

引用格式: 周丹,邢雪,王宏沛.江苏省徐州市睢宁县城地面沉降稳定性分析与评价[J].中国地质调查,2016,3(1):58-64.

# 江苏省徐州市睢宁县城地面沉降 稳定性分析与评价

周丹,邢雪,王宏沛

(江苏省地质矿产局第五地质大队,徐州 221116)

**摘要:** 根据江苏省徐州市睢宁县城区内可压缩土层的类型、空间分布特点及压缩变形等特征,建立了本区地面沉降计算地质模型。利用该模型计算出城区2013年累计地面沉降量3.08~380.60 mm,平均为162.41 mm,最大沉降量发生在城区西北部,该区域可压缩土层、黏性土的累计厚度大,地下水水位下降幅度较大。根据预测2030年地下水埋深条件,采用地面沉降地质模型计算得出城区累计地面沉降量,在此基础上对区内地面沉降危险性进行分区,从而为地下水开采总量的控制及地面沉降监测控制提供相关建议措施,以避免城区2030年后地面沉降地质灾害逐步发展为特大型地质灾害。

**关键词:** 地面沉降; 计算地质模型; 危险性分区; 灾害防治

**中图分类号:** P642.26

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2016)01-0058-07

## 0 引言

地下水开采不合理会造成地下水水位下降,从而导致地表松散未固结土体压缩,引起地面沉降,这是我国大多数地区面临的地质环境、地质灾害问题。陈崇希<sup>[1]</sup>提出“多开采,少沉降”的目标,将地下水开采层位上移至浅层,并利用“子母井”在保证进水能力的前提下控制地面沉降;王伟峰<sup>[2]</sup>结合 Leake 提出的“夹层”理论,建立了由三维地下水流模型和垂向土体变形模型耦合得到的地面沉降模型;董国凤<sup>[3]</sup>基于 BP 神经网络,利用地下水开采量及水位数据实现了监测点年沉降量的优化输出,并能够准确反映地面沉降的空间分布模型;何庆成<sup>[4]</sup>、杨勇<sup>[5]</sup>根据我国地面沉降现状提出了防治战略设想;殷跃平<sup>[6]</sup>、何庆成<sup>[7]</sup>进一步总结了禁采或限采地下水、优化地下水开采层位、地下水人工回灌等地面沉降防治措施。

江苏省睢宁县规划中心城区及邻近地段属睢宁县地面沉降、特殊类岩土(砂土)灾害重点防治区,防治区面积176.41 km<sup>2</sup>。区内地下水开采历史

较久,开采强度较高,开采总量较大,局部地段开采量大于补给量,导致地下水水位明显下降,形成地下水降落漏斗。地下水降落漏斗区土层因水头下降,孔隙水压力减小,有效应力增加,土体产生压缩变形,形成地面沉降。

本文在收集、整理、研究前人资料的基础上,结合少量的钻探取样、室内试验、地面沉降灾害调查工作,对睢宁县城地面沉降灾害的现状、危害程度及发展趋势进行分析研究,初步建立了地面沉降分析及监测网络布置所需的地质模型,并对地面沉降监测网络的建设提出初步意见和建议。

## 1 区域地质概况

睢宁县地处江苏省徐州市东南部,徐连经济带的中心区域,地理坐标为 E117°31'~118°10', N33°40'~34°10'。调查区地貌类型全部为黄泛冲积平原地貌,自然地面高程21.60~23.20 m,平均约22 m,地形平坦,地势西北高、东南低,自然坡降约1/10 000。区域地层发育不全,以新元古界震旦系为最老地层,缺失古生界和中生界,仅发育有侏罗系上统和白垩系,新生界发育较全。

收稿日期: 2015-11-02; 修订日期: 2015-12-09。

基金项目: 徐州市睢宁县城地面沉降专项调查(编号:[睢][SCZ(2013)011])项目资助。

第一作者简介: 周丹(1985—),男,工程师,主要从事地质灾害调查评估、地质环境治理勘察设计等工作。Email: 342393130@qq.com。

### 1.1 地质构造格局

城区区域构造形迹主要为 NE 向和 NW 向(图 1)。NE 向构造主要为王集隆起、桃园断陷槽地、睢宁隆起、凌城断陷槽地; NW 向构造以废黄河断裂规模最大,延伸最长。

