

台州城市规划区地下水应急供水研究

周丽玲, 张达政, 黎伟, 沈慧珍

(浙江省地质环境监测院, 浙江 杭州 310007)

摘要: 结合台州城市规划区城市供水设施现状,在满足水量、水质及开采条件的基础上,优选了3处河谷孔隙潜水和2个孔隙承压含水层地下水应急水源地,并利用 visual MODFLOW 软件建立了孔隙承压水地下水流与溶质运移数值模型。计算的河谷孔隙潜水允许开采资源量为 $455.53 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,孔隙承压水年均补给总量为 $472.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。在遵循应急供水原则下,设置了三级、二级和一级预警开采方案,计算结果均能满足应急供水要求。并预测评估了应急开采后的地面沉降、咸水入侵等地质环境问题,结果表明产生的地面沉降最大量为一级预警的 14.2 mm,相对可控,咸淡水界线移动不明显。

关键词: 城市规划区; 应急水源地; 应急供水; 预警方案; 地面沉降; 咸水入侵

中图分类号:TV213.4; P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)06-0158-05

Reserch on emergency groundwater supply in Taizhou urban planning area

ZHOU Liling, ZHANG Dazheng, LI Wei, SHEN Huizhen

(Geology Environment Monitoring Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Based on water quantity, water quality and exploitation conditions, combined with the status of water supply facilities in Taizhou urban planning area, three valley pore phreatic water sources and two pore confined aquifer groundwater emergency water sources were selected as priority choices, and a pore-confined water underground flow and solute transport simulation model was established by visual MODFLOW. The allowable yield of valley phreatic water source is $455.53 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ and the annual total supply of pore-confined water is $472.3 \times 10^4 \text{ m}^3$. A warning system including level three, level two and level one is set up following the principle of emergency water supply. The results can meet the requirements of emergency water supply. The geological environment problems such as land subsidence and salt water intrusion after emergency exploitation are predicted and evaluated. The results show that the ground subsidence is relatively controllable, of which the maximum is 14.2mm of level one, and the movement of interface between fresh and saline water is not obvious.

Key words: urban planning area; emergency water source; emergency groundwater supply; warning system; land subsidence; salt water intrusion

我国北方地区水资源短缺,供需矛盾突出,北京市、天津市、河北省、山东省、安徽省等多地均已进行了地下水应急水源地供水研究^[1-11],为城市社会可持续发展提供了保障。雨量充沛,地表水资源丰富的南方城市,由于大部分降水形成地表径流,降水收储率低,同时地表水资源受污染程度严重,工业“三废”、生活及农业污染物进入河道、水库,且大大超过了水体自净能力,多数属于典型的“水质型缺水”城市,水源危机也逐步显现。上海市、江苏省、珠三角等地也进行了地下水应急供水的相关研

究^[12-15]。在浙江省内,邵新民等^[16]指出建立浙江省应急供水水源地的必要性,并建议建立以深层承压水为主,红层水、岩溶水和河谷潜水为水源的应急供水水源地。刘思秀等^[17]对杭州龙坞地下水应急水源地进行潜力评价,应急状态下可满足附近约 17 万居民的供水需求。黎伟^[18]以地下水位为约束条件,计算了台州市孔隙承压含水层可开采量为 $373.87 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。本文在前人研究的基础上,为台州城市规划区圈定地下水应急水源地,并研究了应急供水预警方案,为城市供水安全保驾护航,具有

收稿日期:2017-04-27; 修回日期:2017-07-21

基金项目:中国地质调查局与浙江省国土资源厅合作项目“浙江海洋经济发展示范区地质环境调查评价”(1212011220007)

