

贵州凤冈南北向隔槽式褶皱变形区滑坡孕灾地质条件研究

曾祥颖^{1,2}, 莫 思¹

(1. 贵州省地矿局 106 地质大队, 贵州 遵义 563099;
2. 贵州大学资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550025)

[摘 要] 贵州凤冈南北向隔槽式褶皱变形区独特的地质构造形成了典型的侏罗山式褶皱组合区, 其与滑坡的孕育具有较强的关联性。本研究基于实地调查与数据分析, 通过地质构造、地形地貌、地层岩性及河流分布等因素与滑坡发育的关系, 探讨研究区滑坡孕灾地质条件。结果表明, 研究区滑坡主要发育于构造相互截接严重的区域; 在地形上主要发育于高差 100~300 m、坡度 25°~35°的顺向坡和斜向坡, 地貌类型以侵蚀—溶蚀沟谷地貌为主; 滑坡孕育地层具有倾向性, 主要为志留系兰多维列统韩家店组(S_1h)的泥岩、页岩及奥陶系中下统湄潭组($O_{1-2}m$)的页岩、砂质页岩; 研究区河流对斜坡的影响范围平均为 900 m, 影响区内距河流越远, 滑坡发育数量越少。

[关键词] 地质构造; 滑坡; 孕灾地质条件

[中图分类号] P642. 22; P694 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2024)02-173-05

贵州凤冈南北向褶皱变形区属于黔北隆起区次级构造单元, 构造样式以宽缓背斜与紧密向斜组合构成的隔槽式褶皱为主, 是贵州境内侏罗山式褶皱组合的典型区域(杨坤光等, 2012; 代传国, 2010; 解爱国等, 2013)。研究区滑坡地质灾害多发, 地方防控压力大。为揭示研究区滑坡的孕灾地质条件特征, 本文通过野外实地调查、室内资料收集和 GIS 数据分析等手段, 选取区域构造现状、地层岩性分布、地形地貌类型及河流分布为特征因子, 判别其与滑坡孕育的关系。通过本研究, 能基本探明区域滑坡孕灾地质条件, 为滑坡的早期识别提供技术支撑, 降低地方地质灾害防控压力。

1 研究方法

采用 GIS 数据提取分析与野外实地调查相结合的方法, 通过 ArcGIS 对 DEM 数据分析, 提取得

到区域地形、河流分布特征; 通过矢量化提取和赋值, 得到区域地质构造、地层岩性及滑坡分布特征。经实地校核, 对研究区地质构造发育特征及其与地形地貌、地层岩性、河流水系分布等的关联性进行探讨, 并按照区域地形地貌特征, 选取斜坡结构类型、坡度、坡向、坡高及主要地貌类型等作为地形地貌判别特征因子, 选取区域滑坡孕灾地层及其岩性作为地层岩性判别特征因子, 选取影响距离作为地质构造和河流的判别特征因子。

2 数据采集及分析

依托贵州省地矿局科研项目《凤冈县地质灾害详细调查及风险评价》, 基础数据来源于野外实地调查、资料收集和数据分析等。其中地质内容数据来自于公开版地质图, DEM 数据来源于网站“地理空间数据云”中的 GDEM V2 30 m 分辨率数

[收稿日期] 2023-11-08 **[修回日期]** 2024-04-29

[基金项目] 贵州省地矿局科研项目[黔地矿科合 2017(13 号)], 贵州省地矿局科研项目[黔地矿科合 2016(15 号)]

[作者简介] 曾祥颖(1992—), 男, 工程师, 硕士, 从事水工环地质与地质灾害防治研究。E-mail: z123y@126.com。

[通讯作者] 莫思(1989—), 男, 高级工程师, 从事水工环地质与地质灾害防治研究。E-mail: 346074391@qq.com。

字高程数据,地形地貌等数据主要采用 ArcGIS 对 DEM 数据分析获得,并通过实地调查进行修正。

为确保样本的准确性,本研究针对研究区滑坡隐患点进行了筛选。在统计现状台帐隐患点的基础上,对历史隐患点进行了实地调查,剔除重复点、假性隐患点及完全由人为诱发的隐患点,得到滑坡样本 61 个。

