

“我国典型金属矿科学基地研究”项目系列丛书

安徽铜陵矽卡岩型铜多金属矿床

——以冬瓜山铜（金）矿床和新桥铜-硫-铁矿床为例

张 宇 邵拥军 刘忠法 刘清泉 等著



地质出版社

“我国典型金属矿科学基地研究”项目系列丛书

安徽铜陵砂卡岩型铜多金属矿床

——以冬瓜山铜（金）矿床和新桥铜—硫—铁矿床为例

张 宇 邵拥军 刘忠法 刘清泉 等著
吕俊武 何宏杰 王建青 疏志明

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

铜陵矿集区是我国长江中下游铜-铁-金成矿带的重要组成部分,区内在晚侏罗世—早白垩世(145~135 Ma)集中形成了一系列典型的矽卡岩型铜-铁-硫-金矿床,并在时空上相伴有大量的岩浆岩侵入。但是区内冬瓜山和新桥两矿床大规模层状硫化物矿体的存在让人们对本区的成矿作用有了新的思考——是否存在华力西期的海底喷流沉积等同生成矿作用。为了进一步认识铜陵矿集区的成矿作用,选择冬瓜山铜(金)矿床和新桥铜-硫-铁矿床为研究对象,在详细厘定成矿地质背景和矿床地质特征的基础上,利用X荧光、流体包裹体显微测温、EPMA、SEM、SIMS、LA-(MC)-ICP-MS、SHRIMP等测试手段,开展华力西期海底喷流成矿事件论证、层状矿体形成机制等研究。研究结果认为,冬瓜山和新桥两矿床的层状硫化物矿体均为燕山期岩浆热液成因,其对应的成矿作用应属于我国东部燕山期大规模成矿事件的一部分。

本书可供从事矿床学、找矿勘探学的研究人员,以及大中专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

安徽铜陵矽卡岩型铜多金属矿床:以冬瓜山铜(金)矿床和新桥铜-硫-铁矿床为例/张宇等著. —北京:地质出版社, 2016. 8

ISBN 978-7-116-09818-3

I. ①安… II. ①张… III. ①铜矿床-多金属矿床-研究-安徽省 IV. ①P618.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 161925 号

Anhui Tongling Xikayan Xing Tong Duojinshu Kuangchuang:
yi Dongguashan tong (Jin) Kuangchuang he Xinqiao Tong-Liu-Tie Kuangchuang Weili

责任编辑:李莉 李华

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电话:(01) 66554528(邮购部);(01) 66554629(编辑室)

网址:<http://www.gph.com.cn>

传真:(01) 66554629

印刷:北京地大天成印务有限公司

开本:889 mm × 1194 mm ¹/₁₆

印张:10 图版:22 面

字数:300 千字

版次:2016年8月北京第1版

印次:2016年8月北京第1次印刷

定价:80.00 元

书号:ISBN 978-7-116-09818-3

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)



总前言

矿产资源是一种不可再生的自然资源，是人类社会赖以生存和发展的物质基础。中国是世界上地质演化历史悠久、成矿作用具有多样性的国家之一，自太古宙以来的各个地质历史时期的构造运动在中国都或多或少地留下了记录并伴随有不同规模的成矿作用。世界上最重要的三大成矿域（古亚洲成矿域、滨太平洋成矿域和特提斯-喜马拉雅成矿域）在空间上交汇于中国。多期复合造山铸就了中国独具特色的成矿体系。对于深化中国特色成矿规律的研究，亟须一套代表中国各类矿床的“字典”和科学研究基地作为矿产地质研究的示范区，并成为创新研究基地以及文化普及的园地。

我国已成为世界上最大矿产品进口国和生产国，而且随着国民经济的高速发展，矿产资源短缺的形势将更加严峻，迫切需要破解矿产资源不足之“瓶颈”。只有加大勘查力度，才能有效保障矿产资源供给。迄今，越来越多的老矿山面临资源枯竭或“硐老山空”的严峻局面。在过去 10 多年中，我国部署了一系列国家计划项目，例如，“973”计划、科技支撑计划和地质调查专项等，开展区域成矿规律、勘查技术方法以及新区的矿产调查和勘查等。相比之下，对于典型大型矿床，尤其是正在开采的大型老矿山缺乏系统解剖研究，而这些大型矿山揭露出的地质现象极其丰富，往往是成矿新理论和新思维的发源地，对其进行立典性解剖研究，将会大大提升成矿理论。一个大型—超大型矿床从发现—勘查—开采以及开采过程中的多次补充勘查，都拥有一部史诗，包括运用不同勘查技术方法组合开展地质勘查，既有成功的经验，也有失败的教训，对其进行挖掘和总结，不仅能促进对该矿床深部及外围找矿，而且可以运用这些新认识和技术组合在相同景观下有效地开展找矿勘查。

目前，不少大型矿山经过多年的开采资源逐渐枯竭，甚至即将闭坑。一旦关闭和掩埋，许多丰富的地质现象，特别是独一无二的现象将荡然无存。因此，迫切需要在闭坑之前，把每一个重要矿床的地质特征客观地记录下来，以便后人参考。同时，将闭坑老矿山建成博物馆或科普旅游基地向社会开放，必将提高普通民众认识地球、了解资源及其形成过程的认知水平，有益于提升全民保护环境和节约资源的意识。因此，开展大型矿床的立典研究，既是科学技术创新研究和推动找矿勘查的需要，也是保护“历史科学资料”和提高全民科学素质之必须。

典型矿床科学基地有机地融合了创新、科学和科普，在推动全民科学文化素质和科学普及方面越来越发挥着重要作用。典型矿床基地既是科学研究的基地，也是专业教学和科学普及的园地。一些发达国家的矿山在开采阶段乃至闭坑后，都以矿石、岩石和开采历史及其相应的图集和图册为主体建立了一座座矿山博物馆或科技馆。这些博物馆或科技馆逐渐被开发为地球科学技术培训以及古矿业遗迹的参观基地，极大地促进了旅游业的发展和矿业科学技术的普及。

