

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.03.12

山西断陷盆地地裂缝特征分析

陈元明

(山西省地质环境监测中心, 山西 太原 030024)

摘要: 山西断陷盆地是我国地裂缝最为发育、破坏性最强、区域特点最典型的地区之一。本文从山西断陷盆地地裂缝的分布规律、发展历史、活动规律、地质构造属性等角度,进行了系统的分析研究,以揭露地裂缝与人口密度、地下水开采、地面沉降、新构造运动、断裂(断层)构造等影响因子之间的关系,在此基础上,总结出山西断陷盆地地裂缝的特征。

关键词: 山西断陷盆地;地裂缝;集中发育区;地下水超采;新构造运动;第四系断层

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)03-0072-09

Study on the characteristics of ground fissures in Shanxi fault basin

CHEN Yuanming

(Shanxi Geological Environment Monitoring Center, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract: Shanxi faulted basin in China has become one of the most developed and destructive, the most typical regional features of the area. In this paper, from the distribution law, development history, activity patterns and tectonic attributes of ground fissures, are systemically analyzed and studied, in order to reveal the relationship between the ground fissures and the population density, groundwater exploitation, land subsidence, new tectonic movement, fault structure(fault) and other factors, on the basis of, summed up the the characteristics of ground fissures in Shanxi fault basin.

Keywords: Shanxi fault basin; ground fissures; concentration area; exploitation of groundwater; neotectonics; quaternary faults

0 引言

山西历史时期主要地质灾害有文字记载的共记 82 条(不包括因地震形成的灾害),其中地裂缝 23 条,最早可追索到汉代。山西断陷自 20 世纪 70 年代开始,地裂缝开始加速发展,进入 80 年代以后,进一步加剧,现已经成为我国地裂缝地质灾害最为发育、破坏性最强、区域特点最典型的地区之一。裂缝从盆地腹地冲积平原、冲洪积倾斜平原到盆地边缘地带的黄土丘陵或黄土台垣区均有分布;裂缝两侧年沉降量差异极大,部分活动微弱,部分达厘米级;裂缝长度规模差异巨大,最小者 20 m,最长者可达 46 km;部分地区地裂缝优势方向明显,部分地区方向杂乱;部分地裂缝受地下水开采影响显著,部分地裂缝受构造控制迹象明显,

部分地裂缝因土层特殊工程地质条件所致明显;部分地裂缝受多种因素相互影响、制约。

针对山西盆地地裂缝,前人已经开展过很多研究工作,并且提出了多种成因,主要包括:①构造成因;②构造与地下水开采复合成因;③地下水开采成因;④黄土湿陷成因;⑤区域构造节理开启成因等。这些研究多集中在单个县市或单个盆地单元进行,并且主要是根据地裂缝剖面特征、平面分布特征结合地质背景如断层、地下水开采进行分析,还没有人以整个山西断陷盆地,从地裂缝的平面分布、剖面、活动等特征与规律,与地貌、地下水开采、新构造运动、断裂(断层)等进行综合分析。本文则从上述这些角度进行了综合分析,研究揭示了整个山西断陷盆地的地裂缝特征。

收稿日期: 2016-03-31; 修订日期: 2016-05-24

作者简介: 陈元明(1982-),男,工程师,主要从事环境地质、灾害地质及水文地质方面研究工作。E-mail: qfjcqx1@163.com

1 山西断陷盆地地裂缝分布特征

1.1 山西断陷盆地地裂缝分布概况

截至2015年底,山西断陷盆地已有26个县、区调查发现地裂缝,总计304条,总长345.32 km。其中太原盆地最为发育,发育地裂缝105条,总长150.73 km,运城盆地93条,总长73.84 km,临汾盆地90条,总长85.91 km,大同盆地13条,总长33.6 km,忻定盆地、阳高盆地共计发育3条,总长1.24 km。相关情况见表1。

表1 山西断陷盆地各盆地地裂缝发育概况统计表
Table 1 General situation of fracture development in different basins of Shanxi fault basin

盆地单元	地裂缝数量	长度/km	百分比/%
太原盆地	105	150.73	43.65
临汾盆地	90	85.91	24.88
运城盆地	93	73.84	21.38
大同盆地	13	33.6	9.73
其他地区	3	1.24	0.36
合计	304	345.32	100

1.2 地裂缝的地貌分布特征

地貌环境是地形、构造、岩土体类型、水文地质特征及气候等地质环境条件的综合反映。太原盆地以山前冲洪积倾斜平原区地裂缝最为发育,占该盆地地裂缝总条数的62.9%,长度占该盆地总长度的78.6%;大同盆地地裂缝均分布在冲洪积倾斜平原区,位于大同市城区;临汾盆地冲积平原区地裂缝最为发育,条数及长度占比分别达66.7%、67.0%;运城盆地冲积平原区地裂缝也最为发育,条数及长度占比分别达48.4%、41.5%。

