

深圳市南山区填海区地面沉降分区及评价

许丹丹, 蒋方媛, 景兴达, 薛晨阳

(深圳市勘察研究院有限公司, 深圳 518026)

摘要: 以1986~2019年卫星影像图为依据,分析了南山区填海区的填海历史进程;对收集到的填海区相关地质资料进行整理分析,查明南山区填海区的软土分布并生成了软土等值线图,对填海区地面沉降做出预测计算与分析;从多方面对填海区地面沉降易发程度和危险性进行分析评价,对其进行易发程度分区及危险程度分区,并对各区详细情况进行综述、评价地面沉降的危害程度,最后对填海区地面沉降的发展趋势做出预测预报,为有效的预防和控制地面沉降的产生提供科学依据。

关键词: 填海;软土调查;等值线图;地面沉降;易发性分区;危险性分区

中图分类号: P642.26;P642.15 **文献标识码:** A

SUBDIVISION AND EVALUATION OF LAND SUBSIDENCE IN RECLAMATION AREA OF NANSHAN DISTRICT, SHENZHEN CITY

XU Dan-dan, JIANG Fang-yuan, JING Xing-da, XUE Chen-yang

(Shenzhen Investigation & Research Institute Co. LTD, Guangdong Shenzhen 518026, China)

Abstract: Based on satellite imagery from 1986 to 2019, this paper analyzes the historical process of reclamation in the reclamation area in Nanshan District; sorts out and analyzes the collected geological data of the reclamation area, and finds out the distribution of soft soil in the reclamation area in Nanshan District. The soft soil contour map is used to predict and calculate and analyze the land subsidence of the reclamation area; analyze and evaluate the susceptibility and risk of land subsidence in the reclamation area from various aspects, and divide the susceptibility and danger level of it. It also summarizes the detailed situation of each area, evaluates the hazard degree of land subsidence, and finally predicts the development trend of land subsidence in the reclamation area, which provides a scientific basis for effective prevention and control of land subsidence.

Key words: Reclamation; soft soil survey; contour map; land subsidence; susceptibility zone; danger zone

1 前言

南山区拥有长约40 km的海岸线,是典型的滨海城区,地势北高南低。海岸线长而平直,泥滩宽广且扩展较快,其软土主要分布于南部蛇口半岛及北部南头的冲积平原内。前海位于伶仃洋东侧,珠江

入海水动力条件变弱,水流带来的大量陆源物质在此沉积。前海位于深圳湾西岸,泥沙主要受大沙河补给^[1-2]。

自深圳特区创建以来,围海造地就一直没有停止过。围海造地初期是因为港口、码头、机场的需要,如盐田港、宝安机场以及妈湾港、蛇口码头

等^[3]。通过南山区 1986 年、1999 年、2009 年、2019 年卫星影像图^[4-6],对比计算可知:南山区最早开始的围海造地是开始于 20 世纪 80 年代,填海造地的目的是为妈湾港的建设。近 30 余年来,南山区已完成填海造地工程共计 39.71 km²。受人类填海造地的影响,南山区的东西两侧海岸线以陆地分布发生了很大的变化,如图 1~4。

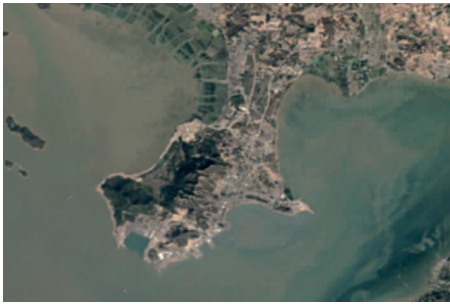


图 1 1986 年南山区卫星影像图



图 2 1999 年南山区卫星影像图



图 3 2009 年南山区卫星影像图

其中前海填海区主要位于月亮湾以西区域,总面积约 11.21 km²;后海填海区主要位于白石洲以南、后海大道以东区域,总面积约 17.01 km²;南部蛇口港及其它区域总面积约 11.49 km²。

