地 球 学 报
第 21 卷 第 2 期 ACTA GEOSCIENTIA SINICA Vol. 21 No. 2
2 0 0 0 年 5 月 Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences May 2 0 0 0

地下水循环对围岩温度场的影响及地热资源形成分析*

——以平顶山矿区为例

张发旺 王贵玲 侯新伟 李建华 李玉静
(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北正定) (河北省地质学会,石家庄)

摘 要 地下水循环方式的不同对围岩温度场产生的影响有很大差异。当低温地下水向下运动时,将引起围岩温度降低,出现低温异常,从而阻碍地热资源的形成;当深循环的地下水在循环过程中被岩温加热,并在一定地质条件下向上循环时,将引起流经围岩的局部温度升高,在浅部形成局部地热异常,进而促进地热资源的形成。因此,地下水循环对围岩温度场的影响在一定程度上决定着地热资源的形成。本文在研究地下水循环对围岩温度场的影响基础上,利用地球化学地热温标和同位素方法对平顶山矿区地热资源的形成进行了分析,预测了该区地温场温度分布。

关键词 地下水循环 围岩温度场 地热资源 平顶山矿区

地下水是最活跃的地质因素,在地壳浅部分布广泛,且热容量大。由于地质条件的差异,地下水在地壳浅部的循环方式有所不同,地下水循环方式的不同对围岩温度场产生的影响就有很大差异[1]。实际情况表明,当低温地下水向下运动时,将引起围岩温度降低,出现低温异常,从而阻碍地热资源的形成;当深循环的地下水在循环过程中被岩温加热,并在一定地质条件下向上循环时,将引起流过围岩的局部温度升高,在浅部形成局部地热异常,进而促进地热资源的形成[2]。因此,地下水循环对围岩温度场的影响在一定程度上决定着地热资源的形成。

1 地下水循环对围岩温度场的影响

地下水循环有浅循环和深循环,有大循环和小循环。但归结到地下水的运动方向则表现为地下水的垂直运动和水平运动。研究表明,地下水的垂直运动对围岩温度场的影响比水平运动要大的多。例如,在没有地下水活动的区域内,围岩温度场受控于传导作用的影响,围岩温度随深度的变化是一条直线(图 1 中的 1 线),围岩温度随水平方向的变化一般是等温面或近似等温面;而在有地下水运动的区域内,围岩温度场则同时受传导和对流两种作用控制,因此,当地下水沿采动裂隙或原岩裂隙向上或向下垂直运动时,围岩温度的垂直分布由直线变为曲线。如果地下水向上运动,则温度曲线呈向上弯曲(图 1 中的 3 线);如果地下水向下运动,则温度曲线呈向下弯曲(图 1 中的 2 线)。地下水流速越大,温度曲线的弯曲

* 国家自然科学基金"典型矿区地下水环境演化及对矿业城市发展影响预测研究"和国土资源部科技项目"典型矿业城镇地质生态脆弱性特征与调控"资助成果

万方数据

第一作者:张发旺,男,1966 年生,中国地质大学(北京)在读博士,研究员,从事环境地质研究,邮编:050803

率就越大。地下水沿围岩水平运动时,由于地下水是沿等温面运动,因而对围岩温度场的影响不如地下水沿垂直方向运动时明显。

地下水循环状况的不同还会引起地温场中地温梯度的变化。研究认为,普遍存在着低或高地温梯度时的地温分布特点,往往是由于全区性地下水强烈循环的结果。当地下水垂直向上运动时,由于对流传热与传导传热方向一致而使其影响范围内的地温梯度可以比没有对流时显著增加,有时高达正常值的几倍或几十倍,因而促进了地热资源的形成;当地下水垂直向下运动时,则由于对流传热与传导传热方向相反而使地温梯度值远小于正常值,甚至为零,从而阻碍地热资源的形成。地下水活动区内地温梯度的变化特点是:地下水活动区本身地温梯度表现为降低,在侧向径流和低温下行水流活动区的下方和高温上行水流活动区的上方,地温梯度表现为在一定范围内有所增加[3]。当地下水垂直运动时,地下水垂直运动段内地温梯度随深度而改变的规律是:当地下水向下运动时,地温梯度自上而下逐渐增大;地下水向上运动时,地温梯度自下而上逐渐增大。也就是说,地下水向上循环则有利于地热资源的形成,地下水向下循环则阻碍地热资源的形成。

