

# 山区管线滑坡风险评价中斜坡单元划分方法改进

高春元<sup>1</sup>, 赵俊丞<sup>2</sup>, 夏志伟<sup>1</sup>, 周泽山<sup>1</sup>, 邱旭<sup>1</sup>, 张华忠<sup>1</sup>, 毛菁鑫<sup>1</sup>

<sup>1</sup>重庆科技学院石油与天然气工程学院, 重庆

<sup>2</sup>国家管网集团浙江省天然气管网有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年5月25日; 录用日期: 2023年6月26日; 发布日期: 2023年7月3日

## 摘要

随着长距离输油输气管道不断建设, 管道不可避免地需穿越山区地段, 而管道沿线山体容易发生滑坡, 尤其在降雨工况下。山体滑坡时管道在滑坡体拉伸和挤压作用下发生变形, 轻则导致管道变形, 影响正常运行, 重则直接导致管道断裂输送介质泄露, 故对管道沿线山区地段进行风险评价, 预测易发生滑坡的高风险区域, 但是在预测前需要制作评价单元, 其中斜坡单元是山体滑坡预测中常用的评价单元, 根据文献调研斜坡单元的划分方式有两种即水文法和曲率法, 但两种方法划分的斜坡单元均存在与实际地形不匹配的情况, 而斜坡单元划分方法直接影响预测准确性。故本文结合水文法和曲率法的优势划分斜坡单元, 最大限度地使斜坡单元与地形匹配。

## 关键词

DEM, 斜坡单元, 曲率法, 水文法, 综合法

# Improvement of Slope Unit Division Method in Risk Assessment of Pipeline Landslides in Mountainous Areas

Chunyu Gao<sup>1</sup>, Juncheng Zhao<sup>2</sup>, Zhiwei Xia<sup>1</sup>, Zeshan Zhou<sup>1</sup>, Xu Qiu<sup>1</sup>, Huazhong Zhang<sup>1</sup>, Jingxin Mao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Petroleum and Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

<sup>2</sup>National Pipeline Network Group Zhejiang Natural Gas Pipeline Network Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: May 25<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 26<sup>th</sup>, 2023; published: Jul. 3<sup>rd</sup>, 2023

文章引用: 高春元, 赵俊丞, 夏志伟, 周泽山, 邱旭, 张华忠, 毛菁鑫. 山区管线滑坡风险评价中斜坡单元划分方法改进[J]. 矿山工程, 2023, 11(3): 344-350. DOI: 10.12677/me.2023.113042

## Abstract

With the continuous construction of long-distance oil and gas pipelines, the pipelines inevitably need to pass through mountainous areas, and the mountains along the pipelines are prone to landslides, especially under rainfall conditions. When a landslide occurs, the pipeline is deformed under the action of stretching and extrusion of the landslide body, which may cause deformation of the pipeline and affect normal operation, or directly lead to pipeline fracture and leakage of the conveying medium. The high-risk areas of landslides, but the evaluation unit needs to be made before the prediction. The slope unit is the commonly used evaluation unit in landslide prediction. All the divided slope units do not match the actual terrain, and the division method of the slope unit directly affects the prediction accuracy. Therefore, this paper combines the advantages of the hydrological method and the curvature method to divide the slope units to maximize the matching of the slope units with the terrain.

## Keywords

DEM, Slope Unit, Curvature Method, Hydrological Method, Comprehensive Method

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

对于山体滑坡评价单元有五种：栅格单元、地貌单元、独特条件单元、斜坡单元以及地形单元，其中斜坡单元在山区滑坡地质灾害中较为理想，符合实际地形[1] [2]。近年来研究人员基于斜坡单元进行山区风险评价取得显著成效。并将评价结果与进行现场核查分析对比，评价结果高度吻合[3]，其中刘彬[4]等人通过水文法提取山脊山谷合并后形成斜坡单元，在滑坡风险评价中相比于栅格单元斜坡单元提高了与实际地形地貌的吻合度具有较高的预测精度，李坤[5]等人在后期的研究中根据曲率划分斜坡，并与水文法比较，相比于水文法曲率法划分斜坡单元边界与地形吻合度更好，故目前主流的斜坡单元划分有水文法和曲率法两种方式，但是这两种方式均存在缺陷，其中水文划分斜坡单元面积较大，数量较少，呈狭窄长条状；曲率法划分斜坡单元由于过度识别导致斜坡单元偏小，数量较多，且以上两种方法均不能与地形匹配，本文抗结合水文法和曲率法划分斜坡单元，这种斜坡单元与地形高度匹配。

