维普资讯 http://www.cqvip.com

河北南和县地裂缝与塌陷形成机制与防治对策初探

田 级 生

一、地裂缝、塌陷概况

南和县地裂缝、塌陷主要分布在路庄、三张、东候、胡庄、东韩、前郭平、杨庄等村镇，以及南任公路（南和至任县）5～10 km路段内。其表现为：路基下沉，路面车辙状下陷产生裂缝，房屋裂缝，公路及公路两侧农田发现陷坑、裂缝、裂缝及陷坑下见有土洞，且灾情逐年加重。

裂缝大致呈南北向展布，与公路方向一致。塌坑四壁常呈直立状，大都是在浇地时或大雨过后发生的。土洞壁常为凹凸状，有明显的水线，象水浸泡痕迹。

二、地裂缝与塌陷形成机制

南和县地处澧河、七里河冲积扇中下部，是扇形古河道几经迁徙泛滥淤积而成的平原。第四系含水层富水性较强，地下水动态类型属降水渗入补给开采型。当地农业开采地下水成井深度小于100米。每年2～6月为农业灌溉季节，随着采水量的增加，到6月中旬，地下水位达最低点。其后随着停止采水和雨季的到来，水位逐渐回升，至9月下旬达最高水位。10月后，水位又开始下降。这种季节性变化反映的是天然变化和开采的双重作用。近年来，随着乡镇企业和农业的发展，本区属于超量开采地下水状态。

南和县地裂缝与塌陷的形成，是多种机制综合作用的结果，其中以渗透潜蚀效应起主导作用，次为地表水浸泡软化增荷与震动冲击加荷效应。南和县地下水位逐年缓慢下降过程中，形成了一定范围的水位下降漏斗区，改变了地下径流状态，使水力坡度和流速增大，对土层和砂层产生潜蚀、冲刷和淘空作用，形成土洞。灾害区内第Ⅰ含水组上部砂层顶板粘性土体内发育有干缩裂隙和夹杂碎屑物的孔隙，地下径流沿这些裂隙和孔隙产生冲刷潜蚀作用。但由于粘性土具有一定的凝聚力，潜蚀作用逐步使土洞不断向上扩展，直到土洞顶板土体失稳，便出现地面下沉、开裂、以致形成塌陷；同时，降雨、灌溉和地表水向下渗透、汇集，在土层中也能产生渗透潜蚀作用。且降水、灌溉和雨季洪流渗透进土体的水，不但有浸润作用，还能使土洞顶板土体软化和增荷，从而加速了开裂与塌陷；南任公路路基裂缝与塌陷还叠加有震动冲击加荷效应，公路承受车辆载重和震动的影响，导致处于极限平衡状态的土洞顶板失稳，产生车辙状下陷、路基开裂——在公路行车道线上尤为突出。雨水、雪水又可直接沿路面裂缝渗入，更加剧了对路基的渗透潜蚀作用。

综观南和县地裂缝与塌陷形成机制是属于渗透潜蚀一软化增荷与震动冲击加荷粘性土致塌的模式。这种模式可在双层结构和土层结构层状土层中见到。其发展过程，首先是引起地面变形下沉，而后是开裂，地面建筑物基础与墙体出现裂缝，进而产生地面

的一致性。我们可以说：在三角洲前缘带发育的盐丘构造是油气聚集的良好场所；反之，如果盐丘发育在不利的生储油相区，就不可能含有油气。

（摘自国外石油科技专题译文集《盐与油气》，1986）

（北京石油勘探开发科学研究院地质所）

维普资讯 http://www.cqvip.com

塌陷。

南和县处于冲洪积扇前缘的交接洼地，易于积水，塌陷数量较多。南任公路路基偏低，现有边沟排水不畅，实际上已经形成了顺公路的两条表面汇流的集水坑，路基成了“堤坝”。1987～1988年雨季时，雨水排泄不畅，受公路路基阻塞，多数积水在西边沟内（地形由西南向东北缓倾斜），所以公路西侧路肩发现的塌陷坑亦最多。

澧河与顺水河在南和县境内转弯呈北东向或近南北向径流和沉积、堆积物质呈条带状展布，现代地表排洪与地下迳流及水位下降漏斗展布方向亦均呈北东或近南北向。在此方向上地表水的垂直渗透作用较强，冲刷与潜蚀及细颗粒物质搬运作用亦最为强烈，所造成的地面沉陷与地裂缝展布方向多呈北东或近南北向的。

三、地裂缝、塌陷的防治与对策

1．南和县出现的地裂缝与塌陷不是孤立存在的，是在区域生态环境的改变后而发生的环境地质灾害。由于上游百泉岩溶水系统超量开采岩溶地下水，破坏了系统内水资源均衡状态，迫使岩溶水位急剧下降，减少了对下游地下水的补给量，是导致下游地区产生环境地质灾害的外部条件。因此，上游百泉岩溶水系统必须改变目前疏干状态下的掠夺式采水方法，管好、用好岩溶水，使其水资源恢复到天然均衡状态。整治好南和县境内这一环境地质灾害，必须上、下游统一考虑，重视水流域内的综合治理。

2．减少第四系松散层被地下水侵蚀、搬运。严格限制井位、井径、井数及地下水开采量，调整开采层次，将主要开采层位转向第Ⅱ、Ⅲ含水组。合理的控制地下水位下降值，对地面沉降、开裂与塌陷会有一定的缓解作用。南和县境内地下水处于超采状态，要加强水资源统一管理，有计划地取水，防止乱采。

3．农业发展要走节水型灌溉农业与旱作农业并重的路子。节水灌溉要实现管道输水、垄沟防渗、喷灌、滴灌、管灌、沟灌、小畦灌溉和合理定额等综合配套节水措施。

4．在灾害区上游进行人工回灌，强化入渗，把雨季地表洪流及经过三级处理的邢台市废污水灌入东部平原孔隙含水层，以恢复地下水均衡状态。

5．区内施工的机井大部是完整管井，为防止或减少水流携带砂土颗粒进入井内，从井筒中流失，导致土体松散，应严格控制成井工艺，按要求使用滤料，杜绝使用大小不一的砂砾料、砖瓦块、炉灰渣等代替，要求填料砾径一般为含水层颗粒直径的8～10倍，也绝不允许成井后不填砾料等错误作法。

6．切实加强地面排水措施。农田洼地及南任公路沿线，应彻底解决沟渠排水问题。公路应增大边沟纵坡，增加泄水涵洞与通道，现有沟渠也应整修疏通。

7．坚持对区内地下水动态变化进行长期观测，系统监测水量、水位变化规律，用以指导合理开采地下水。对已发生地裂缝与塌陷的地段，应设立一些监测点、监测地面异常情况、塌陷的发展速度、塌陷影响范围等。对于已经形成的塌陷坑要及时回填，避免因地表水强烈入渗造成继续塌陷。对路面出现车辙状沉陷及成带破碎的严重路段，应进行路面挖补，分层填土用震碾压实，防止渗水、漏水和冲刷塌陷。

综观南和县地裂缝与塌陷的形成和防治，通过人工治理与控制地下水开采量，地面沉降、开裂与塌陷是可以得到缓解，也可使地裂缝、塌陷停止活动的。

（河北省地矿局）

更正：

1990年本刊5、6期封二部徽有误，于第7期起改正。

——本刊编辑部

河北平原地裂缝的分布规律及成因初探

李 俊[1], 刘金峰[2], 莫多闻[1]
(1. 北京大学环境学院, 北京 100871; 2. 河北地质学院, 石家庄 050031)

摘 要: 以丰富的资料, 阐述了河北平原地裂缝的发展现状、形态特征、时空分布规律。通过分析地裂缝与地形地貌、土体岩性、降水、地表水、地下水动态、构造运动的关系, 初步揭示了地裂缝的成因是以构造运动、地震为主导因素, 水的活动为诱发因素, 地形地貌、土体岩性为影响因素。

关键词: 地裂缝; 构造运动; 地震; 地下水动态
中图分类号: P694 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-3409(2003)03-0062-04

Distribution and Origin of the Rifts in Hebei Plain

LI Jun[1], LIU Jin-feng[2], MO Duo-wen[1]
(1. *College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing* 100871, *China*;
2. *Hebei University of Geology, Shijiazhuang* 050031, *China*)

Abstract: The morphological characteristics and space-time distribution of the rifts in the Hebei Plain were discussed. The relations between the rifts and the landforms, lithology, precipitation, surface water, groundwater regime, earthquake, and tectonic movement were analyzed. It can be found that the tectonic movement and earthquake is the controlling factor, the water's movement is the inducing factor, the land form and lithology have also played an influencing role in the development of the rift.

Key words: rift; tectonic movement; earthquake; groundwater regime

1 引 言

地裂缝是地表岩土体在自然和人为因素作用下被破坏, 并在地面形成一定长度和宽度裂缝的一种地质现象。当地裂缝对人类经济造成毁损或人身伤害时, 便成为地质灾害。地裂缝成因复杂, 有由于地震及基底断裂活动派生的构造地裂缝, 有因土体遭潜蚀、黄土湿陷胀缩地面沉降、滑坡等非构造地裂缝, 以及混合成因的地裂缝。河北平原从 60 年代开始在邯郸市发现地裂缝。1978 年以后特别是进入 80 年代以来, 地裂缝迅速增加, 至 1995 年共发现地裂缝 573 条。① (图 1) 已使城乡建设、工程设施、交通及人民生命财产蒙受巨大损失, 成为一类新的灾种。本文对河北平原地裂缝的发展现状、形态特征、时空分布规律, 及其成因进行了讨论, 对地裂缝灾害的治理、地裂缝的工程地质评价等应用问题具有实用的意义。

2 河北平原自然地理与地质概况

河北平原位于东经 114°26′～117°50′, 北纬 36°03′～39°25′之间。东临渤海, 西到太行山前, 南、东南分别与豫、鲁相接, 北至北京、天津。总面积约 7.2×10^4 km^2。区内人口稠密、工农业发达。属温带半湿润半干旱大陆性季风气候区, 降水量时空分布不均, 变差大。夏秋季节具有强度大、时间集中的暴雨。

河北平原地形平坦, 自山前向渤海微倾, 近山地海拔 100 m 左右, 向渤海逐渐降低。地貌上分为山前冲积洪积平原、中东部冲积湖积平原、滨海冲积海积平原三大区域。第四纪堆积厚度大, 最厚达 550 m。

河北平原属华北地台华北断拗的一部分, 为中生代以来以下降为主, 伴随短暂上升所形成的断陷盆地。区内地壳较不稳定, 新构造运动明显, 有第四纪活动断裂分布。断裂走向以NNE 向及NE 向为主。现代地震活动活跃, 分布有潜在震级 6～8 级的地震危险区。地震基本烈度大都 6～8 ②。

3 河北平原水文地质环境

本区地下水主要赋存在第四系多层交迭的各种砂卵砾石层及亚砂土的孔隙中, 构成一个几何形态复杂, 各种成因

① 收稿日期: 2003-04-25
基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 40271013); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(批准号: 99000149)资助。
作者简介: 李俊(1979-), 女, 硕士生, 地貌与第四纪地质学专业。
② 河北省环境地质图说明书, 河北省环境水文地质总站(1990)。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

类型的含水地质体。不同地貌类型区域的环境水文地质条件差异明显。山前平原冲积扇顶部轴部含水层多为连续巨厚砂

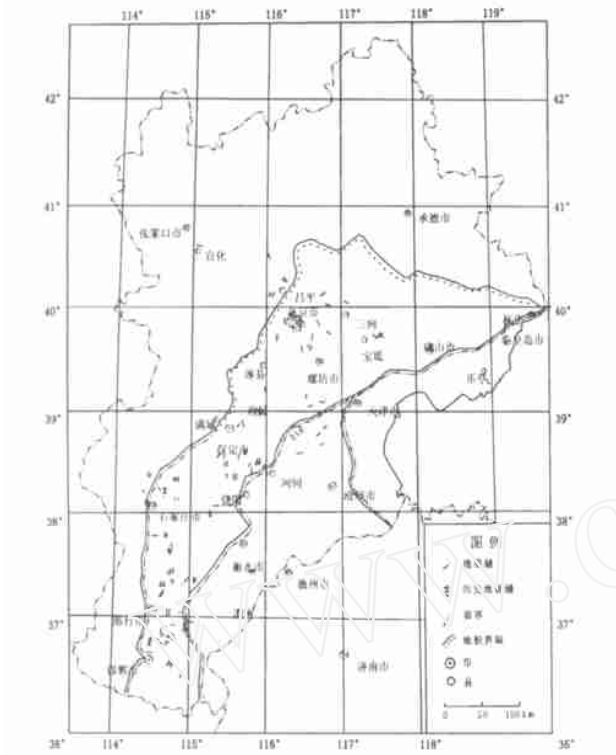


图 1　河北平的地裂缝分布图(王景明, 2000)

卵砾石层, 强烈透水, 极易接受降水、地表水、山麓裂隙水及岩溶水补给, 水力坡度大。包气带厚度一般为 4～ 6 m, 漏斗区最大约 30 m。包气带岩性以砂性土为主。中部平原至滨海平原含水层沉积物由粗变细, 地下水坡度渐缓, 水位埋深渐深。包气带厚度渐薄, 一般 2～ 6 m, 滨海地区包气带小于 2 m。河间地岩性以黏性土为主。由于地下水长期超采, 导致地下水水位区域下降漏斗迅速扩展。目前河北平原共有 28 个漏斗, 总面积达 33 328. 34 km^2。浅层水漏斗分布于中东部平原及与中部平原交接地带。深层水漏斗分布于中东部平原至滨海平原。地下水水位持续下降, 使得多个相邻的漏斗相连, 形成包括几个中小型漏斗的复合漏斗。[①]

4　地裂缝的分布规律

4 1　地裂缝的发展现状

河北平原 573 条地裂缝主要分布在北京、天津、廊坊、衡水、沧州、保定、石家庄、邢台、邯郸等地区。其中 60 年代仅在邯郸市发现 14 条地裂缝。70 年代, 石家庄发现地裂缝 16 条。邯郸地区发现地裂缝 20 条。北京地区发现地裂缝 48 条。天津地区也发现地裂缝 40 余条。80 年代以来, 则在北京、天津、廊坊、衡水、沧州、保定、石家庄、邢台、邯郸等地, 地裂缝大量出现。地裂缝断开道路、毁坏桥梁、阻断交通, 切断管道, 破坏建筑, 裂开河流大堤, 引发洪水威胁危险等等, 使人民群众、生命财产蒙受巨大损失。如邯郸市地裂缝至 1983 年为止共损坏楼房 7 处、平房数十间, 切断管道 2 处, 损坏围墙数十堵, 经济损失以百万计。此种现状已引起社会各界的极大关注[①]。

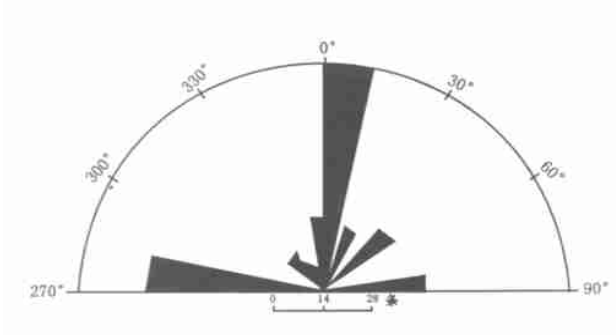


图 2　河北平原地裂缝走向玫瑰图(王景明, 2000)

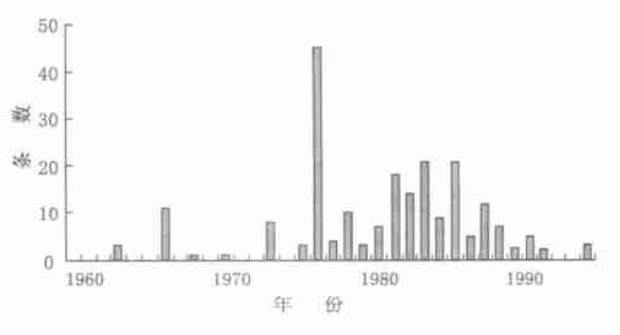


图 3　河北平原地裂缝频度图

4 2　地裂缝的形态特征

地裂缝的长短、宽窄与深浅统称为地裂缝的规模。本区发育的地裂缝规模大小各异。单条最长者可达 7 000 m, 而短者只有数米, 宽度一般在 0. 02～ 0. 07 m 以上。地裂缝的切割深度浅者 0. 2～ 0. 5 m, 一般为 1～ 3 m, 最深达 9. 8 m。以长度来划分地裂缝的规模等级, 本区可分为大于 1 000 m, 1 000～ 500 m, 500～ 200 m, 小于 200 m 四个级别。大于 1 000 m 者有 90 条。长度 1 000～ 500 m 的共 185 条, 宽度一般为 0. 01～ 0. 5 m, 切割深度小于 3 m[①]。

区内地裂缝平面形态的展式可分为 5 种类型: ①直线型。地裂缝平直伸展, 走向稳定, 整条地裂缝无转折或弯曲。邯郸市 1963～ 1986 年形成的五条走向 NE 5 的地裂缝, 呈断续的直线状延伸, 各长 600～ 1 850 m。②雁列式。一系列大致平行的次级地裂缝, 平面上呈现雁列排列形式, 其总体方向与每条次级裂缝走向有一定夹角。1973 年 7 月 5 日大雨后, 河北永年韩营村西洛河冲洪积阶地上, 出现一条长 600 m, 走向 NE60～ 70 次级地裂缝右行雁列排列而成, 雁列角 35°。次级地裂缝呈直线型, 间隔 10～ 30 m, 宽 0. 5～ 1. 0 m, 可见深 1. 0～ 1. 5 m, 伴有一些大大小小的落水洞。③锯齿型。地裂缝在走向方向上有似锯齿状折曲, 齿形之间有次

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

①

级小的方向转折。每个齿形都有2～3组不同方向的次级地裂缝转折而成,它们与锯齿状地裂缝总体走向都有一定的夹角,一般小于45°。河北永年杨庄走向NE5°、长150m的地裂缝呈锯齿状。④交叉或分叉的地裂缝。⑤弧形。1991年雨后,河北永年县龙泉出现长5 000m,宽0.5m的地裂缝,其一侧走向NW 85°,向西转为NW 60°,呈现弧形①。

按地裂缝展布方向,作走向玫瑰花图(图2)。从图中可见地裂缝发育优势方向大体上循NW 85°、NW 55°、NE5°、NE30和NE60等固定方向[1]。

本区地裂缝在剖面上形如锯齿,裂口上宽下窄呈楔形向下延伸,裂面粗糙近直立。某些裂缝偶见下滑的擦痕,裂缝两侧有明显垂向位移,位移量可达0.01～0.19m,如邯郸市电台办公楼。邯郸市民航宿舍围墙发现有0.01m位移的顺扭现象,裂缝均显示为张扭性①。

除上述平面及剖面形态外,与地裂缝伴生的还有塌陷落水洞,有的呈条带状,串珠状出现,还有的呈带状塌陷坑出现。经实地调查多处均被掩埋,已不见地裂缝的痕迹。

4.3 时空分布规律

经统计各年份地裂缝出现的条数,作河北平原地裂缝频度图(图3)。

从图中可以看到,地裂缝在60年代开始出现,共发现16条,1966年发生的邢台地震时对其可能有影响。70年代地裂缝迅速增加,共发现185条,这与1976年唐山地震有关。80年代,地裂缝的出现达到高潮期,共发现346条。90年代发现地裂缝21条。随着时间的推移,地裂缝的数量迅速增长,只是进入90年代以后变少了,有的地裂缝经掩埋,在地表存在有短暂性①。

地裂缝的分布范围呈逐渐扩大的趋势。1963年首先在邯郸市发现3条地裂缝,60年代中后期伴随邢台地震第一次出现高潮。到70年代在石家庄地区先后发现16条地裂缝。进入80年代以来,则在北京、天津、廊坊、衡水、沧州、保定、石家庄、邢台、邯郸等地普遍发现地裂缝。同时地裂缝的分布区域逐渐由南向北具扩展之势。①。

从地裂缝的整体展布看,主要以太行山山前倾斜平原一线及中部平原一线分两条带状布。地裂缝发育在全新世巨厚的冲洪积相的亚砂土、亚黏土、黏土和砂层中。裂缝大致走向呈北北东及北东向①。

5 地裂缝的形成原因

5.1 地裂缝与地貌的关系

河北平原地裂缝主要分布在太行山前和燕山山前与河北平原交接地带以及山前平原与中部平原交接部位,地势相对低洼的洪积扇前、各洪积扇间,各条河流的河漫滩、古河道及湖沼洼地地区。地裂缝集中分区较好地反映了地裂缝与以上地貌的紧密关系。如:永年—南和—隆尧-宁晋一带,是地裂缝多发区之一,地貌形态主要为冲洪积平原亚区的平地小区、洼地小区,是地表及地下水的汇流处。而在里县—肃宁—安平—饶阳地裂缝集中分布区,地貌上为冲洪积平原亚区与冲积平原亚区交接地带,多分布在泛滥坡地小区及泛滥洼地小区,河漫滩地小区。本区是平原第四系堆积最厚的地区之一。在霸县—文安—大城一带地貌形态亦是具有相同的特点。在山前一线地裂缝分布带,地貌形态为冲洪积平原的倾斜地小区、坡平地小区,是山前地形坡度变缓,地势相对平坦的地区②。

平原地貌为河流直接建造,但受基地构造所控制。本研究区亦同样具有如此特点。山前大断裂和基底沉降最剧烈的冀中拗陷和临清拗陷带,是地貌分区的主要分界线,此区地势变化明显,也是地裂缝分布较集中的地区。由此可见,地裂缝与地貌的关系实质上受构造所控制。此外地裂缝还受微地貌控制,地裂缝沿路边、沿河堤、沿塘坑等地出现较多。

5.2 地裂缝与土体岩性的关系

从平面上看,本区土体在地表分布主要有三种类型:(1)砂及轻亚砂土。(2)亚砂土及轻亚黏土。(3)重亚黏土及黏土。在山前及部分河道带主要为砂及轻亚砂土,分布面积较小,而亚砂土及轻亚黏土分布区域较大,约占研究区的3/5,且出露普遍。而重亚黏土及黏土则主要分布在山前平原与中部平原交接处,地势较低洼的湖泊地区。而地裂缝多数分布在亚砂亚黏及黏土当中。统计结果表明分布在亚砂土及亚黏土中的地裂缝居多。砂及轻亚黏土中次之,黏土中较少。黏性土层压缩变形,由于基底的不平,黏性土厚度不同,而引起不均匀沉降从而产生地裂缝②。

5.3 地裂缝与水的活动的关系

河北平原降水量时空分布不均,变差大,多年平均降水量为540mm,年降水量多集中在7、8、9月份,约占全年降水量的70%～80%,多年平均蒸发量介于950～1 150mm之间。地裂缝多发生在大雨、暴雨之后的6～9月份,基本与汛期相符,说明降雨加速了地裂缝的形成。例如河北保定地区150余起地裂缝事件大多集中在每年的雨季发生,尤其集中在7、8两个月。

地裂缝的发生部位除在河沼滨地区比较集中外,其次也与地表水流域带其他地带相伴生。在太行山山前与中部平原的交接带,由北东至南西方向分布有多个多字型排列的湖沼洼淀,在这些地区都有多条地裂缝产生,如坝县附近的东淀、文安洼、束鹿-安平-饶阳以及宁晋坡泊和大陆泽、永年洼等低洼地带。在山前一带产生的地裂缝,一般均沿河流域展布。如易县一带的地裂缝主要沿大清河附近。完县-漕河一带产生的地裂缝主要沿漕河流域和唐河流域。地裂缝与地表水的伴生性说明地表积水、排水不畅和强渗透性径流条件是诱发地裂缝的主要环境之一②。

河北平原从山前平原到中东部平原和滨海平原,由于地质地层不均匀,开采地下水时,水位下降不一,从而地面沉降量和地面平均沉降速度也不一。山前平原,主要开采浅层水。

① ②河北平原(京津以南)地裂缝分布规律及成因调查研究报告,河北省环境水文地质总站(1991)。
③绕阳县大官厅乡姚庄村地裂缝踏察报告。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

砂层(包括卵砾石层)相对较厚, 黏性土层相对较薄。含水层呈扇状, 主要为中粗砂卵石, 富水性强, 补给条件好, 水位埋藏浅, 在开采过程中水位下降小, 黏性土释放水量少, 压缩程度低, 所以地面沉降量小。在中东部和滨海平原, 主要开采深层淡水。砂层相对较薄, 黏性土相对较厚。含水层多呈条带状, 主要为细砂、中细砂(中东部平原)以及粉砂(滨海平原), 富水性弱, 补给条件(垂向和侧向)差。由于超采地下水, 水位下降幅度大, 埋藏深度大, 所以黏性土释水量和压缩量都大, 地面沉降量也大。可见区域地面沉降和平均沉降速度从山前平原到中东部和滨海平原, 沿地下水流向, 由小到大。开采地下水, 地下水位下降, 使上覆地层相对荷载增加, 使土层压缩释水, 土颗粒孔隙压密, 以至固结, 地面下沉, 从而诱发地裂缝的产生。例如, 根据饶阳县大官厅乡姚庄村地裂缝踏察报告, 该地裂缝位于饶阳县大官乡姚庄村东南约 1 km 的滹沱河北大堤内。据悉该处地裂缝现象发生在 7 月 21 日大雨之后, 当时当地并没有发生有感地震, 因此该地裂缝与地震无关。据地下水动态监测资料, 1978 年 3 月饶阳县城关一带水位埋深不足 4 m, 1992 年 6 月份水位埋深 17 m 左右, 14 年水位下降约 13 m。水位的大幅度下降, 使原来的含水层被疏干, 土颗粒之间失去水浮力的作用, 在土层自重压力作用下产生缓慢的压缩沉降, 由于地层结构的不均一性, 而产生了不均匀沉降, 其结果产生了隐蔽地下裂缝。在降雨渗入地下的过程中, 裂缝处的渗透速度比在土层中大得多, 致使裂缝处发生土壤潜蚀作用, 裂缝则逐渐加深、延长, 直至形成张性裂开。当裂缝上部地形低凹, 大雨之后, 形成积水。积水与下部裂隙沟通以后, 水沿裂缝迅速流入地下, 冲刷裂缝两壁的土层颗粒并带入深部, 在地表以下形成大的裂缝或空洞, 使上部土体失去稳定, 发生坍塌陷落, 形成地裂现象③。可见地下水的变化对地裂缝的产生有诱发作用。尤其当疏松细粒砂土的岩性条件、中微裂隙存在的渗流潜蚀通道、平坦积水的入渗条件、一定水位差的排泄条件具备时, 有助于地下水携带细粒砂土向下游和深处渗流潜蚀, 从而地下水对地裂缝的产生作用更明显。

5.4　地裂缝与地震的关系

地震由构造运动引起, 是地应力集中释放的具体表现。研究地震与地裂缝的关系更有利于理解地质构造与地裂缝的关系。

区间地裂缝发育的优势方向, 可划分为NE、NW、SN 和 EW 向四组, 与河北平原现代主压应力方向近NE 向的应立场, 在理论上所应产生的几组破裂面方向完全相符。从区间地裂缝比较稳定的方向性及与地震活动时间的对应性来看, 区间地裂缝与区域上的中强地震确实存在着成因联系。

另外, 对地裂缝频度分析得知, 河北平原地裂缝的活动高潮年份分别是 1963 年、1968 年、1973 年、1978 年、1982 年、1987 年、1992 年, 而地震高潮年分别是 1961 年、1966 年、1971 年、1976 年、1981 年、1986 年、1991 年②。显然, 二者活动周期具有高度的一致性, 各地裂缝活动高潮分别滞后各地震活动高潮 1～2 年, 不仅地裂缝与地震活动高潮对应, 而且许多单条地裂缝与当地中小地震活动在出现时间和空间上也常有对应关系。例如赵县丁村村民在邢台地震后几年中多次到南大坑挖泥时, 见到埋藏于坑下宽 10 cm 的裂缝, 1984 年此处发生 4.4 级地震, 1886 年浇地时地裂缝延及地表显现出来。可见地裂缝与地震活动成因联系密切, 也有助于说明地质构造是地裂缝产生的主导因素②。

以任丘地区为例继续探讨地裂缝与地震的关系。任丘地区处在华北平原冀中拗陷的次一级构造单元- 饶阳凹陷内。从 1926 年开始, 任丘油田通过井孔向地下注水。随着断续的不同强度的注水活动, 微震活动显得较为活跃, 其间也发生了一些地裂缝现象。区间地震活动具一定的周期性。1970～1976 年共发生M_S > 2.5 级地震 12 次, 年均 2 次; 1977～1980 年仅一次地震; 1981～1987 年 8 次, 年均 1 次; 1988～1990 年未发生地震; 1991 年之后地震活动又开始活跃起来。在第一次地震活动期, 未见地裂缝显见的记录; 第二次地震活动期中, 地震活动频度与地裂活动频度成正相关, 当地震频度较高或震级较大时, 地裂缝呈现为高M_S > 3 级地震相对应。地震频度与地裂缝显现频度图显示了这种相关性[2](图 4)。

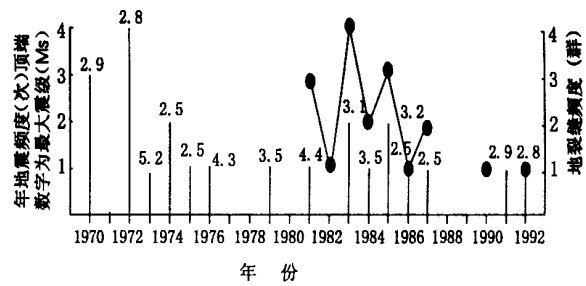


图 4　任丘邻区地震频度与地裂缝显现频度图(刘金峰, 1995)

5.5　地裂缝与地质构造的关系

从河北平原地裂缝的分布看, 地裂缝集中分布的两个条带, 大致呈北北东或北东方向展布。山前地裂缝分布带主要与山前大断裂走向一致。本带是新华夏系运动以来升降运动差异最大的分界线。而第二条带主要在冀中断陷及冀南断陷内, 本区在第三纪末, 尤其第四纪为强烈沉降区, 存在着强烈的构造差异活动, 是应力易于集中的地区。因此可见本区地裂缝与构造运动所产生的内应力有着密切的联系。

华北地区现代地壳处于一致性较好的应力场中, 其主压应力轴为NEE 向, 主张应力轴为NNW 向, 主应力轴的倾向都不大。在这个统一的应力场作用下,NNE 和NWW 是剪切应力最大的方向, 也是本区主要构造线展布方向。而地裂缝的走向绝大多数也为NNE、NE 向, 次为NW 及NNW 向。可见地裂缝的产生受控于地球内营力。

太行山山前断裂, 以正定附近NWW 向断裂为界分为南北两段。北段总体走向为NE30～40°, 南段为NE15～25°。该断裂控制着山区与平原区的地层分布, 断裂东侧新生代沉积物齐全(古新统除外), 而西侧只有厚度不大的上第三系及第四系。沿断裂带重力梯度变化明显, 近期有右旋扭动性质,

(下转第 116 页)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

利用市场机制推动水资源的优化配置、节约保护、高效利用和可持续发展。

3.3 改善生态,保持水土,抓好水源保护环节

城市水环境建设必须从源头抓起,持之以恒地改善生态环境,加强水土保持,涵养水源,增加可利用量。一要突出水源地的生态保护。要切实按照水环境功能分区的要求,落实水源地保护的政策措施、技术措施、监管措施,防止污染项目进区和人为生态破坏,提高水源地的水资源自我补给能力,保护水源地水质。二要突出城区的生态保护。合理确定工业、商业、旅游业、居住地的布局和发展结构,实行污染物排放总量控制和污染集中治理,最大程度防止污染物的扩散,降低对水源的影响。要提高城区绿地率,减少地面刚性覆盖率,加快透水性地砖等环保建材的推广应用,加快雨、污分流系统、雨水调蓄工程和渗水井的建设等,充分利用雨水补给地下水源。同时,应加快建设拦河坝、地下水库等拦蓄补源工程,千方百计增加地下水补给,避免超负荷污染导致水环境功能下降甚至资源变污染源,满足城市长远的生活、生产、景观等用水需要。三要突出大环境的生态保护。充分利用退耕还林、还草的政策机遇,加大植绿造绿和封山育林力度,增加植被覆盖率,涵养水源。

3.4 统筹兼顾,科学实施,抓好污水治理环节

一是城市污水治理应纳入城市经济和社会发展规划。城市建设的决策者应坚持规划先行的开发思路。有了规划应创造条件尽快审批,即使规划上有些问题还需进一步研究,也可先原则批准,对局部问题再做个案研究。同时,加强对规划及其法规的宣传,提高执法单位的自觉性,将因规划的滞后所造成的负面影响降到最低限度。二是重视和加强水环境治理建设项目的前期工作。可行性研究是合理利用投资和控制投资额度的关键环节。鉴于城市污水处理项目日益增多,在我国对城市污水处理项目还缺乏足够建设经验的情况下,应加强建设项目可行性研究,使可行性研究报告真正起到根据需要与可能,控制建设项目规模、内容、标准、投资和对效益进行分析的作用。同时应严格建设项目可研报告的评估和审批程序,对建设项目加强宏观调控,提高投资效益。三是建立科学的收费机制,推进城市水工业的企业化经营管理。建立科学的城市污水排放和治理的收费制度是发展城市污水处理事业的重要保障。目前,国家和政府主管部门虽已制定了排污收费制度,但具体收费办法还需进一步落实。收费的污水量应按用水量的80%~90%计,根据排放水质实行差别计价,按排放水质征收超标排污罚款。四是改革投资体制,拓宽城市治污项目投资渠道。要加快城市污水处理项目的建设,必须引入竞争机制,多方面筹集资金。逐步建立由财政投入、市场补偿、有偿使用、合理计价的多层次、多元化的投资渠道。

3.5 着眼文化,丰富内涵,抓好城市水文化培育环节

"城市水环境不是孤立的,它融在城市这个大环境中,融在城市文明和历史文化中。因此城市水环境建设要注重发掘城市文化内涵,提高城市水环境的品位。"[3]城市是一个地区的经济、文化中心,水文化是人文的重要组成部分,而水环境则是水文化的载体。"在城市水环境建设中,一定要打破传统的'粗、灰、冷',单纯追求安全性的建设模式,对水环境的建设要突出其文化性、艺术性、亲水性。"[4]以山东蓬莱市为例,近年来的防潮工程建设,紧紧围绕海滨风景旅游城市定位和独有的海洋文化、神仙文化做文章,重点结合蓬莱阁、蓬莱水城、戚继光表功祠和戚家牌坊等文化古迹的保护修缮,在防潮堤上布设了八仙雕塑、相关绿化小品等景观,水利工程的造型与周围的环境美化协调,不仅丰富了城市文化内涵,而且增加了人对防潮工程的亲切感。

参考文献:

[1] 梁山,赵金龙,葛文光.生态经济学[M].北京:中国物价出版社,2002.282,286.
[2] 靳怀春.城市建设要高度重视水环境问题[J].中国水利,2001(7):35.
[3] 张伟波.对城市水利的思考[J].中国水利,2001(7):34.
[4] 许晓彤.关于城市水环境建设的思考[J].中国水利,2001(7):37.

(上接第65页)

并为NWW向断裂切断,在它们的交汇处常有地震发生。在冀中断陷和冀南断陷内,受基底所控,位于NE向构造与NWW向(或NW向)的构造交汇部位,底板埋深最大,相应地裂缝分布也最为集中②。

总之,地质构造是控制地裂缝孕育发展、活动性质和展布格局的决定性因素。

6 结 语

河北平原是地裂缝的多发区。地裂缝在时间上的递增性、区域上的扩展性,以及危害的严重性日益引起各方面的重视。地裂缝形成原因多样,目前尚未达到完全的共识。初步分析认为地裂缝是以构造运动包括地震为基础,降水、地表水、地下水为促进,地形地貌、土体岩性为条件产生的。探讨地裂缝的分布规律及成因将有助于对地裂缝的形成及可能引发的灾害进行预防和治理,有一定的现实意义。

参考文献:

[1] 王景明.地裂缝与其灾害的理论与应用[M].西安:陕西科学技术出版社,2000.112-119.
[2] 刘金峰.任丘地区井孔注水和地震活动与地裂缝关系[J].河北地质学院学报,1995,18(6):574.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

维普资讯 http://www.cqvip.com

《水土保持学报》 第4卷第4期 1990年10—12月
ACTA CONSERVATIONIS SOLI ET AQUAE SINICA Vol. 4 No. 4 Oct. -Dec., 1990

河北平原地裂缝及其危害

王景明 马广达

（唐山工程技术学院）

摘要 河北平原地裂缝的广泛出现给地面建筑、水利设施和农田道路造成一定程度的危害。绝大部分地裂缝的空间分布、产状形态和位移动向具方向性、成带性、区域性和系统性等规律，在时间进程上具明显的周期性，河北平原的地裂活动从公元95年至今1900年间有记录者至少16次。分析认为，河北平原存在几种类型地裂缝，数量最多者是隐伏于地下的土层构造节理在地表水下渗、浸润、冲刷这一决定性的诱发因素附加作用下，传到地表显现成缝；次为断层活动在地表土层中发生的地裂缝。

关键词：地裂缝 土层构造节理 断层 地表水 河北平原

0 引 言

1963年3月邯郸市内最先发生地裂缝[1]，1966年邢台地震后急剧发展，多处地面破裂点连通成3条各长0.5～1 km的地裂缝，直接危害城市建设；1976年唐山地震后邯郸地裂缝迅猛发展，3条地裂缝迅速扩展各长达3～8 km。与此同时，河北平原出现大规模地裂缝，1978至1983年石家庄、保定、廊坊、沧州、天津和衡水等地区16个县已发现地裂缝77条[2]，与汾渭地裂缝[3]和苏鲁皖地裂缝[4]遥相呼应。近年来，河北平原地裂缝活动加剧，截至1989年6月我们调查为止，已波及39个县市共出现228条（图1）。它们不仅威胁工农业生产，又伴随强震迅速发展且今犹未止，因而引起广大群众的不安和地学界的关注。鉴于此，我院师生组队进行专题考察研究。

1 地裂缝危害

众多的河北平原现代地裂缝中，以邯郸市地裂缝发现最早、规模最大、危害最重，颇为典型。它们穿越工厂民居，横切管道路基，造成建筑物损坏、道路变形和管道破裂，给城市建设和人民生活带来很大危害，成为名符其实的地质灾害。截至1983年为止共损坏楼房7处，平房数十间、切断管道2处，损坏围墙数十堵，经济损失以百万计。1973年6月25日—7月5日几次暴雨后，永年县北部5乡14村60余km^2范围内发生一系列地裂缝[5]，规模较大者有11条，它们切断了尚固村、党村、大辛庄、相庄、康庄、韩营村的道路或渠道，破坏耕地和棉田；损坏故城村房屋6间，院墙4段；康庄多处民房地基开裂，树根撕裂，树冠歪倒。1983年6月13日枣强县胜屯发现地裂缝10处，使5户房屋15间和1户墙体开裂。1985年2月15日博野县程六市村发生长455m的地裂缝，使4栋民房下陷或凸起，门窗变形，水管错断。1988年7月15和17日两次大雨后，无极县东汉村出现成东西排列的28处塌陷坑（实沿地震地裂缝分布），多数民房裂缝，部分下

收稿日期：1990—04—17

维普资讯 http://www.cqvip.com

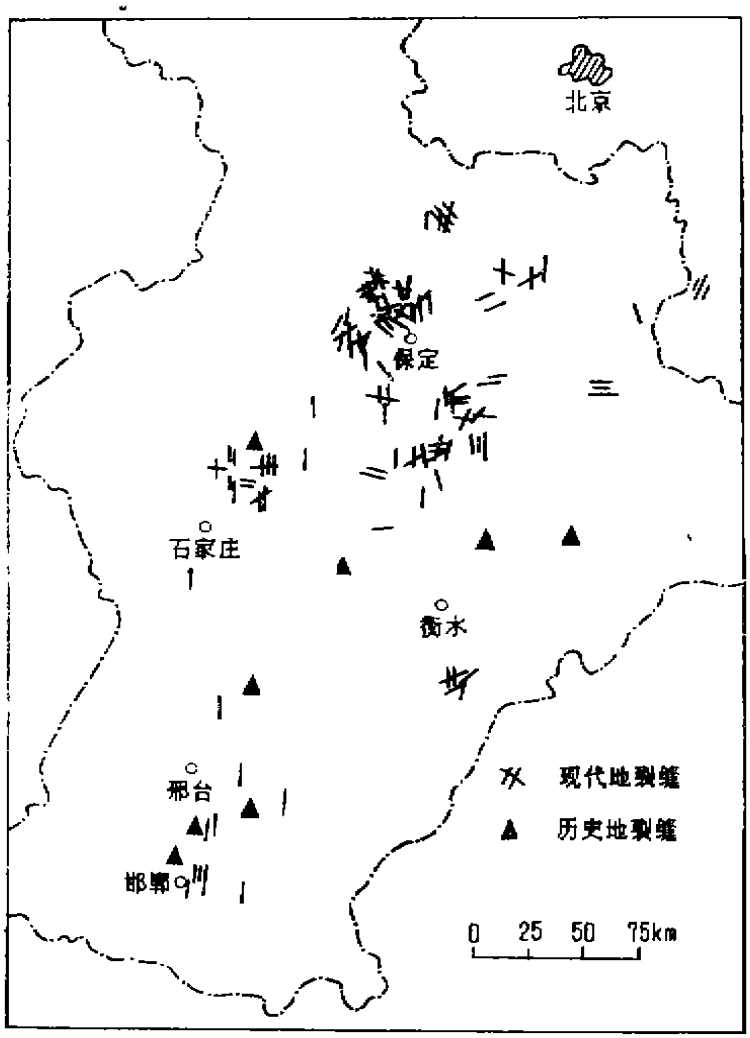


图1 河北平原地裂缝分布图

沉，一处倒塌，损失数以万无计。

总之，河北平原地裂缝的广泛出现给地面建筑、水利设施和农田道路造成一定程度的危害。与此同时，地裂缝也引起一定的社会效应。近年来河北平原有些地裂缝附近的油井、水井出现喷油，水位变化、井壁涌水和起泡现象等异常现象[2]。联想地震前兆从而引起周围群众的惶恐不安，影响了人民生活和生产的发展。

2 地裂缝特征

现已查明的地裂缝，均分布在广阔的河北平原区内太行山与燕山山前倾斜平原亚区和中部低平原亚区，发育在全新世巨厚的冲积和冲洪积相的亚砂土、亚粘土、粘土和砂层中。规模大小不一，一般单条长20～300m，短者仅10余m，长者如邯郸国棉一厂，地裂缝长达1 200m，向北断续延伸11km。调查表明，河北平原地裂缝长大于300m的有29条，大于500m者12条（表1）。一般宽2～50cm，最宽达1m，可见深度3m，邯郸卫校探槽底深98m处仍见地裂缝。暴雨后沿地裂缝多处出现落水洞，进而连通成沟。无极县胜屯落水洞陷坑直径宽达3m、深4m。地裂缝平面上成锯齿状、直线形或雁列式（见表1）；剖面上形如锯齿，裂口上宽下窄。裂面粗糙近直立，偶见下滑的擦痕，垂直位移1～19cm[1,2]，邯郸地裂缝张量为10cm。永年韩营地裂缝呈右型雁列；邯郸国棉一厂和民航宿舍围墙顺扭1cm，均显示它们为张扭性，与西安地裂缝[6]相似属构造地裂缝。对邯郸地裂缝的实际观测表明，地裂缝降量很大、张量次之、错量最小，三者的近似比例为9.5：5：1[1]。部分地裂缝呈S形和L形，围绕微地貌组合成环形和放射状，走向无明显规律，出现在坑塘沟，渠底和边缘的狭小地区延伸几米至几百米即行消失，裂口呈楔形向下延伸几米即兴灭，应属非构造地裂缝。绝大部分地裂缝的空间分布、产状形态和位移动向都有一定规律可循。概括起来有如下规律：

（1）方向性。所见228条地裂缝大体上循NW85°、NW55°、NE5°、NE30°和NE60°等固定方向延伸（图2A），其发育程度从强到弱依次是NE5°、NW85°、NW55°、NE30°和NE50°。虽然有部分地裂缝也受古河道或局部地貌控制，但调查表明，上述微地貌也多是受构造

