

王金艳, 李丽梅, 史 燕, 等. 利用水系密度方法研究徐州地区隐伏活动构造特征[J]. 华南地震, 2015, 35 (4):92-97. [WANG Jinyan, LI Limei, SHI Yan, et al. Study on Buried Active Structures in XuZhou Areas with Drainage Density[J]. South china journal of seismology, 2015, 35 (4):92-97.]

## 利用水系密度方法研究徐州地区隐伏活动构造特征

王金艳, 李丽梅, 史 燕, 侯 莹  
(江苏省地震工程研究院, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 以 90 m 分辨率的 SRTM DEM 数据为基础, 利用 ArcGIS 软件提取徐州及其周围流域水系, 并结合地形图进行校正与修改。用 GIS 空间分析技术对徐州地区做水系密度的统计分析, 在此基础之上结合地质、深部特征、地震活动性分布等资料, 研究徐州及其周围地区隐伏活动构造特征, 得出研究区隐伏活动构造的规律, 同时验证了水系密度等值线高梯度带, 特别是梯度带的转弯及两个方向的交接部位是现代强震的分布地带; 水系密度图与布格重力异常图的异常区均为近代强震发生的区域。为探索利用水系密度等值线图探讨徐州地区隐伏活动构造的特征提供了一定的借鉴意义, 为揭示全新世以来平原覆盖层下地震构造及其活动的基本特征提供新的技术思路。

**关键词:** 水系密度; 隐伏活动构造; 地震活动性; 重力异常

**中图分类号:** P315.7

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-8662 (2015) 04-0092-06

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2015.04.14

## Study on Buried Active Structures in XuZhou Areas with Drainage Density

WANG Jinyan, LI Limei, SHI Yan, HOU Ying

(*Institute of Earthquake Engineering for Jiangsu Province, Nanjing 210014, China*)

**Abstract:** Based on 90 meters high-resolution SRTM DEM data, the paper extracts the water system of Xuzhou and the surrounding by using the arcgis software, and does correction and modification combining with the topographic map. The paper makes statistical analysis of drainage density in Xuzhou region by using geographic information system technology. Based on these, and combining with geology, deep crustal structure, the quake's epicenter distribution map, the paper studies the latest active tectonics characteristics of Xuzhou and the surrounding area. Meanwhile, the paper verifies the drainage density contour with high gradient belt, especially the direction of the gradient belt turning and two transition regions which are the distribution zone of modern earthquake; the reverse abnormal zone in the drainage density map and the gravity anomaly map are modern earthquake area. This study provides some reference for using the drainage density contour map to reveal the

**收稿日期:** 2014-08-18

**作者简介:** 王金艳 (1982-), 女, 工程师, 主要从事 GIS 在活动构造中的研究, 城市活断层探测工作.

**E-mail:** 117001305@qq.com.

active tectonic characteristics in Xuzhou area, and also offers a new technical idea that reflects the seismotectonic and activity under plain cover since the Holocene.

**Keywords:** Drainage Density; Buried active structures; Seismic activity; Gravity anomaly

## 0 引言

活动构造研究以研究和探讨构造活动性质、滑动速率、地震复发特征、分段性及地震危险性评价为主,采用的研究方法主要是地貌学、探槽技术和晚第四纪年代学,在活动断裂的大比例尺填图、深浅部构造结合、大城市活断层探测及地震危险性评价方面取得丰硕的成果<sup>[1-5]</sup>。其中对平原地区隐伏活动构造的定量研究主要采用地震探测、钻孔联合剖面的方法,而对于地表水系与隐伏断裂的关系研究较少。由于地表水系对隐伏活动断裂具有一定的指示作用,同时因为第四纪冲积平原上水系的分布能够灵敏地反映构造活动,深部隐伏物质的运动以及基底构造块体的隆起、拗陷、掀斜和断裂的活动都会使地表的水流发生弯曲、伸直、汇集、分流等变化,形成各种形态和密度的水系<sup>[6-7]</sup>。同时,可以认为现代水系的概貌主要是全新世以来形成的,因而这种统计分析可以揭示地下隐伏构造最新的活动特征<sup>[8]</sup>,王若柏利用水系密度计量分析,揭示出河北平原隐伏活动构造的信息<sup>[9]</sup>,侯建军通过对水系线密度和面密度的量计和制图分析,揭示了渭河盆地全新世构造活动<sup>[8]</sup>,正是由于水系密度有揭示厚层新生代松散沉积物覆盖下隐伏活动构造规律的优点,因此本文选择在徐州及其周围地区进行研究,以期获得用水系密度揭示徐州地区隐伏活动构造特征的目的。

