# 未确知测度模型在城市燃气管道 安全评价中的应用<sup>\*</sup>

# 郭章林1 教授 雒 燕2

(1华北科技学院建筑工程系,北京 101601 2河北工程大学经管学院,邯郸 056038)

学科分类与代码: 620 5020

中图分类号: X913.4

文献标识码: A

基金项目: 河北省博士基金资助 (05547009D-3)。

【摘 要】以未确知理论为基础,详细阐述未确知测度模型的建模过程。结合未确知测度模型,对影响城市燃气管道安全的因素进行系统的分析与评价。针对邯郸市城市燃气管道的工程实际,收集实测数据,确定安全评价指标,运用模型对实例进行计算求解,对邯郸市 3区 10 个测点的管道安全级别进行评价。经调查检验,评价结果符合实际。该方法的提出旨在更有效地对燃气管道的安全进行评价,为有关部门提供采取安全措施的依据。

【关键词】 城市燃气管道: 系统分析: 安全评价: 未确知测度模型

# Application of Unascertained Measure Model to the Safety Evaluation of Unban Gas Pipeline System

# GUO Zhang lin, Prof LUO Yan<sup>2</sup>

(1 Department of Architecture Engineering North China Institute of Science & Technology Beijing 101601, China 2 College of Economics Management Hebei University of Engineering Handan 056038 China)

Abstract Based on the unascertained theory the unascertained measuring model is introduced in this paper. The factors affecting the safety of urban gas pipeline are analyzed and evaluated systematically. According to the reality in Handan urban gas pipeline, the evaluating indexes are determined. Then this model is used to assessing the safety level of gas pipeline by ing in tensites of three different districts in Handan city. The result is found to be in accordance with the reality, after it is verified. The presentation of this model is aim to make a more effective safety evaluation for urban gas pipeline and to provide foundation for relevant units to take measures.

Key words urban gas pipeline, system analysis, safety evaluation; unascertained measure model

### 0 引 言

城市燃气管道工程作为现代城市建设的重要工 程之一,在给居民的生活带来便利的同时,也因各种 原因存在着重大的隐患。由于燃气管道自身的特 点,安全问题一直倍受关注。管道因腐蚀、应力破坏 等原因造成开裂、燃气泄漏,可能导致火灾、爆炸等 一系列事故。事故一旦发生,不但会造成不同程度 的人员伤亡和财产损失,也会给工业生产和人民生 活带来重大影响[1]。例如: 2003年 11月 17日杭州 市凤起路东段发生地下煤气爆燃事故,造成两辆汽 车损毁,一人受伤,1600余户居民家中停气; 2006年1月2日广州发生严重管道煤气泄漏事件, 煤气直窜 4米多高,造成数百户居民停气; 2007年 4月15日海口市发生一起在建工程因违章施工击穿 经过该路段的管道,造成了整个海口市的管道燃气 供给中断。邯郸市燃气管网建设距今已有 20多年, 由于自然和人为原因,系统也进入事故高发期。

国外对管道安全及风险的研究已有 30年, 取得了一定成绩。我国的管道安全评价研究工作起步较晚。由于管线现状和条件与外国差异交大, 必须有针对性的提出适合我国实际的管道安全评价方法。很多学者也在该领域进行了探索<sup>[2-3]</sup>。故障树方法(FTA), 模糊综合评价方法等都在管道安全评价中得到一定的应用<sup>[4-3]</sup>。

笔者提出的未确知测度模型,根据属性实测值 来确定各指标权重,不是专家给出的,它与其他方法 最大的不同,避免了专家的主观性对结果的影响。

通过对燃气管道的系统分析,将影响管道安全的因素分为:第三方破坏、管道腐蚀、设计原因和操作原因 4个方面 [1 6-8]。 笔者以邯郸管网普查的数据为基础,找出各方面原因的具体指标,建立安全评价的指标体系,对实测数据运用未确知测度模型进行计算。力求对各区的管道安全作出客观合理的评价,并以评价结果为依据对不同地区的管道制定整改措施,排除事故隐患,确保安全。

### 1 未确知测度模型

设研究对象空间为  $U=\{x_1,\dots,x_n\}$ ,  $x_i$ 表示第 i个评价对象。对每一个评价对象有 n个评价指标,指标空间为  $I=\{I_1,\dots,I_n\}$ ,  $x_{ij}$ 是第 i个评价对象的第 j个指标的评估值。研究对象 U处于某一状态,其未知状态的集合,简称未确知区间集 i0