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1　长度500m以上的地裂缝表

地　点	走　向	长　度（m）	发生时间（年、月）	主　要　特　征	破坏情况
大名县龙王庙	NE30°	500	1985.6	有裂缝几十条，由NE和NW两组组成锯齿状，宽30～50cm。	破坏民房
邯郸国棉一厂	NE10°	1 200	1966.3	宽1.5～4cm，裂缝不规则，有分支	礼堂、房屋地面开裂
邯郸电台	NE10°	1 850	1966.3	宽3～40cm，深5m处尚未消失	楼房、水管、民房和农田破坏
邯郸前郝村	NE10°	700	1966.3	宽0.4～30cm，断续分布，有分叉	农田开裂
邯郸汽车修配厂	NE80°	700	1968.7	雨水冲刷后，宽50cm，有NE向分叉	地面开裂
永年前党庄	EW	500	1973.7	宽50～80cm，可见深1.52～.5m，成串珠状陷坑。裂开时冒白气	破坏耕地和渠道
永年西相庄	NE60°	500	1973.7	宽50～100cm，分叉。距河床700m平行河床	破坏道路和农田
永年韩营村	NE30°	600	1973.7	由长30～50m走向NE60～70°的地裂缝排成雁列式组成，宽50～100cm。	破坏农田和道路
藁城南孟村	SN	1 000	1982.5	2条走向NS，1条NE，宽1～10cm	
辛集吴王村	NE86°	1 500	1985.7	宽2～3cm，裂缝面直立，两壁多坍塌	破坏棉田和粟地
完县才良村	SN	1 000	1985.7	沿小沟断续分布	
博野程六市	SN	大于500	1981.2	一长400m，一长455m，宽3cm	4栋房变形破
博野顿庄	EW	500	1981.7	断续沿河槽分布	坏，水管拉断

控制的；

（2）成带性。各条地裂缝横向多由一条主干裂缝和数条伴生地裂缝组成地裂缝带，成带定向延伸；

（3）区域性。上列各组地裂缝在全区均有发育，而且各处相应裂缝组的发育强弱程度也基本对应，具有明显的区域性特征；

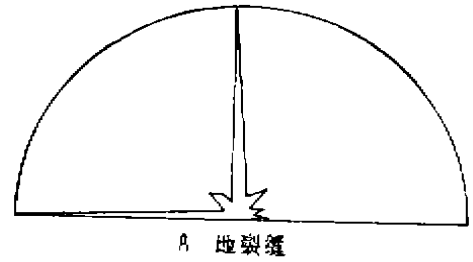
（4）系统性。通过对河北平原区成系统的土层构造节理的研究发现，5组地裂缝与该区分成两个节理系统的6组土层构造节理（图2B）中的5组完全对应，按其性质特征也可分为两个对应的地裂缝系，即由NE5°、NW85°和NE50°组成的节理系1；由NW55°和NE30°组成的地裂缝系2。

此外，河北平原地裂缝的发生有由北向南定向推移的规律。1963年在南端的邯郸首先发生地裂缝，于1966—1968年伴随邢台地震第一次出现高潮。此后，地裂缝的发生时间按序北移，1973年永年县北部，1978年正定大寨，1979年南和县南师分别出现地裂缝。其后出现地裂缝的地区是1981年保定、廊坊、天津（图3），1983年沧州、衡水及广大外围地区。

3　地裂缝活动的多期性

从图3中可以看出，邯郸地裂事件基本上发生在1963—1968年和1976—1983年两个集中的时间段，组成两个地裂活跃期，每期长14年。综合河北平原地裂缝活动也可明显地看出有两个同样

维普资讯 http://www.cqvip.com



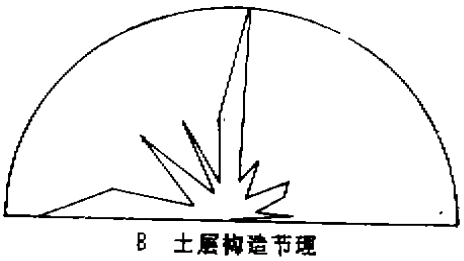


图2 河北平原地裂缝玫瑰图

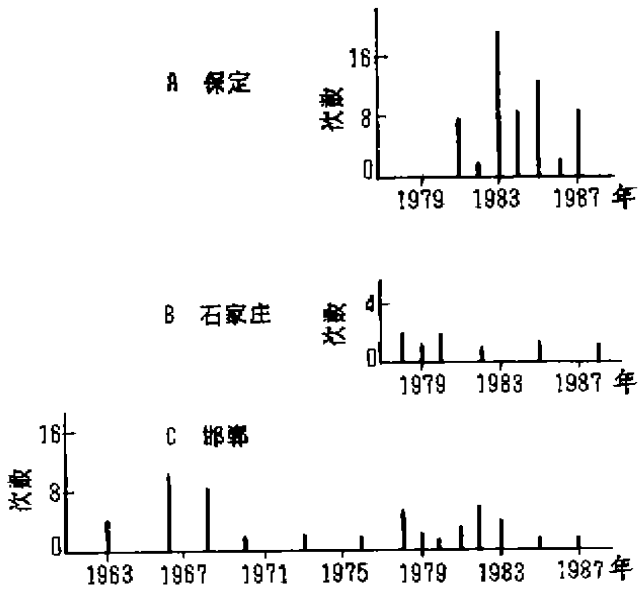


图3 三地区地裂缝活动时间对比图

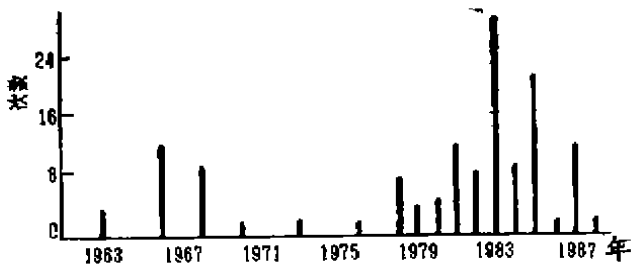


图4 全区地裂缝活动时间图

的地裂活跃期（图4），每期15年，期中地裂活动有时强时弱的周期性起伏。我们查阅了大量的史书、地方志和史料[7]，将所获历史地裂及其伴生现象列于表2，发现河北平原历史地裂缝有一定的时空分布规律。

3.1 空间分布上有明显的区域性

其表现是多起地裂缝几乎同步发生。如东汉公元95年易阳地裂（今永年），随后167年和171年上党地裂。又如1534年鸡泽、接着1564年永年、1637年隆平、1641年束鹿分别出现地裂。同步地裂之广，有助于说明它们是在统一的区域应力场作用下形成的；二是历史地裂延伸长，隆平陈墩村地裂长3.5km；三是地裂展布的空间位置大体与河北平原地震带吻合。

3.2 时间进程上具明显的周期性

3.2.1 *历史地裂在原地重复再现* 永年地裂自公元95年后的56年中重现3次；时隔1 405年后，自1564年起75年间重现4次，表明永年这一地裂敏感点的地裂活动具有阶段性。

3.2.2 *河北平原的地裂活动历史时期曾多次出现* 从公元95年开始至今1 990年间有记录者至少16次。从出现的时间上看有相对的集中期可称为地裂活跃期，每期2～5次，有时伴有地震活动；也有相对的静止期可称为地裂隐伏期，它介于两活跃期间，一般无地裂和地震活动。

3.2.3 *地裂活动期* 地裂活动期在76～122年间，平均105年，它们分别出现在东汉、北魏、唐、宋、元、明和近代；每一隐伏期持续时间较长，在244～341年间，平均为297年，分别出现在汉末、魏、唐、元、明初、清和民国等朝代。地裂活跃期与隐伏期周期性交替出现，一个隐伏期与随后出现的一个活跃期共同组成一个地裂活动周期，周期长366～554年。地裂的这种周期性活动与渭

维普资讯 http://www.cqvip.com

表2　河北平原历史地裂缝一览表

发生时间 名称	朝代	公元（年）	地点	现象与特征	周期（年）	资料来源
现代地裂	现代	1978—1987	河北平原	39个县市发生地裂228条地裂缝3条，走向NNE，累计长12km，下沉		
		1963—1968	邯郸		322	
明代地裂	崇祯14年	1641	束鹿	城东地裂长30丈阔尺许，深不可测，后乃渐合		试迁"可桂"
	崇祯12年	1639	永年	元月雪，地裂于北汪村	103	"古今图书集成"
	崇祯10年	1637	隆平	陈墩村地裂长7里，阔3丈		"古今图书集成"
	万历42年	1615	永年	县属刘营村地裂5丈，深无底。		永年县志
	隆庆2年	1568	乐亭	地震，东亭刘卞庄地裂3丈余，涌砂水。		永年府志
	嘉靖43年	1564	永年	地裂于永年刘营村，阔5丈，深不见底		康熙几辅通志
	嘉靖14年	1534春	鸡泽	地裂于鸡泽吴家营，阔2丈，长40步	244	康熙几辅通志
元宋地裂	至元18年	1290	献县	秋地震，地陷黑水涌出	122	献县志
	熙宁元年	1068	沧州	地震涌出沙泥，船板螺蚌之属	289	宋史
唐初地裂	大历12年	777	束鹿	地大震，束鹿、宁晋地裂数丈，沙石随水流出		唐书
	延昌元年	512	定州	并，朔，相，冀，定，瀛六州地震，雁门地震陷裂	265	魏书
	建宁4年	171	上党	河东地裂12处，裂合长十里百七十步，广者30余步，深不见底	341	山西通志
后汉地裂	永康元年	167	上党	五月丙午雒阳、高平、永寿亭，上党三氏地各裂	76	清苑县志
	延熹2年	159	永年	赵国易阳（今临洺关）地裂		永年县志
	永兴元年	153	永年	易阳地裂		永年县志
	永元7年	95	永年	易阳七月地裂，京师9月地震		天灾表

河地震带地裂活动相似[8]。宋元地裂和唐初两地裂周期中，地裂活动不甚明显，而是以中强活动后地震地裂缝形式出现的，因此两活跃期的持续时间与众不协调，显得太长，一为122年，一为265年。这是有待深入研究的问题。

鉴于目前正处于近代地裂活跃期，考虑到近代地裂自1963年发生以来，至今仅活动37年，若按地裂活跃期平均105年计，则未来68年河北平原仍处于构造地裂活跃期中。

4　地裂缝成因分析

由前述已知，河北平原存在几种类型地裂缝，它们的成因也不尽相同。

4.1　断层活动的反映

邯郸市电台地裂缝东侧地面下降19.3cm，其下对应的邯郸大断裂，从沿线布设的钻孔证实

维普资讯 http://www.cqvip.com

全新世断距4.5m[1]，向下至第四纪底板落差153m。可见断距随深度逐渐加大，与西安地裂缝[8]一样，邯郸地裂缝是一系列的生长断裂。断裂东侧汉以后沉降7.05m，运动速率4.01 mm/a[9]（图5）。邯郸断裂由一系列走向NE10°的阶梯状正断层组成[1]，断裂带10km，向北穿过永年。据史书记载，至今1900年来断裂带上的永年临洺关、刘营、北汪分别在公元95、153、159、1564、1615、1639年发生6次地裂缝（表2）。1973年永年故城地裂缝是其第七次再现。邯郸断裂沿线历史地震频繁，公元344年临漳、777年宁晋，1708年永年，1805年邢台、1830年磁县和1966年隆尧多次发生强烈地震。直至1982年5月29日邯郸市内还发生过4.9级地震，说明邯郸

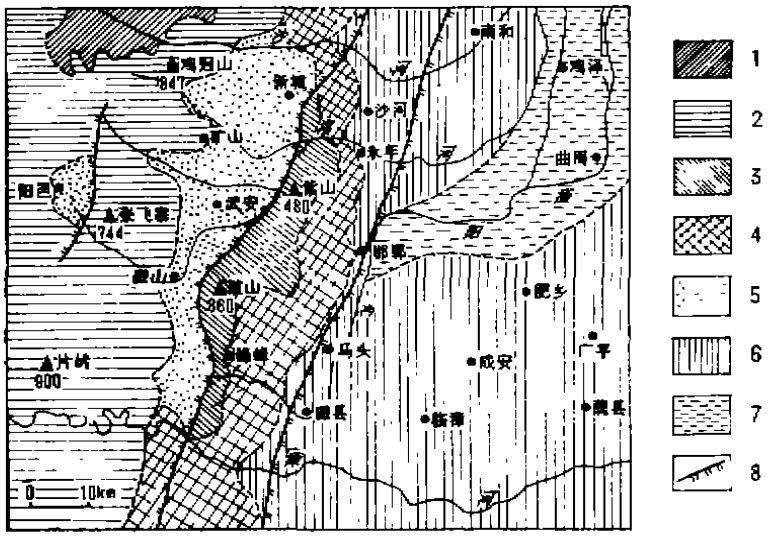


图5 邯郸地区地貌与构造运动略图

以上升运动为主的断块隆起区：1——前震旦系片麻岩构成的中低山地；2——寒武奥陶系碳酸盐岩构成的单面山；3——寒武奥陶系、石炭二迭系地层构成的断块山地及丘陵；4——二迭三迭系、第三系及第四系冰碛构成的山麓丘陵

以沉降运动为主的断陷区：5——新生代断陷盆地；6——新生代急剧沉降的山前冲洪积平原；7——山前冲洪积扇间低地与洼淀；8——活动断裂

断裂在不停息地活动，今犹未止。邯郸地裂缝和永年历史地裂是其频繁活动的反映。

与汾渭地裂缝类同[3]，在活断层附近发生的地裂缝，还有沿宁河——邢台断裂分别于公元777、1637、1641、1651年发生的束鹿、隆平、束鹿和安邱历史地裂（见表2）；沿与其交叉的NEE向断裂上，1988年束鹿（今辛集市）吴王村长1.5km的地裂缝；沿献县——曲周断裂的1534年鸡泽、1290年献县历史地裂，1987年肥乡和1983年枣强地裂缝。它们中的大多数也是断层活动的反映，可称为构造地裂缝。

4.2 区域应力加强土层构造节理开启的结果

河北平原全新世土层存在着构造节理[10]，我们在赵城、衡水、南宫、永年、邯郸和唐山观测600余条土层构造节理，发现它们共有6组（图2B），通常以紧密的闭合状态隐伏于各种土层中。1966年邢台地震前由于华北区域构造应力场急剧增强，隐伏闭合的土层构造节理在强应力作用下开启，为地裂缝的发生创造了良好的构造条件。随着邢台7.2级地震能量的大释放，河北平原南部的区域应力场一则以6.8万次余震，另则以土层构造节理开启成缝的形式释放能量，进行震后调整，因此于1968年在河北平原南部出现第一次地裂高潮。平息几年后，河北平原北部区域

维普资讯 http://www.cqvip.com

应力场再进一步加强，于1976年发生唐山大地震，该区的区域应力场亦以余震和土层构造节理开启成缝的形式释放能量，进行震后调整，于是自1978年始河北平原北部取代其南部成为地裂缝加速发展的中心，并于1983年出现第二次地裂高潮（见图4）。

4.3 地表水活动是地裂缝的决定性诱发因素

1978年6月18日晚正定县大寨村一村民浇地时，发现水全部下漏，第二天地里出现一南北方向地裂缝，宽一寸多，可见深大于3 m。更多的地裂缝是在大雨之后。据调查统计，河北平原出现在雨季6、7、8三个月份的地裂缝占总数的82%（图6），表明地裂缝与地下水活动密切相关。究其原因，虽然1966年前后区域应力场加强，促使研究区土层内部构造节理开启成缝，与黄土相似[11]，但因土层本身疏松多孔，深部开启缝向上分散消失而未能传至地表，偶有例外者也多因人类耕耘被土层反复掩没。土层的粉砂颗粒易被水冲刷，溶盐类物质也易被水浸润、溶解。当地表水渗入尤其是雨水冲刷流入地下后，水带走上述物质和大量粘土，并顺开启的土层构造节理缝流失，使其两壁扩宽，向上延伸到地表形成地裂缝，宽者成为地裂沟（图7）。这种构造地裂缝也可称为节理潜能地裂缝。

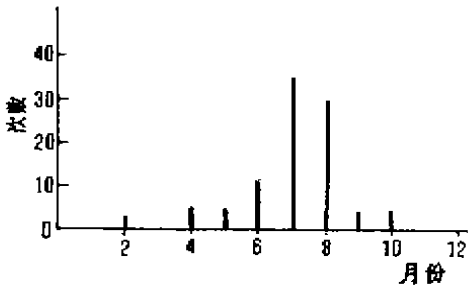


图6　全区地裂缝月发生次数对比图

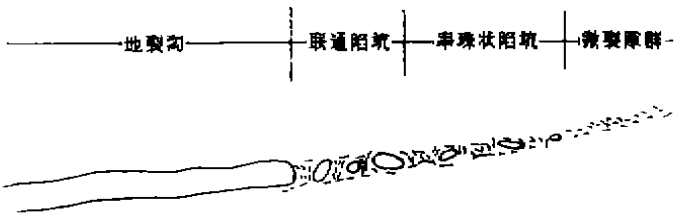


图7　永年县大辛庄地裂缝发展图示

4.4 重力作用的产物

1981—1984年保定地区易县、容城、涞水和徐水等县发现的地裂缝，多伴随大雨迅速发生[2]，这是由于土体边坡或古河床覆盖层，遇水饱和失稳产生滑移开裂形成的。它们在坑塘或其他汇水洼地中多呈环形、弧形；在堤坎、路堤路堑边、渠坝上多呈直线形；沟渠底和干河床中多呈S形，明显地受局部地貌的控制。表明其多是因重力作用而形成的非构造地裂缝。

综上所述，河北平原地裂缝成因有三：第一，数量最多者是隐伏于地下的土层构造节理在地表水下渗、浸润、冲刷这一决定性的诱发因素附加作用下传到地表显现成缝；次为断层活动在地表土层中发生的地裂缝。两者均为构造成因。第三种则为重力作用形成的非构造地裂缝。

本项研究工作由河北省教委科学基金资助，野外调查期间得到保定、石家庄、邢台、邯郸、衡水四个地区地震局和华北水电学院有关负责同志的支持；也得到瞿振生、刘爱萍、李连山、唐季琨、崔树人、韩学哲、马谦云、袁小沼、常振祥、杨体成、王禹良和李宏宇等工程师的帮助。参考了有关同志的调查材料，在此一并致谢。因许多地裂缝已被掩盖或破坏后地面上已见不到痕迹，其属性和特征难以辨认，不妥之处恳请指正。

维普资讯 http://www.cqvip.com

参考文献

〔1〕江娃利、聂宗笙：河北省邯郸市地裂缝成因探讨，《华北地震科学》，第3卷第4期。

〔2〕翟振生、刘德林、张振江、何春贵：冀中平原裂缝特征及其成因浅析，《河北地质学院学报》，1984年第2期。

〔3〕王景明（1989）：汾渭地裂缝与现代地震活动，《地震学报》，第11卷第1期。

〔4〕高维明：苏鲁皖地裂缝，《地震战线》，1979年第1期。

〔5〕张尔匡：永年县北部地裂现象的形成条件及其地质意义，《河北地质情报》，1976年第2期。

〔6〕王景明1980：论西安地裂缝，《地震地质》，第11卷第3期。

〔7〕河北省旱涝预报课题组编：《海河流域历年自然灾害史料》，气象出版社，1985年。

〔8〕王景明1987：渭河地震带地裂与地震活动的周期性，《地震学报》，第7卷第2期。

〔9〕张尔匡：邯郸古城历史变迁中的构造运动，《史前地震与第四纪地质文集》，陕西科学技术出版社，1982年。

〔10〕王景明：唐山地震与全新世构造应力场，《唐山工程技术学院学报》，1988年第3期。

〔11〕王景明1989，陈树强：陕西泾阳地裂缝灾害及其成因分析，《水土保持学报》，第3卷第1期。

Rift in the Hebei Plain and its harm

Wang Jingming Ma Guangda

(Tangshan College of Engineering and Technics)

Abstract The wide-ranging emergence of rift in the Hebei plain brings about certain extent of harm to the buildings on the ground, water conservancy installations, farmland and roads. Most of the rifts demonstrate the rules on direction, belt, regionality and system in the distribution of space, production shape and morphology, and trends of displacement, and it shows obvious periodicity in process of time. The cracking activity recorded in the Hebei plain is numbered at not less than 16 times during 1 900 years from A. D. 95 up to now. Through analysis it is thought that there are several types of rifts in the Hebei plain, most of which is the crevice showed in the surface, produced by additional effects of the determining inducing factors such as infiltration of surface water, wetting and scouring on the tectonics and joint of soil horizon hidden under the ground; another type is the one occurred in the horizon of surface soil during the activity of fault.

key words, rift tectonics and joint of soil horizon fault surface water Hebei plain

河北平原地裂缝调查分析与防治

田级生
(河北省地质矿产勘查开发局 石家庄市 050081)

提要 河北平原从 20 世纪 80 年代开始至今,出现大量地裂缝,使建筑物和道路交通遭受破坏,人民生活受到干扰,给国家和地方造成一定的经济损失,直接威胁着工农业生产和人民生活。该文在广泛调查基础上,总结出三种成因类型有:地动型、潜蚀型、胀缩型,揭示了不同类型地裂缝发生与发展的规律,有针对性的提出了防治对策。

关键词 地裂缝 塌陷 机制分析 防治对策

The Formation of Ground Fracture and its Prevention Measures

Tian Jisheng
(Bureau of Geology and Mineral Exploration of Hebei Province)

Abstract A lot of ground fractures have developed in Hebei plain since 1980's, which damaged buildings and traffic roads. The fractures as a kind of hazard disturbed the normal human life in the area and directly threaten the local industrial and agricultural production. That results in loss to national and local economics. Based on widely investigations the paper has summarized 3 types of fractures from different origins as follows: ground - moving type, groundwater resolving type and expansion - contracting type, which have revealed evolution process for different types of fractures. Prevention measures have been put forwards for the fractures.

Keywords ground fracture; collapsing; anti - fracturing analysis; prevention measures

1 前言

河北平原出现的地裂缝,大都分布在邯郸、永年、南和、柏乡、大名、赵县、正定、藁城、无极、新乐、辛集、顺平、涿州、固安、霸州、文安、任丘、肃宁、博野、安平、饶阳、深县、枣强等 40 余个县市的 70 多个乡村,300 余条地裂缝。其长度由数米至千余米不等,最大宽度 2m,可见最大深度达 6m 左右,并伴有地面塌陷与隐伏空洞;任丘至文安县的千里堤上,裂缝长大于 2000m,饶阳县境内的滹沱河北大堤地裂缝断续出现,延长达 1000m(图 1),地裂缝毁坏农田、公路、水利设施,使房屋开裂,地下管道受损等,造成数以千万元计的经济损失。从 20 世纪 80 年代至今,地裂缝在河北平原分布之广、发展之快、危害之大,是令人吃惊的。

作者简介:田级生,男,1935 年生,高级工程师,从事水文地质、工程地质、环境地质勘察与管理工作。

收稿日期:2003 - 04 - 28

2 地裂缝的成因与防治

地裂缝形成因素十分复杂,一般情况,是多种因素综合作用的结果。根据主导因素划分河北平原地裂缝成因类型为:地动型、潜蚀型、胀缩型三种基本类型。

2.1 地动型地裂缝

是由内动力地质作用(包括构造活动、地震活动等)而形成的地裂缝,它包括构造性地裂缝和非构造性地裂缝。

2.1.1 构造性地裂缝

系在强烈地震作用下,震中区地面可能出现的以水平错位为主的构造性地裂缝。它是强烈震动和断裂错位应力引起的,与发震断裂走向吻合,但不与其连通的地裂缝。这种地裂缝的力学特征与震源机制相对应。从宏观现象进行反演,可以确认这种地裂缝是由具有一定方向性的地面波动所产生的,而这种方向性又取决于下部基岩中发

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

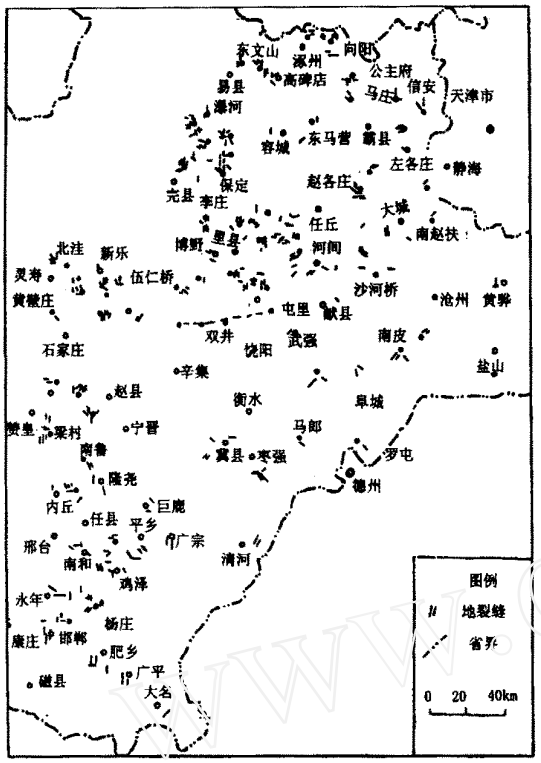


图 1　河北平原地裂缝分布

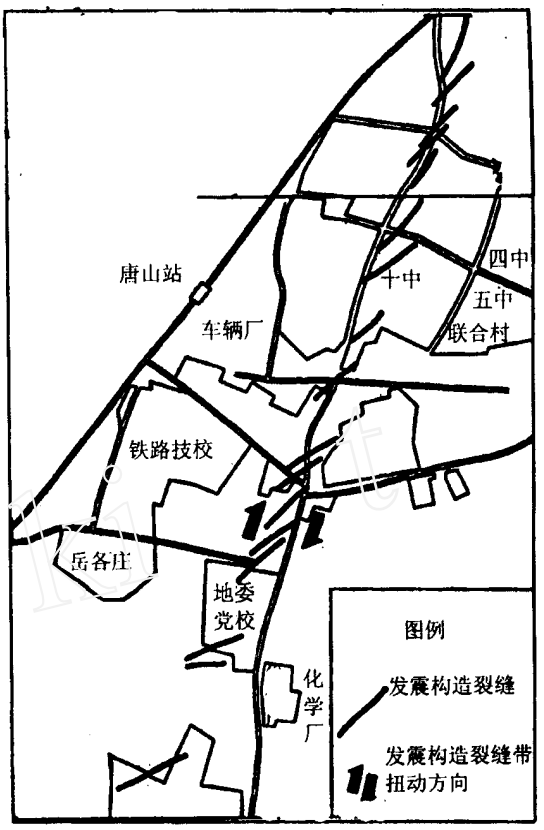


图 2　唐山 7.8 级地震构造裂缝带的分布

震断裂的主要形成机制。例如:1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震在极震区内产生了众多的地裂缝,规模最大的地裂缝是从唐山市小山东街开始,向南延伸到安机寨,由一系列的地裂缝排成雁列状,总长 8km、宽 30m,总体方向呈北东 30°,与发震断裂方向一致(图 2);水平方向上可以看出它是顺时针方向往右旋扭,最大水平错距达 1.53m,落差 0.7m。地裂缝发生之处,错断了道路、排树、房屋等一切地形地物。如横切唐山市吉祥路路面相对位移 1.46m。比唐山市地震滞后约 15h 发生的滦县 7.1 级地震,在安各庄三山院一带,出现了一系列构造地裂缝带,南起王家,经李各庄、三山院往北到铁局寨南止,顺溯河东岸残山呈弧形展布,总体走向呈南北,全长大于 6km,从王庄到三山院南一段,构造地裂缝总体走向为北西 20°,运动方式为左旋反时针扭动;在三山院附近,地裂缝为北东 10°方向,向北延伸,运动方式为右旋顺时针扭动(图 3)。它们与发震构造是一致的,是典型的构造性地裂缝。主要依据是:

1) 地面的地裂缝呈 V 字形,自地面向下 3～4m 范围内即行尖灭。

2) 在唐山地裂缝的正下方恰有唐山煤矿地下采煤的水平巷道,经详细调查,巷道内基岩未出现任何错动。

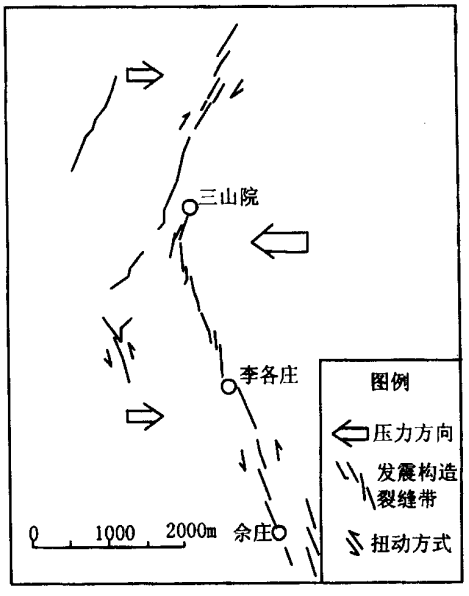


图 3　滦县 7.1 级地震发震构造裂缝带的分布

3) 根据唐山与滦县震后地形变形测量,证实震中区的地表水平位移向量分布与地裂缝总体走向在象限特征上完全一致。上述现象可作为一个反证,说明构造性地裂缝的生成机制与发震断裂机制一致。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.1.2 非构造性地裂缝

在强烈地震中,多种类型的非构造性地裂缝(即重力型地裂缝)是强烈地面运动的结果。受地形条件及土质条件控制而产生的,这种地裂缝多分布在陡坡、河岸、古河道等地与滑坡、崩塌、沉陷及其它地表变形现象相伴生。这类地裂缝一般规模较小、方向性不明显、开裂不深,破坏力比构造性地裂缝小。例如唐山大地震中,在市区双桥及其滦河、陡河和蓟运河下游平原上;滦县 7.1 级地震中有为数众多的地裂缝出现,开启裂缝宽度达 0.5m。在滦县安各庄等地也有较大幅度震陷在其边缘处;在邢台 7.2 级地震中,在古宁晋泊湖积冲积洼地控制下,沿滏阳河及古河道带上,该三处地震区内有多处地面震陷,在大面积震陷区的边缘地带出现张性地裂缝,并有垂直错动,其总体上是环状地裂缝带;还能见到地震砂土液化导致路基、堤坝、边坡等的纵向张性地裂缝或在岸边斜坡产生侧向滑移,其边缘处也常产生地裂缝;在强烈地震震中区的地面运动,受面波的影响较大,因而地面波动中常会产生侧向挤压和拉伸,从而出现没有规律的地裂缝。

地动型地裂缝是分布面积广、规模最大、危害最严重的一种类型。对于这种地裂缝的防治对策,其有效办法是采取躲避措施,如非建不可时,也不能横跨发震断裂,在建设区内要选用柔性钢筋混凝土网络状或整体基础。在基础底部及周围垫以适当厚度的砂层,以缓冲不均匀沉降,并使地基埋藏深度与地裂缝深度及其下卧软层深度相适应。

2.2 潜蚀型地裂缝

它的分布受控于地形地貌,大多分布在山前平原与中部平原交接地带、冲洪积扇前缘洼地、扇间洼地、古河道带及现代河道旁侧等地段。其中有 80 %以上的地裂缝出现在古河道及现代河道一侧。由于山前冲洪积扇地形发育辫状水系,河道经常迁移、当河床侧向移动,在堆积岸形成断续分布的基本平行的一系列滨河床沙坝,沙坝间有线状分布的小型浅洼地。沙坝上覆土层多为分选差的细粒物质,不均匀系数在 11.4～14.5 之间(不均匀系数 $d_{60}/d_{10} > 10$,易产生潜蚀),形成了两种渗透性能截然不同的岩层,渗透系数比为 5.2～8.9 (k_1/k_2,易产生潜蚀)。因此,土体结构与岩性为潜蚀型地裂缝的形成提供了基础条件。如滹沱河北岸的无极县东汉村及其村南堤坝上的地裂缝 1986～1988 三年间出现数次地裂缝灾害;再如拒马河北岸涿州向阳村与保定市候河沿岸的地裂缝,还有磁河南岸正定县大寨庄地裂缝,潴龙河北岸元氏县毛遗乡地裂缝等;分布在古洼地边缘的有赵县沟岸村、南和至任县公路地裂缝等。其展布方向大致与地表径流和地下径流方向一致或与河床呈锐角展布,每年发生的地裂缝的时间,都在雨季初期或中后期。

潜蚀型地裂缝的形成,是浅层地下水运移与包气带土体结构之间的作用结果。近年来,由于气候干旱和人类经济活动的影响,超量开采地下水,使山前平原浅层地下水位持续下降,第 I含水层大部被疏干,包气带土体厚度增大,土体结构与应力状态改变;同时也改变了地下水流动系统状态,在地质生态环境均衡状态下,地下水补给河水。目前,地质生态环境遭到严重破坏,使雨季河床行洪时河水补给地下水,水流渗透速度与水力坡度相应增大,动水压力增强。每年雨季,尤其是出现大暴雨时,使常年干涸的河道出现洪流,能迅速补给地下水,地表水与地下水之间,水力联系极为密切,浅层地下水开始回升,使包气带土层浸水软化,在土层底部与粗颗粒砂砾层接触处产生破坏渗透力,使土层发生流失和破坏,对土层产生渗透潜蚀、冲刷与掏空作用,形成土洞。在潜蚀作用下,土洞不断向上扩展,当顶板盖层自重大于其抗剪强度时,使土洞顶板土体失稳、土层剥落,土洞向上扩展,垮落的细粒物质被地下水流带走,导致地面下沉、开裂、形成地裂缝、塌陷坑与地下隐伏空洞。由于内聚力小,使塌陷坑或隐伏空洞多呈直筒状、漏斗状。故现代河道与古河道带两侧易产生地裂缝与塌陷。

河北省无极县东汉村 1988 年 7 月 15 日和 17 日两次大雨后短时间内发生了危及村民住房安全的地面塌陷和不均匀沉陷,大部分房屋开裂并有下沉。塌陷坑多为圆形,直径 1.0～1.5m,最大直径 3.0m 左右,塌陷深度 2～3m,最大 4m 以上(图 4)。由于地下水超量开采使地下水位埋深由 1966 年的 2～3m,下降到 2001 年 8 月的 20.9m。地层岩性主要为人工填土、粉质粘土和砂砾石层。汛期河床出现洪涌能迅速补给地下水。在较高的水力坡度(大于 5,水呈紊流状态)与粉质粘土和砂砾石层较大的渗透性差异下,导致潜蚀土洞的出现(如 1 号、24 号勘查孔发现土洞)。在水力坡度增大,动水压力增强和水流渗透速度差异悬殊的情况下,最终导致地面塌陷、地裂缝的形成(图 4)。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

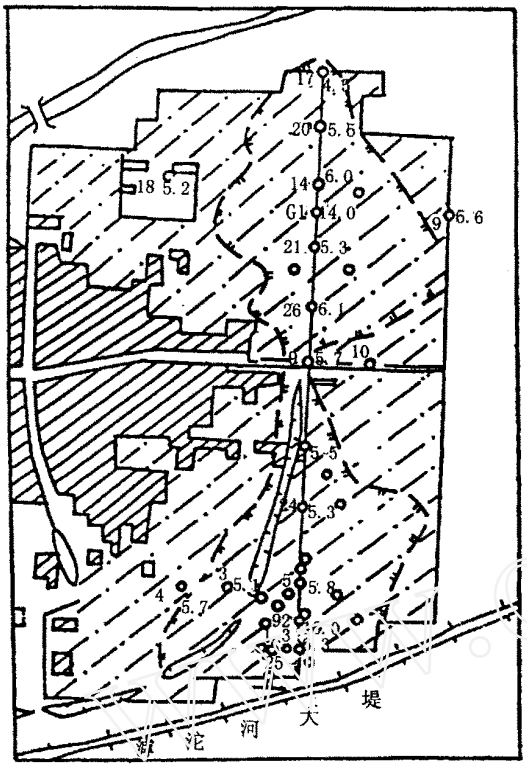


图 4　无极县东汉村土体塌陷分布示意(据黄月环等)

河北南和县地裂缝、塌陷主要分布在路庄、南师庄、三张、东候、胡庄、东韩、前郭平、后郭平、杨庄等村镇以及南任公路(南和县至任县) 5～10km (5 + 350～10 + 370) 路段内。灾害区产生在古大陆泽和古澧水河洪泛改道地区,现南任公路(7 + 700) 处西侧仍保留一段古河道遗址。从地质历史和现今地形地貌及沉积特征分析,灾害系属冲洪积扇前缘与冲洪积平原接壤的,经过河流长期迁徙改道,泛滥淤积而成的典型交接洼地(图 5) 。

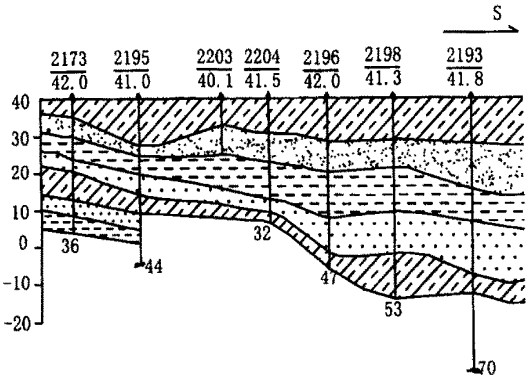


图 5　地裂缝与塌陷区地质剖面

为了判断灾害区是否为湿陷性黄土,于 1989 年在现场取回原状土样 4 组进行室内试验。

实验表明:地面 2m 以内湿陷系数 (δ_s) 介于 0.03～0.07 之间,属中等湿陷性,2m 以下 δ_s < 0.015 属非湿陷性。据此分析南和县地裂缝与塌陷的形成,排除了湿陷性黄土的作用,其根本原因是浅层地下水运移与土层结构之间作用的结果,是渗透潜蚀效应起主导作用。南和县浅层地下水位逐年缓慢下降过程中,形成了一定范围的水位下降漏斗区,改变了地下水径流状态,使水力坡度和流速增大,对土层产生潜蚀、冲刷和淘空作用,形成土洞。当土洞顶板达到或接近极限平衡状态时,其降雨、灌溉和雨季洪流渗透引起浸润作用,又能使土洞顶板土体软化和增荷,从而失稳开裂与塌陷。

渗透潜蚀模式可在包气带的双层结构与多层结构层状土体中见到,其发展过程首先引起地面变形下沉,而后是开裂,地面建筑物基础与墙体出现裂缝,进而产生地面及地下隐伏空洞。

对潜蚀型地裂缝的防治对策,从发展角度考虑,应该彻底改善河北平原地质生态环境,严格控制浅层地下淡水开采量,促进地下水位稳定,以减缓和停止地裂缝的活动。必须树立全民、全社会节水意识,增强保护水资源的紧迫感和责任感,实现河北平原经济的可持续发展。

从现实条件考虑,要切实加强地面排水设施,凡产生地裂缝的场地,地面排水普遍不畅,或因地面坡度太缓无排水设施,或因河道两岸堤坝障碍,暴雨季节容易产生暂时性地面积水,只要改善排水环境,通过人工治理,可以使地裂缝停止活动;对于河道两岸与古洼地边缘,曾多次发生过渗透潜蚀作用而产生的地裂缝灾害多发区段内,对拟建重要工程项目,应避开或远离这些危险区。

2.3　胀缩型地裂缝

河北发现该类型地裂缝比较典型的要属张家口怀涿盆地东端,官厅水库库区(河北部分) 浸没范围内,浅部土体埋藏有第四系下更新统湖相沉积的灰绿色以蒙脱石 - 伊利石强亲水矿物为主的粘性土。具有明显膨胀性。丰水年入库径流量猛增,库区水位抬升,淹没范围扩大,膨胀土被库水淹没;枯水年库区水位连续下降,使膨胀土失水,干燥后产生明显的地面变形,浸没区内形成地裂缝带,长达数十米、深数米,展布方向不规则,常有光滑面和擦痕,地裂缝中常充填灰白、灰绿色粘土,地裂缝宽度随季节变化,雨季多呈闭合状。

其次,河北邯郸南部磁县九龙口一带分布有第三系中新统九龙口组紫红色膨胀土。其物理力学指标如下表 1。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 磁县九龙口膨胀土物理力学指标

天然含水量 ω /%	容重 r /(kN·m^{-3})	孔隙比 e	液限 ω_L /%	塑指 I_p /%	液性指数 I_L /%	粘粒含量 /%	自由膨胀率 F_s /%	膨胀率 e_p	膨胀力 P_p /MPa	线缩率 δ_{si} /%
23.0	19.61	0.67	50.8	26.7	0.05	31	80	3.01	0.056	4.48

膨胀土灾害在地基防治方面,有防水、保湿、砂垫法、桩基等卓有成效的措施。为能够真正取得预防和治理膨胀土灾害的效果,要准确判别膨胀土。错判会造成不应有的浪费,漏判则会给工程埋下隐患。膨胀土胀缩变形系膨胀土的主要矿物成分蒙脱石和伊利石具有较高的亲水性,活动性前者为 1.5～7.2,后者为 0.9,而高岭石活动性仅为 0.33～0.46。当失水时土体就收缩,出现地裂缝,遇水即膨胀隆起,因此,土中含有蒙脱石与伊利石的多少直接决定土的膨胀性大小;另外,膨胀土粘粒含量高,吸水能力强,胀缩变形就大。因颗粒小,比面积大,颗粒负电场与极性水分子之间吸引作用,或由于阳离子的水化作用等影响所致。

3 结语

河北平原地裂缝成因类型有三种基本类型:地动型、潜蚀型、胀缩型。

1) 地动型地裂缝。是由内动力地质作用形成的地裂缝,它包括构造性与非构造性地裂缝。对该类型地裂缝的防治对策,其有效办法是采取躲避措施。

2) 潜蚀型地裂缝。是由于过量开采浅层地下水形成水位下降漏斗,其漏斗长轴展布方向与地表径流方向一致,在此方向上雨季地表径流垂直渗透作用较强,水力坡度相应增大。冲刷与潜蚀及细颗粒物质搬运作用亦最为强烈,造成地裂缝与地面塌陷。对该类型地裂缝的防治对策,要切实加强地表排水措施,只要改善排水环境,通过人工治理,可以使地裂缝停止活动。该类型地裂缝仅在地表浅部发育,地裂缝尖灭深度一般为 2～3 m。最深不超过 5～6 m,可采用粘土或水泥及时填堵措施。

3) 胀缩型地裂缝。系地表浅部埋藏有以蒙脱石亲水矿物成分为主的粘性土,具有明显吸水膨胀、失水收缩的特点。该类型地裂缝的防治对策,为保证建筑物地基与基础稳定性可采取防水、保湿、砂垫法、桩基等措施。

参考文献

1 田级生. 河北南和县地裂缝与塌陷的基本特征及形成机制的探讨. 中国地质灾害与防治学报,1991,2(4):26～33

2 GB50021-94 岩土工程勘察规范

(上接第 47 页)

参考文献

1 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础. 北京:地质出版社,1995

2 王焰新,孙连发,罗朝辉,等. 指示娘子关泉群水动力环境的水化学—同位素信息分析. 水文地质工程地质,1997,(3):1～5

3 韩行瑞,等. 岩溶水系统——山西岩溶大泉研究. 北京:地质出版社,1993

4 煤炭科学研究院地质勘探研究所,等. 数学地质基础与方法. 北京:煤炭工业出版社,1981

5 李志勇,邹静蓉,谢强. 红层路堑边坡工程地质及系统聚类分析研究. 工程勘察,2002,(2):5～7

6 朱艳红,周志芳. 某水电站坝址区地下水水质模糊聚类分析及成因研究. 勘察科学技术,2001,(6):15～19

7 李劲,闫波,丁志安,等. 聚类分析在优化地下水监测点位中的应用. 中国环境监测,1997,13(4):15～18

8 张立杰,刘琦,张焕智. 聚类分析方法及其在水文地质分析中的应用. 长春科技大学学报,1999,(4):349～354

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

* 文章编号:1001 - 9383(2003)03 - 0187 - 06

河北平原地裂缝形成机制与防治

田级生[1],王庆录[2]
(1. 河北省地质矿产勘查开发局,石家庄 050081;
2. 灵寿县国土资源局,灵寿 050500)

【摘　要】 河北平原从 20 世纪 80 年代开始至今,出现大量地裂缝,使建筑物和道路交通遭受破坏,人民生活受到干扰,给国家和地方造成一定的经济损失,直接威胁着工农业生产和人民生活。笔者在广泛调查基础上,总结出三种成因类型有:地动型、潜蚀型、胀缩型,揭示了不同类型地裂缝发生与发展的规律。

【关键词】 地裂缝;塌陷;机制分析;防治对策
【中图分类号】 P 315　　【文献标识码】 A

The formation of ground fracture and its prevention measure

TIAN Ji-sheng[1], WANG Qing-lu[2]
(1. Bureau of Geology and Mineral Exploration of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, Chnia
2. Bureau of Land and Natural Resources of Lingshou County, Lingshou 050500, China)

Abstract　A lot of fractures developed in Hebei Plain since 1980's, which damaged buildings and traffic roads. The fractures as a kind of hazards disturbed the normal human life in the area and directly threaten the local industrial and agricultural production, which results in loss to national and local economics. Based on widely investigation, the author has summarized 3 types of fractures in different origins as follows: ground-moving type, groundwater resolving type and expansion-contracting type, which have revealed evolution process for different types of fractures. Prevention measures have been put forwards for the fractures.

