

# 粤北海西早期沉积盆地扩张与热水成矿

杨振强 陈开旭 蒋德和 杨卫东

(地质矿产部宜昌地质矿产研究所) (中科院贵阳地球化学研究所)

**[内容提要]** 晚古生代期间,粤北半地堑式裂陷盆地受控于华南板块内的三叉张裂盆地系统。沉积演化阶段包括基底上隆、张裂、沉陷(三角洲充填)、下沉和封闭阶段。海西盆地演化史中的沉陷至稳定早期阶段对热水成矿有利。热水(喷气)矿床一般具有“三明治”式的矿石序列:底板蚀变(脉状矿石)→整合块状硫化物矿体→顶板蚀变和/或喷气盖层,以及底部爆发和沸腾特征。热水沉积(喷气)岩具有负的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值以及低于正常海相硅岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,具有强烈的Eu正常REE模式。海西旋回可识别出4个与矿化层位有关的热事件:中泥盆统、上泥盆统、中—上石炭统和二叠统。区内绝大多数块状硫化物矿床是盆地扩张早期产物,而某些矿床(Au、Ag、Cu)则是盆地封闭阶段——印支运动( $T_1$ — $J_1$ )的产物。

**关键词:** 盆地扩张 张裂 粤北 热水沉积 喷气岩

粤北晚古生代沉积盆地(简称粤北坳陷)位于现今南岭山脉之南侧,其主体部分位于广东省北部的乐昌、仁化、韶关、英德、乳源、阳山、连山、连县等县的范围内,是泥盆纪—石炭纪多金属矿床集中的地段。盆地的张裂性质已为前人所确定<sup>[1-3]</sup>,张裂的原因可归因于华夏板块内部的地壳拉伸和走滑张裂作用。

粤北地区内几个层控矿产,如凡口铅锌矿和大宝山铜多金属矿,其同生沉积特点在文献中已有过论述<sup>[4-10]</sup>,但对于沉积盆地演化阶段与热水成矿的关系却研究不够。

本文目的在于揭示海西期(泥盆纪至早石炭世)沉积盆地拉张的活动规律和列举热水成矿的证据,藉以阐明盆地演化早期拉张成矿和晚期盆地回返挤压成矿的两阶段成矿观点。

## 1 区域地质概况

粤北晚古生代沉积盆地地层发育齐全,从中泥盆世至早三叠世沉积了一套滨海至浅海沉积岩系,区域断裂构造以北东向、北西向和南北向断裂为主,构成“粤北山字型”构造。位于粤北坳陷南西的吴川—四会断裂是一条成型于加里东期、定型于印支期的热流变质中心轴<sup>[11]</sup>,是广东境内一条重要的控矿断裂。它的北东段在广宁、四会附近进入粤北坳陷内,地表构造形迹不明显。有一种意见认为它与西牛—南雄断裂相连接。西牛—南雄断裂两侧及其派生的北西向张性断裂是海西期的主要导矿构造。

海西期的岩浆侵入体见于仁化、南雄一带,岩体的同位素年龄为226—368Ma<sup>[12]</sup>,表明

①属地质矿产部“八五”重点地质攻关项目的专题85-01-007-02-3和中国科学院矿床地球化学开放研究实验室部分资助课题192996829。参加研究工作的还有陈善庆、毛晓冬。

粤北地区有海西期的岩浆热事件。粤北地区的下泥盆统、中泥盆统和上二叠统都有火山岩层位发现,说明本区内常有火山热事件发生。

粤北地区内的热水沉积矿床有:连县小带锰铅锌矿、仁化凡口黄铁铅锌矿、乐昌乐家湾铋矿、杨柳塘铅锌黄铁矿、英德红岩-梨树下黄铁矿、曲江大宝山铜多金属矿。这些矿床属于沉积岩或火山-沉积岩中的层状硫化物矿床,赋矿层位只限于中泥盆统至下石炭统,表现出赋矿层位有一定的时代限制的规律性。

## 2 板内沉积盆地扩张

志留纪末形成的华南统一大板块或南华造山带<sup>[1]</sup>从泥盆纪开始再度发生板内分裂,在本区内形成了一套张裂盆地所特有的沉积建造类型和沉积序列。

早泥盆世华南大板块板内扩张首先从扬子板块和华夏板块拼接带的西南段,即“钦防残留海槽”开始,沿北东方向一直延伸到广西容县附近<sup>[13]</sup>;中一晚泥盆世继续沿灵山-梧州大断裂伸长,并沿梧州-贺县断裂折向北,与呈南北向伸展的湘南台盆(宁远-道县之间)相沟通<sup>[14-16]</sup>。这是一条由陆内海槽拉张而成的深水岩浆-热流轴,因而也是华南板内的一条海西期地裂带(taphrogenic zone),并在广东怀集附近与粤北坳陷西南侧的深水“英德海沟<sup>[17]</sup>”相联接,构成类似夭折三叉裂谷盆地系统,控制了粤北半地堑式沉陷盆地的发育(图1)。

在总的拉张构造背景下,粤北海西期沉积演化史表现为基底火山活动、陆缘扇三角洲向陆推进和海进扩大等特征。

### 2.1 基底火山岩组合

本区在接受泥盆纪碎屑沉积以前,曾经发生过基底张裂拉伸,出现了中酸性的火山喷发活动。最近,广东省地质矿产局705地质大队在本区内曲江县枫湾镇茶园山至瑶岭一带发现了一套下泥盆统火山碎屑岩系(茶园山组)<sup>●</sup>是基底拉伸的重要证据。火山岩包括一套850m厚的火山凝灰岩及基性至中性玄武岩、安山岩类以及部分浅成流纹质斑岩和英安质斑岩。其岩石化学特征反映为钙碱性拉斑玄武岩系列,属于板内裂陷早期形成的断陷型火山岩组合。基底火山岩组合常常是陆内断陷、裂谷、陆间裂谷早期阶段的产物<sup>[18]</sup>。因而粤北地区在泥盆纪早期应该具有小型地堑盆地的存在。

### 2.2 岸退的陆缘三角洲

当陆块分裂离散时在陆缘常常出现三角洲相沉积。随着板块离散活动加剧,陆缘三角洲迅速向陆地方向推进,表现为完整的海侵层序。

粤北地区海西旋回的最早沉积是属桂头群(跳马洞组)的河流-三角洲相,分布广泛,碎屑物质来自北东侧的武夷-诸广山古陆地,但在本区西南侧的红岩至西牛一带则以细砂泥质沉积为特征的三角洲前缘沉积区。总的基底古地形是北东侧高于南西侧,完全是受其西侧的三叉张裂盆地强烈沉陷所制约。

### 2.3 断陷盆地式的沉积序列和盆地演化阶段

粤北沉积盆地的晚古生代演化史具有断陷盆地所具有的基本模式:裂前上隆、张裂、强烈裂陷(充填)和衰亡等相继序列和发展阶段。据笔者研究,板内张裂盆地演化过程具有明显的阶段性和旋回性,大致可分为五个阶段(图2)。

