

同位素地球化学在湖北省咸宁市温泉地热田的应用

陈金国^{1,2}, 桂承新², 刘长宪²

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430070; 2. 湖北省地质环境总站, 湖北 武汉 430051)

摘要: 在地热勘查与研究中, 可以借助同位素的方法测定地热流体的年龄、推算深部热储的温度、查明地热流体中物质成分的来源以及确定地热流体的成因等, 能够得到令人满意的结果。利用湖北省咸宁市温泉地热田地热流体同位素 D、O¹⁸、H³ 1983 年初勘阶段和 2004 年详查阶段的测试结果, 进行对比分析, 确定了咸宁市温泉地热田地热流体的补给来源和温泉地热田地热流体的补给高程。

关键词: 温泉地热田; 同位素; 地热流体

中图分类号: P632⁺.7

文献标识码: A

文章编号: 1671-1211(2009)04-0507-03

0 引言

咸宁市位于湖北省东南部, 长江中游南岸, 湘鄂赣三省交界处, 是南下北上的主要通道, 素有“湖北南大门”之称。全市辖四县一市一区和一个经济技术开发区, 106、107 国道、京广铁路、京珠高速贯穿其境, 交通十分便捷。温泉地热田位于咸宁市温泉经济技术开发区, 地理位置优越, 交通方便, 区内地热流体的水化学类型为硫酸—钙型水, 地热流体的最高温度为 55.0℃。目前地热流体在咸宁市已经得到了广泛应用, 取得了良好的社会效益、环境效益和经济效益。

1 地热流体同位素研究程度^[1]

早在 1983 年对温泉地热田进行初勘时, 曾经对区内的地热流体、地表冷泉水、地下冷水和大气降水进行过同位素测试, 当时共采集样品 9 组(钻孔地热流体样 6 组, 大气降水 1 组, 地表冷泉水 1 组, 地下冷水 1 组), 测试项目为 D、O¹⁸、H³; 2004 年进行咸宁市温泉地热田地热资源详查时, 对区内施工的 6 个钻孔、地表水和大气降水进行了取样测试, 共采集样品 10 组(钻孔地热流体样 6 组, 大气降水 1 组, 地表冷水 3 组), 测试项目为 D、O¹⁸、H³, 以上 2 次工作为咸宁市温泉地热田地热流体的同位素研究工作提供了基础资料。

2 同位素丰度特征^[2]

2.1 D、O¹⁸的丰度

从表 1 中可知, 在初勘阶段, 地热流体中 D 值为 -40.7‰ ~ -48.6‰, 平均为 -45.0‰; 地下冷水为

-36.8‰ ~ -38.0‰。大气降水中 D 值为 -68.2‰, 地热流体中 D 值较地下冷水低 4‰ ~ 10‰; 详查阶段, 地热流体中 D 值为 -26.0‰ ~ -50.4‰, 平均为 -39.9‰; 地表冷水为 -25.2‰ ~ -43.7‰, 平均为 -35.5‰, 大气降水中 D 值为 -34.8‰。

初勘阶段, 地热流体中 O¹⁸ 为 -7.10‰ ~ -7.89‰, 平均为 -7.44‰, 地下冷水中 O¹⁸ 为 -6.05‰ ~ -6.41‰, 高出地热流体 1‰ 左右, 大气降水中 O¹⁸ 较低为 -10.17‰; 详查阶段, 地热流体中 O¹⁸ 为 -6.59‰ ~ -7.75‰, 平均为 -7.32‰, 地表冷水中 O¹⁸ 为 -6.44‰ ~ -7.14‰, 平均为 -6.80‰, 大气降水中 O¹⁸ 为 -5.83‰。

2.2 H³ 的含量

从表中可知, 初勘阶段, 地热流体中 H³ 的含量为 <1 ~ 8.8 TU, 大气降水中 H³ 的含量为 20.3 TU, 区外地下冷水中 H³ 的含量可达 28.7 ~ 31.8 TU, 比地热流体中的 H³ 的含量要高得多。详查阶段, 地热流体中 H³ 的含量为 <2 ~ 7.00 TU, 大气降水中 H³ 的含量为 6.41 TU, 地表冷水中 H³ 的含量为 5.40 ~ 7.62 TU。

3 同位素特征

3.1 D、O¹⁸特征

图 1 是地热流体、地下冷水、大气降水中 D 与 O¹⁸ 的关系图解, 从图中可以看出, 区内地热流体同位素组成的点主要集中在中国大陆雨水线之上, 说明在 O¹⁸ 相同的情况下, D 值较平均大气降水线高 4% 左右, 推测为同位素 D 高程效应的结果。

