

# 地下水系统平衡化学模型的研究现状及发展方向

钱 会<sup>1</sup>, 王晓娟<sup>1</sup>, 李便琴<sup>2</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安石油大学 化工学院, 陕西 西安 710065)

[摘要] 在对地下水系统平衡化学模型的类型及其主要功能进行介绍的基础上, 论述了平衡化学模型在国内外的研究现状, 对平衡化学模型应用的局限性进行了讨论, 阐述了目前在地下水系统平衡化学模型研究中所存在的问题, 指出了今后的发展方向。

[关键词] 地下水系统; 平衡化学模型; 研究现状; 发展方向

[中图分类号] P641 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)01-0059-06

[作者简介] 钱会(1963-), 男, 陕西泾阳人, 教授, 博士, 从事水资源与环境方面的研究工作。

地下水是一种成分复杂的天然溶液。在地下水中, 溶解组分是以多种形式存在的, 它们既可是简单的单一离子形式, 也可是络合成不同复杂程度的络合离子或络合分子形式。溶解组分的存在形式不同, 其水文地球化学、热力学、物理化学和动力学性质也有很大的差异<sup>[1]</sup>。为了定量地研究地下水流系统中所发生的各种物理化学作用, 必须对化学组分在水溶液中的真正存在形式进行深入研究。这种研究及在此基础上发展起来的地下水系统平衡化学模型, 是水文地球化学向定量化发展的重要基础, 对于合理解释地下水化学成分的形成、分布及演化机理, 正确认识地下水补给、赋存、径流和排泄特征有重要的意义<sup>[2]</sup>。

## 1 平衡化学模型的类型

地下水系统的平衡化学模型主要有3种类型:

### 1.1 平衡分布模型(equilibrium speciation model)

平衡分布模型的主要功能是确定地下水中各化学组分存在形式的浓度、活度及活度系数, 并对地下水相对各种矿物和气体的饱和度进行计算。根据平衡分布模型的计算结果, 可对矿物或气体在

水溶液中的溶解沉淀(逸出)趋势进行评估。

迄今为止, 对化学组分在水溶液中各种存在形式含量的实验确定还没有令人满意的方法。人们普遍认为, 使用热力学平衡理论, 计算化学组分在水溶液中各种存在形式的含量是一种简便有效的方法<sup>[1]</sup>。目前, 对水溶液中各组分存在形式含量的计算, 一般都是根据水质分析结果, 在假定水溶液中各组分存在形式间的化学反应处于平衡状态基础上, 使用质量守恒定律和质量作用定律, 建立起相关组分浓度的非线性方程组, 通过求解该方程组得到各组分存在形式的含量。由于这类计算中最基本的假设就是溶液中各组分存在形式间的化学反应处于平衡状态, 故通常把这种计算称为水溶组分平衡分布计算, 而把相应的水溶液模型称为水溶液平衡分布模型。

由于平衡分布模型计算的只是平衡状态下水溶液中各组分存在形式的含量, 它不涉及物质的相间转移, 因此, 对地下水系统中相间物质转移的计算, 例如矿物在水溶液中溶解并达到溶解平衡的情况, 平衡分布模型是无能为力的, 这时可采用物质传输平衡模型。

### 1.2 物质传输平衡模型(equilibrium mass transfer model)

为了对地下水流动过程中的化学成分变化进行模拟, 对系统变量变化(如温度或pH)引起的水溶液成分变化进行预测, 必须考虑系统中的相间物

[收稿日期] 2004 04 24

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40372114)

质传输。虽然质量平衡模型(mass balance model)可对地下水系统中的相间物质传输进行计算<sup>[3]</sup>,但它并没有附加化学平衡的约束条件。物质传输平衡模型就是附加了相间化学平衡约束的质量平衡模型。