### 1.1 指标体系与评价等级的确定

评价对象  $x_i$  的指标  $I_j$  有 k 个评价等级  $a_i$  …,  $a_i$  每个指标的类别标准已知。构成研究对象 U 的评价空间  $C = \{a_i, ..., a_i\}$ ,满足:

$$C = \bigcup_{i=1}^k c_i c_i \cap c_i = \emptyset$$

则称  $\{c_1, \dots, c_k\}$  为状态空间的分割。

这里评价类别向量  $\{c_i, \dots, c_k\}$  是有序的,若  $c_i > c_{i+1}$  (或  $c_i < c_{i+1}$ ),即  $c_i$  比  $c_{i+1}$ 强 (或弱 ),又称  $\{c_i, \dots, c_k\}$ 是状态空间的一个有序分割。

若已知 m 个评价对象  $x_1, \dots, x_m$  的指标评估矩阵:

$$A_{\ddot{y}} = \left( \begin{array}{ccc} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{array} \right)$$

# 1.2 构造未确知测度函数和单指标未确知测度 矩阵

未确知测度函数  $\mu(x)$ 是用 [ 0, 1] 上的一个数描述  $x_i$ 属于 a 类的程度。称  $x_i$ 属于 a 类的未确知测度为  $\mu_{ijk}$  即  $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in a)$ ,且满足归一化条件,即  $\mu_{ijk} \in [ 0 \ 1]$ 且 $\sum_{k=1}^{k} \mu_{ijk} = 1$ 。应根据具体指标的变化特点选用适当的未确知测度函数 [9] 。

由此可得单指标未确知测度矩阵:

$$(\mu_{jk})_{n imes k} = egin{bmatrix} \mu_{i11} & \dots & \mu_{i1k} \ dots & & dots \ \mu_{in1} & \dots & \mu_{ink} \ \end{pmatrix}$$

#### 1.3 指标权重的确定

当属性值  $x_i$ 及评价指标给定后,属性权重已相应给定,隐藏在属性测值的未确知测度中,所以一般不宜再人为规定,应根据属性实测值来确定各个权重。借用信息熵的概念来定义  $I_j$ 的峰值 [10]:

$$V_{ij} = 1 + 1 \log_2 k_{k=1}^{\sum_{i=1}^{k}} \mu_{ijk} \log_2 \mu_{ijk}$$
 (1)

式中,k为评价级别数目, $V_i$ 的大小反映指标  $I_j$  的重要性程度。定义属性  $I_j$ 的权重为

$$\omega_{ij} = V_{ij} \sum_{j=1}^{n} V_{ij} \sum_{j=1}^{n} \omega_{ij=1}$$
 (2)

### 1.4 多指标综合测度矩阵

根据已确定的指标权重,得到评价对象的多指标综合测度。如式(3).
http://www.cnki.net

\* 199422014 在 Inia Rade inic Journat Electronic Publish Ing House. A IT tights reserved. http://www.cnki.net

$$\mu_{ik} = \mu(x_i \in Q_k) = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \mu_{ijk} (1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq K)$$
(3)

### 1.5 识别与评价结果分析

由于评价类别  $\{a_1, \dots, a_k\}$ 的有序性,用最大测度识别显然是不合适的,因此,引入置信度识别准则。若  $\{a_1, \dots, a_k\}$ 满足  $c_i > c_{i+1}$ ,对置信度  $\lambda$  (0 5  $< \lambda < 1$ )计算,通常取 0 6或 0 7:

$$k(x_i) =_{\mathbf{m}} \inf_{k=1}^K \mu_{ik}(c_k) \geqslant \lambda, (k 为级别数) \quad (4)$$
则认为  $x_i$ 属于  $c_k$  类。

如果需要还可以用下述准则对  $x_i$ 进行排序,

$$q(x_i) = \sum_{k=1}^{K} \mu_{ik}(c_k) \times n_k$$
 (5)

式中,  $n_k$  按公差为 -2的等差数列取值, 根据  $q(x_i)$ 的大小对  $x_i$  进行比较和排序。

# 2 实例研究

邯郸市煤气公司用基础普查方法建立系统的检测方案,采用钻孔探测法、开挖目测法、地质分析法等。将管网的安全评价等级定为优、中、差三级,现将 3区 10个测点的有关具体的指标检测数据列表如下,同时也对各个地方和管段的安全管理工作进行了检查和评分,调查表明在设计和施工质量方面均不存在重大问题。

