

基于结构方程和物元分析的 ULS 适应性综合评价*

何萍, 周爱莲

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为探讨地下物流系统(ULS)在城市投入应用的适应性,从经济、技术环境、运输能力、社会与环境效益 4 个层面构建初始指标集,运用结构方程模型(SEM)对主观构建的指标集进行拟合修正,并通过路径系数分配指标权重,构建基于模糊集理论和物元分析的 ULS 适应性综合评价模型;采用该模型对武汉市 ULS 建设的适应性进行评价,评价结果与事实相符。

关键词: 物流;地下物流(ULS);适应性评价;结构方程模型(SEM);物元分析

中图分类号: U492.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)06-0049-04

随着现代化城市发展进程的加快,交通拥堵、交通事故、尾气污染等问题日趋严重,利用地下空间进行货物运输的地下物流系统(ULS)在满足日益增长的需求的同时也在不断减少负面外部影响,在城市货运领域具有潜在的可持续性和竞争性。目前多从技术参数、网络规划、载运工具等角度进行 ULS 可行性分析和概念设计,Liu Henry 等分析了纽约市基于风力舱体管道技术的 ULS 在技术与经济上的可行性;Pielage B. J. 从载运工具参数、货物处理、终端布局、控制系统等方面探讨了荷兰 OLS-ASH 项目的可行性;屈川翔等探讨了武汉地下物流系统投资成本、选址布局、施工技术等问题;潘欣维等基于 TOPSIS 提出了地下物流系统实施方案的可行性综合评价方法;何煦等建立了基于灰色模糊的城市地下物流系统建设适应性评价模型。现有文献对 ULS 建设评价指标体系的构建较少,也很少在分析指标信息特点和评价问题特点的基础上进行针对性处理。该文结合结构方程模型(SEM)和物元分析判断 ULS 在某城市建设的适应程度,根据评价结果对需改进的指标进行调整。

1 适应性评价指标选取及体系构建

1.1 ULS 适应性影响因素分析

开展 ULS 建设适应性评价是对系统与外界环境影响因素的适应性程度判断,是其投入实际应用的重要基础。参考相关研究成果,从经济、技术环境、运输能力、社会与环境 4 个层面进行分析。

(1) 经济条件。ULS 建设耗资巨大,且建设周

期长,离不开国家政策的支持。城市的经济适应水平决定其能否承担 ULS 建设前期的高额投入,考虑一个项目的成本效益对其建设实施有着非常重要的影响。

(2) 技术环境。城市间建设 ULS 的能力有所差异,基础设施完善程度及技术发展水平对系统建设具有重要影响。另外,地下空间的开发对地层地质要求高,建设过程中需不断监测周围地层地质条件。ULS 建设规模和等级分布不仅要满足城市近期的货流量,还需满足未来的需求。

(3) 运输能力。随着经济的发展,人们对物流效率的期望不断提高,城市物流体系亟待完善,ULS 建设规模和供给水平与需求量能否形成动态平衡将影响其投入实施。ULS 主要铺设智能物流运输通道,自动化程度高,速度快,能有效提高货物周转量,降低货损率,大幅提升客户满意度。此外,与道路交通的衔接程度对系统运行效率也有一定影响。

(4) 社会与环境。ULS 一般采用清洁能源,能耗低、污染少,建成后能优化城市整体环境,并在一定程度上节约地面空间,项目对负面外部影响的改善能力越强则其适应性越强。

1.2 评价指标体系初始指标集

根据上述分析,建立图 1 所示地下物流适应性评价体系初始指标集。

1.3 基于 SEM 的指标体系构建

通过量表问卷测试,结合 SEM 精选初始指标,利用 Amos25.0 构建测量模型,椭圆形为潜变量,长方形为观测变量,根据模型修正信息不断拟合修正,

* 基金项目: 湖南省教育厅科学研究重点项目(19A014);长沙理工大学科学基金项目(2019QJCZ004)

