

PPP 模式下海绵城市风险因素指标研究

洪文霞 李蓓蓓 王志远

(青岛理工大学 管理工程学院, 山东 青岛 266520)

摘要: 随着海绵城市试点计划的继续推进, 国家对海绵城市建设高度重视。单个风险因素不能完全决定项目成败, 准确分析各个风险因素间的相互影响关系是风险管理的基础。基于海绵城市全生命周期的决策、设计、建设、运营四个阶段, 识别构建了 PPP 模式下 SC 风险影响因素指标体系; 再利用集成 DEMATEL-ISM 方法对 PPP 模式下 SC 风险影响因素进行定量分析, 首先运用 DEMATEL 方法确定 SC 风险因素间两两影响关系, 再通过设置合理阈值, 得到 ISM 方法所需的可达矩阵, 运算后最终得到 SC 风险影响因素的结构模型, 最后找出关键风险影响因素。结果表明, 融资风险、政府信用风险及工期延误、成本超支、营业收入不足是各阶段风险关键影响因素, 并针对结论提出建议, 为 SC 风险管理提供有价值的参考。

关键词: 海绵城市; 风险; DEMATEL-ISM; 中心度; 影响因素

中图分类号: F282 文献标识码: A 文章编号: 1008-7192(2020)06-0060-08

一、引言

2019 年 8 月, 超强台风“利奇马”在中国东部沿海登陆, 浙江、江苏、山东等多地遭受洪灾, 损失惨重。近年来, 随着城市化发展, 也带来自然生态恶化、地表水渗透性差、水污染、供水不足等一系列的“城市后果”。究其原因, 在于传统老旧城市的排水系统不能及时排除暴雨产生的特大洪流, 造成了城市洪水灾害。单纯依靠传统的地表径流排水方式已经不能有效避免水灾害。中国约有 45% 和 17% 的城市分别面临供水不足和严重缺水; 在此背景下, 为了应对这些挑战, 中国政府于 2013 年 12 月正式启动了“海绵城市试点计划”, 以促进可持续的城市化战略; 海绵城市作为应对暴雨灾害、实现可持续用水管理的城市战略, 得到我国的广泛推广^[1-3]。随着气候变化和快速城市化的叠加, 城市越来越容易受到地表雨水的影响, 因为传统城市发展模式下人工不透水表面的增加阻止了雨水渗入地面; 根据中国中央政府的规划, 到 2020 年, 超过 20% 的城市将达到海绵城市的要求, 到 2030 年达到 80%^[4-5]。鉴于此, 在我国多地进行海绵城市项目大规模改造

计划迫在眉睫。目前我国约有 660 个城市, 单个城市的海绵城市建设投资平均需 25 亿元, 从全国范围来看, 海绵城市建设所需的投资至少将达到 1.5 万亿元^[6]。

建设海绵城市庞大的资金严重依靠国家财政, 而政府融资能力有限, 因此, 众多学者认为 PPP 模式的融资渠道对海绵城市建设项目是可行的。PPP 模式(public-private partnership, 简称 PPP) 泛指政府和社会资本为提供某种公共服务而建立的合作伙伴关系^{[7][8][9]}。PPP 模式与海绵城市建设在政策上高度相关, 两者都涉及多领域、多主体、多部门、收益低、公益性, 在当前地方政府推行新型城镇化建设与环境治理行动中存在众多的交叉结合点, 未来海绵城市建设任重道远, PPP 模式已成为海绵城市建设的一个重要途径^[9]。尽管 PPP 模式被公众广泛接受, 但由于模式本身的复杂性和不确定性, PPP 模式下海绵城市项目建设正面临着各种风险; 从目前海绵城市 PPP 项目建设现状来看, 政府方在项目合作中始终占据主导地位, 致使社会资本方参与积极性不高, 因此, PPP 模式下海绵城市建设的关

收稿日期: 2020-05-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“参与方个体视角下大型工程项目融资风险动态评价体系研究”(71471094)

作者简介: 洪文霞(1964-), 女, 青岛理工大学管理工程学院教授, 研究方向为工程项目管理; 李蓓蓓(1995-), 女, 青岛理工大学管理工程学院硕士研究生, 研究方向为工程项目管理。E-mail: 1974027024@qq.com

