

成矿流体压力场的数值模拟 及其在成矿预测中的应用 ——以河南熊耳山地穹为例

杨群周, 彭省临

(中南大学 地洼学说成矿学研究所, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 文章探讨了成矿流体压力场的数学模型和其作为成矿预测依据的科学性和实用性, 并以壳体成矿学理论为指导, 总结了熊耳山地穹大地构造、金成矿演化、分布规律和制约因素, 对研究区进行了成矿流体压力场的计算机数值模拟, 在结合地质、地球物理、地球化学等资料综合分析的基础上, 指出了金的找矿靶区。

关键词: 成矿流体压力场; 数值模拟; 成矿预测; 金矿床; 熊耳山

中图分类号: P59; P612; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2001)04-0238-05

近年来, 成矿流体的研究已成为地球科学研究的热点, 并在流体的存在与运移、矿床与流体的关系、成矿流体输运动力学、建立热液成矿反应体系、矿液致裂等方面取得了重要进展。国内外学者在该领域进行的研究, 主要集中在温度场、速率场、浓度场等方面^[1-4], 目前尚未见到流体压力场研究的报导。流体压力在石油、天然气领域有较深入的研究, 如陈荷立^[5]、童亨茂等^[6], 在金属成矿方面研究少。事实上, 流体压力对金属成矿也有重要影响。成矿流体对成矿构造的贡献在于其产生的液压致裂作用, 人们对液压致裂的特征、机制进行了深入研究, 如彭恩生等^[7], 但对其为何在此处发生却很少研究。本文认为, 对成矿流体压力场的研究可帮助解决这一对脉型矿床和爆破角砾岩筒型矿床有重要意义的地质问题, 并可将其作为成矿预测的一种方法用于金属矿产的定位预测。

熊耳山地区是河南省内最重要的金矿集中区。以壳体成矿学理论^[8]等作为指导, 总结该地区金成矿的时空分布规律, 采用地球动力学中连续介质物理的研究方法, 研究成矿过程中流体压力场分布, 建立成矿的数学模型, 进行计算机数值模拟, 结合地质、地球物理和地球化学等资料进行金成矿的靶区

确定, 对该地区的成矿学研究和地质找矿具有重要的理论意义和实践意义。

1 成矿流体压力场

1.1 成矿流体描述

采用何种动力学方法来描述成矿流体是近年来科学家探讨的热点问题。卢焕章^[2]认为可以用达西定律来描述, 而一些学者认为达西定律的应用有明确的限制条件, 用其研究成矿流体已不再适用。鉴于成矿流体研究中研究区域(包括范围和层厚)远远大于其中的孔隙、相互连通的破裂面等, 且地下裂面的裂开是靠流体压力来支撑的, 超过一定的深度, 张应力就不存在^[9], 出现大规模快速涌流的可能性不大, 本文认为用达西定律对于区域成矿流体进行描述是可以接受的。

1.2 成矿流体压力场的数学推导

本文对流体压力场的推导作如下假设:

① 流体体系是开放的; ② 介质为均匀介质; ③ 研究区边界数值是等时的。

基于以上假设, 据流体力学, 均匀介质中的流体

收稿日期: 2001-07-03; 修订日期: 2001-11-11

作者简介: 杨群周(1964-), 男, 河南禹州人, 高级工程师, 博士生, 1983年毕业于中南工业大学地质专业, 现在中南大学攻读博士学位, 从事成矿学研究。

可用以下 4 个公式描述:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$u = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2)$$

$$v = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (3)$$

$$w = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4)$$

式中: p 为流体产生的压力; u 为向 x 方向上的渗透速度,也叫达西速度; v 为向 y 方向上的渗透速度; w 为向 z 方向上的渗透速度; k 为介质的渗透率; μ 为粘滞系数; $\frac{\partial p}{\partial x}$, $\frac{\partial p}{\partial y}$, $\frac{\partial p}{\partial z}$ 分别为流体产生的压力 p 对 x, y, z 的偏导数。

据以上 4 个公式推导出下式:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = 0 \quad (5)$$

此式即所谓的 Laplace 方程。目前地质研究领域多用二维,在二维条件下,上式为:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0 \quad (6)$$

对于研究区域,如果有某一时刻已知的边界条件,就可以求出此时的成矿流体压力场的数值解,用以了解成矿流体压力场的分布特征。从其等值线图上求出成矿流体压力场的最大区域,即最容易发生矿液致裂的部位,也就是脉型矿床、爆破角砾岩筒型矿床最易产生的部位,即为找矿靶区靶位。据公式(5)或公式(6)的计算结果用公式(2),(3),(4)式可求出成矿流体的速度场分布,以了解其流向、大小等。据成矿流体的速度场分布和成矿温度的边界条件用多孔介质能量守恒公式可求出成矿温度场的分布。

