

文章编号:1003-9414(2000)03-0214-12

长江三角洲地下水开采的负环境 效应及其防治^①

姜月华,戴庆嘉,汪迎平,巫全淮
(南京地质矿产研究所,江苏南京 210016)

摘要:长江三角洲位于以上海为中心的经济发达区,是我国经济实力最强、产业规模最大的地区。但是,随着经济的高速发展和人口的高度集中,也进一步加剧了对地下水的需求,使三角洲大部分地区普遍出现地下水位大幅下降,从而引起各种环境负效应,如地面沉降、地裂缝、地面塌陷、海水入侵和水质污染等,严重影响了长江三角洲经济可持续发展和人民群众生活质量的提高。本文对长江三角洲因地下水强烈开采而出现的一系列环境地质灾害进行了总结和讨论,并初步提出了有关防治对策和建议。

关键词:地下水;开采;环境地质;地质灾害;防治对策;长江三角洲

中图分类号:X14 **文献标识码:**A

长江三角洲是我国东部沿海经济发达区之一,也是我国经济实力最强、产业规模最大的地区,是我国最大的经济核心区。长江三角洲包括上海市、江苏省南京、镇江、常州、无锡、苏州、南通、扬州和浙江省杭州、嘉兴、湖州等十多个城市,土地面积约占全国的1%,地貌类型以平原为主。1995年长江三角洲总人口占全国6.1%,国民生产总值8859.3亿元,占全国的15.2%^[1]。

长江三角洲地下水的开采利用最早可追溯到远古时期。例如迄今为止我国发现最古老的水井——河姆渡井,就位于三角洲的浙江余姚。该井距今已有5700多年,尽管其深度仅有1.35m,但是却用了约200多根圆木支撑保护,结构非常精巧^[2]。

居住在长江三角洲的人们曾在相当长的一个时期对地下水的需求量并不大,开采地下水的规模也较小,地下水总也能满足所需,因而,人们很自然地认为地下水是“取之不尽、用之不竭”的水源地,但却没有真正意识到地下水是一种数量有限的资源。自20世纪60年代开始,随着城市化程度越来越高,人口高速增长和工农业的快速发展,各地对地下水的需求也呈快速增长的趋势。出现了过量抽取地下水而导致地下水循环系统平衡的破坏,引起各种环境负效应。如河流和其它水运设施的标高、坡度发生改变,土木工程构筑物发生破坏,

① 收稿日期:2000-03-10

本文为中国地质调查局资助项目(编号0299203050)前期调查成果。

第一作者简介:姜月华(1963~),男,江苏昆山人,研究员,从事沉积地质和环境地质工作。

各种地下管线、管道、道路、桥梁、铁路等变形、破裂甚至报废,大堤、堰坝、码头、沟渠等发生毁坏,低洼区洪涝程度和数量增加,沿海地区海水入侵,以及地下水开采条件恶化,地下水水质污染和水资源枯竭等。所有这些均给三角洲地区的经济可持续发展和人民生活带来了极大的危害。

本文主要以前人的资料为基础,总结和探讨因不合理开采地下水而引起的地面沉降、地裂缝、地面塌陷和地下水水质恶化等环境地质问题,并初步提出有关防治建议。

1 地面沉降

地面沉降通常是指在人为因素作用下,使地下松软土层压缩而导致地面标高降低的一种复杂的水文地质、工程地质现象^[3]。地面沉降主要发生在由冲积、湖积、浅海相沉积物构成的未固结或半固结厚层堆积物分布的地质环境^[4]。地面沉降的产生主要是由于过量抽取承压含水层的地下水引起的。从承压含水层中抽取地下水,引起承压水水位下降,会产生两种作用:一是砂砾质含水层孔隙水压力降低而压密;二是相对隔水层的粘性土层失水压缩固结。这两种作用都会引起松散土层压缩,导致地面沉降。前者主要是弹性变形,速度快,沉降量小,水位恢复时可全部回弹;后者基本是塑性变形,速度慢,沉降量大,水位恢复后回弹量极小或无,地面变形显著。

地面沉降最早在意大利威尼斯发现,其后世界各国先后发现了地面沉降现象。如日本于 1898 年在新泻发现地面沉降,该区地面沉降最严重时期为 1956~1962 年,速率达每年 0.53m,沉降产生的原因是抽取地下水;美国于 1922 年在加州萨克拉门托—圣卓阿金流域发现地面沉降,1920~1969 年累计地面沉降达 2.6m,产生地面沉降的原因是抽取深层(305~764m)地下水供农田灌溉之用,地下水水位曾一度下降至 -137m,影响范围达 9100km²^[5]。

据调查结果显示,长江三角洲区域性大面积地面沉降已十分严重,除少数地区受城市建设工程叠加影响外,绝大多数均系大量抽取地下水所引起。上海是我国最早发现地面沉降的地区。1921~1965 年,上海中心城区平均下沉 1.69m,沉降中心最大下沉量为 2.63m。产生地面沉降的主因是抽取地下深度为 70~150m 的地下水。1949~1965 年平均年开采地下水量在 1 亿 m³ 以上^①,开采水量与地面沉降和地下水位呈明显正相关(图 1);1965 年经采取一系列措施后,地面沉降速度有了一定的控制;1966~1990 年的 25 年间,中心城区沉降了 124.5mm,年均 4.0mm;但是,1990~1998 年,上海市地面沉降又有了一定的发展,年平均沉降量达 14.5~14.6mm^[6]。其中,内环线(中山路)在 20mm/a 以上,浦东、陆家嘴开发区、闸北区、虹口区、黄埔区等已在 30mm/a 以上。上海黄浦江大堤也因地面沉降曾四次加高,从 4.8m 加至现在的 6.9m。上海市地面总标高大体 3~4m,地面沉降所造成的后果是极其严重的,据测算,上海市每下沉 1mm,直接经济损失将达 500 万元以上^②^{[3][5]}。