键风险能否得到有效管控,将直接影响到海绵城市建设的可持续性发展。

对 PPP 模式下海绵城市项目关键风险因素间相互关系的研究是风险管理的基础。在理论方面,我国对于 PPP 模式海绵城市风险方面的研究尚未涉猎;于实际意义而言,能为海绵城市 PPP 项目风险管理提供依据,便于做出正确的决策措施,避免不必要损失。国内外大量研究者针对不同领域 PPP 项目风险做了广泛研究,杨足运用 HHM 方法针对于基础设施 PPP 项目风险进行了识别^[10]。有维宝基于 TOPSIS-UT 方法对综合管廊 PPP 项目风险分担进行了研究^[11]。据另外统计,李建峰基于海绵城市建设现状,研究了全生命周期下海绵城市 PPP 项目物有所值定量评价^[12]。徐享构建了以政府实施机构为主的三级绩效考核体系^[13]。李阳考虑到海绵城市特点并基于项目建设难点对海绵城市建设的 PPP 机制进行了探讨^[9]。喻博基于霍尔三维结构建立了海绵城市建设 PPP 模式的运行机制^[14]。范峻恺提出了基于生态、社会、经济三个维度的海绵城市适应性评价指标体系^[15]。通过以上对于海绵城市的研究,发现关于海绵城市 PPP 项目风险因素领域的研究处于“零”状态,本研究可以在一定程度弥补这部分空白,丰富相关的理论研究成果。周德群等最早提出集成 DEMATEL-ISM 对复杂因素层次划分并构建结构模型的思路^[16]。DEMATEL-ISM 方法在因素等级划分方面具有一定优势,它将复杂系统内因素进行层次结构化处理,明确每个因素在系统中所处的位置和相互关系,最终构建出清晰的递阶层次结构模型。本文首先经过大量文献阅读、专家头脑风暴等方法确定了 PPP 模式下海绵城市的风险因素列表,然后运用集成 DEMATEL-ISM 方法定量分析各风险因素之间的相互作用关系,划分因素间的层次结构,提前认识关键风险因素,为 PPP 模式下海绵城市风险管理决策提供有价值的参考依据。

二、PPP 模式下海绵城市建设风险识别

海绵城市(SC),顾名思义,与海绵有相同功效,在暴雨灾害发生时,可以有效吸收水分,同时收集

水分供干旱时使用,它使城市能够适应环境变化并从容应对自然灾害。海绵城市建设在城市水资源管理、生态环境、防洪抗洪等方面起到积极作用。PPP 模式是由政府部门和私营部门合作的一种模式,在利益共享、风险共担的基础上,提供基础设施和服务。PPP 能够充分利用政府在监管方面的优势,有效克服政府财政约束,解决资金、管理技术的落后问题,优化私人资源配置,实现企业利润最大化的目标^[17]。但 PPP 模式具有投资规模大、投资周期长、参与主体多、关系复杂等特点,导致 PPP 项目在实施全过程中存在众多风险^[18],提前识别关键风险因素,准确分析风险因素间相互影响关系,是项目风险管理的基础,关系到项目能否成功运行。

研究前期,需要充分了解 PPP 模式特点,清晰地辨别海绵城市在推进 PPP 模式可能遇到的障碍和问题。海绵城市建设从前期规划阶到后期运营的每个阶段有着诸多不确定潜在风险,对风险因素的识别是进行科学合理风险管理的前提基础。且海绵城市项目具有不同于一般 PPP 项目的独特性,考虑到海绵城市的独特性,本文通过 20 篇关于海绵城市和 PPP 类的文献,以全过程视角按照风险来源统计出 20 个风险因素,再由 6 名相关领域专家进行访谈沟通,统计专家意见,最终筛选出 16 个风险因素,建立风险因素指标体系(表 1)。

表 1 PPP 模式下海绵城市风险清单

一级风险因素	二级风险因素
A1: 决策阶段风险	B1: 政策法律不完善
	B2: 政府信用风险
	B3: 融资风险
A2: 设计阶段风险	B4: SC 专业经验不足
	B5: 规划设计变更
	B6: 招标风险
	B7: 项目唯一性风险
A3: 建设阶段风险	B8: 进度延误
	B9: 成本超支
	B10: 施工技术缺陷
	B11: 施工安全隐患
	B12: 管道改造困难
A4: 运营阶段风险	B13: 不可抗力风险
	B14: 政府腐败风险
	B15: 市场需求变化
	B16: 营业收入不足

三、集成 DEMATEL-ISM 模型构建

DEMATEL(decision making trial and evaluation laboratory 决策实验分析法) [19]151-162 方法是针对复杂系统,研究其中复杂因素的逻辑关系,通过计算影响度、被影响度、中心度和原因度四个数量特征,定量分析各个风险因素的重要程度和属性,进而确定关键风险因素。该方法能够反映各个风险因素之间的影响强度,但不能明确各个风险因素的层次结构。为解决此弊端,引入 ISM 模型。ISM(interpretive structure modeling,解释结构模型法)方法以定性分析为主,定性定量分析相结合,主要是分析系统因素相互关联关系及相互关系变化时对系统总体的影响,通过建立邻接矩阵,求解可达矩阵,最后构造系统因素相互影响的递阶层次结构模型,但它不能定量地表示各风险因素之间的相互影响关系。DEMATEL 和 ISM 两种方法存在共性,又能相互取长补短,将 DEMATEL 和 ISM 相互融合,既明确系统风险因素间相互影响程度又能建立系统风险因素的递阶层次结构模型,具有更完备的解释功能。集成 DEMATEL-ISM 模型构建思路如图 1。

