

论嘉兴市地面沉降及其防治

李冬田

章 采

(河海大学土木工程学院 南京 210098) (嘉兴市水利农机局 嘉兴 314001)

童 亮

任可仁

(浙江省水利厅 杭州 310009) (浙江省水环境监测中心 杭州 310009)

摘 要 在研究嘉兴市地面沉降发展过程、规律及其主要危害的基础上,讨论了应急开采与允许开采的区别,并提出用‘警戒水位’和‘危急水位’作为地面沉降地区限制承压水开采的定量标准.研究了动态管理地下水的信息系统及其层运算方法,为地下水管理和研究提供了一种新的方法和思路.

关键词 地面沉降,警戒水位,地下水管理信息系统,层运算

中图号 P641

嘉兴市位于杭嘉湖平原东部,面积 3 946 km²,为太湖平原的东南翼,地势低洼,南高北低,径流不畅.由于地表水污染严重,近十几年来,城乡竞相开采深层承压水,开采量剧增,造成严重地面沉降,产生洪涝灾害加剧等一系列严重问题.

该区主要的地下水开采层是第二、三两个承压含水层组.第二含水层组的顶板埋深约 80 ~ 100 m,上覆为以粘土和亚粘土为主的地层.特别是晚更新世以来的两次大规模海侵,沉积了连续的、覆盖了几乎整个太湖平原的淤泥质粘土层.其透水性极弱,使这两个含水层组处于几乎封闭的状态,地下水的天然补给量极小.在这样的承压含水层中开采地下水,必然导致地面沉降.

1996 年,水利部将嘉兴市列为全国地下水规划的试点城市之一,对嘉兴市地下水开采中出现的问题和防治规划进行了研究.本文归纳了该项研究的若干主要成果.

1 地面沉降发展的过程与规律

嘉兴市地面沉降的发展,与深层地下水开采造成的承压水位下降有密切关系(图 1).

在地下水开采早期,承压水地下水位降幅不大,地面沉降不明显.

1964 年后,地下水开采量超过 1 000 万 m³/a,漏斗中心水位下降速率超过 1 m/a,开始出现明显的地面沉降.到 70 年代后期,漏斗中心水位降到 - 30 多米,地面沉降速率也超过了 20 mm/a.

1979 ~ 1982 年,漏斗中心水位下降速率为 2.67 m/a,水位降至 - 44.3 m,沉降速率即出现了 40 mm/a 以上的高记录,最高达 44.5 mm/a.

1982 年以前基本上是城市集中开采.1982 年后,农村开始打深井,随着开采量的增长,漏斗间广大地区承压水位大幅度下降(年均下降约 2 m).而中心城镇则出现水井吊泵、水量减少等资源衰竭现象.城区因取水量减少,地下水位基本稳定并略有回升.但由于沉降中心水位仍在 - 40 m 以下,最大沉降速率仍大于 40 mm/a.截止 1994 年,沉降中心累计沉降量为 709.6 mm,整个嘉兴老城区处于 400 mm 沉降区内,地面累计沉降超过 50 mm 范围约 600 km².地下水位降落漏斗由集中式漏斗发展为宽而深的盆状漏斗(图 2).地面沉降也由集中式向盆状发展.

地面沉降使嘉兴市受到多方面的危害,如洪涝灾害加剧,水准高程失真,桥梁下沉碍航,排污能力降低,农田渍害加剧,等等.其中,最直接最突出的问题是堤坝等水利工程的下沉和洪涝灾害的加剧.

