

# 城市公共基础设施系统供给水平评价

陶志梅<sup>1,2</sup>, 孙钰<sup>1,2</sup>

(1. 天津大学 经济与管理学部, 天津 300072; 2. 天津商业大学 公共管理学院, 天津 300134)

**摘要:** 城市公共基础设施子系统的相互影响不仅体现在突发事件中, 而且体现在基础设施的日常管理中, 并对公共基础设施及其资源的整体供给水平产生一定的影响。本文基于城市公共基础设施内部子系统的相互影响, 构建公共基础设施系统供给水平评价模型, 并综合德尔斐法、网络层次分析法和灰关联分析法对城市公共基础设施系统供给水平进行评价分析。通过分析京津冀、长三角和珠三角地区主要城市的公共基础设施系统供给水平, 发现北京和上海的公共基础设施系统供给水平明显高于区域内其他城市。天津的电信系统和苏州的轨道系统、防灾系统能够有效改善相应城市的公共基础设施系统供给水平, 促进区域相对均衡发展。

**关键词:** 城市公共基础设施; 供给水平; 评价模型

中图分类号: F299.24 文献标识码: A 文章编号: 1000-476X(2016)10-0122-07

## 一、引言

城市公共基础设施是城市发展必须具备的工程性基础设施的总称, 为城市经济发展和人民生活提供基本的物质保障。城市公共基础设施包括能源、供排水、道路交通、邮电通信、环境保护和防灾等六个子系统, 这六个子系统相对独立地为城市提供产品和服务, 并相互影响、相互依存, 共同协同作用<sup>[1]</sup>, 表现出复杂的系统特征。

近几年, 中国城市公共基础设施建设投入持续增加, 取得了一定的成就, 在一定程度上缓解了城市经济和社会发展的需求。但由于城市公共基础设施各子系统特殊的技术经济性质和各自的行政管理体制划分, 城市公共基础设施的各子系统分别由不同的职能部门管理, 在一定程度上导致了不同基础设施之间跨部门整体系统效用考察

的困难和缺失, 进而影响城市公共基础设施系统供给水平的提升。

从现有文献看, 针对公共基础设施供给水平评价的研究主要包括两个方向。第一个方向是从宏观和本体层面将公共基础设施系统作为区域竞争力的组成部分进行评价或对公共基础设施发展水平进行评价。Sala-I-Martin等<sup>[2]</sup>通过设立经济绩效、政府效率、商业效率和公共设施等四个方面的指标体系, 评价不同国家的竞争实力及其变化, 其中公共设施指标包括基础设施、技术设施、科技设施、健康和环境, 以及教育等工程类、社会类、生活类设施部分。还有一些文献从基础设施的长效性、可持续发展水平和综合绩效等角度, 评价城市公共基础设施系统的供给水平<sup>[3]</sup>。第二个方向是从城市公共基础设施系统

收稿日期: 2016-08-21

基金项目: 国家自然科学基金项目“城市公共基础设施利用效益研究”(NSF71273186); 天津市社会科学规划基金项目“城市公共基础设施绩效与公众感知评价的契合度研究——以京津冀主要城市为例”(TJGL15-040)

作者简介: 陶志梅(1973-)女, 甘肃天水人, 博士研究生, 副教授, 主要从事公共基础设施运营效率研究。E-mail: taotao@tjcu.edu.cn  
孙钰(1965-)女, 天津人, 博士生导师, 教授, 主要从事城市公共基础设施优化利用和土地承载力研究。

与城市经济社会协调发展情况评价其供给水平<sup>[4-5]</sup>。

现有研究对城市公共基础设施系统供给水平的评价主要从公共基础设施能否满足经济社会发展需要这一视角出发,分别从宏观指标设施、公共基础设施本体,以及公共基础设施与经济社会协调发展等角度,评价城市公共基础设施系统的供给水平。但从公共基础设施各子系统的相互影响关系对公共基础设施系统供给水平进行评价的文献仍然非常稀缺。

