

Four-Dimensional Structure of Mineralization and Copper-Gold Resources Potential in Jiujiang-Ruichang Area of Jiangxi Province

Yingping Suo, Zhizhong Huang, Xuehua Shen

Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Geological Survey of China, Nanjing Jiangsu
Email: 9947934@qq.com

Received: Sep. 25th, 2018; accepted: Oct. 11th, 2018; published: Oct. 18th, 2018

Abstract

The four-dimensional space-time structure of mineralization in key ore gathering areas is an important research direction in deep prospecting. Jiujiang-Ruichang area has completed a series of geophysical survey work in recent years. The three dimensional spatial distribution and structural characteristics of the strata and magmatic rocks in the ore gathering area are obtained through three dimensional inversions of integrated aeromagnetic, gravity and AMT methods. Based on the study of the space and age of diagenesis and mineralization, the understanding of the spatial and temporal structure of mineralization in Jiujiang-Ruichang area is formed. It is concluded that the deep ore-bearing bed in the Jiujiang-Ruichang metallogenic belt is 1000 m - 1200 m. The ore-forming space is mainly a sedimentary basin of extensional depression in Late Paleozoic. The controlling factors of ore deposits formation by "four belts and one side", forming a unique metallogenic model of the generalized "skarn type" copper-gold deposit in the belt. The mineralization is controlled of the submarine exhalative sedimentation metallogenic system (328 - 345 Ma) in Hercynian and the magmatic hydrothermal superimposed reformed metallogenic system in Yanshan (138 - 148 Ma). The prospecting direction for deep copper-gold should be in Tongjiangling and Dengjiashan area. It is suggested that attention to Dongleiwan, Tongjiangling-Mamushan and Dengjiashan in three regions.

Keywords

Metallogenic Structure, Resource Potential, Cu-Au Deposit, Jiujiang-Ruichang Area

江西九瑞地区成矿四维结构及深部铜金资源潜力

所颖萍, 黄志忠, 沈雪华

中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京
Email: 9947934@qq.com

收稿日期: 2018年9月25日; 录用日期: 2018年10月11日; 发布日期: 2018年10月18日

摘要

重点矿集区成矿四维时空结构是深部找矿的重要研究方向, 九瑞地区近年完成了一系列地球物理调查工作, 对航磁、重力和音频大地电磁的三维反演, 获得矿集区地层及岩浆岩三维空间分布形态和结构特点, 综合成岩 - 成矿的空间和年代研究, 形成九瑞地区成矿时空结构的认识。推断九瑞成矿带深部赋矿层位在1000 m~1200 m深度, 成矿空间主要是晚古生代伸展拗陷的沉积盆地; 矿床控制因素受“四带一面”控制, 形成了带内特有的广义矽卡岩型“多位一体”铜金矿床成矿模式; 成矿作用受海西期海底喷流成矿系统(328~345 Ma)和燕山期岩浆热液叠加 - 改造成矿系统(138~148 Ma)的双重控制。深部铜金的找矿方向应该在通江岭 - 邓家山一带, 建议关注东雷湾岩体西部接触带, 通江岭岩体 - 猫母山地区以及邓家山周边三处地区。

关键词

成矿结构, 资源潜力, 铜金矿床, 江西九瑞

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

九瑞地区的铜多金属矿带是长江中下游成矿带的重要组成部分[1], 也是国土资源部找矿突破战略行动确定的一个重点整装勘查区之一。通过八年的整装勘查工作取得了区域地质调查的新认识, 获得了武山、城门山、仙姑台和上湾等地深部铜金找矿的重大进展[2]。该区吸引了大批地质学者及专家对其进行地质矿产、地球物理、地球化学与深部成矿作用与资源潜力的调查和研究[3], 取得了很有价值的地质成果[4]。从成矿作用研究的视角, 通过基于地球物理的探测技术进行的三维地质填图, 建立了九瑞矿集区的三维电性结构[5]和三维地质模型[6]; 从成矿流体和成矿物质的时代研究进一步确定了流体系统的时空分布[7], 对矿集区铜金成矿的三维成矿结构及演化进行了富有成效的研究[8] [9], 形成了海底喷流成矿和叠加 - 改造成矿共同作用[9] [10], 涡旋成矿[11]和“多位一体”矿床模式[12]等新认识。但是众多的研究中, 仅止步于三维的地质、物探、化探调查与讨论, 而这一地区从成矿的影响和控制最重要的因素是海西期海底喷流成矿和燕山期岩浆热液叠加 - 改造成矿的影响。本文在系统分析已有资料的基础上, 总结成矿的三维空间分布规律的基础上, 进一步在时间维上讨论九瑞地区成矿四维时空结构, 并结合叠加改造、多位一体、涡旋成矿等成果进一步探讨这一地区深部铜 - 金矿资源的找矿潜力。

2. 成矿地质背景

九瑞地区在构造位置上位于扬子陆块的下扬子拗陷带西段, 被夹持于大别地块与江南隆起带之间[3]。基底为中新生元古界双桥山群一套厚度巨大的浅变质泥砂质碎屑岩 - 火山碎屑岩 - 喷发熔岩建造, 为重要

含矿层位和含钨花岗岩的岩源层。青白口系-中三叠统在本区属沉积盖层，其中青白口系由泥砂质及火山碎屑岩、火山熔岩组成过渡类型沉积建造，不整合覆于双桥山之上；震旦系-志留系属稳定地台型碎屑岩、碳酸盐岩建造组成的沉积旋回；晚古生代海陆交互地层系统，下部是上泥盆统五通群砂岩等碎屑岩系，中部为上石炭统黄龙组白云质灰岩、白云岩层，上部中二叠统梁山组含煤砂、泥岩层构成一个下部开放、上部屏蔽的夹心饼式[2]赋矿层位。

