

# 普光气田地面集输气管线地质灾害风险评价

魏良帅<sup>1,2</sup>, 陈国辉<sup>3</sup>, 王正平<sup>4</sup>, 王佃明<sup>1,2</sup>

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川 成都 611734; 2.中国地质调查局地质灾害防治技术中心,四川 成都 611734; 3.四川省地质工程勘察院,四川 成都 610072; 4.中国石油化工股份有限公司中原油田普光分公司,四川 达州 635002)

**摘要:**油气管道经常不可避免地穿越一些地形地质条件复杂区,而这些地区往往又是地质灾害的高发区,不同类型的地质灾害以不同的方式威胁着管道的安全运营。以普光气田输气管线为例:(1)建立了区域管道地质灾害风险评价模型与评价指标体系;(2)完成了普光气田输气管道地质灾害风险评价,将管道沿线地质灾害风险划分为地质灾害高风险区、较高风险区、中等风险区、较低风险区和低风险区 5 个不同等级;(3)根据地质灾害风险评价分区结果对管道进行地质灾害风险分段,将管道划分成了 50 个地质灾害风险等级段,其中:高风险段 2 段,较高风险段 14 段,中风险段 20 段,较低风险段 14 段。评价结果与实际相符,为管道灾害的预防、治理提供重要的辅助决策,为区域管道地质灾害风险评价提供了参考与借鉴。

**关键词:**普光气田;管道地质灾害;危险性;易损性;风险评价

**中图分类号:**P642 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)08-0098-04

**Geological Disasters Risk Assessment of Ground Gathering and Transportation Gas Pipeline in Puguang Gas Field/WEI Liang-shuai<sup>1,2</sup>, CHEN Guo-hui<sup>3</sup>, WANG Zheng-ping<sup>4</sup>, WANG Dian-ming<sup>1,2</sup>** (1.Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2.Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 3.Sichuan Institute of Geological Engineering Investigation, Chengdu Sichuan 610072, China; 4.China Petroleum & Chemical Corporation Zhongyuan Oilfield Puguang Branch, Dazhou Sichuan 635002, China)

**Abstract:** It is inevitable for long-distance oil and gas pipelines to go through the areas with complex terrain and geological conditions, where are often high-risk areas of geological disasters, and different types of geological disasters threaten the pipelines safe operation in different ways. Taking the risk assessment case of Puguang gas field ground gathering and transportation gas pipeline, (1)Establishing the risk assessment model and evaluation index system of regional pipeline geological disasters, (2)Completing the risk assessment of geological disasters for gas pipeline, dividing the risk of geological disasters along the pipeline into 5 grades from high to low risk zones, (3)According to the zoning results of the geological disaster risk assessment, the pipeline geological disasters risks are divided into 50 risk sections, including 2 highest risk sections, 14 high risk sections, 20 medium risk sections and 14 low risk sections. The evaluation results are coincident with the actual situation, which provides important auxiliary decision-making for prevention and control of geological disasters along pipeline and give reference for regional pipeline geological disasters risk assessment.

**Key words:** Puguang gas field; pipeline geological disasters; risk; vulnerability; risk assessment

油气管道经常不可避免地穿越一些地形地质条件复杂区,而这些地区往往又是地质灾害的高发区,不同类型的地质灾害以不同的方式威胁着管道的安全运营。管道地质灾害的发生往往会导致管道输送介质的泄漏,带来巨大的财产损失与环境污染。据统计:美国天然气管道事故的 8.5%是由地质灾害导致的;西欧管道地质灾害造成的事故率为 7%;加拿大管道地质灾害造成的事故占 12%;南美洲安第斯山区的 Andean 天然气管道,地质灾害导致的事故率高达 50%<sup>[1]</sup>。因此,针对管道沿线地质灾害进行调查与风险评价,对保障油气管道安全运营,减少地质灾害对管道的危害具有重要意义。

## 1 管道沿线地质灾害发育概况

普光气田位于四川省达州市宣汉县普光镇,属超深、高含硫、高压、复杂山地气田。普光气田是中国目前发现的最大规模海相整装高含硫气田,截至目前已探明天然气地质储量 4122 亿 m<sup>3</sup>。根据中国石油天然气行业气藏分类标准,属于特大气藏。为有效开发利用高含硫天然气资源,国务院将“川气东送”工程列为“十一五”国家重大工程,将普光气田作为工程的主供气源。作为气田内集输气工程的天然气管线共计 64.49 km。管道沿线地形起伏大,地形坡度一般 25°以上,相对高差达 800 m。管道穿越区属亚热带湿润季风气候,年均降水量达 1213.5 mm;管道沿线地质

