

文章编号: 0258-7106 (2002) 03-0264-06

云开地区中生代成矿地质背景 及成矿动力学机制研究*

蔡明海 战明国 彭松柏 孟祥金 刘国庆

(宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要 文章通过对云开地区地质构造、矿床时空分布以及中生代花岗岩类岩石的岩石学及地球化学特征的综合研究,认为区内中生代岩石圈构造经历了二叠—三叠纪之间的碰撞挤压、侏罗纪的构造转换及白垩纪的拉张伸展 3 个阶段的演化过程,大规模成矿作用受控于燕山早期岩石圈的构造转换及燕山晚期的拉张伸展的岩石圈动力学背景。

关键词 云开地区 构造转换 成矿作用 动力系统转换

中图分类号: P541; P618.4

文献标识码: A

云开地区地质研究程度较高,对于区内大中型矿床及区域成矿规律前人都进行了大量研究。袁正新等(1997)系统研究了粤中地区剥离拉伸体系,建立了剥离拉伸体系的成矿模式;饶家光等(1997)厘定了云开隆起区岩控型铜铅锌矿床的成矿系列,初步建立了该系列的区域成矿模式;蔡明海等(2000)在对桂东大瑶山地区金矿研究后提出,该区金矿属于与含碳浅变质浊积岩系有关的沉积-改造型金矿,主成矿期为燕山早期。近年来,中国东部中生代成矿大爆发已成为矿床学研究的热点之一,岩石圈构造转换及其对成矿作用的控制则是其中的一个重要命题。本文基于云开地区区域成矿规律的研究对这一问题进行初步探讨。

1 成矿地质背景

1.1 概述

云开地区指位于两广交界的云开大山及其邻近地区,其范围一般以吴川—四会断裂带为东界,岑溪—博白断裂带为西界,北至罗定—广宁断裂带,南至吴川—遂溪断裂带(图 1)。云开地区在大地构造位置上处于扬子板块与华夏地块的交接地带,属加里东期华南褶皱造山带的重要组成部分,东西向褶皱构造是区内的基底构造,而在地球物理场、遥感影象图以及花岗岩体展布特征上均有明显反映的北部湾—杭州湾 NE 向巨型构造带(本区为博白—岑溪断裂带)则是区域尺度上的控岩、控矿构造(战明国等,1999)。区内经历了前晋宁期的陆核和古陆壳生长、晋宁期的张裂拉伸、加里东期的水平韧性剪切及褶皱隆起、海西-印支期的碰撞造山和逆冲推覆以及

燕山-喜马拉雅期的陆内伸展 5 个主要构造演化阶段(彭少梅等,1995)。云开地区沉积建造包括元古宙-早古生代变质基底、晚古生代-中三叠世以浅海相为主的沉积盖层和中、新生代陆盆沉积建造等 3 个构造层次,其中云开群丰垌口组 and 牛辰坳组变质含碳泥质碎屑岩及寒武系、奥陶系中的含碳岩系及下石炭统梓门桥组硅质岩是重要的赋金银层位;中泥盆统东岗岭组、上泥盆统天子岭组是铜铅锌多金属的赋矿层位,铜、铅、锡主要赋存在碳酸盐岩中;此外,石炭系也是区内重要的赋铅锌层位,铅锌矿也主要赋存在碳酸盐岩中。

1.2 中生代构造-岩浆事件

中生代,中国东部发生了岩石圈-软流圈系统(LAS)的大灾变,出现了火山-岩浆-成矿大爆发(邓晋福等,1999;陶奎元等,1999;毛景文等,2000)。云开地区岩石圈构造也相应地经历了由海西-印支期的碰撞挤压到燕山早期伸展减薄的构造转换以及燕山晚期进一步拉张减薄的演化过程,并伴随有强烈的岩浆活动。

1.2.1 海西-印支期地块碰撞及岩浆活动

海西-印支期云开地块(华夏地块的组成部分)沿 NE 向岑溪—博白断裂带与湘桂地块(扬子板块的组成部分)发生陆陆碰撞,形成了区内盖层的二次褶皱,NE 向软海槽最终关闭,该期褶皱轴轴向为 NE 到近 SN 向,表明区内主压应力方向为近 EW 向。在粤西的罗定、分界南及西山岭等地发现的逆冲推覆构造的形成年龄为 229~255 Ma(彭少梅,1995),表明这一时期区内的岩石圈构造发生了强烈的收缩,伴随块体间的强烈碰撞,沿 NE 向岑溪—博白断裂带广泛发育含董青石花岗岩,代表性侵入体有广西大容山、六万大山、十万大山