区内中生代岩浆活动较强，以成带出露小型的浅成-超浅成中酸性-酸性侵入体岩体为特征，共有30个小岩体，城门山、武山、东雷湾三个岩体呈岩株产生，其它岩体呈岩墙或岩脉。岩石类型主要有闪长岩、石英闪长玢岩、花岗闪长斑岩与石英斑岩，其中以花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩为主，有的还伴有隐蔽爆破岩相。金、铜和钼成矿与石英闪长玢岩-花岗闪长斑岩-石英斑岩演化有关，但成矿岩体以花岗闪长斑岩为主，被称为“扬子同熔型侵入岩[4]”，并具有埃达克质岩的性质[13][14]。

九瑞地区褶皱断裂构造发育，六个轴向近于平行的背斜、向斜组成紧密线状褶皱带。褶皱相对紧闭，常见倒转，轴向北东东，自北而南有通江岭-邓家山复式向斜、大桥-宝山背斜、黄桥复式向斜、丁家山-大冲背斜、赛城湖-乌石街复式向斜和城门山-长山背斜等。区内基底菱形网格状构造和盖层菱形网格状构造构成本区构造的基本格架(图1)。

本地区金属矿产资源丰富，已探明铜、硫、钼、金、银、铅、锌等矿产多处，其中大型铜矿3处(城门山、武山、金鸡窝，中型铜矿1处(上湾)、中型金矿2处(吴家、洋鸡山)。

区内矿床类型比较多。探明的矿床有矽卡岩型铜矿、层控硫化物型多金属矿、斑岩型铜金矿和铁帽型金矿。其中层控硫化物型多金属矿是最重要的铜矿床类型，铁帽型金矿是最重要的金矿床类型。此外，还有斑岩型金矿，硅化破碎带型金矿、坡积型金矿、冲积型砂金矿、硅化破碎带型铜矿、淋积型铜矿、

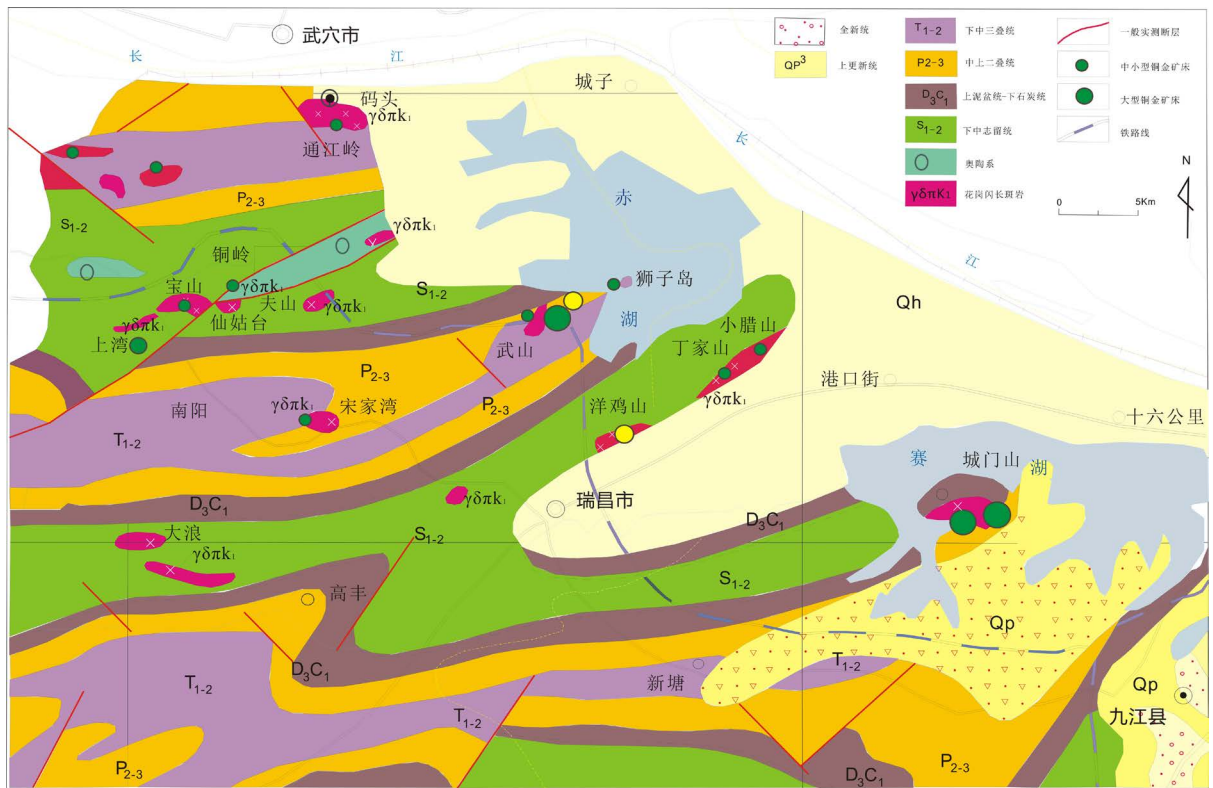


Figure 1. Geological and mineral sketch map in Jiujiang-Ruichang area (Simplified from [7])

图1. 九瑞地区区域地质矿产简图(根据[7]修改)

迁积型铜矿等[3]。主要发育有与燕山期钙碱性富钾富硅壳幔混源中酸性侵入体有关的斑岩型、矽卡岩型 Cu-Mo-Au 矿床，以及赋存于上石炭统黄龙组底部的层状硫化物型 Cu-S-Au-Ag-Pb-Zn 矿床。其中的斑岩型与矽卡岩型矿床是典型的岩浆热液矿床，而层状硫化物矿床也大多发育在中酸性侵入岩体附近，通常认为岩浆热液对层状黄铁矿层的叠加改造起到了重要作用[4]。

九瑞地区铜矿床分布主要与深源浅成 - 超浅成斑岩体有关，矿体主要赋存于岩体与碳酸盐岩接触带及接触带内、外，形成了独具特色的与斑岩有关的似层状、矽卡岩型、斑岩型“三位一体”铜矿床模式[4]，并进一步发展为铜钼叠合“多位一体”矿床模式[3][12]。

