

文章编号: 1000-8241(2019)04-0379-06

基于 GIS 的兰成原油管道地质灾害风险评价

冼国栋¹ 刘奎荣¹ 吴森² 谭超²

1. 中国石油西南管道公司; 2. 四川省地质工程勘察院

摘要: 兰成原油管道途经区域地质环境条件复杂、地质灾害类型多样,对管道工程和人民生命财产安全潜在危害严重。为了应对各种地质灾害风险,基于 GIS 技术构建了区域管道地质灾害风险评价模型与评价指标体系,将管道沿线地质灾害风险划分为地质灾害高风险、较高风险、中等风险、较低风险、低风险 5 个等级。对兰成原油管道沿线地质灾害风险进行评价,根据地质灾害风险评价分区结果,将管道划分成 53 个地质灾害风险段。评价结果与兰成原油管道实际情况相符,为其地质灾害预防、治理提供了重要的辅助,也可为其他管道的地质灾害风险评价提供参考。(图 3,表 5,参 20)

关键词: 兰成原油管道; 地质灾害; 危险性; 易损性; GIS; 风险评价

中图分类号: TE88

文献标识码: A

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2019.04.004

GIS based risk assessment on geological disasters along Lanzhou–Chengdu Crude Oil Pipeline

XIAN Guodong¹, LIU Kuirong¹, WU Sen², TAN Chao²

1. PetroChina Southwest Pipeline Company;

2. Sichuan Institute of Geological Engineering Investigation

Abstract: Along Lanzhou–Chengdu Crude Oil Pipeline, the geological conditions are complex with various geological hazards, which brings about serious potential hazards to the safety of pipeline engineering and people's life and property. In this paper, a risk assessment model and evaluation index system of regional pipeline geological disaster were established based on GIS technology to cope with the hazards of various geological disasters. Then, the risk of the geological disasters along the pipeline was divided into five grades, i.e., highest risk, higher risk, moderate risk, lower risk and lowest risk. Finally, the risk of the geological disasters along Lanzhou–Chengdu Crude Oil Pipeline was evaluated, and the pipeline was divided into fifty-three risk sections of geologic disaster according to the zoning results of geological hazard risk assessment. The evaluation results are consistent with the actual situations of Lanzhou–Chengdu Crude Oil Pipeline. The research results play an important auxiliary role in the prevention and treatment of geological hazards, and also provide a reference for the risk assessment on the geological disasters along other pipelines. (3 Figures, 5 Tables, 20 References)

Key words: Lanzhou–Chengdu Crude Oil Pipeline, geological disasters, hazard, vulnerability, GIS, risk assessment

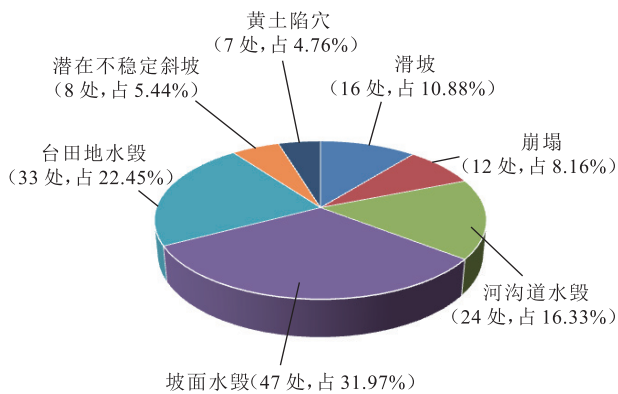
管道沿线地质灾害产生的土壤运动和地表变形会使得管道产生弯曲、断裂等,导致管道输送介质发生泄漏,对管道的安全运营造成危害^[1]。管道地质灾害风险管控方案依据区域风险评价、风险分级等制订,根据不同的风险等级提出不同的风险管控措施,因此,精确、快速地对管道沿线地质灾害风险进行评价,并将其分为不同等级,成为管道地质灾害风险管控的关键环节之一。目前,针对区域管道地质灾害的风险评价,大多采用常规地灾风险评价模型及评级体系。但区域管

