

山西断陷盆地 地裂缝灾害研究

武 强 姜振泉 李云龙 著 ●



地质出版社

内 容 提 要

本书在全面介绍了山西断陷盆地地裂缝发育、分布情况及其灾害现状基础上,对大同、榆次及临汾地裂缝灾害问题进行了重点研究。根据丰富、详实的地震、构造地质、水文地质及工程地质勘探、测绘及试验资料,采用理论分析、实验研究、数值模拟分析等不同方法从多角度研究了上述三地地裂缝的成因机制,揭示了地裂缝生成、发展的地质背景和构造基础;通过层次决策(AHP)、人工神经网络(ANN)与地理信息系统(GIS)耦合技术,对地裂缝成灾条件和灾害趋势进行了评价、预测,形成了一套较系统的“三图法”评价体系。

本书作为地裂缝灾害问题研究专著,其研究思路和研究方法可供地质灾害、环境地质和水资源方向的教学、科研和生产人员及高等院校本科生和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

山西断陷盆地地裂缝灾害研究/武强等著. -北京:地质出版社, 2003.12
ISBN 7-116-03983-X

I. 山… II. 武… III. 断陷盆地-裂缝-地质灾害-研究-山西省 IV. P562.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 117966 号

责任编辑:孙亚芸 王 璞

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324573(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm $1/16$

印 张:10 彩 版:2 页

字 数:239 千字

印 数:1—800 册

版 次:2003 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价:48.00 元

ISBN 7-116-03983-X/P·2436

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

绪 言

现代地裂缝现象在世界上许多国家普遍存在,其发生频率和灾害程度逐年加剧,不仅造成了各类建筑工程,如交通和水利设施、地面建筑和地下工程、市政生命线工程等的灾难性破坏,也引发了一系列严重的环境问题,成为当今世界范围内的主要地质灾害之一。

我国区域性的地裂缝灾害主要发生于汾渭地堑、郯庐断裂带、华北平原及大别山北麓断裂系等几个新构造活动区域。据不完全的资料统计,至 20 世纪 90 年代初期,我国几个地裂缝灾害较集中地区由地裂缝灾害所造成的直接和间接损失即达数十亿元(王景明,1992)。

汾渭地堑是我国地裂缝灾害最严重的区域,自 20 世纪 70 年代后期以来,区内渭河、运城、临汾、太原及大同等构造盆地范围内均发生了不同规模的地裂缝灾害,地裂缝发生的时间和空间分布的区域性特点最为典型。1980 年以来,国家、地方政府及有关行业部门相继投入巨额资金,组织对区内重点地裂缝的灾害问题进行了综合研究。已有研究成果表明,作为一种构造区域内的共生地质现象,汾渭地裂缝的区域构造背景是明显的,地裂缝与区域现代构造活动相伴生,地裂缝的发育规模、分布特点及力学形态均明显反映出基底构造对其有主控作用。另一方面,汾渭地堑地裂缝也与人类活动的加剧(地下水过量开采)及发育的特殊地质环境(巨厚新生代及第四纪地层分布、湿陷性黄土发育)等具有普遍性关联特征。

作为一种具有复杂构造背景、发生于复杂地质环境之中、同时受到人类活动影响的区域性地质现象,汾渭地堑地裂缝发生发展的力源机制是非常复杂的。由于本区是我国比较典型的新构造活动区域,且区域性地裂缝现象的集中发生与区域构造活动的强化在时间上又表现出同步特点,因此,较早的研究主要是从地裂缝的新构造成因角度进行的。随着研究的逐步深入,人们对汾渭地裂缝复杂的成因机制的认识也在不断深化,但由于对地裂缝现象与复杂介质环境关系和构造应力与松散介质的复杂作用过程缺乏系统研究,地裂缝的成因模式仍不十分清楚,地裂缝是近期构造蠕动形成的最新破裂形迹?还是历史上强烈构造变动在土层中形成的构造破裂面被重新诱发复活?如是新构造活动所引发,那么缓慢的基底构造蠕动(实测断裂活动速率为每年数毫米)是如何导致上覆数千米巨厚新生界的破裂变形?如为土层中既存构造破裂面的重新复活,则诱发其复活的力源及其作用机制是什么?诸如此类深

层次问题, 尚需更深入的研究去认识。

山西断陷带地裂缝是汾渭地堑地裂缝带的一部分, 区内大同、榆次、临汾、运城等断陷盆地及峨眉岭黄土台地是地裂缝比较集中的构造区, 也是地裂缝灾害的重灾区。从 1994 年 3 月开始, 中国矿业大学和山西煤田地质局共同相继承担了原国家计划委员会立项的“山西临汾地裂缝灾害勘查研究”项目(项目编号: 计国地 1994-7)和“山西榆次地裂缝灾害勘查研究”项目(项目编号: 计综合 1998-206)。这两个项目是国家“十年减灾防灾”重点研究项目的两个阶段, 也是与先期进行的西安、大同地裂缝灾害研究相衔接的汾渭地堑地裂缝灾害问题研究的一部分。

为了高质量地完成这两项重大研究课题, 项目组进行了充分的调研和广泛的咨询, 著名学者[胡海涛]院士、陈毓川院士、刘广润院士、孙广忠教授等为项目研究提出了重要的意见和建议。根据项目立项要求, 项目研究分两个阶段完成, 第一阶段“关于临汾地裂缝灾害研究”于 1997 年 8 月完成, 并在 1998 年 1 月分别通过了山西省计划委员会组织的阶段成果验收(国家计划委员会委托)和山西省科学技术委员会组织的科学技术成果鉴定; 于 1998 年 5 月开始了第二阶段“关于榆次地裂缝灾害”的研究, 2000 年 5 月完成了整个项目的研究, 并在同年年底通过了山西省科学技术委员会组织的科学技术成果鉴定。

在第一阶段“临汾地裂缝灾害研究”中, 在已有的临汾盆地地震、构造地质、水文地质条件、工程地质条件等方面的勘探、测试及观测资料和临汾地裂缝灾害的综合勘查、测绘、试验成果基础上, 项目组对临汾地裂缝的成因及发育环境进行了系统的研究, 主要研究内容包括: ①从区域新构造活动角度分析了临汾地裂缝的构造背景, 从基底主控断裂与地裂缝在空间展布和力学性质上的对应关系角度分析了地裂缝的构造作用机制; ②运用理论解析、数值模拟计算等研究方法, 分析了地下水超采对地裂缝活动的诱发作用机制; ③在大量试验研究结果基础上, 分析了土层条件和地貌环境对地裂缝在地表发育特点和致灾程度的制约作用; ④根据地裂缝活动与构造作用、地下水开采、介质条件和地貌环境之间的关系特点, 提出了临汾地裂缝成因机制模型, 并采用地理信息系统(GIS)与层次分析法(AHP)耦合技术, 对临汾地裂缝灾害程度进行了分区评价, 并对其动态特征和活动规律进行了预测分析。

