

黄河三角洲生态区孔隙热储 地热开发对地面沉降的影响分析

胡彩萍¹, 张景燕², 郝梦圆¹, 胡艳珍³

(1.山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014; 2.东营市国土资源局河口分局, 山东 东营 257100; 3.东营市国土资源局东营分局, 山东 东营 257000)

摘要:黄河三角洲地区地热资源丰富, 热储类型以孔隙热储为主, 开采潜力巨大。同时黄河三角洲地区由于成岩差、土层新, 地热开发引发的地面沉降问题逐渐引起人们的重视。研究表明: 现状条件下, 黄河三角洲地区地面沉降以地层(土体)自然固结与地面建筑物载荷有关, 地热开发对地面沉降影响微小, 南部的广饶地区过量开采地下水是引起地面沉降的主要原因。

关键词: 地热开发; 地面沉降; 影响分析; 黄河三角洲

中图分类号: P642.26

文献标识码: B

引文格式: 胡彩萍, 张景燕, 郝梦圆, 等. 黄河三角洲生态区孔隙热储地热开发对地面沉降的影响分析[J]. 山东国土资源, 2017, 33(2): 39-42. HU Caiping, ZHANG Jingyan, HAO Mengyuan, etc. Impact Analysis of Geothermal Development on Land Subsidence in the Yellow River Delta[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(2): 39-42.

黄河三角洲地区地热资源丰富, 已广泛用于供暖、温泉洗浴、理疗、保温育苗、温室栽培等领域。2009年11月23日, 国务院正式批复《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》; 2011年1月4日, 国务院又批复了《山东半岛蓝色经济区发展规划》, 黄河三角洲的开发建设已列入国家战略。黄河三角洲地区地热资源丰富, 热储类型以孔隙热储为主, 开采潜力巨大。在大规模开发利用地热资源的同时还应该清醒地看到, 开采地热也会带来一些环境问题, 诸如地面沉降等, 应引起高度重视。

1 黄河三角洲地区地热地面沉降现状

据黄河三角洲地区东营市1985—2015年地面沉降监测数据^[1], 累计地面沉降量在247~397 mm, 形成2个沉降中心。以东营中心城区为沉降中心, 中心沉降速度达36.5 mm/a, 平均沉降速度22 mm/a, 外围沉降速度较小, 呈明显的漏斗状(图1)。黄河三角洲南部的广饶东部、大王镇一带, 地面沉降

量大于30 mm/a, 是区内地面沉降最严重的地区, 其他地区地面沉降量在1~20 mm/a之间。

2 黄河三角洲地面沉降原因分析

黄河三角洲地区为近代沉积, 成岩差、土层新, 地面沉降原因极为复杂, 可归结为自然和人为因素2种。自然因素包括构造、土体自然固结与软弱土层自然沉降, 人为因素包括建筑物负荷、开采地下水和油气等。

2.1 区域构造运动

黄河三角洲处于郯庐断裂、河北平原断裂和燕山渤海断裂带三者中间地带, 地质构造上为济阳拗陷的东营凹陷区, 受区域差异性构造运动影响, 近10 Ma以来, 沉积了数千米的新生代松散沉积地层, 地面一直处于缓慢下沉状态。根据华北平原天津地区的研究, 构造运动产生的沉降量很小, 每年约1.7 mm^[2], 在这里可忽略不计。

收稿日期: 2016-07-21; 修订日期: 2016-09-17; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 胡彩萍(1976—), 女, 山东莱西人, 高级工程师, 主要从事水工环地质工作; E-mail: caipinghu126@126.com