3. 三维地质结构

3.1. 三维电性结构

近年，中国地质调查局在九瑞地区完成了一系列地球物理调查工作[6][8]，在三维电性结构方面形成了一些新的认识。

布格重力异常(图 2(a))总体呈北高南低趋势，且北面重力高、低值带界限清晰，南面重力高、低值带界限较模糊，异常强度反映了九瑞地区褶皱带从北往南埋深逐渐增大的特点。剩余异常进行的重力 3D 成像反演[8]显示，不同深度的高密度体分布与地表剩余布格重力异常呈正相关(图 2(b))，-1000 m 深度正负密度差相互扰动，随着深度增加密度异常体形态逐渐增大；-2500 m 并北部和中部高密度体有相互连通的趋势，在-4000 m 高密度体连接成一体呈回字状。

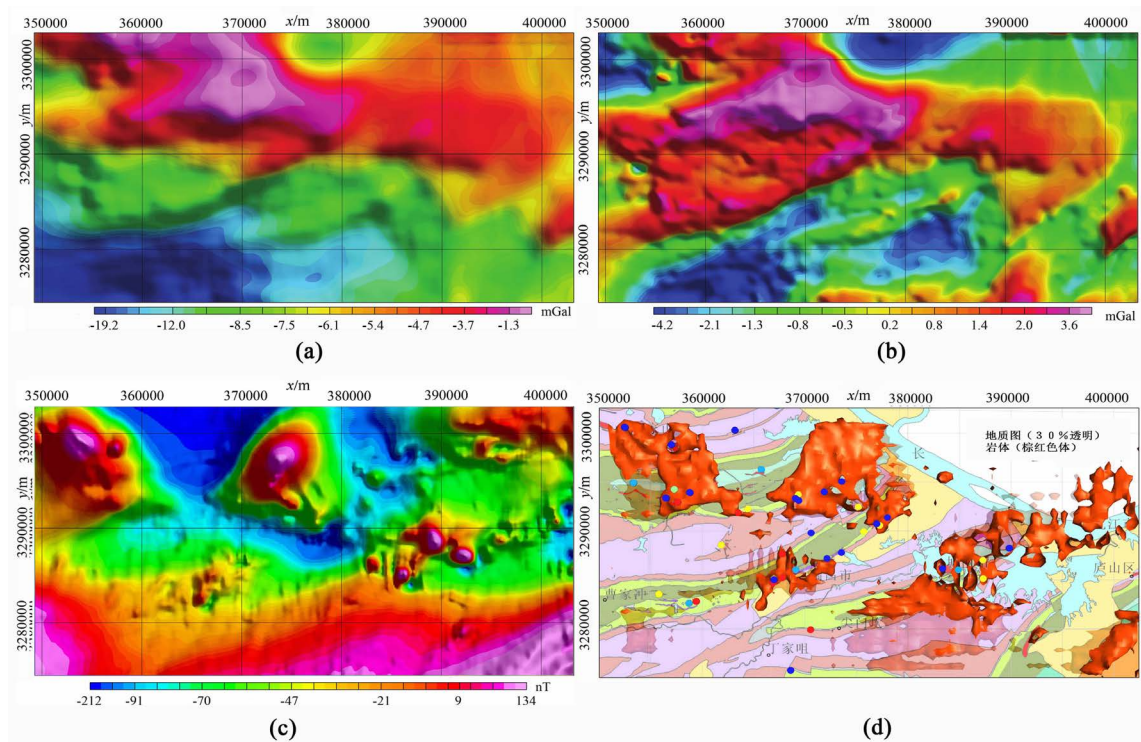


Figure 2. Gravity anomaly, aeromagnetic anomaly and its inversion map in Jiujiang-Ruichang area (Simplified from [8]). (a) Bug gravity anomaly in the Kure area; (b) The residual anomaly of the second-order trend of gravity in Bug in the Jiurir region; (c) An anomaly in the navigation magnetization of the Jiurui area; (d) Jiurui Area-1250 m Stenoid and geological map superposition map

图 2. 九江 - 瑞昌地区重力异常、航磁异常及其反演图(根据[8]修改)。(a) 九瑞地区布格重力异常；(b) 九瑞地区布格重力二阶趋势剩余异常；(c) 九瑞地区航磁化极异常；(d) 九瑞地区-1250 m 岩体形态与地质图叠合图

航磁异常(图 2(c))磁异常总体较平缓,北部出现两个局部异常高,中部地区异常值较低,城门山附近出现局部小异常高,南部出现磁场抬升。用匹配滤波法[8]对 5 km 以浅的磁源信息进行 3D 反演显示,高磁化率部分主要反映了岩体的三维展布,岩体位置基本能与地质露头对应(图 2(d)),中部地区以中小型岩体成带出现为主要特征,只有城门山岩体规模较大,北部和西北部地区两个岩体相对区内其他岩体其规模巨大。

ATM 二维反演电阻率剖面[8]反映表层高阻区和低阻区连续性较好,呈现二条高阻带和四条低阻带。地表电阻率沿地层走向呈带状分布,总体为一向南弯曲的弧形;西北部(邓家山-通江岭地区)高阻带、中部(太平山地区)高阻带、南部(瑞昌地区)高阻带与向或背斜核部 T-C 地层基本吻合;中低阻带对应 D-S、O 地层;低阻区域对应第三系、第四系或水系。

3.2. 三维地质结构

在整理、分析九瑞地区地质、地层物性资料的基础上,对布格重力异常、航磁异常和 ATM 电阻率剖面进行较细致的三维反演[11],获得了矿集区地层结构及岩浆岩三维空间形态特征。

