

埋地燃气管道第三方破坏模糊综合评价法^{*}

赵建平^{1,2}

(1.南京工业大学机械与动力工程学院 2.中国石化工程风险分析技术研究中心)

赵建平.埋地燃气管道第三方破坏模糊综合评价法.天然气工业,2008,28(11):103-105.

摘要 城市燃气管道失效的主要因素是第三方破坏,其影响因素包括埋设深度、人在管道附近的状况、地上设备状况、管道附近有无埋地设施、管道附近居民素质、管道沿线标志是否清楚、管道维护管理水平等。针对大部分的因素具有模糊不确定性的特点,提出采用故障树方法与模糊综合评价法相结合的方法来分析城市埋地燃气管道第三方破坏,并结合工程实例对该方法的应用过程进行了详细说明,可为燃气管道的安全管理提供依据。

关键词 埋地管道 第三方破坏 故障树 模糊数学 综合评价

城市燃气管道第三方破坏与管道的埋设深度、人在管道附近的状况、管道地上设备状况、管道附近有无埋地设施、管道附近居民素质、管道沿线标志是否清楚等因素有关^[1-2]。由于其影响因素大都具有模糊不确定性,笔者采用故障树分析法(FTA)和模糊综合评价方法相结合的数学模型。通过故障树分析,建立布尔代数模型,求取最小割集(径集),得到引起第三方破坏的各种基本事件及其重要度,然后运用模糊集理论求得第三方破坏的失效概率。

一、燃气管道第三方破坏影响因素分析

根据对“第三方破坏”事故分析和对“第三方”破坏的理解,笔者列出了其主要影响因素:①是否有管线施工协调机制?②燃气公司是否有完整的管线布置资料?③涉及燃气管线附近的施工是否有燃气专业人员的指导?④管线是否有明显的标志或警示牌?⑤是否有管线巡视制度?⑥是否配备专人进行管线巡视?⑦是否按规定定期进行管线巡视?⑧巡视频率?⑧巡视人员是否认真?⑨巡视人员是否弄虚作假?⑩巡视人员是否具有应有的素质?⑪巡视结果是否及时上报?⑫是否有违章建筑处理制度?⑬发现安全隐患是否及时采取有效措施予以纠正处理?⑭施工前是否按规定勘测地质?⑮穿越特殊地质带(江河、断裂带等)时是否采取相应的有效措施?⑯管道穿越土壤层是否有开裂或滑

坡的可能?⑰使用的管道是否能抵抗与设计要求相对应的地震?⑱是否尽量避免地下管线交叉施工?⑲在不可避免地下管线交叉施工情况下,是否采取防止造成地基下沉的有效措施?⑳发现管线附近打桩是否及时处理?㉑地基在管线安装前是否按规定预先处理?㉒管线上方车辆通行情况?公路、铁路频度与车型?㉓周围居民素质?㉔周围居民活动状况?㉕管道埋深?㉖地上设备情况?㉗沿线标志情况?㉘地面耕种情况^[3](有否水稻田或菜地等)?

据此,为了收集这些影响因素的信息设计了“第三方破坏”的动态信息和静态信息数据调查表。

二、影响因素的重要度分析

1.故障树建立

根据顶事件“第三方破坏”与基本事件的逻辑管线,建立了具有37个基本事件的故障树。图1列出了其中的一个分支——“施工破坏”的故障树。

2.FTA 简化模型及重要度计算

为计算方便,按照基本事件的性质,合并为A、B、C、D、E、F、G、H、I共9大类,按上述合并后的因素对故障树进行简化,得到图2所示的经简化的故障树。各基本事件的结构重要度如表1。根据Semanderes算法^[4],故障树的最小割集为:

$$T=AE+AF+AG+BE+BH+D+EH+FH+BCI \quad (1)$$

^{*} 本文受到国家高技术研究发展计划(863计划)项目“流程工业典型装置的动态风险分析技术研究”(编号:2006AA04Z439)和2006年度江苏省“青蓝工程”的资助。