●据广东705地质队6分队(1993)1:50000《枫湾镇》区测报告

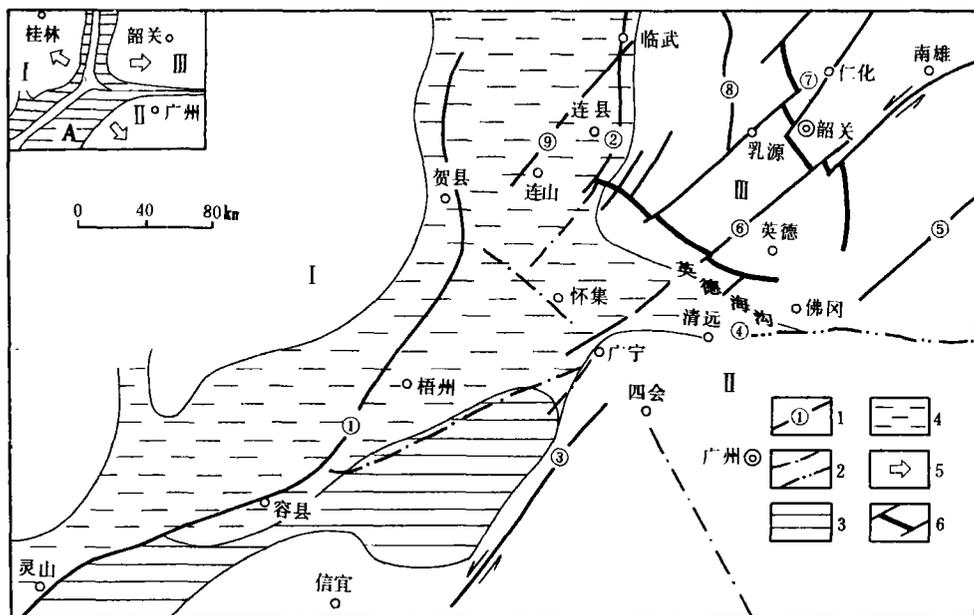


图 1 中、晚泥盆世华南板块在湘南-粤北附近扩张和古断裂示意图

1. 断裂及编号; 2. 遥感及物探断裂; 3. “钦防海槽”(据吴诒, 1987); 4. 湘南台盆和灵山台盆; 5. 微板块(或地体)运移方向; 6. 张性断裂; A 图表示三个微板块: I. 湘桂微板块; II. 云开-粤中微板块; III. 粤北微板块。  
 断裂: ①灵山-梧州-贺县大断裂; ②. 衡阳-临武-连县断裂; ③. 吴川-四会大断裂; ④. 佛冈-丰良断裂带; ⑤. 新丰-定南断裂; ⑥. 西牛-南雄断裂; ⑦. 乳源-仁化断裂; ⑧. 乐家湾-梅花-乳源断裂; ⑨. 连山-临武-郴县断裂

Fig. 1 Sketch map showing the South China plate spreading and palaeofaulting along the southern Hunan-northern Guangdong district during the Middle and Late Devonian

I=fault; 2=remote-sensing and geophysical fault; 3="Qinzhou-Fangcheng trough"; 4=southern Hunan and Lingshan interplate basins; 5=microplate (terrane) migration direction; 6=extensional fault. Fig. 1A comprises three microplates: Hunan-Guangxi microplate (I), Yunkai-central Guangdong microplate (II), and northern Guangdong microplate (III). Faults: 1=Lingshan-Wuzhou-Hexian fault; 2=Hengyang-Linwu-Lianxian fault, 3=Wuchuan-Sihui fault; 4=Fogang-Fengliang fault; 5=Xinfeng-Dingnan fault; 6=Xiniu-Nanxiong fault; 7=Ruyuang-Renhua fault; 8=Lejiawan-Meihua-Ruyuan fault; 9=Lianshan-Linwu-Chenxian fault

2. 3. 1 基底上拱和地壳拉伸阶段(D<sub>1</sub>-D<sub>2</sub>)

泥盆纪早期地壳拉伸的结果引起中-酸性火山喷溢和喷发。在韶关盆地内发现有下泥盆统的中-酸性火山岩层。在大宝山矿区内见有中-晚泥盆统的英安岩和基性火山凝灰岩、熔岩夹层<sup>[10]</sup>。这些都符合张裂盆地发育早期所具有的一般火山活动和岩浆侵入的特征。

2. 3. 2 盆地裂陷和充填阶段(D<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>)

盆地基底以地堑式下沉, 构成阶梯状的盆地地貌。沿盆地边缘断裂常常形成厚度很大的河流-三角洲。中泥盆世晚期至晚泥盆世早期, 盆地中的碎屑物充填作用减弱, 在粤北-诸广山陆棚边缘出现大面积的碳酸盐台地, 表明沉积盆地处于稳定的沉陷阶段。

2. 3. 3 蚀源区再度升起和盆地沉陷扩大阶段(D<sub>3</sub><sup>2</sup>-D<sub>2+3</sub>)