杭嘉湖平原是太湖碟形平原的一部分,内涝难以排泄,因此水利工程是杭嘉湖一切经济活动的基本保

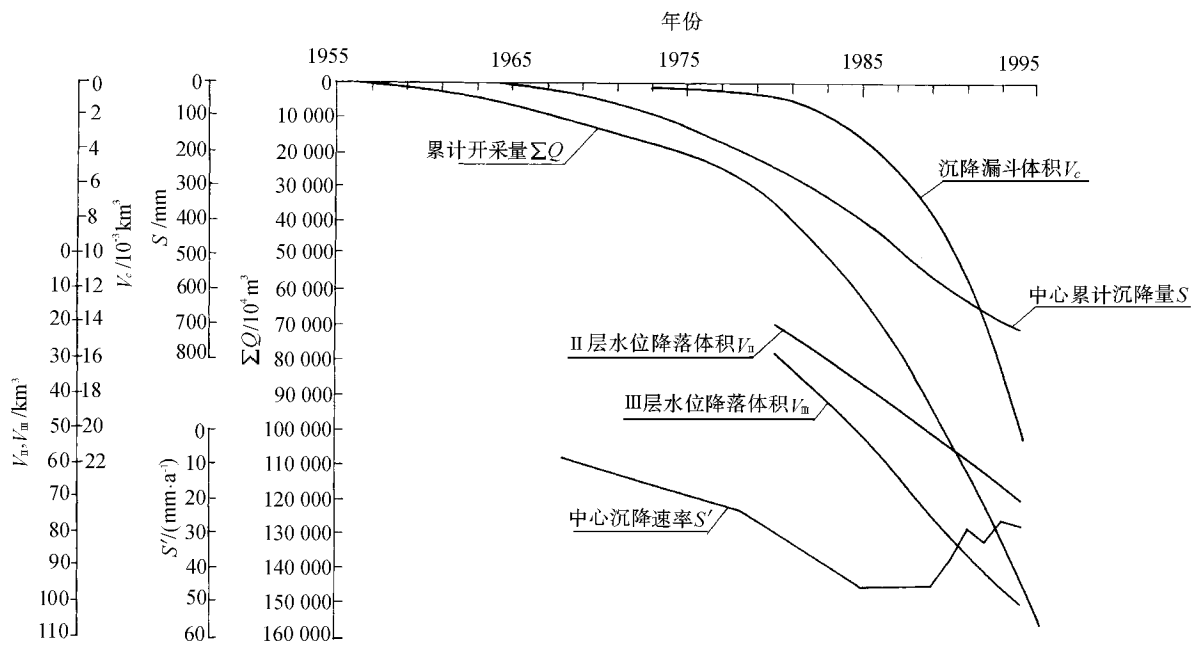


图 1 嘉兴市深层承压水开采与地面沉降动态

Fig. 1 Dynamic states of confined ground water production and land subsidence

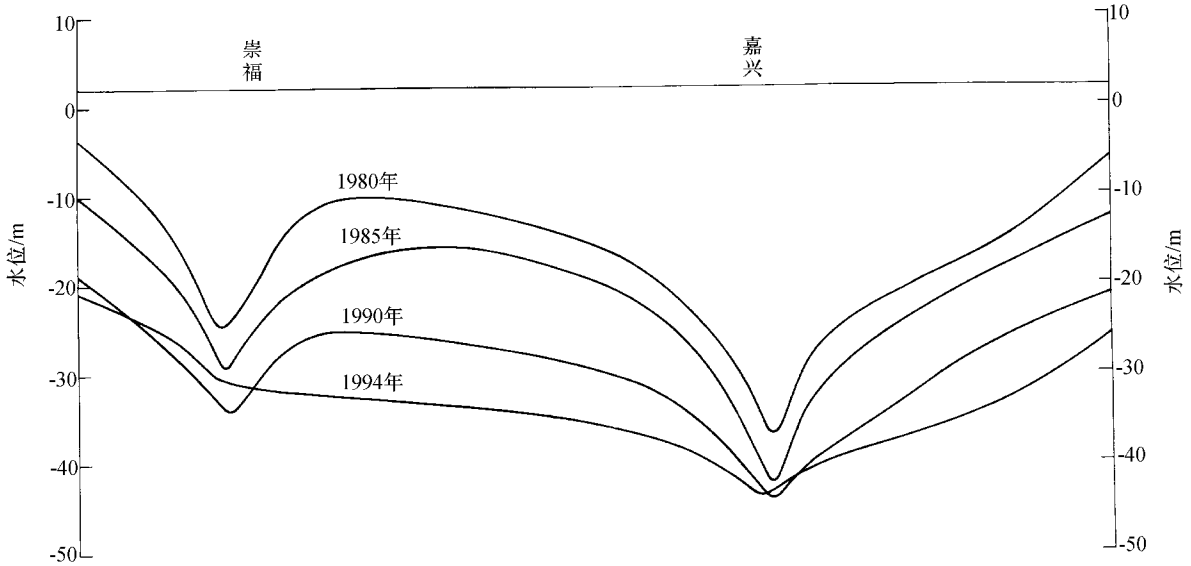


图 2 嘉兴市第 II 承压含水层组水位降落漏斗动态

Fig. 2 Dynamic states of water Lowering funnel of the 2nd confined aquifer in Jiaxing

障. 杭嘉湖平原水利工程, 大多数是按 20 年一遇的防洪标准(4.30 m)设计的. 由于地面沉降, 堤圩标高普遍下降, 目前有数十公里大河堤岸标高已下降到低于 10 年一遇防洪标高(4.16 m), 实际防洪能力相当于 5 年一遇(3.99 m). 而这些地段又正是嘉兴市经济最发达的地区. 若再按目前的沉降速率(约 30 mm/a)继续沉降, 几十年来修建的防洪工程, 将在几年之间淹没在一般的洪水之中. 其社会的和经济的损失将是十分严重的.

