

沈阳城市地铁站域地下空间开发的适宜性

齐锡晶¹, 樊传召¹, 邓李杰²
(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 沈阳工程学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘 要: 基于沈阳社会经济现状、地铁建设和运营特点、开发建设的现状,分析其存在的问题,在对地铁站域和适宜性概念界定的基础上,从全生命周期考虑影响因素,以青年大街地铁站为例,从规模、结构、设计三个方面,建立三级指标评价体系,利用改进的灰色聚类模型进行适宜性评价,评价结果为“良”,最主要的失分因素为对人流规模的预测,其次为绿色建筑的使用.最后提出提高沈阳城市地铁站域开发建设适宜性的对策建议.

关 键 词: 地铁站域;地下空间;适宜性;聚类;综合评价
中图分类号: TU 9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2019)12-1790-06

The Suitability of Underground Space Development in Terms of Subway Station in Shenyang City

QI Xi-jing¹, FAN Chuan-zhao¹, DENG Li-jie²
(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China. Corresponding author: QI Xi-jing, E-mail: qixijing63@163.com)

Abstract: Based on the status of Shenyang's social and economic development as well as the characteristics of subway construction, operation and development, the existing problems were analyzed first. Then, taking the Qingnian Dajie subway station as an example, a three-level index evaluation system was established according to the definition of subway station area and suitability, in which the influencing factors in the whole life cycle was considered from the aspects of scale, structure and design. After then, an evaluation result of “good” on the suitability was scored by using an improved gray clustering model. The most important adverse factor is the prediction on the scale of the passenger flow, followed by the use of green buildings. Finally, some suggestions on enhancing the suitability of the development and construction of subway station in Shenyang city was put forward.

Key words: metro station area; underground space; suitability; clustering; comprehensive evaluation

近年来,随着城市化进程加快,人口密度增大,地上建筑越来越密集,市民住行问题亟待解决;地下空间作为城市空间的延伸,地铁站域作为地下空间的重要节点,地铁以及地下空间的建设越来越受重视^[1-2].此时,对沈阳城市地铁站域地下空间开发的适宜性进行研究对于控制开发成本,提高投资效益,保持城市整体的和谐持续发展,有着积极作用.

1 沈阳社会经济及地铁站域建设分析

城市地铁的建设应该与社会经济发展水平相适应,在基于地铁建设现状及特点基础上,针对其存在的问题加以改进,科学规划、合理布局.

1.1 沈阳社会经济的现状

根据《沈阳统计年鉴》,查得2012~2017年

沈阳社会经济数据如表 1 所示。

表 1 2012 ~2017 年沈阳社会经济数据
Table 1 2012 ~2017 Shenyang social and economic data

年度	2012	2013	2014	2015	2016	2017
全市 GDP/亿元	6 606. 8	7 159	7 099	7 281	5 671	5 870
全市 GDP 同比增速/%	10. 0	8. 8	6. 0	3. 5	- 5. 8	3. 5
财政收入/亿元	715	801	785. 5	606. 2	620. 9	656. 2
城镇居民人均可支配收入/元	26 431	29 074	31 720	36 643	39 135	41 359
全市公路总里程/km	12 147. 7	12 350. 4	12 532. 2	12 756. 6	12 188. 7	-
全市民用汽车保有量/万	112. 9	125. 3	163. 1	181. 7	188	209. 7
全市民用汽车保有量增速/%	11. 0	30. 2	11. 4	3. 5	14. 3	11. 6

通过表 1 能够看出,近年沈阳社会经济指标保持稳定增长的态势,但 2016 年“挤水分”,使部分统计数据呈现下降状态。2017 年国民经济回暖,城镇居民可支配收入首次突破 4 万元。全市民用汽车保有量持续增加,因此,地铁的建设正当时。

1.2 地铁建设及运营的特点

截至 2018 年 12 月,沈阳地铁运营线路 2 条,分别为地铁 1 号线和 2 号线。正在建设线路 3 条,分别为地铁 4 号线、9 号线、10 号线。建设和运营具有如下特点:

- 1) 跨度大、沿主干道布置。沈阳地铁 1 号线,横跨 5 个行政区,沿中街、太原街、铁西经开区主干道布置;地铁 2 号线,纵贯 6 个行政区,沿道义大街、青年大街布置,因此也被称为“金廊线”。
- 2) 站点间距小。沈阳地铁 1 号线,全长 28 km,共设 22 座车站,平均间距 1. 27 km;地铁 2 号线,全长 37. 8 km,共设 26 座车站,平均间距 1. 45 km。全国典型城市地铁站点密度基本在 1. 5 km 以上。
- 3) 交通职能明显、业态较为单一。目前运营的 1 号线和 2 号线承载了大量的交通职能,早高峰、晚高峰地铁站域人口密度极大。此外,沈阳地铁站域地下空间的商业较为单一,不能吸引休闲、娱乐、购物人群。

1.3 地铁站域地下空间开发建设的现状及问题

沈阳作为全国范围内拥有地铁的 35 个城市之一,建设规模与同类二线城市相比较小,在开发建设过程中的问题值得总结。

1.3.1 地铁站域地下空间开发建设的现状

除已运营的地铁 1 号线和 2 号线外,地铁 9 号线和 10 号线在建线路全长 56. 21 km。9 号线起于怒江公园,止于建筑大学。10 号线起于丁香湖,

止于张沙布。9 号线预计 2019 年载客运营。4 号线全长 34. 13 km,起于望花街,止于航天南路,设 23 座车站,预计 2021 年载客运营。

1.3.2 地铁站域地下空间开发建设的问题

- 1) 与站点衔接的商业设施数量偏少、出入口缺乏整合、商业空间的规模缺乏理性规划。通过实地调研,中街站与商业衔接的数量较多,但对所处区域分析不够准确,进而影响了商业需求。对需求预测存在偏差,一方面浪费了空间,另一方面浪费了人流^[3]。还有很多的站点,商业设施与地铁站点缺乏整合,站点出入口设置也与商业设施缺乏互动,如青年大街站,站厅出入口距百联购物中心不足 20 m,想直达购物中心仍需先到地上街道。
- 2) 空间品质和舒适性不高。沈阳目前已建成的 1 号和 2 号线沿线站点大多只是为了满足人行功能,而忽略了人们的公共需求:休闲、购物等活动。目前仅有少量衔接空间,例如 1 号线太原街站域考虑了将这些功能活动进行整合。但很多地下空间的开发建设功能定位不准确,未能合理预测人流,因而造成空间品质有限。

- 3) 与城市环境缺乏协调。沈阳地铁是在城市发展到了有一定规模之后,才提出设计方案,这样就缺乏整体性的规划,因此也产生两个问题:一方面,与其他交通方式换乘不便,接驳性较差;另一方面,与其他建筑联系较弱,沈阳城市地铁站域的地下空间与周边商业、商务办公楼、公共文化娱乐设施的地下层联系不够密切^[4]。

2 城市地铁站域开发建设适宜性界定

地铁站域不仅指地铁车站内部的范围,而是包含地铁车站和周边一定区域的整体空间,国内外学者普遍认同,以轨道交通站点为圆心,以半径

500 m 或步行 10 min 的距离形成的区域作为研究范围. 结合沈阳每相邻车站之间的距离1.5 km 的实际情况,本文定义地铁站域的概念以站点为圆心,300 m 为半径的圆所组成的区域.

在西方国家,适宜性的概念是通过向利益相关者提供有关的经济、文化、环境、社会等信息,以供决策^[5]. 本文认为,适宜性是指一定技术条件下,资源被利用的合理程度. 适宜性评价是指运用某种模型或方法对资源利用的适宜程度进行评价,为资源利用提供决策依据. 本文中,地铁站域地下空间开发的适宜性评价是指立足当前、兼顾未来社会经济水平,地铁站域地下空间开发利用的合理程度,整合工程项目全寿命周期的建设和运营阶段,并主要考虑规模适宜、结构适宜、设计适宜 3 个维度. 以青年大街站为例,经过文献收集,并经粗糙集指标筛选,得到影响地铁站域地下空间适宜性评价的指标,见图 1.

