

构造地裂缝的成因与地震勘探

李忠生

(长安大学地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 对典型构造地裂缝的空间分布、活动特征、成因机制等方面进行了论述, 认为构造地裂缝的内因是地质断裂, 外因是地下资源过量开采; 在勘探构造地裂缝中, 只要观测系统设计合理, 参数选择准确, 资料处理得当, 地震勘探可以准确地给出地裂缝从十几 m 到几百 m 深度内的各项地质构造参数及在地表的位置, 满足科研和工程的要求。

关键词: 地裂缝; 地震勘探; 构造; 沉降; 灾害; 成因

中图分类号: P631.4 文献标识码: A

1 引言

近年来, 随着我国经济的迅猛发展和人民生活水平的大幅提高, 过度开采地下资源(包括流体资源和固体矿产资源)引发的地质灾害, 也越来越频繁、越严重。地面沉降和地裂缝便是其中两个最直接和最明显的地质灾害。

今后半个世纪内, 煤炭仍将是我国的主要一次性能源^[1]。50 多年来的开采, 使进一步开采煤炭资源的条件越来越困难, 今后无水体和建筑物影响的煤炭资源愈趋匮乏, 开采水体下(包括含水层下)、建筑群下的煤炭资源势在必行, 而煤炭的井下开采必然导致地面沉降甚至地面塌陷。大面积的地面沉降如果发生在地质构造区域, 可引发大规模的地裂缝, 而先存断裂则可控制地裂缝的活动特征、空间展布和发展趋势等。

与地面沉降引发的非构造地裂缝相比, 构造地裂缝显得更有规律性, 同时也更具破坏性。鉴于目前煤矿采空区地裂缝受地质构造控制的较少, 故本文将主要以西安地裂缝为例进行构造地裂缝的论述。

2 构造地裂缝特征及形成机理

2.1 空间分布特征

地面沉降引发的构造地裂缝在平面上有着非常明显的几何特征, 以西安地裂缝为例, 11 条地裂缝

彼此以 1 km 左右的间距近似平行展布, 每条地裂缝的连贯性非常好, 长度从几 km 到十几 km 不等^[2]。与西安地裂缝类似, 大同地裂缝也都以北东方向展布, 长度从 1 km 到 5 km 不等^[3]。除地表的几何分布具有规律外, 西安地裂缝的地下剖面都呈南降南倾的正断层性质, 倾角在 70~80°, 甚至更陡。大量的探槽和钻孔资料表明, 西安地裂缝具生长断层性质, 错断地层的断距向下递增, 在第四系底面, 错断可达上百 m^[2]。

2.2 活动特征

西安地裂缝最早发现于上世纪 50 年代, 成灾于上世纪 70 年代, 80 年代达到高峰。综观地裂缝的发展史可以发现, 地裂缝与过量开采地下水息息相关。1971~1975 年, 承压水开采急剧增加, 地面沉降此时也进入加速沉降期, 地裂活动在沉降梯度带上发生、扩展, 成为数百 m 长互不连贯的地裂缝。1976~1983 年, 承压水位快速下降, 地面沉降也进入快速沉降期, 多条地裂缝在此期间双向扩展并逐渐贯通, 最终形成连续的地裂缝。另外, 西安地裂缝活动还具有明显的年周期性, 即每年第 3 季度的活动量最大, 第 4 季度次之, 而第 1、2 季度的活动量相对最小^[4], 这进一步显示了深井抽水、地面沉降、地裂缝活动三者之间的密切关系。据观测资料, 出露地表的地裂平均活动速率在 cm/a 数量级, 该速率高于该地区活断层活动速率一个数量级。此外, 西安地裂缝还具有明显的三维运动一致性, 以垂直位移量为

收稿日期: 2004-03-17

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目(99K14-G3)