作者简介:赵建平,1971年生,教授,工学博士;主要从事过程装备的可靠性分析与风险分析技术的教学与研究工作。地址:(210009)江苏省南京市新模范马路5号南京工业大学机械与动力学院。电话:(025)83587289。E-mail:jpzhad@njut.edu.cn

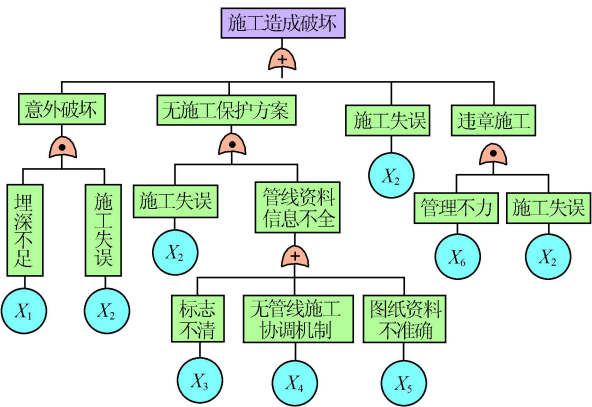


图 1 施工造成破坏故障树图

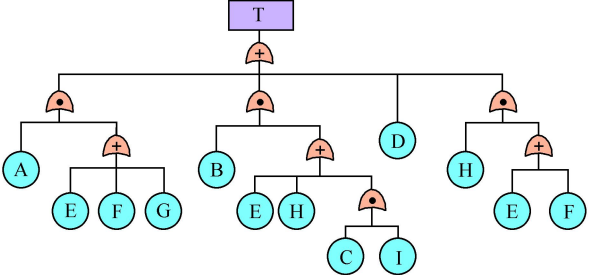


图 2 简化的故障树图

表 1 结构重要度计算结果表

事件编号	事件名称	结构重要度	事件编号	事件名称	结构重要度
A	埋地深度	0.160 2	F	交通状况	0.074 2
B	管理水平	0.128 9	G	地下状况	0.043 0
C	居民活动状况	0.019 5	H	地质状况	0.152 3
D	施工活动状况	0.246 1	I	恶意破坏	0.019 5
E	地上状况	0.121 1			

表 2 燃气埋地管道第三方破坏因素分级表(埋地深度等级划分)

子因素		因素等级				
		I	II	III	IV	V
地表性质 最小埋深 (m)	车行道	>1.6	1.0~1.3	0.8~1.0	0.6~0.7	<0.4
	人行道	>1.0	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	<0.4
	绿化带	>0.8	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
	水 田	>1.1	0.9~1.1	0.7~0.9	0.5~0.7	<0.5

(2)建立备择集

备择集是评价者对评价对象可能做出的各种总的评价结果所组成的集合,一般以程度语言或评定取值区间作为评价目标,将第三方破坏划分为 5 个等级,以模糊语言表示为:

$V=\{\text{小,较小,一般,较高,高}\}$

(3)确定因素等级矩阵

因素等级矩阵反映的是因素集中的第 i 个因素的第 j 个等级对评价集中各等级的影响程度,根据

三、“第三方破坏”等级评估

1.模糊评价概述

工程不确定因素可以分成两类:一种是随机不确定性,一种是模糊不确定性。随机不确定性用概率方法求解,模糊不确定性用模糊集理论处理。在实际工程应用中,一个对象需要用多个属性来描述,因而对一个对象的评价要从多方面来考虑。模糊综合评价就是应用模糊变换原理和最大隶属度原则对多种因素所影响的事物或现象进行综合的评价^[5]。

2.模糊评价

(1)建立因素集

因素集是影响评测对象最终评价结果的所有评价因素的集合,根据对引起第三方破坏的原因分析(故障树分析法),得出对第三方破坏的主要因素有:
 $U=\{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9\}=\{\text{埋地深度,管理水平,居民活动状况,施工活动状况,地上状况,交通状况,地下状况,地质状况,恶意破坏行为}\}$ 。

