

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20180258

基于地层沉积差异的廊坊东沽港地裂缝成因机理分析

李 辉^{1,2}, 赵建青^{1,2}, 王昕洲^{1,2}, 刘 超^{1,2}

(1.河北省地质环境监测院,河北 石家庄 050011;

2.河北省地质资源环境监测与保护重点实验室,河北 石家庄 050011)

摘 要:通过收集区域水文、地质资料,采用现场调查、钻探、室内试验等多种方法,基于古河道变迁产生的地层沉积差异,研究廊坊市东沽港村地裂缝成因机制。结果表明:(1)地裂缝为北低南高的地面错动裂缝,主要受全新世和晚更新世河道变迁影响,裂缝两侧因地层沉积差异,粘土层和砂层厚度不同。(2)近 10 年浅层地下水受降雨影响变化较明显,尤其是近年地裂缝北部浅层地下水位变化幅度较大;深层地下水近年整体呈下降趋势,2011 年以后地裂缝南部水位趋于稳定,北侧仍为下降趋势。(3)根据地层沉积差异和地下水位变化分析,基于太沙基固结理论,在浅层地下水下降影响下,厚度差异较大的粘性土层压缩量不同,造成地面不均匀沉降形成错动裂缝,而深层地下水位下降是区域地面沉降的主要原因。

关键词:古河道;地裂缝;地面沉降;地层沉积差异;地下水

中图分类号:P642

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2019)05-0061-06

1 引言

河北省廊坊市安次区东沽港村地裂缝最长段 200m,近东西走向,破坏大量民房,严重影响了村民正常生活。因此,迫切需要开展地裂缝成因机理研究,为地裂缝防治提供理论依据。

目前,国内外许多学者^[1-20]开展了地裂缝相关研究,包括钻探、物探、InSAR、数值模拟等技术手段研究地裂缝发育特征及成因机制,并提出相应的防治措施。而本文通过收集水文地质、工程地质资料,利用钻探、物探、测量等技术手段,基于古河道变迁产生的地层沉积差异变化以及地下水位下降影响,分析东沽港地裂缝成因机制,为政府管理机构提供科学合理的防治依据。

2 研究区概况

2.1 气象

图 1 为 2009~2016 年降雨量变化,2012 年 8 月前雨量总体呈上升趋势,尤其 2012 年 7 月雨量达到新中国成立以来最大;之后降雨量逐渐减小。降雨量变化对浅层地下水以及古河道影响明显,尤其是古河道水位

变化加速欠固结的古河道地层趋于密实。

2.2 工程地质条件

研究区第四系厚度约 520m,钻探揭露地层主要是第四系新近沉积层和全新统河湖相沉积以及上更新统陆相沉积,岩性以填土、粉土、粉质粘土、粉砂、细砂为主。

2.3 水文地质条件

研究区位于永定河冲洪积平原水文地质区,按开

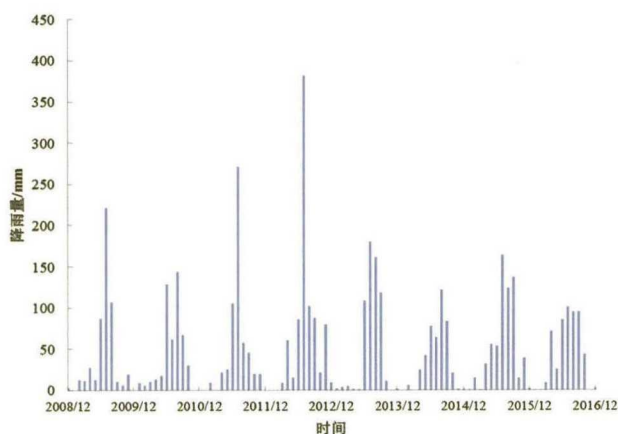


图 1 降雨量变化图

Fig.1 The variation of rainfall

收稿日期:2018-07-07

作者简介:李辉(1987-),男,山东鱼台人,硕士,主要研究方向为水工环地质评价。E-mail:550431976@qq.com

采条件分为浅层地下水和深层地下水。

2.3.1 浅层地下水

浅层地下水含水层底板埋深 160~180m,厚度 30~50m。为潜水~微承压水,岩性主要是裂隙粘土,单位涌水量小于 $2.5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$,水质较差。浅层地下水补给来源主要是接收大气降水、灌溉回归和侧向径流补给,排泄渠道是人工开采消耗与侧向排泄。