苏州、无锡、常州及其周边地区是长江三角洲江苏省域最为严重的地面沉降区。该区从 60 年代开始出现地面沉降。70~80 年代中期,地面沉降主要在苏、锡、常三中心城市发生。80 年代中期至今,以该三城市为中心的沉降漏斗不断扩大,沿京杭大运河和沪宁铁路等形

① 江苏、浙江、上海地矿局、海洋地调局,1:50 万长江三角洲地区水文地质工程地质综合评价报告,1987。

② 上海地矿局,上海经济区(上海市)地面沉降监控与防治设计书,1999。

成区域性的地面沉降洼地。沉降量超过 0.2m 的漏斗面积已达 5000km²。苏、锡、常三中心城市最大累计地面沉降量分别达 1.80m、1.48m 和 1.20m^①。地面沉降已迫使太湖大堤由原 3.8m 增加到现今的 4.2m。一些沉降低洼区目前已不能种小麦,只能种水稻一熟。苏锡常地面发生沉降的直接原因,是这一区域年开采地下水量达 4.5 亿 m³。江苏省域除苏锡常外,南京、镇江、扬州、南通等地也有地面沉降发生,并都与地下水过量开采有关。以南通市为例,市区形成了以粮食局和农药厂为中心的两个降落漏斗,仅至 1988 年累积沉降量分别达 66.77mm 和 76.06mm,沉降速率由过去的 5.0mm/a 增加至 5.89mm/a。沉降中心农药厂 10 号井周围曾出现裂缝,井管倾斜;11 号井水泵与基座一起沉入地下 30cm。据不完全统计,南通市因地面沉降造成的经济损失已达一千多万元^[7]。另据 1999 年江苏省地矿厅地调院统计资料,因地面沉降等原因,江苏地区受淹乡镇达 239 个,受淹面积 9.9 万公顷,直接经济损失近 11 亿元。

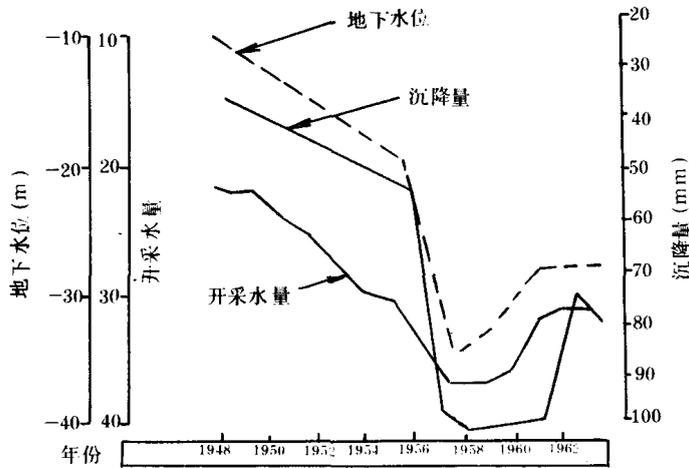


图1 上海市地面沉降与地下水开采量的关系(据刘兆昌等,1988)

Fig.1 Relation of ground subsidence and exploitation quantity of groundwater in Shanghai City (After liu Zhaochang et al., 1988)

杭州、嘉兴和湖州地区是长江三角洲浙江省域最严重的地面沉降区。例如嘉兴市地面沉降始于 60 年代,经历沉降缓慢期(1964~1973 年)、沉降显著期(1974~1983 年)、沉降急剧期(1984~1990 年)和沉降减缓期(1991~1998 年)四个阶段^{②③④[3]}。沉降缓慢期地下水年开采量小于 $2 \times 10^7 \text{m}^3$,增长缓慢,年增长率为 2.35%,平均沉降速率为 3~8mm/a;沉降显著期地下水年开采量 $9862 \times 10^4 \text{m}^3$,年平均递增 13.4%,中心平均沉降速率达 22.5mm/a,累计沉降量达 308.9mm;沉降急剧期中心平均沉降速率达 41.9mm/a,累计沉降量达 597.2mm;沉降减缓期地下水开采量有所控制,中心沉降也随之有所缓和,中心沉降速率

① 江苏地矿局,上海经济区(江苏省)地面沉降监控与防治设计书,1999。

② 浙江地矿局,上海经济区(浙江省)地面沉降监控与防治设计书,1999。

③ 姜云等,浙江嘉兴区域水文地质调查报告,1997。

④ 姜云等,浙江嘉兴市地面沉降及地下水资源开发利用分析,人类活动与地质灾害研讨会专集,1998。

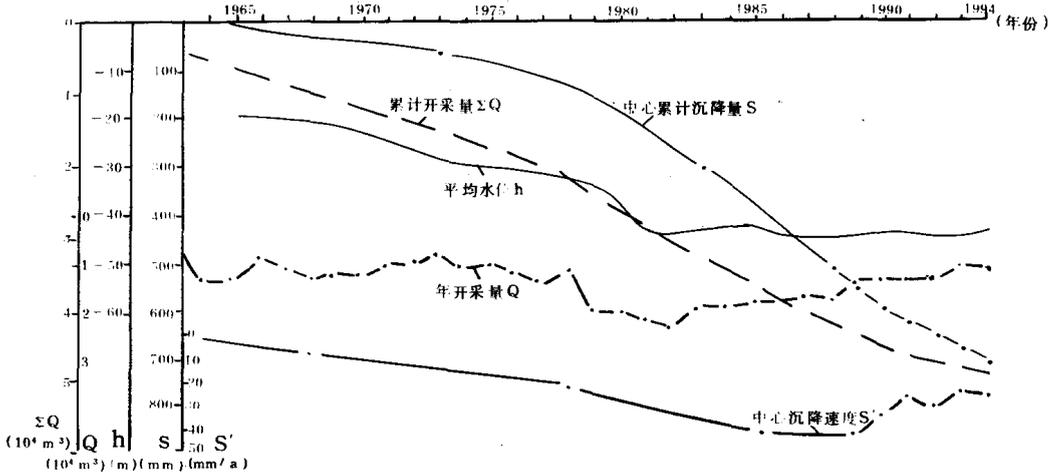


图 2 嘉兴市地面沉降与地下水动态关系曲线图(据杜时贵等,1997)