为此，国土资源部于 2009 年启动公益性行业科研专项经费项目“我国典型金属矿科学基地研究”，对我国重要矿种 29 个大型—超大型金属矿床开展立典研究，并建立科学基地。具体包括江西德兴斑岩型铜多金属矿、西藏甲马斑岩—矽卡岩型铜钼矿、云南北衙斑岩—矽卡岩型金（铜）矿、安徽铜陵矽卡岩型铜多金属矿、新疆阿舍勒块状硫化物矿床（VMS 型）铜锌矿、云南东川砂岩型铜矿、甘肃金川岩浆型铜镍矿、河南南泥湖—三道庄斑岩—矽卡岩型钨钼矿、陕西金堆城斑岩型钼矿、新疆可可托海伟晶岩型锂铍铌钽矿、湖南柿竹园矽卡岩—云英岩钨锡钼铋矿、云南个旧矽卡岩型锡多金属矿、广西大厂锡石硫化物型锡矿、湖南锡矿石中低温热液型锑矿、辽宁弓长岭 BIF 型铁矿、甘肃

镜铁山海底喷流沉积型铁矿、安徽凹山玢岩型铁矿、湖北大冶矽卡岩型铁矿、内蒙古白云鄂博铁稀土建造矿、云南会泽密西西比型（MVT）铅锌矿、甘肃厂坝—代家庄热液型铅锌矿、内蒙古东升庙SEDEX型铅锌矿、云南金顶热液型铅锌矿、海南石碌沉积变质型铁矿、四川攀枝花岩浆型钒钛磁铁矿、福建紫金山浅成低温热液型铜金矿、山东焦家—玲珑石英脉—蚀变岩型金矿、贵州烂泥沟卡林型金矿、江西冷水坑次火山岩热液型银铅锌矿。这些矿床都是储量巨大、成矿类型具有代表性、成矿方式具有特殊性，而且在我国国民经济建设中曾经或正在发挥重要作用。

此次工作对矿床的矿石组合、结构构造、成矿期次和阶段、围岩蚀变、找矿标志、形成时代、成矿物质来源、成矿物理化学条件、同位素地球化学特征、成矿环境等开展了系统研究，同时，针对各种不同类型矿床研究中存在的关键科学问题开展攻关研究：斑岩型铜矿形成期间从岩浆凝固晚期到成矿流体析出转变过程中组分演变特征与相应的物理化学条件；斑岩型铜矿和斑岩钼矿形成环境和物质来源的异同性；古盆地流体来源和运移驱动力，流体汇集的规律性；与A型或高分异性I型花岗岩有关的稀有和钨锡矿床的物质来源，地幔对成矿的贡献及含矿岩体的主要辨别要素；变异古海底喷流型矿床的环境恢复等方面，取得了一系列重要创新成果，在综合研究的基础上，建立了矿床模型。通过收集和整理典型矿床勘查、开采过程中所采用的勘查技术和方法，梳理出不同类型矿床勘查的有效方法组合，提供了矿床成功勘查的范例。

在国土资源部公益性行业科研专项经费的支持下，基于前人找矿勘查和研究成果，结合此次补充研究，编著了“我国典型金属矿科学基地研究”项目系列丛书，即客观地反映这些大型—超大型矿床的基本特点和勘查开发与研究历史，也充分展示了最新的研究水平。

历时5年，项目的顺利执行以及丛书的及时出版，得到了各级主管部门、承担单位和有关矿山企业的大力支持，得益于陈毓川、李廷栋、裴荣富、叶天竺、吴淦国等专家的殷切指导和同行们的热情帮助，值此谨代表项目执行团队200余位同仁深表谢忱。

矿床学的研究是一个不断探索、不断深化的过程，尽管编著者付诸很大努力，可能仍然存在一些不足或错误之处，敬请读者批评指正。

毛景文 张作衡 吕志成
“我国典型金属矿科学基地研究”项目首席科学家
2014年11月

前 言

铜陵矿集区是我国长江中下游铜铁成矿带的重要组成部分,在成矿类型、成矿背景和成矿过程方面具有特殊性和复杂性。区内在“六五”至“十一五”期间,先后开展了国家级、省部级联合攻关项目,全面、系统地总结了区内数十年内区域地质、矿产勘查、物化探、遥感等多学科的工作成果,系统地分析了区内成矿地质条件、成矿规律、深部成矿构造、成矿类型、成矿流体和成矿演化模型,建立了铜陵成矿区“三位一体”或“多层楼”的“铜陵矽卡岩型铜矿模式”。安徽省地质矿产勘查开发局 321 地质队、安徽省物化探队、原地质矿产部第一物探大队、华东冶金地质矿产勘查开发局 803 地质队和 812 地质队,以及铜陵有色地质队等地勘单位在本区多次开展了区域地质调查和矿产勘查工作,发现和探明了一批大中型矿产地。中国地质科学院矿产资源研究所、南京地质矿产研究所、中国科学院贵阳地球化学研究所、中国地质大学、中南大学、南京大学、合肥工业大学等科研院校先后在本区进行过研究工作,撰写和发表了多篇学术论文和报告(著作)。以上研究为本区矿床理论的研究起到了重大的推动作用。

安徽铜陵地区在晚侏罗世—早白垩世(145~135Ma)集中形成了一系列典型的矽卡岩型铜铁硫金矿床,包括铜官山矿田、狮子山矿田、新桥矿田、凤凰山矿田、沙滩角矿田,并在时空上相伴有大量的岩浆岩侵入。但是区内冬瓜山铜(金)矿床和新桥铜—硫—铁矿床的大规模层状硫化物矿体的存在让人们对本区的成矿作用有了新的思考。随着在大规模层状硫化物矿体的主要赋矿地层(黄龙组)底部发现英安质熔岩和火山碎屑岩,使得一些学者开始认为本区存在过华力西期的海底喷流作用(富士谷等,1977;阎学义等,1977;徐克勤等,1978),加之层状矿体中分布具有沉积矿物结构特征的胶状黄铁矿和层状矿体下盘五通组石英砂岩中发育有类似海底喷流型矿床的网脉状矿化,使得一些学者认为新桥铜硫铁矿床的形成在华力西期经历过海底喷流沉积成矿作用(阎学义等,1977;徐克勤等,1978;杨道斐等,1982;顾连兴等,1986;岳文浙等,1993;刘裕庆,1991;谢华光等,1995;唐永成等,1998;周涛发等,2000,2010;Gu et al.,2000;肖新建等,2000;Xu et al.,2001;徐文艺等,2004)。但是一些学者基于在区域成矿理论研究的基础上,认为该矿床是中国东部燕山期大规模成矿事件的一部分,而且层状矿体底板五通组石英砂岩与赋矿地层黄龙组灰岩之间的层间滑脱破碎带为成矿热液的运移和矿质的沉淀提供了良好的空间,层状矿体应是由燕山期岩浆热液沿层间滑脱破碎带横向迁移发生交代反应所形成的层控型矽卡岩矿体(Manto型矿体)(常印佛等,1983,1991;杨兵等,1985;翟裕生等,1992;Pan Yuanming and Dong Ping,1999;毛景文等,2009;Mao Jingwen et al.,2011;Wang Yue et al.,2011;王跃等,2009,2013)。为了进一步认识铜陵矿集区的成矿作用,本次研究选择铜陵矿集区内规模最大、最具代表性的冬瓜山铜(金)矿床、新桥硫铁矿床开展系统研究,查明层状矿体的成因,探讨矽卡岩型矿体和斑岩型矿体的内在联系和形成过程,论证是否存在石炭纪海底喷流成矿事件,查明制约大规模黄铁矿在有限空间快速聚集的控制因素。在此基础上,揭示典型矿床形成过程和成矿背景,确定矿床成因并建立矿床模型。

