

湖州市东部平原区地面沉降易发性及风险评价

杜尊龙¹, 张俊^{2*}, 樊小军¹, 何晓雪³

¹浙江久核地质生态环境规划设计有限公司, 浙江 湖州

²宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

³浙江省核工业二六二大队, 浙江 湖州

收稿日期: 2023年5月22日; 录用日期: 2023年7月4日; 发布日期: 2023年7月12日

摘要

随着城市化水平的不断提高, 地下水超采、工程建设等人类活动逐渐加剧, 使得地面沉降已成为我国城市主要的地质灾害之一。文章综合考虑软土层厚度、松散层厚度、含水层数量、含水层厚度、地下水开采强度、多年平均沉降速率等因素对湖州市东部平原区地面沉降易发程度进行分区, 同时, 结合地面累计沉降量、地面沉降速率、地面高程、城市人口密度、建设用地占比等评价指标, 采用定性与定量相结合的方式对地面沉降风险区划分。结果可知, 湖州市东部平原区无地面沉降高易发区, 有地面沉降中易发区2个、地面沉降低易发区1个、地面沉降不易发区1个; 全域无地面沉降高风险区, 中风险区主要集中在南浔区南浔镇北东部, 面积34.28 km², 占地面沉降易发区面积的2.72%; 低风险区主要集中在吴兴区基岩山区外全部区域、南浔区西侧大部、德清县全部, 面积1223.91 km², 占地面沉降易发区面积的97.28%。研究结果对于指导湖州市国土空间科学规划, 提高城市应急管理具有积极的现实意义。

关键词

地面沉降, 易发性评价, 风险性评价, 湖州市

Susceptibility and Risk Assessment of Land Subsidence in the Eastern Plain of Huzhou City

Zunlong Du¹, Jun Zhang^{2*}, Xiaojun Fan¹, Xiaoxue He³

¹Zhejiang Jiuhe Geo-Ecological Environment Planning and Design Co., Ltd., Huzhou Zhejiang

²School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Zhejiang

³Zhejiang Nuclear Industry Group No. 262, Huzhou Zhejiang

*通讯作者。

文章引用: 杜尊龙, 张俊, 樊小军, 何晓雪. 湖州市东部平原区地面沉降易发性及风险评价[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(7): 692-698. DOI: 10.12677/ag.2023.137066

Abstract

With the continuous improvement of urbanization level, human activities such as groundwater overexploitation and engineering construction have gradually intensified, making land subsidence one of the major geological disasters in China's cities. This paper comprehensively considers the thickness of soft soil layer, the thickness of loose layer, the number of aquifers, the thickness of aquifers, the intensity of groundwater exploitation, the average annual settlement rate and other factors to divide the land subsidence prone degree in the eastern plain area of Huzhou City. At the same time, combined with the cumulative ground subsidence, land subsidence rate, ground elevation, urban population density, construction land proportion and other evaluation indicators, the land subsidence risk area is divided by combining qualitative and quantitative methods. The results show that there is no high land subsidence prone area in the eastern plain area of Huzhou City, and there are 2 middle land subsidence prone areas, 1 difficult land subsidence prone area and 1 low land subsidence prone area. There is no high-risk area of land subsidence in the whole region, and the medium-risk area is mainly concentrated in the northeast of Nanxun Town, Nanxun District, with an area of 34.28 km², accounting for 2.72% of the area prone to land subsidence. The low-risk areas are mainly concentrated in all areas outside the bedrock mountainous area of Wuxing District, most of the west side of Nanxun District, and all of Deqing County, with an area of 1223.91 km², accounting for 97.28% of the area prone to land subsidence. The results of this paper have positive practical significance for guiding the scientific planning of land and space in Huzhou and improving the level of urban emergency management.