图 1 给出了一个典型的物质传输平衡模型计算流程。流程首先使用水溶液平衡分布模型对地下水进行水溶组分平衡分布计算,在此基础上计算地下水系统中所有可能形成或已存在矿物的活度积,并将其与相应温压条件下这些矿物的平衡常数进行比较。以此为基础,对需要与水溶液进行平衡的矿物进行选择,并且通过质量传输使地下水与所选取的矿物达到平衡状态。物质传输平衡模型的计算结果一方面给出了达到平衡状态时地下水系统中的相间物质传输量,同时还给出了所形成水溶液的化学成分。

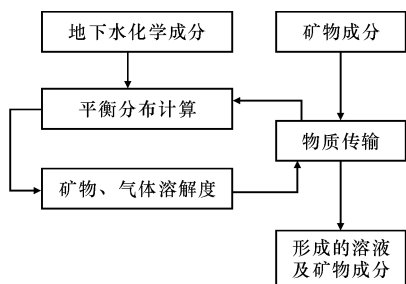


图 1 物质传输平衡模型计算流程

Fig. 1 Flow chart of equilibrium mass transfer calculation

这里需要说明的另一个地球化学模型就是反应途径模拟(reaction path simulation),反应途径模拟可看作物质传输平衡模型的子模型。与物质传输平衡模型不同的是,反应途径模拟不是一种相间平衡模型,在反应途径模拟中,相间物质传输不是一步就达到了矿物-水的平衡状态,而是逐步完成的。对于有溶解趋势的矿物,计算中逐步增加该矿物在水溶液中的溶解量;而对于有沉淀趋势的矿物,则使矿物逐步从水溶液中沉淀出来。矿物的每次溶解或沉淀,都需要对所形成的水溶液成分及其相关性质进行计算。反应途径模拟可以提供矿物溶解或沉淀过程中水溶液成分演化途径的相关信息。

### 1.3 物质输运模型(mass transport model)

这里所说的物质输运模型是指耦合了水动力弥散模型和物质传输平衡模型的物质输运模型。尽管物质传输平衡模型,可对地下水系统中的化学反应进行充分地模拟,但它不能模拟对流、弥散和

扩散等物理输运过程。传统的水动力弥散模型较好地模拟了溶质的物理输运过程,但对地下水系统中的化学反应则很少涉及。把两者耦合起来,可以较好地解决地下水化学成分的演化问题。

## 2 国内外研究现状

有关地下水系统平衡化学模型及在此基础上所进行的水-岩-气三相相互作用的研究,是近 40 年来国际上在水文地球化学研究中十分活跃的领域。Garrels 和 Thompson 于 1962 年建立的海水化学模型<sup>[4]</sup>,开创了水溶液体系化学平衡模型研究的先河。从此,地球化学领域地下水系统平衡化学模型的研究便蓬勃开展起来。早期,Crear, Ting-Po 和 Nancollas, Wolery 和 Walters 等都曾对多组分水溶液体系化学平衡问题的计算方法进行过讨论<sup>[5~7]</sup>,美国化学学会地球化学分部也分别于 1979 和 1990 年出版了两部论文集<sup>[8,9]</sup>,专门讨论水溶液体系的平衡化学理论及其在实际中的应用问题。1992 年,Plummer 曾对水-岩相互作用地球化学模型的历史、现状及未来的发展方向进行了系统论述<sup>[10]</sup>。与此同时,众多的研究者也开发了许多有关这方面研究的计算机软件。最初开发的进行水溶液体系化学平衡研究的软件,主要是平衡分布模型计算软件,用于计算天然水中溶解组分的平衡分布及溶液相对矿物的饱和度,如由 Morel 和 Morgan 所开发的 REDEQL,由 Truesdell 和 Jones 所开发的 WATEQ 以及由 Kharaka 和 Barnes 所开发的 SOLMNEQ 都属于这种类型<sup>[11~13]</sup>。此后,随着研究工作的不断深入以及热力学资料的不断完善,不同的研究者又对最初开发的计算机软件进行了改进,使其适用范围不断扩大。例如, WATEQ2 除了可对常量元素的平衡分布进行计算外,还可计算水溶液中痕量元素的平衡分布<sup>[14]</sup>;在 WATEQ3 中还增加了铀化合物平衡分布的计算内容<sup>[15]</sup>;新版的 SOLMNEQ 88 所适用的温压范围不仅仅限于常温常压,而且也适用于高温高压的情况<sup>[16]</sup>。几乎与此同步,一些研究者以平衡分布模型为基础,开发出了适用于各种特殊目的和用途的计算机软件。例如由 Sposito 和 Mattigod 所开发的 GEOCHEM<sup>[17]</sup>,可用来对土壤溶液中的阳离子交换平衡进行计算;由 Wolery, Reed 和 Spycher, Parkhurst 等所分别开发的 EQ3NR, CHILLER 和 PHREEQE<sup>[18~20]</sup>,