* 本文为原地质矿产部“九五”重点科技攻关项目(95-02-007)和中国地质调查局 2000 年大调查项目(19991020085003)部分成果。
第一作者简介 蔡明海,男,1965 年生,副研究员,博士,矿床学和构造地质学专业。
收稿日期 2001-06-01; 改回日期 2001-12-13。李岩编辑。

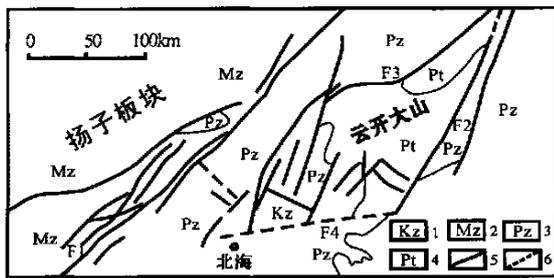


图 1 云开地区地质略图

1—新生界; 2—中生界; 3—古生界; 4—元古界; 5—断裂; 6—推测断裂; F1—岑溪-博白断裂带; F2—吴川-四会断裂带; F3—罗定-广宁断裂带; F4—吴川-遂溪断裂带

Fig. 1 Geological sketch map of Yunkai area

1—Cenozoic; 2—Mesozoic; 3—Palaeozoic; 4—Proterozoic; 5—Fault; 6—Inferred fault; F1—Cenxi-Bobai fault zone; F2—Wuchuan-Sihui fault zone; F3—Luoding-Guangning fault zone; F4—Wuchuan-Suixi fault zone

及粤西的那蓬等含堇青石花岗岩岩基。该期岩体的 K-Ar、⁴⁰Ar/³⁹Ar 及 Rb-Sr 同位素年龄值集中在 201~277 Ma 之间, (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i = 0.7282~0.7302 (廖庆康, 1991)。据于津生等 (1999) 对大容山等岩体中的 27 个钾长石和斜长石铅同位素组成测定的结果, 它们的铅同位素变化范围非常小, 全部数据的平均值为: ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb = 18.563 ± 0.058; ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb = 15.696 ± 0.024; ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb = 38.757 ± 0.113, 在铅构造模式图上都非常集中, 靠近上地壳演化线。全岩和石榴子石 ε_{Nd} 变化范围为 -10.59 ~ -14.49, ε_{Sr} 主要集中在 400~600 之间, δ¹⁸O > 10‰ (于津生等, 1999)。上述岩石地球化学特征及同位素地球化学特征均表明区内的含堇青石富铝花岗岩在岩石分类上可对应于 Barbarin (1999) 提出的 CPG 型 (含堇青石富黑云母过铝花岗岩类), 是在陆陆碰撞过程中由于地壳的加厚导致地壳部分熔融而形成的壳源花岗岩。

1.2.2 燕山早期构造转换及岩浆活动

燕山早期区内岩石圈进入伸展减薄变形阶段, 其主要证据如下:

(1) 区内 NE 向断裂由逆冲转化为正平移断层, 如博白断裂, 在以水平运动为主的伸展构造体制下, 形成了一系列受正平移断层控制的 NE 向侏罗纪断陷盆地, 如博白盆地、阳春盆地等。

(2) 燕山早期形成的某些金属矿床明显受同构造期的层间伸展滑脱构造带所控制, 矿床产出特征显示出区内伸展作用的存在, 如博白东桃沉积-改造型铅锌矿床 (图 2), 奥陶系地层沉积时在有利的岩性段形成了铅锌的初始富集, 后期热液改造成矿明显受奥陶系砂页岩中层间滑脱带控制。