Keywords

Land Subsidence, Susceptibility Evaluation, Risk Assessment, Huzhou City

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着城市化水平的不断提高,地下水超采、工程建设等人类活动逐渐加剧,使得地面沉降现已成为我国城市主要的地质灾害之一[1]。地面沉降风险评价是指评价一定空间尺度内的地面沉降灾害对社会经济所造成危害的大小及其可能性[2] [3] [4],包括地面沉降发生的可能性(即易发性或危险性)和造成的后果(即易损性)两个方面[5]。王齐鑫等[6]结合阜阳市地质条件,从地面沉降现状、自然因素与人类活动三个方面建立地面沉降危险性评价指标体系,从地面高程等4个方面建立易损性评价指标体系共同组建风险性评价指标体系,引入层次分析法——综合指数法完成阜阳市地面沉降风险评价。郭福强等[7]通过对地下水开采、粘性土厚度、城市建筑荷载与地面沉降的关系分析,结合小店区实际情况,选取地面沉降速率、累计沉降量等8个评价因子,进行地面沉降风险评价及风险区划,并提出相应的管控措施。

近年来,诸多学者对于湖州市地面沉降等地质灾害问题开展了大量研究工作,并取得丰硕成果[8] [9] [10] [11] [12]。余孟信等对太湖地区地面沉降水文资料带来的误差以及如何改正进行探讨[13];沈慧珍等在浙江省地面沉降风险区划的基础上,开展地面沉降风险管控分析,为今后开展地面沉降精细化防控

工作奠定了基础[14]。纵观现有研究,对湖州市域范围的地面沉降情况尚未有文献报道,然而湖州市全域面积为 5820 km²,其中可能引发地面沉降的软土平原面积达 1766.71 km²,其中,累计沉降量 0~100 mm 的区域位于湖州市西侧大部,面积为 1278.64 km²;累计沉降量 100~200 mm 区域为湖州市东部织里镇、南浔镇、练市镇以及德清县的练市镇、禹越镇,连片成面,面积为 290.0 km²;累计沉降量 200~300 mm 区域为德清县禹越镇北东侧局部,面积为 2.13 km²,年沉降量均低于 5 mm。湖州市地面沉降对境内水利、市政、铁路等方面都产生了诸多不利影响。因此,对湖州市开展市地面沉降调查并进行易发性和风险性评价研究,对于指导湖州市国土空间科学规划,提高城市应急管理具有积极的现实意义。

文章首先综合考虑软土层厚度、松散层厚度、含水层数量、含水层厚度、地下水开采强度、多年平均沉降速率等因素对湖州市东部平原区地面沉降易发程度进行分区研究。然后结合地面累计沉降量、地面沉降速率、地面高程、城市人口密度、建设用地占比等评价指标,采用定性与定量相结合的方式对湖州市地面沉降风险区划分,以期对湖州市及周边地区地面沉降这类缓变型地质灾害的风险性评价提供参考。

2. 研究区概况

湖州市位于浙江省北部,东邻嘉兴,南接杭州,西依天目山,北濒太湖,与无锡、苏州隔湖相望,东西长约 126 km,南北宽约 90 km,总面积 5820 km²,下辖吴兴(含南太湖新区)、南浔两区和德清、长兴、安吉三县,2020 年末全市常住人口 336.8 万人。境内地势处于丘陵山地和平原交接地带,总体地势由西南向东北倾斜,地貌类型多样,西北部及西南部为中、低山区,最高峰为安吉县境内的龙王山顶,海拔 1587 m;中、西部为丘陵地区,东部为水网平原区。年均气温 15.5℃~16℃,月均气温 24.6℃。雨水充沛,年均降雨日 142~155 d,年均降水量 1273.7 mm;湖州市东部地区为水网平原耕地,以水田为主。

3. 地面沉降易发性评价

湖州市东部平原区地面沉降易发程度分区以《湖州市地质灾害“十四五”防治规划》[15]中的“湖州市地质灾害易发程度分区图”为基础,综合考虑软土层厚度、松散层厚度、含水层数量、含水层厚度、地下水开采强度、多年平均沉降速率等因素进行编制。地面沉降易发程度,采用地面沉降综合分值进行判别。综合分值按式(1)估算:

$$A = \sum_{i=1}^6 \sigma_i \tau_i \quad (1)$$

式中: A ——综合分值; σ_i 、 τ_i ——分别为地面沉降第 i 项影响因素相应的标度分值和相应的权重,可按表 1 取值。

Table 1. Quantitative index assignment and weight table of influencing factors of land subsidence prone areas

