

梁 莹, 张立丰. 三号地井水动力学影响因素分析[J]. 华南地震, 2017, 37(S1): 113–120. [LIANG Ying, ZHANG Lifeng. Analysis of Influence Factors of Well Water Dynamics in No. Three Well [J]. South China journal of seismology, 2017, 37(S1): 113–120.]

三号地井水动力学影响因素分析

梁 莹¹, 张立丰²

(1. 内蒙古自治区地震局, 呼和浩特 010010; 2. 江苏省吴江中等专业学校, 江苏 苏州 215200)

摘要: 三号地井位于阴山纬向构造带, 岱海—黄旗海断陷带是区内的主要活动构造单元, 由岱海和黄旗海断陷盆地及其周缘断裂构造组成, 对晋冀蒙地区的地震研究有一定的指示意义。通过对三号地井台站、地质构造情况及基础资料的收集整理, 并进行了水温梯度实验、气象因素调查、区域地层岩性及地下水运移分析及取土坑应力卸载模型分析, 对三号地井水动力学影响因素进行了分析。研究表明, 三号地井 2012 年以来的快速下降现象受周边环境变迁的可能性较大。

关键词: 三号地井; 水动力学; 影响因素

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2017) S1-0113-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.S1.018

Analysis of Influence Factors of Well Water Dynamics in No. Three Well

LIANG Ying¹, ZHANG Lifeng²

(1. Inner Mongolia Earthquake Agency, Hohhot 010010, China; 2. Secondary Specialized School in Wujiang, Jiangsu, Wujiang 215200, China)

Abstract: No. three wells is located in Yinshan latitudinal tectonic belt, and Daihai–Huangqihai fault zone is the main active tectonic unit in the area, which has certain significance to earthquake research in Shanxi–Hebei–Inner Mongolia region. Based on the geological conditions and basic data collection of the No. three well stations, the paper does the temperature gradient experiments, meteorological factors, meteorological factors survey, regional stratigraphic lithology and groundwater movement analysis, stress unloading model of soil pit, and influencing factors of Hydrodynamics. The result shows that the rapid decline of No. three well since 2012 is more likely to be affected by the surrounding environment.

Keywords: Well No. three; Hydrodynamics; Influence factors

收稿日期: 2017-07-30

作者简介: 梁莹(1984–), 女, 工程师, 现主要从事地震预报研究。

E-mail: 327267262@qq.com.

0 引言

三号地井位于内蒙古自治区乌兰察布市察哈尔右翼前旗境内,距集宁市区相对较近。地理坐标为:东经 113°,北纬 41°。乌兰察布市境内山峦起伏,丘陵交错,北部为乌兰察布高原,海拔 700~1 400 m 之间,南部为阴山山地,海拔 1000~1 500 m,属中温带大陆性季风气候,年平均气温在 0℃~7℃之间,年均降水量 260~440 mm。区域内水文网络发育,河流特点是流程短,总水量小,含沙量大,冰冻期长。季节性的洪沟在有些地方也比较发育。南部、西部的低山丘陵和玄武岩台地为该井的主要补给源。本区地质构造属于阴山

纬向构造带,岱海—黄旗海断陷带是区内的主要活动构造单元,由岱海和黄旗海断陷盆地及其周缘断裂构造组成。主要发育北东、北北东和北西向三组断裂构造,其中断陷带南北两侧的北东向断裂为主体活动断裂构造(图 1),控制着断陷带的构造形态、形成演化和区域地形地貌特征。现今地震空间分布总体受断裂带控制,多出现在北东、北西、北北东三组活动断裂的交汇处。特别是盆地(和林格尔、岱海盆地、黄旗海盆地、丰镇盆地、兴和盆地)边缘往往是现代地壳垂直运动强烈地带。另外,该区域地震活动与华北地区地震活动在时间上基本是同步呼应的。总之,该区域地质构造复杂,中强地震比较频繁^[1-3]。

