城市燃气管道风险评估现状及改进

杨印臣，陈秋雄

（深圳市燃气集团有限公司，广东 深圳 518040）

摘 要：燃气管道风险评估可以提高安全管理水平，保证投入的经济合理性。介绍了适合国内城市燃气管道安全评估系统的结构和应用效果。系统依据各个管段的客观数据，用先进科学的数据处理方法，得到管段运行的风险等级，并以不同颜色显示在管道地理信息（GIS）平台上，直接用于安全管理。实际运行情况证实，具有显著的社会和经济效益。

关键词：风险评估；燃气管道；数学模型；应用效果

文章编号：1006-5539(2006)04-0032-04 文献标识码：A

1 风险评估的意义

燃气管道安全运行致关重要，但降低运行风险是要以资金投入为代价的。理论上讲，无限加大投入，可以使运行风险趋近于零，即管道达到绝对的安全。在实际操作中，无限的投入既不可能，也不必要。对于到期管段通过整改确认其运行风险在可接受范围内，就应该继续使用。对运行风险已经在可接受范围内的管段或维修也无法安全运行的管段，进行维修都是无效的投入，则应避免。管道公司的第一个目标是科学确定运行风险的可接受值，风险太高不能保证安全，裕量太大则造成浪费。

传统管网管理体制将日常管理力量平均分配，结果导致安全状况较好的部分管道投入过量，安全状况较差的管道则投入不足。根据木桶理论，管网的安全状况取决于运行风险最大的管段，根据管段的风险等级的调整管理投入，可以在日常管理投入总量不变甚至减少的前提下，降低整个管网的运行风险是管道公司渴望达到的第二个目标。

管道运行风险是事故可能性和后果严重度的二元函数，即：风险等级＝f（事故可能性，后果严重度）。降低风险等级应该从两方面综合考虑，不可偏废。管道维修资金投入应按照管段的风险等级确定，而不能只看事故可能性的大小。传统上偏重于事故可能性的减低，风险管理的最新发展则要求加重对后果严重度的考虑。对后果严重度很大的管段，可采用优化管网结构（对重要客户实现多路供气），或改善应急能力（降低事故发生时的潜在损失），而不是单纯依靠降低事故可能性。因而管道公司的第三个目标是实现资金投入在两方面的最佳分配，即提高整改措施的经济性。

燃气管道安全评估是解决上述三个难题的基本前提和基础。

2 燃气管道安全评估发展现状及其局限性

燃气管道安全评估有两类，第一类着眼于管道运行参数的优化，对在役管道已存在或假定的各类危害性管体缺陷进行断裂力学分析，求得此时管道承压强度和剩余寿命间的函数关系，进而确定管道的经济运行压力。这类评估通常只用于长输管道，以解决在役管道是否可以升压以增加输量、或是否需要减压以保证安全，对只能恒压运行的城市燃气管道没有太大意义。第二类安全评估着眼于城市燃气管道运行风险的评估，对在役管道各管段的事故可能性和后果严重度分别进行量化后，评定其风险等级，进而实现分级管理和风险维修。

《管道风险管理手册》[1] 介绍了美国的评分体

收稿日期：2006-05-10

作者简介：杨印臣（1956-），男，河北邯郸人，高级工程师，学士，建设部“十五”攻关项目《城市燃气管道安全状况评估系统》技术负责人。电话：（0755）81329369。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

系，其将影响事故可能性的因素分为腐蚀、第三方破坏、操作失误、设计裕量等四类，影响后果严重度的因素包括介质性质、扩散方式及周边环境，根据相关规范及管线事故历史统计数据，对所有因素分别设定赋值范围，评估时将影响事故可能性各因素取值之和，除以影响后果严重度的扩散冲击指数，即可得出管段风险等级分值。分析可知该模型有几个重大缺陷：一是对不同类型的影响因素都采用同样的评分方法。实际上，不同类型的影响因素蕴涵的内容往往有本质的差别，不宜使用单一模型、统一赋值、简单计算进行表达[2]。二是假定同类影响因素间相互独立，实际上各影响因素间关系错综复杂，有些因素间的交互作用非常强烈，不宜忽略[3]。三是多数影响因素是概念性的，专家赋值有很大的主观性，统计赋值则要有大量准确可靠的历史和运行数据[4]。

针对上述问题，国内外诸多专家都在不断提出改进，《管道风险管理手册》1992 年再版时，将因素设置增补了近 50％的内容以提高其客观性，许多学者则采用人为设定的权重，将模糊综合技术用于数据处理阶段，试图描述各因素间的交互作用。

我国目前的燃气管道管理和运行体制，形成很多中国特有的管理、操作、运行、维护的措施和规范，使得事故可能性的影响因素和控制措施与国外有较大差别[5]，后果严重度的评价更要考虑我国的价值取向，对包括社会、政治、经济等多方面因素进行综合分析后才能最终评定[6]。因而《管道风险管理手册》用于国内城市燃气管道可能产生较大偏差。

