

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2019.05.13

珠江三角洲平原区地面沉降影响因素分析

王 双¹, 严学新², 揭 江¹, 杨天亮², 吴建中², 王红珊¹

(1. 广东省地质局第四地质大队, 广东 湛江 524033;

2. 国土资源部地面沉降监测与防治重点实验室, 上海 201204)

摘要: 珠三角平原区地面沉降的成因机理较为复杂, 本次研究范围为珠三角平原区中南部珠江口西部沿岸, 亦是珠三角平原地面沉降重点区。本文从研究区水文地质、工程地质特征以及地面沉降分布状况、沉降类型、主要控制因素和发展规律入手, 综合分析区内地面沉降调查监测资料, 研究了地面沉降与各影响因素的关系, 总结了产生沉降的主要因素有三个: 一是软土厚度大, 总厚度一般 10 ~ 30 m, 最厚达 63.8 m; 二是局部开采地下水, 主要分布于广州市南沙区万顷沙镇和中山市大鳌镇、板芙镇、坦洲镇及珠海市金湾区红旗镇、斗门区白蕉镇、乾务镇等大面积水产养殖区, 开发利用强度高区域约 123.21 km², 开发利用强度中等区域约 111.97 km², 开发利用强度低区域约 73.70 km²; 三是上部荷载的影响, 这类作用类型主要由上部建筑物荷载、大面积人工填土荷载及机械动荷载组成, 主要位于城镇、工业园、乡村等建筑区和公路、桥梁、堤坝等线性工程周边, 人工填土厚度最大达 8.6 m。该项研究成果可为全面开展珠江三角洲地区地面沉降调查、监测和防治工作提供技术支持, 也为地方经济建设规划决策、有效控制地面沉降和保护地质环境等提供地质科学依据。

关键词: 珠三角平原区; 地面沉降; 影响因素; 软土; 地下水; 上部荷载

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2019)05-0098-07

Analysis on factors affecting ground settlement in plain area of Pearl River Delta

WANG Shuang¹, YAN Xuexin², JIE Jiang¹, YANG Tianliang², WU Jianzhong², WANG Hongshan¹

(1. Guangdong Geological Bureau Fourth Geological Brigade, Zhanjiang, Guangdong 524033, China;

2. Key Laboratory of Land Subsidence Monitoring and Prevention, Ministry of Land and
Resources, Shanghai 201204, China)

Abstract: The mechanism of land subsidence in the Pearl River Delta Plain is complex. This study covers the west coast of the Pearl River Estuary in the middle and south of the Pearl River Delta Plain, and is also the key area of land subsidence in the Pearl River Delta Plain. Starting from the hydrogeological and engineering geological characteristics of the study area, as well as the distribution of land subsidence, subsidence types, main controlling factors and development laws, this paper comprehensively analyses the survey and monitoring data of land subsidence in the study area, studies the relationship between land subsidence and various influencing factors, and summarizes three main factors causing land subsidence: the thickness of soft soil is large, the total thickness is generally 10 ~ 30 m, the thickest is 63.8 m. Secondly, groundwater is partly exploited, mainly distributed in Wanqingsha Town, Nansha District, Guangzhou, Daao Town, Banfu Town, Tanzhou Town, Hongqi Town, Jinwan District, Baijiao Town, Qianwu Town, Doumen District, and other aquaculture areas with high intensity of development and utilization. About 123.21 km², about 111.97 km² in medium-intensity area and 73.70 km² in low-intensity area. Thirdly, the influence of upper load is mainly

收稿日期: 2019-06-27; 修订日期: 2019-08-12

基金项目: 国土资源部地面沉降监测与防治重点实验室开放基金课题 (KLLSMP201801)

第一作者: 王 双(1984-), 女, 吉林长春人, 本科, 高级工程师, 从事水工环地质调查研究工作。E-mail: babara_shuang@163.com

composed of upper building load, large-area artificial fill load and mechanical dynamic load, mainly located in urban, industrial park, rural and other construction areas and roads. The maximum thickness of artificial fill around linear engineering such as bridges and dams is 8.6 m. The research results can provide technical support for land subsidence investigation, monitoring and prevention in the Pearl River Delta, as well as geological scientific basis for planning and decision-making of local economic construction, effective control of land subsidence and protection of geological environment.

