

河南新县大银尖钼矿床成岩成矿作用地球化学 及地质意义

杨梅珍^{1,2)}, 曾键年²⁾, 李法岭³⁾, 潘思东²⁾, 陆建培²⁾, 任爱群³⁾

1)地质过程与矿产资源国家重点实验室(中国地质大学), 湖北武汉 430074;

2)中国地质大学, 湖北武汉 430074;

3)河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队, 河南信阳 464000

摘 要: 大银尖钼矿床产于大别变质核杂岩带北缘, 为典型的与花岗侵入岩有关的石英脉-矽卡岩型复合型的岩浆热液矿床。对大银尖钼矿床开展了成矿岩体地球化学以及岩体和矿石 S、Pb 多元同位素联合示踪研究。结果表明, 产于矿床不同部位不同类型钼矿石金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化很小(5.26‰~6.30‰), 显示规模较大、硫同位素相对均一的岩浆热液体系特征。成矿岩体显示明显较高的 $\delta^{34}\text{S}$ (+16.86‰), 可能反映岩浆强烈的 H_2S 脱挥发分作用。成矿岩体和矿石的低放射性成因铅同位素组成特征($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$): 16.876~16.732, ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$): 15.206~15.321, ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$): 37.570~37.271, 和成矿岩体极低的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ (-20.1)、高($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i(0.7237)和极高的 $T_{2\text{DM}}$ (2.4Ga), 表明成岩成矿物质形成于中下地壳古老大别杂岩的熔融作用。根据大银尖成矿岩体低 Sr 丰度($<50\times 10^{-6}$)、高 Yb(1.8×10^{-6})较强的 Eu 负异常($\delta\text{Eu}<0.5$)和较低的(La/Yb)_N(7.8~9.6)海鸥式稀土配分模型和最新年代学资料综合分析认为, 大银尖钼矿床成岩成矿作用与大别造山带伸展减薄后正常厚度陆壳的熔融作用密切相关, 是大别造山带岩石圈拆沉减薄深部动力学过程的浅表响应。

关键词: 大别山; 二长花岗岩; 硫同位素、Sr-Nd-Pb 同位素; 岩石地球化学; 大银尖钼矿床

中图分类号: P618.65; P59 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2011.03.03

Geochemistry of Mineralization and Granitic Magmatism of Dayinjian Mo deposit, Xinxian County, Henan Province and Its Geological Significance

YANG Mei-zhen^{1,2)}, ZENG Jian-nian²⁾, LI Fa-ling³⁾, PAN Si-dong²⁾, LU Jian-pei²⁾, REN Ai-qun³⁾

1) State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074;

2) China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074;

3) No.3 Geological Survey Party, Henan Bureau of Geoexploration and Mineral Development, Xinyang, Henan 464000

Abstract: The Dayinjian Mo deposit located on the northern margin of the Dabie metamorphic core complex rock belt is a typical quartz vein-skarn Mo mineralization related to granitic magmatism. The authors studied petrogeochemistry of Dayinjian mineralized monzonite granite and Pb and S multielement isotopic trace of granite and ores. $\delta^{34}\text{S}$ values of the sulfides range between 5.26 and 6.30 per mil, and vary insignificantly with the location and type in the ore deposit. the high $\delta^{34}\text{S}$ values of granite suggest intense degassing of H_2S of granitic melt. The low radioactivity-generated Pb isotopic composition of mineralized granite and ores ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$): 16.876~16.732,

本文由地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题(编号: GPMR201014)和河南省国土资源厅 2007 年度省“两权价款”地质科研计划项目(项目编号: 2882)联合资助。

收稿日期: 2011-03-09; 改回日期: 2011-04-15。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 杨梅珍, 女, 1965 年生。博士, 副教授。主要从事矿床学矿相学教学和地质找矿工作, 近来重点开展大别山地区钼多金属成矿动力学及时空结构规律研究。通讯地址: 430074, 中国地质大学(武汉)资源学院资源系。电话: 027-67883930。E-mail: ymzkitty@163.com。

($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$): 15.206~15.321, ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$): 37.570~37.271 and the high ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i(0.7237), very low $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{t})$ (-20.1) and high $T_{\text{DM}}(2.4 \text{ Ga})$ of the mineralized granite indicate that the granite and ore-forming materials were derived from partial melting of low-middle crust composed of old Dabie metamorphic complex rocks. According to geochemical characteristics of Dayinjian granite such as relatively low Sr ($<50 \times 10^{-6}$) and high Yb ($>1.8 \times 10^{-6}$) content, comparatively strong negative Eu anomaly ($\delta\text{Eu} < 0.5$), rather low (La/Yb)_N (7.8~9.6) and sea gull-shaped REE distribution pattern, together with the newest geochronologic data, it can be concluded that the magmatism and mineralization of the Dayinjian Mo deposit were related to partial melting of the continental crust with normal thickness after extension and thinning of Dabie orogen, and seemed to be the surface response to the deep dynamic process of lithospheric delamination and thinning in the Dabie orogenic belt.

Key words: Dabie Mountain; adamellite; S isotope, Sr-Nd-Pb isotopes; petrogeochemistry; Dayinjian Mo deposit

东秦岭—大别山钼矿带集中了 5 个世界级超大型、5 个大型和众多中小型钼矿床, 探明钼金属储量超过 $5 \times 10^6 \text{ t}$, 是仅次于美国 Climax 的世界第二大钼矿带, 已经发现的大型超大型钼矿床均集中在东秦岭地区。近几年来, 大别山北缘地区钼多金属找矿取得了重大进展。商城县汤加坪大型斑岩钼矿床(杨泽强, 2007), 光山县河棚乡千鹅冲大型斑岩钼矿床、信阳市天目山钼矿床(李法岭, 2008)以及金寨县沙坪沟特大斑岩钼矿床(资源导刊编辑部, 2009)相继发现和勘探, 彻底改变了人们对大别山地区金属成矿潜力的认识, 极大地增强了人们找矿的信心。区域成矿时空结构规律、成矿-岩浆的关联关系以及成岩成矿深部动力学机制研究对于指明区域找矿方向和成矿潜力评价具有重要意义。大银尖钼矿床是大别山北缘地区有别于东秦岭—大别山地区的斑岩钼矿床体系的典型与深成侵入花岗岩热液体系有关的石英脉型和矽卡岩型复合型钼矿床, 解剖其成矿作用特征, 系统深入研究其成岩-成矿之间的关联, 阐明成岩成矿深部动力学过程, 对于认识大别山地区钼多金属成矿系列和时空结构规律具有重要意义。前人对大银尖钼矿床开展了一些矿床基础地质研究和成矿规律的总结(李诗言等, 2006; 邱顺才, 2006; 姚晓东, 2008; Mao et al., 2008; 简平, 2001)。并获得了高精度的辉钼矿 Re-Os(4 个样品模式年龄加权平均 $122.7 \pm 1.9 \text{ Ma}$)同位素年代学资料(罗正传, 2010), 为开展成矿作用和成矿动力学背景研究奠定了基础。本文在对大银尖钼矿床地质特征研究基础上, 对大银尖钼矿床及成矿花岗岩体岩石地球化学及多元素同位素示踪研究, 并与邻区烧香尖和新县岩体以及区域成矿岩体地球化学及年代学进行对比, 探讨大银尖钼矿床成岩成矿构造动力学背景, 深入认识岩浆成因和深部动力学机制, 深化对成矿作用有关的深部过程和矿床成因的理解, 为大别山地区区域成矿规律总结和确定找矿方向提供重要的基础地质资料。

1 区域地质背景

大银尖钼矿床位于大别山北缘, 河南省新县千斤镇南 1 km。地理坐标为东经 $114^{\circ}41'18''$, 北纬 $31^{\circ}43'41''$ 。最早由河南省地质局第三地质调查队对其进行了地质普查, 钼资源量 21454.6 t, 钼品位 0.05%~0.06%(河南省地质调查局第三地质调查队, 1983)为一中型钼矿床。

大别造山带以定远—八里畈断裂(F_3)为界(图 1), 以北为北淮阳构造带, 该带出露中元古界、古生界和更年轻的地层, 经历绿片岩相变质作用; 以南为桐柏—大别变质核杂岩带, 由红安 HP 变质带、新县 UHP 变质带和浠湾 HP 变质岩带组成。其中新县超高压变质带为构造穹窿, 由花岗质-花岗闪长质片麻岩和少量表壳岩系及很多榴辉岩组成。浠湾 HP 主要为中上元古界浠湾岩组, 为一套多期变质变形改造的层状无序构造岩石单位, 主要岩石类型为高压变质榴辉岩、中压变质的二长片麻岩、含榴白云斜长片麻岩和构造片岩等, 其原岩为一套中基性-酸性火山岩为主, 夹陆缘碎屑岩、碳酸盐建造。地层构造面理走向北西—北西西。大银尖钼矿床位于大别核杂岩隆起带北缘的浠湾 HP 变质岩带中。区域构造以断裂发育为特征, 较大规模的断裂有北部的桐商断裂、定远—八里畈断裂和熊店—浠湾断裂, 它们具有多期活动特征, 是大别造山带碰撞造山后隆升期间的翼部滑脱界面(许长海等, 2001), 也是碰撞造山后大规模岩浆侵位的重要场所, 如灵山、烧香尖、新县、商城等花岗岩体受控于这些断裂。大银尖成矿岩体即侵位于熊店—浠湾断裂带中。除此, 较晚的横切北西向西向区域构造线北北东—北北西断裂构造发育, 如规模较大的新县断裂、商-麻断裂等。岩浆岩分布广泛, 主要为燕山期花岗岩侵入体。从西至东发育有灵山、烧香尖、新县和商城岩体。区域大规模的钼多金属成矿作用密切与分布于花岗岩带中的一些小型花岗斑岩和花岗岩岩株有关。从西

