

低温低压下水—岩反应动力学实验 中一些主要元素的变化规律

梁祥济 乔莉 王福生

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

主题词 动力学实验 水—岩反应 元素变化规律 低温低压

提要 作者根据北京小汤山一带热、矿泉水文地质特征,把90%的白云岩和10%的花岗岩作为试料,把二次蒸馏水作为反应溶液,将它们一起放在纯钛高压釜内,在50—200℃的温度和(200—500)×10⁵Pa的压力下进行水—岩反应动力学的实验。实验结果表明:水从岩石中萃取出的K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Al³⁺、HCO₃⁻、NO₃⁻、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、ΣFe和SiO₂等离子和氧化物的含量随着岩石的成分、温度、压力、水的pH值、岩石粒度、氧化—还原环境、时间和水的循环次数呈规律性变化。这些规律揭示了小汤山一带热、矿泉形成的机理。为热田的开发和人造温泉提供了理论上的依据。

低温低压下水—岩反应动力学的实验难度大,其一实验持续时间很长,其二物质成分变化很少,故需要高精度的分析和测试仪器配合鉴定才能完成。国际上Werner F. G, Yotaro S和Kacandes G. H^[1-3]等人结合湖泊的水和玄武岩相互反应等实验,取得了一些有价值的实验数据。国内有人做过类似的实验^[4],但温度和压力条件都比较高。我们结合北京小汤山一带的热、矿泉,在低温低压下系统地进行了水—岩反应动力学实验方面的尝试。

小汤山一带热、矿泉很多。现已建立温泉疗养院。这些地下热、矿水除了用于洗浴医疗外,还用于住房采暖、养鱼和地热温棚等,已取得了较好的经济效果。我们根据小汤山一带水文地质条件,通过50多次模拟实验,取得了良好的结果。现将实验资料整理出来,这不仅对于揭示这些热、矿泉形成机理有其科学价值,而且对于热田开发、人造温泉也具有重要的理论意义和应用价值。

1 实验的水文地质依据

小汤山地区大地构造单元位于中朝地台的燕山准地槽中靠近北京西山北部深大断裂带。区内出露的地层自下而上有雾迷山组硅质白云岩,铁岭组白云岩和寒武纪的灰岩。上覆岩层有第三纪紫红色砾岩、砂岩及页岩和第四纪堆积物。区内主要构造为大致向南倾的单斜构造。倾角20—70°。北东向的高丽营断裂和北西向的南口和孙河断裂通过本区。其中部分布

本文于1993年1月收到,1993年4月改回。

着北东向的小汤山断裂带, 它们是热、矿泉水来源的通道。在燕山运动中, 区内有花岗岩类岩石的侵入和安山岩类岩石的形成, 但与区内大面积出露的地层相比, 它们仅占少量。

区内地下热水来自雾迷山组、铁岭组白云岩和寒武纪灰岩。第三纪和第四纪地层等为良好的盖层。由于碳酸盐地层岩溶裂隙发育(裂隙率为0.4%—6%), 透水性较强, 热水井单位涌水量为3.2—15.0吨/时·米。

水文钻孔资料证明: 热水从浅部到深部水温逐渐增高, 即70m处水温16℃, 170m处22℃, 240m处32℃, 369m处62℃, 说明了该区基岩热水是垂直向上的顶托排泄作用。

热水主要化学成分为 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 F^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HBO_2 和 SiO_2 , 矿化度为542—669mg/l。热水化学类型主要是 HCO_3^- - Cl^- -Ca-Na和 HCO_3^- - SO_4^{2-} -Ca-Na型。本节地质资料及数据均引自[5, 6]。

2 实验的技术和方法

实验样品 实验样品中的白云岩采自小汤山雾迷山组; 花岗岩采自昌平白虎涧燕山期侵入体。前者主要矿物是白云石(90%—95%)和石英(5%—10%); 后者则由石英(28%—33%)、钾长石(40%—45%)、斜长石(25%—30%)和黑云母(5%±)组成。

将实验样品白云岩和花岗岩用铜乳钵破碎到0.5—4mm的粒度, 然后反复拌匀, 最后缩分成两半, 一半留作实验, 另一半再研磨至200目以下, 送作化学分析, 其岩石化学成分见表1。