1.3 成矿流体压力场和温度场的比较

成矿流体压力场、温度场等均是成矿流体运动特征的表现。温度场的研究是从能量传递的角度进行的,从温度等值线图上能够了解流体流向及可能出现的矿床分带性。由于温度最高部位不一定是成矿最佳部位,用其确定找矿的靶区靶位尚有一定困难。另外要考虑对流项,其数学模型和计算较为复杂。而成矿流体压力场是从研究力的传递开始的,其数学模型和计算简单。若进行区域找矿预测,则可确定靶区,如研究区为一矿区,则可确定找矿靶位。边界数据为成矿流体压力,可通过对矿物包体的测定获得。

2 研究区地质特征

2.1 大地构造及成矿演化

熊耳山地穹位于东亚壳体华北地洼区河淮地洼系豫西地洼列(图 1)。于太古代时,该区处于前地槽阶段,太华群花岗-绿岩系为其代表构造层,构成该区的结晶基底。元古代初进入地槽阶段,缺失地槽构造层。吕梁运动时,地槽封闭,褶皱带遭受剥蚀并渐趋准平原后,转入地台阶段。

中元古代早期为地台的初定期,在地台南缘的断拉谷环境中形成了中性火山岩建造(熊耳群)。后又沉积了中元古界官道口群地层,为碳酸盐、碎屑岩、粘土岩建造。熊耳群和官道口群为区内地台阶段代表构造层。在晚元古代后,该区沉积间断。

前地洼阶段区内已有多次地球动力学环境的转变和多次成矿作用的发生^[10,11]。燕山运动该区进入地洼阶段,地洼构造层不发育。中侏罗世-白垩纪为其激烈期,成矿地球动力学环境以挤压为主,断裂广泛发育,岩浆活动强烈,先后有五丈山、金山庙、花山花岗岩体的侵入,其中花山花岗岩体为复式岩体。后转入以拉张为主的地球动力学环境,广泛发育伸展构造,产出了雷门沟、祁雨沟的花岗斑岩、爆破角砾岩筒等。地洼阶段,流体活跃,使金等成矿物质从先成的矿源层地层中迁出,在岩浆热液中富集,并对先成的金矿化体进行叠加改造,最终形成金的工业矿床。晚白垩世尤其是晚第三纪以来以伸展型构造运动为主,表现为强烈的块断型差异升降运动。

虽然区内在前地洼阶段有金矿化、热液蚀变的发生,但多无工业矿床的形成。区内工业金矿床的成矿(就位)时代主要在中生代,即大地构造演化进入地洼阶段,属地台阶段转入地洼阶段的“时间过渡期”成矿。地洼阶段金矿化的叠加是金工业矿床形成的必要条件。

2.2 成矿分布及制约因素

从宏观上看,区内岩金矿床主要分布在地穹的边部,距边界一般小于 8 km,这些地段是“空间过渡期”成矿的有利地段。如祁雨沟、瑶沟和北岭金矿分布在地穹的南东边缘,上宫、小池沟、虎沟、康山和红庄等金矿分布在地穹边缘的附近地区。

区内燕山期花岗岩、断裂构造和爆破角砾岩筒构造均对区内的金成矿有制约作用。

燕山期花岗岩的控矿作用分为两种情况:一种是直接控制矿床产出的花岗岩类,它们一般较小,侵位浅,以斑岩、爆破角砾岩筒为主。另一种情况是间接地控制金矿的产出,即金矿床距燕山期花岗岩体有一定距离,如沿花山岩体西缘、南缘和东缘,分布

