

基于 GIS 评价活动断裂对公路的影响 ——以宁夏地区为例

卢玉东¹, 张 骏², 刘艳淑², 彭建兵², 马润勇², 成玉祥¹

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为了查清活动断裂对公路的影响, 总结了宁夏地区 9 条全新世活动断裂的基本特征和活动性, 确定了评价和预测活动断裂对公路工程影响的指标体系, 并建立了分级标准。采用优先排序法对指标进行筛选和优化, 运用主成分分析法确定权重, 选用多级模糊综合评判法建立了评价模型。以 ARCGIS9 为平台, 建立了宁夏地区活动断裂空间数据库, 运用矢量叠加运算实现了宁夏地区活动断裂对公路影响的现状评价, 运用栅格叠加运算实现了宁夏地区海原活动断裂带对公路影响的预测评价。预测结果表明, 宁夏地区对公路影响大的海原活动断裂面积为 12.34 km², 占全区总面积的 1.0%; 影响较大的为 271.28 km², 占总面积的 21.4%; 影响中等的为 400.05 km², 占总面积的 31.6%; 影响小的为 585.04 km², 占总面积的 46.0%。

关键词: 活动断裂; 公路工程; 影响评价; 预测; 地理信息系统; 宁夏

中图分类号: P642.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)01-0093-05

Impact of Active Fault on the Highway Based on GIS ——Taking Ningxia Region as an Example

LU Yu-dong¹, ZHANG Jun², LIU Yan-shu², PENG Jian-bing²,
MA Run-yong², CHENG Yu-xiang¹

(1. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China

2. School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract In order to make it clear that the effect of active fault on highway, the activities and the basic characteristics of nine Holocene active fault of the Ningxia region are analyzed, assessment and forecasting index system of active fault on the highway project is determined, and classification standard is established. The indicators are screened and optimized, principal component analysis method is used to determine weight, multi-fuzzy comprehensive evaluation is selected to establishment the evaluation model. Based on ARCGIS9, the spatial database of active fault in Ningxia is built, the current effect of achieve faults on the highway is finished by vector overlap calculating and forecasting assessment of achieve faults of Haiyuan is calculated by raster overlay. The forecasting result is that the area of achieve faults of Haiyuan on the highway with significant influence is 12.34 km², and 1.0% of the total area of Ningxia; the area with relatively big influence is 271.28 km², and 21.4% of the total area; the area with middle influence is 400.05 km², and 31.6% of the total area; the area with little influence is 585.04 km², and 46.0% of the total area.

Key words: active fault; highway engineering; impact assessment; prediction; GIS; Ningxia

0 引言

20 世纪 70 年代以来, 随着新技术的发展和应

用, 活断层研究获得了飞跃发展, 国内外学者在许多断裂带上开展了活动断层几何学、运动学、动力学和断层位错、古地震、地震重复周期等方面的研究^[1-7]。

收稿日期: 2009-04-11

基金项目: 交通部国家西部交通建设重点科技项目(200131881213)

作者简介: 卢玉东(1969-), 男, 河北唐山人, 教授, 博士研究生导师, 从事环境地质、水资源流域管理等教学与研究。E-mail: luyudongphd@163.com

地理信息系统在活动断裂的研究中已经受到重视,并在实际工作中开始应用。随着活动断裂研究的不断深入,地理信息系统在其中的应用将越来越广泛。利用 GIS 技术,马春燕等^[8]确定了沿断裂带两侧历史地震发生次数、最大震级等参数;周杰^[9]研究了川滇地区地震活动与活动断裂分布关系;彭自正等^[10]探讨了江西活动断裂与地震活动的关系。

活动断裂与工程建设有着密切的关系^[11-17],虽然关于活动断裂的研究已经很多,但对于活动断裂造成公路破坏的有效研究方法缺乏,并且利用 GIS 技术研究活动断裂对公路的影响尚属空白。笔者试图基于 GIS 技术评价活动断裂对公路的影响,以建立一套活动断裂对公路影响的评价体系。