Keywords　Ground fracture; Collapsing; Anti-fracturing analysis; Prevention measure

1　概述

河北平原出现的地裂缝,大都分布在邯郸、永年、南和、柏乡、大名、赵县、正定、藁城、无极、新乐、辛集、顺平、涿州、固安、霸州、文安、任丘、肃宁、博野、安平、饶阳、深县、枣强等 40 余个县市的 70 多个乡村,300 余条地裂缝。其长度由数米至千余米不等,最大宽度 2m,可见最大深度达 6m 左右,并伴有地面塌陷与隐伏空洞;任丘至文安县的千里堤上,裂缝长大于 2000m,饶阳县境内的滹沱河北大堤地裂缝断续出现,延长达 1000m。地裂缝毁坏农田、公路、水利设施,使房屋开裂,地下管道受损等,造成数以千万元计的经济损失。这些情况足以说明,从 20 世纪 80 年代至今,地裂缝在河北平原分布之广、发展之快、危害之大,是令人吃惊的。

笔者曾经通过野外调查,并对部分地裂缝进行过现场考察和研究,认为要对地裂缝进行有效防治,首先必须正确划分地裂缝成因类型,掌握其发生发展规律,这是极为重要和关键的一步。

* 收稿日期:2002 - 12 - 00
作者简介:田级生(1935 -),男,高级工程师,从事水文地质、工程地质及环境地质勘察的研究

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 地裂缝的成因与防治

地裂缝形成因素是十分复杂的,很多情况下,是多种因素综合作用的结果。因此,只能根据主导因素划分出河北平原地裂缝成因类型:地动型、潜蚀型、胀缩型三种基本类型。

1.1 地动型地裂缝

是由内动力地质作用(包括构造活动、地震活动等)而形成的地裂缝,它包括构造性地裂缝和非构造性地裂缝。

1.1.1 构造性地裂缝 系在强烈地震作用下,震中区地面可能出现的以水平位错为主的构造性地裂缝。它是强烈震动和断裂位错应力引起的,与发震断裂走向吻合,但不与其连通的地裂缝。所谓构造性地裂缝特别是指这种地裂缝的力学特征与震源机制相对应。但它们仍然是地面强烈波动(是由于地震作用产生的水平力所造成的面波,地震水平力的产生,是由地震加速度引起的。)的结果,而不是发生地震的震源。从宏观现象进行反分析,可以确认这种地裂缝是由具有一定方向性的地面波动所产生的,而这种方向性又取决于下部基岩中发震断裂的主要机制。例如:1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震在极震区(强烈地震时,破坏最严重的地区称为极震区)内产生了众多的地裂缝,规模最大的地裂缝是从唐山市小山东街开始,向南延伸到安机寨,由一系列的地裂缝排成雁列状,总长 8km、宽 30m,总体方向呈北东 30 度,与发震断裂方向一致;水平方向上可以看出它是顺时针方向往右旋扭,最大水平错距达 1.53 m,落差 0.7 m。地裂缝发生之处,错断了道路、排树、房屋等一切地形地物。如横切唐山市吉祥路路面相对位移 1.46m。与唐山市地震同年同月同日仅滞后约 15 h 发生的滦县 7.1 级地震,震中区商家林与安各庄变成一片废墟,滦县公路大桥遭到破坏,在安各庄三山院一带,出现了一系列发震构造地裂缝带,南起王家,经李各庄、三山院往北到铁局寨南止,顺溯河东岸残山呈弧形展布,总体走向呈南北,全长大于六公里,从王庄到三山院南一段,构造地裂缝总体走向为北西 20 度,运动方式为左旋反时针扭动;在三山院附近,地裂缝为北东 10 度方向,向北延伸,运动方式为右旋顺时针扭动(图 1)。它们与发震构造是一致的。许多震害调查报告认为它们就是唐山与滦县地震的发震断裂,但是经过有关单位利用多种手段查证,发现它们是典型的构造性地裂缝。主要论据是:

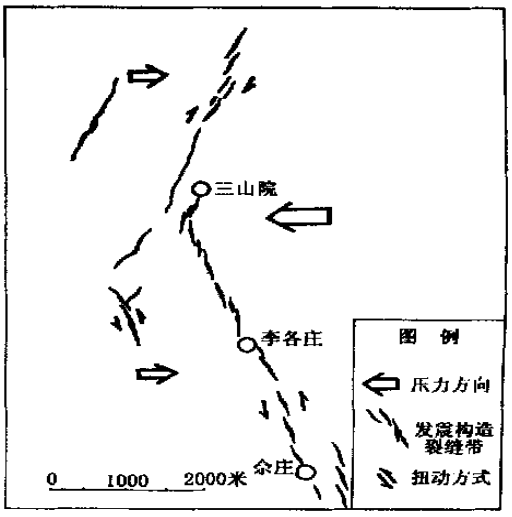


图 1 滦县 7.1 级地震发震构造裂缝带的分布

(1) 地面的地裂缝呈 V 字形,自地面向下 3 - 4m 范围内即行尖灭。

(2) 在唐山地裂缝的正下方恰有唐山煤矿地下采煤的水平巷道,经详细调查,巷道内基岩未出现任何错动。

(3) 根据唐山与滦县震后地形变测量,证实震中区的地表水平位移向量分布与地裂缝总体走向在象限特征上完全一致。上述现象可作为一个反证,说明构造性地裂缝的生成机制与发震断裂机制一致。

1.1.2 非构造性地裂缝 在强烈的地震中,还可以看到,多种类型的非构造性地裂缝(重力型地裂缝),它们是强烈地面运动的结果。受地形条件及土质条件控制而产生的,这种地裂缝多分布在陡坡、河岸、古河道等地与滑坡、崩塌、沉陷及其它地表变形现象相伴生。这类地裂缝一般规模较小、方向性不明显、开裂不深,破坏力不如构造性地裂缝大。例如唐山大地震中,在市区双桥及其滦河、陡河和蓟运河下游平原上;滦县 7.1 级地震中沙河两岸出现过喷水冒沙现象,有为数众多的地裂缝出现,开启裂缝宽度达 0.5m。在滦县安各庄等地也有

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

较大幅度震陷在其边缘处;在邢台 7.2 级地震中,在古宁晋泊湖积冲积洼地控制下,沿滏阳河及古河道带上,该三处地震区内有多处地面震陷,在大面积震陷区的边缘地带出现张性地裂缝,并有垂直错动,其总体上是环状地裂缝带;还能见到地震砂土液化导致路基、堤坝、边坡等的纵向张性地裂缝或在岸边斜坡产生侧向滑移,其边缘处也常产生地裂缝;在强烈地震震中区的地面运动,受面波的影响较大,因而地面波动中常会产生侧向挤压和拉伸,从而也会出现没有规律的地裂缝。

地动型地裂缝是分布面积广、规模最大、危害最严重的一种类型。对于这种地裂缝的防治对策,其有效办法是采取躲避措施,即使拟建的工程项目特别是重大工程建设项目,避开这些全新活动断裂和地震高烈度区。如非建不可时,也不能横跨发震断裂,在建设区内要选用柔性钢筋混凝土网络状或整体基础。在基础底部及周围垫以适当厚度的砂层,以缓冲不均匀的沉降作用,并使地基埋藏深度与地裂缝深度及其下卧软层深度相适应。

1.2　潜蚀型地裂缝

它的分布受控于地形地貌条件,大部分布在山前平原与中部平原交接地带、冲洪积扇前缘洼地、扇间洼地、古河道带及现代河道旁侧等地段。其中有 80 %以上的地裂缝出现在古河道及现代河道一侧。由于山前冲洪积扇地形发育辫状水系,河道经常迁移、当河床侧向移动过程,在堆积岸形成断续分布的基本平行的一系列滨河床沙坝,沙坝间有线状分布的小型浅洼地。沙坝上覆土层多为现代河道与古河道洪泛堆积的,分选差的细粒物质,不均匀系数在 11.4 - 14.5 之间(不均匀系数 d60/ d10 > 10,易产生潜蚀),形成了两种渗透性能截然不同的岩层,渗透系数比为 5.2 - 8.9(k1/ k2 > 2,易产生潜蚀)。因此,土体结构与岩性为潜蚀型地裂缝的形成提供了基础条件。如滹沱河北岸的无极县东汉村及其村南堤坝上的地裂缝从 1982 年开始,1986～1988 三年间出现数次地裂缝灾害;再如拒马河北岸涿州向阳村与保定市候河沿岸的地裂缝,还有磁河南岸正定县大寨庄地裂缝,潴龙河北岸元氏县毛遗乡地裂缝等;分布在古洼地边缘的有赵县沟岸村、南和至任县公路地裂缝等。其展布方向大致与地表径流和地下径流方向一致或与河床呈锐角展布:每年发生的地裂缝的时间,都在雨季初期或中、后期。

潜蚀型地裂缝的形成,是浅层地下水运移与包气带土体结构之间的作用结果。近年来,由于气候干旱和人类经济活动的影响,超量开采地下水,使山前平原浅层地下水位持续下降,第 I含水组大部被疏干,包气带土体厚度增大,土体结构与应力状态改变;同时也改变了地下水流动系统状态,在地质生态环境均衡状态下,地下水补给河水。目前,地质生态环境遭到严重破坏,使雨季河床行洪时河水补给地下水,水流渗透速度与水力坡度相应增大,动水压力增强。每年雨季,尤其是出现大暴雨时,使常年干涸的河道出现洪流,能迅速补给地下水,地表水与地下水之间,水力联系极为密切,浅层地下水开始回升,使包气带土层浸水软化,在土层底部与粗颗粒砂砾层接触处产生破坏渗透力,使土层发生流失和破坏,对土层产生渗透潜蚀、冲刷与掏空作用,形成土洞。在潜蚀作用下,土洞不断向上扩展,当顶板盖层自重大于其抗剪强度时,使土洞顶板土体失稳、土层剥落,土洞向上扩展,垮落的细粒物质被地下水流带走,导致地面下沉、开裂、形成地裂缝、塌陷坑与地下隐伏空洞。由于内聚力小,使塌陷坑或隐伏空洞多呈直筒状、漏斗状。故现代河道与古河道带两侧易产生地裂缝与塌陷。

1.2.1　潜蚀型地裂缝实例与分析　　河北省无极县东汉村 1988 年 7 月 15 日和 17 日两次大雨后短时间内发生了危及村民住房安全的地面塌陷和不均匀沉陷,大部分房屋开裂并有下沉。塌陷坑多为园形,直径 1.0～1.5 m,最大直径 3.0m 左右,塌陷深度 2～3m,最大 4 m 以上(图 2)。由于地下水超量开采使地下水位由 1966 年的 2～3 m,下降到 2001 年 8 月实测水位埋深 20.9m。地层岩性主要为人工填土、轻亚砂土、亚粘土和砂砾石层。汛期河床出现洪流能迅速补给地下水。在较高的水力坡度(大于 5,水呈紊流状态)与轻亚粘土(小于 0.1m/ d)和砂砾石层(6 - 8 m/ d 及 20 m/ d)较大的渗透性差异下,导致潜蚀土洞的出现(如 1 号、24 号勘查孔发现土洞)。在水力坡度增大,动水压力增强和水流渗透速度差异悬殊的情况下,最终导致地面塌陷、地裂缝的形成(表 1,图 4)。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

河北南和县地裂缝、塌陷主要分布在路庄、南师庄、三张、东候、胡庄、东韩、前郭平、后郭平、杨庄、等村镇以及南任公路(南和县至任县)5—10km(5km + 350m—10km + 370m)路段内。灾害区产生在古大陆泽和古澧水河洪泛改道地区,现南任公路(7km + 700)处西侧仍保留一段古河道带遗址。从地质历史和现今地形地貌及沉积特征分析,灾害系属冲洪积扇前缘与冲洪积平原接壤的,经过河流长期迁徙改道,泛滥淤积而成的典型交接洼地(图 3)。

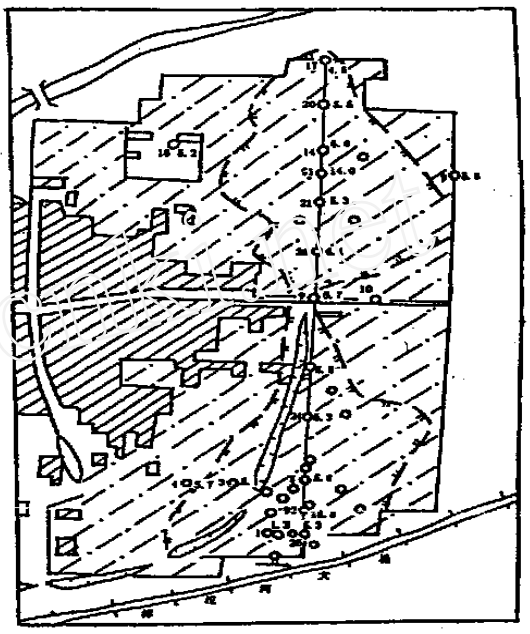


图 2 无极县东汉村土体塌陷分布示意图(据黄月环等)

为了判断灾害区是否为湿陷性黄土,于 1989 年在现场取回原状土样 4 组进行室内试验。原状土样按土工试验规程双线法进行压缩试验。一个土样保持天然含水量,另一土样则在 0.5kg/cm^{2}时达到稳定后,自试样底部加水,待稳定后继续进行压缩试验,按$\delta s = (hp - hp)/ho$ 计算湿陷系数,天然状态下物理及力学性质指标(见表 2)。

灾害区是大陆泽和古澧水河流泛滥区,属河流变化频繁区,两侧堆积阶地或古河道上部以及被填埋的池、沼、坑塘地段,是属新堆积的黄土,不属一般干旱气候形成的黄土。地面 2m 以内湿陷系数(δs)介于 0.03—0.07 之间,属中等湿陷性,2m 以下$\delta s < 0.015$ 属非湿陷性。据此分析南和县地裂缝与塌陷的形成,排除了湿陷性黄土的作用,其根本原因是浅层地下水运移与土层结构之间作用的结果,是渗透潜蚀效应起主导作用。南和县浅层地下水位逐年缓慢下降过程中,形成了一定范围的水位下降漏斗区,改变了地下水径流状态,使水力坡度和流速增大,对土层产生潜蚀、冲刷和淘空作用,形成土洞。当土洞顶板达到或接近极限平衡状态时,其降雨、灌溉和雨季洪流渗透引起浸润作用,又能使土洞顶板土体软化和增荷,从而失稳开裂与塌陷。

表 1 河北省无极县东汉村土工试验成果统计表

土体名称	地层深度		含水量(%)	容重	比重	空隙比	空隙度(%)	饱和度(%)	液限	塑限	塑性指数 Ip	液性指数 Il	压缩模量	压缩指数
轻亚粘土	0.5～4.3	平均值	11.4	1.75	2.72	0.741	42.3	45.5	28.6	17.7	10.9	0.09	99.7	0.02
		最大平均值	15.2	1.90	2.73	0.799	44.2	66.3	30.6	19.5	11.3	0.19	133.1	0.024
		最小平均值	8.1	1.68	2.71	0.669	39.8	31.0	27.4	16.8	10.6	0.05	80.6	0.016
轻亚粘土	2.3～5.2	平均值	6.6	1.73	2.72	0.679	40.4	26.4	26.7	16.7	10.5	0.00	137.3	0.012
亚粘土	2.36～5.9	平均值							31.5	18.3	13.2			

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

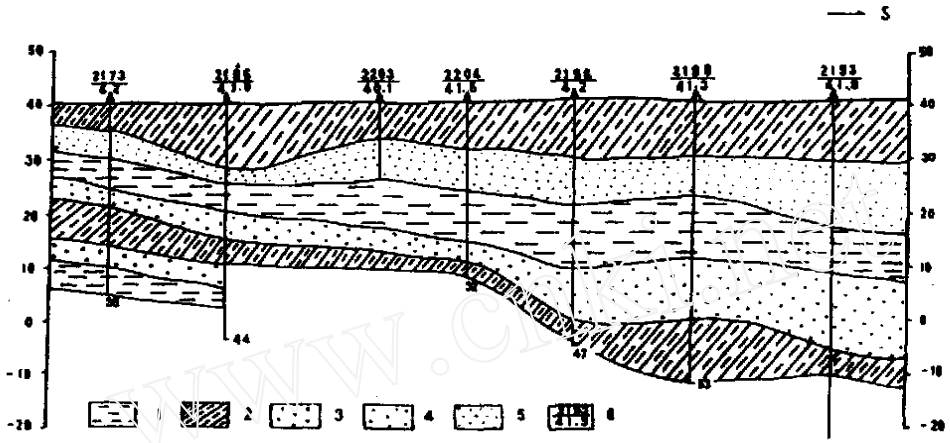


图 3　地裂缝与塌陷区地质剖面图

1 —粘土; 2 —砂质粘土; 3 —中粗纱; 4 —中砂;
5 —细砂; 6 —分子为粘孔编号,分母为地面标高(m)

表 2　天然状态下土体物理及力学指标

土样号	取土深(m)	物理及力学性质													土体岩性
		天然含水量 w(%)	容重 自然状态 r	容重 干燥状态 re	比重 G	饱和度 Sr(%)	孔隙比 e	孔隙率 n(%)	液限 W_L	塑限 WF	塑性指数 I_p	液限指数 I_L	压缩系数 a 1～2 cm^2/kg	压缩模量 E 1～2 kg/cm^2	
1	0.75 - 1.0	15.1	1.57	1.36	2.7	41.6	0.979	49.5	26.7	15.4	11.3	- 0.03	0.088	21.72	亚粘土
2	1.0 - 1.25	18	1.58	1.34	2.7	47.8	1.016	50.4	28.1	16.05	12.05	0.12	0.098	19.49	亚粘土
3	1.5 - 1.8	13.5	1.56	1.4	2.7	34.1	0.935	48.3	26	15	11	- 0.29	0.042	44.29	亚粘土
4	2.0 - 2.25	18.7	1.61	1.36	2.7	50.8	0.998	49.9	29	16.5	12.5	0.18	0.03	65.33	亚粘土

渗透潜蚀模式可在包气带的双层结构与多层结构层状土体中见到,其发展过程首先引起地面变形下沉,而后是开裂,地面建筑物基础与墙体出现裂缝,进而产生地面及地下隐伏空洞。

对潜蚀型地裂缝的防治对策,从发展角度考虑,应该彻底改善河北平原地质生态环境,严格控制浅层地下淡水开采量,促进地下水位稳定,以减缓和停止地裂缝的活动。必须树立全民、全社会节水意识,增强保护水资源的紧迫感和责任感,实现河北平原经济的可持续发展。

从现实条件考虑,要切实加强地面排水设施,凡产生地裂缝的场地,地面排水普遍不畅,或因地面坡度太缓无排水设施,或因河道两岸堤坝障碍,暴雨季节容易产生暂时性地面积水,只要改善排水环境,通过人工治理,可以使地裂缝停止活动;对于河道两岸与古洼地边缘,曾多次发生过渗透潜蚀作用而产生的地裂缝灾害多发区段内,对拟建重要工程项目,应避开或远离这些危险区。

2.3　胀缩型地裂缝

河北发现该类型地裂缝比较典型的要属张家口怀涿盆地东端,官厅水库库区(河北部分)浸没范围内,浅部土体埋藏有第四系下更新统湖相沉积的灰绿色以蒙脱石 - 伊利石强亲水矿物为主的粘性土。具有明显吸水膨胀、失水收缩特点的膨胀土。丰水年入库径流量猛增,库区水位抬升,淹没范围扩大,膨胀土被库水淹没;枯水年库区水位连续下降,使膨胀土失水,干燥后产生明显的地面变形,浸没区附近民宅地基未经处理,旱季建筑物成群破坏,地坪隆起、墙体开裂,在浸没区内形成地裂缝带,长达数十 m、深数米,展布方向不规则,常有

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

光滑面和擦痕,地裂缝中常充填灰白、灰绿色粘土,地裂缝宽度随季节变化,雨季多呈闭合状。

其次,河北邯郸南部磁县九龙口一带分布有第三系中新统九龙口组紫红色膨胀土。其物理力学指标如下表 3。

膨胀土灾害在地基防治方面,有防水、保湿、砂垫法、桩基等卓有成效的措施。为能够真正取得预防和治理膨胀土灾害的效果,要准确判别"膨胀土"。"错判"会造成不应有的浪费,"漏判"则会给工程埋

表 3 磁县九龙口膨胀土物理力学指标

天然含水量 W(%)	容重 r (KN/m^3)	孔隙比 e	液限 W_l(%)	塑指 Ip(%)	液性指数 I_l(%)	粘粒含量 <2μ(%)	自由膨胀率 Fs(%)	膨胀率 ep(%)	膨胀力 P_p(Mpa)	线缩率 es_l(%)
23.0	19.61	0.67	50.8	26.7	0.05	31	80	3.01	0.056	4.48

下"隐患"。通常可根据膨胀土的干时坚硬,遇水软化,自然条件下呈硬塑状,结构致密,滑润感,刀切所见到的蜡光切面,湿润时用手易搓成细土条等直观特征对其进行现场判别;室内判别,主要呈依靠塑性指数(Ip),使用最普遍的是液限 Wl(45～90%)与塑性指数 Ip(21～48%)与自由膨胀率 Fs 一般大于 40%(51～90%)。

膨胀土胀缩变形系由于膨胀土的矿物成分主要是蒙脱石和伊利石,具有较高的亲水性,活动性前者为 7.2 - 1.5,后者为 0.9,而高岭石活动性仅为 0.33 - 0.46。当失水时土体就收缩,出现地裂缝,遇水即膨胀隆起。因此,土中含有蒙脱石与伊利石粘土矿物的多少直接决定土的膨胀性大小;另外,膨胀土粘粒含量高,吸水能力强,胀缩变形就大。因颗粒小,比面积大,颗粒负电场与极性水分子之间吸引作用,或由于阳离子的水化作用等影响所致。

3 结 语

河北平原地裂缝成因类型有三种基本类型:地动型、潜蚀型、胀缩型。

(1)地动型地裂缝。是由内动力地质作用形成的地裂缝,它包括构造性与非构造性地裂缝。对该类型地裂缝的防治对策,其有效办法是采取躲避措施。

(2)潜蚀型地裂缝。是由于过量开采浅层地下水形成水位下降漏斗,其漏斗长轴展布方向与地表径流方向一致,在此方向上雨季地表径流垂直渗透作用较强,水力坡度相应增大。冲刷与潜蚀及细颗粒物质搬运作用亦最为强烈,造成地裂缝与地面塌陷。对该类型地裂缝的防治对策,要切实加强地表排水措施,只要改善排水环境,通过人工治理,可以使地裂缝停止活动。该类型地裂缝仅在地表浅部发育,地裂缝尖灭深度一般为 2 - 3m。最深不超过 5 - 6m,可采用粘土或水泥及时填堵措施。

(3)胀缩型地裂缝。系地表浅部埋藏有以蒙脱石亲水矿物成分为主的粘性土,具有明显吸水膨胀,失水收缩的特点。蒙脱石一般系由基性火山喷出岩经风化作用,在介质 PH = 7 - 8.5 的中性及碱性条件下生成的,一般为粉红、浅绿色,光泽暗淡,滑腻,系属干旱温带气候环境沉积的。该类型地裂缝的防治对策,为保证建筑物地基与基础稳定性可采取防水、保湿、砂垫法,桩基等措施。

参考文献:

[1]田级生. 河北南和县地裂缝与塌陷的基本特征及形成机制的探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报. 1991,2(4). 26 - 33

[2]中华人民共和国国家标准(GB50021 - 94)岩土工程勘察规范. 中国建筑工业出版社,1995

[3]黄月环、左淑贞、吴春燕. 关于无极县东汉时地面塌陷的初步研究. 中国地质灾害研究会"地面变形地质灾害学术讨论会"交流论文. 1990

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

维普资讯 http://www.cqvip.com

第14卷 第1期 地质灾害与环境保护 Vol. 14, No. 1
2003年3月 Journal of Geological Hazards and Environment Preservation March 2003

文章编号：1006－4362(2003)01－0015－03

河北平原地裂缝形成与防治

田级生
（河北省地质矿产勘查开发局，石家庄 050081）

摘要： 河北平原从20世纪80年代开始至今，出现大量地裂缝，使建筑物和道路交通遭受破坏，人民生活受到干扰，给国家和地方造成了一定的经济损失，直接威胁着工农业生产和人民生活。笔者在广泛调查基础上，总结出三种成因类型有：地动型、潜蚀型、胀缩型，揭示了不同类型地裂缝发生与发展的规律，有针对性的提出了防治对策。

关键词： 地裂缝；塌陷；机制分析；防治对策
中图分类号： P642.26;X141 **文献标识码：** A

1 前言

河北平原出现的地裂缝，大都分布在邯郸、永年、南和、柏乡、大名、赵县、正定、藁城、无极、新采、辛集、顺平、涿州、固安、霸县、文安、任丘、肃宁、博野、安平、饶阳、深县、枣强等40余个县市的70多个乡村，300余条地裂缝。其长度由数米至千余米不等，最大宽度2 m，可见深度达10 m左右，并伴有地面塌陷与隐伏空洞；任县至文安县的千里堤上，裂缝长大于2 000 m，饶阳县境内的滹沱河北大堤地裂缝断续出现，延伸达1 000 m。地裂缝毁坏农田、公路、水利设施，使房屋开裂，地下管道受损等，造成数以千万元计的经济损失。这些情况足以说明，从20世纪80年代开始至今，地裂缝在河北平原分布之广、发展之快、危害之大，是令人吃惊的。

笔者曾经通过野外调查，并对部分地裂缝进行过现场考察和研究，认为要对地裂缝进行有效防治，首先必须正确划分地裂缝成因类型，掌握其发生和发展的规律，这是极为重要和关键的一步。

2 地裂缝的成因与防治

地裂缝形成因素是十分复杂的，很多情况下，是多种因素综合作用的结果。因此，只能根据主导因素，划分出河北平原地裂缝成因类型：地动型、潜蚀型、胀缩型三种基本类型。

2.1 地动型地裂缝

是由内动力地质作用（包括构造活动、地震活动等）而形成的地裂缝，它包括构造性地裂缝与非构造性地裂缝。

2.1.1 构造性地裂缝

系在强烈地震作用下，震中区地面可能出现的以水平位错为主的构造性地裂缝。它是强烈地震动和断裂位错应力引起的，与发震断裂走向吻合，但不与其连通的地裂缝。所谓构造性地裂缝特别是指这种地裂缝的力学特征与震源机制相对应。但它们仍然是地面强烈波动的结果，而不是发生地震的震源。从宏观现象进行反分析，可以确认这种地裂缝是由具有一定方向性的地面波动所产生的，而这种方向性又取决于下部基岩中发震断裂的主要机制。例如：1976年7月28日唐山7.8级地震在极震区内产生了众多的地裂缝，规模最大的地裂缝是从唐山市小山东街开始，向南延伸到唐山市的安机寨，由一系列的地裂缝排成雁列状，总长8 km、宽30 m，总体方向呈NE30°，与发震断裂方向一致；水平方向上可以

收稿日期：2002-08-23

维普资讯 http://www.cqvip.com

看出它是顺时针方向往右旋扭，最大水平错距达1.53 m，落差 0.7 m。地裂缝发生之处，错断了道路、排树、房屋等一切地形地物。如横切唐山市吉祥路路面相对位移 1.46 m。与唐山地震同年同日发生的滦县 7.1 级地震，震中区安各庄公社变成一片废墟，滦河公路大桥遭破坏，在安各庄公社三山院一带出现了一系列发震构造地裂缝带，南起王庄，经李各庄、三山院往北到铁局寨南止，顺溯河东岸的残山呈弧形展布，总体走向呈 SN，全长大于 6 km。从王庄到三山院南一段，构造地裂缝总体走向为 NW20°，运动方式为左旋反时针扭动；在三山院附近，地裂缝转为 NE10°方向，向北延伸，运动方式为右旋顺时针扭动。它们与发震构造是一致的，许多震害调查报告认为它们就是唐山与滦县地震的发震断裂，但是经过有关单位利用多种手段查证，发现它们是典型的构造地裂缝。其主要论据是：

(1) 地面的地裂缝呈 V 字型，自地面向下 3～4 m 范围内即行尖灭。

(2) 在唐山地裂缝的的正下方恰有唐山煤矿地下采煤的水平巷道，经详细调查，巷道内基岩未出现任何错动。

(3) 根据唐山与滦县震后地形变测量，证实震中区的地表水平位移向量分布与地裂缝总体走向在象限特征上完全一致，同时又与唐山、滦县地震震中分布协调一致。上述现象可作为一个反证，说明构造性的地裂缝的生成机制与发震断裂机制一致。

2.1.2 非构造性地裂缝

在强烈的地震中，还可以看到，多种类型的非构造性地裂缝(重力性地裂缝)，它们是强烈地面运动的结果。受地形条件及土质条件控制而产生，这种地裂缝多分布在陡坡、河岸、古河道等地与滑坡、崩塌、沉陷及其他地表变形现象相伴生。这类地裂缝一般规模较小、方向性不明显，开裂不深，破坏力不如构造地裂缝大。例如唐山大地震中，在市区双桥及其滦河、陡河和蓟运河下游平原上；滦县 7.1 级地震中，在滦县安各庄等地，也有较大幅度震陷在其边缘处；邢台 7.2 级地震中，在古宁晋泊湖积冲积洼地控制下，沿滏阳河及古河道带上，该三处地震区内有多处地面震陷，在大面积震陷区的边缘地带多出现张性地裂缝，并有垂直错动，其总体上是环状地裂缝带；还能见到地震沙土液化导致路基、堤坝、边坡等的纵向张性地裂缝或在岸边斜坡产生侧向滑移，其边缘处也常产生张性地裂缝；在强烈地震震中区的地面运动，受面波的影响较大，因而地面波动中常会产生侧向挤压和拉伸，从而也会出现没有规律的地裂缝。

地动型地裂缝是分布面积广、规模最大、危害最严重的一种类型。对于这种类型地裂缝的防治对策，其有效办法是采取躲避措施，即使拟建的工程项目，特别是重大工程建设项目，避开这些全新活动断裂和地震高裂度区。如非建不可时，也不能横跨发震断裂，在建设区内要选用柔性钢筋混凝土网络状或整体基础。在基础底部及周围垫以适当厚度的沙层，以缓冲不均匀的沉降作用，并使地基埋藏深度与地裂缝深度及其下卧软层深度相适应。

2.2 潜蚀型地裂缝

它的分布受控于地形地貌条件，大都分布在山前平原与中部平原交接地带、冲洪积扇前缘洼地、扇间洼地、古河道带及现代河道旁侧等地段。其中有80%以上的地裂缝出现在古河道带及现代河床一侧。由于山前冲洪积扇地形发育辫状水系，河床经常迁移，当河床侧向移动过程，在堆积岸形成断续分布的基本平行的一系列滨河床沙坝，沙坝间有线状分布的小型浅洼地。因此，土体结构与岩性为潜蚀型地裂缝的形成，提供了基础条件。如滹沱河北岸的无极县东汉村及其村南堤坝上的地裂，从 1982 年开始，1986、1987、1988 年出现数次地裂缝灾害；如拒马河北岸涿洲向阳村与保定市候河沿岸的地裂缝，还有磁河南岸正定县大寨庄地裂缝，潴龙河北岸元氏县毛遗乡地裂缝等；分布在古洼地边缘的有赵县沟岸村、南和至任县公路地裂缝等。其展布方向大致与地下径流和地表径流方向一致或与河床呈锐角展布；每年发生的地裂缝的时间，都在雨季初期或中、后期。

潜蚀型地裂缝的形成，是浅层地下水运移与包气带土体结构之间的作用结果。近年来，由于气候干旱和人类经济活动的影响，使山前平原浅层地下水位持续下降，如无极县东汉村 20 世纪 60 年代中期地下水位埋深仅为 2 m 左右；2001 年 8 月实测水位埋深为 20.9 m，第 I 含水组大部被疏干，包气带土体厚度增大，土体结构与应力状态改变；同时也改变了地下水流动系统状态，在地质生态环境均衡状态下，地下水补给河水。目前，地质生态环境遭受到严重破坏，使雨季河床行洪时河水补给地下水，水力坡度也相应增大，水动力条件加强。每年雨季，尤其是出现大暴雨时，使常年干涸的河床出现洪流，能迅速

维普资讯 http://www.cqvip.com

补给地下水,浅层地下水位开始回升,使包气带土层浸水软化,对土(砂)层产生渗透潜蚀、冲刷与掏空作用,形成土洞。在潜蚀作用下,土洞不断向上扩展,其结果使土洞顶板土体失稳,导致地面下沉、开裂,以致形成地面塌陷与地下隐伏空洞。

渗透潜蚀模式可在包气带的双层结构与多层结构层状土体中见到,其发展过程首先引起地面变形下沉,而后是开裂,地面建筑物基础与墙体出现裂缝,进而产生地面塌陷及地下隐伏空洞。

对潜蚀型地裂缝的防治对策。从发展角度考虑,应该彻底改善河北平原地质生态环境,严格控制浅层地下淡水开采量,促进地下水位稳定,以减缓和停止地裂缝的活动。必须树立全民、全社会节水意识,增强保护水资源的紧迫感和责任感,实现河北平原经济的可持续发展。

从现实条件考虑,要切实加强地面排水措施,凡产生地裂缝的场地,地面排水普遍不畅,或因地面坡度太缓无排水设施,或因河道两岸堤坝障碍,地表沥水排不出去,在暴雨季节容易产生暂时性地面积水,只要改善排水环境,通过人工治理,可以使地裂缝停止活动;对于河道两岸与古洼地边缘,曾多次发生过渗透潜蚀作用而产生的地裂缝灾害多发区段内,对拟建重要工程项目,应避开或远离这些危险区。

2.3 胀缩型地裂缝

河北发现该类型地裂缝比较典型的要属张家口怀涿盆地东端、官厅水库库区(河北部分)浸没范围内,浅部土体埋藏有以蒙脱石—伊利石强亲水矿物成分为主的粘性土,具有明显吸水膨胀、失水收缩特点的胀缩粘土。丰水年入库径流量猛增,库区水位抬升,淹没范围扩大,胀缩土被库水淹没;枯水年库区水位连续下降,使胀缩粘土失水,干燥后产生明显的地面变形,浸没区附近民宅地基开裂、墙体破坏,在浸没区内形成地裂缝带。

胀缩土灾害在地基防治方面,有防水、保湿、砂垫法、桩基等卓有成效的措施。为能够真正取得预防和治理胀缩土灾害的效果,要准确判别胀缩土。“错判”会造成不应有的浪费,“漏判”则会给工程埋下“隐患”。通常,可根据胀缩土的致密、滑润感、刀切所见到的蜡光切面、湿润时用手易搓成细土条等直观特征对其进行现场判别;室内判别,主要是依靠塑性指标,使用最普遍的是液限与塑性指标。

3 结语

河北平原地裂缝成因类型有三种基本类型:地动型、潜蚀型、胀缩型。

(1) 地动型地裂缝。是由内动力地质作用形成的地裂缝,它包括构造性与非构造性地裂缝。对该类型地裂缝的防治对策,其有效办法是采取躲避措施。

(2) 潜蚀型地裂缝。是由于过量开采浅层地下水形成水位下降漏斗,其漏斗长轴展布方向与地表径流方向一致,在此方向上雨季地表径流垂直渗透作用较强,水力坡度相应增大,冲刷与潜蚀及细颗粒物质搬运作用亦最为强烈,造成地裂缝与地面塌陷。对该类型地裂缝的防治对策,要切实加强地表排水措施,只要改善排水环境,通过人工治理,可以使地裂缝停止活动。该类型地裂缝仅在地表浅部发育,地裂缝尖灭深度一般为 2～3 m,最深不超过 5～6 m,可采用粘土或水泥及时填堵措施。

(3) 胀缩型地裂缝。系地表浅部埋藏有以蒙脱石亲水矿物成分为主的粘性土,具有明显吸水膨胀,失水收缩的特点。蒙脱石一般系由基性火山喷出岩经风化作用,在介质 pH＝7～8.5 的中性及碱性条件下生成的,一般为粉红、浅绿色,光泽暗淡、滑腻,系属干旱温带气候环境沉积的。该类型地裂缝的防治对策,为保证建筑物地基与基础稳定性可采取防水、保湿、砂垫法、桩基等措施。

参考文献

[1] 田级生. 河北南和县地裂缝与塌陷的基本特征及形成机制的探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报,1991,2(4):26－33.

[2] 中华人民共和国国家标准(GB50021—94). 岩土工程勘察规范[S]. 中国建筑工业出版社,1995.

(下转第 48 页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

CAD FOR GRAVITY RETAINING WALL BASED ON INTERACTIVE THEORY

LI Yan-rong, HUANG Run-qiu, XU Qiang, LI Dong-shan
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: According to improving the calculation of earth pressure of the gravity retaining wall, a new computer program formula for calculating earth pressure with different boundary conditions has been designed. Based on interactive theory; computer aided design and computer graphic technique, This program formula provide a simple, convenient, reasonable, economical and man—machine interactive method of design of gravity retaining wall.

Key words: interactive theory; computer aided design; gravity retaining wall; optimization

作者简介: 李彦荣(1978—),男,硕士生,地质工程专业。

(上接第 17 页)

THE FORMATION OF GROUND FRACTURE AND ITS PREVENTION MEASURE

TIAN Ji-sheng
(Bureau of Geology and Mineral Exploration of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: A lot of fractures developed in Hebei Plain since 1980's, which damaged buildings and traffic roads. The fractures as a kind of hazards disturbed the normal human life in the area and directly threaten the local industrial and agricultural production, which results in loss to national and local economics. Based on widely investigation, the author has summarized 3 types of fractures in different origins as follows: ground—moving type, groundwater resolving type and expansion—contracting type, which have revealed evolution process for different types of fractures. Prevention measures have been put forwards for the fractures.

