

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.03.008

宁波市蛇蟠岛应急水源地建设与环境效应

吴炳华¹,周庆胜¹,潘小青¹,林德怀²

(1. 浙江省水文地质工程地质大队,浙江 宁波 315012; 2. 宁波市国土资源局,浙江 宁波 315042)

摘要:在评价宁波市蛇蟠岛淡水资源量的基础上,估算其应急供水规模。通过构建地下水数值模型,预测在应急开采条件下地下水位恢复能力,并对应急开采产生的地下水降落漏斗、地面沉降和咸水入侵等环境效应进行了评价。结果表明,蛇蟠岛地下淡水具有应急水源地建设可行性,为该地区进一步勘查应急水源地提供了依据。

关键词:应急水源地;地下水;开采潜力;环境效应;数值模型;宁波市

中图分类号:P641.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)03-0038-04

Research of emergency water source area construction and environmental effect evaluation for Shepan Island of Ningbo City

WU Binghua¹, ZHOU Qingsheng¹, PAN Xiaoqing¹, LIN Dehuai²

(1. Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ningbo 315012, China;

2. Ningbo Municipal Bureau of National Land and Resources, Ningbo 315042, China)

Abstract: In this study, the emergency water supply capacity of the Shepan Island in Ningbo City was estimated based on comprehensive evaluation of the freshwater resources on this island. A groundwater numerical model was established to predict the groundwater level recovery capabilities in emergency exploitation conditions. In addition, the environmental effects such as groundwater depression cones, land subsidence, and saltwater intrusion were evaluated. The results show that it is feasible to construct the emergency water source area on the Shepan Island. This study provides a basis for further exploration of emergency water sources in the area.

Key words: emergency water source area; groundwater; exploitation potential; environmental effects; numerical model; Ningbo City

如何提高城市用水安全,是当前城市建设面临的一项紧迫任务。应急水源地是指在连续干旱或发生水安全事件导致供水困难的情况下,为解决居民基本生活用水而采用的一种非常规的临时供水水源地^[1]。应急水源地建设是确保城市用水安全的物质基础,也是保持城市社会稳定与发展的内在要求。

宁波市供水水源以地表水为主(占总供水量的98.4%),城市用水安全问题突出。一方面,供水水量受自然因素制约非常大,长时间不降雨可能造成供水困难,如2013年7月宁波遭受严重高温干旱天气,导致全市大中型水库蓄水量减少2.37亿m³,

317座山塘干涸,全市6.44万人出现饮水困难,近133km²农田受旱;另一方面,供水水质易遭受污染,这是地表水源供水的通病,近年来水污染事件屡见报端,如四川沱江、广东北江、松花江、青衣江、太湖等水源地都发生过水污染事件^[2-3]。这些情况一旦出现,则会造成不同程度的用水危机,威胁城市公共安全,严重时甚至破坏社会和谐稳定。

相比于地表水的丰枯易变、易受污染、易遭受破坏的脆弱性,地下水具有储存量稳定、水质不易受污染、水源不易遭破坏等优点,即使在遭遇极端自然灾害、环境污染、战争等特殊情况下,也能保证在一定

时期内连续稳定供水。因此,地下水是最为理想的应急供水水源^[4]。

根据宁波市海岸带地质环境调查成果,海岸带地区蕴藏着丰富的地下水资源,其中蛇蟠岛地区存在一处地下淡水体,资源量丰富,具有应急水源建设研究意义。

1 蛇蟠岛地下淡水体概况

蛇蟠岛南临旗门港蛇蟠水道,北界宁海双盘涂、青山港,西靠宁海县一市镇,东为三门县(图1)。蛇蟠岛淡水体位于宁波市宁海县南部的蛇蟠涂围垦区,跨越宁海、三门两县海域,分布面积约41 km²。