本书得到了国土资源部公益性行业科研专项经费项目的资助,主要由邵拥军、刘忠法、张宇和刘清泉分工编写完成。参加研究和编写工作的人员还有:铜陵有色金属股份有限公司的吕俊武、何宏杰、王建青、疏志明、周曙光、汪宏、肖福全,安徽建筑大学的刘珺,中南大学地球科学与信息物理

学院的博士研究生陈星霖、郑明泓、隗含涛、熊伊曲及硕士研究生周鑫、姬祥永、张驰、李宏斌、柳永康、全伟、梁静、叶周、罗美艳、汪程、赵睿成、谭华杰、冯雨周、潘磊、张博骞、徐卓彬、周皓迪、蒋梦同。在研究过程中，得到了冬瓜山铜矿的周贵斌及新桥铜-硫-铁矿的陈小力等同仁的无私帮助，还得到了中国地质科学院毛景文研究员、张作衡研究员和中南大学地球科学与信息物理学院彭省临教授、戴塔根教授、谷湘平教授、赖建清教授、吴玺虹教授、王雄军、张建东、彭光雄等的关心和支持，在此深表感谢。另外感谢冬瓜山铜矿的胡小毛提供封面照片。

目 录

总前言 前 言

第 1 篇 研究现状、研究内容及区域地质背景

第 1 章 相关领域研究现状及关键科学问题	(1)
1.1 研究区研究现状	(1)
1.2 相关矿床类型研究现状	(10)
1.3 铜陵矽卡岩型铜多金属矿关键科学问题	(11)
第 2 章 研究内容及技术路线	(12)
2.1 研究内容	(12)
2.2 技术路线	(13)
2.3 完成的工作量	(13)
第 3 章 铜陵矿集区成矿地质背景	(15)
3.1 大地构造位置及演化	(15)
3.2 区域地质特征	(16)

第 2 篇 冬瓜山铜（金）矿床

第 4 章 矿床地质特征	(20)
4.1 矿区地质特征	(20)
4.2 矿体地质特征	(24)
4.3 矿石特征	(25)
4.4 蚀变类型及分带规律	(26)
4.5 成矿期次	(27)
第 5 章 岩体地质地球化学特征	(28)
5.1 岩体地质特征	(28)
5.2 岩石学及岩石化学特征	(28)
5.3 稀土元素地球化学	(30)
5.4 微量元素地球化学	(32)
5.5 成岩机制	(33)

第 6 章 矿物学特征	(37)
6.1 样品选择及制备	(37)
6.2 分析测试技术	(37)
6.3 测试结果及讨论	(38)
第 7 章 矿床地球化学研究	(47)
7.1 微量元素地球化学	(47)
7.2 流体包裹体研究	(48)
7.3 H、O 同位素地球化学	(52)
7.4 S、Pb 同位素地球化学	(55)
第 8 章 成矿地质条件及控矿因素	(60)
8.1 成矿地质条件	(60)
8.2 关键控矿因素分析	(61)
第 9 章 矿床成因及成矿模式	(62)
9.1 矿床成因	(62)
9.2 成矿过程	(63)
9.3 成矿模式	(64)

第 3 篇 新桥铜—硫—铁矿床

第 10 章 新桥矿区地质特征	(68)
10.1 新桥矿区地层	(68)
10.2 新桥矿区构造	(69)
10.3 新桥矿区岩浆岩	(71)
第 11 章 矾头岩株成岩机制分析	(72)
11.1 岩体岩石学特征	(72)
11.2 岩体锆石 U—Pb 及 Hf 同位素测试	(73)
11.3 成岩机制	(77)
第 12 章 矿床地质特征	(82)
12.1 矿体特征	(82)
12.2 矿石特征	(83)
12.3 围岩蚀变	(84)
第 13 章 下盘网脉状矿化成因分析	(85)
13.1 下盘网脉状矿化地质特征	(85)
13.2 下盘网脉状矿化石英流体包裹体 Rb—Sr 定年分析	(85)

13.3	下盘网脉状矿化与层状矿体的对比分析	(88)
第14章	胶状黄铁矿成因分析	(93)
14.1	胶状黄铁矿矿物学特征	(93)
14.2	样品采集及测试方法	(95)
14.3	测试结果	(96)
14.4	讨论	(99)
第15章	成矿物理化学条件分析	(103)
15.1	成矿期与成矿阶段	(103)
15.2	流体包裹体特征研究	(104)
15.3	石榴子石标型特征研究	(108)
15.4	闪锌矿标型特征研究	(116)
第16章	矿床成因及成矿模型	(119)
16.1	成矿物质来源分析	(119)
16.2	成矿地质条件分析	(125)
16.3	控矿因素	(127)
16.4	矿床成因	(128)
16.5	成矿模型	(129)

第4篇 结束语

第17章	取得的主要成果与尚未解决的科学问题	(131)
17.1	取得的主要成果	(131)
17.2	尚未解决的科学问题	(132)
参考文献		(133)
图版 I	冬瓜山铜(金)矿床图集	
图版 II	新桥铜-硫-铁矿床图集	

