

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.04.07

浙江宁波工程性地面沉降特征与风险区划

赵团芝, 侯艳声, 胡新锋

(宁波市地质环境监测站, 浙江 宁波 315042)

摘要: 大规模工程建设活动替代地下水不合理开采, 成为软土地区地面沉降新的影响因素。本文从地面沉降发展历程、第一软土层沉降比、地面沉降与建筑容积率的对应关系、基坑周边实测沉降数据入手, 初步探讨了工程性地面沉降的特征规律。综合考虑累积沉降量、沉降速率、第一软土层厚度、建筑容积率等因素, 开展地面沉降管理危险性、风险性区划研究。结合地面沉降管理区划结果, 从技术管理和行政管理角度, 提出防控工程性地面沉降的具体措施。

关键词: 工程性地面沉降; 软土; 管理区划; 建筑容积率; 防治

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)04-0036-07

Characteristic analysis and risk zoning of engineering land subsidence in Ningbo city

ZHAO Tuanzhi, HOU Yansheng, HU Xinfeng

(Ningbo Monitoring Station for Geological Environment, Ningbo, Zhejiang 315042, China)

Abstract: Large scale engineering construction activities instead of unreasonable exploitation of groundwater has become the new influence factor of land subsidence in soft soil area. According to the development of land subsidence, the settlement ratio of first soft soil, the corresponding relationship between land subsidence and building density and the settlement data measured around foundation pit, the paper preminarily discusses the characteristics of engineering land subsidence. Comprehensive considering the amount of accumulated subsidence, subsidence rate, the thickness of first soft soil layer and the building volume rate, the paper studies the hazard zonation and the risk zonation of land subsidence management. Combined with the division results of land subsidence management, the paper puts forward some concrete measures for the prevention of engineering land subsidence from the technology and the administration.

Keywords: engineering land subsidence; soft soil; management division; building volume rate; prevention

0 引言

地面沉降是缓变型地质灾害, 涉及经济、社会、资源、环境等各个领域, 可造成城市重力排污失效, 地区防洪防汛效能降低, 城市建设和维护费用剧增, 管道、铁路断裂, 建筑物开裂, 威胁城市安全^[1]。我国地面沉降较严重的有上海、天津、苏州、西安、宁波、常州等 50 多个城市, 造成的经济损失仅长江三角洲地区高达

4000×10^8 元^[2-5], 成为沿海城市主要的环境地质问题, 长期威胁着城市的建设和发展。

地面沉降发生的主要因素有开发利用地下流体资源和固体矿产、岩溶塌陷和工程环境效应。其中, 工程环境效应是近年来新的沉降制约因素, 在城市化进程中不断显露。黄健民^[6]对广州金沙洲地面沉降成因进行了分析, 认为某高铁隧道施工大量抽排水是诱发和加剧地面沉降的主要因素。姜媛^[7]在北京地面沉

收稿日期: 2014-11-28; 修订日期: 2015-02-16

作者简介: 赵团芝 (1982-), 男, 汉族, 江苏邳州人, 硕士, 工程师, 主要从事地下水、地面沉降监测与防治方面工作。E-mail: zhaotuanzhi@163.com

降风险评价与管理中,详细说明了地面沉降风险评价的评价体系、评价指标及评价方法及过程。严学新^[8]、唐益群^[9]等研究了在地下水开采条件下密集建筑群诱发地面沉降的规律和机理,提出了防治地面沉降的合理化建议与措施。

宁波地处滨海软土地区,过去不合理地开采地下水资源,形成了以和丰创意广场(原和丰纱厂)为中心的地面沉降漏斗区。2008 年底,中心城区实施地下水禁采措施后,地面沉降速率得到有效控制。但在构建以三江口和东部新城为中心的“双心三轴一带”的城市空间结构进程中,快速的城市化建设致使中心城区出现了多个沉降漏斗区,并有扩大连片的趋势,工程建设的地面沉降效应逐渐凸显。本文主要探讨在地下水零开采条件下工程性地面沉降的发育规律,结合地面沉降管理危险性、风险性区划成果,提出具体的地面沉降管控措施,实现中心城区年度地面沉降速率 10 mm 的控沉目标,为保护地质环境、科学防灾减灾提供技术支撑。