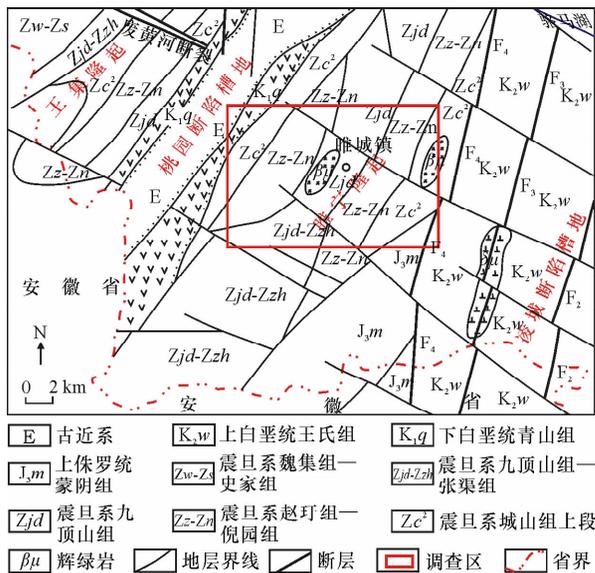


图 1 城区基岩地质图

Fig. 1 Geological map of base rock in urban

### 1.2 工程地质条件

结合本次调查工作所施工的 3 个钻孔及相关试验、测试及区外邻近地段地质剖面资料,根据岩土体成因类型、形成时代、物质成分、结构构造特征及物理力学性质的差异,将城区岩土体划分为 18 个工程地质层组,并计算出各岩土层埋深及厚度(图 2)。

层 1 粉土—层 2 黏土为第四系全新统冲积相松散沉积物。层 1 粉土呈棕灰色、棕黄色, 摇振反应迅速,干强度高,中压缩性;层 2 黏土为灰—深灰色,可塑—软塑,无摇振反应,干强度中等,高压缩性。

层 3 粉质黏土—层 9 黏土为第四系上更新统一中新统冲洪积相松散沉积物。层 3 粉质黏土呈青灰色、棕黄色,可塑—硬塑,无摇振反应,干强度高,压缩性中等;层 4 为棕灰色、棕黄色粉土—粉砂,粉土潮湿密实,摇振反应迅速,干强度低,中压缩性,粉砂饱水密实,颗粒级配差,层理不明显,层 5、7、9 黏土呈棕黄色,硬塑—坚硬,无摇振反应,干强度高,中压缩性;层 6、8 为灰白色、棕黄色中砂,中砂结构,饱水密实,颗粒级配差,层理特征不明显。

