

燃气经营管理与经济

4种城镇燃气管网风险评估模型的比较

于京春¹, 解东来², 马冬莲¹, 李佳宁¹

(1. 建设部沈阳煤气热力研究设计院, 辽宁 沈阳 110026; 2. 华南理工大学 化工与能源学院, 广东 广州 510640)

摘要: 对目前我国研发的3种风险评估模型的结构、管道失效因素及其占系统总评分的权重与英国 Muhlbauer 的模型进行了比较, 比较了各模型中第三方损害、腐蚀、设计、误操作等一级因素下的二级、三级因素的选取及权重。分析了这些评估模型在我国城镇燃气管网风险评估实践中的适用性及可操作性。

关键词: 城镇燃气; 管网; 风险评估

中图分类号: TU996 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4416(2007)11-0044-06

Comparison of Four Risk Assessment Models for Town Gas Pipeline Network

YU Jing-chun¹, XIE Dong-lai², MA Dong-lian¹, LI Jia-ning¹

(1. Shenyang Gas & Heat Research and Design Institute of Construction Ministry, Shenyang 110026, China; 2. School of Chemical and Energy Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A comparison of structure, pipeline failure factors and their weights in general score of the system is made between three risk assessment models developed by China and the English Muhlbauer model. The selection and weights of the second and third level factors under the first level factors including third party damage, corrosion, design and incorrect operation and so on in these models are compared. The applicability and operability of these models in practice of risk assessment of Chinese town gas pipeline network are analyzed.

Key words: town gas; pipeline network; risk assessment

相对于从20世纪70年代就已开展埋地燃气管道风险管理的欧美国家,我国有关埋地燃气管道风险管理的研究工作起步较晚。1995年由著名油气储运专家潘家华教授在《油气储运》上介绍后^[1-3],才逐渐引起有关科技人员的注意,并在燃气运营公司、科研机构、高等院校等展开了较为广泛的研究。在各类研发机构中,高校的研发相对比较系统。同济大学张琳^[4]、北京化工大学马令申^[5]、西南石油学院汪涛^[6]等在导师的指导下都研制了各自的风险评估体系。上海大众燃气公司的汪定怡、吕学珍也建立了城市燃气输配管道风险评价指标体系^[7],

南京工业大学赵建平、缪春生等人研究了在役液化气压力管道质量模糊综合评价^[8]。这些体系基本沿袭了英国 Muhlbauer 的评价方法^[9],采用管道指数评分方法确定管网的风险等级,将管道的失效因素归结为4类一级因素,每类一级因素下又分为若干二级甚至三级、四级因素。对每类因素根据管网的实际情况给予评分,求和后再根据管道中气体的扩散性对该分值进行修正,从而得到系统的风险评估分值及等级。现将同济大学张琳、北京化工大学马令申、西南石油学院汪涛论文中的评价模型所考虑的管道失效因素比较如下。

1 模型结构及一级失效因素的权重

在 Muhlbauer 评价法的模型中^[9], 相对风险比率是指数和与泄漏影响系数的比值。其中, 指数和为第三方损害、腐蚀、设计、误操作 4 项指数之和, 指数和赋值范围为 0 ~ 400, 泄漏影响系数为 0. 2 ~ 88. 0, 最后的相对风险比率为 0 ~ 2 000。文献[4]中的模型完全承袭了这一结构及分值分配。文献[6]中的模型结构也与此相同, 但指数和的赋值范围为 0 ~ 10, 泄漏影响系数的范围为 0. 1 ~ 10. 0, 最后的相对风险比率为 0 ~ 100。文献[5]中的模型未考虑泄漏影响系数的修正。各模型风险评估体系一级失效因素占总评价分数的权重见表 1。

表 1 各模型风险评估体系一级失效因素占总评价分数的权重

Tab. 1 Weights of first level failure factors in general score

管道失效因素	文献[9]模型	文献[4]模型	文献[5]模型	文献[6]模型
第三方损害	25	25	28	40
腐蚀	25	25	26	30
设计	25	25	23	15
误操作	25	25	23	15

2 第三方损害

4 种评价方法中第三方损害的二级及三级失效因素占本部分评价分数的权重见表 2。由表 2 可以看出, 文献[4]、文献[6]中的评价体系与 Muhlbauer 评价法的体系较为接近, 文献[5]中的方法在第三方损害中失效因素则与其他 3 种相差较大, 将管道气锤、振动、荷载情况等因素放在第三方损害中考虑。文献[6]中的方法考虑了大量的自然灾害; 其报警系统中, 法律的完善、满足最低 ULCCA 标准两项与中国的国情不太相符。