可用来对化学反应途径进行模拟。Reed 和 Arnorsson 等也针对地热研究中的实际问题, 开发出了可对地热系统中热水与冷水的混合作用及热储温度进行研究的计算软件<sup>[21, 22]</sup>。此外, Chapman 等把河水流动的物理模型与水溶液体系的平衡化学模型结合起来, 开发出了名为 RIVQL 的计算软件<sup>[23]</sup>, 可对河水流动过程中的化学成分变化进行模拟。Miller 和 Benson 所开发的计算软件 CHEMTRN<sup>[24]</sup>, 把多孔介质中地下水的流动模型与水溶液体系的平衡化学模型相结合, 可用来预测地下水运动过程中的水质变化。美国 Lawrence 国家实验室推出的 TOUGH2 (Transport of Unsaturated Groundwater and Heat) 软件<sup>[25, 26]</sup>, 是一个模拟水、溶质、气、热在多孔介质及裂隙介质中运移的多维数值计算软件, 统一考虑了地下水系统中固—液—气的相间物质传输, 已被广泛地应用于地下水开发、环境保护以及核废料处置等实际工作中。总之, 国际上在水溶液体系的平衡化学理论及其实际应用方面开展了大量的研究工作, 取得了一批令世人所瞩目的研究成果。

与国外的情况相比, 中国在这方面的研究则起步较晚, 且进展比较缓慢。有关专家已发出应加强这方面研究的呼吁<sup>[27]</sup>。李雨新 1984 年在有关地下水中元素存在形式的研究中把化学组分在水溶液中的存在形式划分为 3 种类型, 并指出对化学元素在水溶液中存在形式的研究有重要的意义<sup>[28]</sup>; 之后, 钱会、郑西来、李雨新及钱云平等也分别对天然水中组分平衡分布的计算方法进行过讨论<sup>[29~32]</sup>。近年来, 一些研究者把地下水系统平衡化学模型应用于各种实际问题的研究中, 取得了良好的效果。王益锋等以地下水系统平衡化学模型为基础, 模拟了黄铁矿型矿床的形成过程<sup>[33]</sup>; 庞忠和使用水—岩平衡化学反应模型, 对一些地热系统的热储温度进行了研究<sup>[34]</sup>; 李广贺把地下水系统平衡化学模型与 Pitzer 活度系数模型相结合, 研究了油气盆地深部地下水水化学场的分布特征<sup>[35]</sup>。王广才等把组分平衡分布模拟及质量平衡模拟应用于平顶山矿区岩溶水地球化学的研究中, 对于阐明矿区岩溶发育程度及划分地下水系统提供了重要依据<sup>[36]</sup>; 他们在 WATEQ4F 基础上开发的 Monte Carlo - WATEQ4F 耦合模型<sup>[2]</sup>, 探索了一种水文地球化学随机模拟的新方法。吕跃进等使用 EQ3NR 模拟了镉( $\text{Am}$ )在水中的存在形式及其分布<sup>[1]</sup>, 对于解释

铜系元素的水文地球化学行为提供了有益帮助。李义连、王焰新等使用 PHREEQC 模拟分析了娘子关泉域岩溶水的矿物饱和度<sup>[37]</sup>, 证实了该地区地下水由于  $\text{CO}_2$  挥发而造成饱和指数过高的假象。贾国东、张建新等通过对抽水过程中地下水水质参数变化的模拟<sup>[38]</sup>, 指出, 应该大力加强水下定深取样及定位测试技术的研究。这些理论及实际应用方面的研究成果, 为中国在地下水系统平衡化学模型及其应用方面的进一步深入研究奠定了基础。

