

试论幔柱构造与成矿系统

——以三江特提斯成矿域为例*

侯增谦 李红阳

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 以三江特提斯成矿域为例, 简述了幔柱构造特征, 提出了“幔柱构造成矿体系”新观点。研究表明, 热幔柱发育演化, 导致大陆岩石圈向大洋岩石圈构造体制转化, 伴随大陆活化、减薄、去根、张裂、解体 and 成洋诸事件; 冷幔柱形成演变, 导致大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体制转变, 并引发俯冲造山→碰撞造山→陆内造山过程。在幔柱构造制约下, 一系列形成于不同构造背景、产出不同地质环境、具有不同成矿体制、不同序次组合和不同成矿类型的矿床成矿系列组合和矿床成矿谱系, 共同构成统一的成矿体系。热幔柱成矿体系包括热幔柱热点和热幔柱-扩张脊 2 大次级成矿系统, 冷幔柱成矿体系包括冷幔柱-俯冲造山、冷幔柱-碰撞造山和冷幔柱-陆内造山 3 大次级成矿系统。最后, 按成矿体系, 成矿系列和矿床三级体制对三江特提斯成矿域主要矿床形成条件和成矿规律进行了全新分析。

关键词: 幔柱构造、成矿系统、三江特提斯成矿域

全球层析成象、超高温高压实验、地球动力过程模拟、板块构造历史重塑以及比较行星学研究证明: 在地幔范畴内, 存在着源自核/幔边界或上/下地幔边界的高热物质流上涌形成的热幔柱^[19~21]以及板块俯冲消减、板片物质滞流堆积、重力陷落而成的冷幔柱^[23~25], 冷幔柱回流与热幔柱上涌成为地幔物质的主要运动形式, 驱动岩石圈板块运动, 控制超大陆裂解聚合^[22], 影响全球大地基准面升降, 制约全球气候变化与生物繁衍和灭绝, 并诱发巨量火成岩堆积、磁极倒转及地震事件^[1]。同时热-冷幔柱活动可造成极利于成矿的三大场, 即成矿物质大规模聚集的成矿物质场, 驱动壳/幔成矿物质的热-化学交换和流体输导运移的成矿能量场以及矿质迁移、沉淀的成矿空间场^[2,3], 因而从根本上控制了“大矿集中区”的发育。此外, 热幔柱发育导致大陆岩石圈构造体制通过岩石圈减薄、去根、张裂、解体向大洋岩石圈转化, 冷幔柱发育导致大洋岩石圈通过俯冲、碰撞和陆内造山向大陆岩石圈构造体制演变^[4]。这种构造体制的序次演化与相互转化, 衍生出一系列不同成矿背景、不同成矿体制、不同形成序次、不同成因类型的矿床组合和/或由不同矿床成矿系列组成的系列组合, 构成统一的幔柱构造成矿体系(系统)。本文将以前三江特提斯成矿域为例, 对上述幔柱成矿体系做进一步阐述。

1 “三江”幔柱构造与“大矿集中区”成矿特色

基于“三江”特提斯巨型造山系时空结构分析和构造-岩浆事件重塑, 作者提出“三江”特

* 地质矿产部跨世纪人才基金项目资助(编号: 9616)

侯增谦, 男, 1961 年生, 研究员, 主要从事矿床学与岩石大地构造研究。邮政编码: 100037

1997-06-24 收稿, 1997-12-29 修改回

提斯构造演化受幔柱构造制约^[4]。作为地球层圈，特别是壳-幔间物质-能量交换的重要动力，热幔柱和冷幔柱的相继发育不仅在浅表派生出一系列构造-岩浆-沉积事件，而且造就了活跃的成矿场和重要的成矿域，同时使“三江”矿集区显示6大成矿特色。

(1) 金属元素巨量工业堆积的偏在性：首先体现为矿床分布的区域偏在性和高度浓集性。三江特提斯成矿域不仅是中国最主要的有色和贵金属矿集区，同时是世界最重要金属成矿带之一。其次表现为矿床分布的空间分带性。三江矿床主体分布于澜沧江和金沙江缝合带间及其附近，总体上与“两带”——澜沧江和金沙江缝合带、“三岩”——蛇绿岩、弧火山岩、喜山期斑岩（花岗岩）和“两盆”——弧间弧后盆地和断陷凹陷盆地相关，呈似对称带状分布（图1）。

(2) 改造成矿的普遍性：主体体现为区域热流体对金属预富集的矿源岩（或矿源层）的活化淋滤和对先成工业矿体的改造富集，主要出现于冈瓦纳大陆北缘和扬子地块西南缘裂离出来的稳定地块内部及其拉分凹陷盆地中。

(3) 成矿金属组合的独特性：三江成矿域不仅赋存大量贱金属矿床和贵金属矿床，而且产出大型稀有、稀土矿床^[5,6]（表1）。多数矿床以一种或二种组分为主，兼具多种组分。分散元素形成独立矿床（如笔架山Sb矿、石碛厂As矿、孔马寺Hg矿等），并构成独特的金属组合，如临沧铀-锆矿床等。

(4) 成矿物质的深源性：现有同位素资料证实，尽管大部分金属矿床成矿物质显示“多源”特点，但某些金属组分，如Au、Fe、Cu、REE、Li、Nb、Ta、Pt等显示强烈的幔源色彩。

(5) 烃碱流体和有机质的参与性：许多金属矿床，如呷村黑矿型矿床、金顶铅锌矿床等，成矿热液体系均含一定量的CO₂和烃类物质，部分CO₂-烃类物质显示深源特征。

(6) 成矿作用的新生性：三江成矿域中许多大型-超大型矿常常“大器晚成”，并显示明显的时控性，与喜山期构造-岩浆事件相关，如玉龙超大型斑岩铜矿和哀牢山金矿等。

简言之，“三江”矿集区的发育和成矿特色显示与三大事件有关：①浅部地壳的构造-岩浆-流体-成矿的复杂耦合作用；②强烈的层圈物质-能量交换与深部流体作用；③流体与矿质的大规模传输、迁移和淀积作用（断裂输导与定位空间）。这三大事件统一受深部幔柱活动制约。以下各节将对其做进一步阐述。

2 幔柱构造与成矿地质背景

2.1 热幔柱与成矿环境

在三江古特提斯、澜沧江古洋盆和金沙江-哀牢山古洋盆下部发育热幔柱（或柱链）并柳固扩张脊的推论^[4]，得到下列证据的有力支持：①沿金沙江和澜沧江缝合带，基性火山岩存在大规模区域地球化学异常^[8]；②热点产物——洋岛玄武岩（OIB）在古洋盆大量发育^[8]，构成海底岛链或海底高原，并接受浅海碳酸盐相沉积；③OIB源岩（热幔柱）与周围地幔发生大规模物质-能量交换，导致异常型洋脊玄武岩（E-MORB）和过渡型洋脊玄武岩（T-MORB）沿扩张脊大量喷发，并与正常型脊玄武岩（N-MORB）密切共生^[8,9]。