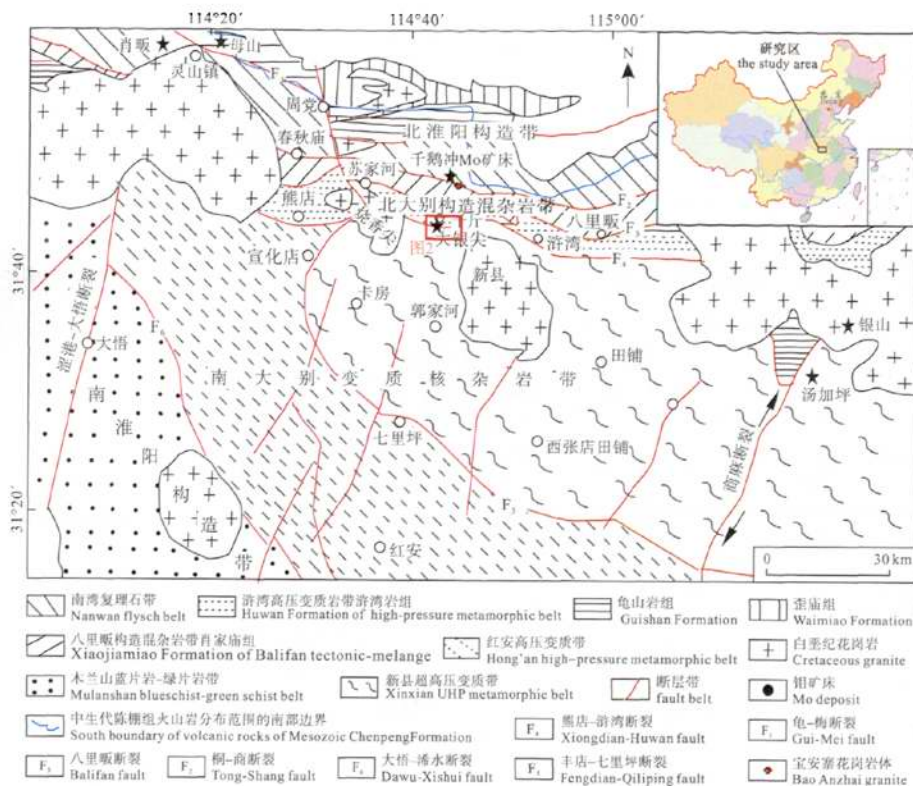


图 1 大银尖钼矿床区域地质略图(据 Liu et al., 2004 编)

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Dayinjian Mo deposit(modified after Liu et al., 2004)

至东, 有天目山二长花岗岩岩株, 肖畈、母山、千鹅冲花岗斑岩体, 大银尖花岗岩岩株以及汤家坪、银山花岗斑岩等, 构成规模宏大的大别山花岗岩侵入岩钼多金属成矿带, 属东秦岭钼多金属成矿带的东延部分。大银尖钼矿床与其北侧的千鹅冲斑岩型钼多金属矿床相距仅 10 km。西侧约 5 km 为烧香尖二长花岗岩体, 南侧约 7 km 为新县二长花岗岩岩基。

2 大银尖钼矿床特征

矿区出露地层为古元古界七角山组(Pt_1g)和中元古界苏家河群汭湾岩组(Pt_2h)。七角山组分布于矿区南部, 其岩性主要为斜长片麻岩夹角闪片麻岩及含磁铁斜长片麻岩, 局部夹大理岩, 与汭湾岩组呈角度不整合接触关系。汭湾岩组为大银尖钼矿床直接围岩, 可以分为两个岩性段, 下段主要为条痕状混合岩、黑云母钾长片麻岩夹斜长角闪岩, 顶部有较多的大理岩薄层或透镜体, 分布于矿区中部, 上段下部主要为白云(黑云)斜长片麻岩夹浅粒岩, 顶部为白云斜长片麻岩夹石英岩、长石石英岩和大理

岩透镜体, 分布于矿区的北部及外围(图 2)。区内局部分布榴闪岩透镜体。地层片理和片麻理走向为北西—北西西向, 倾向北东, 倾角一般为 $20^\circ \sim 40^\circ$ 。

大银尖岩体位于千斤镇南 1 km, 地表出露形态为向北凹口的“Y”字形, 面积 1.2 km^2 , 侵入于汭湾岩组(Pt_2h)深变质岩系地层中。岩体地表倾角 $75^\circ \sim 85^\circ$, 钻孔揭露其深部倾角为 $30^\circ \sim 40^\circ$, 呈上陡下缓的蘑菇状, 向 NW 倾伏。岩体由中粒二长花岗岩(中间带)、似斑状中细粒二长花岗岩(过渡带)、细粒二长花岗岩(边缘相)3 个岩相带组成, 其中似斑状中细粒二长花岗岩为主体。细粒二长花岗岩边缘相为矿化单元。除此, 矿区内发育北东和北西向两组花岗斑岩脉, 在大银尖岩体北侧构成近似共扼 X 形。这些共扼裂隙构造可能是深部岩浆上侵过程产生的热致断裂。两组共扼裂隙交汇部位可能为深部岩浆活动中心, 正与大银尖岩体位置吻合。因此, 大银尖岩体处在岩浆活动的中心区域, 也是钼矿化集中区域。矿化集中在大银尖岩体东西两侧, 而工业矿体又集中在西侧岩体侧伏的鼻梁部位(图 2), 为一

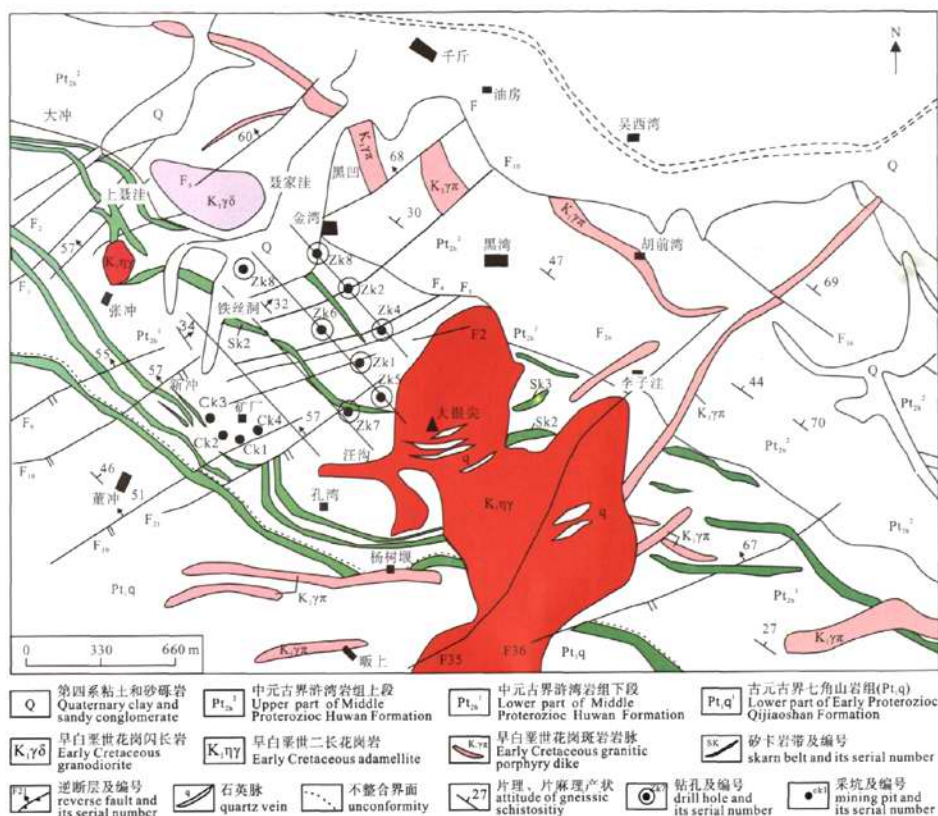


图2 大银尖钼矿床地质略图(据河南省地质矿产开发局第三地质调查队, 1983)

Fig. 2 Geological map of Dayinjian Mo deposit(after No.3 Geological Survey Party, Henan Bureau, 1983)

