

文章编号:0258-7106(2004)03-334-10

安徽铜陵矿集区与块状硫化物矿床有关的热 水沉积岩*

曾普胜¹ 蒙义峰¹ 杨竹森¹ 裴荣富¹ 王训诚²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 安徽省地勘局 321 地质队,安徽 铜陵 244033)

摘 要 通过对铜陵地区系统的填图观察和室内研究,初步确定了铜陵地区海西期的热水沉积岩。它们是:石炭系黄龙组,由下而上、由内到外的层序包括含硫化物滑石蛇纹石岩(由原岩为含水富镁碳酸盐岩+二氧化硅的热水沉积岩变质而成)→块状、层状(含铜金)黄铁矿±铁碧玉±硬石膏±菱铁矿±菱锰矿±硅质岩→含炭质粘土→白云岩;二叠系为栖霞组(含铅锌金)硅质岩、孤峰组(含锰)硅质岩和大隆组(含钼)硅质岩。这些热水沉积岩总体构成铜陵地区晚古生代多期热水活动的格局。常量元素、微量元素和稀土元素的分析结果表明,本区的硅质岩具有热水沉积岩的特征。氧同位素估算的热水硅质岩古温度在 49℃以上。铜陵地区的热水沉积岩对层控矿床的勘查和隐伏矿床的预测评价具有重要的理论和实际意义,尤其是黄龙组底部的热水沉积岩是铜陵地区找矿的重要标志,对于指导长江中下游地区,如宁芜等地,寻找该层位的矿床有着不可替代的指示意义。

关键词 地球化学 热水沉积岩 块状硫化物矿床 铜陵**中图分类号**:P618.3**文献标识码**:A

在长江中下游成矿带,是否存在喷流-沉积成因的块状硫化物矿床,一直是一个长期争议的问题,有人认为存在海西期喷流-沉积(徐克勤等,1978;顾连兴等,1986;1987;1999;顾连兴,1990);有人则认为不存在海西期喷流-沉积(黄志诚等,1999)。众所周知,喷流-沉积成因的块状硫化物矿床,不论是 VHMS 型还是 SEDEX 型,除具备由标志热液补给通道的脉状-网脉矿带与化学沉积产生的层状块状矿带构成的“双层”结构外(Franklin et al., 1981; Lydon et al., 1988),通常还伴生一套喷气岩或喷气沉积岩(侯增谦等,2003)。后者要么作为块状硫化物矿体的边缘相,要么与块状硫化物矿层同层位产出,构成所谓的“同矿石层位”。这些喷气岩或喷气沉积岩的发育常常标志着海底热水流体的活动,形成于热水喷流系统的启动期或衰减期(侯增谦等,1996),因而成为判别海底喷流-沉积成矿作用的重要标志。

在铜陵矿集区,上泥盆统五通组之上的地层中广泛产出与喷流-沉积型块状硫化物矿床相伴的热

水沉积岩(图 1),但各处产出厚度变化较大,其中,以铜官山矿田松树山矿段、马山矿段、狮子山矿田冬瓜山矿床、新桥矿田、水竹岭矿床、峙门口矿床等地厚度较大,可达数米至数十米。此外,铜官山背斜南段上徐金矿、五峰山硫铁矿、桃园硫铁矿、小涝铁矿等地也有零星分布。热水沉积岩与含铜、金的黄铁矿或磁黄铁矿紧密共生,成为铜陵地区海西期层控矿床的找矿标志和区域对比标志。前人对铜陵地区的热水沉积岩有过少量研究(刘裕庆等,1984;夏邦栋等,1995;徐跃通,1997;曾普胜等,2002),但缺乏系统性。本文在系统的野外填图基础上,对铜陵地区的热水沉积岩作简单总结,讨论其产状、成因及其在找矿勘查中的意义。