作者简介: 李忠生(1964—), 男, 河北秦皇岛人, 长安大学博士, 主要从事物探及地质灾害研究工作。

最大, 南北拉张量次之, 而水平错动量则很小, 三者之比为 $1:0.31:0.03$ ^[4]。

西安市目前地裂缝活动中仍以主缝为强, 次缝仅在两条地裂带上出露地表。通过地表调查发现, 凡主缝活动发育地段则次缝活动不明显, 而次缝活动发育地段, 其北侧主缝的活动相对较弱, 甚至地表出露不明显。

2.3 成因机制

西安地区的地震震源机制解释资料统计结果及地应力测量都表明, 西安地区主压应力方向为 NE—NEE, 拉应力方向为 NW—NNW。西安地区南北向的强烈拉张应力场使西安市南侧 50 km 长的临潼—长安断裂带的断裂面处于临空状态, 在自重应力场作用下临潼—长安断裂带产生了一系列次级断裂, 即 11 条西安地裂缝, 并控制其走向和形态。地质力学模拟试验结果充分地重现了这一构造重力扩展过程^[5]。此外, 近几十年来过量汲取地下承压水, 使得裂缝附近的架空和松动效应进一步加强, 加速了这种不平衡的进程。同样的原因也导致了大同地裂缝灾害^[3]。

3 构造地裂缝的地震勘探

上世纪 80 年代后期, 地震勘探方法首先被引入到西安地裂缝研究中, 并取得了成功^[6]; 90 年代初期, 该方法又在大同地裂缝研究中得到应用和发展^[3]。从 90 年代中后期至今, 随着西安市大规模的工程建设和城市扩张, 十几年前地裂两端的城郊农田, 现大多已成为新开发的城区。这些新区的地裂缝现大多处于隐伏状态, 因此隐伏地裂缝又成为当前地震勘探的主要目标。

针对西安地裂缝的性质和特点, 经过多次试验和摸索, 我们总结出一套在西安巨厚第四系内实用可行的地裂缝地震勘探方法。该方法分两部分, 分别适用于地裂缝的初勘和详勘。在普查初勘阶段, 地震勘探的主要目标是寻找地裂缝的深部构造特征, 给出其倾向、倾角及走向等地质构造参数。测线长度多在几百 m 至 1~2 km, 勘探方法选用反射波勘探, 覆盖次数多为 6 次。检波器道间距为 5 m 左右, 最大不超过 10 m。偏移距根据现场试验确定, 但一般在 30~50 m, 最大可达 70~80 m。勘探目标层深度在几十 m 到几百 m, 因为此范围内的地裂缝断距可达几 m 到几十 m, 比较容易找到地裂缝异常。震源多为炸药或地震枪, 使用 150~300 g 硝铵炸药震源, 基本可以记录到 300 m 深的反射资料。采集仪器多选择为 48 道, 采样率为 0.5 ms。由于城

里诸多振动源的干扰, 加之测线较长, 炸药起爆后的补炮比较烦琐等原因, 数据采集多在夜间安静时进行。

在初勘结果的基础上, 详勘阶段地震勘探的目标是给出地裂缝在工程场地的确切位置, 其观测系统参数的选择主要考虑的是勘探精度。勘探目标层深度为十几 m 到几十 m 之间, 震源激发选择为便捷的锤击方式。受勘探目标深度和激发能量限制, 采集仪器接收道数多为 12~24 道; 反射波覆盖次数为 6~12; 道间距为 1~2 m; 偏移距多为 10~20 m 之间。由于偏移距和道距都很小, 所以反射波勘探的最佳接收窗口很小, 上部浅层反射波与直达波和折射波非常靠近, 两组震相经常交织混淆在一起, 因此检波器主频要尽量高, 多选用 100 Hz, 而且不采用检波器组合方式接收。后期资料处理中以提高分辨率为首要任务, 同时加大二维滤波力度, 尽量提取出有效的反射波信号。

