

THE GROUND FISSURES IN XI AN

The ground fissures in Xi'an have caused severe damages to the municipal construction, facilities on and under the ground, buildings, highways and other structures, resulting in a series of difficult problems for city planning. Like other natural hazard they have attracted much attention of personalities of various circles.

This book gives a detailed description of the characteristics of surfacial distribution, shallow features, mechanical property and activity of the fissures, and discusses the possible causes, background and countermeasures. A great many data and colour pictures are included in the book.

This book is useful for those who work in architectural design, enviromental protection, engineering seismology, geophysics and other scientific research, and also for related teachers and students in universities and those who are interested in ground fissures.

目

录

前言	(1)
第一章 西安地裂缝产生的背景	(2)
一、西安及其毗邻地区的地质构造背景和地貌形态	(2)
二、西安地区的地下水与地形变	(4)
三、西安及其毗邻地区的地震活动	(5)
第二章 西安地裂缝的形态与力学特征	(6)
一、地裂缝的分布	(6)
二、主要地裂缝带的形态与力学特征	(6)
三、对地裂缝分布和特征的分析	(15)
第三章 西安地裂缝的活动与危害	(20)
一、地裂缝活动的研究途径	(20)
二、地裂缝活动速度的对比	(21)
三、地裂缝活动与地震、活断层的对比	(25)
四、地裂缝的破坏特征	(27)
第四章 西安地裂缝成因问题	(29)
一、对地裂缝成因的两种见解	(29)
二、我们对地裂缝成因的看法	(29)
参考文献	(30)
照片	

第一章 西安地裂缝产生的背景

西安地裂缝是发生在渭河盆地内危害最大的地裂缝之一，它的出现不是孤立的事件，而是特定的区域地质背景下的产物。剖析西安地裂缝的形成背景，有助于从这一罕见的地质现象中辨明其主导因素，揭示其本质特征。

一、西安及其毗邻地区的地质构造背景和地貌形态

(一) 地质构造背景

渭河盆地的构造基础是新生代地堑，它是汾渭地堑的西半部分。盆地南缘是秦岭地槽褶皱带，北缘是鄂尔多斯地块，分别以深大断裂与盆地相嵌。秦岭褶皱带历经多期多次构造运动后，于中生代印支—燕山运动时期发生大规模岩浆侵入，同时块断隆起，中生代末渭河盆地的北侧初具雏形。喜山运动时期，秦岭块断再度强烈掀起，渭河盆地加剧陷落，差异运动十分明显，秦岭北陡南缓的地貌景观也已定型。鄂尔多斯地块为华北地块的一个构造单元，中生代初形成大型陆相盆地，中生代末期整体抬升，地块南缘的深断裂活动强烈。新生代以来，它以继承性上升运动为主，古生代的煤系地层和中生代砂页岩上覆盖着新生代三趾马红土及巨厚的黄土，形成了黄土高原。南部边缘的块断活动，形成北山山地，构成现今渭河盆地的北界。

渭河盆地就是在上述两大构造单元的发展过程中，逐步形成了自己的构造格局（图1）。盆地内，构造单元有断隆、断陷及断坡。

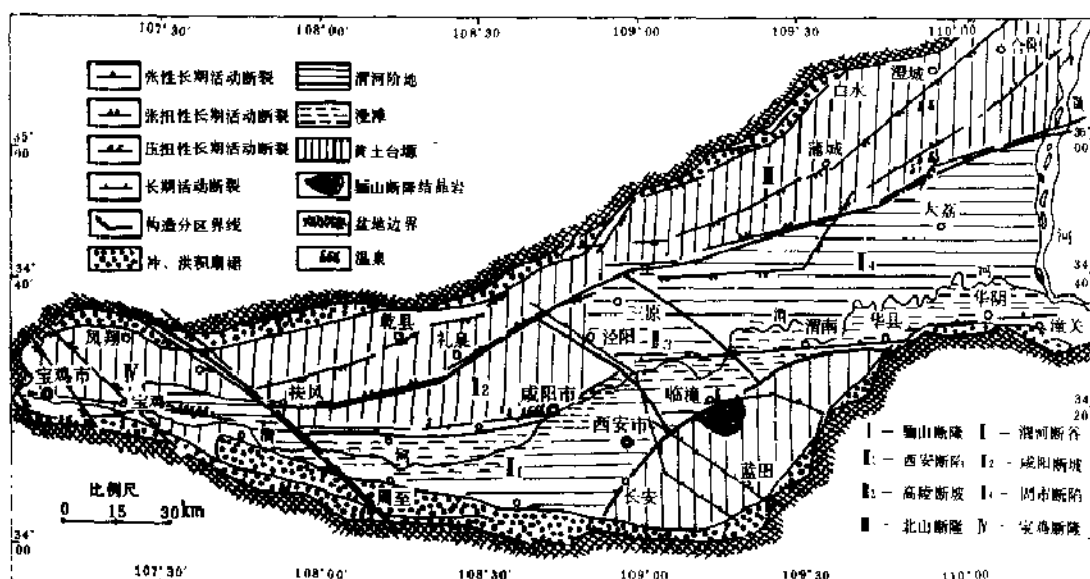


图1 渭河盆地构造格局及地貌类型图

渭河盆地的沉积建造，反映了盆地在不同地质时期的构造演化。盆地南边山地大面积出露的是前震旦纪变质岩及中生代花岗侵入岩，古生代及中生代地层出露于盆地北部及黄土覆盖区的深切河谷之中。新生代地层几乎遍布整个盆地，先是河湖相，然后是河流相及黄土堆积。这个时期断裂频繁活动，沉积厚度变化悬殊，如秦岭北坡强烈翘起，户县、西安一带形成凹陷中心，充填了厚达7000米的碎屑岩系，整体上呈南深北浅的簸箕状，第三

第一章 西安地裂缝产生的背景

西安地裂缝是发生在渭河盆地内危害最大的地裂缝之一，它的出现不是孤立的事件，而是特定的区域地质背景下的产物。剖析西安地裂缝的形成背景，有助于从这一罕见的地质现象中辨明其主导因素，揭示其本质特征。

一、西安及其毗邻地区的地质构造背景和地貌形态

(一) 地质构造背景

渭河盆地的构造基础是新生代地堑，它是汾渭地堑的西半部分。盆地南缘是秦岭地槽褶皱带，北缘是鄂尔多斯地块，分别以深大断裂与盆地相嵌。秦岭褶皱带历经多期多次构造运动后，于中生代印支—燕山运动时期发生大规模岩浆侵入，同时块断隆起，中生代末渭河盆地的北侧初具雏形。喜山运动时期，秦岭块断再度强烈掀起，渭河盆地加剧陷落，差异运动十分明显，秦岭北陡南缓的地貌景观也已定型。鄂尔多斯地块为华北地块的一个构造单元，中生代初形成大型陆相盆地，中生代末期整体抬升，地块南缘的深断裂活动强烈。新生代以来，它以继承性上升运动为主，古生代的煤系地层和中生代砂页岩上覆盖着新生代三趾马红土及巨厚的黄土，形成了黄土高原。南部边缘的块断活动，形成北山山地，构成现今渭河盆地的北界。

渭河盆地就是在上述两大构造单元的发展过程中，逐步形成了自己的构造格局（图1）。盆地内，构造单元有断隆、断陷及断坡。

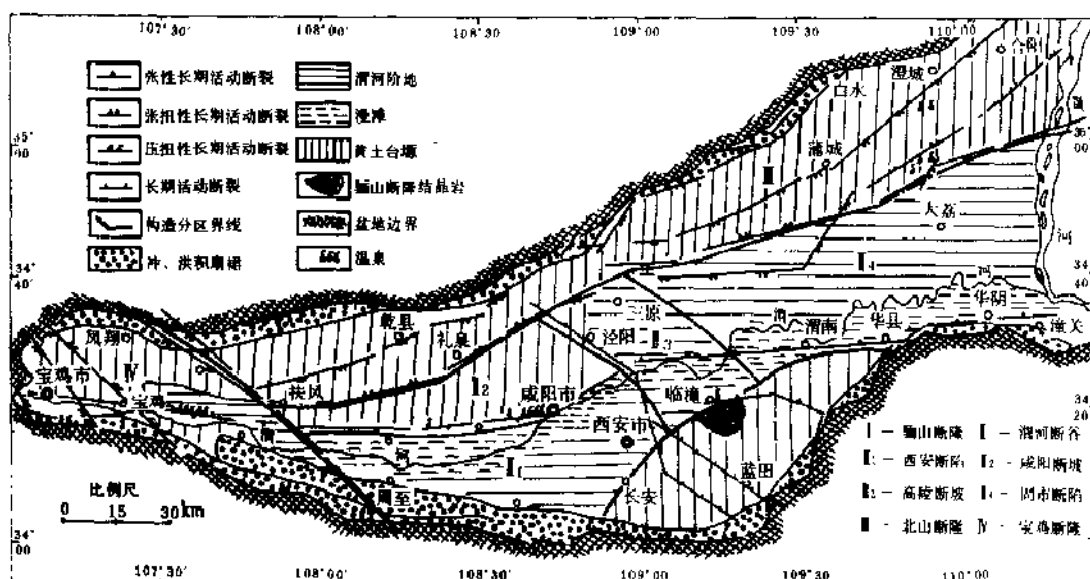


图1 渭河盆地构造格局及地貌类型图

渭河盆地的沉积建造，反映了盆地在不同地质时期的构造演化。盆地南边山地大面积出露的是前震旦纪变质岩及中生代花岗侵入岩，古生代及中生代地层出露于盆地北部及黄土覆盖区的深切河谷之中。新生代地层几乎遍布整个盆地，先是河湖相，然后是河流相及黄土堆积。这个时期断裂频繁活动，沉积厚度变化悬殊，如秦岭北坡强烈翘起，户县、西安一带形成凹陷中心，充填了厚达7000米的碎屑岩系，整体上呈南深北浅的簸箕状。第三

纪与第四纪沉降中心基本吻合，表明盆地内断块呈继承性翘倾运动。盆地内断裂主要呈北东、北东东向，有的隐伏地下，断开基底；有的持续活动，切开盖层。它们将盆地切割成一系列断块，组成一个不同级别、不同期次阶梯式块断系统（图2）。近年来的研究证实，盆地内莫霍面深度一般为41公里^{*}，小于周边山区。而地处西安附近的长安，深度只有27公里^[11]，并有火山岩喷发。这表明，盆地内上地幔上拱，上部地壳遭受到引张作用。若和东非、贝加尔、莱茵构造对比，可以认为它是一个内陆裂谷盆地。



图2 渭河盆地构造地貌剖面图

西安地区属于地壳不稳定区。据卫片解释、物探和钻井资料证实，有数条断面陡倾的基底断裂通过，主构造线呈北东、北东东及东西向，控制着西安地区的构造活动。现将三条主要断裂分述如下：

渭河中央断裂：隐伏在西安以北，长约300公里，北东东走向，南倾，倾角70—80°，带宽2—10公里。该断裂可能形成于前震旦纪^{**}，历经多次活动，晚近地质时期活动十分强烈。上新世末以来，断裂以北掀起形成黄土台原，以南持续断落为谷地凹陷中心，沿断裂两侧大型滑坡体星罗棋布。在它的影响下，渭河不自主地南摆北移。

临潼—长安断裂：位于西安断陷东南侧，和灞河、泾河断裂交汇，该断裂向东延至骊山断隆附近出露于地表，走向北东20—30°，倾向北西，倾角大于60°，向南转为北东东向。断裂全长60公里，带宽3—5公里，为一正断层。局部地段第三系内断距达1000米，并断开上覆晚更新世地层，断裂两侧第四系厚度差达300米。上新世以来骊山断隆、西安断陷之间的强烈差异升降，导致断层东侧西热1井井下缺失下更新统张家坡组，而在西侧的西热6井则有较厚的张家坡组。这条大断裂至今仍在活动。如鲍陂断层，为临潼—长安断裂在西安之南少陵原顶部的出露部分，该处中、上更新统断距达1米，可清晰看到棕红色含钙质结核的古土壤被错断（图3）。该断层在塬边表现为陡坎，向南西延伸至长安县西北村，向北东延伸至西安白鹿塬上的江卫村，在地表以地裂缝的形式出现。

秦岭北坡断裂：分割秦岭山地与渭河盆地的深大断裂，长约200余公里，走向北西转东西向，断层北倾，倾角60—80°，断距可能已达万米。断崖与峡谷相间排列，断层三角面十分明显。晚第三纪形成的夷平面上升总幅度达1400—1900米。该断裂沿周至，余下向东与兰桥—古城断裂相接。断裂以北为盆地巨厚的新生界，而南侧为太古界太华群、元古界宽坪、陶治群和大规模的印支—燕山期侵入岩系。据1972年水准测量，长安至摩托岭间的垂直形变值为10毫米/年，在大断裂处为50—60毫米/年，并有反复升降^{***}。