热幔柱活动同时为成矿作用提供了重要的成矿环境和成矿条件。首先，澜沧江和金沙江

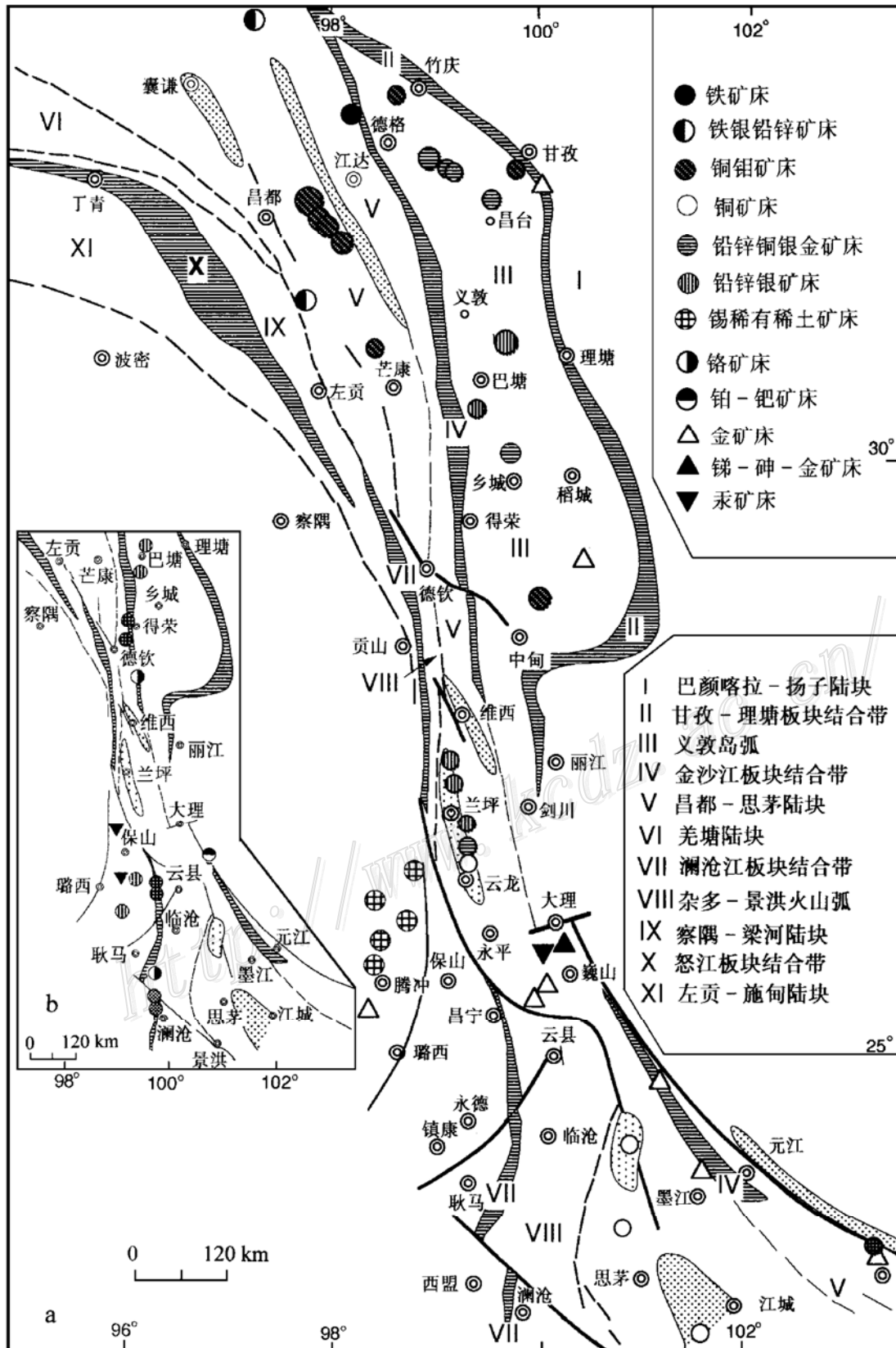


图 1 三江特提斯成矿域构造格架与主要金属矿床分布图

a 为冷幔柱成矿体系中主要金属矿床分布；b 为热幔柱成矿体系中主要金属矿床分布

Fig. 1. Map showing the tectonic framework and distribution of main metallic ore deposits in Sanjiang Tethys domain.

1a and 1b show distribution of main metallic ore deposits in cold plume and hot plume metallogenic systems, respectively

表 1 三江特提斯慢柱构造、成矿系统与成矿系列一览表
 Table 1. Plume Tectonics, metallogenic system and metallogenic series of the Sanjiang Tethys.

| 热幔柱成矿体系 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------------|---------|--|------------------|--------------|--------------|----------------------------|-------|-------------|-------|-----|--------------|--|----------|
| 成矿体系 | | 热幔柱-热点成矿系统 | | | 热幔柱-扩张洋脊成矿系统 | | | | | | | | | | |
| | | 保山地块 | 中咱地块 | 保山地块 | 金沙江-哀牢山古洋盆 (缝合带) | 澜沧江古洋盆 (缝合带) | 金沙江古洋盆 (缝合带) | | | | | | | | |
| 成矿背景 | 热动力成矿体制 | | | 伸展构造岩浆成矿体制 | | | | 伸展构造流体聚敛成矿体制 | | | | | | | |
| 成矿系列 | I 赋存于元古代-古生代海相碳酸盐中的 Pb、Zn、Ag、Hg、Sb、As 成矿系列 | | | I 与海西期-印支期基性-超基性岩有关的 镍、铜、钴、铂、钯矿床成矿系列 | | | | ■ 与海西期海相火山岩有关的 有色金属矿床成矿系列 | | | | | | | |
| 成矿亚系列 | 赋存于晚元古代海相碳酸盐中的铅、锌、汞、锑、砷矿床成矿系列 | | | I ₁ 与海西期铁质基性-超基性岩有关的镍、铜、钴、铂、钯矿床成矿系列 | | | | 与海西期海相火山-沉积岩系有关的铜多金属矿床成矿系列 | | | | | | | |
| 矿床式 | 新厂式 | 勒兴式 | 钠交式 | 水银厂式 | 水平寨式 | 和平式 | 苏鲁式 | 金宝山式 | 白马寨式 | 老厂式 | 铜厂街式 | 小村式 | 羊拉式 | | |
| 容矿岩系 | 碳酸盐岩 | | | 铁质超基性岩 | | | | 铁质超基性-超基性岩 | | | | | 海相基性火山岩和碎屑岩系 | | |
| 金属组合 | Pb+Zn+Ag | | | Hg | Sb | As | Cr | Pt+Pd+Ni+Cu | Cr+Ni | Pb+Zn+Cu+Ag | Cu+Zn | Hg | Cu+Zn±Pb | | |
| 矿床类型 | 热卤水型 变质热液 | | | 热卤水型 | | | | 岩浆熔离型 | | | | | 海底喷气-沉积型 | | 海底喷气-沉积型 |
| 成矿时代 | 560×10 ⁶ a | | | 中生代 | | | | 海西期 | | | | | 石炭纪-早二叠世 | | 石炭纪-早二叠世 |
| 成岩时代 | 晚元古代 | 早奥陶世 | 石炭纪-泥盆纪 | 晚寒武世-晚三叠世 | | | | 海西期 | 海西期 | 海西期 | | | 石炭纪-早二叠世 | | 石炭纪-早二叠世 |