表 1 浅部软土层的物理力学指标统计
Table 1 Physical-mechanic indices of the shallow soft soils

序号	土层名称	$w/\%$	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	e	$W_p/\%$	I_p	I_L	压缩		固结快剪	
								$a/(\text{MPa}^{-1})$	E_s/MPa	c/kPa	$\psi/(\text{^\circ})$
① ₂	淤泥质粘土、淤泥	53.2	16.9	1.502	45.0	21.5	1.38	1.18	2.36	13.7	8.5
② ₂	淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土	48.7	17.3	1.366	40.3	18.2	1.47	0.99	2.57	14.0	9.2
② ₃	淤泥质粉质粘土	44.5	17.6	1.25	37.5	16.4	1.43	0.92	2.76	14.6	9.9
③ ₂	淤泥质粉质粘土	37.3	18.2	1.064	35	14.6	1.20	0.63	3.68	17.0	12.2

2 工程性地面沉降特征分析

2.1 地面沉降发展历程

宁波市大量开发地下水引起地面沉降,先后经历地面沉降初期(1964 ~ 1977 年)、地面沉降发展期(1978 ~ 1985 年)、地面沉降基本控制期(1986 年以来)等阶段。1986 年起,宁波市政府采取地下水计划开发、加大地下水回灌力度等措施,地面沉降速率有所缓和。截止 2008 年,宁波中心城区全面实行地下水禁采,地下水水位逐步回升,但地面继续下沉,沉降漏斗继续扩展(表 2)。

2.2 第一软土层沉降比

宁波市地面沉降监测中心监测数据显示,2009 年、2010 年和 2013 年第一软土层沉降量占总体沉降量的 93.7%、98.4% 和 90.9%,与该中心邻近的和丰创意广场、银亿·东岸住宅楼相继于 2009 年底、2013 年

1 地质环境条件概述

1.1 第四系地层

宁波平原在多次海陆变迁中,发育一套复杂的陆相、海陆交互相沉积物。第四系厚度在平原区为 85 ~ 100 m,市区一带厚度约 90 m,向滨海递增至 120 m。50 m 以下为陆相堆积,以冲积砂、砂砾与冲湖积粘性土互层,构成了粗细相间的地层结构;50 m 以浅地层,是海相与陆相粘性土互层,构成软硬土相间的地层结构。这种海陆交互式沉积环境决定了研究区的水文地质、工程地质特征。

1.2 软土的工程地质性质

宁波平原软土层分布广,厚度大,埋深浅。浅部软土层主要是①₂层(mQ_4^3)、②₂、②₃层(mQ_4^2)和③₂(mQ_4^1)层,埋深约 21 m,土质主要为淤泥、淤泥质粘土和淤泥质粉质粘土。根据其物理力学性质指标统计分析(表 1),宁波软土主要呈现高天然含水率、高压缩性、低抗剪性、低渗透性等特点。因此,宁波平原地质环境条件十分敏感和脆弱。

开始基坑工程施工。无论是从空间上、时间上,基坑工程建设周期与第一软土层沉降比显著增加有极为密切的关系。

表 2 中心城区地面沉降发展动态
Table 2 Dynamic development of land subsidence
in the central city

年度	50 ~ 100 mm	100 ~ 200 mm	200 ~ 300 mm	300 ~ 400 mm	>400 mm	> 0 mm
2008	81.75	25.25	14.25	4.0	2.0	296.5
2009	94.0	26.5	15.5	4.25	2.25	318.0
2010	96.0	29.0	16.0	4.5	2.5	323.0
2011	130.0	48.0	16.7	4.9	2.8	346.0
2012	131.3	49.1	17.2	5.24	3.1	348.0
2013	141.9	111.1	20.9	7.8	3.7	431.4

注:沉降区间面积单位为 km^2

2.3 地面沉降与建筑容积率的对应关系

基于宁波市三维地图的建筑物矢量化数据,计算

并绘制研究区内建筑容积率成果图(图1),在现状和未来城市中,高层建筑以及密集建筑群建设的荷载特征主要反映在建筑容积率上。通过对比分析图2发现,在建筑容积率出现峰值部位,累积沉降量、沉降速率均出现峰值,说明累积沉降量、沉降速率与建筑容积率之间存在对应关系。

