

初论特提斯构造域一些大型-超大型 金属矿床集中区聚矿构造

方维萱, 胡瑞忠, 苏文超, 蒋国豪

(中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002)

关键词: 特提斯; 大型-超大型矿床集中区; 聚矿构造类型; 找矿方向; 澳大利亚; 中国

中图分类号: P613 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2000)04-0409-05

特提斯构造域是目前世界关注和研究的地质前沿科学问题之一^[1~10]。I. Metcalfe^[1]从构造演化角度将其划分为古特提斯、中特提斯及新特提斯, 代表了从古生代特斯洋三次打开与闭合的构造过程。从聚矿构造类型看, 一些大型-超大型金属矿床不但与其构造域中的大陆边缘的张裂-伸展变形过程有密切关系, 而且与其打开的同时, 澳大利亚陆块内前泥盆纪大洋盆地的闭合及造山运动有关。本文从地球动力学角度, 探讨特提斯构造域(在澳大利亚及中国境内)大型-超大型矿床集中区聚矿构造类型及特征, 恢复赋存矿的原型盆地及构造-古地理。

1 大陆造山带中含金脆-韧性剪切带

澳大利亚维多利亚金矿省是世界著名的岩金和砂金产地。维多利亚中部的古生代地层层序为下部以寒武纪变玄武岩、绿岩及其相关的火山成因和深海相沉积岩层序为主, 上部为寒武-奥陶纪至早泥盆世硅质碎屑岩层。发育南北走向的宽阔到紧闭褶皱及西倾为主的冲断层系, 广泛分布有 S 型和 I 型花岗岩, 侵位时代从晚志留世至晚泥盆世。

塔斯曼造山带东侧是罗迪尼亚超大陆裂解的痕迹。裂解前劳亚大陆与华南大陆在中元古代可能位于澳大利亚的东侧, 中元古代发生裂解后形成震旦纪冰碛岩层和阿德雷德基性-中性火山岩系。寒武纪火山岩组合主要为钙碱性安山岩、MORB 蛇绿岩

及超基性岩。其上覆深海(大洋)黑色页岩和火山碎屑砂岩, 缺乏来自克拉通的碎屑石英、云母、锆石及电气石等碎屑矿物, 属较典型的大洋火山-沉积岩系。其上覆奥陶纪-志留纪的岩性以富石英浊积岩和泥质岩为主, 巴拉拉特金成矿省赋矿地层为奥陶系, 赋矿岩性以灰黑色石墨页岩、泥质岩和富石英浊积岩为主。志留系-泥盆系在区域上发生岩相分异, 沉积层序从深水相至浅水相, 最终变为冲积-浅海相砂岩-泥岩, 显示大洋盆地沉积水体变浅和逐渐关闭。早泥盆世火山-沉积作用随着中泥盆世 Tabberabberan 造山运动而结束。沿墨尔本成矿省东缘, 侵位有 Woods point 角闪橄榄岩-淡闪长岩岩墙群, 与这些岩墙群相关的晚泥盆世沉积岩系中赋存有一系列大型金矿床, Woods Point 金矿床(40 t)和 Walhalla-Aberfeldy(60 t), 晚泥盆世岩浆活动主要位于中维多利亚岩浆岩省, 以 I 型和 S 型花岗岩为主。

维多利亚的大型-超大型金矿床为中温热液成矿(少数为低温热液成矿), 赋矿岩层多为海相浊积岩系(被称为浊积岩型金矿)^[7], 矿体定位主要受脆-韧性剪切带的控制, 矿脉有鞍状、顺层脉状、网脉状及角砾岩化脉。围岩蚀变主要为毒砂化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化与菱铁矿化。矿床主要定位于褶皱鞍部和逆断层中, 以 Stawell, Bendigo-Ballarat 两个金矿带为代表。金矿成矿年龄为志留纪(440 ~ 390 Ma, ⁴⁰Ar-³⁹Ar)^[9], 与褶皱和逆冲推覆构造的形成

收稿日期: 2000-05-30 收到, 07-25 改回

基金项目: 国家重大基础研究规划项目(G 1999043200)及中国科学院重大项目(KZ-951-B1-411)联合资助

第一作者简介: 方维萱(1961-), 男, 高级工程师, 博士后, 矿床地球化学专业。

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

时代一致;第二次金成矿发生在晚泥盆世(380~360 Ma, ^{40}Ar - ^{39}Ar)^[9],与 Woods Point 泥盆纪岩墙群侵位时间相吻合。