根据上面设计参数, 可以采集到比较好的野外地震记录, 图 1(a)、(c) 分别为初勘阶段和详勘阶段的单炮记录。经过后期的资料处理, 地震反射时间剖面中构造地裂缝非常清晰(图 1(b)、(d))。从反射剖面上还可以看出, 在第四系中, 特别是较深处的反射信号并不是从左到右非常连贯, 而是呈现出各地层互相交错局部连续的特点, 其主要原因是西安第四系各个层位的波阻抗差别不大, 反射震相并不是真正的某一个地层反射, 而是复合层反射迭加的结果。因此在最终剖面上识别地裂缝异常时, 主要判断依据是宏观上存在由上至下的倾斜错断, 而不是微观的某一个或几个地层的错断不连续。

为了验证地震勘探结果, 在西安南郊一场地布设了探槽。探槽深 5.5 m, 在 5.2 m 深度处发现地裂缝槽底及两壁均有裂缝且连贯(见图 2), 隐伏地裂缝的位置与地震勘探结果吻合。

4 结语

过量开采地下资源不可避免要引起地面沉降, 进而导致地面裂缝的发生和发展。地裂缝的分布和活动除与地下开采资源有关外, 还受地质构造控制。断裂控制了地裂缝的空间分布、内在形态和地面走向, 是地裂缝形成的内因; 而人为因素引起的地面沉降则控制了地裂缝的发展速率和发展趋势, 起到了推波助澜的外因作用。在勘探构造地裂缝中, 地震方法是行之有效的。只要观测系统设计合理, 施工参数选择准确, 资料处理得当, 地震勘探可以准确地给出隐伏地裂缝从十几 m 到几百 m 范围内的各项地质构造参数及在地表的位置, 满足科研和工程的