太原盆地西侧冲洪积倾斜平原分布着以清徐、交城、文水、汾阳等各县城为中心的小经济圈,东侧冲洪积倾斜平原分布榆次、太谷、祁县、平遥等各县城为中心的小经济圈,是太原盆地人口密度最大地貌区,而占平原区更大面积的冲积平原区,人口密度小;大同市城区是大同盆地人口密度最大地区;临汾盆地临汾市区、襄汾县、稷山县、新绛等各县城为中心的小经济圈均分布在冲积平原区;运城盆地村庄人口密度分布较均匀。

统计分析结果显示,山西太原、大同及临汾盆地地裂缝优势发育地貌不尽相同,但是优势发育地貌均是人口密度分布相对大或是经济相对发达地区的地貌区。而运城盆地冲积平原区面积较山前倾斜平原区面积大,地裂缝相对多,也刚好从侧面证明,山西断陷盆

地的地裂缝,从区域范围来讲,其发育强弱受控于人类的生产生活。

1.3 地裂缝集中发育区分布特征

太原盆地有两处地裂缝集中发育区,分别位于太原盆地西侧山前清徐县-交城-文水段及盆地东部太谷-祁县-平遥一带,绝大部分的地裂缝均对应位于太原盆地西侧清交文汾边山超采区及榆太祁超采区。大同盆地地裂缝集中分布于大同市区,位于大同市城郊超采区。临汾盆地有三处地裂缝集中发育区,分别位于襄汾县北部-尧都区、稷山-新绛县一带北部、盆地西南侧黄土台塬区及倾斜平原区。前者对应位于老的超采区-临汾城郊超采区,后两者均位于汾河谷地超采区。运城盆地有二处地裂缝集中发育区,分别位于盐湖-夏县一带及盐湖区金井乡-龙居镇一带,均位于涑水盆地地下水超采区。地裂缝集中发育区往往位于地下水超采区,但反过来看,地下水超采区未必有地裂缝发生,如太原盆地中太原市超采区、大同盆地朔州市怀仁超采区、临汾盆地河津市超采区等。

另外,还有部分地裂缝相对发育区位于现状及老超采区外,主要有太原盆地平遥县铁路以东地裂缝,其所处地貌主要是黄土丘陵区的;运城盆地临猗北部地裂缝及盐湖上郭乡、上王乡地裂缝,位于黄土台垣区或黄土丘陵区;临汾盆地南部的黄土台塬区地裂缝等等,并且这些地裂缝方向杂乱,说明了这些地区的地裂缝成因或影响因素是不同于平原区的。

2 山西断陷盆地地裂缝发展及活动特征

2.1 山西断陷盆地地裂缝发展历史

山西断陷盆地20世纪40至50年代,仅发现数条地裂缝,70年代以后才开始逐步发展,80年代进一步加剧,至2015年共计发现地裂缝304条。以太原盆地为例:1955年太谷贺家堡最早出现了地裂缝,1970年太谷明星村出现地裂缝,1975年太谷县多处出现地裂缝,1976年、1978年祁县、榆次也开始出现地裂缝,进入80年代,榆次、太谷、祁县地裂缝进一步发展,文水、汾阳、平遥开始出现地裂缝,90年代以来,地裂缝进入高发期,清徐、交城也纷纷出现地裂缝。而孝义市、介休市至今没有出现地裂缝。

将太原盆地地裂缝的发展历与地下水开采史进行对比分析。20世纪70年代以前,太原盆地中深层承压水开采量很小,承压水位高于潜水,中深层承压水通过越流向上顶托补给浅层潜水;70年代至80年代初期,太原盆地第四系孔隙水的开采量不断增加,地下水

位开始下降,部分地区出现降落漏斗;80 年代以后,地下水开采量不断扩大,地下水位大幅度持续下降,地下水下降的地区及降落漏斗范围增加和扩大,相关情况见表 2。

表 2 太原盆地孔隙水开采历史一览表

Table 2 The history of pore water extraction in Taiyuan Basin

统计时间	年开采量/ $\times 10^4 \text{ m}^3$	备注
1988 ~ 1989 年	68 977.7	水井深度以 50 ~ 200 m 为多
2003 年	82 516.5	大批 50 m 以下的浅井报废
2012 年	74 610.07	大于 300 m 的开采井逐年增加