道地质灾害风险评价应当是对地质灾害发生的危险性和灾害损失的可能性做出的综合性分析评价,是地质灾害危险性与易损性的组合。地质灾害的易损性不仅包括灾害本身造成的损失,还包括管道因地质灾害破坏而发生泄漏造成的损失。在管道沿线地质灾害评价方法上,传统的评价方法通常以人工划定网格定性判别为主,缺乏信息化的处理手段,大大降低了风险评价的精度与速度。GIS 作为一种信息化处理技术,可以为地质灾害风险评价提供有效支撑,大大提升地质灾

害风险评价的精度与速度。以兰成原油管道地质灾害风险评价为例,基于GIS技术,构建了一种区域管道地质灾害风险评价方法,以期为管道沿线地质灾害的预防、治理提供决策依据。

1 管道沿线地质灾害概况

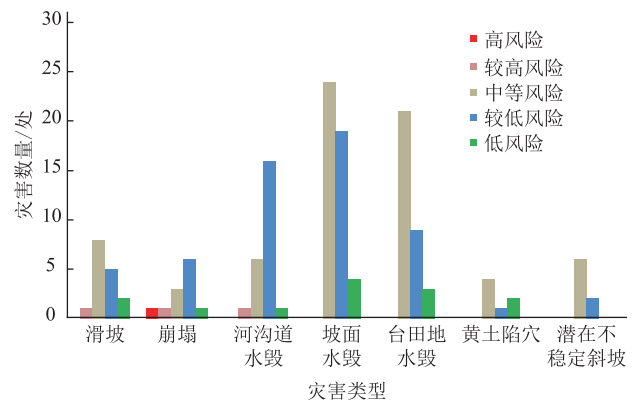
兰成原油管道干线始于甘肃省兰州市西固首站,止于四川彭州末站,途经3个省、9个市、20个县(市、区)行政区域,全长882 km。管道全线采用L450管材,管径610 mm,设计输送压力8~13.4 MPa,年设计输量 $1\ 000 \times 10^4\ t^{[2-3]}$ 。管道途经区域地质环境条件复杂,地势起伏大、地貌形态众多,穿越黄土高原区、秦岭大巴



(a) 不同类型地质灾害发育数量及比例

山高中山区、四川盆地区等地貌单元。同时,管道沿线气候复杂多变,穿越黄土高原湿润气候区、秦巴山区山地亚热带湿润气候区、四川盆地中亚热带湿润气候区等气候区,年均降雨量100~1 100 mm。复杂的地质、气候环境条件为地质灾害的发育创造了有利条件,给管道的安全运营带来了隐患^[3]。

根据2017年汛期兰成原油管道沿线地灾排查资料^[4]显示,管道沿线共发育各类地质灾害隐患点147处,其中地质灾害高风险点1处、较高风险点3处、中等风险点72处、较低风险点58处、低风险点13处(图1)。其灾害类型涉及滑坡,崩塌(危岩),水毁(坡面水毁、河沟道水毁、台田地水毁),黄土陷穴以及潜在不稳定斜坡7种。



(b) 不同风险等级分布情况

图1 兰成原油管道沿线地质灾害发育分布情况

2 评价模型及评价指标体系

2.1 地质灾害风险评价模型

区域管道地质灾害风险评价是对地质灾害发生的危险性和灾害损失(包括管道因地质灾害破坏泄漏造成的后果损失)的可能性做出的综合性分析评价^[5-6],是地质灾害危险性、易损性的组合,灾害的易损不仅包括灾害本身造成的损失,还包括管道因地质灾害破坏而发生泄漏造成的损失。因此,区域管道地质灾害风险要综合考虑危险性与易损性两方面的影响^[6],其评价模型计算式为:

$$R=HV \quad (1)$$

式中: R 为地质灾害的风险值; H 为地质灾害的危险性值; V 为地质灾害易损性值。

地质灾害危险性、易损性评价采用基于GIS多因子综合叠加模型^[7-11],其模型计算式为:

$$H=W_i h_i \quad (2)$$

$$V=W_j v_j \quad (3)$$

式中: h_i 为第*i*个危险性评价指标的状态值; W_i 为第*i*个危险性评价指标的权重; v_j 为第*j*个易损性评价指标的状态值; W_j 为第*j*个易损性评价指标的权重。

