

# 铜陵矿集区构造滑脱与分层成矿特征研究\*

吴淦国 张 达 臧文拴

(中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要** 对铜陵矿集区深部构造及盖层构造变形分析表明构造分层作用是本区乃至长江中下游成矿带岩石圈的一个典型特征, 深部构造圈层对浅部构造圈层的控制是通过不同级别的构造分层作用来实现的. 铜陵矿集区盖层中发育的多层位、多级别、多种方向的滑脱构造是构造分层作用在盖层中的具体表现形式. 构造滑脱是在印支期“S”状褶皱的基础上发展起来的, 在燕山期持续活动, 并和东西向及北北东向变形系统复合. 构造分层作用对成岩成矿的控制, 在盖层中有不同的表现形式. 不同层间滑脱带容易形成不同成因类型的矿床, 同一滑脱层的不同部位成矿特征也不尽相同, 这和构造滑动机理、构造复合特征、成矿围岩特性及成矿热液的类型有密切关系.

**关键词** 铜陵矿集区 构造分层作用 滑脱构造 分层成矿

铜陵是我国一个重要铁、铜、硫、金矿集区, 成矿作用与地层、岩浆岩及构造演化有密切关系<sup>[1~4]</sup>. 区内矽卡岩型矿化十分发育, 且在石炭系和二叠系等几个主要地层界面上呈似层状分布, 因而对于其成因认识争论较大. 主要观点有岩浆热液交代与同生海底喷流沉积成矿<sup>[3]</sup>. 常印佛<sup>[1]</sup>提出层控成矿概念, 建立了层控(式)矽卡岩型矿床模式. Pan 和 Dong 认为可与北美很多矿床对比, 为比较典型的斑岩-矽卡岩-Manto 矿床组合<sup>[5]</sup>. 尽管对于似层状矿化的认识有分歧, 但都发现断裂系统对于矿化的明显控制作用. 孙岩很早就注意到下扬子地区层滑断裂对矿床的制约, 并提出下扬子地区“地层-矿层-断层”三统一的控矿模式, 着重强调层滑断层系统和矿床形成的时空耦合关系<sup>[6,7]</sup>. 李东旭等利用构造系统复合观点研究铜陵地区的控矿构造特征, 论证了区域顺层滑脱构造与其他构造的复合对不同类型矿床的控制机理<sup>[8]</sup>. 在此基础上, 储国正等研究了顺层滑动构造对狮子山矿田“多层楼”矿床的控制<sup>[9~11]</sup>. 刘文灿等强调铜陵地区基底滑脱面对盖层构造系统的控制, 特别指出盖层侏罗山式褶皱的进一步演化形成层间滑脱断层<sup>[4]</sup>.

以上研究成果都从某一角度探讨了构造对矿床(特别是层控矿床)的控制作用. 但对于岩石圈构造分层作用、盖层滑脱构造的深部控制机理、构造分层作用与不同类型矿床的时空耦合关系、构造分层成矿模式还没有系统的研究. 因此从构造分层成矿的角度探索大型矿集区的形成条件是区域成矿学研究的一个重要方面.

本文以铜陵矿集区为例分析该区构造分层作用与区域滑脱构造的时空关系及构造分层成矿特征, 将是系统探讨本区构造-岩浆-成矿作用的新思路.

2002-09-05-收稿, 2002-12-20 收修改稿

\* 国家重点基础研究发展规划项目(编号: G1999043206)资助

# 1 区域地质背景

铜陵地区是位于长江中下游中部的一个重要矿集区。构造上地处挟持于扬子地块与华北地块之间的下扬子印支期褶皱带东南部的马鞍山-贵池隆褶带的中段<sup>[1-4]</sup>(图 1)。地质演化主要经历了前震旦纪基底形成阶段、震旦纪-中三叠世的盖层形成阶段及晚三叠世-新生代的板内变形阶段。其中晋宁运动后的沉积盖层是区内的主要出露地层,厚度巨大,是铜、硫、金等矿床的主要容矿围岩。印支运动使本区形成 NE 向“S”状褶皱及大量的不同层次的层间滑脱构造;燕山运动则伴随强烈的岩浆-热液叠加改造作用,形成不同成因的铜、硫、金、铅、锌等矿床。岩浆岩主要为高碱富钾的中酸性岩石,与成矿关系密切的为石英二长闪长岩和花岗闪长岩。

