文章编号:0258-7106 (2012) 03-0590-11

豫西熊耳山 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)的空间分布特征及找矿启示*

梁 涛,卢 仁,白凤军,张晓永,陈丽娟,成静亮,王明国

(河南省有色金属地质勘查总院,河南 郑州 450052;
河南省有色金属深部找矿勘查技术研究重点实验室,河南 郑州 450052)

摘 要 对豫西熊耳山 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)的空间分布特征进行了分析,并在此基础上探讨了熊耳山地区找矿潜力区。在经度方向上,它们集中于熊耳山的东、西两端,而在中部(111.45°~111.50°和 111.60°~111.65°)出现两个矿床频数低值;在纬度方向上,矿化主要集中分布于 34.10°~34.25°的中部地带。121 个矿床(点)的高程(采矿平硐海拔高度)集中分布于 600~750 m、800~1 050 m 和 1 100~1 200 m 三个高程区间内,熊耳山东、西两端大型 Ag-Pb、Au 和 Mo 矿床的高程大致相当。121 个矿床(点)组成了 6 条矿化种类各异和走向不同的矿化条带,分别为近 NW 向的 Ag 及 Ag-Pb 矿化条带(M1)和 Au(Mo、Pb)矿化条带(M3)、近 NE 向的 Au(Mo、Pb)矿化条带(M2)、近 EW 的 Pb-Au(Mo)矿化条带(M4)、近 NNW 向的 Au 矿化条带(M5)和近 NS 向的 Au(Mo、Pb)矿化条带(M6),其走向均与区域以及矿床控矿构造的走向大致相当。121 个矿床(点)在空间三个投影面中均遵循分形丛集分布,并且存在两个无标度网格区,显示了多重分形的特征,发现熊耳山矿集区的分布具有约 10 km 等间距的特征,并结合透岩浆流体成矿理论对熊耳山地区进一步的成矿潜力区进行了分析。

关键词 地质学;矿化;空间分布;分形丛集分布;矿集区;找矿靶区;熊耳山;河南

中图分类号:P612;P617 **文献标识码**:A

Spatial distribution features of Ag, Ag-Pb, Au, Mo and Pb deposits (mineralization spots) in Xiong'er Mountain, western Henan Province, and their implicatiotion for prospecting

LIANG Tao, LU Ren, BAI FengJun, ZHANG XiaoYong, CHEN LiJuan, CHENG JingLiang and WANG MingGuo

(General Institute of Non-ferrous Metals Geological Exploration of Henan Province, Zhengzhou 450052, Henan, China; Key Laboratory of Deep Ore-prospecting Technology Research for Non-ferrous Metals of Henan Province, Zhengzhou 450052, Henan, China)

Abstract

Spatial distribution features of 121 Ag, Ag-Pb, Au, Mo and Pb deposits (mineralization spots) in the Xiong'er Mountain were analyzed, and their implications for prospecting were discussed. Most of them lie in east and west parts of the Xiong'er Mountain in longitude direction; however, there are two sections (111.45°~111.50° and 111.60°~111.65°) that display the lower frequency deposit (mineralization spot) locations in

* 本文得到河南省国土资源厅科技攻关项目(项目编号:2011-622-25 和 2010-61-5)和河南省有色金属地质矿产局科研项目(项目编号:YSDK2012-03 和 YSDK2011-10)资助

第一作者简介 梁涛,男,1979 年生,博士,现主要从事地质矿产勘查及相关研究工作。Email:liang20010212@126.com

收稿日期 2011-08-04;改回日期 2012-04-09。张绮玲编辑。

http://www.kcdz.ac.cn

middle Xiong'er Mountain. In latitude direction, most of deposit (mineralization spot) locations are clustered in the middle part (34.1°～34.25°). The altitude values of 121 deposits (mineralization spots) (altitude of mining adits) fall into three altitude ranges, i.e., 600～750 m, 800～1 050 m and 1 100～1 200 m, and the altitudes of large Ag-Pb, Au and Mo deposits located in east and west parts of the Xiong'er Mountain process the similar altitude range. Six mineralization belts with different strikes and mineralization types are composed of 121 deposits (mineralization spots), the Ag and Ag-Pb belt (M1) and Au (Mo, Pb) belt (M3) strike NW, the Au (Mo, Pb) belt (M2) strikes NE, the Pb-Au (Mo) belt (M4) strikes EW, the Au belt strikes NWW (M5) and the Au (Mo, Pb) belt (M6) strikes NS. Strikes of six mineralization belts are consistent with regional faults. The spatial distribution of 121 deposit (mineralization spot) locations show bi-fractal clustering characteristics with two non-scale ranges. Equidistant feature of ore concentration areas in the Xiong'er Mountain was found, and the distance is about 10 km. On the basis of transmagmatic fluids theory, the potential prospecting targets in the Xiong'er Mountain were discussed.

Key words: geology, mineralization, spatial distribution, fractal clustering, ore concentration area, prospecting target, Xiong'er Mountain, Henan Province

成矿系统总体上是开放、远离平衡、时空延展的动力学系统，具有复杂性和自组织临界性的内禀基本属性，并且在混沌边缘分形生长，它是成矿作用（其核心为成矿作用动力学）、空间结构（矿床地质学场）和时间结构（成矿系统的演化）整体耦合与交织的产物（於崇文，2001a；2001b）。作为空间结构（矿床地质学场）的重要显现之一，矿床（点）的空间分布特征不仅为理解成矿系统提供必要的‘可视化’支持及限定，而且也是选定成矿潜力区的重要而有效的工具之一。豫西熊耳山是河南省重要的金属矿产地之一，因此也受到众多学者的关注，研究内容主要集中在成矿作用（其核心为成矿作用动力学）和时间结构（成矿系统的演化）两方面（如胡受奚等，1988；陈衍景等，1992；2003；王志光等，1997；罗铭久等，2000；卢欣祥等，2002a；2002b；2004；2008；毛景文等，2005；2006；2009；Chen et al., 2009；Mao et al., 2010），而相应的空间结构（矿床地质学场）却没有获得足够的重视。本文从空间分布这一新视角出发，对熊耳山 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床（点）的空间分布及分形特征进行了分析，结合透岩浆流体成矿理论（罗照华等，2007；2009），探讨了其对熊耳山地区找矿勘探的指示作用。

1 地质概况

豫西熊耳山位于华北克拉通南缘（图 1a），南邻栾川-确山-固始深大断裂带，它是小秦岭-崤山-熊耳山-外方山地区与中生代构造岩浆活动有关的金、银、钼、钨、硫、铁、多金属矿床成矿系列的重要组成部分（罗铭玖等，2000；卢欣祥等，2004）。熊耳山的结晶基底为太华群深变质岩及混合岩系，其上主要为熊耳群火山岩系和官道口群沉积岩系及新生界，发育近 EW 向、NE 向和 NW 向 3 组断裂，熊耳山内岩浆活动频繁且强烈，存在太古代、中元古代和中生代（燕山期）3 次强烈岩浆活动（河南地质矿产局，1989）。

熊耳山地区主要出露构造蚀变岩型、石英脉型、爆破角砾岩型、斑岩型等矿床类型（王志光等，1997），矿化以 Ag 及 Ag 多金属、Au、Mo、Pb 为主，如沙沟银铅矿、上宫金矿、祈雨沟金矿、雷门沟钼矿、白土铅矿等。熊耳山内多数矿床的矿化种类以一种或两种组分为主，同时还伴生其他组分，如沙沟 Ag-Pb 矿床中伴有 Zn、Mo 矿化，上宫蚀变岩型 Au 矿床常伴有 Cu、Pb、Sn 矿化，祈雨沟 Au 矿床中还出露 Cu 矿化（卢欣祥等，2004）。

