1736797

分类号 密级

UDC 编号

中南大學
CENTRAL SOUTH UNIVERSITY

硕士学位论文

论文题目：安徽月山地区龙门山铜多金属矿床地质地球化学特征及成因分析

学科、专业：矿产普查与勘探

研究生姓名：刘忠法

导师姓名及专业技术职务：邵拥军 教授

Y1720424

分类号 VDC_____ 密级_____

硕士学位论文

安徽月山地区龙门山铜多金属矿床地质地球化学特征及成因分析

The Geochemical Characteristics and the Genesis of the Longmenshan Cu -polymetallic Deposit of Yueshan area, Anhui Province

作 者 姓 名：刘忠法

学 科 专 业：矿产普查与勘探

学院（系、所）：地学与环境工程学院

指 导 教 师：邵拥军 教授

副 指 导 教 师：

论文答辩日期 2009.10.23 答辩委员会主席

中 南 大 学

年 月

原创性声明

本人声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他单位的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在论文中作了明确的说明。

作者签名：刘忠法　日期：2009年10月23日

学位论文版权使用授权书

本人了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留学位论文并根据国家或湖南省有关部门规定送交学位论文，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以采用复印、缩印或其它手段保存学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

作者签名：刘忠法　导师签名邓湘等日期：2009年10月23日

摘 要

龙门山铜多金属矿床位于扬子地块北缘下扬子台坳沿江断褶带中段的月山岩体内以及岩体与围岩的接触带中，是长江中下游铜铁成矿带重要矿床之一。在对区域地质背景、矿床地质特征、矿床地球化学特征、成矿地质条件分析的基础上，开展了月山地区控矿因素、成岩机制、矿床成因、成矿模式等方面的研究。论文的研究成果与创新主要有以下几点：

1、通过对区域地质背景的分析，研究了矿床地质特征、矿体特征、矿石特征，在此基础上，根据矿物共生组合关系，将龙门山铜多金属矿床的成矿作用分为两期六阶段，即：矽卡岩期：早期矽卡岩阶段（透辉石矽卡岩等）、晚期矽卡岩阶段（石榴子石矽卡岩、磁铁矿）、氧化物阶段（钾长石、角闪石、黑云母等）；硫化物期：石英阶段、硫化物阶段（黄铜矿、黄铁矿及少量的斑铜矿）和碳酸盐阶段（碳酸盐矿物及少量的镜铁矿）。

2、根据矿区岩浆岩岩石化学特征、稀土元素和微量元素地球化学特征，得出本区闪长岩类造岩元素 $K_2O/(K_2O+Na_2O)$ 和 $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$的指标值分别为0.39～0.41和1.30～1.37，LREE/HREE为8.37～12.84，Sr的丰度较高，平均为881.31×10^{-6}，最高达4840×10^{-6}，远高于上地壳值350×10^{-6}和下地壳值230×10^{-6}，显示本区形成月山岩体的原始岩浆来源于上地幔，岩体具富钠、钾的特征，同时富钙的特征也比较明显，其原因可能是岩浆上升时遭受了地壳钙质混染，即地壳的同化混染作用。

3、探讨了地层、构造、岩浆岩以及围岩与成矿的关系，认为地层提供了部分成矿物质；构造是本区成矿的必要因素，控制了岩浆的侵位及其成矿岩体和矿体的形成和就位；燕山期岩浆岩是有利的成矿母岩，是本区成矿物质的主要提供者；围岩及围岩裂隙是本区成矿的重要条件，控制脉状矿体的产状与规模。

4、通过对矿床地质特征、地球化学特征、控矿因素以及成岩机制的分析，认为龙门山铜多金属矿床的形成与燕山期中酸性岩浆侵入活动有密切的关系；在综合研究本区成矿环境、岩浆来源、岩浆演化机制的基础上，建立了同源多期多位一体的成岩、成矿模式，

认为龙门山铜多金属矿床是以中酸性岩浆热液交代为主的脉状矽卡岩型铜多金属矿床。

关键词 矿床地球化学，成矿地质条件，成岩机制，矿床成因，安徽龙门山铜多金属矿床

ABSTRACT

Longmenshan copper-polymetallic deposit is located in Yueshan rock mass which is located in the middle of broken fold belt in northern margin of Yangtze block as well as between rock mass and hosting rock contact strip, and this deposit is one of the most important deposits in middle and lower Yangtze River of copper metallogenic belt. Based on the analysis of the characteristics of geological background, geological characteristic of deposit ore, geochemical of deposit and metallogenic geologic condition, author researches on the ore-controlling factors, rock-forming and mechanism, the genesis of deposit, metallogenic pattern and etc.The main achievements are made as follows:

1. Through the analysis of the regional geological background, author researches the characteristics of deposit, orebody and ore, and then divides the mineralization of Longmenshan copper deposit into two stages and six phases by the relation of mineral paragenetic association, namely: skarn stage: early skarn phase (diopside skarn and etc), terminal skarn phase(garnet skarn, magnetite), oxide phase(potash feldspar, hornblende, biotite and etc); sulfide stage: quartz phase, sulfidic stage （chalcopyrite, pyrite and bornite） and carbonate phase（carbonate minerals and specularite）.

2. According to petrochemical characteristics of magmatic rocks, trace elements and REE geochemiscal characteristics of Yuesahn mining area, we draw the conclusion that the rock-forming elements of diorite $K_2O/(K_2O+Na_2O)$ and Al_2O_3/K_2O+Na_2O+CaO's index value are 0.39～0.41 and 1.30～0.69 respectively, LREE/HREE is 8.37～12.84，Sr has higher abundance, average 881.31×10^{-6}，top to 4840×10^{-6} much higher than the upper crust values of 350×10^{-6} and the lower crust values of 230×10^{-6}, and it display the initial magma root in upper mantle which form the rock body of Yueshan, and rock body has the character of rich kalium and natrium, as well as the character of rich calcium is obvious, consistent with that rock is rich in calcic mineral. The reason may be that when the magma rises, it suffers from the crust calcic matter's strong

contamination, which is called the crust's assimilative hybridism.

3. This dissertation discusses the relation between stratum, structure, magmatic rock, hosting rock and mineralization, recognizing that the stratum offer part of the mineralized matter, the structure is the necessary factor of intrinsic region mineralization, which controls the intrusion of magma, the formation and location of minerogenetic rock and ore-body. The magmatic rock of Yanshan stage is favorable matrices. Wall rock and wall rock cranny is fundamental conditions of intrinsic region mineralization, which controls the attitude and scale of vein orebody.

4. By analyzing the characteristics of the ore deposit geologic and geochemical, rock-forming mechanism and ore-controlling factors, author considers that the formation of the Longmenshan copper deposit has intimate relation with the intruder operations of the Yanshan stage middle acidite magma. On the bases of the aggregate researching of metallogenic environment, magma origin and magma evolving mechanism, the rock-forming and metallogenic pattern that is homologous multi-period has been established. Author consider the Longmenshan deposits are vein skarn-type copper-polymetallic deposits , which Metasomatism is intermediate-acid magmatic hydrothermal mainly.

KEY WORDS geochemical characteristic, ore-controlling factors, rock-forming and metallogenic mechanism, ore deposit genesis, Anhui Longmenshan copper-polymetallic deposit

目 录

摘 要.....I
ABSTRACT.....III
前 言.....1
0.1 论文的选题.....1
0.2 研究现状.....1
0.2.1 长江中下游成矿带.....1
0.2.2 月山矿田.....4
0.2.3 龙门山铜多金属矿床.....6
0.3 主要研究内容.....7
0.4 主要研究方法.....8
0.5 主要研究成果及认识.....8
第一章 区域地质背景.....10
1.1 大地构造位置及演化特征.....10
1.2 区域地质.....11
1.2.1 区域地层.....11
1.2.2 区域构造及演化.....11
1.2.3 区域岩浆岩.....13
1.2.4 区域矿产.....13
第二章 矿区矿床地质特征.....14
2.1 矿区地层.....14
2.2 矿区构造.....16
2.2.1 构造格局.....16
2.2.2 控矿构造.....17
2.3 矿区岩浆岩.....17
2.4 矿体特征.....18
2.4.1 矿体地质特征.....18
2.4.2 矿石类型及矿物成份.....19
2.4.3 矿石结构及构造.....19
2.5 围岩蚀变.....21
第三章 矿床地球化学特征.....22
3.1 岩体地球化学特征.....22
3.1.1 岩石学特征.....22

3.1.2 岩石化学特征.....23
3.1.3 稀土元素特征.....25
3.1.4 微量元素特征.....27
3.1.5 同位素地球化学.....29
3.2 矿床地球化学特征.....29
3.2.1 矿床稀土元素特征.....29
3.2.2 矿床微量元素特征.....30
第四章 月山地区成矿地质条件分析.....36
4.1 地层与成矿的关系.....36
4.1.1 地层岩石的性质.....36
4.1.2 地层的含矿性.....37
4.2 构造与成矿的关系.....38
4.2.1 构造对矿田的控制.....38
4.2.2 构造对岩体的控制.....40
4.3 岩浆岩与成矿的关系.....41
4.3.1 岩浆岩与矿化的空间关系.....41
4.3.2 岩浆岩与矿化的时间关系.....41
4.4 围岩与成矿的关系.....41
第五章 岩体成岩机制与矿床成因分析.....43
5.1 岩体的成岩机制.....43
5.1.1 岩浆来源.....43
5.1.2 成岩环境与源岩.....43
5.1.3 岩浆的演化特征.....44
5.1.4 成岩机制.....46
5.2 成矿过程.....46
5.3 矿床成因分析.....48
5.3.1 大地构造环境.....48
5.3.2 成矿物质来源.....49
5.3.3 成矿条件.....50
5.3.4 成矿方式.....50
5.3.5 成矿阶段及成矿作用.....51
5.3.6 矿石类型.....53
5.3.7 控矿因素.....53
5.3.8 矿床成因.....54

第六章 结 论.....55
图版 I 56
图版 II 57
图版III.....58
图版IV.....59
图版说明.....60
参考文献.....62
致 谢.....69
攻读学位期间的主要研究成果.....70

前 言

0.1 论文的选题

月山地区为长江中下游铜铁成矿带的重要组成部分，区内矿产丰富，含有铜、铁、铅锌、钼、金及非金属矿产等十多种矿种，已发现大型矿床一处，中小型矿床十余处，矿点和矿化点60多处，它们均分布在月山矿区内或岩体与围岩的接触带中。这些矿床的形成和定位以及成矿阶段、关键控矿因素受哪些因素控制等问题还需进一步研究，为了深化这些问题，国家设立重点基础研究发展规划——973计划课题“长江中下游地区及邻区花岗岩成矿系统”专题(编号：2007CB411405)——“安庆矿集区大型矿山深边部找矿方法评价及勘查模型研究”子课题（编号：2007CB411405-2）。

本论文《安徽月山地区龙门山铜多金属矿床地质地球化学特征及成因分析》就是结合导师的上述科研项目开展而选题。本次研究对丰富该区成矿理论以及指导本区以后的找矿工作都具有重要的理论意义和实际意义。

0.2 研究现状

0.2.1 长江中下游成矿带

地质背景方面，长江中下游铜铁成矿带位于扬子克拉通北缘，秦岭－大别造山带和华北克拉通之南。南缘为阳兴－常州大断裂，北侧以襄樊－广济大断裂以及郯庐大断裂为界，是中国东部一个重要的Cu－Au－Fe－Mo成矿带，其中矿床以矿集区形式沿江呈近东西－北东向弧形展布，从西向东有鄂东南、九瑞、安庆－贵池、月山、铜陵和宁芜－宁镇等几个大中型矿集区。东西向和北北东向两组构造在成矿带内最发育，明显控制着燕山期岩浆活动和矿床分布，尤其是两组构造的交汇部位[1,2]。长江中下游铜铁成矿带出露的地层有零星分散的前震旦纪变质基底片麻岩夹斜长角闪片岩及少量的板岩、千枚岩和震旦纪碎屑岩、白云岩和硅质岩，广泛发育有寒武纪至早三叠世的碳酸盐岩等沉积岩系及侏罗纪－白垩纪陆相火山岩夹碎屑岩。其中石炭纪、二叠纪和早三叠世碳酸盐岩是Cu－Fe-Au－Mo多金属矿化的最重要的围岩[3]。

长江中下游铜、铁、金矿床密集区及其邻区现代地质构造的基本格局早在中生代早期就已基本形成[4,5]。地球物理及大地测深资料解译[5,6]和分析结果显示，该区的壳幔具明显层状结构，且在纵向和横向上都存在不均一性。该区在纵向上

深部对应于地幔上隆带，且与升高磁场很吻合，而横向表现出的不均一性则是中生代岩浆活动的反映。因此，在主成矿期燕山期，本区处于地幔上隆阶段并有大量岩浆上升，铜、铁、金矿床的形成与本区壳幔结构特征及其演化密切相关[7]。

成矿条件及控矿因素方面，该区地层与成矿关系的研究近年来的主要进展表现在地层的地球化学特征及地层含矿性；岩性、岩相及古地理环境与矿化富集的关系；“膏盐层”与铁、铜、硫、金成矿的关系等 3 个主要方面。对区域地层成矿元素含量及各类岩石中化学元素的丰度及成矿元素组合的系统分析表明，铜主要富集在二叠系大隆组的硅质岩、三叠系东马鞍山组(月山组)和南陵湖组及石炭系黄龙组的碳酸盐岩中，金主要富集在三叠系碎屑岩、石炭系黄龙组底部碎屑岩和志留系高家边组的泥页岩中。在成矿过程中，两类地层均与成矿热液发生水岩作用，地层中部分硫及少量成矿物质进入热液体系参与成矿，但总体上，地层提供大规模矿质的潜力不大。

常印佛[4,6]通过研究认为，不同期次和不同规模的构造形成了控制长江中下游金属矿床矿集区及矿集区矿田、矿床乃至矿体的“立体网络构造系统”。本区长期构造运动形成的深断裂(岩石圈断裂、壳断裂)、断块构造、滑脱推覆构造、构造破碎带以及火山-侵入机构等构造具多期次、多性质和多方向的特征，构成了长江中下游构造带的整体特征，其中断裂构造对成岩、成矿起主要控制作用。区域上，长江深断裂破碎带[4]或追踪大型断裂带[6]控制了岩浆岩的产生、演化以及一系列重要矿体、矿床的形成，并导致矿化在空间分布上具不均匀性，铜、铁、金矿床密集区明显地受近 EW 向和 NWW 向基底断裂(包括部分深断裂)控制，二者与另一方向的断裂(包括盖层断裂)交汇处，控制着侵入体和铜、铁、金矿床的分布[7]。

地球化学方面，谢建成[8]等通过研究表明，长江中下游成矿带含铜岩体 ΣREE 含量变化范围为 85.84×10^{-6}～446.26×10^{-6}，$(La/Yb)_N$ 值为 7.87～63.8，稀土配分图总体向右倾，LREE 富集，HREE 亏损但表现为平缓的曲线，无明显的 Eu 异常，反应出本区具有同源岩浆的特点。本区具高 Th， Sr；低 Cr， Ni 等特征，邢凤鸣[9]等通过研究也得出了同样的结论（高 Sr，低 Mg、Cr， Ni)。

长江中下游地区早期形成的花岗闪长岩-石英二长岩-辉石二长闪长岩-石英闪长岩组合的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法年龄为 133.4～140.0Ma[10,11,12]，锆石 SHRIMP 年龄为 140.4～151.8Ma[13-16]，相当于晚侏罗世晚期-早白垩世早期；火山岩盆地中火山岩和锆石 SHRIMP 年龄为 131±4～127±3Ma [17]，相当于早白垩世晚期[18]。

毛景文等利用 ICP-MS 方法测试 16 件辉相矿样品，得到模式年龄为 134.7±2.3～142.3±2.3 Ma（2σ)，平均 138.8±2.3 Ma。其中，大团山铜矿区的

5件样品的模式年龄更十分接近，分布范围为138.0±3.2～140.8±2.0 Ma，平均139.3±2.6 Ma。Ludwig采用ISOPLOT软件[19]对所获得的5件数据进行等时线计算，得到等时线年龄为139.1±2.7Ma，初始Os为0.7±8.1 (MSWD=0.29)。所得到的等时线年龄与相应的模式年龄平均值几乎完全吻合。本次测定的年龄也与相关岩体的黑云母$^{40}Ar/^{39}Ar$同位素年龄139.8～135.8Ma[3,20]相接近。

同位素地球化学的研究表明[21]，长江中下游岩带侵入体是来自地幔软流圈的碱性岩浆同化古老地壳物质同时结晶分异的产物，这种碱性岩浆的主元素成份为低硅高碱，它决定了本岩带侵入体的高碱性质；同位素组成的特点是εNd(t)高，$^{87}Sr/^{86}Sr$低，Sr含量也高，来自亏损地幔源区，同位素组成的制约要求被同化的围岩相当古老，至少要老于目前出露在扬子地块上的上溪群以及未出露的扬子沉积岩物源区，它很可能是大别群的下部，崆岭群及其相当岩系，或者同位素组成上相当于华北泰山群的古老岩系。

岩浆来源方面，周涛发等[22]认为形成月山地区岩浆岩的原始岩浆为蚀变的地幔源区经部分熔融（13.14%～14.11%）形成的碱性橄榄玄武质岩浆，在其上升过程中与中、上地壳岩石发生同化混染和结晶分异联合作用(AFC过程[23])形成的，李文达等[24]、杨荣勇等（1993）亦持类似观点。陈江峰[25]、张理刚等[26]根据Pb，Sr，Nd，O同位素研究，否定了幔源岩浆结晶分异形成岩体的可能性，由此可见，关于区内岩浆岩成因的认识迄今仍未有一致的结论。

成矿作用方面，成岩成矿地球化学研究结果表明燕山期岩浆活动与成矿作用具有密切成因联系。该区燕山期侵入体岩浆结晶的水逸度、水压较低；定位浅、结晶温度和氧逸度普遍偏高[27][28]，这有利于铜(铁)的成矿作用。本区含矿岩体岩浆含水量普遍高于非含矿岩体，且含矿岩体岩浆生长系统常具“三层结构”（浅部含矿小岩体、中深部岩浆(岩)柱和深部隐伏岩浆房(岩基)），此外，基于火成岩石学、流体动力学、流变学、传热学和热力学等的计算和分析表明[7][27]，岩浆的某些动力学行为，如上升速度和对流状态以及冷却特点等与铜、铁、金成矿作用具内在联系。翟裕生等[29]将长江中下游地区的成矿作用和成矿系列进行了详细总结，提出燕山期成矿时代为170～90Ma，矽卡岩型-斑岩型Cu-Mo-Au成矿亚系列为170～130Ma，矽卡岩型铁矿Fe及Fe-Cu成矿亚系列为160～120Ma，玢岩铁矿成矿亚系列为130～90Ma。本次研究认为整个长江中下游地区Cu-Mo-Au(Fe)矿床形成于134.7±2.2Ma～143.7±1.6Ma之间。

成矿流体方面，流体包裹体及成矿物理化学条件研究表明，该区与海西期海底喷流(热水)沉积有关的成矿流体是一种中低温、呈酸性(pH<7)、富含金属元素（如Cu，Pb，Zn，Mn，Ba，K，Fe等)的还原性(因H_2S含量较高)流体，而

且 Cl 和 H_2S 含量及 $\omega(H_2S)/\ \omega(SO_4^{2-})$ 比值明显高于正常海水，成矿流体为热卤水[24,30,31]。与燕山期中酸性岩浆侵入活动有关的矿床形成温度高，如安庆铜矿及铜陵地区矽卡岩型矿床矽卡岩阶段的形成温度为 475 ～680℃，铁、铜主要矿化阶段的温度分别为 400～600℃和 220～400℃，流体包裹体子晶发育，盐度高，达 29%～45%，成矿溶液的 $Cl^->F^-$，$Na^+>K^+$和 $Ca^{2+}>Mg^{2+}$。这种高温、高盐度特征性的流体成份指示早期热流体来源于岩浆分离作用形成的岩浆热液。成矿流体在水岩作用的早期还可能发生沸腾作用[32,33]。本区稀土元素特征表明，形成安庆及铜陵地区铜、铁、金矿床的各类矽卡岩及矿石的热流体属同一热液系统[32,33]，原始热流体具轻、重稀土分异和无明显 Eu 异常，与月山岩体的稀土元素组成特征完全一致。与岩浆熔体平衡的热液稀土元素组成模拟结果进一步证实，成矿热流体来源于闪长质熔体的熔-流分离作用。王文斌等在 1988 年、刘裕庆于 1991 年测试了该区层状含铜黄铁矿矿床的氢、氧同位素组成，结果显示此类矿床的成矿流体主要是地层水(热卤水)和大气降水，并有部分海水、岩浆水混入。杨学明等也得出了同样的结论[7,34]。

矿床成因方面，常印佛[4]等和翟裕生等[5]皆从不同角度划分了该区金属矿床的成矿系列，总体划分意见相近。根据成矿地质作用、矿床组合和矿床成因，本区铜、铁、金矿床可划分为两个主要成矿系列：与海西期海底喷流(热水)沉积有关的成矿系列和与燕山期中酸性岩浆侵入活动有关的成矿系列，前者指产于石炭纪黄龙组底部的含铜黄铁矿矿体（床）、黄铁矿矿床、菱铁矿矿层；后者包括接触交代型、斑岩型、隐爆角砾岩型和热液脉型 4 个成因类型，其中以接触交代型为主，其次为斑岩型[7]。在特定的地质条件下，上述两个成矿系列形成的矿床叠加在一起，形成“三位一体”，或“多层楼”[4,7,35]。

前人对长江中下游成矿带中的铜、铁、金矿床的成矿地质特征进行了大量研究，这些矿床被认为是与花岗质岩石有关的矽卡岩-热液矿床[36,37,38]。随之，对于矿床的形成过程及其与花岗岩的关系进行了广泛的研究[39-50]。Pan 等(1999)[51,3]将其总结为与花岗岩有关的斑岩-矽卡岩-层控矿床。

0.2.2 月山矿田

地质特征方面，月山矿田位于扬子地台北缘下扬子台拗沿江断裂带中段。区域地层出露齐全，由董岭群、寒武系至三叠系以及侏罗系至白垩系三个构造层组成；矿田内出露的地层主要为二叠统龙潭组(P_1)碳质板岩，中、下三叠统月山组(T_2y)和南陵湖组(T_1n)灰岩及含膏盐地层，以及上三叠统铜头尖组(T_3t)砂页岩，矿区以南主要出露前三叠系。矿田内与铜成矿作用有关的为由闪长岩、石英二长闪长岩和钾长闪长岩等组成的月山岩体[32]。

成矿条件及控矿因素方面，地层是本区矽卡岩型矿床控矿的重要地质条件之一。矿床的产出常与一定的地层层位有关，区内矽卡岩型矿化的形成与富集对沉积地层具明显的选择性，三叠系的月山组及南陵湖组白云岩、灰岩和角砾状灰岩是区内矽卡岩型矿床最重要的赋矿层位，其中与三叠统月山组层位相关的 Fe、Cu 金属储量占全区内生金属矿床总储量的 90%以上。地层不但作为矽卡岩型矿床形成的重要外部地质条件，而且还为成矿提供了部分硫源和少量成矿物质。本区控制作用明显表现在闪长质侵入体对矽卡岩型矿化局部富集的控制。地层的组成、地球化学和物理化学性质对成矿具有重要的意义[52]。

区内矽卡岩型矿床控矿构造比较复杂。本区庐江-怀宁隐伏断裂和总铺-月山-独秀山隐伏断裂既是控岩构造的也是运矿构造。褶皱构造、断裂（裂隙）构造、不整合面虚脱构造或层间构造、岩浆岩与围岩的接触带构造（包括捕掳体构造）及屏蔽构造等是本区重要的容矿构造。接触带是本区最主要的控矿因素。