3 结果与讨论

3.1 地质构造对滑坡发育分布的影响

地质构造对地表地貌的演变过程起着重要的制约作用,地质构造的不同类型将导致不同的地形地貌特征(刘兴旺等,2015;苏琦等,2016a、b;高东等,2019)。研究区地质构造复杂、发育,主要表现为北北东向和北东向两组构造体系,以北北东向构造为主,两组构造体系相互截接现象较为普遍(图 1a)。研究区独特的地质构造对区域滑坡的发育有较大的影响,从滑坡与断层、褶皱的分布特征(图 1b)上可以看出,研究区滑坡为非均质

分布,具有一定的聚集性,主要发育于北北东向和北东向两组构造体系相互截接严重的区域,而断层、褶皱较为单一的区域鲜有分布。

从滑坡的分布与断层、褶皱距离的关系来看(表 1),单纯的断层、褶皱与滑坡分布关联性并不大。表明研究区滑坡受构造影响的主控因素并非单纯的断层、褶皱发育,而为不同断层、褶皱体系的相互截接。事实上,研究区的基本构造特征为宽缓的背斜和紧密向斜相间,由此地形地貌常演变成基座为碎屑岩的“向斜成山”的垄脊山体。在北北东向和北东向断层相互截接的区域,山体常被构造切割为台地,致使区域岩体破碎度高,地形起伏大,形成了不利于斜坡和岩体稳定的地质环境,为滑坡的孕育提供了地质条件。

表 1 滑坡分布与断层、褶皱距离关系统计表

Table 1 Statistics of relationship between landslide distribution and distance from faults and folds

距断层、褶皱距离(m)	数量(个)	占比(%)
<200	22	36.07
200-500	9	14.75
500-1000	15	24.59
>1000	15	24.59

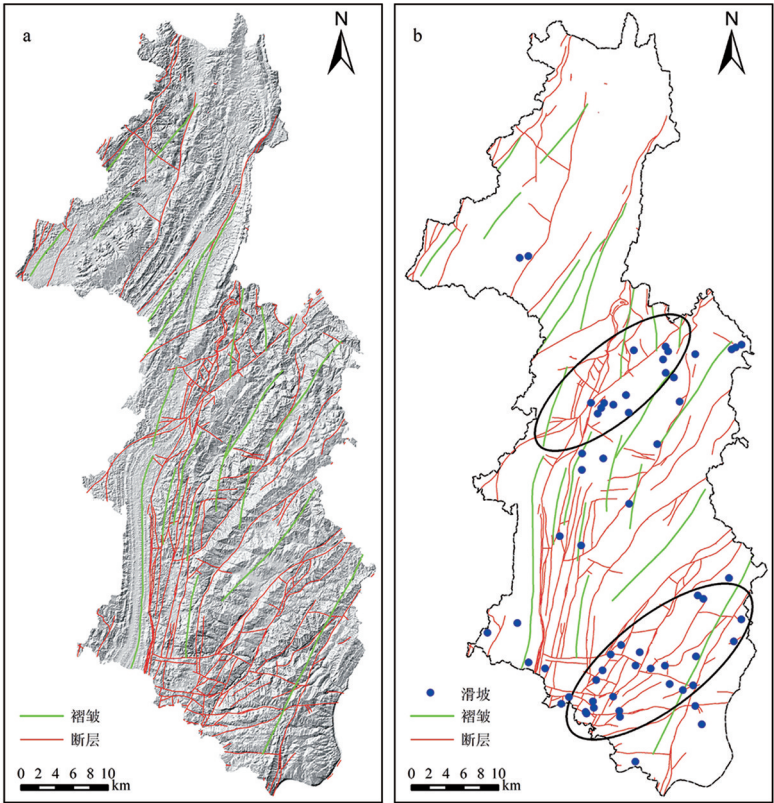


图 1 构造发育(a)与滑坡分布特征(b)关系

Fig. 1 Relationship between structural development(a) and landslide distribution characteristics(b)