兰成原油管道风险评价以管道为中心线,管道两侧1 km范围作为评价区,采用15 m×15 m的规则栅格单元作为管道地质灾害风险评价的最小单元,并将评价区划分成 7.84×10^6 个评价单元。

2.2 地质灾害风险评价指标体系

兰成原油管道途经黄土高原区、秦岭大巴山高中山区、四川盆地区3大地貌单元(表1),在不同地貌单

表1 兰成原油管道不同地貌单元地质灾害分布类型及数量

地貌单元	灾害数量/处						
	滑坡	崩塌	坡面水毁	河沟道水毁	台田地水毁	黄土陷穴	潜在不稳定斜坡
黄土高原	1	0	15	4	2	7	1
秦岭大巴山高中山区	11	12	24	17	24	0	5
四川盆地	4	0	8	3	7	0	2

元的地质灾害分布类型与数量有所不同。因此,地质灾害危险性评价指标需要按照地貌单元的不同分别构建^[12-16]。但易损性评价指标^[17]仅仅代表了地质灾

害破坏和损害的敏感性,而非地质灾害本身,故评价指标可以统一选取。由此,构建得到兰成原油管道各地貌区的地质灾害风险评价指标体系(图 2)。

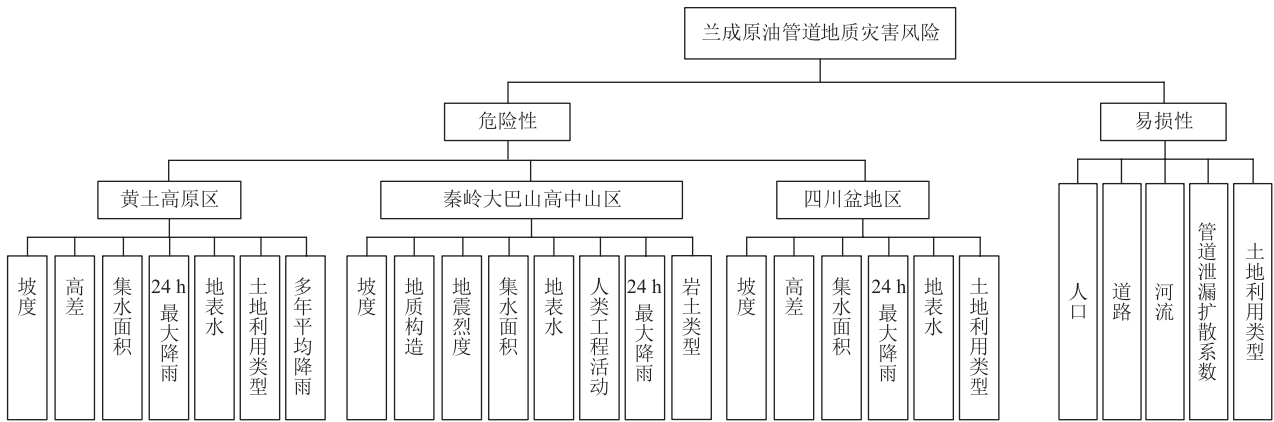


图 2 兰成原油管道地质灾害风险评价指标体系框图

2.3 评价指标权重

采用贡献率模型确定兰成原油管道地质灾害风险评价指标权重:①通过分析管道沿线地质灾害发育特征及易损程度,对评价指标在每个灾害的影响程度进行打分,其中 1 分为评价指标对灾害的影响小或易损小、2 分为影响中等或易损中等、3 分为影响大或易损大;②将各灾害对每种指标的贡献总值进行汇总,通过归一化处理,最终确定各评价指标的权重(表 2)^[17]。贡献率模型的计算式为:

$$r_m = \sum_{n=1}^N r_{mn} \tag{4}$$

$$W_m = \frac{r_m}{\sum_{m=1}^M r_m} \tag{5}$$

式中: r_{mn} 为第 n 个灾害样本中第 m 个评价指标的分值; N 为地质灾害样本的个数; r_m 为第 m 个评价指标的贡献总值; M 为评价指标的个数; W_m 为第 m 个评价指标的权重。