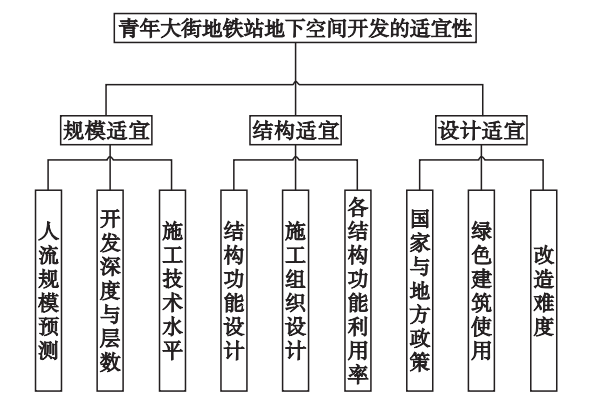


图 1 青年大街地铁站域地下空间适宜性评价的指标体系
Fig. 1 Index system for evaluation on underground space suitability of Qingnian Dajie subway station

3 沈阳城市地铁站域地下空间开发建设适宜性的评价

本文以青年大街站域为例,对地铁站域地下空间开发建设进行适宜性评价. 青年大街站位于青年大街和十一纬路及大西路交叉口处,地处城市中心繁华地带,地面十字路口周围建筑密集. 路口西北角是原沈阳市委大院,目前路口附近为大面积绿化庭院. 路口西南角为浦发银行 32 层商住楼,楼前有面积停车场. 路口东南角为一处 6 层住宅楼,目前位于规划道路红线内. 路口东北角为百联购物中心.

3.1 改进的灰色聚类评价模型建立

1) 聚类样本的构成. 设有 m 个样本(专家个

数),每个样本各有 n 个评价指标(影响因素),每个评价指标有 p 个灰类(适宜性评价等级),聚类样本的白化权矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}.$$

其中, X_{ij} 为第 i 个样本,第 j 个指标的白化值(专家评分), $i \in [1 \ 2 \ \cdots \ m]$, $j \in [1 \ 2 \ \cdots \ n]$, $k \in [1 \ 2 \ \cdots \ p]$.

2) 白化函数值的计算. 为解决传统的灰色聚类模型的弊端,本文采用指数型白化权函数,记 $f_1(x)$ 与 $f_2(x)$.

$$f_1(x) = e^{\frac{x-x_0}{x}}, x \in (0, x_0]; \tag{1}$$

$$f_2(x) = e^{\frac{x_0-x}{x_0}}, x \in (x_0, +\infty). \tag{2}$$

令 y_{jk} 为评价指标 j 属于 k 等级质量的标准值,则 $f_1(x)$ 与 $f_2(x)$ 的指数型白化权函数如图 2 所示.

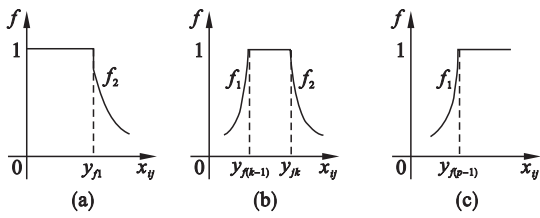


图 2 白化权函数图像
Fig. 2 Whitening weight function image
(a)— $k=1$; (b)— $2 \leq k < p$; (c)— $k=p$.

图 2 的图像对应的白化权函数如下:

当 $k=1$ 时,

$$f_{j1}(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & x_{ij} \in [0, y_{j1}]; \\ e^{\frac{y_{j1}-x_{ij}}{y_{j1}}}, & x_{ij} \in (y_{j1}, +\infty). \end{cases} \tag{3}$$

当 $2 \leq k < p$ 时,

$$f_{jk}(x_{ij}) = \begin{cases} e^{\frac{x_{ij}-y_{j(k-1)}}{x_{ij}}}, & x_{ij} \in [0, y_{j(k-1)}]; \\ 1, & x_{ij} \in (y_{j(k-1)}, y_{jk}); \\ e^{\frac{y_{j1}-x_{ij}}{y_{j1}}}, & x_{ij} \in (y_{j1}, +\infty). \end{cases} \tag{4}$$

当 $k=p$ 时,

$$f_{jp}(x_{ij}) = \begin{cases} e^{\frac{x_{ij}-y_{jp}}{x_{ij}}}, & x_{ij} \in [0, y_{jp}]; \\ 1, & x_{ij} \in (y_{jp}, +\infty). \end{cases} \tag{5}$$

3) 聚类权的确定. 聚类权是衡量各个指标对于同一灰类的权重,在同一个等级中,各个指标是不一样的,传统的聚类模型仅仅是加权算法,没有考虑各个指标对于不同级别的权重,改进的灰色