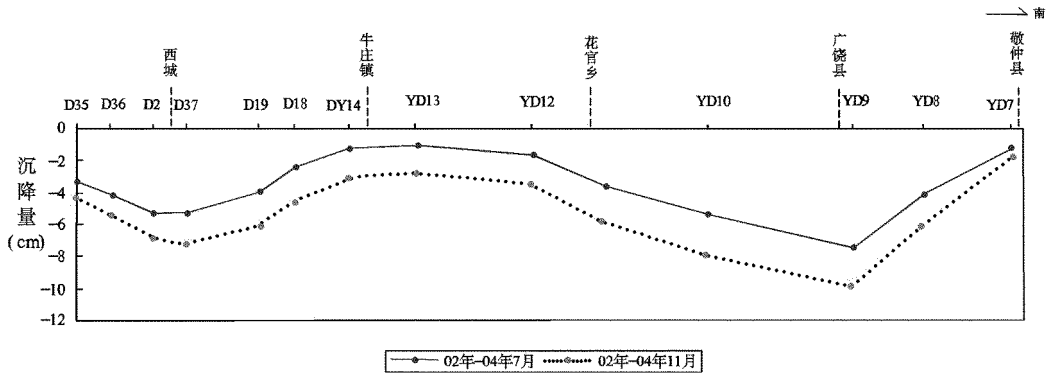


图 1 东营市南北向地面沉降发展过程图

2.2 地层(土体)自然固结

地层在漫长的地质时期经受各种构造运动及人为因素的综合作用,逐渐压密固结。地层在地质历史上所承受的最大垂直有效应力称为地层的前期固结压力,根据地层前期固结压力 P_c 与地层自重压力 P_o 的关系,可将地层分为欠固结、正常固结及超固结 3 种固结状态:欠固结地层 $P_c/P_o < 1$;正常固结地层 $P_c/P_o \approx 1$;超固结地层 $P_c/P_o > 1$ 。地层的固结状态不同,对地面沉降的影响不同。欠固结地层,在自重压力作用下,仍将排水固结,产生压密变形,这种地层即使不抽水,仍要引起一定量的地面沉降;正常固结地层,地层内应力处于平衡状态,不会产生地面沉降,但如果抽水引起水位下降,则破坏了地层内的应力平衡,地层内孔隙水压力降低,有效应力增加,将出现压缩变形,引起地面沉降;超固结地层是存在临界水位值的,抽水引起的水位下降值只要不超过临界水位值,就不会引起明显的地面沉降^[3-9]。研究区地处黄河三角洲冲积平原,根据土工试验资料分析,埋深 0~60 m 为新沉积地层,属欠固结;埋深 60~450 m 为第四纪更新统地层,属于正常固结;埋深 450~2 200 m 的明化镇组地层和馆陶组地层,均属于超固结地层。浅部埋深 0~60 m 为新沉积地层,沉积时间短,结构松散,固结程度差,并有淤泥软土层分布,在土层自重和上覆地层重力作用下产生固结,引起地面沉降。

2.3 地面建筑物载荷

受黄河三角洲尾间摆动影响,区内地层沉积时间短、成岩差、土层厚,并有大面积的巨厚高压缩性淤泥质土和软土的存在。黄河三角洲上的中心城市东营市,1983 年建市,到现在 30 多年,从最初的荒凉地带发展成为现代化的都市。随着经济的不断发

展,大规模城市群的建设,地面上建筑物与日俱增。据初步测算,东营城区建筑载荷为 800~1 000 万 t/km^2 ,其主要建筑材料钢筋、水泥、砂子、砖瓦均来自区外。大面积的建筑载荷堆载在 30 年的时间内形成,在巨大而持续的堆载荷重的作用下,欠固结土产生一维压缩固结变形,形成区域性的地面沉降。

2.4 地下流体抽取活动

黄河三角洲地区油气资源丰富,自 20 世纪 60 年代开采以来,持续高产,成为全国第二大油田,区内油气资源的开采历史较长,储油层的压力下降较大,从而导致了储油层本身的压缩及其上部粘性土层的下沉,产生了地面沉降。现阶段胜利油田的开采大多采用注水开采,油田的开采活动对油区地面沉降有一定影响。

黄河三角洲南部的广饶地区广泛开采地下水,在浅层、中深层—深层含水层产生了较大的地下水降落漏斗;这些降落漏斗诱发了区内地面沉降,广饶东部地面沉降区与地下水开采漏斗的形状基本一致,证明大量抽取地下水是该区产生地面沉降的主要影响因素。

3 地热开发对地面沉降影响分析

3.1 黄河三角洲地区地热资源概况

黄河三角洲是山东省地热资源最丰富的地区,适宜开采的经济型热储埋深在 2 000 m 以浅,热储类型分为层状孔隙—裂隙型和岩溶裂隙型。前者包括新近纪馆陶组、古近纪东营组与沙河街组,后者主要指寒武—奥陶系。

新近纪馆陶组热储分布于广饶县花官、王道、广饶县盐务局一线以北,面积约 5 600 km^2 ,陈家庄凸起中部盐窝镇一带小面积(约 55 km^2)缺失。热储

顶板埋深 600~1 250 m,厚度 200~650 m,砂层厚度一般为 80~240 m。热储层岩性为砾状砂岩、细砂岩、细砂岩与泥岩互层,底部为砾状砂岩、砂砾岩。砂砾石层成岩性差,疏松状,孔隙率 25%~35%,具有良好的储水空间。单井出水量 60~80 m³/h,井口水温 52~85℃。

