

文章编号: 1673-3851 (2015) 01-0020-04

# 城市天然气供应系统半定量风险评价方法研究

黄玉桥<sup>1</sup>, 宋祎昕<sup>2</sup>

(1. 浙江理工大学建筑工程学院, 杭州 310018; 2. 浙江浙能天然气运行有限公司, 杭州 310052)

**摘要:** 城市天然气供应系统牵扯着千家万户的安全问题,探讨城市天然气供应系统半定量风险评价的思路和流程,及其气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素五方面的失效可能性评价指标体系;构建了财产损失、人员伤亡和环境污染三方面的失效后果评价指标;给出了失效后果的评分标准;提出了一种基于半定量风险评价的城市天然气供应系统风险评价方法。在此基础上以浙江某地城市燃气供应系统为例进行风险评价,得出该城市天然气供应系统的整体风险处于低风险水平。该方法可用于拟建、在建或者在役的城市天然气供应系统的风险评价。

**关键词:** 天然气管网; 供应系统; 半定量风险评价; 失效可能性; 失效后果

**中图分类号:** TU996.8      **文献标志码:** A

随着现代化城市的发展,城市天然气供应系统在城市能源供应中应用越来越广泛。由于天然气易燃易爆的特性,城市燃气管网出现事故将造成严重的人员伤亡和财产损失,因此需要采取科学的安全风险评价方法来加强城市燃气管道的安全管理,以确保人民的人身和财产安全。目前国内对燃气供应系统的风险评价仅限于局部因素,不能系统地对燃气系统进行全面的安全风险评价。本文从城市天然气供应系统的组成部分(气源、输配、应用、管理)出发,提出了一种城市燃气系统风险评价方法,以满足城市天然气管网系统风险评价的需要,提高我国城市燃气行业的安全管理水平。

## 一、城市天然气供应系统半定量风险评价的基本思路

城市天然气管网系统包括多个组成部分,影响系统安全性的因素包括气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素五个方面。在供应系统运行的过程中,任何一个方面出现问题,都可能导致严重事故<sup>[1-2]</sup>的发生。根据国内外相关文献资料介绍的经验,城市天然气供应系统可采用半定量风险评

价的方法进行评价<sup>[3-5]</sup>,图1即为半定量风险评价流程图,其中失效可能性评价指标用 $L_i$ 表示( $i \geq 1$ ),

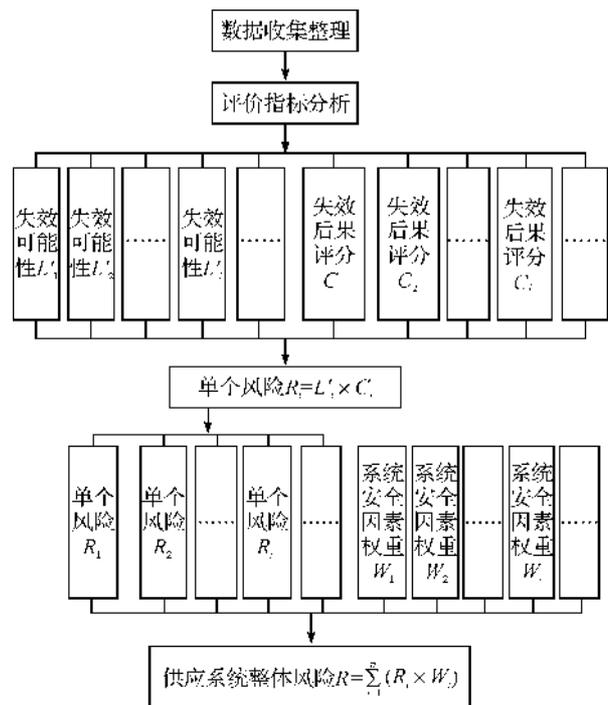


图1 半定量风险评价流程

收稿日期: 2014-07-11

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(Y1110621)

作者简介: 黄玉桥(1964-),男,河南南阳人,副教授,硕士,主要从事城市燃气工程技术方面的研究。

城市天然气供应系统五个安全因素的权重用  $W_i$  表示 ( $i \geq 1$ ); 失效后果评价指标用分值  $C_i$  表示 ( $i \geq 1$ ), 城市天然气供应系统五个安全因素的单个风险大小用  $R_i$  表示 ( $i \geq 1$ ), 城市天然气供应系统整体风险大小用  $R$  表示。

