

基于 GIS 的油气管道高后果区识别研究

杨宏伟¹ 张松¹ 管磊² 信硕²

1. 中国石油规划总院, 北京 100083;

2. 中油国际尼罗河公司, 北京 100034

摘要:快速、准确地识别出油气管道高后果区,对降低管道沿线人员伤亡、财产损失以及环境破坏具有重要作用。当前油气管道高后果区识别工作存在任务重、效率低、识别准确率低等问题。为了更好地开展油气管道高后果区识别工作,梳理了国内外油气管道高后果区识别的技术现状、高后果区的主要类型及识别规则,提出了一种基于 GIS 缓冲区分析的油气管道高后果区识别方法,并利用该方法对某地区输油管道进行高后果区识别实践,快速识别出该地区输油管线的高后果区地段。结果证明,该方法具有效率高,节省人力、财力和物力的优势,为油气管道高后果区识别工作提供了方法借鉴。

关键词:GIS;高后果区;管道;缓冲区分析

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.05.021

Research on Oil and Gas Pipeline High Consequence Areas Identification Based on GIS

Yang Hongwei¹, Zhang Song¹, Guan Lei², Xin Shuo²

1. CPPEI, Beijing, 100083, China;

2. Sino-Pipeline International Company Nile Branch, Beijing, 100034, China

Abstract: Quickly and accurately identifying the high consequence areas of oil and gas pipelines plays an important role in reducing casualties, property losses and environmental damage along the pipeline. At present, the identification of high consequence areas of oil and gas pipelines has some issues, such as heavy task, low efficiency and low accuracy. This paper collects the technical status of high consequence areas identification of oil and gas pipeline at home and abroad, the main types and identification rules of high consequence areas, and proposes a method for identifying high consequence areas of oil and gas pipelines based on GIS buffer analysis. The high consequence areas identification practice using this method is carried out on the oil pipelines in a certain area, which quickly identifies the high consequence areas of oil pipeline in the region. It is proved that this method has the advantages of high efficiency and manpower, financial and material resources saving, which provides reference for the oil & gas pipeline high consequence areas identification.

Keywords: GIS; HCAs; Pipeline; Buffer analysis

收稿日期:2019-02-26

基金项目:中国石油天然气集团公司“2017 年第一采油厂集输管道和场站完整性管理试点工程”(G 2017-240)

作者简介:杨宏伟(1987-),男,湖南宁乡人,工程师,硕士,主要从事油气管道研究。

0 前言

油气管道作为天然气和石油的主要运输方式,具有安全、稳定、运输效率高等特点,对保障我国能源安全供需以及经济稳定发展具有重大意义。近30年来,我国经济发展取得了巨大成就,油气管道建设也得到了迅猛发展。截至2017年,我国陆上油气管道总里程超过 12×10^4 km,覆盖全国31个省市自治区,基本形成了全国油气管网^[1]。油气管道已成为推动我国经济发展的能源动脉,影响千家万户。

由于油气管道运输的介质属于易燃、易爆和易扩散的危险化学品,如果管道由于腐蚀或遭受外力破坏发生泄漏、爆炸事故,将对管道附近居民的人生和财产安全、社会生活、自然环境造成较大危害^[2-3]。近年来,我国油气管道事故常有发生,尤其是一些发生在居民密集地段的管道事故,造成了重大人员伤亡和环境污染,产生了较大的社会危害和影响。如,2010年7月大连新港管道发生火灾造成50 km²的海面污染^[4],2013年11月青岛东黄管线发生特大爆炸造成300多人伤亡,经济损失达7.5亿元^[5]。

高后果区是指如果管道发生泄漏会危及公众安全,对财产、环境造成较大破坏的区域^[6]。因此,快速、准确地识别油气管道事故可能造成严重后果的高后果区段,对管道管理人员合理利用资源,针对性地制定管理方案,加强监管和防护,保障管道长期安全稳定运营,避免重大事故发生,降低管道沿线人员伤亡、财产损失和环境破坏具有重要作用。

1 高后果区识别现状

1.1 高后果区识别的技术现状

高后果区的研究最早出现于欧美国家。美国的研究最成熟,已颁布了关于高后果区的数部法案和法规,明确了管道高后果区管理的方案、细则和标准。美国目前运行的输气管道长约 53×10^4 km,液体燃料管道长约 26×10^4 km。为了提高油气管道安全管理水平,2001年,美国出台了API 1160-2001“Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipeline”规程^[7],提出了高后果区识别的相关规程、方法。2002年11月,美国国会通过了“H. R. 3609: The Pipeline Safety Improvement Act of 2002, PSIA”(增进管道安全性法案),该法案对管道开展完整性管理提出了强制要求,明确规定了运营商要在管道高后果区实施完整性管理^[8];在该法案的基础上,美国交通运输部发布了油气等危险品管道安全管理的建议规则。2003年,美国联邦法典(Code of Federal Regulation, CFR)第49 CFR 192 规程^[9]明确了输气管道高后果区的