东西长约 4 km、南北宽约 1.5 km 的北西—南东展布的带状区域。

区内存在两种赋矿构造：断裂裂隙构造和外接触带层间裂隙带。前者以规模不等的多级平行节理裂隙带为特征(图 3a)，发育在大银尖岩体西北部边缘及岩体围岩接触带。裂隙带走向 60°~70°，倾向北西，倾角 50°~70°，裂隙带长数百米，宽上百米，多由辉钼矿-石英脉充填，控制石英脉型矿化。后者与地层构造面理一致，与大理岩夹层有关，控制矽卡岩型矿化。

石英脉型矿化呈脉状，成群成带，辉钼矿-石英大脉厚达 1.5 m，长达 1.5 km。小脉宽一般 1~2 cm，细脉宽<1 cm。局部为细脉浸染状、网脉状、透镜状矿化。且石英脉具有分级控制和等间距性特点(图 3a)。矿石具脉状、网脉状构造，粗粒结构。金属矿物主要为黄铁矿和辉钼矿，少量黄铜矿，脉石矿物为石英和少量的长石、白云母、萤石等。

矽卡岩型矿化发生在岩体外接触带，受围岩地层面理构造控制，与大理岩夹层有关。矽卡岩带一

般长 3 km，宽 3~150 m。与地层片麻理产状一致。倾向 20°~40°，倾角 35°~55°。矽卡岩主要为石榴石矽卡岩(图 3b)、绿帘石方解石矽卡岩(图 3c)、石榴石透辉石矽卡岩等。矿石具浸染状、稠密浸染状构造(图 3b, c)。金属矿物主要为辉钼矿，其次为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和白钨矿等，脉石矿物主要为石榴石、绿帘石、方解石，少量透辉石。

围岩蚀变主要为石英-钾长石化、云英岩化、矽卡岩化、碳酸盐化和萤石化。石英-钾长石化与钼矿化密切，呈线状发育在辉钼矿-石英脉两侧。面型云英岩化发育于岩体中，伴随非常弱的金属硫化物矿化。矽卡岩化发生在大银尖岩体含钙质斜长角闪岩和大理岩的围岩地层中，矿物组合为钙铝榴石、钙铁榴石、钙铁辉石、绿帘石、绿帘石、方解石，多伴随较强的钼矿化。萤石化和方解石化则以脉体形式充填于构造裂隙中，基本无钼矿化，但可见其内部有辉钼矿矿石角砾，显示其为晚期热液的产物。辉钼矿一般呈浸染状分布于硅化-钾长石化线性蚀变带中，或呈线状集中于石英脉壁处，或呈团块状

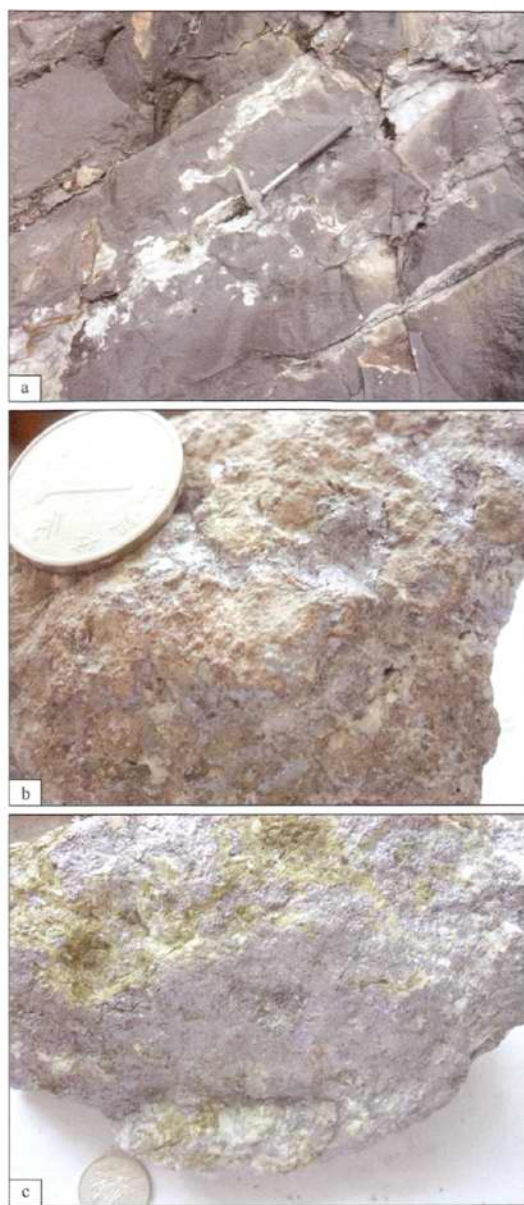


图3 大银尖钼矿床矿化特征

Fig. 3 Mineralization characteristics of Dayinjian Mo deposit

a-花岗岩中密集平行的辉钼矿-石英脉型矿化; b-石榴石砂卡岩型辉钼矿矿石; c-方解石-绿帘石砂卡岩型辉钼矿矿石
a-crowded parallel vein type mineralization in granite; b-garnet skarn molybdenite ore; c-calcite-epidote skarn molybdenite ore

分布于夕卡岩中。热液矿化大致可以分为云英岩化阶段、硅化-钾长石化阶段、辉钼矿-石英脉阶段、矽卡岩化阶段、石英-方解石-萤石阶段。辉钼矿集中沉淀发生在辉钼矿-石英脉阶段和矽卡岩化阶段。主成矿阶段石英流体包裹体均一温度测定结果

显示, 辉钼矿-石英脉阶段均一温度为 $133\sim 287^{\circ}\text{C}$, 矽卡岩化阶段为 $140\sim 326^{\circ}\text{C}$ 。大银尖钼矿床属为中高温石英脉-矽卡岩复合型岩浆热液矿床。

3 样品采集及分析方法

3.1 样品采集

成矿有关的花岗岩岩石样品采自大银尖二长花岗岩体北侧的边缘相, 地理座标: 北纬 $31^{\circ}43'42.2''$, 东经 $114^{\circ}41'17.1''$ (GPS 定位), 样品新鲜, 显微镜薄片观察基本无蚀变现象。分选硫化物单矿物的辉钼矿-石英脉型和矽卡岩型矿石样品分别采自岩体内部和外接触带。

3.2 分析方法

岩石主量元素分析由国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成。主量元素 SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 采用 AXIOS X 射线荧光光谱仪 (XRF) 分析, FeO 和烧失量 (LOI) 采用标准湿化学分析法分析。分析误差 $< 5\%$ 。稀土、微量元素以及 Sr-Nd 同位素测定在中国地质大学 (武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室完成, 分别采用电感耦合等离子质谱仪 (Agilent 7500A 型) 和 MAT-261 表面热电离同位素比值质谱仪分析。其中同位素比值质谱仪仪器标样分析结果: NBS987 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710240 \pm 6$; La Jolla $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511844 \pm 1$ 。

Pb 同位素组成测试在宜昌地质矿产研究所完成。称取 $10\sim 100\text{ mg}$ 的岩石矿物样品 (样品类型不同其称样量亦不同) 于聚四氟乙烯烧杯中, 加入 $\text{HF} + \text{HNO}_3$ 混合酸分解样品, 蒸干, 加入 6 mol/L HCl 除去溶样时带进的其他酸根离子, 最后转化成 HBr : HCl 为 $1: 2$ 混合酸介质, 离心, 然后通过 AG-1 $\times$ 8 (200-400 目) 阴离子交换柱, 用 $5\sim 8\text{ mL}$ 的 0.3 mol/L HBr 淋洗杂质, 再用 $5\text{ mL } 0.5\text{ mol/L HCl}$ 将树脂转型, 最后用 $5\text{ mL } 6\text{ mol/L HCl}$ 解吸 Pb。Pb 同位素比值的测定在 MAT-261 可调多接收质谱计上完成。同位素分析样品的制备均在超净化工作柜内完成, 所用试剂和水均经聚四氟乙烯对瓶或高纯石英亚沸蒸馏器亚沸蒸馏。监控 Pb 同位素比值测定的 NBS981 国际标准物质的测定值: $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 为 0.9142 ± 5 , NBS981 证书值: $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 为 0.9146 ± 3 。

岩石及金属硫化物的 S 同位素样品分析分别由宜昌地质矿产研究所完成。首先将矿石样品粉碎到 $40\sim 80$ 目, 在双目镜下挑选辉钼矿和黄铁矿等金属硫化物, 纯度在 95% 以上, 再磨至 200 目。花岗岩等全岩样品直接粉碎至 200 目。采用传统的分析测试流程, 即样品按比例加入 Cu_2O , 然后置于马弗炉内,

在 1050~1060℃ 真空条件下反应制备 SO_2 , 最后在质谱仪进行测试, 测试误差均小于 $\pm 0.2\%$ 。 $\delta^{34}\text{S}$ 的相对标准为 V-CDT。