1 热水沉积岩的产状和岩石学特征

铜陵矿集区的热水沉积岩主要分布于石炭系黄龙组(C₂h)底部、二叠系栖霞组(P₁q)下部、孤峰组(P₁g)和大隆组(P₂d)(图 1)。

* 本文受国土资源部科技司专项研究计划(编号:B0002-3)和地质调查项目(编号:20010000004)资助

第一作者简介 曾普胜,男,1964年生,副研究员,主要从事矿床学、岩石学研究。Email: zengpusheng@sohu.com。

收稿日期 2003-11-18; 改回日期 2004-06-16。张绮玲编辑。

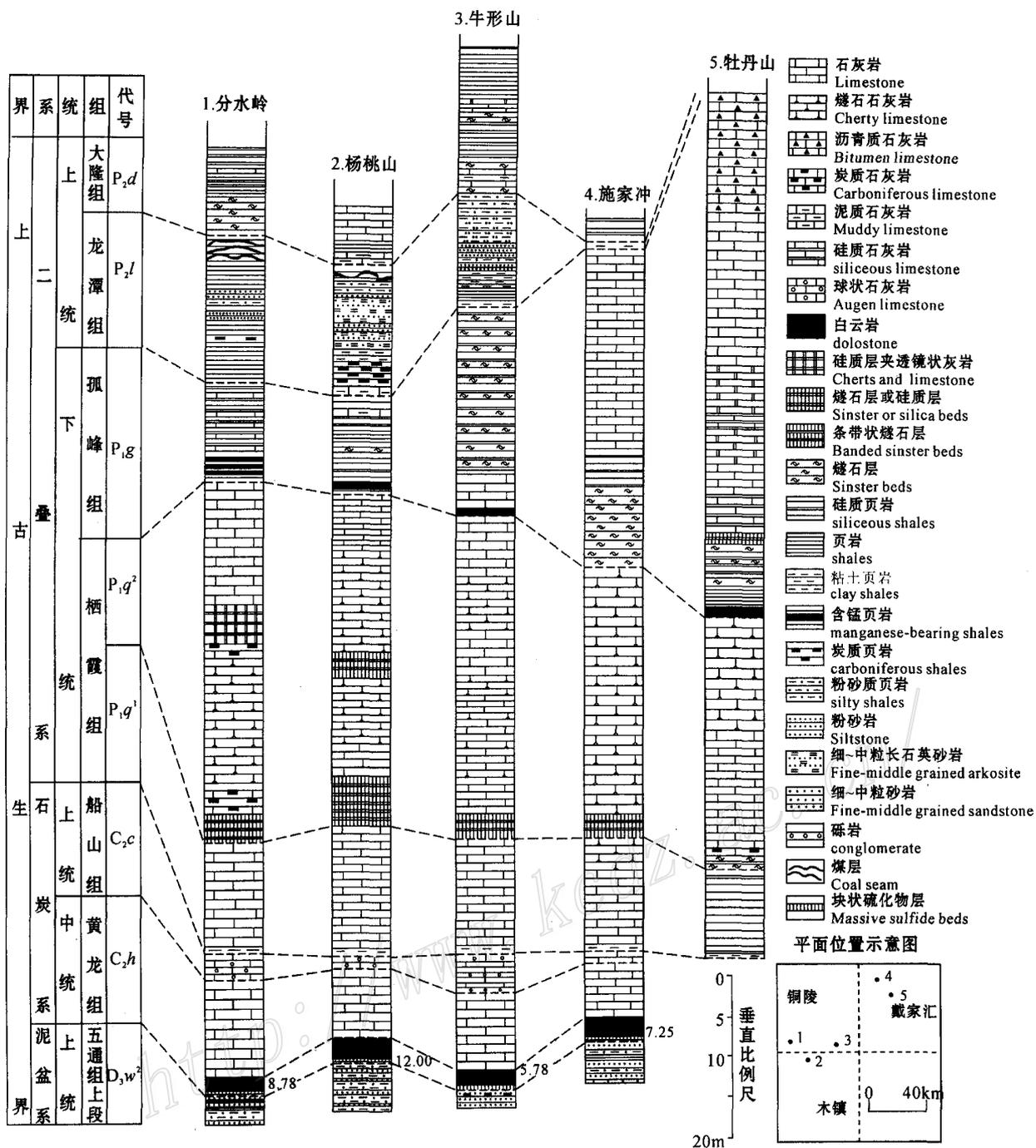


图 1 铜陵地区海西期含矿层位柱状对比图

Fig.1 Correlation of Hercynian ore-bearing formations in Tongling area

石炭系黄龙组 (C_2h) 白云岩与上泥盆统五通组 (D_3w) 泥质粉砂岩或粉砂质页岩之间所夹的热液沉积层是铜陵矿集区最主要的矿胚层 (protore) 或贫矿

体; 栖霞组 (P_1q) 的含铅锌和金 (?) 硅质岩层在焦冲、潘冲、马山等地可见, 热液沉积方解石层夹于含炭质粘土中; 孤峰组 (P_1g) 的含菱锰矿 (风化为软锰矿和

● 安徽省地勘局 321 地质队, 1969. 1: 5 万铜陵幅区调报告. 内部资料.

硬锰矿+方解石)硅质岩层主要分布于大成山背斜东翼、杨桃山-五峰山、马山等地;大隆组(P_2d)含辉钼矿硅质岩见于老鸦岭矿床、五贵桥矿床等地。这些含矿的硅质岩层在一定程度上也可被看作矿胚层。

1.1 石炭系黄龙组热水沉积岩

黄龙组(C_2h)底部热水沉积岩自下而上有规律地分布,分别由黄铁矿胶结的石英细砾岩、纹层状(含铜)蛇纹石滑石岩(原岩为硅质组分+石膏+白云石+硫化物)、块状硫化物层(+硬石膏+铁碧玉岩+重晶石+炭质+粘土)、白云岩或白云质灰岩组成。

(1) 石英细砾岩中的胶黄铁矿(最底部),从西部的铜官山矿田到东部的新桥矿田牛山矿段(即现在的虎山金矿)都稳定存在。磨圆度极好,粒度为0.5~5 mm的滨海相石英被微细粒黄铁矿胶结,黄铁矿增多时可见到沉积纹层(图2)。新桥以东缺失这套石英细砾岩,到南部的水竹岭等地它相变过渡为泥岩,这表明在黄龙组石英细砾岩沉积时期(威宁期),本区西部相对较低而东部高出水面。

(2) 纹层状(含铜)蛇纹石岩,主要分布于西部的铜官山矿田和狮子山矿田的矿层底部,到东部新桥一带则相变为蓝色粘土和碎屑岩。该套岩石在小铜官山、马山等地厚度一般数十厘米,但在冬瓜山矿区可厚达数米,并作为矿体底部的标志层和贫矿体。

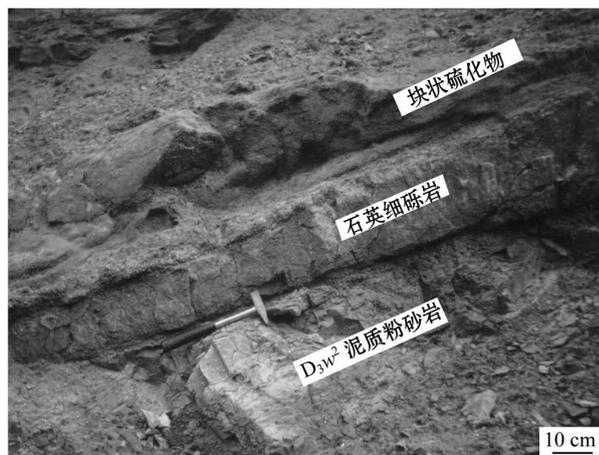
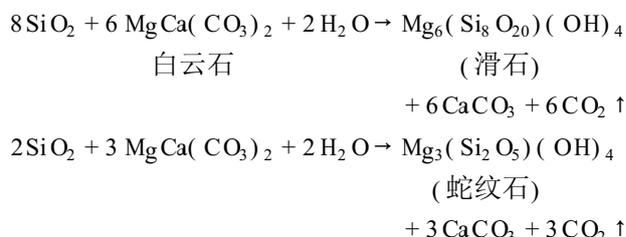


图2 新桥矿田虎山金矿黄龙组底部黄铁矿胶结石英细砾岩层

Fig.2 Stratified pyrite-cemented fine quartz conglomerate at the bottom of Huanglong Formation in Hushan block of the Xinqiao ore field

纹层状、马尾丝构造发育,与现代红海沉积的深海金属软泥特征十分相似。镜下可见石膏板状和菱铁矿假晶。它们是含硅、镁的热水沉积岩(隐晶石英+白云石+石膏+硫化物±冰长石等)在燕山期岩浆活动的局部热场作用的结果。可能的反应是:



这种反应可以是在近于封闭的等化学(无成分带入带出)条件下完成的,类似于角岩的受热变质。在远离侵入体且未见通道与岩浆连通时仍可见到这类蛇纹石滑石岩,含铜相对较低(在冬瓜山矿床中铜含量为0.1%左右);也可以是半封闭或开放系统,有岩浆成分加入,局部可见到石榴石或透辉石矽卡岩呈脉状或带状穿入纹层状块状硫化物中,铜含量相对增高,可大于1%。在冬瓜山矿床中,这种稳定呈层的含铜蛇纹石岩可见到两层,一层位于矿体底部,与马山、松树山矿段矿体底部的层位相当;另一层位于下部的块状硫化物矿体之上,其特征与第一层极为相似,也发育马尾丝构造和纹层状构造,为第二个热水沉积旋回的标志,在冬瓜山矿床-730 m中段52线-50线间可见。这表明冬瓜山矿床的热水沉积不是单一期次完成的,最厚可达69 m的巨厚块状硫化物层是多期次热水活动的产物。

