

河间地区的地热资源特征及其开发利用中的问题

王 钧 周家平*

(中国科学院地质研究所)

提 要 “七五”期间,河北省河间县作为农村能源综合建设试点县之一,其地热资源丰富,是农村能源的重要组成部分。本文通过对河间地区的地质构造、地温分布、热储特征的调查,对地热水量、温度、压力、化学成分和同位素组分的监测和测定,对该地区的地热资源进行了评价,并研究了地热水利用对环境的影响。

关键词 地热资源 利用 环境

一 河间地区的区域地热地质条件

河间地区位于饶阳凹陷中部及沧县隆起西部的文安斜坡区(图1),区内主要构造是南马庄断裂带及其两侧的凹陷和隆起区(古潜山)。钻孔揭露的主要地层为:中、新生界的第四系、第三系的砂岩、泥岩,其厚度为1000~3000m;古生界和中上元中界的石炭—二叠系、寒武—奥陶系、蓟县系砂岩、灰岩及白云岩等,其中古生界地层厚度为310~2600m,中、上元古界为10~651m。基底构造多以北北东及近南北向为主。南马庄断裂带是区主要的控制构造,在区内南北延伸近40km。其东侧基底埋深为1000~2000m,西侧多在2000~3000m以上。

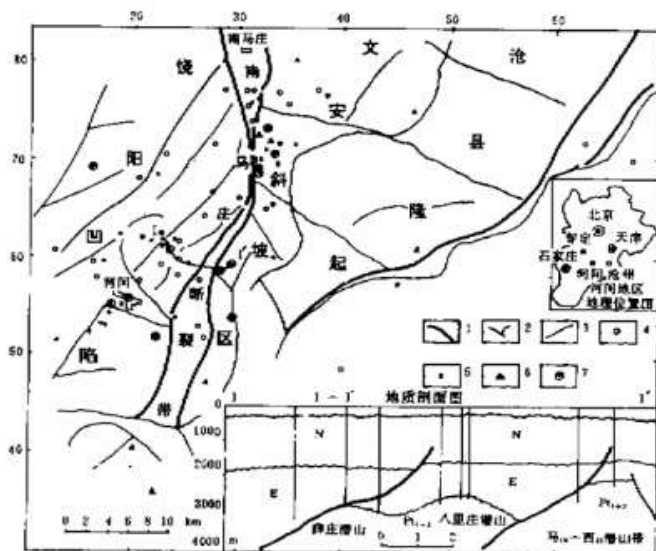
上述构造控制了区域地温的分布。通过对区内深1000~4700m的40余口钻孔测温数据的分析表明,区内有一近南北向的条,此带东西两侧地温分布各异,此带反映了潜伏的南马庄断裂带。东侧1000~2000m深地温分别为50~60℃和85~95℃,地温梯度为3.5~5.0℃/100m,并向东逐渐降低,直至大城凸起则又有抬升;西侧1000~2000m深地温和地温梯度分别为40~50℃,75~85℃及3.25~3.8℃/100m。证明靠近断裂带的隆起部分是高地温及高梯度的分布区,凹陷中的凸起部位亦有类似反映。

地温及其梯度随深度的变化亦较明显。在中、新生界盖层中地温呈直线增长,隆起区大于凹陷区;其梯度多在3.5~5.0℃/100m,且随深度而减小。当进入基底,由于岩石性质和热水的活动,地温梯度一般在2.0~2.8℃/100m。

据实测的钻孔温度和岩石热导率,计算了10个热流值,其范围为41~75mW/m²,平均61.2mW/m²。与世界平均值63mW/m²接近,证明本区为正常传导热流区,其热源主要来自地壳深处;只有在潜山的顶部由于岩石的性质和局部的热水对流才形成热异常