## 2. 斜坡单元划分原理

斜坡单元是根据山地的山谷线和山脊线分割成独立研究区域。从目前国内外研究来看计算山区地段山谷山脊线主要有两种方法，即水文法和曲率法。水文法根据山地地形划分，该方法划分斜坡单元的关键步骤包括正反 DEM 填洼、提取流向、流量和汇水点、生成河网、正反集水流域边界联合等[6] [7]，划分流程见图 1。曲率法根据山体曲率突变划分斜坡单元，曲率法划分斜坡单元关键步骤包括地表曲率提取、流向提取、洼地提取、山脊线提取、山谷线提取、山脊线和山谷线合并等，划分流程见图 2 所示[8] [9]。综合水文、曲率斜坡单元划分方式，结合水文法和曲率法划分斜坡单元优势，利用水文法划分山脊线，曲率法划山谷线再将山脊山谷线合并构成斜坡单元，避免斜坡单元呈狭窄长条状与过渡识别导致斜坡单元过于密集，计算步骤分别包括水文法与曲率法划分山脊线与山谷线的步骤，划分流程见图 3。

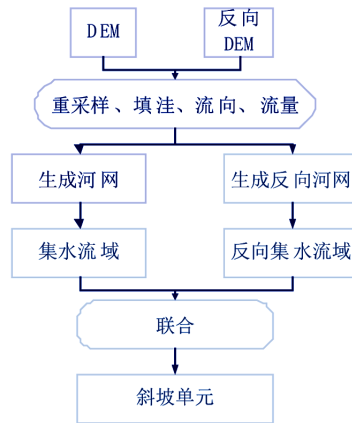


Figure 1. The hydrological division process  
图 1. 水文法划分流程

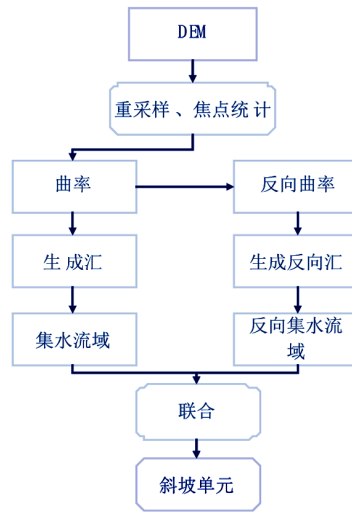


Figure 2. The curvature method division process  
图 2. 曲率法划分流程

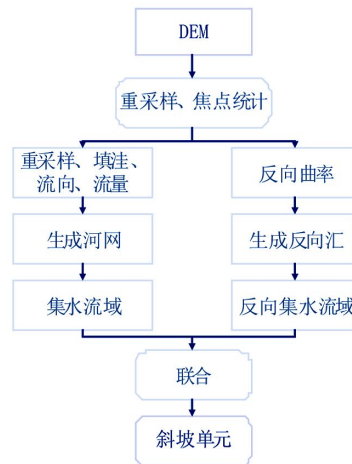


Figure 3. The division process of the comprehensive method  
图 3. 综合法划分流程

### 3. 定量比较分析

水文法、曲率法和综合法划分的斜坡单元的定量比较分析可以根据单元大小与形状来表征。其中单元大小对山体滑坡中风险预测极其重要，因为预测山体滑坡各个评价因子以斜坡单元为基础进行分区统计，为了使各个评价单元的评价因子具有可比性，所有斜坡单元的大小应该相近，利用斜坡单元面积表征斜坡单元大小，以浙江省某天然气管线山区地段为例采集  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  高精度 DEM，利用水文法、曲率法进行划分斜坡单元，并进行统计分析如图 4 所示，统计结果为：水文法划分的斜坡单元面积集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2$  以下的占比为 83.01%，集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2 \sim 0.8 \times 10^4\text{ m}^2$  占比 12.22%，集中在  $0.8 \times 10^4\text{ m}^2$  以上占比不到 5%；曲率法划分斜坡单元面积集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2$  以下占比为 