8.87 \ 23.88\% \ 210 \\ 0.13\% \ 0.076\ 1 \ 0.077\ 5 \ 0.137\ 8 \ 0.204\ 0 \ 0.070\ 6 \ 3\ 816.027 \ 12.22 \ 100.00\% \ 98.40\% \ 6.805 \ 92.48\% \ 14.95 \ 40.86\% \ 129 \end{array} \right\}$

根据式(7)对参考数列和比较数列进行无量纲化处理,计算差数列,可得差数列最大值为 1,最小值为 0,代入式(9)计算 2013 年辽宁省 14 个城市各灰色关联系数  $\delta_{ij}, j = 1, 2, \dots, 15$ 。

$\delta_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 0.333\ 3 \ 0.794\ 7 \ 0.589\ 7 \ 0.451\ 2 \ 0.361\ 4 \ 0.803\ 9 \ 0.521\ 3 \ 0.550\ 6 \ 1.000\ 0 \ 1.000\ 0 \ 1.000\ 0 \ 0.830\ 2 \ 0.542\ 9 \ 0.511\ 4 \ 1.000\ 0 \\ 0.565\ 2 \ 1.000\ 0 \ 0.774\ 0 \ 0.605\ 5 \ 0.372\ 7 \ 0.355\ 5 \ 1.000\ 0 \ 0.548\ 1 \ 1.000\ 0 \ 0.998\ 4 \ 0.814\ 0 \ 0.858\ 1 \ 0.449\ 0 \ 0.501\ 0 \ 0.481\ 4 \\ 0.333\ 3 \ 0.509\ 6 \ 0.523\ 6 \ 0.371\ 6 \ 0.370\ 1 \ 0.421\ 9 \ 0.403\ 4 \ 0.384\ 0 \ 1.000\ 0 \ 1.000\ 0 \ 0.426\ 4 \ 0.652\ 8 \ 0.447\ 7 \ 0.463\ 8 \ 0.376\ 1 \\ 0.333\ 3 \ 0.408\ 8 \ 0.589\ 7 \ 0.347\ 3 \ 0.443\ 2 \ 0.369\ 1 \ 0.371\ 0 \ 0.427\ 1 \ 0.508\ 1 \ 0.838\ 9 \ 0.487\ 8 \ 0.494\ 3 \ 0.398\ 4 \ 0.503\ 6 \ 0.389\ 7 \\ 0.333\ 3 \ 0.787\ 8 \ 0.447\ 2 \ 0.434\ 6 \ 0.368\ 0 \ 0.345\ 0 \ 0.447\ 7 \ 0.439\ 2 \ 0.401\ 4 \ 0.654\ 4 \ 0.450\ 7 \ 0.759\ 0 \ 0.393\ 3 \ 0.654\ 7 \ 0.398\ 2 \\ 0.333\ 3 \ 0.477\ 9 \ 0.719\ 8 \ 0.567\ 4 \ 0.388\ 5 \ 1.000\ 0 \ 0.404\ 3 \ 0.722\ 5 \ 1.000\ 0 \ 0.861\ 4 \ 0.380\ 3 \ 0.397\ 7 \ 0.434\ 3 \ 0.468\ 5 \ 0.333\ 3 \\ 0.333\ 3 \ 0.473\ 1 \ 0.559\ 2 \ 0.363\ 8 \ 0.484\ 4 \ 0.360\ 0 \ 0.355\ 9 \ 0.454\ 5 \ 1.000\ 0 \ 0.932\ 1 \ 0.367\ 5 \ 0.493\ 9 \ 0.589\ 1 \ 0.504\ 7 \ 0.359\ 5 \\ 0.333\ 3 \ 0.545\ 8 \ 0.872\ 6 \ 0.431\ 4 \ 0.389\ 8 \ 0.536\ 1 \ 0.414\ 7 \ 0.347\ 6 \ 0.333\ 3 \ 0.676\ 3 \ 0.369\ 4 \ 0.537\ 9 \ 0.387\ 8 \ 0.472\ 3 \ 0.362\ 6 \\ 0.333\ 3 \ 0.385\ 3 \ 1.000\ 0 \ 1.000\ 0 \ 0.412\ 6 \ 0.368\ 4 \ 0.394\ 4 \ 0.333\ 3 \ 0.535\ 0 \ 0.333\ 3 \ 0.425\ 7 \ 0.333\ 3 \ 0.515\ 3 \ 0.504\ 5 \ 0.390\ 4 \\ 0.333\ 3 \ 0.505\ 6 \ 0.519\ 6 \ 0.333\ 3 \ 0.492\ 5 \ 0.412\ 6 \ 0.362\ 5 \ 0.759\ 9 \ 1.000\ 0 \ 0.863\ 2 \ 0.420\ 6 \ 1.000\ 0 \ 0.359\ 8 \ 0.493\ 4 \ 0.397\ 5 \\ 0.333\ 3 \ 0.715\ 6 \ 0.607\ 1 \ 0.556\ 3 \ 0.333\ 3 \ 0.367\ 0 \ 0.653\ 0 \ 0.540\ 7 \ 1.000\ 0 \ 1.000\ 0 \ 0.518\ 2 \ 1.000\ 0 \ 0.478\ 0 \ 0.471\ 3 \ 0.344\ 2 \\ 0.333\ 3 \ 0.337\ 3 \ 0.333\ 3 \ 0.400\ 1 \ 0.595\ 6 \ 0.333\ 3 \ 0.351\ 3 \ 1.000\ 0 \ 0.380\ 9 \ 0.825\ 6 \ 0.334\ 8 \ 1.000\ 0 \ 0.503\ 3 \ 1.000\ 0 \ 0.355\ 5 \\ 0.333\ 3 \ 0.333\ 3 \ 0.690\ 8 \ 0.339\ 9 \ 1.000\ 0 \ 0.354\ 7 \ 0.334\ 5 \ 0.335\ 9 \ 0.549\ 5 \ 0.701\ 8 \ 0.333\ 3 \ 0.777\ 4 \ 0.333\ 3 \ 0.333\ 3 \ 0.377\ 1 \\ 1.000\ 0 \ 0.371\ 8 \ 0.494\ 6 \ 0.343\ 1 \ 0.655\ 4 \ 0.335\ 6 \ 0.333\ 3 \ 0.490\ 8 \ 1.000\ 0 \ 0.886\ 5 \ 0.333\ 6 \ 0.764\ 7 \ 1.000\ 0 \ 0.491\ 9 \ 0.353\ 3 \end{array} \right\}$

