

# 山西地堑系地裂缝发育及其与水土流失的关系

杨景春 胡晓猛 李有利

(北京大学城市与环境学系 北京 100871)

马志正

(山西师范大学地理系 山西临汾 041004)

**摘要** 研究了山西地堑系地裂缝的平面分布、剖面特征及其与断层、地下水变化和暴雨过程的关系,并讨论了地裂缝发育与水土流失的关系。山西地堑系的地裂缝有很强的方向性,与区域构造线走向一致,许多地裂缝向下与活动断层相通,它们的形成与构造运动有密切的关系。一些地裂缝的发育与暴雨过程密切相关,这些地裂缝主要发育在黄土地层中,它们的形成与黄土易于发生潜蚀有关。黄土潜蚀形成的地裂缝的发育过程是山西地堑系一种普遍存在、危害严重的水土流失的方式。

**关键词** 地裂缝 黄土湿陷 水土流失 山西地堑系

## Development of Ground Fissures and Soil Erosion in the Shanxi Graben System

*Yang Jingchun Hu Xiaomeng Li Youli*

*(Department of Urban and Environmental Sciences, Beijing University Beijing 100871)*

*Ma Zhizheng*

*(Department of Geography, Shanxi Normal University Linfen 041004)*

**Abstract** Since 1950s, hundreds of ground fissures have occurred in the Shanxi Graben System in the northeast China. The fissures, and related subsidence and differential settlement have caused and are causing substantial damage to homes, agricultural land, roads, canals, and other infrastructures. Although generally similar in appearance, the fissures have different origins. Some coincide with northeast-trending faults. Trenching shows that the fissures extend into the near-surface faults, increasingly vertically offset clay beds and other stratigraphic markers at depth, and therefore are probably the surface expressions of aseismic fault movements. Some fissures are demonstrably related to accelerated groundwater withdrawal. This is particularly apparent in Datong and Yuci where groundwater levels have declined greatly. Other fissures owe their origin to the well-known process of "soil collapse." This is particularly common in the silty loessial sediments that occur within most of the basins that comprise the Shanxi Graben System. The "soil collapse" along the ground fissures is a popular way of soil erosion in the Shanxi Graben System.

**Key words** ground fissure loess collapse soil erosion Shanxi graben system

50 年代以来, 山西地堑系的大同、太原、临汾、侯马和运城盆地多处发生地裂缝, 使建筑物、道路、农田、村舍及水利灌溉工程遭到破坏。本文主要讨论山西地堑系最近 10 多年来地裂缝的活动及其与水土流失的关系。

## 1 地质背景

山西地堑系由一系列正断层控制的盆地构成一个“S”形的盆地带。控制盆地的断层主要走向 NNE-SSW, NE-SW 和 ENE-WSW。在地堑系的中部(太原盆地和临汾盆地), 断层主要走向 NE-SW 或 NNE-SSW, 而在地堑系的南部和北部, 断层主要走向 ENE-WSW<sup>[1, 2, 3]</sup>。这些盆地中填充了深厚的新生代松散沉积物, 主要为河湖相地层和风成黄土堆积, 最大厚度可达 3 000 多 m<sup>[3]</sup>。山西地堑系主要是由于上地幔的拱起和由青藏高原向北推挤产生右旋剪切而形成<sup>[3, 4]</sup>。公元 231 年以来, 山西地堑系一共发生了 20 次 6 级以上地震, 其中包括一次 8 级地震, 5 次 7~7.9 级地震和 14 次 6~6.9 级地震。最近几年, 山西地堑系仍发生有感地震, 如 1986 年震级为 4~5 级的运城震群, 1989 年的 5.6~6.1 的大同震群, 以及 1998 年初的张家口 6.2 级地震。这些地震活动说明山西地堑系的构造仍很活跃。活动断层和地震形成破裂对于地裂缝的发育和由此引起的水土流失有一定的影响。

