

铜陵矿集区矿床学实践教程

周涛发 袁 峰 范 裕 谢建成 张 鑫 编著

目 录

第一章 铜陵矿集区自然地理及地质特征	8
第一节 自然地理	9
第二节 地层	11
第三节 构造	18
第四节 岩浆岩	20
第五节 矿床	21
第六节 地球物理场及地球化学场	24
第二章 侵入岩	26
第一节 时空分布	26
第二节 岩石学特征	20
第三节 岩石化学特征	23
第四节 地球化学特征	24
第五节 岩石成因	29
第三章 矿床	31
第一节 矿床时、空分布	31
第二节 典型矿床	33
一、铜官山铜铁金矿床	33
二、天马山金矿床	37
三、西狮子山铜金矿床	40
四、包村金矿床	44
五、新桥铜金硫矿床	47
六、冬瓜山铜金矿床	51
七、朝山金矿床	56
八、凤凰山铜铁金矿床	59
九、鸡冠石银金矿床	63
十、姚家岭铜铅锌金矿床	67
第四章 成矿规律	72
第一节 控矿条件	72
第二节 成矿规律	75

第三节 区域成矿模式	77
第五章 野外工作方法	79
第一节 侵入岩的野外工作方法	79
第二节 矿床的野外工作方法	93
第三节 矿产资源勘查基本工作方法	112
第四节 矿山环境工作方法	123
第六章 实习路线	133
路线 1 矿集区地层及岩浆岩	133
路线 2 新桥矿床	134
路线 3 冬瓜山矿床	135
路线 4 天马山矿床	136
路线 5 姚家岭矿床	137
路线 6 药园山矿床—金牛洞、相思树景点—相思谷尾矿库	138
路线 7 勘探现场或岩芯库	139
路线 8 铜陵有色公司第二冶炼厂—铜陵铜制品市场	139

序

矿床学是地球科学的重要分支学科，它既深入探讨地球系统中矿床的形成及演变规律，又能有效地指导矿产资源的勘查和开发工作。我国的经济社会可持续发展需要巨量的矿产资源，加强矿床学课程建设，培养高质量的地质人才以实现找矿突破，提供新的资源储量已是当务之急。

为了培养既掌握地质基础理论，又有实际工作能力的地矿专门人才，加强教学实践环节十分必要。周涛发教授等针对地质勘查类专业的培养目标，选择铜陵矿集区作为高年级学生的实习基地，并为此编著了《铜陵矿集区矿床学实践教程》作为指导实习的正式教材，弥补了高校有关专业长期缺少矿床学实践教材这一不足，从而为提高教学质量打下必要基础。

安徽铜陵是世界闻名的矿业经济区，矿产资源丰富，矿床类型多样，开采历史悠久，知名矿山林立，地层、构造、岩浆岩和矿化现象丰富多彩且具典型性，吸引了众多专家学者前来调查研究，矿床地质学成果积累丰富，具有得天独厚的优越教学资源，堪称培养地质学家的摇篮。将铜陵作为矿床学实践教学基地，并编著了适用的相关教材，这确实是年轻地质学子的福音。

这本教程以铜陵地区的矿床地质为主要对象，融合了有关地质学、矿床学、地球化学、资源勘查学和矿山环境学的基础知识和野外工作方法，内容新颖，系统全面，重点突出，简明准确，深入浅出，份量适当，很好地贯彻了理论与实际相结合、产学研相结合的教学原则，也充分体现了多学科综合教学的指导思想。这样的教学体系有利于让学生掌握生动新鲜的专业知识，提高观察问题、分析问题、解决问题的能力，认识我国矿山企业的进步、存在问题和自己应肩负的社会责任，从而达到知识、能力和素质三者并重的良好教学效果。

合肥工业大学资源与环境工程学院学院的老师们多年来以铜陵矿集区为科研基地，深入进行成矿学探索，获得了丰硕研究成果，并且将其中的精华—对该区成矿规律的认识融入这份教程之中，提高了它的学术水平，这也是该教程的一个特色。

我衷心祝贺《铜陵矿集区矿床学实践教程》的出版交流，向著者们致以敬意，并期望教程能为培养新型地质人才做出应有的贡献。

周涛发
2009-6-6

内容简介

本教材是为了推进教学质量工程建设，在铜陵矿集区进行的高年级本科生以矿床学为中心，涵盖岩石学、地层学、矿物学、矿相学、地球化学、资源勘查技术、采选冶技术、资源经济学、矿山环境评价等的矿产资源实践教学的多学科综合实习而编写的实习指导书。教材在多年实习基地建设和实习指导书不断完善基础上，根据铜陵矿集区和长江中下游成矿带近年来的最新研究成果和勘查资料编写而成的，内容主要包括铜陵矿集区的自然地理和地质特征、矿集区侵入岩和矿床的地质地球化学特征、矿床成因和成矿规律总结，同时包括侵入岩和矿床的野外工作方法、矿产资源勘查的基本工作方法，以及矿山环境的研究与工作方法等，书中列出了八条主要实习路线的实习内容、现场作业和室内作业等主要的野外教学实践内容，试图提高学生对以矿床学为中心的矿产资源系统科学不同课程的内容得以融会贯通，完善教学和实践环节，增强学生观察认识和进行多学科综合分析问题和解决问题的能力，启发创新思维，提高综合素质。

本书是从事地球科学的高等院校高年级本科生、研究生及工程硕士研究生的矿床学实践教材，也可作为相关教学、科研人员的参考资料。

前 言

《铜陵矿集区矿床学实践教程》是为地质类高年级本科生开设的野外矿产资源实践教学教材，是以铜陵矿集区矿床学为中心，涵盖岩石学、地层学、矿物学、矿相学、地球化学、资源勘查技术、采选治技术、资源经济学、矿山环境评价等的矿产资源实践教学的多学科综合教学指导书。

矿床学是地球科学的重要分支学科，是一门高级地学专业课。矿床学的教学必须坚持理论联系实际，实践环节是其教学体系不可或缺的重要组成部分，实践环节既包括课堂实习也应包括野外实习。但国内具有地球科学专业的高校迄今所建立的地学野外实践教学实习均偏重于基础地质学的教学，主要开设地质学野外认识实习和教学实习，缺少矿产资源方面的专业实践教学环节，导致高校人才培养与用人单位对人才专业技能的要求之间存在脱节，也与国家21世纪资源勘查专业新型高级专门人才培养的要求不相适应，因此迫切需要加强矿产资源实践教学环节。为此，合肥工业大学资源与环境工程学院于2005年开始加强矿产资源实践教学的探索，规划了教学内容，编制了实习大纲，并着手建设铜陵矿产资源实践教学基地，编写了实习指导书，先后与铜陵化工集团新桥矿业有限公司、安徽省地勘局321地质队和华东冶金地勘局812地质队、铜陵有色金属工业总公司等单位签署了合肥工业大学实践教学基地共建协议，并举行了挂牌仪式。目前矿产资源综合实践教学已连续成功进行了5年，教学效果非常好，近年的毕业生实践能力明显加强，受到用人单位的一致好评。在这一过程中，我们根据教学积累，每年实时修改、更新和完善实习指导书内容，在系统总结了实践教学过程中取得的认识和存在的主要问题基础上，编写了这本正式教材，希望为教学质量工程建设做出一份努力和贡献。

铜陵地区地处沿江经济带，是我国重要的矿业经济区，是长江中下游成矿带中最重要的矿集区。区内矿产资源丰富，矿床类型多样；矿床的开采历史悠久，号称“古铜都”；该区矿产资源勘探、开发程度高，有多个国有大中型矿山和冶炼企业，矿业经济发达；该区是层控矽卡岩型矿床理论的发源地，众多国内外著名矿床学家和学者先后在该区开展过矿床学及相关学科研究，矿集区成矿学研究程度高，矿床学成果积累丰富；该区矿床特征和矿山环境典型，成矿地质现象多样，且分布有多家重要的地质勘查和矿山地质队伍，具有得天独厚的产学研结合的优越教学资源和条件。因此，铜陵矿集区是进行矿床学野外实践教学非常理想的地区。通过对该矿集区矿区地质、矿床地质等的观察分析、对矿床勘探技术、方法和矿产资源经济内容的掌握和演练，以及对矿石采选治过程和工艺流程的参观、对矿山环境的认识及相关评价方法和治理保护措施的了解等，使得学生对以矿床学为中心的矿产资源系统科学不同课程的内容得以融会贯通，完善教学和实践环节，增强学生观察和进行多学科综合分析问题和解决问题的能力，启发创新思维，提高综合素质，达到知识、能力和素质并重的教学目标和培养效果。本书正是以上知识积累和教学成果的总结。在参考国内外最新研究成果、相关工作方法和技术规范的基础上，本书内容主要包括铜陵矿集区的自然地理和地质特征、矿集区侵入岩和矿床的地质地球化学特征、矿床成因和成矿规律总结，同时包括侵入岩和矿

床的野外工作方法、矿产资源勘查的基本工作方法，以及矿山环境的研究与工作方法，书中还有八条主要实习路线的实习内容、现场作业和室内作业等，并配有多媒体辅助教学材料，力图简要系统反映铜陵矿集区的矿床学研究现状、重要的野外教学实践内容，以及矿产资源勘查和矿山环境的研究内容和方法等，使学生对铜陵矿集区的矿产资源研究、开发、利用及环境保护等科学理论知识与实践工作方法等在有限时间内有系统集成性地掌握，综合素质与能力得到显著提高。

本教材是综合合肥工业大学资源与环境工程学院和国内外众多研究单位、专家学者和研究人员，特别是常印佛、翟裕生、唐永成、储国正、蒋其胜等专家、以及安徽省地质矿产勘查局321地质队、华东冶金地勘局812地质队等单位在铜陵矿集区及长江中下游成矿带的长期的研究成果和勘探生产资料编写而成的，还收集整理了前人已出版的有关工作方法和技术规范，如区域地质调查野外工作方法（第二分册）（地质出版社，1979），中国地质调查局地质调查技术标准（DD2006—01）固体矿产勘查原始地质编录规程（试行）（中国地质调查局，2006），并参考了部分相关教材，如《矿床学教程》（姚凤良等，2006），《矿相学》（尚浚等，2007），《资源勘查学》（李守义等，2003）和《结晶学与矿物学》（潘兆橹等，1994）等。教材编写过程得到合肥工业大学资源与环境工程学院洪天求、朱光、宋传中、孙世群、陈天虎等老师的大力支持，本书初稿承蒙常印佛院士、翟裕生院士、安徽省地质矿产勘查局321地质队刘良根高工和华东冶金地勘局812地质队蒋其胜高工在百忙之中给予审阅并提出了宝贵的评审和修改意见，翟裕生院士还为本书亲笔作序，并给予高度评价和鼓励，在此谨表示诚挚的谢意。

本书编写和出版得到了安徽省教学研究项目（编号：2008jyxm227）、安徽省优秀青年科技基金项目（编号：08040106907, 04045063）、高等学校特色专业建设基金（TS10882）、国家自然科学基金（编号：40830426, 40672062, 40803015）和科技部国家重大基础研究项目（编号：2006BAB01B01）等的资助。

我校在铜陵地区长期教学和科研工作中，得到了铜陵有色金属工业总公司、铜陵化工集团新桥矿业有限公司、安徽省地勘局321地质队、华东冶金地勘局812地质队等单位和多位专家和领导的大力支持、指导和帮助，在此一并表示衷心感谢！

本书由周涛发、袁峰、范裕、谢建成和张鑫等编著，徐晓春、李双应和陈天虎等老师参加了该基地建设和实习内容的考察和规划工作，本书是铜陵矿集区矿床学实习基地建设集体劳动的结晶。教材中的部分图件由马良、钱兵和黄贻梅等研究生绘制。

限于本教材编写者的业务水平和时间，教材中疏忽和错误难免，敬请广大师生批评指正。教材中引用的前人研究成果和资料若存在不详或错误，也请原作者海涵和批评斧正。本书将在今后的使用过程中进一步完善。

作者

2009年6月于合肥

第一章 铜陵矿集区自然地理及地质特征

长江中下游成矿带是中国东部中生代形成的成矿特色鲜明的陆内铁、铜、金、多金属成矿带，是我国重要的金属成矿带之一。长江中下游成矿带内迄今已发现 200 多个 Cu-Fe-Au 多金属矿床，这些金属矿床自西至东主要集中在以下七个矿集区：鄂东南（湖北省东南部地区）Fe-Cu 矿集区；九瑞（江西省九江-瑞昌地区）Cu-Au-Mo 矿集区；安庆-贵池（安徽省）Cu 矿集区；庐枞（安徽省庐江-枞阳）Fe-Cu 矿集区；铜陵（安徽省）Cu-Au 矿集区；宁芜（江苏省南京-安徽省芜湖地区）Fe 矿集区；宁镇（江苏省南京-镇江地区）Cu-Fe-Pb-Zn 矿集区（图 1.1）（常印佛等，1991；翟裕生等，1992；唐永成等，1998）。其中，铜陵矿集区位于安徽省铜陵地区，是长江中下游成矿带中地质研究程度较高的地区之一，区内分布有多个大型铜、硫、金多金属矿床。铜陵矿集区是我国“层控矽卡岩型”矿床成矿理论（常印佛等，1981, 1991）和叠加复合成矿理论（翟裕生等，1992）的发源地，是国内外矿床学研究热点地区之一。

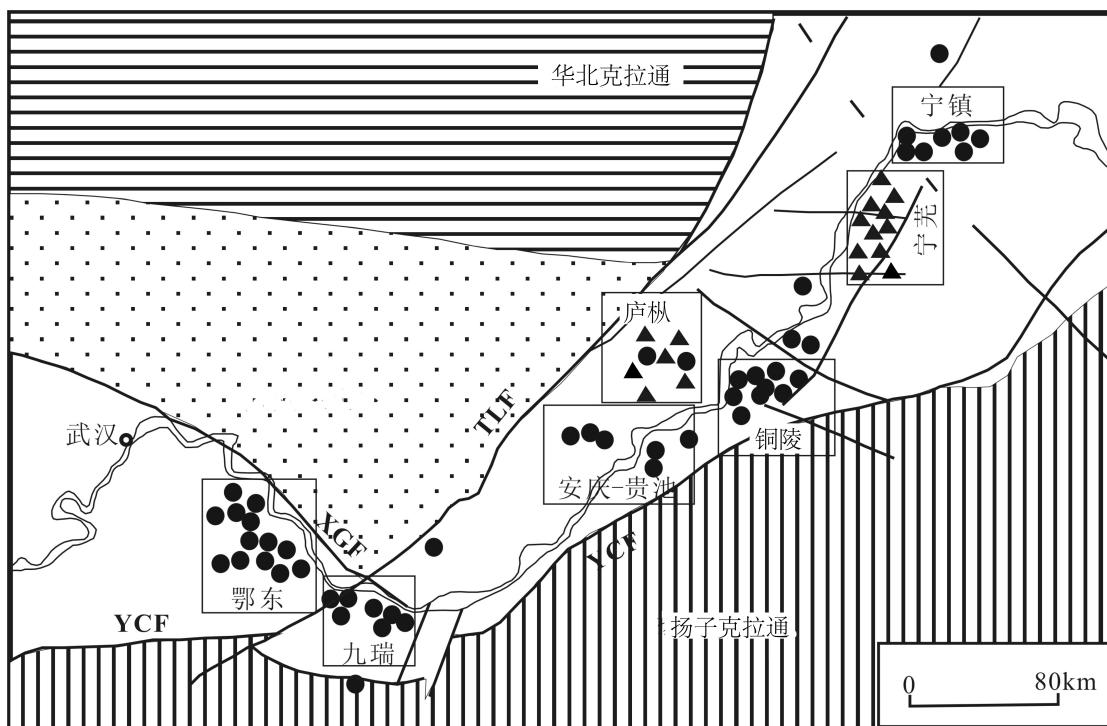


图 1.1 长江中下游成矿带大型矿集区分布图（据 Pan et al., 1999 修改）

●铜金矿床，▲ 铁矿床，XGF：襄樊—广济断裂，YCF：阳兴—常州断裂，TLF：郯庐断裂。

第一节 自然地理

宁芜矿集区位于安徽省沿江地区东部和江苏省西部（皖南山区北部、属长江南岸的沿江丘陵平原），行政隶属于安徽省马鞍山市、芜湖市以及江苏省南京市管辖，是长江中、下游的著名矿集区，我国重要的有色金属基地。其地理坐标范围为：东经 $117^{\circ}42'00''\sim118^{\circ}15'00''$ ，北纬 $30^{\circ}42'00''\sim31^{\circ}07'56''$ 。该区交通发达，东距芜湖市 80 km 左右，东南与繁昌县接壤，西距安庆市 90 km 左右，南与青阳县、南陵县交界，西南与池州贵池区毗邻，西北一江之隔是无为县、枞阳县，距安徽省省会合肥市 160 km，徐（州）黄（山）公路线在铜陵长江大桥过江（图 1.2），同时，长江一年四季通航，矿集区内沿江港口、码头具有较强的吞吐能力。全区面积约 1200 km^2 ，南北最长约 45 km，东西最宽约 50 km。

铜陵矿集区地形地貌特征表现为由东南向西北倾斜，呈带状展布。其北部为临江冲积平原，地势开阔平坦；南部及东南部为剥蚀低山区；中部以剥蚀丘陵为主，呈起伏之丘岗。南部低山丘陵区分布于铜陵县西峰牌、铜官山、黄木岭、狮子山一线以南，面积约 480 km^2 ，占矿区总面积的 40% 左右。中部低丘平岗地区分布于铜陵市中部，铜陵县新沟、花园区、玉楼山、山边崔家一线以南、南部低山丘陵以北地区，包括流潭乡、钟仓镇、西湖镇、钟鸣镇、新桥镇及部分南郊，面积约 360 km^2 ，占全市总面积的 30% 左右。由于北临沿江平原，地处南北过渡带，地形地貌多为低丘平岗，地形起伏相对较小，呈带状分布。本区河流较多，特别是沿新桥河、顺安河形成了狭长的河谷平原（畈田），组成物质为近代河流冲积物，一般厚度 5-10 m。北部沿江平原洲圩区，地势平坦，分布于铜陵北部沿江洲圩区，地势低洼，包括铜陵县的大通和悦洲、安平、胥坝、太平、永丰以及和平乡的全部行政村，流潭、钟鸣、顺安和西湖镇的北部行政村，约占全区总面积的 30%。本区自第四纪以来一直处于下降状态，长江支流携带大量泥沙在此堆积，形成了深厚的沉积层。

铜陵矿集区属亚热带湿润季风气候，四季分明而春秋较短，季节交替明显，气候温和，雨量充沛，年平均降雨量 1388.6 mm，最高达 2173.7 mm，最低 778.5 mm，每年 4-6 月份为雨季，降水主要集中在 7-9 月份，年平均蒸发量 1359.8 mm。全年平均湿度在 75%-81% 之间，潮湿系数为 1，属湿度充足带。年均气温 16.2°C ，最高气温达 40.2°C ，最低为 -11.9°C ，无霜期约为 230 天，冬季气温前高后低；春季气温偏高，雨水前少后正常；夏季雨少气温偏高；秋季前期降水少气温高、后期降水多气温低。常年风向规律明显，冬季为西北-东北风（频率 20%），夏季为西南风（频率 16%），因而易形成地形性逆温和环形流场。

铜陵矿集区水资源比较丰富，地表水属长江水系（流域），主要有相思河、圣冲河、新桥河、钟仓河、顺安河和西湖等水域。长江由西南而北再东折，流经矿集区境内约 60 km，上至大通镇，下至荻港镇，绕铜陵近三分之一周，河道弯曲，沙洲棋布，河势稳定。江面宽 1.2~3 km，年平均流量 $27544 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ，每年 7 月出现洪峰，枯水期在 12 月至翌年 2-3 月。

铜陵矿集区交通便捷，四通八达。作为安徽中南部、长江南岸的城市铜陵市，地处上海与武汉、南京与九江交通线中部，依托长江这条黄金水道，水路上可及重庆，下可达上海。铜陵港是长江十大港口和安徽省四大港口之一，国家一类出口口岸，拥有停靠万吨货轮的港口1个，一般港口6个，码头43座。铁路直抵上海、杭州、南昌、武汉等地，与京沪、京九、京广、皖赣线相连。宁（南京）-安（庆）城际铁路正在紧张施工，京-福高铁年内动工兴建。公路建设突飞猛进，八百里皖江第一桥—铜陵长江公路大桥、沿江快速通道已建成通车；合铜黄高速公路和沿江高速公路已建成通车；铜宣高速正在积极筹建；境内公路四通八达，沿新、白坝、九凤等重点公路正在进一步改造。依托便捷的交通，铜陵至合肥骆岗机场、南京禄口机场均可以在2小时以内到达。四通八达的现代交通网络已经进一步形成（图1.2）。

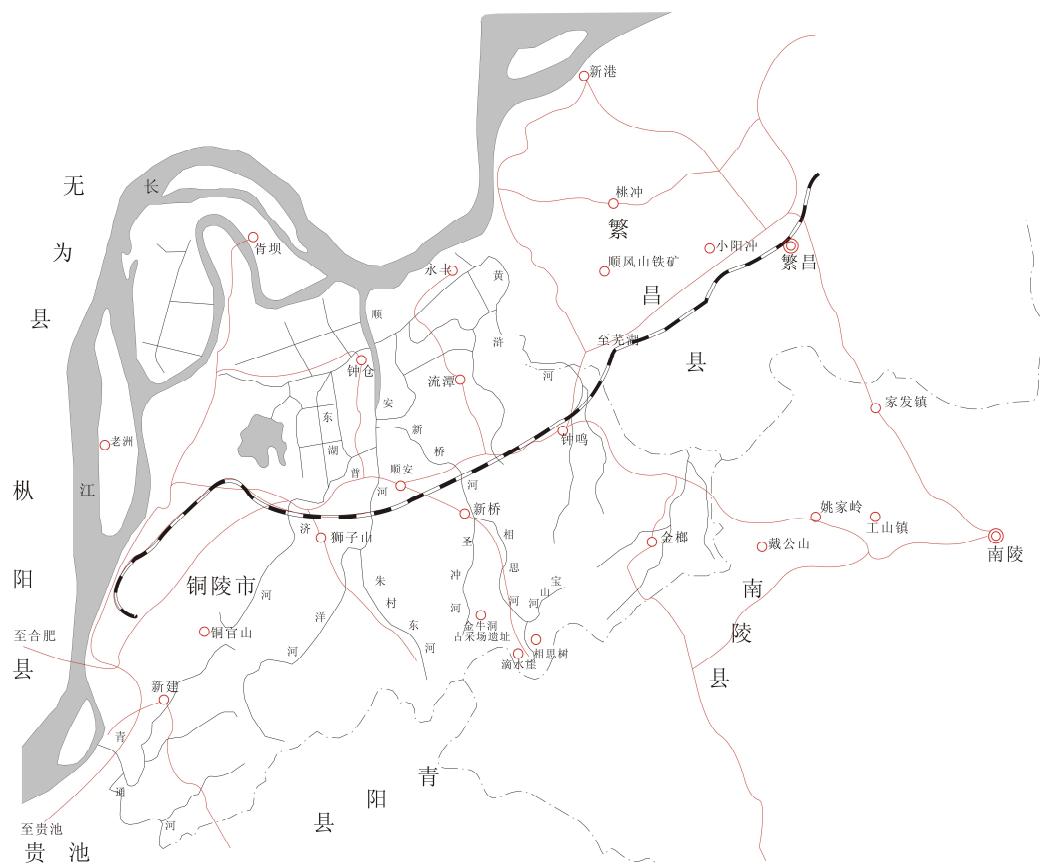


图 1.2 铜陵矿集区交通地理图

铜陵矿集区矿产资源丰富、矿种齐全。已探明保有储量的矿种近30种，主要有铜、硫、

铁、金、银、煤、石灰石，及与之伴生的钴、铋、镍、钒、镉、镓、钼、锗、硒等多种金属。其中，已探明的铜金属储量达 254 万吨，居安徽省第一；纯硫储量 4730 万吨，居安徽省第一；铁金属储量 6222 万吨，金、银金属储量均居全省重要位置。大理石、石灰石、膨润土、铅锌矿、珍珠岩、钾长石、石英石等也都具有一定开采价值。

区内农业资源条件也较优越，山、圩、洲地兼有，土地肥沃，气候适宜，雨量充沛，为农业生产提供了良好的条件。农业以种植水稻、小麦等粮食作物以及棉花、大豆、芝麻、茶叶、生姜、大蒜、丹皮等经济作物为主，其中生姜、大蒜、芝麻、“凤丹”是区内名优特产。

第二节 地层

铜陵矿集区位于下扬子拗陷带中部的铜陵断隆，在地层区划上属扬子地层区的下扬子分区（安徽省地质矿产局，1987）。本区的褶皱基底在地表没有出露，出露地层为志留系—下三叠统的沉积盖层，主要为海相碳酸盐岩和碎屑岩。铜陵矿集区出露最老地层为志留系，除缺失下、中泥盆统外，从志留系至第四系层序齐全，发育较为完整（图 1.3），地层的岩性、厚度、岩相古地理等沉积特征及含矿性如图 1.4 所示。地层总体特征概述如下：

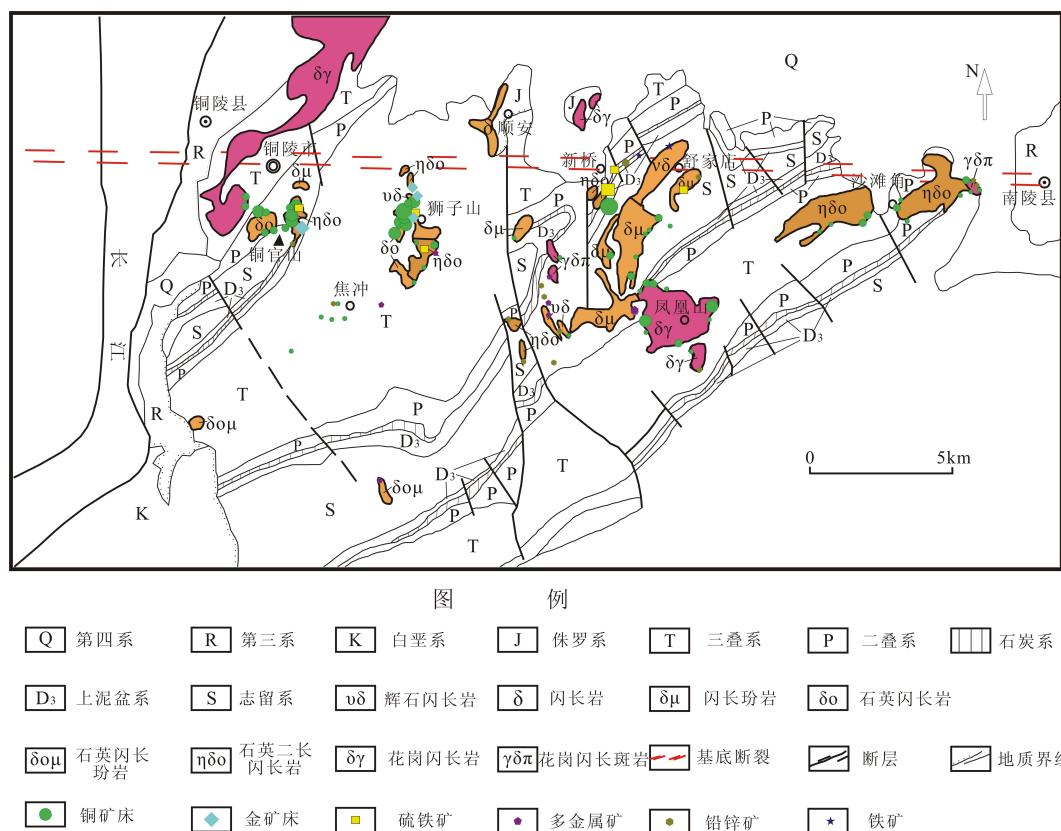


图 1.3 铜陵矿集区地质矿产图

(1) 根据组成特点, 本区地层可分为两套地层系统(图 1.4): 第一套地层系统主要是

海相碳酸盐岩和碎屑岩沉积，间夹有海陆交互相和少量陆相沉积，构成了区内的沉积盖层，时代为早志留世—中三叠世，其间又明显地表现为两大沉积旋回：第一旋回从 S_1g - D_3w ，为海退的半深海相的笔石页岩及碎屑岩沉积；第二旋回为 C_2h - T_2d ，以滨海—浅海相为主的碳酸盐岩夹半深海硅质岩及海陆交互相的碎屑岩。第二套地层主要由陆相碎屑岩夹火山碎屑岩系组成，为板内变形阶段的产物，时代为中三叠世至第四纪。铜陵矿集区的地层以碳酸盐岩层最为发育，累计厚度可达 1500 米以上。

(2) D_3w 、 C_{2+3} 、 P_1q 、 P_2d 、 T_1 地层剖面的岩石组合具有相似性：1) D_3w - C_{2+3} 为砂页岩—白云岩—灰岩组合，2) P_1q - P_1g 为砂页岩—沥青质灰岩—硅质岩—灰岩—硅质岩组合，3) P_2l - P_2d 为砂页岩—硅质灰岩（白云质灰岩）—硅质页岩组合，4) T_1y - T_1h 为钙质页岩—灰岩—条带状灰岩—钙质页岩组合。岩石组合中既有易交代的化学性质活泼的碳酸盐岩层，又有砂页岩、页岩等化学性质不活泼岩层，而碎屑岩与碳酸盐岩的过渡部位往往是矿体的赋存部位。

(3) 矿集区地层中，包含了同生沉积矿层，如：石膏、煤、锰、铁硫、磷、钼等，同时多数层位本身也是非金属矿层，如石灰岩、白云岩、富钾岩石等。

(4) 矿集区中的主要赋矿层位有六个： C_{2+3} 、 P_1q 、 P_2d 、 T_1y 、 T_1h 、 T_1n 。从矿床数量及 Cu、Au、Ag、S 等储量来看，区内最重要的赋矿层位是 C_{2+3} 及 T_1 ，其内赋存的矿体规模大，在区域分布上具有一定的延伸性和稳定性（储国正，2003）。其中， C_{2+3} 内赋存的矿床数占区内矿床总数的 34.58%，储量上 Cu 占 54.47%、Au 占 66.93%、Ag 占 64.75%； T_1 内赋存的矿床数占区内矿床总数的 27.06%，储量上 Cu 占 29.11%、Au 占 21.22%、Ag 占 23.58%。

志留纪至第四纪地层特征分述如下：

(1) 志留系

是区内出露最老的地层，发育下、中、上三个统，分别称高家边组、坟头组、茅山组，系一套浅海相类复理石建造，多组成背斜的轴部。下统见于本区南部的王家冲—里郎坑一带，中、上统分布于章木山—铜官山、寨山、大成山、高岭佩家一带。系内各组均呈整合接触，地层总厚度在 700 米以上。

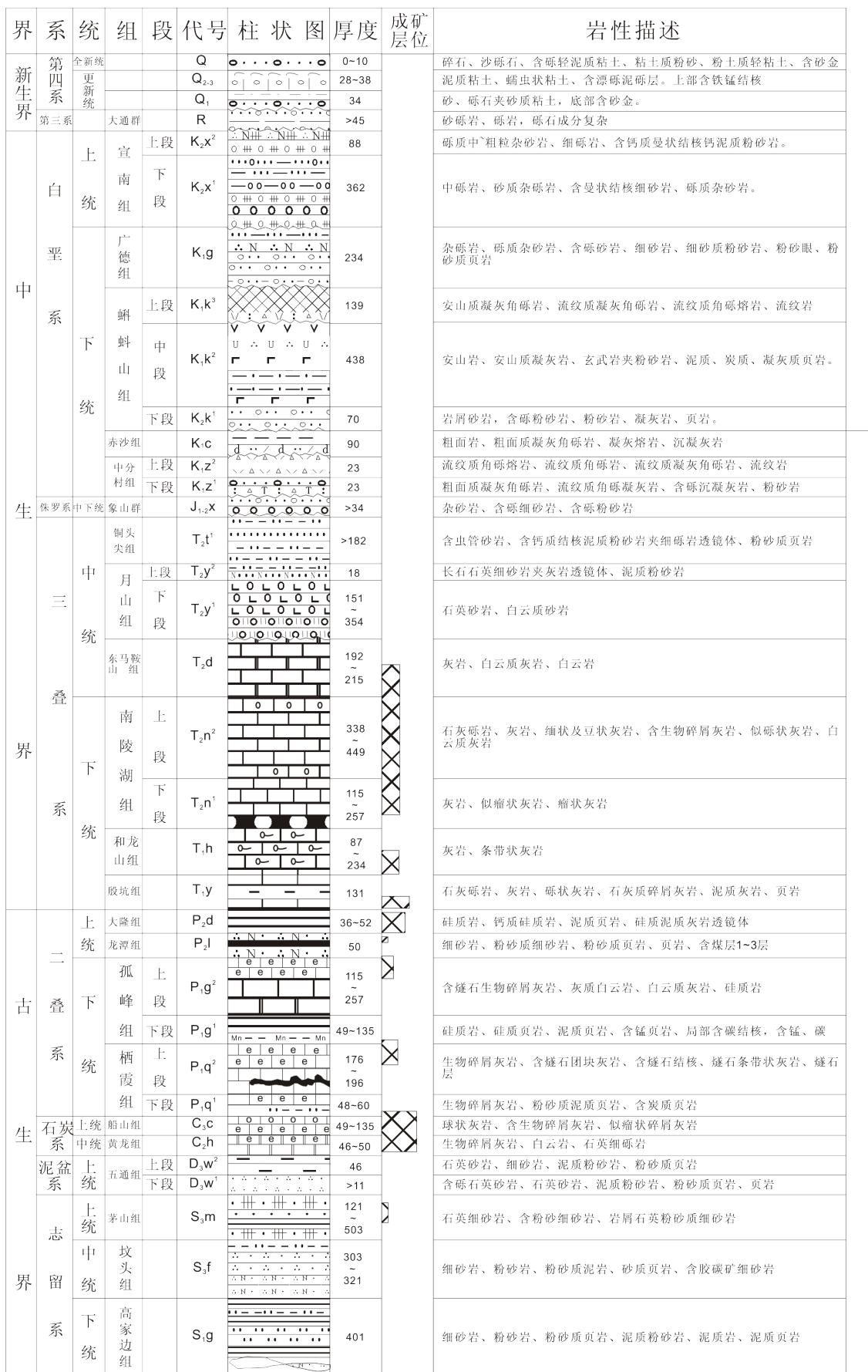


图 1.4 铜陵矿集区综合地层柱状图（据安徽省地质矿产局 321 地质队，1995）

下统—高家边组 (S_{1g}):

区内高家边组下部未出露，仅见上部之一部分。其岩性以浅黄绿—灰绿色页岩为主，夹粉砂质页岩、粉砂岩、细砂岩，顶部为紫红、紫褐色含粉砂质页岩夹黄绿色砂质页岩、粉砂岩，厚约 400 米。

中统—坟头组 (S_{2f}):

本组系一套浅海相砂页岩沉积，具类复理石建造，韵律清楚。本组在寨山一带出露较好，按其岩性可分为三部分，自下而上为：下段为灰绿、灰褐、浅紫红色长石石英砂岩与黄褐、紫褐色粉砂岩互层，厚约 137 米；中段为灰褐色细砂岩、黄绿色粉砂岩，粉砂质页岩互层，厚约 80 米；上段为灰褐、灰绿、紫褐色长石石英细砂岩、黄褐色粉砂岩、粉砂质页岩互层，顶部有一层紫红色泥质粉砂质细砂岩夹灰绿色页岩，富含动物化石，厚 104 米。

上统—茅山组 (S_{3m}):

茅山组原名茅山砂岩，系李毓尧、李捷、朱森 1935 年创名于江苏省句容县茅山顶宫。本组总厚 121~503m。本组在区内铜陵市马家剖面较为完整，下部岩性以浅灰、灰白色夹紫红色中薄层石英砂岩，夹多层浅灰白色粘土岩为特征；上部为浅灰白色中厚层石英细砂岩，夹粉砂岩及粘土岩为特征，具平行层理、斜层理。其基本层序主要为细粒石英砂岩与粉砂岩不等厚相间互。茅山组下部砂岩中见丘状交错层理，上部砂岩中见冲洗层理。分别反映为近滨带、前滨带沉积。该组的底界与下伏坟头组为整合接触。

(2) 泥盆系

上统—五通组 (D_{3w}):

本区泥盆系下、中统缺失，仅发育上统五通组。为一套陆相碎屑岩沉积，厚约 60 米。由于岩性坚硬，抵抗风化力强，往往组成高山脊部。按其岩性可分三段。

下段 (D_{3w}^1)：为一套自下而上由粗变细的淡灰、浅灰色厚层—巨厚层石英砾岩、含卵砾石英砂岩、石英岩、石英砂岩，夹泥质粉砂岩、粉砂质页岩，底部普遍存在一层 5-7 米厚的浅灰色底砾岩，局部地区，如分水岭一带，见有 0.5 米厚的底砾岩，砾石成分以石英质岩石为主，呈次圆状至浑圆状，由硅质及少量铁质胶结而成。上段 (D_{3w}^2)：淡灰色，灰黄色薄—中厚层石英岩、石英砂岩夹灰红、灰黄、淡紫色粉砂质页岩，石英砂岩具糖粒状结构。顶部：灰白、淡灰褐色厚—巨厚层石英及中—厚层石英砂岩，厚约 46 米。

(3) 石炭系

区内石灰系由于第四纪浮土覆盖，露头零星，并往往形成较低凹之地形。石灰系分布于铜官山背斜、水村桥背斜及舒家店背斜两翼。其中铜官山背斜北西两翼因断层切割，仅有下

统之一部分出露。本区石炭系发育中、上统，分别为黄龙组、船山组。黄龙组、船山组为一套滨海—浅海相碳酸岩沉积。各组间均为假整合接触，地层总厚度 95-185 米。

中统—黄龙组 (C_2h):

本组按岩性及化石，可分为二部分。下段：灰白、灰、浅肉红色粗粒结晶石灰岩及暗灰色巨厚层白云岩，厚 6-12 米，底部有一层 8 厘米厚的砾岩，砾石呈次圆—次棱角状，成分为砂岩、细砂岩。在砾石之上覆有一厘米左右的锰土或砂页岩。上段：灰白、浅灰色厚—巨厚层石灰岩。岩性致密性脆，质纯，厚 46-50 米。

上统—船山组 (C_3c):

船山组为一套浅海相碳酸盐岩，在分水岭一带出露较好，厚 49-135 米，按岩性可分为两段：下段为浅灰—深灰色中—厚层石灰岩，质纯，局部具伪蜓状构造；上段为灰白、淡灰色厚—巨厚层石灰岩和深灰色球状石灰岩，顶部含石燧，具伪蜓状和球状构造。

(4) 二叠系

区内二叠系广泛分布，在铜官山背斜的东北倾状端，从天鹅抱蛋山至周家山组成背斜的轴部，从天鹅抱蛋山向西南至章木山一带，组成背斜的两翼；在水村桥背斜、舒家店背斜均组成背斜的两翼。二叠系发育 2 统 4 组，自下而上分别为：下统栖霞组、孤峰组，上统龙潭组和大隆组。各组间及下伏地层。均为假整合接触；下统是一套浅海相碳酸盐岩及硅质岩、含锰层建造，在地形上常形成低山；上统为一套浅海相硅质岩、碳酸盐岩建造及海陆交互相的碎屑岩含煤建造，在地形上形成丘陵山地。本系总厚度 600 余米。

下统—栖霞组 (P_1q):

栖霞组按岩性特征及生物群的分布，可分为两个段，即下部的臭灰岩段和上部燧石灰岩段。

下部臭灰岩段 (P_1q^1)：灰黑色中厚—巨厚层臭灰岩及含沥青质石灰岩，厚 48-60 米，底部普遍常有一层粘土夹砾石，砾石成份以石灰岩、燧石为主。在牛形山和杨桃山等地区，底部具有炭质页岩石灰岩透镜体。

上部燧石灰岩段 (P_1q^2)：包括上、下硅质层及燧石灰岩，主要为灰、深灰、黑色中厚—厚层含燧石结核石灰岩，灰黑色炭泥质石灰岩和 1-2 层黑色燧石层及硅质层。本段石灰岩大部分含燧石结核及燧石条带。在分水岭一带还夹有炭质页岩，厚 176-196 米。

下统—孤峰组 (P_1g):

孤峰组岩相、厚度变化较大，大致以牛山—青阳山一线为界，分为东西二区。西区硅质岩发育，东区硅质岩、碳酸盐岩发育。

根据岩性可分上下两段。下段：灰、深灰、浅紫色薄层硅质页岩、含锰页岩及硅质岩，含菱锰矿及磷结核，常形成 0.6-0.7 米厚的黑—烟灰色有用锰矿层，底部为夹卵石的含锰粘土，厚约 49-135 米。上段：灰黑、黑色燧石层、硅质页岩，夹有灰色硅质石灰岩及页岩，厚约 115-257 米。本组总体自南东往北西方向硅质成分增高。

上统—龙潭组 (P_2l)：

本组为一套海陆交互相碎屑含煤建造，是区内主要含煤地层，厚 57-71 米。根据岩性特征可分三部分。

下段：灰黑、灰褐色及黑色含炭质页岩，夹灰黄褐色铁质结核的粘土页岩，底部以含硅质页岩砾石的粘土与下伏大隆组接触。在杨桃山，龙潭组下部夹有 90 厘米厚的褐铁矿层。

中段：浅灰—浅灰褐色细—中粒长石砂岩、长石石英砂岩及石英砂岩、铁质细砂岩、粉砂岩和粉砂质页岩。上段：灰、灰黑色薄层炭质页岩、粘土页岩，夹粉砂岩及粉砂质页岩，夹煤 1-3 层，厚约 50 米。

上统—大隆组 (P_2d)：

区内大隆组由浅海相硅质页岩、燧石层组成，夹泥质页岩和泥质页岩、石灰岩透镜体，厚 36-52 米。按其岩性大致可分为两部分。

下段：以灰黑色硅质页岩、黑色燧石为主，夹灰黑色泥质页岩、含燧石条带的硅质页岩和石灰岩透镜体，底部有一层 2.5-8 米厚、层位稳定的含硅泥灰岩。

上段：灰黄色泥质页岩、泥质灰岩，夹灰黑色硅质页岩及黑色燧石层。泥质灰岩多为透镜状、层位很不稳定。

(5) 三叠系

三叠系地层在区内广泛分布，多组成向斜轴部和两翼。在本区仅见下统和中统层位。下统为浅海相碳酸盐岩建造—含泥质碳酸盐岩建造；中统为内陆盆地沉积的红色砂页岩建造。本系总厚度 1300 余米。

下统—殷坑组 (T_{ly})：

本组地层厚度变化较大，总体表现为自南东向北西方向由厚变薄，厚约 131 米。岩性主要为黄绿色、灰黄色钙质页岩夹灰岩或灰岩透镜体，在底部有一层厚 0.5 米之同生砾状灰岩，含菊石、双壳类等化石。

区内殷坑组基本层序主要为具毫米纹层的钙质泥岩组成，有时与微晶灰岩、含同生砾微晶灰岩相间互，结合菊石、双壳类等化石，反映当时处在浪基面以下陆棚、下斜坡相沉积环境。

下统—和龙山组 (T₁h):

本组地层厚度变化较大，总体表现为自南东向北西方向由厚变薄。本组总厚 87~234 米。岩性下部为灰、青灰色泥质条带灰岩、薄层灰岩、钙质页岩互层，上部为浅灰、青灰色薄层泥质条带灰岩夹钙质页岩、页岩，含菊石、双壳类等化石。

区内和龙山组基本层序主要为具水平层理的微晶灰岩、泥晶灰岩相间组成，有时为微晶灰岩与含砾屑微晶灰岩相间互，结合菊石、双壳类等化石，反映当时处在浪基面以下浅水陆棚相沉积环境。

本组与下伏早三叠世殷坑组为整合接触。

下统—南陵湖组 (T₁n):

本组以铜陵市南陵湖剖面为代表，南陵湖组地层出露较好，化石丰富。地层厚度变化不是很大，本组总厚 453~706 米。

南陵湖组主要岩性为灰、灰白、浅灰色薄层—中厚层具水平层理微晶灰岩，下部夹瘤状灰岩、砾屑灰岩，上部具蠕虫状构造。其基本层序主要为：灰岩、瘤状灰岩相间互，具水平层理，总体表现为沉积盆地内水动力条件为低能的沉积环境。

本组与下伏早三叠世和龙山组为整合接触。

中统—东马鞍山组 (T₂d):

本组岩性主要由下部白云岩和上部盐溶角砾岩组成，一般厚 192-215 米，最厚超过 675 米。上部盐溶角砾岩为区内石膏矿的赋存层位，其在地下较深部位为膏盐层，出露地表后膏盐流失常呈角砾岩。

本组与下伏地层为整合接触。

中统—月山组 (T₂y):

月山组按岩性特征及生物群的分布，可分为两个段。下段主要岩性为灰白色石英砂岩、白云质砂岩，厚约 151-354 米；上段为灰白、灰绿等色粉砂岩、粉砂质页岩，夹青灰色白云质灰岩及其透镜体，或呈互层产出。本组厚度约 18 米。

本组与下伏地层为整合接触。

中统—铜头尖组 (T₂t)

本组主要岩性为紫红色粉砂岩、粉砂质泥岩夹细粒砂岩，厚约 182 米。下部以紫红、青灰、灰绿、灰褐等色薄至中厚层粉砂岩、粉砂泥岩，夹中细粒砂岩为主，间夹 3-5 层灰绿色含铜砂岩和粉砂岩及透镜状细砾岩。岩石中普遍含钙质和白云母，具低角度交错层理。上部主要为暗紫或紫红色偶夹灰、灰绿、黄绿等色细粒砂岩、粉砂岩，夹含砾砂岩和透镜状细砾

岩，局部夹含铜砂岩，含钙质结核和白云母，并具小型板状交错层理和波痕。遗迹化石较丰富。在本区仅见到下部岩性，未见顶。

本组与下伏地层为整合接触。

(6) 侏罗系

下中侏罗统象山群 ($J_{1-2}X$)

本组仅零星出露在区内东北部的顺安—湖城涧一带，见于公路路堑上及钻孔中。本组下部以灰色调为主的长石砂岩、长石石英砂岩、粉砂岩，夹碳质页岩和煤层；中部和上部以紫色和灰白色长石石英砂岩和粉砂岩为主，出现比较多的石英砂岩，厚约 34 米。

(7) 白垩系

主要为火山岩地层，详见本章第四节。

第三节 构造

铜陵矿集区与下扬子前陆拗陷中的次级隆起—铜陵断隆相对应（常印佛等，1991；唐永成等，1998），位于下扬子拗陷带的中部，南北两端分别以近东西向隐伏基底断裂带为界，与贵池、繁昌两个北东向“S”形褶皱带相隔；东西两侧分别以北东向大断裂带为界，与宣（城）南（陵）拗陷、下扬子拗陷等中新生代沉积盆地为邻。

矿集区构造格局由多期不同方向、不同性质的构造变形相互叠加而成，除存在前印支期和印支期构造外，还发育有燕山—喜山期构造，主要构造有北东向、东西向、北北东向、南北向和北西向五组（常印佛等，1991；唐永成等，1998；储国正，2003），构成了区内复杂的构造变形格局（图 1.5），分述如下。

(1) 北东向褶皱

自中三叠世开始，铜陵地区进入板内变形阶段，显著的褶皱造山运动，形成了规模巨大的弧形褶皱系统，影响了沉积盖层的面貌及岩体的形态与矿化的空间展布。本区印支—燕山早期发育了典型的北东向“S”形隔档式褶皱带，如铜官山背斜、顺安复式向斜、舒家店背斜与凤凰山向斜等，其褶皱轴线在平面上均呈“S”形展布，即北端扭向东、南端扭向西；褶皱轴面的三维空间形态为“麻花状”，即褶皱轴面在中段近直立，两翼大致对称，南北两段轴面分别倾向北西和南东；背斜紧闭，向斜开阔，总体为不规则隔档式组合。北东向褶皱又叠加有东西向褶皱而成为轴向 280 度的宽缓褶皱，叠加褶皱的横跨复合造成北东向背斜枢纽昂

起。形成的隆起构成了岩体和矿体赋存的有利部位,如青山背斜的狮子山与老鸦岭铜矿床等,其中,矿集区的层控矽卡岩型铜矿床与北东向背斜关系密切,分布于背斜的核部(青山背斜)与翼部(如铜官山背斜和舒家店背斜)。

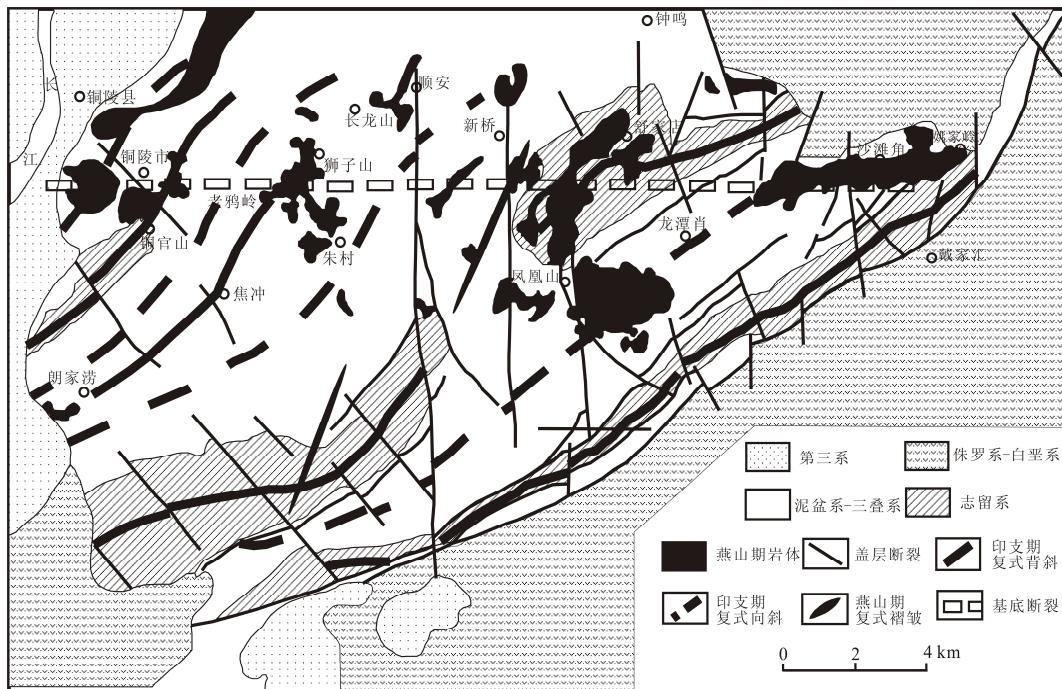


图 1.5 铜陵矿集区构造纲要图 (据吴淦国等, 2003, 有修改)

(2) 东西向构造

铜陵矿集区的东西向构造按形成时代可分三期:①早期的 E-W 向基底断裂,该断裂展布于铜陵至南陵一带,切割深度大,形成于印支期前,构成了 NE 向“S”状褶皱的边界;②中期的 E-W 向构造,地表为小褶皱、劈理带及陡立岩层带,深部则以宽缓背、向斜及断裂为主;③晚期的 E-W 向构造,其表现微弱,以压扭性断裂、挤压劈理构造叠加于中期 E-W 向构造之上。

(3) 南北向构造

南北向构造形成于燕山早期,主要为断裂、次为褶皱,从东到西规模和变形强度逐渐变小和减弱。NS 向断裂切割 E-W 向构造,使后者力学性质发生转化,重新活动,规模加大。E-W 向褶皱常限制 NS 向褶皱的发育,使后者枢纽呈“S”状弯曲。

(4) 北北东向构造

NNE 向构造形成于燕山期,具多期活动和脉动的特点,以断裂为主,褶皱、陡立岩层

带和劈理带为辅。浅部构造形迹不连续，深部延续性好，伴生的 NNW 向张剪性断裂发育。NNE 向构造以近于直交的形式切过 E-W 向构造，使 E-W 向褶皱一侧常被扭曲为 NNE 向；由于 NNE 向褶皱的叠加，常引起 S-N 向褶皱枢纽的弯曲。

（5）北西向构造

该类型构造比较复杂，分布较零乱，具多方向、多期次的特点，形成时代既有成矿前，也有成矿后。以断裂为主，褶皱偶有发育，经历了多期构造变动。

此外，铜陵地区沉积盖层中常发育逆冲推覆构造，表现为南北向逆掩断层和层间滑脱褶皱，对层控矽卡岩型铜矿床的形成、改造及破坏起了重要作用。推覆构造与层间滑脱最易发生在岩性差异最大的部位，如石炭系的白云岩—砂岩组合。矿化前的推覆构造所造成的空隙带、高渗透带成为岩浆和矿液运移的通道及有利于交代和储矿的场所。

第四节 岩浆岩

铜陵矿集区燕山期侵入岩浆活动十分强烈，与成矿关系密切。地表出露的岩体约有 70 多个，大多数分布于东西向展布的铜陵—南陵深断裂控制的岩浆成矿带之上（常印佛等，1991；吴才来等，2003），控制着区内铜官山矿田、狮子山矿田、新桥矿田、凤凰山矿田、沙滩角矿田等主要铜金（铁）矿产的分布（图 1.3），少数岩体分布于矿集区南侧的五贵桥、丁桥一带。

侵入岩岩石类型主要包括：①辉石二长闪长岩，分布于白芒山（朝山）、焦冲、舒家店等地，出露面积较小；②石英二长闪长岩，沿铜陵-南陵断裂广泛分布，是区内最主要的岩石类型；③花岗闪长岩，分布于瑶山、凤凰山等地；另有少量石英闪长岩、花岗岩脉、辉绿岩脉、煌斑岩脉等零星分布。

侵入岩浆活动是铜陵地区铜、金、铁、硫矿床成矿的主要控矿因素，对成矿起了主导作用，一方面直接提供了成矿物质的流体介质，另一方叠加改造原生沉积矿层（或矿源层）而形成层控矽卡岩型铜、铁、硫矿床（常印佛等，1991；唐永成等，1998）。同时，相当一部分矿体产于侵入岩与晚古生代、中生代的碳酸盐岩接触带上（如铜官山、凤凰山等地），使铜陵矿集区成为我国最重要的矽卡岩型铜、金矿集区之一；另有些岩体则成为斑岩型铜、金矿的直接容矿围岩，如沙滩角、冬瓜山深部、舒家店等。

