

基于物元理论的 地铁消防系统安全可靠评价

刘 建 代 杨

西南交通大学，交通运输与物流学院，成都 610031

摘 要：地铁消防系统的安全可靠性是地铁安全的重要性内容。本文综合考虑地铁消防系统的特征指标，以物元分析对地铁消防系统安全可靠进行评价，根据评价结果找出其薄弱环节及管理重点。通过具体案例研究，知物元分析不仅可以得出评价对象的评价等级，还可以对同一等级的对象进行细致地评判，从而说明物元分析法在地铁消防系统安全可靠评价中优于层次分析法，更具可行性。

关键词：消防系统；安全可靠；物元理论；关联度

中图分类号：U231+.96

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2011)03-0099-05

Evaluation on Safety Reliability for the Subway's Fire Protection System Based on the Matter-element Theory

LIU Jian DAI Yang

College of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University,
Chengdu 610031, China

Abstract: Safety reliability of subway's fire protection system is essential to subway's safety. This paper comprehensively considered the characters of a subway's fire protection system to evaluate its safety reliability based on the matter-element theory, and found out its weaknesses and management emphasis. Through concrete case study, matter-element theory could not only find out its evaluation grade of the object, but also particularly judge among objects belong to the same grade. All these indicated that matter-element

收稿日期：2010-05-25.

作者简介：刘 建（1958-），男，汉族，天津人，西南交通大学交通运输与物流学院硕士研究生，研究方向为交通运输规划与管理。

analysis, which was excel to the analytic hierarchy process, was feasible to valuate the safety reliability for the subway's fire protection system.

Key words: Fire protection system, safety reliability, matter-element theory, correlation degree

0 引言

地铁具有准确、快速、高效率、大运量、低耗能、小污染等特点,我国34个人口数量超过100万的城市,有20个城市都在计划或正在修建地铁,地铁已成为现代城市不可或缺的公共交通方式,可很大程度缓解城市中心的交通压力。安全是一切生产活动的前提,在全国各大城市大力发展地铁的同时,地铁的安全问题显得十分重要。据统计,国际上所发生的重大地铁运营事故中,发生地铁火灾事故的次数较多,且死亡人数最多的也是火灾事故^[1]。所以,地铁的消防系统作为地铁安全运营的重要保障,同时也是人民群众的人身财产安全的重要保障。对地铁消防系统进行安全可靠评价,发现其薄弱环节,为管理者提供决策支持。

目前,对地铁火灾方面的研究比较多,但多是从火灾的起因及人员的疏散等方面来研究,对地铁消防系统安全可靠评价所作研究比较少。童艳、何嘉鹏于2006年建立数学物理模型,得出火灾达到危险状态所需时间大于人员安全疏散时间的结论^[2]。胡又咏、刘栋栋、张向阳等人在层次分析法判断矩阵的确定上,运用三标度法对传统的九标度法进行改进,并用地铁火灾风险安全可靠评价来检验其合理性。但它着重于对指标权重的研究,没有详细分析地铁安全现状以制定后期的措施和方案^[3]。安永林、彭立敏等以层次分析法(AHP)、专家调查法为基础,通过可拓法对地铁火灾风险进行了评估,从影响地铁火灾风险性的因素出发,对地铁火灾风险性进行评价^[4]。但地铁火灾的原因很复杂,发生火灾的部位也不明确,具有很大的随机性。地铁消防系统是地铁防火安全的重要保障,一旦发生火灾,地铁消防系统的可靠性关系到火灾所造成损失的大小。

本文将从地铁消防系统的组成项目入手,利用物元理论对地铁消防系统进行较为全面的评价,根据评价结果判定消防系统的安全等级,分析地铁消防系统安全可靠现状,为决策者制定后期的措施和方案提供理论依据。