2.3.2 深层地下水

深层地下水含水层顶板埋深 160~180m,底板埋深在 400m 左右。岩性主要是细砂、粉砂、细粉砂,局部是中粗砂,厚度约 26~60m,局部>60m,单位涌水量 $10\sim 15\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$,局部< $10\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ 。深层地下水补给来源主要接受侧向径流补给及越流补给,消耗方式是人工开采。

2.4 古河道分布情况

研究区位于廊坊市东沽港村(见图 2),该村建于北宋天圣年间,坐落在古永定河分支的河叉高地。据《乾隆志新河渠图》记载,古永定河自北京南经九州镇向南流,在固安县分离成三条支流,流向东南,其中两条位于研究区南北两侧。据图 3 可知,东沽港村位于古河道变迁带上,主要受全新世和晚更新世河道带影响。

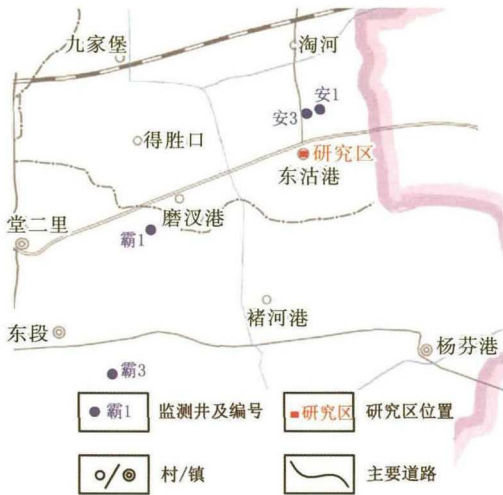


图 2 东沽港地裂缝及监测井位置图

Fig.2 The location of the Donggugang ground fissures and monitoring wells

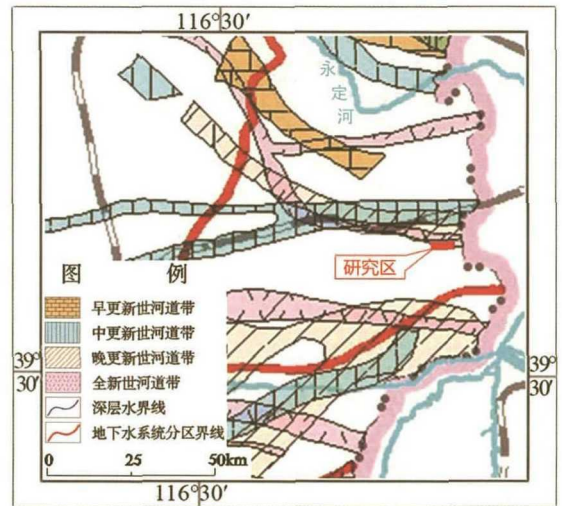


图 3 第四系古河道变迁图

Fig.3 The change of quaternary ancient channels

回填后建房,回填后的地基固结差。

3 地裂缝成因机理与演变分析

3.1 地裂缝现状

地裂缝位于东沽港一村~三村,2014 年 10 月发展最快,呈直线形,走向东北~西南向,间断性连续,裂缝最长段约 200m,宽 1~4cm,裂缝两侧地面错动最大垂距约 20cm(见图 4)。



图 4 南北向道路台阶状下沉

Fig.4 The stepped subsidence of north-south road

3.2 地裂缝成因机理分析

河北平原地裂缝成因主要是地质构造活动和地下水超采引起的,但地裂缝的影响因素主次不同。东沽港地裂缝形成原因是受古河道变迁影响产生地层

沉积差异,在地下水位下降作用下发生地面不均匀沉降出现地裂缝。

3.2.1 地层沉积差异性

根据钻探资料,研究区地层结构较简单,岩性以粉质粘土、粉砂和细砂为主。因古河道变迁导致地层沉积差异主要体现在 40m 以下,细砂层、粉质粘土层厚度变化较大(见图 5)。由图 5 可知,40m 以下裂缝南侧的细砂层厚度约 13m,其上部的粉质粘土南侧厚度约 11.0m 左右;北侧砂层厚约 0.5m,其上部粉质粘土层厚约 18.5m,细沙层两侧厚度差约 12.5m,粉质粘土厚度差 7.5m。