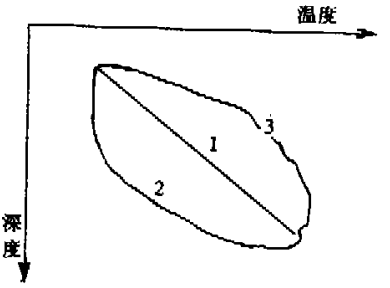

图 1　围岩内温度垂直分布特征示意图

Fig. 1　The diagram of vertical temperature distribution features in wall rock

1 – 无水运动;2 – 地下水垂直向下;3 – 地下水垂直向上

为了更清楚地说明上述结论,现引用康永华、许生阳等 1996 年的研究成果[4]进行进一步概括:地下水循环对地温场的影响可由图 2 看出,图中的实线是未受地下水运动影响时的地温分布;虚线是在含有不同情况下的地下水活动时的地温分布;箭头表示地下水径流的方向,箭头所在位置为地下水活动区。图 2 – a 是未受地下水活动影响时的正常地温场及地温梯度。这种情况下的地温梯度(℃/100m,以下同)为常数,分别为 t_1 和 t_2,地温分布为分段直线;图 2 – b 为有侧向低温地下水径流活动时的地温场,在地下水活动区内,地温梯度小于正常值,即小于 t_1,且不为常数,地温分布为曲线,而在地下水活动区的下方,地温梯度则大于正常值,即大于 t_2,地温分布仍为直线;图 2 – c 和图 2 – d 分别为有相对低温下行水循环和有较高温度的上行水循环时的地温场,在地下水循环区内,地温梯度都小于正常值,即分别为小于 t_1(当有下行水循环时)和小于 t_2(当有上行水循环时);而在地下水循环的前方(分别为下方和上方),则地温梯度全都大于正常值,即

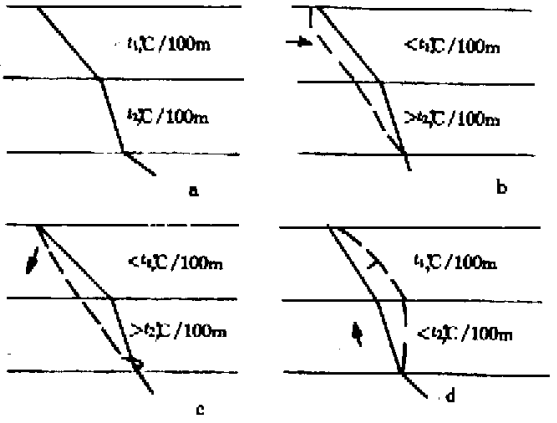

图 2　地下水运动对地温场影响示意图

Fig. 2　The effects on wall-rock temperature field by groundwater circulation

万方数据

分别大于 t_1 和大于 t_2。

此外，地下水的存在还将引起岩石含水量的明显变化。而含水岩石的导热系数、比热及导温系数都将明显增加，其结果使得围岩的热惯性加大，温度变化的速度减缓，温度场的稳定性增加。

2 平顶山八矿温度场异常、地下热水循环深度及年龄分析

2.1 温度场异常分析

平顶山矿区位于河南省西部平顶山市的北侧，自西向东分布有十一矿、五矿、九矿、七矿、六矿、四矿、三矿、二矿、一矿、十矿、十二矿及八矿等生产矿井。八矿是平顶山矿区开采的深部边界，其深度至李口集向斜轴部，标高为 −1300～−1400m。八矿地表标高为 +100 m，地下水位为 −430 m，即埋深(H)为 530 m，水温($t_{热}$)为 47 ℃。已知矿区常温带深度(h)为 25 m，常温带温度(t)为 17 ℃。利用下式计算地温梯度[4]：

$$K=(t_{热}-t)/(H-h)=(47-17)/(530-25)=6\ ℃/100\ m$$

这个结果比平顶山矿区常规下的地温梯度 3.5 ℃/100 m 要大得多。根据这一情况，我们对地热异常进行了分析，认为该地热异常与地下水循环有关，而且根据水循环对围岩温度场的影响规律，可以确定是高温热水上行循环的结果。