月山矿田岩浆活动与铜矿床之间有密切的成因联系，然而，矿床的最终形成将主要取决于岩浆体系的形成与演化，矿质的迁移与富集、岩浆和流体之间的关系以及成矿元素在岩浆与富水流体之间的分配[52]。

地球化学特征方面，周涛发[53]通过研究表明，月山矿田 SiO_2 含量变化较大，在 55.84 %～68.43 %之间，平均为 61.35 %。岩石富碱，总碱含量为 5.34 %～9.73 %，Na_2O/K_2O 变化较大，在 1.11～12.23 之间，平均 2.37。稀土元素总量介于 168.97～259.52 之间，平均为 206.07，$(La/Yb)_N$ 的平均值为 31.80，δEu 平均值为 0.90。成矿元素 Fe、Cu、Zn 含量较低，相对于地幔岩，过渡元素 Sc、Ti、V 具明显正异常，Cr、Co、Ni 为负异常。

月山矿田内矽卡岩型矿床的硫同位素组成($\delta^{34}S$)介于-11.25‰～+19.24‰之间，极差达 30.50‰；热液脉型矿床的 $\delta^{34}S$ 介于+4.25‰～+8.7‰之间。矿田内不同硫源的硫同位素组成差异很大：月山岩体在+3.50‰～+4.80‰之间，前三叠系为主的碎屑地层为-16.7‰～-31.06‰，三叠系含膏盐碳酸盐地层为+25.37‰～+34.41‰。成矿热液体系硫同位素演化机理研究[54]表明，岩浆热液在运移、演化和矿床定位过程中，同时或相继与碎屑岩地层及含膏盐地层发生了水-岩作用，交换了部分地层硫(图 0.1)。计算显示，矿床中平均约有 78%的硫来自岩浆热液，22%的硫来自地层。铅同位素研究则表明月山矿田内金属成矿物质绝大部分(90%±)来自于岩浆(岩)[22]皆显示了矿田内金属矿床与月山岩体之间密切的成因联系[32]。

成矿流体系统方面，安徽月山矿田成矿热流体氢氧同位素组成及可能演化机理研究[32]表明，与月山岩体有关的矽卡岩型矿床和热液脉型矿床的成矿热液以广

义岩浆水为主，铜、金(铁)等成矿物质是从岩浆水和(或)具复杂演化历史的岩浆水中沉淀的，若主成矿阶段大气降水比例达30%以上时，则不能形成具工业意义的矿化。近二十年来，研究者更好的了解到该区矿体的来源，但金属的成矿流体来源以及岩浆侵入作用和地层对成矿的贡献仍需要进一步研究[55-64]。

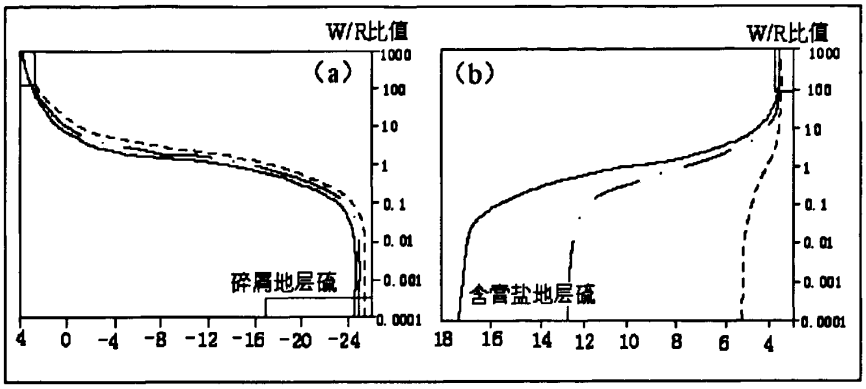


图 0.1 发生水-岩作用后热液的 $\delta^{34}S_{H2S}$ 演化曲线（据周涛发）
a-岩浆水（$\delta^{34}S$=3.5‰）与碎屑地层（$\delta^{34}S$= -24‰）作用；
b-岩浆水（$\delta^{34}S$=3.5‰）与含膏岩地层（$\delta^{34}S$=30‰）作用。

成岩-成矿作用方面，周涛发，岳书仓等[8]通过对岩浆岩与铜铁矿床的时空关系、岩浆岩成矿作用显示以及岩浆(岩)对矿床成矿物质来源的贡献等的分析和研究，确定了成岩成矿关系、岩体成矿潜力及成矿作用过程等，认为月山地区流体演化过程中发生了水-岩作用，为建立成矿模式和指导找矿提供新的思路。

对于月山地区的矿床成因类型，周涛发等[32]通过研究认为，月山矿田矿床的成矿物质主要来自闪长质岩浆，岩浆的熔-流分离作用是铜矿床的主要形成机制，前人通过不同研究也提出了五种类型：①岩浆-热液型[65-67]；②层控矽卡岩型[68,69]；③矿浆型[70]；④块状硫化物型[71,72]；⑤成矿流体来源于三叠系碳酸盐类沉积岩夹层中的石膏层型[73]。

0.2.3 龙门山铜多金属矿床

地质特征方面，龙门山铜多金属矿床位于月山岩体东枝，受北东向和近东西向两组基底断裂控制，矿体主要赋存于月山岩体闪长岩中的三叠系碳酸盐岩地层中，矿体形态总体呈透镜状。岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 147Ma[74]，角闪石的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄为 136Ma[75]，属燕山期侵入岩体。

岩石化学特征方面，岩石化学成分[76,77]统计表明，岩体 SiO_2 含量在 55.84%～68.43%之间，平均为 61.35%，杨光树等[78]也得到了相似的结论（SiO_2 含量在 56.33%～64.69%之间，平均为 59.22%）。里特曼指数(δ)为 1.9～6.21，碱度率 AR 为 1.65～3.19，平均值为 2.26。岩石富碱，总碱含量为 5.34%～9.73%，

Na_2O/K_2O 变化较大，在 1.11～12.23 之间，平均 2.37，岩体在较富钠的背景上富钾。

地球化学方面，稀土元素总量介于 168.97～259.52 之间，平均为 206.07 ，$(La/Yb)_N$ 的平均值为 31.80，δ Eu 平均值为 0.90[53]，于文修等也得到了同样的结论（ $(La/Yb)_N$ 值 13. 8～38.43 之间，平均 30.29，δEu 在 0.77-0.95 之间，平均值为 0.89， Ce 值在 0.98～1.05 之间，平均 0.99）[79]。过渡族元素 Sc、Cr、Co、Ni、Ti、V、Mn 中，V、Ti、Co 的富集系数大于 1；其余元素的富集系数都不大于 1。过渡族元素 Ti、V 具明显正异常，Cr、Ni 为明显负异常[78]。

岩浆来源方面，杨光树[78]认为月山岩体原始岩浆可能为亏损地幔-大陆地幔橄榄岩(可能经历过交代作用)通过部分熔融形成的硅酸不饱和高钾碱性玄武岩，周涛发等亦持相同的观点[53]。

成矿流体方面，根据热力学方法[80]及月山岩体成分特征计算显示，月山岩体闪长质岩浆开始结晶时熔体平均含水的质量分数为 4.05‰，与世界同类岩浆含水量[81]相比属中等，根据 Gustafson[82]对中酸性小侵入体岩浆上侵机制的研究结果，月山岩体岩浆含水量特征将能保证岩浆在有利构造配合时快速上侵，导致岩浆侵位深度浅，结晶温度高；同时，又能避免岩浆在浅成定位前过早出现水过饱和而发生大规模水及所含成矿物质的分散与流失。深部岩浆房一方面通过中间岩浆柱对浅部岩株岩浆的演化和结晶施加影响，延长其冷却时间，而且在浅部岩株完全固结之后，深部岩浆仍在活动，熔-流分离作用仍在进行，深部岩浆房冷凝释放的含矿岩浆水持续至浅部岩浆固结之后，这种作用方式有利于含矿岩浆热液系统的形成和演化，有利于成矿。以上表明，月山岩体闪长质岩浆具备提供龙门山铜多金属矿床形成所需的岩浆热液流体(主要是 H_2O)的前提[32]。

岩体对成矿的关系，月山岩体闪长质岩浆的开放岩浆体系的性质和演化特点[52]，对于该区岩浆热液系统的形成与演化、成矿物质在特定围岩和构造条件下的迁移和聚集，以及矽卡岩型和热液型铜铁、金多金属矿床的形成都具有及其重要的意义。

岩体成因方面，周涛发[53]等认为月山岩体深渊的碱性玄武质岩浆在特定的地质背景下经结晶分异和同化混染作用形成的，杨光树[78]亦持相似的观点。

0.3 主要研究内容

（1）在区域地质背景方面

主要从区域地层、区域构造、区域岩浆岩、区域矿产等方面进行研究分析。

（2）矿床地质特征方面

主要从矿区地层、矿区构造、矿区岩浆岩、围岩蚀变等方面进行研究分析。

（3）矿体地质特征方面

主要从矿体形态、矿体规模、矿体产状、矿化分带方面进行研究分析。

（4）在矿石特征方面

主要从矿物组成、结构与构造方面进行研究分析。

（5）成矿阶段及成矿作用

在对矿物成份、结构与构造、岩石学特征分析的基础上，进行矿物生成顺序、成矿阶段以及成矿作用综合分析，总结本区矿床的成矿阶段。

（6）矿床地球化学特征

通过对月山地区闪长岩类岩石化学特征、稀土元素、W、Mo 等微量元素、硫、氧同位素方面研究，总结其主要的成矿物质来源、成矿流体的演化、成矿作用以及成矿有利地段。

（7）成矿地质条件分析

通过对本区地层、构造、岩浆岩以及围岩的分析，总结本区主要的成矿地质条件及控矿因素。

（8）成岩机制及矿床成因

通过对本区成矿环境、岩浆的来源及岩浆的演化的研究，总结本区的成岩、成矿机制，在认真分析成矿物质来源、成矿流体演化、成矿条件和成矿作用的基础上，对龙门山铜多金属矿床的成因进行综合研究。

其中（5）、（6）、（7）、（8）是本论文着重研究的内容。

0.4 主要研究方法

根据研究区的特点，结合野外地质调查及取样、典型剖面、典型矿体、典型构造解剖、室内测试及数据处理、图件制作、相片编制；本次研究采用的方法主要有地质综合分析法、岩石学研究分析法、地球化学研究法（微量元素、稀土元素地球化学研究法、同位素地球化学研究法）。

0.5 主要研究成果及认识

在前人研究基础上，通过野外和室内综合研究工作，对龙门山铜多金属矿床的成矿作用、成矿阶段、矿床地球化学特征以及矿床成因、成矿过程、有利成矿地段等进行全面深入的研究和分析。在此基础上发表 3 篇相关研究的学术论文，并完成硕士学位论文，并得出以下几点认识：

1、在对区域地质背景、矿床地质特征研究的基础上，综合分析了矿体特征、矿石特征，根据矿物共生组合关系，可以将龙门山铜多金属矿床的成矿作用分为两期六阶段：矽卡岩期（早期矽卡岩阶段、晚期矽卡岩阶段、氧化物阶段），硫化物期（石英阶段、硫化物阶段和碳酸盐阶段）。

2、根据本区岩浆岩岩石化学特征、稀土元素和微量元素地球化学特征，得出本区闪长岩类造岩元素 $K_2O/(K_2O+Na_2O)$和 $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$的指标值分别为 0.39～0.41 和 1.30～1.37， LREE/HREE 为 8.37～12.84，Sr 的丰度较高，平均为 881.31×10^{-6}，最高达 4840×10^{-6}，远高于上地壳值 350×10^{-6}和下地壳值 230×10^{-6}，显示本区形成月山岩体的原始岩浆来源于上地幔，岩体具富钠、钾的特征，同时富钙的特征也比较明显，其原因可能是岩浆上升时遭受了地壳钙质混染，即地壳的同化混染作用。

3、探讨了地层、构造、岩浆岩以及围岩与成矿的关系，认为地层提供了部分成矿物质；构造是本区成矿的必要因素，控制了岩浆的侵位及其成矿岩体和矿体的形成和就位；燕山期岩浆岩是有利的成矿母岩；围岩及围岩裂隙是本区成矿的重要条件，控制脉状矿体的产状与规模。

4、在综合研究矿床地质特征、地球化学特征以及控矿因素的基础上，认为龙门山铜多金属矿床的形成与燕山期中酸性岩浆侵入活动有密切的关系；在本区成矿环境、岩浆来源、岩浆演化机制分析的基础上，建立了同源多期多位一体的成岩、成矿模式。

第一章 区域地质背景

1.1大地构造位置及演化特征

安庆-月山地区位于扬子地台北缘下扬子台拗沿江断裂带中段（图1.1），是我国重要金属成矿带——长江中下游铜铁、金成矿带中的典型矿田之一[4]。月山地区地处几个大地构造单元的交汇部位，构造复杂，其中岩浆底群构造体系，NE向庐江-怀宁隐伏断裂及东西向深断裂，控制了区域岩浆岩体及有关矿产的分布[74]。

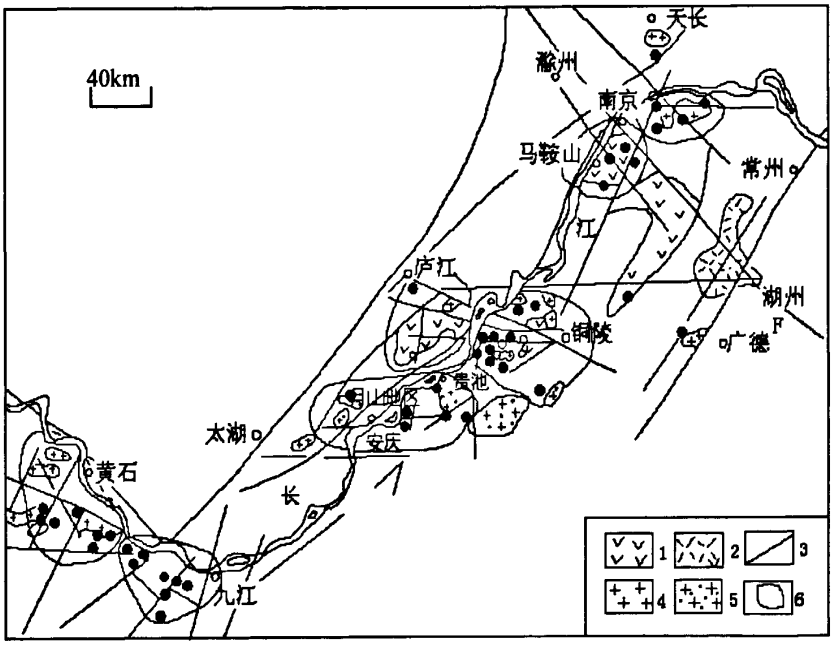


图1.1 长江中下游成矿带地质简图（底图据翟裕生修改）

1-燕山期中性、中酸性火山岩及次火山岩；2-燕山期中酸性、酸性火山岩；3-断层；4-燕山期中酸性侵入岩；5-花岗岩；6-铜（铁）、金矿床和矿床密集区；F-滁州-湖州深断裂

长江中下游成矿带地质历史演化经历了3个不同阶段，即：前震旦纪基底发育阶段、震旦纪-早三叠世盖层沉积阶段和中三叠世-新生代板内变形阶段[4]。本区地质历史演化经历记录了地壳的形成和发展由活动到相对稳定，再转向剧烈活动所处的大地构造环境。构成了本区地表表层结构的褶皱变质基底岩系（Ⅰ层）、以海相沉积为主的盖层岩系（Ⅱ层）和陆相红色碎屑岩和火山-侵入岩系（Ⅲ层）

等，就分别形成于上述 3 个阶段[52]。地质地球物理及大地测量资料解译[83, 84]和分析结果还显示，包括月山地区在内的长江中下游区域壳幔具明显的层状结构，可分为 5 层，除上述地壳表层的 3 层结构外，还有下地壳（Ⅳ层）和上地幔岩石圈部分（Ⅴ层）。其中壳-幔之间的莫霍面和岩石圈底部界面控制着巨大层圈的滑移（拆离）运动和区域升降运动。前人大地测深资料表明，长江中下游地区的地幔岩石圈厚度变化较大，且内部团块结构具冷热不均的特征，团块结构是由于刚性层体被挤压破碎、软流圈物质沿裂隙上升且产生熔融而形成的。如在郯庐断裂系、长江断裂带附近，电阻率很低，它与这些部位软流圈物质上涌，温度升高有关。团块构造亦与浅部的 Cu（Fe）、Mo、Au 等金属矿化有密切关系，月山地区正位于长江断裂带上和郯庐断裂系附近（图 1.1）[52]。

1.2区域地质

1.2.1 区域地层

月山地区位于扬了地台北缘下扬了台拗沿江断裂带中段。区域地层出露齐全，主要由三个构造层组成：前寒武系，寒武系至三叠系以及侏罗系至白垩系。矿田内出露的地层主要有二叠系上统龙潭组(P_1)碳质板岩和大隆组薄层硅质岩、结核大理岩，三叠系中、下统月山组(T_2y) 含膏盐白云质灰岩地层和南陵湖组(T_1n)灰岩及大理岩，以及上三叠统铜头尖组(T_3t)砂页岩和炭质页岩，矿区以南主要出露前三叠系地层(图1.2)。月山岩体是矿区内与铜铁成矿作用有关的岩体，主要由闪长岩类岩石组成。岩体形态受 NE 向和近 EW 向两组基底断裂及浅层次剥离断层控制明显，为中浅成、中酸性一次性侵入的多枝状岩株，其侵入中心位于岩体东支北侧，岩体出露面积 11 km^2[33]，岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 147.2 Ma[85]，角闪石 ω(^{40}Ar)/ω(^{39}Ar)年龄为 136 Ma[75]。

1.2.2 区域构造及演化

安庆月山地区位于长江中下游中生代弧形前陆缩短带东翼狭窄地段，夹持于大别山和江南古陆(刚性地块)之间。中生代期间，华北古陆和扬子古陆强烈碰撞，扬子地块(江南古陆)向北俯冲于华北古陆和大别地块之下，变形盖层在大别山南缘组成长江中下游前陆缩短带，其演化过程自中生代以来可分为两大阶段，即中生代收缩阶段(T_3-K_1)和新生代扩张阶段(K_2-N)。中生代收缩阶段是华北古陆与扬子古陆碰撞的结果，在前陆带可划分为褶皱收缩阶段 (T_3-J_{1-2})和断裂收缩阶段(J_3-K_1)。前者相当于印支运动，后者相当于燕山运动主幂，在褶皱收缩阶段扬子古陆盖层从震旦系至中三叠统的整个层序全部卷入褶皱。构成前陆带的紧密

线性褶皱带。在月山地区形成一系列紧密的北东向褶皱带(董岭斜、百子山背斜及其间的向斜构造)。褶皱作用持续到早中侏罗世，以山前盆地磨拉石相建造的完成为结束标志。紧接其后以逆冲断层和较大规模的滑脱构造为特征的断裂作用对褶皱带的强烈改造，导致了大规模的岩浆活动及相应的成矿作用[86]。

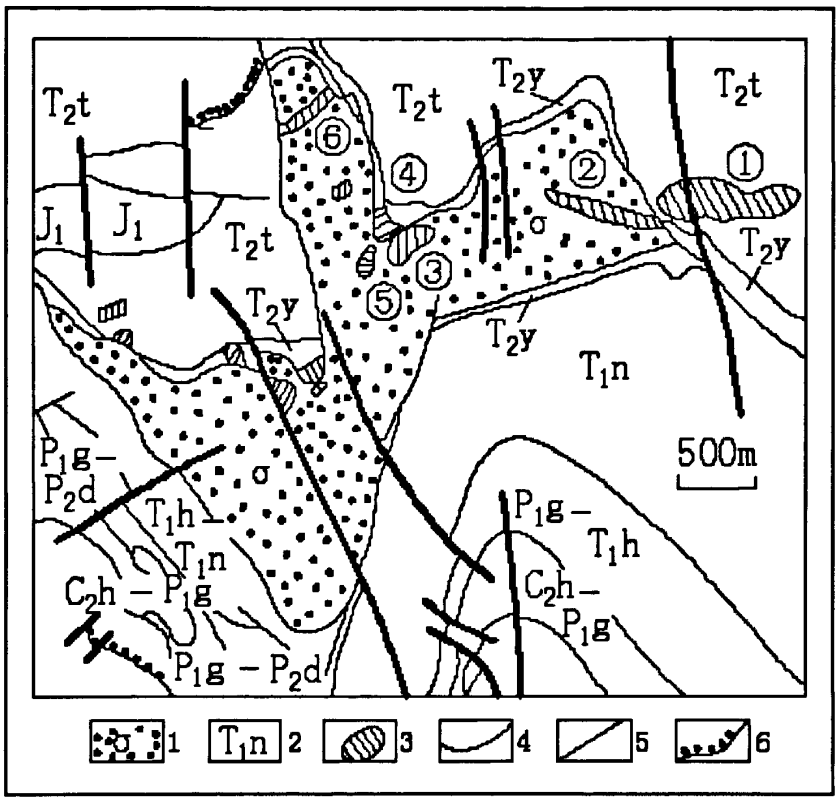


图 1.2 月山矿田地质略图及主要矿床（点）水平投影（据安徽 326 地质队修改）

1-月山岩体；2-地层；3-矿体水平投影；4-地质界线；5-断层；6-不整合；①-安庆铜矿床；②-龙门山铜矿床；③-马头山矿床；④-铁铺岭矿床；⑤-刘家凹矿床；⑥-铜牛井矿床

不同形式、不同级次和不同规模的构造形成了长江中下游成矿带的铜、金(多金属)矿床密集区及其中矿田、矿床乃至矿体的“立体网络构造系统[4]”。长期构造运动形成的多期、多性质和多方向的构造要素，包括岩石圈断裂和壳断裂、断块构造、滑脱推覆构造以及火山－侵入机构等，构成了本区构造带的整体特征，其中，断裂构造对成岩成矿的控制作用最明显。长江深断裂带[4, 87]控制了整个地区岩浆岩的发生、发展以及矿床和矿床密集区的形成(图 1.1)，通常近 EW 向和 NWW 向基底断裂控制矿床密集区，近 EW 向和 NWW 向基底断裂间或它们与

NE 向断裂的交汇处控制了岩浆岩侵入体和金属矿床的分布。由基底断裂转变形成的同生断裂控制成矿流体系统作用的方式、强度和规模。不同规模的断裂、褶皱作用与岩浆作用联合，控制了成矿热液系统的迁移、水岩作用及矿床定位[52]。

1.2.3 区域岩浆岩

区内岩浆岩分布广泛，强烈的构造作用和岩浆活动有着密切的成因联系，伴随着构造作用的不同阶段，岩浆活动经历了发生、侵位、定位的顺次过程。燕山早期的断裂活动和基底韧性剪切带以及伴随发生的上地幔楔的局部隆起，使上地幔部分熔融创造了热力环境。月山地区岩浆侵入活为主要发生在燕山期，其中闪长岩类岩体如月山岩体、总铺岩体等形成于燕山早期，Rb-Sr 同位素年龄在143～147Ma 之间；花岗岩和碱性花岗岩体如洪镇岩体和大龙山岩体等的同位素年龄在 124～132Ma 之间，属燕山晚期产物。燕山早期的闪长岩类与铜、铁、钼、金等矿化关系密切[22]。