表 2 第三方损害的二级及三级失效因素占本部分评价分数的权重

Tab. 2 Weights of second and third level failure factors of third party damage in its score

二级因素	三级因素	文献[9]模型	文献[4]模型	文献[5]模型	文献[6]模型
线路情况	埋深	20	4	17. 0	15
	覆盖层性质	—	4	—	—
	最大跨距	—	3	—	3
	管沟情况	—	3	8. 5	3
	地形情况	—	2	—	3
	管道转弯情况	—	2	—	3
	人口密度	—	2	—	3

续表 2 (Continued)

二级因素	三级因素	文献[9]模型	文献[4]模型	文献[5]模型	文献[6]模型
活动水平	车辆活动	20	8	—	4
	农作物活动		—	—	2
	工业建筑活动		8	12. 0	5
	沿线交通线路情况		—	9. 0	—
	生物破坏		—	—	1
地面设施	管道防护措施	10	5	—	6
	地面建筑物抗破坏情况		5	—	2
公共教育	居民平均素质	—	3	—	2
	流动人口情况	—	3	—	2
	居民公共道德和财产意识	—	3	—	2
	宣传力度	15	2	—	2
	居民对管道法及燃气知识的认识	—	2	—	2
	维护者安全意识	—	2	—	—
自然灾害	发生泥石流情况	—	—	—	1
	发生滑坡与崩塌情况	—	—	—	1
	发生塌方可能性	—	—	—	2
	发生风灾情况	—	—	—	2
	发生火灾情况	—	—	—	2
	发生水灾情况	—	—	—	2
	发生地震情况	—	4	9. 0	4
巡线	巡线手段	—	3	—	2
	巡线规章	—	3	—	2
	巡线频率	15	5	—	4
	巡线员责任心	—	4	—	2
社会关系	与当地政府的关系	—	—	—	2
	与土地拥有者的关系	—	—	—	2
	与当地居民的关系	—	—	—	2
报警应答系统	法律的完善	4	—	—	2
	满足最低 ULCCA 标准	2	—	—	2
	广泛宣传	2	—	—	2
	对呼叫的恰当回答	5	—	—	2
	证明效率和可靠性的记录	2	3	—	2
	操作时间	—	3	—	—
	通知方法	—	3	—	—
	非工作时间的通知方法	—	3	—	—
	通知时间	—	3	—	—
管道标志	管道用地标志	5	5	8. 5	—
	发生气锤情况	—	—	9. 0	—
其他	管道振动情况	—	—	9. 0	—
	管道内部压力荷载	—	—	9. 0	—
	管道变形	—	—	9. 0	—

3 腐蚀

腐蚀评价是针对钢质管道的。Muhlbauer 评价法的风险模型中也考虑了非金属管道的腐蚀, 即老化现象, 但没有注明是何种非金属管道。对铸铁管道, 这 4 种方法都没有涉及。国内的模型都略去了

Muhlbauer 评价法模型中的大气腐蚀,这对埋地管道是比较合理的。国内城镇燃气管道都没有管内保护措施,因此我国的城镇燃气管网风险模型中是否考虑这一项值得商榷。土壤腐蚀中各模型考虑的三级因素比较分散,而这又是管道失效的主要因素,因此有必要对影响土壤腐蚀性的主要三级因素的确定展开深入的研究。各模型腐蚀因素的二级及三级失效因素占本部分评价分数的权重见表3。

表3 腐蚀因素的二级及三级失效因素占
本部分评价分数的权重

Tab.3 Weights of second and third level failure factors of
corrosion in its score

二级因素	三级因素	文献[9] 模型	文献[4] 模型	文献[5] 模型	文献[6] 模型
大气腐蚀	设施	5	—	—	—
	大气	10	—	—	—
	包覆层/检测	5	—	—	—
气体腐蚀	H ₂ S 含量	10	5	2	10
	CO ₂ 含量		5	4	4
	H ₂ O 含量		5	5	4
	O ₂ 含量		—	4	—
管内保护	保护层种类质量	5	5	4	4
	保护层施工质量	—	—	4	3
	缓蚀措施	4	4	4	2
	管道清管	3	3	—	—
	管内监控	2	3	—	—
	运行方式	3	—	—	—
阴极保护	产品及安装质量	10	4	20	4
	全面检查频率	—	3		4
	全面检查质量	—	3		—
外防腐	外防腐种类及质量	3	3	—	4
	外防腐施工质量	3	3	—	4
	外防腐缺陷修补	3	2	—	4
	外防腐全面检查频率	3	2	—	—
土壤腐蚀	土壤通气性	6	1	—	3
	土壤电阻率		1	—	4
	土壤含水量		2	18	2
	有机质		—	—	1
	土壤温度		1	—	2
	土壤黏土矿物类型		1	—	2
	pH 值		2	7	1
	氧化还原电位		—	—	2
	微生物		—	—	1
	溶解离子		—	—	2
	管道附近深根茎植物情况		—	5	—
	含盐量		—	4	—
	土壤硫化物含量高		—	7	—
	土壤 SRB 含量高		—	7	—
	杂散电流		—	5	—

