

文章编号: 1001—6996 (2011) 01—0077—06

华县地区地热水形成环境及热储温度探讨

林平选¹, 张娟²

(1. 陕西省地矿局地质调查院, 西安 710065; 2. 陕西工程勘察研究院, 西安 710068)

摘要: 本文根据华县地热井水质分析结果, 在水溶组分平衡分布计算的基础上进行了水—岩平衡分析, 确定了地热水中的平衡矿物和平衡温度范围, 应用 SiO_2 温标估算了热储的温度, 并根据这些温标的原理和华县地热水的实际情况, 讨论了地热水形成的环境以及化学温标适用性和估算结果的可靠性。

关键词: 平衡分布计算; 水岩平衡; 地球化学温标; 热储温度

中图分类号: P314.1 **文献标识码:** A

岩石是由矿物组成的, 因此水岩平衡实际上指的是水与组成岩石的矿物之间的平衡关系。矿物在水中的溶解与沉淀取决于水溶液相对矿物的饱和状态, 通常使用饱和指数来衡量水溶液相对矿物的饱和状态。在计算矿物相对水溶液的饱和指数时, 若不考虑阴阳离子间络合作用的影响, 则这种计算结果的误差通常是比较大的。因此, 计算矿物的饱和指数时, 必须首先对水溶组分的平衡分布进行计算。

1 研究区概况

研究区位于华县华州镇, 构造上属于固市凹陷南缘。华州地热井是华县地区首眼地热井, 揭露地层从上到下依此为 ①第四系, 岩性为黄色、灰绿色粘土、砂质粘土与灰色砂砾石层呈不等厚互层, 厚度 475 m; ②新近系张家坡组, 岩性上部为灰色、灰绿色泥岩与细砂岩、砂砾岩呈不等厚互层, 中部为细砂岩、砂砾岩与含砾泥岩呈略等厚互层, 下部以砾岩为主, 局部夹钙质泥岩, 厚度 793 m; ③蓝田灞河组, 岩性为大段砾岩局部夹钙质泥岩, 厚度 283.5 m; ④太古界太华群, 白色夹灰黑色花岗片麻岩。开采段主要为新近系张家坡组和蓝田灞河组, 深度 945.11~1784.9 m, 实测井底温度 95.2℃, 开采段中间温度 72.4℃, 开采段顶部温度 57.8℃, 井口水温 59.8℃。

2 地热流体的储存空间

收稿日期: 2010—09—10

作者简介: 林平选, 男, 36岁, 高级工程师, 1999年毕业于长春科技大学, 2006年获中国地质大学(武汉)工程硕士学位, 长期从事水文地质、工程地质、环境地质及地质灾害等专业技术工作。

区内新生界上新统沉积厚度为 1022.5~1894 m，平均沉积速度为 0.38~0.7 mm/a，具有快速沉积盆地的特征，在快速沉积盆地的深处，常有“欠压实沉积物”的存在。这种沉积物不是随着上覆地层厚度和埋深的增加而压实得更紧密，相反，在各种因素制约下，它压实程度很差，因而具有与其所在深度不相适应的高孔隙度（图 1）和异常高的流体压力即异常高压带。封闭性的异常高压带，即使在正常大地热流背景之下，由于封闭在孔隙内的流体的热导率远低于岩矿物质，导致异常高压带的地温梯度高。故异常高压带既是异常孔隙度带，又是异常温度带。高孔隙度为地热流体提供了储存空间。

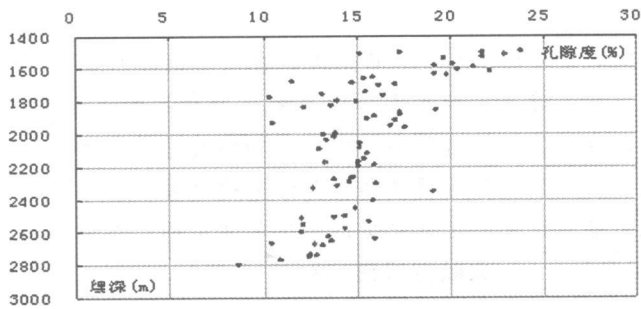


图 1 孔隙度随埋深的变化关系

Fig. 1 Variation relationship between porosity and buried depth

3 地热流体的水化学和同位素特征

根据水质分析结果，应用 Na—K—Mg 三角图（图 2）对华州（R2 孔）地热水进行分析，R2 孔地热水落在平衡线附近，表明该热矿水是与 Na、K、Mg 的铝硅盐矿物钠长石、钾长石、白云母和斜绿泥石处于平衡状态或接近平衡状态。地下水与矿物的化学反应是非常缓慢的，说明华州 R2 地热水在热储中运移极为缓慢。

