

关中盆地地下热水接受补给时 温度及热储层温度的估算

胡 扬¹, 马致远¹, 余 娟¹, 李 青², 张跟全³, 贾旭兵¹

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安地质矿产研究所,
陕西 西安 710054; 3. 咸阳市地热资源开发管理办公室, 陕西 咸阳 712000)

摘要: 通过对关中盆地地热井中地下热水的同位素和水化学成分分析, 结合研究区的地热地质和水文地质条件, 进行了地下热水补给时的温度研究, 结果表明, 关中盆地地下热水接受补给时的温度以西安地区最低, 咸阳次之。同时应用 Na-K-Mg 三角图和水化学平衡温度理论的方法, 估算在平衡条件下关中盆地最大热储温度为 118 °C。热储温度计算结果表明, 关中盆地腹部应为中低温热储层。

关键词: 地下热水; 同位素; 温度; 热储层

中图分类号: P314.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)02-0173-04

Estimation of the Making-up Temperature of Geothermy Water and the Thermal Reservoir Temperature in the Guanzhong Basin

HU Yang¹, MA Zhi-yuan¹, YU Juan¹, LI Qing², ZHANG Gen-quan³, JIA Xu-bing¹

(1. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Xianyang
Development of Geothermal Resources Management Office, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract By analyzing the isotope and the data of hydrochemistry composition of geothermal water from the geothermal wells in Guanzhong basin, and the conditions of geothermal geology and hydrogeology in the area, the making-up temperature of geothermal water is researched. The results show that the lowest making-up temperature of the geothermal water in Guanzhong basin is in Xi'an, and Xianyang has a lower making-up temperature than Xi'an. With the method of Na-K-Mg triangular diagram and hydrochemistry balance temperature theory, it is estimated that the maximum thermal reservoir temperature in Guanzhong basin is 118 °C in equilibrium condition. From the calculation results of temperature, the center of Guanzhong basin should be mesothermal and microtherm reservoir.

Key words: geothermy water; isotope; temperature; thermal reservoir

0 引言

关中盆地地下热水的补给一直是专家学者十分关注的问题, 关系到地下热水资源的可持续利用, 而地下热水补给时的温度能够提供地下热水补给的重要信息。笔者以关中盆地为研究区, 以地下热水为研究对象, 以同位素为主要研究手段并结合地热温标方法^[1-4], 研究关中盆地地下热水补给温

度及估算热储层温度, 为关中盆地地下热水的合理开发与利用提供科学依据。地下热水现已成为关中盆地地区的一种重要的经济资源, 其合理开发与利用越来越被社会各界重视。

1 区域地质概况

关中盆地位于陕西省中部, 西起宝鸡, 东至潼关, 南依秦岭, 北抵北山, 位于东经 107°30' ~

收稿日期: 2008-07-20

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(SJ08-ZT08); 中国地质调查局项目(1212010535416)

作者简介: 胡 扬(1979-), 男, 浙江无锡人, 工学硕士研究生, 从事水文地质、环境同位素水文地质研究。E-mail: hysep4@yahoo.com.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

35°50′、北纬 33°39′~35°50′之间, 总体似半个弯月横亘于陕西省中部, 是陕西省政治、经济、文化中心。该盆地地处不同构造单元的交错过渡部位, 构造格局十分复杂, 南北边缘以发育强烈的挤压构造为显著特征, 受基底岩相和伸展断裂系的控制, 盆地盖层具有明显的断块结构。

2 关中盆地地下热水补给温度

2.1 地下热水的补给来源

地下热水的起源和补给一直是诸多专家学者及相关政府部门关注的热点^[9]。关于关中盆地地下热水的补给来源, 各路专家众说纷纭, 本次同位素研究提供了利用地下热水接受补给时的温度反推地下热水补给来源的方法。图 1 为关中盆地地下热水 $\delta^{18}\text{O}$ - D 关系图, 沿大气降水线, $\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ 展布的关中盆地诸热水点基本沿横贯盆地东西的秦岭山前断裂、渭河断裂及北西西向、北西向、北东向断裂带及断裂交汇部位展布, 其补给来源为大气降水和地表水。关中盆地深部如西安、咸阳、长安、渭南、华阴等处热水井点明显偏离大气降水线, 发生 ^{18}O 漂移, 漂移线与大气降水交点处为漂移前同位素组成。

