

应用地球化学方法讨论 开封地热田地下热水的补给来源

朱命和, 付中, 刘彦兵

(河南省地矿局第十一地质队, 河南 商丘 476000)

摘要: 应用同位素(D 、 ^{18}O 、 ^{14}C)地球化学方法, 研究大气降水和地下热水中同位素组成之间成因关系, 分析开封地热田中地热水补给来源方向和地热水的形成, 计算其生成年龄。

关键词: 热储层; 稳定同位素; 放射性同位素; 氦

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2005)06-0493-04

近年来, 河南省地热资源开发应用得到迅速发展, 尤其以开封市城区为甚。该市地下赋存着丰富的地热水资源, 且热储层厚而稳定, 地热水为含多种微量元素的天然矿泉水, 水温适中, 加之开封为旅游观光胜地, 所以地热资源开发应用前景仍然看好。

1 地热地质条件及地热井分布

开封凹陷属于济源—开封拗陷的次级构造, 位于该拗陷的东南隅, 开封凹陷南侧为通许隆起, 北侧是封丘凹陷, 基底有下古生界地层组成, 在新生代时, 开封凹陷内沉积了巨厚的新生界地层, 为地热田的形成打下了基础。

开封地热田的分布主要受3组构造控制, 近东西向构造有通许隆起, 济源—开封拗陷, 中牟—开封断裂(F_2 、 F_6), 北西走向有开封断层(F_3 、 F_7 、 F_8 、 F_{17}), 北东走向的有开封县断裂(F_1 、 F_4 、 F_{10})等(图1)。由于这些断裂的存在, 为地球内部热流向

上对流传递提供了通道, 将热能量汇集于第三系底部, 又以传导的方式向上覆储层传递热能, 地热田上覆第四系地层以热导率低(传热性能差)的粘土、粉砂、亚粘土为主, 形成了地热田的盖层, 使得由地球内部散发出的热量在热储层中得以储集和保存。

开封市位于开封凹陷南翼, 在城区 200 km² 范围内, 开发的地热井就有 60 多眼, 例如汴京饭店地热井, 西部水上乐园地热井、花生集团地热井等。其周围的尉氏、太康、通许、开封县等地也有许多已开发的地热井。

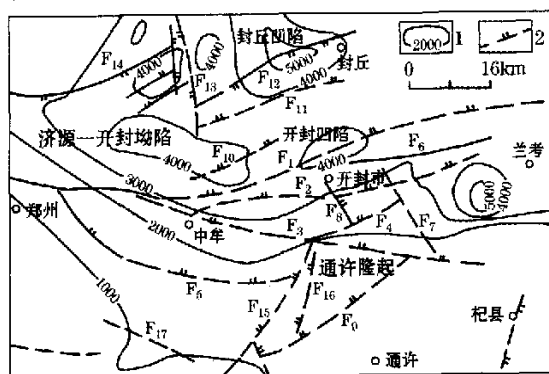
本区的地热井都是经钻探开凿而成, 开采的是 800 ~ 1 580 m 深的热储层。热储层均为新近系地层中的细砂岩和含砾砂岩, 水温 42 ~ 68 °C 不等, 水的化学成分随埋深和温度增加而离子含量增大(670 ~ 4 760 mg/L), 并含多种微量元素, 水化学类型为 HCO_3 -Na 型和 Cl-Na 型, 主要适合旅游服务业综合开发利用。

2 同位素方法研究

同位素地质学是应用稳定同位素(D 、 ^{18}O)的组成变化, 放射性同位素(T 、 ^{14}C)的衰变规律, 来研究在不同地质作用下的地球物质的迁移过程, 以及地壳发展和地质体形成历史的一门科学。前者可以用来有效地判别地热水的来源或补给源, 确定地热田温度范围; 后者用以确定地下热水的生成年龄。

2.1 稳定同位素原理

稳定同位素研究主要应用于地质温度、示踪研究与年代效应, 最主要的是应用稳定同位素来示踪物质来源, 它能帮助人们了解和认识地热水或矿物



1—新生界等深线; 2—断层

图1 新生界等深线与断层分布

质的来龙去脉,进而指导找矿评价工作。

大气降水中的稳定同位素,严格地讲是指氢、氧的同位素,其氢、氧同位素的组成变化,绝对受瑞利蒸馏过程的控制,即大陆效应、高度效应和纬度(温度)效应。这3种效应,实际上是相互影响和制约的,而且大气降水的成分还受其他因素的影响,因此,当海洋上空潮湿空气团向内陆、高山和高纬度区域方向移动时,所降落的雨和雪的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 值,将逐渐变得愈来愈负,这是由于①蒸发压差别引起的同位素分馏;②温度下降导致分馏系数的增大;③雨水和淡水的再蒸发更富集 ^{16}O 和 H 等原因造成的。利用氢和氧同位素的稳定性和向内陆地区运移过程中的变化规律,分析判别地热田中地热水的来源方向及位置。