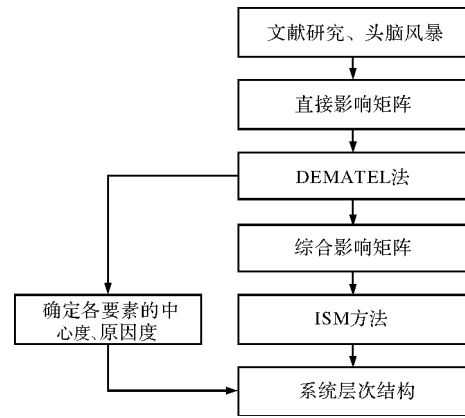


图1 DEMATEL-ISM 方法思路

1. 构建直接关系矩阵

通过对 PPP 项目具有 5 年以上研究经验的大学教授和 PPP 项目管理咨询公司的中专业人士及海绵城市领域研究人员发放问卷进行打分的形式,采用 0~5 记分法,判断每个因素的重要性。问卷填写如表 2 所示。

表2 问卷设计

因素	B1	B2	...
B1	0		...
B2		0	...
⋮	⋮	⋮	⋮

将收集到 10 位资深权威专家打分,采用算数标准平均法对数据处理后可得初始直接关系矩阵 M 如下:

$$M = \begin{pmatrix} 0.0 & 0.9 & 1.1 & 0.0 & 2.1 & 1.2 & 0.0 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 1.8 & 0.0 & 0.0 & 0.3 & 2.6 & 0.3 \\ 1.3 & 0.0 & 4.1 & 1.0 & 3.5 & 3.6 & 2.3 & 1.5 & 0.5 & 0.0 & 0.2 & 0.3 & 0.0 & 2.7 & 3.5 & 3.7 \\ 0.0 & 0.8 & 0.0 & 0.7 & 2.9 & 2.2 & 2.6 & 3.3 & 3.7 & 3.1 & 2.3 & 4.0 & 0.0 & 0.5 & 0.1 & 2.8 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 2.3 & 2.9 & 0.0 & 4.2 & 4.5 & 4.1 & 4.0 & 3.9 & 0.0 & 0.2 & 0.2 & 1.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.0 & 4.0 & 3.9 & 0.5 & 2.7 & 3.5 & 0.0 & 0.1 & 0.2 & 2.1 \\ 0.3 & 0.0 & 1.3 & 0.3 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.2 & 3.5 & 2.8 & 1.9 & 0.1 & 0.0 & 0.1 & 0.0 & 0.3 \\ 0.0 & 0.0 & 3.2 & 0.0 & 0.1 & 2.0 & 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 2.1 & 3.1 \\ 0.0 & 1.0 & 2.0 & 0.0 & 1.2 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 4.0 & 0.0 & 1.4 & 1.3 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 2.7 \\ 0.0 & 0.0 & 1.8 & 0.0 & 1.9 & 0.1 & 0.0 & 0.5 & 0.0 & 0.0 & 0.8 & 1.8 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 2.0 \\ 0.0 & 0.2 & 1.6 & 2.3 & 2.0 & 0.5 & 0.0 & 0.8 & 4.0 & 0.0 & 2.1 & 2.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.3 \\ 0.2 & 0.0 & 2.7 & 0.0 & 2.3 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 2.2 & 0.0 & 0.0 & 1.8 & 0.0 & 0.1 & 0.0 & 0.2 \\ 0.0 & 0.0 & 2.8 & 0.0 & 2.7 & 0.8 & 0.0 & 2.8 & 3.3 & 2.3 & 0.8 & 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.0 & 0.3 & 0.9 & 0.0 & 3.3 & 0.2 & 0.0 & 3.9 & 4.2 & 0.1 & 2.1 & 2.3 & 0.0 & 0.1 & 0.5 & 4.0 \\ 0.3 & 0.0 & 3.1 & 0.8 & 1.0 & 1.5 & 0.3 & 2.8 & 3.5 & 0.9 & 2.2 & 1.5 & 0.0 & 0.0 & 0.1 & 2.3 \\ 0.0 & 0.0 & 4.1 & 0.0 & 0.5 & 1.2 & 3.8 & 2.3 & 0.9 & 0.0 & 0.0 & 0.1 & 0.0 & 0.1 & 0.0 & 4.0 \\ 0.0 & 0.0 & 4.3 & 0.0 & 0.5 & 1.5 & 2.9 & 1.5 & 1.1 & 0.0 & 0.0 & 0.2 & 0.0 & 0.1 & 3.1 & 0.0 \end{pmatrix}$$

