

# 第 1 章

## 地裂缝及其灾害研究概况与研究意义

地裂缝是在内外力作用下岩石和土层发生变形，当力的作用与积累超过岩土层内部的结合力时，岩土层发生破裂，其连续性遭到破坏，形成裂隙（含节理和断层）。在地下因遭受周围岩土层的限制和上部岩土层的重压作用其闭合比较紧密，而在地表则由于其围压作用力减小，又具有一定的自由空间，裂隙一般较宽，表现为裂缝，即地裂缝。不言而喻，地裂缝系裂隙的一种特殊形态。因其本质与裂隙不同，故表现形式有别；地裂缝出露于地表张开成缝，宽度变化大，存在时间短，时隐时现；裂隙多隐伏于地下，宽度窄，稳定延伸，在岩土层中永存而不消失。地裂缝与断层构造有别，地裂缝发生在地表，长度小，成因多样；而断层深入地下，延伸长，系较强的构造运动所致。构造地裂缝与断裂又是有联系的，它们可以是活断层的地表露头，也可以由次级断层的活动诱发形成。

地裂缝灾害是地质灾害中地面变形灾害之一种，它是直接或间接地恶化环境、降低环境质量、危害人类和生物圈发展的地质事件。现代地裂缝现象在世界许多国家都有发现，其发生频率和灾害程度逐年加剧。其中中国和美国地裂缝灾害最为严重，已成为一个新的、独立的自然灾害灾种，引起了国际地学界的关注。地裂缝不仅造成各类工程建筑，如城市建筑、生命线工程、交通、农田和水利设施等的直接破坏，也引起了一系列的环境问题。我国地裂缝分布虽广，但主要发生在大华北 7 省。据笔者统计估算，截至 1998 年初止，全国因地裂缝灾害造成的经济损失为 91.3 亿元，表明地裂缝已成为名副其实的地质灾害。地裂缝常比地面沉降具有更大的破坏性，不仅造成较大的经济损失，也影响和威胁当地群众的生产和生活，成为一个社会问题。

### 1.1 国外地裂缝及其灾害研究概述

#### 1.1.1 国外有关地裂缝的记载

19 世纪英国著名自然科学家 C·莱伊尔（1797~1875）曾在其著名的《地质学原理》一书中，描述了多种不同成因的地裂缝。如在乔治亚州首府米利奇维尔西 5.6 km 的地方，1826 年前地面上没有深沟，但在森林被伐光之后，太阳的热力使泥土开裂成深 0.9 m 的裂缝。在福法市勒斯柯倍湖附近，1839 年因修筑铁路，促使泥炭沼泽地发生不均匀隆起，形成了一条长 12 m 高 2.4 m 的地脊，地脊最高部分出现几条不规则的裂缝，最大宽度约 1.8 m，深约 2 m。同年一个异常潮湿的季节，得文郡海岸岩石的裂隙充满了水，水在地下岩层之间犹如润滑剂一样，使上覆岩块在重力作用下，增加向海中滑动的速度。11 月 24 日早晨岩块破裂发响，当天晚

上地面出现了裂缝，住宅墙壁开裂，同时向下沉陷，并形成一条长达 1.2 km、深 35~45 m、宽超过 72 m 的深沟（谢广林,1988）。

C·莱伊尔还多次描述了不同地区的地震地裂缝和火山地裂缝，如 1848 年新西兰南岛地震时，在一条 300~1 200 m 高的山脉中，产生了一条平均宽 0.5 m、总长近 100 km 的地裂缝，其走向 NNE~SSW，与山脉轴线相平行。1783 年意大利卡拉布里亚地震时，产生的地裂缝数量多、分布广，几乎遍布于卡拉布里亚半岛。1669 年埃特纳火山喷发时所产生的地裂缝，长达 19 km，在它的底部可以看到炽热的熔岩。沿这条地裂缝，在最容易泄出熔岩和火山渣的各点，陆续堆积成喷发锥，锥上有很多深的裂隙和细谷，像车轮上的辐条一样，从轴心附近向周围或锥的基部辐射。

20 世纪时期，随着自然科学和工业建设的发展，随着地震科学研究和野外地质考察的深入，世界各地发现的地裂缝愈来愈多。据耿大玉等（1992）查阅，美国、新西兰、意大利、前苏联、土耳其、蒙古、日本、墨西哥、智利、瑞士、秘鲁、德国、加拿大等国都出现过多种不同类型的地裂缝。这些地裂缝使建筑物倒塌，公路、铁路路基断裂，农田龟裂干化，危害甚重。

### 1.1.2 国外对造成地裂缝的断层蠕动的研究

有关断层蠕动的报道以美国为最多。美国旧金山市南约 150 km 的霍利斯特（Hollister）市，1948 年建筑的阿尔马登（Almaden）酿酒厂，1956 年其墙壁和楼板开裂，虽几经修葺，裂缝却继续产生和发展。最后才查明，这一厂房正好建在圣安德列斯断层上，该断层正以每年几厘米的速度在右旋蠕动着，这就是酿酒厂建筑为何遭受破坏的原因。上述酿酒厂外一个水沟里可见一条地裂缝，是在几年的时间内形成的。20 世纪 60~70 年代以来，人们已注意到沿着穿过霍利斯特市的圣安德列斯断层，出现了人行道的错动、房墙的开裂、篱笆的相对位移等变化。现在霍利斯特市已经因其断层的持续蠕动着而著称于世（力武常次,1976）。

为了测定断层的蠕动，20 世纪 60 年代以来安设了一些蠕变仪，进行了重复光速测距观测，测得其平均蠕动速率约 1 cm/a，证明圣安德列斯是条活断层，现在还在蠕动着。该断层蠕动地点不只一处，以霍利斯特至楚拉姆一段最强，平均速率约 2 cm/a 最大达 5 cm/a，是 AA 级活动断裂。在那些至今尚在蠕动的地段上，常伴有微震活动。而在断层上的旧金山和泰仲堡这样的一些部位，其地震活动性就比较低，显然断层的这些地方当时都已经锁住。纳森（1973）谈到，1961 年 4 月 9 日 5.6 和 5.5 级地震前 800 天，霍利斯特的蠕变率有异常增加，从 1 cm/a 增为 2 cm/a，是这几次地震才把增快的蠕变止住。震后一年中未测到蠕变，之后又恢复到低速率的蠕变状态。

1966 年 6 月 6 日至 9 日在美国哥伦比亚大学召开了第二次美日地震预报研究讨论会，会后组织了去内华达和加利福尼亚州地震区的考察。野外考察团在加利福尼亚州帕克菲尔德地区圣安德列斯断层地表上看到新的地裂缝，以致当时大家曾开玩笑地说，这个地方很快要发生一个大震。事实上两周之后即 1966 年 6 月 27 日正是在地裂缝东南 1.5 km 的地方发生了帕克菲尔德 5.3 级地震。正像奥利弗在此次讨论会纪要的引言中写到的，这是“第一次观察到可能确实与地震预报有关的一个现象”。艾伦和史密斯（1966）认为，可能是在那个时候，就已出现了高速的蠕动。

霍利斯特市横跨加利福尼亚断层的许多工程建筑（人行道、马路饰边、木篱笆墙、煤气管道和护堤墙等），都因断层蠕动着而发生变形或错移。变形带的宽度为 3~17 m，横跨断层带的偏移

变形量为 5~33 cm，计算求得位移的速率为 0.1~0.8 cm/a。如图 1.1.1 所示，霍利斯特市 6 号街中段人行道修建于 1925 年左右的混凝土板路面，因断层蠕动引起的位移，变形带宽 15 m、跨带位移量 30 cm、断层变形近似速率 0.7 cm/a。自 1968 年以来设置了圣安德列斯、海瓦德和卡拉维拉斯断层的蠕变仪已超过 40 个。据此密的仪器测速，发现蠕变以 1~10 km/d 的速度沿着断层传播。

土耳其多数大地震都沿一条东西向断层发生，该带位于北安纳托利亚山区的南麓，并与其走向平行。1939 年之后沿线 7 级以上地震活动是自东而西迁移的。专门研究土耳其地震的安布拉谢斯 (Ambraseys, 1970) 发现，安卡拉以北 100 km 的哈马穆利附近，横垮安纳托利亚断裂的铁路路轨在 6 年间曾有 30 cm 的水平位移而无地震发生。该断层是 1944 年哈马穆利 7.6 级地震时出露的，当 1951 年又发生 6.5 级地震时，路轨再次出现水平错位。1957 年在 1951 年曾发生错位的地方建起了一堵石墙，到 1969 年安布拉谢斯发现朝东的石墙已被剪切错开，右旋错动 24 cm 说明安纳托利亚断层这一部位的蠕动方式，很可能与美国圣安德列斯断层相近 (力武常次, 1976)。

前苏联中亚加尔姆地区，断层一侧以速率 1 cm/a 蠕动上升，另一侧完全不动。日本中部发现有一些断层如阿寺断层、山崎断层和中央构造线、系鱼川—静冈断层，其蠕动速率约为 0.1~0.5 cm/a。印度沃纳 (Warna) 坝址区的地裂缝，与沃纳 (Warna) 断层近来活动密切相关。