嘉兴地区水位每增高 0.01 m, 淹没面积将增加 1 067 hm^2 . 以目前圩区整治的抽排能力计算, 在开足全部抽排设备抽水的条件下, 水位每增加 0.2 m, 就会使淹没时间延长 1 d. 1990 年以来嘉兴发生了 3 次较大的洪涝灾害, 其累计降雨量不大, 如扣除地面沉降量, 其水位并未超过历史最高水位, 但地面实际受淹水深确实超

过了历史最高值. 因此,地面沉降是这几年洪涝灾害扩大的一个主要原因.

2 防治地面沉降的途径

嘉兴市地面沉降的根本原因是过量开采深层承压水,因此正确评价深层承压水资源,严格管理和控制深层承压水的开采,是防治地面沉降的唯一途径.

2.1 关于深层承压水‘允许开采量’的讨论

对于深层承压水水资源的评价,是需要深入讨论的问题. 在理论上,所谓水资源,是指有补给保证的、可持续开发利用的水源,实际工作中用‘总补给量’作为水资源量. 总补给量是随开采状况而变化的.“允许开采量”(或称‘可开采量’)不能超过总补给量,又以不因地下水的开采产生有危害的环境地质问题和当前技术经济条件为制约条件. 在必须进行超过总补给量的开采(即长期开采‘储存资源’)时,应充分研究可能产生的后果. 作者认为,由于深层承压水在一般情况下补给量很少,必须特别慎重地、具体地研究开采将带来的后果.

嘉兴市深层承压水天然补给量几乎为 0. 在开采条件下,上覆地层的越流补给,是与上覆地层的固结排水和含水层压密同步发生的. 即是与地面沉降同步发生的. 在不允许发生地面沉降的前提下,深层承压水的“允许开采量”几乎为“0”. 即在没有以相应的回灌量进行回灌的条件下,是不能开采的.

嘉兴市的地表水资源是丰沛的,但在当前地表水严重污染的情况下,不得不开采深层地下水作为应急水源. 进行这种开采是以牺牲环境资源为前提的,即以准备承受地面沉降灾害为前提的. 这种开采,本质上是“应急开采”. 在地下水的规划和管理中,这种‘应急开采量’应与‘允许开采量’或‘可开采量’严格区别开来.

2.2 评价‘应急开采量’的定量标准

嘉兴市地面沉降的速率与其承压水区域降落漏斗的水位呈正相关,因此,承压水区域水位降可以作为评价‘应急开采量’的依据. 作者根据嘉兴市水利工程受灾的程度,将可能导致地面沉降速率为 10 mm/a 的承压水区域水位降称为‘警戒水位’,将可能导致地面沉降速率为 20 mm/a 的承压水区域水位降称为‘危急水位’. 沉降速率为 20 mm/a,意味着 20 年一遇的防洪能力经过 7 年后只有 10 年一遇的能力,再过 8 年后只有 5 年一遇的能力. 这种情况是绝不允许出现的.

由于不同地点软土层的厚度和物理力学性质的差异,因此不同地点的‘警戒水位’和‘危急水位’是不同的. 根据嘉兴市区以及邻区上海、苏州、无锡、常州等地沉降速率与承压水水位的关系,并对照各地主要开采层以上软土层的厚度和孔隙比,按嘉兴地区软土层分布和软土层孔隙比的变化规律,编制了嘉兴市承压水的警戒水位图和危急水位图,为监控应急开采提供了依据.

以上述原则为基础,制定了“加强水资源统一管理,加大分质供水和节约用水的力度,积极治理水污染,修建引清排污工程,尽可能压缩应急开采量”的系统规划. 应急开采的地下水原则上只供居民饮用. 超过危急水位的地区划为‘严格禁采区’,同时对全市 778 口井分别制定了封井或限采的规划. 按此规划,可望在 7 年内基本停止没有回灌的开采,逐步控制地面沉降.