## 1 区域地质概述

本次研究区参考《徐州市新城区、开发区活断层探测与地震危险性评价》项目的工作区范围:东经 116°15′~118°40′,北纬 33°34′~35°06′。

在地理位置上,研究区位于华北平原中部,“山东丘陵”的南缘,研究区南部及西部地势比较平坦,海拔不高,一般不超过 100 m,为黄河等河流冲洪积倾斜平原,河道变化频繁,从而在平原区留下了大量的古河道和积水洼地。东北部为鲁中南山区,发育低山丘陵地貌,丘陵标高 200~80 m,枣庄以北的胡顶可达 502 m (图 1)。山脉走向与地质构造一致。枣庄一带呈东西向,徐州南北

一带呈北北东-北东东向弧形。由灰岩、白云岩等组成的山体中石芽、溶沟较发育,切割中等,局部有“V”型谷和陡崖。鲁中南山体受构造控制,多呈北西向,并形成条状断块山和断陷盆地。研究区主要河流有:京杭大运河、运河、不老河、废黄河、伊家河、房亭河、奎河、郑集河等,大部分河流属沂沭河流域,仅南部的奎河、闸河属于淮河流域。

因新构造运动以来该地区持续沉降,第四纪沉积物平均厚度都在 100 m 以上<sup>[10-12]</sup>,该区断裂带多为隐伏构造,直接从地表寻找露头不易判读断裂带的存在。因此,要借助其它辅助手段,从断裂带对该区带来的影响角度出发,这主要体现在水系发育方面,盆地湖泊及火山的发育等现象。研究北部为山区,山脉丛生,地势起伏比较大,断层活动对北部区域影响颇大。

研究区古近纪以来以上升运动为主,受近东西向断裂控制,局部发育有断陷和拗陷盆地<sup>[12]</sup>。新近纪,地壳相对稳定,经长期剥蚀夷平,形成了新近纪夷平面。早更新世,地壳运动主要表现为不平衡抬升或掀斜隆起,使新近纪夷平面发生构造变形,成为现代山丘之雏形。中更新世为又一次剥蚀夷平时期,但时间较短,所形成的夷平面发育不够充分,主要由山麓剥蚀面和河流二级阶地面组成,沿山丘呈环带状分布或沿河流延伸。晚更新世以来,本区继续发展断块差异性升降活动,使上述夷平面被分割成不连续分布。全新世以来,本区山丘继续上升,盆地则继续下降,但幅度和速度都不大<sup>[10-12]</sup>。

从地质构造上看,研究区位于北北东向的郯城-庐江断裂带、岳集断裂和近东西向的铁佛沟断裂、宿北断裂所围限的区域内,断裂主要有东西向丰沛构造带、宿北断裂构造,徐淮弧形推覆构造,北北东-北东向构造,北西-北西西向构造(图2)。