2.4 工程性地面沉降发育规律

按照不同围护形式,选取拟建与在建的典型基坑工程,开展专项地面沉降监测,绘制地面沉降曲线(图3)。靠近支护结构处的地表沉降量约为0.3~0.6倍 H_e (开挖深度);从基坑围护结构至1~1.5倍 H_e 处,沉降量明显逐渐增大,达到最大值;在1.5~3倍 H_e 处,沉降量急剧减小;在3倍 H_e 以外,基坑周边沉降量减小的趋势不变或变缓。大部分基坑的最大沉降量

均发生在1~2倍 H_e 范围内,主要集中在1.5倍 H_e 左右。根据沉降曲线趋势外推判断,基坑的地面沉降效应主要影响范围为6.0倍 H_e 。

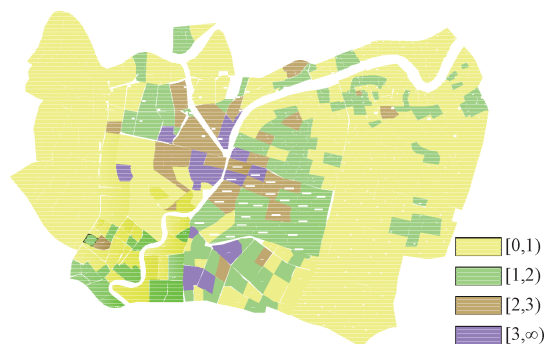


图1 中心城区建筑容积率分布图

Fig.1 Distribution of the building volume rate in center city

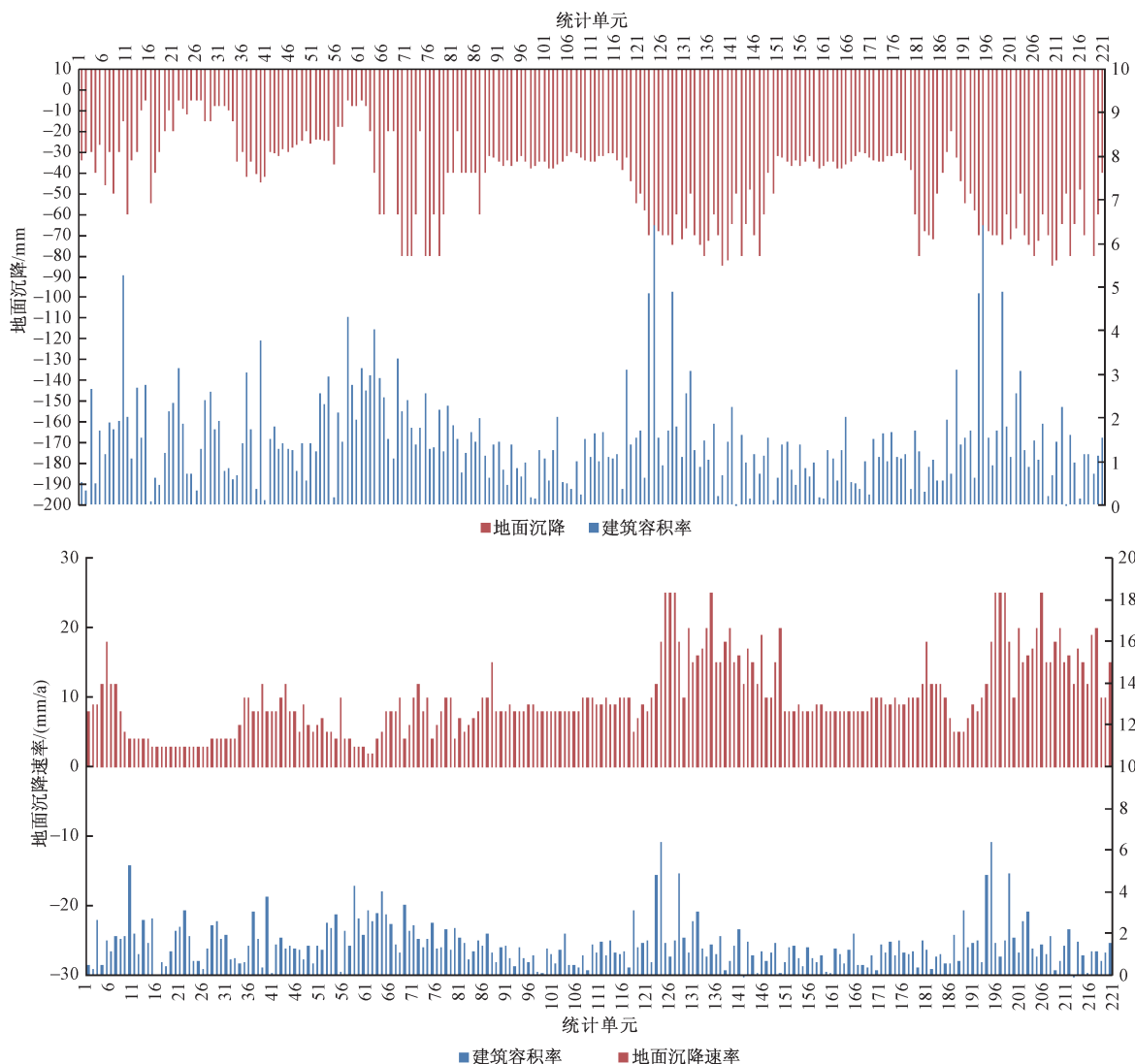


图2 建筑容积率、累积沉降量、沉降速率对应柱状图

Fig.2 Histogram of cumulative settlement, subsidence rate and volume rate

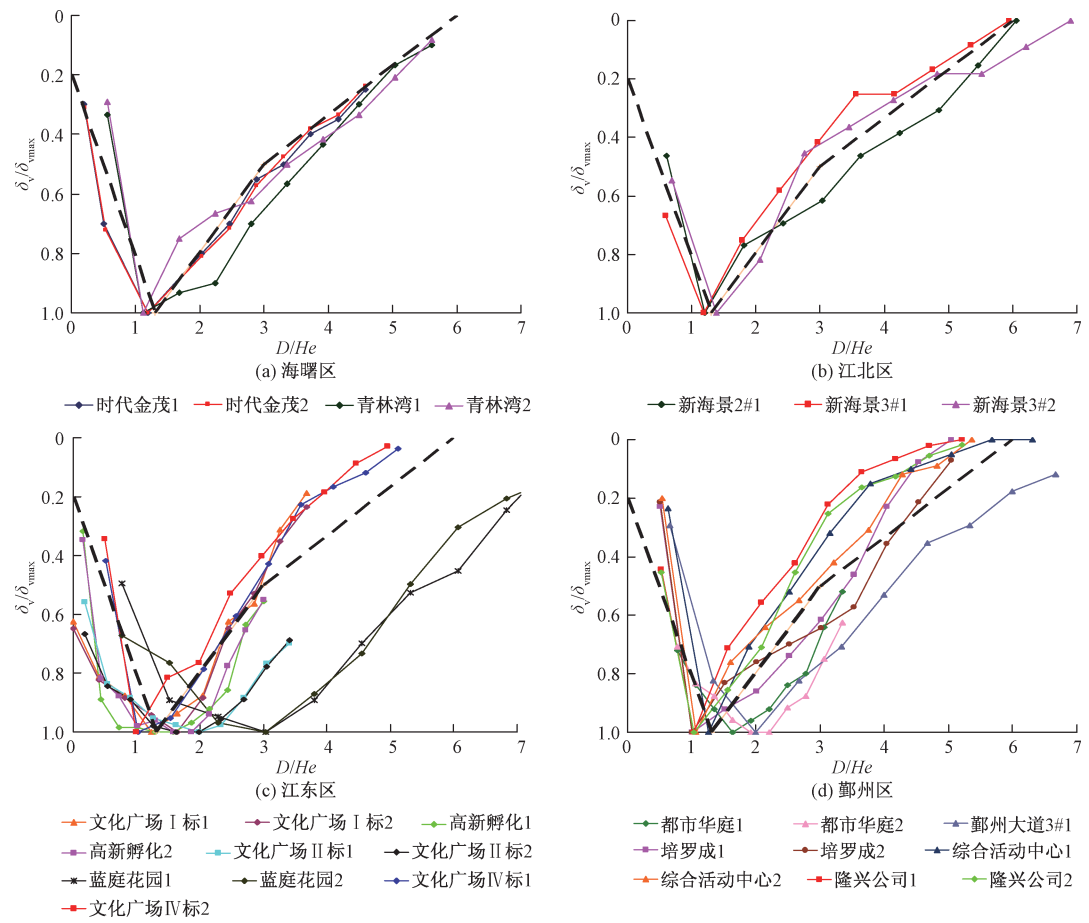


图 3 各行政区典型基坑地面沉降曲线

Fig. 3 Land subsidence curves of typical foundation pit in each region

注:横坐标 D/He ; D 表示监测点与基坑围护结构的距离, He 表示基坑开挖深度;纵坐标 δ_v/δ_{vmax} ; δ_v 为监测点沉降量, δ_{vmax} 表示所有监测点最大沉降量。