1 研究区概况及活断层对公路的影响

宁夏回族自治区位于黄河中上游地区,与内蒙古自治区、甘肃省和陕西省毗邻。地理坐标位于东经 $104^{\circ}41' \sim 107^{\circ}30'$ 、北纬 $35^{\circ}25' \sim 39^{\circ}25'$ 之间,面积 $66\ 400\text{ km}^2$ 。区内国家公路主干线共 2 条: GZ25、GZ35; 国道共 6 条: G312、G309、G109、G211、G307、G110; 省道共 7 条: S101、S202、S203、S302、S201、S102、S301。地貌主要为山地、丘陵、平原(或盆地)。宁夏地区地处青藏高原的东北边缘,由于青藏高原的强烈隆起造成其周缘地区的现代构造活动极其强烈,发育有大规模的活动断裂。

宁夏地区全新世活动断裂展布特征表现为(图 1): ①近东西向展布断裂,主要为正谊关断裂(F_1); ②近南北向展布断裂,主要为贺兰山断裂(F_2)、黄河断裂(F_3)、三关口—牛首山—固原断裂(F_4)和六盘山断裂; ③弧形展布断裂,主要为烟洞山断裂(F_5)、清水河断裂(F_6)、中卫—同心断裂(F_7)、海原断裂(F_8)、六盘山断裂带(F_9)。其活动方式特征表现为: ①左旋走滑,正谊关断裂、三关口—牛首山—固原断裂、烟洞山断裂、中卫—同心断裂、海原断裂、六盘山断裂; ②正断层,黄河断裂; ③右旋走滑正断层,贺兰山断裂; ④逆断层,清水河断裂。

对公路工程形成危害的活断裂可分为粘滑型活断裂(发震断裂)和蠕滑型活断裂(非发震断裂)两类。断裂粘滑活动可引发地震或地表突然错断,使跨断裂或断裂周围一定范围内的公路工程建(构)筑物遭受不同程度的破坏或损伤;断裂蠕滑活

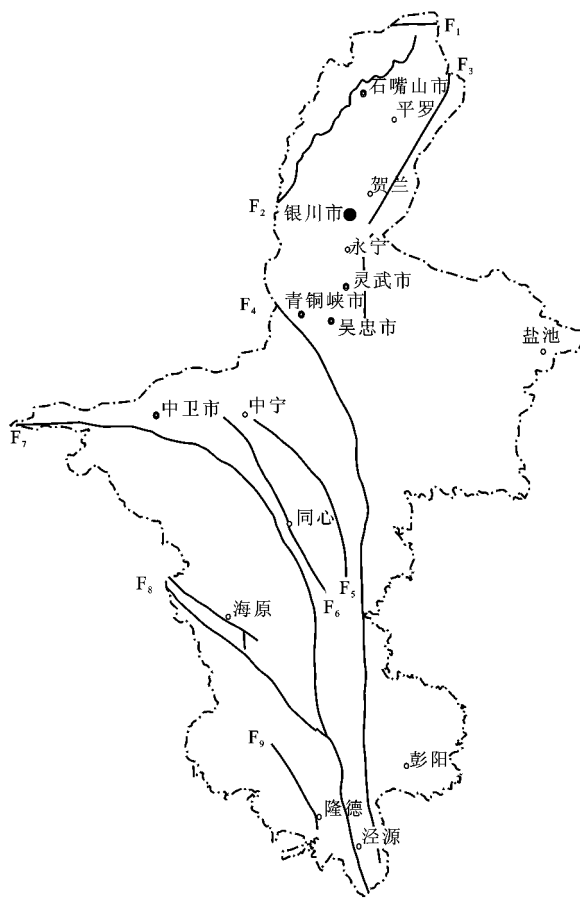


图 1 宁夏活动断裂分布

Fig. 1 Map of Active Fault in Ningxia

动可使跨断裂或在断裂带影响范围内的公路工程建(构)筑物扭裂、拉断、沉陷或倾倒。总之,其活动都会引起周围岩土体、公路工程建(构)筑物的变形和破坏。

活动断裂对公路工程影响的对象和形式表现为: ①活动断裂对路基、路面的影响,主要表现为路面裂缝、凹坑、不均匀沉降; ②活动断裂桥梁的影响,主要表现为桥梁墩台的错位; ③活动断裂对隧道的影响,主要表现为隧道裂缝、渗水等; ④活动断裂引发滑坡、崩塌、泥石流等对公路的影响,表现为路面变形、冲毁或公路阻塞。

