

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2014.06.007

# 新疆乌鲁木齐市高压燃气管网风险评估研究

□ 新疆维吾尔自治区安全科学技术研究院(830002) 白元 陈勇 赖小林

**摘要:** 针对城市高压燃气管线的安全风险,利用定量评估方法对其进行风险分析。建立了由管网脆弱性指标、事故诱因指标、事故后果指标以及各指标的权重共同组成的定量评估指标体系。基于该定量评估指标体系,对乌鲁木齐市50余条高压燃气管线进行了定量风险评估,为城市燃气管网安全管理提供数据支持,为建立预测预警系统和防灾减灾机制提供依据。

**关键词:** 燃气管网 埋地管道 风险评估

## The Research on Risk Assessment of High Pressure Gas Pipeline Network in Urumqi, Xinjiang, China

Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Safety Science and Technology, Urumqi Bai Yuan, Chen Yong, Lai Xiaolin

**Abstract:** In recent years, as the project of changing fuel from coal to natural gas progress in Urumqi of China, a large number of high-pressure gas pipelines enter into the center city, bring huge risk to city public safety. In order to quantitatively assess the risk of gas pipelines, the quantitative evaluation index system, which includes inherent risk index, causation index, consequence index and the weight of each index. Based on the quantitative evaluation index system, more than 50 high pressure gas pipelines were conducted quantitative risk assessment in Urumqi. The assessment results can provide data support for the management of city gas pipeline network, and also can provide basis for establishing forecasting systems and mechanism of disaster prevention and mitigation.

**Keywords:** Gas pipeline Buried pipeline Risk assessment

乌鲁木齐市天然气管道自1991年起步,经过近20余年的工程建设,乌鲁木齐的天然气管道传输和分配管道约3 908.46km,其中高压管道的67.94km,次高压管道191.53km,低压管道3 589km。2013年天然气用户累计达到105.5万户,燃气普及率已达99%以上,全年天然气供应总量为23.13亿m<sup>3</sup>。近年来,随着乌鲁木齐市“煤改气”工程的推进,大量高压燃气管线进入城市中心区,城市燃气管道长度日益增长,城市燃气管

道系统的安全问题也日益严峻,给城市公共安全带来巨大风险。

随着城市规模的不断扩张和旧城区的改造,乌鲁木齐市燃气管网很多已经运行了12年~20年,进入事故高发阶段,加之自然环境的变化和人为因素的影响,使天然气管道腐蚀、泄漏、破裂事故时有发生。本文针对乌鲁木齐市燃气管网现状,采用模糊综合评判法对乌鲁木齐市燃气管网安全风险及评估进行研究,

试图给出一个合理的管道分段，然后对不同类管段针对其完好性和风险值排序。

## 1 研究方法

### 1.1 风险评价指标

在前人研究的基础上，结合现场实际对影响因素进行分析，构建符合实际的燃气管网系统风险分析指标体系，本文所建立的指标体系由管网脆弱性指标、事故诱因指标和事故后果指标组成<sup>[6]</sup>。根据城市天然气管网模糊风险评价流程，对城市天然气管网失效因素的可能性进行了模糊风险评价<sup>[7]</sup>。首先，收集管道设计、施工、运行、操作、介质、泄漏、缺陷、土壤、地理、人口、人文、社会以及经济情况等相关资料。其次，对城市燃气管网进行了系统、全面、定性分析，将整个管网划分为若干单元。最后，按照风

险评价步骤进行模糊风险评价，得到管段失效后果严重程度评判以及各指标的权重共同组成。

每一段管网划分待评价管段的因素集(A)得到：

$$A=\{A1, A2, A3\} \quad (1)$$

式中A1—管网脆弱性指标；A2—事故诱因指标；A3—事故后果指标。

对式(1)中3大类影响因素再细分，得到第i类影响因素子集的第j个因素(A<sub>ij</sub>, i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, ..., n)。显然依次划分，不同的i可以有不同的n。将第ij类影响因素继续再分下一阶，得到A<sub>ijk</sub>，这样就可以建立起总的因素体系及其表达方式。

