金属矿产(

江西新余铁矿田铁矿成矿地质特征与成因分析

曾书明¹,周建廷¹,王学平¹,刘 川¹,董国臣²

(1. 赣西地质调查大队,江西南昌 330201;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

[摘 要]本文总结了新余铁矿田矿层和含铁岩系变化特征、矿层顶板、底板和含铁岩系标志层特 征以及矿田东、中、西段构造特征,分析了铁矿的沉积成岩作用以及构造演化历史,解释了新余铁矿田的 各种成矿地质特征,并运用系统分析方法和历史分析方法说明矿田成矿地质系统的内在规律,认为该矿 床属于火山-沉积变质铁矿,其物质成分较稳定,体现出规律性的变形特征和演化规律。

[关键词]铁矿 沉积作用 成因分析 新余 江西

[中图分类号]P618 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2011)02-0187-10

Zeng Shu-ming, Zhou Jian-ting, Wang Xue-ping, Liu Chuan, Dong Guo-chen. Metallogenic characteristics and analysis of iron ore deposit in the Xinyu iron orefield [J]. Geology and Exploration, 2011,47(2):187-196.

新余式铁矿是一种变质型铁矿(汤家富等, 1980,1987;胡受奚等,1994;龚建飞,2000),广泛分 布在江西、湖南一带,断续延伸近1000km,典型地区 出露于江西省新余市南部(图1),处于华南加里东 地槽褶皱带北缘之武功隆起区,区内出露地层主要 为青白口系、震旦系和寒武系的浅变质岩(胡受奚 等,1994;殷鸿福等,1999),为一套火山碎屑硅铁质 建造夹类复理石的泥砂质建造(刘鸿允等,1980, 1982),含铁岩系的变质程度属绿片岩相,主要为一 套千枚岩-片岩(图1)。有关新余铁矿的研究很多 (程裕淇等,1979;汤家富等,1980,1987;许温复等, 1983,2006;Li et al., 1984;余志庆等,1989;胡受奚 等,1994;王子贤,1989;Zhai et al., 1996;江西地质 矿产局,1984;江西国土资源厅,1997;龚建飞, 2000),但其成因依然存在争论(余志庆等,1989;刘 鸿允等,1980,1982,1992;谢自谷等,1986)。本文在 新余铁矿勘查、开发资料积累的基础上,重点侧重铁 矿及其组合特征,以及形态产状变化规律,旨在与其 他地质同仁就铁矿勘查、开发技术和实践进行交流。

有关本套前寒武纪含铁变质岩系地层多年来具 有不同的划分,本文采用《江西岩石地层》(江西地 矿厅,1997)的震旦系地层划分方案。 1 含铁岩系地层特征

1.1 矿层厚度、品位及含铁岩系地层变化特征

新余铁矿田主要铁矿层位为震旦系下统杨家桥群 下坊组下段,具有工业矿层层。东起芳洲,西至枫树 下,沿走向延展约60余千米。铁矿层呈鳞片粒状变晶 结构,条带状构造,矿层原始沉积厚度一般2~8m;地质 矿层(指含矿层位,包括绿泥磁铁石英岩、磁铁石英岩、 磁铁镜铁石英岩)一般全铁品位(TFe,下同)15%~ 35%,磁性铁品位(mFe,下同)5%~30%;工业矿层 TFe 平均品位 24~28%, mFe 平均品位 7%~18% (按 TFe 边界品位 20%、工业品位 25% 圈定)。根据矿田内 各个矿区的勘查资料统计,在矿田范围内,矿层原始沉 积厚度在各个矿区并不相同,矿层厚度与含铁岩系地 层厚度正相关(图3),矿层厚度大,全铁品位相对较高, 而矿层厚度薄,全铁品位相对较低。磁性铁品位和全 铁品位也一般呈正相关关系,新余铁矿田中的磁性铁 (mFe)品位、全铁(TFe)品位、工业矿层厚度、地质矿层 厚度和含铁岩系地层厚度可以看成是含铁岩系地层物 质系统逐级放大的不同层次的子系统,本矿田含铁岩 系地层物质系统铁(Fe)的分布具有全息效应(许温复, 1981: 龚剑飞,2000:周建廷等,2007),表现在:

[[]收稿日期]2010-07-25;[修订日期]2010-10-06;[责任编辑]郝情情。

⁻[基金项目]高等学校创新引智计划("111 计划");"成矿动力学基地"(B07011)。

[[]第一作者]曾书明(1956 年–),男,总工程师,高级工程师,从事矿产地质勘查工作。E-mail:dongge@ cugb. edu. cn_ of the constant of