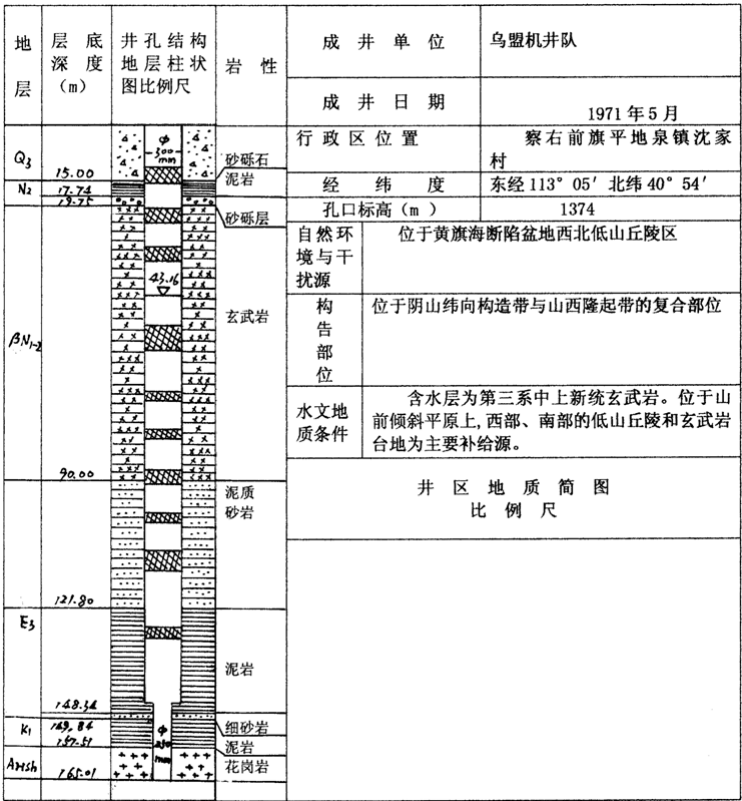


图 1 三号地井井孔剖面图
Fig. 1 Borehole profile of the No. three well

1 井点基础资料

三号地井地处察哈尔右翼前旗黄旗海断陷盆地西北低山丘陵区,由乌盟水利处机井队 1971 年 5 月成井,含水层为第三系中上新统玄武岩,地下水类型为孔隙裂隙潜水,井孔深 165.01 m。水位埋深为 49.16 m 左右。水位观测段在 17.74~121.8 m 之间。另外,在地面至地面以下 129.95 m 间,用直径 168 mm 的水泥套管护壁,套管壁面也比较

干燥(图2)。

2 水温梯度实验

2011 年 3 月 16 日、2017 年 1 月 11 日先后对三号地井水位进行了水温梯度实验(图 3:蓝色为 2011 年,绿色为 2017 年)。从两次现场温度梯度测试结果并结合前述井孔剖面图看(图 3),井下 19.75~90.0 m 段为该井的含水层。水温梯度整体以