作者简介:周丽玲(1988-),女,浙江衢州人,硕士,工程师,主要从事水工环地质研究。

重要的现实意义。

1 研究区概况

台州城市规划区,包括椒江区、路桥区及黄岩区除西部山区外行政范围,面积约 900 km²。

区内的地下水类型主要有松散岩类孔隙水和基岩裂隙水,其中松散岩类孔隙水包括孔隙潜水和孔隙承压水,孔隙潜水又包括山麓沟谷孔隙潜水和平原区孔隙潜水。山麓沟谷孔隙潜水主要呈条带状分布于河谷谷地与两侧,水位埋深一般为 1~2 m,固形物小于 1 g/L,含水层岩性为砂砾石和砂砾石含黏性土,透水性良好,含水层颗粒常具下粗上细的“二元结构”。平原区孔隙潜水广泛分布于平原表部,地下水埋深较浅,水量贫乏,水质以微咸水为主,含水层岩性主要为淤泥质亚黏土夹粉细砂,透水性差。松散岩类孔隙承压水广泛分布于平原区,分为第Ⅰ孔隙承压含水层(组)和第Ⅱ孔隙承压含水层(组),含水层分布稳定,水量大,富水性较好,水质较好,均是主要的地下水开采层。基岩裂隙水主要分布于区内北部、西部及沿海岛屿一带,赋存于下白垩统火山岩构造裂隙及部分潜火山岩、侵入岩中,在地形切割强烈的山坡坡脚多以下降泉形式出露,泉流量一般为 0.01~0.1 L/s,固形物含量一般小于 0.5 g/L。研究区平原区水文地质剖面图见图 1。

2 应急水源地的确定

2.1 地下水应急水源地选择原则

2.1.1 水量 根据地下水的赋存规律,尽可能选择在含水层厚度大、渗透性强、分布广、调节能力强等富水地区。

2.1.2 水质 地下水为淡水,水质符合或经简单处理后符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)。

2.1.3 开采条件 地下水开采条件良好,能够充分利用现有管网,输水便捷,充分利用现有机井,因地制宜。

2.2 城市供水设施现状分析

2.2.1 供水管网 台州市黄、椒、温供水一期工程

始建于 1994 年,取水量 28×10⁴ m³/d;供水二期工程 2009 年全线贯通,取水量 74×10⁴ m³/d;正在开展的三期供水工程设计供水量至少达 114.8×10⁴ m³/d。台州市地表水供水配备了完善的输水管线和配水管线系统,供水管网已覆盖全市,为城市规划区地下水应急供水提供了丰富的供水网络。

2.2.2 现有深井 根据水利部门资料,2005 年实施《台州市承压地下水深井封井计划》之前,台州市约有近 100 眼深井,其中淡水井 78 眼。通过野外调查发现,已封井主要采用水泥封住井口的简易措施,在应急状态下,为节约时间与财力成本,采取适当的维修措施可启用已封井进行应急开采。

2.3 应急水源地优选

2.3.1 河谷孔隙潜水应急水源地 台州城市规划区内河谷孔隙潜水主要分布于黄岩区内永宁江及其主要支流的上游段,在行政区域上主要分布于沙埠镇、院桥镇、章安街道陈宅村等地(见图 2)。该地区潜水含水层渗透性能强,厚度相对较大,单井涌水量 1 000~5 000 m³/d(按井径 1 m、降深 3 m 换算),多年动态稳定,接受大气降水及地表水的补给,属“补给型”地下水资源。地下水水质优,固形物均小于 1.0 g/L,符合国家生活饮用水卫生标准(GB 5749-2006)的要求,具备建立地下水应急水源地的条件。

结合 2013 年的野外调查数据,采用公式(1)~(3)计算的区内河谷孔隙潜水允许开采量为 455.53×10⁴ m³/a(见表 1),开采潜力较大。在遭遇突发异常情况时,应急供水期间采用加大地下水位降深的方式加大地下水开采强度。

$$Q_{允} = Q_{侧} + Q_{垂} \tag{1}$$

$$Q_{侧} = B \cdot K \cdot I \cdot H \tag{2}$$

$$Q_{垂} = \mu \cdot \Delta h \cdot F \tag{3}$$

式中: B 为垂直水流方向的断面宽度,m; K 为含水层渗透系数,m/d; I 为天然状态下流过计算断面的地下水水力坡度; H 为计算断面处含水层枯水期饱水厚度,m; μ 为给水度; Δh 为地下水水位年变幅,m; F 为计算区含水层分布面积,km²。