3 地面沉降控制管理区划

3.1 现状城市沉降危险性区划

3.1.1 指标量化

选取累积沉降量和沉降速率作为地面沉降危险性评价指标,按照预定分级数进行指标分段,分段赋值见表 3。

表 3 危险性评价指标及量化取值					
Table 3 Hazardous evaluation indices and quantization values					
影响因子	0	1	3	6	9
累积沉降量 Q/mm	$Q=0$	$0 < Q \leq 50$	$50 < Q \leq 100$	$100 < Q \leq 200$	$Q > 200$
沉降速率 $S/(mm \cdot a^{-1})$	$S=0$	$0 < S \leq 10$	$10 < S \leq 20$	$20 < S \leq 30$	$S > 30$

3.1.2 危险性指数计算

根据累积沉降量和沉降速率计算地面沉降危险性指数:

$$Z_p = K_q \cdot Z_q + K_s \cdot Z_s \tag{1}$$

式中: Z_p ——现状城市地面沉降危险性指数;

Z_q ——累积沉降量因子的量化值;

K_q ——累积沉降量因子的权重系数;

Z_s ——沉降速率因子的量化值,

K_s ——为沉降速率因子的权重系数。

将沉降危险性指数由高到低排序生成曲线,根据曲线分布规律评定地面沉降危险性等级,划标准见表 4。

表 4 危险性区划标准					
Table 4 Standard of hazard zonation					