晚泥盆世粤北拗陷东北侧的陆地再度强烈隆起上升, 在仁化-韶关一线以东的浅水陆棚上重新为滨海-三角洲相沉积所覆盖, 表明沉积盆地沉陷过程中出现了区域性的海退, 开

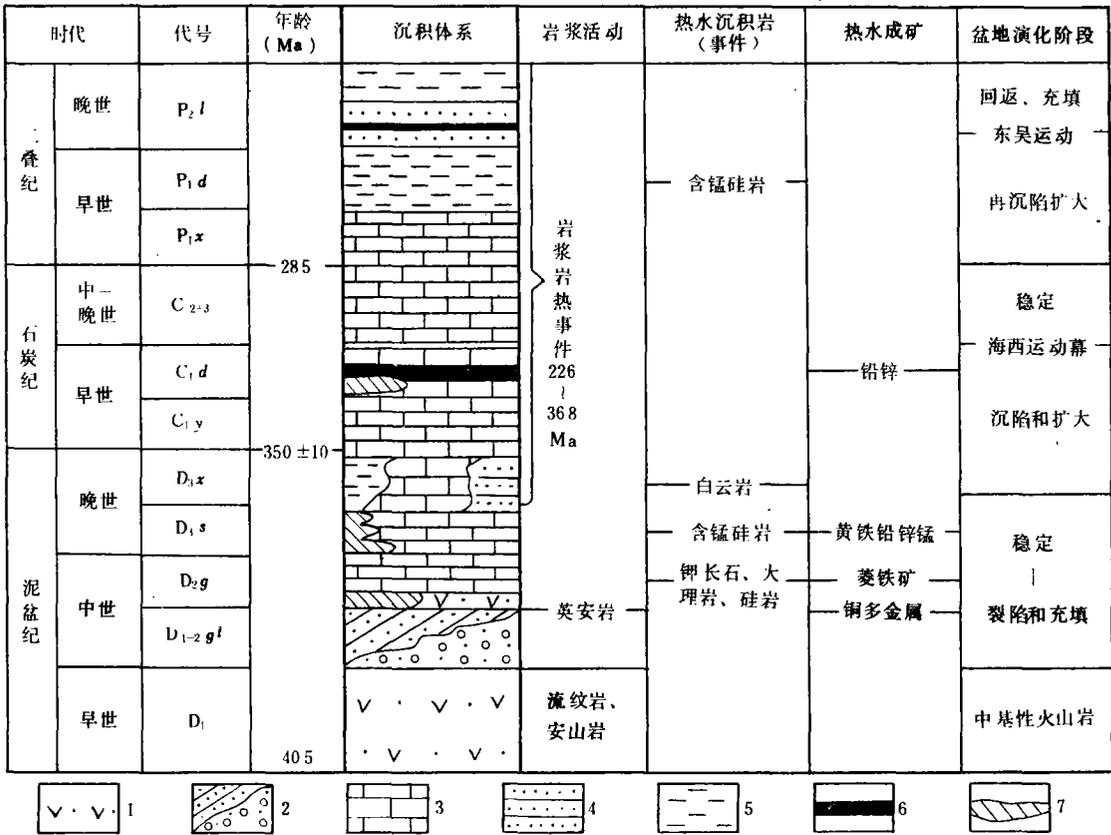


图2 粤北海西早期沉积盆地演化阶段与热水沉积事件

1. 火山岩; 2. 河流-三角洲; 3. 碳酸盐台地; 4. 碎屑陆棚; 5. 台盆; 6. 煤系; 7. 层状硫化物矿体

Fig. 2 Schematic diagram showing the evolutionary stages of the sedimentary basin

in relation to the hydrothermal depositional events in northern Guangdong during the early Variscan

1=volcanic rock; 2=river-delta; 3=carbonate platform; 4=siliciclastic shelf;

5=interplatform basin; 6=coal measures; 7=stratiform sulfide orebody

始了盆地沉陷扩大的新阶段。石炭纪时,整个粤北地区为碳酸盐台地和煤系沉积组合,显示沉积盆地处于广泛发育和扩大阶段。

2.3.4 盆地再分裂和再沉陷扩大阶段(P<sub>1</sub>)

早二叠世时,蚀源区趋向于准平原化。粤北沉积盆地内几乎为大片的浅海碳酸盐和滨岸碎屑沉积所占据。滨海带上形成不大的泥炭沼泽,沉积了较薄的煤系沉积。早二叠世晚期,碳酸盐台地发生再分裂和再沉陷,在韶关一曲仁一带沉积了深水台盆硅质岩。

2.3.5 盆地回返和充填阶段(P<sub>2</sub>-T<sub>2</sub>)

晚二叠世开始,武夷-诸广山周围的沉积盆地收缩衰亡,堆积了厚度巨大的含煤沉积。东吴运动使沉积盆地萎缩、回返和充填,从而结束了本区晚古生代沉积史。

早二叠世/晚二叠世之间的东吴运动(海西运动第二幕)使沉积盆地的性质发生根本的变化,由早期的拉张状态转化为挤压造山充填。东吴运动使盆地内的岩浆热事件、热水沉积事件和热水成矿作用减弱、不发育,直到印支运动,盆地逐渐收缩衰亡,进入盆地封闭和断裂造山阶段。在沉积盆地的边缘,例如始兴、仁化、和平、龙川一带,印支期岩浆热事件(195—

223Ma)有加剧的趋势。这时,图1所示的三个微板块处于会聚状态,粤中微板块和粤北微板块在新洲附近走滑-聚合,因而造成近东西向的逆冲构造。

### 3 热水沉积岩和热水成矿

据盆地演化阶段分析结果,沉积盆地张裂阶段早期紧接着的沉陷稳定阶段是热水喷流沉积矿床、热水充填矿床和海底火山岩型矿床形成的主要时期。在这个演化过程中,海底面以上的沉积物中的热流循环活动特别强烈,热流穿透还未固结的碎屑沉积物和沿同生断裂上涌的能力特别强,因而常常造成以碳酸盐台地为容矿围岩的层控矿床。

扩张环境条件下海底块状硫化物矿层的沉积作用包括了海底沉积界面以上的热水沉积以及沉积界面以下的软沉积物的热成岩胶结作用。因此,最近几年来,沉积学出现了一种新的概念,即热水沉积和热水成矿<sup>[19]</sup>。涂光炽教授(1990)曾指出过:很有必要在正沉积和热液蚀变之间划分出一种过渡类型,即热水沉积岩和热水沉积矿床<sup>①</sup>。根据现代海底沉积物中出现同生沉积的某些热液蚀变矿物(例如滑石、绿泥石、钠长石、透辉石、透闪石、绿帘石)的事实推断海底热水蚀变完全可能形成中高温岩浆热液交代时常见的某些矿物组合,采用“将今论古”的方法,人们发现某些层控矿床的矿层围岩中所见的“矽卡岩”层,实际上是古代海底热水沉积岩。

#### 3.1 热水沉积岩的地球化学特征

热水沉积岩是海底热水排泄口(带)附近受喷气作用(exhalation)和沉积作用而形成的沉积物,包括低温热水沉积岩(20—200°)和高温热水沉积岩(200—400°)。

粤北拗陷中的热水沉积岩有:喷溢纹层硅岩、条纹状硅岩、含黄铁矿灰岩、含铁白云岩、大理岩、含锰页岩、绿泥石页岩等。在大宝山矿区还见有层状水黑云母钾长石岩作为含铜矿层的顶板。在矿层夹层中还存在一套“矽卡岩”,包括滑石岩、透辉石透闪石岩、角闪石钾长石岩、石榴石岩、绿帘石岩等,含有中高温蚀变矿物,则可能是热水喷出通道附近形成的高温喷气岩或同生热水交代岩。

热水沉积的灰岩和大理岩以碳、氧同位素皆为负值为特征,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值集中在-2.6—-8.15‰PDB的范围内, $\delta^{18}\text{O}$ 值为-7—-18‰PDB, $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 的变化趋势为同步变化。本区内热水沉积碳酸岩的 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 可分出三种变化趋势:①凡口、红岩、小带、杨柳塘等矿区的灰岩、铁白云石、菱铁矿的同步变化趋势,代表中、低温条件下的热水沉积作用;②大宝山矿区灰岩和含矿大理岩的低 $\delta^{18}\text{O}$ 负值和 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 值的同步变化趋势代表了高温条件下的喷气作用;③大宝山矿区不同步的中温热水沉积菱铁矿的变化趋势(图3)。

粤北块状硫化物矿床中热水沉积硅质岩和钾长石页岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化介于+10.3—+21‰之间,比海相硅质岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(+25—+28‰)低得多。大宝山矿区铜矿层底板的海底蚀变岩(英安岩)的 $\delta^{18}\text{O}$ 值更低(+8—+12‰),比矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值低2.3—9‰,证明底板蚀变火山岩位于古热水排放通道附近的硅化带中(表1)。根据矿物 $\delta^{18}\text{O}$ 值和形成温度(120—350℃)计算出成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值可以与美国加利福尼亚州索尔顿海的地热卤水的性质进行对比,显示水的来源为海水、地层压实水和岩浆水及淡水的混合。