维多利亚大型-超大型金矿床的构造-古地理演化特征为:在寒武-奥陶纪时原型盆地属大洋裂谷盆地,在志留-泥盆纪时,大洋裂谷盆地发生关闭,继而发生褶皱造山和逆冲推覆,地层短量在40%~60%。寒武-奥陶纪火山岩及金初始矿化为后期金成矿提供了丰富的成矿物质,在褶皱-逆冲推覆造山和深源岩浆侵位过程中发生富集成矿,金矿床定位于脆-韧性剪切带中。

2 准同生构造变形带及热水喷溢构造

澳大利亚新南威尔士州科巴金-多金属成矿省包括 C. S. A、Elura 等大型-超大型矿床7处。金-银-铜-铅-锌矿床产于变形的下泥盆统浊积岩系中,北西长60 km。主要有3类矿床:富金铜矿床集中在科巴以南18 km 范围内,以 Peak 金铜矿床为代表,C. S. A. 多金属矿床位于科巴以北10 km 处;继续往北40 km 处有世界著名 Elura 的富银多金属矿床;大多数矿床则以富铜金为特点,大科巴铜金矿已产约40 t 黄金,Elura 银-铅-锌矿床矿石量为27 Mt,平均品位 Zn 为8.6%,Pb 为5.6%,Ag 为135 g/t^[10]。

赋矿地层下泥盆统由褶皱和劈理化浊积岩系组成,属末端-水下扇,发育在早泥盆世科巴沉积盆地的边部,受同生断层控制明显。地层变形强度和特点受基底断层复活的控制,科巴地区富铜金矿床主要产于宽约10 km 的同生变形构造带中,该构造带是发育区域性以白云母为 S₁ 变形面理的强应变带,伴有 L₁ 拉伸线理和紧闭同斜褶皱,地层缩短量约62%~18%,构造变形时代为晚泥盆世(403.8±3.9 Ma)^[10],基本上为准同生变形构造。铜金矿体主要产于向北陡倾的构造透镜体中,由硫化物脉、含石英英脉、含矿硅化蚀变岩。硅化蚀变岩中具有块状和条带状硫化物;硅化带和石英脉常伴有一些绿泥石化和碳酸盐化。在 Elura 和 Peak 矿床中主矿体位于筒状的角砾岩化蚀变体,为热水喷溢通道被含矿热液交代-充填和沉淀形成的筒状铜金矿体。透镜状铜金矿体围绕筒状铜金矿体的上部及两侧分布,受同生变形构造带的扩容构造控制。

3 三级热水沉积成矿盆地

三级热水沉积成矿盆地是大型-超大型金属矿床的主要聚矿构造类型之一,按其一级沉积盆地的构造-古地理位置可划分如下几种类型^[11~13]:

3.1 (微)板块板内伸展盆地

以东古特提斯构造域中秦岭微板块为例,大型-超大型的铅-锌矿床集中区主要位于泥盆纪一级拉分盆地中,如镇安、凤太及西成等3个一级拉分盆地,如银母寺-八卦庙-八方山三级热水沉积盆地。成矿系列为 Au-Pb-Zn 系列,金矿类型为含金脆-韧性剪切带型,铅锌矿类型为热水沉积-改造型。三级热水沉积成矿盆地成盆构造动力学类型有:(1)单断型(半地堑式)三级热水沉积成矿盆地:在区域近南北向构造扩张体制下,断层上盘(基底)沉降而形成的沉降中心和沉积中心,如旬阳盆地内的公馆-青铜沟三级热水沉积盆地。多个四级热水沉积洼地(凹陷或高地),既构成了矿层的容纳空间,又使热水沉积岩相发生强烈分异,形成同时异相层位及非等化学位的热热水沉积岩,如镇安一级半地堑式沉积盆地内,丁家山-马家沟及黄家湾-镇安三级热水沉积盆地,镇安一级半地堑式沉积盆地内已发现丁家山-马家沟大型卡林型金矿,具有寻找超大型金矿的前景。(2)复合断陷型三级热水沉积成矿盆地:是多条同生断裂在时间序列上的复合类型,发育初期以单断型为主。在剪张性应力作用下,盆地两侧的同生断裂发生具剪切拉分性质的不对称断陷,一侧同生断裂的上盘(正断层)强烈沉降,地层沉积厚度大。盆地内的低序次同生断裂将三级盆地分割为一系列雁行式平行排列四级热水沉积洼地,形成了金属矿层的容纳空间,横向上使热水沉积岩相强烈分异,形成同时异相。如铅碛山-双石铺三级热水沉积盆地。(3)拉分式三级热水沉积成矿盆地:在区域近南北向构造扩张的伸展体制下,一级沉积盆地内的近东西同生断裂沿走向发生侧接形成沉降区,两个分支的同生断裂走滑作用产生了局部张剪性应力作用,穿盆同生断裂系统形成北西向老铁厂-修石崖及近东西向双王-银母寺-青崖沟两条分枝同生断裂。由于走滑拉分作用形成了一系列的三级拉分式盆地,如老铁厂、双王、银母寺-八卦庙-八方山等拉分式三级构造热水沉积成矿盆地。这三个地区的中泥盆统古道