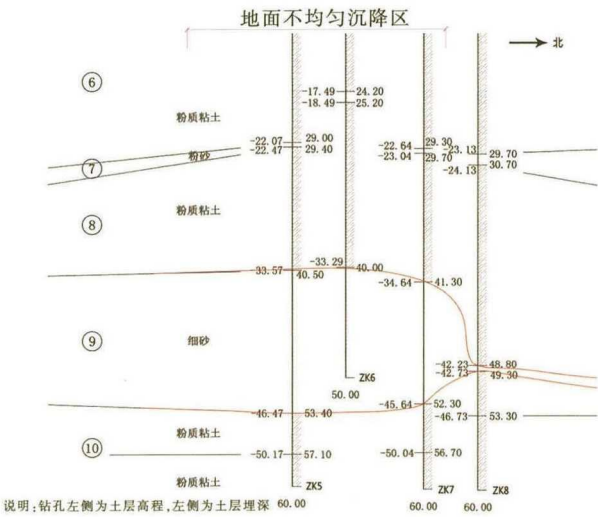


图 5 研究区工程地质剖面图
Fig.5 The engineering geological section of the study area

3.2.2 地下水位变化分析

(1)浅层地下水位变化。由图 6 和图 7 知,近年研究区周边浅层地下水位波动较大,尤其是 2011~2015

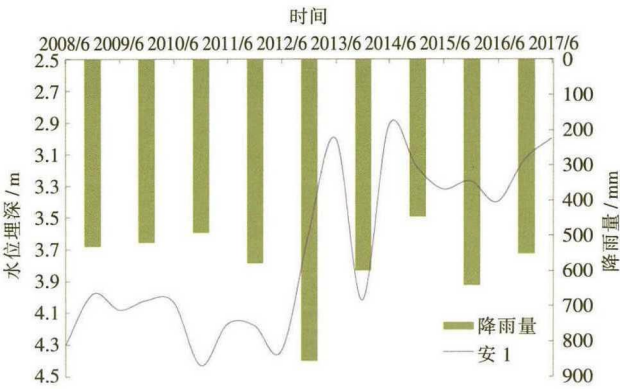


图 6 监测井安 1 地下水位与降雨量关系图
Fig.6 The relationship between the groundwater stage at An1 monitoring well and precipitation

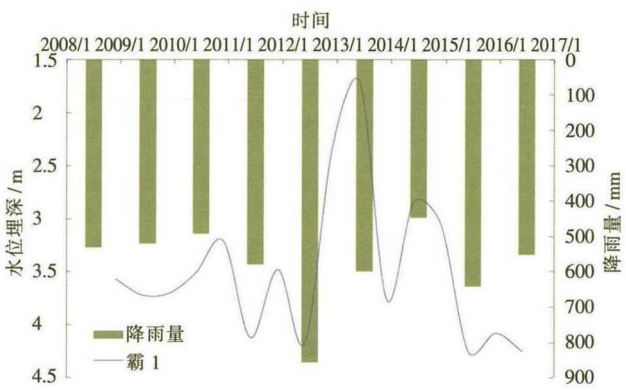


图 7 监测井霸 1 地下水位与降雨量关系图
Fig.7 The relationship between the groundwater stage at Bai monitoring well and precipitation

年,地下水位先是大幅度上升,然后快速下降,再次以较大幅度上升后回落。结合近年降雨情况,分析可知 2012 年之前每年降雨量变化较小,浅层地下水位主要受农业灌溉和侧向径流排泄影响;2012 年出现强降雨,地下水位受地表水补给快速上升;2012 年之后,浅层地下水位下降后再次上升,主要原因是 2013 年降雨量虽然减小,但较 2012 年之前相比仍是丰水年,考虑到地表水补给地下水存在滞后性,农业灌溉抽取地下水位逐渐得到地表水补给,出现水位先降后升现象。因研究区抗旱打井,农业灌溉逐渐以抽取深层地下水为主,所以监测井安 1 水位上升至 3.3m 后上下变动;而监测井霸 1 所在区域农业灌溉仍以浅层地下水排泄为主,在降雨量变化较小情况下,水位逐渐回落至 2012 年之前的埋深,并呈下降趋势。