2 矿床（点）空间分布特征

以‘河南省探矿权管理系统’数据库和河南省国土资源厅地质资料目录（www.hnblr.gov.cn）为基础，编制了熊耳山 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 等矿床（点）的平面分布图（图 1b），对其进行了初步空间分析（表 1），并探讨了它们的高程变异特征（图 2）。

2.1 平面分布特征

121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 等矿床（点）整体上呈近NW向分布于熊耳山中，矿化类型自西向

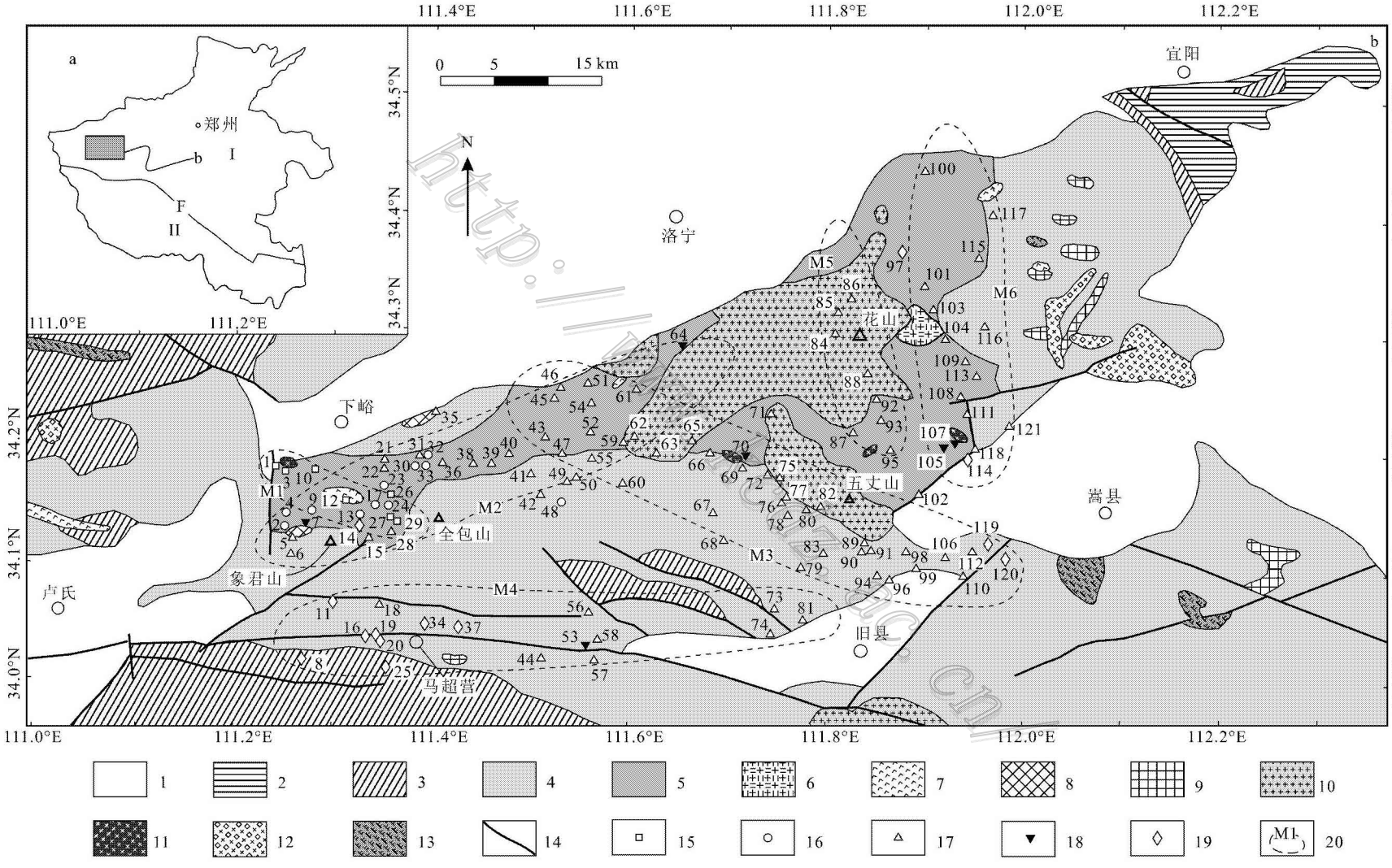


图 1 熊耳山 Ag、Ag-Pb、Au、Mo、Pb 矿床(点)分布图

a. 河南省构造分区简图（据河南省地质矿产局，1989 简化），Ⅰ—华北克拉通，Ⅱ—秦岭造山带，F—栾川-确山-固始深大断裂带；b. 熊耳山 Ag、Au、Mo、Pb 矿床（化）点分布图（底图据河南地质矿产局，1989 简化；矿床（化）点资料源自“河南省探矿权管理系统”数据库和河南省国土资源厅网站）

1—新生界；2—古生界—中生界；3—元古界官道口群；4—元古界熊耳群；5—太古界太华群；6—太古代闪长岩；7—元古代辉绿岩；8—元古代石英斑岩；9—元古代石英闪长岩；10—燕山期花岗岩；11—燕山期角砾岩；12—燕山期花岗斑岩；13—中生代正长（斑）岩；14—断层；15—银铅矿床（化）点；16—银矿床（化）点；17—金矿床（化）点；18—钼矿床（化）点；19—铅矿床（化）点；20—矿化条带及编号（条带划分首先依据 121 个矿床（化）点的矿化种类；其次考虑平面分布的连续性）。图 b 中矿床（化）点名称：1—沙沟；2—楼房；3—月亮沟；4—桥沟；5—小南沟；6—四棵树；7—寨凹；8—白玉沟；9—李家沟；10—蒿坪沟；11—大洞沟；12—楼院；13—牛圈沟；14—小瓦沟；15—龙王庙；16—麦地沟；17—瓦房院；18—康山；19—杨树沟；20—白土；21—垒垒石；22—东草沟；23—程家沟；24—过道沟；25—九里沟；26—铁炉坪；27—龙门店；28—圪了沟；29—北庄沟；30—小麻园；31—茴春沟；32—范庄；33—大麻园；34—杨家岭；35—李子沟；36—活不动沟；37—军地；38—桃园；39—曹咀沟；40—吉家洼；41—马营；42—西青岗坪；43—生泉沟；44—元岭；45—五龙沟；46—上河；47—刘秀沟；48—通天沟；49—干树凹；50—鸡罩沟；51—秀才岭；52—虎沟；53—石瑶沟；54—宋凹沟；55—上宫；56—杨坪沟；57—红庄；58—南坪；59—南王玉沟；60—洛店；61—小池沟；62—七里坪；63—陆院沟；64—沙坡岭；65—三官庙；66—青岗坪；67—穴子沟；68—焦园；69—沙土凹；70—寒石瑶；71—金涧沟；72—三人场；73—北岭；74—石印沟；75—上庄；76—罗岔沟；77—龙潭沟；78—崔香洼；79—栗子沟；80—柿树底；81—东沟；82—万村；83—茴椿沟；84—大河面；85—斑鸠岭；86—木柴关；87—安沟；88—王莽寨；89—上河；90—七亩地沟；91—范疙垱；92—花皮沟；93—乱石盘；94—槐树坪；95—黄水庵；96—水磨；97—杨园；98—石门沟；99—老代庄；100—高家庄；101—玉皇庙；102—后湾；103—露宝寨；104—瓦房院（东）；105—井泉沟；106—瑶沟；107—雷门沟；108—铁驴皮沟；109—曹花园；110—上蛮峪；111—大公峪；112—盘龙山；113—油篓沟；114—山根；115—好贤沟；116—洪涧沟；117—毛岭；118—祈雨沟；119—黄龙庙；120—南岭；121—上胡沟

