金属矿产

安徽铜山矽卡岩型铜矿床控矿构造及其对矿化的影响

李大鹏[1]， 杜杨松[1]， 张 静[1]， 庞振山[2]
（1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室，北京 100083；
2. 中国地质调查局发展研究中心，北京 100037）

[摘 要]矽卡岩型金属矿床的形成与构造活动是密切相关的。本文以安徽铜山矽卡岩型铜矿床为研究对象，通过对岩体侵位特征、矽卡岩矿化分带特征、和矿物组合变化规律的研究，系统分析了断裂、褶皱、不整合、接触带等构造活动对本区矽卡岩型铜矿床的成矿控矿意义以及对于矽卡岩矿化的影响。研究表明，构造运动贯穿岩浆上侵、就位、岩浆热液流体活动、接触交代、成矿等整个地质过程；岩浆侵位和矿体的赋存主要受不整合面控制；垂向上矽卡岩矿化分带不同，浅部矿体主要产于石炭-二叠系（C-P）灰岩与燕山期花岗闪长岩体形成的矽卡岩接触带上，而深部矿体则是由于岩浆热液流体的灌入式侵位，发生接触交代、矽卡岩化而成矿的；断裂-接触带共同控矿导致反向矽卡岩矿化分带。

[关键词]构造控矿 矽卡岩矿化分带 矽卡岩型铜矿 安徽铜山
[中图分类号]P588.31+P613 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2010)06-1051-10

Li Da-peng, Du Yang-song, Zhang Jing, Pang Zhen-shan. Ore-controlling structures and their influence on mineralization of the skarn copper deposit in Tongshan, Anhui province[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(6): 1051-1060.

构造活动是影响矿床形成的重要因素，在具有丰富成矿物质和含矿流体活动的前提下，构造对成矿经常起到基本的甚至是主导的作用（翟裕生等，1983，1991，1993）。铜山铜矿床位于长江中下游铜铁成矿带中的安庆-贵池矿集区中部（图1），为层控矽卡岩型铜矿床（常印佛等，1991；Pan *et al.*，1999）。它的形成和分布是与构造活动密不可分的，不同期次的岩浆侵位活动受控于不同期次的构造运动，而且后来的叠加、改造成矿作用及岩浆、热水、变质水等流体的活动，也直接与构造发育的多阶段性密切相关。

由于在深化成矿认识和指导区域找矿方面有重要意义，构造与矽卡岩矿化的关系一直受到广大地质科学工作者重视。层控矽卡岩矿床往往与层间断裂构造、层间破碎剥离构造、褶皱虚脱构造、层间挤压揉皱构造、层间剪切滑动构造、假整合和不整合构造有关（翟裕生等，1981）。由于受这些构造的控制，含矿层、矿源层及此层位以外的成矿物质可以被活化迁移而聚集于该岩层的有利构造部位，形成矿体。可见，矽卡岩矿床的成矿和分布均受构造活动的明显控制。

从已发表的文献资料和专著来看，在矿田构造与成矿方面，前人的主要工作集中在构造对于一般矿床的概括性研究上（陈国达，1983；翟裕生等，1983，1991，1993；常印佛等，1991；Pan *et al.*，1999），而关于构造对矽卡岩型矿床的研究、尤其是对于矽卡岩矿化影响较为系统研究较少。本文从断裂构造、褶皱构造、不整合构造、接触构造四方面研究本区构造对于铜山矽卡岩矿床形成以及矿化分带的影响，以期深化对区域成矿规律的认识。

1 地质背景与矽卡岩矿化特征

铜山铜矿床位于姥山背斜南翼、北山篷向斜北翼，处于向斜和背斜的转折端（图1），构造应力集中，断裂、褶皱和不整合构造发育。

矿区出露的地层主要有志留系、泥盆系、石炭

[收稿日期]2009-11-02；[修订日期]2010-08-20；[责任编辑]郝情情。
[基金项目]全国危机矿山接替资源找矿项目“长江中下游地区矽卡岩型矿床成矿规律总结及成矿机制研究项目”（编号：20089938）资助。
[第一作者]李大鹏（1986年-），男，博士生，矿物学、矿床学、岩石学专业。Email：lidapeng.bj@gmail.com。

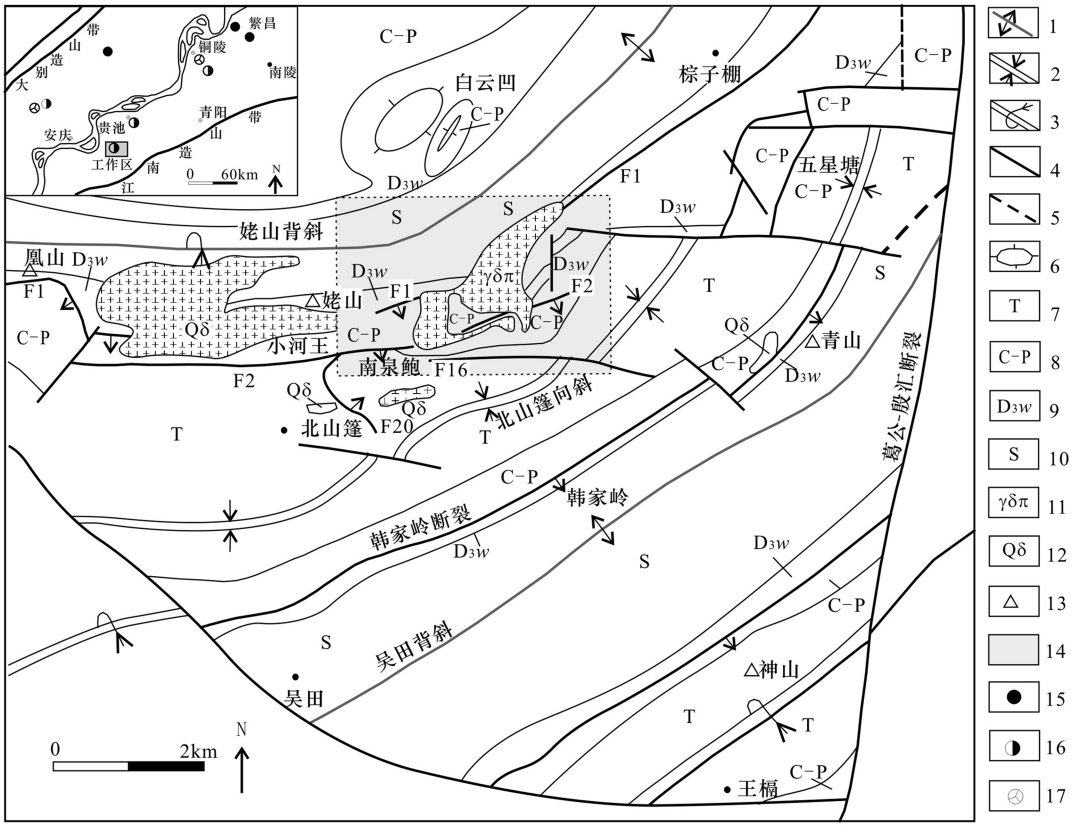


图 1　安徽铜山铜矿床区域地质简图(据孙亚力等,2008 修改)

