

基于FLAC^{3D}的北京高丽营地裂缝模拟

王海刚¹, 刘明坤², 贾三满², 姜媛², 郭海朋¹, 刘凯²

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195)

摘要: 北京高丽营地裂缝造成了房屋墙体和道路破坏, 严重影响城市规划建设。已有研究成果表明高丽营地裂缝是复合型地裂缝, 主要成因是断裂蠕滑变形与地下水下降引起的地面差异沉降共同作用的结果。据此, 采用FLAC^{3D}软件对高丽营地裂缝进行了研究, 模拟了8种状况下地裂缝带的发展趋势, 最终确定了地裂缝安全避让带宽度为90 m, 与地表调查确定的100 m避让带宽度相一致。研究结果说明在地裂缝模拟中应用FLAC^{3D}技术是可行的, 对今后北京地区地裂缝预测工作具有指导意义。

关键词: 高丽营; 地裂缝; 模拟; FLAC^{3D}; 避让带

中图分类号: P642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0086-05

Simulation of Gaoliying Ground Fissure Based on FLAC^{3D}

WANG Hai gang¹, LIU Ming kun², JIA San man², JIANG Yuan², GUO Hai peng¹, LIU Kai²

(1. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081;

2. Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing 100195)

Abstract: Gaoliying ground fissure destroyed the building walls and roads and had serious effects on urban planning and construction. Previous research results showed that Gaoliying ground fissure is a composite one and caused by the combination results of fault creep deformation and ground differential subsidence induced by decline of groundwater level. In this study, FLAC^{3D} software was used to simulate the developing trend of Gaoliying ground fissure under eight different conditions. The results indicated that the forbidden bandwidth of ground fissure is 90 m, which agrees with the surface investigation results of 100 m. The research results suggested that application of FLAC^{3D} technology in the numerical simulation of ground fissure is feasible, and it can also provide guidance for the prediction of ground fissure in Beijing.

Key words: Gaoliying; ground fissure; simulation; FLAC^{3D}; forbidden bandwidth

地裂缝是一种渐进型地质灾害, 在世界上很多国家和地区都有发育, 国外如美国、墨西哥、日本等国, 国内如西安、大同、苏州、无锡、常州、衡水、邢台、北京等地区。由于地裂缝两侧地质体发生相对差异沉降和水平方向错动与拉张, 使得地裂缝所到之处地下设施遭受严重破坏, 地表建筑物失稳、道路破裂, 不仅严重影响城市规划建设, 有时也给人民生命财产造成严重威胁^[1-8]。

在地裂缝研究中, 确定地裂缝影响宽度、预测地裂缝活动趋势和活动量预测是亟待解决的重要问题, 是制定合理的地裂缝防治措施的前提工作。这些问题直接关系到避让带宽度的设置、工程结构形式的选择、城市规划建设和建设工程安全。对于不可避免的跨地裂缝带建筑物, 如果实际避让距离和实际错动量超过了预留避让宽度和预留位移量, 造成

的社会影响及经济损失难以估量。

利用模型模拟地裂缝是地裂缝研究重要的发展趋势^[9-11]。近年来, 长安大学在这方面已开展了卓有成效的工作, 并取得了一些重要成果。本文采用FLAC^{3D}软件对北京地区目前发育最强烈的高丽营地裂缝进行模拟研究。

FLAC^{3D}可以模拟岩土或其它材料的三维力学行为, 被广泛的应用在边坡稳定性分析、隧道围岩稳定性分析和工程地质数值分析等研究中, 并且取得了行业内的普遍认可。

1 高丽营地裂缝概况

高丽营地裂缝最早发现于20世纪90年代, 地裂缝走向大致呈NE45°-60°, 与黄庄-高丽营断裂相一致, 由西王路村向东北延伸到北京北六环以外, 向西南经唐自头村穿越京

收稿日期: 2013-04-01 修回日期: 2013-08-01 网络出版时间: 2013-08-23

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130823.1501.009.html>

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2006CB708405); 中国地质调查局项目(1212010540902; 1212010814044; 1212011220180)

