

# 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\*

张落成<sup>1</sup> 陈振光<sup>2</sup> 吴楚材<sup>1</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2: 香港大学城市规划与环境管理研究中心, 香港)

**提 要** 因地下水过量开采而引起的地面沉降是重要的地质灾害和生态环境问题。据最新统计资料, 全国 96 个城市或地区发生了不同程度的地面沉降。苏南太湖流域由于城镇用水和工业用水的迅速增加, 大量开采地下水, 导致区域内出现了 5000 km<sup>2</sup> 的地区地面沉降, 有些地区累计沉降量超过 2.0m。地面沉降已经影响到区域的供水安全和生态安全, 增加了基础设施建设成本。加快区域供水步伐, 调整工业结构, 加强水资源综合规划和管理是防治地面沉降的重要措施。

**关键词** 地下水 地面沉降 防治 太湖流域

**分类号** X141

地面沉降现象是在经济高速发展过程中不断加大对地下资源开发而产生的环境地质问题, 一直是世界上相关学科研究的热点。联合国教科文组织地面沉降工作组 (UNESCO Working Group on Land Subsidence) 是地面沉降工作的国际研究机构, 从 1965 年以来, 通过研讨会的形式, 将世界各国或地区的地面沉降工作者组织到一起, 从地面沉降的原因、危害、防治和监测等角度进行了深入的探讨。我国目前已经有 96 个城市或地区发生不同程度地面沉降<sup>[1]</sup>。经济发达的苏南太湖流域由于城市化的快速发展, 地下水开采日益严重, 出现了 5000 km<sup>2</sup> 左右的地面沉降地区。地面沉降已经成为严重的地质灾害, 它增加了基础设施建设成本, 也影响了苏南地区的投资环境。因此, 江苏省人大 2000 年出台相关政策, 要求 2003 年前, 苏锡常地下水超采地区禁止开采地下水。本文对苏南太湖流域地面地区沉降的特点、形成原因和危害进行了探讨, 并提出了防治地面沉降的对策建议, 旨在引起决策层对这一地质灾害的高度关注。

## 1 苏南太湖流域地区地面沉降特点

苏南太湖流域在经济快速发展过程中, 生态环境问题也日益突出, 其中, 地下水位下降以及地面沉降是生态破坏的突出表现形式之一。

### 1.1 苏南太湖流域地下水位下降由来已久

\* 国家自然科学基金(40201014)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-SW-318-03)、江苏省科技厅(BS2002065)联合资助。  
2003-01-15 收稿; 2003-03-25 收修改稿。张落成, 男, 1967 年生, 博士, 副研究员。Email: lchzhang@niglas.ac.cn.

据 20 世纪 80 年代调查,常州市 1970 年以来,地下水位平均每年下降 4m,漏斗中心潜水位已经达到 60 多米深<sup>[2]</sup>. 苏州、无锡、常州三市 50-80 年代多年平均地下水位下降速度分别为 2.0m、1.8m 和 2.8m (表 1). 到 20 世纪 90 年代末以前,苏南大部分城市和地区静止地下水位出现了持续下降状态 (表 2), 并已形成多个以城市为中心的地下水位降落漏斗. 其中,苏锡常三城市中心附近,常熟、昆山、太仓等市区,1991 年以来地下水位下降速率为 1m/a,常州戚墅堰-无锡,江阴青阳、马镇,苏州吴中区望亭-浒墅关,苏州市区、吴江平望和盛泽,地下水位下降速率为 2m/a,无锡的前洲、洛社、石塘湾地区出现水位加速下降的趋势,高达 3m/a .

表 1 苏锡常三市地下水开采基本情况 (1983 年)<sup>1)</sup>

Tab.1 Exploitation of underground water in Suzhou, Wuxi and Changzhou (1983)

|    | 深井数<br>(眼) | 年开采量<br>(万 t) | 日最高开采量<br>(万 t/d) | 静水埋深<br>(m) | 50-80 年代年平均地下水位<br>下降速度 (m) |
|----|------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------------------|
| 苏州 | 331        | 3161          | 11.2              | 58          | 2.0                         |
| 无锡 | 117        | 900           | 10.0              | 57          | 1.8                         |
| 常州 | 400        | 10000         | 30.0              | 60          | 2.8                         |

1) 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 苏州、无锡、常州城市用地动态研究报告.