铜陵矿集区的火山活动主要发育在东北部，与繁昌火山岩盆地接壤地区。繁昌火山岩盆

地早白垩世陆相基性—酸性火山岩广泛分布，可划分为四个喷溢堆积旋回（安徽省地质矿产局，1988），即下白垩统中分村组（K₁Z）、赤沙组（K₁C）、蝌蚪山组（K₁K）、三梁山组（K₁S），特征分述如下。

中分村组（K₁Z）：由爆发—喷溢 6 个不完整的喷发韵律组成一个不完整的喷发旋回，分属上、下两段。下段：下部为杂色含砾凝灰质粉砂岩、紫红色粗面质凝灰角砾岩；中部为灰紫色凝灰质含砾粉砂岩、杂色流纹质角砾凝灰岩，上部为灰紫色含砾沉凝灰岩与紫红色凝灰质粉砂岩韵律层。总厚约 23 米。上段：下部为肉红、浅黄色流纹岩、浅黄绿色流纹质角砾熔岩；上部为肉红色流纹岩、浅紫-肉红色流纹质角砾岩、流纹质凝灰角砾岩。总厚 23 米。

赤沙组（K₁C）：下部为紫灰、浅灰色粗面质熔角砾岩和紫灰色流纹质熔角砾岩及集块岩，与下伏中分村组呈喷发不整合接触；上部为浅灰、淡紫色粗面质熔岩、熔角砾岩、集块熔岩和淡紫色流纹质集块熔岩，厚约 90 米。

蝌蚪山组（K₁K）：与下伏赤沙组呈沉积不整合接触。下段厚度约 70 米，主要为沉火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩和正常沉积岩；中段厚度约 438 米，下部为玄武岩夹少量沉火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩，上部为安山岩和安山质火山碎屑岩夹少量沉火山碎屑岩；上段厚度约 139 米，下部为沉火山碎屑岩，中部为流纹质火山碎屑岩，上部为流纹质熔岩。

三梁山组（K₁S）：为不整合上覆于早白垩世蝌蚪山组之上的一套粗面质火山碎屑岩和粗面质熔岩，仅分布于三梁山一带。下部为紫红色凝灰质粉砂岩、灰紫色粗面质凝灰角砾岩，厚 17 米；上部为浅肉红色黑云母粗面岩、灰紫和紫灰色粗面质熔角砾岩，厚约 241 米。

第五节 矿床

铜陵矿集区矿产资源丰富，已发现各类矿床（点）180 余处，其中，大型矿床 4 处、中型矿床 19 处、小型矿床 33 处、矿点 96 处、矿化点 30 处。矿种以铜、硫、金为主，铅、锌、银、锰、铁次之，其它尚有钼、锑等。

按成矿作用划分，区内矿床类型（表 1.1）有：矽卡岩型、斑岩型、热液型、沉积热液叠加改造型、沉积型及风化淋滤型等，以及在此基础上的若干式、亚式，就矿体产状特征而言，又有整合型、不整合型以及不规则型（网脉型）三类，整合型主要指层控矽卡岩矿体，不整合型主要是指产于接触带和破碎带、裂隙带的矿体，不规则矿体系指角砾岩筒及斑岩型矿床。本区主要矿床类型矽卡岩型、热液型及斑岩型，沉积热液叠加改造型、沉积型及风化

淋滤型等。就工业价值而言，以矽卡岩型铜矿最为重要，同时，矽卡岩型金矿、矽卡岩型铜矿中的伴生金矿以及铁帽型金矿也具较大的工业价值。

表 1.1 铜陵矿集区铜、金矿床类型划分(据储国正, 2003, 有修改)

类型	式	主要控矿因素	矿化组合 (矿石组分)	矿床实例	矿体产 状
风化—淋滤型	铁帽红土型	层间破碎带, 原生含金硫铁矿	Au-(Fe)	黄狮涝、矾头、戴家冲	
沉积型		D ₃ w ² 和 C ₂₊₃ 砂页岩、白云岩、胶黄铁矿层, 层间滑动构造	S-(Au、Cu)、Fe	峙门口、桃园、叶山	整合型
热液型		断裂带+接触带, T _{2d} 白云质灰岩, 石英二长闪长岩, 二长闪长玢岩, C ₂₊₃ 层间裂隙	Ag-Au-多金属-S、S-(Au)	白芒山、鸡冠石、鸡冠山	
矗卡岩型	裂控式	薄层灰岩(大理岩)或岩体中裂隙构造	Cu	宝山陶	不整合型为主
	角砾岩筒式	角砾岩筒中原生裂隙, 石英二长闪长岩	Cu	东狮子山 1 号矿体	
	接触式	T _{1n} 薄层灰岩, T _{1h} 条带状灰岩, 接触带+断裂带, 花岗闪长岩, 石英二长闪长岩	Cu-Fe-(Au)、Cu-Au-(Cu)	药园山、胡村、包村、笔山	
	层控式	T _{1h} 条带状泥质灰岩, 层间裂隙, 石英二长闪长岩	Cu	西狮子山	整合型
		T _{1y} 钙质页岩夹灰岩, 层间裂隙, 石英二长闪长岩	Cu-(Au)	大团山	
		P _{2d} 白云质、硅质灰岩、硅质页岩, 层间裂隙, 石英二长闪长岩	Cu-(Mo)	老鸦岭	
		C ₂₊₃ 及 P _{1q} 灰岩, 含硅质层灰岩, 层间裂隙+接触带, 石英二长闪长岩	Cu-(Au) Au-(Cu)	花树坡、老庙基山、小铜官山 焦冲	
沉积—热液叠加改造型*		C ₂₊₃ (P _{1q})白云岩、胶黄铁矿层、菱铁矿层, 层间裂隙, 石英二长闪长岩	Cu-S-(Fe、Au)、Au-S-(As)	冬瓜山、新桥、天马山	整合型 为主
斑岩型		S ₃ 砂页岩, D _{3w} 砂页岩, 裂隙构造, 石英二长闪长岩	Cu	舒家店、冬瓜山深部	不规则型

*有学者将其归入块状硫化物型矿床(顾连兴等, 2003; 侯增谦等, 2004; 杨竹森等, 2004; 陆建军等, 2008;

蒋少涌等, 2008; 曾普胜等, 2004; 杨竹森等, 2004)。

第六节 地球物理场及地球化学场

重磁资料及莫霍面轮廓显示，长江中下游成矿带深部对应一地幔隆起带（翟裕生等，1992；唐永成等，1998），幔隆带最高的“中轴”附近控制了成矿带几乎所有主要矿床的分布（图 1.6），同时，航磁所反映的中生代岩浆岩带也与之配套出现，因此，现代幔隆可能在一定程度上反映了中生代的幔隆特征。

唐永成等（1998）将安徽沿江地区岩石圈结构划分为六大构造层，同时认为地壳在垂向上存在着明显的三层结构：在上、下地壳之间的 C 层附近发育 3 个岩浆活动中心（即深部岩浆房）；上地壳下部发育北北东（北东）向和北西向两组断裂，构成网状系统；上地壳上部发育三个“环带状”构造及铜陵地区的“口”字形扭动构造，且分布范围与 C 层三个岩浆中心相对应。这一垂向上的三层结构，由长江断裂带将其自上而下连通，构成一个统一整体，是控制安徽沿江地区构造格架、岩浆活动和成矿作用的关键因素。铜陵矿集区处在三个岩浆中心的纽带部位，岩浆活动极为强烈，对成矿极为有利，成为大中型矿床产生的有利地区。

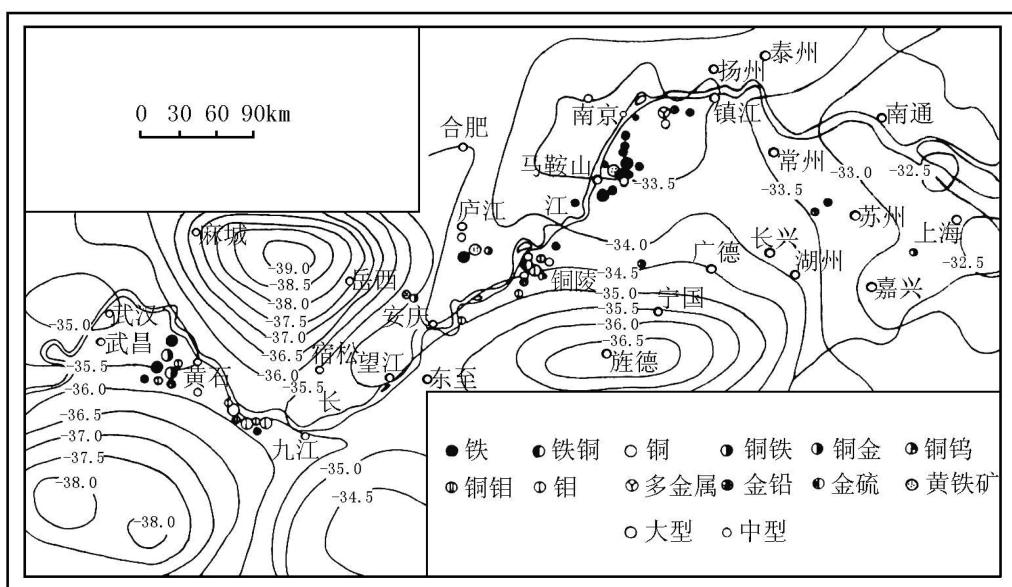


图 1.6 区域莫霍面深度及矿床分布图（据翟裕生等，1992）

1: 50 万重力及磁异常显示，铜陵矿集区重磁场与邻区相比具有特殊的形态，可分为南、北两大区域，北部地区表现为北东走向的重力异常带，主要由两条强度相等的重力低值组成；南部地区表现为东西走向的重力异常带（图 1.7）。这一重力场格局也显示出铜陵矿集区处在东西向构造和北东向构造的交汇部位，是遭受构造运动强烈的地区。

铜陵地区已获得的 1: 5 万深穿透地球化学测量结果显示，舒家店两侧具有两类异常组合，东部出现低温矿化的 Ag-Pb-Zn 异常，西部主要是 Cu-Au-W-Mo 等高温元素组合。同时，铜陵矿集区进行的反射地震和首波地震层析等深部地球物理探测（吕庆田等，2003，2005）结果显示，铜陵矿集区具有良好的深部“第二富集带”找矿前景。

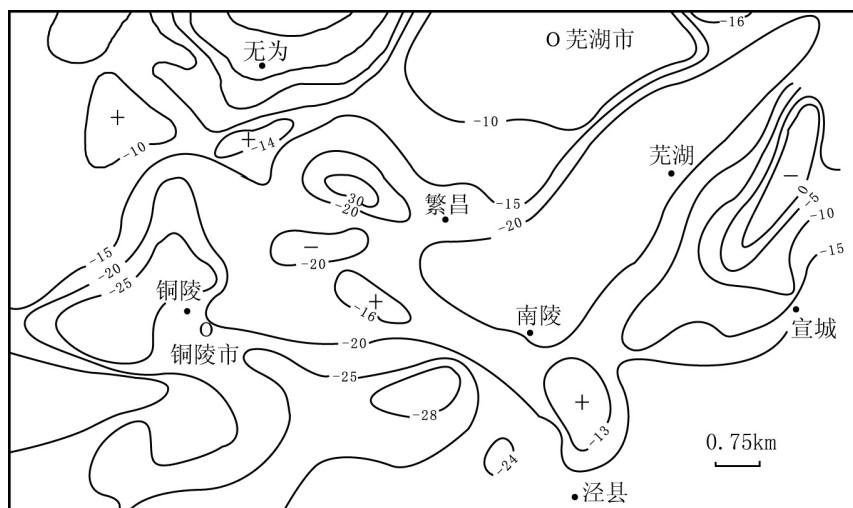


图 1.7 铜陵矿集区重力 Δg 异常图（据原地矿部第一物探大队，1990）

第二章 侵入岩

第一节 时空分布

铜陵矿集区侵入岩浆活动强烈，主要为燕山期中酸性小型侵入体。全区出露岩体共 76 个，总面积达 70 km^2 。单个岩体出露面积均在 10 km^2 以下，其中最大的凤凰山岩体为 9.5 km^2 ，小者仅 0.01 km^2 ，一般为 $0.5\sim5 \text{ km}^2$ 。岩体多呈中一浅成相的小岩体、岩枝或岩墙产出，剥蚀程度较浅。岩体分布总体呈近东西向及北西向展布（图 2.1），构成铜陵-戴家汇构造岩浆带，显示出基底东西向构造及中深部北西向构造对岩浆活动的控制。主要岩体包括：金口岭岩体、铜官山岩体、天鹅抱蛋岩体、狮子山岩体、鸡冠石岩体、白芒山岩体、顺安岩体、新桥岩体、凤凰山岩体、舒家店岩体、缪家岩体、沙滩角岩体、小青塘岩体等（图 2.1），其主要特征如表 2.1 所示。近年来，精确同位素定年显示，区内主要的侵入岩形成于晚侏罗世（ $145\sim137 \text{ Ma}$ ）（王彦斌等，2004a, 2004b, 2004c; Xu et al., 2004; Di et al., 2005; 张达等，2006；杜杨松等，2007；陆三明，2007；杨小男等，2007；谢建成等，2008）。

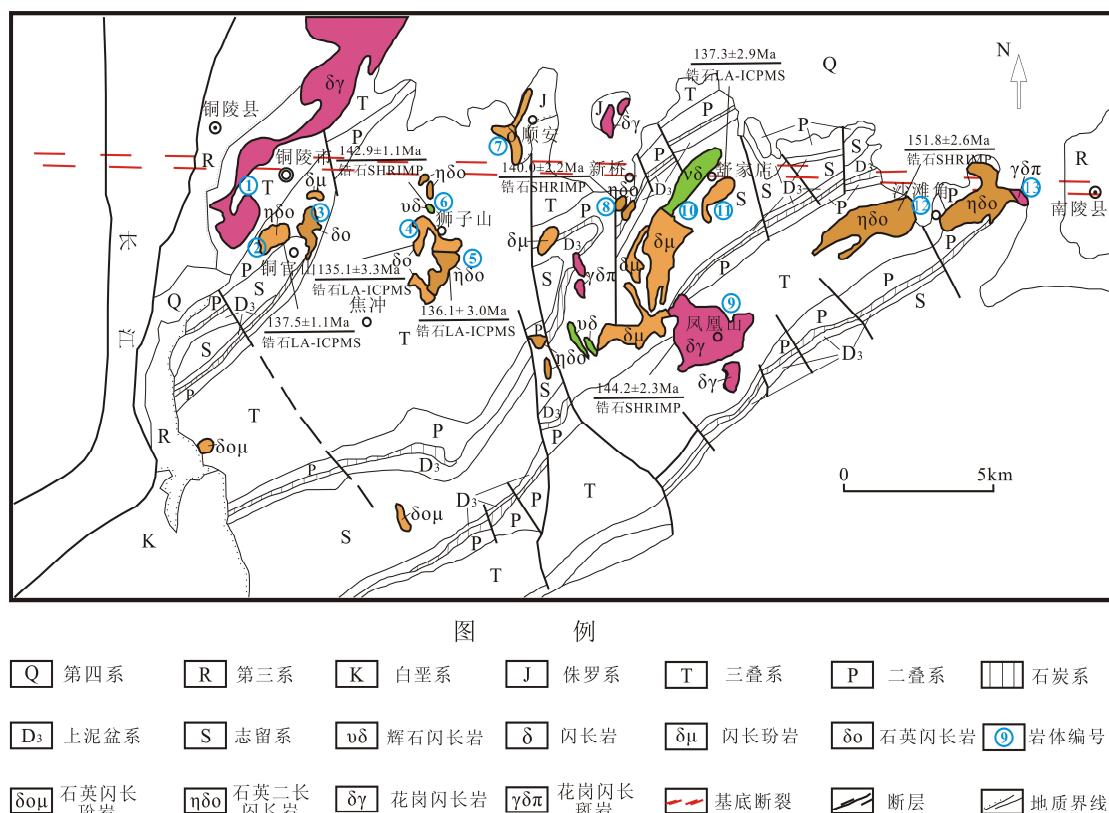


图 2.1 铜陵矿集区主要侵入岩时、空分布图

1-金口岭岩体，2-铜官山岩体，3-天鹅抱蛋岩体，4-狮子山岩体，5-鸡冠石岩体，6-白芒山岩体，7-顺安岩体，8-新桥（矶头）岩体，9-凤凰山岩体，10-舒家店岩体，11-缪家岩体，12-沙滩角岩体，13-小青塘岩体

从地表形态来看，矿集区内岩体长轴可呈北东、北北西、北北东和近南北等多方向延伸。岩体长轴呈北东向展布的岩体主要见于铜官山、沙滩角、戴家汇等地，主要分布于东部地区；呈北北西向展布的岩体主要分布在狮子山以北、矶头山及寨山一带，集中于中部地区；呈北西向展布的岩体主要分布在金口岭、焦冲—狮子山、六丰山等地，主要在西部地区；呈北北东向展布的岩体主要分布在西湖、顺安、天马山—虎山、舒家店—新桥头一带；此外，还有一些呈南北、东西向分布的小岩体。岩体的长轴方向与矿集区地表发育的不同方向、不同性质的断裂构造相对应，显示了主要受断裂构造控制的特征。区内岩体多集中成群成带分布，大体以铜官山、狮子山、舒家店、新桥头、凤凰山、沙滩角为中心组成若干岩体群，它们呈近东西向串珠状排列。

区内岩体侵入的围岩主要是志留系粉砂岩、上泥盆统五通组石英砂岩、中上石炭统碳酸盐岩和二叠系、三叠系的硅质页岩、灰岩、白云质灰岩等，岩体外接触带常发育矽卡岩化、角岩化和大理岩化等，岩体本身常发生矽卡岩化、钠长石化、绿泥石化、硅化、绢云母化等。岩体侵位的构造部位多为背斜轴部、背斜翼部、向斜轴部、向斜核部或断裂交汇处等。

表 2.1 铜陵矿集区主要岩体特征简表

编号	岩体名称	出露面 积(km ²)	主要岩性	形态和产状	控岩构造	蚀变	年龄及测试方法	矿化特征
1	金口岭	5	花岗闪长岩	不规则圆形，略向北西突出，为岩株	金口岭向斜南西端近轴部	矽卡岩化、透辉石化、绿泥石化、硅化	137.3 ± 1.4 Ma/K-Ar	K—Ar
2	铜官山	1.5	石英二长闪长岩	长圆形，向北东突出，岩株。北西、南东接触面产状均向北西倾	铜官山背斜北西端	矽卡岩化、透辉石化、碳酸盐化、绿帘石化、钾长石化	137.5 ± 1.1 Ma/LA-ICPMS	铜、铁、硫、金
3	天鹅抱蛋	0.8	石英闪长岩	不规则圆形，略向北东突，接触面倾向北西，为岩株	铜官山背斜北东端轴部	矽卡岩化、透辉石化、绿泥石化、绿帘石化、硅化	136.1 ± 3.0 Ma/LA-ICPMS	铜、金
4	狮子山	0.8	石英闪长岩	呈岩墙、岩枝状等小侵入体产出	青山背斜南东翼	矽卡岩化、透辉石化、绿帘石化、方柱石化	135.1 ± 3.3 Ma/LA-ICPMS	铜、金
5	鸡冠石	1.1	石英二长闪长岩	小型蘑菇状	青山背斜和朱村向斜翼部相互衔接部位	矽卡岩化、透辉石化、绿帘石化、方柱石化	136.1 ± 3.0 Ma/LA-ICPMS	银、金
6	白芒山 (朝山)	0.3	辉石闪长岩	呈岩墙	青山背斜北东段南东翼	矽卡岩化、透辉石化、钾长石化、硅化	142.9 ± 1.1 Ma/SHRIMP	金、硫
7	顺安	0.8	闪长岩	“3”字形，北西-南东向，倾向南	朱村向斜轴部略偏西	钾长石化、钠长石化、高岭土化		黄铁矿
8	新桥 (矶头)	0.5	石英(二长)闪长岩	不规则呈钳子形，北西侧倾向南东，南东侧倾向北西，呈岩株	舒家店背斜南西端北西翼	矽卡岩化、高岭土化	140.0 ± 2.2 Ma/SHRIMP	铜、金、硫、铅、锌
9	凤凰山	9.5	花岗闪长岩、闪长玢岩等	长轴近东西向椭圆形岩株产出	凤凰山向斜核部	钾长石化、钠长石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化	144.2 ± 2.3 Ma/SHRIMP	铜、铁、金
10	舒家店	2	辉石闪长岩	较规则长圆形，倾向北西，局部南西，呈岩株	舒家店背斜轴部	矽卡岩化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、高岭土化	138.2 ± 4.6 Ma/Ar-Ar	Ar—Ar
11	缪家	1	闪长玢岩	不规则椭圆形，长轴北东向岩株产出	舒家店背斜轴部	钾长石化、钠长石化	137.3 ± 2.9 Ma/LA-ICPMS	黄铁矿
12	沙滩角	12	石英二长闪长岩	不规则长圆形，倾向北西，呈岩株	凤凰山向斜核部及南东翼	矽卡岩化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化	151.8 ± 2.6 Ma/SHRIMP	铜
13	姚家岭(小青塘)	0.75	花岗闪长岩斑岩	东西向延伸，平面形态呈向南略突出的“月牙状”	戴公山背斜	钾化、碳酸盐化、高岭土化、绢云母化	136.5 ± 2.4 Ma/ LA-ICPMS	铜、金、铅、锌

第二节 岩石学特征

铜陵矿集区侵入岩主要有三种岩石组合：①辉石闪长岩—辉石二长闪长岩组合，分布于小铜官山、鸡冠山、白芒山、狮子山、杉木岭、舒家店、湖城涧、余村、老山、斗蓬山、曹山、焦冲等地，出露面积较小；②石英闪长岩—石英二长闪长岩组合，沿铜陵-南陵断裂广泛分布，是区内最主要的侵入岩类型，该组合岩体与铜、金、铁成矿关系密切；③花岗闪长岩组合，分布于瑶山、凤凰山、戴汇、外郎坑、大团山、沙滩角、小青塘等地，该组合岩体与铜、多金属成矿关系密切；另有少量花岗岩脉、辉绿岩脉、煌斑岩脉等零星分布。岩石组合主要特征分述如下，其中，岩石镜下照片据胡焕德（1994）。

（1）辉石闪长岩—辉石二长闪长岩组合

主要岩石类型为辉石闪长（玢）岩（图 2.2）、辉石二长闪长（玢）岩（图 2.3）。

辉石闪长（玢）岩：灰黑色，不等粒结构-斑状结构，斑晶主要由斜长石、角闪石、黑云母和辉石组成。斜长石，含量 15%，聚片双晶发育，自形板条状，最大者 $2\text{mm} \times 4\text{mm}$ ，一般约 $1\text{mm} \times 2\text{mm}$ ，环带结构发育。碱性长石约 5%，卡斯巴双晶。角闪石斑晶约 10%，棕色，最大者 $7\text{mm} \times 3\text{mm}$ ，一般约 $0.5\text{ mm} \times 2\text{mm}$ ，具黑云母反应边、或在黑云母边之外还有辉石和金属矿物反应边，另外含有少量绿色角闪石。黑云母，含量 3%，粒径约 $0.5\text{ mm} \times 3\text{mm}$ ，可见黑云母聚斑，中心粒度粗，向边缘粒度变细。辉石含量约 15%，半自形-自形，具环带结构，可见下列现象：辉石具有熔蚀核和熔蚀现象；辉石具黑云母反应边；辉石大斑晶包裹有角闪石，斜长石细脉沿裂隙或解理交代辉石。基质由细粒斜长石、角闪石和辉石组成，含量约 40%。金属矿物含量变化大，可达 17%。

辉石二长闪长岩：灰色，半自形粒状结构，矿物成分主要为斜长石、碱性长石、单斜辉石、角闪石。不含或含少量的石英，他形粒状。斜长石含量 40%~50%，自形板状，发育聚片双晶、卡钠复合双晶和肖钠复合双晶，具环带结构，最大者 $3\text{mm} \times 1\text{mm}$ ，一般约 $1.2\text{mm} \times 2\text{mm}$ ，包裹有熔蚀长石，具钠化边和熔蚀核；碱性长石 20%~25%，他形，发育格子双晶和卡斯巴双晶，高岭土化较强；深绿色角闪石 2%，他形，具黑云母、辉石和金属矿物反应边；单斜辉石，15%~20%，他形，可见斜长石包裹单斜辉石现象；榍石 3%~5%，少量磷灰石，自形。

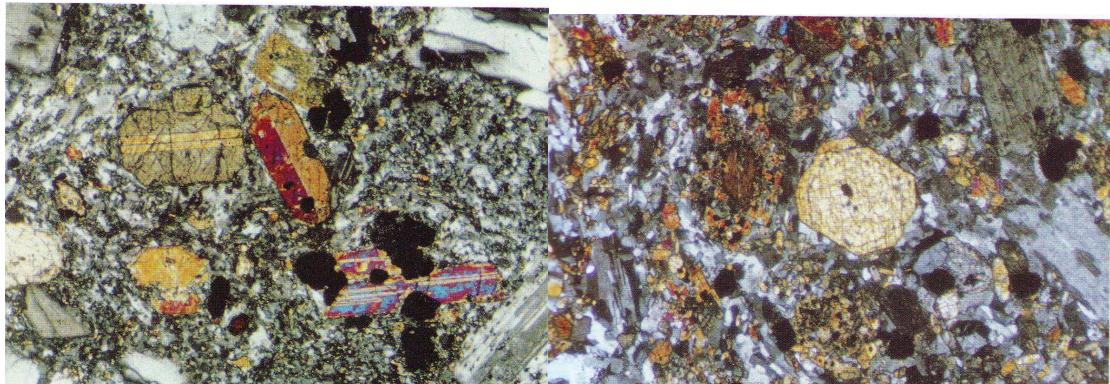


图 2.2 辉石闪长玢岩

斑状结构，斑晶为中—拉长石、普通辉石，两者呈半自形晶，不规则分布于基质中。中—拉长石具钠长石双晶。普通辉石见有聚片双晶。基质由微晶—细晶质的中长石和很少的石英、钾长石等组成。

正交偏光， $\times 50$ 产地：大团山

图 2.3 辉石二长闪长玢岩

斑状结构，斑晶为普通辉石、中性斜长石、角闪石，三者都呈半自形—自形晶。普通辉石横切面见有清楚的两组解理， $\{110\} \wedge \{110\} = 87^\circ$ 。呈自形斑晶，角闪石斑晶边部有透辉石交代边。中央仍保留完好的角闪石，斜长石斑晶为柱状体，有钠长石双晶和不明显的环带结构，基质由细粒的中长石、钾长石、透辉石和很少的石英等矿物组成。

正交偏光， $\times 50$ 白芒山东坡

(2) 石英闪长岩—石英二长闪长岩组合

主要岩石类型为石英闪长岩（图 2.4）、石英二长闪长岩（图 2.5）、闪长岩（图版 2.6）和闪长玢岩。

石英（二长）闪长岩：灰色，不等粒结构或似斑状结构。斜长石含量 40%，半自形—自形板状，发育聚片双晶、卡钠复合双晶，环带结构发育，斜长石具钠化边，具环带结构，斜长石包裹有熔蚀斜长石，可见斜长石具碎裂现象，有的斜长石裂开后并没有发生错位，裂隙又愈合；碱性长石，35%，不规则板状，卡斯巴双晶，具环带结构和钠化边，大颗粒碱性长石嵌晶状包裹着角闪石、斜长石、碱性长石和榍石，还可见碱性长石包裹有黑云母，黑云母又包裹碱性长石；角闪石 10%，角闪石包裹有碱性长石、黑云母、磷灰石和金属矿物；石英 8%~15%，不规则他形粒状，沿颗粒之间充填；少量金属矿物和榍石。常见硅化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、泥化和碳酸盐化等。



图 2.4 石英闪长岩

自形粒状结构，中性斜长石呈半自形板柱状晶体，具钠长石和肖钠双晶，环带结构，呈似斑晶状。斜长石韵律环带自内向外为 $An39 \rightarrow An35 \rightarrow An36 \rightarrow An30 \rightarrow An32 \rightarrow An30\%$ 。

在中性斜长石似斑晶间隙中有全晶质细粒石英、中酸性斜长石、钾长石和角闪石分布。

正交偏光， $\times 50$ 产地：铜官山

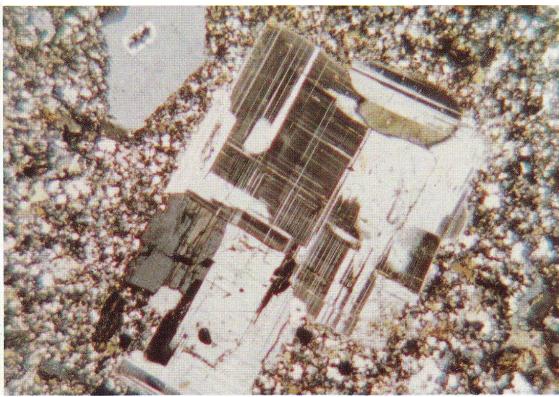


图 2.5 石英二长闪长斑岩

斑状结构，基质具微粒结构，斑晶为中性斜长石（An48%），呈自形、半自形板柱状，具卡钠复合双晶，晶粒内有第一世代中—拉长石（Ld）。基质由微晶斜长石、石英、钾长石组成。另见由棱角状的石英碎斑，受基质溶蚀，为早期 β 石英。

正交偏光， $\times 50$ 产地：胡村

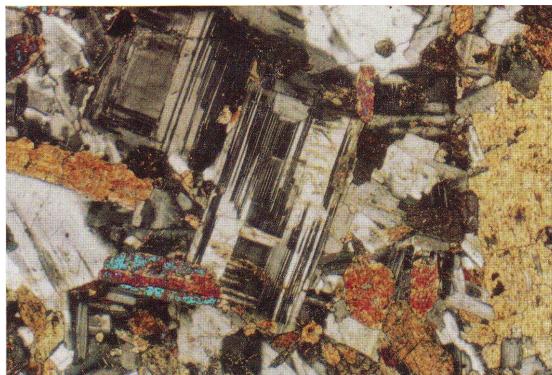


图 2.6 闪长岩

半自形粒状结构，似斑状结构，中性斜长石斑晶呈半自形柱状，具钠长石双晶（An45%）。

普通角闪石似班晶体，呈柱状外形。基质由半自形晶的中性斜长石、钾长石、角闪石组成。

正交偏光， $\times 50$ 产地：东狮子山



图 2.7 花岗闪长岩

半自形粒状结构，中酸性斜长石呈半自形、柱状颗粒，具钠长石肖钠双晶（An37%）；黑云母、角闪石为半自形晶；石英、钾长石为他行晶，颗粒较细，分布于前述矿物间隙。黑云母解理间隙有方解石、绿泥石次生物。

正交偏光， $\times 50$ 产地：凤凰山

主要岩石类型为花岗闪长岩（图 2.7）和花岗闪长斑岩。

花岗闪长岩：灰白色或略带肉红色，半自形粒状结构，块状构造。主要矿物为斜长石、角闪石、石英、钾长石和少量黑云母组成。斜长石，含量 60%~70%，呈自形-半自形，发育聚片双晶，粒径为 0.3~1.0mm，蚀变强烈，具熔蚀现象及环带结构，可见斜长石被熔蚀成瓶状，并包裹有熔蚀斜长石；角闪石（10%~15%），呈自形-半自形，长柱状，粒径为 0.3~0.8mm；

石英，含量 8%~15%，他形，颗粒大小比较均一，粒径约为 0.2mm，具熔蚀现象，呈港湾状或浑圆状；钾长石（10%~15%），呈半自形-他形，颗粒比较小，粒径小于 0.2mm；黑云母呈鳞片状，含量较少。副矿物主要为磷灰石、榍石、锆石和磁铁矿。

第三节 岩石化学特征

铜陵矿集区侵入岩体的 SiO_2 含量变化范围在 47.6~76.5 wt%，全碱含量 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 在 4.4~10.95 wt% 之间，其中 K_2O 含量变化范围在 1.3%~4.7%， $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ，但对于蚀变岩石样品，也出现 $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ 的情况，如绿泥石化、绢云母化或黄铁矿化等。矿集区各类侵入岩的全碱含量绝大多数高于中国同酸度岩石的全碱平均含量（黎彤和倪守斌，1990），显示区内侵入岩具有富碱的特点。

侵入岩 QAP 图解（图 2.8）显示，铜陵矿集区侵入岩体主要投于石英二长岩区，其次为闪长岩和花岗闪长岩区。

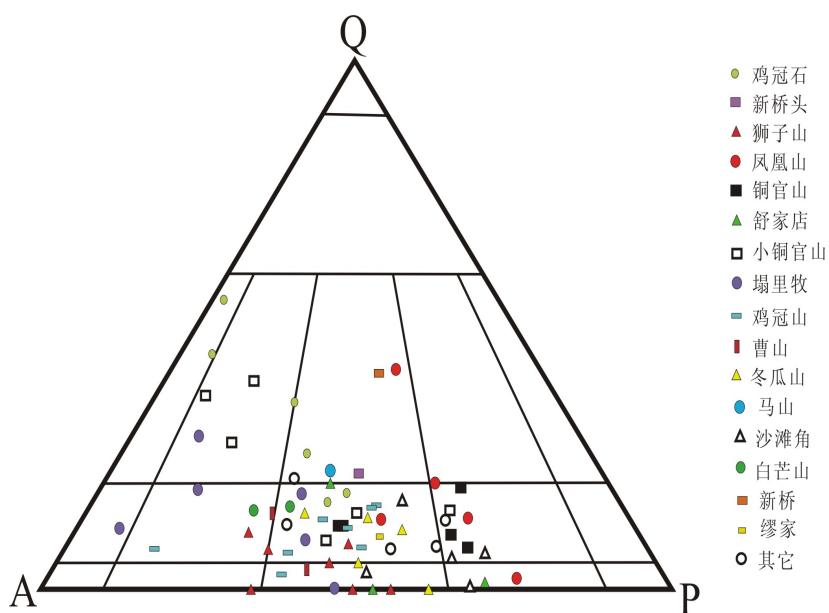


图 2.8 铜陵矿集区侵入体 QAP 图（数据来源于谢建成，2008；安徽省地质调查院，2005）

在硅碱图上（图 2.9）可以看出，区内侵入岩可分为碱性和亚碱性两大系列。其中辉石闪长岩组合岩石主要落在碱性系列；石英闪长岩组合岩石小部分样品落在碱性系列中，大部分样品落在亚碱性系列中；花岗闪长岩组合岩石样品全都落在亚碱性系列中。区内这些落入

碱性系列区域的样品点，除本身的高碱特征外，部分是由于蚀变作用造成的。

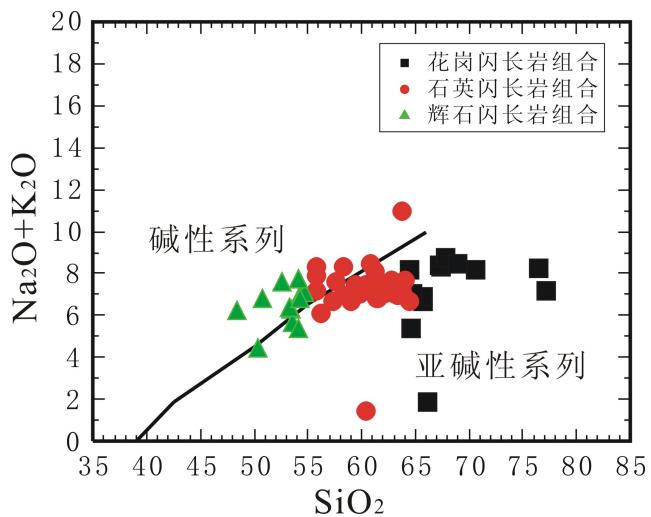


图 2.9 铜陵矿集区侵入岩硅碱图（数据来源于谢建成, 2008; 安徽省地质调查院, 2005; 王强等, 2003; 王元龙等, 2004; 杜杨松和李铉具, 2004）

在硅钾图上（图 2.10），除少数样品落在中钾钙碱性系列外，主要落在高钾钙碱性系列和橄榄玄粗岩系列，因此，区内侵入岩主要为高钾钙碱性系列和橄榄玄粗岩系列岩石。

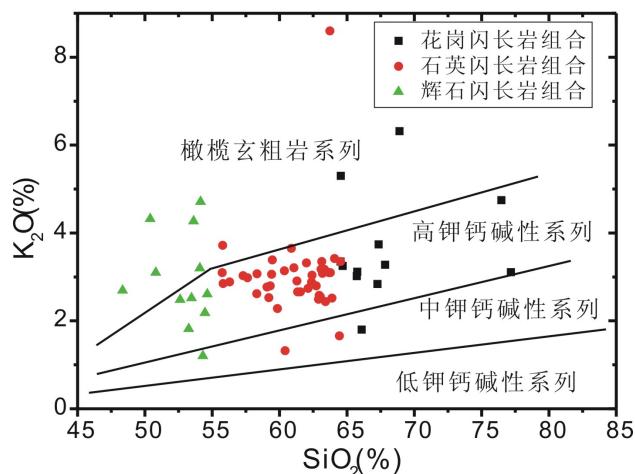


图 2.10 铜陵矿集区侵入岩 K₂O-SiO₂ 图（数据来源同图 2.9）

第四节 地球化学特征

一、稀土元素及微量元素特征

侵入岩的稀土总量变化于 $27.2 \times 10^{-6} \sim 386.72 \times 10^{-6}$ ，平均值为 162.12×10^{-6} ，其中辉石闪

长岩组合、石英闪长岩组合和花岗闪长岩组合岩石的稀土总量平均值分别为 218.08×10^{-6} 、 157.13×10^{-6} 和 126.19×10^{-6} ； $(La/Yb)_N$ 值在 $2.63 \sim 49.22$ 之间，平均值为 16.97 ； $(Ce/Yb)_N$ 值普遍大于 8；LREE/HREE 比值变化于 $4.00 \sim 27.53$ ，平均为 12.22 ，轻、重稀土分异明显。

球粒陨石标准化稀土配分模式显示，从偏基性岩到偏酸性岩（即辉石闪长岩到花岗闪长岩），区内侵入岩的稀土配分模式一致，均为向右倾斜的轻稀土富集型，反映了同源岩浆的特点（图 2.11），相似于下地壳岩石的稀土元素（Taylor, 1986）配分模式。

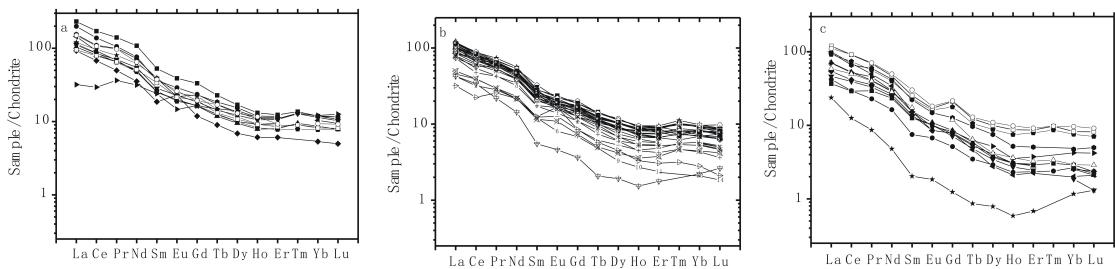


图 2.11 铜陵矿集区侵入岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式图（数据来源同图 2.9）

(a.辉石闪长岩组合; b.石英闪长岩组合; c.花岗闪长岩组合)

铜陵矿集区侵入岩的微量元素具有较高浓度的大离子亲石元素 (LILE; Rb、Ba、Sr、Th)，具有相对低含量的高场强元素 (HFSE; Zr、Nb、Hf、Y)，过渡金属元素 (Co、Zn) 含量变化较大，但矿集区侵入岩都明显地富集 Cu，区内三类侵入岩的原始地幔标准化曲线具有相似的型式（图 2.12）。

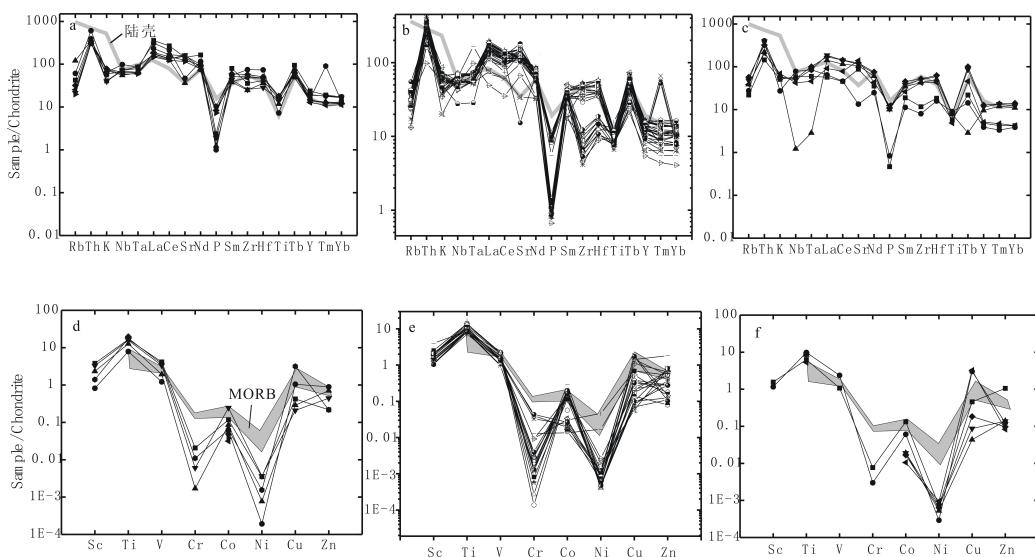


图 2.12 铜陵矿集区三类侵入岩微量元素原始地幔标准化蜘蛛图（数据来源同图 2.9）

a、d-辉石闪长岩组合, b、e-石英闪长岩组合, c、f-花岗闪长岩组合

二、Nd-Sr-Pb 同位素特征

铜陵矿集区侵入岩体的 Nd、Sr 同位素组成变化范围较大： $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t$ 变化范围在 0.706~0.7101 之间， $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化范围在 -6.3~ -17.4 (常印佛等, 1991; 陈江峰等, 1993, 1994, 1998; 邢凤鸣等, 1996; 吴才来等, 1996; 唐永成等, 1998; 王强等, 2003; 李进文, 2004; 高庚等, 2006; 谢建成等, 2008)，均一源区物质的部分熔融不可能产生这么大的同位素组成变化。 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和 $I_{\text{Sr}}(t)$ 的相关关系 (图 2.13) 显示, 区内三类侵入岩均分布于第四象限, 具负相关关系, 侵入岩的物质来源应为两种以上端元组成的混合物 (陈江峰等, 1994; Chen et al., 2001; 周涛发等, 2005)。同时, 区内侵入岩与扬子上、下地壳以及太古宙崆岭群杂岩、元古代董岭群斜长角闪岩的 Sr-Nd 同位素组成差异显著, 因此, 侵入岩直接由扬子上、下地壳以及太古宙崆岭群杂岩、元古代董岭群斜长角闪岩熔融形成的可能性很小。辉石闪长岩组合岩石的成分投影点相对集中, 均落在或接近地幔排列线中, 非常靠近庐枞火山岩分布区, 很可能与庐枞地区橄榄玄粗质和碱性系列岩浆岩 (王强等, 2003; 袁峰等, 2008) 相似, 应起源于富集地幔。石英闪长岩和花岗闪长岩组合岩石可能含有较多的古老地壳组分, 其变化的同位素组成可能与来自富集地幔的基性岩浆受地壳混染或幔源基性岩浆同下地壳源岩浆混合有关。已有研究 (谢建成, 2008) 表明, 分离结晶作用可能是铜陵矿集区辉石闪长岩组合和石英闪长岩组合岩石成分变化的主要原因, 花岗闪长岩组合岩石成分的变化可能受地壳混染和结晶分异 (AFC) 过程的控制。

在 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(t)$ 对 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ 图解中 (图 2.14), 铜陵矿集区侵入岩在整体上构成了明显的负相关关系。三类侵入岩主要沿着 EMII 演化趋势排列, 显然 EMII 端元组分的贡献较小, 其源区是以 EMII 端元组分特征为主。此外, 长江中下游地区侵入岩均具有 Nd 同位素富集的特点 (Chen et al., 2001; Zhou et al., 2005), 也指示了 DMM 端元对铜陵矿集区侵入岩源区的贡献不明显。

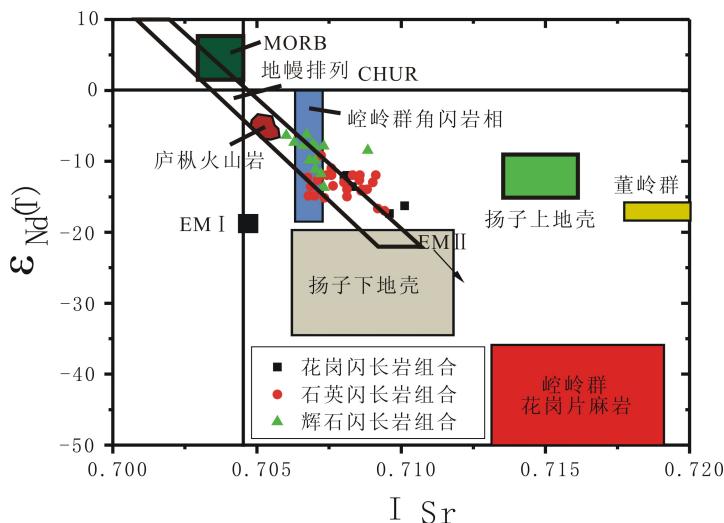


图 2.13 铜陵矿集区侵入岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ — I_{Sr} 相关图 (数据来源于谢建成, 2008; 陈江峰等, 1993; 邢凤鸣等, 1996; 唐永成等, 1998; 王强等, 2003; 李进文, 2004; 高庚等, 2006; 袁峰等, 2008)
MORB—大洋中脊玄武岩; DMM—亏损地幔端元, EM (I, II)—富集地幔端元, 引自 Zhinder et al. (1986);
Geochron—零等时线, 太古宙岺岭群 (KL) 引自 Qiu et al. (2000) 和 Ames et al. (1996); 董岭群 (DL)
引自 Xing (1994); 角闪岩相元古代岺岭群引自 Ma et al. (2000) 和凌文黎等 (1998); 庐枞地区岩浆岩引
自王强等 (2003)、袁峰等 (2008)、范裕等 (2008); 扬子下地壳和上地壳引自陈江峰等 (1993)、邢凤鸣
等 (1996) 和王强等 (2003)

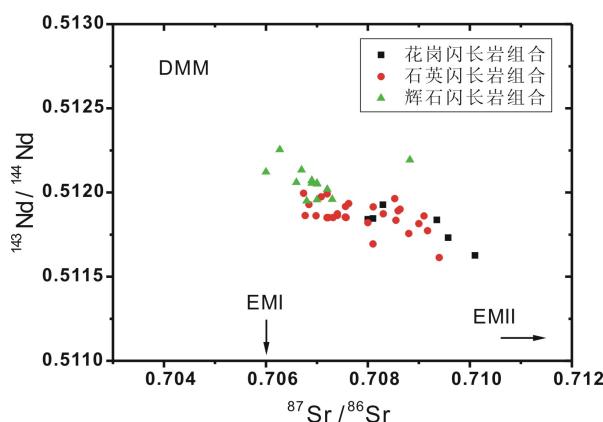


图 2.14 铜陵地区侵入岩 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(t)$ 对 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ 图 (数据来源同图 2.13)

侵入岩全岩 Pb 同位素组成变化范围为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(t) = 17.977 \sim 18.972$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(t) = 15.472 \sim 15.638$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}(t) = 37.075 \sim 39.107$ 。在 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ — $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 相关图上 (图 2.9a), 区内三类侵入岩均落在零等时线 (Geochron) 右侧并沿着北半球参考线 (NHRL) 分布, 且主要分布于中国大陆地幔演化线 (李龙等, 2001) 以上; 在 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$

$i - (^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 相关图上 (图 2.15b) , 三类侵入岩都落在了 NHRL 的上方, 并构成了大致平行于 NHRL 的正相关趋势, 显示铜陵矿集区侵入岩的源区相对于 NHRL 富 Th, 与我国华南岩石圈地幔 (Chen et al., 1998) 具有相似的特征。

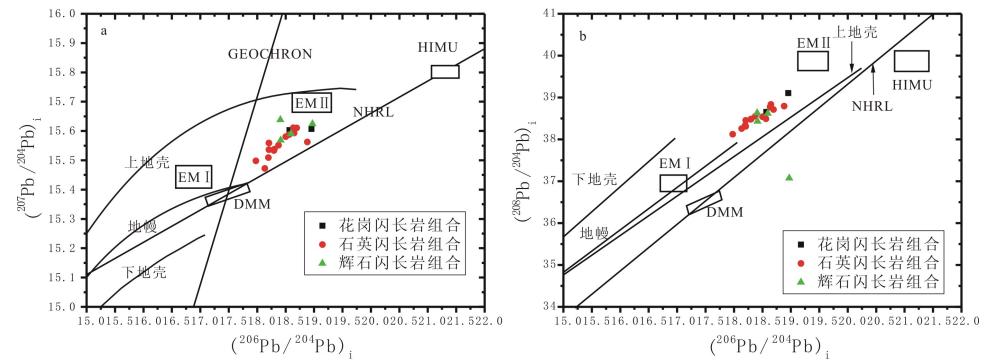


图 2.15 铜陵地区侵入岩 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i - (^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ (a) 和

$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i - (^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ (b) 相关图 (数据来源同图 2.13)

DMM—亏损地幔端元, EM (I, II)—富集地幔端元, 引自 Zhinder et al. (1986); Geochron—零等时线, NHRL—北半球参考线, 引自 Hart (1984); 中国大陆地幔、下地壳和上地壳, 引自李龙等 (2001)。

第五节 岩石成因

关于铜陵矿集区燕山期侵入岩已有较为系统全面的研究，并取得了丰硕的成果（常印佛等，1991；邢凤鸣和徐祥，1995，1996，1999；唐永成等，1998；Zhou and Li, 2000；Wu et al., 2000；吴才来等，2003；王强等，2003；汪洋等，2004；王元龙等，2004；李进文等，2007；周涛发等，2000，2008），但侵入岩的成因问题一直存在争议，主要的观点有：（1）幔壳岩浆混合或幔源岩浆经过 AFC 过程形成，有古老的扬子下地壳物质加入（陈江峰等，1993，1998；Wu et al., 2000；邓晋福等，2001）；（2）地幔岩浆在上升过程中经历了 AFC 过程，新生地幔物质在岩石中占主导作用（毛建仁等，1990；邢凤鸣等，1996；邢凤鸣，1998；唐永成等，1998；周涛发等，2000，2005）；（3）由古老的扬子下地壳熔融形成（杜杨松，1997；张旗等，2001a, 2001b；王元龙等，2004）；（4）区内 $\text{SiO}_2 > 55\%$ 的侵入岩可能由幔源岩浆与玄武质下地壳熔融形成的埃达克质岩浆混合形成（王强等，2003）；（5）区内侵入岩为埃达克质岩（汪洋等，2004；王元龙等，2004）；（6）区内侵入岩为三端元岩浆混合作用而成（狄永军等，2003；2005）。

基于已有成果及最新的同位素精确定年所指示的辉石闪长岩—辉石二长闪长岩组合、石英闪长岩—石英二长闪长岩组合、花岗闪长岩组合在成岩时代、岩石成因上的密切联系，铜陵矿集区燕山期侵入岩可能的成因模式见图 2.16（谢建成，2008）：

铜陵矿集区于晚中生代伸展构造环境下，发生了强烈而复杂的多层次岩浆底侵作用（吕庆田等，2003，2004）；来自富集地幔的碱性玄武质岩浆底侵至下地壳底部，地壳加厚同时下地壳发生部分熔融，形成深部岩浆房；部分玄武质岩浆注入到下地壳深位岩浆房中，与偏酸性岩浆发生混合而形成了闪长质—二长质混合岩浆；这种岩浆在演化过程中经历了一定程度的结晶分异和同化混染联合作用（AFC 过程）并侵位到地壳浅部，形成了区内分布广泛的石英闪长岩—石英二长闪长岩组合侵入岩，这类侵入岩具有混合结构特征（Wu et al., 2000；狄永军等，2003，2005）；深部岩浆房中的混合岩浆上升过程中使中、上地壳物质同化或熔融形成浅位岩浆房，产生的花岗质岩浆侵位到地壳浅部形成区内的花岗闪长岩组合侵入岩；少量的混染程度低的幔源碱性玄武质岩浆能够侵位到浅部并发生 AFC 过程，形成了辉石闪长岩—辉石二长闪长岩组合侵入岩。

