

# 广西象州县地热水的开采量分析及其开采方案和建议 Analysis, Scheme and Suggestions of Geothermal Water Exploitation in Xiangzhou County of Guangxi

蒙荣国, 卢家燕, 樊保东, 黄 辉

MENG Rong-guo, LU Jia-yan, FAN Bao-dong, HUANG Hui

(广西水文地质工程地质勘察院, 广西柳州 545006)

(Hydrogeology and Engineering Geology Survey Institute of Guangxi, Liuzhou, Guangxi, 545006, China)

**摘要:** 阐述广西象州县地热水的开发概况和地质条件, 分析广西象州县地热水的开采量, 并立足于现阶段地热水已经超量开采这个结论上, 根据总量控制和合理安排抽水时间两个原则给出具有可操作性的开采方案和建议。

**关键词:** 地热水 开采量 方案 建议

中图法分类号: P314.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7378(2013)02-0124-04

**Abstract:** The geothermal water exploitation and geology conditions in Xiangzhou county of Guangxi province are presented and the exploitation is analyzed in this paper. Based on the conclusion of excessive exploitation at the current stage and the principle of total exploitation yield control and appropriate pumping scheme, the practical schemes and suggestions of exploitation are proposed.

**Key words:** geothermal groundwater, exploitation yield, scheme, suggestion

广西象州县地热水是广西闻名的一处热泉, 原称濮泉, 清朝咸丰年间更名为沸泉, 后改名热水, 泉水情况早在明朝以前就有文字记载。象州热泉之水来自于离地面几百米深处的断裂带, 水温最高达摄氏 88℃。泉水清澈透明, 无色、无味、无污染, 水中含有偏硅酸、锶、铜、铁、镁、钙、碘、钡等 20 多种对人体有益的微量元素, 经原国家地矿部、食品轻工部及中山医科大学有关专家鉴定, 确认为“优质饮用天然高热矿泉水”, 其水温和偏硅酸含量已达到医疗矿泉水的标准, 不仅是一种天然理想的保健饮料, 而且用热泉水疗浴可以预防和治疗皮肤病、胃病、消化不良、神经衰弱、风湿病等, 具有消除疲劳、促进血液循环的独特作用。由于近年来的过量开发, 引发一系列环境地质问题, 因此, 对该泉的开发利用条件及其环境效应研究具有较大的现实意义。

收稿日期: 2013-01-04

修回日期: 2013-03-14

作者简介: 蒙荣国(1975-), 男, 高级工程师, 主要从事水文地质、工程地质及环境地质研究工作。

## 1 地热水的开发概况和地质条件

### 1.1 开发概况

1995 年以前主要是附近村民对泉口自流泉水的开发利用, 基本保留了泉水的原始状态, 未进行人工干预性开采, 对地质环境影响很小。按该时期的开采条件, 夏季沿河水面可见大量串珠状气泡上冒, 较大水量泉口可见热水翻花上涌, 冬季沿河一带热气腾腾, 气派相当壮观, 尤以涌出热水之 75m 河谷一段为最。据资料记载, 该种现象由来已久, 历代所记大同小异, 说明该时期开采对地质环境基本无影响, 处于地质环境优越时期。

1971 年至 1975 年广西水文地质工程地质队对象州地热水进行了较为系统的勘查, 在此基础上于 1995 年象州县旅游公司钻探了现在的“水 1 号”开采井, 安装水泵 80m<sup>3</sup>/h, 主要为附近村民及旅游公司宾馆供水, 供水量有限, 其取水量基本控制在地热水的可采范围内, 其产生的环境效应主要表现为处于高处热泉断流消失, 对河岸边的热泉影响较小, 对地质环境影响也较小。