表1 实验样品的化学成分

Table 1 The chemical compositions of experimental samples

样品名称	化学成分								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺
白云岩	10.25	0.41	0.16	0.31	21.11	26.28	0.95	0.07	0.00
花岗岩	72.39	14.44	1.11	0.83	0.93	1.35	4.14	3.89	0.08
样品名称	化学成分								
	H ₂ O ⁻	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CO ₂	SO ₃	F	Cl	总量
白云岩	0.20	0.00	0.008	0.05	41.17	0.06	0.005	0.03	100.16
花岗岩	0.18	0.39	0.101	0.05	0.00	0.00	0.002	0.02	99.90

分析者: 中国地质大学化学分析室王军玲(1989.7)。

区内与地下热水密切相关的岩石主要是前寒武纪的碳酸盐岩, 花岗岩出露面积很少。通过条件实验表明了90%(4.5g)的白云岩和10%(0.5g)的花岗岩与二次蒸馏水相互作用所产生的水溶液与小汤山天然的地下热水的成分基本相符(见表2)。因此, 以此比例的白云

表 2 条件实验结果的水溶液和小汤山地区热井水主要化学成分、温度、pH的对比 (mg/l)
 Table 2 The proportion on main chemical compositions, temperature, pH of the aqueous solution for conditional experimental result with that of hot spring water of Xiaotangshan area (mg/l)

样品名称	化学成分	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
	汤 4*		16.67	93.33	47.67	13.57	22.30
汤 1*		13.33	86.67	40.33	14.67	23.60	283.10
N05009**		19.00	21.00	19.25	10.25	39.00	305.00
N05009** -5012(平均)		11.00	32.25	38.29	6.71	49.50	381.25
样品名称	化学成分	SO ₄ ²⁺	F ⁻	SiO ₂	矿化度	T °C	pH
	汤 4*		84.00	6.20	35.00	637.64	48.5
汤 1*		75.60	6.40	30.00	578.70	53	7.2
N05009**		13.00	3.00	50.00	479.50	50	7.1
N05009** -5012(平均)		32.00	4.00	45.00	600.00	50—200	7.2

* 引自杨期隆、张道富的“试论小汤山地热田地热条件和地热系统模型”一文中的数据 (1985)。

** 由北京市水文地质工程地质公司化学分析室王绣燕、杨东南分析 (1989.8)。

岩和花岗岩的混合物作为试料,系统地进行了实验。

实验仪器和设备 高压容器采用在高温高压下耐酸耐碱不与水起反应的 Tc-9 纯钛高压釜,该类型的高压釜反应腔的容积为13.6—14.0ml。温度由精密自动的 DWK-703 控温仪控制。压力根据 G. C. Kennedy^[7]P-T-V 公式的填充度计算。高压釜放在大号的、恒温区为 20cm² 的实验炉内 (SKJ 型)。

温度和压力 根据热井、温泉水出露的深度、水温 and 含水地层的深度和厚度,考虑实验压力为 (200—500) × 10⁵Pa, 实验温度为 50—200℃。

反应溶液和酸碱度 根据热井、温泉水的中性酸碱度,考虑水—岩相互作用前后的变化,同时为了保证反应后溶液中离子含量测试的准确性,因此反应溶液采用二次蒸馏水,溶液的pH为5.5—8.5 (用HN₄OH配调),其中以5.5为主。

氧化还原条件和实验持续时间 实验氧化还原条件采用氧、硫矿物对的缓冲剂:赤铁矿 (Fe₂O₃)—磁铁矿 (Fe₃O₄), 黑锰矿 (Mn₃O₄)—方锰矿 (MnO), 磁黄铁矿 (FeS)—黄铁矿 (FeS₂) 和黄铁矿 (FeS₂)—单质硫 (S)。每对矿物60 mg (每个矿物30 mg) 分别将它们焊封在铂管内,放在事先已有实验样品的钛高压釜反应腔中进行控制。实验后将铂管剖开,取出缓冲剂,送作分析。如果矿物的量一多一少,说明控制住了氧化还原条件,如果矿

