

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.03.13

山东鲁北平原地裂缝分布规律及成因分析

宋 伟, 马学军, 吕凤兰

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

摘要: 通过对鲁北平原地裂缝调查, 共发现地裂缝 17 处, 部分裂缝在发生及发展过程中对房屋、道路、农田造成破坏和威胁。本文分析了鲁北平原地裂缝的发育的时空规律, 通过地裂缝和地层岩性、降水、地下水、活动构造、地面沉降、地震等各种影响因素进行了分析, 认为本地区地裂缝的形成并非单一因素, 而是多种因素共同作用发生。

关键词: 地裂缝; 分布规律; 影响因素; 鲁北平原

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)03-0081-09

Distribution law and cause analysis of ground fissures in the Lubei plain of Shandong province

SONG Wei, MA Xuejun, LYU Fenglan

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding, Hebei 071051, China)

Abstract: According to the ground fissure investigation of Lubei Plain, it was found to 17 ground fissures in the ground, Part of the ground fissures damage and threats to houses, roads, farmland in the occurrence and development process. This paper analyzes the spatial and temporal development of the law to Northern Henan Plain ground fissures. According to the analysis of various factors such as the ground fissures and strata lithology, precipitation, groundwater, active tectonics, ground subsidence, earthquake and other factors, it is considered that it is not a single factor to the formation of ground fissures in the Northern Henan Plain, but a variety of factors in common.

Keywords: ground fissure; distribution law; influence factor; Lubei plain

0 前言

鲁北平原, 西、西南以山东省界为边界, 东北濒渤海湾, 南至黄河。地理坐标东经 $115^{\circ}20' \sim 119^{\circ}45'$, 北纬 $35^{\circ}47' \sim 38^{\circ}16'$ 。包括德州市、聊城市、滨州市以及济南市的商河县、济阳县和东营市的利津县及河口区, 总面积 $32\,000\text{ km}^2$ 。

20 世纪 60 年代以来, 由于人类工程活动的日益增多, 山东省多个县市出现地裂缝。通过实地调查, 鲁北平原共发现地裂缝 17 处, 分布在多个县市, 部分裂缝在发生及发展过程中对房屋、道路、公路、铁路、桥梁

及水利设施造成破坏和威胁(图 1)。

本文依托中国地质调查局地质大调查—《华北平原地裂缝调查与防治研究》项目, 在大量野外调查基础上, 对该区域地裂缝的分布特征、影响因素进行了分析研究。

1 鲁北平原地裂缝概况

有资料记载以来, 鲁北平原最早的地裂缝发现于 1620 年, 1620 年~1900 年间, 区内地裂缝为地震活动所产生。1900 年至今区内地裂缝产生多为人类活动的影响。

收稿日期: 2015-12-26; 修订日期: 2016-03-04

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目-华北平原地裂缝调查与防治研究(1212011220183)

第一作者: 宋 伟(1985-), 男, 工程师, 主要从事水文地质、环境地质等方面的研究。E-mail: sw262914595@126.com

鲁北平原因地震活动所产生的地裂缝基本分布于沿海地带,渤海沿海地区发生过多次 7 级以上的地震。人类活动所产生的地裂缝多因资源过渡开发所致,多分布于鲁北、鲁西地区,如淡水区地下水的超采、卤水资源开采、浅层煤炭的开采等都对地裂缝的产生与发育提供了外力条件。

从现有可见地裂缝分布分析,地裂缝一般分布在高震级区域、井灌区、淡水、矿产、农产品开发区。

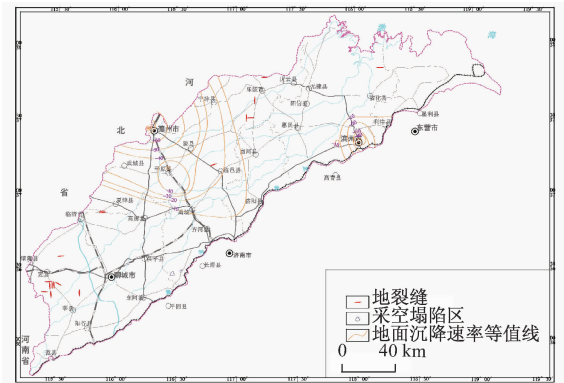


图 1 鲁北平原地裂缝分布图

Fig. 1 Ground fissure distribution map of Lubei Plain

2 鲁北平原地裂缝分布特征

2.1 鲁北平原地裂缝时间分布特征

鲁北平原地裂缝分布上有明显的时间特征(图 2),人类活动的衍生地裂缝基本发生在 1990 年之后,1993 年~2005 年和 2010 年~2014 年为鲁北平原人类活动产生地裂缝的高发期。^[1]