研究表明, 临汾地裂缝并不是单一的新构造作用的产物, 而是土层中既存构造破裂面被诱发重新活动而形成的, 其中, 地下水超采引发的地面不均匀沉降及黄土湿陷作用是重要的诱发因素, 区域性新构造活动的强化对地裂缝产生激化作用, 地裂缝区的工程地质环境对地裂缝的地表发育程度也具有重要影响。因此, 临汾地裂缝发育与新构造活动的强化、人类活动的加

剧和复杂地质环境之间存在密切的相关关系,这些成果为开展临汾地裂缝灾害演化趋势预测、制定减灾防灾对策提供了科学依据。

对第一阶段研究成果,中国工程院胡海涛院士、南京大学孙岩教授和罗国煜教授、山西省齐书勤教授、苏宗正教授、肖箐英教授、渠天祥教授等长期从事地质灾害问题研究的著名专家和学者给予了充分的肯定和很高的评价。同时,也对后期研究工作提出了宝贵的指导意见。

第一阶段的研究成果为第二阶段更深入地研究奠定了坚实的基础,在“关于榆次地裂缝灾害研究”中,在运用综合勘查手段充分获取水文地质、工程地质、构造地质等第一手资料前提下,进一步加强了试验研究和对地裂缝变形、断裂活动及地震等系统观测资料的深入分析。研究中采用相似材料物理模拟试验方法,进行了断层活动和地下水开采两种不同力源作用下土层变形破坏特点及规律的仿真模拟研究,揭示了两种情况下上覆土层中的应变传递差异性特征。对试验结果进行的非线性分形几何特征分析,不仅为地裂缝灾害的定量评价提供了重要参数,也从理论上科学地阐述了榆次地裂缝的成因机制。

地质灾害定量评价是实施防灾、减灾工作的基础依据。作为项目研究的重要内容,在第二阶段研究中,项目组对地裂缝灾害定量评价体系进行了深入的探索,总结提出了地裂缝灾害定量评价的“三图”法评价体系。一方面,地裂缝发育有其构造背景,同时也与地下水超采密切相关,且受到地层和地貌环境的制约,地裂缝活动性强弱、发育规模是这些主控因素之间相互作用关系的综合体现,它反映了地裂缝发育的自然属性。另一方面,地裂缝灾情程度不仅与地裂缝规模大小和活动性强弱有关,也与地裂缝发育区人口密度、经济活动的活跃程度、建筑物的稀疏及重要性等经济和社会要素有关,即与地裂缝承灾体的分布特征和当地社会、经济发展状况相关,它反映了地裂缝灾害的社会属性。

地裂缝灾害“三图”法评价是将地质灾害的自然属性和社会属性进行综合定量化的评价方法,它为地质灾害综合评价、预测提供了一条新思路和新方法,即:首先应用地理信息系统(GIS)与人工神经网络(ANN)耦合模拟技术,实现对地裂缝灾害自然属性的定量评价,形成“三图”法评价理论的第一张图——地质灾害敏感性分区图;然后将区域承灾体的分布特征和当地社会、经济发展状况作为地裂缝灾害的社会属性,应用地理信息系统(GIS)与层次分析法(AHP)耦合技术将其定量化,形成“三图”法的第二张评价图——地质灾害易损性分区图;这样,通过对地裂缝自然属性和社会属性的定量评价,可分别进行地裂缝灾害的敏感性分区和承灾体易损性分区,在此基础上,应用现代先进的地理信息系统(GIS)技术,根据多源地学信息复合原

理,对地质灾害的敏感性分区图与易损性分区图进行复合叠加,最终形成地裂缝灾害评价的第三张图——地质灾害危害性分区图。

在临汾、榆次地裂缝灾害研究成果基础上,为了从整体上认识山西断陷盆地地裂缝灾害的区域性特点,项目组进一步对运城盆地地裂缝和大同地裂缝进行了扩展研究。主要工作包括:收集分析了两地地震、地质、水文观测等方面资料,对其地裂缝地表发育形态、灾害形迹进行了现场实地考察,调查分析了地裂缝发育场地的介质和地貌环境,在此基础上结合已有的地裂缝研究成果,对两地地裂缝灾害成因及致灾环境进行了较系统的分析论证,对地裂缝灾害的构造基础、地裂缝灾害的诱发成因机制取得了新的认识。进一步的研究揭示了山西整个断陷盆地地裂缝灾害的构造基础和力源机制的宏观特征,为山西省有关部门和当地政府在规划国土开发、城乡发展计划时制定减灾、防灾对策提供了科学依据。

本课题研究的特点是:采用了多种新技术和新方法,从综合角度分析研究新构造活动、地下水超采、地裂缝场地介质条件及地貌环境等多因素共同作用对地裂缝发育的影响及各因素之间的相互作用关系。项目组重视勘探、测绘、观测、试验等第一手资料的获得和现代新理论新方法的应用,尽量不受已有研究观点的束缚,力求从多因素复合作用角度探索对地裂缝灾害定量评价和灾害演化趋势进行科学预测的思路和方法,项目研究所做的系统勘查工作为本课题的高质量完成奠定了基础。

在此,我们要向参加本项目研究的山西煤田地质局朱峰总工程师,宋儒处长,王满荣、陈宝洲、孔宪贞三位教授级高工和吴高峰、彭守智高工表示衷心的感谢。同时,还要感谢先后参与项目研究的隋旺华教授、田宝霖教授、吴圣林教授、董东林博士和陈佩佩博士,他们为项目取得的成果做了大量工作。

山西省地震局、山西省地质矿产局及临汾、榆次、大同的相关部门、太原工业大学渠天祥教授等为项目研究提供了大量地震、构造地质、水文地质等方面的勘探、观测资料和研究成果,并对现场勘查、测绘工作给予了大力协助,对此,我们深表谢意。

最后,值此本书出版之际,我们对胡海涛院士和刘玉海教授表示深切的怀念。作为原国家计划委员会项目论证专家组组长,胡海涛院士对本项目研究非常重视,不但主持了第一阶段临汾地裂缝灾害研究成果的验收和鉴定,也对项目研究给予了宝贵的指导。刘玉海教授为本项目研究提供了大量的大同地裂缝勘查资料,对项目研究给予了充分的支持。