Fig. 1　Geological sketch map of the Tongshan Cu deposit, Anhui Province (Modified from Sun *et al.*, 2008)

1-背斜;2-向斜;3-倒转褶皱;4-断层;5-推测断层;6-穹隆构造;7-三叠系;8-石炭-二叠系;9-泥盆系五通组;10-志留系;11-花岗闪长斑岩;12-石英闪长岩;13-山峰;14-工作区;15-铁矿床;16-铜铁矿床;17-多金属矿床

1-anticline;2-syncline;3-overturned fold;4-fault;5-inferred fault;6-vaulting;7-Triassic; 8-Carboniferous-Permian;9-Wutong Formation, Devonian;10-Silurian;11-granodiorite-porphyry;12-quartz diorite;13-mountain peak;14-working area;15-iron ore-deposit;16-copper-iron deposit;17-polymetallic deposit

系、二叠系和三叠系的地层。其中,与矿化关系密切的地层主要有石炭系中统黄龙组(C_2h)、石炭系上统船山组(C_3c)、二叠系下统栖霞组(P_1q)、二叠系下统孤峰组(P_1g)等碳酸盐地层。

与本区成矿作用密切相关的成矿岩体是燕山期由于岩浆受对撞挤压上侵而形成的的花岗闪长(斑)岩,其变质和矿化较强烈,是主要的成矿岩体。岩体上侵后与碳酸盐地层接触交代作用强烈,接触带附近矽卡岩化发育,热液蚀变较强,主要有硅化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化和钾长石化等,其中硅化和黄铁矿化与铜矿化关系密切。矽卡岩成矿阶段主要经历四个期次,依次为:成矿阶段主要包括接触变质期、气成高温热液期(包括矽卡岩阶段与氧化物阶段)、热液硫化物期(包括硫化物阶段与碳酸盐阶段)和表生期。

区内矿物成分种类较复杂,其中金属矿物主要有:黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、辉钼矿等。脉石矿物主要有白云石、石英、蛇纹石、镁橄榄石、云母、透辉石、绿泥石和石榴石等,矿石类型主要为含铜矽卡岩,次为含铜磁铁矿、含铜黄铁矿、含铜花岗闪长斑岩、含铜赤铁矿等。

2　构造活动及其控矿意义

长江中下游地区在三叠纪是大别—苏鲁造山带的前陆盆地,铜山矿床区域上位于大别造山带南侧,江南造山带北缘(图 1)。本区在地质历史发展中所形成的构造格局,控制着岩浆活动及与其紧密相关的内生矽卡岩成矿作用(赵文津等,2008)。

2.1　断裂、褶皱、不整合构造与控矿

前人的研究表明,铜山矿区的构造活动经历了

印支及燕山运动。并且规模较大的区域性褶皱和断裂是在印支晚期、燕山早期太平洋板块向西北方向的推力与大别山楔形体向南推力的交替和联合作用下形成的,在燕山早期形成近东西向、近南北向及北东向斜切断层,并且在后碰撞时期(燕山中期)出现了大量滑覆构造和扩容空间(王勇等,2004;孙亚力等,2008;毛景文等,2009)。这些褶皱、断层以及不整合面对矿床的形成和分布起着重要的控制作用。

2.1.1　断裂构造与控矿

断裂构造是岩浆上侵、运移的通道,由于断裂活动而形成的破碎带是成矿物质堆集的重要场所,在很大程度上决定着矿体的形态、产状和空间位置。前人对于区域上的断层控矿作用已有不少研究(吕俊武等,2000;邓军等,2004;杜杨松等,2004;李进文等,2004),但针对于本矿区断层实际控矿情况的研究涉及相对较少。区内断裂构造发育,以平行姥山褶皱轴向的逆冲断层、层间伸展滑动引起的构造破碎带和北东向的压扭性断裂为主。主要断层有 F1、F2、F3、F5、F6、F7、F8、F9、F10、F11、F12、F13、F16 断层(图 2),大致分为有 NE 向、近 EW 向、近 NS 向三组。F1 和 F2 是本区的两组基底断裂(俞沧海等 1999,2001),是岩浆底侵的主要通道,并提供了大量的成矿空间,其中 F1 断层位于矿区北部,发育于五通组与栖霞组之间,该断层规模较大,走向近 EW,长约 3km,宽约 20 ~ 80m,断层倾向 S,上部近于直立,下部较缓,约 50°,为走向逆断层,属成矿前断层,该断层控制的岩枝与有利的接触带,是重要的控矿构造,主要控制前山矿段;F2 断层位于矿区中南部,发育于龙潭组,走向近 EW,长约 1.2km,倾向 S,倾角约 45°,属成矿前断层,该断层主要控制铜山矿段。其它断层主要为 NE 向,为 F1、F2 的同期断层,其中 F3、F5、F9、F10、F12 等断层,倾向 W,提供了大量的成矿空间,与 F2 共同控制铜山矿段矿体的形成。

成矿前断裂:成矿前构造系统主要由印支期 NE 向构造及燕山期 EW 向构造组成。如 F1、F2 和 F16(图 2)均为矿前基底断裂,属印支–燕山阶段长江深大断裂的三个次级断裂。这些断裂的深切割作用引发了下地壳–上地幔的岩浆活动。受构造活动影响,岩浆在 10 km 左右深的岩浆房中沿 F1 断裂上侵,侵入到地表的岩体沿 F1 展布(图 1)。基底型断裂控制底侵型岩体的侵入和矿化作用及其在区域性分布上的分带性,是重要的导岩导矿控矿构造,对于侵入,并且所形成一系列的伴随构造都会为成为矿铜山矿床的形成起着决定性的作用。同时它们造成了地层的重复并在断层带内和断层上下盘形成了一定的开放空间,为岩体侵入提供了通道、为矿体的形成提供了空间。代表性实例为铜山矿段 F2、F12 断层控制形成的 1 号矿体和 5 号矿体(图 3)。

这两个矿体位于印支–燕山期,成矿前形成的 F2 与 F12 断层共同控制的的三角形破碎带中,燕山中晚期侵入的花岗闪长岩体沿基底断裂 F2 侵入,在岩浆不断侵入的过程中,对断裂进行了二次改造,使断裂面发生张性裂开,更易于岩体的侵入。同时靠近断层面的两盘的构造破碎带二次发育,破碎程度强,孔隙度高,岩体大规模侵入,而成为矿田主要的产出部位。由于区域性的主干断裂孔隙度较大,岩浆和矿液侵入时由于流速较大而不易发生接触交代和矿化,主要起岩浆上侵通道的作用。