续表 1

| 冷幔柱成矿体系 | | 冷幔柱-俯冲造山成矿系统 | | 冷幔柱-碰撞造山成矿系统 | |
|---------|--------------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 成矿体系 | 江达-维西弧 | 义敦岛弧 | 南佐-景洪弧 澜沧花岗岩带 | 义敦岛弧 措莫隆-格 聂构造-岩浆带 | 冈底斯弧波密 -腾冲构造 -岩浆带 |
| 成矿系统 | 挤压构造岩浆-热液成矿体制 | 局部伸展构造流体 聚敛成矿体制 | 挤压构造岩浆- 热液成矿体制 | 挤压构造岩浆-热液成矿体制 | |
| 成矿系列 | N 与印支期压性岛弧中酸性火山-次火山岩有关的铁、铅、铜、银矿床成矿系列 | V 与印支期张性岛弧中酸性火山-次火山岩有关的铅、锌、铜、银、汞矿床成矿系列 | 与弧中性火山-次火山岩有关的铜、铅、锌矿床成矿系列 | VI 与印支-燕山期碰撞花岗岩类有关的有色、稀有金属矿床成矿系列 | |
| 成矿亚系列 | 与印支期中酸性火山岩有关的铁、铅、铜、银矿床成矿系列 | 与弧裂谷双峰组合有关的铜、银矿床成矿系列 | 与内弧火山-沉积岩系有关的汞矿床成矿系列 | 与印支期碰撞型花岗岩有关的锡、钨、钼、铜、铅、锌矿床成矿系列 | 与燕山晚期花岗岩有关的锡、钨、钼、铜、铅、锌矿床成矿系列 |
| 矿床式 | 加长岭式 | 赵卡隆式 | 孔马寺式 | 勃朗式 | 铁窗山式 |
| 岩系 | 闪长玢岩 | 安山岩、英安岩 | 玄武岩-流纹岩双峰组合 | 黑云母花岗岩 | 黑云母花岗岩 |
| 金属组合 | Fe | Fe±Pb±Zn±Ag | Zn-Pb-Cu-Ag | Sn±Cu±Pb±Zn | W±Sn±Mo±Pb±Zn |
| 矿床类型 | 玢岩型 | 火山热液-沉积型 | 黑矿型 | 似斑岩型 | 云英岩型、夕卡岩型、锡石-硫化物型 |
| 成矿时代 | 印支期 | (220~200)×10 ⁶ a | 印支期 | 印支期 | 燕山晚期 |
| 成岩时代 | 三叠纪 | 晚三叠世 | 晚三叠世 | 晚三叠世 | 燕山晚期 |

续表 1

| 冷幔柱成矿体系 | |
|--------------|-------------------------------------|
| 热幔柱-陆内造山成矿系统 | |
| 成矿体系 | 金沙江-红河富碱侵入岩带 |
| 成矿系统 | 热幔柱-陆内造山成矿系统 |
| 成矿背景 | 保山地块东缘之澜沧江缝合带 |
| 成矿体制 | 挤压构造岩浆-热液成矿体制 |
| 成矿系列 | 保山地块 |
| 成矿亚系列 | 与燕山晚期-喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿床式 | 与燕山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿岩系 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿金属组合 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿床类型 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿时代 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿时代 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿体系 | 热幔柱-陆内造山成矿系统 |
| 成矿系统 | 金沙江-红河富碱侵入岩带 |
| 成矿背景 | 保山地块东缘之澜沧江缝合带 |
| 成矿体制 | 挤压构造岩浆-热液成矿体制 |
| 成矿系列 | 保山地块 |
| 成矿亚系列 | 与燕山晚期-喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿床式 | 与燕山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿岩系 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿金属组合 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿床类型 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿时代 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |
| 成矿时代 | 与喜山早期陆内造山花岗岩类有关的有色、稀有、稀土矿床成矿系列 |

续表 1

| 冷幔柱成矿体系 | | | | | | | | | |
|----------------------|---|----------------|------|---|---------|------|-----------------------------------|----------|-----------|
| 冷幔柱-陆内造山成矿系统 | | | | | | | | | |
| 察雅-江城拗陷中的兰坪-巍山拉分断陷盆地 | | | | | | | | | |
| 伸张构造流体聚敛成矿体制 | | | | | | | | | |
| 成矿体系 | 冷幔柱成矿体系 | | | | | | | | |
| 成矿系统 | 冷幔柱-陆内造山成矿系统 | | | | | | | | |
| 成矿背景 | 哀牢山缝合带 | | | | | | | | |
| 成矿体制 | 热动力成矿体制 | | | | | | | | |
| 成矿系列 | 赋存于晚古生代蛇纹绿混杂岩系中的金矿床成矿系列 | | | | | | | | |
| 成矿亚系列 | 赋存于中生代海相-海陆交互碎屑岩、碳酸盐岩中的金、铜、汞、锑、砷矿床成矿亚系列 | | | 赋存于中生代海相-陆相碎屑岩和碳酸盐岩中的铜、铅、锌、银、金、汞、砷、锑矿床成矿亚系列 | | | 赋存环境中一新生代陆相碎屑岩和蒸发岩中铜、铅、锌、银矿床成矿亚系列 | | |
| | 矿床式 | 金厂式 | 老王寨式 | 厂街式 | 马鞍式 | 石碛厂式 | 扎村式 | 金顶式 | 白洋厂式 |
| 容矿岩系 | 石英岩、砂板岩系 | 基性熔岩、凝灰岩-沉凝灰岩系 | | 砂岩、粉砂岩、泥岩 | 页岩、碳酸盐岩 | 砂页岩 | 砂岩、粉砂岩、粘土岩容矿岩系 | 砂板岩 | 砂岩、粉砂岩、泥岩 |
| 金属组合 | Au | Au±Sb | Cu | Hg | Sb | As | Au±As | Pb+Zn+Sr | |
| 矿床类型 | 混合热液型 | | | | | | | | |
| 成矿时代 | 新生代(喜山期) | | | | | | | | |
| 成岩时代 | 新生代(喜山期) | | | | | | | | |
| 成岩时代 | 中侏罗世 | | | | | | | | |
| 成岩时代 | 晚三叠世 | | | | | | | | |
| 成岩时代 | 早第三纪 | | | | | | | | |

注：此表部分资料源于刘增乾等^[6]、叶庆同等^[5]和胡云中等^[7]

热幔柱的巨大热能引起冈瓦纳大陆和劳亚大陆边缘活化以及保山地块和中咱地块从两陆缘裂离。同时,产生高热流,驱动区域流体在陆壳内大规模运移和传输,导致两地块内的活动成矿元素 Pb、Zn、Ag、Sb、As 等活化、迁移和再富集,形成热卤水型或热液改造型 Pb、Zn、Hg、Sb、As 矿组合。其次,热幔柱及周围地幔熔融产生大量铁质基性-超基性岩浆,在伸张的岩石圈上部侵位。熔融残留地幔物质在洋底构造侵位,均为 Cr、Ni、Cu、Pt、Au 等成矿提供了重要物质基础,前者形成 Cu-Ni-Pt 硫化物矿床(如金宝山矿床),后者发育铬铁矿床(如徐麦铁矿)^[10]。更为重要的是,热幔柱在扩张洋脊造就快速扩张的伸张构造体制和槽-岭相间、岛-海共存的复杂海底地形、赋矿空间以及活跃的海底喷流热水成矿系统,从而形成大量海底喷流沉积块状硫化物矿床。如在澜沧江古洋盆,热点及其附近产生老厂块状硫化物铅-锌-铜矿床。热点外围产生铜厂街塞浦鲁斯型块状硫化物铜-锌矿床(图2)。类似的成矿系统在金沙江古洋盆亦有发育,如在德钦地区,形成羊拉块状硫化物铜矿等。这种海底喷流-沉积热水成矿系统广泛见于现代海底热点(热幔柱)活动区,如大西洋 TAG 热液区, Galapagos 热液区等^[24],黑烟囱流体喷射和硫化物成矿作用正在进行。

