

模糊环境下的城市公共基础设施投资评价研究

孙钰^{1,2} 黄慧霞¹ 姚鹏³

(1. 天津大学管理与经济学部 天津 300072; 2. 天津商业大学公共管理学院 天津 300134; 3. 天津财经大学国际贸易系 天津 300222)

摘要 公共基础设施是城市经济运行的支撑体系和物质载体,提高它的利用效益已经成为实现城市经济、社会和环境可持续发展的关键。政府资金的投入对促进公共基础设施建设有至关重要的作用。公共基础设施资金分配已成为城市发展的重要问题,如何将有限的资金合理地投资给不同的城市建设企业是公共管理领域研究的核心内容。本文根据公共基础设施投资建设环境的模糊性,通过使用三角模糊数,在引入交易成本的基础上,考虑了城市公共基础设施带来的经济、社会、环境影响,建立了基于模糊环境下的公共基础设施投资组合模型,使得在给定风险最大容忍水平的前提下,追求政府资金收益最大化。本文将公共基础设施投资组合模型运用到北京、天津、上海、重庆四大直辖市的城市建设投资公司中,在考虑公共基础设施投资数量因素的影响下得到了2000-2013年的最优投资比例。研究结果显示:国家一直将北京作为重点投资城市,在受到2008年北京奥运会的影响下,其它三市的投资比例逐渐减少,并在2012-2013年期间北京的投资比率达到了64.41%,这对天津和重庆的影响最大,特别是在2012-2013年期间天津的投资比率降到了5.22%。在四大直辖市中,上海的公共基础设施数量一直占有相当的优势,加上世博会的影响,上海的投资比例在2000-2011年期间一直保持稳定上升。综上所述,北京和上海仍然是国家重点建设城市,为了全面加快城市建设,应该在抓重点城市发展的同时加大对偏远地区的新型城镇化的投资建设支持,发挥好政府投资的带动作用。

关键词 公共基础设施; 投资评价; 三角模糊数; 投资组合

中图分类号 F294 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2016)08-0142-06 doi: 10.3969/j.issn.1002-2104.2016.08.019

在与经济发展的长期互动关系中,加强公共基础设施投资建设是促进经济发展的重要原因^[1],做好公共基础设施投资建设对提高就业率、要素生产率、产出生率、劳动生产率有显著的影响^[2-3];同时还能提高社会文化水平和居民的生活质量,减少地区性差异^[4];改善居住环境质量,提升居民健康水平,降低城市热岛效应^[5]等。正确把握市场对公共基础设施的需求,科学地确定公共基础设施的投资资金,合理控制资金分配情况,对于降低建设成本,提高公共基础设施综合效益有重要的现实意义。

为了应对1998年的亚洲金融危机,中国提出了通过增加基础设施投资来刺激内需增长的积极财政政策^[6]。在2008年的全球经济危机背景下,国务院常务会议公布了总额高达4万亿元的经济刺激计划,用于投资基础设施建设。2013年由我国倡议的亚洲基础设施投资银行截至目前为止已有近50个成员国加入,它的建立将促进发展中国家的基础设施建设。然而,基础设施投资仍然存在“盲目投资”、“为了投资而投资”的现象,据世界银

行统计,在“七五”和“九五”期间,我国的投资决策失误率达到了30%,造成的资金浪费和经济损失大概有4000-5000亿元^[7]。因此,在有限的公共资源下,合理地进行基础设施投资,加速城市化经济增长,显得极为迫切。

国内外相关研究较多,例如,Bianchi^[8]等重新构造了美国上市公司的公共基础设施指标收益,认为投资组合中持有公共基础设施资产是有益的。为了合理分配电网投资项目资金,董军^[9]提出了电网投资项目的资金分配模型,为电网公司提供了投资决策支持。由于投资容易受到不确定性因素的影响,无法用精确数进行衡量,相关指标无法通过数据准确预测,因此Zadeh^[10]提出了模糊集理论思想。刘洋^[11]引入了模糊决策的分析方法度量投资决策者的心理预期,对传统的固定比例保险策略进行修正后,利用模糊隶属度函数预测不稳定性,为投资者提供了相对稳定的投资决策。Ammar^[12]等分别讨论了在给定不确定风险的情况下求模糊收益最大的投资组合以及在给定模