(3) 在桂东南和粤西识别出一批钾玄质侵入岩 (李献华

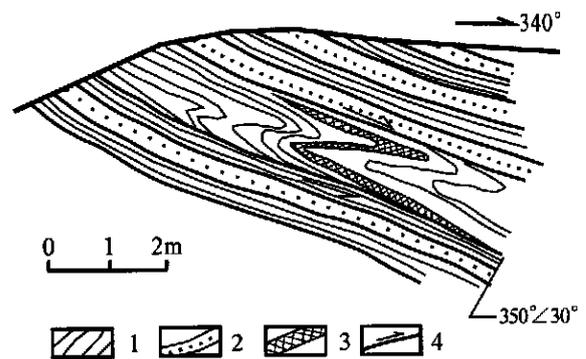


图 2 东桃铅锌矿剖面图

1—奥陶系页岩; 2—奥陶系砂岩; 3—矿体; 4—断层

Fig. 2 Geological section of the Dongtao lead-zinc deposit
1—Ordovician Shale; 2—Ordovician sandstone; 3—Orebody; 4—Fault

等, 2000; 郭新生等, 2001)。广西东南部罗容岩体由辉长岩-闪长岩-二长岩-正长岩组成, 马山岩体由碱性辉长岩-花岗闪长岩-正长岩-花岗岩组成, 清湖岩体由石英二长岩组成。它们富 K、富大离子亲石元素和放射性生热元素, 无 Nb、Ta 负异常, $w_{Nb}/w_{Ta} = 1.1 \sim 1.6$, 其中的基性岩的 ε_{Nd}(t) 高, 为 +1.5 到 +3.3, 无 Eu 亏损, δEu = 1.0 ~ 1.2。马山岩体中石英正长岩的黑云母 K-Ar 同位素年龄为 155 Ma (原地质矿产部南岭项目花岗岩专题组, 1989; 郭新生等, 2001); 该岩体中二长岩的岩相学和岩石化学组成特征为 $w(SiO_2) = 47.8\% \sim 53.8\%$ 、 $w(K_2O) + w(Na_2O) > 5.9\%$ 、 $w(K_2O)/w(Na_2O) = 1.4 \sim 1.9$ 、 $w(TiO_2) < 1.1\%$ 、 $w(Al_2O_3) = 15.3\% \sim 18.1\%$ 。岗尾-轮水石英二长岩和花岗闪长岩岩体 $w(SiO_2) = 62.1\% \sim 64.68\%$, 属酸性-偏中性岩石, 它们具有较高的 $w(K_2O)$ (3.64~4.68) 和 $w(K_2O)/w(Na_2O)$ (1.2~1.6), 也显示出钾玄质系列岩石的特征。粤西马山岩体的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为 (163.3 ± 2.0) Ma, (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i = 0.7046, ε_{Nd}(t) = +1, 岗尾岩体的 Rb-Sr 等时线年龄为 (154 ± 1) Ma, (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i = 0.7063, ε_{Nd}(t) = -2 (李献华等, 2000; 2001)。上述事实表明云开地块在 154~163 Ma 之间即中侏罗世时处于软流圈地幔上涌和岩石圈伸展减薄的构造背景中, 中侏罗世可能是云开地区岩石圈构造由海西-印支期碰撞挤压到燕山期伸展减薄的转换时期。

1.2.3 燕山晚期的进一步拉张减薄及岩浆活动

白垩纪区内断陷盆地发育, 白垩系陆相沉积地层普遍沿基底发生滑覆作用, 如粤西罗定盆地地下白垩统沿基底接触面由南向北滑覆。另据广西区调所 1:5 万大桥幅、良田幅、旺茂幅区调报告, 燕山晚期区内发育有大量的中基性岩脉, 岩脉大部分属铝过饱和碱性系列, 该期岩浆活动时期集中在 80~120 Ma 之间, Lo 等 (1994) 也报道了约 100 Ma 是南岭地区一

● 广西区调队, 1995, 1:5 万大桥幅、良田幅、旺茂幅区调报告。

次重要的岩石圈拉张和幔源基性岩脉活动时代。燕山晚期花岗岩岩石具有富大离子亲石元素和放射性生热元素特征, $\delta^{18}O$ 为 $+8.2\text{‰} \sim +12.59\text{‰}$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值为 $0.7086 \sim 0.7153$ (梁约翰等,1998),反映其物源为壳幔混合型。上述特征表明,云开地块岩石圈构造在燕山晚期时整体处于一种拉张伸展的构造体制之中。

