

关于城市地面沉降研究的几个前沿问题

郑铄鑫^{1 2)}, 武 强¹⁾, 侯艳声²⁾, 应玉飞³⁾

(1) 中国矿业大学资源开发工程系 , 北京 , 100083 2) 浙江省地质环境监测总站 , 宁波 , 315000 ;
3) 宁波市环境保护局 , 浙江 宁波 , 315012)

摘 要 地面沉降涉及资源、环境、经济和社会等各个方面 , 影响城市和地区的可持续发展 , 已成为 21 世纪国内外城市主要地质灾害。文章概述了国内外地面沉降状况 , 对目前城市地面沉降研究存在的问题进行了分析 , 并提出了城市地面沉降研究值得关注的几个前沿问题。

关键词 地面沉降 地下水资源 可持续发展 城市

Some Frontier Problems on Land Subsidence Research

ZHENG Xianxin^{1 2)} WU Qiang¹⁾ HOU Yansheng²⁾ YING Yufei³⁾

(1) *Department of Resources Exploitation Engineering , China University of Mining and Technology , Beijing , 100083 ;*
2) *Zhejiang General Monitoring Station for Geological Environment , Ningbo , 315000 ;*
3) *Ningbo Municipal Bureau for Environment Protection , Ningbo , Zhejiang , 315012)*

Abstract Land subsidence , which is related to such aspects as resources , environment , economy and society and impairs urban and regional sustainable development , has become the main urban geological hazard all over the world in the 21st Century. Based on a brief description of the general land subsidence situation both in China and abroad , this paper has summed up some issues concerning land subsidence research and the major frontier problems in land subsidence investigation that deserve much attention in future.

Key words land subsidence groundwater resources sustainable development city

1 国内外地面沉降概况

地面沉降是在自然和人为因素作用下 , 由于地壳表层土体压缩而导致区域性地面标高降低的一种环境地质现象 , 是一种不可补偿的永久性环境和资源损失 , 是地质环境系统破坏所导致的恶果(郑铄鑫 , 1992)。地面沉降具有成生缓慢、持续时间长、影响范围广、成因机制复杂和防治难度大等特点 , 是一种对资源利用、环境保护、经济发展、城市建设和人民生活构成威胁的地质灾害。国内外绝大多数地面沉降主要由不合理开采地下水资源所致。

1898 年 , 在日本新潟发现地面沉降。目前 , 世界上已有 50 多个国家和地区发生地面沉降 , 较严重的国家为日本、美国、墨西哥、意大利、泰国和中国

等。自 1921 年上海出现地面沉降以来 , 至今中国已有 96 个城市和地区发生不同程度的地面沉降 , 较严重的地区有上海、天津、台北、西安、宁波、苏州等。目前 , 中国长江、黄河、珠江三角洲、松辽平原和环渤海地区及东南沿海平原的大多数城市 , 地面沉降正继续在大面积地发生和发展(段永侯 , 1998) , 地面沉降范围在扩大 , 危害在不断增大。地面沉降加剧了 1998 年中国南北大洪灾(刘毅 , 1999) , 并仍是 21 世纪中国沿海地区相对海平面上升的主导和决定因素。

由于地面沉降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(李敏等 , 1996) , 并造成河道及港口淤积 , 航运能力下降 , 洪涝

灾害加剧,农业大幅减产(朱兴贤等,1997);地面高程失真,影响防洪、防汛高度,危及城市规划,造成决策失误,致使沿海地区每年由地面沉降造成的直接经济损失达数百亿元。

1936年,墨西哥的 J. A. Guevas 发表了“墨西哥的地面沉降问题”一文后,地面沉降受到国际社会的广泛关注(阎世骏等,1996)。联合国教科文组织与国际水文科学协会已分别于 1969、1976、1984、1991、1996 和 2000 年在日本东京、美国阿纳海姆、休斯敦、意大利威尼斯、荷兰海牙和意大利拉韦纳召开了 6 届国际地面沉降学术会议。为了探索地面沉降机理和防治,中国分别于 1964、1980、1988、1990 和 1998 年在上海和天津召开了 5 届全国性地面沉降学术研讨会,推动了城市地面沉降研究的深入和发展。