3.2 地形地貌对滑坡发育分布的影响

地形地貌作为滑坡孕育的决定性因素,其形成、发展和演变过程都受到地质构造的影响和制约(马煜等,2023;马秋红,2011;李惠明等,2017)。研究区地形地貌演变类型多为“背斜成谷”、“向斜成山”,且背斜核部地层岩性多为寒武系白云岩,向斜核部地层岩性多呈二叠系至三叠系碳酸盐岩与碎屑岩条带状相间分布。从地貌类型与地质灾害的分布关系可以看出(图2a),研究区地质灾害多发育于侵蚀—溶蚀沟谷地貌,这与该区域多为垄脊山体有关,由于背斜谷地核部地层岩性多为易溶蚀的碳酸盐岩,在以断层为主的构造侵蚀下,极易形成侵蚀—溶蚀沟谷地貌,该地貌类型主要发育于断层、褶皱相互截接区域,这与前文中该区域地质灾害发育的特征一致。事实上,断层对山体的切割,特别是近北西向断层的切割,导致以北东向为主的向斜山体被截断,致使向斜核部地层中碎屑岩暴露,为滑坡的发育提供了潜在软弱层,这是滑坡孕育地质环境中,滑坡在NE和SW坡向的斜坡分布最广的重要原因(图2b)。

受构造等地质作用影响较强烈的区域,地形地貌经“向斜成山”常形成基座为碎屑岩的的台地,

其地形起伏大,台地坡高一般为100~300 m,^斜坡坡度一般为25°~35°,滑坡多数发育于该类地形之中。事实上,从研究区滑坡分布与斜坡坡度关系可以看出(图2c),研究区发育于斜坡坡度25°~35°的滑坡占滑坡总数的64%;从研究区滑坡分布与坡高(图2d)关系可以看出,发育于斜坡坡高100~300 m的滑坡占到滑坡总数的72%。研究区地层走向主要为北东向,与褶皱走向近一致,而断层主要为北东及北北东走向,这造成构造截接区域斜坡结构主要为顺向坡及斜向坡,滑坡主要发育于该类斜坡(表2)。此外研究区斜坡地层岩性多呈碳酸盐岩与碎屑岩条带状相间分布,在顺向坡条件下,受岩土交界面和地层中软弱夹层控制,易于发生规模较大的岩土复合型滑坡。

表2 滑坡分布与斜坡结构关系统计表

Table 2 Statistics of relationship between the distribution of landslides and slope structures			
斜坡类型	亚类	数量	同类占比(%)
土质斜坡	粘性土类斜坡	3	4.92%
	顺向坡	14	22.95%
岩土复合类斜坡	斜向坡	38	62.30%
	横向坡	1	1.64%
	逆向坡	2	3.28%
岩质斜坡	顺向坡	3	4.92%