收稿日期:2016-03-08

作者简介:孙钰,博士,教授,博导,主要研究方向为城市公共基础设施利用效益与优化配置。E-mail: sunyuyao@163.com。

通讯作者:黄慧霞,博士生,主要研究方向为城市公共基础设施效益评价与优化控制。E-mail: huanghuixia5@163.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目“城市公共基础设施利用效益研究”(批准号:NSF 71273186)。



糊收益的情况下求不确定风险最小的投资组合。Parra^[13]等首先利用多因子分析对西班牙互惠基金的重要性进行了筛选,通过考虑收益、风险和资金的流动性,建立了模糊投资组合优化选择模型。

本文以提高城市公共基础设施的投资效益为研究目标,针对公共基础设施建设的沉没成本高、建设周期长、潜在风险大^[6]等问题,通过考虑城市公共基础设施给经济、社会、环境带来的影响,运用投资决策理论提高基础设施投资效益,将资金科学合理地投资到公共基础设施建设中,为公共基础设施进行合理投资、优化社会资源配置提供决策参考。

1 模型设计

1.1 三角模糊数的引入

由于投资容易受到城市公共基础设施的社会、环境等因素的影响,无法进行精确求解,故引入模糊数进行分析。另外,投资者在利用基本面分析上市公司价值的时候,难以进行定量分析,偏好于定性分析。定性分析是对客观情况的一种模糊描述,三角模糊数能够细腻地描述并刻画投资价值变量,它可以用来表示介于某个数左右所具有独特的性质^[14]。因此,本文根据 Zadeh^[10]提出的模糊集理论,引入三角模糊数,设三角模糊数为 $A = (a, \alpha, \beta)$, 则其隶属度函数可以表示为

$$A(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a-x}{\alpha} & \mu - \alpha \leq x \leq a \\ 1 & x = a \\ 1 - \frac{x-a}{\beta} & \mu \leq x \leq a + \beta \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

记 A 的 γ -水平截集为 $[A]^\gamma = [\underline{a}(\gamma), \bar{a}(\gamma)]$, 其中 $\underline{a}(\gamma)$ 、 $\bar{a}(\gamma)$ 分别为 γ -水平截集与 A 相切的左右两个端点。

利用 Carlsson^[15]以及 Fuller^[16]提出的方法,在 γ -水平截集 $[A]^\gamma = [\underline{a}(\gamma), \bar{a}(\gamma)]$ 下 A 的可能性均值和可能性方差以及 $[B]^\gamma = [\underline{b}(\gamma), \bar{b}(\gamma)]$ 的协方差分别定义为

$$E(A) = \int_0^1 (\underline{a}(\gamma) + \bar{a}(\gamma)) \gamma d\gamma = a + \frac{\beta - \alpha}{6} \quad (2)$$

$$Var(A) = \frac{1}{2} \int_0^1 (\bar{a}(\gamma) - \underline{a}(\gamma))^2 \gamma d\gamma = \frac{1}{24} (\alpha^2 + \beta^2) \quad (3)$$

$$cov(A, B) = \frac{1}{2} \int_0^1 \gamma (E(\gamma) - \underline{a}(\gamma)) (E(\gamma) - \underline{b}(\gamma)) d\gamma + \frac{1}{2} \int_0^1 \gamma (E(\gamma) - \bar{a}(\gamma)) (E(\gamma) - \bar{b}(\gamma)) d\gamma \quad (4)$$

