

模糊综合评价法在轨道交通卫生学评价中的应用

陈健, 唐颖, 倪骏, 张莉萍, 翟清

摘要: [目的] 把模糊综合评价法运用在地铁项目卫生学评价中, 探索建立一套科学合理、量化可比, 能够在实际评价工作中推广应用的多指标综合评级方法。[方法] 参考标准、文献、国内相关指标体系, 并对地铁环境进行卫生调查和专家咨询, 初步建立上海地铁环境卫生评价指标体系及模糊评判准则; 采用专家咨询法确定各级指标的权重。并应用该方法对上海市地铁某号线北段一期工程 10 个地下车站进行卫生学评价。[结果] 初步形成地铁车站卫生评价体系、指标权重和评判标准, 该体系从多角度反映了地铁环境卫生状况。上海市地铁某号线北段一期工程 10 个地下车站中有 6 个车站卫生指标检测等级为 II 级(未污染), 4 个车站卫生指标检测等级为 I 级(清洁), 全线综合评判卫生等级为 II 级(未污染)。[结论] 模糊综合评价法可应用于地铁项目卫生学评价, 能划定卫生等级, 得出确切结论。

关键词: 轨道交通; 模糊综合评价; 卫生学评价; 环境; 管理

Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method to Hygienic Evaluation of Subway Stations
CHEN Jian, TANG Ying, NI Jun, ZHANG Li-ping, ZHAI Qing (Environmental & Occupational Health Evaluation Department, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To establish a sound scientific, quantitative, practical, and comprehensive evaluation protocol with multiple indicators for hygienic evaluation of underground subway station projects by applying fuzzy comprehensive evaluation method. [Methods] With reference to national standards, related literatures, and domestic existing indicator systems, subway hygienic surveys and expert consultations were conducted to construct an indicator system and a set of fuzzy criteria for subway hygienic evaluation. The weights of indicators at each level were determined by the expert consultations. The protocol was then applied to the hygienic evaluation of 10 underground stations of a north-section phase-I metro line project in Shanghai. [Results] The hygienic evaluation system, indicator weights, and evaluation criteria for subway station were initially established. The system reflected the hygienic status of subway environment from various angles. Of the 10 underground stations selected, 6 were grade II (Unpolluted), and 4 were grade I (Clean); the general grade of the metro line was grade II (Unpolluted). [Conclusion] The fuzzy comprehensive evaluation method could be applied to the hygienic evaluation of subway projects, and is capable to rate hygiene level and render a definite conclusion to a given project.

Key Words: rail transit; fuzzy comprehensive evaluation; hygienic evaluation; environment; management

上海自 1995 年第一条轨道交通线投入运营, 至 2012 年已规划建成了 11 条轨道交通线路, 282 座车站的快速交通网络, 日客流量超过 700 万人次, 轨道交通已成为人们日常出行最主要的交通工具。由于轨道交通客流量大、人群密集, 且大多数车站是地下车站, 环境相对密闭, 其卫生状况已成为影响人们健康的重要因素之一。开展地铁环境的卫生学评价是了解地铁内部环境卫生状况的重要手段。现行评价方法多采用检查表法和检测检验法^[1], 检查表法只能作出定性评价, 而无法作出定量评价。定量评价是指采用数学的方法, 收集和处理数据资料, 对评价对象做出定量结果的价值判断。检测检验法的缺点是只能对单个指标是否达标作出判定, 而无法对整个地铁环境的卫生状况作出综合评判。模糊综合评价法是利用模糊数学的

“隶属度”基本理论, 采用矩阵分析方法, 对多因素综合影响作出综合评价的定量评价方法^[2]。该方法的优点是通过对各指标检测数据和卫生管理要素的定量分析, 得出评价对象卫生状况的综合评判等级, 能更客观、更准确地反映地铁环境综合卫生状况, 避免了评价结果是一个平均值或简单的累加值, 能正确地表达多因素共同作用的综合评价结果。本研究拟采用模糊综合评价法对轨道交通地下车站卫生状况进行综合评价, 为卫生行政部门监督执法和地铁运营部门日常管理提供更加直观、明确的技术依据。

1 材料与方法

1.1 评价指标的建立

我国目前尚未建立专门针对地铁的卫生指标和标准, 本研究采纳张霞等^[3]经德尔菲法确定的地铁环境卫生学评价指标。包括环境卫生指标和现场卫生管理指标两大类。采用专家咨询法确定各指标的权重。