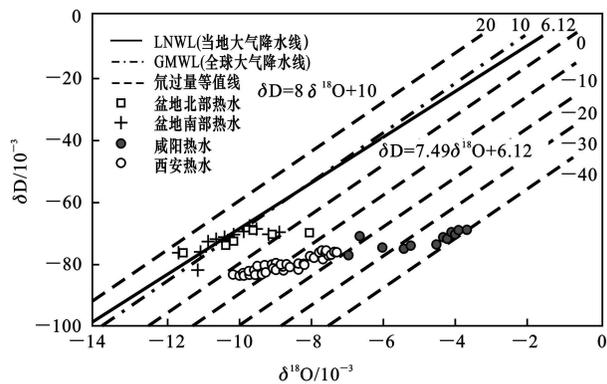


图 1 关中盆地地下热水 $\delta^{18}\text{O}$ - D 关系
Fig. 1 Relationship with $\delta^{18}\text{O}$ and D of Geothermal Water in Guanzhong Basin

2.2 地下热水的补给温度

研究区 150 余样品点的温度及 δ 值数据相关关系表明, 研究区大气降水的同位素组成与当地的气温关系密切, 且呈正相关变化, 这种相关变化在不同地区相差很大。根据陕西省水文一队数据, 研究区大气降水氢氧同位素组成与当年平均温度的相关关系式为

$$\delta^{18}\text{O} = 0.47T - 12.24 \quad r = 0.976$$

$$\text{D} = 3.5T - 82.90 \quad r = 0.958$$

该关系式表明, 年平均温度每下降 1 °C, 大气年降水平均 $\delta^{18}\text{O}$ 和 D 值分别降低 3.5×10^{-3} 和 0.47×10^{-3} 。

对上式进行变换, 得

$$\Delta T_1 = \frac{\delta^{18}\text{O}_1 - \delta^{18}\text{O}_2}{0.47} \quad (1)$$

$$\Delta T_2 = \frac{\text{D}_1 - \text{D}_2}{3.5} \quad (2)$$

式中: ΔT 为温度差; $\delta^{18}\text{O}_1 - \text{D}_1$ 、 $\delta^{18}\text{O}_2 - \text{D}_2$ 分别为地下热水—现代大气降水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 D 值。

根据现有的关中地区大气降水数据求得关中地区 $\delta^{18}\text{O}$ 和 D 的平均值为 -7.38×10^{-3} 和 -45×10^{-3} , 由式(1)、(2)和现代关中地区的年平均大气温度可以计算出关中地区地下热水补给时的水体温度——大气年均温度, 并做出其等值线(图 2、3)。

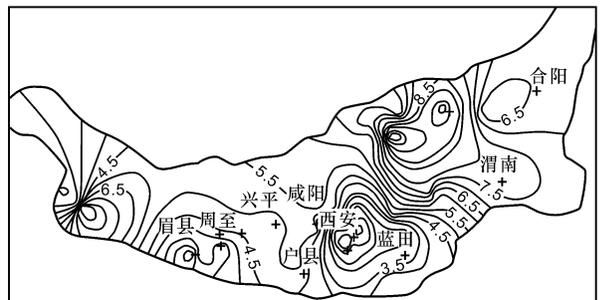


图 2 关中地区 $\delta^{18}\text{O}$ 计算出的地下热水补给时的温度等值线

Fig. 2 Temperature Contour Map of $\delta^{18}\text{O}$ in Guanzhong Basin

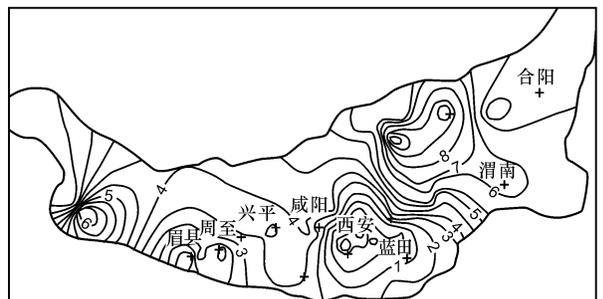


图 3 关中地区 D 计算出的地下热水补给时的温度等值线

Fig. 3 Temperature Contour Map of D in Guanzhong Basin

由图 2、3 的温度等值线可以看出, 关中盆地地下热水补给时西安的温度 (0.5 °C) 最低, 咸阳

(3.5 °C)次之, 宝鸡(5 °C)高于咸阳, 渭南(6.5 °C)最高。

根据同位素补给高程公式计算, 秦岭北麓高度梯度 K 为 $0.75 \times 10^{-3}/100 \text{ m}$, 北山高度梯度 K 为 $0.32 \times 10^{-3}/100 \text{ m}$, 由此计算得出咸阳地热水补给高程为 700~1 023 m, 主要源自盆地北部及西部高地补给, 西安热水补给高程为 2 010~2 812 m, 主要源自秦岭古代山区降水补给。¹⁴C 测年结果证实, 西安、咸阳地下热水平均年龄在 10 000 年以上, 支持了上述结论。