罗伯特·L·威格 (1978) 认为：石油、水、硫磺、盐或其他物质的开采可以引起地表下降，伴随产生断层的拉伸与压缩运动。当此现象发生于可能是构造活动的地区时，有时极难分辨断层蠕动的成因是天然的还是人为的。沿加利福尼亚卡萨洛马和圣哈辛托断层，靠近卡拉维纳斯断层的加利福尼亚州霍利斯特市的一部分，沿加利福尼亚的布埃纳维斯塔断层以及加利福尼亚州的鲍德温山水库断层作用处，因断层蠕动引起混凝土排水室开裂，错动速率约 0.25 cm/a，这可能是人为断层蠕动的例子，它与断层构造蠕动不同。这样的断层蠕动还发生在得克萨斯的一些地方，那里的断层运动损坏了道路、房屋、管道和其他结构。其中某些运动无疑是与开采液体或与盐丘的次生影响有关，但是有些则可能是构造成因的。

### 1.1.3 国外现代地裂缝研究现状

姜振泉 (1997b) 最近检索了国外地裂缝研究成果，此前国外对地裂缝问题的研究以美国开展得最广泛，研究的程度较深。其他国家如土耳其的安纳托利亚地裂缝、泰国曼谷地裂缝、利比亚萨里尔 (Sarir) 地裂缝等，尽管近年也进行了一定程度的研究 (Eddleston, 1981, 1996; Rothenburg, 1995)，但研究的程度相对较低。

前已述及，虽然世界上许多国家发生过地裂缝，但多数国家对其研究的重点是用地裂缝反演其背景断层的蠕滑特征的。由于中国华北和美国西南部的地裂缝现象在时间和空间上分布集中，而且比较典型，灾害程度严重，所以成为国内外地裂缝研究的重点。自 20 世纪 50 年代

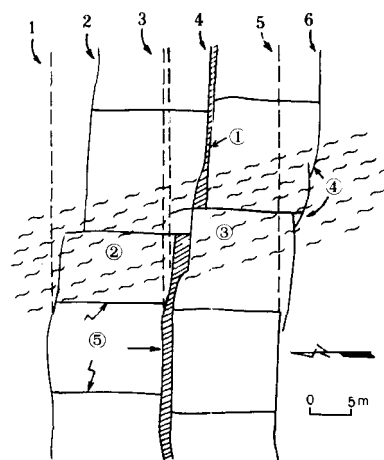


图 1.1.1 霍利斯特市 6 号街  
人行道地裂缝

1.北路缘原位置;2.蠕动后位置;3.中央接缝原位置;4.蠕动后位置;5.南路缘原位置;6.蠕动后位置。①裂开缝;②断层;③形迹;④破碎;⑤混凝土路面板的接缝

始，在美国西南部的亚利桑那、加利福尼亚、得克萨斯、内华达及新墨西哥等州构造盆地或谷地中，相继发生严重的地裂缝灾害（霍尔泽尔·T·L.，et. al,1981）。中国的苏鲁皖豫地区、汾渭盆地和河北平原也相继在 20 世纪 60 年代和 70 年代发生地裂缝灾害。上述区域地裂缝具有三个基本特征：

①新构造活动明显强化，同区域常伴生中强地震发生；②地质构造环境比较复杂，大都发生在巨厚新生界特别是第四系地层中；③人类工程经济活动比较活跃，地下水开采处于不同程度的超采状态。

美国的现代地裂缝现象最早发现于 1927 年亚利桑那州中部的皮卡乔（Picacho）盆地，至今已在全国许多地区发现了不同规模的地裂缝现象。其中，西南部的亚利桑那、加利福尼亚、内华达、得克萨斯、新墨西哥等州为集中发育区（Jachens，

1982）如图 1.1.2 所示。早在 20 世纪初期，美国即有学者涉足于地裂缝问题的研究，但系统性的全面研究则开始于 50 年代。美国的现代地裂缝，主要集中分布于西南部新构造活动比较明显的构造盆地和构造谷地，该地区自 20 世纪初期地下水开采以来，大多已开始处于不同程度的超采状态，至 50 年代时均已出现了明显的地面沉降（Holzer,1980、1981）。关于地裂缝的成因的认识，集中形成了三种不同的观点，即：①构造成因观点；②地下水开采成因观点；③构造与地下水开采复合成因观点。

构造成因观点最早由 Leonard(1929) 提出，他从地震角度分析了 1927 年 9 月 12 日出现于亚利桑那州皮卡乔(Picacho)城附近的地裂缝，及相距 13 km 的埃尔蒂罗矿井（EI Tiro Mine 在 Silver Bell 城附近）的地面异常破裂的成因，认为这两处地裂缝现象均与 1927 年 9 月 11 日发生于亚利桑那州东南部塔克索（Tucso）城附近的地震有关，是地震活动导致了地层破裂或诱发了已有破裂面的重新复活。后来有些学者，如 Savage(1966)、Kreitler(1977)、Fleischer(1981)、Wyatt(1982)、Roquemore(1982)、Lippincott(1985)及 Holdahl(1986) 等关于亚利桑那、加利福尼亚、得克萨斯等州地裂缝的研究成果也坚持地裂缝的构造成因观点。但他们的成因机制解释却不尽相同，其中多数人认为构造对地裂缝的影响表现为控制性，并不排除其他因素对地裂缝形成发展的间接影响。

地下水开采成因观点是早期大多数地裂缝研究者所接受的观点，但对其成因机理在较长时间却有很大争议（据姜振泉，1997b），先后提出了不同的解释：

(1) Fletcher 等(1954)的渗透变形机理（piping erosion），认为降落漏斗形成后，地下水渗透速度提高，水力梯度加大，地下水渗流形成的动水压力对土层产生潜蚀作用并逐步发展而出现管涌，使土层的结构松弛，从而引起上覆土层拉张应力集中并使地表发生张裂变形。

(2) Neal 等(1968)的土层失水后收缩开裂变形机理，认为随着地下水位的下降，上部土层失水并在水平方向发生收缩，促使地表开裂。Narasimhan(1979)对这一观点表示赞同，他所作的模型试验的结果表明，含水层疏干会导致含水层产生明显的体应变，并引起土层的水平方向

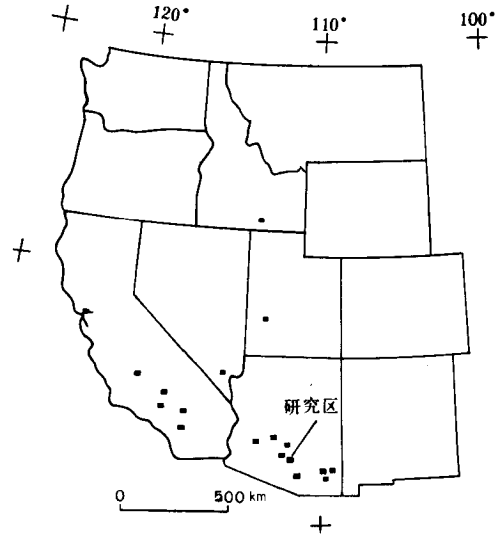


图 1.1.2 美国西南部地裂缝分布图  
(据 Jachens 1982)

的收缩变形；

(3) 渗透应力拖拽作用机理 (Lofgren 等, 1969), 认为地下水由周边向降落漏斗中心渗流过程中, 沿渗流方向形成了较强的动水压力, 动水压力对固体颗粒所产生的动能, 会对含水层骨架产生明显的粘滞拖拽作用。这种粘滞拖拽作用在整个含水层的积累, 会在上覆土层内形成张应变集中, 从而导致其开裂变形。

(4) Schumann 等(1970) 的差异压密变形机理 (differential compaction), 认为基岩表面形态的突变, 或压缩性土层厚度分布的明显差异, 会导致松散土层的差异压密沉降, 从而在地表压密沉降差异最大的部位, 因形成拉张应力集中而产生开裂变形。

(5) Bouwer(1977) 的刚性折裂机理 (rotation of a rigid slab), 认为随着地下水位的下降, 松散土层不断产生固结变形, 与下伏土层的固结变形量相比, 地表土层的固结变形微不足道, 因此, 在地面沉降过程中会整体产生刚性翻转, 从而在沉降盆地边缘产生折裂。

自 20 世纪 70 年代末开始, 美国地质协会等学术团体选择亚利桑那州的埃洛—皮卡乔、得克萨斯州的休斯顿—高尔维斯顿、内华达州的拉斯维加斯、加利福尼亚州的图拉尔—沃斯科及桑克拉雷谷地等地作为重点研究区域, 采用一些先进的技术 (例如 GPS、LSA 等) 建立地裂缝三维形变及地面沉降长期立体观测网络, 结合勘探、实验及理论计算, 开展了地裂缝成因及成因机制的系统研究 (Holzer, 1980、1984; Carpenter, 1993)。