2 地面沉降研究存在的几个问题

2.1 盲目地停泵和封井

目前,对开采地下水资源引发的地面沉降控制对策基本是停泵、压缩开采量,甚至封井,这不能算是解决地下水资源开发与地面沉降控制矛盾的积极对策(陈崇希,2000)。机械地对地下水“限采”、“封井”、“回灌”等,并非是地面沉降防治的科学策略。事实上,并非地下水开采,就引起地面沉降;地下水资源不有效、合理地利用,也是浪费。即使地下水资源满足城市发展的要求,又使地面沉降控制在资源和生态环境允许的水平,才是地面沉降防治的积极策略。

2.2 地下水人工回灌的作用

除压缩开采量外,控制地面沉降的另一措施是地下水人工回灌。目前普遍认为,地下水人工回灌,可使地面产生大幅度回弹。对地面沉降机理,目前普遍采用有效应力原理进行解释。粘土层中孔隙水的释出,使其浮托力减小,甚至消失,有效应力增大,土颗粒间孔隙被压缩。在地下水开采期,粘土层的压缩量(地面沉降量)取决于孔隙水的释水量;而地下水人工回灌期,地面的回弹量取决于粘土层的吸水量。

然而,人工回灌地下水,含水层水位恢复,粘土层吸水量只占同压力释水量的 30% 以下。人工回灌可使含水层地下水位恢复,但不能使粘土层所排泄的约 70% 释水量得到回储,出现塑性变形后粘土

层所产生的回弹量甚微,人工回灌在地面沉降控制中不能起根本性作用(郑锐鑫,1990)。但人工回灌地下水是对地下水资源的一种外补偿,可使下个开采期减少粘土层释水量,从这个角度来说,地下水人工回灌对控制地面沉降有一定的间接效果。

2.3 地下水开采与地面沉降的关系

对于地下水超强度开采和地面沉降速率大的地区,地下水开采量与地面沉降量具有良好的相关性。但对于地下水季节性开采或地面沉降幅度相对较小或土层结构相对复杂的地区,一味寻求地下水开采对地面沉降的相关作用,就会进入误区。粘土层变形与地下水位下降存在迟后效应,粘土层塑性变形也具有惯性“动能”,超固结粘土层对孔隙水压力消散也存在一定的屏蔽作用,加上工程建设对地面沉降的影响(施伟华,2000),还有粘土层侧向流动等问题(刘毅,1998),使地面沉降复杂化。

2.4 地下水抽灌过程中能量守恒

一般认为,地下水抽灌过程中土体与流体的能量是守恒的。但无论是将研究范围内的土体与流体当作一个孤立系统,还是一个开放系统,必须从热力学第二定律出发,来研究土体、流体在抽灌过程的能量关系。否则,从土体与流体在抽灌过程中能量守恒条件出发,推导出的一系列控制方程组,而这些方程组的成立具有许多严格的条件,这些条件在实际中往往很难满足,导致地面沉降模拟分析成果很难与实际相符(凌荣华等,1995)。

2.5 机械叠加计算地面沉降量

普遍采用各压缩层垂向压缩量的线性迭加,来计算某处或地区的地面沉降总量。但该计算公式的成立应该是有条件的,即某一粘土层压缩时,其余土层相对于该土层作刚性移动。但该计算假设是错误的,造成模拟计算误差较大。

3 地面沉降研究值得关注的几个前沿问题

3.1 孔隙水运移机制

粘土层孔隙水运移问题是地面沉降复杂机制难以阐述的关键,也是地面沉降机理研究的突破点。应以土体微结构要素的变化与孔隙水运移的相关性为研究重点,研究孔隙水压力变化-孔隙水运移-土体结构变化-物理力学性质变化等之间的关系,应特别注意结构层次的分界线与孔隙水渗流速率及物理

力学指标变化中的转折点之间的内在联系,这些分界线和转折点往往是沉降过程发生质变的关键位置和时刻,也是反映沉降本质的定量指标。

3.2 高精度监测技术和仪器的应用

3.2.1 放射性分层标技术 该技术为将 Cs^{137} 或 Co^{60} 等放射性弹分层固定放入开采液、气的土层中,采用放射性分层标技术来监测各土层的变形量,并可获得土层垂向一维压缩系数 C_m ,以此可预测开采液、气产生的地面沉降(Macini 等,2000)。

3.2.2 星载合成孔径雷达干涉监测技术(InSAR)

星载合成孔径雷达干涉监测技术是利用不同时间测量的卫星合成孔径雷达地面图象相重叠而形成的微分干涉图象,图像中一个相干颜色条纹循环代表一定数量的地面变形变量,并通过对比地面变形实测值来确认,再利用计算机处理形成地面变形等值线图(Wegmüller 等,2000)。