作者

2003.6.1 于北京

目 录

绪 言

第一章 山西断陷盆地地裂缝分布及发育特点	(1)
第一节 断陷盆地北段地裂缝	(2)
第二节 断陷盆地中段地裂缝	(4)
第三节 断陷盆地南段地裂缝	(9)
第二章 地裂缝灾害特点及灾情	(15)
第一节 地裂缝灾害特点	(15)
第二节 地裂缝灾情	(19)
第三章 地裂缝的构造背景及地质环境	(25)
第一节 区域构造背景及地质环境	(25)
第二节 地裂缝区及周边区域的新构造活动特征	(45)
第四章 地裂缝形成的构造动力学特征及成因机制	(62)
第一节 地裂缝形成的构造动力学特征	(62)
第二节 基底断裂对地裂缝的主控作用	(66)
第五章 地下水开采与地裂缝活动关系	(70)
第一节 地下水开采诱发地裂缝的机制	(70)
第二节 大同市地裂缝与地下水超采关系	(72)
第三节 榆次地裂缝与地下水超采关系	(78)
第四节 临汾地裂缝与地下水超采关系	(84)
第六章 地裂缝灾害评价及演化趋势预测	(97)
第一节 地裂缝成灾条件及致灾因素	(97)
第二节 地裂缝成灾条件及致灾因素的分形结构特征	(100)
第三节 地裂缝灾害评价及演化趋势预测方法	(108)
第四节 山西断陷盆地地裂缝灾害分区评价	(122)
第七章 减灾防灾对策	(148)
第一节 地裂缝灾害的减灾措施	(148)
第二节 地裂缝灾害的防灾措施	(149)
主要参考文献及资料	(150)
图版及图版说明	

第一章 山西断陷盆地地裂缝分布及发育特点

山西断陷盆地地裂缝比较集中发育于区内几个构造盆地及次级隆起地块——大同盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地及峨眉岭黄土台地等。在行政区域上，地裂缝广泛分布于雁北、晋中及晋南等行政区域内的近40个县市，约占山西全省行政县市的30%左右。从构造分区角度，山西断陷盆地地裂缝分布大致可以分为断陷盆地南段、中段及北段等三个集中分布区，如图1-1所示。

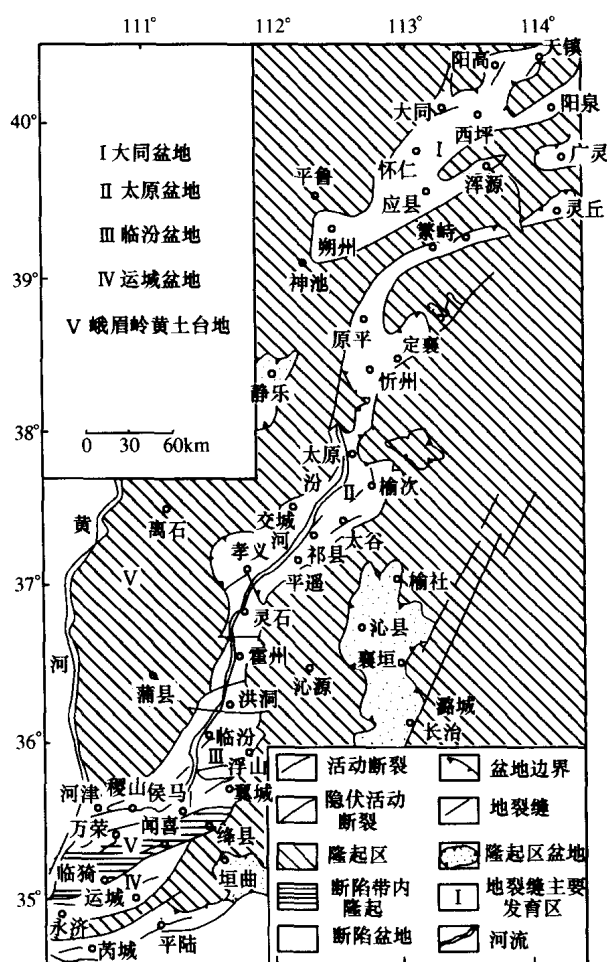


图 1-1 山西断陷盆地构造略图及地裂缝分布区示意图

第一节 断陷盆地北段地裂缝

断陷盆地北段地裂缝主要集中于大同盆地北部，早在 20 世纪 70 年代后期，区内大同市局部地区就发生了较大规模的地裂缝现象，1982~1984 年期间又相继在北部天镇、阳高、大同及浑源等县市发现较大规模的地裂缝现象，至 20 世纪 80 年代后期，本区地裂缝的主体规模基本形成（图 1-2）。

本区域早期发生的地裂缝以较小规模为主, 20 世纪 80 年代早期发生于天镇的溥沱店、孙家店、顾家湾、宣家塔等地的地裂缝, 发生于阳高县的罗文皂地裂缝, 大同县的弥陀山地裂缝及浑源县的官道地裂缝等, 延伸长度超过 1000 m 者极少, 地面发育宽度也一般在 10 cm 以内。由于上述地裂缝多发生于农村地区, 造成的灾害主要是农田开裂或民居的轻微破坏, 灾害程度相对较轻。

雁北地区较大规模的地裂缝发生于大同市,地裂缝造成的灾害程度也最大。如图 1-3 所示,根据地裂缝地面展布情况,大同市内较大规模的地裂缝带有 6 条,即城北铁路分局地裂缝及机车公司地裂缝、城南大同机车工厂地裂缝及新添堡地裂缝、城区凿井队-下华严寺地裂缝及文化里地裂缝等,至 1998 年,地裂缝在地面的显露总长度超过了 20 km。

