

中国地下热水成因的研究进展

曹入文 刘宇(中国地质大学(北京)水资源与环境学院,北京 100083)

摘要: 地热是一种清洁能源,要想开发利用地热能,首要的是查明地热成因,常见的方法有水化学分析、同位素分析、气体分析、地质构造分析等。本文对这些分析方法进行整理,从而得到一种适用于中国大多数地热区地热成因调查的综合方法,并展望地热成因的未来发展。

关键词: 中国; 地热; 成因; 同位素; 水化学

中图分类号: F403.7; P314.1 文献标志码: B 文章编号: 1008-0155(2019)13-0012-02

DOI:10.13487/j.cnki.imce.014312

我国的地热资源比较丰富,全国已发现的自然温泉和钻孔、矿井揭露的地下热水活动区有2500多处,从分布上看,地中海-喜马拉雅地热带和环太平洋地热带贯穿中国西南地区 and 东南沿海。高温地热带分布主要集中在两个地区^[1]:一是藏南-川西-滇西地区;二是台湾地区。其中,藏南-川西-滇西地热带为全球性的地中海-喜马拉雅地热带的东支。台湾地热带位于太平洋板块与欧亚板块的边界,为西太平洋岛弧型地热亚带的一部分。

地热能作为清洁能源,具有良好的应用前景。而对于一个特定地区,若想开发地热能,首先要做的就是查明地热的成因。因此,本文着重介绍目前常用的成因分析方法,进而为地热的开发利用提供理论参考。

1 成因分析方法

70年代以来,在李四光的倡导下,国家和地勘单位开始重视对地热能的开发利用,地热工作获得迅速发展。到1994年8月召开第四次“全国地热学术讨论会议”时,我国地热资源的理论研究与开发技术均取得较大突破。中国科学院、北京大学、天津大学等高校和研究院相继成立了专门的地热研究机构或地热培训中心,经过这些机构对地热理论的不完善,最终形成了较为完整的地热理论系统。在近几十年,中国的地质工作者开展了涵盖“源、通、储、盖”的地热田成因综合分析理论研究,大致形成了地质构造分析、水化学分析、同位素分析、气体分析等几种理论。

1.1 地质构造分析

对于沉积盆地,地下热水呈层状分布,构成热储层,其厚度和范围与地层的展布基本一致。马振民^[2]通过分析菏泽地热田的地质构造得出:菏泽地热田基本沿菏泽凸起构造呈层状分布。有一个总厚度达1174m~1231m的盖层;热储层是中奥陶世马家沟组的石灰岩、白云岩,热储温度53.3℃~55.7℃。整个地热含水层是一个半封闭系统。地下热水在深循环的过程中,被位于其西

边的聊断裂阻挡,在定陶、曹县等地区出露。

而在隆起山区,地下热水常沿断层线呈带状分布,天然条件下又以温泉的形式出露于地表。形成模式:大气降水入渗→地下水经历深循环获得大地热流加热→上升至地表以温泉形式出露。何永金^[3]发现福建温泉沿断层呈线性分布,同时温泉成因很大程度上是由断层的规模和性质控制:①在地下热水的深循环中,使热流汇集在循环部位;②断层为地下水的深循环提供了构造条件,使地下水在深循环过程中通过水岩热交换,将深部热能带上来形成温泉。

1.2 水化学分析

对于一个地热区,可以根据所采水样做出piper三线图,根据Giggenbach^[4]的理论,水被分成4种类型:①成熟水(富集 Cl^-);②蒸汽水(富集 SO_2-4);③外围水(富集 HCO_3)和④火山水(富集 Cl^- 和 SO_2-4)。若该处多个水样点都位于piper三线图的 HCO_3-3 端元,则属于外围水,表明出漏的温泉水是由地表水下渗到深部花岗岩体中,溶解来自深部的 CO_2 形成含 HCO_3 的弱酸性溶液,进一步溶解花岗岩中的钠长石,形成 $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型热液^[5]。

针对阳离子,可做出 $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{Mg}^{2+}$ 阳离子三线图。该图将水分为完全平衡、部分平衡和未成熟3种类型,可以较好地解释水的起源,反映水化学的平衡状况。高芳蕾^[6]做出该图后发现,海南省温泉都属于部分平衡和未成熟区域,说明地热水并非来自地球深部的高温地热环境,并且地热水有接受大气降水补给和冷水混入的可能。

地热水的水化学特性也可以表明地下热水的运动途径,吕金波^[7]发现,从北京北部的上汤1号井,经过中部的汤7井,再到南部的汤36井, SO_2-4 质量浓度有规律地增加,说明京北地热田的热水从北向南流动,在流动过程中逐渐溶解不同热储层中的石膏透镜体,从而导致 SO_2-4 质量浓度的增加,其水化学特征可与城区热水很好地衔接。

收稿日期:2019-06-21

作者简介:曹入文(1995-),男,中国地质大学(北京)硕士研究生在读。

1.3 同位素分析

多数地热水来源于大气降水,在分析地热水起源时,应首先考虑其和大气降水之间的影响。氢氧稳定同位素是水分子的直接组成部分,在地下水循环的每一阶段,水中的氢氧稳定同位素受分馏、蒸发以及混合作用的影响,有不同的演化规律和成分特征。所以,氢氧稳定同位素是了解地下水起源和演化历史的良好示踪剂。根据降水水样,分析出当地的大气降水线,再把地下热水样品的 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 投到关系图中。若采样点数据基本落在大气降水线上,则反映了热水来源于大气降水^[8]。若出现氧漂移($\delta^{18}\text{O}$ 含量大于大气降水的含量),则说明是该地热水经过了高温热储。