作者简介: 王海刚(1980-), 男(满族), 河北青龙县人, 工程师、硕士, 主要地质工程和地质灾害研究。E-mail: whg_8232@163.com

承高速公路,沿华都肉鸡场、土沟村、北七家卫生院、普罗旺斯别墅区、八仙别墅小区延展(图1),长度约6 km,裂缝宽度一般几毫米至十几毫米不等,最大200 mm。地裂缝两侧地面明显差异,呈西北高、东南低状态,主要表现为地面塌陷、墙体开裂、地表变形^[2,5]。



图1 高丽营地裂缝平面分布

Fig.1 Location of Gao Liying ground fissure

贾三满等^[2]认为高丽营地裂缝为复合型地裂缝,地裂缝受黄庄-高丽营断裂的控制,是黄庄-高丽营断裂的地表迹线,是基底断裂活动在地表浅部的延伸,地裂缝与下部构造断裂面呈明显的重接复合关系,地裂缝形成是断裂蠕滑变形与地下水下降引起的地面差异沉降共同作用的结果。

2 研究区地层

研究区内属于温榆河冲洪积扇平原区,南侧有温榆河通过,总体地势为北高南低。温榆河东北侧地块地面高程26.63~36.87 m,温榆河西南侧地块地面高程为25.92~33.90 m,河床高程约25.0 m,河面宽约200 m。地表均被第四系地层覆盖,沉积物成因类型较简单,以河流的冲积物为主体。地裂缝两侧地层以收集的地热钻孔资料为基础,进行

了简化,见表1。表中的物理力学指标为各地层岩组的平均估计值。

3 数值模拟方案

根据研究区的水文地质与工程地质条件,以及地裂缝的影响因素。计算模型以黄庄-高丽营断裂(地裂缝)为纵轴,长度取3500 m,在横向以纵轴为基准轴线,下盘侧取1000 m,上盘侧取1800 m,即模型宽2800 m,地面标高北部为35 m,南部为29 m,上盘(东南侧)基岩面标高取-1084 m,下盘(西北侧)基岩面标高取-429 m。断裂带(地裂缝)宽度暂取10 m。数值模拟的断裂带倾角取76°(图2)。

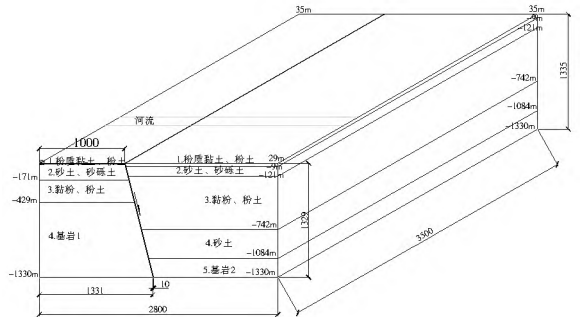


图2 计算模型立体图

Fig.2 Three dimensional structure of the calculation model

据21个探槽揭露,断层错动量从0.2~5 m不等,地裂缝活动量及影响带宽度均受断层影响。附近的小汤山承压水长观孔2063A号孔在1989年-2008年期间水位累计下降量达13 m,年度内水位变化在3.0 m左右。

综合高丽营地裂缝基本情况,本次设计模拟了8种状况下地裂缝带发展趋势(其中,模型构造应力作用下基岩上盘垂直错动0.2 m、0.5 m、1 m、2 m、5 m;模型承压水位下降5 m、10 m、15 m)。