表 2 兰成原油管道地质灾害评价指标权重

地质灾害分类	评价指标	指标权重		
		黄土高原区	秦岭大巴山高中山区	四川盆地区
危险性	坡度	0.13	0.13	0.17
	高差	0.11	—	0.11
	集水面积	0.13	0.11	0.16
	24 h 最大降雨	0.15	0.12	0.18
	地表水	0.13	0.10	0.13
	土地利用	0.14	—	0.14
	多年平均	0.08	—	—
	地质构造	—	0.10	—
	地震烈度	—	0.12	—
	人类工程活动	—	0.12	—
易损性	岩土类型	—	0.12	—
	灾害点密度	0.13	0.08	0.11
	人口	0.30	0.30	0.30
	道路	0.15	0.15	0.15
	河流	0.35	0.35	0.35
	管道泄漏扩散系数	0.10	0.10	0.10
	土地利用类型	0.10	0.10	0.10

3 评价指标的量化与分级

在建立评价指标体系后,需要进一步确定指标分

级。将评价指标分级与风险分级数量相对应,共划分为 5 级,分别赋值为 5、4、3、2、1(表 3)。同理,易损性评价指标相应地也分为 5 级,且赋值标准相同(表 4)。

表3 兰成原油管道地质灾害危险性评价指标分级及赋分情况

坡度/ (°)	高差/ m	集水面积/ m ²	24 h 最大 降雨量/ mm	地表水/ m	土地利用 类型	多年平均 降雨量/ mm	地质构造/ m	地震烈 度/度	人类工 程活动/ m	岩土类型	灾害点密度/ (处·km ⁻²)	赋分
<10	0~20	<100	<100	>60	林地、草地	<200	>4 000	6	—	软岩、 第四系土	0~0.1	1
10~20	20~40	1 000~3 000	—	45~60	建筑、其他	200~300	3 000~4 000	7	>15	岩浆岩	0.1~0.2	2
20~30	40~60	3 000~6 000	100~125	30~45	裸地	300~400	2 000~3 000	8	—	碳酸岩	0.2~0.5	3
30~40	60~80	5 000~8 000	—	15~30	旱地	400~500	1 000~2 000	9	0~15	碎屑岩	0.5~1.0	4
>40	>80	>8 000	>125	0~15	水田	>500	<1 000	≥10	—	变质岩	>1.0	5

注：高差指标采用微地貌地形高差表示，地质构造指标采用距离构造中心线的直线距离表示，人类工程活动采用距离道路、房屋等人类工程活动中心线的直线距离表示。

表4 兰成原油管道地质灾害易损性评价指标分级标准

管道与建筑物、道路、河流的直线距离/m			管道泄漏扩散系数/(°)	土地利用类型	赋分
建筑物	道路	河流			
>200	>60	>200	<10	其他	1
150~200	45~60	150~200	10~15	—	2
100~150	30~45	100~150	15~20	旱地	3
50~100	15~30	50~100	20~25	—	4
<50	0~15	<50	≥25	水田(含水域)	5

注：管道泄漏扩散系数指标是指管道泄漏扩散容易程度，采用地形坡度表示。

4 地质灾害风险分区

基于GIS多因子综合叠加模型，利用栅格计算器将获取到的地质灾害危险性、易损性各指标与其对应的权重进行加权计算，然后综合危险性、易损性的评价结果，最终完成区域管道地质灾害风险值计算。

合理地确定管道沿线地质灾害风险等级界线值

是风险区划的关键环节之一，一般采用自然断点法和等间距法^[17-19]。根据兰成原油管道沿线地质灾害情况，选用自然断点法对其地质灾害风险值进行5级划分^[20]：高风险($R \geq 3.7$)、较高风险($3.3 \leq R < 3.7$)、中等风险($3 \leq R < 3.3$)、较低风险($2.5 \leq R < 3$)、低风险($R < 2.5$)。由此，得到管道沿线地质灾害风险分区图，并将其划分成53个风险段(图3、表5)。