危险性指数	$Z > 7$	$4 < Z \leq 7$	$2 < Z \leq 4$	$0 < Z \leq 2$	$Z = 0$
危险性等级	V	IV	III	II	I
危险程度	高	较高	中	低	无

注:以上取值根据类比及经验确定。

按下式计算各危险性分区面密度:

$$Z_x = T_{ijk} = N_{ijk} / M_{ijk} \tag{2}$$

式中: T_{ijk} —— i 因子 j 水平在 k 区段下的面密度, $i=1$ 为累积沉降量, $i=2$ 为沉降速率, $j=1 \sim 5$ 为 i 因子的 5 个水

平数, k 为某评价区块的编号(由多个基础网格组成);
 N_{ijk} —— i 因子 j 水平在 k 区段下发生地面沉降的
网格数;
 M_{ijk} ——评价区段包含的网格数。

3.1.3 危险性区划分析

根据宁波地面沉降现状特征,沉降速率主要反映了
地下水停采后工程性地面沉降发展趋势,累积沉降量反
映了地下水开采和工程建设引起的地面沉降历史,重点
考虑 $K_q=0.3$, $K_s=0.7$ 的模式作为危险性区划的依据。
将计算所得的危险性指数与评价单元网格进行对应,形
成网格图形的属性数据,对数据进行分级,不同分区赋
以不同的颜色,形成危险性区划图,同时给出地面沉降
危险性分区的分布面积及面密度(图 4、表 5)。

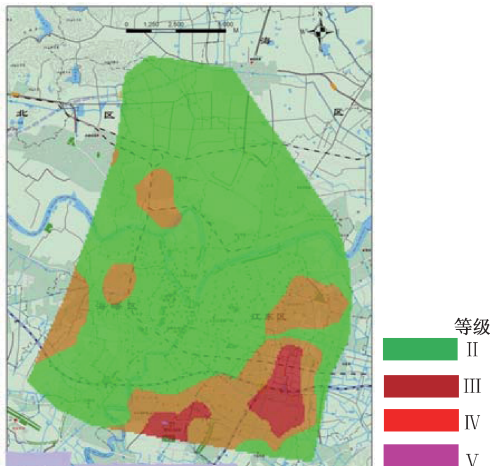


图 4 地面沉降危险性分区图 ($K_q=0.3, K_s=0.7$)
Fig.4 Hazard zoning map of subsidence($K_q=0.3, K_s=0.7$)