将求出的灰色关联系数代入式(11),计算 2013 年辽宁省 14 个城市灰色综合评价值及排序(见表 4)。同理,可求得 2014—2017 年辽宁省 14 个城市灰色综合评价值,可得 2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力综合评价值,并根据评价值大小对 14 个城市进行排名(见表 5)。

4. 结果分析

(1)2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力综合评价值分别为

表 4 2013 年辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力综合评价值

地区	综合评价值	排序
沈阳市	0.628 7	2
大连市	0.678 4	1
鞍山市	0.531 7	3
抚顺市	0.452 0	8
本溪市	0.471 6	7
丹东市	0.441 2	10
锦州市	0.522 7	4
营口市	0.484 9	6
阜新市	0.421 4	13
辽阳市	0.445 4	9
盘锦市	0.510 7	5
铁岭市	0.397 5	14
朝阳市	0.430 4	12
葫芦岛市	0.432 0	11

表 5 2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力综合评价值

地区	2013 年	排序	2014 年	排序	2015 年	排序	2016 年	排序	2017 年	排序
沈阳市	0.628 7	2	0.632 0	2	0.652 8	2	0.688 0	2	0.695 0	2
大连市	0.678 4	1	0.696 1	1	0.720 5	1	0.730 1	1	0.724 7	1
鞍山市	0.531 7	3	0.555 0	3	0.561 3	3	0.577 6	3	0.585 8	3
抚顺市	0.452 0	8	0.443 5	10	0.431 5	11	0.427 6	10	0.478 8	10
本溪市	0.471 6	7	0.529 5	6	0.547 0	5	0.489 4	7	0.532 8	6
丹东市	0.441 2	10	0.465 9	9	0.417 4	12	0.438 5	9	0.470 3	11
锦州市	0.522 7	4	0.533 9	5	0.535 5	7	0.538 1	6	0.510 6	7
营口市	0.484 9	6	0.529 2	7	0.555 2	4	0.557 3	4	0.563 7	5
阜新市	0.421 4	13	0.428 2	11	0.391 2	13	0.405 3	14	0.429 9	14
辽阳市	0.445 4	9	0.472 7	8	0.473 6	9	0.463 3	8	0.489 2	9
盘锦市	0.510 7	5	0.545 1	4	0.546 4	6	0.549 9	5	0.564 3	4
铁岭市	0.397 5	14	0.380 1	14	0.379 4	14	0.421 4	12	0.430 5	13
朝阳市	0.430 4	12	0.402 1	13	0.489 2	8	0.417 8	13	0.498 7	8
葫芦岛市	0.432 0	11	0.416 0	12	0.452 0	10	0.424 4	11	0.452 2	12