2 填海区软土调查

本区域研究软土范围包括有海冲积淤泥、淤泥质土、淤泥质砂、砂质淤泥、泥炭土和软黏土等^[7]。南山区软土主要分布在前海、后海填海区及蛇口港



图 4 2019 年南山区卫星影像图

填海区,区内软土分布广泛,厚度较大。通过收集深圳市南山区填海区勘察资料 120 余份,并提取有效钻孔 173 个(主要分布于前海、后海填海区)。

2.1 前海区

该区位于深圳市南山区月亮湾大道以西,南头检查站以南,妈湾码头以北,西邻海域。该区软土厚度总体变化范围为 0.0~20.5 m(图 5)。整体分布在区域内并不呈明显规律。其中软土厚度较大的区域主要集中在月亮湾以西,临海大道、兴海大道;另外沿江高速两侧、东滨路一带区域分布也比较厚,厚度约 10.0~17.0 m。



图 5 前海软土层厚度等值线示意图

2.2 后海区

后海填海区最具代表的软土场地是深圳湾。其软土层厚度为 0.3~15 m(图 6),分布特点表现为北部潮间带淤泥深度普遍 6~7 m,越往北厚度越小,

西部浅滩淤泥层东头角附近最厚,由于该区域填海较早,受围海造地、修筑海堤等人类活动影响较大,导致该区域局部厚度变化较大^[8]。

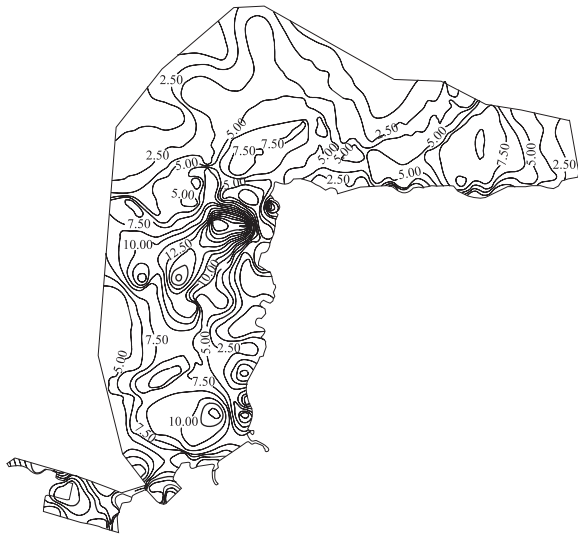


图 6 后海软土厚度等值线图

根据收集整理的勘察资料结合上述内容可知,填海区主要地层自上而下分别为:第四系人工填土层(Q_4^{ml})、第四系海陆交互沉积层(Q_4^{mc})、第四系冲洪积层(Q^{al+pl})、第四系残积层(Q^{el})、场地下伏基岩为花岗侵入岩。

其中人工填土包括有素填土、压实填土、杂填土和填石等,在整个填海区均有分布。前海区范围内分布厚度为 5.00~13.75 m(如图 7);后海区范围内分布厚度为 2.50~15.0 m(如图 8)。

3 地面沉降预测计算与分析

基于以上分析,根据搜集到的钻孔资料,对不同工况下软土区的沉降量计算。

3.1 填海区软土的沉降和次固结沉降

若在未经地基处理的软土层上进行工程活动将引起明显的地面沉降和不均匀沉降。本次对未经处理的软土层进行沉降量计算。

(1) 后海地区情况

南山后海地区原始地面高程约为 0.5~1.0 m,淤泥顶面高程为 0.0~1.0 m 左右,后经人工围海造陆,淤泥层顶有厚度不等的人工填土层。

假设:软土的平均厚度 H 为 6.0 m,孔隙比 $e_1 = 2.20$,压缩指数 $C_c = 0.660$,固结系数取 $C_v = 0.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$,软土的顶面高程取 0.0 m,地下水位高程取为 1.0 m。上部填土层厚度取 6.0 m,上部地面荷载取 30 kPa。

填土层厚度取 6.0 m; $p_1 = \gamma h = 114 \text{ kPa}$;



图 7 前海填土厚度等值线示意图



图 8 后海填土厚度等值线示意图

地面荷载: $p_2 = 30 \text{ kPa}$;

预压荷载为 $\Delta p = p_1 + p_2 = 144 \text{ kPa}$;