## 2 地裂缝活动

### 2.1 大同市地裂缝

大同市地裂缝最早发现于 1983 年, 大同机车厂生活区楼房开裂, 形成长约 1.3 km, 走向 ENE-WSW 的地裂缝带。目前, 大同市区已被发现的地裂缝共 3 条, 它们均呈 NE、ENE 走向。第一条地裂缝带位于大同市西南郊, 全长约 5 km, 由多条 NE 走向、右行排列的个体地裂缝组合而成, 总体走向为 NE57°。第二条地裂缝带位于大同市中西部, 全长 2.5 km, 总体走向 NE50 左右。第三条地裂缝带位于大同市北郊, 全长 3.0 km, 总体走向 NE70°; 局部地段走向为 NE70~80°。地裂缝带的宽度为 8~15 m, 少数地段地裂缝带最大宽度可达 20~30 m<sup>[5]</sup>。

横跨地裂缝的探槽揭示, 在剖面上地裂缝带由主裂缝和一些次裂缝构成。主裂缝普遍倾向 SE, 倾角多为 70~80°; 多为锯齿形张开状态, 一般宽度 3~5 cm。次级裂缝宽度多为 2~3 cm, 且随深度增加和与主裂缝距离减小而逐渐增大。主裂缝上盘, 次级裂缝普遍倾向 NW, 倾角 60~70°; 与主裂缝夹角一般 40~50°; 二者在剖面上呈“Y”字形。主裂缝两侧地层往往不连续, 裂缝具有正断层性质。并且, 在有些探槽中见地裂缝带为一断层破裂带, 主裂缝与断层复合在一起。

### 2.2 太原盆地地裂缝

最近, 在太原盆地发生的地裂缝有榆次地裂缝和太谷地裂缝。榆次地裂缝发现于 1982 年, 以明显的房屋建筑裂缝破坏和地表破裂为标志。在 1982、1984、1987、1991~1993 年该地裂缝带多次活动。在平面展布上, 榆次地裂缝成束、断续出露, 大体构成三条地裂缝带, 其中中带长约 3 400 m, 宽 30~60 m; 总体走向 NE-SW。探槽揭示, 地裂缝两侧地层没有发生明显的垂直错位。在垂直剖面上, 各条地裂缝均呈上宽下窄, 向下逐渐尖灭的形态。破裂深度一般为地表以下 3~4 m, 个别可达 5~6 m<sup>[6]</sup>。太谷地裂缝出现于 1988 年 7 月 20 日一场暴雨之后, 为 3 条长约 150~200 m, 宽 0.9~1.2 m, 可见深度 0.6~2.2 m, 走向 N35~55 E 的地裂缝。

### 2.3 临汾盆地地裂缝

临汾盆地近几年活动的地裂缝很多。1986年8月一次暴雨后,襄汾县孝村发生地裂缝。地裂缝走向 NE55°,绵延 1 000 余 m,最宽处 20 cm。1993年7月17日,长时间降雨后,在尉村发生长 800 m 的地裂缝。裂缝最宽处 30 cm,深度大于 13.5 m,总体走向 NE55°。1993年7月15日暴雨中,襄汾县张礼燕村发现地裂缝,走向 NE60°,长约 450 m,最宽处 1.5 m。在同一降雨过程中,在贾得乡发生 4 条地裂缝。1996年4月调查时,该地裂缝依然可见,其中,有一条现保存长度 170 m,走向 NE60°,最宽处可达 1.8 m,深度 1.1 m。当地居民反映,这些地裂缝已有 10 多年的历史,多在降水多的年份发生<sup>[7]</sup>。