可见,太原盆地地裂缝伴随着地下水位不断下降

而不断发生发展,地裂缝活动速率也在加剧。而这种现象,存在于整个山西断陷盆地中。

少数地裂缝在 20 世纪 70 年代以前出现,极少数地裂缝 50 年代就有出现,也说明了山西地裂缝成因的多样性、复杂性,其影响、控制性或者主导因素是不同的。

2.2 山西断陷盆地地裂缝活动特征

根据多年来的水准监测,山西断陷盆地地裂缝两侧年差异沉降量介于丝米至厘米级(表 3),同时结合野外调查到的活动迹象,地裂缝活动速率具有如下特征。

表 3 山西断陷盆地地裂缝活动速率表

Table 3 The activity rate of ground fissures in Shanxi fault basin

盆地单元	地裂缝		时 间	年均差异沉降量/mm	监测方法
太原盆地	交城大断裂地裂缝带	清徐仁义村段	2010.4 ~ 2014.10	44 左右	短水准剖面
		清徐都沟村段		9 左右	
	祁县东炮村	2010.4 ~ 2013.4	31.87	水准对点	
	祁县白圭村	2010.4 ~ 2013.10		10 左右	
大同盆地	大同机车厂同兴街(f1 地裂缝)		2005.12 ~ 2014.10	1.00 ~ 3.31	短水准剖面相应水准对点
	大同机车厂文化街(f2 地裂缝)			2.00 ~ 14.89	
	大秦铁路物资供应段(f7 地裂缝)		2005.12 ~ 2011.10	3.95 ~ 4.35	
	振华南街小区(f8 地裂缝)		2008.12 ~ 2014.10	丝米级	水准对点
	大同柴油机厂(f11 地裂缝)			丝米级	水准对点
	应县石庄村	村西北角段 村中段	2013.5 ~ 2014.10	6.28	水准对点
11.68				水准对点	
临汾盆地	临汾市尧都区高堆村		2011.5 ~ 2014.10	1.34	水准对点
	运城新绛县西薛郭村			1.61	水准对点
运城盆地	运城市五曹村	村东北段	2011.10 ~ 2014.10	8.43 ~ 16.21	短水准剖面相应水准对点
		村西南角段		2.51	

(1) 太原盆地地裂缝活动速率最快,然后依次为运城盆地、大同盆地、临汾盆地。与之相对应的是太原盆地地下水超采最为严重,然后依次为运城盆地、临汾盆地、大同盆地。以盆地为单位来看,两者之间还是有比较好的对应性。

(2) 地裂缝活动速率差异大:如清徐仁义村段地裂缝活动速率与大同柴油机厂地裂缝速率相差近百倍;同一条地裂缝不同地段活动速率差异也较大,如运城市五曹村地裂缝两处水准监测对点相距 750 m,但是活动速率相差近 6 倍,交城大断裂地裂缝带清徐仁义村段与都沟村段两处水准监测点相距不到 3 km,活动速率相差近 5 倍。结合地下水超采及地面沉降来看,分布于沉降区不同位置的不同地裂缝活动性不同,同一条地裂缝活动性也不同,地面沉降漏斗附近的地裂缝(段)活动速率最快,地面沉降均匀区、地下水采

补平衡区活动速率微弱。

(3) 大部分地裂缝活动年内表现为波动性,年际表现为周期性。图 1、图 2、图 3 根据山西断陷盆地地裂缝水准监测数据制作的速率曲线图。可见,太原盆地地裂缝、运城盆地盐湖区五曹地裂缝、临汾盆地西薛郭地裂缝、大同盆地大同市振华街及柴油机厂家属院地裂缝每年 4 分月 ~ 10 分月活动量总大于 10 月份 ~ 次年 4 月份,部分占全年量值 80 以上,少数地裂缝在后一次测量周期甚至会出现反弹。而大同盆地大同机车厂同兴街、文化街地裂缝以及临汾盆地高堆地裂缝部分时间段会打破这种规律,但大部分时间依然具有这种活动特征。进一步分析会发现,地裂缝这种活动特征地下水水位动态变化具有很好的对应性。