综上所述,云开地块中生代岩石圈构造经历了201~277 Ma之间碰撞挤压,154~163 Ma间由挤压到伸展的构造转换及80~120 Ma之间拉张伸展3个阶段的构造演化过程,每一阶段都对应有强烈的岩浆活动。

2 云开地区内生矿床分类及时空分布特征

2.1 矿床的空间分布特征

据不完全统计,云开地区约有岩金-银矿床(点)300个,铜铅锌矿床(点)450个(梁约翰等,1998)。根据成矿地质条件,主导成矿作用性质、方式及矿质来源诸方面的差异,可将研究区内铜铅锌金(银)矿床分为7个类型,即:蚀变构造岩型、斑岩型、夕卡岩型、热液脉型、热(卤)水淋滤型、沉积改造型(层控型)和沉积变质型。这些矿床具有成群分布、成带集中的特点,按其空间产出特征大致可划分为3个NE向矿带(见图3):①新兴—阳春金银铜铅锌矿带,本矿带主要矿床类型为蚀变构造岩型、热(卤)水淋滤型、夕卡岩型和斑岩型,如河台大型金矿、富湾大型银矿、石录大型铜(钼)矿、天堂大型铅锌矿床等,其次是热液脉型,如崩坑铅锌硫矿床等;②德庆—罗定—高州金银(铅锌)矿带,本矿带以产蚀变构造岩

型金矿和热液脉型金银铅锌矿为特色,其次为夕卡岩型铜铅锌矿、斑岩型(银)矿;③岑溪—博白金银铜铅锌矿带,本矿带以蚀变构造岩型银金矿和热液脉型铜铅锌矿为特色。前者如庞西垌大型银金矿床,金山中型银金矿床;后者如佛子冲大型铜铅锌矿床,其次是夕卡岩型、沉积改造型(层控型)、沉积变质型矿床。

上述成矿带所处的构造部位具有以下特征:

(1) 分布于隆起与拗陷区的交替部位。隆起与拗陷区的交替部位是地壳薄弱带,构造-岩浆-流体-成矿往往沿此发育。在云开隆起与东侧粤中拗陷的交替部位,发育了吴川—四会断裂带,沿断裂带发育有一系列中生代中酸性小侵入体,自北东往南西形成天堂大型斑岩铜(钼)铅锌(银)矿、爱国铅锌矿、茶地铅锌银矿、芒鹅岭铜矿、荔枝山铅锌金矿、黑石岗铅锌矿、石录大型夕卡岩铜矿等30余个中、小型铜铅锌金(银)矿床。在云开隆起与西侧钦防拗陷的交替部位,发育了岑溪—博白断裂带,沿断裂带发育有一系列中生代中酸性小侵入体,自北东往南西形成佛子冲大型铅锌多金属矿、河三大型铅锌多金属矿、蟠龙小型金银矿、旺茂铅锌矿、文龙径小型多金属矿、下水铅锌矿、中苏金矿、金山金矿、庞西垌大型蚀变构造岩型银金矿等20多个中、小型银金铜铅锌矿床。

(2) 沿云开隆起边缘剪切带和内部剪切带分布。云开隆起经碰撞造山、伸展剪切及多期韧性、脆-韧性再造和脆性改造,形成了有规律分布的边缘剪切带系统和内部剪切带系统,区内的蚀变构造岩型金银矿主要受该类构造控制。①边缘剪切带系统主要包括岑溪—博白断裂带、广宁—罗定—石圭断裂带和吴川—四会断裂带,它们与邻近的脆性和脆-韧性剪切带或断裂,如陆川—灵山断裂、石圭—宋桂断裂、云塘—三屋排断裂及合水口、黄岭顶断裂等共同组成了云开隆起边缘的剪切带系统,对云开隆起边缘的成矿起了重要的制约作用。②内部剪切带系统在云开隆起内部发育了一系列NNE-NE向、NW向的脆性和脆-韧性剪切带或断裂,尤以前者较为明显。NNE-NE向的剪切带包括桂东南的金山断裂、望天洞断裂和廉江、化州、高州一带的断裂构造;NW-NW向的剪切带,一般规模较小,其中规模较大者有石科断裂等,这些剪切带控制了云开隆起内部金银铜铅锌矿的分布。

2.2 主要成矿时代

现将所收集到的云开及邻区14个矿床的同位素测年资料列于表1。据表1资料可将区内主要成矿时代划分为3期:

(1) T_3-J_1 。主要见于第②成矿带的广宁—罗定一带,该期成矿作用与海西-印支期壳源花岗岩有关,在区内表现不强烈,一般仅形成中、小型金矿矿床。

(2) J_2-J_3 。成矿作用集中在160~140 Ma之间,形成了区内大、中型构造蚀变岩型金矿、斑岩型铜铅锌矿床等。

(3) K_1-K_2 。成矿作用集中在120~80 Ma之间,形成了区内大、中型蚀变构造岩型银金矿床、夕卡岩型铜铅锌矿床、沉积改造型(层控型)铅锌金矿床、热(卤)水淋滤型金银矿、斑

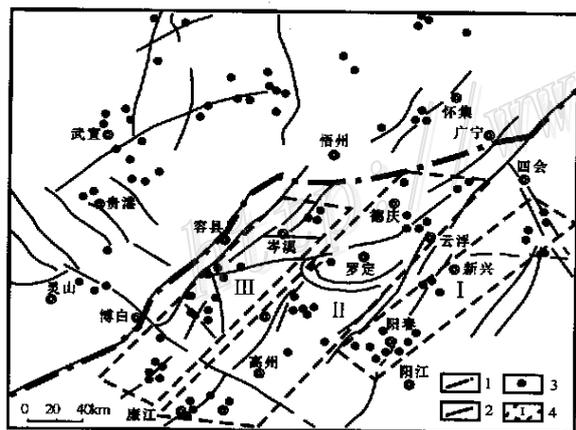


图3 云开地区金银铜铅锌矿床分布示意图
(据梁约翰等1998资料修编)

1—地块边界;2—断裂;3—矿床;4—成矿带及编号

Fig. 3 Distribution of gold, silver, copper, lead and zinc deposits in Yunkai area

1—Boundary of block; 2—Fault; 3—Ore deposit;

4—Metallogenic belt and serial number

表 1 云开地区矿床同位素测年数据表

序号	矿床名称	t/ Ma	资料来源
1	桃花金矿	151	蔡明海等,2000
2	河台金矿	121.9~129.6	陈好寿,1991
3	高风金矿	215	李献华等,1992
4	金山金矿	102	翟裕生等,1999
5	富湾银矿	89	翟裕生等,1999
6	天堂铜铅锌矿	94	翟裕生等,1999
7	石录铜矿	82	翟裕生等,1999
8	佛子冲铅锌矿	150	翟裕生等,1999
9	芒鹅岭铁铜矿	120	翟裕生等,1999
10	银岩锡矿	80~92	陈毓川等,1989
11	阳春锡矿	76	于津生等,1999
12	九曲岭锡矿	116	翟裕生等,1999
13	庞西垌银金矿	117~124	王云正等,1995
14	长坑金矿	132~138	袁正新等,1997

岩型金铜银矿及热液脉型矿床,为区内主成矿期。

3 成矿动力学机制探讨

3.1 成矿作用的一级控制因素

同空间分布的不均一性一样,区内大规模成矿作用在时间分布上也呈现出明显的不均一性,成矿作用主要集中在中侏罗世(160~140 Ma)及白垩纪(120~80 Ma),分别与区内岩石圈构造转换期及进一步拉张伸展期相对应,燕山早期的构造转换导致岩石圈物质从封闭性转向可渗透性,由挤压环境下的分散状态变为拉张环境下的分异聚集,从而有利于成矿物质被同构造期流体萃取参与成矿作用。燕山晚期强烈伸展以致于岩石圈发生拆沉使得区内岩石圈内的正常热结构被强烈扰动,地壳和岩石圈地幔被大幅度加热,壳内形成多级岩浆房,热流传输以对流方式占主导,这个被扰动的热状态对驱发成矿作用具有重要意义(邓晋福等,1999)。因此,中生代岩石圈的动力学背景是区内大规模成矿的一级控制因素。进一步研究表明,区内岩石圈构造转换与其自身的热流值增高有关,表 2 列出了不同时期花岗岩岩石放射性生热元素的含量,按公式 $A = \rho \times 10^2 (3.48K + 2.56Th + 9.52U)$ (李昌年,1992) 计算花岗质岩石的生成热,其中 $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$, K、Th、U 分别代表各元素的质量分数,计算结果见表 2,由表可见,自海西-印支期到燕山期花岗质岩石的生成热值明显增高,这种热流值的增高可能是导致区内岩石圈局部熔融、地幔上涌及岩石圈构造转换的根本原因。