Fig.2 Relation between land subsidence and groundwater dynamic state in Jiaxing city (After Du Shigui etc. ,1997).

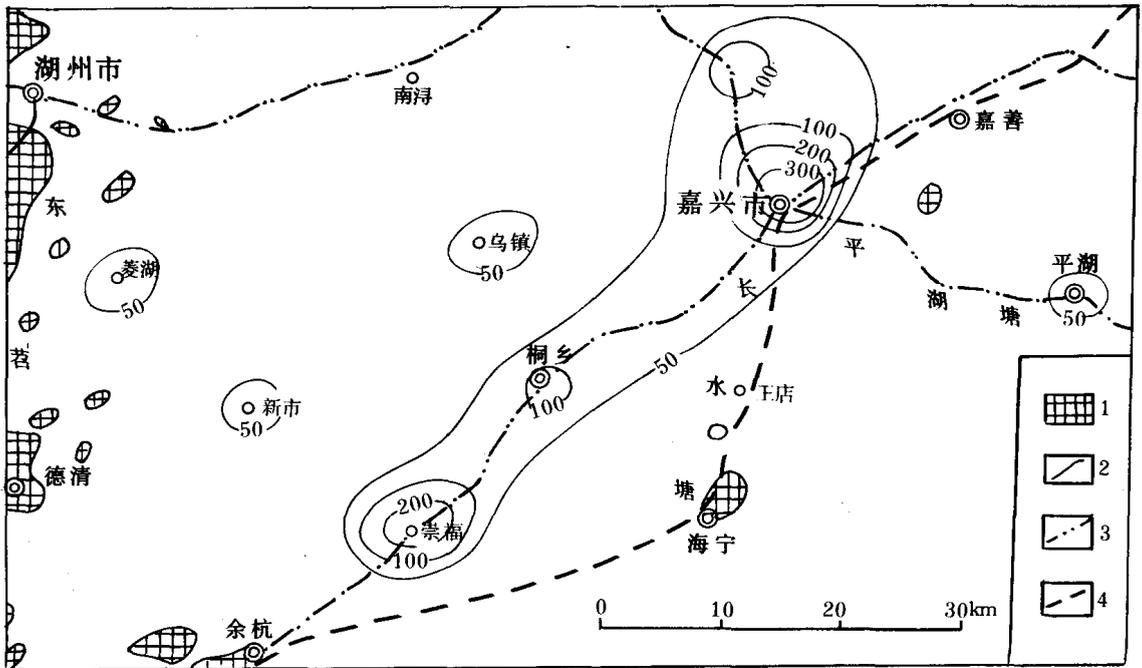


图 3 杭嘉湖地区地面沉降等值线图(1974-1994年)(据赵建康 1999,修改)

Fig.3 Isopleth map of ground subsidence in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou area(1974-1994) (Modified from Zhao Jiankang 1999)

1-裸露基岩;2-地面沉降等值线(mm);3-公路;4-铁路

1991~1994年为28.1mm/a,1995~1998年为22.3mm/a(图2)。截至1998年,嘉兴市沉降中心累计沉降量为798.8mm,嘉兴市区都在400mm沉降范围内,沉降面积超过600km²(图

3)。以嘉兴市为中心的杭嘉湖地区地下水开采总量历年来一直占浙江全省 30%~50%，至 1998 年累计已开采地下水总量约 $22 \times 10^8 \text{m}^3$ 。近年开采量为 $1.4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ，有深井近千眼，地下水开采量在继续增长，地下水位也在进一步下降。据统计嘉兴市地面平均高程为 2.29m，水位每增加 0.01m，淹没面积将增加 1067 公顷，按年平均沉降量 20mm 计算，每年因地面沉降增加的淹没面积将增加 2134 公顷。地面沉降已给嘉兴市造成了巨大的经济损失，据查，仅 1991~1995 年由地面沉降引起的洪涝损失达 5.74 亿元、水利工程失效损失达 10.4 亿元、排水系统维修、通航条件改造等损失约 3.5 亿元^[3]，共计，19.64 亿元。

2 地裂缝

这里所指的地裂缝属非地震而引起的地裂缝，其通常是过量抽取地下水造成地下水位大幅下降发生地面沉降，而由局部不同的压密或在地下水位以上疏干带表面张力引起的水平收缩所致^[8]。地裂缝常呈线状分布，长度从几十米至几千米不等，张开距离仅约几厘米至几十厘米。地裂缝多发育于含水层系统下伏基岩面上的凸起、台阶、构造转折线或边缘位置变薄的对应地面(图 4)。目前长江三角洲地裂缝主要集中发育于苏锡常地区，而上海和浙江地区较少或没有出现。据报道，过量抽取地下水时对地裂缝活动量的增大具有决定性的影响，地裂缝两侧垂向差异升降量 70% 左右属抽水附加效应^[9]。苏锡常地区地裂缝主要始于 80 年代末期，近年来发生频率加快，现今已发现有十多处地裂缝或地裂缝群，如横山桥、石塘湾—堰桥、钱桥—无锡市区、洛社、东亭、查桥、文林—河塘、顾山、黄埭、浒墅关等地裂缝(图 5)。由差异升降所引起地裂缝灾害已经使苏锡常地区约 600 多套民房被毁，一些城乡居民刚花几十万元建起来的新居不得不面对墙体错裂、开裂发展至倒塌的严酷现实。