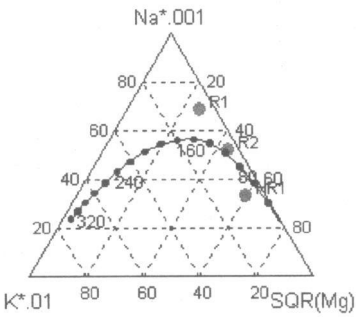


图 2 Na—K—Mg 三角图

Fig. 2 A triangular plot of Na—K—Mg

根据同位素分析结果，区内地热水 δD 值分别为 77.14‰和 80.69‰， $\delta^{18}O$ 值为 7.597‰和 9.069‰，根据同位素的温度效应估算地热水补给时期的温度为 0.6~1.7℃，而华县地区年平均气温为 14℃，说明地热水是在比现代气候冷的时期形成的。根据区内渭深 12 井孢粉气候研究成果，该区第三季为温暖湿润或温暖干旱气候，因此排除了区内地热水来源于沉积水的可能性。同时根据 δD 和 $\delta^{18}O$ 的分布区间，也可排除区内地热水来源于岩浆水（ δD 和 $\delta^{18}O$ 的变化范围一般为 -50‰~-80‰和

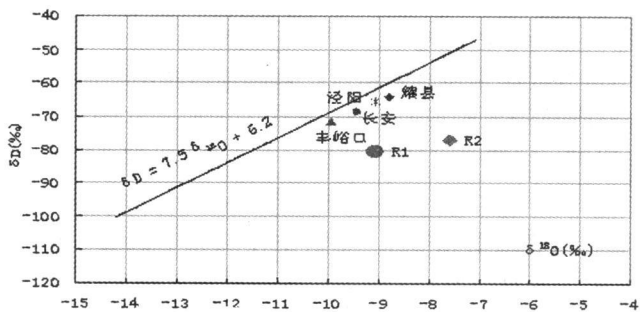


图 3 地热水 δD - $\delta^{18}O$ 关系曲线

Fig 3 Curve linear relationship of δD - $\delta^{18}O$ in geothermal water

7.0‰~9.5‰) 和变质水 (δD 和 $\delta^{18}O$ 的变化范围一般为 -20‰~-65‰和 5‰~25‰) 的可能性。区内地热水落在关中盆地大气降水线的右侧, 与大气降水关系密切的浅层地下水相比, 地热水发生了明显的 ^{18}O 重化漂移 (图 3), 说明地热水在热储层中存在的时间很长, 运移缓慢。

4 地热流体水溶组分的平衡分布计算

天然水是一种多组分的溶液, 水溶液中的化学组分是以多种形式存在的, 水质分析结果并不能反应出溶液中组分的真正存在形式。水溶组分平衡分布计算的目的是根据热力学模型及水质分析资料, 确定当地下水中溶解组分间的络合反应达到平衡状态时, 各组分存在形式的浓度。

水溶组分平衡分布计算的基本方程:

$$T_k = a_k + \sum_{j=1}^n P_{k,j} K_j \prod_{k=1}^m a_k P_{k,j} \quad k = 1, 2, \dots, m$$

式中 T_k 为第 k 种基本组分的化学分析浓度; a_k 为第 k 种基本组分的浓度; $P_{k,j}$ 为化学计量数, 在数值上等于 1 摩尔的第 j 种衍生组分完全分解时所形成的第 k 种基本组分的摩尔数, 对于分解反应的生成物, $P_{k,j}$ 为正数, 对于分解反应的反应物, $P_{k,j}$ 为负数, 而对于未参加反应的组分, $P_{k,j}$ 等于 0; K_j 为第 j 种衍生组分的反应平衡常数。

根据水质分析结果, 采用 PHREEQC 软件进行水溶组分平衡分布计算, 计算结果见表 1。由表可见, 阴阳离子间的络合作用使得以自由离子形式存在的组分含量有不同程度的减小。弱酸根以自由离子存在形式的含量相对较低, 碱金属以自由离子存在形式的含量相对较高。

