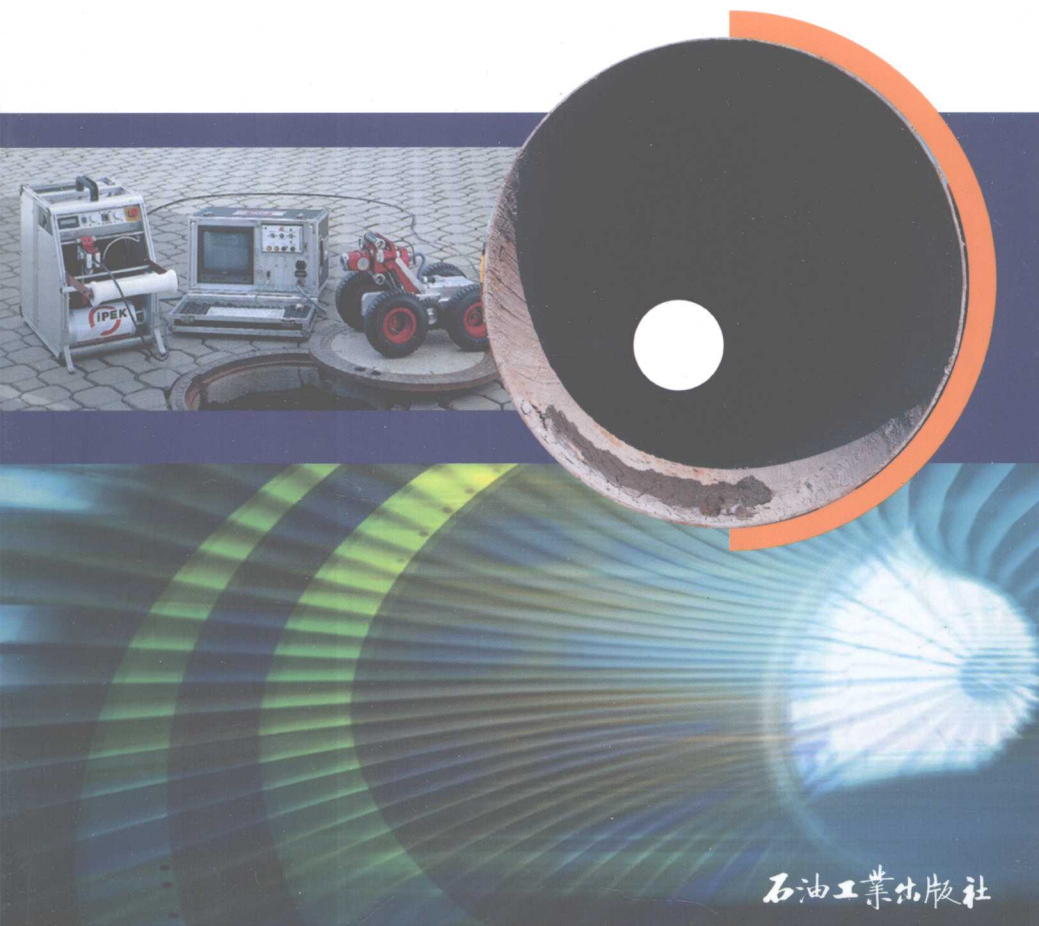




杨印臣 著
YANGYINCHEN

地下管道检测与评估

INVESTIGATE AND EVALUATE FOR UNDERGROUND PIPELINE



石油工业出版社

地下管道检测与评估

杨印臣 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了符合我国国情的地下管道检测方法和运行风险评估模型,阐述了实现风险管理的所有内容和建立评估模型的过程。内容涉及地下管道评估方案设计、模型选用原则、数据采集及处理、现场检测技巧和运营风险控制软件编制。

本书内容丰富,实用性强,可作为从事地下管道安全评价和检测服务单位技术人员的教材和工具书,也可供管道运营企业安全管理人员和大专院校安全工程专业师生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下管道检测与评估 / 杨印臣著.