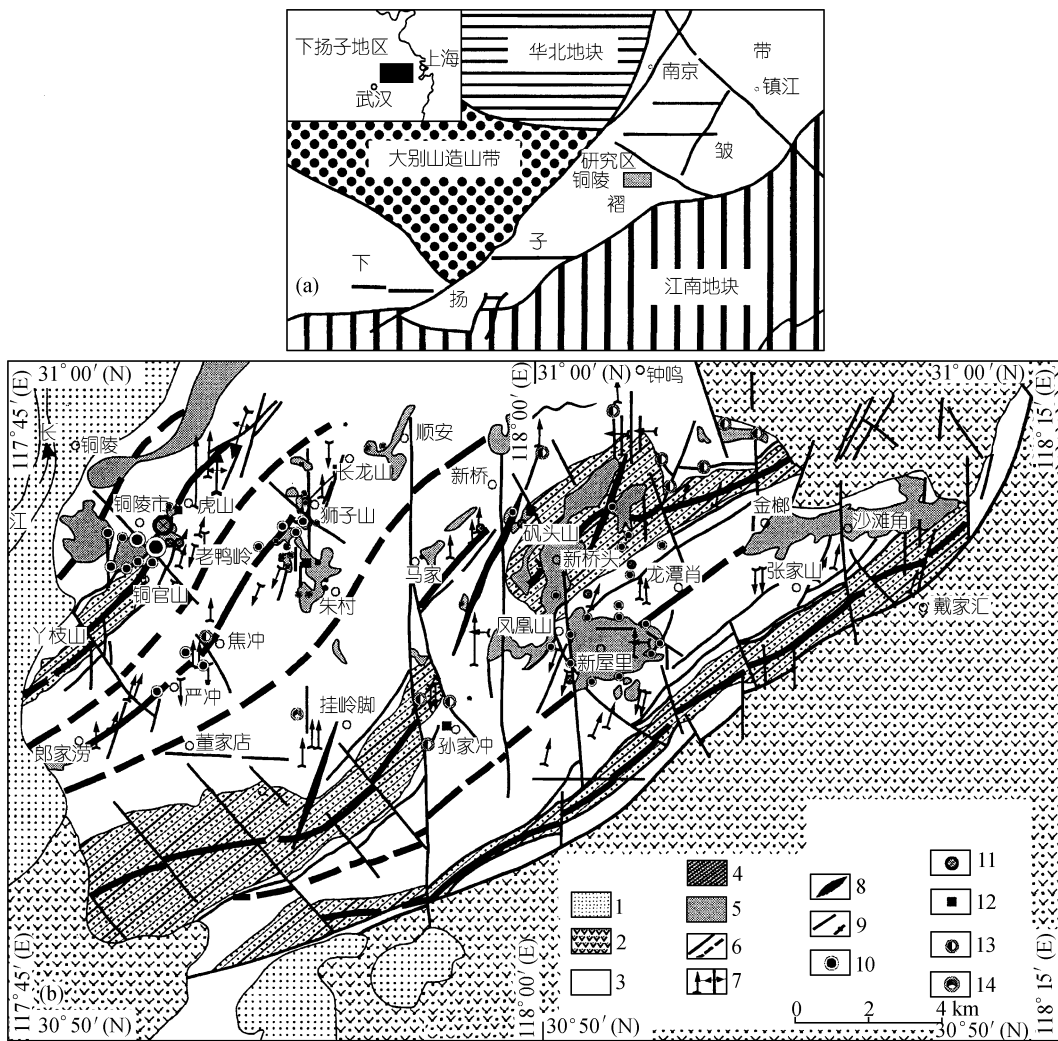


图 1 下扬子地区大地构造略图(a), 铜陵地区地质构造与矿产分布图(b)

1. 第三系泥岩、砾岩夹玄武岩; 2. 侏罗-白垩系凝灰质砂砾岩、英安质火山岩; 3. 泥盆-三叠系碳酸盐岩、硅质岩、陆源碎屑岩; 4. 志留系砂岩、粉砂岩、页岩; 5. 中生代侵入岩石石英二长闪长岩、花岗闪长岩; 6. 印支期复式向斜、复式背斜; 7. 燕山早期中小型褶皱; 8. 燕山晚期复式褶皱; 9. 燕山晚期中小型褶皱; 10. 铜矿; 11. 硫铁矿; 12. 铁矿; 13. 铅锌矿; 14. 多金属矿

自海西-印支期以来,本区大致经历了 9 期强弱不同的构造变形,形成了包括北东向层间滑脱构造在内的 5 组不同方向的构造变形系统<sup>[4]</sup>.

## 2 滑脱构造的主要特征

### 2.1 岩石圈构造分层特征

岩石圈的构造分层作用被广泛用于解释造山带的形成与演化、构造变形及岩浆作用的发生与发展过程<sup>[12~14]</sup>. 岩石圈构造分层的核心证据是通过观测地壳深部的物理状态在不同的层次明显不一致. 例如深部流体、应力状态、物质组成、变形样式等在不同的尺度上都不是均一的. 岩石圈(主要为地壳)不同深度存在着脆性及非弹性变形域,并明显存在较宽的韧脆性转换带,这种转换带在不同的深度表现不一.

根据长江中下游地区区域地质研究对比分析结合在扬子地区开展的地震测深成果<sup>[15]</sup>,本区岩石圈存在明显的层圈结构. 可划分为 6 大构造层,其间有 6 个重要滑移面(拆离面)及 3 个均衡调节层(表 1). 6 大构造层自上而下为: I. 上地壳中-新生界陆相碎屑岩及火山岩, II. 中-古生界海相碳酸盐岩-碎屑, III. 中-新元古界浅变质岩系, IV. 太古宇-古元古界深变质岩系, V. 下地壳硅镁层, VI. 上地幔地幔盖层. 其中第 II 构造层存在重要的滑移面(S 面),和铜陵矿集区盖层中发育的层间滑脱构造相对应;第 III 构造层存在的滑移面(G 面)对应本区基底滑脱带,控制本区盖层侏罗山式褶皱作用的形成;在上下地壳界面附近有一厚 3~4 km 的高导、低速层,它是塑性很强可能被部分熔融的层状体,为区域一重要的拆离面(C 面)和均衡调节层(C 层),对中上地壳的变形有明显的控制作用. 壳幔之间的莫霍面(层)和岩石圈底部界面(岩石圈与软流圈之间的过渡带)是控制巨大圈层滑移(拆离)运动的两个十分重要的滑移面和均衡调节层(L 面(层)及 M 面(层)).

