

Metallogenic Geological Characteristics and Ore-controlling Factors of the Ore Fields in Nanjing-Wuhu Basin

Yi Liu^{1,2}, Ming Ma¹, Xuehua Shen¹, Jie Fang¹, Hongjian Yu¹, Yong Zeng^{1,2}

¹Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing Jiangsu

²China University of Geosciences, Wuhan Hubei

Email: njliuyi025@163.com

Received: Jun. 7th, 2018; accepted: Jun. 20th, 2018; published: Jun. 27th, 2018

Abstract

Nanjing-Wuhu basin, located at the middle and lower reaches of the Yangtze River, is a notable iron and copper ore concentration area in China. As the field base for studying the metallogenic model of China's porphyritic iron deposits, recent years' deep-seated ore prospecting and integrated exploration in this area have achieved significant progress and made a breakthrough. Through profound research on four typical ore fields in Nanjing-Wuhu basin area, this paper summarizes the metallogenic characteristics in terms of the structures and constructions of the ore fields, further discusses the metallogenic control and evolution, and proposes suggestions for prospecting orientation on the deep-seated and the outside of mineralized fields. Among the four ore fields, Meishan ore-field is occurred with magmatic contact-metasomatic iron and copper deposits dominated by volcanoclastics and lava of Dawangshan Formation, and alkaline basaltic andesitic gabbrodioritic pyrite-gabbrodiorite; Washan ore-field that magmatic contact-metasomatic iron and copper deposits are dominated by cryptoexplosive breccia zones and cryptoexplosive breccia pipes within Dawangshan Formation volcanic structure; Gushan ore-field is a type of contact metasomatic iron deposits with dominant contact zone between carbonatites and sodic quartz diorites of Zhoucun-chong Formation; The mineralization of Tongjing ore-field is due to that the alkaline volcanic rock and pyroxene orthophyre rock mass in Niangniangshan Formation are controlled by NE trending faults. According to the above research, the paper proposes the metallogenic control factors and constraints of the iron and copper deposits in Nanjing-Wuhu basin. The time of mineralization ranges between 130 - 123 Ma.

Keywords

Ore Fields, Metallogenic Characteristics, Metallogenic Control and Evolution, The Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Nanjing-Wuhu Basin

宁芜地区矿田构造 - 建造特征与成矿控制分析

刘 一^{1,2}, 马 明¹, 沈雪华¹, 方 捷¹, 余虹剑¹, 曾 勇^{1,2}

文章引用: 刘一, 马明, 沈雪华, 方捷, 余虹剑, 曾勇. 宁芜地区矿田构造 - 建造特征与成矿控制分析[J]. 地球科学前沿, 2018, 8(3): 640-652. DOI: 10.12677/ag.2018.83068

¹中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京

²中国地质大学, 湖北 武汉

Email: njliuyi025@163.com

收稿日期: 2018年6月7日; 录用日期: 2018年6月20日; 发布日期: 2018年6月27日

摘要

长江中下游宁芜地区是中国著名的铁-铜矿集区,也是我国玢岩型铁矿床成矿模式及相关理论的发祥地。近年来,通过深部找矿及整装勘查工作,宁芜地区取得了一系列地质及找矿的新进展,对其矿田的构造-建造与成矿控制也有新的认识。梅山矿田是受大王山组火山碎屑岩-熔岩与偏碱性玄武安山质辉长闪长(玢)岩建造控制形成的岩浆内接触带型铁矿床;凹山矿田则是以大王山组火山构造为基础的隐爆角砾岩带与隐爆角砾岩筒岩石建造控制的隐爆角砾岩型铁矿床;姑山矿田是受周村冲组碳酸盐岩与钠质石英闪长岩建造控制的层控接触带型铁矿床;后期的铜井矿田则是NE向断裂制约下,由娘娘山组碱性火山岩与辉石正长斑岩含矿建造控制的热液型脉状铜金矿床。它们的形成是宁芜火山岩盆地走滑剪切发育过程中构造、岩浆共同控制的结果,受盆地构造和火山构造的双重制约,在中基性-碱性火山-潜火山岩的成矿建造中,铁-铜矿床形成于晚白垩世的130~123 Ma间。