随着人民生活水平的提高,由旅游观光型向休闲度假型转变。始建于上世纪90年代末的象州古象温泉渡假村一期工程已于2010年1月20日正式开业。如今在热水一带修建了较多的酒店及休闲渡假村。随着此类旅游产品的建成及投入运营,对热水的需求也随着上升。目前该地热田的开发以抽水井集中开采为主,现共有3个热水抽水井点,其中两口井安装深井泵额定流量均为80m<sup>3</sup>/h,一口井为20m<sup>3</sup>/h。三口井装泵流量共180m<sup>3</sup>/h。由于三口井分别供给不同的用户,每天虽抽水时间长短不同,但是多数抽水时段重叠。每年5月至9月每天抽水两次共2~4个小时不等,10月至翌年4月抽水时间较多,一般4~8个小时,有时单井连续抽水达3昼夜。在此开采条件下产生环境效应表现为河边热泉枯、平水期断流,丰水期水温也只有50~60℃,水温比以前降低了10~20℃,有名的泡蛋泉、汤鸡泉失去了原有功能。于2010年3月份在河边热泉附近稻田中发生了两处地面塌陷。以上种种现象说明,目前对该泉的开发利用已经属于超量开采。

1.2 地质条件

象州地热田位于西北向西热水断裂和东热水断裂之间、由泥盆系组成的两翼不完整的象州热水村断陷向斜构造盆地内(见图1),初步推测热源来源于西热水大断裂。地热田为长750m,宽150~300m的条形地块,面积0.127km<sup>2</sup>,总体展布方向为西北—东南,其地下水热资源热储量可达2.37×10<sup>9</sup> MJ<sup>[1]</sup>,属小型中低温地热田<sup>[2]</sup>。

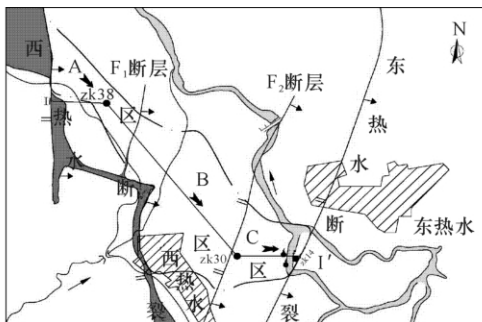


图1 地热田平面

图例:正断层,逆断层,性质不明及推测断层,钻孔(左编号),地热田边界,浅层地下水流向,源泉,河流及流向,剖面线及编号,村庄。

地热田地温梯度为最高可达6.83~21℃/100m<sup>[3]</sup>。地热田由上中下三层热储构成(见图2),上层热储为泥盆系中统东岗岭阶沐恩段第一层(D<sub>2</sub>d<sup>m-1</sup>)、第二层(D<sub>2</sub>d<sup>m-2</sup>)层状灰岩构成的岩溶型

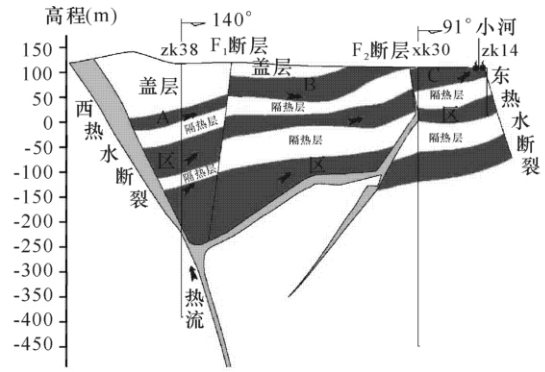


图2 地热田剖面

图例:断层,钻孔(左编号),温泉,热流流向,热储层。热储;第二层热储为泥盆系中统应堂阶中段(D<sub>2</sub>i<sup>2</sup>)层状含硅质灰岩构成的岩溶型热储;下层热储为泥盆系中统四排阶六回段(D<sub>2</sub>s<sup>3</sup>)、丁山岭段(D<sub>2</sub>s<sup>4</sup>)中厚层状灰岩夹泥质灰岩构成的岩溶型热储,热储总厚度为134~180m。地热田盖层由上中下三层构成,上层盖层为有泥、页岩为主的泥盆系中统东岗岭阶沐恩段第三层(D<sub>2</sub>d<sup>m-3</sup>)和泥质灰岩夹泥、页岩的沐恩段第四层(D<sub>2</sub>d<sup>m-4</sup>)地层;第二层盖层为相对隔水的泥灰岩、泥质灰岩夹泥、页岩的泥盆统中统应堂阶上段(D<sub>2</sub>i<sup>3</sup>)地层;下层盖层为由有泥、页岩为主组成的(D<sub>2</sub>i<sup>1</sup>)地层。井口水温为30~65℃,热水深部热储温度可达110℃,推算埋藏深度为1300~1500m,属经济的地热资源。