3 地面塌陷

地面塌陷系指地面覆盖物出现下沉、开裂以致突然向下陷落而形成各种规模和形状的坑或槽等现象。地面塌陷大多由开采地下水引起，隐伏岩溶引起的岩溶地面塌陷是其最常见的一种类型。岩溶地面塌陷的形成机制有多种观点，较有代表性的有潜蚀论、真空吸蚀论、气爆论等。现今绝大多数国内外学者认为抽水引起的岩溶地面塌陷主要由潜蚀作用形成。在覆盖岩溶区，当大量开采地下水时，必然产生水位下降，开采量愈大，水位下降幅度愈大，同时形成了影响范围较大的区域性水位降落漏斗；当地下水降至较深或基岩面附近时，松散层中的孔隙水被逐渐疏干，这时土体所受浮托力(地下水浮力可达上部土体容重的 42%~25%)减少，自重增加；当上伏土体自重超过土体抗剪强度时，导致土体突然陷落^[3]。岩溶塌陷的形成一般都经历以下几个阶段：〈1〉岩溶水位下降，潜蚀作用发生阶段；〈2〉土洞形成阶段；〈3〉土洞扩大阶段；〈4〉塌陷产生阶段(图 6)。

长江三角洲地面塌陷既有隐伏岩溶引起，也有矿山采空及采矿疏干排水引起，其中，以前者为多。如苏锡常地区的横林、厚桥、黄埭等岩溶地面塌陷、以及浙江湖州三天门和杭州市西部地区的岩溶地面塌陷均造成了一定的危害。例如杭州市海军疗养院因开采岩溶水引起的塌陷，1980 年初曾引起 8 幢建筑物开裂、5 处地面不均匀沉降、3 个塌陷坑(最深处达 18m)，影响带范围长 600m、宽 100m；杭州市宋城路铁路宿舍 1986~1987 年先后多次因水

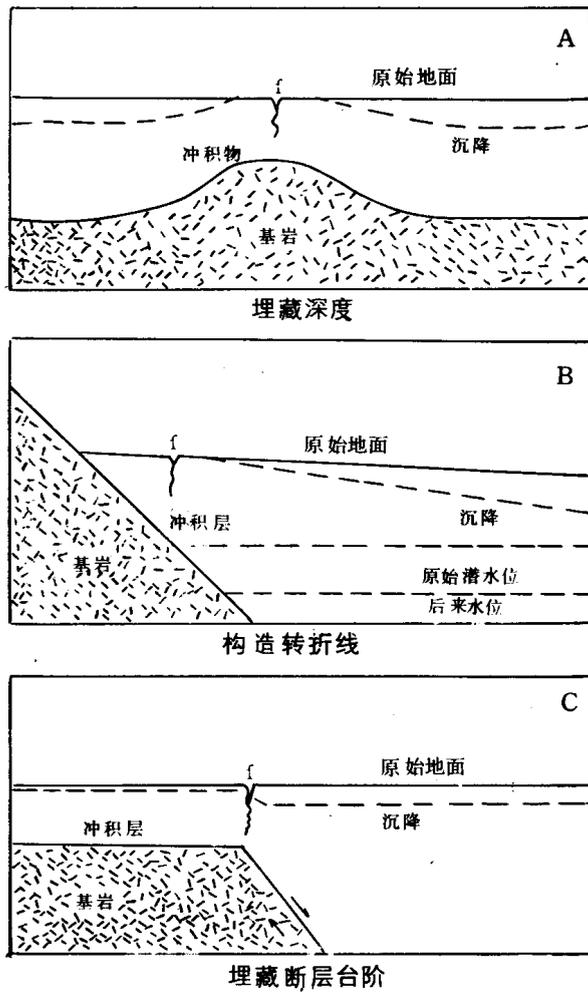


图4 与地裂缝有关的三种地质条件(据 Larson, M. K. 等, 1986)
 Fig. 4 Three kinds of geological conditions related to geofracture
 (After Larson, M. K. et al, 1986)

位下降发生地面塌陷,形成的塌陷坑长 13m、宽 11m、深 10m,影响带范围长 100m、宽 50m^①。上海普陀区某行车道中央,2000 年因水位变化曾发生塌陷,形成约十余平方米的园形塌坑,塌坑深约 2-5m,造成交通一度中断(据 2000 年 8 月 20 日上海电视台报道)。南京仙鹤门水源地,1978 年进行群井孔抽水试验时,在第四系厚度小于 20m 的灵山山麓、杨石村一带出现了长 100m、宽 3~4cm,深 30~40cm 的地裂缝,并引发了 3 处泉眼周围塌陷;1980 年沪宁铁路上行线岔路口段,路基塌陷,坑口直径 1.38~2.10m、深度 0.1~0.46m,暴雨后还有所增大,深处达 8~10m^[10];1993 年扬州港塌陷、1994 年南京栖霞山明景湖塌陷、1996 年无锡市区人民大会堂塌陷、1997 年江南水泥厂因自来水供应紧张,集中开采地下水,地面发生塌陷,致使距深井约 60m 的水泥厂一幢宿舍楼发生危险等,不胜枚举。