关键词

矿田, 构造-建造, 成矿控制, 长江中下游, 宁芜盆地

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



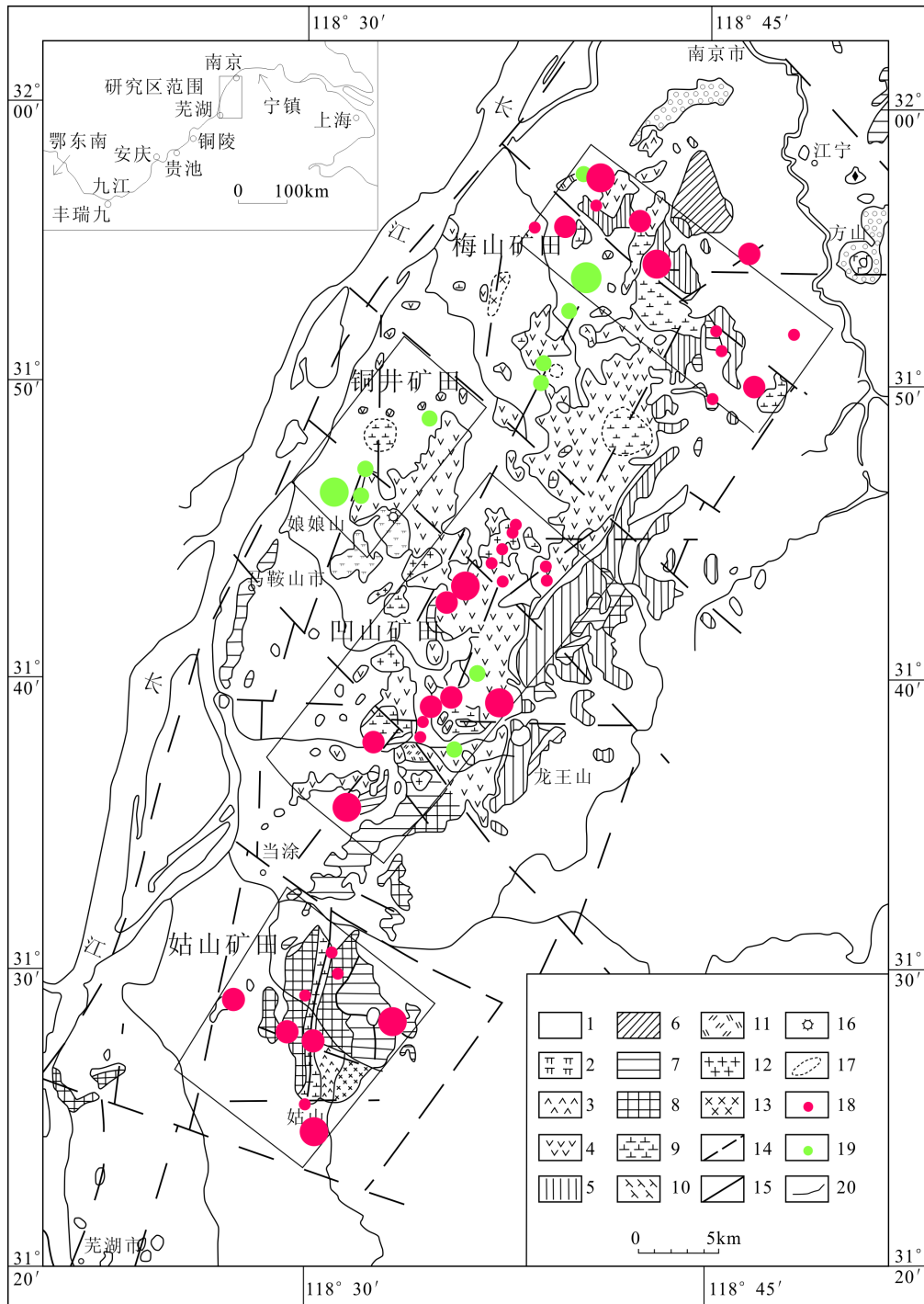
Open Access

1. 引言

位于中国东部长江中下游的宁芜地区是中国著名的铁-铜矿集区[1],其独特的中生代偏碱性的中基性-碱性火山岩组合为世人瞩目,曾以其中的铁矿为对象提出著名的玢岩铁矿成矿模式[2][3],代指在陆相安山质火山岩分布区,与辉石闪长玢岩等侵入岩体相关、时空成因上有密切联系的一组铁(硫铁)矿床。经过近40年的勘查和综合研究,对其成矿特征和规律进行过系统总结[3][4],但从矿田尺度上对成矿建造与构造的规律研究仍然是比较薄弱的环节,这也是这一地区近年深部找矿过程中存在的主要问题之一[5]。本文从成矿区域总体研究出发,在矿田的尺度上对其建造、构造及矿化形成演化规律进行了分析,进一步探讨宁芜地区的成矿控制与演化,区分出梅山矿田、凹山矿田、姑山矿田和铜井矿田矿床类型和特征的差异,提出宁芜地区铁-铜矿成矿的控制和制约因素,研究其成矿演化规律,期望为这一地区的深部找矿提供地质依据和技术支撑。

2. 成矿地质背景

宁芜地区北起江苏省南京市,南至安徽省芜湖市,沿NNE方向展布,长约60 km,宽约20 km。它是一个发育在震旦纪以来的长期拗陷带中的沉积盆地,属于一个继承式的中生代陆相火山盆地。火山岩出露面积约1000 km²(图1),大部地区被第四系覆盖。



1. Quaternary; 2. Niangniangshan Formation volcanic rocks; 3. Gushan Formation volcanic rocks; 4. Dawangshan Formation volcanic rocks; 5. Longwangshan Formation volcanic rocks; 6. Upper Jurassic; 7. Middle and lower Jurassic; 8. Triassic; 9. Gabbro-diorite porphyrite; 10. Andesitic porphyrite, Crude porphyry, Trachyte porphyry; 11. Monzonite and quartz diorite; 12. Granite; 13. Gabbro; 14. Inferred fault; 15. Measured fault; 16. Volcano; 17. Concealed speculation according to geological drilling; 18. Iron deposit; 19. Copper deposit; 20. Ore-field boundary
 1. 第三系; 2. 娘娘山组火山岩; 3. 姑山组火山岩; 4. 大王山组火山岩; 5. 龙王山组火山岩; 6. 上侏罗统; 7. 中下侏罗统; 8. 三叠系; 9. 辉石-闪长玢岩; 10. 安山玢岩、粗安斑岩、粗面斑岩; 11. 二长岩、石英闪长岩; 12. 花岗岩; 13. 辉长岩; 14. 推测断层; 15. 实测断层; 16. 火山口; 17. 据钻孔推测的隐伏地质体; 18. 铁矿床; 19. 铜矿床; 20. 矿田界线

Figure 1. Geological sketch map of the Ningwu basin (Simplified from [2])

图 1. 宁芜盆地地质矿产简图(据[2]修改)

宁芜火山盆地的基底地层为中晚三叠世周冲村组与黄马青组、早侏罗世象山群和晚侏罗世西横山组，基底分布在盆地的东侧，向西缓倾局部隆起在盆地中部；火山盆地的上覆地层为晚白垩世浦口组火山岩以及第三纪的砂砾岩和玄武岩。

盆地的中生代火山岩从下向上分为龙王山组、大王山组、姑山组和娘娘山组，厚达 4000 m。与火山岩相伴的是一套辉长闪长玢岩 - 辉长闪长岩、辉长岩和闪长玢岩，少量的钠长闪长玢岩和钠长岩，它们共同构成一套富钾的中基性 - 碱性火山 - 潜火山岩岩石组合(Shoshonite)，称为橄榄安粗岩系[6] [7]或橄榄玄粗岩系[8]。侵入的深成岩主要有二长花岗岩 - 正长花岗岩 - 石英闪长岩、石英闪长玢岩组合，在马鞍山东部地区有出露，并在朱门、谷里、梅山等地的深部有大面积分布，它们构成宁芜地区深部侵入岩的岩基。宁芜盆地属长江中下游地区沿江断陷构造盆地的一部分，其断裂构造由 NNE 向为主体，并有一系列 NW 向、近 EW 向断裂改造。

宁芜地区已发现的矿产以铁、铜为主，次有金、硫铁矿，在其中探明大型铁矿 7 处、中型铁矿 10 余处(图 1)。铁、硫铁矿有 3 个明显的矿床(点)密集段，梅山铁矿、凹山铁矿、钟山 - 姑山矿区为中心，构成 3 个铁(硫铁)矿田，铜金矿仅以铜井至谷里一带，构成 1 个铜金矿田。

3. 矿田成矿构造 - 建造及成矿特征

3.1. 梅山矿田

梅山矿田位于宁芜盆地北段梅山、吉山和凤凰山一带，是宁芜盆地最重要的矿田。

3.1.1. 矿田构造

梅山矿田处于宁芜盆地北段，NW 向的梅山 - 凤凰山构造岩浆喷发带是主体构造，其与安德门 - 娘娘山(滨江)构造岩浆带、吉山 - 向山构造岩浆带的交叉部位成矿聚集。相伴的梅山 - 凤凰山断裂、梅山 - 当涂断裂(卧儿岗 - 中华门断裂)、吉山 - 朱门断裂为重要的导岩构造。梅山、吉山和油坊桥 3 个古火山机构直接控制矿床的定位，火山口或喷发中心是矿田的导矿构造，如卧儿岗、杨家坝、阴山等地。