(4) 将各断陷盆地地裂缝活动速率与其对应的边山控制性大断裂活动速率进行对比分析(表 4)。

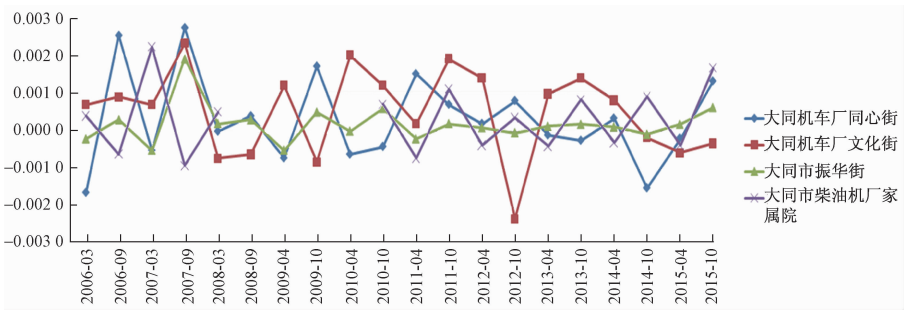


图 1 大同盆地地裂缝活动速率曲线图

Fig. 1 The activity rate curve of ground fissures in Datong Basin

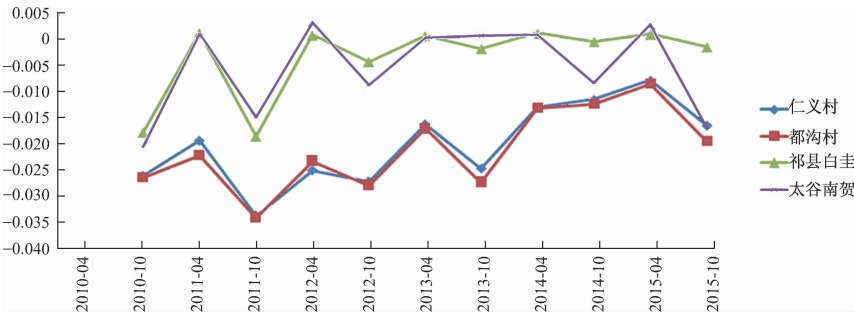


图 2 太原盆地地裂缝活动速率曲线图

Fig. 2 The activity rate curve of ground fissures in Taiyuan Basin

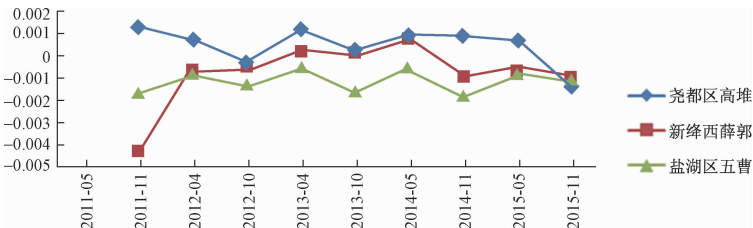


图 3 临汾、运城盆地地裂缝活动速率曲线图

Fig. 3 The activity rate curve of ground fissures in Linfen and Yuncheng Basin

表 4 山西断陷盆地地裂缝活动速率一览表(据王秀文等,2001)

Table 4 The activity rate of ground fissures in Shanxi fault basin

盆地单元	地裂缝	盆地控制性大断裂	年均活动速率 (mm/a)	地裂缝活动速率与大断裂速率比值
太原盆地	交城大断裂	交城大断裂	1.15	38
	地裂缝带			8
	清徐仁义村段			28
	清徐都沟村段			9
大同盆地	祁县东炮村	口泉大断裂	0.6~2	~
	祁县白圭村			~
	大同机车厂同兴街(f1 地裂缝)			1~3
	大同机车厂文化街(f2 地裂缝)			1~10
	大秦铁路物资供应段(f7 地裂缝)			3~4
	振华南街小区(f8 地裂缝)			~
临汾盆地	大同柴油机厂(f11 地裂缝)	罗云山大断裂	1.1~1.2	~
	应县石家庄村			3~10
	村西北角段			6~19
	村中段			~
运城盆地	临汾市尧都区高堆村	中条山大断裂	1~2	1
运城盆地	运城新绛县西薛郭村			1
	村东北段			6~11
	运城市五曹村			2
	村西南角段			

通过表 4 可以看出,所监测的地裂缝,除临汾盆地外,其他各盆地大多数地裂缝活动速率是边缘控制性大断裂活动速率的 3 倍以上,最大可达 38 倍。而临汾盆地罗云山断裂带上的稷山杨家庄段地裂缝,根据野外调查,在约 20 多年时间,两侧差异沉降量最大达 1.5 m,可见其活动速率之快。

通过上述研究分析可以看出,地裂缝的活动速率取决于地下水超采情况即下降幅度、速度以及地面沉降速率,而与新构造运动关联性差。

3 山西断陷盆地地裂缝的构造背景特征

3.1 地裂缝与第四系地层断层相对应

根据野外调查,结合钻探、槽探、物探等手段,发现平原区地裂缝,均对应第四系地层中的断层,部分地裂缝与第四系断层直接贯通,部分地裂缝在浅表处未发现相应断层(探槽未揭露),但是钻探显示在相对深处存在第四系断层。除主裂缝外,还会在断层的上下盘发育次裂缝,相关情况见图 4、图 5、图 6。可见,根据目前勘探结果来看,山西断陷盆地平原区地裂缝部分是第四系(隐伏)破裂面的复活,部分是破裂面的延伸(连续或不连续),并且在破裂面两侧常常伴生次裂缝,但规模相对要小。由于在平原区勘探对象都是盆地内典型地裂缝,且也是少数,所以不能排除有些地裂缝是否没有对应的第四系断层。