Keywords: Pearl River Delta Plain; land subsidence; influencing factors; soft soil; groundwater; upper load

0 引言

在地面沉降影响因素方面,国内外学者开展了大量研究工作。MAHDI^[1]提出含水层的渗透系数和存储能力等水文地质条件的不同会导致地面沉降的速率不同;MHALY在研究中认为立体交通网络和高密度人口是导致不均匀地面沉降的因素;RUI MA^[2]研究了地层差异性对地面沉降分布的影响,发现在相同抽水速率的条件下多层薄层黏性土层较单层厚度大的黏性土层容易产生地面沉降,且滞后时间短;传统的地面沉降与含水层系统压缩耦合是在垂直一维渗透固结理论为基础发展起来的,未考虑土体的水平位移形变,对差异性沉降的研究略感不足,针对此问题,Hibbit提出了有限元法,考虑含水层系统的三维形变,MATIN^[3]通过数值模拟研究了拉斯维加斯地区断层控制下抽水诱发沉降的空间模式,推断出Eglington断层为阻水边界;薛禹群等^[4-5]分析了变化水位模式下地面沉降区域土体的变形特征,并在长江三角洲地区开展研究工作,认为造成地面沉降的成因主要是地下水的长期超量开采和第四纪以来的活动断裂和构造沉降。显然,地面沉降具有多种起因^[6],在不同地区其主导因素不同。而从近年来在珠三角平原区开展的地面沉降调查与监测工作发现,该区发生的地面沉降主要与三个方面的影响因素相关。本次研究范围为珠三角平原区中南部珠江口西部沿岸,行政区划涉及广州南沙、江门、中山、珠海等地。

1 珠三角平原地面沉降分布

珠三角平原区地面沉降主要分布于西江、小榄水道、鸡鸭水道、洪奇沥水道、横门水道、蕉门水道、磨刀门水道、鸡啼门水道、平塘海等河流水道流域和坦洲、三灶湾等第四纪沉积物较厚的三角洲或滨海平原区,以及南水、三灶、横琴等山间谷地。总体呈南北两段,北部中山块段总体呈北西-南东向,南部珠海块段呈北东-南西走向展布,与区内土分布情况基本一致。

地面沉降区地势较平坦,人类活动频繁。而基岩丘陵台地区沉降量小,地面沉降灾害基本可以忽略。

按年沉降量<10 mm、10~20 mm、20~30 mm、30~40 mm、40~50 mm、50~60 mm、60~70 mm、70~80 mm、>80 mm划分,区内地面沉降以年沉降量10~50 mm的区域为主、>80 mm的区域最小(图1)。区内中山和珠海三角洲平原和滨海平原区年沉降量普遍在20 mm以上;年沉降量>40 mm的区域主要呈条带状分布于中山市小榄水道中下段-民众镇一带和中山市坦洲镇往西南方向延伸至高栏港,包括珠海西区的大部分平原区,另在东北部万顷沙、民众镇、横门岛、坦洲北部、神湾镇南部乾务镇西南联丰围、三灶镇东北海华新村等地小面积分布。

