

文章编号: 2095—0411 (2012) 02—0045—04

常州区域地面沉降变化规律研究^{*}

夏 雄, 董亮亮, 张爱琴, 钱 莉, 黄 凯

(常州大学 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 地面沉降作为地质灾害的一种, 由于自身特点和发生区域水文地质的特异性, 造成不同地区的差异性。文章对常州区域地面沉降进行研究, 在水文地质和沉降史的分析基础上, 通过一些监测数据, 分析了该区域的土层压缩情况, 并采用 origin 软件对清凉小学基岩标监测数据进行曲线拟合处理。分析得出, 常州区域地面沉降整体得到有效控制, 沉降趋于稳定, 且中心城区有回弹的迹象, 但周边乡镇—戚墅堰、马杭等有沉降加剧的趋势, 建议对于地下水开采及地面沉降防治统筹规划, 打破区域界限, 进行联防。

关键词: 地面沉降; 地下水; 监测; 常州

中图分类号: X 141

文献标识码: A

Research on Variation of Land Subsidence in Changzhou

XIA Xiong, DONG Liang—liang, ZHANG Ai—qin, QIAN Li, HUANG Kai

(School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Land subsidence as one of geological disasters, due to the characteristics and specificity of its own and the hydrogeology in outbreak regions, results in the differences of subsidence in different regions. The land subsidence in Changzhou was studied. Based on the analysis of the hydrogeology and subsidence history of Changzhou, through the monitored data, this study analyzed the compression of soil—layers in this region, and curve fitted monitored data of bedrock mark in Qingliang school by the software of origin. Through analysis, the study concluded that the land subsidence of overall region in Changzhou was effectively controlled and stabilized, and that the signs of rebound are shown, but the surrounding areas, such as Qishuyan and Mahang, has a trend to be exacerbated. It is suggested that the exploitation of groundwater and the control of land subsidence should be overall planned to break regional control.

Key words: land subsidence; groundwater; monitoring; Changzhou

地面沉降是一种地面标高性损失的地质灾害, 广泛发生于世界各地, 沿海地区尤为严重, 给区域的社会发展与人民生活带来巨大损失。张维然等研究表明, 仅上海 1920—2000 年由地面沉降造成的经济损失就高达 2 943.07 亿元^[1]。1976—2006 年西安经济损失为 117 亿元, 其中直接损失 71 亿元

^[2]。20 世纪 90 年代末, 常州横林地区直接经济损失达 2 000 万元, 间接经济损失达 2 亿元^[3]。

目前对地面沉降研究, 主要集中在模型、地面沉降相关灾害、监测技术方法和社会经济影响及其管理对策等方面^[4]。国内部分学者从水土耦合模型^[5]、应用遗传算法^[6]、神经网络模型^[7]、In-

^{*} 收稿日期: 2012—03—07

基金项目: 江苏省教育厅 2011 年大学生实践创新训练计划立项项目 (HDJ1102042)

作者简介: 夏雄 (1972 —), 男, 四川成都人, 博士, 副教授。

SAR^[8-10]、地下水资源评估^[11]等方面进行了研究。

常州位于长三角地区,是地面沉降灾害较有代表性的城市之一。图 1 为苏锡常区域 2007 年地面沉降图,显示常州区域地面沉降东南部较为严重。地面沉降除与人类活动密切相关外,还与地层岩性结构、水文地质条件、土体特性、固结历史等因素有关^[12]。地层的复杂特性致使地面沉降的计算及模拟预测极为困难。本文针对常州多处地面沉降的监测数据及相关水文地质资料,研究沉降规律,建立科学又简单的沉降模型,从而定量分析该区域地面沉降情况,从而建立地面沉降灾害预测,对于常州地面沉降防治和经济健康发展具有重大意义。