粤北泥盆纪块状硫化物矿床(小带、红岩、梨树下和大宝山)中的热水沉积硅岩和泥质岩

①涂光炽,1990,地球表层热状态及热水成岩成矿作用,广东有色金属地质,1期,73—75页。

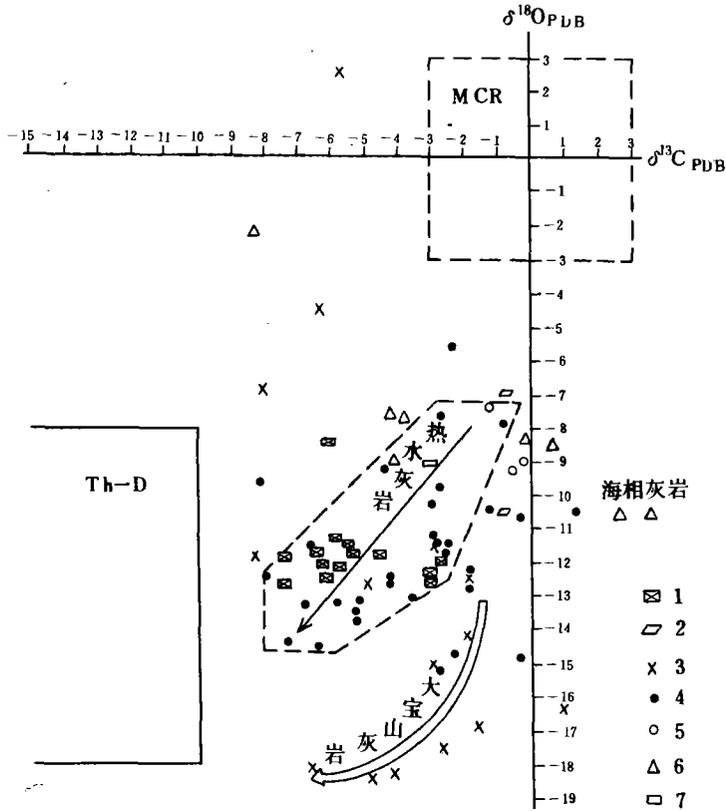


图3 粤北块状硫化物矿床中碳酸盐岩碳、氧同位素的 Scotchman(1988)  $\delta^{13}C-\delta^{18}O$  图解(菱铁矿数值据葛朝华(1987),马口、凡口部分数值来自陈学明(1992)和赖应镜(1984)未刊资料,其它为自测资料)

MCR=海洋碳酸盐;Th-D=有机碳的热解脱羧基阶段(Scotchman,1988)

箭头表示不同矿区碳酸盐岩的  $\delta^{13}C-\delta^{18}O$  的变化趋势

- 1. 菱铁矿; 2. 小带; 3. 大宝山; 4. 凡口; 5. 马口; 6. 红岩; 7. 杨柳塘

Fig. 3  $\delta^{13}C-\delta^{18}O$  diagram (Scotchman,1988) for the carbonate

rocks in the massive sulfide deposits in northern Guangdong

(for the siderite deposits after Ge Chaohua,1987;for the Makou and Fankou

deposits after Chen Xueming,1992 and Lai Yingjian,1984,unpublished,

and for the others from the authors)

MCR=marine carbonate rocks;Th-D=thermolysis-decarboxylation of organic carbon

(Scotchman,1988). The arrows indicate the trends in the variations in  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{18}O$  values for the

carbonate rocks in different ore districts. 1=siderite;2=Xiaodai;

3=Dabaoshan;4=Fankou;5=Makou;6=Hongyan;7=Yangliutang

的稀土元素(REE)页岩标准化模式表现为Ce弱负异常和弱的Eu正异常。9件样品(由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测定)结果为 $\delta Ce_{\text{页岩}}$ 为0.50—0.78, $\delta Eu_{\text{页岩}}$ 为1.06—1.64。大宝山主峰出露的强蚀变英安岩的REE总量极低( $\Sigma REE=50.1 \times 10^{-6}$ ), $\delta Ce_{\text{页岩}}=0.55$ , $\delta Eu_{\text{页岩}}$ 近乎1,说明强蚀变英安岩(前人称为“花岗闪长岩”)是成矿期经热水交代的产物,可以视为同生海水蚀变岩( $\delta^{18}O$ 为+10.76—11.98‰ SMOW)。

表1 粤北坳陷泥盆纪硅岩及热水沉积(蚀变)岩石的氧同位素和流体包裹体氢同位素(‰ SMOW)

Table 1 Oxygen isotopic compositions and hydrogen isotopic compositions in the fluid inclusions from the Devonian silicolites and hydrothermally-deposited (altered) rocks in northern Guangdong depression (in ‰ SMOW)

矿区	样品编号	名称	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}$	成因
连县	87-D-1	硅质岩	27.51	-85.50	海相沉积
其皇岭	87-D-13	硅质岩	24.98	-84.10	海相沉积
乐家湾 (乐昌)	10 91	条带硅岩	15.8		热水沉积 <sup>①</sup>
	92-Q-1	含磷硅岩	13.27		热水沉积
	92-Q-2	含磷硅岩	12.35	热水沉积	
梨树下 (英德)	92-L-6	含黄铁矿硅岩	12.06		热水沉积
	92-L-4	含黄铁矿灰岩		-146.40	热水沉积
红岩 (英德)	92-H-6	含矿硅质页岩	18.60	-124.40	热水沉积
大宝山 (曲江县)	92-B-19	硅化钙质页岩 (Cu 矿顶板)	17.46	-184.80	热水沉积
	93-B-11	凝灰质钾长岩	14.92		海底火山-热水沉积
	Y13fd-10	石英岩	20.51		热水沉积
	93-B-5	石英岩(硅化岩)	10.27		热水交代
	Y18d	钾长石化页岩	13.03		热水沉积
	92-B-27	钾长石化页岩	10.25		热水沉积
	92-B-23	硅化岩(石英岩)	7.59		热水交代
	93-B-8	绢云母化凝灰岩	12.75		海底火山沉积
	92-B-14	蚀变英安岩	11.98	-85.60	海底蚀变
	92-B-17	蚀变英安岩	10.78		海底蚀变
	92-B-10	英安岩	10.23		海底蚀变
	93-B-10	英安岩	10.53	-66.20	海底蚀变

①引自赖应镜(1984)资料

粤北各矿区热水沉积岩的 REE 页岩标准化模式大致可分为三类:(1)右倾型,富集轻稀土,具有  $\delta\text{Eu}$  正异常;(2)平卧曲线,具有  $\delta\text{Eu}$  正异常;(3)平卧曲线,Ce 负异常和  $\delta\text{Eu}$  负异常( $\delta\text{Eu}$  为 0.3—0.44,表示热水和海水强烈混合)。REE 模式是鉴别热水沉积的有效方法。