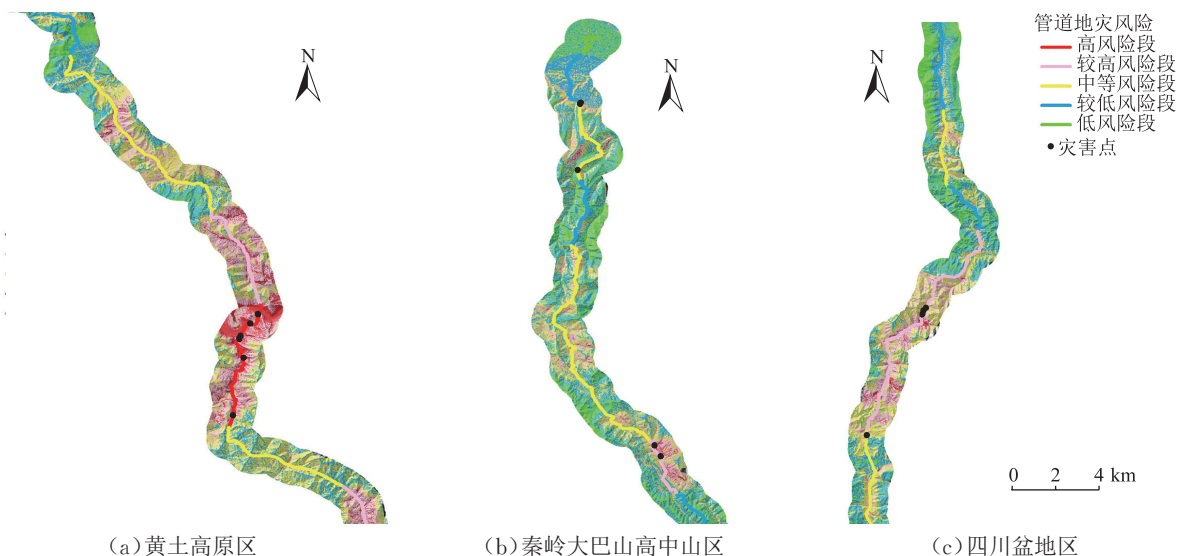


图3 兰成原油管道地质灾害风险分区、分段图(局部)

表 5 兰成原油管道沿线地质灾害风险等级分段评价结果

风险等级分段	管道里程桩范围	风险段长度/km	地质灾害发育数量及密度
高风险段	K0452~K0460	8.0	灾害点 22 处,灾害点发育密度为 2.75 处/km
较高风险段	K0029+500~K0033、K0128+600~K0160、K0240~K0259、K0374~K0389、K0446~K0452、K0467~K0496、K0536+500~K0573、K0638~K0649、K0736~K0740、K0763+300~K0768、K0785~K0788、K0818~K0821、K0838~K0840、K0846~K0848、K0863~K0865、K0879~K0882	175.1	灾害点 61 处,灾害点发育密度为 0.35 处/km
中等风险段	K0005+500~K0011、K0015~K0029+500、K0048+400~K0052+500、K0058+800~K0069+300、K0093+200~K0122、K0271~K0280、K0306~K0339、K0366~K0370+500、K0389~K0416、K0433~K0446、K0460~K0467、K0496~K0530、K0573~K0638、K0649~K0694	300.9	灾害点 43 处,灾害点发育密度为 0.14 处/km
较低风险段	K0002~K0005+500、K0011~K0015、K0033~K0048+400、K0052+500~K0058+800、K0069+300~K0093+200、K0122~K0128+600、K0160~K0240、K0259~K0271、K0280~K0306、K0339~K0366、K0370+500~K0374、K0416~K0433、K0530~K0536+500、K0694~K0736、K0740~K0763+300、K0768~K0785、K0788~K0818、K0821~K0838、K0840~K0846、K0848~K0863、K0865~K0879	396.0	灾害点 21 处,灾害点发育密度为 0.05 处/km
低风险段	K0000~K0002	2.0	灾害点 0 处,灾害点发育密度为 0