第1篇 研究现状、研究内容及区域地质背景

第1章 相关领域研究现状及关键科学问题

1.1 研究区研究现状

1.1.1 铜陵矿集区研究现状

铜陵矿集区位于长江中下游多金属成矿带中部,大地构造位置属于下扬子拗陷带的隆起区,区内从西至东分布有铜官山、狮子山、新桥、凤凰山和沙滩脚五大矿田,包含铜官山铜矿床、冬瓜山铜(金)矿床、新桥铜硫铁矿床、凤凰山铜矿床等众多大型矿床,矿产资源极其丰富。矿集区内志留系—第四系均有分布,碳酸盐岩地层较为发育,以石炭系—三叠系为主;区内发育一系列北东向的褶皱构造及相伴的北东、北北东、北西、北北西向的断裂构造,其共同组成了有利于成矿作用进行的“立体网络状”构造格架(常印佛等,1991;翟裕生等,1992);区内岩浆活动强烈,沿铜陵—贵池深大断裂广泛分布76个以闪长岩类为主的高钾钙碱性中酸性中小型侵入岩体,多以岩株、岩墙和岩枝状产出(邢凤鸣等,1996,唐永成等,1998;秦新龙,2007;周涛发等,2011)。

1.1.1.1 成岩成矿构造背景

180~90 Ma的燕山期,中国东部发生由活动大陆边缘向陆内过渡的大陆边缘演化,该演化使得地壳在晚侏罗世—早白垩世前处于缩短增厚状态,而晚侏罗世—早白垩世后处于伸展减薄状态(戚建中等,2000)。岩石圈减薄的同时,也出现区域构造体制的转换和古太平洋板块的俯冲(吴福元等,2003;毛景文等,2003),导致长江中下游成矿带主构造格局由近东西向转换为北东—北北东向(周涛发等,2008)的同时,深部也出现复杂的壳幔相互作用,进而引发了强烈的岩浆活动,形成了以中酸性岩体为主的岩浆岩,这类岩浆岩富含Cu、Au等元素,其后期分异出来的岩浆热液在合适的物理化学条件下和合适的地段、空间处冷凝成矿。

1.1.1.2 成岩成矿时代

有关铜陵地区侵入体形成时代的研究很早就已经开展,周泰禧等(1987)利用Ar—Ar法和K—Ar法分别对金口岭石英闪长岩和天鹅抱蛋闪长岩中的黑云母进行了年龄测定,获得年龄为 137.3 ± 1.4 Ma和 136.5 ± 0.9 Ma。吴才来等(1996)利用Ar—Ar法对铜陵地区白芒山和舒家店辉石二长闪长岩、冬瓜山石英闪长岩、湖城涧辉长辉绿岩和胡村花岗闪长岩中的黑云母进行测年,获得年龄分别为: 136.6 ± 1.1 Ma、 138.2 ± 4.6 Ma、 135.8 ± 1.1 Ma、 133.7 ± 0.9 Ma以及 139.8 ± 0.8 Ma。陈江峰

等 (1991) 利用 Ar - Ar 法对月山岩体闪长岩中的角闪石进行测年, 得其形成年龄为: 135.6 ± 1.4 Ma。随着 LA - ICP - MS 和 SHRIMP 技术的广泛应用, 高精度锆石 U - Pb 同位素定年近些年在铜陵地区成岩时代的研究方面得到了广泛的开展。铜陵地区各中酸性侵入岩所测得的年龄值详见表 1.1。

表 1.1 铜陵地区中酸性侵入岩形成年龄统计表

岩体名称	岩石类型	测试对象	测试方法	年龄值/Ma	资料来源
朝山	辉石闪长岩	锆石	SHRIMP	142.9 ± 1.1	王彦斌等, 2004a
白芒山	辉石二长闪长岩	黑云母	Ar - Ar	136.6 ± 1.1	吴才来等, 1996
	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	139.1 ± 2.3	徐晓春等, 2008
	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	139 ± 2	陆三明, 2007
	辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	138.2 ± 0.8	吴才来等, 2008
舒家店	辉石二长闪长岩	黑云母	Ar - Ar	138.2 ± 4.6	吴才来等, 1996
	辉石闪长岩	锆石	LA - ICPMS	139.2 ± 2.1	王世伟等, 2011
湖城涧	辉长辉绿岩	黑云母	Ar - Ar	133.7 ± 0.9	吴才来等, 1996
月山	闪长岩	角闪石	Ar - Ar	135.6 ± 1.4	陈江峰等, 1991
	闪长岩	锆石	SHRIMP	138.7 ± 0.5	周涛发等, 2008
	闪长岩	锆石	SHRIMP	122.6 ± 2.5	许逢明等, 2012
天鹅抱蛋	闪长岩	黑云母	K - Ar	136.5 ± 0.9	周泰禧等, 1987
	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	141.8 ± 1.0	吴才来等, 2010
冬瓜山	石英闪长岩	黑云母	Ar - Ar	135.8 ± 1.1	吴才来等, 1996
	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	135.5 ± 2.2	徐晓春等, 2008
	辉石二长岩	锆石	SHRIMP	148.2 ± 3.1	吴淦国等, 2008
青山脚	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	136 ± 2	陆三明, 2007
鸡冠石	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	132.7 ± 4.8	徐晓春等, 2008
	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	134 ± 3	陆三明, 2007
	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	139.9 ± 1.1	吴才来等, 2008
	石英闪长岩	锆石	LA - ICP - MS	136.1 ± 3.0	谢建成等, 2008
大团山	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	139.3 ± 1.2	吴才来等, 2008
金口岭	石英闪长岩	黑云母	Ar - Ar	137.3 ± 1.4	周泰禧等, 1987
铜官山	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	141.3 ± 1.3	吴才来等, 2010
小铜官山	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	139 ± 3	王彦斌等, 2004b
	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	139.5 ± 2.9	杜杨松等, 2007
	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	142.8 ± 1.8	吴淦国等, 2008
新桥	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	140.4 ± 2.2	王彦斌等, 2004c
	二长岩	锆石	SHRIMP	146.4 ± 4.3	吴淦国等, 2008
铜官山	石英闪长岩	锆石	SHRIMP	137.5 ± 1.1	徐夕生等, 2004
西狮子山	石英闪长岩	锆石	LA - ICP - MS	135.1 ± 3.3	谢建成等, 2008
胡村	花岗闪长岩	黑云母	Ar - Ar	139.8 ± 0.8	吴才来等, 1996
	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	140.0 ± 2.6	徐晓春等, 2008
	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	140.9 ± 1.2	吴才来等, 2008
南洪冲	花岗闪长岩	锆石	LA - ICP - MS	141.2 ± 1.6	杨小男等, 2008
	花岗闪长岩	锆石	LA - ICP - MS	141.9 ± 4.5	谢建成等, 2008
凤凰山	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	144.2 ± 2.3	张达等, 2006
	花岗闪长岩	锆石	SHRIMP	144.2 ± 2.3	吴淦国等, 2008
新华山	花岗闪长岩	锆石	LA - ICP - MS	141.0 ± 4.5	谢建成等, 2008
沙滩脚	花岗闪长岩	锆石	LA - ICP - MS	141.1 ± 1.1	吴星星等, 2011
向阳村	花岗闪长岩	锆石	LA - ICP - MS	141.6 ± 3.7	谢建成等, 2008
姚家岭	花岗闪长斑岩	锆石	LA - ICP - MS	141.4 ± 1.7	钟国雄等, 2014