3.2.1. 深部赋矿层位

在九瑞成矿带内赋存铜金矿的石炭纪-二叠纪地层二维空间上主要分布在奥陶系-三叠系组成的褶皱翼部,地层分布呈 NEE-SSW 或近 EW 向,受自背向斜褶皱构造控制。布格重力异常、航磁异常的的三个高密度体正好对应了枫林大桥背斜,大浪-丁家山背斜和吴家垄北-长岭山-城门山背斜(图 2(b))。ATM 电阻率剖面三维空间上从五通组地层深度等值线(图 3(a))分析,区内典型的重要赋矿层五通组均分布于矿集区复向斜内,在拗陷区顶界面埋深一般 1200 m [6]。

在宋家湾-黄桥复向斜西部埋深可达 1600 m,中部宋家湾-黄桥一带埋深在 400~600 m,黄桥以东达 1200 m;在邓家山-通江岭复向斜内,五通组地层埋深表现为西部深、东部浅的东西向分布特征,两侧向斜内埋深约 1000 m,中央隆起区五通组地层埋深约 800 m,通江岭以东埋深较浅,约 600~800 m。所以 1200~600 m 是主要的深部赋矿区域。

3.2.2. 深部成矿岩体

二维空间上岩浆岩呈带状分带结构,呈 NEE-SSW 向构造岩浆岩亚带,与背向斜褶皱构造轴向近一致。三维空间上存在多层分布结构,深部高阻体($>10,000 \Omega \cdot \text{m}$)特征[8]和 ATM 电阻率剖面[6]三维反演推测由深至浅包括深部巨大岩基、中深部岩基、中浅部岩浆柱和浅表小岩体等 4 个深度层次岩浆岩。推测深部应存在一个规模巨大的岩基,可能是地壳深部岩浆岩,推测它的顶深度为 7~15 千米;深部(-3000 m)电阻率平面等值线图及地质解译显示出在东北部、西南部以及中部存在大面积高阻异常区,推断为中深部岩基和中间岩浆房的位置,分别是封山洞-通江岭、武山-赤湖的“中间岩浆房”(或大岩体)和城门山岩基,包含若干个中浅部岩浆柱,在封山洞(邓家山)、东雷湾、通江岭、武山、朗君山、宋家湾、城门山(图 2(d)、图 3(b))等。在基底内部出现多处凹槽(图 3(b))区域,在东北角、中部、中西部和西南部夹杂的低阻区推断为岩浆通道,也是浅表 30 个小岩体集中出露的位置。

各层次岩浆岩体向上分支,向下归并。由深至浅,岩体规模由大变小,形态由简单变为复杂,数量由少变多。受岩浆岩系统层次的控制,成矿系统也有多层次性,分别对应着矿带、矿田和矿床。