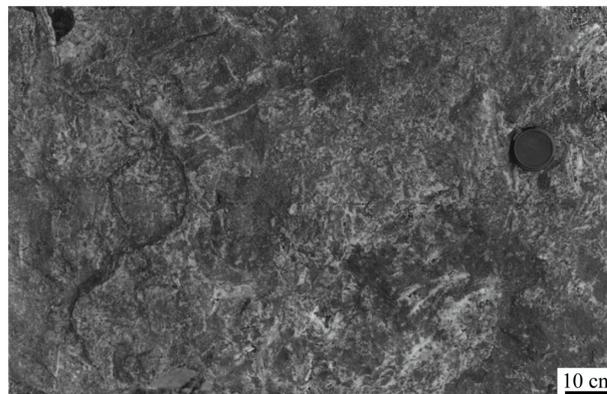


图3 新桥矿床底部的富铜金含火焰状石英块状硫化物

Fig.3 Copper-, gold-rich massive sulfides infilled by fume-like quartz in the Xinqiao mine, Anhui Province

(3) 块状硫化物层(±铁碧玉±重晶石±菱铁矿±硬石膏±炭质),在各矿田内都较发育。离开喷发中心后发育规模不等的铁碧玉、重晶石、菱铁矿、硬石膏或炭质等,它们与块状硫化物层一起构成 SEDEX 矿床的有机整体。块状硫化物在新桥矿田、狮子山矿田冬瓜山矿床、铜官山矿田马山矿段-松树山矿段、水竹岭金矿、峙门口硫铁矿、桃园硫铁矿、小涝铁矿等地发育,矿体呈块状、纹层状、似层状产出。浅水区的新桥-虎山一带近喷口处,爆破导致的复成分角砾岩被黄铁矿或胶黄铁矿胶结,也可见硫化物堆积垮塌的块状-胶状黄铁矿呈角砾被细粒黄铁矿或胶状黄铁矿胶结。在新桥矿田块状硫化物底部可见到较早的石英脉注入到未固结的堆积物中引起硫化物假角砾化的现象,并使热液中硅饱和而出现火焰状或团斑状石英(图 3),这类矿石含金铜较高,平均 $w(\text{Au}) > 1 \text{ g/t}$, $w(\text{Cu}) > 0.3\%$ ^①,是新桥矿区目前开采铜金的主要对象。冬瓜山、马山等矿床中矿体虽然厚大,但爆破角砾岩型块状硫化物较少见,可能与喷流-沉积时水体相对较深,不易爆破有关。块

状硫化物具有明显的多旋回特点,仔细观察发现,新桥块状硫化物有 4 个以上的沉积旋回(图 4),热水沉积高峰期则为块状和层状硫化物组成,间歇期沉积物为蓝色粘土(水为较深的冬瓜山矿区为碳酸盐),可见喇叭状铁碧玉质角砾岩筒,为热水沉积的喷口之一,其中的铁碧玉外貌与褐铁矿相似,但因特别坚硬可与褐铁矿相区别,其外侧有层状、透镜状重晶石和水蛋白石夹于蓝色粘土中,并可见喷口附近堆积垮塌导致的复成分混杂角砾岩,角砾成分为赤铁矿、黄铁矿、重晶石、水蛋白石等,基质为含炭质(蓝色)粘土。

(4) 白云岩层,在铜陵或长江中下游地区的同生沉积块状硫化物之上,为黄龙组底部的标志性层位,层位较稳定(图 1),区域上称其为威宁期老虎洞组白云岩(岳文哲等,1993)。在威宁中、晚期这种“多滩岛碳酸盐浅陆表海沉积相”环境中(岳文浙等,1993),张裂环境下热水沉积作用使海水的钙镁含量区域性升高(热水带来的其他金属如 Fe、Cu、Pb、Zn 等已先期沉淀),导致在长江中下游地区形成区域性

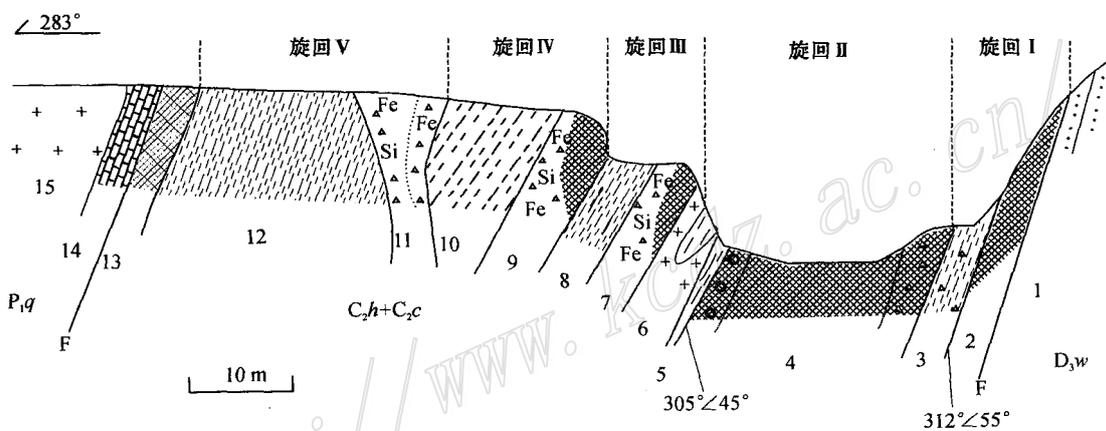


图 4 新桥沉积-喷流块状硫化物矿床 19 勘探线剖面略图

1—五通组石英砂岩 (D_3w), $C_2h + C_2c$ 石炭系黄龙组+船山组; 2—含纹层状黄铁矿泥质砂岩; 3—蓝灰色含构造角砾粘土岩; 4—块状硫化物,下部含角砾,上部为胶黄铁矿; 5—蓝色粘土岩; 6—含蓝色软泥捕房体的石英二长闪长岩; 7—铁碧玉+块状硫化物; 8—含重晶石蓝色软泥; 9—铁碧玉+块状硫化物; 10—含重晶石菱锰矿蓝色软泥; 11—角砾岩筒:下部为赤铁矿,上部为铁碧玉; 12—含次棱角状重晶石-黄铁矿滑塌角砾的蓝色粘土岩; 13—块状黄铁矿层; 14—大理岩化沥青灰岩; 15—蚀变石英二长闪长岩

Fig.4 Schematic section along No. 19 exploration line of Sedex-type massive sulfides in Xinqiao

1—Quartz sandstone of Upper Devonian Wutong Formation (D_3w); Upper Carboniferous Huanglong Formation plus Chuanshan Formation ($C_2h + C_2c$); 2—Laminar pyrite-bearing argillaceous sandstone; 3—Blueish gray structural breccia-bearing clay; 4—Massive sulfides (with breccia at the bottom and melnikovite at the top); 5—Blue mud (clay); 6—Quartz monzodiorite with xenolith of blue clay; 7—Jasper plus massive sulfides; 8—Blue clay with barite; 9—Jasper plus massive sulfides; 10—Blue clay with barite and rhodochrosite; 11—Breccia pipe (hematite at the bottom and jasperite at the upper part); 12—Blue clay with subangular slump brecciated barite and pyrite; 13—Massive pyrite beds; 14—Marblized bituminous limestone; 15—Altered quartz monzodiorite

① 安徽省地勘局 321 队. 1989. 铜陵新桥矿区补勘地质报告.