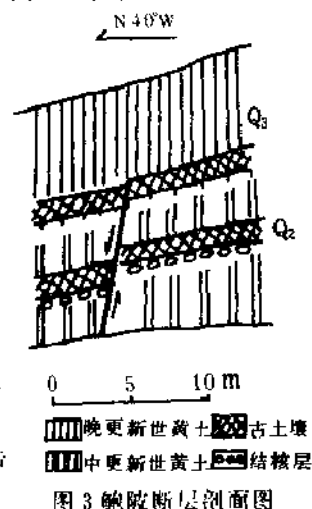


图3 鲍陂断层剖面图

- * 陕西省地震局1973年人工爆破资料
- ** 陕西省地震局地震综合队，1980，陕西关中盆地地质构造与地震活动关系研究报告
- *** 据国家地震局第二测量大队资料

西安地区的构造活动主要受上述三条大断裂控制。地裂缝活动的优势方向多为北东、北东东、近东西向，与构造活动的方向基本吻合。

（二）地貌划分

构造控制地貌，地貌反演构造。渭河盆地周边的秦岭、北山山地多次块断抬升，高于渭河平原 500—1600 米，地势自周边山地向盆地中央呈阶梯状降低，地貌组合依次为周边山地—山前冲洪积扇—黄土台塬—河流阶地。

盆地内不均衡的块断错动，构成了南深北浅的簸箕状断陷，这种继承性的运动控制着不同地貌单元的空间分布，也奠定了现今地貌的基础。如渭河流向沿中央断裂展布，渭河以北阶地宽阔，阶地较多，阶面较高，常见内叠式；渭河以南除西安外，一般阶地较窄，阶数相对较少，常为嵌入式。又如渭河北侧支流呈树枝状分叉水系，南侧支流呈单支羽状水系。再如渭河以北常见二级黄土台塬，具有定向性很强的构造断谷，而渭河以南二级黄土塬分布范围小，甚至缺失一级黄土台塬。这些情况反映出渭河南部比北部上升幅度小，所以盆地内三种地貌组合在平面上和构造单元较为吻合。

西安地区主要由两种地貌单元组成，即黄土台塬及渭河阶地（市区主要为二级阶地）。地势东南高西北低，具阶状台面。白鹿塬、铜仁塬、少陵塬，位于市区东南，海拔在 500 米以上，高出二级阶地 100—300 米，三级阶地高出二级阶地 15—20 米。上述塬边断层陡坎十分醒目。灞河以东陡崖上中更新世河流沉积高出现代河床 250 米。市区内由于地裂缝地表垂直错动，派生出一系列平行排列的北东、北东东走向的陡坎与洼槽。这种微地貌形态，清晰地反映了构造断裂的某些特征。

二、西安地区的地下水与地形变

（一）地表水与地下水

西安及其周围地区河流水系较为发育，素有“八水绕长安”之称。灞河、泾河、泾河、沣河、浐河等傍依市区，汇入渭河。这些河流沿断裂分割了渭河阶地的地貌和沉积物，使阶地类型及组合在某些区域内有较大的差别。

西安地区的地下水包括潜水和深部的三个承压含水层。潜水位埋深一般小于 10 米，年变化幅度为 1—3 米，补给主要靠大气降水和地面迳流，其天然动态特征属于气候型。如 1960—1964 年持续大量降雨（尤其是 1964 年比 1963 年增加了 30%），潜水位普遍上升了约 1 米，故在 1964 年前后出现了一些潜蚀作用及黄土湿陷形成的地裂缝。但这种地裂缝的分布杂乱无章，与目前西安发现的地裂缝带有本质差别。1965 年以后，降雨量均低于 1964 年，并保持相对稳定，再也未出现此类地裂缝。

（二）承压水与地形变

西安地区可开采的三个主要承压含水层埋深分别为 80—130 米，150—170 米，200—260 米。地下迳流途程较长，补给关系复杂，深部承压水的过量集中开采与市区地面沉降和地裂缝的产生有一定关系。

1968 年以前，承压水位基本稳定，下降速度约 0.5 米/年，无水位漏斗。地面沉降缓慢，下降速度约 2—3 毫米/年。1959 年在西北大学内，就发现地裂缝的活动与破坏，有些地方发现的时间更早，表明地裂缝活动远先于地下承压水的过量开采及水位漏斗的形成时间。1970—1975 年，开采量增加，水位下降速度加快，为 5—10 米/年。1971 年出现水位漏

斗，地面沉降速度约20毫米/年，但水位漏斗和地面沉降漏斗不重合。在此阶段，地裂缝活动稳定，以北东方向穿过市区。1976—1979年，水位下降速度减缓，约2米/年，1977年地面略有上升。在此阶段地裂缝活动强烈，特别是1976—1977年地裂缝活动尤为强烈。1980—1981年，水位下降速度增至5米/年，地面上的升，约8—16毫米/年。此阶段地裂缝活动有所加剧，承压漏斗不断迁移，但地裂缝位置、方向没有改变。

此外，地壳运动形成的地面下沉，是不可忽视的因素。据大地精密水准测量*，1972年以前渭河盆地相对北山和秦岭持续下沉，平均形变量达3毫米/年。1976年复测后，证实渭河盆地北部在大面积上升。1972—1976年五年中，蒲城至渭南之间垂直形变差值为25毫米，平均5毫米/年，富平与蓝田之间的差值为20毫米，平均4毫米/年（图4）。1970—1980年横跨临潼—长安断裂大地垂直形变测量，发现以东的骊山和黄土塬区近期显著上升，而断裂以西的西安地区却下降了200毫米以上（图5）。

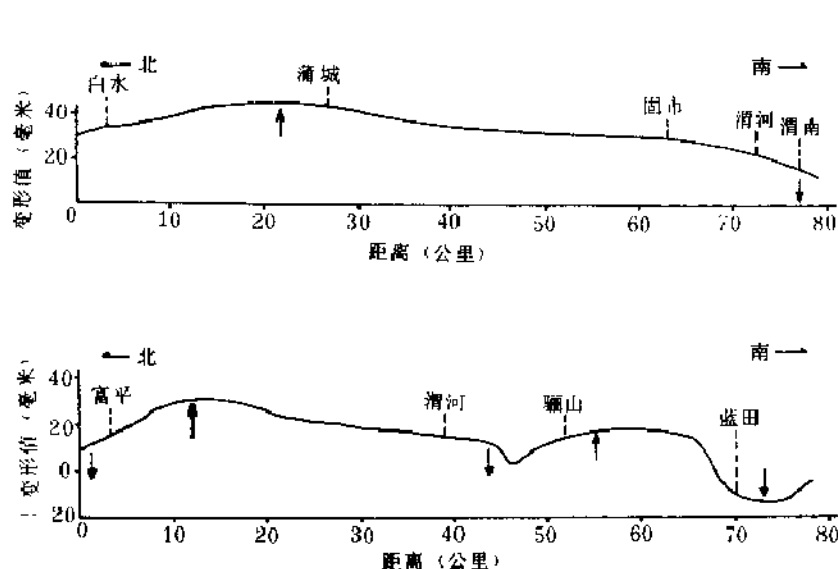


图4 1972—1976年蒲城—渭南
地形形变横剖面（上图）和
1972—1976年富平—蓝田
地形形变横剖面（下图）

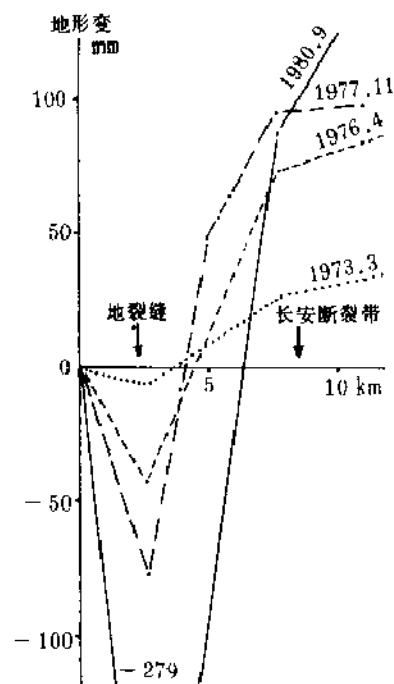


图5 西安—长安垂直形
变剖面图（据贾文山）

三、西安及其毗邻地区的地震活动

渭河盆地内地震成带分布，属于汾渭地震带的西段。我国历史上最早记载震害的地震即公元前780年（周幽王二年）的岐山6—7级地震，便发生在渭河盆地的西端。从此至今，盆地内共发生 $5-5\frac{3}{4}$ 级地震17次，6级以上地震8次。我国历史上死亡人数最多的1556年（明嘉靖三十四年）的华县8级大地震就发生在渭河盆地的东段，使83万人丧生，影响范围达10多个省、市的200多个县。西安地区的历史和现今地震沿前面所述三条活动断裂带分布。如公元600年（隋开皇二十年），西安的 $5\frac{1}{2}$ 级地震就发生在临潼—长安断裂带上；1487年（明成化二十三年），咸阳—临潼一带的 $6\frac{1}{4}$ 级地震发生在渭河中央断裂与北东向断裂的复合部位上；1568年（明隆庆二年）西安附近发生 $6\frac{3}{4}$ 级地震。地震资料进一步说明，西安周围的主要断层，全新世以来仍在强烈地活动。自陕西区域地震台网开始建

* 据国家地震局第二测量大队资料

立以来(1965年),西安地区发生的地震大都在2级以下,1977年西安草滩发生了二十年来最大的有感地震($M_s 2.9$),以后又发生了兴平、咸阳、周至小震群,而地裂缝的活动也在这个时期有所加强。

作为地震破裂效应之一的地震裂缝,在震区亦较常见,史书和地方志有大量记载。如:公元879年蓝田 $4\frac{3}{4}$ 级地震,蓝田“山裂出水”;1487年西安 $6\frac{1}{4}$ 级地震,震前一年“地裂,坏民庐居甚多”;1501年朝邑7级地震,“地裂长1至2丈或4至5丈”;1556年华县8级大地震,“地裂陷,水涌成渠”,西安“地裂横竖如画”。这样的事例枚不胜举。

地震引起砂基液化的地裂缝,往往作为查明地震震害和寻找古地震遗迹的标志。但地震裂缝经常是震时快速破裂的地表痕迹^[1],和目前西安地裂缝有本质的区别。

第二章 西安地裂缝的形态与力学特征

一、地裂缝的分布

鉴于地裂缝是一种特殊的地质现象,研究它的展布规律必须置其于三维空间之中。我们通过对地裂缝的追踪和开挖探槽,尽可能地获得查核无误的资料。然而,限于深部地质、地球物理工作尚待进一步开展,这里列举的地裂缝分布形态和展布规律均以浅层和地表的资料为主。

通过反复考察和开挖证实,目前市区有七条地表可见的破坏较严重的地裂缝带,图6给出了它们在平面上较为确切的分布,至于那些未完全证实的地裂缝带或段在图中未标出。表1从南向北依次给出了这七条地裂缝带的分布特征。

通过图6和表1可以看出,西安地裂缝的展布并没有前人所说的左旋雁行式排列的特征,且就目前的资料来看,所谓“等间距性”也不很明显。各带的累积长度、地表影响宽度等,都表现了明显的差异性。

二、主要地裂缝带的形态与力学特征

进行地裂缝考察的实践经验表明,通过地裂缝的分布形态和特征去探讨其力学性质,是一种由表及里、由浅入深的研究方法,也是一个简便而实用的定性反演途径。按照这一方法,下面对市区七条主要地裂缝带的基本特征和力学性质分别加以叙述。

(一) 南郊新安砖厂至吉祥村地裂缝带

该带是市区最长、连续性较好的一条地裂缝带。总体走向约北东 75° ,浅部普遍倾向南东,倾角在 $78^\circ-85^\circ$ 之间。裂缝形态在水平方向以锯齿状为主,在垂直方向上以波浪状为主。局郊影响宽度最大达40米,裂缝在密集处多达4条。从开挖资料看,接近地表,在主裂缝旁次一级小裂缝有增多趋势,主裂缝在10米以下宽度为4—30厘米。普遍南盘下降,北盘上升。在全新世地层中垂直错距一般为12—20厘米,在10米以下中更新世和晚更新世的古土壤层中垂直错距为70—200厘米(照片7—12)。有人推测该带已伸延至丈八沟,但尚无可靠资料证实。根据地裂缝的走向变化,该带又可分为七个段,各段的基本特征列于表2。照片1—26是该带各段的地面和地下浅层典型破裂形态。从这些资料统计分析,该带