软土层中部的自重有效应力为 $p_0 = 17.37 \text{ kPa}$;

软土层的总沉降 $S_c = 119.8 \text{ cm}$ 。

对于填海区填土施工完工后 $t \text{ a}$,淤泥层竖向平均固结度为:

$$\bar{U}_z \approx 1 - 0.810569e^{(-0.064843t)}$$

未进行处理的填海区施压后, $t = 1.5 \text{ a}$, $t = 5 \text{ a}$

的固结度 \bar{U}_z 分别为 26.5%、41.4%，完成的沉降量分别为 31.75 cm、49.60 cm。次固结沉降量 $S_a = 5\% S_c = 5.99$ cm。

$t=1.5$ a、 $t=5$ a 后的剩余沉降量分别为 94.04 cm、76.2 cm。

(2) 前海地区情况

南山前海地区原始地面高程约为 0.5~1.0 m，淤泥顶面高程为 0.0~1.0 m 左右，后经人工围海造陆，淤泥层顶有厚度不等的人工填土层。

假设：软土的平均厚度 H 为 8.0 m，孔隙比 $e_1 = 2.20$ ，压缩指数 $C_c = 0.660$ ，固结系数取 $C_v = 0.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ，软土的顶面高程取 0.0 m，地下水位高程取为 1.0 m。上部填土层厚度取 8.0 m，上部地面荷载取 30 kPa。

填土层厚度取 8.0 m； $p_1 = \gamma h = 152$ kPa；

地面荷载： $p_2 = 30$ kPa；

预压荷载为 $\Delta p = p_1 + p_2 = 182$ kPa；

软土层中部的自重有效应力为 $p_0 = 23.16$ kPa；

软土层的总沉降 $S_c = 156.3$ cm。

对于填海区填土施工完工后 t a，淤泥层竖向平均固结度为：

$$\bar{U}_z \approx 1 - 0.810569 e^{(-0.036474 t)}$$

未进行处理的填海区施压后， $t=1.5$ a、 $t=5$ a 的固结度 \bar{U}_z 分别为 23.3%、32.5%，完成的沉降量分别为 36.42 cm、50.80 cm。次固结沉降量 $S_a = 5\% S_c = 7.8$ cm。

$t=1.5$ a、 $t=5$ a 后的剩余沉降量分别为 127.68 cm、113.30 cm。

(3) 蛇口港地区情况

南山蛇口港地区填海区位于前海潮间带，原始地面高程约为 0.5~1.0 m，淤泥顶面高程为 0.0~1.0 m 左右，后经人工围海造陆，淤泥层顶有厚度不等的人工填土层。

假设：软土的平均厚度 H 为 5.0 m，孔隙比 $e_1 = 2.20$ ，压缩指数 $C_c = 0.660$ ，固结系数取 $C_v = 0.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ ，软土的顶面高程取 0.0 m，地下水位高程取为 1.0 m。上部填土层厚度取 5.0 m，上部地面荷载取 30 kPa。

填土层厚度取 5.0 m； $p_1 = \gamma h = 19 \times 5.0 = 95$ kPa；

地面荷载： $p_2 = 30$ kPa；

预压荷载为 $\Delta p = p_1 + p_2 = 125$ kPa；

软土层中部的自重有效应力为 $p_0 = 14.48$ kPa；

软土层的总沉降 $S_c = 101.4$ cm。

对于填海区填土施工完工后 t a，淤泥层竖向平均固结度为：

$$\bar{U}_z \approx 1 - 0.810569 e^{(-0.093374 t)}$$

未进行处理的填海区施压后， $t=1.5$ a、 $t=5$ a 的固结度 \bar{U}_z 分别为 29.5%、49.2%，完成的沉降量分别为 29.91 cm、49.89 cm。次固结沉降量 $S_a = 5\% S_c = 5.1$ cm。