Fig. 1 Distribution of Ag, Ag-Pb, Au, Mo and Pb deposits (mineralization spots) in the Xiong'er Mountain, western Henan Province

a. Simplified tectonic geological map of Henan Province (after Bereau of Geology and Mineral Resources of Henan Provine (BGMRH), 1989), Ⅰ—North China Craton, Ⅱ—Qinling orogen belt, F—Luanchuan-Queshan-Gushi huge fault belt; b. Distribution of Ag, Ag-Pb, Au, Mo and Pb deposits (mineralization spots) in the Xiong'er Mountain (Basic map simplified after BGMRH, 1989; locations of ore deposits (mineralization spots) from Management System of Prospecting Rright of Henan Province and http: www.hnblr.gov.cn. 1—Cenozoic; 2—Paleozoic-Mesozoic; 3—Guandaokou Group (Pt_2); 4—Xiong'er Group (Pt_2); 5—Taihua Group (Ar); 6—Diorite (Ar); 7—Diabase (Pt); 8—Quartz porphyry (Pt); 9—Quartz diorite (Pt); 10—Yanshanian granite; 11—Yanshanian breccia; 12—Yanshanian granitic porphyry; 13—Mesozoic syenite; 14—Faults; 15—Locations of Ag-Pb deposits (mineralization spots); 16—Locations of Ag deposits (mineralization spots); 17—Locations of Au deposits (mineralization spots); 18—Locations of Mo deposits (mineralization spots); 19—Locations of Pb deposits (mineralization spots); 20—Mineralization belts and their serial numbers. Names of deposit (mineralization spot) locations in Fig. b: 1—Shagou; 2—Loufang; 3—Yueliangou; 4—Qiaogou; 5—Xiaonangou; 6—Sikeshu; 7—Zhawa; 8—Baiyugou; 9—Lijiagou; 10—Haopinggou; 11—Dadonggou; 12—Louyuan; 13—Niujuangou; 14—Xiaowagou; 15—Longwangmiao; 16—Maidigou; 17—Wafangyuan; 18—Kangshan; 19—Yangshugou; 20—Baitu; 21—Leileishi; 22—Dongcaogou; 23—Chengjiagou; 24—Guodaogou; 25—Jiuligou; 26—Tieluping; 27—Longmendian; 28—Geliaogou; 29—Beizhuanggou; 30—Xiaomayuan; 31—Huichungou; 32—Fanzhuang; 33—Damayuan; 34—Yangjialing; 35—Lizigou; 36—Huobudonggou; 37—Jundi; 38—Taoyuan; 39—Caozuigou; 40—Jijiawa; 41—Maying; 42—Xiqinggangping; 43—Shengquangou; 44—Yuanling; 45—Wulonggou; 46—Shanghe; 47—Liuxiugou; 48—Tongtiangou; 49—Ganshuwa; 50—Jizhaogou; 51—Xiucailing; 52—Hugou; 53—Shiyaogou; 54—Songwagou; 55—Shanggong; 56—Yangpinggou; 57—Hongzhuang; 58—Nanping; 59—Nanwangyugou; 60—Luodian; 61—Xiaochigou; 62—Qiliping; 63—Luyuangou; 64—Shapoling; 65—Shanguanmiao; 66—Qinggangping; 67—Xuezigou; 68—Jiaoyuan; 69—Shatuwa; 70—Hanshiyao; 71—Jindonggou; 72—Sanrenchang; 73—Beiling; 74—Shiyingou; 75—Shangzhuang; 76—Luochagou; 77—Longtangou; 78—Huanxiangwa; 79—Lizigou; 80—Shishudi; 81—Donggou; 82—Wancun; 83—Huichungou; 84—Dahemian; 85—Banjiuling; 86—Muchaiguan; 87—Angou; 88—Wangmangzhai; 89—Shanghe; 90—Qimudigou; 91—Fangedang; 92—Huapigou; 93—Luanshipan; 94—Huaishuping; 95—Huangshui'an; 96—Shuimo; 97—Yangyuan; 98—Shimengou; 99—Laodaizhuang; 100—Gaojiazhuang; 101—Yuhuangmiao; 102—Houwan; 103—Luobaozhai; 104—Wafangyuan(east); 105—Jingquangou; 106—Yaogou; 107—Leimengou; 108—Tielupigou; 109—Caohuayuan; 110—Shangmanyu; 111—Dagongyu; 112—Panlongshan; 113—Youlougou; 114—Shangen; 115—Haoxiangou; 116—Hongjiangou; 117—Maoling; 118—Qiyugou; 119—Huanglongmiao; 120—Nanling; 121—Shanghugou

http://www.kcdz.ac.cn

东逐渐单一化(图 1b)。121 个矿床(点)在经度和纬度方向上均具有较好的连续性(图 2a、2b),在经度方向上,矿化主要集中于东、西两端,而在中部(111.45°～111.50°和 111.60°～111.65°)出现 2 个矿床频数低值 在纬度方向上,矿化主要集中分布于 34.10°～34.25°的中部地带。

Ag 矿床(点)集中分布于熊耳山西端的太华群中(图 1b),总体上呈近 NE 走向展布于楼房(2) 至大麻园(33)一线,而该线西侧的通天沟银矿点(48)位于中元古界熊耳群中。Ag-Pb 矿床(点)呈近 NW 向串珠状产于熊耳山西端的太华群中,西北端出露有沙沟 Ag-Pb 矿(1)、月亮沟 Ag-Pb 矿(3)和蒿坪沟 Ag-Pb 矿(10),向东南依次出露楼院 Ag-Pb 矿(12)、铁炉坪 Ag-Pb 矿(26)、龙门店 Ag-Pb 矿(27)和北庄沟 Ag-Pb 矿(29)(图 1b)。

Au 矿床(点)在熊耳山广泛分布,主要分布于花山岩基-五丈山岩体周缘、花山岩基内部和马超营断裂带中(图 1b)。花山岩基-五丈山岩体周缘的 Au 矿床(点)数量多、规模大,集中分布于太华群和熊耳群中,如上宫(55)、祈雨沟(118)、青岗坪(66)、崔香洼(78)、瑶沟(106)等金矿床。花山岩基内部,出露有大河面(84)、斑鸠岭(85)等金矿床(点)。在马超营断裂带中,自西向东依次出露有康山(18)、元岭(44)、红庄(57)、南坪(58)等金矿床(点)。

6 个 Mo 矿床(点)零散分布于熊耳山中(图 1b),除位于南部的石瑶沟 Mo 矿(53)位于熊耳群中外,其余 Mo 矿床(点)均位于太华群中。Pb 矿床(点)主要分布于熊耳山西南部的马超营断裂带中,如白玉沟(8)、杨树沟(19)、军地(37)等 Pb 矿床(点),其余则零星分布于熊耳山中。