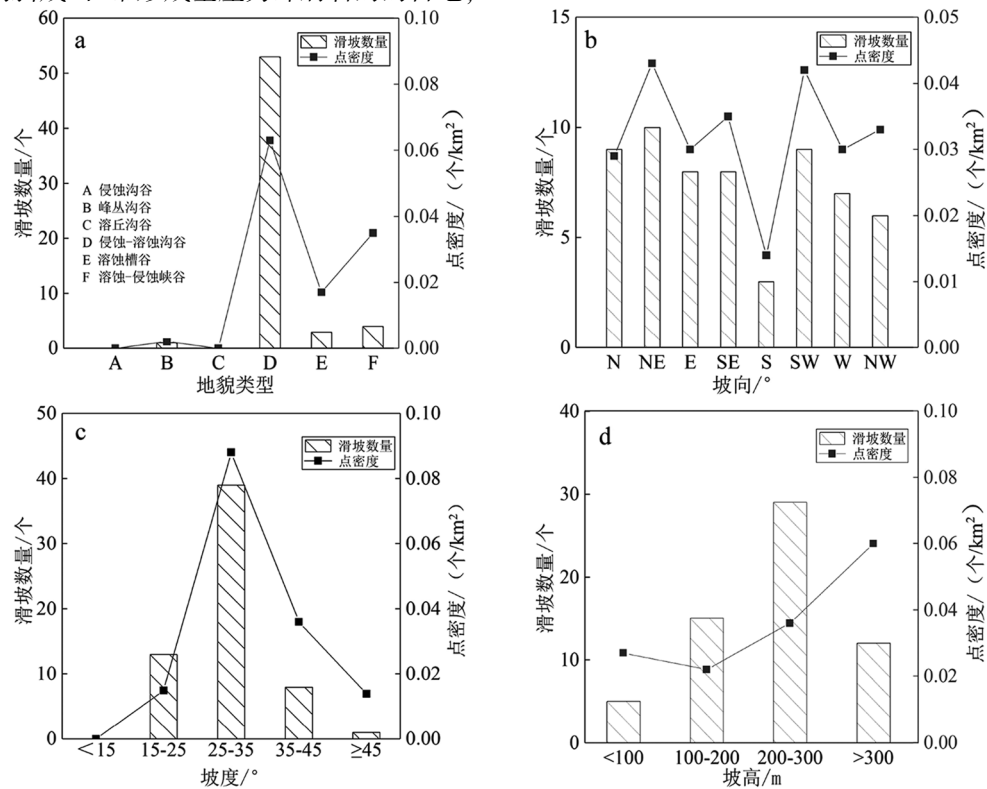


图2 地貌类型(a)、坡向(b)、坡度(c)、坡高(d)与滑坡的分布关系图

Fig. 2 The Relationship between landslides and topography type(a), slope aspect(b), slope gradient(c), and slope height(d)

3.3 地层岩性对滑坡发育分布的影响

地质灾害的发生与地层岩性紧密相关,地层岩性条件为灾害提供了物质基础(杨森林等,2011;卢志强等,2022;马煜等,2023)。研究区的滑坡主要发生在“向斜成山”形成的台地,其基座多为志留系碎屑岩,且由于向斜核部岩性多为碳酸盐岩与碎屑岩相间分布,这造成研究区滑坡潜在滑面多为岩土分界面,且下伏岩层多为软质岩(图3a)。事实上,当下伏基岩为软质岩类地层时,下伏基岩透水性差,抗风化能力较弱,基岩与覆盖层间形成相对隔水层,且残坡积物中土质含

量高,覆盖层易吸水软化形成软弱结构面,并在外界因素影响下贯通形成滑面,最终形成滑坡。此外,通过对研究区滑坡与工程地质岩组关系的统计分析,发现并不是所有的软质岩都容易产生滑坡地质灾害,其在地层分布上具有很强的倾向性(图3b),其多分布在下伏地层为志留系兰多维列统韩家店组(S_1h)的泥岩、页岩,奥陶系中下统湄潭组($O_{1-2}m$)的页岩、砂质页岩,志留系兰多维列统-奥陶系上统龙马溪组(O_3S_1l)粉砂质泥岩、页岩、砂岩夹泥岩上,以上地层中滑坡地质灾害发育数量占同类总数82%,因此用地层作为滑坡孕灾因子对研究区而言更具有针对性。

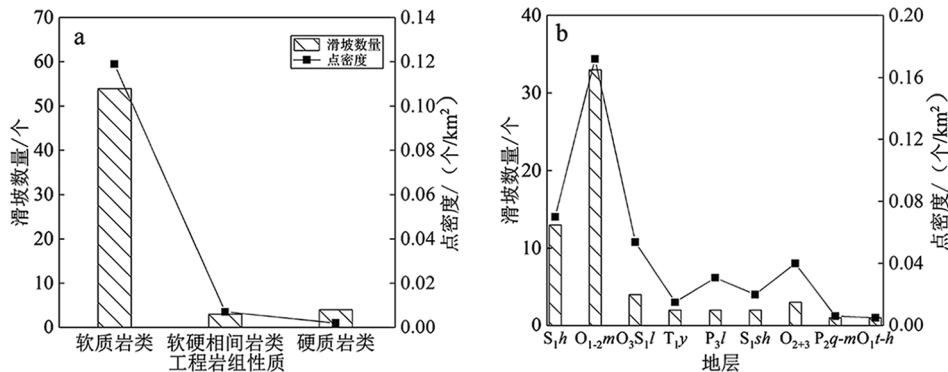


图3 滑坡与区域工程岩组性质(a)及地层(b)的关系图

Fig. 3 Relationship between landslides and lithological properties(a) and stratigraphy(b) of the regional engineering rock formations

3.4 河流对滑坡发育分布的影响

水文地质特征是区域构造对地质环境影响的重要表征,直接或间接的影响着区域地质灾害的发育(冯希杰,2016;高杨等,2020;李瑞东等,2012;冷洋洋等,2021)。研究区河流主要分布于“背斜成谷”形成的谷地,该区域地层岩性多为寒武系白云岩,抗侵蚀、溶蚀能力较弱,河流水系易通