其中,因子 i 对因子 j 的影响表示为 a_{ij} ,如果风险因素 i 不直接影响风险因素 j ,记为 0 分,其余的 1、2、3、4、5 分别表示影响非常小、影响较小、影响中等、影响较大、影响大。

2. 求标准矩阵 Z 和总关系矩阵 T

把直接关系矩阵 M 标准化得到标准矩阵 Z。规范化公式为:

$$Z = \frac{a_{ij}}{\max_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

求出总关系矩阵 T,公式如下:

$$T = (Z + Z^2 + Z^3 + \dots + Z^k) = \sum_{k=1}^{\infty} Z^k \rightarrow T = Z(E - Z)^{-1} \quad (2)$$

式中, E 是单位矩阵, (E - Z)⁻¹ 是 (E - Z) 的逆

0.003	0.036	0.100	0.007	0.112	0.069	0.032	0.057	0.069	0.024	0.095	0.045	0.000	0.017	0.106	0.064
0.050	0.017	0.302	0.053	0.220	0.204	0.158	0.191	0.207	0.077	0.107	0.128	0.000	0.105	0.174	0.262
0.005	0.041	0.152	0.045	0.207	0.135	0.133	0.227	0.307	0.167	0.167	0.245	0.000	0.027	0.047	0.203
0.004	0.013	0.129	0.021	0.183	0.139	0.029	0.242	0.328	0.194	0.220	0.238	0.000	0.014	0.031	0.122
0.002	0.010	0.104	0.008	0.071	0.046	0.028	0.199	0.237	0.050	0.138	0.182	0.000	0.008	0.030	0.134
0.012	0.007	0.099	0.023	0.053	0.021	0.016	0.083	0.192	0.118	0.104	0.058	0.000	0.007	0.011	0.053
0.002	0.007	0.178	0.009	0.045	0.103	0.045	0.056	0.077	0.038	0.036	0.045	0.000	0.005	0.096	0.159
0.003	0.041	0.150	0.008	0.102	0.040	0.038	0.065	0.218	0.032	0.089	0.105	0.000	0.008	0.045	0.154
0.001	0.006	0.112	0.005	0.103	0.027	0.023	0.066	0.066	0.026	0.059	0.104	0.000	0.004	0.016	0.105
0.002	0.014	0.129	0.087	0.141	0.052	0.022	0.105	0.245	0.046	0.131	0.152	0.000	0.006	0.016	0.072
0.008	0.007	0.140	0.006	0.125	0.024	0.020	0.072	0.148	0.030	0.039	0.115	0.000	0.008	0.012	0.053
0.002	0.011	0.167	0.014	0.158	0.058	0.026	0.165	0.225	0.114	0.087	0.080	0.000	0.009	0.020	0.073
0.003	0.023	0.149	0.009	0.194	0.050	0.045	0.224	0.275	0.042	0.134	0.166	0.000	0.011	0.054	0.225
0.013	0.013	0.209	0.041	0.119	0.096	0.050	0.182	0.253	0.082	0.142	0.141	0.000	0.008	0.032	0.159
0.002	0.012	0.241	0.011	0.078	0.094	0.181	0.151	0.136	0.044	0.051	0.072	0.000	0.011	0.043	0.220
0.002	0.011	0.235	0.011	0.075	0.098	0.148	0.122	0.136	0.044	0.049	0.072	0.000	0.010	0.132	0.088

3. “四度计算”

由总关系矩阵中的 t_{ij} 可以进一步求出每一个因素的影响度 D、被影响度 C、中心度 M 和原因度 N。 t_{ij} 表示因素 i 对因素 j 所产生的直接影响加上间接影响的程度,即因素 i 对因素 j 产生的综合影响程度。在总关系矩阵 T 中,“影响度 d_i ”是行的和,“被影响度 c_i ”表示列的和。公式如下:

$$d_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

矩阵。

文中所有矩阵计算结果均由 MATLAB 软件编写程序代码计算得出。由于篇幅原因,只列出最终的 T 矩阵,如下:

$$c_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

“中心度 $d + c$ ”影响度和被影响度相加,表示各因素之间的关系。“原因度 $d - c$ ”是对其他因素的影响。公式如下:

$$M_i = d_i + c_i \quad (5)$$

$$N_i = d_i - c_i \quad (6)$$

各风险因素的“四度”值如表 3 所示。

表 3 中心度和原因度

风险影响因素	影响度 D	被影响度 C	中心度 M	原因度 N	因素属性
B1: 政策法律不完善	0.837 7	0.111 5	0.949 2	0.726 1	原因因素
B2: 政府信用风险	2.252 8	0.269 3	2.522 1	1.983 5	原因因素
B3: 融资风险	2.107 7	2.595 3	4.702 9	-0.487 6	结果因素
B4: SC 专业经验不足	1.906 4	0.357 5	2.263 9	1.548 9	原因因素
B5: 规划设计变更	1.245 5	1.985 4	3.230 9	-0.739 9	结果因素
B6: 招标风险	0.855 7	1.256 4	2.112 1	-0.400 7	结果因素
B7: 项目唯一性风险	0.901 2	0.995 0	1.896 1	-0.093 8	结果因素
B8: 进度延误	1.098 5	2.207 2	3.305 7	-1.108 8	结果因素
B9: 成本超支	0.723 7	3.118 6	3.842 3	-2.394 8	结果因素
B10: 施工技术缺陷	1.221 0	1.129 0	2.349 9	0.092 0	原因因素
B11: 施工安全隐患	0.808 4	1.647 8	2.456 2	-0.839 5	结果因素
B12: 管道改造困难	1.209 7	1.950 2	3.159 8	-0.740 5	结果因素
B13: 不可抗力风险	1.601 6	0.000 0	1.601 6	1.601 6	原因因素
B14: 政府腐败风险	1.540 8	0.259 1	1.800 0	1.281 7	原因因素
B15: 市场需求变化	1.348 5	0.863 2	2.211 7	0.485 3	原因因素
B16: 营业收入不足	1.234 6	2.148 1	3.382 6	-0.913 5	结果因素

下一步,基于原因度和中心度绘制散点图。根据各因素的成因程度,以风险因素的中心度为横坐

标,原因度为纵坐标,绘制各个因素的原因-结果图,确定关键风险因素(图 2)。

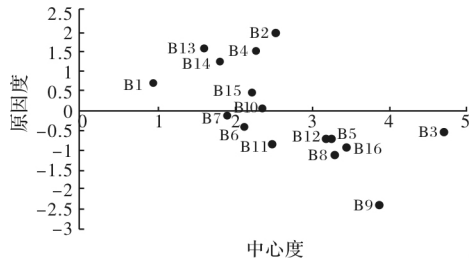


图2 原因结果

4. 确定整体影响矩阵

综合影响矩阵反映的不同因素之间的影响关系和影响程度,其中弊端是不能反映出对本身因素的影响。因此需要计算反映系统因素整体影响关系的矩阵,即整体影响矩阵 H 。公式如下:

$$H = T + I = h_j \quad (7)$$

式中 I 为单位矩阵。

5. 确定可达阵

确定整体影响矩阵后,可进一步计算可达矩阵 K $K = |k_{ij}|$ 如下:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1 & h_{ij} \geq \lambda (i, j = 1, 2, \dots, n) \\ 0 & h_{ij} < \lambda (i, j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (8)$$

式中 λ 为阈值,阈值的大小根据实际情况进行科学的设定,阈值 λ 的设定主要为了舍掉影响程度较小的影响关系。 λ 的取值越大,对系统结构简化越明显,但在可达阵区域划分时,容易形成两个以上的连通域,这时就需要重新研究因素之间的相互影响关系。 k_{ij} 为节点 i 到节点 j 的关联值, $k_{ij} = 1$ 表明两个节点关联。经过多次测算取阈值 $\lambda = \alpha + \beta = 0.1578$,其中 α 为综合影响矩阵 T 的平均数, β 为 T 的标准差,由此构建可达矩阵 K 如下:

$$K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

6. 确定各风险因素的可达集和前因集

根据可达矩阵 K ,可计算出每个风险因子的可达集 $P(B_i)$ 与前因集 $Q(B_i)$ 。可达集 $P(B_i)$ 为因素 B_i 可以直接到达的因素集合,即可达矩阵 K 中第 i 行因素为 1 的列对应的因素构成;前因集 $Q(B_i)$ 是由可达阵 K 中第 i 列因素为 1 的行对应的因素构成,是可以到达因素 B_i 的全部因素集合。公式如下:

$$P(B_i) = \{B_j \in B | k_{ij} = 1\} \quad (9)$$

$$Q(B_i) = \{B_j \in B | k_{ji} = 1\} \quad (10)$$

$$C = \{B_i \in B | P \cap Q = P\} \quad (11)$$

式中 C 为共同集合且 C 中包括了 n 个级别因素集。在可达矩阵 K 中,按照顺序依次划去共同集合 C 中每级因素对应的行和列,一直重复这个步骤,既能得到 C 的各层级因素,与此同时,可达矩阵中所有因素也已被划除。