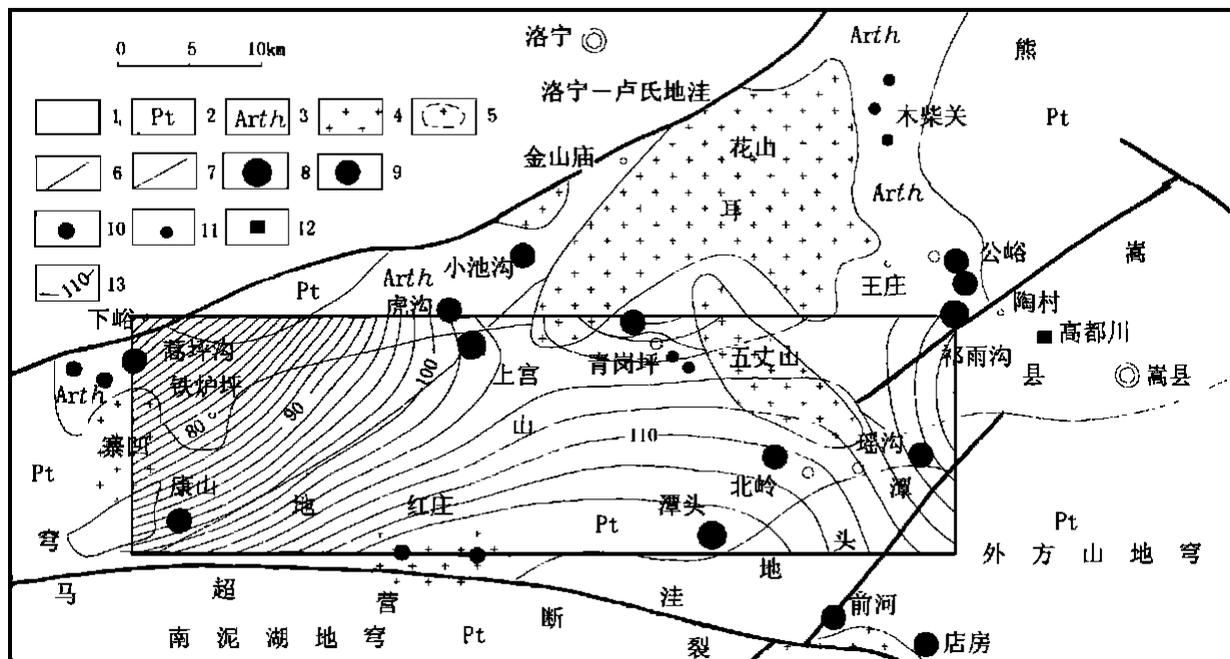


图 1 熊耳山地穹金矿床分布与成矿流体压力场数值模拟略图

Fig.1 The sketch map of distribution of gold deposits and numerical simulations of ore-formation fluid pressure field in Xionger'shan geodome

1. 新生界 2. 中上元古界 3. 太古宇太华群 4. 燕山期花岗岩 5. 隐伏燕山期花岗岩 6. 构造单元边界 7. 区域性断裂
8. 大型岩金矿床 9. 中型岩金矿床 10. 小型岩金矿床 11. 岩金矿点 12. 砂金矿床 13. 成矿流体压力场等值线(MPa)

有上官金矿田、瑶沟金矿田、祁雨沟金矿田和木柴关金矿化集中区；或在隐伏岩体的顶盖围岩之中构成“矿帽”，如在西部寨凹隐伏岩体^[12]北侧和南侧分布有下峪银金铅矿田和康山金银铅矿田，在红庄隐伏岩体^[12]上分布有红庄、南坯等金矿。燕山期重熔型花岗岩浆活动主要为金成矿提供热动力条件。

断裂构造对金矿成矿的控制作用几乎表现在所发现的每个金矿床中，为不同规模、不同期次的断裂构造对金矿成矿具有不同的控制作用。区内的马超营断裂、蛇沟—陶村断裂和山前断裂规模大，形成较早，在地洼阶段又重新活动，它们构成地穹的边界，造成不同构造单元地质演化的差异，控制了中酸性岩浆岩带的分布，并控制了构造单元的“过渡成矿”作用。区内的区域性断裂则控制着区域成矿带、矿田及矿床的分布，如康山—上官断裂对康山金银铅矿田和上官金矿田的控制等。区内金矿控矿断裂多具有多期次活动的特点。容矿断裂主要为 NE 向，如上官、公峪、小池沟、康山等，它们多为叠加于早期韧性断裂之上的脆性断裂，即早期为韧性、成矿期为脆性的断裂构造。爆破角砾岩筒构造的控矿作用主要表现在为该类型金矿床提供成矿空间。

成矿流体活动产生的液压致裂作用对断裂构造的形成、演化尤其是爆破角砾岩筒构造的形成有极其重要的意义。

3 成矿流体压力场的计算机数值模拟

对熊耳山地穹蒿坪沟—祁雨沟地区进行成矿流体压力场的计算机数值模拟结果见图 1, 图 2。

从图 1 可以看出，成矿流体压力场的高值区分布在上官—青岗坪、祁雨沟和红庄—潭头 3 个地区，后两者均为大型金矿床产出地，红庄—潭头地区的东段近年来已探明潭头金矿为一大型金矿，其西段的红庄地区应为大型金矿床产出的有利地区（尽管目前仅发现一些金矿点）。综合区内的地质、地球物理信息，对区内成矿流体压力场的上述分布特征作如下解释：花山花岗岩体向 N (W) 侧伏至洛宁山前断裂，并与金山庙岩体连成一体，上官东侧有舌状伸出，但侵位较低，岩体的西段向 S 侧伏较小，下部与五丈山岩体相连，从而造成了上官—青岗坪成矿流体压力场的高值区；花山花岗岩体东段向 S 缓倾伏