正梯度为主，但在井下 77~87 m 段，线性度较差，说明该段护壁的水泥套管可能由于长年受井水腐蚀，封闭性变差，该深度段内可能与外界有较强的水力联系所致。

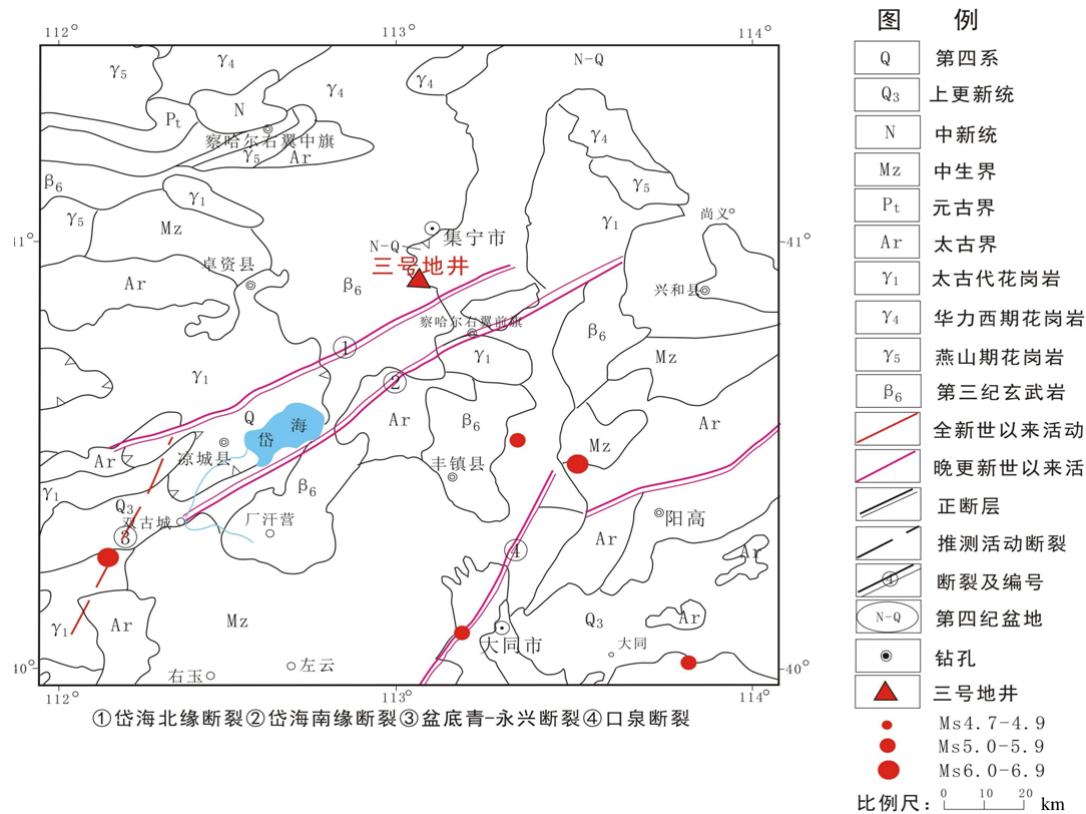


图 2 三号地井周边地震地质构造图

Fig. 2 Seismic and geological map around the No. three well

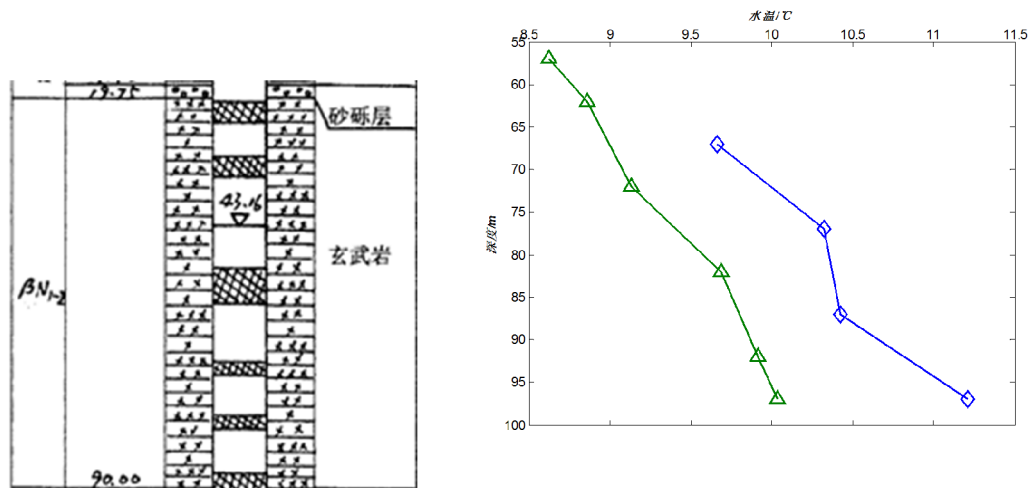


图 3 三号地井井孔剖面(左，局部)和水温梯度测量结果曲线(右)

Fig.3 Borehole profile of the No. three well (left, local) and water temperature gradient measurement curve (right)

3 气象因素调查

首先对三号地水位与地下水补给区降水量等之间的相关性进行调查分析，多年的观测资料(1993—2010 年时段)显示，该井水位无明显年动

态，井水位的变化与区域降雨直接影响(短期)不大。但一定程度上，受远源浅层水的越层补给和侧向径流补给的影响^[4-5]。2011 年数字化观测以来，区域降雨对该井水位的变化影响亦不大。另外，从 2016 年 12 月以来三号地水位和气压关系看，

二者相关性非常明显。剔除该时段气压效应后，水位在缓慢上升过程中固体潮效应亦非常明显。换句话说，2016 年 12 月至今水位数据波动较大，主要由于气压扰动引起(图 4~图 6)。