$t=1.5$ a、 $t=5$ a 后的剩余沉降量分别为 76.59 cm、56.61 cm。

3.2 填海区地面沉降预测

根据以上计算结果，并通过利用 mapgis 中克里金法进行插值，生成了后海区、前海区的沉降量等值线图，具体如图 9 和图 10 所示。

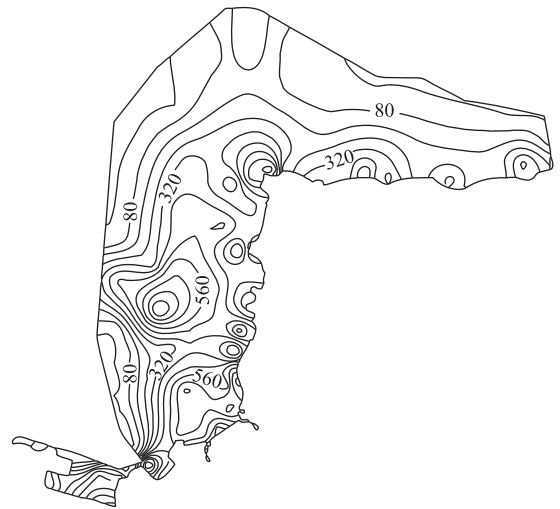


图 9 后海地面沉降量预测等值线图

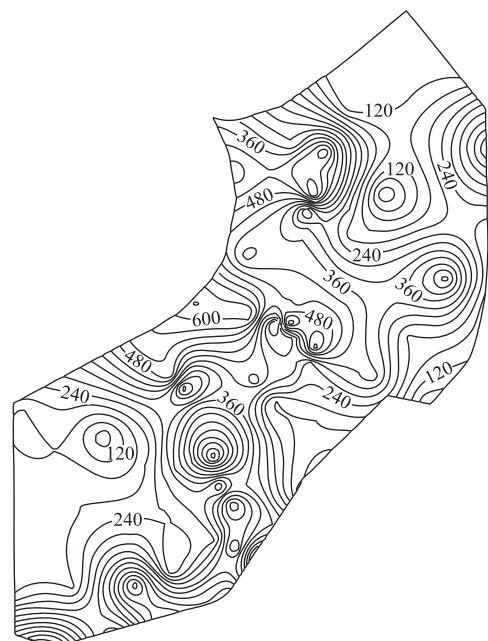


图 10 前海地面沉降量预测等值线图

由前海、后海填海区地面沉降量预测等值线图可知,预测沉降量与软土厚度、上覆填土层的厚度有一定的关系,软土厚度越大,未来沉降量越大,上部填土层厚度越大,未来沉降量越大。前海未来沉降量比较大的区域主要分布于兴海大道周边以及前海交易广场一带;后海未来沉降量比较大的区域主要沿海岸线比较近的区域。

4 地面沉降易发程度区划及分区评价

根据《地面沉降调查与监测规范》(DZ/T 0283-2015)^[9],地面沉降灾害易发区划分主要考虑地形地貌、松散沉积层厚度、软土层厚度、地下水主采层数

量等因素^[10](表 1),结合南山区填海造陆区地面沉降的自身特征,确定从软弱土厚度、填海工程完成时间、地形地貌条件、人类活动强度(土地利用规划)^[11]等几个方面对南山区填海区地面沉降易发程度进行分析评价。

表 1 地面沉降地质灾害易发性判别特征表

判别因素	易发区			
	高易发区	中易发区	低易发区	不易发区
地形地貌	河口三角洲、内陆平原、盆地			
松散沉积层厚度/m	≥150	100~150	50~100	<50
软土层厚度/m	≥30	20~30	10~20	<10
地下水主采层/层	≥3	2	1	无

表 2 填海造陆区潜在地面沉降灾害形成条件易发指数

条件分值	4(高易发)	3(中易发)	2(低易发)	1(不易发)
软土厚度(H)	≥30 m	20~30 m	10~20 m	<10 m
填海工程完成时间(S)	填海工程完成 0~10 a	填海工程完成 10~20 a	填海工程完成 20~30 a	进行了专门性的地基处理,沉降已稳定(已竣工超过 30 a)
地形地貌(X)	海积平原潮间带~浅海域	海积平原	港湾式海岸	海崖山地海岸
人类工程活动强度预测(R)	强烈:规划有居住区、商业区,地铁线路;预计将来地下开挖深度>20 m	中等:规划为工业区、仓储区等;预计将来地下开挖深度 10~20 m	一般:港口、码头等;预计将来地下开挖深度 5~10 m	弱:规划为公园、绿地等,或将来无新的规划;预计将来地下开挖深度<5 m