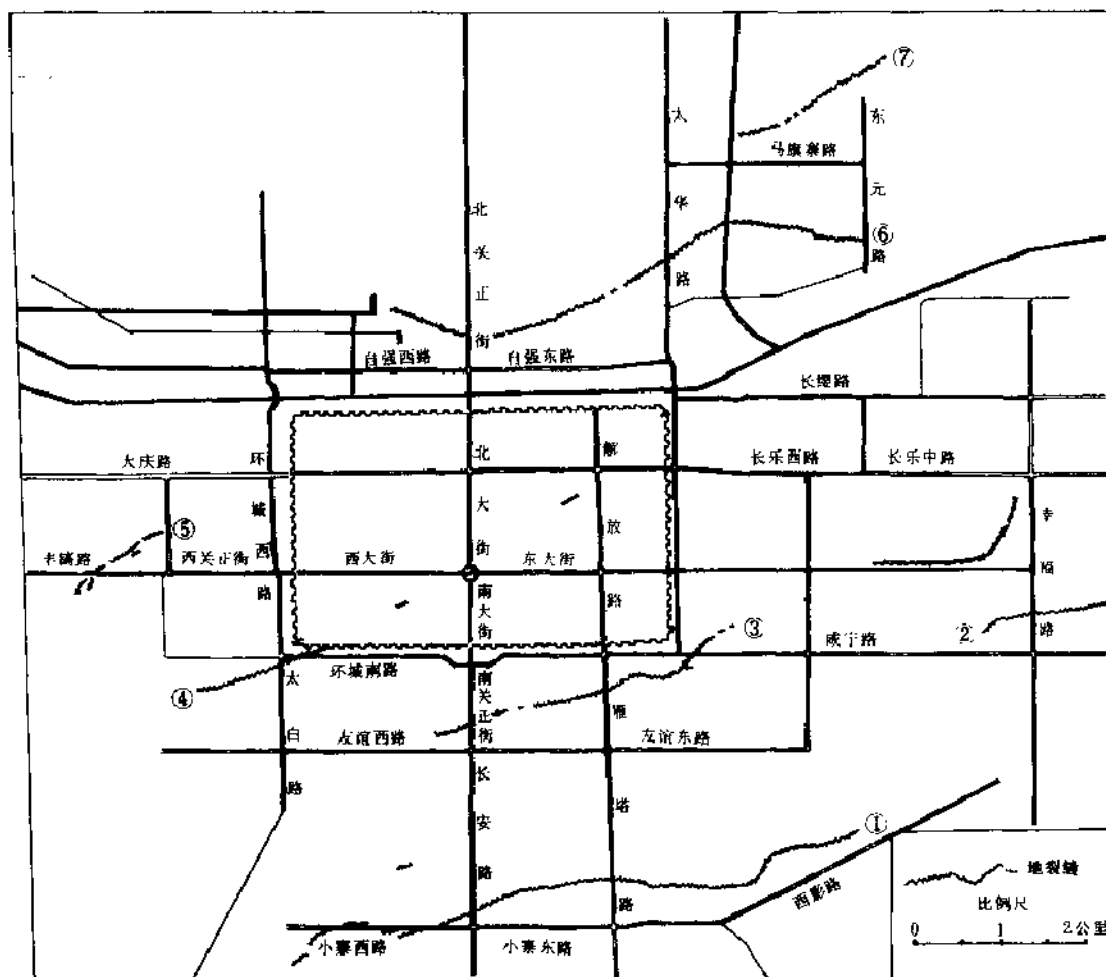


图6 西安地裂缝带平面分布图

①南郊新安砖厂至吉祥村地裂缝带；②东郊秦川机械厂地裂缝带；③和平门外古迹岭至小雁塔北地裂缝带；④城区西南西北工业大学至西北大学地裂缝带；⑤西郊丰镐路至粮油研究所地裂缝带；⑥城区东北八府庄至三合新村地裂缝带；⑦北郊辛家庙地裂缝带

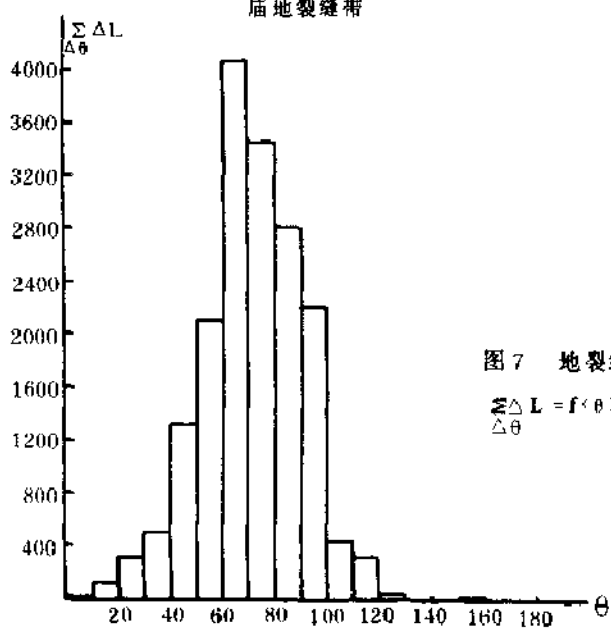


图7 地裂缝优势方向分布图

$\sum \Delta L = f(\theta)$, θ 为方位角, $\sum \Delta L$ 为 $\Delta \theta$ 区间的地裂缝段的长度和 $\Delta \theta$

表1 七条主要地裂缝带的分布特征

编号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
名称	南郊新安砖厂至吉祥村地裂缝带	东郊秦川机械厂地裂缝带	和平门外古迹岭至小雁塔北地裂缝带	城区西南西北工业大学至西北大学地裂缝带	西郊丰镐路至粮油研究所地裂缝带	城区东北八府庄至三合新村地裂缝带	北郊辛家庙地裂缝带
累积长度(米)	6400	1600	3215	2030	1750	5550	1465
地表影响宽度(米)	5—40	5—37	3—62	3—19	7—45	1.5—17	1.0—14.1
目前最大可见深度(米)	~18	~10	~10	~10	0.43	~2.3	17
总体分布形态	从东向西, 分别由近北东、东西和北西向地裂缝段组成了3个反“S”形, 局部地区出现裂缝分叉现象	从东向西, 由近北东、东西和北东向三段地裂缝首尾相接组成, 总体呈反“S”形	从东向西, 由北东45—70°和近于东西向首尾相接的地裂缝段组成锯齿形, 在186煤田地质勘探队等处出现分支现象。该带可能与西安动物园南至昆仑机械厂家属区地裂缝带相接(待查)	从东向西, 由近东西向和北东向首尾相接的地裂缝段组成锯齿形, 在末端出现北西向分支	从东向西, 走向北东60°的地裂缝段在丰镐路9号院向西转为北东30°, 总体呈钝角锯齿形, 裂缝分叉现象较多	从东向西, 依次由北西、近东西、北东和北西向首尾相接的地裂缝段组成大“S”形, 东段则由北西和东西向地裂缝段组成锯齿形	从东向西, 依次由北东、北西向地裂缝段组成锯齿形

表2 南郊新安砖厂至吉祥村地裂缝带各段基本特征

编号	1	2	3	4	5	6	7	
分段	新安砖厂至铁一村21号附近公路	铁一村21号附近公路至王家庄49号	王家庄49号至观音庙铸造厂	观音庙铸造厂至后村62号	后村62号至西安医科大学附属一院家属院	医科大学幼儿园至医科大学附设卫校	省党校至省工程安装公司	
途经地点	新安砖厂、铁一村21号	铁炉庙、第四染织厂及福利区、王家庄	王家庄砖厂、农田、地矿局技校、观音庙铸造厂	观音庙村、矿业学院实习工厂、省建四公司、后村东端	雁塔路8号及家属院、雁塔专科学校、教育学院、59家属院、帆布厂、建工学院、小寨商场、省军区及家属院、邮传处、黄委会、子午路商店	幼儿园、附设卫校	省党校、吉祥村肉店、探矿机械厂及家属院、金属织网厂、安装公司	
长度(米)	175	835	350	1200	2965	190	630	
走向	N45—50°E	N 65—75°E	N 40°E	N 70°E至N 75°W	N 75°E至N 75°W	EW	N 60—80°E	
宽度(米)	最大	6	15	11	15	40	5	8
	平均	6	7.4	7	6.9	9.47	5	5.28
地面裂缝	最多	1	1	2	1	4	1	三处为多条不规则裂缝组成的地裂缝带
	平均	1	1	1	1	1	1	
裂缝宽度(厘米)	最大	4	8	12	10	7	0.1	6
	平均	2	4.03	7.9	4.2	2.49	0.1	2.1
垂直错距(厘米)	最大	1.5	7.9	2.5	2	10		2.8
	平均	1.5	4.2	2.5	1	3.27		0.8
目前最大深度(厘米)	5.5	2.49	1.5	17	5			2.8
力学性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性			垂直张扭性
发现过程	1976年下半年发现	最早发现于1976年, 1983年受雨水影响, 裂缝增宽, 沉降加大	最早发现于1976年以前, 1983年活动较强	最早发现于1976年下半年, 1983年裂缝活动较强	1975年发现, 1976年裂缝活动较强			最早发现于1976年以前
备注		王家庄1984年新修的水泥路面开裂, 1985年9月缝宽达0.7厘米, $V_{水+水} = 5.6$ 毫米/年			后村64号1983年新盖的小楼, 一层水泥地面开裂, 1985年11月测得缝宽1.5厘米, $V_{水+水} = 6.2$ 毫米/年			据调查, 金属织网厂地裂缝刚好位于掩埋壕沟上

的垂直张扭力学特性是肯定无疑的。但应指出,从这条地裂缝带的整体分布形态以及开挖资料看,该带尚未发现明显的水平扭动痕迹。

(二) 东郊秦川机械厂地裂缝带

该带东起秦川机械厂厂区以东,西至该厂子弟小学西侧,地表裂痕明显,全长2公里左右,总体走向为北东 78° ,一般倾向东南,倾角近于直立,局部影响宽度最大达37米。裂缝密集处多达4条,单缝宽度最大达5厘米,普遍南降北升。地面最大垂直错距达7.5厘米,10米以下裂缝仍很明显。依据基建、人防工程、探槽三方面资料,在7.2米深处的中更新世至晚更新世地层中古土壤层垂直错距至少达2米(吴嘉毅发现局部达4米左右),裂缝中的充填物具有断层泥结构。据此推论,该裂缝下部可能与活断层相通。1984年子弟小学在维修防空洞过程中,由于地裂缝影响造成土体坍塌,使四位民工丧生。根据地裂缝的走向变化,该带又可分为两段,各段的基本特征列于表3。照片30—33是该带各段地表和地下浅层的典型破裂形态。从这些资料分析,该带的垂直张扭性明显,但尚未发现明显的水平错动。

(三) 和平门外古迹岭至小雁塔北地裂缝带

该带东起古迹岭以东,西至小雁塔缝纫厂,全长约3.3公里,该带总体走向约北东 72° ,一般向南东倾斜,倾角近于直立,局部影响宽度62米。全带由几个走向近东西和近北东的地裂缝段首尾相接组成。在186煤田地质勘探队、西安市第一保育院和西安市帆布厂等地有几个小分支,裂缝密集处多达5条。地表面缝宽达15厘米,普遍南低北高,地表最大垂直错距达15厘米。根据地裂缝的走向变化,该带又可分为六段,各段的基本特征列于表5。照片34—47是典型的地表和浅层裂缝形态。据上述资料的统计分析结果,该带垂直张扭性明显,尚未发现明显的水平错动。

(四) 城区西南西北工业大学至西北大学地裂缝带

该带西起西北工业大学以西的糜家桥,通过太白路经西北大学穿越环城南路到护城河,全长约2公里,地表痕迹连续、明显,总体走向北东 70° 左右,倾向南东,倾角近于直立,局部最大影响宽度达15米。裂缝密集处达4条,单缝最宽处达13厘米,普遍南降北升,最大地表垂直错距达22厘米。地下10米左右裂缝仍很清晰。根据地裂缝的走向变化,该带又可分为五段,各段的基本特征列于表6,照片48—57是该带各段地面和浅层的裂缝形态。从这些资料统计分析,该带总体具垂直张扭特点,尚未发现明显的水平错动。值得注意的是,在西南和东北城墙角、市委礼堂、钟楼、邮电大楼、人民大厦等地也已发现裂缝(照片58—60),这些裂缝点均位于该带的北东延伸线附近。虽然目前的资料还不足以证明这些裂缝确属该地裂带活动所致,但它已使文物古迹遭受破坏,应加强考察和监视其发展动态。