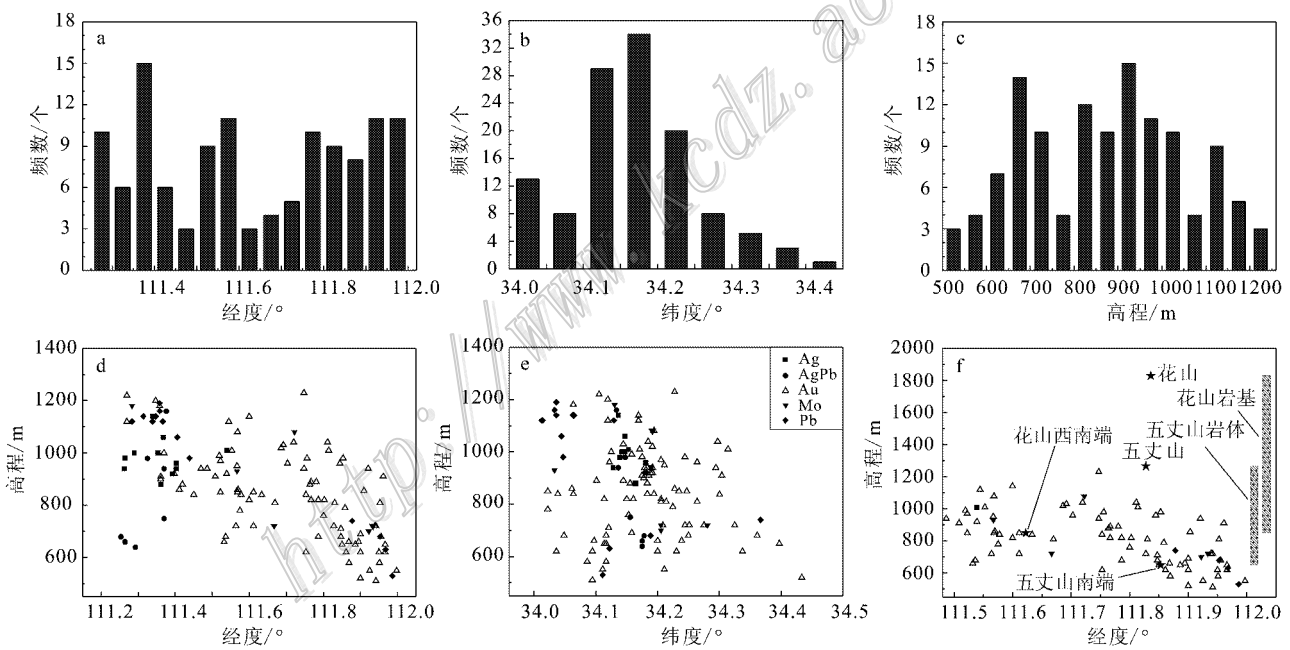


图 2 熊耳山 Ag、Ag-Pb、Au、Mo、Pb 矿床(点)空间位置统计直方图和高程分布特征

a. 经度方向矿床(点)数量直方图;b. 纬度方向矿床(点)数量直方图;c. 矿床(点)的高程直方图;d. 经度-高程图解;e. 纬度-高程图解;f. 岩基周缘矿床(点)的经度-高程图解,花山岩基最高峰花山海拔 1 831 m,花山西南端指花山岩基西南部边缘出露最低处海拔(850 m),五丈山岩体主峰五丈山海拔 1 267 m,五丈山南端指五丈山岩体南部边缘出露最低点(650 m)

Fig. 2 Distribution histogram and altitude features of Ag, Ag-Pb, Au, Mo and Pb deposits (mineralization spots) in the Xiong 'er Mountain

a. Number histogram for deposit (mineralization spot) locations in longitude section; b. Number histogram for deposit (mineralization spot) locations in latitude section; c. Altitude histogram of 121 deposit (mineralization spot) locations; d. Diagram of deposit (mineralization spot) locations in longitude-altitude section; e. Diagram of deposit (mineralization spot) locations in latitude-altitude section; f. Diagram of deposit (mineralization spot) locations around Huashan batholith and Wuzhanshan body in longitude-altitude section, the altitudes of Huashan peak and the lowest occurrence being 1 831 m and 850 m, respectively, and 1 267 m and 650 m for Wuzhangshan granite body

http://www.kcdz.ac.cn

表 1　熊耳山主要地质单元中 Ag、Ag-Pb、Au、Mo、Pb 矿床(点)的分布

Table 1　Distribution of Ag, Ag-Pb, Au, Mo and Pb deposits (mineralization spots) in major geologic units of the Xiong'er Mountain

主要地质单元	统计项目	Ag	Ag-Pb	Au	Mo	Pb	总计
花岗岩岩基(体)	数量/个			10			10
	赋矿比/%			11.90			8.26
	矿化类型比/%			100.00			100.00
官道口群(沉积岩系)	数量/个					2	2
	赋矿比/%					15.38	1.67
	矿化类型比/%					100.00	100.00
熊耳群(火山岩系)	数量/个	1		41	1	8	51
	赋矿比/%	9.09		48.81	16.67	61.54	42.15
	矿化类型比/%	1.96		80.39	1.96	15.69	100.00
太华群(变质岩及混合岩系)	数量/个	10	7	33[a)]	5[b)]	3	58
	赋矿比/%	90.91	100.00	39.29	83.33	23.08	47.93
	矿化类型比/%	17.24	12.07	56.90	8.62	5.17	100.00
总计/个		11	7	84	6	13	121

注：a) 包含祈雨沟爆破角砾岩型 Au 矿床，b) 包含雷门沟斑岩型 Mo 矿床。赋矿比指同一矿化种类在各个赋矿地质单元中的分布比例 矿化类型比指同一赋矿地质单元中不同矿化类型的分布比例。

121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 等矿床(点)的平面展布还具有明显的条带状特征(图 1b)。条带 M1 局限于沙沟(1)和圪了沟(28)一线之间，构成一条走向近 NW 的以 Ag、Ag-Pb 矿化为主的矿化条带；条带 M2 西起楼房(2)，东至沙坡岭(64)，为一条走向近 NE 向的 Au 矿化带，其内还出露少量的 Ag、Ag-Pb、Mo 及 Pb 矿化；条带 M3 走向近 NW，构成了以 Au 为主的矿化带，可见 Mo、Pb 矿化。近东西向的条带 M4 位于熊耳山西南部，与马超营断裂走向大体一致，出露矿化以 Pb-Au 为主，可见 Mo 矿化。近南北向的条带 M6 位于花山岩基东侧，是一条以 Au 矿化为主的矿化带，可见 Pb、Mo 矿化。8 个 Au 矿床(点)组成了走向近 NNW 向的矿化条带 M5，它介于近 NW 向的 M3 和近南北向的 M6 之间。

2.2　地质单元中的分布特征

熊耳山内出露的主要地质单元包括燕山期花岗岩、中元古界官道口群沉积岩系及熊耳群火山岩系和太古界太华群变质岩及混合岩系(图 1b)，它们具有不同的矿化特征(表 1)。熊耳山燕山期花岗岩中仅出露 10 个 Au 矿(化)点，中元古界官道口群中仅出露 2 个 Pb 矿床(点)。

中元古界熊耳群出露 Ag、Au、Mo 和 Pb 等四种矿化类型，累计 51 个矿床(点)，其中 Au 矿床(化)点数达 41 个，占熊耳群矿床(点)总量的 80.39%，Pb 矿床(点)为 8 个，其矿化类型比为 15.69%，Ag 和 Mo 矿床(点)各 1 个，所占比例均为 1.96%(表 1)。

太华群累计出露 58 个矿床(点)，矿化类型包括 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 和 Pb 共 5 种矿化类型(表 1)。Au 矿床(点)33 个，Ag 和 Ag-Pb 矿床(点)分别为 10 个和 7 个，矿化类型比依次为 56.90%、17.24% 和 12.07%。在熊耳山太华群中出露 Mo 矿床(点)5 个，所占比例为 8.62%，Pb 矿床(点)3 个，其矿化类型比为 5.17%(表 1)。