断裂带交汇部位控制了梅山、吉山、板桥、牛首山、其林山、凤凰山等矿床的产出；辉长闪长玢岩 - 辉长闪长岩岩体的侵入与上顶，辉石安山岩形成封闭较好的背斜构造及其接触带构造，隐蔽爆破作用、冷凝收缩作用形成的“虚脱”空间等有利于角砾岩体的形成和矿液聚集，控制了矿床的形态。矿田内辉长闪长玢岩 - 辉长闪长岩体在火山口下方超浅成侵入，在岩体及其接触带构造中形成富矿体。

3.1.2. 矿田建造

梅山矿田与成矿有关的地层主要是晚白垩世(龙王山组、大王山组、姑山组)中偏基性、中酸性和碱性火山碎屑岩及熔岩，其中的大王山组火山碎屑岩及熔岩为主要含矿建造。

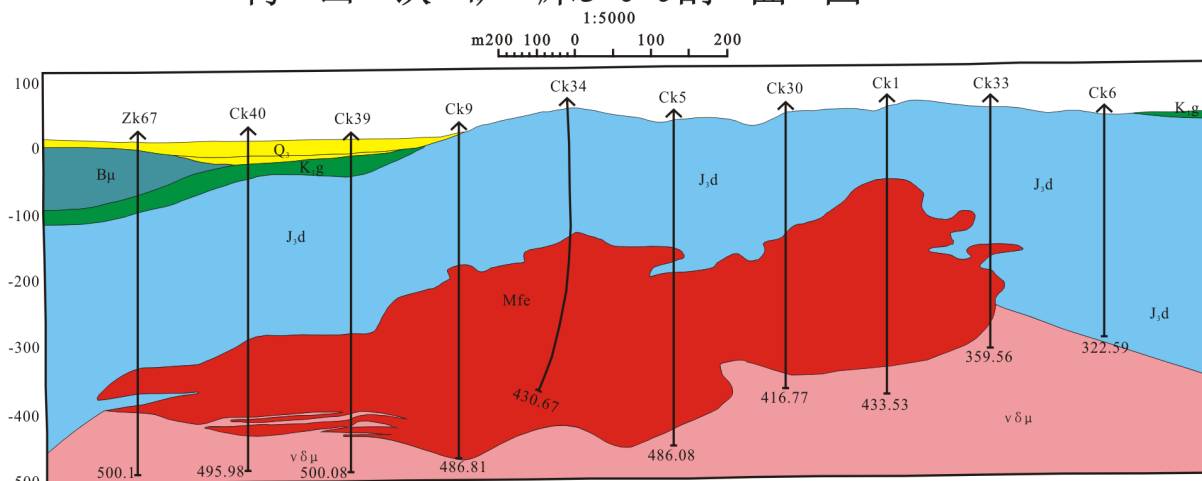
赋矿的岩石建造类型为偏碱性玄武安山质辉长闪长玢岩 - 辉长闪长岩，矿体大都赋存于辉石闪长玢岩体头部。地表在梅山 - 凤凰山构造岩浆喷发带上构成一组串珠状岩株，均为半隐伏岩体，埋深入较浅。深部还有一系列岩基，岩性由基性向中酸性变化。

赋矿地层与岩石的围岩蚀变具有明显的分带性，含矿建造的上部由高岭土化、硅化、碳酸盐化构成浅色蚀变带；下部为透辉石化、磷灰石化、方柱石化、钠长石化构成浅红色蚀变带；矿体主要赋存于次辉石闪长玢岩体内及其附近火山岩层中(图 2)，少量在次火山岩与沉积岩中火山碎屑岩 - 碳酸盐岩的接触带。

3.1.3. 矿田成矿

梅山矿田由西向东分布有板桥、梅山、牛首山、吉山、其林山、凤凰山等重要玢岩型铁矿床，以岩

梅山铁矿床300剖面图



1. Quaternary; 2. Tertiary basalt; 3. Gecun formation sandstone; 4. Dawangshan Formation volcanic rocks; 5. Iron ore body; 6. Gabbro-diorite porphyrite; 7. Drill

1. 第四系; 2. 第三纪玄武岩; 3. 葛村组砂岩; 4. 大王山组火山岩; 5. 铁矿体; 6. 辉石-闪长玢岩; 7. 钻孔

Figure 2. Section map of the Meishan iron ore deposit 300 exploration line (Simplified from the 1st Geological Brigade of Jiangsu Geology and Mineral Exploration Bureau, 2011)

图 2. 梅山铁矿床 300 线剖面图(据[9]修改)

浆内接触带型铁矿床为主。重要的成矿作用类型可分为：①潜火山岩体与围岩接触带上下的脉状充填矿床(如梅山铁矿)；②潜火山岩体中的细脉浸染状矿床(如吉山铁矿)；③潜火山岩体与前火山岩系的沉积岩层接触带中的充填矿床(如凤凰山铁矿)。

空间分布特征上，一是成矿作用呈 NW 向展布，矿床(点)分布于 NW 向断裂两侧；二是成矿亚带内控制玢岩型铁矿床产出的浅成次火山岩体(辉石闪长玢岩)大多在地表以下一定深度贯通，如梅山岩体与吉山岩体、泰山岩体在深部连为一体，而且梅山矿体与泰山矿体也在深部相连[9]。

3.2. 凹山矿田

凹山矿田位于宁芜盆地中部的陶村、凹山、黄梅山一带，空间上既受 NW 向马鞍山-釜山(连珠山)断裂约束，也受 NNE 向和尚桥-黄梅山-陶公山-钟山-姑山断裂制约，总体上呈 NNE 向展布。

3.2.1. 矿田构造

凹山矿田基底断裂主要有三组：NE-NNE 向的大平山断裂、吴村-尖山断裂、和尚桥-黄梅山断裂和竹园-南山里断裂；NW 向的十里长山断裂、乔麦山-仙人山断裂；NWW-EW 向断裂见于和尚桥一带，规模较小。褶皱构造由一个向斜(霍里向斜)和一个背斜(藏汉背斜)组成。NE-NNE 向的断裂控制了区域岩浆的侵入与火山作用。

火山构造是凹山矿田的重要构造类型，断裂喷发带的次级火山构造控制着岩体形态及矿床的定位，如陶村、南山、凹山、萝卜山、和尚桥等火山穹窿和古火山丘控制了矿床的分布。已发现有 9 个火山构造，均分布在吴村-黄梅山古断裂喷发带中，地表一般没有相应的火山物质，是火山活动过程中岩浆-气液爆炸的产物，属隐爆类型。