2.2 地下热水的循环深度分析

根据八矿地下热水富含 SiO_2 这一特点，我们采用 SiO_2 温标计算相应的热储温度。该地热温标的理论依据是 SiO_2 的溶解度随温度不同而急剧变化，温度升高后云英石、玉髓和石英被溶解，适用于中性到酸性热水系统。计算公式如下：

$$t_{热}=1315/(5.205-\log SiO_2)-273.15$$

式中：$t_{热}$——热储温度/℃；$\rho(SiO_2)$——可溶二氧化硅质量浓度/$mg\cdot L^{-1}$

然后再根据计算出的热储温度去求其埋藏深度。计算公式为：

$$H=h+(t_{热}-t)/K$$

式中：H——热储深度/m；h——常温带深度/m；$t_{热}$——热储温度/℃；t——常温带温度/℃；K——地热梯度/℃/100 m

已知平顶山矿区常温带深度(h)为 25 m，常温带温度(t)为 17 ℃，地温梯度(K)为 3.5 ℃/100 m，计算结果如表 1 所示。

表 1 八矿地下热水循环深度表

Table 1 The depth of geothermal groundwater circulation in 8 mining field

水样点		$\rho(SiO_2)$/$mg\cdot L^{-1}$	地下热储	
位置	标高/m		温度/℃	埋深/m
八矿一采区	−275	20.80	65.77	1412.7
八矿一采区	−318	20.80	65.77	1412.7
八矿一采区	−430	20.80	65.77	1412.7
八矿三采区	−307	24.00	71.54	1577.5
八矿三采区	−430	22.00	67.08	1450.1

万方数据

2.3　地下水年龄

关于八矿地下水年龄,我们专门在矿区采集了水化学和同位素样品 8 件,其氚值范围在 0.5～19.56 之间,利用全混合模型计算的地下水年龄结果为 100～500 a,活塞模型计算的地下水年龄大于 35 a,其中有一部分为 1953～1963 年补给的混合水。八矿岩溶水埋藏深度大,压力水头高。水质、水位均无明显的季节性变化,活塞模型的计算结果可能比全混合模型计算结果更好。根据国际原子能委员会的建议,可把全混合模型计算的结果作为年龄上限,把活塞模型计算的结果作为下限,年龄范围为 35～500 a,八矿地下热水的年龄大于 35 a,属于 1953 年以前补给的水。个别样品显示出有 1963 年以后水的补给或混合[5]。

3　平顶山矿区地热资源形成分析

八矿地下水的稳定同位素与十一矿、二矿及一矿等同样都带有明显的雨水信号,并且自西部的十一矿向东部的八矿重同位素依次变负。这种现象按照一般的解释会认为八矿比十一矿补给高程要高 500～900 m(每 100 m 的偏差值为 0.3‰～0.5‰),或者是两矿的年平均气温相差 3～5 ℃(每摄氏度的偏差值为 0.3‰～0.7‰),显然对平顶山矿区来说是难以满足这些条件的。同时,为四周坳陷所拱托的平顶山断块隆起,从地质构造条件上又排除了来自远源补给的可能[6]。通过对雨季与枯季雨水同位素及深层岩溶水同位素分析认为,八矿深层岩溶水更接近于受丰水期雨水补给的作用(可能还有丰水年的选择),即雨水效应,由选择性入渗补给所形成。从西部寒武系灰岩裸露区接受雨季强降水的入渗补给以后,在 −200 m 以下的深岩溶发育带循环,进入东部亚系统形成八矿的地下热水。八矿地下热水虽然具有 37～40℃ 的温度,但水中同位素 ^{18}O 并未产生明显漂移,这一事实也证明八矿地下热水不是来自地壳深部的热源,而仅仅是大气降水渗入后的深循环作用。