表 1 长江中下游地区岩石圈构造分层作用特征<sup>a)</sup>

层圈		界面名称	主要物性特征	滑移拆离面	均衡调节层	构造层次
上地壳	I 陆相中、新生界	---印支-早燕山期侵蚀面---	低中速、低阻、低磁、低中密度	S G		脆性变形层次
	II 海相中、古生界		中高速、中高阻、中高密度互层、低磁			
	III 浅变质岩	-----晋宁期侵蚀面-----	低速、低阻、低磁、低密度			J
	IV 深变质岩	-----武陵期侵蚀面-----	高速、高阻、高磁、高密度	C	C 层	
岩石圈 下地壳	V 硅镁层	-----地壳中部界面-----	低速高导(壳内高导层)	M		韧性粘塑性变形层次
		高速、高密度、柔性变形结构	高低导横向不均匀层块			
		高速、高密度				
上地幔部分	VI 上地幔的岩石圈	岩石圈与软流圈之间过渡层	高导过渡层	L		L 层
软流圈		高导层				

a) 据刘文灿等 1996<sup>[4]</sup>和陈沪生 1998 年<sup>[15]</sup>资料编制

依据铜陵矿集区岩石圈物质组成及不同层次构造变形特征分析, 可以得出该区第 I 构造层基本对应区域脆性变形层次; 在其之下存在较宽的由第 II 及第 III 构造层组成的韧脆性转换带, 这种转换带的存在对于岩石圈应力由深部向浅部的传递起着重要的作用; 第 IV 及其以下的构造层属于深部韧性粘塑性变形层次。

综上所述, 存在大规模的构造分层作用是本区岩石圈的一个典型特征。深部构造圈层对浅部构造圈层的控制是通过大型拆离断层来完成的。

## 2.2 构造分层作用在盖层中的表现(滑脱构造的特征)

从岩石圈构造分层特征可以看出, 铜陵矿集区出露的晚古生代-早中生代地层为区域韧脆性变形转换带的重要组成部分, 必然会发育以脆韧性为主的构造变形样式。该区广泛存在的多层次、多方向、多级别的层间滑脱断裂就是这些构造变形的具体表现。

铜陵地区印支期伊始受到区域近北向的左旋剪切应力场的作用, 由于基底和盖层之间存在一条重要的基底滑脱面, 加上盖层中不同岩层的岩性差异及早期存在的东西向基底断裂带的限制作用, 本区乃至下扬子地区广泛发育北东向的 S 状隔档式褶皱群。关于 S 状褶皱的形成机理李东旭等从野外到模拟实验方面作了深入研究<sup>[4]</sup>。S 状褶皱的形成可用图 2 模式简单示之。印支运动早期本区主要受到北西-南东向侧向挤压力作用, 形成北东向的隔档式褶皱。而在印支晚期由于左旋剪切作用的联合作用, 使先期形成的在褶皱带处于一种特殊的边界条件即: 有南北及东西边界的侧向限制的的非均匀、非同轴复合递进变形, 在这种边界条件下, 使该区褶皱轴面在平面及剖面上表现为 S 形。在 S 状褶皱形成过程中, 除形成横向、斜向等陡倾角的伴生断层外, 沿岩层的岩性突变界面(主要为平行不整合面)发生顺层剪切滑动, 形成多层层间滑动断层, 即所谓的“层间剥离”构造。由于后期构造变形的叠加与复合, 沿顺层滑动断层发生多次剪切滑动, 构造变形不断迁移、扩展, 岩石破碎强烈, 从而发展成为复杂的层间滑脱构造带。这些层间滑脱构造带是该区盖层构造分层作用的结果。

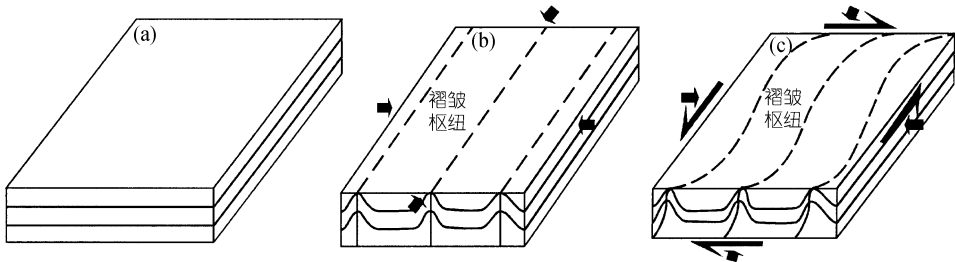


图2 铜陵矿集区北东向 S 状褶皱带的形成机制示意图

(a) 原始模型; (b) 简单挤压作用; (c) 有侧限、非均匀、非同轴复合递进变形(限制型 S 状构造)