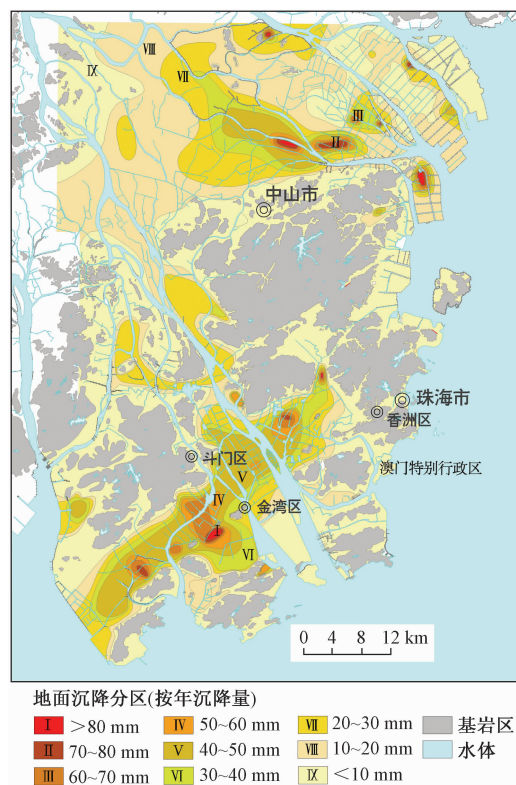


图1 珠三角平原地面沉降分区图

Fig. 1 Zone map of ground settlement in the Pearl River Delta Plain

2 珠三角平原地面沉降主要影响因素分析

2.1 软土因素

2.1.1 软土分布情况

区内软土分布广泛,除四周基岩丘陵台地区外,均有分布。主要位于三角洲平原、河流冲积平原和沿海海积平原区,除局部地段表层有淤泥质黏性土裸露外,大部分埋藏于黏性土和砂土之下,其厚度和埋藏深度各地不一,总厚度一般 10~30 m,最厚达 63.8 m^[7],具有近山薄,近海河厚的特点。软土由淤泥、淤泥质土组成,根据不同时代划分为第一、二、三软土层,总面积约 5 969 km²,占全区(面积 11 681 km²)陆地总面积的 51.1%^[8]。

2.1.2 软土特性

区内软土为更新世晚期-全新世时期的海侵期沉积物,岩性以淤泥、淤泥质黏性土为主,少量淤泥质砂、砂质淤泥,多间夹粉细砂薄层,常见贝壳碎片。区内软土多呈灰、深灰、灰黑色,饱和-过饱和状,流塑-软塑,具有亲水性强、天然孔隙比大、含水率高、高压缩性、触变形、抗剪强度低、固结系数小、固结时间长、力学强度差等特点,一般含水率大于液限;淤泥和淤泥质黏性土孔隙比一般大于 1;实测标准贯入击数小,一般在 1~3 击/30 cm 之间;压缩系数一般在 0.8~2.1 MPa⁻¹。软土渗透系数很小,并且纵横不均匀,一般横向渗透系数大于竖向渗透系数;固结系数小,且水平固结系数大于垂直固结系数;抗剪强度低,原状土在 97.5~13.4 kPa^[9],重塑土在 0.6~10.0 kPa,灵敏度高。

软土中淤泥、淤泥质黏性土、淤泥质砂的物理力学性质有所不同,由淤泥至淤泥质黏性土到淤泥质砂,其含水率、孔隙比、孔隙度、饱和度、压缩系数呈递减趋势,而标准贯入击数、抗剪强度逐渐增大;总体上淤泥质黏性土与淤泥相比力学强度稍大,工程地质特性略好,淤泥质砂力学强度又比淤泥质黏性土略好。此外,同样的软土,由于形成时代、埋深不同,其物理力学性质也不尽相同;根据同一钻孔不同时代软土物理力学性质统计情况,随着钻孔深度增加,软土因失水而固结,其含水率、液性指数、孔隙比逐渐减小。

2.1.3 软土与地面沉降的关联性分析

根据区内已有年沉降量等值线和软土分布情况进行叠加的结果来看(图 2),北部中山块段和南部珠海块段河流平原区沉降量等值线的分布和展布趋势与软土分布总体趋势是一致的,年沉降量大于 35 mm 分布范围与软土厚度大于 15 m 的区域分布范围也基本一

致;说明区内软土是地面沉降产生的主要影响因素,并且其厚度是影响地面沉降速率的关键因子。经分析,软土厚度与地面沉降速率呈幂函数型关系, $S=5.37H^{0.36[9]}$ 。