北京:石油工业出版社,2008.11

ISBN 978-7-5021-6830-8

I. 地…

II. 杨…

III. ①石油管道—检测

②城市—天然气输送—煤气管道—检测

IV. TE973.6 TU996.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 163523 号

地下管道检测与评估

Dixia Guandao Jiance Yu Pinggu

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523736 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

850×1168 毫米 开本: 1/32 印张: 6.375

字数: 117 千字

定价: 30.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序 言

地下管道检测与运行风险评估是一门具有重要实用价值的新兴学科。应用该学科可对管道运行风险大小进行量化，从而找到为减少风险需要投入的资金和改进管理的方向，用有限的投入最大程度地降低整个管网运行风险。

依据风险工程学理论，危险是可产生潜在损失的特征或一组特征，风险是危险转变为现实的概率和损失程度的综合。危险是无法改变的，而风险却在很大程度上随着人们的意志而改变，亦即按照人们的意志可以改变事故发生的概率，或者一旦出现事故后，由于改进防范措施从而改变损失的程度。人们往往有一个概念，认为风险越小越好，这是错误的。因为减少风险是以资金投入为代价的，科学的做法是把风险限定在一个可以接受的水平上，然后研究影响风险的各种因素，再经过优化，找出最佳的投资方案。

地下管道运行风险是事故发生的概率和一旦出现事故时后果严重程度的二元函数。一段管道如果出现事故后果非常严重，尽管事故出现的概率很小，其风险仍是很大的；相反，事故后果轻微，虽然事故出现的概率高，其风险则不大，也就不值得花更多的资金去降低风

险。通过检测和科学运算，准确评估各管段运行风险，进而合理地确定管理投入方案，是实现管网安全、经济运行的基本前提。

地下管道检测与运行风险评估是 20 世纪 80 年代后期由美国发展起来的边缘学科，涉及安全工程、流体输配、结构力学、地质勘探、材料保护、社会调查、行为分析、应用数学、地理信息管理、计算机软件等诸多专业，横跨自然科学和人文科学两大门类。

1995 年，我率先向国内介绍了美国的管道风险评分法。该方法的特点在于对所有影响因素都进行了全面的考虑，并建立了相应的分值体系。然而，其建立基于一系列重要假设，如：（1）影响风险的各个因素是独立的，亦即每个因素独立影响风险的状态，忽略多因素间广泛存在的交互作用，总风险是各独立因素的简单加和；（2）管段中的各个因素为变量时，全段均按最坏的状况考虑；（3）评分方法和各项分值都人为确定，适合于任意管段，具有主观性；（4）各管段的风险等级都是相对的；（5）各类因素引发事故的可能性都相同。这些假定，简化了评估模型，仅需要加减乘除手工计算即可完成，但由于实际情况与这些假定往往出入很大，因而也必然产生较大的偏差。

随着风险工程学理论和应用数学的发展，新的评估模型可以更好地描述多因素交互作用。同时，在计算机技术高速发展的今天，对复杂模型处理已经不成问题，

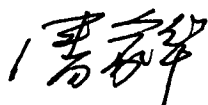
国内外专家学者都在尝试建立基于计算机技术的新的评估模型。

另一方面，风险评分法所用数据来源于对管道历史资料的统计分析和对地下管道的现场检测。美国管道的设计、施工、管理严格规范，有完整可靠的历史记录，管体现状检测则采用智能清管器进行内检测。我国目前的地下管道建设和运行体制，尤其是城市管道，与美国相比有较大差别，原始建设质量参差不齐，历史资料缺失错漏严重，智能清管器根本无法通过。根据国情，我们必须建立以现状检测数据为主、历史资料为辅的评估模型。确定合适的外检测方法，获取可靠的现状数据，就成为进行管道运行风险评估工作的基础。

目前国内许多科研机构、大专院校和管道运营企业已开始地下管道检测方法和评估模型的探索，但由于种种原因，基本上都仍处于起步阶段，更没有关于这方面的专著。《地下管道检测与评估》的作者杨印臣同志，从事油气输配管道安全研究和管理工作的 20 余年，长期就职于中国石油天然气管道科学研究院，对地下管道的设计、施工、管理都有丰富的经验，同时作为国内首批注册安全工程师，具有扎实的风险评估理论功底。其根据现场实际工作体会，总结的检测方法和经验，具有很强的可操作性，进而采用现代数据处理方法进行的评估尝试，填补了国内这方面的空白。