城市管网风险因素间权重的选择，参考国内外经验<sup>[6], [8]</sup>，各指标权重分配见表1。

### 1.2 风险计算方法

管网脆弱性指标计算方法：

$$A111=Q111*V111, A112=Q112*V112 \quad (2)$$

表1 城市燃气管网风险评价指标及其权重值

一级指标体系	二级指标名称	权重值	三级指标名称	权重
管网脆弱性指标 (A1)	线路运行 (A11)	0.323	管输气体流量 (A111)	0.154
			管输气体压力 (A112)	0.169
	铺设建造 (A12)	0.677	管壁厚度 (A121)	0.193
			管道直径 (A122)	0.158
			最小埋深 (A123)	0.165
			管线使用年限 (A124)	0.161
事故诱因指标 (A2)	外界干扰 (A21)	0.514	建筑施工 (A211)	0.272
			地面活动情况 (A212)	0.062
			市政工程建设 (A213)	0.062
			园艺与农业活动 (A214)	0.062
			供水、排水设施建设 (A215)	0.056
	腐蚀 (A22)	0.148	蚀损斑腐蚀 (A221)	0.098
			电化学腐蚀 (A222)	0.017
			应力腐蚀 (A223)	0.007
			管道内腐蚀 (A224)	0.026
	设计缺陷 (A23)	0.16	技术缺陷 (A231)	0.096
			材料失效 (A232)	0.064
	误操作 (A24)	0.108	误动作 (A241)	0.044
			维护失效 (A242)	0.064

(续表)

表1 城市燃气管网风险评价指标及其权重值

一级指标体系	二级指标名称	权重值	三级指标名称	权重
事故诱因指标 (A2)	地质活动(A25)	0.07	溃堤(A251)	0.001
			洪水(A252)	0.015
			滑坡与泥石流(A253)	0.045
			河水冲积(A254)	0.005
			地质坍塌(A255)	0.004
事故后果指标 (A3)	泄漏危害(A31)	0.5	介质危险性(A311)	0.228
			环境危险性(A312)	0.272
	事故影响(A32)	0.5	人口密度(A321)	0.167
			财产分布(A322)	0.167
			其余城市生命线系统分布(A323)	0.167

同理, 得出A121、A122、A123、A124。

$$A11=A111+A112, A12=A121+A122+A123+A124, A1=A11+A12 \quad (3)$$

同理可计算事故诱因指标A2值;

事故后果指标A3值计算方法:

$$A311=Q311*V311, A312=Q312*V312 \quad (4)$$

$$A31=A311+A312; A32=A321+A322+A323 \quad (5)$$

$$A3=A31*A32 \quad (6)$$

$$P=A3*A2*A1 \quad (7)$$

P—风险值, A1、A2、A3权重均为1。

## 2 城市燃气输配系统风险分析

### 2.1 城市燃气管网特征

乌鲁木齐市城市燃气管网经过十几年的规划、改造、建设, 形成了现在的燃气网络(图1), 乌鲁木齐市天然气覆盖区域逐渐从以天、沙、新、水、米东5个主城区为主, 延伸至头屯河区、达坂城等城郊区域, 已全面实现气化目标, 成为首个率先实现全面“气化”的省会城市。

根据燃气管线的管径和压力级制为分段主因素, 乌鲁木齐市城市燃气高压和次高压管线总长度182 834.23m, 其中高压4.0MPa管线2条共13 818.14m, 占2.4%; 高压2.5MPa管线22条共54 793.95m, 占

26.5%; 次高压1.6MPa管线59条共114 222.14m, 占71.1%。管道的壁厚在5cm~11.9cm之间, 其中9.5cm最多, 占56.6%, 其次是11.9cm, 占18.1%。绝缘方式有聚乙烯防腐、加强级防腐和3PE防腐, 分别占4.8%、3.6%和91.6%。管道的材质有无缝钢管、L485级钢和L360级钢, 分别占16.9%、1.2%和81.9%。管径在100cm~700cm之间, 其中500cm管径最多, 占43.4%, 300cm占14.5%, 700cm占13.3%。槽深在1.1m~2.115m之间, 以1.1m最多, 占33.7%, 其次是1.915m, 占16.9%。总体来看, 乌鲁木齐燃气管网已经开始大规模逐步取代原有的人工煤气, 大面积改造原有的球墨铸铁管网, 用钢管替代, 输送压力逐步提高, 保证了天然气供应安全稳定。

