

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.01.06

江苏盐城地面沉降风险评价

顾晟彦, 姚维军, 徐明钻, 王 丹
(江苏省地质勘查技术院, 江苏 南京 210008)

摘要: 地面沉降灾害已经成为制约地区社会经济可持续发展的重要因素, 风险评估和管理是实现灾害防治从被动防御向主动防治转变的标志。根据地面沉降现状以及区域地质情况、水文地质条件等, 分析了盐城地区的地面沉降机理及其主要影响因素。结合盐城实际, 选取累计地面沉降量、地面沉降速率、软土层厚度、主要开采层厚度、地下水开发利用程度作为危险性指标以及单位面积 GDP 比重、人口密度比重、地面高程作为易损性指标, 绘制了危险性分区图和易损性分区图, 建立地面沉降风险评价体系。利用层次分析-综合指数法和 MapGIS 空间分析功能, 开展地面沉降风险综合评价。根据评价结果并结合地面沉降现状和已有的防治措施, 提出切实可行的改进措施和建议。

关键词: 地面沉降; 风险评价; 防治建议; 江苏盐城

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)01-0036-08

Risk evaluation of land subsidence in Yancheng of Jiangsu Province

GU Shengyan, YAO Weijun, XU Mingzuan, WANG Dan

(Geological Exploration Techniques Institute of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: Land subsidence disasters have become an important factor which restricts the sustainable development of society and economy in areas. Risk assessment and management are the signs that prevention and control of disasters will change from passive to active mode. Based on the current situation of land subsidence, regional geological conditions and hydrogeological conditions, formation mechanism and main influencing factors of land subsidence in Yancheng were analyzed. According to the practical situation in Yancheng City, cumulative land subsidence volume, rate of land subsidence, thickness of soft soil layer, thickness of main exploiting strata and development and utilization of groundwater were selected as the hazard indexes to draw the hazard zoning map, and proportion of GDP per unit area, proportion of population density and the ground elevation were selected as the vulnerability indexes to draw the vulnerability zoning map. The evaluation indexes were optimized and the indicator system of risk evaluation on land subsidence was established. Based on the susceptibility and vulnerability, the comprehensive risk assessment of land subsidence was carried out by using the analytic hierarchy-comprehensive index and the spatial analysis function of MapGIS. According to the evaluation results, the present situation of land subsidence and the current prevention and cure in Yancheng, practical improvement measures and suggestions were proposed.

Keywords: land subsidence; risk evaluation; prevention suggestion; Yancheng, Jiangsu

0 引言

地面沉降是地下水主采区常见的地质灾害, 由于

超采和开采布局不合理等因素, 地下水位逐年下降, 形成局部或区域性降落漏斗, 地面沉降问题也随之而来。此外, 随着城市扩建和重大工程的增加, 工程荷载造成

收稿日期: 2019-06-07; 修订日期: 2019-07-09

基金项目: 江苏省地质勘查基金专项(201838)

第一作者: 顾晟彦(1979-), 女, 江苏张家港人, 地质矿产专业, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为基础地质、水文地质和环境地质。

E-mail: xirudagu@163.com

的地面沉降也日趋严重。江苏省盐城市作为典型区域,地面沉降危害严重。多位学者对该区地面沉降进行了分析研究,如许乃政等^[1]、龚习炜等^[2]对江苏沿海地区的地面沉降现象及其危害进行了阐述,董山等^[3]、卢毅等^[4]对盐城及其周边地面沉降计算和监测方法进行了研究。而对地面沉降风险评价研究较少,地面沉降风险评价在国内外已有多位学者开展研究,HUANG B J等^[5]总结了利用野外观测和 ArcGIS 空间建模对地下水过度开采引起的地面沉降进行危险风险评估的方法,JULIO-MIRANDA P等^[6]对墨西哥圣路易斯地区地面沉降风险要素进行论述并开展了风险评价,刘德成等^[7]、段梅^[8]、胡喜梅等^[9]分别对北京通州区、广东珠海-坦洲地区以及江苏沿海地区开展了地面沉降风险评价。

为了有效的降低研究区地面沉降造成的危害,本文以盐城地区的基础地质、水文地质和地面沉降现状为基础,分析了区内地面沉降的机理和影响因素;以 MapGIS 为基础平台,利用层次分析-综合指数法进行地面沉降风险评价,为城市规划及防灾减灾提供科学依据;并在详细调查盐城地区防治现状的基础上,提出了符合盐城实际切实可行的改进措施和建议,为盐城地面沉降防控管理积累经验。