国外早期文献分析了公共基础设施的系统性,以及在突发情况下,公共基础设施系统内部相互影响性的主要表现形式。Rinalidi等<sup>[6]</sup>研究公共基础设施的系统性问题,提出公共基础设施系统内部的相互影响性表现为物理性、网络性、地理性和逻辑性等。Zimmerman<sup>[7]</sup>认为公共基础设施内部具有功能性和空间性的相互影响。Pederson等<sup>[8]</sup>概括公共基础设施之间的关系为物理性、地理空间性、政策性和信息性的相互影响关系。Lee等<sup>[9]</sup>将公共基础设施的相互影响性分为投入性、共同性、分享性、独有性和同一地点性等五种类型。Zhang和Peeta<sup>[10]</sup>提出公共基础设施的相互影响性表现为功能性、物理性、预算性和经济性。

近年来,国外文献研究发现公共基础设施及其资源的相互影响作用在日常的经营管理活动中同样存在,由于公共基础设施的不同子系统之间存在相互影响性,因而需要加强不同公共基础设施子系统的战略协同,以提升公共基础设施系统的整体供给水平。Klein等<sup>[11]</sup>通过分析加利福尼亚州水能关系,认为应当将供水战略与能源战略相结合,加强水资源与能源部门之间的联系,通过联合水资源和能源资源,以及基础设施管理,来实现可观的公共基础设施供给的增量效应。Bartos和Chester<sup>[12]</sup>通过分析美国亚利桑那州的水资源与能源关系,明确节约用水能够降低全州0.8%—3.1%的用电需求,采取节能措施和可再生能源发电的投资组合可以有效减少1.9%—15%的非农业用水需求。Roelich等<sup>[13]</sup>通过分析资源与公共基础设施的宏观系统相互影响关系,明确了资源需求之间的相互影响性及公共基础设施系统的复杂性,强调通过宏观层面供给与需求的整合管理提高公共基础设施运营效率。

美国于1996年成立了总统委员会,用于协

调公共基础设施的相互影响性,为公共基础设施相互作用的效率和级联效应提供综合的管理和服务<sup>[14]</sup>。加拿大明确了本国关键公共基础设施的概念,并通过单独立法强化关键基础设施的管理<sup>[15]</sup>。中国对城市公共基础设施相互影响性的研究起步较晚。由于城市公共基础设施各子系统的技术特征差异和各类公共基础设施都分别归属不同的部门管理,又因为中国中央政府和地方政府行政机构设置长期存在机构重叠、职能不清、部门林立、职责交叉和政出多门等问题<sup>[16]</sup>,缺乏对跨领域公共基础设施网络化数据和资料的收集、整理及管理活动,更显示出公共基础设施的跨领域协调存在障碍和问题。在信息技术的挑战日益加大、城市公共基础设施间相互影响逐渐深入的客观条件下,应该从宏观管理层明确城市公共基础设施及其相互影响性的重要性,持续、深入地研究城市公共基础设施的相互影响现象对城市公共基础设施系统供给水平的影响,以及公共基础设施的相互影响性对公共基础设施各子系统结构的作用,进而实现城市公共基础设施的经济效用、社会效用和环境效用。

从现有文献的主要关注点来看,城市公共基础设施供给水平评价研究主要着眼于公共基础设施提升区域竞争力和满足城市发展的可持续性、长效性和经济社会发展需要等方面。然而,由于中国缺乏对城市公共基础设施内部子系统相互影响性的研究,将城市公共基础设施系统作为整体,考虑内部子系统之间的相互影响关系,进而评价城市公共基础设施系统的整体供给水平的研究仍非常稀缺。本文从宏观层面考察城市公共基础设施系统供给水平,研究城市公共基础设施的相互影响性对系统整体效用实现的影响,构建系统内部相互影响性的公共基础设施系统供给水平评价模型,为提高城市公共基础设施系统供给水平提供政策建议。

## 二、表现形式、评价模型和主要方法

考虑到城市公共基础设施系统供给能力研究过程中各子系统之间相互影响关系的表现需要,从中国同类城市地域分布和公共基础设施系统供给能力研究的视角,本文将城市公共基础设施系统划分为十个子系统,分别为电力系统、供气系统、邮政系统、电信系统、给排水系统、道路系统、轨道系统、防灾系统、环卫系统和绿化系统。

