

## 山东省地面沉降监测与防治工作进展

张永伟<sup>1,2</sup>, 邵明<sup>1</sup>, 肖敏<sup>1</sup>

(1.山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 2.山东大学, 山东 济南 250061)

**摘要:**近年来,山东省地面沉降监测与防治工作取得了重要进展,初步建立了以二等水准路线、全球定位系统(GPS)、基岩标分层标和地下水监测为基础的“四网合一”地面沉降监测体系,INSAR监测实现了山东全省覆盖。监测成果显示,山东省地面沉降主要位于东营市广饶县、滨州市博兴县、聊城市茌平县,沉降速率呈加快趋势,造成建筑物地基下沉、房屋开裂、地下管道破损等一系列地质环境问题。

**关键词:**地面沉降;监测与防治;地质环境;山东省

**中图分类号:**P596

**文献标识码:**B

**引文格式:**张永伟,邵明,肖敏.山东省地面沉降监测与防治工作进展[J].山东国土资源,2018,34(8):62-66.

ZHANG Yongwei, SHAO Ming, XIAO Min. Progress in Monitoring and Prevention of Land Subsidence in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources, 2018, 34(8): 62-66.

## 0 引言

地面沉降是一种致使地面高程降低的缓变性地质灾害<sup>[1-3]</sup>。山东省地面沉降区域位于华北平原的最南缘,近年来已成为山东省较为突出和重点防治的地质灾害类型之一。山东省地面沉降主要分布在鲁北和鲁西平原的德州、滨州、东营、聊城、济宁、菏泽等地区。鲁北平原在德州市德城区,东营市东营区、广饶县城,滨州市滨城区、博兴县城一带已形成地面沉降漏斗区。鲁西平原区地层结构松散,固结程度低,地下水超采现象在区内普遍存在。地下水超采形成区域性的地下水降落漏斗,地面沉降较为突出,目前已产生一定危害。地面沉降的发生过程一般是不可逆的,一旦形成便难以恢复。地面沉降使地面高程降低,造成城市防汛设施的防御能力降低,沿海城市风暴潮加剧;造成江河桥梁净空减少,内河航运受阻,码头受淹;导致深水井井管抬升、倾斜、甚至脱裂报废。地面不均匀沉降造成建筑物地基下沉,基础和墙体开裂,房屋等建筑物损坏;引发铁路路基、桥梁基础工程不均匀下沉,威胁高铁列车

行驶安全。地面沉降对现有的基础设施,如输排水管道、高架道路、燃气管网、通讯线路等也会造成严重的安全隐患,增大维护成本。地面沉降监测是一项需要长期坚持的公益性地质工作,是城市、水利工程、交通发展建设规划、社会主义新农村建设和地下水开发利用必须考虑的重要因素。

## 1 山东省地面沉降监测防治情况

## 1.1 地面沉降监测调查工作进展

## 1.1.1 地面沉降监测项目实施情况

2013—2017年,山东省累计投入资金10 610.3万元,安排实施了14个地面沉降防治项目,开展1:5万比例尺地面沉降调查8 407 km<sup>2</sup>,地下水开采量调查3 000 km<sup>2</sup>,地下水位动态监测16 065点次,建设基岩标5座(济宁2座、东营2座、德州1座),分层标5组(德州1组、济宁2组、东营1组、滨州1组),增建二等水准路线2 092 km<sup>2</sup>;开展二等水准测量8 928.18 km<sup>2</sup>,B级GPS测量375点次、收集CORS站点数据超过50点次,基本完成了近期地面沉降调查、监测任务,为构建统一、全面的地面沉降监测网

收稿日期:2018-02-12;修订日期:2018-04-18;编辑:曹丽丽

基金项目:山东省地面沉降监测与防治研究(工作项目编号:1212011220182)、华北平原德州地面沉降监测预警系统建设(鲁国土资发[2012]112号)