(五) 西郊丰镐路至粮油研究所地裂缝带

该带位于西门外,西起丰镐路12号院,经延光厂家属院至莲湖区粮油研究所,全长1.75公里,走向由北东 30° 转为北东 60° ,局部影响宽度最大达45米。裂缝密集处为2条,单缝宽约5厘米,普遍南低北高,最大垂直错距为5厘米。由于地表下部多为古河道或回填土,因此地裂缝在地表分支较多。根据地裂缝的走向变化,该带又可分为六个段,各段的基本特征列于表7。照片61—65是该带各段的地表和地下浅层典型破裂形态。从这些资料统计分析,该带亦具垂直张扭特征,但尚未发现明显的水平错动现象。

表3 东郊秦川机械厂地裂缝带各段基本特征

编号	1	2
分段	秦川机械厂以东至该厂家属区29街坊1号家属楼	29街坊1号家属楼至秦川机械厂子弟小学
途经地点	秦川机械厂区、厂子弟中学、万寿路、家属区29街坊5号、4号、2号、1号家属楼	幸福路、厂子弟小学
长度(米)	1400	225
走向	N80°E至近EW	NE
宽(米)	最大18.5	37
度	平均11.2	21.5
地面	最多4	2
条数	平均1	1
单缝宽度(厘米)	最大5	2.5
垂直错距(厘米)	平均2.85	2.25
垂直错距(厘米)	最大7.5	1.7
垂直错距(厘米)	平均5.2	
直接观察深度(厘米)	10	10
力学性质	垂直张扭性	垂直张扭性
发现过程	1975年在家属区29街坊17号楼处理地基时,发现有条近东西向裂缝,迫使该楼位置南移。同年,1号楼砖墙也出现裂缝	
备注	该段在秦川厂以东走向近北东,在农田中断续出现,可能穿过浐河与灞桥电厂地裂缝相接	

表4 北郊辛家庙地裂缝带各段基本特征

编号	1	2
分段	辛家庙东北农田至重型机械厂家属区西农田	红旗村一井上村路西至井上村砖厂
途经地点	辛家庙东村农田、菜园、辛家庙西村、育新小学、农田、重型机械厂家属区、厂子弟学校	井上村南边农田、砖厂
长度(米)	1125	340
走向	N 42—60° E	N 60—83° E
宽(米)	最大14.1	2.5
度	平均5.37	
地面	最多1	3
条数	平均1	
单缝宽度(厘米)	最大27	6.5
垂直错距(厘米)	平均7	
垂直错距(厘米)	最大8.5	
垂直错距(厘米)	平均6.8	
直接观察深度(厘米)	9	17
力学性质	垂直张扭性	张性
发现过程	最早发现于1976年12月	
备注		

表5 和平门外古迹岭至小雁塔北地裂缝带各段基本特征

编号	1	2	3	4	5	6
分段	古迹岭26号至陕西日报社小餐厅	186队院内至省机关家属院	陕西日报社礼堂至市建三公司家属院	安西街至煤矿设计院	煤矿设计院西至文艺路西体委家属楼	东何家村至小雁塔缝纫厂
途经地点	市建五公司、咸宁路、治安联防办公室、房地局、市建三公司家属院、186队、太乙路	186队机加工车间、乐居厂、省机关家属院	安东街、安东街小学、市十二中学、市建三公司家属院	石油勘探仪器总厂、雁塔路、煤矿设计院	航测大队、市第一保育院、体委小卖部、建西街、电力试验研究所、文艺路	建行西安分行家属楼、省建一公司六队、市服务学校、南稍门小学、南关正街、军民巷、市帆布厂、友谊西路31号
长度(米)	665	150	460	280	810	850
走向	N 45°-70° E	NWW至NEE	近EW	N75° E	N 55° E至EW	N 60° E至EW
最大平均	38	10.3	8.4	15	62	35
出现口(米)	10.7	6.7	6.1	12.6	9.75	13.5
平均	2	1	2	2	5	4
垂直张扭性	1	1	1	1	2	1.5
最大平均	12	2	15	10	11	8
垂直张扭性	3.05	1	4.8	4.2	3.83	1.63
最大平均	13	不明显	10	10	15	5
垂直张扭性	3.48		7	4.2	5.2	1.27
目前最大	6		6		10	10
力学性质	垂直张扭性	张 性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性
发现过程	最早发现于1974年以前, 1982年至1983年地裂缝活动较强	最早发现于1978年	最早发现于1974年以前, 1976年、1979年活动较强	最早发现于1962年, 1976年裂缝活动较强, 至1980年发现煤矿设计院人楼已遭到严重破坏	最早发现于1975年, 1976年、1981年、1982年地裂缝活动较强	最早发现于1975年5月
备注	186队院内水泥地面1982年翻修后又开裂, 1985年11月测得缝宽2厘米, 垂直错距0.3厘米。 $V_{水} \cdot \text{张} = 5.85 \text{ 毫米/年}$, $V_{垂直} = 0.88 \text{ 毫米/年}$			石油勘探仪器总厂院内水泥地面1984年初维修后开裂, 1985年10月测得缝宽2.5厘米, $V_{水} \cdot \text{张} = 13.7 \text{ 毫米/年}$	保育院东平房前水泥地面1984年新修后开裂, 1985年10月测得缝宽0.5厘米, $V_{水} \cdot \text{张} = 4.51 \text{ 毫米/年}$	

表6 城区西南西北工业大学至西北大学地裂缝带各段基本特征

编号	1	2	3	4	5
分段	康家桥至西北工业大学9号楼西	西北工业大学9号楼至7号楼	西北工业大学7号楼至甜水井街11号	甜水井街34号至省广播电视厅	市第六中学至人民大厦
途经地点	莲湖区化工设备厂、康家桥、西北工业大学9号楼西	9号楼南、花园、自行车棚、7号楼	莲湖区经委电大、市建二公司家属院、缝纫厂、新风化工厂、建新村、西北大学、带钢厂、汽车修理厂、太白路、大学东路五村、环城南路、护城河、城墙	甜水井街34号以东、报恩寺街34号、省广播电视厅	市第六中学、市委礼堂、中山图书馆、钟楼、邮电大楼、人民大厦
长度(米)	55	235	1500	240	
走向	N 60°W至N 55°E	N 80°E至近EW	N 55—80°E	近EW	N 65°E
最大宽度(米)	6.5	8	15	19	
平均宽度(米)	6.5	8	7.1	11.5	
地面最多裂缝数	2	4	4	1	
平均裂缝数	1	2	1	1	
最大垂直张性(厘米)	2.5	3.5	13	0.1	
平均垂直张性(厘米)	2.25	2.23	5.7		
最大垂直张性(厘米)	5	2	22	微地貌有显小	
平均垂直张性(厘米)	2.5	1.4	8.6		
目前最大垂直张性(厘米)		10	10		
力学性质	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性		
发现过程	康家桥75号和76号平房建于1982年, 1983年发现地裂缝, 1985年墙上缝宽0.5厘米	最早发现于1981年, 1982年裂缝活动较强	最早发现于1959年, 六十年代在汽车修理厂、建新村相继发现地裂缝, 大学东路五村1976年发现地裂缝		
备注	裂缝穿过西北工业大学西围墙, 以北60°西延伸35米后, 转为走向北45°东, 地西可见长度约20米, 并在两端分叉, V _{水平(张)} = 2毫米/年	1977年挖防空洞时发现古裂缝, 缝宽10厘米, 与北康理今距400多米	报西北大学六亩地的探棚资料, 地裂缝宽2—4毫米, 4米以下一般缝宽2厘米, 最宽可达8厘米		断续出现

表7 西郊丰镐路至粮油研究所地裂缝带分段基本特征

编号	1	2	3	4	5	6
分段	国利实业公司院内至丰镐路9号	丰镐路12号院至9号路南福利区	丰镐路南侧人行道至9号院	延光机械厂家属区至丰镐路1号院小平房	延光机械厂家属区至丰镐路1号院北墙	团结东路南侧人行道至粮油研究所
途经地点	国利实业公司、丰镐路9号	丰镐路12号、丰镐路9号路南福利区	丰镐路、丰镐路9号大门东墙、酒厂	延光厂家属区、自行车棚、丰镐路1号小平房	延光厂家属区、丰镐路1号院家属区、办公区、北墙	团结东路、水表厂、无线电十一厂、莲湖区针织厂、复印纸厂、莲湖区物资局、省粮油研究所
长度(米)	180	300	180	214	633	240
走向	N 30° E	N 30° E	N 60° E 至近 SN	N 55-82° E	N 55-78° E	N 22-64° E
宽度(米)	7.4	45	16.2	14	33.8	19.3
平均宽度		36		13.8	15.1	12
地面裂缝数	1	1	2	1	2	2
平均裂缝数			1		1	1
最大裂缝宽度(毫米)	0.1	1	5	2	1.5	3
平均裂缝宽度(毫米)					1	1.3
最大垂直张扭距(毫米)	1	0.1	5	0.5	1	3
平均垂直张扭距(毫米)			3.5		0.6	1.4
目前最大垂直张扭距(毫米)					0.43	
力学性质		垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性
发现过程	1983年发现锅炉房西南角墙基下沉	1976年幼儿园职工楼发现裂缝, 1980年幼儿园平房进行了加固处理, 现又开裂		1980年发现延光厂家属区食堂地面裂开	1975年延光厂家属区浴室发现地裂缝。此后, 在1号院内相继发现裂缝, 1980年后, 裂缝活动性增强	最早发现于1972年, 至1980年, 裂缝相继被发现, 1980年后活动性增强
备注	该段为主裂缝的分支, 受地表水渗漏影响, 沿地裂缝形成串珠状排列的陷坑	局部受地表水渗漏影响, $V_{水平张} = 1.1$ 毫米/年	酒厂库房水泥地面两条平行裂缝	延光厂家属区食堂地面两条近于平行的裂缝, 本裂缝为南侧的一条, $V_{水平张} = 3.7$ 毫米/年, $V_{垂直张} = 0.9$ 毫米/年	延光厂家属区食堂内的另一条裂缝, 局部受地表水渗漏影响, $V_{水平张} = 5.7$ 毫米/年, $V_{垂直张} = 3.6$ 毫米/年	莲湖区物资局内地裂缝出现分枝现象, 局部受地表水渗漏影响, $V_{水平张} = 2.7$ 毫米/年, $V_{垂直张} = 2.7$ 毫米/年

（六）东北城外八府庄至三合新村地裂缝带

该带位于铁路以北，西起陕西省摩托车厂以西，东至西安工具厂以西的菜地，地表痕迹明显，全长 5.6 公里，总体呈现“S”形。由省摩托车厂至三合新村为西段，走向由北西 75° 至近东西向；由三合新村至钟表元件厂以北菜地为中段，走向北东 60° 左右；其余部分为东段，走向为北西 70° 至东西向。裂缝一般向南（或南东）倾斜，倾角为 84° — 88° ，局部最大影响宽度 17 米。裂缝密集处多达 5 条，单缝最宽达 40 厘米，普遍南降北升，最大垂直错距达 20 厘米。根据地裂缝的走向变化，该带又可分为 4 段，各段的基本特征列于表 8，照片 66—88 为地表和地下浅层的裂缝形态。由这些资料分析，该带具有垂直张扭特点，尚未发现明显的水平错动现象。

（七）北郊辛家庙地裂缝带

这是本市最北的一条地裂缝带，东起辛家庙东村以北的菜地，经重型机械厂家属区，向西南方向的农田、菜地延伸，全长约 1.6 公里，总体走向北东 57° ，它在地表一般向南倾斜，至地下 17 米处局部向北倾斜，再深可能又向南倾斜，平均影响宽度 5.4 米，最宽达 20 米。裂缝密集处多达 4 条，局部右旋雁行排列（照片 90—92）。单缝最宽达 27 厘米，普遍南降北升，最大垂直错距达 8.5 厘米。根据地裂缝的走向变化，该带又可分为两段，各段的基本特征列于表 4，照片 89—96 是典型的地表和浅层地裂缝形态。据此统计分析，该带具有垂直张扭特点，尚未发现明显的整带水平扭动。

此外，位于龙首村、灞桥发电厂、辛家坡等地也发现地裂缝，是否成带或与某带相接，还有待进一步勘察研究。

三、对地裂缝分布和特征的分析

实际调查的资料表明，西安地裂缝分布范围相对集中，并具有大体一致的走向和相似的展布图象。各带、各条和各段的裂缝具有统一力学性质，即绝大多数地裂缝具有垂直张扭性，未发现明显的水平错动形迹。通过统计分析和类比处理，其结果可以初步归纳出以下几点。