3　城市燃气管道安全评估系统结构

根据建设部“十五”科技发展规划的要求，深圳燃气集团有限公司于 2001 年初在国内率先开展“城市燃气管道安全状况评估”课题研究，项目列入国家建设部科研计划（项目编号 02-3-2.11）。系统采用层次模块结构，研究过程中，分析了各个不同模块的内在本质，根据各自的特点，借鉴国内外评估理论，尤其是应用数学的最新进展，分别建立了相应的数学模型。

事故可能性根据其成因分为腐蚀防护、外力破损、人为失误、安全裕量等四个模块综合确定，后果严重度评估则包括人身伤亡、政治影响、经济损失等方面的考虑，整个系统由七个模块组成，简称七模板评估系统，见图 1。

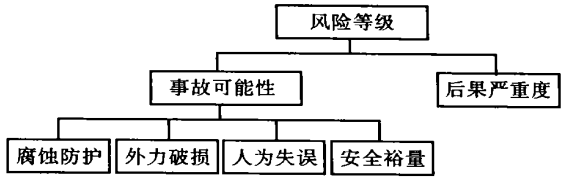

图 1　城市燃气管道安全评估系统模块结构图

腐蚀防护的影响因素很多，大多可以量化，其测试方法有行业标准可以参照（标准按长输管道制定，用于城市管道时需修正，不宜直接引用）。我们在聚类和主成分分析的基础上，经过不断的探索，分别建立了神经网络和线性综合评估的数学模型，综合评估模型又分别进行了包含子模与不含子模的遗传算法比较。通过择优，并考虑到目前检测数据的数量和可靠性均有待补充和提高，最终确定采用 BP 神经网络模型。

外力破损的影响因素大多难以准确量化，且随机性强，需进行模糊处理[7]。根据影响外力破损因素的具体情况，我们采用了故障树分析和模糊综合评价法相结合的数学模型。通过故障树分析，得到引起外力破损的各种基本事件的内在逻辑关系，算得各基本事件的重要度，再将之作为模糊综合评判法的权重向量，求得外力破损的综合评判向量，最后按照最大隶属度原则确定各管段外力破损可能性的等级。

人为失误的影响因素取决于设计、施工、运行、维护人员的状态及监理力度，对于在役管道，主要考虑运行、维护方面。我们借鉴国家“八五”科技攻关成果《重大危险源评价及宏观控制技术研究》介绍的人员可靠性分析方法[8]，基于对燃气管道运行和维护人员的行为特征分析，确定根据相关人员的合格性、熟练性、稳定性、工作负荷量、技术难度等行为因素对其群体进行评估，得到管道人为失误风险等级的评估模型。

安全裕量的影响因素大多可以准确量化，且各因素间相关度较低，与《管道风险管理手册》所述模型没有本质差别，我们借鉴其做法，建立了多因子回归评分模型。

对管道事故后果严重度的评价，采用层次分析与模糊综合评价法相结合的评价模型。对实地采集或调查的数据和资料，通过层次分析计算评价因素的权重集，根据国内外风险评估经验设定模糊隶属

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

度函数，将影响后果严重度的各因素作为模糊评价因素。通过模糊计算，求得模糊综合评价结果向量，进而得到后果严重度的模糊等级。

管道运行风险等级的确定，选用美国石油学会《基于风险的检验规范，API 581》推荐的风险矩阵。在管道评价时，以前述评定所得的事故可能性与后果严重度等级为矩阵元素的脚标，矩阵中相应元素的数值即为管道的风险等级，矩阵包括低风险、中等风险、中高风险、高风险共四个数值。矩阵具有非对称的，偏重于后果严重度。

4 城市燃气管道安全评估系统软件的结构及功能

4.1 安全评估软件系统基本功能

安全评估软件系统支持事故可能性数据、后果严重度数据、评价参数等的输入与处理，事故可能性、后果严重度等级、安全等级评价过程的在线与自动实现，评价结果的统计分析以及系统的维护等，为决策者提供决策辅助信息。

4.2 安全评估软件系统与 GIS 平台无缝衔接

地下燃气管网评估所涉及的数据量巨大，且与日常生产的关系十分密切，为了能够将这些数据直观地在地图上显示和分析，我们在安全评估软件的开发中，采用 GIS（地理信息系统）技术和数据库技术相结合的方式进行。评估系统建立在集团 GIS 平台上，与之有机结合。管道状况信息数据库与 GIS 系统共享，安全评估统计和计算为外挂模块，通过与 GIS 的接口实现计算结果的动态显示和定期刷新。将评估结果显示界面，见图 2。