由于在邯郸市这个范围进行评价,很多宏观指标对于各个测点是没有明显差异的,在此不予考虑。下面以这些数据为基础,运用未确知测度模型对其安全级别进行评价[1]。

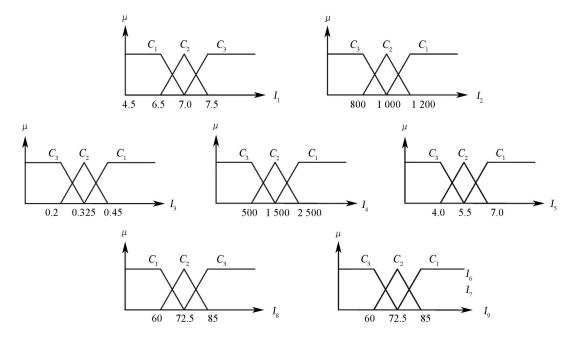
根据表 1和表 2构造未确知测度函数(见下图)。

X I IIIIIIIIII OAXIIIIE								
评 <u>价 指 标</u> 安 全 级 别	优(C1)	中(C <sub>2</sub> )	差(C <sub>3</sub> )					
土壤 pH 值(I <sub>1</sub> )	[ 4. 5 6. 5]	[ 6. 5. 7. 5]	<4.5或>7.5					
土壤电阻率 Ω · M ( I <sub>2</sub> )	>1200	[ 800 1200]	< 800					
管道壁厚 服役时间 $(I_3)$	>0.45	[ 0. 2. 0. 45]	< 0.2					
覆盖层表面电阻 $\Omega \cdot \ { m M}^{-2}(I_4)$	>2500	[ 500 2500]	< 500					
管道涂层厚度 $mm(I_5)$	> 7 0	[4.07.0]	< 4. 0					
公众教育程度( I <sub>6</sub> )	> 85	[ 60 85]	< 60					
施工质量(I7)	> 85	[ 60 85]	< 60					
地面活动情况( <i>I</i> <sub>8</sub> )	< 60	[ 60 85]	>85					
	> 85	[ 60 85]	< 60					

表 1 评价指标的等级标准

表	2	各测点指标	「值
---	---	-------	----

测点名	指标值	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$
复	建安(x <sub>1</sub> )	5. 5	653	0 222	425	4. 0	80	81	80	84
兴	518院(x <sub>2</sub> )	6.0	703	0 194	430	4. 0	80	82	80	84
X	制氧机(x <sub>3</sub> )	6.0	502	0 269	405	4. 5	80	83	80	84
邯	矿院(x <sub>4</sub> )	6.5	1356	0 423	1268	6.0	90	85	70	88
	罗三(x5)	6.0	1205	0 417	1190	5. 5	75	85	70	88
山	农校(x,)	6.3	502	0 423	607	5. 5	85	85	70	88
X	矿医(x <sub>7</sub> )	7. 0	502	0 417	610	6.0	85	85	75	88
쓰	丛甲 50号(x <sub>8</sub> )	5. 5	803	0 423	1025	5. 5	88	86	78	85
台	煤指(x <sub>9</sub> )	5. 5	954	0 417	1126	6.0	79	84	77	85
X	4 [ ( x <sub>10</sub> )	6.3	1406	0 222	1608	5. 5	80	85	80	85



未确知测度函数图

对照表 1,表 2数据求出单指标未确知测度评价矩阵,以评价对象 x, x, x, x, 为例。

$$\mu_{1k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 176 & 0.824 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 68 & 0.32 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0.6 \\ 0 & 92 & 0.08 & 0 \end{bmatrix} \qquad \mu_{2k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 76 & 0.24 & 0 \\ 0 & 92 & 0.08 & 0 \end{bmatrix} \qquad \mu_{3k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.1 \\ 0 & 6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 76 & 0.24 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0.6 \\ 0 & 92 & 0.08 & 0 \end{bmatrix}$$

$$x_{4t} \qquad x_{5t} \qquad x_{6t}$$

$$\mu_{4k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 0.333$$

$$\mu_{7,k} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 736 & 0.264 & 0 \\ 0 & 0.11 & 0.89 \\ 0.33 & 0.667 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mu_{8k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.985 & 0.015 & 0 \\ 0.784 & 0.216 & 0 \\ 0 & 0.525 & 0.475 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.56 & 0.44 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mu_{9,k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.77 & 0.23 \\ 0.736 & 0.264 & 0 \\ 0.374 & 0.626 & 0 \\ 0.333 & 0.667 & 0 \\ 0.52 & 0.48 & 0 \\ 0.92 & 0.08 & 0 \\ 0 & 0.64 & 0.36 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mu_{10;k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.176 & 0.824 \\ 0.108 & 0.892 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0.6 & 0.4 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

