

基于未确知测度的车辆基地选址规划评价

王卫东¹, 颜文¹, 高华²

(1. 中南大学土木工程学院, 湖南长沙, 410075;
2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北武汉, 430063)

摘要: 基于车辆基地是城市轨道交通系统的重要组成部分, 目前多在主观层面对其选址规划方案进行决策, 从车辆基地的功能定位、规划协调性、工程可实施性与经济性4个层面确定13项评价指标, 利用未确知测度理论方法建立城市轨道交通车辆基地选址规划方案的等级评价和排序模型。运用信息熵理论确定各指标权重, 构建直线型单指标测度函数, 计算单指标测度评价矩阵和多指标测度向量, 依照置信度准则对方案优劣等级进行判定, 最后通过量化得分对选址方案进行排序。研究表明: 在城市轨道交通车辆基地的选址方案决策中, 该评价方法不仅能给出各选址方案的评价等级, 而且能解决等级评价中诸多因素不确定性问题, 使评价结果客观合理, 可为车辆基地选址方案的比选提供科学依据和技术支持。

关键词: 车辆基地; 选址规划评价体系; 未确知测度; 信息熵; 置信度识别准则

中图分类号: U121

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

文章编号: 1672-7207(2020)05-1431-10



Evaluation of vehicle base location planning based on unascertained measure

WANG Weidong¹, YAN Wen¹, GAO Hua²

(1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China;
2. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: Considering that vehicle base is an important part of urban rail transit system, at present, the decision-making of its location planning scheme is mostly at the subjective level, 13 evaluation indexes were determined from four aspects, i. e., function orientation, planning coordination, project feasibility and economy, and a hierarchical evaluation and ranking model of urban rail transit vehicle base location planning scheme was established by using unascertained measure theory. Information entropy theory was used to determine the weight of each index, construct a linear single index measure function, and calculate the evaluation matrix of single index measure and multi-index measure vector. The quality of the scheme was judged according to the confidence criterion, and finally location scheme was ranked by quantitative score. The results show that the evaluation method can not only give the evaluation grade of each site selection scheme, but also solve the uncertainty of many factors in the grade evaluation in the decision-making on location scheme of urban rail transit vehicle base, which

收稿日期: 2019-09-12; 修回日期: 2019-11-27

基金项目(Foundation item): 国家重点研发计划项目(2017YFB1201204) (Project(2017YFB1201204) supported by the National Key Research and Development Program of China)

通信作者: 王卫东, 博士, 教授, 博士生导师, 从事道路与铁道工程研究; E-mail: 147745@163.com

makes the evaluation result objective and reasonable. The research results can provide scientific basis and technical support for the selection of vehicle base location schemes.

Key words: vehicle base; evaluation system of site location planning; unascertained measure; information entropy; credible degree recognition criteria

为了保证城市轨道交通系统的正常运营,城市轨道交通车辆基地作为“后勤基地”成为轨道交通系统中的重要组成部分^[1]。GB 50157—2013“地铁设计规范”明确指出车辆基地的选址在城市规划、运营条件以及工程建设等方面应符合的基本要求^[2],充分凸显车辆基地选址在轨道交通系统中的重要性。科学合理的车辆基地选址方案不仅能够有效合理地利用各类资源,节约建设成本,而且能提高轨道交通路网的运营效率,从而取得良好的经济效益。我国某些车辆基地由于在前期规划阶段考虑因素不成熟导致选址不当,出现了建设成本高、工程数量大、环境污染严重、既有市政设施改移量大以及后期运营效率低等弊端^[3],对城市建设、运营和管理等方面带来负面影响,因此,研究车辆基地选址规划对城市总体规划、综合公共交通规划以及城市环境有重要意义。目前,国内外学者和工程技术人员对车辆基地选址规划影响因素及其方案评价方法进行了大量研究,如:尚漾波等^[4]以费用现值法为基础,建立了一套由建设成本和运营成本构成的车辆基地规划布局方案的定量评价指标体系和相应的评价方法;缪东^[5]分析了影响车辆基地选址方案的主要因素,提出了由电力改迁、河沟改移、市政道路接驳以及填挖方等指标组成的指标体系;尚漾波等^[6]通过分析国内外城市轨道交通车辆段的数据,研究导致我国车辆基地规模偏大的原因,并建议尽快确立相应的评价指标体系。但上述研究仍存在一些不足:提出的基于建设成本和运营成本的指标体系结构未充分考虑功能定位、工程可实施性以及城市规划等因素对选址方案的影响,指标体系有待完善;未完全确定各评价指标的权重;评价方法趋于主观,没有将主客观因素结合分析进行计算。在评价模型方面,王光远^[7]提出了一种不同于灰色理论和模糊理论的不确定性方法即未确知数学理论,在军事、环境以及投资等领域得到了广泛应