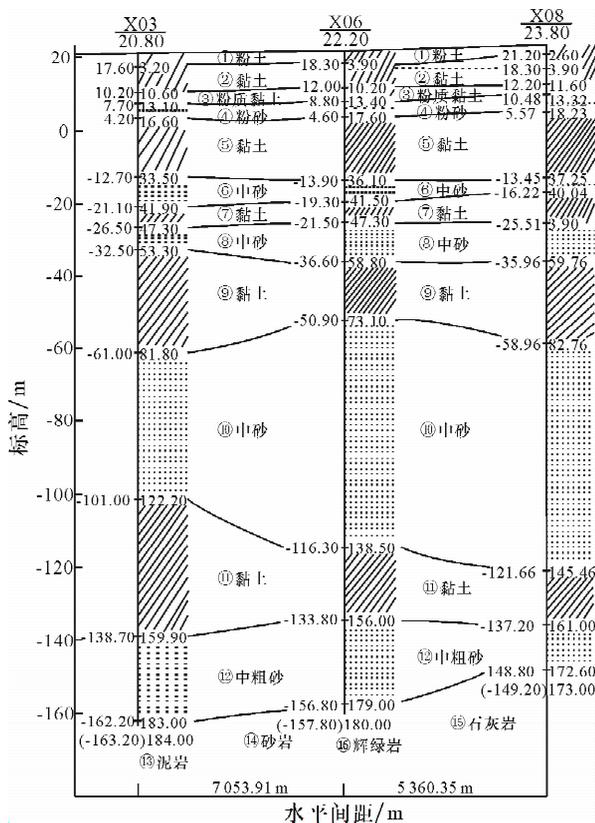


图 2 城区岩土体划分示意图

Fig. 2 Schematic diagram of rock and soil division

层 10 中砂—层 12 中粗砂为第四系下更新统一新近系冲积相—湖积相松散沉积物。层 10 灰色、棕黄色中砂,饱水密实,颗粒级配差,层理不明显;层 11 为黏土,灰白色—黄褐色,硬塑—坚硬,无摇振反应,干强度高,韧性高,中—低压缩性;层 12 为灰白色中粗砂,块状构造,呈固结—半固结状态,层理不明显,锤击易碎。

层 13 泥岩—层 18 辉绿岩为下伏基岩。层 13 为棕红色—暗紫色泥岩,易风化,遇水软化、崩解,工程性质差;层 14 为浅灰—灰绿色细砂岩,钙质砂岩、泥岩,近基岩面处岩石风化程度较高,工程性质较差;层 15—17 为海相碳酸盐岩坚硬岩岩组,中等风化—微风化,较硬岩—坚硬岩,结构面主要为节理、裂隙,方解石充填胶结紧密,较完整—完整,岩体基本质量等级为 II—III 级;层 18 为侵入相辉绿岩,暗绿色—灰绿色,块状构造,结构面主要为节理,岩石较完整—完整、坚硬,基本质量等级 I—II 级。

### 1.3 水文地质特征

按含水介质划分调查区地下水,并将各含水岩

层划归为孔隙含水岩组、裂隙岩溶含水岩组、裂隙孔隙含水岩组和裂隙含水岩组。裂隙孔隙含水岩组和裂隙含水岩组多呈隐伏状且分布零星,含水层富水性弱,基本无供水价值,区内没有开采。

孔隙含水岩组包括孔隙潜水含水层(1含),区内分布广泛,厚度2.60~11.50 m,含水层岩性为粉土,富水性弱,透水性较好,该含水层补给条件好,故无论是开采井或非开采井,其多年水位曲线均无明显趋势性升降,仅表现为受年降水多少影响的特征;孔隙承压水含水层(2含、3含)分布广泛,富水性好,砂层含水层透水性强,黏性土透水性较弱;2含补给条件相对较差,具承压、弱承压水特征,但因与1含之间弱透水层较薄,加之地方开采井大都为混合成井结构,使得2个含水层之间通过井壁滤层发生联系,故天然条件下其水位仍表现为主要受气象条件影响的特征;3含由于含水层埋藏深,补给条件较差,故其水位变化受气象条件影响较小,主要受人工开采控制,尤其在开采强度较大的睢宁城区,水位升降完全随人工开采强弱的变化而变化。

裂隙岩溶含水岩组分布在睢宁隆起区,岩性主要为白云岩、灰岩夹泥质白云岩、泥质条带灰岩。在裸露区由于地势较高,不利于地下水储存,故水量贫乏,隐伏区水量较为丰富。

## 2 地面沉降现状

根据本次调查工作实测资料分析,该区域在1999年以前已开始发生地面沉降,形成的地下水降落漏斗至2013年一直存在,该区域第四系松散土层在自重应力增量作用下持续发生压缩变形作用,产生一定量的地面沉降。截至2013年12月,睢城城区中上更新统孔隙承压水降落漏斗面积71.42 km<sup>2</sup>,水位埋深6.24~17.84 m,水位降幅4.24~15.84 m;下更新统及新近系孔隙承压水降落漏斗面积80.05 km<sup>2</sup>,水位埋深在调查区为7.80~17.73 m,水位降幅5.80~15.73 m。通过平面高程损失评价,调查区在最近5 a期间地面高程明显下沉,最大高程损失290 mm,沉降量大于100 mm,区域面积约为33.13 km<sup>2</sup>。