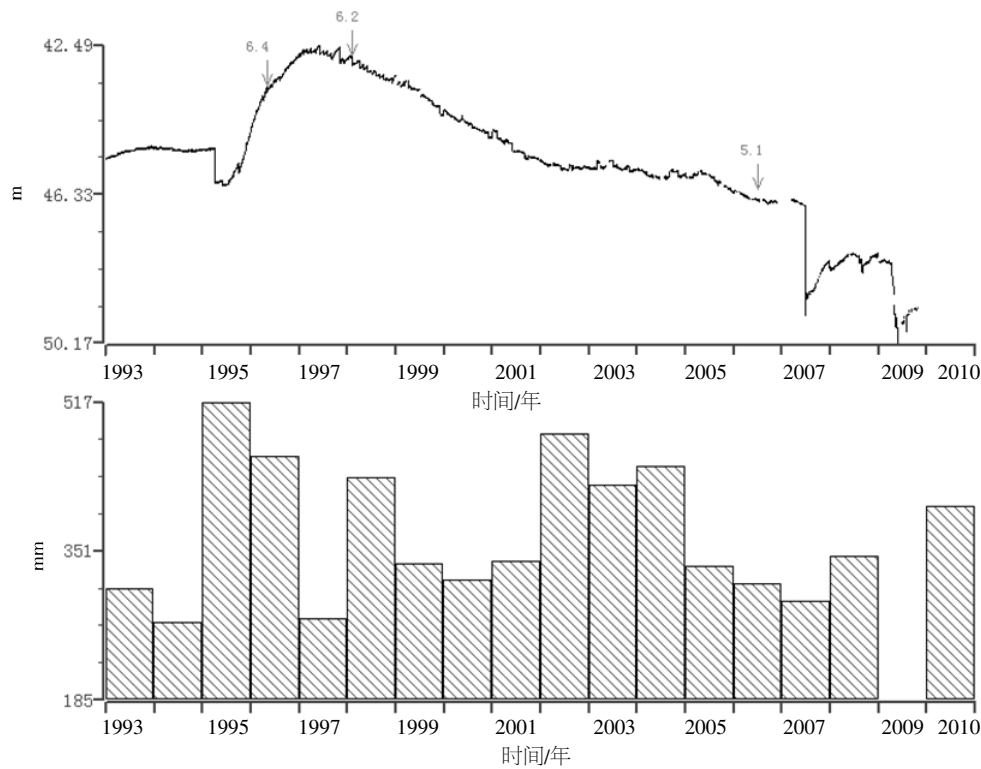


图 4 1993-2010 年三号地井水位和区域降雨量对比

Fig.4 Comparison of water level and regional rainfall of the No. three well during 1993 and 2010

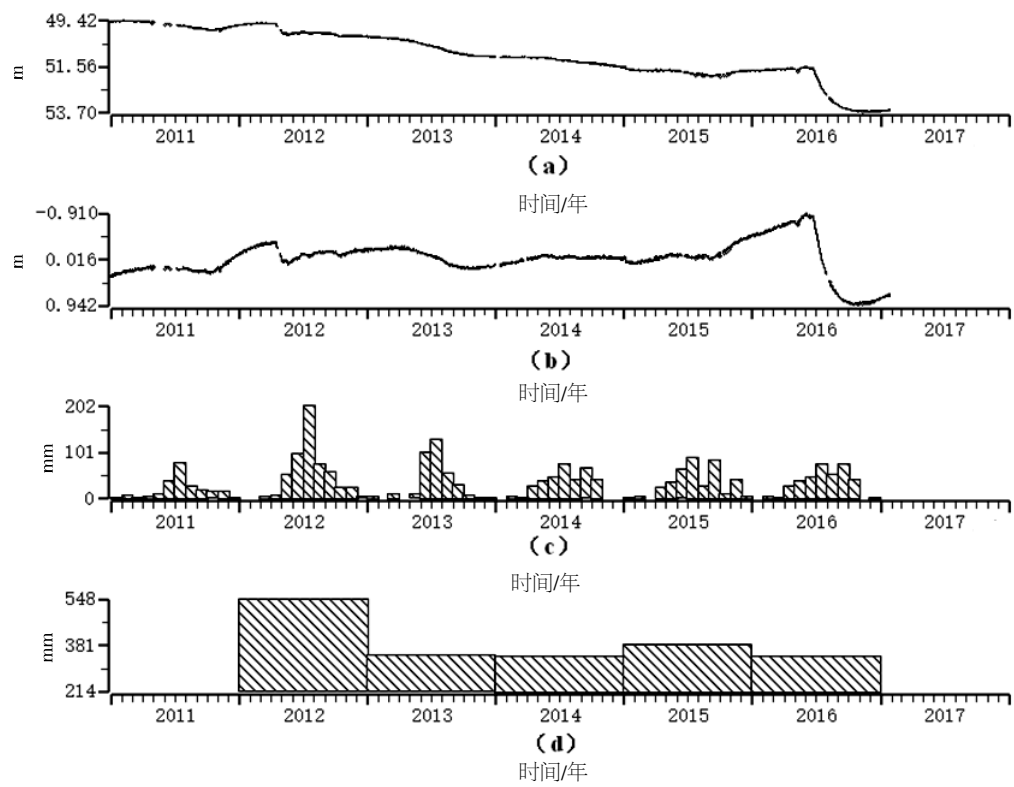


图 5 2011 年数字化观测以来，三号地水位和区域降雨量对比

Fig.5 Comparison of digital observation, water level and rainfall region contrast since the digital observation in 2011