用。刘开第等^[8]在未确知测度空间基础上,将未确知测度评价模型应用于城市环境质量评价方面,并与模糊综合评判、灰色聚类分析、物元分析、BP人工神经网络等评价方法进行比较论证,结果表明未确知测度评价模型更加严谨、合理、分辨率高;彭康等^[9]将未确知测度评价模型应用于尾矿库溃坝风险分级预测中;何美丽等^[10]将未确知测度评价模型应用于隧道坍方的风险预测评估中;栾婷婷等^[11]将未确知测度评价模型用于排土场滑坡危险性等级评判;杨磊等^[12]将未确知测度评价模型用于轨道交通沿线公交线网评价。目前,该模型更多用于城市交通效率评价、城市环境评价以及风险性和安全性评估等方面,在城市轨道交通选址方案的决策评价方面应用较少。为此,本文作者在前人研究工作的基础上,运用信息熵^[13-16]和未确知测度理论^[7-12,17-18]方法,对影响车辆基地选址的各种因素在技术经济和建设运营层面进行分析和论证,建立车辆基地选址规划等级评价和排序模型,完善在车辆基地选址规划研究中对指标体系建立、赋权方法和评价方法等方面的不足,使评价结果更具客观性,从而为城市轨道交通车辆基地选址方案的比选提供理论依据和技术支持。

1 评价指标体系的建立

1.1 评价指标的筛选

以“城市轨道交通车辆基地工程技术标准(征求意见稿)和GB/T 50546—2018“城市轨道交通线网规划编制标准”为基础,现场调研了北京、广州、武汉、长沙、西安、宁波等城市20余个车辆基地的实际建设和运营等情况,根据系统性、实用性、定性与定量相结合以及同阶段4个原则,结合客观指标筛选方法^[19-21],采用现场和文献调研法以及专家咨询法,建立包含功能定位、规划符合

性、工程可实施性和经济性4方面的车辆基地选址规划评价体系, 该体系由13项指标组成。结合相关研究和调研的20余个车辆基地现状特点及各指标值范围, 从而分析得到评价指标分级标准, 见表1。

1.2 评价指标的定义

1.2.1 功能定位指标

1) 资源共享功能。车辆基地在线网中的功能定位可以从是否具有资源共享^[1]的功能角度考虑, 对于具有资源共享的车辆基地选址方案, 考察该车辆基地资源共享的程度是否合理, 集约不够或者过度集中都是不合理的, 即车辆基地资源共享应有一个合理的“度”^[1], 同时也要考虑当车辆基地资源不共享时的合理性。

2) 基地停车数。因对轨道交通线网的建设时序及用地控制等因素考虑不周, 导致车辆基地设计规模偏小, 不满足运营要求; 或因设计偏于保守及研究不充分等导致规模偏大^[6]。因此, 基地规模在建设和运营等方面凸显重要。

本研究中, 由于车辆基地选址属于前期规划阶段, 可根据车辆基地的最大可停车数确定基地规模是否满足运营要求, 以车辆基地最大停车数来定量评价。

1.2.2 城市发展规划协调性指标

1) 用地范围符合性。确定土地利用范围是从城市发展全局和长远的利益出发, 以区域内全部土地为对象, 对土地利用、开发、整治、保护等方面进行统筹安排和范围划分。

依据GB 50157—2003“地铁设计规范”要求, 车辆基地的选址应符合城市总体规划, 且要在城市用地的红线范围内。

2) 对选址用地的调整。根据城市总体规划的需要, 城市规划管理部门会依据地块的具体用途, 将城市用地按照用地性质分为居住用地、公共管理用地、商业用地、工业用地、交通用地以及农林用地等。

选址用地若为建设用地, 则用地性质与规划一致, 调整较小; 若为非建设用地, 则需进行较大调整, 根据原用地性质评价。

3) 对城市环境和历史景观的影响。对城市环境和历史景观的影响主要指车辆基地的建设是否会对周围的水环境、空气、声环境、污染物排放以及环境敏感区产生不利影响。环境敏感区包括文物保护区、自然保护区以及军事基地保护区等, 按照环境影响程度和保护等级来评价, 保护等级越高、影响越大, 评价越低。

表1 车辆基地选址规划评价指标及分级标准

Table 1 Evaluation indexes and classification standard of vehicle base location planning