作者简介:张永伟(1972—),男,山东泗水人,研究员,主要从事水工环地质灾害防治等方面工作;E-mail:zyw526@126.com

络打下了坚实基础(表1)。

表1 山东省地面沉降主要监测设施情况

| 监测设施     | 单位     | 数量      | 备注            |
|----------|--------|---------|---------------|
| 基岩标      | 座      | 5       | 总进尺 3156.224m |
| 分层标      | 组<br>个 | 5<br>20 | 总进尺 3003.225m |
| 水准点      | 个      | 472     |               |
| GPS 监测点  | 个      | 100     |               |
| GPS 固定点  | 个      | 100     |               |
| 沉降区水位监测井 | 眼      | 57      |               |

对全省地面沉降监测设施逐点进行登记、造册,加大保护力度,委托当地政府、社会团体、企事业单位或个人对地面沉降监测设施进行维护,签订保管协议,确保监测设施正常使用。截至目前,山东省全面建立了“四网合一”(水准监测网、GNSS 监测网、分层标和基岩标监测、地下水监测)的地面沉降监测体系,INSAR 监测实现了山东全省覆盖。

#### 1.1.2 山东省地面沉降监测调查成果

根据国土资源部办公厅、水利部办公厅印发的地面沉降区和海水入侵区地下水压采方案编制技术要求,结合山东省地面沉降监测实际情况,将年沉降速率作为地面沉降发育程度的主要划分指标,近五年平均沉降速率大于等于 50 mm/a 为地面沉降强发育区;近五年平均沉降速率在 30~50 mm/a 之间为地面沉降中等发育区;近五年平均沉降速率在 10~30 mm/a 之间为地面沉降弱发育区。据统计,山东省发生地面沉降面积约 20 239 km<sup>2</sup>,其中:地面沉降强发育区 6 个,主要分布在德州、聊城、滨州、东营、潍坊等 5 个市,面积约 1 216 m<sup>2</sup>,占比 6%;地面沉降中等发育区 8 个,主要分布在德州、聊城、滨州、东营、淄博、济宁、菏泽等 7 个市,面积约 1 698 km<sup>2</sup>,占比 8%;地面沉降弱发育区面积约 17 325 km<sup>2</sup>,占比 86%(图 1)。经初步估算,全省地面沉降下降总体量已达 2.97 亿 m<sup>3</sup>。

#### 1.1.3 山东省地面沉降成因初步分析

(1)粘性土厚度对地面沉降的影响。地面沉降的产生是隔水层的压缩量和含水层的压缩量之和,研究表明含水砂层的压缩量很小,且压缩变形具有弹性变形的特点,是可以恢复的,在水位回升之后,砂层会回弹;粘性土隔水层的压缩量较大,且压缩变形具有塑性变形的特点,在水位回升之后,粘性土层的压缩量无法恢复,地面沉降主要由粘性土隔水层的压缩引起。因此,粘性土的存在是地面沉降产生

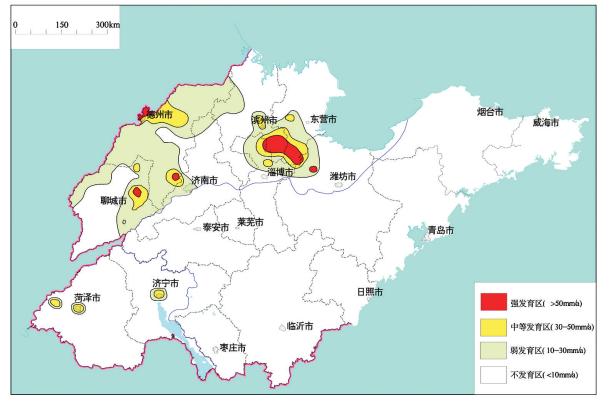


图1 山东省地面沉降发育现状图

发展的必要条件之一,粘性土厚度的大小,在一定程度上决定了地层的最大压缩量。在山东平原区,第四系地层的粘土层,主要开采层位的粘性土层压缩推动了地面沉降的发生、发展,加剧深层地下水长期过量开采,水位下降,粘性土层释水压缩,从而导致许多地面沉降中心与区域主要开采层位的粘性土厚度中心基本一致。