过对两岸斜坡的下切、侧蚀及不同时期水位高低升降对岩土体影响等方式降低两岸斜坡岩土体稳定性;从广域的时间跨度上来看,河流还间接或直接影响着区域水文环境,包括泉点出露、降雨与地表径流下渗迁移途径等,从而影响着斜坡岩土体的受侵蚀情况。从滑坡分布与研究区河流的分布关系上来看(图4),滑坡的发育受河流的影响较大,两者在空间分布上呈负相关的关系,即随着斜坡离河流距离的增大,河流对滑坡发育的影响也随之降低,从分布关系上来看,河流对斜坡的强影响范围为900 m,随着距离的增大,影响程度将急剧下降。

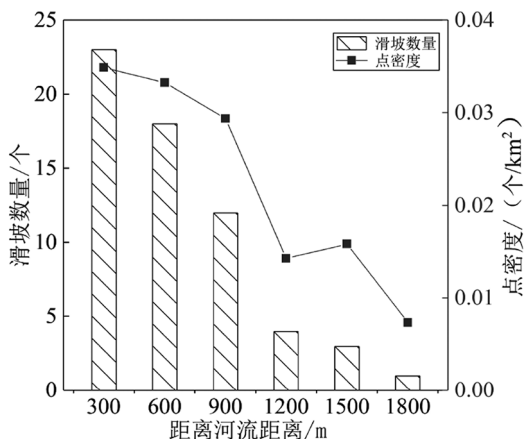


图4 滑坡与河流关系图

Fig. 4 Relation of Landslide and river

4 结论

贵州凤冈南北向褶皱变形区是贵州省境内侏罗山式褶皱组合的典型区域,其独特的地质构造发育模式形成了区域性的独特地形地貌,并通过地层分布、岩性组合、河流分布等因素,对滑坡的发育分布形成影响。本文通过对相关影响因素的分析,得出以下结论:

(1)研究区地质构造的发育模式与滑坡的形成具有较大的关系,其中单一走向的构造对其影响较小,不同走向相互截接的构造区域更利于滑坡的发育。

(2)地形地貌对滑坡发育发育程度影响较大,研究区滑坡主要发育于斜坡高度 100~300 m、坡度 25°~35°类型的斜坡,且斜坡结构主要为斜向坡及顺向坡;同时在地貌分布上具有聚集性,主要发育于侵蚀—溶蚀沟谷地貌。

(3)地层岩性也在一定程度上影响着滑坡的发育分布,研究区滑坡主要发育于软质岩类的工程岩组地层中,且在地层分布上具有很强的倾向性,主要分布于志留系兰多维列统韩家店组(S_1h)的泥岩、页岩,奥陶系中下统湄潭组(O_{1-2m})的页岩、砂质页岩中。

(4)研究区河流对滑坡的影响范围平均为 900 m,滑坡的发育分布与其距河流水系的距离在其影响范围内呈负相关的关系,影响区内距河流越远,滑坡发育数量越少。

[参考文献]

- 代传固. 2010. 黔东及邻区地质构造特征及其演化[D]. 北京:中国地质大学, 32-33.
- 冯希杰. 1990. 活动断裂与滑坡、崩塌关系探讨[J]. 长安大学学报(地球科学版), (1): 92-99.
- 高效东, 谢虹, 袁道阳, 等. 2019. 祁连山东段石羊河流域河流纵剖面及其构造意义[J]. 地震地质, 41(2): 320-340.
- 高杨, 贺凯, 李壮, 等. 2020. 西南岩溶山区特大滑坡成灾类型及动力学分析[J]. 水文地质工程地质, 47(4): 14-23.
- 李惠民, 任光明, 李源亮, 等. 2017. 山区公路沿线地质灾害分布与环境影响关系研究——以汶川—茂县公路为例[J]. 人民长江, 48(19): 66-71.
- 李瑞冬, 丛凯. 2012. 地质构造对地质灾害发育的影响分析——以甘肃省文县为例[J]. 甘肃地质, 21(3): 25-29.
- 刘兴旺, 袁道阳, 史志刚, 等. 2015. 六盘山断裂带构造活动特征及流域盆地地貌响应[J]. 地震工程学报, 37(1): 168-174.
- 冷洋洋, 魏伦武, 赖琪毅. 2021. 贵州山区地质灾害危险源识别方法——以盘州市盘关镇重点区为例[J]. 贵州地质, 38(03): 326-333.
- 卢志强, 冷洋洋, 赵罡. 2022. 滑坡易发性评价的层次分析法研究——以贵州省普安县为例[J]. 贵州地质, 39(03): 287-293.
- 马秋红. 2011. 秦巴山区地层岩性与地质构造对地质灾害发育的控制作用分析[D]. 西安: 长安大学.
- 马煜, 李彩侠. 2023. 构造作用对地质灾害分布的影响分析——以四川省马边县地质灾害为例[J]. 地质与勘探, 59(1): 145-153.
- 苏琦, 梁明剑, 袁道阳, 等. 2016a. 白龙江流域构造地貌特征及其对滑坡泥石流灾害的控制作用[J]. 地球科学, 41(10): 1758-1770.
- 苏琦, 袁道阳, 谢虹, 等. 2016b. 祁连山西段疏勒河流域地貌特征及其构造意义[J]. 地震地质, 38(2): 240-258.
- 解国爱, 贾东, 张庆龙, 等. 2013. 川东侏罗山式褶皱构造带的物理模拟研究[J]. 地质学报, 87(6): 773-788.
- 杨坤光, 李学刚, 戴传固, 等. 2012. 黔东南隔槽式褶皱成因分析[J]. 地学前缘, 19(5): 53-60.
- 杨森林, 陈革平, 裴永伟. 2011. 贵州地质灾害发育分区[J]. 贵州地质, 28(02): 131-134.