1. 各条地裂缝带大体上沿北东方向曲折伸延，地表可见长度在 1.6—7 公里之间，带间最短距离在 1—3 公里之间。如进一步作分段加权统计分析，即以方位变化 θ 为横坐标，以每 10° 间隔内地裂缝的累积长度 $\sum \Delta L$ 为纵坐标作直方图（图 7），就可以看出，其方向变化图谱服从正态分布，优势方向约为北东 70° ，据此推测主压应力方向为北东 70° 左右，最大张应力方向为北西 20° 左右。该结果与地震机制解方法、井下水压致裂方法求出的华北地区（包括渭河盆地）主压应力方向非常一致，表明渭河谷地的应力场对地裂缝的形成有一定的控制作用。此外，图 7 还反映了西安地区动态易损性特征（或称各向不均匀性），这一点在工程建设和城市小区划中均有实用价值，应引起重视。

2. 通过对地面资料和 40 多个 2—17 米深探槽资料统计分析，地裂缝普遍向南（或东南）倾斜，裂缝形态在水平方向上多呈锯齿状，在垂直方向上呈波折状，普遍南降北升。经过初步鉴定，在全新世地层中垂直错距为 12—20 厘米；在中、晚更新世地层中垂直错距 70—200 厘米左右；在中更新世地层中为 200 厘米以上（图 8）。由此证实，地裂缝至少部分与中更新统中的断层相接，前者与后者的活动有关。

3. 通过对地面裂缝（照片 21、25）的追踪，以及对探槽实测剖面和平视图（图 8，照

表8 城区东北八府庄至三合新村地裂缝带各段基本特征

编号	1	2	3	4
分段	东元路至水泥制管厂西农田	钟表元件厂北农田至市十八中西	田食街4号至北关正街	北关正街至市十中
途经地点	西安工具厂西侧农田、太华汽车队、东元西路、油漆二分厂、变压器厂、电磁线厂、新城区物资局仓库、胶辊厂、水泥制管厂及家属区、八府庄农田	丝绸一厂家属院、纺织器材厂、风机厂、大明宫抽水站、太华路、大明宫机修厂、含元殿农田、煤店、电磁阀厂及家属院、锅炉厂、工程塑料厂、市五金仓库	公路局家属院、建工局家属院、向荣巷、五金机械厂、综合商店、北关正街	省摩托车厂、北关大队旅社、省外语师范专科学校、市十中
长度(米)	1800	3000	450	300
走向	N 60°E 至 EW	N 50—80°E	EW	N 70°W
最大平均宽度(厘米)	10	17	15	4
地面裂缝条数	4.7	5.3	7.3	3.5
最大平均深度(厘米)	5	2	1	多条不规则的细裂缝组成4米宽的地裂缝带
单条最大平均深度(厘米)	1	1	1	
垂直张扭性	10	40	1.5	0.5
最大平均垂直张扭性	3.26	4.6	1.25	0.5
最大平均垂直张扭性	12	20	微地貌有显示	0.2
最大平均垂直张扭性	6.55	1.31		0.2
目的深度(厘米)	1	2.3		
力学性质	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性	垂直张扭性
发现过程	最早发现于1973年, 1976年活动增强	含元殿段裂缝最早发现于三十年代, 1974年、1975年曾活动过, 其他单位的裂缝相继发现于1978—1979年	最早发现于1976年	最早发现于1983年秋
备注	油漆二分厂的办公楼在1973年开挖地基时, 发现有一条北西向裂缝, 但没有采取任何措施, 1976年下半年, 楼房砖墙和水泥地面普遍出现裂缝			

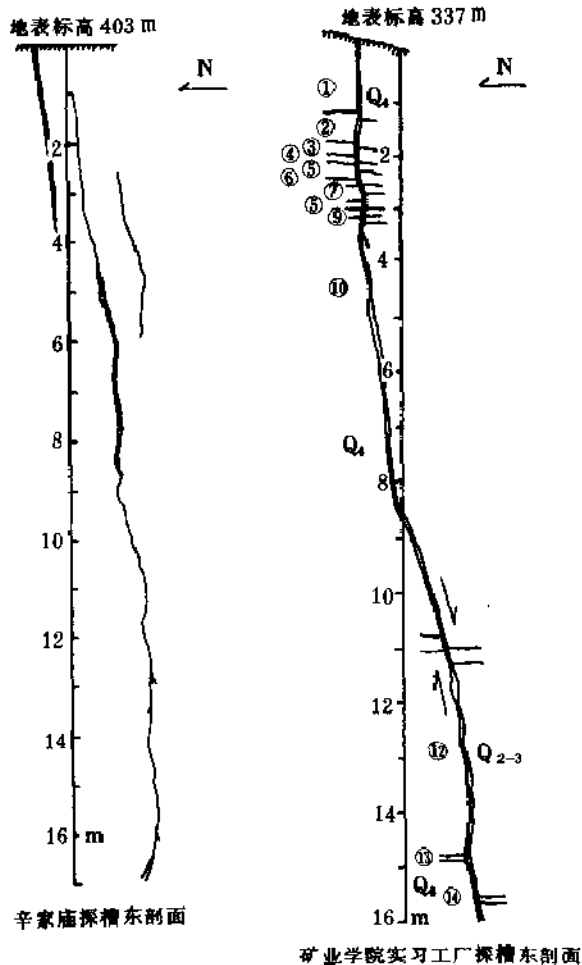


图 8—1 典型的地裂缝剖面与平面图 (探槽)

Q₄ :

①下部为浅褐黄色粘土, 质硬, 小孔结构, 上部为回填土; ②黄褐色砂质粘土, 质较硬, 孔隙直径最大达 1 毫米; ③以褐色为主, 夹有少量黄色砂质粘土; ④淡黄色粘土, 质硬, 具小孔隙结构; ⑤黄褐色砂粘土; ⑥浅黄色粘土, 质硬; ⑦红褐色砂质粘土, 夹有约 1 厘米厚的浅黄色砂质粘土; ⑧灰黄色粘土, 质硬, 含直径为 7 毫米的钙质结核和动植物残骸碎片; ⑨褐黄色粘土, 稍硬, 含动、植物残骸碎片。

Q₃ :

⑩上部为浅褐黄色砂质粘土, 含直径为 3—5 毫米的钙质结核, 下部为浅灰黄色砂质粘土。

Q₂₋₃ :

⑪灰白色, 浅黄色砂质粘土, 较硬, 与上、下界限清楚; ⑫下部为黄褐色古土壤, 疏松多孔, 孔隙内充填有白色 (盐类) 物质, 夹有极薄的浅黄色砂质粘土带和红色斑块; 上部为灰绿色古土壤, 含水饱和度较大。

Q₂ :

⑬上部为浅黄色, 褐黄色砂质粘土夹钙质结核, 直径最大达 13 厘米, 一般 6—9 厘米, 质硬, 含 0.2 毫米的方解石晶体, 夹有极薄的灰绿色腐殖层,

向下结核变小变少,
底部为浅灰黄色砂质
粘土, 疏松多孔

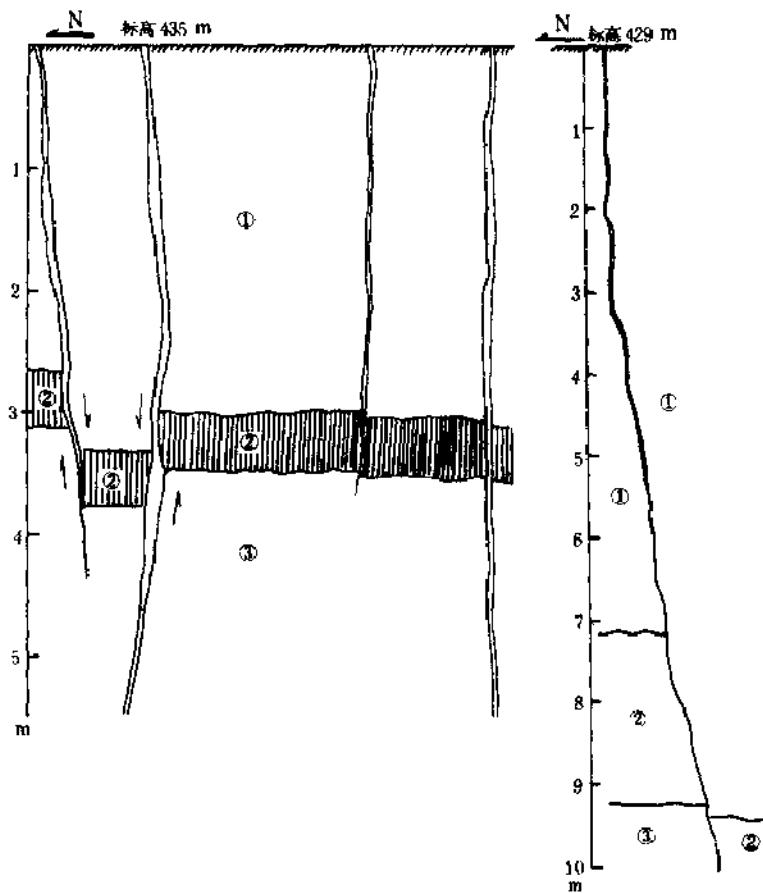


图8-2 典型的地裂缝剖面图（探槽）

左图为铁炉庙探槽东剖面：①灰黄色砂质粘土；②粘红色古土壤；
③浅红褐色砂质粘土。右图为秦川机械厂探槽东剖面：①上部为灰
黄色砂质粘土（ Q_3 ）；下部为灰绿色古土壤（ Q_2 ）；②红褐色
古土壤（ Q_{2-3} ）；③淡黄色砂质粘土，含较大的钙质结核

片81、82)的分析研究可以发现,地面和地下浅层的裂缝形态在水平方向上都呈锯齿状,且裂缝两边的土层形态吻合较好,尚未发现可靠的水平错动形迹。

4.通过对地面资料及探槽剖面的分析,发现主裂缝两侧常有次生小裂缝存在。据统计结果,往往在地表及剖面上部有多条裂缝,向下逐渐减少,最终合并或消失,故其剖面形态常呈树枝状、放射状或平行状。同时,由于裂缝产状的影响,也可以引起裂缝两侧地面的不均匀下沉,从而导致次级小裂缝的产生,且北侧较南侧多。

5.当地裂缝经过古河道、人工回填土、低洼区和地表漏水等地区时,由于介质组分和物理力学性质的变化,往往会使受力状况发生明显改变,导致主裂缝沿上述软弱地带快速扩张,地裂缝在地表分支明显增多,影响宽度明显加大。

6.我们沿优势分布方向(北东70°)统计了各段地裂缝的单缝宽度累积值和垂直错距累积值,并以优势主压应力方向为横坐标、分别以各条地裂缝在张应力方向上的累积缝宽和累积垂直错距为纵坐标作图谱分析(图9),发现二者同步性较好,但各段分布不均匀。这进一步表明,地裂缝在垂直方向上的波折特性和地表上的较多影响因素有关,因此利用这些数据时要倍加慎重。

还应指出,除西安地区外,在汾渭地堑、以至华北某些地区也发现不少地裂缝,如韩城、合阳、朝邑、华县、渭南、三原、泾阳、蓝田、长安、周至、眉县以及千阳等地都是渭河盆地地裂缝分布的县份(图10)。由于它们不属于本书讨论的内容,这里仅予提及,不再赘述。

