

德州市城区地热水动态与开采量关系*

杨询昌,王成明,冯守涛,柴建林

(山东省鲁北地质工程勘察院,山东德州 253015)

摘要:德州市城区多年来因地热水大量开采,地热水位持续下降,并形成了以德州市城区为中心的地热水降落漏斗。根据区内馆陶组热储多年地热水动态与开采量进行分析研究,查明了区内地热水动态与开采量的相互关系,进一步揭示了人为活动的影响,建立了区内地热水动态与开采量相关方程,并通过方程曲线态势分析,提出了区内地热集中开采区馆陶组热储地热水预警开采量,为区内地热资源的可持续开发利用提供了科学依据。

关键词:馆陶组热储;地热水动态;相关方程;德州市城区

中图分类号:P314.1

文献标识码:B

德州市城区在大地构造单元上属华北板块、华北拗陷区、临清拗陷区的次级构造单元——德州凹陷(潜)范围内,地热资源主要赋存于新生界新近系和古近系碎屑沉积岩中(埋深2 000 m内),地热资源丰富,为温热水型低温地热资源,热储类型为层状孔隙-裂隙型热储^[1]。由于区内地热水属消耗型资源,埋藏深,补给及再生能力弱,多年长期大量开采已导致区内地热水位的持续下降,并已形成了以城区为中心的地热水降落漏斗(图1),引起了当地政府部门的高度重视。查明区内地热水动态与开采量的相互关系,进一步揭示人为活动的影响,找出其内在规律性,可为区内地热资源的可持续开发利用提供科学依据。为此,该文通过对多年资料的分析与研究,建立起区内地热水动态与开采量相关方程,并对其曲线态势进行了分析^①。

1 地热资源开发利用现状

德州市城区地热资源开发已形成一定规模,并走在全省前列。区内最早开发利用地热资源始于20世纪90年代末期,第一眼地热井位于鲁北地质工程勘察院内(德热1),完成时间为1997年。截至2008年,德州市城区已有地热井达37眼,成井深度1 443~1 649 m,井口水温53.5~59.0℃,单井出水

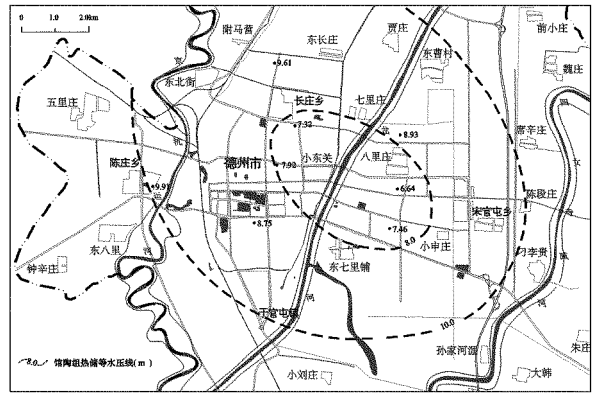


图1 德州市城区馆陶组热储等水压线图
量1 000~2 500 m³/d,开采层位主要为新近纪馆陶组热储层,开采量约658×10⁴ m³/a。地热开发主要用于供暖及洗浴,部分用于休闲娱乐、种植等,取得了巨大的经济效益,为区内社会、经济的发展起到了重要作用^[2]。

根据德热1井多年(1998—2005年)动态监测数据及研究区多年开采量统计资料(表1),研究区地热水开采量由1998年的约30×10⁴ m³增加到2005年的约452×10⁴ m³时,德热1井水压也由1998年的平均0.058 MPa下降到2005年的平均0.041 MPa(2006年以后,由于压力降低,德热1井口的压力计已无法监测),水位总的下降幅度并不