(2)粘性土的物理力学性质对地面沉降的影响。土体的压缩主要发生在塑性变形阶段,即有效应力克服了结构屈服力,使得土体结构力产生损伤之后一段时期内,该时期单位有效应力增加产生的压缩量较大。若有效应力不能克服土体结构屈服力,土体基本为弹性变形,压缩量相对较小,回弹量也相对较大。水位的变化反映了土体所受有效应力的变化,当水位下降到一定程度,有效应力克服了土体结构屈服力后,随着水位下降,土体的塑性变形量迅速增大,地面沉降进入快速发展期。从土体压缩性与地面沉降的关系看,土体越容易压缩,单位水位下降引起的地面沉降越严重,土体可压缩性的差异导致各地区水位下降引起的地面沉降也不同。

(3)地下水对地面沉降的影响。地下水开采引起地下水水位下降,孔隙水压力降低,地层所受有效垂直应力增大,地层压缩。在地下水水位下降过程中,由于粘性土的透水性差,粘性土内部会出现超孔隙水压力,超孔隙水压力的消散是时间和空间的函数,靠近抽水含水层的粘性土底部首先压缩,并滞后的向粘性土顶部发展,当地下水水位下降到一定水位并保持稳定后,粘性土的压缩时间与超孔隙水压力的消散一致,超孔隙水压力消散完毕,地下水水位下降引起的粘性土的压缩完成。由于超孔隙水压力

消散的滞后性,使得地面沉降也表现出滞后特点。原状粘性土具有一定的结构屈服力,对应的地下水水位也具有临界水位,当地下水水位超过临界水位时,有效垂直应力大于土体的结构屈服力,土体才开始产生较大变形,沉降速度加快。此外,水位降幅越大,土体所受到的有效应力就会越大,因此,水位降幅与地面沉降速率基本呈正相关关系。

(4)工程因素对地面沉降的影响。主要指由上部高层建筑附加荷载作用引发的地面沉降。该类沉降主要发生在建筑物持力层和下卧层。工作区内一般工程建筑持力层与下卧层为 1.5 m 以下的地层,高层建筑持力层与下卧层为 30 m 以下的地层。

## 1.2 重点地区地面沉降研究工作

德州地区建立了三维流固耦合数值模型,对地面沉降的发展趋势进行了科学预测,对地面沉降的可控性研究进行了深入分析。

### 1.2.1 德城区地面沉降发展过程

模型对德城区地面沉降发展状况进行模拟和预测,并在此基础上进行地面沉降防控措施的研究。根据图 2 实验结果可知,德城区的地面沉降面积不断扩大,而且沉降中心区沉降量持续加大,沉降中心也有所偏移。从地面沉降扩展的主要方向可以看出,德城区地面沉降向北部发展的速率要大于其他方向。从 2008 年开始,德城区的地面沉降速率开始降低,可见德城地区采取的控制开采量和改变开采层位的方法对地面沉降的控制起到了一定的作用。

### 1.2.2 德城区地面沉降可控性研究

根据南水北调配套工程进度确定地下水压采工作布局,实现长江水、黄河水等外调水逐步替代本地地下水。划定地下水禁采区和限采区,先期压缩城市规划区地下水开采规模,优先实行深层承压水禁采和限采。利用研究建立的地面沉降流固耦合三维模型,从 2015 年起减少德城区地下水开采量,预测未来 20 年地面沉降的变化情况。制定了 5 种方案,分别为在现状开采量下减少 10%,20%,30%,40%,50%,模型和边界条件不变,预测出未来 20 年累计地面沉降等值线(图 2)。

由于地下水开采量的减小,20 年后,原有的地下水降落漏斗已经基本消失,但在德城区与河北省的交界处仍有漏斗形态显示。随着开采量的减少,地面沉降速率明显降低,当开采量减少 30%~50%时,部分沉降监测点在最初几年出现了地面沉降趋