3.2 局部动力系统转换对成矿的控制

3.2.1 隆起与拗陷区交替部位动力系统转换对成矿的控制

隆起与拗陷区地壳以垂直运动为主,而两者之间的过渡地带则处于一个以水平运动为主的伸展构造体制中,常形成绿片岩相韧-脆性剪切带(邓军等,2001),当滑动速度达到 10^{-8} cm/s 时,岩石便逐渐发生变形、重熔,有用元素开始活

化(孙忠实等,1999)。此外,无论从流体运移的重力模式还是动力模式来看,隆起与拗陷区交替部位都是流体运移的有利部位。由此可见,在隆起与拗陷的交替部位由于局部动力系统转换不仅驱使了成矿元素的活化迁移,而且这一部位流体作用强烈,构造发育,是成矿作用发生的有利地段,导致矿床沿此地段分布。

表 2 云开地区中生代花岗岩生成热值计算表

Table 2 Heat productions of Mesozoic granite in Yunkai region

$w_U/10^{-6}$	$w_{Th}/10^{-6}$	$w_K/\%$	$A/(\mu W \cdot m^{-1})$	$\bar{A}/(\mu W \cdot m^{-3})$
海西印支期				
4.2	28	4.01	3.46	
4.9	23	3.09	3.20	
3.6	20	2.98	2.64	3.07
4.6	25	3.08	3.27	
3.8	21	3.11	2.78	
燕山早期				
6.7	42	4.11	5.12	
4	24	3.21	3.05	
13	33	3.97	6.10	
4.6	31	3.43	3.73	
6.6	26	4.22	3.97	
18	36	4.51	7.67	4.52
9.7	28	3.19	4.82	
5.3	29	3.01	3.73	
6.4	23	3.14	3.60	
8.9	28	4.60	4.74	
7.9	27	3.20	4.28	
4.3	27.7	4.09	3.48	
燕山晚期				
6.7	32	3.74	4.37	
11	39	4.13	6.03	
2.3	13	2.15	1.73	4.47
18	44	3.63	8.15	
2.3	17	2.74	2.09	

样品测试单位:宜昌地质矿产研究所

3.2.2 韧性→脆性转换对成矿的控制

云开隆起在加里东期形成了边缘韧性剪切带阵列,经历了海西-印支期强烈的韧性再造和燕山期的脆性改造,在边缘及内部形成了一系列脆性、韧-脆性剪切带,工业矿体的形成则发生在剪切带由韧性向脆-韧性及脆性演化的阶段。

在云开隆起区,钠长角闪绿帘岩相及角闪岩相条件下的深层剪切流动和部分深熔线状带与金矿化没有直接的成因联系,典型的花岗质糜棱岩、眼球状糜棱岩和片麻状变晶糜棱岩的形成环境与金矿化的物理化学环境不协调,如大王山岩体东缘的韧性剪切带和岩体内部的信宜-高州合水剪切带等,都很少有金矿产出,这些较深层次的韧性剪切带在塑性流变过程中成矿物质处于分散迁移状态,只有在后期向脆性转化的过程中,由于动力系统由均一化向非均一化转化,成矿流体沿

微张裂隙运移才在有利的地段沉淀成矿。

4 结 语

云开地区中生代岩石圈构造经历了 201 ~ 277 Ma 之间的碰撞挤压, 154 ~ 163 Ma 之间由挤压到伸展的构造转换及 80 ~ 120 Ma 之间拉张伸展 3 个阶段的构造演化过程, 大规模的成矿作用集中发生在中侏罗世及白垩纪, 分别受控于燕山早期岩石圈的构造转换及燕山晚期的拉张伸展的地球动力学背景, 岩石圈的构造转换与自身热流值的增高有关, 矿床定位分布则受制于局部的动力系统转换, 它们是不同的动力系统相互转换过程中的产物。