3.2.3. 深部成矿构造

二维空间褶皱和断裂构造较发育,褶皱总体轴向呈北东向,断裂以北东东向断裂最为发育,次为北西-北北西及北北东向。

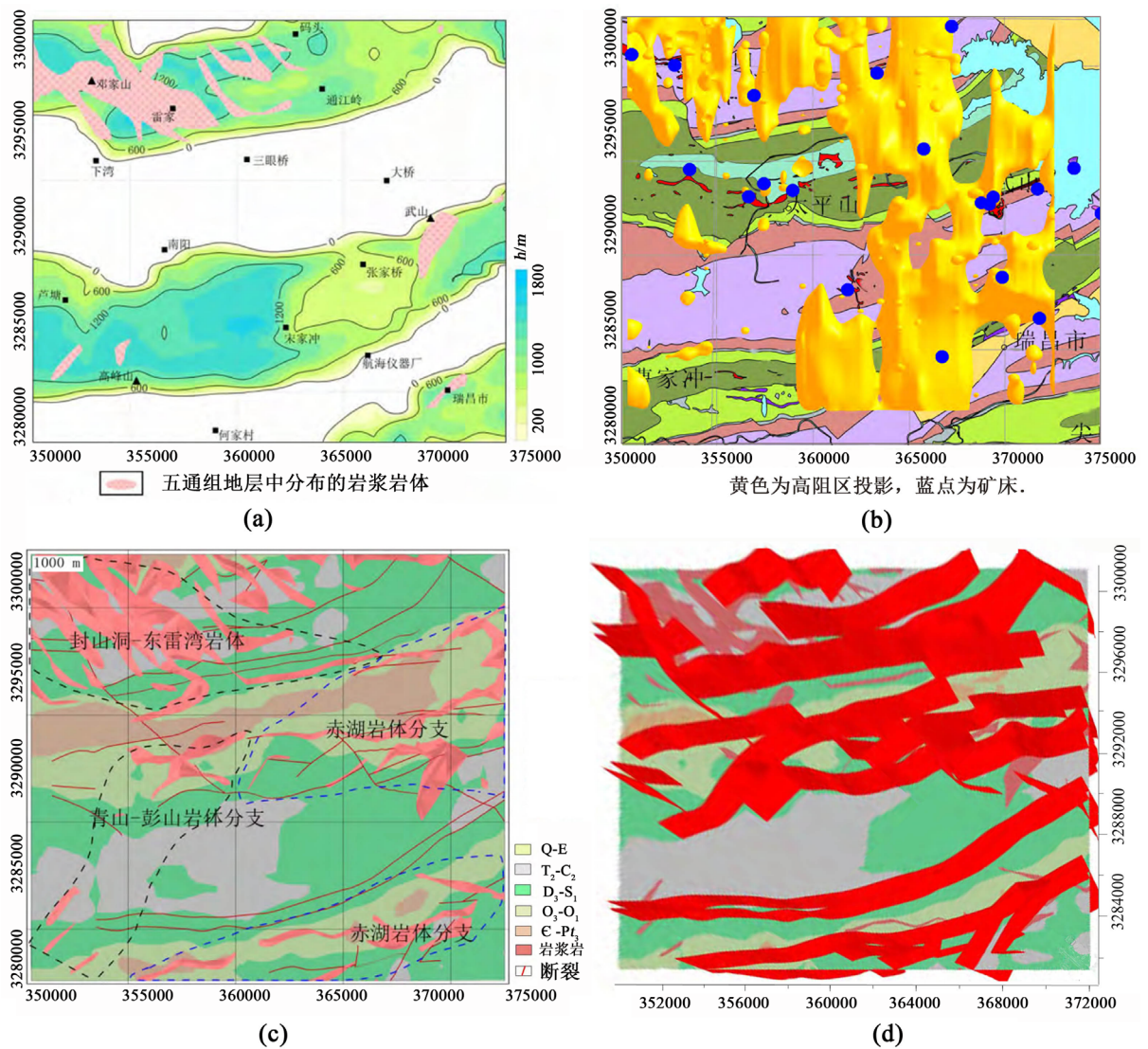


Figure 3. 3D geological structure map deduced from ATM in Ruichang-Dengjiashan area (Simplified from [6] [8]). (a) The depth contour of the Wutong Formation in the Ruichang-Dengjiashan area; (b) Surface projection of a high-resistive structure with three-dimensional electrical properties in the Ruichang-Dengjiashan area; (c) Ruichang-Dengjiashan area -1000 M strata and rock mass distribution; (d) Suichang-Dengjiashan region inference -1600 m deep fault structure

图 3. 瑞昌 - 邓家山地区 ATM 推断三维地质结构图(根据[6] [8]修改)。(a) 瑞昌 - 邓家山地区五通组地层深度等值线; (b) 瑞昌 - 邓家山地区三维电性结构高阻体地面投影; (c) 瑞昌-邓家山地区-1000 m 地层及岩体分布; (d) 瑞昌 - 邓家山地区推断-1600 m 深部断层结构

三维电性结构中提取标高为-4000 m 以上的平面电阻率分布存在两条明显的条带状高阻区，推断为 T-C 地层；在北部、南部、东北角以及区内局部地区存在明显低阻区，推断为第三系和第四系地层；其余中阻区推断为 D-S 地层。这些地层与地表的 6 个褶皱对应(图 1)，自北而南分别为邓家山 - 通江岭向斜、界首 - 大桥背斜、横立山 - 黄桥向斜、大浪 - 丁家山背斜、乌石街 - 赛湖向斜、长山 - 城门湖背斜。

断裂构造主要分布有 2 组近乎垂直的构造，一组为沿褶皱走向的 NEE 向构造，一组是 NNW 走向构造[11]。NEE 构造主要为砂岩地层和灰岩地层的层间滑脱构造(图 3(c)和图 3(d))，NNW 向构造主要是走滑断层，其中最大的一条分布于邓家山 - 宝山 - 太平山一线，其次为集兴 - 白杨的 NW 向走滑断层。

将已知矿床投影到电阻率平面等值线图上可以发现，浅部北西向断裂与北东向区域性深大断裂组成

的菱形网格结点控制矿床(点)分布,而成岩成矿活动主要发育在北西向丰山洞-城门山成岩成矿构造带上,沿其分布众多矿床。

4. 成矿四维结构

4.1. 成矿空间结构

4.1.1. 矿床定位空间

矿床则受岩浆柱和浅表岩体控制,金属分带围绕侵入体展布,区内矿床成矿及矿化剂元素 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag、Se、Te、As、S 等常围绕侵入体呈明显的分带,成矿元素(除 Mo 外)从岩体中心有向外逐渐增高的规律,并出现相应的矿床分带。如城门山矿床相应可划分出斑岩体中、下部斑岩钼矿带 → 斑岩体顶边部及接触带铜矿带 → 接触带外铜硫矿带。

矿体从总体上是围绕岩体展布,具体有以下 4 种形式:斑岩体内斑岩型铜矿体、斑岩体内围岩捕虏体矽卡岩型矿体、接触带矽卡岩型矿体、接触带外层间硫化物型及细脉浸染型矿体。矿化分带以斑岩体为中心,从内向外呈现 Mo-Cu → Cu-Au(Mo-W-Pb-Zn) → Pb-Zn-Ag(Cu-S-Au)分带规律。局部的褶皱构造中部层滑断裂带也控制的矿体,由于岩层褶皱发生层滑时,易在鞍部形成层间空隙,造成虚脱现象,从而为矿液提供了有利空间,而导致次级小背斜的轴部矿体厚度加大,从而形成具有开采价值的矿点、矿床。

4.1.2. 控矿构造空间

九瑞地区成矿空间主要是晚古生代伸展拗陷的沉积环境为金属赋矿层的形成提供了条件,中生代强烈断裂变形构造对成岩成矿起着主导控制作用。

北西西向长江深断裂(九江-广济断裂),是一条宽 15~20 千米的构造岩浆带,也是区内的一级控岩控矿构造,封山洞、东雷湾、武山和城门山等岩体沿该断裂分布,构成一条醒目的北西西向构造岩浆岩带,带内大型铜、硫铁和金矿床的展布受其控制。该带两侧的岩体规模小,岩浆活动明显减弱,仅出现中小型的铅、锌、金、银矿床和矿化点。北北东向断裂控制的岩体,主要是小岩墙、岩枝,多形成一些矿化点,个别为小型矿床。北北东向及与北西、北西西向基底断裂节点交织成菱形格局,控制中浅成岩体的侵入,也控制元素聚集中心(矿田)的展布;北西向与北东东向盖层断裂及其节点控制浅成岩体及其矿床的定位。

矿床控制因素综合分析表明,带内铜、金矿体主要受“四带一面”控制,即岩体与围岩接触带、层间破碎带、裂隙带与断裂带及不同岩性界面或沉积间断面控制。而以接触带、层间破碎带最为重要。鉴于上述条件的制约,故形成了带内特有的广义矽卡岩型“多位一体”铜金矿床[12]。