1.2 问题描述与符号说明

由于投资者会根据市场条件的变化进行调整,将产生

交易成本^[17],故本文考虑了交易成本所带来的损失。在有限资金内进行 T 期投资,确定资金分配方案,使得由城建投资引起的公共基础设施综合效益达到最优。为方便分析,引入如下标记,对于第 t 期 ($t = 1, 2, \dots, T$): $r'_{i,t}$ 为投资给城投股 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 获得的单位模糊收益率; $r_{i,t}$ 为投资给城投股 i 获得的公共基础设施单位模糊收益率; $x_{i,t}$ 为投资给城投股 i 的比例; $u_{i,t}$ 、 $l_{i,t}$ 分别为 $x_{i,t}$ 的上、下界; x_t 为投资组合,其中 $x_t = (x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{n,t})$; R_t 为投资的模糊效益; σ 为资产组合的投资风险的最大容忍度; $c_{i,t}$ 为市场中投资给城投股 i 的综合效益损失率; R'_t 为扣除交易损失后的模糊净效益; B 为效益的模糊权重向量, $B = (e_n, e_c, s_o)$, 其中 e_n 为环境模糊权重, e_c 为经济模糊权重, s_o 为社会模糊权重; $z_{i,t}$ 为决策变量,即 $z_{i,t} = \begin{cases} 1 & \text{对股票 } i \text{ 投资} \\ 0 & \text{不投资} \end{cases}$;

k_i 为投资的城投股数量。

则第 t 期投资给城投股 i 获得的公共基础设施单位模糊效益为

$$r_{i,t} = r'_{i,t} \times B \quad (5)$$

第 t 期投资 $x_t = (x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{n,t})$ 的模糊效益为

$$R_t = \sum_{i=1}^n x_{i,t} r_{i,t} \quad (6)$$

对于交易损失函数,本文采用文献[18]的 V 型函数:

$$C_t = \sum_{i=1}^n c_{i,t} |x_{i,t} - x_{i,t-1}| \quad (7)$$

因此,投资组合的净模糊效益值可以表示为

$$R'_t = R_t - C_t = \sum_{i=1}^n x_{i,t} r_{i,t} - \sum_{i=1}^n c_{i,t} |x_{i,t} - x_{i,t-1}| \quad (8)$$

1.3 基础设施效益权重的确定

良好的城市公共基础设施能够降低生活成本、提高生活质量、改善投资环境、促进城市间的交流、保障居民安全,它的重要作用主要体现在社会福利和服务等内在价值的实现上,在一定程度上难以进行定量分析。因此,本文采用文献[19]中权重评价方法对城市公共基础设施进行分类评价,并确定城市公共基础设施综合效益的权重。

根据建设部 1998 年发布的《城市规划基本术语标准》的分类方式,将基础设施分为六大类,分别为能源供应设施、给排水及污水处理设施、交通运输设施、邮电通信设施、环境保护设施、防灾安全设施。其中,能源供应设施主要包括集中供热、燃气、电网、电源等设施;给排水及污水处理设施主要包括中水、节水、供水、水源、排水等设施(考虑到排水设施对环境的影响更大,因此将排水设施归为环境保护设施);交通运输设施主要包括出租车、定线公交、道路等设施;邮电通信设施主要包括互联网、电话、邮政等设施;环境保护设施主要包括环境质量、危险废物、工业固废、道路清扫、公厕、粪便处理、垃圾处理、绿化、公园绿地等设施;防灾安全设施主要包括人防和消防

设施。

从吸引投资的角度出发,公共基础设施带来的效益越大,获得的重要性就越高,假定越具竞争性和排他性的设施需要的成本越高,竞争力越强,投资获得的效益就越高。根据简化试算的角度直接构权,首先将基础设施的竞争性和排他性分为高、中、低三个等级,对其进行判断,然后通过竞争性和排他性的判断结果对六大设施系统进行评估,确定大类权重;同理,确定小类权重,最后设定最终权重为大类权重和小类权重之积。