矿区内分布有大、中、小型铜(铁)矿床 6 处，矿(化)点 10 余处，其中具有工业价值的矿床集中分布于月山岩体的东支(图 1.2)，产于岩体与三叠系地层接触带中或岩体内部。铜矿床主要有两个类型：矽卡岩型铜矿床(如安庆铜矿床)和热液脉型铜(铝)矿床(如铜牛井矿床)，构成了一个完整而连续的成矿系统。安庆铜矿床金云母 K-Ar 年龄及铜牛井矿床辉铝矿的 Re-Os 年龄均为 131Ma[94]。

1.2.4 区域矿产

月山地区为长江中下游铜、铁成矿带的重要组成部分。区内矿产丰富，含有铜、铁、铅锌、钼、金及非金属矿产等十多种矿种，共有大型矿床一处，中小型矿床十余处，矿点和矿化点 60 多处。著名矿床月山矿床、安庆矿床、铜牛井 Cu（Mo）矿床就产在月山矿体内或岩体与围岩的接触带中。

第二章 矿区矿床地质特征

2.1 矿区地层

月山地区地层单元隶属于扬子地层区下扬子分区安庆地层小区。区内地层发育较齐全，从前寒武纪至古生代，中生代地层均有出露，总厚度达12000米。现根据野外调查和区域地层资料[88][52]，本区地层的总体特征如下：

前寒武系 为董岭群，是一套变质岩系，总厚度达1670 m（尚未见底），按岩性划分为上下两部：上部为片岩段，由肉红色云母石英片岩构成，顶部见少量千枚岩和云母石英板岩，厚度最大可达280m；下部为浅粒岩、片麻岩段，由浅灰色-肉红色长石片麻岩和角闪岩组成，厚度大于1500m。上下岩段之间为渐变过渡。董岭群与上覆寒武系呈不整合接触，构成本区基底变质岩，主要分布在董岭、半月湖、荆桥等地，构成了董岭背斜的核部。

寒武系 该系为一套含磷和硅质结核的碳酸盐沉积，为浅海、滨海相沉积。其底部出现0.1 m厚的角岩，下部为薄层状白云质大理岩和厚层大理岩，中上部为薄层状大理岩为主，局部夹硅质条带和硅质、钙质和炭质结核。地层厚约为175 m。

奥陶系 总厚度为310 m，主要为滨海台地相碳酸盐岩沉积。下统仑山组由下部的白云质大理岩段和上部的薄-中厚层大理岩段组成，白云质大理岩段的底部为硅质层，是寒武系与奥陶系的分层标志，厚244 m；中统汤山组由泥质条带大理岩和鲕状大理岩组成，底部见有钙质页岩夹泥质页岩，含腕足类化石碎片，厚21-49m；上统为汤头组和五峰组，前者为钙质页岩和瘤状大理岩，厚度2.8-5m，后者由角岩或硅质板岩和黑色炭硅质页岩组成，厚度2.5-6.4m。

志留系 是本区广泛出露、古生界最为发育的地层，其下统高家边组厚776m，为黑色页岩、千枚岩、板岩，含笔石化石，属浅海潟湖相沉积。中统坟头组由黄绿色、灰绿色长石石英砂岩、石英砂岩、粉砂岩和砂质页岩等组成，含三叶虫、瓣鳃类和腹足类等化石，该组地层属浅海陆棚相沉积，厚115m。本区缺失志留系上统。

泥盆系 本区仅发育上统五通组，以陆相岩沉积为主，其底部为石英砾岩，下部为灰白色厚层石英岩，上部为石英砂岩和粉砂岩，厚30-94 m。与下伏地层呈假整合接触。

石炭系 总厚度159m，自下而上分为3个统，以滨海台地相碳酸盐沉积为主，所含化石以蜓类为主。下统高丽山组局部出露，岩性为钙质砂岩夹页岩、泥灰岩和

透镜体和不纯大理岩等，最大厚度 5m，与下伏泥盆系呈平行不整合接触；中统为黄龙组，为厚层碳酸岩沉积，下部为厚层白云岩夹硅质灰岩条带及白云石燧石条带，上部为灰白色厚层结晶灰岩夹硅质条带，厚 129 m，与下伏地层呈平行不整合接触；上统船山组为厚层结晶灰岩、球状灰岩和粗晶大理岩，厚度为 25m。

二叠系 分为下统和上统，厚 325～500m。下统由栖霞组和孤峰组组成，栖霞组由碎屑岩、臭灰岩、燧石灰岩、硅质、结核大理岩等组成，所含化石以珊瑚为主；孤峰组硅质层夹板岩、燧石层夹页岩，底部为含磷结核。

上统由龙潭组和大隆组组成，龙潭组为含煤碎屑岩沉积，主要岩性有石炭质板岩、变质砂岩、砂岩、页岩夹煤层，见瓣鳃类、腕足类和大量植物化石；大隆组主要为薄层硅质岩、燧石结核大理岩、硅质岩和燧石灰岩，含瓣鳃类、腕足类、三叶虫、蜓类等化石。

三叠系 区内三叠系发育，由上、中、下统组成，总厚度达 2430m。

下统分殷坑组、和龙山组和南陵湖组，为浅海陆棚相至滨海台地相沉积，含丰富的菊石、瓣鳃类和牙形刺类。其中，殷坑组以泥质页岩为主，下部夹薄层状及透镜状钙质泥岩及灰岩；和龙山组以薄层灰岩和钙质页岩为主，下部为钙质页岩与薄层状条带状灰岩互层，向上灰岩增多；南陵湖组以灰岩和大理岩为主。

中统分为月山组(或东马鞍山组)和铜头尖组。其中，月山组为叶片状、薄层状白云质灰岩、厚层状白云岩、含石膏假晶白云质灰岩、泥质粉砂岩、钙质粉砂岩等。厚 154m，属海陆交互相和潟湖相沉积；铜头尖组为巨厚的海陆交互相至湖泊相沉积，总厚达 1735m，岩性为紫红色砂岩、砂页岩夹含铜砂岩透镜体。中统所含化石主要为瓣鳃类以及叶肢介、牙形刺和植物化石等。

上统拉犁尖组为陆相含煤沉积，由砂岩、粉砂岩、砂质页岩和炭质页岩等组成。本组与下伏铜头尖组岩性渐变，与上覆地层呈不整合接触。

侏罗系 为陆相盆地沉积，由下、中、上三统组成。沉积物以长石石英砂岩、长石砂、粉砂岩、细砂岩、砂质页岩、炭质页岩夹煤层为特征，总厚度大于 3000m。下统武昌组厚 650m，下部为石英砂岩、含砾砂岩，上部为砂质页岩夹煤层。中统为自流井组，厚 2166 m，由杂色砂岩、粉砂岩、砂质页岩夹长石石英砂岩组成。上统为江镇组和汪公庙组，江镇组由下部粉砂岩、粗面质晶屑岩屑凝灰岩和上部流纹岩、粗安岩、粗面岩、玄武岩组成，汪公庙组由粉砂岩凝灰质砾岩及砾岩和砂岩互层组成。

白垩系 自晚侏罗系，由于燕山运动，导致了强烈的岩浆活动并且再在断陷盆地中堆积了巨厚的陆相火山一沉积碎屑岩系，本区由下统的双庙组、浮山组、杨湾组和上统的宣南组组成。下统岩性为粗安岩、粗面玄武岩、粗面质凝灰熔岩、

熔结凝灰岩及钙质粉砂岩、泥岩、砂岩等组成。上统厚 6000 m 以上，由紫红色砂岩、砂砾岩和粉砂岩组成。

第三系至第四系 为红层盆地，沉积了碎屑岩，底部为砾石层夹砂层和砂砾层，向上过渡为红土、粘土、亚粘土及砂和砾石。

上述地层可分为 3 个构造层：第一构造层——董岭群，为砂泥质沉积、拉斑玄武岩类的区域变质岩，原岩属优地槽产物，构成本区的基底；第二构造层——寒武系至三叠系，包含的沉积建造有浅海相碳酸盐建造、砂页岩建造、海陆交互相含煤建造、类复理石建造等，表明沉积环境稳定，属地台型稳定发展阶段的产物；第三构造层——侏罗系与白垩系，由陆相碎屑岩建造、火山岩建造、红层建造等岩系组成，为地台活化阶段的产物。

2.2 矿区构造

2.2.1 构造格局

本区经历了多旋回的构造发展过程，曾先后受区域大别隆起、江南古陆、沿江断裂坳陷带和郯庐断裂系等不同程度的影响，本区构造具多期次、多阶段变形叠加和多类型构造组合的特征，如伸展构造以及 NE 向、近 EW 向基底构造等，构成本区构造格局的复杂景观(图 2.1)[52]。

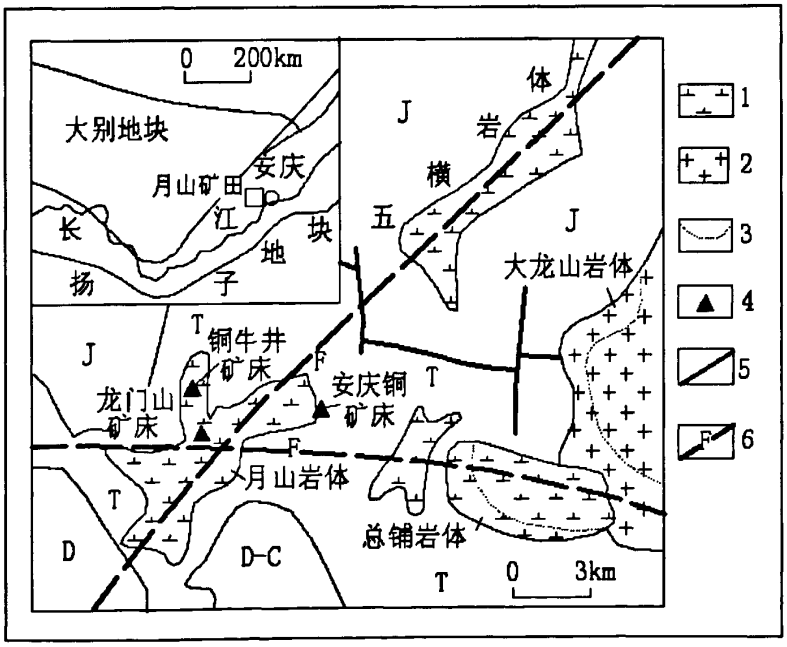


图 2.1 安徽月山矿区地质简图（据周涛发修改）

1-闪长岩；2-碱长闪长岩；3-岩相界线；4-矿床，5-断层；6-基地断裂；D-泥盆系；D_C-泥盆系_石炭系；T-三叠系；J-侏罗系

基底构造 由两组NE向和近EW向基底断裂构成，周涛发[52]通过卫片解译并结合区域地质测量结果，确定了枞阳－头坡断裂(F_1)、庐江－怀宁隐伏断裂(F_2)、牛集－独秀山断裂(F_4)和菜子湖－总铺断层(F_5) 4条NE向断裂，其中枞阳－头坡断裂和牛集－独秀山断裂构成本区亚构造单元(V级)的边界，断裂规模较大，穿越多个V级构造单元，在浅部表现为构造破碎带和正断坳陷，其深部则表现为强烈的柔性挤压变形；庐江-怀宁隐伏断裂为基底褶皱上隆时形成的深断裂，控制了由月山岩体、五横岩体等组成的“庐江－怀宁岩浆岩带”的分布；位于月山-总铺-独秀山一带(F_3)的近EW向断裂主要控制月山和总铺岩体，以及大龙山岩体南端在EW向上的分布。

伸展构造 受区域性NEE向地幔隆起影响的伸展构造，在区域上主要表现为地层缺失或变薄、或形成不同层次的剥离断层。如董岭群的基底剥离断层切穿其上的寒武纪和奥陶纪地层，导致奥陶纪部分地层缺失，使董岭群与上覆地层直接接触。区域出露的浅层次的剥离断层为总铺－月山成矿带的重要控矿构造之一，产于下三叠统南陵湖组与中三叠统月山组之间[52]。

地表构造 本区基底构造的多期次活动在地表上表现为断裂-褶皱组合，且具多期次叠加和改造特征。早期的断裂构造多为导岩或导矿构造，而晚期的断裂构造常破坏早期形成的岩体和矿体，但部分也可成为热液成矿系统演化晚期的容岩、容矿构造[52]。

2.2.2 控矿构造

月山－总铺岩体受基底构造的近东西向剪切带控制。月山岩体在浅部就位时显然是沿着两组具有共轭性质的断裂侵入的，一组为北东东，另一组为北北西。因为岩体充填时所形成的流面、流线构造指示了北北东向侵位的动力方向，预示岩体在深部向北东方向延伸的趋势。月山岩体严格受产于下三叠统之间的界面附近先存断裂控制。中三叠统白云岩、膏岩层是前陆带区域性的滑覆面和冲断层带，是岩浆侵位和成矿的有利场所[74]。

从共轭剪断带对岩体的控制来看，其形成时间应早于燕山期。从该区构造发展史可以得知，本区在印支期以前，地壳运动以垂直升降为主，不可能形成压剪性构造。因此它的形成时间应为印支期的造山运动，即与本区北东向褶皱系的形成时间一致，是北西-南东向应力场作用的产物[86]。

2.3 矿区岩浆岩

本区岩浆岩带主要由沿NE向线性分布的严家老屋岩体和近EW向线性展布

的总铺岩体、月山岩体组成。本区主要褶皱断裂带的展布方向与该岩浆岩带一致，控制岩浆侵位的断裂为 NE 向及近 EW 向的基底断裂，表层断裂构造及层间虚脱构造控制了岩浆岩体的空间形态[74]。

月山岩体地表形态复杂，岩体东枝南北接触面产状均向北倾斜，倾角 30°～60°，呈南缓北陡的特点；东接触带围岩则呈舌状体深入岩体内。岩体北枝东西接触面产状较陡，且都向围岩倾斜。岩体东枝亦呈 NE 方向，北枝延拓 1000m 消失，西枝及西南枝仅延拓 500m 即已消失[85]。由此可见，控制岩浆活动的基底断裂为北东向[74]。

月山岩体以西至独秀山、银珠山一带，地表见有中性脉岩和多金属矿脉，有明显的矿化显示和热液活动迹象。这表明，无法排除西段存在隐伏岩体的可能。月山岩体至总铺岩体一带的重力资料亦表明，存在着一个明显的东西向重力场分界线，构成明显的东西向线性梯度带。这些资料说明东西向基底断裂的存在及其对东西向岩浆岩展布的控制[74]。

岩体的原生流动构造—流线、流面的产状主要受岩浆侵位方向及岩体与围岩接触面产状控制，流线、流面在岩体边缘发育较好，显示了本区岩浆自北东向南西方向贯入，并沿有利的浅部构造定位的过程。岩石节理、裂隙系统发育，主要有 NE、NW 及近 EW 向三组，构造应力主要表现为张性和张剪性，反映了成岩时区域构造应力的张性及张扭性特征。

月山岩体水平相带不明显，主要表现为近似垂向分带。在 700 m 深度以上，岩石的流动构造发育，岩石类型主要为细粒闪长岩类，局部为(石英)二长闪长岩；700 m 以下，岩石流动构造基本消失，矿物粒径变粗，石英与钾长石含量增高，岩石类型为中粒、中粗粒的石英闪长岩、钾长闪长岩等。两近似相带之间呈渐变过渡的性质，显示了正常岩浆演化的岩石序列从中性向中酸性过渡[52]。

年代学研究表明，月山岩体的锆石 SHRIMN 年龄为 133.2±3.7Ma[89]，闪长岩矿物 Rb-Sr 等时线年龄为 137.6±1.2Ma [90]，角闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄为 135.6±I.4Ma[90]；总铺岩体的 Rb-Sr 年龄为 143Ma，K-Ar 年龄为 132Ma；五横岩体的 K-Ar 年龄为 129Ma[22]；另外，安庆铜矿床金云母 K-Ar 年龄和铜牛井矿床辉铝矿 Re-Os 年龄测试结果均为 131Ma 左右[85]。因此，本区成岩和成矿时间基本一致。

2.4 矿体特征

2.4.1 矿体地质特征

矿体不同中段的大致特征（图版Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）如下：

矿体赋存标高在-445～ -535m 之间，矿体呈透镜状，沿走向具分叉现象。走向约 70° ～250° ，倾向 NNW，倾角 45° ～50° ，沿走向长 115m，倾向延伸一般为 80～90m，厚度平均约 11m。

矿体赋存标高在-580～--610m 之间，矿体呈透镜状，走向近东西，长约 70m，倾向北西，倾角 30° ±，倾向方向延长近 55m。

-605m 中段矿体呈透镜状，具分叉现象，局部膨胀。矿体在-605m 水平处最为膨大，呈东西向，达 200×100m。矿体断面长轴方向转为北西向。矿体总体倾向 330° ，倾角 20° ～30° ，延伸长度约为 300m。

赋存标高在-599～--635m 之间，呈上小下大囊状，近乎直立。

-635m 以下部分，底界标高-665m，矿段在-635m 平面上，呈椭圆形，长轴方向为北西，向下沿北西尖灭。

2.4.2 矿石类型及矿物成份

本区矿物种类繁多，矿石可分以下几类：

矽卡岩型铜矿石：石榴子石矽卡岩型斑铜矿黄铜矿矿石、石榴子石透辉石矽卡岩型磁铁黄铜矿矿石、石榴子石透辉石矽卡岩型磁铁矿黄铜矿矿石等，龙门山矿体各中段均有产出。

矽卡岩型铁矿石：石榴子石矽卡岩型镜铁矿矿石、石榴子石矽卡岩型含铜磁铁矿矿石、透辉石矽卡岩型含铜磁铁矿矿石等，多产于龙门山矿体-566 中段。

矿石的金属矿物主要有黄铜矿与黄铁矿，次有磁铁矿、赤铁矿，少量及微量辉钼矿、铜兰辉铜矿、斑铜矿、闪锌矿与褐铁矿等。非金属矿物主要有：石榴石、透辉石、透闪石、阳起石、方柱石、硬石膏与碳酸盐矿物，次有斜长石、钠长石、钾长石、普通角闪石、金云母、绿泥石、绿帘石、褐帘石、高岭石、石膏、石英碳硅石等。常见矿物的平均含量为：黄铜矿 6.45%、磁铁矿 7.36%、斑铜矿 0.26%、赤铁矿 2.06%、脉石矿物 82.5%，其他 1.39%，矿石的 Cu 平均品位 0.9～1.2%。

2.4.3 矿石结构及构造

矿石结构类型主要为它形粒状结构、它形－半自形晶结构、镶边结构、包含结构和交代结构等。矿石构造主要以浸染状构造、脉状构造、块状构造为主（图 2.2）。

矿床铁矿石以块状构造为主，斑点状浸染状构造次之，铜矿石以浸染状、脉状构造为主，条带状、角砾状、团块状次之。

1、矿石结构

（1）自形—半自形晶结构

磁铁矿、黄铁矿等呈自形、半自形晶粒状，星散状分布于脉石中，或被其它矿物包裹体或集结呈团块状嵌布于脉石矿物中；

（2）他形晶粒状结构

金属矿物磁黄铁矿、黄铜矿及少量磁铁矿、黄铁矿等呈他形晶粒状或不规则状星散于脉石中或集结成团块状充填于其它矿物颗粒和空隙间等；

（3）包含结构

早期生成矿物被晚期生成矿物包裹；主要有磁铁矿包含次透辉石，磁铁矿、早期黄铁矿被磁黄铁矿、黄铜矿包裹；少量黄铜矿被晚期黄铁矿包裹；方铅矿被闪锌矿包裹；透闪石、阳起石被磁黄铁矿、黄铁矿包裹等。

（4）镶边结构

晚期生成的矿物沿早期生成的矿物边缘产出，主要有磁铁矿沿脉石矿物的边部产出，形成镶边结构（图 2.2 D）。

2、矿石构造

本区的矿石构造主要有以下几种（见图版Ⅳ）。

（1）块状及团块状构造

磁铁矿及少量黄铜矿、磁黄铁矿等呈致密块或团块状集合体，无一定方向分布。

（2）浸染状构造

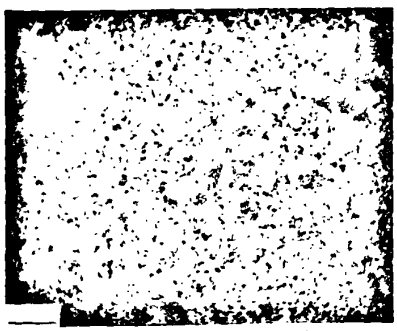
黄铜矿、磁黄铁矿等及少量磁铁矿呈稀疏或稠密浸染状分布于脉石中。

（3）斑点状构造

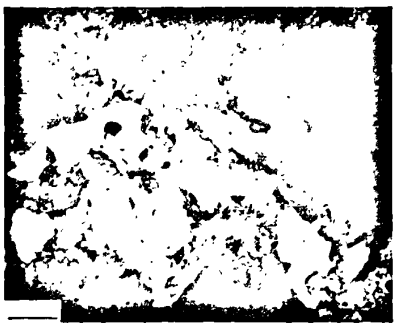
与浸染状构造相似，只是金属矿物呈较大斑点状集合体星散分布于脉石中；部分黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿及镁质矽卡岩中的磁铁矿多呈此种构造特征。

（4）条带状构造

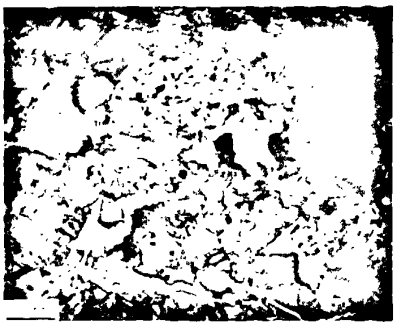
金属矿物集合体呈条带状沿一定方向排列，或与脉石相间分布组成条带状。主要有部分磁铁矿与脉石组成条带状构造，部分金属硫化物在磁铁矿中组成条带状构造；按其成因可分为交代条带构造和贯入条带构造。



A. 它形粒状结构的磁铁矿



B. 交代黄铜矿的镜铁矿



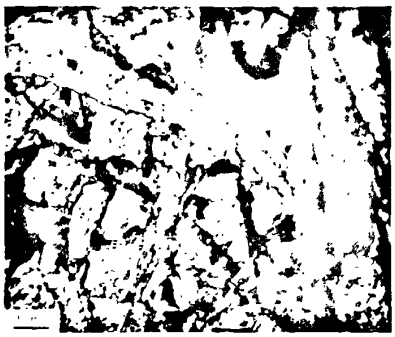
C. 自形－半自形粒状结构的磁铁矿和黄铜矿



D. 沿脉石矿物产出的磁铁矿形成镶边结构



E. 包含黄铜矿颗粒的脉石矿物



F. 呈细脉状产出的黄铜矿

图 2.2　龙门山矿床金属矿物的结构构造

（5）脉状及网脉状构造

金属矿物沿裂隙呈脉状或细脉状穿插于脉石中，或晚生成金属矿物（黄铜矿等）穿插于早生成的金属矿物（磁铁矿等）裂隙中；常见黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿呈脉状、细脉状穿插于闪长岩裂隙或磁铁矿裂隙中，多半在脉状矿石旁侧发育浸染状矿石，形成复合的细脉-浸染状构造。

2.5 围岩蚀变

本区围岩蚀变强烈，早期蚀变类型主要矽卡岩化等，形成矽卡岩化的闪长岩及矽卡岩化大理岩等。蚀变围绕矽卡岩型矿体分布，蚀变带内黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿和斑铜矿等金属矿化比较普遍。中期蚀变主要为绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、蛇纹石化和硅化等，主要形成脉状金属硫化物矿石。晚期的低温蚀变主要为碳酸盐化、硅化、高岭土化及绿泥石化等。此外，本区也可见钾长石化、黑云母化等蚀变。