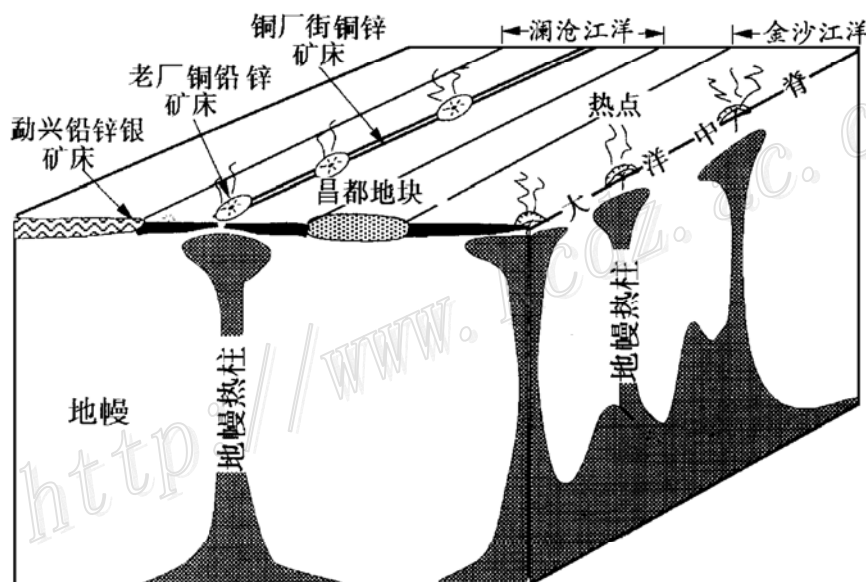


图2 古特提斯时期热幔柱活动与主要金属矿床成矿动力背景示意图

Fig. 2. Idealized model showing relationship between hot plume and geodynamic settings in which main ore deposits were formed in the paleo-Tethyan period.

2.2 冷幔柱与成矿背景

在东特提斯造山系,处于昌都-思茅-印支中央陆块下部、形成于晚二叠世的冷幔柱导致古特提斯洋闭合和特提斯山系形成的推论^[4],得到三个重要事实佐证:①Fukao等(1994)全球层析图象清楚地显示,在特提斯造山带的下地幔1200~1500 km深处,存在由俯冲消减返回地幔深处的洋壳板片物质构成的冷幔柱^[25];②按质量平衡原则,分处澜沧江和金沙江古洋盆下的两个热幔柱在泥盆-石炭纪呈对上升,势必在昌都-思茅-印支中央陆块下部形成壳/幔物质回流中心。该回流中心与Irvine(1989)提出的越南回流中心在 280×10^6 a前的空间位置基本吻合^[26];③金沙江洋壳和澜沧江洋壳板片于晚二叠世分别向中央陆块下部俯冲消减^[6]。横

切三江中南段的层析成像结果表明,洋壳板片向陆块下部的俯冲深度已超过 400 km^[11]。基于三江特提斯造山系时空结构特征、构造-岩浆事件序列、单个造山带沟-弧-盆空间配置及其造山过程剖析,我们认为,这一冷幔柱的发育与演化从根本上控制了三江特提斯造山系自俯冲造山→碰撞造山→陆内造山的完整演化过程。

2.2.1 冷幔柱与俯冲造山 受热幔柱上升而在昌都-思茅中央陆块下部诱发产生的地幔回流中心,因其产生巨大的垂向牵引力和横向拖曳力,导致中央陆块两侧的洋壳板片自二叠纪末期向中央陆块相向俯冲消减。金沙江洋壳板片在晚二叠世初开始向西俯冲,形成江达-维西和绿春-李仙江弧(图 3)。澜沧江洋壳板片于早二叠纪末向东俯冲,形成妥坝-景洪火山弧^[6]。不同岛弧类型具不同的应力状态,造就不同的成矿环境。在妥坝-景洪弧,其弧后构造、张裂断陷盆地与深水沉积环境、玄武岩-流纹岩双峰式火山作用,为海底喷流-沉积热水成矿活动奠定了重要基础。在玄武质含矿火山岩系强烈发育地区,形成块状硫化物铜矿或铜-锌矿,如鲁春铜矿床、大平掌铜矿;在流纹质含矿火山岩系大量发育地区,形成块状硫化物锌-铅-铜-银矿床,如南佐锌-铅矿床。相反,在江达-维西弧,其海陆交互相浅水岛弧环境和浅成玢岩大量发育,则为挤压构造体制下的岩浆-热液成矿作用提供了重要背景。因此,形成主要由岩浆-热液矿床(如加多岭玢岩铁矿和楚格扎铁矿)与少量喷流-沉积矿床(如赵卡隆铁、锌、银矿床)构成的成矿谱系^[5,6]。火山弧内中性岩的强烈发育决定了其成矿以 Fe 为主,兼具少量 Pb、Zn、Ag。

冷幔柱物质向深部地幔的持续回流(至晚三叠世),亦可能相继导致了甘孜-理塘洋和雅鲁藏布江洋向中央陆块下的俯冲消减。二叠末期打开的甘孜-理塘洋壳板片于晚三叠世向西俯冲,形成晚三叠世义敦岛弧^[12]。其中,岛弧发育演化中出现的岛弧裂谷作用、断陷盆地沉积和双峰式岩浆活动,为海底喷流-沉积热水成矿作用提供了重要的成矿环境^[12]。晚三叠末-侏罗纪打开的雅鲁藏布江洋壳板片在早白垩世向北东俯冲消减,形成冈底斯岩浆弧。

2.2.2 冷幔柱与碰撞造山 据估计,古特提斯洋壳板片在上下地幔滞流堆积 50×10^6 a 后,则开始重力崩塌,向下地幔深处沉陷^[13]。冷幔柱物质继续回流,导致金沙江洋盆闭合和弧(东达-绿春弧)-陆(昌都-思茅陆块)碰撞,沿火山弧发育大量中三叠统碰撞型高钾流纹岩-英安岩-流纹岩系及碰撞型二长花岗岩-钾长花岗岩带,形成江达-绿春碰撞造山带^[14]。同时,澜沧江洋盆自北而南相继闭合,发生弧(妥坝-景洪弧)与陆(昌都-思茅碰撞)和陆(保山地块)-陆(昌都-思茅)碰撞,在妥坝-景洪弧产出一套三叠系碰撞型钙碱性高钾流纹岩系、碱性高钾安粗岩系(Shoshonitic series)^[15]。

中新特提斯造山带的碰撞造山事件可能延续至燕山期。主要表现为,义敦岛弧与中咱地块碰撞作用,导致同碰撞型二长花岗岩和钾长花岗岩沿中咱地块东缘展布,构成措莫隆-格聂花岗岩带主体^[14]。雅鲁藏布江洋的闭合碰撞,在冈底斯弧产生晚白垩世同碰撞型二长花岗岩和钾长花岗岩^[6],构成波密-腾冲花岗岩带组成部分。

在碰撞造山过程中,碰撞型火山岩系未见明显的矿化显示,但碰撞型花岗岩的大规模发育,不仅构成重要的富 Sn、稀有金属地球化学省,而且为岩浆-热液成矿作用提供了重要的物质基础。如临沧白云母-二云母花岗岩,因其可能源自陆内俯冲的陆壳泥质岩系^[22],因此富含 B/F 挥发分以及 Sn、W、Be 等稀有金属元素,从而成为锡、铍、钨、铌、钽等矿床的重要矿源岩。如腾冲-波密和措莫隆-格聂二长花岗岩和钾长花岗岩,做为陆壳重熔产物^[22],其陆壳源