## 2 水系密度与隐伏构造活动的关系

### 2.1 水系密度对隐伏构造活动有灵敏的响应

构造沉降区水系密度较高,构造抬升区水系

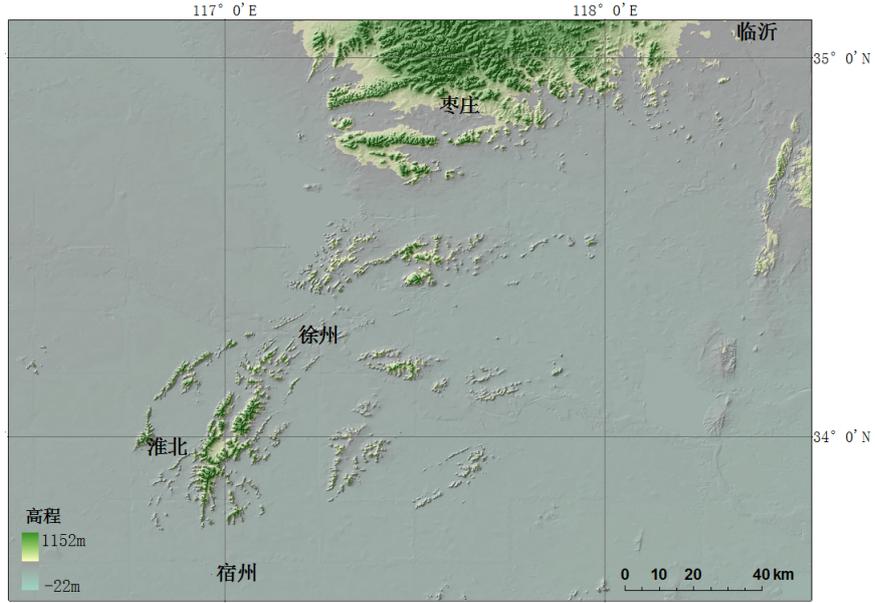


图 1 水系密度分布图

Fig.1 Distribution map of drainage density

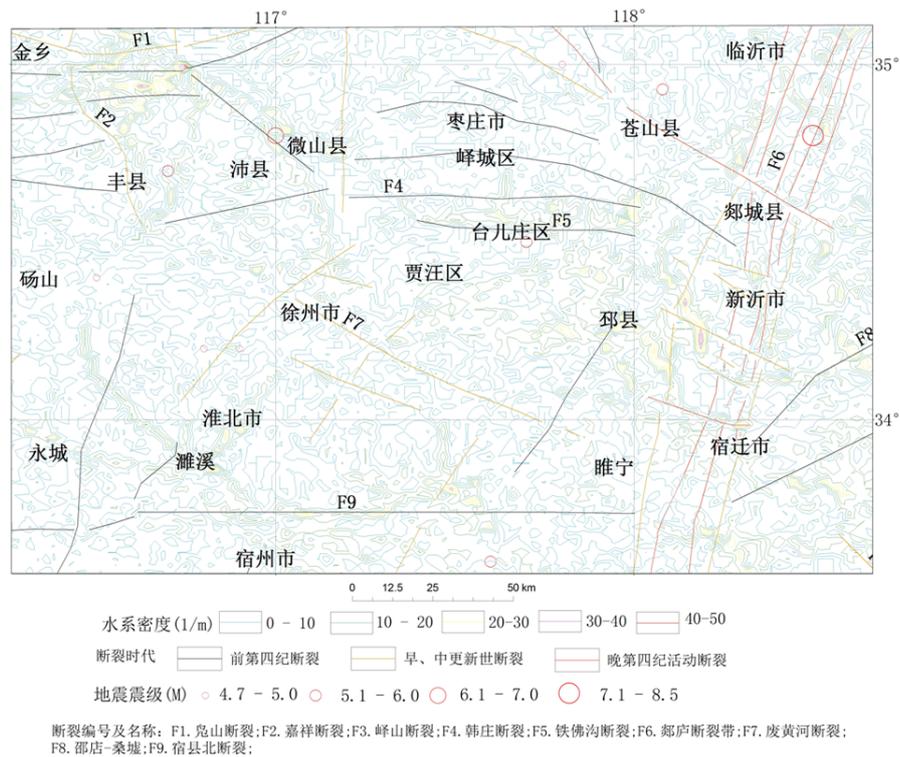


图 2 水系密度叠加断层图

Fig.2 The superposed map of drainage density and fault

密度较小；在高、低值的边界，若水系密度梯度远大于其它地区，并呈现带状分布，则常反映在构造分区或活动断层如盲断层或活动褶皱的位置<sup>[7]</sup>。通过水系密度图可以揭示出沉降区和隆起区。水系密度的梯度带则代表了构造隆起和凹陷的交接部位，往往是活动断裂分布的地带。在断裂叠加水

系密度图(图 2)看出：

嘉祥断裂东侧水系密度大于西侧，从而揭示了构造区隐伏活动断层的可能位置。研究区肖云镇、谷亭真、欢口镇、龙固镇附近水系密度大，且呈密集的条带状分布，这些地区处于沉降区；研究区中东部如大店镇、宿州市、永安市、房村

镇、长城镇、大庙镇、微山县等地区水系密度偏小,说明这一带的构造上升运动相对较强。芒山镇-宿州县之间以及濉溪县-白土镇之间的水系密度大于周边地区,且成条带状分布,这两个区域可能处于凹陷处,构造沉降区。处于铁佛沟断裂与韩庄断裂之间的水系密度明显大于其周围地区,说明该断裂两侧地区地壳有逐渐抬升的趋势,1:20万徐州地质图验证了这个结论。

在研究区的西北角肖云镇-欢口镇-龙固镇一带,水系密度呈东西向密集条带分布,文献记载此处存在湖西凹陷<sup>[2]</sup>,推测这一带受到了基底活动构造的控制。