然后根据式 (1)、式 (2) 求出个评价对象  $x_i$  (i=

1, 2, …, 10)的对应指标权重向量分别为

 $\omega_{1i} = (0\ 153\ 0\ 153\ 0\ 088\ 0\ 153\ 0\ 153$ 

21994 0 06 0 066 0 066 0 06 0 114)

 $\omega_{2i} = (0.142, 0.14$ 0 56 0 072 0 56 0 106)  $\omega_{3i} = (0.169, 0.169, 0.063, 0.169, 0.072)$ 0 065 0 102 0 065 0 126)  $\omega_{4i} = (0.143, 0.143, 0.075, 0.072, 0.06)$ 0 143 0 143 0 078 0 143)  $\omega_{5i} = (0.143, 0.143, 0.068, 0.061, 0.143, 0.068, 0.061, 0.143, 0.068, 0.061, 0.043, 0.068, 0.06$ 0 078 0 143 0 078 0 143)  $\omega_{6i} = (0.129, 0.129, 0.068, 0.089, 0.129, 0.068, 0.089, 0.129, 0.068, 0.089, 0.08$ 0 129, 0 129, 0 07, 0 129)  $\omega_{7i} = (0.14, 0.14, 0.067, 0.096, 0.061,$ 0 14 0 14 0 076 0 14)  $\omega_{8i} = (0.139, 0.129, 0.073, 0.051, 0.139)$ 0 139 0 139 0 052 0 139)  $\omega_{9i} = (0.188, 0.096, 0.089, 0.075, 0.079)$ 0 069 0 14 0 076 0 188)  $\omega_{10i} = (0.142, 0.142, 0.082, 0.098, 0.142, 0.008, 0.0$ 

0 055 0 142 0 055 0 142) 根据式(3)计算多指标综合测度矩阵:

$$(\omega_k)_{10\times 3} = \begin{bmatrix} 0 & 339 & 0 & 094 & 0 & 567 \\ 0 & 328 & 0 & 071 & 0 & 601 \\ 0 & 410 & 0 & 137 & 0 & 453 \\ 0 & 826 & 0 & 174 & 0 & 000 \\ 0 & 653 & 0 & 328 & 0 & 019 \\ 0 & 662 & 0 & 209 & 0 & 129 \\ 0 & 490 & 0 & 270 & 0 & 240 \\ 0 & 740 & 0 & 213 & 0 & 047 \\ 0 & 661 & 0 & 290 & 0 & 049 \\ 0 & 612 & 0 & 289 & 0 & 090 \end{bmatrix}$$

根据综合测度矩阵,对评价对象  $x_i$  (i=1,2...,10) 进行识别和排序, 取置信度  $\lambda = 0.7$  由式 (4) 得:

$$x_4, x_8, x_9, x_{10} \in c_1$$
  
 $x_5, x_6, x_7 \in c_2$   
 $x_1, x_2, x_3 \in c_3$ 

综合来讲,邯郸市丛台区燃气管道的安全性为 优,邯山区为中级,而复兴区有较大的安全隐患。根 据评价的结果应对具体的地点和庭院采取相应的安 全整改措施,如 518院、4厂等应立即更换管道。对 其他的管道要加强监控,防止事故的发生。

# 3 结

1) 以未确知理论为基础的未确知测度模型,避 免了专家打分赋予指标权重的主观性影响,可以将 定性分析和定量评价相结合。

- 2) 对燃气管道进行系统分析,确定安全评价指标。应用未确知测度模型进行管道安全评价,合理地反映管道安全程度,便于有关部门采取相应措施,提高安全管理水平。
- 3)需要说明的是,由于不同地区的各方面条件不同,在评价指标的选择以及等级标准的划分上,应进行必要的调整,使安全评价工作更加合理有效,使该模型的计算结果对有关部门具有参考价值。