成矿期断裂:成矿期构造系统主要以燕山晚期伴随强烈岩浆活动而形成的近 E–N 向构造为主。由于受岩体侵位所带来的动力作用和热力作用的影响,使本期的构造活动呈现出非常复杂的特征。这些断层相对矿前断层规模较小,断层面附近常有较多的石英角砾岩发育。如 F1 东段的几处 EN 向的断裂以及 F3、F5、F6、F8、F9、F10、F11、F13(图 2)等断裂具有很高的渗透性,形成了含矿流体运移的通道,成为岩浆热液流体或变质热液向地壳浅部运移以及地表水和浅层地下水向深处流动需要的导矿构造;由于裂隙发育,孔隙度适中利于热液沉淀,更是重要的容矿构造,是主要的含矿断层。

成矿后断裂:成矿后期的构造系统,主要发育于白垩世以后,在本区规模通常较小,主要对矿床的空间分布、产状和保存有一定的影响,通常是在成矿前断裂的基础上进一步发育而来,可为下一步的找矿工作提供指示意义。

2.1.2　褶皱构造与控矿

铜山矿床位于印支期姥山倾伏背斜与北山篷向斜的转折端(图 1),两个褶皱同属长江深大断裂的次级构造。在褶皱形成过程中产生了横向、纵向、斜交断裂,并且不同时代的地层间会出现脱滑间断面,不同性质的岩层界面也发育层间破碎带。

姥山背斜走向大致 NEE,中部弯曲,轴面近于直立,轴面产状在各段变化很大,是受到成矿期 NW 方向扭力作用的结果。铜山矿床发育其倾没端,由于本段扭力集中,剪切面密集、层间滑脱构造发育,加上纵向和横向断裂的配合,使岩浆热液容易沿此体形成的有利条件。从另一方面,受姥山背斜的影

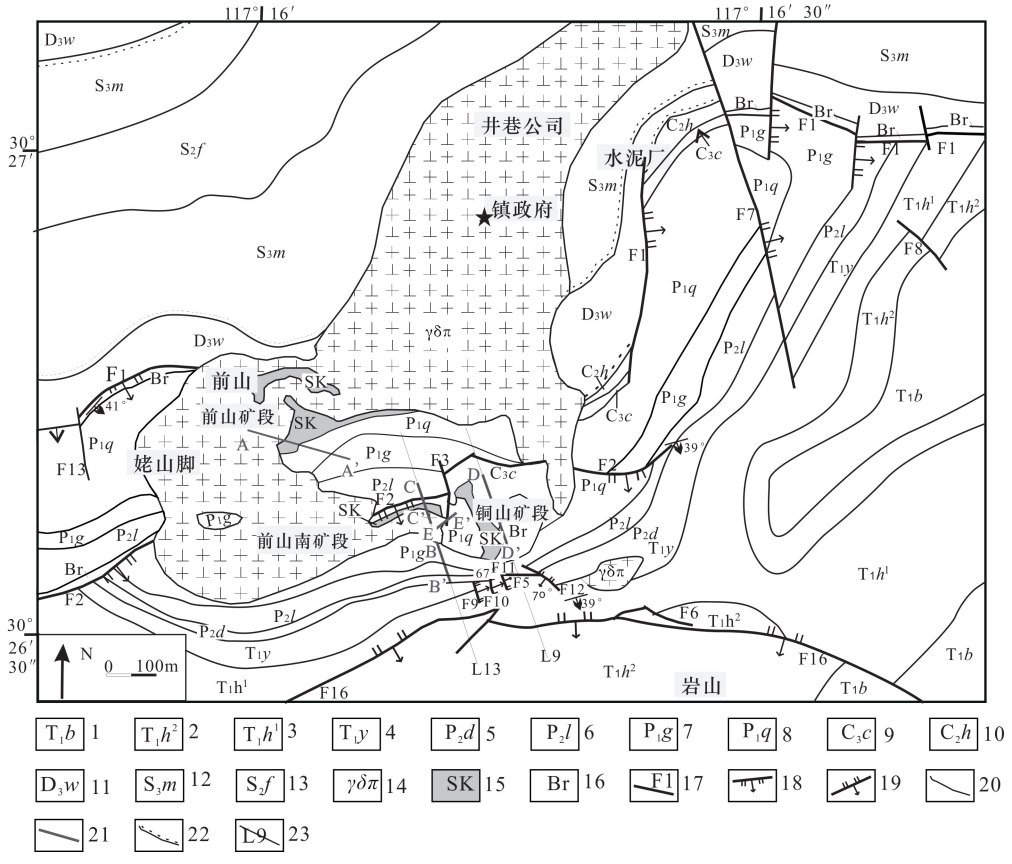


图 2 铜山铜矿床地质图(据安徽省地质局 324 地质队,1983 修编)

Fig. 2 Geological map of the Tongshan Cu deposit (Modified from No. 324 Geological Team, Geology and Mineral Resources Bureau of Anhui Province, 1983)

1-三叠系扁担山组(又名南陵湖组);2-三叠系和龙山组上段;3-三叠系和龙山组下段;4-三叠系殷坑组;5-二叠系上统大隆组;6-二叠系上统龙潭组;7-二叠系下统孤峰组;8-二叠系下统栖霞组;9-石炭系上统船山组;10-石炭系中统黄龙组;11-泥盆系上统五通组;12-志留系上统茅山组;13-志留系中统坟头组;14-燕山期花岗闪长斑岩;15-矽卡岩;16-构造角砾岩;17-断层及其编号;18-正断层;19-逆断层;20-地质界线;21-剖面位置及其编号;22-地层不整合面;23-勘探线及其编号

1-Triassic Biandanshan Formation (alias Nanlinghu Formation); 2-Upper Helongshan Formation, Lower Triassic; 3-Lower Helongshan Formation, Lower Triassic; 4-Triassic Yinkeng Formation; 5-Upper Permian Dalong Formation; 6-Upper Permian Longtan Formation; 7-Lower Permian Gufeng Formation; 8-Lower Permian Qixia Formation; 9-Upper Carboniferous Chuanshan Formation; 10-Middle Carboniferous Huanglong Formation; 11-Upper Devonian Wutong Formation; 12-Upper Silurian Maoshan Formation; 13-Middle Silurian Fentou Formation; 14-Yanshanian granodiorite porphyry; 15-skarn; 16-tectonic breccia; 17-fault and its number; 18-normal faults; 19-thrust faults; 20-geological boundary; 21-section line and its number; 22-stratigraphic unconformity surface; 23-numbered exploration line