Study on the Geological Conditions of Landslide Disaster in the North-south Trough-type Fold Deformation Zone in Fenggang County, Guizhou

ZENG Xiang-ying^{1,2}, MO Si¹

(1. No. 106 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral
Exploration and Development, Zunyi 563099, China;

2. College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China)

[Abstract] The unique geological structure of the Fenggang north-south trough-fold deformation zone has formed a typical Jurassic mountain fold combination area, which is closely related to landslide development. In this study, based on field investigations and data analysis, the geological conditions for landslide susceptibility in

(下转第 184 页)

朱闰勤,刘永团.2023.煤矸石自燃机理及防治[J].能源与节能,(04):109-111.
张晓刚.2017.含硫炭质页岩隧道弃渣自燃机理分析及防治研究

[J].铁道建筑技术,(02):120-123.
翟小伟,马灵军,朱国忠,等.2015.煤矿矸石山自燃治理技术研究与实践[J].煤炭科学技术,43(04):53-56.

Discussion on Autoignition Mechanism and Prevention Method of Slag Spontaneous Combustion of A Molybdenum Nickel Ore in Zunyi

TANG Guang,JIANG Pan-he,CHEN Lei,ZHANG Ming-si,YANG Zai-liang,
LIANG Jin-song,YAN Wen-qing

(No. 102 Geological Party,Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development,
Zunyi 563000,Guizhou,China)

[Abstract] In order to carry out comprehensive treatment of molybdenum nickel ore slag spontaneous combustion,the mineral composition,element content,and main self igniting gas composition of molybdenum nickel ore slag were identified through on-site investigation and sample collection analysis.It was preliminarily determined that the igniting material for self igniting molybdenum nickel ore slag was pyrite,and the combustible material that provided sustainable combustion was mainly carbon.When the slag's own properties met the requirements,and the oxygen and heat supply conditions reached a certain balance,Spontaneous combustion will occur;Proposed comprehensive treatment measures such as "cooling+cutting off oxygen supply channels", "grouting+covering",and prevention suggestions for slag that has not yet self ignited.The engineering verification governance has achieved good results,and the research results provide certain solutions and ideas for similar engineering problems.

[Key Words] Molybdenum nickel ore slag; Autoignition mechanism; Pyrite; Control methods; Preventive measures

(上接第 177 页)

the study area were explored by examining the relationship between factors such as geological structures,landforms,lithology,and river distribution.The results indicate that landslides in the study area mainly develop in regions with severe intersecting geologic structures.They are predominantly found on longitudinal and oblique slopes with a height difference of 100~300 m and a gradient of 25°~35°,while the dominant landform type is eroded-karst valley terrain.The lithology of the landslide-prone strata shows a tendency,mainly consisting of mudstone and shale from the Silurian Liandoverly Hanjiadian formation,shale and sandy shale from the Lower-Middle Ordovician Meitan formation.The average influence range of rivers on landslides in the study area is 900 m,with a decreasing number of landslides farther away from the rivers.

[Key Words] Geological structure;Landslide;Geological hazard inducing condition