区内地热流体同位素组成的点比较集中, 主要分

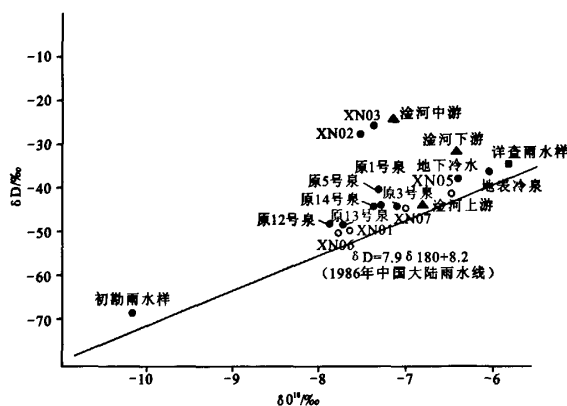


图1 咸宁市温泉地热田地热流体、地下冷水、大气降水中D与O¹⁸的关系图解

Fig. 1 Relationship diagram of D and O¹⁸ in thermal fluid, cold underground and atmospheric precipitation in Xianning geothermal field

布在大气降水线之上。各地热流体点的集合,距离区域地下冷水和地表冷泉两点较近,而距离大气降水点较远,说明地热流体是由地下冷水转变而成,并且地热流体与地下冷水一样同属于大气降水补给,是由高山区地下冷水在一定条件下转化而成。根据详查阶段同位素资料可以看出,目前地热流体中的D值和O¹⁸值比当地大气降水中的D值和O¹⁸值要低,主要原因是因为大气降水存在“高程效应”所致,一般来说,高程每升高100 m,D值下降约2.5‰,O¹⁸值下降0.0‰,因此可以初步推测,温泉地热田的补给区和排泄区的高差为280~480 m。

从图中D值与降水量、温度的效应图解上看,D值的平均丰度为-41‰,这一数据与地热流体中D值的平均值-45‰基本接近。故此可以推测:地热流体是历年大气降水入渗地下后不断混合和加热的结果,并且经历了较为漫长的地下径流过程,另外,只有径流条件较好的热储岩层中,才是这种混合现象的最有利的地质环境。

详查阶段取样同位素测试结果中,XN02和XN03号孔的D值与其它地热流体样存在一定的差距,根据分析是由于取样季节的不同(XN02和XN03取样时间为9月,当时气温很高),以及保存时间过长及D的不稳定,造成了D值的检出值偏低,但是由于O¹⁸比较稳定,测试结果与其它试样不存在明显差别。

3.2 H³的特征

由于H³来源于大气,地热流体中亦含H³,证明了地热流体是由大气降水补给的,依据H³含量还可以推测地热流体的径流时间。

在初勘阶段,月亮湾一带地热流体中H³含量为7.6~8.8 TU,潜山南东侧一带地热流体中H³含量<1

~3.4 TU,前者比后者含量高得多。大气降水中H³的含量20.3 TU,区外地下冷水中H³的含量可达28.7~31.8 TU,比地热流体中的H³的含量要高得多。详查阶段,月亮湾一带地热流体中H³的含量<2,潜山南东侧一带地热流体中H³的含量<2~7.00 TU,大气降水中H³的含量为6.41 TU,地表冷水中H³的含量为5.40~7.62 TU。通过对比可以知道,经过多年的开采,地热流体中H³的含量普遍降低,一方面是因为20世纪80年代以后,世界范围内核试验明显减少;另一方面,H³的半衰期是12.48年,经过衰变,其含量减少,以上两方面的原因是造成H³降低的主要因素。

在月亮湾一带,XN02和XN03号孔揭露的地热流体中H³的含量<2,是由于详查钻孔深度在该区内较初勘有了很大的提高,钻孔揭露到了径流循环时间更长的地热流体。在潜山南东侧一带,XN01号孔H³的含量<2,也是由于钻孔深度大幅度提高,径流循环时间更长的地热流体;但是XN06号孔深度超过XN01号孔,相反H³的含量为3.56,经过前面地热流体化学成分分析,可知该孔的地热流体主要来源于志留系地层中的裂隙水经过传导加热而形成,并不是来源于补给区的碳酸盐岩裂隙水经过深循环加热而形成,所以虽然其深度大于XN01号孔,但是地热流体的年龄并没有XN01号孔年代久远。XN05和XN07号孔,H³的含量为4.04和7.00,由于该两孔裂隙较发育,特别是XN07号孔,地热流体为经过长时间径流的地热流体与新近的地表水和裂隙水的混合体。

3.3 补给高程推断

根据上述判断,温泉地热田的补给区和排泄区的高差为280~480 m。纵观区域地质环境,可见北部为白垩—第三系堆积的断陷盆地,其西部及西南部为志留系—三叠系地层组成的褶皱山地,其南东为大磨山背斜,其北西翼有震旦、寒武、奥陶系等地层组成,在北西翼岩石出露的高程为500 m左右,推测为地热田的补给来源。根据区域资料(图2),大磨山背斜是区内的主体褶皱,在其两翼发育一系列的紧密型线形褶皱,背斜向北西翼倒转,与潜山背斜相距约8 km,中间以志留系地层为主,组成向斜,在大磨山与潜山之间形成一个规模较大的不对称的“U”形箱状构造,十分有利于降水的深部运移和地热流体的形成,在大磨山背斜的北西翼出露的震旦、寒武、奥陶系地层,主要由灰岩、白云质灰岩或灰质白云岩、白云岩等碳酸盐岩组成,岩石裸露,地表岩溶发育,利于地表降水的入渗补给,并且受构造的控制,与地热区的岩溶系统具有水力联系,也为地下水的深部运移提供了通道,在北西翼岩石出