响使得 S_3m-D_3w、D_3w-C_2h 等不整合面发生错动而构造应力薄弱(如图 4),当燕山期岩浆侵入时,就会沿 S_3m-D_3w 不整合面上侵,上侵的过程中由于不断挤压该不整合面而形成了一系列的伴随构造,如图 4-B,当岩浆热液突破五通组石英砂岩以后,灌入式地侵入受褶皱影响而发生错动的 D_3w-C_2h 不整合面,在岩体脉冲侵入过程中,围岩由于受到岩浆热与侵入压力的影响,而发生形变,产生同步褶皱,提供了更大的成矿空间,另外喇叭口状的不整合易于热液汇集,此时流速降低并富集从而与顶部的碳酸盐地层发生热液交代而形成鞍状矿体。

2.1.3 不整合接触与控矿

不整合接触在本区是一种典型的导矿和容矿构造,吴淦国等(2003)曾系统的研究了铜陵矿集区的不整合和构造滑脱带与成矿的关系,其认为不整合面和构造滑脱带是岩体侵位,矿体富集的重要通道与空间。而对于本区,地层间的不整合面主要有 S_3m-D_3w、D_3w-C_2h、D_3w-C_3c、C_3c-P_1q、D_3w-P_1q

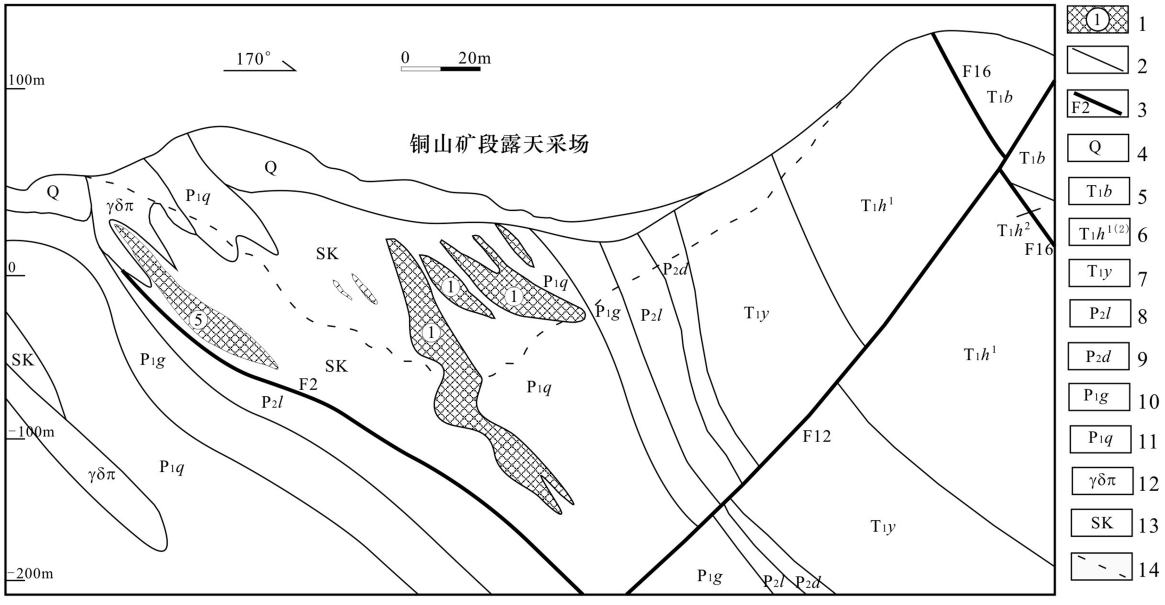


图 3　铜山铜矿床 L9 勘探线(D–D')地质剖面图(据安徽 324 地质大队资料,1983 改编)

Fig. 3　Geological section of exploration Line 9 (D–D') in the Tongshan Cu deposit (Modified from No. 324 Geological Team, Geology and Mineral Resources Bureau of Anhui Province, 1983)

1–矿体及编号;2–地质界线;3–断层及编号;4–第四系;5–三叠系下统扁担山组;6–三叠系下统和龙山组;7–三叠系下统殷坑组;8–二叠系上统龙潭组;9–二叠系上统大隆组;10–二叠系下统孤峰组;11–二叠系下统栖霞组;12–花岗闪长斑岩;13–矽卡岩;14–采坑地表线

1–ore body and its serial number; 2–geological boundary; 3–fault and its serial number; 4– Quaternary; 5–Triassic Biandanshan Formation; 6–Lower Triassic Helongshan Formation; 7–Triassic Yinkeng Formation; 8–Upper Permian Longtan Formation; 9–Upper Permian Dalong Formation; 10– Lower Permian Gufeng Formation; 11–Lower Permian Qixia Formation; 12–Yanshanian granodiorite porphyry; 13–skarn; 14–surface pit boundary

等。本区岩体来源主要是岩浆沿断层面和 S_3m–D_3w 和 D_3w–C_2h 不整合面侵入(图 4–D),而且当岩浆在 S_3m–D_3w 上侵过程中,上侵通道两壁的砂岩受热会蚀变为强硅质岩,更加有利于岩浆的上侵。主矿体主要位于 D_3w–C_2h、D_3w–C_3c 和 D_3w–P_1q 不整合面上。

由于矿田构造在垂向上的不同发育程度、岩浆流体的多次沸腾侵入作用以及多相流体的物理分异作用,使本区在垂向上主要形成以下 4 种矿体类型(图 4),其中 B、C、D 三种均与不整合面相关。

A 型矿体,受断层控制明显,岩体主要沿基底断裂 F2 侵入,富集在由于受断裂影响而较为破碎的断层两盘和与之靠近的不整合构造中,与碳酸盐地层接触交代而发生矿化,由于环境稳定性相对于深部较差,故岩体的矽卡岩矿化不完全。

B 型矿体,随着岩浆沿 S_3m–D_3w 不整合面的不断侵入,不整合面逐渐增宽,侵入岩体两侧的(S_3m、D_3w)硅质砂岩受热作用而成为强硅质岩,对岩浆的上侵起到保护和促进作用。随着侵入强度的增加,就会在五通组砂岩较薄弱的地方突破而侵入到岩体顶部 D_3w–P_1q 不整合面上,受同步褶皱控制,接触交代并矿化而形成鞍状矿体。

C 型矿体,岩浆沿 S_3m–D_3w 不整合面侵入,突破五通组砂岩后直接与栖霞组的灰岩发生接触交代,并矿化而形成囊状矿体。是浅部的矽卡岩矿体的主要成矿模式。

D 型矿体,是由于沿 S_3m–D_3w 不整合面侵入的岩浆,突破五通组砂岩之后,岩浆热液沿 D_3w–C_2h、D_3w–C_3c、D_3w–P_1q 等不整合面灌入式侵入,与碳酸盐地层发生热液交代而形成层状的矿体。这种类型的矿体为本区深部的普遍模式。