2.1.1 稳定同位素方法

通过研究地下热水的成因得知,绝大多数地热田中的热水来自大气降水。因此,在分析一个新的地热田热水来源方向或补给源时,首先应在分析区域沉积环境的基础上讨论地热水与大气降水之间的关系。

由于一个地区的大气降水,受一年四季气温、风向、气候类型等因素的波动影响,所伴随的大气降水量和同位素的组成也就有明显的变化。因此,一个地区大气降水线方程的建立,应采集不同季节降水的系统分析成果,得出 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值解出,才能更准确地代表这个地区大气降水的同位素组成特点。

本次采用区内外(西南山区)大气降水的同位

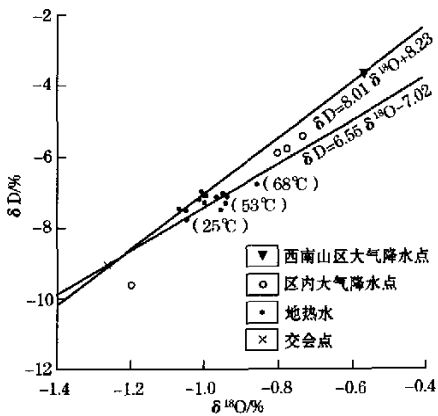


图2 西南山区大气降水与地热水 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 关系线

素分析成果(δD 和 $\delta^{18}\text{O}$),经系统分析,得出郑州西南大气降水线(图2),相关方程为

$$\delta\text{D} = 8.01\delta^{18}\text{O} + 8.23. \quad (1)$$

该方程与中国大气降水线方程 $\delta\text{D} = 7.90\delta^{18}\text{O} + 8.2$ 基本相近,说明所建立的郑州西南大气降水线方程符合实际,另将郑州西南的大气降水点同位素测试结果($\delta\text{D} = -3.760\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -0.570\text{‰}$)绘于图中,发现与建立的方程吻合较好,证明该方程代表了西南山区大气降水同位素组成特征。

2.1.2 地下热水的补给来源

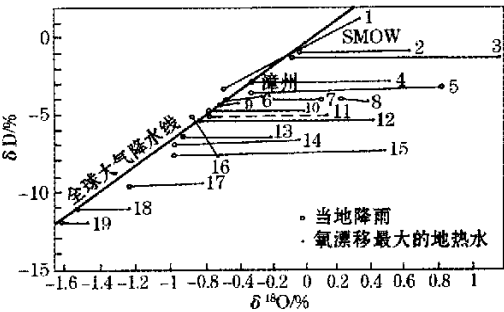
大气降水线方程建立后,将区内大气降水和地下热水的同位素分析成果值(表1)绘于图2中,与大气降水线对比可以看出,区内地热水的同位素成果值与区内大气降水的同位素成果值截然分开,

表1 同位素样品测试成果与地热水年龄

采样点位置	深度/m	类别	$\delta\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	$w(\text{现代碳})/\text{‰}$	地热水年龄/a	备注
新密		降水	-5.4642	-0.7354			
尉氏		降水	-9.6076	-1.1913			
开封市		降水	-5.8852	-0.7999			
郑州西水库		地表	-5.7914	-7.740			
郑州西南		降水	-3.7600	-0.5701			
155 医院	280.00	冷水	-7.2777	-1.0178			
磷肥厂	440.20	地热水	-7.5518	-1.0543	15.0933 ± 0.57	15630 ± 310	25℃
节水办	595.60	地热水	-7.2221	-1.0101	12.1024 ± 0.34	17460 ± 230	
自来水厂	650.00	地热水	-7.0300	-1.0300			
县花生集团	660.00	地热水	-7.1298	-0.9368	7.4560 ± 0.30	21460 ± 330	
646 厂	832.00	地热水	-7.4800	-1.0700			
隆氏公司	860.00	地热水	-7.1008	-0.9852	10.1543 ± 0.33	18910 ± 270	
供电局	803.00	地热水	-7.2000	-0.9586	7.7550 ± 0.40	21140 ± 430	
通许宾馆	1113.00	地热水	7.0800	-1.0900			
节水办西	1231.00	地热水	-7.8262	-1.0498	6.9126 ± 0.22	22090 ± 260	
汴京饭店	1200.00	地热水	-7.5265	-0.9572	6.1622 ± 0.21	23040 ± 280	
节水办东	1205.00	地热水	-7.3138	-0.9413	5.4041 ± 0.28	24120 ± 430	53℃
通信公司	1580.00	地热水	-6.8800	-0.8615	4.8760 ± 0.19	24970 ± 330	68℃
平均值					8.4351 ± 0.32	20440 ± 320	