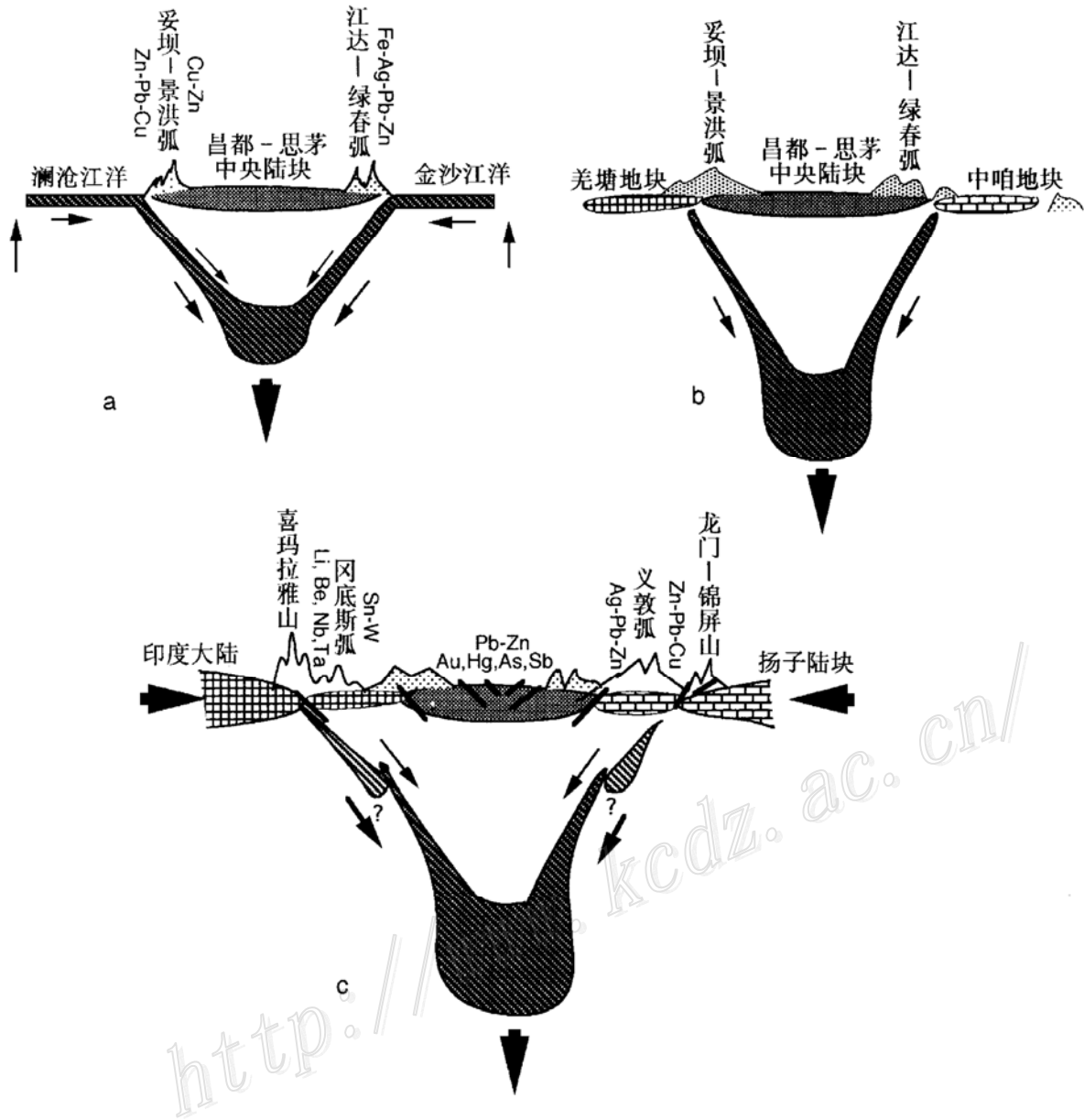


图 3 三江特提斯冷幔柱活动与造山过程关系示意图

a—俯冲造山；b—碰撞造山；c—陆内造山

Fig. 3. Schematic diagram showing relationship between cold plume and orogenic process in the Sanjiang Tethys.

a—Subduction orogeny; b—Collision orogeny; c—Intracontinental orogeny.

岩的富 K、Rb、Cs、F、稀有金属元素、Sn、W 等，决定了其岩浆富集 Sn、W、Rb、Cs、F、K，而形成云英岩型、夕卡岩型等锡多金属矿床。

2.2.3 冷幔柱与陆内造山 以雅鲁藏布江洋闭合碰撞为标志，“三江”特提斯于燕山末期全面进入汇聚的陆内造山时期。在浅表，受三大板边挤压，北有西伯利亚向南压入，并伴随着地壳水平缩短，南有印度大陆向北压入，并伴有陆内俯冲，东有扬子地块向西推挤，伴有南北向碰撞复合山带发育。在深部，俯冲消减的洋壳板片的滞流堆积和重力崩塌以及陆-陆碰撞和陆内俯冲产生的巨大岩石圈根因重力不稳定而拆沉-陷落^[13]，共同构成超级冷幔柱或冷地

幔下降流，引起三江特提斯周缘大陆三方会聚，导致特提斯巨型造山系地壳水平缩短与双倍地壳加厚、浅部走滑与深部析离，高原隆升与盆地发育。

在浅部板边和深部冷幔柱作用下，“三江”特提斯可能经历了陆块碰撞→陆内俯冲→造山带崩塌的完整陆内造山过程，形成了三套特征迥异的火成岩套。陆块间的碰撞可能是陆内俯冲的前奏，这种碰撞作用主要发生在“三江”地区主要刚性陆块之间，如昌都-思茅与保山-掸邦地块、中咱地块与扬子大陆、保山-掸邦地块与拉萨地块，并诱发其深部地壳重熔，沿陆块碰撞带形成早喜山期花岗岩带，如类乌齐-西盟电气石花岗岩带、格聂花岗岩基、下察隅-槟榔江复式岩体，富含 Sn、Pb、Zn、Ag、稀有等金属元素，成为岩浆-热液型锡、钨、稀有、多金属矿床重要成矿母岩。陆内俯冲作用产生重要的二云母花岗岩-白云花岗岩^[15]，主要分布于陆块内部及边缘，如在保山地块内，沿怒江-瑞丽断裂产出喜山期二云母花岗岩和白云母碱长花岗岩，在其东缘，产出串珠状分布的电气石二云母花岗岩。察隅-梁河陆块内，产出二云母花岗岩岩株。这类花岗岩同样富含挥发分和稀有金属元素，系锡等稀有金属矿床的重要成矿母岩。造山带崩塌以横贯造山系的富碱侵入岩带发育为标志，沿金沙江-红河走滑断裂带分布，主要岩石类型霓辉岩、霓霞正长岩、正长斑岩、二长花岗斑岩、碱长斑岩、碱性花岗岩，并显示由碱基性→碱中性→碱酸性岩石演化序列^[14]。岩带北段以二长斑岩为主，富 Cu-Mo，构成重要斑岩钼矿带。岩带中南段以正长斑岩和碱性正长岩为主，相伴 Au-Cu 矿化和 Pb-Zn 矿化，并构成斑岩型铜钼→铜金→铅锌矿床成矿谱系。陆内造山阶段的地壳缩短和垂向隆升，伴随着断陷盆地和走滑拉分盆地的形成与发育，为一些活动元素（Pb、Zn、Ag、Hg、Sb、As）迁移、富集、淀积成矿提供了重要的成矿条件和成矿环境，如区域活动流体、流体运输导系统、流体运移和存储空间等。