表 2 苏锡常地区深层地下水位下降情况<sup>[3]</sup>

Tab.2 Decrease of underground water level in Suzhou, Wuxi and Changzhou

| 城市 | 开采<br>含水层 | 含水层厚度<br>(m) | 静止地下水位 (m) |       | 地下水位下降值 (m) |       |
|----|-----------|--------------|------------|-------|-------------|-------|
|    |           |              | 年份         | 埋深    | 年份          | 下降值   |
| 苏州 | II 承压水    | 8-56         | 1964       | 10.50 | 1964-1980   | 44.50 |
|    |           |              | 1980       | 55.00 | 1980-1995   | 13.70 |
|    |           |              | 1995       | 68.70 | 1995-2000   | 18.30 |
|    |           |              | 2000       | 87.00 |             |       |
| 无锡 | II 承压水    | 10-40        | 1964       | 35.00 | 1964-1980   | 23.00 |
|    |           |              | 1980       | 58.00 | 1980-1995   | 24.00 |
|    |           |              | 1995       | 82.00 | 1995-2000   | 6.15  |
|    |           |              | 2000       | 88.15 |             |       |
| 常州 | II 承压水    | 25-40        | 1964       | 27.00 | 1964-1980   | 39.20 |
|    |           |              | 1980       | 66.00 | 1980-1995   | 14.10 |
|    |           |              | 1995       | 80.10 | 1995-2000   | 6.90  |
|    |           |              | 2000       | 87.00 |             |       |

1.2 地面沉降中心由城区向郊区蔓延, 并逐步成片

苏州市区地面沉降始于 20 世纪 60 年代初, 70 年代地面沉降速率有所加快, 市区沉降速率为 0.04-0.05m/a, 市郊 0.02-0.03m/a, 无锡市 1955-1964 年已经产生地面沉降, 但沉降速率较小, 仅 0.007m/a, 1964-1975 年, 沉降速率加快, 年平均 0.038m, 1975 年以后为 0.01-0.25m/a. 常州市地面沉降发生的时间稍晚, 但发展迅速, 70 年代仅仅发生

① 国家环保总局南京环境科学研究所, 江苏省生态环境现状调查报告, 2003.

沉降迹象, 而 1984-1991 年地面沉降一直保持在  $0.04-0.05\text{m/a}$  的下沉速度. 目前苏锡常地区地面沉降累计在  $0.2\text{m}$  以上的面积已经达到  $5000\text{km}^2$ , 而  $0.5\text{mm}$  地面沉降等值线已经将三个中心城市连成一片, 面积接近  $2000\text{km}^2$  [4].

苏锡常三市地面沉降以无锡市最为严重, 且发展速度快, 在惠山区石塘湾浒四桥附近累计沉降量最大超过  $2.0\text{m}$ , 苏州市地面沉降中心位于城区北寺塔附近, 老城区累计沉降量最大超过  $1.0\text{m}$ , 其中齐门大街达  $1.55\text{m}$ . 常州市累计最大沉降量超过  $1.8\text{m}$ , 目前市区地面仍以  $0.15-0.2\text{m/a}$  的沉降速率继续发展. 目前苏锡常部分地区地面沉降速率仍然保持较大的量值, 尤其是锡西和江阴南部地区, 一些乡镇镇区的年沉降速率仍高达  $0.08-0.12\text{m}$ .

值得注意的是, 1999 年以后, 由于苏锡常地区地面沉降问题引起省委、省政府的高度重视, 并出台了相关控制地面沉降的政策措施, 从 2001 年起, 苏南太湖流域地面沉降趋势已经得到有效地控制, 部分地区地下水位甚至出现了回升的势头.