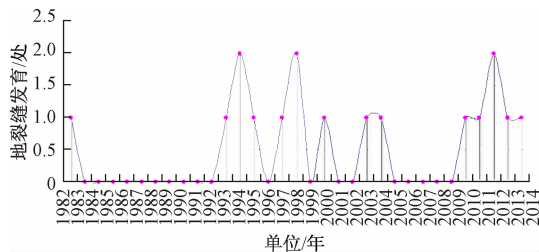


图 2 鲁北平原地裂缝分布时间特征

Fig. 2 The time characteristic of ground fissures in Lubei Plain

根据区内地裂缝发育月份,从地裂缝发育、出露月份与水文周期关系分析,枯水期为地裂缝的地下隐伏发育期与地表显露期。丰水期为地裂缝的地表多发期或显现期(图 3)。枯水期发育地裂缝的条件稍微强烈些,枯水期地下水的开采量增强,人为因素的介入,使得枯水期地裂缝发育的条件更加强烈。

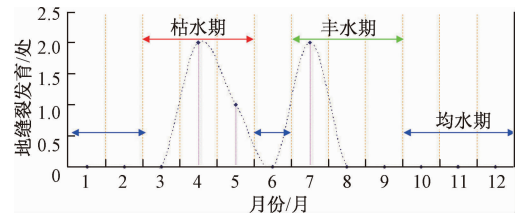


图 3 鲁北平原地裂缝分布水文时间特征

Fig. 3 The hydrological time characteristic of ground fissures in Lubei Plain

2.2 鲁北平原地裂缝空间分布特征

鲁北平原地裂缝在空间分布上分为地裂缝发育的地理位置、地形地貌单元、地裂缝形态、长度、宽度、深度及走向等特征分析(表 8)。

2.2.1 地理位置与地貌单元

鲁西地区地裂缝发育相对集中,其他地区相对分散。从灌溉方式来划分,井灌区发育的地裂缝较多;引黄灌溉区和未灌区发育地裂缝较少(表 1)。

表 1 不同区域地裂缝分布特征

Table 1 Distribution of ground fissures in different regions

位置	黄河北岸 煤田线区	沿海卤水区	远离黄河区	油气田分布区
数量/处	2	1	13	1

岗地、坡地和决口扇地裂缝的发育基本平均分布。岗地和坡地地裂缝的分布较分散,决口扇地貌单元非常集中(表 2)。

表 2 不同地貌单元地裂缝分布特征

Table 2 Distribution of ground fissures in different landform unit

地貌单元分类	岗地	坡地	决口扇	洼地
数量/处	4	5	6	0

2.2.2 地裂缝发育形态

从发育的地裂缝形状来看,大部分地区多数为直线形,南部采煤区发现环形地裂缝,北部的发现弧形及“丁”字形地裂缝(表 3)。

表 3 不同形态地裂缝分布特征

Table 3 Distribution of ground fissures in different forms

地裂缝形态	直线	弧线	环状	折线
数量/条	12	1	2	2
百分比	71%	5%	12%	12%

2.2.3 地裂缝发育长度、宽度及深度

从地裂缝长度统计分析,区内所发育的地裂缝以小型地裂缝为主(表 4)。

表 4 不同长度地裂缝分布特征

Table 4 Distribution of ground fissures in different length

地裂缝发育长度/m	发育情况/处	出现概率	发育诱因
>1 000	3	18%	采矿活动
500 ~ 1 000	2	12%	
100 ~ 500	7	41%	
< 100	5	29%	采水活动

从地裂缝宽度统计数据,过度抽采地裂缝所产生地裂缝的宽度一般为 30 ~ 50 cm,不合理抽采地下水所产生的地裂缝一般小于 10 cm(表 5)。

表 5 不同宽度地裂缝分布特征

Table 5 Distribution of ground fissures in different width

地裂缝发育宽度/cm	发育情况/处	人类活动
> 60	1	过度采水 不合理采水
30 ~ 50	2	
< 8	4	
宽度未知	10	

区内地裂缝发育深度有 9 条已知或可推测深度,其发育深度区间为 20 ~ 1 600 m。其深部发育岩性分别为古近纪沙河街组 3 段、二迭纪山西组和第四纪平原组,其发育的层位分别为油气层、浅层煤层和浅层含水层(饱气带含水层)。浅层煤矿埋藏深度约 290 m,若规模开采,必然产生地裂缝。在已知深度的地裂缝当中,分布于饱气带含水层较多,饱气带与地面的各种联系紧密,易于演变成适合地裂缝发育的地质环境,属于地裂缝多发层段(表 6)。

表 6 不同深度地裂缝分布特征

Table 6 Distribution of ground fissures in different depth

地裂缝深度/m	发育情况/处	底部发育的层位	底部地层	层段评价
>1 400	1	油气储层	古近纪沙河街组 3 段	少发层段
200 ~ 300	2	浅部煤层	二迭纪山西组	必发层段
< 60	6	浅层含水层	第四纪平原组	多发层段
深度未知	8			