聚类不仅考虑了这一点,而且考虑了各个等级的标准值.计算聚类权时首先对标准值和样本值进行无量纲化处理,计算公式如下:

$$y_{jk}^0 = \frac{y_{jk}}{\sum_{k=1}^p y_{jk}}, \tag{6}$$

$$x_{jk}^0 = \frac{x_{ij}}{\sum_{k=1}^p y_{jk}}. \tag{7}$$

式中: y_{jk}^0 为第 j 个指标在第 k 个等级中的标准化值; y_{jk} 为评价指标 j 属于 k 等级的质量标准值; x_{ij}^0 为实际样本的标准化值; x_{ij} 为实际样本值; $i \in [1 \ 2 \ \cdots \ m]$, $j \in [1 \ 2 \ \cdots \ n]$, $k \in [1 \ 2 \ \cdots \ p]$.

$$Z_{jk} = \frac{\frac{x_{ij}^0}{y_{jk}^0}}{\sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}^0}{y_{jk}^0}}. \tag{8}$$

4) 聚类系数的计算.

$$K_k = \sum_{j=1}^n f_{jk}(x_{ij}) Z_{jk}. \tag{9}$$

5) 综合等级的评定. $K_k^* = \max \{k_1 \ k_2 \cdots k_k\}$, 则适宜性评价等级为 $K_k^* \ [6-9]$.

3.2 改进的灰色聚类评价模型应用

1) 聚类样本的构成. 聚类指标由图 1 中的指标构成,聚类样本由 10 名专家(5 名高校教师、3 名开发单位人员、2 名设计单位工程师)打分结果组成,打分情况见表 2.

表 2 聚类样本专家打分表
Table 2 Expert score table for cluster sample

专家	规模预测			结构适宜			设计适宜		
	人流规模预测	开发深度与层数	施工技术水平	结构功能设计	施工组织设计	各结构功能利用率	国家与地方政策	绿色建筑使用	改造难度
专家 1	1	2	3	3	2	2	2	2	1
专家 2	2	3	3	2	3	3	3	2	1
专家 3	2	2	3	2	3	4	3	2	3
专家 4	2	3	3	2	3	2	3	2	3
专家 5	2	3	3	2	3	2	3	2	3
专家 6	3	4	4	4	4	3	3	2	3
专家 7	2	2	2	2	3	2	2	3	3
专家 8	2	3	3	2	2	3	3	2	2
专家 9	3	4	3	3	3	3	3	3	3
专家 10	1	2	3	1	3	3	2	2	2
均值	2	2.8	3	2.3	2.9	2.7	2.7	2.2	2.4

将打分表样本数据整理成矩阵的形式:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 3 & 2 & 3 & 3 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 3 & 2 & 3 & 4 & 3 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 \\ 3 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 & 3 & 2 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 & 2 & 2 \\ 3 & 4 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 1 & 3 & 3 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2.8 & 3 & 2.3 & 2.9 & 2.7 & 2.7 & 2.2 & 2.4 \end{bmatrix}.$$

本文将样本分为四类,分别为优(3~4 分)、良(2~3 分)、中(1~2 分)、差(0~1 分),即优的标准值为 4 分,良的标准值为 3 分,中的标准值为

2 分,差的标准值为 1 分.

2) 白化函数的计算. 依次将 9 个指标代入式(3)~式(5)中,就能够得到每个指标属于优、良、中、差灰类的白化函数值,各指标白化函数计算结果如表 3 所示.

3) 聚类权的确定. 首先用各灰类标准值代入式(6)算出 y_{jk}^0 ,因为,各评价的标准值属于各灰类的标准值一致,因此,当 j 取任何值时($j \leq 9$)与 $j=1$ 时的 y_{jk}^0 相等. 聚类样本均值和各灰类标准值代入式(7)算出 x_{ij}^0 ,进而利用式(8)算得聚类权值. 聚类权值计算结果如表 4 所示.

4) 聚类系数计算. 将 9 个指标的聚类样本值、白化函数值、聚类权值代入式(9),能够求得优($k=4$)、良($k=3$)、中($k=2$)、差($k=1$)四个灰类的聚类系数值,结果如下: $K_1=0.679\ 5$, $K_2=$

1. 913 0, $K_3 = 2. 596 5$, $K_4 = 2. 245 5$.