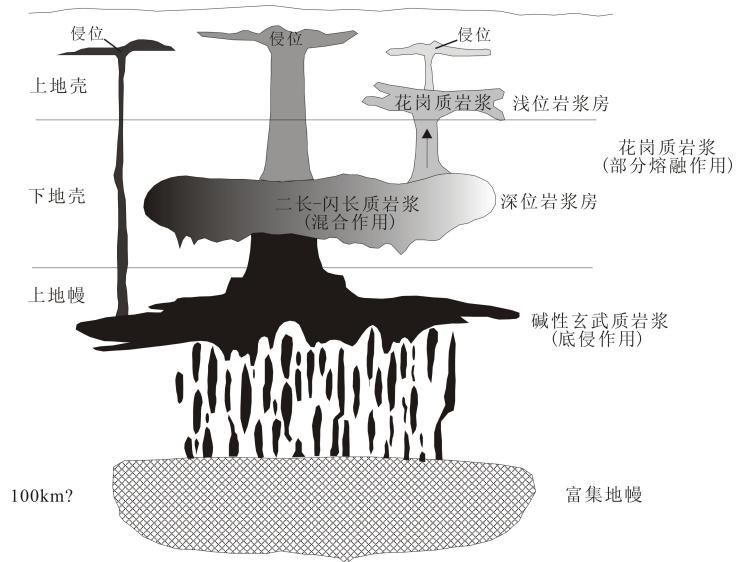


图 2.16 铜陵矿集区侵入岩成因模式图

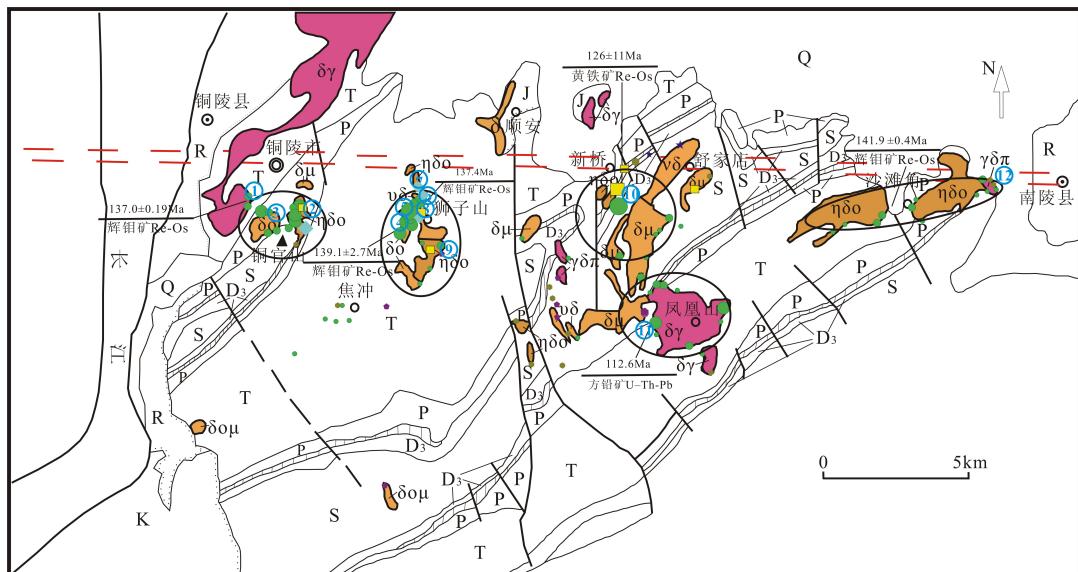
第三章 矿床

第一节 矿床时、空分布

铜陵矿集区内矿床（点）在空间上形成铜官山、狮子山、新桥、凤凰山、沙滩角等主要矿田，总体上沿铜陵—沙滩角构造—岩浆带呈近东西向展布，分布于南北宽不足10km的狭长带内，受基底断裂的交结点及其与盖层构造的交汇部位控制，并具近似等距分布特点（图3.1）。

在成矿时代上，铜陵矿集区存在三个成矿期：古生代，中生代和新生代，其中最主要的是中生代成矿，又以与燕山期岩浆活动有关的内生金属矿床为主。燕山期矿床（点）共计122个，占总数的67.8%，矿床形成时代集中在137~141Ma（Sun et al., 2003; 毛景文等, 2004; 曾普胜等, 2004; 周涛发等, 2008）（图3.1，表3.1），主要矿床特征如表3.1所示。新生代主要形成风化淋滤型铁帽，伴生铜、锰，共31个矿床（点），大多数属矿点和矿化点。古生代以同生沉积矿床（点）为主，计27个，矿种包括煤、磷、硫铁矿、锰、石灰岩等，部分可达中小型规模。

根据对区内108个燕山期内生矿床的统计分析，总体上由北向南可以划分为铁→铜→硫等三个矿带：沿北缘东西向隐伏基底断裂带以北为铁（硫）矿带，南缘木镇-烟墩铺东西向隐伏基底断裂带以南为硫（金）矿带，中部为铜（金、硫）矿带。以铜官山—沙滩角构造—岩浆带为中心，向两侧成矿强度减弱。矿床的分布明显与燕山期侵入岩体有关，一般由岩体向外矿化依次为Cu(Mo)、→Cu(Au)→Au(Cu)→Ag、Au、Pb、Zn，这种矿化分带充分反映出燕山期岩浆热液作用在铜陵矿集区金属成矿作用中所占的主导地位。



图例

[Q]	第四系	[R]	第三系	[K]	白垩系	[J]	侏罗系	[T]	三叠系	[P]	二叠系	[D3]	石炭系
[S]	志留系	[vδ]	辉石闪长岩	[δ]	闪长岩	[δμ]	闪长玢岩	[δo]	石英闪长岩	[δoμ]	石英闪长玢岩	[ηδo]	石英二长闪长岩
[δγ]	花岗闪长岩	[γδπ]	花岗闪长斑岩	[—]	基底断裂	[—]	断层	[—]	地质界线	[●]	铜矿床	[◆]	金矿床
[■]	硫铁矿	[●]	多金属矿	[●]	铅锌矿	[★]	铁矿	[○]	矿田及矿床编号				

图 3.1 铜陵矿集区主要矿床时、空分布图

1-金口岭矿床，2-天马山矿床，3-铜官山矿床，4-西狮子山矿床，5-冬瓜山矿床，6-朝山矿床，7-包村矿床，8-东狮子山矿床，9-鸡冠石矿床，10-新桥矿床，11-凤凰山矿床，12-姚家岭矿床

根据对铜陵矿集区 75 个燕山期铜矿床（点）作进一步的分析，在空间上，铜矿床（点）呈近东西向展布于本区中部且具有“铅锌夹铜金”的南北分带特点。沿铜陵—沙滩角一线岩浆活动强烈，其深部即为近东西向的基底断裂带，集中了铜官山、狮子山、新桥、凤凰山、沙滩角等绝大部分铜、金、硫矿床，并伴有铁、钼等；向两侧岩浆活动强度降低，铅、锌矿化相对较强。在垂直方向上，往往表现为上金下铜的分带现象。金矿床通常产于表壳浅部，如包村、朝山金矿和鸡冠石银金矿床；铜矿床则位于中-深部，如东狮子山、西狮子山、花树坡、大团山、老鸦岭、胡村、冬瓜山等铜矿床。在狮子山矿田，不同类型的矿床主要沿青山背斜近核部的南东翼一侧分布且赋存于不同的地层层位中：斑岩型铜金矿床位于深部岩体中的内接触带、层控矽卡岩型块状硫化物铜（金）矿床赋存于黄龙组—船山组，位于最深部；层间矽卡岩型铜金矿床赋存于栖霞组—和龙山组中，位于中部；隐爆角砾岩筒型铜金矿床（体）位于中浅部，热液脉型铜金矿床（体）位于最浅部。

表 3.1 铜陵矿集区主要矿床特征简表

编号	矿床名称	矿化类型	规模	赋矿围岩	矿体产状	矿石类型	金属矿物	蚀变类型	控矿构造	成矿年龄及测试方法	成因类型
1	金口岭	铜、金	小型	三叠系下统南陵湖组	不规则脉状和透镜状	黄铜矿矿石、黄铁矿矿石、磁铁矿矿石	黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿	矽卡岩化、钾、钠长石化、绿泥石化、碳酸盐化、硅化	构造和接触带控矿	137.0±0.2Ma (辉钼矿 Re-Os 法)	层控矽卡岩型
2	铜官山	铜、铁、硫、金	中型	五通组、石炭-二叠系地层	矿体呈层状、似层状、透镜状及不规则状	黄铜矿矿石、黄铁矿矿石、磁铁矿矿石	磁铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、胶状黄铁矿、少量闪锌矿、辉钼矿和白钨矿	矽卡岩化、蛇纹石化、云母化、滑石化和硅化	接触带构造和构造裂隙控制	135.5±0.5 Ma、145.0±0.5 Ma (铬云母 Ar-Ar 法)	层控-接触-斑岩复合型
3	天马山	金、硫	大型	石炭系	矿体呈似层状、层状、透镜状、囊状、筒状	黄铜矿矿石、黄铁矿矿石、磁铁矿矿石、磁黄铁矿矿石	磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、胶状黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿	黄铁矿化、碳酸盐化、蛇纹石化、硅化、绢云母化、绿泥石化、赤铁矿化	褶皱和层间断裂		高中温热液充填(-交代)型
4	西狮子山	铜、金	中型	下三叠统和龙山组及殷坑组	层状、似层状及透镜状	含铜矽卡岩矿石、含铜磁黄铁矿矿石、含铜黄铁矿矿石	黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、方黄铜矿、自然金	钾化、矽卡岩化、蛇纹石化、碳酸盐化、滑石化、绿帘石化、绢云母化、高岭石化	层间裂隙及顺层滑脱构造		层间矽卡岩型
5	冬瓜山	铜、金	大型	上石炭统黄龙组及船山组	略向上凸的弯月形、透镜状	含铜磁铁矿矿石、含铜矽卡岩矿石、黄铁矿矿石	磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、金银矿、自然金、闪锌矿、菱铁矿、白铁矿	钾化、矽卡岩化、蛇纹石化、碳酸盐化、滑石化、绿帘石化、绢云母化、水云母化、高岭石化及石膏化	层间滑脱构造带	137.4Ma(辉钼矿 Re-Os 法)	层控矽卡岩型-斑岩型
6	朝山	金	中型	中、早三叠世	多呈透镜状、薄板状、脉状	含金黄铁矿矿石、黄铁矿矿石、含金磁黄铁矿矿石、含金矽卡岩矿石	磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、胶状黄铁矿、自然金、金银矿、金银	钾长石化、高岭土化、硅化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、碳酸盐化	接触带及构造破碎带控制		矽卡岩型

						矿、自然铋、辉铋矿				
7	包村	金	小型	塔山组和南陵湖组	呈脉状、透镜状、不规则状	含金铜黄铁矿矿石、含金铜磁黄铁矿矿石和含金角砾岩矿石	磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、自然金、辉铋矿、变胶状黄铁矿、菱铁矿、铋族矿物	黄铁矿化、硅化和菱铁矿化	侵入接触—断裂破碎带（包村断裂）	矽卡岩型
8	东狮子山	铜、金	中型	下三叠统南陵湖组	似层状、透镜状、鞍状、脉状、不规则状	矽卡岩矿石、浸染状矿石、硫化物矿石和角砾岩矿石	黄铜矿、菱铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿	钾化、矽卡岩化、蛇纹石化、碳酸盐化	裂隙控制和隐爆角砾岩筒控制	矽卡岩型
9	鸡冠石	银、金	小型	中三叠统东马鞍山组	脉状、似脉状或不规则状、透镜状、似层状	金矿石、银矿石、金银矿及银金矿、黄铁矿矿石、菱铁矿-硫化物型矿石、磁铁矿型矿石	自然金、自然银、黄铁绢英岩化、钾长石化、矽卡岩化、磁铁矿化	构造裂隙或接触带控制		矽卡岩-中低温热液充填交代型
10	新桥	铜、金、硫	大型	石炭一二叠纪	似层状一层状、呈透镜状、脉状和不规则状	铜矿石、黄铁矿石、铁矿石、铅锌矿石、金矿石	磁铁矿、黄铁矿、胶黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然金	矽卡岩化和硅化、绿泥石化、硅化-碳酸盐化	层间（滑脱）破碎带 126±11Ma（黄铁矿 Re-Os 法）； 112.6±7.8Ma（黄铁矿 Rb-Sr 法）	沉积-热液叠加改造型
11	凤凰山	铜、铁、金	中型	三叠系下统和龙山组、南陵湖组	似板状、透镜状、脉状、囊状	黄铜矿矿石、含铜黄铁矿矿石、磁铁矿矿石	铜矿物，贱金属硫化物以及氧化物等构成	钾长石化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、黝帘石化-绿帘石化	断裂构造逐级控制	接触交代矽卡岩型
12	姚家岭	铜、铅、锌、金	大型	石炭系至二叠系	透镜状、脉状	铅锌矿石、黄铁矿矿石、黄铜矿矿石	黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等	高岭土化、钾化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、硅化及大理岩化	接触带及层间裂隙 136Ma	中低温热液充填交代-斑岩型

第二节 典型矿床

一、铜官山铜铁金矿床

铜官山铜铁矿床的发现年代久远，开发利用历史悠久，矿区古采坑、废矿堆和古炼渣遍布。据历史记载，南朝（公元 420-571 年），就有“铜官山”之称，有炼铜场。唐代开元年间（公元 713-741 年），铜官山称“利国山”，设铜官监督开采铜矿，后停止。清末至民国年间，陆续有地质学者进入该区调查和勘测出露于地表的铁矿，1938 年，日军侵华，铜陵沦陷，日军掠夺性开采铁矿并运回日本冶炼，偶尔发现铁矿石中含铜，继而开展铜陵地区铜矿勘探，重新发现铜矿体。1949 年，新中国成立后，该矿床的勘探和开发进入了新的历史阶段（中国矿床发现史（安徽卷）编委会，1996），321 地质队等单位为该矿床的深入勘探作出了主要贡献。

1. 地质概况

铜官山铜铁金矿床位于铜官山矿田的中部，铜官山倒转短轴背斜之北西翼，处于铜陵-戴汇 E-W 向构造岩浆带西端南侧，NE 向与 EW 向构造交汇处，西邻长江破碎带。矿区内出露志留系至三叠系的海相碎屑岩、碳酸盐岩，总厚可达 3000~4000 米。区内主要构造为近东西向、北东向、北北东向以及北西向，主要岩浆岩岩石类型有石英二长闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩等，其中与成矿关系密切的岩体为铜官山石英二长闪长岩体（图3.2）。铜官山矿床包括了松树山、老庙基山、小铜官山、老山、宝山、白家山、罗家村和笔架山等八个矿段，石炭系黄龙组、船山组及二叠系栖霞组、孤峰组地层与石英二长闪长岩体接触带为该矿床重要的成矿与赋矿部位（图3.3）。

2. 矿化特征

铜官山矿床中，铜矿石储量约 2 千万吨，平均品位 1.06%，铜金属量约 21 万吨。根据矿体产状、形态、矿石组合和蚀变类型，矿体可分为三种类型，矽卡岩型矿体、层状矿体及细脉浸染状矿体。

铜官山矽卡岩型矿体主要产于石炭-二叠系地层与石英闪长岩的接触带及其附近，受接触带构造控制，为典型的接触交代型矽卡岩型矿化，如老庙基、笔山和小铜官山矿段的上部矿体。矿体呈透镜状或不规则状，规模一般较小。围岩蚀变以石榴子石、透辉石矽卡岩

化为特征。金属矿物主要有磁铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿等；非金属矿物有石榴子石、钙铁辉石、透辉石、阳起石、绿泥石、石英、方解石等。矿石常见交代溶蚀、交代充填、交代残余结构，主要有块状、脉状构造等。

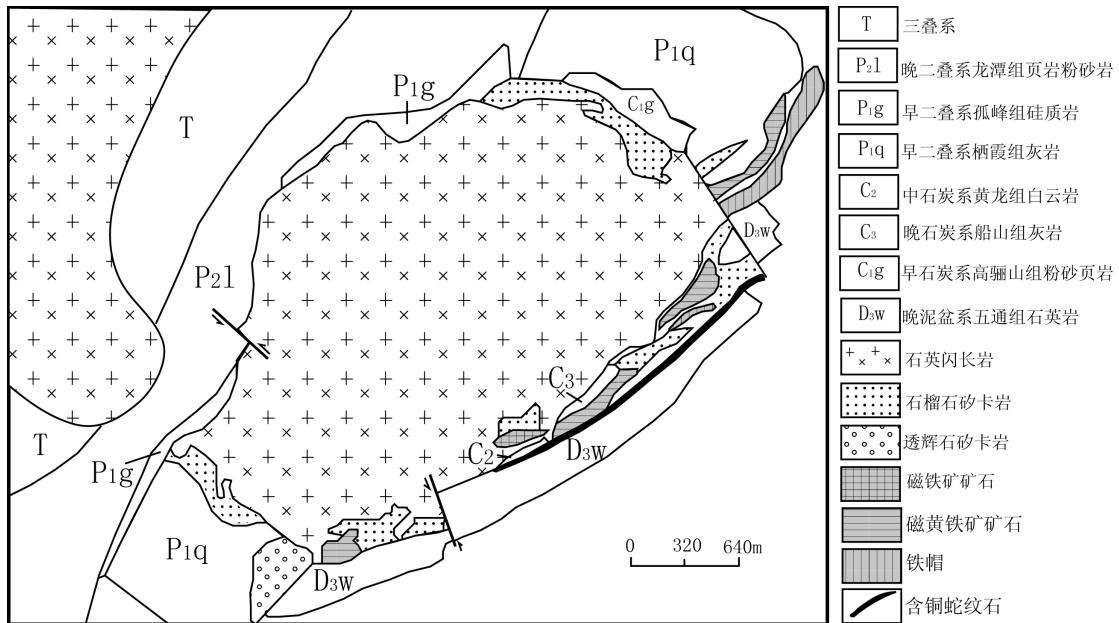


图 3.2 铜官山矿床地质图 (据袁见齐等, 1986)

主矿体产于五通组上段与黄龙组白云岩段之间，严格受白云岩段控制；矿体呈层状、似层状，延伸稳定。局部矿体延伸与矽卡岩型矿体连接时则构成“L”状矿体（图 3.3）。金属矿物主要有磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿，次要有较多的胶状黄铁矿；脉石矿物除石榴子石、透辉石外，还出现蛇纹石、滑石、金云母、镁橄榄石、绿泥石、石英、方解石等。从远离岩体的外接触带至岩体，金属矿物变化为：胶状黄铁矿→黄铁矿→磁黄铁矿→磁铁矿；结构上由莓球状、胶状为主→以变晶为主→交代残余和自形、半自形晶为主；矿石构造由层纹状→条纹状→块状；铜矿化强度由弱变强；均显示了岩浆热液叠加的特征。矿石中还具有大量的原始沉积构造，反映可能有早期同生成矿作用的存在，而后期矽卡岩化、热液成矿作用的叠加使矿体进一步富集。

细脉侵染状矿体见于石英（二长）闪长岩与五通组上段的石英矽卡岩接触带部位，矿体形态不规则，主要受构造裂隙控制，以细脉浸染状铜矿为主，规模很小。矿化可分为含铜蚀变闪长岩和含铜石英脉两类。主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿，少量闪锌矿、辉钼矿和白钨矿；非金属矿物主要为石英、黑云母、绢云母、长石和少量白云母。

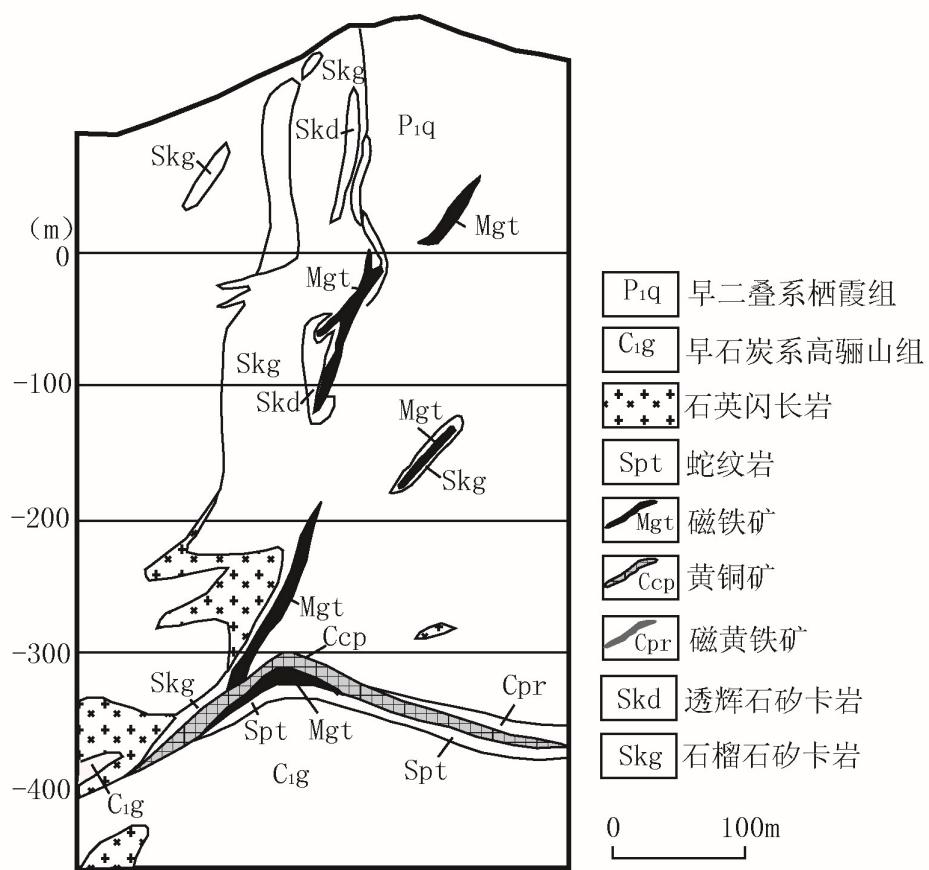


图 3.3 铜官山笔山矿段剖面图（据安徽省地勘局 321 地质队，1995）

3. 蚀变特征

矿区主要蚀变类型有：矽卡岩化（石榴石矽卡岩化和钙铁辉石-透辉石矽卡岩化）、蛇纹石化（叶蛇纹石化和利蛇纹石化）、云母化（金云母化、黑云母化和绢云母化）、滑石化、硅化等。同时，在石炭系地层与石英二长闪长岩的接触带及其附近有如下分带特征：

- (1) 石英二长闪长岩：斜长石+角闪石+石英+钾长石。
- (2) 蚀变石英二长闪长岩：(方柱石+) 黑云母+绿泥石+斜长石+石英，见有钙铝榴石（含钙铝榴石分子70.30%）矽卡岩脉。
- (3) 矽卡岩带：①钙铁榴石（含钙铁榴石分子67.29%~99.59%）+次透辉石+方解石，一般宽几米至几十米；②磁铁矿+硫化物+方解石，磁铁矿呈粗粒状，局部具石榴石假象和环带；③透辉石+钙铁辉石+方解石，一般宽几米至几十米。
- (4) 大理岩带：硅灰石+透闪石+方解石，一般宽几米至几十米不等。
- (5) 角岩带：石英+黑云母+少量红柱石。

4. 成矿流体特征

铜官山岩体中角闪石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $+7.0\text{\textperthousand}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-51.9\text{\textperthousand}$; 从岩体→蚀变矿物→金属矿物（磁铁矿）→石英，其 $\delta^{18}\text{O}$ 值随温度的降低而增加，如矽卡岩（上部）中石榴子石为 $+3.92\text{\textperthousand}$, 磁铁矿为 $+3.84\text{\textperthousand}$, 石英为 $+15.4\text{\textperthousand}$, 而含矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值则从 $+7.92\text{\textperthousand} \rightarrow +9.94\text{\textperthousand} \rightarrow +10.66\text{\textperthousand}$, 呈逐渐增加趋势；石英中 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值变化为 $-62.0\text{\textperthousand} \sim -87.7\text{\textperthousand}$; 这些均显示出成矿热液主要为岩浆水，有部分大气降水的加入（田世洪等，2005）。

上述氢、氧同位素组成特征表明，铜官山矿床成矿早期热液以岩浆水为主，结合矿石、矽卡岩及石英二长闪长岩的稀土元素特征，指示热液主要来源于闪长质熔体的熔-流分离，随着成矿作用过程的进行，成矿热液水中有大气降水的加入。

5. 成矿物质来源

铜官山矿床中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值范围为 $+6.0\text{\textperthousand} \sim -9.9\text{\textperthousand}$, 主要集中于零值附近，具岩浆来源的特征；地层中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+2.5\text{\textperthousand} \sim -4.4\text{\textperthousand}$, 矿石中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 也有部分为负值，表明在岩浆演化和成矿过程中有部分地层硫的混入（田世洪等，2005）。常印佛等（1991）、唐永成等（1998）研究表明，铜官山矿床成矿物质主要来自于深部，与闪长岩-石英闪长岩-二长岩岩浆系列同源，部分硫、铁及少量铜可能来源于黄龙组下部胶黄铁矿层。

6. 成矿时代

Wu et al. (2000) 对铜官山矿床中的方铅矿进行了 U-Th-Pb 法定年，获得的年龄为 118 Ma。蒙义峰等 (2004) 分别对小铜官山和老庙基矿段矿石中的铬云母进行了 Ar-Ar 法定年，获得的年龄分别为 135.48 ± 0.45 Ma 和 144.93 ± 0.44 Ma。曾普胜等 (2004) 对金口岭矿段矿石中的辉钼矿进行了 Re-Os 同位素定年，获得的等时线年龄为 137.0 ± 0.19 Ma。因此，铜官山矿床的成矿时代应为 137.0 Ma 左右。

7. 矿床成因

铜官山铜矿床属于层控型、接触交代型和斑岩型等多类型（式）的复合矿床，是我国典型的矽卡岩型铜矿床之一，具有“三位一体”的模式（常印佛等，1991）：从岩体向围岩方向，出现石英闪长岩中铜矿体→接触带铜（铁、金）矿体→外接触带似层状铜、金（铁）矿体的三元组合；从深部向浅部，随着围岩层位及岩性的差异，则表现为石英闪长岩中及其与五通组接触带上的铜矿体（化）→中石炭统中铜、金（铁）矿体→上石炭-二叠系中铜（铁、金）矿体的三元组合。

二、天马山金矿床

1958-1961年，安徽省地勘局321地质队，在对铜官山矿区硫铁矿进行勘探时，于天鹅抱蛋岩体的南侧发现了天鹅抱蛋金矿（中国矿床发现史（安徽卷）编委会，1996），后华东冶金地勘局812地质队在天鹅抱蛋岩体的东侧发现了马山金矿。天鹅抱蛋金矿和马山金矿被合称为天马山金矿。至1992年，华东冶金地勘局812地质队对天马山金矿继续开展补充普查工作，大致查明了矿床总体规模，扩大了矿床储量。天马山金矿床是长江中下游成矿带内发现的独立金矿床，也是安徽省境内较早发现的中大型金矿床之一。

1. 地质概况

天马山金矿床位于铜陵市区的北东部，矿床处在铜官山不对称背斜转折端靠近轴部的东南翼，天鹅抱蛋山岩体的东侧（图3.4）。矿区地表出露二叠系、三叠系中下统地层，深部经钻孔揭露有石炭系船山组、黄龙组和泥盆系上统五通组；其中石炭系是最主要的容矿围岩，主要岩性包括中部的厚层状白云岩和石灰岩及上部的厚层状石灰岩、球状灰岩（图3.5）。矿区发育的天鹅抱蛋山岩体出露面积0.8km²，向南东方向侵入于二叠系栖霞组之中，为多次侵入的复式杂岩体，主体为石英闪长岩。矿区主要断裂有北北东向、北西向和北东向的三组层间断裂，具多期活动的特点，对岩体和矿体的形成有明显的控制作用。

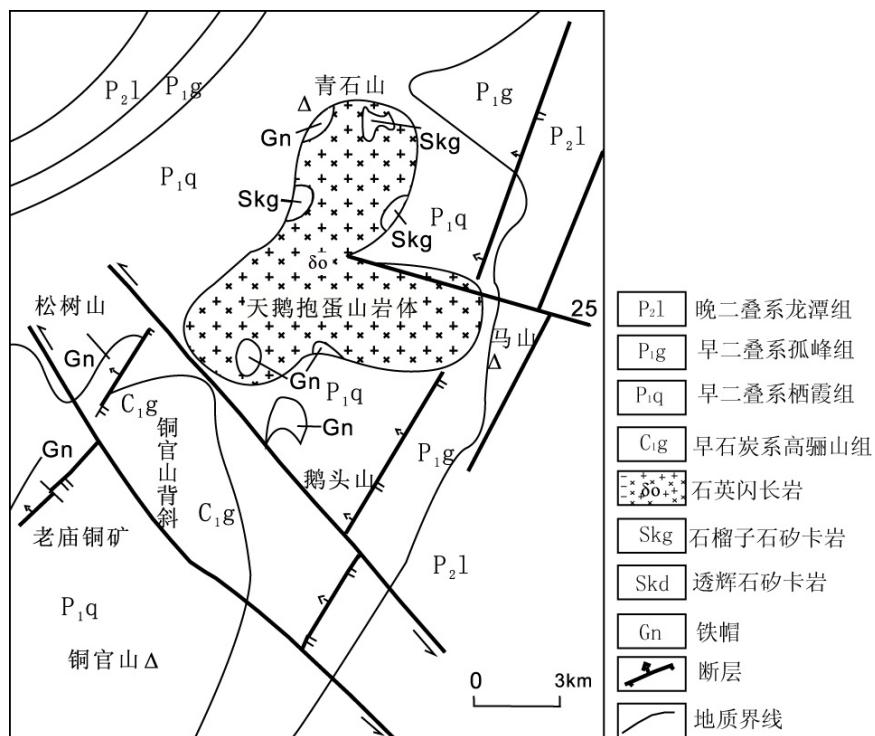


图3.4 天马山金矿床地质图（据王银宏，2005）

2. 矿化特征

天马山金矿床中，矿体以金、硫为主，并伴有铜、铅、锌、砷等多种元素，其中金储量45.8吨，块状硫化物矿石中Au平均品位 10.1×10^{-6} 、浸染状矿石中Au平均品位 6.75×10^{-6} 。矿体赋存标高为近地表+71米~-800米，-100米以上称天鹅抱蛋山（简称天山）矿段，-100米以下称马山矿段。

根据矿体的赋存部位及矿体与地层的关系，可将天马山金矿床的矿体分为层状矿体、接触带矿体和脉状矿体。接触带矿体主要是天山矿段的V号矿体及小矿体，产于岩体与栖霞组灰岩的接触带上，矿体呈透镜状、囊状，形态复杂，产状不稳定，局部近于直立，具矽卡岩型矿体的典型特征。脉状矿体主要是天山矿段的I、II号矿体，赋存在石炭系黄龙组灰岩、船山组灰岩与二叠系栖霞组灰岩交界处附近，矿体呈不规则透镜状、囊状、筒状，产状较陡，与地层产状不一致。层状矿体产状与地层一致，如天山矿段的III号矿体，主要赋存在黄龙组白云岩与泥盆系五通组交界处。马山矿段的矿体主要为层状矿体，赋存在黄龙组灰岩和船山组灰岩交界处及黄龙组大理岩下部，矿体呈似层状、层状。

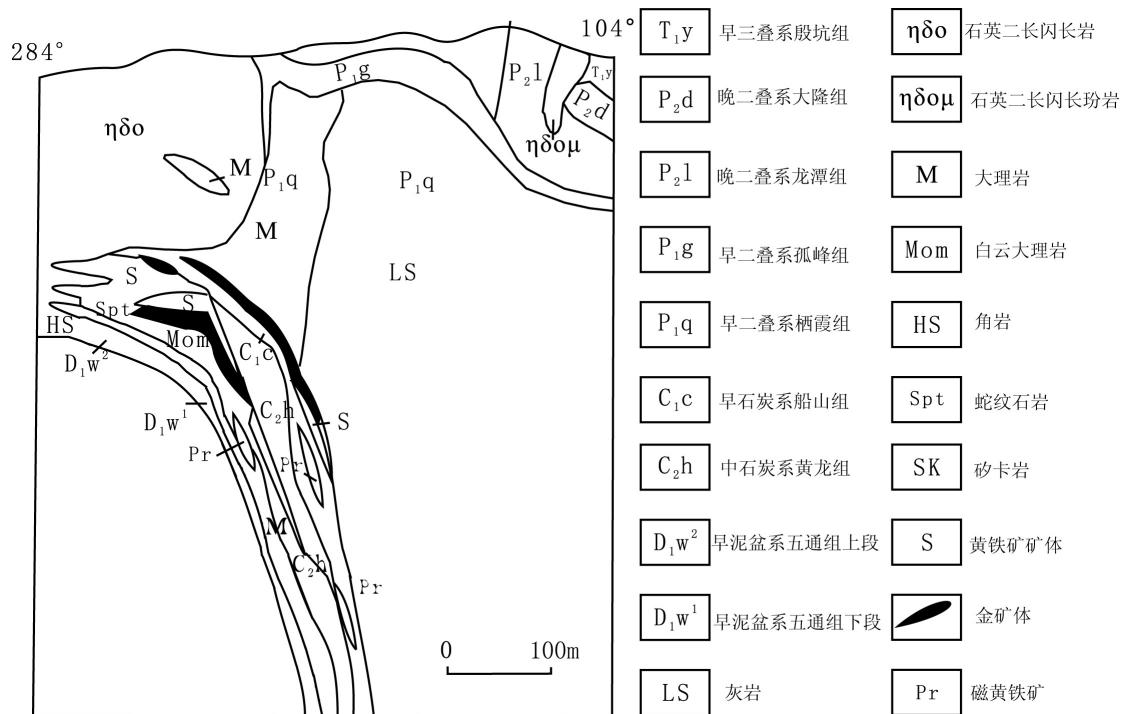


图3.5 天马山金矿床地质剖面图（据唐永成等，1998）

矿石成分较复杂，主要金属矿物有磁黄铁矿、黄铁矿，其次有毒砂、胶状黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿等；脉石矿物主要有石英、方解石、白云石、滑石、蛇纹石、绿泥石、石榴子石、菱铁矿等。矿石结构主要有自形-半自形晶、他形、交代残余、变余结构等；矿石构造

主要有块状、浸染状-稠密浸染状、条带（纹）状和角砾状构造等。

3. 蚀变特征

除 III 号矿体外，围岩蚀变作用不甚发育，主要有硅化、碳酸盐化和黄铁矿化。III 号矿体的围岩蚀变较强，主要有蛇纹石化—滑石化、硅化和绿泥石化等；局部有矽卡岩化，可形成石榴石矽卡岩和透辉石矽卡岩等。

4. 矿化期次

天马山金矿床的形成可划分为三个成矿期，即同生沉积期、层控矽卡岩热液叠加改造期及表生期。层控矽卡岩热液叠加改造期又可划分为四个成矿阶段：矽卡岩阶段；氧化物阶段，以大量的磁铁矿生成为特点；石英硫化物阶段，是主要成矿阶段，可细分为三个亚阶段，早期的毒砂-黄铁矿亚阶段、中期磁黄铁矿-黄铜矿亚阶段和晚期金、铋、碲矿化亚阶段；碳酸盐化阶段。

5. 成矿流体特征及物理化学条件

氢氧同位素特征（田世洪等，2007）显示，天马山金矿床矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化范围为 $6.9\text{\textperthousand} \sim 10.7\text{\textperthousand}$ ，平均为 $7.8\text{\textperthousand}$ ，与岩体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值（ $9.3\text{\textperthousand} \sim 11.1\text{\textperthousand}$ ）比较接近，而矿石中石英的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化范围为 $-69\text{\textperthousand} \sim -62\text{\textperthousand}$ ，表明成矿流体主要来自岩浆热液。同时，矿石及天鹅抱蛋山岩体石英闪长岩的稀土元素特征（田世洪等，2007）也表明，该矿床的成矿流体主要来源于闪长质熔体的熔-流分离作用。

天马山金矿床中主要矿石矿物包裹体爆裂温度为 $232\sim348^\circ\text{C}$ ，与岩体包裹体测温值相当（岩体中石英包裹体的均一温度平均 277°C ，爆裂温度 386°C ）；黄铁矿-磁黄铁矿矿物对硫同位素平衡温度为 $247\sim499^\circ\text{C}$ ，闪锌矿-方铅矿矿物对硫同位素平衡温度为 348°C （周真，1984）。包裹体测温和矿物对硫同位素的平衡温度显示，天马山金矿床的成矿温度范围为 $230\sim386^\circ\text{C}$ ，成矿与岩浆期后热液活动有密切的关系。

6. 成矿物质来源

天马山金矿床的矿石铅具有比较稳定的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值（变化在 $18.22\sim18.78$ 之间，平均 18.49 ），与岩体的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值（ 18.30 ）相当，与长江中下游地区岩浆热液矿床矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值（ $18.30\sim18.70$ ，Pan et al, 1999）亦相当，而矿床容矿围岩的岩石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值变化范围

较大(18.54~20.37, 平均19.32), 因此, 铅同位素特征指示了成矿物质主要来源于岩浆(俞沧海, 2000; 俞沧海等, 2002)。硅同位素特征指示, 天马山金矿床矿石中的硅来源于岩体; 硫同位素特征指示矿床硫也与岩浆作用有关(俞沧海, 2000; 田世洪等, 2007)。

7. 矿床成因

天马山金矿床的形成与天马山岩体的侵入及深部岩浆演化有密切的成因联系, 成矿方式上马山矿段以充填作用为主, 交代作用常见, 而天鹅抱蛋山矿段以交代作用为主。由于成矿温度高, 金矿化富集也在高中温—中温热液阶段, 因此, 矿床属于高中温热液充填(一交代)型金矿床。矿床中III号矿体具有明显的沉积—热液叠加改造特征。

三、西狮子山铜金矿床

狮子山矿区古采坑、老窿, 废石碓和炼渣分布广泛, 炼渣大量堆积于大铜塘和冬瓜山等地, 表明采、治历史悠久, 盛况非凡, 考古研究表明该地区铜矿开采可追溯至西周-东周年间, 可见采治年代之久远, 但其产量如何, 何时衰竭无据可查。

1949年9月原华东工业部矿产测勘处派出张兆瑾等赴铜官山进行勘查, 旨在根据前人发现的鸡冠山铁矿的线索, 了解铁矿下是否存在铜矿, 在路线勘察中发现了出露地表的狮子山含铜矽卡岩, 开辟了该地区矿床的发现史。随后, 原安徽省地矿局321地质队在狮子山地区开展系统的地质勘查工作, 又陆续发现曹山、包村等多个矿床(点), 后称之为狮子山矿田。1956年374对在该区钻探, 发现了西狮子山深部的主矿体, 从而找到了铜矿床。至1963年, 西狮子山铜金矿床勘探工作全部结束(中国矿床发现史(安徽卷)编委会, 1996)。矿山采掘业于1966年投产, 是铜陵冶炼基地的重点矿山之一。

1. 地质概况

西狮子山铜金矿床处于近东西向的铜陵-大江基底断裂与顺安北东向复式向斜中的青山次级背斜相交汇的部位。主要出露下、中三叠统, 钻孔中见上泥盆统—上二叠统。矿区内的褶皱、断裂均较发育, 其中, 印支期形成的北东向青山不对称背斜是主要构造, 矿化主要发育于该背斜的南东翼近轴部。自上泥盆统至中三叠统, 在原生沉积间断面和岩性相对强度差异较大(如碳酸盐岩与碎屑岩)的界面处, 形成了一系列层间裂隙及顺层滑脱构造, 在垂向上构成多层顺层滑脱构造, 是控制多层矿化的重要构造。形成于岩浆作用期后的近东西向断裂和北北东向断裂构造, 分别成为热液脉型矿床(体)的主要和次要容矿构造。矿区内地质构造复杂, 岩性以石英二长闪长岩和花岗闪长岩为主, 次为辉石二长闪长岩。这些岩体多

呈岩墙、岩枝状等小侵入体产出，并在不同深度上相互沟通，构成广泛的浅成-超浅成相侵入岩系（图3.6）。

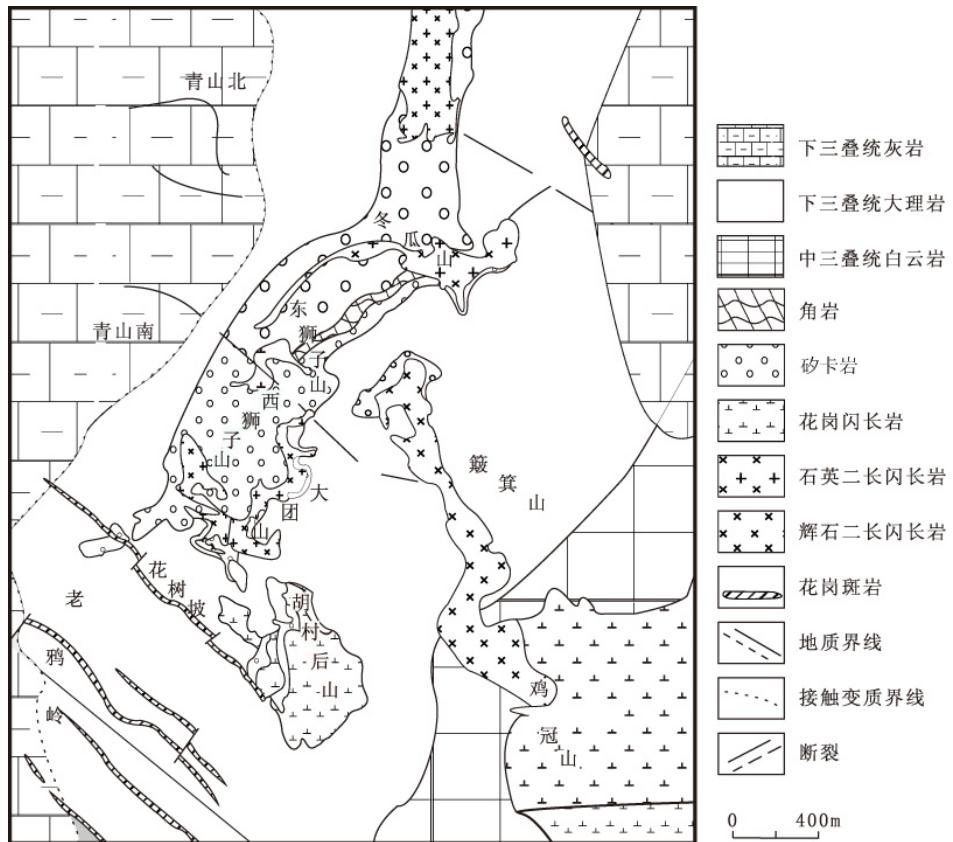


图3.6 狮子山矿田地质略图（据安徽省地质矿产局321地质队，1990）

2. 矿化特征

西狮子山铜金矿床赋矿层位为下三叠统和龙山组 (T_1h) 及殷坑组 (T_1y) 条带状大理岩（图 3.7）。石英二长闪长岩岩枝多呈顺层贯入，形成巨厚的矽卡岩带，主要是层间反应交代矽卡岩，成分简单，由石榴子石、透辉石等矿物组成，矿床即产于矽卡岩中，地表仅有次要矿体出露，主矿体为埋深于 100 米以下的盲矿体。浅部矿体受北北东向断裂及其旁侧羽毛状裂隙和接触带控制，主矿体共 4 层，平行产出，向东侧伏，最大者长 300 余米，宽 200 余米，厚 17 米。矿石主要为含铜矽卡岩，其次为含铜磁黄铁矿、含铜大理岩及含铜石英二长闪长岩。金属矿物主要为黄铜矿、磁黄铁矿，其次有黄铁矿及少量闪锌矿、方铅矿、方黄铜矿、自然金，非金属矿物主要为石榴子石、透辉石，其次为石英、方解石、绿帘石、绿泥石、硅灰石等。铜平均品位为 1.19%，金为 0.95×10^{-6} ，铜金属量 147257.63 吨。

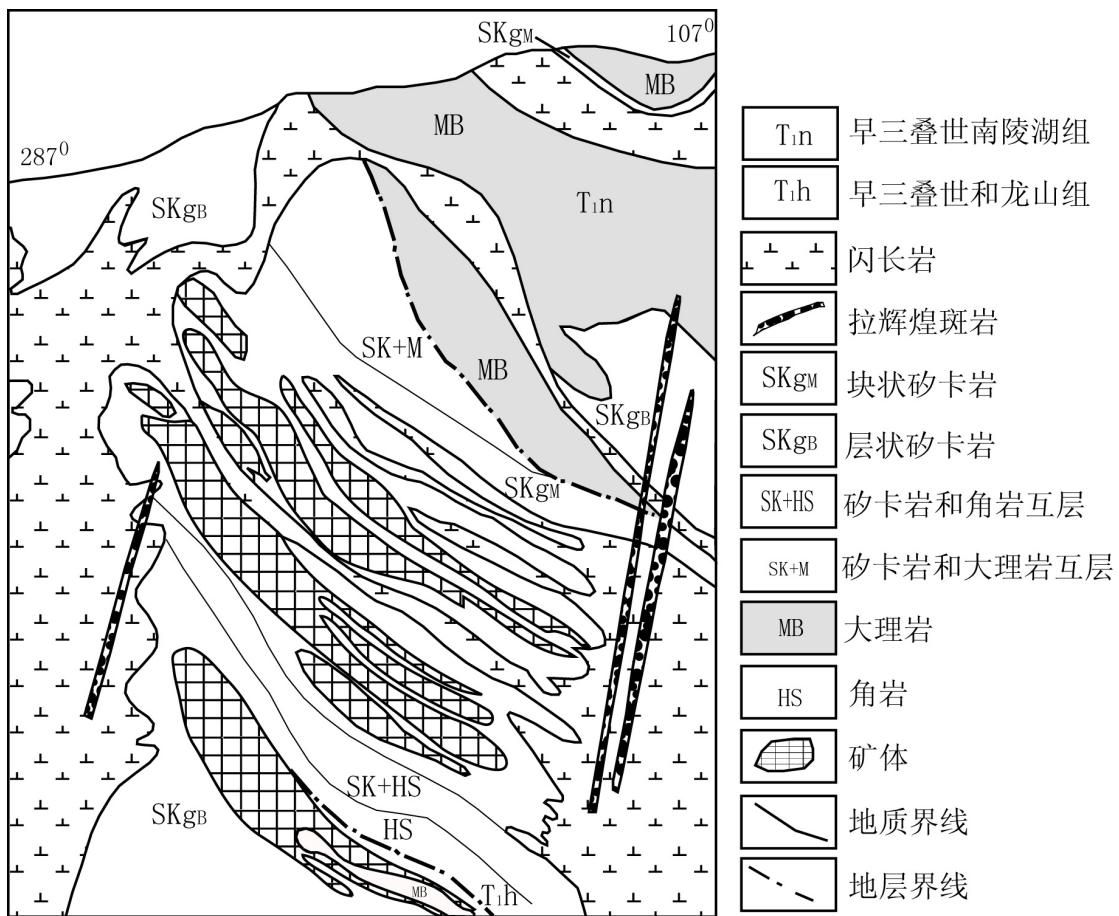


图 3.7 西狮子山矿床典型地质剖面图（据安徽省地质矿产局 321 地质队，1990）

3. 围岩蚀变

矿床围岩蚀变发育，主要有钾化、矽卡岩化、蛇纹石化、碳酸盐化、滑石化、绿帘石化、绢云母化和高岭石化等。

4. 矿化期次

西狮子山铜金矿床成矿可分为三个主要阶段：①矽卡岩阶段，主要发育于中酸性侵入体（石英二长闪长岩）与下三叠统和龙山组（T₁h）及殷坑组（T₁y）条带状大理岩的接触部位，以透辉石矽卡岩为主，有少量石榴子石矽卡岩，主要矿物组合为透辉石、石榴子石、方解石、石英和硫化物，硫化物以黄铜矿和黄铁矿为主，并含少量磁黄铁矿、闪锌矿、方黄铁矿和辉钼矿等；②石英-硫化物阶段，主要产于石英二长闪长岩体与大理岩的接触带上，金属硫化物主要为黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿和少量闪锌矿，常与石英和少量碳酸盐相伴，在矽卡岩中构成较大的交代团块，或呈细脉穿插，是主要矿化阶段，硫化物生成顺序大致为：辉钼矿

→磁黄铁矿→黄铁矿→黄铜矿→闪锌矿→方铅矿；③石英-碳酸盐阶段，主要为穿插于矽卡岩中的硫化物-石英-碳酸盐脉，脉宽数毫米至数厘米，脉内硫化物主要为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等，多呈斑点或团块状嵌于粗晶石英和碳酸盐矿物中。

5. 成矿流体特征

西狮子山矿床与成矿有关的流体包裹体可以划分为富气相包裹体、富液相包裹体和含子晶（多为石盐、少量钾盐等）多相包裹体三种类型，通过对矿床内团块状方解石和块状石榴石中不同类型包裹体测温结果显示（李进文等，2006），包裹体均一温度集中于 $131\sim570\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，盐度w_(NaCl_{eq}) 1.07 %~54.51 %；流体包裹体气相成分以H₂O为主，富含CO₂和N₂，普遍含有少量CH₄、He、Ar、O₂、C₂H₆、H₂S等成分；阳离子主要是Na⁺、K⁺、Ca²⁺，阴离子成分主要为SO₄⁻² 和Cl⁻。含矿石英和石榴石的δ¹⁸O_{H2O}值分别为0.38 ‰~10.7 ‰（均值5.49 ‰）和8.74 ‰~9.64 ‰（均值9.24 ‰），δD_{H2O}值分别为-94.3 ‰~-58.64 ‰（均值-71.50 ‰）和-95.77 ‰~-75.82 ‰（平均-85.25 ‰）；热液成因方解石的δ¹³C 值集中于-6.9 ‰~-4.3 ‰，不同于区内大理岩、灰岩、白云岩的δ¹³C 值（0.1 ‰~5 ‰）。矿床成矿流体中稀土元素分析结果（陆三明等，2007）表明，石英-硫化物阶段石英包裹体中稀土元素配分曲线为平缓右倾。 $\sum\text{LREE}160.84\times10^{-6}$, $\sum\text{HREE}25.49\times10^{-6}$, $\sum\text{LREE}/\sum\text{HREE}6.31$, (La/Yb)_N3.44，轻重稀土分异较弱，δEu1.14，为正异常。综合分析表明，西狮子山矿床成矿流体源自岩浆流体，为NaCl-H₂O 体系，属NaCl 不饱和型，成矿流体演化经历了从高温、高盐度向中温、中低盐度的持续演化过程，与成矿作用阶段基本对应。初始阶段的成矿流体呈超临界态，演化过程中有一定比例的大气降水或地下水的参与，降温、减压、流体沸腾是导致流体中巨量铜（金）元素卸载的主要因素。

6. 成矿物质来源

西狮子山铜金矿床不同矿石类型和单矿物中微量元素含量特征反映其成矿物质既有岩浆来源又有沉积来源（储国正，2003）。块状黄铜矿矿石中稀土元素总量偏低，Eu异常明显亏损，δCe也偏低；而矽卡岩中的稀土总量较高，Eu异常更接近于岩浆岩稀土分布特征；矿石铅同位素组成表明西狮子山铜金矿床的铅主要来自于侵入岩，矿床硫同位素分布比较集中，接近于零，参与成矿作用的硫主要来自岩浆，而其碳、氧同位素特征则显示了岩浆源及叠加改造特征。

7. 矿床成因

西狮子山矿床广泛发育的矽卡岩，主要为规模宏大的层间反应交代矽卡岩，是由青山背斜构造上部和龙山组和殷坑组等适合于形成层间反应交代矽卡岩的岩层，经热液交代作用形成，在这一过程中，以铜为主的金属硫化物发生富集，形成了多层次、主要由稠密浸染-块状硫化物矿石组成的矿体。西狮子山铜金矿床主要为与石英二长闪长岩有关的层间矽卡岩型铜金矿床。

四、包村金矿床

包村金矿是原安徽省地勘局 321 地质队在狮子山区矿床详查过程中，于 1952 年发现的。

1. 地质概况

包村金矿床是狮子山矿区内的独立金矿床，构造位置隶属于北东向大通-顺安复向斜之青山次级背斜北东段的南东翼。矿床位于狮子山矿田北部（图 3.8），出露地层主要为下三叠统南陵湖组和和龙山组碳酸盐岩和页岩，接触变质后变为大理岩或矽卡岩与角岩互层。近南北走向的侵入接触-断裂破碎带（包村断裂）是矿区内的主要控岩控矿构造，此外，尚发育近东西向、北西向、北北东向断裂构造及侵入角砾岩构造，为成矿作用提供了通道和空间。区内岩浆活动强烈，以岩墙-岩枝产出的钙碱性系列的辉石闪长岩和石英闪长岩及花岗闪长岩为主，与成矿关系密切。

2. 矿化特征

包村金矿床已圈定金矿体 5 个，其中，主矿体 1 个，走向近南北，东倾，倾角 $75^{\circ}\sim85^{\circ}$ ，呈透镜状赋存于包村石英闪长岩体外接触带的挤压破碎带中，顶板为角砾岩，底板为条带状矽卡岩（图 3.9）。主矿体金品位为 $(0.1\sim137.5)\times10^{-6}$ ，平均 7.0×10^{-6} ，探明储量 3.2 吨（安徽省地质矿产局 321 地质队，1994）。其余 4 个小矿体主要呈脉状、透镜状、不规则状赋存于岩体的接触带及附近围岩的裂隙中。

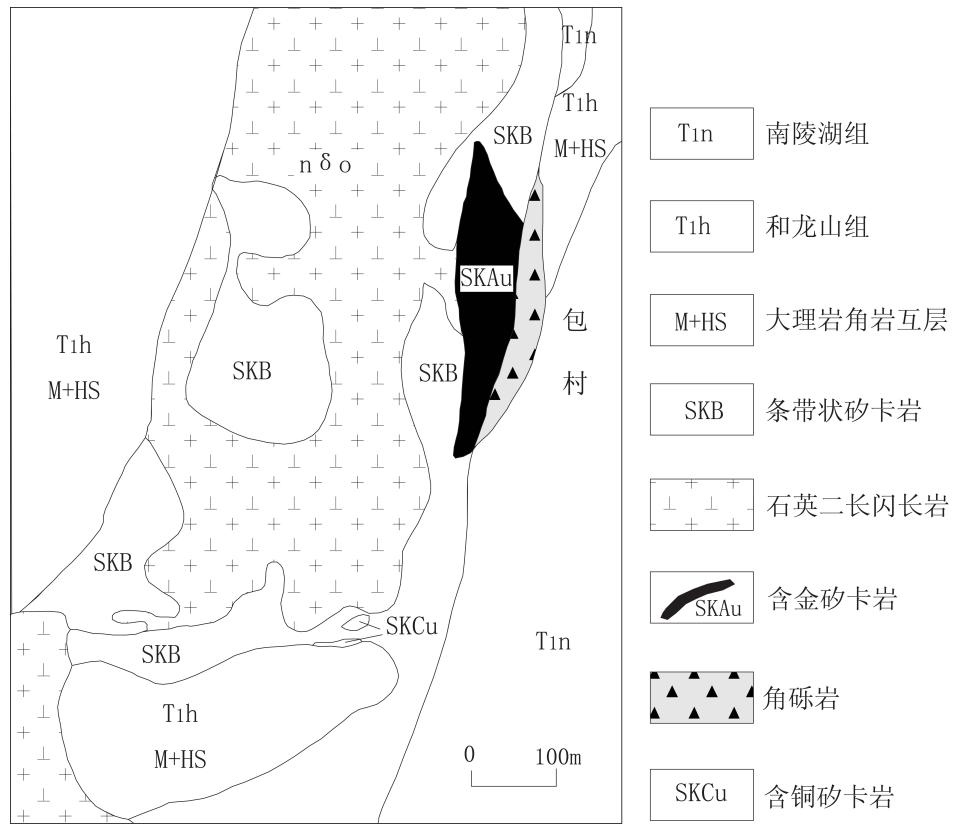


图 3.8 包村金矿床地质图 (据安徽省地质矿产局 321 地质队, 1990)