2.2.4 地裂缝发育走向

区内地裂缝基本以南北向为主,东西、北东向次之,北西向最少(表 7)。

表 7 不同走向地裂缝分布特征

Table 7 Distribution of ground fissures in different strikes

地裂缝走向	南北	东西	北东	北西
数量/条	7	4	4	1
百分比	44%	25%	19%	6%

2.3 鲁北平原地裂缝与地下水开发相关联特征

区内浅层地下水淡水资源紧缺,多以微咸水-咸水为主。淡水分布区含水层相对封闭,形成一个相对较小、与外部含水层联系较少、仅通过包气带和降雨发生沟通的封闭或半封闭型含水层区域。地下水的开发也基本上在旱季,地下水补给缺乏,加上蒸发量的排泄和人工开采的排泄,易造成含水层的大量失水而体积收缩^[2](图 4)。

在鲁西北的莘县、冠县、临清地区,地下水动态类型为降雨补给-人工开采排泄型。在乐陵地区,为金丝小枣种植区,地下水的开发使用率也较高^[3]。

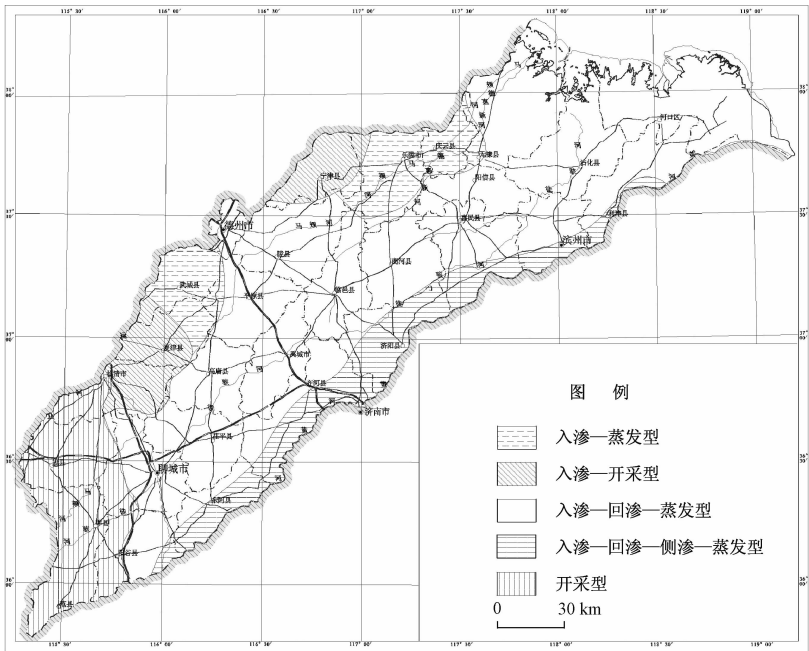


图 4 鲁北平原浅层地下水动态类型图

Fig. 4 Dynamic type of shallow groundwater in Lubei Plain

2.4 鲁北平原地裂缝与矿产开发关联特征

区内矿产资源丰富,注水采油过程中发生过地裂缝。也是黄河北部煤田主要分布区,而且煤炭埋藏较浅,随着采空塌陷出现了地裂缝。区内分布卤水资源,

随着大量开发,地裂缝也有发生。德州地区地热资源开发程度较高,目前还未发现因地热开发所产生的地裂缝^[4-6](表8)。

表 8 鲁北平原地裂缝分布特征

Table 8 Distribution of ground fissures of Lubei Plain

序号	位置	长度/m	宽度/cm	深度/m	走向	发生时间	形态	破坏情况
1	德州市临邑县西十二里村	600	1~2	1 400~1 600	北东	1998 年	直线	地面开裂、房屋开裂塌陷、油水涌出
2	德州市乐陵县杨安镇南	40	1~2	30~50	南北	2011 年	直线	地面沉降
3	德州市乐陵县荣家村	300	30	30~50	北东	2003 年	弧线	地面开裂
4	德州市乐陵县前谭村	120	3	30~50	南北、东西	2014 年	折线	地面开裂
5	滨州市滨城区河贵村	1 000	50	30~51	东西		直线	地面开裂
6	德州市齐河县赵官煤矿					2013 年	环状	塌陷
7	德州市齐河县邱集煤矿					2004 年	环状	塌陷
8	聊城市临清市尚官营村	100	2~8	20~80	北东	1997 年	直线	房屋开裂
9	聊城市冠县蔡庄村	30		30~50	东西	2012 年	直线	地面开裂
10	聊城市冠县张里村	216	60			1982 年	直线	路面、房屋开裂
11	聊城市冠县南邵庄村	300			南北、东西	2010 年	折线	破坏树林、房屋
12	聊城市冠县菜庄集					2000 年	直线形	房屋开裂
13	聊城市冠县赵辛庄	30			北西	1993 年	直线形	房屋开裂
14	聊城市冠县七里韩村	40			南北	1998 年	直线形	房屋开裂
15	聊城市莘县东时固村	160			南北	1994 年	直线形	房屋开裂
16	聊城市莘县刘店子村	200			南北	1995 年	直线形	房屋开裂
17	聊城市莘县罗庄	120			南北	1994 年	直线形	房屋开裂