根据调查,目前调查区内地面沉降尚未造成人员伤亡、建筑物破坏、地下管道破裂等情况,未造成直接经济损失。

## 3 地面沉降稳定性评价与预测

### 3.1 地面沉降分析评价地质模型

本次调查根据《地面沉降监测技术要求》(DD 2006—02)的相关标准,对区内地面沉降稳定性进行评价及预测。为了实现地面沉降量的计算及评价,首先需要对区内可压缩土层的类型、空间分布特点、压缩变形特征等进行抽象概化,得出计算地质模型。

#### 3.1.1 可压缩土层的确定

城区共分布18个工程地质层组,其中层13泥岩一层18辉绿岩形成时代为古近纪及以前,已经过了固结成岩作用,属于不可压缩的岩体;层12砂层形成于新近纪早期,目前已经历过一定程度的固结成岩作用,砂粒之间的孔隙多被泥质充填,砂粒的相对位置已经初步固化,孔隙水压力趋于消失,自重应力基本为有效应力,可视为不可压缩岩体。

区内层1粉土一层11黏土形成时代为新近纪—第四纪,土体结构松散,孔隙比大于0.632,饱和度大于88%,孔隙水压力占比较高,压缩系数大于0.12,特别是层2黏土压缩系数可达0.78~0.79,属中—高压缩性土层,因此本次调查工作将层1粉土一层11黏土划分为可压缩土层。

#### 3.1.2 计算参数的确定

##### 3.1.2.1 地下水水位埋深

(1) 初始水位埋深。根据室内土样试验结果,区内超固结土层土样超固结比1.04~1.68,均值1.15,土层土样前期固结压力与上覆土层自重应力差值为6.83~125.67 kN,均值49.61 kN;取水的重度为9.86 kN/m<sup>3</sup>,据此估算区内超固结土层产生压缩沉降所需的临界水位降幅约5 m。依据区内地下水水位历史资料,1~3含水层原始水位埋深变化分别为0~3 m、1~4 m和1~4 m。因此,综合取2 m作为各含水层初始水位埋深。

(2) 2013年水位埋深。依据本次调查实测的9个井点水位埋深资料,绘制城区等水位线图;根据各类钻孔平面位置与等水位线的相互关系,采用内插法估算各钻孔2013年地面沉降量,计算水位埋深。

(3) 2030年水位预测埋深。根据近年区内SJ12井水位曲线的变化过程,本区更新统孔隙承压水水位已经出现持续下降现象,说明其补排动平衡状态已经遭到破坏。结合区内SJ12井近3 a逐日水位实

测资料,2011—2013 年年平均水位分别为 15.47 m、15.06 m、14.79 m,呈逐年下降趋势,水位年均降幅为 34 cm。以本次实测的等水位线为基准,以水位年均降幅推算 2030 年城区等水位线;根据各类钻孔平面位置与等水位线的相互关系,采用内插法估算各钻孔 2030 年地面沉降量,计算水位埋深。

### 3.1.2.2 固结状态

受水位变化的影响,随着区内不同层位水位埋深的不同,各土层固结状态的判定结果亦不相同。本次调查工作取各土层前期固结压力平均值作为该土层沉降量计算时固结状态的判别依据。

### 3.1.2.3 其他计算参数

根据相关规范要求,各黏性土、粉土土层初始孔隙比、天然重度、压缩指数、回弹指数、固结系数等参数取各土层的平均值作为代表值,而层 4 粉砂、层 6 中砂、层 8 中砂、层 10 中砂的弹性模量分别取经验值 30 MPa、60 MPa、80 MPa、100 MPa。

综合以上各类参数,以本次调查工作实际施工的 3 个钻孔(图 3,ZK1—ZK3)及收集的 2 个钻孔

(图 3,901、908)为基础,建立区内 2—2' 沉降计算地质模型及 5—5' 沉降计算地质模型;在此基础上,根据区外相关地质资料,概化城区地面沉降计算边界条件,虚拟 6 个钻孔(图 3,X01—X06),建立 1—1'、3—3'、4—4'、6—6' 等 4 个计算模型,完成了实测、虚拟钻孔分布及模型(图 3),由此初步建立城区地面沉降剖面计算地质模型 6 个,形成控制全区的地面沉降计算框架,能够满足本次调查工作要求。