5) 综合等级的评定. $K_k^* = \max \{0. 6795 \quad 1. 9130 \quad 2. 5965 \quad 2. 2455\}$, 因此适宜性评价等级为良.

通过计算过程得知, 人流规模预测得分远低于“良”的等级标准值, 因此, 最主要的失分因素为对人流规模的预测, 其次为绿色建筑的使用. 为避免因人流规模预测不准确可能发生的风险: 第一, 提高运营能力, 减小发车间距是目前最好的解

决措施; 第二, 更换动车组, 增大单车运量, 但此方法又增加了大量的开支; 第三, 实施对青年大街站的改造工作, 而通过风险模型评价可知改造难度是第四大风险, 显然对青年大街的改造只能作为下策^[10]. 此外, 在国家推广地上绿色建筑的同时, 将绿色建筑理念引入地下, 是探索性的一步. 绿色建筑的使用不仅能弥补地下空间开发不可逆性的不足, 也有利于解决地下空间封闭、潮湿等不良影响^[11-12].

表 3 各指标白化权函数计算结果					
Table 3 Calculation results of whitening weight function for each indicator					
指标		f_{j1}	f_{j2}	f_{j3}	f_{j4}
规模适宜	人流规模预测	0. 367 9	1	1	0. 606 5
	开发深度与层数	0. 165 3	0. 670 3	1	0. 931 1
	施工技术水平	0. 513 4	0. 606 5	1	1
结构适宜	结构功能设计	0. 272 5	0. 860 7	1	0. 737 6
	施工组织设计	0. 149 6	0. 637 6	1	0. 966 1
	各结构功能利用率	0. 182 7	0. 704 7	1	0. 894 8
设计适宜	国家与地方政策	0. 182 7	0. 704 7	1	0. 894 8
	绿色建筑使用	0. 301 2	0. 904 8	1	0. 695 1
	改造难度	0. 246 6	0. 8187	1	0. 778 8

表 4 聚类权结果							
Table 4 Clustering weight results							
Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}	Z_{14}	Z_{21}	Z_{22}	Z_{23}	Z_{24}
0. 087 0	0. 087 0	0. 087 0	0. 087 0	0. 121 7	0. 121 7	0. 121 7	0. 121 7
Z_{31}	Z_{32}	Z_{33}	Z_{34}	Z_{41}	Z_{42}	Z_{43}	Z_{44}
0. 130 4	0. 130 4	0. 130 4	0. 130 4	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1
Z_{51}	Z_{52}	Z_{53}	Z_{54}	Z_{61}	Z_{62}	Z_{63}	Z_{64}
0. 126 1	0. 126 1	0. 126 1	0. 126 1	0. 117 4	0. 117 4	0. 117 4	0. 117 4
Z_{71}	Z_{72}	Z_{73}	Z_{74}	Z_{81}	Z_{82}	Z_{83}	Z_{84}
0. 117 4	0. 117 4	0. 117 4	0. 117 4	0. 095 7	0. 095 7	0. 095 7	0. 095 7
Z_{91}	Z_{92}	Z_{93}	Z_{94}				
0. 104 3	0. 104 3	0. 104 3	0. 104 3				

4 提高沈阳城市地铁站域开发建设适宜性的对策建议

研究范围为“沈阳城市”, 城市经济发展、政策环境、地质条件无大差异, 因而对青年大街地铁站域的评价对全市地铁站域的优化建议具有借鉴意义. 综上, 为了提高沈阳城市地铁站域开发的适宜性并为后续的开发建设提供经验, 本文提出对策建议:

1) 健全政策与措施. 明确地下空间土地使用

权出让价格, 按照市地价评审委员会确定的该地块地上出让部分的楼面地价(起拍价) 的一定比例确定; 地下空间项目可办理地下空间土地使用权和地下建筑物权属登记; 鼓励地下空间项目连通, 并给予适当的资金补贴; 尝试人民防空的管理职能改革. 将消防设计审核、人防设计审查等技术审查并入施工图设计文件审查, 相关部门不再进行技术审查, 统筹管理.