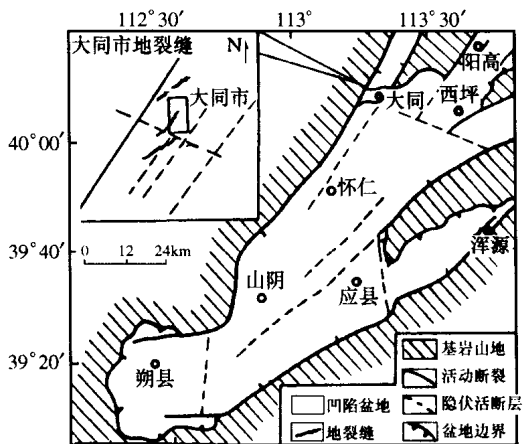


图 1-2 大同盆地构造略图

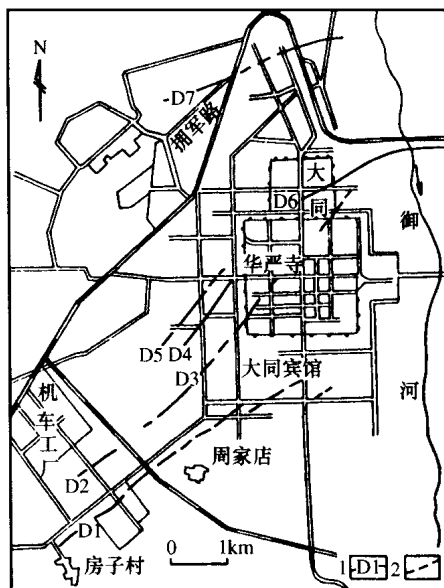


图 1-3 大同市地裂缝分布示意图

1—地裂缝及代号；2—隱伏地裂缝

一、大同市地裂缝分布

大同市地裂缝分布于十里河北东至御河以西的城区及南、北郊，形成了三个相对集中的地裂缝发育区。

1. 城北地裂缝带

区内发育有大同铁路分局和机车公司两条地裂缝带。

铁路分局地裂缝带位于大同市城北，由南、北两条相距约 100 m 的地裂缝组成，二者近于平行展布。北侧地裂缝由东至西沿同封公路、白马城地段、太原铁路局留守处、大同铁路分局材料厂、车辆段、水电段、消防队、跃进街、新华街银行一线延伸；南侧地裂缝由东至西沿铁路第二幼儿园、铁路医院、供热段锅炉房、桥西第三幼儿园、中国人民解放军 82 师师部营区一线延伸。

铁路分局地裂缝 1989 年在地表局部显现，由多条裂缝斜列组合成带，在地表断续出露且呈规则的线状分布，走向一般在 $NE60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，如图 1-4 所示，优势方位为 $NE70^{\circ}$ ，倾向 SE，倾角 80° 左右，地表变形以张裂为主，显现左旋扭动特征，为张扭性地裂缝。1990 年后地裂缝活动明显加剧，地表显现其规模持续扩展，至 1996 年在地表的显露长度约 4.1 km。

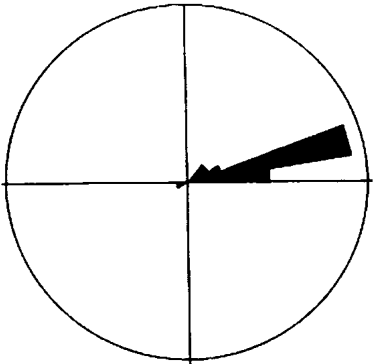


图 1-4 大同铁路分局地裂缝走向玫瑰图

机车公司地裂缝带发育于城区东北角，西起雁同东路，经市第二医院、机电公司，终止于总参大同干修所，在地表出露长度约 1 km，途中在机电公司至总参干修所区间出现分叉，其中一支经铁一中，另一支经由大同四中。该地裂缝带走向 $NE35^{\circ}$ ，倾向 NW，地表变形以张裂为主，微显右旋扭动特征。

2. 城南地裂缝

区内分布有大同机车工厂-大同宾馆、新添堡两条地裂缝带。

大同机车工厂-大同宾馆地裂缝 1983 年即显露于地表，是大同市最早发现的地裂缝，该地裂缝西起于十里河左岸二级阶地的房子村位置，向东北沿电建公司机运站、机车工厂生活区、115 煤田地质队、大同医专、第三医院、大同宾馆一线延伸，消失于南关南街，全长约 5.0 km，由多条走向 NEE、呈右行排列的单条裂缝组合成带，地表变形以水平拉张为主，伴有垂直差异升降和右旋水平扭动特征，裂缝带主体走向 $NE57^{\circ}$ ，倾向 SE，倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。

新添堡地裂缝位于文化街一线，西南端起于新添堡村，北东端消失于三环路东，其间沿文化街 5 栋、10 栋、市木材公司储材场一线展布，全长约 1.2 km，走向 $NE53^{\circ}$ ，倾向 SE，倾角 80° 左右。该地裂缝带形成较晚，1992 年开始显露于地表，地裂缝在地表的变形以垂直差异升降为主，局部区段伴随有轻微的左旋扭动特点。

3. 城区地裂缝

在大同市城区发育有两条地裂缝带，一条是文化里地裂缝带，另一条是凿井队至下华严寺区段的地裂缝带。

文化里地裂缝带位于城区西部文化里一建设里一带，发育有东、西两条地裂缝。东侧地裂缝西起于税务局新建大楼，经文化里、建设里、迎泽里，消失于迎泽里市场北端，长约 1.4 km；西侧地裂缝西起于阀门厂仓库，经新开西二路、322 医院、59100 部队营区及家属区，于大同公园南门口消失，全长约 1.3 km。这两条地裂缝地表显露的时间分别是 1992 年和 1993 年，二者在地表近于平行延伸，其间距在 400 m 左右，主体走向 $NE30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，呈带状展布，在地表均表现为以水平拉张和垂直差异升降为主，微具右旋扭动的变形特征，两条裂缝的裂面相向而倾，倾角均为 $82^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ，且显现为地堑型断阶，即西侧裂

缝的 SE 盘下降，东侧裂缝 NW 盘下降。

凿井队-下华严寺地裂缝带全长约 5.5 km,西南起自市烟草公司家属院,沿南郊凿井队、市电视台、儿童公园、和平里、下华严寺一线呈 NE35°方位展布,至大同日报社印刷厂位置,地裂缝略向南偏移,大致以 NE40°方位沿草帽巷、雁北外贸大楼一线断续出露,地裂缝倾向 SE,倾角 80°左右,地表变形主要表现为水平拉张和垂直差异升降。该裂缝带最早于 1984 年在地表显现,1989 年以后的扩张速度明显加快,近年横向扩展尤为明显。

二、地裂缝的发育特点及其活动性特征

大同市地裂缝带在地表的形态大都显现为一条主干裂缝和多条次级裂缝的组合,地表上次级裂缝分布于主干裂缝两侧,与主干裂缝近于平行或呈小角度相交,形成一定宽度的裂缝带,裂缝带的宏观宽度一般在 8~15 m 范围内,但有的局部区段最宽也达到 160~180 m。在发育程度上,主干裂缝普遍较次级裂缝发育充分,表现的特点为沿走向连续性强,延伸方向比较稳定,变形幅度较大,裂缝两盘的水平拉张位移和垂直差异变形在同一断面内也显现得比较充分。在力学性质上,主干裂缝主要表现为张性,其活动方式表现为以差异性垂直升降和横向拉张为主,局部存在纵向扭动的基本特征。