准则层性能	指标	评价等级				
		好(C ₁)	较好(C ₂)	中等(C ₃)	较差(C ₄)	差(C ₅)
功能定位	1) 资源共享功能 I_1	合理(5)	较合理(4)	一般(3)	集约较差(2)	不合理(1)
	2) 基地停车数 I_2 /列	≥ 50	[40, 50]	[30, 40]	[20, 30]	<20
城市发展规划协调性	3) 用地范围符合性 I_3	符合(5)	较符合(4)	一般(3)	较不符合(2)	不符合(1)
	4) 对选址用地的调整 I_4	小(5)	较小(4)	一般(3)	较大(2)	大(1)
	5) 对城市环境和历史景观的影响 I_5	小(5)	较小(4)	一般(3)	较大(2)	大(1)
工程可实施性	6) 单位面积土石体积 I_6 /($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$)	≤ 0.5	(0.5, 1.5]	(1.5, 2.5]	(2.5, 3.5]	>3.5
	7) 工程地质单位面积处理费用 I_7 /($10^4 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-2}$)	≤ 0.3	(0.3, 0.5]	(0.5, 0.7]	(0.7, 0.9]	>0.9
	8) 交通运输条件 I_8	方便(5)	较方便(4)	一般(3)	较困难(2)	困难(1)
	9) 市政管线单位面积改移量 I_9 /($\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$)	≤ 5	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	>20
工程经济性	10) 单位列位用地面积 I_{10} /($10^4 \text{ m}^2 \cdot \text{列}^{-1}$)	≤ 0.1	(0.1, 0.3]	(0.3, 0.5]	(0.5, 0.7]	>0.7
	11) 单位面积工程投资 I_{11} /($10^4 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-2}$)	≤ 50	(50, 70]	(70, 90]	(90, 110]	>110
	12) 出入场线接轨条件 I_{12} /km	≤ 5	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	>20
	13) 单位面积上盖开发价值 I_{13} /($10^4 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-2}$)	≥ 70	[50, 70)	[30, 50)	[10, 30)	<10

注: 括号内数据为定性指标量化值。

1.2.3 工程可实施性指标

1) 单位面积土石方数量。地表起伏直接关系到轨道交通工程的造价、施工难度和运营效益。在地表起伏较小的平原区域选址,有利于车辆基地建设和运营;在地表起伏较大的丘陵山地区域选址,不利于车辆基地建设和运营,容易发生地质灾害。因此,车辆基地的选址与地形密切相关,地形条件决定了工程的土石体积,可以根据单位面积土石的填挖体积进行定量评价。

2) 工程地质单位面积处理费用。车辆基地选址范围内的工程地质水文情况决定场地是否要地基处理。因此,在前期选址时,应对当地的地质条件进行周密勘探和考察论证。

可按照适宜建设和处理后可建设进行评价分级,单位面积处理费用越高,评价等级越低。

3) 交通运输条件。交通运输条件是指车辆基地与市政道路的接驳情况,既有或规划城市道路是否有切割,还应考虑车辆基地对外的各种运输作业是否方便、顺畅。与市政道路衔接较好、方便对外运输作业的方案,评价越高。

4) 市政管线单位面积改移量。市政管线的改移主要指给排水管道、天然气管道以及通讯线路等从选址基地内穿过或对基地后期建设运营有影响的各类市政管线。由于车辆基地占地面积大,难免会切断既有市政管线,将直接影响轨道交通工程的投资和建设进度,可根据车辆基地选址范围内的管线资料,从拟建选址区域单位面积管线改移量来分级评价。

1.2.4 工程经济性指标

1) 单位列位用地面积。车辆基地股道数量多、各类车库占地面积大,直接影响着车辆基地的投资,因此,作为工程经济性指标进行评价。

车辆基地的用地面积不仅包括检修库、运用库、停车库等各类车库的用地面积,而且包括咽喉区、出入段线、试车线联络线、洗车线等各类线路的用地面积,在本研究中,可根据单位列位所需用地面积进行定量评价。

2) 单位面积工程投资。工程投资费用包括土建成本和征地拆迁成本^[4],本研究中,车辆基地的土建成本可以根据车辆基地的库房建筑面积确定

建筑单位面积成本,根据车辆基地的铺轨量确定铺轨单位成本。

在用地紧张的市区、市郊,车辆基地建设会有大量征地、迁改成本,可依据拆迁类型、拆迁面积确定单位面积征地拆迁成本进行定量计算。按照拟定选址区域单位面积的工程投资费用进行定量评价。

3) 出入场线接轨条件。由于出入场线的接轨方案将直接影响轨道交通的后期运营和行车组织等经济性指标,因此,在车辆基地选址时应考虑出入场线的接轨条件,即与轨道交通正线车站的距离、线路路由等。在本研究中,以车辆往返基地空走距离作为衡量标准,对行车效率指标进行定量评价。

4) 单位面积上盖开发价值。在城市轨道交通车辆基地选址时既要节约土地使用面积,还要最大限度地实现车辆基地上盖的商业开发价值。一般车辆基地与物业、广场等整合为同一建筑群,联系密切,相互促进。利用车辆基地发展物业,开发价值提升迅速,投资回报快,可大幅度降低投资成本。节约城市用地和不分隔城市整体地块均是车辆基地上盖开发带来的经济效益,同时还会促进城市规划的整体性和协调性发展。