表 5 危险区面积及面密度统计

Table 5 Hazardous area and density

危险性分区	面积/km ²	面密度/%
I	0	0
II	169.62	75
III	44.63	20
IV	11.61	5
V	0.03	0

3.2 地面沉降风险性区划

3.2.1 指标量化

参照天津、沧州、北京地区经验及罗元华等编写
的《地质灾害风险评估方法》,选取累积沉降量、沉降
速率、第 I 软土层厚度作为危险性因素评价因子,建
筑容积率作为易损性因素评价因子,分段赋值见
表 6。

3.2.2 风险性指数计算

采用加权综合评价法,综合考虑各因子对总体对
象的影响程度,用风险性指数集中表示整个评价对象
的优劣,其计算公式为:

$$K = \sum_{i=1}^n \omega_i Z_i$$

(3)

式中: K ——各评价因子总分值;
 ω_i ——第 i 个因子权重;
 Z_i ——第 i 个因子分值; n 为评价因子个数。

根据各评价因子总分值,将地面沉降风险性等级
划分 5 级。基于城市防洪考虑,在宁波城区三江六岸
设置 100 m 缓冲区,将原有风险性等级提高一级(表
7)。

表 6 风险性评价指标及量化取值

Table 6 Risk evaluation indices and quantization values

因素	因子	权重	分级与分值				
			0	1	3	6	9
危险性	累积沉降量 Q/mm	0.36	$Q=0$	$0 < Q \leq 50$	$50 < Q \leq 100$	$100 < Q \leq 200$	$Q > 200$
	沉降速率 $S/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	0.22	$S=0$	$0 < S \leq 10$	$10 < S \leq 20$	$20 < S \leq 30$	$S > 30$
	第 I 软土层厚度 H/m	0.14	—	$H \leq 10$	$10 < H \leq 20$	$20 < H \leq 30$	$H > 30$
易损性	建筑容积率 F	0.28	$F=0$	$0 < F \leq 1$	$1 < F \leq 2$	$2 < F \leq 3$	$F > 3$

表 7 风险性区划标准

Table 7 Standard of risk zonation

风险性指数		$K > 7$	$4 < K \leq 7$	$2 < K \leq 4$	$0 < K \leq 2$	$K = 0$
风险性 等级	非沿江 缓冲区	高(V)	中(IV)	低(III)	微(II)	无(I)
	沿江缓冲区	高(V)	高(V)	中(IV)	低(III)	无(I)