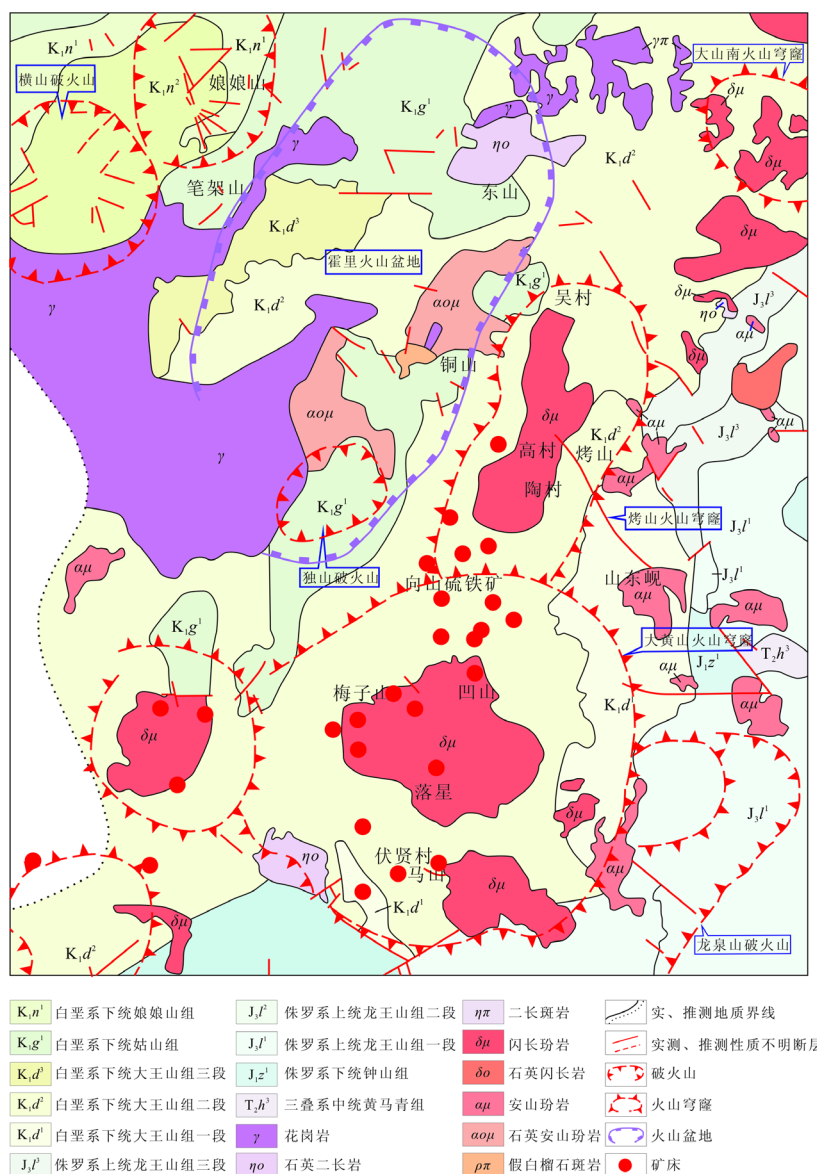
矿床空间分布受 NW 向与 NNE 向断裂构造交汇部位控制，NWW 向断裂控制了矿床(点)的产出。火山口或闪长玢岩体的瘤状突出部分，是重要的成矿部位，隐爆阶段形成的多气孔构造的角砾岩筒极易形成大而富的矿体。如南山角砾岩筒、顾桥角砾岩筒，由于规模比较大，且相对封闭，矿液集中，是最有

利的容矿构造。

3.2.2. 矿田建造

凹山矿田主要赋矿建造是大王山组安山质火山碎屑岩及安山质火山熔岩，火山穹窿和古火山丘是矿田控制矿床分布的火山建造，陶村、南山、凹山、萝卜山、和尚桥等均受其制约。

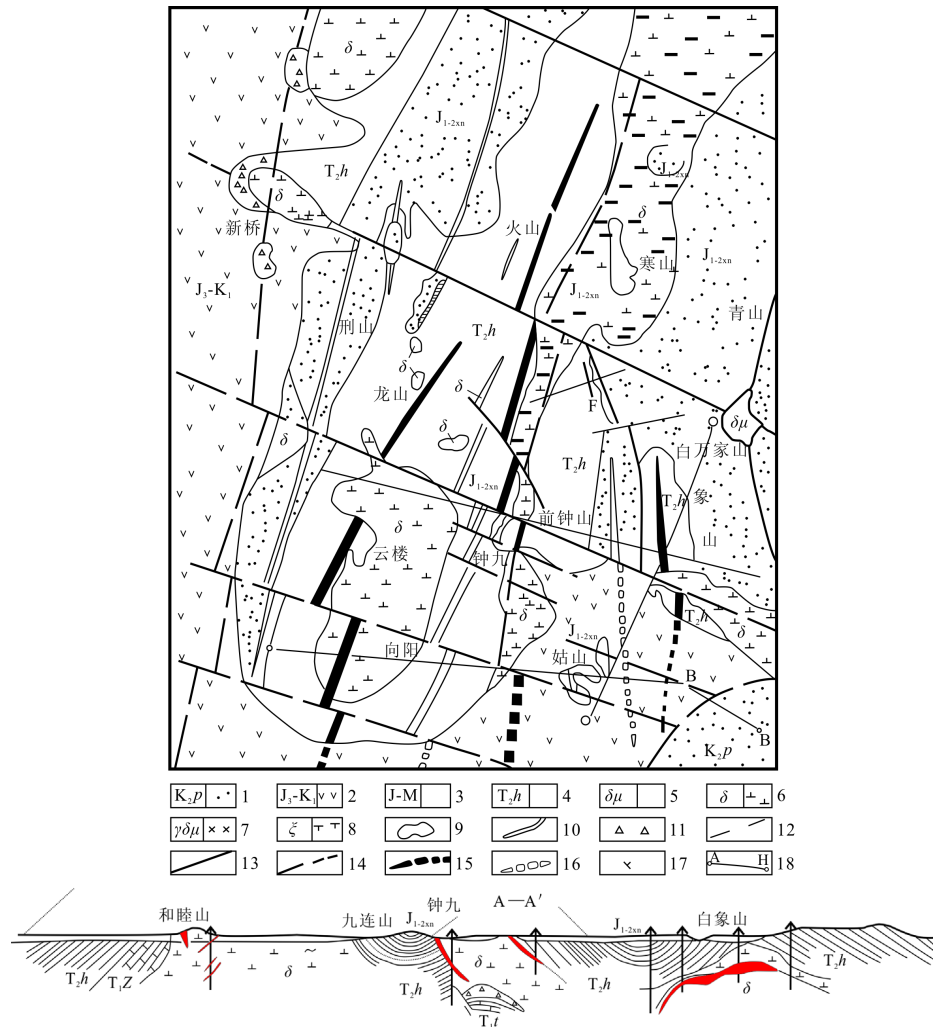
凹山矿田火山穹窿有二处(图 3)，一是凹山火山穹窿，其四周为安山岩，西南部因被凹山岩体吞噬而