Key words: ground fracture; collapsing; anti-fracturing analysis; prevention measure

作者简介: 田级生(1935—),男,河北省地质矿产勘查开发局,高级工程师,主要从事水文地质工程地质环境地质勘察与管理工作。

第13卷 第3期 地质灾害与环境保护 Vol 13, No. 3
2002年9月 Journal of Geological Hazards and Environment Preservation September 2002

文章编号: 1006-4362(2002)03-0006-04

河北平原地下水开发中的问题及可持续利用

高太忠[1], 罗人明[1], 黄群贤[1], 蔡鹤生[2]
(1. 河北科技大学, 石家庄 050018; 2. 中国地质大学, 武汉 430074)

摘要: 河北平原是我国严重缺水地区, 但在地下水开发过程中, 引起了多种环境问题, 如地下水位持续下降; 地下水位降落漏斗不断扩大, 地下含水层疏干; 地面发生沉降及出现地裂缝; 海, 咸水入侵等等。作者从水资源、环境和社会经济的特点出发, 提出实现水资源和社会经济可持续发展的对策: 全面实施节水战略, 努力实现工业、农业、居民生活、生态环境的高效用水, 逐步建立起节水型社会; 提高城市污水资源化利用率; 利用海水、咸水, 减少淡水用量; 实施跨流域调水; 保护水资源和改善水环境是缓解河北平原缺水和环境问题的重要措施。

关键词: 地下水开发; 环境问题; 可持续发展对策; 河北平原
中图分类号: X143, X22 **文献标识码**: A

河北平原地处太行山以东、燕山以南的华北平原北部。平原位于海河流域中下游, 有包括滦河、冀东沿海、永定河、子牙河、大清河、漳卫南运河等10个水系。多年来, 华北地区持续干旱少雨, 多数河流平时干涸, 河北平原多年平均水资源量约 203×10^8 m^3, 可利用水资源量 171×10^8 m^3, 人均占有水资源量为 300 m^3, 是中国人均水资源量的1/8, 世界人均水资源量的1/32, 属于极度资源型缺水地区。目前, 平原工农业生产和居民生活用水超过 220×10^8 m^3/a, 平均超采地下水近 50×10^8 m^3/a, 现已累积超采地下水近 $1\ 000\times10^8$ m^3/a[1~4]。长期以来, 过量开采地下水引发了一系列环境问题, 与之相关的生态环境平衡遭到破坏, 已影响到该地区的社会经济可持续发展。

1 区域水文概况

河北平原第四纪地下水分布面积 73 129$\times10^4$ km^2, 可分为滦河地下水子系统、冀东沿海诸河地下水子系统、潮白河地下水子系统、永定河-海河地下水子系统、大清河地下水子系统、子牙河地下水子系统、漳卫河地下水子系统和黄河地下水子系统等8个地下水子系统。

根据地下水含水系统特征和水文地质要素, 将第四系含水岩组划分为浅、深两个含水系统, 分布面积分别为 73 129 km^2 和 68 000 km^2。浅层地下水系统底界一般在 40~60 m, 在山前平原, 由于人为沟通、混合开采, 浅层水延深到 120~150 m。深层水地下水系统在山前平原包括第三和第四含水岩组, 顶界深度由西向东由 80 m 增加到 120~150 m, 底界为第四系底板, 深度一般 140~220 m。中东部平原指咸水体以下的深层淡水, 包括第二含水岩组下部和第三含水岩组, 顶界深度一般 120~160 m, 底界深度一般 270~360 m。

浅层地下水排泄有人工开采、蒸发消耗。20世纪90年代以来, 由于大量开采, 减少了蒸发量, 现在开采层位大多数城市为第二含水组, 沧州、衡水市为第三含水组, 浅层地下水开采量约 100×10^8 m^3/a, 年蒸发消耗 15×10^8 m^3/a。深层地下水的排泄途径, 20世纪70年代以前, 主要是径流排泄, 局部地区人工开采; 70年代以后, 大量开采地下水, 目前人工开

收稿日期: 2002-03-18
基金项目: 河北省科技厅博士资金和湖北省废物地质处置与环境保护重点实验室联合资助

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采已成为深层地下水的主要排泄途径。平均开采量达 $30\times10^8\ m^3/a$。

浅层地下水补给来源主要是大气降水和地表水体的入渗, 其中降水补给占补给总量的 70%。深层地下水的补给来源主要为地下水的侧向补给和浅层地下水的垂直越流补给。

2 河北平原地下水超采引发的环境问题

2.1 地下水位持续下降, 水资源逐年衰竭

20 世纪 80 年代以来, 持续干旱和社会经济发展的需要, 河北平原地下水开采规模加剧, 超量开采日趋严重。1983 年地下水开采量 $135\times10^8\ m^3$, 1993 年增加到 $154\times10^8\ m^3$, 1997 年开采量高达 $165\times10^8\ m^3$。由于地下水的大量开采, 地下水由稳定态向非稳定态演化, 使地下水动态发生了很大变化, 引起了地下水持续下降。据统计 1983 年末河北平原地区地下平均水位埋深为 7.23 m, 到 1993 年末为 11.52 m, 10 年间地下水水位平均下降了 4.25 m, 河北平原浅层地下水水位埋深平均下降 0.42 m/a。邯郸、邢台、石家庄 3 个市地下水位降幅比较大, 在 8～10 m 之间, 保定、衡水、唐山 3 个市水位降幅比较小, 在 1～4 m 之间, 沧州浅层地下水水位降幅最小, 为 0.8 m。浅层地下水位 1995 年与 1975 年相比, 太行山前平原区下降速率为 0.4～1.0 m/a, 冀东山前平原下降速率为 0.25～0.75 m/a; 中部平原区下降速率为 0.25～1.0 m/a; 滨海平原区下降速率为 0.1～0.4 m/a。深层地下水位 1995 年与 1975 年相比, 太行山前平原区下降速率为 0.5～1.0 m/a; 中部平原区下降速率为 0.75～2.25 m/a; 滨海平原区下降速率为 1.0～3.0 m/a。由于地下水位持续性下降, 造成林木枯萎、水土流失, 空气干燥, 表层土壤出现干化和沙化现象, 生态环境遭到破坏。

2.2 地下水位降落漏斗不断扩大

目前, 河北平原处于水资源严重短缺状态, 大量超采地下水所形成的浅层和深层地下水位降落漏斗区有 20 个(全国 69 个[5])。漏斗区面积已由 1975 年的 7 611 km^2 扩大到 1995 年的 14 726 km^2, 进一步扩大到目前的 $3.9\times10^4\ km^2$, 平原东部已与北京和天津漏斗区连成一体。其中: 浅层代表性漏斗有宁晋-柏乡-隆尧漏斗, 1975 年、1985 年、1995 年漏斗面积分别为 846 km^2、1 072 km^2、2 431 km^2; 中心水位埋深分别为 11.78 m、22.97 m、41.01 m。深层代表性漏斗有冀州-枣强-衡水漏斗, 1975 年、1985 年、1995 年漏斗面积分别为 3 252 km^2、4 698 km^2、5 668 km^2, 中心水位埋深分别为 32.68 m、56.10 m、76.18 m, 1999 年则达 86.97 m; 宁河-唐海漏斗 1975 年、1985 年、1995 年面积分别为 1 629 km^2、1 793 km^2、3 175 km^2, 中心水位埋深分别为 20.85 m、24.85 m、73.15 m。沧州漏斗深 92.45 m, 冀枣衡和沧州的漏斗是世界上两个最大的漏斗。

2.3 地下含水层疏干

长期过量开采地下水, 使山前冲洪积平原浅层地下水超采区, 到 1993 年第一含水组疏干面积有 2 100 km^2, 接近疏干的面积约 5 600 km^2, 一般疏干厚度为 10～35 m。一些地区地下水位大幅度下降甚至降到了含水层底板, 导致了含水层疏干。据 1995～1997 年的统计资料, 河北省浅层地下水含水疏干面积已达 10 377 km^2, 主要分布在石家庄市、唐山市、保定市。其中, 唐山市和保定市漏斗的中心地带疏干厚度为 40～45 m, 含水层最大疏干厚度达 23 m; 宁柏隆和永年东杨庄漏斗区, 疏干深度一般 10～35 m。

2.4 诱发严重的地面沉降

地下水的连年超采、水位持续下降, 使地层的岩石力学平衡被破坏, 粘性土层开始释水压密, 造成了地面沉降。根据有关部门监测, 截止到 1988 年, 河北平原已出现 14 个沉降中心。地面沉降最大的是沧州市, 1965～1988 年地面沉降量为 1 131 mm, 平均沉降速率 49.2 mm/a; 衡水沉降中心, 到 1987 年地面沉降量为 480 mm, 沉降速率 40 m/a。沉降速率大于 40 m/a 的还有冀州南部、枣强西部、丰南南部、固安县等地。

进入 90 年代, 地下水开采量持续增加, 尤其是深层水开采加剧, 河北平原地面沉降仍在持续扩大, 据统计, 截止到 1995 年, 累积沉降量 200～500 mm 的区域面积达 42 120 km^2, 500～1 000 mm 的区域为 5 675 km^2, 大于 1 000 mm 的区域为 1 000 km^2。具代表性沉降区有: 沧州沉降区, 沉降中心累积沉降量达 1 680 mm, 沉降速率为 84 mm/a; 南堡-唐海沉降区, 沉降中心累积沉降量达 803.8 mm, 沉降速率为 40.19 mm/a; 大城沉降区, 沉降中心累积沉降量达 731.4 mm, 沉降速率为 36.57 mm/a。

2.5 地裂缝灾害频繁发生

已有资料表明, 河北平原已发生地裂缝近 200 条, 主要分布在邯郸、永年、成安、大名、南和、赵县、

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

新乐、正定、肃宁、保定、藁城、任丘、霸州、涿州、文安、固安等 35 个县, 60 个乡。长度一般为 500 m, 最长达数公里; 宽度为 0.01～0.5 m, 最宽达 2.0 m; 深度最大达 10 m。1998 年 6 月河间市新发生两条地裂缝。其一, 故仙东乡东杨庄地裂缝: 裂缝呈东北—西南走向, 方位北偏东 80°, 长 150 m、宽 30～50 cm, 深 1.2 m; 其二, 兴村镇许家庄地裂缝, 长 200 m、宽 20～50 cm, 最深 1.5 m。

2.6 海、咸水入侵

由于超采地下水, 导致平原沿海局部地区出现海水入侵现象。截止 1993 年, 秦皇岛市抚宁县洋河和戴河的入海口处, 已形成面积为 27.33 km^2 的海侵区, 其中枣园一带 20 km^2, 耀华玻璃厂 2.7 km^2, 林场一带 4.6 km^2。秦皇岛市东港镇卸粮口村 1998 年由于海水入侵, 使地下水咸化, 造成 1 062 人生活饮水困难, 数十公顷菜田绝收; 水稻田改种大田作物。经调查地下水咸化的主要原因, 一是近年来沿河大量挖砂取土, 形成多处坑洼地, 降低了地面高程, 扩大了海水涨潮沿河上溯范围, 海水滞留于坑洼中, 污染了地下水; 二是沿海岸开挖工程建设, 破坏了海岸地质结构, 深海区扩大, 海水沿破坏面直接侵入地下水, 导致地下水咸化。衡水、沧州等地出现了咸淡水界面下移, 上层咸水越流深层淡水的现象。如沧州、河间咸淡水界面下移 10 m 的面积已达 1 959 km^2, 衡水 1983～1993 年间深层井矿化度平均每年升高 14.3 kg/L, 咸水下移速度 0.1～0.2 m/a。浅层淡水也有淡水被咸化的现象, 如武强县城关、武邑县圈头一带咸淡水交界处, 因大量开采浅层淡水引起咸水入侵, 水质咸化, 矿化度由 1989 年的 1.57 g/L 上升到 1994 年的 2.66 g/L。秦皇岛沿海地区, 1995 年地下水中 Cl^- 含量 200～9 150 mg/L 的分布面积, 已达 23.2 km^2。河北平原东部矿化度小于 2 g/L 和 2～3 g/L 的地下水面积从 1975 年到 1995 年分别减少 971 km^2 和 809 km^2; 而矿化度 3～5 g/L 和大于 5 g/L 的地下水面积分别增加 1 290 km^2 和 570 km^2。地下水超采、水位持续下降, 是导致咸淡水界面下移、淡水咸化的主要因素。

3 可持续发展对策

河北平原日益突出的水资源供需矛盾, 引发了上述一系列环境问题, 解决矛盾的根本出路, 应从水资源、环境和社会经济的特点出发, 综合治理, 开源节流, 保护环境, 实现区域 21 世纪水资源和社会经济可持续发展。

3.1 努力提高水资源的利用和节约用水

河北平原缺水的局面将长期存在, 因此必须将节约用水放在首位, 努力提高水资源的利用效率。农业是第一用水大户, 河北平原农业用水占总用水量 70% 以上[5], 因此节水潜力很大。应调整农业结构, 因地制宜发展农业节水灌溉, 将水利工程节水措施、农业节水措施和管理节水措施有机结合, 形成以节水增产为目标的节水农业综合技术体系。工业作为第二用水大户, 占总用水量的 20% 以上。万元国内生产总值和万元工业产值与发达国家和全国平均水平差距很大, 万元工业产值用水量为 88 m^3, 是全国平均水平的 149%, 是发达国家的 3 倍, 节水潜力较大。工业要实行循环用水, 分质用水, 降低耗水定额, 提高水的重复利用率。居民生活用水浪费严重, 要通过改造节水器具、经济和立法等手段把用水量降下来。因此河北省应在本世纪初开始全面实施节水战略, 努力实现工业、农业、居民生活、生态环境的高效用水。

3.2 提高城市污水资源化利用率

加强重点污染治理, 加大治理力度。目前国内外都在积极开展城市污水的净化再利用。近 10 a 来我国对城市污水资源化组织科技攻关已取得成果, 但实际利用率仅为 5%, 距发达国家利用率还有很大距离。现阶段河北省应加快城市污水处理厂建设力度。对城市污水进行二级处理势在必行, 以减轻对河流的污染, 增加可利用的水资源, 逐步实现污水资源化。应加大投资, 早日实现大中城市污水全部得到处理。

3.3 开发替代水源, 利用海水和微咸水作为企业冷却水和生活杂用水, 部分替代淡水用量

目前我国直接利用海水量仅为 147×10^8 m^3/a[5], 远远低于欧美、日本等发达国家。工业冷却水在工业用水总量中占有很大比例, 且工业冷却水对水温要求高而对水质要求不高, 因而利用海水做冷却水已成为发达国家水资源利用的重要选择之一。河北平原东邻渤海, 利用海水有广阔的前景, 今后秦皇岛、唐山、廊坊、沧州等地在工业布局上应考虑利用海水。河北平原东部存在大量微咸水, 地下微咸水体厚度最大可达 200～300 m, 总资源量可达 23×10^8 m^3, 可采用一定措施, 利用微咸水灌溉和居民生活杂用水。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.4 实施跨流域调水

尽快实施南水北调工程, 改善河北平原供需矛盾, 是缓解河北平原缺水和环境问题的重要措施。目前, 河北平原整体上用水已超过极限, 通过跨流域调水工程, 以期恢复生态平衡, 缓解严重缺水状况。南水北调工程运行后, 应按照外调水与本地水联合调度、优化配置原则, 最大限度地利用外来水, 使地下水环境得到恢复和改善。

3.5 保护水资源和改善水环境

针对河北平原水资源严重短缺、水体污染严重和污水处理率低的实际情况, 应贯彻国家提出的"先节水后调水, 先治污后通水, 先环保后用水"方针, 按照优先开发利用地表水, 合理开采浅层水, 限制开采深层水的原则, 制定地下水分区限采、禁采规划, 根据不同区域地下水状况制定相应的保护措施, 合理、科学开发利用地下水、保护水资源和改善水环境, 实现区域 21 世纪水资源和社会经济可持续发展。

参考文献

[1] 水利部海河水利委员会. 海河流域水资源规划工作思路及初步成果[J]. 中国水利, 2000, (3): 19-20.

[2] 朱建盈. 二十一世纪中国水供求[J]. 中国水利, 2000, (1): 21-22.

[3] 王志民. 21 世纪海河流域水利发展战略的思考[J]. 中国水利, 2000, (1): 1-3.

[4] 河北省国土资源厅. 20 世纪末河北省地质环境状况公报[R]. 2001.4.

[5] 中华人民共和国水利部. 2000 年中国水资源公报[EB/OL]. http://www.mwr.gov.cn/.

PROBLEMS IN EXPLOINTING GROUNDWATER AND SUSTAINABLE UTILIZATION IN HEBEI PLAIN

GAO Tai-zhoong[1], LUO Ren-ming[1], HUANG Qun-xian[1], CAI He-sheng[2]

(1. Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China;
2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Heibei Plain is an area of serious shortage water resource. There are a lot of the environmental problems in course of groundwater exploitation: underground water table has sustained to decline; depression cones of the underground water table have continued enlarged; underground water-bearing rock association drained; land subsides, ground is fractured; sea-water and salt water intruded. According to characteristics of water resources, environment and national ecology, authors put forward the countermeasures which are helpful for water resources and national economy sustainable development: actualizing the moving water of the bestriding across Yangtze River drainage area, protecting water resources and improving water environment, and actualizing the saving water stratagem overall and realizing high efficiently using of water in the agriculture; Industry and agriculture could use seawater or salt water. These are the important measures, which would relax water deficit situation and environmental problems in Heibei Plain.

Key words: groundwater exploitation; environmental problem; sustainable development countermeasures; Heibei Plain

作者简介: 高太忠(1957—), 男, 博士, 副教授, 从事环境地学与区域水资源管理研究。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

河北平原地震带地裂缝与地震活动*

王景明 倪玉兰

(地震工程研究中心)

摘 要 30年来在河北平原地震带出现地裂缝402条处,其中至少有71.5%是构造地裂缝。调查发现,它们和现代中小地震都存在着长4—5年的活动小周期,直接受地应力活动支配,两者有成生联系。此外,本区地应力、地下水位、地震和地裂的活动高潮依次滞后几月至2年,先后出现组成系列,四者都是区域地应力增强的反应。

关键词 地震活动 构造地裂缝 地应力

《中国图书资料分类法》分类号 P316

河北平原是我国现今地裂缝最为活跃的地区之一,因其出现在人口稠密区又常伴随地震发生发展,已引起地学界和工程技术界的广泛关注。本文主要研究涿县——天津以南的河北平原现代地裂缝和地震活动。

1 地裂缝概要

1989年作者在河北平原普查出228条处[1]地裂缝,波及39个县市;1993年我们进行深入调查时,发现地裂缝又在多处新生,总数已发展到402条处,扩及49个县市(图1)。地裂缝长度也有增长的趋势,其中大于1000m者发展到13条、500～1000m者13条、100～450m者63条(表1)。有几处NNE向地裂缝顺扭位移1～2cm、NWW向地裂缝反扭位移最大为7cm,共同反映东西向的区域主压应力作用。有的地裂缝一侧地面下降1～20cm。其方向性强,可以分为SN、NNE、NE、EW和NW向五组(图2)。初步调查表明,河北平原地裂缝因干旱、风雨、滑塌、边坡重力和湿陷造成的非构造地裂缝只占27.1%,而由于断层活动和由区域土层构造节理开启[1]经诱发而显现的构造地裂缝至少占71.6%,本文主要研究后者。

2 地裂与地震活动特征

2.1 地裂缝活动特征

河北平原最早是1963年在邯郸市出现地裂缝,1966年邢台地震后地裂活动加强,其活动中心逐渐北移,1973年在永年、1976年在赵县、1979年在正定,到1981年已发展到平原中北部的博野、大城和静海等地,地裂缝活动已广及河北平原。为了排除非构造地裂缝干扰,主要研究构造地裂缝,我们以新乐—吴桥(大致沿无极—衡水断裂—线)为界,用

本文收到日期:1995-03-02

*国家自然科学基金资助项目

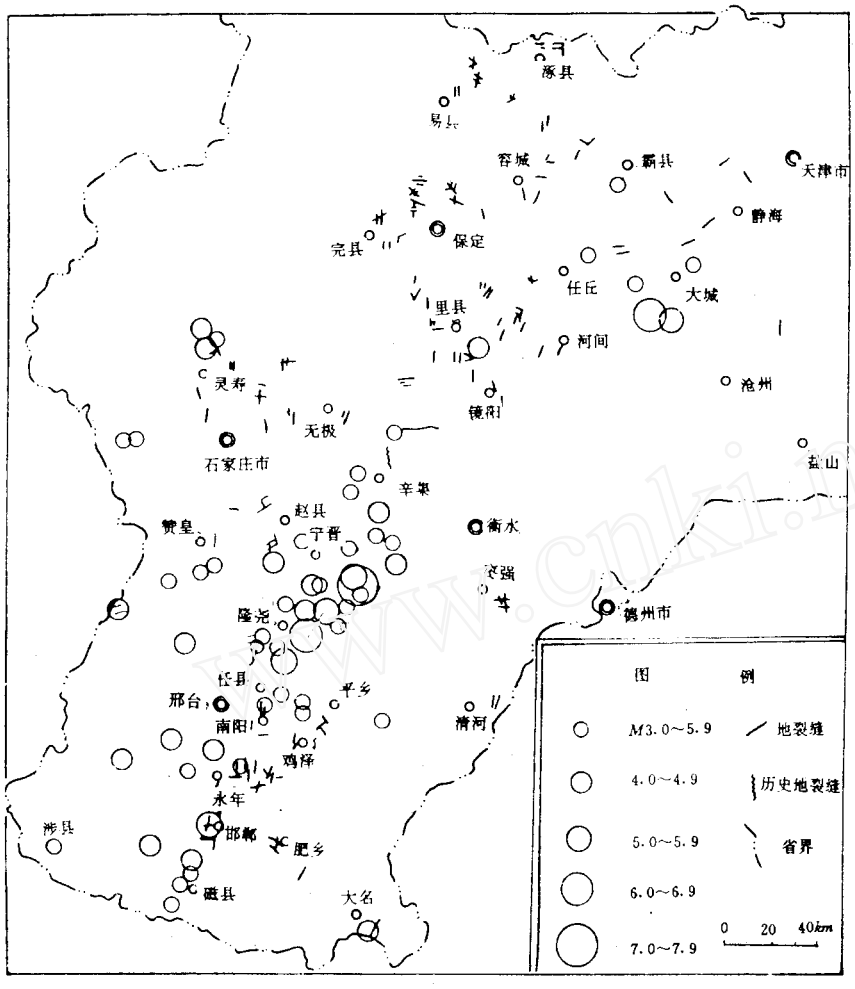


图1 河北平原现代地裂缝与地震震中分布图

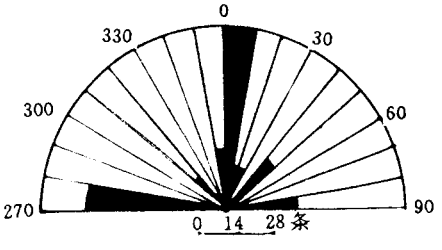


图2 地裂缝走向玫瑰图

表 1　部分典型地裂缝特征表

地裂名称	走向	规模 长(m)	规模 宽(cm)	动向 (cm)	活动时间 (年.月.日)	主要特征	备注
邯郸市电台	NE10°	1850	12	顺扭 1 东降 17	63 发生,68 速裂 78.82.86 再活动	多段组成,断续分布,分叉多,缝充泥,地下 5m 缸瓦营错裂。	邯郸 5 条地裂总长 7500m
邯郸汽修厂	NW80°	700	50	反扭 南降 20	68.7.20 雨后发生	缝夹杂土,灰渣,分叉方向为 NE20°	
永年县龙泉	NW85°	>500	50		91 年大雨后发生	锯齿状延伸,单列,向东变为 NW60°向,坏田毁房。	
永年县韩营西	NE30°	600	50	顺扭	73.7.3 雨后发生 76 和 82 年再现	由多条长 30—50m 的地裂排成雁列,组成地裂缝带。	
南和县北高	EW	400	30		88.8 和 89.7.17 两次出现	沿线串珠状孔洞和陷坑,洞下为宽缝。	
隆尧县马拦	NE	2000	70		85 年 7 月雨后发生	隐伏裂缝,久旱后逢雨裂开缝	1966 年 6.8 级地震震中
冀城县南盂	NE30 转 EW	16 200	10	EW 段 反扭 7	81 年冬发生, 82.5 和 88.6.22 再现	一条呈弧形,局部锯齿状,3 条由 SN 向裂纹组成带状。	
辛集市马疃	NW85° 转 NE80°	10000±	4 60		88.7.14 至 7.21 发生 90.6.25 再现	弧形延伸,缝时宽时窄,与 NWW 向无极一衡水断裂对应。	1882 年 6 级地震震中
博野县程六市	SN	455	3		81.2. 微裂. 84.6.5 和 85.2.15 再现	跨裂缝墙体,水管裂开、房屋隆起或下陷。	
饶阳县姚庄	NW40°	750	10		92.7.21 发生	有 4 条分枝,裂面粗、直立,与河堤平行	
饶阳县吕汉	SN	1000	40		81 年发生	沿线出现两个坑,1966 年邢台地震时在此冒砂	
完县才良	SN	1000	1		85.7.10 发生	断续分布出现在路两侧沟内。	
任丘市北丁务	EW	1000	5		82.7.11 发生	由连续追踪的小裂缝组成,无位移	

其以南的地裂缝为例,对截至 1993 年初为止出现的 168 起地裂缝事件进行深入的研究。它们与汾渭地裂缝[2]一样,也组成几个地裂活动小周期(图 3*B*)。各小周期长 4～5 年,它们的活动高潮年份分别是 1963、1968、1973、1978、1982、1987、1992 各年。其中 1963 和 1968 两个地震活动小高潮年之间,因插入发生在 1966 年的邢台 7.2 级地震,除该震本身形成众多地裂缝外,又在全区引发了一次额外的地裂活动小高潮;1986、1987、1988 三年均成为地裂活动高潮年,因其处于同一地裂活动小周期内,故只能取中 1987 年,因有这两个稍有变化的地裂活动小周期,故应该说河北平原地裂活动小高潮出现的时间间格基本一致。其次还可以看出地裂活动各高潮年的地裂事件次数似有总体上升趋势。自 1963 年起至 1993 年止,各高潮年分别有地裂事件次数为 8、8、13、10、13、12、9。

研究表明,较早发生的地裂缝在其以后出现的地裂活动高潮中常反覆再现。如 1963 年发生的邯郸地裂缝,在 1966 年邢台地震和 1968、1973、1978、1982、1986 和 1991 各年等

6次地裂活动高潮时，除增新生地裂点外，原有地裂缝多有再现活动。多数地裂缝点在其以后的地裂活动高潮年中，它们的周围又有新生地裂缝出现。如1973年7月永年尚固、前党、大辛庄、康庄北发生地裂缝，后于1976、1982和1991三年雨后又在韩营、康庄西、杨庄北、龙泉等处新生地裂缝。又如南和县三张到史召，1979、1985、1989三年均再现地裂缝；正定至藁城于1973、1978、1982、1988各年四次发生地裂缝。

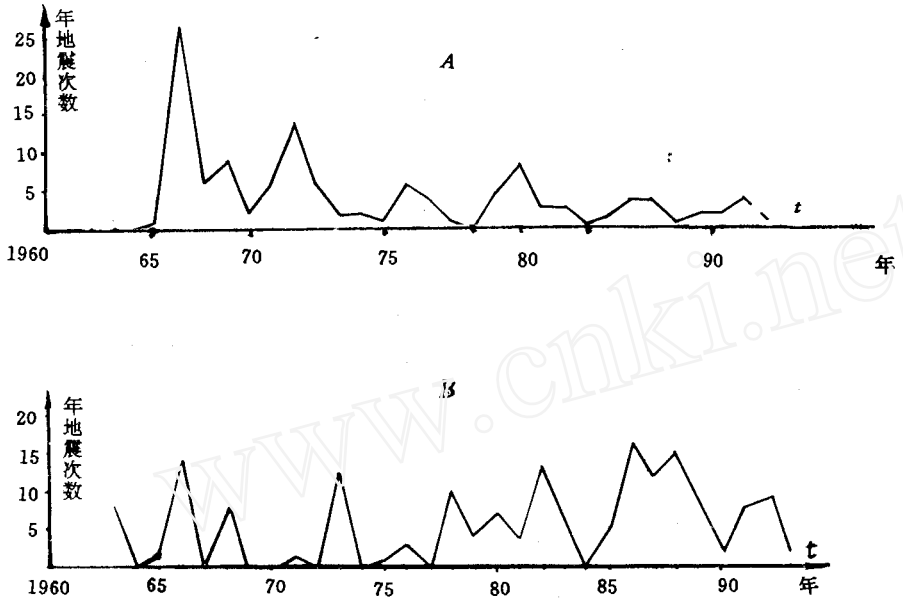


图3　河北平原≥3.5级现代地震(A)和地裂缝(B)活动曲线对比图

2.2　地震活动特征

研究区处于河北平原地震带上，地震活动频度较高，强度大。目前正处华北第七地震活动期[3]，在其第7活动幕(1966—1977年)中，发生过1966年邢台7.2级地震和1976年唐山7.8级地震。目前已进入第8活动幕(1989—)，中小地震活动频繁。为研究方便，我们截取河北平原区1963年以来≥3.5级地震，用其年地震次数绘出地震活动曲线(图3A)。从中可以看出，它们与地裂缝相近，存在着5年一次的地震活动小周期，其高潮年分别为?、1966、1971、1981、1986、1991各年，出现的时间间隔皆同。同时也可看出30年来地震活动频度基本上是逐渐降低的。河北平原6个地震活动小高潮年地震次数分别为27、14、6、9、4、4。各高潮年的最大震级分别为7.2，4.6，4.5，5.8，4.3，3.8。

3　地裂与地震活动的相关性

将河北平原近30年的地震与地裂活动小周期高潮年份列于表2，并参照图3A和图3B分析，可知河北平原各地裂活动高潮分别滞后各地震活动高潮1～2年。其中在本区及近邻区出现邢台7.2级和唐山7.8级两次大地震的1966～1976年间，地裂缝活动高潮较

地震活动高潮滞后两年出现；而随着第 7 与 8 两地震幕中活动强度和频度的降低，地裂缝活动强度升高，地裂缝活动高潮转为滞后地震活动高潮一年出现。有助于说明较小的地震（如 3～4 级）易更快地伴生更大的地裂缝。

表 2　河北平原近年地震与地裂活动高潮年份对比

高潮年份								
	地　震	?	1966	1971	1976	1981	1986	1991
	地　裂	1963	1968	1973	1978	1982	1987	1992

在河北平原区不仅地裂与地震活动高潮对应，而且许多单条地裂缝与当地的中小地震活动在出现时间和空间上也常有对应关系（表 3）。对照表 3 和图 1 可以看出，河北平原一些较大的地裂缝，多在其 0～20km 范围内的 3～5 级地震发生 0～7 个月后出现，说明地裂缝与地震有密切的成生联系。也有一些地裂缝，如表 3 中的赵县丁村和大城南扶赵等地裂缝，都是在当地 4 级左右地震后 2～5 年乃至 10 多年后出现。丁村村民在邢台地震后几年在南大坑挖泥时，曾见埋藏于坑下宽 10cm 的裂缝，1984 年就在此发生 4.4 级地震。后于 1986 年浇地时地裂缝才在地表显现出来。是否可以这样解释，这些 4 级左右的地震使当地土层深处密闭的构造节理开启，但缝未通到地表。几年又未遇必要因素的诱发，而当其上地表出现了能积水的强降雨过程或浇地时，水将这些已开启的节理缝与地表连通形成地裂缝。此外，从表 3 不难看出一些 3～4 级地震，如 1972 年永年刘营 3.1 级、1988 年南和贾宋 3.4 级、1988 年任县东南 3.0 级、1988 年辛集杜合 3.8 级、1981 年蠡县南庄 4.4 级、1989 年巨鹿官亭 3.8 级等地震最易在其近侧 0～8km 范围内直接诱发地裂缝。

上列事实也有助于说明河北平原地裂缝和中小地震活动成生联系密切，与渭河地震带地裂与地震活动一样，它们分别是在同一构造应力场作用下形成的两种微破裂乃至构造活动现象[4]。

4　区域构造应力加强的信息

4.1　地震活动与地下水位异常

河间县东 10 公里的马$_{17}$井，1981 年 8 月 24 日突升 43mm；11 月 9 日隆尧 5.8 级地震前 3 天，水位突升 292mm[5]，溢出井口而喷涌。此后，1985 年 10 月 11 日又突升 103mm；11 月 30 日任县 5.3 级地震前 18 天突升 412mm，再次溢出井口。地下水位变化的机理之一是代表应力—应变状态改变引起的孔隙水压变化，是由含水层与围岩的应力—应变状态所决定的。马$_{17}$井自喷是上述地震之前井下含水层与围岩的应力增强的反应。同是居于河北平原地震带的辛集市南位伯晋$_{19}$井、永清县罗家营的浅牛^{6}井[6]和辛集南贤邱村 CK06 井[8]，在几次地震前水位都出现过较大幅度的异常（表 4）。之所以如此是因为河北平原地震带是华北区域应力场长期作用下剪切应力最大的条带，故水位变化十分突出。据万迪坤等研究[5]，自 1980 年深井观测网建立以来，河北及其邻区七次中强震的 22 井次异常中起始于震前 20 天内的有 9 次，占 40.9%；起始于震前 20～120 天的有 11 次占 59.1%。一次 5 级地震，地下水位异常分布的最远距离不超过 300km；而一次 6 级地震异常分布的最远距离可达 800km 以上。据科学院、地矿部等单位宏观考察队分别调查，1966

年邢台地震前地下水曾出现过一年以上的持续下降异常[7]。

表3 河北平原现代地震与地裂活动对应表

发震地点	时间（年．月．日）	Ms	地裂缝地点	时间（年．月．日）	发生方式	地裂长度（m）	震中距（km）	地震地裂时差(月)
峰峰	1968.4.22	4.2	邯郸市南汽修厂	1968.7.20	初生	700	10	3
永年	1977.10.14	4.3	邯郸市北电厂	1978.夏	初生	?	15	6
邯郸	1982.5.29	4.3	邯郸丛台公园	1982.5.6	初生	400	0	0
沙河	1928.冬	>4	邯郸北丛中村	1929.5—6	初生	750	20	6
永年刘营	1972.12.13	3.1	永年县前党村	1973.7.5	初生	500×3	6	7
			永年县韩营村	1973.7.5	初生	600×2	15	7
南和贾宋	1988.2.10	3.4	南和杨屯、三张	1985，1987，1988	再现	300	2	−30 4
任县东南	1988.7.10	3.0	南和史召、北高	1988.8—1989.7	初生	400	5	1
隆尧马栏	1966.3.8	6.8	隆尧马栏	1966.3.8	初生	断续长40km	0	0
任县东北	1985.11.30	5.3	隆尧马栏	1985.7	再现	2000	15	−4
辛集杜合	1988.5.12	3.8	辛集马疃—吴王	1988.7.14	初生	5000	6	2
辛集东宿	1990.12.24	4.5	安平南王宋	1990.6.25	扩长	2000	30	−6
蠡县南庄	1981.7.7	4.4	博野程六市	1981，	初生	455	8	0
任县东北	1977—1987	震群3.3	任丘北丁务	1982.7.11	初生	1000	>10	
大名	1968.4.2	4.2	大名龙王庙	1985.6	初生	500	0	204
巨鹿官亭	1989.7.28	3.8	巨鹿官亭医院	1992.6.26	初生	2—5	0	35
内丘白鹿角	1968.9.19	4.1	内丘白鹿角乡	83夏和88.8	滑坡裂缝	200—300	0	−60 240
柏乡周村店	1984.1.26	4.4	赵县丁村	1986	初生	50	5	24
隆尧西	1991.8.21	3.8	隆尧崔庄	1987.8.10	再现	200	5	−48
大城南扶赵	1976.4.22	4.3	大城南扶赵	1981.8	初生	150	0	62

www.cnki.net

表4　几次地震前水位异常变化表

震　例	观测井	震中距(km)	异常现象	
			最大幅度(mm)	超前时间(天)
1966年3月22日宁晋7.2级地震	CK06	41	降250	46
1981年11月9日隆尧5.8级地震	马$_{17}$	150	升292	77
	晋$_{19}$	67	降43	25
	浅牛$_{6}$	250	降65	28
1985年11月30日任丘县5.3级地震	马$_{17}$	190	升417	50
	浅牛$_{6}$	280	降37	38

4.2　地震活动与地应力异常

1966年邢台地震后第二年，就在隆尧县尧山打浅孔测量河北平原的地应力[3]。实践中总结出邢台地区4～5级地震，在电感曲线上就有凹兜反映的粗浅认识。从地应力电感曲线上分析，1986年3月10日东汪4.4级地震前6天出现异常，1969年7月18日渤海7.4级地震前2个半月出现异常；而与河北省紧邻的山西和顺和1971年6月5日4.7级震群时震前5个月隆尧站在应力出现了异常。前者应是临震异常，后两者应是短期异常。1976年唐山7.8级地震前，河北平原区的永年台地应力在33个月前(1973.7～1976.3)，即出现了趋势异常，震前半月(1976.7.13)再现了临震异常。1976年6月在尧山寒武系灰岩中孔深5～15m的应力测量得出最大主应力32kg/cm^2，最小主应力21kg/cm^2，最大主应力方向为NE87°，与近年来反映地裂缝动向和多数地震的震源机制解一致。

4.3　区域地应力增强的效应系列

综上所述，河北平原地震带近30年来，凡较大地下水的运移和聚散、地震活动的起伏和地裂缝的形成发展，都直接受到一定方向的地应力和地应力场的支配和驱动。可以看出，地下水位异常、地震起伏和地裂缝生消组成了一个区域地应力增强活动的效应系列。它们都是同一构造应力场作用下形成的不同构造活动现象。就河北平原地震带内某次具体的地震事件而言，地应力异常多在地震前几天到一年多时间发生[9]。地下水异常多在地震前20～120天内出现，地裂缝则多在震后1～7个月内显现。但就河北平原地震带总体而言，地应力趋势异常出现在地震活动高潮的2～5年前；地下水趋势异常的出现，至少是在包括邢台地震在内的1966年地震活动小高潮之前一年以上，而地裂缝活动高潮滞后地震活动1～2年。

总之，区域应力增强活动效应系列中，各个组分出现时间排列有序且依次滞后，这一现象可以作如下解释：河北平原地震带在第七地震活动期中，随着地壳应力不断增强，作为新构造运动中极其活跃的因素的地下水，在应力剧增后出现水位升高，乃至深井自喷现象。继之，区内岩土层节理受此不断增强的应力作用而扩展张开、发震，也需要一定的过程，因此地震活动于地下水位异常一年后才进入高潮。这种破裂传递到地表，使表土层出现地裂乃至位移，同样也需要一定的时间，致使地震活动小高潮1～2年后该区地裂活动才进入高潮。

5　结　语

5.1　河北平原地震带现代构造地裂缝和地震，都存在4～5年一个活动高潮的周期性活

动。近30年来，出现7个地裂与地震活动小周期，它们都直接受到活动的地应力支配和驱动。

5.2 河北平原地震带的地应力起伏、地下水位升降异常、地震活动和地裂活动，依次滞后几个月至2年。先后出现，相伴而生，是在同一区域构造应力场作用下产生的不同微破裂和构造活动现象。它们组成区域地应力增强的效应系列，同是河北平原区域应力场不断加强的信息。掌握这种信息对地裂和地震灾害的预测预报是很有理论和实际意义的。

参考文献

1 王景明，马广达．河北平原地裂缝及其危害．水土保持学报，1990，4(4)：81～87.

2 王景明，常丕兴．汾渭地裂缝与现代地震活动．地震学报，1989，11(1)：57～66.

3 王景明等编著．华北地震灾害与对策，北京：地震出版社，1993，18～19.

4 王景明．渭河地震带地裂与地震活动的周期性．地震学报，1985，7(2)：200.

5 万迪坤，贾化周，董守玉，黄保大，蓝秀英．河北及其邻区地下水位震例分析，华北地震科学，1987，5(增)：144～148.

6 张宝民，肖爱华．浅牛6、井地震前的异常特征，华北地震科学，1990，8(3)：90～92.

7 马宗晋等，中国九大地震．北京：地震出版社，1992，99.

8 河北省地震局，一九六六年邢台地震，北京：地震出版社，1986：173～247.

9 孙叶、张景寿、王承颜、田洪清编著。地应力与经济建设，北京：地震出版社，1989，144～153.

GROUND FISSURES AND SEISMICITY OF THE HEBEI PLAIN SEISMIC BELT

Wang Jingming Ni Yulan

(Research Center of Seismalogy Engineering)

Abstract In the recent 30 years ground fissures have developed at 402 sites in Hebei Plain, among which at least 71.5% of them resulted from tectonic ground fissures. It has been found out that they are related with the medium—sized and micro—earthquakes in recent years and controled directly by the activities of crustal stress, Both the fissures and the earthquakes could be active for as long as 4 to 5 years. Furthermore, the maximum crustal stress, the high level of ground water, the earthquakes as well as the activity of ground fissures in the area were delayed form several months to two years respondingly, and they, occurred as a series of events. all the four factors mentioned were influenced by the increase of the crustal stress in the area.

Keywords Seismic activity Tectonic ground fissures Crustal stress

河北平原构造特征、地裂缝分布及成因机制

刘 科，王景明

（河北理工大学，河北 唐山 063009）

摘要：河北平原区地裂缝的广泛出现对地面建筑、地下管线工程、水利设施和农田道路造成一定程度的危害。到2000年底河北平原区发现构造地裂缝212处、482条，累计全长176.2 km，河北平原区地裂缝总体发展有由南向北、由西向东推移的变化规律；河北平原区构造地裂缝方向性强，可以分为SN、NNE、NE、EW和NW五组。通过河北平原区域构造研究，应用分形模型对河北平原区地裂缝进行量化分类、确认，发现河北平原区地裂缝连通性差，为区域微破裂为主，断层蠕滑型地裂缝为辅的分类格局，另外断裂活动与地裂缝发展具有同向性，可以认为两者有共同的构造基础。

关键词：河北平原；地裂缝；成因机制

中图分类号：P642 **文献标识码**：A **文章编号**：1672-1683(2005)06-0038-05

Ground Fissures and Its Distribution in Hebei Plain

LIU Ke, WANG Jin-ming

(*Hebei Technology University, Tangshan* 063009, *China*)

Abstract: By the end of 2000, there were 212 sites, 482 strips with a total length of 176.2km of the tectonic ground fissures in Hebei plain. The developing variational law of the ground fissures was from south to north, from west to east. The up-growth direction of the tectonic ground fissures was well, and its direction could be divided into SN, NNE, NE, EW and NW. Through region tectonic study and fractal dimension application, the ground fissures could be quantitatively classified. We found that the connection of the ground fissures was poor in Hebei plain and the region feeble fracture in dominance and the faultage squirm in inferior.

Key words: Hebei plain; the ground fissure; fractal

1 河北平原区域构造特征

河北平原拗陷区属中国东部新华夏系第二沉降带，是一系列北东—北北东方向隆起、凹陷组成的多字型构造，自东而西有埕宁隆起、黄骅凹陷、临清凹陷、沧州隆起、冀中凹陷、冀南凹陷、北京—涿县凹陷，在这些凹陷带中又有次级的凸起和凹陷，组成多字型构造，其走向大致为北东40°左右。在隆起、凹陷间及其内部发育一系列北东向巨型断裂如山区与平原间的通县—新城、定兴—石家庄、石家庄—磁县断裂以及沧州、

收稿日期：2005-04-03

基金项目：国家自然科学基金项目"河北省地裂缝的形成机制及其危害的研究"(49272158)

作者简介：刘 科(1976-)，男，山西朔州人，讲师，硕士，主要从事环境工程地质、工程地质研究。

表1 白洋淀污染物趋势检验结果

断面	TN	TP	COD_{Mn}	BOD_5	硫化物
安新桥	无明显趋势	显著下降	显著上升	高度显著上升	显著上升
端村	无明显趋势	无明显趋势	无明显趋势	无明显趋势	无明显趋势
圈头	无明显趋势	无明显趋势	无明显趋势	无明显趋势	无明显趋势
整个淀区	无明显趋势	无明显趋势	显著上升	显著上升	无明显趋势

从计算结果可以看出，作为府河入淀口的安新桥断面5年来污染呈加重趋势，除了总磷浓度显著下降外，其它四种污染物均呈上升趋势，尤其是BOD_5呈高度显著上升趋势；从淀内的端村和圈头两个断面的计算结果来看，白洋淀内污染物浓度无明显升降趋势；从整个淀区污染物浓度的平均值变化来看，COD_{Mn}和BOD_5呈上升趋势，说明白洋淀以有机物污染最为严重，且污染物主要来源于府河沿岸和淀周边。

参考文献：

[1] 李建国，李贵宝，崔慧敏，等. 白洋淀芦苇湿地退化及其保护研究[J]. 南水北调与水利科技，2004，2(3)：35-38.

[2] Vab Belle, G., and J. P. Hughes. Nonparamertic tests for trend in water quality, Water Resources Research 1984, 20: 127-136.

[3] KENDALL M G. Rank Correlation Methods [M]. London: Charles Griffin, 1975.