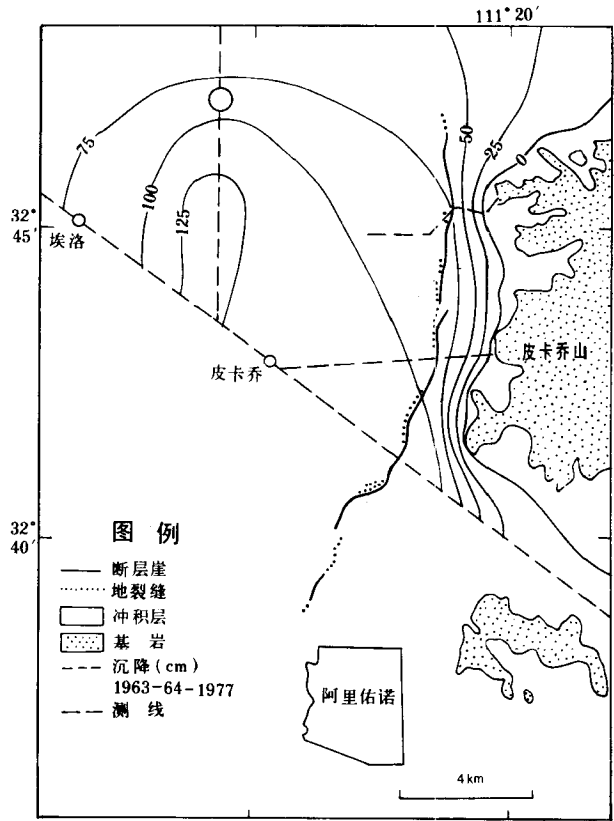


图 1.1.3 美国皮卡乔 (Picacho) 地裂缝 (据 Holzer, 1979)

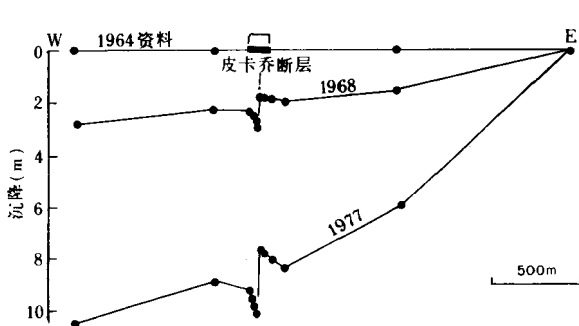


图 1.1.4 皮卡乔断裂活动对地面形变影响 (据 Holzer, 1980)

霍尔泽尔 (Holzer) 等人在亚利桑那州中南部构造盆地地裂缝的长期研究中发现, 在盆地 (或谷地) 的边缘及内部均有地裂缝分布, 地裂缝的发育深度远远超过地下水位的最大降深, 盆地边缘的地裂缝大都沿边缘断层展布, 且延伸至地下水水位降深漏斗区以外 (如图 1.1.3) 另一方面, 在断层位置, 地裂缝两盘产生明显的垂直差异变形 (如图 1.1.4 所示)。经过对盆地内地裂缝的活动性、地质环境资料及地面沉降观测资料的综合分析, 他认为该区域的

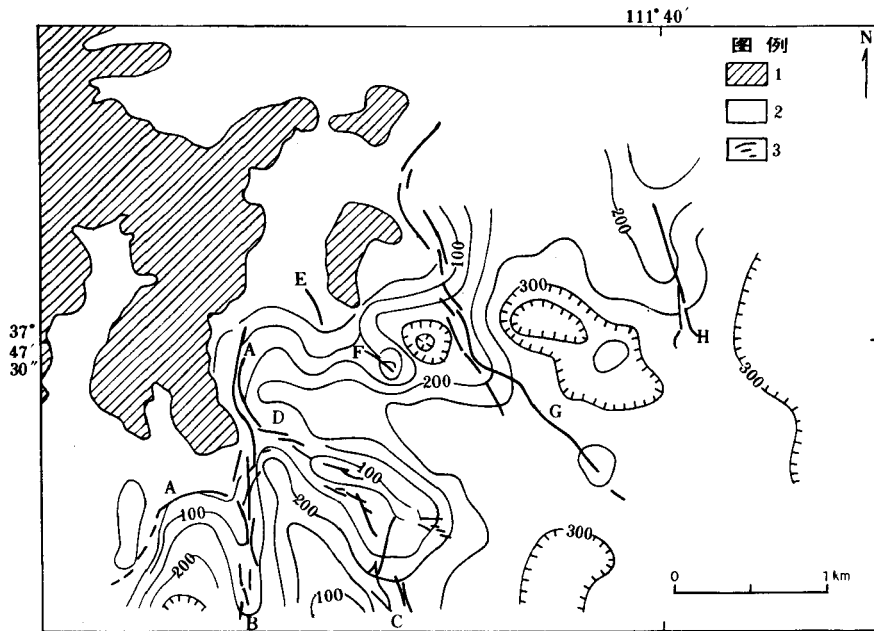


图 1.1.5 亚利桑那州卡萨格兰德(Csa grande)地裂缝(据 Jachens,1982)

1.基岩 ;2.冲积物 ;3.地裂缝

构造活动与地下水开采是影响地裂缝的形成和活动的两个主要因素。新墨西哥州、内华达州、加利福尼亚州及得克萨斯州等地裂缝的系统研究成果 ( Haneberg, 1991、1992; BELL, 1990; Pampeyan, 1988; Keaton, 1991 ) 对霍尔泽尔 ( Holzer ) 的复合成因观点给予了充分的肯定。

美国西南部几个构造盆地或构造谷地内的地裂缝的分布有着相似的特征 ( 如图 1.1.3 及图 1.1.5 所示 )。地裂缝活动虽然与地面沉降表现有明显的联系,但主要地裂缝,尤其是较大规模的地裂缝,其展布明显受构造控制。随着研究的深入及大量长期观测资料的积累,美国学者在比较普遍接受地裂缝的构造及地面沉降复合成因观点的同时,也认识到地裂缝成因机理的多样性和复杂性。

在 20 世纪 70 年代,美国学者杰切斯·R·C 和霍尔泽尔·T·J 在进行亚利桑那州中南部构造盆地地裂缝研究中,注意到地裂缝活动与构造作用、地下水开采、基底形态、地形地貌等因素间表现有不同程度的联系。Johu·W·贝尔(1990)研究了内华达州拉斯维加斯城 ( Lasvegas ) 地裂缝与地面沉降的关系。该城自 1905 年开始抽取地下水供水,开采地下水量超过了地下水补给量,导致地面逐年下沉。自 1935 年起开展地面变形观测,目前地面沉降影响范围已达 1 030 km<sup>2</sup>。每年实际抽水量  $8\ 380 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,回灌量则为  $(3\ 100 \sim 4\ 300) \times 10^4 \text{ m}^3$ 。现在地面沉降中心累计沉降总量已达 1.5 m,地面上出现与下部断层对应的地裂缝。随着沉降加剧,沉降中心井管显著上升,至 1989 年井口已超出地面 1.5 m。对沉降量最大地区活断层 12 年(1978~1989 年)的观测表明,跨断层形变显示出活动差异,该断层活动速率为 6 cm/a,1985 年差异运动总量达 40 cm。地裂缝在沉降区到处可见,一般地面开裂宽 2~3 mm 由于地表水渗入局部潜蚀形成垂直或水平的管状或廊道状空洞,最宽 1~2 m,因而形成数米至数十米长的地裂缝,可见深达 30 m 或更深(刘玉海,1991)。地面沉降及伴生地裂缝和断层活动形成灾害,使各类地面建筑物损坏、井管折断、部分给排水管道和煤气管道切断。据统计,10 年中直接经济损

失达 1 200 万美元 (折合人民币约 1 亿元)。由此可见,美国拉斯维加斯城(Lasvegas)地裂缝在成因和灾害特点上,与中国西安、大同、邯郸等城市地裂缝具有相似性。

墨西哥首都墨西哥城是世界上开采地下水引起地面沉降最严重的城市之一。从 1900 年到 1970 年期间,据凯思德尔(Cathedrel)和拉奥拉梅达(La·Alameda)两个点的测量资料,共沉降了 7 m,平均沉降 10 cm/a。不断沉降的墨西哥城地面出现了地裂缝,沉降区内多见长 20~30 m、宽 2~3 cm 的裂缝组,一些裂缝的垂直错位明显。为了保持地面平整度,城建工作者只得用水泥将裂缝抹平。抹平的地面不久又开裂和错位,说明地面仍在不均匀下沉(朱海之,1991)。

在美国亚利桑那州等地存在着大量由于抽取地下水而产生的地裂缝。物探和钻探资料都表明,地裂缝的位置与构成含水层底板的古潜山脊和断层崖相对应,其特征以张性为主(张荣祥,1987)。得克萨斯州休斯敦地裂缝和圣·琼奎因(san Joaquin)山谷地裂缝的产生和发展是可以控制的,当停止抽取地下水和石油时,休斯敦地裂缝立即停止活动。由于固结沉降存在着极限值,休斯敦地裂缝活动也存在极限值,这个极限值是由承压水位下降控制的。英国格拉斯哥城,由于倾倒 15m 厚的人工堆积物,加重了采矿巷道引起的地面不均匀沉降,使上部建筑开裂。