4.2. 成矿时间结构

4.2.1. 成岩-成矿年龄

九瑞地区大量的岩浆岩同位素年龄资料基本确定存在 2 阶段重要的成矿系统[10][15]。

第一阶段为海西期海底喷流成矿系统,发育于石炭纪早期的层状硫化物构成的 S、Fe、Cu、Au 等矿体(或矿坯层)。如区内城门山、武山、洋鸡山、白杨畈、金鸡窝等大、中型矿床的层状硫化物矿体,硫化物层经风化淋滤后还形成了诸如吴家、铁石坳、狮子岛、高丰等系列铁帽型金矿床。

第二阶段为燕山期与花岗岩有关的岩浆热液叠加-改造成矿系统[10][15],表现为大的规模的斑岩型 Cu-Mo 矿化和矽卡岩型 Cu-Mo(W)-Au 矿化。近年来对燕山期岩浆热液叠加-改造成矿系统的研究中获得了一大批高质量的(SHRIMP、LA-ICP-MS、Ar-Ar 和 Re-Os)测年数据:蒋少涌[16]在本区的东雷湾获得矽

卡岩型 Cu-Mo 矿花岗闪长岩 SHRIMP U-Pb 年龄为 141.5 ± 1.7 Ma; 武山铜矿南矿带 ZK7401 孔中花岗闪长斑岩 SIMS U-Pb 年龄为 148.6 ± 1.0 Ma, 北矿带地下 310 中米石英闪长玢岩中 SIMS U-Pb 年龄为 145.4 ± 0.9 Ma; 城门山花岗闪长斑岩获得 SHRIMP U-Pb 年龄 146.6 ± 1.0 Ma; 邓家山 Cu-Au 矿闪长斑岩 SHRIMP U-Pb 年龄 138.2 ± 1.4 Ma; 洋鸡山 Cu 矿石英闪长玢岩 SHRIMP U-Pb 年龄 143.4 ± 1.4 Ma。陈志红[17]对丁家山、洋鸡山、宝山、铜岭和大浪等 5 个花岗质岩体的研究, 获得了 145.4 ± 1.2 Ma、 144.8 ± 1.3 Ma、 143.6 ± 1.2 Ma、 141.2 ± 1.3 Ma、 146.4 ± 1.2 Ma 的锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄。杨堂礼[18]获得东雷湾中酸性侵入岩的成岩年龄为 144.3~148.7 Ma。

4.2.2. 成矿时间结构

九瑞地区成岩 - 成矿时间结构: 海西期海底喷流成矿阶段和燕山期岩浆热液叠加 - 改造阶段双重控制。

海西期海底喷流成矿阶段的时间在 345~328 Ma 之间(文献)。王道华等[19]研究得出, 武山铜矿北矿带层状矿体硫化物的 Rb-Sr 等时线年龄为 328 ± 21 Ma; 顾连兴等(年代)测定武山石炭系地层中火山岩的年龄为 345 ± 37 Ma [20]。

燕山期岩浆热液叠加 - 改造成矿作用大致分为两期。早期成矿作用主要发生在 148~143 Ma, 主要发生在九瑞的中西部地区, 在 148 Ma 左右由武山 - 大浪岩浆岩亚带岩浆侵入活动开始, 往南东扩展到 145~143 Ma 的丁家山 - 洋鸡山岩浆岩亚带; 晚期成矿作用主要发生在 143~138 Ma, 在 143~141 Ma 先在铜岭 - 下槽岩浆岩亚带内发生, 142~138 Ma 进一步在封山洞 - 通江岭岩浆岩亚带和新塘 - 城门山岩浆岩亚带发生成矿。

九瑞矿集内含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄均介于 148~138 Ma。这一年龄区间稍早于各矿床的成矿时代。如区内的武山铜矿含矿岩体时代为 146~145 Ma, 矿床时代为 146 ± 3 Ma; 城门山铜 - 钼矿岩体时代为 145 ± 1 Ma, 矿床时代为 142 ± 2 Ma [7]; 宝山岩体的花岗闪长斑岩年龄为 (147.81 ± 0.48) Ma, 成矿年龄为 (147.7 ± 1.2) Ma [21]; 东雷湾铜矿岩体时代为 146 ± 1 Ma、成矿年龄为 (143.3 ± 5.2) Ma [22]; 封山洞铜矿矿床时代为 140 ± 2 Ma、邓家山铜矿岩体时代为 145~138 Ma [9]。

九瑞地区成岩 - 成矿年代学格架显示主成矿期成矿岩体以城门山花岗闪长斑岩、武山花岗岩体为代表(148~138 Ma), 主成矿后则为武山煌斑岩、城门山石英斑岩(107~103 Ma)为代表[3]。成矿作用受长江中下游成矿带伸展构造地质背景控制, 也反映在晚中生代长江中下游地区具有大致相似的成岩成矿环境和构造背景。

4.3. 区域成矿结构

九瑞地区的区域成矿结构成矿三维空间与成矿时间相互叠加的表现形式, 具体为二期成矿系统。

4.3.1. 海底喷流成矿系统

海西期海底喷流成矿系统, 主要活动于城门山、丁家山、武山、洋鸡山、拱山、檀山坳、高丰北(大冲)、罗家冲、蜡烛尖、长岭西、吴家铺等地区。成矿流体包括上部的热水沉积单元和下部的通道单元组成, 上部热水沉积单元流体记录的标志有块状硫化物、硅质岩、菱铁矿岩(有时含铁白云石)、同生角砾岩等; 下部通道单元流体记录的标志为硅化、绢云母化、埃洛石化、黄铁矿结核、黄铁矿脉、黄铁矿+方铅矿+闪锌矿脉、石英脉等。调查显示[21]东北部城门山、武山和洋鸡山等地区流体活动最强, 可能代表了九瑞矿集区海西期海底热流体的三个主要活动中心和较大断陷沉积盆地。九瑞矿集区乃至长江中下游硫化物层位的稳定性显示与之相关的同生断裂具有区域性大规模特征, 可能对应着海西期扬子北部的一次重大的深部地质事件, 在扬子的西北部形成裂陷槽和系列陆缘断陷盆地, 在扬子东北部形成区域性