### (一) 表现形式

考虑到城市公共基础设施宏观管理活动和公共基础设施相互影响性对系统供给效用实现的影响作用,结合中国城市公共基础设施系统的管理实践,本文认为中国城市公共基础设施内部子系统之间相互影响性主要有四种表现形式:

第一,相同的规制环境和预算约束。城市的公共基础设施属于公共产品或准公共产品。由于城市公共基础设施的基础性、重要性,在中国,城市公共基础设施子系统的规划、建设、管理和运营等活动主要受到政府规制,面临相同的规制环境。中国的城市公共基础设施建设资金主要来自于各级政府,在政府既定财政的约束条件下,应对其进行宏观统筹设计,协调不同类别的城市公共基础设施的建设增量投入。

第二,共同的市场和客户端。城市公共基础设施的产品和服务是为既定区域的用户群体提供的。不同的公共基础设施子系统面对着相同的城市用户。在用户既定收入的约束条件下,部分城市公共基础设施的用户需求存在着互补和替代关系。比如城市道路交通、公共交通,以及城市公路、铁路、航运之间存在一定的替代关系,城市主要道路、轨道交通及其他城市公共交通之间的布局和流量存在互补关系。

第三,网络的相互依存性。伴随信息技术的发展,城市公共基础设施各子系统的运营与管理时刻不能离开信息数据的支持,而这些数据的传输需要来自于高度发展的现代通讯技术和电信基础设施。网络化的计算机系统和电信基础设施是其他城市公共基础设施运营管理活动的基础。

第四,功能的相互补充性。城市公共基础设施中的经济类设施,诸如能源、道路等设施在建设过程中需要消耗大量的资源,并产生工业垃圾、污水等污染物,而城市的环卫、绿化等环境类公共基础设施的产品和服务有助于净化城市空气、洁净水源、处理污水和固体垃圾等污染物和废弃物,帮助城市维持洁净的空气、水资源,并能使城市的废弃物产生一定的经济效益,促进城市的可持续发展。

### (二) 评价模型

本文的主要目标是评价具有相互影响性的城市公共基础设施系统的整体供给水平。城市公共基础设施的效用表现为经济效用( $C_1$ )、社会效用( $C_2$ )和环境效用( $C_3$ )三个方

面<sup>[17-18]</sup>。评价模型分两个层级,如表1所示。第一层级是系统网络层,模型中的公共基础设施系统十个子系统分别为给排水系统( $I_1$ )、道路系统( $I_2$ )、轨道系统( $I_3$ )、绿化系统( $I_4$ )、环卫系统( $I_5$ )、电力系统( $I_6$ )、邮政系统( $I_7$ )、电信系统( $I_8$ )、防灾系统( $I_9$ )和供气系统( $I_{10}$ )。模型的第二层级为系统指标层,对每个子系统分别使用相应的供给水平指标代表其供给水平。

