

文章编号 0258-7106(2007)04-0464-11

浅析安徽省新桥 S-Fe 矿田的成因*

臧文拴¹, 吴淦国¹, 张 达¹, 张祥信¹, 李进文², 刘爱华¹, 张忠义¹

(1 中国地质大学地球科学与资源学院 北京 10083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037)

摘 要 为探讨新桥(S-Fe-Cu-Au)矿田的成因,笔者在近10年野外系统观察的基础上,通过对野外地质的系统分析研究和部分硫、铅同位素测试,认为新桥矿田的形成经历了两期成矿作用,即沉积成矿作用和与岩浆活动有关的成矿作用。沉积作用形成了菱铁矿矿体和胶黄铁矿矿石等,而岩浆作用是形成块状硫化物矿体的主要原因。硫化物矿体围绕岩体具有岩体→磁铁矿、黄铁矿→黄铁矿、黄铜矿和自然金→黄铁矿和铅、锌矿的分布特征,原生金矿体具有围绕岩体呈环状分布的地质特征。形成富的块状硫化物矿体的成矿流体可能为类似矿浆的富硫化物流体。

关键词 地质学,地质特征,成矿作用,块状硫化物,新桥矿田

中图分类号: P618.31

文献标识码: A

A preliminary discussion on genesis of Xinqiao S-Fe orefield

ZANG WenShuan¹, WU GanGuo¹, ZHANG Da¹, ZHANG XiangXin¹, LI JinWen², LIU AiHua¹
and ZHANG ZhongYi¹

(1 School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

The Xinqiao S-Fe-Cu-Au ore field is located in the Tongling ore cluster in Middle-Lower Yangtze Valley. There have been various opinions concerning the genetic type of this orefield put forward by different geologists in recent years, such as sedimentary-reformation type, stratabound-skarn type and sedimentary submarine rock-hosted exhalative type. Based on nearly ten years of systematic geological field observation and analysis of Pb and S isotopic composition of the Xinqiao orefield, the authors hold that it was formed in two ore-forming periods. The first period took place during the syngenetic sedimentary process, whereas massive sulphide ore bodies were mainly formed during the second period, i. e., the Yanshanian granitic magnetism. The sulfide metallic mineral associations show zoning around a granite intrusion, in order of magnetite, pyrite → pyrite, chalcopyrite and native gold → pyrite, sphalerite and galena. The gold ore bodies occur outside the contact zone of the granite intrusion.

Key words: geology, geological characteristics, ore-forming process, massive sulfide ore body, Xinqiao orefield

* 本文得到国家重点基础研究发展规划项目(编号 G1999043206)资助

第一作者简介 臧文拴,男,1969年生,博士,应用构造地质学专业。Email: zangwenshuan@163.com

收稿日期 2007-04-09 改回日期 2007-05-09。李 岩、许德焕编辑。

铜陵地区是中国重要的铜、铁、硫产地,区内分布有铜官山、狮子山、新桥、凤凰山等矿田。前人对该矿集区中的铜、金、铁矿床的地质特征、成矿过程和成矿作用以及控矿构造进行了大量研究。一些学者(常印佛等,1991;翟裕生等,1992;黄许陈等,1993;唐永成等,1998;Wu et al.,2004)认为这些矿床是与花岗质岩石有关的矽卡岩-热液矿床;Pan等(1999)将其总结为与花岗岩有关的斑岩-矽卡岩-层控矿床;孟良义(1996a;1996b)将新桥、冬瓜山矿床划归为侵入型块状硫化物型矿床,部分研究者(富士谷等,1977;顾连兴等,1986;Xu et al.,2001;曾普胜等,2002;杨竹森等,2004)认为,发育在泥盆系与石炭系之间的层状矿床(新桥、冬瓜山等)曾经历了海底喷流沉积成矿过程。

新桥矿田位于铜陵市东26 km,由新桥、牛山、笕箕涝等矿床组成,是一个以黄铁矿为主的大型矿田。矿石总量为1.75亿吨,其中,黄铁矿矿石量8300万吨, w_S 平均为30.59%。在其中可圈出具有工业意义的独立铜矿体(铜工业金属总量为33.3万吨,Cu品位为0.914%)和铁矿体(包括磁铁矿、褐铁矿和菱铁矿,矿石总量为2900万吨,Fe品位43.06%)。近些年来,矿山和地质部门围绕岩体进行金矿找矿评价工作,在层状硫化物矿体中发现了具有工业意义的金矿体(Au金属总量C+D级为25.9 t,平均品位4.70 g/t)^①。新桥矿床中原生金矿体的发现,为在长江中下游块状硫化物矿床中寻找有工业意义的金矿体指出了新的勘探方向。笔者试图通过多年在生产采矿过程中所揭露的地质现象,并结合矿床地质特征和硫、铅同位素测试分析,对新桥硫铁矿田的成因进行探讨。

1 地质背景及矿田地质

铜陵地区大地构造位置为下扬子印支期褶皱带东南部的马鞍山-贵池隆褶带的中段(常印佛等,1991;唐永成等,1998;刘文灿等,1996)。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”形状褶皱及大

量的不同层次的层间滑脱构造。岩浆岩主要为富钾的中酸性岩石,与成矿关系密切的为石英二长闪长岩和花岗闪长岩。

新桥矿田位于舒家店背斜与大成山背斜、盛冲向斜的汇聚处(图1)。矿田范围内出露的地层主要有志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系及第四系。矿体主要赋存在泥盆系五通组(D_3w)石英砂岩、砂页岩及石英岩与石炭系黄龙组(C_2h)和船山组(C_3c)碳酸盐岩不整合及与二叠系栖霞组(P_1q)厚层灰岩之间的层间滑脱面中。区内出露的岩浆岩多为中酸性岩株、岩枝及多种岩性的小岩脉,其中规模较大的为矾头岩株和牛山岩株(图1)。位于新桥矿田中部的矾头岩株以石英二长闪长岩为特征,出露面积约0.5 km²。

2 新桥矿床的地质特征

新桥矿床是由产状和矿化类型不尽相同的矿体、矿石组成,一类是赋存在二叠系栖霞组(P_1q)底部由沉积作用形成的菱铁矿矿体和石炭系黄龙组底部(C_2h)少量的胶黄铁矿和层纹状矿石。另一类是与矾头岩体有关的层状、似层状硫化物矿体,矽卡岩型和热液脉型硫化物矿体(图2)。似层状、层状块状硫化物矿体是新桥矿床的主矿体,约占总储量的90%。

2.1 菱铁矿矿体地质特征

矿山和地质部门通过生产勘探,在下二叠统栖霞组中发现了菱铁矿矿体,矿体主要赋存在栖霞组底部,在砂页岩向碳酸岩盐过渡的部位。呈层状、透镜状。厚3~31 m,沿走向延长700 m,倾向延伸50~200 m,沿倾向、走向均稳定。矿石为晶粒、鲕粒结构,粒细,呈微晶至泥晶状,晶粒为碳质胶结,层纹状、多孔状构造。矿石中含少量的黄铁矿和闪锌矿。

2.2 硫化物矿体地质特征

新桥矿床以硫化物矿体为主,包括层状、似层状矿体,矽卡岩型、热液脉型硫化物矿体。

层状、似层状硫化物矿体 层状、似层状硫化物矿体是新桥矿床的主矿体,主要为1号矿体,该矿体长2650 m,倾向延伸1810 m。走向45~20°,倾角45~0°。矿体平均厚21 m(图2),矿石平均含硫

① 华东冶金地质勘查局综合地质大队. 1995. 安徽省铜陵市新桥铜硫铁金银矿床地质总结报告. 202~206. 内部资料.