由此可知,铜山矿床不整合构造的控矿意义主要表现为它是一种重要的导矿和储矿构造。吴淦国等(2003)认为,由于稳定性差、构造应力薄弱,在晚三叠纪的造山活动及造山后期的构造活动中,不整合面容易因错动而发生剥离而易于岩浆热液的运移和富集,岩石也容易发生挤压破碎,并能引发不整合面的盖层与基底中产生一系列压性和张性断裂,致

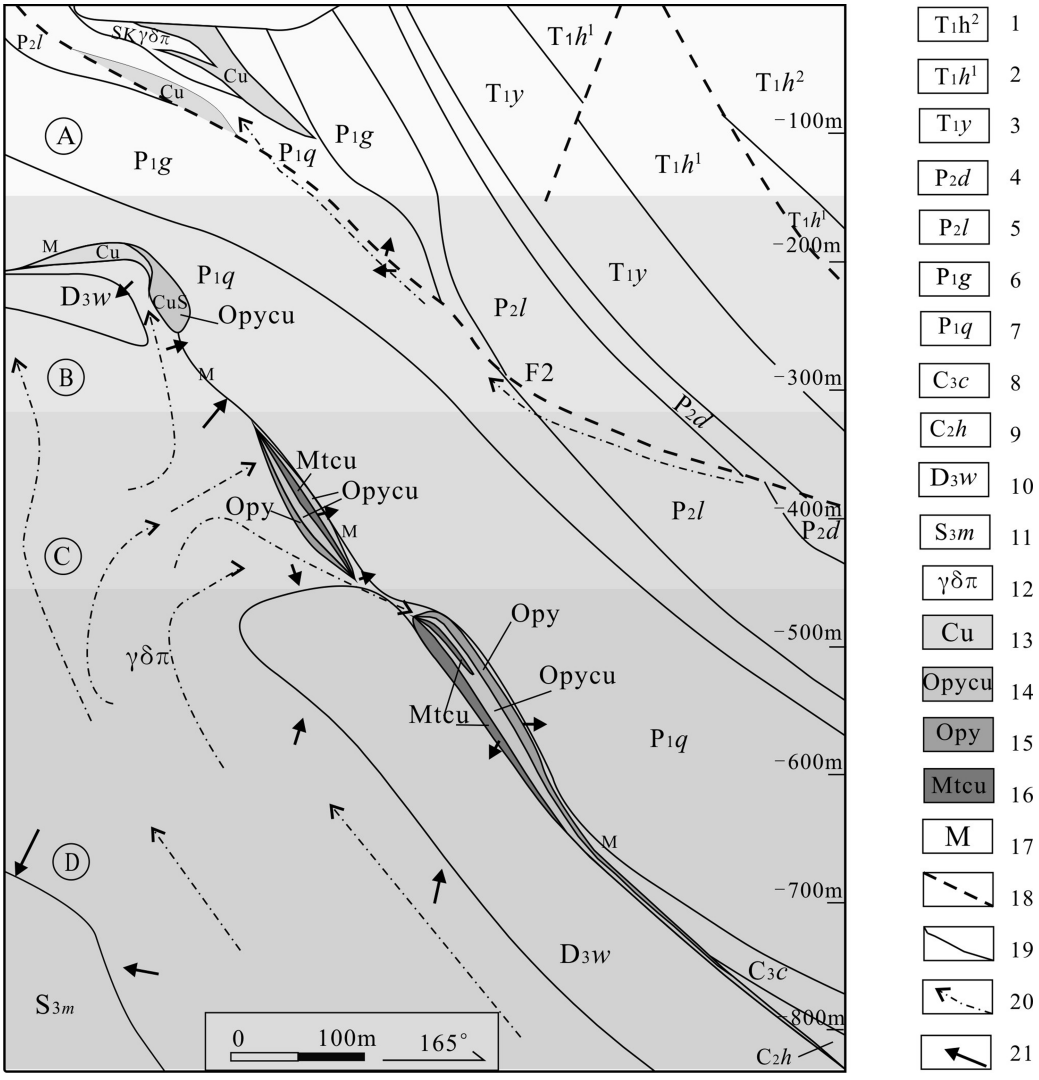


图 4 铜山矿区(L13)岩体侵位成矿的四种模式(据安徽 324 地质大队,1983 修编)

Fig. 4 Four models for magma emplacement and mineralization in the L13 of Tongshan Cu deposit(Modified from No. 324 Geological Team, Geology and Mineral Resources Bureau of Anhui Province, 1983)

1-三叠系和龙山组上段;2-三叠系和龙山组下段;3-三叠系殷坑组;4-二叠系上统大隆组;5-二叠系上统龙潭组;6-二叠系下统孤峰组;7-二叠系下统栖霞组;8-石炭系上统船山组;9-石炭系中统黄龙组;10-泥盆系上统五通组;11-志留系上统茅山组;12-燕山期花岗闪长斑岩;13-铜矿体;14-含铜黄铁矿;15-黄铁矿;16-含铜磁铁矿;17-大理岩;18-断层;19-地质界线;20-岩浆侵位方向;21-岩浆应力方向

1-Upper Helongshan Formation, Lower Triassic; 2-Lower Helongshan Formation, Lower Triassic; 3-Triassic Yinkeng Formation; 4-Upper Permian Dalong Formation; 5-Upper Permian Longtan Formation; 6-Lower Permian Gufeng Formation; 7-Lower Permian Qixia Formation; 8-Upper Carboniferous Chuanshan Formation; 9-Middle Carboniferous Huanglong Formation; 10-Upper Devonian Wutong Formation; 11-Upper Silurian Maoshan Formation; 12-Yanshanian granodiorite porphyry; 13-copper orebody; 14-cupriferous pyrite; 15-pyrite; 16-cupriferous magnetite; 17-marble; 18-faults; 19-geological boundary; 20-magmatic emplacement direction; 21-stress direction

使不整合面处断裂、裂隙异常发育,形成一个层状的高孔隙度的空间系统,成为岩浆和矿液侵入的通道和赋矿场所。当白垩纪的铜山岩体侵位时,大量岩浆热液迅速进入这些空间并交代原岩,就形成了大规模的层状矿体。

从地球化学的角度讲,李朝阳等(2004)认为不整合面是一个地球化学的转换带,这有利于成矿元素沉淀并富集成矿。同时,在不整合面形成过程中所堆积的一些粘土物质和有机质,在同生沉积阶段预富集了部分成矿元素,在后期构造运动中,又对流经不整合面的成矿流体中的成矿元素起了吸附还原作用,使成矿元素沉淀而富集成矿。

2.2　接触构造体系控矿

接触带是矽卡岩型铜矿成矿的重要部位,是构造、岩浆、围岩、热液等多种因素联合作用所形成的构造体系。由于在垂向上岩浆机械活动性和化学活动性的差异以及围岩岩性和构造条件的不同,造成本区矽卡岩在垂向上矿化特征不同,大致以-400m为界,主要发育有两套矽卡岩矿化模式(图5)。