美国学者内拉辛汉·T·N(1979)布沃·H(1977)洛格伦·B·E(1972)等从不同角度所做的模型试验和模拟试验,结果也反映出地裂缝活动与构造作用、地下水开采、基底形态、地形地貌等因素有不同程度的联系。布沃·H 的试验结果表明,土层岩性对地裂缝活动有很大影响,它可影响地裂缝的变形形式,也制约地裂缝在地表的变形幅度。国外对于多因素作用的复合源机制认识逐渐深化,尤其在地下水开采时对地裂缝的作用形式及其机制、构造作用与地下水开采因素的相互作用等方面取得了可喜成果(贝尔·J·W,1990 哈内伯·W·C,et al,1993)理论研究和地面沉降实例表明,抽汲地下流体会引起地面沉降边缘的引张区产生正断层活动或张裂缝,其空间分布形态是向地面沉降中心倾斜的环状高角度正断层或张裂缝;在地面沉降中心区,由于挤压作用而出现低角度逆断层或挤压裂缝(张家明主编,1990)。从国外许多因过量抽汲流体而形成的地裂缝来看,沉降中心区的逆断层少见,而沉降边缘的正断层或张裂缝较易发生(图 1.1.6)。

根据皮卡乔(picacho)、米布斯(Mimbres)、弗里蒙特(Fremont)地裂缝的研究结果,多因素共同作用对地裂缝活动性质、发育规模和地表变形特征等方面的影响较为复杂,影响效应并不是各种因素影响的简单迭加,而是表现有不同程度的相互作用关系。各种因素以不同的应力形式,共同构成了一个复杂

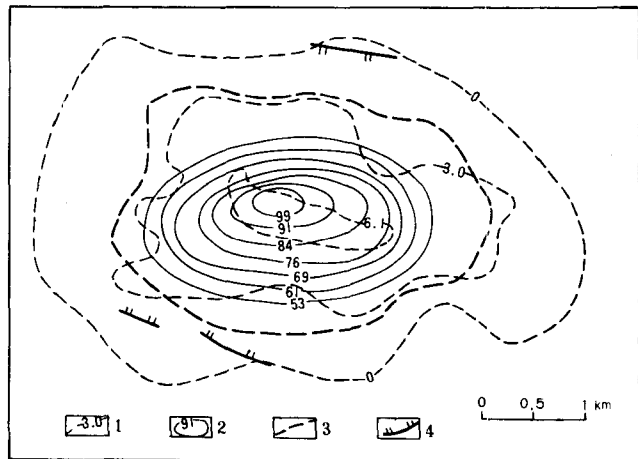


图 1.1.6 美国古斯河油田地面沉降边缘的正断层分布图(据波伦等)

1. 1924~1925 年地面沉降等值线(单位:cm); 2. 1917~1925 年地面沉降等值线(单位:cm); 3. 油田的分布边界; 4. 地表正断层

的合力源,对地裂缝活动产生了复杂的作用机制,有的对地裂缝活动产生促进作用,有的则产生抑制作用(卡佩特·M·C,1980~1984 哈内伯·W·C,1995;帕皮耶·E·H,1985)

美国等国一些科学家认为,地壳隆起引起的地表破裂,是一种张性地裂缝,这种地裂缝是由于附近小地震应力蠕动的结果,往往较发生地震的时间滞后一年左右。前苏联 K·K·马尔克夫认为地壳与多种因素有关,如地球半径的微小变化导致地球转动呈飞跃式的变缓,即在构造稳定时强烈变缓,在构造不稳定的年代微弱变缓,地形被强烈切割。他还指出这种飞跃式的改变(构造不稳定)曾发生于 1667 年、1758 年、1784 年、1864 年、1887 年。从这里看出构造不稳定年代的间隔,从总的趋势看是日趋变小,按照这种观点取最短间隔计算,近百年来的构造不稳定年代将发生在 1910~1911、1933~1935、1956~1959、1979~1983、2000~2007 年(王学法,1984)

目前美国地裂缝研究已开始显示多学科综合研究特点,即在一些重点地区涉及多学科的研究内容。如亚利桑那皮卡乔和埃洛地裂缝研究设置专门的物探剖面,定期进行物探探测,并建立断层变形、地裂缝位移及地面沉降的关联观测体系,以取得各方面的资料进行综合对比。而 20 世纪 70 年代以前美国的地裂缝研究成果多是单一学科的研究,单一地从地震、构造地质或水文地质角度分析。我国目前的地裂缝研究已开始进行多学科的研究。

总之,国内外对构造地裂缝研究早期多是与断层蠕动联系起来的,甚至干脆作为断层蠕动来研究。其侧重点是地裂缝与地下水开采之间的关系,成果较为分散孤立、不成系统,对地裂缝属性、分布规律、大区域联系、活动特征、灾害效应,缺乏系统的、综合的研究。目前在中美两国已开始运用多学科的综合研究方法认识地裂缝,但尚无人专门研究构造地裂缝中的区域微破裂开启型地裂缝。

## 1.2 中国地裂缝及其灾害研究概况

### 1.2.1 国内有关历史地裂缝的记载和研究

中国对地裂缝的记载比国外早四千多年。4400 年前,我们的祖先对地裂缝就给予了一定的重视,并在一些史书中作了记载。北宋时期的一部巨著名叫《太平御览》,其第八百八十卷中有关地裂缝的记载共计 15 条。在《墨子·非攻下》一文中,记述了一次地裂缝的情景:“昔者三苗大乱,天命殛之……地坼及泉”。地坼,即现在所说之地裂缝。据历史考证,三苗欲灭时,大约相当于夏代帝发之前 700 多年的黄帝晚年,约为公元前 2550 年左右(谢广林,1988)。有的则明确记作“黄帝将亡则地裂”,可见古人对地裂缝的出现已有深刻的印象。

随着时间推移和历史的进步,我们的祖先对地裂缝的观察和记载越来越详细。《太平御览》记载汉惠帝(公元前 194~前 188 年)时西安“五月城中地陷 30 丈”,文中记述了地裂缝发生的时间、范围和长度。《后汉书·本记》记载,汉元初元年(公元 114 年)3 月,河南洛阳“地坼长百八十二里,广五十六里,地陷裂”;建宁四年(公元 171 年)6 月,山西万荣“河东地裂十二处,裂合长十里百七十步,广者三十余步,深不见底”,与现代地裂缝 1983 年 7 月底在万荣王亚乡薛店、里望乡蔡村、埝底等地发生的多条分别长为 1.5 km 和 20 km 深大于 14 m 的地裂缝规模和位置相当。《旧唐书》记载唐代大和八年(公元 834 年)六月,西安“定陵台下大风雨东廓之下,地裂一百三十尺,深五尺”,与笔者在西安北郊毛毯厂家属楼地基探坑中发现的、切断唐

夯土层埋于唐代废墟层之下的唐代地裂缝，发生时代和地点都相吻合（王景明，1985a）。

有些史籍的论述可以从看出地裂缝的成因和危害，《山西通志》记载，明万历三十二年（1604年）山西“绛州大水地裂，辛雷诸村水深数尺，忽地裂水洼洼，又诸处外隔而中通，水尽复合，有穀麦及人或陷于此而漂击于他处者”。说明那里的地裂缝是水诱发而成，并危及人命。顺治新郑县志记载，崇祯十三年（1640年）十月，河南新郑“张家庄地裂，阔二丈，并裂两开，水溢出”。笔者广查史书地方志，仅记载大华北7省的历史地裂事件就有108起（详见第6章6.4.5“大华北历史地裂缝活动空间的区域性”部分）。

这些史书的记载，仅仅是浩瀚史料中的点滴，已说明古今地裂缝是一种常见的自然现象。我们的祖先对地裂缝的研究相当重视，从黄帝到春秋、从秦汉到明清、从专门史籍到地方县志，史料中均有记载。所记载的地裂缝大多分布在中国东部地区，尤其是在华北七省中。史籍中简单数语，基本指出了地裂缝的长度、方向、形状，伴随的喷水、泉涌现象，对民房、宫室和水井的损坏等。我们祖先对地裂缝的观察研究虽然还不够深入，但集腋成裘，汇集分析这些史料，人们可以清楚地看出，地裂缝可以有多种成因。

我国最早依托工程建筑开挖基坑研究历史地裂缝是从笔者开始的。1975年8月13日至1976年5月11日，笔者在明嘉靖三十四年关中大地震（即1556年1月23日陕西华县8级大地震）极震区华县、渭南、华阴调查时，在渭南老城区开挖的排水沟和新城区长数千米的防空洞中，实见上百条埋于地面1m以下的充砂地裂缝、地震断层、喷砂体和落入缝内的瓦片、瓷片、碳块。经考古专家和 $C^{14}$ 测定属明代文物，表明这些地裂缝系1556年华县大地震历史地裂缝（王景明，1980）。