表1 城市公共基础设施系统供给水平  
评价指标体系构建

系统网络层	系统指标层	单位
给排水系统 $I_1$	供水总量 $I_{11}$	万吨
	建成区供水管道密度 $I_{12}$	千米/平方千米
	建成区排水管道密度 $I_{13}$	千米/平方千米
	综合生产能力 $I_{14}$	万立方米/日
道路系统 $I_2$	人均城市道路面积 $I_{21}$	平方米
	年末实有城市道路面积 $I_{22}$	万平方米
	城市道路长度 $I_{23}$	千米
轨道系统 $I_3$	每万人拥有公共汽车 $I_{31}$	辆
	全年公共汽(电)车客运总量 $I_{32}$	万人次
	轨道交通线路长度 $I_{33}$	千米
	年末实有出租车数量 $I_{34}$	量
绿化系统 $I_4$	绿地面积 $I_{41}$	公顷
	建成区绿化覆盖率 $I_{42}$	%
	人均公园绿地面积 $I_{43}$	平方米
环卫系统 $I_5$	一般工业固体废物集中利用率 $I_{51}$	%
	污水处理厂集中处理率 $I_{52}$	%
	生活垃圾无害化处理率 $I_{53}$	%
	道路清扫保洁面积 $I_{54}$	万平方米
	生活垃圾无害化处理能力 $I_{55}$	吨/日
	污水处理总量 $I_{56}$	万立方米
电力系统 $I_6$	发电量 $I_{61}$	亿千瓦时
	电力消费量 $I_{62}$	亿千瓦时
	水力、火力发电比 $I_{63}$	%
邮政系统 $I_7$	年末邮政局所数 $I_{71}$	所
	邮政业务收入 $I_{72}$	万元
电信系统 $I_8$	电信业务收入 $I_{81}$	万元
	固定电话年末用户数 $I_{82}$	万户
	移动电话年末用户数 $I_{83}$	亿立方米
	互联网宽带接入用户数 $I_{84}$	万户
防灾系统 $I_9$	每万人拥有医院床位数 $I_{91}$	个
供气系统 $I_{10}$	天然气储气能力 $I_{101}$	万立方米
	城市天然气供气管道长度 $I_{102}$	千米
	供气总量 $H_{103}$	万立方米
	天然气汽车加气站 $H_{104}$	座

数据来源 《中国城市建设统计年鉴2013》、《中国城市统计年鉴2014》和《中国统计年鉴2014》。

(三) 主要方法

在建构评价模型的基础上，本文通过德尔斐法明确各子系统供给水平的评价维度和指标选择，考虑到存在模糊指标的情况，通过灰关联分析法明确各子系统的供给水平评价值，并通过网络层次分析法（The Analytic Network Process, ANP）分析、表现各子系统的相互影响性及其重要性的权重。

本文采用德尔斐法选择城市公共基础设施十个子系统的评价指标维度。为选择科学有效的公共基础设施子系统评价指标，本文邀请包括高校学者、天津城投集团副高级以上工程师、天津政府工作人员及两个公众代表在内的十三位专家，经过“背靠背”的专家咨询、问卷调查和讨论，按照可得性、代表性原则，最终形成本文所需的城市公共基础设施子系统供给水平评价的系统指标层指标。

为有效地实现具有相互影响性的公共基础设施系统的整体供给水平评价，本文选择网络层次分析法反映公共基础设施各子系统相互影响性的混合权重对系统整体供给水平的影响效应。模型将公共基础设施系统的整合供给效应从经济效益、社会效益和环境效益三个层面的准则判断。模型的系统网络层则通过 ANP 得到公共基础设施系统中各子系统的综合权重。

灰色系统理论的研究对象是“部分信息已知，部分信息未知”的“贫信息”不确定性系统，通过对部分已知信息的生成、开发实现对现实世界的确切描述和认识。其最大的特点是对样本量没有严格要求，不要求服从任何分布。社会、经济等系统具有明显的层次复杂性、结构模糊性，以及指标数据的不完全性、不确定性等。因此，灰关联分析法具有广泛的适用性。模型的第二层级指标在评价的过程中，由于部分指标数据具有一定程度的不完全性和模糊性，通过灰关联分析法，可以得到十个公共基础设施子系统的评价值。

(四) 主要步骤

1. 通过 ANP 得到公共基础设施子系统的混合权重

根据公共基础设施之间的相互影响性，判断十个子系统之间的相互影响关系，构建城市公共基础设施子系统相互影响的 ANP 结构。这一过程由相关专家协商进行。

计算 ANP 超矩阵和加权超矩阵。ANP 结构中的评价准则为系统关系判断的基本依据，分别反映评价的总目标。假设 ANP 结构中的评价准则为  $C_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ )；系统网络层则有子系统  $I_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )。在具有相互影响性的城市公共基础设施系统供给水平评价过程中，以  $C_i$  为准则，判断城市公共基础设施子系统之间的相互影响关系。在此基础上，构建判断矩阵，形成特征向量  $(w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij})$ 。当特征向量通过一致性检验，则将其表达为矩阵形式，生成局部的权重向量矩阵  $W_{ij}$ 。在控制评价准则指标  $C_i$  影响下形成  $m$  个超矩阵  $W$ ，但是  $W$  不是归一化的矩阵。为了使计算结果具有客观性和可比性，将超矩阵列进行归一化处理。设对应加权因子为  $Y_{ij}$  ( $i, j=1, 2, 3, \dots, n$ )，则超级加权矩阵  $\bar{W}_{ij} = Y_{ij} W_{ij}$ 。