展能力为 0.25~0.45,城市基础设施可持续发展能力相对较低。

(3)2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力平均值最大的城市为大连 0.710,最小的为铁岭 0.401,相差 0.309,表明辽宁省城市间基础设施可持续发展能力差异较大,城市基础设施可持续发展能力仍有较大上升空间。

(4)为深入分析 2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施发展能力灰色综合评价值产生的原因,从能力可持续、结构可持续、发展可持续层面进行研究,得到 2013—2017 年 3 个层面 5 年平均数值,根据结果进行排

0.489 2、0.502 1、0.510 9、0.509 2、0.530 5,城市基础设施可持续发展能力总体呈上升趋势。14 个城市中,大连城市基础设施可持续发展能力最高,铁岭最低,城市间基础设施可持续发展能力差异较大。

(2)根据评价结果,将辽宁省 14 个城市基础设施可持续发展能力等级分为 3 类。第一类包含大连、沈阳两个副省级城市,其城市基础设施可持续发展能力为 0.65~0.84,城市基础设施可持续发展能力相对较高;第二类包含鞍山、营口、盘锦、锦州、本溪和辽阳等 6 个城市,城市基础设施可持续发展能力为 0.45~0.64,基础设施可持续发展能力处于中等水平;第三类包括抚顺、丹东、阜新、朝阳、铁岭和葫芦岛等 6 个城市,城市可持续发

序(见表 6),可知能力可持续层面排名较高的城市为大连、沈阳、本溪、锦州,排名较低的城市为丹东、葫芦岛、阜新、铁岭;结构可持续层面,大连、沈阳、营口和盘锦排名较高,本溪、阜新、辽阳、铁岭、朝阳和葫芦岛排名较低,具体到指标层面,鞍山、抚顺、锦州、辽阳地区结构合理性方面排名较低;本溪、丹东、盘锦、营口等城市在投资类型结构合理性方面排名较低;阜新、盘锦、铁岭、葫芦岛资源型城市在基础设施类型结构合理性排名较低,基础设施发展相对比较不平衡;阜新、朝阳等在城乡结构合理性排名较低。发展可持续层面,大连、沈阳、鞍山、盘锦和营口排名较高,

表 6 2013—2017 年辽宁省 14 个城市基础设施准则层平均值及排名

地区	能力可持续		结构可持续		发展可持续		总体可持续	
	平均值	排名	平均值	排名	平均值	排名	平均值	排名
沈阳市	0.308 4	2	0.194 7	3	0.156 1	1	0.659 3	2
大连市	0.369 4	1	0.212 4	1	0.128 1	3	0.709 9	1
鞍山市	0.264 2	6	0.156 9	6	0.141 1	2	0.562 3	3
抚顺市	0.213 8	10	0.150 5	8	0.082 4	13	0.446 7	10
本溪市	0.283 2	3	0.143 1	13	0.087 8	7	0.514 1	7
丹东市	0.209 9	11	0.152 8	7	0.084 0	12	0.446 7	11
锦州市	0.275 1	4	0.167 8	5	0.085 2	10	0.528 2	6
营口市	0.254 9	7	0.195 6	2	0.087 6	8	0.538 1	5
阜新市	0.183 2	13	0.147 3	11	0.084 6	11	0.415 2	13
辽阳市	0.224 4	8	0.143 4	12	0.101 1	4	0.468 8	8
盘锦市	0.266 1	5	0.181 0	4	0.096 1	5	0.543 3	4
铁岭市	0.167 1	14	0.147 9	10	0.086 8	9	0.401 8	14
朝阳市	0.224 3	9	0.148 4	9	0.074 9	14	0.447 6	9
葫芦岛市	0.203 6	12	0.140 9	14	0.090 8	6	0.435 3	12

丹东、阜新、铁岭和葫芦岛排名较低。

四、结 论

(1)辽宁省城市基础设施可持续发展能力逐年提高,但总体综合评价价值较低,处于中等水平,城市基础设施可持续发展能力上升空间大;14 个城市中,大连城市基础设施可持续发展能力最高,铁岭基础设施可持续发展能力最低,城市间基础设施可持续发展能力差异显著。