物对只余下一个矿物，或两个矿物的量一点不变，说明没有控制住氧化还原条件，或不起作用。通过条件实验，其实验持续时间选为168—672小时。

实验产物的处理 为了防止样品氧化或污染，打开淬火后的高压釜，立即抽滤出液相，马上送做水化学成分分析。

3 实验结果分析和讨论

用 90% 白云岩和 10% 花岗岩作为试料，以二次蒸馏水作为反应溶液，在 50—200℃ 温度和 (200—500) × 10⁵ Pa 压力下，pH=5.5—8.5 的水溶液中，进行了 168—672 小时的持续实验，其结果分述如下：

热水化学成分—温度

在恒定 400 × 10⁵ Pa 的压力和固定水/岩=2.1 的条件下，在 50—200℃ 的温度范围内，90% 白云岩 10% 花岗岩与 pH=5.5 的二次蒸馏水相互作用，经历了持续时间为 504 小时的实验，其结果反映在图 1 上。

图 1 清楚地说明了溶液从岩石中萃取出：

(1) SiO₂、K⁺、Ca²⁺、Cl⁻、F⁻ 和 ΣFe 含量随着温度的升高呈线性增加，Na⁺、HCO₃⁻ 和 Al³⁺ 含量呈抛物线增长；

(2) Mg²⁺ 和 NO₃⁻ 的含量随温度升高呈线性减少；

(3) SO₄²⁻ 的含量随温度升高呈弧线减少，尤其在 150℃ 以上，SO₄²⁻ 的含量大幅度地降低。

热水化学成分—溶液 pH 值

在 100℃ 的温度和 300 × 10⁵ Pa 的压力下，90% 白云岩和 10% 花岗岩与 pH=5.5—8.5 的 H₂O 经历了 504 小时的相互作用的实验，其结果列于表 3。

表 3 反映了：

(1) 水从岩石中萃取出 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、NO₃⁻ 和 SO₄²⁻ 的含量虽然有波动，但基本上随着 pH 值增大而增加，同理 Cl⁻、ΣFe 和 SiO₂ 的含量基本上随 pH 值增大而减少；

(2) pH=7.5 的水溶液经实验后，其中含 SO₄²⁻ 为 35mg/l，说明 pH=7.5 的地下水对医疗温泉形成最有利；

(3) 实验后的水溶液都变为中性，这说明中和反应达到平衡的结果。

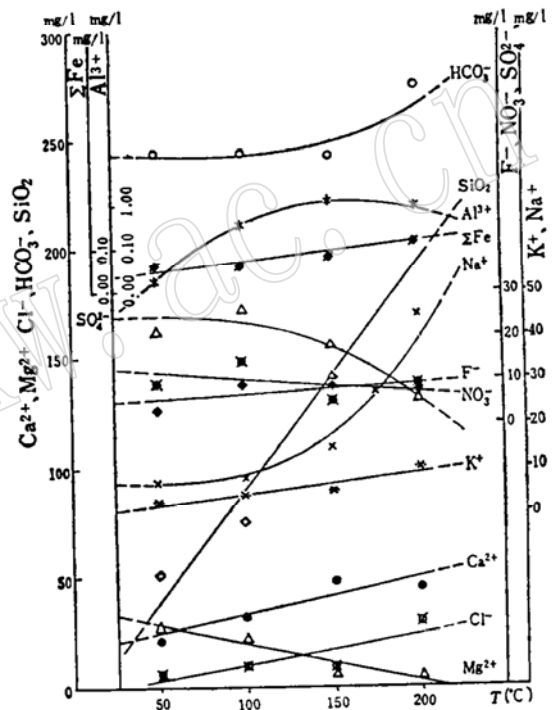


图 1 热水化学成分随温度变化的曲线
Fig. 1 Curves of variation for the chemical composition of hot water with varying temperature

表 3 热水化学成分随水的不同pH值变化的数据(mg/l)

Table 3 Data of variation for the chemical composition of hot water with changing pH of aqueous solution (mg/l)