7. 解释结构模型建立

重复 2.6 中的式(9)、式(10)和式(11),直到所有的因素被划除,根据划除因素的顺序,可得表 4,并绘制因素递阶层次结构图(图 3)。图 3 中数字节点代表的是建设海绵城市复杂系统中的各风险因素,各因素之间的影响关系用有向箭头“ \rightarrow ”表示。

表 4 PPP 模式下 SC 风险影响因素层级分解

层次	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
因素	1、9、11、16	6、8、10	5、12	3、4、13	7、14	15	2

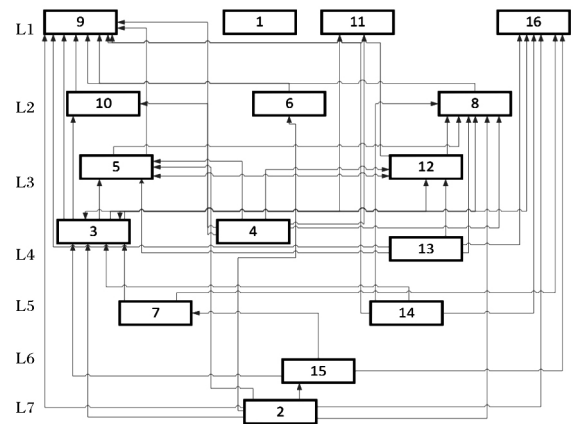


图 3 PPP 模式下 SC 风险影响因素递阶层次结构模型

三、结果分析

运用集成 DEMATEL-ISM 方法对 PPP 模式下海绵城市风险影响因素研究分析时,首先运用 DEMATEL 方法确定海绵城市风险影响因素两两之间的直

接影响关系;然后进一步计算综合影响矩阵,再加上相应的单位矩阵,得到整体影响矩阵;通过合理设置阈值,得到 ISM 方法需要的可达矩阵;最后经过运算,得到 PPP 模式下海绵城市风险影响因素的 6 级结构模型。DEMATEL 方法计算的中心度可以反映风险因素的相对重要程度,据算出的原因度可以明确各因素之间的因果关系;ISM 方法得出的结构模型则可以直观地观察到各因素间相互关联关系。

1. “四度”结果分析

通过对 PPP 模式下 SC 风险因素的影响度、被影响度、中心度、原因度分析(表 1),可看出 7 个风险因素被确定为正值的原因度($D - C = N$),被称为原因因素。说明原因因素对其他因素的影响比其他因素对自身的影响更加显著,包括 B1 政策法律不完善、B2 政府信用风险、B4SC 专业经验不足、B10 技术缺陷、B13 不可抗力风险、B14 政府腐败风险、B15 市场需求变化。举例来说,对于政策法律不完善因素,由国家制定,它是受国家政策影响,不受其他因素(如技术缺陷、管道改造困难、进度延误等)直接影响,却能够直接影响其他因素;立法是一切活动的基本,若海绵城市建设缺乏法律政策保障,社会资本投入的风险性、不确定程度也会变高,不利于吸引外资,因此,完善的法律体系有助于海绵城市建设资金的征集。对于民众反对因素,是由人民意志决定的,也不受其他因素直接影响。通过改进原因因素,可间接改善结果因素,从而逐渐减弱整个系统的风险程度。

其余 9 个风险因素具有负值原因度($D - C = N$),被称为结果因素,包括 B3 融资风险、B5 规划设计变更、B6 招标风险、B7 政府腐败风险、B8 工期延误、B9 成本超支、B11 施工安全隐患、B12 管道改造风险、B16 营业收入不足,说明这些因素对其他因素的影响小于其他因素对自身的影响,具有较强的依赖性,且多数位于递阶层次结构模型的中上层,是风险因素系统的最终目标。

中心度($D + C = M$)表示风险因素在整个分析系统中的重要程度,16 个风险因素的突出重要程度从大到小依次是 B3 融资风险 > B9 成本超支 > B16 营业收入不足 > B8 工期延误 > B5 规划设计变更 > B12 管道改造困难 > B2 政府信用风险 > B11 施工安全隐患 > B10 施工技术缺陷 > B4 SC

专业经验不足 > B15 市场需求变化 > B6 招标风险 > B7 项目唯一性风险 > B14 政府腐败风险 > B13 不可抗力风险 > B1 政策法律不完善。通过风险因素中心度排序可知进度延误、成本超支、营业收入不足、施工技术缺陷在风险系统中的重要性突出,对于 PPP 模式下海绵城市项目风险影响较大。若在保证项目成功顺利运行收益,降低风险发生的概率,应重点考虑以上这些风险因素。结合图 2 可知,B2 政府信用风险、B8 工期延误、B9 成本超支、B16 营业收入不足是海绵城市风险关键因素,同时符合政策法律不完善、不可抗力风险、运维能力不足会导致进度延误、成本超支风险发生的工程实际情况。由此可见,充足的资金和强硬的技术实力对削弱海绵城市建设风险的重要性不容忽视。