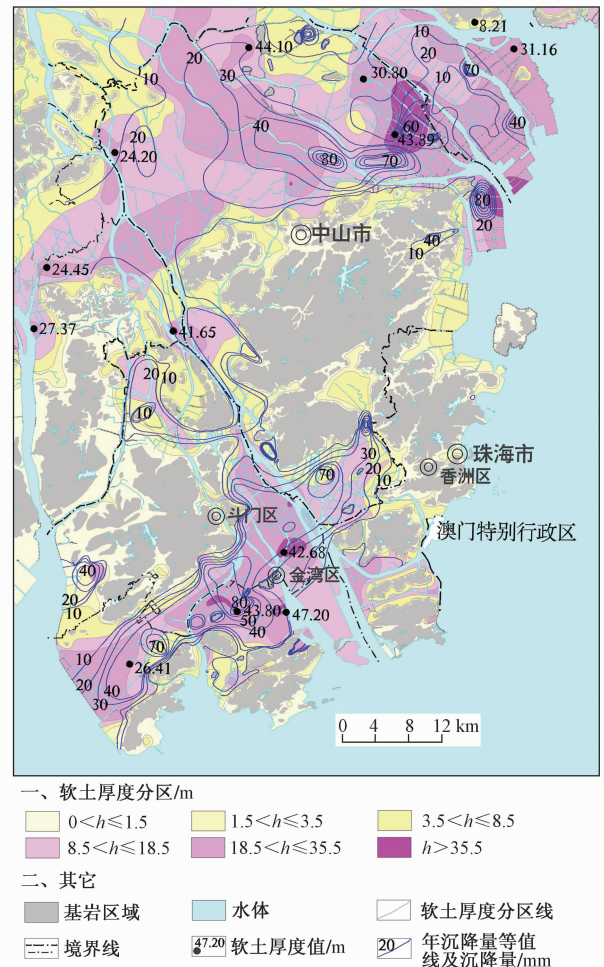


图 2 珠三角软土厚度与地面沉降速率关系对比图
Fig. 2 Comparison of the relationship between the soft soil thickness of the Pearl River Delta and the land subsidence rate

2.1.4 软土地面沉降的危害

软土压缩性大,在外部荷载及自身重力的作用下极易压缩固结而形成地面沉降现象,特别是不均匀地面沉降。此外,由于软土固结系数小,固结时间长,工程方法也难以短时间让其完成固结,所以软土引发的地面沉降具有持续性、渐变性和长期性。软土地面沉降给当地民众带来了巨大损失:首先,地面沉降造成路面、堤坝下沉,使路面由于浸水而道路难行,使堤坝防洪能力降低而造成洪灾;其次,虽然局部未采用天然基础而进行地基处理的人工构筑物相对较稳,但是埋设

于地下的管道、线路等设施却随着周围软土同时下沉,与构筑物产生相对位移,致使地下管线被拉裂甚至拉断,地下设施遭受破坏;再次,地面不均匀沉降造成民房、学校等建筑物的基础发生上下错位而不稳定,导致建筑物倾斜或受力不均衡而开裂,严重的成了危房。此外,由于软土下陷形成凹地,易于大气降雨、地表溪水等水体聚集,而软土的天然含水率高、渗透性弱,又使得水体难以渗入地下水中或排泄,长此以往易形成沼泽湿地,从而影响农业耕地的正常使用;农田沼泽化易发生于地势平坦或低洼、水渠密布等有利于地表水聚集的地段,如马骊洲水道两岸、横琴岛中心岛沟等地。

2.2 地下水开采因素

2.2.1 水文地质特征

区内地下水分为基岩裂隙水和松散岩类孔隙水两大类。基岩裂隙水分布于地形起伏的低山丘陵台地区,除珠海市南部南水、三灶小面积分布层状基岩裂隙水外,其余均为块状基岩裂隙水;松散岩类孔隙水主要分布于研究区北部和南部西江流域等地形平坦的三角洲平原、滨海平原区,含水层主要为中粗砂,为潜水-微承压水(图3)。由于其特殊的地理环境和形成历史,区内地下水以咸水-半咸水为主,故区内生活用水均来自地表水,主要为西江水。