5 结论

基于 GIS 技术构建了区域管道地质灾害风险评价模型与评价指标体系,将管道沿线地质灾害风险划分为地质灾害高风险、较高风险、中等风险、较低风险、低风险 5 个等级,解决了区域管道地质灾害风险定量评价的难题。兰成原油管道地质灾害风险评价综合考虑了地质灾害危险性、易损性,为了使得评价结果更加准确科学,分别构建了黄土高原区、秦岭大巴山高中山区、四川盆地区 3 个地貌单元的区域管道地质灾害风险评价指标体系,对其进行分区评价,最终将管道划分成了 53 个风险段。但研究结果对于易损性评价,仅考虑了灾害本身损失及管道因地质灾害破坏而发生泄漏造成的损失,并未对管道的疲劳寿命、管体缺陷等方面进行考虑,下一步有待开展相关研究。

参考文献:

[1] 王其磊. 长输管道地质灾害定量风险评价技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012: 2-3.
WANG Q L. Research on quantitative geological disaster risk evaluation of long distance pipeline[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2012: 2-3.

[2] 丁俊刚,王中良,刘佳,等. 兰成原油管道投产实践[J]. 油气储运, 2015, 34(11): 1198-1201.
DING J G, WANG Z L, LIU J, et al. Commissioning practice of Lanzhou-Chengdu crude oil pipeline[J]. Oil & Gas Storage and

Transportation, 2015, 34(11): 1198-1201.

[3] 孙云峰,王中良,魏亮,等. 兰成原油管道投产过程中的问题与实践[J]. 油气储运, 2016, 35(5): 564-566.
SUN Y F, WANG Z L, WEI L, et al. Problems and practices in commissioning of the Lanzhou-Chengdu Crude Oil Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(5): 564-566.

[4] 邹永胜. 西南山区油气管道完整性管理探索与实践[EB/OL]. (2017-12-22)[2018-02-06]. https://mp.weixin.qq.com/s/d01-b6EfhNBvIPW5mn_h0g.
ZOU Y S. Exploration and practice of oil and gas pipeline integrity management in southwest mountainous areas[EB/OL]. (2017-12-22)[2018-02-06]. https://mp.weixin.qq.com/s/d01-b6EfhNBvIPW5mn_h0g.

[5] 黄润秋,许向宁,唐川,等. 地质环境评价与地质灾害管理[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 129-153.
HUANG R Q, XU X N, TANG C, et al. Geological environment evaluation and geological disaster management[M]. Beijing: Science Press, 2007: 129-153.

[6] 吴彩燕,王青. 山区灾害与环境风险研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 1-24.
WU C Y, WANG Q. Study on mountain hazards and environments risk[M]. Beijing: Science Press, 2012: 1-24.

[7] 王萌,乔建平,吴彩燕. 基于 GIS 和本底因素贡献权重模型的区域滑坡危险性评价——以重庆万州为例[J]. 地质通报, 2008, 27(11): 1802-1809.
WANG M, QIAO J P, WU C Y. Regional landslide danger