表1 数值计算简化地层结构

Table 1 Simplified stratigraphic configuration in numerical computation

钻孔位置	地层序号	岩性(地层分组)	层底埋深/m	物理力学指标			
				重度/(kN·m ⁻³)	压缩模量/(10 ³ kPa)	黏聚力/kPa	摩擦角(°)
上盘	1	粉质黏土、粉土	40	18	10	30	15
	2	砂土、砂砾石	152	19	25	0	30
	3	黏粉、砂土	773	20	18	5	20
	4	砂土	1 115	20	40	0	30
	5	基岩(火山角砾岩)	未见底	26	10 000	2 000	40
下盘	1	粉质黏土、粉土	16	18	10	30	15
	2	砂土、砂砾石	202	19	25	0	30
	3	黏粉、砂土	460	20	18	5	20
	4	基岩(凝灰质角砾岩)	未见底	26	10 000	2 000	40

4 数值模拟结果分析

4.1 构造应力作用下地裂缝的发展及其影响

篇幅所限,只选择基岩断块垂直错动0.2 m和5 m时的模拟结果进行分析。

当基岩断块垂直错动0.2 m时,垂直沉降分布见图3,水平位移分布见图4,最大主应力分布见图5,最小主应力分布

见图6。

当基岩断块垂直错动5 m时,垂直沉降分布见图7,水平位移分布见图8。

在研究区域垂直于地裂缝轴线,选择河流北侧600 m测线,得到测线上的地表沉降、水平位移分布对比曲线(见图9、图10)。可以看出,地裂缝两侧存在明显的差异沉降,在剖面上呈现“牵引挠曲”现象;研究区地表沉降和水平位移随着基

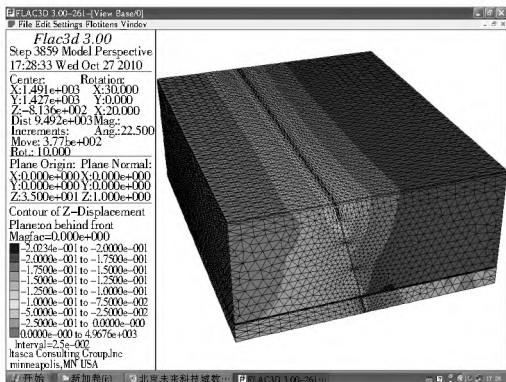


图 3 基岩垂直错动 0.2 m 沉降分布

Fig. 3 The subsidence distribution with the vertical diastrophism of 0.2 m

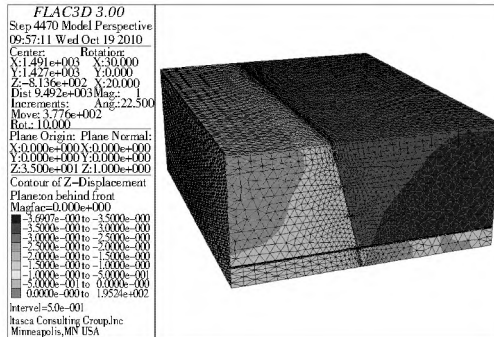


图 7 基岩垂直错动 5 m 沉降分布

Fig. 7 The subsidence distribution with the vertical diastrophism of 5 m

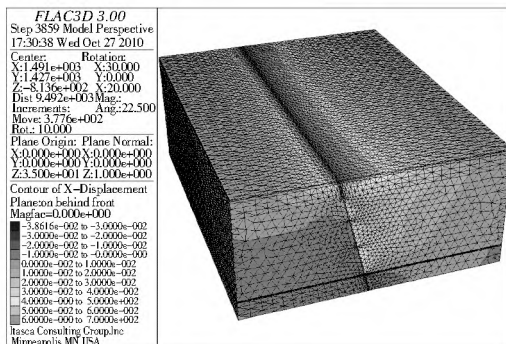


图 4 基岩垂直错动 0.2 m 水平位移分布

Fig. 4 The horizontal displacement distribution with the vertical diastrophism of 0.2 m