综合国内外的研究成果可以看出, 有关地下水系统平衡化学模型及其应用方面的研究主要集中在两个方面<sup>[39]</sup>, 一是热力学数据的不断充实和完善; 二是以这些数据为基础, 积极拓宽和探索地下水系统平衡化学模型的应用领域, 及时地将其应用于复杂水—岩系统中的化学平衡计算问题。完善的热力学实验数据保障了地下水系统平衡化学模型的准确性, 使其模拟范围不断扩大, 促进了地下水系统平衡化学模型版本的改进和升级; 而地下水系统平衡化学模型的发展及其应用领域的拓宽又对热力学数据提出了新的要求, 使这方面研究进一步深化。就模型本身的研究而言, 从 20 世纪 60 年代初期到 80 年代初期, 是模型开发的活跃时期, 这期间模型的数量迅速增加。而近 20 年来, 更多的注意力则集中于对已有模型的改进和一些专门化模型的开发。例如, 进一步完善热力学数据库, 使其适用的温、压范围及所计算组分的种类不断扩大; 引入最新的离子溶液理论, 使模型适用于更高离子强度的溶液; 对应用于地球化学、地下水、地表水和环境研究领域的专门化模型进行开发等。

### 3 平衡化学模型的局限

表 1 给出了地下水系统平衡化学模型的主要影响因素。

在实际中, 地下水系统中平衡化学模型的建立与掌握了该系统多少可用信息密切相关。因此, 系统中液相、固相和气相的野外和室内实验资料必须准确、完整。平衡化学模型的计算也要求所有重要液相组分的热力学资料完整、准确, 而且应使用可靠的方法把标准状态下的资料转换到野外实际条件下。大部分常用计算程序局限于温度低于  $100^\circ\text{C}$ 、离子强度  $< 0.5$  的情况。

平衡化学模型不可能对化学反应的速度进行

模拟,因此,必须选择可在地下水滞留时间范围内达到平衡状态的化学反应,这包括了在允许时间范围内矿物的溶解沉淀反应以及可达到平衡状态的氧化还原反应,而且所选取的计算程序应能够对系统中所有重要的化学过程进行模拟。此外,还应对所建立的模型进行校正,应明确模型几乎在所有情况下都能给出结果,但它们与实际的符合程度只能通过模拟结果与实际资料的比较才能确定。模拟结果偏离实际资料可能是由于计算方法不准确或概念模型不合理而造成的。模型的校正过程能够深化对实际地下水系统的认识,并且使得概念模型更合理、更符合实际。

表 1 平衡化学模型的主要影响因素

Table 1 Factors affecting the equilibrium chemical model

影响因素	具体内容
野外和室内资料	野外参数( <i>t</i> , pH, Eh 等) 实验资料(准确性,完全性) 固相概化的合理性
热力学资料 (液相、固相、气相)	数据库的准确性和完整性 活度系数的计算 一定温度下平衡常数 $K_T$ 的计算
平衡约束	矿物, 气体, 氧化还原反应
溶液离子强度	$I > 0.5$ , 离子络合理论 $I < 0.5$ , 离子相互作用理论
地球化学过程	离子络合, 矿物溶解沉淀, 氧化还原, 气相平衡, 吸附解吸, 固体溶液

据 Deutsch W J, 1997<sup>[40]</sup>

4 存在问题及发展方向

目前,在地下水系统平衡化学模型及其应用研究方面所存在的主要问题是:

(1)地下水系统平衡化学模型的实验验证。地下水系统平衡化学模型的基础是水中各组分存在形式间的化学反应处于平衡状态,但对这种平衡能否达到以及需要多长时间才能达到平衡的实验验证尚未见报道,这是地下水系统平衡化学模型研究中一个十分重要的问题,为使地下水系统平衡化学模型建立在可靠的基础之上,需要对该问题进行深入的研究。