车辆基地的商业开发价值可以从土地开发的角度来描述,根据开发之后的区域性质,按照居住区、商业区、工业区排序,以单位面积开发价值定量评价。

1.3 评价指标定性与定量分级

对资源共享功能、用地范围符合性、选址用地的调整、对城市环境和历史景观的影响及交通运输条件用半定量化方法进行取值,分级用定性语言描述。在确定评价等级时,根据各城市轨道交通设计单位和运营单位的专家意见、运营的车辆基地现场调查结果和“城市轨道交通车辆基地工程技术标准”,将其分为5个评价等级(表1)。表1中,括号内数据为定性指标量化值。

对基地停车数、单位面积土石体积、工程地质单位面积处理费用、市政管线单位面积改移量、单位列位用地面积、单位面积工程投资、出入场线接轨条件和单位面积上盖开发价值用实际值进

行分级。对13个评价指标进行分级及取值, 综合评判集为 $\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$, 即I, II, III, IV和V级, 分别表示评价等级好、较好、中等、较差和差(表1)。

2 未确知测度模型

本研究运用信息熵理论和未确知测度理论建立未确知测度评价模型, 对城市轨道交通车辆基地选址方案进行决策评价, 其评价流程如图1所示。

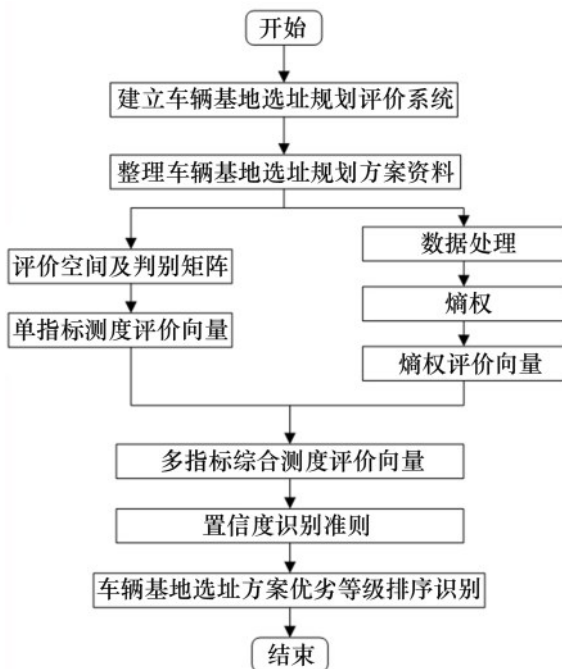


图1 车辆基地选址方案的未确知测度评价流程

Fig. 1 Unascertained measure evaluation process for location scheme of vehicle base

设车辆基地选址决策方案有 n 个待评价方案, 对于每一个评价方案有 m 个评价指标, 同时假设待评价方案有 p 个评价等级, 则 $u = u_{ijk} (x_{ij} \in C_k)$ 表示实测值 x_{ij} 属于第 k 个评价等级 C_k 的程度(其中, $i = 1, 2, \dots, n$, 为评价方案数; $j = 1, 2, \dots, m$, 为评价指标数; $k = 1, 2, \dots, p$, 为评价等级数; x_{ij} 为第 i 评价方案第 j 个评价指标 I_j 的指标)。当 u 满足“非负有界性”“归一性”和“可加性”时, 称 u 为未确知测度。

2.1 单指标测度

根据未确知测度的定义构建单指标测度函数, 测度函数表达式的形式有很多种, 一般常采用直线、二次曲线和指数曲线等。以上几种函数表达式都建立在“非负、归一、可加”的原则上, 本文采用应用最广泛、计算最简单的直线型未确知测度函数, 如图2所示, 其中 x 为指标属性观测值区间上的点, 在区间 $[a_k, a_{k+1}]$ 上对应的未确知测度函数表达式为

$$\begin{cases} u_k(x) = \frac{a_{k+1} - x}{a_{k+1} - a_k} \\ u_{k+1}(x) = \frac{x - a_k}{a_{k+1} - a_k} \end{cases} \quad (1)$$

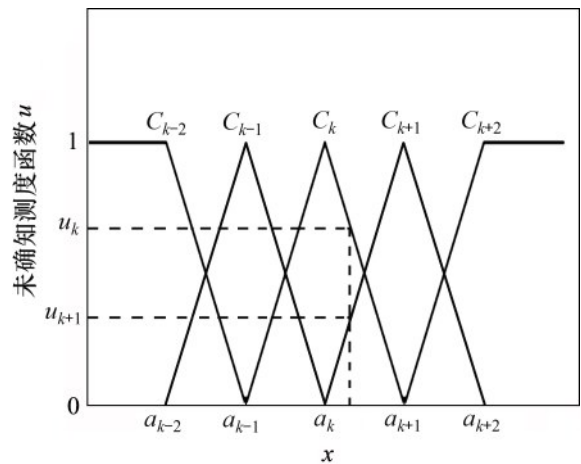


图2 直线型未确知测度函数

Fig. 2 Straight-line unascertained measure function

则各指标未确知测度值 u_{ijk} 构成的单指标测度矩阵 $(u_{ijk})_{m \times p}$ 为

$$(u_{ijk})_{m \times p} = \begin{bmatrix} u_{i11} & u_{i12} & \cdots & u_{i1p} \\ u_{i21} & u_{i22} & \cdots & u_{i2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{im1} & u_{im2} & \cdots & u_{imp} \end{bmatrix} \quad (2)$$