1 评价指标

参考国标(GBT 50438-2007)《地铁运营安全评价标准》,并根据专家意见得出地铁消防系统安全可靠评价指标。地铁消防系统评价项目指标主要有火灾自动报警系统、气体灭火及通风、消防水系统、应急照明及疏散、灭火器、车站消防、人员及设备管理、设施设备防火8个项目评价指标^[5],详见表1所列。

表1 地铁消防系统安全可靠评价指标

Tab.1 Evaluating indicators on safety reliability of the subway's fire protection system

项目指标	分项指标
火灾自动报警系统 A	系统设备显示运行正常;系统设备可靠性;系统设备协调性;系统主、备电状态及功能正常;系统各设备位置设置合理
气体灭火及通风 B	气体自动灭火装置位置设置;风机位置合理设置;各设备工作可靠;风机电力供应可靠
消防水系统 C	消火栓用水满足规定要求;设备标志明显且方便操作;消防水泵工作正常;消火栓设置的部位合理
应急照明及疏散 D	各设备设置合理;照度符合要求;连续供电时间符合规定;疏散指示标志设置符合要求;广播语音疏散
灭火器 E	灭火器类型配置;灭火器的位置布置;灭火器的检查及更换
车站消防 F	建立消防安全责任制;消防设施进行定期检查和维护保养;定期组织消防演练。
人员及设备管理 G	建立消防安全值班制度;乘客安全教育;工作人员安全培训;建立设备检修制度
设施设备防火 H	合理设置防火分隔设施;相关设施设备按规定使用阻燃或不燃材料;合理设置安全出口;疏散通道的尺寸满足规定且保持畅通

根据上述指标用物元模型对消防系统进行安全可靠评价,其评价结果分为可忽略、可接受和不可接受三个等级。若评价过程中有一项指标低于量值范围的最低限制,应当直接被评为不可接受。参考《地铁运营安全可靠评价标准》计算出各个项目指标权重^[5],根据相关文献并询问专家意见,得出其各评价等级的量值区间范围,详见表2。

表2 项目评价指标权重和等级区间

Tab.2 Project evaluation index weights and grade range

评价指标	权重	各等级量值区间		
		可忽略 (I级)	可接受 (II级)	不可接受 (III级)
火灾自动报警系统	0.2	(19, 20)	[17.6, 19]	(15, 17.6)
气体灭火及通风	0.15	(14.25, 15)	[13.2, 14.25]	(12, 13.29)
消防水系统	0.15	(14.25, 15)	[13.2, 14.25]	(12, 13.2)
应急照明及疏散	0.1	(9.5, 10)	[8.8, 9.5]	(7.5, 8.8)
灭火器	0.09	(8.55, 9)	[7.92, 8.55]	(7, 7.92)
车站消防	0.1	(9.5, 10)	[8.8, 9.5]	(7.5, 8.8)
人员及设备管理	0.07	(6.65, 7)	[6.16, 6.65]	(5.5, 6.16)
设施设备防火	0.14	(13.39, 14)	[12.32, 13.3]	(11, 12.32)

2 安全可靠评价物元模型

地铁消防系统的安全可靠性根据其项目指标来评价。物元分析(Matter Element Analysis)理论是一门介于数学和实验科学之间的新学科,是系统科学、思维科学、数学交叉的边缘学科。物元概念根据事物关于特征的量值来判断事物属于某集合的程度,用关联函数的大小来衡量元素和集合的关系^[6]。根据物元的定义,地铁消防系统的安全可靠性可由以下途径来评价。

2.1 确定经典域

地铁消防系统安全可靠性的经典域表示如

下:

$$R_j = (N_j, C_i, X_{ji}) = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & x_{j1} \\ & C_2 & x_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: N_j 为所划分的 j 个地铁消防系统评价等级 ($j=1\sim 3$), 其中 $j=1$ 表示消防系统评价等级为 A 级, 可忽略; $j=2$ 表示消防系统评价等级为 B 级, 可接受; $j=3$ 表示消防系统评价等级为 C 级, 不可接受。 C_i 表示消防系统的特征指标, $i=1\sim 8$ 分别表示了火灾自动报警系统、气体灭火及通风、消防水系统、应急照明及疏散、灭火器、车站消防、人员及设备管理、设施设备防火 8 项特征指标; $x_{ji} = \langle a_{ji}, b_{ji} \rangle$ 分别为 N_j 关于 C_i 所规定的量值范围, 即消防系统评价等级对应于特征指标所取得的数值范围(经典域)。