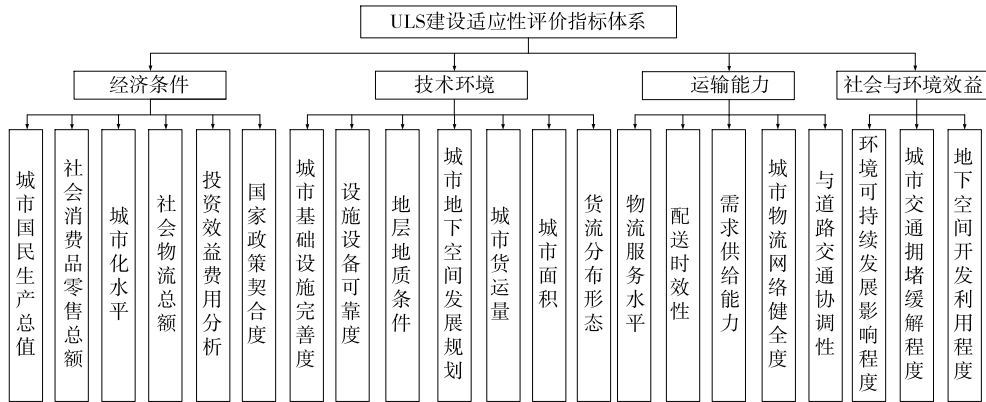


图1 ULS适应性评价体系初始指标集

依据路径系数确定指标权重。

1.3.1 调查问卷数据收集及信度、效度检验

采用Likert5分量表设计问卷,按指标重要程度赋值5~1,调查对象多为地下物流及交通运输领域专家。共回收问卷352份,随机抽取246份,其中有效问卷224份,无效问卷22份,有效回收率为91.06%。

通过SPSS25.0对样本数据进行信度和效度检验,得出4个构面内部一致性系数分别为0.807、

0.810、0.791、0.775,总体为0.929,问卷信度较好。KMO值为0.923,且各构面巴特利特球形度检验的Sig显著性概率均为0.000,内在信度较高,适合作因子分析。

1.3.2 模型拟合与分析

运用Amos25.0采用最大似然估计进行验证性因子分析,剔除相关性较大及不显著指标,不断拟合修正,最终得出标准化后评价模型(见图2)。

通过相对匹配测试评价模型拟合的优劣,结果

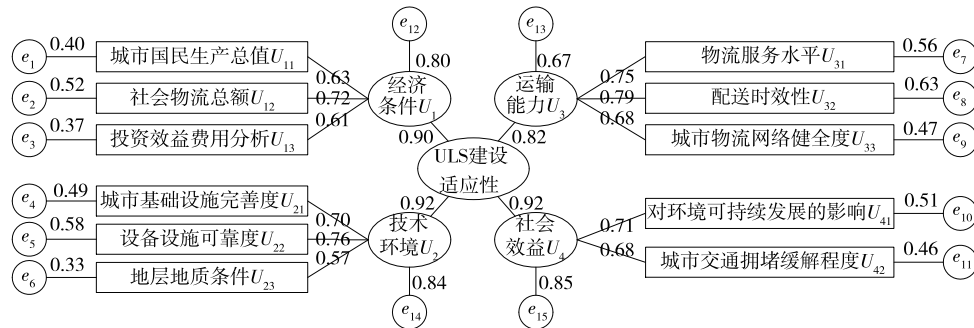


图2 ULS适应性评价结构方程模型

见表1。单个变量系数在0.05水平下均显著,模型拟合指标各项适配指数都在可接受范围内,设定的模型能很好地拟合样本数据。

表1 ULS适应性评价结构方程模型拟合优度检验

拟合指数	评价标准	统计值	拟合指数	评价标准	统计值
χ^2/df	<3	1.877	IFI	>0.9	0.959
RMSEA	<0.08	0.063	GFI	>0.9	0.938
TLI	>0.9	0.944	AGFI	>0.9	0.901
CFI	>0.9	0.958	RFI	>0.9	0.887
NFI	>0.9	0.916			

1.3.3 确定评价指标权重

根据式(1)对指标进行权重分配:

$$w_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\sum_j \lambda_{ij}} \quad (1)$$

得:

$$w = (w_i) = (0.252, 0.258, 0.231, 0.259)^T$$

$$w_1 = (w_{1j}) = (0.323, 0.368, 0.309)^T$$

$$w_2 = (w_{2j}) = (0.344, 0.374, 0.282)^T$$

$$w_3 = (w_{3j}) = (0.337, 0.356, 0.307)^T$$

$$w_4 = (w_{4j}) = (0.512, 0.488)^T$$

2 基于物元分析的评价模型确定

物元分析是研究物元,探讨如何求解不相容问题的一种方法。通过物元分析建立多指标评价模

型,可针对复杂问题建立形象化模型,定量化得出评价结果,从而较完整、准确地反映事物的综合水平。通过物元分析评价 ULS 建设的适应性,可增强评价体系的灵活性。

2.1 基于模糊集理论的评估值定量化

引入模糊集理论定量化处理专家自然语言评价价值(见表 2)。同时根据专家工作背景、经验等因素确定专家权重,记 $W=(w_1, \dots, w_p)^T$, w_k 表示第 k 个专家在评价中所占比重, $k=1, 2, \dots, p$ 。

表 2 三角模糊数

评价等级	语言评价	三角模糊数
1	非常不适宜	(0,10,15)
2	不适宜	(15,25,35)
3	一般适宜	(35,45,55)
4	适宜	(55,65,75)
5	非常适宜	(75,85,95)