为反映子系统之间的相互影响关系，需要对超矩阵的稳定性进行处理。对超级加权矩阵  $\bar{W}_{ij}$  进行稳定性处理，生成 ANP 极限矩阵  $W^\infty$ ，处理方式：

$$W^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{W}_{ij}^k \right) \quad (1)$$

式 (1) 收敛且唯一，则原矩阵中对应列的值为城市公共基础设施子系统的稳定性权重<sup>[19]</sup>。

2. 通过灰关联分析法确定各子系统的供给水平评价值

(1) 指标的标准化

对城市公共基础设施所构建的指标，在评价标准上有不同的价值类型，因而首先要对要素指标进行标准化处理。设城市为  $m$ ，公共基础设施子系统的评价指标数为  $n$ ，评价指标原始数据矩阵为  $q_{ij}$ ，评价指标标准化数据矩阵为  $p_{ij}$ ，则效益型指标和成本型指标标准化处理公式<sup>[20]</sup>为：效益型指标，如式 (2) 所示；成本型指标，如式 (3) 所示。

$$p_{ij} = (q_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} q_{ij}) / (\max_{1 \leq i \leq m} q_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} q_{ij}) \quad (2)$$

$$p_{ij} = (\max_{1 \leq i \leq m} q_{ij} - q_{ij}) / (\max_{1 \leq i \leq m} q_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} q_{ij}) \quad (3)$$

(2) 灰色关联系数的测算

分别取公共基础设施系统十个子系统各评价指标最大值构成的序列为参考序列，即为  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10}$ ，其中电力系统最大值序列为  $R_1, R_1 = \{p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1n}\}$ ， $p_{1j} = \max_{1 \leq i \leq m} p_{ij}$ ， $j=1, 2, \dots, n$ 。  $R_2 \dots$

$R_{10}$  以此类推, 则十个子系统第  $i$  个城市第  $j$  项指标的灰色关联系数为:

$$\delta_{ij} = \frac{\min_j |p_{1j} - p_{ij}| + \lambda \max_j |p_{1j} - p_{ij}|}{|p_{1j} - p_{ij}| + \lambda \max_j |p_{1j} - p_{ij}|} \quad (4)$$

式 (4) 中令分辨系数  $\lambda = 0.5$ 。

### (3) 灰关联熵法确定权重

由于上述各项评价指标的灰色关联系数构成的序列为灰列, 因此, 城市公共基础设施电力子系统第  $j$  项评价指标的灰关联熵<sup>[19-20]</sup> 为:

$$E_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m e_{ij} \ln e_{ij} \quad (5)$$

式 (5) 中,  $e_{ij} = \delta_{ij} / \sum_{i=1}^m \delta_{ij}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , 且  $e_{ij} \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^m e_{ij} = 1$ 。

城市公共基础设施电力子系统第  $j$  项评价指标的灰关联熵权为:

$$w_j = k_j / \sum_{j=1}^n k_j \quad (6)$$

式 (6) 中,  $k_j = 1 - E_j$  为第  $j$  项指标的偏离度。

### (4) 城市公共基础设施子系统供给水平评价模型

结合公共基础设施的子系统综合发展指数评价指标的标准化值及灰关联熵权, 本文采用线性加权法, 给出了公共基础设施的子系统综合指数评价模型为:

$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j p_{ij} \quad (7)$$

式 (7) 中,  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ,  $V_i$  为电力子系统综合评价价值,  $i = 1, 2, \dots, m$ 。