表 1. 地面沉降易发区影响因素量化指标赋分及权值表

影响因素		权重 τ_i	标度分值(σ_i)			
			一级	二级	三级	四级
条件	序号 i	指标	10	6	3	1
地质	1	软土层厚度(m)	>30	100~150	10~20	<10
	2	松散层厚度(m)	>150	100~150	50~100	<50
水文地质	3	含水层数量(个)	3	2~3	1~2	1 或缺失
	4	含水层总厚度(m)	>60	30~60	10~30	<10
人为活动	5	地下水开采强度($10^4 \text{ m}^3/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$)	>5	3~5	1~3	<1
	6	地面沉降迹象或多年平均沉降速率(mm/a)	明显 >40	中等 20~40	轻微 5~20	极轻微 <5

根据易发程度综合分值的计算结果,按表 2 的分级标准,结合场地地质环境和对工程的影响综合确定地面沉降的易发程度。

Table 2. Land subsidence prone area classification table

表 2. 地面沉降易发区等级划分表

易发程度	高易发	中易发	低易发	不易发
综合分值(A)	>6	4~6	2~4	<2

湖州市东部平原区地面沉降易发性分区情况如图 1 所示。由图可知,湖州市无地面沉降高易发区,有地面沉降中易发区 2 个、地面沉降低易发区 1 个、地面沉降不易发区 1 个。