5 水岩平衡分析

地热系统的水岩平衡分析不但有助于对热储岩矿组成及热储温度的认识，而且也是对各种水化学地热温标估算结果进行评估的基础。

矿物在水中的溶解与沉淀取决于水溶液相对矿物的饱和状态，通常使用下述的饱和指数来衡量水溶液相对矿物的饱和状态：

$$SI = lg \frac{IAP}{K}$$

式中，SI 为水溶液相对矿物的饱和指数，IAP 为矿物溶解反应中相关离子的活度积，K 为矿物溶解反应的平衡常数。显见，SI< 0 表示水溶液相对矿物未达到饱和状态，矿物将继续溶解；SI> 0 表示水溶液相对矿物处于过饱和状态，矿物将从溶液中沉淀出来；SI= 0 表示水溶液与矿物处于平衡状态状态。

表 1 平衡分布计算结果一览表

Tab. 1 Calculation result of equilibrium distribution

组分存在形式		浓度(mol/L)	组分存在形式		浓度(mol/L)	组分存在形式		浓度(mol/L)
含 C 组分	HCO ₃ ⁻	3 22E-04	含 F 组分	FeCl ₂ ⁺	4 92E-14	含 Na 组分	NH ₄ SO ₄ ⁻	1 79E-07
	CaHCO ₃ ⁺	1 07E-04		FeCl ₃	1 73E-15		NO ₂ ⁻	1 32E-07
	NaHCO ₃	4 62E-05		F ⁻	5 87E-05		Na ⁺	2 55E-01
	CO ₂	3 69E-05		CaF ⁺	1 33E-05		NaSO ₄ ⁻	6 93E-05
	CaCO ₃	1 32E-05		NaF	8 62E-06		NaHCO ₃	4 62E-05
	SrHCO ₃ ⁺	3 06E-06		MgF ⁺	2 16E-06		NaF	8 62E-06
	MgHCO ₃ ⁺	2 10E-06		HF	4 41E-09		NaCO ₃ ⁻	1 43E-06
	NaCO ₃ ⁻	1 43E-06		FeF ⁺	1 82E-09		NaOH	3 31E-08
	CO ₃ ²⁻	3 01E-07		HF ₂ ⁻	9 93E-13	含 S 组分	SO ₄ ²⁻	5 42E-05
	MgCO ₃	1 60E-07		FeF ₂ ⁺	2 76E-13		CaSO ₄	2 82E-04
	FeHCO ₃ ⁺	1 00E-07		FeF ₂ ²⁺	6 44E-13		NaSO ₄ ⁻	6 93E-05
	SrCO ₃	1 20E-07		FeF ₃	5 99E-14		MgSO ₄	7 07E-06
	BaHCO ₃ ⁺	2 96E-08		SiF ₆ ²⁻	2 18E-28		SrSO ₄	6 57E-06
	FeCO ₃	2 25E-08	含 K 组分	K ⁺	9 93E-04		KS O ₄ ⁻	3 81E-07
	BaCO ₃	1 49E-09		KS O ₄ ⁻	3 81E-07		LiSO ₄ ⁻	1 87E-07
含 Ca 组分	Ca ²⁺	2 61E-02		KOH	6 75E-11		NH ₄ SO ₄ ⁻	1 79E-07
	CaSO ₄	2 82E-04	含 Mg 组分	Mg ²⁺	5 57E-04		BaSO ₄	2 60E-07
	CaHCO ₃ ⁺	1 07E-04		MgSO ₄	7 07E-06		FeSO ₄	2 99E-08
	CaF ⁺	1 33E-05		MgF ⁺	2 16E-06		HSO ₄ ⁻	2 64E-10
	CaCO ₃	1 32E-05		MgHCO ₃ ⁺	2 10E-06		FeHSO ₄ ⁺	9 86E-15
	CaOH ⁺	8 48E-08		MgCO ₃	1 60E-07		FeSO ₄ ⁺	1 76E-15
含 Cl 组分	Cl ⁻	3 51E-01	含 N 组分	MgOH ⁺	3 96E-08		Fe(SO ₄) ₂ ⁻	2 09E-18
	FeCl ⁺	1 50E-06		NH ₄ ⁺	2 56E-04		FeHSO ₄ ²⁺	2 37E-22
	FeCl ₂ ⁺	3 14E-14		NH ₃	2 86E-06			

在地热系统中，热水在热储中的运移较为缓慢，地下热水与热储中的矿物通常处于平衡状态，这种平衡的信息可由热水的化学成分反映出来。因此，当根据热水的水质分析结果计算矿物的饱和指数，并把热水中多种矿物的饱和指数作为温度的函数绘图，若一组矿物在某一特定温度下同时接近平衡，则可判断热水在热储中与这组矿物达到了平衡状态，平衡时的