→←挤压作用力方向 ↻剪切作用力方向

野外地质观察结果表明铜陵矿集区自上泥盆统五通组( $D_{3w}$ )-三叠系中统( $T_2$ )之间的岩层中存在一系列顺层滑脱现象, 构成多层顺层滑脱构造, 多数滑脱构造是沿原生沉积间断面或岩性突变界面发育, 其中最具规模的是泥盆系上统五通组石英砂岩与石炭系中上统灰岩之间的滑脱构造。这些层间滑脱带的总体特征如下: (i) 由于层间滑脱构造是由北东向 S 状褶皱变形产生的顺层滑动断层发展而来的, 因而在平面上其走向与褶皱轴线一致, 也呈 S 状弯曲, 在剖面上产状与两侧地层大致相同; (ii) 层间滑脱构造带延伸长, 平均延伸约 10 km, 其影响宽度一般小于 10 m, 个别地段因后期断层复合而加宽, 可达数 10 m; (iii) 层间滑脱构造带多沿地

层中岩性突变部位发生, 如上泥盆统五通组-石炭系中上统、二叠系下统栖霞组-孤峰组、龙潭组-大隆组、大隆组-三叠系下统殷坑组等地层之间, 分别是石英砂岩-石炭岩、石灰岩-砂页岩、砂页岩-硅质岩、硅质岩-泥质页岩夹灰岩等岩性界面. 界面上下岩石力学性质相差较大, 而且在界面附近有页岩、粘土岩等软弱岩层作为润滑层(表 2); (iv) 层间滑脱构造带内发生强烈的剪切滑动, 片理、劈理非常发育, 岩石破碎强烈, 主要为碎裂岩类构造岩(构造透镜体)(图 3). 仅局部可见初糜棱岩、糜棱岩等韧性变形表象. 此外滑脱构造带内还伴有动力变质作用, 如硅化、蛇纹石化、绢云母化、绿泥石化、大理岩化、镜铁矿化等. (v) 多方向的构造滑脱作用是该区滑脱构造的一个典型特征, 也是铜陵地区构造分层作用的一个主要方式. 铜陵地区经历了多期次的构造变形复合作用, 其中和层间滑脱构造复合的构造变形有: 和北东向的左旋压剪变形的复合使区域滑脱面发生波状起伏直至平面及剖面上都表现为 S 状; 和区域东西向褶皱的叠加复合使早期北西-南东方向的滑动出现近南北向的滑动, 从而在滑动面上褶皱核部出现“双向虚脱”现象, 在狮子山矿田表现为“多层楼式”的滑脱构造特征; 和北北东向断裂

表 2 铜陵矿集区主要滑脱构造层构造变形特征

滑脱层名称	主要特征
$C_{2+3}/D_{3w}$	黄龙-船山组( $C_{2+3}$ )和五通组( $D_{3w}$ )间岩石片理化、糜棱岩化强烈, 层面见有大量的顺层擦痕. 由于滑脱层上下岩性差别较大, 使区域背斜核部厚度增大, 两翼相对减薄. 受顺层剪切作用和岩浆侵位的影响, 原生沉积层纹状黄铁矿层发生强烈的流变褶皱变形
$P_{1g}/P_{1q}$	孤峰组( $P_{1g}$ )和栖霞组( $P_{1q}$ )间层滑作用使厚层灰岩发育宽缓褶皱而硅质岩发育叠瓦状逆冲断层, 形成挤压逆冲带. 层间节理、裂隙极为发育, 岩石破碎
$P_{2l}/P_{1g}$	龙潭组( $P_{2l}$ )和孤峰组( $P_{1g}$ )之间的层滑构造发育于沉积假整合面上, 龙潭组的厚层砂岩变形较弱, 仅形成双峰褶皱. 下伏的孤峰组的硅质页岩则变形相对强烈, 多形成紧闭小褶皱
$P_{2d}/P_{2l}$	大隆组( $P_{2d}$ )和龙潭组( $P_{2l}$ )之间的构造滑脱形成一些典型的拖曳褶皱(两翼倾角不等, 为不对称的斜歪、倒转甚至平卧的小褶皱), 顶厚现象极为普遍
$T_{1y}/P_{2d}$	殷坑组( $T_{1y}$ )和大隆组( $P_{2d}$ )殷坑组底部厚层灰岩上的泥质页岩和页岩变形强烈, 小褶皱非常发育, 规模较小, 枢纽方向有 NE、NNE、EW 和 SN 向. 由于发育揉皱, 使得地层增厚
$T_{1h}/T_{1y}$	和龙山组( $T_{1h}$ )和殷坑组( $T_{1y}$ )滑脱层上发育各方向的紧密尖棱状小褶皱及密集不穿层的破劈理. 层面以下则褶皱规模较大, 褶皱形态较宽缓, 多为同心等厚褶皱和箱状褶皱. 背斜紧闭, 向斜开阔, 发育轴面裂隙
$T_{2n}^1/T_{2n}^2$	南陵湖组上段( $T_{2n}^1$ )和下段( $T_{2n}^2$ )之间层滑造成上下段变形特征有显著差别. 上段的薄层-微薄层灰岩中小褶皱异常发育, 褶皱规模较小, 褶皱紧密, 呈尖棱状, 多为一系列紧闭同斜的多级褶皱组合, 轴面多与层面平行, 形成褶叠层. 下段厚层灰岩变形相对微弱, 多为宽缓同心等厚褶皱