表 1 区内河谷孔隙潜水允许开采资源量计算结果表

水源地	$B /$ m	$K /$ (m·d ⁻¹)	I	$H /$ m	$Q_{侧} /$ 10 ⁴ (m ³ ·a ⁻¹)	μ	$\Delta h /$ m	$F /$ km ²	$Q_{垂} /$ 10 ⁴ (m ³ ·a ⁻¹)	$Q_{侧} + Q_{垂} /$ 10 ⁴ (m ³ ·a ⁻¹)
沙埠	1025	60	0.002	5	22.45	0.25	1.5	8.46	317.25	339.70
院桥	850	40	0.002	4	9.93	0.20	1.5	1.76	52.80	62.73
陈宅	450	100	0.002	10	32.85	0.25	1.5	0.54	20.25	53.10
总计					65.23				390.30	455.53

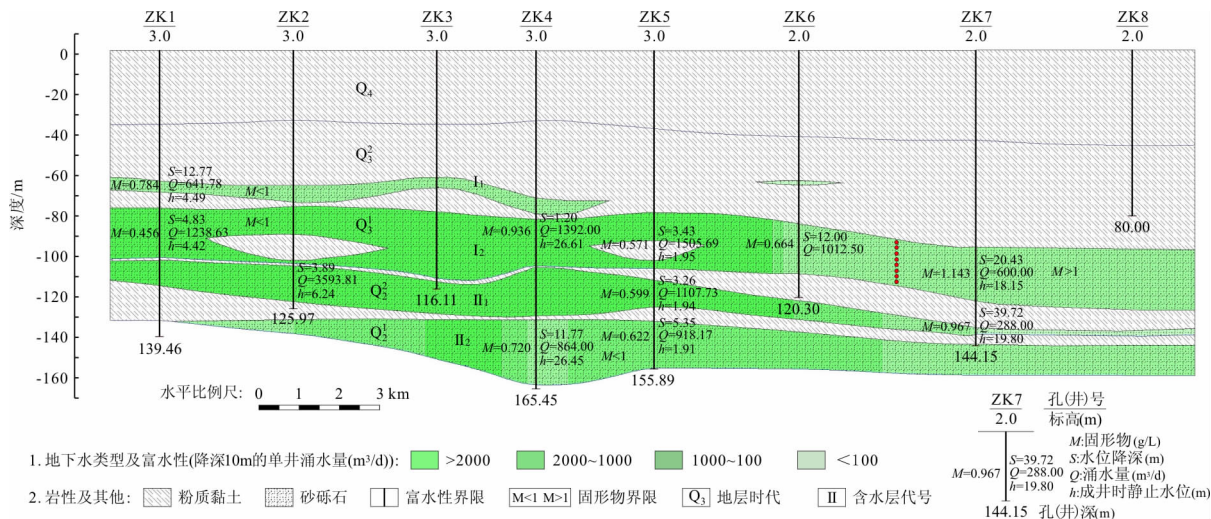


图1 研究区平原区东西向水文地质剖面图

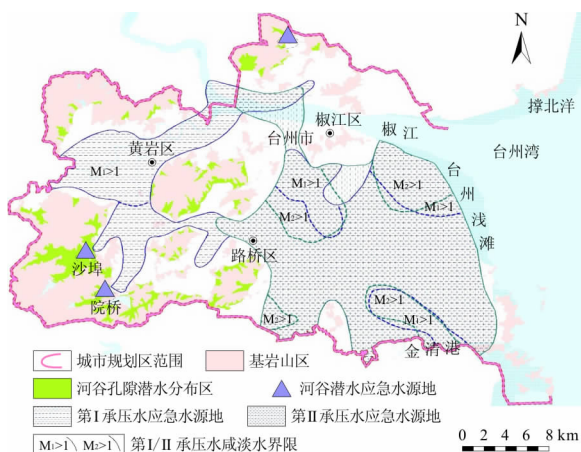


图2 台州城市规划区地下水应急水源分布图

2.3.2 孔隙承压水应急水源 台州城市规划区深层孔隙承压水是区内主要的地下水类型,为主采层位。随着开采量日益增加,出现区域性水位降落漏斗不断扩展,地面沉降突出等环境地质问题。近年来台州市禁限采政策的实施大量缩减了承压水开采量,2015 年全面禁采,区域地下水位明显回升。承压水上覆黏土层,水量大,水质稳定,如遇突发异常情况,可重新启用作为应急供水水源。