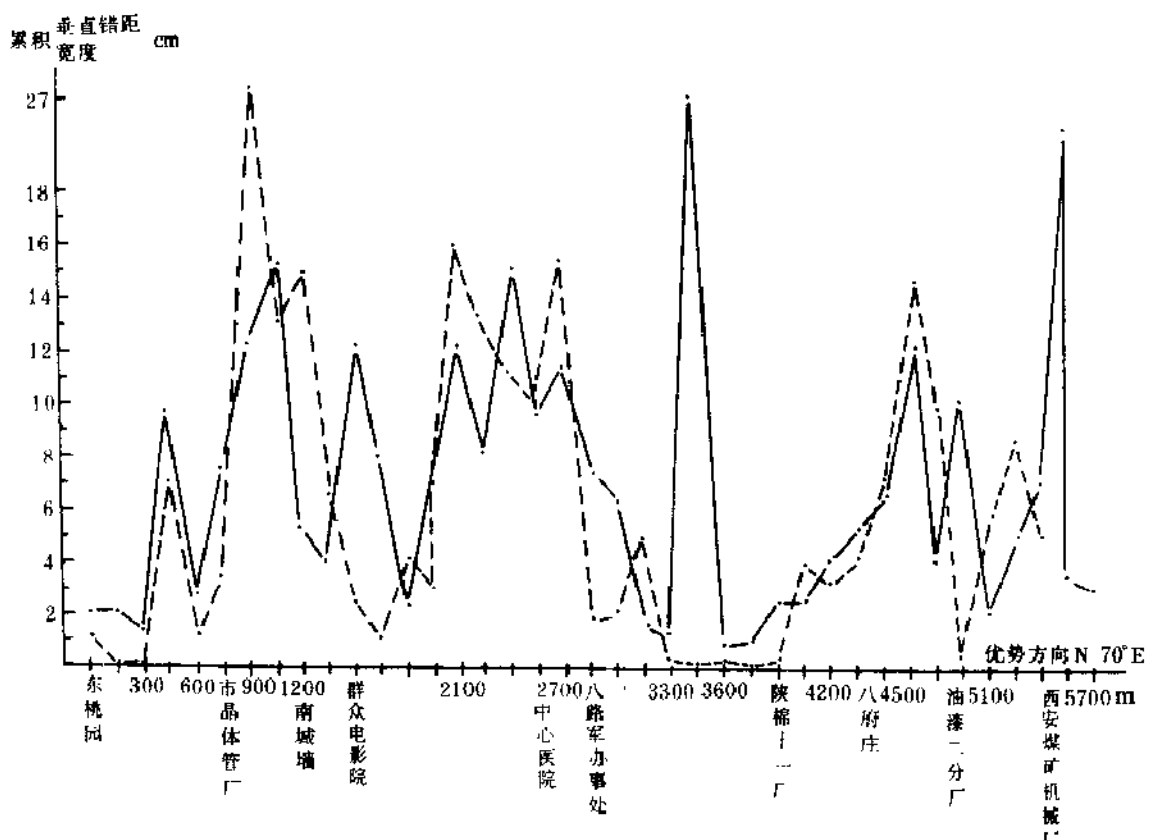


图9 地裂缝累积宽度垂直错距沿优势方向上的分布图
虚线—垂直错距, 实线—宽度

第三章 西安地裂缝的活动与危害

一、地裂缝活动的研究途径

从前面七条地裂缝带的综合分析来看,整体发现的时间是在1976年以后。但在实际调查中,发现地裂缝带上的某些地段早有活动显示,如1959年西北大学留学生楼和1964年秦川机械厂都曾遭到过地裂缝不同程度的破坏。据含元殿和铁炉庙村的一些高龄老人追忆,早在1915年、1938年和1959年等时段,于现今的地裂缝带上或其附近也曾有多次地裂缝的突然活动,且多发生在大雨之后,个别突出活动的地裂缝长达1公里,宽15厘米左右,当地居民称之为“地峡”。几年之后,由于人为作用其痕迹又逐渐“消失”。其实这些地裂缝仍然存在,只是不引人注目罢了。此外,在考古过程中还曾发现几千年前的地裂缝痕迹,其上限可以追溯到距今五千余年的远古。这些事实启迪人们可以用不同的方法去研究地裂缝的活动规律,探讨和预测地裂缝的活动趋势。较有实用意义的研究方法和途径大致可分为三种。

(一) 对地裂缝活动历史的考证

人们的考证工作一般是从三个方面入手的:一是查阅大量的历史文献,包括史书、地方志中的有关记载;二是进行地质、古地貌和考古调查,获得地裂缝活动历史及其伴生现象的现场资料;三是对历史地裂缝及其有关的古迹现场进行发掘,验证史料记载和野外调查的资料。通过对这些资料的分析,人们发现地裂缝活动在人类历史时期也往往多次出现,并且同样表现了相对活跃期与平静期交替的现象。在地裂缝的活跃期,也往往有新构造运动的某些现象伴生。

近年来,在渭河盆地的西安、华阴、韩城、周至、泾阳等10个县市相继发现了地裂缝,并在咸阳、西安、渭南等地考究了埋藏在地下的汉、唐、明等朝代的历史地裂缝遗迹。王景明等认为,史料记载的18次地裂缝事件组成了四个长周期,每一周期长700—800年。其中相对活跃期持续时间较短,平均为114年;相对平稳期持续时间较长,平均为300—600年。

(二) 对地裂缝活动的观测

观测是获得地裂缝活动资料的一种最直观、最重要的途径。1976年松潘地震以后,不少研究工作者根据各种观测数据和建筑物的破坏特征,确定地裂缝上下盘具有三维空间运动的特性。

目前对地裂缝的观测通常采用以下三种方法:一是采用精密水准测量,如跨裂缝基线测量、短水准测量、三角网测量等;二是在面定的地点利用简易手段或安装地震仪、倾斜仪、伸缩仪、蠕变仪、地声仪等精密仪器进行观测;三是借助于传统的地球物理和地球化学勘探的方法,结合现代遥测遥感技术,对特定区域内的隐伏地裂缝进行勘探,获得较大范围和较深部位地裂缝活动的信息。但迄今为止,直接观测所取得的资料较为离散。

(三) 对地裂缝发现时间的统计分析

把地裂缝的活动看作是一种有韵律节奏的自然现象,利用其固有的周期成分既可能将今论古,又可能推断未来,确定其中期(几十年至上百年)和远期(几百年至上千年)的动态特征。这方面的困难是资料的时间不够准确,数量也不够多,但若能以年为单位来作

统计分析还是很有意义的（统计分析的结果将在下面专门介绍）。

二、地裂缝活动速度的对比

（一）西安地裂缝带的定点观测

为了弄清地裂缝的活动，由西安市勘测院和院西师范大学地理系杨凯元、吴成基、张文轩等组成的西安地裂缝研究组，选择有代表性的穿越地裂缝的张家堡至吴家坟、和平门至大雁塔两条水准线路，按照国家测绘局颁发的一等精密水准测量的规范要求进行了观测，每季度实施观测一次。同时，还在发育比较完整的南郊地裂缝东段的观音庙村、中段的翠华路小学、西北工业大学至西北大学地裂缝东段的西北大学北门外环城南路，分别建立了三个地裂缝定点监测场。监测地裂缝三维空间运动的控制网为边长小于50米的横跨地裂缝的四边形，所埋设的测量标石尽可能地远离地裂缝，以消减主干裂缝两侧次生裂缝的影响。平面控制网的精度 m 点 <1.2 毫米。地裂缝两侧相对差异沉降观测采用一等水准施测，而且平面变形观测与差异沉降观测同时进行。

由1982年7月开始，截止1984年12月，每年对3个地裂缝监测场各观测4次，分别获得了10组数据。对这些数据做一定的坐标变换和数据处理，其结果列于表9。

“西安地裂缝研究组”的定点观测资料

表 9

观 测 场 名 称	观 测 时 间	差异沉降 速度(毫米/年)	水平张裂速 度(毫米/年)	水平错动速 度(毫米/年)	$V_{沉} : V_{张} : V_{错}$
观 音 庙	1982. 7. 9 — 1984. 9. 18	20.31	7.10	0.16	2.86 : 1 : 0.02
翠 花 路 小 学	1982. 7. 13 — 1984. 6. 19	8.82	3.42	0.34	2.61 : 1 : 0.10
西北大学北门外	1982. 8. 16 — 1984. 12. 4	30.16	10.13	0.35	2.98 : 1 : 0.03

观测资料表明，在三个方向上运动量各不相同，其中以沉降量为最大，张量次之，水平错量很小，未超出仪器精度范围。由此清楚地说明，地裂缝的主要活动形式是差异沉降和张裂运动，裂缝宽度随着差异沉降的增加而增大，水平错动量几乎没有变化。其它定点观测的结果也与上述资料原则上类似，这里不一一介绍。

（二）不连续的实际测量

目前，我们还未能对整个地裂缝带进行连续的系统测量，仅对其中的一些局部地段采用以下两种方法进行了观测。一种方法是直接测量地裂缝的宽度或垂直错距（ ΔH ），并利用观测时间（ t_2 ）和所观测的地裂缝破坏对象的建成时间（ t_1 ）之差，来估算该段时间内地裂缝的平均活动速度，即 $\bar{V} = \Delta H / (t_2 - t_1)$ 。另一种方法是由两次观测的时间差（ Δt ）和地裂缝错距之差来估算地裂缝的平均活动速度，即 $\bar{V} = \Delta H / \Delta t$ 。其观测结果列于前述表2、5、6、7中。

值得指出，这两种不连续的观测方法由于受环境（如地表水渗漏、场地基础等）和人为干扰，以及观测精度的限制，只能相对粗略地计算出该地裂缝段的活动速率。

表10 西安地裂缝活动速度一览表

资 料 组 序 号	地 裂 缝 地 段	垂直沉降速度 (毫米/年)	水平张裂速度 (毫米/年)	资 料 来 源
I	观 音 庙 手 帕 厂	12.81	4.83	刘景文、张家明：试论西安地裂缝与地震
	辛 家 庙 重 机 厂	8.76	3.78	
	小 寨 什 字 西 南	28.40	13.10	
II	观 音 庙 手 帕 厂	23.00		谢正章：地形变与地裂缝
III	铁 炉 庙	13.54	4.69	王辛、赵振才：市南郊地裂缝与西安地区构造活动性
	手 帕 厂	13.35	5.09	
	" 01 " 工 程	0	5.00	
	小 寨 什 字 西 南	0.94	0.22	
	小 寨 东 路 八 号 院	32.91	15.94	
IV	南 郊	12.00		王宝瑜：市南郊地裂缝活动特征以及与地震的关系
	南 郊	13.80	5.28	
V	南 郊 铁 炉 庙	12.64	4.29	易学发：西安铁炉庙地裂缝与地下水的动态变化
	南 郊 手 帕 厂	14.87	4.72	
	" 01 " 工 程	0.39	6.42	
	长 安 路	0.53	4.91	
	小 寨 什 字 西 南	1.61	0.70	
VI	南 郊 手 帕 厂	14.50	5.40	西安市地震办公室：西安地裂缝初探
	小 寨 什 字 西 南	24.01	9.20	
	北郊辛家庙重机厂	3.39	6.96	
	和平门外煤矿设计院	9.33		
VII	小 寨 地 裂 缝 东 段	12.14	4.70	陕西师范大学、西安市勘测队：西安地裂缝形变监测及成因初析
	小 寨 地 裂 缝 中 段	0.74	3.96	
	小 寨 地 裂 缝 西 段	25.90	11.90	
	辛 家 庙 地 裂 缝	8.76	3.78	
	观 音 庙 地 裂 缝	20.31	7.10	
	南 郊 翠 华 路 小 学	8.82	3.42	
	西 北 大 学 北 门 外	30.16	10.13	
VIII	南 郊 王 家 庄		5.60	本书作者的实测资料
	南 郊 后 村 64 号		6.20	
	和 平 门 外 186 队	0.88	5.85	
	和 平 门 外 石 抽 拔 器 总 厂		13.70	
	和 平 门 外 保 育 院		4.51	
	西南城区西北工业大学		2: 3.95	
	西北工业大学地道内		1.72	
	西南城区带钢厂地道内		1.87	
	西郊丰镐路9号院		1.10	
	延光厂家属区	0.90	3.70	
	延光厂家属区食堂	3.60	5.70	
	莲湖区物资局	2.70	2.70	

注：水平错动速度在仪器误差范围之内，故此表未列出。

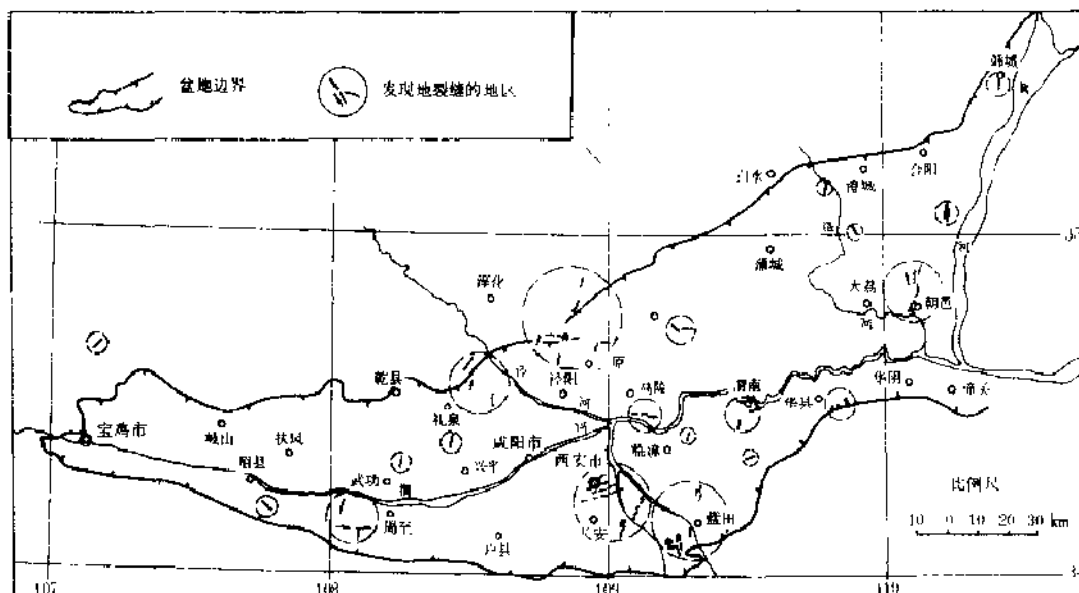


图10 渭河盆地地裂缝分布示意图 (据张安良等)