(2)深层地下水位变化。图 8 和图 9 是深层地下水位与多年降雨量变化曲线图,研究区深层地下水位多年来总体呈下降趋势,尤其是 2012 年前,水位下降幅度较大,监测井安 3 水位下降幅度达 3.65m,监测井霸 3 水位下降幅度达 8.35m。根据搜集的资料,2000~2008 年,廊坊市为枯水期,平均年降雨量小于 400mm,对侧向补给和越流补给有一定影响,深层地下水开采以农业灌溉和生活用水为主,开采量大于补给量,造成深层地下水位不断下降。

2012 年后,研究区北部(监测井安 3)地下水仍呈下降趋势,主要原因是工农业用水和生活用水主要开采深层地下水。研究区浅层地下水水质较差,不能满足饮水要求,故生活用水以深层地下水为主;工业以耗水型产业为主,不断开采深层地下水;2014~2015 年抗旱打井,加大了对深层地下水的开采。综上所述,研

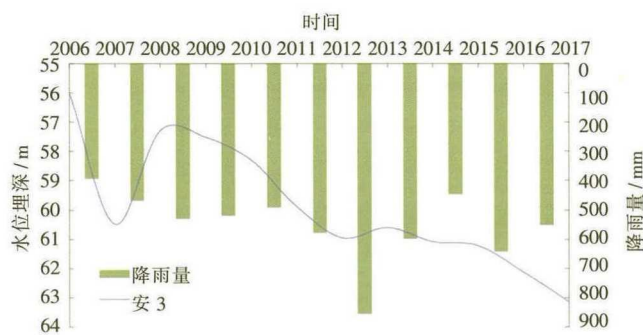


图8 监测井安3地下水位与降雨量关系图

Fig.8 The relationship between the groundwater stage at An3 monitoring well and precipitation

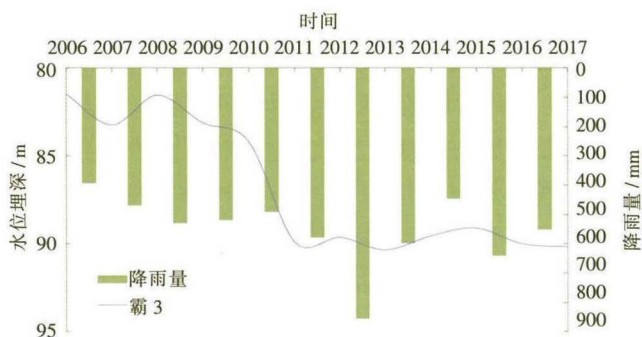


图9 监测井霸3地下水位与降雨量关系图

Fig.9 The relationship between the groundwater stage at Ba3 monitoring well and precipitation

究区北部受工农业生活用水影响,补给量小于开采量,地下水位不断下降。

研究区南部区域(监测井霸3),深层地下水位2012年后变化幅度较小,主要原因是政府采取了一系列政策限制工业用水,并提高农业灌溉技术,使得深层地下水开采得到控制。

另外,从深层地下水埋深图可知,深层地下水流方向由北向南,与研究区南部胜芳工业园区深层地下水漏斗引起的深层地下水流向吻合,说明研究区在一定程度上深层地下水侧向补给漏斗区,加剧深层地下水位下降。

3.2.3 地裂缝成因机理综合分析

(1)地裂缝成因定性分析。根据浅层地下水位变化分析,近年随着国民经济发展不断抽取地下水,尤其是2013年及2014~2015年上半年干旱,农业用水大量抽取浅层地下水,尤其是粘性土层下部细砂层的微承压水,造成周边浅层地下水位下降。根据地层压缩原理,在总应力不变的情况下,砂层中孔隙水压力减小的同

时引起有效应力的增加,导致砂粒之间压实、压密,最终引起地面沉降,但该沉降为弹性沉降,水位恢复时会发生反弹。尽管砂层主固结在抽水过程中已经基本完成,但粘性土层中的孔隙水压与相邻的细砂含水层中水压形成水压梯度差,受粘性土渗透性小影响,其内部需要经过长时间向抽水层渗流,最终达到稳定水头。在此过程中,粘性土层中的压实作用并没有停止,地面沉降得以继续发展,其压缩亦是非弹性压缩,水位恢复时不反弹,而研究区地层厚度不均匀造成差异性沉降,因此,研究区两侧地层粘性土厚度不均匀在浅层地下水位下降时产生沉降差异是主要成因(见图10)。