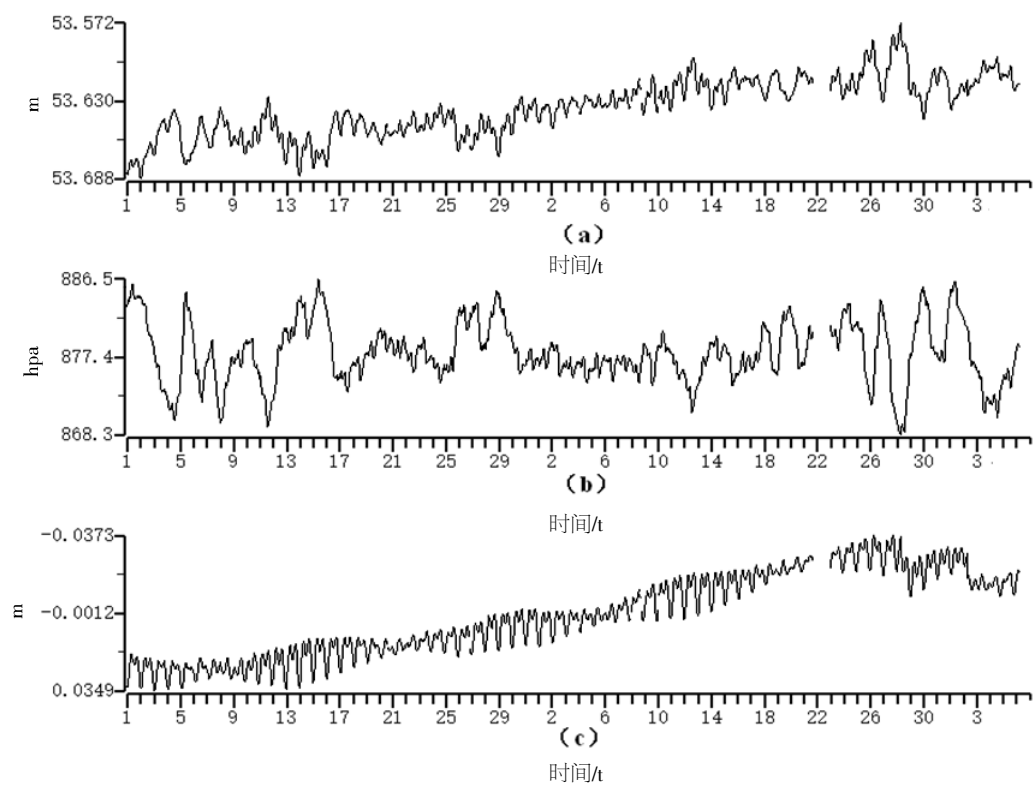


图 6 2016 年 12 月以来三号地水位 (a)、气压 (b) 及剔除气压 (c) 对比曲线
Fig.6 Comparison of water level and regional rainfall of the No. three well since December 2016

4 区域地层岩性及地下水运移分析

依据前述井点地理、地质构造情况，南部、西部的低山丘陵和玄武岩台地（属于阴山山地）为该井的主要补给源。图 7 的气孔状玄武岩岩心取自于 2015 年 7~8 月份成井的扶贫农田灌溉井。岩石力学和地下水动力学等理论表明，应力变化会导致含水层内孔隙介质发生弹性或塑性变形，

这种变形作用进而会引起孔隙内的填充物在水流的“冲刷”作用下发生重新排列或使原来固结的填充物变得更加稀松，更有利于地下水在孔隙介质中的流动，从而起到增加孔隙介质渗透率的效果(图 8)。现场水温梯度测试结果亦证实，该井井下 77~87 m 段封闭性变差，其特殊的气孔状玄武岩含水层岩性和井孔结构，为地下水的运移提供了条件。

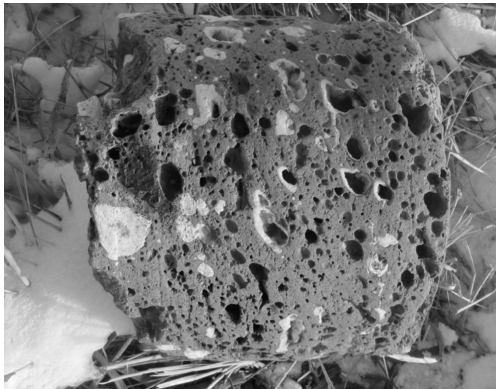


图 7 三号地井南侧 1.1 km 左右处，民用井成井时岩心（气孔状玄武岩）
Fig.7 At 1.1 km away from the south side of No. three ground well, the core in the completion of the civil well (porosity Xuan Wuyan)