分布的黄龙组或老虎洞组白云岩(刘裕庆等,1984;岳文哲等,1993)。事实上,整个长江中下游地区乃至华南大多数热水沉积矿床的上部都表现为白云岩或白云质灰岩-碳质层组合。国内外许多热水沉积型或 VHMS 型矿床的矿层之上都发育白云岩或白云质灰岩,如东川铜矿落雪组白云岩(刘继顺等,1996;张学诚等,1994)、白云鄂博稀土铁矿的白云鄂博群白云岩(杨子元,1994;Le Bas et al., 1997)、中条山铜矿的余家山组白云岩(孙海田等,1990)、澳大利亚的 Broken Hill 铅锌矿的白云岩(Large, 1992)、加拿大的萨利文铅锌矿之上的白云岩(哈钦森,1988)、陕西省凤县-太白县地区泥盆系金-多金属成矿带之上分布着星红铺组白云岩,穿盆同生断裂(crossing-basin synfaults)控制的三级热水沉积盆地中硅质铁白云岩是广泛分布的一种岩石(方维萱,1999b)。

白云岩多被认为是潮坪环境下像撒布哈模式那样由蒸发泵(evaporative pumping)机制形成的(许靖华,1980)^①,即在干旱、蒸发快的环境下,太阳能形成的蒸发作用使潮上带环境的地下水的水头向上运动,带来的海水使已沉积的岩石白云岩化,白云岩之上常伴有纹层状藻席(叠层石)和片状、鸡笼铁丝网状(chicken-wire)石膏。前人详细的岩相和生物古地理研究(岳文浙等,1993),表明黄龙组时期,大部分时间海水通畅,盐度正常。因此,不可能具备形成白云岩的泻湖或者撒布哈环境,黄龙组(C_2h)白云岩也未见伴生的叠层石和石膏。因此,用潮上带蒸发的撒布哈模式难于解释其中白云岩的形成。白云岩与上、下地层均呈区域上的整合接触,白云岩中未见其他硫化物浸染,也难用后期热液交代的密西西比型(MVT)模式来解释。

铜陵地区黄龙组底部分布广泛的块状硫化物矿床和白云岩,不能简单地解释为铜陵半岛的陆相风化剥蚀,或潮坪相泻湖相“有利于黄铁矿的形成(袁旭音,1990)”和白云岩的形成。因为,在小安德列斯群岛上的佩开尔米尔(Pekelmeer)泻湖中打钻,泻湖的沉积物中都是文石和石膏,并无白云石及白云石化现象(许靖华,1980)。泻湖相中的白云岩只是一个想象的模式,到目前为止,并未发现任何一个古代或现代泻湖中沉积白云岩的例子。

以上这些整合于热水沉积的块状硫化物之上的白云岩和白云质灰岩可能正是热水沉积作用之后海水中镁离子浓度增高和还原性增强的必然结果。块状硫化物矿层之上有白云岩分布是一种较普遍的现象,这类白云岩可以作为矿层顶板的标志。

1.2 二叠系热水沉积岩

二叠系地层中的热水沉积矿(化)层,除上述黄龙组(C_2h)底部的含矿层和白云岩外,还有栖霞组(P_1q)的硅质岩,分布广,含铅锌和金(?)硅质岩层在焦冲、潘冲、马山等地可见;孤峰组(P_1g)硅质岩广泛分布于铜官山背斜青山背斜和大成山背斜两翼,单层厚度 20~50 cm,含菱锰矿(风化为软锰矿和硬锰矿+方解石)硅质岩层主要分布于大成山背斜东翼、杨桃山-五峰山、马山等地;大隆组(P_2d)硅质岩,分布范围近于孤峰组硅质岩,单层厚度 0.5~5 cm(图 5),含辉钼矿者分布于老鸦岭矿床、五贵桥矿床等地。这些硅质岩具有明显的热水沉积岩特征,在一定程度上也可看作矿胚层(图 1)。

上述石炭纪至二叠纪的几类热水沉积产物表明,铜陵地区的热活动具有间歇式、多次活动的特征,持续时间从黄龙组到大隆组(C_2h-P_2d)。热水沉积岩构成铜陵地区主要的矿(源)层和矿胚层。以下以硅质岩为例简述其地球化学特征。

2 热水沉积硅质岩的地球化学特征

前人对鄂东南地区的晚二叠世大隆组中存在数



图 5 铜陵市东郊的大隆组薄层状硅质岩
眼球状粘土指示硅质岩形成于浅水环境
Fig.5 Thin-layered chert of Dalong Formation (P_2d) in
east suburban area of Tongling City, Anhui Province
Augen clay intercalated in chert beds indicating chert
formed in a shallow water environment

① 许靖华, 1980. 许靖华教授沉积学讲座讲稿汇编. 成都地质矿产研究所, 93~102.

层与地层整合产出的薄层状硅质岩进行过微量元素、微量元素、稀土元素、硅和氧同位素地球化学的研究,表明其为热水沉积硅质岩,在浅海环境下沉积(徐跃通,1997;夏邦栋等,1995;Xia et al., 1995)。初步研究显示,铜陵地区各层位的硅质岩也为热水硅质岩,它们与鄂东南等地硅质岩一起,为长江中下游地区晚古生代时期海槽裂陷缓慢拉张条件下热水多次活动的产物。

常量元素和稀土元素特征显示铜陵地区的硅质岩多数为热水沉积硅质岩,硅质岩的古温度范围为 49~187℃(曾普胜等,2004),也反映出硅质岩为热水沉积硅质岩。

铜陵矿集区海西期块状硫化物(矿物组合以黄铁矿和胶状黄铁矿为主,另有少量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿),其硫同位素分析统计结果(杨竹森等,

2004)显示,黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值分布范围较宽,为 $-31.8\text{‰} \sim 20.0\text{‰}$,但绝大多数样品分布在 $1\text{‰} \sim 7\text{‰}$ 之间,平均为 4.0‰ ,其与硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值相差约 14.2‰ ,与 Sangster(1976)统计的非火山环境喷气沉积块状硫化物矿床的硫同位素组成比同时代海水硫同位素组成平均低 13.9‰ 相吻合,说明铜陵矿集区海西期喷流系统形成的黄铁矿的硫主要为循环海水硫的无机还原来源。硫化物外围的硫酸盐(重晶石和硬石膏等) $\delta^{34}\text{S}$ 值多在 $11.2\text{‰} \sim 22.8\text{‰}$ 之间(表 1,图 6),与海水硫酸盐的硫同位素相当,而有别于戴家冲一带风化成因石膏的硫同位素组成(表 1)。可见,区分热水沉积矿床与岩浆热液矿床,硫酸盐的硫同位素组成是一个有效的手段。