上述各因素的等级划分应根据有关标准和因素特点进行具体划分,每一类因素所考虑的子因素如表 2 所示,表 2 示意了埋地深度因素等级的划分,考虑了地表性质和最小埋深两个子因素。

根据经验,选择各因素等级的隶属度为:

- I 级 = $\{1, 0.5, 0.25, 0.125, 0\}$
- II 级 = $\{0.5, 1, 0.5, 0.25, 0.125\}$
- III 级 = $\{0.25, 0.5, 1, 0.5, 0.25\}$
- IV 级 = $\{0.125, 0.25, 0.5, 1, 0.5\}$
- V 级 = $\{0, 0.125, 0.25, 0.5, 1\}$

一致性原则,因素等级矩阵为:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0.25 & 0.125 & 0 \\ 0.5 & 1 & 0.5 & 0.25 & 0.125 \\ 0.25 & 0.5 & 1 & 0.5 & 0.25 \\ 0.125 & 0.25 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0.125 & 0.25 & 0.5 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

(4)确定因素权重集

根据 FTA 分析结果,经归一化后得各因素的权

重为:

$$\tilde{A} = (0.166 \ 0, 0.133 \ 6, 0.020 \ 2, 0.255 \ 1, 0.125 \ 5, 0.076 \ 9, 0.044 \ 6, 0.157 \ 9, 0.020 \ 2) \quad (3)$$

(5) 一级模糊综合评价

一级模糊综合评价是一种单因素判断,反映了上述9个因素中各因素对评价对象取值的影响,表达一个因素的各个等级对评价对象取值的影响贡献。

为了说明计算过程,下面假设某管段或区域内各因素的等级为:

u_1 表示埋地深度为Ⅰ级; u_2 表示管理水平为Ⅱ级; u_3 表示居民活动状况为Ⅲ级; u_4 表示施工活动状况为Ⅲ级; u_5 表示地上状况为Ⅲ级; u_6 表示交通状况为Ⅱ级; u_7 表示地下状况为Ⅲ级; u_8 表示地质状况为Ⅲ级; u_9 表示恶意破坏行为为Ⅰ级。

由于一级模糊综合评价集为:

$$\tilde{B}_i = \tilde{A}_i \cdot \tilde{R}_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{i5}) \quad (4)$$

$$\text{式中: } b_{ij} = \sum_{k=1}^m a_{ik} r_{ikj} \quad (i=1, 2, \dots, 9; j=1, 2, \dots, 5)$$

以因素 u_1 为例,其因素等级为Ⅰ级,则

$$\tilde{A}_1 = \{0.533 \ 3, 0.266 \ 7, 0.133 \ 3, 0.066 \ 7, 0\} \quad (5)$$

因素 u_1 的一级模糊综合评价集为:

$$\begin{aligned} \tilde{B}_1 &= \tilde{A}_1 \cdot \tilde{R} = \\ &= (0.533 \ 3, 0.266 \ 7, 0.133 \ 3, 0.066 \ 7, 0) \times \\ &\begin{bmatrix} 0.533 \ 3 & 0.266 \ 7 & 0.133 \ 3 & 0.066 \ 7 & 0 \\ 0.210 \ 5 & 0.421 \ 1 & 0.210 \ 5 & 0.105 \ 3 & 0.052 \ 6 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.052 \ 6 & 0.105 \ 3 & 0.210 \ 5 & 0.421 \ 1 & 0.210 \ 5 \\ 0 & 0.066 \ 7 & 0.133 \ 3 & 0.266 \ 7 & 0.533 \ 3 \end{bmatrix} = \\ &= (0.357 \ 4, 0.288 \ 2, 0.194 \ 6, 0.118 \ 4, 0.041 \ 4) \end{aligned}$$