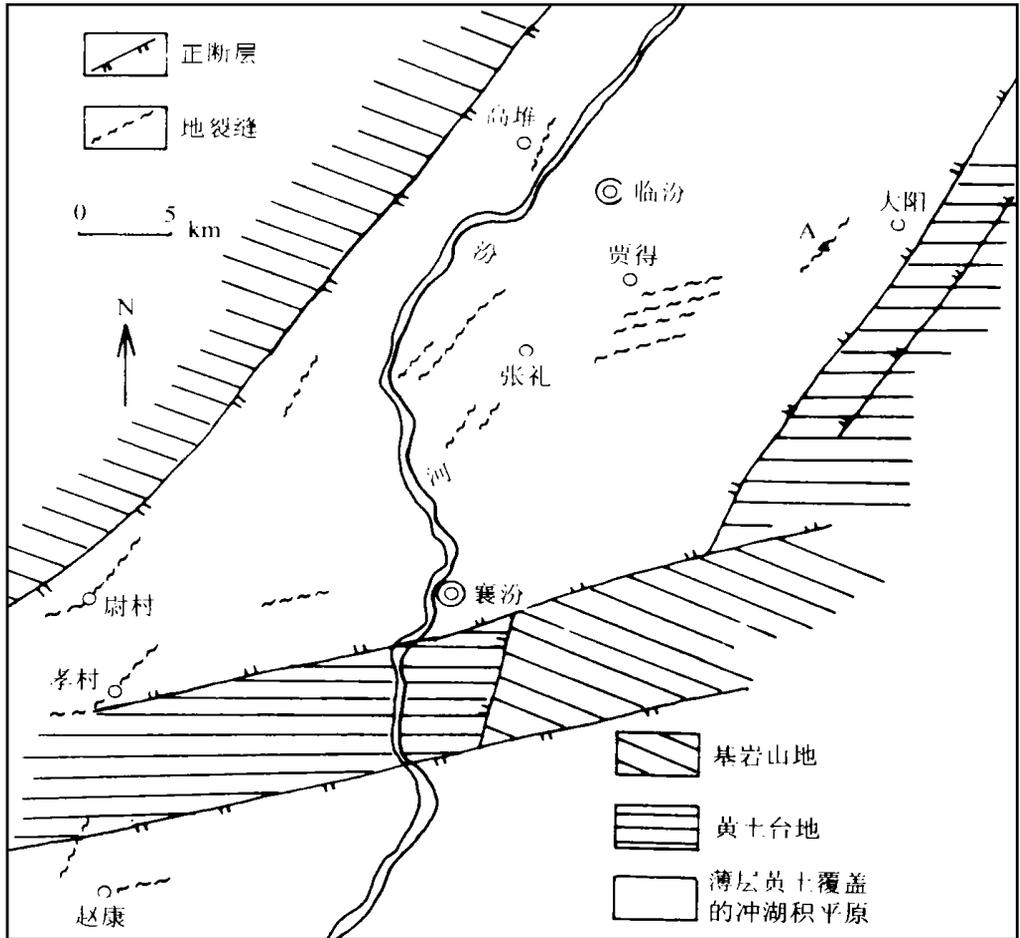


图1 临汾盆地地裂缝

80年代初期,临汾市东约 15 km 的巨河水库大坝上出现了裂缝,走向 NE60°。沿着裂缝向 SW 的延伸方向,在大坝南端河谷南岸发现了一个地裂缝的露头。裂缝内有脉状棕红色粉砂质黏土和灰黄色粉细砂充填物,这些不同颜色的充填物平行裂缝排列。在裂缝的下部,裂缝中间是棕红色粉砂质黏土,两侧为灰黄色粉细砂,最外侧为棕红色粉砂质黏土。在裂缝上部,只填充棕红色粉砂质黏土。裂缝两侧的地层被垂直错断,下部地层的断距为 45 cm,中部地层的断距为 36 cm,上部地层的断距为 25 cm,可见,该地裂缝为一活动断层。裂缝内的充填物和两侧错距反映地裂

缝以张性为主, 并有多次活动的特征。当一次裂缝活动之后, 形成张性裂缝, 被松散物质填充, 并被后来新的沉积物覆盖。当裂缝再次活动后, 原来的充填物被张开, 同时覆盖在老裂缝上的新地层也被张开, 被新的充填物填充, 形成新老充填物在裂缝内呈平行对称排列, 以及新地层中的裂缝中只有一次充填, 而老地层中的裂缝中则有两次充填的现象。由于该裂缝有明显的垂直位移, 多次活动造成了新地层的错距小于老地层的错距。