无论是岩浆热液矿床的黄铁矿还是远离岩体(如峙门口)的热水沉积矿床的黄铁矿,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值都在

表 1 铜陵矿集区海西期块状硫化物有关的硫酸盐硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotope composition of sulfates from the Hercynian massive sulfides

样号	产地	层位	样品名称	矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}/\text{‰}$
D73054-24-1	冬瓜山	黄铁矿层	含黄铜矿硬石膏岩	硬石膏	15.3
XQ1-5	新桥	黄铁矿层	含浸染状石膏灰黑色灰岩	硬石膏	11.2
XQ623-5	新桥	黄铁矿层	含重晶石黄铁矿泥岩	重晶石	16.2
TY1 024-4	桃园	黄铁矿层	含重晶石块状黄铁矿	重晶石	16.0
DI 72-8	峙门口	黄铁矿层	含重晶石块状黄铁矿	重晶石	14.1
DI 72-12	峙门口	黄铁矿层	含似层状重晶石块状黄铁矿	重晶石	16.7
DI 72-5	峙门口	黄铁矿层	含重晶石炭质纹层状胶黄铁矿	重晶石	18.9
SZLP-5-1	水竹岭	黄铁矿层	含重晶石团块胶黄铁矿	重晶石	19.9
D744-2	山搠旺	黄铁矿层外围	团块状重晶石	重晶石	22.8
D747-1	山搠旺	黄铁矿层外围	团块状重晶石	重晶石	22.8
D798-2	虾塘村	黄铁矿层外围	团块状重晶石	重晶石	22.5
D610-3	新桥头	底板蚀变岩系	重晶石菱铁矿脉	重晶石	20.9
DI 070-2	低岭	底板蚀变岩系	重晶石菱铁矿脉	重晶石	18.8
DJCI 023-1-2	戴家冲	风化成因黄铁矿层	含次生石膏团块黄铁矿	石膏	8.4

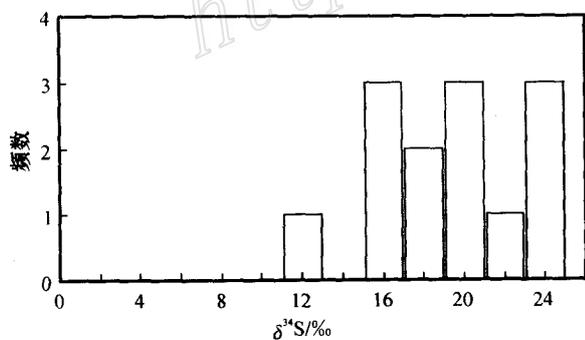


图 6 铜陵地区海西期硫化物硫同位素直方图

Fig.6 Histogram showing the range of S isotope of Hercynian sulfides from Tongling area

$-1\text{‰} \sim 5\text{‰}$ 之间,平均值 2‰ ,显示出深源硫的特征。这可能是由于铜陵地区石炭纪热水沉积的块状硫化物形成时的热水溶液温度较高(300℃ 左右),热水溶液喷出地表后迅速卸载沉淀而来不及与海水交换,以这种方式形成的块状硫化物(黄铁矿)的硫同位素组成与岩浆热液形成的大致相同,难以区分。

3 关于热水沉积岩及其相关的热流体演化的探讨

洋脊岭上的 3 类主要的喷流-沉积式样反映了原始高温热水溶液与海水不同程度混合或稀释的情况

(Edmond et al., 1979): ①当原始的高温热水溶液直接泻于海底时沉淀块状硫化物; ②温度稍低且浓度稀的热水溶液则沉淀相对纯的锰质沉积物; ③铁-锰质混合的沉积物则代表前述两者的中间阶段。

在铜陵地区, 尽管没有大规模的火山岩存在, 但从沉积产物的特征分析, 铜陵地区海西期黄龙组(C_2h)底部的块状硫化物应当是高温的原始热水溶液直接在水下卸载沉淀的结果, 新桥远离岩体的含石英块状硫化物(样品号 XQP6-1、XQP6-2)的流体包裹体均一温度为 $239.0 \sim 241.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ^①, 表明其温度较高。

硅质岩的氧同位素数据可反映热水硅质岩温度变化情况(Knauth et al., 1976; Clayton et al., 1972), 与块状硫化物矿体密切共生的硅质岩与现代海底硫化物硅质烟囱形成温度相当(侯增谦等, 1996), 本区硅质岩的氧同位素分析结果及对应的古温度计算表明, 铜陵地区硅质岩形成的古温度在 $49 \sim 246 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间(曾普胜等, 2004), 即便是热水成分相对较少的栖霞组硅质结核灰, 其氧同位素反应的古温度都在 $49 \text{ }^\circ\text{C}$, 结合矿物组合分析, 其余地段的栖霞组(P_1q)含微细粒铅锌矿和热水方解石的热卤水温度可能相对较高, 但活动规模已不如黄龙组时期那么宏大, 局限于焦冲、大成山背斜、马山等地, 其余地段的热活动温度较低、持续时间较长, 导致栖霞组上段硅质岩分布广泛。

孤峰组(P_1g)时期的硅质岩在东部横山岭一带古温度高达 $94 \text{ }^\circ\text{C}$ (曾普胜等, 2004), 无锰矿化显示; 而大成山背斜的含锰热水硅质岩应当是较冷而稀的热水溶液沉淀的结果, 从含锰硅质岩的单层厚度 $20 \sim 50 \text{ cm}$ 判断, 其单次热水活动的规模仍较大, 热水温度可能高于东部的无锰矿的硅质岩。从含锰硅质岩的分布来看, 这一时期的热水活动中心主要集中在大成山背斜的瑶山一带, 其热水活动规模比黄龙组时期明显减弱。

大隆组(P_2d)时期的硅质岩仅局部钼矿化, 单层厚度小, 相对地, 含炭质也较少, 说明这个时期的热水活动水温更低, 含金属更少(更稀的溶液)。含金属(钼)的热水沉积仅局限于老鸦岭和五贵桥等地, 预示着这一时期热水活动规模已大大减弱, 且热水浓度很低。

需要指出, 表3中新桥、狮子山一带栖霞组或孤

峰组、大隆组的硅质岩氧同位素估算的古温度高达 $150 \sim 249 \text{ }^\circ\text{C}$ (曾普胜等, 2004), 可能属于后期岩浆叠加扰动所致, 估算的温度可能较沉积时期的实际温度要高。