(2)各城市基础设施可持续发展能力各自存在优缺点,根据准则层评价价值可知,能力可持续对城市基础设施可持续发展能力影响最大,其次为结构可持续指标和发展可持续指标。14 个城市中能力可持续层面排名最高的是大连,最低的是铁岭;结构可持续层面排名最高的为大连,最低的为葫芦岛;发展可持续排名最高的为沈阳、最低的为朝阳。

(3)经济发展水平较高的城市同经济。发展水平落后的城市相比,更注重城市基础设施建设,城市基础设施可持续发展能力也相对较高。

(4)各城市应针对自身基础设施发展状况,因地制宜,有目的性地进行改进,资源型城市阜新、盘锦、抚顺、鞍山等在发展交通基础设施的同时,要注意发展市政公共设施,改善城市基础设施分布不合理现象,使各类型

基础设施协调均衡发展,提升基础设施结构合理性,从而提升城市基础设施可持续发展能力。

参考文献:

[1] 杨锋,邢立强,刘春青. 城市基础设施可持续发展评价指标体系研究[J]. 中国经贸导刊, 2015(6):49-51.

[2] PATIL N A, THARUN D, LAISHRAM B. Infrastructure development through PPPs in India:Criteria for sustainability assessment[J]. Journal of environmental planning & management,2015:708-729.

[3] 周君. 民生视角下城市基础设施可持续建设的评价方法与协同监管[J]. 城市发展研究, 2013(2):133-137.

[4] 孙海玲,李旭伟. 大型基础设施可持续发展能力评价体系的构建[J]. 统计与决策, 2013(16):28-31.

[5] CHENG M, LIU P. Integrated model for evaluating infrastructure sustainability in China [J]. American society of civil engineers,2014: 1309-1318.

[6] 程敏,陈辉. 城市基础设施可持续发展水平的组合评价[J]. 城市问题,2012(2):15-21.

[7] 韩传峰,陈建业. 大型基础设施项目群组决策的模糊评价[J]. 同济大学学报(自然科学版),2007(1):133-137.

[8] SHEN L Y, JIAO L, HE B, et al. Evaluation on



the utility efficiency of metro infrastructure projects in China from sustainable development perspective[J]. International journal of project management,2014,33(3):528-536.

[9] 孟俊娜,房宁,刘炳胜,等. 基于直觉模糊集的城镇基础设施项目可持续性评价[J]. 模糊系统与数学,2015(1):167-174.

[10] 王德东,程功. 城镇化基础设施建设的可持续研究:基于 SD 分析系统[J]. 工程经济,2016,26(1):56-60.

[11] 于博,尚英姿. 城市基础设施支撑体系研究:基于可持续发展的视角[J]. 经济视角(上旬刊),2014(5):16-17.

[12] 项英辉,笄可宁. 基础设施投融资:结构 安全 创新[M]. 北京:中国电力出版社,2016.

[13] 张大海,祝志川. 因子分析与熵值法下我国营商环境评价[J]. 财会月刊,2019(18):124-130.

[14] 王义保,杨婷惠,王世达,等. 基于组合赋权和灰色关联的城市公共安全感评价[J]. 统计与决策,2019(18):45-50.

[15] 谭永忠,吴次芳,叶智宣,等. 城市土地可持续利用评价的指标体系与方法[J]. 中国软科学,2003(3):139-143.

# Analysis of Sustainable Development Capability of Urban Infrastructure in Liaoning Province: Based on Grey Correlation Model

XIANG Yinghui, HOU Lele  
(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** By constructing an evaluation index system for urban infrastructure sustainable development capability, this paper provides an effective evaluation and quantification method for measuring the sustainable development capacity of urban infrastructure, and has important guiding significance for narrowing the gap in urban infrastructure sustainable development capacity and improving urbanization quality. Taking the capacity of urban infrastructure sustainable development as the research goal, through reviewing relevant literature and consulting experts in the field of infrastructure, 15 evaluation indicators are constructed from three levels: capacity sustainability, structural sustainability and development sustainability with entropy weight method to establish index weights. A grey correlation comprehensive evaluation model was established to evaluate the sustainable development capacity of infrastructure in 14 cities in Liaoning Province from 2013 to 2017. The results show that the sustainable development capacity of urban infrastructure in Liaoning Province from 2013 to 2017 is generally on the rise, but there is still room for improvement. Dalian has the highest sustainable development capacity of infrastructure while Tieling city is the lowest, and the difference in sustainable development capacity of urban infrastructure is significant.

**Key words:** urbanization; urban infrastructure; sustainable development capability; entropy method; grey correlation analysis

(责任编辑:郝 雪 英文审校:林 昊)