## 二、城市天然气供应系统失效可能性评价指标体系的建立

### (一) 失效可能性评价指标体系

城市天然气供应系统的失效可能性评价指标通常由失效可能性因素构成, 每个失效可能性因素往往对应多个影响因素。运用事故树法可以识别失效可能性因素及其影响因素<sup>[6]</sup>, 城市天然气管网系统失效可能性评价指标体系如图 2 所示。

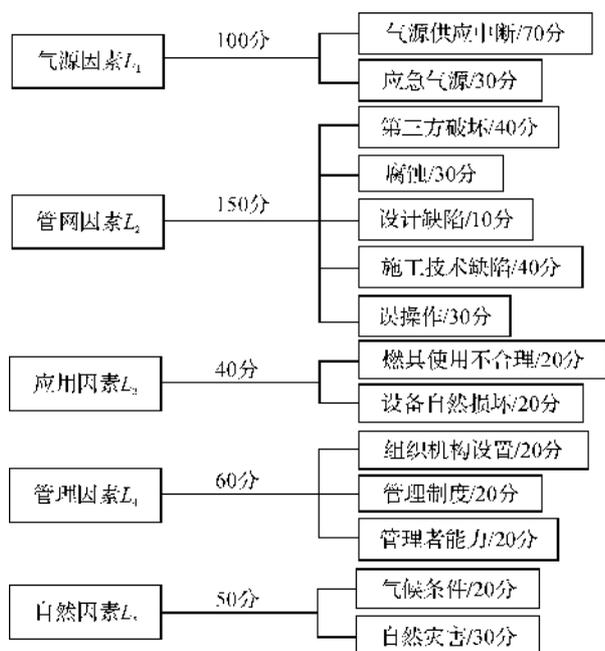


图 2 城市天然气供应系统失效可能性评价指标体系及因素评分

### (二) 失效可能性评价指标评分

根据城市天然气供应系统的实际运行情况、风险发生的概率和影响程度, 征集专家意见对不同的因素进行评分, 评分结果以得分计, 得分越大, 则对应的失效可能性越大。本文所选专家为浙江省内主要燃气公司如杭州燃气、余杭港华燃气等主管安全生产的专家, 人数为 9 名, 采取问卷调查的形式得到专家意见, 同时结合各公司实际运行管理统计数据进行相应分析。在气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素这 5 个因素中, 管网因素的影响因素最多, 气源因素的影响程度最大, 应用因素的影响因素最可控, 管理因素和自然因素的影响因素

影响程度相对较小。根据专家经验和统计数据, 对上述 5 个因素的得分取不同值。其中, 气源因素  $L_1$  满分为 100 分, 管网因素  $L_2$  满分为 150 分, 应用因素  $L_3$  满分为 60 分, 管理因素  $L_4$  满分为 50 分, 自然因素  $L_5$  满分为 50 分。

#### 1. 气源因素 $L_1$

城市天然气供应系统中, 稳定的气源供应是系统能够安全运行的基础, 燃气供应终端主要受到气源生产事故、输配系统事故以及事故下游气源储存不足三方面因素影响<sup>[7-8]</sup>。按照气源影响因素类别, 以一定准则评分  $L_1$  得分见图 2。

#### 2. 管网因素 $L_2$

城市天然气输配管网系统一般采用地下铺设方式, 地下空间和路面道路交通活动都可能造成管网燃气泄露, 从而造成火灾、爆炸等事故。第三方破坏、腐蚀、设计缺陷、施工技术缺陷等因素可影响管网因素, 统计分析城市天然气管道的事故原因, 以一定准则对各项评分,  $L_2$  得分见图 2。

#### 3. 应用因素 $L_3$

城市天然气供应系统中, 存在大量的居民、公共建筑及工业用户, 在燃气应用过程中, 由于灶具不合理使用、燃具制造缺陷和操作失误三方面因素可影响应用因素, 以一定准则对各项评分,  $L_3$  得分见图 2。

#### 4. 管理因素 $L_4$

城市天然气管网系统由于燃气管理部门的组织机构的设置、管理制度和管理者能力存在不同, 影响管理因素, 从而影响城市天然气供应系统安全运行。以一定准则评分,  $L_4$  得分见图 2。

#### 5. 自然因素 $L_5$

在城市天然气供应系统运行中, 气候条件和自然灾害等不可抗力因素影响系统的安全稳定运行。以一定准则评分,  $L_5$  得分见图 2。

采用专家评分法, 依据上述评分表分别得到气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素的得分, 对各项因素得分经过归一化处理后即可得到气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素的失效可能性  $L'_1$ 、 $L'_2$ 、 $L'_3$ 、 $L'_4$ 、 $L'_5$ 。