① 浙江地矿厅、浙江省地矿志科协,人类活动与地质灾害研计会专集,1998。

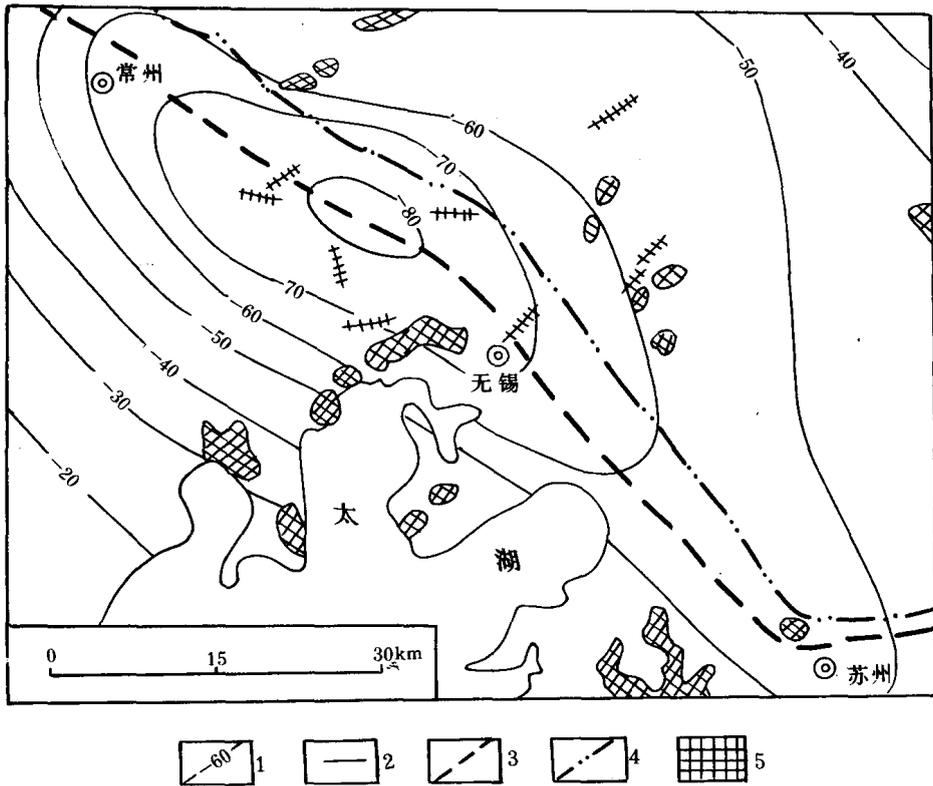


图5 苏锡常地下水主采层(Ⅱ)水位等值线及地裂缝灾害点示意图(据姚炳魁等,1999修改)
 Fig. 5. Sketch of water level isoline of the principal groundwater mining horizon (Ⅱ) and geofracture hazard spots in Suzhou - Wuxi - Changzhou area (Modified from Yao Bingkui etc., 1999)
 1- 地下水位等值线(米); 2- 地裂缝灾害点; 3- 沪宁铁路; 4- 沪宁高速公路; 5- 裸露基岩

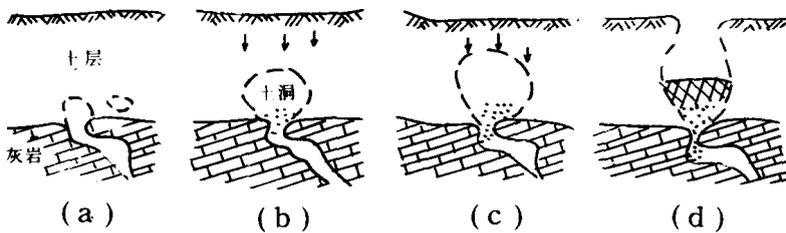


图6. 抽水塌陷形成过程模式图(据康彦仁,1990)
 Fig. 6 Sketch of the formational courses of pumping collapse (After Kang Yanren, 1990)
 a- 原始土洞存在; b- 重力作用下土洞扩大; c- 土洞进一步发展, 地面开裂; d- 塌陷产生

4 地下水位下降、泉水干涸和开采条件恶化

据查,长江三角洲因长期过量开采地下水已形成很多个以城市为中心的水位下降漏斗,如苏锡常中心城市地下水主开采层(Ⅱ)平均水位已分别达66m、70m和86m以下;嘉兴市主开采层(Ⅱ、Ⅲ)平均水位在40~45m以下;上海市中心城区在50~60年代主要开采

150m 以上的第二、三含水层,开采量近 1 亿 m^3/a ,造成平均每年地面沉降达 110mm 及地下水位降至 30~40m 以下,现今中心城区地下水回灌量大于抽水量,使第二、三层水位稍有抬高(达 20~30m),但随着开采地下水集中至郊区地区,且主要开采 150m 以下的第四、五含水层,年开采量虽也控制在 1 亿 m^3 ,但含水层位又降至 30~40m,最大下降达 40m 以下。更为严重的是,这些以城市为中心的地下水水位漏斗范围正在不断扩大。中心城市的地下水位漏斗自 60 年代前开始出现后,70~80 年代初期,水位漏斗已扩展至各市郊区及县、乡镇地区,目前漏斗范围已扩展至含水组边界。上海、苏锡常地区、杭嘉湖地区等已构成了多个长江三角洲地区巨型区域地下水位降落漏斗。降落漏斗的形成已造成了各地各部门开采地下水的条件越来越恶化,抽水能耗费用也越来越高。仅嘉兴市就已超过 2 亿元^[3]。即使现在马上停止开采地下水,这种大范围的承压地下水降落漏斗也需要很长时间才能再次恢复到自然状态。因此,持续性的过量开采地下水,最终将导致地下水资源的枯竭。例如南京仙鹤门是该市地下水开采最集中、开采量最大的水源地,该地地下水原可以泉的形式排出地表和以潜流的形式补给九乡河。但经大量开采后,水位大幅下降,导致泉水干涸、九乡河水反补充地下水。目前新杨石桥、羊山脚、徐岗头、杨庄泉水群大部分干涸,剩余泉也将在短期内干涸。群众饮水发生短缺^[10]。南京汤山温泉是我国十大温泉景区之一,近年来汤山地区打井采泉的浴室、游泳池以及疗养院数量猛增至几十家、浴池数以百计,加上一些企业、小区也大量开采泉水,导致地下热水资源严重耗损,地下水量明显减少,水位正以每年 1m 的惊人速度下降。过去汤山的自流温泉,如今已风光不再,全靠打井水泵抽采,许多井深达 100~200m。汤山地下温泉资源正面临枯竭(据扬子晚报 2000 年 3 月 3 日)。