郟庐断裂带附近的水系密度总体成串珠状的北东向分布。为郟庐断裂带为界,水系密度呈现出东西高中间低的分布,验证了研究区所在郟庐断裂带中段两堑夹一垒的构造格局。东西两侧的水系密度值也有差异,也说明郟庐断裂带东西两侧构造活动亦有差异。

研究区从芒山镇到谷饶镇附近,水系密度成北东向条带状分布,从谷饶镇到冯庙镇水系密度成东西向条带状分布,两个水系密度方向的交接部位,并没有中强地震的发生,其中东西向条带分布显示了宿县北断裂的存在位置。结合研究区的布格重力异常图发现,沿断裂重力异常均反映沿该断裂分布有近东西向的梯级带。断裂南北两侧在地层上差异较大:北侧东部为由震旦系及古生界组成的北东向紧密褶皱,西部据钻孔及电测深资料分析有厚达3 000~4 000 m的古近系;南侧东部为由古生界组成的短轴宽缓褶皱,西部据钻孔资料揭示,在2910 m之下,即为上太古界的霍丘群,表明北侧下降达数千米。

通过水系密度统计结果获得隐伏活动构造相对的强度和规模,不同构造区之间的边界,尤其是隆起区与沉降区之间的断裂,常是地震活动地段,结合地震活动性、地震地质和深部等其他相关资料,为研究区提供基础研究和地震构造分区参考依据,对于科学合理的选择重点监测区带、地震危险区划、未来地震危险性预测研究有指导意义。

## 2.2 水系密度与布格重力异常

关于重力与地震活动性的大量研究成果已经证明,重力异常的梯度带附近往往是历史和现代强震分布的部位<sup>[7-8]</sup>。从地壳运动均衡的理论可以得知,重力高异常(图中以实线和“+”符号表示)

相对应地表为拗陷,重力低异常(图中以虚线和“-”符号表示)相对应于地表隆起。而相对于水系密度的关系,重力高异常区对应于水系密度高值区,重力低异常区对应于水系密度低值区。从水系密度与重力异常叠加图上可以看出,重力异常与水系密度的分布是互相吻合的,即重力低异常的地方对应的是水系密度低值区的地方。水系密度梯度带同样是强震多发的部位。

从图3可以看出,区域内布格重力异常轴向总体上以北东向和近东西向为主。大致以郟城-庐江断裂带所通过的位置为界,其东侧表现为布格重力正异常,异常背景值为:(0~15)×10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>,局部高异常达(25~35)×10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>;西侧地区则具大面积布格重力正、负异常相间特征,正异常背景值为(0~15)×10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>,局部高异常区可达40×10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>以上(微山湖西侧单县一带),负异常主要集中在临沂-枣庄一线西北部、金乡县-涡阳县西和利辛-五河一线以南地区等地,最小异常值在-25×10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>以下。在郟城-庐江断裂带及其附近,布格重力异常轴向以北东为主,并形成一系列异常等值线的畸变。

研究区内水系密度与布格重力值总体特征为东高西低的特点,从而反映出研究区地壳厚度总体特征为东薄、西厚,中间为平缓过渡区。

## 2.3 水系密度与地震活动性

据不完全统计,研究区自公元462年8月以来,共记载到 $M \geq 4.7$ 级地震10次,其中4.7~4.9级地震4次,5~5.9级地震3次,6级以上地震2次,即462年8月17日山东兖州南6级地震和1668年7月25日山东郟城8级地震。另据区域地震台网记录,自1970年1月至2010年6月,研究区共记录到 $M_L \geq 1.0$ 级地震805次,其中1.0~1.9级地震509次,2.0~2.9级地震257次,3.0~3.9级地震34次,4.0~4.9级地震4次,5.0级以上地震1次,即1995年9月20日山东苍山5.2级地震。

将中强地震叠加在水系密度图分布图上(图2)发现:研究区域内绝大多数的地震位于区域北部的鲁南地区(特别是苍山临沂一带和菏泽地区)和区域西南部的皖北地区(特别是固镇地区)。而这些区域正是水系密度等值线高梯度带,特别是梯度带的转弯及两个方向的交接部位。这一点对未来地震危险性预测,特别是在平原覆盖区的预测研究是非常重要的。