实验号	水的 pH 值		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Cl ⁻	ΣFe	SiO ₂
	实验前	实验后											
5014	5.5	7.0	2.00	5.00	26.95	12.47	61.00	2.00	10.00	3.00	21.00	0.008	15.00
5016	6.5	7.0	3.00	6.00	27.38	7.21	61.00	7.00	7.00	3.00	13.00	0.008	11.00
5017	7.5	7.0	3.00	6.00	25.43	13.08	92.00	5.00	35.00	2.00	7.00	0.004	8.00
5018	8.5	7.0	4.00	7.00	31.01	21.85	61.00	23.00	12.00	2.00	18.00	0.004	7.00

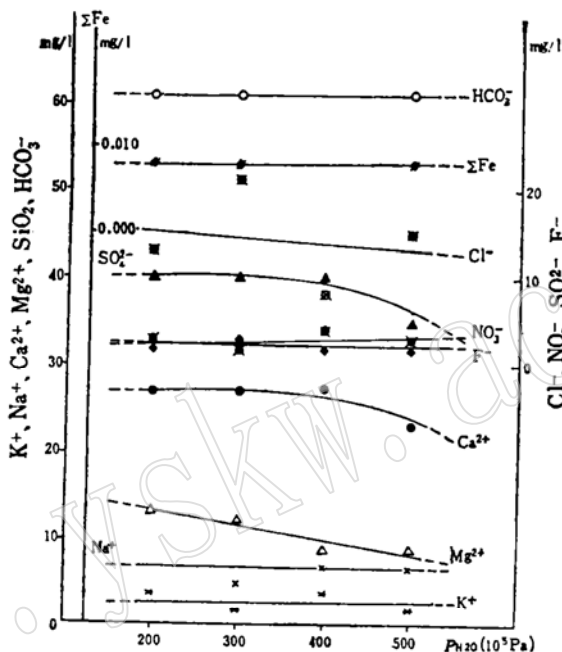


图 2 热水化学成分随着压力变化的曲线

Fig. 2 Curves of variation for the chemical composition of hot water with varying pressure

表 4 热水化学成分随着岩石样品粒度不同而变化的数据 (mg/l)

Table 4 Data of variation for the chemical compositions of hot water with changing difference for the grain size of rock samples (mg/l)

实验号	样品粒度 (mm)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Cl ⁻	ΣFe	SiO ₂
5021	3.0—2.5	6.00	17.00	49.49	8.04	214.00	6.00	28.00	5.00	8.00	0.016	100.00
5022	2.0—1.5	8.00	23.00	51.33	31.17	244.00	50.00	54.00	3.00	19.00	0.008	97.50
5036	1.0—0.5	4.00	12.00	49.67	7.18	153.00	5.00	4.00	3.00	79.00	0.020	75.00

热水化学成分—压力

在100℃的温度和不同的压力[(200—500) × 10⁵Pa]下, pH=5.5的二次蒸馏水与90%白云岩10%花岗岩经历了504小时的相互作用的实验, 其结果总结在图 2 上。

图 2 反映出水溶液从岩石中萃取出—系列元素的含量, 除了 Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻和 Cl⁻含量随着压力增大略有减少外, 其余离子和氧化物含量基本不变。这说明了压力对热水化学成分影响很少, 在研究热、矿泉水形成的物理化学条件时, 可以忽略它。

热水化学成分—岩石粒度

在 150℃温度和 400 × 10⁵Pa 的压力下, 90%白云岩 10%花岗岩与 pH=5.5 的二次蒸馏水经过了 504 小时的相互作用, 但由于岩石样品的破碎的粒度不同, 导致了热水化学成分的变化, 从表 4 上看出:

(1) 水从岩石中萃取出 Cl⁻ 的含量随着岩石样品粒度的变小呈规律性地增加, F⁻和 SiO₂ 的含量却有规律地减少;

(2) 粒度为 2.0—1.5mm 的样品对于热水化学成分中大部分离子和氧化物的析出量最高, 这可能是由该档次的颗粒总表面积较 4.0—3.5 mm、3.0—2.5mm 档次的总表面积大, 颗粒堆积在一起的缝隙又较之 1.0—0.5mm 档次的缝隙大, 有利于水岩相互反应之故。