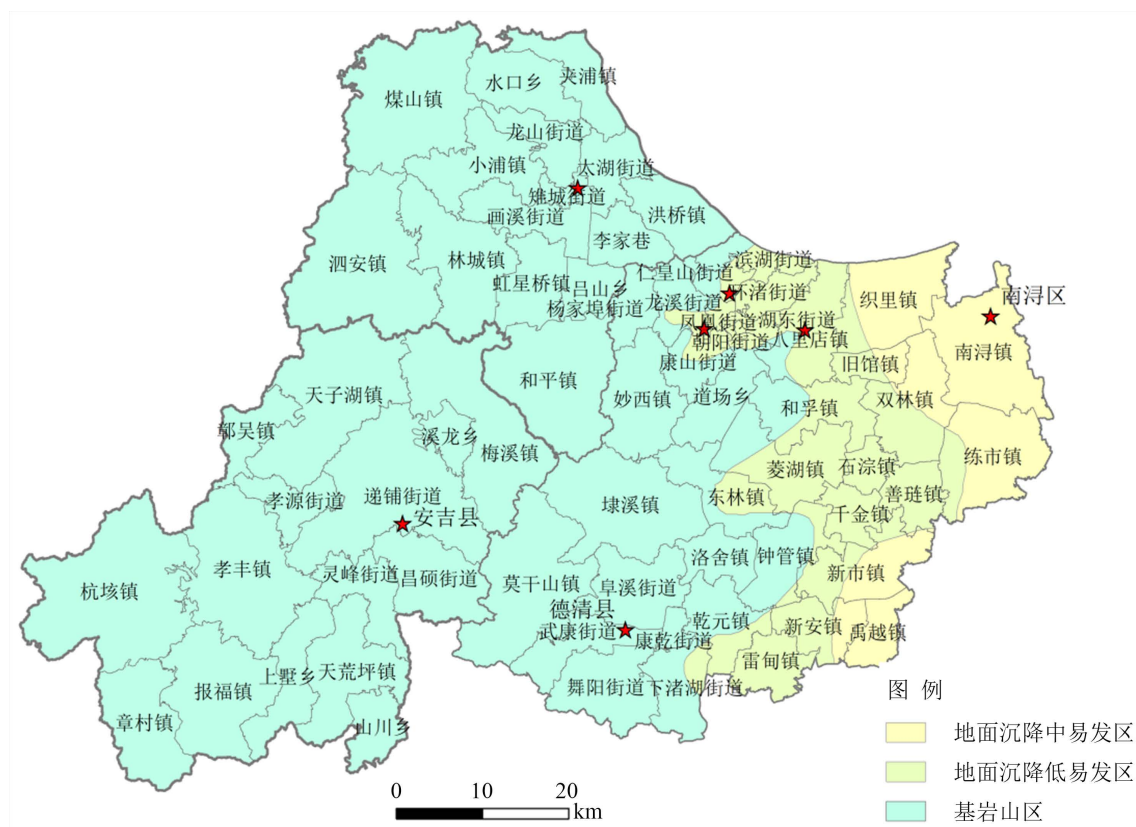


Figure 1. Land subsidence susceptibility zoning map in the eastern plain of Huzhou City

图 1. 湖州市东部平原区地面沉降易发性分区图

地面沉降中易发区:共划定 2 个片区,面积 500.74 km²,主要分布于吴兴区织里镇东部、南浔区南浔镇——旧馆镇东部——双林镇东部——练市镇东部一带和德清县新市镇东部——禹越镇——新安镇东部一带。区内因历史上大量开采地下水而引发区域性地面沉降,现状区域性地面沉降总体趋缓,局部高强度城市建设工程性地面沉降问题较为突出。

地面沉降低易发区:共划定 1 个片区,总面积 757.46 km²,主要分布于湖州市吴兴区、南浔区中部及德清县新市镇西部——新安镇西部——雷甸镇等区域。因历史上大量开采地下水引发局部区域性地面沉降,现状区域性地面沉降总体趋缓,局部高强度城市建设工程性地面沉降问题仍有存在。

地面沉降不易发区:共划定 1 个片区,总面积 508.53 km²,主要分布于湖州市山前冲洪积平原一带。

4. 地面沉降风险性评价

4.1. 评价方法

地面沉降风险评价是在地面沉降易发区划分的基础上,结合地面累计沉降量、地面沉降速率、地面高程、城市人口密度、建设用地占比等评价指标,采用定性与定量相结合的方式进行地面沉降风险区划分,具体评价过程依据浙江省地质环境监测中心提出的方法进行[13]。

根据全省沿海平原区域地面沉降形成机理,结合多年来地面沉降监测成果,采取“经验总结及专家打分”相结合的方法综合确定各评价指标权重,并依据上述单因素评价分级进行赋值。各项指标权重及等级划定见下表 3。

Table 3. Weights of influencing factors and classification table of land subsidence risk zoning
表 3. 地面沉降风险区划分影响因素权重及分级表

影响因素	权重(a_j)	影响因素分级及分值(b_j)			
		3	2	1	
地质条件	地面高程(m)	0.2	<2	2~4	>4
	易发程度	0.1	高易发	中易发	低易发
沉降特征	地面累计沉降量(mm)	0.2	>1000	500~1000	<500
	沉降速率(mm/y)	0.3	>40	20~40	<20
社会经济发 展指标	城市人口密度(万人/km ²)	0.1	>0.2	0.1~0.2	<0.1
	建设用地占比(%)	0.1	>60%	30%~60%	<30%

根据表 4 逐一判断各单因素等级,并将各因素等级分值与其权重相乘得到单因素分值,再将各因素分值累加,从而得到地面沉降综合风险指数 W ,按表 4 标准划分风险区等级。

Table 4. Land subsidence risk zone classification table
表 4. 地面沉降风险区等级划分表

风险等级	高风险区	中风险区	低风险区
地面沉降综合指数(W)	2.5~3.0	1.5~2.5	≤ 1.5

综合风险指数 W 按式(2)计算:

$$W = \sum_{j=1}^n a_j \cdot b_j \quad (2)$$

式中: W ——地面沉降综合风险指数; a_j —— j 类影响因素的权重; b_j —— j 类影响因素的分值。

另外,将高铁、轨道交通等重大工程保护区两侧 200 m 范围划为地面沉降重点防治区(带)。

4.2. 评价指标

1) 地面沉降易发程度

湖州市地面沉降易发性主要为中易发、低易发、不易发三个等级,地质灾害易发区内均为低易发区。

2) 地面高程

湖州市东部冲积平原整体地势较低,平均海拔高程较低,且区内多年未见地面沉降现象,结合湖州市地面沉降发育特征,利用地形图等高线和高程点数据,按 0~2 m、2~4 m、>4 m 内插成三级辅助等高线。