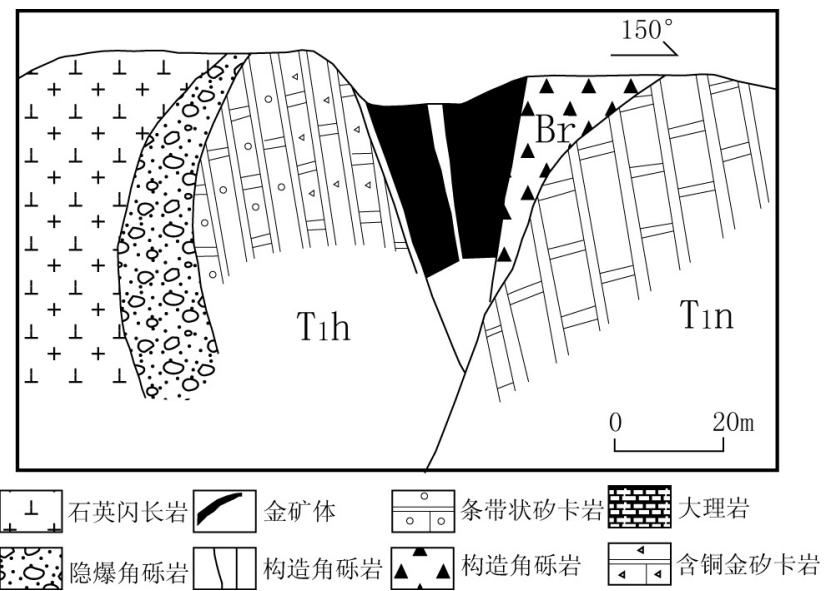


图 3.9 包村金矿床主矿体剖面图 (据胡欢等, 2001)

金属矿物主要为自然金、黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、辉铜矿、铋族矿物等。矿石中常富集 As、Bi、Te 等元素 (黄华盛, 1994), 其中铋与金矿化的关系密切, 已查明的铋矿物近

十种。空间上，铋矿物主要呈浸染状分布于含金石英脉中，有时与少量金属硫化物、石英等脉石矿物组成含金铋石英脉，沿构造裂隙分布（图 3.9）。常见铋矿物呈针状、放射状，与团块状、糖粒状石英共生；以自然铋、辉铋矿为主的铋矿物多呈半自形晶、不规则状或角砾状，分布于脉石矿物、其它金属矿物晶隙间或裂隙中。时间上，铋矿物常与自然金及少量金属硫化物同时沉淀于中、晚成矿阶段，构成铋-金成矿阶段。

3. 蚀变特征

矿床中具较完整的蚀变-矿化分带。按矿物化学成分递变由岩体向围岩出现如下分带：内矽卡岩带→石榴石矽卡岩带→透辉石、石榴石矽卡岩带→透辉石矽卡岩带→角岩→大理岩带；矿物分带有：由近接触带向外依次为（磁铁矿）+（白钨矿）+磁黄铁矿+黄铁矿+黄铜矿+辉铜矿+自然金→磁黄铁矿+黄铁矿+辉铋矿+自然金→变胶状黄铁矿+菱铁矿+铋族矿物+自然金；成矿元素分带为 Fe, Cu→Mo, Cu→Cu, S, Au, Bi→Au, Cu, Bi, S；金矿物富集程度分带：弱富集带（Au 平均 0.9×10^{-6} ）→富集带（平均 2.6×10^{-6} ）→强富集带（平均 12.4×10^{-6} ）。与金矿化富集密切相关的热液蚀变主要有黄铁矿化、硅化和菱铁矿化。黄铁矿是金的主要载体；石英是贯通性矿物之一，呈脉状和细脉状产出，含有较多硫化物和含铋矿物的石英脉，是富金矿脉；脉状、细脉状菱铁矿常是晚期富金矿脉。

4. 矿化期次

包村金矿床（原生部分）的形成经历了矽卡岩期和热液期，可分为五个主要矿化阶段：矽卡岩阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段、铋-金成矿阶段、碳酸盐阶段。

矽卡岩阶段主要表现为较为广泛的矽卡岩化，形成条带状矽卡岩、角砾状矽卡岩、角岩等，它们作为赋矿围岩，与矿化具密切的空间关系。

石英-黄铁矿阶段主要发育于条带状矽卡岩中，矿物组合为辉钼矿、黄铁矿、石英。辉钼矿常呈细小叶片状分布于石榴石、透辉石等矽卡岩矿物的晶隙间，或呈细脉状充填于矽卡岩裂隙中。

石英-多金属硫化物阶段主要表现为石英交代矽卡岩和矽卡岩化大理岩；黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、胶黄铁矿等沿石英晶隙充填交代，形成稠密浸染状、细脉浸染状含铜磁黄铁矿石，其中黄铜矿呈他形粒状、角砾状、细脉状等交代磁黄铁矿。在黄铜矿、石英中可见裂隙金、晶间金。

铋-金成矿阶段，从早到晚，硅化和金矿化强度增大。沿含铜磁黄铁矿条带裂隙形成大

量的石英脉和宽约 1~25 mm 的铋金矿脉，典型矿物组合为自然金、自然铋、辉铋矿等。自然金、自然铋、辉铋矿等与石英一起充填于磁黄铁矿、黄铜矿等矿物的晶隙或裂隙中。

碳酸盐阶段的早期表现为菱铁矿交代透辉石、石榴石、黑云母等铁镁矿物，晚期主要形成含毒砂方解石脉；局部可见自然金呈显微粒状与菱铁矿、方解石共生。

5. 成矿流体特征

包村金矿床不同成矿阶段的石英和方解石中流体包裹体类型丰富，既有 CO_2 包裹体、含 CO_2 三相包裹体、富气相包裹体，又有气液两相包裹体和含子矿物（石盐）三相包裹体。矿床中不同阶段不同类型包裹体研究显示（任云生等，2006），石英—黄铁矿阶段石英中发育的含 CO_2 三相包裹体和含子矿物三相包裹体的均一温度分别为 253~443°C 和 337~478°C，流体盐度分别为 5.59 %~6.63 % NaCl 和 40.56 %~54.49 % NaCl 。铋—金成矿阶段石英中含 CO_2 三相包裹体均一温度为 246°C，气液两相包裹体均一温度为 198~273°C，盐度为 7.73 %~12.28% NaCl ，含子矿物三相包裹体均一温度为 260~278°C，盐度为 33.12%~33.79 % NaCl 。碳酸盐阶段富气相包裹体、气液两相包裹体和含子矿物三相包裹体的均一温度分别为 321°C、94~357 °C、221~278 °C，盐度分别为 11.93 %~12.51% NaCl 、10.46%~18.80 % NaCl 和 31.65 %~37.23% NaCl 。这些特征显示，包村金矿床成矿流体为中高温、高盐度的 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 流体，其生成及演化与狮子山矿田燕山期钙碱性中酸性岩浆活动密切相关。

6. 矿床成因

包村金矿床主矿体赋存于燕山期钙碱性-碱性中酸性侵入体-包村石英闪长岩体与三叠系碳酸盐岩接触带及附近，矿化与矽卡岩化关系密切；成矿流体属于中高温、高盐度 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系，成矿过程中流体的不混溶（沸腾）作用，致使 CO_2 与 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 的相分离，是引起自然金沉淀和富集成矿的主要原因。该矿床属矽卡岩型独立金矿床。

五、新桥铜金硫矿床

新桥矿床早在我国唐代即有地表试采历史的记载，日伪时期也曾做过地质调查，矿床真正发现于解放后。1953 年原安徽省地矿局 321 地质队在对新桥地区进行 1: 5 万填图时发现了地表的铁帽，1958 年原冶金部地质局南京地质勘探公司 803 地质队进行普查时找到深部的黄铁矿体，并于 1961 年通过钻探发现了深部的含铜黄铁矿矿体。矿山的勘探工作于 1971

年完成（中国矿床发现史（安徽卷）编委会，1996），1972年，由冶金部和上海成立新桥矿筹备指挥部，进行矿山基建。

1. 地质概况

新桥矿床位于舒家店背斜与大成山背斜、盛冲向斜的交汇处（图3.10）。

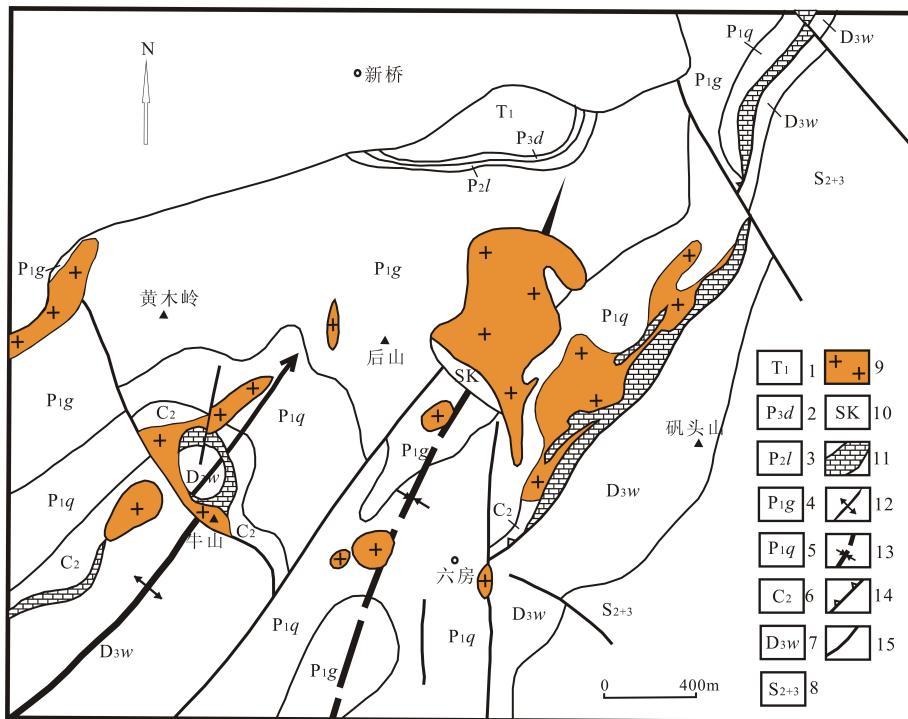


图3.10 新桥矿床地质图（据唐永成等，1998）

1-下三叠统，2~5-分别为二叠系大隆组、龙潭组、孤峰组、栖霞组，6-上石炭统，7-上泥盆统五通组，8-中、上志留统，9-岩体，10-矽卡岩，11-矿体，12-大成山背斜，13-盛冲向斜，14-层间滑脱构造，15-断层

矿区地层主要有上泥盆统五通组石英砂岩和砂页岩、上石炭统黄龙组白云岩和灰岩、船山组灰岩和下二叠统栖霞组灰岩、孤峰组硅质岩。其中，上石炭统黄龙组白云岩段是最主要的含矿和赋矿层位，上石炭统船山组灰岩和下二叠统栖霞组灰岩也是重要赋矿层位。在矿区北西部还有上二叠统龙潭组含煤砂页岩，大隆组硅质灰岩和硅质岩，以及下三叠统钙质页岩和灰岩分布（图3.10）。

矿区内最主要的构造是沿上泥盆统五通组砂页岩和上石炭统黄龙组白云岩之间发育的层间滑脱构造。这一构造始于印支期褶皱变动时期，其后在燕山期强烈的块断-褶皱变动中受到活化和改造，特别是近盛冲向斜核部，该滑脱构造带范围扩大，向上可波及下二叠统栖霞组，从而构成了巨大的层间（滑脱）破碎带，成为控制矿区内石英二长闪长岩体侵位及与之有关的热（气）液成矿活动的主要构造。此外，新桥石英二长闪长岩体（矶头岩体）与围

岩接触构造带也是矿区重要控矿构造（图 3.10）。

矿区内与成矿有关的侵入岩为砾头石英二长闪长岩岩株，其主体沿盛冲向斜核部侵入于上古生代地层中，地表形态为不规则椭圆形，长轴呈 NE 向，方位角约 30°，面积约 0.5km²；主岩体近侧还有不规则岩墙和岩枝穿插于围岩中（图 3.10）。

2. 矿化特征

新桥矿床包括主矿体一个及数个小矿体。主矿体呈似层状一层状，沿五通组（D₃w）与黄龙组（C₂h）之间的层间滑脱构造带稳定延伸，主要赋存黄龙组白云岩段内，规模大。沿走向长达 2560m，倾斜方向最宽亦达 1810m，平均厚度 21m（图 3.11）。矿体顶板围岩主要是船山组（C₂ch）灰岩和栖霞组（P₁q）灰岩。主矿体的厚度沿走向和倾斜方向常有变化；由于岩体侵位穿切了含矿层和围岩，主矿体沿走向部分被切断而不连续；岩体的侵入虽部分地破坏和吞噬了同生沉积矿胚层，但与之有关的热液成矿作用常使矿体在近接触带处变得更加富厚。主矿体的矿石量约占矿床总矿石量的 88%，铜金属量的 98%，主要由含铜黄铁矿石和黄铁矿石组成，其中也包含了部分磁铁矿石和富（铅）锌矿石以及富金的矿石；按 Fe、Zn、Pb 和 Au 的品位，亦可圈出各自的矿体。小矿体主要呈透镜状、脉状和不规则状，产于岩体与石炭一二叠纪灰岩的接触带及其附近，或者产于主矿体近侧的灰岩中。

原生矿石的自然类型较多，按 Fe、Cu、S、Au 以及 Pb、Zn 等成矿元素划分的工业类型主要有：(1) 铁矿石。主要为由中一细粒磁铁矿组成的致密块状矿石，有黄铁矿散染其中，局部有微量黄铜矿。(2) 铜矿石。主要为含铜黄铁矿石，由黄铁矿和少量黄铜矿、蓝辉铜矿、辉铜矿以及方铅矿、闪锌矿组成，是矿床中最主要的矿石类型之一；其次有含铜磁铁矿石和含铜矽卡岩矿石。(3) 黄铁矿石。主要由黄铁矿、胶黄铁矿组成，局部有微量磁黄铁矿和黄铜矿，是矿床中硫矿石的主体，与含铜黄铁矿石密切共生。(4) 铅锌矿石。由黄铁矿、闪锌矿、方铅矿组成。(5) 金矿石，总的来说原生硫化物矿石中金的含量并不高，并且分布极不均匀，其主要载体是黄铁矿和黄铜矿，呈自然金和包体金出现。矿石平均品位分别为：Cu, 0.77%；S, 32.72%；Pb, 2.47%；Zn, 7.46%；TFe, 45.99%；Au, 0.78×10⁻⁶Ag, 14.1×10⁻⁶。铜金属量为 50 万吨、铅 1200 吨、锌 55000 吨、硫矿石量 1.37 亿吨、铁矿石量 2636 万吨、金金属量 123 吨、银金属量 2377 吨。

矿石结构：层状矿体中有重结晶作用形成的粒状镶嵌结构、交代残余结构、变余胶状结构，以及球粒-似球粒状结构和碎裂结构等；岩体接触带附近的小矿体中，主要有填隙结构、交代结构、变晶结构等。矿石构造：层状矿体中主要有层纹状构造、柔皱构造、胶状构造和

块状构造等；接触带附近的小矿体中，主要有脉状、网脉状构造、浸染状构造和块状构造等。

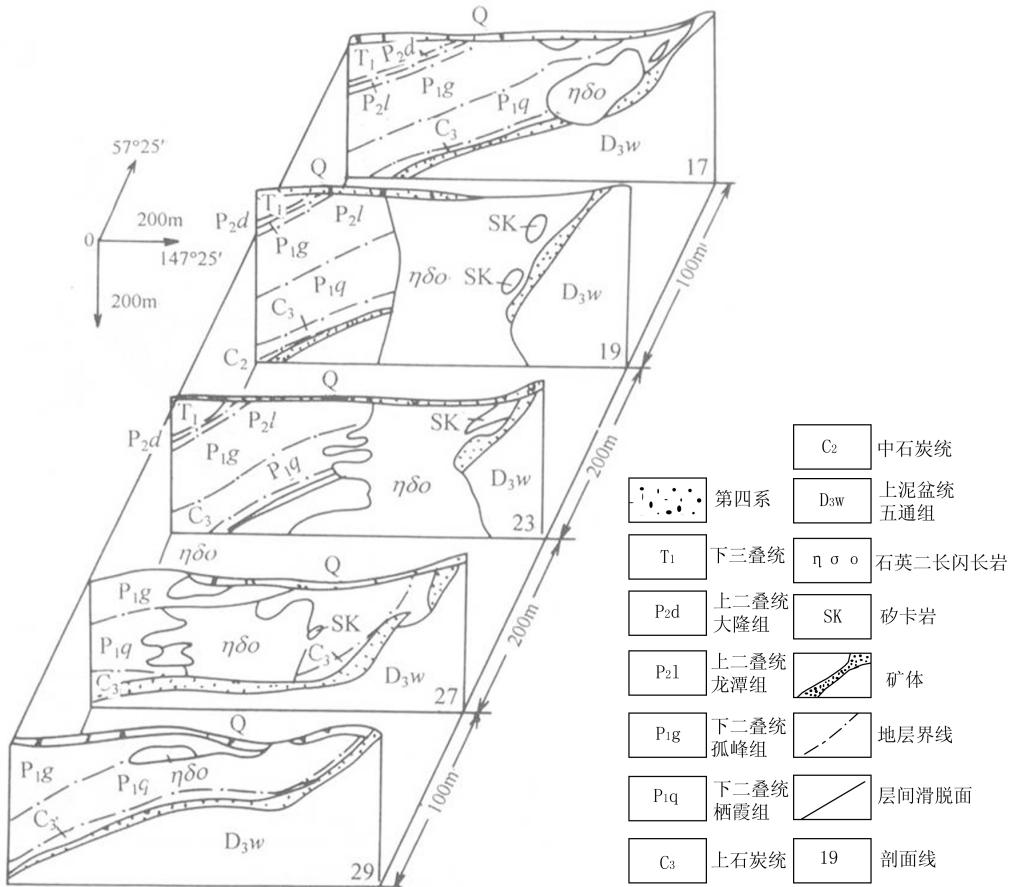


图 3.11 新桥矿床联合剖面图（据唐永成等，1998）

3. 蚀变特征

蚀变作用主要是伴随与岩浆热液成矿活动而产生的矽卡岩化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化等。矽卡岩化主要发育在岩体与栖霞组灰岩的接触带内外的透辉石-石榴石矽卡岩、透辉石-硅辉石-石榴石矽卡岩和矽卡岩化大理岩等；部分矽卡岩中有浸染状黄铁矿、黄铜矿，构成矽卡岩型铜矿石；硅化、绿泥石化主要伴随热液硫化物沉淀而发育，分布广泛。

4. 成矿物质来源

矿区内地质体中主要硫化物矿物的铅同位素特征反映了矿床的铅来源于岩浆铅和沉积铅的混合（唐永成等，1998）。岩体、矽卡岩、近矿围岩和矿石中硫同位素组成特征表明，矿化闪长岩和矽卡岩中黄铁矿的硫同位素组成特征一致，与岩浆硫的同位素组成十分接近，反映了其硫源为岩浆源；近矿围岩中黄铁矿的硫同位素组成则显示沉积黄铁矿的硫同位素组成特征，而层状硫化物矿体中黄铁矿的硫同位素组成反映了既有沉积黄铁矿硫，又有岩浆硫的双重特征。

矿体中富铜地段主要靠近侵入体，远离侵入体铜则逐渐降低，甚至几乎不含铜；金的分布情况与铜类似，表明铜、金来源与侵入体有关。

5. 成矿时代

谢华光等（1995）使用层状主矿体含铜黄铁矿矿石开展了 Rb-Sr 同位素测年，获得一条等时线年龄为 313 ± 33 Ma，但该年龄是一条假等时线年龄，因为黄铁矿样品在跨度很大的范围内不能构成很好的等时线，不具年龄意义。王彦斌等（2004）也认为上述结果不具有定年意义，他们获得的黄铁矿单矿物 Rb-Sr 等时线年龄为 112.6 ± 7.8 Ma。谢建成等（2009）直接使用矿区黄铁矿进行了 Re-Os 同位素精确定年，获得黄铁矿的等时线年龄为 126 ± 11 Ma，属于早白垩世。新桥矿床的精确成矿年龄仍有待深入研究。

6. 矿床成因

新桥矿床的成矿作用包括了沉积成矿作用和与岩浆活动有关的热液成矿作用。前者是在晚石炭世早期，于海相潮坪洼地较还原的环境中，伴随碳酸盐的沉积形成了具有一定蒸发岩特点（含石膏或硬石膏）的胶黄铁矿层，奠定了后来矿床中硫矿体形成的基础；伴随早燕山期末广泛发育的强烈岩浆侵入及与之有关的热液成矿活动，对矿床的最终形成起了主导作用，提供了 Cu、Au 等主要成矿物质。矿床的热液成矿作用经历了与典型的接触交代（矽卡岩）成矿作用相似的历程：即从矽卡岩阶段→磁铁矿阶段→（石英-）硫化物阶段→石英-碳酸盐阶段的演化。总体而言，新桥矿床应属于沉积-热液叠加改造型铜金硫矿床。

六、冬瓜山铜金矿床

根据狮子山矿区垂向上的多层楼结构以及纵向上东、西两侧新桥、铜官山层状矿体的存在，原安徽省地矿局 321 地质队总工程师常印佛推测狮子山深部可能存在层状矿体，于 1968 年建议进行矿区深部探测。经过多轮钻探，321 地质队于 1974 年在老鸦岭矿床探测深孔之北 880 米深处发现了石炭系中赋存的铜(硫，铁)矿体，厚度达 50 米，揭开了狮子山矿区深部找矿突破的序幕。1983 年 9 月结束了冬瓜山矿床野外施工，1985 年 6 月提交了《安徽铜陵狮子山矿田冬瓜山铜矿床详细普查地质报告》（中国矿床发现史（安徽卷）编委会，1996）。1997 年 12 月，冬瓜山铜矿工程建设项目由国家计划委员会批准立项。2004 年，狮子山铜矿更名为冬瓜山铜矿。

1. 地质概况

冬瓜山铜金矿床位于铜陵矿集区狮子山矿田内。矿区主要出露下-中三叠统沉积岩系(图3.6)，深部可见上泥盆统-上二叠统地层。矿区褶皱构造为青山背斜，轴向35~45°，呈“S”形展布，宽约8千米、长约22.5千米 km，向东北倾伏、北西翼较陡、南东翼较缓。断裂构造主要为南北向构造，其次为东西向、北东向、北西西-北北西向构造。区内岩浆岩出露面积约3平方公里，多为浅成-超浅成小型侵入体，岩体多呈岩墙-岩枝状，属于燕山期产物，岩性为石英闪长岩、石英闪长斑岩、闪长玢岩和煌斑岩。与冬瓜山铜金矿床关系最密切的岩体是青山脚岩体，该岩体主要受北东向构造控制，岩体呈上窄下宽的岩墙状产出，岩体大致呈北东向展布，倾向南东、倾角大于75°，岩体两侧小岩枝发育，呈“枝叉状”顺层贯入围岩中，岩性为石英闪长岩和石英闪长斑岩。

2. 矿化特征

冬瓜山铜金矿床是狮子山矿田内规模最大、埋藏最深的铜矿床(-730~-1100米之间)，单个矿体的铜金属量近100万吨，铜平均品位为1.01%；硫（黄铁矿）也达大型规模，硫平均品位为19.43%。

矿床包括矽卡岩型和斑岩型两类矿体。矽卡岩型矿体沿走向长达3000米，水平投影最大宽度为882米，平均视厚度32.24米，最大厚度为84.29米。主矿体发育在上泥盆统五通组至上石炭统黄龙组之间的层间滑脱构造带内，赋矿地层主要为上石炭统黄龙组白云岩、灰岩及船山组灰岩中，矿体呈缓倾层状稳定伸展，矿体顶板局部可延至二叠系栖霞组灰岩中，矿体底界与上泥盆统五通组石英砂岩顶界近于整合接触。矿体形态简单，在剖面上为一略向上凸的弯月形（图3.12）。矿体南东侧和底部与青山脚岩体接触，岩浆在上升侵位过程中，沿层间滑脱构造空间顺层贯入，形成贯入-交代矽卡岩矿化。矿石类型主要为含铜磁铁矿型、含铜蛇纹岩型，其次为含铜矽卡岩型、含铜石英闪长岩型、含铜硬石膏型等。矿石结构主要为自形晶粒状结构、半自形-他形粒状结构、交代结构；矿石主要呈块状构造、浸染状构造、脉状构造、条带状构造与条纹状构造。金属矿物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、银金矿、自然金等，次为方黄铜矿、闪锌矿、菱铁矿、白铁矿等，微量矿物为自然铋、辉钼矿等；脉石矿物主要是石榴子石、透辉石、蛇纹石、滑石、硬石膏、石英及方解石等，次为金云母、黑云母。主要成矿元素为铜、金，伴有硫、铁、银等。

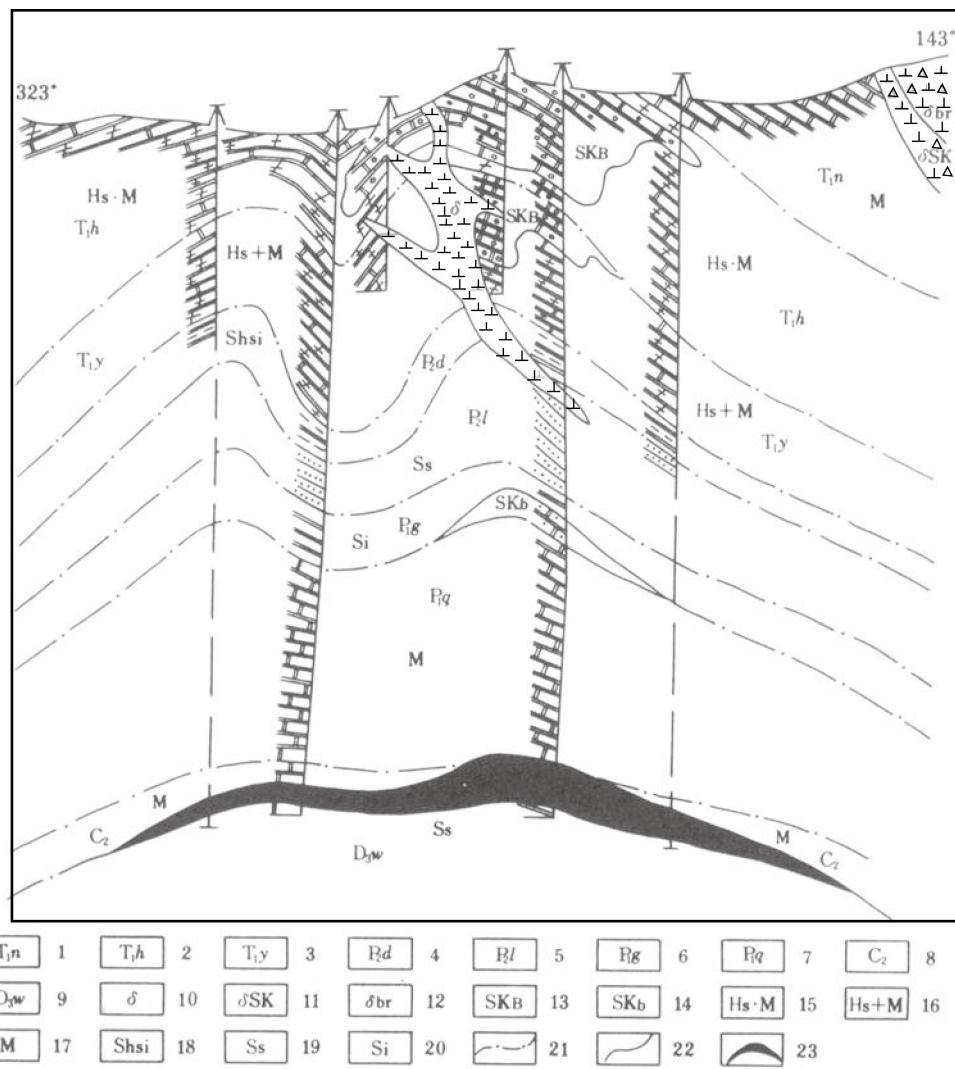


图 3.12 冬瓜山矿床地质剖面图（据唐永成等，1998）

1-南陵湖组，2-和龙山组，3-殷坑组，4-大隆组，5-龙潭组，6-孤峰组，7-栖霞组，8-壶天统，9-五通组，10-闪长岩，11-矽卡岩化闪长岩，12-角砾状闪长岩，13-条带状矽卡岩，14-层状矽卡岩，15-角岩与大理岩互层，16-角岩夹大理岩，17-大理岩，18-硅质页岩，19-砂岩，20-硅质岩，21-地层界线，22-地质界线，23-矿体

斑岩型矿体位于层控矽卡岩型矿体下部岩体一侧（图3.13），含矿岩体主要有北部的包村岩体和南部的青山脚岩体，其主要岩石类型为石英二长闪长（斑）岩。主矿体有两个，深埋在地表下890-1010米，分别赋存在北部的包村岩体和南部的青山脚岩体中。北部矿体长约800米，宽约300米，厚25-97米，铜平均品位0.4%；南部矿体长约840米，宽约300米，厚18-71米，铜平均品位0.58%。主要矿石为含铜蚀变石英二长闪长（斑）岩。北部矿体中以

含铜石英-绿泥石-钾长石化石英二长闪长（斑）岩为主，金属矿物以黄铁矿为主，其次为黄铜矿，少量磁黄铁矿、辉钼矿、磁铁矿、方黄铜矿，偶见银金矿及自然金包裹于黄铁矿和石英脉中。南部矿体中以含铜钼石英-黑云母（-钾长石）化石英二长闪长（斑）岩为主，金属矿物以磁黄铁矿为主，其次为黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿，少量方铅矿、闪锌矿、褐碲铋矿，偶见自然金包裹于磁黄铁矿晶体中。此外，还有含铜角岩（粉砂岩）和含铜矽卡岩化石英二长闪长（斑）岩。

3. 蚀变特征

冬瓜山铜金矿床中，矽卡岩型矿体的围岩蚀变主要有钾化、矽卡岩化、蛇纹石化、碳酸盐化、滑石化、绿帘石化、绢云母化、水云母化、高岭石化及石膏化等。

斑岩型矿体成矿岩体中矿化蚀变作用强烈发育，形成了共轴环（带）状矿化蚀变带（图3.13），由围岩→岩体边部→岩体中心，依次出现：①大理岩、角岩化带，②矽卡岩化带，③青磐岩化带，④石英绢云母化带，⑤石英钾长石化带，⑥石英核。在这些变质蚀变带中，青磐岩化带往往与矽卡岩化带重叠而不清楚，青磐岩化带和石英绢云母化带之间有时有不太明显或仅零星发育的泥化带，最发育的是石英绢云母化带和石英钾长石化带。南北两个矿化带内的石英钾长石化的发育特点不尽相同，北部以绿泥石-钾长石组合为特征，南部则以黑云母-钾长石组合，并以黑云母占优势为特色。南北两个矿化富集部位均发生在石英-钾长石化带内，而石英绢云母化带基本上无矿化富集带形成。

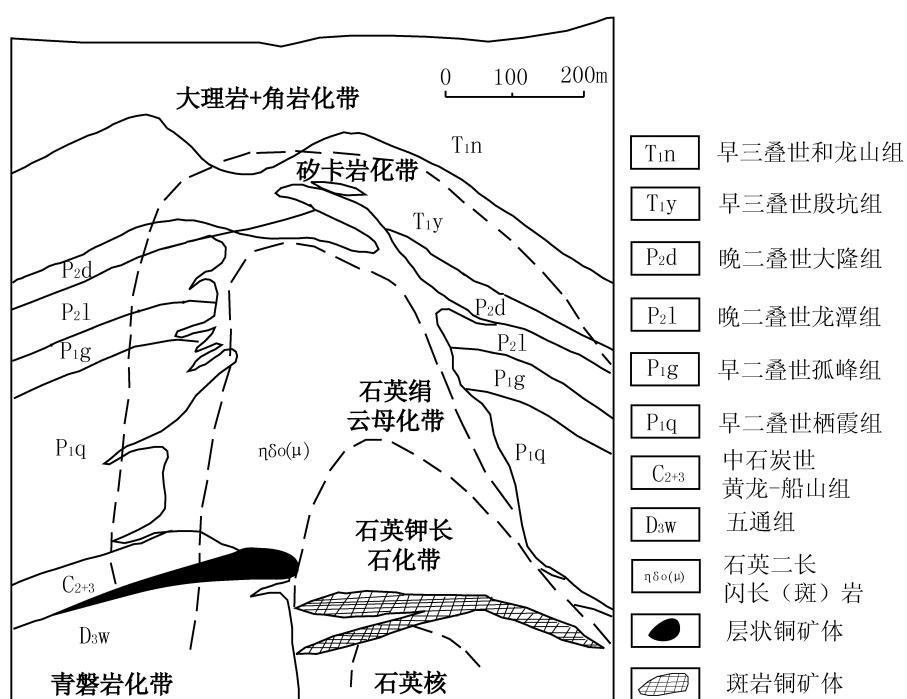


图 3.13 冬瓜山深部斑岩型铜矿蚀变分带图（据 321 地质队，1995）

4. 矿化期次

冬瓜山铜金矿床成矿期可分为 3 个主要成矿阶段：①矽卡岩阶段，主要发育于中酸性侵入体（花岗闪长岩及石英闪长岩）与石炭系黄龙船山组碳酸盐岩的接触部位，以石榴子石矽卡岩为主（位于上部），有少量透辉石矽卡岩（位于下部），其主要矿物组合为石榴子石、透辉石、方解石、石英和硫化物（黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿）；②石英-硫化物阶段，主要矿物组合为石英、黄铜矿、闪锌矿、辉钼矿等，是主要矿化阶段；③石英-方解石阶段，主要矿物组合为石英、方解石，石英常呈粗晶脉状，或呈自形晶晶簇状分布于晶洞中，矿化微弱。

5. 成矿流体特征

徐兆文等（2005, 2007）对冬瓜山矿床内石英闪长斑岩中石英斑晶和四个阶段（石榴子石—透辉石阶段、石英—磁铁矿—绿帘石阶段、石英—黄铁矿—黄铜矿阶段、石英碳酸盐阶段）矽卡岩中不同矿物流体包裹体显微测温及流体氢、氧同位素的研究认为，早期矽卡岩的形成可能涉及到高温岩浆流体过程，而在成矿过程中，以热液流体为主，至少发生了两次构造减压沸腾作用。第一次发生于静岩压力约为 112 MPa，流体温度主要介于 430~465°C 之间，盐度介于 7.9%~53.7% 之间， δD 值为 -66.0~ -72.9‰， $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 5.9~7.8‰，生成大量石英和磁铁矿；第二次发生于静岩压力约为 83.6 MPa，流体温度集中在 340~389°C 之间，盐度介于 6.6%~52.1% 之间， δD 值为 -55.0~ -67.3‰， $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 4.12~5.98‰。在成矿近于结束时，有少量大气降水混入，形成了少量低温、低盐度流体。此外，保存在石英斑晶和早期矽卡岩矿物中的高温岩浆流体也曾发生沸腾作用。因此，沸腾作用对冬瓜山铜矿床的形成起到至关重要的作用。

成矿流体中 ΣREE 较高，为 $286.4 \sim 1510.39 \times 10^{-6}$ ，REE 配分模式为 LREE 富集型，轻重稀土具有弱分馏（陆三明等，2007）。矿床中方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值介于 -7.58~+1.03‰，平均为 -3.54‰，菱铁矿的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化较大，为 -8.68‰~+3.16‰，平均为 -2.82‰。这些特征指示，冬瓜山矿床成矿流体中的碳可能主要为深部岩浆来源，部分来自碳酸盐与有机质的 CO_2 的混合作用。

冬瓜山深部的斑岩型铜矿体矿石中石英的气液包裹体研究（安徽省地质矿产局 321 地质队，1995）表明，包裹体液相成分中富 Ca^{2+} 、 CO_2 和 SO_4^{2-} ，而贫 Na^+ 、 K^+ ，成矿流体的性质和特征与矽卡岩型矿体中矿物包裹体的成分特点相似，而与国内典型的斑岩型铜矿中石英包裹体的成分差别较大，指示了冬瓜山矿床中矽卡岩型矿体与斑岩型矿体具有密切的成因联

系。

6. 成矿物质来源

冬瓜山矿床不同矿石类型和单矿物中微量元素含量特征反映成矿物质既有岩浆来源又有沉积来源；矿石铅同位素组成表明冬瓜山铜金矿床的铅为壳、幔混源铅（储国正，2003；徐兆文等，2007）。矿床中碳酸盐矿物的碳、氧同位素特征指示了岩浆叠加改造特征（储国正，2003；徐兆文等，2007）。黄顺生等（2003）分析了不同类型矿石黄铜矿的铜同位素为 $\delta\text{ (}^{65}\text{Cu)\text{ = 0.314}\times 10^{-4}\text{~\sim~}0.78}\times 10^{-4}$ ，平均为 0.51×10^{-4} ，认为黄铜矿具有的这种铜同位素特征是岩浆来源的铜在地层中得以富集的结果。因此，冬瓜山铜金矿床成矿物质具有岩浆岩、地层混合来源，但以前者为主。

7. 成矿时代

蒙义峰等（2004）对冬瓜山矿床花岗闪长岩体中含辉钼矿硫化物石英脉中的辉钼矿进行了Re-Os同位素定年，获得了模式年龄为137.4Ma，矿床的成矿时代属于燕山期，与矿区花岗闪长岩体的成岩年龄（ $135.1\pm 3.3\text{ Ma/LA-ICPMS}$ ，谢建成等，2008）基本一致，显示了成岩与成矿具有密切的成因联系。

8. 矿床成因

冬瓜山铜金矿床中矽卡岩型矿体是沉积黄铁矿的矿胚层经燕山期岩浆热液叠加改造而成矿，成矿作用经历了石炭纪沉积成矿作用和起主导作用的燕山期岩浆热液叠加改造成矿作用，成矿流体的沸腾作用、与地层水的混合及矿胚层的地球化学障效应导致了铜、金等成矿物质的沉淀，形成了层控矽卡岩型铜金矿床。而冬瓜山深部的斑岩型矿体与矽卡岩型矿体具有密切共生关系，它们都是含矿熔体-矽卡岩质熔流体-热液系列成矿演变过程中，于不同阶段和不同的构造-围岩条件下发生矿化富集的产物，组成了统一的矽卡岩型-斑岩型铜金矿床组合。

七、朝山金矿床

朝山金矿床原名白芒山金矿床。与包村金矿床的发现类似，原安徽省地勘局321地质队1952年在西狮子山区详查填图发现铁帽后，经过钻探发现的深部含金黄铁矿-磁黄铁矿体。

1. 地质概况

朝山金矿床位于狮子山矿田东部，北东向大通-顺安复向斜之青山次级背斜北东段的南东翼，与其北侧的包村金矿相似，是狮子山矿田已探明的小型独立金矿床。区内出露地层主要为中、早三叠世碳酸盐岩和页岩。印支期北东向褶皱构造与燕山期形成的近东西向、北东向、北北东向断裂、褶皱及层间破碎带组成该区基本构造格架。呈岩墙、岩枝产出的偏碱性白芒山辉石闪长岩体与金成矿具密切的成因联系。

2. 矿化特征

矿区内地质发育原生金矿体 20 余个（安徽省地质矿产局 321 地质队，1997），多呈透镜状、薄板状、脉状产于白芒山岩体的内外接触带及附近围岩的构造破碎带中（图 3.14），其中，主矿体长 130 米，最大斜深 145 米，上部厚度大于 15 米，下部仅为 2~4 米，厚度变化大，金平均品位 16.47×10^{-6} ，单样最高 145×10^{-6} ，金储量为 3165 千克。

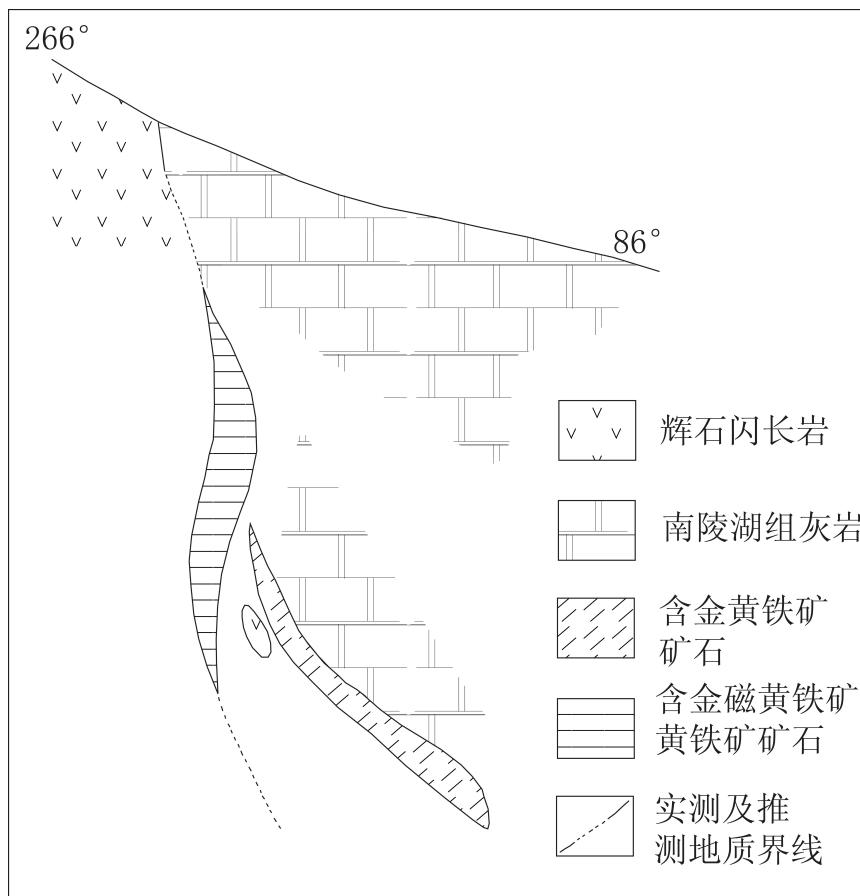


图 3.14 朝山矿床地质剖面图（据胡欢等，2001）

矿石类型主要有含金黄铁矿矿石、含金磁黄铁矿黄铁矿矿石、含金磁黄铁矿矿石、含金矽卡岩矿石、含金黄铁矿化大理岩和含金辉石闪长岩。前3类矿石统称含金硫铁矿石，为主要矿石类型，其中，含金黄铁矿矿石分布于矿体中上部，含金磁黄铁矿黄铁矿矿石分布于矿体中部，含金磁黄铁矿矿石则主要分布于矿体下部或边部。含金矽卡岩矿石见于主矿体局部和零星矿体中，而含金黄铁矿化大理岩和含金辉石闪长岩型矿石零星分布于岩体外接触带和岩体底部。不同类型矿石的金品位呈现规律性变化（安徽地质矿产局321地质队，1997），含金磁黄铁矿矿石最高，平均 18.0×10^{-6} ，含金磁黄铁矿黄铁矿矿石次之，为 15.0×10^{-6} ，含金黄铁矿化大理岩、含金矽卡岩和含金黄铁矿矿石的平均品位相近，为 $8.0\times10^{-6}\sim9.0\times10^{-6}$ ，而含金辉石闪长岩中金的平均品位仅为 3.1×10^{-6} 。

金矿石中金属矿物以磁黄铁矿、黄铁矿为主，其次为毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、胶状黄铁矿，含量较少的有自然金、银金矿、金银矿、自然铋、辉铋矿、赫碲铋矿、碲铋矿、斜方辉铅铋矿、硫铋铅矿、斑铜矿、黝铜矿、辉钼矿等。非金属矿物主要有石英、方解石、菱铁矿、石榴石、透辉石，其次为绿泥石、绿帘石、钾长石、绢云母等。

原生矿石结构主要有结晶结构和交代-充填结构，其次为变晶结构和碎裂结构。矿石以团块状构造、浸染状及斑杂状构造、脉状构造为主，角砾状构造次之。

3. 蚀变特征

矿床围岩蚀变强烈，以辉石闪长岩及其围岩的强烈矽卡岩化为特征。热液蚀变主要有钾长石化、高岭土化、硅化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、碳酸盐化等，其中绿帘石化、绢云母化、碳酸盐化与金矿化关系密切。

4. 成矿流体特征

朝山金矿床流体包裹体研究表明（任云生等，2004），与金、铋矿物密切共生的石英中以气液两相包裹体和含子矿物三相包裹体为主，并含少量CO₂包裹体和含CO₂三相包裹体，成矿流体存在不混溶现象。不同类型包裹体的均一温度峰值范围为200°C~280°C；气液两相包裹体盐度7.73%~12.28%，含子矿物三相包裹体盐度33.12%~33.79%。这些特征指示，朝山金矿床成矿流体是来自岩浆的中高温、高盐度、NaCl-H₂O-CO₂体系流体。

5. 矿床成因

燕山期构造岩浆活动形成了偏碱性的白芒山辉石闪长岩体，同时或稍晚产生了中高温、高盐度、 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 成矿流体，成矿流体沿岩体与围岩的接触带构造上升过程中，由于构造骤然减压发生流体的不混溶作用，导致 CO_2 逸出，体系物理化学条件改变，在接触带内及附近构造裂隙的有利部位通过充填、交代作用引起金的沉淀富集，在接触带发生矽卡岩化。该矿床属于矽卡岩型独立金矿床。

八、凤凰山铜铁金矿床

矿区内地质队在进行 1:5 万填图时发现了矿体露头；1957 年，374 地质队通过钻探发现了凤凰山原生矿体；1958 年，321 地质队通过对矿区内地质物探详查的工作成果进行综合研究后，进行钻探验证，发现了药圆山主矿体。1961 年，在总工程师常印佛的领导下开始勘探工作，1965 年 9 月勘探完毕。同年，铜陵有色金属公司进行设计开采（中国矿床发现史（安徽卷）编委会，1996）。

1. 地质概况

凤凰山铜铁金矿床位于新屋里岩体（凤凰山岩体）的西部，新屋里复式向斜的中段靠近轴部之西北翼（图3.15）。矿区内地层主要为三叠系下统和龙山组的条带状灰岩、南陵湖组的灰岩、砾状灰岩、白云质灰岩以及三叠系上统东马鞍山组的白云质灰岩和白云岩，靠近岩体者经热变质为大理岩。矿区内地质构造比较复杂，主要为新屋里岩体，该岩体为花岗质岩浆多次涌动侵入形成的复式岩体，在平面上呈椭圆形，面积近 10 平方公里，呈岩株状产于新屋里向斜核部，岩性以花岗闪长岩为主，边缘为石英二长闪长岩。矿区断裂构造比较复杂，主要为 NE 向（与褶皱的轴向平行）的逆冲断层。

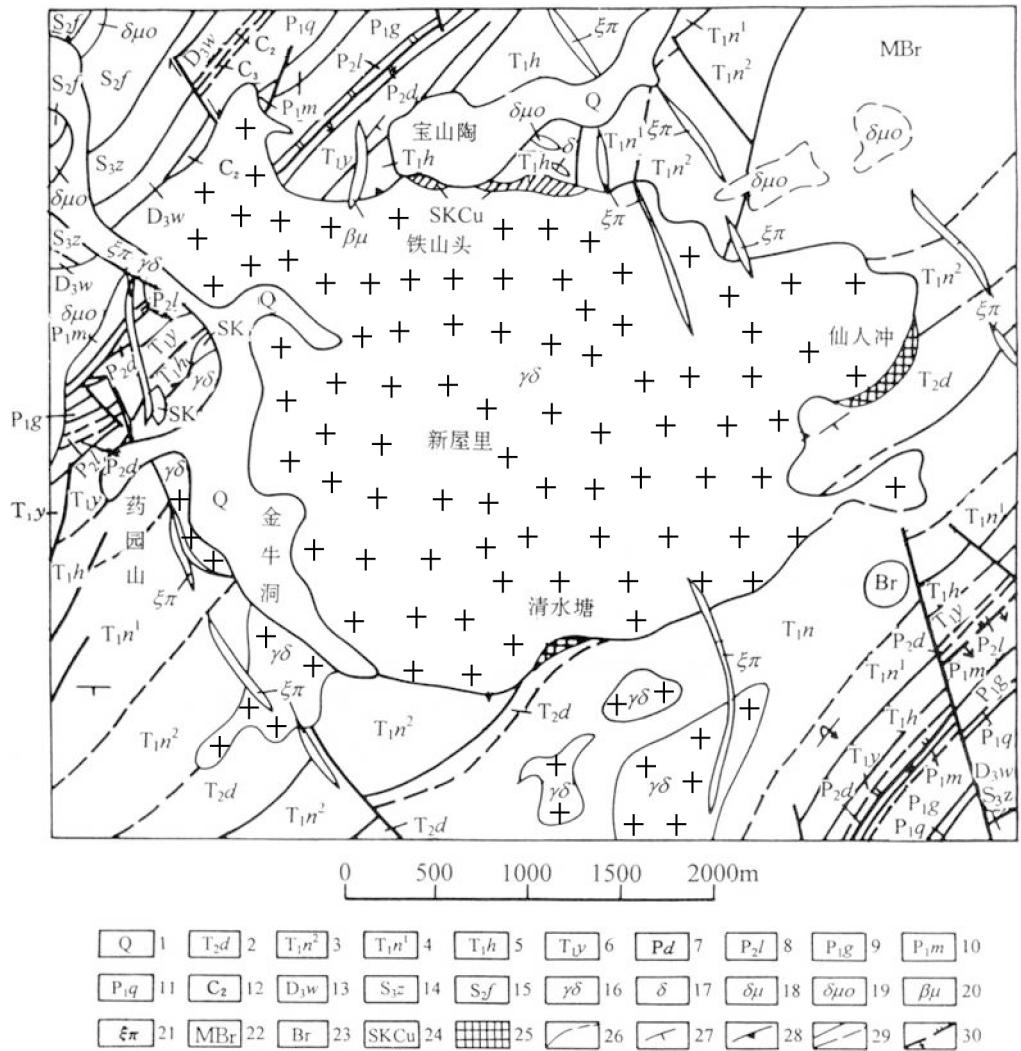


图3.15 凤凰山矿床地质图（据安徽省地质矿产局321地质队，1995）

1-第四系，2-中三叠统东马鞍山组，3-下三叠统南陵湖组上段，4-下三叠统南陵湖组下段，5-下三叠统和龙山组，6-下三叠统殷坑组，7-上二叠统大隆组，8-上二叠统龙潭组，9-下二叠统孤峰组，10-下二叠统茅口组，11-下二叠统栖霞组，12-中、上石炭统黄龙组、船山组，13-上泥盆统五通组，14-上志留统寨山组，15-中志留统坟头组，16-花岗闪长岩，17-闪长岩，18-闪长玢岩，19-石英闪长玢岩，20-辉绿岩，21-正长斑岩，22-角砾状大理岩，23-角砾岩，24-含铜矽卡岩，25-矿体，26-实测、推测地质界线，27-地层产状，28-接触面产状，29-实测、推测性质不明断层，30-推测逆断层

2. 矿化特征

凤凰山铜铁金矿床共有大小矿体80余个（张达等，2001；陈毓川等，2001；翟裕生等，1992），其中主矿体4个，均位于凤凰山岩体西接触带的药园山。在四个主矿体中，II号主矿体长321~986米，最大厚度21~88米，最大斜深330~435米。I、III、IV号主矿体呈似板状，

断续相连，与岩体接触带的产状基本一致。小矿体长度不超过200米，平均厚度小于20米。矿体多为透镜状、脉状、囊状，并与相邻的主矿体产状接近。主矿体产于岩体与围岩的接触带内，而小矿体产于大理岩、矽卡岩及石英闪长岩体内，部分产于角砾状花岗闪长岩中（图3.16）。矿床累计探明铜金属量为中型，铁、金主要以伴生形式出现，其中金主要富集于黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿中，尤其在黄铁矿中金含量最高（ 4.10×10^{-6} ），金主要以银金矿、自然金等独立矿物充填于黄铁矿的裂隙中或呈细微的包裹体在黄铁矿、黄铜矿和磁铁矿等矿物的晶体中，伴生金储量为中-大型（陈毓川等，2001）。

矿石类型分为氧化矿石和硫化矿石两大类。硫化矿石按其自然类型又分为7个亚类（表3.2）：①块状含铜磁铁矿、赤铁矿，②块状含铜菱铁矿，③含铜角砾状矿石，④浸染状含铜石榴子石矽卡岩，⑤块状含铜黄铁矿，⑥浸染状含铜花岗闪长岩，⑦浸染状含铜大理岩。

表3.2 凤凰山矿床矿石类型及矿物组合特征

矿石类型	金属矿物			脉石矿物
	主要	次要	微量	
块状含铜磁铁矿、赤铁矿矿石	赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿	斑铜矿、辉铜矿	方铅矿、闪锌矿、褐铁矿	碳酸盐矿物、石榴石、石英、方柱石、硅灰石、金云母、绿帘石、绿泥石、滑石
块状含铜菱铁矿矿石	菱铁矿、斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿	黝铜矿	白铁矿、辉铜矿、赤铁矿、褐铁矿、铜蓝、毒砂	方解石、铁白云石、石英
含铜角砾状矿石	赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿	菱铁矿、闪锌矿、方铅矿、白铁矿、黝铜矿、辉铜矿	褐铁矿、蓝辉铜矿、自然金、毒砂	方解石、白云石、石榴石、斜长石、钾长石、石英、绿泥石、绢云母、高岭石
含铜石榴子石矽卡岩矿石	黄铜矿、黄铁矿	斑铜矿、菱铁矿、磁铁矿、赤铁矿	闪锌矿、方铅矿、毒砂	石榴石、透辉石、透闪石、阳起石、绿帘石、绿泥石、方解石、石英
块状含铜黄铁矿矿石	黄铁矿、黄铜矿	闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、黝铜矿	蓝辉铜矿、白铁矿	石英、方解石、白云石、绢云母
浸染状含铜花岗闪长岩矿石	黄铁矿、黄铜矿	斑铜矿、黝铜矿、磁铁矿、赤铁矿	褐铁矿、铜蓝、毒砂	磷灰石、榍石、绢云母、高岭石、绿泥石、碳酸盐矿物
含铜大理岩矿石	黄铜矿、黄铁矿	闪锌矿、方铅矿、斑铜矿、黝铜矿		方解石、白云石、石英、绢云母