2 研究方法

2.1 空间数据库的建立

充分利用已有资料,基于 GIS 建立空间数据库。其空间数据信息和属性信息包括活动断裂的活动速率(垂直和水平)、活动性质、破碎带宽度(活动断裂与公路交汇处); 大于等于 6.0 级的地震及相关资料; 活动断裂带的构造、规模、产状、影像特

征、照片等资料。

2.2 评价指标体系的确定

针对工程地质条件、活动断裂及公路特点, 尽可能全面地考虑活动断裂对公路影响的各种因素。这些因素从宏观上可分为活动断裂的活动性、活动断裂引发的灾害以及公路状况。活动断裂的活动性包括活动断裂的活动速度、活动年代、活动断裂规模及活动性质; 活动断裂引发的灾害包括滑坡、崩塌、泥石流、地震; 公路状况包括公路设计等级、公路设施重要程度和公路与活动断裂交叉关系。

活动断裂对公路影响评价指标体系是一个系统分解和逐层分级控制的过程, 是一个多层次的

递阶结构。建立该指标体系是通过将目标层分解, 直到子目标能够用定量或定性的独立指标衡量为止的方法来实现的。笔者采用目标层、类指标层、基础指标层, 并采用德尔菲法对评价指标进行量化取值。

在建立评价指标体系后, 要进一步确定它们的分级。一般情况下, 指标的分级应与活动断裂对公路的影响分级相对应。活动断裂对公路的影响分为大、较大、中、小 4 级, 对应值为 4、3、2、1, 其他相应的指标也用 4 级来描述。根据野外调查, 并结合活动断裂对公路影响的特点等, 确定宁夏地区活动断裂对公路影响的现状评价指标及分级标准(表 1)。

表 1 活动断裂对公路影响的现状评价评选指标体系及分级标准

		评价标准(活动断裂对公路影响程度由小到大)			
分类指标	基础指标	小	中	较大	大
		1	2	3	4
活动断裂 的活动性	活动速率/(mm·a ⁻¹)	< 0.01	0.01~0.1	0.1~1	≥1
	活动年代	第三纪前	第三纪	更新世	全新世
	破碎带宽度/m	< 50	50~100	100~500	≥500
	规模/km	< 1	1~10	10~100	≥100
	活动性质	走滑断层	逆走滑断层	逆断层	正断层
公路状况	公路设计等级	高速公路	一级路	二级路	三级路
	活动断裂与公路交叉关系	80°~90°	50°~80°	20°~50°	0°~20°
	公路设施重要性	辅助设施	路基路面	桥梁	隧道
活动断裂 引发的灾害	滑坡危害程度	小	中等	较严重	严重
	崩塌危害程度	小	中等	较严重	严重
	泥石流危害程度	小	中等	较严重	严重
	地震烈度	≤ VI	VII	VIII	> VIII

2.3 评价模型、权重选取及其实现

对于活动断裂对公路影响体系的复杂性、不可逆性、模糊性, 采用在地学中广泛应用的多级模糊综合评判模型, 评价活动断裂对公路的影响。

设某个评价单元中的评判因素集合(或评价者集合)为

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$$

式中: U_1, U_2, \dots, U_m 为参与评价的 m 个因素的性质数据。而评语集合(评价标准集合)为

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$$

式中: V_1, V_2, \dots, V_n 为 U_i 相应的评价标准集合。在活动断裂对公路影响的分级评价中; U 是一个模糊向量, 而 V 则是一个矩阵。

采用主成分赋权方法确定权重, 即先用主成分

分析求出累计贡献率, 再用专家打分法对其进行修正处理, 使客观赋权与主观赋权结合起来, 以达到理想的权值。模型的实现借助于 ARCG IS9 软件, 调用不同图层进行叠加运算, 最终得到研究区内活动断裂对公路的影响评价图。