由上面的分析可见, 铜陵地区, 从 $C_2h \rightarrow P_1q \rightarrow P_1g \rightarrow P_2d$, 热水活动的温度由高到低, 热水含金属浓度逐渐降低。尽管各个时期的热水活动构成一个独立的热活动旋回, 并具有各自不同的主要金属组合, 分别为 $\text{Cu Au S} \rightarrow \text{Pb Zn} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{Mo}$, 但它们共同构成海西期一个相互关联、逐渐衰减的热活动旋回。这种大的热活动旋回是九瑞地区-广西大厂等地的扬子地块海西期大范围的热活动事件的一部分, 与下扬子地区海西期长期的、较弱的拉张背景有关。

4 热水沉积岩在找矿勘查中的意义

热水沉积岩是区域含矿源层的对比和找矿的标志层, 黄龙组底部的热水沉积岩, 包括含铜蛇纹石岩和白云岩是长江中下游地区重要的找矿标志层, 尽管从鄂东南 \rightarrow 九瑞 \rightarrow 铜陵 \rightarrow 南京, 成矿的主元素有从铜金到铅锌的变化趋势, 但硫化物之上的白云岩具有可比性, 含铜蛇纹石岩在多个矿区作为矿层的底板甚至本身构成贫矿体。该层位对于铜陵地区的深部隐伏矿的预测和寻找有重要帮助, 对在宁芜盆地之下寻找“铜陵式”的块状硫化物矿床又具有意义。栖霞组硅质岩在马山、焦冲、潘冲一带的矿化提示, 本层的热水沉积局部仍可构成工业矿体。焦冲金矿的勘探结果表明, 同生沉积的纹层状、块状硫化物含金、铅、锌, 矿床规模达中型。大成山背斜的孤峰组硅质岩有关的锰矿也具有一定的经济价值。

需要强调的是, 黄龙组底部的热水沉积岩是铜陵地区找矿的重要标志。对于指导长江中下游其他地区, 如宁芜等地, 寻找该层位的矿床有着不可替代的指示意义。

5 结论

从上面的分析和讨论中可以得出以下结论:

(1) 铜陵地区海西期热水沉积作用伴随有热水沉积岩的形成。石炭纪黄龙组时期的由下而上, 由内到外的热水沉积层序可包括含硫化物滑石蛇纹石岩(由原岩为含水富镁碳酸盐岩 + 二氧化硅的热水

① 中国地质科学院矿产资源研究所. 2003. “大型矿集区深部精细结构与含矿信息”项目阶段研究报告.

沉积岩变质而成) → 块状、层状(含铜金)黄铁矿 ± 铁碧玉 ± 硬石膏 ± 菱铁矿 ± 菱锰矿 → 硅质岩 → 白云岩; 二叠纪时期包括栖霞组(含铅锌金)硅质岩、孤峰组(含锰)硅质岩和大隆组(含钼)硅质岩。晚古生代的铜陵地区, 热水活动总体表现出多期活动并逐渐减弱的特征。

(2) 硅质岩常量元素、微量元素和稀土元素的分析结果表明, 它们具有热水沉积岩的特征。氧同位素测试结果也表明硅质岩为热水沉积岩。

(3) 铜陵地区的热热水沉积岩对层控矿床的勘查和隐伏矿床的预测评价具有重要的理论和实际意义。黄龙组底部的热水沉积岩是铜陵地区找矿的重要标志。对于指导长江中下游地区, 如宁芜等地, 寻找该层位的矿床有着不可替代的指示意义。

致谢 本项目得到常印佛院士的指导和鼓励, 安徽地勘局储国正博士、孙军高级工程师、许发友总工程师、青山金矿的程年进科长、虎山金矿的方七林矿长、新桥矿业公司的刘洪涛、高茂生、宋刚等诸位专家和领导给予大力支持。侯增谦研究员审阅了文章初稿, 并提出了具体修改意见。在此一并致以衷心的感谢。

References

- Bostrom K, Kraemer T and Gartners S. 1973. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Fe, Ti, Mn, Ni, and Co in Pacific pelagic sediment[J]. *Chemical Geology*, 11(1/2): 123 ~ 148.
- Bostrom K, Rydell H and Joensuu O. 1979. Langbank: an exhalative sedimentary deposit[J]. *Econ. Geol.*, 74(5): 1002 ~ 1011.
- Crerar D A, Namson J, Chyi M S, et al. 1982. Manganiferous chert of the Franciscan assemblage: I. General geology ancient and modern analogues and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers[J]. *Econ. Geol.*, 77(3): 519 ~ 540.
- Edmond J M, Measures C, Mangum B, et al. 1979. On the formation of metal-rich deposits at ridge crests[J]. *Earth Planet. Sci. Letters*, 46: 19 ~ 30.
- Fang W X, Liu F J, Hu R Z, et al. 2000. The characteristics and diagenetic-metallogenic pattern for cherts and siliceous ferrodolomites from Fengtai apart-pull basin, Qinling orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 700 ~ 710(in Chinese with English abstract).
- Fleet A J. 1983. Hydrothermal and hydrogeneous ferromanganese deposits[A]. In: Rona P A, et al. eds. *Hydrothermal process at sea floor spreading center*[C]. 537 ~ 570.
- Franklin J M, Sangster D F and Lydon J W. 1981. Volcanic-associated massive sulfide deposits[J]. *Econ. Geol.*, (75th Anna): 485 ~ 627.
- Gu L X and Xu K Q. 1986. On the Carboniferous submarine massive sulphide deposits in the Lower reaches of the Chanjiang(Yangtze) River [J]. *Acta Geologica Sinica*, 66(2): 176 ~ 188(in Chinese with English abstract).
- Gu L X and Xu K Q. 1987. Tectonic evolution and metallongy of fault-depression zone in the Middle-Lower Reaches of the Yangtze River [J]. *J. Guilin College of Metallurgy & Geology*, 7(4): 243 ~ 251 (in Chinese).
- Gu L X. 1990. An initial rift in the Middle-Lower Reaches of the Yangtze River and its prospecting[J]. *Geology of Jiangsu*, (2): 1 ~ 14(in Chinese).
- Gu L X and Fu S G. 1990. Fault-induced depressing, volcanism and massive sulphide formation of the Lower Yangtze region at the Weining stage: a reply[J]. *Geological J. China Universities*, 5(2): 228 ~ 231(in Chinese).
- Han F and Hutchinson R W. 1989. Evidence for hydrothermal exhalative sedimentary origin of the Dachang tin-poly metallic deposits—geochemistry of rare earth elements and trace elements of the host rocks[J]. *Mineral Deposits*, 8(3): 33 ~ 42(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Han F, Xia L Q, et al. 2003. Hydrothermal system and metallogeny on the modern and ancient seafloor[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 430(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Wu S Y and Urabe T. 1996. Silicon, oxygen isotopic compositions of cherts in Kuroko-type deposit, Gacun, Sichuan and comparison with silicon chimneys on modern seafloor[J]. *Geological Reviews*, 42: 531 ~ 540 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z C. 1999. Oppugn about the submarine volcanic eruption-sediment of the Huanglong formation in Xinqiao, Tongling, Anhui Province[J]. *J. Chinese Univ. Geosciences*, 5(1): 110 ~ 112(in Chinese with English abstract).
- Large R R. 1992. Australian volcanic-hosted massive sulfides deposits: features, style and genetic models[J]. *Econ. Geol.*, 87(3): 471 ~ 510.
- Le Bas M J, Spiro B and Yang X M. 1997. Oxygen, carbon and strontium isotope study of carbonatitic dolomite host of the Bayan Obo Fe-Nb-REE deposit, Inner Mongolia, N China[J]. *Mineral Magazine*, 531 ~ 541.
- Liu J S, Wu Y Z and Duan J R. 1996. Mechanism of the exhalative-sedimentary metallogeny in the Dongchuan copper orefield[J]. *J. Central-South China Industry Univ.*, 27(1): 8 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y Q, Liu Z L and Yang C X. 1984. Stable isotope studies of the Dongguashan copper deposit in Tongling prefecture, Anhui Province [J]. *Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of geological Sciences*, 1: 70 ~ 101 (in Chinese).
- Lottermoser B G. 1989. Rare earth element study of exhalites within the Willyama Supergroup, Broken Hill block, Australia[J]. *Mineralium Deposita*, 24: 92 ~ 99.
- Lottermoser B G. 1991. Trace element composition of exhalites associated with the Broken Hill sulfide deposit, Australia[J]. *Econ. Geol.*, 86: 870 ~ 877.
- Lydon L W. 1988. Ore deposit model 14. Volcanogenic massive sulfide deposits part II: genetic models[J]. *Geosci. Can.*, 15: 43 ~ 66.