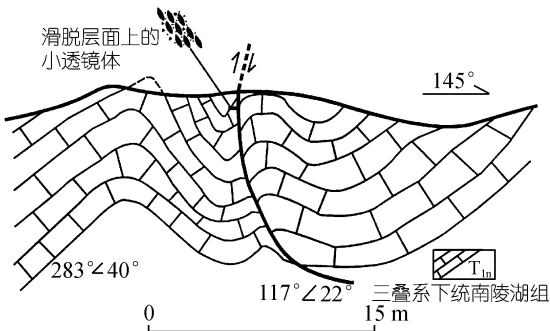


图 3 铜陵凤凰山一带  $P_{2d}/P_{2l}$  层间滑脱带剖面图

系统的复合使北东向的层间滑脱断裂向深部出现小角度的切穿地层现象, 成为沟通深部岩浆及矿液的通道. (vi) 铜陵矿集区层间滑脱构造经历了较长时间的持续演化过程. 构造复合分析表明层间滑脱构造是伴随“S”状褶皱形成而发展的, “S”状褶皱基本卷入了本区晚三叠世以前的所有地层, 因此可以确定褶皱形成于印支期. 本区赋存于层滑断裂空间的岩体同位素年龄值有三个区间分别为: 180~160, 150~130, 100 Ma 左右<sup>[4]</sup>, 说明层滑

断裂活动具有多期性,同时也表明盖层构造分层作用在燕山早期早阶段就达到了高潮.根据以上事实,可以推断,本区层间滑脱构造形成于晚印支期-燕山早期早阶段,同时在燕山中晚期有明显的再活动过程.

### 3 构造分层成矿特征

岩石圈构造分层作用在铜陵矿集区不同层次都有明显的表现.构造分层作用对于本区成岩成矿作用的控制具有重要的意义.前面分析表明:本区构造分层作用在3个层次显示较强,即壳幔边界、基底与盖层边界、前印支期沉积盖层中.这些性质不同的滑移(拆离面)在成岩成矿过程中各司不同的职能,因此构造分层成矿特征也有明显的差异.

位于壳幔边界由高低速互层的物质所组成的莫霍层,这种莫霍面的互层特性本身就说明在这一层次发生过强烈构造分层作用.莫霍面在本区表现为隆起(深度36~38 km),而其两侧则为地幔拗陷(深度40~43 km).长江中下游地区中生代以来的火山作用、侵入作用及区域成矿作用都严格地分布在地幔隆起区内.说明深部地幔结构和上部地壳的构造热事件之间存在着某种程度的藕合关系.因此可以认为壳幔边界构造分层作用为铜陵矿集区提供了成矿的深部背景.

前震旦纪的基底地层是扬子和华北两大板块多次碰撞拼合的记录.孙岩的研究成果表明下扬子地区基底地层处于地壳的中深韧性-粘性变形层次<sup>[6,7]</sup>,因此在区域碰撞造山作用过程中,存在大规模的构造分层作用.董树文论述了在碰撞背景下深层次的构造动力调整导致华北为富铁物质场,而扬子则为富铜物质场,下扬子地区则为具有铜铁背景的混合场<sup>[16]</sup>.其中存在一个复杂的构造动力成岩的过程.可以认为基底层次的构造分层作用为铜陵矿集区提供了成矿的物质来源.直接控制成矿的是前印支期盖层中发育的印支-燕山期层间滑脱断裂系统.这些层间滑脱构造与其他构造的复合部位往往成为良好的成矿空间<sup>[18,19]</sup>.由于盖层中多层次的层间滑动构造表现型式多样,对成矿作用的控制也有明显的分层性.

铜陵矿集区的岩浆侵入作用在地壳表层的就位空间就是层间滑脱构造与其它构造复合部位.构造复合造成了层间滑脱面向深部扩展,驱使岩浆侵入.复合构造导致深部成矿流体向上运移;而层滑构造成为成矿流体在浅部横向运移的主要通道.

铜陵矿集区铜、金、硫、铁矿化较强的部位集中分布在铜官山、狮子山、新桥、凤凰山和沙滩角等5个矿田内.构造分析表明矿田内一般都存在多个方向的滑动断层,造成了虚脱部位的增大,形成减压空间,使成矿流体压力降低,成矿物质沉淀富集.

对于单个矿床而言,矿床的产出受地层物质成分差异及层间滑动断裂构造变形特征的不同而成矿具有明显的选择性.