37.21%，集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2 \sim 0.8 \times 10^4\text{ m}^2$  占比 62.68%，集中在  $0.8 \times 10^4\text{ m}^2$  以上占比不到 1%；综合划分斜坡单元面积集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2$  以下的占比为 7.50%，集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2 \sim 0.8 \times 10^4\text{ m}^2$  占比 84.51%，集中在  $0.8 \times 10^4\text{ m}^2$  以上占 7.99%。根据统计结果可知水文法划分斜坡单元面积偏小，绝大部分为碎片单元；曲率法和综合法划分的斜坡单元大小变化趋势相似，但是曲率法划分的斜坡单元主要集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2 \sim 0.4 \times 10^4\text{ m}^2$  之间面积偏小与水文法同样存在大量碎片单元，而综合法划分的斜坡单元大部分集中在  $0.1 \times 10^4\text{ m}^2 \sim 0.8 \times 10^4\text{ m}^2$  占比高达 85%，说明单元大小均一，可见综合法与水文法和曲率法相比综合法更符合风险预测中分区统计计算。

在斜坡单元划分过程中，斜坡单元呈现各种形状，但其中较为理想的形状是呈现方形或圆形尽量避免呈现长条状。单元形态可用周长平方与面积的比值描述，圆形的比值最小为 12，正方形、正三角形和长方形比值适中分别为 16、20 和 28，若比值大于 28 呈现狭窄长条状斜坡单元[10]。同样以浙江省某天然气管线山区地段为例进行统计分析见图 5 所示，水文法、曲率法和综合法划分的斜坡单元呈现的形状占比规律大致相似，其中水文法划分的斜坡单元比值集中在 12~16 占 2.57%，集中在 16~20 占 35.60%，集中在 20~28 占 32.39%，集中在 28 以上占比 29.44%；曲率法划分的斜坡单元比值集中在 12~16 占 7.25%，集中在 16~20 占 49.59%，集中在 20~28 占 32.28%，集中在 28 以上占比 10.88%；综合法划分的斜坡单元比值集中在 12~16 占 7.52%，集中在 16~20 占 43.53%，集中在 20~28 占 37.33%，集中在 28 以上占比 11.62%。通过分析比较水文法划分斜坡单元比值在 24 以上接近 30% 可见近三分之一的斜坡单元呈现狭窄长条状，曲率法和综合法划分的斜坡单元比值占比规律相似比值在 12~28 分别占 89.12%、88.39%，当比值大于 28 且最大相差 1.34%。故对于斜坡单元形态，水文法呈现大量长条状，曲率法和综合法单元形态占比规律相似，表明曲率法和综合法单元形状多数介于圆形和长方形之间，很少呈狭窄长条形。