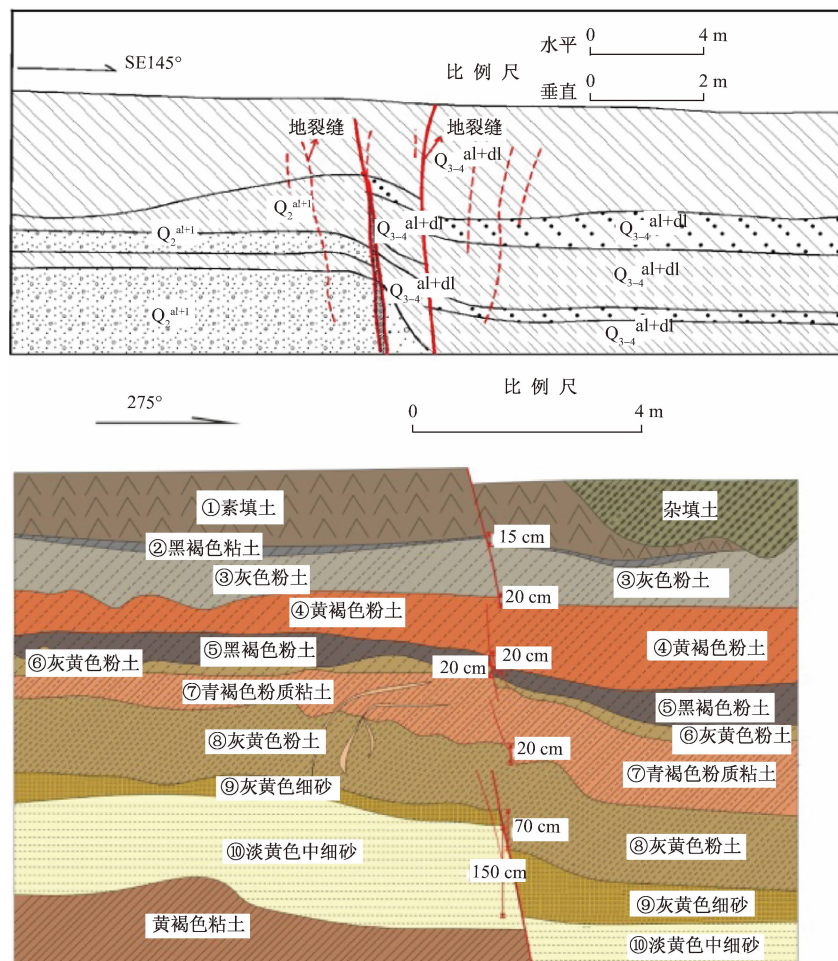


图 4 大同盆地大同市废品公司、应县石庄村地裂缝探槽剖面

Fig. 4 The trench section of Datong rubbish recycling compan and Shi Zhuang Village's ground fissure

3.2 地裂缝与盆地边缘断裂或基底断裂(断层)的关联性

平原区地裂缝大多与盆地边缘控制性大断裂或基底断裂(断层)在平面展布上(位置、走向)具有很好的对应性。山西最长地裂缝带为太原盆地

西侧山前清徐~交城地裂缝带,绵延约 46 km,位于盆地西边界交城大断裂带上,其中清徐仁义村段探槽揭露的剖面见图 7。临汾盆地稷山县杨家庄地裂缝带,地表连续出露长度约 2.5 km,位于临汾盆地西边界罗云山断裂带上。运城盆地最长地裂缝为