尽管本书还有一些内容需要继续深入探索，有些模

块还需要进一步完善，但仍不失为地下管道检测与评估的优秀著作。我相信本书的出版可以产生抛砖引玉的效果，加快我国地下管道检测与评估工作的进展，进而提高其安全、经济运行的管理水平。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '李学彬' (Li Xuebin), written in a cursive style.

2008 年 5 月

导 读

城市燃气管道的管理正在从传统的安全管理向科学的风险管理过渡，从依靠经验决策向根据数据决策过渡。管道运行风险是固有危险和控制投入的二元函数。用最低的经济投入，使所有管段运行风险都控制在可接受范围内，是管道公司的最高目标，管道检测与评估是实现风险管理的基本前提。

本书介绍了依据风险工程学理论开发的符合我国国情的管道检测方法和评估模型。需要注意，每篇文章内容完整独立，各有侧重，但不是并列的，而是分为7个层次，相互承启，阐述了实现风险管理的所有内容和建立模型过程（图1）。上层文章是下层文章的概括，下层文章是上层文章的细化；顶部4层文章内容属于评估，底部3层文章内容属于检测，恰好也表明了检测是评估的基础，评估是检测的目的，两类工作紧密联系，是不可分割的整体。本书也是一个整体，对于建模内容相同的部分（如模糊综合处理方法），只在一篇文章中详细介绍，其他文章中则一带而过。

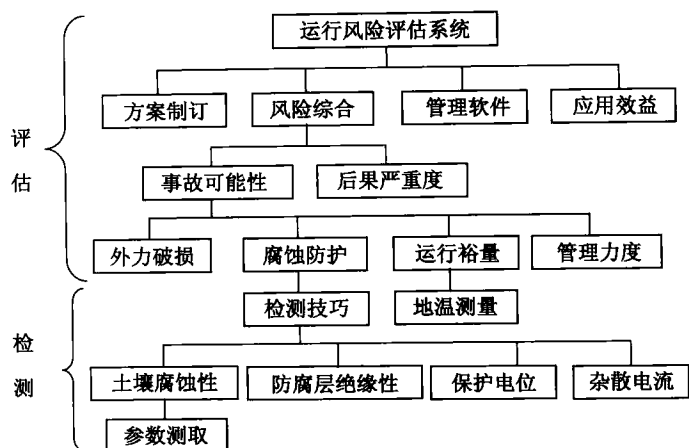


图 1 本文内容结构框图

目 录

城市燃气管道运行风险评估系统·····	1
城市燃气管道风险评估方案的制订·····	9
城市燃气管道风险评估中的腐蚀评价·····	20
城镇地下钢管腐蚀检测技巧·····	30
城镇土壤对地下钢管腐蚀性的评价方法·····	39
城镇燃气管道土壤环境参数测取方法的改进·····	47
地下钢管防腐层绝缘性测试方法的比较·····	55
地下管道阴极保护效果判断方法的改进·····	63
地铁沿线燃气管道杂散电流测试及结果分析·····	74
城市燃气管道风险评估中的外力破损评价·····	84
城市燃气管道风险评估中的运行裕量评价·····	93
聚乙烯燃气管道埋深处地温的确定·····	104
城市燃气管道风险评估中的管理力度评价·····	111
城市燃气管道事故可能性的综合评估·····	121
城市燃气管道风险评估中的后果严重度评价·····	129
城市燃气管道运行风险的综合评估·····	139
地下管道风险评估软件的设计与开发·····	147
应用城市燃气管道风险评估系统的效益分析·····	159