2 地热水超量开采分析

2.1 地球化学分析

2.1.1 常量组分分析

热水水化学成分随温度发生明显的有规律的变化。随着温度的增高,水中Ca<sup>2+</sup>,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和总矿化度也增高,而HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>却呈现相反的规律。因此,选取随温度增高而明显变化矿化度作为水化学分析指标,对象州地热水矿化度混合比进行计算分析,其结果(表1)表明:(1)在目前开采条件下,枯季不论是抽水前或是抽水结束前,都有大量的河水和浅层冷水地下水向热泉补给;(2)枯季抽水前有2.7%的热水排入河内,抽水结束前热泉断流,河水已倒灌热水通道中。

2.1.2 稳定同位素分析

分别在雨季和枯季抽水试验过程对抽水井、热泉、浅层冷水和河水及当地降雨采取同位素分析样进行同位素混和比分析,其计算结果(表2)表明,在热水井开采条件下,枯季抽水时,不论是抽水前或是抽水结束前都有大量的河水向热泉补给,河水比例

表1 枯季抽水时热水的矿化度混合比例

水源类型	矿化度			比例		混合比例关系
	热水井	冷水源	热泉	热水	冷水	
热水与冷地下水	509.505	244.545	321.62	0.290893	0.709107	有关系(抽水前)
热水与河水	509.505	218.28	321.62	0.354846	0.645154	有关系(抽水前)
热水与河水	527.775	212.875	398.71	0.59014	0.40986	有关系(抽水结束前)
河水	321.62	218.28	221.025	0.026563	0.973437	有关系(抽水前,热泉排入河中,补给河水)
河水	398.71	218.28	212.875	-0.02996	1.029956	无关系(抽水结束前,河水倒灌,补给热泉)

表2 同位素 δD 浓度混合比例计算结果表

抽水时段	水源类型	δD 浓度			比例		混合比例关系
		热水源	冷水源	混合水*	热水	冷水	
雨季	热水与受降雨直接影响冷地下水	-44.7	-52.5	-42.2	1.320513	-0.32051	下游热泉水并非由热水与受降雨直接影响冷地下水直接混合形成
		-43.9	-52.5	-42.2	1.197674	-0.19767	
枯季	热水与冷地下水(抽水前)	-38.9	-36.1	-30.5	-2	3	下游热泉水并非由热水与冷地下水直接混合形成
	热水与河水(抽水前)	-38.9	-25.7	-30.5	0.363636	0.636364	热水和河水混合可形成下游热泉水
		-38.9	-27.2	-30.5	0.282051	0.717949	
	热水与河水(抽水结束前)	-38.2	-23.8	-31.5	0.534722	0.465278	
	抽水前河水	-38.9	-25.7	-27.2	0.113636	0.886364	热水和上游河水混合可形成下游河水
	抽水后河水	-38.2	-25.7	-23.8	-0.152	1.152	热水和上游河水混合不能形成下游河水

\*:混合计算方法为选定同一时期不同热水源和冷水源组合,并比较与混合水有无直接关系。

高达 47%~72%,而浅层冷地下水的补给则极不明显。

## 2.2 允许开采量分析

### 2.2.1 计算模型和参数

由于两个抽水主孔(水利局1号井和28号井)距离较近,把两井概化为一个大井。然后根据热水田所处的水文地质条件(北东、南西、南东三面是由阻水断层、弱岩溶和非岩溶层组成隔水边界,北西面西热水大断裂为补给边界),将热水田概化为三面隔水边界、一面为补给边界的水文地质计算模型(图3)。