综合考虑深圳市潜在地面沉降的主要影响因素和影响程度,权值分配和各条件的易发指数如下表 2、表 3。

表 3 潜在地面沉降灾害影响因素权值分配表

因素条件	软土厚度 /H	填海工程完成时间 /S	地形地貌 /X	人类工程活动/R	合计
权值	0.5	0.25	0.10	0.15	1.0

地面沉降隐患易发程度分为高易发、中易发、低易发和不易发 4 级(如表 4)。

表 4 地面沉降易发性判别标准

划分条件	高易发区	中易发区	低易发区	不易发区
得分	>3.2	>2.4~≤3.2	>1.5~≤2.4	≤1.5

4.1 地面沉降易发性分区

根据以上方法,结合调查和收集的资料,得出填海区各单元格地面沉降综合危险性指数分布图,根据各单元格地面沉降综合危险性指数,利用 Mapgis 软件功能,采用克里金(Kriging)法生成等值线图,对填海区进行地面沉降易发性分区,将填海区地面沉降分为 2 个中易发区和 4 个低易发区,如表 5,图 11。

表 5 南山填海区地面沉降地质灾害易发程度分区一览表

序号	分区等级	代号	面积 /km ²	分布区域
B ₂	中易发区	B ₂₋₁	9.70	前海月亮湾大道以西区域
		B ₂₋₂	6.37	后海滨路以东区域
		C ₂₋₁	3.16	平南铁路以东区域
C ₂	低易发区	C ₂₋₂	12.87	白石路以南、深湾一路以东区域
		C ₂₋₃	5.80	蛇口海关以西-赤湾一带区域
		C ₂₋₄	1.81	蛇口港及周边区域

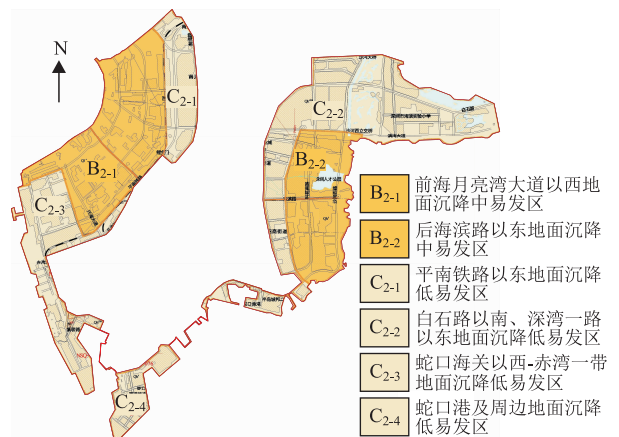


图 11 填海区地面沉降易发程度分区示意图

4.2 地面沉降易发分区综述

根据易发区分区结果,将南山区填海区分为中

易发区和低易发区,其中中易发区一共有2个亚区,占调查区总面积的40.47%;低易发区一共有4个亚区,占调查区总面积的59.53%。各区具体情况分述如下:

(1) 前海月亮湾大道以西区域地面沉降中易发区(B₂₋₁):该中易发区面积为9.70 km²。软土厚度一般15~25 m,局部厚度超过30 m。该区填海约完成于1999~2009年,预压处理后的软土厚度10~20 m,局部厚度超过25 m,基底地层为残积土及花岗岩风化带等,覆盖层厚度为10~15 m。由于该区域回填时间不超过20 a,且目前局部存在下沉、地面开裂等不良地质现象,预计后期还会有剩余沉降产生。

(2) 后海滨路以东区域中易发区(B₂₋₂):该中易发区面积为6.37 km²,原始软弱层厚度为10.00~30.00 m。该区填海工程完成于1999~2009年期间,地基处理完成后软弱土厚度一般5~10 m,局部达18 m,上覆地层厚度约10~15 m,下伏地层为残积土及花岗岩风化带等。由于该区域填海完成时间不够20 a,自重固结还没有全部完成,目前局部存在下沉、地面开裂等不良地质现象,预期后期还会有剩余沉降产生。