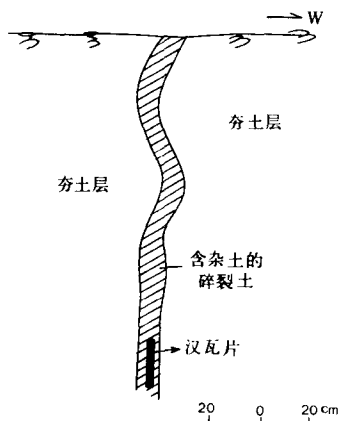


图 1.2.2 咸阳秦王宫遗址汉初地裂缝素描

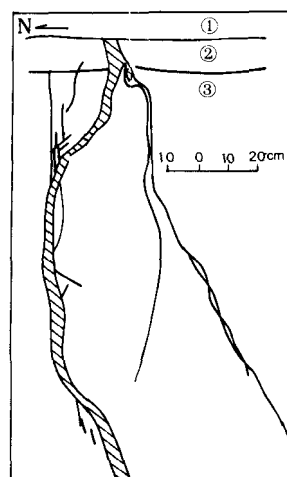


图 1.2.1 西安毛毯厂探坑唐代地裂缝素描图  
人工填土(含砖瓦碎块)  
厚 1.9m; ②亚砂土夯土层  
具层理 ③次生黄土

笔者指导学生填制西安地裂缝地质图时，于1983年2月在西安北郊唐代含元殿遗址附近的毛毯厂地基坑中，发现埋于历史废墟层之下、顶点距今地面1.9m的地裂缝（图1.2.1）。经陕西省考古研究所和中国社会科学院西安研究室研究员韩伟、吴镇锋鉴定，上覆废墟层确系唐代文化层。又因其切断唐代夯土层，这些地裂缝当属唐朝时发生。唐末含元殿被焚毁，故地裂缝时代应为唐代中期，与旧唐书本记载788年2月12日“含元殿殿阶及栏槛三十余间无故自坏，甲士死十多人”和前述834年6月西安“定陵台下大风雨东廊之下地裂”，两者与所处的唐代中期时间段相符，很可能是当时地裂缝出现并加速蠕动的结果，与房屋自坏的时间和地点也相近（王景明，1985a）。1983年4月笔者在检查咸阳窑店秦王宫遗址时，发现了埋于2m深、切断秦文化层、断至汉文化底部后消失的地裂缝，缝内所夹为秦砖瓦（图1.2.2）。

1983~1985年笔者带领学生6人，查阅上千册大华北

的史书、地方志和历史文献。较著名者有：太平御览、资治通鉴、史记六国年表、山西通志、天灾表、后汉书本纪、后汉书五行志、河南通志、延庆州志、宋书、魏书灵德志、旧唐书五行志、旧唐书、新唐书五行志、辽史本纪、宋史五行志、元史五行志、康熙几辅通志、万历实录卷、明史五行志、古今图书集成、谈迂国权和有关各州府、县志。对大华北七省自公元前 2598 年“黄帝将亡则地裂”起，4 000 年来有记载的 108 起历史地裂进行综合研究，发现它们可以组成 8 个地裂缝活动周期，平均长 312 年。各周期中的活跃期持续长平均 173 年，隐伏期持续长平均 137.5 年。并发现大华北 4 000 年来 8 个地裂缝活动周期及其中的活跃期和隐伏期，与 8 个地震活动周期及其中的活跃期和平静期出现的时间和周期持续长短基本吻合，表明华北地震与地裂缝活动的时序起伏、力学特征、成因环境都是相关的，它们同是一个统一的区域构造应力场作用的产物。笔者先后撰写两篇历史地裂缝研究的学术论文（王景明，1985a 和 1992a）为地裂缝活动和灾害预测、防治提供了理论依据，已广为中外学者引用，促进了地裂缝灾害科学的研究和发展。

### 1.2.2 我国地裂缝研究阶段的划分

我国地裂缝研究是伴随探索地震预报和捕捉地震前兆研究开始的。1966 年邢台地震揭开了我国地震预报研究的序幕。邢台 6.8 级和 7.2 级地震发生在我国东部人口稠密的河北平原地区，使国民经济和人民生命财产遭受到很大损失。科技人员目睹严重的地震灾害后，心情沉重，更加感到地震预报的紧迫性。邢台强震序列的发生，使人们有实际机会在现场搜集和核实多种比较可靠的前兆现象，既有仪器观测资料，又有大量的宏观现象；既有科技人员亲自观测的数据，又有广大群众提供的信息。经初步总结就有“密集—平静—大震”的地震活动图象变化、水位和水质异常、动物行为异常、朔望的影响和各种地球物理场的震前变化等，这些现象在震区广泛出现，有较高的可信度。这些震前异常，又作为邢台地震的 3 月 26 日 6 级余震预报的依据，并首次尝试预报获得意外的成功。

之后不久，即前已述及的 1966 年 6 月 27 日美国帕克菲尔德 5.3 级地震前两周，在当地圣安得列斯断层地表上发现新的地裂缝，专家们认为这可能确实与地震预报有关的一个现象。从此，我国地震学术界将有关地裂缝作为可能是地震前兆现象之一，列入捕捉地震前兆必须调查研究的内容之中。此后，我国东部地区接连发生强烈地震，先是 1967 年河北河间 6.3 级地震，随之发生 1969 年渤海 7.4 级地震、1969 年广东阳江 6.4 级地震、1970 年云南通海 7.7 级地震、1973 年四川炉霍 7.9 级地震、1974 年云南昭通 7.1 级地震、1975 年辽宁海城 7.3 级地震、1976 年云南龙陵 7.4 级地震、1976 年唐山 7.8 级地震和滦县 7.1 级地震、1976 年四川松潘 7.2 级地震，标志着中国东部强震活动高潮的到来。地壳活动活跃起来，震灾给当地人民生命财产造成严重的损失。与此同时，中国东部许多地区不断发现地裂缝，并由分散活动逐渐趋于集中在大华北南部的苏鲁皖地区发生，从而引起当地政府部门、人民群众和广大科技工作者的普遍关注，将地裂缝作为可疑的地震前兆进行落实，迎来了地裂缝宏观异常调查研究的高潮。

其后，1979~1989 年我国东部地震活动出现长达 10 年左右的相对平静期，此时滞后强震活动的地裂缝活动高潮却逐渐到来。华北大面积地裂缝活动的出现，尤其是邯郸、西安、兖州、临汾、榆次、大同等城市地裂缝相继发生，造成城市建筑物损坏、道路变形、管道破裂、农田漏水，危及工农业建设和城市生命线工程的安全，经济损失数以亿计，成为亟待解决的工程场地和城乡地质环境的重要问题，城乡建设部门和环境地质监测部门立即将其纳入自己的勘察研

究工作范畴。纵观我国地裂缝的调查、监测、研究工作，大体可分为 5 个阶段：

(1)1966 年邢台地震前，工程勘察部门为所遇地裂缝的场地工程稳定性问题进行局部分散的调查工作阶段；

(2)邢台地震后到 1970 年云南通海 7.7 级地震前，地裂缝调查主要目的是鉴别其是不是地震前兆异常，属于进行零星分散的目测性调查阶段；

(3)通海地震后到 1979 年江苏溧阳 6 级地震前，地裂缝调查的目的，多是捕捉地震前兆信息，属于有组织重点调查研究阶段；

(4)溧阳地震后至 1989 年山西大同 6.1 级地震前，发展成为地震前兆捕捉、地裂缝场地评价和城市防灾、地质环境监测等多种目的的地裂缝勘查研究阶段，进入地裂缝研究的高潮期；

(5)1989 年大同地震至今，逐步转入主要为城市防灾、区域地质环境评价而进行的地裂缝深入研究和勘察阶段。

### 1.2.3 早期分散调查的两个阶段

#### 1.2.3.1 地裂缝场地工程稳定性的分散调查阶段

自 1962 年以来，国内多次发现地裂缝和房屋开裂现象。如 1962、1964、1966 各年在合肥市，1963 年到 1968 年在广东省博乐马坝，广西贵县、南宁、桂林，湖南衡阳和耒阳等地，都造成了轻重不同的损失。为此，轻工、军工、铁路、水利等工程勘察和基建部门，先后做过详细的野外调查和实验室研究工作。多数人认为房裂和地裂与土质和水文地质条件变化及气候有关，大部分是由于粘土质土的干缩造成的，而与地壳构造活动无关。房裂和地裂期间及其前后，也没有地震发生。这是调查研究的最早阶段，大体止于 1966 年邢台地震之前。

#### 1.2.3.2 为鉴别地震前兆，对地裂缝的零散目测调查阶段

前已述及，1966 年邢台地震后的 3 月 26 日 6 级余震，首次尝试地震预报并获成功后，又受到 1966 年美国帕克菲尔德地震前两周出现的地裂缝可能与地震预报有关的启发，当时我国将地裂缝列入捕捉地震前兆必须调查的项目中。故此，在发生 1967 年河间地震、1969 年渤海地震的华北地区和发生 1969 年阳江地震的广东和海南岛地区出现的地裂缝，均有组织地派技术人员到现场作为落实地震前兆进行相关项目的调查，但这种调查是分散、孤立进行的。