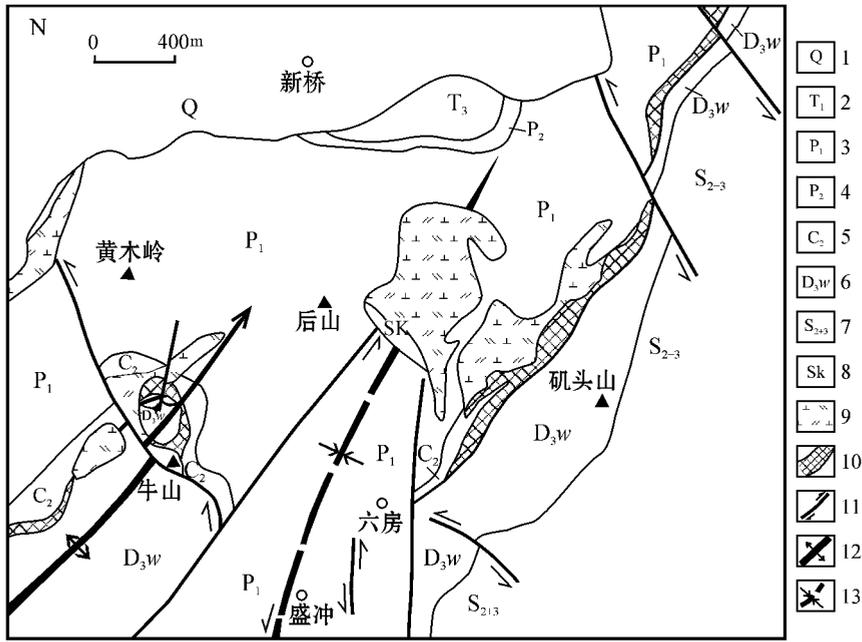


图 1 新桥矿田地质简图(据刘文灿等,1996 修改)

1—第四系 2—下三叠统灰岩 3—下二叠统灰岩、硅质岩 4—上二叠统硅质页岩 5—中、上石炭统灰岩、白云岩 6—上泥盆统石英砂岩、石英岩 7—中、上志留统砂岩、粉砂岩 8—砂卡岩 9—石英二长闪长岩 10—矿体 11—断层 12—大成山背斜 13—盛冲向斜

Fig. 1 Geological map of the Xinqiao orefield(modified after Liu et al., 1996)

1—Quaternary; 2—Lower Triassic limestone; 3—Lower Permian limestone and silicolite; 4—Upper Permian silicolite; 5—Middle-Upper Carboniferous limestone and dolomite; 6—Upper Devonian quartz sandstone and quartzite; 7—Middle-Upper Silurian sandstone and siltstone; 8—Skarn; 9—Quartz monzodiorite; 10—Ore body; 11—Dachengshan anticline; 12—Fault; 13—Shengchong syncline

31%。矿体整体上呈层状、似层状,主要沿五通组(D₃w)砂页岩与黄龙组(C₂h)白云质灰岩之间的不整合面分布。矿体与底板近平行,而与顶板有一定的交角,局部矿体穿切围岩。矿体底板为五通组砂岩,顶板为黄龙组或船山组灰岩,局部黄龙组和船山组地层缺失时,矿体顶板则为栖霞组灰岩(图 2)。

矿石类型主要有块状的黄铁矿矿石、含铜黄铁矿矿石、磁铁铁矿石,少量铅锌矿矿石和胶黄铁矿矿石等。矿石矿物主要为黄铁矿,少量磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿等;脉石矿物为方解石、白云石等。矿石结构构造复杂,种类多种多样。块状构造、晶洞状构造是层状硫化物矿体中最普遍、最常见的矿石构造,其次有浸染状构造、网脉状构造。其中,块状构造矿石一般由自形-半自形黄铁矿颗粒组成,硫含量极高,晶洞状构造为层状矿体特征构造类型,普遍较发育,在致密块状黄铁矿矿体中往往见由黄铁矿晶体形成的晶洞(照片 1),晶洞内壁的黄铁矿晶形完好,明显好于晶洞外壁的黄铁矿,晶洞外的黄铁矿颗粒较小;网脉状构造矿石可见晚期黄铁矿呈宽度不一的网脉状交错,充填在早期形成的黄铁矿矿石中(照

片 5);浸染状构造矿石一般分布于矿体的顶部和矿体的尖灭处。矿石结构主要为自形-半自形粒状结构、粒状镶嵌结构、交代残余结构、变余胶状结构、碎裂结构等。

层状矿体底板蚀变不强,主要有黄铁矿化、硅化、滑石化。滑石化主要发育于砂页岩近矿体部分。矿体的顶板围岩碳酸盐岩仅见大理岩化,绿泥石化,局部见弱黄铁矿化。在矿体中可见大理岩的角砾,大理岩也未见明显的蚀变。矿体与围岩接触界线清晰(照片 2)。

砂卡岩型矿体 接触交代砂卡岩型矿体产在栖霞组、黄龙组及船山组灰岩与矾头岩株的接触带上,并受接触带控制,远离岩体矿体尖灭,由 40 多个大小不一的矿体组成,约占矿床总储量的 10%左右。其中 5 号矿体最大,约占总储量的 8%。矿体呈透镜状或不规则状(图 2)。砂卡岩主要为石榴石砂卡岩,次为透辉石及阳起石砂卡岩。金属矿物主要为磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿等。非金属矿物除石榴子石、透辉石外,还有少量的石英,方解石。以磁铁铁矿石为主,次为黄铁矿矿石,块状、浸染状和脉状构造,交代

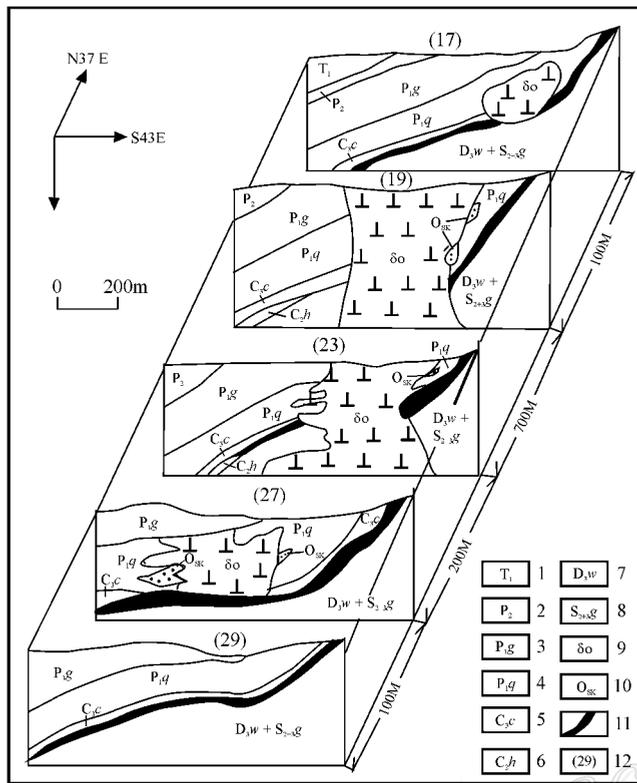


图 2 新桥矿床联合地质剖面图(据冶金部 803 地质队^①)