- assessments based on GIS and the root factor contributing weight model: a case study of the Wanzhou District, Chongqing City, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(11): 1802-1809.
- [8] 吴森, 李虎杰, 张魁, 等. 高程因素对平昌县滑坡灾害发育的敏感性分析[J]. *三峡大学学报(自然科学版)*, 2015, 37(4): 62-66.
- WU S, LI H J, ZHANG K, et al. Sensitivity analysis of elevation to landslide growth in Pingchang County[J]. *Journal of China Three Gorges University(Natural Sciences)*, 2015, 37(4): 62-66.
- [9] WANG M, QIAO J P, HE S M. GIS-based earthquake-triggered landslide hazard zoning using contributing weight model[J]. *Journal of Mountain Science*, 2010, 7(4): 339-352.
- [10] WU S, WU C Y, LI H J, et al. Regional landslide risk assessment based on GIS and contributing weight model: A case study of Wenchuan county[C]. *Kaifeng: 2013 21st International Conference on Geoinformatics*, 2013: 1-7.
- [11] WANG M, QIAO J P. Reservoir-landslide hazard assessment based on GIS: A case study in Wanzhou section of the Three Gorges Reservoir[J]. *Journal of Mountain Science*, 2013, 10(6): 1085-1096.
- [12] 李虎杰, 黄慰民, 吴森, 等. 基于 GIS 的平昌县滑坡灾害危险性评价[J]. *西南科技大学学报*, 2016, 31(2): 52-58.
- LI H J, HUANG W M, WU S, et al. Landslide hazard assessment based on GIS in Pingchang Country[J]. *Journal of Southwest University of Science and Technology*, 2016, 31(2): 52-58.
- [13] 钟威, 高剑锋. 油气管道典型地质灾害危险性评价[J]. *油气储运*, 2015, 34(9): 934-938.
- ZHONG W, GAO J F. Hazard assessment of typical geological disasters along oil and gas pipeline[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2015, 34(9): 934-938.
- [14] 荆宏远, 郝建斌, 陈英杰, 等. 管道地质灾害风险半定量评价方法与应用[J]. *油气储运*, 2011, 30(7): 497-500.
- JING H Y, HAO J B, CHEN Y J, et al. Technique and application of geologic hazard risk semi-quantitative assessment of pipeline[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2011, 30(7): 497-500.
- [15] 冼国栋, 吴森, 潘国耀, 等. 油气管道滑坡灾害危险性评价指标体系[J]. *油气储运*, 2018, 37(8): 865-872.
- XIAN G D, WU S, PAN G Y, et al. Hazard assessment index system of landslide disasters along oil and gas pipelines[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2018, 37(8): 865-872.
- [16] 尹法波, 杜曼, 赵东风. 地震地区长输天然气管道失效风险分析与评价[J]. *油气储运*, 2013, 32(5): 474-479.
- YIN F B, DU M, ZHAO D F. Failure risk analysis and evaluation of long-distance pipelines in earthquake area[J]. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 2013, 32(5): 474-479.
- [17] 吴森, 张占成, 周光红, 等. 基于贡献率模型的汶川县滑坡灾害的易损性评价[J]. *三峡大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(3): 69-74.
- WU S, ZHANG Z C, ZHOU G H, et al. Landslide vulnerability assessment in Wenchuan County based on contributing weight model[J]. *Journal of China Three Gorges University(Natural Sciences)*, 2013, 35(3): 69-74.
- [18] 汤国安, 杨昕. *ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程*[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 248-283.
- TANG G A, YANG X. *Geographic information system spatial analysis experiment course based on ArcGIS*[M]. Beijing: Science Press, 2006: 248-283.
- [19] 汤国安, 刘学军, 闫国年. *数字高程模型及地学分析的原理与方法*[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 207-231.
- TANG G A, LIU X J, LYU G N. *The principle and method of DEM and geo-analysis*[M]. Beijing: Science Press, 2008: 207-231.
- [20] 操丽, 邓清禄, 耿丹, 等. 基于 GIS 与模糊逻辑法的川气东送管道地质灾害危险性评价[J]. *安全与环境工程*, 2013, 20(6): 38-42.
- CAO L, DENG Q L, GENG D, et al. Risk evaluation of the geological hazards of Sichuan-East Gas Pipeline based on fuzzy logic method and GIS[J]. *Safety & Environmental Engineering*, 2013, 20(6): 38-42.
- (收稿日期: 2018-02-06; 修回日期: 2019-02-12; 编辑: 李在蓉)
-
- 基金项目:** 西南管道公司科技攻关项目“西南管道公司管道沿线地质灾害风险评价体系、评价模型研究”, 20150018; 西南管道公司科技攻关项目“西南管道公司管道沿线地质灾害发育分布规律研究及地质环境风险性图形库建设”, 20150019.
- 作者简介:** 冼国栋, 男, 1962年生, 高级工程师, 2011年硕士毕业于西南石油大学防灾减灾工程与防护工程专业, 现主要从事管道管理、管道抢维修以及管道地质灾害风险防治工作。地址: 四川省成都市高新区升华路6号中石油大厦, 610000。电话: 13880502939。Email: gdxian@petrochina.com.cn