蛇蟠岛地下淡水体含水岩组为上更新统下组(Q₃¹)冲积、冲(洪)积圆砾、砾砂,分布于古河道,顶板标高-60.96~-27.05 m,层厚1.7~38.5 m,平均层厚25 m;水位埋深0.76~2.30 m,单井涌水量达2 100~5 300 m³/d,富水性极丰富,水质为淡水,地下水水质符合GB5749—2006《生活饮用水卫生标准》I~III类水质标准。

蛇蟠岛地下淡水体水质类型以Cl·HCO₃-Mg·Na·Ca、Cl·HCO₃-Na·Mg为主,根据苏林分类,淡水rNa⁺/Cl⁻以大于1为主,部分小于1,说明一部分淡水曾受到过海水入侵的影响^[5-6],淡水是后期接受河谷平原区孔隙潜水补给冲淡,属于“冲淡型”淡水体,南、北侧为微咸水-咸水。

2 蛇蟠岛地下淡水资源量评价

地下水资源评价的计算方法很多,诸如解析法、

统计学方法、开采抽水试验法、水均衡法及数值法等,其中解析法最为常用,笔者采用解析法作为本次地下水资源量计算方法。

2.1 水文地质参数计算

根据地区经验,蛇蟠岛淡水体给水度取0.31^[7]。根据蛇蟠岛地区水文地质钻孔S1(带观测孔)和S2抽水试验数据(图1),采用非稳定流完整井泰斯公式^[8],运用AquiferTest软件计算得到S1孔渗透系数为8.7 m/d,弹性释水系数为3.98×10⁻⁴;S2孔渗透系数为27.9 m/d,弹性释水系数为5.58×10⁻⁴,推算到蛇蟠岛地下淡水含水层平均渗透系数为18.0 m/d,弹性释水系数为4.5×10⁻⁴。

2.2 地下水资源量计算

a. 静储量计算。对于深层承压含水层,孔隙含水介质中的静储量计算公式为

$$Q_{\text{静储}} = 100\mu_s MF \tag{1}$$

式中:Q_{静储}为孔隙水静储量,万m³;μ_s为给水度,取0.31;M为含水层平均厚度,取25 m;F为淡水体的分布面积,取41 km²。可得蛇蟠岛淡水体静储量为31 775 万m³。

b. 弹性储量计算。对于深层承压含水层,孔隙含水介质中的弹性储量计算公式为

$$Q_{\text{弹储}} = 100\mu'_s M_H F \tag{2}$$

式中:Q_{弹储}为孔隙水弹性储量,万m³;μ'_s为弹性释水系数,取4.5×10⁻⁴;M_H为含水层水位至含水层顶板的厚度,取44 m。可得蛇蟠岛淡水体弹性储量为81.18 万m³。



图1 蛇蟠岛地下淡水位置分布

c. 可开采资源量计算。应急水源地是在应急状态下启动,优先满足居民基本生活用水需求,迫不得已时可超采地下水,但应设定相应的环境约束条件,以一定环境损失量来换取储存资源量^[9]。

由于蛇蟠岛地下淡水体南、北侧为微咸-咸水,开采地下水会导致咸水入侵、淡水体范围缩小,因此,该淡水体不能进行疏干型开采。根据研究区的水文地质条件,结合宁波平原地区地面沉降和地下水位观测资料分析,确定该淡水体最大开采降深为40 m^[10]。地下水可开采资源量计算公式为

$$Q_{\text{开}} = 100F\bar{S}_1\mu'_s \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{开}}$ 为地下水可开采资源量; $\bar{S}_1$ 为开采区内设定的平均水位降深,取 40 m。可得蛇蟠岛淡水体可开采资源量为 73.8 万 m³。

3 蛇蟠岛地下淡水应急开采潜力评价

3.1 应急供水规模估算

根据 GB/T 50331—2002《城市居民生活用水量标准》(表 1),应急状态下居民基本生活日用水量取 551.8 m³/(万人·d)。

表 1 居民家庭生活人均日用水量调查统计

m ³ /(万人·d)			
分类	拘谨型	节约型	一般型
冲厕	300.0 *	350.0	400.0
淋浴	218.0	324.0	396.0
洗衣	72.3	85.5	93.2
厨用	213.8 *	250.0	296.0
饮用	18.0 *	20.0	30.0
浇花	20.0	30.0	80.0
卫生	20.0 *	30.0	80.0
合计	862.1	1089.5	1375.2