(2)多孔介质中溶质运移的对流-弥散模型与水化学模型的耦合问题。对多孔介质中溶质运移问题的研究是预测、控制地下水污染的重要基础,

而溶质运移研究中的一个重要问题就是怎样把对流-弥散模型与水化学模型结合起来。目前,在这方面虽然有一些初步的成果,但还很不成熟,已有的耦合模型相对都比较简单,还没有见到野外条件下的应用实例。把地下水系统平衡化学模型应用于多孔介质中溶质运移问题的研究中将极大地促进这方面的研究工作。

(3)与国际先进水平相比,中国在地下水系统平衡化学模型的研究方面还有较大差距,所采用的计算软件主要是从国外引进的,对地下水系统平衡化学模型基本理论和计算方法的研究以及相应软件的开发则比较薄弱。这就使得我们的研究缺乏主动权,难以形成创新。

地下水系统平衡化学模型是近年来水文地球化学研究的重大进展之一,它把水文地球化学从传统的定性解释引入到定量研究,从宏观的现象描述引入到微观机理探索,充实和发展了研究问题的深度与广度,它的产生和发展,已经并将继续对地球化学及相关学科的理论研究,尤其是实际应用带来深刻的影响<sup>[39]</sup>。

为了在地下水系统平衡化学模型及其应用研究方面尽快赶超国际先进水平,应该从基础着手,并在一些重点问题上有所突破。在全面收集国内外有关这方面的研究成果、特别是基础热力学资料的基础上,对地下水系统平衡化学模型的基本理论和计算方法进行系统深入地研究,开发具有自主知识产权的计算软件,并力争在若干方面的研究超越国际先进水平,促进地下水系统平衡化学模型在中国的应用和发展,丰富水文地球化学研究的基本理论和方法。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 吕跃进,史维浚,周文斌. 铜系元素镅(Am)在水溶液中的存在形式模拟计算[J]. 华东地质学院学报, 1996, 19( 1): 48~52

[ 2 ] 王广才,陶澍,沈照理,等. 平顶山矿区岩溶水系统水-岩相互作用的随机水文地球化学模拟[J]. 水文地质工程地质, 2000, 27( 3): 9~12

[ 3 ] Deutsch W J. Groundwater Geochemistry Fundamentals and Applications to Contamination[M]. CRC Press, 1997.

[ 4 ] Garrels R M, Thompson M E A. A chemical model for sea water at 25 °C and one atmosphere total pressure[J]. Am J Sci, 1962; 57~66

[ 5 ] Crerar D A. A method for computing multicomponent equilibria based on equilibrium constants[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1975, 39: 1375~1384