续表3(Continued)

二级因素	三级因素	文献[9] 模型	文献[4] 模型	文献[5] 模型	文献[6] 模型
其他金属	其他金属	5	4	—	5
交流电流干扰	测试和排流频率	4	4	—	2
	排流效果			—	2
应力腐蚀	腐蚀环境	5	5	—	3
	环境温度变化		—	—	—
	管道压力变化		5	—	4
	管材缺陷		5	—	3
	钢材种类		5	—	—
腐蚀检测	检测手段	—	2	—	2
	检测频率	—	2	—	2
	员工素质	—	1	—	2
	管道电位测试	6	—	—	—
	密间隔测试	8	—	—	—
维护情况	人员素质	—	3	—	2
	维修手段	—	2	—	2
运行年限	运行年限	4	4	—	4

4 设计

文献[5]中的这部分模型其实是一个施工质量评估,其考虑的因素对于现状管道是很难挖开进行定量评价的。文献[4]和文献[6]中的这部分模型与 Muhlbauer 评价法的模型比较接近,但都忽略了发生气锤的可能性,引入了设计人员的经验和资质,是比较合理的。各模型设计因素的二级及三级失效因素占本部分评价分数的权重见表4。

表4 设计因素的二级及三级失效因素占本部分
评价分数的权重

Tab.4 Weights of second and third level failure factors of
design in its score

二级因素	三级因素	文献[9] 模型	文献[4] 模型	文献[5] 模型	文献[6] 模型
管道安全系数	管道壁厚	20	7	4	25
	管道材料	—	5	—	
	连接点个数	—	4	—	
	管道修复	—	4	—	
系统安全系数	设计压力/最大运行压力	20	10	—	10
	安保措施	—	10	—	
疲劳	交通荷载	15	10	—	20
	管材影响	—	5	—	
气锤可能性	气锤可能性	10	—	—	—
系统水压试验	试验压力	25	10	—	20
	持续时间	—	5	—	
	距上次试验时间	—	5	—	
	试验工程师经验	—	5	—	

续表 4(Continued)

二级因素	三级因素	文献[9] 模型	文献[4] 模型	文献[5] 模型	文献[6] 模型
土壤移动	移动可能性	10	6	—	15
	减缓措施质量	—	2	—	
	减缓措施频率	—	2	—	
设计人员	设计人员资质	—	5	—	6
	设计人员经验	—	5	—	4
施工	材料选择	—	—	18	—
	管材中杂质	—	—	18	—
	热处理	—	—	18	—
	管道焊接方法	—	—	3	—
	焊接材料	—	—	3	—
	管段表面预处理	—	—	3	—
	焊后热处理	—	—	3	—
	螺栓材料与管材	—	—	3	—
	管段椭圆度	—	—	3	—
	冷加工工艺质量	—	—	3	—
	管材壁厚均匀性	—	—	3	—
	管壁机械伤痕	—	—	3	—
	管段残余应力	—	—	3	—
	管段应力集中	—	—	3	—
	弯头内外表面光滑性	—	—	3	—
	弯头内外表面有无裂纹	—	—	3	—
	管段间错口	—	—	3	—

5 误操作

文献[5]的这部分模型只考虑了1项人为误操作。文献[4]和文献[6]中的这部分模型和 Muhl-bauer 评价法的模型比较接近。各模型误操作因素的二级及三级失效因素占本部分评价分数的权重见表5。

表5 误操作因素的二级及三级失效因素占本部分评价分数的权重

Tab.5 Weights of second and third level failure factors of incorrect operation in its score

二级因素	三级因素	文献[9] 模型	文献[4] 模型	文献[5] 模型	文献[6] 模型
设计	灾难识别	4	6	—	—
	达到最大允许工作压力可能性	12	6	—	—
	安全系统	10	6	—	2
	材料选择	2	—	—	—
	检验	2	—	—	—
	设计软件可靠性	—	4	—	1
	设计人员失误	—	4	—	2
	设计验收	—	4	—	1