1 地质环境概况

1.1 自然地理

研究区地处我国东部沿海地带,总面积约 16 972 km²。区内人口密集,经济、交通发达,河渠纵横、水网密布,滩涂资源丰富。

1.2 地貌地质

研究区地貌均为平原,地面高程除盐城—阜宁一线断续分布的古砂堤及废黄河高漫滩标高大于 4 m 外,一般在 1.6~2.4 m。本区地质构造基本格局主要形成于燕山晚期—喜马拉雅早期的拉伸运动,持续、缓慢、不均匀的沉降活动导致区内现今厚度百至数千米的第四纪与新近纪沉积物大面积覆盖,多为淤泥、淤泥质亚黏土、亚黏土、粉质黏土、粉砂、亚砂土等组成的一套多层状结构的松散沉积物。随着近年来工程建设、围海造陆等活动的快速发展,人工填土分布范围剧增,区内分布着大量高压缩性、高含水量和低承载力的软土和人工填土组成的软弱类土,故本区土体稳定性很差。

1.3 水文地质

研究区可分为长江下游、淮河流域、沂沭泗三个地

下水系统,大部分地区自上而下发育潜水和第 I、第 II、第 III、第 IV、第 V 承压含水层(组)。由于历史上多次海侵海退^[10-11],加上局部海水倒灌的影响,地表水和浅层地下水(潜水、第 I 承压含水层)水质较差,深层地下水大部分水质优良,其中第 II、第 III 和第 IV 承压含水层是研究区当前地下水主采层,由于多年不断超量开采,导致深层地下水水位明显下降,出现了水位降落漏斗并引发了地面沉降问题,并且由于内陆地区的水位低于滨海地区,面临着海水入侵和浅层咸水越流污染的风险^[12-13]。

2 地面沉降现状与影响因素

2.1 地下水开采历史和地面沉降现状

20 世纪 50 年代末至今,盐城地区地下水的开发利用大致可分为地下水开发利用初级阶段、城市地下水开采阶段、城市地下水超采阶段、区域地下水超采阶段、区域地下水控制开采阶段及区域地下水压缩开采阶段 6 个阶段^[14-15]。期间由于不合理地开采地下水,使得承压水头下降,引起含水砂层的压密和顶底板黏性土层固结,进而导致大面积地面沉降的发生^[9]。后期随着《江苏省地下水超采区划分方案》、《盐城市地下水压采方案》的陆续启动,盐城市正式进入禁采、压采阶段,地下水年开采总量逐年下降,主采层水位均有所回升^[16],地面沉降速率明显减缓,但受滞后效应、部分地区开采依旧强烈及工程荷载等因素影响,地面沉降仍在继续。

截至到 2016 年全市累计地面沉降量均大于 100 mm,其中累计地面沉降量大于 200 mm 的区域面积为 10 812 km²,约占盐城市总面积的 63.86%,形成多个地面沉降漏斗区(图 1)。

2016 年盐城市发生地面沉降的区域为 8 041.8 km²,约占盐城市总面积的一半,其中地面沉降速率超过 20 mm/a 的地区主要分布在北部的射阳县城区、阜宁县城区、滨海县城区、滨海港镇、响水县城区、陈家港镇以及东南部的大丰港(图 2),而盐城市区这个历史上的沉降重灾区,由于措施得力,沉降速率已明显减缓。

2.2 地面沉降影响因素

地面沉降是自然因素或/和人为因素作用下形成的一定区域范围内地面标高损失。造成地面沉降的原因很多,天然因素有新构造活动的构造沉降,近期沉积的欠固结土层的压密;人为因素有过量开采地下水、油气,以及工程建筑引起的土体变形等^[17]。对比盐城累计地面沉降量与水位降落漏斗发现,有多个沉降中心

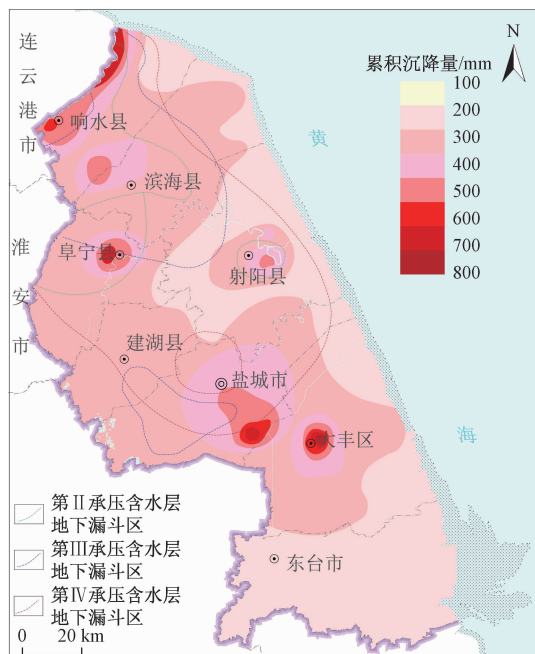


图1 1985—2016年累计地面沉降量与2016年
水位降落漏斗分布图

Fig.1 Cumulative land subsidence volume from 1985 to 2016
and distribution of water level drop funnel in 2016