3 鲁北平原地裂缝诱发成因分析

3.1 地震活动对形成地裂缝的影响

从大华北地区地震所产生的裂缝分析,地震地裂缝在基岩裸露地区地裂缝极少^[7]。

从 1620~1699 年间,相关资料记载惠民地区所发生的地裂缝为地震裂缝。广饶县从 1984~1999 年间出现地裂缝 10 余条,这些地裂缝均在雨季显现,且与淄河走向基本一致,加上渤海发生 7 级以上地震 3 次,具备地震地裂缝的相关特点(图 5)。

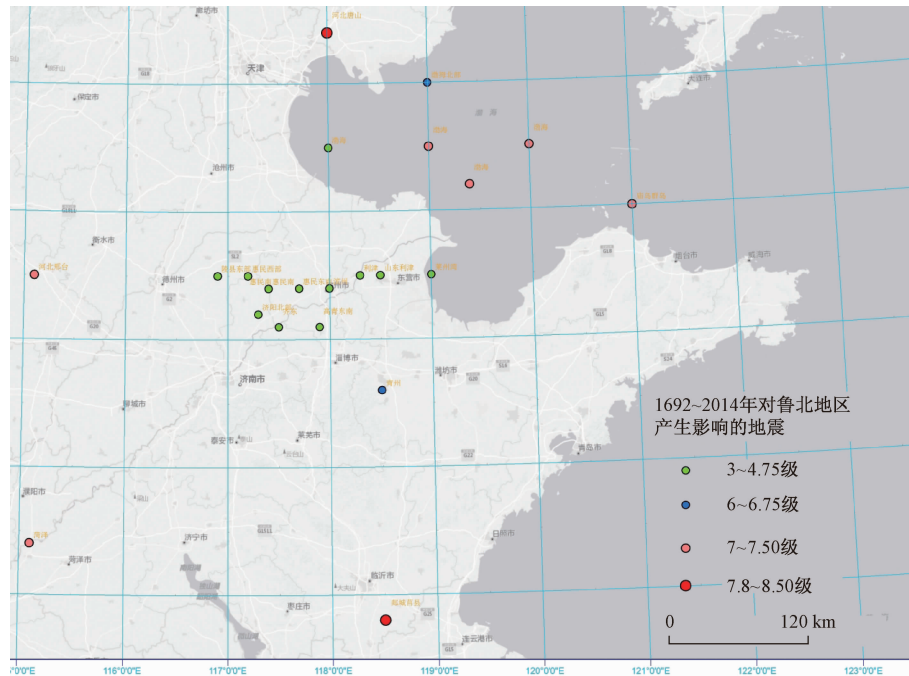


图 5 鲁北平原地震分布图

Fig. 5 Earthquake distribution in Lubei Plain

3.2 人类采掘活动对形成地裂缝的影响

(1)形成地表移动盆地阶段。开采时,开采层以上的围岩下沉变形,影响至地表后,地表下沉,在采空区上方形成地表移动盆地^[9]。

(2)产生地裂缝阶段。开采时,在移动盆地的外边缘可能出现地裂缝。裂缝的发生及宽度、深度与表土的塑性和粘性大小以及表土受到拉伸变形相关。塑性大的粘性土,一般在地表拉伸变形值超过6~10 mm/m时才产生地裂缝;塑性小的砂质黏土、黏土质砂或岩石,当地表变形值达到2~3 mm/m时,就产生地裂缝^[11]。

在聊城、乐陵地区地裂缝分布区,地下水开采量大,为人工开采排泄型。在沾化地区,地下水为咸水,

但卤水资源丰富,随着卤水开采,地下水也被大量开采。采水在地下形成的采空区比较缓慢,而采矿形成的比较急促^[1]。

从浅层淡水的分布现状分析,主要分布于靠近黄河地区及冠县—莘县一带,其余为区块性零星分布,随着开采量增大,形成较大范围的降落漏斗,并且深度和范围逐步扩大。这些因素是地裂缝产生的诱因及主导因素(图6)。

从地裂缝分布和浅层地下水降落漏斗关系分析,漏斗中心带地裂缝发育的数量多、密度大,中间带地裂缝发育的数量明显减少,边缘带发育的较少,漏斗的深度与地裂缝发育呈正相关关系。