3 结果分析

3.1 现状评价

在建立数据库的基础上, 建立活动断裂对公路影响现状评价的指标体系。二级评价因子活动断裂的活动性、公路状况、活动断裂引发的灾害权重分别取 0.589、0.194、0.217。活动断裂的活动性的一级评价因子活动速率、破碎带宽度、活动年代、规模、活动方式权重分别取 0.307、0.221、0.192、

0.147、0.133; 公路状况的一级评价因子公路设计等级、与公路交叉关系、公路设施重要程度权重分别取 0.384、0.317、0.299; 活动断裂引发的灾害的一级评价因子滑坡危害性、崩塌危害性、泥石流危害性权重分别取 0.385、0.364、0.251。通过矢量运算进行各交汇点的一级和二级模糊评判。

经过二级模糊评价, 得到活动断裂对公路影响现状评价结果为 F_1 -G110(F_1 活断裂与国道 110 交汇点, 下同), 2.43 (评价结果, 下同); F_3 -G307, 2.32; F_4 -G109, 2.63; F_4 -G309, 2.65; F_4 -G312, 3.41; F_6 -G109, 2.39; F_7 -G109, 2.48; F_8 -S308, 2.98; F_8 -G309, 3.06; F_9 -G312, 2.81; F_9 -G312, 3.00。

由于笔者所选活动断裂均为全新世活动断裂, 所处的构造位置造成其活动方式基本一致, 活动规模也都很集中, 活动速率大都在 1 mm/a 以上, 而造成评价结果都集中在 2.32~3.41 之间, 活动断裂带对公路的影响程度都比较大。由于在实际工作中实测野外点比较少, 具体的评价结果点数也比较少, 故笔者并未做具体的分级。评价结果相对野外调查结果来说还是比较可靠。 F_4 与 G312 交汇点, 处于六盘山地区, 隧道出口上方即有个小型滑坡, 而且在出口 40 m 处有泥石流发育, 隧道位置也比较高, 还有发生崩塌的可能性, 故其值比较大。 F_3 与 G207 交汇点其活动速率相对较小, 为 0.24 mm/a, 地处黄河边缘, 破碎带宽度也较小, 滑坡、崩塌、泥石流也不发育, 故评价结果值比较小。

3.2 预测评价

在建立空间数据库的基础上, 从各图层中提取评价中所需的因子图层, 进行影响预测评价。首先要根据研究区大小和基础数据的精度选用标准网格, 把所有数据进行栅格化处理。评价因子为面文件时, 可运用 ARCGIS9 的 Spatial Analysis(空间分析)中 Convert Features to Raster(栅格转换)模块, 例如活动断裂带的活动性、地震烈度等。对于滑坡、崩塌和泥石流要先利用 Buffer Wizard(缓冲向导)进行区划、赋值, 再进行栅格转换。依据海原活动断裂带图件比例尺的大小, 海原活动断裂带的活动性和区域地震烈度及灾点特点和分布情况, 笔者应用的栅格数据单元采用 9 m×9 m。

进行模糊运算要将各影响预测评价因子层提取出来进行栅格叠加运算, 其中活动断裂对公路的影响预测评价一级指标滑坡危害性、崩塌危害性、泥石流危害性权重分别为 0.353、0.310、0.337, 二

级评价指标活动断裂的活动性、地震烈度、活动断裂引发灾害权重分别为 0.612、0.187、0.201。运用 Spatial Analysis 中的 Raster Calculator(栅格运算)模块, 分别进行一级和二级模糊评判, 并将宁夏地区活动断裂对公路的影响预测评价结果按影响程度大小分为大、较大、中、小 4 个级别。

经过上述计算, 得到宁夏地区海原活动断裂对公路影响预测评价结果。活动断裂对公路影响的预测评价分为大、较大、中、小 4 个区。

(1) 海原活动断裂带对公路影响大的为 12.34 km², 占全区总面积的 1.0%, 大部分集中在活动断裂破碎带内或灾害点集中地带, 且相应的地震烈度也很高。这主要是由于破碎带以及灾害点群集分布对公路建设影响很大, 对未来公路工程建设来说, 适宜性很差。