*参加本项工作的尚有:中国科学院地质所的陈墨香、邓孝、汪集彪、汪集安、熊亮萍、沈显杰、杨淑贞、张文仁、刘捷;河间县新能源办公室张正开、牛焕明、杜占芬

区: 此外未发现与岩浆活动有关的或由其他因素形成的附加热源存在。因此, 区内分布的主要是中、低温 ($<150^{\circ}\text{C}$) 的地热资源。



1 主要断裂 2 次级断裂 3 剖面线 4 石油钻孔 5 测温钻孔 6 热流孔 7 热水孔; 地层: Q 第四系 N 上第三系(明化镇组-馆陶组) Pt_{1-2} 中、上元古界(雾迷组)

图1 河间地区基底构造框架及地质剖面图

二、河间地区地热资源的特征

研究区有二个主要热储层: (1) 上第三系明化镇组、馆陶组砂岩孔隙热储; (2) 古生界、中、上元古界奥陶系、寒武系及蓟县系的碳酸盐岩洞缝热储。下第三系的热储因矿化度高难以利用, 而不予讨论。

上第三系明化镇组、馆陶组热储分别埋深在 800~1000m 及 1000~2000m, 其平均厚度分别为 260~400m 及 70~75m; 热储层由细砂岩、中砂岩等组成, 其孔隙度均为 25%。

古生界、中、上元古界洞缝热储主要由奥陶系灰岩和蓟县系雾迷山组白云岩、灰质白云岩所组成; 它具有脉状水流性质, 含水不均一, 在区内埋深 1500~2000m 以上, 揭露的岩层厚度为 347~613m, 其中洞缝热储层为 93~156.8m; 孔隙度奥陶系灰岩为 3%, 雾迷山组白云岩为 4% 及 7%。

地下热水的化学成分: 上第三系明化镇组及馆陶组为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 、 $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ 及 $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$ 型, 其矿化度 0.5~3.5g/L; 深部基底潜山洞缝热储则多为 Cl-Na 或 $\text{Cl-(SO}_4\text{, HCO}_3\text{)-Na}$ 型, 其矿度多在 5~7g/L。水的化学成分具有从浅到深由 HCO_3 型向氯化物型过渡, 矿化度由低到高的变化特点。这表明浅部上第三系热水补给径流条件较好, 而基底较差。对热氢氧同位素的研究也表明与上述规律一致的特点。经测定区内热水

是补给微弱的古埋藏水。对区内热水井的多年动态监测表明: 近几年热水动态变化较为稳定; 但开采期间对长观热水井尚有一定影响; 证明基底潜山热储的连通较好。短期开采动

是补给微弱的古埋藏水。对区内热水井的多年动态监测表明:近几年热水动态变化较为稳定;但开采期间对长观热水井尚有一定影响;证明基底潜山热储的连通较好。短期开采动态监测给出了马₁₆井的水量为 $100 \sim 110 \text{ m}^3/\text{h}$, 水温为 $106 \sim 108^\circ\text{C}$, 压力为 $2.43 \times 10^5 \sim 2.64 \times 10^5 \text{ Pa}$ ($2.4 \sim 2.6 \text{ atm}$)。

基于上述,对河间地区 480 km^2 范围内的上第三系热储及埋深小于 $3000 \sim 3500 \text{ m}$ 的基底潜山热储分别计算了其可及地热资源和可采资源。上第三系的可及地热资源(Q_R)的计算公式为:

$$Q_R = A \cdot (H_1 \varphi_1 + H_2 \varphi_2) \cdot (T - T_0) \cdot C \cdot \rho \quad (1)$$

式中 A —面积; H_1 、 H_2 分别为砂岩和泥岩的厚度(m); φ_1 、 φ_2 分别为砂岩和泥岩的孔隙度; T 、 T_0 分别为热储层和参考温度(当地的多年平均气温 $^\circ\text{C}$); C 、 ρ 是热水的比热和密度(均为1)。

古生界及中、上元古界的可及地热源按下式计算:

$$Q_V = V \cdot e \cdot \varphi \cdot (T - T_0) \cdot C \cdot \rho \quad (2)$$

式中 V 为潜山体积(km^3); e 为储集层系数(为裂隙含水岩层厚度与该层总厚度之比%); φ 为孔隙度,其符号同前。上述各项参数均由钻孔剖面和野外或室内实测给出。