References

- Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 46: 605 ~ 626.
- Cai M H, Liu G Q and Zhan M G. 2000. Study on genesis and mineralogical epoch of gold deposits in Dayaoshan, east Guangxi[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 63(3): 58 ~ 63 (in Chinese with English abstract).
- Chen H S and Li H Q. 1991. Fluid inclusion Rb-Sr isochron dating of gold deposit in Yunkai uplifted area[J]. *Mineral Deposits*, 10(4): 333 ~ 341 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C and Pei Y F. 1989. Nonferrous metal and rare metal deposits geology relation Mesozoic granite in Nanling area[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Deng J F, Mo X X, Zhao H L, et al. 1999. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in east China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 209 ~ 315 (in Chinese with English abstract).
- Deng J, Sun Z S, Wang J P, et al. 2001. Dynamic system transformation and gold ore-forming process[J]. *Mineral Deposits*, 20(1): 71 ~ 77 (in Chinese with English abstract).
- Guo X S, Chen J F, Zhang X, et al. 2001. Nd isotopic ratios of K-enriched magmatic complexes from southeastern Guangxi Province: Implications for upwelling of the mantle in southeastern China during the Mesozoic[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 19 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Granitoid Research Group of the Nanling Project. 1989. *Geology of granitoids of Nanling region and their petrogenesis and mineralization* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 471 p (in Chinese).
- Li C N. 1992. *Igneous minor element petrography*[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Li X H, Zhou H W, Liu Y, et al. 2000. Mesozoic shoshonitic in the Yangchun basin, western Guangdong, and their tectonic significance: I. Petrology and isotope geochronology[J]. *Geochimica*, 29(6): 513 ~ 520 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Zhou H W, Liu Y, et al. 2001. Mesozoic shoshonitic in the Yangchun basin, western Guangdong, and their tectonic significance: II. Minor elements and Sr-Nd isotopes geochemistry[J]. *Geochimica*, 30(1): 57 ~ 65 (in Chinese with English abstract).
- Liang Y H, Zhang Q F, Yang S Y, et al. 1998. Metallogenic regularity and metallogenic prognosis in Yunkai uplift[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Liao Q K. 1991. Forming time of Darongshan-Shiwangdashan granite batholith in Guangxi[J]. *Guangxi Geol.*, 4(4): 59 ~ 68 (in Chinese with English abstract).
- Lo C H and Lee C Y. 1994. ^{40}Ar - ^{39}Ar method of the K-Ar age determination on geological samples using Tsing Hua open pool (THOR) reactor[J]. *J. Geol. Soc. China*, 37(2): 1 ~ 22.
- Mao J W and Wang Z L. 2000. A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large-scale metallogeny in east China[J]. *Mineral Deposits*, 19(4): 289 ~ 296 (in Chinese with English abstract).
- Peng S M, Fu L F, Zhou G Q, et al. 1995. Tectonic evolution of Yunkai massif and its shearing anatexis origin of gneissic granitic rocks[M]. Wuhan: China Univ. of Geosci. Press (in Chinese with English abstract).
- Rao J G, Liu H Q, Yang S Y, et al. 1997. Prediction of mineral resources in typical Wuyi-Yunkai ore-forming region[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Sun Z S, Deng J and Zhai Y S. 1999. Imitation experiment and tectonic mechanism of the gradations of Au, SiO_2 and sulfide migration and concentration[J]. *Geoscience*, 13(3): 329 ~ 333 (in Chinese with English abstract).
- Tao K Y, Mao J R, Xing G F, et al. 1999. Strong Yanshanian volcanic-magmatic explosion in east China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 316 ~ 322 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y Z, Wang J C, Yi Y Q, et al. 1995. Metallogenic regularity and model of gold-silver deposits in the southeast Guangxi Province[J]. *Mineral Resources and Geol.*, (4): 257 ~ 262 (in Chinese).
- Yuan Z X, Xie Y B, Yu J N, et al. 1997. Geotectonic control over Au-Ag-Cu-Pb-Zn mineralization in central Guangdong Province[M]. Wuhan: China Univ. of Geosci. Press (in Chinese with English abstract).
- Yu J S, Gui X T and Yuan C. 1999. The characteristics of isotopes geochemistry of Darongshan granitoid suite, Guangxi[J]. *Guangxi Geol.*, 12(3): 1 ~ 6 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Deng J, Li X B, et al. 1999. *Essentials of metallogeny*[M]. Wuhan: China Univ. of Geosci. Press (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡明海, 刘国庆, 战明国. 2000. 桂东大瑶山地区金矿床成因及成矿时代研究[J]. *华南地质与矿产*, 63(3): 58 ~ 63.
- 陈好寿, 李华芹. 1991. 云开隆起金矿带流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄[J]. *矿床地质*, 10(4): 333 ~ 341.
- 陈毓川, 裴荣富. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社.