从高精度锆石 U-Pb 同位素年龄数据 (表 1.1) 及锆石年龄频数图 (图 1.1) 可以看出, 铜陵地区中酸性侵入岩的形成年龄主要集中在 135 ~ 142 Ma, 而侏罗纪与白垩纪的界限为 140 ~ 135 (137) Ma。因此, 岩体主要形成于晚侏罗世—早白垩世, 且岩浆持续活动时间为 7 ~ 10 Ma。

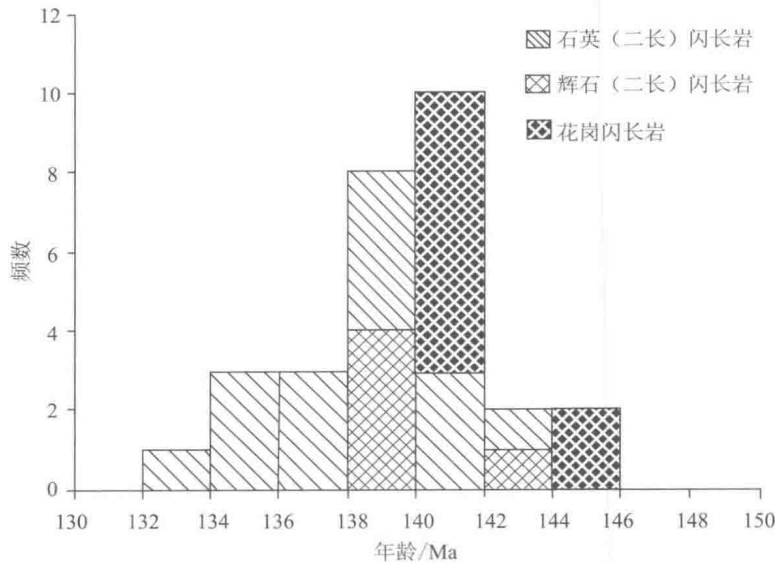


图 1.1 铜陵矿集区侵入岩锆石 U-Pb 年龄频数图

通过统计发现, 辉石 (二长) 闪长岩的形成年龄主要为 138 ~ 140 Ma; 石英 (二长) 闪长岩的侵入年龄集中在 135 ~ 137.5 Ma 以及 139 ~ 142 Ma; 花岗闪长岩主要为 140 ~ 142 Ma。根据石英 (二长) 闪长岩的侵入年龄可以发现, 区内石英 (二长) 闪长岩在 137.5 ~ 139 Ma 之间出现侵入中断, 时间上表现为 135 ~ 137.5 Ma 和 139 ~ 142 Ma 的两次侵入特点。辉石 (二长) 闪长岩和花岗闪长岩的侵入时间都很集中, 可能都是一期岩浆侵入的产物。从整体时间来看, 3 种不同岩性岩体侵入的时间早晚顺序大致为: 花岗闪长岩→辉石 (二长) 闪长岩→石英 (二长) 闪长岩。因此, 在时间上, 本区石英 (二长) 闪长岩具有多期侵入特点, 辉石 (二长) 闪长岩和花岗闪长岩多期侵入不明显, 可能均为一期岩浆作用产物; 区内不同岩性岩体的成岩序列可能为: 花岗闪长岩→辉石 (二长) 闪长岩→石英 (二长) 闪长岩。

成矿年龄的确定对矿床成因的研究以及成矿模式的建立有着至关重要的作用。铜陵矿集区矿床众多, 矿化样式丰富, 但是其成矿年龄的研究一直受到缺乏可以精确定年的矿物的制约。笔者对已有的铜陵矿集区各矿床成矿年龄数据进行了统计 (表 1.2, 图 1.2)。统计结果显示, 铜陵矿集区成矿年龄主要集中于 120 ~ 140 Ma 和 290 ~ 320 Ma 两个年龄段, 前者与矿集区成岩年龄一致, 暗示本区成岩与成矿之间存在着明显的亲缘关系, 而后者与赋矿的石炭系年龄相近, 这正好佐证了一些学者提出的本区存在华力西期海底喷流沉积的观点 (徐克勤等, 1978; 顾连兴等, 1990, 1999)。但也必须指出, 一些学者尝试使用黄铁矿等金属硫化物 Re-Os 法或 Rb-Sr 法确定矿床成矿年龄 (谢华光等, 1995; 王彦斌等, 2004d; 王建中, 2007; 谢建成等, 2009; 郭维民等, 2011), 虽然得到了等时线年龄, 但相互之间差别较大, 而且这种测试方法尚不成熟, 区域内 290 ~ 320 Ma 的成矿年龄数据均为黄铁矿测试获得, 其年龄的准确性尚需进一步验证。

1.1.1.3 岩浆成因

多年来的研究表明, 铜陵矿集区内众多的铜多金属矿床与区内晚侏罗世—早白垩世之间大规模形成的中酸性侵入岩具有密切的成因联系 (毛建仁等, 1990; 王强等, 2003; 邓军等, 2004; 徐兆文等, 2005; 张达等, 2006; 邵拥军等, 2007; 陆建军等, 2008; 吴淦国等, 2008; 毛景文等, 2009; 周涛发等, 2011; 郭维民等, 2011; 徐晓春等, 2012; 吴才来等, 2013), 而区内晚侏罗世—早白垩

世的岩石圈减薄事件则是本区大规模成岩成矿的直接原因（吴福元等，2003；毛景文等，2003）。目前，铜陵地区侵入岩的研究虽然获得了众多成果，但其成因仍然有多种观点，如幔源岩浆混染下地壳物质观点（毛建仁等，1990；邢凤鸣等，1996；唐永成等，1998；陈江峰等，1993；邓晋福等，2001）、扬子下地壳重熔观点（杜杨松，1997；张旗等，2001）、埃达克岩观点（汪洋等，2004；王元龙等，2004）和三端员岩浆混合作用观点（狄永军等，2005）等。