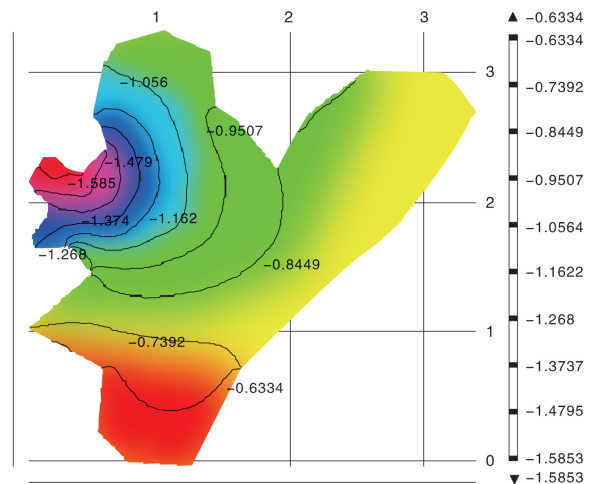


图 2 减少开采量方案下 2035 年德城区地面沉降等值线图

于停止或少量回弹的现象,但是随着时间推移,回弹量减少,地面沉降继续发展,沉降速率较未减少开采量前明显降低。当地下水开采量减少 50%时,接近地面沉降中心处的沉降监测点沉降速率减少量大于 50%。因此,减少地下水开采量对控制地面沉降作用明显。方案 3 到方案 5 实施 1~2 年后,沉降中心附近的累计地面沉降量不再增加或者增加量非常小,地面沉降基本得到控制,在 3~5 年后会继续以较低的沉降速率沉降。综合以上分析,考虑方案的可行性及其作用效果,认为将地下水开采量在现状开采量的基础上减少 30%是比较经济合理的选择。

### 1.2.3 德城区地面沉降防治推荐方案

为控制德城区地面沉降速率,针对德城区地面沉降实际状况,建议采用以下措施进行治理<sup>[4-12]</sup>:

(1)减小开采量。根据德城区的沉降现状,若只通过减少开采量来控制沉降,需减少现状开采量的 20%以上才会达到需要的控制效果。

(2)在沉降中心处定期回灌地下水。地下水的年回灌量需根据当地的地表水富余量来确定,回灌的地下水需回灌到承压层,才会对地面沉降的防控起到作用。

(3)调整开采层位。在资源条件允许的情况下,尽量开采浅层的地下水。根据德城区的地下水存储状况,可以将浅层的地下水每年开采 300~400 万 m<sup>3</sup> 用于对水质要求不高的绿化、消防和工业用水等,然后尽量减少深层地下水的开采。

(4)调整开采井和开采量的平面布局。为使开

采井和开采量的调整更具有经济性和可行性,可以在德城区范围内重点控制沉降中心处的开采井井间间距,封停部分开采井,使沉降中心处的开采井不要过于密集。同时,尽量对开采量进行调控,使开采量平均分布,减少沉降梯度。

(5)保持沉降中心至2020年年均沉降量不大于30 mm,20 mm,15 mm,10 mm,5 mm,则在现状开采井分布条件下,德城区地下水年总开采量不能大于2 900.7万 $m^3$ ,2 270.8万 $m^3$ ,2 005.6万 $m^3$ ,1 761.9万 $m^3$ 和1 535.4万 $m^3$ 。

### 1.3 地面沉降防治工作进展

按照《全国地面沉降防治规划(2011—2020年)》提出的“建立政府主导、部门协同、区域联动、分级负责、齐抓共管的地面沉降防治工作管理体系”工作原则,山东省积极开展地面沉降防治管理体系建设工作。