(2) 预测结果中, 影响较大的有 271.28 km², 占总面积的 21.4%, 主要分布在距断裂带较近或地震滑坡等灾害集中的地带, 地震烈度相应较高。其对公路工程建设有较大影响, 故未来公路工程建设适宜性较差。

(3) 预测结果中, 影响中等的有 400.05 km², 占总面积的 31.6%, 主要分布在距断裂带较近但地震烈度相对较小的地带, 或距断裂带较远但有灾害点分布的地带。其对公路工程建设的影响程度中等, 故未来公路工程建设的适宜性中等。

(4) 预测结果中, 影响小的有 585.04 km², 占总面积的 46.0%, 主要分布在距断裂带较远且地震烈度相对较小和灾害点分布均较少的地带。其对公路工程建设的影响程度较小, 故未来公路工程建设的适宜性就好。

4 结语

(1) 针对宁夏地区活动断裂对公路的影响, 建立了一套完整的基于 GIS 的“数据采集→空间数据库建立→评价指标体系选取→评价模型建立→空间分析→评价结果”流程体系。

(2) 实现了宁夏地区活动断裂对公路在交叉点处的现状影响评价, 其结果分别为 F_1 -G110, 2.43; F_3 -G307, 2.32; F_4 -G109, 2.63; F_4 -G309, 2.65; F_4 -G312, 3.41; F_6 -G109, 2.39; F_7 -G109, 2.48; F_8 -S308, 2.98; F_8 -G309, 3.06; F_9 -G312, 2.81; F_9 -G312, 3.00。

(3) 实现了宁夏地区海原活动断裂对公路影响

的预测评价,并将其按影响程度的大小分为大、较大、中、小 4 级,得到了宁夏地区海原活动断裂对公路影响预测评价结果。其预测评价结果分别为:影响大的有 12.34 km^2 ,占全区面积的 1.0% ;影响较大的有 271.28 km^2 ,占总面积的 21.4% ;影响中等的有 400.05 km^2 ,占总面积的 31.6% ;影响小的有 585.04 km^2 ,占总面积的 46.0% 。

参考文献:

- [1] 彭建兵,马润勇,席先武,等.区域稳定动力学的应用实践研究——区域非稳定动力学环境下的大型水电工程环境灾害效应[M].北京:地质出版社,2006.
- [2] 国家地震局地质研究所,国家地震局兰州地震研究所.祁连山—河西走廊活动断裂系[M].北京:地震出版社,1993.
- [3] 柳煜.长岭山北麓断裂晚第四纪活动性研究[D].兰州:中国地震局兰州地震研究所,2006.
- [4] Allen C R, Luo Z L, Qian H, et al. Field Study of a Highly Active Fault Zone: the Xianshuihe Fault of Southwestern China[J]. Geological Society of America Bulletin, 1991, 103(9): 1178-1199.
- [5] Knipe R J. Deformation Mechanisms: Recognition from Natural Tectonites[J]. Journal of Structural Geology, 1989, 11(1/2): 127-146.

- [6] Molnar P, Chen W P. Focal Depths and Fault Plane Solutions of Earthquakes Under the Tibetan Plateau[J]. Journal Geophysical Research, 1983, 88(B2): 1180-1196.
- [7] 刘健新,赵国辉.“5·12”汶川地震典型桥梁震害分析[J].建筑科学与工程学报,2009,26(2): 92-97.
- [8] 马春燕,王钧利.西部公路建设与可持续发展[J].重庆交通学院学报,2003,22(3): 82-85.
- [9] 周杰.基于GIS的川滇地区地震活动与活动断裂分布关系研究[D].北京:中国地震局地质研究所,2005.
- [10] 彭自正,赵爱平,胡翠娥,等.基于GIS的江西活动断裂分布与地震活动关系研究[J].华南地震,2002,22(4): 9-18.
- [11] 赵法锁,宋飞,王艳婷,等.基于GIS的略阳县地质环境质量评价[J].地球科学与环境学报,2006,28(1): 88-91.
- [12] 吴琳,李天文.基于GIS的沉降监测数据分析及其三维模拟[J].地球科学与环境学报,2004,26(2): 67-70.
- [13] 长安大学.西部交通建设项目可行性研究报告[R].西安:长安大学,2004.
- [14] 马润勇.青藏高原东北缘构造活动及其工程灾害效应[D].西安:长安大学,2003.
- [15] 王启耀,蒋臻蔚,彭建兵.全新世活动断裂和地裂缝对公路工程的影响及对策[J].公路,2006(2): 104-108.
- [16] 吴珍汉,叶培盛,吴中海,等.青藏铁路沿线断裂活动的灾害效应[J].现代地质,2003,17(1): 1-7.
- [17] 吴信才.地理信息系统设计与实现[M].北京:电子工业出版社,2002.