- [6] Ting Po I, Nancollas G H. EQUIL A general computation method for the calculation of solution equilibria[ J] . Analytical Chemistry, 1972, 44: 1940~1950
- [7] Wolery T J, Walters L J. Calculation of equilibrium distribution of chemical species in aqueous solutions by means of monotone sequences[ J] . Mathematical Geology, 1975, 7: 99~115
- [8] Jenne E A. Chemical modeling in aqueous systems[ R] . ACS Symp Series 93, Am Chem Soc, 1979
- [9] Melchior D C, Basset R L. Chemical modeling of aqueous systems[ R] . ACS Symp Series 416, Am Chem Soc, 1990
- [10] Plummer L N. Geochemical modeling of water rock interaction: past, present, future[ A] . In: Proceedings of the 7th International Symposium on Water - Rock Interaction[ C] . Ed by Yousif K. Kharaka and Ann S. Maest. Rotterdam, Balkema, 1992 23~33
- [11] Morel F, Morgan J J. A numerical method for computing equilibria in aqueous systems[ J] . Environ Sci Tech, 1972 6: 58~67.
- [12] Truesdell A H, Jones B F. WATEQ A computer program for calculating chemical equilibria of natural waters[ J] . Journal of Research, US Geological Survey, 1974, 2: 233~248
- [13] Kharaka Y K, Barnes I. SOLMNEQ Solution mineral equilibrium computations[ R] . US Geological Survey Computer Contribution, National Technical Information Service PB 1973 214~899
- [14] Ball J W, Norstrom D K, Jenne E A. Additional and revised thermal chemical data and computer code for WATEQ2 A computerized chemical model for trace and major element speciation and mineral equilibria of natural water[ R] . US Geological Survey, Water Resour Invest, 1980 78~116
- [15] Ball J W, Jenne E A, Cantell M W. WATEQ3 A geochemical model with uranium added[ R] . US Geological Survey Open File Rept, 1981. 81~183
- [16] Kharaka Y K, Gunter W D, Aggarwal P K, et al. SO L M I N E Q. 88: a computer program for geochemical modeling of water rock interactions[ R] . US Geological Survey, Water Resour, Invest, 1988. 88~4227.
- [17] Sposito G, Mattigod S V. GEICHEM A computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solution and other natural water systems[ M] . Dept of Soil and Environ Sci, University of Calif, Riverside, 1980
- [18] Wolery T J. EQ3NR A computer program for geochemical aqueous speciation solubility calculations. User's guide and documentation[ R] . Lawrence Livermore Laboratory Report UCRL 53414, 1983
- [19] Reed M, Spycher N. Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution[ J] . Geochim Cosmochim Acta, 1984, 48: 1479~1492
- [20] Parkhurst D L, Thorestonson D C, Plumer L N. PHREEQE A computer program for geochemical calculations[ R] . US Geological Survey, Water Resour Invest, 1980 80~96.
- [21] Arnorsson S, Sigurdsson S. The chemistry of geothermal waters in Iceland. I Calculation of aqueous speciation from 0° to 370 °C[ J] . Geochim Cosmochim Acta, 1982, 46: 1513~1532
- [22] Arnorsson S, Gunnlaugsson E. The chemistry of geothermal waters in Iceland. II Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions[ J] . Geochim Cosmochim Acta, 1982, 47: 547~566
- [23] Chapman B M, Jammes R O. Modeling the transport of reacting chemical contaminants in natural water[ J] . Jour Mar Freshwater Res, 1982, 33: 617~628
- [24] Miller C, Benson L. Simulation of solute transport in a chemically reactive heterogeneous system: model development and application[ J] . Water Resour Res, 1982, 19: 381~391.
- [25] Pruess K. TOUGH2 a general purpose numerical simulator for multiphase fluid and heat flow[ R] . Report LBL 29400, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA, May 1991.
- [26] Pruess K. Proceedings of the TOUGH Workshop' 95[ R] . Report LBL 37200, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA, March 1995
- [27] 沈照理. 应该重视水-岩相互作用的研究[ J] . 水文地质工程地质, 1991, 18(2): 1.
- [28] 李雨新. 地下水水质分析中水中元素存在形式的研究[ J] . 水文地质工程地质, 1984, 11(1): 56~58
- [29] 钱会. 水溶液中各组分存在形式的含量及溶液 Eh 值的计算方法[ J] . 西安地质学院学报, 1987, 9(3): 69~79
- [30] 郑西来. 多级收敛法计算天然水中无机离子分布[ J] . 水文地质工程地质, 1990, 17(3): 53~54
- [31] 李雨新, 钱会. 地下水化学组分存在形式计算方法[ J] . 水文地质工程地质, 1991, 18(6): 25~28
- [32] 钱云平, 张先起. 地下水中多组分化学平衡计算方法[ J] . 长春地质学院学报, 1993, 23(1): 59~63
- [33] 王益锋, 冯祖钧. 一个计算机模拟水-岩反应过程的数学模型[ J] . 矿床地质, 1987, 6(2): 77~89
- [34] 汪集暘. 中低温对流型地热系统[ M] . 北京: 科学出版社, 1993
- [35] 李广贺. 含油气盆地深部地下水水化学场分布特征研究[ J] . 长春地质学院学报, 1995, 25(1): 52~58
- [36] 王广才, 陶澍, 沈照理, 等. 平顶山矿区岩溶水文地球化学模拟及其应用[ J] . 中国科学(D 辑), 2002, 28(3): 245~249
- [37] 李义连, 王焰新, 周来茹, 等. 地下水矿物饱和度的水文地球化学模拟分析——以娘子关泉域岩溶水为例[ J] . 地质科技情报, 2002, 21(1): 32~36.
- [38] 贾国东, 张建立, 秦延君, 等. 地下水水质参数在抽水过程中的不稳定性及其水化学模拟——以大庆市齐家水源地为例[ J] . 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 25(2): 201~204
- [39] 王广才, 卢晓霞, 陶澍. 地球化学模型的应用现状及发展趋势[ J] . 煤炭学报, 1997, 22(2): 117~121.