(1)1967 年 8 月，沭阳地裂缝调查揭开鉴别地裂缝是不是地震前兆的序幕。1966 年 6 月和冬季，江苏北部东海、赣榆、沭阳、新沭、徐州各县市出现地裂缝，但当时尚未引起人们的重视。1966 年邢台地震灾害的惨痛教训、接踵而来的 1967 年 3 月河间地震的发生、包括地裂缝在内的地震宏观前兆异常鉴别的科普宣传教育，开始引起人民群众和科技界对地裂缝的注意。1967 年 8 月初，沭阳县青伊湖、湖东、高苴等公社又发生地裂缝，到 9 月 1 日已延及 4 县 44 个村，使当地群众产生不安情绪，疑是地震前兆，影响苏北九县市正常生产和生活。国务院极为重视，责成国家科委组织地震办公室，中国科学院地球物理所、地质所、武汉测地所、南京地理所，地质部地质力学所、华东地质所、地震地质大队，江苏省科委、省水文地质队和东海五队，国家海洋局，国家测绘局，化工部连云港化工矿山设计院、锦屏磷矿等十多个单位科技人员组成国家科委沭阳地裂调查组。8 月中旬对沭阳县 27 个村进行了普查，测出地裂缝 125 条，并挖槽探测，建 8 组观测点。调查组认为，沭阳地裂缝不是地震前兆，而是该区地表土层常年饱和，近年干热致使当地井枯、塘干造成的表土地裂缝。

(2)1968 年对地震多发的河北平原地裂缝属性的鉴别。1967 年冬，北京通县农业印刷厂排

印车间出现一条东西向地裂缝，到 1968 年 5 月已长达 140 m，致使厂房开裂。朱海之等（1978）实地调查后认为，这是胀缩土失水产生的干缩地裂缝，并非地震前兆。1963 年河北平原大水灾后，邯郸市永乐里等几处出现地裂缝，因其规模小、孤立分散，当时尚未引起人们注意。到 1968 年 4 月邯郸周围连续发生 3 次 4.2 级地震，市内震感强烈，复又出现新的地裂缝，使人们联想到地震前兆，因此引起地震、城建等部门的重视，并组织 20 多人的综合考察队对邯郸地裂缝进行了系统的调查分析，对其成因提出了构造说、水土说和综合说三种看法，这在国内尚属首次，一致认为它们不是地震前兆，调查工作因此停止。

(3)1969 年末对粤琼地裂缝属性的鉴别。1969 年 7 月 26 日广东阳江 6 级地震月余，震中距 350 km 的海南岛儋县新州小村、长坡牛栏屯、王五旧地分别发现 14 条、4 条和 9 条地裂缝。地质部中南地质大队派人现场调查后认为，其成因是近年雨少，潜水面下降，引起表土层干涸收缩而成，地裂缝与地震无关。当年，为研究枫树坝水库的地震地质基础，认识区域新构造运动，该大队又与茂名石油公司、广东矿冶煤公司共同对曾在雷州半岛海康县龙门公社幸福农场、英利公社青桐、茂名市石浪墟、高州县福地塘村等地分别出现的 8 条、7 条、2 条和 1 条共 18 条地裂缝进行了实地调查，发现它们往往与断裂构造相吻合，认为其发生受构造应力的控制。

#### 1.2.4 以落实震兆为主的调查研究阶段

本阶段大体起自 1970 年 1 月 5 日通海地震至 1979 年 7 月 19 日溧阳地震。其间我国东部强震活动频繁，1973 年炉霍 7.9 级地震、1974 年昭通 7.1 级地震、1975 年海城 7.3 级地震、1976 年龙陵 7.4 级地震、唐山 7.8 级和 7.1 级地震、松潘 7.2 级地震，震害严重，标志我国进入一个地震活动高潮期。频繁强震伴随着苏鲁皖豫大面积地裂缝的出现，引起我国地震部门和各级政府高度重视及人民群众的强烈关注。进行了多次有组织的调查，针对较大范围的地裂事件，还召开了区域性的考察与专业座谈会，这些活动多是与地震预报密切相关的，如：

##### 1.2.4.1 永年地裂缝调查

1973 年 6 月末，河北省永年县北部 60 km<sup>2</sup> 范围内发生一系列地裂缝。省地质局、省地震大队和邯郸地震办公室联合派科技人员现场调查，认为先旱后雨、易渗透潜蚀的砂土和近期近场 12 次 3~5 级地震是这次地裂缝的原因，它们是地震破坏的结果，不是地震前兆；永年地裂反映了区域现今构造应力场的南北向扭动性质（张尔匡，1976）。

##### 1.2.4.2 1974~1979 年苏鲁皖豫大面积地裂缝活动考察

1974 年豫皖边区 1.4 万 km<sup>2</sup> 范围出现地裂缝，渐显高潮；1976 年发展到整个长江—黄河中下游地带（谢广林，1979b），大体连成一片又呈高潮；1978 年再现高潮，如此三起三落。据统计，苏鲁皖豫四省 152 县共发生地裂缝 2 000 多处，其范围扩及东西长 1 000 km、南北宽 500 km。

(1)豫皖边区地裂缝考察。1974 年 7 月 18 日先在河南固始发现地裂缝，渐向东移；8 月 10 日发展到安徽霍丘；到 10 月份河南淮滨、潢川等和安徽颖上、阜南等 11 县均发生地裂缝，涉及范围东西长 200 km、南北宽 70 km 致使 7 000 间房损坏，并伴生地下水位、水质和动植物异常，人心不安，影响正常生产。两省及有关地县领导先后派人或携带流动地震台调查监视。武汉、南京两地震大队，国家地震局及其物探队、合肥工大和中国科技大学都派人考察测量。1974 年 10 月在信阳召开“豫皖边区地裂缝及生物异常考察座谈会”，多数人认为该区大面积地裂为

构造地裂缝，是现代构造活动激化的反映（谢广林，1979a），不是地震引起的；另一些人认为地裂、房裂在干旱后发生，多出现在室内不成带，与土质及气象、水文等表层因素有关，与深部构造及地震无直接关系，是由于粘土干缩造成的。

·(2)1976~1979年苏鲁皖豫地裂缝调查。1974年8月豫东地裂缝活动向东延至安徽霍丘后，至1979年扩及安徽47个县，面积7万km<sup>2</sup>余，以五河、蚌埠等七县市为严重。省地震局多次考察，1976年和1978年分别写出《关于五河县地裂、房裂情况的调查》、《阜南县黄岗前郢地裂的现场调查与分析》。此后奚树枫写出《安徽省地裂缝成因初探》一文，认为安徽地裂缝是地壳最新活动的一种表现形式及其留下的形迹，可能是较强地震的前兆现象。

唐山地震前后，1976年6月枣庄后峪和邹县泽山岩石开裂有声（高维明，1979a）；8月兖州北牟庙、红庙、何庄等多处地裂缝，朱作砺、任善水等对兖州矿机厂地裂缝观测后发现，该厂地裂缝伴随近场小震迅速发展，认为浅部地裂与深部构造和地壳运动有关，可作为临震警报之用，并建议建筑物应加强刚度，选择对地裂缝不敏感的结构型式。

1976年8~9月苏南溧水桥子头、吴县东渚、兴化戴家舍以及苏北宿迁皂河街分别发生多条地裂缝，呈雁列式排列，有水平位错或伴有井水上涨和人感地动，引起广泛注意。省地震办公室组织南京地震大队、省土壤所、省地理所和华东地质调查所宫春生、杨丰玉、范洪源、秦大正等组成江苏地裂缝专题调查组进行实地调查。秦大正认为其多属构造地裂缝，与中国东部现代构造应力场一致；少数是后期构造地裂迭加在原非构造地裂之上，不排除其可能为较强地震的前兆现象。

继1974年固始、潢川等五县地裂缝调查后，河南省地震局赵景珍、刘尧兴、张香荣（1990）等又对1979年辉县高庄、南村、获嘉照镜、济源古井等处地裂缝进行调查，认为其是区域应力场活动的结果，但有人认为是“水土”及气候条件的影响。

为核正苏鲁皖豫地裂区地震烈度，有关省地震局专家如山东高维明、孙竹友（1979b）、吴朱茂、李家灵，河南姚念庆、魏文恭、刘嘉彦，安徽奚树枫等又深入调查了该区地裂缝，认为苏鲁皖豫地裂缝是区域构造现代活动的一种地表地质现象，反映了现代地壳表面的应力网络及微细断裂的分布格局，是黄淮、下扬子、胶东各断块在压应力条件下的剪切扭张应力形成的两组共轭裂缝。苏鲁皖豫区近期新构造活动的加强，致使在该区产生大量地裂缝，并提出鲁中、长江下游、淮河流域三大网络交汇部位，是应力最集中之处，是未来可能发生强震的场所。

#### 1.2.4.3 1977~1978年西安地裂缝的初步调查

对西安市民心理影响较大的1976年唐山大地震发生后，伴随全市有感的1977年北郊2.9级地震的发生了市内出现地裂缝，引起各阶层极大关注。省市有关部门组织相关专业技术人员，对西安南北郊地裂缝进行了半年的调查研究，对其成因提出两种看法，一是构造活动的表现；二是超采地下水造成土层不均匀沉降的结果。详见1.3.2。