2) 完善地下空间规划与设计. 土地出让前, 国土规划部门根据地下空间总体规划、控详规划要求及地下空间管理部门意见, 明确地下空间项

目的建设要求,并将此内容作为土地出让条件之一;在出让地块规划条件中,明确出让地块地下规划用途和出让地下总建筑面积指标等;鼓励地下连通工程与主体工程同步施工,加强城市布局的衔接性和整体性.

在规划设计过程中,应采用先进的技术对行人进行仿真分析,充分考虑地铁站域的功能,科学合理预测人流.此外,选择一两个地铁站域尝试将绿色建筑引入,分析其建设及运营效果,判断是否有必要进行推广.

3) 公众参与.鼓励社会公众参与可以从法律制度体系、政府、公众三个方面进行.第一,在我国法律体系中,有关公共工程的公众参与并未形成一套完整的制度,这影响了公众参与的有效性,因此,应加强公众参与制度化建设;第二,政府作为公共工程项目的主角,在公众参与的过程中应树立服务意识,这就需要自身职能和意识的转变,由管理思维转变为服务意识;第三,提高公众素质,公众参与的渴望程度逐步提高,参与的渠道也形式多样,只有具备一定的专业基础才能更好地参与决策,只有具备良好的品行才能顺利决策.

5 结 语

本文的研究为沈阳城市地铁站域地下空间的改造以及开发建设提供了理论基础,为政府的决策提供了方向.建议后续的研究利用 SPSS 软件对沈阳城市所有地铁站域聚类分析,实现地铁站域等级的聚类评价.此外,如何将适宜性评价模型应用于其他城市或者城市郊区并准确评估也是一个重要的方向.

参考文献:

[1] 赵晋友,黄松.城市地下空间开发面临的机遇与挑战[J].地质与勘探,2013,49(9):964 – 969.
(Zhao Jin-you, Huang Song. Opportunities and challenges in the development of urban underground space [J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49 (5): 964 – 969.)

[2] 郑淑芬,罗周全.提高我国城市地下空间开发综合效益对策研究[J].地下空间与工程学报,2010,6(3):439 – 443.
(Zheng Shu-fen, Luo Zhou-quan. Countermeasures about the improvement of comprehensive benefits of urban underground space development in China [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2010, 6 (3): 439 – 443.)

[3] 冯佳星.城市地铁车站相关联的地下商业空间建筑设计分析[J].建筑工程技术与设计,2017(14):907.
(Feng Jia-xing. Design analysis of underground commercial space architecture associated with urban metro stations [J]. *Architectural Engineering Technology and Design*, 2017 (14): 907.)

[4] 王乾蕴.我国地铁站域地下商业空间设计研究[D].成都:西南交通大学,2009.
(Wang Qian-yun. Study of the underground commercial space at subway stations in China [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.)

[5] McDowell R W, Snelder T, Harris S, et al. The land use suitability concept: Introduction and an application of the concept to inform sustainable productivity within environmental constraints [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 91: 212 – 219.

[6] 夏迟玉.基于灰色聚类的小学生学习效果综合评估[D].南昌:江西财经大学,2014.
(Xia Chi-yu. Comprehensive evaluation of primary student learning effect based on grey clustering [D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2014.)

[7] Liu K, Shen X L, Tan Z F, et al. Grey clustering analysis method for overseas energy project investment risk decision [J]. *Systems Engineering Procedia*, 2012(3): 55 – 62.

[8] Li C, Chen K J, Xiang X D. An integrated framework for effective safety management evaluation: application of an improved grey clustering measurement [J]. *Expert Systems with Applications*, 2015, 42(13): 5541 – 5553.

[9] Lv C, Wu Z Z, Liu Z G, et al. The multi-level comprehensive safety evaluation for chemical production installment based on the method that combines grey-clustering and EAHp [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2017, 21: 243 – 250.

[10] Dandage R V. Analysis of interactions among barriers in project risk management [J]. *Journal of Industrial Engineering International*, 2018, 14 (1): 153 – 169.

[11] Ahn Y H, Jung C W, Suh M, et al. Integrated construction process for green building [J]. *Procedia Engineering*, 2016, 145: 670 – 676.

[12] Maltese S, Tagliabue L C, Re Cecconi F, et al. Sustainability assessment through green BIM for environmental, social and economic efficiency [J]. *Procedia Engineering*, 2017, 180: 520 – 530.