### 3.2 热水成矿

#### 3.2.1 热水沉积矿床的地球化学特征

粤北热水沉积块状硫化物矿床的矿石及其喷流沉积围岩的化学分析结果表明:其化学成分以富 Fe、Mn,贫 Al、Ti、K 为特点;微量元素贫  $\text{Co}$  ( $<16.5 \times 10^{-6}$ )、Ni ( $<23 \times 10^{-6}$ )、富 As ( $40 \times 10^{-6}$ — $15600 \times 10^{-6}$ )、B ( $41 \times 10^{-6}$ — $295.3 \times 10^{-6}$ )、Ba ( $10 \times 10^{-6}$ — $405 \times 10^{-6}$ )、Sr ( $3 \times 10^{-6}$ — $400 \times 10^{-6}$ )、挥发组分 F ( $35 \times 10^{-6}$ — $2990 \times 10^{-6}$ )和 Cl ( $108 \times 10^{-6}$ — $181 \times 10^{-6}$ )也很高,与现代洋底含金属热水沉积物的化学组分很相似,显示热水沉积的特点(据小带、凡口等 5 个矿区矿石的化学分析结果综合)。根据 Böstrum (1983)<sup>[20]</sup> 总结的判别热水沉积物和水成沉积物的标志判断,在 Fe—Mn—(Co+Ni+Cu)×10 图解中所有矿床中的矿石包括围岩的投点都集中于热水沉积的富铁区域,显示这类矿床的成因与古热水活动有关(图 4)。

粤北块状硫化物矿床中的矿石的 REE 具有很明显热水特征(图 5),按其页岩标准化模式可将其划分为三类: I 类属低 REE 总量 ( $5.9 \times 10^{-6}$ — $10.8 \times 10^{-6}$ ),富集轻稀土(LREE/HREE 为 1.7—2.5),强烈的铈正异常( $\delta\text{Eu}$  为 3.26—11.91),明显的铈正异常

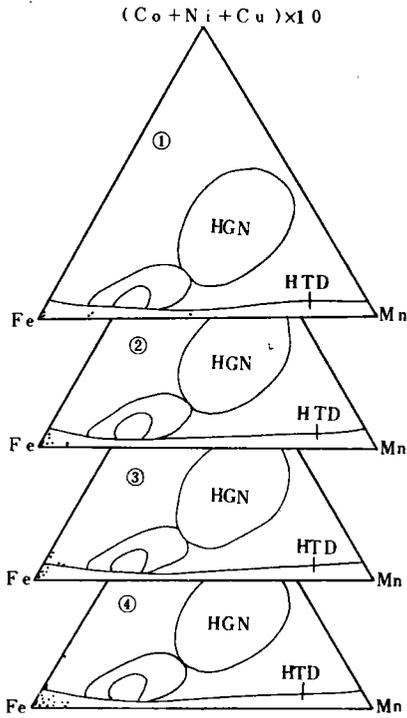


图4 不同类型沉积物的Fe-Mn-(Cu+Co+Ni)×10三角图解

HGN. 水成沉积区;HTD. 热水沉积区;矿区;  
 ①小带;②红岩、梨树下;③乐家湾;④凡口  
 Fig. 4 Fe-Mn-(Cu+Co+Ni)×10  
 diagram of distinct sediments  
 HGN=hydrogenous depositional area;  
 HTD=hydrothermal depositional area  
 Ore districts, 1=Xiaodai;  
 2=Hongyan and Lishuxia;  
 3=Lejiawan, 4=Fankou

( $\delta Ce$  为 1.28—1.6), 为热水喷口附近的海底喷流沉积, 以连县小带铅锌锰矿床为代表; I 类为较高的 REE 总量 ( $35.02 \times 10^{-6}$ — $66.78 \times 10^{-6}$ ), 强烈富集轻稀土 (LREE/HREE 为 5.30—9.27), 明显的铕正异常 ( $\delta Eu$  为 1.30—1.40), 铈异常不明显 ( $\delta Ce$  为 0.99—1.04), 代表了距喷溢口有一定距离的较高温度的喷流热水沉积, 与海水有一定程度的混合。红岩硫铁矿和乐家湾铋矿属于此类型; III 类具有高 REE 总量 ( $116.19 \times 10^{-6}$ — $229.03 \times 10^{-6}$ ), 较强烈的铕正异常 ( $\delta Eu$  为 1.31—2.19), 强烈的铈负异常 ( $\delta Ce$  为 0.78—0.81), 表明硫化物沉积过程中, 海水与热水充分混和, 富金属的热流柱与周围沉积物交代作用强烈, 沉积时的温度较低 (<200℃)。凡口、红岩、梨树下皆有此类型。这种类型可与现代深海底热水沉积块状硫化物的 REE 分配模式对比 (Barrett, 1990)<sup>(21)</sup>。

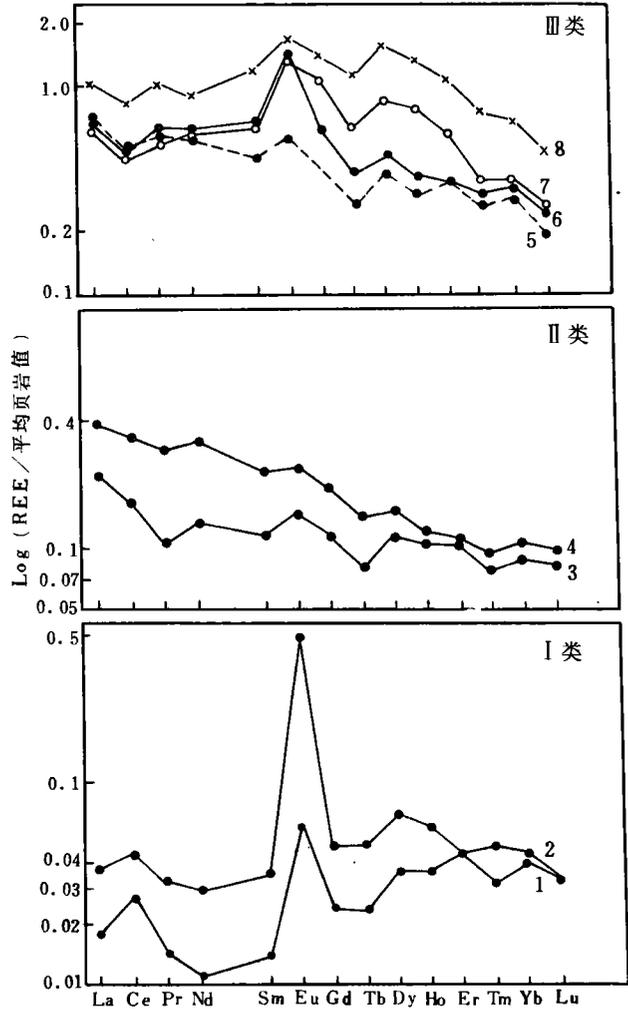


图5 粤北块状硫化物矿床矿石的稀土元素分配模式  
 取样地点: 1, 2. 连县小带·3, 7, 8. 英德梨树下和红岩;  
 5, 6. 仁化凡口; 4. 乐昌杨柳塘

Fig. 5 REE patterns for the ores from the massive sulfide deposits in northern Guangdong  
 The sampling sites, 1 and 2=Xiaodai in Lianxian;  
 3, 7 and 8=Lishuxia and Hongyan in Yingde; 5 and 6=Fankou in Renhua; 4=Yangliutang in Lechang