主要金属矿物有黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、黄铁矿等，次要金属矿物有胶黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、辉铜矿等，并含有少量的磁黄铁矿、毒砂、辉铋矿等。主要的脉石矿物有方解石、石英和石榴子石，次要的脉石矿物有透辉石、绿泥石、斜长石等，含有少量的磷灰石、

菱镁矿、石膏等。

矿石结构主要有浸染状结构、网格状结构、固溶体分离结构、交代结构等。矿石构造包括角砾状构造、块状构造、条带状构造、皮壳状构造等。

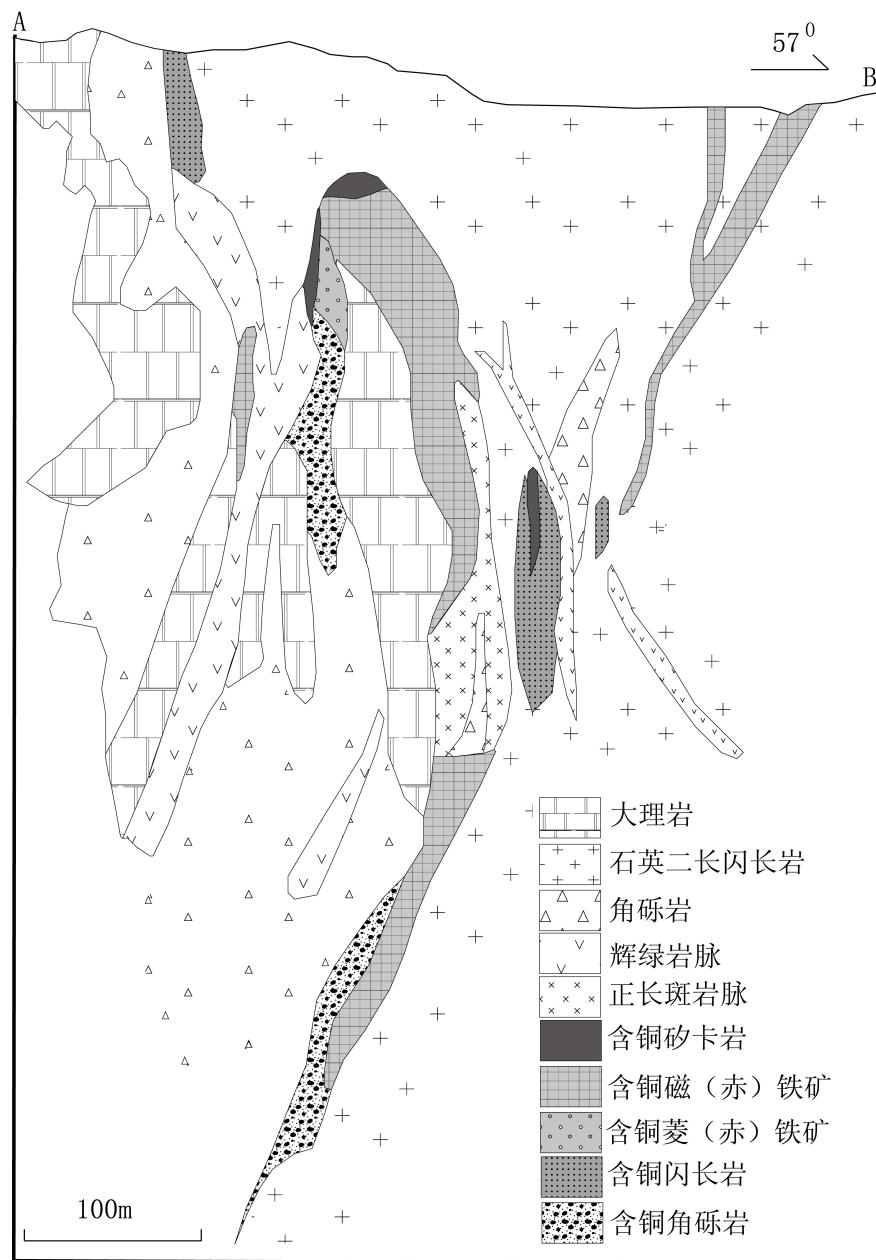


图3.16 凤凰山矿床典型地质剖面图（据刘亮明等，2008）

3. 蚀变特征

围岩蚀变发育，分带清楚，主要有钾长石化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、黝帘石化-绿帘石化。局部出现强烈绢云母化带，并形成石英-绢云母岩，同时在近矿部位，绢云母化带与碳酸盐化伴生，成为钾长石化的外带。

由岩体中心向外，可分为矽卡岩化闪长岩-矽卡岩化二长闪长岩→外矽卡岩→矽卡岩化大理岩→角岩-大理岩，其中矽卡岩带宽0~30米不等，常伴有铜矿化。与金矿化富集密切相关的蚀变作用主要是黄铁矿化。黄铁矿是矿石中金的主要载体，特别是矿化过程中晚期生成的黄铁矿，常含有裂隙-晶隙金和包体金，广泛发育，呈块产出，构成了重要的金矿石类型。

4. 成矿流体特征

凤凰山矿床中的流体包裹体测试结果显示（邵拥军等，2003；毛政利等，2004），气液包裹体中气相成分除H₂O外，还富含CO₂以及少量的CO、CH₄和H₂；液相成分主要有K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、F⁻、Cl⁻以及少量的Li⁺；Na⁺/K⁺>1，与岩体中Na₂O>K₂O的特征一致，揭示了成矿流体与岩浆的内在联系，Na⁺/ (Ca²⁺+Mg²⁺) <<1，反映成矿流体不但富碱，更富碱土金属，并且后者在成矿流体的阳离子中占主导地位；流体中SO₄²⁻>>Cl⁻，表明成矿流体相对富硫；Ca²⁺>Mg²⁺，这与围岩的成分主要是CaCO₃而非MgCO₃有关，成矿流体明显经受了围岩的钙质混染；K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺的整体含量较高，显示成矿流体具有较高盐度；块状黄铜矿显示出异常高的K⁺和CO₂，说明富铜的成矿流体以富含钾质和CO₂为特征；pH值为6.8（早期磁铁矿）~6.1（晚期黄铁矿、石英脉），显示出从早到晚成矿流体的pH值下降的趋势；包裹体测温显示，石英-硫化物阶段流体的成矿温度范围大致在185°C~243°C之间。因此，凤凰山矿床的成矿流体主要来源于岩浆流体，成矿物质具有岩浆和围岩混合来源特征。

5. 矿床成因

凤凰山铜铁金矿床属于接触交代矽卡岩型矿床。在岩浆结晶晚期，分离出大量富含成矿物质的流体，一方面在矽卡岩中充填交代成矿，另一方面当成矿流体进入接触带内的扩容性断裂中时，由于突然降压或大量地下水的混入导致溶液稀释、温度下降，矿质发生沉淀。

九、鸡冠石金银矿床

1934年，孙健初发现了鸡冠山铁矿露头，鸡冠石是鸡冠山的一部分。1952年-1966年，321地质队对鸡冠山铁矿床进行了勘探工作，1966年，鸡冠山铁矿床由地方组织开采。1971年，321地质队对ZK581见到的多金属硫铁矿体进行追索控制，扩大了矿体规模，并发现矿石中含金、银较高。1986年-1990年，321地质队对鸡冠石金银矿床开展详查，并于1990年7月提交《安徽铜陵鸡冠石金银矿床详细普查地质报告》，使得鸡冠石金银矿成为鸡冠山铁矿床的接替矿山（中国矿床发现史（安徽卷）编委会，1996）。

1. 地质概况

鸡冠石银金矿床位于狮子山矿田东南部，矿区出露地层为中三叠统东马鞍山组厚层含石膏假晶白云岩、白云岩和白云质灰岩，经岩体侵入引起的热变质作用后转变为白云质大理岩和大理岩，是主要的赋矿围岩。区域褶皱构造为北东向青山背斜和朱村向斜，鸡冠石矿床则处在二者的翼部相互衔接部位。断裂构造主要有近NE向和近EW向两组，层间滑脱构造亦较发育。矿区侵入岩为鸡冠石小型蘑菇状闪长岩岩体，出露面积约1.1平方公里，东部超覆于大理岩之上，所形成的隐伏接触构造带及其附近围岩中的层间滑脱构造，组成了侵入接触-层间滑脱及侵入体的裂隙构造系统，构成了矿区的主要控矿构造。该岩体的主要岩性为辉石二长闪长岩和石英二长闪长岩。

2. 矿化特征

矿体可分为三种类型：①脉状硫化物矿体，产于超覆于大理岩之上的石英二长闪长岩体中，受近EW向断裂破碎带控制，向南陡倾，长> 100m，厚3~5m，向下呈楔形延伸超过100m，沿走向和倾斜方向有膨缩变化；②似脉状或不规则状矽卡岩型矿床，产于隐伏接触带，走向NE，倾斜方向随接触面的变化而变化，长约260m，厚约10m，垂深100m 左右；③透镜状、似层状硫化物型和矽卡岩型矿床，产于隐伏接触带外侧大理岩中，受层间破碎带或虚脱带控制，具多层次特点，走向与接触带矿体基本一致，倾斜方向则随层间破碎或虚脱带的产状而变化，矿体厚度沿走向和倾斜方向有较大变化（图3.17）。金储量为71.66千克，平均品位3.9克/吨。

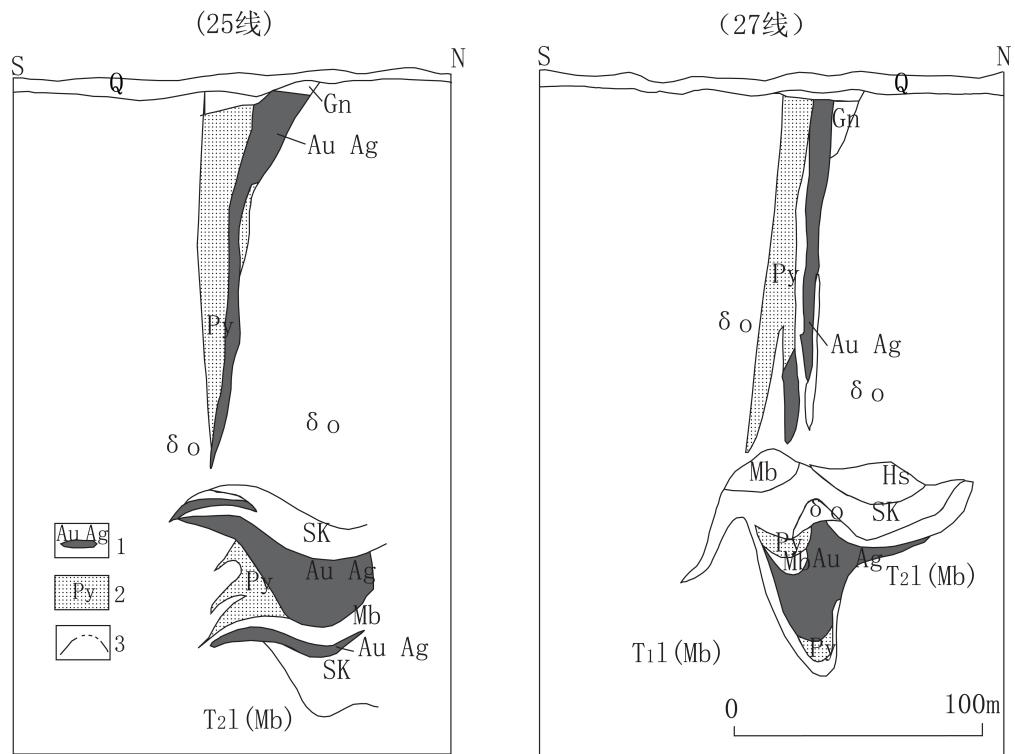


图3.17 鸡冠石银（金）矿床25、27线地质剖面图（据安徽省地质矿产局321地质队，1990）

1-金、银矿床，2-黄铁矿体，3-推测、实测地质界线；Gn -铁帽，Q -第四系， δo -石英闪长岩，Mb -大理岩，T -中三叠统龙头山组（相当于东马鞍山组），SK-贯入-交代矽卡岩，Py -黄铁矿体，Hs -角岩

原生矿石按主要矿物共生组合特点，可分为硫化物型、蚀变石英二长闪长岩型、菱铁矿-硫化物型、石英-硫化物型、矽卡岩型和磁铁矿型等，其中以硫化物型（包括菱铁矿-硫化物型和石英-硫化物型）占绝对优势。

矿石结构主要有：粒状结构、微晶结构、交代结构、包含结构、固熔体分离结构以及重结晶粗晶-巨晶结构等；矿石构造主要有：块状、浸染状、斑点状、条纹条带状以及细脉状、网脉状和破裂-角砾状构造等。

矿床中金属矿物多达35种，主要为自然银、金银矿、银金矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等。其中，银以自然元素、金银互化物、含银硫化物形式存在。银的自然元素、金银互化物主要为自然银，其次为金银矿及银金矿，多呈团粒状、角砾状、叶片状赋存于黝铜矿、方铅矿、黄铁矿晶粒间，黝铜矿与黄铁矿、方铅矿共生。在氧化带中自然银与水针铁矿构成同心胶纹状构造、或沿水针铁矿裂隙充填。银、金矿物的粒径为0.01~0.30mm。含银硫化物主要为黝铜矿，其中银含量2 %~7 %，最高达9.4 %，银以类质同像状态存在。金以自然金及金银互化物出现，其嵌布形式主要为裂隙金、晶隙金，少量包体金，其粒径为0.003~0.128mm。

3. 蚀变特征

矿床浅部脉状矿体的围岩为石英二长闪长岩，其特征性的蚀变带为黄铁绢英岩化带，其外为发育强度逐渐减弱的钾长石化带。在深部接触带即矿体和大理岩层间破碎（滑脱）带中的矿体近侧，矽卡岩化强烈，形成了明显的矽卡岩化带，矿化分带现象较清楚，由岩体向外可分为：内矽卡岩带、石榴子石透辉石矽卡岩带、磁铁矿化带、硫化物矿化带和矽卡岩化大理岩带等。

4. 矿化期次

鸡冠石银金矿床可划分为三个成矿期：矽卡岩期、热液期和表生期；分别由矽卡岩阶段、氧化物-硫化物阶段、石英-硫化物阶段、石英多金属硫化物-碳酸盐阶段等组成。

5. 成矿流体特征

矿床中成矿早期的石英黄铁矿矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+8.59\text{\textperthousand} \sim +13.86\text{\textperthousand}$ ，平均为 $+11.23\text{\textperthousand}$ ，晚期多金属硫化物金银矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+17.97\text{\textperthousand}$ ，从早期到晚期成矿流体中愈来愈富 ^{18}O ，指示了成矿流体以岩浆水为主，但在成矿晚期有大气降水加入（储国正等，2000）。

6. 成矿物质来源

岩浆岩、沉积岩和矿床的Pb同位素组成（储国正等，2000）特点显示，鸡冠石银金矿床的成矿物质主要来自于岩浆，但矿体边部和晚期脉状矿体中有少量的沉积Pb参与；岩、矿石的Sr同位素组成表明鸡冠石银金矿床的物质来源为幔源和陆源沉积物源的混合物。

7. 成矿时代

矿区鸡冠石岩体的 $^{39}\text{Ar} - {}^{40}\text{Ar}$ 法同位素坪年龄为 $136.6 \pm 1.1\text{Ma}$ ，LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 $136.1 \pm 3.0\text{Ma}$ （谢建成等，2008），其形成时代为早白垩世，这一成岩年龄指示矿床形成于晚早白垩世或稍后。

8. 矿床成因

鸡冠石银金矿床的形成经历了由接触交代矽卡岩→高、中温热液→中、低温热液成矿的连续的演变，具有接触交代矽卡岩型矿床的特征，但银、金的矿化富集主要发生在中、低温阶段，因此，该矿床应属于矽卡岩-中低温热液充填-交代型银金矿床。在岩浆侵入就位结晶

后，岩浆水与碳酸盐岩发生水岩作用形成矽卡岩，随后岩浆水与地下水混合，携带成矿元素的成矿流体充填到构造破碎带中，在一定的物理化学条件下，银金沉淀成矿。

十、姚家岭铜铅锌矿床

20世纪80年代，在姚家岭矿区曾开展过矽卡岩型铜矿和层控型铜金矿床的找矿勘探工作，未取得突破。2002年9月，在总工蒋其胜的带领下，华东冶金地勘局812地质队运用斑岩型矿床理论提出新的找矿思路，申请安徽省地质勘查项目获准立项，同年10月开展普查工作发现深部多金属矿体，到2005年底，探明铜铅锌矿资源量超过60万吨，达到大型矿床规模（蒋其胜等，2008）。

1. 地质概况

姚家岭矿床位于铜陵矿集区东部与繁昌火山岩盆地交接地带的南陵县，区内出露地层有：志留系中下统至泥盆系上统的浅海相-陆相碎屑岩沉积，分布在矿区南部，多形成山脊；石炭系至三叠系中下统，以灰岩、白云质灰岩、白云岩等浅海相碳酸盐岩沉积为主，夹硅质页岩和煤系地层，分布于矿区中部及东部；白垩系下统蝌蚪山组火山碎屑岩，分布在矿区北部（图3.18）。

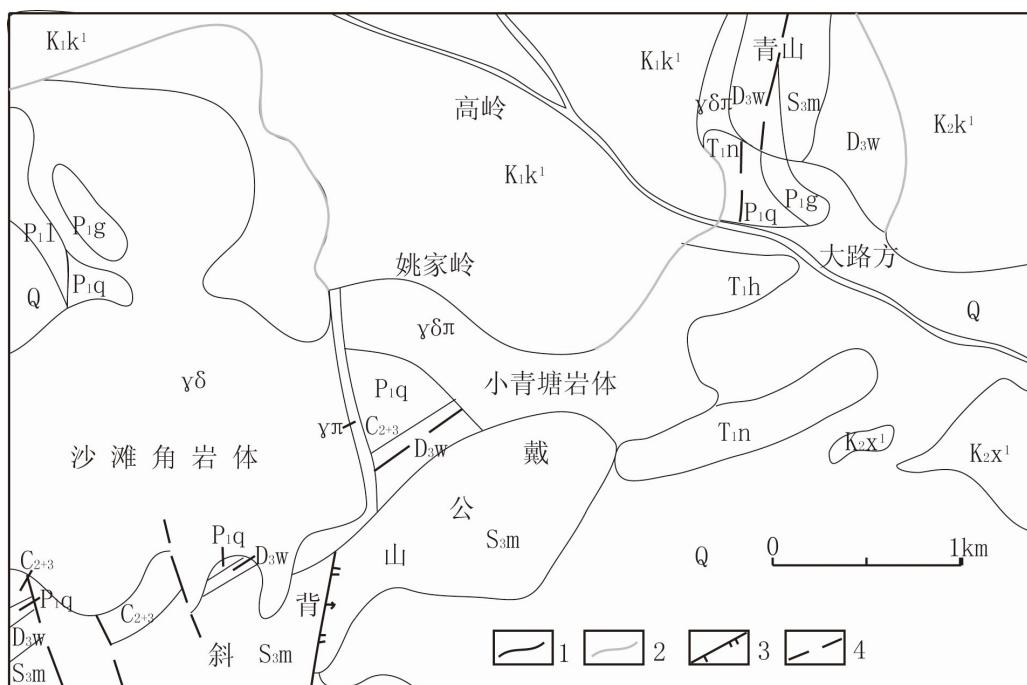


图3.18 姚家岭矿床地质图（据蒋其胜等，2008）

1-地质界线，2-不整合地质界线，3-正断层，4-推测断层

区内褶皱构造为戴公山背斜，长约 20km，轴向 50°~60°，轴面倾向南东，倾角 55°左右。背斜轴迹在区内变化较大，由北东向转为近南北向。区内断裂构造发育，主要为北东向、北西向和近南北向三组，其中以与区域构造方向近乎一致的北东向断层为主。

区内岩浆活动强烈，主要为燕山期侵入岩浆活动，分布有沙滩角花岗闪长岩体、小青塘花岗闪长斑岩体。沙滩角花岗闪长岩体位于矿区西部沙滩角向斜中，平面呈半圆形，面积 5.5km²，呈岩株状侵入，岩体围岩蚀变强，在岩体周边形成数处小型的矽卡岩型铜矿，并伴生金、银等。小青塘花岗闪长岩体位于矿区，与成矿关系密切，该岩体呈东西向延伸，平面形态呈向南略微突出的“月牙状”，长约 1800m，宽 300~500m，面积 0.75km²，岩石具较强的钾化、绢云母化、高岭土化和碳酸盐化，浸染状黄铁矿化普遍。青山花岗闪长斑岩体位于矿区北东部，与小青塘岩体为同源侵入体且矿化特征相似。另外，矿区北部分布有白垩系蝌蚪山旋回喷出岩，主要岩性为流纹岩、安山岩、玄武岩等。

2. 矿化特征

矿区内铅锌矿体及铜铅锌矿体主要呈透镜体状、脉状赋存在隐爆斑岩体内大理岩捕掳体的上下接触带及层间裂隙、角砾状花岗闪长斑岩中，铜及铜金矿体主要赋存在岩体接触带附近及斑岩体中，矿体隐伏深度大于 200 米。目前（2008 年 12 月）已发现中低温热液充填交代和斑岩型铜、铅锌、硫、金等矿体 67 个，其中铜矿体 21 个、铅锌（金、银）矿体 46 个、硫矿体 9 个、金矿体 6 个。至 2008 年获得 333 类别的铜铅锌矿资源量 62.4 万吨，金矿金属量 20.738 吨（蒋其胜等，2008）。矿带长约 1000 余米，宽约 400 米以上。矿体从上到下大致呈雁行排列，总体走向南东东，倾向北北东，倾角浅部 30°~40°，深部变陡为 50°-60°（图 3.19）。

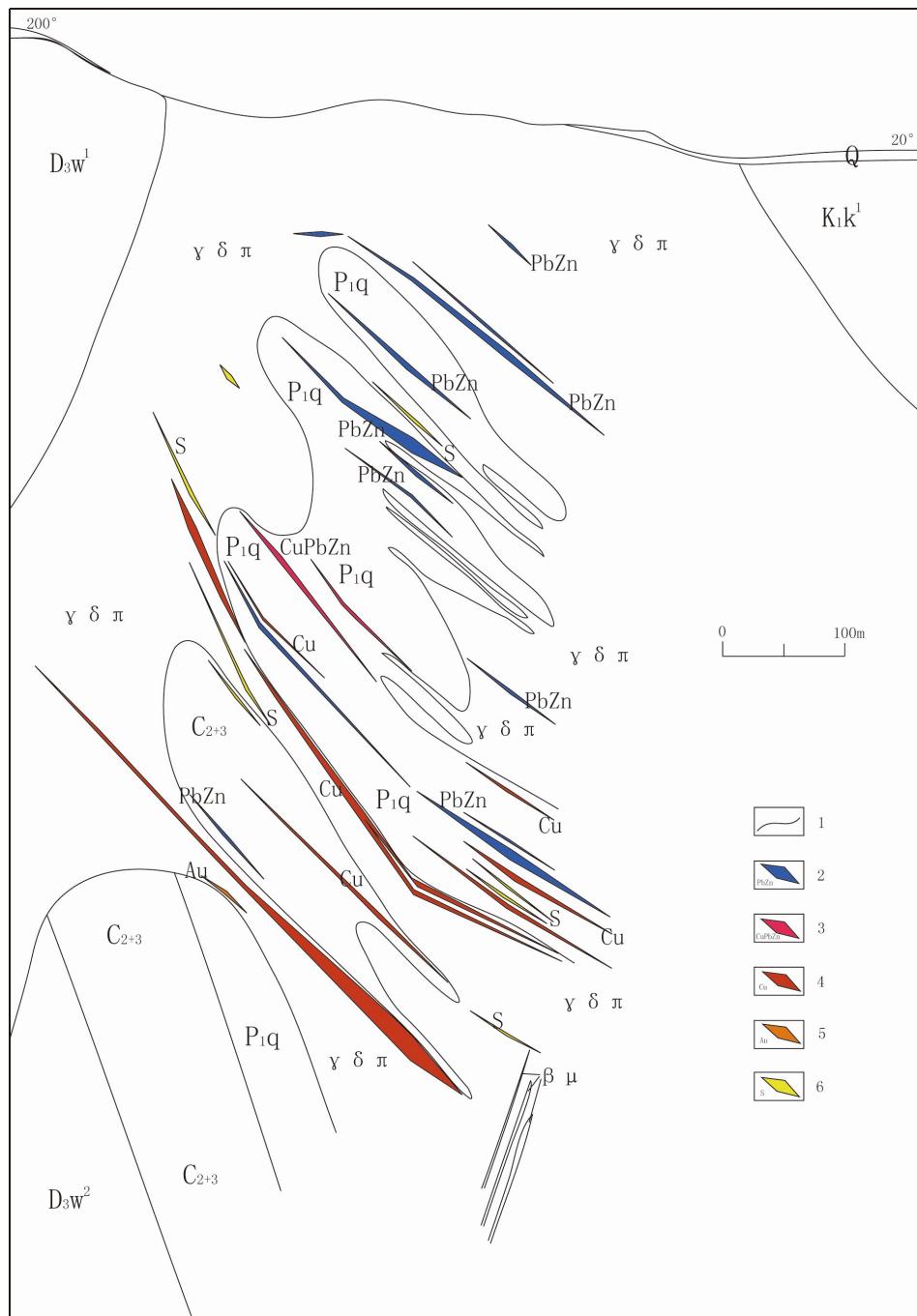


图 3.19 姚家岭矿床 39 号勘探线剖面图 (蒋其胜等 (2008))

1-地质界线, 2-铅锌矿体, 3-铜铅锌矿体, 4-铜矿体, 5-金矿体, 6-金硫矿体

矿石类型主要有含金铜铅锌矿石、含银铅锌矿石、含铜黄铁矿矿石、含金铜黄铜矿矿石、含铜闪锌矿矿石、含金黄铁矿角砾岩矿石等六种。

矿化具有明显的分带性，平面上自岩体中心向外方向，垂向上自下而上有铜（金）-铜铅锌（金、银）-（银）铅锌的分带现象（图 3.20）。铜（金）矿化带的标高在-300m 以下，矿物组合主要为黄铜矿、黄铁矿；铜铅锌（金、银）矿化带在-200m 至-300m 之间，矿物组合为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及少量的黝铜矿；（银）铅锌矿化带在 30m 至-200m

之间，矿物组合主要为方铅矿、闪锌矿，偶见辉银矿、深红银矿等。

3. 蚀变特征

矿区的围岩蚀变较强，在斑岩体的周围形成 400~500 米宽的蚀变带，主要蚀变类型有高岭土化、钾化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、硅化和黄铁矿化等。

4. 成矿阶段

姚家岭矿床可划分为三个成矿阶段（蒋其胜等，2008）：①高温气液阶段，小青塘花岗闪长斑岩体侵入并发生冷却，岩浆气液作用强烈，形成石榴子石、磁铁矿、钾长石等，围岩发生钾化、绢云母化及硅化等；②中高温热液阶段，主要形成铜矿体、铜金矿体和金矿体；③中低温热液阶段，形成黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿，构成铜铅锌矿体和铅锌矿体。

5. 成矿物质来源

矿区内的花岗闪长斑岩与矿床形成具有密切的时、空和成因关系。岩体中铜、铅、锌含量远高于邻近的沙滩角岩体，同时岩体中不但赋存多层铅锌矿体，而且还赋存多层厚度较大的铜、金矿体。因此，花岗闪长斑岩体应是成矿物质的主要来源。

6. 成矿时代

毛景文等（2004）应用 Re-Os 法对与姚家岭多金属矿床邻近的沙滩脚矿田的矽卡岩层状铜钼矿体中的辉钼矿进行了测年，得出铜钼金属硫化物成矿的模式年龄为 $136.9 \pm 2.2 \sim 142.8 \pm 1.6$ Ma，平均为 140.3 Ma。闫峻（未刊资料）对与成矿关系密切的小青塘岩体进行 La-ICP-MS 定年，结果为 136.5 ± 2.4 Ma，表明姚家岭矿床的成矿时代大致为 136 Ma。

7. 矿床成因

姚家岭矿床的成矿作用过程为（蒋其胜等，2008）：姚家岭（小青塘）花岗闪长斑岩体侵入的岩浆作用晚期，大量的挥发份析出并聚集在岩体的上部，当压力增大到一定程度时，成矿流体沿围岩的薄弱部位释放，在岩体中上部及围岩附近产生隐爆，形成第一阶段的矿化蚀变；压力和温度的下降至中高温，含矿热液由岩体中心向围岩及岩体上部运移扩散，在岩体中灰岩捕掳体及围岩的层间断裂破碎带中通过充填交代作用形成斑岩型和脉状矿体；含矿热液进一步冷却和运移，发生中低温阶段的多金属矿化。因此，蒋其胜等（2008）等提出姚家岭铜铅锌金矿床是与燕山期岩浆侵入活动密切相关的斑岩型矿床。

第四章 成矿规律

第一节 控矿条件

一、构造

铜陵矿集区构造发育，多数矿床是受北北东向变形系统与北东向、东西向等变形系统的复合效应所控制。主要储矿-控矿构造有：

(1) 褶皱构造：背斜核部常形成虚脱空间，是良好的储矿构造，如青山背斜南东翼的次级褶皱直接控矿。当不同方向褶皱叠加时，更有利于矿液运移和发生水岩反应。导致成矿物质沉淀和富集，如花树坡、老鸦岭矿床受 NE 向和 EW 向褶皱叠加部位控制。

(2) 断裂裂隙构造：岩体中张性断裂带常控制脉状矿体或矿体群，延深较大，断裂-接触带构造是储矿的有利空间，如胡村矿床；另外，北东向裂隙常控制晚期含铜石英脉。

(3) 隐爆角砾岩筒构造：角砾岩筒中原生、次生裂隙发育，常充填不规则矿体群，如狮子山矿床I号矿体。

(4) 顺层滑脱构造：这是铜陵矿集区最主要的储矿-控矿构造；它不仅是矿液运移的良好通道，而且由于滑脱构造上、下岩层的差异和（角岩）的屏蔽作用，使得矿液在此聚集充填，并充分交代其间的碳酸盐岩，形成层位稳定、延展深、规模较大的层状-似层状矿体及不对称的鞍状矿体；区内主要的层状铜矿均受层间破碎带和背斜虚脱部位控制。

(5) 岩体侵入接触构造及捕虏体构造：为矽卡岩型矿床的主要控矿构造，一般在岩体侵入接触面产状变化部位。如对围岩的内凹、外凸（舌状体）、岛状体（捕虏体）等处有利于接触交代作用而易形成矿体，接触面产状的陡缓也影响矿体产状。

(6) 接触带构造：断裂-接触带构造是储矿的有利空间。如矿床位于断裂-接触带构造中、接触-圈闭构造常控制各矿床的部分小矿体等。

二、地层

铜陵矿集区主要的控矿地层包括： $C+P+T$ ，控制了区内“多层楼”成矿的样式。地层的

控矿作用主要表现在：①存在原始沉积含矿层，主要是胶状黄铁矿层；②存在易被交代、利于成矿的岩性，如白云岩，白云质灰岩等；③发育有利于成矿的岩性组合，如碎屑岩+白云岩（灰岩）+页岩、或碳酸盐岩+硅质岩组合，可形成易交代岩层和不易交代透水性盖层共存的环境。

三、岩浆岩

铜陵矿集区的成矿在时、空和成因上与岩浆作用密切相关，岩浆岩是区内铜、金等矿床形成的主要控制因素。岩浆岩对成矿的控制，主要表现在以下几个方面：

（1）空间分布

区内铜、金等矿床的矽卡岩型矿体明显地围绕岩体分布；多数矿床显示近岩体富、厚，远岩体贫、薄的趋势；矿床或产于岩体内的围岩，斑岩型矿床分布于岩体内部的围岩捕虏体中及接触带部位，岩体与围岩的接触带型式与特点对矿体的形态与规模有重要影响，岩浆岩与成矿在空间上具有共生、叠生和伴生三种配置形式。

（2）形成时代

总体来说，岩浆岩和与之有关的矿床在形成时间上是基本一致的，岩浆岩的时代分布决定了与其有关矿床的时代分布。已有的大量资料表明，铜陵矿集区主要岩浆岩的成岩期为燕山期，主要成矿期也为燕山期（图 4.1）。主要内生矿床无论其矿质来源的复杂性如何，其成矿作用及矿床就位期均与岩浆活动期一致。岩浆岩与矿床之间，在形成时间上主要是同时生成、准同时生成、稍晚生成的关系。

（3）成因

铜陵矿集区岩浆岩与铜、金等矿床具有密切的成因联系，岩浆作用是驱动成矿元素迁移富集和控制铜、金矿化的主导作用，岩浆岩的含矿性和成矿专属性是矿床形成的决定性因素。与成矿有关的岩浆岩主要为一套晚侏罗世-早白垩世的高钾钙碱性侵入岩组合。具体特征为：

①区内一般含矿岩体 Cu、Au 元素丰度均较高，Cu 达 $40\sim100\times10^{-6}$ ，Au 达 $4\sim10\times10^{-9}$ 。从岩浆岩中包体的微量元素来看，角闪石、辉石堆积岩包体中的金丰度为 $0.0147\sim0.0369\times10^{-6}$ ，比其它类型 0.0369×10^{-6} 高 2~5 倍，且为深源，说明金主要来自深源岩浆；铜的丰度以高钾钙碱性系列中的微粒闪长质混杂岩包体最高 (1604.42×10^{-6})，反映了岩浆混合作用对 Cu 的富集起了重要的作用。

②不同岩浆岩系列控制了不同的成矿系列。区内高钾钙碱性系列岩体形成 Cu (S、Fe、Au、Ag、Pb、Zn) 矿化，而碱性系列则形成 Au、S (Ag、Pb、Zn) 矿化。当两种系列的含矿岩体共生混溶形成杂岩体时，则矿化强度增大，成矿远景更好。

③随着热力学条件的不同，成矿元素多围绕岩体呈现出一定的分带，一般随着距岩体由近到远表现为 Cu、Mo→Cu (Au) →Cu、Au→Au、Cu→Ag、Au、Pb、Zn。

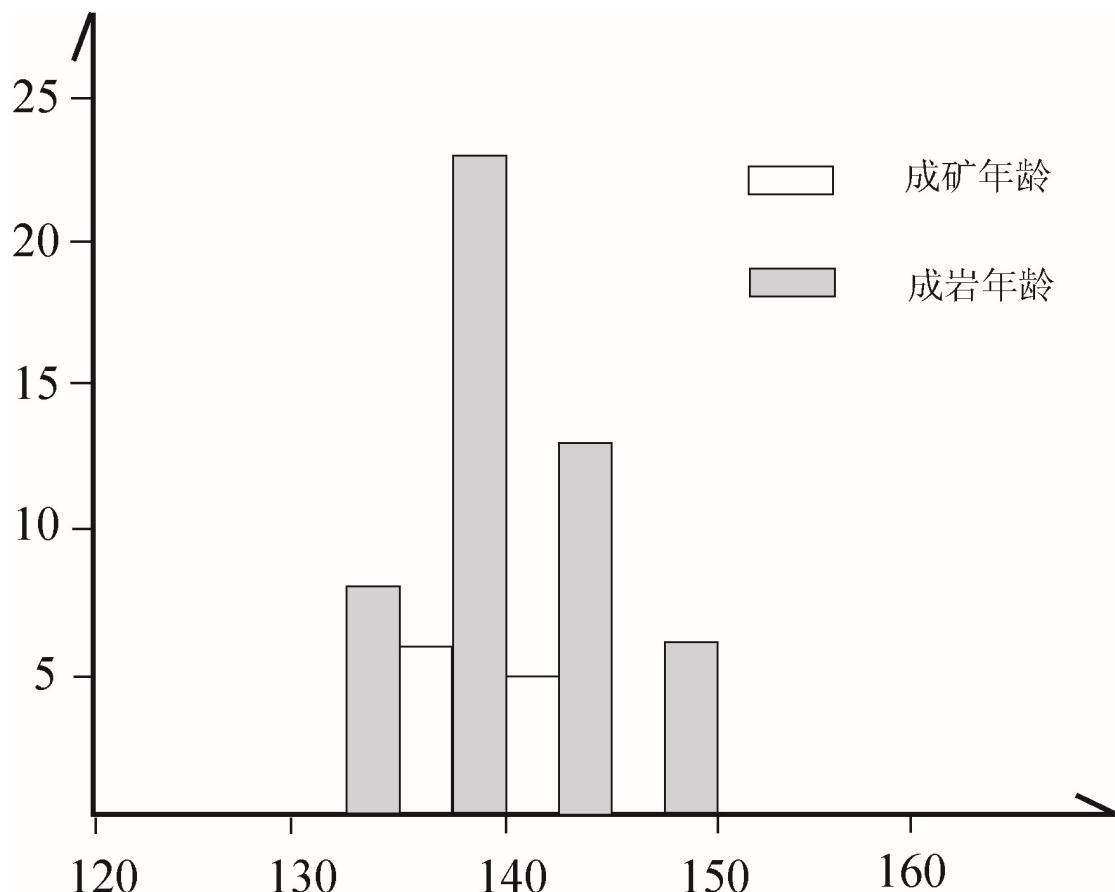


图 4.1 铜陵矿集区成岩成矿年龄频谱图

数据来源于 Chen et al., 1985; 安徽省 321 队, 1990; 李进文, 2004; 周泰禧等, 1987; 吴才来等, 1996; Wu et al., 2000; 曾普胜等, 2004; 陈江峰等, 2005; 王彦斌等, 2004a, 2004b, 2004c; Xu et al., 2004; Di et al., 2005; 张达等, 2006; 杜杨松等, 2007; 陆三明, 2007; 杨小男等, 2007; 谢建成等, 2008; Sun et al., 2003; 毛景文等, 2004; 蒙义峰等, 2004; Xie et al., 2007)

第二节 成矿规律

一、矿集区成矿基本规律

铜陵矿集区各矿田虽然地质特征存在一定差异，但作为整体，分布于长江中下游成矿带的断隆区中，它们有着共同的成矿条件和规律。其总体规律为，各矿床不仅明显地受构造-岩浆带控制，而且又受到特定的沉积岩层层位和岩性组合所制约，可概括为“一构造、二组合、三层位”特征（常印佛等，1991；唐永成等，1998）。

“一构造”：矿集区主要矿田受近东西向的铜陵-戴家汇深断裂控制，近东西向展布（图3.1）多数矿床受北北东向变形系统与北东向、东西向等变形系统的复合效应所控制。尽管构造复合形式不同，其控矿特征也存在差异，但在空间上仍具有一定的变化规律。在平面上，矿床受北北东向和南北向构造与北东向构造复合交叉部位的控制。在剖面上，与下部层位矿床有关的（如冬瓜山、新桥等层控型矽卡岩矿床）主要受北北东向变形系统扭转变形与北东向褶皱、 D_3w-C_{2+3} 层间滑脱构造控制，东西向叠加褶皱起一定作用，因下部褶皱比较宽缓，滑脱面上下岩层弯曲曲率半径较大，只要因扭转变形复合发生滑脱，就会产生广阔的虚脱空间，沿背斜核部呈北东向分布，有利于矿化叠加，形成规模大的层控矽卡岩（沉积-热液叠改型）矿床；与中部层位有关的矿床（如老鸦岭矿床等）主要受北北东向扭转变形与北东向褶皱、 P_1g-T_1 间多层次间滑脱构造及东西向叠加褶皱复合效应的控制，因北东向背斜紧密，滑脱面上下岩层的曲率半径小，发生相对滑脱时，在背斜核部形成规模较小的虚脱空间，热液沿虚脱空间运移，选择有利岩性交代成矿，形成多层次状矽卡岩型矿床；与上部层位有关的矿床主要受北北东向断裂、南北向断裂与其它变形系统复合控制，部分受岩体接触带、构造裂隙等控制。

“二组合”：辉石（二长）闪长岩组合主要与区内金成矿密切相关；石英（二长）闪长岩组合是区内最主要的岩浆岩，该组合岩体主要与铜、铁成矿关系密切；花岗闪长岩组合，主要与铜、多金属成矿关系密切。

“三层位”：区内具有六个重要赋矿层位，即 C_{2+3} 、 P_1q 、 P_2d 、 T_1y 、 T_1h 、 T_1n 。其中，从赋存其中的矿床个数及 Cu、Au、Ag、S 等储量所占比例来看（储国正，2003），最重要的赋矿层位是 C_{2+3} 及 T_1 。

二、矿床成因规律

铜陵矿集区矿床成因规律主要表现为以下方面：

(1) 多源复生，内生为主：成矿物质呈多源性，就主要矿种铜、铁、金、铅、锌、硫而言，与岩浆作用有关的来源仍占主要或重要地位；含矿流体中的水有岩浆水与非岩浆水（主要为大气降水）等不同来源，二者的比例在成矿演化过程中有变化；成矿作用显示多阶段多期次特征。

(2) 多类型并存，成网络交叉：本区存在矽卡岩型、热液型（层控热液叠改型）、沉积型、风化壳型（铁帽型）、火山岩型及斑岩型等多种类型矿床。

(3) 多矿种组成，有规律配套：沉积及沉积改造成矿系列主要为 Pb、Zn、Fe、S 等矿种，次要有 Au、Cu、Mo 等；铜成矿系列中铜与金经常共（伴）生，一般以铜为主，有时金也相当富集可形成 Cu-Au（共生）矿床；在一定条件，金也可独自富集以单金矿床或金为主、铜共（伴）生矿床发育。铅锌铜金多金属矿床上部为 Pb-Zn (Ag) 组合，中部为 Cu-Pb-Zn (Au-Ag) 组合，下部为 Cu (Au) 组合。

三、矿床分布规律

1、矿床的空间分布规律

铜陵矿集区铜矿床（点）在平面上呈近东西向展布于本区中部，且具有“铅锌夹铜金”的南北分带特点，在垂直方向上，往往表现为上金下铜或上部铅锌、下部铜金的分带现象。

铜矿床（点）具有环状分布特征，不同矿田中，矿床（体）多呈绕中心侵入体分布，典型的如凤凰山矿田、铜官山矿田。

矿床（体）具有多层产出特点，在某些矿田内，容矿地层层位多，有利于成矿和赋矿的不同岩性层间剥离滑脱构造带发育，矿床（体）常于（隐伏）中心侵入体之上呈多层次叠层式产出，典型的如狮子山矿田。

2、成矿的时间分布规律

初始富集的时控性：铜陵矿集区不同时代地层中有某些成矿初始富集现象，这种初始富集在以后适宜的构造岩浆热事件中，可以进一步得到加强或参与成矿作用，直至矿床就位。

区内主要初始富集期及其富集单元为石炭纪（铁、硫、铜、多金属）、二叠纪（铅锌、铁、铜、金、钼）和三叠纪（铁、铜、铅锌）等。

就位富集的时控性：区内矿床的形成虽然经历了复杂的演化过程，但主要成矿期都集中在晚侏罗世-早白垩世，同时，多数内生矿床的成矿作用都经历了硅酸盐阶段，氧化物阶段，硫化物阶段及碳酸盐阶段等四个演化阶段。

第三节 区域成矿模式

铜陵矿集区内生金属矿床的成矿模式研究，早在上个世纪 50-60 年代郭文魁提出铜官山式铜矿时已经开始。之后，郭宗山、常印佛、赵文津、徐克勤、翟裕生、谢学锦、陈毓川、裴荣富等陆续开展本区铜、铁矿床的矿床地层、找矿勘探等理论与勘查技术方法研究工作，并取得了诸多重要成果，奠定了“矽卡岩型铜矿”在国内铜矿床研究和找矿中的重要地位。上世纪八十年代以来，随着跨省（市）成矿带、成矿区划综合研究和“七五”、“八五”国家重点科技攻关项目的深入开展，对区内主要矿床都进行了多轮（次）成矿模式研究。常印佛等（1983，1991）提出了层控式矽卡岩的成因模式。刘裕庆等（1984）提出了沉积-热液叠加改造的多期多阶段层控矿床成矿模式。翟裕生等（1992）总结为矿田构造的“三层结构”模式。吴言昌（1992）、赵斌等（1999）提出了矽卡岩及其矿床的岩浆成因模式。Pan et al. (1999)、周涛发等（2000）、邓晋福等（2001）、毛景文等（2006）、杜杨松等（2007）提出了与底侵玄武岩浆作用有关的中酸性岩浆岩-碳酸盐交代成因模式。唐永成等（1998）、储国正（2003）提出了“多层楼”、“蒸笼”成矿模式。赵振华（2003）、张旗（2006）、王强（2006）提出与埃达克岩有关的矿床成矿模式。顾连兴（2003）、侯增谦等（2004）、蒋少涌（2007）等提出海底喷流成矿作用模式。Sun et al. (2007) 提出太平洋板块俯冲成矿模式。吴淦国等（2003）、邓军等（2006）还提出构造分层控岩控矿模式等。

铜陵矿集区代表性的成矿模式为“铜陵模式”（常印佛等，1991），其特征是“一圈多层”和“三位一体”（图 4.2），即矿体围绕侵入体平面呈环形，剖面呈多层状或“L”及“Y”形（接触式和层控式复合）；矿石组合为铜-硫、铜-（铁）硫、铜-金、铜-钼、铜-铅-锌，金属分带现象明显，属矽卡岩-斑岩-热液型矿床系列；成矿物质来源以深源为主，矽卡岩型矿床围岩蚀变主要为矽卡岩化和蛇纹石化，斑岩型矿床则为钾化、石英绢云母化及青磐岩化，其中有缺失或叠合现象。该模式二十多年来一直十分有效的指导着区内的矿产研究与勘查工作。

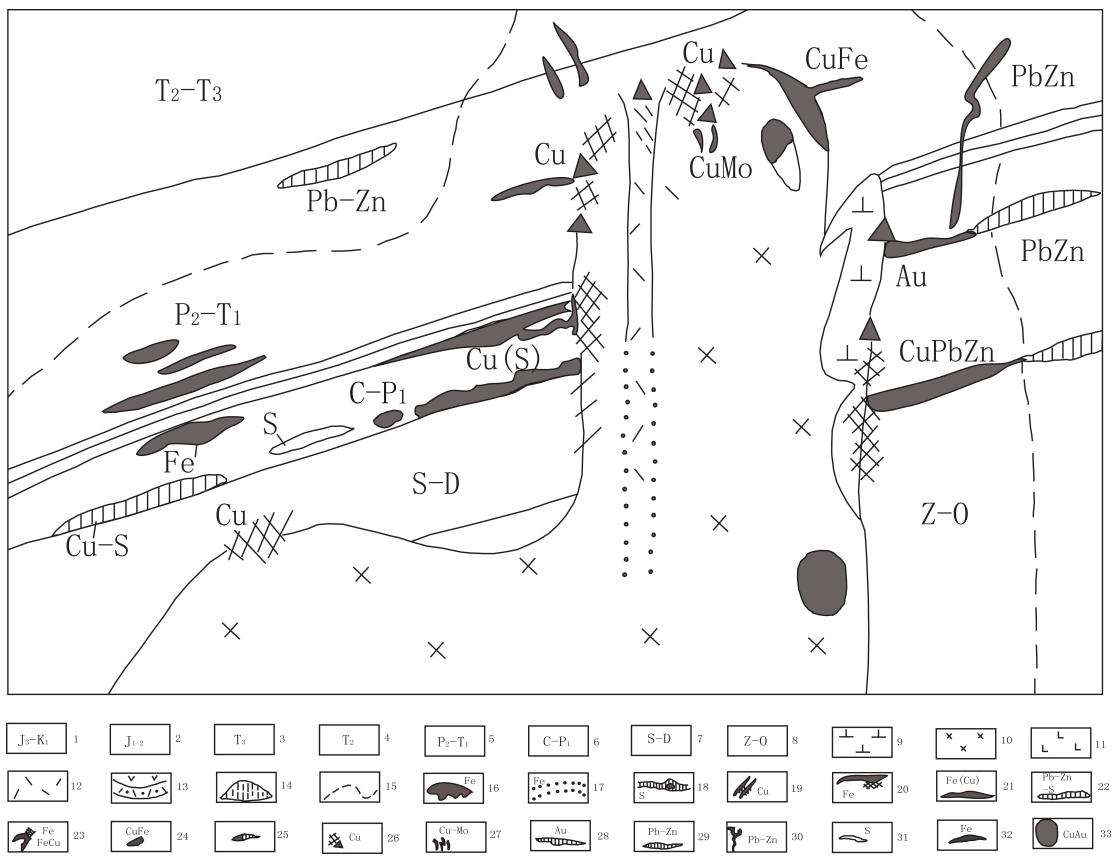


图 4.2 铜陵矿集区成矿模式图 (据常印佛等, 1991)

1-上侏罗-下白垩统火山岩系, 2-中、下侏罗统砂页岩, 3-上三叠统砂页岩, 4-中三叠统灰岩, 5-上二叠-下三叠统灰岩, 6-石炭系-下二叠统白云岩-灰岩, 7-志留系-泥盆系碎屑岩, 8-震旦系-奥陶系灰岩-碎屑岩, 9-闪长(玢)岩类, 10-花岗闪长(斑)岩类, 11-正长岩类, 12-石英斑岩-粗安斑岩, 13-熔岩及凝灰岩, 14-膏(盐)层, 15-热变质晕, 16-矿浆-隐爆式, 17-玢岩式, 18-层控-接触式, 19-大脉及细脉浸染型, 20-层控矽卡岩型, 21-矿浆-矽卡岩型, 22-热液型-叠改型-“层控”斑岩型, 23-接触式矽卡岩型, 24-接触式-捕虏体式矽卡岩型, 25-层控式矽卡岩型, 26-矽卡岩型及斑岩型角砾型角砾岩筒式, 27-斑岩型铜钼矿, 28-热液型及角砾岩筒式, 29-热液型, 30-脉状充填式, 31-沉积及叠改型, 32-叠改-矽卡岩型, 33-斑岩型铜金矿

第五章 野外工作方法

第一节 侵入岩的野外工作方法¹

一、侵入岩野外肉眼鉴定与大类划分

侵入岩的详细的命名需进行侵入岩的矿物种属、结构构造的详细镜下研究才能确定，在野外工作中要求能及时地凭借肉眼给以粗略的鉴定命名，并力求正确鉴别大类。

大多数侵入岩都是显晶质岩石，利用下述鉴定表（表 5.1），最常见的侵入岩都可以查出来。由于使用工具的限制，一般只能定出岩类的名称。鉴定时首先应根据产状和结构构造把岩体分成中—深成相和浅成相（包括脉岩），然后分别使用不同的鉴定表（表 5.1，表 5.2）。

中—深成相岩石首先观察其色率（色率即暗色矿物占造岩矿物总量的百分数）。表上所列色率只是一般情况。其次，观察石英（或副长石）的有无及含量，这样便可判明岩石在鉴定表横坐标上的位置。再次，观察岩石中有无长石以及钾长石、斜长石的相对含量。没有长石或没有钾长石而只有斜长石时，则注意暗色矿物的种类，这样便可判明岩石在鉴定表中纵坐标上的位置。横坐标和纵坐标的交会点所落入位置的岩石名称，即是要鉴定的岩石的名称。

最常见浅成相岩石（包括脉岩）肉眼鉴定表（表 5.2）的使用基本上与中深成相侵入岩鉴定表的使用相同。下面就这个鉴定表补充几点说明。

浅成相岩石（包括脉岩）的结晶粒度一般都比较细，常呈细粒—隐晶质，肉眼辨认其矿物成分往往比较困难。如果岩石是斑状结构，则可用斑晶矿物来判断岩石在鉴定表横坐标上的位置（即属那一个大类）。如果不是斑状结构，矿物成分又不易辨认时，则要利用色率来判断它所属大类。

斑岩是指斑晶是钾长石或石英的岩石。玢岩是指斑晶是斜长石或暗色矿物的岩石。

一般浅成相岩石的名称主要是根据其特征近于中深成相岩石或近于喷出相岩石而给以不同命名。近中深成相的，其命名中带有中深成相岩石名称的特点，如微晶辉长岩、闪长玢岩等等，近于喷出相的，其命名则带有喷出相岩石名称的特点，如玄武玢岩、安山玢岩等等。表中所列细晶结构，是指有些脉岩，其矿物成分与某一中深成相岩类岩石相当，不过色率低（暗色矿物少得多），矿物呈细砂糖粒状（显微镜下全他形）结构。具有细晶结构的岩石总

¹本节主要引自区域地质调查野外工作方法（第二分册），地质出版社，1979

称为细晶岩类。根据其矿物组成的不同可分别称为辉长细晶岩、花岗细晶岩等。野外鉴定时，常常因为矿物细小和色率低而不易把某些细晶岩和花岗岩类的浅成岩或脉岩区别开来，这时可统称为浅色脉岩。

表中所列伟晶结构，是指有些脉岩（或透镜体）结晶颗粒粗大（常超过1厘米），成分除长石、石英等造岩矿物外，常常还有一些含挥发性成分的矿物（如电气石、绿柱石等）的特殊类型的岩石。某些伟晶岩常常是有价值的稀土或稀有金属矿床的含矿母岩。根据矿物成分而视伟晶岩所属岩石大类来进行命名，如辉长伟晶岩、花岗伟晶岩等。

表中所列煌斑结构，是指有些脉岩，其矿物成分与某一类中深成相岩类岩石相当，不过色率偏高（浅色矿物少得多），暗色矿物自形程度好或形成斑晶的岩石的结构。具有煌斑结构的岩石总称为煌斑岩类。煌斑岩类岩石的进一步命名则根据其矿物成分，如闪斜煌斑岩（角闪石、斜长石）、闪辉石煌岩（角闪石、辉石、钾长石）等。野外鉴定某些煌斑岩时，常常因其粒度细小，颜色深暗而不易与某些辉长玢岩类岩石区别开来，这时可统称为暗色脉岩。

侵入岩的肉眼鉴定主要包括以下内容：

1. 岩石颜色（色率）的观察

岩石颜色的深浅是暗色矿物和浅色矿物相对含量的反映，所以可根据岩石颜色的深浅，大致分为浅色、中色与暗色的岩石，它们大致可与酸性岩、中性岩、基性岩和超基性岩相对应（图5.1）。当然，决定岩石颜色的因素除了暗色矿物含量外，颗粒大小也有关系，暗色矿物含量相同的岩石，粒度小的，在肉眼观察下要深得多，所以对于微晶、隐晶质的浅成岩类，不能仅按其颜色区分出酸、中、基性几个大类。但是，风化后的浅成岩类，其风化色仍有从酸性到基性颜色逐渐变深的现象，所以利用浅成岩风化后的颜色只可作为大致划分的标志。