古近纪东营组热储主要分布在东营凹陷与沾化凹陷范围内,面积约 3 495 km²。热储顶板埋深一般为 1 200~1 700 m,厚度一般为 200~500 m。东营组是砂岩与泥岩交互沉积,其中上部是以砂岩为主,中部为泥岩、细砾岩为主,下部为细砾岩、细砂岩及泥岩。砂砾岩较松散,孔隙率较大,平均 30%左右,具有良好的储水空间。单井出水量 60~80 m³/h,井口水温 60~90℃。

古近纪沙河街组由于富含油气资源,以往以油气层为勘查重点,对地热资源研究程度相对较低。主要分布在广饶东部、广利港口一带,初步估算面积约 845 km²。热储岩性为含砾中砂岩、砂泥质胶结砾岩、泥岩互层。主要富水层位为沙二段及沙三段,其中广饶县城附近主要热储层为沙三段,孔隙率 28%左右,井深一般在 1 200 m 左右,单井出水量 30 m³/h,井口水温 48℃。广利港口附近,主要热储为沙二段,孔隙率在 30%左右,井深一般在 1 800~2 000 m,单井出水量 90 m³/h,井口水温 66℃。

寒武-奥陶纪热储零星分布在太平乡西部、孤岛镇、埕子口、盐窝、西宋、黄河口、大码头等地质构造凸起部位,面积约 460 km²。热储岩性以纯灰岩为主,其次为鲕状灰岩、豹皮灰岩及白云质灰岩。孤岛镇奥陶纪灰岩热储地热井,井口水温 70~90℃,单井涌水量较小,一般 16~20 m³/h。

地热资源具有分布范围广,储量大,埋藏浅,易开采等特点,是继油气资源的第二大能源矿产。近几年来,相继发现并圈定地热田 9 个,初步估算可利用地热资源量为 82.52×10¹⁸ J,折合标准煤 28.09 亿 t,地下热水可采资源量 6.1 亿 m³/a。地热资源开发始于 20 世纪 80 年代,21 世纪初进入快速开发阶段。现有地热开采井 55 口,开采量 660 万 m³/a,占可采量的 1.1%,开采潜力巨大。主要用于供暖、洗浴,少数用于理疗、高效农业种植与海参、黄河口大闸蟹育苗等,展现出广阔的开发前景^[10-12]。

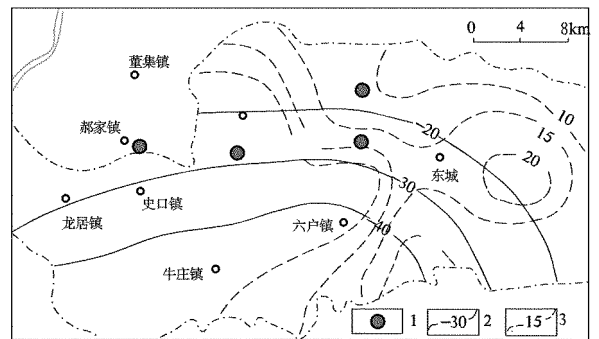
3.2 地热开发对地面沉降影响

黄河三角洲地区地面沉降以地层(土体)自然

固结与地面建筑物载荷有关;南部的广饶地区过量开采地下水是引起地面沉降的主要原因。地热开发对地面沉降影响微小。主要理由如下:

(1) 地热水开采量较小,热水水头埋深浅,不具备发生地面沉降的地质条件。黄河三角洲地区中心区域的东营中心城区 723 km² 范围内,分布有地热井 15 口,主要开采层位为馆陶组和东营组热储,地热井取水段一般在 1 300 m 以下,地热水开采量不足 200 万 m³/a,开采总量较小。根据近年的动态监测表明,地下水热水水头埋深在 30~35 m,水位动态较为稳定。东营中心城区地质条件与天津地区相类似,根据天津地区深层地下水水位与地面沉降关系研究,天津地区第Ⅲ含水层(埋深 180~300 m)的地面沉降临界水位为 60 m^[3],第Ⅳ含水层(底板埋深 370~430 m)的地面沉降临界水位为 72.68 m^[4]。也就是说,在地热水开采过程中,当水位下降未超过地层的临界水位值时不会产生地面沉降,且黄河三角洲地热埋藏在 1 300 m 以下,地层属超固结状态。因此,区内热储层压力较大,固体颗粒介质间隙未被压密,不具备发生地面沉降的地质条件。当地热大规模开发利用,地热水水头降至埋深 70 m 以下时,可启动地热回灌,调控地热水头,减少对地面沉降的影响。

(2) 地热开采与沉降中心分布不一致。东营中心城区地面沉降量大小呈面状、条带状分布特征,沉降中心集中在西城与东城中心城区,与城市建设布局分布相一致,而与地热生产井分布无相关关系(图 2)。位于黄河口地区的孤岛镇,集中分布 7 口地热井,也未见明显地面沉降。