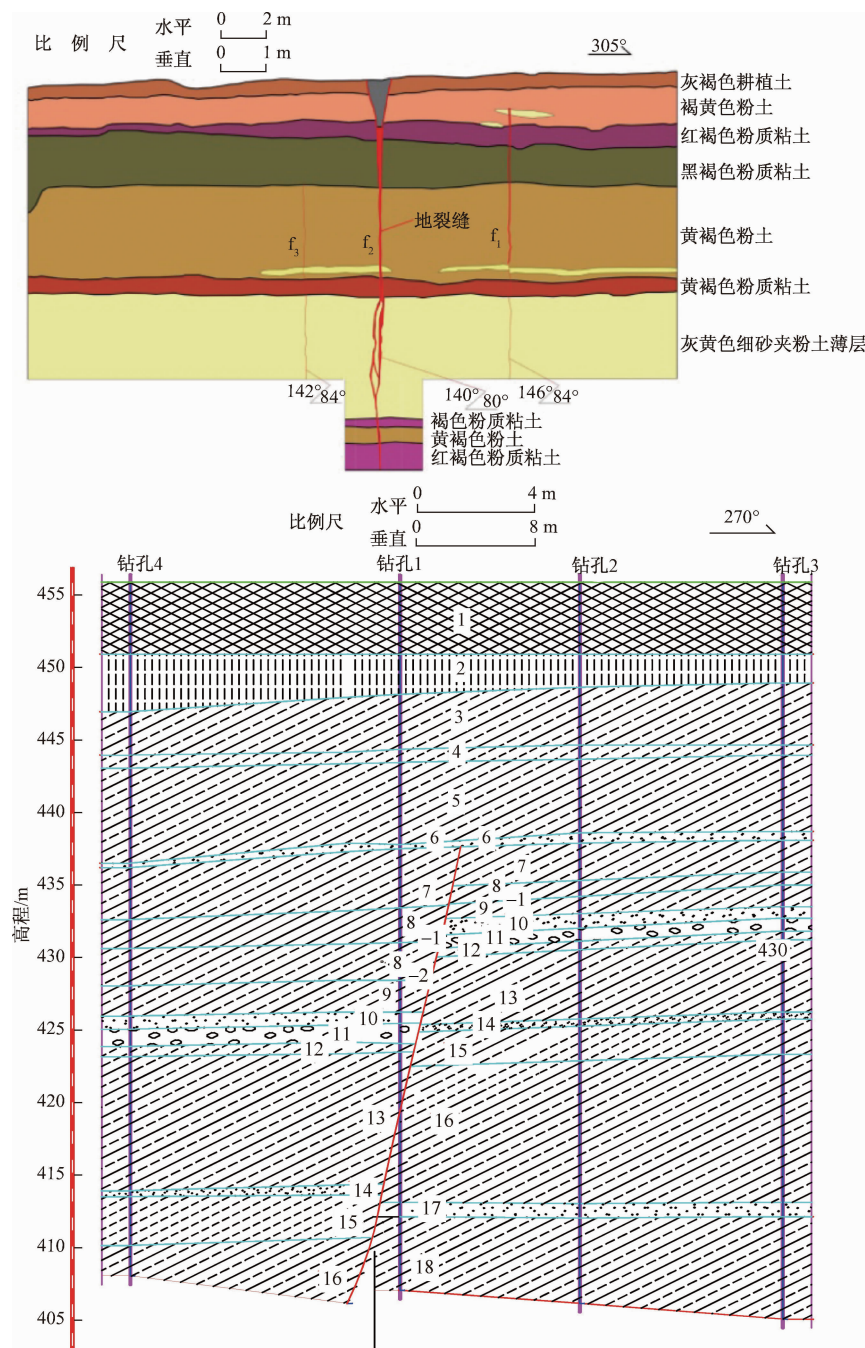


图 5 临汾盆地尧都区果厂地裂缝探槽、钻探剖面

Fig. 5 The trench section and drill-log of Yaodu district fruit factory ground fissure

运城盆地半坡~五曹地裂缝带, 绵延约 8 km, 基本沿鸣条岗地垒与青龙河地堑的地貌分界线断续展布。

图 7 探槽揭露层位未见断层发育。但根据地震等物探手段, 地裂缝分别位于交城大断裂带及罗云山断裂带上。而仁义村 f2 地裂缝刚好位于砂卵砾石层突变带, f1 也是位于该层的拐点处, 也说明了水文地质条件突变带往往是地裂缝易发区。

盆地区许多地裂缝, 尤其是规模较大的地裂缝, 其空间展布与下伏基底断层走向大体一致。如大同市基底发育多条北东走向断层, 优势方位在 NE50°左右, 大同市地裂缝均为北东向与断层走向一致。太原盆地太谷-祁县-平遥一带地裂缝优势方向与太谷大断裂及范村至洪山断裂方向也基本一致, 尤其是该地区 3 条巨型地裂缝全部为北东向。临汾盆地新绛泉掌-东韩村地裂缝、西薛郭地裂缝以及运城盆地夏县尉郭乡、禹

丘陵区地裂缝、临汾盆地新绛县北张镇地裂缝、运城盆地盐湖区金井乡及龙居镇地裂缝,这些地裂缝与区域构造断裂或下伏基底断层走向不一致,且探槽揭露的几条地裂缝,均发现只是浅部破裂,破裂深度一般不超过 2.5 m。