系列拉张断陷盆地并导致盆地快速沉降，深部地质事件产生了强大的热流，使得热流体活动广泛发育，形成了大量硫化物堆积。

该区泥盆系 - 石炭系地层由于地壳的伸展剪切破裂作用，伴随边构造运动和沉积活动形成陆缘同生断裂系统，本区滩外与浅海盆地之间的生长断裂即沙河街一封三洞断裂不仅控制威宁期的沉积相带和沉积厚度，而且也是岩体贯入，火山喷发、喷气、热泉活动及矿液运移的通道和地球化学上的障壁系统。深部成矿热液可沿同生断裂向上喷流形成层状和层纹状含铜黄铁矿和灰泥丘[23]。在该阶段形成的层状的同生角砾岩有利于喷流成矿作用。

4.3.2. 热液叠加成矿系统

燕山期热液叠加 - 改造流体作用，基础于印支期庐山变质核杂岩体抬升和北部大别隆起致使区内形成一系列褶皱，在城门山 - 武山地区发育背驮式或叠瓦式构造，逆掩 - 逆冲构造将海西期形成的含铜黄铁矿层改造、定位。燕山期岩石圈伸展一减薄、玄武质岩浆底侵和大规模岩浆活动，是包括九瑞地区、长江中下游地区在内的中国东部显著的大陆动力学事件。武山等花岗岩岩浆岩是强烈壳幔相互作用的产物，拆沉的加厚下地壳岩石熔融，形成的熔体在上升过程中与地幔橄榄岩发生相互反应，最终侵入于上地壳极浅部位，形成超浅成侵入体，成矿物质主要来源于上地幔，同时有一定的壳源物质混入[21]认为斑岩钼铜矿成矿流体演化过程中发生过多次沸腾，沸腾可能是导致矿质沉淀的主要因素[22]。杂岩体中不同期次岩体与矿体(矿化)的热液叠加 - 改造作用关系表明，区内中酸性侵入体与矿床在形成时间上相近，随着岩浆岩的演化，依次出现矿化为： $Au-Ag(Pb-Zn-Cu-S) \rightarrow Cu-S(Au-Ag-Pb-Zn-Mo) \rightarrow Mo-Cu$ 。

148~138 Ma 时期，在中国东部由 EW 向构造向 NE-NNE 向构造体制转换的地球动力学背景下[19]，九瑞地区率先在长江中下游成矿带发生大规模中酸性岩浆侵位及斑岩型、矽卡岩金属成矿，可能是构造体制转折结束后完全受制于古太平洋构造域及板内伸展机制的全面启动导致长江中下游成矿带晚中生代的岩浆 - 成矿作用的大爆发[23]，同时对前期热水喷流矿层进一步改造并使之变富；主岩体上升侵入时发生涡旋运动，部分成矿热液沿黄龙组与五通组间的“层滑系断裂”迁移富集，形成块状硫化物型铜多金属矿体[24]；也可能与区域岩石圈伸展条件下的深部壳幔物质相互作用有关[16] [17]。其之后在岩石圈大规模拆沉的背景下诱发软流圈持续上涌，加热具有 EM II 特征的岩石圈地幔，形成橄榄玄粗质岩浆在邻近的庐枞与宁芜地区上涌喷溢[25]。

5. 深部资源潜力

近年来，该区的深部铜金找矿工作取得重要进展，武山层状矽卡岩型矿体向南深部延伸得到证实，围绕武山岩体边界距离 400~500 米的范围内分布有较稳定的块状硫化物型铜矿体；外围铁石坨 - 狮子岛、南港地区 4000 米范围内的深部矿体已基本控制，在武山北矿带深部延伸部分，根据已有钻探工程采用水平投影法初步估算预测资源量，预测武山铜矿外围南港地区新增 334 + 3341 铜资源金属量达 200 多万吨以上[2]，铜资源储量将显著扩大；城门山外围矿体仍向东延伸，金鸡窝矿区深部勘查证实矿体受五通组与黄龙组假整合面和层间破碎带控制，NE 向成行、NW 向成串，并在金鸡窝矿区获得了大型资源潜力[24]的铜资源储量也将扩大；仙姑台地区新发现了大规模斑岩型铜、金、钼矿化(体)，其中上湾矿区和戏子洞矿区估算 333 + 334 铜资源量接近中型规模[2]。已有成果显示这一地区再造一个九瑞的目标完全可以实现。

从岩体推断图(图 2(d))发现，九瑞矿集区武山、城门山、通江岭 - 邓家山 3 处隐伏岩体规模较大，其余岩体分布较散乱，没有形成规模。武山、城门山已经获得新的突破，但通江岭 - 邓家山处存在的超大隐伏岩体，与九瑞地区最著名的两个矿床(城门山、武山)所处的岩体规模相当，其行成了区内西北部磁异常的抬升区，并且其平面所在地理位置也在城门山-武山丰山洞隐伏断裂附近，因此认为该处有比较好的

深部找矿前景[6], 通江岭 - 邓家山处存在的超大隐伏岩体是进一步获得深部资源潜力的突破区。结合区内主要控矿因素以及赋矿层的分布及深部地质结构的认识, 提出东雷湾岩体西部接触带附近, 通江岭岩体 - 猫母山地区以及邓家山周边三处地区, 深部 1000 m~1200 m 左右有赋矿层, 岩浆岩体发育, 深度从 500 m 以下岩浆岩与三叠系 - 二叠系接触部位, 存在矽卡岩型为主的矿化, 1000 m~1200 m 可能存在层状块状硫化物矿体, 并可能出现斑岩矿化, 建议予以关注。

6. 结论

九瑞成矿带深部赋矿层位在 1000 m~1200 m, 推断的中深部岩基和中间岩浆房的位置是封山洞 - 东雷湾、武山 - 赤湖和城门山岩基, 区域性深大断裂组成的菱形网格结点控制矿床(点)分布。