从发育程度和活动水平角度看,大同市地裂缝活动的时空特征及活动水平的差异分带特征非常明显,反映在地裂缝的活动性具有时间上的分段性、地裂缝力学性质的分带性、延伸方向、地表横向影响范围具不均匀性及地表变形形态有差异性等诸多方面。

第二节 断陷盆地中段地裂缝

山西断陷盆地中段地裂缝主要分布于太原盆地的晋中断陷区内。如图 1-5 所示,祁县、太谷及榆次一带是本区地裂缝的集中发育区。

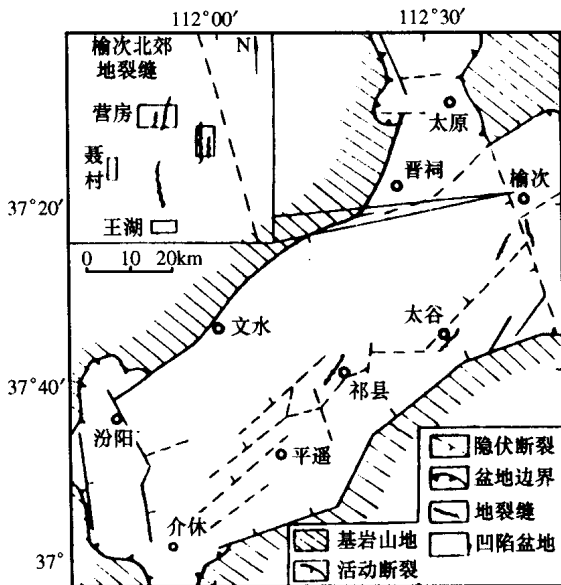


图 1-5 太原盆地构造略图及区内地裂缝分布示意图

本地区地裂缝最早发生于 20 世纪 70 年代中期。早期的地裂缝主要发育于晋中断陷的东北部,在行政区域上相对集中于榆次市的广大乡镇,以规模小、分布零散但覆盖范围广(50 km²)为基本特征。之后,地裂缝活动由东向西逐步扩展,至 70 年代末期,太谷、祁县的部分乡镇也相继出现了地裂缝。

1980 年以后,晋中地裂缝的活动呈活跃趋势,地裂缝发生频率明显加快,其发育规模和灾害程度也持续扩展,区内规模较大、分布集中的榆次市北郊地裂缝带和太谷县阳地裂缝带的主体规模均是在 20 世纪 80 年代形成的。尤其是榆次市北郊及东北部的地裂缝,自 1978 年在地表显露后,至今又先后经历了 1987~1989 年、1993~

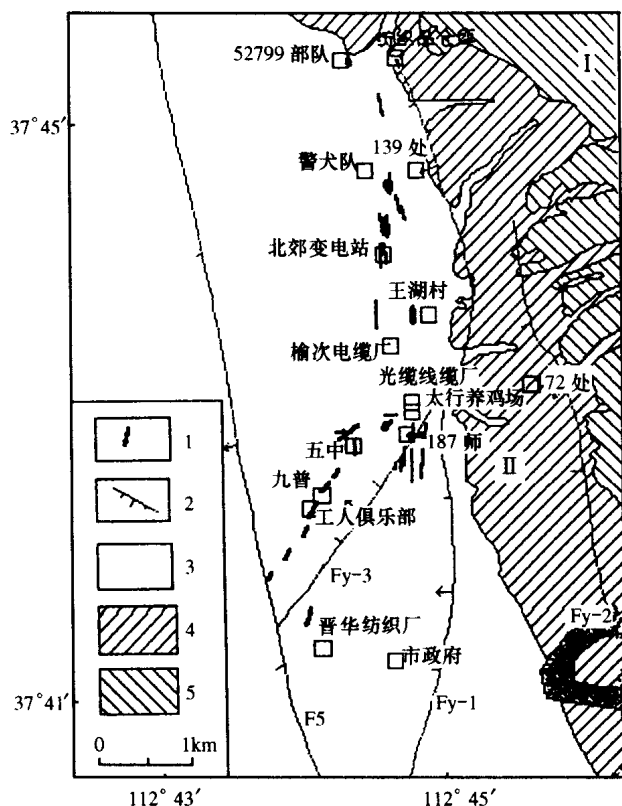


图 1-6 榆次市地裂缝平面分布示意图

1—地裂缝；2—断层；3—盆地；4——一级塬面；5—二级塬面

1994 年、1996~1997 年等三个明显的活跃期，从而成为本区规模最大、灾害程度最严重的地裂缝重灾区，也是山西地裂缝灾害问题研究的重点。

一、榆次地裂缝平面展布特征

如图 1-6 所示，榆次市北郊及东北部地裂缝主要发生于塬前地带，裂缝带总体沿塬前地貌交接带展布。根据综合地质调查及地裂缝勘查成果，地裂缝的平面展布呈断续状，且具有一定的分带性及较强的方向性。地裂缝在地表的延展方向以近 SN 向为主，NE 向次之，EW 向为少数（图 1-7）。

1. SN 向地裂缝

包括榆次市北部的主干裂缝带及东部的 172 处裂缝带（图版 IV 1、2）。

榆次市北部主干裂缝带，北起 52799 部队教导队，向南经省储备局 139 处、部队警犬队、北郊变电站、王湖村及榆次市光缆线缆厂延伸，至武警 187 师的师部住宅区附近逐渐消失，延伸长度约 5.6 km。该裂缝带地表显现宽度在 300~500 m 范围，地裂缝所经之处农田开裂，建筑物严重受损，在地裂缝局部区段还伴随

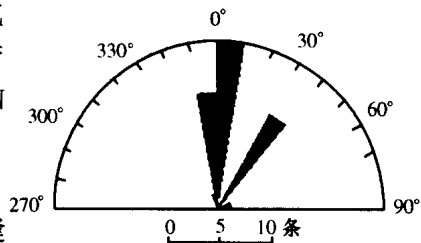


图 1-7 榆次市地裂缝走向玫瑰图

有严重地表塌陷,其中,省储备局 139 处地裂缝是该裂缝带发育的典型地段,地表建筑物受裂缝损坏情况比较严重。

榆次市东部 172 处地裂缝带延伸长度约 600 m,裂缝带宽度约 200 m,地裂缝范围内地表塌陷及建筑物开裂破坏的特征非常明显。实地调查发现沿地裂缝展布区内有一系列呈 SN 向延伸的串珠状塌陷坑,同时,沿此方向地面建筑物也发生了不同程度的开裂变形。