定义、界定、识别和计算方法以及完整性管理内容;第49 CFR 195 规程明确了危险液体管道高后果区相关管理要求。目前,美国运输部已开发了全球GIS数据库^[10],该数据库能提供管道沿线周边环境、生态分布、人口密集分布数据,绘制出全美地区的管道高后果区域图,对高后果区的管理,减少高后果区事故发生具有重要帮助。印度GAIL公司^[11]利用遥感和GIS系统等先进的地理信息技术对管道沿线的自然环境和人口分布情况进行分析,界定了管道安全边界,对高后果区的识别准确性具有显著效果。

国内对油气管道高后果区的研究起步较晚,没有明确的法律法规支撑。由于近年来不断发生的油气管道安全事故,给人民生命财产以及环境造成了严重影响,国内管道公司开始重视管道高后果区研究。2009年,中国石油最先形成了关于高后果区识别、管理的企业标准Q/SY 1180.2-2009《管道完整性管理规范》,其中定义了高后果区,明确要求评估高后果区是油气管道运行必不可少的一个环节^[12]。2010年,张燃等人^[13]研究了输气管道高后果区失效后的运行风险水平,并制定了高后果区的科学管理方案。2011年,曹斌等人^[14]分析了高后果区失效的第三方因素,提出了保障高后果区管段可靠性措施。2014年,马廷霞等人^[15]通过相关软件开发了高后果区因素数据库。2015年,出台了首个关于油气管道高后果区的国家标准GB 32167-2015《油气输送管道完整性管理规范》,提出了高后果区的识别准则,识别工作的基本要求及管理要求。2016年,王帅^[16]利用构建的管道高后果区评价单元及模型,对石油管道进行了高后果区的识别及风险评价。2017年,张振永等人^[17]在中俄东线失效等级研究中,改进了风险矩阵,并进行了高后果区的评估。

1.2 高后果区识别的类型

油气管道在高后果区发生泄漏事故,造成危害和影响的类型一般分为三类。

1) 人员伤亡:油气管道在城镇、乡村等居民密集区域,或学校、商场、医院、集市等特定的大规模人口活动密集地段发生泄漏而造成火灾或爆炸事故,可能会导致重大伤亡事故。

2) 重要设施损坏:油气管道在工厂、发电站等重要工业设施,或铁路、加油站、车站、码头等重要基础设施,或地下管道等地下构筑物地段发生火灾或爆炸事故,可能会造成重要设施损坏,对社会生活和生产活动产生严重破坏,导致重大经济财产损失。

3) 环境污染:油气管道在重要河流、大型水域、湿地、自然保护区等环境敏感地段发生泄漏,会造成生态环境破坏,对当地生态造成长期影响。

总的来说,高后果区可以分为以上三类,也可以是以上任意两类组合以及包含全部三类^[18]。

2 基于 GIS 高后果区识别方法

油气管道是一个线性工程,而管道高后果区识别的主要内容是识别出管道周围一定距离宽度空间区域内的人员密集区、重要基础设施、环境敏感点等自然和社会因素点,属于地理空间分析的范畴。GIS (Geographic Information System) 作为一门计算机操作工具可以用于数据采集、管理、分析、输入和输出^[19]。GIS 集计算机科学、地理学、环境科学、空间科学、测绘遥感学、城市科学、信息科学与管理科学为一体,可将真实世界的地理数据信息以数字地图中的不同地理图层层来记录^[20]、处理、分析和展示。GIS 作为一种先进地理空间分析技术,具有强大的空间分析功能。GIS 缓冲分析方法能够精确地识别出线性地物两侧指定距离宽度的空间区域范围,很好地支撑管道沿线高后果区的识别工作。

2.1 缓冲区分析

缓冲区分析,又叫邻域分析,是一种常见的 GIS 空间分析算法。缓冲区分析指针对点、线、面等地理空间对象,通过计算机自动构建其周围指定宽度的空间区域,实现空间数据在其领域延伸的地理空间分析方法。常用于分析地理对象的影响范围,如一个化工厂排放废气的污染范围,交通线两侧拆迁范围,缓冲区也可以是地理对象的服务范围,如河流的灌溉范围,电力线路的供电范围,商场、医院、银行的服务范围等。