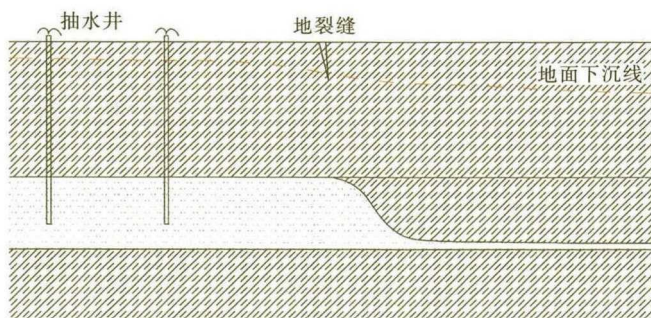


图10 地面不均匀沉降形成地裂缝

Fig.10 The ground fissure formed by the uneven ground settlement

从深层地下水位变化看,沉降量较大的一侧(监测井安3)水位呈下降趋势,沉降量小的一侧在2010~2011年水位下降达8m左右,对地裂缝有一定的影响,但从长期发展看,是区域地面沉降的主要成因。

(2)地裂缝成因定量分析。为了定量分析东沽港地面沉降原因,根据土工试验结果,选择钻孔3、钻孔5、钻孔7、钻孔8和钻孔9计算地面沉降量。根据之前的分析,采用土力学模型分层总和法(e - $\log P$ 曲线法)对粘性土进行累计沉降量计算。

通过计算得到粉质粘土层沉降量(见表1)。由表1可知,在研究区2013年下半年干旱期水位骤然下降1.02m条件下,钻孔3、5、7的累计沉降量相差较小,钻孔8和钻孔9累计沉降量较大,原因是研究区北侧粘性土厚度较大,累计沉降量较南部大,证实了地层沉积结构差异对地面不均匀沉降影响很大。

图10为理想情况下粘性土压缩导致地面沉降变化,但实际中土体具有塑性,土体内部空隙也不能完全被排除,其反应到地面的现象趋势应按照拟合曲线

(见图 11)表示,存在平缓的过渡,与实际相符合。

表1 粘土层沉降量计算表

Table1 The calculation of the clay layer sedimentation

地层	累计沉降量/cm				
	ZK3	ZK5	ZK7	ZK8	ZK9
2	4.665	3.171	2.636	2.195	3.634
3	3.215	4.393	3.896	5.233	4.288
4	2.054	1.986	2.084	1.199	0.700
5	5.178	6.386	4.692	6.323	8.992
6	14.150	11.717	12.986	11.232	7.613
8	7.681	11.832	10.265	16.787	14.105
10	6.665	5.120	6.511	8.636	8.339
累计	43.608	44.605	43.069	51.605	47.672

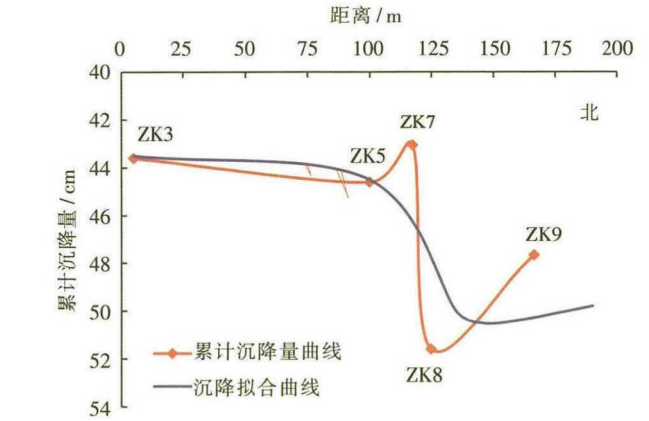


图 11 累计沉降量图与拟合曲线图

Fig.11 The cumulative settlement and fitting curves

4 结论

通过收集资料,结合多种勘查技术手段,研究发现,产生地裂缝的主要原因是地面不均匀沉降导致错动裂缝。研究区第四纪松散沉积层是地面沉降的主要压缩层,其厚度大小及差异性变化对地面沉降的发生和发展具有一定的控制作用,亦是不均匀地面沉降发生和发展的物质基础。地下水位下降,尤其是浅层地下水位下降,是地面沉降的诱发因素。两者共同造成东沽港地裂缝的发生。

参考文献:

[1] T L Holzer, E H Pampeyan. Earth fissures and localized differential subsidence [J]. Water Resources Research, 1979,17 (17):223-227.