3.3 地裂缝优势走向

太原盆地地裂缝主体走向绝大部分为北东向($40^{\circ} \sim 80^{\circ}$),其中巨型地裂缝走向全部为北东向;大同市地裂缝均为 NE 向,一般介于 $35^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 之间,其中

最长的大同机车厂地裂缝,走向 $52^{\circ} \sim 65^{\circ}$;运城盆地地裂缝主体走向大部分为北东向($40^{\circ} \sim 80^{\circ}$),也有部分地裂缝呈 NW 向,尤其是黄土台垣区、黄土丘陵区,方向杂乱。而临汾盆地地裂缝走向以北东向为主,同时存在北西向、近南北向或近东西向地裂缝,尤其是黄土台塬区,无明显优势方向。在平原区的绝大多数地裂缝走向与主张应力方向垂直或近垂直,只有极少数为北西向。各盆地地应力方向及地裂缝走向玫瑰花图见图 8、图 9、图 10。

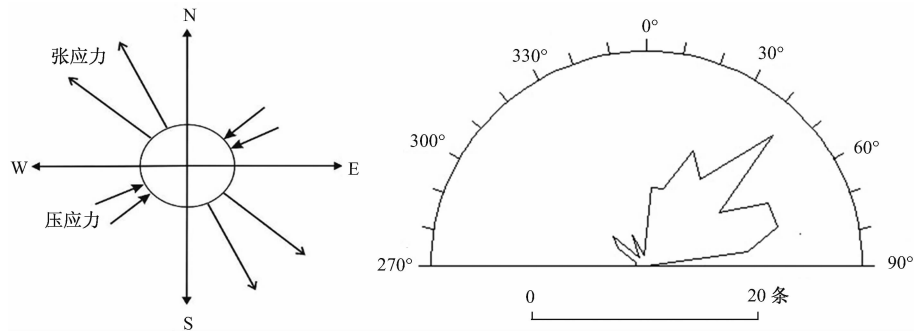


图 8 太原盆地地应力方向及地裂缝走向玫瑰花图

Fig. 8 In-situ stress direction and rose diagram of ground fissure trend of in Taiyuan Basin

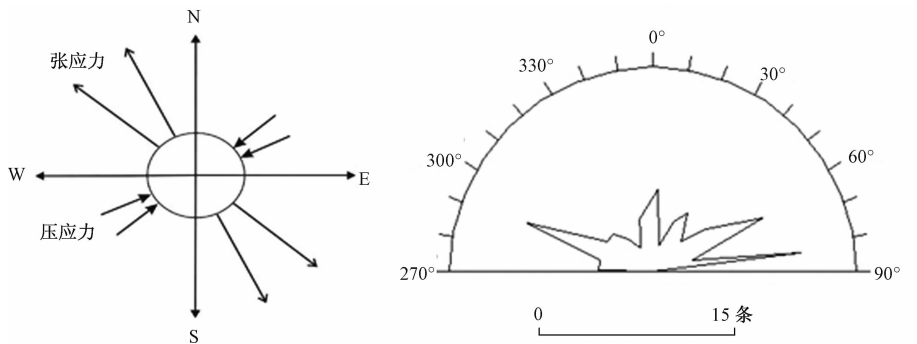


图 9 临汾盆地地应力方向及地裂缝走向玫瑰花图

Fig. 9 In-situ stress direction and rose diagram of ground fissure trend of in Linfen Basin

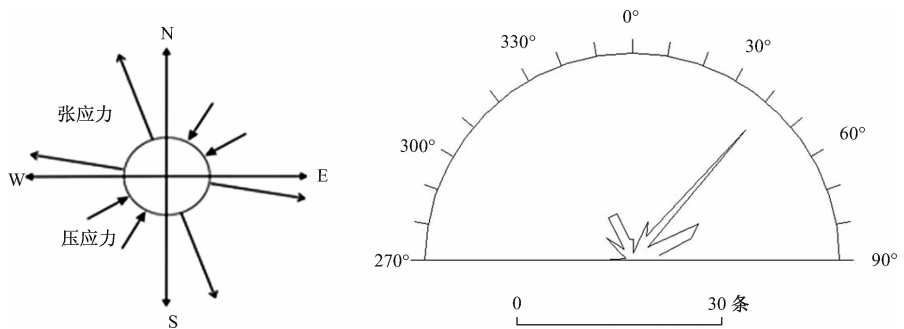


图 10 运城盆地地应力方向与地裂缝走向玫瑰花图

Fig. 10 In-situ stress direction and rose diagram of ground fissure trend of in Yuncheng Basin