(3) 平南铁路以东地面沉降灾害低易发区(C₂₋₁):该低易发区面积为3.16 km²。属平原海岸类型,原始软土层厚度为15~20 m。该部位于1988~1999年进行了地基处理,处理后的地基软土厚度大约为5~6 m,局部约10 m,覆盖层厚度为8~10 m,基底主要为残积土及花岗岩风化带。由于该填海工程完成时间距今已有20 a以上,剩余沉降已大部分完成,除局部可能存在小范围的沉降外,预计后期发生大面积地面沉降的可能性较小。

(4) 白石路以南、深湾一路以东地面沉降低易发区(C₂₋₂):该低易发区面积为12.87 km²。主要的软土地层为淤泥和淤泥质土,原始厚度为10~20 m。该区域在1988~1999年期间进行了填海造地。地基处理后的软土厚度为2.5~5 m,覆盖层厚度约8~15.5 m,基底地层为残积土及花岗岩风化层。由于该区域回填时间长,距今已超过30 a,剩余沉降大部分已完成,预计后期发生大面积地面沉降的可

能性小。

(5) 蛇口海关以西-赤湾一带地面沉降灾害低易发区(C₂₋₃):该低易发区面积为5.80 km²。原始厚度约5~10 m。该区域在1988~1999年期间采用堆在预压法进行了地基处理,处理后的软土厚度3~5 m,覆盖层厚度为10~15 m,基底地层主要为残积土及花岗岩风化带。由于填海工程距今完成已超过30 a,基本完成了剩余沉降,地表已稳定。该区域居民区与港口已建成,今后人类活动程度弱,预计将来大面积地面沉降的可能性小。

(6) 蛇口港及周边地面沉降低易发区(C₂₋₄):该低易发区面积为1.81 km²。属平原海岸类型,原始地形为水下浅滩,基底淤积物较厚。该区域填海工程完成于20世纪80年代末期,距今已超过30 a,基本完成了剩余沉降。该区域居民区与港口已建成,今后人类活动程度弱,预计将来发生大面积地面沉降的可能性小。

5 地面沉降危险区划分及分区评价

地面沉降地质灾害危险性的判别主要是考虑两个因子:一是地质灾害危害程度,另一个是危害强度^[12]。其中危害程度根据《地质灾害危险性评估规范》(DZ/T 0286-2015)表D10(表6)^[13],从近5 a平均沉降速率或累计沉降量来确定。确定的依据是南山区填海区淤泥层的厚度等值线图(图5,图6)和计算的沉降量等值线图(图9,图10)。

危害强度主要是根据土地利用图来预测未来人员伤亡和经济损失情况^[14]。最后结合《地质灾害危险性评估规范》(DZ/T 0286-2015)规范中地质灾害危险性分级表,来确定该区地质灾害的危险程度^[15]。

表6 地质灾害危害强度分区

灾害种类	主要分区标志	危害强度分区及标志		
		强烈危害区	中等危害区	轻微危害区
地面沉降	累积沉降量/mm	≥800	300~800	≤300
	近5 a平均沉降速率/mm·a ⁻¹	≥30	10~30	≤10

*注:地面沉降指标中,两项指标满足其中一项即可。

表7 地质灾害危险性分区分级表

因子	要素	危险性大(5)	危险性中等(3)	危险性小(1)	权重值
地质灾害危害程度 (权重0.5)	潜在经济损失/万元	≥5 000	5 000—500	≤500	0.25
	受威胁人数(人/km ²)	≥100	100—10	≤10	0.25
地质灾害危害强度 (权重0.5)	累积沉降量/mm	≥800	300~800	≤300	0.50

在具体计算过程中,看运用栅格数据处理方法对南山区行政区划图进行网格剖分,取 $0.5\text{ km} \times 0.5\text{ km}$ 作为最小评价分析单元格,将全区剖分为 165 个评价单元网格。根据上述表 2 规定的各项标准,确定各剖分单元内每种参数的分值,然后相加得出危险性综合评价值(W) (见表 7)。当 $W \geq 4$ 时,为地面沉降地质灾害危险大区;当 $4 > W > 2$ 时,为地面沉降地质灾害危险中等区;当 $W \leq 2$ 时,为地面沉降地质灾害危险小区。