(1)建立政府主导、分级负责的地面沉降防治责任制度。2014年3月,《山东省人民政府关于组织实施山东省地面沉降防治规划(2012—2020年)的通知》,为各级各部门协同合作、科学部署地面沉降防治工作提供了政策支持和实施依据。近几年山东省人民政府下发的年度《山东省地质灾害防治方案》均对地面沉降、地裂缝等缓变性地质灾害防治工作进行了重点部署,明确了地方人民政府的地面沉降防治主体责任。

(2)形成部门协同,齐抓共管的地面沉降防治合作机制。省发改委、省财政厅、省国土资源厅、省水利厅、省政府法制办、济南铁路局等多部门会商研讨地面沉降防治工作。

(3)健全区域联动、联防联控的地面沉降防治联动机制。山东与北京、天津、河北、河南签署了《华北平原地面沉降联防联控工作补充协议》,华北三省两市通过开展标准统一、空间衔接、进度协调的地面沉降调查、监测和地下水压采回灌等工作,同步联手推进地面沉降防治工作。

### 1.4 地面沉降控制区划定工作进展

根据《山东省人民政府关于印发山东省落实〈水污染防治行动计划〉实施方案的通知》(鲁政字[2015]31号),山东省国土资源厅安排山东省地质环境监测总站开展了地面沉降控制区划定工作。根据地面沉降发育程度、危害程度,将地面沉降发育程

度分区和危害程度分区叠加,结合地面沉降控沉目标、行政管理和决策需求,考虑人口密度、社会发展状况及灾害防御能力,按照突出重点,全面治理的原则,将全省地面沉降划分为一级控制区、二级控制区和三级控制区,总面积约68 169.6 $km^2$ ,其中一级控制区面积约2 709.8 $km^2$ ,二级控制区面积约3 313.6 $km^2$ ,三级控制区面积约62 146.2 $km^2$ 。

## 2 存在的问题

### 2.1 地面沉降监测工作相对薄弱

前期的地面沉降调查、监测网覆盖区域小,无法实现对全省地面沉降区的全面有效监控。尚未建成深层基岩标和自动化分层标监测体系,影响地面沉降重点区的微细观研究。区域深层地下水监测站网密度不足,难以准确掌握地面沉降区的地下水动态变化。

### 2.2 地面沉降监测设施闲置

根据调查,山东省东营、滨州、德州、济宁已建设基岩标5座,分层标5组20个,除济宁、东营配备了自动化监测设备外,其他市受限于资金制约基岩标分层标均处于闲置状态,造成了极大浪费。

### 2.3 地面沉降危害性认识不到位

地面沉降、地裂缝等缓变性地质灾害具有生成缓慢、持续时间长、影响范围广、现象不明显等特点,因其造成的经济损失不明显,地面沉降地区的政府和百姓对其危害性认识不足,防控的责任心、重要性、紧迫性的认识还有待提高<sup>[13-19]</sup>。

## 3 下一步工作计划

### 3.1 全面实施控制区划定方案

控制区划定方案已由省政府批复并发布实施,部分地市编制了本级地面沉降控制区划定方案,并由市政府批复实施。各级政府落实地质灾害防治的主体责任,各级国土资源部门切实落实地质灾害防治的部门职责,组织、协调、指导和监督地面沉降监测防治工作。依据控制区范围划定成果,水利部门编制了地面沉降区地下水压采方案,制定地面沉降沉降区内地下水的压采目标和压采任务。

### 3.2 加快地面沉降监测体系建设

山东省将继续认真落实《全国地面沉降防治规

划(2011—2020年)》,积极争取资金支持,完善地面沉降监测网络,加快基岩标、分层标监测体系建设,建立山东省全方位、全天候、多维度和多网合一(双全两多)的地面沉降监测体系,以满足地面沉降微观机理研究和控沉工作需求;加强地面沉降成生机理、监测预警、风险管理和防控体系建设。做好地面沉降监测成果的分析研究和推广应用工作。

### 3.3 制定山东省地面沉降监测标准体系

目前,山东省地面沉降监测标准体系建设滞后,影响了山东省地面沉降监测工作的标准化、规范化,今后应当加强山东省地面沉降监测标准体系建设。

### 参考文献:

[1] G.Modoni,G.Darini,R.L.Spacagna.Spatial analysis of land subsidence induced by groundwater withdrawal[J].Engineering Geology, 2013,10(14):1-39.