## 3.2 地面沉降稳定性分析与评价

区内自然地面高程约 22 m,根据室内土工试验变形参数估算区内发生地面沉降的水位下降临界深度为 5 m,各含水层初始水位埋深 2 m,区内临界水位高程约 15 m。根据本次实测水位数据推算,2 含(表示第 2 含水层,余同)15 m 等水位线圈定的面积约为 71.42 km<sup>2</sup>,3 含 15 m 等水位线圈定的面积约为 80.05 km<sup>2</sup>。不考虑地下水降落漏斗迁移变化的影响,上述区域即为已经发生地面沉降的区域。

根据区内黏性土及砂层地面沉降变形特点可知,城区目前所产生的地面沉降仅是即将产生的地面沉降总量的一部分,不论区内地下水水位今后是否继续下降,地面沉降仍将持续发展,截至目前地下水降幅所对应的地面沉降总量基本完成。

## 3.3 累计地面沉降量估算

本次调查工作时间范围为 2013 年下半年至 2014 年初,大部分实测数据的采集时间为 2013 年末,因此将 2013 年末作为计算时间节点。地面沉降量估算方法参照《地面沉降监测技术要求》(DD 2006—02)附录 J 的相关规定进行,采用的主要计算公式如下:

正常固结黏性土计算式为

$$S_{\infty} = \sum_i^n C_{ci} H_i / (1 + e_{oi}) \lg(P_0 + \Delta P) / P_0, \quad (1)$$

超固结黏性土计算式为

$$\begin{cases} S_{\infty} = \sum_i^n [C_{si} H_i / (1 + e_{oi}) \lg P_c / P_0 + C_{ci} H_i / (1 + e_{oi}) \lg(P_0 + \Delta P) / P_c], & \text{若 } \Delta P > (P_c - P_0) \\ S_{\infty} = \sum_i^n C_{si} H_i / (1 + e_{oi}) \lg(P_0 + \Delta P) / P_0, & \text{若 } \Delta P < (P_c - P_0) \end{cases}, \quad (2)$$

欠固结黏性土计算式为

$$S_{\infty} = \sum C_{ci} H_i / (1 + e_{oi}) \lg(P_0 + \Delta P) / P_c, \quad (3)$$

砂性土的计算式为

$$S_{\infty} = \sum_i^n H_i \Delta P / E_{si}, \quad (4)$$

式(1)—(4)中:  $S_{\infty}$  为最终沉降量;  $C_{ci}$  为  $i$  层的压缩指数;  $C_{si}$  为  $i$  层的回弹指数;  $e_{oi}$  为  $i$  层的原始孔隙比;  $H_i$  为  $i$  层的厚度,双面排水时取 1/2;  $P_0$  为计算层的自重压力;  $P_c$  为计算层的前期固结压力;  $\Delta P$  为水位变化时对土层的附加荷载;  $E_{si}$  为  $i$  层砂

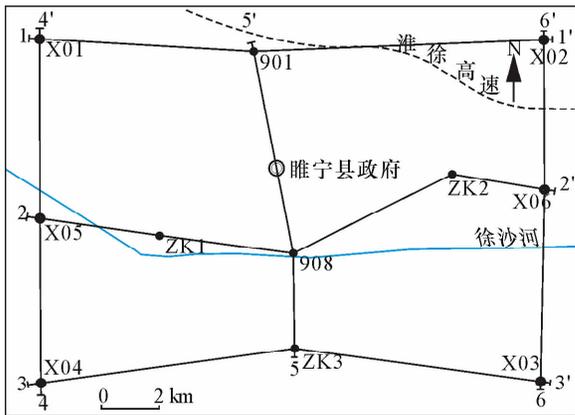


图 3 实测、虚拟钻孔分布及模型示意图

Fig. 3 Schematic diagram of model and the measured and virtual boreholes' distributions