研究区域地震区的情况更为清楚,1668年7

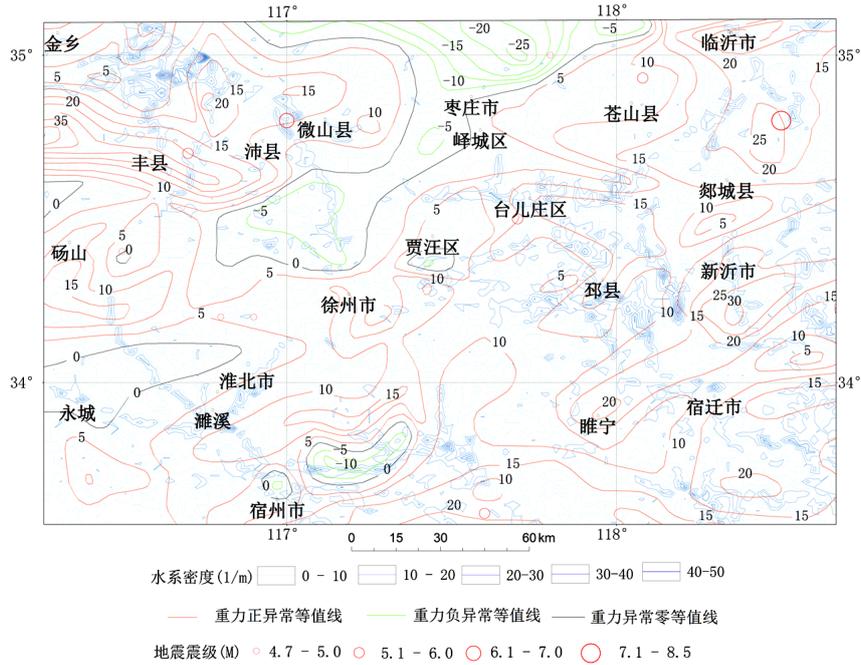


图3 研究区布格重力异常值与水系密度叠加图

Fig .3 The superposed graphy of drainage density and gravity anomaly

月 25 日发生在山东郯城的 8½ 级地震和山东兖州南 6½ 地震所处位置都位于水系密度梯度带的转弯部位，462 年 8 月 17 日山东兖州南 6½ 地震的发震断裂，与一条北东向的水系密度梯度带吻合，其它强余震的空间位置亦不例外。以上分析表明，研究区中强地震震中位置与水系密度分布图有明显的规律性对应。整个地震序列中其它的地震也都分布在这些部位，显然不是偶然的，这与前人使用大量测深资料分析的地震活动性结果基本一致<sup>[13-15]</sup>。

### 4 结语

徐州地区是弱活动构造区，活动构造在地表出露不明显。本文通过水系密度的提取和综合分析研究，得出以下的结论：

- (1) 嘉祥断裂东侧水系密度大于西侧，从而揭示了构造区隐伏活动断层的可能位置。
- (2) 研究区肖云镇、谷亭真、欢口镇、龙固镇附近水系密度大，且呈密集的条带状分布，这些地区处于沉降区；研究区中东部如大店镇、宿州市、永安镇、房村镇、长城镇、大庙镇、微山县等地区水系密度偏小，说明这一带的构造上升运动相对较强。芒山镇-宿州县之间以及濉溪县-白土镇之间的水系密度大于周边地区，且成条带

状分布，这两个区域可能处于凹陷处，处于构造下降阶段。

- (3) 在铁佛沟断裂与韩庄断裂之间的水系密度明显大于其周围的地区，说明该断裂两侧地区，地壳有逐渐抬升的趋势。
- (4) 研究区的西北角曹马集镇-鱼城镇-谷亭镇一带，水系密度呈东西向密集条带分布，推测这一带受到了基底活动构造的控制。
- (5) 研究区中强地震的震中水系密度图有明显的规律性对应。水系密度等值线高梯度带，特别是梯度带的转弯及两个方向的交接部位是现代强震的分布地带。
- (6) 研究区的水系密度高低与重力异常分布图吻合，重力异常的梯度带附近往往是历史和现代强震分布的部位，水系密度梯度带也同样是强震多发的部位。
- (7) 郯庐断裂带既是多个新构造单元的构造边界，同时也是区内活动最强的一个新构造单元。

水系密度统计结果获得隐伏活动构造相对的强度和规模，结合地震地质、深部构造、地震活动性等资料在水系密度高梯度带、异常转弯和不同方向梯度带的交汇区等处进行深入研究,获取覆盖层下第四纪地层厚度和绝对年龄的大量资料，就能得出全新世以来平原下隐伏基底构造和断层活动强度的定量数据，从而为圈定一些来的的危险区做基础。