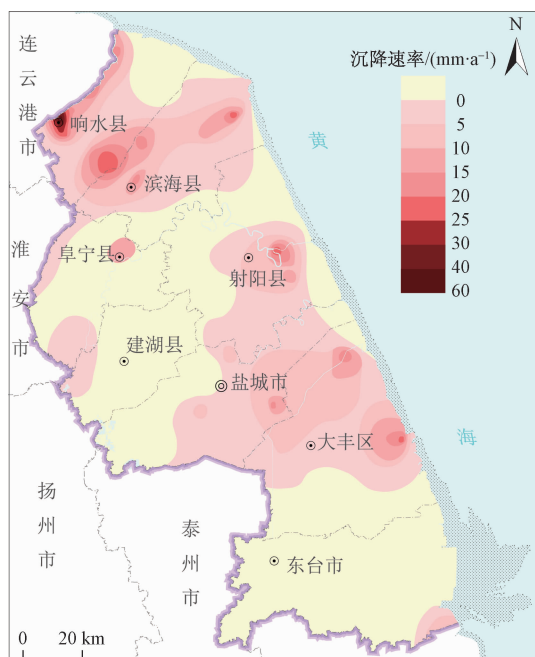


图2 2016年地面沉降速率

Fig.2 Rate of land subsidence in 2016

与区域单一水位降落漏斗或多层复合水位降落漏斗区基本一致(图1),如射阳、响水等地,清楚反映了盐城北部、中北部地区地面沉降的发生在时空上与地下水开采密切相关。这充分说明过量开采地下水是造成这

一地区地面沉降的最主要原因。此外,城市扩建和重大工程建设增加软土地基的地表载荷也是造成地面沉降重要因素^[18],如盐城市区、大丰港。

3 地面沉降风险评价

地面沉降风险是一定空间尺度内的地面沉降灾害所造成社会经济危害的大小及其可能性^[19],主要包括地面沉降发生的可能性(危险性)和造成的后果(易损性)两个方面。其核心研究内容涉及风险识别、风险估算、风险评价和风险决策四个阶段(图3)。其中风险识别是估算和评价的前提,主要包括地面沉降的形成机理、地质条件、空间差异性、地面沉降现状以及受体损失识别,并初步选择参与评价的风险因子;风险估算是风险产生概率和由此带来的损失程度的预估,最终选定参与评价的风险因子;风险评价是风险管理的核心,通过构建评价模型进行空间上的地面沉降风险量化^[19];风险决策指为规避和降低风险所采取的各种处理措施、防控方案及规划建议等。

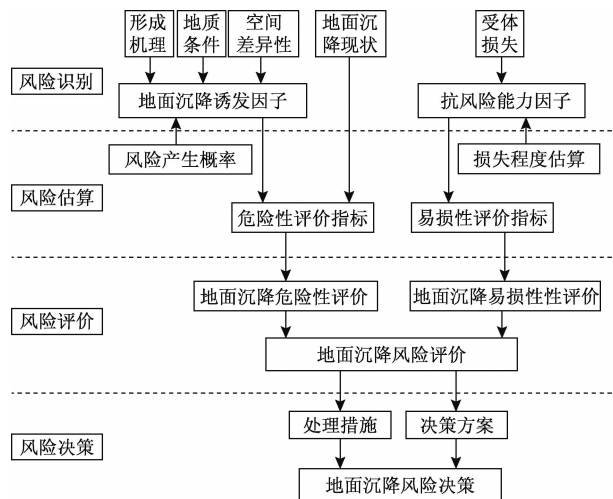


图3 地面沉降风险系统要素构成关系示意图

Fig.3 Model of risk evaluation on land subsidence

3.1 地面沉降风险评价模型

考虑到不同地区环境承载力的不同,地面沉降风险性是相对的,需要综合考虑到地质条件和社会影响两方面,因此地面沉降评价指标应相互独立,又具有一定的隶属关系,需要建立综合模型方法来进行量化处理^[19]。本次地面沉降风险评价选取荷兰学者 VAN Westen^[20-21]提出的地质灾害风险评价综合模型:风险(R) = 危险性(H) × 易损性(V)。目前国内外有关地质灾害评价方面的研究中常采用层次分析法、模糊综合评判法、专家评分法、人工神经网络法、概率统计法