另一方面，同一矿化类型在燕山期花岗岩、中元古界官道口群、中元古界熊耳群和太古界太华群中的分布比例也不尽相同(表 1)。Ag 及 Ag-Pb 矿化主要集中于太华群中，其中 7 个 Ag-Pb 矿床(点)完全位于太华群中，Ag 矿化对于太华群和熊耳群的赋矿比分别为 90.91% 和 9.09%。

Au 矿化分布则相对较广，在燕山期花岗岩、熊耳群群和太华群中均有出露，矿床(点)累计 84 个，赋矿比分别为 11.90%、48.81% 和 39.29%。Mo 矿床(点)累计为 6 个，其中 5 个分布于太华群中，1 个位于熊耳群中。13 个 Pb 矿床(点)分别位于官道口群(2 个)、熊耳群(8 个)和太华群(3 个)中，赋矿比依次为 15.38%、61.54% 和 23.08%(表 1)。

2.3　高程分布特征

为便于地质建模和分析讨论，本文将具有高度区间限制的矿体高程范围简化为一个点，即采用各个矿床(点)的采矿平硐海拔高度代替。

熊耳山内 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)的高程(采矿平硐海拔高度)介于 500～1 250 m 之间，形成 600～750 m、800～1 050 m 和 1 100～1 200 m 三个集中分布区(图 2c)，在经度、纬度以及

矿化种类上，熊耳山内矿床(点)出露的高程均具有较大的变异性(图 2d、2e)。矿床化(点)的高程区间明显低于花山岩基主峰和五丈山岩体主峰，约一半矿床(点)集中位于岩基或岩体出露地表海拔区间的底部，约另外一半矿床(点)的高程低于岩基或岩体地表最低海拔(图 2f)。

绝大部分 Ag 矿床(点)的高程集中于 850～1 050 m之间，东、西两端 Ag 矿床(点)的标高大致相当，如西端楼房(2)、桥沟(4)和李家沟(9) Ag 矿床(点)的高程介于约 900～1 000 m之间，东端通天沟 Ag 矿化点(48)的标高为 1 010 m，而中间 Ag 矿床(点)的高程变化范围较大(图 2d)。Ag 矿床(点)的高程在南北方向上也具有两端大致相当、中间变化大的特征(图 2e)。

Ag-Pb 矿床(点)高程则具有明显的两极分化特征(图 2d、2e)。沙沟(1)、月亮沟(3)、蒿坪沟(10)及铁炉坪 Ag 矿床(26)的高程介于 640～750 m 之间，而其余 Ag-Pb 矿床(点)的高程则在 900 m 以上，最高可达约 1 150 m。在南北方向中，显示出南高北低的特征。

熊耳山 Au 矿床(点)的高程介于约 500～1 200 m间，相差约 700 m(图 2d、2e)。Au 矿床(点)的东西向变异趋势在约 111.7°经度线处产生明显的不连续跳跃，即自 111.7°经度线分别向西和向东，Au 矿床(点)的高程分别具有升高和降低的趋势。

在东西方向上，熊耳山 Mo 矿床(点)的高程同样在约 111.7°经度线处产生明显的不连续跳跃，即自西向东高程逐渐降低，至约 111.7°E 陡然升高后，向东继续降低，而在南北方向上，Mo 矿床(点)的高程具有先增大后减小的变异特征(图 2d)。Pb 矿床(点)几乎贯穿整个熊耳山，但主要集中分布于东端和西端两个区域，并且自西向东，自南向北，Pb 矿床(点)的高程逐渐降低(图 2d、2e)。

熊耳山东、西两端大型矿床的高程具有大致相当的特征，如沙沟(1)、蒿坪沟(10)、铁炉坪(26)等大型 Ag-Pb 矿床的高程介于 600～800 m 之间，熊耳山东段雷门沟 Mo 矿床(107)和祈雨沟 Au 矿床(118)也位于此高程范围内(图 2d、2e)。然而，熊耳山地区大-中型 Au 矿床的高程分布具有阶梯式特征，祈雨沟 Au 矿床(118)的高程约 600 m，元岭 Au 矿床(44)、红庄Au矿床(57)和南坪Au矿床(58)的高程约 800 m，上宫 Au 矿床(55)和康山 Au 矿床(18)的高程约 1 100 m。

3 分形特征

应用 Mandelbrot(1985)的数盒子法(Counting-box)考察了熊耳山 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)在空间上的丛集分布。不考虑单个矿床(点)之间体积的差异，即把矿床(点)视为空间上的一个点集，使用若干边长为 r 的正方形格子划分，分别统计含有矿化的格子数 $N(r)$。若在 $\ln r$-$\ln N(r)$ 图解中，数据点大致为线性关系，即使得 $\ln N(r) = B - D\ln r$ 成立(B 为常数)，则说明矿床(点)具有分形丛集分布特征，D 为分维数($0 < D < 2$)，D 值越小，矿床(点)分布的丛集程度越高，分布越不均匀。熊耳山 121 个矿床(点)数格子法统计的结果见图 3 和表 2。

尽管投影面不同，但这 121 个矿床(点)在空间分布上具有遵循分形丛集分布，并且普遍存在两个无标度网格区及对应的维数值 D，显示了多重分形的特征。在经度-纬度投影剖面中，121 个矿床(点)与 84 个 Au 矿床(点)的分维数 D 值十分接近，表明它们在相近的无标度网格区间内具有类似的分形丛集分布特征，而 Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)的分维数 D 值明显偏小，说明熊耳山 Ag 及 Ag-Pb 矿化分布的不均匀程度更高。这种特征在经度-高程投影面中也获得了重现，但是在纬度-高程投影面中发生了变化，在大尺度无标度网格区间中，Au 矿床(点)分布较 Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)分布均匀程度高，而在小尺度无标度网格区间中，它们具有相接近的分布均匀程度。

Au 矿化在经度-纬度、经度-高程和纬度-高程投影面的分维数 D_1 和 D_2 分别为 1.411、1.271 及 1.312 和 0.401、0.331 及 0.368，Ag 及 Ag-Pb 矿化相应的分维数 D_1 和 D_2 值分别为 0.797、0.944 及 0.758 和 0.485、0.192 及 0.438，这些分维值 D 表明 Au 矿化在 3 个投影面中具有相近的分形丛集分布特征，Ag 及 Ag-Pb 矿化仅在经度-纬度和纬度-高程投影面具有几乎一致的分形丛集分布特征。在大尺度无标度网格区间中，经度-高程投影面中 Ag 及 Ag-Pb 矿化分布比较均匀，而在小尺度无标度网格区间中，经度-纬度和纬度-高程投影面内的 Ag 及 Ag-Pb 矿化分布较均匀。

4 讨 论

4.1 矿床(点)带状分布与成矿构造

熊耳山地区 121 个 Ag、Ag-P、Au、Mo、Pb 矿床(点)组成了 6 条走向不一、矿化类型不尽相同的矿化条带(图 1b)。条带 M1 是走向近 NW 以 Ag、Ag-Pb 为主的矿化带，走向近 NE 的条带 M2、走向近 NW 的条带 M3、走向近 NNW 向的条带 M5 和近 NS 向的条带 M6 都是以 Au 矿化为主的矿化带，近 EW 向的条带 M4 内矿化以 Pb-Au 为主。另外一方面，6 条矿化条带具有明显的交错关系，如走向近 NW 的条带 M1 和 M3 分别与走向近 NE 的 M2 相交，条带 M4、M3、M5 和 M6 具有汇聚于同一区域的趋势，条带走向由 M4 的近 EW 向逐渐过渡到条带 M6 的近 NS 向，条带 M2 和 M4 也具有汇聚于卢氏断陷盆地内的趋势(图 1b)。