另外,布设 GPS 地面沉降观测站,利用 GIS 技术来描述地面沉降现状,并预测地面沉降发展趋势,在图上实现可视化成果。

3.3 地下水-地面沉降耦合模型

粘土层释水引起地面沉降,土层压缩又反过来影响粘土层渗流和释水量,从而又影响土层压缩变形,如此反复。粘土层释水与压缩变形是互相作用、互相影响、密不可分的。地下水-地面沉降数学模型的有机耦合问题,已成为地面沉降预测预报研究的主要方向(武胜忠等,2000)。在耦合计算中,应引入考虑流变因素的固结理论,并注重考虑差异沉降和土层水平方向运移的三维渗流和三维固结的耦合计算。

3.4 地下水采灌优化设计和管理

机械地进行地下水“限采”、“封井”、“回灌”等,并非是地面沉降防治的积极和科学的策略。因此,在地下水-地面沉降数学模拟、耦合基础上,应积极提出地下水采灌优化方案(包括开采总量分配,人工回灌量设计,地下水开采层次、地段、时间的优化等)及地下水系统管理建议等。不但能有效、合理地利用和保护地下水资源,确保矿产资源和地质环境的可持续利用,又能促进区域经济的增长和社会的发展(郑铄鑫等,2001)。

3.5 地面沉降防治的系统性

地面沉降是地质环境系统与社会系统的集合。地面沉降防治是一较复杂的系统工程,必须从技术、

行政、社会、经济、法律和政治等多方面进行综合考虑(侯艳声等,2000)。地面沉降防治系统包括行政机构、技术方案、经济政策、法规制度、公众意识等(Freeze,2000),必须综合考虑资源利用、环境保护、城市建设、经济发展、居民生活和社会进步等各个因素。

3.6 城市化建设与地面沉降的相互关系

在城市地面沉降研究中,不仅要研究城市化建设产生和加剧地面沉降,而且,更要研究地面沉降对城市化建设和发展的影响和危害。在城市规则、工业布局、市政建设、大型建筑物的设计和建造中,必须慎重考虑地面沉降这一重要因素。

在城市化建设中,城市地下水资源开发利用必须充分体现保护自然资源和生态环境持续利用的生态观、促进区域经济增长的发展观和确保地区社会进步的文明观,使得资源利用、环境保护、经济发展和社会进步达到有机协调,确保地区经济和社会可持续发展。联合国教科文组织及国际水文科学协会国际地面沉降工作组主席 A. I. Johson 指出,既然现在地面沉降已普遍发生在世界上人口稠密、且工业化程度较高国家的大多数地区,而且,在今后几十年里,随着世界人口和工业的进一步增长,仍要保持对地下水和新的能源的需求,地面沉降在程度和范围上还会进一步加深加大。所以,为了防止地面沉降导致巨额损失,新的城市化地区和工业化地区都需要认真地规划和控制(Fang Guo 等,1995)。

参 考 文 献

- 陈崇希.2000.关于地下水开采引发地面沉降灾害的思考.水文地质工程地质,27(1):45~48.
- 段永侯.1998.我国地面沉降研究现状与21世纪可持续发展.中国地质灾害与防治学报,9(2):1~5.
- 侯艳声,郑铄鑫,应玉飞.2000.中国沿海地区可持续发展战略与地面沉降系统防治.中国地质灾害防治学报,11(2):30~33.
- 李敏,段绍伯.1996.上海生态环境的水灾风险分析.上海环境科学,15(12):45~47.
- 凌荣华,曲永新.1995.地面沉降模拟分析中几个基本问题的讨论.中国地质灾害与防治学报,6(4):20~23.
- 刘毅.1998.上海市淤泥质软土侧向流动产生地面沉降.见:曲焕林,程莉蓉主编.人类生存的地质环境.北京:地质出版社,87~89.
- 刘毅.1999.地面沉降加重了1998年中国大洪灾.中国地质(11):30~32.
- 武胜忠,方鹏飞.2000.地面沉降的计算理论和方法.太原理工大学

学报 31(2):162~165.

阎世骏,刘长礼.1996.城市地面沉降研究现状与展望.地质前缘,3(1):93~97.

郑铎鑫.1990.人工回灌地下水对地面沉降控制的探讨.勘察科学技术(5):27~32.

郑铎鑫.1992.沿海地区城市发展与地面沉降的系统控制.海洋地质与第四纪地质,12(1):57~65.