收稿日期:2018-07-01

作者简介:魏良帅,男,满族,1979 年生,高级工程师,主要从事工程地质勘查、水文地质调查及研究工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路 139 号,53831087@qq.com。

环境条件整体较为复杂,为地质灾害的发育创造了有利的条件,也为管道的安全运营带来了隐患<sup>[2]</sup>。

根据 2017 年汛期管道沿线地灾排查资料显示<sup>[2]</sup>,此次排查共发现各类地质灾害隐患点 63 处,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)、地面塌陷和潜在不稳定斜坡共 7 种灾害类型,其中滑 13 坡处,不稳定斜坡 22 处,崩塌 17 处,水毁 9 处,地面塌陷 1 处(图 1)。

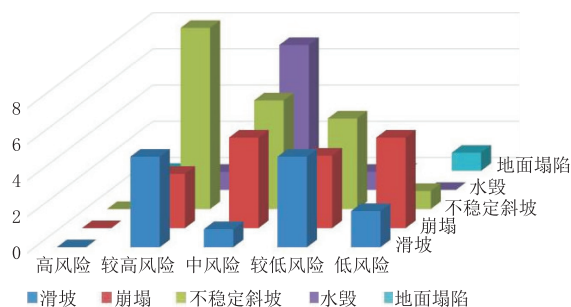


图 1 管道沿线地质灾害发育分布图

## 2 地质灾害风险评价模型及评价指标体系

### 2.1 地质灾害风险评价模型

通常情况下,风险评价是指对不良结果或事件发生的概率进行定量描述的过程。亦或说,风险评价是对一特定时期内健康、安全、环境、生态等受损伤的可能性大小及可能程度作出的评估过程<sup>[3-4]</sup>。对区域管道地质灾害风险而言,风险评价可以定义为: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。它是地质灾害危险性、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泄漏造成的后果损失。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<sup>[4]</sup>:

$$\text{风险}(R) = \text{危险性}(H) \times \text{易损性}(V)$$

本次风险评价采用该模型作为区域管道地质灾害风险评价模型。

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<sup>[5-9]</sup>,其计算公式如下:

$$H = \omega_i h_i \quad (1)$$

$$V = \omega_j v_j \quad (2)$$

式中: $H$ ——地质灾害危险值; $\omega_i$ ——第  $i$  个危险性评价指标的权重; $h_i$ ——第  $i$  个危险性评价指标的状态值; $V$ ——管道地质灾害的易损值; $\omega_j$ ——第  $j$  个易损性评价指标的权重; $v_j$ ——第  $j$  个易损性评价指标的状态值。

本次评价以管道为中心线,管道两侧 1 km 范围作为评价区,采用 30 m×30 m 的规则栅格单元作为此次管道地质灾害风险评价的最小单元。

### 2.2 地质灾害风险评价指标体系

地质灾害危险性评价指标从地质环境及诱发因素角度尽量全面地考虑影响地质灾害发生的各种影响因素,从宏观上主要分为两类:基本因素和影响(诱发)因素。基本因素是指确定地质灾害发生背景的基本地质因素,如地形、地层岩性、地质构造等。影响因素指影响和诱发地质灾害向不利方向演化的各种外动力和人类活动因素。根据野外调查及室内分析研究,综合考虑现有数据与 GIS 技术功能的局限性等因素,采用两两对比法对指标筛选优化,最终选取坡度、高差、汇流面积、灾害点密度、斜坡结构类型、坡面形态等 6 个因子构建管道沿线地质灾害危险性评价指标体系(图 2)。

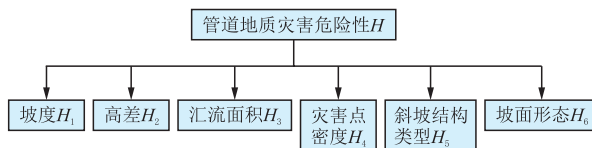


图 2 区域管道地质灾害危险性评价指标体系

区域管道地质灾害易损性不仅仅包括地质灾害本身对承载体的破坏,还包括管道在遭受地质灾害破坏后,导致的管道破裂造成油气泄漏对周围人口、道路、环境等的破坏。分析输气管道泄漏后对周围人口、道路、环境等造成的影响,综合考虑现有数据与 GIS 技术功能的局限性等条件,最终构建的区域管道地质灾害易损性评价指标体系如图 3 所示。