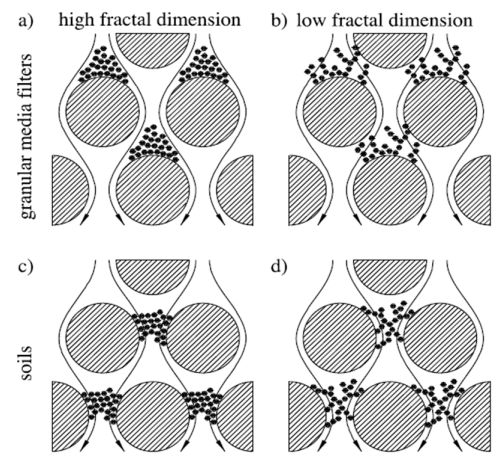


图 8 地下水、孔隙内的填充物在孔隙介质中运移示意图
(引自，Mays et al, 2010)

Fig.8 Schematic diagram of transport of groundwater and pore filling material in porous media (from Mays, et al, 2010)

5 取土坑应力卸载模型分析

5.1 模型的建立

经过现场实地踏勘获取的高速公路建设期间工程采土场经纬度、坑深等资料，构建了采土坑挖方三维模型图(图 9)，经过计算，测井旁 40 m 处共计挖方 431 963.49 m³，黄土(含砂、砾)的密度为 1.79×103 kg/m³，考虑到采土坑为不规则体，填方后积分求得下方含水层玄武岩所受的等效加载压强为 1.29 Mpa。

5.2 应力卸载机理分析

针对三号地水位自 2016 年 5 月上旬以来的快速上升然后转折下降现象，通过现场核实分析认为，高速公路建设期间(尤其是 2012 年至 2014 年，高速公路全面建设期间)的取土坑填方对此变化有很大影响。根据孔隙玄武岩力学性质研究，玄武岩孔隙率与其抗压强度、弹性模量、内摩擦角符合指数关系，有较好的相关性。根据其实验结果，建立玄武岩含水层孔隙率载荷变化模型(图 10)。

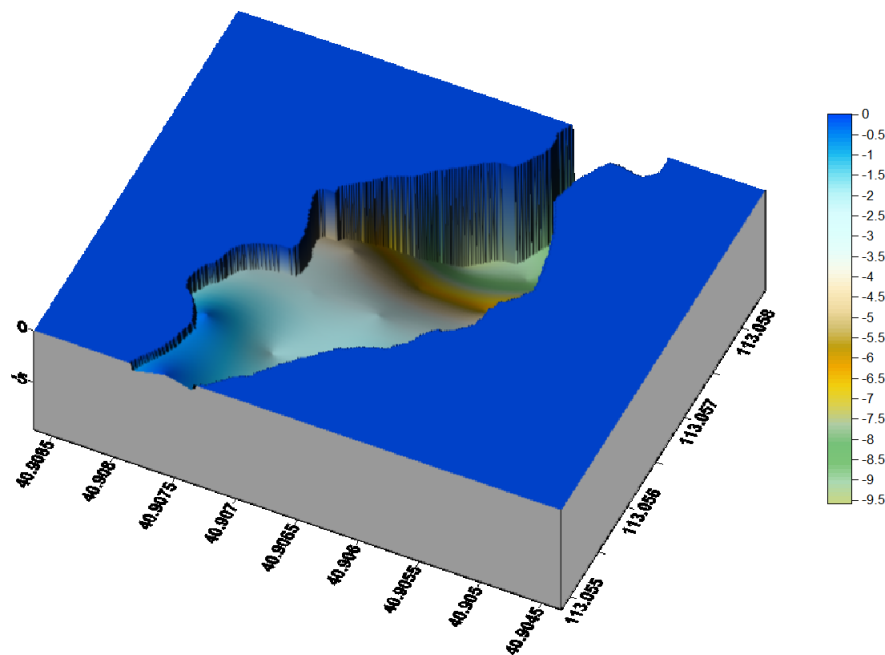


图 9 高速公路建设期间工程采土场挖方三维模型图

Fig.9 Three-dimensional excavation diagram during the construction of expressway engineering