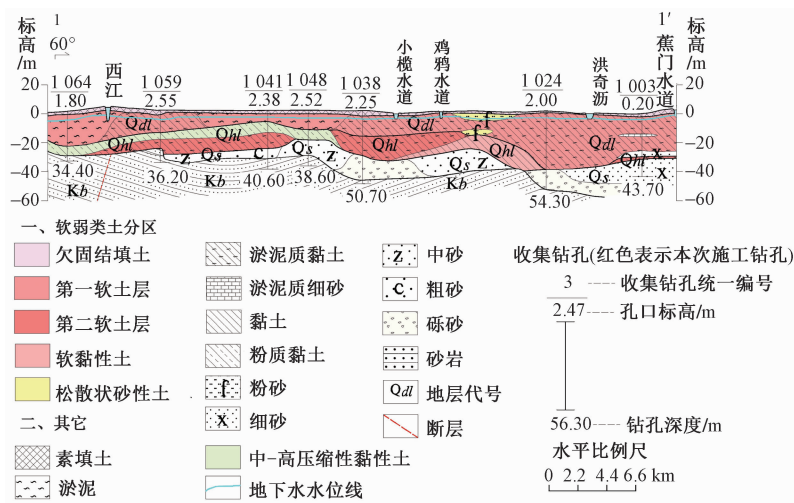


图3 珠三角平原区第四纪地质剖面图

Fig. 3 Quaternary geological profile of the Pearl River Delta plain

2.2.2 地下水开采现状

区内开发利用的地下水以咸水-半咸水为主,地下咸水开发仅用于区内水产养殖中的咸水养殖。根据野外水文地质调查可知:民井一般为石砌老井,井径一般60~100 cm,井深一般3~10 m,取水层位较浅;机井一般为小口径PVC管,井径一般9~12 cm,井深一般20~35 m,在珠海地区少量40~50 m,主要开采深度一般10~30 m,在南部珠海市三角洲平原一带一般23~35 m,在中北部中山市三角洲平原一带一般10~20 m,相对来说南部略深,北部较浅。地下水开采时间主要集中在每年4月和8月两个时段,这时期为一年两季对虾养殖的初期,对地下咸水需求量巨大,其他时段仅少量开采地下水补给虾塘。由于地下水开采主要用于水产养殖,特别是虾养殖,其开采量随区内水产养殖面积和养殖种类变化而变化。

2.2.3 地下水开发利用强度

由于区内地下水开采主要为咸水养殖(以养虾为主,少部分养鱼)供水,可依据水产养殖的种类及其养殖面积估算出区内地下水开发利用强度。总体上,虾塘密集区域咸水需求量巨大,地下水开发利用强度高(如红旗镇沙脊村-三板村一带);虾塘、鱼塘交错分布区域,地下咸水需求量略减少,地下水开发利用强度中等;以鱼塘为主、少量虾塘的区域,或因地下水资源量减少无法满足开采需求导致开采量小区域(如中山市坦洲部),地下水开发利用强度低;抽取海水供水无需开采地下水区域及无水产养殖区域,地下水开发利用强度极低或无地下水开发利用。依据上述情况,区内地下水开发利用强度可分高、中等、低、极低等四类,具体强度分区情况如图4所示。由图4可知,区内地下水开发利用主要位于中南部,分布于广州市南沙区万

顷沙、中山市大鳌镇、横栏镇、港口镇、板芙镇、坦洲镇及珠海市金湾区红旗镇、斗门区白蕉镇、乾务镇、莲洲镇等大面积水产养殖区,总体上区内地下水开发利用强度低。

2.2.4 开采地下水与地面沉降的关联性分析

把区内已有地面沉降量等值线与地下水开发利用情况进行对比,明显看出在地下水开发利用强度高的地区年地面沉降量大增,如红旗镇广发村-三板村、灯笼沙-白蕉、坦洲群联村及周边等地,地面沉降量与周边地区相比明显大增;特别是中山市坦洲镇群联村及周边一带,以软土、填土为主的软弱类土厚度一般在 8~15 m,相对厚度不大,但由于地下水开采程度强烈,附近形成了最大半年沉降量为 38.53 mm 的沉降区域,反映了地下水开采对地面沉降的促进作用。

(1) 建立回归方程

通过收集地下水动态监测孔水位降深与相应的沉降速率数据进行定量分析,为使统计结果具有代表性,在收集统计资料时注意了一下几个方面:一是覆盖了以开发利用地下咸水养殖区域,包括广州南沙、中山、珠海等地,且为地下水动态监测孔;二是资料的可靠程度较高,所收集的资料由广东省地质局第四地质大队编制,地面沉降测量结果由广东省地质测绘院提供^[2],符合数理统计对样本数的要求,收集数据详见表 1。