缓冲区分析的基本思想是给定一个空间实体,确定其邻域,邻域大小由邻域半径 R 决定。空间实体 O_i 的缓冲区可以定义为:

$$B_i = \{x: d(x, O_i) \leq R\}$$
 (1)

式中:对象 O_i 的半径 R 的缓冲区是全部距 O_i 的距离 d 小于等于 R 的点的集合, d 一般是指最小欧式距离。对于多个对象的集合: $O = \{O_i: i = 1, 2, \dots, n\}$ 。

缓冲区分析原理见图 1。

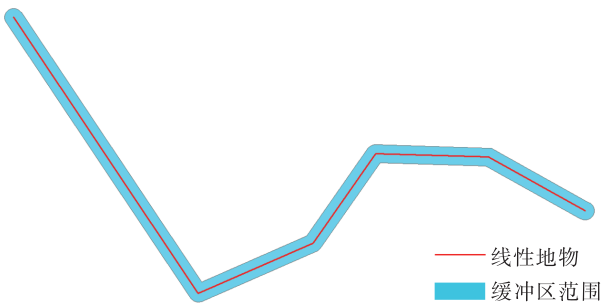


图 1 缓冲区分析原理示意图

2.2 识别的主要流程

1)管道中心线数据获取。通过 PCM 等管道外腐蚀电磁检查设备现场获取管道中心线坐标数据。

2)管道沿线遥感影像数据获取。通过奥维等软件获取管道沿线遥感影像数据,影像数据要满足时效性和识别分辨率的精度要求。

3)数据标准化。将管道中心线坐标数据转换成 GIS 格式,和管道沿线遥感影像数据一并输入到 GIS 系统,统一数据参考的地理和投影坐标系。

4)基于 GIS 缓冲区分析。依据油气管道高后果区识别规则,确定管道中心线两侧的识别距离边界。根据距离边界,在 GIS 系统中对管道中心线进行缓冲区分析,获得管道中心线两侧的缓冲区块。

5)遥感影像解译。对管道中心线两侧缓冲区区域内的遥感影像进行解译,识别出缓冲区内居民区、国道、铁路、森林、河流等重要地形地物。地形地物特征可通过目视解译或影像解译方法进行识别,地形地物特征分布稀疏且简单的情况下,可依据高清遥感影像直接目视识别出管线两侧河流、居民区等影响因素,地形、地物特征分布较密集且复杂的情况下,可以通过样本训练,监督分类的方法对其进行识别和提取。

6)高后果区识别。根据第 5)步中解译出来的管道中心线两侧 50 200 m 距离边界范围内的地形地物特征,结合表 1 输油管道高后果区识别规则,初步识别出管道沿线的高后果区并对其分级,最后进行现场定位复核,最终确认管道沿线高后果区数量和级别。

表 1 输油管道高后果区识别规则表

识别项	分级
管道中心线两侧各 200 m 范围内,任意划分成长度 2 km 并能包括最大聚居户数的若干地段,四层及四层以上楼房(不计地下室层数)普遍集中、交通频繁、地下设施多的区段	Ⅲ级
管道中心线两侧各 200 m 范围内,任意划分成长度 2 km 并能包括最大聚居户数的若干地段,户数在 100 户以上的区段,包括市郊居住区、商业区、工业区、发展区以及不够四级地区条件的人口稠密区	Ⅱ级
管道两侧各 200 m 内有聚居户数在 50 户或以上的村庄、乡镇等	Ⅱ级
管道两侧各 50 m 内有高速公路、国道、省道、铁路及易燃易爆场所等	Ⅰ级
管道两侧各 200 m 内有湿地、森林、河口等国家自然保护区	Ⅱ级
管道两侧各 200 m 内有水源、河流、大中型水库	Ⅲ级