本区蚀变强烈且蚀变范围大，这不仅反映了成矿热流体来源充足，也从一个侧面揭示了月山岩体中构造裂隙相当发育。而且还充分显示了多期成矿作用的典型特征。

第三章 矿床地球化学特征

3.1 岩体地球化学特征

3.1.1 岩石学特征

月山岩体闪长岩类多呈灰色、灰白色和灰绿色色调，岩石结构简单，一般为中细粒或半自形不等粒状结构。造岩矿物以斜长石为主（50%～65%），钾长石含量相对偏高（8%～20%），暗色矿物以角闪石为主（5%～15%），且含有少量的黑云母（≤3%），局部可见极少量的辉石。石英含量变化较大，由闪长岩到蚀变闪长岩依次增大（2%～15%）。副矿物含量较少，在5%以内，主要为磁铁矿、黄铁矿和磷灰石，以它形不等粒状充填于主矿物和暗色矿物之间。

月山岩体中的斜长石以更长石、中长石为主，斜长石晶体大多呈自形－半自形柱状或板状晶形，可见聚片双晶，偶见环带，发生不同程度的绢云母化、碳酸盐化等蚀变，粒径一般在 0.2mm～1mm 之间，早期斜长石常被晚期矿物溶蚀交代（图 3.1-a）。

角闪石主要为普通角闪石，是本区岩石的主要暗色矿物，呈绿色或浅绿色，多色性明显，为自形－半自形晶形，部分角闪石表面已转化为其他矿物（图 3.1-b）。

钾长石主要为正长石，多呈它形柱状晶形，可见卡式双晶，表面发生不同程度的蚀变，粒径一般在 0.1mm～0.6mm 之间，晶出时间比早期斜长石稍晚（图 3.1-c）。

石英呈它形粒状或不规则状晶形，波状消光，粒径一般在 0.1mm～0.5mm 之间，个别可达 0.5mm 以上，主要充填于早期矿物晶粒之间（图 3.1-d）。

月山岩体岩石中的黑云母结晶较晚，晶形较好，棕色，解理清晰。

月山岩体岩石突出的特点是早期结晶的矿物（斜长石、角闪石等）粒度较大，晚期结晶的矿物（石英）粒度较小，晚期矿物往往充填交代早期矿物，晚期矿物交代晚期矿物，构成包含、交代结构（图 3.1-e、f）。上述特点反映了岩浆结晶晚期富水、富钾富硅的生成环境。

与月山岩体有关的矿化以矽卡岩型矿化为主。岩石类型主要有石榴子石矽卡岩、透辉石矽卡岩、石榴子石透辉石矽卡岩、绿帘石石榴子石矽卡岩、绿帘石透辉石矽卡岩、透辉石方柱石矽卡岩、蚀变矽卡岩等。



图 3.1-a 发生蚀变的斜长石双晶明显

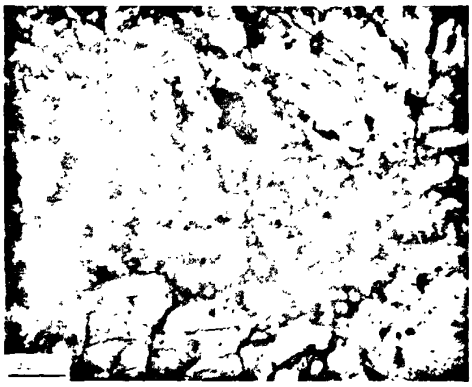


图 3.1-b 发生蚀变的角闪石

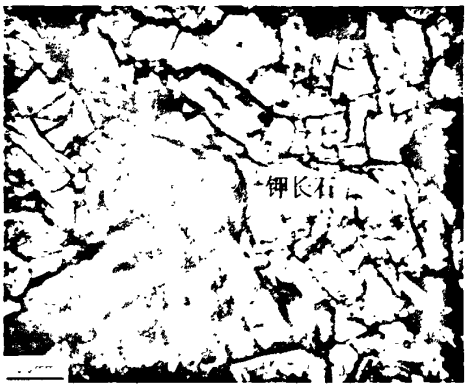


图 3.1-c 卡式双晶明显的柱状钾长石

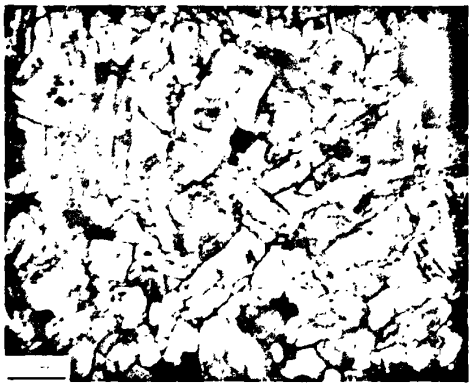


图 3.1-d 石英沿其它矿物间隙充填

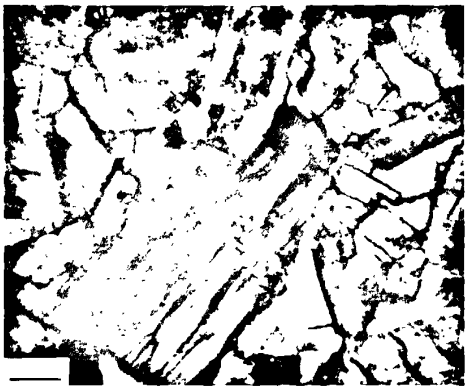


图 3.1-e 包含结构



图 3.1-f 交代结构

3.1.2 岩石化学特征

本次研究样品采自月山岩体部分钻孔以及本区闪长岩类岩石，均为新鲜未蚀

变的闪长岩，全岩分析及岩石化学特征见表 3-1，岩石化学成分分析结果显示，闪长岩类的 SiO_2 含量在 57.39%～59.21%之间，平均含量为 58.37%，略高于中国同类岩石的 SiO_2 平均含量 57.39%（黎彤值，下同），基本上属于硅酸弱饱和的岩石。

岩石总碱含量（K_2O+Na_2O）为 6.79%～7.77%，平均值为 7.31%，较中国正常闪长岩值（6.83%）高，Na_2O/K_2O 值在 1.46～1.63 之间，平均值为 1.54；碱度率 AR 值在 1.91～2.06 之间，平均值为 2.00，显示出岩体在较富钠的背景上富钾。本区样品 K_2O 平均值为 2.90%，Na_2O 平均值为 4.45%，$K_2O<Na_2O$，为纳质岩石，$K_2O/(K_2O+Na_2O)$ 平均为 0.40，与中国同类岩石相比，本区岩石碱总量偏高；里特曼组合指数（σ）值在 2.87～3.96 之间变化，平均为 3.50（见表 3－1），除样品 ZKA-2 为 2.87 外，其余样品均大于 3.3，基本上属碱性岩。

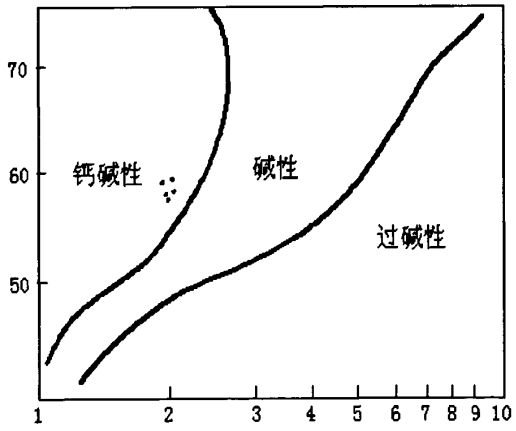


图 3.2　AR-SiO_2 与碱度关系图
横坐标为 AR，纵坐标为 SiO_2

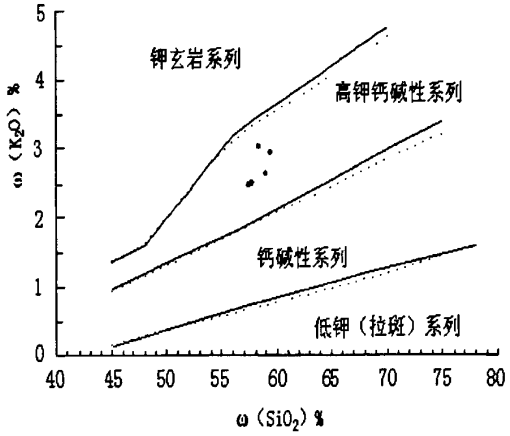


图 3.3　月山岩体闪长岩 K_2O-SiO_2 图解

结合岩体 AR-SiO_2 图解（图 3.2），所有样品投影点均落入钙碱性范围内，但更靠近碱性区域，反映出岩体有从钙碱性岩系向碱性岩系方向演化的趋势。在 K_2O- SiO_2 图解中（图 3.3），所有样品投影点均落入高钾钙碱性内，反映出月山岩体比正常钙碱性闪长岩更富碱，以及岩浆向富碱方向演化的特征。此外，闪长岩的 CaO 含量的平均值为 5.28%，高于中国闪长岩平均值 3.70%，说明月山岩体富钙特征也很明显，与岩石中钙质矿物发育一致，其原因可能是岩浆上升时遭受了强烈的地壳钙质混染，即地壳的同化混染作用。

岩石富碱是包括本区在内的长江中下游地区岩浆岩的主要特征之一，与岩浆岩的物质来源及区域壳幔物质成分特点有关。富碱特征一方面表明岩石形成于板内环境而不大可能形成于活动大陆边缘岛弧环境；另一方面也表明碱质在区域成矿作用中起了重要作用。

表 3-1　岩浆岩全岩分析结果统计表（$w\times10^{-2}$）

岩石及编号 / 成分及参数	ZKA-2	ZKA-8	ZKA-11	WH-δ-4	ZP-δ-1	中国花岗闪长岩平均值	中国石英闪长岩平均值
	闪长岩	闪长岩	闪长岩	闪长岩	闪长岩		
SiO_2	59.05	57.74	57.59	58.25	59.21	57.39	60.51
TiO_2	0.79	0.8	0.78	0.79	0.79	0.89	0.73
Al_2O_3	16.3	16.73	16.52	17.46	16.61	16.42	16.70
全铁	5.88	6.01	6.1	6.23	5.59	3.10	2.84
MnO	0.09	0.1	0.11	0.11	0.09	0.18	0.14
MgO	3.37	3.25	2.98	2.68	2.68	3.77	2.54
CaO	5.42	5.57	5.47	4.97	4.97	5.58	4.68
Na_2O	4.32	4.44	4.45	4.61	4.44	4.26	3.68
K_2O	2.65	2.88	2.85	3.16	2.94	2.57	2.65
P_2O_5	0.422	0.45	0.424	0.429	0.391	0.37	0.46
Cr_2O_3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
SrO	0.18	0.2	0.19	0.18	0.17		
BaO	0.14	0.15	0.13	0.13	0.12		
LOI	1.04	1.23	0.72	0.79	0.69		
总量	99.662	99.56	98.324	99.799	98.701		
K_2O+Na_2O	6.79	7.32	7.30	7.77	7.38		
$K_2O/(K_2O+Na_2O)$	0.39	0.39	0.39	0.41	0.40		
$Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$	1.33	1.30	1.30	1.37	1.34		
AR	1.91	1.98	2.00	2.06	2.04		
Na_2O/K_2O	1.63	1.54	1.56	1.46	1.51		
τ	15.16	15.49	15.47	16.27	15.41		
σ	2.87	3.64	3.65	3.96	3.36		

注：中国花岗闪长岩和石英闪长岩平均值都据黎彤，测试单位：中国广州澳实矿物实验室.
碱度率：$AR=Al_2O_3+CaO+(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3+CaO-(K_2O+Na_2O)$

3.1.3 稀土元素特征

成矿岩体稀土元素含量见表 3-2，从配分图中（图 3.4）可以看出整体曲线基本重叠，均向右倾，轻稀土较陡，重稀土趋于平缓，显示本区稀土配分属轻稀土富集型。稀土总量（ΣREE）都处在 221.38×10^{-6}～299.87×10^{-6} 这个范围之内，平均值为 264.20×10^{-6}，低于世界花岗质岩石的稀土元素平均含量（292×10^{-6}）。轻稀土总量（LREE）变化范围为 197.67×10^{-6}～278.20×10^{-6}，平均为 237.94

$\times10^{-6}$；重稀土总量(HREE)变化范围为 21.67×10^{-6}～29.09×10^{-6}，平均为 26.26×10^{-6}；轻重稀土比值（LREE/HREE）介于 8.22～12.84 之间，平均为 9.22，变化较小，但其比值远大于 1，轻稀土相对富集强烈，表明地壳物质参与了矽卡岩的成岩作用。

$(Ce/Yb)_N$值大部分在 15.26～26.42 之间，平均为 18.85，均远大于 1，属稀土富集型；$(La/Sm)_N$值范围为 4.46～6.22，平均为 5.24，轻稀土分馏程度不是很高；$(Gd/Yb)_N$值范围为 2.06～3.41，平均为 2.98，小于$(La/Sm)_N$平均值，重稀土分馏程度较低，衰减速度比轻稀土慢。铕异常（δEu）值，均在 0.64～0.90 之间，平均为 0.82，接近陨石值，整体铕谷不明显，属无铕负异常型（正常型）；铈异常（δCe）值，变化范围为 0.81～0.85，平均为 0.84，数值变化较小，铈谷不明显，属铈弱亏损型，反映了表层风化作用对岩石的影响较小。

本区岩石 HREE 明显亏损，$(La/Yb)_N$比值偏高，从而排除了月山矿区闪长岩类源于麻粒相组成的下地壳不分熔融的可能性，亦非完全上地壳源的产物。

经赫尔曼球粒陨石值标准化后作出岩石的稀土元素配分曲线（图 3.4），反映出如下规律：

（1）配分曲线均向右倾，轻稀土部分相对较陡，重稀土趋于平缓，显示本区稀土配分属轻稀土富集型，且轻稀土的分馏程度比重稀土高。

（2）钾长闪长岩岩体的配分曲线几乎重合在一起，表明本区岩体具有同源性。

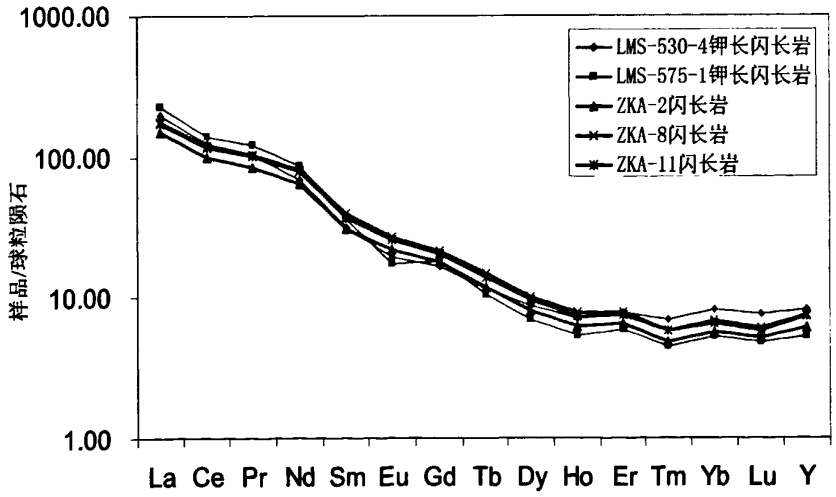


图 3.4　月山岩体闪长岩类稀土元素配分图

表 3-2　月山岩体闪长岩类稀土元素含量及特征表 （wt 10^{-6}）

样品 / 参数	LMS-530-4	LMS-575-1	ZKA-2	ZKA-8	ZKA-11	平均值
	钾长闪长岩	钾长闪长岩	闪长岩	闪长岩	闪长岩	
La	197.50	223.75	149.38	176.25	171.88	
Ce	124.47	140.43	98.94	118.62	117.02	
Pr	102.92	121.67	84.58	104.58	102.50	
Nd	68.17	85.67	64.83	81.17	78.17	
Sm	31.75	36.65	31.10	39.50	37.45	
Eu	19.45	17.40	21.92	26.99	26.03	
Gd	16.77	18.13	17.84	21.65	20.61	
Tb	11.60	10.60	11.80	14.80	13.80	
Dy	8.84	7.00	8.00	10.13	9.71	
Ho	7.12	5.48	6.30	7.81	7.40	
Er	7.90	5.90	6.48	7.81	7.43	
Tm	6.97	4.55	4.85	5.76	5.76	
Yb	8.16	5.32	5.63	6.89	6.58	
Lu	7.74	4.84	5.16	6.13	5.81	
Y	8.21	5.31	6.07	7.45	7.24	
LREE	241.22	278.20	197.67	239.02	233.59	237.94
HREE	28.82	21.67	23.71	29.09	28.01	26.26
ΣREE	270.04	299.87	221.38	268.11	261.60	264.20
LREE/HREE	8.37	12.84	8.34	8.22	8.34	9.22
δ Eu	0.80	0.64	0.90	0.88	0.90	0.82
δ Ce	0.83	0.81	0.85	0.84	0.85	0.84
(Ce/Yb)	15.26	26.42	17.57	17.20	17.79	18.85
(La/Yb)	24.21	42.09	26.52	25.56	26.13	28.90
(La/Sm)	6.22	6.11	4.80	4.46	4.59	5.24
(Gd/Yb)	2.06	3.41	3.17	3.14	3.13	2.98
Ce/Yb	75.48	130.69	86.92	85.11	88.00	93.24
Eu/Yb	2.38	1.26	1.50	1.50	1.52	1.63
La/Sm	9.95	9.77	7.68	7.14	7.34	8.38
La/Yb	40.77	70.89	44.67	43.05	44.00	48.68

测试单位：中国广州澳实矿物实验室，2008.

3.1.4 微量元素特征

微量元素测试结果表明(表 3-3)，月山岩体新鲜闪长岩类岩石中高温元素 W、Bi，低温元素 Hg、Sb、Ag 较为富集，平均值分别为 10×10^{-5}、1.2×10^{-5}、2×10^{-6}、1×10^{-6}、2×10^{-6}、0.2×10^{-6}，均高于维氏值；从表 3-4 中可以看出，本区 Cu、

Fe、Mg、Ca 含量较低，分别为 3.02×10^{-5}、1.704×10^{-2}、4.42×10^{-3}、9.42×10^{-3}，低于维氏值；另外 V、Ti、Cr、Co、Ni 均低于维氏值。

本区 Sr 的丰度变化较大，最高达 4840×10^{-6}，远高于上地壳值 350×10^{-6} 和下地壳值 230×10^{-6}，因此月山岩体不可能是地壳岩石深熔或重熔的产物。表明月山岩体可能来源于高钾富碱的地幔岩浆。但也有 Sr 丰度较低者，为 91.9×10^{-6}，表明原始岩浆在上侵过程中可能受到不同程度的地壳混染。

表 3-3　月山岩体闪长岩类微量元素统计表（$w\times10^{-6}$）

元素 / 样品		W	Mo	Bi	Pb	Zn	Hg	Sb
LMS-530-4	钾长闪长岩	10	1	2	8	22	1	2
LMS-575-1	钾长闪长岩	10	1	2	2	2	1	2
ZKA-2	闪长岩	10	1	2	3	22	1	2
ZKA-8	闪长岩	10	1	2	4	25	1	2
ZKA-11	闪长岩	10	2	2	10	35	1	2
平均值		10.00	1.2	2.00	5.4	21.20	1.00	2.00
维氏值		1	1	1.1	16	83	0.08	1
元素 / 样品		Ag	V	Ti	Cr	Co	Ni	Mn
LMS-530-4	钾长闪长岩	0.2	56	1300	7	6	4	208
LMS-575-1	钾长闪长岩	0.2	10	100	5	1	1	41
ZKA-2	闪长岩	0.2	66	1500	29	6	11	175
ZKA-8	闪长岩	0.2	88	1700	25	7	10	201
ZKA-11	闪长岩	0.2	64	2000	12	9	9	299
平均值		0.20	56.80	1320	15.60	5.80	6.00	184.80
维氏值		0.07	90	4500	83	18	58	1000

测试单位：中国广州澳实矿物实验室，2008.

表 3-4　月山岩体闪长岩类 Cu、Fe、Ca、Mg 统计表（$w\times10^{-6}$）

元素 / 样品		Cu	Fe	Ca	Mg
LMS-530-4	钾长闪长岩	63	20400	11700	5000
LMS-575-1	钾长闪长岩	13	4100	4400	1100
ZKA-	2 闪长岩	48	18500	9800	4800
ZKA-8	闪长岩	16	22300	11400	5200
ZKA-11	闪长岩	11	19900	9800	6000
平均值		30.20	17040	9420	4420
维氏值		47	46500	29600	18700

测试单位：中国广州澳实矿物实验室，2008.