[2] Hung,W.C.,Hwang,C.,Liou,J.C.,et al.Modeling aquifer-system compaction and predicting land subsidence in central Taiwan[J]. Engineering Geology,2012(147-148):78-90.

[3] Amous MO,Abouela HA,Green DR.Geo-environmental hazard assessment of the north western Gulf of Suez[J].Egypt.J Cosat Conserv,2011,15(1):37-50.

[4] Chao Jia,Yongwei Zhang,Jingmin Han.Susceptibility area regionalization of land subsidence based on extenics theory[J].Cluster Computing,2017,20(1):53-66.

[5] 张进才,褚立峰,肖震,等.河北平原地面沉降调查与监测主要进展[J].中国地质调查,2014,1(2):45-50.

[6] 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·资源环境,2014,24(11):194-198.

[7] 张永伟,李红霞,商婷婷,等.基于层次分析法的德州地面沉降易发区的可拓学划分应用[J].山东国土资源,2016,32(7):59-65.

[8] 林良俊,孙晓明,柳富田.新时期沿海地区国土开发面临的形势和主要环境地质问题及对策研究[J].水文地质工程地质,2010,37(3):1-3.

[9] 孟庆峰,戴鲁旗.德州市地面沉降现状及防治对策[J].山东国土资源,2008,24(11):8-9.

[10] 张永伟.华北平原德州地面沉降成生机理、监测预警与可控性研究[D].济南:山东大学,2014:1-10.

[11] 贾庆旺,岳跃华,叶进霞,等.济宁城区地面沉降演变规律及经济损失估算方法[J].山东国土资源,2006,22(11):38-41.

[12] 李斌,刘峰.遗传神经网络在地面沉降趋势预测中的应用[J].山东国土资源,2013,29(8):47-49.

[13] 杨玉堂,刘清德.聊城市主要地质灾害现状及防治工作进展[J].山东国土资源,2008,24(1-2):20-21.

[14] 王小刚,邹祖光,王秀芹,等.东营市城区地面沉降影响因素[J].山东国土资源,2006(5):50-53.

[15] 商广宇,黄学军.浅议山东省地下水合理开发利用与保护[J].山东国土资源,2010,26(3):1-4.

[16] 张玲.全国地面沉降 InSAR 调查与监测工程进展介绍[J].国土资源遥感,2017(1):91-91.

[17] 周丙锋,李小娟,李燕萍,等.北京平原地区地面沉降特征和研究途径的进展与思考[J].中国矿业,2014(12):51-56.

[18] 秦伟颖,庄新国,黄海军.现代黄河三角洲地区地面沉降的机理分析[J].海洋科学,2008,32(8):38-43.

[19] 张阿根,杨天亮.国际地面沉降研究最新进展综述[J].上海国土资源,2010,31(4):57-63.

## Progress in Monitoring and Prevention of Land Subsidence in Shandong Province

ZHANG Yongwei<sup>1,2</sup>, SHAO Ming<sup>1</sup>, XIAO Min<sup>1</sup>

(1. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong University, Shandong Jinan 250061, China)

**Abstract:** In recent years, significant progress has been made in monitoring and control of land subsidence in Shandong province. A four-grid land subsidence monitoring system has been primarily established based on the second-class alignment, Global Positioning System (GPS), bedrock stratification and groundwater monitoring. It is showed that land subsidence in Shandong province is mainly located in Guangrao county of Dongying city, Boxing county of Binzhou city and Chiping county of Liaocheng city. The sedimentation rate shows an accelerated trend. A series of geological environmental problems, such as subsidence of buildings, cracking of houses, and damage to underground pipelines have been caused.

**Key words:** Land subsidence; monitoring and prevention; geological environment; Shandong province