## 2 地面沉降的危害

地面沉降属于缓变性地质灾害. 由于超采地下水, 导致地下水资源量锐减, 地下水位埋深增加, 从而产生地面沉降. 地面沉降的危害主要在于:

### 2.1 影响区域防洪排涝, 增加了投资成本

首先, 由于地面沉降, 使苏南太湖流域圩区面积增加, 防洪设施功能下降或失效, 防洪任务加重. 每一届政府要做的第一件事情就是加高堤防, 无锡火车站附件回龙桥处防洪墙因为地面沉降, 留下了逐年加高的历史痕迹. 自 1991 年以来, 无锡市武澄锡低洼地区圩区面积增加了约  $3300\text{hm}^2$ , 其中洛社镇 1991 年共有 7 个村是圩区, 到目前村村均变成了圩区, 村村均设立了排涝站. 望虞河无锡境内本来不会发生内涝, 但由于地面沉降, 1999 年发生严重的内涝现象.

其次, 地面沉降使防洪成本大大提高. 无锡前洲镇  $28\text{km}$  圩岸, 1991 年以后每年投资 600 多万元加高堤防, 到目前已经投入 4200 万元. 据不完全统计, 无锡市因为地面沉降造成的直接损失约 3.5 亿元, 因为地面沉降需要翻建、重建的水闸 294 座, 排涝泵站、涵洞 600 个, 需加高、加固的堤防长度达  $572\text{km}$ , 出现“小雨中水位、中雨高水位、大雨要漫堤”的严峻局面. 整个太湖流域 1999 年洪涝损失要明显高于 1991 年 [5].

### 2.2 对区域水环境的影响加剧

地面下沉, 使河道局部或整体发生变形, 直接影响到区域地表水的调控能力. 近几年来, 苏南太湖流域每到汛期, 境内排水年年不畅, 向太湖、运河下游排水越来越困难, 水位差减小, 成了滞水腹地, 外运河水位居高不下, 防汛压力越来越大 [5]. 同时, 由于水流缓慢, 水体自净能力减小, 某种程度上加剧了水污染. 据近年监测 [6], 入太湖江苏段污染河道占河  $82\%-87\%$ , 常州、无锡、宜兴一带入湖河流基本为 V 类, 几乎年年爆发蓝藻, 并已经危及无锡沿湖地区的城镇供水. 受入湖河流直接影响, 太湖水质也呈逐年恶化趋势 [7]. 苏州市供水源地之一的阳澄湖已经发出污染预警, 漏湖的水质也正在变劣.

此外, 地面沉降使得内河桥梁净空高度下降, 削弱了航运能力, 不平衡的地基下沉使房屋倒塌, 建筑物断裂, 地下管道破损, 造成较大经济损失.

## 3 地面沉降的原因

苏锡常地区地面沉降的主要原因在于不合理开发、掠夺性开发和过度开采地下水。据研究<sup>[8]</sup>, 1995 年苏州、无锡和常州市区第 II 承压水几乎全部严重超采, 市域范围内, 严重超采区面积占 46.7%。以无锡市为例, 20 世纪 80-90 年代是地下水开采的发展期, 在这一阶段无锡地区深井数以 5-54 眼/年的速度递增。1990-1996 年是深井发展的高峰期, 每年增开采井数 59-190 眼(图 1)。随着开采井数和开采量增加, “三集中”开采严重(即开采时间集中、地点集中、开采部位集中)。高强度开采地下水主要有以下原因:

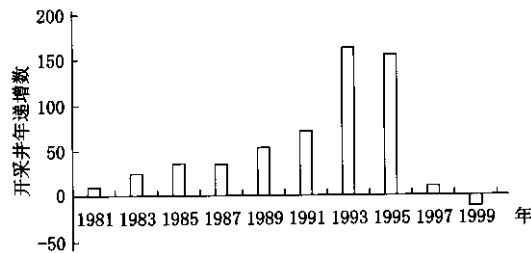


图 1 无锡市历年开采地下水深井数年递增情况

Fig.1 Increase of underground wells in Wuxi

### 3.1 与高耗水印染工业和纺织工业及相关工业布局有关

从无锡市地面漏斗的分布与经济发展水平表现出一定的相关性。建成区和西北部, 经济发展水平较高, 属于无锡市的一等收入和二等收入地区, 人均国内生产总值 3-6 万元<sup>[9]</sup>。而这些地区恰恰是印染工业发展比较快、地下水开发强度大和地面沉降最为严重的地区。锡西北的前洲、玉祁、洛社、石塘湾是无锡市域最大的地下水位降落漏斗, 中心水位埋深已常年低于含水层顶板, 普遍超过 80m, 成为典型的疏干开采区。市中心的地下水位降落漏斗, 中心水位埋深为 65m 左右。这与无锡纺织业发达, 大多以地下水作为冷却水有关。1996 年无锡地下水开采量中 60-70%用于工业用水, 而工业用水中 70%用于冷却循环。