3.1.5 同位素地球化学

月山岩体氧同位素（$\delta^{18}O$ 为 7.55‰～11.85‰，平均值为 9.51‰，明显高于中性岩 $\delta^{18}O$ 值(5.4‰～7.5‰[91])）[83]特征表明，本系列岩石属 Taylor[92]划分的正常花岗岩类（$\delta^{18}O$=+6‰～＋10‰）。月山岩浆水中随着成矿流体的运移及成矿的进行，可能有地层封存水的混入或大气降水的加入，发生了水-岩作用，在此过程中，同时也伴随有陆壳物质不断的与成矿流体发生混溶，成矿流体与地壳发生了同化混染作用，即经历了 AFC 过程。

硫同位素研究[93]（$\delta^{34}S$ 变化范围为-11.3‰～+19.2‰）表明，月山地区硫同位素分布较离散，这反映了月山地区硫源并非是单一的，单一的硫源不会导致矿床硫同位素组成发生较大范围的变化，因此，本区至少存在两种或两种以上的硫源，两种或两种以上硫源的混合才是导致矿床硫同位素组成变化的主导原因，不同来源(含硫）的热液混合形成混合硫。硫源的复杂性反映了矿床形成和定位过程中，围岩以及构造条件对成矿热液系统的演化具深刻的影响，同时也表明了成矿流体在断裂上侵及演化的过程中与地壳发生了同化混染。

3.2 矿体地球化学特征

3.2.1 矿体稀土元素特征

龙门山矿体稀土元素特征见表 3-5，从龙门山矿体稀土元素配分图中可以看出整体曲线均向右倾，轻稀土部分相对较陡，重稀土趋于平缓，显示本区稀土配分属轻稀土富集型，并从曲线图可以看出轻稀土分馏较为明显。

经赫尔曼球粒陨石值标准化后作出岩石的稀土元素配分曲线（图 3.5）和表格（表 3-5），反映出如下规律：

（1） 配分曲线均向右倾，轻稀土部分相对较陡，重稀土趋于平缓，显示本区稀土配分属轻稀土富集型，且轻稀土的分馏程度比重稀土高特别是围岩较为明显。

（2）矿体中的矽卡岩的配分曲线与较纯的岩体有一定程度的差别，但基本趋势相同，表明本区矿体具有相同的岩浆来源和一致的岩浆演化途径。

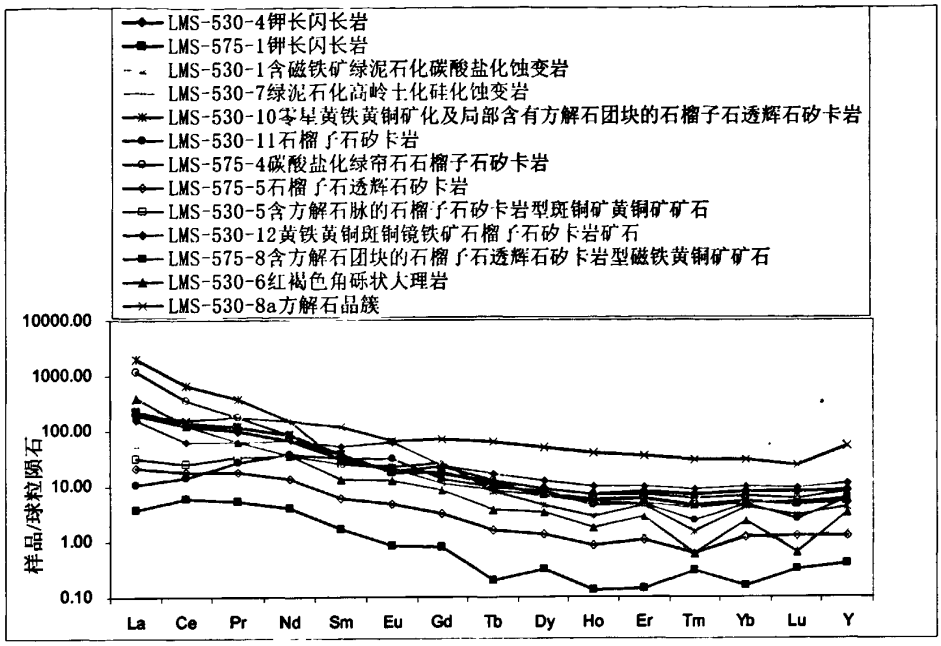


图 3.5 龙门山矿床稀土元素配分图

(3)从配分曲线图中可以看出矿石 LMS-530-5、LMS-530-12 更靠近岩体；从表格中也可以看出：岩体→蚀变岩→矽卡岩→矿石→围岩的ΣREE 值的大小以及 LREE/HREE 比值大小变化范围较大，但总体来说，无论是ΣREE 值，还是 LREE/HREE 比值，矿石的数值相对来说与岩体、蚀变岩接近，因为此处为矽卡岩型矿床，由此判断此矿化带内接触带更有利于成矿。

3.2.2 矿体微量元素特征

龙门山矿床微量元素特征见表 3-6。除了新鲜岩体以及样品 LMS530-7 绿泥石化高岭土化硅化蚀变岩以外，其他样品 Cu、Fe、Mo、Pb 等元素含量高于维氏值，表明岩浆在上侵或沉积过程中受到混染作用不强烈，Th 明显高于维氏值，根据 Brown et al（1984）[94]在研究岛弧花岗岩类岩石的地球化学特征与岩浆来源时指出，来自幔源的火成岩选择性地富集 Th，而且一般贫 Rb、Ba，推知本区岩浆可能来源于深部的上地幔。岩浆在演化的过程中主要经历了一定程度的分异，部分地壳组分的加入（同化混染）可能是引起本岩体岩石微量元素含量变化的另一个原因。

测试结果表明，矿石中高温元素 W 、Mo 、Bi，中温元素 Cu，低温元素 Hg、Sb、Ag 以及 V、Fe、Mn 高于维氏值，表明高中低温元素富集，并受到岩浆热液的物质迁移的影响。矽卡岩中高温元素 W、Bi 以及低温元素 Hg、Ag、Sb 以及 Mo、Cu、含量较高，平均值分别为 1×10^{-5}、2×10^{-6}、1×10^{-6}、0.55×10^{-6}、2×10^{-6}、2.5×10^{-5}、3.72×10^{-3}，高于维氏值；其中 Fe、Mg 的含量为 4.39×10^{-2}、1.345×10^{-2}低于维氏值，从表中可以看出岩体和矽卡岩 Cu 和 Fe 的含量分别是 $3.8\times10^{-5}\rightarrow3.724\times10^{-3}$和 $1.225\times10^{-2}\rightarrow9.685\times10^{-2}$，可以看到 Cu、Fe 在矽卡岩中比较富集，其中 Pb、 Zn、 Hg、 Ag 等中低温元素含量变化不大。

围岩 W、Mo、Bi、Hg、Mn 含量高于维氏值，Mg 含量为 1.94×10^{-2}大大高于其他岩石。整体来观察可以发现蚀变岩、矽卡岩、矿石中 Cu、Fe 较为富集，成矿元素相对富集于矿石和蚀变岩中；岩体、蚀变岩、矽卡岩、矿石、围岩中 Cu、Fe、Mn、Zn、Pb 分别为：$3.8\times10^{-5}\rightarrow1.65\times10^{-4}\rightarrow3.72\times10^{-3}\rightarrow8.19\times10^{-3}\rightarrow9.5\times10^{-6}$；$1.23\times10^{-2}\rightarrow4.39\times10^{-2}\rightarrow9.67\times10^{-2}\rightarrow7.21\times10^{-2}\rightarrow2.76\times10^{-2}$；$1.24\times10^{-4}\rightarrow1.04\times10^{-3}\rightarrow1.28\times10^{-3}\rightarrow1.0\times10^{-3}\rightarrow1.46\times10^{-3}$；$1.2\times10^{-5}\rightarrow2.2\times10^{-5}\rightarrow9.5\times10^{-6}\rightarrow7.67\times10^{-6}\rightarrow2.0\times10^{-5}$；$5\times10^{-6}\rightarrow4.5\times10^{-6}\rightarrow6.5\times10^{-5}\rightarrow4\times10^{-6}\rightarrow5\times10^{-6}$，说明靠近岩体的内接触带相对来说更有利于成矿，地壳的混染作用对成矿也有一定的影响，表明在成矿过程中有多种物质来源。

表 3-5 龙门山矿床稀土元素特征值含量表（$w\times10^{-6}$）

样品号	LMS-530-5	LMS-530-12	LMS-575-8	LMS-530-6	LMS-530-8a	LMS-530-4	LMS-575-1
样品名称	含方解石脉的石榴子石矽卡岩型斑铜矿黄铜矿矿石	黄铁黄铜斑铜镜铁矿石榴子石矽卡岩矿石	含方解石团块的石榴子石透辉石矽卡岩型磁铁黄铜矿矿石	红褐色角砾状大理岩	方解石晶簇	钾长闪长岩	钾长闪长岩
LREE	65.43	175.55	10.32	276.88	357.57	241.22	278.20
HREE	20.65	39.73	1.25	11.76	160.23	28.82	21.67
ΣREE	86.08	215.28	11.57	288.64	517.80	270.04	299.87
LREE/HREE	3.17	4.42	8.26	23.54	2.23	8.37	12.84
δEu	1.20	1.68	0.66	1.13	0.70	0.80	0.64
δCe	0.78	0.57	1.36	0.54	0.87	0.83	0.81
(Ce/Yb)	5.22	6.48	1.36	52.33	5.46	15.26	0.81
(La/Yb)	6.51	16.22	38.40	168.23	6.59	24.21	26.42
(La/Sm)	1.30	3.13	2.21	29.85	1.66	6.22	6.11
(Gd/Yb)	2.32	2.33	5.11	3.55	2.32	2.06	3.41
Ce/Yb	25.81	32.05	190.00	258.89	27.03	75.48	130.69
Eu/Yb	4.42	6.30	2.00	5.21	2.19	2.38	1.26
La/Sm	2.07	5.01	3.53	47.75	2.66	9.95	9.77
La/Yb	10.97	27.32	40.00	283.33	11.10	40.77	70.89

表 3-5（续）

样品号	LMS-530-1	LMS-530-7 绿	LMS-530-10	LMS-530-11	LMS-575-4	LMS-575-5
样品名称	含磁铁矿绿泥石化碳酸盐化蚀变岩	泥石化高岭土化硅化蚀变岩	零星黄铁黄铜矿化及局部含有方解石团块的石榴子石透辉石矽卡岩	石榴子石矽卡岩	碳酸盐化绿帘石石榴子石矽卡岩	石榴子石透辉石矽卡岩
LREE	75.74	334.62	1409.51	50.9	786.26	34.91
HREE	6.72	26.48	20.47	21.57	29.53	4.42
ΣREE	82.46	361.1	1429.98	72.47	815.79	39.33
LREE/HREE	11.27	12.64	68.86	2.36	26.63	7.9
δ Eu	1.32	0.66	0.85	1.38	0.71	1.04
δ Ce	0.73	0.83	0.59	0.76	0.51	0.89
(Ce/Yb)	26.28	26.56	165.03	2.99	0.51	0.89
(La/Yb)	44.65	40.78	469.74	2.18	52.78	15.07
(La/Sm)	5.09	5.48	72.88	0.33	38.79	3.48
(Gd/Yb)	4.02	3.64	6.35	2.89	3.39	2.67
Ce/Yb	130	131.4	816.46	14.78	261.11	74.55
Eu/Yb	8.43	3.64	5.44	6.54	1.09	1.59
La/Sm	8.14	8.77	116.6	0.53	62.07	5.57
La/Yb	75.2	68.68	791.14	3.67	300	30.91

测试单位：中国广州澳实矿物实验室，2008.

表 3-6 龙门山矿床剖面微量元素统计表（$w\times10^{-6}$）

类别	元素/样品		W	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Hg	Sb	Ag	V	Ti	Cr	Co	Ni	Fe	Mn	Mg
岩体	LMS-530-4	钾长闪长岩	10	1	2	63	8	22	1	2	0.2	56	1300	7	6	4	20400	208	5000
	LMS-575-1	钾长闪长岩	10	1	2	13	2	2	1	2	0.2	10	100	5	1	1	4100	41	1100
	平均值		10	1	2	38	5	12	1	2	0.2	33	700	6	3.5	2.5	12250	124.5	3050
蚀变岩	LMS-530-1	含磁铁矿绿泥石化碳酸盐化蚀变岩	10	9	2	295	7	31	1	2	0.2	99	100	1	13	10	67300	1770	8800
	LMS-530-7	绿泥石化高岭土化硅化蚀变岩	10	1	2	36	2	13	1	2	0.2	61	400	10	8	8	20500	315	18100
	平均值		10	5	2	165.5	4.5	22	1	2	0.2	80	250	5.5	10.5	9	43900	1043	13450
矽卡岩	LMS-530-10	黄铜矿化及含有方解石团块的石榴子石透辉石矽卡岩	10	5	2	10000	8	8	1	2	1.4	141	800	3	18	10	133500	761	1400
	LMS-530-11	石榴子石矽卡岩	10	2	2	206	8	15	1	2	0.2	302	1800	7	6	1	117500	2480	3500
	LMS-575-4	碳酸盐化绿帘石石榴子石矽卡岩	10	1	2	132	5	10	1	2	0.2	65	2100	7	4	1	30400	1490	2600
	LMS-575-5	石榴子石透辉石矽卡岩	10	2	2	4560	5	5	1	2	0.4	178	400	1	16	13	106000	406	2100
	平均值		10	2.5	2	3724.5	6.5	9.5	1	2	0.55	172	1275	4.5	11	6.25	96850	1284	2400
矿石	LMS-530-5	含方解石脉的石榴石矽卡岩型斑铜矿黄铜矿矿石	10	4	2	4560	3	8	1	2	0.4	93	1500	11	9	3	76400	833	700
	LMS-530-12	黄铁黄铜斑铜镜铁矿石榴子石矽卡岩矿石	10	1	2	10000	6	7	1	3	0.2	269	1300	7	11	11	114000	1940	4100

表 3-6（续）

类别	元素/样品		W	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Hg	Sb	Ag	V	Ti	Cr	Co	Ni	Fe	Mn	Mg
矿石	LMS-575-8	含方解石团块的石榴子石透辉石矽卡岩型磁铁黄铜矿矿石	10	1	2	10000	3	8	1	2	0.6	10	100	1	4	2	25900	231	2200
	平均值		10	2	2	8186.7	4	7.67	1	2.333	0.4	124	966.67	6.33	8	5.33	72100	1001	2333.3
蚀变岩	LMS-530-6	红褐色角砾状大理岩	10	1	2	16	8	38	1	2	0.2	91	100	1	17	10	52300	1530	35900
	LMS-530-8a	方解石晶簇	10	1	2	3	2	2	1	2	0.2	3	100	1	1	1	2900	1390	2900
	平均值		10	1	2	9.5	5	20	1	2	0.2	47	100	1	9	5.5	27600	1460	19400
	维氏值		1.3	1.1	0.009	47	16	83	0.083	0.5	0.07	90	4500	83	18	58	46500	1000	18700

测试单位：中国广州澳实矿物实验室，2008.

第四章 月山地区成矿地质条件分析

4.1 地层与成矿的关系

4.1.1 地层岩石的性质

取三叠系各地层的岩石样品作做渗透实验，实验结果如表4－1[95]。

表4－1 三叠系地层岩石孔隙率、渗透率测定结果表

地层	岩石类型	样品数	孔隙率（%）	渗透率（%）
T_3l	砂岩	1	9.95	0.198
T_2t	粉砂岩、含铜页岩	2	11.98　12.70	0.148　0.732
T_2y^1	白云岩、砂质灰岩	3	14.74　12.91　7.7	0.71　0.793　0.748
T_2y^2	岩溶角砾岩	2	0.80　6.06	0.99　0.118
T_2y^3	钙质粉砂岩	1	7.86	0.199
T_1n	灰岩	2	0.48　0.92	0.76　0.123
T_1h	灰岩	2	1.27　1.88	0.313　0.313

注：资料据326地质队

从表中可以看出：

（1）灰岩的孔隙率及渗透率较低，不利于成矿流体的渗透及运输，是有利的围岩条件。

（2）白云岩的孔隙率范围在7.7%～14.74%，渗透率为0.7%以上，孔隙率及渗透率相对较高，有利于成矿流体的渗透及运移，并伴随着成矿流体与岩石发生接触交代反应而产生蚀变带，在此过程中，由于成矿流体的物理、化学条件发生变化以及砂岩、页岩的阻挡，矿物质在一定的地层内发生沉淀，形成一定的赋矿层位。

由于大理岩中大量裂隙的产生更有利于大规模的流体渗透和物质的迁移，当然也可能促使大气降水渗透到闪长岩体一侧与深部来源的岩浆热液相混合；在本区岩石变形的过程中必有矿物的重结晶作用的发生，因此，将导致矿物的细粒化[96]，这也能提高了岩石的孔隙度和渗透率，从而有利于周围的流体进入变形层，并且在压力梯度作用下沿矿物颗粒边界渗透和扩散而迁移。

综上所述，三叠系月山组白云岩大的渗透率及接触带附近闪长质岩石和大理岩力学性质的差异均能促使大规模的成矿流体的运移，因此，在接触带附近的两类岩石物理性质均有利于成矿作用的发生。

4.1.2 地层的含矿性

区内地层化学元素浓集系数（K）列于表 4-2 中，分析表明，区内地层常量元素的含量与岩石类型（岩性）和沉积环境有关，但各类岩石中 Na、K 含量偏低，除砂页岩外，碳酸盐类岩石的 Na、K 含量大多低于地球碳酸岩类标准 Na、K 含量（ω（Na）=0.4%，ω（K）=0.27%），且浓集系数均低于 1；铜头尖组含铜砂岩、殷坑组灰岩、泥页岩及部分前寒武纪地层如大隆组和孤峰组等成矿元素 Cu、Pb 含量较高，浓集系数大于 1，月山组、南陵湖组等地层中成矿元素 Cu、Pb、Zn 含量偏低；除铜头山组以外，其他地层中 Au 的含量均很低，浓集系数小于1。殷坑组及前三叠纪地层的大隆组、孤峰组S含量高，浓集系数达5～19.57。石炭纪地层的 Na、K、S 及成矿元素丰度都很低[52]。

表 4-2 月山地区地层常量元素、成矿元素丰度值（c）化学浓集系数（K）

地层	岩性		Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	S	Cu	Pb	Zn	Au
铜头尖组(T_2t)	含铜砂岩	C	30.34	7.89	3.50	1.89	1.14	0.59	2.27	0.02	346.34	13.00	97.25	11.07
		k	1.08	0.96	1.50	0.46	0.27	0.25	1.09	0.43	6.30	1.04	1.39	2.57
	紫色砂岩	C	21.64	4.89	2.65	1.33	12.81	0.76	1.25	0.012	6.29	15.68	84.22	2.62
		k	0.77	0.59	1.14	0.32	3.09	0.32	0.60	0.26	0.11	1.25	1.20	0.61
月山组（T_2y）	杂色砂岩	C	15.07	3.68	2.87	4.15	15.10	0.17	0.98	0.02	8.68	4.62	53.85	1.71
		k	0.54	0.45	1.23	1.00	3.64	0.07	0.47	0.43	0.16	0.37	0.77	0.40
	角砾状灰岩	C	2.28	0.78	2.45	8.35	23.99	0.04	0.23	0.03	10.08	14.17	44.27	1.47
		k	0.08	0.09	1.05	2.01	5.78	0.02	0.11	0.64	0.18	1.13	0.63	0.34
	白云岩	C	1.94	0.44	1.26	9.91	21.95	0.06	0.22	0.04	6.41	12.27	33.52	1.69
		k	0.07	0.05	0.54	2.39	5.29	0.03	0.11	0.85	0.12	0.98	0.48	0.39
南陵湖组(T_1n)	灰岩	C	16.46	0.43	0.41	1.25	36.01	0.15	0.14	0.05	6.38	23.23	45.8	40.96
		k	0.58	0.05	0.18	0.30	8.68	0.06	0.07	1.06	0.12	1.86	0.65	0.22
和龙山组（T_1h）	灰岩	C		1.78	1.45	1.44	45.60	0.34	0.60		16.14	24.90	22.99	1.79
		k		0.22	0.62	0.35	10.99	0.14	0.29		0.29	1.99	0.33	0.42
殷坑组（T_1y）	灰岩、泥页岩	C		1.65	4.69	2.27	18.94	0.49	2.48	0.235	60.00	19.50	2.50	
		k		0.20	2.01	0.55	4.56	0.21	1.19	5.00	1.09	1.56	0.04	
大隆组（P_2d）	钙质页岩、灰岩	C	15.82	2.60	2.09	1.47	19.44	0.42	0.73	0.49	180.00	46.08	21.83	0.50
		k	0.56	0.32	0.90	0.35	4.68	0.18	0.35	10.43	3.27	3.68	0.31	0.12
龙潭组（P_2f）	砂岩、页岩	C	27.62	5.69	6.51	1.00	1.76	0.92	1.51	0.57	125.00	27.56	28.56	0.40
		k	0.98	0.69	2.79	0.24	0.42	0.39	0.72	12.31	2.22	2.20	0.41	0.09
孤峰组（P_1g）	硅质页岩	C	32.60	0.50	1.75	0.68	3.93	0.04	0.58	0.92	23.00	27.44	23.10	1.80
		k	1.16	0.18	0.75	0.16	0.95	0.02	0.28	19.57	0.42	2.20	0.33	0.42
船山组（C_3c）	灰岩	C	0.57	0.13	0.20	0.31	37.86	0.096	0.25	0.02	14.60	27.25	39.60	1.05
		k	0.02	0.02	0.09	0.07	9.12	0.04	0.12	0.43	0.27	2.18	0.57	0.24

地层	岩性		Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	S	Cu	Pb	Zn	Au
黄龙组	白云质	C	0.28	0.14	0.76	12.48	21.49	0.09	0.08	0.06	19.67	11.0	136.95	1.18
(C_2h)	灰岩	k	0.01	0.02	0.33	3.01	5.18	0.04	0.04	1.28	0.36	0.88	0.53	0.27
	角砾状	C	0.97	0.30	0.61	9.88	25.39	0.09	0	0.04				
	灰岩白	k	0.03	0.04	0.26	2.38	6.12	0.04	0	0.86				
	云岩													
高丽山	钙质石	C	23.63	0.55	1.88	2.77	13.06	0.07	0	0.02				
组(C_1g)	英砂岩	k	0.84	0.07	0.81	1.16	3.15	0.03	0	0.43				
克拉克值②			28.15	8.23	2.33	4.15	4.15	2.36	2.09	0.047	55.00	12.50	70.00	4.3
沉积岩中含量③			23.80	10.45	1.30	2.50	2.53	0.66	2.25	0.103	57.00	20.00	80.00	1.0

C 的计量单位：常量元素及 S 为 10^{-2}，Cu，Pl，Zn 为 10^{-6}，Au 为 10^{-9}；②、③据维诺格拉多夫(1962)、Taylor(1964)和 Augustithis(1983)。资料据安徽省地矿局 326 地质队(1990)及周涛发。

地层是本区内生金属矿床形成的重要地质条件之一，区内矿化围绕岩体某一部分呈有规律的分带性，且接触带中矿体的产出常与一定地层层位有关，三叠系月山组和南陵湖组白云岩、灰岩和角砾状灰岩是月山地区的主要赋矿地层，因此地层的组成、地球化学和物理化学性质对成矿具有重要意义[52]。

地层对成矿作用主要表现为以其有利的岩性（碳酸盐岩是接触交代矿床形成最有利的岩性）、岩性突变面（钙硅界面是构造薄弱面，有利于矿液的运移和矿质的沉淀）和隔挡屏蔽效应对成矿起控制作用，另外地层还能为成矿提供部分成矿物质。

4.2 构造与成矿的关系

地质构造与成矿的关系主要表现为控岩和控矿两个方面。

4.2.1 构造对矿田的控制

1. 褶皱构造控矿

区内褶皱以中小型为主，它们的形态和产状对矿体的沉淀、富集以及形状影响较大。如刘家大排铁矿直接受小型背斜的控制，矿体产于一个顶垂体组成的背斜与高钾闪长岩的接触带附近(图 4.1)。安庆铜矿床也受控于西马鞍山倒转背斜，规模较大的Ⅰ号矿体就产于倒转背斜的转折端层间虚脱带中。

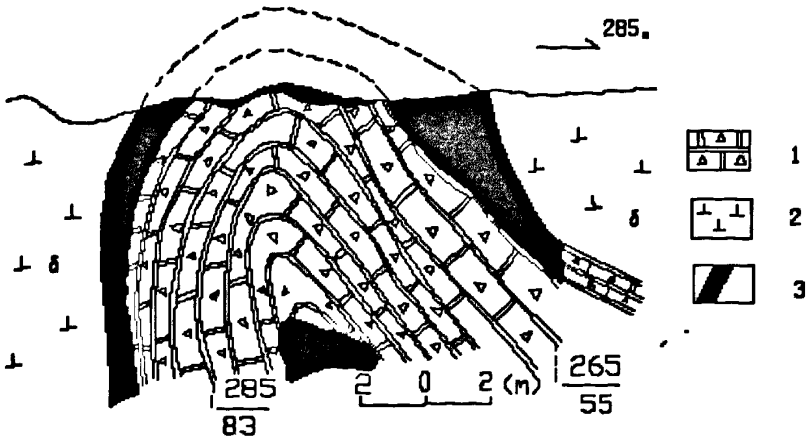


图 4.1　刘家大排铁矿露采坑剖示图（据章传玲，1990）

1-中三叠统角砾状大理岩；2-闪长岩；3-铁矿体

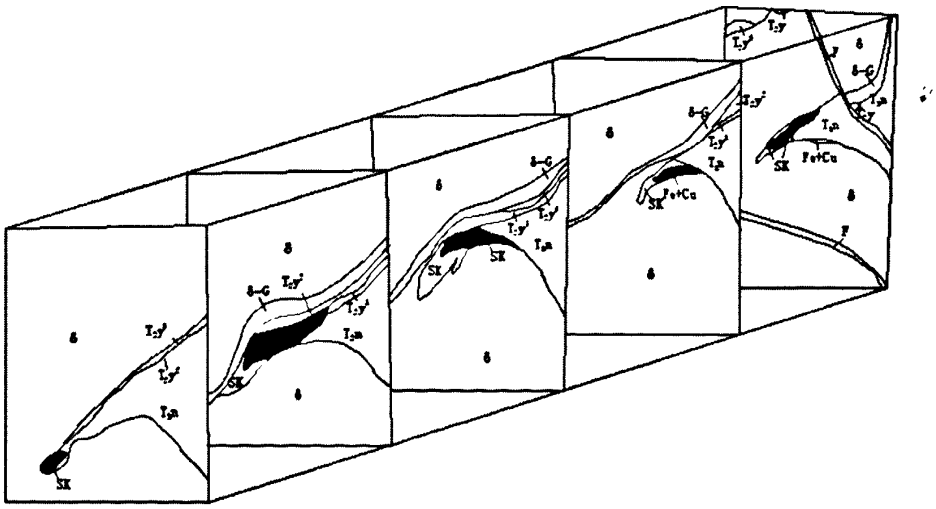


图 4.2　马头山矿体联合剖面示意图（据安徽省 326 地质队）

2. 接触带构造控矿

接触带控矿是矽卡岩型矿床的最重要的控矿构造，在月山矿田也是如此，矿体主要产于舌状接触带前缘，呈倒卧的“U”字形（图 4.2）。

3. 近南北向剪切带控矿

在区域重磁场上显示了近南北向剪切带对月山岩体的影响，北东－南西向构造岩浆带的航磁异常发生扭曲，这些扭曲部位正与矿床、矿点的密集分布部位相吻合。表明了本区成矿与深层次的剪切作用有密切的关系[74]。