### 3.2.2 热水沉积矿床的矿体和矿石特征

热水沉积矿床是沉积盆地中由于热水对流系统通过喷流或喷气作用在海底或近海底的浅层沉淀的矿床,包括了产于沉积岩中和火山岩系中两大类矿床。当循环热水穿过海底软沉积复盖层常常发生矿层底板岩石蚀变(硅化、绢云母化、钾长石化、绿泥化)和脉状矿体充填。层状矿体沉积之后,常见有热水沉积岩(例如白云岩、硅岩、碧玉岩、重晶石岩、钠长石岩)或喷气岩(含电气石岩、钾长石岩)作为盖层。因此,热水沉积矿床三层沉积层序(底板蚀变岩→层状矿体→盖层)就成为这类矿床的鉴别标志,特别是含铁硅质岩(碧玉岩)或含锰页岩、含锰灰岩作为盖层出现常常是古代热水沉积矿床的识别标志。这种沉积剖面在红岩、梨树下、凡口、大宝山等矿床都可见及。在大宝山含矿地层的下旋回表现更为清楚,从底部向上,矿物包裹体的均一温度有降低的趋势(图6), $\delta^{18}\text{O}$ 值也表明沉积过程中海水与热流混合的作用。

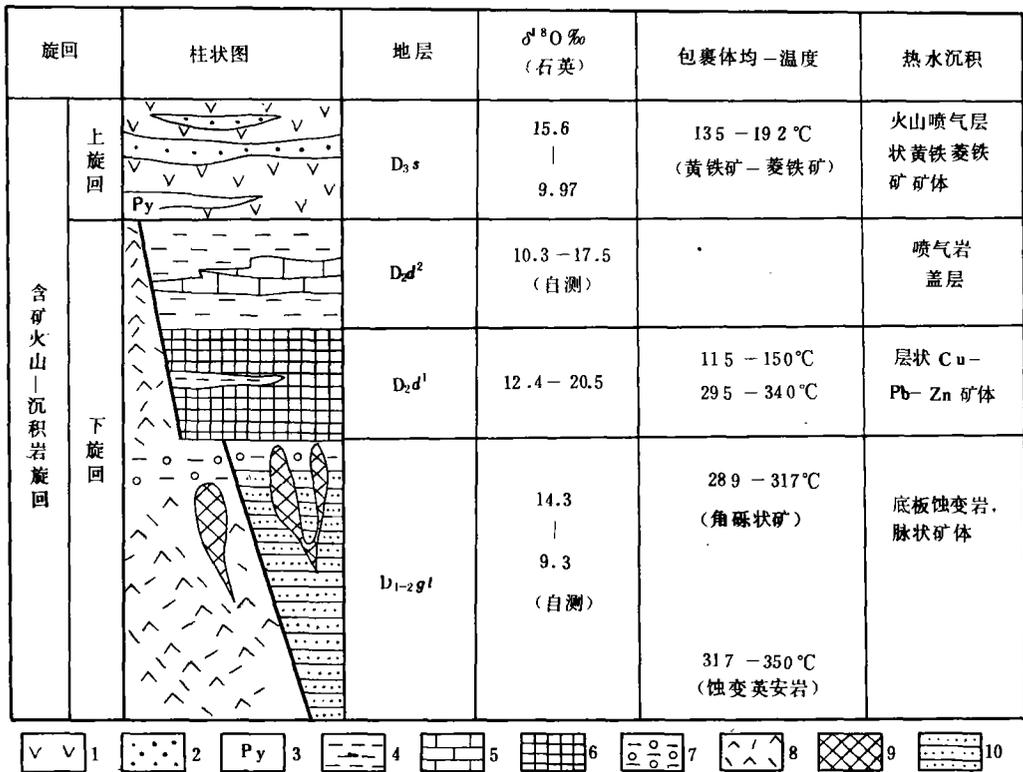


图6 大宝山矿床含矿火山-沉积岩旋回剖面(包裹体均一温度据葛朝华等,1987)

1. 中基性火山岩; 2. 菱铁矿层; 3. 黄铁矿层; 4. 钾长石页岩; 5. 大理岩;
6. 硫化物矿体; 7. 硅化岩带; 8. 英安岩; 9. 角砾状、脉状矿体; 10. 底部砂页岩

Fig. 6 Stratigraphic profile through the ore-bearing volcano-sedimentary cycles in the Dabaoshan ore deposit (for homogenization temperatures after Ge Chaohua et al., 1987)

- 1=intermediate-basic volcanic rock; 2=siderite ore bed; 3=pyrite ore bed; 4=K-feldspar shale; 5=marble; 6=sulfide ore body; 7=siliconized rock zone; 8=dacite; 9=brecciated and vein ore body; 10=basal sandstone and shale

据笔者野外观察,粤北地区所有的热水沉积矿床的形成都与生长断层的活动有关。层状矿床底部都有同生断层作为含矿流体喷溢通道。成矿方式可以是浮升的热流柱喷出、层状卤

水热水池和海底沉积界面下的裂隙充填三种形式,各自形成块状硫化物丘、层状硫化物矿体和脉状矿体。矿体形态多样化,有层状、似层状、透镜状、丘状、盘状、碗状和网脉状等。大多数矿体均伴生有铁锰碳酸盐矿体,在横向上与硫化物呈明显的分带现象。这种分带性正是喷流热水沉积的结果。

矿石的结构构造和矿物成分也反映了喷流热水沉积的特征,例如矿石中的树枝状结构、胶状结构、同心环带结构和角砾状构造、爆裂纹构造、韵律纹层构造以及闪锌矿的豆状、鲕状、结核状构造等。这些结构构造以及脉状黄铁矿、树枝状白铁矿、五角十二面体磁黄铁矿都是现代海底喷流热水沉积中常见的特征(Barrett and Jamber, 1988)<sup>[22]</sup>。

### 3.2.3 成矿模式

根据成矿的地质地球化学特征,我们将粤北晚古生代热水沉积矿床划分为两大类。

(1)与火成岩无关,产于碳酸盐地层中的整合矿床,其中包括三个亚类,即①台盆中孤立台地边缘喷流热水沉积硫化物矿床(小带铅锌锰矿床)——“礁硅岩套”式矿床;②浅水碳酸盐台地内喷气-热水与海水混合沉积硫化物矿床(凡口铅锌矿);③裂隙陆棚边缘热水沉积矿床(红岩硫铁矿)。

(2)海底火山喷流喷气块状硫化物矿床,叠加印支期热流改造,以大宝山多金属硫化物矿床为典型代表。

根据热水沉积矿床的岩相古地理、古构造、古热流活动和地球化学,笔者综合地描绘出研究区内的热水沉积成矿模式剖面图(7图),藉以表示在盆地内热源的驱动下热流循环系统,以及同生断裂(热水通道)和喷流排泄口对热水沉积作用的重要性。