(上接第 72 页)

5 结语

(1)建立精细油藏地质模型是水平井跟踪研究的基础,对目的层油藏地质特征进行研究,使用油藏地质建模软件,井震结合,建立准确合理的跟踪模型,从而指导水平井钻井研究。

(2)优化水平井轨迹的过程中要遵循一定的原则,选择地质认识程度较高、储层物性较好的层段,尽量降低开发风险。

(3)通过地质建模的水平井实时跟踪技术减小了油藏地质模型与实钻误差,有效地指导了水平井钻井。

参考文献:

- [1] 刘显太,昌峰,张世明,等.东海油气田 A 油藏跟踪研究及效果分析[J].西南石油学院学报,2003,25(2): 15-18.
- [2] 秦宗超,刘迎贵,邢维奇,等.水平井地质导向技术在复杂河流相油田中的应用——以曹妃甸 11-1 油田为例[J].石油勘探与开发,2006,33(3): 378-382.
- [3] 金平信,刘承红,高保国,等.渤南凹陷渤深 6 块潜山储层描述技术[J].地球科学与环境学报,2007,29(2): 174-177.
- [4] 霍春亮,刘松,古莉,等.一种定量评价储集层地质模型不确定性的方法[J].石油勘探与开发,2007,34(5): 574-579.

- [5] 穆剑东,董平川,赵常生.多条件约束储层随机建模技术研究[J].大庆石油地质与开发,2008,27(4): 17-20.
- [6] 赵惊蛰,闫林,孙卫,等.靖安油田盘古梁 6 油藏地质建模研究[J].地球科学与环境学报,2007,29(2): 162-165.
- [7] 陈建阳,于兴河,李胜利,等.多地震属性同位协同储集层地质建模方法[J].新疆石油地质,2008,29(1): 106-108.
- [8] 李良平,胡伏生,尹立河.鄂尔多斯盆地白垩系三维地质建模研究[J].西北地质,2007,40(2): 109-113.
- [9] 郭艳琴,刘昊伟,李宽亮,等.富县探区上三叠统延长组长 3 油藏储集因素[J].西安科技大学学报,2009,29(1): 73-77.
- [10] 赵虹,党永胜,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区三叠系延长组长 2 油层组储层特征及影响因素[J].西安科技大学学报,2009,29(5): 579-583.
- [11] 付国民,李鑫,梁志录,等.油层砂岩成岩作用及其对储层性质的影响[J].西安科技大学学报,2007,27(3): 377-381.
- [12] 饶巧,李涛,何右安.安塞油田坪桥难采区油藏特征及开发对策[J].西北地质,2008,41(1): 107-114.
- [13] 张志升,付国民,孟海峰,等.安塞油田谭家营油区长 2 油藏剩余油分布规律及潜力研究[J].西北地质,2008,41(3): 106-111.
- [14] 石晓燕. Petrel 软件在精细地质建模中的应用[J].新疆石油地质,2007,28(6): 773-774.
- [15] 李艳明,陶林本,李旭东.吐哈油田水平井随钻地质导向技术研究[J].吐哈油气,2007,12(4): 337-340.
- [16] 张吉,陈凤喜,卢涛,等.靖边气田水平井地质导向方法与应用[J].天然气地球科学,2008,19(1): 137-140.