1—下三叠统灰岩 2—上二叠统硅质页岩 3—下二叠统孤峰组硅质岩 4—下二叠统栖霞组灰岩 5—上石炭统船山组灰岩 6—中石炭统黄龙组灰岩 7—上泥盆统五通组石英砂岩、石英岩；8—中、上志留统高家组砂岩、粉砂岩；9—石英二长闪长岩；10—矽卡岩型矿体；11—层状硫化物矿体；12—勘探线

Fig. 2 Composite cross section of the Xinqiao deposit (after No. 803 Geological Party^①)

1—Lower Triassic limestone ; 2—Upper Permian siliceous shale ; 3—Lower Permian silicalite ; 4—Limestone of Lower Permian Qixia Formation ; 5—Limestone of Upper Carboniferous Chuanshan Formation ; 6—Limestone of Middle Carboniferous Huanglong Formation ; 7—Quartz sandstone and siltstone of Upper Devonian Wutong Formation ; 8—Sandstone and siltstone of Middle-Upper Silurian Gaojiabian Formation ; 9—Quartz monzodiorite ; 10—Skarn ore body ; 11—Stratiform ore body ; 12—Exploration line

溶蚀和交代充填结构。显微观察表明，矿石中的磁铁矿常具有特殊的变余结构，即磁铁矿中有自形粒状、球状等残留菱铁矿的原生结构。有的磁铁矿还保留了菱铁矿的沉积环带结构。这可能主要与燕山期的构造-岩浆活动有关。构造岩浆活动改造了部分外生沉积形成的菱铁矿而变质成为磁铁矿。矽卡岩型矿体围绕岩体具有环形分带的特征，靠近岩体以磁铁矿矿石为主，远离岩体则以黄铁矿矿石为主。

热液脉型矿体 主要为充填在裂隙中形成的矿脉群。该类型的矿体在整个矿田中工业意义不大。如充填在五通组层内、矽卡岩和岩体内的断裂中呈脉状、透镜状的矿体。矿石呈自形-半自形晶结构，块状、浸染状构造。矿石矿物主要为黄铁矿，脉石矿

物为石英、方解石等。

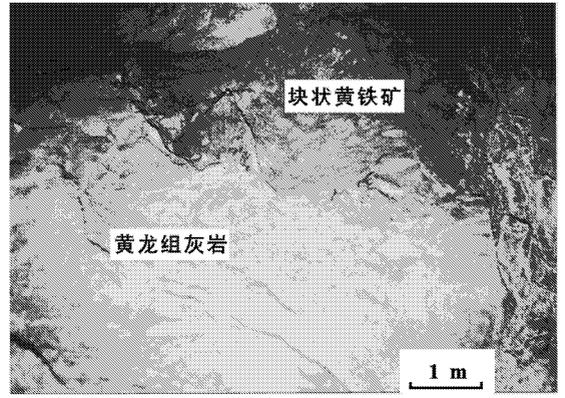
控矿构造 NE-NNE 向层间滑脱断裂构造是主要的容矿构造。而五通组和黄龙组之间的滑脱面是岩浆热液活动和金属硫化物沉淀的主要空间。因而，矿体整体上呈层状、似层状，局部穿层现象明显（图 4）。矿体也可在层内滑脱面和断裂裂隙中分布，如产在五通组内滑脱面上的（照片 3）岩体内（图 3）和矽卡岩体内的（照片 4）断裂面上的块状硫化物矿体。岩体接触带构造是很好的容矿构造，而岩体接触带与层间断裂的组合构造，是最佳的容矿构造，出现矿体巨厚现象，如 23 线 ZK133 孔矿体厚 67.56 m 24 线 ZK2407 孔矿体厚 91.18 m 25 线 ZK330 孔矿体厚达 106.87 m。

① 冶金部 803 地质队，1971。安徽省铜陵市新桥硫铁矿地质勘查报告。内部资料。



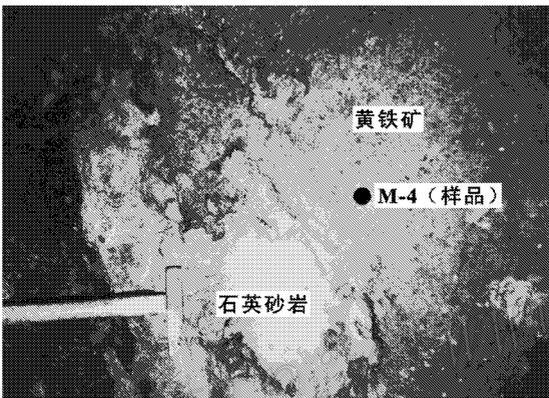
照片1 层状矿体中黄铁矿晶洞构造(摄于新桥矿露天采场-40 m平台)

Photo 1 Mirolitic structure of stratiform orebody



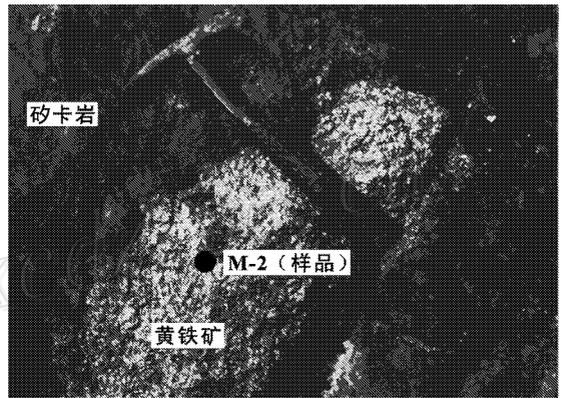
照片2 硫化物矿体与围岩的关系(摄于新桥矿坑采-180 m 9号穿脉)

Photo 2 The relationship between the sulfide orebody



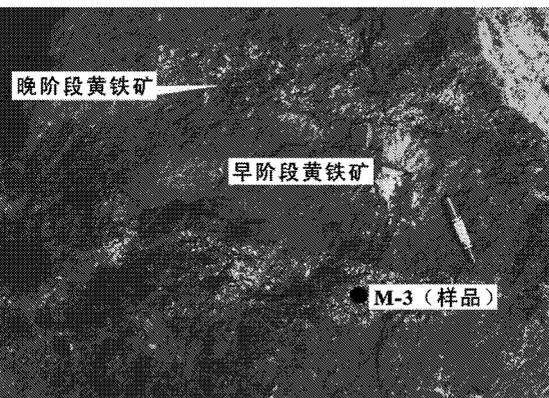
照片3 充填在断裂内(五通组内)的硫化物矿体(摄于新桥矿坑采-180 m中段探矿大巷)