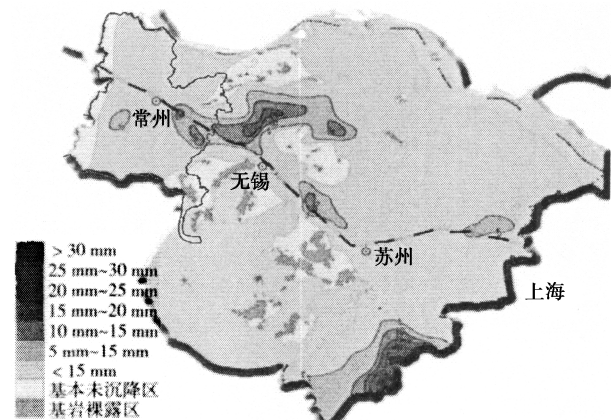


图 1 苏锡常区域 2007 年地面沉降图

Fig. 1 Subsidence of SuXiChang in 2007

1 常州区域地面沉降历史分析

大量监测与研究表明,地下水资源的不合理开采利用会导致地面沉降、地裂缝等地质灾害的发生。

20 世纪初,常州市平均日开采量小于 $1.0 \times 10^5 \text{ m}^3$,市中心区地下水位埋深 26.60m。此后,平均日开采量达 $2.0 \times 10^5 \text{ m}^3$,中心区地下水位埋深达 58m。1982—1989 年日开采量为 $2.0—2.36 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。1990—1997 年日开采量从 $2.328 \times 10^5 \text{ m}^3$ 降至 $1.498 \times 10^5 \text{ m}^3$,地下水开采趋于和缓,市区降落漏斗中心水位维持在一 72.78—75.71m。2008 年各含水层的日总开采量近 $3.0 \times 10^5 \text{ m}^3$,其中 II 承压含水层开采量占 90%,市中心地下水位达 -78.96—82.45m。随着城区对地下水开采的严格限制,降落漏斗中心逐渐向马杭镇、戚墅堰镇、洛阳镇方向转移。

常州市发生地面沉降的时间稍晚,但发展迅速,波及面广。集中而过量的地下水开采是常州区域地面沉降的主要原因。1984—1991 年区域内地

面一直保持 40—50mm/a 的高速下沉。城区 2008 年最大沉降超过 1 100mm^[13]。最大累计地面沉降量已超过 1 200mm。近几年随着对地下水资源开发的严格控制,地面沉降得到明显遏制,趋于稳定。

常州区域地面沉降从平面分布上看是不均匀的,从历年沉降监测数据来看,靠近山体部分沉降量较小,其余地区的沉降量较大。牛塘镇、卢家巷等沿湖滨路地区已成为新的沉降漏斗区,老 312 国道沿线几个小漏斗区集中在天宁区与戚墅堰区交界处,北区以及周围的山丘地带基本保持不变(该区域北临长江,长江水对地下水的补充不容忽视),南部形成以湖塘为中心的一个大漏斗和周边若干个小沉降漏斗区。漏斗中心的累计沉降量最大达到了 872.6mm,市区一般沉降累积量为 437mm,沉降漏斗中心的承压水位达到了一 80.5m。中心城区、武进、戚墅堰区沉降检测数据如图 2 所示。地面沉降在 1993—1998 这 6 年中的沉降量最大,这 6 年是常州经济全面发展时期,对地下水开采处于高峰期。此后,采取了包括关闭水井、限采及回灌等一系列措施,遏制住了地下水水位持续下降,地面沉降也趋于稳定。