表 1.2 铜陵矿集区主要矿床成矿年龄简表

矿床名称	测试样品	测试方法	年龄/Ma	资料来源
铜官山	矽卡岩矿石中金云母	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	144.9 ± 0.4	曾普胜等，2004
	与黄铜矿共生的铬云母团块	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	135.5	蒙义峰等，2004
老庙基山	与黄铜矿共生的铬云母	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	144.9 ± 0.4	蒙义峰等，2004
金口岭	矽卡岩化矿石中辉钼矿	Re-Os	137.0 ± 0.2	曾普胜等，2004
冬瓜山	硫化物石英脉中辉钼矿	Re-Os	137.4	蒙义峰等，2004
	矿脉中石英包裹体	Rb-Sr	135	Xu et al, 2005
大团山	辉钼矿	Re-Os	139.1 ± 2.7	梅燕雄等，2005
朝山	磁黄铁矿	Re-Os	141.7 ± 9.9	王建中，2007
老鸦岭	辉钼矿	Re-Os	139.0 ± 0.3	谢智等，2002
新桥	黄铁矿	Rb-Sr	313.2 ± 32.7	谢华光等，1995
	黄铁矿	Pb 等时线	290 ± 10	谢华光等，1995
	黄铁矿	Re-Os	319 ± 13	郭维民等，2011
	黄铁矿	Rb-Sr	112.6 ± 7.8	王彦斌等，2004
	黄铁矿	Re-Os	126 ± 11	谢建成等，2009
沙滩脚	辉钼矿	Re-Os	140.3 ± 1.8	毛景文等，2004
凤凰山	辉钼矿	Re-Os	141.1 ± 1.4	瞿泓滢等，2010
姚家岭	辉钼矿	Re-Os	141.4 ± 2.4	钟国雄等，2014

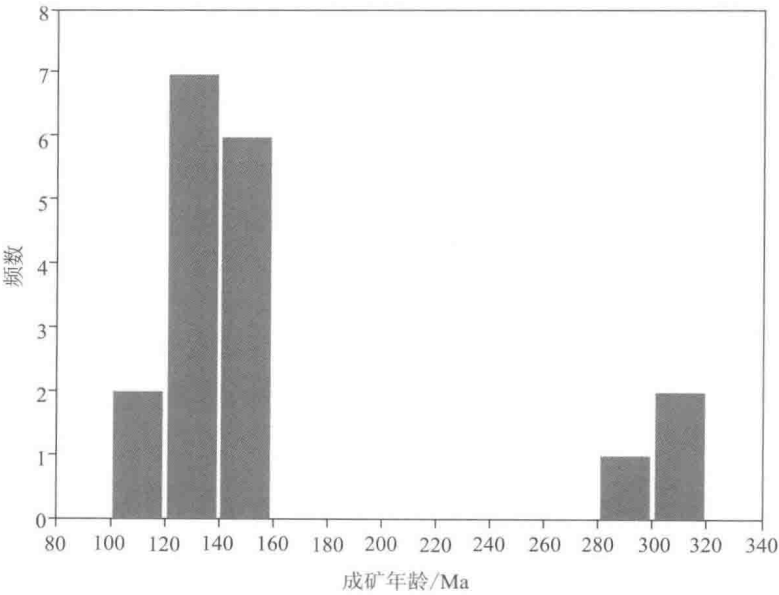


图 1.2 铜陵矿集区成矿年龄频数图

1.1.1.4 关键控矿因素

燕山期岩浆活动是铜陵矿集区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、成矿流体和热量;另一方面叠加改造原生沉积矿层(或矿源层)而形成层控矽卡岩型矿床(常印佛等,1991;唐永成等,1998)。区内多数矿体均产于侵入岩与碳酸盐岩接触带上(如铜官山铜矿床、凤凰山铜矿床等),形成典型的矽卡岩型矿床,部分岩体则成为斑岩型铜、金矿的直接容矿围岩,如沙滩脚、冬瓜山深部、舒家店等(唐永成等,1998;毛景文等,2009)。

控矿构造除了岩体与碳酸盐岩地层的接触带外,本区泥盆系五通组与石炭系黄龙组—船山组的层间破碎带也是重要的控矿构造之一,新桥铜—硫—铁矿床和冬瓜山 Cu—(Au)矿床的主矿体均是赋存于该层间破碎带中(张宇,2012;刘忠法,2014)。

1.1.1.5 矿床模型

在矿床描述模型方面,一些地质学者通过对铜陵矿集区各矿床长期的研究提出了不同的矿床描述模型,旨在总结其成矿规律等信息,这其中包括“多层楼”模式(储国正等,1992,1993;黄许陈等,1993)和“铜陵模式”(常印佛等,1991),其对矿床典型特征均可描述为“一圈多层”和“三位一体”,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)。在矿床成因模型方面,众多学者提出了不同的成因观点,主要观点有:华力西期海底喷流沉积成因模型(阎学义等,1977;徐克勤等,1978;顾连兴等,1986;岳文浙等,1993;周涛发等,2000;Gu et al.,2000;肖新建等,2000;Xu et al.,2001;徐文艺等,2004;李红阳等,2005,2008)、燕山期岩浆热液成因模型(常印佛等,1983,1991;杨兵等,1985;翟裕生等,1992;Pan et al.,1999;毛景文等,2009;Mao et al.,2011;Wang et al.,2011;王跃等,2009,2013)和同生沉积—岩浆热液改造成因模型(谢华光等,1995;杨道斐等,1982;刘裕庆,1991;唐永成等,1998;周涛发等,2010)。需要指出的是,Pan 和 Dong (1999)和毛景文等(2009)在燕山期岩浆热液成因模型的基础上,先后提出了铜陵矿集区的斑岩—矽卡岩型矿床模型,该模型否定了本区的海底喷流成矿作用的观点,认为铜陵矿集区各矿床属于燕山期岩浆活动控制的斑岩—矽卡岩型矿床系统,属于同一成矿系列。