Photo 3 The sulfide orebody filled in the bedding fault



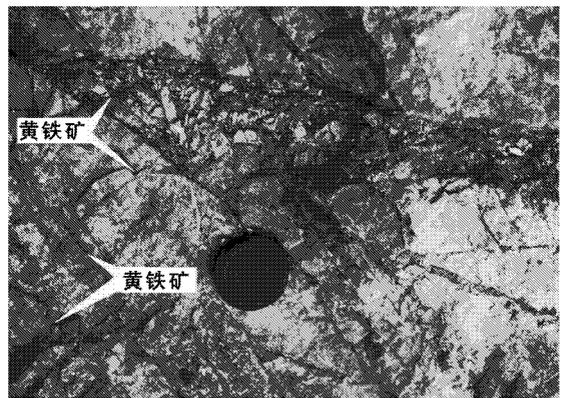
照片4 充填在断裂内的硫化物矿体(砂卡岩内)(摄于新桥矿露天采场-24 m平台)

Photo 4 The sulfide orebody filled in fault



照片5 网脉状构造

Photo 5 The network structure



照片6 底板中网脉状黄铁矿

Photo 6 The Network pyrite in soleplate of orebody

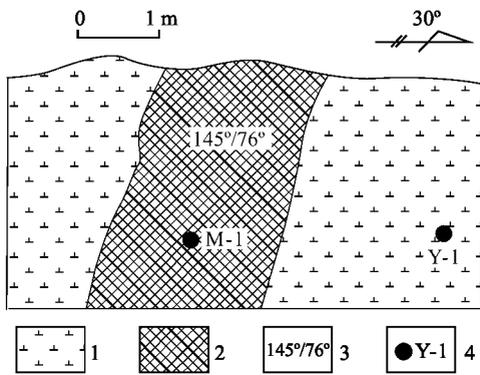


图 3 块状黄铁矿充填在石英闪长岩体的断裂中 (新桥矿露天采场-36 m 平台)

1—石英闪长岩 2—矿体 3—产状 4—样品位置

Fig. 3 Sketch map showing massive pyrite filling up faults in quartz diorite

1—Quartz diorite; 2—Ore body; 3—Strike and dip; 4—Sampling site

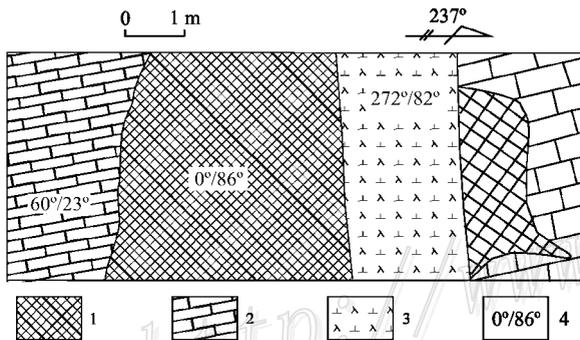


图 4 层状矿体局部切穿顶板围岩素描 (新桥矿坑采-230 m 中段 821 采场)

1—矿体 2—船山组大理岩 3—石英闪长玢岩 4—产状

Fig. 4 Sketch map showing the local stratiform ore body cutting the hanging wall

1—Ore body; 2—Marble of Chuanshan Formation; 3— Quartz dioritic porphyry; 4—Strike and dip

层状矿体、矽卡岩型矿体和热液脉型矿体的关系：矽卡岩型主要发育在层状矿体的上部，层状矿体与岩体接触部位，局部也发育矽卡岩型矿化，热液脉型矿体发育在围岩、矽卡岩和岩体断裂裂隙内，明显为岩浆热液活动晚期形成。成矿是按照矽卡岩型矿体→层状矿体→脉型矿体方向发展、演化，是同一岩浆成矿系统演化的产物。

2.3 原生铜、金(银)矿体的分布特征

原生金、银矿体绝大多数赋存于铜、硫层状矿体中，通过近些年来勘探，圈定出40多个铜金矿体。铜

金(银)矿体沿走向、倾向均围绕岩体呈环形分布(图5B)。铜金矿体虽围绕岩体分布，但不紧靠接触带，而是距岩体边部有一定的距离。距岩体边部100~500 m范围是含金富集带，主要矿物组合是黄铜矿-黄铁矿-自然金，黄铁矿-磁黄铁矿-自然金；距岩体边部50~100 m的范围是金的贫化带，贫化带金含量低于整个矿床伴生金含量的平均值， $\tau w_{Au} < 0.50 \text{ g/t}$ ，主要矿物组合为磁铁矿-黄铁矿。从图5可以看出，以岩体为中心，在成矿作用过程中，矿床形成了矿物组合的水平分带特征。总体上呈：岩体→磁铁矿、黄铁

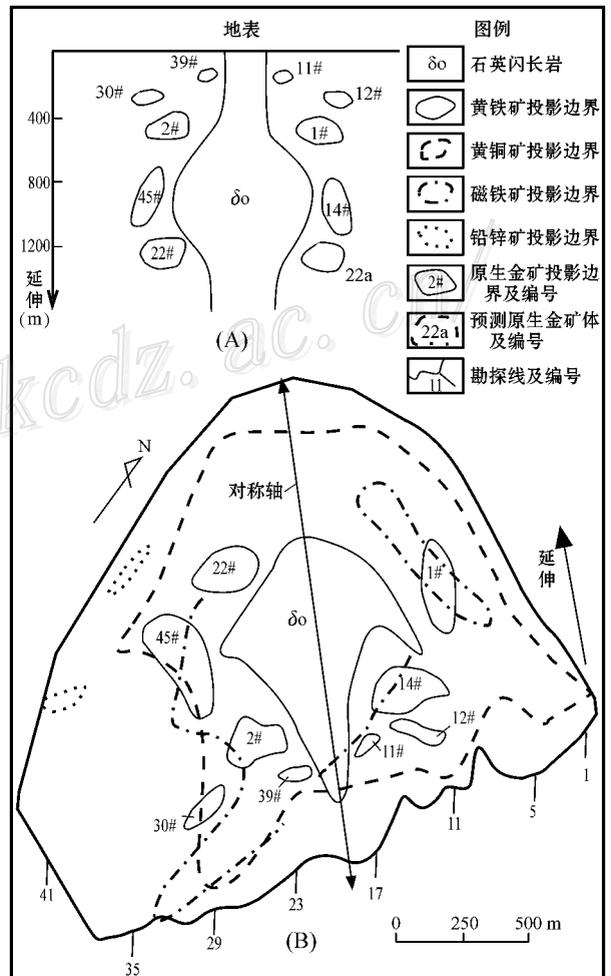


图 5 (A)新桥矿床原生金矿体对称分布图；(B)新桥矿床原生矿体分带图(据冶金部 803 地质队^①资料修改)

Fig. 5 Symmetrical gold ore bodies in the Xinqiao deposit (A); primary zoning in the Xinqiao deposit (B) (modified from No. 803 Geological Party)

① 冶金部 803 地质队，1971. 安徽省铜陵市新桥硫铁矿地质勘查报告. 内部资料.