从无锡市经济发展比较快的洛社镇洛社水厂地下水位变化情况(图 2)来看, 经济越发展, 地下水开采越严重, 地下水位下降也越快。

### 3.2. 地表水污染严重, 居民依赖于地下水

据流域初步调查和太湖监测资料<sup>[7, 10]</sup>, 太湖流域 I 类水体已不复存在, 70%以上的河道受到污染, 江苏河段约有 60%水质处于 V 类或劣 V 类标准, 出现严重“水质性缺水”。无锡市因水体水质恶化, 水源地多次转移, 第一个水厂采用运河水, 后来因为水质恶化, 水源地向五里湖、梅梁湖转移, 又遭到污染, 目前全市主要水源为贡湖水, 供水量占全市 70%以上。同时, 由于地表水的逐步恶化使许多乡镇水厂只好依赖于地下水开采, 这也加剧了地面沉降的速度。

### 3.3 区域供水步伐还不快

实行区域性供水是控制地面沉降的有效办法, 但目前整个苏锡常地区区域性供水规划还在逐步推行之中, 管网的配套速度还不能跟上。以无锡市为例, 今年 33 个镇中 22 个镇已经接通市区水厂管道, 2003 年底全市所有的镇将全部接通市区管道, 吃上市区提供的自来水。但值得注意的是, 供水管道仅仅到乡镇所在地, 由于分村分户的供水管道配套建设缺乏资金以及水价差别, 全面铺开还有一定难度。

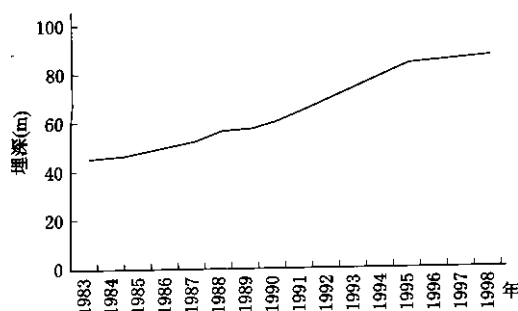


图 2 无锡洛社水厂的地下水位下降情况

Fig.2 Decrease of underground water level in Luoshe Water Plant, Wuxi

## 4 防治地面沉降的对策建议

### 4.1 运用市场和行政机制, 加快推进区域统一供水步伐

根据省统一规划, 在江阴利用长江水源建立区域性供水水厂, 水源丰富, 水质有保证, 发展潜力大, 自来水供大于求, 但由于行政分割原因, 江阴水厂富余能力无法消化. 例如, 靠近江阴芙蓉圩的玉祁、前洲镇, 由江阴供水是最方便、最合理的, 由无锡市区供水就舍近求远了. 为合理开发和保护地下水资源, 超采区停止开采地下水, 统一使用自来水是必须的替代措施. 政府除了要对镇村一级自来水管网建设进行必要的投入或补贴外, 还应加强区域供水水厂和管网布局的统一规划, 运用市场机制, 按照最短供水距离, 而不是按照行政区界划定供水范围, 节约输水管建设成本和降低水价.

### 4.2 严格控制高耗水项目, 已有项目通过工艺处理, 改用地表水

调整工业结构, 控制高耗水项目发展, 已有的印染等高耗水项目, 应该采用新技术和新的工艺流程进行污水处理, 全部或部分采用地表水. 在地下水严重超采区, 凡在市区域供水管网范围内的工业企业原则上一律停止开采地下水, 封井后供水有困难的, 政府应另外想办法解决.