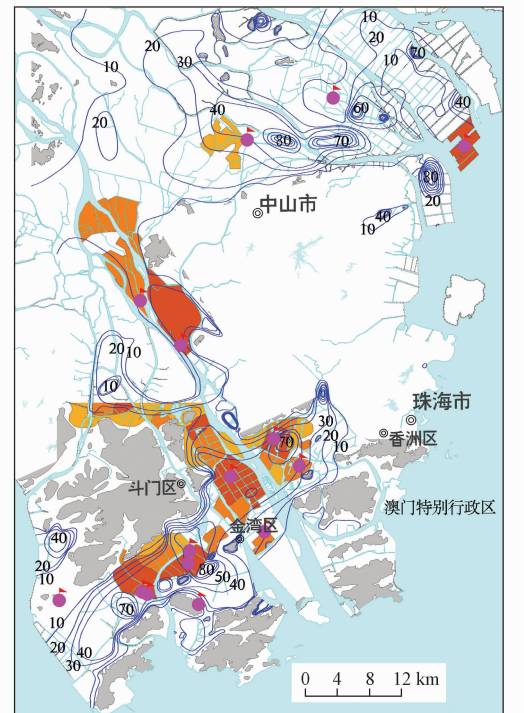


图 4 珠三角平原地面沉降及地下水开采强度对比图
Fig.4 Comparison of ground settlement and groundwater mining strength in the Pearl River Delta Plain

表 1 地下水水位降深及沉降速率一览表

Table 1 Table of groundwater table depths and subsidence rates

孔号	X	Y	最大水位/m	最小水位/m	降深/m	沉降速率 mm/a	地理位置
GC101	2 445 861	19 731 120	10.85	9.1	1.75	45	珠海市斗门区乾务镇大海环村北
GC102	2 449 460	19 736 884	15.8	12.54	3.26	62	珠海市金湾区红旗镇沙脊村委同利村
GC103	2 445 591	19 731 782	8.75	8.08	0.67	42	珠海市斗门区乾务镇大海环村南
GC104	2 451 016	19 737 066	11.9	9.45	2.45	64	金湾区红旗镇三板村裕成围
GC105	2 501 694	19 771 341	0.92	0.35	0.57	15	广州市万顷沙镇十九涌渔人码头
GC106	2 476 766	19 735 973	9.4	7.92	1.48	22	中山市板芙镇六合围
ZGH8	2 502 474	19 744 350	2.91	0.45	2.46	38	中山市港口镇达美路北侧
ZGH10	24 616 111	19 750 820	5.28	2.75	2.53	40	坦洲镇裕洲祥盛队
ZGH11	2 453 389	19 746 455	3.12	2.29	0.83	22	斗门区鹤州北垦区
ZGH12	2 444 784	19 720 808	1.46	0.37	1.09	4	斗门区平沙镇大虎村
ZGH13	2 465 053	19 746 800	17.81	12.58	5.23	39.5	坦洲镇群联小学西校区
ZGH14	2 444 283	19 738 226	2.95	2.41	0.54	3	斗门区三灶镇八一大围
ZGH15	2 460 294	19 742 222	9.3	8.12	1.18	44	珠海市斗门区白蕉镇灯笼沙灯一村

通过非线性关系、线性关系计算对比(表 2),发现 $S-s$ 关系曲线以对数函数型紧密程度最高(图 5),因此,假设 $S-s$ 为对数函数关系,则有

$$S = a + b \ln s \quad (1)$$

式中: S ——沉降速率;

s ——地下水水位降深;

a, b ——常数。

由最小二乘法原理求出: $a = 27.043, b = 17.792$,

代入(1)式得

$$S = 27.043 + 17.792 \ln s \quad (2)$$

表 2 地下水水位降深及沉降速率相关性分析成果表
Table 2 Relevance analysis results of groundwater level drawdown and subsidence rate

序号	线型	相关系数	备注
1	直线型	0.541	
2	幂函数型	0.607	
3	指数函数型	0.505	
4	对数函数型	0.650	相关紧密程度高

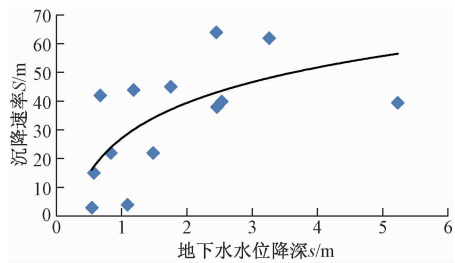


图 5 地下水水位降深与沉降速率相关关系图

Fig. 5 The relationship between groundwater level drawdown and subsidence rate

(2) 回归效果显著性检验

采用 r 检验法, 相关系数 r 计算式如下:

$$r = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}l_{yy}}} \quad (3)$$

其中:

$$l_{xx} = \sum_i x_i - \frac{1}{n} \left(\sum_i x_i \right)^2 \quad (4)$$

$$l_{xy} = \sum_i x_i y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_i x_i \right) \left(\sum_i y_i \right) \quad (5)$$