* 收稿日期:2010-11-15;修订日期:2010-11-22;编辑:陶卫卫

作者简介:杨询昌(1977—),男,贵州镇远人,工程师,主要从事水、工、环地质等方面工作;E-mail: yangxunchang@sohu.com。

①山东省鲁北地质工程勘察院杨询昌、王浩等,德州市城区地热资源调查评价,2008年。

明显(年平均水位下降速率约 0.24 m)。近几年,随着地热资源的优势不断显现,区内地热资源开采规模及开采量不断增加,地热水位的下降幅度也明显加大。根据德热 2 井水位监测资料,2005 年 10 月 21 日,德热 2 地热井水位埋深约 7.0 m,2008 年 10 月 21 日水位埋深已下降到 12.2 m(推算 25℃ 时水位埋深),3 年水位下降幅度达 5.2 m,年平均水位下降速率达 1.7 m^[3,4]。

表 1 地热水动态与开采量统计

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
开采井数(眼)	2	2	2	2	4	11	15	20
开采量(10 ⁴ m ³)	30	42	42	42	90	256	346	452
水压(MPa)	0.058	0.053	0.056	0.056	0.054	0.047	0.045	0.041
水头高度(m)	+5.8	+5.3	+5.6	+5.6	+5.4	+4.7	+4.5	+4.1
水位标高(m)	27.67	27.17	27.47	27.47	27.27	26.57	26.37	25.97

注:以上水压、水头高度、水位标高为德热 1 井各年平均值。

2 地热水动态影响因素及相关性分析

一般来说,地热水水位的下降与区内及周边同层地热水开采、补给源等多种因素有关。区内与周边地热水大量开采、补给源的减少等均可能导致地热水位的下降。由于区内地热水属消耗型资源,埋藏深,补给及再生能力弱,因此地热水大量开采是区内地下热水水位下降的主要影响因素。

区内地热水主要用于供暖、洗浴,开采时间段较集中。在集中开采时间段内,地热水位下降速度较快;而在非采暖季节,受周边同层热储的侧向径流补给,水位又逐渐回升,水位总体上呈波状起伏的下降趋势。根据德热 1 井多年(1998—2005 年)水压监测数据及研究区多年开采量统计资料及绘制的关系图表(图 2、表 1)可以看出:区内地热水开采量与水头历时曲线变化特征相似,地热水头总的呈下降趋势,并显示出地热水头随开采量增大而逐渐降低的变化规律。

为进一步查明地热水动态与开采量相关关系,对表 1 中地热水开采量与水头高度 2 组数据进行了简单的相关分析。通过计算分析,2 组数据的简单相关系数 $r = -0.9771$,其相关系数 $0.8 < |r| < 1$,属高度负相关。

通过分析可知,德州市城区地热水动态与开采量关系非常密切,地热水开采量逐年增加是造成区

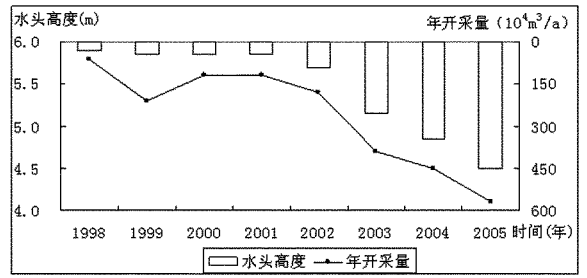


图 2 地热水开采量与水头高度(德热 1)关系图
内地热水水位持续下降的直接原因。

3 开采量相关方程的建立

3.1 方程式的建立

研究表明,地热水开采量较小(小于允许开采量),地热水水位呈缓慢下降状态。而一旦开采量过大(超过允许开采量),周边同层地热水的补给与区内地热水开采量失去平衡,地热水位将出现大幅下降,其变化趋势线上就会呈现出明显的转折点,近两年德州市城区内地热水位呈现出快速下降的趋势即可证明这一点。因此,从长时间来看,德州市城区地热水位动态与开采量应呈曲线相关关系,而非直线线性相关关系。

根据表 1 资料,由地热水动态与开采量可建立的曲线关系式包括二次曲线、三次曲线、对数曲线、指数曲线等多种类型。通过对各曲线方程的分析,三次曲线方程较符合区内实际,其相关系数较大,拟合效果较好。因此,根据德州市城区地热水水位与开采量的相关方程可采用 3 次多项式的三阶回归方程式表示,其方程形式可表示为:

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$$

式中:Y 为水位标高(m); b_0, b_1, b_2, b_3 为待定系数;x 为年开采量(m³)。

3.2 方程式求解

根据上述建立的相关方程式,只要知道 4 个时间段内地热水的平均水位和开采量,即可求出待定系数 b_0, b_1, b_2, b_3 的值,从而建立起地热水动态与开采量的曲线方程。为准确反映出地热水动态与开采量的关系,各时间段最好是大于(或等于)一个水文年(或供暖周期),且利用时间段(水文年或供暖周期)越长越好。根据已有资料,此次以 1998—2005 统计的开采量与水文队德热 1 井地热水水位动态资料进行统计计算求解。经计算,德州市城区地热水

水位动态与开采量的三阶回归方程为： $Y = -2 \times 10^{-8}x^3 + 2 \times 10^{-5}x^2 - 0.0071x + 27.716$ ，判定系数 $R^2 = 0.959$ ，其关系曲线如图3所示。

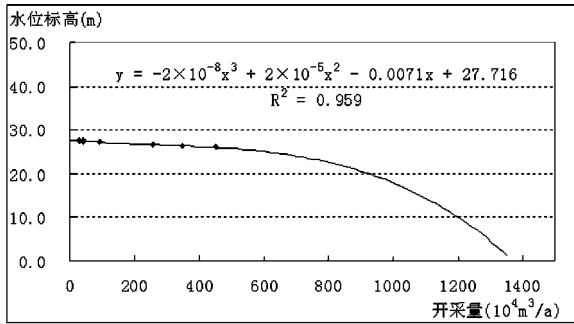


图3 地热水水位与开采量关系曲线

4 回归方程显著性检验

对方程显著性进行验证：非线性回归方程显著性检验中，由于因变量 Y 与 x 之间不是线性关系，因此可通过变量代换转换成线性关系。对于一般的高阶回归方程 $Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + \dots + b_nx^n$ 的线性化方法是，令 $x_1 = x, x_2 = x^2, x_3 = x^3$ ，可得 $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n$ 。因此，该次建立的三阶回归曲线方程可转化为： $Y = 27.716 - 0.0071x_1 + 2 \times 10^{-5}x_2 - 2 \times 10^{-8}x_3$ 。

多元线性回归方程的 F 检验就是检验总体回归方程是否显著，检验前必须进行一些假设，其检验假设如下：

$H_0: b_1, b_2, b_3$ 全为0，则回归方程不显著。

$H_1: b_1, b_2, b_3$ 不全为0，则回归方程显著。

当 H_0 成立条件下，统计量：

$$F = \frac{RSS/k}{ESS/(n - k - 1)} - F(k, n - k - 1)$$

$$\text{或 } F = \frac{R^2/k}{(1 - R^2)/(n - k - 1)} - F(k, n - k - 1)$$

式中： RSS —回归平方和， $RSS = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ ； ESS —残差平方和， $ESS = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ ； R^2 —样本决定系数； n —样本观测值个数； k —解释变量个数。经计算得： $F = 31.187$ 。给定显著性水平 α 为 0.05 时，经查表得：

$$F_{\alpha} = F_{0.05}(k, n - k - 1) = F_{0.05}(3, 4) = 6.59$$

由计算分析可知： $F > F_{\alpha}$ ，拒绝 H_0 。因此，以上建立的方程显著，回归方程成立，所有自变量对 Y 的影响是显著的。

5 相关曲线分析与回归方程验证

5.1 相关曲线分析

根据图3可知，曲线态势可分为3个变化时段：

(1)当地热水年开采量小于 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 时，曲线处于缓慢下降阶段，即随着地热水开采量的增加，水位呈缓慢降低，说明开采量小于 $800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 时，地热水位下降速度较小，不会引发一些资源环境问题。