4 结果与讨论

4.1 Pb 同位素组成特征

大银尖岩体及矿石硫化物 Pb 同位素组成见表 1。铅同位素源区示踪其基本原理是在地球化学演化过程中, 铅同位素演化和增长取决于地质体中铅同位素初始比值和 U、Th 同位素衰变积累。矿石铅是各种热液环境中沉淀出的不含 U、Th 的金属矿物中的铅同位素组成, 因为矿物中不含 U、Th, 或者 U、Th 含量极低, 与矿物中的铅含量相比可以忽略不计, 矿物形成后不再有放射性成因铅的明显加入, 它记录了原始热液中金属物质源区的 U-Th-Pb 体系及初始铅同位素组成。花岗岩类岩石初始 Pb 同位素组成特征代表了岩浆结晶时源区的 Pb 同位素成分, 利用花岗岩类全岩初始铅同位素能够反演岩浆熔融过程中的 U-Th-Pb 体系, 因此, 岩石初始铅和矿石铅同位素组成研究成为追索源区物质组成的重要示踪剂, 广泛应用于追索成岩成矿物源研究。

由于岩石一般含有一定量的 U、Th, 结晶以后 U、Th 所产生的放射性成因铅会对岩石的铅同位素组成产生一定的影响, 故需要对其进行铅同位素组成校正。利用观测到的全岩铅同位素组成和 U、Th、Pb 含量及成岩年龄值计算岩石 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$, $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$, $^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 比值, 然后根据二阶段铅演化模式计算出样品中的放射性成因铅, 并从实测结果中予以扣除, 获得成矿相关的花岗岩类岩石的初始 Pb 同位素比值(表 1)。花岗岩的年代数据采用大银尖钨矿床辉钨矿 Re-Os 年龄(122.7 Ma)(罗正传, 2010)代表岩体的成岩年龄。计算的岩石初始 Pb 同位素比值与

全岩铅同位素比值基本一致, 相比略有降低, 这是由于花岗质岩石时代较轻对 Pb 同位素组成变化的时间效应不明显。由此获得花岗岩类岩石初始铅同位素比值与利用花岗岩中长石测定的 Pb 同位素比值基本一致。

由表 1 可知, 成矿岩体的初始铅同位素组成 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 为 16.655, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 为 15.309, $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 为 37.287; 矽卡岩型和石英脉型矿石金属硫化物铅同位素组成一致, $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 为 16.876~16.732, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 为 15.206~15.321, $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 为 37.570~37.271; 大银尖岩体全岩初始铅与矿石铅同位素组成非常一致, 均以低放射性成因铅同位素组成为特征, 显示矿石与岩体为同一物源系统, 说明成矿物质中的铅来源于大银尖岩体; 另外, 与北大别杂岩(片麻岩和斜长角闪岩)铅同位素(张宏飞, 2001)对比发现, 它们的低放射性成因铅同位素组成特征与北大别杂岩铅同位素组成特征非常一致(图 4), 表明大银尖花岗质岩浆及成矿物质来自贫放射性成因铅的北大别杂岩基底陆壳。一般壳源型花岗岩的岩浆源区来自于中、下地壳, 岩浆侵位于中、上地壳(Taylor, 1985)。地震研究结果也表明大别山各构造单元地壳深部主要由暴露地表的北大别杂岩组成(Wang, 2000)。因此, 大银尖岩体及成矿物质源自中下地壳的北大别杂岩的认识也得到了根据地球物理资料建立的大别地壳结构模型的支持。结合成岩成矿年代资料, 大银尖成矿花岗岩体可能起源于大别造山带碰撞造山后伸展时期深部地壳的熔融作用。

4.2 硫同位素特征及硫源

大银尖岩体及矿石中金属硫化物的硫同位素组成特征见表 2。矽卡岩型和辉钨矿-石英脉型钨矿石具有相对均一的 $\delta^{34}\text{S}$ 组成, 变化于 5.27‰~6.30‰之

表 1 大银尖钨矿床矿石金属硫化物和侵入岩 Pb 同位素组成
Table 1 Pb isotopic data of intrusive rocks and sulfides from the Dayinjian ore deposit

样品编号	矿物(石)类型	样品	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$	$(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$	$(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$
XY-24-1	细粒二长花岗岩	全岩	17.357±0.003	15.336±0.002	37.732±0.005	16.655	15.309	37.287
XY-32-1	石榴石辉钨矿矽卡岩	辉钨矿	16.732±0.005	15.206±0.004	37.271±0.011			
XY-32-2	绿帘石-方解石辉钨矿矽卡岩	黄铁矿	16.876±0.005	15.315±0.001	37.525±0.007			
XY-26	岩体中辉钨矿-黄铁矿-石英脉	黄铁矿	16.864±0.003	15.321±0.002	37.570±0.008			
北大别(张宏飞, 2001)	斜长角闪岩		15.845~17.308	15.158~15.460	36.778~37.968			
北大别(张宏飞, 2001)	片麻岩		16.047~16.929	15.247~15.340	36.999~37.731			

注: Pb 同位素测定给出的误差为 2σ 值。 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$, $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 为在 $t=122.1$ Ma 时的铅同位素比值, 由此顶的全岩铅同位素比值 U、Th、Pb 含量计算的 $\mu(^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb})$ 和 $\kappa(^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb})$ 获得。

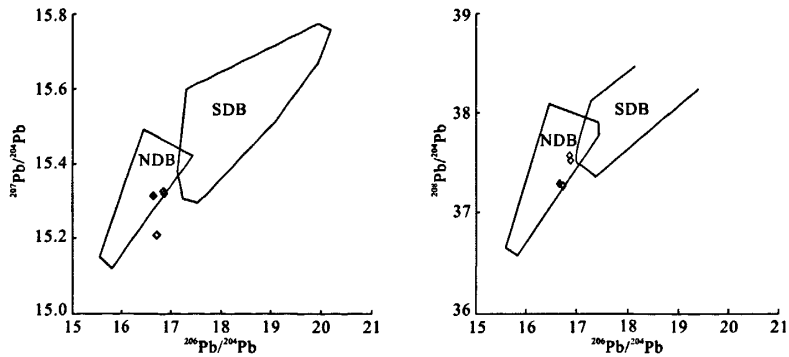


图 4 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})-(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 和 $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})-(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 图解(据张宏飞等, 2001)
Fig. 4 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})-(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ and $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})-(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ diagram(after ZHANG Hong-fei et al., 2001)
NDB-北大别变质杂岩(片麻岩和斜长角闪岩); SDB-南大别变质杂岩(超高压片麻岩和榴辉岩)

NDB-northern Dabie metamorphic complex rocks (gneiss and plagioclase amphibolite); SDB-southern Dabie metamorphic rocks (ultrapressure gneiss and eclogite)

表 2 大银尖铅矿床岩石矿石硫同位素组成特征
Table 2 S isotope compositions of granite and sulfide from the Dayinjian Mo deposit

样品编号	(矿)石类型	样品名称	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$
XY-32-2-Py	绿帘石砂卡岩 矿石	黄铁矿	+6.27
XY-32-2-Mol	绿帘石砂卡岩 矿石	辉钼矿	+5.26
XY-32-1-Mol	石榴石砂卡岩 矿石	辉钼矿	+5.38
XY-26-Py	岩体中辉钼矿 -石英脉矿石	黄铁矿	+6.30
XY-24-1	二长花岗岩	全岩	+16.86

间, 具有与 S 型花岗岩相关的热液矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 同位素相似特征(Ohmoto et al., 1997)。这种相对均一的硫同位素值指示硫源自均一的大规模热液体系, 最可能是岩浆成因的。正如 Hattori et al.(2001)认为的斑岩热液体系, 与花岗岩有关的巨型矿床显示很窄 $\delta^{34}\text{S}$ 的最好解释是硫的单一岩浆来源, 而不是来自具有不同 S 同位素组成的局部围岩的不同来源硫的均一化作用。而大银尖二长花岗岩体全岩硫同位素组成为 +16.86‰, 它代表岩浆硫化物的硫同位素组成, 相对于矿石金属硫化物的硫同位素明显富集重硫。如此之高的硫同位素组成其最主要的原因可能是岩浆的脱挥发分作用。岩浆上升过程中, 进入到地壳浅部, 随着温度和压力的下降岩浆体系挥发分过饱和而出溶。岩浆体系脱挥发分作用不仅会造成残留熔体中元素含量的降低, 同时会导致保留在熔体中物质的硫同位素组成显著偏离原来的初始岩浆值(Yang et al., 2010)。由于 H_2S 相对亏损 ^{34}S , H_2S 从熔体中的出溶能够引起熔体富集 ^{34}S , 强烈的出溶作用可能导致岩体的 ^{34}S 增大。因此, 大银尖岩体成岩过