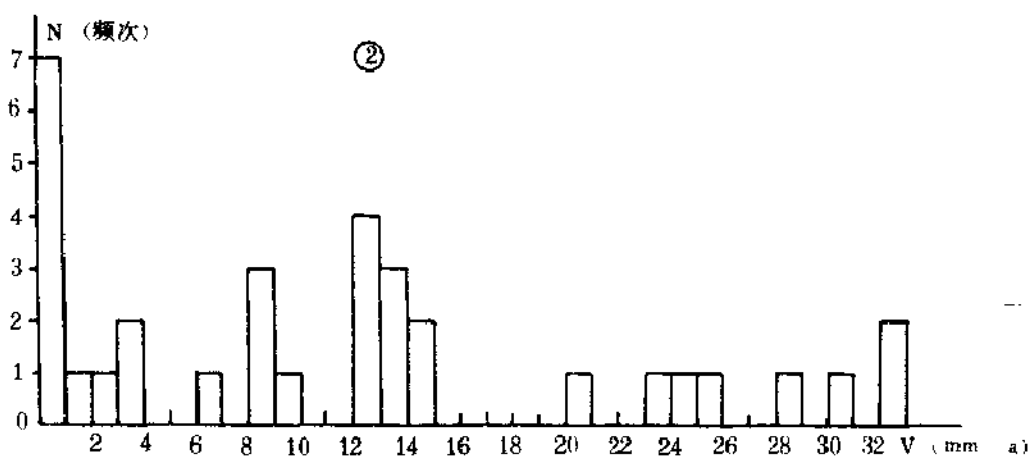
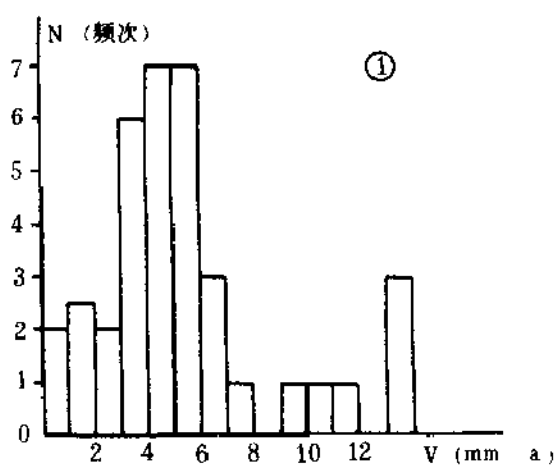


图11 西安地裂缝速度分布图

①水平张裂速度分布; ②垂直错动速度分布

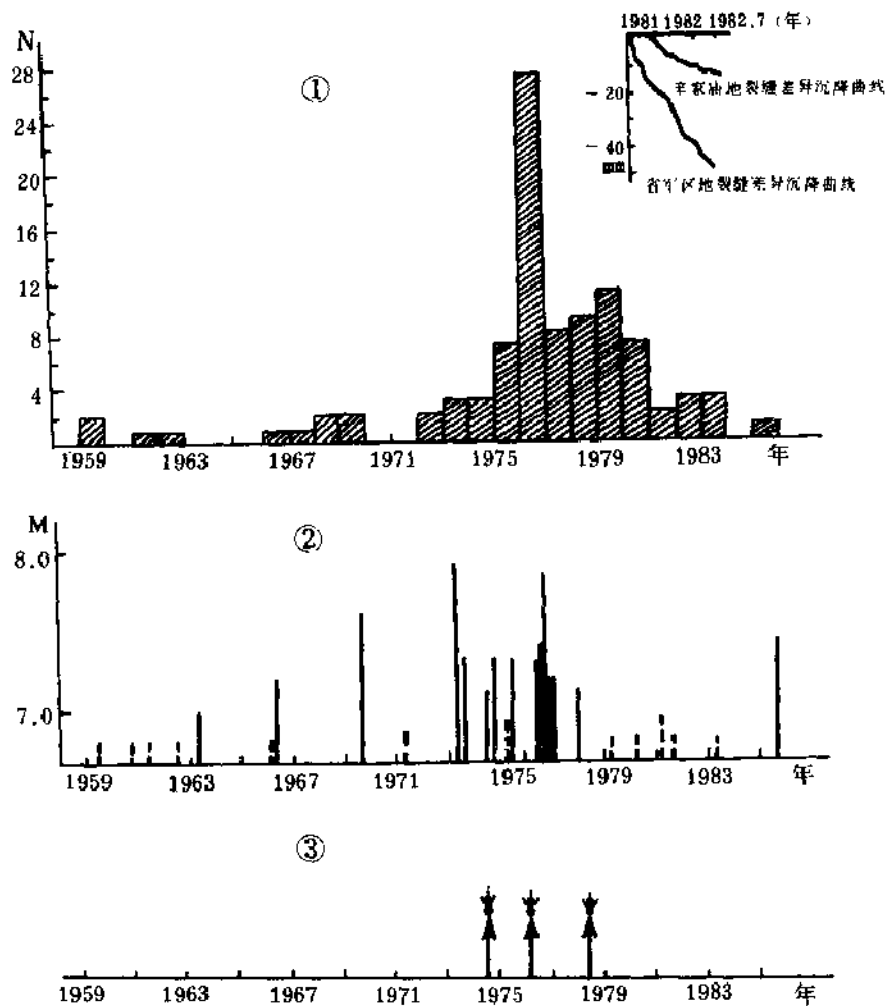


图12 地裂缝活动与地震、西热六井井喷对比图

①地裂缝活动图；②中国大陆地震M-t图(M≥6.8)；③西热六井井喷示意图

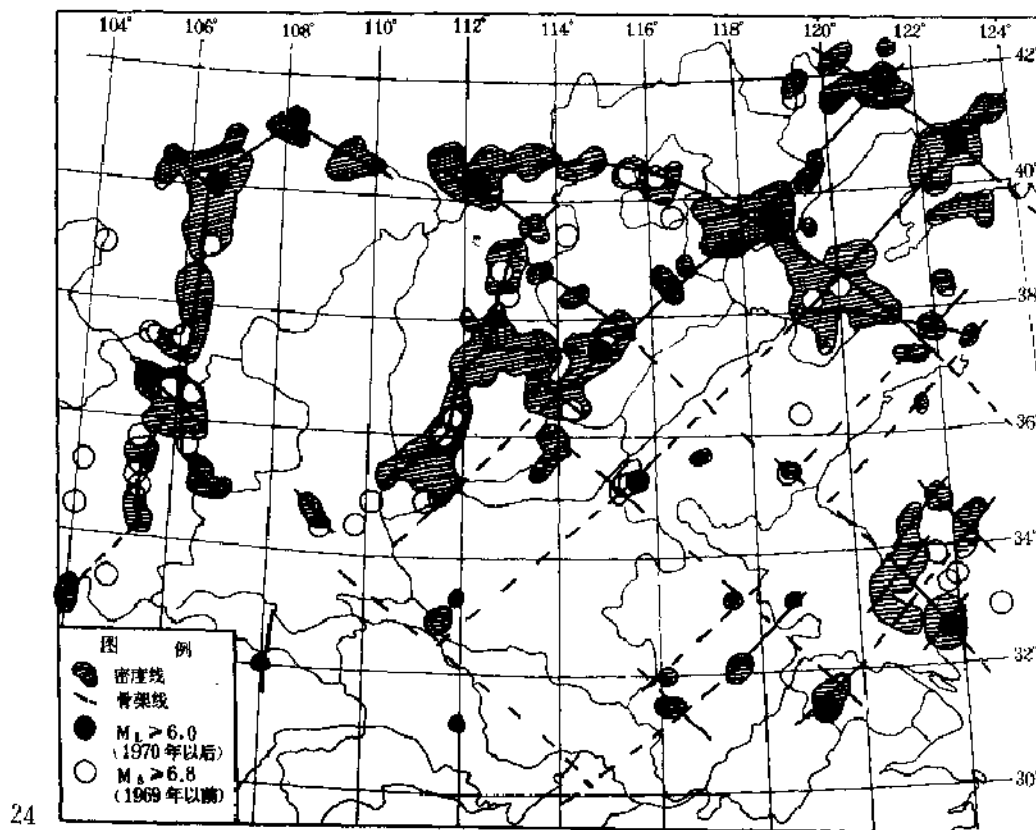


图13 大华北地区地震活动骨架

（三）地裂缝活动速度的对比

关于地裂缝的活动速度问题，情况往往比较复杂，无论是连续的定点观测资料还是不连续的实测资料，都和观测的地点、方法以及观测的时间段密切相关。随着观测地点、方法和时间段的不同，已公布的资料表现了较大的差异性，很难选用某一个速度值来代表地裂缝的活动速度。为了便于对比它们的差异性，我们把已经公布的八组地裂缝活动速度列入同一表内（表10），并按表中资料分别对水平张裂速度和垂直错动速度进行统计，以速度段为横坐标，以该速度段内所出现的频次为纵坐标作直方图（图11）。从图中可以看出：一方面水平张裂速度和垂直错动速度的分布都比较离散；另一方面，统计结果仍显示了一定的优势速度范围，即地裂缝水平张裂的优势速度为4—6毫米/年，相当于A级活断层的速度，垂直错动的优势速度为12—14毫米/年，相当于AA级活断层的速度。由于这些数据中尚包含一些干扰因素，故在使用该资料时，应倍加慎重。

为了推进地裂缝动态观测和研究工作，有必要对地裂缝活动速度观测方法进行一些改进，并制定切实可行的地裂缝观测规范。同时，应对各类观测资料进行信噪分离，排除干扰因素，提取地裂缝的动态信息。

三、地裂缝活动与地震、活断层的对比

（一）地裂缝近期破坏活动的统计结果

为了研究地裂缝的近期破坏活动，我们对地裂缝的发现时间作了统计。以地裂缝近期破坏活动的最早发现时间（1959年）为起点，以1985年12月底为终点，对这一时间段内各条地裂缝所经单位的最早发现时间进行了详细的访问核实。在此基础上，以时间为横坐标，以每年内发现地裂缝破坏的单位个数（N）为纵坐标作直方图（图12-①）。从图中可以看出，除1976年以外，地裂缝的发现时间频次在时间轴上均较好地服从正态分布，并在1979年前后出现峰值期（图12右上角的地裂缝实测曲线表明，1981年以后其活动速度逐渐减弱），说明地裂缝的活动有其本身固有的规律性。而1976年的特高值现象，则可能受大区域快速构造活动的影响。

结合有关资料，将这一正态分布曲线向前追溯，有可能分析出地裂缝活动周期的规律；若向未来的年份延伸，则有可能大体估计出未来西安地裂缝的活动趋势。

（二）大区域强震活动对地裂缝活动的加速和增强作用

西安地裂缝的活动，是渭河断陷盆地中的一种缓慢的应力释放事件。从构造应力活动的总体出发，对比分析西安地裂缝的活动与关中地区区域地震活动性的关系是很有意义的。

正值西安地裂缝活动加剧的1976年，关中地区的地震活动也明显增强，共发生 $M_s \geq 1.0$ 级的地震28次，比1976—1985年的年平均发震次数高3倍。由此不难看出，西安地裂缝的加速活动与这一地区地震频度的增强具有明显的相关性。

从更大的区域来看，1976年唐山地震前后，整个大华北地区的地震活动均有明显加强。1970年以来大华北地区地震震中分布图^[11]表明，该区各主要地震带是彼此相连的，如以等密度线来圈定地震带，则在大华北地区现今已出现了一个快速破裂骨架（图13），该区的历史强震（ $M_s \geq 6.8$ ）和1970年以来的中、强震（ $M_L \geq 6.0$ ）均分布于该骨架交汇部位附近。这个骨架与地质构造骨架不完全一致，且有本质的不同，因为它是最新的快速破裂骨架（甚至可称作震害骨架）。对比组成骨架的各地震带的近期地震活动（图14）可以发现，唐山地震过程不是一个孤立的事件，而是整个大区域现今构造活动的一部分，在此

期间，各地震构造带（包括汾渭带）均程度不同地参与了这一活动。西安地裂缝的活动自然也应受到这种大区域的快速破裂活动的影响。

为了进一步探讨这一问题，我们又将地裂缝活动与1959年以来的我国大陆地区的强震（ $M_s \geq 6.8$ ）作了对比（图12）。从中可以看出，它们之间有一定的呼应关系，且与大区