等^[22]。这些评价方法都从不同方面反映了地质灾害危险性及其影响因素的不确定性,其中层次分析法由于能把复杂系统的决策思维进行层次化,把决策过程中定性和定量的因素有机结合起来,广泛应用于目标结构复杂且缺乏必要数据情况下的分析与决策,尤其对于一些难以全部量化处理的复杂问题,能得到比较满意的决策结构。研究利用 MapGIS 为载体的层次分析-综合指数法分别进行危险性和易损性评价,主要步骤为:选择评价因子→构建多层次模型并确定单因子等级→结合资料和专家评分给因子赋值→通过层次分析法确定因子权重→通过综合指数法确定危险度和易损度→选择 MapGIS 的空间分析功能进行数据叠加并分区成图。

3.2 危险性评价

危险性评价是地面沉降灾害研究的基本内容,地面沉降的危险性取决于其产生机理和发育环境,主要包括风险来源的自然因素(构造条件、第四系地质条件、水文地质条件、水土物理学性质、海平面上升速度等)、人为因素(地下水开采强度、水位变化速率、工程活动程度等)和地面沉降情况(规模、发生概率、发展速率)等^[17,23]。许多研究成果表明,地面沉降是一个非常复杂的非线性系统,只有在分析和预测模型中选取与沉降发生具有显著影响作用的诱发因子,才会获得较好的预测结果^[18],笔者根据前述的沉降机理和影响因素,对诸多评价指标进行筛选,最终确定以累计地面沉降量、地面沉降速率、软土层厚度、主要开采层(即第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ承压含水层)厚度和地下水开发利用程度作为危险性评价的 5 项指标。

3.3 易损性评价

地面沉降易损性是指受灾体遭受地面沉降破坏机会的多少与发生损毁的难易程度,主要反映地面沉降可能对当地民众生命、财产造成威胁和破坏的程度,通常以受灾体所在地的社会、经济方面的统计数据或实测数据为依据^[19,24]。一般来说,单位面积 GDP 是国民经济最直接的反映,通常 GDP 越大的地区,其地面沉降易损性越大^[9];人口密度与灾害危害程度密切相关,人口密度越大的区域地面沉降易损性越高;此外由于研究区全区地势低洼,临海且水系发达,由于高程丧失而衍生或加剧的潮灾、涝灾等对社会经济活动的影响十分严重,也应将其纳入易损性评价体系,地面高程越低地面沉降易损性越高。为了方便统计,采用单位面积 GDP 比重[县(市、区)单位面积 GDP/全省单位面积 GDP]来衡量各县(市、区)单位面积 GDP 情况,

采用人口密度比重[县(市、区)人口密度/全省人口密度]来衡量各县(市、区)人口密度情况。综上所述,最终选定单位面积 GDP 比重、人口密度比重和地面高程作为易损性评价的 3 项指标。

3.4 评价指标体系建立及权重确定

3.4.1 危险性评价

通过界定各因子对地面沉降产生影响的作用方式、范围以及作用强度的空间分布特征,确定各因子对地面沉降危险性的贡献大小,进行归类和分级处理,把评价系统分成评价要素和评价因子两个层次,分别进行量化打分,并进行标准化处理(表 1),然后进行地质灾害综合评价。计算方法如下:

$$H = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (a_{ij} \times b_{ij}) \tag{1}$$

- 式中: H ——危险性综合指数值;
 a_{ij} ——该评价单元中 i 评价要素中 j 评价因子的权重;
 b_{ij} —— i 评价要素中 j 评价因子的性状数据取值(分值);
 n ——评价要素总数;
 m ——该评价单元中 i 评价要素中的评价因子总数。

表 1 危险性评价指标量化评分

Table 1 Quantification of susceptibility evaluation indexes

评价要素	权重	评价因子	权重	分级标准	分值
地面沉降现状	0.397	累计沉降量/ mm	0.411	>400	4
				200 ~ 400	3
				100 ~ 200	2
		沉降速率/ (mm·a ⁻¹)	0.589	≤100	1
				> 15	4
				10 ~ 15	3
地质环境背景条件	0.603	含水砂层 厚度/m	0.321	5 ~ 10	2
				≤5	1
				> 60	4
				40 ~ 60	3
				20 ~ 40	2
		软土层 厚度/m	0.271	≤20	1
				> 100	4
				80 ~ 100	3
				60 ~ 80	2
				≤60	1
地下水开发 利用程度/%	0.408	> 100	4		
		70 ~ 100	3		
		30 ~ 70	2		
		≤30	1		