计算结果: $r = 0.650$, 查相关系数检验表^[10]: $r_{0.05}(11) = 0.553$, 因为 $r > r_{0.05}(11)$, 所以回归方程显著程度高。通过 r 检验法验算表明, 地下水水位降深与地面沉降速率为对数函数型非线性关系的显著度高。

总体上, 区内超采地下水加速地面沉降的影响区主要位于南部珠海地区, 北部中山地区由于近年来严格管控地下水开发利用, 对地面沉降影响较小。

2.3 上部荷载因素

区内经济大量工程建设, 建筑物林立和大量人工填土使地层承受的上部静荷载大增, 地层受到的压力增加, 加速地层压密固结。这类作用类型主要由上部建筑物荷载和大量人工填土荷载组成, 主要位于城镇、工业园、乡村等建筑区和公路、桥梁、堤坝等线性工程周边。此外, 区内经济活跃, 交通发达, 车辆往来十分频繁, 机械动荷载巨增, 加之工程建设、大型机械

车辆等运行产生振动等因素持续作用下, 土体的蠕变也可引起地面的缓慢变形, 加速地面沉降。受动荷载影响巨大的区域主要为交通要道沿线和工业园区等车辆流量大且重型机械较多的地区。

把区内已有年沉降量等值线和工程建设密度、道路等荷载分布情况进行对比(图 6)。由图 6 可看到在软弱类土厚度相似的区域, 上部建筑物密度较大区域年沉降量略大。如中山市板芙镇白坦新村、珠海市金湾区红旗镇至小林联港工业园一带、三灶镇东北部海华新村等地建筑物众多, 区内人工填土厚度一般 2.0 ~ 4.4 m, 最大 8.6 m, 大面积略厚的填土大大增加地层荷载, 加快土体固结压缩, 加速区内地面沉降。

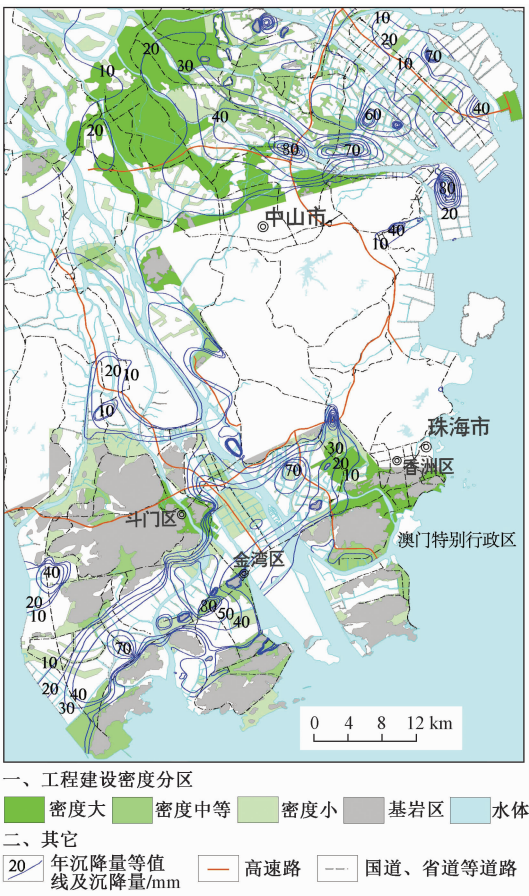


图 6 珠三角平原年地面沉降量与上部荷载分布情况对比图

Fig. 6 Comparison of annual land settlement and upper load distribution in the Pearl River Delta Plain

车流量大或大型车辆往来频繁交通线路沿线地区年沉降量也呈增加趋势, 如评价区北部中山市黄圃镇乌珠村东侧垃圾综合处理基地占地 6.67 ha, 拥有较多大型机械设备, 大型垃圾车往来频繁, 区内年沉降量远远大于周围地区; 中山市坦洲镇北侧广澳高速路口周

边新开发了大量的房地产,大量建筑工地的施工加速了附近地面沉降,年沉降量最大 211.72 mm;珠海市平沙镇东南侧平乐大道一带、珠海大道沿线及小林村西侧联港工业园区、乾务镇新青工业园等沉降区,车辆往来频繁,车辆动荷载及重型车辆产生的震动促进区内软弱类土固结,加速地面沉降发生,是区内地面沉降严重区。