[2] D C Helm. Hydraulic forces that play a role in generating fissures at depth [J]. Environmental & Engineering Geoscience, 1994,31:3.

[3] M Hernandez-Marin, T J Burbey. Controls on initiation and propagation of pumping-induced earth fissures: insights from numerical simulations[J]. Hydrogeology Journal, 2010,18(8):1773-1785.

[4] J Pacheco-Martínez, M Hernandez-Marín, T J Burbey, et al. Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México [J]. Engineering Geology, 2013,164(18):172-186.

[5] 杨勤海,王新杰,王莹超. 地裂缝地质灾害调查中的综合物探技术应用[J]. 物探与化探, 2013,37(1):143-146. (YANG Qin Hai, WANG Xinjie, WANG Yingchao. The application of integrated geophysical prospecting technique to the investigation of ground fracture hazards [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2013,37(1):143-146.(in Chinese))

[6] 杨成生,张勤,赵超英,等. 短基线集 InSAR 技术用于大同盆地地面沉降、地裂缝及断裂活动监测 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014,39(8):945-950. (YANG Chengsheng, ZHANG Qin, ZHAO Chaoying, et al. Small baseline subset InSAR technology used in Datong basin ground subsidence, fissure and fault zone monitoring [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014,39(8):945-950. (in Chinese))

[7] 杜文凤,彭苏萍,师素珍. 基于三维地震勘探研究地裂缝空间展布特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2016,35(4):778-783. (DU Wenfeng, PENG Suping, SHI Suzhen. The spatial distribution characteristics of ground fissures based on 3D seismic exploration [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016,35(4):778-783. (in Chinese))

[8] 王艺伟,叶淑君,于军,等. 中国“采水型”地裂缝特征和成因分析[J]. 高校地质学报, 2016,22(4):741-752. (WANG Yiwei, YE Shujun, YU Jun, et al. Features and mechanisms of earth fissures induced groundwater withdrawal in China [J]. Geological Journal of China Universities, 2016,22(4):741-752. (in Chinese))

[9] 李俊,刘金峰,莫多闻. 河北平原地裂缝的分布规律及成因初探[J]. 水土保持研究, 2003,10(3):62-65. (LI Jun, LIU Jinfeng, MO Duowen. Distribution and origin of the rifts in Hebei plain [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003,10(3):62-65. (in Chinese))

[10] 刘科,王景明. 河北平原构造特征、地裂缝分布及成因机制[J]. 南水北调与水利科技, 2005,3(6):38-42. (LIU Ke, WANG Jingming. Ground fissures and its distribution in Hebei plain [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005,3 (6):38-42. (in Chinese))

[11] 李世雄,李守定,郇洪强. 河北平原地裂缝分布特征及成因机制研究[J]. 工程地质学报, 2006,14(2):178-183. (LI Shixiong, LI Shouding, HAO Hongqiang. The distribution characters and origin mechanics of ground fissures hazard in Hebei plain [J]. Journal of Engineering Geology, 2006,14(2):178-183. (in Chinese))