熊耳山地区的控矿构造可以分为陡倾断层和拆离断层两类(王志光等，1997；卢欣祥等，2004)，拆离断层带有北拆离断层带(近 NE 向)、南拆离断层带(近 NE 向)和西拆离断带(近 NS 向)；陡倾断层在本区占主导地位，可以分成近 NE 向、NNE 向、NW 向和 EW 向四组，其中近 NNE 向和 EW 向发育最广，为熊耳山地区的控矿构造主体方向，它同时又与其他方向的断裂相互切割构成菱形网格状构造体系。除上述四组主要控矿构造以外，在沙沟 Ag-Pb 矿、吉家洼 Au 矿和露宝寨 Au 矿区中，近 NS 向的构造也是重要的控矿构造(黄守民等，1998；支凤岐等，2004；罗明强等，2003)。

不难发现，近 NW 向的 M1 和 M3、近 NE 向的 M2、近 EW 向的 M4 和近 NNE 向的 M5 大致与熊耳山中近 NE 向、NNE 向、近 NW 向和近 EW 向区域断裂构造走向相吻合，近 NS 向的 M6 在熊耳山区域构造中鲜有匹配，但近 NS 向构造却在部分典型矿区内显现，更有甚者成为重要的赋矿构造。这表明 M1-M6 矿化条带的展布方向与熊耳山控矿构造相吻合，是后者的浅部响应，并且显示出控矿构造的多方向性。

4.2 分维数与无标度区间

用不同边长 r 的格子(单元)划分矿床(点)投影区时，其本质就是使用不同分辨率的衡量尺度来测量矿床(点)的空间分布特征。通常，边长 r 越小，格子具有越高的分辨率，所以，分维数 D 及其相对应的无标度网格区间在地质找矿中具有较大的实际意义。

熊耳山 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)的分布在空间上遵循分形丛集分布，即矿床(点)在空间上不均匀分布，它们通常集中在几个矿化密集区内，进一步集中于某个矿集区内的少数矿田中，在矿田内也是集中于个别矿床。沙沟 Ag-Pb 矿床距离铁炉坪 Ag-Pb 矿床、上宫 Au 矿床和祈雨沟 Au 矿床的距离分别为 9.9 km、29.2 km 和 63.5 km，铁炉坪 Ag-Pb 矿床与上宫 Au 矿床和祈雨沟 Au 矿床的距离分别为 19.5 km 和 53.2 km，上宫 Au 矿距离祈雨沟金矿 38.2 km。它们之间的距离介于 9.9 km 和 63.5 km 之间，且具有近等间距(约 10 km)的特征(图 1b)。在经度-纬度投影面中，分维数 D_1 对应的无标度区间为 36～5.5 km 之间，Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)的无标度区间略小，介于 24～4 km 之间(图 3 和表 2)，所以熊耳山中大型矿床的间距 10 km 至少应该是矿集区之间的距离。据此推测，在铁炉坪与上宫中间可能存在 1 个预测矿集区，而它对应于矿床(点)分布的 111.45°～111.50°经度低值区间(图 1b 和图 2a)；上宫与祈雨沟之间应该存在 2 个间距约 10 km 的预测矿集区，其中西部预测矿集区对应于矿床(点)分布的 111.60°～111.65°经度低值区间。

数盒子法就是采用不同分辨率的观察尺度分析矿床的空间分布，较小的格子边长 r 具有较高的分辨率，在矿产勘查中更具有实际应用价值。小尺度的无标度区间被认为是具有分形特征的热液系统和裂隙系统的有效显现(Carlson，1991；Blenkinsop et al.，1999；Hodkiewicz et al.，2005)，矿床的分形丛集特征与地质因素(如断层交汇处、断层走向转弯处、岩体分布等)的分形丛集分布特征具有正相关关系(Ford et al.，2008)。与 Au 矿床(点)相比，Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)的分维数 D 值明显偏小，这可能暗示了 Ag 和 Ag-Pb 矿床(点)的分布主要受控于先存构造裂隙，而 Au 矿床(点)的分布部分受控于自生长裂隙。

在经度-纬度投影面中，分维数 D_2 对应的经度方向无标度区间为 5.5 km～4.0 km 之间，纬度方向无标度区间为 1.1～1.5 km 之间(图 3 和表 2)，这说明在矿集区范围内，矿床(点)之间的间距介于 1.1 km～5.5 km 之间。对于找矿勘探的实际价值在于确定了在矿集区内寻找矿床(化)的网格间距，如沿

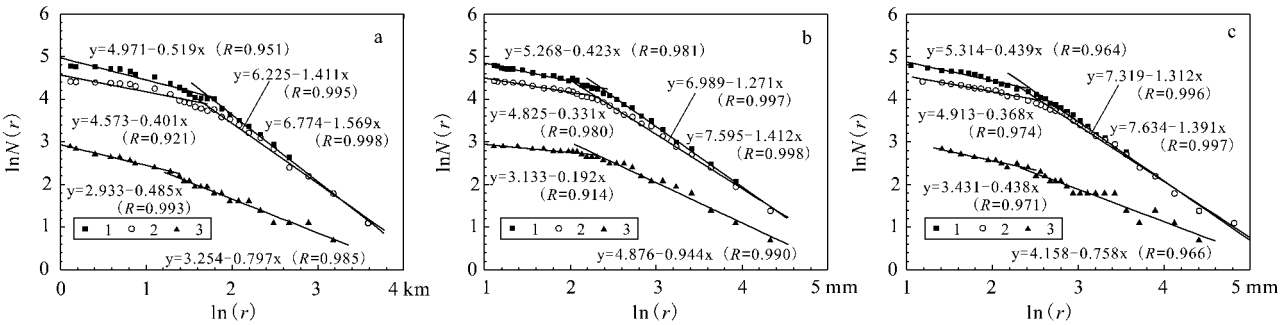


图 3 熊耳山矿床(点)的分形特征

a. **水平投影面(图 1b)分形特征,初始格子为** 72 km×72 km **;**b. **经度-高程投影面(图** 2d**)分形特征,初始格子** 152 mm×152 mm**,分别代表** 72 km**(经度方向)和高程** 1 116 m **;**c. **纬度-高程投影面(图** 2e**)分形特征,初始格子** 246 mm **分别代表** 72 km**(纬度)和高程** 1 500 m**,其中 :**1**—熊耳山所有** 121 **个矿床(点),**2**—熊耳山** 84 **个** Au **矿床(点),**3**—熊耳山** 18 **个** Ag **及** Ag-Pb **矿床(点)**

Fig. 3 Fractal features of deposits (mineralization spots) in the Xiong 'er Mountain

a. Fractal features in plan (Fig. 1b), initial grid being 72 km×72 km; b. Fractal features in longitude-altitude section (Fig. 2d), initial grid being 152 mm×152 mm, representing 72 km in longitude and 1116 m in altitude; c. Fractal features in latitude-altitude section (Fig. 2e), the length of initail grid being 246 mm, representing 72 km in latitude and 1 500 m in altitude. Symbols: 1—Total 121 deposit (mineralization spot) locations in the Xiong 'er Mountain, 2—84 Au mineralization locations, 3—18 Ag and Ag-Pb mineralization locations

表 2 熊耳山矿床(点)分形分布参数

Table 2 Parameters of fractal feature for deposits and mineralization spots in the Xiong 'er Mountain