### 2.2 城市燃气管网风险评估

根据风险评估方法, 计算出乌鲁木齐市57条天然气管道的风险值(表2)。由表2可知, 管网脆弱性指标以1号管线最大, 为4.84, 其次是51号管线, 为4.70, 主要是因为管线管输气体压力大, 管线使用年限较长, 19号管线管输气体压力小, 最小埋深大管网脆弱性指标最小, 为2.23。事故诱因指标以57号管线最大, 为6.32, 其次是51号管线, 为6.22, 主要是因为建筑施工、地面活动情况和供水、排水设施建设活动较频繁, 15号管线位于郊区, 外界干扰少, 事故诱因指标最小, 为2.63。事故后果指标以33号管线最

大，为14.32，其次是38号管线，为13.33，主要是因为燃气管网位于居住区、商业区内，人口密度和财产密度较高，泄漏危害严重；41号管线位于人烟稀少地区，事故后果指标最小，为0.94。全部管网风险平均值为112，1条天然气管道风险评估值大于300，说明有较高的风险；2条天然气管道风险评估值在200~300之间，说明风险一般；54条天然气管道风险值小于200，说明相对安全。综合以上，由于管道周围运行环境不同，其风险也是不一样的，51号管段的脆弱性指标、事故诱因指标和事故后果指标较大，知此管段的风险等级较高。

### 2.3 评价结果分析

乌鲁木齐燃气管网一般与城市道路平行埋设在城市道路下，管道多采取直埋方式，管道使用年限以2年居多，占56.1%，其次是6年，占15.8%，大于10年的占7.0%。根据《城镇燃气技术规范》GB50494-2009规定，燃气管道的设计使用年限不应小于30年，说明乌鲁木齐市高压燃气管网较年轻。乌鲁木齐燃气管道的材质以钢管为主，虽然钢管在几何尺寸、外观质量及力学性能等方面都很优越，但耐腐蚀能力差，防腐等级要求较高。本市管道的绝缘方式以3PE防腐为主，参照行业标准《钢制管道及储罐腐蚀与防护调查



图1 乌鲁木齐燃气管网示意图

表2 乌鲁木齐市天然气输配系统安全风险值

管线	A1	A2	A3	P	管线	A1	A2	A3	P
1	4.84	5.89	4.37	124.4	30	2.51	4.2	11.85	125.11
2	3.13	5.39	6.55	110.48	31	2.89	4.16	13.33	160.38
3	3.81	6.21	7.49	177.17	32	3.3	4.34	13.33	191.23
4	3.13	6.09	7.49	142.76	33	2.89	5.3	14.32	219.28
5	2.7	5.55	5.93	88.88	34	2.89	5.03	5.62	81.67
6	2.82	4.71	10.86	144.5	35	2.89	4.75	4.68	64.21
7	2.97	5.9	7.49	131.18	36	3.03	5.25	7.49	118.87
8	2.83	5.85	7.49	124.15	37	2.89	6.18	4.99	89.11
9	2.45	4.58	1.87	21	38	2.89	5.06	13.33	195.06
10	2.26	4.82	5.93	64.49	39	2.89	4.69	6.55	88.85
11	2.9	4.85	3.74	52.7	40	3.7	5.9	1.87	40.83
12	2.26	4.92	3.43	38.08	41	2.89	5.54	0.94	14.98
13	3.15	4.36	4.68	64.1	42	2.89	5.08	7.17	105.4
14	2.93	5.49	11.85	190.22	43	3	6.22	5.62	104.94
15	2.9	4.3	5.62	70.17	44	4.08	6.21	5.62	142.27
16	2.9	5.18	8.42	126.84	45	3.14	2.63	1.87	15.44
17	2.5	4.37	11.85	129.39	46	2.89	4.63	10.37	138.68
18	2.75	4.94	10.37	140.63	47	2.89	4.71	11.85	161.16
19	2.23	5.11	11.85	135.05	48	2.89	5.54	6.86	109.92
20	2.48	5.61	1.87	26	49	2.89	4.65	1.87	25.17
21	2.48	5.96	1.87	27.65	50	2.93	4.68	6.55	89.68
22	2.82	4.75	10.37	138.93	51	4.7	6.22	10.37	303.35
23	2.61	5.93	2.81	43.44	52	2.58	5.13	10.86	143.62
24	2.82	4.68	7.49	98.96	53	2.58	5.2	11.85	158.6
25	3.51	5.41	7.17	136.14	54	2.73	4.64	4.06	51.29
26	3.51	5.19	7.49	136.13	55	4.03	4.65	5.62	105.27
27	3.51	5.23	7.17	131.59	56	4.06	6.21	2.81	70.75
28	3.91	4.53	3.43	60.72	57	3.63	6.32	7.49	171.93
29	3.13	5.65	11.85	209.89					