注:Ⅰ级代表最小的严重程度,Ⅲ级代表最大的严重程度。高后果区段相互重叠或相隔不超过 50 m 时,作为一个高后果区段管理。

基于 GIS 高后果区具体识别流程见图 2。

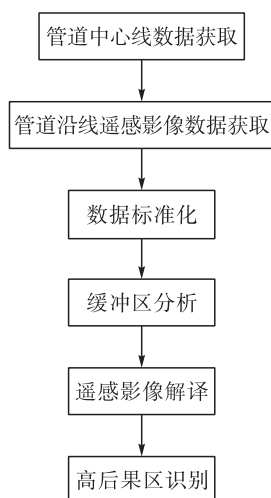


图 2 高后果区识别流程图

2.3 高后果区判定标准

基于 GIS 分析和解译出管线两侧距离边界内的地形地物,管道高后果区段的判定标准按照表 1 要求进行,管

表 2 管线基本信息表

管道名称	介质	建设时间	管径 /mm	壁厚 /mm	长度 /km	压力 /MPa	温度 /℃	防腐层类型
1#	原油	2014 年 8 月	Φ 89	4.5	3.8	1.6	45	环氧煤粉末 + 黄夹克
2#	原油	2013 年 11 月	Φ 114 + Φ 140	5.0	14.3	1.5	45	环氧煤粉末 + 黄夹克
3#	原油	2016 年 7 月	Φ 89	4.0	2.4	0.6	45	环氧煤粉末 + 黄夹克
4#	原油	2006 年 7 月	Φ 60	3.5	0.5	0.9	30	环氧煤沥青
5#	原油	2010 年 6 月	Φ 60	3.5	1.8	0.6	30	环氧煤粉末 + 黄夹克
6#	原油	2015 年 1 月	Φ 60	3.5	1.1	0.6	30	环氧煤沥青
7#	原油	2011 年 7 月	Φ 60	3.5	0.6	0.2	30	环氧煤沥青
8#	原油	2012 年 8 月	Φ 89	4.5	0.3	0.3	—	环氧煤粉末 + 黄夹克
9#	原油	2013 年 9 月	Φ 60	3.5	0.7	0.2	—	环氧煤粉末

3.3 基于 GIS 高后果区识别

依据 PCM 设备检测到 9 条管线的中心线坐标数据,将坐标数据转换成 GIS 数据格式。利用地图数据软件,下载各条管线沿线的遥感影像,并统一输入到 GIS 系统中进行数据标准化,统一管线中心线和沿线遥感影像的地理参考系,接着利用 GIS 缓冲区分析方法,分别识别出各条管线中心线两侧 50、200 m 的距离边界,解译出各条管线两侧的遥感影像人口密集区、重要设施、环境敏感点等地形地物特征,依据高后果区的识别规则识别出各条管线的高后果区,依据表 1 的识别规则,对管道中心线两侧 50、200 m 边界范围内,河流和居民等地形地物特分布情况进行管道管段高后果区识别,最后进行现场复

核,确认管道沿线的高后果区。

3 基于 GIS 高后果区识别实践

3.1 项目背景

某管道高后果区识别的工作区域所在镇区面积约 245 km²,辖 18 个村,91 个村小组,2 000 余户,10 000 余人。整个地貌呈“一川两岭三条沟”,两侧山岭起伏,表层全被黄土覆盖。沟壑纵横,狭窄陡峻,下部红砂石悬崖纵立,上部红粘土多外露,自然植被差。境内交通便捷,信息通畅,基础条件较好。工作区域内分布着 2 条小型河流,河宽约 20 m,常年有流水,管道周边零散分布着居民区,人口密度低。

3.2 管道基本情况

本次高后果区识别管线总共 9 条,管线基本情况见表 2。

核,确认管道沿线的高后果区。

3.4 识别结果

3.4.1 1#管线

在 GIS 系统中,结合遥感影像可知,1#管线由南向北敷设,管线长度 3.8 km。该管线 105 ~ 190 m 处、3 470 ~ 3 520 m 处管线西侧 200 m 区域内有河流流过,269 ~ 650 m 处管线两侧 50 m 范围内存在建筑物,1#管线高后果区识别情况见图 3。

通过现场人员踏勘复核得知 269 ~ 650 m 处管线周围建筑物为农户居住场所,不属于易燃易爆场所。故该管线存在 2 处高后果区,分别为 HCA 001(105 ~ 190 m),Ⅲ级和 HCA 002(3 470 ~ 3 520 m),Ⅲ级。

3.4.2 2#管线

2#管线由东北向西南敷设,管线长度 5.5 km。通过 GIS 分析,结合遥感影像可知该管线 1 150 ~ 2 080 m 处管线两侧 200 m 区域内有河流流过,5 200 ~ 5 500 m 处管线两侧 50 m 范围内有杏河集输站,为易燃易爆场所,1 280 ~ 1 315 m 处、3 390 ~ 3 530 m 处、4 840 ~ 4 980 m 处管段两侧 50 m 范围内存在建筑物,管线高后果区识别情况见图 4。