5 海水入侵

随着地下水位的强烈下降以及海平面的相对上升,在滨海地区会发生海水入侵现象。这是由于近海地区的潜水含水层或承压含水层往往与海水有水力联系,在天然状态下,陆地的地下淡水向海洋排泄,含水层保持较高的水头,淡水与海水之间保持某种动态平衡,陆地含水层能阻止海水入侵。大幅度开采陆地淡水,必然破坏原有的平衡,从而导致含水层中原有的淡水空间被海水侵占,使水质盐化。长江三角洲地区的苏、浙、沪沿海目前虽没有山东半岛、辽东半岛和河北平原海水入侵严重,但也必须引起高度重视。上海市上棉三十六厂(川沙)四号井,曾由于大量开采地下水,造成咸水入侵,使原来地下水中的氯离子含量从 27mg/L,剧增至 2615mg/L;上牧十场等也有同样情况^①。可以想象,一旦长江三角洲区域地下水水位漏斗进一步扩大,加之三峡大坝建成后,上游来水水量减少,海水沿长江上溯,以及海平面上升(据国家海洋局资料,98 年黄海和东海海平面分别比 97 年升高 4.0 和 4.4cm,是全国其它海区海平面上升幅度最大的海区),那么,长江三角洲沿江、沿海地区大面积区域性地下水咸化可能会提前来临。

6 地下水水质污染

地下水的大量或超量开采导致地下水水质恶化,一般有下列几种途径:开采地下水使区域地下水位下降,随着含水层逐渐被疏干,加大氧化带范围,氧化作用加强,促使岩层中硫、

① 上海市地质处地下水监测站,上海市地下水及其污染概况,1979。

铁、锰及氮的化合物不断氧化,形成易溶于水中的化合物,从而使地下水中铁、镁、钙、锰以及硫酸根、硝酸根等离子含量增加,地下水矿化度、硬度等也随之升高;大量开采地下水形成区域下降漏斗,使上部已受污染的含水层与开采层形成一定的水力差,通过连续或断续的垂向或侧向渗入,或通过井、孔、坑道及岩溶进入,或含水层之间的垂向越流等而导致水质恶化;大量开采地下水使水位下降引起粘性土在压密释水过程中某些有害组分如氟离子等随之进入含水层造成污染等等。据查,长江三角洲地区特别是上海、苏锡常及杭嘉湖等地浅部潜水已大多数受各种污染物的污染,深层地下水总体情况仍属优良,但也有不少地区因地下水过量开采而发生污染。如上海市第四系潜水在吴淞、杨浦等地总硬度、 NO_3^- 含量过高,其它有害元素如酚、总铬、砷、汞等也均有检出;在每年两次对 300~400 口深井的采样监测中,第四系承压水也发现因人工回灌不同程度受到污染,以第二承压水为例,酚、锰、汞含量猛增,酚检出率达 100%,一般含量 0.003~0.1mg/L,最高 0.165mg/L(标准为 0.002mg/L)^{①②③};浙江嘉兴市第二承压水中铁普遍超标(0.6~2.4mg/L),锰(0.08~0.27mg/L)和砷(<0.01~0.08mg/L)也局部超标^{④⑤};湖州东林第二承压水中总铁量达 7.4mg/L^⑥;江苏南通市区的浅层地下水三氮超标率分别为 18% (NH_4^+)、39.4% (NO_3^-)、48.8% (NO_2^-),砷含量有半数检出;中层地下水系统污染较轻;虽然深层水水质好、含水层分布稳定,但补给条件差,开采后水头削减,因人为渗漏等因素,使一些深层淡水在井孔附近逐渐变咸,1965 年地下水矿化度为 510mg/L,1985 年为 690mg/L,目前咸化趋势仍在发展^[7]。又如南京市附近长江漫滩孔隙承压水中铁与总硬度普遍超标,砷、锰局部超标。秦淮河、滁河漫滩孔隙承压水铁含量超标,大部分地段硬度超标。据 1993~1996 年对城区 50 多个承压水样监测资料表明,城区孔隙承压水以 NH_4^+ 污染为主,检出率为 50%~100%,超标率为 40%~75%。目前,南京市大部分基岩裂隙水和岩溶水水质符合国家饮用水标准,基本未受污染。但由于地下水开采而引起的污染也时有发生,如仙鹤门—马群—西岗水源地局部地段由于大量抽水,水中的矿化度、总硬度、硫酸根离子等随抽水强度增加而增加,1987 年以后对开采实行控制,水质才逐渐好转(图 7)。由此可见,大量开采地下水与地下水污染有直接对应关系。