1. Niangniangshan Formation; 2. Gushan Formation; 3. Upper Dawangshan Formation; 4. Middle Dawangshan Formation; 5. Bottom Dawangshan Formation; 6. Upper Longwangshan Formation; 7. Middle Longwangshan Formation; 8. Bottom Longwangshan Formation; 9. Zhongshan Formation; 10. Huangmaqing Formation; 11. Granite; 12. Quartz monzonite; 13. Monzonite porphyry; 14. Diorite porphyrite; 15. Quartz diorite; 16. Andesitic porphyrite; 17. Quartz andesitic porphyrite; 18. Pseudoleucite phonolite; 19. Geological boundaries; 20. Measured (presumably) fault; 21. Caldera; 22. Volcano dome; 23. Volcano basin; 24. Deposit

1.娘娘山组; 2. 姑山组; 3. 大王山组上段; 4.大王山组中段; 5.大王山组下段; 6.龙王山组上段; 7.龙王山组中段; 8.龙王山组下段; 9.钟山组; 10. 黄马青组; 11.花岗岩; 12.石英二长岩; 13.二长斑岩; 14.闪长玢岩; 15.石英闪长岩; 16.安山玢岩; 17.石英安山玢岩; 18.假白榴石斑岩; 19.地质界线; 20.实测(推测)断层; 21.破火山口; 22.火山穹窿; 23.火山盆地; 24.矿床

Figure 3. Schematic diagram of the volcano tectonic Washan ore-field
图 3. 凹山矿田火山构造简图



1. Pukou formation; 2. Volcanic rock; 3. Xiangshan group; 4. Huangmaqing formation; 5. Pyroxene monzonite; 6. Hornblende diorite; 7. Pyroxene diorite; 8. Diabase; 9. Gushan iron ore deposit; 10. Zhongjiu iron ore deposit; 11. Volcano breccia; 12. Unconformity boundary; 13. Measurement of fault; 14. Inferred fault; 15. Measured the anticlinal axis; 16. Measured the Synclinal axis; 17. Attitude of stratum; 18. Section lines
 1-浦口组; 2-火山岩; 3-象山群; 4-黄马青组; 5-辉石二长岩; 6-角闪闪长岩; 7-辉石闪长岩; 8-辉绿岩; 9-姑山铁矿; 10-钟九铁矿; 11-火山角砾岩; 12-不整合界线; 13-实测断层; 14-推测断层; 15-实测背斜轴迹; 16-实测向斜轴迹; 17-地层产状; 18-剖面线

Figure 4. Geological sketch map of the Gushan ore field

图4. 姑山矿田构造简图

未见，岩体的流面产状陡，均向外侧倾斜，倾角 $65^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ；二是萝卜山火山穹窿，其四周为辉石玄武安山岩，核部为萝卜山岩体侵占，其流面较陡，也向外侧倾斜，倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。陶村则以古火山丘下部的潜火山岩体的形式产出。

角砾岩筒是凹山矿田的重要建造类型，角砾岩筒大多呈规正的等轴状 - 边缘复杂的浑园状及其它不规则状、肋状的角砾岩枝。角砾岩大小混杂，没有分选，没有固定方位，角砾成分以闪长玢岩为主，偶见少量安山岩、凝灰岩角砾，但相邻角砾在岩石结构，蚀变程度，矿物定向排列面(流面)上均不相同，说明这些角砾是经过空间变位的，如凹山角砾岩在 59 m 水平开采台阶所见有三种角砾：①肉红色粗斑状辉石闪长玢岩，斑晶为更钠长石，粉红色， $3\times 4\text{ cm}$ 大小，占 $10\%\sim 20\%$ ，全岩阳起石化；②灰白色细斑状辉石闪长玢岩；斑晶为更钠长石 $1\times 0.2\text{ cm}$ ，全岩绿泥石化；③白色致密 - 糖粒状钠长岩。

3.2.3. 矿田成矿

凹山矿田产出的重要矽岩铁矿主要有陶村(高村)、南山、东山、凹山、萝卜山、和尚桥、黄梅山等矿床。形成的主要成矿类型是隐爆角砾岩型铁矿床, 包含潜火山岩体上部及其与熔岩及火山碎屑岩接触带附近的隐爆角砾岩型铁矿床(凹山铁矿)和潜火山岩体中的细脉浸染状矿床(如陶村铁矿)。

产于晚白垩世大王山旋回安山质火山碎屑岩及安山质火山熔岩中的火山机构(火山穹窿、火山丘)中的角砾岩体, 几乎全部为矿液充填交代, 构成凹山铁矿床的主矿体。

3.3. 姑山矿田

姑山矿田位于宁芜盆地南段的白象山、钟九、姑山一带。

3.3.1. 矿田构造

姑山矿田空间展布上受到 NW 向钟九—钟山断裂与 NNE 向和尚桥—黄梅山—陶公山—钟山—姑山断裂交汇部位的构造约束, 二维水平空间总体形态呈现为等轴状。

姑山矿田断裂构造发育, 主要表现为火山侵入作用之前的基底断裂, 它们常是中生代岩浆活动的通道, 同时也控制了岩浆作用有关的矿化。矿田内规模较大的断裂有两组, 一组为 NNE 向的挤压性断裂带, 另一组为 NW 向的张扭性断裂带, 形成了网格状构造格局。在两组断裂交汇处, 有利于岩浆、矿液活动及成矿。沿断裂带有 NW 向的带状磁异常和闪长岩体分布, 白象山、钟九、和睦山等铁矿床受其控制。

褶皱以钟姑背斜为主体, 长达 11 km 以上, 轴向 NNE, 向北倾伏, 向南扬起(图 4)。不同程度地受 NW 向横断层切割和岩体侵入破坏。褶皱控制了辉石闪长岩的侵入, 为成矿提供了先决条件, 并控制了岩体、接触带构造及矿体的形态和产状。

3.3.2. 矿田建造

姑山矿田沉积建造主要是三叠纪周冲村组海陆交互碎屑岩夹碳酸盐岩沉积建造和黄马青组海陆交互的含铜碎屑岩建造, 部分为侏罗纪钟山组、罗岭组石英砂岩和长石石英砂岩碎屑岩建造。

具有强烈钠长石化的燕山期闪长岩类侵入体是其重要的成矿岩浆岩, 辉石闪长岩(辉石闪长玢岩)与铁矿的形成有成因上的联系[10], 它既是成矿母岩又是成矿围岩, 不仅形成铁矿的大部分铁质与之密切相关, 而且当其侵入于围岩中时, 在内外接触带部位形成了有利于矿液交代的黑云母角岩, 以及矿液富集的接触带及捕虏体构造。

3.3.3. 矿田成矿

姑山矿田的重要矽岩铁矿主要有姑山、白象山、钟九、杨庄大型铁矿和 8 处中型铁矿。主要形成层控接触带型铁矿床, 重要的成矿作用类型有: ①潜火山岩体与围岩接触带上下的脉状充填矿床(如姑山铁矿); ②潜火山岩体与前火山岩系的沉积岩层接触带中的充填矿床(如钟九铁矿)。姑山矿田的空间分布特征是成矿作用总体受 NW 向与 NNE 向断裂构造交汇部位控制, 矿带形态呈等轴状。