矿→黄铁矿、黄铜矿和自然金→黄铁矿和铅、锌矿的分布特征。金的分布规律表明金的来源于岩浆有关,而且受岩浆的控制,距岩体近,温度较高而有利于金的富集,50~100 m的范围是活化迁移带,远离岩体100~500 m处是金的富集带,而这个距离正好是控制岩体东、西及周边环形-裂隙构造发育带,说明金在较高的温度迁移,在相对较低的温度和有利的构造条件下沉淀,形成金矿体。根据金矿体围绕岩体在一定范围内等距离分布的规律,可以预测还未发现的矿体,笔者根据已发现的22#金矿体,预测可能找到与之相对应的22a金矿体(图5)。

3 硫化物矿体硫、铅同位素组成

3.1 采样位置

本次在层状硫化物矿体(图6,样品编号C-1、C-2、C-3)、矽卡岩型矿体(图7、图8,样品编号X-1、X-2、X-3)和脉状矿体(照片3、4、5和图3,样品编号M-1、M-2、M-3、M-4)中系统采样。层状矿体中的采样线路:一条是采自新桥露天采场-40 m平台的16号勘探线,垂直矿体的走向,沿矿体厚度方向系统地由矿体的底部到矿体的顶部采集(图6);石英二长闪长岩的3个样品分别在矿区的-270 m、-230 m中段和露天-36 m平台(图3)采集,样品新鲜、未蚀变。矿区外围沉积地层中的黄铁矿矿石样品(样品编号TLY-4)是来自远离新桥矿区的叶山地层剖面(1:5万戴家汇幅区调所建剖面)。

3.2 分析方法和测试结果

新桥矿床不同成因类型的矿体中硫化物的硫、铅同位素和石英二长闪长岩钾长石的铅同位素是在中国地质科学院矿产资源研究所和地质研究

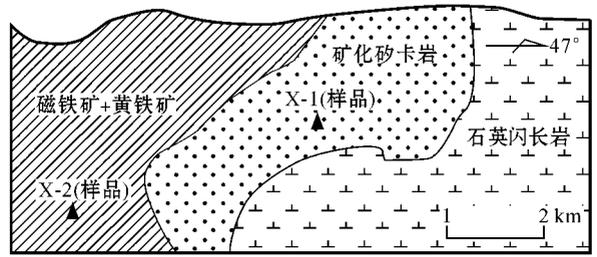


图7 矽卡岩型矿石样品位置图(露天采场-24 m)
Fig. 7 Sampling locations of skarn ore in the Xinqiao deposit (at the level of -24 m)

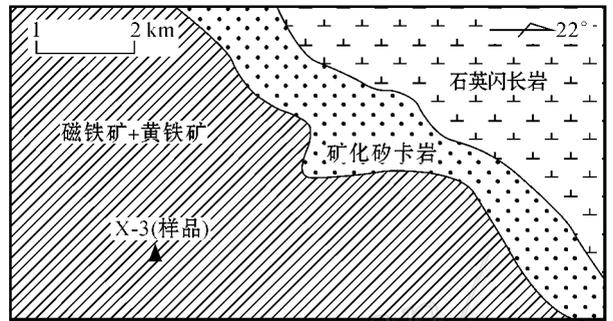


图8 矽卡岩型矿石样品位置图(-270 m中段)
Fig. 8 Sampling locations of skarn ore in the Xinqiao deposit (at the level of -270 m)

表1 新桥矿床中不同岩性和矿体黄铁矿硫同位素组成
Table 1 Sulfur isotopic composition of pyrite in different rocks and ore bodies of the Xinqiao deposit

序号	类型	样品数(编号)	$\delta^{34}S/\text{‰}$	$\delta^{34}S/\text{‰}$ (平均值)
1	层状硫化物矿体	3(C-1, C-2, C-3)	1.7~4.2	2.9
2	矽卡岩型矿体	3(X-1, X-2, X-3)	1.3~4.1	3.0
3	脉型矿体	4(M-1, M-2, M-3, M-4)	2.2~5.3	4.0
4	沉积型黄铁矿	不详	-9.47~-15.42	
5	矿区外围沉积地层	1(TLY-4)	-41.6	
6	矿化石英二长闪长岩	11	2.0~5.8	4.4
7	矽卡岩	21	2.4~6.4	4.5

注:序号1、2、3样品由中国地质科学院矿产资源研究所测试,测试者:罗续荣、白瑞梅;序号4、5、6数据引自唐永成等(1998)。

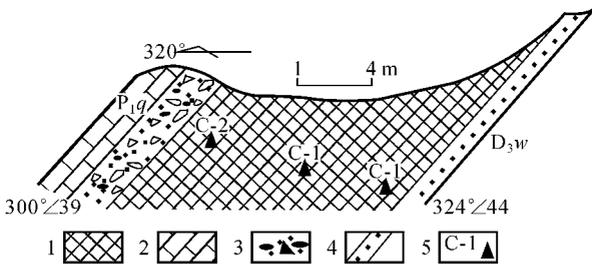


图6 层状矿体矿石样品位置(露天-40 m)
1—层状矿体 2—栖霞组灰岩 3—破碎带 4—样品

Fig. 6 Sampling locations in stratiform ore bodies (at the level of -40 m)

1—Stratiform ore body; 2—Limestone of Qixia Formation; 3—Shatter zone; 4—Sample

所同位素实验室测定。

硫同位素 黄铁矿以 Cu_2O 作氧化剂制样,以国家一级标准硫化银为标样,在 MAT251 质谱仪上测试,使用国际标准 VCDT,分析精密度的 $\pm 0.2\text{‰}$,测试结果见表1。

铅同位素 利用 HCl 溶解黄铁矿,利用浓 HF 和 HNO_3 溶解钾长石,经阴离子交换树脂,提取铅。质谱测定用 MAT262 质谱计,用 NBS981 标准校准仪器,样品的测定条件与 NBS981 相同,每一组数据

由 10 个扫描构成,经过离子流强度对时间校正后计算。同位素分馏优于 1‰,NBS981 精度在万分之一,测试结果(误差均为 2σ 绝对误差)列于表 2。

从表 1 和表 2 看出,本次测试的不同成因类型的矿体(层状硫化物矿体、矽卡岩型矿体和脉型矿体)中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相近,集中在 1.3‰~5.3‰ 之间;不同成因类型矿体的铅同位素组成也接近,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的范围分别为 18.186~18.430、15.506~15.546 和 38.190~38.304,与石英二长闪长岩中钾长石的组成相似。

4 讨 论

成矿构造环境 徐志刚(1985)通过综合研究指出,长江中下游地区从寒武纪到三叠纪早期一直处于比较稳定状态,为一个持续发育的拗陷槽,其内有连续沉积的浅海相碳酸盐岩和碎屑岩。黄志诚(1999)对下扬子地区石炭系层序地层进行了研究,认为石炭纪下扬子沿江地区是克拉通浅陆表海沉积区而非断裂拗陷带,包括铜陵在内的苏皖沿江地区石炭纪时地壳是缓慢升降的稳定克拉通,其沉积特征以滨海稳定组中细碎屑沉积物及浅水陆表海台地碳酸盐沉积物为主。李文达(1989)从多方面论证,石炭纪不具有海底火山喷发、喷气、热卤水成矿作用的构造环境。笔者在新桥多年的工作中,通过采矿剥离发现,富士谷等(1977)在牛山发现的“火山岩”,分布范围很小,为一超浅成侵入体。新桥矿体