铜陵地区泥盆系五通组顶部和石炭系底部沉积了一层黄铁矿层,成为本区原生的沉积含矿层(或矿胚层),经后来的热液成矿活动的叠加改造,成矿热液主要沿 $D_{3w}-C_{2+3}$ 层间滑脱构造运移,矿液交代改造了原生沉积黄铁矿层,以叠加改造作用为主形成层控矽卡岩型矿床,如冬瓜山、新桥、天马山等铜、金、硫矿床均属此类;

除层控矽卡岩之外, $P_{1q}-T_2$ 之间的多层层间滑脱构造体系主要为矽卡岩的赋存层位.由于被层间滑脱构造所控制的这套地层系统具有适宜于或有利于形成矽卡岩的沉积岩层或岩层组合,同时在其周围有能引起热变质作用的热源或热液,因此成矿流体沿着这些层间滑脱带运移,与灰岩、白云质灰岩以及白云岩发生交代作用或水/岩反应而成矿,形成层控矽卡岩型矿

床. 老鸦岭矿床、冬瓜山矿床上部矿体、大团山矿床下部矿体及花树坡矿床等属于此类.

多方向层间滑脱构造的相互复合是控制本区“多层楼”矿床的主要控矿型式. 本区北东向的层间滑脱构造普遍发育, 在滑脱构造形成后期又受到东西向褶皱的叠加作用. 东西向褶皱叠加后也会导致南北向的层间滑动, 因此两个方向的滑脱作用导致褶皱的层滑空间增大, 利于矿液的运移及沉淀. 进而出现多层成矿空间, 在铜官山、狮子山及新桥矿田中都有此种类型的矿床(图 4).

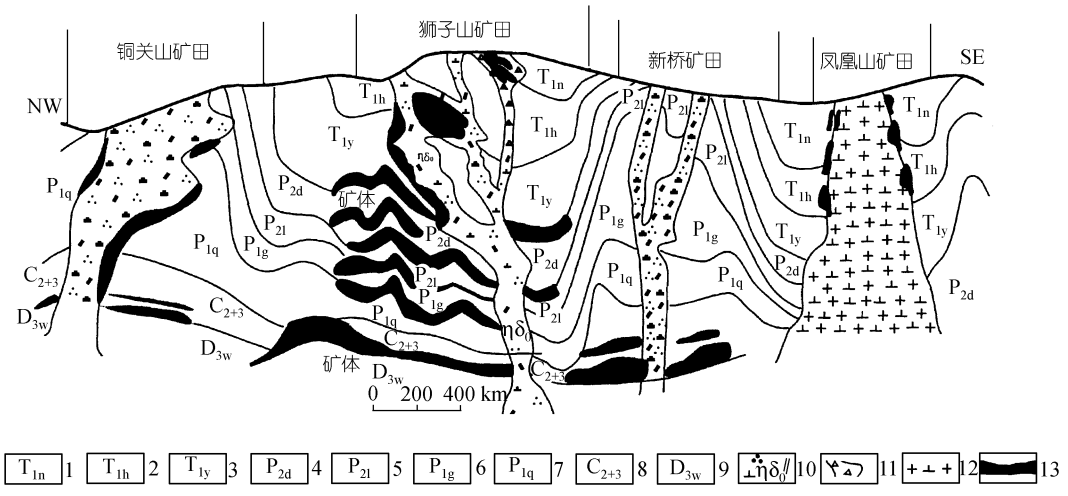


图 4 铜陵矿集区重要矿田构造分层成矿特征示意图

1. 南陵湖组灰岩;
2. 和龙山组条带状灰岩;
3. 殷坑组钙质泥页岩;
4. 大隆组硅质岩;
5. 龙潭组长石石英砂岩;
6. 孤峰组灰岩、硅质岩;
7. 栖霞组硅质岩灰岩;
8. 中上石炭统白云质灰岩、生屑微晶灰岩;
9. 五通组页岩、泥岩石英砂岩;
10. 石英二长闪长岩;
11. 角砾岩;
12. 花岗闪长岩;
13. 矿层

同一矿田矿化的不同阶段也受盖层层滑断裂的控制. 以铜官山矿田为例, 层状黄铁矿层改造阶段: 在滑脱带形成初期, 层间滑动就导致黄铁矿层发生顺层滑动, 由于动力变质作用而使黄铁矿层发生塑性顺层剪切变形而产生动力重结晶作用, 颗粒变大, 遇到岩浆侵入发生交代作用; 磁铁矿化阶段: 由于受前期构造滑动的影响, 滑脱带空间扩大, 使得磁铁矿体沿层间破碎带展布; 铜矿化阶段: 由于后期构造活动进一步加强, 导致层间滑动加剧, 加上区域 NNE 向断裂带的复合, 使层间滑动构造带与深部含铜矿液勾通, 使含矿流体向上部减压部位运移富集. 因此铜官山矿田成矿作用是受多次活动的层间滑部构造的控制.

以上特征表明: 构造分层成矿特征在盖层中有不同的表现形式. 不同层间滑脱带容易形成不同成因类型的矿床, 同一滑脱层的不同部位成矿特征也不尽相同, 这和构造滑动机制、成矿围岩特性及成矿流体的类型有密切关系.