1.1.2 冬瓜山铜(金)矿床研究现状

1.1.2.1 成矿流体系统

徐九华等(2004)对冬瓜山华力西期块状硫化物型矿石中石英包裹体的微量元素和稀土元素特征进行了研究,认为华力西期矿石中的石英包裹体与燕山期矽卡岩型矿石中的石英包裹体有很大差别,本区具有海底喷流沉积和岩浆热液这两类不同的热液体系。徐兆文等(2005)对冬瓜山矿床石英闪长斑岩中石英斑晶和矽卡岩矿物中流体包裹体地球化学进行了研究,认为矽卡岩早期成岩流体与林新多(1989)、吴言昌等(1992)和赵斌等(1993)研究过的岩浆性质的流体相似。徐晓春等(2008)通过研究冬瓜山铜金矿床不同成矿阶段的石英包裹体中的微量元素及稀土元素特征,认为本区流体成矿作用与燕山期岩浆侵入活动关系密切,成矿热液为富集成矿物质的岩浆来源,与前人提出成矿流体具有岩浆来源的观点一致(常印佛等,1991;唐永成等,1998;邱士东等,2007;Zhou et al.,2007)。

凌其聪等(2002)通过对本区流体包裹体的研究,认为冬瓜山铜矿床的成矿流体是一种高温($350\sim 400^{\circ}\text{C}$)、高盐度($13\%\sim 48\%\text{NaCl}_{\text{eq}}$,下同)、高密度($>1.1\text{ g/cm}^3$)的流体,成矿流体早期以岩浆源为主,晚期为岩浆水与地层水的混合流体,这与徐兆文等(2005,2007)所得结论一致。冬瓜山矿床主、晚成矿阶段的石英氢、氧、碳同位素特征表明,主成矿阶段的流体来源于岩浆水,晚期有天水的加入,而碳主要来源于被岩浆同化的碳酸盐岩地层(黄顺生等,2003)。陆三明(2007)对石英包裹体的 REE 及成矿流体的 H, O 同位素进行了研究,认为本区成矿流体主要来源于深部岩浆流体,不同于陆建军等(2008)提出的华力西期喷流沉积成矿加燕山期岩浆热液叠加改造的观点。

狮子山矿床不同矿石类型中包裹体的组合、温度和盐度特征表明, 本区矿床在隐爆角砾岩形成过程中、矽卡岩化过程中、石英-硫化物和石英-碳酸盐阶段均发生了成矿流体的沸腾作用, 其中引爆角砾岩阶段的流体具有高温($>440^{\circ}\text{C}$)和高盐度(52%~58%)的特征(顾连兴等, 2002; 肖建新等, 2002, Xiao et al., 2002)。

1.1.2.2 成矿物质来源

青山脚岩体微量元素分析结果显示, 岩体中成矿元素铜较为富集, 钾化蚀变越强铜的含量越高, 说明冬瓜山铜矿中的铜具有岩浆热液来源的特征, 并不仅仅由层状矿床本身提供(姜章平等, 2001)。

刘裕庆等(1984)通过稳定同位素地球化学等多方面的综合研究, 发现冬瓜山铜矿床内存在同生沉积含铜矿胚层, 且矿胚层具有同生沉积的S、C、O同位素组成特征。从岩性上看, 含铜滑石、蛇纹石等矿物含F较高; 在主矿体中, F含量高的地段, Cu含量也较富, 表现出正相关, 且F含量从矿体底板到顶板呈规律性的降低, 由下而上呈现出扩散趋势(朱家珍, 1987)。凌其聪等(2003)在研究冬瓜山层状矽卡岩的稀土元素特征时指出, 矽卡岩富集轻稀土元素, 具有显著Eu负异常、轻重稀土分异的特征, 表明冬瓜山层状矽卡岩型铜(金)矿床的REE主要来自岩体, 是在岩浆演化的后期进入岩浆热液体系的。

陆建军等(2008)对典型岩浆热液形成的矽卡岩型矿体和层状矿体中黄铜矿的Cu同位素组成进行了研究, 得出冬瓜山矿床两类矿体中黄铜矿的Cu同位素组成分别为0.23‰~0.83‰和0.45‰~0.48‰, 两者大致相当, 这与Maher和Larson(2007)研究秘鲁Corocohuayco和Tintaya矽卡岩中浸染状黄铜矿所得出的 $\delta^{65}\text{Cu}$ 组成(0.0~0.6‰)相似, 而与Zhu等(2000)研究太平洋黑烟囱所得出的 $\delta^{65}\text{Cu}$ 值差别较大, 与高温岩浆热液形成的黄铁矿的Cu同位素特征类似, 说明冬瓜山矿床中的铜可能来自岩浆热液。刘裕庆等(1984)对比研究了冬瓜山矿床的岩体、地层及矿石S、O、H、C和Sr同位素组成, 认为岩浆残余气液和地表雨水混合液叠加改造是本区成矿流体的主要来源, 成矿物质具有多源性, 是典型的多因复成层控铜、铁、硫矿床。

冬瓜山铜(金)矿床H、O同位素组成表明成矿流体与岩浆水类似, 胶状黄铁矿和层状矿体中的黄铁矿S同位素组成与幔源S接近; 流体填图和数值模拟结果均表明了燕山期岩浆流体活动与Cu-Au成矿的时空关系最为密切(刘经华等, 2009)。冬瓜山矿床稀土元素和微量元素地球化学特征及Sm、Nd、Sr、Pb、H、O等同位素组成特征表明, 深部受强烈钙质污染的高钾中酸性岩浆为本区提供了成矿物质及流体, 但冬瓜山层状矽卡岩型矿体的部分成矿物质来源于沉积地层(袁小明, 2003)。

冬瓜山铜矿中硬石膏 $\delta^{34}\text{S}$ 均值为+1.669‰, 与石炭系海水硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 值相当(+1.5‰), 矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 均值为+0.55‰, 石英闪长岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为+0.58‰(陈邦国等, 2002, 转引自安徽省地质矿产勘查开发局), 徐文艺等(2004)通过对铜陵地区石炭系中块状硫化物矿床的硫化物硫同位素组成的研究, 也认为循环海水中硫酸盐的还原及少量沉积地层中的生物硫是铜陵地区石炭系中块状硫化物矿床硫的主要来源。李红阳等(2006)测得矿层中石膏和黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 组成分别为+14.8‰~+20.5‰和+2.7‰~+7.9‰, 认为本区具有海底喷流沉积矿床硫同位素的组成特点, 这与曾普胜等(2005)通过研究本区硬石膏硫同位素得出冬瓜山矿床的块状硫化物和硬石膏为喷流沉积成因的结论一致。本区层状矿体的铅同位素大量研究结果表明, 铅来源于地层, 进而得出层状矿体的成矿物质来源于地层的结论(王道华等, 1986; 刘裕庆等, 1987; 黄斌, 1991)。一些学者在研究过程中也得出了不同的结论, 如徐兆文等(2000)通过研究本区硫同位素, 认为块状和层状矿石中的硫与石炭系中的硫有很大不同, 具有地层和岩浆两种来源。徐晓春等(2010)对冬瓜山矿床受石炭系层位控制的层状矿体硫同位素组成进行了研究, 研究结果显示冬瓜山矿床矿石硫同位素并非表现为华力西期沉积成矿的硫同位素特征。刘忠法等(2014)对比研究了层状矿体、脉状矿体、矽卡岩型矿体及斑岩型矿体的硫、铅同位素组成, 认为上述4类矿体的硫、铅同位素组成基本一致, 为岩浆来源, 与燕山期岩浆作用有关。