3 地下水管理信息系统

应用地理信息系统技术建立地下水管理信息系统(GWIS),是近几年来地下水研究和管理的新方向^[1,2]. 为科学地、动态地管理地下水的开采,作者建立了“嘉兴市地下水管理信息系统”(JXGWIS). 其主要功能是: (a)基本环境要素的储存与分析,包括各种基本地理要素、地质和水文地质要素、污染源和水污染现状等基本资料;(b)地下水开采数据库的管理与分析;(c)禁止开采区和严禁开采区的圈定与分析;(d)根据新的长观资料,计算任意区域(任一区县或任一乡)的限制开采量.

JXGWIS 的分析系统中,主要应用了 GIS 的‘层运算’功能. 系统中的每一种数据或参数都以具有相同参考参数的数字模型(Digital model)表示. 如某一时刻的等水位线图,即水位的数字高程模型(DEM);“警戒水位”和‘危急水位’也都是水位的数字高程模型. 某一含水层的富水性以富水性数字模型表示. 每个数字模型,在系统中都是一个图像文件. 每个图像文件实际上是相互匹配的庞大的数字矩阵. 图像的加减就是矩阵的加减,但图像的乘除则不同于矩阵的乘除. 为便于表达,用带方括号的文件名表示这类图像文件,用小写同名字母表示像素. 则

$$[A] + [B] = [C] \quad \text{即} \quad a_{ij} + b_{ij} = c_{ij}$$

$[A] \times [B] = [D]$ 即 $a_{ij} \times b_{ij} = d_{ij}$

本文拟以严禁开采区的圈定和限制开采量的计算为例,说明层运算在本课题地下水计算中应用的原理. 设 $[H95 - 2]$ 表示 1995 年末第二承压含水层的水位, $[WH2]$ 为第二承压含水层的危急水位,则 $[H95 - 2] - [WH2]$ 得到的新图像中 < 0 的区域即超过危急水位的严禁开采区(或称“超危急开采区”,见图 3).

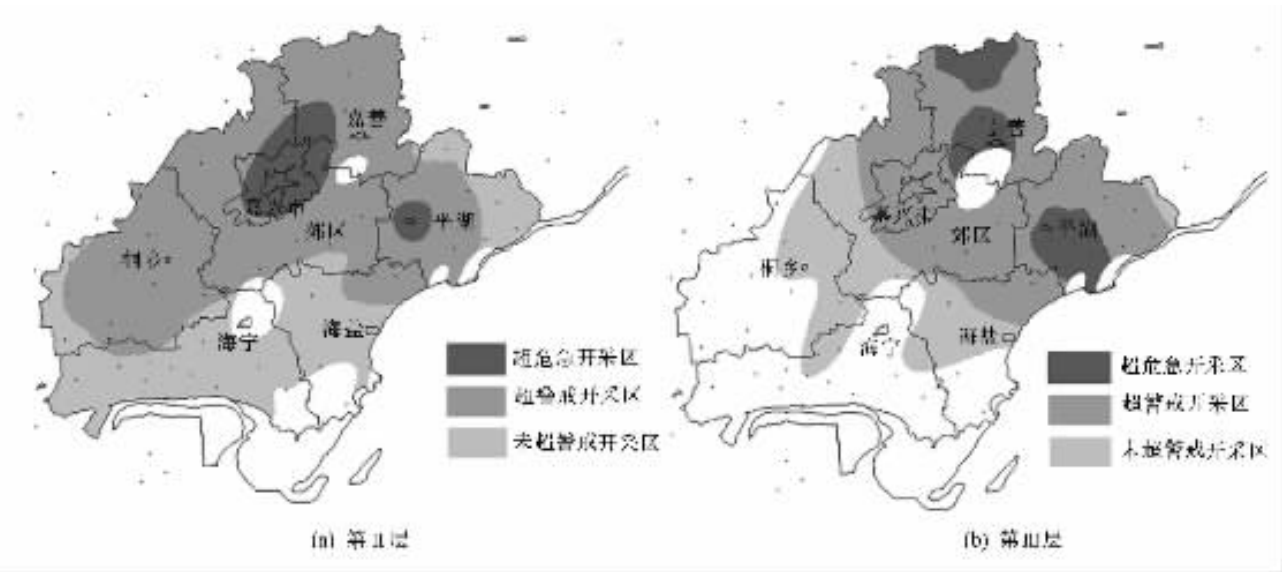


图 3 嘉兴市深层承压水超警戒开采及超危急开采状况(1994 年)

Fig. 3 The states of over-warning and over-dangerous production of the 2nd and 3rd hydro-pressure aquifers in Jiaxing(1994)