### 4.3 加大地下水资源管理力度, 防止复采行为

《中华人民共和国水法》第二十五条规定, 开采地下水必须在水资源调查评价的基础上, 实行统一规划, 加强监督管理. 江苏省人大常委会《关于在苏锡常地区限期禁止开采地下水的决定》要求, 2003 年前地下水超采区要实现禁止开采地下水, 2005 年前苏锡常地区全面禁止开采地下水, 为苏锡常地区地下水合理开采与保护提供了法律保障. 在地下水已经超采的地区, 应当严格控制开采, 并采取措施, 保护地下水资源, 防止地面沉降. 至 2001 年, 苏锡常地区较好地完成了地下水禁采年度任务, 共封井 1395 眼, 占深井总数的 29%, 其中常熟、江阴、武进等 9 个县(市、区)超额完成任务. 三市当年共开采地下水  $2.16 \times 10^8 \text{m}^3$ , 比计划少开采  $426 \times 10^4 \text{m}^3$ , 比上年同期压缩 25%. 据监测, 禁采区内 65% 的地下水监测井水位回升或趋于稳定, 部分地区地面沉降速率趋缓. 但应加强管理与监督, 防止复井复采地下水的现象发生.

### 4.4 加强沉降预警和预报系统建设

1999 年, 江苏省政府批准了建立苏锡常地面沉降预警预报系统的立项。根据此项目要求, 无锡市 2001 年筹资 120 多万元将建立由基岩标 GPS 标志等构成的地面形态监测网, 控制面积达 1.1 万  $\text{km}^2$ 。目前工作基本完成, 明年将正式运行, 届时将提供地面沉降速率和形成机理研究的第一手资料, 为治理对策提供依据。

### 参 考 文 献

- 1 张阿跟, 刘 毅, 魏子新等. 地面沉降--第六届地面沉降国际讨论会论文选. 北京: 地质出版社, 2001: 1-10
- 2 徐桂卿, 姚士谋, 董雅文等. 苏南地区城市(镇)发展的生态问题. 地理科学, 1983, 3 (2): 160-162
- 3 陈锁忠, 陶 芸, 潘 莹. 苏锡常地区地下水超采引发的环境地质问题及其对策. 南京师范大学学报, 2002, 25(2): 67-72
- 4 余孟信. 苏锡常地区地面沉降现状危害与防治对策. 全国水文计算进展和展望学术讨论会论文选集. 南京: 河海大学出版社, 1998: 348-353
- 5 吴泰来. 太湖流域 1999 年特大洪水和对防洪规划的思考. 湖泊科学, 2000, 12 (1): 6-11
- 6 陈荷生. 太湖流域城市水环境综合治理. 城市研究, 2000, 14 (5): 34-38
- 7 林泽新. 太湖流域水环境变化及缘由分析. 湖泊科学, 2002, 14 (2): 111-116
- 8 黄家柱. 苏锡常地区地下水资源开发利用与环境保护. 农村生态环境, 1998, 14 (1): 10-13
- 9 国家统计局. 无锡市统计年鉴, 北京: 中国统计出版社, 2001
- 10 严东生, 任美镔. 论长江三角洲可持续发展战略. 合肥: 安徽教育出版社, 1999: 274-280

## Land Subsidence Problem and Its Control in Taihu Basin of South Jiangsu Province due to Overexploitation of Underground Water

ZHANG Luocheng<sup>1</sup>, Roger C K Chan<sup>2</sup> & WU Chucai<sup>1</sup>

(1: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China;

2: Center of Urban Planning and Environmental Management, the University of Hongkong, P.R.China)

### Abstract

The economy in Taihu Basin of Jiangsu Province is developing very quickly, which has led to large increase of water demand for urban and industry use. Overexploitation of underground water has given rise to serious land subsidence. At present, the area of land subsidence in Suzhou, Wuxi and Changzhou has reached 5000 $\text{km}^2$ . Land subsidence has great influence on the security of water supply and has increased the expanse of flood mitigation. Closing the deep wells, adjusting industrial structure, quickening the development of regional water supply and strengthening comprehensive water management are important measures to control land subsidence.

**Keywords:** underground water; land subsidence; control; Taihu Basin