利用 Visual MODFLOW 软件建立了承压含水层地下水流及溶质运移数值模型,以 2011 年 1 月实测的地下水位资料作为模型识别的初始流场,选用 2011 年 2 月至 2012 年 10 月模拟区内地下水动态观测资料和各种源汇资料为依据进行模型的识别,利用识别的参数选用 2013 年 2 月至 2014 年 10 月的模拟区内地下水动态观测资料和各种源汇资料对模型进行验证。参数优化后计算出规划区内第 I、II

孔隙承压水年均补给量分别约为 $312.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $160 \times 10^4 \text{ m}^3$,总计 $472.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3 应急水源应急供水预警研究

3.1 应急供水原则

3.1.1 保障居民基本生活用水 应急供水期间以保障居民的基本生活用水为目标原则,应急事件较小时,可适当增大居民生活用水量达到一般生活用水标准,并兼顾重要企事业单位的供水等,应急事件影响范围较大时,至少保障居民维持生活的最低用水需求。

3.1.2 优先开采潜水 鉴于潜水含水层属于“补给型”地下水资源,应急状态下潜水和承压水开采方案均满足要求时优先选择开采潜水含水层。

3.1.3 疏干式开采 在应急需水规模较大时,对河谷孔隙潜水含水层采用不可持续的局部疏干式开采,以求有效提取地下水资源。

3.1.4 潜水承压水联合开采 在潜水含水层无法满足应急供水需求时,联合承压水开采以保障应急供水期间居民的基本生活用水。

3.1.5 潜水连续开采、承压水短时开采 规划区存在较为严重的地面沉降,因此承压含水层仅在突发应急状态下进行短时开采,应急期结束后立即关闭开采以恢复地下水位,而潜水含水层可以进行长期稳定的可持续开采。

3.2 预警开采方案

3.2.1 三级预警系统

(1)应急启用条件。当城市发生中小规模的水体污染、水体投毒、小规模干旱等局部突发性事

件,导致小范围地表水供水系统短期内连续停水,影响城市20万以下居民正常生活而需要启动的应急供水级别。

(2)应急供水预案。该级别预警条件下设计人均日供水量50~140 L,基本保证居民日常一般用水需求,至少连续供水7 d,最长1个月,总计应急日供水量10 000~20 000 m³,并且要求应急开采后不出现明显的地质环境问题。

(3)应急供水计算。方案A:孔隙潜水应急供水,整体疏干含水层的1/2,计算结果为日应急开采量可达 2.02×10^4 m³/d。方案B:孔隙承压水应急供水,以日开采量20 000 m³,开采时长为1个月计算。计算时利用已有深井,其中第Ⅰ承压含水层开采井13眼,平均单井开采量1 000 m³/d;第Ⅱ承压含水层开采井14眼,平均单井开采量500 m³/d。以2014年10月(验证期末时刻)流场为初始流场,开采末时刻第Ⅰ承压含水层最大降深2.5 m,第Ⅱ承压含水层最大降深1.5 m,总体降深很小,可满足应急供水要求。

由此,在三级预警条件下,根据应急供水原则,建议优先选择开采孔隙潜水含水层。

3.2.2 二级预警系统

(1)应急启用条件。当城市发生大规模的水体污染、大规模干旱、小规模战争、小面积瘟疫等地区性突发性事件,导致大范围地表水供水系统中短期内连续停水,影响城市20~100万居民基本生活而需要启动的应急供水级别。

(2)应急供水预案。该级别预警条件下设计人均日供水量50~100 L,基本保证居民日常基本用水需求,至少连续供水15 d,最长3个月,总计应急日供水量20 000~50 000 m³,该级别下允许应急开采后出现轻微的地质环境问题,但要求可以很快恢复。