- Marchig V, Gundlach H, Moller P, et al. 1982. Some geological indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments[J]. *Marine Geology*, 50(3) : 241 ~ 256 .
- Mortlock R A, Froelich P N, Feely R A, et al. 1993. Silica and germanium in Pacific Ocean hydrothermal vents and plums[J]. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 119 : 379 ~ 386 .
- Qi W H, Hu R Z, Su W C, et al. 2003. Genesis of continental facies exhalative-sedimentary cherts and superlarge germanium deposit: example from the Lincang germanium deposit[J]. *Science in China (Series D)*, 33(3) : 236 ~ 246 (in Chinese) .
- Rona P A. 1988. Hydrothermal mineralization at oceanic ridges[J]. *J. Mineralogical Association of Canada*, 226(3) : 431 ~ 465 .
- Rona P A. 1988. Hydrothermal mineralization of oceanic ridges[J]. *Canadian Geology*, 26(3) : 447 ~ 465 .
- Sangster D F. 1976. Sulphur and lead isotopes in strata-bound deposits [A]. In: Wolf K H, ed. *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits* [C]. Amsterdam : Elsevier. 2 : 219 ~ 266 .
- Shimizu H and Masuda A. 1977. Cerium in chert as an indication of marine environment of its formation[J]. *Nature*, 266 : 346 ~ 346 .
- Sun H T and Ge C H. 1990. The Zhongtiaoshan-type copper deposits originated from the exhalative-sediments[M]. Beijing : Science & Technology Press. 14 ~ 53 (in Chinese) .
- Xia B D, Zhong L R, Fang Z, et al. 1995. The origin of bedded cherts of the Early Permian Gufeng Formation in the Lower Yangtze area, eastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 8(4) : 372 ~ 386 (in Chinese with English abstract) .
- Xu J H, Xie Y L, Yang Z S, et al. 2004. Trace element in fluid inclusions of submarine exhalation-sedimentation system in Tongling metallogenic province[J]. *Mineral Deposits*, 23(3) : 344 ~ 352 (in Chinese with English abstract) .
- Xu K Q and Zhu J C. 1978. Origin of the sedimentary-(or volcanosedimentary) iron-copper deposits in some fault depression belts in Southeast China[J]. *Fujian Geology*, (4) : 1 ~ 68 (in Chinese) .
- Xu Y T. 1997. Genetic Geochemistry for the bedded silicalite in the late permian dalong formation and its sedimentary setting in southeastern Hubei[J]. *J. Guilin Institute of Technology*, 17(3) : 204 ~ 212 (in Chinese with English abstract) .
- Yamamoto K. 1987. Geological characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes[J]. *Sedimentary Geology*, 52(1/2) : 65 ~ 108 .
- Yang J M, Xue C J, Xu J, et al. 2001. Geological features and mineralization of the Himalayan alkalic porphyry in Western Yunnan [A]. In: Chen Y C, et al, ed. *Study on Himalayan endogenic mineralization* [M]. Beijing : Seismic Pub. House. 57 ~ 68 (in Chinese with English abstract) .
- Yuan X Y. 1990. Relationship between the Carboniferous Weiningian Stage sedimentary facies and pyrite deposits in Tongling, Anhui Province[J]. *J. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources*, 11(1) : 91 ~ 101 (In Chinese with English abstract) .
- Yue W Z, Ye Z Z, Wei N Y, et al. 1993. Sedimentary geology and stratabound massive sulfide deposits of later Carboniferous Weining age in the Middle-Lower Yangtze reaches[M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1 ~ 163 (in Chinese with English abstract) .
- Zeng P S, Yang Z S, Meng Y F, et al. 2004. Petrogenesis and significance of cherts in tongling mineralization cluster area, Anhui Province, China[J]. *Geological Review*, 50(2) : 135 ~ 145 (in Chinese with English abstract) .
- Zeng P S, Pei R F, Hou Z Q, et al. 2002. Sedex-type massive sulfide deposits in Tongling Block, Anhui, China[J]. *Mineral Deposits*, 21 (Supp.) : 532 ~ 535 (in Chinese with English abstract) .
- Zeng P S. 2002. Superimposition-reformation of metallogenic fluids and its relationship to large-superlarge copper-gold deposits in Tongling area, Anhui Province, China [R]. Postdoctorate research report. Chinese Academy of Geological Sciences. 1 ~ 74 (in Chinese with English abstract) .
- Zhao J T, Xia L Q, Xia Z C, et al. 1999. Discrimination of REE of cherts from the North Qilian Mt. Continental Rift[J]. *Chinese Bulletin of Science*, 44(6) : 665 ~ 669 (in Chinese) .
- Zhou Y Z, Tu G Z, Chown E H. 1994. Hydrothermal origin of top Sini-an chert formation at Gushui, Western Guangdong, China: petrologic and geochemical evidence[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 12(3) : 1 ~ 11 (in Chinese with English abstract) .
- Zhou Y Z. 1990. On sedimentary geochemistry of siliceous rocks originated from thermal water in Nandan-Hechi Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 8(3) : 75 ~ 83 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 等. 2000. 凤太泥盆纪拉分盆地中硅质白云岩-硅质岩特征及成岩成矿方式[J]. *岩石学报*, 16(4) : 700 ~ 710 .
- 顾连兴, 徐克勤. 1986. 论长江中下游中石炭世海底块状硫化物矿床 [J]. *地质学报*, 66(2) : 176 ~ 188 .
- 顾连兴, 徐克勤. 1987. 长江中游断裂拗陷带的构造发展与成矿作用 [J]. *桂林冶金地质学院院报*, 7(4) : 243 ~ 251 .
- 顾连兴. 1990. 长江中下游初期裂岩及其找矿[J]. *江苏地质*, (2) : 1 ~ 14 .
- 顾连兴, 富士谷. 1999. 下扬子威宁期断裂拗陷、火山活动及块状硫化物成矿作用——答黄志诚《安徽铜陵新桥黄龙组沉积期海底火山喷发-沉积质疑》一文[J]. *高校地质学报*, 5(2) : 228 ~ 231 .
- 哈钦森. 1988. 层控矿床在地质历史中的地位[J]. *国外矿床地质*, (3) : 2 ~ 82 .
- 韩发, R W 哈钦森. 1989. 大厂锡-多金属矿床热液喷气沉积成因的证据——容矿岩石的微量元素及稀土元素地球化学[J]. *矿床地质*, 8(3) : 33 ~ 42 .
- 侯增谦, 韩发, 夏林圻, 等. 2003. 现代与古代海底热水成矿作用 [M]. 北京 : 地质出版社. 430 页 .
- 侯增谦, 吴世迎, Urabe. 1996. 四川呷村黑矿型矿床的硅质岩的硅、氧同位素组成及其与现代海底硅质烟囱比较研究[J]. *地质论评*, 42(6) : 531 ~ 539 .
- 黄志诚. 1999. 安徽铜陵新桥黄龙组沉积期海底火山喷发-沉积质疑 [J]. *高校地质学报*, 5(1) : 110 ~ 112 .
- 刘继顺, 吴延之, 段嘉瑞. 1996. 东川铜矿田喷流沉积成矿机制[J].