促进经济增长的基础设施主要体现在给水、能源供应、交通运输、邮电通信这四大类基础设施上,因此将其归为影响经济效益的主要设施;六大基础设施均对增加就业、改良社会文化、提高居民生活质量等社会效益有积极贡献,均为影响社会效益的设施系统;而环境效益主要来源于环境基础设施,因此环境基础设施为影响环境效益的主要设施。根据以上分析,对参考文献[19]中的数据进行整理后,归纳于表1中,其中竞争性、排他性、权重、最终权

重分别用“C”、“E”、“W”、“LW”表示,最终得到经济、社会、环境的效益权重分别为 $ec = 40\%$, $so = 50\%$, $en = 10\%$ 。

1.4 模型的建立

在 Markowitz 的均值-方差的理论下,建立了在一定的风险承受能力下,使得效益最大的投资组合优化模型。同时,根据 Guerra 和 Stefanini^[20]中对模糊数的计算方法,计算得出投资组合的模糊收益在扣除交易损失后的净效益以及所承担的风险分别为

$$R'_i = E(R_i) - C_i$$

$$= \sum_{i=1}^n x_{i,t} E(r_{i,t}) - \sum_{i=1}^n c_{i,t} |x_{i,t} - x_{i,t-1}|$$

$$= \sum_{i=1}^n x_{i,t} \left(a_{i,t} + \frac{\beta_{i,t} - \alpha_{i,t}}{6} \right) - \sum_{i=1}^n c_{i,t} |x_{i,t} - x_{i,t-1}| \quad (9)$$

$$Var(R_i) = \sum_{i=1}^n x_{i,t}^2 Var(r_{i,t}) + 2 \sum_{i=1}^n x_{i,t} x_{j,t} cov(r_{i,t}, r_{j,t})$$

$$= \frac{1}{24} \left(\sum_{i=1}^n x_{i,t} (\alpha_{i,t} + \beta_{i,t}) \right)^2 \quad (10)$$

假设投资者为在给定投资组合风险最大容忍水平的

表1 城市公共基础设施效益权重
Tab.1 Weight of urban public infrastructure

基础设施	单项设施	大类			小类			LW/ %	ec	so	en
		C	E	W/%	C	E	W/%				
给水	中水				-	-	-	-		√	
	节水				-	-	-	-		√	
	供水	高	中	16	中	高	50	8	√	√	
	水源				高	中	50	8	√	√	
能源供应	集中供热				中	高	20	4.8	√	√	
	燃气				高	高	30	7.2	√	√	
	电网	高	高	24	中	高	20	4.8	√	√	
	电源				高	高	30	7.2	√	√	
交通运输	出租车	高	中	18	高	高	35	6.3	√	√	
	定线公交				高	高	35	6.3	√	√	
	道路				高	低	30	5.4	√	√	
邮电通信	互联网				高	高	35	7.7	√	√	
	电话	高	高	22	高	高	35	7.7	√	√	
	邮政				低	高	30	6.6	√	√	
环境保护	环境质量				-	-	-	-		√	√
	危险废物				-	-	-	-		√	√
	工业固废				-	-	-	-		√	√
	道路清扫				-	-	-	-		√	√
	公厕	低	低	8	-	-	-	-		√	√
	粪便处理				低	低	30	2.4		√	√
	垃圾处理				低	低	30	2.4		√	√
	排水				低	中	40	3.2		√	√
园林	绿化				低	低	40	4.8		√	√
	公园绿地	中	低	12	中	低	60	7.2		√	√
防灾安全	人防	-	-	-	-	-	-	-		√	
	消防				-	-	-	-		√	