热水化学成分—氧化还原环境

在 150℃ 的温度和 500 × 10⁵Pa 的压力下, 分别用缓冲剂: (1) 赤铁矿 (Fe₂O₃)—磁铁矿 (Fe₃O₄), (2) 黑锰矿 (Mn₃O₄)—方锰矿 (MnO), (3) 磁黄铁矿 (FeS)—黄铁矿 (FeS₂) 和 (4) 黄铁矿 (FeS₂)—硫 (S) 控制氧化、弱氧化、弱还原和还原条件。90% 白云岩 10% 花岗岩与 pH=5.5 的二次蒸馏水经历了 504 小时相互作用的实验, 其结果表示在图 3 上

图 3 表明了水从岩石中萃取出:

(1) Na⁺、Ca²⁺、Cl⁻、NO₃⁻ 的含量随着从氧化向还原条件变化略有减少; SiO₂、K⁺、F⁻ 的含量基本上不变, Mg²⁺ 的含量略有增加, ΣFe 和 Al³⁺ 的含量却显著地上升, 而 HCO₃⁻ 的含量却大幅度下降。

(2) SO₄²⁻ 的含量随着氧化向还原环境变化呈有规律性地增加, 这说明了还原环境是形成医疗温泉的必备条件。

热水化学成分—水岩比

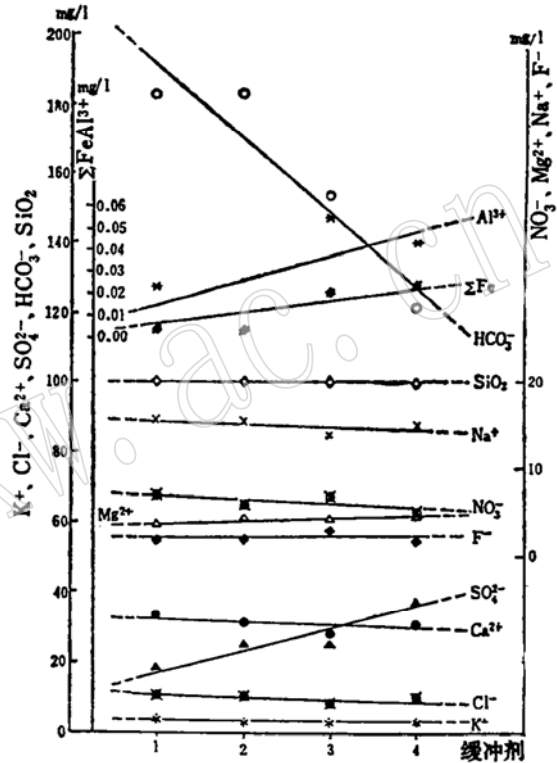


图 3 热水化学成分随氧化还原环境变化的曲线
Fig. 3 Curves of variation for the chemical composition of hot water with varying environment of oxidation-reduction
1—Fe₂O₃—Fe₃O₄; 2—Mn₃O₄—MnO;
3—FeS—FeS₂; 4—FeS₂—S

在150℃的温度和400 × 10⁵Pa 的压力下，pH=5.5 的二次蒸馏水与90%白云岩和10%花岗岩经历了 504 小时的相互作用。由于水岩之比不同，其结果也不一样（见表 5）。

表 5 热水化学成分随水岩之比变化的数据 (mg/l)

Table 5 Data of variation for the chemical composition of hot water with the proportion of water and rock (mg/l)

实验号	水/岩	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Cl ⁻	ΣFe	SiO ₂
5028	1	6.00	22.00	47.06	8.65	275.00	5.00	6.00	4.00	4.00	0.06	105.00
5029	2	3.00	12.00	41.12	5.07	183.00	3.00	4.00	5.00	19.00	0.06	125.00
5030	3	5.00	9.00	44.27	2.89	183.00	3.00	4.00	3.00	15.00	0.028	200.00
5038	4	3.00	11.00	28.11	3.61	153.00	3.00	17.00	1.00	10.00	0.008	90.00

表 5 反映了水从岩石中萃取出：

(1) K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、F⁻、Cl⁻、ΣFe和SiO₂的含量随着水岩比的增大而呈不同程度的减少；