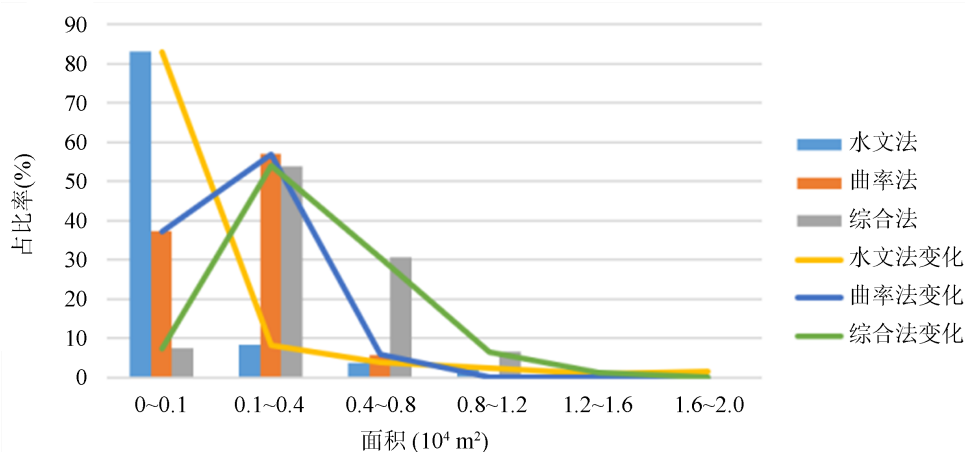


Figure 4. Area statistics of slope units

图 4. 斜坡单元的面积统计

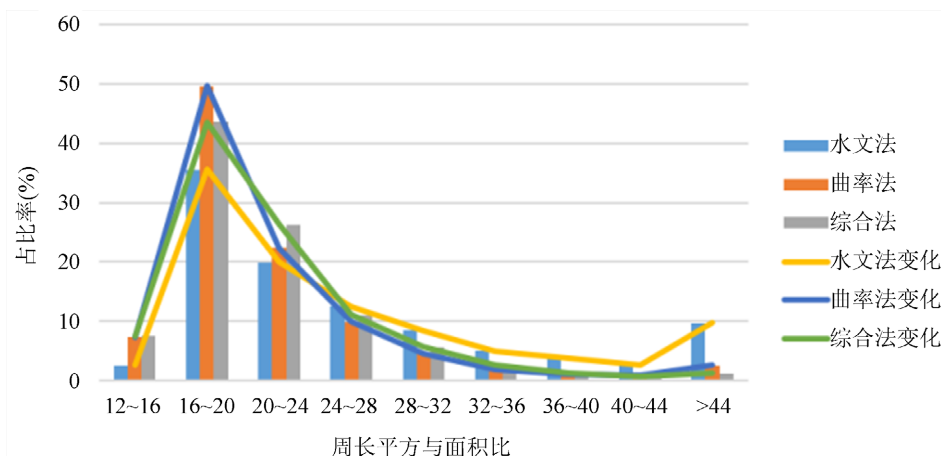


Figure 5. Perimeter square method and area ratio statistics of slope units

图 5. 斜坡单元的周长平方与面积比统计

综上, 虽然曲率法和综合法划分的斜坡单元形态占比相似, 但曲率法划分斜坡单元数 9660 个, 综合法划分斜坡单元数 4016 个, 且曲率法和综合法划分的斜坡单元面积在  $0.1 \times 10^4 \text{ m}^2$  以下占比分别为 37.21%、7.49%, 可见曲率法划分斜坡单元存在大量碎片单元。因此, 综合法比曲率法和水文法更适合划分滑坡风险性制图单元。

#### 4. 斜坡单元结果分析

根据水文、曲率、综合法划分浙江省某天然气管线山区地段斜坡单元, 取其中某一段进行对比分析。水文法划分结果如图 6 所示, 水文法划分的斜坡单元是由山脊线和山谷线共同包围形成, 山脊与斜坡单元分界线重合, 存在大量的狭窄长条状斜坡单元, 且面积偏大的局部地区未能识别山脊山谷, 这是由于水文法划分斜坡单元根据山体流量区分边界, 不能识别出地形变化较小的边界, 导致斜坡单元呈现狭窄长条状, 与地形无法匹配, 故不适用于风险评价单元; 曲率法划分结果如图 7 所示, 曲率法划分的斜坡单元是根据曲率变化较大的边界与山脊线山谷线共同分割, 单元形态大多数呈现正方形, 且斜坡单元边界与地形吻合度较高, 但对曲率变化较小位置也进行识别, 导致单元面积偏小斜坡单元数量偏多不利于风险评价中分区统计; 综合法划分结果如图 8 所示, 由于综合法结合了水文法和曲率法的优势, 因此综合法划分的斜坡单元是由山脊线、山谷线、曲率变化线共同分割构成, 单元大多数呈现正方形或圆形, 斜坡单元与地形高度吻合, 并且斜坡单元大小均匀, 可作为山体滑坡风险评价的评价单元。