注: * 表示应急条件下用水量。

基于利用与保护兼顾的原则,确定开采水位降深 40 m 进行应急供水规模估算。结果表明,连续开采 30 d,可供 44.7 万人的基本生活用水;连续开采 60d,可供 22.4 万人的基本生活用水,具有较大的应急开采潜力。

3.2 地下水位恢复能力评价

以蛇蟠岛淡水体为中心,选择一个完整的水文地质单元构建地下水数值模型(图 2),进行地下水位恢复能力模拟。根据蛇蟠岛地区水文地质条件及居民用水规模,圈定蛇蟠岛为中型地下水应急水源^[11],假设以开采量 2 万 m³/d(平均分配于 6 口抽水井)、连续开采 30 d 为开采方案,预测应急开采 1 年后地下水位动态特征见图 3。研究表明,应急开采 1 年后地下水位基本得到恢复(图 4),地下水补给条件和恢复能力较优越。

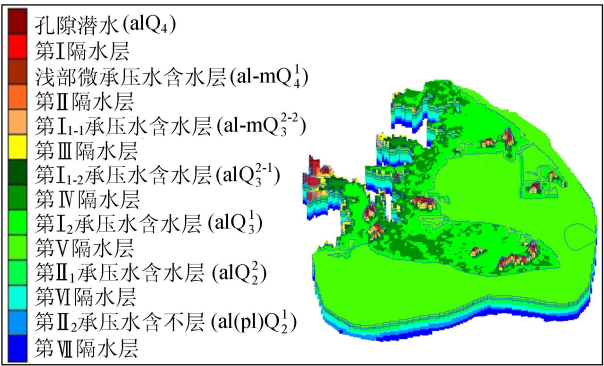


图 2 蛇蟠岛地下水数值模型

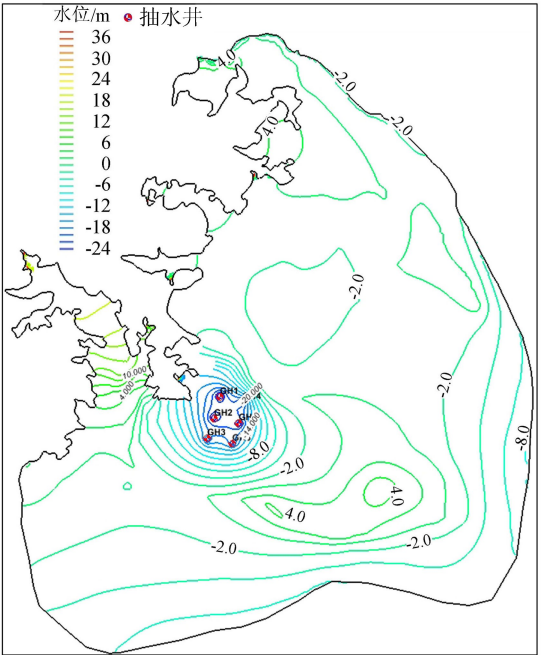
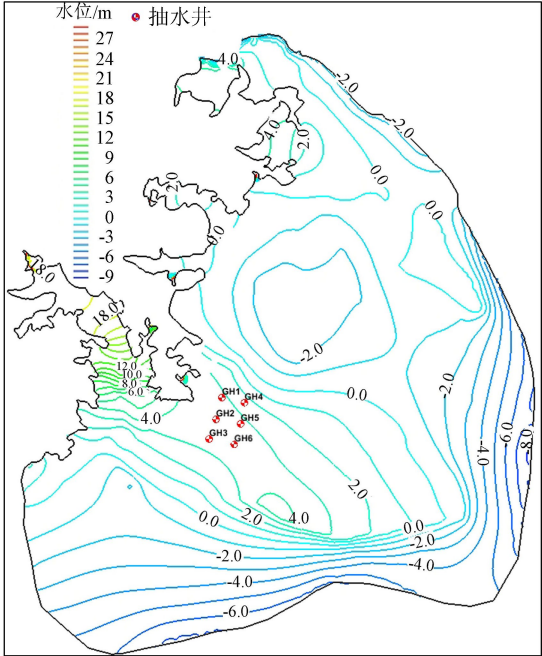