该矩阵的第 j 个行向量 $[u_{ij1}, u_{ij2}, \dots, u_{ijp}]$ 为 x_{ij} 的单指标测度评价向量。

2.2 基于熵理论确定各指标权重

车辆基地的选址方案比选是一个多层次、多目标的复杂结构系统, 各指标权重的确定非常重要。确定指标权重的方法大多为德尔菲法、Saaty's 权重法以及模糊综合评价法等, 运用这种主观赋权方法评价具有较大的主观臆断性和片面

性,从而影响了结果的准确性。

为了避免主观赋权法的不足,消除各指标权重计算时的人为干扰,本研究引入熵值理论,根据具体指标值计算确定指标权重,评价结果更加符合实际要求。

令 $\omega_{ij} (0 \leq \omega_{ij} \leq 1, \sum_{j=1}^m \omega_{ij} = 1)$ 为第 j 个评价指标 $I_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 的权重,利用信息熵理论确定各指标权重,即

$$v_{ij} = 1 + \frac{1}{\lg p} \sum_{k=1}^p (u_{ijk} \lg u_{ijk}) \quad (3)$$

$$\omega_{ij} = v_{ij} / \sum_{j=1}^m v_{ij} \quad (4)$$

2.3 多指标综合测度评价向量

运用信息熵理论通过式(3)和(4)计算获得各指标权重后,即可得到评价方案的多指标综合未确知测度 $u_{ik} = \sum_{j=1}^m \omega_{ij} u_{ijk}$, 其中, $0 \leq u_{ik} \leq 1, \sum_{k=1}^p u_{ik} = 1$ 。

则多指标综合未确知测度评价矩阵为

$$(u_{ik})_{n \times p} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1p} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{np} \end{bmatrix} \quad (5)$$

称第 i 行向量 $[u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ip}]$ 为 x_i 的多指标综合测度评价向量。

2.4 评价等级排序模型

设 λ 为置信度 ($1 > \lambda \geq 0.5$, 通常取为 0.6 或 0.7), 当 $C_1 > C_2 > \dots > C_p$ 时, 若有

$$k_0 = \min_k (k: \sum_{l=1}^k u_{il} \geq \lambda, 1 \leq l \leq k) \quad (6)$$

则认为评价对象 x_i 属于第 k_0 个评价等级 C_{k_0} (式中, l 为评价方案所处的评价等级序号)。

当多个评价方案处于同一个评价等级时, 需要对优选方案的优越程度进行排序, 从而得到最优方案。由于 $C_1 > C_2 > \dots > C_p$, 在对 x_i 的等级重要度排序时, 设 C_l 的分值为 n_l , 有 $n_l > n_{l+1}$, 且 $q_{x_i} = \sum_{l=1}^p n_l u_{il}$ 。称 $q = \{q_{x_1}, q_{x_2}, \dots, q_{x_p}\}$ 为未确知重要度向量, 按 q_{x_i} 的大小对评价对象 x_i 重要度进行排序,

对应的未确知重要度越大, 方案越优。

3 选址评价方案的未确知测度模型

3.1 车辆基地选址方案实例介绍

本研究依托宁波市轨道交通宁波至奉化线的奉化车辆基地为研究对象, 该车辆基地承担本线配属列车停放、洗车、镟轮、周月检、定临修等任务。车辆基地设停车列检线 13 条, 预留 2 条, 镟轮线 1 条, 临修线 1 条, 定修线 2 条, 双周/3 月检线 2 条, 静调和吹扫线各 1 条。

在满足城市总体规划和线网规划的前提下, 设计了 2 个拟建车辆基地场址, 均从本线终点站金海路站南端接轨, 位于东环路东侧, 规划明化路以南、规划宝化路以北地块, 具体位置如图 3 所示。



图3 车辆基地选址方案示意图

Fig. 3 Schematic diagram of vehicle base location planning

3.1.1 选址方案1基本情况

选址方案 1 由金海路站接轨向南引入该地块, 呈南北向布置, 面积约 $5 \times 10^5 \text{ m}^2$, 可停车 45 列。该地块与正线地理位置相对较好, 有利于出入场

线以及车辆基地内各类线路的布置。该地块现状为农田, 基本无拆迁, 需填土体积约 18 万 m³。但需改移既有 15 m 宽河道约 320 m, 且靠近东环路东侧 110 kV 高压线路, 需保证平面距离要求; 出场线长约 1 012.9 m, 出场线较短, 路基工程较少。