办法》SY/T0087—95，3PE防腐级别好，能形成隔绝埋地燃气管道与外部腐蚀环境的有效屏障，但也有部分使用聚乙烯防腐，防腐级别很差，应当减少聚乙烯防腐的使用，针对聚乙烯防腐层老化和破损的，应当尽快敷设新管道，不留隐患。

乌鲁木齐的高压天然气管道整体安全，主要基于以下原因：首先，乌鲁木齐的绝大多数的高压天然气管道2010年之后建造，天然气管道建设标准和材料规格较高。其次，乌鲁木齐没有溃堤、洪水、滑坡与泥石流、河水冲积和其他地质活动影响管道外部安全。最后，由于乌鲁木齐的人口密度相对较低，财产分布不集中，没有大范围管道穿越区的敏感目标，事故后果的严重程度相对较低。根据《城镇燃气设计规范》GB50028-2006规定，城镇燃气管道通过的地区，应按沿线建筑物的密集程度划分为4个管道地区等级，并依据管道地区等级作出相应的管道设计，应保证地下燃气管道与建筑物、构筑物或相邻管道之间的水平和垂直净距。

### 3 结论

本文在借鉴国内外燃气管网风险评估方法基础上，根据乌鲁木齐燃气管网系统实际情况，对该城区燃气管网系统进行定量的分析，建立了燃气管网系统安全评价模型，通过对管道分段定量分级，确定管段的风险优先次序。乌鲁木齐高压燃气管网建设水平高，管网整体相对安全。风险评估的结果值符合乌鲁木齐的高压天然气管道风险水平，评估结果可以为城市天然气管道网络的管理和建立预测系统和防灾减灾

机制提供数据支持。

注：基金项目。乌鲁木齐市应用开发研究计划资助项目：乌鲁木齐市燃气管网 HAZOP 风险分析及对策研究（编号：Y121320013）

#### 参考文献

- 1 韩朱昶, 翁文国. 燃气管网定量风险分析方法综述[J]. 中国安全科学学报, 2009; 19(7): 154-165
- 2 Hodgins J K. Gas Pipeline Incidents: A Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group[J]. Pipes and Pipelines International, 1995; 71-78
- 3 Helena Montiel, Juan A. Vilchez, Josep Arnaldos, et al. Historical Analysis of Accidents in the Transportation of Natural Gas [J]. Journal of Hazardous Materials, 1996; 51(1-3): 77-92
- 4 European Gas Pipeline Incident Data Group. 7th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group. 2008
- 5 王文和, 易俊, 沈士明等. 基于风险的城市埋地燃气管道安全评价模型及应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2010; 6(3): 163-167
- 6 韩朱昶. 城市燃气管网风险评估方法研究[D]. 清华大学, 2010
- 7 付士根, 许开立. 城市燃气输配系统安全性模糊综合评价[J]. 煤气与热力, 2006; 26(11): 20-22
- 8 云中雁. 基于地面检测的天然气管道埋地钢管的风险评估[D]. 重庆大学, 2009

#### 企业管理消息

## 成都监督保障压缩天然气车质量安全

2014年04月23日 从成都市质量技术监督局获悉，2014年一季度共检查全市CNG加气站95家，对不合格企业依法查处并限期整改复查。同时会同省燃气站专家帮助企业查找造成不合格的原因，

解决质量隐患。下一步将继续开展CNG气质产品质量的动态监管，以确保CNG气质产品质量和CNG汽车的安全运行。

(本刊通讯员供稿)