程中可能存在强烈的 H_2S 脱挥发分作用, 这也是大银尖铅矿床形成的重要条件。

4.3 成岩岩体岩石地球化学及动力学背景

4.3.1 成岩岩体地球化学

为了弄清大银尖小型成矿岩体与其邻近的大型花岗岩岩基或岩株之间时空关系和成因联系, 收集了邻区的烧香尖和新县岩体的岩石化学资料(表 3)。

新县岩体呈复式岩基出露于大银尖铅矿床南部 7 km 新县一带, 烧香尖岩体呈复式岩株(面积 23 km²)出露于大银尖铅矿床西部约 5 km 烧香尖—魏大山一带(河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队, 2001)。它们均由细粒、中粒和似斑状二长花岗岩三个岩相单元构成。岩石呈灰白色、淡红色, 细粒、中粒、中粒似斑状结构, 块状构造。主要矿物为钾长石(40%~45%)、斜长石(30%~35%)和石英(25%~20%), 少量黑云母, 副矿物主要为磁铁矿和锆石。两岩体岩石地球化学(表 1)特征为高 SiO_2 (73.04%~75.82%)、富钾(K_2O : 多在 4.0%~4.74%), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 在一般为 1.2~1.5, $\sum\text{FeO}$ 、 MgO 、 CaO 含量相对较低。 A/CNK 为 1.02~1.19, A/NK 为 1.15~1.48, 显示铝质饱和, 这是长英质 I 型花岗岩一般特征(Chappell, 1999)。稀土元素总量为 88.43×10^{-6} ~ 180.18×10^{-6} , $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 12.9~40.0, δEu 为 0.53~0.87, 个别为 0.42。稀土配分模式为中等至较弱负 δEu 异常右陡倾型, 具有 I 型花岗岩稀土模式一般特点。重稀土元素亏损特征明显, Yb 和 Y 较低, Yb 含量一般在 0.40~1.15 ppm, 多低于 <1.8 ppm, Y 一般在 3.13~9.11 ppm, 低于 18 ppm; 微量元素蛛网图总体显示较弱的 Ba, Sr, P, Ti 亏损。两岩体均具有相对较高的 Ba, Sr 含量和较低的 Rb/Sr(0.59~1.83)、

表3 大银尖铅矿床成矿岩体及邻近花岗岩主量、微量、稀土元素和 Sr-Nd 同位素特征

Table 3 Characteristics of major elements, trace elements, REE and Sr-Nd isotopes of granitic intrusion related to the Dayinjian Mo deposit and adjacent granites

样品号	岩石类型	主 量 元 素/ 10^{-2}															
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	灼失量	总量	K ₂ O/Na ₂ O	A/CNK	A/NK
XY-24	细粒 η γ	76.00	0.084	14.06	0.234	0.016	0.005	0.077	0.468	5.26	3.36	0.018	0.399	99.98	1.6	1.14	1.25
XY-25	细粒 η γ	76.43	0.091	13.56	0.33	0.03	0.005	0.066	0.578	4.89	3.6	0.018	0.359	99.96	1.4	1.08	1.21
DYJ-1	细粒 η γ	77.10	0.095	12.20	0.47	0.48	0.006	0.00	0.61	5.22	3.69	0.001	0.33	100.2	1.4	0.93	1.04
DYJ-2	细粒 η γ	75.84	0.125	12.63	0.70	0.65	0.01	0.04	0.55	5.55	3.43	0.001	0.49	100.02	1.6	0.97	1.08
DYJ-3	中细粒 η γ	72.96	0.150	14.36	0.92	0.64	0.01	0.18	0.08	5.16	3.72	0.05	0.98	99.93	1.4	1.21	1.23
DYJ-4	中细粒 η γ	74.86	0.115	13.31	0.42	0.90	0.02	0.00	0.80	4.27	4.53	0.04	0.30	99.57	0.9	0.95	1.1
DYJ-5	中粒 η γ	75.88	0.110	12.87	0.48	0.69	0.02	0.09	0.49	4.74	4.27	0.006	0.43	100.86	1.1	0.97	1.06
Xinx-1 *	粗粒 η γ	74.54	0.18	13.46	0.52	0.95		0.06	0.65	4.64	3.64	0.03	0.50	99.35	1.3	1.07	1.22
Xinx-2	中粒 η γ	74.52	0.22	13.36	0.57	1.35		0.06	0.80	4.64	3.76	0.03	0.51	100.07	1.2	1.02	1.19
Xinx-3	细粒 η γ	74.48	0.18	12.87	0.52	1.40		0.06	0.80	4.74	3.44	0.04	0.65	99.50	1.4	1.01	1.19
烧香尖-1	斑状 η γ	73.04	0.28	14.14	0.77	1.08		0.06	1.6	4.00	3.16	0.07	0.73	99.28	1.3	1.06	1.48
烧香尖-2	中粒 η γ	74.46	0.20	13.82	0.82	0.7		0.04	1.1	4.8	3.16	0.07	1.04	100.51	1.5	1.06	1.33
烧香尖-3	细粒 η γ	75.82	0.25	12.82	0.96	0.78		0.04	1.1	2.84	3.16	0.04	0.86	99.29	0.9	1.19	1.55
样品号		微 量、稀 土 元 素/ 10^{-6}															
		Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	Pb	Sr	Zr	Hf	Ga	Cr	Sc	Rb/Sr	La	Ce
XY-24	细粒 η γ	299	53.6	31.7	13.2	39.6	3.51	30.8	31	71.6	3.9	23.4	2.16	4.26	9.6	20.5	36.6
XY-25	细粒 η γ	259	69.9	28.8	10.1	31.2	3.12	27.1	43	81.7	4.2	21.1	6.86	2.64	6.0	14.9	27.8
新县-1	粗粒 η γ	181	510	11.2	4.4	18	1.6		99	80	3.0		143	2.8	1.83	22.3	41.5
新县-2	中粒 η γ	181	525	14.3	3.6	20	2.3		105	97	3.8		205	3.3	1.72	26.7	53.1
新县-3	细粒 η γ	194	290	16.4	6.5	20	1.9		85	100	4.3		162	3.6	1.83	26.3	55.4
烧香尖-1	斑状 η γ	182	820	24.8	3.9	18	1.4		310	230	7.4		67	3.8	0.59	50.4	66.9
烧香尖-2	中粒 η γ	205	660	30.1	4.7	18	1.9		170	190	7.3		123	3.7	1.21	17.1	33.5
烧香尖-3	细粒 η γ	106	1210	6.6	1.1	11	1.2		130	185	5.0		55	4.9	0.82	33.9	52.8

续表 3

样品号		微量、稀 土 元 素/10 ⁻⁶															
		Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	δ Eu	(La/Yb) _n
XY-24	细粒 η γ	3.92	11.4	1.96	0.15	1.41	0.2	1.17	0.26	0.88	0.18	1.81	0.28	10.35	90.77	0.26	9.738
XY-24-2	细粒 η γ	2.85	8.51	1.33	0.19	1.03	0.16	1	0.24	0.82	0.16	1.84	0.25	8.91	69.49	0.48	7.976
新县-1 *	粗粒 η γ	3.62	11.8	1.85	0.45	1.20	0.18	1.08	0.22	0.54	0.075	0.40	0.056	3.13	88.43	0.87	40.0
新县-2	中粒 η γ	4.02	15.2	2.40	0.47	1.65	0.28	1.43	0.29	0.78	0.12	0.65	0.096	4.83	112.01	0.69	29.5
新县-3	细粒 η γ	3.87	12.1	2.24	0.33	1.41	0.23	1.04	0.24	0.57	0.18	0.45	0.06	3.98	108.30	0.58	16.7
烧香尖-1	斑状 η γ	8.13	31.2	4.87	0.75	2.62	0.45	2.45	0.50	1.28	0.19	1.15	0.18	9.11	180.18	0.58	31.4
烧香尖-2	中粒 η γ	2.67	12.4	2.08	0.24	1.26	0.22	1.35	0.28	0.91	0.14	0.79	0.12	5.97	79.02	0.42	15.5
烧香尖-3	细粒 η γ	5.81	24.1	3.94	0.76	2.66	0.48	3.02	0.72	2.12	0.32	1.88	0.28	14.10	146.91	0.68	12.9
样品号		Nd-Sr 同位素															
		时代/Ma	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2sm)	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i	ε Sr(t)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2sm)	ε Nd(t)	T _{2DM} /Ma							
XY-24-1	细粒 η γ	122.7	0.476	0.724534(4)	0.7237	274.69	0.0902	0.511523(3)	-20.1	2431							

注: 新县、烧香尖岩体岩石岩石化学分析资料来源于河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队(2001), 稀土、微量元素由湖北省地质实验研究所测试。

$T_{2DM} = 1/\lambda \ln \{ 1 + [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_s - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{DM} - \{ (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_s - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{CC} \} \times (e^{\lambda t} - 1)] / [(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{CC} - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{DM}] \}$ (李献华等, 1991) 式中: t 为岩石结晶年龄, $\lambda = 6.54 \times 10^{-12} \text{a}^{-1}$, 下角 s, DM, CC 分别表示样品、亏损地幔和地壳, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{CC} = 0.118$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{DM} = 0.2137$, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{DM} = 0.5136$ 。