3 幔柱构造与高热流场

全球层析成像图清楚地显示，在热幔柱发育的地幔深部存在清楚的柱状轮廓的低速 P 波异常^[25]，证实了热异常存在。Maruyama (1994) 据此推测，热幔柱温度高出周围地幔 100~300℃^[22]。热幔柱岩浆产物——苦橄岩和科马提岩的异常高 Mg (MgO>20%)、富 Cr、Ni 组分特征，揭示热幔柱尾部曾发生大规模熔融。这种高度熔融事件不仅要求地幔流体参与，更需要高热流异常。据研究，热幔柱上涌至岩石圈，可产生直径达 1000~2000 km 的热晕^[22]，其不仅可驱动热液对流循环，而且可引起成矿热流体大规模长距离运移。在“三江”特提斯，热幔柱上涌及其相伴出现的高热流异常，在大陆岩石圈破裂解体阶段，造成古大陆基底高级变质作用，发生混合岩化、混合花岗岩化和流变片麻岩化，沿金沙江和澜沧江古缝合带两侧发育，引起裂解的陆块内成矿金属物质活化迁移和区域性地质流体的流动输运，形成金属元素的工业堆积。因此，这类矿床的形成通常有三部曲：①早期成矿预富集，形成矿化层或矿源岩；②中期成矿主富集，矿源层中成矿物质活化、迁移和富集；③晚期次生淋滤再富集。在大洋岩石圈形成阶段，伴随洋盆开裂和洋脊、洋岛玄武岩大规模喷发，出现沿洋脊分布高热流异常，促进岩石圈/水圈化学-热变换，驱动热液对流循环，形成海底喷流-沉积成矿系统，导致块状硫化物矿床沿洋脊串珠状分布。

冷幔柱本身不具高热流，但其活动导致的洋壳消减俯冲和/或后继俯冲，造成强烈的弧岩

浆或碰撞型岩浆活动,从而造就区域高热流场。据估计,强烈岛弧岩浆活动使岛弧主体地温比正常大陆地温高出 100°C ,其弧后区或弧间张裂带的热流值更高,并诱发高效海底喷流沉积成矿系统。如在冲绳海槽-弧后扩张盆地,热流值高达 800 mW/m^2 ^[27,28]。沿高热流带,黑烟囱流体大量喷射,热水成矿作用正在进行^[16]。在弧-陆碰撞带,碰撞型酸性岩浆区域性上升就位亦可形成一定规模的热流场,促进岩浆-热液成矿系统的发育。

4 幔柱构造与流体系统

流体做为地球层圈相互作用中的物质-能量的重要载体,既是金属矿床和油气成藏的重要媒介,又是联结矿源岩-成矿地质背景-矿床定位空间三者间的纽带与桥梁^[17]。深源地幔流体主要制约着地球层圈,特别是壳/幔物质-能量交换作用,并可能对地壳浅表的区域地球化学省和大型矿床或矿集区产生重要影响。地壳流体,其形成、演变及迁移、输运则更直接控制着流体成矿系统及矿床形成与分布。我们认为,地幔与地壳(成矿)流体的形成与活动从根本上受幔柱构造制约。

4.1 幔柱构造与地幔流体

地幔流体的存在已是不争的事实,但对其来源和形成机制尚有不同意见。Kaneoka等(1985, 1991)^[28,29],认为地幔流体有三个源区:①热幔柱源区,即热点下部的深部地幔;②洋脊玄武岩源区,包括大洋和大陆岩石圈地幔;③岛弧型源区,即俯冲带上部的楔形地幔^[29]。陈丰等(1996)提出地幔流体有三源,即氢羽(plume)、羟基(地幔矿物内)和俯冲板片^[18]。我们认为,地幔流体的产生与三大深部地质事件相关,即热幔柱上升,冷幔柱回返和柱-幔间物质-能量交换。

流体在上地幔条件下呈羟基存在,在下地幔条件下则呈氢或氢基出现^[18]。羟基或/和氢基汇聚成自由地幔流体,则可能通过地幔热柱的活动来实现。首先,热幔柱物质从幔(核)或/和上/下地幔边界大规模上升,不仅形成具有巨大头冠和细窄尾柱的热幔柱,同时为地幔流体的汇聚提供动力条件。其次,热柱活动为地幔流体提供了重要物源。尽管热幔柱物质究竟为何物,尚有不同认识,但其很可能是一种由固体地幔和熔体/流体构成的混杂物质^[8],其向上运移和减压去荷作用可能伴随着强烈地幔去气,形成地幔流体。

大洋板片俯冲消减于上下地幔界面并堆积沉陷形成冷幔柱^[22]。冷幔柱发育又为洋壳板片的后继俯冲消减提供重要动力。实验证明,消减的洋壳板片在一定深度发生变质和脱水,水流体携带大离子不相容亲石元素(LILE)等组分进入地幔楔形区,并交代地幔,诱发弧岩浆活动。因此,冷幔柱活动诱发了流体的大规模循环,由地壳入地幔再折返回地壳。

无论是大洋岩石圈还是大陆岩石圈,其MORB发育和大陆玄武岩溢流,通常具备三个条件:①高热流供给;②地幔交代作用;③深部软流圈上涌和/或浅部岩石圈伸张。这三个条件往往通过地幔热柱活动来满足。热幔柱上涌导致岩石圈伸张和洋盆开裂,其与周围地幔间的物质-能量交换,导致E-MORB和T-MORB发育,并为MORB型深源地幔流体提供外部动力机制。

4.2 幔柱构造与地壳流体

地球不同层圈存在着运移-循环的活动流体。就成矿流体而言,其来源包括岩浆脱气流体、

变质脱水流体、地幔排气流体、建造流体和雨水或海水循环流体。这些流体的形成或直接或间接地受幔柱构造及其派生的构造体制制约。在大陆岩石圈构造体制下，热幔柱与地壳间物质-能量交换，导致壳岩熔融，产生酸性岩浆，成为分凝岩浆水的物质基础。同时热幔柱自身的高热流亦可导致大气降水的对流循环。在大洋岩石圈构造体制下，热幔柱上涌减压可产生排气流体，其高热流亦可促进水圈与岩石圈间的热-化学反应，驱动海水对流循环。板块俯冲与冷幔柱发育不仅导致强烈的俯冲造山和碰撞造山，同时伴随造山过程，可产生变质脱水-脱挥发分流体以及地层压实流体和构造收缩挤压流体。

4.3 幔柱构造与成矿流体化学

不同的构造体制，造就不同的构造-岩浆-沉积事件，衍生不同性质的成矿流体，具有不同的化学组成。在热幔柱活动的古特提斯时期，大区域伸张构造体制导致洋盆开启、基性火山（含热点型）喷发和超基性岩浆侵位。超基性岩浆分凝，可产生富 Cu-Ni-Co 流体（熔体）和 Pt-Pd-Cr 流体，形成铜-镍硫化物矿床和铬-铂-钯矿床。可能有地幔流体（或地幔排气）参与的海底热水循环系统，产生富含 Au、Cu、Zn、Fe、Co 成矿流体，在洋壳海底形成块状硫化物铜矿床。在热幔柱活动形成的伸张构造体制下，成矿流体的化学组成显示强烈的幔源特色。

在冷幔柱发育时期，在洋壳俯冲造成的挤压构造体制下，不论是成矿流体来自岛弧中酸性岩浆，还是来自被岩浆“热机”驱动的循环热水，中性火山岩系化学组成决定了成矿流体以富 Fe 为特征，形成以 Fe 为主要组分的金属矿床，如江达岛弧富 Fe 成矿带。在局部拉张形成的伸张构造体制下，如弧后区，成矿流体主体来自加热循环的海水，但有相当的岩浆流体贡献，其化学组成以富 Pb、Zn、Ag 为特征，形成块状硫化物铜-锌矿至铅-锌-银矿成矿谱系，如义敦岛弧成矿带。在碰撞造山产生挤压构造体制下，碰撞型花岗岩浆派生的成矿流体，化学组成则更多地显示壳源特色，发育 W、Sn、Nb、Ta、Pb、Zn 矿化组合。陆内造山阶段，虽然其流体成矿系统不同，但其流体以地壳流体为主，多数流体化学组成显示明显的壳源色彩（富含 Sn、Pb、Zn、Ag、Sb、As、Rb、Li、Nb），少数显示壳/幔混合源特征。因此，在冷幔柱活动制约下的成矿流体化学组成主体显示壳源特点。