2. 递阶层次结构模型分析

PPP 模式下海绵城市风险影响因素的递阶层次结构模型,形象直观地反映了风险因素之间的相互影响关系和层次结构,这是 ISM 建模的优势。发出箭头多的风险因素与表 2 中影响度 D 较大值的风险因素相对应,表明该风险因素影响其他风险因素的程度大于被其他风险因素影响的程度,决策者在提出风险管理措施时,应着重考虑此类风险因素;被指向箭头多的风险因素与表 2 中被影响度 C 的较大值的因素相对应,表明该风险因素影响其他风险因素的程度小于被其他风险因素影响的程度,通过观察这些风险因素的发生率能间接说明风险管理措施的实施效果。位于顶层 L1 和 L2 层的 B6 招标风险、B11 施工安全隐患、B10 施工技术缺陷、B16 营业收入不足、B8 进度延误、B9 成本超支等是影响 PPP 模式下海绵城市风险的直接影响层,也是系统风险管理的最终目标,地位重要;位于 L3 和 L4 层级的 B3 融资风险、B4SC 专业经验不足、B5 规划设计变更、B12 管道改造困难、B13 不可抗力风险,这些风险因素的影响度和被影响度都处于比较靠前的位置,受其他因素影响大也易影响其他因素,属于过渡层级风险因素,起到承上启下的作用,地位关键;处于底层 L5、L6 和 L7 层级的 B14 政府腐败风险、B15 市场需求变化、B2 政府信用风险等政府因素是不易被其他风险因素影响且较易影响其他风险因素,起基础作用,最终通过 L1、L2、L3 层级的因素对 PPP 模式下海绵城市风

险产生直接影响。

融资风险、政府信用风险、工期延误、成本超支、营业收益不足等重要风险因素都集中在建设施工阶段和运营维护阶段,同样符合工程实际情况,对于项目建设施工阶段和运营维护阶段安全工作应给予重点关注。

四、结论与建议

1. 结论

本研究通过构建模型分析得出如下主要结论:

(1) 以海绵城市建设项目的全生命周期视角,确定了决策、设计、建设、运营四个一级阶段及其相对应的16个二级风险因素指标体系。(2) 通过 DEMATEL 建模分析了各风险因素的中心度,明确了16个风险因素指标的相对重要性,得出融资风险因素在海绵城市建设中占据最重要地位,其次重要的是成本超支、营业收益不足、工期延误等风险因素。(3) 通过 DEMATEL 建模对影响度和被影响度的计算表明,其中7个指标因素是原因因素,影响力度大,能明显影响其他风险因素;有9个指标因素是结果因素,易被其他风险因素影响。其中,政府信用风险因素的影响力地位突出,应引起重视。(4) 通过解释结构(ISM)建模,将PPP模式下海绵城市建设风险因素指标体系划分为7个层级,并分析了各层级风险因素的不同影响力作用。

2. 建议

根据以上分析及结论,可见政府在项目建设中的关键作用,政府是推进建设PPP项目的关键角色,并总结出如下策略建议:(1) 海绵城市建设有明显的时间序列特性,在不同周期阶段风险因素发生概率及相互影响关系是不同的,需要积极顺应海绵城市全生命周期演化规律,理清海绵城市建设每个周期阶段风险管理的重点,并针对性制定不同的风险防范措施。(2) 制定自上而下全面的法律体系,完善市场资源配置机制。通过以上分析可看出政策法律风险因素的影响力度巨大,完善海绵城市政策法律体系的具有迫切性。(3) 提高社会民众的接受度,建立雨水排放许可及收费制度。(4) 规范监管机制,确保海绵城市可持续发展。海绵城市建设效果的持续营运,需要监管机构做好本职监管工作。