岭组沉积厚度最大。八卦庙超大型金矿床及八方山大型(金)多金属矿床产于相应的拉分式三级构造热水沉积成矿盆地中。

3.2 (微)板块被动陆缘上断陷-拉分复合盆地

从西向东,自中泥盆世至石炭纪发育一系列复合沉积盆地。因成盆动力学的不同,矿石聚集各有特点。礼岷一级拉分盆地从中泥盆世初开始形成,沉积了一套中泥盆统舒家坝组深海-半深海浊积岩系。盆地下伏基底为寒武系至奥陶系的火山-沉积岩系,盆地南部边界断裂是礼县同生断裂系的西段,该同生断裂发生了走向侧接,南支为北北西向礼县-鲁坝-罗龙口次级同生断层,控制着李坝超大型金矿田的分布;北支为东西向礼县-桃坪次级同生断裂,控制大型金山矿田。这两条同生断裂与一系列北东向基底断层发生耦合。因同生断层深部倾向侧接,形成典型长菱形盆地。前泥盆纪火山沉积岩系形成于陆内伸展盆地中,礼岷泥盆纪拉分盆地叠置于陆内裂谷盆地之上,在石炭-三叠纪演化为残余海盆。

柞水断陷盆地是秦岭微板块北缘被动陆缘上的伸展盆地,形成于先存残余洋盆上,从中泥盆世初开始发育,充填沉积了一套深海-半深海浊积岩系,至石炭纪演化为残余海盆,实际上是一个复合盆地。大西沟-银洞子三级断陷盆地分布在柞山一级断陷盆地西部,有银洞子超大型铜-铅-锌-银矿床和大西沟大型铁-钼矿床。热水沉积岩相及岩石可划为5个亚相:1)热水同生沉积交代-沸腾亚相由角砾岩类组成。2)热水同生沉积亚相由钠长石岩、菱铁矿岩、重晶石岩组成。岩层具层理、纹层理、层块状构造及相应规律性变化等特点。3)热水同生沉积交代亚相由硅质铁白云岩、铁白云岩、白云质灰岩和菱铁矿-铁白云岩组成,发育在矿体围岩或热水沉积岩的尖灭部位。4)热卤水渗滤交代亚相由方柱石黑云母角闪岩类和方柱石板岩类组成。5)不同化学成分、不同性状热水混合亚相是最主要的一种,包括硫化物岩及含矿钠长石岩。这些岩层或矿层具有层理、纹层理、块状层理、粒序构造及粒序韵律构造。化学层理是最重要的特点,常发现于这些岩层或矿层中。

3.3 板块边缘构造转换带上走滑拉分盆地(D-C)

泥盆纪初,扬子板块南缘开远-平塘北东东-北东向同生断裂和衡阳-钦州北东向同生断裂带发

生逆时针走滑,形成一系列北西向的同生断裂控制的地垒-地堑构造系,地垒构造因挤压抬升形成水下隆起,接受浅水碳酸盐台地相沉积;地堑构造因走滑拉分拗陷-断陷作用,形成深水盆地相黑色炭硅质泥岩沉积,二者之间为同生断裂所分割。