## 2.4 峨嵋台地和运城盆地地裂缝

峨嵋台地是侯马盆地和运城盆地之间的隆起高地。在峨嵋台地上的万荣县薛店地裂缝出现于1983年7月29日。裂缝总体走向NE, 长约1400 m。裂缝通常为一条, 个别地段为两条或三条, 间隔5~6 m。一般宽度1 m, 局部陷落为深坑。地裂缝发生前因暴雨薛店内积水达1 m多深, 众多院落进水。地裂缝发生后约半小时, 洪水沿裂缝泄完。据调查, 60多年前和1965年, 薛店村南均出现过地裂缝。老的一条, 走向NE81°; 长约1.3 km, 虽经60多年耕作填补, 线形洼地依然可见。新的一条走向NE85°<sup>[8]</sup>。另外, 峨嵋台地上由荣河至里望, 地裂缝断断续续达20 km, 总体走向ENE, 与下伏的一条断层的位置一致<sup>[9]</sup>。

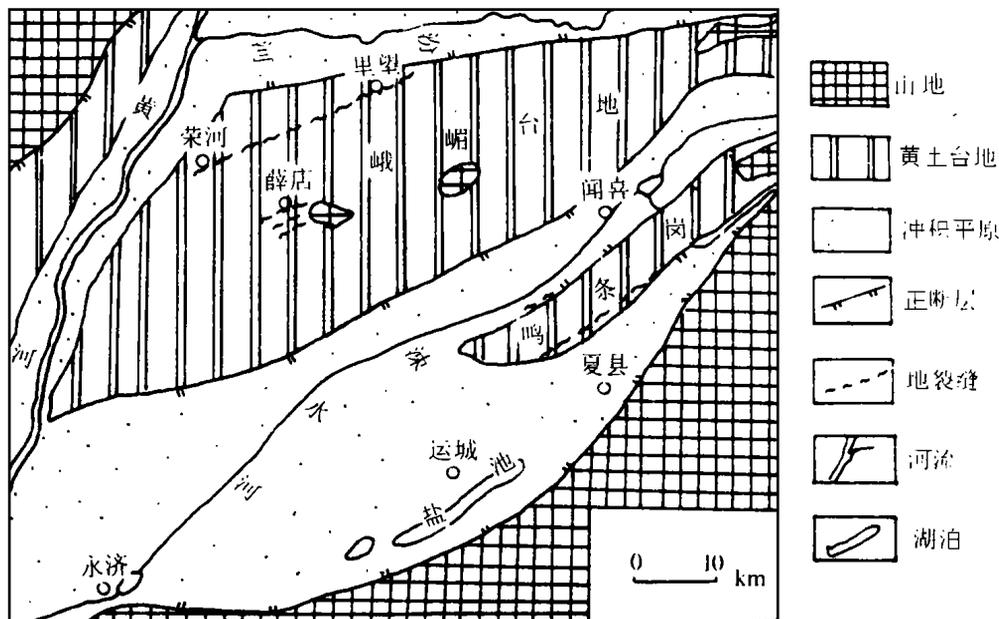


图2 峨嵋台地和运城盆地地裂缝

运城盆地鸣条岗地垒南侧地裂缝在1983年夏的一次强降雨时发生, 地裂缝延伸达15 km, 走向NE<sup>[10]</sup>。在1988年春灌时, 该地裂缝造成大量灌溉用水泄露。该地裂缝所在正是鸣条岗地垒南侧断层所通过处<sup>[11]</sup>。

## 3 地裂缝的成因

山西地堑系地裂缝呈带状分布, 每一条地裂缝都由好几条规模不一产状近似的单条地裂缝组成。例如, 大同市地裂缝有3条地裂缝带, 走向ENE; 运城盆地和峨嵋台地的地裂缝多为NE走向; 临汾盆地地裂缝有两组, 一组走向ENE, 一组走向NE; 太原盆地的地裂缝走向NE。ENE

走向的地裂缝出现在山西地堑系的北部, NE 走向的地裂缝出现在盆地的中部, 这与整个地堑系盆地的走向相似。另外, 一些地裂缝直接位于断层之上, 与断层的产状一致, 地裂缝带中的次级地裂缝有雁行排列的特点, 如大同盆地的地裂缝。这些特点表明, 有些地裂缝是构造活动在地表的表现。