图 3 应急开采条件下地下水位等值线



4 蛇蟠岛地下淡水应急开采环境效应评价

开采地下水往往会形成区域水位降落漏斗,从而会引起地面沉降、咸水入侵等环境地质问题。基于地下水数值模型,预测分析在应急开采情况下可能产生的区域水位降落漏斗、地面沉降及咸水入侵等环境效应(图5~7)。研究表明,在应急开采条件下,降落漏斗中心地下水位降深为18~21 m,地下水位降深大于10 m的漏斗区面积约12.7 km²;地面沉降中心区沉降量为11~12 mm,沉降量大于5 mm的地面沉降区面积约7.8 km²;固形物为1 g/L的质量浓度前锋向淡水区推移了65 m。由此可见,地下水应急开采会造成一定程度的地质环境效应,但其危害性较小,环境损失量在可承受范围之内。

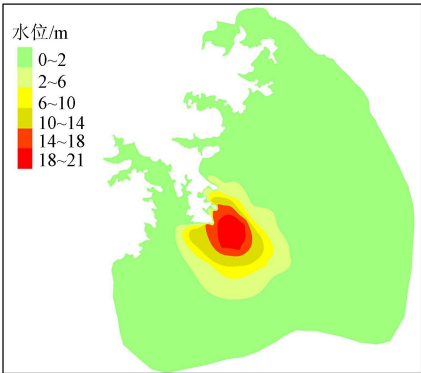


图5 应急开采条件下地下水位降深分区

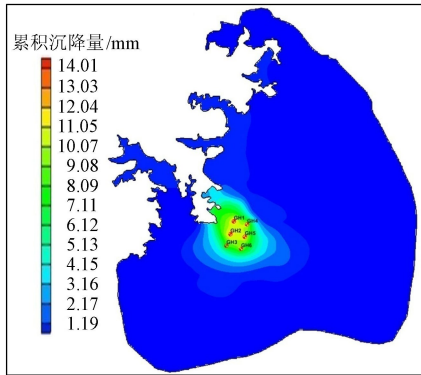


图6 应急开采条件下地面沉降分区

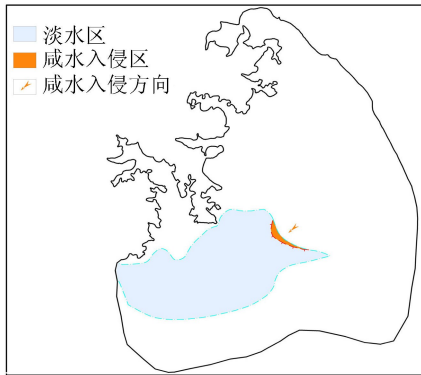


图7 应急开采条件下咸水入侵示意图

5 结 论

a. 蛇蟠岛地下淡水水质良好,淡水体分布范围广,含水层厚度大,地下水资源丰富,其静储量达31 775 万 m³,弹性储量达81.18 万 m³,可开采资源量为73.8 万 m³,可圈定为中型地下水应急水源地。

b. 蛇蟠岛淡水体以开采水位降深40 m控制,连续开采30 d,可供给44.7 万人的基本生活用水;连续开采60 d,可供给22.4 万人的基本生活用水,具有较大的应急开采潜力。

c. 根据地下水数值模拟结果,地下水在应急开采1年后地下水位基本得到恢复,其补给条件和恢复能力较优越;应急开采情况下产生区域水位降落漏斗、地面沉降及咸水入侵等环境效应较小。