[12] 晏同珍. 西安地面沉降及地裂缝阶段预测 [J]. 现代地质, 1990,4

- (3):101-109. (YAN Tongzhen. Developing stage forecast of land subsidence and ground fissure, Xi'an [J]. Geoscience, 1990,4(3): 101-109. (in Chinese))
- [13] 吴富春,方炜,宋立胜,等. 西安市地热水开采与地面沉降、地裂缝关系的分析[J]. 地震地质, 2002,24(2):234-240. (WU Fuchun, FANG Wei, SONG Lisheng, et al. Analysis of the relationship among geothermal water exploitation, ground subsidence and ground fissures in Xi'an City, China [J]. Seismology and Geology, 2002,24(2):234-240. (in Chinese))
- [14] 索传那,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 Chuanmei, WANG Deqian, LIU Zuzhi. Land fracture and subsidence prevention in Xi'an [J]. Quaternary Sciences, 2005,25(1):23-28. (in Chinese))
- [15] 王启耀,彭建兵,蒋臻蔚,等. 西安典型段地面沉降分层标观测及数值模拟[J]. 岩土力学, 2014,35(11):3298-3309. (WANG Qiyao, PENG Jianbing, JIANG Zhenwei, et al. Numerical simulation and layerwise mark monitoring of land subsidence and ground fissures of typical section in Xi'an [J]. Rock and Soil Mechanics, 2014,35(11):3298-3309. (in Chinese))
- [16] 邓亚虹,彭建兵,慕焕东,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), 2013,43(2):521-527. (DENG Yahong, PENG Jianbing, MU Huandong, et al. Ground fissures germination mechanism of deep structure activities in Weihe basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013,43(2): 521-527. (in Chinese))
- [17] 骆祖江,王琰,田小伟,等. 沧州市地下水开采与地面沉降地裂缝模拟预测[J]. 水利学报, 2013,44(2):198-204. (LUO Zujian, WANG Yan, TIAN Xiaowei, et al. Simulating and forecasting of ground-water exploitation, land subsidence and ground fissure in Cangzhou city [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013,44(2):198-204. (in Chinese))
- [18] 王庆良,刘玉海,陈志新,等. 抽水引起的含水层水平应变-地裂缝活动新机理[J]. 工程地质学报, 2002,10(1):46-50. (WANG Qingliang, LIU Yuhai, CHEN Zhixin, et al. Horizontal strain of aquifer induced by groundwater pumping a new mechanism for ground fissure movement [J]. Journal of Engineering Geology, 2002,10(1):46-50. (in Chinese))
- [19] 张熟,张成兵,田小伟,等. 沧州地裂缝分布特征及影响因素分析[J]. 南水北调与水利科技, 2007,5(3):91-94. (ZHANG Shu, ZHANG Chengbing, TIAN Xiaowei, et al. Distribution and the influencing factors of the geofracture in Cangzhou [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2007,5(3):91-94. (in Chinese))
- [20] 杨涛,宫辉力,赵文吉,等. 北京顺义区地裂缝分布特征及成因分析[J]. 自然灾害学报, 2010,19(6):100-106. (YANG Tao, GONG Huili, ZHAO Wenji, et al. Distribution characteristics and cause analysis of ground fissures in Shunyi district of Beijing [J]. Journal of Natural Disasters, 2010,19(6):100-106. (in Chinese))
- [21] 杨为民,张永双,黄晓,等. 徐水县北楼村漕河地裂缝形成机理及其演化[J]. 水文地质工程地质, 2014,41(2):122-128. (YANG Weimin, ZHANG Yongshuang, HUANG Xiao, et al. Formation mechanism and evolution of the Caohe River earth fissure in the Beilou village of Xushui County [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014,41(2):122-128. (in Chinese))

Genetic Mechanism Analysis of Ground Fissures Based on Stratigraphic Deposition Difference in Donggugang Village, Langfang

LI Hui^{1,2}, ZHAO Jianqing^{1,2}, WANG Xinzhou^{1,2}, LIU Chao^{1,2}

(1. Hebei Institute of Geo-Environment Monitoring, Shijiazhuang 050011, China;

2. Hebei Key Laboratory of Geological Resources and Environment Monitoring and Protection, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: By collecting local hydrological and geological data, and using various methods such as investigation, drilling and indoor test, this paper studied the genetic mechanism of ground fissures in Donggugang Village of Langfang City based on the stratigraphic deposition difference resulted from the changes of ancient river channels. The results show that: (1) The ground fissures is the ground faulty cracks with the south being higher than the north, which is mainly affected by the changes of the Holocene and Late Pleistocene rivers. The thickness of clay and sand layers are different due to the difference of stratum subsidence on both sides of the crack. (2) The phreatic groundwater has been affected by rainfall in the past ten years, especially the phreatic groundwater stage has obviously changed in the northern part of the ground fissure. Overall, the deep groundwater has declined in recent years. After 2011, the water stage in the south of the ground fissures tends to be stable, and that in the north side still performs a downward trend. (3) The compression varies with the large thickness difference of clay layer, which causes the uneven ground subsidence to form the ground faulty cracks. And the decline of deep groundwater stage is the main reason for the regional ground subsidence.

Key words: ancient channel; ground fissures; ground subsidence; stratigraphic deposition difference; groundwater