2.2 确定节域

节域是指各评价因素能满足基本要求,包括标准事物和可以转化为标准事物的事物。其物元矩阵为:

$$R_p = (P, C_i, X_{pi}) = \begin{bmatrix} P & C_1 & x_{p1} \\ & C_2 & x_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: P 表示消防系统评价等级的全体; C_i 表示评价等级全体的特征指标; x_{pi} 表示 P 关于 C_i 所取得量值的范围, 即节域 $\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$, x_{pi} 的取值范围应包括消防系统不同等级的量值范围。

2.3 确定待评物元

对于待评的消防系统,把收集到的数据或分析结果用物元 R_0 表示,可得到待评物元,见下式:

$$R_0 = (P_0, C_i, X_i) = \begin{bmatrix} P & C_1 & x_1 \\ & C_2 & x_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中： P_0 表示消防系统评价等级； x_i 表示 P_0 关于 C_i 的量值，即对于待评消防系统评价其等级所得到的具体数据。

2.4 计算关联函数

消防系统对于不同评价等级的关联度如下：

$$K_j(x_i) = \frac{\rho(x_i, x_{ji})}{\rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{ji})} \quad (4)$$

式中：

$$\rho(x_i, x_{ji}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ji} - a_{ji}) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

$$\rho(x_i, x_{pi}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (6)$$

确定待测消防系统不同评价等级的综合关联度如下：

$$K_j(P_0) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot K_j(x_i) \quad (7)$$

式中： $K_j(P_0)$ 为待评消防系统 P_0 关于安全可靠评价第 j 级的综合关联度； w_i 为评价等级 i 权重分配系数，其具体数值见表2所列。

2.5 评价等级的确定

若 $K_j = \max\{K_j(P_0)\} (j=1,2,\dots,n)$ ，则 P_0 风险等级为第 j 级。当 $0 \leq K_j(P_0)$ 时，表示被评价消防系统符合标准对象要求的程度；当 $K_j(P_0) < 0$ 时，表示被评价消防系统不符合标准对象要求的程度^[7]。

3 示例应用

对某城市三个地铁站消防系统进行评价，所得各项目指标相关数据如表3所示。

运用上述地铁消防系统安全可靠评价物元模型，通过关联度的计算，可以得到各站的评价等级及某站各项目指标的评价结果。各地铁站的安全可靠性评价综合结果如表4所示。

表3 某地铁站消防系统评价数据

Tab.3 Evaluation data of a subway station fire protection system

项目指标	A	B	C	D	E	F	G	H
甲站	18.86	13.51	13.6	8.69	7.86	9.23	6.32	12.01
乙站	17.21	12.29	13	8.76	7.64	9.33	6.67	12.7
丙站	18.01	13.36	13.41	8.96	8.19	9.24	6.32	12.25

表4 消防系统综合评价结果

Tab.4 A comprehensive evaluation result list of the fire protection system

车站	各等级评价结果			评价结果
	I	II	III	
甲站	-0.329	0.156	-0.848	II级
乙站	-0.413	-0.028	0.334	III级
丙站	-0.359	0.227	-1.286	II级

各站在不同评价等级下，各项目指标的关联度及评价结果可作为管理者的决策依据，丙站的项目指标与各评价等级的关联度见表5。

表5 丙站评价结果统计

Tab.5 Bin station's statistics evaluation result

丙站各项目指标	各等级评价的关联度			评价结果
	I	II	III	
A	-0.066	0.052	-0.171	II级
B	-0.059	0.02	-0.105	II级
C	-0.056	0.026	-0.130	II级
D	-0.034	0.018	-0.133	II级
E	-0.028	0.045	-0.250	II级
F	-0.027	0.052	-0.367	II级
G	-0.023	0.022	-0.190	II级
H	-0.067	-0.007	0.059	III级
综合关联度	-0.359	0.227	-1.287	II级