1.1.2.3 成岩成矿年代

冬瓜山矿区与成矿有成因联系的石英二长闪长岩岩体黑云母 Ar - Ar 年龄为 135.8 Ma 和 135.8 ± 1.1 Ma (吴才来等, 1996; 唐永成等, 1998); 全岩 Rb - Sr 等时线年龄为 137.0 Ma 和 135.6 ± 1.4 Ma (唐永成等, 1998; 徐兆文等, 2004; Xu et al., 2005); 锆石 SHRIMP U - Pb 年龄为 135.5 ± 2.2 Ma、 136.0 ± 2.0 Ma 和 138.0 ± 1.7 Ma (徐晓春等, 2008; 陆三明, 2007; 郭维民等, 2013)。

Xu 等 (2005) 采用 Rb - Sr 法对冬瓜山层状矿体中的脉状石英包裹体进行了测年分析, 测得其成矿时代为 134 ± 11 Ma。毛景文等 (2004) 对长江中下游地区九瑞矿集区、安庆 - 贵池矿集区及铜陵矿集区 6 个矿床进行了辉钼矿 Re - Os 定年, 其中大团山矿床 5 件样品的模式年龄为 138.0 ± 3.2 Ma ~ 140.8 ± 2.0 Ma, 平均值为 139.3 ± 2.6 Ma。梅燕雄等 (2005) 利用 Re - Os 法测得大团山矿床辉钼矿等时线年龄为 139.1 ± 2.7 Ma, 模式年龄与等时线年龄一致, 与谢智等 (2002) 运用辉钼矿 Re - Os 及 Os - Os 法测年结果 (139 ± 1 Ma 和 137 ± 2 Ma) 一致。狮子山矿田辉钼矿 Re - Os 年龄和冬瓜山铜 (金) 矿床 Rb - Sr 等时线年龄一致, 为 35 ~ 140 Ma, 与岩浆岩的锆石 U - Pb 年龄、全岩 Rb - Sr 年龄较为相近 (刘经华等, 2009)。

成岩成矿年代学测试结果表明, 冬瓜山矿床的成矿年龄与岩体年龄相接近, 亦与整个区域上的成矿作用年龄相符。

1.1.2.4 矿物学标型

郑震等 (2012) 对冬瓜山矿床石榴子石进行了矿物学研究, 认为本区石榴子石分为两期, 第一期为岩浆成因; 第二期为热液交代成因。前者形成环境为氧化环境; 后者为还原环境。杜轶伦 (2013) 认为该区石榴子石是流体渗滤交代作用形成的。杨爽等 (2012) 认为冬瓜山矿床磁黄铁矿由黄铁矿变质而来, 梁剑锋等 (2011) 则认为本区粒状黄铁矿和磁黄铁矿均为岩浆热液成因, 郭维民等 (2010)、杜轶伦 (2013) 认为本区磁黄铁矿兼有沉积、热液交代和变质成因。

1.1.2.5 矿床成因

冬瓜山铜矿床似层状矿体产于泥盆系与石炭系之间, 前人对本矿床进行了大量研究工作, 关于矿床的成因存在较大争议, 有学者认为该矿床为受层间滑脱构造控制的层控矽卡岩型矿床 (常印佛和刘学圭, 1983; 常印佛等, 1991; 翟裕生等, 1992; 黄许陈和储国正, 1992, 1993; Pan and Dong, 1999; 凌其聪和刘丛强, 2002, 2003; 毛景文等, 2004, 2009; Mao et al., 2006, 2011; 徐晓春等, 2010), 亦有部分学者认为该矿床存在华力西期喷流沉积和燕山期热液叠加改造两期成矿, 矿床成因为同生沉积 - 热液叠加改造型矿床 (徐克勤等, 1978, 1980; 刘裕庆和刘兆廉, 1991; 谢光华等, 1995; 王文斌等, 1995; 李文达等, 1997; 唐永成等, 1998; 徐兆文等, 2000, 2007; 陈邦国等, 2002; Gu et al., 2000, 2007a; Zhou et al., 2000; 陆建军等, 2003, 2008; 曾普胜等, 2004, 2005; 徐克勤和朱金初, 2009; 刘经华等, 2009; 郭维民等, 2010, 2011; 蒋少涌等, 2010, 2011; 侯增谦等, 2011; 杜轶伦, 2013)。还有一些学者认为本区矿床成因为喷流沉积型矿床 (王道华等, 1986; 王文斌等, 1994; 何金祥等, 1995; 徐文艺等, 2004; 李红阳等, 2006; 王训诚等, 2007)。

1.1.2.6 成矿模式

在长期研究过程中, 针对本区矿床特点, 前人建立了不同的成矿模式, 主要有“多层楼”模式 (储国正等, 1992, 1993; 黄许陈等, 1993)、广义矽卡岩 - 斑岩型 - 热液型模式 (唐永成等, 1998) 以及斑岩 - 矽卡岩 - Manto 模式 (Pan and Dong, 1999)。刘裕庆等 (1984) 通过稳定同位素等地球化学的综合研究, 认为冬瓜山铜矿床为典型的多来源、多成因、多阶段的沉积 - 叠加改造的层控铜、铁、硫矿床。凌其聪等 (2002) 认为冬瓜山矿床成矿过程实质上是成矿物质的输运和化学反应耦合作用的过程。陆建军等 (2003, 2008) 提出了喷流沉积 - 岩浆热液叠生成因的成矿模式。

1.1.3 新桥铜 - 硫 - 铁矿床研究现状

新桥铜 - 硫 - 铁矿床是我国长江中下游成矿带铜陵矿集区新桥矿田内一重要矿床, 位于华北地台与江南地背斜两大构造之间的交接带——扬子准地台下扬子拗陷带的贵池 - 马鞍山断褶带中部。区域