$X_i^k=(f_i^k, g_i^k, h_i^k)$ 为第 k 个专家对第 i 个指标的语言评价,按下式将模糊化值转换为准确值:

$$X'=WX=[(f_1, g_1, h_1), \dots, (f_m, g_m, h_m)] \quad (2)$$

$$D(x_i)=1/5(f_i+3g_i+h_i) \quad (3)$$

2.2 建立多指标综合评价物元模型

以 SEM 精选后的 11 个指标为基础建立全面评价物元模型:

$$R_0=(N, U, Y)=\begin{bmatrix} N_0 & U_1 & Y_1 \\ & \vdots & \vdots \\ & U_m & Y_m \end{bmatrix}$$

式中: N_0 为待评价单元; U_i 为待评价单元第 i 项特征 ($i=1, 2, \dots, m$); Y_i 为 U 的量值。

2.3 建立经典域及节域物元矩阵

当 N_j 为标准事物,第 j 等级在特征 U_j 下取值范围为 $Y_{ji}=(a_{ji}, b_{ji})$ 时,经典域物元表示为:

$$R_j=\begin{bmatrix} N_j & U_1 & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & \vdots & \vdots \\ & U_m & (a_{jm}, b_{jm}) \end{bmatrix}$$

由标准事物 U_j 加可转化为标准的事物组成物元 N , R_N 为节域物元, $Y_{Ni}=(a_{Ni}, b_{Ni})$ 为节域物元

$$R_j=\begin{bmatrix} N & U_{11} & (0,0.5) & (0.5,0.7) & (0.7,1.0) & (1.0,2.3) & (2.3,3.3) \\ & U_{12} & (0,1.5) & (1.5,2.5) & (2.5,3.0) & (3.0,3.5) & (3.5,7.5) \\ & U_{13} & (0,15) & (15,35) & (35,55) & (55,75) & (75,95) \\ & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & U_{42} & (0,15) & (15,35) & (35,55) & (55,75) & (75,95) \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中:指标 U_{11} 和 U_{12} 为定量指标(万亿元);其他指

关于 U_i 所有等级量值范围。节域物元表示为:

$$R_N=\begin{bmatrix} N & U_1 & (a_{N1}, b_{N1}) \\ & \vdots & \vdots \\ & U_m & (a_{Nm}, b_{Nm}) \end{bmatrix}$$

式中: $(a_{ji}, b_{ji}) \subset (a_{Ni}, b_{Ni})$; $i=1, 2, \dots, m$ 。

2.4 关联函数及关联度的计算

按下式计算新的待评物元矩阵 R'_0 关于新的经典物元矩阵 R'_j 的距离范围:

$$K_j(y_i)=\begin{cases} \frac{-\rho(y_i, Y_{ji})}{|a_{ji}-b_{ji}|}, & y_i \in Y_{ji} \\ \frac{\rho(y_i, Y_{ji})}{\rho(y_i, Y_{Ni})-\rho(y_i, Y_{ji})}, & y_i \notin Y_{ji} \end{cases} \quad (4)$$

$$\rho(y_i, Y_{ji})=|y_i-1/2(a_{ji}+b_{ji})|-1/2(b_{ji}-a_{ji}) \quad (5)$$

$$\rho(y_i, Y_{Ni})=|y_i-1/2(a_{Ni}+b_{Ni})|-1/2(b_{Ni}-a_{Ni}) \quad (6)$$

式中: $\rho(y_i, Y_{ji})$ 为点 y_i 到经典域区间 $Y_{ji}=(a_{ji}, b_{ji})$ 的距离; $\rho(y_i, Y_{Ni})$ 为点 y_i 到经典域区间 $Y_{Ni}=(a_{Ni}, b_{Ni})$ 的距离。

2.5 计算综合关联度并确定评价等级

用关联函数 $K_j(N)$ 表示待评价对象符合某等级范围的隶属程度。根据最大隶属度原则 $K_j=\max\{K_j(N)\}$ 确定待评物元 N 属于的等级 j 。

3 实例分析

以武汉市为研究对象,运用上述综合评价模型对城市 ULS 建设的适应性进行评价。

(1) 经典域与节域的确定。基于语言评价与三角模糊数的对应关系,综合考虑专家经验、全国平均水平、国家标准取值确定节域矩阵,建立等级为 5 层的经典域矩阵[见式(7)、式(8)]。

$$R_N=\begin{bmatrix} N & U_{11} & (0,3.3) \\ & U_{12} & (0,7.5) \\ & U_{13} & (0,95) \\ & \vdots & \vdots \\ & U_{42} & (0,95) \end{bmatrix} \quad (7)$$

标为定性指标,通过专家打分法获得。

(2) 待评物元的确定。根据 5 名专家的工作背景、经验等设定指标综合权重向量, $w_m = (0.167, 0.214, 0.238, 0.190, 0.190)^T$, 依据式(2)、式(3)建立待评物元矩阵:

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_0 & U_{11} & 1.62 \\ & U_{12} & 4.00 \\ & U_{13} & 77.78 \\ & U_{21} & 50.20 \\ & U_{22} & 60.18 \\ & U_{23} & 53.04 \\ & U_{31} & 73.02 \\ & U_{32} & 76.84 \\ & U_{33} & 76.82 \\ & U_{41} & 73.04 \\ & U_{42} & 68.74 \end{bmatrix}$$

(3) 结果与分析。根据指标权重, 按式(4)~(6)计算各评价等级的关联度, 结果见表 3。根据关联度最大隶属度原则确定武汉市 ULS 适应性评价等级为 4 级, 与实际情况较相符。其中: 经济适应性为 4 级, 武汉 2019 年 GDP 为 1.62 万亿元, 增长 7.4%; 社会物流总额 4 万亿元, 增长 9.7%, 物流业广阔的发展前景成为推进 ULS 建设的关键之一; 技术环境为 3 级, 武汉地区地表上覆大量第四系沉积层, 地下水资源丰富, 地下管道开挖时需特别注意, 以减少对周围环境的影响, 排除施工安全隐患。

表 3 关联度计算结果

评价等级	经济条件	技术环境	运输能力	社会效益	ULS 适应性
1	-0.528	-0.497	-0.757	-0.699	-0.617
2	-0.448	-0.329	-0.676	-0.599	-0.509
3	-0.347	0.062	-0.514	-0.399	-0.293
4	0.065	0.051	-0.027	0.203	0.076
5	-0.007	-0.331	0.033	-0.136	-0.115
评价等级	4	3	5	4	4

4 结语

从经济、技术环境、运输能力、社会与环境效益层面构建 ULS 适应性初始评价指标集, 采用 SEM 对指标集进行拟合修正、分配权重, 解决各指标间多重共线性问题, 提高其客观性和可靠性。模型评价结果与实际相吻合, 该方法合理、有效。还可通过对各特征量值关联度的分析, 揭示待评价对象的利弊面, 寻求进一步改进的切入点, 为项目后期风险预警

提供科学依据。

参考文献:

- [1] 郭东军, 陈志龙, 钱七虎. 发展北京地下物流系统初探[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(1): 37-41.
- [2] LIU Henry, 崔建强, 林冬, 等. 纽约市地下物流可行性研究及对世界其他主要城市的启示[J]. 现代交通技术, 2008, 5(4): 86-92.
- [3] PIELAGE B J. Underground freight transportation. A new development for automated freight transportation systems in the Netherlands[C]//ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Oakland, CA, USA. 2001: 762-767.
- [4] 屈川翔, 熊志为, 冯鑫, 等. 武汉地区城市地下物流系统可行性研究中几个问题初探与趋势展望[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(10): 1688-1697.
- [5] 潘欣维, 董建军, 付光辉, 等. 基于 ANP-TOPSIS 的地下物流系统可行性综合评价方法[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(3): 684-690.
- [6] 何煦, 周爱莲. 基于灰色模糊的城市地下物流系统建设适应性评价[J]. 公路与汽运, 2017(6): 64-66+168.
- [7] 曲春梅, 张连波. 城市物流地下通道建设可行性分析[J]. 交通科技与经济, 2009, 11(3): 119-120.
- [8] 韩涛. 高速铁路建设项目建设过程后评价研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(5): 913-921.
- [9] 张云云, 张新华, 李雪辉. 经济发展质量指标体系构建和综合评价[J]. 调研世界, 2019(4): 11-18.
- [10] 王建波, 刘芳梦, 有维宝, 等. 基于 DPSIR 与物元分析的城市轨道交通 PPP 项目绩效评价[J]. 隧道建设, 2018, 38(7): 1100-1107.
- [11] 颜红艳, 贺正楚, 李晶晶, 等. 城市轨道交通 PPP 项目主体行为风险评价[J]. 科学决策, 2019(4): 1-22.
- [12] 李娟芳, 刘幸. 工程项目主体行为风险预警的物元分析模型[J]. 郑州大学学报(工学版), 2012, 33(3): 5-9.
- [13] 武汉市统计局. 2019 年武汉市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2020-03-29]. <http://tjj.wuhan.gov.cn/tjfw/tjgb/>.
- [14] 杨涛, 董建军, 郭宗远. 基于系统动力学的地下物流系统对城市发展影响研究[J]. 地下空间与工程学报, 2020, 16(1): 1-6.
- [15] 李兆磊, 张雅琪. 区域物流系统适应性评价指标体系研究[J]. 物流技术, 2007, 26(7): 9-11.
- [16] 傅方方. 城市地下物流系统风险评价及发展前景研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2010.
- [17] 董秀月, 张梅青. 区域物流系统协调发展评价研究[J]. 物流技术, 2011, 30(13): 39-42+72.

收稿日期: 2020-05-25