[ 40]    Deutsch W J. Groundwater geochemistry Fundamentals and applications to contamination[ M] . CRC Press, 1997.

# Status and development trend in the study of equilibrium chemical models for groundwater systems

QIAN Hui<sup>1</sup>, WANG Xiao Juan<sup>1</sup>, LI Bian Qin<sup>2</sup>

( 1. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University Xi'an 710054, China;  
2. School of Chemical Engineering, Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, China)

**Abstract** On the basis of introduction of the types and major functions of equilibrium chemical model for groundwater systems, the status for the study and application of equilibrium model in hydrogeochemistry are discussed. The limitations of equilibrium model is stated, and the problems in the study of hydrogeochemical modeling are analyzed. In the end, the author pointed out the development trend for hydrogeochemical modeling is discussed.

**Key words:** groundwater system; equilibrium chemical model; status quo of research; development trend

[ 英文审定: 苏生瑞]

( 上接第 43 页)

[ 参 考 文 献 ]

[ 1]    河南区调队. 河南省地质志[ M] . 北京: 地质出版社, 1989.

[ 2]    隗合明, 焦建刚, 杨发成. 河南内乡牧虎顶花岗岩特征及与金矿的关系[ J] . 长安大学学报( 地球科学版), 2003, ( 25) 1: 1 ~ 6

[ 3]    焦建刚, 隗合明. 河南内乡许窑沟金矿床地质特征及成因[ J] . 西安工程学院学报, 2002, 24( 2): 43 ~ 46

[ 4]    王学明, 艾霞, 周刚, 等. 蒿坪金矿成矿地质特征及成因浅析[ J] . 地质找矿论丛, 1998, 13( 3): 35 ~ 47.

[ 5]    陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律[ M] . 北京: 地震出版社, 1992

# Geological features and metallogenic model of hydrothermal superimposion ( regeneration) gold deposits from Xiaguan to Erlangping in Henan

WEI He ming, ZHAO Guo bin, JIAO Jian gang

(School of Earth Sciences and Resource Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract** From Xiaguan to Erlangping in Henan gold deposits (mineralized pits) occur extensively; they vary in mineralization type and their conditions of occurrence are complex. Gold deposits formed in intrusive bodies and contact zone between intrusive bodies and wall rocks and in Mesoproterozoic and early Palaeozoic strata. The authors divide gold deposits in contact zones and strata into five types on the basis of ore source, metallogenic fluid origin and mineralization mechanism. The gold deposits are formed because of magma hydrothermalism, metamorphic hydrothermalism and hydrothermal superimposion on the background of volcanism, volcanic sedimentation and normal sedimentation. Each type of gold deposits is experienced multiphase and polystage mineralization, but mainly late hydrothermal replacement and packing mineralization. Tectonics controls the formation of gold deposits distinctly. The regional deep fault belt controls gold deposits belt. Second order ductile brittle shear belt controls the distribution of gold deposits, three order tectonics of interlayer fractured zones, fracture crack zones and contact zones control the ore forming. In all, the main mineralization was hydrothermal superimposion or regeneration.

**Key words:** gold mineral deposit; hydrothermal; superimposion; erlangping group; telescoped deposit; mineral deposit model; Henan

[ 英文审定: 杨家喜]