Rb/Ba(0.09~0.35)和较弱的Eu异常,具有I型花岗岩一般特点。

大银尖细粒二长花岗岩单元为成矿单元,岩石为浅肉红色,块状构造,细粒结构。主要矿物为正长石、斜长石、石英和少量黑云母。副矿物有锆石、榍石、磷灰石、磁铁矿等。其中正长石含量约50%,它形粒状,粒径0.5~2 mm。较大的晶粒中包含少量细粒斜长石。斜长石含量约20%,具聚片双晶结构,粒径0.6~1.5 mm。石英含量约25%,主要呈它形分布于长石间隙,粒径约0.3~1 mm。大银尖岩体主量元素具有比新县、烧香尖岩体更为富硅的特征, SiO_2 含量一般在75%以上、更为富钾($\text{K}_2\text{O}>4.7\%$)、更高的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (一般 >1.4), 最高达到1.6, 更低的FeO, CaO, 相对较低的A/CNK和A/NK, 分别变化于0.95~1.14(个别达1.21)和1.04~1.25。属富钾准铝质-过铝质花岗岩系列。稀土元素特征显示较低的 ΣREE ($69.49\times 10^{-6}\sim 90.77\times 10^{-6}$)、较低的(La/Yb)_N(7.8~9.6), 较明显的负Eu异常(δEu : 0.26~0.48), 稀土元素配分模式总体为重稀土亏损不强烈(Yb: $1.34\times 10^{-6}\sim 1.51\times 10^{-6}$)、较强的Eu亏损海鸥型, 与A型花岗岩相似。其微量元素以富Rb(最高达到 299×10^{-6})、贫Sr(低于 50×10^{-6})、Ba(低于 70×10^{-6})

和明显的Ba, Sr, Eu, P, Ti亏损。非常低的Sr含量($<50\text{ppm}$)和较高Yb含量($>1.8\times 10^{-6}$), 高场强元素Nb($>30\times 10^{-6}$)富集符合A型花岗岩特征(RAJESH, 2000)。A型花岗岩为后造山地壳伸展阶段的产物。岩体相对较高的Rb/Sr(9.6~6.0)、Rb/Ba(5.6~3.7)及较强的Eu负异常, 暗示花岗质岩浆源区的残余相主要为斜长石。大银尖岩体显示较高的($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i(>0.708)、极低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{t})$ (-20.1)和极高的 $T_{2\text{DM}}$ (2.4Ga)(表3)。

4.3.2 源区性质及成岩成矿动力学背景

花岗岩体的Sr-Nd-Pb同位素是示踪花岗岩岩浆源区的重要工具(King et al., 1997)。大银尖岩体高($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i、极低的 $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{t})$ 、极高的 $T_{2\text{DM}}$ (2.4 Ga)模式年龄证明其岩浆源区为古老的地壳物质。其亏损模式年龄处在大别片麻岩Nd模式年龄1.0~3.1Ga(Ma et al., 2000)的变化范围之内。岩体和矿石的贫放射性成因Pb同位素体系特征与大别片麻岩相似, 均表明大别片麻岩很可能是花岗质侵入岩的源岩和成矿物质来源, 且幔源岩浆物质贡献很小, 说明当时软流圈上涌仅提供地壳物质深熔作用所需要的热量。

张旗等(2006)认为花岗质岩石地球化学特征主

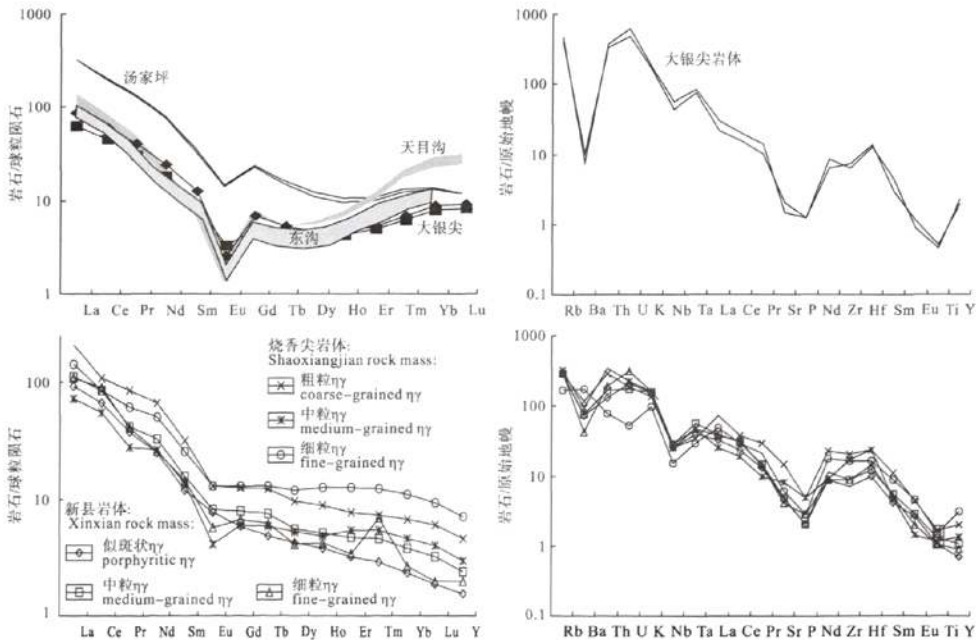


图5 大银尖钼矿床相关侵入岩稀土元素配分模式和微量元素蛛网图(球粒陨石值据 Boynton, 1984; 原始地幔值据 Sun et al., 1984; 天目山花岗岩据李法岭, 2008; 汤家坪花岗岩据杨泽强, 2007; 东沟花岗岩据叶会寿等, 2008)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element spider diagram of the granitic intrusions from the Dayinjian Mo deposit (chondrite-normalized values after Boynton(1984); primitive mantle normalized values after Sun et al.(1984); data of Tian Mushan granite from Li Faling, 2008; data of Tang Jiaping granite porphyry from Yang Zeqiang, 2007; data of Donggou granite porphyry from Ye Huishou, 2008)

要反映岩浆源区的构造环境, 中酸性岩浆岩的形成与压力密切相关, 并根据 Sr、Yb 含量把花岗质岩石大致高 Sr($>400 \times 10^{-6}$) 低 Yb(<1.8 ppm) 型即埃达克岩、低 Sr(<400 ppm) 低 Yb(<2 ppm) 的喜马拉雅型、低 Sr(<400 ppm) 高 Yb(>1.8 ppm) 闽浙型和非常低 Sr(<100 ppm) 高 Yb(>2 ppm) A 型等 4 种类型。新县、烧香尖岩体低 Sr、低 Yb 以及强烈的轻重稀土分异暗示部分熔融的熔体与石榴石和斜长石保持平衡(Rapp, 1999), 具有较高压力条件地壳部分熔融产物特征。结合最新同位素年代学资料, 新县二长花岗岩岩基(锆石 U-Pb SHRIMP: 135 Ma, 马昌前课题组, 未发表; 黑云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$: 130 Ma, 李世长等, 1993) 与商城花岗岩岩基($^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$, 133.03~128.04 Ma, 刘文斌等, 2003)、鸡公山岩体(锆石 U-Pb ICP-MS: 135.8 ± 1.3 Ma, 周红升, 2009)、银山二长花岗岩(黑云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$: 136.8 ± 1.6 Ma, 徐晓春等, 2009) 等区域花岗岩体侵位时间一致, 而且它们在地球化学特征上具有相似特征(马昌前等, 2003; 刘文斌等, 2003), 均为大别山地区巨量花岗岩浆活动的峰期(135 Ma)(张超等, 2008)加厚陆壳深熔的产物, 估计当时地壳厚度 40~50 km(张旗等, 2009)。它们代表大别造山带碰撞造山后 135 Ma 左右由挤压体制向伸展减薄体制转换的构造动力学背景(马昌前等, 2003; 吴元保等, 2007)。

大银尖成矿二长花岗岩以非常低的 Sr($<50 \times 10^{-6}$)、重稀土亏损不强烈($\text{Yb} > 2.0 \times 10^{-6}$)、稀土配分曲线相对平坦和较强的 Eu 负异常的海鸥式配分模式为特征(图 5), 说明其源区残留相主要为斜长石, 源区相对较浅, 很可能代表地壳减薄后的正常厚度陆壳熔融的产物。与同处该构造岩浆岩带的汤家坪成矿花岗岩斑岩(杨泽强, 2007)、西部的天目山花岗岩(李法岭, 2008)以及东秦岭的东沟花岗岩岩体(叶会寿等, 2008)具有相似的地球化学特征(图 5)。且最新的高精度年代学研究结果也显示, 大银尖成矿岩体(辉钼矿 Re-Os: 122.7 ± 1.9 Ma(罗正传, 2010)与天目山花岗岩(辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 121.6 ± 2.1 Ma, 杨泽强, 2007)、汤家坪斑岩钼矿床(锆石 U-Pb ICP-MS 年龄 121.6 ± 4.6 Ma, 魏庆国等, 2010)以及东秦岭东沟斑岩型钼矿床(辉钼矿 Re-Os 116 ± 1.7 Ma: 锆石 SHRIMP U-Pb 112 Ma, 叶会寿等, 2008)成岩成矿时间比较一致, 集中在 121~110 Ma 之间, 表明其形成于大别造山带根折沉崩塌、地壳减薄之后的 20 Ma 期间(马昌前等, 2003)。该时期岩浆源区相对于 135 Ma 左右峰期岩浆源区明显变浅, 岩浆活动强度