(3)应急供水计算。方案A:孔隙潜水应急供水,整体疏干含水层的2/3,计算结果为日应急开采量为 2.58×10^4 m³/d。方案B:孔隙承压水应急供水,以日开采量25 000 m³,开采时长为3个月计算。计算时利用已有深井,其中第Ⅰ承压含水层开采井16眼,平均单井开采量1 000 m³/d,第Ⅱ承压含水层开采井15眼,平均单井开采量600 m³/d。以2014年10月(验证期末时刻)流场为初始流场,应急开采末时刻第Ⅰ承压含水层最大降深3.5 m,第Ⅱ承压含水层最大降深2.5 m,地下水流场形态变化不大,仅在部分开采井附近出现超过-25 m等水位区域。

因此,在二级预警条件下,方案A与方案B联合开采可满足应急供水要求。

3.2.3 一级预警系统

(1)应急启用条件。当城市发生地表水体整体污染、极度干旱、一定规模的战争、大面积瘟疫等全区性大型灾难性事件,导致几乎全区地表水供水系统长期无法供水,影响城市100万以上居民基本生活而需要启动的应急供水级别。

(2)应急供水预案。该级别预警条件下设计人均日供水量50 L,基本保证居民日常基本用水需求,至少连续供水1个月,最长6个月,总计应急日供水量50 000~80 000 m³,该级别下允许应急开采后出现一定程度的地质环境问题,但要求出现的地质环境问题相对可控,不能是灾难性的。

(3)应急供水计算。方案A:孔隙潜水应急供水,整体疏干含水层的4/5,计算结果为日应急开采量为 3.10×10^4 m³/d。方案B:孔隙承压水应急供水,以日开采量50 000 m³,开采时长为6个月计算,初始流场取2014年10月流场(验证期末时刻)。计算时利用已有深井,其中第Ⅰ承压含水层开采井20眼,平均单井开采量1 500 m³/d,第Ⅱ承压含水层开采井20眼,平均单井开采量1 000 m³/d。

计算结果表明,方案A与方案B联合开采可以满足一级预警应急供水要求,但产生较为明显的降落漏斗,两个承压含水层开采中心地下水位均超过-30 m,最大降深均达10 m,应急开采期水均衡出现了较大的负均衡。

3.3 地质环境问题预测评估

3.3.1 地面沉降 由于台州市缺乏长期的地面沉降监测资料,应急开采承压含水层引发的地面沉降量参考浙江嘉兴市区累计开采量与中心累计沉降量相关方程^[19]计算,计算公式见公式(4)。

$$S = -5203.548424 + 537.952079 \ln \sum Q \quad (4)$$

式中: S 为中心累计沉降量,mm; $\sum Q$ 为市区累计开采量, 10^4 m³。

三级预警状态下优先开采河谷孔隙潜水,不存在应急开采引发地面沉降的问题。

二级预警状态下应急开采承压水水位降深幅度较小,最大降深3.5 m。通过模型模拟计算得出,开采后的水位经过3个月左右可基本恢复至应急开采前的状态。根据经验公式(4)得出可引发最大为3.5 mm的沉降量,情况较为轻微。

一级预警状态下承压含水层的日开采量基本达

到 1995 年的历史最大值,开采后最大降深均达 10 m,应急开采后及时关停全部开采井,地下水位需经 18 个月才能恢复到应急开采前的状态。根据经验公式(4)得出可引发最大为 14.2 mm 的沉降量,与 1995 年金清镇附近现状最大值为 29 mm/a^[20] 的沉降速率基本吻合,若应急开采后及时关停开采井,地下水处于恢复状态,对地面沉降的影响相对可控。

3.3.2 咸水入侵 以研究区 2014 年所采地下水样的氯化物浓度值 300 mg/L 为咸淡水分界线,利用溶质运移模型模拟计算 3 种预警状态下地下水浓度场的迁移变化,结果为应急开采后咸淡水界线移动均不明显,应急开采水质依然符合饮用水供水要求。