另外,在栈房街晋华安装队附近也发育有三条 SN 走向的地裂缝,在其延伸范围内建筑物出现明显开裂。地表追踪调查发现,地裂缝在地表的显露长度约 100 m,影响宽度在 30 m 左右。

2. NE-SW 向地裂缝

地裂缝带总体走向 NE35°左右,发育于榆次市电缆厂至晋华纺织厂住宅区区间,在五中、石油九普、工人俱乐部及榆次市财政局等处可见其形迹。根据在地表对地裂缝的追踪发现,NE-SW 向地裂缝在地表的延伸长度约 3.0 km,在延伸范围内不同区段的地裂缝活动性有较大差异。从地表显露宽度和建筑物受损情况看,该地裂缝带的发育程度以五中为界表现有北强南弱的特点,五中以北地表显露宽度在 150m 左右,建筑物开裂破坏严重,且造成地表明显塌陷,而五中以南的地裂缝变形强度明显减弱,造成的建筑物损害程度也相对较轻。

3. 近 EW 向地裂缝

该裂缝带东起于榆次市法庭东侧,向西穿过武警 187 师营区,至 187 师军械修理车间,从地表显露情况看,裂缝带呈 SE100°方向展布。该裂缝带地表显现长度约 200 m,宽度 30 m 左右,地表可见有 4 条裂缝近于平行等距展布,其间距 4~5 m,单条裂缝宽度 12~20 cm。

二、地裂缝形态特征

榆次市地裂缝的地表变形以张裂为主。剖面上,地裂缝呈良好开启状态(图 1-8),开裂深度一般在 2~3 m 范围内,最深者一般不超过 6 m,且在地表造成的塌陷变形比较明显,沿裂缝带分布有串珠状的塌陷坑;平面上,地裂缝由多条裂缝组合成带状在地表断续显现,单条裂缝大多较短,其长度大多在 100 m 以内。典型地段的地裂缝发育特征见表 1-1。

三、地裂缝的活动性

自 1978 年以来,榆次市的地裂缝活动影响范围日趋扩大,扩展速度也一直呈持续强化的趋势。省储备局 139 处地裂缝于 1982 年形成后,位于裂缝带上的地面建筑物相继出现了不同程度的开裂变形,一些严重开裂的建筑物如西住宅楼、招待所、锅炉房和水塔等在 1984~1987 年期间进行了加固修复或拆除重建。由于地裂缝的持续扩展,很多被加固或重建建筑不久后又出现了严重的开裂变形。如锅炉房 1987 年拆除在原地重建一年后(1988 年)又出现了 3 cm 宽的裂缝;招待所 1989 年加固修复后现今又出现了新的贯通性裂缝。

根据对部分地裂缝进行的连续观测,区内地裂缝地表变形表现有不同的特点,有的地裂缝在一年中有时显现缓慢张开、有时显现缓慢合拢的不同变形过程,变形幅度在 0.2~0.5 mm;也有的在一年连续观测中一直呈缓慢的张开变形,最大年变形量达 5 mm。另外,地裂缝地表变形幅度受降雨因素影响明显,降雨后地裂缝大都表现开张变形陡增,但不久又很快恢复到雨前的变形状态。1995 年 4 月 20~22 日和 6 月 1~17 日,榆次市先后经历

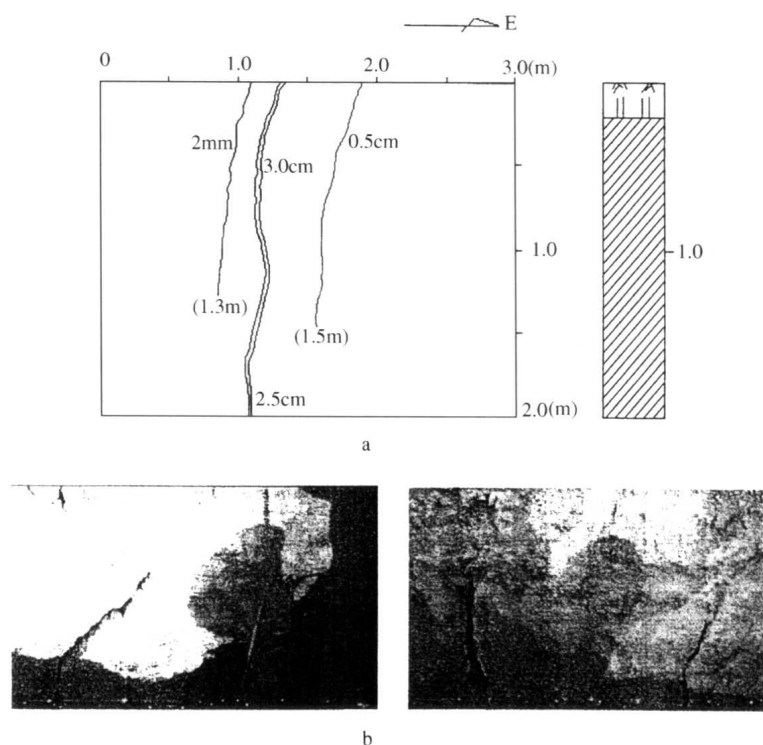


图 1-8 榆次市地裂缝变形剖面特征
(储备局 139 处地裂缝)

a—地裂缝探槽素描图；b—地裂缝剖面形态照片

表 1-1 榆次市地裂缝典型地段发育特征

地裂缝位置	发生时间 年	延伸方向	数目 条	地表显露宽度 cm	地表发育特征
172 处	1978	SN	2	0.5 ~ 3.5	地表凹陷现象明显, 沿裂缝带建筑物开裂变形严重
省储备局 139 处	1982 1989	SE170°	5	0.5 ~ 3.0	平面呈锯齿状展布, 建筑物沿地裂缝延伸方向开裂
太行养鸡场	1987 1994	SN	3	1.5 ~ 5.5	地裂缝呈近于等间距展布, 裂面呈垂直的张裂状, 无差异性垂直形变
铁三局五处 材料厂	1989 1997	SN	2	0.5 ~ 2.0	裂缝呈水平开裂, 无垂直方向的差异变形
石油九普	1991	NE25° ~ 35°	5	0.5 ~ 3.0	近于等间距排列, 沿裂缝带建筑物开裂的方向性明显, 且显现有水平方向的错动变形
榆次市 财政局	1993	NE55°	4	0.5	建筑物呈水平张裂变形
52799 部队	1993	NS	3	2.0 ~ 7.0	裂缝近于等间距排列, 呈水平开裂, 无垂直方向的差异变形
晋华纺织厂	1996	NE30°	1	0.2 ~ 0.5	裂面呈直立的“V”型, 无明显的垂直差异变形
榆次电缆厂	1996	SN	7	1.0 ~ 2.5	地表塌陷现象明显, 地面建筑物以水平张裂为主, 也伴随有垂直方向的差异性形变