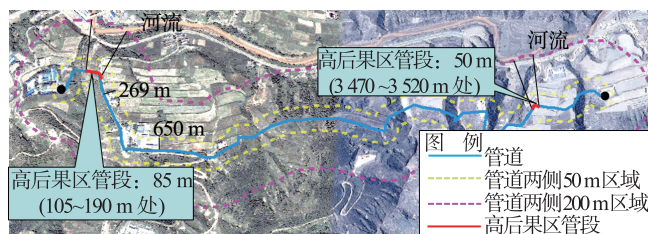


图 3 1#管线高后果区识别图

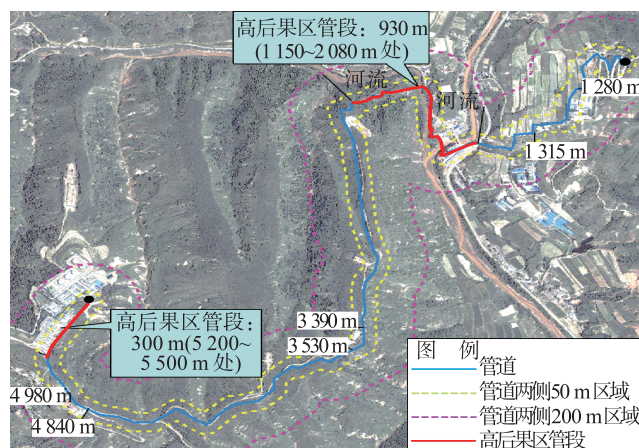


图 4 2#管线高后果区识别图

通过现场人员踏勘复核得知 1 280 ~ 1 315 m 处、3 390 ~ 3 530 m 处、4 840 ~ 4 980 m 处周围建筑物均为农户居住场所,不属于易燃易爆场所。故 2#管线的高后果区为 2 处,分别是 HCA 001 (1 150 ~ 2 080 m), III 级和 HCA 002 (5 200 ~ 5 500 m), I 级。

其余 7 条管线如上分别进行了高后果区识别工作。

4 结论

全国油气管网已基本形成,如何保障管道的安全稳定运行,避免发生安全事故,是今后管道管理工作的重中之重。高后果区的识别工作作为管道安全管理的前期工作,显得尤为重要。目前,管道高后果区的识别工作,主要是管道管理、巡线人员进行现场勘测识别,存在工作任务重、效率低,识别准确率低的问题。本文结合现行遥感影像数据、GIS 技术,提出了一种关于管道高后

果区识别新方法。实践证明,基于 GIS 的高后果区识别方法能够快速、准确地进行高后果区的识别工作,具有效率高,节省人力、财力和物力的优势,能较好地支撑管道安全管理工作。

我国地形地貌多样,管道沿线的自然和社会环境复杂多变,高后果区识别工作内容多、任务重,未来应该充分利用现有的地理信息数据和先进的地理信息技术,实现高后果区的自动识别、提取和分析统计功能。

参考文献:

- [1] 白嘉祺. 我国油气管道的建设现状与发展趋势浅析[J]. 中小企业管理与科技, 2016(4): 98.
- [2] Bai Jiaqi. Brief Analysis on the Construction Status and Development Trend of Oil and Gas Pipelines in China [J]. Management & Technology of SME, 2016 (4): 98.
- [3] 张圣柱, 多英全, 石超, 等. 由“7·28”南京丙烯管道爆炸事故探讨我国地下管道存在的安全问题[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(2): 46-49.
- [4] Zhang Shengzhu, Duo Yingquan, Shi Chao, et al. Investigation of the Problems in Chinese Underground Pipeline from “7·28” Propylene Pipeline Deflagration Accident in Nanjing [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7 (2): 46-49.
- [5] 张宏. 解读黄岛事故调查报告, 落实管道完整性管理[J]. 油气储运, 2014, 33(11): 1171-1173.
- [6] Zhang Hong. To Implement the Pipeline Integrity Management by Learning from Huangdao Accident [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2014, 33 (11): 1171-1173.
- [7] 杨春辉. 长距离输油管道消防安全管理策略探析[J]. 山东工业技术, 2017(6): 79-80.
- [8] Yang Chunhui. Analysis on the Fire Safety Management Strategy for Long-Distance Oil Pipeline [J]. Shandong Industrial Technology, 2017 (6): 79-80.
- [9] 刘小辉, 刘智勇, 许述剑. 人口密集多网并汇区油气管道的安全性与可靠性分析[J]. 安全、健康和环境, 2014, 14 (12): 1-4.
- [10] Liu Xiaohui, Liu Zhiyong, Xu Shujian. Analysis on the Safety and Reliability of Oil and Gas Pipeline in Populous and Multi Pipe Network Crossing Zone [J]. Safety Health & Environment, 2014, 14 (12): 1-4.
- [11] 年致彤. 输气管道的完整性管理[J]. 城市燃气, 2008(11): 22-26.
- [12] Nian Zhitong. Gas Distribution Pipeline System Integrity Management [J]. Urban Gas, 2008 (11): 22-26.
- [13] American Petroleum Institute. Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipeline: API 1160 [S]. Washington, D.