[作者简介] 陈健(1966—), 女, 学士, 副主任医师; 研究方向: 建设项目卫生学评价; E-mail: jchen_3@scdc.sh.cn

[作者单位] 上海市疾病预防控制中心环境职业场所卫生评价科, 上海 200336

1.2 环境卫生指标检测方法

温度、相对湿度、噪声、二氧化碳、空气中可吸入颗粒物、空气中细菌总数的检测方法按照《公共场所卫生监测技术规范》^[4]执行；空调送风中可吸入颗粒物、空调送风中细菌总数、空调送风中真菌总数的检测按照《集中空调通风系统卫生管理规范》^[5]执行。检测时间为地铁建成后载客试运行期间。

1.3 全局风险因素模糊综合评判法的实现

由确定的评价指标体系因素集 U 和备择集 V 得到单因素等级矩阵 R ，联合权重集 A ，逐级计算模糊评判矩阵，处理程序见图 1。

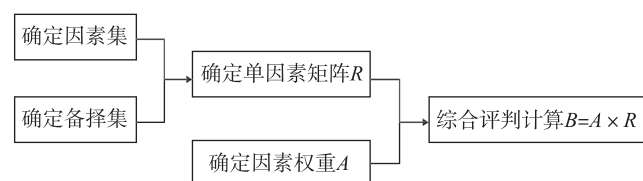


图 1 模糊综合评价法评判矩阵处理程序图

1.4 方法应用

以上海市地铁某号线北段一期工程为对象，该线共有 21 个车站，其中地下车站 10 个，地面车站 1 个，高架车站 10 个，选取该线所有地下 10 个车站作为研究对象。该线地下车站的空调系统均为全空气空调系统，夏季采用最小新风空调运行工况，春、秋季采用全新风运行工况。

2 结果

2.1 评价指标的确定

2.1.1 环境卫生指标 张霞等^[3]经德尔菲法确定的地铁环境卫生学评价指标，主要包括：温度、相对湿度、噪声、新风量、二氧化碳、空气中可吸入颗粒物、空气中细菌总数、空调送风中可吸入颗粒物、空调送风中细菌总数、空调送风中真菌总数、空调冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌。我国无地铁车站新风量标准，且乘客在地铁车站停留时间短，流动频繁，单位时间内人均新风量的计算比较困难，故本研究剔除新风量指标，以二氧化碳浓度间接反映新风量供给情况。综上，本次评价环境卫生指标包括：温度、相对湿度、噪声、二氧化碳、空气中可吸入颗粒物、空气中细菌总数、空调送风中可吸入颗粒物、空调送风中细菌总数、空调送风中真菌总数、空调冷却水（冷凝水）中嗜肺军团菌 10 项指标。其中空调冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌为定性指标，该指标一旦出现阳性即判定为重污染，无需纳入因素集进行模糊矩阵计算。因此，本研究确定的环境卫生指标因素集 U = 温度、相对湿度、噪声、二氧化碳、空气中可吸入颗粒物、空气中细菌总数、空调送风中可吸入颗粒物、空调送风中细菌总数、空调送风中真菌总数。

2.1.2 现场卫生管理指标 评价指标还包括现场调查获得的卫生管理指标。因此，本研究确定的现场卫生管理指标因素集 U = 地铁环境清洁程度，新风质量，过滤器质量，冷凝水盘的卫生状况，送风口，回风口，排风口及风口周边区域的清洁程度，新风机房内的清洁程度。

2.2 评价指标权重的确定

2.2.1 环境卫生指标 环境卫生指标的权重确定采用专家咨询法，权重系数具体见表 1。

表 1 上海市轨道交通车站环境卫生指标权重系数

卫生管理指标	权重系数
温度	0.10
相对湿度	0.10
噪声	0.09
二氧化碳	0.14
空气中可吸入颗粒物	0.12
空气中细菌总数	0.11
空调送风中可吸入颗粒物	0.13
空调送风中细菌总数	0.10
空调送风中真菌总数	0.11