3 热储层温度估算

3.1 地热水温度与埋深关系

关中地热水埋深的变化范围从 400~3 500 m, 浅井主要分布于秦岭山前和合阳蒲城地区, 深井则主要分布于长安、西安、咸阳以及武功和杨凌一带(图 4)。地热水的温度与地热井深有关, 一般井越深, 地热水的水温越高(图 5)。

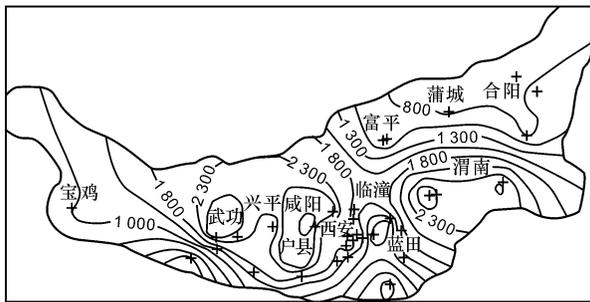


图 4 关中地区取样点及井深等值线
Fig. 4 Sample Dot and Well Depth Contour Map in Guanzhong Basin

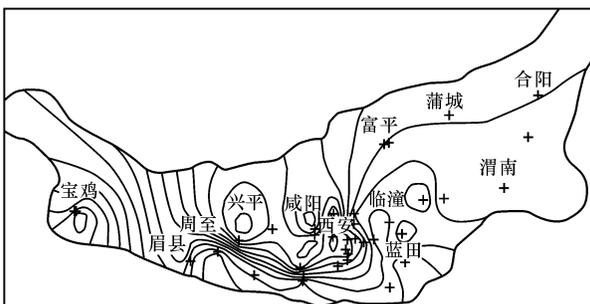


图 5 关中地区取样点及热水水温等值线
Fig. 5 Sample Dot and Water Temperature Contour Map in Guanzhong Basin

3.2 地热水储层温度估算

关中盆地西安、咸阳地区 SiO_2 与井口水温的线性方程为 $T = 42.78 + 0.77[\text{SiO}_2]$, 相关系数

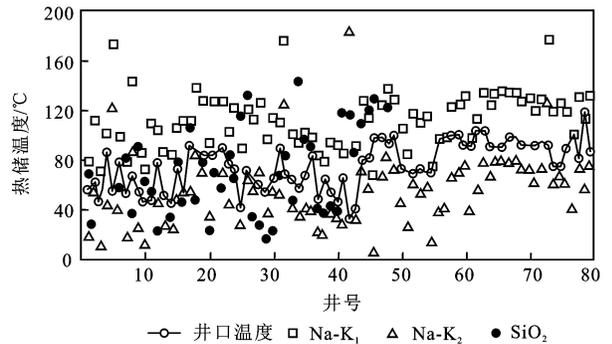
$r = 0.96$, 故可利用 SiO_2 温标计算热储温度。此外, Na、K、Ca 离子对热储温度也有较好的指示。所用水化学温标公式如下

$$T_{\text{SiO}_2} = 1\,309 / [5.19 - \log(\text{SiO}_2)] - 273.15 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{\text{Na/K}_1} = 1\,390 / [\log(\text{Na/K}) + 1.750] - 273.15 \text{ (Giggendach}^{[6-7]})$$

$$T_{\text{Na/K}_2} = 933 / [\log(\text{Na/K}) + 0.993] - 273.15 \text{ (Arnorrsson}^{[8]})$$

计算结果见图 6。



因关中盆地 Ca 离子较少, $T_{\text{Na-K-Ca}}$ 温标计算结果与实际相差过大, 未在图中显示

图 6 各水化学温标计算结果对比

Fig. 6 Result of Hydrochemical Temperature Scales Map

图 6 中所有水化学温标计算结果均与地热水的井口温度规律一致, 其中 Giggendach 的 Na-K 温标计算结果最为理想^[6-7]。其中计算的 Na-K 温度在 170 °C 以上的水样点有 3 个, 最高温度可达 178 °C。Arnorrsson Na-K 温标的计算结果不甚理想, 所计算温度大多低于井口温度^[8]。尽管如此, 最高温度也可达 183 °C。SiO₂ 温标所计算的温度变化较大, 部分样点的计算温度高于井口温度, 部分样点的计算温度低于井口温度, 部分样点的计算温度与井口温度重合。究其原因, 山前与渭北部分样点是浅部冷水与热水发生混合后的水样, 混合后的 SiO₂ 含量显然未达到计算公式要求的水岩平衡, 导致部分计算结果有误。