- C. : American Petroleum Institute, 2001.
- [8] Mohitpour M, Murray A, McManus M. Pipeline Integrity Assurance: A Practical Approach [M]. New York: ASME, 2010.
- [9] U. S. Department of Transportation. Transportation of Natural and Other Gas by Transmission Lines and Mains Subpart GJN: 49 CFR 192 [S]. Washington, D. C. : Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, 2003.
- [10] 史志彬. 油气管道安全评价综合数据库的建设[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(5): 57-58.
Shi Zhibin. The Construction of Safety Assessment Integrated Database for Oil Gas Pipeline [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2008, 27 (5): 57-58.
- [11] 姚安林, 刘艳华, 李又绿, 等. 国内外油气管道完整性管理技术对比研究[J]. 石油工业技术监督, 2008, 24(3): 5-12.
Yao Anlin, Liu Yanhua, Li Youlü, et al. The Contrastive Study on the Integrity Management Technology of Oil & Gas Pipeline at Home and Abroad [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2008, 24 (3): 5-12.
- [12] 谢明, 刘昊, 赖俊西. 油气管道高后果区识别数据准备[J]. 当代化工, 2014, 43(7): 1389-1391.
Xie Ming, Liu Hao, Lai Junxi. Data Preparation for Identification of High Consequence Areas of Oil and Gas Pipeline [J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43 (7): 1389-1391.
- [13] 张燃, 李建华, 秦林, 等. 输气管道不同失效模式下的高后果区半径确定方法[J]. 油气田地面工程, 2010, 29(2): 20-21.
Zhang Ran, Li Jianhua, Qin Lin, et al. The Determination Method of Radius with High-consequence Area in Different Failure Model of Gas Transmission Pipeline [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2010, 29 (2): 20-21.
- [14] 曹斌, 廖柯熹, 罗敏, 等. 川渝地区管道高后果区第三方破坏因素分析[J]. 天然气与石油, 2011, 29(2): 12-14.
Cao Bing, Liao Kexi, Luo Ming, et al. Analysis on the Third Party Damage Factors in High Consequence Areas of Gas Pipelines in Sichuan and Chongqing [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29 (2): 12-14.
- [15] 马廷霞, 周俊鹏, 李安军. 长输管道高后果区识别系统软件的设计[J]. 油气储运, 2014, 33(7): 719-722.
Ma Tingxia, Zhou Junpeng, Li Anjun. Design of High Consequence Area Identification System Software of Long-Distance Pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2014, 33 (7): 719-722.
- [16] 王帅. 成品油管线高后果区风险评价与对策研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2016.
Wang Shuai. Research on Risk Assessment and Countermeasures of High Consequence Areas for Oil Pipeline [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2016.
- [17] 张振永, 周亚薇, 张金源. 国内天然气管道强度设计系数的评估研究[J]. 天然气工业, 2017, 37(4): 116-122.
Zhang Zhenyong, Zhou Yawei, Zhang Jinyuan. Evaluation on Strength Design Coefficients of Domestic Natural Gas Pipeline [J]. Natural Gas Industry, 2017, 37 (4): 116-122.
- [18] 王晓霖, 帅健, 宋红波, 等. 输油管道高后果区识别与分级管理[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(6): 149-154.
Wang Xiaolin, Shuai Jian, Song Hongbo, et al. Identification and Hierarchical Management of High Consequence Areas for Oil Pipeline [J]. China Safety Science Journal, 2015, 25 (6): 149-154.
- [19] 李亮. GIS在油气管道完整性管理应用研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2015.
Li Liang. Research and Application of GIS on the Oil and Gas Pipeline Integrity Management [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2015.
- [20] 郭达志. 地理信息系统原理与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2014.
Guo Dazhi. Principles and Applications of Geographic Information Systems [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2014.