后 记	167
附件一 《管道风险管理手册》模块结构及 分值表	169
附件二 “七模块”风险评估结构图及所选模型 ...	173
附件三 “七模块”风险评估用表总汇	174
表 1 管段原始数据表	174
表 2 管段维护情况表	174
表 3 管段周边地面信息采集表	175
表 4 管段周边土壤信息采集表	176
表 5 管段土壤测量化验结论表	177
表 6 管段电位巡检记录表	178
表 7 管段防腐层绝缘性数据记录表	178
表 8 管段防腐层异常点地面测查数据 记录表	179
表 9 外力破损管理情况调查表	180
表 10 管段外力破损数据采集表	181
表 11 外力破损因素分级表	183
表 12 管段事故后果严重度数据 采集表	188
表 13 事故后果严重度因素分级表	191

城市燃气管道运行风险评估系统

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。本文介绍了适合国内城市燃气管道风险评估系统的结构 and 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,其具有显著的社会效益和经济效益。

1 引言

传统的安全管理正在向风险管理过渡^[1]。二者的根本差异在于,安全管理以主观能力为出发点,主张全力消除一切不利因素,而风险管理则从客观需要出发,强调在经济合理的前提下,将不利因素控制在可接受范围内。

2 风险评估的意义

燃气管道安全运行至关重要,但降低运行风险是要以资金投入为代价的。理论上讲,无限地加大投入,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,无限的投入即不可能,也是不必要的。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。对已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，结果导致运行风险较小的部分管道投入过量，运行风险较大的管道则投入不足。根据木桶理论，管网的运行风险取决于运行风险最大的管段，按照管段的风险等级调整管理投入，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。

燃气管道风险评估是解决上述三个难题的基本前提

和基础。

3 城市燃气管道风险评估系统结构

根据建设部“十五”科技发展规划的要求，深圳燃气集团于2001年初在国内率先开展“城市燃气管道风险评估系统”课题研究。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、运行裕量、管理力度四个模块综合确定，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，根据风险矩阵确定每个管段的运行风险等级。整个系统由7个模块组成（图1），简称“七模块评估系统”。

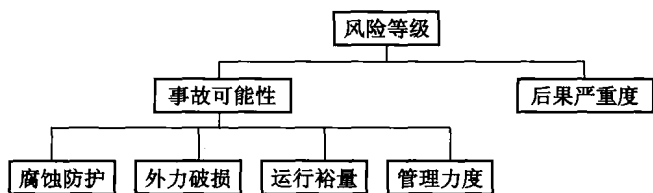


图1 城市燃气管道风险评估系统模块结构图

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）。在聚类 and 主成分分析的基础上，经过不断的探索，分别建立了人工神经

网络和线性综合评估的数学模型。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，最终确定采用人工神经网络模型。其具有强大的自学习、自修正功能，便于今后的扩充和移植。

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^[2]。根据影响外力破损因素的具体情况，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，算得各种基本事件的结构重要度，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。

运行裕量的影响因素都可以准确量化，且各因素间相关度较低，适合建立多因素评分模型。模型参数（权重和标准分）由专家调查法确定，创新性地提出了专家意见综合可信度的概念和计算方法。

管理力度采用人员可靠性分析方法，基于对燃气管道运行和维护工作流程的特征分析，确定根据巡查员的合格性、熟练性^[3]、稳定性、工作负荷量、体力差异等因素，统计回归各评估参数，得到管理力度等级的评估模型。

腐蚀防护、外力破损、运行裕量、管理力度四方面对管道爆燃事故可能性的贡献是不同的，采用德尔菲法确定各个方面的权重，经过模糊综合得到每个管段的事

故可能性的模糊等级。

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程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，矩阵包含轻微风险、一般风险、较大风险、极大风险共4个数值。矩阵是非对称的，偏重于后果严重度。

4 城市燃气管道风险评估软件

依据各个模型的原理，编制相应的计算模块，并集成为风险评估软件，其基本功能支持管网数据和评价模型参数的输入、处理与调整，各管段运行风险等级和各专项评估等级、评价过程的在线与自动实现，管网数据或评价结果的统计和态势分析，软件维护的权限设置等，为决策者提供决策辅助信息。

地下燃气管道评估所涉及的数据量巨大，且与日常