注“-”表示不具有该性质“√”表示为影响经济、社会、环境效益的主要设施。

前提下 追求资产收益最大化的理性投资者 建立如下模型:

$$\max_{x_i} F(x_i) = \sum_{i=1}^T R'_i \quad (11)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^T \frac{1}{24} (\sum_{i=1}^n x_{i,t} (\alpha_{i,t} + \beta_{i,t}))^2 \leq \sigma \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i,t} = 1 \quad (t=1, 2, \dots, T) \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n z_{i,t} = k_t \quad (t=1, 2, \dots, T) \quad (14)$$

$$l_{i,t} z_{i,t} \leq x_{i,t} \leq u_{i,t} z_{i,t} \quad (i=1, 2, \dots, n; t=1, 2, \dots, T) \quad (15)$$

$$z_{i,t} \in \{0, 1\} \quad (i=1, 2, \dots, n; t=1, 2, \dots, T) \quad (16)$$

2 算例分析

2.1 基础数据

北京、天津、上海、重庆是政治、经济、文化三位一体的区域中心城市,在人口和经济上具有相当大的规模,城市公共基础设施建设全面,具有代表性。本文通过分析每个城市的公共基础设施投资建设情况,确定其投资分配权重。选取位于全国前十的城投公司作为研究对象,分别为:北京市基础设施投资有限公司、天津城市基础设施建设投资集团有限公司、上海市城市建设投资开发总公司、重庆市城市建设投资(集团)有限公司。为了获取数据,选取了城投公司的上市子公司进行分析,分别为京投银泰股份有限公司(代码:600683)、天津创业环保集团股份有限公司(代码:600874)、上海市城投控股股份有限公司(代码:600649)、重庆市渝开发股份有限公司(代码:000514)。考虑到城投公司不仅在当地进行城市公共基础设施建设,而且也会在其他城市进行公共设施建设。因此,根据数据的可获得性,本文选取具有代表性的公用设施分析了北京、天津、上海、重庆在2000-2013年的年平均城市公用设施水平。

根据表2的数据,分别计算各个公用设施在四个直辖市的权重比,对权重进行求和后得到四个直辖市的权重和,最后计算得到北京、天津、上海、重庆的公共基础设施数量权重为(0.275, 0.217, 0.304, 0.204)。同时,本文选取了2000年1月-2013年12月的历史城投股数据进行分析,利用(周收盘价-周开盘价)/周开盘价,得到了14年的历史周收益率,以两年为一周期(共7个周期)进行分析。考虑到城投股和投资效益受多重因素的影响,本文引入三角模糊数。首先利用频数法计算得到三角模糊数 $r'_{i,t}$ ($i=1, \dots, A; t=1, \dots, 7$)。然后根据式(5)得出4个城市建设的公共基础设施综合效益的三角模糊数,最后在考虑每个城市公共基础设施数量权重的影响下,得到综合三角模糊数,如表3所示。

2.2 结果讨论

投资由市场条件的变化带来的综合效益损失率为

0.4%。针对表2给出的数据,运算结果见表4。

表2 城市市政公用设施水平
Tab.2 City municipal infrastructure level

公用设施	北京	天津	上海	重庆
邮政局/unit	800	871	624	1 896
移动电话用户数/10 ⁴ household	1 823.479	853.813	2 158.409	1 339.016
供水总量/10 ⁶ t	1 478.694	8 837.61	3 193.741	727.591
供电总量/10 ⁸ kW·h	661.833	519.524	1 175.968	384.885
燃料总量/10 ⁶ m ³	5 569.383	1 306.663	5 132.013	2 033.50
实有道路面积/10 ⁴ m ²	10 071.143	8 511.571	12 640.714	8 011.714
公共营运汽电车/unit	21 023	7 470	17 015	7 589
污水处理率/%	77.067	77.267	78.701	62.76
绿化覆盖率/%	44.461	24.763	40.397	38.509