温度即为深部热储温度。据此便可以根据地下热水的水质分析结果确定热储的平衡矿物及热储温度。

使用上述方法，对华州热水孔，从 0~ 200℃每隔 5℃对热水溶液相对多种矿物的饱和指数进行了计算，并作图分析了各热水孔的平衡矿物及平衡温度范围。需要说明的是，在水质分析结果中，水样中 Al、Fe 的含量小于分析方法的下限值，计算中直接使用了该下限，这将使涉及这些组分的矿物饱和指数计算结果偏大。

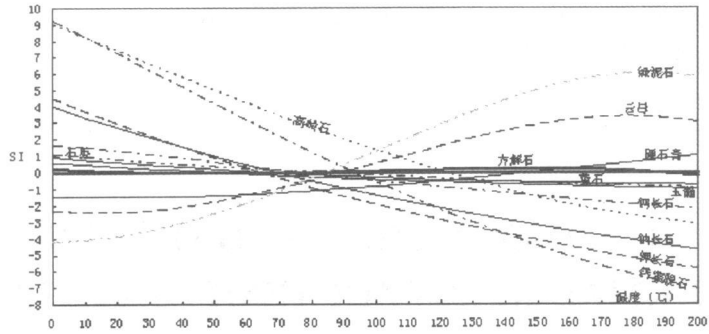


图 4 地热水矿物饱和指数随温度的变化关系

Fig 4 Variation relationship of saturation index of minerals in geothermal water to temperature

据根分析结果，R2 热水井平衡矿物主要有钠长石、钙长石、硬石膏、钙蒙脱石、方解石、玉髓、绿泥石、纤蛇纹石、白云石、萤石、石膏、钾长石、高岭石、云母、石英等，其平衡温度一般介于 60~ 100℃之间（图 4）。矿物的平衡温度分布于一个较集中的范围内，说明地热水与外界水力联系差。

6 热储温度的确定

深部热储温度是评价地热资源所不可缺少的重要参数，而建立在水-岩平衡基础上的地球化学温标方法是获得这一参数的经济有效手段。常用的地球化学温标有石英地热温标和阳离子地热温标，本次选用石英温标推算热储温度，计算公式如下：

t = (1309 / (5.19 - lgC)) - 273.15 (°C)

根据无蒸气损失的 SiO₂ 温标计算的热储温度为 73.6℃，实测热储层段温度为 57.8~ 95.2℃，平均温度（开采层中间温度）为 72.4℃，二者相比误差仅 1.66%，可见无蒸气损失的 SiO₂ 温标计算的温度可以近似代表热储层的平均温度。

[参考文献]

- [1] 钱会, 马致远. 《水文地球化学》[M]. 地质出版社. 2005 10
- [2] 朱义年, 王焰新译. 《地下水地球化学模拟的原理及应用》[M]. 中国地质大学出版社. 2005 9
- [3] 钱会. 《水溶组分平衡分布计算及其水文地质应用》[M]. 西安地图出版社, 2002 9
- [4] 张生春. 陕西省现代大气降水氢氧同位素组成特征研究 [J]. 《陕西地质》, 1989 12
- [5] 王兴. 《渭河盆地地热资源赋存与开发》[M]. 陕西科学技术出版社, 2005 10
- [6] 陈墨香. 《华北地热》[M]. 科学出版社, 1988 5.

DISCUSSION ABOUT THE ENVIRONMENT AND THERMAL RESEVOIR TEMPERATURE OF GEOTHERMALVATER IN HUAXIAN AREA

Lin Ping-xuan¹, Zhang Juan²

(1. Institute of Geological Survey of Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources,
Xi'an 710065; 2 Shaanxi Institute of Engineering Prospecting, Xi'an 710068)

Abstract: According to the water analysis result of geothermal well in Huaxian, the article carried on the water rock interactions analysis and determined balanced mineral and the balance temperature scope in the geothermalwater based on the equilibrium distribution calculation of Water miscible component. The thermalresevoir temperature was estimated using geochemical thermometer scale such as SiO_2 . Otherwise, according to principle of these geochemical thermometer scale and the reality of geothermalwater in Huaxian, the article discussed the formation environment of geothermalwater, applicability of geochemical geothermometer scale and reliability of the estimate result

Key words: equilibrium distribution calculation; water-rock interactions; geochemical thermometer scale; thermalresevoir temperature