### 4 区域成矿模式

近 20 年来, 岩石圈深部研究成果表明岩石圈存在圈层结构. Ruzhentsev 和 Trifonov 认为岩石圈的一个重要特征是存在大规模的构造分层现象<sup>[20]</sup>. 这种构造分层特征在古老褶皱带及现代造山带中都有表现, 并且这种构造分层特征在造山带形成过程中扮演主要角色. Gamkrelidze 和 Shengelia 认为地壳深部的构造分层作用导致地壳不同层次发生拆离从而在不同深度发生火成

岩的定位<sup>[21]</sup>。岩石圈构造分层作用逐渐应用到造山带及盆地演化过程的研究中。Wheeler 等和 Noack 研究表明, 阿尔卑斯及其他造山带演化过程中主构造线都曾沿着岩石圈先存的构造层面发生过大规模的伸展运动<sup>[22,23]</sup>。岩石圈应力场的产生和岩石圈结构的分层性有关, 最大剪应力集中于不同层次的接触界面处<sup>[24,25]</sup>。在岩石圈多层模式中, 岩石圈应力场来自单层应力场的叠加, 并能形成非常高的应力集中。地球物理资料证实在地壳 7~17 km 深度处存在近水平构造带, 该带以弹性波的突降和高导性为特征。该带存在大量裂隙及充填矿化水溶液。科拉半岛超深钻证明了在该深度上存在近水平分布的含水层。这种含水层受到水平应力作用会导致上地壳大型拆离断层的发生, 从而可能成为地球上造山带和稳定地台形成后发生构造变动的重要地球动力学界面。

孙岩将下扬子地区构造层分为脆性变形构造层(3~10 km)、韧性变形构造层(10~20 km)及粘性变形构造层(> 20 km)。并总结了下扬子地区存在六个区域性的滑动层位<sup>[6]</sup>。铜陵矿集区深部构造及区域构造变形演化特征表明了该区存在强烈的构造分层作用。构造分层作用成为本区成岩成矿的主要控制因素(图 5)。

岩石圈与软流圈之间存在强烈的构造拆离面导致岩石圈发生底侵作用和原始碱性玄武岩浆上涌。由于本区处于地幔隆起带, 在壳幔边界存在高低速互层物质组成的莫霍层发生过较大规模的滑移(拆离), 导致壳层断裂深切壳幔边界, 勾通玄武岩浆的上侵。位于壳幔边界以上的深变质岩系及浅变质岩系是一段范围较广的粘塑性向韧脆性变形层次的过渡地带, 深部岩浆受深变质作用强烈的同化混染形成高钾钙碱性中酸性岩, 并定位于深浅变质岩分界面上的构造拆离带上, 形成深部岩浆房。在张性构造环境的进一步驱动下, 上升致上地壳基底与盖层之间拆离滑脱面上, 形成浅部岩浆房。进入到盖层沉积岩系, 构造分层作用使多层次的层间滑脱构造异常发育, 形成多层次有利于岩浆侵位及成矿作用的空间, 发生成矿热液的运移与沉淀。在不同的部位形成层控矽卡岩型、沉积热液叠加改造型、层状矽卡岩型、接触交代型、热液脉型及斑岩型铜、金、硫、铁等矿床。

## 5 结论与讨论

综上所述, 可以得出如下结论:

(1) 构造分层作用是铜陵矿集区乃至长江中下游成矿带岩石圈的一个典型特征。深部构

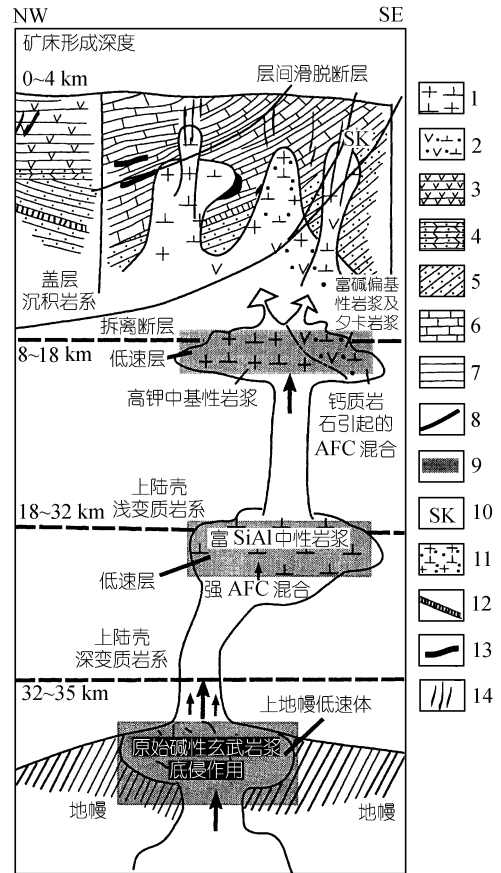


图 5 铜陵矿集区构造分层成矿模式图(据唐永成等<sup>[3]</sup>, 1998 年修改)

1. 石英闪长(斑)岩/花岗闪长斑岩; 2. 富碱偏基性闪长岩; 3. 火山岩; 4. 火山沉积岩; 5. 砂岩; 6. 灰岩; 7. 页岩; 8. 层间剥离断层; 9. 岩石圈低速体; 10. 岩浆夕卡岩; 11. 斑岩型矿化; 12. 层控夕卡岩型矿体; 13. 似层状矿体; 14. 脉型矿体