4.2.2 构造对岩体的控制

构造的控岩作用对于矽卡岩型矿床来说显得尤为重要，其作用主要表现在作为控制深部岩浆上侵通道的导岩构造和作为岩体就位的容岩构造。

1. 导岩构造

该区存在一组印支期形成的近东西、近南北向的共轭剪裂带，它不但控制了月山岩体的形态，而且也是控制月山岩体自深部母岩浆房上侵的导岩构造。岩浆在内力或压应力作用下，以主动或被动的方式自北东向南西方向沿基底断裂带上侵，在浅部由于压力逐渐减小，沿断裂带呈四支状侵入就位，在有利的场所沉淀成矿。

2. 容岩构造

岩体的形态证实，共轭剪裂带不但是岩体的导岩构造，而且也是重要的容岩构造。除此之外，研究认为月山岩体更重要的容岩构造应该是发育于中下三叠统之间的层间虚脱构造。

由于共轭剪裂带的存在，限制了百子山背斜的发育，其北东倾没端地层也呈近东西展布，是构造应力最易释放部位；而月山组白云岩和角砾状灰岩含有大量的薄层石膏，在一定物化条件下，容易发生溶解和流变形成构造软弱。因此，在印支期区域北西-南东压应力场作用下，导致中下三叠统层间滑动和虚脱，为月山岩体（东枝）就位提供了有利构造条件，为重要的容岩构造[86]。

3. 导矿容矿构造

野外观察和地球物理构造分析，月山矿田总体基本格架以北东向褶皱和近东西，近南北向基底剪切带复合的构造型式组成。

月山岩体东枝和北枝的流动方向分别为北北西向和北北东向，严格受产于下三叠统之间的界面附近先存断裂控制。中三叠统白云岩、膏岩层是前陆带区域性的滑覆面和冲断层带，是岩浆侵位和成矿物质聚集、沉淀的有利场所，构成本区良好的导矿、容矿构造。

4.3 岩浆岩与成矿的关系

4.3.1 岩浆岩与矿化的空间关系

月山地区位于扬子地台北缘下扬子台拗沿江断裂带中段，区内与铜铁成矿作用有关的岩体主要为闪长质岩体，如月山岩体、总铺岩体和五横岩体，其分布和产出特征主要受北东向、近东西向基底断裂及浅层次剥离断层控制。区内具工业价值的矿床基本上分布于月山岩体的东枝和北枝一带。月山岩体内或接触带中分布的矽卡岩型矿床（如安庆铜矿床、龙门山铜矿床等）和热液脉型矿床（如铜牛井矿床）构成了一个完整而连续的成矿系统；在总铺岩体和五横岩体内或接触带附近分布有众多的热液脉型Cu、(S)、Pb、Zn、Au矿（化）点，如总铺岩体的菜瓜山矿点和五横岩体的严家老屋矿点等，总铺岩体中亦分布一些矽卡岩型铁、(铜)矿点。矿床的成矿温度常随岩体的侵位由中心向外而呈现出由高温向中低温变化的特征，体现了岩体对成矿热源和物源的空间控制作用，而且矿化的局部富集作用也受岩体控制，以上闪长岩体和矿床密切的空间关系指示岩浆活动与成矿作用有密切关系[22]。

4.3.2 岩浆岩与矿化的时间关系

已有月山岩体测年数据表明本区成矿母岩的成岩年龄为：138Ma（Ar－Ar法）[75]、147 Ma（Rb－Sr法）[97]。安庆铜矿矽卡岩型铁矿中金云母K－Ar法测定同位素年龄为131Ma[98]，铜牛井铜钼矿床辉钼矿的Os/Re值测算成矿年龄亦为131Ma[98]。因此，成岩和成矿时间基本一致，成矿热液体系的形成与岩浆的演化有密切的关系，并与区域构造和区域成矿年代相符。

大量的事实表明，岩浆活动的成岩作用和岩浆期后热液作用对矿床的形成起主导性控制作用，控制着矿化的时空分布。

4.4 围岩与成矿的关系

围岩岩性是决定矽卡岩及矽卡岩矿床形成的重要条件，它不仅影响成矿物质的沉淀，同时也影响成矿作用的方式、矿体规模及矿石的物质成分。三叠系殷坑组泥质页岩夹薄层状及透镜状钙质泥岩及灰岩，和龙山组的薄层灰岩和钙质页岩。这种薄层状、不纯的灰岩和物理化学性质有明显差异的页岩等互层时，常常是富矿赋存的有利场所，因为这些性质不同的岩石之间有薄弱的应力界面，受构造影响时易沿岩层间应力薄弱面破碎，便于含矿热液的运移，并因化学性质不同，

有利于发生交代作用成矿。

碳酸盐类岩石的孔隙度会随着其与岩浆岩在矽卡岩化的过程的进行而不断增大，渗透性进而增加，高渗透性的矽卡岩在成矿过程中起着矿液通道和储矿的作用。围岩的层理、节理、裂隙以及层间破碎带对矿化富集及矿体的产状、形态也有重要的影响（图 4.3），由于这些因素的存在，在远离侵入体的围岩中，甚至也能形成较大的矿体。

本区围岩之所以能成为矿床形成不可缺少的条件之一，是因为本区围岩物理性质较脆，易形成大规模的层间破碎带和裂隙，利于岩浆运移、沉淀，更有利于岩浆热液与围岩之间进行接触反应，从而形成脉状矿体，因此，本区围岩与成矿的关系主要表现为：围岩中存在大量的层间破碎带和裂隙为含矿热液提供运输通道以及沉淀的空间，且与含矿热液发生物质交换，为矿体的形成提供部分成矿物质。

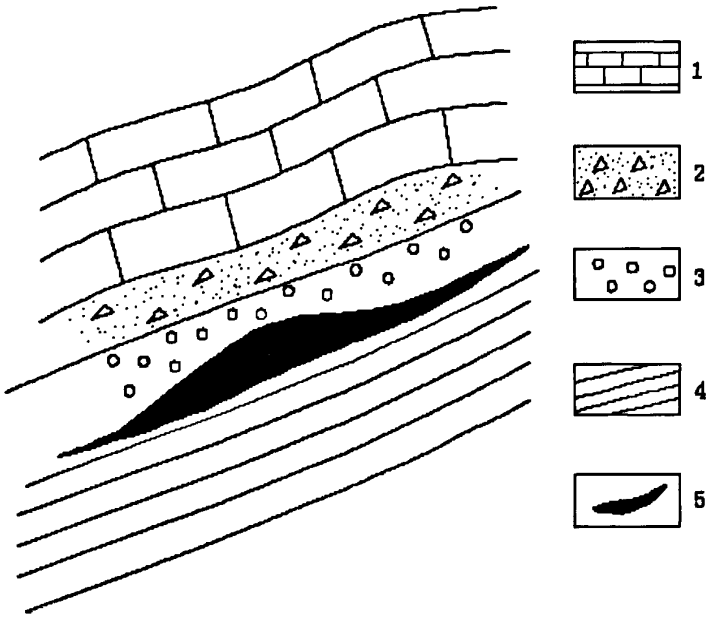


图 4.3　月山地区围岩层间破碎带控矿示意图

1-石灰岩；　2-层间破碎带；　3-矽卡岩；　4-页岩；　5-矿体

第五章 岩体成岩机制与矿床成因分析

5.1 岩体的成岩机制

5.1.1 岩浆来源

微量元素含量特征表明（见第三章表 3-4），Th 明显高于维氏值，根据 Brown et al.[94]在研究岛弧花岗岩类岩石的地球化学特征与岩浆来源时指出，来自幔源的火成岩选择性地富集 Th，而且一般贫 Rb、Ba，推知本区岩浆可能来源于深部的上地幔。另外 V、T、Cr、Co、Ni 含量略低于维氏值，表明原始岩浆来源于上地幔，且可能经受了地壳的混染。

5.1.2 成岩环境与源岩

戈蒂尼指数（τ）是用以反映火山岩形成的构造环境的重要参数，根据 lgτ与 lgσ作图可以划分火山岩形成的构造单元。在戈蒂尼指数（τ）与里特曼指数（σ）对数值的关系图（见图 5.1）上，所有的样品点均落入 B 区，靠近 C 区，表明本区岩体形成环境在岛弧及活动大陆边缘区，或为大陆边缘活动带向大陆内断块过渡的环境。

岩浆花岗岩类岩石根据其源岩一般分为 I 型和 S 型花岗岩两类[99]（Chappell ，White,1974）；I 型花岗岩为未经风化的火成岩熔融形成的岩浆产物，S 型花岗岩为经过风化的沉积岩熔融而成的岩浆产物。从岩石化学上看，I 型花岗岩类含钠量高，其酸性岩类一般>3.2%，中酸性-中性岩类一般>2.2%，而 S 型花岗岩类含钠量较低，一般<3.2%，本区的岩石含钠量均大于 3.2%。在 Na_2O—K_2O 关系图上（见图 5.2），本区所有样品均落入 I 型花岗岩类区域，说明本区成矿岩体应属 I 型花岗岩。

月山岩体在区域上属于安徽沿江岩浆岩带内带中酸性侵入岩，从前文论述可以看出，总体岩石学、岩石化学特征与安徽沿江乃至长江中下游地区基本一致，都具富碱、富钙和高锶等特点，显示了岩浆的同源性及相似性。在 K_2O-SiO_2 图解（见第三章）中落入高钾钙碱性岩系列，以及月山地区中酸性侵入岩具接近大陆碱性玄武岩的超高 Sr 丰度，这些综合特征说明本区侵入岩原始岩浆可能是来自上地幔的碱性玄武岩浆，且受到了地壳的混染。

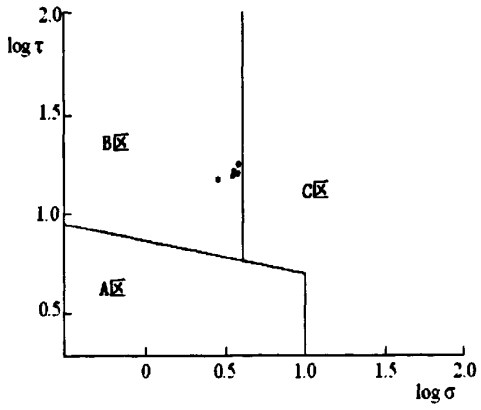


图 5.1 月山岩体 lgτ-lgσ 关系图

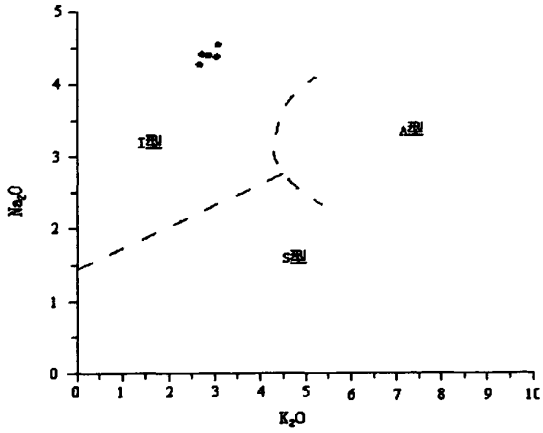


图 5.2 月山岩体 Na_2O-K_2O 关系图

A—非造山带地区的火山岩；
B—造山带（岛弧及活动大陆边缘区）
　火山岩；
C—A 和 B 两区派生的碱性岩

5.1.3 岩浆的演化特征

长江中下游铜铁多金属成矿带经历了多期次多旋回的地质发展过程，月山地区也不例外，从前文对成岩环境的分析可知，进入燕山期以后，该区构造环境为岛弧及活动大陆边缘区，或为大陆边缘活动带向大陆内断块过渡区，因此，岩浆的形成、演化及成矿过程是在张性或向张性过渡的地球动力学背景之下进行的。

在区域地质背景下，月山地区岩浆的演化主要经历了以下几个阶段：

第一阶段：原始岩浆形成阶段，即上地幔碱性玄武质岩浆形成期。该阶段主要发生在深部上地幔隆起部位，上地幔局部隆起和地壳的扩张运动导致上地幔局部压力减小，使地幔中的挥发份、碱质成份以及一些亲地幔的金属元素被释放出来，且不断向地幔隆起部位聚集，出现物质交换过程，导致地幔物质熔点降低，产生部分熔融形成上地幔碱性玄武岩浆，构成月山地区的原始岩浆。

第二阶段：原始岩浆演化阶段。原始岩浆形成后，在深部高压力作用下，沿着不同方位的深大断裂上侵，在上侵过程中，随着温度的降低原始岩浆发生结晶

分异作用，同时，地壳中的一些组份（特别是一些含水物质）也混入上升侵位的岩浆之中，形成闪长质岩浆。

第三阶段：热液流体阶段。在深部压力作用下，岩浆沿着基底断裂及薄弱部位继续上侵，随着岩浆与地壳之间同化混染作用的进行，岩浆从周围地层中萃取淋滤出部分成矿物质，因此，岩浆中矿化剂、成矿物质的含量逐渐增多，加之大气降水的混入，岩浆逐渐形成富含铜、铁等多种金属成矿元素的热液流体。热液流体在运移的过程中，在有利的构造位置沉积下来，并且与围岩发生接触交代、渗滤交代作用，形成矽卡岩型铜铁多金属矿床。

上述月山地区岩浆演化的三个阶段模式图概括如图 5.3。

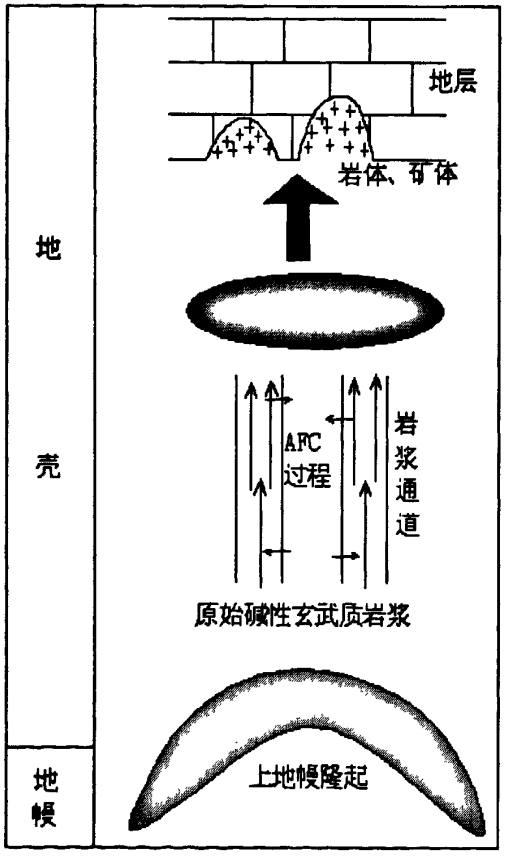


图 5.3　月山地区岩浆演化模式示意图

（据周涛发修改）

5.1.4 成岩机制

前文论述表明，月山岩体的原始岩浆为起源于上地幔的碱性玄武岩浆，属同熔岩浆系列中的造山期后隆起型，即加里东Ⅰ型[100](Pitcher,1979)。区域构造控岩分析揭示了本区控岩构造主要为印支期北东东向和北北西向的共轭断裂构造，由此可对月山岩体的成岩机制作如下探讨。

印支期在北西—南东向应力场的作用下，造山运动异常强烈，诱发了前印支期的基底断裂进一步活动，便产生北东东向和北北西向的共轭断裂构造。来自上地幔的碱性玄武岩浆（硅酸弱饱和岩浆）沿基底断裂上侵，当其上侵到地壳深处形成深部岩浆房时，由于同化硅质围岩，原始岩浆组分重新调整，经分离结晶出镁铁质矿物后，使残余岩浆变成富 SiO_2 的熔融体。随着熔融体继续上侵，在上部地壳形成高位岩浆房构成了月山地区统一的深部岩基。在燕山期北北东向左旋剪切应力场和自身热气球膨胀机制的联合控制下岩浆进一步上升，在浅地表形成小岩株。由于同化钙质围岩（主要是灰岩和白云质灰岩），使岩浆组分不断的进行调整，产生了强烈脱硅和液态不混溶分离结晶作用，在其作用下在石灰岩层中沿断裂或沿岩株接触带形成外矽卡岩，而在热液进入的岩株部分就形成了内矽卡岩。随着较低温的大气降水逐渐混入，导致岩株的绢云母化、矽卡岩和角岩的退化蚀变以及主要构造线和灰岩层理发生硫化物-硅质-碳酸盐的交代作用。其成岩机制属典型的 AFC（分离结晶和地壳岩石的同化混染联合作用）混合，且经历了两次不同性质和发育特征的 AFC 混合：即深部岩浆房中的硅质同化混染和分离结晶和高位岩浆房中的钙质同化混染和分离结晶机制。

5.2 成矿过程

月山地区位于扬子地台北缘下扬子台拗沿江断裂带中段，地区地处几个大地构造单元的交汇部位，曾先后受区域上大别隆起、江南古陆、沿江断裂坳陷带和郯庐断裂系等不同程度的影响，伸展构造、收缩构造、岩浆底辟构造体系以及 NE 向、近 EW 向基底构造等多期次变形的叠加和多类型构造的组合。

伴随着岩浆的演化，成矿过程也随之进行，成矿过程主要经历了下四个阶段：

第一阶段：主要发生在岩浆演化的第一阶段，燕山早期的断裂和基底韧性剪切带的活动以及伴随发生的上地幔的局部隆起，使地幔的挥发份、碱质以及一些

亲地幔的金属元素被释放出来向地幔隆起部位聚集，出现物质交换过程，产生部分熔融形成富含铜、铁等元素的原始岩浆。

第二阶段：原始岩浆沿着基地断裂上侵过程中，发生结晶分异并与地壳物质发生同化混染作用，形成闪长质岩浆，随着结晶作用的进行，水热流体逐渐释出，并引起侵入体的水裂作用，随着地壳中组份的加入，便形成岩浆热液，岩浆热液沿断裂或接触带上升，在围岩中沿断层、断裂裂隙或接触带发生渗滤交代形成外矽卡岩，在侵入体或与其互层的角岩中形成内矽卡岩。在矽卡岩矿物生成的晚期阶段，磁铁矿和硫化物开始沉淀，生成磁铁矿和少量的金属硫化物。

第三阶段：在矽卡岩形成作用结束以后，随着后续岩浆的进一步上侵，矽卡岩矿物便开始了热液蚀变改造和侵入岩造岩矿物的水解作用，在裂隙或接触带部位，由于降温、局部氧化还原反应或在大理岩接触带上的中和作用，硫化物开始沉淀，形成大量的金属硫化物矿体，且矿体具有明显的叠加、改造现象。

第四阶段：随着热液的运移及大气降水的加入，热液流体系统逐渐冷却，金属矿物逐步停止生成。

上述第二、三阶段是本区铜铁多金属矿床成矿的主要阶段。

本区岩浆活动过程中，由于存在有利的构造环境，再加上岩体具有强大的热动力，使周围储存在地壳中的地下水受热，并混入到岩浆热液中去，使地层中的成矿物质活化（主要是铁和铜，其次钼和银），且不断向流体中迁移最终在岩体接触带附近形成多个阶段叠加的铜铁矽卡岩型富矿体。由于后期流体系统温度的降低，岩浆活动减弱、规模变小，叠加的矿化作用并不强烈，因而保留原有的矿化类型特征。在分析成矿过程的基础上，可以推测月山地区铜铁多金属矿床的成矿演化模式为：岩浆初始就位时铜铁等元素的初步富集-岩浆热液运移过程中各种金属矿物的沉淀、叠加-系统冷却过程中少量金属矿物的生成。其成矿机制演化模式如图 5.4。

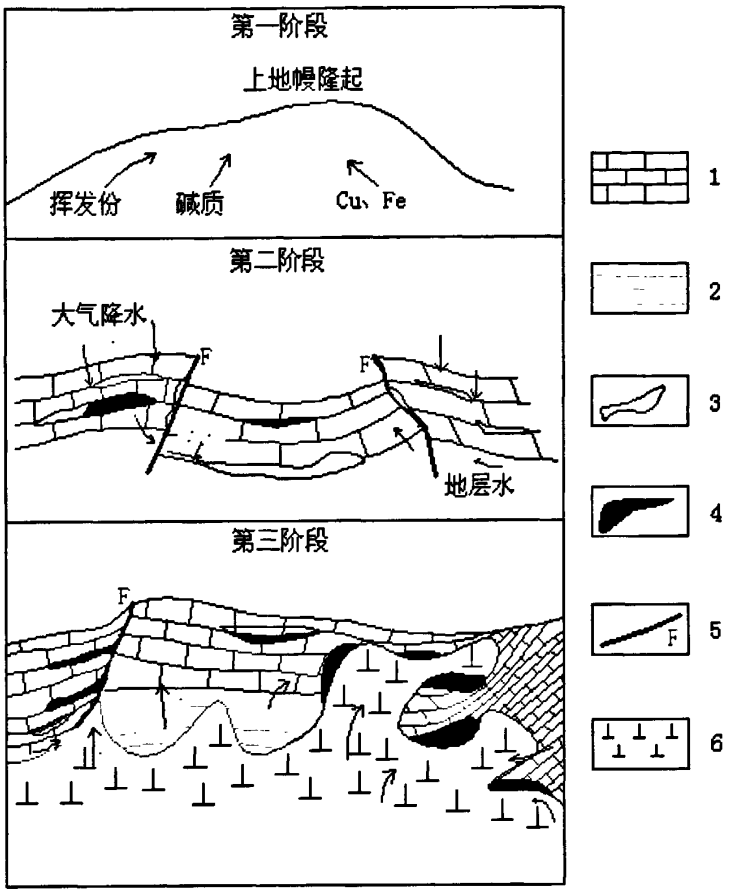


图 5.4　安徽月山地区成矿演化模式图

1-碳酸盐相；2-混合岩相；3-含矿矽卡岩；4-矿体；5-断层；6-闪长岩

5.3 矿床成因分析

5.3.1 大地构造环境

从大地构造环境来看，安庆－月山地区地处几个大地构造单元的交汇部位，曾先后受区域上大别隆起、江南古陆、沿江断裂坳陷带和郯庐断裂系等不同程度的影响，伸展构造、收缩构造、岩浆底辟构造体系以及 NE 向、近 EW 向基底构造等多期次变形的叠加和多类型构造的组合，具有形成矽卡岩型铜铁多金属矿床的大地构造环境。