综上所述，热幔柱上升和冷幔柱回流是驱动地球各层圈间物质-能量交换的根本动力，是造就成矿物质集聚场、成矿能量场和成矿空间场的根本机制，是制约浅部构造-岩浆-沉积-流体-成矿作用及其相互耦合过程的关键深部过程。

5 幔柱构造成矿体系

三江特提斯构造演化受幔柱构造控制。热幔柱活动导致大陆裂解、洋盆伸展和洋脊扩张，热幔柱上隆与熔融导致区域高热流体异常、超基性-基性岩套发育、洋岛玄武岩海山形成和洋脊玄武岩喷溢。冷幔柱发育导致俯冲造山→碰撞造山→陆内造山完整造山过程，完成大洋岩石圈向大陆岩石圈体制转化，诱发弧火山活动、碰撞岩浆作用，碱性岩套发育和拉分断陷盆地形成。与之呼应，在热-冷幔柱统一制约下的不同地质背景，形成一系列具不同成矿环境、不同成因类型、不同序次组合的矿床成矿系列和矿床成矿谱系，构成统一的成矿体系，构成幔柱构造成矿体系。我们将幔柱构造成矿地质作用过程及其地质产物所构成的有机整体称为幔

柱构造成矿体系^①。根据深部幔柱构造演化与浅部板块构造和成矿作用制约关系,热幔柱成矿体系包括热幔柱-热点和热幔柱-扩张脊两大次级成矿系统,而冷幔柱成矿体系则包括冷幔柱-俯冲造山、冷幔柱-碰撞造山和冷幔柱-陆内造山3大次级成矿系统。

5.1 热幔柱与成矿系统

在三江古特提斯,热幔柱发育主要经历了两大演化阶段,分别形成独具特色的成矿系统。

在涌动上隆阶段,热幔柱造成古特提斯岩石圈(大陆性质)强烈活化、减薄和热变质,其巨大的热能贡献,驱动区域流体大规模迁移,促使金属元素活化和再分配,在热动力成矿体制下,在保山和中咱地块内形成两个成矿系列,即赋存于晚元古代海相碳酸盐岩中的铅、锌、银矿床成矿亚系列和赋存于晚古生代海相碳酸盐岩中铅、锌、汞、铋、砷矿床成矿亚系列。其中,前者可能形成于热幔柱初始活动期,成矿流体显示变质水特征;后者可能形成于热幔柱主要活动期,成矿流体主要为受热驱动的活动热卤水,Pb-Zn、Hg、As常常独立成矿(表1)。这些矿床构成统一的热幔柱-热点成矿系统。

在隆升熔融阶段,高热的热幔柱大规模隆升,岩石圈强烈伸张,并向裂谷-洋盆发育,与之相伴,热幔柱减压熔融(尾柱区)、岩石圈地幔受热熔融,产生大量基性-超基性熔浆,沿岩石圈断裂带上升侵位。在伸张构造熔浆成矿体制下,铁质基性-超基性岩浆发生岩浆熔离,形成铜-镍硫化物矿床,构成岩浆熔离型矿床成矿亚系列,镁质基性-超基性岩浆结晶分异形成铬铁矿床,构成岩浆分异型矿床成矿亚系列(表1)。此外,热幔柱排气和脱水,可能产生成矿流体,淋滤、搬运和淀积铂族元素,形成铂-钯矿床。热幔柱大规模减压熔融,并与岩石圈地幔发生大规模物质-能量交换,诱导亏损大洋岩石圈地幔强烈熔融,沿扩张洋脊喷发MORB,并形成OIB海山。在伸张构造流体聚敛成矿体制下,发生海底喷流-沉积热水成矿作用,形成火山成因块状硫化物矿床,构成与海相火山岩有关的铜多金属成矿系列(表1)。这些矿床构成热幔柱-扩张脊成矿系统。

热幔柱造就的成矿系统显示2大特色,即区域性的伸展构造体制和大尺度的高热流异常。其造就的完整成矿系列序列自早而晚依次为热卤水-热液改造型铅、锌、汞、铋、砷矿床成矿系列→岩浆分异-熔离型铬、铁、铜、镍、铂、钯矿床成矿系列→喷流-沉积型铜、铅、锌矿床成矿系列。

5.2 冷幔柱与成矿系统

在三江特提斯,冷幔柱可能相继经历了回流萌动期→滞流堆积期→重力崩塌期,在地表依次导致俯冲造山→碰撞造山→陆内造山过程,并发育相应的成矿系统。

在回流萌动期,主要表现为大陆岩石圈(昌都-思茅-印支陆块)下部地幔受两侧热幔柱上隆驱动,做被动回流形成地幔下降流。该回流中心的发育,导致金沙江洋壳和澜沧江洋壳板块向中央陆块相向俯冲,洋盆两侧的中咱地块和保山陆块向中央陆块会聚。在冷幔柱-俯冲造山成矿系统,至少存在两种成矿体制,即局部伸展构造流体聚敛成矿体制和挤压构造岩浆-热液成矿体制。前者发育于张性岛弧的弧间裂谷或弧后盆地环境,形成海底喷气-沉积型多金属矿床,构成与海底双峰岩石组合相关的铜、铅、锌、银矿床成矿系列,见于义敦岛弧和南佐-景洪岛弧;后者发育于压性岛弧环境,如妥坝-维西弧,形成玢岩型铁矿和火山-沉积型多金

① 李红阳、侯增谦,1998,初论幔柱构造成矿体系,矿床地质,待出版

属矿床，构成与岛弧中性火山-潜火山岩相关的铁多金属成矿系列（表 1）。

在滞流堆积期，俯冲消滅的冷洋壳板片可能在 640~400 km 滞流堆积，构成冷幔柱主体。深部冷幔柱的斜向牵引和垂向沉陷，诱发洋壳板块的“后继俯冲”乃至弧-弧碰撞，产生“滞后型”弧火山岩，并伴有壳源熔融的碰撞型黑云母花岗岩大量侵位。冷幔柱活动亦可能引起陆块间碰撞乃至陆壳板片楔入和陆内俯冲，产生二云母-白云母花岗岩，从而构成冷幔柱-碰撞造山成矿系统。在挤压构造岩浆-热液成矿体制下，形成两个成矿亚系列，其中黑云母花岗岩因相对富含 Sn、W、Pb、Zn、Cu，而形成以锡为主矿床成矿亚系列，主要见于义敦岛弧措莫隆-格聂花岗岩带和冈底斯弧腾冲-波密岩浆带；白云母-二云母花岗岩因富含挥发分（F、B 和 Sn、W、Nb、Ta 等），形成锡、钨、铌、钽矿床成矿亚系列。叠加于临沧花岗岩上。

在重力崩塌阶段，滞流堆积的洋壳混杂体崩塌和陆-陆碰撞形成的造山带岩石圈根拆沉，共同向下地幔深处沉陷，产生巨大的拖曳力，驱动印度大陆、西伯利亚大陆和扬子大陆向三江特提斯汇聚碰撞。该阶段共产生三套岩浆岩、一套盆地和一条巨大走滑断裂带。刚性大陆或陆块间的汇聚碰撞，产生一套喜山期碰撞型钾长花岗岩和电气石花岗岩，陆内俯冲作用产生一套喜山期白云母花岗岩和二云母花岗岩。花岗岩的富稀有金属特性决定了其成矿系列以稀有、稀土矿床为特色（表 1）。造山带崩塌和走滑断裂带发育，造就了规模巨大的富碱侵入岩带，其中，二长斑岩形成铜、钼矿床成矿亚系列，正长斑岩构成铜、金、铅、锌矿床成矿亚系列。走滑和韧-脆性断裂活动以及喜山期基性-酸性岩浆侵位，形成蛇绿岩带内形成金矿成矿系列。在兰坪-巍山盆地内的走滑拉分断陷盆地，在伸张构造流体聚敛成矿体制下，浅成低温热液活动形成了以汞、锑、砷、金为主的成矿亚系列，分布于盆地南段，赋存于中生代砂板岩系的层间断碎带内，喷流-沉积热水成矿作用形成以铅、锌、银矿为主的成矿亚系列，分布于盆地北段，赋存于下白垩统—下第三统砂板岩系中，呈层产出，受益、相、位控制。