注:以上取值根据类比及经验确定。

3.2.3 风险性区划分析

采用 GIS 软件配准第 I 软土层厚度等值线图 and 建
筑容积率分区图,将矢量化的第 I 软土层厚度等值线

图、建筑容积率分区图、累积沉降量及沉降速率图件转
换为栅格图,权重叠加分析生成分区栅格图,最终优化
为风险性区划图(图 5、表 8)。

表 8 风险区面积及面密度统计

Table 8 Risk area and density

风险性分区	面积/km ²	面密度/%
I	0	0
II	49.81	32.91
III	96.55	63.80
IV	4.98	3.29
V	0	0

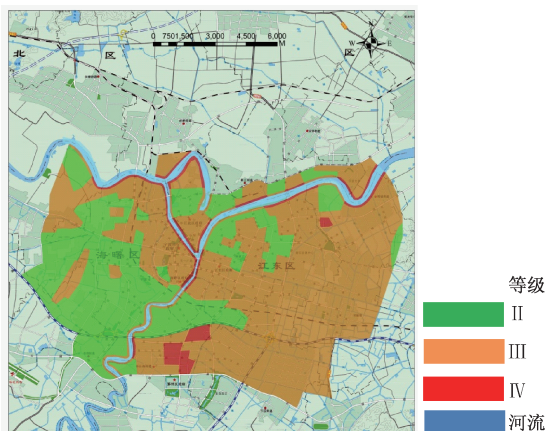


图5 地面沉降风险性区划图

Fig. 5 Risk zoning map of subsidence

Ⅳ区主要分布在天童北路、嵩江路交叉口附近及江南路、院士路交叉口东南侧,此区域累积沉降量、沉降速率、建筑容积率均较大;还有一部分分布在沿江区域,此区对于地面沉降控制要求较高。Ⅲ区主要分布在四个区块,第一区块位于两个江的交汇处,此区域建筑容积率较大;第二区块位于杭甬高速、奉化江、鄞县大道、世纪大道包围区域,此区域累积沉降量、沉降速率均较大;第三区块位于甬江、中兴路、杭甬高速、世纪大道包围区域及世纪大道以西,此区域沉降速率、第Ⅰ软土层厚度较大;第四区块主要分布在部分沿江区域,此区对于地面沉降控制要求较高。其余均为Ⅱ区,主要分布在中心城区的西南侧及东北角。其中西南侧累积沉降量、沉降速率、建筑容积率、第Ⅰ软土层厚度均较小,东北角第Ⅰ软土层厚度较大,其余均较小。

4 工程性地面沉降防治对策

地面沉降灾害涉及经济、社会、资源、环境等各个领域,其防治工作是一项专业性、综合性和基础性事业。要综合运用行政和技术管理手段,通过科技带动控沉理念、防治方法、监管应用等全面进步,将工程性地面沉降速率控制在合理的范围内,促进城市建设与地质环境协调发展。

4.1 开展专项沉降监测

根据地面沉降危险性、风险性区划结果,进一步优化现有地面沉降监测网络。对于累积沉降量、沉降速率较大的区块,开展专项地面沉降监测工作,加大监测密度,提高频率和精度,客观地反映工程性地面沉降发育规律,为工程性地面沉降理论研究及防控措施提供基础数据。

4.2 注重技术理论研究

在沉降速率、建筑容积率较大的区块,选择密集高

层建筑群、轨道交通等典型工程,分析各类工程建设引发地面沉降的影响因素,建立沉降模型,探讨沉降机理和发育规律。按照地面沉降防治总体要求,合理确定不同分区的地面沉降控制指标,通过对重要城市功能区或重大工程建设区设置地面沉降预警值,避免或减少工程性地面沉降发生,有效控制地面沉降发展。

4.3 加强行政监督管理

市政府要成立地面沉降防治工作领导小组,加强地面沉降防治的组织领导。领导小组各成员单位按照其工作职责,市国土资源部门负责全市地面沉降防治的组织、协调、指导和监督工作;市建设、交通部门负责城市建设项目和交通工程项目在立项、设计、施工和运行管理过程中地面沉降防治工作;市水利部门负责地下水开发利用的监督管理和执法工作;市发改、规划等部门各司其职,形成工作合力,共同做好地面沉降防治工作。

4.4 推进管理法制化建设

尽快制定并颁布实施宁波市地面沉降管理相关办法,从法规制度层面,进一步明确专项规划编制、组织机构成立、专项经费落实等,保障地面沉降防治各项工作落实到位,切实将地面沉降综合防治工作纳入整个城市防灾减灾工作体系中,实现地质资源开发与地质环境保护和谐统一。

参考文献:

- [1] 李敏,段绍伯. 上海生态环境的水灾害风险分析[J]. 上海环境科学,1996,15(12):45-47.
LI Min, DUAN Shaobo. Risk analysis on flood disaster of Shanghai ecological environment [J]. Shanghai Environmental Sciences, 1996,15(12):45-47.
- [2] 张维然,段正梁,曾正强,等. 1921-2000年上海市地面沉降灾害经济损失评估[J]. 同济大学学报,2003,31(6):743-748.
ZHANG Weiran, DUAN Zhengliang, ZENG Zhengqiang, et al. Evaluation on economic losses resulted from land subsidence in Shanghai: 1921-2000 [J]. Journal of Tongji University, 2003,31(6):743-748.
- [3] 朱兴贤,朱锦旗. 苏锡常地区地面沉降灾害与经济损失分析[J]. 水文地质工程地质,1997,34(3):24-25.
ZHU Xingxian, ZHU Jinqi. Analysis on economic losses and disaster resulted from land subsidence in Suzhou-Wuxi-Changzhou area [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1997,34(3):24-25.
- [4] 吴孟杰,吴李泉,等. 杭嘉湖地区地面沉降经济损失评估报告[R]. 杭州:浙江省地质环境监测总站,2006.