2. 主要造岩矿物的野外肉眼鉴定

石英：石英是花岗岩类岩石的主要矿物。除了产在某些文象花岗岩中与钾长石呈文象交生、在某些浅成或深成侵入岩的边缘相、酸性脉岩中的斑晶石英可呈六方双锥自形晶或受熔蚀变圆的现象外，绝大多数花岗岩中的石英多呈他形粒状晶体。一般情况下，多呈他形不规则粒状，贝壳状断口，无色透明，玻璃光泽或油脂光泽，上述特征可与长石等矿物相区别。当长石等矿物解理不发育时，则可藉肉眼可见双晶而与石英相区别。

钾长石：产于侵入岩中的钾长石主要为正长石、微斜长石。在浅成侵入岩中可以出现透长石。条纹长石是富钠斜长石在正长石或微斜长石中与钾长石的交生变种。

表 5.1 最常见中深成相岩石（显晶质中、粗粒结构）的肉眼鉴定表

岩石名称 主要矿物 长石特点及 含量	大类		超镁铁质岩石	辉长石类岩石	花岗质岩类岩石			碱性岩类岩石	
	一般色 率	副长石 含量	>85%	85%-35%	35%-15%		<15%	或有碱性暗色 矿物	
无石英	无石英	石英 5%	石英 5%-20%	石英 >20%	无石英或有副 长石类				
有钾长石	钾长石 > 斜长石	黑云母和/或 角闪石等			正长岩	石英正 长岩	富钾花 岗岩	副长石(霞石) 正长岩	
基本上无钾长石	钾长石 ≈ 斜长石	同上			二长岩	石英二 长岩	花岗岩		
	钾长石 < 斜长石	角闪石为主			闪长岩	石英闪 长岩	花岗闪 长岩		
	斜长石	辉石			辉长岩(或苏 长岩)		碱性辉长岩		
	斜长石	碱性辉石等碱 性暗色矿物							
	斜长石				斜长岩(色率 <10%)		斜长花 岗岩		
基本上无长石		橄榄石为主	橄榄岩						
		辉石为主	辉石岩						
		角闪石为主	角闪石岩						

5.2 常见浅成相岩石（包括脉岩）的肉眼鉴定表

主要矿物成分及斑晶成分		大类	超镁铁质岩类	辉长石类	花岗质岩类岩石		碱性岩类岩石
		一般色率	>85%	85%~15%	<15%		不定
结构				辉石	角闪石		钾长石石英
	细粒-微粒		苦橄岩	微晶辉长岩	微晶闪长岩	微晶正长岩	微晶花岗岩
斑状 结构	基质：细-微粒	苦橄玢岩	辉长玢岩	闪长玢岩	正长斑岩	花岗斑岩	副长石（霞石）
	基质：微晶-玻璃		玄武玢岩	安山玢岩	粗面斑岩	流纹斑岩	
	细晶结构		辉长细晶岩	闪长细晶岩	正长细晶岩	花岗细晶岩	
	伟晶结构	辉石伟晶岩	辉长伟晶岩		正长伟晶岩	花岗伟晶岩	
	煌斑结构（色率均大于 20%）			闪斜煌斑岩	闪辉正煌岩（有云斜煌岩 角闪石辉石）云		

钾长石常为肉红色，褐黄色、灰紫色、灰白色、深蓝绿色等。由于肉红色钾长石较为常见，所以常常会误认为肉红色是钾长石的特征颜色；又由于灰白色斜长石较为常见，常常误认为灰白色是斜长石的特征颜色，其实这并不十分可靠。某些富钠斜长石可呈现淡红色、蔷薇红色或肉红色、而钾长石呈白色或深灰色也是常见的，有时灰白色的钾长石风化后又呈现肉红色。所以只能用颜色来作为区分两类长石的一个辅助条件，必须参考其它的特征来综合分析，才能作出比较正确的结论。

产于花岗岩类岩石中的正长石、微斜长石经常形成他形粒状晶体。斑状岩石中的斑晶钾长石常呈自形晶。产于罕见的更长环斑花岗岩中的钾长石呈卵形，其外沿又常包一斜长石环。钾长石的光泽和解理特征和斜长石基本相同，在肉眼观察下，仅以光泽和解理不能把两类长石区分开来。钾长石常可见卡式双晶，没有斜长石常见的特征聚片双晶，这是肉眼区分钾长石与斜长石的一个重要标志（将长石的晶面或解理面迎光转动到一个合适的角度，就可以看见以一条直线或折线为界，两边反光强度不一，即为卡式双晶）。

条纹长石是富钠斜长石（主要是钠长石、奥长石）在钾长石中的条纹交生变种。如果是钾长石在斜长石中与斜长石呈条纹交生，则称为反条纹长石，反条纹长石比较少见，大多出现于同化混染岩石与变质岩中。粗大一些的条纹在手标本上即可观察到，即在钾长石的晶面或解理面上见到一些大致沿一定方向的须根状细脉，其颜色多半比主体要浅，这些细脉就是条纹构造。

斜长石：斜长石广泛产于各种侵入岩中，即便是以铁镁矿物为主的超基性岩中。有时也可有少量出现。由于斜长石是由钙长石分子和钠长石分子不同比例混溶的固溶体，在不同时代或不同成分或不同形成条件的侵入岩中，它的化学成分和结晶构造都有差异。一般情况下，岩石愈基性，其中的斜长石愈基性（即钙长石—An 愈多）；岩石愈酸性，其中的斜长石愈酸性（即钠长石—Ab 愈多）。

基性斜长石多产于辉长岩类岩石中，某些超基性岩或可少量出现，经常形成厚板状一向延长的半自形晶，断面接近正方形。中性斜长石主要产于闪长岩类岩石，往往形成板状晶体，特别是作为斑晶出现时，很容易见到其近长方形的断面。酸性斜长石多为长板状形态。大多数斜长石呈暗灰色—白色，有时亦见到肉红色或褐灰色。基性斜长石多呈不同色调的深灰—白色，酸性斜长石可见灰、白、肉红色。各种斜长石均呈典型的玻璃光泽，风化或遭受蚀变的斜长石则呈土状光泽。斜长石具（001）与（010）两组完全解理，在矿物的断口上可见到平整宽阔的不整齐阶梯状具玻璃光泽（矿物新鲜时）的解理面。双晶是长石类矿物的重要鉴定特征，观察双晶的方法是将标本向不同方向摆动，直到用肉眼或放大镜看见矿物的晶面或解理面上反光时出现一些相互平行、明暗相间的直线或折线，这就是双晶纹。斜长石的钠长石律双晶（或称聚片双晶）可以见到一个晶体上若干条这种双晶纹，斜长石的卡-钠律复合双晶则可见到一个晶体由直线或折线将晶体分为反光不同的明暗两部分（卡斯巴双晶），在这两部分上分别还可见到若干较细的钠长石聚片双晶纹。一般的情况下，酸性斜长石聚片双晶纹较密，基性斜长石的双晶纹较疏。有时钠长石呈无色透明晶粒产出，如不注意可误认为石英，以致将大的岩类定错，注意观察解理双晶，可区别之。在某些斜长岩或辉长岩中的斜长石晶粒粗大、呈褐色，在反射光下可见青铜光泽的变彩，称为“日光石”。这是平行排列在斜长石轴面或柱面上的一些针状或板状赤铁矿、钛铁矿、磁铁矿包体，这种包体被认为是斜长石在高温时的均一混溶物质，在低温时溶出的结果。风化或蚀变的斜长石往往失去其玻璃光泽，断口呈瓷状或土状；如果变为绿帘石（黄绿色）、碳酸盐（滴 HCl 可起泡）多为基性斜长石，变为土状高岭土，则多为酸性斜长石。

普通角闪石：普通角闪石是闪长岩、正长岩、辉长岩等类岩石中常见的矿物。产于这些岩石中的角闪石通常富含镁。典型的呈暗绿色，很少有褐色。在侵入岩中的角闪石多呈长柱状一向延长晶体，在某些花岗闪长岩中，一向延长的特点不十分显著，肉眼观察时很容易误认为辉石，但角闪石的条痕（粉末）带绿色色调，而辉石（除去无色透辉石外）的条痕多带褐色色调。角闪石的光泽、解理完全程度和辉石相差不多，肉眼观察时可先在反射光下看到一个平行柱面断开的晶体的一组反光良好的解理面（呈比较密集的不规则阶梯状—不完全解

理), 然后在眼睛注视下用手旋转标本, 直到观察到第二组反光良好的不规则阶梯状解理面。由第一组解理面到第二组解理面之间旋转的角度就是辉石或角闪石的两组解理的夹角。估计这个夹角如果近 0° , 则矿物为辉石; 如果这个夹角呈钝角或锐角则是角闪石。如果能看到较好的晶体横断面, 则辉石大多呈近正方形或近正方形的八边形; 角闪石的横断面呈菱形或近菱形的六边形。

在一些比较细粒的岩石中, 角闪石有时与黑云母容易相混。新鲜角闪石硬度大, 小刀不易刻划; 黑云母硬度小, 小刀刻划即可获得细小的鳞片状粉末。此外角闪石常带绿色色调, 玻璃光泽到半金属光泽, 黑云母带褐色色调, 在解理面上可见珍珠光泽。

辉石: 辉石为超基性岩和辉长岩类岩石的主要矿物。可分为二类, 一类属斜方晶系, 一类属单斜晶系, 但肉眼难以区分。大多数辉石均具有绿黑、绿褐、黑褐等颜色; 少部分有翠绿色(产于超基性岩中的含铬透辉石)或灰、灰绿色(透辉石)。产于侵入岩中的辉石多呈近等轴粒状(不明显的短柱状), 玻璃光泽, 并带有半金属光泽或金刚光泽的特点(这是和一些粒状暗色长石的重要区别)。解理不完全, 新鲜断面呈密集而不整齐的阶梯状断口, 即不完全解理面。

橄榄石: 橄榄石是超基性岩、辉长岩类岩石常见的造岩矿物, 它的存在和含量是这两大类岩石种属划分的重要依据。新鲜的橄榄石主要呈砂糖状晶体。新鲜的橄榄石常呈鲜艳的橄榄绿色或黄绿色。玻璃光泽。不规则或贝壳状断口。产于某些辉长岩类岩石中的橄榄石, 主要依据其较辉石为淡的黄绿色或橄榄绿色和不具解理而与辉石相区别。出露的侵入岩的橄榄石多已被其他矿物所交代, 最常见的蚀变为蛇纹石, 其次有滑石、碳酸盐等。橄榄岩类蛇纹石化后形成一种隐晶集合体的蛇纹岩, 常呈黄绿、黑绿、黑色等蛇纹状花纹, 断口常显蜡状光泽, 断口边缘呈半透明。蛇纹岩风化后颜色变浅, 常呈灰色或淡黄色, 土状光泽, 有时在浅色的背景上常可见到细粒磁铁矿组成的多方向细脉, 构成网状结构。

黑云母: 黑云母是中酸性岩浆岩的主要造岩矿物之一, 它的存在和含量是这两大类岩石种属划分的重要依据。新鲜的黑云母主要呈假六方斑状或锥形短柱状, 常以鳞片或片状集合体形式产出。新鲜的黑云母常呈黑色或深褐色。解理面现珍珠光泽或晕彩。出露的侵入岩的黑云母多已被其他矿物所交代, 最常见的蚀变为绿泥石, 白云母、绢云母或高岭石等。

副长石: 霞石、白榴石、方钠石、钙霞石, 方柱石等矿物一般统称似长石矿物。似长石矿物多是在富碱贫硅的介质中形成, 一般不与石英共生。霞石常呈无色、白色或微带浅黄、浅绿色调, 玻璃光泽, 断口呈明显的油脂光泽, 具贝壳状断口。硬度 5~6。白榴石呈白色或灰色, 玻璃光泽, 断口呈油脂光泽, 硬度 5.5~6, 方钠石呈无色或浅蓝、灰、红、黄、绿等

色，某些方钠石在紫红外光下发桔黄色萤光。玻璃光泽，断口呈油脂光泽，硬度5.5~6。方柱石通常无色，玻璃光泽，硬度5~6，具特征的四方柱状晶形。

3.侵入岩中矿物成分的含量的估算

主要造岩矿物的相对含量是岩石分类命名的重要依据，也是探索岩石在时间、空间、成因上的变化特点和对岩石进行对比的重要标志之一。在野外工作确定侵入岩中矿物成分的含量有两种方法。

(1) 对侵入岩中矿物的相对含量的测定可采用目估的方法，目估结果的精度常跟经验有关。值得注意的是，由于肉眼视差关系，浅色基底上估计深色矿物含量，或深色基底上估计浅色矿物含量，都往往估计偏高。斑晶矿物的含量也常常估计偏高。

(2) 对侵入岩中矿物含量进行简便的直线法测定。在露头上选定具有代表性的地段或范围，用钢尺测量若干平行直线上的矿物或包体等的长度列表分别记录。直线数目、长度及间距视欲测矿物等的大小和要求精度来选择。原则上平行直线越长、间距越小、线数越多精度就越高。一般测线总长至少应该等于岩石中矿物的粒经的100倍，线的间距至少应该等于矿物的平均粒径。测量后用下式算出欲测矿物的体积百分比(用线段比代替面积比，用面积比代替体积比)。某矿物在岩石中体积百分含量=该矿物总长÷测量线总长×100%。

如果某一矿物在斑晶及基质中均存在，则计算这种矿物在岩石中所占体积百分比时，应把斑晶和基质中该矿物所占长度加起来一并计入该矿物总长。如果只要求计算岩石中斑晶含量体积百分比时，基质中的该矿物所占线段就不再计入该矿物的总长中。

直线法是一种比较简便易行的测量含量的方法，但它仅适用于中-粗粒显晶质的岩石。只要测量的线段能够保证足够数量、线的间距又不过宽时，其精度是能满足要求的。包体含量亦可用上述方法测量。

4.侵入岩结构构造的野外观察

岩石的结构是指矿物的结晶程度、颗粒大小、形状以及矿物之间的组合方式所反映出来的岩石构成上的特点，构造是指岩石中不同的矿物集合体之间或矿物集合体与岩石其它部分之间的排列方式或充填方式的特点。一般说来，岩石的结构决定于岩浆成分与岩石形成时的物理化学条件，如温度、压力、浓度、冷却速度等，而岩石的构造则以地质因素为主要条件，如构造运动、岩浆的流动等。所以，结构构造既是识别岩石与分类命名的一个标志，也是探索探讨岩浆活动的历史与成岩环境的重要依据。

侵入岩的结构与构造的研究需要依靠野外和镜下观察，侵入岩的野外观察主要包括以下

主要内容：

(1) 岩石的结晶程度：指岩石中结晶物质的发育程度，按岩石中晶质和非晶质（玻璃质）比例可分为：

全晶质结构：岩石全部由结晶矿物组成，这是在岩浆结晶温度下降较慢的条件下，岩浆中的组分得以从容结晶而形成的，所以多出现在侵入岩中。

半晶质结构：岩石中既有结晶的矿物又有非晶质的玻璃，浅成岩和部分喷出岩具有这种结构。

玻璃质结构：岩石几乎全部由玻璃质组成，这是在温度快速下降的条件下，岩浆中的各种组分来不及结晶即已固结，因而形成不具结晶矿物的玻璃质结构。

(2) 自形程度的观察：岩石中矿物外形的完整程度是不同的，按其自形程度可分为三种：

自形晶：具完整的晶形，这种晶体多半是在有足够的空间允许其充分生长的条件下生成的，如斑状结构岩石中的斑晶，如果岩石中大多数矿物是由自形晶组成，就称为全自形结构。

半自形晶：晶体部分为完整的晶面，部分为不规则的轮廓，这说明在结晶时结晶中心较多很多矿物都在晶出，条件不允许它们充分发育。如果岩石中大多数矿物具半自形晶，则称为半自形结构。大多数深成岩和浅成岩具这种结构。

他形晶：无一完正晶面，形状多半是不规则的，充填在其它已经折出的矿物颗粒空隙之间。如岩石中大多数矿物为他形晶，则称为全他形结构。

(3) 粒度的观察：具有晶质结构的侵入岩需观察其粒度。凡凭肉眼或借助于放大镜可见到矿物颗粒的称显晶质结构。肉眼或放大镜下不能见到只有在显微镜下才能见到矿物粒的称隐晶质结构。隐晶质结构有时与玻璃质结构肉眼难以区分，但隐晶质结构往往没有强的光泽，不很脆，有韧性，常具不太光滑的瓷状断口。

显晶质侵入岩的粒度按大小可分为：

伟晶结构 矿物颗粒直径 $>2\text{cm}$

粗粒结构 矿物颗粒直径 $>5\text{mm}$

中粒结构 矿物颗粒直径 $>2\text{mm}$

细粒结构 矿物颗粒直径 $0.2\text{mm} \sim 2\text{mm}$

微粒结构 矿物颗粒直径 $<0.2\text{mm}$

粒径大小的度量，以岩石中有代表性的颗粒长轴为准，通常度量钾长石、斜长石或石英，如果岩石以暗色矿物为主则度量有代表性的暗色矿物。如果岩石中主要造岩矿物粒度大致相

等称为等粒结构，如果大小不等且成连续变化则称不等粒结构，如果粒径大小相差悬殊，且无过渡粒径颗粒则称斑状结构。岩体中矿物粒度是形成环境的反映，岩浆在深部缓慢冷凝时粒度粗，在浅部较快冷凝时粒度细，岩体中心冷凝缓慢则粒度粗，边部急剧冷凝则粒度细。当岩浆中含有较多挥发分时亦可使冷凝速度缓慢，出现粗大的矿物晶粒。在岩石命名时常冠以粒级。

(4) 斑晶观察：深成相岩石在显晶质的粒状结构的基础上常出现斑晶。所谓斑晶必须是粒度与基质相差悬殊，且岩石中没有过渡粒度的颗粒。这种结构称“斑状结构”。命名时冠以“斑状”一词，如中细粒斑状花岗岩，有时斑晶是由交代作用生成的，则称“似’斑状结构”，但肉眼不易鉴别。“斑晶”亦可见由许多个细小的石英或长石组成，而非单个矿物，则称为“聚斑晶”。“聚斑状”，野外如不仔细观察易，将矿物聚集体误认为单个矿物的斑晶，特别是在风化的露头上容易混淆。在岩石定名时注意把斑晶种类与含量估计进去，否则常导致定名错误，如含斑晶的花岗岩往往钾长石都集中于斑晶，基质主要为石英与斜长石，忽略了斑晶的成分含量则可能定为二长花岗岩。同样道理，如送室内鉴定样品，必须把野外观察的斑晶种类与含量在送样单上写清楚，供室内定名参考。

二、侵入体岩相带的划分

侵入岩的相带是指岩体内由不同岩性特点所构成的“岩性带”，带与带之间呈渐变关系，只能大致划分开。划分相带主要根据结构构造和矿物成分两方面因素综合考虑。对于等粒结构岩石可根据粒度划分，如粗粒、中粒、细粒；对于斑状与似斑状岩石可根据基质粒度划分，如中基斑状、细基斑状，也可按斑晶大小和含量划分，如多斑、少斑、小斑、巨斑等，也可二者结合，主要矿物成分变化明显时可根据岩性类型划分，如纯橄岩，辉橄岩，石英闪长岩、花岗岩等，主要成分变化很小时则根据次要矿物种类划分，如黑云母花岗岩、二云母花岗岩。有时亦可根据副矿物划分。总之划分时要根据岩体的具体情况而定。在野外工作中，常常把一个岩体分为边缘相带、内部相带；或者划分为边缘、过渡、内部（或中心）三个相带，这种划分方法对于大部分岩体来说是适用的，能直观反映多数岩体边部和内部冷却条件以及岩性变化的总趋势和规律，同时利用相带分布特征推测岩体形态、剥蚀深度等均较为有用，因此野外工作尽可能把边缘相带、过渡相带和内部相带划分出来。

野外填绘相带界线一般采用穿越法。相带走向是根据流面走向来确定。如无流动构造则适当追索或加密路线，用两界线点直接相连。

相带界线在一般情况下与岩体边界线是协调的。这可能反映岩体四周各方向散热条件相似，就地分异占主导地位，岩浆固化时所处构造环境较宁静。但有的岩体则不协调，假如查不出是由于岩体固化以后的一些因素所造成的（断层，沉积接触，晚期岩体的切割），那就可能是混染作用或侵位前各部位岩浆成分不均匀，以及非岩浆成因等其他方面的因素所致。

必须强调指出，划分相带应以肉眼能明显区分开的标志为依据，不能过多依赖于薄片和其他复杂的方法，故一般通过野外踏勘或剖面研究以后就能确定。只有当肉眼不能划分，而找矿工作又要求划分时，才利用薄片观察所提供的线索，再用肉眼反复比较找出其细微的区分标志。

三、侵入体与围岩接触关系的野外研究¹

研究接触关系的主要目的是确定岩体的相对时代、岩体产状、成因及寻找某些矿床。接触关系根据接触界线的明显程度分为急变和渐变接触两类。二者之间有过渡类型。

渐变接触的特点是接触线和接触面都不明显，岩体和围岩在粒度或成分方面差别不大，呈逐渐过渡。

接触关系按成因分为沉积（超覆）、断层、侵入和混合交代接触四类。一般说来急变接触是侵入接触和断层接触的主要特点。只有当岩浆具有强烈的化学活动性而与围岩发生强烈交代（即侵入交代接触）及同化混染时才出现渐变的特点。至于混合交代成因的岩体与围岩无疑是渐变接触。侵入岩与围岩接触关系的判定主要靠野外观察：

沉积接触是指侵入体形成后遭受风化剥蚀，又为新的沉积层所覆盖，说明侵入体的时代较围岩时代老，其野外主要标志：

- (1) 侵入体与围岩之间有古风化壳或侵蚀面，在围岩中常含该侵入体的砾石或某些矿物碎屑；
- (2) 围岩未受到任何侵入作用的影响，如围岩无热变质现象，围岩产状和构造形态未受干扰；
- (3) 围岩层理平行于接触面；
- (4) 切过侵入体的断裂到接触面截止；
- (5) 侵入体中矿脉、脉岩不穿过围岩，有时却在围岩中能找到它们的碎屑沉积物；
- (6) 围岩可出现于侵入体不同相带之上；
- (7) 岩体接触面附近，原生流动构造可与接触面斜交或直交等。

其中前三项标志是主要的，后四项是辅助的。因为断层接触有时亦有类似的特点。

断层接触的主要野外标志有：

- (1) 沿接触带岩体和围岩（或者其中之一）有挤压、破碎痕迹，故常形成断层角砾岩带、糜棱岩带或片理化带。
- (2) 破碎同时伴随各种热液蚀变甚至矿化作用，常见蚀变有绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、硅化等，有时石英脉发育。
- (3) 接触线一般平直，围岩可切过岩体不同相带，或切过流动构造、脉岩等。

侵入接触是岩浆侵入围岩而形成的接触关系，说明岩体时代较围岩晚。其主要野外标志有：

- (1) 岩体边部粒度变细，具冷凝边或冷凝带。
- (2) 在岩体内或与围岩接触处常有围岩的捕虏体。
- (3) 从平面上看岩体与围岩接触线不平直，局部成港湾状切割围岩。
- (4) 有岩枝或与侵入体有成因联系的脉岩、矿脉穿入围岩。
- (5) 岩体边部如具流动构造，则大多平行于接触面。但也有例外，如岩浆流动受围岩阻挡改变其流动方向或者出现涡流时，局部地段可与接触面斜交，但总体上看仍是协调的。
- (6) 围岩有接触热变质或交代蚀变现象，并随远离岩体而减弱和消失。
- (7) 在一些情况下岩浆是强行侵入的，围岩产状和构造形态受到干扰和破坏。

四、侵入体期次的划分和时代的野外观察

岩浆活动常具多期性。一般说来两种成分不同的侵入岩呈急变接触关系，如不是断层接触，则是不同时代或同一时代不同期次的侵入体。这时野外工作应初步确定其形成先后顺序：

晚形成的岩体有以下特点：

- (1) 具细粒边缘相带或冷凝带；
- (2) 有岩枝穿入早期岩体；
- (3) 包有相邻早期岩体的碎块（捕虏体）；
- (4) 边缘流动构造平行于接触面。在某些花岗岩体边缘有时出现团块状、透镜状伟晶岩包体和大体上平行于接触面的某些矿物富集带（如云母、长石等）。

早形成岩体有以下特点：

- (1) 具有烘烤、蚀变或热变质现象；

- (2) 岩体的完整性有时被破坏;
- (3) 岩体中的脉岩、矿脉、断层到接触面截止（即不通过另一岩体）而又无其他断层标志。

以上是判别两相邻侵入体形成先后的基本原则。在实际工作中，还须把不同时代侵入体及同一时代不同期次的岩体区分开。在野外工作中常常由于露头掩盖及各种复杂原因，有时难于作出肯定的结论，需要结合同位素年代学工作确定。

五、侵入体构造的野外研究

侵入体构造研究的野外工作主要内容包括接触面、原生流动构造、原生节理、构造节理和断裂等的观察及产状要素的测定。

(1) 侵入接触面产状的判别和测定：侵入接触面的形态特征计有平整、波状、锯齿状、枝叉状和顺层贯入等几种类型。同一岩体有时可由两种以上类型结合而构成复杂的接触面。对于平整或波状接触面的陡缓，有时可根据内外接触变质带的宽度来判断。在其他条件相同的前提下，接触面倾向围岩而倾角较缓时，其内外接触变质带宽度较大。接触面直立或向岩体内倾时，其内外接触变质带宽度最小。当地形切割使接触面暴露出来时，可用罗盘直接测量其倾向和倾角。但是由于各种因素影响，这个面经常未暴露出来，只能见到接触线。在地质图上根据接触线与地形等高线的相互关系，可以间接判断接触面的倾向和倾角陡缓等情况。

(2) 原生流动构造判别：在粘性岩浆上升侵位对流的过程中，有一部分晶体从岩浆中析出，它们伴随岩浆运动而形成有规律的排列，这种构造称原生流动构造。按其产出形态计有：

①线状流动构造，又可分为流线和流索构造两种。前者由针状、柱状矿物平行排列而成。一后者由某些柱状、片状矿物的索状聚集体、异离体以及深刻改造的索状或纺锤状捕虏体等呈断续定向排列而成。

②流面构造：由片状、柱状矿物、扁平状析离体的扁平面方向平行排列。当这种平行排列仅见于两个面上而第三个面、比较紊乱（不具定向）时称粗面构造或平行平面构造，多见于碱性岩或含长石斑晶的浅成岩中。

③流层构造：由成分不同或结构不同的岩石成层交替出现。

④流带构造：与流层构造相似，所不同者是条带呈断续分布，且厚度变化大，虽可交

替出现但不连续成层。有人把后两种构造统称为原生条带构造。

流动构造在不同岩类及不同深度的侵入体中发育情况是不同的。一般说来基性、超基性及碱性岩中表现较好，而花岗岩类除部分石英闪长岩、花岗闪长岩外一般都极差。形成深度大的大型岩体，其流动构造不明显。对同一岩体来说，边部（包括顶部）流动构造又比中心明显。因而研究流动构造应多从内接触带附近的良好露头着手。

野外研究流动构造，最主要应做下列工作：

①根据上述特征把各类型流动构造区分开，并描述其具体特点。在描述流层和流带构造时要指出每层（带）的厚度、各种矿物沿走向及倾向上的变化、各层（带）之间接触性质与含矿性等。

②测量各种流动构造的产状要素。

③判别岩浆流动方向。

④素描或照相。

⑤成因分析。

(3) 原生节理判别：岩浆冷却固化时由于体积收缩而产生的裂隙称原生节理，一般在岩体边部较发育，且可为脉岩或矿脉充填。根据节理与流动构造关系主要有以下四组，

①横节理（O）：它垂直于流线和流面，属张节理，因为它垂直于张力方向（流线代表岩浆最大张力方向），裂隙面粗糙、延伸较长。

②纵节理（S）：它平行于流线而垂直于流面，也是一种张节理。节理面粗糙，但节理发育程度比横节理差。

③层节理（L）：它平行于流线和流面。节理面平滑。

④斜节理（D）：与流线斜交，其角度约 45° ，为剪节理。有两组，对称分布于横节理两侧，两组交角近 90° 。但经常只有其中一组较发育。

六、侵入岩野外的观察和描述规范

对各类侵入岩的观察和描述，要从以下几方面入手：

1. 颜色

岩浆岩的颜色大致可以分为浅色、中色和暗色几种。观察时，应分出原生色（即为新鲜面颜色）及次生色（即经过次生变化后风化面的颜色）。原生色可反映岩石的成分及形成环

境，次生色可反映岩石的后期变化特征。

深成侵入岩的颜色深浅，是暗色矿物含量和浅色矿物含量比率的反映。辉长岩、橄榄岩为深色，闪长岩为中色，花岗岩、霞石正长岩为浅色。

浅成侵入岩的颜色深浅，多受矿物粒度大小。结晶程度的影响，如微晶和隐晶质岩石比同成分的深色岩颜色深。

描述岩石颜色时，应分出新鲜面（原生色）、风化面（次生色），分别加以描述。

2.结构

显晶质岩石，其主要造岩矿物粒度大致相等时，应写出粒度与习惯结构名称，如中粒辉长结构，粗粒花岗结构，中粒二长结构，粗粒半自形结构等。

隐晶质至玻璃质的岩石，以及其他显晶结构的岩石，只有在岩石薄片鉴定的情况下，才能定出其具体结构。

3.构造

最常见的岩浆岩构造的种类不多，只需准确描述即可。侵入岩多具块状、斑杂状，条带状构造等。

4.矿物成分

对矿物成分的观察和描述应包括以下内容：矿物名称，矿物特点，粒度大小，百分含量等。

对显晶质等粒结构的岩石，应描述主要矿物、次要矿物、副矿物、次生矿物。描述时应按含量多的先描述、含量少的后描述，即“先多后少”的顺序。

对矿物特征的描述应包括以下几方面：颜色、形态及鉴定特征（包括可反映岩石的结构、构造等特征）、粒度、目估百分含量等。

岩石具斑状或似斑状结构时，应首先指明斑晶矿物在整个岩石中的目估百分含量，然后以斑晶矿物含量“先多后少”的顺序描述其特征。接着描述基质中矿物的特征，如矿物粒度呈细粒时，其描述顺序与要求同前述。当基质粒度小于细粒时，只要求指明主、次要矿物，不要求做详细描述。

侵入岩野外肉眼观察和描述实例：

(1) 橄榄辉长岩

肉眼描述：新鲜面灰暗色，风化面暗褐色。中粒辉长结构，颗粒均匀，颗粒直径 2-5cm，块状结构。岩石比较新鲜。暗色矿物主要为黑色的辉石，呈近于短轴状颗粒，有时可见解理。其次，可见少量黄绿色，油脂光泽的橄榄石和具有珍珠光泽的黑云母。暗色矿物含量约 50%。浅色矿物为斜长石，呈长板状，白色至灰色，玻璃光泽，含量约 50%。

(2) 闪长玢岩

肉眼描述：新鲜面浅灰色，斑状结构，块状构造。斑晶成分为灰白色板状斜长石和绿色柱状角闪石，斑晶直径 1~6cm，斑晶占岩石体积 30%左右。基质为隐晶质结构。

(3) 闪长岩

肉眼描述：新鲜面灰白色，等粒结构，块状构造。颗粒均匀，颗粒直径 2-5cm。岩石较新鲜。主要矿物是中性斜长石及一种暗色矿物。斜长石呈长板状，白色至灰色，玻璃光泽，含量约 70%，暗色矿物主要为角闪石和少量的黑云母，含量约 15%。石英含量约 5%左右。

(4) 花岗闪长岩

肉眼描述：新鲜面暗灰色，风化面灰绿色。中粒花岗结构，颗粒均匀，颗粒直径 2-5cm，块状结构。岩石较新鲜。暗色矿物主要为角闪石和少量的黑云母，含量约 15%，浅色矿物为斜长石，呈长板状，白色至灰色，玻璃光泽，含量约 60%。石英含量约 25%左右。

(5) 花岗岩

肉眼描述：新鲜面肉红色。中粒花岗结构，颗粒均匀，颗粒直径 2-5cm，块状结构。岩石较新鲜。主要矿物为石英、钾长石和斜长石。石英呈他形粒状，油脂光泽，含量约 40%。钾长石呈肉红色，他形粒状晶体，含量约 40%，斜长石呈长板状，白色至灰色，玻璃光泽，含量约 10%。暗色矿物主要为黑云母，含量约 10%，

第二节 矿床的野外工作方法²

矿床的野外（现场）观察内容广泛：对矿区地质（包括矿区地层，构造，岩浆岩等）和矿床地质（矿体产状，围岩，地层，矿石组成，结构构造等）进行细致观察、描述和编录，测制各种地质图体，采集典型的矿物、岩石、矿石及化石、构造现象标本等，并就地进行一些简易测试和鉴定，在以上工作时注意对矿体和围岩进行观察、描述和典型样品采集。以下简要介绍矿床中主要金属，非金属矿物的肉眼鉴定特征，矿石结构构造的类型及内容，矿石观察与描述方法，围岩蚀变的观察与描述方法，矿化期和矿化阶段

² 本节部分内容参考了矿床学教程（2006），矿产勘查学（2003）、矿相学（2007）、结晶学与矿物学（1994）等教材。

的确定方法等。

一、常见矿物的肉眼鉴定

矿床地质学家对矿床的研究往往是从矿物的识别开始。矿物的晶体结构、化学成分是矿物的本质特征，需要借助于仪器，有时要靠现代化的仪器才能测定出来。在矿床野外观察时，我们需要第一时间作出初步判断，就只能借助于肉眼来识别矿物。

肉眼识别矿物主要是利用矿物的外形（晶形、集合体形态）、光学性质（颜色、条痕、光泽、萤光性）和力学性质（硬度、比重、解理、延展性、脆性）和电磁性。有一些矿物的外观相似，特别容易混淆，除了考虑它们的物理性质之外，还要依据它们的化学成分等特点来识别。

通常的识别方法有：看、打、闻、刻、划、掂、尝。

看：指观察矿物外表、晶形、集合体形态、颜色等，通过矿物的光泽确定属于金属矿物还是非金属矿物；

打：用地质锤等击打矿物，试其矿物的软硬程度、打开后看矿物的解理、裂理和断口特征；

闻：闻闻矿物的气味，如毒砂被打击后，会发出臭葱般的味道；

刻：用小刀等工具刻矿物，以确定矿物的硬度、延展性、脆性；

划：将矿物在白色的瓷板或碗底裂口上划一下，看矿物粉末的颜色，即条痕的颜色；

掂：将矿物在手上掂一掂，看其轻重如何，比重怎样？如石英轻、白钨矿重；

尝：用舌尖舔一舔矿物，试其味道、粘性等。

工具通常有：地质锤、放大镜、小刀、磁铁、白色瓷板、稀盐酸等。

常见矿石矿物和脉石矿物野外识别方法：

磁铁矿 ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$, Mgt) : Fe 77.77%, O 22.23% 晶体常呈八面体，针状或分散粒状。铁黑色，条痕黑色。半金属至金属光泽，不透明。无解理，硬度 5.5~6。比重 4.9~5.2，具强磁性。

赤铁矿 (Fe_2O_3 , Hem) : Fe 69.94%, O 30.06%，常呈片状、致密块状、鲕状、肾状、土状等。颜色呈红-铁黑色，条痕为樱桃红色，半金属光泽，硬度 5.5~6.5。无磁性。

褐铁矿 (FeOOH , $\text{FeOOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) , 褐铁矿常呈致密块状或胶态，似胶态条带状，或土状、疏松多孔状等。呈黄色、褐色、褐黑-红褐色。条痕黄褐色或棕黄色。硬度变化较大 1~4，土状者硬度较小。

黄铁矿 (Fe₂S, Py) : Fe 46.55%, S 53.45%, 晶形常呈立方体, 五角十二面体。集合体常呈致密块状、散染粒状。浅黄铜色。条痕绿黑色。金属光泽。硬度 6~6.5。性脆。比重 5. 断口参差状。

磁黄铁矿 (Fe_{1-x}S, Pyr) : Fe 63.53%, S 36.47%, 暗青铜黄色, 带褐色睛色, 有时呈黄棕色; 亮灰黑色条痕; 金属光泽, 不透明。解理不完全, 性脆, 硬度 3.5~4.5, 比重 4.6~4.7。具弱磁性至强磁性。

白铁矿 (Fe₂S, Mar) : Fe 46.55%, S 53.45%, 淡铜黄色, 微带浅灰或浅绿色调, 新鲜面近于锡白色(较黄铁矿颜色浅), 条痕暗灰绿色, 金属光泽。性脆, 断口不平坦, 硬度 6~6.5, 比重 4.8~4.9。

菱铁矿 (FeCO₃, Sid) : Fe 48.23%, C 10.71%, O 42.85%, 新鲜时浅灰白色或浅黄白色, 风化后转为褐色, 棕红色、黑色。玻璃光泽, 隐晶质无光泽; 透明至半透明。硬度 4, 比重 3.7~4.0.

黄铜矿 (CuFeS₂, Cep) : Cu 34.56%, Fe 30.52%, S 34.92%, 常为致密块状或分散粒状。黄铜色。条痕墨绿色, 金属光泽。硬度 3~4。性脆。比重 4.1~4.3。

辉铜矿 (Cu₂S, Cc) : Cu 79.86%, S 20.14% 单晶体少见, 晶形呈假六方形的短柱状或厚板状, 通常呈致密块状、粉末状。暗铅灰色。条痕暗灰色。金属光泽。硬度 2~3。略具延展性。小刀刻划时不成粉末, 却留下光亮刻痕。比重 5.5~5.8。

斑铜矿 (CuFeS₄, Cv) : Cu 63.33%, Fe 11.12%, S 25.55%, 常呈致密块状或粒状, 新鲜的断面呈暗铜红色, 不新鲜的表面常被覆蓝紫斑状锖色, 条痕灰黑色, 金属光泽, 硬度 3, 性脆, 比重 4.9~5.0。

黝铜矿-砷黝铜矿 (Cu₁₂Sb₄S₁₃-Cu₁₂As₄S₁₃), 黜铜矿 Cu 45.77%, Sb 29.22%, S 25.01%, 砷黝铜矿 Cu 51.57%, As 20.26%, S 28.17%, 钢灰色至铁黑色; 钢灰色至铁黑色条痕, 有时带褐色, 金属至半金属光泽, 在不新鲜断口上变暗, 不透明。无解理; 具脆性, 硬度 3~4.5. 比重 4.6~5.1。

毒砂 (FeAsS) : Fe 34.30%, As 46.01%, S 19.69%, 锡白至钢灰色, 浅黄睛色, 条痕灰黑色, 有时带很弱的紫色或褐色色调, 金属光泽, 不透明。解理中等-不完全; 硬度 5.5~6, 性脆。比重 5.9~6.29。

蓝铜矿: Cu₃[CO₃] (OH)₂: CuO 69.24%, CO₂ 25.53%, H₂O 5.23%, 深蓝色, 土状块体呈浅蓝色; 浅蓝色条痕, 晶体呈玻璃光泽, 土状块体成土状光泽; 透明至半透明。解理完全至中等, 贝壳状断口。硬度 3.5~4, 比重 3.7~3.9。

铜蓝 (**CuS**) Cu 66.48%, S 33.25%, 铛蓝色; 条痕灰黑色; 暗淡至金属光泽; 不透明, 解理平行{0001}完全, 薄片可弯曲, 性脆, 硬度 1.5~2。比重 4.59~4.67。

方铅矿 (**PbS, Gn**) : Pb 86.6%, S 13.40%, 晶体常呈立方体, 通常成粒状、致密块状的集合体。颜色为铅灰色。条痕灰黑色。金属光泽。硬度 2~3。比重较大, 为 7.4~7.6。

闪锌矿 (**ZnS, Sp**) : Zn 67.10%, S 32.90%, 晶形多呈四面体, 菱形十二面体, 但常见者是粒状块体。颜色因含铁量的不同而有差异, 灰色、浅黄、棕褐直至黑色。条痕白色至褐色。光泽由松脂光泽至半金属光泽。从透明至半透明。硬度 3.5~4。比重 3.9~4.1, 随含铁量的增加而降低。

黑钨矿 ((**Mn, Fe**) **WO₄, Wol**) : 常呈板状及粒状。颜色棕至黑。条痕暗褐色。半金属光泽。硬度 4.5~5.5。比重 6.7~7.5。含铁较多者具弱磁性。

白钨矿 (**CaWO₄, Sct**) : CaO 19.4%, WO₃ 80.6%, 无色, 白色少见, 多为灰色, 黄白色或浅紫, 浅褐色, 油脂光泽或金刚光泽, 透明至半透明。断口参差状。硬度 4.5~5, 性脆。比重 5.8~6.2。具发光性, 在紫外光照射下发浅蓝色至黄色的莹光。

锡石 (**SnO₂, Sn**) : Sn 78.8%, O 21.2%, 其形态随形成温度、结晶速度、所含杂质的不同而异。晶体常呈双锥柱状、长柱状、针状, 集合体呈不规则粒状。一般呈红褐色, 无色者极为少见, 含钨者呈黄色。条痕淡黄。金刚光泽, 断口油脂光泽。半透明至不透明。硬度 6~7。性脆, 贝状断口, 比重 6.8~7.0。

辰砂 (**HgS, Cnb**) : Hg 83.21%, S 13.79%, 单晶体呈厚板状或菱面体形。集合体多为粒状, 或致密块状以及被膜状。红色, 有时表面呈铅灰的锖色。条痕红色, 金刚光泽, 硬度 2~2.5, 比重 8.05。

辉锑矿 (**Sb₂S₃, Stn**) : Sb 71.38%, S 28.62%, 单晶体呈柱状或针状, 柱面具明显的纵纹。集合体为放射状或致密块状, 铅灰色, 条痕黑色, 晶面常带暗蓝锖色, 金属光泽, 硬度 2, 性脆, 比重 4.6。

硬锰矿 (**BaMn²⁺Mn⁴⁺O₂₀·3H₂O, Psi**) : 通常呈葡萄状、钟乳状、树枝状以及土状集合体。灰黑至黑色, 条痕褐黑色至黑色。半金属光泽, 如土状者, 则无光泽。硬度 4~6。性脆。比重 4.4~4.7。

雌黄 (**As₂S₃, Or**) : As 60.91%, S 39.09%, 柠檬黄色, 条痕鲜黄色, 油脂-金刚光泽, 解理面为珍珠光泽, 解理平行(010)极完全, 薄片据挠性, 硬度 1~2.比重 3.4~3.5。

雄黄 (As₄S₄, Reg) : As 70.1%, S 29.9%, 橘红色, 条痕浅橘红色, 晶面为金刚光泽, 断口为树脂光泽, 透明-半透明。解理平行 (010) 完全, 硬度 1.5~2。比重 5.56。风化后转边为红黄色粉末。

孔雀石 (Cu₂[CO₃] (OH)₂, Mlt) : CuO 71.95%, CO₂19.90, H₂O 8.15%, 单晶体呈柱状或针状, 但极少见。集合体常为钟乳状或结核状, 有时其内部具纤维状构造。深绿至鲜绿色。条痕淡绿色。玻璃光泽至金刚光泽。纤维集合体呈丝绢光泽, 结核状者光泽暗淡, 硬度 3.5~4, 性脆, 比重 3.9~4。

高岭石 (Al₄[Si₄O₁₀] (OH)₄, Kao) : 常呈土状、粉末状、鳞片状。纯净者颜色白, 如含杂质, 则染成浅黄、浅灰、浅红、浅绿、浅褐等色。蜡状光泽。硬度极低, 1~3 度。比重 2.6。吸水性强, 舌舔有黏性。

透辉石 (CaMg[Si₂O₆], Di) : 白色、灰绿色; 条痕无色至深绿。解理 (110) 完全, 解理夹角 87°。硬度 5.5~6。比重 3.22~3.56。

金云母 (K{Mg₃[AlSi₃O₁₀] (OH)₂}, Ph) : 深色金云母呈各种色调的棕色, 浅色金云母成各种色调的浅黄色。半透明至透明。玻璃光泽, 解理面成珍珠光泽。解理 (001) 极完全。薄片具弹性。硬度 2~3。比重 2.7~2.85。

黑云母 (K{ (Mg, Fe)₃[AlSi₃O₁₀] (OH)₂}, Bi) : 黑色、深褐色, 有时带浅红、绿色等。透明至不透明, 玻璃光泽, 解理面现珍珠光泽或彩晕。{001}解理极完全, {110}/{010}解理不完全。薄片具弹性。硬度 2.5~3。比重 3.02~3.12。

白云母 (K{Al₂[AlSi₃O₁₀] (OH)₂}, Mus) : 无色或浅黄、褐、灰、浅绿、棕红色。透明至半透明, 玻璃光泽, 解理面珍珠光泽。细小鳞片状白云母称绢云母, 呈丝绢光泽。(001)解理极完全, 薄片有弹性。硬度在 (001) 面为 2~3, 垂直 (001) 为 4, 比重 2.76~3.10。

石榴子石 (Grt) : 石榴子石的颜色各种各样, 常见的为暗红色。玻璃光泽, 断口油脂光泽, 硬度 5.6~7.5, 有脆性, 比重 3.5~4.2。

磷灰石 (Ca₅[PO₄]₃ (F, OH), AP) : 单晶体为六方柱状或厚板状, 集合体为块状、粒状、结核状。其颜色因成因而异, 纯净者无色或白色, 但少见。一般呈黄绿色, 亦有灰、绿、褐、蓝、紫等色。油脂光泽。

蛇纹石: Mg₆[Si₄O₁₀] (OH)₂: 深绿、黑绿、黄绿色等各种色调的绿色, 并常有青、绿斑驳如蛇皮。油脂或蜡状光泽, 纤维者呈丝绢光泽。硬度 2.5~3.5。比重 2.2~3.6。

滑石: $Mg_3[Si_4O_{10}] (OH)_2$, 纯者为白色或微带浅黄、粉红、浅绿、浅褐等色, 颜色主要由杂质引起, 玻璃光泽, 解理面显珍珠光泽晕彩。解理{001}极完全, 致密块者呈贝壳状断口, 以富有滑腻感为特征。硬度 1, 比重 2.58~2.83。

绿泥石: $(Mg, Fe, Al)_3(OH)_6 \{ (Mg, Fe, Al)_3[(Si, Al)_4O_{10}] (OH)_2 \}$, 矿物颜色随成分而变化, 富含镁的绿泥石为浅蓝绿色, 铁含量增多时, 则颜色加深, 由深绿到黑绿色。玻璃光泽, 解理面呈珍珠光泽。半透明。条痕无色。

绿帘石: $Ca^{2+}Fe^{3+}Al_2[Si_2O_7][SiO_4]O(OH)$, 灰色, 黄色、黄绿色、黄褐色或近于黑色, 颜色随着 Fe^{3+} 含量增加而变深, 玻璃光泽, 透明。解理{001}完全, {100}不完全。硬度 6, 比重 3.38~3.49。

硅灰石: $Ca_3[Si_3O_9]$, 白色或带灰和浅红的白色, 少数呈肉红色, 玻璃光泽, 解理面有时呈现珍珠光泽。硬度 4.5~5.5, 比重 2.75~3.10。硅灰石常与石榴子石、透辉石、符山石共生。

阳起石: $Ca_2(Mg, Fe^{2+})_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$, 深浅不同的绿色, 形态上以放射状集合体为特征, 解理沿{110}中等, 硬度 5~6, 比重 3.1~3.3。

方柱石: $(Na, Ca)_4[Al(Al, Si)Si_2O_8]_3(Cl, F, OH, CO_3, SO_4)$: 火山岩中的方柱石通常无色, 结晶片岩和石灰岩中的方柱石则常呈灰色, 有时为海蓝色。透明, 玻璃光泽, 条痕无色或白色, 解理{100}中等, {110}不完全。硬度 5~6, 比重 2.61~2.75。

石膏: $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$: 通常为白色及无色, 无色透明晶体为透石膏, 有时因含其他杂质而染成灰、浅黄、浅褐色; 条痕白色, 透明, 玻璃光泽, 解理面呈珍珠光泽, 纤维状集合体呈丝绢光泽。解理{010}极完全, 解理薄片具挠性。性脆, 硬度 1.5~2, 比重 2.3。

方解石 (CaCO₃, Cal): 三方晶系, 有完全的菱面体解理, 玻璃光泽, 透明至半透明, 普通为白色或无色, 含有其他颜色亦不少, 条痕白色, 硬度 3.0, 比重 2.6~2.8, 遇冷稀盐酸剧烈起泡, 具有强烈双折射和三组完全解理。

二、矿石结构构造及描述

根据不同的分类原则, 矿石可有如下分类:

(1) 按矿石中有用矿物的工业性能可分为金属矿石(如铁矿石、铜矿石、钼矿石等)和非金属矿石(如萤石矿石、石棉矿石等)。

(2) 按矿石中所含有用矿物或金属元素的多少可分为简单矿石(如钨矿石、汞矿石等)和综合矿石(如铅锌矿石、钨锡矿石等)。

(3) 按矿石中有用成分含量的多少可分为贫矿石(如条带状贫磁铁矿矿石, 含铁 30%

左右) 和富矿石(致密块状磁铁矿矿石, 含铁 60%左右)。

(4) 按矿石的结构构造可分为致密块状矿石、浸染状矿石、条带状矿石、角砾状矿石等等。

(5) 按矿石受风化程度不同可分为原生矿石、氧化矿石和混合矿石。

1. 矿石构造

矿石构造是指组成矿石的矿物集合体的特点, 即矿物集合体的形态、相对大小及其空间相互的结合关系等所反映的形态特征。常见的矿石构造如下, 其中, 典型矿石构造图引自胡焕德(1994)。

(1) **块状构造 (massive structure)**: 有用矿物含量占 80%以上, 矿物集合体为不定形状、分布无方向性且结合紧密, 无空洞(图 5.1)。

(2) **浸染状构造 (disseminated structure)**: 在脉石矿物基质中有 30%以下矿石矿物集合体, 粒径一般小于 0.5cm, 它们呈星点状较均匀地散布于矿石中。当矿石矿物含量大于 30%时称稠密浸染状构造(图 5.2)。



图 5.1 块状构造 (massive structure)

磁铁矿(Mt)呈八面体聚形集合体, 在晶面上有较多的生长纹。颗粒粗大者可达 5mm。

实际大小×2.0 产地: 铜官山

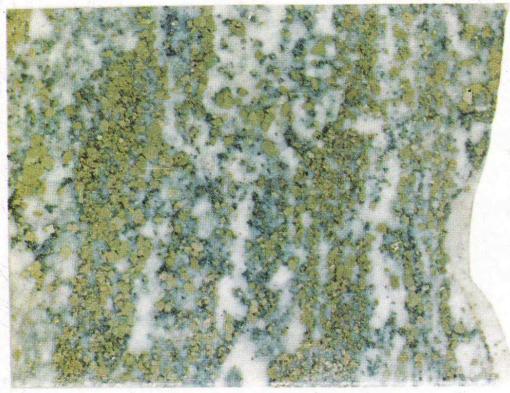


图 5.2 浸染状构造 (disseminated structure)

细粒自形一半自形晶的黄铁矿和少量的方铅矿、黝铜矿在大理岩中呈稠密浸染状构造。

实际大小×1.0 产地: 鸡冠石

(3) **斑点状构造 (mottled structure)**: 矿石矿物集合体呈近等轴状斑点, 斑点大小较均匀, 粒径多数可达 0.5cm, 分布较均匀且无方向性称斑点状构造。当斑点形状不规则, 大小不一, 且分布不均匀时, 称斑杂状构造(图 5.3)。

(4) **条带状构造 (concentric structure)**: 由不同成分或成分相同而颜色不同、或结构不同的矿物集合体在一个方向, 彼此相间分布构成条带(图 5.4)。



图 5.3 斑点状构造 (mottled structure)

黄铜矿和少许磁黄铁矿沿矽卡岩的孔隙、微裂隙
呈稀疏星散状分布

实际大小×2 产地：凤凰山



图 5.4 条带状构造 (concentric structure)

镜铁矿沿原菱铁矿条带进行交代并在镜铁矿晶片间留有菱
铁矿（粉红色）残余所组成的条带，与由方解石组成的白
色条带相间呈波浪状平行排列，构成条带状构造。

实际大小×2.0 产地：繁昌长龙山

(5) 角砾状构造 (brecciated structure): 一种或多种矿物集合体构成角砾，被一种或
多种矿物集合体胶结（图 5.5）。

(6) 肾状构造 (reniform structure): 以凸曲面朝上的半圆形同心圆状向上逐渐叠生形
成肾体，顶面多呈不规则圆形、椭圆形、直径通常 1cm~2cm，“肾体”间的胶结物通常是与
肾体成分相同（图 5.6）。

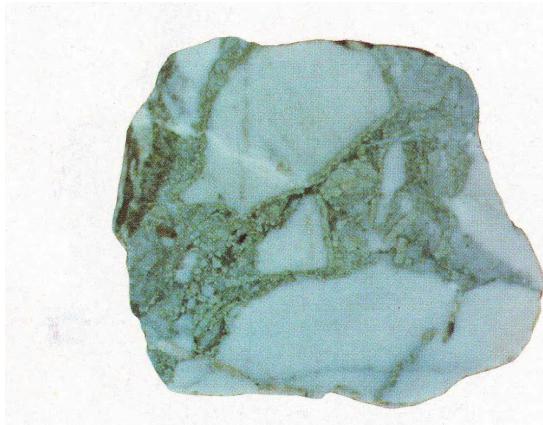


图 5.5 角砾状构造 (brecciated structure)

大理岩经挤压破碎成粗细不等的碎块，晚期黄铁
矿、白铁矿、石英充填胶结。

实际大小×2.0 产地：凤凰山



图 5.6 肾状构造 (reniform structure)

凝胶状的褐铁矿呈同心层纹状排列，外形似豆状
和肾状。

实际大小×2.0 产地：铜官山

(7) 脉状、网脉状构造 (vein or mesh-vein structure): 是含矿气水热液沿裂隙交代围
岩或早期形成的矿石所形成矿石构造，脉的形态较为复杂，一般脉宽在 1mm 左右者称为细
脉状（图 5.7， 图 5.8）。

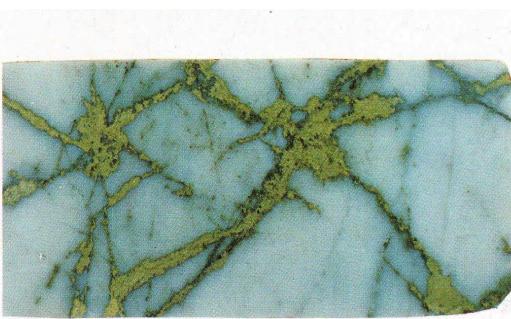


图 5.7 网脉状构造 (mesh-vein structure)