利用 MapGIS 中的空间分析功能进行危险性指数的权重线性叠加计算,获取量化的危险性,并将其分

为高危险区、中危险区和低危险区(图4)。根据危险性评价结果,高危险区主要分布在盐城北部的滨海-阜宁-响水-射阳县城、陈家港、滨海港等,这与上述地区大量建工厂,过量抽取地下水的现状相符,盐城市区和大丰港口高危险区则更多与高层建筑密集建设相关。低危险区则主要分布在地下水资源相对丰富的南部和地下水开采较少的西部、沿海等地区。

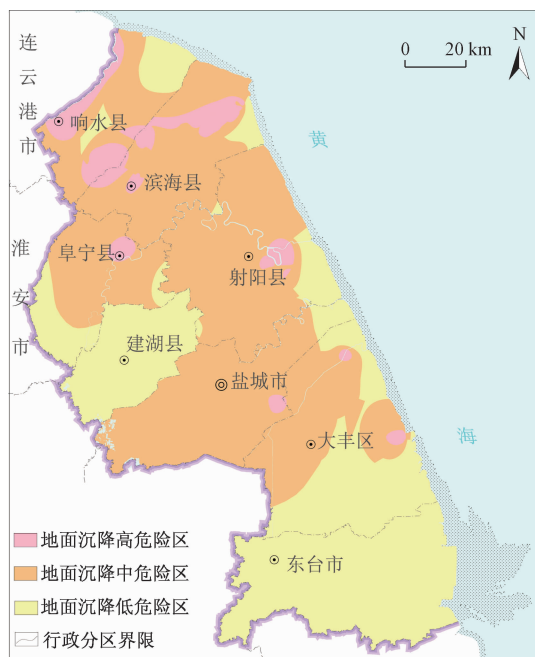


图4 地面沉降危险性分区图

Fig.4 Hazard zoning diagram of land subsidence

3.4.2 易损性评价

采用贡献权重法确定各指标的权重,通过综合指数法来定量化计算各个评价因子相应等级的分值与权重乘积之和(表2),对地面沉降易损性进行评价。综合指数法计算公式如下:

$$V = \sum_{i=1}^n (a_i \times b_i) \quad (2)$$

式中: V ——易损性综合指数值;

a_i ——评价因子的分值;

b_i ——评价因子的权重;

n ——评价因子的个数。

计算方法同危险性,将盐城地区分为高易损区、中易损区和低易损区(图5)。根据易损性评价结果可知,高易损区主要集中在盐城城区和中西部里下河低洼地区,这与市区是人口密集、政治经济中心以及里下河低洼地区洪涝灾害频发的事实相符;低易损区则主要分布在人口密度较低、地势较高的盐城南部和古砂堤及废黄河高漫滩等地区。

表2 易损性评价指标量化评分

Table 2 Quantification of vulnerability evaluation indexes

评价因子	权重	分级标准	分值
人口密度比重	0.389	>1.5	4
		$1.0 \sim 1.5$	3
		$1.0 \sim 1.5$	2
人均GDP比重	0.269	≤ 0.5	1
		>1.5	4
		$1.0 \sim 1.5$	3
地面高程/m	0.342	$1.0 \sim 1.5$	2
		≤ 0.5	1
		< 0	4
		$0 \sim 5$	3
		$5 \sim 20$	2
		> 20	1