2.2.2 现场卫生管理指标 现场卫生管理指标的权重确定采用专家咨询法，权重系数具体见表 2。

表 2 上海市轨道交通车站现场卫生管理指标权重系数

卫生管理指标	权重系数
地铁环境清洁程度	0.19
新风质量	0.23
过滤器质量	0.18
冷凝水盘的卫生状况	0.12
送风口、回风口、排风口及风口周边区域的清洁程度	0.17
新风机房内的清洁程度	0.11

2.3 评价指标评判标准

2.3.1 环境卫生指标 参照环境评价中污染等级划分，本研究备择集 V = { 清洁，未污染，轻污染，重污染 }。对环境卫生指标中的二氧化碳、空气中可吸入颗粒物、空气中细菌总数、空调送风中可吸入颗粒物、空调送风中细菌总数、空调送风中真菌总数等指标，按其实测值与《公共交通等候室卫生标准》^[6]以及《集中空调通风系统卫生管理规范》^[5]的标准值之比而定。二氧化碳、空气中可吸入颗粒物、空调送风中可吸入颗粒物归为化学性指标，空气中细菌总数、空调送风中细菌总数、空调送风中真菌总数归为生物性指标。空调冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌为致病菌，一旦检出则直接判断该地下车站卫生状况为重污染。具体等级水平见表 3。

表 3 上海市轨道交通车站环境卫生指标评判准则

评判等级	化学指标(实测值/标准值)	生物指标(实测值/标准值)	温度(℃)	相对湿度(%)	噪声(dB)
I (清洁)	<0.5	<0.5	—	—	<60
II (未污染)	0.5~	0.5~	16~28	40~65	60~
III (轻污染)	1.0~	1.0~	—	—	70~
IV (重污染)	1.5~	1.5~	<18 或 28~	<40 或 65~	80~

2.3.2 现场卫生管理指标 对于现场卫生管理指标中的地铁环境清洁程度、新风质量、过滤器质量、冷凝水盘的卫生状况、送风口、回风口、排风口及风口周边区域的清洁程度、新风机房内的清洁程度等指标主要根据目测法和经验法进行量化赋值，现场调查按照 100 分制进行判断，清洁为 0 分，污染为 100 分。具体见表 4。

表 4 上海市轨道交通车站现场卫生管理指标评判准则

评判等级	分值	地铁环境清洁程度	新风质量	过滤器质量	冷凝水盘的卫生状况	送风口、回风口、排风口及风口周边区域的清洁程度	新风机房内的清洁程度
I (清洁)	<20	地铁站厅站台内清洁, 无污染现象	新风口周围无污染源, 新风量满足卫生标准要求	采用中级过滤器或者过滤器无明显积尘现象, 且过滤器过滤效果明显	无霉斑及积水现象	无积尘现象	清洁、干燥, 无杂物
II (未污染)	20~	地铁站厅站台内较清洁, 无明显污染现象	新风口周围无明显污染源, 新风量基本满足卫生标准要求	过滤器有明显积尘现象, 过滤效果一般	霉斑及积水现象不明显	积尘现象不明显	堆放杂物基本干净
III (轻污染)	50~	地铁站厅站台内有少数扬尘	新风量周围有污染源, 新风量不能满足卫生标准要求	过滤器的终阻力达到或超过初阻力的 2 倍, 无明显过滤效果	出现明显霉斑及积水现象	积尘现象明显	有少量积水, 堆放杂物
IV (重污染)	80~	地铁站厅站台内存在明显污染现象	新风口周围污染严重	未设置过滤器	霉斑及积水现象严重	积尘现象严重	积水严重, 存在明显污染现象

2.4 实例应用与结果

2.4.1 环境卫生指标检测结果的评判

空调冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌为致病菌, 一旦检出则直接判断该地下车站卫生状况为重污染, 不列入计算。本次检测的上海市地铁某号线北段

一期工程 10 个地下车站空调冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌均未检出。以某站卫生指标的检测数据作为计算演示: 该站卫生指标的量化与取值见表 3, 该站卫生指标在不同评判等级中的分布见表 5。

表 5 上海市某轨道交通地下车站环境卫生指标在不同评判等级中的分布

评判等级	噪声		二氧化碳		空气中可吸入颗粒物		空气中细菌总数		温度		相对湿度		空调送风中可吸入颗粒物		空调送风中细菌总数		空调送风中真菌总数	
	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布
I	0	0.00	6	0.25	2	0.08	24	1.00	0	0.00	0	0.00	1	0.20	4	0.80	5	1.00
II	24	1.00	18	0.75	22	0.92	0	0.00	14	0.58	0	0.00	4	0.80	1	0.20	0	0.00
III	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
IV	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	10	0.42	24	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
合计	24	1.00	24	1.00	24	1.00	24	1.00	24	1.00	24	1.00	5	1.00	5	1.00	5	1.00