有些地裂缝分布在地下水漏斗区, 如大同地裂缝和太原盆地的榆次地裂缝等。大同地裂缝所在区域, 地下水位的下降很厉害。区内地下水位埋深由 1958 年的 3.01 ~ 11.54 m 降至 1980 年的 25.66 ~ 35.77 m, 平均下降速率为 1.03 ~ 1.10 m/a。1981 ~ 1989 年的平均下降速率增加到 1.37 m/a<sup>[5]</sup>。太原盆地榆次地裂缝的发育与地下水水位的下降也有密切关系<sup>[6]</sup>。大量开采第四系含水层中的地下水, 可使地下水水位大幅度下降, 破坏含水层压力分布的平衡, 使第四系不稳定的压缩曾产生压缩和变形, 在重力作用下发生地面下沉, 由于沉降不均匀而产生地裂缝。

山西地堑系地裂缝多发育在黄土中。黄土的物理化学性质对地裂缝的发育有一定的影响。黄土结构疏松, 多空隙, 垂直节理发育, 富含  $\text{CaCO}_3$ , 极易渗水。黄土受水浸湿后, 部分  $\text{CaCO}_3$  被水溶解, 部分黄土颗粒被水带走, 使黄土空隙扩大, 甚至形成空洞, 在地表形成塌陷。太原盆地中的太谷地裂缝, 临汾盆地的地裂缝, 以及峨嵋台地上和运城盆地中的地裂缝均发生在黄土中, 并且它们的发生都与暴雨有关。这些地裂缝的延伸与区域构造方向一致, 说明它们的成因与构造活动有一定的关系, 但它们表现为地裂缝, 则是地下水潜蚀作用的产物。基地断层活动和古地震的振动在土层中形成裂缝, 地下水沿裂缝运动, 发生潜蚀作用, 土体发生塌陷并被地下水带走, 形成地裂缝。在临汾盆地进行野外考察时, 我们看到, 在田野中很宽的地裂缝, 在通过建筑物时, 建筑物并没有发生明显的张裂, 可见, 地裂缝的宽度主要是黄土沉陷所致, 而非水平张开的产物。

## 4 地裂缝活动与水土流失的关系

过度抽取地下水引起的地裂缝往往对水土流失的影响不大, 但由黄土潜蚀形成的地裂缝的发育过程是山西地堑系一种普遍存在、危害严重的水土流失方式。野外考察发现, 在 1996 年 7 月的一次暴雨中, 临汾市东形成的一条地裂缝造成了 150 m<sup>3</sup> 的土壤流失。太谷地裂缝在 1988 年的一次暴雨中造成了约 2 500 m<sup>3</sup> 的土壤流失。另外, 山西地堑系的地裂缝常常有原地复发的特点, 长期的地裂缝活动, 造成大量土壤流失而在地表形成深陷洼地。例如, 襄汾县景毛村南、南高村西有一条走向近东西, 长约 300 m, 宽约 25 m 的沉陷洼地, 其中约 23m × 25 m 的范围下沉最深, 最大深度可达 40 m, 沿长轴方向两侧均有断续的裂缝出现, 裂缝最大宽度 5 cm。在赵康村东也发育一沉陷, 走向北东, 长约 79 m, 中段宽 50 余 m, 两端宽度 0.5 ~ 1 m 不等, 沉陷顺中轴发育裂缝, 暴雨时洪水沿裂缝流失, 带走泥沙。

一旦地裂缝形成, 作为暴雨时地表水的下泄通道, 会加速土壤的侵蚀。例如发育在运城盆地和侯马盆地之间的峨嵋台地上的薛店地裂缝在未形成之前, 暴雨造成院落积水深达 1 m; 在裂缝形成后的半小时内, 积水快速沿裂缝流入地下, 地裂缝迅速加宽加长, 并发生崩塌, 造成了大量土壤流失。

受断层活动影响, 山西地堑系黄土区的地裂缝常常沿固定方向延伸很远, 穿过城市、村庄、农田、道路、灌溉工程和其它建筑工程, 具有很大的破坏性。对于这种类型的地裂缝, 要加强查明地下裂缝和空洞的分布范围及其与断层的关系, 建立地面排水通道, 在有地下裂缝和空洞的区域, 地面不宜再建新的房屋, 对已建的农舍尽早搬迁或对房屋加固。