在周冲村组碳酸盐岩与钠质石英闪长岩体接触带的岩体凹陷(岩凹)部位有利成矿[11], 包含赋存在闪长(玢)岩体的内部(岩体内部矿体), 闪长(玢)岩体与周冲村组的接触带及其附近(接触带矿体)和赋存在周冲村组层间裂隙中(层状矿体)。

3.4. 铜井矿田

铜井矿田位于本区西北部, 与娘娘山古火山机构密切相关, 平面呈椭圆形、NE 向展布, NE 向长 5 km, 宽 3 km, 面积近 15 km²。

3.4.1. 矿田构造

铜井矿田构造为典型的火山机构—娘娘山古火山口，位于娘娘山西侧，平面上呈 NE 向的椭圆形，其侵入岩筒被碱性火山岩所充填，是主要的控岩构造。在古火山口边缘地带发育着环状和放射状断裂，在平面上呈环带状分布，剖面上呈雁行式排列的特点。NNW 向断裂为矿田的成矿构造，多数被含金、铜石英—菱铁矿脉充填，在火山口附近的南东侧呈“鱼尾”状散开[12]，这组断裂为 NNE 向构造体系派生的次级压扭性断裂。

3.3.2. 矿田建造

铜井矿田主要赋矿建造是娘娘山火山活动旋回的碱性火山杂岩，古火山口及 NNW 向断裂是矿田控制矿床分布的火山建造，铜井铜金矿受其制约。

娘娘山古火山机构是多次喷发与侵入活动的产物，火山活动末期火山管道堵塞之后，残余碱性岩浆沿火山颈南侧的寄生管道侵位形成黟方石霓辉正长岩筒，与成矿作用时间上比较接近的黟方石霓辉正长岩为富钾的碱性岩，与区域内铜矿的形成有关[13]。

碱性火偏碱性的浅成相次火山岩是其重要的成矿岩浆岩，该类岩体受区域构造和火山构造控制，呈岩脉、岩床或岩管产出，通常与矿体伴生。岩石富钾质、含铜量较高，岩浆晚期到岩浆期后钾质交代现象普遍。

3.4.3. 矿田成矿

铜井矿田位于宁芜盆地北段的皇姑山—高庄及白头山—娘娘山地区，有铜井乡洪幕山、铜坑山、娘娘山、小二山等 8 小型铜矿床，以铜坑山-娘娘山矿体为主，其金矿总资源可达中型。

主要形成热液型脉状铜金矿床。矿体主要赋存于大王山组、娘娘山组碱性火山岩中，受 NW 向断裂或节理控制，走向约 320°~345°，倾向 NE，倾角近直立。矿脉主要呈单脉状或复脉状。铜主要以金属硫化物、金以自然金的形式赋存在含铜石英脉和含铜石英菱铁矿脉中。

成矿作用空间展布受盆地内 NNE 向、NW 向以及近 EW 向断裂联合控制，特别是这些断裂及其派生的低序次断裂交汇地段，往往是矿脉产出的有利构造部位。如铜井铜(金)矿床位于区域性安德门—娘娘山 NE 向断裂南段与娘娘山—石台山 EW 向断裂和铜井—南山 NW 向断裂交汇部位附近，这些断裂对成矿具有明显的控制作用。

4. 成矿要素控制

4.1. 成矿构造控制

4.1.1. 区域构造

宁芜盆地是一个典型的继承式断陷火山岩盆地。晚侏罗世郟庐断裂带的左行走滑剪切活动影响下，长江中下游地区发育大规模裂陷[14]，长江—滨江断裂及方山—南陵断裂作为边界断裂发生左行剪切运动，产生 NNE 向的走滑拉分盆地。处于剪切拉张的构造环境为幔源岩浆的上涌、浅部岩浆房的形成、大规模火山岩浆活动和成矿作用的发生，创造了极为有利的环境，是成岩成矿作用得以发生的先决条件。

宁芜盆地发育过程中经历了拗陷、断陷、火山喷溢等地质作用过程，这一过程中 NNE 向断裂形成较早，较大的有安德门—娘娘山断裂、吉山—朱门断裂、方山—小丹阳断裂，切穿盆地基底地层，控制了区域金、铜成矿带的空间展布。NW 向断裂形成较晚，主要有梅山—凤凰山断裂、江宁镇—陶吴断裂和铜井—小丹阳断裂等，控制区内 4 个不同成矿类型的矿田。次一级断裂或 NNE 向、NNW 向二者的复合构造是主要的铁矿成矿区域，也是本区金、铜矿床(脉)的重要控矿构造。

4.1.2. 火山构造

区内火山岩构造复杂多样, 形成了一套不同序次互相配套的构造 - 火山构造类型。

火山断裂喷发带表现为线性明显的火山爆发带, 一般呈长卵状, 延长数十 km, 宽 2~10 km, 宁芜盆地中段已识别的四条断裂喷发带, 即方山 - 小丹阳 NNE 向断裂喷发带、吉山 - 朱门 NNE 向断裂喷发带、板桥 - 凤凰山 NW 向断裂喷发带、铜井 - 芜湖 NNE 向断裂喷发带。

断裂喷发带的次级构造 - 火山构造, 是古火山丘, 火山短背斜, 火山短向斜面及古火山穹窿, 它们常控制着个别岩体形态及矿化特征, 主要次级火山构造自北而南有陶村古火山丘、南山古火山口、南山 - 向山火山短背斜、凹山 - 东山 - 伏贤村脊状火山短背斜、萝卜山火山穹窿、凹山火山穹窿、和尚桥箱状火山短背斜等。

次级火山构造中分布有可以恢复的古火山机构, 如大王山古火山口、大山古火山口及大小隐不一的爆岩筒有 9 个, 它们与矿体的关系密切。

4.2. 成矿建造控制

宁芜地区富钾的中基性 - 碱性火山 - 潜火山岩组合、侵入岩与成矿关系极为密切, 共同制约这一时期的铁铜成矿。

火山 - 潜火山岩、侵入岩为成矿提供热源, 驱动地下水对流循环, 导致来自岩浆岩和围岩中的有用组分沉淀富集。此外, 由岩浆侵入所产生的热液对先期矿源层进行改造形成工业矿床; 浅成 - 超浅成多期、多阶段的火山 - 岩浆侵入活动, 造成多期次成矿作用发生; 断裂构造、火山构造破碎作用较强, 有利于岩浆分异作用、气化热液作用和矿液的富集, 成矿系统易于优化, 形成的矿床规模较大, 矿石品位较富。由于火山 - 岩浆活动的影响, 形成地表热泉, 出现喷流 - 沉积作用[14], 形成赤铁矿、硫铁(锰)矿、黄铁矿, 经过后期热液叠加改造形成工业矿体。