- WU Mengjie, WU Liquan, et al. Evaluation report of economic losses resulted from land subsidence in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou area [M]. Hangzhou: Zhejiang General Monitoring Station for Geological Environment, 2006.
- [5] 侯艳声, 赵团芝, 吴李泉, 等. 宁波市地面沉降经济损失评估[R]. 宁波: 宁波市地质环境监测站, 2009.
- HOU Yansheng, ZHAO Tuanzhi, WU Liquan, et al. Evaluation on economic losses resulted from land subsidence in Ningbo city [R]. Ningbo: Ningbo Monitoring Station for Geological Environment, 2009.
- [6] 黄健民, 郭宇, 胡让全, 等. 广州金沙洲地面沉降成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(2): 61-67.
- HUANG Jianmin, GUO Yu, HU Rangquan, et al. Analysis of land subsidence in Jinshazhou area, Guangzhou city [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(2): 61-67.
- [7] 姜媛, 贾三满, 王海刚. 北京地面沉降风险评价与管理[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(1): 55-60.
- JIANG Yuan, JIA Sanman, WANG Haigang. Risk assessment and management of land subsidence in Beijing Plain [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(1): 55-60.
- [8] 严学新, 龚士良, 曾正强, 等. 上海城区建筑密度与地面沉降关系分析[J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(6): 21-25.
- YAN Xuexin, GONG Shiliang, ZENG Zhengqiang, et al. Relationship between building density and land subsidence in Shanghai urban zone [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2002, 29(6): 21-25.
- [9] 唐益群, 周念清, 王建秀, 等. 软土环境工程地质学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- TANG Yiqun, ZHOU Nianqing, WANG Jianxiu, et al. Soft soil environment engineering geology [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.

(上接第 35 页)

- [15] 黑君森. 基于 Kalman 滤波的滑坡监测数据处理与分析[D]. 安徽理工大学, 硕士学位论文, 2011.
- HEI Junmiao. Data processing and analysis for monitoring landslide deformation based on Kalman filtering [D]. Anhui University of Science and Technology, Master's Dissertation, 2011.
- [16] 陆付民. 卡尔曼滤波在大坝变形分析中的应用[J]. 勘察科学技术, 2002: 43-45.
- LU Fumin. Application of Kalman filter method in dam deformation analysis [J]. Site Investigation Science and Technology, 2002: 43-45.
- [17] 王利, 李亚红, 刘万林. 卡尔曼滤波在大坝动态变形监测数据处理中的应用[J]. 西安科技大学学报, 2006, 26(3): 353-357.
- WANG Li, LI Yahong, LIU Wanlin. Application of Kalman filtering in data procession of dam dynamic deformation monitoring [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2006, 26(3): 353-357.
- [18] 梅连友. 卡尔曼滤波在滑坡监测中的应用[J]. 测绘工程, 2004, 13(3): 13-15.
- MEI Lianyou. Application of Kalman filter in landslide monitoring [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2004, 13(3): 13-15.
- [19] 唐春艳, 彭继兵. 基于交互多模法的 Kalman 平滑器在滑坡监测中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005(2): 92-95.
- TANG Chunyan, PENG Jibing. Application of the Kalman smoother based on interactive multiple models algorithm in the landslide monitoring [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005(2): 92-95.
- [20] 刘娜. 施工隧道监测管理系统中的数据处理研究[D]. 西安建筑科技大学, 硕士学位论文, 2011.
- LIU Na. The Study on data processing method in monitoring and management system [D]. Master's Dissertation, 2011.
- [21] 陈明金, 欧阳祖熙, 范国胜. 基于数据融合的滑坡综合监测信息提取方法[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(6): 77-81.
- CHEN Mingjin, OUYANG Zuxi, FAN Guosheng. On information extraction method based on data fusion for integrated landslide monitoring [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2007, 27(6): 77-81.
- [22] 刘明贵, 杨永波. 信息融合技术在边坡监测与预报系统中的应用[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(5): 607-610.
- LIU Minggui, YANG Yongbo. Application of information fusion in slope monitoring and prediction system [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(5): 607-610.