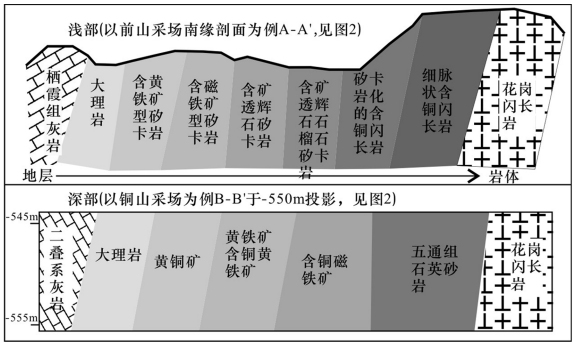


图5　不同深度矽卡岩矿化分带对比示意图

Fig. 5　Sketch showing comparison of skarn mineralization zoning at different depths

2.2.1　浅部矽卡岩接触带与控矿

浅部形成的矽卡岩型矿体,岩体主要是深部岩浆房的岩浆沿基底性断裂和 S_3m-D_3w 不整合面这两个通道上侵的。沿基底性断裂上侵的岩浆大部分一般会侵入到-200m以上的近地表层,在受断裂控制的破碎区富集并与碳酸盐地层发生热液交代并矿化(如图4-A)。而沿 S_3m-D_3w 不整合面上侵的岩浆,在五通组地层薄弱部位突破而与碳酸盐地层发生接触交代作用并矿化(如图4-B、C型)。以剖面A—A'为例(图5),从岩浆岩经内矽卡岩到外矽卡岩再到灰岩,矽卡岩矿化分带情况大致为:花岗闪长岩→含铜闪长岩→矽卡岩化的含铜闪长岩→透辉石石榴石矽卡岩→含矿透辉石石榴石矽卡岩→含矿透辉石矽卡岩→含磁铁矿型矽卡岩→含黄铁矿型矽卡岩→大理岩→栖霞组灰岩;形成的矿物从高温矿物→中温-中低温矿物;借助电子探针对矽卡岩中的石榴石与辉石成分进行分析,得出从内矽卡岩到外矽卡岩,硅、铝、镁的含量逐渐减少,而钙、铁的含量逐渐增加(图6)。

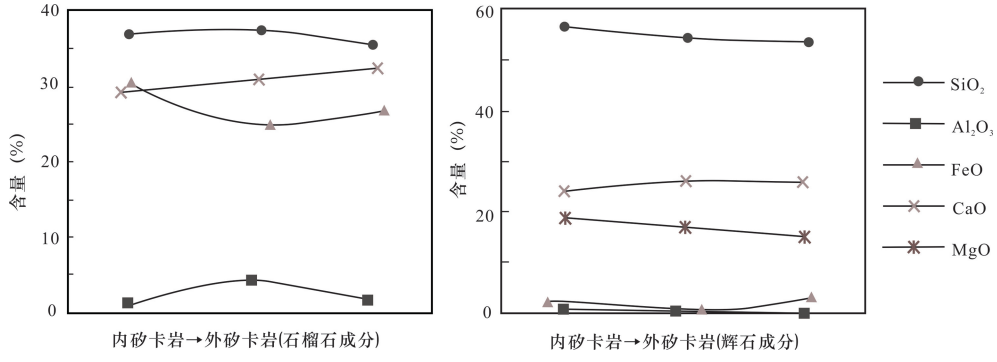


图6　矽卡岩中代表性矿物成分变化

Fig. 6　Variations of representative mineral compositions in skarn

2.2.2　深部矽卡岩接触带与控矿

深部形成的矽卡岩型矿体,其岩浆侵位和矿化主要是在 D_3w-C_2h、D_3w-C_3c 以及 D_3w-P_1q 不整合面上形成的,以13号勘探线-450m→-650m处的四号矿体为例(图7):

深部岩浆房的岩浆经过底劈作用沿 S_3m-D_3w 不整合面上不断侵,突破五通组石英砂岩后与碳酸盐地层接触。侵入的岩浆热液流体由于高温、高压、渗透性强,容易沿 D_3w-C_2h、D_3w-C_3c 和 D_3w-P_1q 等不整合面向深部侵入,而形成灌入式岩株、岩枝或岩墙。侵入关系截然,分层性明显。侵入后,在接触变质期,侵入的岩浆流体底部的石英砂岩受热作用变质为强硅质岩,顶部的碳酸盐地层发生大理岩化。经历矽卡岩阶段之后,接触面上的岩体近于全部矽卡岩化,并在氧化物阶段磁铁矿化完全,热液硫化物期一部分磁铁矿和相邻的大理岩发生黄铁矿化,最后在碳酸盐阶段便会形成贯穿于磁铁矿、含铜硫化物中的碳酸盐脉。由此,深部矽卡岩的矿化分带情况为花岗闪长岩→五通组石英砂岩(热变质为强硅质岩)→含铜磁铁矿型矽卡岩→黄铜矿型矽卡岩→含铜黄铁矿→船山组、栖霞组灰岩(已蚀变为大理岩或白云岩)。

2.2.3　构造叠加造成的矽卡岩矿化反向分带

矿前断层对于铜山矿床在区域上起导矿-控矿等决定性作用,理想状态下,中酸性岩浆侵入时,若

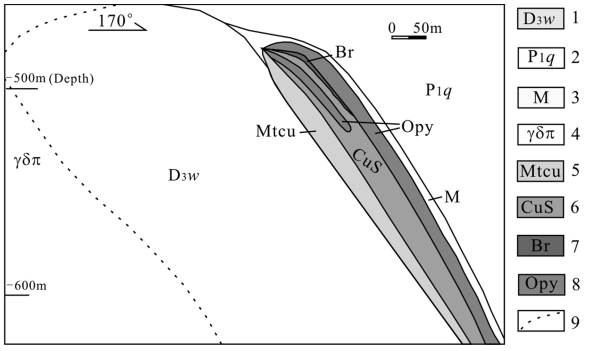


图 7 铜山矿床 L13 勘探线地质剖面图

Fig. 7 Geological section of exploration Line 13 in the Tongshan Cu deposit

1-泥盆系上统五通组;2-二叠系下统栖霞组;3-大理岩;4-燕山期花岗闪长斑岩;5-含铜磁铁矿;6-二叠系下统孤峰组;7-角砾岩;8-黄铁矿;9-地质界线

1-Upper Devonian Wutong Formation;2-Lower Permian Qixia Formation;3-marble;4-Yanshanian granodiorite porphyry;5-cupriferous magnetite;6-chalcopyrite;7-breccia;8-pyrite;9-geological boundary