[4] 王教春. 水质系统信息识别与评价方法研究[D]. 武汉：武汉水利电力大学，1996.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

八宝山、怀柔—房山、夏垫、潘庄—大城、献县—枣强断裂等。(北京、天津、河北地震构造 30)[1]此外，在纬向构造带上也发育有一系列新华夏系断裂，如冀北纬向隆起带上的四岔口，东万口—邓栅子、花吉营—西龙头、郭家屯—半截塔、汤道河—塔黄旗、马山—滦平断裂带和燕山纬向褶断带上的香炉山—洗马林、庞家堡—龙关—赤城、马家峪、兴隆—鹰手营子、五指山—上谷—平泉、杨河峪—大吉口—杨树岭、杨河峪—峪耳崖—汤道河、燕河营—双山子、义院口断裂带。[2]

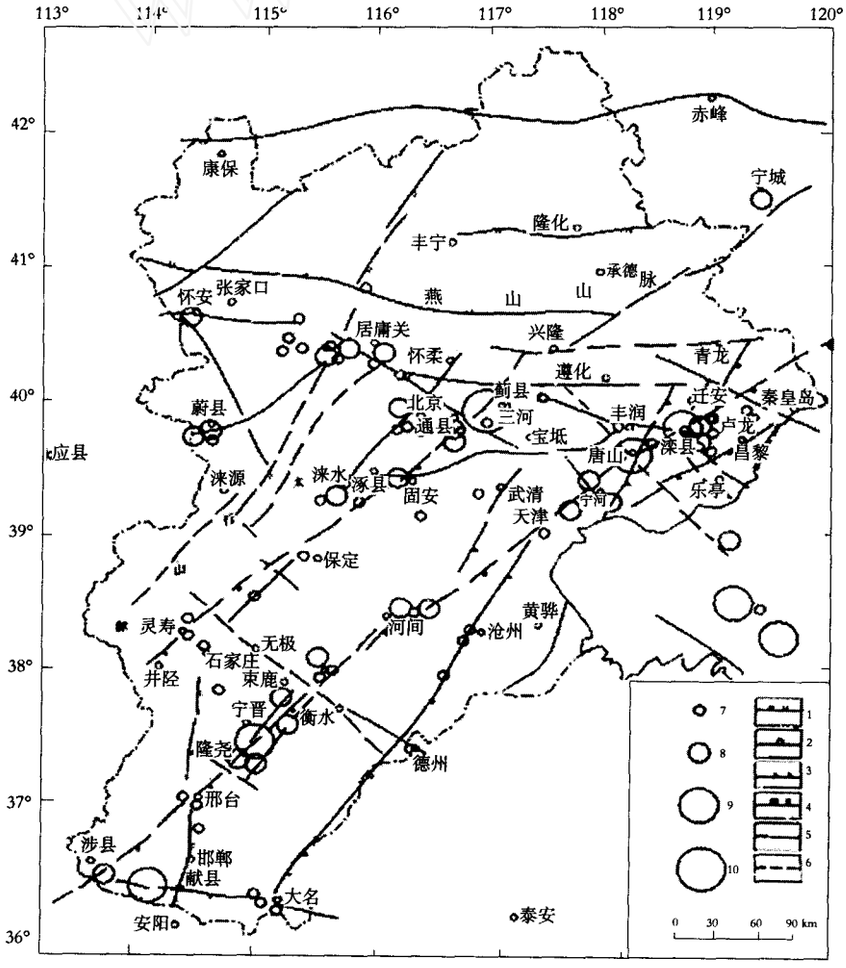
1.1　河北平原新华夏系沉降带

位于河北省东南部，为新华夏系第二沉降带—华北平原沉降带的一部分，北为涿县—固安、香河—宝坻及宁河等纬向断裂为界，西以定兴—石家庄及石家庄—磁县北东向新华夏断裂为界，南东与河南、山东为邻。

古生代末至早第三纪初期，本带处于隆起状态。从始新世开始下沉。由于受新华夏系北东向定兴—石家庄、石家庄—磁县百尺口、柏乡、潘庄—大城、献县—枣强及沧州断裂及北西西向辛集—衡水、天津—塘沽及磁县—大名断裂的影响。形成了冀中凹陷、冀南凹陷、沧州隆起、黄骅凹陷。第四纪以来由于继承性的构造活动，不断使河北平原扩大，沉积了巨厚的新生代地层。

冀中凹陷北以涿县—固安、香河—宝坻纬向断裂为界，西以定兴—石家庄，及石家庄—磁县断裂北北东向新华夏系断裂为界，南以柏乡北东向新华夏系断裂及辛集—衡水北西向断裂为界，东以潘庄—大城、献县—枣强北东向新华夏断裂为界。历史上地震较强烈。

冀南凹陷西以石家庄—磁县北北东向新华夏断裂为界。北以柏乡、辛集—衡水北东向及北西向新华夏断裂为界，东与沧县隆起相邻，南以磁县—大名断裂为界。该凹陷内有辛集、邯郸及正县凹陷。最深处在正县，上第三系厚度达 2 000 m。该凹陷的西北部及南部地壳活动性强，近代曾发生过邢台地震。



1. 纬向构造体系；2. 经向构造体系；3. 新华夏构造体系；4. 华夏系构造；5. 断列；6. 推断断裂；7. 5～5. 9 级地震；9. 7～7. 9 级地震；10. ＞8 级地震

图 1　河北省构造与地震震中分布图[3]

1.2　太行山山前断裂带

它主要由黄庄—高丽营、保定—石家庄、元氏、邯郸、汤西和盘古寺等断裂组成。构成华北平原地震带的西界，它在石家庄以北为北东向。以南为近南北向。到新乡则为近东西向。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

黄庄—高丽营断裂走向北北东。倾向南东东，倾角 70°左右。正断层，全长 100 km 以上。它控制了北京凹陷的西界。第四纪期间，此断裂有明显活动，但活动时期向南向西变新，活动强度自南向北增大。

保定—石家庄断裂走向北北东，倾向南东东，倾角 30°左右。为一缓倾铲状正断层。它作为徐水、保定和石家庄凹陷的主边界断裂，控制了中、新生代沉积。其主要活动期为中生代晚期和新生代早期，渐新世活动不明显，晚第三纪以来又表现出一定的活动性，并且有由南向北迁移的特点。

元氏断裂为近南北走向，倾向东，倾角较缓，约 35°～40°，晚第三纪以来有活动。

邯郸断裂总体走向北东 20°，倾向南东，正断层，控制了邯郸凹陷晚第三纪的沉积。该断层第四纪早期活动较强烈。

汤西断裂走向北东 15°～27°，倾向南东，据人工地震勘察资料，断面倾角平缓，剖面上为铲状形态。此断裂与汤东断裂一起控制了汤阴地堑的发育。晚第三纪以来断裂差异活动幅度南大北小。第四纪以来仍存在一定的差异活动。

汤东断裂是汤阴地堑的东界断裂，断裂东侧上第三系出漏于地表，而西侧则埋藏于第四系之下。

盘古寺断裂位于太行山南麓，近东西走向，大部分倾向南，全长 160 km，晚第三纪和第四纪早期活动明显。

沿断裂带曾发生过 1685 年涞水 6 级、1730 年京西 6 $\frac{1}{2}$ 级地震以及一些中强震。

1.3 沧东断裂带

沧东断裂位于华北平原的东北部，是华北地区的一条规模较大的断裂。它北起宁河，向南经沧州、南皮、吴桥和山东德州，直至临清附近，总体走向 NE30°左右，全长约 350 km。沧东断裂是渤海湾盆地黄骅坳陷和沧县隆起共有的主要边界断裂，且对临清坳陷和衡水－邢台隆起的有关部分起分隔作用，其结构、构造形态及活动性质和强度直接影响着相邻构造单元的形成和发展。渤海湾盆地位于华北断块区的东部[4]。早第三纪，新生代裂陷作用使渤海湾盆地区的地壳强烈拉张断陷，产生了一系列断陷盆地（凹陷），其中绝大多数为单边断陷（半地堑），多为 NNE 至 NEE 走向，堆积的下第三系一般厚 4 000～6 000 m。它们往往呈带状分布，成为断陷盆地带，一条断陷盆地带相应构成一个早第三纪坳陷，如黄骅坳陷、济阳坳陷。坳陷间常隔以隆起、埕宁隆起。整个盆地成为多坳多隆、多凹多凸的复式盆——岭构造系统[5]。

它是黄骅坳陷和沧县隆起的分界断裂，走向北北东，倾向南东，倾角在南皮—沧州—中旺一段十分平缓，仅 20°～30°左右，往南往北均较陡，达 50°。该断裂在南皮、东光一带被一些北西向断层切割。新生代时期沧东东列的活动由南向北发展。下隆盘一侧形成的南皮、沧东、板桥沉降中心由南向北迁移，在沧东一带始新统底面落差达 3 000 m。东光以北的人工地震剖面表明，此段断裂倾角较陡，达 60°。构成沧县隆起于南皮凹陷的分界断裂，上升盘为石炭－二迭系为主的基岩；下降盘沉积了后 3 000 m 的下第三系，断层面明显延入上第三系。上第三系底板落差 300 m 左右。人工地震剖面穿过沧东断裂的南段，剖面的下第三系和上第三系底板落差均较小，据沧州地区水文钻孔资料，断裂两侧第四系底面落差约 66 m，此断裂尚无 6 级以上强震的记载。但在此段有中小地震发生。

沧东断裂第四纪活动由南向北变新，但断裂晚更新世以来无明显活动。因此，就整个沧东断裂而言，并非是活动断裂。如前所述，沧东断裂主要形成于早第三纪，基本发育于上地壳，为一大型拆离滑脱断裂，在其倾向上水平延伸数十 km。这类断裂断面的力学性质往往自上而下具拉张、张剪、剪切、压剪直至挤压的变化。[6]

1.4 涉县—卢龙断裂带

河北平原的涉县—卢龙华夏系深断裂带南部的邯郸至深县段断层位移方式分段比较明显。南段邯郸至隆尧蠕动为主，北段隆尧至深县以粘滑为主，主体为牛家桥断裂和百尺口断裂相向构成的束鹿地堑。沿线未见明显蠕动现象，很少有地裂缝和小震活动，却在 1966 年发生宁晋 7.2 级地震，以及隆尧、宁晋、新河、官厅的 6.8 级、6.7 级、6.2 级和 6 级强震，组成强震群。1966 年宁晋、隆尧强震群的地震地裂缝，形成沿发震构造的南从任县邢家湾北至束鹿

白尺口断裂：经向深县、新河、巨鹿一带。展布于磁县西部地区，是北西西向磁县活动断裂带西段，总长 35 km，分为南山村断裂及岔口断裂两段。南山村活动断裂，地表出露约 5 km，横切北北东向鼓山山脉。岔口活动断裂总长 16 km，东端始于陶泉盆地西侧，向西连续延伸经北王庄，在涉县甘泉村以西，活动断裂断续展布延伸至清漳河西岸席家村南山。岔口活动断裂与南山村活动断裂之间有 14 km 地段活动构造行迹。

另外还包括辛集—宁晋断裂、衡水断裂、临漳—大名断裂。

2 河北平原地裂缝分布特征

到 2000 年底河北平原区构造地裂缝 212 处，482 条，全长 176.2 km 其中地震断层地裂缝 3 处，3 条 29.5 km（见图 2）。

华北地裂缝分布区多为亚板块内密集的区域微破裂开启型和断层蠕滑型地裂缝，其累计长 497 km；地震断层地裂缝累计长 320.5 km[7]。地裂缝长度也有增长的趋势，其中大于 1 000 m 者发展到 13 条、500～1 000 m 者 13 条、100～450 m 者 63 条。有几处 NNE 向地裂缝顺扭位移 1～2 cm、NWW 向地裂缝反扭位移最大为 7 cm，共同反映东西向的区域主压应力作用。有的地裂缝一侧地面下降 1～20 cm。其方向性强，可以分为 SN、NNE、NE、EW 和 NW 五组。初步调查表明，河北平原地裂缝因干旱、风雨、滑塌、边坡重力和湿陷造成的非构造地裂缝只占 27.1%，而由于断层活动和由区域土层构造节理开启经诱发而显现的构造地裂缝至少占 71.6%。

3 河北平原地裂缝发育特征

据实测资料分析，自 1929 年邯郸出现地裂缝以来，1963 年开始扩展，到 1981 年底已遍布河北平原，1983 年底分布状况基本定型。总体发展变化规律是由南向北、由西向东推移，

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

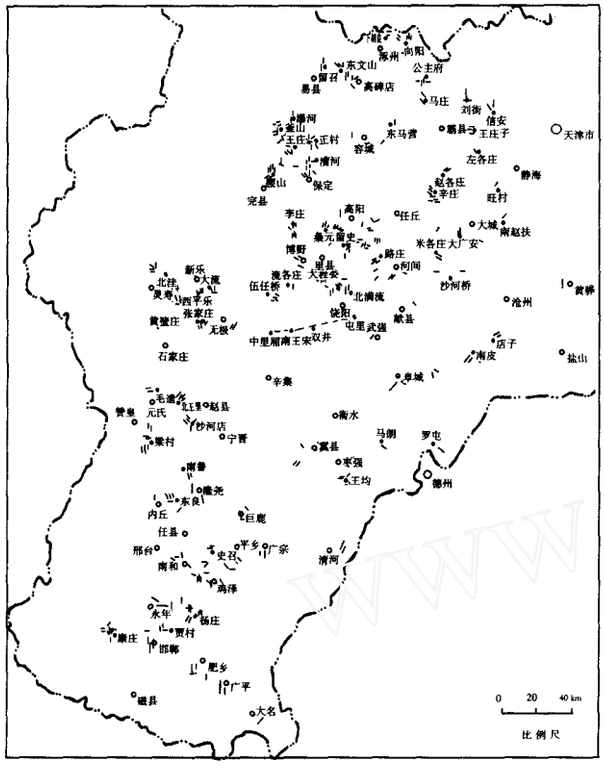


图 2　河北平原区地裂缝分布图

1640 年北到辛集、东到辛集，1966 年发展为北到获鹿、东到新河，1975 年北到正定、东到赵县，1981 年底北到永清和新城、东到静海，1983 年北到涿州、东到黄骅。

现以查明的地裂缝，均分布在广阔的河北平原区内太行山与燕山山前倾斜平原亚区和中部低平原亚区，发育在全新世巨厚的冲积和冲洪积相的亚砂土、亚黏土、黏土和砂层中。规模大小不一，一般单条长 20～300 m，短者仅十余 m，长者如辛集马疃—深县大贾，地裂缝长达 9 000 m，循 NNE 向断续延伸至饶阳北马长达 36 km。调查表明，河北平原地裂缝长大于 300 m 者有 53 条，大于 500 m 者 36 条。一般宽 2～50 cm，最宽达 1 m，可见深度 3 m，邯郸卫校探槽底深 9.8 m 处仍见地裂缝。暴雨后沿地裂缝多出现落水洞，进而连通成沟，如无极县东汉村落水洞陷坑直径宽达 3 m、深 4 m。地裂缝平面上呈锯齿状、直线形或雁列式；剖面上形如锯齿，裂口上宽下窄。裂面粗糙近直立，偶见下滑的擦痕，垂直位移 1～19 cm，邯郸地裂缝张量为 10 cm。永年韩营地裂缝呈右行雁列[8]（张尔框，1976），邯郸国棉一厂和民航宿舍围墙顺扭1 cm，均显示它们为张扭性，与西安地裂缝相似，均属构造地裂缝。

4　地裂缝与构造的关系

从河北平原地裂缝的分布看，地裂缝集中分布的两个条带，大致呈北北东或北东方向展布。山前地裂缝分布带主要与山前大断裂走向一致。本带是新华夏系运动以来升降运动差异最大的分界线。而第二条带主要在冀中断陷及霞南断陷内，本区在第三纪末，尤其第四纪为强烈沉降区，存在着强烈的构造差异活动，是应力易于集中的地区。因此可见本区地裂缝与构造运动所产生的内应力有着密切的关系。

华北地区现代地壳处于一致性较好的应力场中，其主压应力轴为 NEE 向，主张应力轴为 NNW 向，主应力轴的倾向都不大。而地裂缝的走向绝大多数也为 NNE、NE 向，可见地裂缝的产生受控于地球内营力。

总之，地质构造是控制地裂缝孕育发展、活动性质和展布格局的决定性因素。

5　地裂缝分形的研究

分形（fractal）是一种局部与整体之间存在的某种相似的形（Mamdelbrot），分形的核心是自相似性，分形的特征量是分维数。分形理论在地学中的应用非常广泛，目前人们已经对断层的分形特征进行了研究，而地裂缝的分布与断层具有许多相似之处，地裂缝的分形特征描述是一个富有吸引力的研究方向。在地震分形的研究中，人们发现，一般来说，无论是一次岩石破裂实验还是一次地震破裂过程，在破裂前的变形阶段都有降维特点[9－12]。在地裂缝产生前同样要经过变形阶段，在这个阶段里有没有降维的特征是一个重要问题，对地裂缝的预测预报工作具有重要意义。

对有 $N(r)$ 部分的对象进行概化，从整体通过比率 r 可以推广得到，那么分形维数 D，就定义为：

$$N(r)r^D=1\rightarrow N(r)=\frac{1}{r^D}$$

对数为常用对数，底数为 10；

式中：N—尺度大于 r 的物体个数，即累积频数；

D—某一分形体的分维值，它反映分形体形态，结构的复杂程度。

估计分形维数的基本构思

$$D=\frac{\log N(r)}{\log\frac{1}{r}}$$

（1）迂回法。$L(length)=rN(r)=\frac{1}{r^D}$

（2）盒子法。$N(r)\infty\frac{1}{r^D}$

（3）栅格法。总括裂缝的方格数 $N(r)$

对地裂缝分形维数的计算步骤：

①把河北平原区分割成边长为 r 的几个正方形；

②计算所有包含裂缝的方块数量 $N(r)$；

③计算裂缝长 $L=rN(r)$，r 为边长、裂缝长依赖于边长；

④在求得裂缝长度后再求对数函数曲线 Log(L) 和 Log(r)；

⑤用回归分析法计算曲线的斜率；

⑥斜率为 $1-D$。

地裂缝统计结果分析：

①所求分形维数在理论分析之间（1～2）；

②从所求值可看出地裂缝网络间的实际连通情况，如，接近 1 表示不连通，接近 2 表示连通；

③分形维数可用于预测地裂缝的密度；

④环境工程上，可用之划分土的区域分界；

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

⑤还可以借用于模拟土体地裂缝参数的筛选；

⑥能量耗散随 D 的增加而增加，因为分维 D 反映了裂缝分布的不规则性，平均间距越小，N 越大，分维值也越大，说明越不规则。

用 1∶1 000 000 地裂缝分布图作为基础图件，利用 1 cm 的正方形网格化，共剖分为 504 个单元，地裂缝所占单元数为 170。将河北平原区地裂缝分别以 r 为 1 cm、3 cm、7 cm、10 cm、15 cm、20 cm 的正方形方格进行划分，可得分形维数参数表(见表 1)

表 1　河北平原区分形维数参数

R/mm	10	30	70	100	150	200
Nr	164	66	23	15	7	6
$L=rN(r)$	164	198	161	150	105	120
Log(r)/mm	1	1.47	1.85	2	2.17	2.3
Log(L)/mm	2.21	2.3	2.21	2.17	2.02	2.08

以 Log(r)为横轴，Log(L)为纵轴，需用最小二乘法将所得数据进行拟合处理：

运用最小二乘法可得斜率为 −0.147 2，即 $1-D=-0.147\ 2$，故 D 为 1.147 2。

最小二乘法具体做法如下：

令 $y=c_1+c_2x$

$$A=\begin{bmatrix}1 & 1\\ 1 & 1.47\\ 1 & 1.85\\ 1 & 2\\ 1 & 2.17\\ 1 & 2.3\end{bmatrix},A^TA=\begin{bmatrix}6 & 10.79\\ 10.79 & 20.58\end{bmatrix},$$

$$y=\begin{bmatrix}2.21\\ 2.3\\ 2.21\\ 2.17\\ 2.02\\ 2.08\end{bmatrix}A^Ty=\begin{bmatrix}12.99\\ 23.18\end{bmatrix}$$

法方程组

$A^TAc=A^Ty$

的解为

$c_1=2.43\quad c_2=-0.147\ 2$

所求的函数关系为

$y=2.43-0.147\ 2x$

即　$Log(L)=2.43-0.147\ 2\ Log(r)$

误差平方和

$\sigma=y^T(y-Ac)=0.069$

从以上计算分析可以看出 D 接近于 1，说明地裂缝连通性差，表明其以区域微破裂为主，断层蠕滑型为辅的分布格局。

6　结　论

(1)分析河北平原构造基础及地裂缝的分布发展特征，可推断出地裂缝的成灾机制、发育环境。

虽然构造地裂缝的分布范围不受地貌单元的限制，在洪积台地、河流阶地、冲积平原洼地、底山丘陵地区都有分布，但上述地貌单元界线往往是当地断裂活动的痕迹，而构造地裂缝又常是这些断裂蠕滑的形迹，所以构造地貌的边界常常控制断层蠕滑型地裂缝的分布。此外，利于地表水而加速下渗的地貌部位，常是有较多地裂缝产生的地方。

黄庄—高丽营断裂在第四纪期间，有明显活动，但活动时期向南向西变新，活动强度自南向北增大，保定—石家庄断裂晚第三纪以来又表现出一定的活动性，并且有由南向北迁移的特点。沧东断裂第四纪活动由南向北变新，但断裂晚更新世以来无明显活动。

断裂活动与地裂缝发展中的同向性，可以认为两者有共同的构造基础。

(2)用地裂缝分形探索河北平原区的地裂缝成因，认为以区域微破裂开启型为主，且主要分布于冀中平原。为查明地裂缝的时空演化提供了新的理论与方法，将地裂缝统计提升到定量的高度。同时，通过实地地裂缝探槽剖面调查也可以看出，地裂缝发育的第四系土层中没有出现错动，也应证了以区域微破裂为主的地裂缝占主导。

参考文献：

[1] 杨理华，刘德林. 30 北京、天津、河北地震构造[A]. 中国岩石圈动力学地图集[C]. (1∶1 750 000). 河北省地震局.

[2] 杨景铎. 河北省构造体系与主要铁矿类型关系的研究[A]. 河北省地质矿产局综合地质大队. 中国分省构造体系研究文集[C]. 地质矿产部地质力学研究所编. 地质出版社. 1985，2.

[3] 王景明. 冀京津区自然灾害及其防治[M]. 地震出版社. 1994，10.

[4] 张文佑. 断块构造导论[M]. 北京：科学出版社. 1980.

[5] 徐　杰. 华北平原新生代裂陷盆地区的伸展构造及其与地震活动的关系[A]. 博士论文[C]. 北京：国家地震局地质研究所. 1986.

[6] 高战武，徐杰，宋长青，等. 华北沧东断裂的构造特征[J]. 地震地质，22(04). 2000，12.

[7] 王景明. 地裂缝及其灾害的理论与应用[M]. 西安：陕西科学技术出版社，2000.

[8] 张尔匡. 永年县北部地裂现象的形成条件及其地质意义[J]. 河北地质情报. 1976. 2.

[9] Ross. B.. Dispersion in fractal fracture network. Water Resources. 1986，22，P823-827.

[10] Katz，A. J. and Thompson，A. H.，1985，Fractals sandstone pores：implications for conductivity and pore formation. Physical Review Letters. 1985，54，325-1 328.

[11] Jai-young Lee and Carol J. Miller. Fractal dimension for the cracks of compacted clay liners in the landfill cover system in winter condition. Gelsciences Journal. Vol. 4，No. 2，June 2000.

[12] 仪垂祥. 非线形科学及其在地学中的应用[M]. 北京：气象出版社，1995.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

第7卷 第3期
1996年9月

中国地质灾害与防治学报
THE CHINESE JOURNAL OF GEOLOGICAL HAZARD AND CONTROL

Vol.7 No.3
Sep. 1996

河北平原辛—安—深地裂缝成因探讨*

刘金峰 梁少春 赵文强 王景明

(河北地质学院水工系) (唐山工程技术学院)

提要 本文在辛—安—深地裂缝时空分布特征实地探查研究的基础上，通过地裂缝与地质环境及各种致裂因素关系的分析，认为该地裂缝是特定地质环境下的产物，受控于深县断裂，是在主压应力为NE50°的现代区域应力场作用下，深县断裂长期蠕动、近期活动进一步加强的地表显示，为构造地裂缝。在地裂缝的形成、发展过程中，地下水、地表水的活动，促进了地裂缝的显现和加速发展。

关键词 地裂缝 地质环境 应力场 活动断裂

辛—安—深地裂缝位于河北平原中部，石家庄辛集市与衡水地区安平县、深县的交界处(图1)，分布在东经115°20′—115°26′之间，与北纬38°5′线近于重合，总体走向NW 275°，一般地表宽度0.1—0.5m，可见深度2—3m，全长8.75km，是河北平原（包括京、津地区）最长的一条地裂缝。地裂缝所经之处，农田被毁、民房开裂、道路破坏，给当地人民造成一定经济损失，引起地方政府的极大关注。

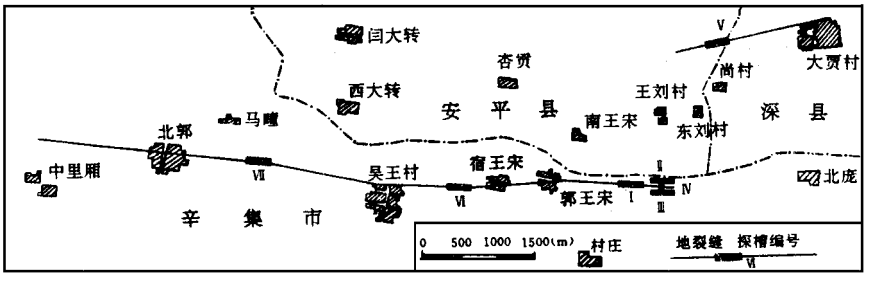


图1 辛—安—深地裂缝及探槽工程分布图

Fig.1 Map showing the distribution of Xin—An—Shen geofracture and test trench

本文是在河北平原（包括京、津地区）地裂缝成因机制的研究，调查500多条地裂缝的基础上，通过近二年的实地重点探查撰写而成。

一、辛—安—深地裂缝产生的地质环境背景

辛—安—深地裂缝是河北平原规模最大的一条地裂缝，它是特定地质环境背景下的产

* 国家自然科学基金资助项目

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物，对其地质环境的分析，有助于判明地裂缝形成的主导因素，揭示其本质特征。

(一) 区域地质构造特征

地裂缝区处在华北平原沉降带冀中拗陷南端的深县凹陷内，东以青县—肥乡（献县—武邑）断裂为界与沧县隆起毗连，南以衡水断裂为界与临清拗陷的新河凸起为邻（图 2），地壳厚度 36—37km，上第三系底板埋深 1600—2200m，第四系厚度为 600m 左右。

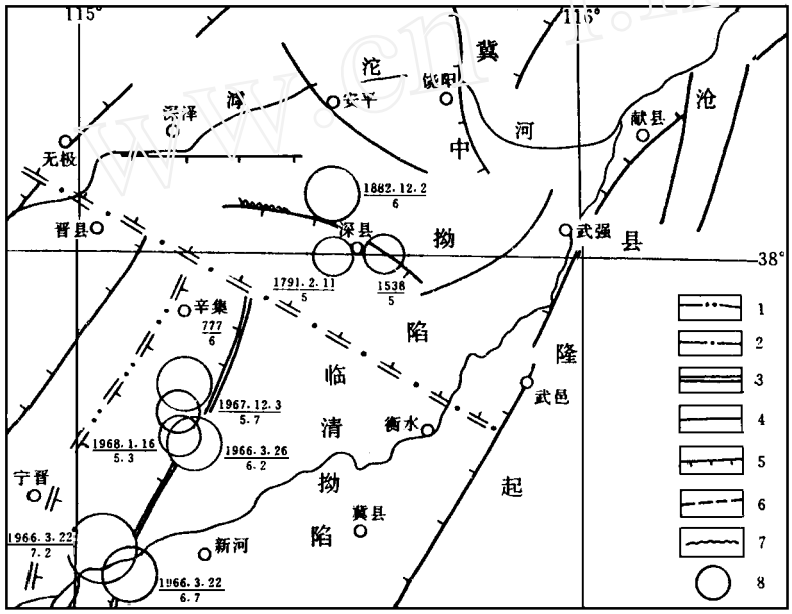


图 2　辛—安—深地裂缝地质构造背景图（1∶1000000）

Fig. 2　Map showing the background of the geological feature of Xin—An—Shen geofracture (1∶1000000)

1. 地壳断裂；2. 基底断裂；3. 新生代活动断裂；4. 一般活动断裂；5. 正断裂；6. 推断断裂；7. 地裂缝；8. 震中（时间/震级）

华北平原沉降带是河北省区域主体构造，冀中拗陷是在 NNE(NE)向、NW 向和近 EW 向活动断裂的控制下所形成的次一级断块沉降区。同时，由于区内近 EW 向活动断裂的控制又形成了一系列更次一级的凹陷和凸起。深县凹陷就是冀中拗陷中的次一级断凹，它是由衡水断裂和深县一系列 NWW 向断裂控制而形成的（图 3）。衡水断裂与深县断裂特征如下：

① 衡水断裂：为冀中拗陷与临清拗陷分界，是新生代活动断裂，全长 95km[1]，正断层。走向 NW 295°，倾向 NE25°，倾角 60°。断层面下端切入基底，深约 8km，上断点伸至第三纪和第四纪地层。断面两侧上第三系底板落差 1000m，下第三系底板落差 5000m。

② 深县断裂：是一条近 EW 展布的阔弧形活动断裂，弧顶指向北，总体走向 NW 290°（东段 300°，西段 278°），倾向 SW，倾角 60°，全长 38km，正断层。从物探地质剖面可以看出，深县断裂是由一系列产状相近的阶梯状正断层组成的断裂带。在 15km 的剖面线上发育 10 条断裂，其中多数断裂切至基底，上断点都延至第三纪和第四纪地层，断面两侧上第三系底板落差 150—250m，下第三系底板落差 300—1250m。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

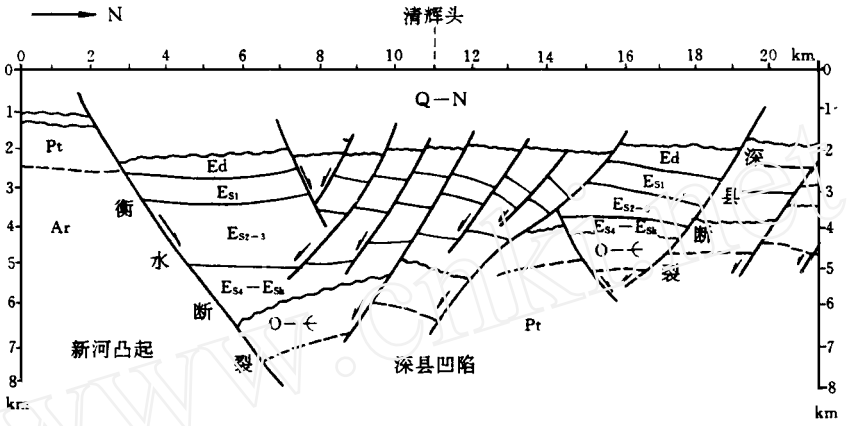


图 3　辛—安—深地裂缝区地质剖面图

Fig. 3　Geological profile of Xin—An—Shen geofracture area

衡水断裂和深县断裂带都是隐伏的活动断裂，断层面相向而倾，共同控制和影响着深县凹陷，凹陷中心在衡水断裂一侧。

(二) 水文地质与工程地质特征

地裂缝区处在太行山山前倾斜平原与中部平原分界线西侧，滹沱河中期冲、洪积扇中下部，滹沱河已迁至本区北部（据 TM 卫星图象）。区内西高东低，自然坡降为 0.4‰，地面标高在 27—31m 之间。多年平均降水量为 480mm/a，降水时间集中在每年 7、8、9 三个月，占年降水量的 50% 以上。大气降水入渗和地下水侧向径流为本区地下水的主要补给来源，农田灌溉、大气蒸发以及地下径流为主要排泄方式。据 1986—1991 年河庄地下水动态观测资料，区内地下水位逐年下降，速率为 0.8m/a。

区内第四系覆盖层厚度 600m 左右，为一套多层结构的泥、砂质松散堆积物。据钻孔揭露第四纪地层自上而下可划分四个含水组（与第四纪地层划分一致）。第一含水组 (Q_4) 为河流冲积和沼泽洼地型沉积物，以亚砂土为主，底部为粉细砂和亚粘土，厚度为 75.5m；第二含水组 (Q_3) 主要为河流冲积、洪积物，局部有少量静水洼地沉积物，岩性以亚砂土和粉细砂、中细砂互层为主，下部有厚层亚粘土，底界埋深 209.6m；第三含水组 (Q_2) 主要由河流冲积物构成，上部为不等粒砂和亚砂土，下部为中粗砂、中细砂与亚粘土互层，底界埋深 451.3m；第四含水组 (Q_1) 为河湖相泥砂质沉积，主要由中、粗砂和粘土层组成，埋深 651.6m。当地农灌主要使用浅层地下水，开采强度不大。

据区内钻孔岩性资料分析，垂向上岩性特征是上、下部颗粒较细，中部较粗。地表出露的主要为粘土和亚粘土，分布无规律，其工程地质特征见表 1。表中 4 处土样试验数据表明，马疃村的粉质亚粘土具有高压缩性和中等湿陷性，南王宋村亚砂土具中等压缩性和强烈湿陷性。此外，地裂缝区表层土的工程地质特征参数均在常见值范围内。区内除地裂活动外，无其他不良地质现象发生，工程地质条件良好。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1　辛—安—深地裂缝区土工试验数据表

Tab. 1　Testing results on physico-mechanicul characteristics of soil at Xin—An—Shen geofracture area

采样点	含水率(%)	天然密度(g/cm³)	土粒密度(g/cm³)	孔隙比	液限(%)	塑限(%)	液性指数	塑性指数	压缩系数(MPa⁻¹)	压缩模量	湿陷系数	抗剪强度		粒组(%)			定名
												C(MPa)	φ(度)	>0.05(mm)	0.05~0.005(mm)	<0.005(mm)	
南王宋(夹层)			2.65		41.3	23.8		17.5						7	46	47	轻粘土
尚村	28.38	1.92	2.63	0.77	27.1	19.0	1.2	8.1	0.19	4.39	0.001	0.03	46.7	53	40	7	亚砂土
马疃	12.5	1.69	2.58	0.71	40.1	23.9	-0.7	16.2	0.81	2.09	0.06	0.035	28.5	31	54	15	亚粘土
南王宋	18.1	1.66	2.62	0.87	26.4	20.0	-0.3	6.4	0.32	5.83	0.11	0.032	47.0	1	89	9.8	亚砂土

二、辛—安—深地裂缝的基本特征

辛—安—深地裂缝近东西向展布，全长 8.7km，一般地表宽度为 0.3—0.5m，可见深度 2—3m，剖面多呈上宽下窄的楔形，裂口粗糙不平，无明显水平位移和垂向错动现象，显示为张性。地裂缝显现地表的时间有先有后，表现形式不同，具一定的分段性。据其发现时间和形态特征等，大致可分为 4 段。

1. 中里厢—北郭段:

1990 年浇地时出现，长 2000m，走向NW 275°。其中有的地段表现为沿线串珠状塌坑，有些地段为 0.1—0.2m 齿状延伸的裂缝。之后数年来在农田灌溉中或降雨时多次再现，甚至裂缝拓宽塌陷，漏水严重。

2. 北郭—吴王村段:

1988 年 7 月 14 日大雨之后发现，长 2600m，走向NW 275°。马疃村南裂缝宽 0.2—0.4m，最宽达 1m 以上，1988 年以后，每年浇地多次再现，严重漏水，村民好奇，用 3　泵往裂缝中灌水，2 个小时未能灌满，其剖特征见图 4。

3. 吴王—郭王宋段:

1988 年 7 月 14 日大雨后发现，走向NE88°，长约 2250m，一般宽 0.2—0.8m，可见深度 0.2—1.0m，其剖面特征见图 5。本段地裂缝东部吴王至宿王宋之间比较明显，农舍裂缝至今仍有保留（吴王村东北角）。宿王宋村东至村西 300m 长度上几乎所有房屋（14 户共 40 间）都发生不同程度的开裂，村东一农舍院内地表在

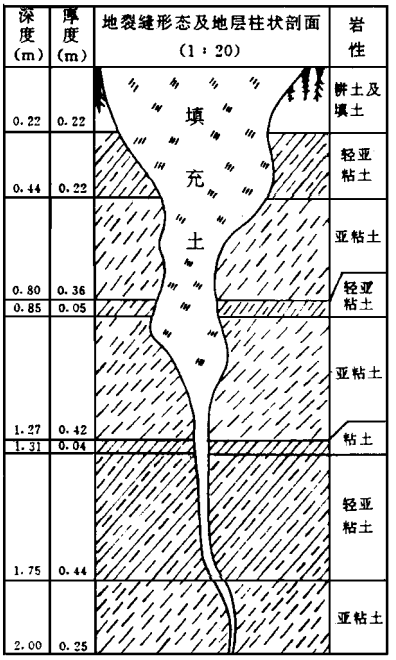


图 4　Ⅶ号探槽地裂缝形态及岩性柱状图

Fig. 4　Map showing the geofracture form and column of the test trench Ⅶ

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

94 年春节期间出现宽 0.01m 的裂纹，表现该地裂缝近期仍有活动。宿王宋村西探槽中除一条主裂缝外，还有一条次裂缝，探槽北 8m 处发育一条与主裂缝平行的地裂缝，呈现成带性特点，带宽不小于 8m。另外，本段地裂缝上农田灌溉时漏水现象明显，如探槽西 20m 处农民浇地，水很快从地下涌入探槽，表明其连通性较好。

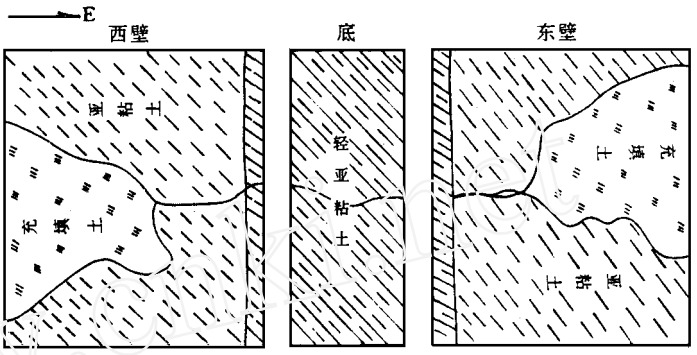


图 5　宿王宋村西Ⅵ号探槽展示图（1∶40）

Fig. 5　Map showing the test trench Ⅵ in the west of Su—Wang—Song village (1∶40)

4. 郭王宋—北庞村西段：

1990 年后在浇地、降雨时陆续出现，长 1850m，断续分布，总体走向NW 274°，一般宽 0.1m，最宽 0.5m。郭王宋村东赵建家北屋 1992 年出现地裂缝，长约 5—8m，宽 0.02—0.05m，窗台开裂 0.01—0.03m。在郭王宋村东 1300m 处开挖 4 个探槽，其中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号探槽东西向布置，Ⅳ号连接Ⅱ、Ⅲ号成“Ⅰ”字形（图 1）。据探槽揭露，共发现 2 条地裂缝（相距 5—6m）和 7 条微细裂缝，它们均为东西向分布。之外，在Ⅳ号探槽发现喷砂、冒水、砂柱、砂包等地震遗迹。地裂面粗糙，无位移，近于直立，在 1.5m 深度内宽窄变化不大，在垂直和水平方向上呈齿状延伸，且有首尾“夕”字形断续相接的现象（图 6）。

综上所述，辛—安—深地裂缝在平面上具有长度大、整体方向性强、连通性好及一定的成带发育的特征，局部锯齿状延伸，个别部位由串珠状塌坑构成。剖面上宽下窄，裂面粗糙，0.5m 深度以内缝宽可达 1m 以上，0.5m 以下裂缝宽度均一，多在 0.01m 左右，裂缝两侧无明显位移和水平错动现象，无擦痕，具张性特征。

三、辛—安—深地裂缝成因分析

河北平原地裂缝，是地表松散岩层变形破坏的一种地质现象。其形成原因由多种因素所致，一般是以一种因素为主，多种因素综合作用的结果。通过对辛—安—深地裂缝地质环境背景及其基本特征的分析研究，认为其成因与深县断裂密切相关，是现代区域构造应力场活动加强的产物。而其它致裂因素与之无直接关系，但它们在地裂缝的产生和发展过程中，具有一定的诱发或促显作用。

辛—安—深地裂缝始现于 1988 年（北郭—马疃段），以后的 3—4 年间，在浇地和降雨过程中反复活动，陆续显现。地裂缝主体走向 275°，与王景明教授在河北平原南部以黄土节理研究确定的主压应力方向为NE50 的现代区域构造应力场，在理论上所应产生的一组扭裂面方向正好相等。另外，据南王宋村地裂缝所经农田的主人说，他家耕地近年来有上升的现象。（证据：机井在农田北部，浇地时水由北往南流，近几年水越来越难往南流，只好将北部的垄沟加高才能正常灌溉）。

深县断裂是一条弧形活动断裂，总体走向 290°，西段走向 276°。深县断裂附近，历史

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

上有 2 次 5 级地震和 1 次 6 级地震的记录 (图 2), 其中 1882 年深县 6 级大地震震中就在断裂线上。1988 年至 1990 年, 深县断裂附近发生了几次小震, 它们与地裂缝显现的时间、地点的关系见下表。

辛—安—深地裂缝出露于深县断裂的西段, 走向仅差 1°, 分布位置几乎重合, 都具张性, 并且与近代地震活动在时间或空间上十分接近。二者这种在空间展布、力学性质及现代活动特征上的高度一致性, 表明它们之间具有明显的成生联系。分析认为, 辛—安—深地裂缝是深县断裂长期蠕动, 第四纪进一步活动在地表松散层的反映, 作为地壳应力调整过程中的一种表层破裂效应, 揭示了本区现代构造应力场近期显著加强的特点, 具有明显的构造属性。

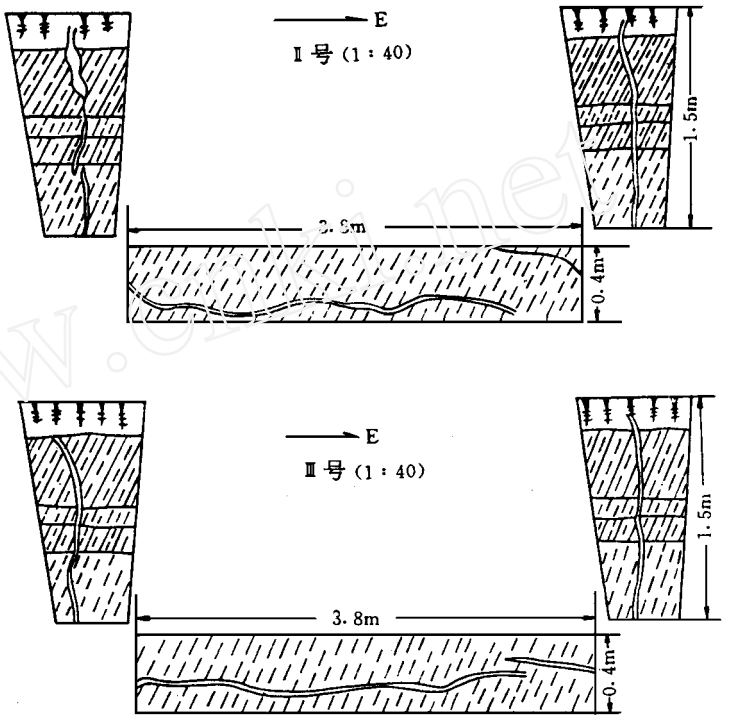


图 6 郭王宋村东Ⅱ、Ⅲ号探槽展示图 (岩性符号同图 4)

Fig. 6 Map showing the test trench Ⅱ、Ⅲ in the east of Guo-Wang-Song village

表 2 辛—安—深地裂缝与近期地震活动关系对比表

Tab. 2 Relationship between Xin—An—Shen geofracture and resent earthquake aetivity

地震			地裂缝			地震地裂时差 (月)
时间 (年、月、日)	震级 (Ms)	地点	时间 (年、月、日)	地点	与震中距 (km)	
88.5.12	3.8	辛集杜合庄	88.7.14	马疃—吴王	3	2
90.12.24	4.5	安平东刘村	90.6.25	南王宋	2	-6

辛—安—深地裂缝各段均陆续出现于每年雨季的降水过程中或农田灌溉时, 可见地表水的活动对隐伏地裂缝的显现具有一定的诱发作用, 特别是连续大雨之后, 这种现象尤为明显。可以认为, 地裂缝区地表浅部具有一定压缩性和湿陷性的土层, 在含水量骤然增加的条件下, 其工程地质性质急剧变差, 使隐伏 (隐蔽) 的地裂缝部位地层结构破坏, 成为地表水渗透和流入的良好通道, 随之冲蚀、搬运作用发生, 致使地裂缝开启显现, 甚至产生串珠状塌坑或陷槽。在上细下粗的“二元结构”地层中, 这种现象更为明显。

地裂缝区地层均匀, 工程地质条件良好, 人类工程活动轻微。由于地裂缝分布在广阔的平原, 含水层厚度变化不大, 水文地质条件较好, 地下水只用于农灌, 分散开采, 强度不大, 未形成地下水降落漏斗, 每年 0.8m 的地下水位下降速率, 为区域水位变化所致。区

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

内地面沉降也具区域特征，无特殊反映。所以，认为这些因素对地裂缝的形成影响不明显。

综合上面致裂单因素的分析，辛—安—深地裂缝成因概述如下：

辛—安—深地裂缝具明显的构造属性，是在特定地质环境背景上（深县凹陷不断相对下沉）构造活动不断强化，应力积累逐渐加强的结果，其形成与发展严格受地质构造控制，是在区域应力场作用下，深县断裂长期蠕动、第四纪进一步活动的地表显示，属于构造地裂缝。在农田灌溉和降雨时，地表细粒土层由于含水量猛增，使区域构造应力场中的土体内变形在断层通过处加大而遭破坏，这就更加剧了地表水对土体的作用活力，进而导致地面裂缝的显现和加速发展。

参 考 文 献 （略）

DISCUSSION ON THE GENESIS OF XIN—AN—SHEN GEOFRACTURE IN THE HEBEI PLAIN

Liu Jinfeng　Zhao Wenqiang　Liang Shaochun

(*Hebei College of Geology*)

Wang Jingming

(*Tang-Shan College of Engineering Technology*)

Abstract

Based on the in-situ investigation of Xin—An—Shen geofracture, the interrelation within the geofractuse、geological environment and vary facturs resulting in geofracture have been analyzed. It is considered that the geofracture, being a formation under special geological environment, controled by Shen Xian fracture, being the surface indications which a long-term creep of Shen Xian fracture and the strengthening of activity requtly result in under the function of modern regional stress field in which the direction of the main extrusion stress is NE50°, is a tectonic geofracture; in the process of the formation and development of the geofracture, the activity of groundwater and surface water promote the indications and development of the geofracture.