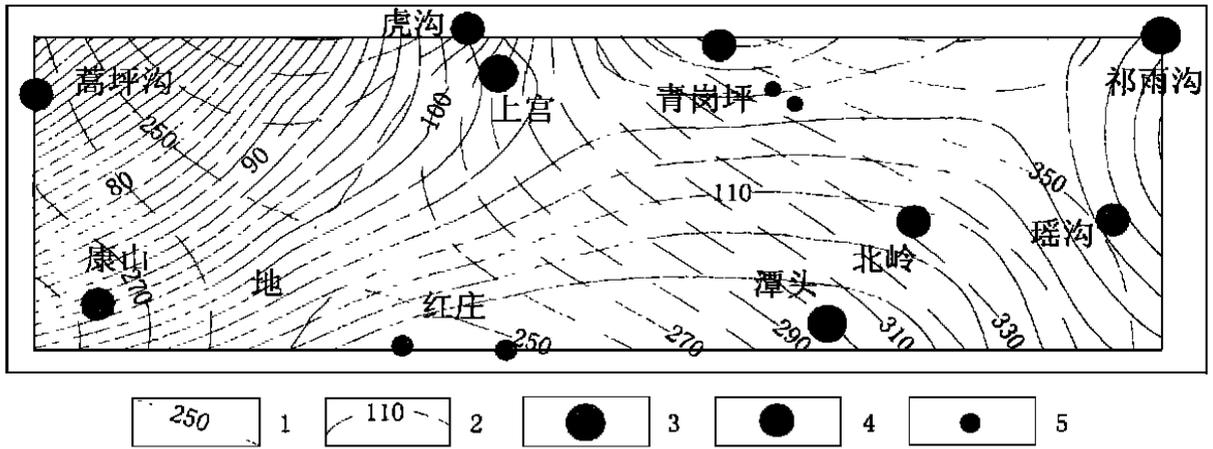


图2 数值模拟区金成矿温度分布略图

Fig. 2 The sketch of distribution of ore-formation temperature in the numerical simulation region

1. 成矿温度场等值线 2. 成矿流体压力场等值线 3. 大型岩金矿床 4. 中型岩金矿床 5. 小型岩金矿床

明显, 延伸通过大、小公峪、祁雨沟至陶村—德亭一线, 形成了祁雨沟地区成矿流体压力场高值区, 形成了该区大量的浅成的脉型、爆破角砾岩筒型金矿床; 花山岩体与五丈山岩体在下部连为一体并继续向南隐伏延伸, 又与北延的合峪岩体相连, 以致外方山地穹西缘的前河、店房金矿在成矿特征上与区内有相似之处。红庄一带深部有隐伏岩体, 距地穹边界马超营断裂近, 成矿流体活跃, 是形成其压力场高值区的主要原因。以前被认为成矿条件较好的寨凹隐伏岩体周围地区, 处于成矿流体压力场的低值区, 可能是该区遭受剥蚀较轻的缘故。

该区成矿温度的分布(图2)和成矿流体压力场明显不一致。但与各区域地球化学场较为吻合。从区域化探异常资料来看, 熊耳山地穹区东段异常以金为主, 西段以银铅为主。目前已发现的金银矿床的分布也是如此, 地穹西部以银铅矿化为主, 如铁炉坪、蒿坪沟等银铅矿床; 东部以金矿化为主, 矿化类型主要为脉型金矿, 如瑶沟、北岭、上宫、小池沟、虎沟、康山和红庄等金矿, 次为网脉型金矿, 如祁雨沟金矿、雷门沟钼金矿床等。

4 找矿靶区预测

据成矿条件分析, 结合地球物理、地球化学等资料以及进行的成矿作用动力学、计算机数值模拟和地球动力学环境的研究, 熊耳山地区仍为东秦岭造

山带河南段金成矿最为有利、找矿潜力巨大的地区。据前面所作分析, 区内分为3个金成矿靶区: 上宫—青岗坪靶区, 祁雨沟—公峪靶区, 红庄—潭头靶区。前两者均有大型金矿床产出, 应深入总结已知矿床成矿规律, 开展成矿流体压力场、温度场、成矿元素浓度场等的研究, 确定找矿靶位。红庄—潭头靶区为最有远景的金成矿靶区, 尤其是红庄地区。该区靠近级构造单元边界马超营断裂, 深部有红庄隐伏岩体, 断裂构造发育, 应多投入找矿和科研力量, 进行地、物、化综合找矿, 开展成矿作用动力学研究, 以期该区金找矿工作的突破。