由此可以得到电力子系统的综合发展指数, 其他系统的综合评价指数的计算过程相同。

### 三、经验分析

根据评价指标体系, 考虑数据的可得性和代表性, 本文选取京津冀、珠三角和长三角地区中的七个主要城市: 北京、天津、上海、苏州、广州、深圳和重庆作为实例分析, 评价这些城市基于相互影响性的城市公共基础设施系统整体供给水平。根据城市公共基础设施系统供给水平评价目标, 结合城市公共基础设施十个子系统之间的相互影响关系, 运用 Super Decisions 软件构建城市公共基础设施系统供给水平评价的 ANP 结构模型。

考虑到所研究问题的专业性较强, 选择在城市公共基础设施领域工作的高级管理人员、副高级以上工程师等八位专家对城市公共基础设施子系统相互影响性进行打分。在公共基础设施子系统的相关维度视角下, 专家根据城市公共基础设施各子系统相互影响性的贡献率原则、普及率原则和不可替代率原则, 评价得出不同准则层面的相对重要性比较值。在城市公共基础设施系统整体供给水平的 ANP 模型中, 分别以经济效用 ( $C_1$ )、社会效用 ( $C_2$ )、环境效用 ( $C_3$ ) 为评价准则, 判断网络层各城市公共基础设施子系统  $I_i$  之间的相互影响关系, 并建立相应的判断矩阵。<sup>①</sup> 指标之间的关系采用九分法, 1—9 表示某子系统对另一个子系统的影响度逐渐加大。判断矩阵的打分取专家打分的均值。该判断矩阵的一致性检验结果为 0.041 ( $< 0.100$ ), 表明该判断矩阵通过一致性检验。同理, 在宏观控制准则层中以“具有相互影响性的城市公共基础设施供给水平评价”为评价准则, 建立准则层判断矩阵。当所有的判断矩阵通过一致性检验后, 运用 Super Decisions 软件生成城市公共基础设施系统供给水平评价模型的 ANP 超矩阵、加权超矩阵及极限矩阵。极限矩阵中各极限收敛且唯一, 得到具有相互影响性的城市公共基础设施供给水平评价模型中各子系统的权重。

运用 Super Decisions 软件得到模型的控制准则权重为  $W_i = (0.547, 0.345, 0.108)$ ; 网络层的各子系统的权重分别为  $W_{ij} = (0.174, 0.045, 0.176, 0.041, 0.082, 0.091, 0.022, 0.139, 0.154, 0.075)$ 。本文进一步按照公共基础设施各子系统的权重将城市公共基础设施各子系统分为四类, 其中给排水系统和轨道系统的赋权值最高, 权重大于 0.170; 电信系统和防灾系统比较重要, 权重值分别为 0.139 和 0.154; 电力系统和环卫系统的重要性相对比较高, 其权重值分别为 0.091 和 0.082; 邮政系统的重要性最低, 赋权值仅为 0.022。

通过对北京、天津、上海、苏州、广州、深圳和重庆等七个城市十个子系统的公共基础设施评价指标的相关数据进行搜集和标准化处理, 确定灰关联系数、灰关联熵权, 得到七个城市的公

① 限于文章篇幅, 以  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  为评价准则的 ANP 判断矩阵不予列出, 如有需要, 请向作者索取。

共基础设施子系统的公共基础设施供给水平评价 值，如表 2 所示。

表 2 典型城市公共基础设施子系统供给水平评价

	给排水	邮 政	电 信	防 灾	道 路	轨 道	绿 化	环 卫	供 电	供 气
北 京	0.532	0.286	0.819	0.536	0.440	0.727	0.667	0.760	0.110	0.545
天 津	0.360	0.189	0.000	0.241	0.652	0.213	0.101	0.561	0.175	0.240
上 海	0.732	0.645	0.882	0.690	0.228	0.577	0.367	0.923	0.659	0.702
苏 州	0.217	0.095	0.069	0.029	0.196	0.019	0.327	0.328	0.320	0.029
广 州	0.235	0.258	0.622	0.684	0.507	0.311	0.800	0.472	0.246	0.037
深 圳	0.225	0.688	0.395	0.297	0.796	0.479	0.683	0.819	0.305	0.285
重 庆	0.048	0.471	0.397	0.425	0.525	0.224	0.482	0.320	0.543	0.412