也明显减弱(张旗等, 2009), 但在大别山地区表现出较强烈的成矿效应, 相当于东秦岭第三期成矿事件(Mao et al., 2008), 值得关注和进一步研究。

另外值得关注的问题是, 大别山地区以大银尖、汤家坪钼矿床为代表的较晚一期钼多金属成矿作用主要集中在北大别构造块体中, 而以皇城山浅成低温热液型银矿床、白石坡银多金属次火山热液型矿床(李厚民等, 2007)以及母山、千鹅冲斑岩型钼矿床(杨梅珍等, 2010)为代表的较早的钼多金属矿化集中在北淮阳构造块体内。产生构造块体成矿特征的差异的深层次原因很可能与北淮阳构造带和大别构造带差异性隆升有关。前人研究结果表明, 大别造山带造山旋回最后的热隆伸展阶段, 北淮阳构造带和大别核杂岩带两块体之间热隆伸展时间和幅度存在差异(陈江峰等, 1995; 杨坤光等, 1999; 王国灿等, 1998)。其中北淮阳构造带隆升时间相对较早, 在 140 Ma 以前, 以后隆升速度缓慢(杨坤光等, 1999), 这种小幅缓慢隆升有利于早期地壳浅层热液矿床的形成和保存, 其成矿时间集中在 128 Ma 以前, 与大别山地区巨量花岗岩浆峰期时间接近。而大别构造带隆升作用主要发生在 140 Ma 以后, 120 Ma 以后隆升幅度最大(杨坤光等, 1999), 导致中下地壳和大别杂岩的广泛出露, 这种构造隆升不利于较早期地壳浅成层热液矿床的保存, 但有利于浅成岩浆活动和新的矿床形成, 如大银尖和汤家坪钼矿床。到 90 Ma 隆升缓慢且幅度小(杨坤光等, 1999), 使得晚期形成的矿床得以保存。因此, 大别构造带和北淮阳构造带的差异性隆升很可能是造成大别山地区成矿时空差异的重要原因。

5 结论

大银尖钼矿床是产于大别变质核杂岩带北缘规模较大的钼矿床的典型代表。其矿化类型为石英脉型和矽卡岩型复合矿床。矿石硫同位素特征显示单一岩浆硫来源。Sr-Nd-Pb 同位素联合示踪结果表明成岩成矿物质源区为中下地壳的古老大别杂岩。根据大银尖成矿岩体的岩石地球化学, 并结合最新的精细年代学资料分析认为, 大银尖钼矿床是大别造山带根折沉崩塌、地壳减薄之后的深部动力学过程的成岩成矿浅表响应, 与东秦岭第三次成矿事件对应。结合大别山地区已有的勘探成果和研究资料分析, 认为大别造山带碰撞造山后北淮阳和大别构造带差异性隆升很可能是不同构造单元成矿特征差异的重要原因, 在大别山地区成矿时空规律研究和未

来找矿工作中值得进一步关注。

致谢: 本研究得到了中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室的资助, 开放课题编号为 GPMR201014。在样品处理、测试过程中得到了赵来明、周练教授的帮助, 在此向他们表示衷心的感谢!

参考文献:

- 陈江峰, 谢智, 刘顺生, 李学明, FOLAND K A. 1995. 大别造山带冷却年龄的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 和裂变径迹年龄测定[J]. 中国科学(B)辑, 25(12): 1086-1092.
- 河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队. 1983. 河南省新县千斤大银尖—铁管山一带地质普查报告[R]. 信阳: 河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队.
- 河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队. 2001. 1: 5 万文殊寺幅、千斤河棚幅、浍陂河镇幅、新县幅、两路口幅区域地质调查报告[R]. 信阳: 河南省地质矿产勘查开发局第三地质调查队.
- 简平. 2001. 大别山高级变质岩云母 Rb—Sr 等时线年龄测定及其地质意义[J]. 地球学报, 22(5): 409-412.
- 李法岭. 2008. 河南南部天目山岩体特征及其钼矿化[J]. 矿产与地质, 22(2): 111-115.
- 李厚民, 王登红, 张冠, 陈毓川, 王彦斌, 张长青, 代军治. 2007. 河南白石坡银矿区花岗岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 81(6): 808-813.
- 李诗言, 马宏卫, 韩存强. 2006. 大别山(北坡)斑岩型钼(铜)矿床成因分析[J]. 矿业快报, 22(7): 50-51.
- 李世长, 陈宗训, 徐万斌. 1993. 大别山区同位素年龄与区域变质作用构造运动的关系[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 16(3): 159-164.
- 李献华, 赵振华, 桂训唐, 于津生. 1991. 华南前寒武纪地壳形成时代的 Sm-Nd 和锆石 U-Pb 同位素制约[J]. 地球化学, (3): 255-264.
- 刘文斌, 刘振宏, 张世俊. 2003. 河南商城岩体地质地球化学特征及成因意义[J]. 华南地质与矿产, (4): 17-23.
- 罗正传. 2010. 大别山北麓钨金多金属矿成矿规律及找矿方向[J]. 矿产与地质, 24(2): 125-131.
- 马昌前, 杨坤光, 明厚利, 林广春. 2003. 大别山中生代地壳从挤压转向伸展的时间: 花岗岩的证据[J]. 中国科学(D)辑, 33(9): 817-827.
- 邱顺才. 2006. 河南大银尖钨(铜)矿床地质特征[J]. 矿业快报, 447(8): 62-64.
- 王国灿, 杨巍然. 1998. 大别造山带中新生代隆升作用的时空格局——构造年代学证据[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 23(5): 461-467.
- 魏庆国, 高昕宇, 赵太平. 2010. 大别北麓汤家坪花岗岩斑岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年和岩石地球化学特征及其对岩石成因的制约[J]. 岩石学报, 26(5): 1550-1562.
- 吴元保, 唐俊, 张少兵, 赵子福. 2007. 北大别两期混合岩化作用: SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 科学通报, 52(8): 939-1111.
- 徐晓春, 楼金伟, 陆三明, 谢巧勤, 褚平利, 尹滔. 2009. 安徽金寨银山铅-铅-钨多金属矿床 Re-Os 和有关岩浆岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄测定[J]. 矿床地质, 28(5): 621-632.
- 许长海, 周祖翼, 马昌前. 2001. 大别造山带 140-85Ma 热隆伸展作用——年代学约束[J]. 中国科学(D)辑, 31(11): 925-937.
- 杨坤光, 马昌前, 许长海, 杨巍然. 1999. 北淮阳构造带与大别造山带的差异性隆升[J]. 中国科学(D 辑), 29(2): 97-103..
- 杨梅珍, 曾建年, 李法岭, 万守权, 覃永军. 2010. 大别山北缘千鹅冲斑岩型钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年代学及其地质意义[J]. 地质科技情报, 29(5): 35-45.
- 杨泽强. 2007. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 26(3): 289-295.
- 姚晓东. 2008. 河南新县大银尖钨、钨、铜矿床地质特征研究[J]. 矿业快报, 24(9): 30-33.
- 叶会寿, 毛景文, 徐林刚, 高建京, 谢桂清, 李向前, 何春芬. 2008. 豫西太山庙铝质 A 型花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征[J]. 地质论评, 54(5): 699-711.
- 张超, 马昌前. 2008. 大别山晚中生代巨量岩浆活动的启动: 花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J]. 矿物岩石, 28(4): 71-79.
- 张宏飞, 高山, 张本仁, 钟增球, 贾望鲁, 王林森. 2001. 大别山地壳结构的 Pb 同位素地球化学示踪[J]. 地球化学, 30(4): 395-401.
- 张旗, 王焰, 李承东, 王元龙, 金惟俊, 贾秀勤. 2006. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(9): 2249-2269.
- 张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2009. 中国东部燕山期大规模研究岩浆活动与岩石圈减薄: 与大火成岩省的关系[J]. 地学前缘, 16(2): 21-51.
- 周红升, 苏华, 马昌前. 2009. 灵山岩体的形成时代、构造背景及其 A 型花岗岩的厘定[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 22(2): 222-226.
- 资源导刊编辑部. 2009. 安徽金寨找到特大型钼矿床[J]. 资源导刊, (8): 46.