1—地热井;2—地下水位标高等高线(m);3—沉降量等值线(m)

图 2 东营市地面沉降与地热井分布图

(3) 黄河三角洲南部的广饶地区地热资源不丰富。区内城市供水水源以地下水为主,形成以广饶

城区、大王镇为中心的地下水超采漏斗,并以 2~3 m/a 的降速持续下降,2012 年漏斗中心水位埋深达 90 m。位于漏斗中心的广饶气象站 2009—2012 年地面沉降监测资料,年沉降量 73.1 mm/a,地面沉降范围与地下水开采漏斗分布基本一致,说明地面沉降与地下水开采有关。地面沉降伴随地下水开采而发生,随地下水开采量的增加而发展扩大。

4 结论

(1)黄河三角洲地面沉降原因极为复杂,可归结为自然和人为因素 2 种。地面沉降以地层(土体)自然固结与地面建筑物载荷是主要因素。现状条件下,地热水位埋藏浅,且开采量较小,热储层压力较大,地热水头下降未超过地层的临界水位值,地热开发对地面沉降影响微小。

(2)黄河三角洲南部的广饶地区地下水开采与地面沉降之间存在因果关系,过量开采地下水是引起地面沉降的主要原因。

参考文献:

- [1] 王小刚.东营市城区地面沉降影响因素[J].山东国土资源,2006,22(5):50-53.
- [2] 刘桂仪,王峰.黄河三角洲地区地热资源与规划研究[A]//地热的战略开发-2009 年国际地热协会西太平洋分会地热研

- 讨会论文集[C].北京:地质出版社,2009:55-60.
- [3] 李莲花,张建斌.地热水资源开发引起的环境问题分析[J].地下水,2004,(3):194-195.
- [4] 赵慧,冉兴龙,李渊.根据地面沉降与地下水头的关系求地面沉降临界水位[J].勘查科学技术,2005,(2):19-23.
- [5] 谭晋钰,黄海军,刘艳霞.黄河三角洲沉积物压实固结及其地面沉降贡献估算[J].海洋地质与第四纪地质,2014,34(5):33-38.
- [6] 别君,黄海军,樊辉,等.现代黄河三角洲地面沉降及其原因分析[J].海洋地质与第四纪地质,2006,26(4):33-39.
- [7] 宋波,王德生,王锦丽.东营地面沉降监测[J].地矿测绘,2004,20(1):34-36.
- [8] 师长兴,龙联元,李炳元,等.黄河三角洲沉积物的自然固结压实过程及其影响[J].地理科学,2003,23(2):175-181.
- [9] 李莲花,张建斌.地热水资源开发引起的环境问题分析[J].地下水,2004,26(1):194-195.
- [10] 李晓华,马驰.地热水资源开发引起的环境问题分析[J].安徽农业科学,2009,37(18):8675-8677.
- [11] 徐丽雯,黄海军,刘艳霞,等.黄河三角洲地区人工建筑对地面沉降的影响研究[J].海岸工程,2015,34(3):33-42.
- [12] 张金芝,黄海军,刘艳霞,等.基于 PSInSAR 技术的现代黄河三角洲地面沉降监测与分析[J].地理科学,2013,33(7):831-836.
- [13] 刘桂卫,黄海军,杜廷芹,等.黄河三角洲地面沉降驱动因素研究[J].海洋科学,2011,35(8):43-50.
- [14] 颜景生.山东省地面沉降防治研究工作进展及典型区地面沉降规律分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(11):194-198.

Impact Analysis of Geothermal Development on Land Subsidence in the Yellow River Delta

HU Caiping¹, ZHANG Jingyan², HAO Mengyuan¹, HU Yanzhen³

(1. No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China, 2. Hekou Branch Bureau of Dongying Bureau of Land and Resources, Shandong Dongying 257100, China; 3. Dongying Branch Bureau of Dongying Bureau of Land Resources Bureau, Shandong Dongying 257000, China)

Abstract: Rich geothermal resources are hosted in the Yellow River Delta. The main type of thermal reservoir is pore heat storage. It has great potential for exploitation. At the same time, due to the poor formation and new soil layer in the Yellow River Delta, the problem of land subsidence caused by geothermal development has been paid more and more attention. The researches suggest that: The land subsidence in the Yellow River delta is related to the consolidation of the ground (soil) and the load of the building on the ground. And the development of geothermal resources has little effect on land subsidence. While the main cause of land subsidence is excessive exploitation of groundwater in the south of Guangrao.

Key words: Geothermal development; land subsidence; impact analysis; Yellow River Delta