计算该站各环境卫生指标检测结果的模糊矩阵:

$A_{\text{指标}} = [0.10, 0.10, 0.09, 0.14, 0.12, 0.11, 0.13, 0.10, 0.11]$

$$R_9 = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.58 & 0.00 & 0.42 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.75 & 0.00 & 0.00 \\ 0.08 & 0.92 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.20 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$B_9 = A_{\text{指标}} \cdot R_9 = [0.38, 0.49, 0.00, 0.14]$

用上述相同方法分别求出其他 9 个车站的 B 值以及全线地下车站环境卫生指标检测结果的综合评判。判断结果: 根据最大隶属度原则, 参照备择集 $V = \{\text{清洁, 未污染, 轻污染, 重污染}\}$, 各车站综合评判结果见表 6。

表 6 上海市某轨道交通地下车站环境卫生指标综合评判结果

车站	矩阵	评判等级	结果描述
1	0.47, 0.48, 0.04, 0.01	II	未污染
2	0.43, 0.31, 0.02, 0.24	I	清洁
3	0.42, 0.44, 0.02, 0.12	II	未污染
4	0.51, 0.47, 0.02, 0.00	I	清洁
5	0.38, 0.47, 0.04, 0.11	II	未污染
6	0.45, 0.44, 0.09, 0.02	I	清洁
7	0.36, 0.58, 0.06, 0.00	II	未污染
8	0.49, 0.51, 0.00, 0.00	II	未污染
9	0.38, 0.49, 0.00, 0.14	II	未污染
10	0.49, 0.40, 0.00, 0.11	I	清洁

根据各车站的日均人流量, 算出 10 个车站的权数分配

$A_{\text{车站}}$

$A_{\text{车站}} = [0.14, 0.14, 0.16, 0.14, 0.07, 0.07, 0.07, 0.08, 0.07, 0.06]$

将 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}$, 组成评价矩阵。

$$R_{\text{环境}} = \begin{bmatrix} 0.47 & 0.48 & 0.04 & 0.01 \\ 0.43 & 0.31 & 0.02 & 0.24 \\ 0.42 & 0.44 & 0.02 & 0.12 \\ 0.51 & 0.47 & 0.02 & 0.00 \\ 0.38 & 0.47 & 0.04 & 0.11 \\ 0.45 & 0.44 & 0.09 & 0.02 \\ 0.36 & 0.58 & 0.06 & 0.00 \\ 0.49 & 0.51 & 0.00 & 0.00 \\ 0.38 & 0.49 & 0.00 & 0.14 \\ 0.49 & 0.40 & 0.00 & 0.11 \end{bmatrix}$$

$B_{\text{环境}} = A_{\text{车站}} \cdot R_{\text{环境}}$

$= [0.44, 0.45, 0.03, 0.08]$

判断结果: 根据最大隶属度原则, 参照备择集 $V = \{\text{清洁, 未污染, 轻污染, 重污染}\}$, 综合评判全线地下车站环境卫生指标检测结果为未污染。

2.4.2 现场卫生管理指标结果的判断

把 10 个车站作为一个整体计算该地铁线路现场卫生管理指标的量化与取值见表 4。车站内现场卫生管理指标在不同评判等级中的分布见表 7。

表 7 上海市某轨道交通地下车站内现场卫生管理指标在不同评判等级中的分布

评判等级	地铁环境清洁程度		新风质量		过滤器质量		冷凝水盘的卫生状况		送风口、回风口、排风口及风口周边区域的清洁程度		新风机房内的清洁程度	
	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布	点数	分布
I	6	0.6	1	0.1	7	0.7	10	1.0	1	0.1	4	0.4
II	4	0.4	7	0.7	3	0.3	0	0.0	7	0.7	5	0.5
III	0	0.0	2	0.2	0	0.0	0	0.0	2	0.2	1	0.1
IV	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
合计	10	1.0	10	1.0	10	1.0	10	1.0	10	1.0	10	1.0