在百色-西大明山-大瑶山存在着一个水下隆起,该隆起将滇黔桂陆表海域分隔为北部南丹-紫云一级沉积盆地和南部十万大山一级(裂谷)沉积盆地。至晚泥盆世同生断裂的走滑拉分断陷作用形成了三级构造盆地,在北东向和北西向同生断层的交汇部位发生热水喷流沉积成矿,形成大厂超大型锡、银、锑-铜、铅、锌矿床(有燕山期岩浆热液叠加成矿),成矿系列为锡、银、锑-铜、铅、锌-钼-汞-锑,是古特斯特构造域中成矿元素齐全的一个成矿系列。广西大厂-贵州镇宁-云南会泽银多金属成矿带成矿系列研究及靶区优选是值得深入研究的课题,尤其是贵州镇宁-赫章一带,已探明镇宁乐纪超大型重晶石矿床,赫章菱铁矿矿床及银厂坡银矿^[19],外围有一批Ag-Pb-Zn-Cu组合的化探及重砂异常,与陕西大西沟-银洞子重晶石菱铁矿、银多金属矿床集中区^[20]有类似的地质和成矿条件,是寻找重晶石菱铁矿、银多金属矿床集中区的远景区。

3.4 板块边缘构造转换带上十万大山裂谷盆地(D-C)

滇黔桂陆表海域南部十万大山一级盆地在晚泥盆世发生强烈伸展作用,导致局部洋壳化,在那坡-广南-水城一带发育泥盆纪-早石炭世具枕状构造的碱性玄武岩,使云开古陆块从扬子板块上裂解并向南漂移。晚泥盆世基性火山喷发作用强烈,形成广西下雷热水同生沉积锰矿床,原生矿石以碳酸锰、硅酸锰-碳酸锰及硅酸盐矿石为主。

4 云南哀牢山有限大洋裂谷盆地

下泥盆统金厂岩组烂山段火山-热水沉积成因的含镍金凝灰质硅质岩——含镍金黄铁矿硅质岩形成时代为 358 ± 8.6 Ma(Sm-Nd法等时线)~ 354.7 ± 0.72 Ma(Rb-Sr法)。本区下泥盆统金厂岩组正常化学沉积成因的层纹状绢云母硅质岩-层纹状含炭绢云母硅质岩形成时代为 359 ± 21 Ma(Sm-Nd等时线年龄)~ 358.02 ± 0.3 Ma(Rb-Sr法等时线年龄)。含镍金凝灰质硅质岩-含镍金黄铁矿硅质岩主要位于

上泥盆统金厂岩组烂山段及四十八两山段中, 矿体呈巨厚层状及不规则透镜状分布于这两个段的中部, 是主要的镍金赋矿层位。其下为已发生强烈蚀变的火山岩层, 其上为正常沉积作用形成的砂泥质-砂质碎屑岩层, 伴有热水沉积硅质岩。含金(镍)硅质岩为热水喷流沉积所形成。上泥盆统苦杜木组属同时异相层位。构造-沉积环境可能为深水环境中形成的火山-热水沉积成矿盆地。发育热水喷溢构造岩石层序, 形成镍金初始矿源层。下石炭统棱山组深灰色薄层状泥质灰岩及绢云母板岩局部出露, 呈南北向透镜体出露在金厂西北。金厂火山-热水沉积盆地可能于晚石炭世末封闭。

哀牢山金矿带的主要金矿床自北向南依次有镇沅、墨江及大坪。镇沅及大坪金矿中的上一中泥盆统轻变质火山-沉积岩系与金矿有一定关系, 其中拉斑玄武岩、玄武质熔结角砾岩及玄武质橄榄岩被蚀变后常成为含金蚀变岩型金矿石(蚀变玄武岩型金矿石)。墨江金矿在晚泥盆世有明显的热水喷流同生沉积岩(矿)石层序, 形成低品位的 Ni-Au 黄铁矿硅质岩型矿石, 成矿上限为晚泥盆世热水喷流同生沉积, 并与海底火山喷发活动密切相关, 是泥盆-石炭纪哀牢山小洋盆的组成部分之一。

5 红河-右江-南盘江弧内-弧后-弧后前陆盆地系(P-T)

在早二叠世, 由于受滨太平洋构造域向北西俯冲碰撞, 广西钦防古生代地层发生褶皱造山, 在滇黔桂陆表海域的东部钦防褶皱造山带的前缘形成前陆盆地(P-T); 哀牢山一带, 哀牢山洋盆向北东方向仰冲, 至二叠纪末哀牢山洋盆关闭, 形成早三叠世前陆盆地。双向俯冲使滇黔桂地区处于从伸展构造向挤压构造体制的转换时期(P-T), 但此时由于峨眉山地幔柱构造活动进入强烈活动时期, 使古特提斯构造域在滇黔桂相邻区域(右江-南盘江)表现为极其复杂化的格局。最终发生印支运动而使滇黔桂海域和沉积盆地封闭。