Key words: geofracture, geological environment, stress field, active fracture

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

河北省沧州市地质灾害与地下水关系研究

白永辉,张 丽
(河北省地勘局 第四水文工程地质大队,河北 沧州 061000)

摘要:文章主要对沧州市的地面沉降、地裂缝等地质灾害的发育特征进行了分析研究,论述了其与地下水的关系。得出深层地下水水位降深 70m 可作为控制地面沉降发展的警戒水位降深,浅层地下水水位埋深 7m 可作为地裂缝多发的警戒水位埋深的结论。这为地质灾害监测工作相对滞后,而地下水水位监测系统相对完善的平原地区,如何控制地质灾害的发生、发展提供了一个可资借鉴的思路。

关键词:地质灾害;地下水;警戒水位 河北沧州
文章编号:1003-8035(2005)03-0071-03 **中图分类号**:P642.26 **文献标识码**:A

1 前言

沧州市地处河北省中东部,东临渤海、南与山东省及衡水市交界,北接天津市、廊坊市,西与保定市相连。地理坐标东经 115°42′～117°51′,北纬 37°28′～38°57′,面积 14056km^2。

沧州市为我国资源性缺水最严重的城市之一,人均资源量 192m^3,仅相当于全国人均的 8%。作为环渤海沿海开放城市之一,沧州市具有得天独厚的地理环境优势,最近一二十年,国民经济得到了迅猛发展,城市规模不断扩大,需水量逐年增加,致使水资源供需矛盾日益尖锐,水已经成为沧州市社会经济可持续发展的最主要的制约因素之一。为了适应经济建设发展的需要,在地表水资源匮乏的情况下,不得不加大地下水资源的开采强度,使很多地区长期处于超采状态。由于地下水的大量或超量开采,导致区域地下水水位快速下降,加之沧州市地质环境比较复杂,生态环境较为脆弱,引发或加剧了一系列地质灾害。目前沧州市主要的地质灾害为地面沉降、地裂缝、软土触变、土壤盐渍化、沿海风暴潮等。本文从目前对沧州市威胁最大的地面沉降及地裂缝出发,对上述地质灾害与地下水的关系进行初步分析、研究。

2 地面沉降与深层地下水关系

2.1 地面沉降发展概况

沧州市地面沉降始于 1970 年,当时的沉降量仅 9mm。随着社会经济的逐渐发展,地下水开采量逐渐增加,地面累计沉降量也随之增长。至 1980 年,沉降中心累计沉降量为 272mm,沉降速率为 27.2mm/a;至 1990 年,沉降中心累计沉降量为 1131mm,沉降速率为 85.9mm/a,较上一时段增加了 58.7mm/a;至 1997 年,沉降中心累计沉降量达 1996mm,沉降速率为 118.6mm/a,为地面沉降发育最快的时期,并引发了交通、防洪、防汛、城市建设、人民生活等一系列的经济、环境及社会问题。由于人们对地面沉降危害程度的认识不断增强,也采取了一系列的防治措施,如:市区内部分机民井封停、工矿企业到市区外围开辟新水源地,以及 1996 年底大浪淀水库的运营等,因而在一定程度上缓解了地面沉降发展速率,其降至 68.75mm/a。虽然如此,截至 2001 年,沧州市沉降中心累计沉降量已达 2236mm(图 1)。

2.2 深层地下水降落漏斗发育概况

在地面沉降发生、发展的同时,沧州市的深层地下水也经历了从天然流场到缓慢发展、较快发展、相对稳定、迅猛发展等 5 个阶段。自 1969 年以沧州电厂为中心的深层水降落漏斗形成以来,随着地下水开采量的增加,地下水水位不断下降,降落漏斗范围不断扩展。1972 年全市平均水位埋深仅有 2.45m,漏斗中心水位埋深 9.21m;到 1980 年平均水位降至 23.03m,比 1972 年平均下降了 20.58m,下降速率为 2.57m/a,漏斗中心水位埋深 69.99m,中心水位下降速率为 5.11m/a。到 1990 年,漏斗中心水位埋深已降至 82.08m。到 2000 年漏斗中心水位埋深降至

收稿日期:2004-09-24;**修回日期**:2005-02-16
作者简介:白永辉(1974—),男,工程师,在读硕士生,1996 年毕业于成都理工学院水工系,一直从事水文地质工程地质工作.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

95.69m(图 2)。

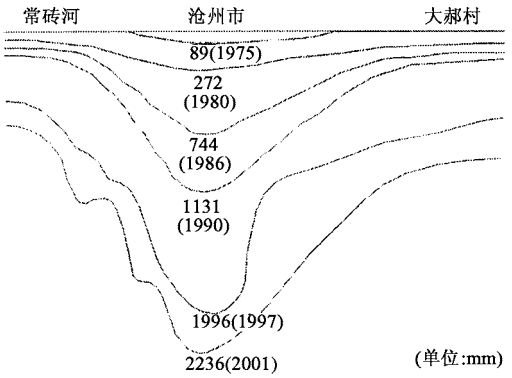


图 1 沧州市地面沉降发展变化图

Fig. 1 Diagram showing developing progress of land subsidence in Cangzhou

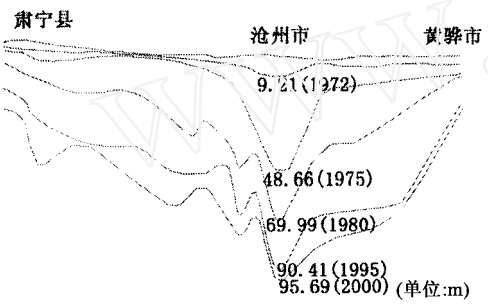


图 2 沧州市深层地下水降落漏斗发展变化图

Fig. 2 Diagram showing developing progress of deep groundwater come of depression in Cangzhou

2.3 地面沉降与深层地下水关系

通过图 1 及图 2 对比,可清楚地发现,沧州地面沉降的发生、发展过程与深层地下水降落漏斗的形成过程基本一致。地面沉降的分布范围、形态与地下水降落漏斗基本相同。

2.3.1 与含水层关系 由于深层地下水的大量超采,造成地下水的孔隙水压力降低,有效应力增大,致使含水层被压缩,土颗粒接触面积增大,孔隙度减小,含水层发生弹性变形。如果孔隙水压力能够很快恢复,则含水骨架是能够得以复原的,这种沉降则仅是暂时性的地面沉降。这也是上海、天津等地采用地下水回灌之所以能够控制地面沉降发展的一个重要原因。若孔隙水压力不能很快恢复,则地面沉降将有可能成为永久性地面沉降。

2.3.2 与粘性土隔层的关系 由于大量超采地下水,造成地下水水位急剧下降。当含水层与粘性土隔层之间的水头差足以克服水与土颗粒之间的结合力时,粘性土层中的结合水从中排出,使其孔隙变小,土颗粒之间发生相对位移,致使粘性土层的孔隙结构被破坏而发生塑性形变。一旦粘性土层发生了这种形变,即便含水层中的孔隙水压力能够恢复,也只能使变形后的粘性土层中的孔隙水压力升高,而不能使其孔隙度和储容水量恢复到初始状态。由此形成了永久性的地面沉降。

基于以上分析,笔者对沧州市地面沉降中心的累计沉降量与该处的深层地下水水位降深进行了分析,发现地面累计沉降量与地下水水位下降幅度呈高度正相关关系(图 3)。

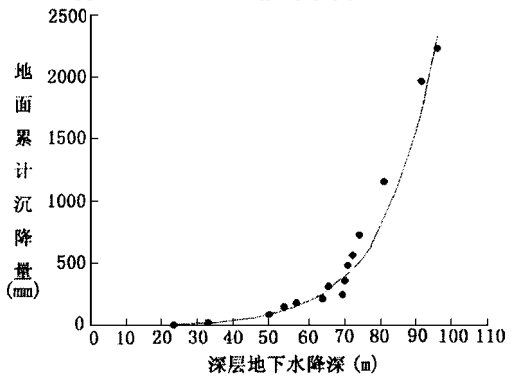


图 3 地面累计沉降量与深层地下水水位降深关系图

Fig. 3 Comparison between accumulative subsidence and depression depth of deep groundwater level

由图 3 可知,水位降深 70m 是地面沉降发展过程中的一个十分明显的拐点。此后地面沉降从缓慢增长几乎变为直线增长,沉降速率远比水位降深 70m 之前大得多。当水位降深较小时,含水层与粘性土隔水层之间的水头差所产生的应力小于土层的前期固结压力,地面沉降发展缓慢;而当水位降深较大时,若含水层与粘性土隔水层之间的水头差所产生的应力大于土层前期固结压力,甚至造成土层结构破坏时,地面沉降的沉降速率必将加快。为此,水位降深 70m 应为沧州市控制地面沉降发展过快的一个警戒水位降深值。由此可为地质灾害监测工作较滞后,但地下水水位监测系统相对完善的平原地区,控制地面沉降等地质灾害的发生、发展提供了可借鉴的思路。即通过地下水位降深控制地质灾害的发生、发展。

3 地裂缝与浅层地下水关系

3.1 地裂缝分布特征

近年来,沧州市的地裂缝发生比较频繁,呈现快

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

速发展趋势。仅近 5a 来新发生地裂缝就达 20 条以上。其主要分布在浅层地下水开采较强烈的地区(如任丘、肃宁、河间、献县等地)。上述地区的浅层地下水水位埋深一般大于 7m。而在黄骅、海兴、盐山等沿海地区,由于浅层水多为咸水,开采量较小,水位埋深比较浅,一般 2～4m,部分地段小于 2m,地裂缝发育较少,甚至不发育(图 4)。其最大可见深度一般均在浅层地下水水面附近。

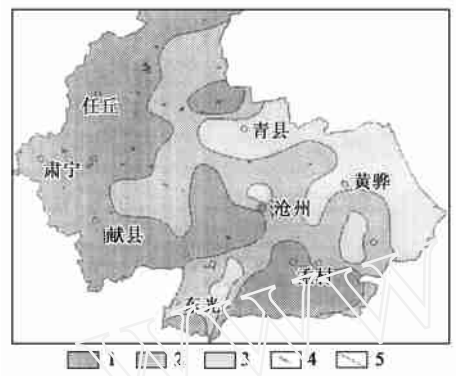


图 4　沧州地裂缝与浅层地下水关系图

Fig. 4　Relation between ground fissure with shallow groundwater layer in Cangzhou

1 - 地下水位埋深 > 7m;2 - 地下水位埋深 4～7m;
3 - 地下水位埋深 < 4m;4 - 地裂缝;5 - 地下水埋深界线

3.2　地裂缝与浅层地下水关系

在地裂缝的产生过程中,地下水作为应力的传递媒介之一,其作用有两个方面。

3.2.1　地下水在对力的传递过程中,具有很强的消散作用,力可以借助地下水体向多个方向扩散,而不是向一个方向或一个部位聚集。由此,在很大程度上可避免地裂缝发生。当地下水不存在时,应力只能借助岩土层传递,其传递的方向性较强且易向某个方向或某个部位聚集,造成岩土层中结合力相对较差的部位(如冲洪积扇的扇缘、古河道带沿线)首先开裂。这一点已得到证实。

3.2.2　地下水可以改变岩土体的塑性。位于地下水位以下的岩土层在应力作用下产生的变形多为塑性变形,不易开裂;而在地下水位以上的土层,由于释水后塑性降低,脆性增强,容易开裂。特别是暴雨或灌溉之后,在水的浸润下岩土体结合力将会更低。同时,由于地表水体的加入,岩土体的重量增大,造成原有的拉张应力变相增强,使得地裂缝更容易产生或显现。这一点也已得到证实。这也就可以说明为什么在沧州地区,甚至在河北平原,地裂缝的最大可见深度一般多位于浅层水的水面附近。

通过分析沧州地裂缝发育情况与浅层地下水水位埋深之间的关系(图 5),可以得出如下的结论:当浅层地下水水位埋深大于 7m 时,地裂缝发生的概率相对比较大;而当浅层地下水水位埋深小于 7m 时,特别是小于 4m 时,地裂缝发生的概率相对比较低,或者根本不发育。

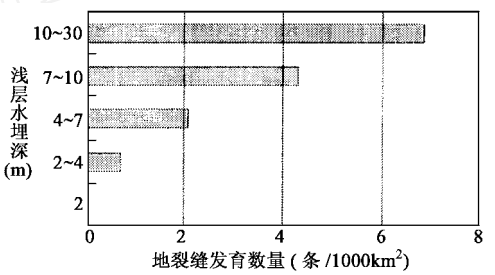


图 5　沧州地裂缝与浅层地下水关系图

Fig. 5　Relation between ground fissure with shallow groundwater layer in Cangzhou

4　结语

通过以上分析,可以得出深层地下水水位降深至 70m 是控制地面沉降发展的警戒水位降深值。浅层地下水水位埋深 7m 是地裂缝多发的警戒水位值。以上结论是在沧州特定的沉积环境条件下得出的。存在着一定的局限性。仅供同行参考。

参考文献:

[1]　环渤海地区(河北部分)地下水资源与环境地质调查评价[R]. 2001.

[2]　陈望和,等. 河北地下水[M]. 北京:地质出版社,1999.

(下转第 78 页)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Environmental geological problems and control countermeasures of Heibaoshan-Muerqi Basin, Heilongjiang Province

ZHANG Da-peng[1], ZHANG Rui-zhong[2], XU De-lan[3], MA Guo-dong[1], TENG Xian-feng[4]
(1. Qiqihar branch, Heilongjiang Institute of Geological Survey, Qiqihar 161005, China;
2. Team706, Heilongjiang Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Qiqihar 161031, China;
3. General Station of Geo-Environment Monitoring of Heilongjiang Province, Haerbin 150096, China;
4. Qiqihar Institute of Mineral Resource Exploration and Development, Qiqihar 161006, China)

Abstract: This paper introduced the economic geographic condition and geologic environmental background of the Heibaoshan-Muerqi Basin, and expatiated the main environmental geologic problems of the basin. There are many environmental geologic problems in the basin, which can be classified as the first environmental geologic problem and the second one by the formation factors. The first environmental geologic problems are the all kinds of problems involved with geology exsiting in the natural environment, which are cause by the exogenic geologic process and the endogenic geologic process. Permafrost soil distributs in the area with the first environmental geologic problems. The second environmental geologic problem is caused by human engineering and economic activities, such as soil erosion, mineral well subsidence and earth's surface water, ground water and soil pollution etc. The paper discussed the region of each environmental geologic problem occurring, and analyzed on characteristics, formation and harm of each key problem. The environmental geologic problems inside the basin are more outstanding, especially the ones induced by human activities, having resulted in much harm at different degrees, therefore it must attach enough importance to them and take prevention and cure measure.

Key words: Heibaoshan-Muerqi Basin; environmental geology; countermeasures; Heilongjiang Province

(上接第 73 页)

Study on relationship between geological hazard and groundwater in Cangzhou, Hebei Province

BAI Yong-hui, ZHANG Li
(The 4th Hydrology and Engineering Group of Geology Reconnaissance Office of Hebei Province, Cangzhou 061000, China)

Abstract: On the basis of study of geological hazards, such as land subsidence, ground fissure and so on in Cangzhou of Hebei Province, the authors have drawn a conclusion that groundwater water level drops deep to 70m may be the warning depth for developing land, subsidence, the depth of 7m of groundwater water level may be the warning depth for developing of ground fissures. This conclusion is much helpful for controlling geological hazard especially in places where the monitoring work of the geological hazard is sluggish, but the observation system of groundwater is consummate.

Key words: geological hazard; groundwater; warning groundwater level; Cangzhou, Hebei Province

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

地 球 学 报
第 21 卷 第 2 期 ACTA GEOSCIENTIA SINICA Vol. 21 No. 2
2000 年 5 月 Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences May 2000

河北省地质环境评析与思考*

徐桂林 谷永昌

(河北区调研究所,廊坊)

摘 要 地层、岩石、构造、水形成了地球表部的地质环境。地质灾害是地质环境演化为另一新的有序的自稳状态的调整。文中从生态地质环境、生产地质环境和生活地质环境 3 方面论述了河北省环境系统的基本组成要素(地层、岩浆岩、构造、水)的特征与分布,简述了系统中地震、泥石流、崩塌、滑坡、地裂缝、岩溶塌陷、海水入侵、工程建设、生活污染等主要破坏因素,指明了破坏因素的分布范围、隐患区段、破坏程度以及诱发灾害的特定背景,分析了防治地质灾害的措施和对策,并对工程系统、地质环境及其与人类的关系问题进行了思考。

关键词 地质环境 地质灾害 工程系统 稳态平衡

1 生态地质环境

1.1 重要存在系统

1.1.1 地层 河北省区域内发育一套典型的晋冀鲁豫地层区的地层。从最古老的太古宙到新生代,各类岩石形成了地壳表层的地质环境,为生态提供了必需的存在空间。太古宙为一套以麻粒岩相高角闪岩相为主的片麻杂岩,组成了地球最初的陆壳,这一古老克拉通是生态存在较稳定的地域。古元古代地层为厚达万余米轻微变质的火山 - 沉积岩系,主要分布在本省太行山南段。中元古代地层是一套未变质的地台型海相、泻湖相的富镁碳酸盐岩、碎屑岩、粘土岩岩石。寒武 - 奥陶系厚度较大,一般千余米,分布在唐山及太行山南段,主要为陆、浅海相碳酸盐岩及泥砂质岩类。石炭 - 三叠系由湖沼相、河流相的碎屑岩和少量灰岩组成,分布在太行山、燕山的山麓与平原过渡区,是重要的含煤地层,也是生态地质环境的薄弱地段。侏罗 - 白垩纪地层,岩性岩相发生剧烈变化,总体为火山 - 沉积岩系形成的众多陆相盆地。新生代地层主要为泥砂质堆积的松散沉积物,广泛分布在河北平原区;在山区表现为小型盆地,为山谷河流相、湖泊相的砂砾粘土堆积。

1.1.2 岩浆岩 岩浆活动在本区剧烈频繁,是生态地质环境的主要形成条件,同时也是重要的影响因素。从太古宙到新生代每一大的地质构造变动时期都伴随岩浆活动,形成了不同环境中不同的构造岩浆岩带。晚太古代(五台旋回)发育 EW 向构造岩浆岩带,仅部分为 NE 或 SN 向构造岩浆岩带。早元古代以 NE 或近 SN 向岩浆岩为主导,中元古代为受裂谷边缘控制的构造岩浆岩带(古生代为 SN 向,中元古代 NE、NNE 为主),新生代为由 NE 向转为 NW 向的构造岩浆岩带。

* 第一作者:徐桂林,男,1951 年生,高级工程师,现从事区域地质矿产调查工作,邮编:065000

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.1.3 构造　本区处于中朝准地台和内蒙 - 大兴安岭褶皱带 2 个 I级构造单元上❶。前者由内蒙地轴、燕山台褶带、山西断隆和华北坳陷 4 个 II级构造单元所构成。内蒙地轴岩浆活动极为发育,褶皱微弱,结晶基底岩石刚性较强地壳相对稳定。燕山台褶带自晚三叠世以来,地壳活动强烈,构造运动的剧烈改造变形,大规模的花岗岩入侵导致地质环境相对复杂。断裂构造发育,在全区深度达硅铝、硅镁层的深大断裂有十余条,尤其康保 - 围场、沽源 - 张北、青龙 - 滦县、昌黎大断裂对区内地壳稳定性产生重大影响。恒山 - 坝上高原幔坳、太行幔坎、燕山幔阶及河北平原幔隆 4 大深部构造不同方向的转折交汇地带是本省地震灾害频发,形成破坏生态地质环境的重要因素。

1.1.4 水资源　我国水资源总共约 2.8 万亿 m^3/a,其中地下水 0.87 万亿 m^3/a,人均占有水资源仅为世界平均水平的 25 %❷。城市建设的快速发展,人口的增长,省区内水资源十分紧缺,在干旱、半干旱的北部地区,地下水实际开采量达600亿m^3/a,其中华北平原236亿m^3/a。目前,地下水资源大超量开采,且开采范围集中,使地下水位下降,从而引发地面沉降、地面塌陷、海水入侵等灾害。

1.2　破坏因素

1.2.1 地震　省区内地震多发,自公元 294 年以来,共发生 $M \geq 5.0$ 级地震 80 余次,近 40 年来,7 级以上地震就有 3 次。震中空间分布上明显受深部构造控制,震源的深度多在 10～25 km 之间。资料分析表明,区内 $M \geq 6.0$ 级的震中多集中分布在 3 个区段:①环河北平原边缘的燕山及太行山山前地带,即上地幔隆起边缘的莫氏面急剧变化地带;②燕山与太行山脉斜向接壤的蓟县 - 怀来一带,即 NNE 与 EW 向深部构造的交汇转折地带;③平原区内部次级幔凸的周围,如渤海湾、深县 - 河间等地。此外,深大断裂及活动性断裂亦为诱发地震灾害的重要背景。

1.2.2 泥石流　泥石流的形成和分布明显受地质、地貌、暴雨、洪水等条件影响,山地强烈抬升、地势陡变、切割深、坡比大,为泥石流提供了地形条件。而大量破碎、结构松散的碎屑岩石为其储备了丰富的物质来源。近年来,省区内泥石流灾害频繁,如 1995 年燕山地区由于雨量大、强度高,致使平泉县蚂蚁沟、迁西县汉儿庄和栗树湾、迁安县桑园等地区发生了强大的泥石流灾害;1996 年 8 月太行山特大暴雨引起的石家庄南部和邯郸等地泥石流灾害。

1.2.3 崩塌及滑坡　崩塌和滑坡都是由于斜坡失稳变形造成的灾害。滑坡主要分布在中低山区和山前地段,山体在断裂、节理裂隙作用下,岩石松散破碎稳定性极差,经暴雨洪水的侵袭或地震、人类工程活动的影响进而引发滑坡。值得注意的是,省内山区不少地段不同程度存在滑、塌隐患。开挖工程、修建铁路、公路使山体边坡比倾角增加,裂隙发育,脆弱的岩石、片麻岩、粗粒花岗岩、火山沉积岩等在暴雨季节极易产生滑、塌。存在隐患的地段有迁西大关庄公路段、渔户寨、北水峪路段。青龙 - 秦皇岛北段、兴隆县半壁店、京承旅游公路、滦平张百湾及邢台 - 南合路段等山体坡度大,岩石松散,为危险的滑塌地带。

1.2.4 地裂缝　是地壳表层的断裂现象和地震、活动断裂及人类活动等因素引起的地壳表层完整性的破坏现象,分构造地裂缝和非构造地裂缝。构造地裂缝是内力作用形成的,包括

---

❶ 河北地质矿产局. 河北省北京市、天津市区域地质志. 1969

❷ 张宗祜. 走向二十一世纪环境地学问题研究论文集,序. 1996

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

火山地裂缝和断裂长期活动的蠕滑地裂缝,其影响范围取决于活动断层的规模。非构造地裂缝主要有崩滑型和沉降型等,多为人工作用(如开采、抽水)与自然因素叠加而形成。地裂缝在山区和平原均有存在。1997 年 3 月在石门寨镇的房庄村马蹄岭山体产生断裂缝[1]。邯郸市发现的 5 条地裂缝也是构造活动造成的[2]。在平原区(衡水)亦见有地裂缝存在。

1.2.5 岩溶塌陷 省区内较严重地带为唐山、秦皇岛柳江盆地以及邯邢西部岩溶发育区。开口的岩溶形态、覆盖松散的土体和水的活动是发育岩溶塌陷的主要条件。其成因机理的重要因素是"压强差效应"和"垂直渗压效应"。1976 年唐山大地震后发生塌陷 120 余处,主要分布在唐山市区凤凰山西麓及赵各庄、林西、黑鸦子、小屯、沙河等地,大的塌陷坑直径达 100 m 以上。1983～1988 年造成危害和规模较大的岩溶塌陷共 19 处。

2 生产地质环境

2.1 自稳性条件

地球为人类生存发展提供了必需的地质环境,地质环境的有序生产开发无疑对人类是有益的。但若陷入盲目过度的程度,地质环境的自组织结构和有序自稳性就会被破坏,地质灾害也就不可避免。

2.2 破坏因素

2.2.1 采空塌陷 这是一种人为的突发性的地质灾害,是人类的工程活动造成的。采空塌陷多发生在山区、山前平原的矿山开采区,尤以煤矿区较严重。唐山古冶巍山矿区、柳江煤矿区、邯郸磁山、武安团城及邢台内邱等地的煤矿区,多年来大规模的开采,地下水、煤层被采空,塌陷灾害极易产生。

2.2.2 海水入侵 主要发生在滨海地区。秦皇岛市的洋河口、戴河口较为严重。由于超强度开采地下水,破坏了滨海地带地下水与海水的动力平衡,地下水位下降,形成了低于平均海平面的负值区段。这种情况下,海水和海底咸水不断向滨岸陆地方向扩侵,使淡水资源遭到破坏,而形成持久性的地质灾害。上述地段在 70 年代初仅个别水井出现咸化,到 1986 年,在南戴河 - 卜家营一带普遍发生海水入侵,入侵面积达 22 km^2,致使枣园水源地 4 眼水井水质恶化,22 眼农井报废。1991 年海水入侵达 32.4 km^2,22 眼供水井有 16 眼咸化报废,农用机井 325 眼报废。农作物严重减产。

2.2.3 大规模的工程建设 铁路、公路、桥梁的修建,水利工程(水库、大坝、堤坊、渠道)的开挖,盲目无序的资源开发,森林乱伐等等,严重破坏了地质环境自组织的稳定性,出现了塌陷、地裂缝,地面沉降等多种灾害,这主要是生产过程中工程活动造成的。

3 生活地质环境

城市发展建设速度加快,城市人口增加,面临着许多特殊的地质环境问题。城市垃圾,生活废料,有害的废弃物、污水等等,使土壤和地下水时刻都在遭受污染,特别是生活生产用品制作所遗弃排放的化学有毒物质使人民受到严重伤害[3]。

人类的生活活动不同程度破坏了地质环境的自组织,反馈给人类的只有灾害和灾难。

4 地质环境问题的思考

(1)地质环境是地球表部提供给人类(及其他生命)存在的空间,也就是自然环境有关于

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

地质范畴的子系统。地质环境在地球内外力约束的条件下处在稳态平衡的运动过程。为了适应存在和发展的自我调节,不断的平衡 - 不平衡 - 新的平衡的过程,便产生了地质灾害(如岩浆活动、构造变动、地震、崩陷等),这是地质环境的自稳性和自组织性[4]因素决定的,也是不可避免的。

(2)人类生存发展产生了工程系统,工程的开发是一种人为行为,工程系统有益于人类。但其一切活动都是干扰和破坏地质环境稳态平衡的行为,破坏轻微有序,则不防碍地质环境的平衡。如果不顾客观因素的制约无序过度的工程活动,势必要变成另一新的稳态平衡结构,必然会导致地质环境的破坏性灾害。如采空塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵等等。

(3)提高对地质环境的认识,加强人类、地质环境、工程系统各自的内涵及其间关系的研究,才能合理地利用自然资源,很好地保护地质环境,使人类、工程环境达到有序稳态平衡。

(4)地质灾害具有必然性与可防御性、随机性和周期性、突发性和渐变性、群发性和区域性等属性,按其特征揭示掌握其发展的内部和外部规律。借以避免或减轻对人类的危害。

(5)人口的膨胀,科学的进步,工程系统的发展,改造(破坏)地质环境的能力愈来愈强大,无节制的索取已使土地、矿山、淡水各类资源无法满足人类的奢望,地质环境日益恶化,因此,人类应提高资源合理利用和保护环境的意识。

(6)要处理好利用与保护的关系,地质环境中的资源本身作用就是其利用价值。只强调保护不讲开发利用是片面的,关键是摆正二者关系。在大规模工程活动开始前,要充分考虑好工程系统新的自稳平衡,如矿山采后回填、地下水开发与补给、生产与废弃物的处理等。

参 考 文 献

1　徐桂林,谷永昌. 论秦皇岛市的城市地质环境. 华北地质矿产杂志,1999,第 14 卷,第 2 期,235～242.
2　刘玉海. 中国城市环境地质问题. 环境地学问题研究论文集. 北京:石油出版社,1996,120～124.
3　张发旺. 矿业开发对地质生态环境的影响及其调控. 地球学报增刊,总 57 期,1999,776～777.
4　于学馥,于　加. 环境工程地质系统的自组织与演化. 环境地学问题研究论文集. 北京:石油出版社,1996,23～27.

Review and Thinking on Geological Environment of Hebei Province

Xu Guilin　Gu Yongchang
(Hebei Institute of Regional Geology and Mines, Langfang)

Abstract　The external environment of the earth consists of strata, rocks, structures and water. Geological hazard is the adjustment of the steady state of the environment to a new one. This paper discusses the destroying factors of the environmental system, advances the corresponding countermeasures, and makes consideration on the relationship of mankind to the engineering system and geological environment.

Key words　geological environment　geological hazard　engineering system　steady balance

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

维普资讯 http://www.cqvip.com

(3)8-9 地裂缝，地下水漏斗，河北，地下水位，土成前供水，成因，构造活动，

河北省平原地区地裂缝的成因分析

郝俊杰
（河北省地勘局第十一地质大队 邢台 054000）

P642.12

近年来，河北省平原地区地裂缝的发生日趋增多，而且规模也越来越大。“已发现并有报道的地裂缝达720多条，规模不等，最大深度可达10余米”（英若智，1999）。

由于河北省平原地区特殊的地理位置，发生地裂缝对社会生产和人民生活造成的影响较大。目前受其影响的产业很多，如建筑、水利、交通、通讯及农业等。总而言之，地裂缝破坏性较大，一旦连片发生，可能会造成大面积地面沉降，造成较大损失：建筑物倾斜倒塌、交通通讯中断、文物古迹被破坏，等等。所以应对其给予足够的重视。现将河北省平原地区地裂缝的成因分析如下。

1 地下水漏斗的发生发展是目前河北省平原地区产生地裂缝的最主要原因

这种成因的地裂缝遍及整个河北省平原地区。尤其平原地区中南部，地裂缝发生面积大，规模也较大，影响面最广。

近二十年来，河北省平原地区一直处于干旱状态，降水量严重不足，年蒸发量远大于年降水量。地表水供给严重不足，导致地下水被超限度开采，地下水位显著下降。在地下水开采区，地下水位下降速度快，下降深度大，形成地下水漏斗颈部，而周围地区地下水位高于漏斗颈部，在重力作用及补偿原理作用下，向其补充地下水，使地下水位较缓慢下降。距“颈”部距离越大，地下水位下降速度越慢，下降深度越小，形成地下水漏斗“边缘带”。如此便形成地下水漏斗。由于河北省平原地区对地下水超采严重，已形成了复杂的漏斗区，即大漏斗套小漏斗的复合地下水漏斗区，而且这种现象近期还将持续下去。

地下水位下降导致原地下含水层逐渐失水，甚至干枯，对上覆地层的支撑力下降，因此导致上覆地层下降。随着地下水位下降日益严重，地下含水层失水严重，影响到地表，即发生地裂缝现象。地裂缝规模直接与地下水位下降幅度有关。河北省平原地区地下水被超采进而形成地下水漏斗的直接原因经初步归纳有如下三个主要方面。

（1）大中城市供水

城市规模日益扩大，人口增多，企业数量增多和规模扩大以及居民生活水平提高，以致大中城市用水量呈逐年成倍上涨趋势；加之连年干旱，地表水资源严重短缺，并且水污染严重，大中城市地表水供应局部已近枯竭。为弥补地表水资源不足，许多大中城市不得不开采地下水以补充其日益扩大的水需求。由于大中城市供水水源地多采用“片井”、“大口径浅井”等方式，开采规模大，必然导致以开采地区为中心的地下水漏斗。

维普资讯 http://www.cqvip.com

(2)工农业用水

工业企业数量增多，规模扩大，农业生产力水平提高，使得工农业用水量日趋增多。加之用水方式不合理，农业用水常大水漫灌，蒸发浪费严重；工业企业大多无循环利用设备及污水处理设施、也造成水资源浪费。地下水的过度消耗必然形成地下水漏斗区。

(3)工矿疏水

许多大型工矿企业，如煤矿、油田等，为了安全生产和提高产量，不得不大量疏水，使周围地区地下水被严重浪费，地下水位下降，形成漏斗。

2　地下矿产的开采也是河北省平原地区地裂缝产生的重要原因

地下矿体被开采后，在地下若干米深处便形成了采空区。采矿活动破坏了该区域内岩石的应力平衡状态，使采空区上部和周围岩石逐渐变形、移动甚至冒顶，从而影响到地表，出现大小不等的地裂缝。严重时产生位移式塌陷。这种成因的地裂缝分布于邯邢地区、唐山地区等。

3　线性构造活动带及其次级构造的活动是河北省平原地区产生地裂缝的重要原因

地质资料表明，在河北省平原地区分布着多条规模较大的线性构造活动带，及其次级构造。它们的活动控制了河北省平原地区地壳运动的发展。地壳运动多伴随不同规模的地裂缝。

河北省平原地区主要的线性构造活动带可归纳如下：①固安—宝坻—昌黎；②新乐—辛集—衡水—故城；③磁县—魏县—大名；④天津—泊头—东光—馆陶—大名；⑤隆尧—邯郸—磁县；⑥藁城—高邑—内邱；⑦涿州—望都—新乐—石家庄等。

主要地壳活动区(已发生过>5.0级地震的地区)归纳如下：①隆尧—宁晋—辛集—新河一带；②深县—安平—深泽一带；③河间—任丘—大城一带；④固安—涿州一带；⑤唐山—丰南—宁河一带；⑥大厂—通县—香河一带等。

上述地区地裂缝的发生多与构造活动带的活动关系密切。尤其已发生过大地震的地区，出现大量地裂缝，有可能是地震活动的先兆，应引起有关部门的高度重视。

4　其他因素也可以造成河北省平原地区地裂缝

这类地裂缝一般规模较小，影响面积小。大致有以下三种。

(1)地下岩溶塌陷引起地裂缝。河北省邢台市区和唐山一带发生此类地裂缝的可能性较大。

(2)城市供水管网损坏或漏水，也是小范围地裂缝产生的原因。

(3)较大的古墓群、较大的地下洞室等被损坏、塌落也可产生小范围地裂缝。

以上仅是笔者的一些看法。希望引起地质灾害管理部门对河北省平原地区地裂缝的充分重视，并及早采取有效措施，加大治理力度，使地裂缝的危害减至最低。

维普资讯 http://www.cqvip.com

衡水市地裂缝成因分析及防治

刘 科[1] 邹继兴[1] 刘爱英[2]

(1.河北理工大学 唐山 063009;2.唐山学院 唐山 063000)

摘 要 衡水市地裂缝穿越民房,致使建筑物破损,穿过农田使农田毁坏,影响人民生活和安全。分析地裂缝的分布特征和成因机制将有助于对地裂缝的防治提供依据。

关键词 衡水市 地裂缝 成灾机制 防治措施

地裂缝为一种区域性地质灾害,它不仅可以对各类工程建筑、交通设施、城市生命线工程和土地资源等造成灾难性的直接破坏,而且可能导致一系列严重的生态环境问题。发生在1996年滹沱河大堤附近的地裂缝与古阳河故道沟通,在滹沱河北大堤形成特大管涌,喷出的水头很高。给衡水市造成了巨大的经济损失,引起这次灾难的直接原因就是地裂缝的存在。

1 衡水市地裂缝的分布特征

1983年6月14日至7月5日,枣强县王均乡于胜屯村中发生地裂缝10条,其中东西向6条,南北向4条,最长者45m,最短者2m,裂缝最宽2cm。波及范围长300m,宽80m。

此后,又发生多起地裂缝,其中规模较大的有1990年6月25日暴雨之后安平县南王宋乡王刘乡村村北至深县双井乡大贾村西,发现一近东西向(NE80°),长约2km,一般宽10cm,最宽处达67cm,可探深度1.5m,为垂向裂开的大型地裂缝。

衡水市地裂缝情况一览表

地裂缝出现地点	时 间	走 向	长 度	宽 度	深 度	产 状	性质
枣强王均乡于胜屯	1983,6	近南北4条近东西6条	2~45m	2cm			张性
安平袁营乡大豆口及刘门口	1984,7	NE30	100m	15cm		NE3°	张性
安平后张庄乡贾屯	1985,6,25	近南北	20m	20cm			张性
安平南王宋—马疃	1988,7,21	2750~950	5km	2~4cm		NNE5°	张性
安平南王宋乡王刘乡村北—深州双井乡大贾	1990,6,25	NE800	2km	5~10cm 最宽67m	可见深度 1~1.5m	直立	张性
饶阳大官厅乡姚庄	1992,7,21	1400~3200	750m	10~40cm	50~200cm	直立	张性
深州东蒲疃	1994,6	东北西南	500m	10~60cm	30~60cm		张性
饶阳固店			100m	20~100cm	150cm		张性
饶阳王桥			160m	10~50cm	20~60cm		张性
饶阳北马庄				10~100cm	200cm		张性
枣强马朗村	1995,6	东北西南	135m	20~60cm	100cm	直立	张性
武邑桥头乡青林村	1999,5	东北西南	2km	2~10cm	超过2m	直立	张性

1994年6月,深州东蒲疃和饶阳县的固店、王桥北马庄发生地裂缝。其中东蒲疃裂缝宽10~60cm,长500m,可见深度30~60cm。裂缝继续延伸至村东的大坑边。裂缝发生前田间有灌溉漏水现象。固店裂缝宽度20~100cm,长度100m,沿走向有形似葫芦状塌陷坑,可见深度150cm。王桥裂缝

维普资讯 http://www.cqvip.com

宽度10～50cm，可见深度20～60cm，长者160m，北马庄裂缝宽度10～100cm，可见深度达200cm，几个发生地点形成一条东北西南走向的直线。

1999年5月，武邑县桥头乡青林村发生地裂缝，长约2km，宽2～10cm，深度超过2m。毁坏数家民房，规模较大，损失较严重。

2 衡水市地裂缝成因分析

最近研究表明，决定地裂缝的形成和发育有多种因素[1]。按其发生、发展过程中所起作用的组合，可分为主导、诱发和影响三个因素。主导因素是控制地裂缝孕育、发展、活动性质和展布格局的决定性因素，包括新生代的构造环境、构造基础和触发地裂缝产生的动力源；诱发因素是决定和影响地裂缝发生时间、地段、强度的因素，主要有降水、干旱、重力、地震等自然因素和抽取地下水甚至造成地面沉降、农灌等人为因素，诱发先存的隐伏地裂延及地表成缝；影响因素则是只影响地裂缝发育程度的因素，如土质、地形、气候、水体等因素[2]。

2.1 衡水市地裂缝的构造基础

衡水市所辖枣强、安平、饶阳、武邑等县，属于冀中平原。该区于夏秋期间时常出现地裂缝现象，有的还伴随着地下水宏观异常现象。本区地裂缝成片分布，常常数条集中分布，一般单条长10～100m，短的只有数米，最长的达400m以上，宽达0.8m，切割深度0.3～0.5m，最深达2.2m，没有明显力学规律，但却具有同一的张性特征，裂面粗糙不平，近于直立，也有水平错动和挤压现象，仅发现少数裂缝有1～4cm的垂直位移，冀中的地裂缝皆分布在古河道及海河上游各支流古河道上，分布的几何形态受特殊的地貌单元控制，如环形、弧形地裂缝多分布在圆形的汇水洼地或在堤岸、路基、渠坝部位，追踪地裂缝多分布于平坦的农田或场院，地裂缝的发生与一定的岩土性质有关[3]。

地层土质对地裂缝发生、发展的影响主要表现在两方面：一是作为构造应力，应变传递的介质，对于一定的应力条件，地裂缝发生的可能性及发生的强度和规模，很大程度受控于场地的土层条件；另一方面，不同类型的土层对于某些诱发因素的反映程度具有明显差异，如湿陷性土层，受水的作用发生湿陷变形，压缩性土层，因地下水超采发生沉降变形等[4]。

2.2 人工抽汲地下水是诱发因素

衡水市发生的地裂缝与抽汲浅层地下水有关。深县、安平、饶阳一带属全淡水区，第一含水组埋藏浅，地层岩性结构松散，直接接受大气降水和河道侧渗补给。由于区内地形平坦，坡降小，侧向径流微弱，自然条件下主要作垂向运动，即入渗蒸发，其采水量及水位变化主要受降雨量影响，丰水年农灌用水量少，枯水年农灌用水量大，水位下降幅度大。自80年以来，只有85年为丰水年，83年尤其干旱，86年以后连年干旱，全淡水区（深县、安平、饶阳一带）浅层地下水水位平均下降0.24m，有咸水区，浅层地下水年平均水位下降0.2m。地下水位的连续下降加上一定的土层岩性特征，易发生地裂缝。

大量抽汲地下水，水位大幅度下降，使原来的含水层被疏干，土颗粒之间失去水浮力的作用，另一方面过量开采地下水，携带走地层中一定数量的泥砂，并加速溶解其中的盐类，使地层中孔隙增大，降低了介质的孔隙压力，增加了有效应力，随着地下水位下降，在土层自重应力的作用下，产生缓慢的压缩沉降，由于土层结构的不均一性，而产生不均匀沉降，其结果产生了隐蔽地下裂缝，在降雨渗入地下的过程，裂缝处的渗透速度比在土层中大的多，致使裂缝处发生土壤潜蚀作用，裂缝则逐渐加宽延长，直到形成张性裂开。当裂缝上部地形低凹，大雨之后，形成积水，积水与下部裂缝沟通以后，水沿裂缝迅速流入地下，冲刷裂缝两壁的土层颗粒并带入深部，在地表以下形成大的裂缝或空洞，使上部土体失去稳定，发生坍塌陷落，形成地裂现象。

例如饶阳县大官厅乡姚庄村地裂缝即属这类原因，1978年3月饶阳县城关一带水位埋深不足4m，1992年6月份水位埋深17m左右，十四年水位下降13m，同时姚庄村南北大堤的存在，导致负荷不均衡，产生不均匀沉降，雨后出现地裂缝。

由于地下水位连续下降，表层土壤大量失水、干燥。土粒的薄膜水厚度变薄，水平收缩力增强，土体产生收缩，于是干涸的大地出现了地裂缝（俗称干裂）这种干裂沿原来的构造节理更易发生。同时不均匀沉降作用，如同催化剂，加速干裂向纵深发展，这种裂缝在外部因素水、降雨、树头摆动作用下发展更快。

深县双井乡地裂缝即属这种原因，形成发生地裂缝的地段土层多属粘土，亚粘土性质，易产生干

维普资讯 http://www.cqvip.com

裂，该地段正处于占河道上及其附近地表上层结构不稳。

另外，枣强县于胜屯村南大坑中的地裂缝及安平县后张庄乡贾屯村内西南角坑塘内的地裂缝，袁营乡大豆口刘门口村中东部水坑内的地裂缝都是这种原因形成的。

3　衡水市地裂缝防治措施

地裂缝属于表生地质灾害，目前在衡水市尚未直接影响到本区经济发展，但是由于衡水市经济发展对地下水需求，仍然存在诱发地裂缝的可能因素，高层建筑的地基稳定性也将会造成威胁，这些都应予以足够重视。

针对衡水市多次发生地裂缝的问题，应采取以下防治措施：

(1)调整地下水开采层次。着重考虑，开采第Ⅱ、Ⅲ含水组，避开因地下水位下降而易产生地裂缝的 Q_4 地层。

(2)在汛期发挥已有河道、渠道优势，贮存地表径流，以增加浅层地下水的渗入补给量，蓄水还可以直接用于灌溉。

(3)大力提倡节约用水，提高工矿企业对水的重复利用率。

(4)改进农作物灌溉方式，推广喷灌或滴灌，避免漫灌。

参　考　文　献

[1]王景明，等著．地裂缝及其灾害的理论分析与应用．西安：陕西科学技术出版社，2000．1－567

[2]王景明，王春梅，刘科．地裂缝及其灾害研究的新进展．地球科学进展．2001 年，第 16 卷，第 3 期

[3]翟振生，刘德林等．冀中平原地裂缝特征及其成因分析．河北地质学院学报．1984 年，2 期

[4]刘科．河北平原地裂缝与地震相关性及其能量释放研究．河北理工学院．硕士论文．2002 年

采矿权使用费和价款的减免有哪些规定

《矿产资源开采登记管理办法》第十二条规定，有下列情形之一的，采矿权人提出申请，经省级以上人民政府登记管理机关，按照国务院地质矿产主管部门会同国务院财政部门制定的采矿权使用费和采矿权价款的减免办法审查批准，可以减缴、免缴采矿权使用费和采矿权价款：

(1)开采边远贫困地区的矿产资源；

(2)开采国家紧缺的矿种；

(3)因自然灾害等不可抗力原因，造成矿山企业严重亏损或者停产的；

(4)国务院地质矿产主管部门和国务院财政部门规定的其他情形。

国土资源部和财政部 2000 年 6 月 6 日，联合发布的《探矿权采矿权使用费减免办法》规定，在我国西部地区、国务院确定的边远贫困地区和海域从事符合下列条件的矿产资源勘查开采活动，可以依照规定申请探矿权、采矿权使用费的减免：

①国家紧缺矿产资源的勘查、开发；

②大中型矿山企业为寻找接替资源申请的勘查、开发；

③运用新技术、新方法提高综合利用水平的(包括低品位、难选冶的矿产资源开发及老矿区尾矿利用)矿产资源开发；

④国务院地质矿产主管部门和财政部门认定的其他情况。

采矿权使用费在矿山基建期和矿山投产第一年可以免缴；矿山投产第二至第三年可以减缴 50％；第四至七年可以减缴 25％；矿山闭坑当年可以免缴。

(华文)

衡水市深层地下水降落漏斗发展趋势分析

付学功

(河北省衡水水文水资源勘测局　衡水　053000)

衡水市地处河北平原中部,地下水水质良好、水温稳定,是衡水市生产生活用水的唯一水源,其供水量占该市工农业用水量的70%以上,为衡水经济的持续、高速发展做出了不可磨灭的贡献。但由于盲目过量地开采,已经造成地下水位持续下降、地下水质恶化、地面沉降、咸水入侵等一系的环境问题。研究地下水超采,对于合理利用、保护地下水资源,防止由此引起的环境问题,具有重要的理论和实践意义。

1　地下水水位降落漏斗现状

衡水市地下水降落漏斗(即冀、枣、衡漏斗)形成于70年代初期,近些年由于集中开采180～360 m第Ⅲ含水组地下水,致使水位逐年下降。1991～1995年平均开采强度达到7.02万$m^3/km^2 \cdot a$,是上5年平均开采强度的1.4倍。目前地下水位平均下降速度达到2.66m/a,而且漏斗面积不断扩大。漏斗边界西北部1995年的零米等水位标高线较1991年下降了6～8 m,西南部早已延伸至邢台市,东北部从1993年开始因封闭区外移而使漏斗敞开,东部边界1995年低水位期水位标高较1990年下降了3～7 m,漏斗已呈整体下降状态。1995年低水位期漏斗面积已扩展为5 668.0km^2,较1990年4 032 km^2扩大了1 636 km^2。漏斗中心水位埋深已达76.18 m(1995年6月30日)较1990年同期下降19.34 m,平均下降速率3.87 m/a。位于漏斗区中部的枣强县1995年低水位期平均水位埋深达66.84 m,较1990年同期下降13.72 m,平均下降速率2.74 m/a。1997年衡水市遭遇40年一遇的持续干旱,深层地下水的开采量进一步增大,漏斗中心吴吕埋深已经达到90.25 m。具体数据见表1。