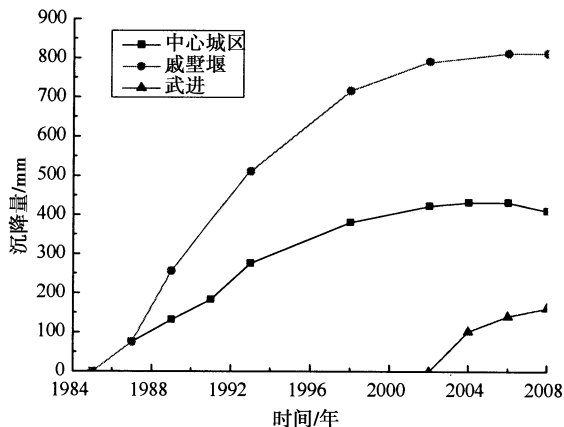


图 2 中心城区、戚墅堰和武进区沉降曲线

Fig. 2 Subsidence curve of the downtown, Wujin and Qishuyan

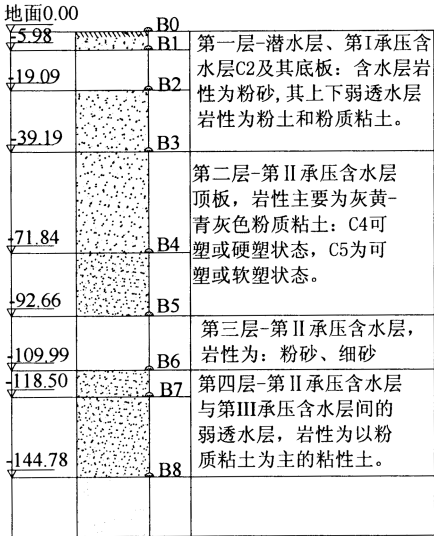
2 常州清凉小学基岩标监测分析

监测区域整体由上至下可以分为 4 个大的层次,如图 3 所示。分别为:潜水层、第 I 承压含水层及其底板;第 II 承压含水层顶板;第 II 承压含水层;第 II 承压含水层底板。

第 1 层约占土层总厚度的 1/4,累计压缩量 16.57mm,占沉降总量的 2.5%,如图 4 所示,该层基本处于压缩→回弹的反复循环过程;第 2 层为第 II 承压含水层顶板,紧邻含水层的 C5 分层压缩

量约为 C4 分层的 2 倍 (图 5), 应变量分别为 0.012 和 0.0036 (图 6), 与地下水开采强度降低相对应, 1995 年后沉降速率明显减小, 地层趋于稳定; 第 3 层为第 II 承压含水层, 即 C6 分层, 压缩量 79.11mm, 应变量 0.004 6。1984—1995 年年均压缩量为 5.7mm, 此后仅为 1.6mm, 沉降趋缓 (图 5、图 6); 第 4 层累计压缩量超过 200mm, 约占沉降量的 31%, 为又一主要压缩层。该层分 C7、C8 2 个分层, 累计压缩量分别为 43.55mm 和 124.39mm, 应变量分别为 0.005 1 和 0.004 7, 相差无几。

上述沉降现象分析如下: 潜水层直接受大气降水补给, 丰水季节水位升高, 枯水季节下降, 基本不受地下水开采影响, 第 1 承压层开采较少, 受潜水层补给, 与潜水层类似, 第 1 层的压缩→回弹反复循环只是对降水补给的响应。应变历时曲线 (图 6 中 1—3 分层应变曲线) 反映出与变形曲线相似的特征。第 II 承压含水层为该区域地下水主采层, 由于长期超采, 水位持续快速下降, 含水砂层固结压缩, 顶板粘性土层释水固结, 其渗流路径越长, 孔隙水压消散越慢, 土体稳定所需时间也就越久。第 III 承压含水层开采较少, 第 4 层及以下地层固结主要由上部荷载和自身性质决定。



(B0—地面标; B1—B8—分层标对应深度分别为: 5.98m, 19.09m, 39.19m, 71.84m, 92.66m, 109.99m, 118.50m, 144.78m)