成矿空间主要是晚古生代伸展拗陷的沉积, 中生代强烈岩浆侵入与改造。矿床控制因素受“四带一面”控制, 形成了带内特有的广义矽卡岩型“多位一体”铜金矿床。

九瑞地区基本确定存在海西期海底喷流成矿系统和燕山期岩浆热液叠加 - 改造成矿系统, 成岩 - 成矿作用二个成矿系统双重控制。

海西期海底喷流成矿阶段的时间在 345~328 Ma 之间, 燕山期岩浆热液叠加 - 改造成矿阶段介于 148~138 Ma, 但主成矿后受到煌斑岩和石英斑岩的进一步改造。

深部铜金找矿潜力分析显示这一地区再造一个九瑞的目标完全可以实现。进一步的找矿方向应该在通江岭 - 邓家山一带, 关注东雷湾岩体以西, 通江岭岩体 - 猫母山地区以及邓家山东北地区三处地区。

致 谢

感谢南京地质调查中心邢光福研究员、程光华教授级高工给予的鼓励和支持, 感谢南京大学陆建军老师的指导和帮助, 也感谢项目组的所有同事辛勤工作提供了论文素材。

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项目: 长江中下游成矿带地质矿产调查(项目编码 1212011085420)和华东地区地质矿产调查评价进展跟踪与工作部署研究(项目编码: 1212011220846)的共同资助。

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: 1-76.
- [2] 王先广, 周贤旭, 马振兴, 等. 九瑞地区武山铜矿外围深部找矿进展与方向[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2014, 37(4): 379-386.
- [3] 杨明桂, 王宁发, 曾勇, 赖新平. 江西北部金属成矿地质[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2004.
- [4] 包家宝, 汤树清, 余志庆. 江西铜矿地质[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2002.
- [5] 邓居智, 陈辉, 殷长春, 等. 九瑞矿集区三维电性结构研究及找矿意义[J]. 地球物理学报, 2015, 58(12): 4465-4477.
- [6] 朱威, 王大勇, 刘桂芹, 等. 基于地球物理资料的九瑞矿集区三维地质模型分析[J]. 物探与化探, 2015, 39(5): 915-922.
- [7] 所颖萍. 江西九瑞地区铜金矿的成矿作用与成矿时空结构[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京大学, 2013.
- [8] 邓震, 吕庆田, 严加永. 九江 - 瑞昌矿集区的 3D 结构及对区域找矿的启示[J]. 地球物理学报, 2012, 55(12): 4169-4180.
- [9] 所颖萍, 陈志洪, 匡福祥, 曾勇, 陆建军. 江西九瑞地区铜金成矿的时空结构及演化[J]. 资源调查与环境, 2013, 34(2): 102-108.
- [10] 陆建军, 华仁民, 徐兆文, 高剑锋, 李娟. 安徽铜陵冬瓜山铜、金矿床两阶段成矿模式[J]. 高校地质学报, 2003,

9(4): 678-690.

- [11] 朱威, 王大勇, 王书民, 姚大为, 王刚. 立体地质填图三维建模技术方法与应用研究[J]. 物探化探计算技术, 2016, 38(4): 571-578.
- [12] 杨明桂, 余忠珍, 曹钟清. 鄂东南 - 赣西北坳陷金属成矿地质特征与“层 - 体”耦合成矿模式[J]. 资源调查与环境, 2011, 32(1): 1-16.
- [13] 罗小洪. 九瑞地区中生代埃达克岩及其与成矿关系[J]. 矿床地质, 1999, 25(增刊): 181-184.
- [14] 汪洋, 邓晋福, 姬广义. 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[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 297-311.
- [15] 郭维民, 陆建军, 蒋少涌, 章荣清, 漆亮. 安徽铜陵新桥矿床下盘矿化中黄铁矿 Re-Os 同位素定年: 海底喷流沉积成矿的年代学证据[J]. 科学通报, 2011, 56(36): 3023-3028.
- [16] 蒋少涌, 孙岩, 孙明志, 边立曾, 熊永根, 杨水源, 曹钟清, 吴亚民. 长江中下游成矿带九瑞矿集区叠合断裂系统和叠加成矿作用[J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2751-2761.
- [17] 陈志洪, 邢光福, 郭坤一, 曾勇, 匡福祥, 贺振宇, 柯学, 余明刚, 赵希林, 张勇. 长江中下游成矿带九瑞矿集区(北部)含矿岩体的锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 2011, 85(7): 1146-1158.
- [18] 杨堂礼, 蒋少涌. 江西九瑞矿集区东雷湾矿区中酸性侵入岩及其铁镁质包体的成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学与 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素制约[J]. 地球科学 - 中国地质大学学报, 2015, 40(12): 2002-2020.
- [19] 王道华, 傅德鑫, 吴履秀. 下扬子区中石炭世“沉积 - 海底喷出沉积”层状铜(多金属)矿床稳定同位素特征[J]. 资源调查与环境, 1986.
- [20] 顾连兴, 徐克勤. 江西武山中石炭世海相火山岩和块状硫化物矿床[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1984, 4(4): 91-102.
- [21] 贾丽琼, 徐文艺, 杨丹, 杨竹森, 王梁. 江西九瑞地区宝山斑岩型铜多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2015, 34(1): 63-80.
- [22] 蒋少涌, 丁清峰, 杨水源, 朱志勇, 孙明志, 孙岩, 边立曾. 长江中下游成矿带铜多金属矿床中灰泥丘的发现及其意义——以武山和冬瓜山铜矿为例[J]. 地质学报, 2011, 85(5).
- [23] 邢光福, 卢清地, 陈荣, 张正义, 聂童春, 李龙明, 黄家龙, 林敏. 华南晚中生代构造体制转折结束时限研究 - 兼与华北燕山地区对比[J]. 地质学报, 2008, 82(4): 451-463.
- [24] 李旭辉, 田九玲. 城门山铜矿地质特征及深部三维成矿预测[J]. 金属矿山, 2016, 45(6): 113-116.
- [25] 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.

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