主要赋存在晚泥盆世五通组(D_3w)和中石炭统黄龙组(C_2h)之间,缺失下石炭统高骊山组(C_1g),矿体产在一个沉积间断面上。说明该区在石炭纪只发生过缓慢的升降运动。新桥地区黄龙组的厚度仅为 30 m,岩性单一的白云岩和浅水台地相含生物屑泥晶灰岩,为一潮坪相环境。在燕山期,下扬子地区出现大规模岩石圈减薄的过程,壳幔强烈相互作用(邓晋福等,1999,2001)。该区所对应的成矿地球动力学背景为构造体制大转折和岩石圈大规模拆沉作用(毛景文等,2003)。

物质来源 铜陵地区所有工业矿床都位于近东西向的铜陵—戴家汇岩浆-构造-成矿带上,而且大多铜、铁、硫、金、银矿床在空间上与燕山期中酸性花岗岩紧密伴生,单个矿床的矿体更是与岩体形影不离,都围绕岩体产出,说明矿床的形成与岩浆侵入有关。新桥矿床围绕岩体有很好的分带特征,铜金矿体不仅围绕岩体分布,高温矿物组合近岩体分布,低温组合远岩体分布。可能指示出铜金的来源与岩体有关。笔者通过对新桥矿田不同成因类型矿体硫化物的系统采样和硫、铅同位素的测试,不同成因类型矿体的硫化物有着不同的 $\delta^{34}\text{S}$ 同位素变化范围(表 1)。在矿区中,沉积形成的黄铁矿有较大的负值。特别是矿区外围叶山沉积地层中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -41.6‰,显示了沉积黄铁矿的硫同位素组成特征,也表明在沉积过程中有生物参与了成矿作用。而与岩浆作用有关的硫化物矿体(包括层状硫化物矿体、矽卡岩型矿体和脉状矿体)中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范

表 2 新桥矿床主要硫化物矿物的铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic composition of main sulfides in the Xinqiao deposit

样品编号	类型	测试矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
X-1	矽卡岩型矿体	黄铁矿	18.373 ± 38	15.542 ± 8	38.146 ± 19
X-2	矽卡岩型矿体	黄铁矿	18.430 ± 15	15.546 ± 12	38.261 ± 23
X-3	矽卡岩型矿体	黄铁矿	18.373 ± 31	15.531 ± 51	38.300 ± 14
M-1	脉型矿体	黄铁矿	18.337 ± 52	15.522 ± 25	38.291 ± 20
M-2	脉型矿体	黄铁矿	18.265 ± 8	15.517 ± 1	38.210 ± 8
M-3	脉型矿体	黄铁矿	18.340 ± 36	15.537 ± 10	38.304 ± 21
C-1	层状矿体	黄铁矿	18.186 ± 64	15.506 ± 41	38.190 ± 9
C-2	层状矿体	黄铁矿	18.291 ± 10	15.535 ± 26	38.277 ± 7
C-3	层状矿体	黄铁矿	18.252 ± 7	15.525 ± 8	38.244 ± 13
Y-1	石英二长闪长岩	钾长石	18.421 ± 12	15.488 ± 38	38.151 ± 26
Y-2	石英二长闪长岩	钾长石	18.363 ± 16	15.512 ± 7	38.225 ± 19
Y-3	石英二长闪长岩	钾长石	18.273 ± 9	15.482 ± 13	38.090 ± 9
	黄龙组灰岩*	全岩	17.00	15.28	37.66

注: * 据冶金部 803 地质队^①,其余由中国地质科学院地质研究所杨淳测定。

围较小而且相近,与岩体和矽卡岩中的硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值很相近,暗示它们有着相似的硫同位素来源,属岩浆硫,而与沉积形成的硫化物的硫源不同。一般认为,岩浆长石铅同位素可近似代表岩浆铅同位素组成,如果矿石铅来自岩浆分异,两者的铅同位素组成应该一致或接近。新桥矿床的不同成因类型矿体中的硫化物铅同位素 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的值平均为 18.266、15.529 和 38.223,与岩浆岩中的钾长石的铅同位素组成一致(表 2),与围岩的铅同位素组成不同,暗示成矿物质主要来源于岩浆,围岩的铅主要来源于地壳。在铜陵矿集区,赋存在上泥盆统与中石炭统沉积间断面的层状硫化物矿体还有铜官山矿田的马山、冬瓜山、桃园等矿床。多年来,许多学者对铜官山矿田进行了研究,认为是一较为典型的与岩浆成矿作用有关的矿床。在铜官山矿田内,赋存在五通组之上的层状矿体,具有与新桥矿床相类似的围绕岩体矿化水平分带现象,金矿化也围绕岩体在一定的范围分布(袁小明, 2002)。万宏(1989)通过对与新桥处在同一断裂带上的桃园硫-铁矿床(富黄铁矿矿体赋存在五通组内的层间滑脱带上)的研究,得出该矿床也同新桥和铜官山矿床一样,具有矿物组合分带现象,并认为该矿床是中低温热液成因,矿液源于深部。这些矿床的矿物组合分带特征表明,岩浆既是成矿的热源中心,又是成矿热液活动中心。陆建军(引自毛景文, 2004)通过冬瓜山矿床中同位素的测定,进一步证实了铜来自于花岗质岩浆系统,认为矿石中的硫可能部分为同生沉积。唐永成(1998)和 Zhai 等(1996)也认为在以燕山期岩浆流体为主的成矿过程中,同生沉积的硫化物参与到了成矿系统。一些研究者在新桥层状矿体的底部发现了胶黄铁矿矿石被后期黄铁矿脉穿切的现象(Xu et al., 2001),但此类型的矿石少见。早期沉积胶黄铁矿矿石的发现,说明在成岩的过程中,在低洼的、还原的环境中,形成沉积的硫化物,但形成较大规模且具有工业意义的矿体的可能性不大。后期硫化物穿切早期硫化物的现象,也表明早期沉积的硫化物参与了岩浆成矿系统。成矿物质是否是海西期喷流而来?新桥矿床以 S-Fe-Cu-Au 组合为特征,典型的沉积喷流矿床(SEDEX)以具有 Pb-Zn-Ag 组合为特征(Goodfellow et al., 1993; Cooke et al., 2000)。一般以沉积岩为容矿岩的喷流沉积型矿