水中的氚值提供了其年龄为 35 a 以上,在矿区内从二矿运移到八矿约需 30 a 时间,平均每天的实际流速为 1.09 m。

SiO_2 温标计算结果,八矿地下水的循环深度为 1 400～1 500 m(相当于标高 −1 300～−1 400 m),这个深度与李口集向斜轴部灰岩最大深度基本吻合。

4　结　论

(1)地下水的垂直运动对围岩温度场的影响比水平运动要大的多。在没有地下水活动的区域内,围岩温度场受控于传导作用的影响,围岩温度随深度的变化是一条直线,围岩温度随水平方向的变化一般是等温面或近似等温面;而在有地下水运动的区域内,围岩温度场则同时受传导和对流两种作用控制。

(2)当地下水沿采动裂隙或原岩裂隙向上或向下垂直运动时,围岩温度的垂直分布由直线变为曲线。如果地下水向上运动,则温度曲线呈向上弯曲,如果地下水向下运动,则温度曲线呈向下弯曲。

(3)地下水流速越大,温度曲线的弯曲率就越大。地下水沿围岩水平运动时,由于地下水是沿等温面运动,因而对围岩温度场的影响不如地下水沿垂直方向运动时明显。

(4)平顶山矿区地热异常与地下水循环有关,根据水循环对围岩温度场的影响规律,可以确定是高温热水上行循环的结果。

万方数据

(5)八矿地下水的循环深度为 1 400～1 500 m(相当于标高 -1 300～-1 400 m),这个深度与李口集向斜轴部灰岩最大深度基本吻合。八矿深部岩溶地下水缺乏良好的补给来源,是大气降水缓慢的深循环,矿井疏干排水的绝大部分都是 1954 年以前的"老水",就是这些水形成了八矿的地下热水。

参 考 文 献

1 余桓昌,邓 孝.矿山地热与热害治理.北京:煤炭工业出版社,1991.
2 林瑞泰.热传导理论与方法.天津:天津大学出版社,1992.
3 刘高典.温度场的数值模拟.重庆:重庆大学出版社,1996.
4 康永华,许升阳.煤矿突水与围岩温度场.北京:煤炭工业出版社,1996.
5 张发旺,王贵玲,侯新伟.矿业开发对地质生态环境的影响及其调控.地球学报,1999,20(增刊),773～778.
6 石建省.中国脆弱地质生态类型及其结构特征表述原则.地球学报,1999,20(增刊),767～772.

An Analysis of the Formation of Geothermal Resources and the Effects of Groundwater Circulation on the Wall Rock Temperature Field ——Taking the Pingdingshan Mining Field as an Example

Zhang Fawang Wang Guiling Hou Xinwei
(*Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding, Hebei*)

Li Jianhua Li Yujing
(*Geology Society of Hebei Province, Shijiazhuang*)

Abstract Different ways of groundwater circulation exert different effects on wall-rock temperature field. When low-temperature groundwater moves downward, wall-rock temperature may drop and low-temperature anomalies may occur, which hinders the formation of geothermal resource. On the other hand, deep circulating groundwater heated by rock temperature moves upward under certain geological conditions, causing local temperature rising of wall rock and the formation of geothermal anomalies at shallow depth and promoting the formation of geothermal resources. Therefore, the formation of geothermal resources is to some extent determined by the effects of groundwater circulation on wall-rock temperature field. Based on research into effects of groundwater circulation on wall-rock temperature field, this paper analyzes the formation of geothermal resources in the Pingdingshan mining field, forecasts temperature distribution of the geotemperature field in the area by using geochemical geothermometer and isotope method. The research methods may have theoretical and practical significance in analyzing the formation of geothermal resources in other areas.

Key words groundwater circulation wall-rock temperature field geothermal resources Pingdingshan mining field

万方数据