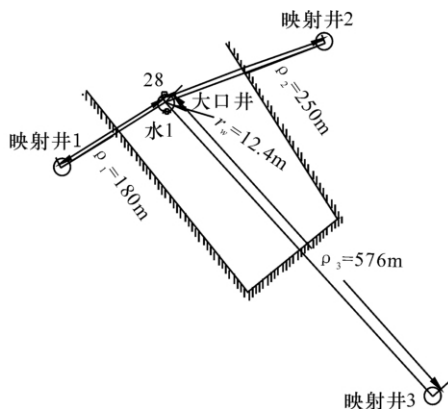


图3 地热田概化模型

对抽水井进行多孔和群孔非稳定流抽水,用雅柯布直线法求得地热田的水文地质参数如表3所示。

表3 允许开采量计算参数

抽水方式	导水系数 T (m <sup>2</sup> /d)	压力传导系数 α (m <sup>2</sup> /d)
雨季多孔抽水	840.92	1308379
雨季群孔抽水	1072.487	5003573
平季群孔抽水	1028.5	3565153
枯季群孔抽水	957.8	3722930

### 2.2.2 计算方法和结果

允许开采量采用控制现有开采井降深和影响半径的方法来进行计算。概化大井的允许降深为:

$$S_1 = \frac{S_2(\lg R - \lg r_1)}{\lg R - \lg r_2}$$

式中: S<sub>1</sub> 为概化大井的允许降深, S<sub>1</sub> = 1.61m; S<sub>2</sub> 为蛋池(下游热泉)2号泉影响降深, S<sub>2</sub> = 0.02m; R 为影响半径,由抽水试验求得, R = 270m; r<sub>2</sub> 为蛋池2号泉与主井距离, r<sub>2</sub> = 259.85m; r<sub>1</sub> 为概化大井的半径, r<sub>1</sub> = 12.4m。

根据概化模型,采用映射原理,按非稳定井流公式计算开采井允许开采量<sup>[4]</sup>:

$$s_w = \frac{Q}{4\pi T} [W(\frac{r^2}{4at}) + W(\frac{\rho^2}{4at})]$$

依据公式计算原理,当  $\frac{\rho^2}{4at} < 0.05$  时,承压井流方程为:

$$Q = \frac{2\pi T \cdot s_w}{\ln \frac{1.125at}{r_w \rho}}$$

式中:取  $r = r_w$  (抽水井半径),引用半径为概化大井的半径,取  $r_w = 12.4\text{m}$ ,单井抽水时取井管半径为  $r_w = 0.075\text{m}$ ;  $\rho$  为观测井到映射井的距离,见图 3,  $\rho_1 = 180\text{m}$ ,  $\rho_2 = 250\text{m}$ ,  $\rho_3 = 576\text{m}$ ,  $\rho = \sqrt{\rho_1 \rho_2 \times \rho_{n-1} \rho_n}$ ,  $\rho = 295.95\text{m}$ ;  $Q$  为单井开采流量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $T$  为导水系数,  $\text{m}^2/\text{d}$ ,见表 3;  $\alpha$  为压力传导系数,  $\text{m}^2/\text{d}$ ,见表 3;  $s_w$  为各井的降深,等于  $1.61\text{m}$ ;  $t$  为抽水时间,每个季度取值为  $100\text{d}$ 。

计算结果(表 4)表明,象州地热水允许开采总量在枯季、平季、雨季略有差别,但是相差不大,其允许开采总量为  $35 \sim 38\text{m}^3/\text{h}$ ,单井开采时为  $26\text{m}^3/\text{h}$ 。本次对象州地热水两个主要开采井(水利局 1 号及古象 ZK28 号)2010~2011 年度一个水文年总开采量统计约  $347010\text{m}^3$ ,平均约  $39.6\text{m}^3/\text{h}$ ,已大于地热水的允许开采量。