按(1)、(2)式分别计得上第三系热储和潜山热储的可及地热资源为: $130 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $3.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

上第三系的可采资源(Q_{WH})是按照“最大允许降法”进行估算的(Mantshall, 1983)。它是在给定开采期限(P_{20} 年)、最大降深(150 m)及恒定流量($Q = 10 \text{ L/s}$)的情况下,按下式计算:

$$Q_{WH} = N \cdot Q \cdot P \cdot (T - T_0) \cdot \rho \cdot C \quad (3)$$

式中 Q 、 P 均已给出, P 、 C 符号同前, N 为井数。 N 通过概念储水模型的单井常流量抽水时主要含水层中压力降 S_0-S 抽水时间及离抽水中心距离的表达式: $S_0 = \frac{Q}{4\pi T} H(\omega \cdot \beta) \cdot (\text{Hantush } 1963)$ 及对井群抽水干扰情况下,求流量与降深的相互关系,用计算机解出单位降深时井的流量与井距的关系,求出给定条件下井的间距和井数。由此按(3)式求得上第三系的可采资源为 $1.168 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

潜山热储按回采系数为 0.25 计得其可采资源为(Q_{WH}) $0.39 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。它们的可采热量按下式计算:

$$q = Q_{WH} \cdot (T - T_0) \times 41.87 \quad (4)$$

按(4)计得上第三系及潜山热储的可采热量分别为 $161.95 \times 10^{18} \text{ J}$ 和 $156.9 \times 10^{18} \text{ J}$ 。

由此可见,区内地热资源是比较丰富的,但补给微弱、资源有限,开发利用应注意开源节流、充分利用保护资源,以延长利用的寿命。

三 地热利用中的环境问题

我国对地热利用中出现的环境污染问题研究较少,有关论述亦不多见;为评价地热利

用对环境的影响,我们在河间地区结合地热资源特征的研究,开展了这项研究工作,以期引起有关方面的注意。

华北许多地热利用区的地下水含盐量均较高, F' 含量超过允许标准,并含有少量其它有害的微量元素。河间地区具有很大的代表性。在对地热利用区及其邻区进行的水文地质、土壤调查及水土成分的分析化验(表1)发现有如下几个特点:(1)其表层(0~5cm)土壤的含盐量均较周围地区(如东₁、北₁、南₄、南₃)的土壤含盐量的背景值(1~2%)高,达2~3%;(2)土壤化学成分与地下热水相同,含 SO_4 离子较多,与周围土壤的 $HCO_3-Ca-Na$ 型成为明显的对照;(3)土壤剖面中粘性土积盐较砂性土多,且含 F' 量较高。这些都表明,地热水对利用区及其附近地区的土壤的盐分迁移,富集有明显的影响,利用区由于地热水的渗入使潜水面埋深多小于1.5m,较周围地区高出0.5~1.0m,形成一个潜水面凸起,向四周散流,结果导致了利用区 $0.2 \sim 0.4 km^2$ 的土地发生次生盐渍化。

在马₁₆井若按每日开井12小时,其日流量为 $1200 m^3$,热水含盐量以 $6.49 g/L$ 计,在每年七个月的利用期间,地热水带出的盐分可达1600余吨。这些盐分及所含的 F' 、As 等元素多被土壤吸附,它们对周围的环境及生态将带来严重的影响。

解决地热利用中的环境影响问题,是当前开发利用地热资源的关键之一。为此,在地热场曾进行生物除盐降 F' 的试验(天津大学),其结果为在水温 $30^\circ C$ 含盐 $< 1 g/L$, F' 含量 $7.2 mg/L$ 的热水中种植凤眼莲,其降 F' 达60%;种植芦苇的降 F' 率为56.64%,脱盐率为10%;但两者在冬季均不适宜。因而考虑土壤成分中粘土对 F' 的吸附作用将两者结合起来,以改善水质的状况以达灌溉水的标准。再者在本研究区北邻任丘及北京等地,都曾为增加水源、防止污染而进行过回灌试验,并取得了许多经验;因国外已把回灌作为防止污染的重要措施(法国),并取得了良好的效果。河间地区钻孔密,且多在500~800m间,都打到了同一热储层,具有进行回灌试验的条件。