5.3.2 成矿物质来源

1. 矿质来源

月山地区的主要成矿金属 Cu、Fe 主要来源于岩浆，少量来源于围岩地层中。其主要依据有：

(1) 矿床与岩体的亲缘关系

矿床产于侵入岩体的前端，矿体受严格受断裂或接触带控制，说明了二者之间具有成因上的亲缘关系。成矿是成岩的继续，由前文论述可知，本区成矿岩体为深源成因，富含成矿元素 Cu、Fe 的深源岩浆是成矿作用充足的矿质来源。

(2) 矿床地球化学特征依据

从对矿床地球化学特征分析可知，矿石的微量元素特征、稀土配分模式特征，都证明了矿质 Cu、Fe 具有深源的特点，但也不排除有部分成矿物质来自于地层，尤其是成矿晚期阶段，混入的外来物质有所增加。从矿床的近矿围岩地球化学研究结果看，有一定的份额外来物质参与了成矿。

2. 硫源

表 5-1 列出了本区各种可能的硫源的硫同位素组成[101]，从表中可看出不同岩性岩石硫同位素组成差异很大，闪长岩类的 $\delta^{34}S$ 在+3.5～+4.8‰之间，前三叠系为主的碎屑沉积岩的 $\delta^{34}S$ 在 16.7～-31.06‰之间，三叠系含膏盐的碳酸盐地层的 $\delta^{34}S$ 在 +25.37～34.41‰之间，可见单一硫源不可能形成本矿床成矿热液系统的硫同位组成，两种或两种以上硫源的混合才是导致矿床硫同位素组成变化的主要原因，多种硫源混合参与了成矿。

表 5-1　月山地区成矿可能硫源的硫同位素组成

硫　源	测试对象	$\delta^{34}S$‰
月山岩体	全岩	3.50～4.80
月山组粉砂质大理岩	全岩	26.10
月山组膏盐层	硬石膏	25.37～34.41
殷坑组钙质页岩	黄铁矿	-17.91
银珠山 Zk261 沉积地层	黄铁矿	-16.70～-17.80
银珠山沉积地层中石英黄铁矿脉	黄铁矿	3.40
殷坑——大隆—孤峰组黑色页岩	全岩	-17.90～-31.06
铜头尖组钙质粉砂岩	黄铁矿	4.99～9.62

注：资料来源：安徽省地矿局 326 地质队、合肥工业大学

3. 流体源

从本区氧同位素组成及其演化特点表明，含矿流体中的水主要是岩浆水，在岩浆的演化过程中也有部分地层封存水或大气降水的加入。

4. 热源

往地表传输的热能可能来自深部上地幔部分熔融形成原始的含矿流体时所释放出的热量，含矿流体运移中演化释放的热能也是一种热来源。

综上所述可以看出，燕山期岩浆侵入活动不但是成矿所需能量的主要提供者，也是成矿物质来源及成矿热液的主要提供者，是矿区范围内成矿的第一要素。

5.3.3 成矿条件

1. 岩浆活动

区内岩浆岩分布广泛，强烈的构造作用和岩浆活动有着密切的成因联系，伴随着构造作用的不同阶段，岩浆活动经历了形成、上升、侵位、定位的一系列顺次过程。燕山早期的断裂和基底韧性剪切带的活动以及伴随发生的上地幔楔的局部隆起，使上地幔发生部分熔融创造了热力环境；燕山晚期由于受到环太平洋构造的影响，长江中下游地区处于裂解状态，深切的扩张构造和区域性的上地幔隆起产生了碱性玄武岩浆[70]。强烈的岩浆活动为矽卡岩矿床的形成提供了重要的矿物质。

2. 地层和围岩条件

从控矿因素来看，区内矿床的产出与一定的地层层位有关，三叠系月山组和南陵湖组白云岩、灰岩和角砾状灰岩是月山地区的主要赋矿地层。本区围岩以碳酸盐岩为主，主要为不纯的石灰岩和大理岩，围岩岩性是决定矽卡岩及矽卡岩矿床形成的重要条件，它不仅影响成矿物质的沉淀，同时也影响成矿作用方式、矿体规模及矽卡岩和矿石的物质成分。本区围岩化学性质活泼，容易分解，物理性质较脆，特别是硅化后容易破裂而产生裂隙，渗透性增强，有利于含矿溶液流通，且在有利位置被交代形成矽卡岩型矿床。

5.3.4 成矿方式

本区主要的成矿方式主要表现在交代和充填两个方面。在岩浆热液岩裂隙上升的过程中，深部活性组份被带到上部，打破岩石之间原有的化学平衡状态，是岩浆热液与围岩之间发生交代作用，在接触带部位生成矽卡岩和矽卡岩矿体。随着岩浆热液的上升，地壳组份及大气降水的加入，导致温度、压力及其他因素的变化，部分岩浆热液未与围岩间发生明显的化学反应和物质的相互交换，而是成矿物质直接充填在围岩的裂隙或空洞中，形成脉状矿体。

5.3.5 成矿阶段及成矿作用

从前述矿床地质特征可知，本区矿体产于岩体与围岩碳酸盐岩的接触带上，具有矽卡岩矿床的典型矿物组合和结构构造，尤其是以硫化物矿物组合为主所构成的矿体的形成与接触交代作用关系密切，因此，从整个矿床的矿化来说，本区主要的成矿作用主要有双交代作用、渗滤交代作用、角砾岩化作用以及退化蚀变作用。

在岩浆就位后的结晶晚期，岩浆内部逐渐聚集含矿的挥发性物质，在岩体冷凝收缩、破裂而引起外压力减小的条件下，挥发性物质发生蒸馏作用变成气体离开岩浆，随着温度不断下降，发生凝集而成为汽水溶液。在中深构造环境下，汽水溶液进入岩体在与碳酸盐岩的接触带部位流动，溶液以及原接触带石灰岩的粒间溶液的平衡状态被打破，便发生以双交代作用为主、渗滤交代作用为辅的接触反应。使原来两种岩石中的组分发生相对的扩散交代，石灰岩分解为 CaO、CO_2，CaO 向岩浆岩中扩散，而岩浆岩中的 SiO_2 等物质向石灰岩扩散，于是便在接触带处形成矽卡岩，CO_2 呈气态逸出。接触交代作用发生于接触带主矿体上部，在温度缓慢下降的条件下，由于原岩成分差异导致矽卡岩表现出一定程度的分带性。

在本区矿体特征的分析的基础上，根据矿物组合特征可以将龙门山铜多金属矿床的成矿作用分为以下两期六阶段（龙门山铜多金属矿床矿物生成顺序见表 5-2）：

（1）矽卡岩期

1）早期矽卡岩阶段：为矽卡岩的主要形成阶段，主要矿物组合为石榴子石、透辉石、方柱石、矽线石等。同阶段形成的矿物还有斜长石、钾长石等。

2）晚期矽卡岩阶段：矿物为磁铁矿，为铁的主要矿化阶段。同阶段形成的矿物还有绿帘石、透闪石以及阳起石等。

3）氧化物阶段：矿物组合主要为少量的黑云母及石英等；金属矿物有少量的磁铁矿等。

（2）硫化物期

1）石英阶段：该阶段 SiO_2 不再生成矽卡岩矿物，而是生成石英，并有其他非金属矿物如绿泥石、绢云母、少量碳酸盐矿物等生成。

2）硫化物阶段：为铜、铁的主要成矿阶段，生成的金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、雌黄铁矿及少量的斑铜矿和辉钼矿等；非金属矿物有绿泥石等。

3）碳酸盐阶段：本期金属矿化减弱，形成的金属矿物有少量的镜铁矿；非金属矿物主要为碳酸盐矿物及少量的高岭石。

表 5-2　龙门山铜多金属矿床矿物生成顺序表

矿化期及阶段 / 矿物	矽卡岩期			硫化物期		
	早矽卡岩阶段	晚矽卡岩阶段	氧化物阶段	石英阶段	硫化物阶段	碳酸盐阶段
斜长石						
石榴子石						
透辉石						
钾长石						
矽线石						
方柱石						
阳起石						
角闪石						
绿帘石						
磁铁矿						
石 英						
黑云母						
黄铁矿						
黄铜矿						
斑铜矿						
辉钼矿						
绿泥石						
高岭石						
方解石						
镜铁矿						

注：部分方解石是由原来的围岩遗留下来的，早期阶段也含有部分石英，可能是中酸性岩浆本身所携带的。黑色代表金属矿物，灰色代表非金属矿物。 图表中宽较宽的格子代表主要生成阶段。

5.3.6 矿石类型

本区矿石类型复杂，非金属矿物主要有石英、斜长石、钾长石、普通角闪石、石榴子石、透辉石、绿帘石、透闪石、阳起石、方柱石、蛇纹石、矽线石与碳酸盐矿物，次有钠长石、金云母、绿泥石、褐帘石、高岭石、石膏、碳硅石等。金属矿物以氧化物和硫化物为主，主要有黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿、辉钼矿等。

矿石结构构造多种多样，矿石结构类型主要有它形粒状结构、它形－半自形晶结构、镶边结构、包含结构和交代结构等；矿石构造主要有浸染状构造、脉状构造、块状构造等。这些矿石的物质成分和结构构造都是矽卡岩矿床具有的特点。

5.3.7 控矿因素

（1）中酸性岩浆岩：本区矿床的形成与岩体充分演化分异有关。在岩浆由碱性玄武质原始岩浆向闪长岩质演化过程中，大量的 Cu、Fe、Mo、Pb、Zn 等成矿元素不断向流体中富集，并且随着岩浆演化和与围岩间的交代，逐渐形成矽卡岩型铜铁多金属矿体。

（2）围岩条件：本区围岩岩性主要有三叠系殷坑组泥质页岩夹薄层状及透镜状钙质泥岩及灰岩，和龙山组的薄层灰岩和钙质页岩。这些性质不同的岩石之间，受构造影响时易岩沿薄弱的应力界面产生层间应破碎，便于含矿热液的运移、沉淀。矿床形成与水热液蚀变关系最为密切，蚀变愈强烈，愈有利于富集成矿。矿区内广泛发育多种热液蚀变，为富集成矿提供了有利的条件。

围岩经过角岩化以后，岩石变得致密，渗透性差，成为矿液运移的阻隔层，对成矿富集有利，常成为矿体的屏蔽层。而围岩经过大理岩化后孔隙度增大，渗透性好，成为矿液渗透的通道和易于交代成矿的有利围岩。

（3）隔挡层：泥盆系上统五通组 D_3W 厚层石英砂岩为矿液运移的隔挡层，为本区矿体的生成提供屏蔽层。

（4）控矿断裂：基底断裂的多次活动导致岩浆的侵入、演化分异，是重要的导岩导矿构造，对于矿床的形成起决定性的作用。月山岩体东枝和北枝的流动方向分别为北北西和北北东，严格受产于下三叠统之间的界面附近先存断裂控制。中三叠统白云岩、膏岩层是前陆带区域性的滑覆面和冲断层带，是岩浆侵位和成矿的有利场所，为岩体侵入提供通道和空间。

（5）接触带：本区可见简单接触带、断裂接触矽卡岩带（控制龙门山矿体、安庆铜矿体）、层间破碎矽卡岩带、“舌状体”构造（控制龙门山矿体、马头山矿体）、接触-圈闭构造（控制透镜体状矿体，本区各中段均可见）、多因素复合矽

卡岩带以及波状起伏界面（包括超覆构造、凹部构造、不规则界面等）。这些接触带控制着矿体的产状和规模，尤其是接触带凹陷部位对成矿十分有利，因为凹陷部位一般断裂裂隙发育，围岩易破碎，矿液易于集中，并能在有利的部位与围岩进行充分的交代作用而成矿。此外在接触带的断裂交错部位、与不同岩性接触部位以及早期岩脉和断裂发育部位等都是矿化的有利部位，也是矿体（尤其是脉状矿体）的有利产出部位。

5.3.8 矿床成因

综合以上分析不难看出，本区有利的地层、构造、岩浆岩和围岩条件，具有形成矽卡岩铜多金属矿床的巨大潜力，对龙门山铜多金属矿床中各成矿阶段的矽卡岩、岩体等的微量元素、稀土元素及同位素分析研究结果表明，本区成矿温度为中低温，成矿物质来源具多元性，主体来源于深部岩浆，具高温、高盐度和富CH_4等还原性挥发分的特征。同时，受地壳同化混染作用也比较明显，部分地壳物质也参与了成矿，虽然也有地层中封存水及大气降水的加入，但岩浆水在流体成矿过程中仍占主导地位。

由以上对大地构造环境、成矿物质来源、成矿条件、成矿方式和成矿作用以及控矿因素的分析，可以得出龙门山铜多金属矿床为以中酸性岩浆热液充填交代为主的脉状矽卡岩型铜多金属矿床。

综合考虑以上各种因素的相互配置，组合控矿形式，龙门山铜多金属矿床可以用以下模式图来说明（图 5.5）。

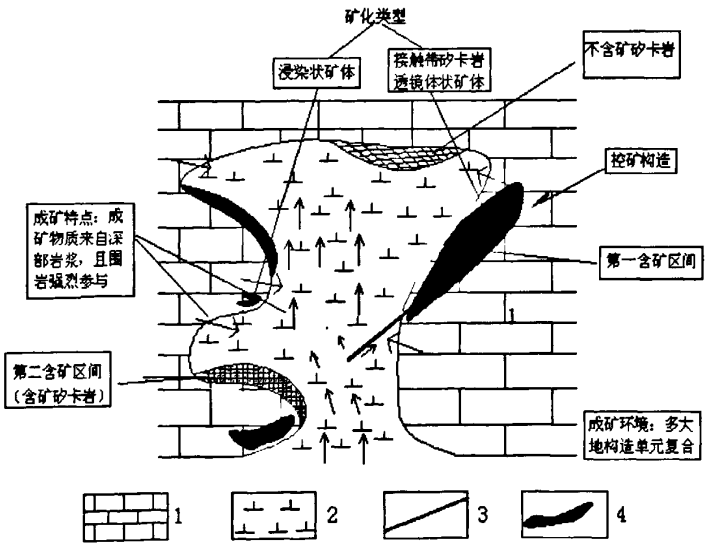


图 5.5 安徽月山地区龙门山铜多金属矿床成矿综合模式图
1-石灰岩； 2-闪长岩类岩石；3-断裂； 4-矿体

第六章 结 论

本论文主要依托导师承担的课题国家 973 项目："华南陆块陆内成矿作用：背景与过程"项目(编号：2007CB411400)的子课题"安庆矿集区大型矿山深边部找矿方法评价及勘查模型研究"(编号：2007CB411405-2）而进行。以矽卡岩型矿床成因理论为基础，以龙门山铜多金属矿床成矿条件、控矿因素、稀土元素以及微量元素、同位素等方面的研究为切入点，结合对区域成岩成矿环境、岩浆演化的分析，总结了本区成岩、成矿机理以及矿床成因。论文取得的认识主要有以下几点：

1、矿区内的成矿作用主要有双交代作用、渗滤交代作用、角砾岩化作用以及退化蚀变作用。根据对矿物共生组合的分析，将本区的成矿作用分为两期六阶段，即：矽卡岩期：早期矽卡岩阶段（透辉石矽卡岩等)、晚期矽卡岩阶段（石榴子石矽卡岩、磁铁矿)、氧化物阶段（钾长石、角闪石、黑云母等)；硫化物期：石英阶段、硫化物阶段（黄铜矿、黄铁矿及少量的斑铜矿）和碳酸盐阶段（碳酸盐矿物及少量的镜铁矿)。

2、根据矿区岩浆岩岩石化学特征、稀土元素和微量元素地球化学特征，得出本区闪长岩类造岩元素 $K_2O/(K_2O+Na_2O)$和 $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$的指标值分别为 0.39～0.41 和 1.30～1.37，LREE/HREE 为 8.37～12.84，Sr 的丰度较高，平均为 881.31×10^{-6}，最高达 4840×10^{-6}，远高于上地壳值 350×10^{-6}和下地壳值 230×10^{-6}，显示本区岩体具富钠、钾的特征，同时富钙的特征也比较明显，其原因可能是岩浆上升时遭受了地壳钙质混染，即地壳的同化混染作用。

3、地层对成矿作用主要表现为其有利的岩性（碳酸盐岩是接触交代矿床形成最有利的岩性）和隔挡作用（厚大的泥盆系五通组石英砂岩)。

4、结合本区地层、构造及围岩条件，认为本区主要成矿地段为岩体内部的裂隙、断裂、层间滑脱构造、层间破碎带及复合接触带控矿构造。

5、岩浆活动为本区的成岩、成矿作用提供了成矿物质、成矿流体和热能。岩浆岩不但控制着矿化的发育程度，而且还控制着矿化的分布。但围岩对本区矿床的形成起着必不可少的条件。

6、在综合研究本区成矿环境、岩浆来源、岩浆演化机制的基础上，建立了同源多期多位一体的成岩、成矿模式，认为龙门山铜多金属矿床为以中酸性岩浆热液交代为主的脉状矽卡岩型铜多金属矿床。

图版 I



I -1



I -2



I -3



I -4



I -5



I -6

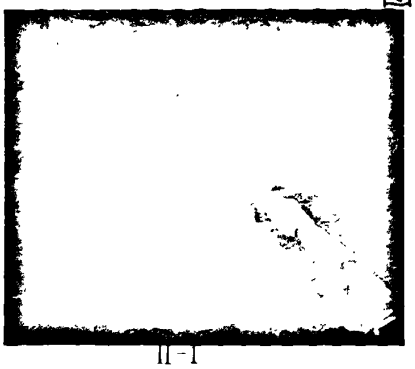


I -7



I -8

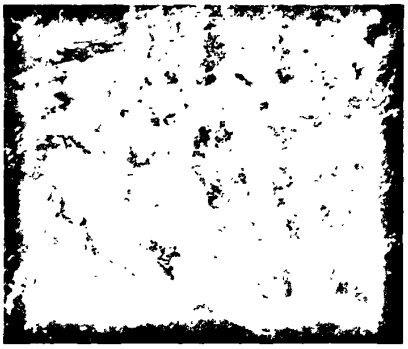
图版II



II-1



II-2



II-3



II-4



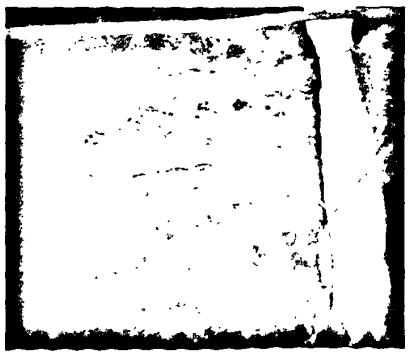
II-5



II-6

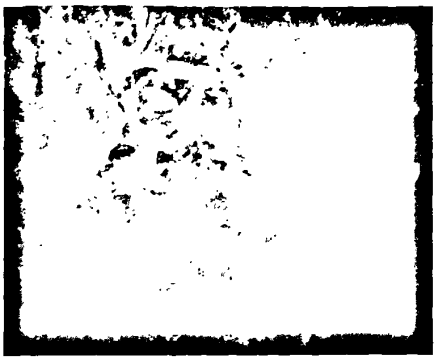


II-7



II-8

图版III



III-1



III-2

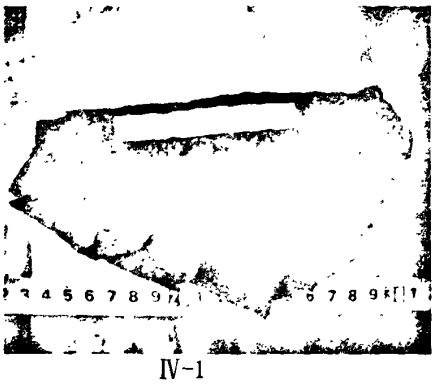


III-3



III-4

图版Ⅳ



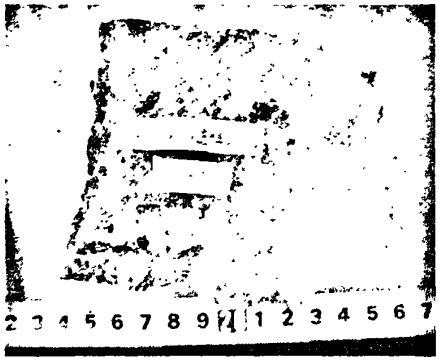
Ⅳ-1



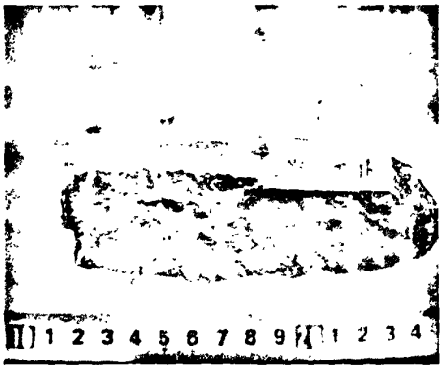
Ⅳ-2



Ⅳ-3



Ⅳ-4



Ⅳ-5



Ⅳ-6



Ⅳ-7



Ⅳ-8

图版说明

Ⅰ-1：碳酸盐化石榴子石透辉石阳起石矽卡岩，含斑铜矿黄铜矿磁铁矿，龙门山铜矿-530中段矿体G点处。

Ⅰ-2：被网脉状方解石脉胶结的菱铁矿磁铁矿矿体（方解石脉存在多期，早期的被磁铁矿错断，后期细脉穿插于磁铁矿菱铁矿矿体中），龙门山铜矿-530中段矿体F点南15米处（从斜井上拐弯处。

Ⅰ-3：碳酸盐化透辉石石榴子石绿泥石化矽卡岩与磁铁矿的接触界面，矽卡岩与磁铁矿矿体之间存在一个后期的构造破碎带，破碎带中可见被碳酸盐胶结的磁铁矿角砾，龙门山铜矿-530中段矿体79线穿脉中。

Ⅰ-4：零星黄铜斑铜矿化磁铁矿矿体中见含铜磁铁矿矿体穿插于方解石晶洞，龙门山铜矿-530中段矿体79线穿脉中。

Ⅰ-5：透辉石蚀变闪长岩，一条宽约30～45cm钾长石脉穿插于其中，局部见钾长闪长岩的，龙门山铜矿-575中段矿体2#穿脉。

Ⅰ-6：碳酸盐化强烈的蚀变闪长岩岩体，岩体中见规模不等的网脉状和大脉状方解石脉，龙门山铜矿-575中段矿体2#穿脉。

Ⅰ-7：被碳酸盐（以方解石脉为主）胶结的透镜状磁铁矿矿体，龙门山铜矿-575中段矿体2#穿脉。

Ⅰ-8：碳酸盐化斑铜黄铜磁铁矿矿化石榴子石矽卡岩，龙门山铜矿-575中段矿体2#穿脉。

Ⅱ-1：蚀变闪长岩，见宽约30～40cm钾长石脉穿插于其中，龙门山铜矿-605中段矿体3# S-6采场。

Ⅱ-2：钠长石化闪长岩，方解石脉发育，龙门山铜矿-605中段矿体3# S-6采场。

Ⅱ-3：岩体与磁铁矿的接触部位，为蚀变闪长岩构造应力带，受应力影响岩体发生破碎，被碳酸盐胶结，同时沿应力裂隙填充的碳酸盐出现一些小的柔皱，龙门山铜矿-605中段矿体3# S-6采场。

Ⅱ-4：石榴子石透辉石矽卡岩与磁铁矿的接触带，后期发育的方解石细脉穿插二者。磁铁矿中含有绿帘石矽卡岩残余，而石榴子透辉石矽卡岩中可见磁体矿的角砾，说明绿帘石矽卡岩形成比磁铁矿要早，磁铁矿比石榴子石矽卡岩的形成要早，同时也证明了矿床的形成过程中存在多期的矽卡岩化，龙门山铜矿-605中段矿体3# S-6采场。

Ⅱ-5：蚀变闪长岩中，见一条宽约40cm大理岩方解石脉沿裂隙充填于其中，此类碳酸盐脉在岩体中极为常见和发育，规模不等，龙门山铜矿-635中段矿体运输大巷中。

Ⅱ-6：蚀变闪长岩中，方解石脉沿裂隙充填于其中，被后期的构造错断，龙门山铜矿-635中段矿体运输大巷中。

Ⅱ-7：褐铁矿化透辉石绿泥石蚀变闪长岩中的白色结晶颗粒较大自形晶方解石团块，在方解石团块中还可见细碳酸盐脉穿插，表明矿体有多期的碳酸盐化，龙门山铜矿-635 中段矿体运输大巷中。

Ⅱ-8：见透辉石绿泥石矽卡岩角砾（可能存在磁铁矿角砾）及方解石细脉的石榴子石矽卡岩，及矿体中存在至少两期矽卡岩化；根据相互穿插关系，矿物的生成顺序从早到晚依次为透辉石绿泥石矽卡岩（磁铁矿）-石榴子石矽卡岩-方解石。龙门山铜矿-635 中段矿体运输大巷中。

Ⅲ-1：闪长岩岩体构造发育的部位，该处的闪长岩发生了一定的变形，使得填充于裂隙中的方解石脉也随之产生变形，同时胶结了一些由于构造应力造成的破碎的闪长岩角砾，局部可见团包状的黄铜矿化。龙门山铜矿-680 中段矿体 1＃采场。

Ⅲ-2：蚀变岩体，，同时胶结了一些由于构造应力造成的破碎的闪长岩角砾，局部可见团包状的黄铜矿化。龙门山铜矿-680 中段矿体 1＃采场。

Ⅲ-3：规模巨大的黄铁矿黄铜矿化方解石团块，黄铁矿黄铜矿在方解石中呈致密团块状，方解石白色，少量紫色；粗颗粒菱形自形晶。龙门山铜矿-680 中段矿体 7＃硐。

Ⅲ-4：黄铁矿黄铜矿化方解石团块。黄铁矿黄铜矿在方解石表面呈浸染状，方解石白色，少量紫色；粗颗粒菱形自形晶。龙门山铜矿-680 中段矿体 7＃硐。

Ⅳ-1：块状构造，样品 LMS-530-2，致密块状磁铁矿矿石，龙门山铜矿-530 中段矿体，F 点南 15 米处（从斜井上拐弯处）。

Ⅳ-2：浸染状构造，样品 LMS-566-4a，致密块状透辉石矽卡岩型含铜磁铁矿矿石，龙门山铜矿－575m2＃穿电钯道。

Ⅳ-3：浸染状构造，样品 LMS-575-8，石榴子石透辉石矽卡岩型磁铁黄铜矿矿石，龙门山铜矿－575m 2＃穿脉。

Ⅳ-4：斑点状构造，样品 LMS-575-5，黄铜矿化石榴子石透辉石矽卡岩，龙门山铜矿－575m 2＃穿脉。

Ⅳ-5：脉状状构造，样品 LMS-680-1b，镜铁矿矿石，龙门山铜矿-680 中段矿体 1＃采场。

Ⅳ-6：脉状状构造，样品 LMS-635-2，透辉石矽卡岩型磁铁矿矿石，龙门山铜矿-635 中段运输大巷中.