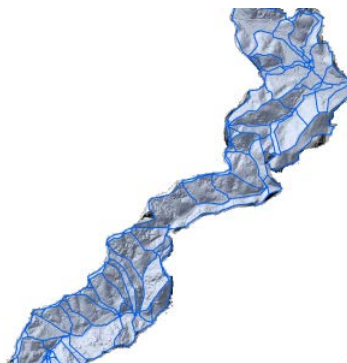


Figure 6. Calculation results of hydrological method

图 6. 水文法计算结果



Figure 7. Calculation results of the curvature method

图 7. 曲率法计算结果



Figure 8. The calculation results of the comprehensive method

图 8. 综合法计算结果

## 5. 结论与展望

山体滑坡预测中已经广泛使用斜坡单元作为评价单元，但是传统的水文法和曲率法均存在缺陷，其中水文法划分斜坡单元根据山体流量区分边界，不能识别出地形变化较小的边界，导致斜坡单元呈现狭长条状，与地形无法匹配；曲率法划分时根据山体曲率变化程度大小区分，容易识别到曲率变化较小边界，导致划分结果过于密集，斜坡单元偏小，不利于后期风险评价中分区统计；而本文结合水文法和曲率法划分斜坡单元，将水文法划分的山脊线与曲率法划分的山谷线进行合并，其结果分别继承了水文法中山脊线与地形高度重合和曲率法中高度识别山谷曲率变化优势，单元大小均匀，形态呈现圆形和正方形，且与地形高度吻合，适合用作山体滑坡分险评价单元，符合山体最大潜在滑坡。

作为山体滑坡预测评价单元，其划分的形状、与地形的匹配度均直接影响山体滑坡预测的准确性，本文综合水文法曲率法划分斜坡单元对提高预测山体滑坡具有决定性意义。

## 基金项目

重庆科技学院硕士研究生创新计划项目“输气管道风险智能评价系统研究”(YKJCX2120131)。

## 参考文献

- [1] 尚慧, 倪万魁, 程花. 斜坡单元划分在彭阳县地质灾害危险性区划中的应用[J]. 中国水土保持, 2011(3): 48-50+69. <https://doi.org/10.14123/j.cnki.swcc.2011.03.006>
- [2] 薛强, 张茂省, 李林. 基于斜坡单元与信息量法结合的宝塔区黄土滑坡易发性评价[J]. 地质通报, 2015, 4(11):

- 2108-2115.
- [3] 姬永涛, 王鲜, 郝业, 胡鹏, 王鑫, 韩秀清, 乔丁丁. 基于斜坡单元的陕西省城镇地质灾害风险调查评价——以西安市蒋村街道为例[J]. 灾害学, 2022, 37(4): 211-219.
  - [4] 刘彬. 基于 GIS 与随机森林算法的斜坡单元类型划分方法[J]. 经纬天地, 2021(4): 82-86.
  - [5] 李坤, 赵俊三, 林伊琳, 周豹. 基于不同斜坡单元划分方法和 BP 神经网络的泥石流易发性评价[J]. 测绘通报, 2022(8): 68-74. <https://doi.org/10.13474/j.cnki.11-2246.2022.0234>
  - [6] Xie, M., Esaki, T., Qiu, C., *et al.* (2007) Spatial Three-Dimensional Landslide Susceptibility Mapping Tool and Its Applications. *Earth Science Frontiers*, **14**, 73-84. [https://doi.org/10.1016/S1872-5791\(08\)60004-4](https://doi.org/10.1016/S1872-5791(08)60004-4)
  - [7] Jia, N., Mitani, Y., Xie, M.W., *et al.* (2012) Shallow Landslide Hazard Assessment Using a Three-Dimensional Deterministic Model in a Mountainous Area. *Computers and Geotechnics*, **45**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2012.04.007>
  - [8] 常志璐, 黄发明, 蒋水华, 张崑琅, 周创兵, 黄劲松. 基于多尺度分割方法的斜坡单元划分及滑坡易发性预测[J]. 工程科学与技术, 2023, 55(1): 184-195. <https://doi.org/10.15961/j.jsuese.202200953>
  - [9] 张曦, 陈丽霞, 徐勇, 连志鹏. 两种斜坡单元划分方法对滑坡灾害易发性评价的对比研究[J]. 安全与环境工程, 2018, 25(1): 12-17+50. <https://doi.org/10.13578/j.cnki.issn.1671-1556.2018.01.003>
  - [10] 颜阁, 梁收运, 赵红亮. 基于 GIS 的斜坡单元划分方法改进与实现[J]. 地理科学, 2017, 37(11): 1764-1770. <https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2017.11.019>