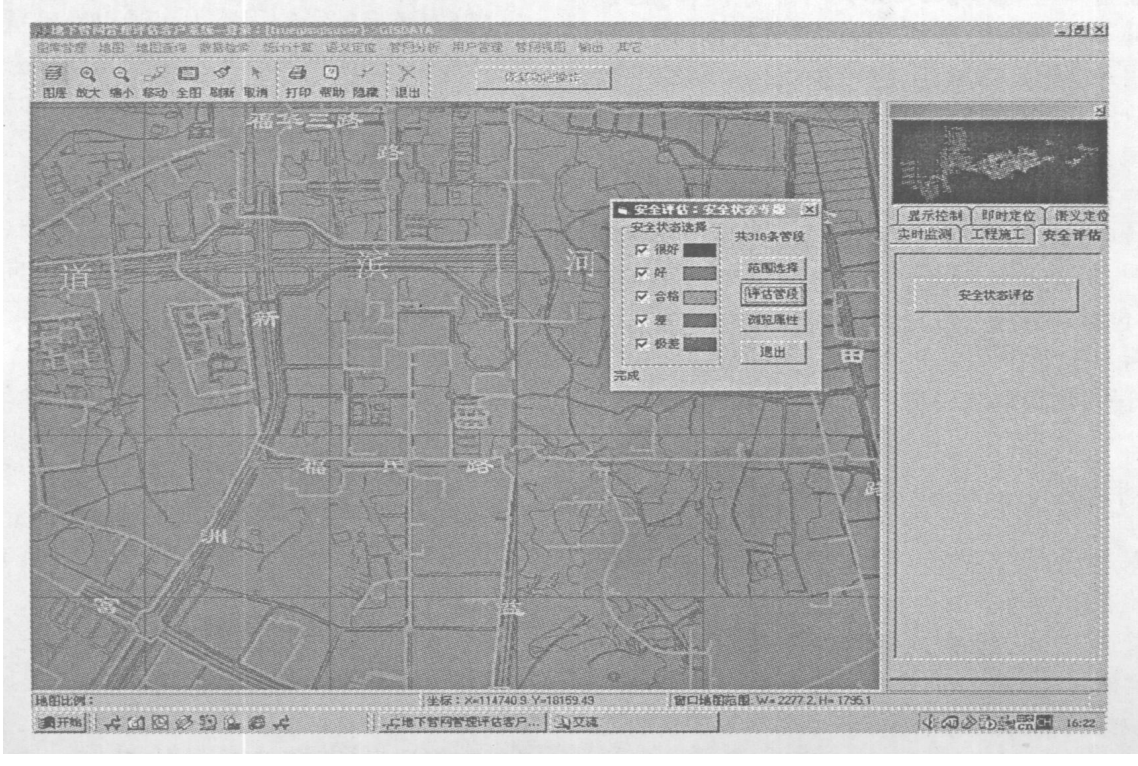

图 2 评估结果显示界面

5 结论

a. 七模板评估系统针对不同问题的内在本质，借鉴风险管理以及应用数学的最新进展，分别建立了相应的符合国情的数学模型，使燃气管道安全管理方式达到国际先进水平。

b. 使用七模板评估系统系统，提高了管网管理的科学性，可以给燃气企业带来巨大的社会和经济效益。系统于 2003 年 1 月通过阶段成果评审后，在

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

继续采集数据，实现自学习、自修正的同时，评估结果开始用于指导生产。已经对燃气管网的日常巡查、抢险作业、维修及更新计划的制订等方面都产生了深远的影响，提高了管网的整体安全性，节约大量的人力、物力和财力。

c. 七模板评估系统具有良好的可移植和可扩充性，随着“西气东输”、“广东 LNG”等一系列天然气项目的实施，城市燃气管网安全运行愈显重要，本系统给国内其他燃气公司提供了一个提高管网管理水平的新平台。

参考文献：

[1] Muhlbauer K W. Pipeline Risk Management Manual [M]. Houston U. S. A.: Gulf Publishing company, 1992.

[2] 孙永庆，张晓庆，张　峥，等. 我国燃气管道风险评估现状、差距及对策[J]. 天然气工业，2004，24(5)：113-115.

[3] 余建层，雷　威. 埋地输油管道腐蚀风险分析方法研究[J]. 油气储运，2001，20(2)：5-12.

[4] 黄维和. 油气管道风险管理技术的研究与应用[J]. 油气储运，2001，20(10)：1-10.

[5] 钱成文，侯铜瑞，刘广文，等. 管道的完整性评价技术[J]. 油气储运，2000，19(7)：11-15.

[6] 董玉华，高惠临，周敬恩，等. 长输管道定量风险评价方法研究[J]. 油气储运，2001，20(8)：5-8.

[7] 聂廷哲，段常贵. 天然气长输管道可靠性故障树模糊分析[J]. 油气储运，2003，22(6)：44-46.

[8] 吴宗之，高进东，张兴凯. 工业危险辨识与评价[M]. 北京：气象出版社，2000.