鉴于上述情况,特提出二项建议:(1)开展回灌试验,将用过的地热水回灌到地下热储中去,它既可防止污染、补充资源,又可保持地层压力,但需适量投资和一定的工程量。(2)因地制宜,利用当地的低洼坑塘和粘土,种植芦苇和水浮莲(夏季)等植物,利用粘土吸附和生物去盐降 F' 的作用,进行水质改良,以达到灌溉水质的标准。

四 结 论

1.河间地区埋藏有二个热储层:分别为上第三系砂岩孔隙热储和古生界及中、上元古界基底洞缝热储。前者埋藏浅,遍布全区,水质较好,温度偏低,后者分布于潜山区,埋藏深、水质较差、温度较高。

2.通过水化学成分、氢氧同位素的研究及 ^{14}C 的年龄测定,它们多为1~2.5万年的古大气降水渗入补给的古埋藏水,现代补给微弱。

3.初步计算其可及资源:上第三系为 $130 \times 10^9 m^3$,古潜山热储为 $1.57 \times 10^9 m^3$;可采资源及其所含热量:上第三系为 $1.168 \times 10^9 m^3$,热量 $161.95 \times 10^{18} J$;古潜山为 $0.39 \times 10^9 m^3$,所含热量为 $156.91 \times 10^{18} J$ 。

4.河间地区地热资源丰富,但不是取之不尽用之不竭的,是有限的。因此在开发利用地热资源中,要注意开源节流、充分合理的利用资源,保护资源、以延长其使用的期限。

5.为了更好的利用地热资源,必须继续加强地下热水动态的监测工作,随时掌握地下热水动态的变化规律,为制订合理的开采制度提供科学依据。

6.鉴于地下热水含有较高的盐分和其它有害成分,在开发利用中要注意用后热水的排放对周围环境的影响;必须结合利用区的具体情况,研究和制定防止热水污染环境的措施,只有这样才能充分发挥地热资源的潜力,产生更大的经济效益。

参 考 文 献

- [1]王钧、黄尚瑶、黄歌山、汪集旻:华北中新世沉积盆地的地温分布及地热资源《地质学报》1983, No 3。
- [2]王钧、黄尚瑶、黄歌山、汪集旻:《中国地温分布的基本特征》地震出版社, 1990。
- [3]王钧等:华北盆地的地热资源及其开发利用远景地热专辑(2) 地质出版社, 1989。
- [4]陈墨香主编:《华北地热》 科学出版社, 1989。
- [5]谢家声:冀中拗陷地热资源初步研究《全国地热学术会议论文选》 科学出版社, 1981。
- [6]J. Vairel(法)范仲等译:从法国地热能开发论述低焓地热田的利用《国家地热能译文》 天津大学, 1979。
- [7]Harshall, J. R., editor, 1983 Assessment of Low- temperature geothermal resources of the United States-1982 Geological Survey Circular 892
- [8]Hanstush, M.S., 1960 modification of the theory of leaky aquifers, Jour. sci. Vol. 269. P489-493.

Geothermal Resources Characteristic and Utilizing Problem in Hejian County

Wang Jun Zhou Jiaping

(Geology Institut of Academy Senica)

Abstract

The article evaluated the geothermal resources of Hejian County and studied the environmental effects of utilizing geothermal water by means of surveying the geological structure; distribution and reserving characteristics of terrestrial heat; and by means of measuring and inspecting the flow, temperature, pressure, the chemical and isotope compositions of geothermal water.

Key words Geothermal Resources Utilizing Environmental