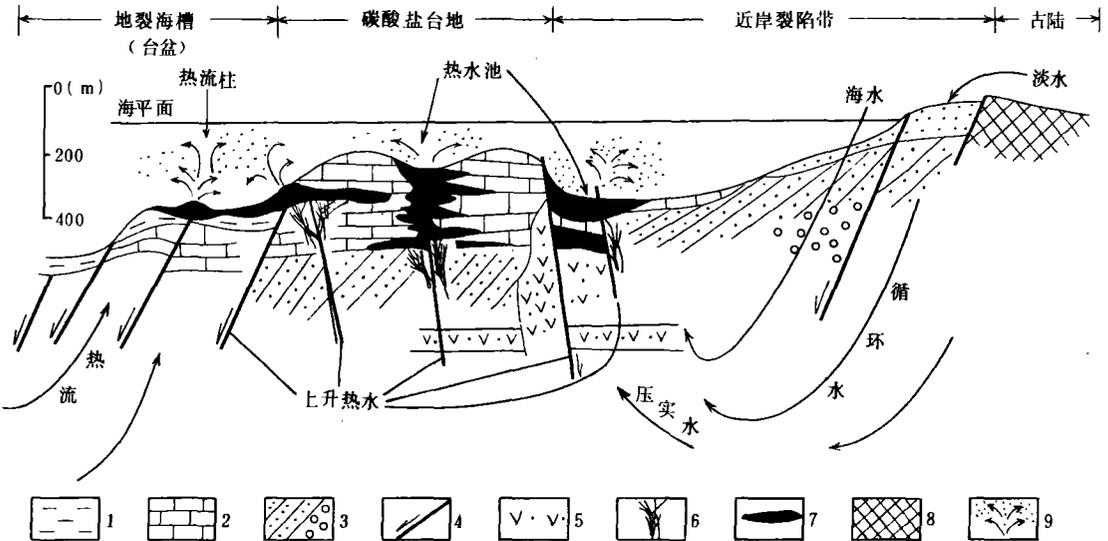


图7 粤北泥盆纪沉积盆地张裂的块状硫化物矿床热水成矿模式

- 1. 台盆深水沉积; 2. 浅水开阔台地相; 3. 陆缘三角洲; 4. 张性断裂; 5. 同沉积的火山活动;
- 6. 脉状矿体; 7. 层状矿体; 8. 古陆; 9. 含金属喷流(泄水)口

Fig. 7 Hydrothermal mineralization model for the massive sulfide deposits in northern Guangdong during sedimentary basin spreading

- 1=deep-water interplate basin sediments; 2=shallow-water open platform facies;
- 3=epicontinental delta; 4=extensional faulting; 5=syn depositional volcanic activities;
- 6=vein ore body; 7=stratiform ore body; 8=ancient land; 9=metalliferous exhalation orifice

### 4 扩张盆地海西期热事件与成矿

沉积盆地的热历史恢复是个难度很大、研究方法尚不完善的课题。目前,我们采用已知的、同沉积的海底火山凝灰岩代表火山-热事件,以与层状硫化物层共生的热水沉积岩代表沉积热事件和以古生代煤的变质程度代表沉积盆地成岩古地温的方法,恢复粤北地区海西期的热历史。在粤北及其邻近地区已发现有 6 个火山岩层位,代表 6 次火山热事件,它们是下泥盆统、中泥盆统、上泥盆统、中—上石炭统、下二叠统和上二叠统。而证据比较充分的热事件(热水沉积岩)主要有:①中泥盆统棋梓桥组(例如红岩、梨树下含硫铁矿层和白云岩);②上泥盆统天子岭组/余田桥组的硅质岩、含锰黑色页岩;③中—上石炭统的含铁硅质岩;④下二叠统孤峰组含锰硅质岩等四个热水沉积岩层位,代表四次与成矿作用有关的热事件。这四次热事件可以划分为三个热旋回,它们是:①D<sub>1</sub>-D<sub>3</sub>S 旋回;②D<sub>3</sub>x-C<sub>2+3</sub>旋回和 P<sub>1q</sub>-P<sub>1d</sub>旋回,完全与盆地演化阶段相对应(图 2)。每一个热旋回产生一次或两次成矿作用。

我们试图用粤北地区含煤盆地中石炭—二叠系煤层的变质程度代表海西期—印支期该地区埋藏古温度场的分布状态,藉以说明盆地中热历史与成矿关系(图 8)。从图 8 可以看

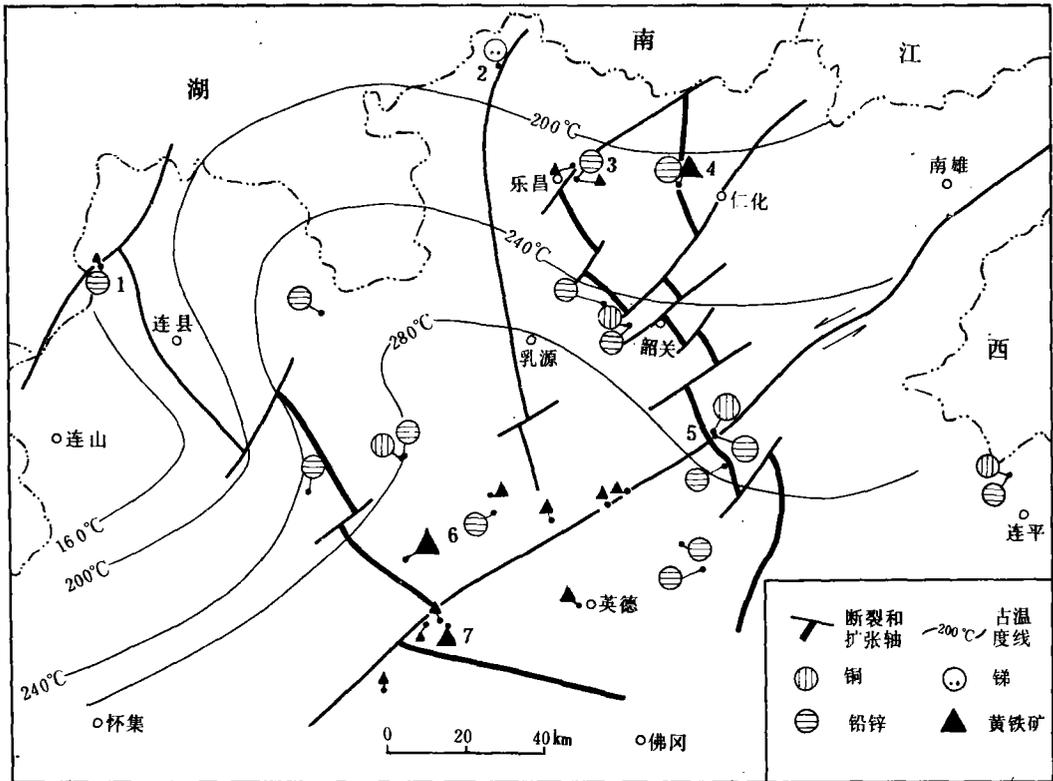


图 8 粤北海西早期沉积盆地的埋藏古地温等值图和矿产分布  
 矿区名称: 1. 连县小带, 2. 乐昌乐家湾, 3. 乐昌杨柳塘, 4. 仁化凡口;  
 5. 曲江大宝山, 6. 英德红岩, 7. 英德梨树下