将网络层次分析法赋权后的十个子系统的评价值进行汇总后，可以得到七个城市公共基础设施供给水平评价，如表 3 所示。从各城市公共基础设施供给水平评价看，十个子系统的公共基础设施重要性赋权情况很大程度上影响了公共基

础设施系统的总体供给水平。从七个主要城市公共基础设施系统整体供给情况看，上海和北京的城市公共基础设施系统整体供给水平较好，天津和苏州的整体供给水平最低，广州和深圳的整体供给水平相对比较均衡。

表 3 赋权后的典型城市公共基础设施子系统供给水平评价

	给排水	邮 政	电 信	防 灾	道 路	轨 道	绿 化	环 卫	供 电	供 气
北 京	0.093	0.007	0.114	0.082	0.020	0.128	0.028	0.062	0.010	0.041
天 津	0.063	0.004	0.000	0.037	0.029	0.037	0.004	0.046	0.016	0.018
上 海	0.128	0.015	0.123	0.106	0.010	0.102	0.015	0.076	0.060	0.053
苏 州	0.038	0.002	0.010	0.004	0.009	0.003	0.014	0.027	0.029	0.002
广 州	0.041	0.006	0.087	0.105	0.023	0.055	0.033	0.039	0.022	0.003
深 圳	0.039	0.016	0.055	0.046	0.036	0.084	0.028	0.067	0.028	0.021
重 庆	0.008	0.011	0.055	0.065	0.023	0.039	0.020	0.026	0.050	0.031

与京津冀、长三角地区的城市公共基础设施系统整体供给水平比较，上海和北京的城市公共基础设施系统供给水平仍然处于绝对优势地位，珠三角地区主要城市公共基础设施资源比较均衡。根据表 3，通过分析七个城市公共基础设施子系统评价值对城市公共基础设施供给水平总评价值占比情况发现，天津电信系统的评价为 0，占比为 0，这大大影响了天津的城市公共基础设施系统整体供给水平的评价。苏州的轨道系统和防灾系统的评价在该市公共基础设施系统供给水平评价中占比较小，分别为 2.1% 和 2.9%。进一步研究发现，在七个城市中，天津的电信系统的评价指标值都是最小值，因此，电信系统的评价为 0。而电信系统在相互影响性的城市公共基础设施系统评价模型中，权重高达 0.139，因此，天津的电信系统发展相对滞后，严重影响了该市公共基础设施系统的整体供给水平。对于苏州而言，面对城市公共基础设施系统网络层次分析中权重值高达 0.176 和 0.139 的城市轨道系统和防灾系统，苏州的城市轨道系统和防灾系统评价在系统整体供给水平评价的占

比非常低，因此，提升苏州轨道系统和防灾系统发展水平，有助于该市的公共基础设施的供给水平得到改善。

#### 四、结论与建议

本文基于城市公共基础设施系统普遍存在的子系统之间的相互影响现象构建城市公共基础设施系统二层次的供给水平评价模型，通过德尔斐法、网络层次分析法和灰关联分析法等多标准评价法对城市公共基础设施系统的整体供给水平进行评价分析，研究发现：

城市公共基础设施系统由一系列子系统组成，各子系统相对独立地为城市经济社会发展提供产品和服务。城市公共基础设施各子系统存在着普遍的相互影响性，而且这种相互影响性会对公共基础设施的供给服务效应产生影响。因此，在宏观层面管理公共基础设施系统的整体供给水平时，应重点关注城市公共基础设施各子系统的相互影响性。

应当构建跨部门的公共基础设施系统管理机构。公共基础设施各子系统独立运行，各自有部门管理，并提供相应的产品和服务。但是，

面对越来越显著的公共基础设施子系统的相互影响现象,应当建立跨子系统现有管理体系的组织或管理机构,从宏观上把握城市公共基础设施相互影响性的现象,整合各自系统的信息,把握公共基础设施的整体供给水平和能力。建议建立城市或区域层级的公共基础设施管理委员会,主要负责城市或区域公共基础设施系统的整体把握和宏观规划,各子系统管理运营信息的协调,提升城市或区域公共基础设施的整体供给水平或能力。