同理得:

$$\tilde{B}_2 = \tilde{B}_6 = (0.227 \ 5, 0.290 \ 1, 0.230 \ 1, 0.158 \ 8, 0.093 \ 4)$$

$$\tilde{B}_3 = \tilde{B}_4 = \tilde{B}_5 = \tilde{B}_7 = \tilde{B}_8 = (0.146 \ 0, 0.218 \ 6, 0.270 \ 9, 0.218 \ 6, 0.146 \ 0)$$

$$\tilde{B}_9 = \tilde{B}_1$$

(6) 二级模糊综合评价

二级模糊综合评价就是考虑了各个因素对于评价结果的不同影响,综合评价所有因素对第三方破坏影响的贡献,然后根据一定的隶属度取值准则,确定第三方破坏的等级。

二级模糊综合评价集为:

$$\tilde{C} = \tilde{A} \cdot \tilde{B} = (0.166, 0.133 \ 6, 0.020 \ 2, 0.255 \ 1, 0.125 \ 5, 0.076 \ 9, 0.044 \ 6, 0.157 \ 9, 0.020 \ 2) \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.357 \ 4 & 0.288 \ 2 & 0.194 \ 6 & 0.118 \ 4 & 0.041 \ 4 \\ 0.227 \ 5 & 0.290 \ 1 & 0.230 \ 1 & 0.158 \ 8 & 0.093 \ 4 \\ 0.146 \ 0 & 0.218 \ 6 & 0.270 \ 9 & 0.218 \ 6 & 0.146 \ 0 \\ 0.146 \ 0 & 0.218 \ 6 & 0.270 \ 9 & 0.218 \ 6 & 0.146 \ 0 \\ 0.146 \ 0 & 0.218 \ 6 & 0.270 \ 9 & 0.218 \ 6 & 0.146 \ 0 \\ 0.227 \ 5 & 0.290 \ 1 & 0.230 \ 1 & 0.158 \ 8 & 0.093 \ 4 \\ 0.146 \ 0 & 0.218 \ 6 & 0.270 \ 9 & 0.218 \ 6 & 0.146 \ 0 \\ 0.146 \ 0 & 0.218 \ 6 & 0.270 \ 9 & 0.218 \ 6 & 0.146 \ 0 \\ 0.357 \ 4 & 0.288 \ 2 & 0.194 \ 6 & 0.118 \ 4 & 0.041 \ 4 \end{bmatrix} =$$

$$(0.0202 \ 5, 0.246 \ 6, 0.248 \ 1, 0.187 \ 3, 0.115 \ 4)$$

(6)

(7) 评价结果

对二级模糊综合评价得出评价集的处理通常采用最大隶属度法。即在所得的模糊综合评价集中,取对应于最大隶属度(b_k)的等级(v_k)为最终的评价结果,即:

$$v_s = \{ v_k \mid v_k \rightarrow \max_{i=1}^l (b_i) \} \quad (7)$$

与 b_k 对应的等级(v_k)为最终的评价结果(v_s)。根据最大隶属度原则,此时第三方破坏的等级为Ⅲ级。

四、结 论

城市燃气管道失效的主要因素是第三方破坏,影响第三方破坏的因素大都具有模糊不确定性,采用笔者提出的将故障树方法与模糊综合评价法相结合的方法可以实现城市埋地燃气管道第三方破坏等级的评价,确定第三方破坏的发生可能性,为燃气管道的安全管理提供依据。

参 考 文 献

- [1] 赵建平, 缪春生, 孙涛. 在役液化气埋地压力管道质量模糊综合评价[J]. 天然气工业, 2005, 25(2): 152-154.
- [2] 易云兵, 姚安林, 李又绿, 等. 埋地输气管道腐蚀故障树模糊分析[J]. 西南石油学院学报, 2005, 27(3): 72-75.
- [3] 沈士明, 景国泉. 埋地天然气管道的风险分析[C]// 城市与工业安全——2003 中国首届城市与工业安全国际会议论文集. 南京: 东南大学出版社, 2003: 205-210.
- [4] 戴树和, 王明娥. 可靠性工程及其在化工设备中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1987: 209-221.
- [5] 赵建平, 缪春生, 孙涛. 液化气埋地压力管道风险评价方法[J]. 南京工业大学学报, 2004, 26(2): 18-23.

(修改回稿日期 2008-09-28 编辑 罗冬梅)