表明区内地下热水补给来源与区内大气降水没有关系;下面我们再来分析区内地热水同位素分析成果与西南山区“大气降水线”的内在联系。

从图 2 中可以看出,有部分地热水同位素成果值位于大气降水线之上,有些地热水同位素成果值接近大气降水线,表明开封凹陷内地热水与西南山区大气降水成因联系密切,该区地下热水的补给源是位于西南山区的大气降水。世界上有代表性地下热流系中热水和当地大气降水的 δD 和 $\delta^{18}O$ 同位素组成见图 3,在几乎每个地下热流系统内,地下热水的 δD 值与当地大气降水的 δD 值接近,表明了它的大气降水起源特征,而 $\delta^{18}O$ 则比大气降水有所增高,这是由于较高温度的热水与硅酸盐,碳酸盐(围岩)发生氧同位素交换(使得 $\delta^{18}O$ 增



1—坎皮弗莱格雷(意);2—达洛(埃);3—加那利岛(西);4—恩加瓦哈(新);5—阿里马(日);6—波罗德兰德(新);7—拉德瑞罗(意);8—恩高路户(新);9—怀拉开(新);10—盖瑟尔斯(美);11—海克拉(冰);12—阿米尔塔(意);13—洛斯阿苏弗雷斯(墨);14—拉普雷玛卡拉(墨);15—索尔顿湖(美);16—埃尔塔特罗;17—普里特山;18—汽铤泉(美);19—蒲甘(印)

据 D'Amore and Panichi, 1987

图 3 世界典型地热系统中地下热水同位素组成

高)的结果(Craig,1963),这种现象称为氧漂移。从图 2 中可见有些地下热水的同位素成果(δD - $\delta^{18}O$)值稍有偏离大气降水线,是地下热水氧漂移形成的结果,属正常现象。

一般来讲,热储温度越高,氧漂移越显著,从图 2 看本区氧漂移现象并不严重。因此可以判定区内地下热流系统的热储温度为低温(25~90℃),这与区内实际地热温度情况是吻合的。

2.1.3 地下热水补给源高程计算

根据稳定同位素的高程效应原理, δD 值随地下水补给区高程增大而减小(高度效应), δD 的递减梯度一般为 $(-0.20\% \sim 0.25\%)/100\text{ m}$ 。计算地下热水补给区高程公式为:

$$H = H_r + (D - D_r) / \text{grad}D, \tag{2}$$

式中, H 为地下热水补给区高程; H_r 为地下热水水样点高程; D 为补给水的 δD 值; D_r 为地下热水的 δD 值; $\text{grad}D$ 为每 100 m δD 随高度递减的梯度。

据开封市区地热水的情况,其补给水的 δD 值可由西部山区大气降水线方程(1)与地热水的关系线的交点确定。依据区内 13 个地热水水样的 δD 和 $\delta^{18}O$ 值所组成的相关直线方程为

$$\delta D = 6.55\delta^{18}O - 7.02, \tag{3}$$

其与式(1)的交点值为 $\delta D = -8.9986\%$, $\delta^{18}O = -1.2412\%$, 该区的高程递减梯度取其平均数 $-0.225\%/100\text{ m}$,按式(2)就可以计算地下热水的补给区高程为 238.22~354.91 m(表 2),平均高程为 320.19 m。

开封地热田周边高程在 320 m 左右最近的地区位于郑州西南山区,另一个因素是新近系明化镇组热储层在西南山区沟谷内出露,所以郑州西南山区为开封地热田中地下热水的主要补给区。

表 2 地下热水补给区高程计算

采样位置	井深/m	地面标高/m	热储层顶板距井底厚度/m	H_2/m	$D_2/\%$	H/m
磷肥厂	440.2	+80.1	70.0	-289.90	-7.5518	353.08
西郊浅井	595.6	+81.0	80.0	-434.60	-7.2221	354.91
花生集团	660.0	+80.0	82.0	-496.00	-7.1398	334.53
隆氏公司	860.1	+80.9	175.0	-604.2	-7.1008	238.22