5.1 地面沉降危险性分区

通过综合分析,得到南山区填海区地面沉降危险性分区图(见图 12),南山区填海区共划分出危险区 6 个,其中危险性中区 3 个,面积 16.56 km^2 ,占全区面积的 41.70% ;危险性小区 3 个,面积 23.15 km^2 ,占全区面积的 58.30% (表 8)。

表 8 南山区填海区地质灾害危险程度分区一览表

序号	分区等级	代号	面积/ km^2	分区占比/%	分布区域
II	危险性中等区	II ₂₋₁	6.70	16.87	前海月亮湾大道以西区域
		II ₂₋₂	7.19	18.11	后海滨路以东区域
		II ₂₋₃	2.67	6.72	白石路以南、深湾一路以东区域
III	危险性小区	III ₂₋₁	5.27	13.28	前海区西站天桥东北区域
		III ₂₋₂	10.42	26.24	兴海大道以南赤湾-蛇口港区域
		III ₂₋₃	7.46	18.79	沙河西立交桥东北区域

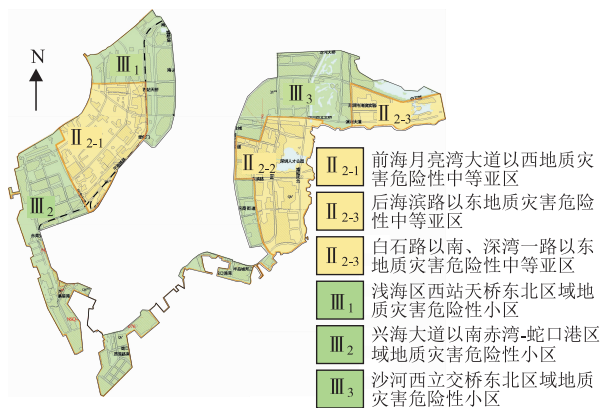


图 12 南山区填海区地面沉降危险性分区图

5.2 地面沉降危险性分区综述

5.2.1 地质灾害危险性中等区(II)

(1) 前海月亮湾大道以西地质灾害危险性中等亚区:该区域人口分布集中程度为一般,人类工程活动强烈,面积 8.42 km^2 ,占工作区总面积的 4.78% 。地貌类型主要为滨海平原,地层主要为砂砾、黏土、

淤泥等。地质灾害隐患类型主要为地面沉降,共威胁区内 80 人(不包括流动人口)的生命财产安全,威胁财产达 450 万元。区内无现状地质灾害及隐患点分布,预测灾害为地面沉降,其危险性中等。

(2) 后海滨路以东地质灾害危险性中等亚区:该区域人口分布集中程度为一般,人类工程活动强烈,面积 8.04 km^2 ,占工作区总面积的 4.57% 。区内地貌类型主要为滨海平原,地层主要为砂砾、黏土、淤泥等。区内地质灾害隐患类型主要为地面沉降,共威胁区内 60 人(不包括流动人口)的生命财产安全,威胁财产达 480 万元。区内无现状地质灾害及隐患点分布,预测灾害为地面沉降,其危险性中等。

(3) 白石路以南、深湾一路以东地质灾害危险性中等亚区:该区域人口分布集中程度为一般,人类工程活动强烈,面积 2.66 km^2 ,占工作区总面积的 1.51% 。地貌类型主要为滨海平原,地层主要为砂砾、黏土、淤泥等。地质灾害隐患类型主要为地面沉降,共威胁区内 20 人(不包括流动人口)的生命财产安全,威胁财产达 450 万元。区内无现状地质灾害及隐患点分布,预测灾害为地面沉降,其危险性中等。

5.2.2 地质灾害危险性小区(III)

(1) 前海区西站天桥东北区域地质灾害危险性小区(III₁):该区域面积为 5.27 km^2 ,占工作区总面积的 13.28% 。该区人口密度高,人类工程活动强烈。地形地貌主要为滨海平原,底层主要为砂砾、黏土、淤泥等。区内未见明显地面裂缝或不均匀沉降现象。