综上所述，在冷幔柱造就的成矿系统中，成矿体制以挤压构造酸性岩浆-热液成矿体制为主，流体聚敛成矿体制次之。前者贯穿于冷幔柱发育的始终，后者发育于冷幔柱早、晚阶段。伴随冷幔柱演化，成矿系列序列由与岛弧火山岩系有关的铁、铅、锌、铜、银矿床成矿系列→与碰撞型花岗岩有关的稀有金属矿床成矿系列→以沉积岩系为容矿岩石的铅、锌、银、汞、锑、砷矿床成矿系列和与富碱斑岩有关的铜、钼、金、银、铅、锌矿床成矿系列。

本文是在前人所获大量地质、矿产资料基础上按幔柱构造成矿体系新思路编写完成的。成文过程中，曾与卢纪仁研究员、王登红副研究员、吕庆田副研究员进行过有益讨论，受益匪浅。在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 莫宣学. 地幔热柱与幔柱构造专辑 (前言). 地球学报, 1996, 17 (4): 1~2
- 2 李红阳, 闫升好, 王金锁等. 试论地幔热柱与成矿——以冀西北金银多金属成矿区为例. 矿床地质, 1996, 15 (3): 249~256
- 3 牛树银, 李红阳, 陈爱群等. 地幔热柱的多次演化及其成矿作用——以冀北地区为例. 矿床地质, 1996, 15 (4): 298~307
- 4 侯增谦, 卢纪仁, 李红阳等. 中国西南特提斯构造演化——幔柱构造控制. 地球学报, 1996, 17 (4): 439~453
- 5 叶庆同, 胡云中, 杨岳清等. 三江地区区域地球化学背景与铅、锌、银成矿作用. 北京: 地质出版社, 1992, 1~280
- 6 刘增乾等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律. 北京: 地质出版社, 1993, 1~240

- 7 胡云中, 唐尚鹑, 王海平等. 哀牢山金矿地质. 北京: 地质出版社, 1995, 1~273
- 8 侯增谦等. 三江古特提斯地幔热柱——洋岛玄武岩证据. 地球学报, 1996, 17 (4): 343~361
- 9 侯增谦等. 三江古特提斯地幔热柱——洋中脊玄武岩证据. 地球学报, 1996, 17 (4): 362~375
- 10 刘朝基, 马志忠, 张正贵. 川西藏东特提斯地质. 成都: 西南交通大学出版社, 1996, 1~149
- 11 赵正贵. 地震层析技术的地质基础及其在滇西深部构造研究应用. 地质科学, 1993, (2): 105~113
- 12 侯增谦, 侯立纬, 叶庆同等. 三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化与火山成因块状硫化物矿床. 北京: 地震出版社, 1995, 1~218
- 13 邓晋福等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1996, 1~150
- 14 吕伯西等. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性. 北京: 地质出版社, 1993, 1~304
- 15 莫宣学等. 三江特提斯火山作用与成矿. 北京: 地质出版社, 1993, 1~230
- 16 侯增谦和 Urabe. 西南太平洋冲绳海槽烟卤类型和化学-分带型式. 地球学报, 1997, 18 (2): 172~181
- 17 贾跃明. 流体成矿系统与成矿作用研究. 地学前缘, 1996, 3 (4): 253~258
- 18 陈丰, 氢——地球深部流体的重要源泉. 地学前缘, 1996, 3: 72~79
- 19 Loper D E. , Mantle plume. Tectonophysics, 1991, 187: 373~384
- 20 Davies G, F, Richards M. Mantle convection. Jour. Geol. , 1992, 100: 151~206
- 21 Davies G F. Mantle plume, mantle stirring and hotspot chemistry. Earth Planet. Sci. Lett. , 1990, 99: 94~109
- 22 Maruyama Y. Plume tectonics. Jour. Geol. Soc. of Japan, 1994, 100 (1): 24~49
- 23 Ringwood A E. Sub-mantle interaction 3. Petrogenesis of interplate magmas and structures of the upper mantle. Chem. Geol. , 1990, 82: 187~207
- 24 Skirrow R, Coleman M. Origin of sulfur and geothermometry of hydrothermal sulfides from the Galapagos rift, 86°W, Nature, 1982, 299: 142~144
- 25 Fukao Y et al. Geological implication of the whole mantle P-wave tomography. Jour. Geol. Soci. of Japan, 1994, 140 (1): 4~23
- 26 Ivrine T N. A global convection framework: concepts of symmetry, stratification, and system in the Earth's dynamic structure. Econ. Geol. , 1989, 84: 2 059~2 114
- 27 White R, Mckenzie D. Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. Jour. Geophys. Res. , 1989, 94 (B6): 7 685~7 729
- 28 Halbach P et. al. Geology and mineralogy of massive sulfide ores from the central Okinawa Trough, Japan. Econ. Geol. , 1993, 88: 2 210~2 225
- 29 Kaneoka I, Takaoka N. Evolution of the lithosphere and its interaction with the underlying mantle as inferred from noble gas isotopes. Australian Jour. of Earth Sciences, 1991, 38: 559~567

A TENTATIVE DISCUSSION ON THE MANTLE PLUME TECTONICS AND METALLOGENIC SYSTEM AS EXEMPLIFIED BY THE SANJIANG TETHYAN METALLOGENIC DOMAIN

Hou Zengqian and Li Hongyang

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

Key words: mantle plume tectonics, metallogenic system, Sanjiang Tethyan metallogenic domain

Abstract

Exemplified by the Sanjiang Tethyan metallogenic domain, the present paper has briefly described characteristics of the mantle plume tectonics, and advanced the new viewpoint of “metallogenic system controlled by mantle tectonics”. Studies show that the development and evolution of the hot mantle plume lead to the conversion of tectonic system from the continental lithosphere to the oceanic lithosphere, accompanied by such events as activation, thinning, derooting, tensional faulting and disintegration of the continent and the formation of the ocean, whereas the formation and evolution of the cold mantle plume result in the conversion of tectonic system from the oceanic lithosphere to the continental lithosphere and give rise to the process of subduction orogeny→collision orogeny→intracontinental orogeny. Controlled by the mantle plume tectonics, a series of metallogenic series associations and metallogenic spectrum of mineral deposits, formed in different tectonic settings and geological environments and characterized by different sequence associations and different ore-forming types, have constituted a unified metallogenic system. The hot mantle plume metallogenic system includes two major metallogenic sub-systems, i. e., hot mantle plume-hot-spot and hot mantle plume-spreading ridge, whereas the cold mantle plume metallogenic system includes three major metallogenic sub-systems, namely cold mantle plume-subduction orogeny, cold mantle plume-collision orogeny and cold mantle plume-intracontinental orogeny. Finally, a completely new analysis of ore-forming conditions and metallogenic regularity of main mineral deposits in the Sanjiang Tethyan metallogenic domain is made in accordance with the three-level system composed of metallogenic system, metallogenic series and mineral deposit.