2.2 放射性同位素方法与地热水年龄计算

地热田中的地热水最后一次与大气分离至今经历的时间称作它的年龄。放射性同位素的衰变不受温度、压力和化学成分等外界因素的影响,每种放射性元素的半衰期是一个常数,应用这种特征规律,可以测定计算地热水的年龄即水在热储层中的贮留时

万方数据

间。近年来,由于放射性同位素检测技术的提高,实现了少量至微量样品的检测,使得更多的放射性同位素得以应用。这里采用目前地热界常用的 ^{14}C 方法来计算区内地下热水年龄。

2.2.1 计算公式选择

本区第四系地层和第三系热储地层中,含有几

十层粘土和泥岩,由于厚度大而稳定,透水性差,形成了良好的隔水层,阻止了垂向上地热水的相互渗透作用,使地热水以似水平向流动。地下热水的年龄计算选用无混合的活塞模型公式:

$$t = 1.443R \ln\left(\frac{A_0}{A}\right), \quad (4)$$

式中, t 为地下热水年龄, R 为放射性同位素的半衰期, A_0 为放射性同位素的初始浓度, A 为放射性同位素 t 时刻浓度或实测地下热水放射性同位素浓度。

2.2.2 放射性 ^{14}C 法计算地热水年龄

^{14}C 是大气层中的 ^{14}N 在宇宙射线作用下衰变而成的。新获得的地下水 ^{14}C 含量初期保持着大气中的状态和浓度,随着时间的推移, ^{14}C 逐渐衰变减少,其半衰期为 $5\,730 \pm 40$ a。利用地热水中 ^{14}C 的百分含量值,按公式(4)可计算各热储层中地热水年龄(公式中 ^{14}C 的初始浓度 A_0 为 100%,半衰期 R 为 5 730 a),计算结果列于表 1 中。从表 1 可知,随着热储层埋深增加,地下热水年龄逐渐增大,表明深部补给和排泄条件同时变差,不同深度热储层的热水年龄不同,说明各热储层间无明显水力联系。另一方面,同一热储层由西向东排列,如由西至东 1 231 ~ 1 205 m,热储层年龄逐渐增大(22 090 ~ 24 120 a),表明地下热水自西向东缓慢径流。

3 结论

综上所述,通过应用同位素原理,对开封地热田中地热水的同位素成果的分析,得到以下认识:

(1) 在开封地热田中,随着热储层埋深增加,地热水的年龄逐渐增大,表明深部热储层中地热水的补给和排泄条件随深度增加而变差;

(2) 区内实测地热水同位素 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值位于或接近西南山区大气降水线,表明区内地热水与西部山区大气降水有成因关系,因此判别该区地热水的主要补给源是来自西部山区的大气降水,补给高程平均值为 320.19 m;

(3) 用 ^{14}C 计算地热水平均数年龄为 20 440 a,很显然本区地热水是西部山区大气降水经远距离缓慢径流,侧向补给各热储层,并与原沉积(同生)水混合,形成现在开发的天然矿泉水。

参考文献:

- [1] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1983
- [2] 王恒纯. 同位素水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [3] 朱炳球. 地热田地球化学勘查[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [4] 汪集赐. 中低温对流型地热系统[M]. 北京: 科学出版社 1993.

A DISCUSSION ON THE SUPPLY SOURCE OF UNDERGROUND HOT WATER IN THE KAIFENG GEOTHERMAL FIELD BASED ON GEOCHEMICAL METHODS

ZHU Ming-he, FU Zhong, LIU Yan-bing

(No. 11 Geological Party, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources, Shangqiu 476000, China)

Abstract: Using isotopic (D , ^{18}O , ^{14}C) geochemical methods, this paper has studied the genetic relationship between the isotopic composition of meteoric water and that of underground hot water, analyzed the supply source of the Kaifeng geothermal field and the generation of the geothermal water, and calculated its formation age.

Key words: thermal accumulation layer; stable isotope; radioactive isotope; D

作者简介: 朱命和(1953-),男,高级工程师,1977年毕业于焦作矿业学院,从事地质勘探工作。

上接 492 页

Key words: Machaoying faulted belt; fluid inclusion; geochemical characteristics

作者简介: 燕建设(1962-),男,1983年毕业于河北地质学院,高级工程师,从事地质调查与矿产资源评价工作。

万方数据