4.3. 成矿流体控制

长江中下游地区壳下存在一条平面上呈喇叭形的地幔隆起带, 位于地幔隆起带的宁芜矿集区是地幔物质部分熔融生成的碱性玄武岩浆的聚集带[15], 是幔源物质和幔源流体参与成矿的最佳场所。

宁芜地区铁矿床的成矿通过液态不混溶作用形成铁矿浆(或富铁流体), 梅山矿田主要是在辉石闪长玢岩岩体凝固晚期和期后, 于上隆接触带由凝固冷缩而出现裂隙带中贯入, 以矿浆方式成矿[3]; 姑山矿田是岩浆在上移过程同化三叠纪周冲村组膏岩层, 岩浆中的 Na、S、Cl、P 和 Ca 等组分急剧增加, 导致岩浆固结熔点大幅度下降, 流体对铁等金属元素的搬运能力增强, 交代已凝固的辉石闪长玢岩, 进而大量铁镁质进入流体系统, 在岩体与围岩界面等有利空间成矿[16]。凹山铁矿田的铁质源于岩浆演化后期形成的富铁流体, 而是随着富铁流体演化在外源流体逐步加入的阶段成矿, 成矿物质主要来自岩浆演化晚期形成的富铁流体而非晚期热液淋滤已固结的辉石闪长玢岩[17], 成矿过程中隐爆作用诱发了大规模铁矿床的形成并为矿床的就位提供了空间, 形成了早期的浸染状和角砾状矿石。后期的金矿体发现被认为与铁矿形成于同一成矿系统, 成矿流体也为岩浆水和雨水的混合流体, 均与辉长闪长玢岩具有密切的时空和成因上的联系[18]。铜井矿田金、铜成矿物质为晚白垩世娘娘山组碱性玄武安山质岩浆分异演化到晚期分熔的产物, 流体均为幔源硫来源[12][13], 属与构造 - 火山活动有关的中浅成热液充填脉型矿床。

5. 成矿时空控制

5.1. 成矿空间结构

宁芜地区火山岩盆地控制浅部岩浆房的形成、大规模火山岩浆活动和成矿作用的发生, 并形成玢岩

铁矿成矿序列的各类矿床。与成矿相关的龙王山组、大王山组和娘娘山组火山岩均分布在火山断裂喷发带上, 周边被 NNE 和 NW 向构造所限制的区域为宁芜地区四个重要矿田的边界。

铁矿床在空间上沿着大的断裂(喷发)带出现, 并围绕辉石闪长玢岩体分布、或产于其中。在岩体中为浸染状磁铁矿化, 上部、边部为脉状、网脉状磁铁矿化, 在岩体与火山岩、火山碎屑岩接触带有块状磁铁矿; 在岩体与前火山岩系沉积岩接触带有块状、角砾状赤铁矿及块状、浸染状黄铁矿; 岩体或距岩体稍远的火山岩、沉积岩构造裂隙中有脉状、透镜状铁矿(化)和金、铜矿(化)和铅锌矿化, 在火山沉积盆地中有层状、似层状磁铁矿和赤铁矿产出。

在三维空间上将宁芜盆地成矿划分为上、下两个立体成矿块体: 宁芜火山岩盆地东部部属下部块体, 向西延伸至宁芜火山盆地下部, 主要由宁芜盆地火山岩的基底组成, 成矿地球动力学关联中国东部 140 Ma 左右构造体制大转折背景下的斑岩型、矽卡岩型 Cu-(Mo)-Au 矿成矿, 由相邻断隆区和断陷区的有关矿化信息推测其存在的可能性; 宁芜火山岩盆地内部属上部块体, 成矿地球动力学关联中国东部 130~123 Ma 左右岩石圈减薄背景的玢岩型 Fe 矿和脉状热液型 Cu(Au)矿成矿, 主要形成于宁芜盆地大王山旋回火山喷溢末期、姑山旋回火山喷溢早期以及娘娘山旋回火山喷溢末期, 成矿作用空间上部限于宁芜火山岩盆地内。上、下两个立体成矿块体在空间上呈上下关系, 下部成矿块体可能叠加上部成矿块体的成矿作用, 但由于火山岩盆地内部控制玢岩型铁矿床产出的浅成次火山岩体(辉石闪长玢岩)大多在地表以下一定深度贯通, 并且深部的正长(二长)花岗岩的侵入[13]破坏, 下部成矿块体的分布范围仍然不确定。

5.2. 成矿时间演化

近年来, 对玢岩型铁矿成矿年代学研究取得了丰硕成果[19]。宁芜盆地大王山组火山岩锆石年龄为 127 ± 3 Ma, 龙王山组锆石年龄为 131 ± 4 Ma [20]; 娘娘山组火山岩 126.8 ± 0.6 Ma 和 127.2 ± 1.1 [21] 的年代学证据, 近期进一步证实宁芜盆地从下至上龙王山组、大王山组、姑山组和娘娘组的四个火山旋回火山岩形成年龄分别为 132.3 ± 1.0 Ma、 130.4 ± 1.6 Ma、 128.1 ± 1.9 Ma 和 127.2 ± 1.1 Ma, 确证宁芜盆地火山岩龙王山组和大王山组形成于晚白垩世的 132~127 Ma 间。

胡劲平等[22]对凹山铁矿床矿体围岩~辉长闪长玢岩进行 U~Pb 定年, 获得 125 ± 2 Ma 和 127 ± 3 Ma 两组数据; 周涛发等[21]通过对闪长玢岩锆石 U~Pb 测年, 获得陶村岩体、东山岩体、白象山岩体、和睦山岩体和姑山岩体的成岩时代分别为 130.7 ± 1.8 Ma、 131.1 ± 3.1 Ma、 130.0 ± 1.4 Ma、 131.1 ± 1.9 Ma 和 129.2 ± 1.7 Ma; 李锦伟[23]获得吉山铁矿床辉长闪长玢岩 SHRIMP 锆石 U~Pb 年龄为 130.0 ± 1.0 Ma, 证实宁芜盆地岩浆侵入时限在 131~125 Ma 之间, 于火山喷发时大致相当或略晚。

余金杰等[24]分别测定了梅山铁矿和陶村铁矿矿体下部钠长石岩带中钠长石的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 坪年龄, 获得了 123 ± 1 Ma 和 125 ± 1 Ma 两组数据。马芳等[17]对梅山区铁矿床中磷灰石进行了 Pb 同位素测定, 获得磷灰石的 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 等时线年龄为 124 Ma, 于凹山铁矿床测得铁矿中蚀变阳起石的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 等时线年龄为 114 ± 16 Ma; 张燕[25]和杨颖鹤[26]等的工作进一步确认本区中生代火山岩矿床的成矿年龄的时限约为 130~123 Ma。