- 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 477.
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 1999. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境[J]. 矿床地质, 18(4): 209 ~ 315.
- 邓 军, 孙忠实, 王建平, 等. 2001. 动力系统转换与金成矿作用[J]. 矿床地质, 20(1): 71 ~ 77.
- 郭新生, 陈江锋, 张 巽, 等. 2001. 桂东南富钾岩浆杂岩的 Nd 同位素组成: 华南中生代地幔物质上涌事件[J]. 岩石学报, 17(1): 19 ~ 27.
- 李献华, 周汉文, 刘 颖, 等. 2000. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: I. 岩石学和同位素地质年代学[J]. 地球化学, 29(6): 513 ~ 520.
- 李献华, 周汉文, 刘 颖, 等. 2001. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: II. 微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学[J]. 地球化学, 30(1): 57 ~ 65.
- 廖庆康. 1991. 广西大容山-十万大山花岗岩形成时代[J]. 广西地质, 4(4): 59 ~ 68.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学[M]. 北京: 地质出版社. 34 ~ 76.
- 梁约翰, 张启富, 杨世义, 等. 1998. 云开隆起区成矿规律与成矿预测[M]. 北京: 地质出版社. 34 ~ 76.
- 毛景文, 王志良. 2000. 中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J]. 矿床地质, 19(4): 289 ~ 296.
- 彭少梅, 符力奋, 周国强, 等. 1995. 云开地块构造演化及片麻状花岗岩的剪切深熔成因[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 80 ~ 159.
- 饶家光, 刘后群, 杨世义, 等. 1997. 武夷-云开典型成矿区矿产预测[M]. 北京: 地质出版社. 44 ~ 103.
- 孙忠实, 邓 军, 翟裕生, 等. 1999. 金、硅和硫化物迁移富集层次性模拟实验与构造机制研究[J]. 现代地质, 13(3): 329 ~ 333.
- 陶奎元, 毛建仁, 邢光福, 等. 1999. 中国东部燕山期火山-岩浆大爆发[J]. 矿床地质, 18(4): 316 ~ 322.
- 王云正, 汪劲草, 伊意求, 等. 1995. 桂东南金银矿床成矿规律与成矿模式[J]. 矿产与地质, (4): 257 ~ 262.
- 袁正新, 谢岩豹, 余纪能, 等. 1997. 粤中地区构造对金银铜铅锌成矿作用的控制[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 71 ~ 84.
- 于津生, 桂训唐, 袁 超. 1999. 广西大容山花岗岩套同位素地球化学特征[J]. 广西地质, 12(3): 1 ~ 6.
- 翟裕生, 邓 军, 李晓波, 等. 1999. 区域成矿学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 122 ~ 125.

Study of Mesozoic Metallogenic Geological Setting and Dynamic Mechanism in Yunkai Area

Cai Minghai, Zhan Mingguo, Peng Songbai, Meng Xiangjin and Liu Guoqing
(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China)

Abstract

An integrated study of geological structural characteristics, granite petrology and time-space distribution regularity of deposits indicates that the Mesozoic lithosphere of Yunkai area experienced three tectonic evolution phases: the collision between 201 and 277 Ma, the tectonic transformation from compression to extension between 154 and 160 Ma, and the extension between 80 and 100 Ma. The ore-forming processes were concentrated in mid-Jurassic and Cretaceous, controlled successively by the tectonical transformation of lithosphere in early Yanshanian and the further spreading and extension of late Yanshanian. The tectonic transformation of the lithosphere was related to its own increasing heat flow value. The extending and thinning of the lithosphere is the basic factor responsible for the Mesozoic massive ore-forming processes in this area. The distribution and location of the deposits were controlled by the transformation of local dynamic system, and the formation of the deposits resulted from the transformation of different dynamic systems.

Key words: Yunkai area, tectonic transformation, ore-forming process, dynamic system transformation