(2) SO₄²⁻ 的含量随着水岩比的增大反而增加，这说明地下水的混入不会影响温泉医疗的效果。

热水化学成分—水的循环

在100℃ 的温度和 400 × 10⁵Pa 的压力下，90%白云岩和10%花岗岩与每隔120小时循环一次的pH=5.5的二次蒸馏水相互作用，经历了 480 小时的实验，其结果反映在图 4 上：

图 4 表明了水从岩石中萃取出 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻ 和 ΣFe 的含量随着水循环次数增多而呈线性减少；HCO₃⁻ 和 F⁻ 的含量基本不变；而SO₄²⁻和SiO₂的含量却显著地增加，只有NO₃⁻呈弧线减少。SO₄²⁻含量的这种特征同样说明了雨季地下水的补充不影响医疗温泉的性质。

热水化学成分—实验持续时间

在150℃的温度和6 × 10⁵Pa 的压力下，pH=5.5的二次蒸馏水与90%白云岩和10%花岗岩分别经历了 7、14、28 昼夜相互作用的实验，其结果列于表 6。

从表 6 上可以看出水从岩石中萃取出：

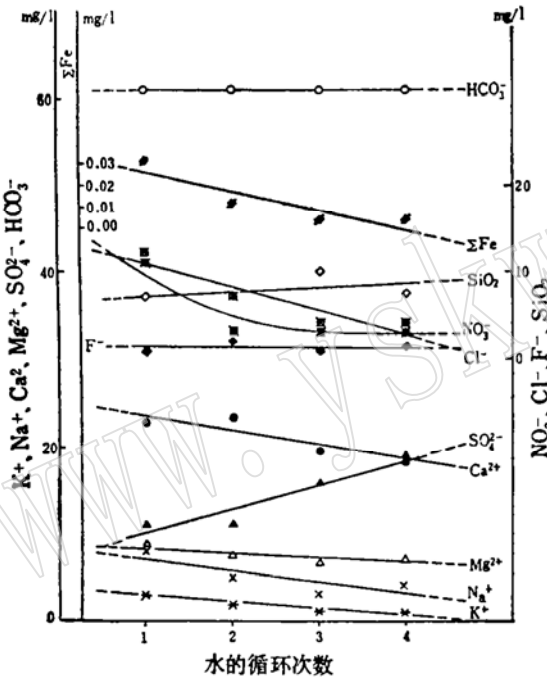


图 4 热水化学成分随水循环次数变化的曲线

Fig. 4 Curves of variation for the chemical composition of hot water with varving number of time for water cycle

表 6 热水化学成分随实验持续时间变化的数据 (mg/l)

Table 6 Data of variation for the chemical composition of hot water with changing the duration of experiment (mg/l)

实验号	实验持续时间 (天)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Cl ⁻	ΣFe	SiO ₂
5001	7	673.00	246.00	22.03	3.96	1220.00	6.0	60.00	91.00	14.00		30.00
5002	14	685.00	246.00	22.03	5.15	1068.00	3.7	175.00	71.00	17.00		55.00
5004	28	1202.00	369.00	22.24	4.02	2136.00	3.7	113.00	213.00	13.00		50.00

(1) K⁺、Na⁺、HCO₃⁻、F⁻、SiO₂ 和 SO₄²⁻ 的含量随着实验持续时间的增长具有明显地升高或略有增加的特征;

(2) NO₃⁻ 和 Cl⁻ 的含量随着实验持续时间的增长有所降低, 而 Ca²⁺、Mg²⁺ 的含量却变化不大。

4 结论和意义

通过上述系统地对小汤山一带地下热水化学动态模拟实验, 揭示了热、矿泉形成的物理化学条件和变化规律:

(1) 在 (500—200) × 10⁵ Pa 的压力和 200—50℃ 温度的范围内, 在控制氧化还原条件下, 90% 的白云岩和 10% 的花岗岩与 pH=5.5—8.5 的水溶液相互作用的实验, 证明了水从岩石中萃取出主要离子、元素和氧化物的含量、矿化度和水质类型与小汤山一带热、矿泉水实际情况相似。因此, 我们认为小汤山一带的地下热水是在上述物理化学条件下形成。