## 三、城市天然气供应系统失效后果评价指标

城市天然气管网系统失效后果评价指标主要包括财产损失、人员伤害和环境污染。城市燃气供应系统发生失效, 最直接的就是造成经济损失, 依据失效造成的经济损失并结合专家评分, 以财产的直接损失和间接损失大小为准对财产损失进行评分。

发生城市天然气供应系统失效时,也有可能造成人员伤亡和环境污染,所以也需要对这两方面进行

评价。城市天然气供应系统失效后果评价指标及评分表见表1。

表1 失效后果评价指标及评分表

失效后果			分值 C
财产损失	人身伤害	环境污染	
经济损失 $\geq 500$ 万元	死亡人员数量 $\geq 10$ 人,中毒或重伤人员数量 $\geq 100$ 人,患病率高 $>5\%$	危险区域内有人类活动;生物种类繁多;空气污染严重,高度影响人民生活质量	(80,100]
100万元 $\leq$ 经济损失 $< 500$ 万元	3人 $\leq$ 死亡人员数量 $< 10$ 人,50人 $\leq$ 中毒或重伤人员数量 $< 100$ 人,患病率较高 $\leq 5\%$	危险区域内有人类活动;生物种类繁多;空气污染较严重,中度影响人民生活质量	(60,80]
50万元 $\leq$ 经济损失 $< 100$ 万元	1人 $\leq$ 死亡人员数量 $< 3$ 人,20人 $\leq$ 中毒或重伤人员数量 $< 50$ 人,偶有慢性病例发生	危险区域内无人类活动;生物种类较多;空气污染中度,轻度影响人民生活质量	(40,60]
10万元 $\leq$ 经济损失 $< 50$ 万元	无人员死亡,3人 $\leq$ 中毒或重伤人员数量 $< 20$ 人,无慢性影响	危险区域内无人类活动;生物种类较少;空气污染轻度,对人民的生活质量基本无影响	(20,40]
经济损失 $< 10$ 万元	无人员死亡,中毒或重伤人员数量 $< 3$ 人,无慢性影响	危险区域内有人类活动,空气接近轻度污染,对人民的生活质量无影响	(0,20]

#### 四、城市天然气供应系统风险评价应用

##### (一)某城市天然气供应系统失效权重计算

以浙江某地城市天然气供应系统为例进行风险评价,利用层次分析法对城市天然气管网系统安全因素权重进行计算<sup>[9-10]</sup>,首先构造出城市天然气管网安全影响因素判断矩阵,如表2所示。通过对影响因素两两比较,最终计算出各个影响因素的权重。

表2 城市天然气供应系统安全影响因素判断矩阵

	气源因素	管网因素	应用因素	管理因素	自然因素
气源因素	1	3	5	6	6
管网因素	1/3	1	4	4	6
应用因素	1/5	1/4	1	1/2	2
管理因素	1/6	1/4	2	1	6
自然因素	1/6	1/6	1/2	1/6	1

计算出判断矩阵的对应的权值(特征向量)为  $W_1 = (0.4882, 0.2774, 0.0663, 0.1208, 0.0473)^T$ ,

这时的一致性比率为  $C_R = \frac{C_I}{R_I} = 0.095 < 0.1$ ,说明此时判断矩阵有可以接受的一致性。所以,气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素的权重分别为 0.4882、0.2774、0.0663、0.1208、0.0473。

##### (二)某城市天然气供应系统单个因素风险评价

###### 1. 某城市天然气供应系统失效可能性评价

采用专家评分法对气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素进行评价,从而求出该城市

天然气供应系统失效可能性。气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素的失效可能性评价结果如表3所示。

表3 某城市天然气供应系统失效可能性评价结果

影响因素	气源因素	管网因素	应用因素	管理因素	自然因素
因素评分	30	20	20	20	10
失效可能性	0.3	0.13	0.5	0.33	0.20

###### 2. 某城市天然气供应系统失效后果评价

采用专家评分法对财产损失、人员伤亡和环境污染三种失效后果进行综合评价,从而求出城市天然气供应系统对应失效可能性的失效后果评分如表4所示。

表4 城市天然气管网系统失效后果评分结果

失效可能性	0.3	0.13	0.5	0.33	0.20
失效后果评分	30	13	50	33	20

###### 3. 城市天然气供应系统单个因素风险评价

气源因素风险:  $R_1 = \text{气源因素失效可能性} \times \text{对应失效后果评分} = 0.30 \times 30 = 9$ 。

同理,管网因素风险  $R_2 = 1.69$ ,应用因素风险  $R_3 = 25$ ,管理因素风险  $R_4 = 10.89$ ,自然因素风险:  $R_5 = 4$ 。