图 3 清凉小学分层标及岩性概况图

Fig. 3 Layerwise marks and lithological profile map at Qingliang primary school

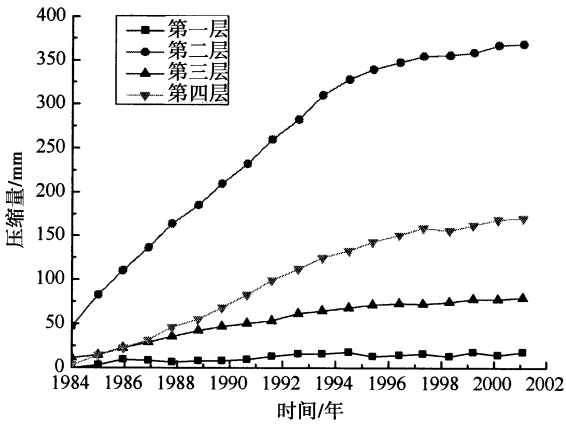


图 4 第 1 至 4 层压缩曲线图
Fig. 4 Subsidence curve of layers 1st to 4th

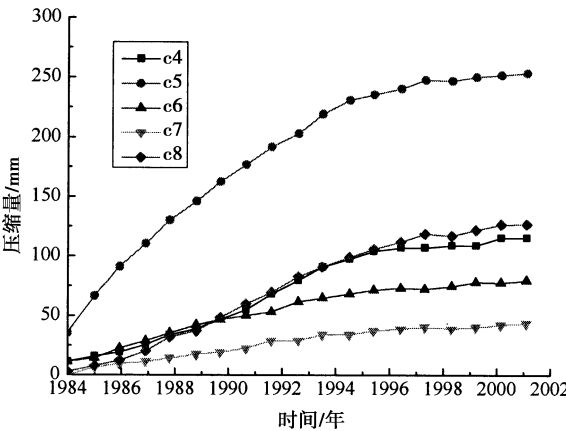


图 5 清凉小学分层标 4—8 分层沉降图
Fig. 5 Subsidence curves subdivided layers 4—8 of layerwise marks at Qingliang primary school

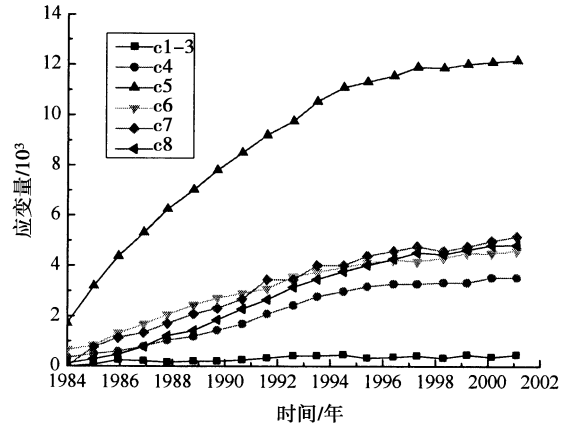


图 6 各分层压缩应变量图 (C_x 表示第 x 分层)
Fig. 6 Compression strain of subdivided layers (C_x represents the x layer)

此外, 监测点粘性土厚 98.98m, 占土层总厚度的 60.43%, 14 年沉降量却达 389.08mm, 占沉降总量的 81.80%, 由此看出粘性土层为主要压缩层。

3 清凉小学基岩标沉降数据拟合分析

应用数据处理软件 Origin, 对 1984—2002 年清凉小学基岩标监测数据进行曲线拟合 (图 7), 拟合得到方程 (1), 拟合度 $R^2 > 0.99$, 具有较高的可信度, 可以对常州地面沉降做短期近似预测。

$$S = a e^{-eb(t-t_0)} \quad (1)$$

式中: S —累积沉降量, mm; t —时间, 年, 大于或等于 1984 年; $a = 724.783\ 4$; $b = -0.202\ 96$; $t_0 = 1\ 988.122\ 91$; $R^2 = 0.997\ 71$ 。

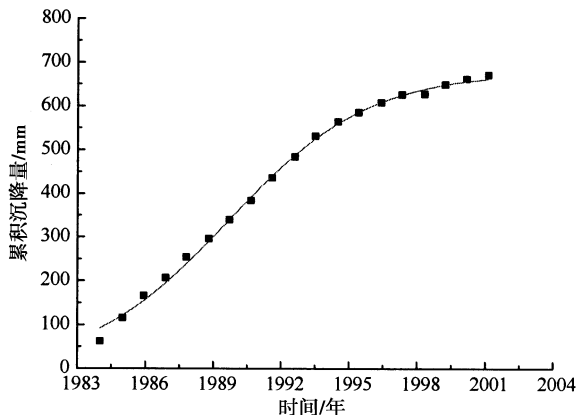


图 7 清凉小学基岩标监测数据拟合曲线

Fig. 7 Fitted curve of subsidence observation data of bedrock mark at Qingliang primary school