床在成分上富含 Pb、Zn,伴生 Ag 和 Ba,贫 Cu,几乎不含 Au(韩发等, 1999)。与典型的 SEDEX 矿床相比,新桥矿床富含硫,铜矿化不均一,贫 Pb-Zn。新桥矿床储量为 1.75 亿吨,而铅锌矿的储量仅为 4.09 万吨^①。在新桥层状矿床中很少见到 SEDEX 矿床所具有的条带状构造,也没有发现粒级层理、韵律层等 SEDEX 矿床所具有的沉积构造。典型 SEDEX 型矿床具有“下脉上层”的二元结构分布模式。新桥层状硫化物底部五通组石英砂岩的不同方向的节理中充填有黄铁矿细脉(照片 6),在距矿体底板 10 m 之内,随着远离矿体黄铁矿细脉由密集→稀疏→星点→尖灭,在距矿体 10 m 之外未见此矿化现象,也未见强烈蚀变,可见五通组石英砂岩热变质为石英岩,不是典型的 SEDEX 通道相的特征。SEDEX 矿床的面貌似沉积矿床,却伴随了强烈的蚀变,而新桥矿床蚀变不发育,更没有出现电气石化、钠长石化、黑云母化和白云母化等典型的 SEDEX 矿床的蚀变特征。现代矿床研究已证明,所有的海底喷流成矿均与下伏的岩浆活动有关,但本区未见海西期岩体。

成矿时代 毛景文等(2004)通过对铜陵矿集区中一些铜金矿体的 Re-Os 年龄精测,认为无论是层状矿体还是斑岩型-矽卡岩型矿体,形成于 $(134.7 \pm 2.2) \sim (143.7 \pm 1.6)$ Ma 之间,都是同一时间和同一过程的产物,属于燕山期与花岗质岩石有关的同一成矿系统的产物。Pan 等(1999)对比北美包括 Bingham 特大型铜矿在内的诸多矿床,提出长江中下游地区的这些空间分布关系密切的斑岩型-矽卡岩型-层状矿体为三位一体,属于燕山期与花岗质岩石有关的同一成矿系统的产物。而与新桥矿田成矿有关的矾头岩体的年龄(角闪石 Ar-Ar 法)为 137 Ma(周涛发等, 2000),与成矿在同一时间范围内,说明处于同一矿集区和同一成矿背景下的新桥矿床也应属于燕山期岩浆作用的产物。

成因模式 新桥矿床主要经历了两期成矿作用:即沉积成矿作用和与岩浆活动有关的成矿作用。区域上栖霞组底部发育一层厚 1 m 左右的砂页岩,暗示区域内在石炭纪末期—二叠纪早期地壳曾有过缓慢升降运动,导致了碎屑岩的沉积,随后海侵,沉积形成了栖霞组(P_{1q})灰岩。在局部凹洼的地段,来自古陆的含金属(主要为 Fe)的可溶性物质(如胶体)迁移至凹洼部位,沉积环境趋向于弱还原、弱碱性,

① 华东冶金地质勘查局综合地质大队. 1995. 安徽省铜陵县新桥铜硫铁金银矿床地质总结报告. 202~206. 内部资料.

在诸如生物-化学作用下沉淀形成了具有工业意义的菱铁矿层。

该区在晚石炭世早期—早二叠世早期为浅海相潮坪低洼还原环境,在局部凹洼的地段,伴随碳酸盐岩的沉积,从新桥矿田发现的极少的层纹状的黄铁矿矿石来看,也可形成规模小,品位低,不具有工业意义的黄铁矿层。印支期区域上的近南北向挤压,形成了 D_3w 与 P_1q 之间多层滑脱拆离面,导致同沉积形成的硫化物和菱铁矿矿体受到破坏而角砾化,而滑脱拆离面的形成为后期矿体的定位提供了空间。

燕山期,在扬子地区出现了大规模岩石圈减薄作用、壳幔强烈相互作用以及与之有关的大规模的成矿作用(邓晋福,1999;2001)。长江中下游地区的矿床的形成时代正处于地球动力调整时期,属中生代第二期大规模成矿期(毛景文等,2003),与成矿有关的花岗质岩浆主要是来自下地壳和上地幔的同熔作用,壳幔相互作用十分强烈,岩体中有大量地幔岩包体和角闪石巨晶(秦新龙等,2002)也证实了这一点。岩石圈与软流圈之间存在强烈的构造拆离而导致岩石圈底部遭受底侵作用。在壳幔边界发生较大规模的滑移,导致壳层断裂深切到壳幔边界,沟通玄武质的岩浆,岩浆受同化混染形成中酸性岩,矿化及有关岩体大多数沿 EW 向与 NNE 向断裂的交汇部位上侵,在张性环境的进一步驱动下,中酸性岩浆侵入层间滑脱构造中,发生成矿热液的运移和矿质沉淀,早期沉积的硫化物可能参与了成矿作用,形成一系列与岩浆有关的矿体(如块状硫化物矿体等),而形成新桥层状块状硫化物富矿体的热液可能为类似矿浆的富硫化物流体。

References

- Cooke D R, Bull S W, Large R R and Mcgoldrici P J. 2000. The importance of oxidized brines for the formation of Australian Proterozoic stratiform sediment-hosted Pb-Zn (SEDEX) deposits[J]. *Econ. Geol.*, 95: 1~18.
- Chang Y F, Liou X P and Wu Y C. 1991. The copper-iron belt of the Lower and Middle Reaches of the Changjiang River[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 234p (in Chinese with English abstract).
- Deng J F, Mo X X, Zhao H L, Luo Z H, Zhao G C and Dai S Q. 1999. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 309~315 (in Chinese with English abstract).
- Deng J F and Wu Z X. 2001. Lithospheric thinning event in the Lower Yangtze craton and Cu-Fe metallogenic belt in the Middle and Lower Yangtze River Reaches[J]. *Geology of Anhui*, 2(11): 86~91 (in Chinese with English abstract).
- Fu S G, Yan X W and Yuan C X. 1977. Geological characteristics of pyrite-type copper deposits of carbonic-VMS in metallogenic belt of the Middle to Lower Reaches of the Yangtze River[J]. *J. Nanjing Univ. (Natural Sciences)*, 1: 43~67 (in Chinese with English abstract).
- Goodfellow W D, Lydon J M and Tumer R J. 1993. Geology and genesis of stratiform sediment-hosted (SEDEX) zinc-lead-silver sulfide deposits[A]. In: Kirkham R V, Sinclair W D and Thorpe R I, ed. *Mineral Deposit Modeling*[C]. Geological Association of Canada Special Paper, 40. 201~254.
- Gu L X and Xu K Q. 1986. On submarine-massive sulfide deposits of Middle Carboniferous of the Middle and Lower Yangtze Reaches[J]. *Acta Geologica Sinica*, 6(1): 176~186 (in Chinese with English abstract).
- Han F and Sun H T. 1999. Metallogenic system of SEDEX type deposits: A review[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(1): 139~161 (in Chinese with English abstract).
- Huang X C and Chu G Z. 1993. Multistory metallogenic model of the Shizishan orefield in Tongling, Anhui Province[J]. *Mineral Deposits*, 12(3): 221~230, 252 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z C. 1999. Do there exist sea floor volcanic eruptive sediments in the Huanglong formation, Tongling Xinqiao area, Anhui Province[J]. *Geological J. China Univ.*, 1(5): 110~113 (in Chinese with English abstract).
- Li W D. 1989. On the Yangtze type copper ore deposits and its origin[J]. *Bull. Nanjing Inst. M. R., CAGS*, 10: 1~13 (in Chinese).
- Liu W C, Gao D Z and Chu G Z. 1996. The analysis of structure deformation and the metallogenic prediction in the Middle and Lower Yangtze Reaches[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~96 (in Chinese).
- Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, Yu J J and Niu B G. 2003. The geodynamic setting of Mesozoic large-scale mineralization in north China and adjacent areas-implication from the highly precise accurate timing of meta deposits[J]. *Science in China (Series D)*, 33(8): 838~851 (in Chinese).
- Mao J W, Holly S, Du A D, Zhou T F, Mei Y X, Li Y F, Zang W S and Li J W. 2004. The Re-Os isotope accurate timing of copper (molybdenum) in the Middle and Lower Yangtze area and its indication for metallogenesis[J]. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 78(1): 121~131.
- Meng L Y. 1996a. The isotope characters of "intrusive" massive sulfide deposits[J]. *Chinese Science Bulletin*, 41(9): 808~810 (in Chinese).
- Meng L Y. 1996b. The metallogenic model of copper deposits in the Middle and Lower area[J]. *Science in China (Series D)*, 1(26): 21~25 (in Chinese).
- Pan Y M and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangtze/Yangtze River) metallogenic belt, east central China: Intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 15: 177~242.
- Qin X L, Du Y S and Tian S H. 2002. The first discovery of pyrite-chalcopyrite-bearing amphibole megacrysts in Tongling, Anhui Province, China[J]. *Progress in Nature Science*, 12(8): 834~838 (in Chinese).
- Tang Y C, Wu Y C, Chu G Z, Xing F M, Wang Y M, Cao F Y and