过降水量分别为 22.7 mm 和 76.3 mm 的两次较大降雨过程，在设置于榆次电缆厂地裂缝的观测点观测到，雨前原本呈缓慢合拢变形过程的地裂缝在两次降雨后数天内都有突然转变为明显张裂变形的过程。

除较早出现的地裂缝表现持续活动趋势外，本区不断有新的地裂缝显现，1995 ~ 2000 年期间，还发现有多条新的地裂缝在地表显露。

四、地裂缝的地球物理场特征

作为土层中的一种破裂结构，地裂缝变形不仅导致地裂缝带内土层结构的破坏，也会对临近地段的土层结构产生不同程度的扰动影响，从而使地裂缝带在一定宽度范围内的地球物理场表现出异常特征。因此，地表以下地裂缝的发育状况与相应位置的地球物理场表现有某种程度的关联性。

榆次地裂缝灾害勘查过程中，采用瞬变电磁和电阻率测深两种方法获取了地裂缝带一定深度范围的地球物理场特征。图 1-9a、c 分别为布置于警犬队南侧和省储备局 139 处南

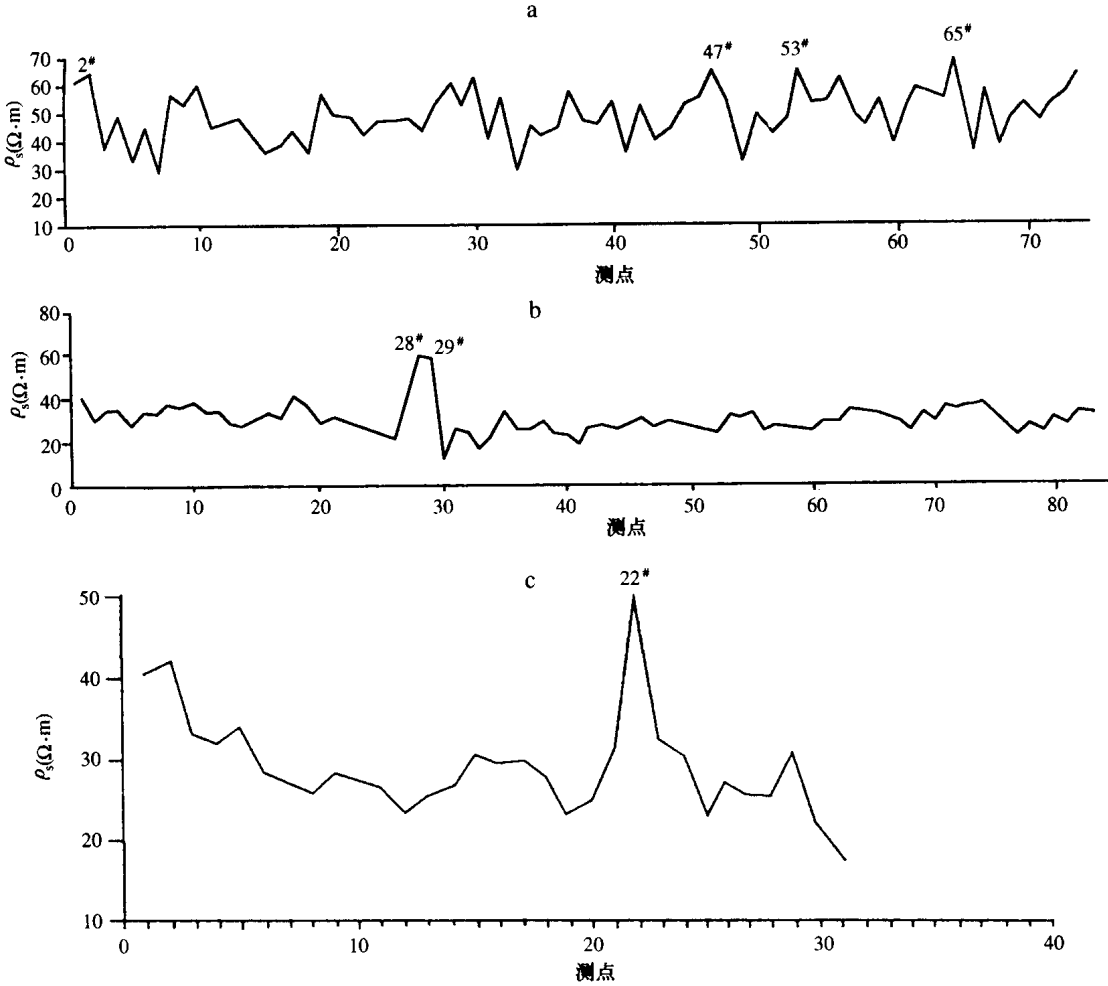


图 1-9 榆次市地裂缝位置电测剖面 ρ_s 曲线图 (AB = 30 m, MN = 1)

a—警犬队地裂缝；b—电缆厂北侧隐伏地裂缝；c—139 处地裂缝

围墙外两处地裂缝的电测剖面 ρ_s 曲线图, 由曲线形态可以看出, 在较大深度范围地裂缝仍保持有比较开阔的裂变影响带, 曲线极值点位置和曲线形态所反映的地裂缝位置及沿深度方向的变形特征与根据探槽揭露的情况基本吻合。

另外, 还通过电测剖面验证了北郊变电站西侧至榆次电缆厂之间发育的一条隐伏地裂缝, 图 1-9b 所示为在电缆厂北围墙外 250 m 处布置的一条 EW 向电测剖面的 ρ_s 曲线, 曲线 28[#] 和 29[#] 测点间 ρ_s 显现明显峰值, 反映其对应位置分布有一相对宽阔的地裂变形带。

第三节 断陷盆地南段地裂缝

本区段是山西断陷盆地地裂缝分布范围最广、发育规模最大的区域。据有关地质灾害区调资料, 在晋南 29 个行政县市中, 有 19 个县市发生了不同程度的地裂缝灾害, 几乎遍及临汾盆地、运城盆地和峨眉岭台地, 如图 1-10 所示。

断陷盆地南段的现代地裂缝较集中的发育始于 20 世纪 70 年代, 80 年代为地裂缝发育的活跃期, 在这期间早期出现的地裂缝持续扩展, 新的地裂缝不断出现。一些较大规模的地裂缝带, 如峨眉岭薛店地裂缝、荣河-里望地裂缝、临汾盆地鹅舍地裂缝及龙祠地裂缝等均主要是在 20 世纪 80 年代发育形成的 (图版 IV 3、4)。