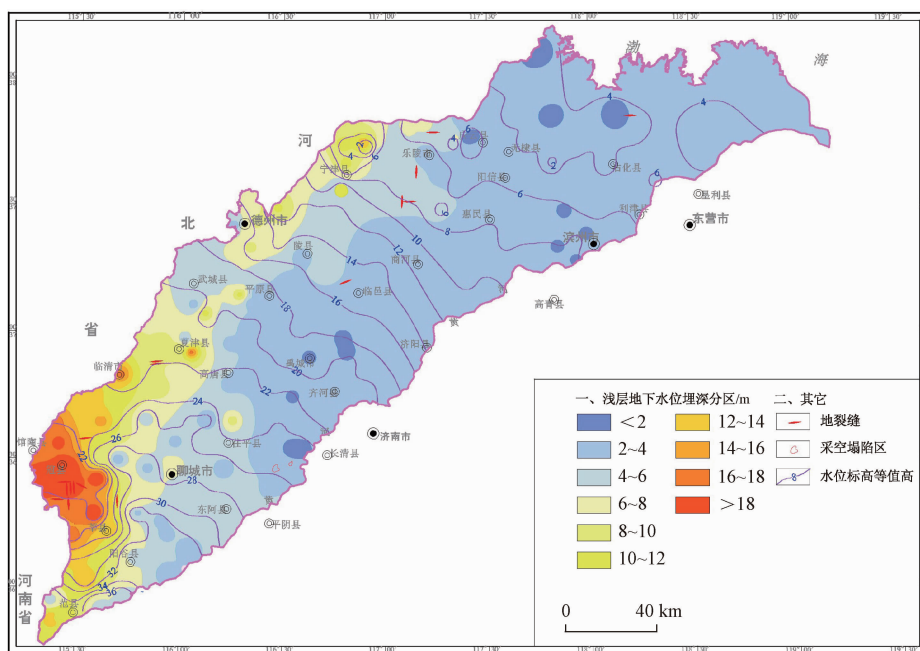


图6 鲁北平原浅层地下水流场图

Fig. 6 The contour map of the shallow groundwater level in the Lubei plain

从补径排关系分析,漏斗中心为排泄区,漏斗的中间带因地势较高,还充当补给区(或径流区)的角色,同样也失水严重。

从浅层地下水动态类型分析,地裂缝产生区域均为人工排泄区(或开采区),动态类型上与地裂缝发育和浅层地下水降落漏斗相吻合^[3]。

3.3 其他因素对形成地裂缝的影响程度

(1)构造活动影响程度小

区内已知断裂多为推测断裂或构造单元边界,部分断裂上覆地层较厚,且处于休眠状态。从区内地裂缝的发育特征与断裂关系分析,基本与断裂活动无关,

其走向和空间展布与断裂不合^[8](图7、图8)。

(2)地形地貌影响程度较小(辅助作用)

区内地貌类型分为岗地等四类(图9)。共性为地势相对较高,饱水性差,这些地貌单元一般有淡水储存,降雨入渗后冲刷作用强烈,或有助于地下水夹带细粒砂土向下游或深部运移,使隐伏在地下的地裂缝显现出来。

在地裂缝发育的岗地、坡地、决口扇地貌单元内,地貌单元不占主导诱发因素。说明这一区域内地貌不是地裂缝发育的决定因素,地貌不具备控制地裂缝发育的条件,但有一定的辅助作用。^[1]