与碳酸盐类岩石直接相遇产生有利的接触带构造,接触带中间部分一般温度高,常形成磁铁矿、赤铁矿等高温矿物;而外带一般形成黄铁矿、黄铜矿等高-中温矿物。然而,如果岩体与围岩的接触带发育在成矿前断裂带上,此时断裂构造就会对成矿有一定的影响,形成反向分带现象。例如,在铜山矿段的 F3 断裂处,由于接触带和断裂的复合(图 8),对形成的矿物组合等有一定影响。

当不断上侵的岩浆侵入到 F3(图 2)控制的断裂面时,与 C_3c-P 碳酸盐地层接触,并且此时受地表水和地层水等流体的影响在靠近断层的地方温度骤降,使高温带变成中温带,甚至是中低温带,在近地表区出现以断层面为中心到两边温度增高的现象。靠近断层面的部分由于温度降低在气成高温热液期就会受到影响,石榴石、透辉石矽卡岩以及后来的磁铁矿的形成受到限制,但在相对低温的硫化物成矿阶段影响较小,形成黄铁矿、黄铜矿等矿物,从而在浅部区形成反向矽卡岩矿化现象。而在深部区,由于断裂韧性较大,张性较小,各成矿阶段受断层控制不明显,随着温度的降低,从高温热液阶段的矽卡岩矿物、磁铁矿等的形成,到硫化物阶段的石英、硫化物等矿物的形成顺次进行。

3 结论

(1) 安徽铜山矽卡岩型铜矿床的形成与有利的构造条件密不可分,断层、褶皱、不整合等构造是该区成矿的有利因素。不整合构造是形成热液矿床的典型构造条件,与断裂、褶皱共同成为矽卡岩型矿床形成的决定性因素,与岩体相邻的不整合构造的找矿意义重大。

(2) 在垂向上由于岩浆机械活动性、化学活动性的差异以及围岩岩性、构造情况的不同,造成矽卡岩在垂向上矿化特征的不同。浅部:矿体多形成于岩体与地层的接触面,或受构造控制的不整合面上。

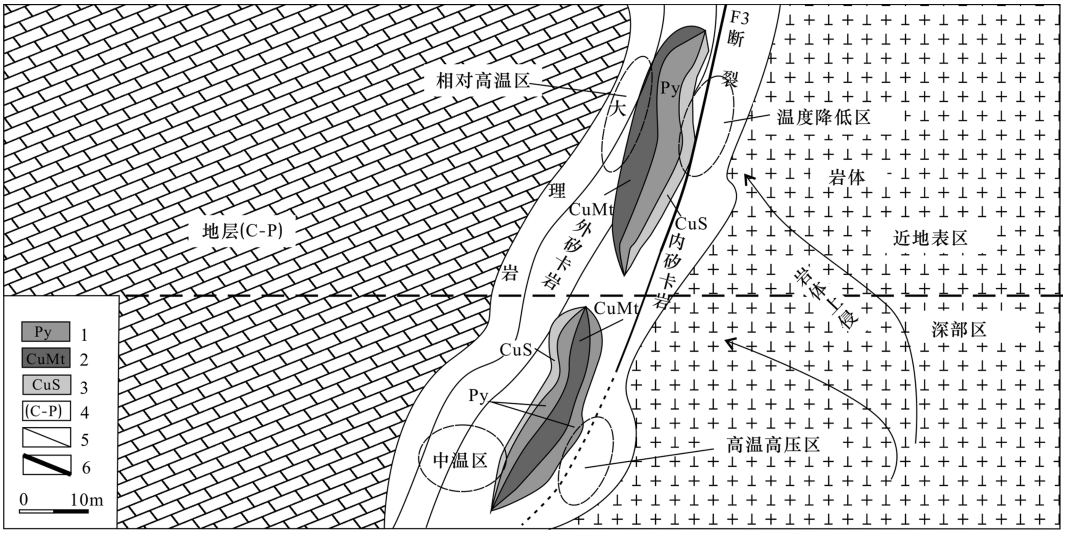


图 8 E-E 剖面的接触-构造联合控矿模式

Fig. 8 Contact-structure joint ore-controlling model of cross section E-E′

1-黄铁矿;2-含铜磁铁矿;3-黄铜矿;4-石炭系-二叠系;5-地质界线;6-断层

1-pyrite;2-cupriferous magnetite;3-chalcopyrite;4-Carboniferous-Permian;5-geological boundary;6-fault

在高温热液期发生磁铁矿化,后在硫化物成矿阶段发生黄铁矿、黄铜矿化现象。矿化以磁铁矿为中心呈对称形式。深部:侵入岩高温高压、渗透性强,以岩浆热液流体的形式侵入、渗透到 D_3w-C_2h、D_3w-C_3c 和 D_3w-P_1q 等不整合接触面上,接触面截然,侵入的岩体在高温热液期近于全部矽卡岩化、磁铁矿化。相邻的石英砂岩地层变质为强硅质岩,相邻的碳酸盐地层发生黄铁矿化和黄铜矿化。因此,与岩体相邻的 D-C 不整合是本区深部找矿的有利区域。

(3) 在成矿过程中断裂-接触带共同控矿,但由于断裂对温度等物理化学条件的影响,致使出现反向矽卡岩矿化分带现象。

致谢:本文是全国危机矿山接替资源找矿项目"长江中下游地区矽卡岩型矿床成矿规律总结及成矿机制研究项目"(编号 20089938)成果的一部分。野外调研及数据采集工作得到了铜山铜矿的万勇高级工程师和李品杰、徐刚工程师以及中国地质大学张智宇博士、贾鹏飞硕士的大力支持,论文写作过程中得到了王功文副教授、曹毅博士的热情帮助,在此一并表示最诚挚的感谢!

[References]

Chang Yin-fo, Liu Xiang-pei, Wu Yan-chang. 1991. Copper-iron mineralization belt in the middle and lower-reaches of the Yangtze River [M]. Beijing: Geological Publishing House: 89-132 (in Chinese)

Chen Guo-da. 1983. Metallotectonic research method [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)

Deng Jun, Wang Qing-fei, Huang Ding-hua, Sun Zhong-shi, Zhang Da-quan. 2004. The evolutionary frame of tectonic-fluid-metallogenic system in Tongling ore deposit concentrated district [J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 121-128 (in Chinese)

Du Yang-song, Qin Xin-long, Li Xuan-ju. 2004. Mesozoic mantle-derived magma underplating in Tongling, Anhui Province: evidence from megacrysts and xenoliths [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2(23): 109-116 (in Chinese with English abstract)

Li Jin-wen, Pei Rong-fu, Mei Yan-xiong. 2004. Vertical zoning of orefield structures in Tongling ore concentration Area, Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 2(23): 208-215 (in Chinese with English abstract)

Li Chao-yang, Liu Yu-ping, Guan Tai-yang, Pi Dao-hui, Ye Lin. 2004. Mineralization mechanism and prospection on unconformable contacts [J]. Earth Science Frontiers, 2(11): 353-360 (in Chinese with English abstract)