续表 5(Continued)

二级因素	三级因素	文献[9] 模型	文献[4] 模型	文献[5] 模型	文献[6] 模型
施工	检验	10	—	—	—
	材料	2	4	—	—
	连接	2	—	—	—
	回填	2	—	—	—
	搬运	2	—	—	—
	涂层	2	—	—	—
	施工管理措施	—	3	—	3
	施工人员素质	—	3	—	6
	施工人员培训	—	4	—	2
	施工监督	—	3	—	1
	施工验收	—	3	—	2
	工艺规程	7	5	—	—
运行	SCADA/通信	2	2	—	—
	毒品检验	2	—	—	—
	安全计划	2	—	—	10
	检查	9	8	—	6
	培训	10	15	—	12
	机械故障预防措施	3	—	—	4
	运行监督	—	5	—	6
	运营操作	—	—	—	10
	电力电信系统	—	—	—	10
	文件编制	2	2	—	—
	计划	3	—	—	—
	维护规程	10	8	—	8
维护	维护频率	—	3	—	4
	维护人员素质	—	2	—	—
	维护工作文件	—	—	—	2
	维护工作日志	—	—	—	2
	维护人员责任心	—	—	—	2
	维护人员技术水平	—	—	—	2
人为误操作	人为误操作	—	—	100	—

6 泄漏影响系数

文献[5]中的模型未考虑此项影响。Muhl-bauer 评价法以及文献[4]的模型中,泄漏影响系数为产品危害与扩散影响系数的比值,扩散影响系数为泄漏分值与人口分值的比值。文献[9]及文献[4]的模型中产品危害、泄漏及人口的赋值见表6。

在文献[6]的模型中,扩散影响系数的计算与前述第三方损害等因素的计算相同,考虑各二级、三级因素,赋值后加权求和。相比较而言,Muhl-bauer 评价法以及文献[4]中的模型考虑了产品的危害,因而可以反映不同的燃气(如人工煤气、液化石油

气等)泄漏后的不同危害后果,而文献[6]中的模型则只针对天然气进行了讨论。文献[6]的模型中泄漏影响系数的二级及三级失效因素占本部分评价分数的权重见表 7。

表 6 文献[9]及文献[4]的模型中产品危害、
泄漏及人口的赋值

Tab. 6 Assignment of product hazard, leakage and population
in models of references [9] and [4]

二级因素	三级因素	文献[9]模型	文献[4]模型
产品危害	燃烧性	0~4	0~4
	反应性	0~4	0~4
	毒性	0~4	0~4
	长期危害	0~10	0~10
泄漏	10 min 泄漏量	0~6	0~3
	泄漏时间	—	0~2
	周围环境	—	0~1
人口	人口密度	0~4	0~3
	人员流动情况	—	0~1

表 7 文献[6]的模型中泄漏影响系数的二级及三级失效
因素占本部分评价分数的权重

Tab. 7 Weights of second and third level failure factors of
leakage in its score in model of references [6]

二级因素	三级因素	权重/%
天然气状态	单位时间泄漏量	15
	泄漏时间	15
	周围环境	14
	事故危害	10
	自然情况	6
泄漏危害	经济损失	14
	事故点人口密度	20
	无形危害	6

7 风险评估模型的适用性及可操作性

① 从作者看,国外的评估系统都是由燃气行业主导,有专业公司参与。本文中我国的这 3 个风险评估模型是由高校在校研究生创建,有导师指导,有的课题还是来源于国家的重大科研课题,如北京化工大学的课题来源于十五国家重点科技攻关课题“城市燃气管道及工业特殊承压设备安全保障关键技术研究”。燃气运营企业还没有很好地参与到风险评估的研发中来,企业在运营中所积累的相关专家知识没有很好地收集、利用。一套权威的风险评估体系需要燃气企业的更深入的参与。

② 从评价模型的发展渊源来看,我国的这几个模型基本都承袭了 Muhlbauer 评价法的评价系

统,而该系统本身也是起源于长输管道的评估系统。因此目前的模型中,很多地方留有国外的、长输管道的痕迹,以及对国内的城镇燃气管道并不适用的一些失效因素。文献[5]的模型中,很多失效因素都是工业管道评估的因素,对于埋地燃气管道的评估却很困难。国内与欧美的情况,长输管道与城镇管网、工业管道与民用燃气管道有共同点,但其差异也是不可忽略的。为了有效地评估城镇燃气管道,各模型中的失效因素及权重还需进一步提炼。