## 参考文献:

- [1] 李西, 张建国, 谢英情, 等. 昆明城市活断层信息管理系统及数据库建设综述[J]. 地震研究, 2008, 31 (增刊): 612-618.
- [2] 邓起东, 徐锡伟, 张先康, 等. 城市活断层探测的方法和技术[J]. 地学前缘, 2003, 10 (1): 150-162.
- [3] 朱金芳, 徐锡伟, 黄宗林, 等. 福州市活断层探测与地震危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4] 于贵华, 徐锡伟, 孙怡, 等. 城市活断层探测信息系统的设计与实现—以福州市活断层信息管理系统为例[J]. 地震地质, 2006, 28 (4): 655-662.
- [5] 柴焯章, 孟广魁, 马贵仁, 等. 银川市活断层探测与地震危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [6] 王若柏, 郭良迁, 韩幕康, 等. 用 GIS 方法研究唐山和邢台地震区全新世隐伏活动构造[J]. 华北地震科学, 2001 (19): 34-40.
- [7] 王若柏, 郭良迁, 韩幕康, 等. 河北平原水系密度与隐伏活动构造的关系[J]. 地理学报, 2002, 57 (3): 284-292.
- [8] 周斌, 李蕾, 孙峰, 等. RIS 时空分布特征及其与库区地质构造环境的关系[J]. 华南地震, 2014, 34 (1): 1-10.
- [9] 王金艳, 黄永林, 谭慧明, 等. 利用 ArcGIS 生成水系密度的方法[J]. 地理空间信息, 2010, 8 (6): 156-157.
- [10] 山东省地质调查院. 济宁幅 I-50-3 金乡幅 I-50-9 1/20 万区域地质调查报告[R]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [11] 江苏省地质局区调队. 徐州幅 I-50-16 1/20 万区域地质调查报告[R]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [12] 江苏省地质局第二水文地质队. 徐州幅 I-50-161/20 万区域水文地质普查报告[R]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [13] 赵朋, 郑颖平, 翟洪涛, 等. 滁州地区构造活动特征分析[J]. 华南地震, 2014, 34 (3): 96-103.
- [14] 丁原章, 邓丽君, 王俊晖. 香港地区晚更新世的构造活动性[J]. 华南地震, 2013, 33 (2): 1-13.
- [15] 黄耘, 李清河, 张元生, 等. 江苏及邻区地震重新定位和构造特征分析[J]. 地球物理学报, 2008, 51 (1): 175-185.
- [16] 邬伦, 汪大明, 张毅. 基于 DEM 的水流方向算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11 (7): 998-1003.
- [17] 张会平, 杨农, 张岳桥, 等. 岷江水系流域地貌特征及其构造指示意义[J]. 第四纪研究, 2006, 26 (1): 126-135.
- [18] 张珂, 郭毅, 李致家, 等. 基于 DEM 的流域信息提取方法及应用实例[J]. 水力发电, 2005, 31 (2): 18-21.
- [19] 向宏发, 贾三发, 张晚霞, 等. 北京平原区隐伏断裂晚第四纪活动性的探测研究[J]. 地震学刊, 1992 (3): :26-28.
- [20] 王磊, 胡伍生, 吴波. 基于 GIS 的水系提取方法与分析[J]. 现代测绘, 2004, 27 (6): 45-46.
- [21] 魏国灵, 何珊儒. 对新构造运动表现特征的一些认识[J]. 广东地质, 2004 (3): 8-13.
- [22] 林金辉, 张荔, 王晓昌, 等. 基于 DEM 的数字化渭河流域水系构建[J]. 西安建筑科技大学学报, 2008, 40 (2): 260-264.
- [23] 周斌, 李蕾, 孙峰, 等. RIS 时空分布特征及其与库区地质构造环境的关系[J]. 华南地震, 2014, 34 (1): 1-10.
- [24] 王银, 于贵华, 崔瑾, 等. 石嘴山市活断层数据库建设综述[J]. 华南地震, 2014, 34 (3): 45-51.
- [25] 柔洁, 刘云华, 傅长海. 乌鲁木齐市活断层数据库在城市建设中的作用[J]. 内陆地震, 2008, 22 (3): 193-202.
- [26] 王银, 杜克平, 于贵华, 等. 城市活动断层探测中的浅层地震勘探数据库建设[J]. 地震工程学报, 2014, 36 (1): 186-194.
- [27] 方盛明, 张先康, 刘宝金, 等. 探测大城市活断层的地球物理理论方法[J]. 地震地质, 2002, 24 (4): 606-613.
- [28] 袁道阳, 王兰民, 何文贵, 等. 兰州市地震活断层探测新进展[J]. 地震地质, 2008, 30 (1): 236-249.