投影面	矿床(点)类型	无标度网格区间	分维数(D)	相关系数(R)
水平面 经度-纬度	所有矿(床)化点	36 km×36 km~5.5 km×5.5 km	1.569(D_1)	0.998
		5.5 km×5.5 km~1.1 km×1.1 km	0.519(D_2)	0.951
	Au 矿床(点)	36 km×36 km~5.1 km×5.1 km	1.411(D_1)	0.995
		5.1 km×5.1 km~1.1 km×1.1 km	0.401(D_2)	0.921
	Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)	24 km×24 km~4.0 km×4.0 km	0.797(D_1)	0.985
		4.0 km×4.0 km~1.5 km×1.5 km	0.485(D_2)	0.993
横投影面 经度-高程	所有矿(床)化点	36 km×558 m~5.1 km×80 m	1.412(D_1)	0.998
		5.1 km×80 m~1.4 km×22 m	0.423(D_2)	0.981
	Au 矿床(点)	36 km×558 m~4.5 km×70 m	1.271(D_1)	0.997
		4.5 km×70 m~1.4 km×22 m	0.331(D_2)	0.980
	Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)	36 km×558 m~4.5 km×70 m	0.944(D_1)	0.990
		4.5 km×70 m~1.4 km×22 m	0.192(D_2)	0.914
纵投影面 纬度-高程 所有矿(床)化点	Au 矿床(点)	36 km×750 m~3.3 km×68 m	1.391(D_1)	0.997
		3.3 km×68 m~0.8 km×17 m	0.439(D_2)	0.964
	Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)	36 km×750 m~3.6 km×75 m	1.312(D_1)	0.996
		3.6 km×75 m~0.8 km×17 m	0.368(D_2)	0.974
	Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)	24 km×500 m~3.6 km×75 m	0.758(D_1)	0.966
		3.6 km×75 m~1.2 km×25 m	0.438(D_2)	0.971

控矿构造方向按此间距开展找矿工作。

4.3 找矿启示

无论是熊耳山区域上,还是单个矿床,前人对其进一步找矿方向进行了探讨(如胡受奚等,1988 **;陈衍景等,**1993 **;卢欣祥等,**1993 **;**2002a **;**2002b **;**2004 **;任富根等,**1996 **;徐孟罗等,**1997 **;王志光等,**1997 **;支风岐,**2004 **;郭保健等,**2005**),认为花岗岩岩基(体)周缘、太华群地层、拆离带断层以及北东向断裂和已知大型矿床周围及深部均是有利的找矿部位。从熊耳山** 121 **个** Ag**、**Ag-Pb**、**Au**、**Mo **及** Pb **矿床(点)的空间分布及分形特征这一新角度出发,结合透岩浆流体成矿理论(罗照华等,**2007 **;**2009**),获得了关于熊耳山地区初步圈定进一步成矿潜力区的有益启示。**

首先,Ag **矿化分布的整体走向为近** NE **向,而** Ag-Pb **矿化分布的走向为近** NW **向,它们西部起点具有大致相同的经度值,但** Ag-Pb **矿化的东端明显**

http://www.kcdz.ac.cn/

较短，这暗示 Ag-Pb 矿化具有持续向东南延伸的可能性。Ag 及 Ag-Pb 矿床(点)大多位于故县水库环-弧形构造区内，在透岩浆流体成矿理论框架下(罗照华等，2007；2009)，大环(弧)影像是寨凹隐伏花岗岩岩体-流体系总体上升撞击顶板的产物，相当于岩浆侵位的应力发散区，而小环(弧)则是含矿熔浆-流体流分枝(透岩浆流体)溢出的通道或波及的范围(梁涛等，2011)。而此 Ag-Pb 矿化‘缺失’地段正好毗邻故县水库环-弧形构造区外侧的一个小规模的环形构造，进而提升了它的赋矿可能性。

其次，熊耳山 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)的分布在空间上遵循分形丛集分布，矿集区具有近等间距(约 10 km)的特征(图 1b)。经度 111.45°～111.50°之间的矿床(点)的分布低值区大致对应于铁炉坪与上宫之间的预测矿集区，在上宫与祈雨沟之间还可能存在 2 个较大成矿潜力的预测矿集区，其中西侧预测区恰对应于经度 111.60°～111.65°的矿床(点)的分布低值区。这些空间吻合关系提高了预测矿集区存在的可能性。此外，马超营断裂带中康山、红庄-南坪和北岭等 3 个 Au 矿集区的间距大致为 20 km(图 1b)，推测在康山与红庄-南坪之间和红庄-南坪与北岭之间分别存在 1 个 Au 矿集区。

第三，花山岩基为一复式岩体，主要岩石单元岩性为巨斑黑云角闪二长花岗岩、斑状黑云母二长花岗岩和中-细粒角闪黑云二长花岗岩，斑晶含量介于 15%～40%之间，五丈山岩体主要为斑状钾长-二长花岗岩和细粒二长花岗岩(河南省地质矿产局，1989；范宏瑞等，1994)。罗照华等(2007；2008；2009)认为熔浆-流体混合体系中，含矿流体逃逸的可能性取决于其上升速度和过冷度，或者说取决于岩浆体系的规模和侵位深度，斑岩型矿床、斑岩型＋接触带型矿床以及脉状矿床的形成取决于边界条件，如混合体系上升且冷却速度足够快时，流体体系仅位于岩体的深部，上覆熔浆体系相当于流体封闭层，岩体可能不含矿，或者只含贫矿，但深部有发现矿体的可能性。另外一方面，透岩浆流体的注入与迁出无可避免地影响到岩浆固相线温度，导致晶体成核与生长习性的改变，最终在火成岩的结构构造中得以体现，如多斑斑状结构(罗照华等，2010)。花山岩基和五丈山岩体应当是成矿流体上升中的屏蔽层，这提升了位于花山岩基南部上宫与祈雨沟之间 2 个预测矿集区之东部者存在的可能性，尽管具有稍差屏蔽效应的五丈山岩体使含矿流体从岩浆体系中逃逸进入岩体接触带以及围岩裂隙中形成脉状 Au 矿床(点)(图 1b)，但这反而暗示了成矿流体被岩浆体系封闭，即花山岩基和五丈山岩体内部具有较大的成矿潜力，鱼池岭钼矿就是典型的例证(李毅等，2006❶；李诺等，2009；周珂等，2009)。

最后，熊耳山 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)几乎是在经度 112°E 处中断，向东鲜有矿化出露(图 1b 和图 2a)。在熊耳山西段，熊耳群火山岩系是重要的赋矿地质单元之一，熊耳山东端 112°E 以东也出露有燕山期岩浆活动(图 1b)，这就是一个重要的暗示，至少需要对熊耳山 112°E 以东矿化信息弱的原因进行探讨。

5　结　论

(1) 熊耳山 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)形成 6 条走向不一、矿化类型不尽相同的矿化条带，条带 M1 是走向近 NW 以 Ag、Ag-Pb 为主的矿化带，走向近 NE 的条带 M2 和走向近 NW 的条带 M3、走向近 NNW 向的 M5 以及近 NS 向的条带 M6 都是以 Au 矿化为主的矿化带，近 EW 向的条带 M4 内矿化以 Pb-Au 为主，矿化条带的展布方向与熊耳山控矿构造相吻合。

(2) 熊耳山 121 个 Ag、Ag-Pb、Au、Mo 及 Pb 矿床(点)的高程(采矿平硐海拔高度)介于 500～1 250 m 之间，形成 600～750 m、800～1 050 m 和 1 100～1 200 m 三个集中分布区，且东、西两端大型矿床的高程(采矿平硐海拔高度)介于 600～800 m 之间。

(3)熊耳山 121 个矿床(点)在空间分布上遵循分形丛集分布，并且普遍地存在 2 个无标度网格区及对应的分维数值 D，显示了多重分形的特征。

志　谢　河南省国土资源研究院卢欣祥教授对本文初稿进行了阅读，并提供了意见和建议，以示谢意。

❶ 李　毅，徐孟罗，孙永豪，赵天平，杨德寿，李国平. 2006. 河南省嵩县鱼池岭矿区钼矿普查报告. 郑州：河南省有色金属地质勘查总院. 15-37.