参考文献:

- [1] 邓军, 翟裕生, 杨立强, 等. 剪切带构造—流体—成矿系统及其动力学[J]. 地学前缘, 2000, 6(1): 115-125.
- [2] 卢焕章, 池国祥, 王中钢. 典型金矿床的成因及构造环境[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [3] 於崇文, 岑况, 鲍征宇, 等. 热液成矿作用动力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
- [4] 於崇文, 岑况, 鲍征宇, 等. 成矿作用动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [5] 陈荷立. 油气研究的有效途径[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 126-131.
- [6] 童亨茂, 李德同. 应力对流体及油气二次运移作用的几种模式[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1999, 23(2): 14-18.
- [7] 彭恩生, 孙振家. 脉状矿床成矿构造研究[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1994.

- [8] 陈国达. 地洼学说新进展[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [9] Rouchet Jean. Stress field, A key to oil migration[J]. AAPGB, 1981, 65(1): 74-85.
- [10] 王官福, 陈志宏, 丁士应, 等. 河南熊耳山地区金矿成矿时代的古地磁研究[J]. 地质学报, 1995, 69(3): 255-266.
- [11] 王祖伟, 周永章. 小秦岭金矿成矿流体的性质及地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1996, 15(4): 225-227.
- [12] 王志光, 崔毫, 徐孟罗, 等. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997.

NUMERICAL SIMULATION OF ORE-FORMATION FLUID PRESSURE FIELD AND ITS APPLICATIONS IN ORE-FORMATION PREDICTION —FOR INSTANCE OF XIONG 'ERSHAN GEODOME, HENAN

YANG Qun-zhou, PENG Sheng-lin

(Institute of Diagenesis and Metallogeny, CSU, Changsha 410083, China)

Abstract: The scientific and applicable importance of mathematical model of ore-formation fluid pressure field to ore-formation prediction are studied in this paper. And tectonics, evolution of gold ore-formation, distribution and controlling factors in Xiong'er shan geodome are summarized based upon the crustal body's metallogeny. Numerical simulation of ore-formation fluid in the region are performed and gold exploration target areas are pointed out on the synthetic analysis of geological, geophysical and geochemical data and so on.

Key words: ore-formation fluid pressure field; numerical simulation; ore-formation prediction; gold deposits; Xiong'er shan

《地质与资源》征订启事

《地质与资源》是由国土资源部主管、沈阳地质矿产研究所主办的地学类科技期刊, 国内外公开发行, 刊号 ISSN 1671-1947/CN 21-1458/P。

本刊创刊于 1992 年, 曾名《贵金属地质》, 在广大热心读者和作者的支持下, 为我国贵金属地质科学研究和生产实践作出了应有的贡献。本刊已被“中国期刊网”、“中国学术期刊(光盘版)”及“万方数据——数字化期刊群”全文收录, 为“中国科学引文数据库”、“中国学术期刊综合评价数据库”和“中国科技论文统计源”来源期刊, 并被著名国际检索机构美国《化学文摘》(CA) 和俄罗斯《文摘杂志》(PЖ) 所收录, 成为在国内外具有广泛影响的学术刊物。

为顺应形势发展需要, 为配合新一轮国土资源大调查战略部署, 经科学技术部批准, 本刊于 2000 年更名为《地质与资源》。

《地质与资源》将继续坚持为读者服务、为作者服务的办刊宗旨, 跟踪地质学世界前沿问题, 全面反映地质调查工作的最新成果, 同时充分报道国内外地质与资源研究领域的现状、水平、发展趋势, 面向广大从事地质科学研究、生产、教学及管理人员, 为读者提供更大的信息量, 为作者提供更广阔的论坛。《地质与资源》设置以下栏目: 区域地质调查、矿产资源评价、水文·工程·环境·生态地质、贵金属地质、综述、方法与应用、问题讨论、国外研究动态等。欢迎各界读者踊跃订阅。

《地质与资源》为季刊, 每季末月 25 日出版, 每册定价 9.00 元, 全年 36.00 元(含邮费), 订阅者请向本刊编辑部索取订单, 订购款一律邮汇。

《地质与资源》编辑部地址: 沈阳市北陵大街 25 号, 邮政编码: 110033, 电话: 024-86855263, 传真: 024-86843124, E-mail: geores@163.com