土的弹性模量。

根据 2013 年水位埋深条件,采用地面沉降开展地质模型计算,城区累计地面沉降量 3.08 ~ 380.60 mm,平均为 162.41 mm(表 1)。

表 1 2013 年水位条件下累计地面沉降量估算结果

Tab.1 Estimated accumulative land subsidence under the condition of water level in 2013

孔号	累计沉降量/mm	孔号	累计沉降量/mm
ZK1	118.9	X02	264.3
ZK2	71.0	X03	41.2
ZK3	3.1	X04	117.7
901	260.0	X05	230.9
908	180.3	X06	92.5
X01	380.6		

注:根据 2013 年末水位计算。

通过计算可知,最大沉降量发生在城区西北部(图 4)。该部位位于桃园断陷槽地之中,可压缩土层和黏性土累计厚度大,地下水位下降幅度较大;最小沉降量发生在城区南部,该部位位于睢宁隆起顶部,可压缩土层和黏性土累计厚度小,层 11 黏土缺失;地下水位在临界水位之上。

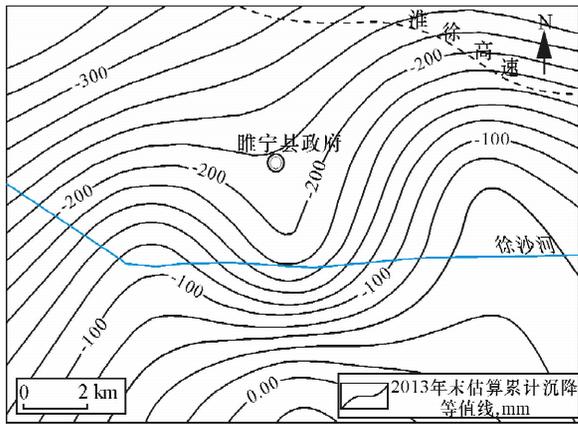


图 4 2013 年累计沉降量等值线及危害性分区图

Fig.4 Isogram of the accumulative land subsidence and distribution of the damage zone in 2013

根据野外实测结果,调查区在 2009—2013 年期间地面高程明显下沉的区域主要分布在睢宁县政府以西的菁华学校—星星科技一带(西区)及调查区东部高作—红旗桥一带(东区)。西区最大高程损失 290 mm,年均损失高程 58 mm;以 100 mm 损失线圈定地面沉降范围,其面积约为 14.15 km<sup>2</sup>。东区最大高程损失 250 mm,年均损失高程 50 mm;以 100 mm 损失线圈定地面沉降范围,其面积约为 18.98 km<sup>2</sup>。

综合对比调查区 2013 年地面沉降实测与计算

结果可知,根据地质模型所求得沉降量及分布规律与实际情况较为符合。

睢宁县最新城市总体规划远期至 2030 年,该规划的总体布局决定了城区地下水资源的开发利用程度及强度。因此可以根据预测的 2030 年城区地下水开发利用情况,计算该时间节点所对应的累计地面沉降量。

城区地面沉降发展趋势受地下水开采情况控制,因此根据近几年地下水开采情况和地下水位下降规律,可以预测出城区地面沉降发展趋势。根据 2030 年水位埋深条件,采用地面沉降计算地质模型进行计算,预测城区累计地面沉降量 79.04 ~ 1 164.34 mm,平均为 495.66 mm,各钻孔计算累计沉降量详见表 2。

表 2 2030 年水位条件下累计地面沉降量估算结果

Tab.2 Estimated accumulative land subsidence under the condition of water level in 2030

孔号	累计沉降量/mm	孔号	累计沉降量/mm
ZK1	252.4	X02	734.6
ZK2	299.9	X03	476.3
ZK3	79.0	X04	305.2
901	686.6	X05	560.2
908	460.5	X06	433.1
X01	1 164.3		