References:

- BOYNTON W V. 1984. Cosmochemistry of the Rare earth elements: Meteorite studies[A]/Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry, 2: 63-114.
- CHAPPELL B W. 1999. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites[J]. Lithos, 46: 535-551.
- CHEN Jiang-feng, XIE Zhi, LIU Shun-sheng, LI Xue-ming,

- FOLAND K A. 1995. Da bie orogen cooling age of determination by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and fission-track age[J]. *Science in China (Series B)*, 25(12): 1086-1092(in Chinese).
- Editorial department of resources magazine. 2009. Super-large Mo deposit found in Jinzai, Anhui Province[J]. *Resources magazine*, (8): 46(in Chinese).
- HATTORI K H, KEITH J D. 2001. Contribution of mafic melt to porphyry copper mineralization: Evidence from Mount Pinatubo, Philippines, and Bingham Canyon, Utah, USA[J]. *Mineralium Deposita*, 36: 799-806.
- JIAN Ping. 2001. Rb-Sr Mica Dating of High-grade Metamorphic Rocks from the Dabie Mountains and Its Geological Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 22(5): 409-412.
- KING P L, WHITE J R, CHAPPELL B W. 1997. Characterization and Origin of Aluminous A-type Granites from the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia[J]. *Journal of Petrology*, 38(3): 371-391.
- LI Fa-ling. 2008. Characteristics of rockbodies in Tianmushan with its Mo mineralization, Southern Henan[J]. *Mineral Resources and Geology*, 22(2): 111-115(in Chinese with English abstract).
- LI Hou-min, WANG Deng-hong, ZHANG Guan, CHEN Yu-chuan, WANG Yan-bin, ZHANG Chang-qing, DAI Jun-zhi. 2007. SHRIM U-Pb Age of Zircons from Granitic Porphyry in the Baishipo Silver Deposit, Henan and Its Geological Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(6): 808-813(in Chinese with English abstract).
- LI Shi-chang, CHEN Zong-xun, XU Wan-bin. 1993. Relationship of isotope ages in dabie mountain area to regional metamorphism and tectonic movement[J]. *Journal of Hefei University of Technology(Natural Science)*, 16(3): 159-164(in Chinese with English abstract).
- LI Shi-yan, MA Hong-wei, HAN Cun-qiang. 2006. Origin of porphyry Mo(Cu) deposits in the northern slope of Dabieshan mountain[J]. *Express Information of Mining Industry*, 22(7): 50-51(in Chinese).
- LI Xian-hua, ZHAO Zhen-hua, GUI Xun-tang, YU Jin-sheng. 1991. Sm-Nd isotopic and zircon U-Pb constraints on the age of formation of the precambrian crust in Southeast China[J]. *Geochimica*, (3): 255-264(in Chinese with English abstract).
- LIU Wen-bin, LIU Zhen-hong, ZHANG Shi-jiao. 2003. Geological and geochemical features of Shangcheng granite body and its genetic implication, Henan[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 17-23(in Chinese with English abstract).
- LIU X C, JAHN B M, LIU D Y. 2004. SHRIMP U-Pb zircon dating of a metagabbro and eclogites from western Dabieshan (Hong'an Block), China, and its tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 394: 171-192.
- LUO Zheng-chuan. 2010. Metallogenic regularity and prospecting direction of Mo-Au-Ag polymetallic deposit of north piedmont of Dabieshan[J]. *Mineral resources and geology*, 24(2): 125-131(in Chinese with English abstract).
- MA C Q, EHLERS C, XU C H. 2000. The roots of the Dabieshan ultrahigh—pressure metamorphic terrane: constraints from geochemistry and Nd-Sr isotope systematics[J]. *Precambrian Research*, 102: 279-301.
- MA Chang-qian, YANG Kun-guang, MING Hou-li, LIN Guang-chun. 2003. The time of shift from compression to extension of Mesozoic crust of Dabie Mountain[J]. *Science in China(Series D)*, 33(9): 817-827(in Chinese).
- MAO J W, XIE G Q, Bierlein F. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(18): 4607-4626.
- No.3 Geological Survey Party, Henan Bureau of Geoexploration and Mineral Development. 1983. Geological investigation report of Da Yinjian-Tie Guanshan, Xinxian county, Henan Province[R]. Xinyang: No.3 Geological Survey Party, Henan Bureau of Geoexploration and Mineral Development(in Chinese).
- No.3 Geological Survey Party, Henan Bureau of Geoexploration and Mineral Development. 2001. 1: 50000 regional geological survey report of Wen Shushi, Qian Jin Hepeng, Po Pihe, Xinxian, Liang Lukou[R]. Xinyang: No.3 Geological Survey Party, Henan Bureau of Geoexploration and Mineral Development(in Chinese).
- OHMOTO H, GOLDBERGER M B. 1997. Sulfur and carbon isotopes[C]//Barnes H L. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. New York: Wiley: 517-611.
- QIU Shun-cai. 2006. Geological characteristics of Dayinjian Mo-W- (Cu) deposit, Henan province[J]. *Express Information of Mining Industry*, 44(8): 62-64(in Chinese).
- RAJESH H M. 2000. Characterization and origin of a compositionally zoned aluminous A-type granite from South India[J]. *Geological Magazine*, 137(3): 291-318.
- RAPP R P, WATSON E B. 1999. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: implication for continental growth and crust-mantle recycling[J]. *Journal of Petrology*, 36: 891-931.
- SUN S S, MCDONOUGH W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and process[A]//Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the ocean basins*[C]. *Geol. Soc. Sp. Pub.*, 42: 313-345.
- TAYLOR S R, MCLENMAN S M. 1985. *The continental Crust: Its*

- Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication: 132
- WANG C Y, ZENG R S, MOONEY W D, HACKER B R. 2000. A crustal model of the ultrahigh-pressure Dabie Shan orogenic belt, China, derived from deep seismic refraction profiling[J]. *J. Geophy. Res.*, 105: 10857-10869.
- WANG Guo-can, YANG Wei-ran. 1998. Uplift evolution during mesozoic-cenozoic of the Dabie orogenic belt: evidence from the tectono-chronology[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 23(5): 461-467(in Chinese with English abstract).
- WEI Qing-guo, GAO Xi-yu, ZHAO Tai-ping. 2010. Petrogenesis of Tangjiaping Granite porphyry in northern Dabie: Evidence from Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and Ge?ochemical characteristics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1550-1562(in Chinese with English abstract).
- WU Yuan-bao, TANG Jun, ZHANG Shao-bing, ZHAO Zi-fu. 2007. Two phases of migmatization of Northern Dabie: Evidence on zircon U-Pb SHRIMP age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(8): 939-1111(in Chinese).
- XU Chang-hai, ZHOU Zu-yi, MA Chang-qian. 2001. Heat uplift and extension in Dabie orogen during 140-85Ma—Constraint by chronology[J]. *Science in China(Series D)*, 31(11): 925-937(in Chinese).
- XU Xiao-Chun, LOU Jin-wei, LU San-ming, XIE Qiao-qin, CHU Ping-li, YIN Tao. 2009. Re-Os ages of Molybdenum-Lead-Zinc polymetallic deposits and ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of related magmatic rocks in Yinshan area, Jinzhai, Anhui Province[J]. *Mineral Deposits*, 28(5): 621-632(in Chinese with English abstract).
- YANG Kun-guang, MA Chang-qian, XU Chang-hai, YANG Wei-ran. 1999. Diversity Uplift of Beihuaiyang tectonic belt and Dabie orogen[J]. *Science in China (Series D)*, 29(2): 97-103(in Chinese).
- YANG Mei-zhen, ZENG Jian-nian, QIN Yong-jun, LI Fa-ling, WAN Shou-quan. 2010. LA-ICP-MS Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os Dating for Qian'echong Porphyry-type Mo Deposit in Northern Dabie, China, and Its Geological Significance[J]. *Geological science and Technology information*, 29(5): 35-45(in Chinese with English abstract).
- YANG Xue-Ming, DAVID R L. 2010. Sulfur isotopic systematics of granitoids from southwestern New Brunswick, Canada: implications for magmatic-hydrothermal processes, redox conditions, and gold mineralization[J]. *Miner Deposita*, 45(8): 795-816.
- YANG Ze-qiang. 2007. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng County, Henan and their geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 26(3): 289-295(in Chinese with English abstract).
- YAO Xiao-dong. 2008. Research on geologic features of Dayinjian molybdenum (tungsten, copper) deposit in Xinxian of Henan province[J]. *Express Information of Mining Industry*, 24(9): 30-33(in Chinese with English abstract).
- YE Hui-shou, MAO Jing-wen, XU Lin-gang, GAO Jian-jing, XIE Gui-qing, LI Xiang-qian, HE Chun-fen. 2008. SHRIMP Zircon U-Pb Dating and Geochemistry of the Taishanmiaio Aluminous A-type Granite in Western Henan Province[J]. *Geological Review*, 54(5): 699-711(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Chao, MA Chang-qian. 2008. Large-scale late mesozoic magmatism in the Dabie mountain: constraints from Zircon U-Pb dating and Hf isotopes[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 28(4): 71-79(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Hong-fei, GAO Shan, ZHANG Ben-ren, ZHONG Zeng-qi, JIA Wang-lu, WANG Lin-sen. 2001. Pb isotopic study on crustal structure of Dabie Mountains, Central China[J]. *Geochimica*, 30(4): 395-401(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qi, JIN Wei-jun, LI Cheng-dong, WANG Yuan-long. 2009. Yanshanian large-scale magmatism and lithosphere thinning in Eastern China: Relation to large igneous province[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 21-51(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qi, WANG Yan, LI Cheng-dong, WANG Yuan-long, JIN Wei-jun, JIA Xiu-qin. 2006. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2249-2269(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Hong-sheng, SU Hua, MA Chang-qian. 2009. Formation-age, Tectonic Setting and Ascertainment of A-type Granite on the Lingshan Pluton in Dabie Orogenic Belt[J]. *Journal of Xinyang Normal University(Natural Science Edition)*, 22(2): 222-226(in Chinese with English abstract).