限制开采量计算的基本思路是 根据近期开采量与水位降的比值,计算从当前水位开采到某限定水位所能开采的水量. 为此,首先引入了“相对单位开采系数”的概念. 所谓“相对单位开采系数”,是指以多年累计开采量为基础的单位面积、单位区域水位降的开采量,与该地点富水性的比值. 也就是说,当富水模数为 1 时,单位面积、单位区域水位降的开采量. 所谓富水模数,是指富水性(单井的单位涌水量)与每平方公里可布井数的乘积. 即单位面积、单位降深可取得的水量

$$Q_{ei} = QD_i / \text{sum}([DHi] \times [FSMi] \times a)$$

式中: Q_{ei} ——第 i 层的相对单位开采系数; QD_i ——第 i 层的计算阶段累计开采量; $[DHi]$ ——第 i 层计算阶段首尾年的水位差; $[FSMi]$ ——第 i 层含水层的富水模数; a ——该数字模型每个点代表的面积; sum 表示数字模型所有点上数字的总和.

计算表明,在不同开采强度和不同水位的情况下,承压水单位降深的开采量会有变化. 所以,相对单位开采系数具有时段性,在计算时应以较近的某一时段作为计算阶段,以推算今后几年的限制开采量. 在地下水的动态管理过程中,应不断地根据新的条件计算 Q_{ei} 的数值.

若以警戒水位为限制水位,限制开采量

$$Q_{xi} = \text{sum}([Hy yi] - [JHi]) \times [FSMi] \times Q_{ei} \times a$$

式中: Q_{xi} ——第 i 含水层的限采量; $[Hy yi]$ —— yy 年第 i 层的水位; $[JHi]$ ——第 i 层的警戒水位. 用掩模的方法可以用上式计算任意区域的限制开采量.

4 讨 论

a. 由于承压水的开采引起地面沉降是当前地下水开采中较普遍的问题,因此承压水允许开采量(可开采量)的评价实质上是环境评价问题,应特别慎重,不能只根据水量平衡计算来确定允许开采量. 在沿海低洼地区,防洪涝和风暴潮,是社会经济可持续发展中的大问题. 地面沉降之所以作为地质灾害,在这些地区首先表现在它加剧了洪涝灾害. 因此,评价地下水的开采量必须首先考虑它对防洪标准的影响.

b. 对地下水的开发利用和管理,应从水资源的总体出发来考虑. 像嘉兴市这样的地方,地表水是丰沛的,其目前的缺水属污染型缺水. 按嘉兴目前的情况,治理 1 m^3 污水约需 0.25 ~ 0.35 元,而按 1990 年以来因

地面沉降造成的直接经济损失计算,开采 1 m^3 地下水则花费了 5.00 元,更何况地面沉降的危害有更多是无法用经济来衡量的.离开了水资源的总的状况,单纯的地下水的评价和开发方案往往是难以成立的.

c. 地下水的补给量、单井或区域的单位降深取水量,以及地下水位与沉降速率的关系,都随开采条件的变化而变化.因此,特别是对承压水,以地下水长观和沉降监测为基础的动态管理是十分必要的.即不断地根据新的实际开采与水位变化及地面沉降的关系,确定近期的对地下水开采管理的方案.对此,以 GIS 为基础的地下水管理信息系统是一种有效的手段.

参 考 文 献

1 Li Dongtian. The water environmental information system based on remote sensing. In ￼ERIM eds. Proc of 23rd International Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor ￼ERIM,1990.581 ~ 587

2 李冬田,胡春红,何林望等. 安集海地区地下水空间信息系统. 河海大学学报,1995,23(5) 8 ~ 13

Land Subsidence in Jiaxing City and Its Control

Li Dongtian

(College of Civil Engineering , Hohai Univ . , Nanjing 210098)

Zhang Cai

(Bureau of Water Conservancy of Jiaxing City , Jiaxing 314001)

Tong Liang

(Water Management office of Zejiang Prov . , Hangzhou 310009)

Ren Keren

(Water Environment Monitoring Center of Zejiang Prov . , Hangzhou 310009)

Abstract Based on the study of the process,the regularity and the main harm of land subsidence in Jiaxing City,the distinction of permissible groundwater mining from emergency mining is discussed,and the "warning level of water pressure" and "dangerous level of water pressure" are proposed as the quantitative indexes for restricting groundwater mining.The information system for dynamic groundwater management and its layer calculation are studied. A new way for groundwater management is suggested.

Key words land subsidence ;warning level of water pressure ;ground-water management information system ;layer calculation