以上评价结果表明：甲站和丙站为II级（可接受），乙站为III级（不可接受）。虽然评价结果同为II级，由于丙站的关联度大，其消防系统的安全可靠性要优于甲站。从表5可以看出，丙站没有单项评价结果为I级，且H项评价结果是III级，说明丙站的消防系统安全可靠性虽然可以接受，但很多方面还需要

下转第117页

参考文献

- [1] 王 喆. 铁路危险货物运输系统分析与发展对策研究[J]. 中国铁路, 2009, (11): 49-52.
- [2] 海 涛, 张星程, 杨月芳. 铁路危险货物办理站优化配置方法研究[J]. 铁道学报, 2006, 28 (3): 101-105.
- [3] 王伶俐, 张星程, 海 涛. 铁路危险货物办理站宏观布局载体的加权聚类分析[J]. 铁道学报, 2007, 29 (6): 101-105.
- [4] Erhan Erkut, Armann Ingolfsson. Transport risk models for hazardous materials: revisited [J]. Operations Research Letters, 2005 (33) : 81-89.
- [5] Drezner Z.. Facility Location: A Survey of application & methods[C]. Springer, 1995: 467-516.
- [6] Brimberg J., ReVelle C. A bi-objective plant location problem: cost vs. demand served [J]. Location Science, 1998, (6) :121-135.
- [7] Elena Fernandez, Justo Puerto. Multiobjective solution of the uncapacitated plant location problem [J]. European Journal of Operational Research, 2003, (145) : 509-529.
- [8] Ioannis, Giannikos. A multiobjective programming model for locating treatment sites and routing hazardous wastes [J]. European Journal of Operational Research, 1998, 104: 333-342.
- [9] G.I. Maged. Using the weighted max-min approach for stochastic fuzzy goal programming: A case of fuzzy weights. [J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 188: 456-461.

(中文编辑: 刘娉婷)

上接第 102 页

改善提升, 亟待加强。物元法较层次分析法更精细, 不仅可以评价对象属于哪个等级, 还可以对同一级别的对象进行更细致的判断, 找出需要改善的分项指标。

4 结束语

运用物元理论对地铁消防系统进行安全可靠评价, 将定性分析转化为定量分析, 计算出消防系统

的安全可靠性等级及与等级相关的特征指标综合度, 根据计算结果找出消防系统的薄弱环节, 为管理者提供依据, 针对性地对消防系统进行改善。如果对消防系统按时间序列进行评价, 根据数理统计的方法, 通过关联度找出消防系统关于时间的预测函数, 为管理者提供相对于未来的决策依据。文中对于评价等级关于项目特征指标的量值范围, 即特征指标的经典域的范围确定不是很完善, 还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 黄宏伟, 叶永峰, 胡群芳. 地铁运营安全风险现状分析[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(7): 56-57.
- [2] 童艳, 何嘉鹏. 双层地铁站台火灾安全性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(2): 293-297.
- [3] 胡又咏, 刘栋栋, 张向阳. 改进层次分析法在地铁火灾风险评价中的应用[J]. 北京建筑工程学院学报, 2009, 25(3): 38-41.
- [4] 安永林, 彭立敏. 地铁火灾风险性的多级可拓综合评价[J]. 防灾减灾工程学报, 2009, 29(5): 566-569.
- [5] GB/T50438-2007. 地铁运营安全可靠评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [6] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [7] 马士宾, 魏连雨, 孙维丰等. 路面使用性能综合预测模型及其应用[J]. 河北工业大学学报, 2006, 35(4): 45-47.

(中文编辑: 刘娉婷)