黄铜矿沿大理岩破碎裂隙充填呈网脉状。

实际大小×1.0 产地：花树坡

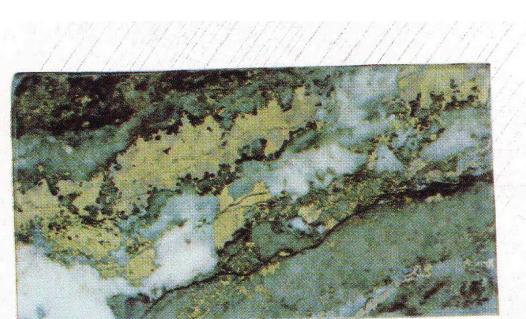


图 5.8 脉状构造 vein structure

晚期石英硫化物（磁黄铁矿、黄铜矿）不规则穿入碳酸盐化含铜矽卡岩中。

实际大小×1.0 产地：大团山

2. 矿石结构

矿石结构是指矿石中矿物颗粒的特点，即矿物颗粒的形态、相对大小及其空间相互的结合关系等所反映的形态特征，也包括矿物颗粒与矿物集合体的结合关系所反映的形态特征。常见的矿石结构如下，其中，典型矿石结构图引自胡焕德（1994）。

(1) 自形结构 (idiomorphic granular texture): 矿物颗粒在结晶充分的条件下，按其生长习性形成相对完整的晶体形态（图 5.9）。

(2) 他形结构 (allotriomorphic granular texture): 矿物颗粒在结晶条件较差条件下或受到外部条件干扰，不能按其结晶习性生长，呈不规则状或异常晶体形态出现（图 5.10）。

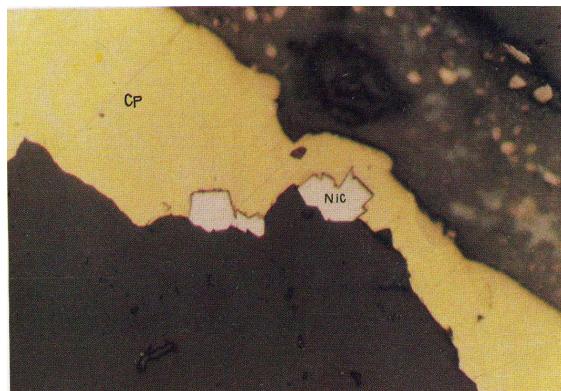


图 5.9 自形粒状结构 (idiomorphic granular texture)

自形晶粒的镍辉砷钴矿 (Nic) 分布于黄铜矿 (Cp) 的边部，照片暗色部分为石英。黄铜矿和镍辉砷钴矿产于晚期石英脉中。

放大倍数×200 产地：大团山

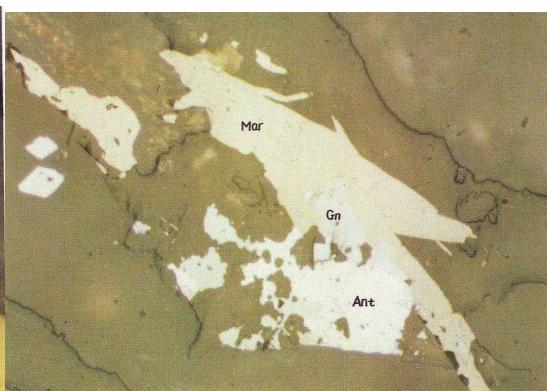


图 5.10 他形粒状结构 (allotriomorphic granular texture)

自然锑 (Ant) 和方铅矿 (Gn) 呈他形晶，两者紧密镶嵌，白铁矿 (Mar) 呈半自形长柱状晶体，三者呈脉状穿入矽卡岩中。

放大倍数×200 产地：冬瓜山

(3) 包含结构 (poikilitic texture): 一种矿物整体地被包含在另一种矿物之中（图 5.11）。

(4) 交代残余结构 (metasomatic relict texture): 一种矿物被另一种矿物所取代，致使早期被交代矿物呈不规则状残余矿物存在（图 5.12）。



图 5.11 包含结构 (poikilitic texture)
浑圆形粒状自然金（金黄色）被包裹于石英（黑灰色）中，灰白色为辉锑矿。
放大倍数×200 产地：大团山

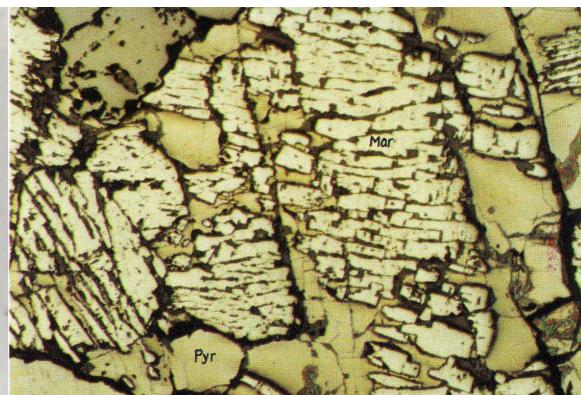


图 5.12 交代残余结构 (metasomatic relict texture)
自形-半自形晶的细粒黄铁矿-白铁矿 (Mor) 呈板条状晶体，沿他形晶的磁黄铁矿 (Pyr) 底裂理进行交代，使磁黄铁矿呈残晶体。
放大倍数×50 产地：铜官山

(5) 固溶体分解结构 (emulsion texture): 早期温度较高条件下呈一相结晶的矿物，随着温度的下降分离为互不混熔的两相，晚期分离出的矿物常呈乳滴状分布在早期形成的矿物之中，故也称乳滴状结构（图 5.13）。

(6) 充填结构 (intersertal texture): 晚期形成的矿物沿早期形成矿物的粒间或晶体内部的裂隙充填，呈不规则状分布（有别于他形结构）（图 5.14）。

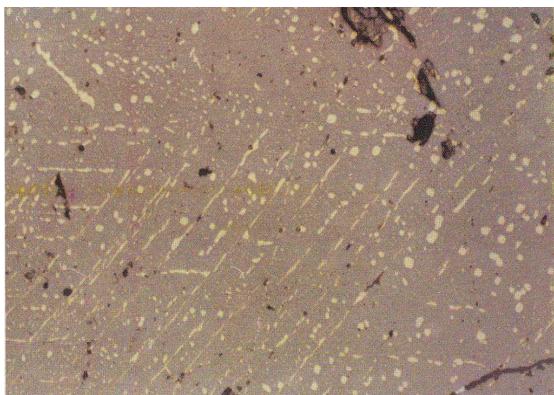


图 5.13 固溶体分解结构 (emulsion texture)
黄铜矿乳浊体沿闪锌矿 {110} 解理方向分布，构成定向乳滴状结构。此系固溶体分离的产物。
放大倍数×100 产地：桃李岗

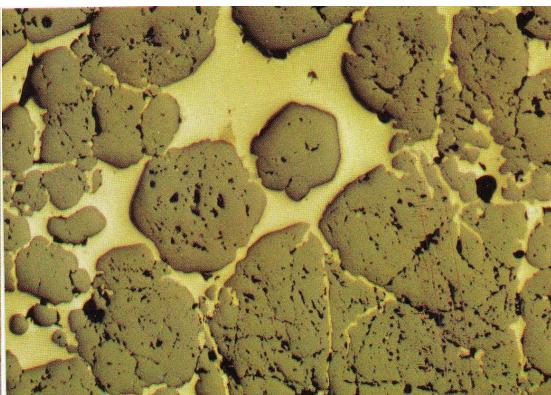


图 5.14 充填结构 (intersertal texture)
他形晶的黄铜矿充填状分布于石榴石颗粒间隙。黄铜矿的粗细和形状受石榴石间隙的制约。黄铜矿对石榴石有溶蚀现象。
放大倍数×100, 产地：狮子山

(7) 脉状穿插结构 (vein interpenetration texture): 晚期形成的矿物沿切穿矿物的裂隙充填，形成穿插矿物的细脉（图 5.15）。

(8) 网脉状结构 (stock veinlet structure): 晚期形成的矿物沿切穿早期矿物的网脉分

布(图5.16)。

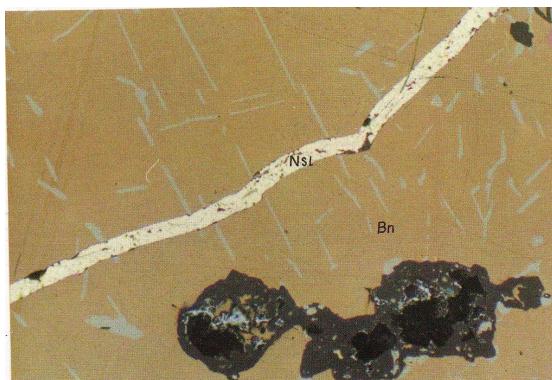


图 5.15 脉状穿插结构(vein interpenetration texture)
自然银(Ns1)细脉不规则穿入斑铜矿(Bn)。
放大倍数×200 产地：江家山

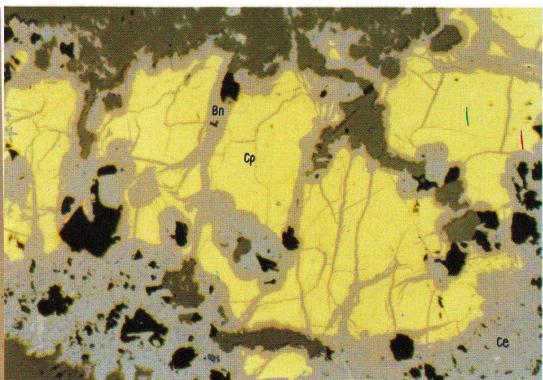


图 5.16 网状结构(stock veinlet structure)
半自形—他形晶的黄铜矿(Cp)被他形晶的斑铜矿(Bn)和蓝辉铜矿(Ce)穿插交代，呈网脉状构造。
放大倍数×100 产地：胡村

三、矿石观察描述方法及实例

矿石的观察和描述通常有以下步骤：

- (1) 观察矿石应首先认识矿物，然后区分出那些是矿石矿物，那些是脉石矿物。要注意观察矿物的形态、空间分布及矿物的共生关系。
- (2) 确定矿石目估品位时，首先目估矿石矿物的百分含量，再查出矿石矿物的化学组成中有用元素的百分含量，然后按以下公式进行计算：

目估品位=有用矿物目估百分含量×矿石矿物中有用组分的百分含量。

- (3) 绘制矿石(平面)素描图一定要有图名、图例、比例尺。

对矿石的描述可参考以下矿石描述实例(图5.17)：

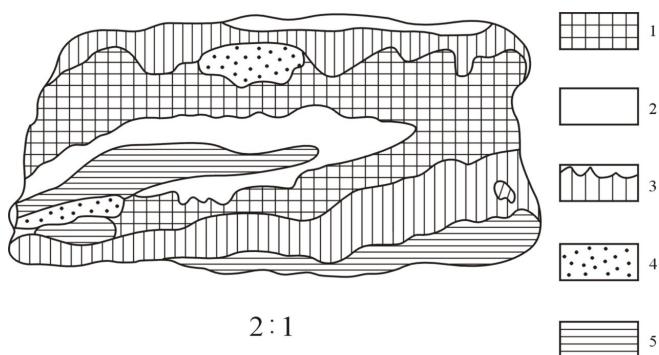


图 5.17 铜矿石素描图

1. 黄铜矿；2. 石英；3. 柄状石英；4. 黄铁矿；5. 蚀变闪长岩

矿石名称：铜矿石。

矿石矿物：黄铜矿—无明显晶形，矿物集合体成不规则块状，分布在块状石英与栉状石英之间，约占 25%。

脉石矿物：石英—有两种，一种具有柱状晶状，晶体平行排列，集中在脉的边部，长轴与脉壁垂直，形成栉状。另一种分布在矿石中部，灰白色，致密块状，无晶形，与黄铜矿界线很不规则。黄铁矿—矿脉及围岩中皆有，含量不多。在脉内多分布在栉状石英的顶尖部，与黄铜矿共生。在围岩中的呈小立方体晶形，呈浸染状分布。

除上述矿物外，矿石中还可见蚀变了的闪长岩碎块，呈长条状，轮廓清楚。岩石为灰棕色，细粒，结构致密。

矿石构造：

黄铜矿与石英构成矿脉，与围岩界线清楚，可见脉壁，为脉状构造。脉中矿物成分呈简单的对称带状。

矿石中铜的目估品位= $(0.25 \times 34.57) \% = 8.6\%$ ，为富矿石（34.57%为黄铜矿中铜的含量）。

四、矿化期、矿化阶段及矿物生成顺序的确定

1. 矿化期（成矿期）(mineralization epoch)

矿化期代表一定成矿地质作用和物理化学条件的一个较长的矿化时期。矿化期对应成矿地质作用和物理化学条件，如：岩浆矿化期，伟晶矿化期，热液矿化期，风化矿化期，沉积矿化期，变质矿化期等。矿化期强调一个较长的矿化时期，如：前寒武纪矿化期、加里东矿化期、华力西矿化期、印支矿化期、燕山矿化期、喜马拉雅矿化期。

矿化期的主要标志有：

- (1) 矿化的地质环境；
- (2) 矿化的物理化学条件；
- (3) 矿体的产状；
- (4) 矿石的矿物组合；
- (5) 矿石的组构等。

2. 矿化阶段（成矿阶段）(mineralization stage)

矿化阶段代表一个矿化期内相同或相似地质和物理化学条件下形成一组或多组矿物的较短的矿化过程。有以下特点：

- (1) 一个矿化阶段代表较短时间内成矿物质条件变化不大的一次矿化活动；
- (2) 不同矿化阶段成矿物质条件明显差异且时间上演化，常分别形成不同类型和性质的矿物组合，空间上往往出现分带性；
- (3) 在一个矿化期内，可以有一个或多个矿化阶段：
如矽卡岩矿床的形成一般经历了 (a) 矽卡岩期，由干矽卡岩阶段和湿矽卡岩阶段组成；
(b) 石英-硫化物期，由铁铜硫化物阶段和锌硫化物阶段组成。

划分矿化阶段的标志有：

- (1) 矿脉穿插关系：构造-热液的脉动性和幕式活动，常形成多阶段矿脉的彼此穿切或叠加；
- (2) 矿脉内部分带：构造的多阶段张开和热液矿化的多次发生，常形成从矿脉边部到中央不同矿物共生组合的分带性；
- (3) 矿石结构；如角砾状构造，固溶体分解结构；
- (4) 矿物共生组合。

3. 矿物的生成顺序和世代 (paragenetic sequence and generation)

一个矿化阶段中不同矿物结晶的先后顺序，即矿物的生成顺序。

同一矿化阶段中，同种矿物随着时间的推移多次晶出，每次结晶沉淀的矿物称为该矿物的一个世代，矿物多次生成的先后次序，即矿物世代。

一个矿化阶段中矿物的生成顺序可有三种情况：先后生成，同时生成，超覆生成。

(1) 矿物先后生成的标志

- 1) 交代溶蚀结构—被交代矿物生成早，交代矿物生成晚；晚生成的矿物往往呈尖楔状或细脉状指向或穿插早生成的矿物。
- 2) 他形填隙结构—被填隙的矿物生成早，填隙矿物生成晚。
- 3) 充填矿石构造—包括晶洞、梳状、环状、带状等构造。
- 4) 穿插脉状构造-被穿插矿物生成早，穿插脉中矿物生成晚。
- 5) 包裹：被包裹矿物早，包裹矿物晚。

(2) 矿物同时生成的标志

固溶体分离结构—其中主、客矿物同时生成。

(3) 矿物超覆生成的标志

两种以上的矿物在结晶过程中，只要有一段时间重叠，即为超覆生成。有以下几种情况：

- 1) 一种矿物结晶还未结束，另一种矿物便开始结晶，并晚于先结晶矿物结束；
- 2) 两种矿物同时开始结晶，但不同时结束；
- 3) 两种矿物不同时开始结晶，但同时结束；
- 4) 后结晶的矿物早于先结晶矿物结束。

通常情况下，矿石矿物的通常生成顺序：氧化物和含氧盐→硫化物和砷化物→砷、锑硫化物以及金、银硒化物和碲化物。

脉石矿物的通常生成顺序：无水硅酸盐→含水硅酸盐 →石英→碳酸盐 、硫酸盐。

4. 矿物生成顺序图表的编制

在野外和室内矿石学研究基础上，可通过图表形式表达矿化期、矿化阶段、矿物共生或伴生组合、矿物生成顺序、矿物世代及矿物含量等；

矿物生成顺序图表是矿化规律的真实反映，是成矿学研究的基础资料。

矿物生成顺序图表包括以下主要内容（表 5.3）：

- 1、矿石的矿化期、矿化阶段、矿物生成顺序和矿物世代；
- 2、矿石的矿物成分和含量、矿物晶出的先后和持续时间长短；
- 3、矿石的结构、成矿物理化学条件、蚀变或矿化类型、有关地质环境。

表 5.3 某矽卡岩矿床矿物生成顺序图表

矿化期	气水—热液期				风化期
	早矽卡岩—硅酸盐阶段	晚矽卡岩—磁铁矿阶段	石英—硫化物阶段 I	石英—硫化物阶段 II	
硅灰石					
透辉石					
石榴子石					
钾长石					
磁铁矿					
绿帘石					
阳起石					
透闪石					
石英					
绢云母					
方解石					
辉钼矿					
黄铁矿					
黄铜矿					
斑铜矿					
绿泥石					
石膏					
褐铁矿					
胆矾					
孔雀石					
蓝铜矿					
温度范围	500°C~400°C		400°C~300°C	300°C~200°C	<50°C
主要矿石构造	浸染状	浸染状 块状	角砾状 细脉状 浸染状 块状	角砾状 脉状 细脉状 浸染状	蜂窝状 多孔状 土状
主要矿石结构	半自形	自形 半自形 浸蚀 交代残余	浸蚀 核晶 环边 交叉 交代残余	浸蚀 颗晶 网状 交代残余	放射状 他形

注： 表示构造活动； I₁, I₂ 表示矿物的世代； I 表示矿化的阶段。

四、矿床围岩蚀变的野外观察

在热液成矿作用下，近矿围岩与热液发生反应，而产生的一系列原有矿物被新生矿物所替代的交代作用。围岩蚀变可产生在矿石沉淀之前、同时或之后，其结果使得围岩的化学成分、矿物成分以及结构、构造等均遭受到不同程度的改变，甚至面目全非。围岩蚀变的范围变化很大，有的在矿脉的两侧只有几厘米宽，有的围绕着矿体形成数十米宽的晕圈。许多蚀变晕圈呈现出矿物集合体的分带现象，这是由于热液在通过围岩时性质发生改变引起的。

决定围岩蚀变的类型和蚀变作用强度的因素有：①围岩的性质，包括围岩的化学成分、

矿物成分、粒度、物理状态（如是否受力破碎）、渗透性等；②热液的性质，包括热液的化学成分、浓度、pH、Eh、温度和压力条件，以及它们在热液作用过程中的变化。

在野外最常见的围岩蚀变有如下几类：

矽卡岩化：矽卡岩主要是由石榴子石（钙铝石榴子石-铁铝石榴子石）、辉石（透辉石-钙铁辉石）及其他一些钙、铁、镁的铝硅酸盐矿物所组成的岩石。它主要产生在中酸性侵入体与碳酸盐类岩石的接触带或其附近，在中等深度条件下，经气水热液的高温交代作用形成的。在矽卡岩中常有一些含挥发份的矿物，如方柱石、萤石、斧石、电气石等，以及如绿泥石、石英及钙、铁、镁的碳酸盐等热液矿物，金属矿物则以磁铁矿、白钨矿、锡石、黄铁矿及铜、铅、锌的硫化物等为主。与矽卡岩有关的矿产主要有：钨、锡、钼、铁、铜、铅-锌等。

钾长石化：为钾质交代的产物，包括微斜长石化、正长石化、透长石化和冰长石化。由于它们不易区别，且成分几乎完全相同故统称钾长石化。在与花岗岩有关的钨、锡、铍、铌、钽以及斑岩铜、钼矿床等的下部，经常发生有大规模的钾长石化带。低温热液的钾长石化，以冰长石化为主，多发生在中性、弱酸性火山岩中，也可在基性或酸性岩中发生，有时与青盘岩化有关。与其有关的矿产主要为火山岩系中的一些金属矿床。

钠长石化：一种钠质交代作用。在有关交代蚀变花岗岩中，常发生铌、钽、铍、稀土等矿化。在一些铁、铜矽卡岩矿床中，在内接触带中，往往发育钠长石化。在青盘岩化岩石中，也常有钠长石化的产生。

云英岩化：一种发生在花岗岩类岩石中的高温热液蚀变。在作用过程中，常有氟、硼、水等挥发组分和金属元素参加。云英岩化除产生主要特征矿物：石英和白云母，还可有锂云母、黄玉、电气石、萤石、绿柱石以及黑钨矿、锡石、辉钼矿等。云英岩化和钾长石化、钠长石化在成因上密切相关，因此在蚀变岩体中，常可见到它们的共生。根据云英岩的主要矿物含量，可划分为：富云母云英岩、富石英云英岩、黄玉云英岩、萤石云英岩与电气石云英岩等类别或岩带。云英岩化常与钨、锡、钼、铋、铌、钽、铍、锂等矿化有关。

绢云母化：一种广泛的中-低温热液蚀变，在中性和酸性岩浆岩及板岩等富铝岩石中最常见。单矿物的绢云母岩，一般少见。绢云母化常伴随有石英和黄铁矿的产生，因而可称为绢英岩化，若黄铁矿含量超过5%时，则称为黄铁绢英岩化。绢英岩化与云英岩化过程在本质上相同，只是后者形成温度较低，它们之间可存在着过渡关系，即云英-绢英岩化。在金、铜、铅、锌、钼和铋等以及萤石、红柱石、刚玉等矿床中都能见绢云母化现象。特别是斑岩型铜、钼矿床、黄铁矿型铜矿床和多金属矿床。

绿泥石化：一种重要的中、低温蚀变作用。与绿泥石化有关的原岩主要是中性-基性的岩浆岩，部分酸性岩浆岩和泥质岩石也可产生绿泥石化。在围岩蚀变过程中，绿泥石主要由富含铁、镁的硅酸盐矿物经热液交代蚀变而成，也可由热液带来铁、镁组分与一般的铝硅酸盐矿物交代反应而形成。与成矿作用有关的绿泥石化，多与其他热液蚀变作用（如电气石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化等）共生，很少单独出现，与其有关的矿产主要是铜、铅、锌、金、银、锡和黄铁矿等。

绿帘石化：一种重要的中、低温蚀变作用。与绿帘石化有关的原岩主要是中性-基性的岩浆岩，变质岩、沉积岩受热液交代也可以形成绿帘石化。在热液蚀变作用过程中， Ca^{2+} 可以从斜长石、辉石和角闪石中析出而形成绿帘石族矿物。与成矿作用有关的绿帘石化，多与其他热液蚀变作用（如绿泥石化、绢云母化、硅化、碳酸盐化等）共生，很少单独出现，与其有关的矿产主要是铜、铅、锌、金、银、锡和黄铁矿等。

青盘岩化：主要是安山岩、玄武岩、英安岩及部分流纹岩，受中、低温热液作用产生的，一般是在近地表条件下形成。青盘岩化产生的特征矿物为：绿帘石、绿泥石、钠长石和碳酸盐（方解石、白云石和铁白云石），可有少量的绢云母、黄铁矿和磁铁矿。与青盘岩化有关的矿床有：斑岩型铜、钼矿床，热液黄铁矿矿床，多金属矿床，金和金银矿床等。

泥化：可进一步划分为深度泥化和中度泥化两类。深度泥化蚀变的特点是含有特征矿物地开石、高岭石、叶蜡石和石英，常伴有绢云母、明矾石、黄铁矿、电气石、黄玉、氟黄晶和非晶质的粘土矿物。是一种蚀变比较深的类型。当岩石中的铝被大量淋出，蚀变就过渡为硅化；随着绢云母含量的增加，则过渡为绢云母化。中度泥化岩石中，以高岭石和蒙脱石类矿物占优势。它们主要是斜长石的蚀变产物，通常呈带状，向外可过渡为青盘岩化，向内（矿脉方向）过渡为绢云母化。易受泥化的岩石主要为基性、中性、酸性岩浆岩，尤以火山岩最为发育。深度泥化常构成某些铜、铅、锌矿蚀变的内带。中度泥化分布较广泛，与金、银、铜、铅、锌矿化有关。

硅化：使围岩中石英或隐晶质二氧化硅含量增加的一种蚀变作用。二氧化硅一般是由热液带入，也可由长石或其他矿物经蚀变后形成。硅化几乎在任何岩石中都可发育，从高温到低温条件下均可产生。由于硅化可以在广泛的环境中由热液作用形成，因此硅化常与其他蚀变，如绢云母化、绿泥石化、泥化、长石化等共生。与硅化有关的矿床很多，其中主要是铜、铅、锌、钼、钨、金、锑、汞、明矾石、重晶石矿床等。

围岩蚀变是热液成矿作用的重要组成部分，也是热液矿床的主要特征之一。研究围岩蚀变能提供成矿时的物理化学条件，热液的性质和演化，以及成矿元素的迁移、富集和矿石沉

淀的有关信息，丰富并发展成矿理论。同时，因为蚀变围岩与伴生矿体有着密切的成因和时空关系，蚀变岩的分布范围一般比矿体分布范围广，更易于被发现，所以是极重要的找矿标志之一。它不仅能指示盲矿体的存在，还可根据蚀变岩石的类型、特征，预测矿产的种类、矿体赋存的位置以及矿化富集的程度。

六、岩、矿石样品的采集

1.采样目的

- (1) 研究岩石和矿石的结构、构造、矿物成分及其共生组合，岩石矿物的变质、蚀变现象，确定岩石、矿石的名称；
- (2) 配合物相物性分析和成分分析以及矿石的品位和品级，划分矿石类型，确定矿石氧化程度；
- (3) 配合加工技术试验，提供矿石加工和矿产综合利用方面的资料；
- (4) 进行微量元素、同位素、流体包裹体等测试，分析和确定岩矿石的物质来源，形成条件，形成时代及形成过程等，阐明岩石和矿床成因。

2.采样原则

(1) 矿石样品

- ① 原则上应沿矿体厚度方向（即矿石物质成分变化最大的方向）采集样品；
- ② 若矿床由不同类型的若干个矿体组成，则应按不同矿体、不同类型矿石和矿脉（包括不同风化程度的矿石）分别采样，即尽量按照可区分出的不同种类矿石分别采集样品；
- ③ 在一般情况下，同种类型的矿石化学全分析样品只需采集 1-2 个。

(2) 岩石

- ① 除作某些特殊目的的研究外，在一般情况下应采集新鲜、无蚀变的岩石作样品。采集位置应尽量避开各类接触带、蚀变带、断裂破碎带等；
- ② 层状岩石（沉积岩、火山岩等）样品应垂直其走向采集。若为研究同一层位内岩石成分沿走向的变化规律，则可沿其走向按一定间距系统采集样品；非层状岩石（岩浆岩等）样品可按不同相带、不同岩性分别采集；
- ③ 矿床围岩蚀变样品应从矿体（脉）近侧向远侧垂直围岩蚀变带的走向系统采集。

3. 各类标本的采集

根据不同的采样目的，矿床野外研究过程中应采集不同类型的岩矿石标本，主要包括以下几种类型的标本：

(1) 陈列标本

矿区地质工作初期，应采集一套具有代表性的全部地层、岩石、古生物、矿物、矿石的系统陈列（标准）标本。陈列标本随工作进展逐步充实完善。

(2) 岩石鉴定标本

在沉积岩、火山沉积岩中，应按地层的层序及不同岩性逐层采取岩石鉴定标本；对岩浆岩要从接触带至岩体中心或由内向外，根据岩相变化系统采取；对变质岩要在不同的变质带内采取，并注意采集含有划分变质带标准矿物的标本；采集反映构造特征的标本。如定向标本（应注明产状和方位）。

(3) 矿石研究标本

①应根据矿石的自然类型、工业类型、矿物组份、结构和构造、蚀变深浅或变质程度、矿石和围岩的关系等特征采集矿石研究标本。

②采集矿石研究标本应在采取技术样品的同时进行。标本应有代表性。用以研究不同矿石类型和品级中各种矿物之间的共生关系及其结构、构造，以及测定矿物粒度和含量，了解矿石与围岩的关系等。

③应由浅而深地采集矿石物相鉴定标本，用以划分矿床的氧化带、混合带、原生带。

4. 标本采集的规格及数量

标本规格，以能反映实际情况和满足制作光、薄片及手标本观察的需要为原则。一般陈列标本为 $3\times6\times9\text{cm}$ ，鉴定标本可小一些。在矿区实测剖面时，系统采集的地层、岩石、古生物、矿物标本应一式两块，一块送鉴定，一块作陈列标本。

采集的岩石化学成分（包括化学全分析在内的各类测试）样品，一般采集 2~3kg。若有特殊要求可根据情况增加；若仅作元素成分半定量分析等（如光谱全分析），一般采集 100~1000g，对于十分不均匀的岩石样品，采集重量酌增；若从其中挑选含量很低的矿物（如副矿物锆石等），一般采集 5~10kg。

在考虑采集岩石、矿石化学成分分析样品时，应充分利用在同一采样点上已采集的其它大重量样品，例如岩石的人工重砂样品，从其中用缩分法选取各类化学分析样品，这时样品更具有代表性。

5. 标本编号、登记、包装和送样

(1) 标本编号

各类观察点(地质点、实测剖面及探矿工程中及其附近)的标本编号为观察点(或工程)号+标本代号(或观察点号)+顺序号顺次连接而成。如15号地质点的1号陈列标本为:D15B1或BD15-1,2号探槽中第5件薄片样为TC2b5或bTC2-5。在不至引起混乱的前提下,可分别或全部省略工程(点)标本代号。如在素描图及地质记录表以及标本登记表中只需写B1、B2……即可。

(2) 标本登记

岩矿标本应在原始地质记录(含素描图和照片)及实际材料图上注明采样位置(包括GPS位置)和编号,标本采集后,应立即在标本上用防水符号笔填写标签,并将有关数据填入“标本登记表”中,以防混乱。

(3) 标本包装

标本与标签一起包装。装箱时箱内应放入标本清单,箱外须写明标本编号及采样地区。

(4) 送样

①应填写标本鉴定送样单,注明岩矿产状,鉴定要求。并视需要附剖面、柱状图或素描图。

②岩矿鉴定样,一般需留手标本,用以核对鉴定成果并帮助地质人员提高对标本的肉眼观察能力。

③某些需要磨制定向、定位、光薄片的岩矿石标本,应在标本上圈定明显标志,并在送样单中加以说明。

④收到标本鉴定成果后,应及时补充到记录中,必要时还应修改原记录。

第三节 矿产资源勘查基本工作方法³

矿产资源勘查的基本内容包括矿区地质填图,探槽原始地质编录以及钻孔原始地质编录。在野外对各种勘查工程细致观察、编录并绘制相关图件。

一、地质填图

³ 本节内容引自中国地质调查局地质调查技术标准(DD2006-01)固体矿产勘查原始地质编录规程(试行),中国地质调查局,2006

1. 目的与任务

(1) 1:10000~1:25000 地质填图(以下简称填图)的目的任务是:了解测区地质构造背景和成矿地质条件及区域成矿规律,扩大矿床(区)远景。

(2) 1:5000~1:1000 填图的目的任务是全面而详细研究矿床(区)地层、岩石、构造特征;查明矿体分布形态、规模、产状、矿石质量、矿石类型及其空间分布;了解矿体与围岩的关系及围岩蚀变等。为探矿工程布置、资源估算提供矿区基础地质资料。

2 准备工作

(1) 资料收集

收集工作区内或大一些范围内有关前人工作的成果资料,并进行认真研究、分析,应收集的资料主要包括:

①测区内沉积岩、岩浆岩、变质岩方面的资料,如地层、岩石类型特征等。如果有包括测区的小比例尺(1:50000~1:250000)地质图也应收集。

②测区内发现的矿产种类、赋存层位、矿体规模、矿物成分、矿石类型、品位等。

③测区内褶皱、断裂的分布、形态特征、规模、性质、产状以及对岩(矿)层的破坏和影响程度的资料。

④测区地形图(应与填图比例尺相同或更大的比例尺)、测量控制点等资料。如果收集不到与矿区填图比例尺相当的地形图,可以用较小比例尺地形图放大后使用或新测地形草图。

⑤测区内物化探、重砂、航遥解释等资料。

(2) 确定填图比例尺

依据矿区的勘查程度及范围大小、地质复杂程度、矿体形态复杂程度等因素,确定矿区填图比例尺。

(3) 确定填图范围

①1:10000~1:25000 填图范围,一般在矿区外围与已知矿床有地质联系的地质体及矿(化)点,找矿标志明显地段,各种找矿手段(包括地质、物化探、重砂等)发现或圈定的综合异常地段。

②1:1000~1:5000 填图范围,通常为矿区或矿段(局限于矿体和近矿围岩分布地段),探矿工程集中布置的地段应位于填图范围的中部。

3. 填图准备工作

(1) 准备矿区地形图

矿区地形图可以收集或由专业人员实测，地形图的精度应符合矿区设计要求，比例尺应大于或等于填图比例尺。

(2) 踏勘

针对拟定的工作重点和需要解决的问题，矿区技术负责人应组织地质、水文、物化探、测量等工种的主要人员，对测区进行踏勘和实测剖面，并在综合研究的基础上，统一填图单元、统一野外岩矿石命名、统一填图方法和要求、统一图式图例。

(3) 人员组成

填图组一般由2~3人组成，设组长一人。

4. 填图方法与技术要求

(1) 观察路线布置

填图工作应遵循从已知到未知的原则。首先将实测剖面及确定的填图单元界线、断层线、侵入体界线、矿层顶底板界线、产状等的位置，绘到手图上，再从实测地质剖面两侧逐渐展开，主要有以下填图方法：

穿越法填图：以手图上实测剖面线为起点，按照填图精度要求的观察路线距离，垂直（或大致垂直）岩层走向布置观察路线。观察路线要根据填图精度和基岩出露情况考虑点距和线距。

追索法填图：选择标志层、含矿层或矿体、蚀变带、主要断层（或断裂带）等，采用沿走向追索填图。观察路线一般采用“之”字形迂回布置，以控制其顶底界线和了解变化情况。

(2) 地质点布置

地质点主要分为基本点、加密点、岩性或产状点三类：

①**基本点：**为控制测区地质界线和基本构造形态布置的观察点。基本点应布置在测区填图单元的地质界线、含矿层或矿体、蚀变带界线、岩体界线、断层面及褶皱轴等位置上。基本点要求作详细的文字记录（必要时作放大素描图）。

②**加密点：**为进一步控制地质界线和构造形态的变化，在满足基本点密度要求的前提下，在基本点之间沿地质界线加密布置的观察点。加密点只作简要的文字记录。

③**岩性或产状点：**为控制和了解地质界线之间岩层产状变化及岩性特征、满足基本点密度和数量要求而布置的观察点，岩性或产状点只需记录岩层产状和岩性特征。

(3) 地质点定位

地质点布置按以下步骤:

①现场标注点位: 将写有地质点编号的木桩(竹桩)打入地质点处的基岩裂缝中, 或者用红油漆在基岩上划“ \odot ”以示点位, 并在“ \odot ”旁边写上地质点号。若需要仪器定测的地质点, 应在地质点附近挂上小红布条, 以方便找点。

②测量坐标: 所有地质点都应用手持 GPS, 结合地形图定位, 将点位标注在手图上, 用直径 2mm 的实心圆点(\bullet)和空心小圈(\circ)分别表示实测和推测的地质点, 并标注点号。

③精确定位: 对精度要求很高的重要地质点, 须用经纬仪进行精确定位。一般的做法是: 填图人员在现场经观察确定地质点, 用 GPS 测量点位坐标后, 将这类地质点及坐标通知矿区专业测量人员进行精确测量定位。

(4) 地质点记录

在地质点测量到的坐标数据及观察到的地质现象都要记录在地质点记录表中。如果采用照相、录音等形式记录地质现象时, 应填写音像记录表。 地质点记录包括一下内容:

①矿区名称: 用矿区代号(在矿区设计中规定)表示。

②点号: 指地质点编号。一个矿区如果两个填图组最好一组用单号 D1、D3、D5……, 另一组用双号 D2、D4、D6……。

③位置: GPS 的定位坐标及明显地物地貌的特定位置。

④地质点性质指界线点、构造点、矿化点、岩性点等。

⑤路线地质: 指相邻两个地质点之间的观察路线, 如 D1—D2 表示 1 号地质点到 2 号地质点之间的路线。记录内容主要是描述两点间先后观察到的地质现象。但必须:

1) 记录的地质现象要有准确位置(对应某个地质点的方位和平距)。

2) 应记录地质现象的性质和特征, 并说明与已知地质点有无差异或变化。

3) 路线上尽可能多地实测岩层产状, 注意产状变化并分析原因。

4) 每条路线的观察记录具有连续性。必要时可作路线剖面图或平面图表示地质体形态特征和变化规律。

⑥地质描述: 每个地质点所具有的地质意义不完全相同, 在描述地质现象时, 应有重点, 切忌千篇一律或平淡叙述。内容主要有: 岩石组合特征、岩石名称、岩石特征(颜色、风化特征、矿物成分、结构、构造等)等; 古生物及遗迹化石; 蚀变及矿化现象; 矿脉(层)、岩脉的岩矿石名称、岩矿石特征、产状、厚度、穿插关系; 地质体及地质构造(褶皱、断裂、破碎带等)的产状、性质、接触关系、垂直及水平方向上的变化、地貌及水文地质等。

⑥岩矿石标本、样品编号：地质点及沿途采集的标本、样品，应在露头和手图的相应位置上标注和编号。

(5) 地质界线勾绘

地质界线勾绘是指将控制同一地质界线上的相邻两个地质点相连接。地质界限勾绘应在野外实地进行，勾绘时，应充分考虑两点间距离的远近、产状及变化、有无断层切割及地形变化（按“V”字形法则勾绘）等因素。实测的地质界线用实线表示，推测界线用虚线表示。

5.野外资料整理

野外填图中形成的文字、图、实物等资料，要求当天内完成整理，不允许多天后累计整理。

(1) 文、图、实物资料的核对

整理文字记录、手图、实物（标本、样品、照像）资料时，应核对点号、层位代号、标本及样品编号、位置及各种数据等，确认无误后，再分别进行整理。若发现问题，必须到野外核实，方能补充和修正，不允许回忆补充修正。

(2) 地质点记录表的整理

应检查地质点记录表中填写内容是否齐全，文字是否通顺、有无错漏字、用语是否准确；素描图是否需要完善；检查后，给数据和素描图上墨。

(3) 手图整理

检查手图中的地质点、观察路线、产状、填图单元代号、标本、样品、照片等位置、数据以及界线勾绘有无错漏，确认无误后着墨。

(4) 编制实际材料图

用与手图同版的、未折叠、无皱纹、无缺损的地形图作为底图，将手图中填绘的全部内容（地质点、路线地质、标本、样品、产状、已施工工程、各种地质界线、断层线等的位置、编号、代号）转绘到底图上，加上图框、图名、图例（按矿区统一图例）、比例尺、责任笺等，形成实际材料图。实际材料图应在野外填图过程中逐步完成，以保证填图中出现的遗漏、错误、争议等问题能在野外得到弥补、修正和统一。

在室内将实际材料图的转绘，首先丈量手图上地质点及其它内容的坐标数据，然后依据手图上各点的位置展绘到实际材料图上（也可以用灯箱透视将手图上的内容展绘到实际材料图上）。展绘过程中做到：

- ①按坐标方格网，依一定顺序逐个进行；

②先用铅笔展绘，待自检和组内检查无误后，再上墨。对地质界线或断层线的推测地段不要急于上墨，要等证据确凿后再上墨；

③在展绘点丈量坐标时，要对手图经野外使用、折叠出现的图纸收缩误差进行平差处理，将误差消除在每个方格网中，避免产生累计误差。

6. 地质填图应提交的资料

地质填图应提交的资料清单：

- ①地质观察点记录表；
- ②音像记录表；
- ③标本登记表；
- ④地质填图工作总结；
- ⑤实际材料图；
- ⑥岩矿石标本（实物）及送样单；
- ⑦鉴定及测试成果；
- ⑧地质图（反映填图阶段成果）。

二、探槽原始地质编录

探槽原始地质编录的对象是经地质、施工管理及施工人员三方现场验收，施工质量符合要求并已达到地质目的的探槽（含样沟、剥土、采场以及其它的天然露头）。

1. 准备工作

探槽编录组一般由2~3人组成。包括：组长、作图员，测手（可兼任）。

组长：一般由熟悉探槽编录工作的助理工程师以上技术人员担任。全面负责编录工作，主要承担地质观察、分层、布样和文字记录工作。组长应掌握有关规范、设计及工作细则，熟悉探槽周围地质情况。

作图员：作图员一般由熟悉探槽编录绘图工作的技术人员担任。协助组长工作，主要负责素描图的编制，同时兼任组内合适的其他工作。

测手：测手一般由技术人员或熟练的地质工担任。主要负责编号、打桩，基线布置、测量各类数据、采集标本及各种拣块样。

2. 原始地质编录

(1) 观察、分层、布样

组长带领编录人员共同观察拟编录探槽中的地质现象（必要时还应观察探槽附近有关地质现象），确定编录壁及基岩面、分层并布样。

确定编录槽壁：探槽素描一般只作一壁一底展开图。当两壁上基岩露头的地质现象可对应吻合时，东西向或大致东西向的探槽选北壁，南北向或大致南北向探槽选东壁。若首选壁的基岩露头不理想时，可选择对应的另一壁。一般情况下以首选壁为主、对应壁为辅。

确定基岩面：槽壁上的风化基岩高度应不小于30cm，通过观察正确判断残坡积物与风化基岩的界线。

分层：应首先确定分层单元，分层单元视矿体复杂程度而定，一般同矿区填图单元一致，复杂矿体的分层单元应小于矿区填图单元。分层厚度及夹石剔除厚度，按工业指标或设计要求进行，不同矿（化）体层，不同矿石类型和工业品级、不同岩石类型和较大构造应分开。

布样：应根据探槽对矿体的剥露情况布置样品，在保证样品代表性及槽样规格的前提下，可在槽底布样，也可在槽壁上布样。化学分析样应按规格连续布置，必须穿越矿层及矿化层，并且在矿层顶、底板有控制样。样槽应尽量垂直于矿层走向布置，样品对矿层控制既不间断也不重复，同一个样品不可跨层布设。

(2) 设置基线

基线位置宜选择在基岩与浮土的分界线附近，但工程起、止两个端点应布在地表。当探槽过长或有拐弯时，应分段设置基点及基线，见图5.18。

在基点处打上编好号的基线桩，然后用皮尺拉紧，固定在两个基线桩上部就成为基线，第一条基线起点为零。



图 5.18 基线布设图

组长及测手分别作为前、后测手，用罗盘测定皮尺的方位角和坡度角，二者的读数误差在 3° 之内时，取平均值作为基线的方位角和坡角。将测量的基点基线数据记录于槽、井、坑探工程基点基线记录表中。

槽探编录的文字记录，按“槽井坑探工程原始地质记录表”的内容和要求进行。如果采用摄像、照片等形式记录地质现象，应按有关要求，另外填写音像记录表。

槽底不同的岩性层、含矿层（体）、蚀变带、断层及破碎带等界线，以槽底界线铅直投影到基线交点的读数为准，槽壁地质现象以及样品、标本、产状等位置，则按产状水平投影在基线上读数为准。

记录时，应针对该段反映的主要地质体或地质现象，有侧重的进行。例如矿层（体），要抓住矿石特征，重点描述矿石成因的特征和现象。描述断层，应记录断层特征（含断层面、破碎带、两盘相对移动方向等），达到反映断层性质和破坏程度等要求。

文字记录内容应与素描图上的内容完全吻合，在编录过程中，记录人员和作图者应经常核对，发现问题现场修正。

（3）绘制素描图

素描图是通过测量槽壁及槽底上的各类地质编录要素（界线、产状、标本及样品位置等）与基线的相对位置，按比例缩小后描绘到坐标纸上的槽壁、槽底展开图。根据探槽长度和地质复杂程度，素描图比例尺一般为 $1:100\sim1:200$ 。

槽壁图一般绘于素描图的上方，槽底图绘于素描图的下方，槽底与槽壁之间应留 1cm 以上间隔（以便标注产状、样号等），槽底按正投影绘成等宽的长方形，其宽度一般为 $1\sim1.5\text{cm}$ ；若遇特殊情况，需绘另一槽壁时，应投绘在槽底的下方。

作图时，应根据地质体的形态（如透镜状、波状、分枝状等）特征勾绘，保持素描图中地质体的形态与实际吻合。

作大坡度槽壁图时，槽壁图可分段垂直上下移动，形成锯齿状（槽底图仍连续）。这时要注意各段之间的地质要素应严格吻合。

作图员应面向编录壁作图，素描图绘制的基本步骤如下：

①合理布置各绘图要素。首先准备好坐标纸。然后根据探槽的长度、高差等，确定图名、比例尺、基线起点、槽壁、槽底、责任表及样品分析结果表在坐标纸上的相应位置，原则上应布局合理，整齐美观。使用矿区统一图例。

②绘制基点、基线。以图上确定的第一条基线为起点，编号为 0（基点位置画 2mm 直径的圆圈、圆心加点，下同）开始，用测出的坡度角在坐标纸上画出基线并按比例尺确定基线在图上的长度、基线的终点为基点 1。

③测手测量各地质要素点坐标。测手测量并报出各地质要素特征点相对于基线的坐标位置。

④槽壁素描。各导线起点读数均为 0m，设各点铅垂投影到基线上的位置为 X_m ，即皮尺上的读数，该点距基线的铅垂距离为 Y_m （分基线上或基线下，用标杆丈量出数据），作图员可据此将各点位置投到图上、并分类连接成图。如图 5.19，地表点 a 垂直投在导线上的点为 a' ， a' 在皮尺（导线）上的读数为 5.5m。 a 点距导线的垂距 $a-a'$ 为 1.9m（读成基上 1.9m），则 a 点的 X 坐标 = 5.5m。 Y 坐标 = 基上 1.9m，据此可在图上确定出 a 点位置，再依次确定出地表 b 点的位置。这样依次连接 o、a、b 点即成地形线（地表线）。将 c、d、e 点相联为基岩线；将 f、q、j 点相联为槽底线；将 k、i 点相联为矿体顶界；将 n、m 点相联为矿体底界。



图 5.19 槽壁投影素描示意图

⑤槽底素描：测手将槽底上的各编录要素点先按地质走向投到槽底与槽壁交界处，然后再垂直投到基线上报出该点在基线上的一个读数点（ X 坐标），作图员即可将该点自基线上投影到槽底图上将地质体、样品等绘出（因槽底为平面图，故无 Y 坐标点）。破碎带控制点 a、b 及样槽控制点 c、d、e、f 各点在基线上的投影点分别为 a' 、 b' 、 c' 、 d' 及 f' ，据其在导线上的读数在图上反投影到槽底上，然后根据走向素描成图，见图 5.20。

⑥测量的产状、采集的标本、拣块样的位置应用符号标注在图上（方法同上）。

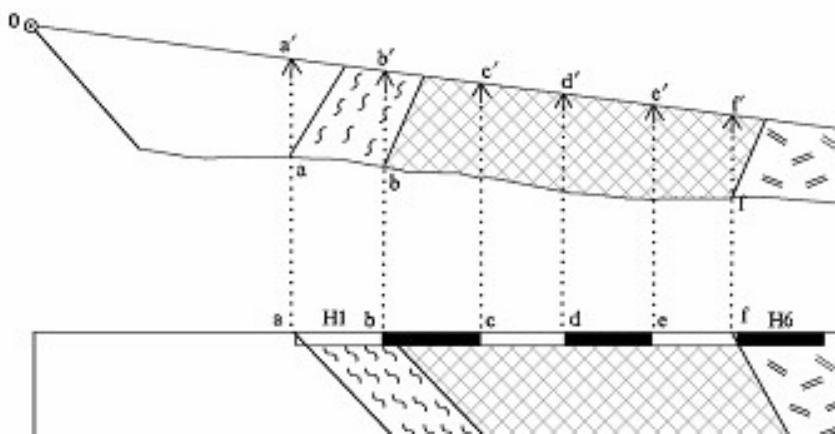


图 5.20 槽底投影素描示意图

3. 探槽原始地质编录应提交的资料

原始探槽地质编录应提交以下资料：

- ①音像记录表；
- ②槽、井、坑探工程基点基线记录表；
- ③槽、井、坑探工程原始地质记录表；
- ④槽、井、坑探工程采样记录表及送样单；
- ⑤标本登记表；
- ⑥岩矿石标本；
- ⑦鉴定及测试成果；
- ⑧探槽素描图。

三、钻孔原始地质编录

钻孔原始地质编录是对钻探取得的岩矿心（包括岩屑、岩粉）进行观察，并对观察过程及所揭示的地质现象进行真实、准确的记录。

1. 准备工作

编录人员应熟悉矿区的基本地质特征，包括地层及分布状况、岩性组合特征、矿产种类及矿层（体）赋存状态、褶皱、断裂、矿带分布及特征、矿区岩矿层划分单元等；了解和熟

练掌握原始编录的有关规定、程序、要求、方法等；了解钻孔施工设计。编录人员一般一台钻机1人。

编录人员应会同探矿人员，在矿区钻孔位置确定后，编写钻孔设计书。

2. 钻孔地质编录

（1）检查整理岩矿芯

钻孔编录工作，应随钻孔施工进度在钻探施工现场及时进行，在预计见矿井段，编录人员要跟综指导，确保钻探质量。

在编录前，编录人员应详细检查钻探班报表、包括“孔深校正及弯曲度测量记录表”“钻孔简易水文观测记录表”中记录的回次进尺、井深、有关水文观测数据等是否齐全、准确。

在施工现场，将岩心箱依井深顺序排列。仔细检查岩心长度及编号是否正确，岩矿心摆放有无拉长现象，发现岩矿心顺序有颠倒的，应予以调整，发现破碎的岩矿心有人为拉长现象时，应恢复到正常长度后重新丈量，并通知机场当班记录员更正班报表。

确保岩矿心样品签的孔深、进尺、岩心长度、回次号等数据准确无误。

在检查、整理岩矿心后，应将每箱岩矿心依次用数码相机拍照存档。

（2）观察记录

岩矿芯的观察记录按以下步骤进行：

①分层：尽可能对全孔或较长井段的岩矿心进行综合观察分析，按矿区厘定的分层标准进行岩矿心分层。在第一分层结束后放入一个分层标签或分层隔板，如遇分层界线刚好在某一段完整的岩心中时，则用钉锤或劈样机自分层处将岩心劈开后放入分层标签

②记录回次数据：

由浅入深，依次将每一个回次的编号、起止孔深、岩心长度、残留岩心、进尺、采取率等记录于“钻孔回次记录表”的相应栏目内。

残留岩心的长度一般以施工人员测量为准，当未进行残留岩心测量或残留岩心测量不准，使其岩心长度大于进尺时，残留岩心可按下面办法由编录人员进行处理。

计算回次采取率，回次“采取率”=本回次岩心长÷本回次进尺×100%

换层孔深计算，从一个分层变换为下一个分层时称为“换层”，换层时所处钻孔深度称为换层孔深。根据换层所处位置不同，分为回次内换层、回次间换层及空回次换层三种情况计算换层孔深。

1) 某一回次内换层时，换层孔深=上回次止孔深+本回次上层岩心长÷本回次采取率；

- 2) 2回次间换层时, 换层孔深=上回次止孔深;
- 3) 空回次换层时, 换层孔深=上回次终止孔深+空回次进尺的二分之一, 也可根据上下层岩石的相对硬度、破碎情况确定合适比例。

(3) 地质描述

应在仔细观察岩矿心的基础上进行。主要观察岩矿心中的矿层(矿化层)及顶底板, 矿化蚀变带、构造部位及分层界线等, 并将观察到的地质现象、测量的数据等记录于“钻孔原始地质记录表”中。 描述内容同前节所述。

3. 钻孔资料整理及钻孔柱状图编制

(1) 文、图和实物资料整理

文、图、实物资料整理包括以下内容:

- ①对野外记录的数据、素描图上墨。
- ②检查文字记录中, 是否有错字、漏字、专业用语是否准确, 修正其错误。
- ③核实各种数据, 计算、整理样品、标本, 包括编号、登记、包装、填写送样单等。

(2) 钻孔柱状图编制

在资料整理的同时, 根据编录的地质资料, 包括岩性、分层、断层、矿化、蚀变、轴夹角, 钻孔方位及倾角等, 绘制钻孔柱状图。钻孔柱状图采用矿区统一图例。比例尺各矿种要求不一, 一般采用1:100~1:500。

第四节 矿山环境工作方法

矿山开采和矿石选治引起的环境污染与生态破坏是一个全球性的问题, 越来越受到人们的关注, 已成为环境地球化学研究的一个重要领域。中国现有国有矿山企业8000多个, 个体矿山达到23万多个。采矿废水、废液的排放总量约占全国工业废水排放总量的10%以上, 而处理率仅为4.23%。我国每年工业固体废物排放量中, 85%以上来自矿山开采。因采矿直接破坏森林面积大约106万hm², 破坏草地面积2.3万hm², 累计占用、破坏和污染土地达205万hm², 并且每年以大约4.67万hm²的速度增长, 而矿区土地复垦率仅为13%左右。采矿业中各类型占地的分布情况是, 采矿活动本身59%, 排土场20%, 尾矿13%, 废石堆5%, 塌陷区3%。土地污染已经对我国生态环境质量、食物安全和社会经济可持续发展构

成严重威胁，并在一定程度上影响农产品对外贸易和环境外交利益。因此，矿业废弃地的生态恢复已成为我国当前所面临的紧迫任务之一，也是我国实施可持续发展战略应优先关注的问题之一。

铜陵矿集区是一个有着3千多年开采历史的极具特色的有色多金属矿区，其矿业活动中形成的、未经一定处理的矿山废弃地众多，包括露天采矿场、排土场、废矿堆、塌陷区和尾矿库等。同时，出露地表的岩矿体、废矿石、尾矿库产生的酸性矿山废水（AMD, Acid mine drainage）、扬尘及其中富含的重金属造成周围环境污染（张鑫，2005）。