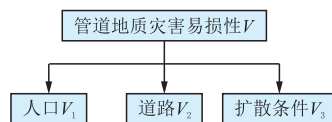


图 3 区域管道地质灾害易损性评价指标体系

### 2.3 评价指标权重

本次指标权重的确定采用贡献率模型,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(1 分为评价指标对灾害的影响小或易损小,2 分影响中等或易损中等,3 分影响大或易损大),然后汇总各灾害对每种指标的贡献总值,通过归一化处理,最终确定的各因子的权重(表 1、表 2)<sup>[10]</sup>。

$$r_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} \quad (3)$$

$$S_i = r_i / (\sum_{i=1}^m r_i) \quad (4)$$

式中： $r_{ij}$ ——第  $j$  灾害样本中第  $i$  个评价指标分值；  
 $n$ ——灾害样本的个数； $r_i$ ——第  $i$  个评价指标的贡献总值； $m$ ——评价指标的个数； $S_i$ ——第  $i$  个评价指标的权重。

表 1 地质灾害危险性评价指标权重

指标	坡度	高差	汇流面积/ 积/km <sup>2</sup>	灾害点密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	斜坡结 构类型	坡面 形态
权重	0.378	0.119	0.222	0.111	0.065	0.104

表 2 地质灾害易损性评价指标权重

易损性评价因子	人口	道路	扩散条件
权重	0.421	0.317	0.272

### 3 评价指标的量化与分级

#### 3.1 危险性评价指标的量化与分级

在建立评价指标体系后,进一步要确定他们的分级,一般情况下,指标的分级应与危险性分级相对应。地质灾害危险性分为高危险、较高危险区、中等危险区、较低危险区、低危险区五级,分别赋值为5、4、3、2、1,相应地将评价指标也用五级来描述。危险性评价指标分级赋值标准如表3所示,分级评价结果参见图4。

表 3 地质灾害危险性评价指标分级标准

分级/ 赋值	评价指标					
	坡度/ (°)	高差/ m	汇流面积/ m <sup>2</sup>	灾害点密度/ (处·km <sup>-2</sup> )	斜坡结 构类型	坡面 形态
低/1	<5	0~30	0~4500	<0.5	逆向	凹形坡
较低/2	5~15	30~60	4500~9000	0.5~2	横向	
中等/3	15~25	60~90	9000~13500	2~4	斜向	斜线坡
较高/4	25~35	90~120	13500~180000	4~7	顺向	
高/5	>35	>120	>180000	>7		凸形坡

#### 3.2 易损性评价指标的量化与分级

易损性评价指标同样相应地将评价指标也用五级来分级描述,分级赋值标准如表4所示。分级评价结果参见图5。

表 4 地质灾害易损性评价指标分级标准

分级/ 赋值	评价指标		
	人口(距离人口 聚居区距离)/m	道路(距离干线 道路距离)/m	扩散条件(地形 坡度来标示)
低/1	>400	>400	扩散条件差(>40°)
较低/2	300~400	300~400	扩散条件较差(30°~40°)
中等/3	200~300	200~300	扩散条件中等(20°~30°)
较高/4	100~200	100~200	扩散条件较好(10°~20°)
高/5	0~100	0~100	扩散条件好(<10°)