数据来源:由《中国城市统计年鉴》整理。

表3 综合三角模糊数
Tab.3 Comprehensive triangle fuzzy numbers

	600683	600874	600649	000514
t=1	(0.004 8, 0.002 1, 0.014 3)	(0.003 8, 0.000 2, 0.016 6)	(0.003 8, 0.003 7, 0.027 8)	(0.003 0, 0.001 3, 0.015 2)
t=2	(0.002 7, 0.002 2, 0.006 7)	(0.002 7, 0.001 8, 0.010 9)	(0.005 8, 0.001 6, 0.003 3)	(0.004 7, 0.001 4, 0.019 7)
t=3	(0.002 8, 0.002 3, 0.008 1)	(0.005 3, 0.001 5, 0.002 5)	(0.004 9, 0.002 7, 0.015 4)	(0.004 1, 0.002 5, 0.018 8)
t=4	(0.006 5, 0.003 2, 0.035 7)	(0.007 2, 0.007 1, 0.010 7)	(0.009 1, 0.004 0, 0.028 2)	(0.004 8, 0.003 7, 0.028 5)
t=5	(0.006 2, 0.004 3, 0.026 0)	(0.006 3, 0.003 5, 0.017 0)	(0.008 8, 0.006 0, 0.028 1)	(0.008 4, 0.002 6, 0.033 8)
t=6	(0.003 9, 0.002 3, 0.004 7)	(0.003 0, 0.001 6, 0.002 8)	(0.006 2, 0.003 3, 0.004 2)	(0.004 1, 0.002 4, 0.004 1)
t=7	(0.003 2, 0.003 2, 0.015 6)	(0.001 7, 0.001 7, 0.037 9)	(0.003 8, 0.003 8, 0.036 1)	(0.002 3, 0.002 3, 0.025 3)

分析结果表明,为了使得综合效益最大,在2000-2013年间,投资者主要集中于对北京地区的投资,其次分别是上海、重庆、天津。从表4中可以看出,为了迎接2008年北京奥运会,鸟巢和水立方等设施均在2003年开始投资建设,这也就使得第3、4期投资中北京城市建设投资比例逐渐增加,在2008-2009年期间城市公共基础设施建设比例在四大城市中达到了35.3%。同时,为了给亚洲基础设施投资银行的建立做准备,北京的城市建设投资比

表4 投资组合方案
Tab.4 Portfolio plan

	600683	600874	600649	000514
t=1	0.288 8	0.243 3	0.249 1	0.218 8
t=2	0.296 5	0.248 4	0.236 3	0.218 8
t=3	0.317 8	0.226 5	0.236 4	0.219 3
t=4	0.331 7	0.185 9	0.285 6	0.196 7
t=5	0.353 0	0.168 0	0.285 8	0.193 2
t=6	0.378 9	0.151 4	0.285 7	0.184 0
t=7	0.644 1	0.052 2	0.132 5	0.171 2

例在2013年达到了64.41%。2005年天津滨海新区纳入国家“十一五”规划和国家发展战略,在第3期投资中也占到了四大城市的22.65%。然而,受到2008年北京奥运会的影响,天津地区的城市公共基础设施建设比例逐渐下降,在2012年达到四大城市的最低比例,仅有5.22%。从表2中就可以看到,上海的年平均公用设施水平最高。上海的公共基础设施数量权重达到了30.4%,它的移动电话用户数、供电总量、实有道路面积、公共营运汽电车都占有相对较大的优势。在表4中上海在前6期的公共基础设施投资中一直保持着稳定上升的比例。特别是2010年世博会的举行,使得上海在2008-2009年期间的城投比率达到了28.58%。相比其他三大城市,重庆的总体投资比例相对较低,经济发展条件和公共基础设施建设水平相对劣于北京、天津、上海。但是在第4-7期的城市公共基础设施建设中,投资比例要略高于天津,可见国家在将来的发展中将逐渐加大对中国西南、西北等地区的城市公共基础设施投资建设。

3 结论与建议

本文构建了在模糊环境下的公共基础设施投资模型,从模型求解结果来看,政府基础设施投资将重点放在了北京市的城市基础设施建设中。为了响应全面发展城市建设的号召,应从政府和企业同时入手。在政府层面,应充分发挥政府职能,加大对欠发达地区的基础设施建设投资力度;建立对欠发达地区城市建设的补偿机制;鼓励社会资金、外国资本采取多种形式参与城市基础设施的建设,形成多元化的投资结构。在企业层面,应避免盲目扩大对发达地区的投资,为中国城市基础设施建设的全面发展做贡献。