3) 地面沉降现状

利用收集的累计地面沉降量、地面沉降速率监测数据, 绘制等值线图。累计沉降量等值线图按 0~50 mm、50~100 mm、100~200 mm、200~300 mm……级别划分, 地面沉降速率等值线图按 0~5 mm/y、5~10 mm/y、10~20 mm/y、20~30 mm/y、30~40 mm/y……级别划分。

4) 经济社会发展指标

主要包括城市人口密度、建设用地所占占比等。城市人口密度建议按照 0~0.1 万人/km²、0.1~0.2 万人/km²、>0.2 万人/km² 三个级别进行评分。建设用地所占占比建议按照 0%~30%、30%~60%、>60% 进行评分。

4.3. 评价结果

湖州市东部平原区地面沉降风险评价结果如图 2 所示。由图可知, 湖州市东部平原区全域无高风险区, 地面沉降中风险区主要集中在南浔区南浔镇北东部, 面积 34.28 km², 面积占地面沉降易发区面积的 2.72%; 低风险区主要集中在吴兴区基岩山区外全部区域、南浔区西侧大部、德清县全部, 面积 1223.91 km², 面积占地面沉降易发区面积的 97.28%。

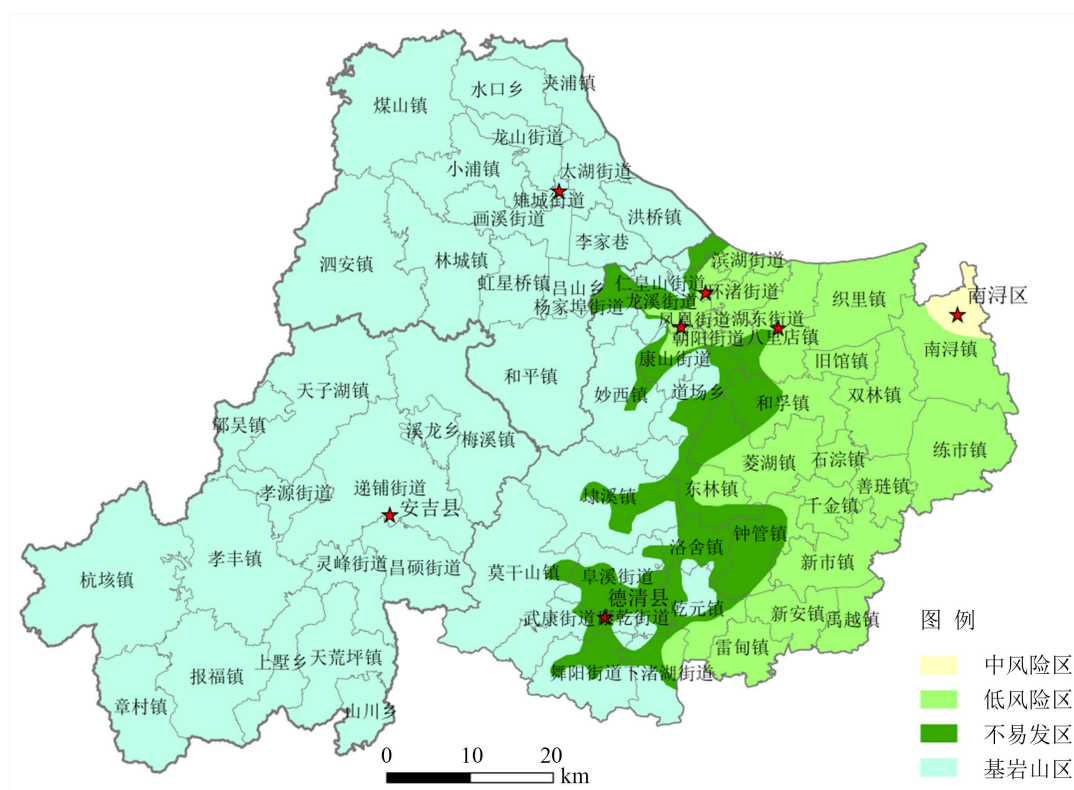


Figure 2. Risk assessment results of land subsidence in Huzhou City

图 2. 湖州市地面沉降风险性评价结果图

5. 结论

1) 考虑软土层厚度、松散层厚度、含水层数量、含水层厚度、地下水开采强度、多年平均沉降速率等因素对湖州市地面沉降易发程度进行分区, 湖州市东部平原区无地面沉降高易发区, 有地面沉降中易发区 2 个、地面沉降低易发区 1 个、地面沉降不易发区 1 个。

2) 结合地面累计沉降量、地面沉降速率、地面高程、城市人口密度、建设用地占比等评价指标, 采

用定性与定量相结合的方式进行地面沉降风险区划分。湖州市东部平原区全域无地面沉降高风险区,中风险区主要集中在南浔镇北东部,面积 34.28 km²,占地面沉降易发区的 2.72%;低风险区主要集中在吴兴区基岩山区外全部区域、南浔区西侧大部、德清县全部,面积 1223.91 km²,占地面沉降易发区的 97.28%。

基金项目

宿州学院 2022 年博士(后)科研启动基金项目(编号: 2022BSK010), 矿井水资源化利用安徽普通高校重点实验室(宿州学院)开放课题(编号: KMWRU202104)。

参考文献

- [1] 王寒梅. 上海地面沉降风险评价及防治管理区建设研究[J]. 上海地质, 2010, 31(4): 7-11+17.