###### 4. 某城市天然气供应系统整体风险评价

计算出单个因素风险后,然后加权计算出城市天然气供应系统的整体风险:  $R = \sum_{i=1}^n (R_i \times W_i) = 8.025$ 。

参考国内管道风险评价准则和文献[11],把城市天然气供应系统的风险划分为5个等级:(0,20]为低等级,(20,40]为较低等级,(40,60]为中等,

(60,80]为较高等级,(80,100]为高等级。所以该城市天然气供应系统的整体风险处于低风险水平。

## 五、结 语

影响城市燃气供应系统安全运行的主要影响因素为气源因素、管网因素、应用因素、管理因素和自然因素,其风险评价包括失效可能性评价和失效后果评价两部分。本文提出一种半定量风险评价法对城市天然气供应系统进行了风险评价,并将城市天然气供应系统风险划分为五个等级。利用该风险评价方法对某城市天然气供应系统进行了评价,得到该城市天然气供应系统的整体风险处于低风险水平。该方法可用于拟建、在建或者在役的城市天然气供应系统风险评价,可以为天然气供应系统的运营、改建、维护中的安全管理工作起着指导意义。

### 参考文献:

[1] Bjomsen T, Hagen O, Mork K J. Reliability based pipeline design and integrity assessment pipeline industry on the verge [C]//The 5th International Offshore and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers, 1995: 540-547.

- [2] Gareth L, Lewelly N. Strategic risk assessment-prioritizing environmental Protection [J]. Journal of Hazardous Materials, 1998(61): 279-286.
- [3] 于京春,宋海宁,王湘宁,等. 城镇燃气管道风险综合评价方法的选择[J]. 煤气与热力, 2010, 30(9): A22-A25.
- [4] 严荣松,高文学,李建勋. 燃气管道安全风险评价分析[J]. 煤气与热力, 2010, 30(3): B36-B38.
- [5] 石磊明,刘 蓉,孙健民,等. 基于评分法与模糊理论的燃气管道风险评价[J]. 煤气与热力, 2013, 33(2): A37-A40.
- [6] 胡南南. 城市天然气管网系统的风险评价及防范研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2012: 23-29.
- [7] 田 岚. 石油天然气钻井工程风险识别与评价方法[J]. 钻采工艺, 2010, 33(2): 31-33.
- [8] 冯 宁. 大型工程项目风险评价指标体系的构建[J]. 基建优化, 2007, 12(6): 48-50.
- [9] 刘铁民,张兴凯,刘功智. 安全评价方法应用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 50-60.
- [10] 宋祎昕,姚安林. 基于 AHP 的 LNG 接收站潜在风险辨识技术[J]. 煤气与热力, 2011, 31(11): B15-B19.
- [11] 宋祎昕. 城市配气站场设施风险评估技术研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2012: 19-115.

# Semi-quantitative Risk Assessment of Urban Natural Gas Supply System

HUANG Yu-qiao<sup>1</sup>, SONG Yi-xin<sup>2</sup>

- (1. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;  
2. Zhejiang Zhenergy Natural Gas Operating Co., Ltd., Hangzhou 310052, China)

**Abstract:** Urban natural gas supply system affects the safety problem of every family. This paper elaborates the ideas and process of semi-quantitative risk assessment of urban natural gas supply system, and failure possibility evaluation index system including five aspects (gas source, pipeline network, application factor, management factor and natural factor). Besides, the failure consequence evaluation index which includes property damage, casualties and environmental pollution is constructed. And the criterion of failure consequences is given. This paper also proposes risk assessment method of urban natural gas supply system based on semi-quantitative risk assessment. On this basis, this paper carries out risk assessment of urban natural gas supply system in Zhejiang and gains the conclusion that overall risk of natural gas supply system in this city is at a low level. This method can be used to risk evaluation of urban natural gas supply system which plans to be constructed, is under construction or in service.

**Key words:** natural gas pipeline network; supply system; semi-quantitative risk assessment; failure possibility; failure consequences

(责任编辑:张祖尧)