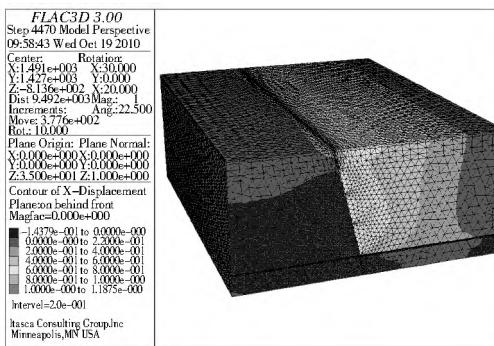


图 8 基岩垂直错动 5 m 水平位移分布

Fig. 8 The horizontal displacement distribution with the vertical diastrophism of 5 m

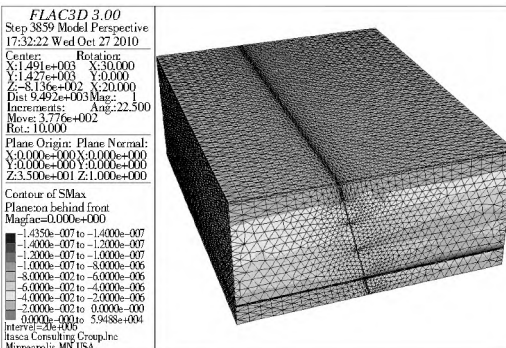


图 5 基岩垂直错动 0.2 m 最大主应力分布

Fig. 5 The maximum principal stress distribution with the vertical diastrophism of 0.2 m

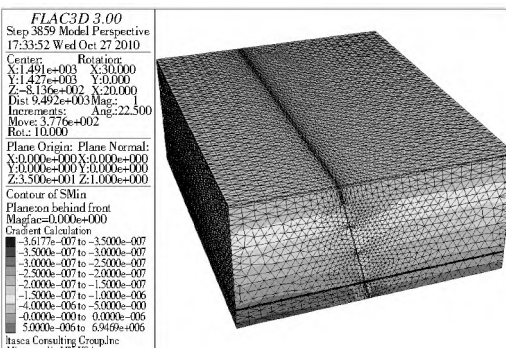


图 6 基岩垂直错动 0.2 m 最小主应力分布

Fig. 6 The minimum principal stress distribution with the vertical diastrophism of 0.2 m

岩断块的垂直错动距离增大而增大。

根据地表相近两点的差异沉降与距离,计算测线断面的各部位的地表(地基)平均倾斜值,见表 2。计算表明,当基岩断块垂直错动 0.2 m 时,地表(地基)平均倾斜值大于 2‰ 的区域几乎不存在;当基岩断块垂直错动 0.5 m 时,地表(地基)平均倾斜值大于 2‰ 的区域长度为距离地裂缝约 52 m;当基岩断块垂直错动 1 m 时,地表(地基)平均倾斜值大于 2‰ 的区域长度为 74 m 距离,当基岩断块垂直错动 2 m 时,地表(地基)平均倾斜值大于 2‰ 的区域长度约 86 m 距离,当基岩断块垂直错动 5 m 时,地表(地基)平均倾斜值大于 2‰ 的区域长度约 130 m 距离。