参考文献/References

陈衍景，富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京：地震出版社. 1-234.

陈衍景，隋颖慧，Pirajno F. 2003. CMF 模式的排他性依据和造山型银矿实例：东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学[J]. 岩石学报，19(3)：551-568.

范宏瑞，谢奕汉，王英兰. 1994. 豫西花山花岗岩基岩石学和地球化学特征及其成因[J]. 岩石矿物学杂志，13(1)：19-31.

郭保健，李永峰，王志光，叶会寿. 2005. 熊耳山 Au-Ag-Pb-Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. 地质与勘探，41(5)：43-47.

河南地质矿产局. 1989. 河南省区域地质志[M]. 北京：地质出版社. 1-772.

胡受奚，林潜龙. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质与找矿[M]. 南京：南京大学出版社. 1-558.

黄守民，武新强，崔燮祥. 1998. 河南省吉家洼金矿床地球化学特征[J]. 河南地质，16(1)：1-7.

李 诺，陈衍景，孙亚莉，胡海珠，李 晶，张 辉，倪智勇. 2009. 河南鱼池岭钼矿床辉钼矿铼-锇同位素年龄及地质意义[J]. 岩石学报，25(2)：413-421.

梁 涛，卢 仁，王明国. 2011. 豫西故县水库环-弧形构造组合的找矿指示作用[J]. 地质与勘探，47(6)：1162-1170.

卢欣祥，李先梓，严 阵. 1993. 秦岭-大别地区花岗岩类的成矿作用[A]. 见 李先梓，严 阵，卢欣祥. 秦岭-大别花岗岩[M]. 北京：地质出版社. 144-174.

卢欣祥，肖庆辉，尉向东，董 有，于在平. 2002a. 秦岭造山带花岗岩及其成矿作用[A]. 见：肖庆辉，邓金福，马大铨，洪大卫，莫宣学，卢欣祥，李志昌，汪雄武，马昌前，吴福元，罗照华，王 涛. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京：地质出版社. 192-214.

卢欣祥，于在平，冯有利，王义天，马维峰，崔海峰. 2002b. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J]. 矿床地质，21(2)：168-178.

卢欣祥，尉向东，董 有，于在平，常秋玲，张冠山，刘树林，叶安旺，索天元，晋建平. 2004. 小秦岭-熊耳山地区金矿特征与地幔流体[M]. 北京：地质出版社. 1-128.

卢欣祥，李明立，王 卫，于在平，时永志. 2008. 秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用[J]. 矿床地质，27(6)：762-773.

罗明强，刘付明. 2003. 宜阳县露宝寨铜金矿区构造控矿作用探讨[J]. 矿产与地质，17(2)：157-160.

罗铭玖，黎世美，卢欣祥，郑德琼，苏振邦. 2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列[M]. 北京：地质出版社. 1-125.

罗照华，莫宣学，卢欣祥，陈必河，柯 珊，侯增谦，江 万. 2007. 透岩浆流体成矿作用-理论分析与野外证据[J]. 地学前缘，14(3)：165-183.

罗照华，卢欣祥，郭少丰，孙 静，陈必河，黄 凡，杨宗锋. 2008. 透岩浆流体成矿体系[J]. 岩石学报，24(12)：2669-2678.

罗照华，卢欣祥，陈必河，李明立，梁 涛，黄 凡，杨宗锋. 2009. 透岩浆流体成矿总用导论[M]. 北京：地质出版社. 1-177.

罗照华，卢欣祥，许俊玉，刘 翠，李德东. 2010. 成矿侵入体的岩石学标志[J]. 岩石学报，26(8)：2247-2254.

毛景文，谢桂青，张作衡，李晓峰，王义天，张长青，李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报，21(1)：169-188.

毛景文，郑榕芬，叶会寿，高建京，陈 文. 2006. 豫西熊耳山地区沙沟银铅锌矿床成矿的^{40}Ar-^{39}Ar 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质，25(4)：359-368.

毛景文，叶会寿，王瑞廷，代军治，简 伟，向君锋，周 珂，孟 芳. 2009. 东秦岭中生代钼铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. 地质通报，28(1)：72-79.

任富根，李维明，李增慧. 1996. 熊耳山-崤山地区金矿成矿地质条件及找矿综合评价模型[M]. 北京：地质出版社. 1-121.

王志光，崔 亳，徐孟罗，郑尚模，王富贵，吕 夏，张 林，程广国. 1997. 华北地台南缘地质构造与演化[M]. 北京：冶金工业出版社，1-311.

徐孟罗，李红超，王志光，郭保健，程广国，王玉玲. 1997. 豫西金银多金属矿床成矿系列及其共生组合规律[J]. 矿产与地质，11(2)：73-78.

於崇文. 2001a. 成矿动力系统在混沌边缘分形生长——一种新的成矿理论与方法论(上)[J]. 地学前缘，8(3)：9-28.

於崇文. 2001b. 成矿动力系统在混沌边缘分形生长——一种新的成矿理论与方法论(下)[J]. 地学前缘，8(4)：471-489.

支风岐，刘灵恩，索 勇. 2004. 河南省熊耳山西段沙沟西银铅矿区地质特征及找矿前景分析)[J]. 矿产与地质，18(1)：35-38.

周 珂，叶会寿，毛景文，屈文俊，周树峰，孟 芳，高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-锇同位素年龄[J]. 矿床地质，28(2)：170-184.

Blenkinsop T G and Sanderson D J. 1999. Are gold deposits in the crust fractals? A study of gold mines in the Zimbabwe Craton[J]. Geological Society London Special Publications，155：141-151.

Carlson C A. 1991. Spatial distribution of ore deposits[J]. Geology，19(2)：107-110.

Chen Y J，Pirajno F，Li N，Guo D S and Lai Y. 2009. Isotope systematics and fluid inclusion studies of the Qiyugou breccia pipe-hosted gold deposit，Qinling Orogen，Henan Province，China：Implications for ore genesis[J]. Ore Geology Reviews，35，245-261.

Ford A and Blenkinsop T G. 2008. Combining fractal analysis of mineral deposit clustering with weights of evidence to evaluate patterns of mineralization：Application to copper deposits of the Mount Isa Inlier，NW Queensland，Australia[J]. Ore Geology Reviews，33：435-450.

Hodkiewicz P F，Weinberg R F，Gardoll S J and Groves D I. 2005. Complexity gradients in the Yilgarn Craton：Fundamental controls on crustal-scale fluid flow and the formation of world-class orogenic-gold deposits[J]. Australian Journal of Earth Sciences，52，831-841.

Mandelbrot B B. 1985. Self-affine fractals and fractal dimension[J]. Physica Scripta，32：257-260.

Mao J W，Xie G Q，Pirajno F，Ye H S，Wang Y T，Li Y F，Xiang J F and Zhao H J. 2010. Late Jurassic-Cretaceous granitoid magmatism in the Eastern Qinling，Central-eastern China：SHRIMP zircon U-Pb ages and tectonic implications[J]. Australian Journal of Earth Science，57：51-78.