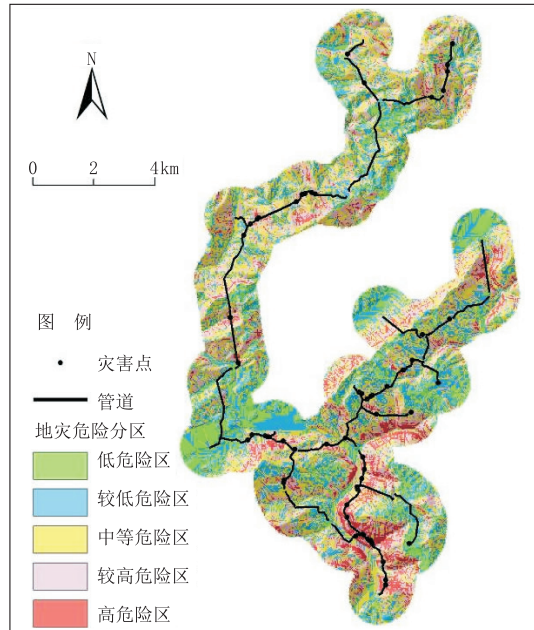


图 4 管道地质灾害危险分区

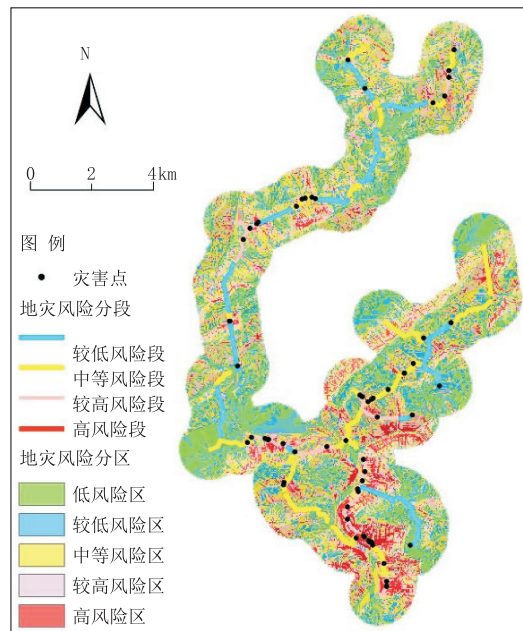


图 5 管道地质灾害易损分区

### 4 管道地质灾害风险分区

#### 4.1 管道地质灾害风险评价

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,然后综合两方面的评价成果,最终完成区域管道地质灾害风险值计算。

合理地确定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<sup>[11-12]</sup>,本次采用前者,将管道沿线地质灾害风险划分为地质灾害高风险区、较高风险区、中等风险区、较低风险区和低风险区五个不同等级<sup>[13-14]</sup>,各单元确定的地质灾害风险性等级标准参见表 5,最终得到管道沿线地质灾害风险分区图(图 6)。

表 5 地质灾害危险等级分区

等级	高风险	较高风险	中等风险	较低风险	低风险
风险值	$R \geq 3.8$	$3.3 \leq R < 3.8$	$3 \leq R < 3.3$	$2.6 \leq R < 3$	$R < 2.6$

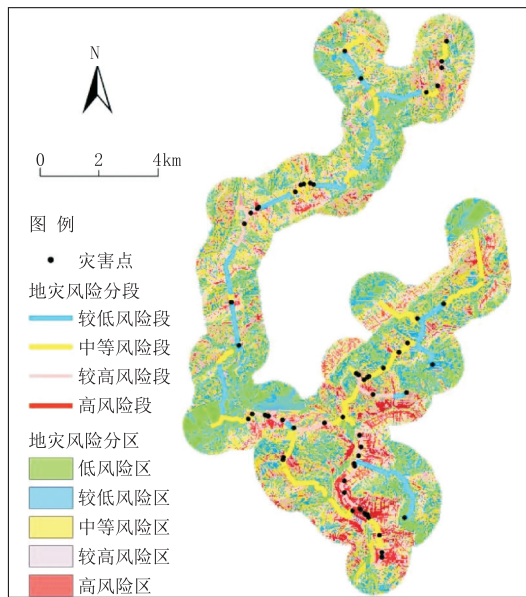


图 6 管道地质灾害风险分区、分段

### 4.2 管道地质灾害风险分段

根据地质灾害风险评价分区图对管道进行地质灾害风险分段,将管道划分成了 50 个风险等级段,其中:高风险段 2 段,较高风险段 14 段,中风险段 20 段,较低风险段 14 段(表 6)。

表 6 管道沿线地质灾害风险等级分段评价统计

风险等级	段数	长度	灾害发育数量	风险等级	段数	长度	灾害发育数量
高风险	2	1102	12	较低风险	14	19559	5
较高风险	12	11531	26	低风险	0	0	0
中等风险	20	25407	20				

### 4.3 评价结果分析

将现有地质灾害点图层与各管道地质灾害危险性分区图叠加,结果显示灾害大多落在中等~高风险区段。同时,将评价分区分段结果与野外调查分段结果对比,评价结果与调查评价结果相符(图 6)。

## 5 结论

(1)区域管道地质灾害风险是地质灾害危险性、

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泄漏造成的后果损失。

(2)采用贡献率模型作为确权方法,利用管道沿线地质灾害作为统计样本点,有效避免了人为因素的影响。

(3)完成了普光气田地面集输气管线地质灾害风险评价,将管道沿线地质灾害风险划分为地质灾害高风险区、较高风险区、中等风险区、较低风险区和低风险区五个不同等级,并根据地质灾害风险评价分区图对管道进行地质灾害风险分段,将管道划分成了 53 个风险等级段,其中:高风险段 2 段,较高风险段 14 段,中风险段 20 段,较低风险段 14 段。

### 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.
- [2] 魏良帅,舒勤峰,王佃明,等.普光气田地面集输工程地质灾害调查评价报告[R].四川成都:成都华建勘察工程公司,2017:2-42.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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): 339-352.
- [8] 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: International Conference on Geoinformatics. IEEE, 2013:1-7.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] SY/T 6828-2011.油气管道地质灾害风险管理技术规范[S].
- [15] 康婧,王伟伟,程林等.基于模糊数学方法的海岛地质灾害风险评价——以长兴岛为例[J].海洋环境科学,2016,35(6):861-867.
- [16] 王翔宇.甘肃省线性工程地质灾害风险评价[D].甘肃兰州:兰州大学,2013.