#### 1.2.5 抗裂与震兆并行的勘察研究高潮阶段

起自1979年溧阳地震，大体止于1989年10月19日大同地震之时。1979年后华北地裂缝活动再次进入高潮，其数量多、规模大、常密集成片发生，造成不同程度的危害。地裂缝调查研究工作也随之进入高潮。但其研究内容增加，由主要为单一目的落实震兆，而分解为落实震兆和工程抗裂并行。其一，在多次发生强震的冀京津地区，群众对震害触目惊心的邢台地震和唐山大地震存有余悸，各级地震部门非常重视曾列入震兆落实的地裂缝是否与地震

有关的调查研究。其二是在地裂缝活动频繁，但长期未发生强震又无中长期地震趋势异常的晋、陕、豫、鲁等省区，调查者则将注意力集中到地裂缝成因，对城市建设规划、工程场地和地质环境的影响，地裂缝治理对策等方面上来，使地裂缝研究进入多种目的调查研究和勘察的新阶段。

#### 1.2.5.1 冀京津区地裂缝的勘查研究

1976年唐山大地震前一年内，北京昌平南新村，通县西集乡上坡村、麦庄，河北三河县段甲岭等地都出现了地裂缝，当地人们便将地裂缝与地震联系起来，其后该区一系列地裂缝的出现引起了人们的恐震情绪。此外，由于地裂缝已经造成房屋、车间、工厂及水利设施等不同程度的破坏，也影响了生产和群众的生活，又关系到改革开放和四化建设的进行，更引起各级政府和专业技术人员的重视。

(1)围绕落实震兆的调查研究工作。北京昌平县南新村，唐山地震前15年中地裂缝4次，1975年尤重。所建17幢楼房，因1976年唐山地震时地面开裂，其中13幢裂毁。1980年8月18日该村又出现地裂缝，村民心慌怕是震兆速报地震部门。昌平县地震办调查后认为其是天旱所致，与地质构造及地震无直接关系。此后，1981年顺义马家富村，1982年房山北安村，三河东公集，1983年房山古庄、纸坊，大兴鹿圈村，1984年大兴贺南村、鹿圈村，1986年房山县良乡南大街（1990年已扩宽70m的地裂与房裂带）、纸坊村、瑞和庄，昌平西辛峰，延庆大柏老村等地陆续出现地裂缝，使民房、厂房设施开裂。这些地裂缝又多与附近小震同步，群众因此惶恐，引起各级政府重视。1986年北京市地震办公室委托房山县地震办公室组队，当年4~10月进行实地考察或收集资料，发现地裂缝76条、房裂缝71条、鼓包9处。其调查报告《北京地区地裂缝》指出，“这次调查的地裂缝与地震关系密切，其大多数是区域应力场作用的产物，是新构造活动加强的一种表现形式”。

1982年6月河北文安范章务村北见地裂缝4条，地县和国家地震局分别派高文章、常年生、邓荫芬、刘乐、李柏树、田宗钧、丁占英、林伟凡等分四批考察，他们认为这些地裂缝是地应力积累加强造成断裂蠕动殃及地表而成。

1983年6月24日霸县樊李杨村、1983年11月25日文安尹村、1984年7月30日固安方村分别发生地裂缝，廊坊地震局派田宗钧、肖爱军、步克功等分别考察；1983年8月8日广平苏元村、南村地裂缝长3km，县政府和邯郸地震局均派人考察；1982年5月，藁城南孟村、1980~1984年新乐小流村各发生地裂缝4条；1983年6月14日至7月7日枣强于胜屯三次地裂、房裂；1984年7月6日安平刘门口村和1985年6月25日贾屯两处地裂，河北省、石家庄和衡水三地地震局分别派张四昌、何春贵、李玉、李增身、甄建英、沈英、栾忠全、金玉争、骆良才、石庚寅等分组去现场调查。诸如此类，仅1981~1983年夏秋期间，河北平原就发生地裂缝至少77条，有的还伴生地下水宏观异常。省地震局翟振生等（1984）也专题进行了考察。虽然调查者不一、时间地点各异，但对上述多起地裂事件的认识相近，即这些地裂缝均为非构造地裂缝，与深部构造无关，不属地震前兆。对其成因看法尚有微细差别，细分有三：一是长期干旱表土干缩成缝；二是地下水位下降地面沉降不均匀所致；三是早期原生裂缝经渗漏、潜蚀而成。

1980年7月至1987年7月保定地区涿州、新城、高阳、里县等18个县市共发生200余条地裂缝，市、县地震部门作了认真调查。刘汉东等（1987）研究后认为，其内因是强采地下水造成地面沉降，外因是降雨诱发，不是构造运动产物。沈宝智（1989）龚虎岭则认为表土“旱崩”，雨水是其显露的主体因素，水在渗漏中潜蚀并扩宽成地裂缝。

大雨后 1987 年 8 月隆尧崔庄、1989 年 7 月南和县北高村、1988 年 7 月 13 日辛集吴王等处地裂缝,邢台和石家庄地震局分别派袁小诏、唐季琨等去现场,调查后认为是近年干旱、地下水下降致使土体收缩成缝,属非构造地裂缝,并非地震前兆。

(2)探索地裂缝成因机制,对减灾对策进行勘察。1987~1989 年春旱,柏乡县西施村农田出现多条地裂缝影响正常灌溉;1988 年 7 月无极县东汉村地面陷坑 20 多个,大部分房裂下沉;1989 年 7 月 17 日雨后清河简家村地裂缝并伴生多个陷坑。省地矿局、省第一水文地质队、城市勘察院分别派袁基武、刘振湖、李成杰、黄月环等(1990),去上述三处现场勘察,均认为是因连年干旱地下水下降致使地面不均匀沉陷、雨水潜蚀致裂。

1980 年天津宝坻北坛等 36 个村 2 000 余间民房和河堤开裂,影响工农业生产和蓟运河防汛安全。有关部门几次组织专家论证意见不一,宝坻水利局认为地裂缝是天津石油化纤厂水源超采地下水,使水对第四系顶托力减少导致冲积层沉降致裂;刘金峰等(1996)认为强采奥灰水是主导因素,基岩顶面不平地层厚度不均重要条件。

笔者(王景明等,1990)指导马广达等十多名学生普查河北平原地裂缝,新发现 151 条,并统计区域微破裂即土层构造节理 600 余条,发现两者均可分为 6 组,且其特征各自对应。提出该区地裂缝多是在强应力作用下,土层构造节理及部分断裂复活,在土层中形成隐伏裂缝,再经降雨或灌溉诱发成缝;重力作用成缝者少。经广查史书文献,发现该区历史地裂缝存在 6 个活动周期,活跃期平均长 105 年,为区域地裂缝预测提供了依据。

#### 1.2.5.2 陕晋地裂缝的勘查研究

自 1977 年发现西安地裂缝算起的十多年中汾渭盆地未发生中强地震,人们由此认识到西安地裂缝的出现并非地震前兆。但这些地裂缝却造成大量民居、厂房、道路破坏,时强时弱的地裂缝活动使致灾范围不断扩大,到 1982 年底西安地裂缝直接经济损失已逾千万元。从此,人们开始将注意力逐渐集中到研究地裂缝成因、对策和治理方面上来。

(1)笔者对汾渭地裂缝的普查和重点详查。1982 年笔者带领 21 名本科高年级学生填制 1:1 万西安地裂缝地质图(详见 1 章 1.3)后,又于 1983 年对西安外围区域地裂缝进行了普查(王景明等,1985a 和 1989a)实地观测陕西周至翠峰、竹峪、渭南负张、阳郭、华阴汽修厂、泾阳龙泉、长安鲍坡、合阳黑池、山西万荣、垣曲、运城半坡等 20 余处地裂缝及相关的区域微破裂即黄土构造节理现象,认定所见地裂缝均属构造型,首次提出它们分属断层蠕滑和区域节理扩张两种类型。1984~1986 年带领学生陈文新等 4 人又详查了西安南郊、临潼晏寨、高陵、泾阳蒙家沟、澄城交道、朝邑、渭南北尧等 20 余县市,新发现并观测地裂缝 73 处 180 多条。至此笔者等在汾渭地区调查地裂缝 101 处,确定其中 82%为构造地裂缝、18%为重力或湿陷型非构造地裂缝。发现汾渭盆地地裂缝、小震和地下水三者都存在四年一次的活动周期,是区域构造活动加强的信息(王景明等,1989a)。

1988 年笔者带领学生陈树强、卜臣、孙焕峰、芦英强在泾阳口镇填制 1:1 万地裂缝地质图 60 km<sup>2</sup>,新查出区域微破裂开启型地裂缝 81 条,观测作为其构造基础的黄土构造节理 3 519 条,发现两者分别与河北平原地裂缝及相关的土层构造节理基本对应,表明地裂缝具有区域性特征,它们多由降雨或浇地等水流活动诱发成缝(王景明等,1989b)。