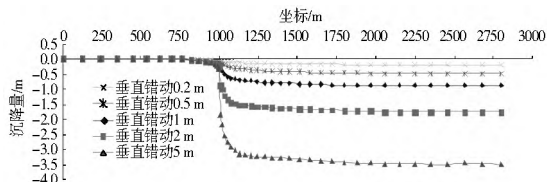


图 9 断面沉降变形曲线

Fig. 9 The subsidence deformation curves of the section

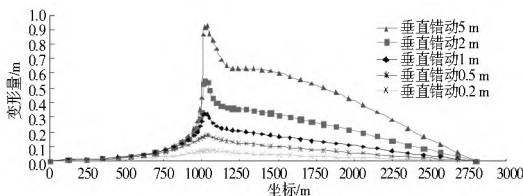


图 10 断面水平位移曲线

Fig. 10 The horizontal displacement curves of the section

表2 断面的地表平均倾斜值

Table 2 The average surface tilt values of the section

工况	错动 (%)				
	0.2 m	0.5 m	1 m	2 m	5 m
距断层 5 m 处	0.36	1.11	7.04	54.51	142.03
距断层 15 m 处	0.55	1.66	7.90	14.97	44.03
距断层 27 m 处	0.53	1.70	5.57	12.23	19.17
距断层 43 m 处	0.52	1.58	4.17	7.67	12.29
距断层 62 m 处	0.44	1.17	2.13	3.11	7.09
距断层 86 m 处	0.40	1.02	1.63	2.55	6.35
距断层 114 m 处	0.34	0.78	1.00	1.27	3.24
距断层 146 m 处	0.30	0.68	0.87	1.02	1.92
距断层 182 m 处	0.24	0.54	0.69	0.68	0.58

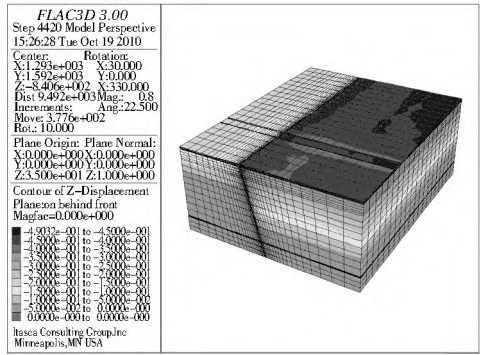


图13 承压水位降低 15 m 垂直沉降分布

Fig. 13 The vertical subsidence distribution with the confined water level decline of 15 m

4.2 地下水作用下地裂缝的发展及其影响

模拟 5 m、10 m、15 m 时, 断裂带(地裂缝)的影响范围。选择承压水位下降 5 m 和 15 m 时的模拟结果进行分析。

当承压水位降低 5 m 时, 垂直沉降分布见图 11, 水平位移分布见图 12。

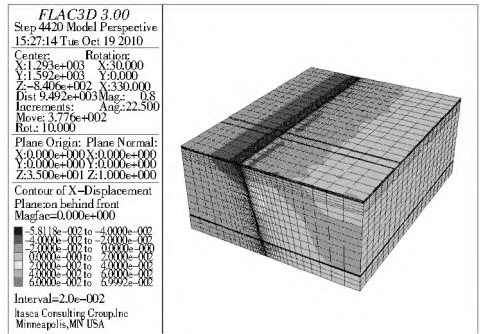


图14 承压水位降低 15 m 水平位移分布

Fig. 14 The horizontal displacement distribution with the confined water level decline of 15 m

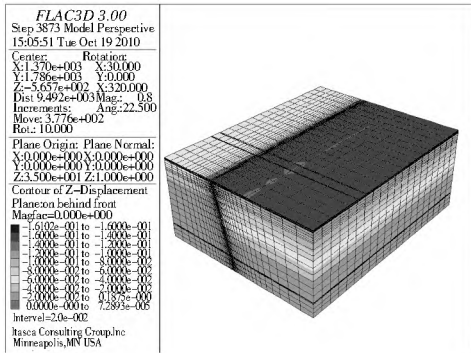


图11 承压水位降低 5 m 垂直沉降分布

Fig. 11 The vertical subsidence distribution with the confined water level decline of 5 m

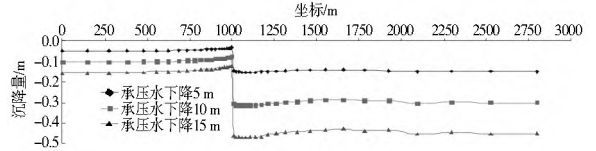


图15 剖面沉降变形曲线

Fig. 15 The subsidence deformation curves of the section

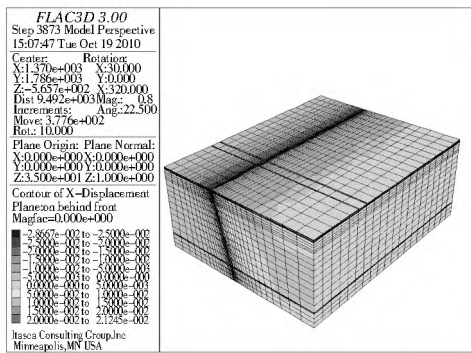


图12 承压水位降低 5 m 水平位移分布

Fig. 12 The horizontal displacement distribution with the confined water level decline of 5 m