本文引入了三角模糊数,建立了模糊环境下的公共基础设施投资模型,在公共基础设施投资领域进行了开拓性研究。然而由于城市公共基础设施的综合效益主要体现在社会福利和服务等内在价值的实现上,无法通过数据准确预测,本文对权重的设定存在一定的困难和不足。今后

可在此基础上进行相关研究,以揭示城市基础设施投资的本质属性和发展规律。

(编辑:刘照胜)

参考文献(References)

- [1] 王任飞,王进杰. 基础设施与中国经济增长:基于VAR方法的研究[J]. 世界经济 2007(3): 13-21. [WANG Renfei, WANG Jinjie. Infrastructure and China's economic growth: research based on VAR method [J]. The journal of world economy, 2007(3): 13-21.]
- [2] 张光南,李小瑛,陈广汉. 中国基础设施的就业、产出和投资效应:基于1998-2006年省际工业企业面板数据研究[J]. 管理世界 2010(4): 5-31, 186. [ZHANG Guangnan, LI Xiaoying, CHEN Guanghan. The effects of public infrastructure on employment, output and investment [J]. Management world, 2010(4): 5-31, 186.]
- [3] 黄寿峰,王艺明. 我国交通基础设施发展与经济增长的关系研究:基于非线性Granger因果检验[J]. 经济学家 2012(6): 28-34. [HUANG Shoufeng, WANG Yiming. A study on the relationship between the development of China's communication infrastructure and economic growth: based on nonlinear Granger causality test [J]. Economist, 2012(6): 28-34.]
- [4] 刘兴华. 城市基础设施系统效益贡献度评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(3): 136-139. [LIU Xinhua. Benefit contribution of urban infrastructure system [J]. China population, resources and environment 2009, 19(3): 136-139.]
- [5] 杜士强,于德永. 城市生态基础设施及其构建原则[J]. 生态学杂志, 2010, 29(8): 1646-1654. [DU Shiqiang, YU Deyong. Urban ecological infrastructure and its construction principles [J]. Chinese journal of ecology, 2010, 29(8): 1646-1654.]
- [6] 李平,王春晖,于国才. 基础设施与经济发展的文献综述[J]. 世界经济, 2011(5): 93-116. [LI Ping, WANG Chunhui, YU Guocai. A literature review of infrastructure and economic development [J]. The journal of world economy, 2011(5): 93-116.]
- [7] 李忠富,李玉龙. 基于DEA方法的我国基础设施投资绩效评价:2003-2007年实证分析[J]. 系统管理学报, 2009, 18(3): 309-315. [LI Zhongfu, LI Yulong. An empirical study on performance evaluation of infrastructure investment of China based on DEA method from 2003 to 2007 [J]. Journal of systems & management, 2009, 18(3): 309-315.]
- [8] BIANCHI R J, BORNHOLT G, DREW M E, et al. Long-term U.S. infrastructure returns and portfolio selection [J]. Journal of banking & finance, 2014, 42: 314-325.
- [9] 董军,马博. 考虑社会效益的电网投资组合模型研究[J]. 运筹与管理 2010, 19(4): 131-135. [DONG Jun, MA Bo. Study of an optimal portfolio model for electric grid projects with social benefits [J]. Operations research and management science, 2010, 19(4): 131-135.]
- [10] ZADEH L A. Fuzzy sets [J]. Information and control, 1965, 8(3): 338-353.
- [11] 刘洋,徐信忠,庄新田. 基于随机模糊投资乘数的离散CPPI资产