7 防治对策和建议

由上可知,大量或超量开采地下水在长江三角洲地区引起的环境负效应是十分严重的。由于这种环境负效应具有缓变性或滞后性特点^{[11][12]},因此,在灾害变化的初期一般不为人们所注意和重视,一旦发现,污染已很严重,治理则相当困难。如美国对地下水污染治理走在世界前列,但在近十几年里,仅清理油漏造成的含水层污染费就达 1600 亿美元^[13],且治理结果普遍不理想^{[14][15]};由于这种环境负效应还具不可逆性特征,因而后果尤为严重。如过量开采孔隙承压水引起的地面沉降、地裂缝等,即使地下水位复原,因粘性土释水造成的

① 上海市地质处地下水监测站.上海市地下水及其污染概况,1979。

② 王基堂等.上海环境水文地质监测总结报告,1988。

③ 陈洪清等.上海市地下水动态及环境水文地质监测研究报告,1991。

④ 姚洪华等.浙江嘉兴市 2000 年地下水资源及环境地质问题预测研究报告,1997。

⑤ 姜云等.浙江嘉兴区域水文地质调查报告,1997。

⑥ 江苏地质局第一水文队.1:20 万无锡幅、苏州幅区域水文地质普查报告,1981。

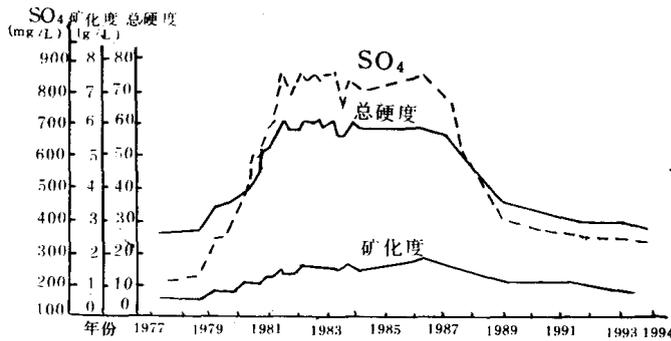


图7 南京马群老米庄深井总硬度、矿化度、 SO_4^{2-} 含量历年曲线图(据黄爱国等,1999^[10])

Fig.7 Curves over the years of the total hardness, degree of mineralization and SO_4^{2-} contents in deep well of Laomizhuang, Maqun, Nanjing(After Huang Aikun et al, 1999).

那部分地面沉降将是永久性的,不能恢复的。长江三角洲是我国经济最发达、经济发展速度最快的地区,如果不及早注意对区域内地下水开采的统一管理和控制,必将制约今后这一地区经济可持续发展,为此,本文初步提出如下防治对策和建议:

(1)加强三角洲内水文地质研究和对地下水资源的统一管理。对长江三角洲地下水资源进行有计划的立项调查;查明三角洲第四纪沉积特征、基岩构造面形状、各层次地下水的分布状况和水量等,尽早确定各主要城市每年允许的开采量,提前发出可靠的预警预报。长江三角洲地下水资源必须作整体考虑,区域地下水资源是一个完整的体系,即使一个城市或一个地区对地下水进行控制,而周围城市或地区不采取统一步骤,也是无法避免环境灾害。因此,实行地下水资源的统一管理,应把地下水的开采、使用和排放三方面统筹考虑,协调与控制,切实贯彻“水法”和取水许可制度的实施。

(2)合理调度和开采地表水和地下水,真正做到优质优用。据调查,目前长江三角洲各主要城市、县乡镇地下水平均 60%~85%属于工业用水(其中以冷却用水占主要地位),而生活饮用水仅占很小一部分。所以,应对大部分工业企业用地下水进行强制性限制,除了一些食品酿造、生化制药等少数企业对水质有特殊要求的工艺用水外,都应要求采用地表水或浅部地下水。

(3)避免强烈集中抽水、排水。在城区或工矿企业密集区不宜过量集中开采,深井间距也应适当控制。高层建筑基坑、矿坑或隧道、地铁等开挖及施工过程中,禁止过于集中或大量疏干排水,并采取保护措施,避免因排水引起的周围地面沉降或坍塌。

(4)调整开采层次。目前三角洲地下水开采对象大多为第二或第三承压含水层,由此而导致地下水水头下降和地面沉降、地裂缝、地面塌陷等多种灾害发生。因此,把开采层次从第二或第三含水层改向更深部的第四、五含水层不失为一种明智之举。此外,将开采层次上移,设置在浅部含水层组,例如对选定水源地的潜水层或具二元结构(下粗上细)含水层下部微承压水层更是一种有效的手段,应大力提倡和鼓励,因为选择这种含水层可使其接近补给源和/或排泄区,可以获得充分的补给增量与排泄减量。基于地下水运动和地面沉降等规律,在浅层开采地下水,其剖面漏斗主要在浅部发展,不会大幅度向深部发展,有利于各种灾害的控制。但浅部开采地下水可能出现出水量受限制,不过这可以通过采用水平井、辐射井、子母井^[16]等井型或对含水层进行截堵等方式加以调整,从而大幅提高供水能力。

(5)人工回灌。不仅仅是治理地面沉降、海水入侵等缓变性地质灾害的重要措施,也是利用地下含水层空间贮能增效的好方法,特别是“冬灌夏用”效益显著,值得大力推广^[17-19]。上海、嘉兴、北京等地采用人工回灌均取得一定成效^[20]。但是在对深井进行回灌过程中,由于人工回灌面广量大、耗资大、运作时间长,必须统一规划有步骤有计划地实施。此外,还须注意回灌水水质应符合饮用水标准或不低于当地地下水的水质,以免造成深层地下水的污染。