- 中南工业大学学报, 27(1): 8~12.
- 刘裕庆, 刘兆廉, 杨成兴. 1984. 铜陵地区冬瓜山铜矿的稳定同位素研究[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 第 1 号: 70~101.
- 戚华文, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 2003. 陆相热水沉积成因硅质岩与超大型锆矿床的成因——以临沧锆矿床为例[J]. 中国科学(D 辑), 33(3): 236~246.
- 孙海田, 葛朝华. 1990. 中条山式热液喷气成因铜矿床[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 14~53.
- 夏邦栋, 钟立荣, 方中, 等. 1995. 下扬子区早二叠世孤峰组层状硅质岩成因[J]. 地质学报, 69(2): 125~137.
- 徐九华, 谢玉玲, 杨竹森, 等. 2004. 安徽铜陵矿集区海底喷流沉积体系的流体包裹体微量元素对比[J]. 矿床地质, 23(3): 344~352.
- 徐克勤, 朱金初. 1978. 中国南方某些断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)铁铜矿床的成因[J]. 福建地质, (4): 1~68.
- 徐跃通. 1997. 鄂东南晚二叠世大隆组层状硅质岩成因地球化学及沉积环境[J]. 桂林工学院学报, 17(3): 204~212.
- 杨建民, 王登红, 毛景文, 等. 1999. 硅质岩岩石化学研究方法及其在“镜铁山式”铁矿床中的应用[J]. 岩石矿物学杂志, 18(2): 100~112.
- 袁旭音. 1990. 铜陵石炭纪威宁期沉积相及与黄铁矿矿床的关系[J]. 南京地质矿产研究所刊, 11(1): 91~101.
- 岳文浙, 业治铮, 魏乃颐, 等. 1993. 长江中下游威宁期沉积地质与块状硫化物矿床[M]. 北京: 地质出版社. 9~29.
- 曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 等. 2002a. 安徽铜陵地块沉积-喷流块状硫化物矿床[J]. 矿床地质, 21(增刊): 532~534.
- 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 等. 2004. 安徽铜陵矿集区硅质岩成因及意义[J]. 地质论评, 50(2): 135~145.
- 曾普胜. 2002. 安徽铜陵地区成矿流体的叠加改造与大型-超大型铜金矿床的关系[R]. 北京: 中国地质科学院矿产资源研究所博士后研究报告. 44~66.
- 张学诚, 马丽华, 陈启良. 1994. 东川稀矿山铜(铁)矿床火山喷流沉积成矿作用的初步研究[J]. 云南地质, 13(2): 139~148.
- 赵江天, 夏林圻, 夏祖春, 等. 1999. 北祁连山大陆裂谷硅质岩的稀土元素判别[J]. 科学通报, 44(6): 665~669.
- 周永章, 涂光炽, Chown E H, 等. 1994. 粤西古水剖面震旦系顶部层状硅岩的热水成因属性: 岩石学和地球化学证据[J]. 沉积学报, 12(3): 1~11.
- 周永章. 1990. 丹池盆地热水成因硅岩的沉积地球化学特征[J]. 沉积学报, 8(3): 75~83.

Hydrothermal Sedimentary Rocks of Sedex-type Massive Sulfide Deposits in Tongling Ore Cluster Area, Anhui Province

Zeng Pusheng¹, Meng Yifeng¹, Yang Zhusen¹, Pei Rongfu¹ and Wang Xuncheng²

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 No.321 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Exploration, Tongling 244033, Anhui, China)

Abstract

Based on the observation and research work conducted during mapping of Tongling district, the authors have determined the Hercynian hydrothermal sedimentary rocks. They include two sequences of rock, i.e., (1) the sequences of Upper Carboniferous Huanglong Formation, which upward or outward comprises laminated sulfide-bearing talc-serpentinite metamorphosed from a protolith, aquiferous magnesium-rich carbonates plus silica, massive, stratified copper-gold-bearing pyrite, and/or jasperite, anhydrite, siderite, rhodochrosite, silica, carbon-bearing clays and dolomite; (2) the sequences of Permian, Qixia Formation (P_1q) lead, zinc-bearing cherts, Gufeng Formation (P_1g) manganese-bearing chert, and Dalong Formation (P_2d) molybdenum-bearing chert. On the whole, these hydrothermal sedimentary rocks have characteristics of periodical hydrothermal activity in Late Paleozoic. Major, trace, and rare earth elements data of the cherts indicate that the cherts in Tongling district are characterized by exhalites or hydrothermal sedimentary rocks. Paleotemperature of cherts estimated by O isotope is over 49 °C. In Tongling district, the hydrothermal sedimentary rocks are of great importance both in theory or practice for exploration of the stratabound deposits and in diagnosis of the hidden deposits. The exhalites at the bottom of the Huanglong Formation not only serve as an important indicator bed for exploration in Tongling district, but also play an irreplaceable role in guiding prospecting work in such areas of the middle-lower Yangtze valley as Ning-Wu (Nanjing-Wuhu) basin.

Key words: geochemistry, Tongling, hydrothermal sedimentary rocks, exhalites, pyritic Sedex-type massive sulfide deposit