注:根据 2030 年末水位计算。

通过计算可知,至 2030 年地面最大沉降量位于城区西北部(图 5),最小沉降量位于城区南部,这与 2013 年分布规律基本相同。睢宁县主城区累

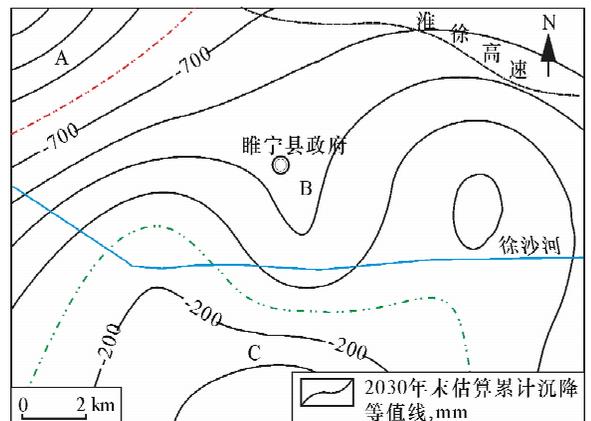


图 5 2030 年累计沉降量等值线及危害性分区图

Fig.5 Isogram of the accumulative land subsidence and distribution of the damage zone in 2030

计地面沉降量约为 200 ~ 600 mm,在 EW 向上沉降最大的区域为城区中部,该区域第四系松散层厚度较东、西两侧小,但累计沉降量最大,主要是地下水长期超采所致。

## 4 地面沉降危害及灾害防治建议

### 4.1 地面沉降危害

地面沉降会直接导致区内安全高程遭到大范围的破坏,损毁地形测量标志和成果,破坏地下含水结构,甚至人类工程设施也会由于拉裂扭曲而遭到破坏。

此外,该区目前虽未发现典型地裂缝,但地面沉降无疑增加了地裂缝发生的可能性和危害性。

#### 4.1.1 地面沉降危害分区

根据城区地面沉降的发育现状和预测结果,将综合评价区内地面沉降划分为危险性大区(A区)、危险性中等区(B区)及危险性小区(C区)(图5)。

危险性大区(A区)位于城区西北部,以 800 mm 下沉的等值线圈定,面积约 12 km<sup>2</sup>。该区主要为自然农田保护区,无重要地面工程设施,地面沉降导致的高程损失对区内的主要影响是内涝,预计由此造成的经济损失小于 500 万元。

危险性中等区(B区)位于城区中部,面积约 156 km<sup>2</sup>,预测该区地面下沉量为 300 ~ 800 mm。该区域分布大量的重要地面工程设施,地面沉降所造成的损失除地面高程损失外,还包括工程设施的修复费用,预计由此造成的损失大于 10 000 万元。

危险性小区(C区)位于城区南部,面积约 56 km<sup>2</sup>,预测该区地面下沉量小于 300 mm。该区主要为自然农田保护区,局部地段涉及重要河流、省道、县道等重要地面工程设施,预计由此造成的经济损失 500 万 ~ 5 000 万元。

#### 4.1.2 地面沉降危害程度

地面沉降危害程度评价标准执行《县市地质灾害调查与区划基本要求实施细则》,根据对城区内受威胁人口数量及潜在灾害损失的估算,预测如果不及时采取措施控制地下水开采强度,按照目前发展趋势,2030 年以后,城区地面沉降地质灾害将逐步发展为特大型地质灾害。

### 4.2 地面沉降灾害防治建议

为避免地面沉降造成进一步的破坏,在保证政府管理工作的前提下,对地下水开采总量的控制及

地面沉降监测控制提出了相关工作建议。

#### 4.2.1 政府管理工作建议

(1)政府各相关部门在编制经济社会发展规划时,应当与地面沉降防治专项规划相衔接,将地面沉降防治内容考虑在内。

(2)根据当期地面沉降调查监测情况,总结评估前期工作效果,及时调整后期调查监测工作部署,加强重点区域、重大工程区的地面沉降调查工作,增建必要的地面沉降监测站点,健全完善地面沉降监测网络等。

#### 4.2.2 地下水开采总量控制工作建议

(1)按开采规划进行开采布局调整,重点对开采强度已大于允许开采量的睢城镇下更新统及新近系孔隙含水层逐步压减开采量,使其地下水位逐步恢复到允许降深水平,水位降落漏斗不再扩大,甚至缩小。压减的开采量可到有开采潜力的地区或含水层按统一规划布局,凿井开采或选用其他供水水源。