表1　衡水市地下水下降漏斗要素表

开采深度/m	时间年月	中心位置	综合计算面积/km^2	封闭面积/km^2	封闭等水位线/m	中心水位埋深/m	中心水位标高/m	开采井数/眼	开采量/万$m^3 \cdot a^{-1}$	平均开采模数/万$m^3 \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$
180～360	1975.8	衡62	3476	1,325	6	32.44	-11.04	4088	15787.99	4.54
	1980.8	衡62	3500	1,425	-9	50.31	-29.18	5538	14455.00	4.13
	1985.6	衡62	4698	1,050	-20	56.1	-34.97	7086	12732.98	2.53
	1990.6	衡62	4032	520	-28	56.84	-35.71	7056	12862.08	3.09
	1991.6	衡62	4297.6	112	-20	52.54	-31.41	7701	23532.44	5.48
	1992.6	衡62	4730.8	548	-35	64.76	-43.63	8767	44244.36	9.35
	1993.6	衡62	5177.4	280.4	-39	70.39	-42.26	9767	32539.04	6.28
	1994.6	衡62	5404.4	1252.4	-37	73.17	-52.04	10454	32423.94	6.44
	1995.6	衡62	5668.0	409.6	-43	76.18	-55.05	11167	42776.52	7.55

2　地下水位下降造成的危害

2.1　地面沉降

衡水市桃城区1981～1988年沉降量为128 mm,沉降速度16 mm/a。1988～1990年沉降量51 mm,沉降速度25.5 mm/a。地面沉降形态分布特征与地下水位降落漏斗形态一致。

沉降原因是由于地下水位持续下降,使含水层水力条件发生改变,引起周围水力梯度增大,渗透压力降低。原来为空隙水承受的上层地层荷载的那部分压力转嫁于土体颗粒,使颗粒有效应力增加,土层

收稿日期:1998-11-16

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体积不断缩小。对含水层的沙层,如果再次充水饱和,变形可大部恢复,而作为相邻的弱透水层——粘性土层,因相邻含水层水头降低,粘土释水强度不断增大,而使土层空隙压密固结,体积缩小。粘性土压缩变形是不可逆的,从而造成地面沉降。

由于沉降不均匀,1992 年 7 月,饶阳县姚庄出现长度 750m 的地裂缝。主裂缝宽 10~40 cm,其南侧有 3 条次裂缝,北侧有 1 条次裂缝。次裂缝与主裂缝相交但不穿插,缝长 15~30 m;1994 年 7 月在深州市东蒲疃,饶阳县固店、王桥、北马庄分别出现长度 500 m、100 m、160 m、350 m 的地裂缝,其中东蒲疃裂缝宽度 10~60 cm;可见深度 30~260 cm;固店裂缝宽度 20~100 cm,可见深度 150 cm;北马庄裂缝宽度 10~100 cm,可见深度 200 cm,均造成农田开裂、道路被损坏的严重后果,而且裂缝的发育具有方向性,深州市东蒲疃至饶阳北马庄向西延伸至安平大豆村(1983 年发生)及五刘乡村的地裂缝,东西延伸近 30 km,与地下隐伏断裂方向一致。马朗水文站附近,1995 年 6 月发生裂缝,宽 20~60 cm,走向与清凉江近似垂直,与地下水径流方向一致。

2.2 咸水入侵

地下水的严重超采,使地下水位下降,咸淡水界面下移,深层地下水水质发生变化。从 1980~1993 年,衡水市阜城县深层地下水咸淡水界面下移了约 10~20 m,咸水入侵范围遍及全县,深层地下水矿化度平均升高 0.3 g/L。氯离子含量变化量大,平均升高 106.8 mg/L,全县深层地下水淡水随着水位下降而逐渐变咸。

在武强街关和武邑圈头一带是咸淡水交接部位,由于大量开采浅层淡水,使淡水区水位埋深低于咸水区,引起咸水扩散并缓慢向淡水体入侵。淡水区武 108 井矿化度由 1990 年的 1.57 g/L 升到 1994 年的 2.66 g/L,淡水体分布面积缩小。

位于桃城区止水位置小于 150 m 的衡 63 井,1983 年~1992 年矿化度平均每年升高 14.3 g/L,止水位置大于 150 m 的机井,矿化度较稳定。咸水下移使第Ⅱ含水组面临严重威胁。

随着漏斗的发展,咸水下移的速率将不断增大,按目前的开采水平,咸水下移速率按 0.1~0.2 m/a 推断,今后 60 年内,咸水界面将下移 10 m,并将随着开采量增大而越来越严重。

2.3 地下水开采难度增加

漏斗的形成和发展使地下水的开采难度变大,主要表现在机泵更新速度加快、机井报废数量增加、出水量越来越少等几个方面。

1984 年,衡水桃城区水文水资源实验站的深层地下水用扬程 40 m 的潜水泵就可以一年四季抽水,出水量 33 m^3/h。1990 年 6 月发生吊泵现象,不得不把水泵下到 48 m,出水量降到 25 m^3/h,1995 年 7 月又发生吊泵,只好把泵头下到 60 m,出水量降到不足 20 m^3/h。这是机井的变径管的深度,如果水位降到 60 m 以下,则这眼花费 10 万多元配套的机井就不得不报废。

既使在同一年份,高水位期机井出水量大于低水位期出水量。枣强县王均乡刘大市村的机井,高水位期出水量 17.14~20.69 m^3/h,低水位期出水量是 1~16.22 m^3/h。衡水市每年因水位下降报废的深机井有 300 多眼,已形成"机井越打越深、水泵越来越大、出水量越来越少"的恶性循环。据测算,仅 1993 年衡水市因地下水下降,多耗电能、延长劳动时间、增减机器耗损造成的经济损失超过 2.0 亿元,而且该损失随漏斗加深,逐年增加。

3 地下水漏斗区水量平衡分析

3.1 漏斗区深层地下水的补给量计算

漏斗区深层地下水补给量主要包括侧向径流量和越流补给量:

$$Q_{补}=Q_{侧入}-Q_{侧出}+Q_{越} \quad (1)$$

式中 $Q_{补}$——漏斗区深层地下水补给量

$Q_{侧入(出)}$——侧向流入、流出水量

$Q_{越}$——上部浅层含水层向深层含水层越流补给量

1991~1995 年,漏斗区深层地下水补给量 10.4 亿 m^3,其中越流量占 93.3%,侧向补给量占 6.7%。

3.2 深层水限采量计算

根据衡水市的水资源条件,限制开采量包括补给量和弹性释放量:

$$Q_{限}=Q_{补}+Q_{弹} \quad (2)$$

$Q_{弹}$——深层地下水控制在每年下降 1.0 m 的条件下的弹性释放量。

1991~1995 年,漏斗区深层水限采量 11.7 亿 m^3,其中弹性释放量仅占 11.1%。

3.3 开采量

采用以点带面,调查单井开采时间或耗电量,根据机井出水量、采水时间、机井数和机井利用率计算各市县深层地下水开采量。1991~1995 年,全衡水市漏斗区开采量为 25.48 亿 m^3,平均开采量为 5.1 亿 m^3/a,开采系数达到 2.19,已属于严重超采。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

MapInfo 在地下水资源管理中的应用前景

徐永源

(天津市地下水资源管理办公室 天津 300381)

摘要 本文分析了传统MIS系统在地下水资源管理中的缺陷,提出使用GIS技术解决MIS的不足。探讨了"天津市地下水资源管理信息系统"的功能,特点和重要技术问题。阐述了MapInfo在地下水资源管理中的应用前景。

关键词 MapInfo 地下水 地理属性

长期以来,天津市地下水资源管理信息都是靠人工进行管理,管理难度大、效率低。随着计算机技术的发展,人们逐步告别了人工管理信息的时代,各种管理信息系统(MIS)营运而生,大大提高了管理水平。但是,一般的MIS是一种基于数据库的回答系统,它往往停留在数据级上支持管理者,对带有大量地理属性(空间属性)数据的地下水资源信息的管理存在明显的不足,从而使地下水资源的科学管理在某种程度上受到局限。地理信息系统(GIS)概念的引入又将信息管理水平推向一个新的高度。GIS是以各类空间数据及其属性为基础,为各种应用目的服务的空间信息系统。由于它的出现,解决了对空间数据的综合分析及可视化的问题,实现了对与地理式图形对象相对应的抽象数据的分析和管理。因此运用GIS技术开发"地下水资源管理信息系统"已成为地下水资源管理工作的先行目标。

收稿日期:1999-04-26

表2 1991~1995年衡水市深层地下水漏斗水量平衡表 亿m^3

补给量		弹性释放量	限采量	开采量	开采系数
越流补给量	侧向补给量				
9.67	0.73	1.30	11.70	25.48	2.18

3.4 地下水降落漏斗发展预测

按现状开采,预测漏斗中心区2000年低水位期水位标高,丰水年为-63.09m(埋深83.63m),平水年为-71.43m,枯水年为-73.54m。如果按年递增6%预测,2000年低水位期水位标高,丰水年将达到-67.81m,枯水年为-77.18m(埋深达到100m),第Ⅱ含水组面临被疏干危险,后果十分严重。

4 地下水漏斗防治对策

(1)地下水漏斗在我国北方大中城市普遍存在,已经成为水资源管理工作的难点。控制漏斗发展,必须加强地下水资源管理,限制深层地下水开采量。否则,地面沉降、咸水入侵等一系地质环境问题将会加速、加重。地质环境就会处于恶性循环之中。

(2)衡水市总面积80%的地区分布着浅层微咸水或咸水资源,可开采量达4.41亿m^3。目前咸水区浅层地下水年开采量2.8亿m^3。开采系数为0.63,尚有36%的地下水资源可供利用。因此对微咸水、咸水的改造利用,可以缓解深层地下水超采趋势。

(3)衡水市地表水开发利用程度高达80%以上,最根本的措施还是外流域调水。从1992年开始的引黄入冀工作已经实施,但水量较少,能真正补充地下水的量更少。把黄壁庄水库的水调到衡水湖,作为衡水市区生活和工业用水的水源,是缓解因地下水超采所产生的一系列环境问题。

参考文献

1 曹万金等.论地下水超采问题.中国水资源问题研究论文集,1992

2 陈保轩.豫北平原地下水漏斗状况的分析与对策.中国水资源研究论文集,1992

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号:1001-1986(2005)05-0025-04

华北地区煤层气井压裂裂缝监测及其扩展规律

单学军,张士诚,张遂安,郎兆新
(中国石油大学石油天然气工程学院,北京　102249)

摘要:介绍了井温测试法、放射性同位素法、大地电位测试法和微地震测试法监测煤层水力压裂裂缝的基本原理。使用上述 4 种方法对华北地区施工的煤层气井压裂裂缝进行测量,得到了大量压裂井的裂缝方位和高度的监测数据。通过统计分析发现:压裂后的煤层裂缝一般都穿越其上下隔层,最大裂缝高度是压裂层厚度的 6 倍,裂缝长度大部分为 50～90 m,裂缝形状基本以垂直裂缝为主,裂缝方向存在着随机性,扩展方向受地应力、局部地层构造和煤层割理共同作用。

关　键　词:煤层气;压裂;裂缝;井温;大地电位;微地震;同位素
中图分类号:P618.11　　**文献标识码**:A

Fracture monitoring and analysis of propped fracture geometry in fractured coalbed methane wells in North China

SHAN Xue-jun, ZHANG Shi-cheng, ZHANG Sui-an, LANG Zhao-xin
(*Faculty of Petroleum and Gas Engineering, China University of Petroleum, Beijing* 102249, *China*)

Abstract: Four fundamental methods are introduced, namely well temperature, ground potential survey, microearthquake and radioactivity isotope, which were used to monitor the fracture geometry of fractured coalbed methane wells in North China. Many monitoring data of fracture height and azimuth were obtained. The statistical and analytical results show that the coalbed fractures generally grow into the over and underlying coal seam, the maximum fracture height is five times higher than the thickness of fractured layer, most of the fractures are between 50 m and 90 m long, fracture shape is mainly vertical and fracture orientation exists randomness, and the extension orientation is decided by the ground stress, local structure and coal cleat together.

Key words: coalbed methane; hydraulic fracturing; fracture; wellbore temperature; ground potential survey; microearthquake; isotope

收稿日期:2005-01-21
基金项目:国家 973"煤层气经济开采增产机理研究"(2002CB211709)项目资助
作者简介:单学军(1972—),男,辽宁锦县人,在读博士研究生,从事油气田开发工程研究.

此,煤岩中丰富的可溶有机质,为煤层中后期微生物活动提供了充足的营养物质,为次生生物成因煤层气的生成创造了条件。在煤层浅埋、温度适宜的条件下,细菌作用还将不断地向煤层供气。

4　结论

在山西沁水盆地寺河煤矿和附城七一煤矿,煤岩中的氯仿沥青"A"含量很低,总烃含量也很低,饱和烃/芳烃的比值高。煤岩饱和烃的分布呈单峰形,低碳数烷烃量明显高于高碳数烷烃量,并具有偶碳优势。萜烷系列化合物中三环萜烷丰富,三环萜烷/藿烷的比值高达 2.64～6.16,并具有高的 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值,这反映了寺河煤矿和附城七一煤矿煤岩的高演化特征,同时也表明,煤岩中大部分可溶有机质已被裂解形成了干气,因此,其具有大量热裂解煤层气的生成条件。

李雅庄煤矿煤岩氯仿沥青"A"含量高,总烃含量也高,饱和烃/芳烃的比值很低。煤岩饱和烃中低碳数烷烃量略高于高碳数烷烃量,具有偶碳优势。萜烷系列化合物中,藿烷占优势,三环萜烷/藿烷的比值仅为 0.05,具有较低的 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值,说明李雅庄煤矿煤岩热演化程度较低,尚未进入大量热成因气生成阶段。但煤岩中细菌发育,而且丰富的可溶有机质为煤层中后期微生物活动,提供了充足的营养物质,使其具有次生生物气的生成条件。

参考文献

[1] Scott A R. Composition and origin of coalbed gases from selected basins in the United States[A]. In: Proceedings of the 1993 International Coalbed Methane Symposium[C]. The University of Alabama, School of Mines and Energy Development, Paper 9270, 1993, 1: 174 - 186.
[2] Rice D D. Composition and origins of coalbed gas[A]. In: Law, B. E., Rice, D. D. (Eds.), Hydrocarbons from coal[C]. AAPG Studies in Geology, 1993, 38:159 - 184.
[3] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide[M]. Prentice Hall, Englewood Cliffs. 1993, 1 - 50.
[4] Orisson G, Albrecht P, Rohmer M. Predictive microbial biogeochemistry and biochemistry of a group of natural products[J]. Pure Applied Chemistry, 1982, 51:09 - 729.
[5] 向龙斌. 论煤系地层中甾、萜烷生物标记物的分布[J]. 海相沉积区油气地质,1989,3(1):76 - 83.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1 引言

我国煤层气资源十分丰富,达 30 ×10^{12}～35 ×10^{12} m^3,煤层渗透率大多小于 50 ×10^{-3} μm^2[1]。在 20 余 a 来的煤层气勘探开发实践中,几乎所有产气量 1 000 m^3/d 以上的煤层气井均是由压裂改造获得的[2]。因此,通过实测方法获得正确的煤层压裂裂缝方位和几何尺寸,了解裂缝扩展的规律,将有助于确定合理的井距,指导煤层气井压裂设计和开发方案的制定。

2 煤层的基本情况

上世纪 90 年代以来,中国石油在山西晋城晋试 1 井组试验区、晋试 2 - 6 井试验区、大宁 - 吉县试验区、陕西吴堡试验区和山西大城试验区,中联煤层气公司在山西沁水盆地试验区均进行了煤层气井压裂,压裂层位为石炭 - 二叠系的山西组和太原组煤层,试井解释渗透率在 0.002 ×10^{-3}～233.2 ×10^{-3} μm^2,储层多数为低渗低孔隙介质。

3 裂缝监测技术及分布规律

裂缝监测包括裂缝高度测量和裂缝方位及长度的监测。针对煤层的特点,考虑国内的实际情况和经济及技术的可行性,利用大地电位法或微地震法测定裂缝方位和长度,使用井温测试法或放射性同位素示踪剂/伽马测井法(以下简称放射性同位素法)测定裂缝的高度,从而确定裂缝的基本几何形态。

3.1 裂缝长度监测技术

大地电位法监测是目前煤层气井裂缝监测中常用的一种方法[3]。电位法监测的基本原理是:压裂施工中,压裂液相对地层为一良导体,即压裂液电阻率(一般加入一定浓度的电解质)比地层介质电阻率小,这时向地层供电,这部分压裂液在地层中即可成为一个场源。由于它的存在将使原电场的分布形态发生变化,即大部分电流集中到低阻带,造成低阻带周围介质的电流发生变化[4]。这种变化在纯电位等值线图中表现为环绕裂缝向里凹。经过数据处理,可得到裂缝方位和长度等参数。

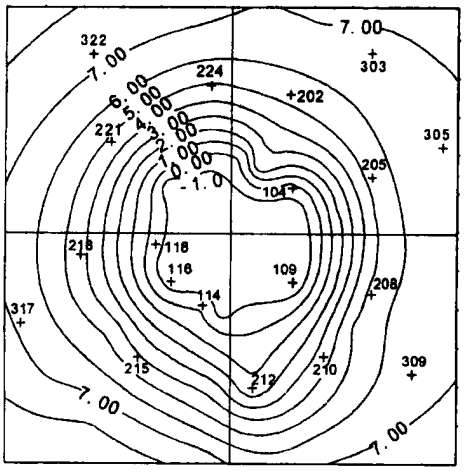


图 1 FZ - 001 井 15# 煤压裂后电位(Vm)纯异常等值线图

Fig. 1 Potential abnormity contour map of Coal 15# in Well FZ - 001

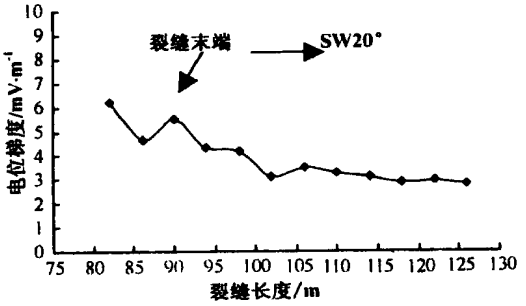


图 2 FZ - 001 井 15# 煤层电位梯度剖面图

Fig. 2 Potential gradient profile of Coal 15# in Well FZ - 001

在沁水盆地对 FZ - 001 井和 FZ - 008 井各层的压裂裂缝进行了监测。图 1 表明 FZ - 001 井 15# 煤层的压裂裂缝延伸趋势为 NE 和 SW 两个方向。

为了精确确定压裂裂缝长度,沿裂缝延伸方向测量一条电位梯度剖面,利用电位梯度陡变段确定压裂裂缝前端位置,从而确定压裂裂缝的长度。图 2 为使用电位梯度法测定的 FZ - 001 井 15# 煤层的 SW 方向裂缝延伸方向的电位梯度变化情况。

由于单一方法测量结果的准确性很难保证,因此,在使用大地电位法监测裂缝方位的同时也使用了微地震法监测裂缝的方位。微地震法监测技术是一种监测压裂造缝过程中裂缝前端破裂点位置变化的实时监测方法。其基本原理是:压裂裂缝每向前延伸一步,便产生一次破裂,每次破裂伴随着一次震动,这种破裂震动能量就以弹性波的形式,球面向外传播。使用检波器捡取压缩波的信息,用以监测压裂裂缝破裂点位置及其裂缝延展过程。在沁水盆地枣园井组进行了两种测试方法的对比实验,其对比结果见下表 1。

表 1 沁水盆地枣园井组裂缝监测结果

Table 1 Fracture monitoring results of Zaoyuan well group in Qinshui basin

井号	煤层	测试方法	裂缝方位	裂缝长度/m
FZ - 001 井	3#	电位法	N15°E/S15°W	98/44
		微地震	N17°E/S17°W	62/84
	15#	电位法	N20°E/S20°W	46/90
		微地震	N15°E/S14°W	88/66
FZ - 008 井	3#	电位法	N10°E/S25°W	46/78
		微地震	N19°E/S19°W	46/92
	15#	电位法	N10°E/S30°W	80/39
		微地震	N21°E/S21°W	93/62

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

两种监测裂缝的数据表明,使用上述两种方法监测的裂缝方位角相差较小,裂缝的长度差别相对较大。电位法和微地震法测试裂缝长度的比值平均为 0.88。作为间接的测试方法,使用大地电位法和微地震法都可以基本反映裂缝的方位和长度。考虑经济和技术因素,目前煤层气压裂监测中多使用大地电位法监测。

在华北地区,还对其他施工的 13 口压裂井的 21 个层位进行了大地电位法的裂缝监测。表 2 的测试结果表明:试验区的裂缝形态主要为垂直缝、单翼垂直缝和两翼不对称缝(一翼为垂直缝,一翼为水平缝)3 种类型,而且,煤层中一般首先在井筒附近产生不规则的多条水平或垂直缝。在微地震测试中,井筒附近观测到大量复杂离散的数据,说明井筒附近起裂十分复杂。随着裂缝的进一步延伸,有的井产生水平缝,有的井产生垂直缝,这与文献[5]中的结果相符。

一般而言,地层的埋深将影响地层压裂裂缝的水平与垂直,在浅层通常形成水平裂缝,在深层多为垂直裂缝。由文献[6]给出了各向同性弹性体水力压裂临界深度计算公式:

$$H_{cr}=\frac{\sigma_{bt}^{H}-\sigma_{bt}^{v}(1-\mu)}{(\gamma-\gamma_1)(1-3\mu)},$$

式中　H_{cr}为临界深度,γ为地层的比重,γ_1为孔隙流体的比重,μ为岩石的泊松比,σ_{bt}^{H}为岩石水平方向的抗拉强度,σ_{bt}^{v}为岩石垂直方向的抗拉强度。

根据目前的实际地层情况,常规油气田有一个深度界限,即在小于 610 m 一般形成水平缝,在大于 610 m 形成垂直缝[7]。考虑到煤层的各向异性,对临界深度的计算公式进行了修正[8],计算公式如下:

$$H_{cr}=\left\{\frac{(\sigma_{bt}^{H}-\sigma_{bt}^{v})}{(\gamma-\gamma_1)\left[1-\frac{2E_1\mu_2}{E_2(1-\mu_1)}\right]}\right\},$$

式中　E_1、μ_1为平行层理方向的弹性模量和泊松比,E_2、μ_2为垂直层理方向的弹性模量和泊松比。根据实验数据可知,煤岩的 E_2 是 E_1 的 1.5～3.0 倍,μ_2 比 μ_1 大 2～6 倍,可以估算出临界深度在 300～400 m 左右。表 2 是华北地区裂缝的测试资料。从裂缝形态与煤层埋深的对比数据上看出:裂缝形态的随机性很大,在浅部地层可以形成垂直缝,在深部地层也可以形成水平缝,如 D1 - 1 井在 1 142 m 以下形成了水平裂缝。试验区的资料表明:煤层裂缝单翼长度最长达到 131 m,最短为 44 m,一般为 50～90 m。以上测试方法都是裂缝的动态缝长,目前对于压裂后的有效支撑缝长和缝高还没有办法测量。从动态缝长数据看,在国内的煤层压裂中,一般裂缝长度都小于 100 m。

晋试 1 井组测试结果表明:该区域的井筒存在应力型椭圆井眼,这种现象是由地层的两个互相垂直的水平应力不相等引起的。统计分析表明:该地区的最大水平主应力方位为 252°;晋 1 - 1 井的裂缝方位为 N80°E;晋 1 - 5 井的裂缝方位为 N65°E;这两口井的裂缝方位与最大主应力基本一致。其他煤层压裂裂缝方位的统计结果说明,同一盆地没有明显的方向性,但是存在着在某一方向裂缝出现机率相对较大的现象。在吉试 3 井的测试中,该井的裂缝是单翼裂缝,说明在井筒附近复杂的应力分布对裂缝的起裂起着重要作用。同时,裂缝的对称性较差,形成的双翼裂缝经常存在一

表 2　煤层气井压裂裂缝方位测试结果

Table 2　Monitoring results of fracture azimuth in fractured wells

井号	煤层	埋深/m	裂缝方位	裂缝长度/m	备注
JS1 - 1	3#	523～525.6	N80°E/S80°W	73/54	对称不等长垂直裂缝
	15#	612.8～616	N80°E/S80°W	62/57	对称不等长垂直裂缝
JS1 - 5	3#	539～544.4	N65°E/S65°W	51/60	对称不等长垂直裂缝
	15#	626.4～629.4	N65°E/S65°W	53/65	对称不等长垂直裂缝
JIS1	5#	977.8～987.4	N45°E/S45°W	69/53	对称不等长垂直裂缝
	8#	1 050.6～1 059.4	N45°E/S45°W	89/66	对称不等长垂直裂缝
JIS3	8#	1 267.7～1 277.3	N79°E	72	单翼垂直裂缝
JIS4	8#	1 134.9～1 144.2	N37°E/S37°W	68/44	对称不等长垂直裂缝
JIS5	5#	904.4～915.5	N86°E/S86°W	65/54	对称不等长垂直裂缝
JS2	3#	514.2～520.6	S85°E/N85°W	75/58	对称不等长垂直裂缝
JS5	3#	837.8～843.2	S85°E/N55°W	67/55	不对称不等长垂直裂缝
	15#	941.8～947.0	N80°E/N70°W	76/50	不对称不等长垂直裂缝
WS1	3#	1 279.5～1 284.0	N0°E/S60°W	104/97	不对称不等长垂直裂缝
D1 - 1	2 + 3#	1142～1174.2	S72°W/ N42°E	60/51	水平缝和垂直缝
	4#	1 186.8～1 200.8	S72°W/N42°E	65/73	不对称不等长垂直裂缝
D1 - 5	2 + 3#	1 136.5～1 171.0	S55°W/ N55°E	89/87	对称不等长垂直裂缝
	4#	1 189.0～1 204.6	S55°W/ N55°E	79/77	对称不等长垂直裂缝
XS - 01	1#	783.7～792.7	S60°E/N60°W	131/114	对称不等长垂直裂缝
	13#	454.6～458.75	S60°W/N60°E	103/95	对称不等长垂直裂缝
XS - 03	1#	956.72～986.22	S67°E/N67°W	105/83	对称不等长垂直裂缝
	8#	704.67～709.77	S75°E/N75°W	117/85	对称不等长垂直裂缝

表 3　放射性同位素法与井温测试法监测结果对比表

Table 3　Result comparison between radioactive isotope logging and wellbore temperature logging

井号	煤层	射孔井段/厚度/m	井温异常井段/解释高度/m	伽马异常井段/解释高度/m
FZ - 005	15#	618.0 - 622.1/4.1	615.5 - 622.5/7.0	618.2 - 619.4/1.2
	3#	505.8 - 512.0/6.2	505.8 - 512.0/6.2	508.0 - 512.0/4.0

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

定的角度,说明裂缝的发展受地应力和地层的微裂缝的影响。

3.2 裂缝高度监测技术

井温测试法是利用压裂所注入的液体或压后人为注入的液体所造成的井筒低温异常,根据井温测试确定压裂裂缝高度。注入液体前,井内液体与地层有着充分的热交换,因此,注入液体前所测得的井温曲线一般与当地的地温梯度和地层的岩石热性质有关。而注入液体后,由于注入的液体温度往往低于地层温度,因此,注入后的井温曲线在吸液层段将出现低温异常,这反映了压裂裂缝的存在和分布高度。

考虑到井温测试结果对压裂液温度与地层流体温度相差不大的井难以测试,也为了验证井温测试结果的准确性,使用了放射性同位素测井法测量裂缝的高度。其基本原理是:在压裂施工完成后,利用测井仪器将同位素释放器携带固相放射性同位素载体下放到规定的井深(一般为射孔层段上方 50 m),通过向井内注入清水进行释放,形成活化悬浮液。悬浮液由井筒进入有效支撑裂缝。进入裂缝中的悬浮液,由于滤失作用使得清水逐步进入地层,而同位素微球则被滤积在支撑裂缝靠井筒段。利用同位素载体在吸水层段滤积前后所测得的伽马测井曲线的形态变化,确定压裂裂缝高度。两种方法测试的裂缝高度结果见表 3。从表中可以看出,放射性同位素测试的裂缝高度小于井温测试的高度,放射性同位素测试的裂缝都限制在煤层中,而井温测试裂缝高度都存在裂缝上下窜层的现象。但测试中,由于为了防止放射性同位素的污染,放射性同位素是压裂后再采用注水方式随注入水流入地层,这种方式的注入压力较小,使用的同位素微球不能进入所有已压开的地层,所以此方法测得的裂缝高度不准确。但从得到的数据可知,煤层已被压开,在普通的注水压力下就可以将放射性同位素注入其中。对于其他压裂井,采用了井温测试法测量裂缝的高度,测试结果见图 3。

通过井温测试法测量的裂缝高度,均穿越了煤层的上下隔层,预测裂缝高度与射孔厚度之比值为 1.3～6.0。根据井温测试结果可知,原来认为"煤层的弹性模量小,岩层较软,裂缝主要在煤层中扩展"的观点是不成立的。因受地层的导热系数、注入流体和地层流体的温度差异等多个因素的影响,井温测试法测量的裂缝高度,只是大致的裂缝高度。放射性同位素法测量的裂缝高度较为准确,但是应采用放射性同位素与支撑剂混合注入的方法。本次的放射性同位素是在压裂后使用注水方式注入地层

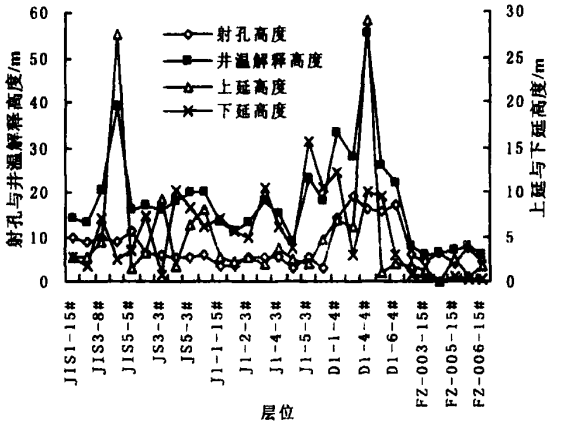


图 3 压裂井裂缝高度测试结果

Fig. 3 Fracture height monitoring results in fractured wells

的,其测试结果有待商榷。

4 结语

通过全面统计分析中国石油和中联煤层气公司在华北地区压裂井的测试资料,对目前煤层气井的压裂裂缝测试技术和裂缝扩展规律[9]得出如下认识:

a. 大地电位法和微地震法均可以确定裂缝的方位和长度,两种方法的测试结果相差不大;

b. 使用井温测试法测量裂缝高度的测试结果表明:裂缝的垂向扩展不只局限在煤层中,通常要穿越煤层的上下盖层,裂缝扩展高度有时达到射孔高度的 6 倍,但此方法的准确性有待验证;

c. 煤层裂缝主要以垂直缝为主,动态裂缝长度大多小于 100 m;

d. 煤层压裂裂缝除受大地主构造应力影响外,还受局部构造应力和割理的影响。裂缝方位在同一层位没有明显的方向性,但存在着同一盆地同一层位在某一方向出现概率较大的现象;

e. 目前的测试技术都仅限于对压裂裂缝的动态监测,还不能测量裂缝的有效支撑长度和高度。

参考文献

[1] 张群,冯三利,杨锡禄. 试论我国煤层气的基本储层特点及开发策略[J]. 煤炭学报,2001,26(3):230 - 235.

[2] 李安启,姜海,陈彩虹. 我国煤层气井水力压裂的实践及煤层裂缝模型选择分析[J]. 天然气工业,2004,24(5):91 - 94.

[3] 张金成,王小剑. 煤层压裂裂缝动态法监测技术研究[J]. 天然气工业,2004,24(5):107 - 109.

[4] 韩宝山,宋生印. 新集试验水力压裂裂缝监测技术[J]. 煤田地质与勘探,2002,30(6):25 - 27.

[5] Palmer I. D. Review of coalbed methane well stimulation[J]. SPE 22395. 1992.

[6] Economides M. J, Nolte K. G. 康德泉译,油藏增产措施[M]. 北京:石油工业出版社,1991.

[7] John L. G. Recent advances in hydraulic fracturing[M], SPE. 1989.

[8] 李志刚,付胜利,乌效鸣,李同林. 煤岩力学特性测试与煤层气井水力压裂力学机理研究[J]. 石油钻探技术,2000,28(3):10 - 12.

[9] 郝艳丽,王河清,李玉魁. 煤层气井压裂施工压力与裂缝形态简析[J]. 煤田地质与勘探,2001,29(3):20 - 22.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

第 21 卷 第 2 期(216～223) 中 国 地 震 Vol. 21 No. 2
2005 年 6 月 EARTHQUAKE RESEARCH IN CHINA Jun. 2005

[文章编号] 1001-4683(2005)02-216-08

华北活动地块区南缘阜南 - 霍邱地区地壳活动习性初探

姚大全 刘加灿

安徽省地震局,合肥市长江西路 558 号 230031

摘要 阜南 - 霍邱地区地处华北和华南活动地块区边缘构造带,通过对其进行地震地质调查和综合分析研究,发现晚更新世以来该区存在强度较弱的构造变形现象,即:小震沿着主要断裂呈线性条带状分布;研究区南部及断裂近侧的上更新统中发育共轭剪节理;1970 年代,研究区固始、霍邱和阜南等地陆续发生过长度不一、宽窄不等、方向不同的地裂缝,展布与肥中断裂或王老人集断裂近乎一致。本文认为,研究区局部小震丛集、上更新统中赋存共轭剪节理、裂面充填物显微揉皱变形和现代地裂缝的生成等现象,反映出地壳能量被缓慢释放和相应断裂发生微弱活动;研究区曾发生过一次破坏性地震(江口集 M_S 4.3/4.7 地震)。综上所述,研究区地壳晚第四纪以来具有微弱活动性,且主要表现为蠕滑活动方式。

关键词: 华北 活动块体 阜南 - 霍邱 活动习性 活动水平

[中图分类号] P315 [文献标识码] A

1 研究区地质地貌基本特征

作为本文研究区的安徽省阜南 - 霍邱地区地跨江淮丘陵和淮北平原,构造上处于华北活动地块区南缘,南邻华北和华南两大活动构造区的边界——秦岭 - 大别活动断裂带(张培震等,2003a),属活动构造块体边缘地带,地质构造情况较为复杂,其较新活动状况的研究对评价边界构造带的活动习性具有重要意义。由于该区大部分为第四系所覆,这给地震地质分析和研究带来了困难。本文在前人工作的基础上,结合近年来在该区所做的工程场地地震地质现场调查研究工作,对研究区活动构造和地震活动性进行初步分析和研究。

研究区在地貌上以淮河为界,淮河以北归属淮北平原区,以南隶属于江淮丘陵区。淮北平原区可分为河间平原堆积区和泛滥带堆积区。江淮丘陵区在研究区又可分为剥蚀丘陵、侵蚀堆积 II级阶地和超河漫滩 I级阶地等 3 个亚地貌单元。研究区位于江淮分水岭以北,水系属淮河水系。主要干流为淮河、颍河、润河和淠河等,南部河流阶地发育。以淮河为界,总体显示南升北降的地貌形态。

[收稿日期] 2004-11-15;[修定日期] 2005-04-08。

[项目类别] 地震科学联合基金课题(102038)资助项目。

[第一作者简介] 姚大全,男,1956 年生,安徽省桐城市人,研究员,主要从事地震地质、活动构造研究工作。E-mail:daquanyd@mail.hf.ah.cn。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区内基岩仅零星出露于豫皖交界的四十里长山一带的白大山、马鞍山、长山及大石山等处,主要为寒武系及以前的地质体,余区均被第四系所覆盖。喜山旋回期以来,本区北部地壳运动以下降为主,接受陆相沉积,南部则间歇性升降,以上升为主,陆相沉积及剥蚀交替出现。本区地壳运动以断块运动为特征,褶皱作用微弱。所有这一切奠定了现在地质构造和地貌格架。深部构造研究成果表明:Moho 面埋深在 38km 左右,地壳具有多层结构特征(安徽省地质矿产局,1987a,1987b)。

震源机制研究结果表明,区内现今构造应力场的主压应力方向为 NEE 向,这与区域构造应力场是一致的(郭良迁等,2000)。

2　断裂构造的活动性研究

地震,尤其是破坏性地震,往往是因活动断裂的突然错动而发生。许多震例表明,活动断裂的规模、类型、活动方式、活动速率及其特殊部位等与地震都具有一定程度的相关性,因此也成为判定未来各地区地震危险性的主要依据之一。

2.1　主要断裂的活动性

研究区断裂构造比较发育,主要有 4 组不同展布方向的断裂,即 NE 向断裂、近 EW 向断裂、NW 向断裂和近 SN 向断裂(图 1)。这些断裂有的形成较早,后期又经历过多次活动。有的则形成较晚。下面将着重论述它们的基本特征及其新活动性。

2.1.1　王老人集断裂(图 1 中编号为 ①,下同)

该断裂北起河南永城,向南经安徽涡阳西侧、阜阳东侧延伸至河南固始。总体作 NNE 向展布,倾向 NWW,倾角 60～70°。在布格重力异常图上,异常梯度带明显。阜阳三十里铺以北断裂两侧重力高和重力低均被左旋错移,错距 5～10km。

该断裂由阜阳市东侧延入研究区,向南经阜阳十八铺、三十里铺、阜南黄岗西、曹集,过淮河,经河南固始洪家埠东,抵固始县城东。断面西倾,东盘抬升,西盘下降。研究区内长度大于 80km。

在阜阳市南十八铺轮窑厂于取土坑壁上见晚更新世含铁锰结核、姜结石粘土层稳定延伸,未见错移变形。但局部姜结石层之上的粘土中发育稀疏缓倾节理,产状 110°∠22°,平直如刀切,未延入上覆土体,说明晚更新世沉积的土层曾遭受强度较弱的构造作用。

固始县李店轮窑厂位于该断裂近侧,窑厂取土(晚更新世粘土)铲刮面上见走向分别为 0°和 100°两组构造节理,呈平面共轭关系,节理面有白泥充填(图 2)。

断裂通过处的柿园北轮窑厂取土坑壁上,见晚更新世粘土层中发育缓倾节理,产状 80°∠10°、250°∠20°,节理面平直,构成剖面共轭关系(图 3)。

向南至吴塘,为肥中断裂和王老人集断裂的交汇部位,吴塘轮窑厂取土坑壁晚更新世粘土中发育 2 组缓倾节理,产状分别为 155°∠20°、340°∠15°,亦构成剖面共轭关系(图 4)。

综上可知,王老人集断裂沿线局部地段晚更新世地层中发育缓倾和陡倾的构造节理,沿断裂或断裂近侧构造节理均发育在晚更新世地层中,但各点的节理状况不尽相同。如自北向南,十八铺仅发育 1 组节理。李店发育的 2 组陡倾节理呈典型平面共轭。柿园北和吴塘均各发育走向近似、相向缓倾的节理组,似构成剖面共轭,但两处的节理组走向不同。柿园北走向 NWW,吴塘走向 NEE,后者产状偏转是否与其处于该断裂与肥中断裂的交汇部位相

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

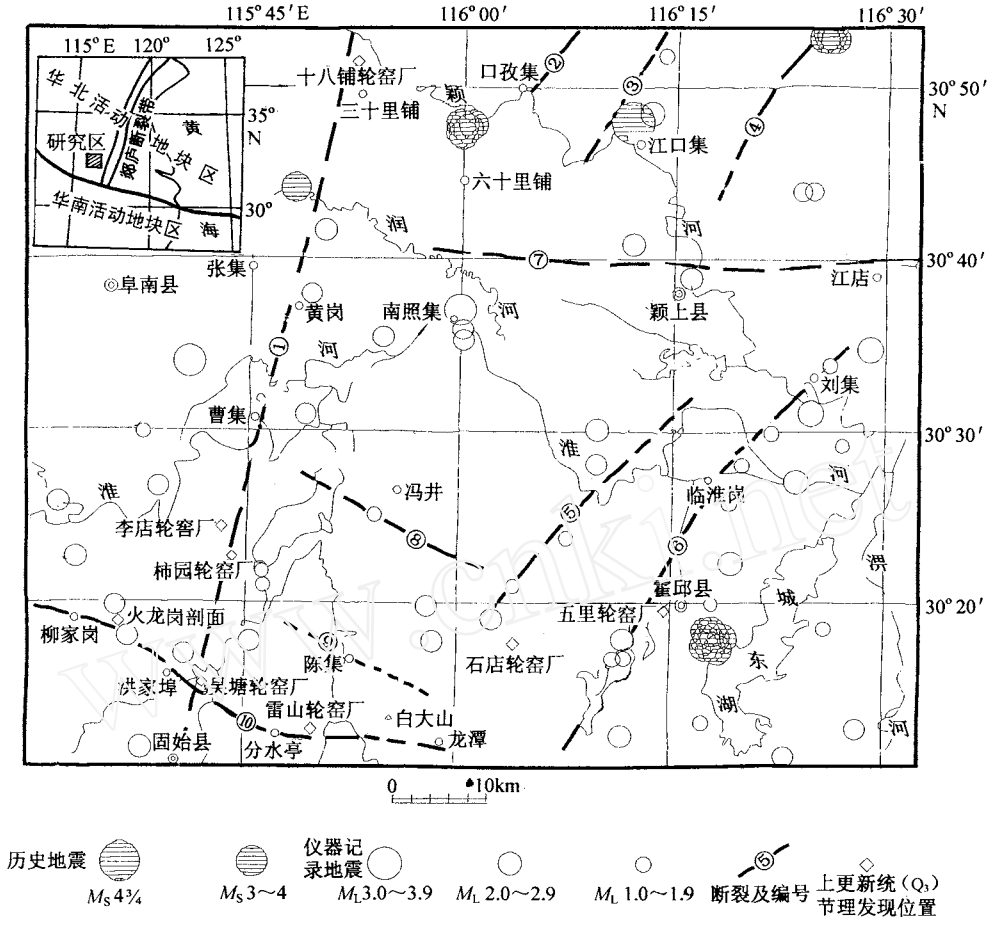


图 1 阜南 - 霍邱地区地震地质略图

Fig. 1 Sketch of seismology and geology in the studied area

断裂编号及名称：①王老人集断裂；②口孜集断裂；③高寨孜断裂；④马店孜断裂；⑤邱家湖断裂；⑥刘集 - 临淮岗断裂；⑦颍上 - 定远断裂；⑧羊角山断裂；⑨陈集断裂；⑩肥中断裂

关，还有待于深究。尽管如此，上述资料仍表明，该断裂晚更新世以来曾遭受一定强度的构造变动，尤其是与肥中断裂交汇部位表现得更为显著。此外，沿线有小震分布。考虑各节理发育稀疏，另沿线虽有小震分布，但震级小，频度低，故认为该断裂段晚第四纪以来虽有活动，但较为微弱。

2.1.2 肥中断裂（⑩）

该断裂即为明港 - 合肥断裂。断裂东起安徽肥东梁园附近，向西延至寿县隐贤集、河南固始、潢川至明港以西，呈近 EW 向延伸，长达 300km 以上。它隐伏于新生代盖层以下，已为航测、重力、电测深、浅层地震和钻探等资料证实其存在①。在重力布格异常图上，它表现为连续性好的近 EW 向密集梯度带，北侧为异常方向不稳定的重力低带，南侧为 EW 向线性重

① 安徽省地质矿产局，1976，亳县、阜阳、蒙城、固始、寿县、定远、合肥幅，1∶20 万区域地质调查报告。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

力高和重力低带,南北两侧位场差约 30 × 10^{-5} m/ s^2。在电测深资料成果图上,沿断裂电阻率等值线也呈密集条带,两侧差值超过 100Ω。电测深资料综合分析结果表明,断裂不仅对基底有明显控制作用,且在燕山期有过强烈活动,致使该断裂南降北升。中生界底板埋深相差悬殊,北侧仅 500m,南侧则达 7000m。在撮镇 - 梁园钻孔构造剖面上,肥中断裂从梁园以北通过,断面南倾,显示张性,在其与郯庐断裂交汇部位,近年来小震丛集。在浅层地震解释剖面上,肥中断裂位于梁园北,南倾,倾角上陡下缓,似铲形张性断裂,向下切割深度约 8km。