Fig. 8 Sketch map showing the distribution of the ore deposits and isothermal contour for the burial of the sedimentary basin in northern Guangdong during the early Variscan  
 Ore districts: 1=Xiaodai in Lianxian, 2=Lejiawan in Lechang, 3=Yangliutang in Lechang, 4=Fankou in Renhua, 5=Dabaoshan in Qujiang, 6=Hongyan in Yingde, 7=Lishuxia in Yingde

出,沿着北东向的西牛-南雄走滑断裂两侧存在着古热流高值区和分布着大型黄铁矿和铜铅锌带;沿西牛-南雄断裂两侧存在两组北西向的控矿张性断裂,一些大型、超大型的多金属矿床大多数集中在中—高古地温(200—280℃)区的范围内,表明了盆地的热历史和热状态控制了块状硫化物矿床分布。西牛至英德一带以南的新洲一带,由于云开-粤中微板块与粤北微板块于印支期的走滑会聚,形成逆冲推覆构造<sup>[23]</sup>,对于盆地回返阶段受造山运动驱逐的含矿溶液(例如 Au、Ag、Cu)的重新分配和富集起了重要作用,因而这一带是金、银、铜的重要成矿带。

## 5 结 论

1. 粤北海西期沉积盆地由于受它西侧的华南板内裂陷槽——道县-灵山台间深水盆地张裂下陷的影响,成为一个半地堑式的断陷陆缘扩张盆地。粤北海西期沉积盆地属典型的板内张裂盆地,经历了基底破裂、裂陷充填、沉陷扩大、稳定和回返充填等不同演化阶段。

2. 热水沉积岩可以通过它们的地球化学特征加以识别,本文提出热水成矿的鉴别标志和浅水热水沉积硫化物矿床模式。

3. 指出区内存在四个热事件。阐明了区域埋藏古地温场与多金属硫化物的关系。

4. 提出印支期盆地封闭造山运动对 Au、Ag、Cu 再富集的重要作用,而海西期盆地拉张是块状金属硫化物矿床富集的先决条件。

## 参 考 文 献

- 1 刘宝珺、许效松、潘杏南等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿. 北京: 科学出版社, 1993
- 2 曾允孚、张锦泉、刘文均等. 中国南方泥盆纪岩相古地理与成矿作用. 北京: 地质出版社, 1993
- 3 张英等. 中国东南部石炭纪沉积地质及矿产. 北京: 地质出版社, 1993
- 4 赖应毓. 广东泥盆系的含矿性. 地质论评, 1981, 27 卷 1 期: 8—14
- 5 赖应毓. 凡口铅锌矿区成矿地层条件的某些特殊性及其控矿意义. 南岭地质矿产文集, 第二辑. 北京: 地质出版社, 1986
- 6 邱世强. 关于大宝山层状多金属矿床成因的初步探讨. 地质论评, 1981, 27 卷, 4 期: 333—340
- 7 涂光炽主编. 中国层控矿床地球化学, 第三卷. 北京: 科学出版社, 1987
- 8 顾连兴、徐克勤. 论大陆地壳断裂陷带中的华南型块状硫化物矿床. 矿床地质, 1986, 5 卷 2 期: 1—13
- 9 陈学明. 粤北地区层控矿床的构造演化成矿模式和找矿预测. 北京: 地质出版社, 1992
- 10 葛朝华、韩发. 广东大宝山矿床喷气-沉积成因地质地球化学特征. 北京: 科学技术出版社, 1987
- 11 陈挺光. 吴川-四会断裂带地质特征及成矿关系. 南岭地质矿产文集, 第一辑. 北京: 地质出版社, 1985, 11—19
- 12 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1988
- 13 吴诒、周怀玲、蒋廷操等. 广西泥盆纪沉积相古地理及矿产. 南宁: 广东人民出版社, 1987
- 14 杨振强. 湖南道县、宁远一带中泥盆统棋梓桥组中的台地前缘斜坡异地碳酸盐沉积. 沉积学报, 1984, 3 卷 4 期: 55—62
- 15 蒋德和. 湘南中晚泥盆世台盆沉积特征及其演化. 岩相古地理, 1990, 6 期: 21—29
- 16 毛晓冬、陈泽云、段其发. 灵山-衡阳台间盆地的特征及其演化. 岩相古地理文集, 1991, (7): 173—193
- 17 吴萍. 粤北中晚泥盆世碳酸盐沉积相古地理概貌初探. 沉积学报, 1985, 3 卷 4 期: 63—72
- 18 孙枢、范德康、陈海泓等. 中国地台区张裂盆地沉积. 沉积学报, 1987, 5 卷 3 期: 6—18
- 19 陈先沛、高计元、陈多福. 热水沉积作用的概念和几个岩石学标志. 沉积学报, 1992, 10 卷 3 期: 124—132
- 20 Bostrom, K. Genesis of ferromanganese deposits—diagnostic criteria for recent and ancient deposits, In: Hydrother-

mal Processes at Sea-Floor Spreading Center (Ed. by P. Rone et al. ), 1983, Plenum Press, 473—489.

- 21 Barrett, T. J. , Jarvis, I. and Jarvis, K. E. Rare earth element geochemistry of massive sulfides-sulfates and gossans on the southern Explorer Ridge. *Geology*, 1990, 18: 583—586.
- 22 Jamber, J. L. (eds), Sea-floor hydrothermal mineralization. *The Canadian Mineralogist*, 1988, 26(3/4), 1—888.

## EARLY VARISCAN SEDIMENTARY BASIN SPREADING AND HYDROTHERMAL MINERALIZATION IN NORTHERN GUANGDONG

Yang Zhenqiang Chen Kaixu Jiang Dehe  
*Yichang Institute of Geology and Mineral Resources,  
Chinese Academy of Geological Sciences*

Yang Weidong  
*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences*

### ABSTRACT

The half graben-like rifted basin in northern Guangdong was controlled by a trifurcate spreading basin system within the South China plate during Late Palaeozoic time. The sedimentary evolution has undergone several stages of basement uplifting, extensional faulting, subsidence (delta infilling), submergence and closure, of which the subsidence and early stable stages are believed to be favourable for hydrothermal mineralization. The hydrothermal (exhalative) ore deposits are generally characterized by the "sandwich" ore sequence: footwall alteration (vein ores) → concordant massive sulfide ore bodies → roof alteration and/or exhalative cover, and exploding and boiling features at the bottom of the sequence. The hydrothermal sedimentary (exhalative) rocks have lower negative  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values than those of the normal marine silicites, and REE patterns with strong Eu-anomalies.

Four mineralization-related thermal events have been distinguished in the early Variscan cycles. They once occurred in the Middle Devonian, Upper Devonian, Middle and Upper Carboniferous and Lower Permian. The authors conclude that most of the massive sulfide deposits in the study area were generated in the early stage of basin spreading, whereas the other (e. g. Au, Ag and Cu) ore deposits were formed during the Indosinian—the closure stage of the basin.

**Key words:** basin spreading, extensional faulting, northern Guangdong, hydrothermal deposits, exhalite