通过计算预测模型 (1), 预测 2010 年常州地区地面沉降累积沉降量为 716.285 6mm, 2015 年为 721.691 6mm, 最终沉降量在 725mm 左右, 具有一定参考价值。

近年来, 地下水开采得到严格控制, 各层压缩趋于缓和。此外, 随着土层不断固结, 其孔隙比、压缩系数、渗透系数等物理力学指标降低, 即使施加同样的荷载, 根据土固结曲线, 其变形量也会减少。

4 结 语

(1) 从研究区地面沉降平面分布情况来看, 存在明显不均匀性, 戚墅堰区及东南地区相对严重, 此外, 南部武进区应加强监测和预防。

(2) 第 II 承压层长期超采是造成该区域地面沉降剧烈发展的主要诱因, 粘土层压缩量在地层压缩总量中占有较大比例。

(3) 通过对沉降监测数据统计处理, 并进行方程拟合, 预测 2015 年累计沉降达 721.69mm, 最终沉降量在 725mm 左右, 具有一定可靠性和参考价值。

(4) 地下水超采是造成该地区地面沉降的主要因素, 合理开发地下水资源, 修复地下水系统, 并有计划的进行地下水回灌是防治地面沉降的有效举措。此外, 加大监测力度, 及时发现并预防沉降危害的发生和进一步发展, 并为地面沉降的研究提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 张维然, 段正良, 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 (自然科学版), 2003, 31 (6): 743—748.
- [2] 阎文中. 西安地裂缝与地面沉降灾害经济损失评估 [J]. 上海地质, 2010 (1): 32—37.
- [3] 张蓉. 常州市地面沉降分析及对策探讨 [J]. 江苏水利, 2004 (11): 36—39.
- [4] 张阿根, 杨天亮. 国际地面沉降研究最新进展综述 [J]. 上海地质, 2010, 31 (4): 57—63.
- [5] 阚京梁, 罗立红. Processing Modflow 模型在预测地面沉降中的应用 [J]. 铁道工程学报, 2010, 137 (2): 27—31.
- [6] 李红霞, 赵新华, 迟海燕, 等. 基于改进 BP 神经网络模型的地面沉降预测及分析 [J]. 天津大学学报, 2009, 42 (1): 60—64.
- [7] 李立伟, 宋小军. 基于 modflow 神经网络模型对地面沉降的模拟研究 [J]. 矿产勘查, 2011, 1 (6): 569—575.
- [8] 朱叶飞, 于军, 武健强, 等. D-InSAR 与 PS-InSAR 技术应用于苏州地面沉降监测之比较 [J]. 地质学刊, 2010, 34 (3): 289—294.
- [9] 朱叶飞, 陈火根, 张登明, 等. 基于 PS-InSAR 的 1995—2000 年苏州地面沉降监测 [J]. 地球科学进展, 2010, 25 (4): 428—434.
- [10] 何秀凤, 仲海蓓, 何敏. 基于 PS-InSAR 和 GIS 空间分析的南通市区地面沉降监测 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2011, 39 (1): 129—134.
- [11] 施春华, 骆祖江. 江苏松散沉积层地区地下水资源评价模型发展趋势 [J]. 地质学刊, 2010, 34 (1): 36—40.
- [12] 赵文涛, 李亮. 苏锡常地区地面沉降机理及防治措施 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20 (1): 89—93.
- [13] 张落成, 陈振光, 吴楚材. 苏南太湖流域地下水过度开采引起的地面沉降及其防治对策 [J]. 湖泊科学, 2003, 15 (3): 257—262.