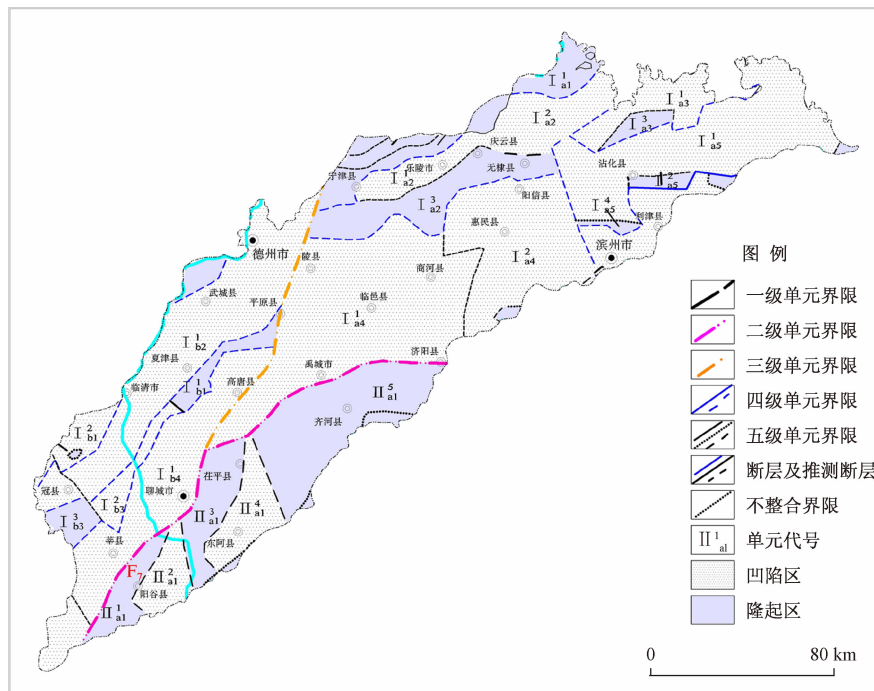


图 7 鲁北平原地质构造单元图

Fig. 7 Geologic structural unit of Lubei Plain

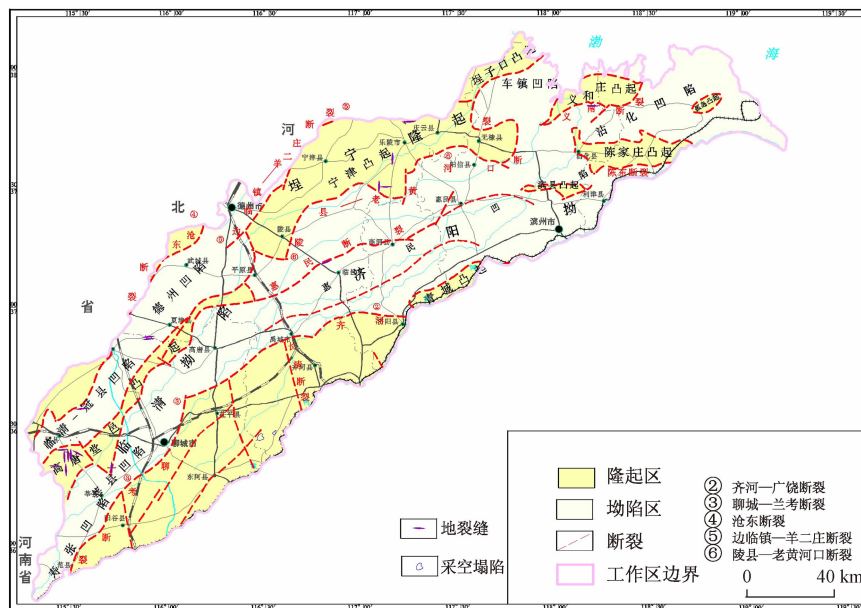


图 8 鲁北平原断裂构造图

Fig. 8 Structural fracture map of the Lubei plain

(3) 地面沉降基本无影响

区内地裂缝均不在地面沉降范围内,与地面沉降无直接关系,目前区内没有发现由地面沉降所产生的地裂缝(图 10)。

(4) 土质条件影响程度较低

区内地裂缝发育深度多数较浅,基本在第四系地

层内,地层土质对地裂缝发生、发展的影响,主要表现在作用构造应力、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地层条件,这方面表现在区内未发生(图 11)。