图 2　李店轮窑厂取土坑铲刮面构造共轭节理(120°,俯视)

Fig. 2　Tectonic conjugate joints in soil shovel plane of the Lidian Kiln (lens direction: 120°,look down)

该断裂在霍邱县龙潭西延进入研究区,经分水亭、洪家埠北、火龙岗、柳家岗,向西延伸至区外。研究区展布长度约 60km。为进一步了解该断裂第四纪以来的活动性,我们选择断裂附近的第四纪剖面进行变形观测。

在火龙岗村西排灌闸人工剖面的晚更新世粘土中发育两组节理,一组陡立,走向 280°,另一组缓倾,产状 340°∠10°,缓倾节理切割限制陡倾节理,节理面由白色泥状物充填(图 5)。

雷山轮窑厂取土坑壁上更新统地层中发现 2 组缓倾构造节理,产状 10°∠15°、110°∠18°,相向对倾,应是肥中断裂晚更新世以来曾经活动的间接证据。

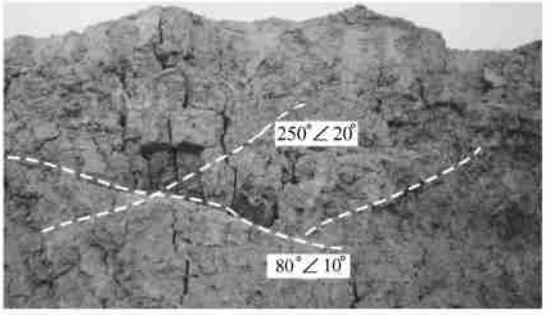


图 3　柿园北轮窑厂取土坑壁构造节理(300°)

Fig. 3　Tectonic joints in soil delve wall of the North of Shiyuan Kiln (lens direction: 300°)

综上可知,肥中断裂主要活动期为燕山期 - 喜山期,断裂东段控制了下第三系梁园凹陷的北部边界,且其与郯庐断裂带交汇部位近代小震频繁发生。研究范围内断裂近侧的晚更新世地层中发现构造节理。火龙岗一带近年来也偶有小震发生(图 1)。因而肥中断裂是一条具微弱活动的隐伏断裂。

2.1.3　高寨孜断裂(③)

该断裂为一经物探结果推测并经钻孔资料验证的隐伏断裂,全长约 33km。该断裂在重力异常图和航磁异常图上表现为梯度带。走向 35°,向 NW 倾,性质为左旋引张,明显错移古生代及以前地层。断裂虽未在新第三纪 - 第四纪地层等厚线、卫星影像和水系地貌上留下

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

可识别的印记,但断裂东侧的江口集历史上曾发生研究区内唯一的一次破坏性地震(M_S = 4 3/4),近年来又先后发生 2 次小震(图 1),说明该断裂具有一定强度的新活动。

2.1.4 刘集 - 临淮岗断裂(⑥)

该断裂亦即城西湖断裂,这是据卫星影像推测的一条隐伏断裂,在卫星遥感影像图上显示为 NE 向延伸的线状色带。因断裂沿线近些年有 9 个小震陆续发生,故对该断裂实施了精密磁测,并与钻探资料进行对比分析,以期在此基础上对断裂活动性进行评价。垂直于断裂的 3 条精密磁测测线均显示台阶状异常,其连线呈 NE 向;断裂两侧钻探揭露的晚更新世重粉质壤土和轻粉质壤土标志层标高在断裂附近有起伏,各剖面起伏部位的长轴在平面连线亦呈 NE 向。

在断裂通过处的霍邱县城郊五里轮窑厂取土坑铲刮面上见晚更新世粘土中发育定向裂隙,被白泥充填,分走向 NE 和 SN 两组,倾角陡立。属构造成因节理(小断裂)。定向采集充填物,原态固结并磨制薄片,置于显微镜下进行微观观测,发现揉皱错移现象(图 6),说明物质充填后曾发生过构造变形,表现为蠕滑变形(姚大全等,1993)。

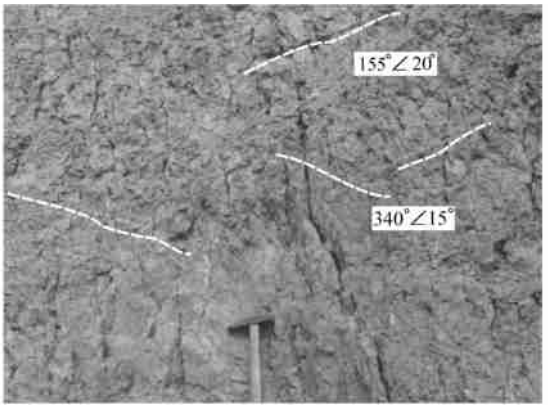


图 4 吴塘轮窑厂取土坑壁构造节理(250°)

Fig. 4 Tectonic joints in soil delve wall of the Wutang Kiln (lens direction: 250°)

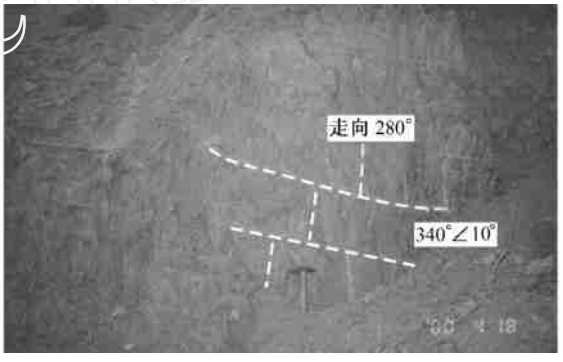


图 5 火龙岗晚更新世粘土中的节理(290°)

Fig. 5 Joints in the Late Pleistocene clay of the Huolonggang village (lens direction: 290°)

刘集 - 临淮岗断裂在遥感影象上有显示,断裂沿线有小震活动(图 1),而后者被认为是典型的蠕滑活动标志(晁洪太等,1997;姚大全等,1993)。此外,在地磁观测上有线状异常反映,且钻探资料分析揭示晚更新世地层受其轻微扰动,断裂通过的晚更新世地层中发现共轭节理,因而是一条具微弱活动并具蠕滑特性的断裂。

2.1.5 邱家湖断裂(⑤)

该断裂为《安徽省基岩地质图》(1∶50 万,安徽省地矿局,1987)上据卫星影像推测的一条隐伏断裂,在《安徽省卫星遥感影像地图》② 上显示为 NE 向延伸的线状色带;在重力布格异常图上该断裂显示为 NE 向延伸的线性梯度带,梯度带南端抵四十里长山,北段止于近 EW 向的颍上 - 定远断裂,可能延伸长度约 40km。该断裂及近侧有 8 个小震线状分布(图 1)。

② 安徽省地质调查院,1999,安徽省卫星遥感影像地图(1∶50 万)。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在断裂南端近侧的霍邱县石店轮窑厂取土坑壁,见晚更新世粘土中发育两组缓倾节理,产状分别为 20°∠17°和 280°∠20°,两组相互切割呈典型构造共轭节理(图 7)。

邱家湖断裂在遥感影象上有显示,小震沿断裂呈线状分布,断裂端部近侧晚更新世地层中发现共轭节理,因而亦是一条具微弱活动且具蠕滑特性的断裂。

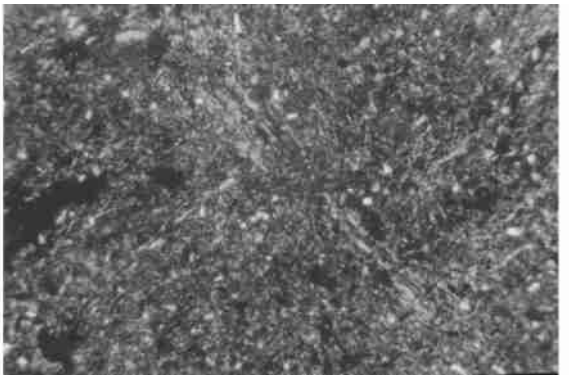


图 6　五里轮窑厂构造节理(小断裂)充填物显微照片,显示揉皱、错移变形(4×10(放大倍数 40 倍),(+)(正交偏光))

Fig. 6　Micrograph of fault materials of tectonic joints (small fault) in the Wuli Kiln, displaying knead and dislocated deformation (+), *40.
[(+): cross polarizer; *40: magnification 40X]

3　研究区地壳活动习性初步探讨

研究区广泛分布的晚第四纪地层中,在全新世地层尚未发现构造变形的野外直接证据,而晚更新世地层中则数处发现构造节理的存在,多呈共轭剪节理,发育点主要分布于研究区南部。研究区一共发现有 8 个部位晚更新世地层中发育构造节理,其中有 7 个分布在南部。另外,这些节理点多数位于断裂及其近侧(图 1),不过所有观测点的节理均发育稀疏(图 2～4,图 6～7),一般密度小于 5/m,说明研究区断裂晚更新世以来曾发生强度不大的构造运动。而全新世以来构造活动微弱。

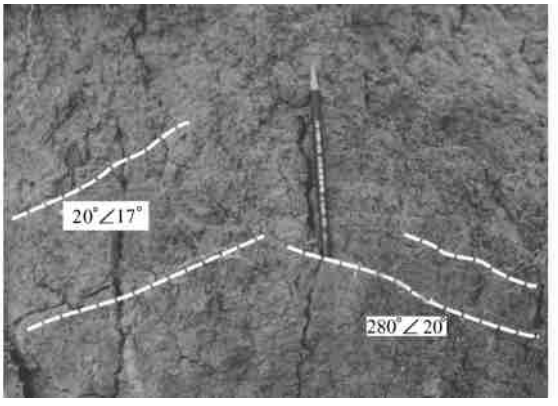


图 7　石店轮窑厂取土坑壁构造共轭节理(130°)

Fig. 7　Tectonic conjugate joints in soil shovel plane of the Sidian Kiln (lens direction: 130°)

自有史记载以来,研究区共发生 $M_L \geq 1.0$ 地震 84 次,最大震级为 $M_S = 4\frac{3}{4}$,即 1644 年 1 月 12 日发生在安徽省颍上县北江口集附近的地震(顾功叙等,1983)。

为了分析研究区地震活动的空间分布与断裂构造的关系,将研究区 $M_L \geq 1$ 地震震中绘于研究区构造图中(图 1),从图 1 可见,发震点虽比较分散,但局部震中分布仍显示较明显的方向性,且沿断裂有小震震中丛集现象。如王老人集断裂两侧有 7 个小震分布,刘集 - 临淮岗断裂两侧有 9 个小震分布,口孜集和马店孜断裂端部均有小震丛集现象,肥中断裂和丘家湖断裂亦有小震沿其分布的现象。这都表明相应断裂近代仍有微弱活动。

研究区唯一的一次破坏性地震发生在北东部的江口集北侧,为 M_S $4\frac{3}{4}$。据史料记载,“地震有声,自西北来,床屋皆动”(安徽省地震局,1989)。震中位于高寨孜断裂的上盘,离该断面在地表投影线约 2km。高寨孜断裂向 NW 陡倾,江口集地震的生成可能与该断裂的

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

活动有关。但该断裂沿线现场考察未发现构造地貌显示和地表变形现象,断裂长度仅33km。

应指出的是,20 世纪 70 年代中末期,研究区范围内的固始、霍邱和阜南等地陆续发生过长度不一、宽窄不等、方向不同的地裂缝。其中固始北、霍邱南西发生的地裂缝多数近EW 向、NW 向,展布与肥中断裂近乎一致,而阜南黄岗一带地裂缝走向除 NWW 向外,尚见NNE 向),后者与近侧的王老人集断裂走向一致。这一方面可能是相应断裂仍有微弱活动的一种表现,另外也反映这些断裂的最新活动方式是以蠕动为主,地壳能量缓慢地得到释放,不易积累大震。

总之,研究区范围内分布有 NW 向、近 EW 向和 NNE(NE)向 3 组断裂,大部分断裂在新生代以来均有活动,但第四纪尤其是晚第四纪以来的活动强度已有所降低;研究区第四系构造变形调查中发现晚更新世地层中赋存构造节理,但全新世沉积物中尚未发现明显的构造变形现象;研究区局部小震从集、线状分布和地裂缝的生成现象反映地壳能量的缓慢释放过程和相应断裂的微弱活动;研究区仅发生过一次破坏性地震(江口集 M_S 4¾地震)。分析上述种种现象认为,研究区地壳晚第四纪以来仅具有微弱活动性,且主要表现为蠕滑活动方式。这种认识与张培震等(2003b)对华北、华南活动地块区边缘带的活动评价结果较为吻合。

参考文献

安徽省地质矿产局,1987a,安徽省区域地质志,北京:地质出版社。

安徽省地质矿产局,1987b,安徽省地层志,合肥:安徽科技出版社。

安徽省地震局,1989,安徽省志·地震志,合肥:安徽人民出版社。

顾功叙等,1983,中国地震目录,北京:科学出版社。

郭良迁、黄立人,2000,中国大陆地壳的应变应力场研究,华北地震科学,**18**(3),50～58。

姚大全、汤有标、李 杰等,1993,活动断裂带上粘滑与蠕滑标志及其研究意义,地球物理学进展,**8**(4),140～148。

张培震、邓起东、张国民等,2003a,中国大陆的强震活动与活动地块,中国科学,D 辑,(增刊),12～20。

张培震、王 敏、甘卫军等,2003b,GPS 观测的活动断裂滑动速率及其对现今大陆动力作用的制约,地学前缘,特刊,81～92。

晁洪太、李家灵、崔昭文等,1997,郯庐断裂带潍坊-嘉山段全新世断层活动方式与发震模式,地震研究,**20**(2),218～226。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Initial Research of Active Behavior of Crust in the Funan-Huoqiu Region, Southern Border of the North China Active Block Area

Yao Daquan　Liu Jiacan

Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, China

Abstract　By means of seismic geological survey and synthesis analyze research in the Funan-Huoqiu area to locate bordering tectonic belt between the North China and South China active block areas, the authors discovered that there were relative feebleness tectonic deformation phenomena in this area since the Late Pleistocene, such as, some small earthquakes distribute linearly along the main fault, there were conjugate joints developed in Late Pleistocene near the fault and in the southern area, the fissures of different lengths, widths and directions occurred in succession in the northern Gushi, the Huoqiu and Funan area in the 1970's, the fissures were consistent approximately with the Feizhong fault or Wanglaoren fault. The authors considered that the small earthquakes were crowded in the local area, the conjugate joints developed in the Late Pleistocene, the microscopic kneaded deformation occurred in the filling material of the joints and the fissures occurred in the area in the 1970's reflected that the energy of the earth's crust was released slowly and the correspondence faults moved about weakly. There was only one destructive earthquake (Jiangkouji M_S 4 3/4) took place in the area. To sum up, the earth's crust of the area has a weak activity to show mainly creep-slip active mode since the Late Pleistocene.

Key words: North China　Active block　Funan-Huoqiu　Active behavior　Active level

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

维普资讯 http://www.cqvip.com

第15卷 第1期
1992年 1月

地 震 研 究
JOURNAL OF SEISMOLOGICAL RESEARCH

Vol 15, No. 1
Jan. 1992

华北区地裂与地震活动周期性分析*

王景明

(唐山工程技术学院, 063010)

摘要 作者在发现多处历史地裂缝的基础上,研究了华北七省历史记载的94起地裂缝。发现四千多年来,它们与历史地震一样至少出现七个完整的活动周期,平均长前者312年后者长317年。两者活跃期和隐伏期相吻合。这一规律的发现为用地裂资料推断未来地震活动趋势提供了依据。

关键词: 历史地裂缝; 活动期; 隐伏期; 华北地区

1. 地裂缝概要

自1958年西安[1]发生地裂缝以来,地裂缝已广及华北区。它们穿越厂房民居、横切农田路基,致使沿线民房农田、道路桥梁、堤坝水渠、车间礼堂、医院仓库受到不同程度的破坏,甚至与地震烈度七度的损失相近,直接危害人民生活和四化建设,因而引起广泛关注。

作者在多次实地考察地裂缝[1-5]的基础上广泛搜集资料[6-7]发现,中国地裂缝主要集中在冀、晋、陕、鲁、苏、皖、豫七省(图1)208个县市,已发现地裂缝757处。分布之广、数量之大实属世界罕见。它们主要发育在第四系松散沉积物中,基岩中少见[8]。多数呈锯齿状、斜列式,裂面粗糙直立偶见擦痕、裂口宽2~50厘米上宽下窄,显张扭性。单条长20~1000米,最长12000米。可见深1~5米,西安钻孔202米深处仍见其形迹。雨后地裂缝沿线常出现串珠状落水洞。部分地裂缝具三向变形特征,其中降量最大,张量次之、错量最小[5]。它们方向性强,按固定方向径直延伸,可分为$NW'W$、NW'、NNE、NE和EW'向六组,构成网络状。多由2~12条伴生地裂缝组成宽几米至几十米的地裂缝带。已知西安地裂缝带向下过渡为活断层;邯郸地裂缝受邯郸大断裂控制。从定向横亘、成带成组、配套成分的分布格局和两盘固定的位移动向来看,它们是构造地裂缝,组成华北地裂缝主体。

位于洼地、河渠、路堑、滑坡前后缘和古河道沿线的地裂缝多呈不规则状,或大体平行局部地貌成弧形与分枝状出现,无明显规律。它们长几米至几十米,向下延伸不足3米。裂口楔形,裂面粗糙无滑痕,显张性,属非构造地裂缝,为数不多。

收稿日期1990-09-20

* 本项工作得到国家自然科学基金的支持。

维普资讯 http://www.cqvip.com

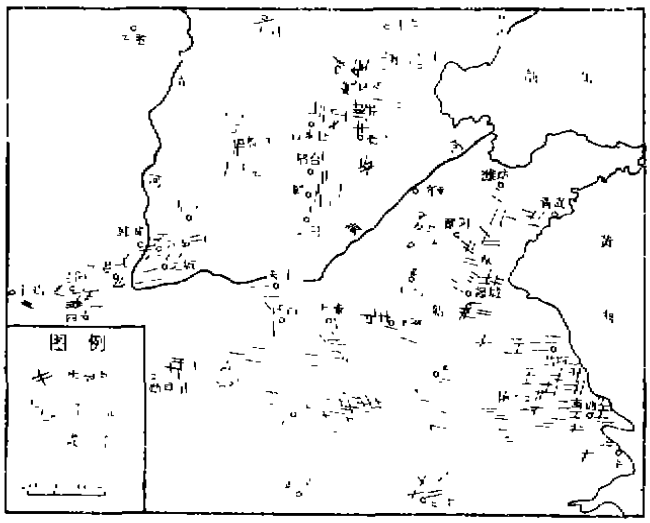


图 1 华北现代地裂缝分布图

Fig.1. Distribution of recent ground fissures in North China.

华北构造地裂缝有由地表向深处、由分散向集中、由少向多发展的趋势。汾渭地堑系、华北平原地堑系[9]、郯庐断裂系和大别山北缘断裂系四个活动裂陷盆地和断裂带，是华北地裂缝富集区（见图1）。

1966年邢台地震前后，强震活动在华北不断发生[10]，标志着华北区域应力场急剧增强，使研究区隐伏闭合的土层构造节理开启成缝，为大面积地裂缝的发生创造了良好的构造条件。与此同时，断层活动加速乃至蠕滑，促使沿线土层节理开启密集成带。若土层遇水受浸润、冲刷，溶盐被溶解，使地下开启缝上延在地表显现出来成为地裂缝，这就是华北区构造地裂缝的成因。

现存之汾渭地裂缝[4]多发生在几个集中时段。以渭河盆地为例，1985年以来发生的211起各类地裂事件，组成了几个地裂活动小周期，其高潮分别在1959、1964、1968、1972、1976、1980、1984各年，除1959、1977年外皆定时4年出现。西安地裂缝活动高潮与汾渭地裂缝同步，其六号地裂缝在1915年以来曾定时4次再现，具20年一次的张合期，时张时合，时隐时现。河北平原近期发生的228起地裂缝，有2次张合期，每期15年。

1957年有仪器记录以来，渭河盆地$M \geqslant 2$级地震与地裂缝一样，也存在四年活动小周期，其高潮分别为1958、？、1967，1973、1980和1983各年。对比地裂与地震活动高潮，可以发现各期地裂活动高潮均较地震活动高潮滞后一年，说明两者有成因联系。总之，华北区地裂与地震活动有时强时弱的周期性起伏。

2.历史地裂活动的周期性

2.1 历史地裂的发现及其可靠性分析：

为追溯地裂缝的发生时间和活动规律，1975年始笔者对渭河盆地历史地裂及有关古

迹现象，进行了地质的和考古的调查。先后发现埋于地下的渭南1556年华县大地震地裂缝[11]，西安毛毯厂唐代地裂[12]和咸阳汉代地裂。咸阳窑店秦王宫遗址，埋深2米的地裂缝切断秦文化层，将秦夯土层台基错开，北侧下降8厘米，断开汉文化层底部后消失，这与“太平御览”所载汉惠帝时西安“五月城中地陷三十丈，……八月地裂广36丈百三十丈”之时间、地点相近。西安毛毯厂家属楼地基探坑见埋于唐废墟层之下的地裂缝，当属唐代中期。主干走向$NE63^{\circ}$、倾角80°，可见长度24米，宽0.1～1.3厘米；支裂缝走向$NW25^{\circ}$，共同组成共轭地裂缝。与“旧唐书”所记公元834年6月西安“定陵台大风东廓之下、地裂一百三十尺其深五尺”吻合。上列事实说明史料记载的地裂缝基本上是可靠的。这些历史地裂缝埋于地下，分布在平坦的渭河低阶地，并非气候和重力因素所致，它们以固定方式排列、成组成带出现，也是一系列构造地裂缝。

我们查阅了大量史书地方志，访问了考古工作者，将所获华北七省历史地裂事件94起列于表1绘于图2上，发现有如下规律。

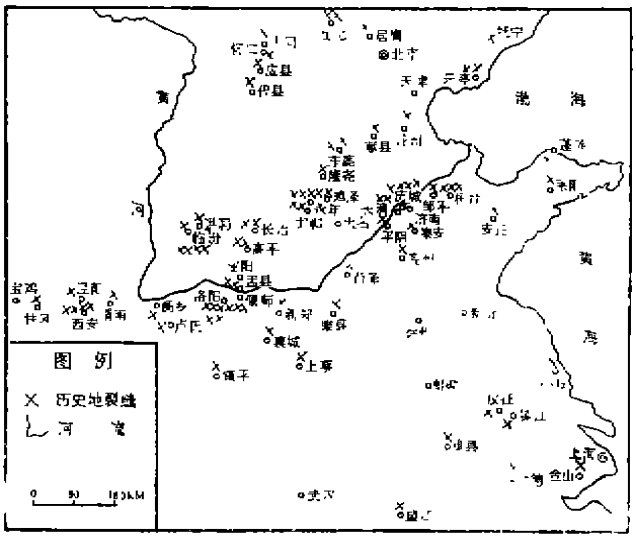


图2　华北7省历史地裂分布图

Fig.2. Distribution of historic ground fissures in the 7 provinces in North China.

2.2 空间分布的区域性

2.2.1.区域上多起地裂同步发生。表中公元158年陕西泾阳、云阳，山西晋南同时地裂；159年河北永年地裂；167年洛阳、山西高平、长治、永寿亭各地裂；171年长治、晋南地裂12处，裂合长十里百七十步，同步地裂广及华北中西部地区。1613年山东桓台；1615年山东桓台、历城、河北永年；1617年济南；1619年安徽广德；1620年山东邹平；1621年陕西渭南；1629年河南洛阳；1633年江苏镇江；1634年安徽巢县；1637年河北隆平；1638年江苏仪真；1639年永年；1640年河南新郑、上蔡；1641年河北束鹿；1643年山东平阴；1644年河南卢氏；1645年阙乡；1646年江苏小海场；1647年山东莱阳；164

表1 大华北七省历史地裂缝一览表

发生时代 名称	发生时代 公元(年、月)	地点	现象与特征	周期(年)	资料来源
	1973～1988	华北七省	冀、晋、陕、苏、鲁、皖、豫大面积地裂已知757处		实见
九	1955～1969	黄陵苏塞	开始发生区域性地裂缝。		实见
	1938	西 安	含元殿、甘案地裂长400米，走向NE40°		作者调查
今	1915～1921	西 安	甘寨、江尹地裂长350～500米，宽0.1米		作者调查
	1907	河南孟县	富平村地裂，宽尺许，长二丈，半月始合	180	民国孟县志
约 光绪五年	1897．7	山东蓬莱	地裂为沟6～7尺，其南亦震裂一沟，长半里许		民国蓬莱县志
同治11年	1872．9	河北抚宁	肚水寺地裂出水，南至马家峪北至细河庄相距七里		抚宁县志
同治6年	1867．7	北京延庆	永宁门外地裂，深二丈，长一里。		延庆州志
嘉庆15年	1810．6	山东历城	陈家庙地裂数丈		民国历城县志
康熙28年	1689．8	江苏金山	钓桥旁地忽坼裂有声，约二尺许陷为潭	121	光绪金山县志
康熙22年	1683．11	山西潞县	东南乡地裂出泉，灌溉民田至今利之。		潞县志
顺治18年	1661．5	安徽望江	地坼，深者数丈达泉，阔或二尺，长或半里，东北乡多，邻邑尤甚。		乾隆望江县志
顺治8年	1651．7	山东安丘	土山地裂，长二丈余，广二尺许，深不可测，翌日乃合		咸丰青州府志
顺治6年	1649．5	山西高平	地裂		顺治高平县志
顺治4年	1647	山东莱阳	县南浅水庄地裂数丈，深无际		康熙莱阳县志
顺治3年	1649．11	江苏小海场	冬至日午时地裂		乾隆小海县志
顺治2年	1645	河南阌乡	县东七里地裂丈余，听之有声。		顺治阌乡县志
顺治元年	1644	河南卢氏	地震地裂		光绪陕州志
崇祯16年	1643	山东平阴	城南三里庄地裂，宽一尺，深一尺，至土楼村约一里		嘉庆平阴县志
崇祯14年	1641	河北束鹿	城东地裂长30丈，阔尺许，深不可测后渐合		谈迁国榷
崇祯13年	1640．10	河南新郑	张家庄地裂，阔二丈，长30丈，井裂两开，水溢出地裂		顺治新郑县志
崇祯13年	1640	河南上蔡			康熙汝宁府志
崇祯13年	1640．冬	河北束鹿	城西张家庄遍东地裂一缝，南北长约三十余丈		束鹿县志
崇祯12年	1639．2	河北永年	地裂于北汪村		古今图书集成
崇祯11年	1638．秋	江苏仪真	西门外地裂长数丈，阔数尺，屋宇倾坏		康熙仪真县志
崇祯10年	1637	河北隆平	陈墩村地裂长七里，阔三丈		古今图书集成
崇祯7年	1634．5	安徽巢县	西乡大埠路旁忽地裂长二十余丈		雍正巢县志
崇祯6年	1633．3．4	江苏邳北	地裂数丈		明史五行志

续上表

名称	发生时代 朝代	发生时代 公元(年、月)	地点	现象与特征	周期(年)	资料来源
明与清地裂	崇祯2年	1629	河南泌阳	邑北古城地裂数尺		康熙泌阳县志
	天启元年	1621．6	陕西韶南	丛桂西王地裂数处，各长30米		顺治渭南县志
	万历48年	1620	山东邹平	牌楼庄地裂广尺许长数丈、深不可测、数日复合	203	顺治邹县志
	万历47年	1619	安徽广德	含东都地坼数十丈、深广五尺		乾隆广德州志
	万历45年	1617．9	山东济南	地裂者二		万历实录卷
	万历43年	1615．2	山东历城	地裂		乾隆万历县志
	万历43年	1615．2	山东桓台	新城地裂宽数寸，深数尺，长短不一		崇祯新城县志
	万历43年	1615	河北永年	县属刘营村地裂五丈、济深无底		永年县志
	万历41年	1613．2	山东桓台	新城地裂		康熙济南府志
	万历34年	1606	河南襄城	百宁关地坼长80余丈，宽5～6尺，深不可测		顺治襄城志
	万历33年	1605	山西隰县	绛州大雨地裂		山西通志
	万历14年	1586．4	河北鸡泽	吴官营地裂，阔二丈，长四十余步		鸡泽县志
	嘉靖45年	1566．9	山东历城	地裂者二		道光济南府志
	嘉靖43年	1564	河北永年	地裂于刘营村阔五丈、深不见低		康熙《几辅通志》
	嘉靖41年	1562．2	山东桓台	新城地裂		道光济南府志
	嘉靖38年	1559	山西代县	上曲村地坼方丈余，泉出始涌		山西通志
	嘉靖37年	1558．6	山东长清	边家庄地裂		康熙济南府志
	嘉靖14年	1535．春	河北鸡泽	地裂于吴家营阔两丈，长40步		康熙几辅通志
	嘉靖11年	1532	河北镇平	城下地裂，深丈余，久复平		康熙镇平县志
	弘治元年	1488．8	河北宣化	葛峪堡地陷三丈，长百五十步阔一丈		宣化府志
	成元22年	1486．7	西安	咸宁六月地裂，坏民庐甚多	139	康熙咸宁县志
元代地裂	至正7年	1347．6	西南	河东地坼泉涌，崩城陷屋，伤人民		元史五行志
	至正2年	1342	山西平定	地震声鸣如雷，裂地尺余，民居皆倾	1 58	平定州志
	大德9年	1305	山西怀仁	地裂两所，涌水尽黑，漂出松柏朽木		大同府志
	至元28年	1289．9	河北献县	八月地大震，地陷，黑沙水涌出	220	清苑县志
宋代地裂	熙宁2年	1069．1．8	河北沧州	地裂涌出沙泥、船板、螺蚌之属		宋史五行志
	乾兴2年	1023	河南浚县	天圣初，因陷为湖，移城北山	164	嘉庆浚县志
	乾兴元年	1022．4	山西应县	是日地震，云、应二州屋舍地陷，鬼白山裂数百步		辽史本记
	天佑2年	905	河北大名	魏州城中地陷	70	大名县志
唐代地裂	光化元年	835．5	西安	含元殿四鸱 吻皆低……西城墙坏七十七步		旧唐书
	大和8年	834．6	西安	定陵台下大风雨东廊之下，地裂一百三十尺，深五尺	123	旧唐书

维普资讯 http://www.cqvip.com

续上表

发生时代			地点	现象与特征	周期(年)	资料来源
名称	朝代	公元(年、月)				
	贞元4年	788.2.12	西安	含元殿前坏30间，压死十余人，地生白毛尺余		旧唐书五行志
	延和元年	712.7	河南偃师	李村村有震电入民家，地震裂阔丈余，长十五里，深不可测。所裂处井厕相通		灾害学
					220	
晋北魏地裂	延昌元年	512.6.21	山西代县	京师及六州地震，肆州诱容雁门地震陷裂		魏书灵征志
	永嘉元年	307.3	河南洛阳	东北步广里地陷		宋书
	永康元年	294.9	河北唐庸	地裂广36丈，长84丈水出	244	延庆州志
	永熙元年	290.8	河北宣化	上谷地陷、水泉涌出，人有死者		宣化县志
	太始四年	268	晋南	河东雨雹地裂		山西通志
					97	
	建宁四年	171.6	晋南	河东地裂12处，裂合长十里百七十步，广者三十余步，深不见底		后汉书本纪
	建宁四年	171.	山西长治	上党地裂		后汉书本纪
	永康元年	167.5	山西高平	上党、泫氏、雒阳、高平、永寿亭各地地裂		后汉书
	永康元年	167.5	河南洛阳	京师及上党地裂		后汉书本纪
汉	延熹八年	165.7	河南偃师	缑氏地裂		后汉书本纪
	延熹2年	159.	河北永年	易阳地裂		永年县志
	延熹元年	158.9	陕西泾阳	泾阳、云阳、河东地裂		后汉书本纪
代	永寿3年	157.7	晋南	河东地裂		后汉书本纪
	永兴元年	153.	河北永年	易阳地裂	238	永年县志
	阳嘉2年	133.7	雒阳	雒阳宣德亭地坼长八十五丈		后汉书五行志
地	元初2年	115.6	河南洛阳	洛阳、新城地裂		河南通志
	元初元年	114.6	晋南	河东地裂		后汉书本纪
	元初元年	114.3	河南洛阳	地坼长百八十二里，广五十六里，地陷裂		后汉书本纪
裂	永初元年	107.6	山西洪洞	河东杨地陷，东西百四十步，南北百二十步深3丈5尺		后汉书五行志
	永兴元年	105.5	陕西扶风	扶风，风翔地裂		后汉书本纪
	永元7年	95	河北永年	易阳地裂，京师四月地震		天灾表
	建平四年	前3年	山西长治	上党地裂		山西通志
	建始4年	前27年	江苏沛县	沛郡地陷数尺		灾害学
	地节3年	前67年	山东济阳	地裂五丈		灾害学
					121	
周秦地裂	汉惠帝	前188～前194	西安	五月城中地陷30丈，六月地坼家陷死，八月地裂36丈长百三十丈		太平御览
	始皇16年	前231	山西临汾	代地大动……地坼东西百三十步		史记六国年表
	周赧王31年	前284	山东泰安	赢博之间地坼及泉	176	资治通鉴卷4
	周显王44年	前324		雨雹于邾，地忽长十丈有余，高尺许		灾害学

续上表

名称	发生时代 朝代	公元(年、月)	地点	现象与特征	周期(年)	资料来源
	春秋	前476～前776	苑州	春秋考异、郡臣曰盛，地裂坼.	112	太平御览
前	周幽王6年	前777	山西大同	代地大动，台屋墙垣大半坏，地坼东西百三		大同府志
周				十步		
地	夏桀	约前1767	华北	夏桀末年社地坼		太平御览
裂	夏	前2221	华北	夏冰，地坼及泉		太平御览
	黄帝	前2598	华北	黄帝将亡则地裂		太平御览

年山西高平，1651年山东安丘。38年中先后地裂40起遍及华北七省。同步地裂之广说明它们是在统一的区域构造应力场作用下形成的。

2.2.2 地裂多次原地再现。河北永年地裂于95、153、159、1615和1639各年再现五次。再现点还有洛阳五次，长治和西安各四次，山东历城和桓台各三次，不言而喻它们是地裂敏感点。

2.3 时间进程上的周期性

将4000年来有记载的历史地裂绘于图3 B可知

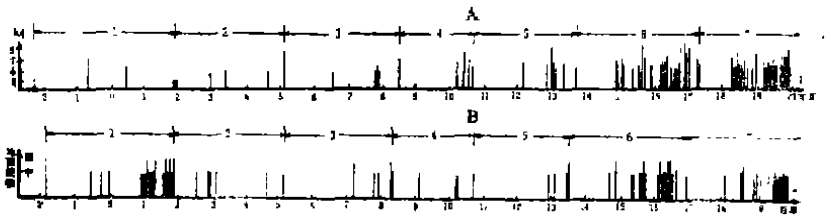


图3　华北7省地裂与地震活动周期对比图

A 地震　　B 地裂

Fig.3. Periodicity comparison between ground fissures and earthquake activities in the 7 provinces in North China.

A. earthquake　　B. ground fissure

2.3.1 春秋末期历史地裂出现时间有相对集中期即是地裂活动期，每期地裂事件4～32起。其中汉代和明与清初两期地裂频繁，分别为19和40起，为重地裂活动期；唐代、宋代和元代三期地裂少均为4起，为轻地裂活动期；介于两活跃期间一般无地裂活动，为地裂隐伏期。

2.3.2 每一地裂活跃期持续58～244年平均173年。春秋末以前因距今久远，地裂资料记载不全不确，又有所失传，活动期全貌不易分辨，可统称为前周地裂。春秋末以后有周秦、汉、晋和北魏、唐、宋、元、明与清初，近代8个活跃期。表1可看出重地裂活

维普资讯 http://www.cqvip.com

动期地裂持续时间长，如汉代地裂238年，明与清初地裂203年；而轻地裂活动期地裂持续时间较短，唐、宋、元各代地裂分别为58、164和123年。

2.3.3 每一地裂隐伏期持续时间在70～220年间，平均137.5年，分别出现在战国、西汉、三国、隋和唐初、唐末、南宋和元金、明初、清代。

2.3.1 地裂活跃期与隐伏期周期性交替出现，隐伏期与其随后出现的活跃期，共同组成一个地裂活动周期，长234～359年，平均312年。

华北地裂活动周期性的发现为解决地裂活动趋势预测提供了依据，基于此可以预测未来的地裂活动。目前进入华北第八地裂活动周期301年，以平均周期长308年计尚有7年，若以最长的周期359年计尚有58年。当进入下一活动期的隐伏期后，将无明显地裂活动。

3.历史地震活动的周期性

华北是中华民族的发祥地，从公元前1831年泰山地震至今已有四千年的地震记载。作者以中国地震目录[13]和张秀梅确定并修改[14]的震级为依据，绘制$M-t$图发现（图3 A）、自公元前231年以来$M\geqslant 6$级地震的时间分布，有明显的规律性。

3.1 强度大频度高。有≥6级地震78次；≥7级地震15次；≥8级5次。发生过我国最大的1668年山东莒县8.5级地震和世界上损失最大的1556年华县8级地震。

3.2 从时间进程看，华北历史地震活动有相对活跃期和平静期。

3.3 历史早期地震记载少而不详，震级有时定的偏低，资料可能有所失传，给地震活跃期划分带来困难。但$M\geqslant 6$级地震一般不会漏记，它们往往代表一个活跃期的地震活动水平。因此基本上可以分辨出地震活动的阶段性，自公元前231年以来华北地震活动经历了七个活跃期（图3 A）、可分别称为汉代地震、晋与北魏地震、唐代地震、宋代地震、元代地震、明与清初地震和近代地震。

3.4 每一地震平静期持续时间平均119年。

3.5 地震活跃期与平静期周期性交替出现，平静期与其随后出现的活跃期，共同组成一个地震活动周期。自公元前231年以来共出现七个地震活动期，持续时间分别为425（？）、318、337、227、292、362、大于260，平均317年，与马宗晋先生[10]对大华北地震划分的周期时间相近。

4.地裂与地震活动相关性

从图3 A、3 B和表2可以看出：

4.1 华北区地震与地裂常相伴而生。如1486年西安地裂后，1487年临潼发生6.3级地震。1637～1641连续五年在隆平、仪真、永年、新郑和束鹿发生较大规模的地裂，随后在其西侧山西平陆1642年发生6级地震。

4.2 地震与地裂活动时间进程吻合，每一地震活跃期都有时间相近的地裂活跃期与之对应。汉代、晋与北魏、唐代、宋代、元代、明与清初和近代七个地震活跃期分别长

维普资讯 http://www.cqvip.com

264、218、200、54、159、246和175年，平均长186年；而与其时间吻合的汉代、晋与北魏、唐代、宋代、元代、明与清初和近代七个地裂活跃期分别长238、244、123、164、58、203和180年，平均长173年。第1～7地震平静期分别长159、100、137、173、133、118和85年，平均长129年；与之对应的七个地裂隐伏期分别长121、130、220、70、220、97和121年，平均长137.5年。有助于说明华北地震带中，历史地裂与强震活动是在同一构造应力场作用下形成的不同构造现象，前者是活断层蠕滑和区域土层节理开启的反映，后者是活断层速滑的表现。

4.3 地震与地裂活跃期均有强弱轻重之分，强地震活动期与重地裂活动期对应（图3 A、B）。如第六地震活动期地震强度大频度高，包括≥6级地震28次，≥8级地震4次，分别占华北区≥6级地震的34%和≥8级地震的75%。与之对应的第六地裂活动期有地裂事件40起，广及华北七省，占全部历史地裂的42%；1486年西安地裂“坏民庐甚多”，1637年河北隆平陈墩村地裂长七里，规模之大居几个地裂活动期之首。第七地震活动期强震占华北区≥6级地震总数的34.6%，同期地裂事件数以千计。反之弱地震活动期对应轻地裂活动期；第三、四地震活动期分别发生≥6级的地震5和10次，分别占全区同级地震的6.4%和5.1%；第三、四地裂活动期分别有地裂事件4和4次，分别占全区地裂事件的4.3%。

由此推断与强地裂活跃期第一活跃期对应的第一地震活跃期的地震活动也应是强烈的。该地裂活跃期记载地裂事件19起占全部历史地裂事件的20.2%，广及冀晋陕豫四省；规模也大，108～125年洛阳南地坼长百八十二里，广五十六里；171年河东地裂12处、裂合长十里百七十步，广者30余步，深不见底。但与之对应的第一地震活跃只有≥6级地震3次，占全部≥6级历史强震的3.8%；与20.2%的地裂事件比较相差很远。中国地震目录记载该期华北有原定为≤5级有感地震65次可谓频度高。分析认为该期距今已1800年，因历史久远地震情况记载不详，据此所定震级不准多数偏低。若与第六活跃期地裂事件占全部地裂的42%，≥6级地震占全部≥6级地震的36%比较，第一活动期地裂事件发生19起占全部地裂的20.2%，则≥6级地震应发生16起占17.3%才能与之对应。换言之已知第一地震活动期65次≤5级地震中，可能有16次左右定级偏低应提为≥6级。从现有资料分析，有些地震震级确实定的偏低，如“后汉书”记149年11月12日洛阳东地震“郡国五山崩……”“令京师厮舍，死者相枕……处处言之”，地震地面破坏较重又有伤亡，其震级应不小于6级。

4.4 两者的空间分布均具有区域性

前述已知，1613～1651年地裂纵横展布广及华北七省。与此同时1614年山西平遥，1618年山西介休、河北蔚县，1622年山东郓城，1624年江苏扬州、河北滦县，1626年山西灵丘，1642年山西平陆，1652年安徽霍山发生≥6级地震10次，涉及华北五省，与地裂相呼应。近代地裂出现高潮广及华北，地震也同步进入高潮波及全华北，发生≥6级的地震有1815年三门峡、1830年磁县、1917年霍县、1937年荷泽、1966年邢台、1969年渤海、1976年唐山等七次较大地震。

上列现象表明，华北地震与地裂活动的时序起伏、力学特征、成因环境都是相关

维普资讯 http://www.cqvip.com

的。它们同处于统一的区域构造应力场控制下，近代地震和地裂活动不断加剧是该应力场不断加强的信息。

参考文献

〔1〕 王景明，西安地裂缝及其对城市建设环境的影响，大自然探索，6卷3期，1987。

〔2〕 王景明，泾阳地裂缝灾害及成因，水土保持学报，3卷1期，1989年。

〔3〕 王景明，河北平原地裂缝及其危害，水土保持学报，4卷4期，1990。

〔4〕 王景明，渤海地裂缝与现代地震活动，地震学报，11卷1期，1989。

〔5〕 王景明，论西安地裂缝，地震地质，11卷3期，1989。

〔6〕 高维明，苏鲁皖地裂缝，地震战线，1期，1979。

〔7〕 谢振生、刘德林、张振江、何春贵，冀中平原地裂缝特征及其成因浅析，河北地质学院学报，2期，1984。

〔8〕 郑文涛、段汝军、杨景春、苏宗正，山西代县基岩裂缝，山西地震，4期，1989。

〔9〕 马杏垣，中国地质历史过程中的裂陷作用，现代地壳运动研究，1，地震出版社，1985。

〔10〕 马宗晋、张立人，一个2000年的地震时序剖面华北—朝鲜—日本地震期的同步性，华北地震科学，1卷1期，1983。

〔11〕 王景明，1556年陕西华县大地震地面破裂，地震学报，2卷4期，1980。

〔12〕 王景明，渭河地震带地裂与地震活动的周期性，地震学报，7卷2期，1985。

〔13〕 顾功叙主编，中国地震目录，科学出版社，1983年。

〔14〕 张秀梅，华北历史地震分期的补充和论证，华北地震科学，5卷1期，1987。

THE PERIODICITY ANALYSIS OF GROUND FISSURE AND EARTHQUAKE ACTIVITY IN NORTH CHINA

Wang Jingming

(*Tangshan Engineering Technique Institute, Tangshan, 063010*)

Abstract

Based on the discovered historic ground fissures, 94 ground fissures with written history in 7 provinces in North China have been studied in this paper. It has been found out that those fissures, like historical earthquakes in the area (with an average interval of 317 years), appeared at least 7 complete active periods in the past 4000 and more years, with an average interval of 312 years. The active and quiescent periods of both fissure and earthquake activities were coincided with each other. The obtained feature has provided basis for the earthquake activity tendency in the future by the ground fissure data.

Key words, Historic ground fissure; Active period; Quiescent period; North China