#### 参考文献

- [1] 彭世尼. 燃气安全技术[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2005 10
- [2] 严大凡、翁永基、董绍华、油气长输管道风险评价与完整性管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005
- [3] E J亨利[美]. 可靠性工程与风险分析[M]. 北京: 原子能出版社, 1988
- [4] 阎凤霞, 董玉华, 高惠临. 故障树分析方法在油气管线方面的应用[3]. 西安石油学院学报, 2003, 18(1): 47~50
- [5] 陈利琼、张鹏, 马剑林. 油气管道风险的模糊综合评价方法探讨[3]. 天然气工业, 2003 23(2): 117~119
- [6] Ola H Bjomoy, et al. Risk based inspection principles and their application to corroded pipelines [J]. Pipe & Pipelines International 2001 46(5): 19-29
- [7] Jones D. et al. Risk assessment approach to pipeline life management[J]. Pipe & Pipelines International 1998 43(1): 5-18
- [8] Robert L Craig Decision and risk assessment in natural gas pipeline planning 1996 [R]. OMAE Volume V, Pipeline technology ASME, 1996
- [9] 刘开第.不确定信息处理及应用[M].北京:科学出版社,1999
- [10] 罗云庆.矿井通风系统未确知测度安全评价方法研究及应用[3].矿业安全与环保.2006.33(1):81~85
- [11] 李文耀, 吕建新等. 邯郸市煤气管网安全性检测方案分析[1]. 河北建筑科技学院学报, 2006 23(1): 83~85



郭章林 华北科技学院建筑工程 系教授,河北工程大学技术经济与 管理学、管理科学与工程硕士生导师,天津大学结构工程专业校外博 士生导师。国家自然科学基金委 基金项目评审专家,曾任河北省重 点学科评估专家组成员、河北省煤

炭行业协会企业现代化管理成果奖评选专家组成员等。北京通州人,原籍河北省高碑店市,1961年8月生。2000年8月博士毕业于天津大学结构工程专业,2001年取得教授职称,目前研究方向为系统可靠性、防灾减灾与安全风险分析。完成省部级科研课题6项,发表论文30余篇,被三大检索系统收录10余篇。



刘小春 副教授,大学本科学历,1969年1月生,1992年毕业于安徽理工大学爆破器材与技术专业,同年分配到湖南科技大学能源与安全工程学院采矿系从事理论和实验教学,2002年调到安全系任教。曾参加国家旅游局课题1项、省教

育厅课题 2项,院级课题和横向课题 25项,其中 1项获湖南省教育厅"省教学成果三等奖"。在《中国安全科学学报》、《矿冶工程》、《建筑结构》、《中国矿业》和《煤炭科学技术》等刊物上发表学术论文 15篇,其中 2篇被湘潭市科学技术局等单位评为 "二等优秀学术论文"。



李淦山 高级工程师。江苏泰州 人,1965年 5月生。1987年毕业 于吉林大学,获工学学士学位; 1990年毕业于昆明理工大学,获工 学硕士学位,2004年作为访问学者 赴加拿大 Concordia 大学留学 一年。1990—1997年在云南省公

路科学技术研究所工作,后到云南省道路交通管理科学技术研究所工作至今,现任副所长,目前研究方向为道路交通安全、智能交通系统。曾参与10多项公路建设、交通事故再现、交通控制、交通管理等方面的科研课题,获云南省科技进步二等奖1次,三等奖2次。



桑海泉 中国安全生产科学研究院重大危险源监控与事故调查分析鉴定技术中心工程师。山东潍坊人,1977年生。1999年本科毕业于北方交通大学电信学院自动控制专业,2002年硕士毕业于该学院交通信息工程及控制专业,2005年博士

毕业于中国科学院自动化研究所控制理论与控制工程专业。毕业至今主要从事重大危险源监控相关领域的科研工作,参加国家"十五"滚动课题"城市重大工业危险源评价与监测关键技术研究"、"十一五"项目"危险化学品事故应急救援关键技术及装备研发"、"863"项目"危化品生产储存使用安全监测系统开发及应用示范"和"危化品监测与跟踪网络化系统集成及产业化应用技术"等课题的研究工作。在国内外发表中英文学术论文10余篇。

中国科技核心期刊 《中国安全科学学报》 CHINA SAFETY SCIENCE JOURNAL(CSSJ)

安全科学技术高层次学术刊物 欢迎来稿 敬请订阅 国内外公开发行 常年办理订阅

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net