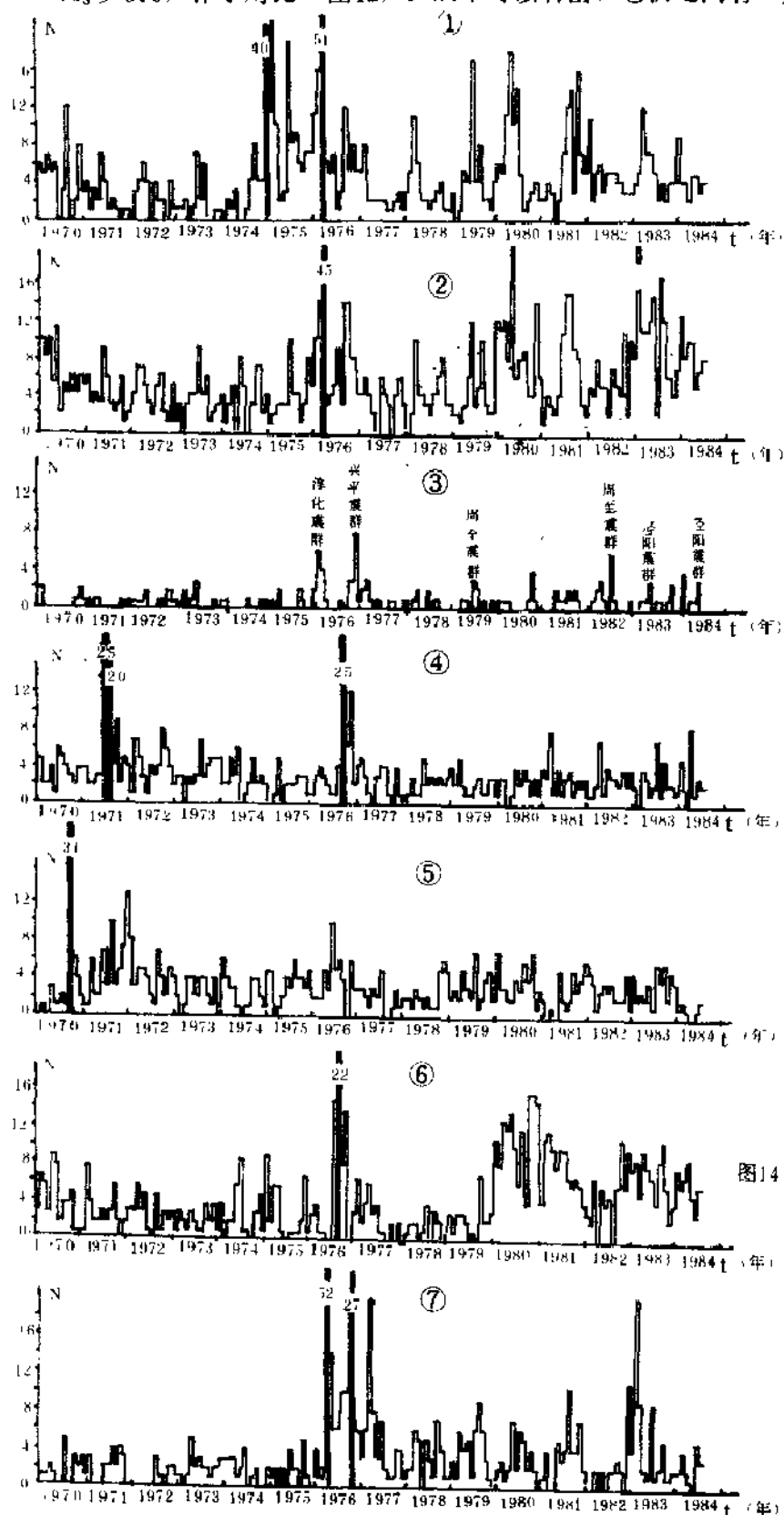


图14 唐山地震前后（1970—1984.7）各主要地震带地震的月频率

- ①海城—菏泽带（ $M_L \geq 2.7$ ）
- ②大华北地区北部条带（唐山—五原）（ $M_L \geq 2.7$ ）
- ③鄂尔多斯地块南缘（ $M_s \geq 1.0$ ）
- ④鄂尔多斯地块西缘（ $M_L \geq 2.7$ ）
- ⑤鄂尔多斯地块东缘（ $M_L \geq 2.7$ ）
- ⑥唐山—邢台地震带（ $M_L \geq 2.7$ ）
- ⑦鄂尔多斯地块北缘（ $M_L \geq 2.7$ ）

域的强震 ($M_s \geq 7.0$) 式的快速破裂 (构造) 活动有较好的对应关系, 表明大陆地区的较大强震过程对地裂缝活动起到了加速和增强作用。

(三) 地裂缝活动与活断层的关系

西安地裂缝的活动是整个关中盆地地裂缝的一部分。虽然对关中盆地地裂缝的全面调查工作刚刚开始, 但从已知的关中盆地地裂缝 (包括西安地裂缝在内) 来看, 都与区域活断层的分布有较好的一致性。如走向北东 80° 、长 2 公里、宽 15 厘米的渭南北尧地裂缝, 走向北东 70° 、长 130 米、宽 1—7 厘米的渭南城南地裂缝, 走向北东 85° 、长 500 米、宽 1—2 厘米的华阴竹峪口地裂缝, 走向北西 70° 、长 94 米、宽 1—2 厘米的周至翠峰地裂缝, 走向北东、长 500 米的高陵地裂缝以及伴随 1983 年当地小震群出现的泾阳龙泉地裂缝等, 都与渭河两侧的主干断裂或次级分支断裂有较为密切的关系。部分地裂缝与断层的重叠现象, 已由卫片解译资料证实。

有趣的是, 从图 12 的①—③中还可以看出, 在地裂缝活动的高峰期前后, 西热六井井喷活动也出现高潮。如果再从构造角度分析, 则可发现在西热六井 1080 米深处的上新世地层中有一南倾、倾角 60° 、断距约 100 米的“隐伏”正断层通过。若将断层面延至地表, 则将出露在西热六井以北 600 米左右的部位, 恰是观音庙后村地裂缝通过的地段 (图 15), 说明图 12 中的同步现象可能反映了活断层与地裂缝的内在联系。如进一步用图 8 和图 15 的资料粗略估计, 则地裂缝的“根深”可能在千米以上, 一万年以来各段时间内不同地裂缝带上的平均垂直错动速度变化为 0.01 毫米/年至 0.4 毫米/年。这个数据与其它方法求出的渭河盆地内次一级正断层的活动速度 0.13 毫米/年接近 (据靳金泉的资料), 相当 B 至 C 级活断层。

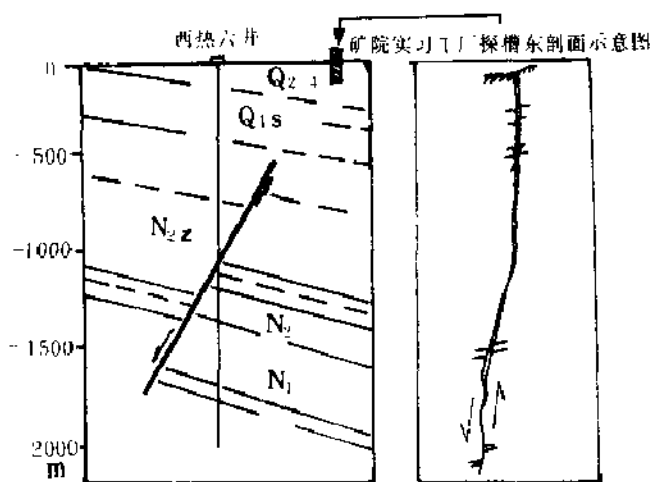


图 15 曲江池—后村地震反射剖面与矿院实习工厂探槽剖面对比示意图

四、地裂缝的破坏特征

(一) 地裂缝对建 (构) 筑物的破坏

实地考察表明, 在地裂缝带通过处, 所有地面及地下设施都遭受到不同程度的破坏。仅就目前调查, 已遭破坏的有楼房 70 幢, 地下水管 10 处, 人防工程 10 处, 深井 3 口, 大型路面 58 处, 一般平房 248 处, 厕所 13 个, 围墙 98 处, 农田 11 处, 文物古迹 3 处, 采取相应加固措施后又开裂的建筑物 19 处, 造成数千万元的直接经济损失, 而且一般加固措施抵御不了地裂缝的破坏。

通过实地调查和槽探, 我们把各类建 (构) 筑物受地裂缝影响和破坏的基本类型归纳为以下几点:

1. 各种不同类型的建筑物在地裂缝通过的地方, 普遍出现张裂变形, 裂缝呈楔形, 上宽下窄, 裂缝东南盘下沉明显 (照片 55、22)。有时还可以见到东南盘向东移动的现象,

这可能是地基不均匀下沉所致。

2.地面和路面上在地裂缝通过处，大多呈锯齿状张裂，裂缝东南盘下沉，形成北高南低的陡坎（照片38、45、70）。少数地面和路面由于地裂缝两边的差异升降，明显地呈坡状向南倾斜（照片18），在坡度较大的区段局部开裂。值得指出的是，在有地表水影响的地方，裂缝活动更加明显，如农田灌溉时沿地裂缝走向往往形成串珠状陷坑（照片78、93）；在地面或路面，由于地表水的渗漏使裂缝局部增宽，裂缝两边的差异升降增大，对地面的影响宽度也相应地增加。

3.地裂缝通过处，地下设施也遭破坏，混凝土管道和金属管往往被拉断，并上下错开（照片72）；防空洞上拱，洞底部常常裂开（照片49、50、51），裂缝的东南盘下沉，在上拱处有时可以发现南盘东移现象。

4.通过四十多处探槽资料（可见裂缝最深17米），发现随着地层年龄的增加，地裂缝的垂直错距也增加，且大多向南倾（照片10、11、12）。这说明，地裂缝延伸相当深，而且是长期活动的。它对场地的影响在目前还是难以抵御的。

（二）地裂缝对建筑物的影响宽度

地裂缝对各种建筑物的破坏有一定的影响范围（称之为影响宽度），在影响范围之外的建筑物一般不会遭到破坏。根据实际调查资料，我们以地面影响宽度为横坐标、以该影响宽度内的地裂缝累积百分比为纵坐标作地裂缝的影响宽度统计图（图16）。从图中可以

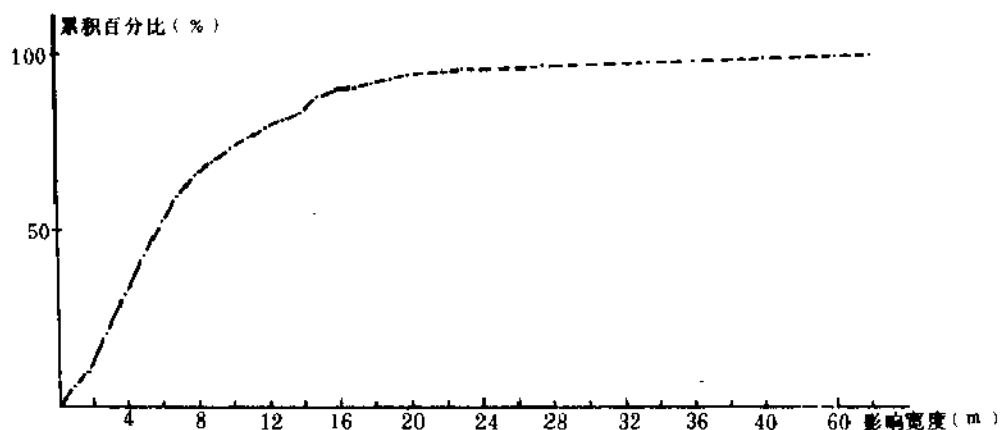


图16 地裂缝影响（破坏）宽度统计图

看出，地裂缝影响宽度在6米以内的占50%，影响宽度在10米以内的占73%，绝大多数（95%）的地裂缝影响宽度在20米以内。只有很少一部分影响宽度较大，最大可达62米，而且多受回填土、古河道或地表水的影响。

为了减免地裂缝所造成的危害，根据地裂缝的破坏特征和影响宽度，在当前尚不能抗御地裂缝破坏的情况下，在城市规划和市政工程建设中，主要的对策是避开地裂缝。对易燃、易爆、易造成重大灾害的建筑物，如煤气管道，有毒化工厂等，避开地裂缝的距离应在地裂缝影响宽度的一半以上，再加上某一安全系数；建筑在古河道及回填土区域上的建筑物，一般避开距离应大一些，并在设计前作地裂缝的详探，这样可以依据实际情况恰当地确定避开距离；对一般地区的建筑物避开距离应定为10米左右；必须跨越地裂缝带的地下管道及其它线路，应采取适当措施。此外，还应管好用好地表水，在地裂缝带附近（50米）防止地表水大量渗漏，这是西安地区的一个特殊环保问题。