蛇蟠岛淡水体具备应急水源地建设可行性,建议进行进一步的供水水文地质勘查,为水源地初步设计提供依据。

参考文献:

[1] 史正涛,刘新有.城市水安全与应急水源地建设:以昆明市为例[J].城市问题,2008(2):24-28. (SHI Zhengtao, LIU Xinyou. The safety of urban water and the construction of emergency water source; taking kunming for example [J]. Urban Problems, 2008(2):24-28. (in Chinese))

[2] 周晔,吴凤平,陈艳萍.水源地突发水污染公共安全事件应急预留水量需求估测[J].自然资源学报,2013,28(8):1426-1437. (ZHOU Ye, WU Fengping, CHEN Yanping. Emergency reserved water demand estimation for public events of accidental water source pollution [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(8):1426-1437. (in Chinese))

[3] 卜华,王义生,陈占成,等.应急供水水源地评价研究方法探讨[J].山东国土资源,2007,23(8):1-4. (BU Hua, WANG Yisheng, CHEN Zhancheng, et al. Study on evaluation method to emergency water supplying sources [J]. Shandong Land and Resources, 2007, 23(8):1-4. (in Chinese))

[4] 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. (LIU Sixiu, LI Wei, ZHU Xiaoxi. Development potentiality assessment of emergency groundwater source area in Longwu, Hangzhou City [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(5):28-31. (in Chinese))

[5] 姜林,宋岩,查明,等.准噶尔盆地莫索湾地区地层水研究[J].石油与天然气地质,2008,29(1):72-77. (JIANG Lin, SONG Yan, ZHA Ming, et al. Study on formation water in Mosuowan area of the Jungger Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1):72-77. (in Chinese))

(下转第51页)