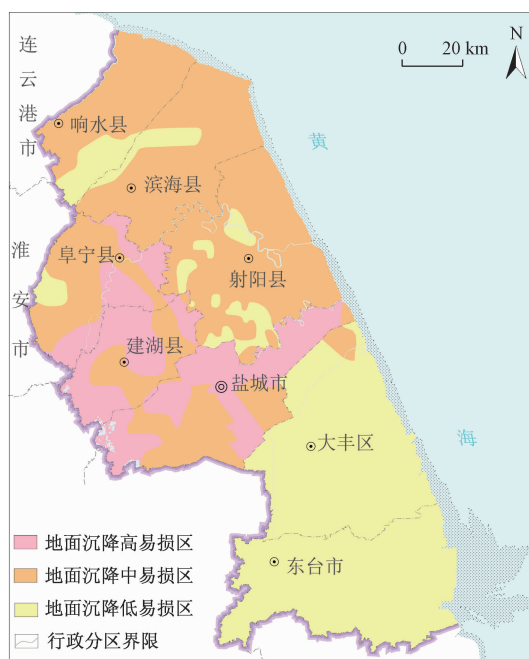


图5 地面沉降易损性分区图

Fig.5 Vulnerability zoning diagram of land subsidence

3.4.3 地面沉降风险综合评价结果

利用 MapGIS 中的空间分析功能,结合风险模型,将地面沉降危险性和易损性叠代运算,将地面沉降风险级别划分为高风险区、中风险区和低风险区 3 个等级(图6)。其中高风险区面积 1 546.68 km²,占研究区总面积的 9.14%,主要分布在盐城城区、响水-滨海-阜宁-射阳县城周边、陈家港、滨海港等地;中风险区基本围绕着高风险区分布,集中在盐城中部和北部的大部分地区,面积 10 222.12 km²,占总面积的 60.38%;低风险区面积 5 162.21 km²,占总面积的 30.49%,主要分布在盐城南部、古砂堤及废黄河高漫滩等地区。

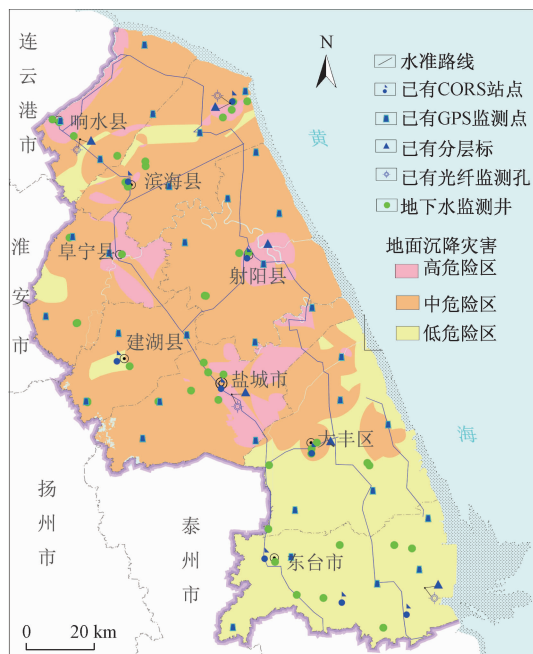


图6 盐城市地面沉降风险评价图

Fig.6 Risk zoning map of land subsidence in Yancheng

4 地面沉降风险防治建议

4.1 地面沉降防治现状

近年来盐城市对地面沉降问题十分重视,2014年颁布《盐城市地下水压采方案》以来进入全面的禁采、压采阶段,2014年、2015年、2016年分别封井114眼、370眼和323眼,第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ承压水埋深持续缓慢回升,盐城市区等部分地区的地面沉降问题已得到缓解,但北部的滨阜响射地区的地面沉降依旧严峻。从2012年起,盐城市已经开展地面沉降监测网络的建设工作,已建成(含建设中)地面沉降监测分层标6组,光纤监测孔4个、CORS站点9座、GPS监测点33个和48处地下水位监测井,并完成720.1 km的水准路线网的构建工作和456景InSAR监测工作(图6),为盐城地面沉降防治奠定了坚实基础。

4.2 风险防治建议

开展地面沉降风险评价的最终目的是为了区域经济建设和可持续发展服务,因此在风险评价的基础上,根据研究区地面沉降类型、现状和防治情况,总结防治对策与改进措施如下:

4.2.1 专业防范和治理

严格遵守《盐城市地下水压采方案》,依法管理地下水资源,严格控制全市尤其是地面沉降高风险区的地下水开发利用,对北部(滨阜响射)高风险区可采取

地下水回灌措施,确保地下水采补平衡。合理规划土地利用类型,盐城市区周边的地面沉降高风险区应控制高层建筑的密度及数量,合理布局城市发展规划,并在工程建设中采取软基加固等工程措施来降低地面沉降风险。

4.2.2 优化监测预警网

盐城地区现有的监测网分布相对平均,南部低风险区监测密度略高,中北部地区尤其是高风险区监测密度则略显薄弱,高、中风险区的地下水位监测井密度普遍偏低,应进一步优化监测网。在盐城主城区高风险区增加GPS监测标石、分层标等地面沉降监测设施,在北部(滨阜响射)高风险区增加地面沉降监测设施和水位监测井;并适当提高对高、中风险区地表高程及地下水位的监测频率;健全地面沉降监测与安全预警体系,及时掌握沉降趋势和地下水动态,为政府相关部门提供决策信息,为防灾减灾提供科学依据。

4.2.3 加强宣传工作,提高防灾减灾意识

宣传普及地面沉降灾害的危害性和防治知识,加大节水宣传力度,提高民众的防灾减灾意识。

5 结论

(1)研究区沉积了厚数百至数千米的第四纪与新近纪松散沉积物,为地面沉降的产生和发展提供物质基础。加之超采地下水、人类工程活动等影响,地面沉降现象普遍,成因类型多样,整体风险偏高。所以今后要实地研究地面沉降发育现状、产生机制以及社会经济发展趋势,因地制宜,分区分类制定合理的防治措施,以此加强盐城地区地面沉降的抗风险能力。