区内地裂缝在古河道内外均有发育,说明古河道

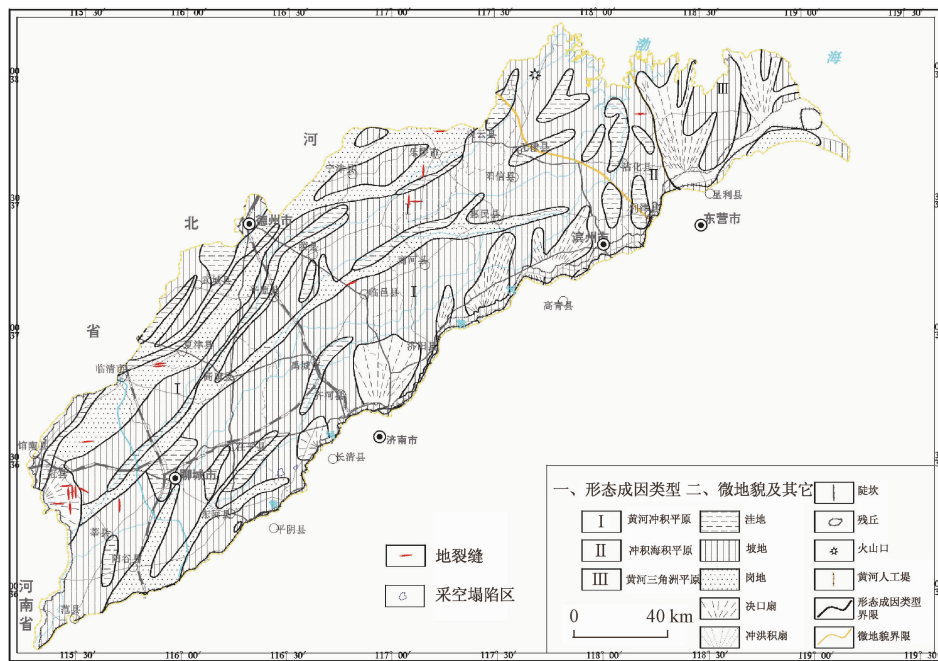


图9 鲁北平原地貌图

Fig.9 Landform map of the Lubei plain

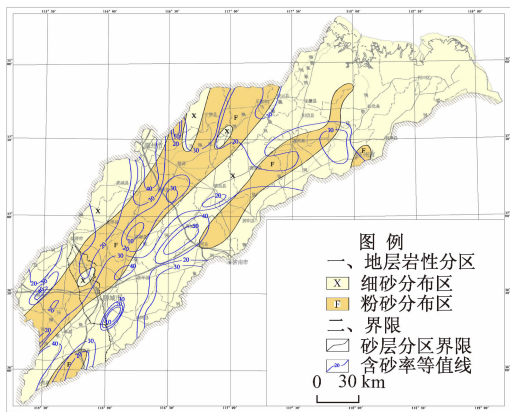


图10 鲁北平原地面沉降分布图

Fig.10 Distribution map of surface subsidence in the Lubei plain

带不具有控制地裂缝分布的特征^[12]。

从土体结构分析,地裂缝多分布于第四纪堆积物为砂性土和粘性土区,第四纪堆积物为砂的分区分布相对较少^[12],主要源于内部结构有无砂和黏土互层组合,这种结构会保存部分淡水,随着开发利用,较容易发育地裂缝。纯砂结构土壤与外界沟通性好,易溶解土壤中的盐分,一般均为咸水,没有开发利用的价值,一般不发育地裂缝。

4 鲁北平原地裂缝发展趋势

4.1 采水区地裂缝的发展趋势

由于黄河水大力开发,城区居民饮用及引黄灌溉

区的面积逐步扩大,浅层、中深层淡水限制开采区逐年扩大,由地下水开采引发的地面沉降速率放缓。相应区域地裂缝发展速度放缓,逐步向闭合趋势过渡^[9]。

4.2 采油区地裂缝的发展趋势

该类地裂缝基本保持现状。但若遇到极端降雨天气或发生较大级别的地震,该类地裂缝有蠕动延伸的趋势,有可能进一步发展或显现。

4.3 采煤区地裂缝的发展趋势

由于煤矿持续采煤,该类型的地裂缝还会继续发展。

4.4 采卤水区地裂缝的发展趋势

沾化地区的卤水资源品位较好,开发力度逐年加大,开发范围会扩大到利津等地区,这一地区地裂缝会更多的显现。

5 几点认识

(1)区内地裂缝因地震的次生地裂缝多发生与1900年以前,1900年后为人类活动衍生地裂缝。1993~2005年和2010~2014年是人类活动产生地裂缝的高发期。

(2)区内地裂缝可划分为两大类,一类是地震活动引起的地裂缝,另一类是人类采掘引起的地裂缝,其影响因素有:土壤环境、地形地貌、气候气象、自然因素和人为因素等。以非构造地裂缝为主,无明显的构造

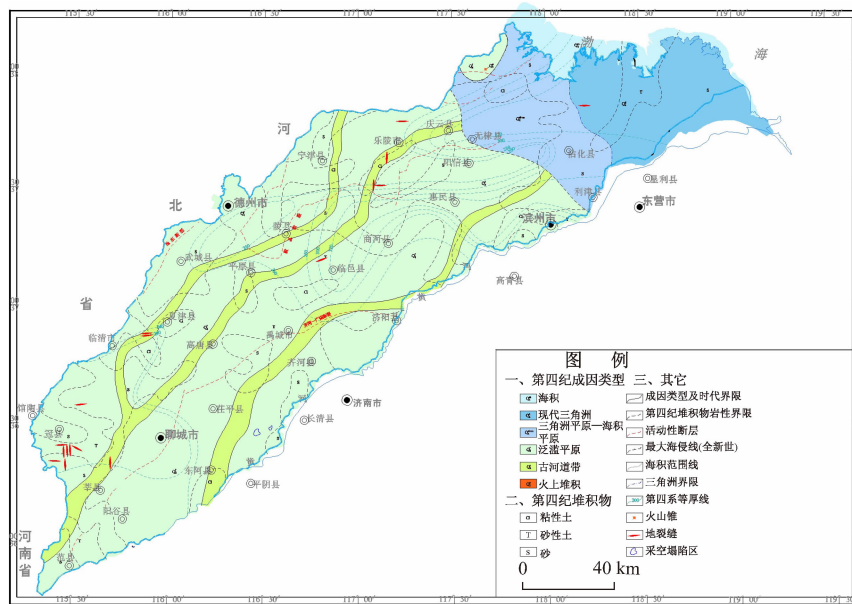


图 11 鲁北平原第四系地质图

Fig. 11 Geological map of quaternary in the Lubei plain

地裂缝,地裂缝的发育与构造断裂关联不明显。

(3)从浅层地下水动态类型分析,其产生区域均为人工排泄区(或开采区),动态类型上与地裂缝发育和浅层地下水降落漏斗相吻合。漏斗中心带地裂缝发育的数量多、密度大,中间带地裂缝发育的数量明显减少,边缘带发育的较少,漏斗的深度与地裂缝发育呈正相关关系。从补径排关系进行分析,漏斗中心是个排泄区,漏斗的中间带因地势较高,还充当补给区(或径流区)的角色,同样也失水严重。