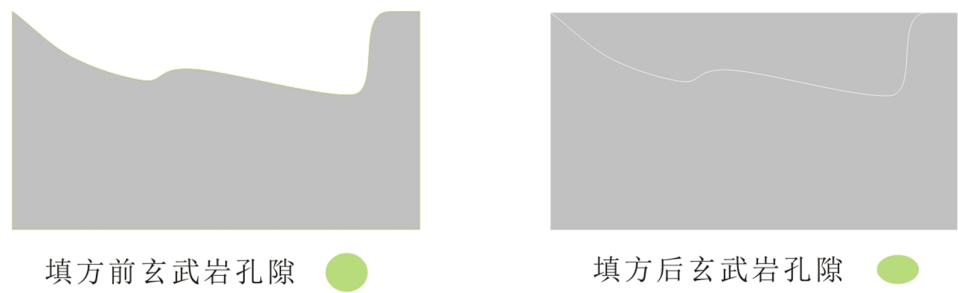


图 10 工程采土场填方前后玄武岩含水层孔隙变化示意图

Fig.10 Schematic diagram of change of basal aquifer pore before and after filling of engineering mining field

从岩石力学的角度看，地下水对岩石的力学作用主要通过静水压力和动水压力实现的，静水压力是作用在裂隙结构面上的法向应力，对裂隙结构面发生拉-张型扩展作用及剪切型延展作用，增大裂隙结构面的张开度及延伸长度；动水压力是作用在裂隙壁上的切向拖曳力，使裂隙结构面

及充填物在渗透方向上发生变形和位移，尤过静水压力和动水压力实现的，静水压力是作用在裂隙结构面上的法向应力，对裂隙结构面发生拉-张型扩展作用及剪切型延展作用，增大裂隙结构面的张开度及延伸长度；动水压力是作用在裂隙壁上的切向拖曳力，使裂隙结构面及充填物在渗透

方向上发生变形和位移，尤其易于发生剪切变形和位移，增加裂隙结构面的孔隙度（裂隙率）、透水性和渗透速度。采动岩体对地下水的作用是通过改变岩体内应力状态来改变岩体的结构，从而改变裂隙的孔隙度和压缩系数，使得地下水的渗流发生变化。特别在采动影响下这 2 种力叠加作用的结果可能使岩体引起劈裂扩展、剪切变形和位移，减少岩体中结构面的孔隙度和连通性，从而降低了岩体的渗透性能。也即三号地观测井房附近的填方工程，在静水压力和动水压力的作用下，改变了井孔附近岩体内的应力状态和结构，使岩体引起劈裂扩展、剪切变形和位移，降低岩

体中结构面的孔隙度和连通性，从而降低了岩体的渗透性能^[6-7]。造成的结果是：在近似密闭环境下孔隙度的减少，地下水的承压增大从而导致井口内的水位短期内上升，然而，随着时间的推移，地下水会在渗流作用下缓慢下降；考虑到填方的方位为地下水补给方向，随着补给量的减小，地下水位在回复到原来高度后会快速下降，从而造成三号地水位图所展示的缓慢上升-缓慢下降-快速下降这一现状，由此推测，在水位下降到一定高度达到新的平衡后会回复原来的变化趋势和速率(图 11)。