(2)对串层混合开采井有计划地进行关停封堵,以避免水质较差或被污染的含水层对其他含水层造成污染;新增水源井井位、井深、取水层位等应由水行政主管部门统一确定,并制定严格的质量验收制度,以杜绝串层混合开采等不合理现象再度发生等。

#### 4.2.3 地面沉降监测工作建议

(1)土层分层沉降监测范围适当外扩。垂直方向上以层 3 粉质黏土—层 11 黏土为主,控制各类土层动态变化。其中,基岩标宜设置在睢宁县城中部的睢宁隆起区,分层标宜设置在调查区东部、中部、西部,以便对凌城断陷槽地、睢宁隆起、桃园断陷槽地的分层沉降进行全面监测。

(2)睢宁县城区、局部区域沉降监测网的首级高程控制监测等级为一等,采用区域一等水准网,按照一等水准测量要求执行;在此基础上的水准加密网监测等级为二等,采用区域二等水准网,按照二等水准测量要求执行。

## 5 结论

(1)对区内可压缩土层的类型、空间分布特点、压缩变形特征等进行抽象,建立计算模型;计算得出城区 2013 年累计地面沉降为 3.08 ~ 380.60 mm,平均为 162.41 mm;计算最大沉降量

发生在城区西北部,该部位位于桃园断陷槽地之中,可压缩土层、黏性土累计厚度大,地下水水位下降幅度较大。

(2)依据 2030 年水位埋深条件,采用地面沉降计算地质模型计算得出,城区累计地面沉降量 79.04 ~ 1 164.34 mm,平均为 495.66 mm;在此基础上对区内地面沉降危险性进行分区。

(3)在保证政府管理工作的前提下,对于地下水开采总量的控制及地面沉降监测控制提出相关建议,以避免城区 2030 年后地面沉降地质灾害发展为特大型地质灾害。

参考文献:

[1] 陈崇希.关于地下水开采引发地面沉降灾害的思考[J].水文

地质工程地质,2000,27(1): 45 - 48,60.

[2] 万伟峰.西安市地下水开采-地面沉降数值模拟及防治方案研究[D].西安:长安大学,2008.  
[3] 董国凤.地面沉降预测模型及应用研究[D].天津:天津大学,2006.  
[4] 何庆成,叶晓滨,李志明,等.我国地面沉降现状及防治战略设想[J].高校地质学报,2006,12(2): 161 - 168.  
[5] 杨勇,李国敏,窦艳兵,等.抽取地下水引起地面沉降的研究现状与进展[J].工程勘察,2010,38(11): 32 - 37.  
[6] 殷跃平,张作辰,张开军.我国地面沉降现状及防治对策研究[J].中国地质灾害与防治学报,2005,16(2): 1 - 8.  
[7] 何庆成,刘文波,李志明.华北平原地面沉降调查与监测[J].高校地质学报,2006,12(2): 195 - 209.  
[8] 单以超,戴广礼,周丹,等.睢宁县城区地面沉降灾害调查报告[R].徐州.江苏省地质矿产局第五地质大队,2014.

## Stability analysis and evaluation of land subsidence in Suining urban area of Xuzhou City, Jiangsu Province

ZHOU Dan, XING Xue, WANG Hongpei

(No. 5 Geological Party, Jiangsu Geology and Mineral Exploration Bureau, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** A computation geological model is obtained abstractly according to the type, spatial distribution and compression deformation of compressible soil in Suining urban area of Xuzhou City, Jiangsu Province. The accumulative land subsidence ranges from 3.08 to 380.60 mm, averaging of 162.41 mm under the condition of water level in 2013; and the maximum is in northwest of the study area, where the thickness of compressible soil, cohesive soil are large and groundwater level declined largely. Furthermore, the estimated accumulative land subsidence and risk zoning is acquired under the condition of water level in 2030, that provides relevant suggestions and measures for total amount control of groundwater mining and land subsidence monitoring. The research is helpful to avoiding the land subsidence gradually developed into a large geological disaster in 2030.

**Key words:** land subsidence; computation geological model; risk zoning; disaster prevention and control

(责任编辑: 常艳)