同位素还可以判定地下热水补给高程。有两种方法,一种是利用 $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ 图中的雨水直线和泉水直线的交点计算高程^[9],另外一种是直接利用 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的高程效应,联系当地的 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 与高程H的关系图,判断补给高程。但由于地热水经历了与其他来源水的混合,直接利用高程效应不准确。

测量地下热水年龄,使用比较广泛的是 ^3H 和 ^{14}C 这样的放射性同位素测年,它们的半衰期分别是12.32年和5570年。 ^3H 法一般只能测量50年以内的水。 ^{14}C 可测量500~5000年的水,但必须弄清无机碳的成因,并对其进行校正。

1.4 气体分析

氦同位素 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值是揭示气体物质来源最可靠的参数之一,幔源、壳源和空气来源的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值分别为 $(1.1\sim 1.4)\times 10^{-5}$ 、 2×10^{-8} 、 1.4×10^{-6} (Ra)。高芳蕾^[4]根据海南温泉逸出气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值大大低于幔源值和空气值,十分接近壳源值,判断其属于正常的断层气体活动,而地热水来源于地壳浅部。

中国温泉气体中,基本以 CO_2 或 N_2 为主,以 N_2 为主的温泉气多分布在有利于大气降水循环的地区,由于地下水中大气降水补给充足,大气中的氮和氧被不断带入地下,氧易与其他物质发生氧化反应而消耗掉,氮则相对富集,赋存在地下水或地层孔隙中,后又伴随泉水返出地表^[10]。

2 总结及展望

查明地下热水成因首要的就是分析地质构造,从整体来看,我国高温温泉主要分布板块以及亚板块的交接处,以横断山脉和青藏高原最为集中,这些地区构造运动频繁,各时期形成的断裂带广泛发育,部分断层形成了地下水的导水通道。大气降水渗入地下深处并经历深循环加热后,顺活动断层流出地表便形成了温泉。而在远离板块边界的板内地区,会形成中低温地热系统,出露温泉较少。水化学分析着重放在 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 七种离子上,制作

piper 三线图和 $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{Mg}^{2+}$ 阳离子三线图,再结合当地岩层分布情况,就可以基本判断出地下热水的成因类型。而同位素方面,最重要的就是氢氧同位素,可以判断出补给给地下热水的区域、年龄和混合比。中国的地热水最主要来源是大气降水补给,深层地质水很少。对地下水成因的探究其实就是找到地下热水的补径排及热储层位置。

未来,中国地热研究将围绕大型中高温地热田的研究和开发而展开,我国北部区域有储量巨大且分布广泛的热储层,虽然现在的开发程度较低,但地热供暖对于降低北方煤炭消耗、保护环境有重要意义。我国西南地区有丰富的高温地热资源,但勘探开发成本一直较高,需要新的理论技术指导。另一方面,海洋地热能资源不亚于陆地。中国有1.8万千米海岸线,并且与环太平洋地带相接,也是将来开发的一个重点。

参考文献:

- [1]陈墨香,汪集旸.中国地热资源——形成特点和潜力评估[M].北京:科学出版社,1994.
 - [2]马振民,等.菏泽凸起地下热水的水文地球化学特征及成因分析[J].山东地质,2000,(2):24-30.
 - [3]何永金,陈明光.福建温泉的特点及其热源、成因的探讨[J].福建地质,1999,(3):149-155.
 - [4]Giggenbach W F. Technique for the interpretation of water and analyses geothermal exploration[R]. Chemistry Division, Department of Scientific and Industrial Research, Petone, NZ. 1989.
 - [5]温煜华,等.甘肃武山地热田水化学与地热水起源[J].自然资源学报,2010,25(7):1186-1193.
 - [6]高芳蕾,等.海南岛温泉特征与地下热水成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2009,(2):281-287.
 - [7]吕金波,等.京北地区热水水文地球化学特征与地热系统的成因模式[J].地震地质,2006,(3):419-429.
 - [8]Craig H. Isotopic Variations in Meteoric Waters[J]. Science, 1961, 133(3465):1702-1703.
 - [9]杨彪.瑞丽热田水化学及同位素特征研究[J].中国煤炭地质,1999,(1):47-50.
 - [10]宋岩,戴金星.中国东部温泉气的组合类型及其成因初探[J].天然气地球科学,1991,(5):199-202.
- (责任编辑:陈凌霄)

(上接第4页)

参考文献:

- [1]MT/T752-1997. 煤的甲烷吸附量测定方法(高压容量法)[S].
 - [2]于不凡. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册(修订版)[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005.
 - [3]常未斌. 煤的瓦斯放散性实验研究[D]. 北京:煤炭科学研究总院,2013.
 - [4]AQ1080-2009. 煤的瓦斯放散初速度指标(Δp)测定方法[S].
- (责任编辑:陈凌霄)