郑铎鑫,武强,应玉飞等.2001.相对海平面上升——21世纪中国沿海地区重大战略问题.中国基础科学(6):21~25.

朱兴贤,朱锦旗.1997.苏锡常地区地面沉降与经济损失分析.水文地质工程地质,24(3):24~25.

References

- Cheng Chongxi. 2000. On land subsidence hazard resulted from groundwater exploitation. Hydrogeology and Engineering Geolgy, 27(1):45~48 in Chinese with English abstract).
- Duan Yonghou. 1998. Research states on land subsidence and sustainable development in the 21st Century of China. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 9(2):1~5 in Chinese with English abstract).
- Fang Guo, Hou Yu. 1995. Subsidence study and reclamation in some coal mine areas of China. Hyatt Regency, Sacramento, California: AEG. GAR. Annual Meeting 31.
- Hou Yangsheng, Zheng Xianxin, Ying Yufei. 2000. Sustainable development strategy and systematic control on land subsidence in coastal region of China. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 11(2):30~33 in Chinese with English abstract).
- Li Ming, Duan Shaobo. 1996. Risk analysis on flood of Shanghai ecological environment. Shanghai Environment Science, 15(12):45~47 (in Chinese with English abstract).
- Ling Ronghua, Qu Yongxin. 1995. The comment on some fundamental problems of land subsidence modeling. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 6(4):20~23 in Chinese with English abstract).
- Liu Yi. 1998. Land subsidence resulted from side flowing of mucky clay in Shanghai. In: Qu Huanling, Chen Lirong. Problems on Geoenvironment for Mankind Existence. Beijing: Geological Publishing House, 87~89 in Chinese with English abstract).
- Liu Yi. 1999. The China big flood aggravated by land subsidence in 1998. China Geology, (11):30~32 in Chinese with English abstract).
- Macini Paolo and Mesini Ezio. 2000. Compaction monitoring from radioactive marker technique. In: Laura Carbognin, Giuseppe Gambolati & A. Ivan Johson. LAND SUBSIDENCE (Vol II), Proceedings of the Sixth International Symposium on Land Subsidence. Padova: La Garangola, Via Montona 43~56.
- Freeze R Allan. 2000. social decision making and land subsidence. In: Laura Carbognin, Giuseppe Gambolati & A. Ivan Johson. Land Subsidence (Vol I), Proceedings of the Sixth International Symposium on Land Subsidence. Padova: La Garangola, Via Montona, 353~384.
- Shi Weihua. 2001. Comparison and analysis for the effects of construction engineering and water resources development on Shanghai land subsidence. In: Laura Carbognin, Giuseppe Gambolati & A. Ivan Johson. Land Subsidence (vol I), Proceedings of the Sixth International Symposium on Land Subsidence. Padova: La Garangola, Via Montona, 293~300.
- Wegmüller Urs and Strozzi Tazio. 2000. Differential SAR interferometry for land subsidence monitoring: methodology and examples. In: Laura Carbognin, Giuseppe Gambolati & A. Ivan Johson. Land Subsidence (vol II), Proceedings of the Sixth International Symposium on Land Subsidence. Padova: La Garangola, Via Montona, 93~106.
- Wu Shengzhong, Fang Pengfei. 2000. Calculating theories and methods for land subsidence. Journal of Taiyuan University of Science and Engineering, 31(2):162~165 (in Chinese with English abstract).
- Yan Shijun, Liu Changli. 1996. Status and prospect of urban land subsidence. Earth Science Frontiers, 3(1):93~97 in Chinese with English abstract).
- Zheng Xianxin. 1990. Study on land subsidence control by artificial recharge of groundwater. Site Investigation-Science and Technology (5):27~32 in Chinese with English abstract).
- Zheng Xianxin. 1992. Urban development and systematic control on land subsidence in Coastal Areas. Marine Geology & Quaternary Geology, 12(1):57~66 in Chinese with English abstract).
- Zheng Xianxin, Wu Qiang, Ying Yufei et al. 2001. Relative sea-level rising-the vital strategic problem in coastal regions of China. China Basic Science, (6):21~25 in Chinese with English abstract).
- Zhu Xingxian, Zhu Jingqi. 1997. Analysis on land subsidence and economic losses in Shuzhou-Wuxi-Changzhou areas. Hydrogeology and Engineering Geology, 24(3):24~25 in Chinese with English abstract).