3.1.2 选址方案2基本情况

选址方案2由金海路站接轨向东南引入该地块, 呈东西向布置, 面积约 4×10⁵ m², 可停车 40 列。该地块与正线地理位置关系相对较好, 出场线的布置也较方便。地块现状为农田, 存在 100 m² 拆迁量, 需填土体积约 22 万 m³。但因方案2呈东西向布置, 需上跨1条约 8 m 宽既有河道, 应设涵洞; 出场线长约 1 226.5 m, 其他与方案1差别较小。

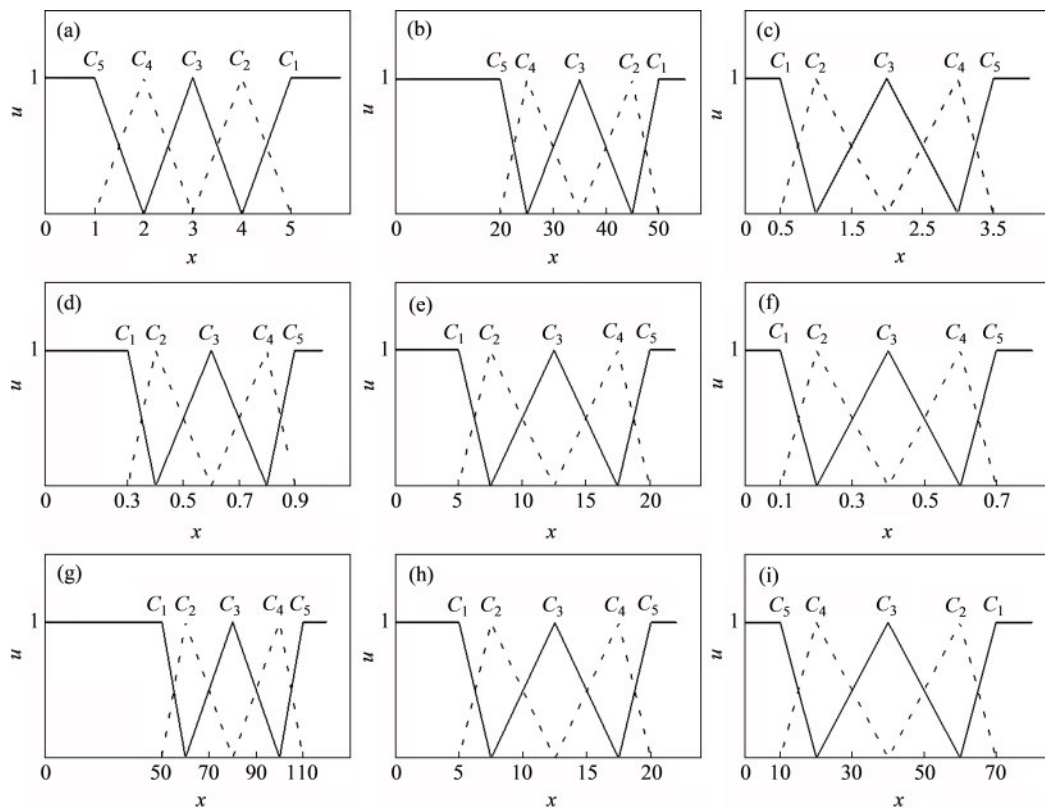
3.2 单指标测度函数的构建

根据单指标测度函数的定义、性质以及表1中评价指标及分级标准, 构建车辆基地选址规划评价指标体系的各指标直线型测度函数 u , 如图4所示, 从而得到各评价指标的测度。

3.3 单指标测度评价矩阵的计算

根据宁波市轨道交通宁波至奉化线的奉化车辆基地2个拟建场址设计方案以及实地调查结果, 得到2个车辆基地选址方案的各评价指标, 如表2所示。

根据表2中取值以及构建的单指标测度函数, 计算得到2个选址方案的单指标测度评价矩阵 $(u_1)_{13 \times 5}$ 和 $(u_2)_{13 \times 5}$ 。



测度函数: (a) I_1, I_3, I_4, I_5, I_8 ; (b) I_2 ; (c) I_6 ; (d) I_7 ; (e) I_9 ; (f) I_{10} ; (g) I_{11} ; (h) I_{12} ; (i) I_{13}

图4 各单指标测度函数

Fig. 4 Unascertained measurement functions of different single indexes

表2 车辆基地选址方案等级评价指标

Table 2 Grade evaluation index for location scheme of vehicle base

选址方案	等级评价指标值												
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	I_{13}
方案1	4	45	5	4	4	0.36	0.5	4	5	0.3	68	7.4	50
方案2	3	40	4	5	3	0.55	0.3	5	3	0.2	73	6.8	55

$$(u_1)_{13 \times 5} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.40 & 0 & 0 \\ 0.04 & 0.96 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(u_2)_{13 \times 5} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 0.90 & 0.10 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.35 & 0.65 & 0 & 0 \\ 0.28 & 0.72 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.4 多指标测度向量的计算