由图 1~图 6 也可明显看出,区内地面沉降现象由多因素共同作用影响而产生,只是不同区域其各种影响因素之间的比重不同而已,故沉降量等值线与其影响单因素一般呈现分布趋势一致性,又难以完全吻合,仅局部地段以某类影响因素为主,出现高度吻合。

图 7 显示出,区内地面沉降一般由多个因素共同作用形成,局部地段以单一因素为主。

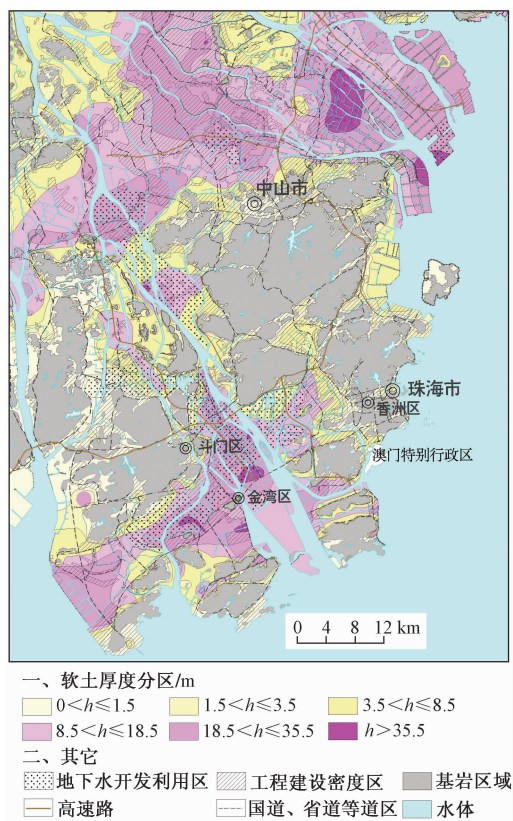


图 7 珠三角平原地面沉降综合影响因素分布图

Fig. 7 Distribution of comprehensive factors affecting land settlement in the Plain of Pearl River Delta

3 结论

(1) 整体上,影响区内地面沉降的首要因素为软土,软土分布范围及其厚度决定了地面沉降的分布区域和发展趋势。

(2) 其次,上部荷载也是主要影响因素之一,以大面积堆填、围海造地、道路沿线路基等静荷载和车流等动荷载为主。由于近年来建设的房屋普遍采用桩基础,故以上部荷载为主要影响因素的地面沉降集中于房屋周边地坪和道路沿线。

(3) 此外,在沿海水产养殖等局部地段,地面沉降受地下水开发利用强度影响较大,地下水水位降深与地面沉降速率呈对数函数型非线性关系。

参考文献:

- [1] MAHDI M, YAHYA D, THOMAS R W, et al. Monitoring of Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran, Using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), Precise Leveling and Continuous GPS [C]. ISAT Symposium 2007, Montreux, Switzerland, 2007.
- [2] MA R, WANG Y X. The effect of stratigraphic heterogeneity on areal distribution of land subsidence at Taiyuan, northern China [J]. Environ Geol, 2006, 50:551-568.
- [3] MARTIN H M, THOMAS J B. The role of faulting on surface deformation patterns from pumping induced groundwater flow (Las Vegas Vally, USA). Hydrogeology Journal [J]. 2009, 17:1859-1875.
- [4] 薛禹群, 张云, 叶淑君, 等. 中国地面沉降及其需要解决的几个问题 [J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 585-593.
XUE Yuqun, ZHANG Yun, YE Shujun, et al. China's land subsidence and several problems that need to be solved [J]. Quaternary Research, 2003, 23(6): 585-593.
- [5] 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 Yuqun, ZHANG Yun, YE Shujun, et al. Study on some problems of land subsidence in China [J]. Journal of Geological University of China, 2006, 12(2): 153-160.
- [6] 龚士良. 上海地面沉降层次分析法研究 [J]. 系统工程, 1996, 14(3): 30-34.
GONG Shiliang. A study on Shanghai land subsidence by the analytic hierarchy process [J]. Systems Engineering, 1996, 14(3): 30-34.
- [7] 揭江, 魏凤英, 王双, 等. 珠江三角洲地区地面沉降调查评价报告 [R]. 湛江: 广东省地质局第四地质大队, 2015: 261-303.

(下转第 112 页)