## 5 小 结

山西地堑系的地裂缝往往有很强的方向性, 与区域构造线走向一致, (下转第 32 页)

## 6 小 结

在 1038 年定襄 7.25 级地震, 1303 年洪洞 8 级地震和 1695 年临汾 8 级地震中均有大量地震重力地貌过程发生。这些重力地貌具有成群分布, 同时性的特点, 并有在非地震条件下难于发生特殊滑坡。地震重力过程本身就是一种土壤侵蚀的方式, 具有分布集中, 强度大, 历时短, 难防范, 破坏性大的特点, 同时, 地震重力地貌过程的堆积物作为后来的流水侵蚀系统输入物, 增加了河流的常态侵蚀。

### 参考文献

- 1 王乃梁, 杨景春, 夏正楷等. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌. 北京: 科学出版社
- 2 Li Yang J., Xia Z. et al. Tectonic Geomorphology in the Shanxi Graben System. Northern China, Geomorphology, 1998, 23( 1), 77 ~ 89
- 3 张世民, 杨景春. 公元 1038 年定襄地震的地质地貌遗迹研究. 华北地震科学, 1989, 7( 3)
- 4 苏宗正, 时振梁. 1695 年临汾地震震害及有关问题. 山西地震, 1995, ( 3 ~ 4), 150 ~ 158
- 5 李有利, 杨景春. 地衣测年法在同震滑坡研究中的应用. 山地研究, 1998, 16( 3), 167 ~ 170
- 6 Bull W B and Others. Lichen Dating of Coseismic Landslide Hazards in Alpine Mountains. Geomorphology, 1994, 10, 253 ~ 264
- 7 Chorley R J, Schumm S A and Sugden D E. Geomorphology. Cambridge University Press, 1984, 238
- 8 白铭学. 对黄土地区地震标志的观察与分析. 见: 史前地震与第四纪地质文集, 西安. 陕西科学技术出版社

(上接第 14 页)

许多地裂缝向下与活动断层相通, 它们的形成与构造运动有密切的关系。山西地堑系一些地裂缝的发育与暴雨过程密切相关, 而且这些地裂缝往往发育在黄土地层中, 它们的形成与黄土易于发生潜蚀有关。黄土潜蚀形成的地裂缝的发育过程是山西地堑系一种普遍存在、危害严重的水土流失方式。与暴雨关系不显著的地裂缝, 多发生在大中城市。这些城市, 不同程度发生地下水过量开采导致的地面沉降。地面的不均匀沉降, 也可以形成地裂缝。

### 参考文献

- 1 苏宗正. 山西断陷盆地第四纪构造特征. 鄂尔多斯地块周缘活动断裂系, 北京: 地震出版社, 1988, 77 ~ 82
- 2 王乃梁, 杨景春, 夏正楷等. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌, 北京: 科学出版社, 400
- 3 Li Y., Yang j., Xia Z. et al. Tectonic Geomorphology in the Shanxi Graben System. Northern China, Geomorphology, 1998, 23( 1): 77 ~ 89
- 4 Ma, X., Deng, Q., Wang, Y. et al. Cenozoic Graben System in North China. Z. Geomorphol. Suppl., 1982, 42, 99 ~ 116
- 5 刘玉海. 大同机车工厂及邻区地裂缝研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 1979. 152
- 6 丁文学, 陈国顺, 齐永生. 榆次地裂缝成因探讨, 山西地震, 1997, ( 1 ~ 2): 130 ~ 131
- 7 马志正, 张馥琴, 李秋生等. 临汾洼陷地裂缝成因分析. 山西师大学报, 1996, 10(2): 78 ~ 79
- 8 苏宗正, 阎正萃, 张大卫等. 薛店地裂缝成因分析. 山西地震, 1984, (2): 1 ~ 5
- 9 孙富国, 张保新. 山西黄土区主要地质灾害及其防治. 山西地质, 1992, 7(2): 171 ~ 177
- 10 王绍中. 运城地裂缝. 山西地震, 1983, ( 3): 17 ~ 19
- 11 李有利, 杨景春. 运城盐湖沉积环境演化. 地理研究, 1994, 13(1): 70 ~ 75