造圈层对浅部构造圈层的控制是通过不同级别的构造分层作用来实现的。

(2) 铜陵矿集区盖层中发育的多层位、多级别、多种方向的层间滑脱构造是构造分层作用在盖层中的具体表现形式。构造滑脱是在印支期“S”状褶皱的基础上发展起来的,在燕山期持续活动,并和东西向及北北东向变形系统强烈复合。

(3) 构造分层作用对成岩成矿的控制,在盖层中有不同的表现形式。不同层间滑脱带容易形成不同成因类型的矿床,同一滑脱层的不同部位成矿特征也不尽相同,这和构造滑动机理、构造复合特征、成矿围岩特性及成矿热液的类型有密切关系。

### 参 考 文 献

- 1 常印佛,刘湘培,吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带.北京,地质出版社,1991
- 2 刘湘培,常印佛,吴言昌. 论长江中下游地区成矿条件和成矿规律. 地质学报,1988,62(2): 167~177
- 3 唐永成,吴言昌,储国正,等. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质.北京:地质出版社,1998
- 4 刘文灿,高德臻,储国正. 安徽铜陵地区构造变形分析及成矿预测.北京:地质出版社,1996
- 5 Pan-Yuanming, Dong-Ping. The Lower Changjiang (Yangzi/ Yangtze River) metallogenic belt, east central China; intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. *Ore Geology Reviews*, 1999, 15(4): 177~242
- 6 孙 岩,舒良树,刘德良. 论构造分层、流变分层和化学分层作用——以中下扬子区倾滑断裂系统为例. 南京大学学报(自然科学),1997,33(1): 82~91
- 7 孙 岩,李本亮,刘海龄,等. 论层滑、倾滑和走滑断裂系统. 地质力学学报,1999,5(3): 53~57
- 8 李东旭,许顺山,储国正. 陡倾斜滑断裂与层间滑移控制花岗岩浆活动的动力学模式——以下扬子构造带为例. 现代地质(中国地质大学研究生院学报),1999,13(4): 371~377
- 9 储国正,李东旭. 顺层滑动构造对安徽狮子山矿田“多层楼”矿床的控制. 现代地质(中国地质大学研究生院学报),1992,6(4): 504~513
- 10 储国正. 铜陵狮子山矿田构造及其控岩控矿作用的研究. 安徽地质,1992,2(2): 1~14
- 11 黄许陈,储国正. 铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式. 矿床地质,1993,12(3): 221~230, 252
- 12 Reynolds S J, Lister G S. 滑脱断层带内流体与岩石相互作用的构造样式. 世界地质,1989,8(1): 25~31
- 13 Chardon D, Choukroune P, Jayananda M. Strain patterns, decollement and incipient sagducted greenstone terrains in the Archaean Dharwar Craton (South India). *Journal of Structural Geology*, 1996, 18(8): 991~1004
- 14 McNicoll V J, Brown R L. The Monashee decollement at Cariboo Alp, southern flank of the Monashee Complex, southern British Columbia, Canada. *Journal of Structural Geology*, 1995, 17(1): 17~30
- 15 陈沪生. 扬子准地台下扬子盆地 HQ-13 地球物理-地质综合解释纲要. 见: 中国南方油气勘查新领域探索论文集. 第 2 辑. 北京:地质出版社,1988
- 16 董树文. 长江中下游地壳物质的构造动力调整作用. 地质学报,1989,63(2): 97~110
- 17 常印佛,董树文,黄德志. 论中-下扬子“一盖多底”格局与演化. 火山地质与矿产,1996,17(1-2): 1~14
- 18 刘少峰,徐成彦. 下扬子拗陷带印支-燕山期的层滑构造研究. 地球科学—中国地质大学学报,1992,17(5): 555~559
- 19 刘绍澜. 长江中下游滑脱构造体系及其控岩控矿特征. 中南冶金地质,1997,1: 9~15
- 20 Ruzhentsev S V, Trifonov V G. Tectonic layering of the lithosphere. *Episodes*, 1984, 7(1): 44~48
- 21 Gamkrelidze I P, Shengelia D M. Origin of the igneous rocks of the Dzirula crystalline massif (Caucasus) in light of the tectonic layering of the Earth's crust. *Geotectonics*, 2001, 35(1): 51~61
- 22 Wheeler J, Butler R W H. Evidence for extension in the western Alpine Orogen; the contact between the oceanic Piemonte and overlying continental Sesia units. *Earth and Planetary Science Letters*, 1993, 117(3-4): 457~474
- 23 Noack T. Thrust development in the eastern Jura Mountains related to pre-existing extensional structures. *Tectonophysics*, 1995, 252(1-4): 419~431
- 24 Leonov Y G. Intraplate tectonics in light of tectonic layering of the Earth's crust. *Geotectonics*, 1992, 25(6): 459~472
- 25 Suvorov A I. Tectonic layering and tectonic motions in the continental lithosphere. *Geotectonics*, 2000, 34(6): 442~451