4 结语

(1) 山西断陷盆地边缘的黄土台垣区、黄土丘陵地区地裂缝走向无明显优势方向,方向杂乱,发育时间可早至自 20 世纪 50 年代以前,地裂缝发育深度浅。

(2) 山西断陷盆地冲洪积倾斜平原及冲洪积平原区地裂缝,在人口密度大的地貌区较人口密度小的地貌区更发育;地下水超采区较非超采区地裂缝更发育;地裂缝集中发育区总位于地下水超采区,但是地下水超采区未必有地裂缝发育。

(3) 山西断陷盆地不同地裂缝、同一条地裂缝在不同地区(段)活动速率差异大,在地面沉降漏斗附近,其活动速率最快,地面沉降均匀区、地下水采补平衡区活动速率微弱。活动速率取决于地下水超采情况即下降幅度、速度以及地面沉降速率,而与新构造运动关联性差。

(4) 根据目前勘探结果,从形态上来看,山西断陷盆地平原区地裂缝部分是第四系断层(破裂面)的直接复活,部分是断层的延伸,部分是断层上覆地层开裂;在主破裂面两侧常常伴生次裂缝。

(5) 山西断陷盆地平原区地裂缝空间展布(位置、走向)与盆地边缘控制性断裂及盆地基底断裂(断层)一致性较好,优势方向为北东向,规模较大地裂缝更是具有这种规律,与盆地的主张应力方向垂直或近垂直。

参考文献:

- [1] 贺秀全,单利军,李军,等. 山西省地面沉降与地裂缝调查报告[M]. 山西省地质环境监测中心, 2009.
HE Xiuquan, SHAN Lijun, LI Jun, et al. Investigation report on land subsidence and ground fissures in Shanxi province [M]. Geological Environment Monitoring Center of Shanxi Province, 2009.
- [2] 李军,陈元明,刘瑾,等. 山西盆地地面沉降地裂缝监测报告[M]. 山西省地质环境监测中心,2013.
LI Jun, CHEN Yuanming, LIU Jin, et al. Monitoring report of ground subsidence ground fissures in Shanxi basin [M]. Geological Environment Monitoring Center of Shanxi Province, 2013.
- [3] 彭建兵,邓亚虹,等. 汾渭盆地地裂缝成因与减灾综合研究成果报告[M]. 长安大学地质调查研究院, 2013.
PENG Jianbing, DENG Yahong, et al. Fenwei basin comprehensive research report of crack causes and disaster reduction [M]. Geological Survey and Research Institute of Chang'an University, 2013.
- [4] 李军,陈元明,刘瑾,等. 山西盆地地面沉降地裂缝调查报告[M]. 山西省地质环境监测中心,2015.
LI Jun, CHEN Yuanming, LIU Jin, et al. Investigation report of ground settlement ground fissures in Shanxi basin [M]. Geological Environment Monitoring Center of Shanxi Province, 2015.
- [5] 李军,陈元明,刘瑾,等. 山西盆地地面沉降防控对策报告[M]. 山西省地质环境监测中心, 2015.
LI Jun, CHEN Yuanming, LIU Jin, et al. Prevention and control countermeasures of land subsidence in Shanxi basin [M]. Geological Environment Monitoring Center of Shanxi Province, 2015.
- [6] 邢作云,赵斌,徐美义. 汾渭裂谷系与造山带耦合关系及其形成机制研究[J]. 地学前缘, 2005, 12(2): 247-262.
XING Zuoyun, ZHAO Bin, XU Meiyi. Fenwei rift and the coupling relationship between the orogenic belt and its formation mechanism [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(2): 247-262.
- [7] 彭建兵,范文,等. 汾渭盆地地裂缝成因研究中的若干关键问题[J]. 工程地质学报, 2007, 15(4): 433-440.
PENG Jianbing, FAN Wen, et al. Key problems in the causative mechanism research of ground fissures in Fenwei basin [J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(4): 433-440.
- [8] 姜振泉,等. 临汾地裂缝的成因及发育环境研究[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1990.
JIANG Zhenquan, et al. Research on development environment and formation of ground fissure in Linfen [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1990.
- [9] 马国栋. 大同市地裂缝研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1990, 1(2): 27-33.
MA Guodong. Study on the ground fissures in Datong [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1990, 1(2): 27-33.
- [10] 邓亚虹,彭建兵,等. 渭河盆地深部构造活动的地裂缝孕育机理[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013(2): 521-527.
DENG Yahong, PENG Jianbing, et al. Ground fissures germination mechanism of deep structure activities in Weihe basin [J]. Journal of Jilin University, 2013(2): 521-527.

(下转第 89 页)