通过典型城市的实证分析显示,京津冀、长三角地区中的北京和上海公共基础设施供给具有明显优势,珠三角地区的广州和深圳的城市公共基础设施供给水平相对比较均衡。加大天津的电信系统的增量投入,可以较好地改善天津的城市公共基础设施供给水平。相应地,提升苏州的轨道系统和防灾系统的建设力度,可以有效地提高苏州的公共基础设施系统供给水平,促进区域的相对均衡和协调发展。

#### 参考文献:

- [1] 孙钰 陶志梅 姚鹏. 城市公共基础设施复合系统协调发展度研究[J]. 城市发展研究, 2015, (5): 24-28.
- [2] Sala-i-Martin, X., Blanke, J., Hanouz, M. D., Ceiger, T., Mia, I. The Global Competitiveness Index 2010-2011: Looking Beyond the Global Economic Crisis [R]. The Global Competitiveness Report 2010-2011, 2010.
- [3] 程敏. 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): 14-21.
- [4] 于博 刘新梅 郝响理. 青岛市城市资源、基础设施与其经济社会协调发展的定量评价和分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, (4): 149-153.
- [5] 吴建楠 曹有挥 姚士谋, 等. 基础设施与区域经济社会协调发展分析[J]. 经济地理, 2009, (10): 1624-1628.
- [6] Rinaldi, S. A., Peerenboom, J. P., Kelly, T. K. Identifying, Understanding and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies [J]. IEEE Control System Magazine, 2002, 21(6): 11-25.
- [7] Zimmerman, R. Social Implications of Infrastructure Network Interactions [J]. Journal of Urban Technology, 2001, 8(3): 97-119.
- [8] Pederson, P., Dudenhoeffer, D., Hartley, S., Permann, M. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U. S. and International Research [R]. Idaho National Laboratory, 2006.
- [9] Lee, E. E., Mitchell, J. E., Wallace, W. A. Restoration of Services in Interdependent Infrastructure Systems: A Network Flows Approach [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Application and Reviews, 2007, 37(6): 103-117.
- [10] Zhang, P., Peeta, S. A Generalized Modeling Framework to Analyze Interdependencies Among Infrastructure Systems [J]. Transportation Research - Part B: Methodological, 2011, 45(3): 553-579.
- [11] Klein, G., Krebs, M., Hall, V., O'Brien, T., Blevins, B. B. California's Water - Energy Relationship [R]. California Energy Commission, 2005.
- [12] Bartos, M. D., Chester, M. V. The Conservation Nexus: Valuing Interdependent Water and Energy Savings in Arizona [J]. American Chemical Society, 2014, 48(2): 2139-2149.
- [13] Roelich, K., Knoeri, C., Steinberger, J. K., Varga, L., Blythe, P. T. Toward Resource - Efficient and Service - Oriented Integrated Infrastructure Operation [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2015, 92(6): 40-52.
- [14] Chai, C. L., Liu, X., Zhang, W. J., Baber, Z. Application of Social Network Theory to Prioritizing Oil & Gas Industries Protection in a Networked Critical Infrastructure System [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2011, 24(5): 688-694.
- [15] Huang, C. N., James, J. H. A Method for Exploring the Interdependencies and Importance of Critical Infrastructures [J]. Knowledge - Based Systems, 2014, 55(2): 66-74.
- [16] 竺乾威. 地方政府大部制改革: 组织结构角度的分析[J]. 中国行政管理, 2014, (4): 17-22.
- [17] 孙钰 王坤岩. 基于 DEA 交叉效率模型的城市公共基础设施经济效益评价[J]. 中国软科学, 2015, (1): 172-183.
- [18] 孙钰 王坤岩. 城市公共基础设施环境效益研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, (4): 92-100.
- [19] 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, (3): 44-50.
- [20] 胡启洲 陆化普 蔚欣欣, 等. 基于关联熵与复合物元的公交系统综合测度模型[J]. 系统工程理论与实践, 2011, (1): 186-192.

(责任编辑: 邓 菁)