5.1 红河弧内盆地-右江弧后盆地

在广西-云南东部, 受滨太平洋构造域向北西向俯冲, 东古特提斯构造域(哀牢山洋盆)向北东向仰冲的双向俯冲影响, 滇黔桂陆表海域中沉积盆地的原型发生转变, 板块边缘构造转换带上的走滑盆

地和裂谷盆地(D-C)萎缩封闭。深部峨眉山地幔柱构造活动造成大面积陆相玄武岩喷发, 在哀牢山造山带南段东侧形成红河裂陷槽, 发生大规模海相富钠中基性-中酸性火山喷发, 形成发育在大陆地壳上的成熟火山岛弧, 西部以红河断裂为界紧邻哀牢山造山带的南段东侧, 东部有阿龙古断裂(屏边西畴山弧), 北接右江弧后盆地, 在红河弧内盆地已发现一批大型金铜矿床的勘查区^[16-17]。

与峨眉山玄武岩有关的铜金矿床有独立的成矿系统, 寻找与北美基韦诺玄武岩中铜矿(储量达 500~700 万 t)和探索与浅成侵入相有关的诺里耳斯克型铂矿是值得重视的新找矿方向, 如贵州关岭县丙坝玄武(岩)砾岩中铜矿、晴隆县上二叠统铝土岩中铜矿及蚀变角砾状玄武岩中铜矿化。目前已发现产于玄武岩中的自然铜金矿床、产于含玄武岩碎屑的砂岩型铜矿及淋积型铜矿点多处, 如云南程海^[18]、黔西及四川花滩, 已探明两处中型铜矿, 赋存于玄武岩穹窿部位及与下伏茅口组灰岩之间, 矿石以脉状辉铜矿为主, 次为浸染状辉铜矿-黄铜矿。上述云南红河裂陷槽中的龙勃河地区, 新发现产于辉绿辉长岩中有望成为大型金铜矿床的勘查区, 铜矿床与二叠纪-三叠纪富钠细碧角斑岩系有密切关系, 可能是峨眉山玄武岩同时期不同构造环境下的产物, 峨眉山玄武岩在水下喷发相及相关的火山-(热水)沉积岩相是寻找与之有关的铜金矿床十分有利的地段。

右江弧后盆地处于扩张弧后盆地中, 以碎屑岩及碳酸岩沉积为主, 局部形成受北东向和北西向构造控制的拉斑玄武岩-中酸性火山岩-中性岩-基性岩浆喷发活动, 总体上以海底喷发为主, 形成卡林型金矿的矿源层。

5.2 弧后前陆沉积盆地(P-T)

峨眉山大陆拉斑玄武岩的溢流喷发, 使扬子板块南缘形成相对隆起, 从贵州水城-贞丰-广西隆林一带形成大陆斜坡, 在其不同部位形成了一系列沉积盆地, 从贵州晴隆(北西向)到广西隆林(南东向)分别有: 1)晴隆滨海相热水沉积盆地, 以富金-铋-氟的“大厂层”、热水硅质岩、火山碎屑岩及白云岩-白云质灰岩等岩石组合为标志, 是金-铋-氟矿床的聚矿盆地; 2)贵州戈塘浅海相热水沉积盆地, 剖面结构为下部二叠系茅口组灰岩, 中部富金-铋-氟“大厂

层”,上部炭质泥岩(深水相标志层);3)贵州紫木凶-滥木厂碳酸盐台地(潮坪相)的三级台凹盆地,受同生断裂控制的半地堑式三级沉积盆地,沉积有深水相泥质碳酸盐复理石及泥质粉砂质(风暴成因)浊积岩,有大型紫木凶汞金矿床、超大型滥木厂汞-铊矿床,成矿系列为 Hg-Au-Tl;4)在贞丰-册亨-丫他南北向发育近南东向同生断裂,发育同生滑移褶皱-滑塌角砾岩-砾屑炭岩等构造沉积层序,烂泥沟超大型金矿、丫他及册亨大型金矿床产于该同生构造带中的深水浊积岩层中(燕山期为主成矿期);5)广西隆林深水盆地位于扬子板板块构造转换带(大陆斜坡)边缘与右江弧后裂谷盆地(华南型地层区)过渡部位,深海槽盆相中赋存有金牙等大型金矿床。