成矿在时间上有阶段之分, 与龙王山旋回岩浆活动有关的矿产有火山喷发初期形成的火山喷发沉积-热液型铅锌矿, 有与闪长玢岩有关的热液型黄铁矿; 与大王山旋回岩浆活动有关的有铁(伴有硫、磷)、高岭土等矿产。其中以火山喷发沉积的层状铁矿形成最早, 辉石闪长玢岩岩体中的浸染状磁铁矿、岩体上部、边部的脉状、网膜状、角砾状铁矿及接触带上的块状磁铁矿先后相继形成。随后在接触带有高岭土矿、重晶石矿、围岩裂隙中的脉状铁、铜、金等矿产。姑山旋回矿产不发育, 至白头山、娘娘山旋回, 伴随(石英)二长(斑)岩、粗安斑岩、粗面斑岩等的侵入, 形成以金、铜为主的矿产。

6. 结论

1) 宁芜地区可划分 4 个典型矿田(梅山矿田、凹山矿田、姑山矿田和铜井矿田), 4 个矿田的成矿构造-建造各不相同, 形成了不一样的矿床类型。

2) 梅山矿田是以岩浆接触带型铁矿床为典型, 凹山矿田以隐爆角砾岩型铁矿床最重要, 而姑山矿田是以层控接触带型铁矿床最具特色, 铜井矿田则为热液型脉状铜金矿床, 它们共同构成宁芜地区的火山热液矿床。

3) 宁芜地区的成矿建造受盆地构造和火山岩构造的双重控制, 富钾的中基性-碱性火山-潜火山岩成矿建造与成矿关系极为密切。控制成矿的流体是早期较单一的幔源物质逐步演化为中期岩浆水和雨水的混合流体, 继形成铁、铜金矿产, 晚期的铜矿成矿流体又为幔源。

4) 宁芜地区成岩空间结构受区域构造和火山构造所控制, 成矿空间受火山机构和岩体构造控制, 中生代火山热液矿床的成矿时限约为 130~123 Ma。

基金项目

研究工作得到中国地质调查局地质调查评价专项“宁芜北部地区铁铜矿调查评价”项目(1212011120859)的资助。

参考文献

- [1] 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 138-179.
- [2] 宁芜研究项目编写小组. 宁芜玢岩铁矿[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 1-174.
- [3] 陈毓川, 张荣华, 盛继福, 艾永德. 玢岩铁矿矿化蚀变作用及成矿机理[C]//中国地质科学院矿床地质研究所. 中国地质科学院矿床地质研究所文集(3), 1982: 821-833.
- [4] 刘一, 曾勇, 高天山. 浅析长江中下游成矿带深部矿找矿潜力及找矿方向[J]. 地质学刊, 2008, 33(4): 292-296.
- [5] 吕古贤, 李秀章, 张迎春, 郭涛, 陈柏林, 朱裕生. 矿田地质学的研究和发展问题[J]. 地质与勘探, 2012, 48(6): 1143-1151.
- [6] 王德滋, 任启江, 邱检生, 陈克荣, 徐兆文, 曾家湖. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿意义[J]. 地质学报, 1996, 70(1): 23-34.
- [7] 邢凤鸣. 宁芜地区中生代岩浆岩的成因—岩石学与 Nd、Sr、Pb 同位素证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(2): 126-137.
- [8] 徐志刚, 盛继福, 孙善平. 关于“橄榄玄粗岩系列组合”特征及某些问题的讨论[J]. 地质论评, 1999, 45(Z1): 43-62.
- [9] 孙喜华, 徐明钻, 邹芝红, 张龙生, 蔡卫东, 钱凌宇. 江苏南京梅山铁矿床外围多金属矿体地质地球化学特征初探[J]. 矿床地质, 2015, 34(5): 965-980.
- [10] 林刚, 许德如. 在宁芜玢岩铁矿深部寻找大冶式铁矿的探讨——以宁芜铁矿南段为例[J]. 矿床地质, 2010, 29(3): 427-436.
- [11] 江勇卫, 张智宇, 杜杨松, 罗淦, 张彦文, 郑泽军, 任春雷. 宁芜南段和陆山铁矿床矿物学特征及其成因意义[J]. 矿床地质, 2015, 34(1): 163-178.
- [12] 高丽坤, 邹芝红, 李书春, 蔡卫东, 孙喜华, 钱凌宇, 张龙生. 宁芜盆地热液脉型金铜矿床地质特征——以江苏铜井金铜矿床为例[J]. 地质与资源, 2015, 24(02): 117-123.
- [13] 周小栋, 郭坤一, 陈国光, 曾勇, 宋世明, 申金超. 宁芜北部脉状铜矿床地质与成矿流体特征研究[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 210-214.
- [14] 刘一, 曾勇, 史洪峰, 姚远, 张景. 宁芜北部地区竹园山式铁矿及其找矿前景[J]. 地质学刊, 2018, 42(1): 32-39.
- [15] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 309-315.
- [16] 毛景文, 段超, 刘佳林, 张成. 陆相火山-侵入岩有关的铁多金属矿成矿作用及矿床模型——以长江中下游为例[J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 1-14.

- [17] 马芳, 蒋少涌, 薛怀民. 宁芜盆地凹山和东山铁矿床中阳起石的激光 ^{39}Ar - ^{40}Ar 年代学研究[J]. 矿床地质, 2010, 29(2): 283-290.
- [18] 王铁柱, 余金杰, 车林睿, 陆邦成, 王贤伟. 宁芜地区梅山金矿床的成矿流体特征及矿床成因[J]. 矿床地质, 2015, 34(3): 565-580.
- [19] 叶水泉. 宁芜北段姑山组火山岩系的时代讨论[J]. 地质学刊, 2000, 24(4): 210-214.
- [20] 张旗, 简平, 刘敦一, 王元龙, 钱青, 王焰, 薛怀民. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4): 309-314.
- [21] 周涛发, 范裕, 袁峰, 张乐骏, 钱兵, 马良, 杨西飞, David, R.C. 宁芜(南京 - 芜湖)盆地火山岩的年代学及其意义[J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41(7): 960-971.
- [22] 胡劲平, 蒋少涌. 宁芜盆地浅成侵入岩的锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素研究及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2010, 16(3): 294-305.
- [23] 李锦伟, 陈津华, 曾键年, 陆建培, 张燕霞, 李小芬, 吴亚飞, 陆顺富. 宁芜盆地吉山铁矿床辉长闪长玢岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 2012, 31(6): 1227-1236.
- [24] 余金杰, 毛景文. 宁芜玢岩铁矿钠长石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年及意义[J]. 自然科学进展, 2002, 12(10): 1059-1063.
- [25] 张燕, 郭坤一, 曾键年. 宁芜盆地凹山铁矿含矿玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 资源调查与环境, 2013, 34(4): 228-233.
- [26] 杨颖鹤, 王丽娟, 张少琴. 宁芜盆地火山作用峰期锆石 U-Pb 定年和 Lu-Hf 同位素研究[J]. 地质学刊, 2015, 39(4): 556-566.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ag@hanspub.org