参 考 文 献

- [1] JIANG Y ZEVENBERGEN C, MA Y. Urban pluvial flooding and stormwater management: a contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy [J]. Environmental Science and Policy, 2018, 80: 132 - 143.
- [2] CHAN F K S, GRIFFITHS J A, HIGGITT D, et al. "Sponge city" in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context [J]. Land Use Policy, 2018, 76: 772 - 778.
- [3] CHEN Y F, ZHU D M, ZHOU L Y. A game theory analysis of promoting the spongy city construction at the building and community scale [J]. Habitat International, 2019: 91 - 100.
- [4] XIA J, ZHANG Y Y, XIONG L H, et al. Opportunities and challenges of the sponge city construction related to urban water issues in China [J]. Science China Earth Sciences, 2017, 60(4): 652 - 658.
- [5] 国务院办公厅. 关于推进海绵城市建设的指导意见 [EB/OL]. [2015 - 10 - 16]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-10/16/content_10228.htm.
- [6] 周发超, 李建华. 海绵城市建设项目融资风险度量研究 [J]. 工业技术经济, 2019(6): 38 - 42.
- [7] 周正祥, 张秀芳, 张平. 新常态下PPP模式应用存在的问题及对策 [J]. 中国软科学, 2015(9): 82 - 95.
- [8] 王守清, 柯永建. 特许经营项目融资(BOT、PFI和PPP) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [9] 李阳, 苏时鹏. 海绵城市建设中的PPP机制探讨 [J]. 生态经济, 2018(34): 116 - 120.
- [10] 杨足, 王军武, 申祖武. 基于HHM的基础设施PPP项目风险识别 [J]. 建筑经济, 2018, 39(3): 39 - 43.
- [11] 有维宝, 王建波, 张樵民, 等. 基于TOPSIS-UT的城市地下综合管廊PPP项目风险分担 [J]. 土木工程管理学报, 2019, 36(2): 186 - 194.
- [12] 李建峰, 赵建峰. 海绵城市PPP项目物有所值的定量评价 [J]. 财会月刊, 2019, 7(15): 101 - 108.
- [13] 徐享, 李俊奇, 冯珂, 等. 海绵城市PPP项目绩效考核体系的优化与提升 [J]. 环境工程, 2019, 37(7): 1 - 7.
- [14] 喻博, 李政道, 白杰, 等. 基于霍尔三维结构的海绵城市建设PPP模式 [J]. 财会月刊, 2019(23): 139 - 144.
- [15] 范峻恺, 徐建刚, 胡宏. 基于BP神经网络模型的海绵城市建设适宜性评价方法研究 [J]. 生态经济, 2019, 35(11): 221 - 229.

(下转第73页)

A Research to Build and Operate the BIM-L Database for Supply-side Reform of Skilled Workers in Construction Industry

WANG La-yin

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Under the new normal, the quantity and quality of the skilled workers in the construction industry is on a downward trend. On the other hand, the demands for the construction industrialization especially of prefabricated building forms have brought new changes in the skill types of labor. In the regard of the supply-side reform of skilled workers in construction industry, it is important for the local government to guide the effective development of skilled workers system and embed the model development of skilled workers into construction enterprises. And the promotion and application of BIM provides a feasible way for this. Based on the data acquisition and the Case Retrieval Method, the paper builds a BIM-L sample database and the configuration model of skilled workers to discuss how to draw development paths for both the shortage and the demonstration of skilled workers by means of data collection and Case Retrieval Method in order to obtain useful guidance for the vocational training informatization in construction industry.

Key words: skilled workers; BIM-L database; case retrieval method; shortage development; model development

【编辑 吴晓利】

(上接第 66 页)

- [16] 周德群,章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J]. 管理科学学报 2008, 11(2): 20-26.
- [17] XU Y, CHAN A P C, XIA B, et al. Critical risk factors affecting the implementation of PPP waste-to-energy projects in China[J]. Appl. Energy 2015, 158: 403-411.
- [18] HERAVI G, HAJIHOSEINI Z. Risk allocation in public-private partnership infrastructure projects in developing countries: case study of the tehran-chalus toll road [J]. Journal of Infrastructure Systems 2012, 18(3): 210-217.
- [19] 周德群. 系统工程方法与应用[M]. 北京: 电子工业出版社 2015.

A Study on the Risk Factors Index of Sponge City under PPP Model

HONG Wen-xia, LI Bei-bei, WANG Zhi-yuan

(School of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266520, China)

Abstract: With the propulsion of the sponge city pilot plan, the state attaches great importance to the construction of sponge city. Given that a single risk factor cannot completely determine the success or the failure of the project, the accurate analysis of the interaction between various risk factors is the foundation of risk management. Based on the four stages of decision-making, design, construction and operation in the whole life cycle of a sponge city, the paper identifies and constructs the index system of SC risk influencing factors under PPP model. It also makes a quantitative analysis of SC risk influencing factors under PPP model by using the integration of DEMTEL and the ISM Method. Firstly, DEMATEL is employed to identify the relationship between SC risk factors and then the reasonable threshold is established to obtain the reachability matrix that the ISM method requires. After calculation a structure model of SC risk influencing factors is set up to find out the key risk influencing factors finally. The results show that the key factors lie in the delay of construction progress, the cost overrun, the technical defects and the insufficient profit at operation stage. Accordingly suggestions are put forward to provide valuable reference for SC risk management.

Key words: sponge city; risk; DEMATEL/ISM; centrality; influencing factors

【编辑 高婉炯】