计算多指标测度评价矩阵,运用式(3)和(4)计算确定车辆基地选址方案的评价指标权重 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{13}\} = \{0.069, 0.011, 0.042, 0.042, 0.069, 0.148, 0.212, 0.042, 0.212, 0.135, 0.004, 0.006, 0.008\}$; 根据求出的单指标测度矩阵及式(5)得出奉化车辆基地2个选址方案的多指标测度为:

$$u_1 = \omega^T (u_1)_{13 \times 5} = [0.444, 0.308, 0.248, 0, 0]$$

$$u_2 = \omega^T (u_2)_{13 \times 5} = [0.601, 0.320, 0.079, 0, 0]$$

3.5 置信度识别和评价等级排序

根据多指标测度向量的计算结果和置信度评价准则式(6),取置信度 $\lambda = 0.6$, 分别求得2个选址方案的 k_0 , 从而确定奉化车辆基地2个选址方案分别所处的评价等级。对于选址方案1, $(k_0)_1 = 0.444 + 0.308 = 0.752 > 0.600$, 表示选址方案1的评价等级为II级, 即处于“较好”层次; 对于选址方案2, $(k_0)_2 = 0.601 > 0.600$, 表示选址方案2的评价等级为I级, 即处于“好”层次。

3.6 评价结果分析

将评价结果与宁波至奉化城际铁路工程规划

选址论证结果进行对比分析, 2个选址方案在征地、地质条件等方面差别较小, 在土石体积、市政管线改移量、工程造价、对周边规划影响以及出入场线接轨条件等方面差别较大, 经设计院论证研究推荐选址方案2。本文通过运用未确知测度模型对选址方案进行等级评价, 评价结果如表3所示。从表3可见: 该车辆基地选址比选方案的未确知测度模型评价结果与实际论证结果保持一致, 从而说明本文建立的选址方案评价模型具有一定的可行性和有效性。

表3 未确知测度模型评价结果

Table 3 Evaluation results of unascertained measure model

选址方案	综合未确知测度					评判结果	论证结果
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5		
方案1	0.444	0.308	0.248	0	0	II级(较好)	不推荐
方案2	0.601	0.320	0.079	0	0	I级(好)	推荐

可见, 将未确知测度理论模型应用于城市轨道交通车辆基地的选址规划方案比选决策评价中, 评价结果直观清晰、准确可靠, 具有较高的实用价值。

4 结论

1) 针对城市轨道交通车辆基地选址问题, 通过研究影响选址方案决策的各种因素, 选取功能定位、规划符合性、工程可实施性和经济性这4个总体指标组成多目标多层次的综合评价指标体系, 具体指标可根据案例实际情况在指标体系中进行进一步取舍。建立基于熵权法的车辆基地选址方案评价未确知测度模型, 为车辆基地选址方案的比选提供借鉴和参考。

2) 在选址方案评价过程中, 采用信息熵理论确定指标权重, 运用置信度评价准则对选址方案进行等级排序评价, 保证了模型评价结果的可信度。利用未确知测度模型对宁波市轨道交通宁波至奉化线的奉化车辆基地选址方案进行评价, 评价结果与实际结果一致, 且评价结果更具客观性。

该方法可操作性强,信息利用率高,具有很好的实践意义,为轨道交通车辆基地的选址决策提供了一条新途径。

3) 车辆基地选址决策的准确度和可信度取决于指标体系的系统性和实用性,因此,对影响车辆基地选址因素的分析 and 论证是决策选址方案的核心内容,也影响评价方法和评价模型的选取。下一步研究主要是有针对性地调整并进一步优化车辆基地选址规划评价指标体系,实现对选址决策方案评价的最优化,为方案比选提供科学依据和技术支持。

参考文献:

- [1] 尚漾波.城市轨道交通车辆段规模与布局规划评价方法研究[D].上海:同济大学交通运输工程学院,2009:1-8.
SHANG Yangbo. Study on evaluation method of urban rail transit depot scale and layout planning[D]. Shanghai: Tongji University. College of Transportation Engineering, 2009: 1-8.
- [2] GB 50157—2013.地铁设计规范[S].
GB 50157—2013. Code for metro design[S].
- [3] 王寅.城市轨道交通车辆基地选址研究[J].科技与创新,2017(7):3-5.
WANG Yin. Research on location of vehicle base for urban rail transit[J]. Science and Technology & Innovation, 2017(7): 3-5.
- [4] 尚漾波,叶霞飞.城市轨道交通车辆段布局规划评价方法研究[J].城市轨道交通研究,2011,14(1):38-41.
SHANG Yangbo, YE Xiafei. Evaluation method of depots' allocation plan in urban mass transit system[J]. Urban Mass Transit, 2011, 14(1): 38-41.
- [5] 缪东.轨道交通车辆基地用地选址综合评价[J].铁道勘察,2015,41(1):95-97.
MIAO Dong. Comprehensive assessment of train base selection[J]. Railway Investigation and Surveying, 2015, 41(1): 95-97.
- [6] 尚漾波,叶霞飞.国内外城市轨道交通车辆段规模比较分析[J].都市快轨交通,2009,22(3):16-19.
SHANG Yangbo, YE Xiafei. Comparison of depots' scale between domestic and foreign urban rail transit systems[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2009, 22(3): 16-19.
- [7] 王光远.论未确知性信息及其数学处理[J].哈尔滨建筑工程学院学报,1990,23(4):52-58.
WANG Guangyuan. Uncertainty information and its mathematical treatment[J]. Journal of Harbin Architecture and Engineering Institute, 1990, 23(4): 52-58.
- [8] 刘开第,庞彦军,孙光勇,等.城市环境质量的未确知测度评价[J].系统工程理论与实践,1999(12):52-58.
LIU Kaidi, PANG Yanjun, SUN Guangyong, et al. The uncertainty measurement evaluation on a city's environmental quality[J]. Systems Theory and Practice Engineering, 1999, 19(12): 52-58.
- [9] 彭康,李夕兵,王世鸣,等.基于未确知测度模型的尾矿库溃坝风险评价[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(4):1447-1452.
PENG Kang, LI Xibing, WANG Shiming, et al. Optimization model of unascertained measurement for dam-break risk evaluation in tailings dams[J]. Journal of Central South University(Science and Technology) 2012, 43(4): 1447 - 1452.
- [10] 何美丽,刘霁,刘浪,等.隧道坍方风险评价的未确知测度模型及工程应用[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(9):3665-3671.
HE Meili, LIU Ji, LIU Lang, et al. Unascertained measure model of assessment tunnel collapse risk and its application in engineering[J]. Journal of Central South University (Science and Technology) 2012, 43(9): 3665-3671.
- [11] 栾婷婷,谢振华,吴宗之,等.基于未确知测度理论的排土场滑坡风险评价模型[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(5):1612-1617.
LUAN Tingting, XIE Zhenhua, WU Zongzhi, et al. Risk evaluation model of waste dump landslide based on uncertainty measurement theory[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2014, 45(5): 1612 - 1617.
- [12] 杨磊,肖为周.基于未确知测度的轨道交通沿线公交线网评价[J].现代城市研究,2017,32(12):30-37.
YANG Lei, XIAO Weizhou. Evaluation of bus network along rail transit based on unascertained measurement model [J]. Modern Urban Research, 2017, 32(12): 30-37.
- [13] LI Xiangxin, WANG Kongsen, LIU Liwen, et al. Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines[J]. Procedia Engineering, 2011, 26: 2085-2091.
- [14] 张静,张智慧,李小冬,等.基于熵权的TOPSIS法的港口军事运输能力评估[J].清华大学学报(自然科学版),2018,58(5):494-499.
ZHANG Jing, ZHANG Zhihui, LI Xiaodong, et al. Military transport capacity evaluation of Ports using entropy weight and TOPSIS[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2018, 58(5): 494-499.
- [15] 赵怀鑫,孙星星,徐倩倩,等.基于灰熵法的公路货运量和货物周转量关联因素分析[J].交通运输工程学报,2018,18(4):160-170.

- ZHAO Huaixin, SUN Xingxing, XU Qianqian, et al. . Analysis of relevant factors for highway freight volume and freight turnover based on grey entropy method[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2018, 18(4): 160-170.
- [16] LIU Fang, ZHAO Shengzhong, WENG Miao Cheng, et al. Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method[J]. Safety Science, 2017, 94: 26-40.
- [17] YAN Huizhe, MA Lihua, SHI Fangfang. Evaluation of sustainable development ability for logistics enterprises based on unascertained measure[J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 4757-4762.
- [18] 王卫东, 李俊杰, 王京, 等. 基于未确知测度的公路交通效率评价[J]. 浙江大学学报(工学版), 2016, 50(1): 48-54.
- WANG Weidong, LI Junjie, WANG Jing, et al. Highway traffic efficiency evaluation based on unascertained measure model[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2016, 50(1): 48-54.
- [19] ZHANG Jingrong. Comprehensive transportation logistics network level layout based on principal component factor and cluster analysis[C]// Proceedings of the 13th Global Congress on Manufacturing and Management. Zhengzhou, China: GCMM, 2016: 1-8.
- [20] 赵晓华, 姚莹, 伍毅平, 等. 基于主成分分析与BP神经网络的驾驶能耗组合预测模型研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(5): 185-191, 204.
- ZHAO Xiaohua, YAO Ying, WU Yiping, et al. Prediction model of driving energy consumption based on PCA and BP network[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(5): 185-191, 204.
- [21] 赵建军, 贺宇航, 黄润秋, 等. 基于因子分析法的边坡稳定性评价指标权重[J]. 西南交通大学学报, 2015, 50(2): 325-330.
- ZHAO Jianjun, HE Yuhang, HUANG Runqiu, et al. Weights of slope stability evaluation indexes based on factor analysis method[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2015, 50(2): 325-330.

(编辑 陈灿华)