(6)加强区域和城市地下水动态和地面沉降监测网络体系,定期进行监测,建立水情、地面沉降等灾害预警预报系统。由于三角洲各地区各部门和各单位受条块分割的影响,各自均把发展作为首要考虑对象,所以,在经济利益的驱动下,往往不顾地下水的客观容量而任意抽取,致使各地对地下水的实际开采量难以有一个正确的估计。这就要求有关职能部门完善并加强监测系统,密切注意地下水水位的变化情况,随时实行限采或调整开采计划,使水资源的储量始终能得到有效保障。

(7)加强水源地保护,提高成井质量、防止地下水污染。在长江、钱塘江等河漫滩或灰岩裸露区附近,或与岩溶水存在水力联系的河流一带,可建立水源地准保护区,禁止工业污水、生活污水排放,禁止设置垃圾、粪便和易溶、有毒有害废弃物的堆放场和转运站;同时,对于已有的或将要挖掘的水井,要提高成井质量,严防污水流、渗入开采井。对于报废水井也应注意回填质量,不使之成为地表水或其他劣质水进入开采含水层的直接通道。此外,还要定期做好水质跟踪监测工作,一旦发现地下水遭受污染,首先应查明污染源,然后再根据不同的情况予以清除、隔离或采取其它有关相应措施。

鸣谢:参加本项工作的人员还有王爱华、沈加林和钱迈平三位同志。在开展工作中,作者曾与国土资源部环境监测总站王瑞久、哈承佑研究员进行了有益的讨论,也与苏、浙、沪地矿局张永康、王学孟、郑宇平等领导,方家骅、沈新国、张雪尧、张永山总工程师、赵建康、姜云、董岩翔、包超民、刘毅、方正、魏子圻、陈锁忠、顾阿明、朱兴贤、于军、姚炳魁、刘聪、朱锦旗、吴士良、戴长寿等高级工程师以及中国地质大学沈照理教授进行了亲切交谈或会议交流,本所冯小铭研究员、陶于祥博士后、钱靖工程师等也给予了很多协助,此外,文中引用了相关地矿局、中国地质大学、部信息院等单位和个人的大量资料,在此一并表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 徐梦洁.长江三角洲农业发展的地域差异研究[J].长江流域资源与环境,1999,8(2):180~184.
- [2] 沈树荣,王仰之,李鄂荣等.水文地质史话.札记[M].北京:地质出版社,1985.
- [3] 杜时贵,叶俊村.水文学与供水水文地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [4] 曲焕林,程莉蓉.人类生存的地质环境问题[M].北京:地质出版社,1998:1~8.
- [5] 刘毅.确定大江大河防洪堤应考虑地面沉降问题[J].上海地质,1998,(3):6~12.
- [6] 张阿根,陆鼎森.发展城市地质科技、构筑地质人才高地[J].上海地质,1998,(3):1~5.
- [7] 哈承佑,赵继昌,贾家麟等.南通市主要环境地质问题[A].环境地质研究(第二辑)[C],北京:地震出版社,1993:127~134.
- [8] 王瑞久.有关环境地质的概念[A].见:环境地质研究(第二辑)[C],北京:地震出版社,1993:1~6.
- [9] 籍传茂,王兆馨.地下水资源的可持续利用[M].北京:地质出版社,1999.
- [10] 黄爱国,张兵.南京地下水开采引起的环境地质问题及防治对策[J].江苏地质,1999,23(1):45~48.
- [11] 王大纯,张人权,史毅虹等.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,1995.
- [12] 沈照理,刘光亚,杨成田等.水文地质学[M].北京:科学出版社,1985.

- [13] IAHS Publ. Groundwater Quality[M]. Remediation and Protection. 1995, (225).
- [14] USEPA, Sogfund Executive Summary Internet[C](1992, 1993, 1994).
- [15] 张丽君, 贾跃明, 刘明辉. 国外环境地质研究和工作的主要态势[J]. 水文地质工程地质, 1999, (6): 1~5.
- [16] 陈崇希. 关于地下水开采引发的地面沉降灾害的思考[J]. 水文地质工程地质, 2000, (1): 45~60.
- [17] 薛禹群. 超采地下水引起的环境问题与地下水可持续利用[A]. 曲焕林等. 人类生存的地质环境[C]. 北京: 地质出版社, 1998: 90~98.
- [18] 段气候. 中国地质灾害与生态地质环境[A]. 曲焕林等. 人类生存的地质环境[C]. 北京: 地质出版社, 1998: 13~17.
- [19] 吴曾生. 地下水水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1993.
- [20] 陈培均, 吕晓俭, 谢振华. 北京地下水资源与首都持续发展[M]. 北京地质, 1999, (4): 1~6.

The negative environmental effects of groundwater exploitation in the Yangtze River Delta and their preventive countermeasures

JIANG Yue-hua, DAI Qing-jia, WANG Ying-ping, WU Quan-huai
(*Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016*)

Abstract

The Yangtze River Delta around Shanghai is the largest, richest and most developed area in China. But at same time economic high-speed development and high-density population have further aggravated requirements of groundwater exploitation yet, and show universally groundwater lowering by a wide margin in the most part of the delta, and give rise to all kinds of negative environmental effects, such as ground subsidence, geofracture, land collapse, sea-water encroachment, water-quality pollution and so on, grievously harming economic sustainable development and improvement of the people's life quality in the Yangtze River Delta. A Series of environmental geological hazards are analyzed and discussed as a result of the intense groundwater exploitation in the Yangtze River Delta, and some related preventive countermeasures and proposes are put forward in this article.

Key Words: groundwater; exploitation; environmental geology; geological hazards; preventive countermeasure; Yangtze River Delta