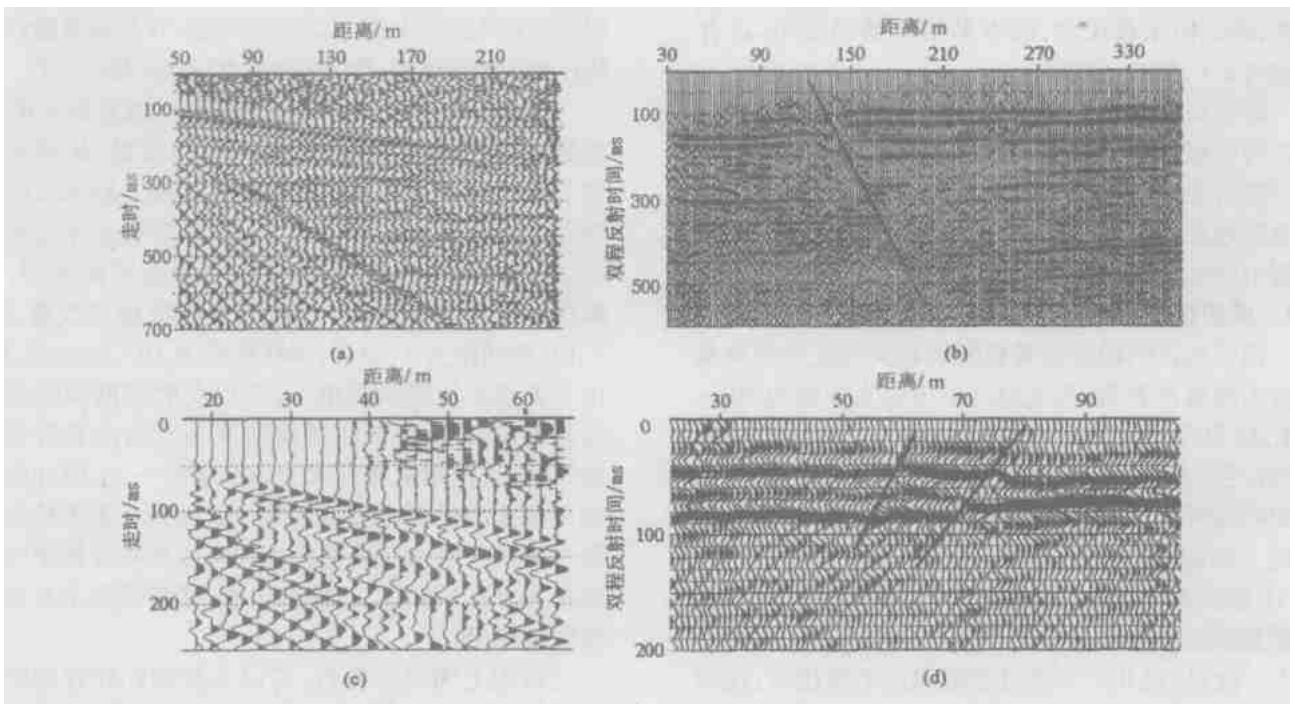


图 1 野外单炮记录及反射时间剖面

a——野外单炮记录(做 AGC), 炸药震源, 偏移 54 m, 道距 4 m; b——初勘反射时间剖面, 6 次覆盖;
c——野外单炮记录(做 AGC), 锤击震源, 偏移 18 m, 道距 2 m; d——详勘反射时间剖面, 12 次覆盖

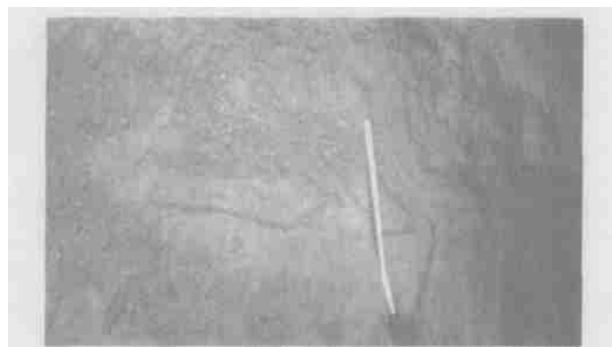


图 2 开挖探槽内隐伏地裂缝照片(面向: 下)

要求。

考虑到今后有开采密集建筑群下煤炭的发展趋势, 文中将因过度开采地下水形成地面沉降进而引发地裂缝的西安市作为实例加以论述, 希望西安地裂缝灾害能对未来城区地下开采煤炭的地质灾害研

究有所借鉴。

参考文献

- [1] 中国煤炭学会, 中国地质学会煤田地质专业委员会. 发展中的中国煤田地质学[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(6): 1—5.
- [2] 李永善, 等编著. 西安地裂缝及渭河盆地活断层研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992, 1—95.
- [3] 刘玉海, 陈志新, 倪万魁等著. 大同城市地质研究[M]. 西安: 西安地图出版社, 1995.
- [4] 易学发, 苏刚, 王卫东. 西安地裂缝带的基本特征与形成机制[J]. 地震地质, 1997, 19(4): 289—295.
- [5] 王兰生, 李天斌, 赵其华. 浅生时效构造与人类工程[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [6] 唐大荣, 雷炜, 彭成. Mini-Sosie 浅层高分辨反射技术在西安市地裂缝研究中的应用[J]. 地球物理学报, 1988, 31(6): 708—711.

The cause of tectonic ground fissures and the seismic exploration

LI Zhong-sheng

(Faculty of Geological Engineering & Geodesic Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The space distributions, activities, causes and mechanisms of the tectonic ground fissures are discussed. It is believed that the geological faults is the internal cause of the ground fissure hazard and the over-withdraw underground resources is the external cause. For the tectonic ground fissures probing, the seismic exploration is practicable with suitable survey system, appropriate parameters and right data processing, and it may successfully give the tectonic parameters of the ground fissures in the profile from dozen to several hundred meters depth and the their locations on the ground surface.

Key words: ground fissure; seismic exploration; tectonic; subsidence; hazard; cause