- 配置研究[J]. 运筹与管理 2012 21(4): 179 - 188. [LIU Yang, XU Xinzong, ZHUANG Xintian. The discrete asset allocation research based on the random fuzzy risk multiplier[J]. Operations research and management science, 2012 21(4): 179 - 188.]
- [12] AMMAR E, KHALIFA H A. Fuzzy portfolio optimization a quadratic programming approach [J]. Chaos, solitons and fractals, 2003, 18: 1045 - 1054.
- [13] ARENAS P M, BILBAO T A, Rodríguez uría M V. A fuzzy goal programming approach to portfolio selection [J]. European journal of operational research, 2001, 133: 287 - 297.
- [14] 苏世彬, 黄瑞华. 基于三角模糊数的属性层次模型[J]. 系统工程理论与实践, 2006(12): 115 - 119. [SU Shibing, HUANG Ruihua. Attribute hierarchical mode based on triangular fuzzy number[J]. System engineering(theory & practice), 2006(12): 115 - 119.]
- [15] CARLSSON C, FULLÈR R. On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers [J]. Fuzzy sets and systems, 2001, 122: 315 - 326.
- [16] FULLÈR R, MAJLENDER P. On weighted possibilistic mean and variance of fuzzy numbers [J]. Fuzzy sets and systems, 2003, 136(3): 363 - 374.
- [17] 王春峰, 杨建林, 赵欣. 具有典型交易成本的投资组合管理模型及其求解[J]. 系统工程理论与实践, 2002(10): 134 - 138. [WANG Chunfeng, YANG Jianlin, ZHAO Xin. The portfolio management model with typical transaction cost and its solution [J]. Systems engineering(theory & practice), 2002(10): 134 - 138.]
- [18] YOSHIMOTO A. The mean-variance approach to portfolio optimization subject to transaction cost [J]. Journal of the operation research, 1996, 39(1): 99 - 117.
- [19] 刘剑锋. 城市基础设施水平综合评价的理论和研究方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2007: 162. [LIU Jianfeng. Research on comprehensive evaluation theory and methods of urban infrastructure service level [D]. Beijing: Tsinghua University, 2007: 162.]
- [20] GUERRA M L, STEFANINI L. Approximate fuzzy arithmetic operations using monotonic interpolations [J]. Fuzzy sets and systems, 2005, 150: 5 - 33.

Study on investment appraisal of urban public infrastructure based on fuzzy environment

SUN Yu^{1,2} HUANG Hui-xia¹ YAO Peng³

(1. College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Public Management, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

3. Department of International Trade, Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222, China)

Abstract Public infrastructure is the support system and material carrier of a city's economic activity, and improving its utilizing efficiency has become the key to achieving sustainable development of urban economy, society and environment. Government investment plays an important role in improving the public infrastructure through increased construction. Capital allocation for public infrastructure becomes the important problem of urban development. How to allocate limited funds to different urban construction needs is a core topic in the field of public management. Based on the fuzziness of the public infrastructure investment environment, this paper uses the concept of triangular fuzzy numbers, introduces transaction costs and considers the impact of public infrastructure impact on economy, society and environment to establish a portfolio benefit model of public infrastructure in a fuzzy environment. It can be used to maximize the government's return on investment under the premise of the greatest risk tolerance level. This paper applies the model to Urban Construction Investment Corporation of Beijing, Tianjin, Shanghai and Chongqing. Finally, after considering the number of public infrastructure investment factor, this paper gains the optimization investment proportion during 2000 - 2013. The results show that China has regard the Beijing as the key investment city and the investment proportion of the other three cities have tapered under the influence of the 2008 Beijing Olympic Games. And the investment proportion of Beijing has achieved 64.41% during 2012 - 2013, which have an effect on Tianjin and Chongqing, and the investment proportion of Tianjin dropped to 5.22%. In the four cities, the number of public infrastructure of Shanghai is superior to of the other cities. And its investment proportion kept rising investment proportion during 2000 - 2011 under the influence on Expo. In conclusion, Beijing and Shanghai are still the national key construction cities. In order to fully develop the urban construction, government should develop the major cities and increase the support of investment in the remote areas of the new urbanization construction simultaneously. Finally, the government should play the leading role for the enterprises.

Key words public infrastructure; investment appraisal; triangular fuzzy numbers; portfolio