(2)采用层次分析-综合指数法,选取与研究区地面沉降发生具有显著影响作用的诱发因子,如累计地面沉降量、地面沉降速率、软土层厚度、主要开采层厚度和地下水开发利用程度作为地面沉降危险性评价因子,选取单位面积GDP比重、人口密度比重和能够体现盐城低洼易涝特点的地面高程作为地面沉降易损性评价因子,展开综合分析,编制地面沉降危险性和易损性分区图,并根据沉降现状、社会经济和自然灾害特点等对上述分区图进行有效性验证,分析结果与实际相符。结合风险模型,合理划分出盐城市的地面沉降风险区。

(3)在详细调查盐城防治现状的基础上,结合沉降机理和风险评价结果,因地制宜,从预防与治理、监测预警、宣传等方面提出改进措施,为今后地面沉降防治工作的进一步深化打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] 许乃政,姜月华,王敬东,等.我国东南沿海地面沉降类型及其特点[J].灾害学,2005,20(4): 67-72. [XU N Z, JIANG Y H, WANG J D, et al. The types and characteristics of the ground subsidence in southeastern China coastal region[J]. Journal of Catastrophology, 2005, 20(4): 67-72. (in Chinese)]
- [2] 龚习炜,龚志红.我国沿海地区地质灾害现状及宏观防治对策[J].灾害学,2006,21(4): 79-83. [GONG X W, GONG Z H. Current situation of geo-hazards and macroscopic preventive measures in the littoral in China[J]. Journal of Catastrophology, 2006, 21(4): 79-83. (in Chinese)]
- [3] 董山,张永红,李明巨,等.时序 InSAR 的连云港及盐城北部地表沉降研究[J].测绘科学,2019,44(3): 57-62. [DONG S, ZHANG Y H, LI M J, et al. Surface subsidence research of Lianyungang and northern Yancheng based on time series InSAR technology[J]. Science of Surveying and Mapping, 2019, 44(3): 57-62. (in Chinese)]
- [4] 卢毅,于军,龚绪龙,等.基于 DFOS 的连云港第四纪地层地面沉降监测分析[J].南京大学学报(自然科学),2018,54(6): 1114-1123. [LU Y, YU J, GONG X L, et al. Monitoring and analysis of quaternary strata subsidence in Lianyungang based on DFOS[J]. Journal of Nanjing University (Natural Science), 2018, 54(6): 1114-1123. (in Chinese)]
- [5] HUANG B J, SHU L C, YANG Y S. Groundwater overexploitation causing land subsidence: hazard risk assessment using field observation and spatial modelling[J]. Water Resources Management, 2012, 26(14): 4225-4239.
- [6] JULIO-MIRANDA P, ORTÍZ-RODRÍGUEZ A J, PALACIO-APONTE A G, et al. Damage assessment associated with land subsidence in the San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez metropolitan area, Mexico, elements for risk management[J]. Natural Hazards, 2012, 64(1): 751-765.
- [7] 刘德成,何静.北京市通州区地面沉降危险性评价与区划[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(3): 158-159, 162. [LIU D C, HE J. Land subsidence hazard assessment and zoning in Tongzhou District of Beijing[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(3): 158-159. (in Chinese)]
- [8] 段梅.广东珠海-坦洲地区地面沉降风险评价[J].中国地质灾害与防治学报,2017,28(2): 69-77. [DUAN M. Risk evaluation of ground subsidence in typical land subsidence zones of Zhuhai-Tanzhou area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2017, 28(2): 69-77. (in Chinese)]
- [9] 胡喜梅,马传明,邓波,等.江苏省沿海地区地面沉降风险评价[J].地质科技情报,2017,36(2): 222-228. [HU X M, MA C M, DENG B, et al. Risk evaluation of land subsidence in coastal areas of Jiangsu Province[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(2): 222-228. (in Chinese)]
- [10] 康彦彦,丁贤荣,程立刚,等.基于匀光遥感的6000年来盐城海岸演变研究[J].地理学报,2010,65(9): 1130-1136. [KANG Y Y, DING X R, CHENG L G, et al. Coastline changes in Yancheng since 6000 years ago based on remote sensing image dodging[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(9): 1130-1136. (in Chinese)]
- [11] 张晓祥,王伟玮,严长清,等.南宋以来江苏海岸带历史海岸线时空演变研究[J].地理科学,2014,34(3): 344-351. [ZHANG X X, WANG W W, YAN C Q, et al. Historical coastline spatio-temporal evolution analysis in Jiangsu coastal area during the past 1 000 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(3): 344-351. (in Chinese)]
- [12] 付昌昌.淮河流域沿海平原深层地下水水化学特征及咸水成因[D].长春:吉林大学,2015. [FU C C. The hydrochemical characteristics and processes for salinity sources of the deep confined groundwater in the coastal plain of Huai river basin[D]. Changchun: Jilin University, 2015. (in Chinese)]
- [13] 张岩,付昌昌,毛磊,等.江苏盐城地区地下水水化学特征及形成机理[J].长江流域资源与环境,2017,26(4): 598-605. [ZHANG Y, FU C C, MAO L, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of the groundwater in Yancheng, Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(4): 598-605. (in Chinese)]
- [14] 黄敬军,陆华.江苏沿海地区深层地下水开发利用现状及环境地质问题[J].水文地质工程地质,2004,6: 64-68. [HUANG J J, LU H. Aquifers and environmental geological problems in the coastal areas in Jiangsu Province[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004, 6: 64-68. (in Chinese)]