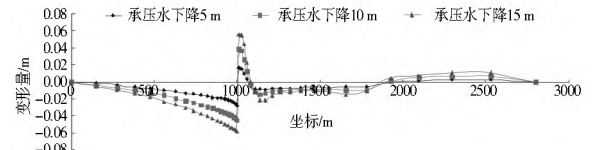


图16 剖面水平位移曲线

Fig. 16 The horizontal displacement curves of the section

表3 承压水位下降引起的地表(地基)平均倾斜值

Table 3 The average surface tilt values resulted from the confined water level decline

工况	平均倾斜值 (%)		
	承压水下降 5 m	承压水下降 10 m	承压水下降 15 m
断裂带西侧 66 m 处	0.045	0.076	0.106
断裂带西侧 36 m 处	0.053	0.087	0.117
断裂带西侧 13 m 处	0.114	0.164	0.143
断裂带西侧 4 m 处	0.463	0.641	0.482
断裂带东侧 5 m 处 (地裂缝影响带)	11.388	23.295	34.491
断裂带东侧 16 m 处	0.449	0.524	0.458
断裂带东侧 31 m 处	0.039	0.059	0.138
断裂带东侧 48 m 处	0.052	0.006	0.167
断裂带东侧 69 m 处	0.000	0.044	0.022
断裂带东侧 93 m 处	0.035	0.030	0.103
断裂带东侧 120 m 处	0.040	0.027	0.016

当承压水位降低 15 m 时, 垂直沉降分布见图 13、水平位移分布见图 14。

在研究区域垂直于地裂缝轴线, 选择一条测线(河流北侧 500 m), 拾取测线上的地表沉降、水平位移, 可以得到测线上的地表沉降、水平位移分布对比曲线(图 15、图 16)。

根据地表相近两点的差异沉降与距离, 计算该测线断面的各部位的地表(地基)平均倾斜值, 见表 3。

从地表沉降、水平位移、应力变化分布对比曲线可知,由于承压水头的降低,地裂缝两侧产生明显的差异沉降,但影响范围较小约 10~20 m。研究区地表沉降和水平位移随着承压水头的降低而增大。地裂缝附近的倾斜值较大,随着距离地裂缝越远,倾斜值减小。综合分析认为,地下水作用下,地裂缝附近产生明显的差异沉降,其它部位以均匀沉降为主。

4.3 地裂缝区域的安全避让距离

地裂缝区域的安全避让距离应是以地裂缝延展方向为轴线,垂直轴线向两侧(上盘、下盘)确定的保护建(构)筑物的有效距离。模拟结果表明,构造应力和地下水位变化影响下,地裂缝两侧均产生沉降和变形,其中远离地裂缝均产生均匀沉降,对建筑物的影响不大;但在地裂缝附近则产生明显的差异沉降,对建构筑物影响巨大。因此根据各类建筑物地基变形允许值的最严格标准,采用倾斜值 0.002(即 2‰)控制安全避让带。根据模拟计算结果,地裂缝安全避让距离确定为上盘(包括地裂缝带宽)80 m,下盘 10 m,总避让带宽度为 90 m。这与多种手段调查、试验、测试和监测结果确定的地裂缝两侧避让距离 100.41 m(上盘 74.27 m,下盘 26.14 m)相近^[4]。

5 结论

(1) 地下水的作用在地裂缝附近(10~20 m)产生明显的差异沉降,其它部位以均匀沉降为主。

(2) 根据数值模拟高丽营地裂缝的安全避让距离确定为上盘 80 m,下盘 10 m,总避让带宽度为 90 m。

(3) 本次数值模拟假设断裂两侧地层为均质,但实际上断裂两侧地层参数非均一,地裂缝成因比较复杂,所以本次提出的地裂缝避让带宽度只是作为一种参考。

参考文献(References):