上述水化学温标的计算结果及分析表明, 准确估算地热温标的关键在于判断地热水中的相关化学组分是否与围岩矿物达到化学平衡, Na-K-Mg 三角图是目前国内外用以判断水岩平衡样点的有效方法。

在地热系统特别是中高温地热系统中, 水溶液和矿物趋于平衡状态, 利用这个特性可以预测关中盆地深部热储的温度, 即所谓的地热温标方法。应

用地热温标的条件是作为地热温标的某种溶质或气体和热储中矿物达到平衡状态。这里用 Na-K-Mg 三角图(图 7)来研究水-岩平衡状态,以选取合适的水样。

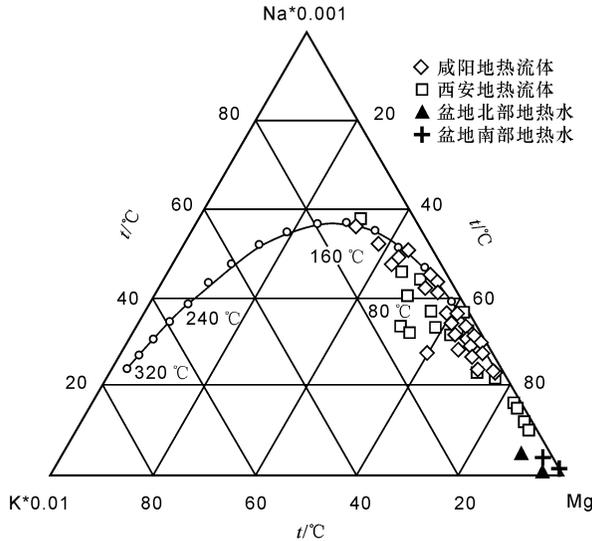


图 7 温度 Na-K-Mg 三角图

Fig. 7 Na-K-Mg Ternary Diagram of Temperature

Na-K-Mg 三角图可以反映出水化学平衡状况和平衡温度,水样点位于完全平衡曲线上则说明地热水已经达到或近于平衡,其水化学成分适合估算地下水储层温度。

咸阳热水有 4 个样点位于 Na-K-Mg 三角图的完全平衡线上,代表可用于估算热储温度的合理水样。咸阳热水矿化度较高,钙镁组分较低,热储与现代水联系较差,故有较高的热储温度,对应的石英温度可达 146 °C;东西汤峪、渭北西部热水点位于 Na-K-Mg 三角图的未成熟区域,估算的热储温度属于不合理水样。其矿化度较低,钙镁组分较高,对应石英温度不超过 30 °C,反映出盆地腹部与盆缘热水在化学组分上的差异。西安、长安介于两者之间,其样点落在部分平衡或混合区域内,指示水岩平衡程度不高或有局部冷水混入,其计算的

热储温度仅作参考。应用 Na-K-Mg 三角图温度法计算在平衡条件下关中盆地最大热储温度为 118 °C(图 7)。

4 结语

(1) 关中地区地下热水补给关系大致为,咸阳的地下热水由盆地北部及西部高地补给,而西安的地下热水补给主要来自秦岭古代山区降水,关中地区地下热水接受补给时的温度以西安地区最低,咸阳次之。

(2) 西安、咸阳地热水的平均热储温度最高,变化范围也最大,揭示咸阳热储环境较西安更为封闭,进一步证实了热储温度随¹⁸O 偏富而增高的规律,预测 4 000 m 埋深以下热储温度将达到 120 ~ 130 °C,根据热储温度计算结果,关中盆地腹部应为中低温热储。

参考文献:

- [1] 马致远, 钱 会. 环境同位素地下水文学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2004.
- [2] 钱 会, 马致远. 水文地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [3] 秦大军, 庞忠和, Jurner J V, 等. 西安地区地热水和渭北岩溶水同位素特征及相互关系[J]. 岩石学报, 2005, 21(5): 43-47.
- [4] 吴红梅, 周立岱, 郭 宇. 阳离子温标在中低温地热水中的应用研究[J]. 黑龙江科技学院学报, 2005, 16(1): 26-31.
- [5] 王焰新, 文冬光, 沈照理. 深部地下水的起源及其成矿作用[J]. 地学前缘, 1996, 15(3): 125-129.
- [6] Giggenbach W F. Geothermal Solute Equilibria Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1988, 52(12): 2749-2765.
- [7] Giggenbach W F. Mass Transfer in Hydrothermal Alteration Systems: A Conceptual Approach[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984, 48(12): 2693-2711.
- [8] Aronsson S. Gas Pressures in Geothermal Systems[J]. Chemical Geology, 1983, 49(10): 319-328.