结合表 2 中的权重系数和表 7 中的数据分布, 得出车站的现场卫生管理模糊综合判断集为:

$$B_{\text{管理}} = A_{\text{管理}} \cdot R_{\text{管理}}$$

$$= [0.19, 0.23, 0.18, 0.12, 0.17, 0.11] \cdot \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0.0 & 0.0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0.0 \\ 0.7 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0.0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$= [0.44, 0.47, 0.09, 0.00]$$

判断结果根据最大隶属度原则, 参照备择集 $V = \{\text{清洁, 未污染, 轻污染, 重污染}\}$, 现场卫生管理指标综合评判结果为未污染。

2.4.3 全线地下车站卫生状况的模糊综合评判 $B_{\text{环境}}$ 和 $B_{\text{管理}}$ 形成全线地下车站卫生状况的评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0.44 & 0.45 & 0.03 & 0.08 \\ 0.44 & 0.47 & 0.09 & 0.00 \end{bmatrix}, A = 0.67: 0.33, \text{ 因此全线}$$

地下车站卫生状况的模糊综合评判集为 $B = A \cdot R = [0.44, 0.46, 0.05, 0.05]$

2.4.4 全线地下车站卫生状况评价结论 根据最大隶属度原则, 模糊综合评判集 $B = [0.44, 0.46, 0.05, 0.05]$, 参照备择集 $V = \{\text{清洁, 未污染, 轻污染, 重污染}\}$, 综合评判该线地下车站卫生状况为未污染。

3 讨论

目前, 建设项目卫生学评价方法基本上以定性分析为主, 没有一种成熟的定量评价方法可以推广。模糊综合评价法是利用模糊集理论来分析问题的一种方法, 对于处理定性、模糊的变量有独到之处。建设项目卫生学评价中, 很多影响因素无法用数字来定量描述, 应用模糊综合评价法, 能较好地解决评估的模糊性, 也在一定程度上解决了从定性到定量的难题。模糊综合评价法应用于地铁项目卫生学评价, 可以将卫生管理指标进行量化分析, 比较各车站的卫生状况, 发现存在的不足, 同时又可对整个项目的卫生检测指标和卫生管理指标进行综合评判, 避免了过去采用单因素方法对项目评价过程中可能存在的片面性, 本研究将模糊综合评价法引入地铁项目卫生学评价

具有明确的实际意义。

在模糊综合评价法应用过程中, 建立单因素评判矩阵和确定权重分配是两项关键性的工作, 本研究采用专家咨询法确定了地铁项目评价指标和权重分配, 指标体系的条目基本覆盖了地铁卫生状况, 可较全面地反映地铁卫生管理的状况, 评判等级划分界定较清晰。今后需要把该方法应用到更多的地铁项目中进行实践, 以获得更多的资料进行数据分析, 从而用数理统计方法判定指标的有效性。

模糊综合评价法应用于卫生学评价中时既要关注总体, 又不可忽视局部。对项目系统中各指标的风险等级都要有所了解, 既要了解项目的总体评价结论, 也要了解项目的关键控制点, 如果关键控制点指标超标, 即使总体评价合格, 也要加强对关键控制点的卫生管理, 进一步采取补偿措施, 以确保地铁乘客的健康。

模糊综合评价法也存在一些缺陷, 比如建立单因素评判矩阵时首先需要确定各个因素的优良、合格、较差、很差等分级标准, 该分级标准在一定程度上会受到人为影响; 另外, 各因素的权重分配对评价结果的影响也较大。因此, 今后尚需要进一步开展相关研究以验证该方法的准确性。

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 杨克敌. 环境卫生学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 373-377.
- [2] 曹炳元. 应用模糊数学与系统[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1-35.
- [3] 张霞, 吴世达, 陈健等. 德尔菲法在地铁运行环境卫生学评价指标筛选中的应用[J]. 环境与职业医学, 2011, 28(4): 229-234.
- [4] 国家技术监督局, 中华人民共和国卫生部. GB/T 17220—1998 公共场所卫生监测技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [5] 上海市质量技术监督局. DB 31/405—2012 集中空调通风系统卫生管理规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [6] 国家技术监督局. 公共场所卫生标准 GB 9672—1996 公共交通等候室卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

(收稿日期: 2013-02-15)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 王晓宇; 校对: 葛宏妍)