4 结 论

(1)在满足水量、水质及开采条件等原则下,结合城市供水设施现状,为台州城市规划区优选了 3 处河谷孔隙潜水应急水源地及 2 个孔隙承压含水层应急水源地。

(2)对地下水应急水源地进行应急供水方案研究,分为三级、二级和一级 3 个预警方案。三级预警条件下优先选择疏干孔隙潜水含水层的 1/2 即可满足应急供水要求;二级预警条件下孔隙潜水整体疏干含水层的 2/3,并结合孔隙承压水日开采量 25 000 m³ 可满足应急供水需求;一级预警条件下孔隙潜水整体疏干含水层的 4/5,并联合孔隙承压水日开采量 50 000 m³ 可以满足应急供水需求。

(3)对应急水源地启用后的地质环境问题进行了预测评估,三级预警条件下不会产生地面沉降,二级预警条件下最大产生 3.5 mm 的沉降量,情况轻微;一级预警条件下最大产生 14.2 mm 沉降量,相对可控。同时,应急开采承压含水层对咸淡水界线的移动影响不明显,应急开采水质依然符合饮用水供水要求。

参考文献:

- [1] 戴长雷,迟宝明,刘中培. 北方城市应急供水水源地研究[J]. 水文地质工程地质,2008,35(4):42-46.
- [2] 蔺文静,王文中,陈德华,等. 北方城市地下水应急供水水源地评价指标体系研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(3):83-87.
- [3] 冯创业,崔秋苹. 石家庄市应急水源地开采方案设计与优选[J]. 水文地质工程地质,2004,31(5):51-53+63.
- [4] 谢振华,张兆吉,刑国章,等. 华北平原典型城市地下水供水安全保障分析[J]. 资源科学,2009,31(3):400-405.
- [5] 杨齐青,马震,孙晓明,等. 华北主要城市地下水应急水源地供水前景分析[J]. 地质调查与研究,2009,32(4):297-305.
- [6] 卜华,孙英波. 山东省重点城市应急供水水源地研究[J]. 水文地质工程地质,2008,35(6):42-45.
- [7] 崔秋苹,徐海振,刘立军,等. 河北省重要城市地下水应急水源地方案建议[J]. 水文地质工程地质,2010,37(6):12-16.
- [8] 方星,毛建国. 安徽省主要城市地下水应急水源地建设初步探讨[J]. 安徽地质,2010,20(4):279-282.
- [9] 宋仁亮,王少龙,方星,等. 安徽省重要城市地下水应急供水水源地现状研究[J]. 地质灾害与环境保护,2010,21(4):49-53.
- [10] 王少龙. 地下水应急水源地的选取——以合肥市为例[J]. 安徽地质,2014,24(2):139-142.
- [11] 叶勇,谢新民,柴福鑫,等. 城市地下水应急供水水源地研究[J]. 水电能源科学,2010,28(1):47-49+82.
- [12] 张月萍,刘金宝,俞俊英. 上海市地下水应急水源地规划战略研究[J]. 地下水,2011,33(4):28-29+40.
- [13] 黄晓燕,李郎,刘晓玲,等. 江阴市地下水应急备用水源地可行性调查[R]. 南京:江苏省地质调查研究院,2010.
- [14] 陆徐荣,朱明君,赵立鸿,等. 苏州城市规划区应急地下水水源地建设建议及地面沉降效应分析[J]. 工程勘察,2013(6):56-60.
- [15] 陆艳晨. 城市水资源应急管理模式研究[D]. 苏州:苏州科技学院,2012.
- [16] 邵新民,王蓓. 建立浙江省地下水应急供水水源地的初步研究[J]. 水文地质工程地质,2004,31(5):54-56.
- [17] 刘思秀,黎伟,朱晓曦. 杭州市龙坞地下水应急水源地开发利用潜力评价[J]. 水资源保护,2013,29(5):28-31+37.
- [18] 黎伟. 浙江省台州市地质环境容量评价研究[D]. 北京:中国地质科学院,2006.
- [19] 吴孟杰,刘思秀,沈慧珍,等. 杭嘉湖平原地面沉降监测网建设成果报告[R]. 杭州:浙江省地质环境监测总站,2006.
- [20] 陈远法. 浙江省台州监测区地质环境监测报告(1991-1995)[R]. 杭州:浙江省地质环境监测总站,1997.