- [15] 康博. 江苏沿海地区地下水演化与合理开发利用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017. [KANG B. The study of groundwater evolution and rational exploitation and utilizing in Jiangsu coastal area[D]. Changchun: Jilin University, 2017. (in Chinese)]
- [16] 编制工作组. 盐城市水资源公报(2014—2016年)[R]. 盐城市水利局, 2016. [Preparation working group. Water Resources Bulletin of Yanchen(2014—2016)[R]. Water resources bureau of Yanchen, 2016. (in Chinese)]
- [17] 薛禹群, 张云, 叶淑君, 等. 我国地面沉降若干问题研究[J]. 高校地质学报, 2006, 12(2): 153 - 160. [XUE Y Q, ZHANG Y, YE S J, et al. Research on the problems of land subsidence in China [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(2): 153 - 160. (in Chinese)]
- [18] 伊尧国, 刘慧平, 张洋华, 等. 融合权重因子模型和深度学习方法的都市地面沉降危险性分析[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 50 - 59. [YI Y G, LIU H P, ZHANG Y H, et al. Analysis of urban ground subsidence hazard induced by building load combined with weights of evidence model and deep learning[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 50 - 59. (in Chinese)]
- [19] 于军, 武健强, 王晓梅, 等. 地面沉降风险评价初探[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 450 - 454. [YU J, WU J Q, WANG X M, et al. Preliminary research on risk of land subsidence[J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(3): 450 - 454. (in Chinese)]
- [20] 齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 地质灾害风险评价研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 33 - 40. [QI X, TANG C, CHEN Z F, et al. Research of geohazards risk assessment [J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(5): 33 - 40. (in Chinese)]
- [21] VAN Westen C J. Geo-Information tools for Landslide Risk Assessment: An overview of recent developments [M]. Landslides, Evaluation & Stabilization. Proceedings 9th International Symposium on Landslides, 2004.
- [22] 张振兴, 刘艳辉, 袁广祥. 地质灾害承灾载体脆弱性评价方法综述[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(3): 90 - 100. [ZHANG Z X, LIU Y H, YUAN G X. Reviews on vulnerability assessment methods for geo-hazards [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(3): 90 - 100. (in Chinese)]
- [23] 王寒梅. 上海市地面沉降风险评价体系及风险管理研究[D]. 上海: 上海大学, 2013. [WANG H M. The risk assessment system and risk management of land subsidence in Shanghai [D]. Shanghai: Shanghai University, 2013. (in Chinese)]
- [24] 李善峰, 叶晓滨, 何庆成, 等. 华北平原地面沉降灾害经济损失评估方法探讨[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(4): 114 - 116. [LI S F, YE X B, HE Q C, et al. Discussion on evaluation method of economic loss of land subsidence disaster in North China Plain [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, 33(4): 114 - 116. (in Chinese)]

《中国地质灾害与防治学报》网络采编办公系统运行通知

各位作者:

您好! 为提高稿件处理和办公效率,《中国地质灾害与防治学报》编辑部已从2013年3月开始启用网络采编办公系统。

作者投稿采用新的网络平台(www.zgdzzhyfzxb.com; <http://zgdzzhyfz.paperopen.com>), 不再使用原电子邮件投稿, 特此公告, 望作者们予以支持与合作。

在使用网络系统中您有任何疑问、意见和建议, 请您电话 010 - 60850956 或者发邮件 nitx@cigem.cn。

注意: 投稿作者请详细阅读首页导航栏——投稿须知!

期刊编辑部