- [1] 王海刚.北京市顺义地区高丽营地裂缝灾害[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(3):134.(WANG Haigang. The Hazards of Gaoliying Ground Fissure in Shunyi District of Beijing[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(3): 134. (in Chinese))
- [2] 贾三满,郭萌.从高丽营探槽分析黄庄-高丽营断裂与地裂缝的关系[J].城市地质,2007,4(2):24-28.(JIA Sarman, GUO Meng. The Relation Between Huangzhong Gaoliying Fault and By Gaoliying Trench and Earth Fissure[J]. City Geology, 2007, 4(2): 24-28. (in Chinese))
- [3] 贾三满,王海刚,叶超,等.北京地区地裂缝勘察方法研究[J].工程地质学报,2011,(19):104-111.(JIA Sarman, WANG Haigang, YE Chao, et al. Investigation and Survey Methods

Appropriate for Ground Fissures in Beijing[J]. Journal of Engineering Geology, 2011, (19): 104-111. (in Chinese))

- [4] 贾三满.北京市地面沉降监测年度报告[R].北京市水文地质工程地质大队,2010.(JIA Sarman. Annual Report of Land Subsidence Monitoring in Beijing. Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 2010. (in Chinese))
- [5] 王海刚,贾三满,王荣,等.北京顺义地区地裂缝调查与成因分析[J].中国科技论文在线精品论文,2012,21(5):2055-2062.(WANG Haigang, JIA Sarman, WANG Rong, et al. Investigation and Analysis on the Cause of Ground Fissures in Shunyi, Beijing[J]. Highlights of Sciencepaper Online, 2012, 5(21): 2055-2062. (in Chinese))
- [6] 武强,陈佩佩.我国城市地裂缝灾害问题与对策[J].中国地质灾害与防治学报,2002,13(2):70-72.(WU Qiang, CHEN Peipei. The Problem and Countermeasure of Ground Fracture in City. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control. 2002, 13(2): 70-72. (in Chinese))
- [7] 门玉明,石玉玲.西安地裂缝研究中的若干重要科学问题[J].地球科学与环境学报,2008,30(2):172-176.(MEN Yuming, SHI Yuling. Some Important Scientific Questions in the Research on Xi'an Ground Fissures. Journal of Earth Sciences and Environment. 2008, 30(2): 172-176. (in Chinese))
- [8] 冯利斌.北京未来科技城地裂缝成因机理及其防治对策研究[D].长安大学,2011.(FENG Libin. The Study on Formation Mechanism and Prevention Countermeasures of Ground Fissures in the Future science and Technology City of Beijing[D]. Changan University, Xi'an, 2011. (in Chinese))
- [9] 武强,朱斌,李建民,等.断裂带煤矿井巷滞后突水机理数值模拟[J].中国矿业大学学报,2008,37(6):780-785.(WU Qiang, ZHU Bin, LI Jianmin, et al. Numerical Simulation of Lagging Water Inrush Mechanism of Rock Roadways Near Fault Zone[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(6): 780-785. (in Chinese))
- [10] 蒋臻蔚,彭建兵,王启耀.抽水作用下先期断裂对地裂缝的影响研究[J].工程地质学报,2010,18(5):65F-656.(JIANG Zhenwei, PENG Jianbing, WANG Qiyao, et al. Influence of Preexisting Fault on Ground Fissures During Pumping Action[J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(5): 65F-656. (in Chinese))
- [11] 彭建兵,陈立伟,黄强兵,等.地裂缝破裂扩展的大型物理模拟试验研究[J].地球物理学报,2008,51(6):1826-1834.(PENG Jianbing, CHEN Liwei, HUANG Qiangbing, et al. Large Scale Physical Smiulative Experiment on Ground Fissure Expansion Mechanism. Chinese Journal of Geophysics, 2008, 51(6): 826-1834. (in Chinese))