490. (CHEN Liping, ZHANG Weiwei. Study on mass transfer of volatile pollutants at discontinuous interfaces [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2014, 42(6): 486-490. (in Chinese))
 - [3] 陈丽萍,程璟涛,蒋军成,等. 风速引起的湍流对挥发性污染物传质的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版): 2012, 40(6): 610-614. (CHEN Liping, CHENG Jingtao, JIANG Juncheng, et al. Effect of turbulence induced by wind velocity on volatile pollutants mass transfer [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2012, 40(6): 610-614. (in Chinese))
 - [4] 吴亦霄,乔建江. 氯代烃污染控制方法研究进[J]. 焦作大学学报, 2014, 28(2): 87-89. (WU Yixiao, QIAO Jianjiang. Progress of chlorinated hydrocarbons pollution control[J]. Journal of Jiaozuo University, 2014, 28(2): 87-89. (in Chinese))
 - [5] 周文敏,傅德黔,孙宗光. 水中优先控制污染物黑名单[J]. 中国环境监测, 1990, 6(4): 1-3. (ZHOU Wenmin, FU Deqian, SUN Zongguang. Priority pollutants blacklist in water[J]. Environmental Monitoring in China, 1990, 6(4): 1-3. (in Chinese))
 - [6] CALLAHAN M A. Water-related environmental fate of 129 priority pollutants [M]. Washington D C: Office of Water Planning and Standards, Office of Water and Waste Management, US Environmental Protection Agency, 1979: 38-88.
 - [7] LERNER D N, KUEPER B H, WEALTHALL G P, et al. An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface [R]. Washington D C: US Environment Protection Agency, 2003: 60-76.
 - [8] LIU Y, MAJETICH S A, TILTON R D, et al. TCE dechlorination rates, pathways, and efficiency of nanoscale iron particles with different properties [J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(5): 1338-1345.
 - [9] PHILLIPS D H, NOOTEN T V, BASTIAENS L, et al. Ten year performance evaluation of a field-scale zero-valent iron permeable reactive barrier installed to remediate trichloroethene contaminated groundwater [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(10): 3861-3869.
 - [10] HJ 620—2011 水质挥发性卤代烃的测定顶空气相色谱法[S].
 - [11] FJORDBOGE A S, LANGE I V, BJERG P L, et al. ZVI-clay remediation of a chlorinated solvent source zone, Skuldelev, Denmark: 2. groundwater contaminant mass discharge reduction [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2012, 140/141: 67-79.
 - [12] 杨宏斌,童张法,金朝晖,等. 正己烷萃取-气相色谱法快速测定水中三氯乙烯[J]. 中国环境监测, 2007, 23(4): 37-39. (YANG Hongbin, TONG Zhangfa, JIN Zhaohui, et al. Fast determination of trichloroethylene in water by hexane extraction and gas chromatography [J]. Environmental Monitoring in China, 2008, 23(4): 37-39. (in Chinese))
 - [13] CHANG Y C, IKEUTSU K, TOYAMA T, et al. Isolation and characterization of tetrachloroethylene and cis-1, 2-dichloroethylene dechlorinating propi-onibacteria [J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2011, 38(10): 1667-1677.
 - [14] PROMMER H, ANNESER B, ROLLE M, et al. Biogeochemical and isotopic gradients in a BTEX/PAH contaminant plume: model-based interpretation of a high resolution field data set [J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43(21): 8206-8212.
 - [15] SU C, PULS R W, KRUG T A, et al. A two and half-year-performance evaluation of a field test on treatment of source zone tetrachloroethene and its chlorinated daughter products using emulsified zero valent iron nanoparticles [J]. Water Research, 2012, 46(16): 5071-5084.
 - [16] 马珊珊. 液—液萃取分离体系萃取剂的选择[D]. 天津: 天津大学, 2009.
 - [17] JIN S, FALLGREN P H. Electrically induced reduction of trichloroethene in clay [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 173(1): 200-204.
- (收稿日期: 2016-08-24 编辑: 彭桃英)
- +++++
- (上接第 41 页)
- [6] 杨吉龙, 韩冬梅, 苏小四, 等. 环境同位素特征对滨海岩溶地区海水入侵过程的指示意义[J]. 地球科学进展, 2012, 27(12): 1344-1352. (YANG Jilong, HAN Dongmei, SU Xiaosi, et al. Environmental tracers ($\delta^2 \cdot \text{H}$ - $\delta^{18} \cdot \text{O}$, $\delta^{34} \cdot \text{S}$, $\delta^{13} \cdot \text{C}$) as indicators of seawater intrusion processes in the coastal karst area [J]. Advance in Earth Sciences, 2012, 27(12): 1344-1352. (in Chinese))
- [7] 蔡伟忠, 崔飞君, 李炜, 等. 浙江省三门湾地区水文地质工程地质环境地质综合勘查报告[R]. 宁波: 浙江省水文地质工程地质大队, 1997.
- [8] 蒋辉. 基于 AQUIFERTEST 的抽水试验参数计算方法分析[J]. 水文地质工程地质, 2011(2): 35-38. (JIANG Hui. An analysis of parameter calculation through pumping tests based on the Aquifer Test [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011(2): 35-38. (in Chinese))
- [9] 罗慧萍, 逢勇, 罗缙, 等. 泰州市第三自来水厂饮用水水源地地下环境风险评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2015, 43(2): 114-120. (LUO Huiping, PANG Yong, LUO Jin, et al. Water environmental risk assessment of drinking water source area of Taizhou Third Waterworks [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2015, 43(2): 114-120. (in Chinese))
- [10] 吴炳华, 周庆胜, 潘小青, 等. 宁波市海岸带主要应急水源地评价专题研究报告[R]. 宁波: 浙江省水文地质工程地质大队, 2015.
- [11] 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. (ZHANG Yueping, LIU Jinbao, YU Junying. The development strategy and study of emergence groundwater source field in Shanghai [J]. Groundwater, 2011, 33(4): 28-29. (in Chinese))
- (收稿日期: 2016-07-12 编辑: 王 芳)