6 赋存金矿床沉积盆地的原型盆地及构造-古地理恢复

综上所述,从板块内部到大洋,赋存金大型-超大型矿床沉积盆地(D-T)的原型盆地及构造-古地理恢复为:1)挤压收缩体制下,沉积盆地萎缩封闭与同沉积变形;2)同造山期(大洋)盆地的变形与深源岩浆侵位;3)板内伸展盆地、三级热水沉积成矿盆地成盆构造动力学类型为单断型(半地堑式)、复合断陷型及拉分式三级热水沉积成矿盆地;4)板块被动陆缘上拉分复合盆地;5)板块边缘构造转换带上走滑拉分盆地(D-C);6)板块边缘构造转换带上十万大山裂谷盆地(D-C);7)大洋裂谷盆地。

大型-超大型金矿床定位一般多与上述聚矿构造中的后期构造和岩浆活动形成的热事件有密切关系。

参考文献:

[1] Metcalfe I. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43: 605-623.

[2] ZHAO X, Coe R S, Gilder S A, Frost G M. Paleomagnetic constraints on the palaeogeography of China: implications for Gondwanaland [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43: 643-672.

[3] Z X Li, L ZHANG, C. McApowell. Positions of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43: 593-604.

[4] ZHAI Y, DENG J. Outline of the mineral resources of China and their

tectonic setting [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43: 673-685.

[5] Bodorkos S, Oliver N H S, Cavood P A. Thermal evolution of the central Halls Creek Orogen, northern Australia [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 46: 453-465.

[6] Paul E, Flottmann T, Sandiford M. Structural geometry and controls on basement-involved deformation in the northern Flinders Ranges, Adelaide Fold Belt, South Australia [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 46: 343-354.

[7] Ramsay W R H, Bierlein F P, Arne D C, et al. Turbidite-hosted gold deposits of Central Victoria, Australia: their regional setting, mineralising styles, and genetic constraints [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13: 131-151.

[8] Goldfarb R J, Phillips G N, Nøkleberg W J. Tectonic setting of syn-orogenic gold deposits of the Pacific Rim [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13: 185-218.

[9] David A Foster, David R Gary, Teunis A P Kwak, et al. Chronology and tectonic framework of turbidite-hosted gold deposits in the Western Lachlan Fold Belt, Victoria: ⁴⁰Ar/³⁹Ar results [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13: 229-250.

[10] Glen R A. Copper- and gold-rich deposits in deformed turbidites at Cobar, Australia: their structural control and hydrothermal origin [J]. Economic Geology, 1987, 82(1): 124-140.

[11] 方维萱. 秦岭造山带泥盆纪构造热水沉积成矿盆地与流体成岩成矿特征及其演化规律(D). 西安: 西北大学, 1999, 5-72.

[12] 方维萱, 卢纪英, 张国伟. 南秦岭及邻区大陆动力成矿系统及成矿系列特征与找矿方向[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2): 1-16.

[13] 方维萱. 秦岭造山带中热水沉积成矿盆地的研究思路与方法初探——兼论秦岭超大型金属矿集区的研究与勘查[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2): 28-41.

[14] 方维萱. 秦岭造山带古热水场地球化学类型及流体动力学模型探讨——热水沉积成矿盆地分析与研究方法之二[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2): 17-27.

[15] 方维萱, 胡瑞忠. 秦岭造山带大型矿床密集区构造定位与勘查及研究新思路——热水沉积成矿盆地分析与研究方法之三[J]. 西北地质科学, 2000, 21(1): 1-8.

[16] 李采一. 龙脖子地区构造-地层及成矿作用讨论[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 235-328.

[17] 杨金付, 刘继顺, 刘洪滔. 云南老新街铜矿床地质特征及成因探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 470-475.

[18] 秦德先, 燕永锋, 林幼斌, 等. 程海断裂玄武岩及其成矿[J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8(6): 373-377.

[19] 胡耀国, 李朝阳, 廖震文, 等. 贵州银厂坡银矿床银矿物学特征及其赋存状态[J]. 矿物学报, 2000, 20(2): 150-159.

[20] 方维萱. 柞水银洞子特大型银多金属矿床矿物地球化学研究[J]. 矿物学报, 1999, 19(3): 349-357.