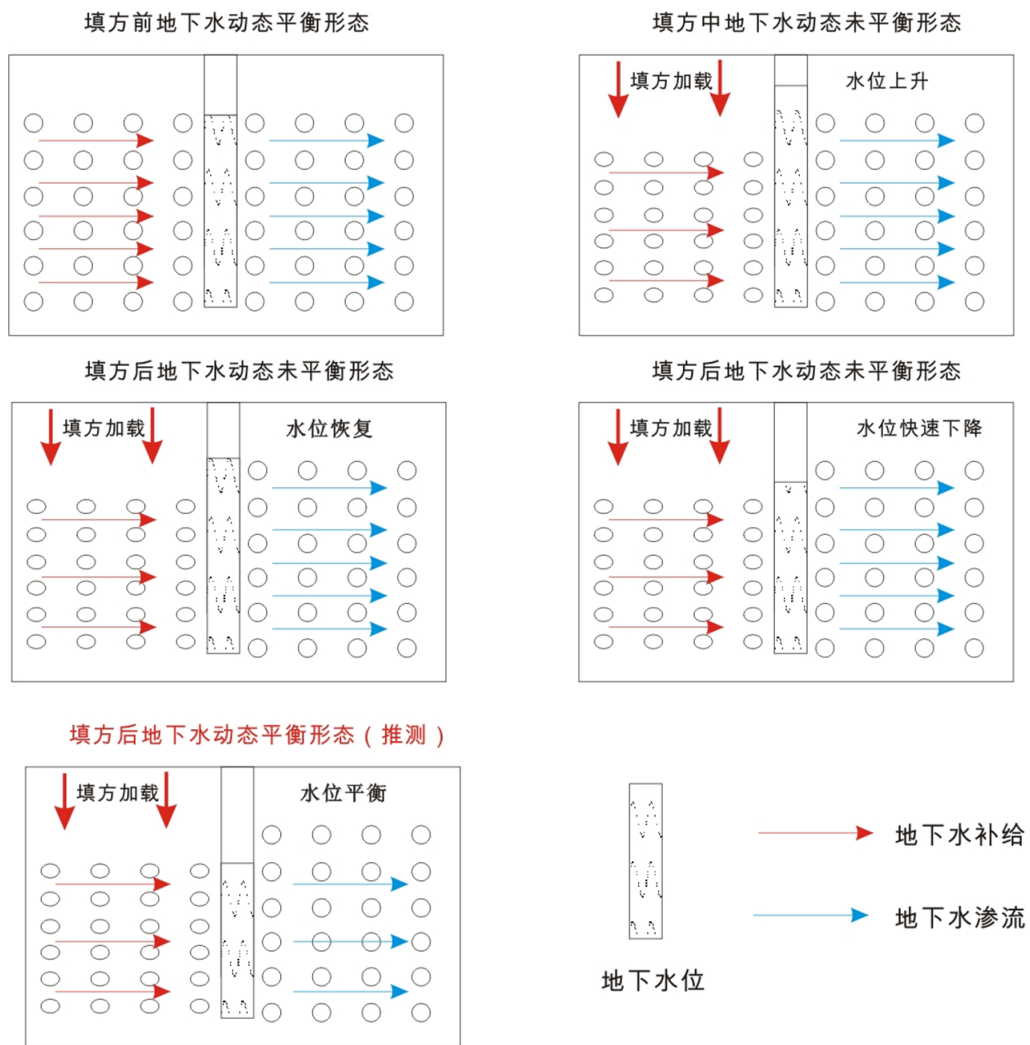


图 11 三号地水位变化演示及推测示意图

Fig.11 Demonstration and conjecture of water level variation of the No. three well

6 结语

通过一定的现场试验以及模型分析认为：

(1) 环境干扰情况调查结果表明，区域降雨对该井水位变化的直接影响不大，但一定程度受

远源补给的影响。2016 年 6 月初至今，周围潜水泵的灌溉、抽水等地下水开采变化等对该井影响的可能性较小。2016 年 12 月至今水位数据波动较大，主要由于气压扰动引起。

(2) 现场水温梯度测试、区域地层岩性及地

下水运移分析结果表明,该井井下 77~87 m 段封闭性变差,其特殊的气孔状玄武岩含水层岩性和井孔结构,为地下水的运移提供了条件。

(3) 含水层参数及垂直向应力变化分析结果表明,从 2011 年数字化观测以来,三号地水位 M2 波潮汐因子、气压系数、孔隙度和渗透系数相对变化平稳。但 2011 年以来,垂直向应力变化在两次水位快速下降时段(2012 年 4 月和 2016 年 6 月至今),所反应的构造张应力现象比较明显,尤其在 2016 年 6 月出现的构造张应力现象,近期应力有恢复的迹象,需密切关注。

(4) 取土坑应力卸载模型分析,构造张应力现在比较明显。

通过现场对环境干扰情况调查、水温梯度分析、区域地层岩性及地下水运移、以及三号地水位含水层参数及垂直向应力变化等分析。三号地水位出现的快速下降及转折回升变化现象受周围潜水井的灌溉、抽水等地下水开采变化影响的可能性较小,虽然与历史中强震前很相似,可作为前兆异常,但信度一般。而 2016 年 12 月至今水位数据波动较大,主要由于气压扰动引起。

参考文献:

- [1] 丁风和,赵铁锁,尹占军,等. 大甸子井水位的气压系数及其震前异常[J]. 西北地震学报, 2007, 29(2): 174-176.
- [2] 丁风和,韩晓雷,哈媛媛,等. 承压井含水层孔隙度与固体骨架和水的体积压缩系数之间的关系[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2015, 40(7): 1248-1253.
- [3] 丁风和,戴勇,宋慧英,等. 大甸子井-含水层系统水文地质参数间的变化关系[J]. 地震地质, 2015, 37(4): 982-990.
- [4] 丁风和,哈媛媛,王勇,等. 基于数字化水位的张渤带地区构造应力场时序特征分析[J]. 地震, 2015, 35(2): 133-138.
- [5] 范雪芳,刘国俊,王霞,等. 山西运城东郭井水位异常变化成因研究[J]. 华南地震, 2016, 36(2): 60-69.
- [6] Bredehoeft J D. 1967. Response of well-aquifer systems to earth tides [J]. Journal of Geophysical Research, 72(12): 3075-3087.
- [7] 解晓静. 海南省井水位的数字化观测在地震前兆监测中的效能[J]. 华南地震, 2015, 35(2): 28-36.