③ 从模型涵盖的管材范围看,这几种模型考虑的管材主体为钢管,Muhlbauer 评价法的风险模型中也考虑了非金属管道的老化,没有针对特定的非金属管道。目前我国的城镇燃气管道中,有大量的铸铁管道和 PE 管道,近期也有钢骨架塑料复合管的应用。对不同的管道,其第三方损害、腐蚀(老化)的机理有很大的不同,应该区别对待。

④ 从模型涵盖的气源范围看,Muhlbauer 评价法和文献[4]中的模型在扩散影响系数中可以考虑不同燃气对管网风险的影响,在腐蚀这一项中也可以考虑燃气的不同成分对管内腐蚀的影响。目前我国很多燃气管道都曾经输送过很多不同类型的气体,如液化石油气混空气、各种人工煤气等。关于历史气源对现状燃气管道风险的影响,现有的几个模型都没有涉及。

⑤ 从评估系统的可操作性来看,现存的燃气管网中有很多定性的、难以定量分析的因素,模型中采取专家打分的方法或采取模糊评价的方法将这些因素量化,这就会使得实际的评价过程受评价者过多主观因素的影响,可操作性弱。

参考文献:

[1] 潘家华. 油气管道的风险分析(待续)[J]. 油气储运, 1995,14(3):11-15.

[2] 潘家华. 油气管道的风险分析(续一)[J]. 油气储运, 1995,14(4):11-15.

[3] 潘家华. 油气管道的风险分析(续完)[J]. 油气储运, 1995,14(5):3-10.

[4] 张琳. 城市燃气管网安全管理体系研究(硕士学位论文)[D]. 上海:同济大学,2006.

[5] 马令申. 城市埋地燃气管道危险源辨识评价研究与专家系统框架开发(硕士学位论文)[D]. 北京:北京化工大学,2003.

- [6] 汪涛. 城市天然气管网运行模糊风险评价技术方法研究(硕士学位论文)[D]. 重庆:西南石油学院,2003.
- [7] 汪定怡,吕学珍. 城市燃气输配管道风险评价指数体系的建立[J]. 城市燃气,2005,19(6):36-38.
- [8] 赵建平,缪春生,孙涛. 在役液化气压力管道质量模糊综合评价[J]. 天然气工业,2005,25(2):152-154.
- [9] (英)Muhlbauer W K(著),杨嘉瑜,张德彦,李钦华,等(译). 管道风险管理手册(第2版)[M]. 北京:中国

石化出版社,2004.

作者简介:于京春(1965-),女,辽宁阜新人,教授级高级工程师,博士生,从事燃气工程设计及研发工作。

电话:(024)25822166

E-mail:jingchun1536@163.com

收稿日期:2007-06-08; 修回日期:2007-07-16

· 信息 ·

《煤气与热力》杂志简介

《煤气与热力》杂志是中国城市燃气学会、中国土木工程学会城市燃气分会(二级学会)会刊。

中国土木工程学会城市燃气分会是中国土木工程学会下属的专业学术组织。中国土木工程学会城市燃气分会在外事活动中称为:中国城市燃气学会(China City Gas Society,缩写为CCGS)。中国城市燃气学会代表中国参加国际煤气联盟(IGU),并出席其组织的活动。中国城市燃气学会为国际煤气联盟(IGU)的注册理事。

《煤气与热力》杂志由中华人民共和国建设部主管,由中国市政工程华北设计研究院、建设部沈阳煤气热力研究设计院、北京市煤气热力工程设计院有限公司主办。

《煤气与热力》杂志既是中国科技核心期刊、中国核心期刊、中国科技论文统计源期刊,又是百种中国杰出学术期刊、中国学术期刊综合评价数据库来源期刊和天津市一级期刊。

(《煤气与热力》杂志社 供稿)

我国境外最大天然气项目开工建设

2006年4月,中国和土库曼斯坦签署了《中华人民共和国政府和土库曼斯坦政府关于实施中土天然气管道项目和土库曼斯坦向中国出售天然气的总协议》。2007年7月,双方签署了中土天然气购销协议和土库曼斯坦阿姆河右岸天然气产品分成合同。根据合同,管道建成后,土库曼斯坦将在30年内每年向我国提供天然气 $300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

日前,我国规模最大的境外天然气项目——中土天然气管道项目已开工建设,这是我国第一条跨国输气管道,主干线长约 $1 \times 10^4 \text{ km}$,连接土库曼斯坦阿姆河和我国东部地区,西起中亚最大河流之一的阿姆河之滨,穿过乌兹别克斯坦和哈萨克斯坦到达上海。

(本刊通讯员 供稿)