Ⅳ-7：网脉状脉状状构造，样品 TNJ-1，网脉状辉钼矿黄铜矿矿石，月山铜牛井。

Ⅳ-8：网脉状脉状状构造，样品 NXW-2，斑铜矿黄铜矿矿石，月山牛形坞。

参考文献

[1]翟裕生，姚书振，林新多等.长江中下游地区铁、铜等成矿规律[J]. 矿床地质，1992a，11(1):1-12

[2]吴良士.江西九瑞地区两种岩浆侵位类型及其成矿特征[J].矿床地质，1998，17（1）:36-46

[3]毛景文，Holly STEIN，杜安道等. 长江中下游地区铜金（钼）矿Re-Os年龄测定及其对成矿作用的指示[J].地质学报，2004，78（1）:121-131

[4]常印佛，刘湘培，吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京：地质出版社.1991，294-312

[5]翟裕生，姚书振，林新多等. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京： 地质出版社，1992，1-11

[6]常印佛，唐永成，邢凤鸣等. 安徽沿江地区铜金多金属成矿预测研究(简介) [J]. 安徽地质科技.1997,10(1):1-11

[7]周涛发，岳书仓，刘晓东. 长江中下游铜、金矿床密集区形成条件及矿床成因研究综述[J].地质科技情报， 1999，18（3）:51-54

[8]谢建成,杨晓勇,Insung Lee. 安徽沿江地区燕山期含铜岩体稀土微量地球化学特征[J].矿物岩石.2008,28(1):72-78

[9]邢凤鸣，徐祥.安徽沿江地区中生代岩浆岩的基本特点[J].岩石学报，1995，11（4）:409-422

[10]Chen J F, Poland K A, Zhou Taixi. The significance of granite gneisses in the lithosphere [J]. In: Wu Liren et al. (eds), Publications Athens, S. A., 1985: 217～237.

[11]周殉若，任进.长江中下游中生代花岗岩[M].北京:地质出版社.1994:1～118.

[12]周涛发，岳书仓.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),2000,36(5):697-707.

[13]王彦斌，蒙义峰，曾普胜，等.安徽铜陵新桥铜-硫-铁-金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石年代学及其意义[J].地质通报,2004a,31(2):169-173.

[14]王彦斌，刘敦一，曾普胜，等.安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的时代-朝山辉石闪长岩锆石定年[J]. 地球学报,2004b,31(2):169-173.

[15]王彦斌，刘敦一，曾普胜，等.铜陵地区铜官山石英闪长岩锆石SHRIMP的U-Pb年龄及其成因指示[J].岩石矿物学杂志，2004c.23（4）（待刊).

[16]臧文栓.铜陵矿集区侵入岩年代学及构造分层成矿作用研究[J].北京：中国地质大学博士论文，2004:1-79.

[17]Zhang Q, Jian P, Liu D Y, et al. SHIRIMP dating of volcanic rocks from Ningwu area and geological implication [J]. Science in China (D),2003, 33: 830～837.

[18]谢桂青，毛景文，胡瑞忠.长江中下游大型矿集区燕山期岩浆岩的成因和构造背景[J].中国岩石学会与地球动力学研讨会，2004

[19]Ludwig K. Isoplot/Ex, version 2.0: a geochrological toolkit for Microsoft Excel[J]. Geochronology Center. Berkeley, Special Publication la. 1999.

[20]吴才来，周珣若，黄许陈等.铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究[J].岩石矿物学杂志，1996，15(4):299-307.

[21]陈江峰，周泰禧，邢凤鸣等. 长江中下游岩带含铜岩体的Pb、Sr、Nd同位素特征[J]. 地球学报，1994，1-2:111-116

[22] 周涛发，岳书仓. 1995. 安徽月山地区成岩一成矿作用关系研究[J]. 火山地质与矿产，16（2）：55—66

[23]Depaolo D J. Trace element and isotopic effects of combined wall- rock assimilation and fractional crystallization[J]. Earth Planet. Sci. Lett.1981b, 53:189-202

[24]李文达，王文斌. 长江中下游火山-侵入杂岩研究中值得探讨的几个问题[J]. 火山地质与矿产，1995，11(2):1-10

[25]陈江峰，周泰禧，李学明等. 安徽南部燕山期中酸性侵入岩源区的铷、锶同位素制约[J].地球化学. 1993，(3):261- 286

[26]张理刚. 中国东部中生代花岗岩长石铅同位素组成与铅同位素省划分[J].科学通报，1993，38(3):1 943-1 948

[27]周涛发，岳书仓，兰天佑. 安徽月山地区闪长岩类岩浆动力学及其与成矿作用的联系[J]. 矿床地质，1995，14(4):303- 313

[28]任启江，刘孝善，徐兆文. 安徽庐极中生代火山构造洼地及其成矿作用[M]. 北京:地质出版社，1991

[29]翟裕生，姚书振，林新多，等.长江中下游地区铁、铜等成矿规律[J]. 矿床地质，1992b，11(1):1-12

[30]Gu Lianxing.Hu Wenxuan.He Jinxing et al. Geology and genesis of Upper Palaeozoic massive sulifide deposits of South China[J]. Ar plied Earlh Science,1993，102(B):83—96

[31]Zhou Taofa.Yue Shucang. Geochronolgy and geochemistry of the Cu、Au mineralization belt in the middle and lower reaches of the Yangtze River area. China[J]. Chinese Science Bulletin. 1998, 43(sup.):164

[32]周涛发，岳书仓. 安徽月山矿田铜矿床的形成机制[J]. 长春地质学院学报，

1997.27(7):310-316

[33]於崇文，岑况，鲍征宇，等. 成矿作用动力学[M]. 北京: 地质出版社，1998，30-76

[34]杨学明，林文通.铜官山矿区金口岭铜金矿床围岩蚀变物理化学条件及成矿机理研究[J].地质科学，1989，9（4）:323-337

[35] 周涛发，岳书仓，兰天佑. 安徽月山地区闪长岩类岩浆动力学及其与成矿作用的联系[J]. 矿床地质，1995，14(4):303- 313

[36]郭宗山.扬子下游某些矽卡岩型铜矿床[J].地质学报，1957. 37(1):1-10.

[37]郭文魁论安徽铜官山铜矿成因[J].地质学报，1957，37(3):317-332.

[38]郭文魁.某些金属矿床的原生分带及其成因[J].地质学报，1963，43(30):247-270.

[39]胡受奚，周顺之，孙志明，等.论我国东部与铁、铜矿床有关中-酸性岩类的成矿专属性[J].地质学报，1979，53(4):3233-36.

[40]王道经.铜陵地区地质构造与矽卡岩型铜矿的若干关系[J].地质论评，1981，27(4):301-306.

[41]郭文魁.论花岗岩类与金属成矿作用[J].中国区城地质，1982，(2):15-30.

[42]刘湘培，常印佛，吴昌言.论长江中下游地区成矿条件和成矿规律[J].地质学报，1988,62(2):167-177.

[43]翟裕生，等.长江中下游地区铁铜(金)成矿规律.北京:地质出版社. 1992a

[44]翟裕生，姚书振，林新多，等.长江中下游地区铁、铜等成矿规律[J].矿床地质，1992b，11(1):1-12.

[45]黄许陈，储国正铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式[J].矿床地质，1993，12(3):221-230.

[46]唐水成，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，1998，239-243.

[47]周涛发，岳书仓.月山地区铜成矿作用的同位素地球化学研究[J].矿床地质，1996，16(4):341-350.

[48]周涛发，刘晓东，袁峰，岳书仓.安徽月山矿田成矿流休的迁移速率和规模[J].地质论评2001，47(2): 139-145.

[49]周涛发，袁峰，岳书仓，刘晓东，赵勇.安徽月山矽卡岩型矿床形成的水岩作用[J].矿床地质，2002，21:1-9.

[50]吴淦国，张达，藏文栓.铜陵矿集区构造滑脱及分层成矿特征研究[J].中国科学(D辑)，2003, 33(4):300-308.

[51]Pan Y, Dong P. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt.

east China: intrusion and wall rock hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits[J]. Ore Geology Reviews, 1999, 15:177-242.

[52]周涛发，岳书仓，袁峰.安徽月山矿田成岩成矿作用[M].地质出版社，2005

[53]周涛发.岳书仓，袁锋，等.安徽月山岩体地球化学特征及成因机理分析[J].高校地质学报，2001，7（1）：70-80

[54]周涛发，岳书仓. 安徽安庆铜矿床硫同位素地球化学[J].地球科学，1995，20(6):705- 711

[55]B.J. Cai, The characteristics of Triassic evaporites in the middle and lower reaches of the Yangtze River area and its significance to the formation of salt, iron and copper deposits, Mineralogy and Petrology Review vol. Geological Publishing House, Beijing (1980) 190 pp.

[56] S. Ishihara, L. Wenda, A. Sasahi, K. Shibata, Y. Matsechisa and S. Terashima, Characteristics of Cretaceous magmatism and related mineralisation of the Ningwu Basin, Lower Yangtze area, eastern China, Bulletin of the Geological Survey of Japan 37 (1986), pp. 98–113.

[57]L.X. Gu and K.Q. Xu, On carboniferous submarine massive sulphide deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River area, Acta Geologica Sinica 60 (1986), pp. 176–187

[58]X.P. Liu and Y.F. Chang, On ore-forming conditions and regularities of the middle and lower reaches of the Yangtze River area, Acta Geologica Sinica 62 (1988), pp. 167–177

[59]Y.C. Wu and X.P. Liu, The genetic relationship between the sodium-rich diorite and the iron ore deposit series, Mineral Deposits 7 (1988), pp. 14–23

[60]Y.M. Zhao, W.W. Lin, C.S. Bi, D.X. Li and C.J. Jiang, Skarn Deposits of China, Geological Publishing House, Beijing (1990) 354 pp.

[61]W.X. Hu and S.X. Hu, New investigations on sodium origin of albitization in the Ningwu and Luzong Basin, Geological Prospecting Review 6 (1991), pp. 36–42

[62]Zhou, TF, 1993. The genesis of diorites and related Fe–Cu deposits in Yueshan area of Anhui Province. Unpublished PhD thesis, Hefei University of Technology, China, 192 pp.

[63]T. Zhou and S.C. Yue, Isotope geochemistry of copper mineralisation in Yueshan, Anhui, Mineral Deposits 15 (1996), pp. 349–356 .

[64]Li, W.D., Wang, W.B., Fan, H.Y., Zhou, T.F., 1997. The conditions to form copper (gold) ore deposit concentrated areas and the possibilities to discover giant

copper (gold) ore deposits in the Middle-Lower Yangtze area. Volcanology and Mineral Resources, Supplement No. 20, 129 pp.

[65]Y.M. Pan and P. Dong, 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 15 (1999), pp. 177–242.

[66] L.X. Gu, P.R. Chen, P. Ni, Z.W. Xu and X.J. Xiao, Comparative research on ore-forming fluids of the main type of hydrothermal copper–gold deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River, Journal of Nanjing University 38 (2002), pp. 392–407

[67]T. Zhou, F. Yuan, S. Yue and Y. Fan, Geochemical and thermodynamic constraints on the evolution of ore-forming fluids of the Cu–Au deposits in Yueshan mineral belt, Anhui Province, China. In: J. McPhie and P. McGoldrick, Editors, Dynamic Earth: Past, Present and Future, 17th Australian Geological Convention, 8–13 February, 2004, Geological Society of Australia Abstract vol. 73 (2004), p. 141.

[68]Y.F Chang, X.P. Liu and Y.C. Wu, The Copper–Iron Belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Geological Publishing House, Beijing (1991) 379 pp.

[69]Y.S. Zhai, S.Z. Yao and X.R. Zhou, Metallogenesis of iron–copper (gold) deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze area, Geological Publishing House, Beijing, China (1992) 210 pp.

[70]Y.C Tang, Y.C. Wu, G.Z. Chu, F.M. Xing, R.M. Wang, F.Y. Cao and Y.F. Chang, Geology of Copper–Gold Polymetallic Deposits in the Along-Changjiang Area of Anhui Province, Geological Publishing House (1998) 351 pp.

[71]Y.Q. Liu and Z.L. Liu, Isotope geochemistry and genesis of the stratabound copper (iron–sulphur) deposits in Tongling area, Anhui Province. Bulletin, Institute of Mineral Deposits, China Academy of Geological Science 1 (1991), pp. 47–114

[72]G. Xu and J. Zhou, The Xinqiao Cu–S–Fe–Au deposit in the Tongling mineral district, China: synorogenic remobilization of a stratiform sulphide deposit, Ore Geology Reviews 18 (2001), pp. 77–94.

[73]Taofa Zhou,Feng Yuan, et al. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu–Au skarn- and vein-type deposits, Anhui Province, South China. Ore Geology Reviews, Volume 31, Issues 1-4, April 2007, Pages 279-303

[74] 董树文，邱瑞龙. 安庆—月山地区构造作用与岩浆活动[M]. 北京: 地质出版社，1993

[75]陈江峰，Foland, KA，李学明，周泰禧. 安徽月山岩体的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄及与其有关的成矿时代估计[J].现代地质，1991, 5(1):91-99.

[76]安徽省地质矿产局326地质队.安徽省安庆地区成矿条件及铜金铁成矿预测

[77]周涛发.安徽月山地区闪长岩类及铜矿床的地球化学研究[M].合肥:合肥工业大学. 1993, 1-192.

[78]杨光树，温汉捷，胡瑞忠等.安徽月山岩体岩石地球化学特征及成因[J].矿物学报，2007，27（3-4）:406-413

[79] 于文修，安徽月山岩体成因及其与成矿关系探讨，中国地质大学硕士论文，2006

[80]Nicholls I. A simple thermodynamic model for estimating the solubility of H20 in magma[J]. Contrib Mineral Petrol, 1980, 74: 211-220

[81]Burnham C W. Water and magma, a mixing model[J]. Coschimica et Cosmochimica Acta, 1975, 39：1077-1084

[82]Gustafson. Porphyry copper deposits and calc-alkaline volcanic. In: M oelhinny M W ,ed. The earth, its origin, structure and evolution. 1984. 427-463

[83]常印佛，刘湘培，吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社.1991，294-312

[84]陈沪生. 扬子准地台下扬子盆地HQ-13地球物质-地质综解译纲要，中国南方油气勘查新领域报告论文集（2）[M]. 北京: 地质出版社，1988，483-484

[85]安徽省地矿局326地质队.安徽省安庆地区成矿条件及铜金铁成矿预测.1990

[86]刘亮明. 安徽省安庆矿区成矿规律及成矿预测.2002

[87]唐永成，吴言昌，储国正等. 安徽沿江地区铜多金属矿床[M]. 北京: 地质出版社，1998

[88]安徽省地矿局. 1987. 安徽省区域地质志[M]. 北京：地质出版社

[89]陈江峰，喻钢，杨刚，杨胜洪.安徽沿江江南晚中生代岩浆-成矿年代学格架[J]. 安徽地质，2005, 15 (3):161-169.

[90]李波，陈江峰，郑永飞，赵子福，钱卉.安徽月山石英闪长岩氧同位素分馏、Rb-Sr等时线定年与矿物蚀变之间的关系[J].岩石学报，2004, 20(5):1185 -1192.

[91]沈渭洲,黄耀生.稳定同位素地质[M].北京:原子能出版社,1987, 1-181

[92]Taylor,H.P.,1978,Oxygen and hydrogen isotope studies of plutonic granitic rocks ,Earth and Pplaneta.Sci.Lett.,Vol.38, P.177.

[93]周涛发，岳书仓，1996，月山地区铜成矿作用的同位素地球化学研究[J].矿床地质，第15卷，第4期

[94]Brown G C Thorpe R S and Webb P C. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources[J]. J. Geo. Soc. London. 1984(141):413-426

[95]安徽省地矿局326地质队

[96]钟志洪，张庆龙，孙珍. 韧性剪切带中的Rb－Sr和Sm－Nd同位素体系. 地质地球化学[J].1997,3:70－75

[97]翟裕生，林新多.矿田构造学[M]，北京：地震出版社,1993.

[98]邱瑞龙. 1992. 安徽月山高钾闪长岩岩石学特征及岩石成因探讨[J]. 地质评论，第2期

[99] Chappell . B W and White. A J R Two contrasting granite types[J]. Pacific Geol. 1974(8): 173-174

[100] Pitcher . W S The nature . ascent and emplacement of granitic magmas[J]. J. Geol. Soc. 1979(136):627-662

[101] 安徽省地矿局326地质队、合肥工业大学。

致 谢

随着论文接近尾声，我硕士阶段的学习生活也就意味着即将结束，两年多的时间如白驹过隙，转瞬即逝，两年多我收获的不仅是论文，还有更多宝贵的东西，使我一生受用不尽。我深知，仅仅靠自己的努力是无法完成论文工作的，很幸运，也很感谢，有悉心指导和关心我的老师们，有甘苦与共的朋友们，有默默支持和鼓舞我的家人们。

首先，衷心感谢培养我的中南大学地学院，尤其我的导师邵拥军教授。两年多来我的每一点进步、每一点收获无不凝聚着导师的心血，无不倾注了导师的汗水，他以广博的学识、独特的见解、精辟的观点和敏锐的洞察力在学术上常常给我启迪，使我受益匪浅。导师严谨的治学精神，为人谦和、处世豁达的高贵品质，值得我用一生去学习，从他正直的为人、认真负责的工作作风中，我学习到了为人与处事的道理，知道了自己以后的学习和生活中要做一个什么样的人。能够遇到这样一位师长与朋友，我为自己感到庆幸，在此谨向我的导师致以最诚挚的感谢和崇高的敬意！

在论文的写作过程中，戴塔根教授、赖健清教授、吴堑虹教授、胡祥昭教授、邹海洋副教授、杨斌副教授、杨牧副教授也给与了许多指点和教导；自始至终得到了王雄军老师和张建东老师的细心指导和大力帮助，攻读硕士研究生期间，吴湘滨教授、谷湘平教授、高光明副教授、朱余德教授、刘继顺教授、奚小双教授、刘亮明教授也给与了很大的帮助和指导，在此，一并表示我最诚挚的谢意！

感谢张贻舟、胡荣国、赵义来、陈星霖、丁宗炜、汪雯、刘清泉、郑明泓、黄敏、羊建波、周凤等兄弟姐妹们的关心与帮助，让我在学习和生活中渡过一个个难关。

最后，特别感谢我的父母赋予我生命，并在生活或学习中给予我莫大的关怀和鼓励，使我能够顺利的完成学业！

攻读学位期间的主要研究成果

一、科研工作：

自 2007 年至 2008 年参加的科研工作如下：

1. 参与陕西宝鸡凤太地区物探项目。

2. 河南省西峡县龙潭沟钼、金多金属矿区 1:5000 地质填图及成矿预测。

3. 河南省南召县石林沟铁锰多金属普查。

4. 国家 973 项目“华南陆块陆内成矿作用：背景与过程”项目课题 “长江中下游地区及邻区花岗岩成矿系列”子课题：“安庆矿集区大型矿山深边部找矿方法评价及勘查模型研究”。

5. 内蒙古自治区正镶白旗地区矿产资源勘查。

二、发表的学术论文：

[1]**刘忠法**，邵拥军，张建东，陈星霖，等. 青海阿尔金小赛什腾铜铁矿化区地质特征[J]. 2008,湖南矿物岩石地球化学论丛：63-64.

[2]邵拥军,张贻舟,张建东,丁宗炜，陈星霖,**刘忠法**. Formation mechanism of breccia pipe types in Yixingzhai gold deposit[J]. Journal of Central South University of Technology2008，15（1）:112-117.

[3] 邵拥军，贺辉，丁宗炜,**刘忠法**，等. 基于 BP 神经网络的湘西金矿成矿预测[J]. 中南大学学报(自然科学版)，2007，38（6）：1192－1198.

[4]郑镝，何志军，刘悟辉，**刘忠法**，等. 义兴寨金矿床地质特征及成矿控制因素分析[J]. 中南大学学报(自然科学版)，2009.

[5]丁宗炜，邵拥军，陈星霖，**刘忠法**，等. 青海阿尔金采石沟、柴水沟金多金属矿化区地质特征. 2008,湖南矿物岩石地球化学论丛：65-67.

[6]陈星霖，邵拥军，丁宗炜，**刘忠法**，等. 青海阿尔金化探样品 SPSS 软件数理统计分析. 2008,湖南矿物岩石地球化学论丛：268-270.