(2)地质与地震部门对汾渭地裂缝的研究。张家明等(1990)对陕西礼泉昭陵、泾阳龙泉、韩城市和山西运城鸣条岗等地裂缝进行了认识性观察,认为它们都是构造地裂缝,分别与隐伏断裂和地震活动有关。刘玉海、赵之胜(1990)认为“汾渭地裂缝系绝大多数为地壳表层构造形迹,

发生时间南早北晚，灾害程度南强北弱”。陕西省地震局米丰收、张安良等（1990）用 $\alpha$ 径迹法对西安和华山汽修厂、741厂等地裂缝及其上下对应的秦岭北麓断裂布设200多个点进行了探测，发现这些地裂缝不仅在地表有变形而且也有深层破裂存在，它们都是断层蠕动在地表的破裂现象。徐抗学、张恒录（1989）实测后认为，韩城地裂缝受韩城断裂控制也是构造地裂缝。

1983~1984年多雨，陕西高陵白莽原、梁村原发现多处滑塌、地陷，并集中在200 $\text{hm}^2$ 农田面积内，伴生地裂缝18处，高陵科委进行了普查。临潼下焦、暗孙和灵官庙三村相继出现地裂缝、地陷、潜水位上升水变味现象，波及2 $\text{km}^2$ ，人心惶惶，近邻秦始皇陵和兵马俑安全受到威胁。临潼县民政局、水电局、地震办和省市地震局多次现场勘查，观测民房350户、水井210眼，采水样土样90个。渭南负张、单村分别地裂，省地震局易学发、师亚芹（1989）现场调查。对上述三起地裂事件调查者均认为属非构造地裂缝，其成因一是多雨或农灌使潜水位上升、黄土塌陷、地面局部沉降不均致裂；二是下焦、暗孙等村多古地道、地洞，湿陷促使村庄地基多处开裂；三是高陵机井长期抽水带走泥砂，使地裂缝张开致塌。渭南市地震办公室姚兆瑞、吕莲、黄正衡（1986）调查渭南、华阴、澄城、富平、韩城12处地裂缝后认为，该区除两处外，大部分地裂缝的形成是黄土湿陷、塌陷、滑坡等非构造原因，不反映断层蠕滑。

1983年7月暴雨后，山西万荣薛店地裂缝长达1.5 $\text{km}$ ，运城和山西省地震局王绍中（1984）和苏宗正、阎正萃等（1984）以及孙广忠（1988）到现场考察研究后，分别认为是新构造运动使隐伏断裂重新活动黄土错裂，或积水沿节理等隐伏地裂潜蚀成缝，总之与构造活动有关。1982年7月暴雨后榆次北郊地裂缝多条，山西省勘探院王学法调查后认为可能是断层活动引起地面破裂。同年代冶金部勘察总院赵利群调查了潞城黄花沟山西化肥厂地裂缝，认为其是黄土冲沟发育的初期阶段，与地质构造无关。郭雅儒等（1989）认为山西地裂缝受隐伏活断层的地貌控制，成因有黄土湿陷与崩解、地下水超采和断层活动等多种因素有关。

有关本阶段西安、大同等城市地裂缝研究状况，将在本章1.3详述。

### 1.2.5.3 苏鲁豫区地裂缝的调查研究

(1)1980年前后，泰安柴油机厂、拖拉机厂和山东矿院房裂，经兖州设计院朱作砺等勘察并作土质试验，认为所见两组地裂缝属构造地裂缝，其配套可反演出NE向地应力，与当地地震相关，并非胀缩土和地下水所致。1985~1986年淄博傅家村出现地裂缝数百条，200户房裂；南定玻璃厂厂房墙裂。地矿部562队张业城等（1992）调查后认为，超采地下水与矿井疏干致使黄土开裂、水沿其潜蚀扩宽成缝，且有现今构造活动作用叠加。

(2)江苏新沂棋盘乡和成岗乡，1982年和1986两次地裂、房裂，群众惊恐，影响生活和生产。应省市府要求，省地震局李起彤、南金生等（1988）实地调查后认为，其属郯庐断裂活动引起的构造地裂缝，是震兆敏感点；赵永福等（1991）则认为其是非构造地裂缝，因干旱膨胀土胀缩不均而成。1982年苏北赣榆县城严重地裂、房裂，县地震办王继山（1992）实地调查；1987年7月鲁西南鱼台东里、仁和、西城地裂，房裂七百余间，陷坑几百个。山东省政府派联合调查组对两起地裂缝进行了调查，均认为主因是强采地下水水位下降所致，次因是软土易收缩。

(3)1987年7月大雨，8日河南西平李湾、杨树庄、楼房庄地裂缝；19日遂平葛口地裂缝；1987年10月和1988年7月陕县温塘成片地裂并陷穴。省地矿厅水文地质三队卢积堂等（1989）去西平、遂平，二队彭绍先等去温塘实地调查，认为两处均属构造地裂缝，黄土状亚砂土疏松受潜蚀易诱发地裂缝和陷穴。前者经省科委水利和地震部门考察后认为它们不是地震前兆。1988年太康朱口等乡12个村地裂缝，群众疑是震兆纷纷建抗震棚露宿，人心惶惶，人民日

报和河南电视台也予报道。县地委、省地震局分别或联合调查,廖官城、孟保成、刘尧兴认为是高温干旱古河道收缩下沉张力形成两组地裂缝,并非地震前兆。

#### 1.2.5.4 粤桂地裂缝调查

(1)广东省地矿局对地裂缝灾害进行了调查,水文工程地质二大队在《广州综合区域地质调查报告》(1989)中指出江高、蚌湖、神山地区有543间房裂;水文工程地质三大队在《广东省雷州半岛地裂缝地质灾害普查报告》中提出雷州半岛有长大于15m的地裂缝214条,翟礼生等(1994)调查,茂名有45个村庄房裂,范围200km<sup>2</sup>。有关调查者认为这些地裂缝与采地下水、土体强化失水膨胀土变形有关(谢浩球,1991)。1984年3月14日博罗县长宁出现地裂缝,倒房20间,省地震局调查后认为是滑坡地裂缝,并非地震前兆。

(2)1959~1963年广西来宾县28个单位房裂;1987年小平阳不断出现地裂缝,前者广西地震办公室(李伟琦,1989),后者西安地质学院张骏、卢玉东等(1996)分别调查,认为其产生的内因与岩溶及上覆土体性质相关,外因与气象、地形和构造影响有关。

#### 1.2.5.5 辽吉地裂缝研究

1987年4月辽宁辽阳县下达河老君矿河谷出现4组NE向地裂缝;1988年7月辽阳王罗屯发生一条东西向地裂缝;本溪牛毛岭出现多条NW向地裂缝;1987年吉林浑江七道江镇狼狗洞发生地裂缝,1989年仍在活动,房裂3座;1988年春农安县巴吉垒乡发生地裂缝;1980年前郭县哈拉毛乡发现两条NW向地裂缝。钟以章等(1990)和王立春等(1993)调查后认为它们是区域构造应力作用下局部构造活动引起的。

### 1.2.6 多种目的的研究与综合研究阶段

1989年10月大同地震后,随着各地区调查研究的深入,人们认识到所见地裂缝与强震绝大多数并无直接关系,因此除个别地区外,为落实地震异常的地裂缝调查逐渐减少乃至几乎停止。但地裂缝对沿线建筑物的破坏、对工程场地稳定性和城市建设环境的影响,却日趋明显。从此,我国地裂缝研究转入多种目的分别进行和综合研究的新阶段。

#### 1.2.6.1 冀京区地裂缝的深入研究

(1)地质部门为减灾和监测地质环境进行的调查研究。河北省环境水文地质总站按省地矿局冀地环(1991)166号文,派徐峰、李文才、姚玉致于1991年开展了“河北平原(京津以南)地裂缝分布规律及形成原因”的调查研究,年底提交同名的报告及相应1:50万环境地质图,目的是为减灾、促进经济建设、保护环境、拓宽环境地质服务领域提供依据。共收集177处地裂缝及相关的地质、水文、地下水位降落漏斗、地面变形等资料;作降雨与地裂关系曲线24条,编制高低水位差图2张,踏勘了邯郸赵县沟岸、辛集吴王村、无极东汉村等地裂缝,指出产生地裂缝的主因是地壳运动的内应力,诱发的主要条件是外营力。

1992年7月1日饶阳姚庄滹沱河北大堤内发生地裂缝长750m;1994年6月28日深县双井大贾村雨后出现地裂缝长2000m;7月12日暴雨后深县东蒲疃,饶阳固店、三桥、北马庄四处地裂缝。省地矿局先后派水文地质二队和三队寇秋焕等调查,均认为近年强采地下水使地下水位陡降,所生隐伏裂隙经雨水潜蚀扩宽成缝,后四者地裂缝与下伏的东西向隐伏断层对应,它们均与地震无关。

(2)地震部门为落实震兆的调查。1990年8月内邱七里会发生地裂缝4条;1992年6月巨鹿官厅医院院内大量地裂、房裂;1993年临城东读村地裂缝3条;1993年8月平乡张夏庄地裂