(2)当地热水年开采量在 $(800 \sim 1200) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 时，曲线有加速下降趋势，有较明显的拐点，这说明该区间的拐点值 ($1000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$) 应是一个警戒开采量，超过这一临界值，随着开采量的不断增加，地热水位将呈加速下降。

(3)当地热水年开采量大于 $1200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 时，曲线下降趋势非常明显，这说明 $1200 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 应该是一个限制开采量，超过它将会导致地热水位的快速下降，资源量的快速枯竭，并有可能引发一系列资源环境问题。

当前，德州市城区地热井分布不均，主要集中在城区中部，开采层位为馆陶组热储，面积约 $50 \sim 60 \text{ km}^2$ 。因此上述相关曲线分析中的开采量，主要指德州市城区地热集中开采区范围内馆陶组热储地热水开采量。

5.2 回归方程验证

根据近几年德州市城区地热水动态与开采量统计资料，2006—2008年德州市城区地热水开采量分别为 $500 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ， $580 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ， $658 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ，而当年德热2井地热水位下降速率分别为 0.8 m/a ， 1.2 m/a ， $>2.0 \text{ m/a}$ ，这与该次建立的回归方程曲线态势规律基本吻合。2008年地热水位下降速率尤为明显，而当年地热水开采量与该次相关曲线分析中的预警临界开采量 ($800 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$) 已比较接近。由此可见，该次建立的相关回归方程比较符合实际。

6 结语

(1)德州市城区馆陶组地热水动态与开采量呈高度负相关的非线性关系，其相关方程为： $y = -2 \times 10^{-8}x^3 + 2 \times 10^{-5}x^2 - 0.0071x + 27.716$ 。

(2)经分析，德州市城区(地热集中开采区)馆

陶组热储地热水警戒开采量为 $1\ 000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 超过这一临界值, 地热水位将呈加速下降趋势。

(3) 地热水动态与开采量关系复杂, 理论上分析数据与实际现状可能会出现一定差异。因此, 该次建立的回归方程与拟合曲线只反映了区内地热水动态与开采量的相关关系, 不能以此为依据对区内地热水动态进行长期预测。

(4) 该次建立的回归方程与拟合曲线虽不能对区内地热水动态进行长期预测, 但可为区内相关部门地热开发与管理决策提供参考依据。

(5) 建议今后加强对区内地热水位动态与开采

量关系研究, 并对该次所建立的相关方程进一步完善。

参考文献:

- [1] 周世海, 杨询昌, 梁伟, 等. 德州市城区地热水人工回灌试验研究[J]. 山东国土资源, 2007, 23(9), 11-14.
- [2] 颜世强, 潘懋, 邹祖光, 等. 山东德州凹陷地下水地球化学特征及成因[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 149-152.
- [3] 邢忠信, 李和学, 张熟, 郜洪强. 沧州市地面沉降研究及防治对策[J]. 地质调查与研究, 2004, 27(3): 157-163.
- [4] 倪加勋, 袁卫. 应用统计学[M] 北京: 中国人民大学出版社, 1993.

Study on Relationship between Movement and Extraction of Geothermal Water in Dezhou City

YANG Xunchang, WANG Chengming, FENG Shoutao, CHAI Jianlin

(Lubei Geo - engineering Exploration Institute, Shangdong Dezhou 253015, China)

Abstract: Due to massive exploitation of geothermal water in Dezhou city in many years, geothermal water level continued to decline, and formed a geothermal water depression cone centered in Dezhou City. Based on the analysis of water dynamics and geothermal exploitation rate in Guantao geothermal reservoir, the relationship between the amount of geothermal water withdrawn and water dynamics has been verified, and the impact of human activities have been furtherly revealed, and the correlation equation between the amount of geothermal water withdrawn and water dynamics has been set up. Through analysis on the equation trend, a warning exploitation rate of geothermal water in Guantao reservoir is put forward. It will provide a rational and scientific basis for the sustainable development and utilization of geothermal resource.

Key words: Geothermal reservoir in Guantao formation; geothermal water dynamics; correlation equation; Dezhou city