表 4 不同时期最大降深的允许开采量计算结果

抽水方式	抽水允许降深 (m)	允许开采量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	每小时允许开采量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
雨季多孔抽水	1.61	634.60	26.44
雨季群孔抽水	1.61	908.59	37.86
平季群孔抽水	1.61	896.78	37.37
枯季群孔抽水	1.61	832.03	34.67

### 3 地热水开采方案和建议

象州热泉浅部热水田由深部热源循环补给,规模有限,开采潜力有限,经本次研究推算,热水深部热储温度可达  $110^\circ\text{C}$ ,推算埋藏深度为  $1300 \sim 1500\text{m}$ ,属经济的地热资源。热水在雨季、平季、枯季的允许开采量分别为  $37.86\text{m}^3/\text{h}$ 、 $37.37\text{m}^3/\text{h}$  和  $34.67\text{m}^3/\text{h}$ ,目前开采水量约  $39.6\text{m}^3/\text{h}$ ,已过量开采,也印证了现今所出现的环境效应。

据目前掌握的资料,推测象州地热田的热能并非来自热水运移的围岩介质本身,而是来自热水通过循环运动将深部热能传导到浅部的结果。那么,热田本身能够提供热能的地热田究竟埋藏在何处,深度和规模有多大,地下水又如何循环到其中形成热水。由于种种原因,地质勘查投入严重不足,造成这些问题目前尚未明了,因此,立足于现阶段地热水

已经超量开采这个结论上,在目前开采布局条件下,根据总量控制和合理安排抽水时间两个原则给出 2 个具可操作性的开采方案:(1)ZK28 号孔与水利局机井同时使用时,必须将现在的  $80\text{m}^3/\text{h}$  水泵改为  $30\text{m}^3/\text{h}$  水泵,同时错开时间抽水,两井不宜长时间同时抽水。如果必须长时间同时抽水,水泵量必须改为  $20\text{m}^3/\text{h}$  水泵,不能再增热水抽水井。(2)据现有资料显示,ZK27 号与源头热泉的水力联系相对较弱,因此,可将 ZK28 号孔改为备用孔,启用 ZK27 号孔为正常供水井,两口井泵量必须在  $30\text{m}^3/\text{h}$  以下,并与水利局 1 号机井抽水应尽量错开抽水时间。

在上述开采方案基础上,有必要采取一些辅助手段来保证热水能长期高效的利用。(1)控制热水开采量。热水的储存量是有限的,因此,热水的开采要解决好资源储量和市场需求的矛盾,不能盲目规划、肆意开采,在不同季节开采量应在允许开采量范围之内。(2)增加补给量。在加强周边生态环境保护基础上,可以考虑回灌,增加补给量,从而增加开采量,减少地面变形破坏等环境地质问题。象州地热田热储层位于断裂带附近,岩石破碎,裂隙及岩溶发育,具有顺畅的地下热水运移通道,建议开展深部热源勘查,然后进行回灌试验,以便增加开采量。(3)提高利用率。通过改变输水方式和建立有偿使用机制来提高热水利用率,并尽可能采用最新科技对热能进行综合利用,提高热能利用效率。只有通过科学合理的开发利用方式,充分利用宝贵的地热资源,才能实现有限资源持续利用,更好地促进经济发展。必须制定从抽取、使用、排放等严格的热水管理制度,监管到位,才能够发挥资源的应有价值,促进环境改善和持久保护,避免环境效应加剧。

参考文献:

- [1] 广西水文地质工程地质勘察院. 广西象州热泉开采井勘查评价报告[R]. 柳州:广西水文地质工程地质勘察院,2011:59-68,87-90.
- [2] GB11615-2010,地热资源地质勘查规范[S].
- [3] 广西水文地质工程地质队. 广西象州县热水村热水勘察报告书[R]. 柳州:广西水文地质工程地质队,1975:49-60.
- [4] 史长春. 水文地质勘察:下册[M]. 北京:水利电力出版社,1991:425-426.

(责任编辑:邓大玉)