Lv Jun-wu. 2000. The study on Tongshan rock mass characteristics [J]. Mineral Resources and Geology, 3: 172-174 (in Chinese)

Mao Jing-wen, Shao Yong-jun, Xie Gui-qing, Zhang Jian-dong, Chen Yu-chuan. 2009. Mineral deposit model for porphyry-skarn polymetallic copper deposits in Tongling ore dense district of Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt [J]. Mineral Deposits, 2(28): 109-119 (in Chinese with English abstract)

Pan Y M, Dong P. 1999. The Lower Changjiang (YangzilyangtzeRiver) metallogeniebelt, east central China: intrusion and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits [J]. Ore Geology Reviews, 15(4): 177-242

Sun Ya-li, Zhang Li-ming, Zhang Hong-zhou, Liu Qing. 2008. The Practice and inspiration of deep ore-prospecting of Tongshan Cu deposit, Chizhou, Anhui Province [J]. Yunnan Geology, 27(1): 40-45 (in Chinese with English abstract)

Wu Gan-guo, Zhang-Da, Zang Wen-shuan. 2003. Study of tectonic layering motion and layering mineralization in the Tongling metallogenic cluster [J]. Science in China (Series D), 33(4): 300-308 (in Chinese)

Xiao Xin-jian, Gu Lian-xing, Ni Pei. 2002. Multi-episode fluid boil-ing in the Shizishan copper-gold deposit at Tongling, Anhui Province: Its bearing on ore formation [J]. Science in China, 45(1): 34-45

Yu Cang-hai. 2001. Study on the genesis of Tongshan copper ore deposit in Guichi [J]. Geology and Prospecting, 37(2): 12-16 (in Chinese with English abstract)

Yu Cang-hai, Yuan Xiao-ming. 1999. The relationship between mineralization and evolution of rock in Tongshan Guichi [J]. Mineral Resources and Geology, 5(13): 274-278 (in Chinese with English abstract)

Zeng Pu-sheng, Yang Zhu-sen, Meng Yi-feng, Wang Yan-bin, Wang Xun-cheng, Xu Wen-yi, Tian Shi-hong, Yao Xiao-de. 2004. Temporal-spatial configuration and mineralization of Yanshanian magmatic fluid systems in Tongling ore concentration area, Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 23: 298-319 (in Chinese with English abstract)

Zhai Yu-sheng, Shi Zhun-li, Zeng Qing-feng, Lin Xin-duo. 1981. Mine field structure and mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-79 (in Chinese)

Zhai Yu-sheng, Yao Shu-zhen, Lin Xin-duo, Zhou Xun-ruo, Wan Tian-feng, Jin Fu-quan, Zhou Zong-gui. 1992. Iron-copper (gold) metallogenic characteristics in the Middle and Lower Yangtze River valley [J]. Beijing: Geological Publishing House: 45-65 (in Chinese)

Zhai Yu-sheng, Lin Xin-duo. 1993. Mine concession tectonics [M]. Beijing: Geological Publishing House: 23-68 (in Chinese)

Zhao Wen-jin. 2008. Ore prospects and ore exploration methods for metal deposits in the middle and lower Yangtze River valley [J]. Geology in China, 5(35): 771-802 (in Chinese with English abstract)

[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:89-132

陈国达. 1983. 成矿构造研究法[M]. 北京:地质出版社:24-139

邓　军,王庆飞,黄定华,孙忠实,张大权. 2004. 铜陵矿集区构造-流体-成矿系统演化格架[J]. 地学前缘,11(1):121-128

杜杨松,秦新龙,李铉具. 2004. 安徽铜陵地区中生代幔源岩浆底侵作用[J]. 岩石矿物学杂志,2(23):109-116

李进文,裴荣富,梅燕雄. 2004. 铜陵矿集区矿田构造垂直分带[J]. 矿床地质,2(23):208-215

李朝阳,刘玉平,管太阳,皮道会,叶　霖. 2004. 不整合面中的成矿机

制与找矿研究[J]. 地学前缘,2(11):353-360
吕俊武. 2000. 铜山岩体特征研究[J]. 矿产与地质, 3:172-174
毛景文,邵拥军,谢桂青,张建东,陈毓川. 2009. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J]. 矿床地质, 2(28):109-119
孙亚力,张立明,张洪洲,刘 青. 2008. 安徽池州铜山铜矿深部找矿实践与启示[J]. 云南地质,27(1):40-45
吴淦国,张达,藏文拴. 2003. 铜陵矿集区构造滑脱与分层成矿特征研究[J]. 中国科学(D 辑),33(4):300-308
俞沧海. 2001. 贵池铜山铜矿床成因探讨[J]. 地质与勘探,37(2):12-16
俞沧海,袁小明. 1999. 贵池铜山岩体演化与成矿的关系[J]. 矿产与地质,5(13):274-278
曾普胜,杨竹森,蒙义峰,裴荣富,王彦斌,王训诚,徐文艺,田世洪,姚孝德. 2004. 安徽铜陵矿集区燕山期岩浆流体系统时空结构与成矿[J]. 矿床地质,23:298-319
翟裕生,石准立,曾庆丰,林新多. 1981. 矿田构造与成矿[M]. 北京:地质出版社:1-79
翟裕生,姚书振,林新多,周珣若,万天丰,金福全,周宗桂. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社:45-65
翟裕生,林新多. 1993. 矿田构造学[M]. 北京:地质出版社:23-68
赵文津. 2008. 中下游金属矿找矿前景与找矿方法[J]. 中国地质,5(35):771-802

Ore-Controlling Structures and Their Influence on Mineralization of the Skarn Copper Deposit in Tongshan, Anhui Province

LI Da-peng[1], DU Yang-song[1], ZHANG Jing[1], PANG Zhen-shan[2]

(1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083;
2. *Development Research Center, China Geological Survey, Beijing* 100037)

Abstract: The formation of skarn-type ore deposits is closely related with geological structures. In this paper, the Tongshan Cu deposit in Anhui province is systematically studied, involving the geological structures that influence skarn deposit formation, such as faults, folds, unconformities and contact zones in the study area. The results show that structural activities run through the whole process involving magma intrusive emplacement, magmatic hydrothermal fluid activity, contact replacement and mineralization. The magmatic emplacement and the presence of ore bodies are mainly controlled by unconformities. Skarn mineralization zoning is different in vertical direction. In the shallow subsurface, the ore body primarily occurred in skarn within the contact zone between C-P limestone and Yanshanian dioritic complex. While at depth, the ore body is associated with intrusive emplacement in the form of hydrothermal fluid, followed by contact replacement and skarnization that caused mineralization. The joint ore-controlling of fault-contact zones resulted in reverse skarn mineralization zoning.

Key words: structural control of ore deposition, skarn mineralization zoning, skarn Cu deposit, Tongshan, Anhui Province