(2) 兴海大道以南赤湾-蛇口港区域(III₂):该区域面积为 10.40 km^2 ,占工作区总面积的 26.24% 。该区人口密度一般,人类工程活动强烈。地形地貌主要为滨海平原,底层主要为砂砾、黏土、淤泥等。

(3) 沙河西立交桥东北区域(III₃):该区域面积为 7.46 km^2 ,占工作区总面积的 18.79% 。该区人口密度一般,人类工程活动强烈。地形地貌主要为滨海与河积平原,底层主要为砂砾、黏土、淤泥等。

6 结论

(1) 本文以 1986~2019 年卫星影像图为依据,将填海区分为前海填海区、后海填海区和蛇口港填海区,对各填海区的范围及规模进行了阐述,并分析了南山区填海区的填海历史进程。

(2) 查明南山区填海区的软土分布并生成了软土等值线图,对填海区地面沉降做出预测计算与分

析;软土或填土层厚度越大,未来沉降量越大;前海未来沉降量比较大的区域主要分布于兴海大道周边以及前海交易广场一带;后海未来沉降量比较大的区域主要为沿海岸线比较近的区域。

(3) 查明了南山区填海区内地面沉降灾害分布、地质环境条件和发育特征;从多方面对填海区地面沉降易发程度和危险性进行分析评价,将填海区分为2个中易发区、4个低易发区及3个危险性小区、3个危险性中区,并对各区详细情况进行综述、评价各区地面沉降的危害程度;预测预报地面沉降的发展趋势,为有效的预防和控制地面沉降的产生提供科学依据。

参考文献

- [1] 陈小平,雷呈斌,王勇强,等.深圳市南山区30余年填海造地遥感监测与分析[J].湖北大学学报(自然科学版),2016,38(6):502-509.
- [2] 王建房.深圳湾地区填海造地历程及其综合评价[A].中国城市规划学会.城市时代,协同规划——2013中国城市规划年会论文集(09-绿色生态与低碳规划)[C].中国城市规划学会:中国城市规划学会,2013:8.
- [3] 王文彬.深圳市南山区软土工程地质特性及其固结沉降分析[D].广州大学,2011.
- [4] 张诗玉,李陶,夏耶.基于InSAR技术的城市地面沉降灾害监测研究[J].武汉大学学报·信息科学版,2008,33(8):850-853.
- [5] 姚玲.基于RS和GIS技术的深圳市斜坡类地质灾害易发程度评价[J].河南理工大学学报(自然科学版),2017,(36):66-72.
- [6] 徐源强,高井祥,王坚.三维激光扫描技术[J].测绘信息与工程,2010,35(4):5-6.
- [7] 唐嘉锋,魏会龙,许大雄,等.深圳市南山区工程地质适宜性分区[J].福建建设科技,2017,(3):7-9.
- [8] 彭涛.海积软土固结沉降机理及其沉降预测方法研究[D].中国地质大学(武汉),2006.
- [9] 中华人民共和国国土资源部.地面沉降调查与监测规范(DZ/T0283-2015)[S].2015.
- [10] 刘毅.地面沉降研究的新进展与面临的新问题[J].地学前缘,2001,8(2):273-278.
- [11] 张德波.广州市南沙区地面沉降易发性评价[J].中外建筑,2018,(8):252-255.
- [12] 黄慧娟,郝守昌.地质灾害详细调查项目存在问题及对策研究——以广东省为例[J].中国国土资源经济,2019,32(2):70-75.
- [13] 中华人民共和国国土资源部.地质灾害危险性评估规范(DZ/T0286-2015)[S].2015.
- [14] 郑铎鑫,武强,侯艳声,等.关于城市地面沉降研究的几个前沿问题[J].地球学报,2002,(3):279-282.
- [15] 任伟灿.珠江三角洲地面沉降灾害类型特征与成因[J].地球,2012,(8):106-109.

作者简介:许丹丹(1986—),女,河南商丘人,工程师,学士,主要从事地质灾害防治、土壤环境调查、地质灾害勘查、设计、评估等工作。
E-mail:489654475@qq.com