- [2] 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.
- [3] 莫莹. 基于时间序列 InSAR 技术的南昌市地面沉降监测及风险评估[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 东华理工大学, 2020.
- [4] 郑渊茂, 王翠平, 王豪伟, 等. 厦门市地面沉降影响分析与风险评价[J]. 生态学报, 2021, 41(1): 388-400.
- [5] 刘苏平, 施斌, 张诚成, 等. 连云港徐圩地面沉降 BOTDR 监测与评价[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(5): 158-164.
- [6] 王齐鑫, 王龙平, 王泽宇. 安徽阜阳中心城区地面沉降灾害风险评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(4): 32-39.
- [7] 郭福强. 太原市小店区地面沉降风险评价及风险管理[J]. 华北自然资源, 2022(6): 122-124.
- [8] 潘志龙, 周峻辉. 市级地质灾害防治规划编制实践和几个关键问题思考——以湖州市为例[J]. 浙江国土资源, 2021(4): 30-32.
- [9] 潘志龙, 耿国荣. 湖州市突发性地质灾害诱发因素分析与防治对策[J]. 浙江国土资源, 2013(8): 53-55.
- [10] 郭佳妹. 基于自然灾害的浙江省社会脆弱性与适应性评价研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2021.
- [11] 张崇军, 王星, 张二钢, 等. 无人机滑坡地质灾害监测技术及应用研究[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(S1): 319-321.
- [12] 张琳, 杨永强, 汪洁, 等. 基于 RS 和 GIS 的浙江省湖州市某区域矿山环境遥感监测[J]. 矿产勘查, 2021, 12(12): 2447-2457.
- [13] 余孟信. 太湖流域地面沉降区水文资料改正方法研究[J]. 地下水, 1995(4): 149-151.
- [14] 沈慧珍, 吴孟杰. 浙江省地面沉降风险管控研究[J]. 浙江国土资源, 2023(2): 29-30.
- [15] 湖州市人民政府. 湖发改规划[2021] 138 号 湖州市地质灾害防治“十四五”规划[S]. 2021. http://www.huzhou.gov.cn/art/2021/9/16/art_1229566545_3831002.html