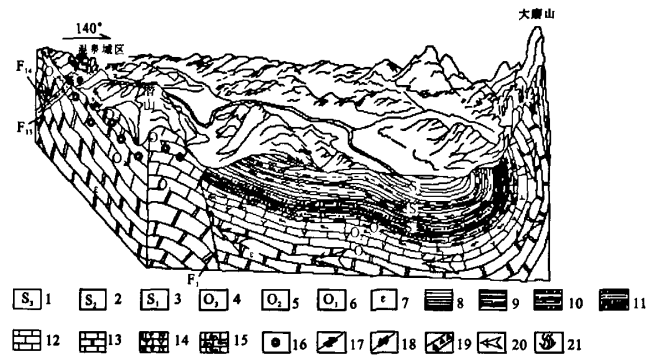


图2 咸宁市温泉地热田成因机制模型推断图

Fig.2 Model inferred map of genetic mechanism Xianning geothermal field

1. 志留系上统;2. 志留系中统;3. 志留系下统;4. 奥陶系上统;5. 奥陶系中统;6. 奥陶系下统;7. 寒武系;8. 页岩;9. 粉砂质泥岩;10. 泥质粉砂岩;11. 砂岩;12. 灰岩;13. 白云质灰岩;14. 龟裂纹灰岩;15. 泥质瘤状灰岩;16. 硅化;17. 压性断裂;18. 张性断裂;19. 断裂破碎带;20. 地下热水运动方向;21. 温泉。

露的高程为 500 m 左右,是地热区热泉水出露高程的 20 倍左右,这样天然的水头差为地下水的深部循环创造了条件,因此大磨山背斜北西翼出露的震旦、寒武、奥陶系地层为温泉地热田地热流体的补给源,验证了同位素高程效应推断的准确性。

4 结论

通过以上分析可以得到以下结论:

(1) 潜山南东侧一带地热流体应该为 1954 年以前入渗的大气降水经过长时间径流循环至此的地热流体,即:本区地热流体从补给至排泄经历了 50 年以上或更长时间的径流,这一时间代表了地热区地热流体的径流时间。在表层盖层较薄和裂隙发育地段,有近期地表水和裂隙水的混入。

(2) 月亮湾一带应该为 1954 年以前入渗的大气降水经过长时间径流循环至此的地热流体和新近地表水和裂隙水相混合的结果,他们的混合过程推断有以下几方面:

① 新近的“循环水”(裂隙水、上层滞水、地表水等)沿井壁进入地热流体井(孔);

② 大量开采地热流体后,局部形成较大的地下水位降落漏斗,而使上部或周围的“循环水”沿漏斗中心渗入水热系统;

③ 当泉水溢出时,由于水流上升过程中产生的压力差而造成热泉水周围的冷水(循环水)顺流混入。

(3) 区内地热流体的主要来源为大气降水,且为高山降水补给,温泉地热田的补给高程效应应该在 500 m 左右,纵观区域地质环境,可见北部为第三系—白垩系堆积的断陷盆地,其西部及西南部为志留系—三叠系地层组成的褶皱山地,这些地区都不可能构成地热流体的补给源地,其南东为大磨山背斜,北西翼由震旦、寒武、奥陶系等地层组成,岩石出露高程为 500 m 左右,推断为地热田的补给来源,验证了同位素高程效应推断的准确性。

参考文献:

- [1] 谢春波. 湖北省咸宁市温泉地热区初勘阶段水文地质勘查报告[R]. 荆州:湖北省水文地质大队,1984.
[2] 陈金国. 湖北省咸宁市温泉地热田详查地质报告[R]. 武汉:湖北省地质环境总站,2005.

The Application of Isotope Geochemistry in Xianning Geothermal Field, Hubei Province

CHEN Jinguo^{1,2}, GUI Chengxin², LIU Changxian²

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430070; 2. Hubei Geological Environment Station, Wuhan, Hubei 430051)

Abstract: In geothermal exploration and study, the authors measure the age of geothermal fluid, calculate the temperature of deep geothermal reservoir, identify the source of material components and the causes of the geothermal fluid by isotope geochemistry. It gets a satisfactory result. The authors determine recharge source and high recharge altitude of thermal fluid in geothermal fields, using test results of early exploration stage of isotope D、O¹⁸、H³ in 1983 and detailed investigation stages in 2004.

Key words: geothermal field; isotope; thermal fluid