与其他地区的地裂缝相比, 本区地裂缝最明显的发育特征是:

(A) 大多数地裂缝发育深度大, 贯通性好, 具有“临海缝”的发育特征;

(B) 次级裂缝不发育, 在地表多以主干裂缝呈串珠状或斜列雁行状显露;

(C) 地裂缝变形表现为二维特征, 以水平拉张和垂向差异变形为主, 极少显现水平扭动特征。

一、区内主要地裂缝带

晋南地区规模较大的地裂缝带比较集中地分布于临汾市及周边、运城、峨眉岭及邻近区域。

1. 运城及峨眉岭黄土台地地裂缝带

(1) 半坡地裂缝带

半坡地裂缝带发育于运城鸣条岗南侧, 起于安邑上王, 经半坡、王荣、五曹一线, 基本沿鸣条岗地垒与青龙河地堑的地貌分界线断续延伸 (图 1-11), 其走向 NE—NEE, 发育长度约 10 km, 地裂缝断面呈楔形, 缝壁弯曲粗糙, 显现张裂变形特征。

半坡地裂缝于 1975 年被发现后, 1976、1978、1983 年又在原地数次重复出现, 且地

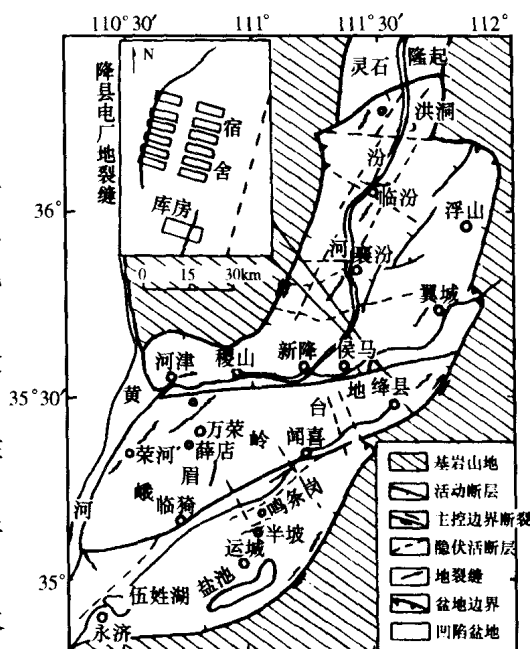


图 1-10 山西断陷盆地南段构造纲要及地裂缝分布示意图

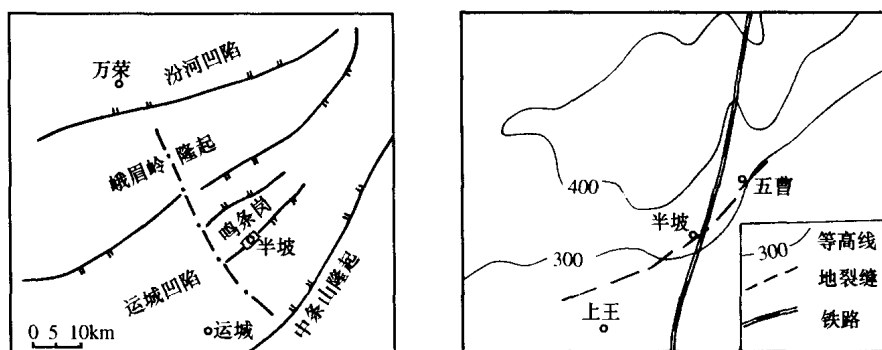


图 1-11 半坡地裂缝分布示意图

裂缝的延伸规模和地表开裂变形程度逐次加剧，1975 年地裂缝地表开裂变形最大为 30 cm，1976 年原地重复开裂后裂面宽度剧增至 1 m 以上。

(2) 薛店地裂缝带

薛店地裂缝位于万荣县王亚乡薛店村及附近，发育于峨嵋岭二级黄土台地 Q_2 亚粘土层中，已发现有三条近于平行排列的地裂缝，在地表呈弧形延伸，其走向 $NE10^\circ \sim 70^\circ$ (图 1-12)。其中北端一条穿越薛店村的地裂缝，于 1983 年 7 月 29 日暴雨后突然显露于地

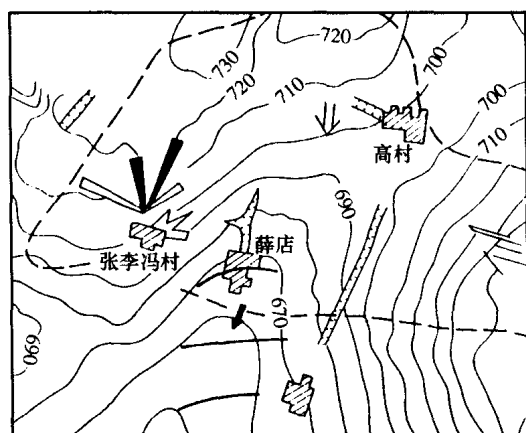


图 1-12 薛店地裂缝分布示意图

(据王景明, 2000 年)

表，地表自西向东由 $NE75^\circ$ 逐渐转至 $SE10^\circ$ 延伸，长度 1.5 km 左右，裂缝断面为楔形，地面缝宽一般 100 ~ 200 cm，最宽达 5 m，地裂缝开裂深度一般 3 ~ 5 m，最深处达 20 m 左右，沿裂缝分布有大小不等的塌陷坑，甚至出现房塌屋陷、果树直接陷入坑内的剧烈破坏情况。

(3) 荣河-里望地裂缝带

该地裂缝发育于峨嵋岭黄土台地的北缘，由万荣县荣河西南起，经里望，断续延伸至稷山县蔡村，总长达 20 km 左右，总体走向约 $NE40^\circ$ 。

根据有关地质调查资料，该地裂缝带最早在 20 世纪 70 年代发现，主要出露于荣河—里望区间，80 年代之后又向 NE 方向断续扩展，地裂缝地表变形显现张性特征，裂面粗糙、陡直，地表可见深度数米至数十米不等，地表发育有大小不等的塌陷坑，沿地裂缝延伸方向呈串珠状分布。

由于运城盆地及峨嵋岭黄土台地的地裂缝大都发育于湿陷性黄土或黄土状地层中，因此，地裂缝往往在雨季和农灌时节频繁活动，尤其是暴雨过后，地裂缝规模的扩张速度极为明显。

2. 临汾坳陷地裂缝带

临汾坳陷地裂缝主要分布于临汾市周边地区和城区局部地段，至今已发现 5 处裂缝