- Chang Y F. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the along-Changjiang area Anhui Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 267~273 (in Chinese with English abstract).
- Wan H, 1989. Features of oxidation zone and gold occurrence in gossan type gold deposit at Taoyuan, Anhu[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 4(2): 28~41 (in Chinese with English abstract).
- Wu G G, Zhang D, Li D X, Zhang X X, Shao Y J, Zang W S and Wang Q F. 2004. Study of the emplacement mechanism of the Fenghuangshan granite pluton and related Cu-Au mineralization in Tongling, Anhui Province[J]. Acta Geologica Sinica (English edition), 78(2): 492~502.
- Xu G and Zhou J. 2001. The Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling mineral district, China: Synorogenic remobilization of a stratiform sulfide deposit[J]. Ore Geology Reviews, 18: 77~94.
- Xu Z G. 1985. Genesis of Mesozoic volcanic rocks in Eastern China as discussed in the light of the characteristics of the structural stress field[J]. Acta Geologica Sinica, 59(2): 109~126 (in Chinese with English abstract).
- Yuan X M. 2002. A tentative discussion on the copper and gold metallogenic model of the Tongguanshan orefield[J]. Acta Geoscientia Sinica, 6(2~3): 541~546 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z S, Hou Z Q, Meng Y F, Zeng P S, Li H Y, Xu W Y, Tian S H, Wang X C, Yao X D and Jiang Z P. 2004. Spatial-temporal structures hercynian exhalative-sedimentary fluid system in Tongling ore concentration area, Anhui Province[J]. Mineral Deposits, 23(4): 281~296 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Pei R F, Hou Z Q, Meng Y F, Yang Z S, Wang X C, Tian S H, Xu W Y and Jiang Z P. 2002. SEDEX-type massive sulfide deposits in Tongling block, Anhui China[J]. Mineral Deposits, 21(Supp.): 532~535 (in Chinese).
- Zhai Y S, Yao S Z, Lin X D, Zhou X R, Wang T F, Jin F Q and Zhou Z G. 1992. The metallogeny of Fe-Cu(Au) of deposits in the Middle-Lower Reaches area of Changjiang[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~234 (in Chinese).
- Zhai Y S, Xiong Y Y, Yao S Z and Liu X D. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the Eastern Yangtze Craton, east-central China[J]. Ore Geology Reviews, 11: 229~248.
- Zhou T F and Yue S C. 2000. Forming conditions and mechanism for the fluid ore-forming system of the copper, gold deposits in the Middle and Lower reaches of the Yangtze River area[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 5(36): 697~707 (in Chinese with English abstract).
- 邓晋福, 吴宗黎. 2001. 下扬子克拉通岩石圈减薄事件与长江中下游Cu、Fe成矿带[J]. 安徽地质, 2(11): 86~91.
- 富士谷, 阎学义, 袁成祥. 1977. 长江中下游成矿带石炭纪海底火山喷发沉积黄铁矿型铜矿床的地质特征[J]. 南京大学学报(自然科学版), (1): 43~67.
- 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, 60(22): 176~186.
- 韩发, 孙海田. 1999. Sedex型矿床成矿系统[J]. 地学前缘, 6(1): 139~161.
- 黄许陈, 储国正. 1993. 铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式[J]. 矿床地质, 12(3): 221~230, 252.
- 黄志诚. 1999. 安徽铜陵新桥黄组沉积期海底火山喷发-沉积质疑[J]. 高校地质学报, 1(5): 110~113.
- 李文达. 1989. 论扬子型铜矿床及其成因[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 10(2): 1~13.
- 刘文灿, 高德臻, 储国正. 1996. 安徽铜陵地区构造变形分析及成矿预测[M]. 北京: 地质出版社. 1~96.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄推测得到启示[J]. 中国科学(D辑), 33(4): 289~300.
- 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 周涛发, 梅燕雄, 李永峰, 臧文拴, 李进文. 2004. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄推测及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, 78(1): 121~131.
- 孟良义. 1996a. 侵入型块状硫化物矿床的稳定同位素组成特征[J]. 科学通报, 41(9): 808~810.
- 孟良义. 1996b. 长江中、下游铜矿床的成矿模式[J]. 中国科学(D辑), 26(1): 21~25.
- 秦新龙, 杜杨松, 田世洪, 李具, 尹京武, 金尚中. 2002. 安徽铜陵地区含磁黄铁矿-黄铜矿角闪石巨晶的首次发现[J]. 自然科学进展, 12(8): 834~838.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社. 267~273.
- 万宏. 1989. 铜陵桃园铁帽型金矿床氧化带与金的赋存特征[J]. 地质找矿论丛, 4(2): 29~41.
- 徐志刚. 1985. 从构造应力场特征探讨中国东部中生代火山岩成因[J]. 地质学报, 59(2): 109~126.
- 袁小明. 2002. 铜官山矿田铜金成矿模式探讨[J]. 地球学报, 6(2~3): 541~546.
- 杨竹森, 侯增谦, 蒙义峰, 曾普胜, 李红阳, 徐文艺, 田世洪, 王训诚, 姚孝德, 姜章平. 2004. 安徽铜陵矿集区海西期喷流沉积体系时空结构[J]. 矿床地质, 23(3): 281~296.
- 曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 蒙义峰, 杨竹森, 王训诚, 田世洪, 徐文艺, 姜章平. 2002. 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): 532~535.
- 翟裕生, 姚书振, 林新多, 周珣若, 万天丰, 金福全, 周宗桂. 1992. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社. 177~190.
- 周涛发, 岳书仓. 2000. 长江中下游铜、金矿床成矿流体系统的形成条件及机理[J]. 北京大学学报(自然科学版), 36(5): 697~707.

附中文参考文献

- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社.
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜. 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,