一、矿区的主要环境问题

1. 水体污染

矿山开采和矿石选治，引起的水体污染特别是重金属污染也越来越严重。以铜陵矿集区为例，新桥、药圆山、狮子山、铜官山和鸡冠山等每一个开采矿山附近都有露天堆放的废矿石堆或尾矿砂库，它们产生的扬尘和酸性排水和渗漏的冶炼厂矿石冶炼废水对地表水体和水系沉积物造成了严重污染，矿山附近的水体理化指标极差。污染特征主要表现为无机重金属污染和水体酸化、碱化。

2. 土壤污染

土壤作为开放的缓冲动力学体系，在与周围的环境进行物质和能量的交换过程中，不可避免地会有外源重金属进入这个体系。在以硫化物矿物为主的废矿堆周围，由于酸性废水和含铁硫化物或其不完全氧化产物影响，会形成酸性硫酸盐土（ASS, Acid Sulphate Soil）和重金属高含量土壤，致使土壤中重金属含量明显高于自然背景含量，并造成生态破坏和环境质量恶化的现象。土壤污染不但影响农作物的产量和品质，而且还可通过食物链等方式危害人类的健康。随着采矿和冶炼业的迅速发展，矿冶周边地区土壤重金属污染已成为环境污染热点问题之一。

不论是尾矿库中的尾矿砂、采矿场附近废矿渣石，还是岩矿体本身，风化分解释放出的酸性矿山排水（AMD）和有毒重金属离子都要进入下游水体和周围土壤。研究表明，废（尾）矿渣中重金属的释放迁移持续缓慢，对矿区生态环境存在着持久的潜在危害性。

3. 大气污染

我国300多座矿业城市（镇），大气污染一直是最突出的环境问题之一。在铜陵地区大气污染中，降尘污染和酸沉降问题十分突出。矿区大气降尘具有独特的特征，大气颗粒物比

表面积大、成分复杂，除含有严重危害健康的二氧化硅外，还会吸附大量的重金属。降尘通过大气传播，造成空气质量的下降，污染矿区周边的土壤、水体和农作物。。有毒有害重金属如 Cu、Pb、Cd、Ni、Mn、V、Zn 等，主要吸附在小于 $2 \mu\text{m}$ 颗粒物上，可直接被人吸收，对人体健康产生较大的毒害。另一方面，存在于矿区大气中的酸通过降水的方式迁移到地表或在含酸气团里毫微作用下直接迁移到地表，对地表水体、植被和土壤等都产生了严重的影响。

4. 生物污染

矿区形成的生物污染包括植物污染和动物（包括人类自身）伤害。植物污染包括生物群落的退化、食用植物中重金属含量超标，导致植物生长缓慢、植株矮化和变异。超标植物中的重金属通过食物链进入动物体和人体，进一步造成动物和人体的伤害，严重时可导致动植物的死亡。

5. 地质灾害

矿山开采及选矿遗留的采矿坑和堆积的废矿石堆，不仅扰动地貌景观、破坏小区域自然生境、灭绝植物群落，同时还占用大量土地资源，日益加剧我国人多地少的紧张矛盾。采矿形成的边坡坑稳定性受到破坏、废矿石堆多为疏松堆积体，一方面易发生塌方、滑坡、水土流失等环境地质灾害，另一方面有利于自由氧和雨水的持续进入，加速酸性矿山排水(AMD)的产生。

二、矿区主要污染物来源

矿区的主要污染物有岩矿体的自然风化、矿山开采、尾矿库渗漏与尾矿砂的风化、冶炼产生的污染。

铜陵矿集区水系与主要污染源分布见图 5.21。

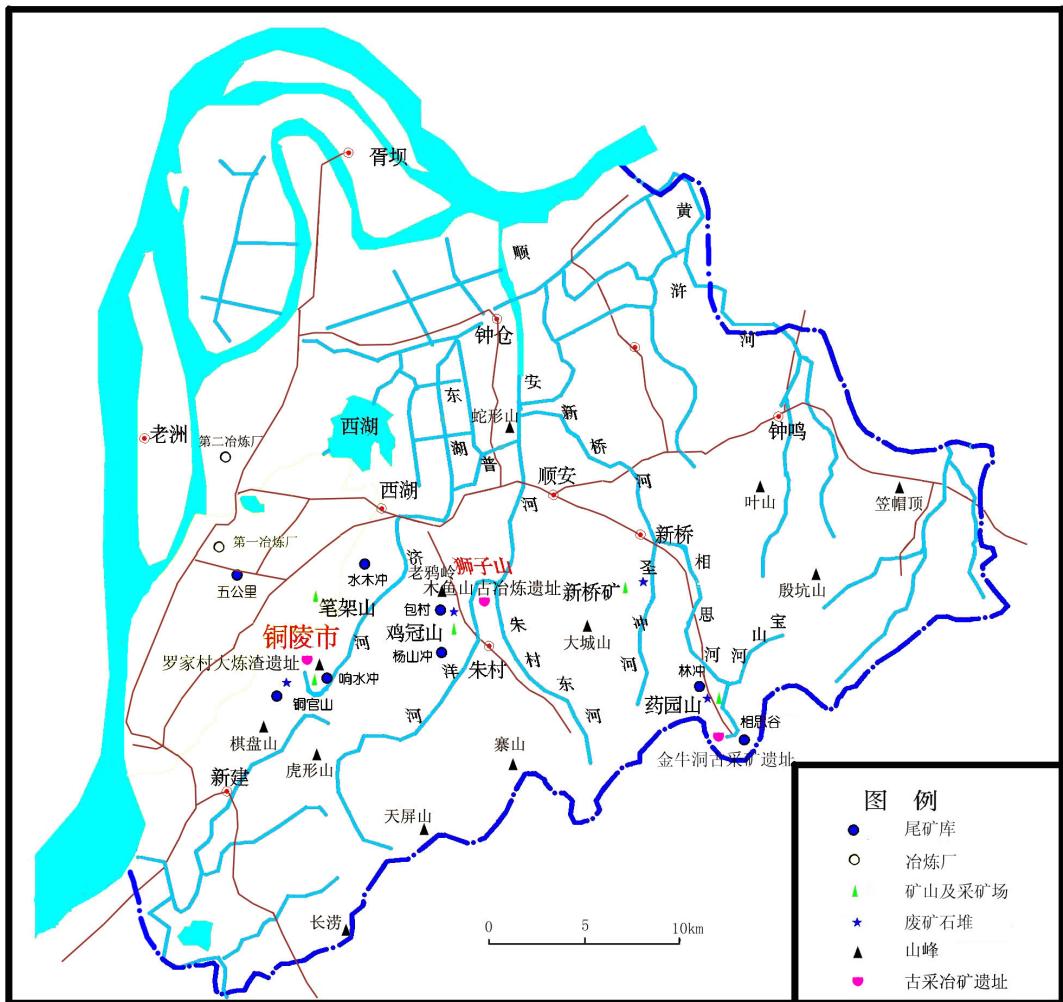


图 5.21 铜陵矿集区水系与主要污染源分布图

1. 岩矿体的自然风化

岩矿体的自然风化是矿区重要的污染来源之一。特别是硫化物矿物的风化淋溶极易产生酸性矿山废水和释放重金属元素。

铜陵矿集区具有就地风化残积特征的新桥块状硫化物型铜矿床和隶属凤凰山矿田的药圆山矽卡岩型铜矿床是研究硫化物矿床风化剖面岩-土界面地球化学发育特征的典型。矿山开采会改变原始岩矿体的稳定性和封闭性；铜陵湿润多雨、气温多季节性变化，特别是近年来，酸雨频率和酸雨强度逐渐增大的情况下，极易引起岩矿体中硫化物的氧化分解，导致酸性废水的产生和 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As 等重金属元素的释放，进而酸化和污染周边水体、土壤。

2. 矿山开采活动

大部分含煤、铁和有色金属矿的地质体都含有各种类型的金属硫化物。随着矿产资源的

大量开采和冶炼，产生了大量的矿山固体垃圾——废矿石和尾矿砂。这些含有金属硫化物的废矿石与空气接触后，在雨水作用下发生氧化反应，产生酸性矿山废水（AMD），可给矿山附近的生态环境带来严重影响，特别是金属硫化物矿床的废尾矿中，微量有毒重金属元素的含量较高，当它们从地下被搬运至地表并破碎后，由于物理化学条件的改变，很容易与水相互作用发生化学风化，产生酸水并释放出大量有毒重金属元素，对矿区附近的生态环境造成严重的污染和破坏。

铜陵地区的采矿场和废矿堆众多，既有现代采矿坑和新鲜废矿堆，也有古人开采冶炼的古采矿场和冶炼渣盖层。古采矿场范围主要集中在铜官山地区，在老庙基山、松树山、笔山、小铜官山等地皆可见废渣堆积。采掘规模较大的松树山区，采坑遍布、呈多方向挖掘，开掘的斜井自地面深入百余米，最深达 150 m，开采部位多为矿体上部氧化富集带及次生硫化物富集带矿石，如孔雀石等氧化物及次生辉铜矿等。正在开采采矿场有狮子山矿田、凤凰山矿田、新桥矿田等，还有众多民营开采的小型矿床，每年堆积的废矿石（渣）约 300 余万吨，利用率仅为 20% 左右。

3. 尾矿库渗漏与扬尘

随着矿产资源的大量开采和冶炼，产生了大量的矿山固体垃圾——尾矿砂。尾矿砂的存在不仅占用大量的土地，而且会给尾矿库周围的生态环境产生了严重影响。一方面尾砂扬尘污染严重，另一方面选矿废水和尾砂造成氰化物和重金属污染，特别是金属硫化物矿床的尾矿砂中，微量有毒重金属元素的含量较高，在尾矿-水相互作用过程中释放出来，造成大气、下游水体和土壤的重金属污染。

铜陵矿集区不同类型矿床矿石采选冶炼后产生的尾矿砂分别堆放在大小 39 个尾矿库中，其中包括五公里、响水冲、相思谷、杨山冲和林冲等的 12 个大型尾矿库（容量 >100 万 m³），过半已经先后灌满关闭。

举例：相思谷尾矿库位于凤凰山矿区东南距选矿厂 2km 的相思谷最上游，1976 年建设，1980 年投入使用，设计服务年限 25 年，总库容 410 万 m³。虽然仍在运行中，但在浅水和无水处已有菖蒲定居（图 5.22）。坝址下游有相思河，沿河两岸有相东、相西等 5 座村庄、5000 余人口和万余亩耕地，倍受市民喜爱的相思树也生长在其间。由于坝址选择在喀斯特地形发育的相思谷山沟，库区及坝址地段岩层主要为可溶性大理岩，且分布广。岩层处岩浆岩接触带及其边缘，受北西-南东断层控制，岩层破碎、节理发育等因素的影响，岩溶极为发育，漏砂严重，从而形成环境污染，造成了下游相思河和附近农田的严重污染，并对周边

村民居住安全和耕地构成潜在威胁。2000 年，凤矿相思谷尾矿库曾被列为铜陵市 7 个重大事故隐患整改项目之一，责令限期整改。

4. 矿石冶炼

冶炼是矿冶活动的重要环节，又是矿区城市的主要污染源。矿石冶炼排放的烟尘和废水造成矿区大气、水体、土壤酸化和重金属污染。

铜陵的冶炼污染主要来源于铜陵第一冶炼厂（简称一冶）和铜陵第二冶炼厂（又称金昌冶炼厂）。

三、矿山环境观察

矿山环境观察分为宏观和微观两个方面。宏观观察主要包括污染源的空间分布特征、污染源与周边环境的联系等。

不同类型的污染体微观环境观察也不尽相同。水体环境观察项目：颜色、透明度、流量、流向和水体中的固体物特征；沉积物和尾矿砂的环境观察项目：颜色、粒度特征、粘稠度、垂向分层等；土壤样品的环境观察项目：粒度、颜色、土壤种类、杂质含量、植物根系含量等；植物样品观察项目：植物种类、叶片颜色、根系特征、盖度、植物群落、优势种等。

四、矿山环境样品采样方法

1. 尾矿砂、废矿石样品的采集

（1）尾矿砂样品的采集

根据研究和分析目的以及尾矿砂特性，采样点的布置和采样方法也有所不同。

为了研究尾矿砂中重金属元素释放迁移规律，可选取不同存放年限尾矿库采集系列样品，分析研究尾矿砂自然风化规律；研究尾矿砂中重金属在尾矿库空间上迁移转化规律，一般选择已闭库的甚至进行复垦的尾矿库作为研究对象。

垂向上样品采集：采用自然堆积分层与等距相结合的原则采集样品，深度 1.5~1.8m，或直至原始尾矿砂层。

表层样品的采集：圆形尾矿库中采样主剖面的布置应穿过尾矿库的中心，同时在主剖面的两边各布置 1~2 条辅助剖面。采样间距 50~100m。

样品重量：1000g。

(2) 废矿石样品的采集

废矿石样品的采集可根据矿床成因和矿床类型的不同选取样品采集点。在同一种废矿石堆，采样点的布置应根据堆积年限的不同采集样品，样重 1000g。

2. 大气降尘样品的采集

矿区大气降尘主要为采矿尘、冶金尘和交通尘三种。

采矿尘样品的采集：选择开采中的矿山，自矿区中心顺风向采集样品，采样剖面长 4~8km，采样间距自矿区中心向外倍加递增的原则确定采样点。样品重量：200~500g。

冶金尘样品的采集：自污染源采集起，顺风向采集 5~10 个冶金尘样品，采样剖面长度 5~10km。样品重量：200~500g。

交通尘样品的采集：分主干道和次干道并结合运矿通道采集样品(样品重量：200~500g)，同时根据交通工具的不同采集汽车尾气样品（样品重量：>50g）。

为了研究大气降尘对土壤污染的影响，在每一处大气降尘采样点附近配套采集表层土壤样品，样重 1000g。

3. 水及水系沉积物样品的采集

根据水体空间分区和矿区地表水系的河道、湖泊形态、地貌特征和流域污染源（采选和冶炼厂）分布情况，污水排放位置和自然环境条件以及评价目标，分水系在上、中、下游进行布点采集地下水样、地表水样和对应沉积物样品。采样点多布设于水流缓慢，沉积稳定的地带。为了反映近期污染状况和历史污染规律，采集沉积表层 0~10cm 厚和柱状沉积样品。上覆水样依据水深采集表层(距水面 10~20cm)或底层水(沉积物上 0~10cm)，现场过 0.45μm 滤膜后获得过滤水样和悬浮物样，根据测定元素不同分别固定过滤水样。水样采集量为 1L，沉积物样品根据样品性质采集 1000~1500g。

4. 土壤样品的采集

为了了解矿区采矿活动对周边生态环境产生的影响，可根据地区的矿区分布、土壤主要分布区域、土壤类型和利用状况，划分成不同的功能区进行布点采样。为了评价重金属污染物自污染源水平方向上的迁移规律，可自污染源向外和垂直排污河布置土壤剖面，导线长度根据污染程度确定，间距 300~350m，样品重量：1000g。

每个采样点土壤分析样品由多点采集混合而成，均匀后用四分法缩分至 1000g。表层样

采集深度 0~15cm，柱状剖面样的采集根据自然分层和限距相结合的原则，在 1.5~1.8m 深的剖面上采集样品 6~7 件。

5. 植物样品的采集

植物样品的采集分为食用植物（含药用植物）和野生非食用植物两类。食用植物采集原则：分污染区和未污染区采集主要农作物和经济作物样品，包括水稻、蔬菜类和烟叶、丹皮等；采集和研究非食用植物主要是为了矿山生态修复，因此，品种的选择应以能够适应废矿堆和尾矿库极端环境条件的自然定居的先锋植物为主，如定居尾矿库的狗牙根、白茅、芦苇 (*Phragmites australis* Trin.)、香根草 (*Vetiveria zizanioides* Nash) 和百喜草 (*Paspalum notatum* Flugge)，定居废矿堆生长的狗牙根和采矿坑的茵陈蒿、古废矿渣堆上生长的铜草（海洲香薷）和鸭趾草等。

野外调查以研究目标区中心为起点，分别向四个方向设置 4 条样线，沿每条样线分段设置样方取样，样方规格 1m×1m，共设置样方 100 个。每个样方均调查植物种类、数量、多度和盖度。计算各植物种的综合优势比和物种多样性。各植物种的综合优势比采用密度比、盖度比两因子表示 (SDR2)，物种多样性采用 Simpson 指数 (D)、Shannon-Wiener 指数 (H) 和均匀度指数 (E) 来衡量。

采样的方法为：在每个采样区采用 s 型或梅花形布点（各采集 6 个点）的采样方法采集一个 0~20cm 的混合土样及其各采样点的植物混合样品。植物样品分地下部分和地上部分或按照“可食部分、茎叶”的原则分部位采样。土壤样品采集 500 g，植物样品根据不同采样部位的分配比采集 1kg~2kg。并在未受污染区采集土壤样和植物样作为对照。

五、样品采集质量控制

野外样品采集时，使用 1:5 万地形图作为工作用图，利用 GPS，结合地形地貌、村庄道路等标志物进行定位，标注在野外工作手图上，并在采样地用红油漆标注或在记录本上详细描述周围地形地貌特征。

按照《区域生态地球化学评价技术要求》（中国地质调查局，2005）中各类样品的记录卡，详细描述和记录所采集土壤、农作物、地表水及对应沉积物、大气降尘等各类样品特性，对土壤剖面、大气干湿沉降样品、农作物、水系采样以及采样点周边环境都配有照片或描述。

野外样品采集、记录及样品整理实行采样组、大组、承担项目单位三级质量检查。采样组质量检查包括自检、互检，检查工作量为 100%。

六、室内分析

评价矿区环境，要确定合适的测试项目。矿区城市生态环境评价的元素和指标：环境指标为 As、Cd、Hg、Pb、Cu、Zn、Cr、Ni、Fe、S、Se、Mn 等；地表水、沉积物和土壤理化性质为 pH、Ec、CEC、和 Eh 等。

为了保证测试结果的准确性，选择一种合适的分析测试方法也很重要。根据测试项目的不同，分析方法也各不相同。主要的分析仪器有：ICP-AES、ICP-MS、原子吸收光谱仪和分光光度分析仪等。ICP-AES有多元素同时分析和顺序分析的功能，具有灵敏度高、精密度好、线性范围宽等优点，是目前环境样品分析中公认的有效方法之一。ICP-MS是测试精度更高于ICP-AES的等离子体质谱仪，可对大多数重金属元素进行测试分析。

1. 水样的处理与分析

将采集的水样现场分析其pH值、Eh、Ec（电导率），然后用超纯HNO₃调节至pH<2、用NaOH溶液调至pH>11，保存于酸洗过的聚乙烯塑料瓶中送至实验室进行重金属含量分析。采集的水系沉积物和尾矿砂样品用聚酯塑料袋密封盛装，带回实验室在离心机上以3000r/min离心30分钟，将清液和沉淀分离。清液待测，沉淀放入70°C的烘箱中烘干后，用玛瑙研钵加工磨细，过200目尼龙筛，混匀、装瓶，以备常量和重金属元素测定。

水体pH、Eh和Ec值的野外测定：水样经0.45μm滤纸过滤，现场采用PHS-3B型精密pH计测试过滤水的pH值和氧化还原电位Eh（mv）值，再用DDJS-308A型电导率仪测定水样的电导率值Ec（μS/cm）。过滤水测试完后即用1%的优级纯HNO₃酸化至pH<2，密封保存待测。沉积物及其孔隙水理化性质在实验室进行测试。采集的水系沉积物样品于60°C条件下烘干或自然风干，并研磨至200目待分析。

2. 大气降尘、土壤、水系沉积物、尾矿砂和废矿石样品的处理与分析

土壤 pH、Eh 和 Ec 值的野外测定：取土壤样品 10g，加入二次去离子水 50mL，搅拌成浑浊液，采用 PHS-P 型酸度计和 DDSJ-308A 型电导率仪测定 pH 值、Eh 值和 Ec 值；有机质含量用重铬酸钾氧化法测定，CEC 采用 Ba²⁺饱和法测试。

采集的大气降尘、土壤、水系沉积物和废矿石、尾矿砂样品于60°C条件下烘干或自然风干后弃去杂物，并研磨至200目待分析。从野外采集来的土壤样品和水系沉积物样品，为避免微生物的作用而引起的发霉变质，立即将全部样品放到布袋中进行风干。当达到半干状态后压碎，除去石块、残根等杂物后铺成薄层，经常翻动，阴凉下慢慢风干，切忌阳光直接曝晒。样品风干处应防止酸碱等气体及灰尘的污染。取风干样品100 g，放在铁板上用圆木碾碎，经反复处理使土样全部过200目尼龙筛，储于塑料袋内。再取10 g上述土样，装入塑料袋内密封、贴标签、编号。

分析方法如下：土壤中重金属总量分析采用HNO₃-H₂SO₄-HClO₄-HF消化，应用电感耦

合等离子光谱法（ICP-AES）测定；形态分析采用Tessier的逐级提取方法。可交换态（包括水溶态）（F₁）用1mol·l⁻¹MgCl₂溶液（pH7.0）提取，碳酸盐结合态（F₂）用1mol·l⁻¹NaAc溶液（pH5.0）提取，Fe-Mn氧化物结合态（F₃）用0.04 mol·l⁻¹NH₂OH·HCl（在25%HAc中）溶液提取，有机/硫化物结合态（F₄）用3.2 mol·l⁻¹NH₄OAc和30%的H₂O₂（在20%HNO₃）溶液提取，上述逐级提取后的残留物，经消化测定的重金属含量为残渣态（F₅）。

3. 植物样品的处理与分析

植物样品根据研究目的分部位处理，先用自来水冲去浮尘和根部粘结的土壤，再用二次去离子水冲洗两遍，称量鲜重然后按四分法缩分以后，加工成碎块在60°C的烘箱中烘干、粉碎至60目备用，采用浓硝酸低温消化溶解，加高氯酸消化近干后再加盐酸溶解定容的方法进行前处理。Hg和As按原子荧光法测定；Pb、Cu、Zn、Cd、Cr、Mn、Ni、Co等按电感耦合等离子发射光谱法（ICP-AES）测定，植物测定结果采用风干质量和鲜质量两种表示。

第六章 实习路线

路线 1 矿集区地层及岩浆岩

一、实习内容

- 1、野外地质图读图（附 1:5 万铜陵地质图）。
- 2、记录本的使用与记录方法。
- 3、野外 GPS 的使用方法及应用（备 GPS）。
- 4、沿往南陵公路一线，观察铜陵矿集区出露的主要地层特征，记录并作素描，采集典型地层标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 5、在鸡冠山矿区，观察石英闪长岩、辉石二长闪长岩的特征，记录并作素描，采集典型岩体标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。

二、作业

现场作业：

- (1) 将观察点、采样点 GPS 坐标标定位于地质图上。
- (2) 主要地层特征及接触关系素描（附野外地质现象素描卡片）。
- (3) 主要岩体特征及接触关系素描（附野外地质现象素描卡片）。
- (4) 典型地层标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。
- (5) 典型岩体标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。

室内作业：

- (1) 复习铜陵矿集区主要地层及其特征（附室内资料整理作业纸。）
- (2) 复习花岗质岩浆的演化及鲍文反应系列（附室内资料整理作业纸。）
- (3) 典型地层标本镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。
- (4) 典型岩体标本镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。

路线 2 新桥矿床

一、实习内容

- 1、新桥铜、金、硫矿床地质特征讲座，熟悉新桥矿床的概况、地质特征、开采工程、矿石选冶等，同时阅读资料、读图，并作记录。
- 2、参观新桥矿床模型室，了解新桥矿床矿区全貌，并作记录。
- 3、新桥矿床露天采坑地质特征观察，包括矿床的顶、底板特征，铜、金、硫、铁、铅、锌矿体及其与围岩的关系，矿头岩体特征及其蚀变带（矽卡岩）、与围岩的接触关系，矿床风化壳特征，胶黄铁矿和菱铁矿等特征等，记录并作素描，采集典型标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 4、新桥矿床井下地质特征观察，观察井下地层、岩体、蚀变带、矿体等特征及其空间关系，记录并作素描，采集典型标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 5、新桥矿床主要岩石、矿石特征观察，观察记录新桥矿床的主要岩石类型、矿石类型及矿物共生组合特征，典型现象作素描，采集标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 6、认识新桥矿床的成因。
- 7、认识了解矿山酸性排水及处置系统、露天开采边坡处理工程系统。
- 8、参观新桥矿床选矿厂，了解其工艺和流程。

二、作业

现场作业：

- (1) 描述新桥矿床的概况（附矿床地质概况描述卡片）。
- (2) 描述新桥矿床的开采工程（附矿床开采工程描述卡片）。
- (3) 描述所观察矿井、中段的位置，井下地层、蚀变带、矿体特征及其空间关系（附矿井观察描述卡片）。
- (4) 露天采坑典型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。
- (5) 井下典型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。
- (6) 作露天采坑地质剖面简图（附野外地质现象素描卡片）。

(7) 矶头岩体及其蚀变带(矽卡岩)与围岩的接触关系素描(附野外地质现象素描卡片)。

(8) 风化壳素描(附野外地质现象素描卡片)。

(9) 主要岩石类型标本野外鉴定描述(附岩矿石野外描述卡片)。

(10) 主要矿石类型标本野外鉴定描述(附岩矿石野外描述卡片)。

室内作业:

(1) 描述新桥矿床的选矿工艺和流程(附室内资料整理作业纸)。

(2) 总结新桥矿床的成因(附室内资料整理作业纸)。

(3) 露天采坑典型标本镜下鉴定(附岩矿石镜下鉴定表)。

(4) 井下典型标本镜下鉴定(附岩矿石镜下鉴定表)。

(5) 主要岩石类型标本镜下鉴定(附岩矿石镜下鉴定表)。

(6) 主要矿石类型标本镜下鉴定(附岩矿石镜下鉴定表)。

路线3 冬瓜山矿床

一、实习内容

1、冬瓜山铜、金矿床地质特征讲座，熟悉冬瓜山矿床的概况、地质特征、开采工程、矿石选治等，同时阅读资料、读图，并作记录。

2、冬瓜山矿床矿区地质特征观察，记录并作素描，采集典型标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。

3、认识冬瓜山矿床的“多层楼”成矿模式及矿床成因。

4、冬瓜山矿床主要岩石、矿石特征观察，观察记录冬瓜山矿床的主要岩石类型、矿石类型及矿物组合特征，典型现象作素描，采集标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。

5、参观冬瓜山矿床选矿厂，了解其工艺和流程。

二、作业

现场作业:

- (1) 描述冬瓜山矿床的概况（附矿床地质概况描述卡片）。
- (2) 矿区地质体接触关系及典型现象素描（附野外地质现象素描卡片）。
- (3) 主要岩石类型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。
- (4) 主要矿石类型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。

室内作业:

- (1) 总结冬瓜山矿床的成因（附室内资料整理作业纸）。
- (2) 描述冬瓜山矿床的选矿工艺和流程（附室内资料整理作业纸）。
- (3) 主要岩石类型标本镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。
- (4) 主要矿石类型标本镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。

路线4 天马山矿床

一、实习内容

- 1、天马山金矿床矿区地质特征观察，包括地层、构造、岩浆岩；记录并作素描，采集典型标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 2、天马山矿床主要岩石、矿石特征观察，观察记录天马山矿床的主要岩石类型、矿石类型及矿物组合特征，典型现象作素描，采集标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 3、认识天马山矿床的成因。

二、作业

现场作业:

- (1) 描述天马山矿床的概况（附矿床地质概况描述卡片）。
- (2) 矿区地质体接触关系及典型现象素描（附野外地质现象素描卡片）。

- (3) 主要岩石类型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。
- (4) 主要矿石类型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。

室内作业：

- (1) 分析总结天马山矿床的成因（附室内资料整理作业纸）。
- (2) 主要岩石类型标本镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。
- (3) 主要矿石类型标本镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。

路线 5 姚家岭矿床

一、实习内容

- 1、姚家岭多金属矿床地质特征讲座，熟悉姚家岭矿床的概况及地质特征，同时阅读资料、读图，并作记录。
- 2、姚家岭矿床矿区地质特征观察，包括地层、构造、岩浆岩，围岩蚀变，记录并作素描，采集典型标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 3、姚家岭矿床主要岩石、矿石特征观察（主要为钻孔岩芯），观察记录姚家岭矿床的主要岩石类型、矿石类型及矿物组合特征，典型现象作素描，采集标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 4、认识姚家岭矿床的成因。

二、作业

现场作业：

- (1) 描述姚家岭矿床的概况（附矿床地质概况描述卡片）。
- (2) 矿区地质体接触关系及典型现象素描（附野外地质现象素描卡片）。
- (3) 主要岩石类型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。
- (4) 主要矿石类型标本野外鉴定描述（附岩矿石野外描述卡片）。

室内作业:

- (1) 总结姚家岭矿床的成因(附室内资料整理作业纸)。
- (2) 主要岩石类型标本镜下鉴定(附岩矿石镜下鉴定表)。
- (3) 主要矿石类型标本镜下鉴定(附岩矿石镜下鉴定表)。

路线6 药园山矿床—金牛洞、相思树景点—相思谷尾矿库

一、实习内容

- 1、药园山矿床露天采坑地质特征观察，记录并作素描，采集典型标本作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 2、药园山矿床主要岩石、矿石特征观察，观察记录药园山矿床的主要岩石类型、矿石类型及矿物组合特征，典型现象作素描，采集标本(包括完整的接触交代蚀变类型)作野外鉴定描述以及室内镜下鉴定。
- 3、认识药园山矿床的成因。
- 4、参观金牛洞古采坑遗址，了解铜陵的矿业开发史。
- 5、参观相思树景点。
- 6、观察相思谷尾矿库，记录其历史、景观、规模、植被、排放情况、尾砂等特征，并作素描。

二、作业

现场作业:

- (1) 描述药园山矿床的概况(附矿床地质概况描述卡片)。
- (2) 矿区地质体接触关系及典型现象素描(附野外地质现象素描卡片)。
- (3) 接触交代蚀变系列岩、矿石标本野外鉴定描述(附岩矿石野外描述卡片)。
- (4) 相思谷尾矿库特征野外描述(附尾矿库野外描述卡片)。

室内作业:

- (1) 总结药园山矿床的成因（附室内资料整理作业纸）。
- (2) 接触交代蚀变系列岩、矿石标本镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。
- (3) 整理铜陵矿业开发史资料（附室内资料整理作业纸）。

路线 7 勘探现场或岩芯库

一、实习内容

- 1、钻孔岩芯编录讲座。
- 2、钻孔岩芯实际观察与编录。
- 3、探槽编录。

二、作业

现场作业：

- (1) 现场进行钻孔岩芯观察与编录（附钻孔岩性原始记录表）。
- (2) 现场进行探槽观察与编录（附探槽编录表）。

室内作业：

- (1) 对采集的典型钻孔岩芯和探槽标本作镜下鉴定（附岩矿石镜下鉴定表）。

路线 8 铜陵有色公司第二冶炼厂—铜陵铜制品市场

一、实习内容

- 1、参观铜陵有色公司第二冶炼厂，了解铜冶炼的工艺和流程。
- 2、参观铜陵市铜制品市场。

二、作业

室内作业：

- (1) 整理铜冶炼的工艺和流程（附室内资料整理作业纸）。

主要参考文献

- 安徽省地质调查院. 2005. 1: 25 万安庆幅区域地质调查报告, 1—253.
- 安徽省地质矿产局 1987. 安徽省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1—721.
- 安徽省地质矿产局 321 地质队. 1997. 安徽铜陵朝山金矿床详查地质报告, 1—164.
- 安徽省地质矿产局 321 队, 中国地质大学(北京). 1990. 铜陵地区铜金等矿床综合预测报告, 1—221
- 安徽省地质矿产局 321 队. 1995. 安徽沿江重要成矿区铜及有关矿产勘查研究报告, 1—311
- 岑况和於崇文. 2001. 铜陵地区硫化物矿床成矿过程的热传导和物质输运动力学. 地球化学, 30 (6): 533—540
- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社, 1—239.
- 常印佛和刘学圭. 1983. 关于层控式矽卡岩型矿床—以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例. 矿床地质, 2 (1): 11—20.
- 陈江峰, 喻钢, 杨刚, 杨胜宏. 2005. 安徽沿江江南晚中生代岩浆—成矿年代学格架. 安徽地质, 15 (3): 161—170
- 陈江峰, 周泰禧, 李学明, Forland K A, 黄承义, 卢伟. 1993. 安徽南部燕山期中酸性侵入岩的源区锶、钕同位素制约. 地球化学, 22 (3): 261—268.
- 陈江峰, 周泰禧, 邢凤鸣, 徐祥, 徐立华. 1994. 长江中下游岩带含铜岩体 Pb、Sr、Nd 的同位素特征. 地球学报, 1 (2): 111—116.
- 陈毓川, 李兆鼐, 毋瑞身. 2001. 中国金矿床及其成矿规律. 北京: 地质出版社, 1—141.
- 储国正, 吴言昌, 刘光华, 史东方, 郭祥焱, 周道玉, 胡富娥. 2000. 安徽铜陵鸡冠石银(金)矿床地质地球化学特征. 地质地球化学, 28 (3): 31—40.
- 储国正. 2003. 铜陵狮子山铜金矿田成矿系统及其找矿意义. 中国地质大学博士论文.
- 崔彬. 1987. 铜官山层控矽卡岩型铜矿床的蚀变分带及其成因. 矿床地质, 6 (1): 35—44.
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜. 1999. 中国东部燕山期岩石圈—软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质, 18 (4): 309—315
- 邓晋福和吴宗絮. 2001. 下扬子克拉通岩石圈减薄事件与长江中下游 Cu—Fe 成矿带. 安徽地质, 11 (2): 86—91.
- 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. 地学前缘, 11 (1): 121—129.
- 邓军, 王庆飞, 黄定华. 2006. 铜陵矿集区浅层含矿岩浆运输网络与运移机制. 中国科学 D 辑, 36 (3): 252—260.
- 狄永军, 赵海玲, 张贻全, 赵建华, 杨龙. 2003. 安徽铜陵地区燕山期花岗岩类岩石中的岩浆混合结构. 北京地质, 15 (1): 12—17.
- 狄永军, 赵海玲, 吴金国, 张达, 臧文栓, 刘清华. 2005. 铜陵地区燕山期侵入岩成因与三端元岩浆混合作用. 地质论评, 51 (5): 528—737.
- 杜杨松, 李顺庭, 曹毅, 秦新龙, 楼亚儿. 2007. 安徽铜陵铜官山矿区中生代侵入岩的形成过程—岩浆地侵、同化混染和分离结晶. 现代地质, 21 (1): 71—77.

- 杜杨松和李学军. 1997. 安徽铜陵典型矿区岩石包体研究及其岩浆—成矿作用过程探讨. 高校地质学报, 3 (2): 171—172.
- 高庚, 徐兆文, 杨小男, 王云健, 张军, 蒋少涌, 凌洪飞. 2006. 安徽铜陵白芒山辉石闪长岩体的成因: Sr—Nd—Pb—O 同位素制约. 南京大学学报(自然科学), 42 (3): 269—278.
- 顾连兴, 胡文瑄, 倪培, 何金祥, 徐跃通, 陆建军, 林春明, 李伟强. 2003. 再论大陆地壳断裂拗陷带中的华南型块状硫化物矿床. 高校地质学报, 9 (4): 592—603.
- 侯增谦, 杨竹森, 李荫清, 曾普胜, 蒙义峰, 徐文艺, 田世洪. 2004. 碰撞造山过程中流体向陆盆地大规模迁移汇聚: 来自长江中下游三叠纪膏盐建造和区域蚀变的证据. 矿床地质, 23 (3): 310—327.
- 胡欢, 王汝成, 陆建军. 2001. 安徽铜陵狮子山矽卡岩金矿床的矿物组合、化学成分及成因意义. 矿床地质, 20 (1): 86—89.
- 胡焕德. 铜陵地区岩矿石结构构造图册. 1994. 北京: 地质出版社, 1—32
- 黄华盛. 1994. 矽卡岩矿床的研究现状. 地学前缘, 1 (3—4): 105—111.
- 黄顺生, 徐兆文, 倪培. 2003. 安徽铜陵冬瓜山热液叠加改造型铜矿床流体包裹体地球化学特征. 地质找矿论丛, 18 (1): 34—38.
- 蒋少涌, 李亮, 朱碧, 丁昕, 姜耀辉, 顾连兴, 倪培. 2008. 江西武山铜矿区花岗闪长斑岩的地球化学和 Sr—Nd—Hf 同位素组成及成因探讨. 岩石学报, 24 (8): 1679—1690.
- 黎彤和倪守斌. 1990. 地球和地壳的化学元素丰度. 北京: 地质出版社, 1—50
- 李进文, 裴荣富, 梅燕雄. 2006. 安徽铜陵狮子山铜(金)矿田成矿流体地球化学特征. 矿床地质, 25 (4): 427—437.
- 李进文, 裴荣富, 张德全, 梅燕雄, 臧文拴, 孟贵祥, 曾普胜, 李铁军, 狄永军. 2007. 铜陵矿集区燕山期中酸性侵入岩地球化学特征及其地质意义. 地球学报, 28 (1): 11—22.
- 李龙, 郑永飞, 周建波. 2001. 中国大陆地壳铅同位素演化的动力学模型. 岩石学报, 17 (1): 61—68.
- 李守义, 叶青松. 2003. 矿产勘查学. 北京: 地质出版社, 1—236
- 李曙光. 2001. 长江中下游中生代岩浆岩及铜铁成矿带的深部构造背景. 安徽地质, 11 (2): 118—123.
- 凌其聪, 程惠兰, 陈邦国. 1998. 铜陵东狮子山铜矿床地质特征及成岩成矿机理研究. 矿床地质, 17 (2): 158—164
- 凌文黎, 高山, 郑海飞, 周炼, 赵祖斌. 1998. 扬子克拉通黄陵地区崆岭杂岩 Sm—Nd 同位素地质年代学研究. 科学通报, 43 (1): 86—89.
- 刘亮明, 疏志明, 赵崇斌, 万昌林, 蔡爱良, 赵义来. 2008. 矽卡岩矿床的汇流扩容空间控矿机制及其对深部找矿的意义: 以铜陵—安庆地区为例. 岩石学报, 24 (8): 1848—1856.
- 刘裕庆, 刘兆廉. 铜陵冬瓜山矽卡岩型矿床的稳定同位素研究. 北京地质科学院矿床地质研究所所刊, 1984, (1): 50—60.
- 陆建军, 郭维民, 陈卫锋, 蒋少涌, 李娟, 徐兆文. 2008. 安徽铜陵冬瓜山铜(金)矿床成矿模式. 岩石学报, 24 (8): 1657—1664.
- 陆三明. 2007. 安徽铜陵狮子山铜金矿田岩浆作用与流体成矿. 合肥工业大学博士学位论文.

- 吕庆田, 侯增谦, 杨竹森, 史大年. 2004. 长江中下游地区的底侵作用及动力学演化模式: 来自地球物理资料的约束. 中国科学 (D辑), 34 (9): 783—794.
- 吕庆田, 侯增谦, 杨竹森, 史大年. 2004. 长江中下游地区的底侵作用及动力学演化模式: 来自地球物理资料的约束. 中国科学 (D辑), 34 (9): 783—794
- 吕庆田, 侯增谦, 赵金花, 史大年, 吴宣志, 常印佛, 裴荣富, 黄东定, 匡朝阳. 2003. 深地震反射剖面揭示的铜陵矿集区复杂地壳结构形态. 中国科学 (D辑), 33 (5): 442—449.
- 毛建仁, 苏郁香, 陈三元, 岳元珍, 赵曙良, 程启芬. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿. 北京: 地质出版社, 1990: 1—191.
- 毛景文, Stein H, 杜安道, 周涛发, 梅燕雄, 李永峰, 藏文栓, 李进文. 2004. 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. 地质学报, 78 (1): 121—131.
- 毛政利, 赖健清, 彭省临, 邵拥军, 杨斌. 2004. 安徽铜陵凤凰山铜矿床地球化学特征及其意义. 地质与勘探, 40 (2): 28—31.
- 蒙义峰, 杨竹森, 曾普胜, 徐文艺, 王彦斌. 2004. 铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定. 矿床地质, 23: 271—280.
- 潘兆橹主编. 1994. 结晶学与矿物学 (下册). 北京: 地质出版社, 1—280.
- 邱家骥主编. 1983. 岩浆岩岩石学. 北京: 地质出版社, 1—336.
- 区域地质调查野外工作方法 (第二分册), 1979. 地质出版社, 1—104.
- 任云生, 刘连登, 陈国华, 刘良根. 2007. 铜陵朝山金矿床矿石特征与金的赋存状态研究. 地质与勘探, 43 (3): 60—64.
- 任云生, 刘连登, 万相宗. 2006. 安徽铜陵包村金矿床地质特征及成因探讨. 地球学报, 27 (6): 583—589.
- 尚浚, 卢静文, 彭晓蕾, 张渊等编. 2007. 矿相学. 北京: 地质出版社, 1—156.
- 邵拥军, 彭省临, 赖健清, 吴淦国. 2003. 铜陵凤凰山铜矿成矿动力学机制分析. 矿产与地质, 17 (3): 508—510.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1—351.
- 田世洪, 丁悌平, 侯增谦, 杨竹森, 谢玉玲, 王彦斌, 王训诚. 2005. 安徽铜陵小铜官山铜矿床稀土元素和稳定同位素地球化学研究. 中国地质, 32 (4): 604—613.
- 田世洪, 杜杨松, 秦新龙, 李铉具, 金尚中, 尹京武, 李赞熙. 2001. 安徽铜陵地区中酸性侵入岩及其岩石包体中的矿物包裹体研究. 地学前缘, 8 (1): 422—428.
- 田世洪, 侯增谦, 杨竹森, 丁悌平, 蒙义峰, 曾普胜, 王彦斌, 王训诚. 2007. 安徽铜陵马山金硫矿床稀土元素和稳定同位素地球化学研究. 地质学报, 81 (7): 929—938.
- 汪洋, 邓晋福, 姬广义. 2004. 长江中下游地区早白垩世埃达克质岩的大地构造背景及其成矿意义. 岩石学报, 20 (2): 297—314.
- 王建中, 李建威, 赵新福, 钱壮志, 马昌前. 2008. 铜陵地区朝山矽卡岩型金矿床及含矿岩体的成因: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄、元素地球化学及多元同位素证据. 岩石学报, 24 (8): 1875—1888.

- 王强, 许继峰, 赵振华, 熊小林, 包志伟. 2003. 安徽铜陵地区燕山期侵入体的成因及其对深部动力学过程的制约. 中国科学 (D辑), 33 (4): 323—334.
- 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 田世洪. 2004c. 铜陵地区小铜官山石英闪长岩锆石 SHRIMP 的 U—Pb 年龄及其成因指示. 岩石矿物学杂志, 23 (4): 298—304.
- 王彦斌, 刘敦一, 蒙义峰, 曾普胜, 杨竹森, 田世洪. 2004a. 安徽铜陵新桥铜—硫—铁—金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石 SHRIMP 年代学及其意义. 中国地质, 31 (2): 169—173.
- 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 杨竹森, 田世洪. 2004b. 安徽铜陵地区漫源岩浆底侵作用的时代——朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年. 地球学报, 25 (4): 423—427.
- 王彦斌, 唐索寒, 王进辉, 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 田世洪. 2004d. 安徽铜陵新桥铜金矿床黄铁矿 Rb/Sr 同位素年龄数据——燕山晚期成矿作用的证据. 地质论评, 50 (9): 538—542.
- 王银宏. 2005. 铜陵天马山金硫矿床成矿系统研究. 地质找矿论丛, 20 (2): 106—110.
- 王元龙, 王焰, 张旗, 贾秀琴, 韩松. 2004. 铜陵地区中生代中酸性侵入岩的地球化学特征及其成矿——地球动力学意义. 岩石学报, 20 (2): 325—338.
- 吴才来, 陈松年, 史仁灯, 郝美英. 2003. 铜陵中生代中酸性侵入岩特征与成因. 地球学报, 24 (1): 41—48.
- 吴才来, 周珣若, 黄许陈, 张成火, 黄文明. 1996. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究. 岩石矿物学杂志, 15 (4): 299—306.
- 吴淦国, 张达, 殷文拴. 2003. 铜陵矿集区构造滑脱与分层成矿特征研究. 中国科学, D 辑, 33 (4): 300—308.
- 肖建新, 顾连兴, 倪培. 2002. 安徽铜陵狮子山铜—金矿床流体多次沸腾及其与成矿的关系. 中国科学 (D 辑), 32 (3): 199—206.
- 谢华光, 王文斌, 李文达. 1995. 安徽新桥铜硫矿床成矿时代及成矿物质来源. 火山地质与矿产, 16 (2): 101—107.
- 谢建成, 杨晓勇, 杜建国, 杜小伟, 肖益林, 屈文俊, 孙卫东. 2009. 安徽铜陵新桥 Cu—S—Fe—Au 矿床黄铁矿 Re—Os 定年及对成矿的指示意义. 地质科学, 44 (1): 256—268
- 谢建成, 杨晓勇, 杜建国, 孙卫东. 2008. 铜陵地区中生代侵入岩 LA—ICP—MS 锆石 U—Pb 年代学及 Cu—Au 成矿指示意义. 岩石学报, 24 (08): 1782—1800.
- 谢建成. 2008. 安徽铜陵地区中生代岩浆岩成岩和成矿作用研究. 中国科学技术大学博士学位论文.
- 谢学锦等编. 1979. 区域地质调查野外工作方法 (第二分册), 北京: 地质出版社, 1—159.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1995. 安徽沿江地区中生代岩浆岩的基本特点. 岩石学报, 11 (4): 409—422.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1996. 铜陵地区高钾钙碱系列侵入岩. 地球化学, 25 (1): 29—38.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1999. 安徽扬子岩浆岩带与成矿. 合肥: 安徽人民出版社, 1—170.
- 徐夕生, 范钦成, O'Reilly SY, 蒋少涌, Griffin W L, 王汝成, 邱检生. 安徽铜官山石英闪长岩及其包体锆石 U—Pb 定年与成因探讨. 科学通报, 2004, 49 (18): 1883—1891
- 徐晓春, 陆三明, 谢巧勤, 柏林, 储国正. 2008. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其成因意

- 义. 地质学报, 82 (4): 500—510.
- 徐兆文, 黄顺生, 倪培, 陆现彩, 陆建军, 方长泉, 华明, 蒋少涌. 2005. 铜陵冬瓜山铜矿成矿流体特征和演化. 地质论评, 51 (1): 36—41.
- 徐兆文, 陆现彩, 高庚, 方长泉, 王云健, 杨小男, 蒋少涌, 陈帮国. 2007. 铜陵冬瓜山层状铜矿同位素地球化学及成矿机制研究. 地质论评, 53 (1): 44—51.
- 闫峻, 陈江峰, 喻钢, 钱卉, 周泰禧. 2003. 长江中下游晚中生代中基性岩的铅同位素特征: 富集地幔的证据, 高校地质学报, 9 (2): 195—206
- 杨小男, 徐兆文, 徐夕生, 凌洪飞, 刘苏明, 张军, 李海勇. 2008. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 U—Pb 年龄意义. 地质学报, 82 (4): 511—518.
- 杨小男, 徐兆文, 张军, 王云健, 徐夕生, 蒋少涌, 凌洪飞, 刘良跟, 陈达源. 2007. 安徽狮子山矿田南洪冲岩体形成时代及成因机制研究. 岩石学报, 23 (6): 1543—1551.
- 杨竹森, 侯增谦, 蒙义峰, 曾普胜, 李红阳, 徐文艺, 田世洪, 王训诚, 姚孝德, 姜章平. 2004. 安徽铜陵矿集区海西期喷流沉积流体系统时空结构. 矿床地质, 23 (3): 281—298.
- 姚凤良, 孙丰月. 2006. 矿床学教程. 北京: 地质出版社, 1—254
- 俞沧海. 2000. 安徽铜陵天马山矿床物质来源探讨. 黄金地质, 6 (1): 42—48.
- 俞沧海和袁小明. 2002. 铜陵天马山硫金矿床地质特征及成因探讨. 矿产与地质, 16 (2): 74—77.
- 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及成矿. 矿床地质, 23 (3): 298—310.
- 翟裕生, 姚书振, 林新多. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京: 地质出版社, 1—240.
- 张达, 吴淦国, 狄永军, 臧文拴, 邵拥军, 余心起, 张祥信, 汪群峰. 2006. 铜陵凤凰山岩体 SHRIMP 锆石 U—Pb 年龄与构造变形及其对岩体侵位动力学背景的制约. 地球科学—中国地质大学学报, 31 (6): 823—829.
- 张达, 吴淦国, 李东旭. 2001. 铜陵凤凰山岩体接触带构造变形特征. 地学前缘, 8 (3): 223—229.
- 张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光军. 2001b. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示. 地质科学, 36 (2): 248—255.
- 张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 2001a. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造—成矿意义. 岩石学报, 17 (2): 236—244.
- 张鑫. 2005. 安徽铜陵矿区重金属元素释放迁移地球化学特征及其环境效应研究. 合肥工业大学博士学位论文.
- 赵斌, 赵劲松, 刘海臣. 1999. 长江中下游地区若干 Cu(Au)、Cu—Fe(Au) 和 Fe 矿床中钙质矽卡岩的稀土元素地球化学. 地球化学, 28 (2): 113—125.
- 赵振华, 涂光炽. 2003. 中国超大型矿床(II). 北京: 科学出版社, 1—267
- 中国地质调查局. 2006. 中国地质调查局地质调查技术标准(DD2006—01) 固体矿产勘查原始地质编录规程(试行), 1—95
- 中国矿床发现史(安徽卷)编委会. 1996. 中国矿床发现史(安徽卷). 北京: 地质出版社, 1—173

- 周涛发, 范裕, 袁峰. 2008. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. 岩石学报, 24 (8): 1665—1678.
- 周涛发, 刘晓东, 袁峰, 岳书仓. 安徽月山矿田成矿流体中铜、金的迁移形式和沉淀的物理化学条件. 岩石学报, 2000, 16 (4): 551—558.
- 周涛发, 袁峰, 岳书仓, 刘晓东. 2000. 长江中下游两个系列铜、金矿床及其成矿流体系统的氢、氧、硫、铅同位素研究. 中国科学 (D 辑), 30 (增刊): 122—128.
- 周涛发, 袁峰, 岳书仓. 2002. 安徽月山矿田矽卡岩矿床的水岩作用. 矿床地质, 21 (1): 1—9.
- 周涛发, 岳书仓, 袁峰. 2005. 安徽月山矿田成岩成矿作用. 北京: 地质出版社, 1—148.
- 周涛发, 岳书仓. 2000. 长江中下游铜、金矿床成矿流体系统的形成条件及机理. 北京大学学报 (自然科学版), 36 (5): 697—707.
- 朱光, 刘国生, 牛曼兰, 宋传中, 王道轩. 2003. 鄱庐断裂带的平移运动与成因. 地质通报, 22 (3): 200—207
- Ames L, Zhou G, Xiong B. 1996. Geochronology and isotopic character of high-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, central China. Tectonics 15: 472—489.
- Chen JF, Jahn BM. 1998. Crustal evolution of Southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. Tectonophysics, 284: 101—133.
- Chen JF, Yan J, Xie Z, Xu X, Xing F. 2001. Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze region in Eastern China: constraints on sources. Physics and Chemistry of the Earth, 26: 719—731.
- DePaolo DJ, Daley E E. 2000. Neodymium isotopes in basalts of the southwest basin and range and lithospheric thinning during continental extension. Chemical Geology, 169: 157—185.
- Di YJ, Wu GG, Zhang D, Song B, Zang WS, Zhang ZY and Li JW. 2005. SHRIMP U—Pb Zircon Geochronology of the Xiaotongguanshan and Shatanjiao Intrusions and Its Petrological Implications in the Tongling Area, Anhui. Acta Geologica Sinica, 79 (6): 795—802.
- Hart S R. 1984. A large scale isotope anomaly in the Southern Hemisphere mantle. Nature, 309: 753—757.
- Ma C, Ehaers C, Xu CH, Li ZC, Yang KG. 2000. The roots of the Dabieshan ultrahigh-pressure metamorphic terrane: constraints from geochemistry and Nd—Sr isotope systematics. Precam. Res., 102: 279—301.
- Pan Y and Dong P. 1999. The lower Chang jiang (Yangtze/Yangtze River) metallogenic belt, east center China: intrusion and wallrock hosted Cu—Fe—Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. Ore Geology Reviews, 15: 177—242.
- Qiu YM, Gao S, Neal JM, David IG, Ling WL. 2000. First evidence of >3.2 Ga continental crust in the Yangtze craton of south China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics. Geology, 28: 1—14.
- Sun WD, Xie Z, Chen JF, Zhang X, Chai ZF, Du AD, Zhao JS, Zhang CH and Zhou TF. 2003. Os—Os Dating of copper and molybdenum deposits along the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, China. Economic Geology, 98 (1): 175—180.
- Taylor HP, Sheppard SMF. 1986. Igneous rocks: Processes of isotopic fractionation and isotope systematizes. In:

- Valley J W, Taylor H P and O'Neil J R. eds. Stable isotopes in high temperature geological processes. Review in Geology, 16: 227—271.
- Wu CL, Wang FS, Hao MY. 2000. Geochronology of intermediate—Acid Intrusive Rocks from Tongling, Anhui. Continental Dynamics, 5 (1): 15—23.
- Xie JC, Yang XY. 2008. Re—Os precise dating of pyrite from the Xinqiao Cu—S—Fe—Au deposits in Tongling: its implications for mineralization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, A1043.
- Xing F M, Xu X, Li Z C. 1994. Discovery of the Early Proterozoic basement in the Middle—Lower Reaches of Yangtze River and its significance. Chinese Science Bulletin, 39 (2): 136—139.
- Xu XS, Fan QC, O'Reilly SY, Jiang SY, Griffin WL, Wang RC and Qiu JS. 2004. U—Pb dating of zircons from quartz diorite and its enclaves at Tongguanshan in Anhui and its petrogenetic implication. Chinese Science Bulletin, 49 (19): 2073—2082.
- Zhai YS, Xiong YL, Yao SZ and Lin XD. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the Eastern Yangtze Craton, east—central China. Ore Geology Reviews, 11: 229—248.
- Zhou XM and Li WX. 2000. Origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magma. Tectonophysics, 326: 269—278.
- Zindler A and Hart S R. 1986. Chemical Geodynamics. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 14: 753—775.