(4)地面沉降形成因素主要在深部,上覆地层厚度较大,不太容易产生地裂缝,区内地裂缝分布于第四纪堆积物为砂性土和粘性土分布区较多,第四纪堆积物为砂的分区中相对较少。

(5)采水区地裂缝的发展速度趋于放缓,逐步向闭合趋势过渡;采油地裂缝基本保持现状,若遇极端降雨天气,地裂缝有进一步发展,若在附近发生较大级别地震,地裂缝有蠕动延伸的趋势;采卤水形成的地裂缝范围会扩大到周边地区,区内此类地裂缝会更多的显现。

参考文献:

- [1] 山东省地质环境监测总站. 山东省地质灾害调查与评价报告[R]. 1995.
Geological Environmental Monitoring Institute in Shandong Province. Geological disaster investigation and evaluation report of Shandong province

[R]. 1995.

- [2] 山东省地质环境监测总站. 山东省地下水资源评价[R]. 2002.

Underground water resources assessment in Shandong province. Geological disaster investigation and evaluation report of Shandong province[R]. 2002.

- [3] 山东省地质局第二水文地质队. 鲁北平原(黄河以北)浅层地下水补给量及时空变化规律研究[R]. 1987.

Shandong Provincial Geology and Mineral Exploration Second Hydrogeology and Engineering Geology Development Bureau. Lubei plain (north of the Yellow River) on the shallow groundwater recharge and temporal variation[R]. 1987.

- [4] 聊城地质环境监测站. 聊城地区地质环境监测报告[R]. 1991-1996.

Liaocheng Geological Environment Monitoring Station. Monitoring report of geological environment in Liaocheng area[R]. 1991-1996.

- [5] 德州地质环境监测站. 德州市地质环境监测报告[R]. 1991-1996.

Dezhou Geological Environment Monitoring Station. Monitoring report of geological environment in Dezhou area[R]. 1991-1996.

- [6] 滨州地质环境监测站. 滨州地区、东营市地区环境监测报告[R]. 1991-1996.

Binzhou Geological Environment Monitoring Station. Monitoring report of geological environment in Binzhou

- area[R]. 1991-1996.
- [7] 潘成德. 山东地震活动特征浅析[J]. 华北地震科学, 1985.
- PAN Chengde. Analysis of earthquake activity characteristics in Shandong [J]. North China Earthquake Sciences, 1985.
- [8] 宋明春. 山东省大地构造格局和地质构造演化[J]. 构造地质学, 2009.
- SONG Mingchun. Tectonic framework and tectonic evolution in Shandong[J]. Structural Geology, 2009.
- [9] 麻凤海. 开采引起地表沉陷的时间空间过程分析[J]. 全国结构工程学术会议, 1997.
- MA Fenghai. Analysis of space time process of surface subsidence caused by mining [J]. National Conference on Structural Engineering, 1997.
- [10] 山东省地质局第二水文地质队. 山东省沿黄地带浅层地下水资源评价及合理开发利用研究[R]. 1992.
- Shandong Provincial Geology and Mineral Exploration Second Hydrogeology and Engineering Geology Development Bureau. Groundwater resource evaluation and reasonable development and utilization of Shandong Province along the Yellow River Zone [R]. 1992.
- [11] 山东省地质局第二水文地质队. 德州市德城区地质环境调查评价报告[R]. 2001.
- Shandong Provincial Geology and Mineral Exploration Second Hydrogeology and Engineering Geology Development Bureau. The evaluation report of Dezhou city geological environment survey[R]. 2001.
- [12] 山东省地质局第二水文地质队. 黄河三角洲水工环地质综合勘查[R]. 1998.
- Shandong Provincial Geology and Mineral Exploration Second Hydrogeology and Engineering Geology Development Bureau. Hydrogeology integrated exploration of the Yellow River delta[R]. 1998.

(上接第80页)

- [11] 索传鲁, 王德潜, 刘祖植. 西安地裂缝地面沉降与防治对策[J]. 第四纪研究, 2005, 25(1): 23-28.
- SUO Chuanlu, WANG Deqian, LIU Zuzhi. Land fracture and subsidence prevention in Xi'an [J]. Quaternary Research, 2005, 25(1): 23-28.
- [12] 伍洲云, 余勤, 张云. 苏锡常地区地裂缝形成过程[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(1): 67-72.
- WU Zhouyun, YU Qin, ZHANG Yun. Formation of ground fissures in Su-Xi-Chang region [J]. Hydrogeological & Engineering Geology, 2003, 30(1): 67-72.
- [13] 龚绪龙, 杨蕴, 朱锦旗, 等. 苏南平原区地裂缝现状及其需要解决的几个问题[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(2): 103-109.
- GONG Xulong, YANG Yun, ZHU Jinqi, et al. The present situation of the ground fissures in South of Jiangsu plain and some problems to be solved [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(2): 103-109.