(2) 压力从 500 × 10⁵ Pa 向 200 × 10⁵ Pa 减小 (从深部向浅部), 温度从 150℃ 向 50℃ 方向降低 (从深部向浅部), 水在还原环境中不断循环, 水从岩石中萃取出 SO₄²⁻ 的含量都随之增加, 接近于天然温泉中 SO₄²⁻ 的含量。这为人工温泉创建和应用提供了物理化学条件。

(3) 水的循环次数增多和水岩比值的增大导致水中的 K⁺ 和 Cl⁻ 离子含量的降低, 这与小汤山一带热、矿泉水在冬天大量开采后水中 K⁺、Cl⁻ 含量增高, 在夏天雨季时水中 K⁺、Cl⁻ 含量降低的实际现象相符。

(4) 水的循环、水岩比和持续时间的实验证明了地下水的不断循环、冷水的加入反而保持水中的矿化度, 对热、矿泉形成有利。这为热田开发和利用提供了理论依据。

(5) 硫是医疗温泉中的主要成分, 其大部分从 SO₄²⁻ 中分解出来。实验证明了温度大于 150℃、地静压太大 (基岩埋藏太深) 对温泉形成无益; 还原环境和弱碱性溶液对温泉形成有利; 雨水和地下水的补给和循环反而促进 SO₄²⁻ 的析出量, 有利于疗效。

低温低压下热、矿泉水化学动态模拟实验在我国尚属首次。我们在不同的样品成分、温度、压力、水岩比、样品粒度、溶液 pH 值、氧化还原环境、实验持续时间和补给水模拟循环等物理化学参数下进行了系统的较全面的实验, 取得了一批有意义和有价值的实验数据, 为反应动力学实验积累了一些经验和资料, 为今后我们的工作开拓一条新途径创造条件。

参 考 文 献

- 1 Werner F G. Mass transfer in hydrothermal alteration systems—A Conceptual approach. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1984, 48(12):2693—2712.
- 2 Yotaro S, Kunio W and Tomio H. Experimental water-basalt interactions and water chemistry of mout Fuji five lakes. Fifth International Symposium on Water-Rock Interaction, Extended Abstracts, International Association of Geochemistry and Cosmochemistry, 1986, 507—510.
- 3 Kacandes G H and Grandstaff D E. Difference between geothermal and experimentally derived fluids; How well do hydrothermal experiments model the composition of geothermal reservoir fluids? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(2):343—358.
- 4 樊文玲. 实验研究形成自然金—银系列矿物的物理化学条件. 金银矿产选集第三集, 1987, 41—47.
- 5 杨期隆, 张道富. 试论小汤山地热田地热的地质条件. 水文地质工程地质, 1982, (6):38—49.
- 6 谢长芳, 徐学全. 北京地热田地质构造分析. 水文地质工程地质, 1982, (6):14—18.
- 7 Kennedy G C. *P-V-T* relations in at waters at elevated temperatures and pressures. *American Journal of Science*, 1950, 248(8):540—564.

The Varying Laws of Some Main Elements in the Dynamic Experiments for the Reactions of Rocks with Water Under Low Temperatures and Pressures

Liang Xiangji Qiao Li Wang Fusheng

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: Dynamic experiment; reaction of rocks with water; varying laws of elements; low temperature and low pressure

Abstract

On the basis of the hydrogeological characteristics of hot mineral springs in Xiaotangshan area, Beijing, authors engaged in the experiments of water-rock reaction using dolomite (90%) and granite (10%) as starting materials and quadratic distilled water as reactive solution, which were put into Ti-high pressure vessels under 50—200°C and $(200—500) \times 10^5$ Pa. The results of experiment showed that the quantites of ions and oxides for K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , HCO_3^- , NO_3^- , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , ΣFe and SiO_2 extracted from the rocks into the solution cange with the variations of rock compositions, temperatures, pressures, pH values of water, grain sizes of rock, redox state, and numbers of time for water cycle etc.. These laws brought to light the mechanism of the main elemental change in the formation of hot mineral springs in Xiaotangshan area. Authors provided theoretical evidences for opening up hot fields and man-made hot springs.