图1 新余铁矿田地质概要图

Fig. 1 Generalized geological map of the Xinyu iron ore field

1-第四系;2-下寒武统牛角河群;3-震旦系下统杨家桥群大沙江组下段;4-震旦系下统杨家桥群下坊组上段;5-震旦系下统杨 家桥群下坊组下段;6-震旦系下统潭头群古家组;7-燕山期花岗岩;8-海西期花岗岩;9-加里东期花岗岩;10-超基性-基性 岩;11-铁矿层;12-断层及推测断层

1-Quaternary; 2-Lower Cambrian Niujiaohe Group; 3-Lower member of Dashanhe Fm. Yangjiaqiao Group, Lower Sino system; 4-Upper member of Xiafang Fm. Yangjiaqiao Group, Lower Sino system; 5-Lower member of Xiafang Fm. Yangjiaqiao Group, Lower Sino system; 6-Gujia Fm. Tantou Group, Lower Sino system; 7-Yanshanian granite; 8-Hysinian granite; 9-Calidonian granite; 10-mafic and ultra-mafic rocks; 11-iron ore bed; 12-fault and inferred fault





Fig. 2 Stratigraphic correlation chart of the iron ore-bearing rock series in Xinyu iron ore field (modified after Tang *et al.*, 1980)

1-石墨千枚岩;2-透闪透辉石岩;3-绿泥石英片岩;4-含磁铁矿绢云千枚岩;5-含锰白云岩;6-绿泥绢云千枚岩;7-含砾云母片 岩;8-含砾绿泥绢云千枚岩;9-含黄铁矿绢云母千枚岩;10-白云质大理岩;11-二云母石英片岩;12-铁矿层

1-graphite phyllite; 2-tremolite-diopsite gabbro; 3-Chl-Q schist; 4-Mt-bearing sericite phillite; 5-Mn-bearing dolomitite; 6-Chl-Se phyllite; 7-gravel-bearing mica schist; 8-gravel-bearing Chl-Se phillite; 9-Py-bearing sericite phyllite; 10-dolomitic mar ble; 11-monzonite quartz schist; 12-iron ore

(1) 矿层与含铁岩系地层的厚度比值(以下称 为矿厚系数)在新余铁矿田内基本保持不变。 (2) 矿层原始沉积厚度与全铁平均品位正相 关,但其比值稍有变化,一般全铁品位变化。 (3) 同一矿区的矿石磁性铁占有率(TFe/mTe) 变化不大,一般全铁含量高磁性铁含量也高(矿区 范围内,不包括氧化矿石)。

1.2 矿层顶板、底板及含铁岩系标志层特征

矿层顶板为含磁铁绿泥千枚岩,深绿色至墨绿 色,靠近矿层含磁铁矿微晶,肉眼难以看见,远离铁矿 层一般磁铁矿迅速减少。矿层底板为含磁铁绢云千 枚岩,一般含似浸染状(星点状)磁铁矿,肉眼可见。 靠近矿层磁铁矿逐渐增多,和矿层磁铁镜铁石英岩过 度接触。底板一般比顶板厚,另外含铁岩系标志层还 包括白云质大理岩、次石墨质绢云千枚岩和含石英碳 酸盐质假砾绢云千枚岩。矿田中不同的铁矿层顶板、 底板及含铁岩系具有明显的标志层特征(表1)。

2 矿田构造系统特征

矿田构造在不同的矿段发育各有特征,可以分 为东、中、西段构造。

经过多年的勘查实践和研究工作,该区已经树 立了地层柱,统一了区内地层层序,即井头至良山区 段,属倒转层序,冶源至洋源之区段,属正常层序,单 层矿"红绸舞式"的褶皱观点已被普遍接受。矿田 东、中、西段构造特征见表2。 新余铁矿田中矿体的不同级别的构造,包括显 微构造、露头小构造,与该区的宏观大构造形态具有 相似性(汤加富等,1980,1987,;戴元裕,1981;许温 复等,1983,2006)。小构造与大型构造的褶皱变形 规律,表现在形态的相似性、方位的一致性(轴面力 图保持平行,脊线趋向一致)、构造形迹组合的规律 性和空间展布的等间距性等方面。以地质系统律和 地质全息律为理论依据,运用系统论思想和系统分 析方法,可通过对矿体小构造和标志层的精细研究, 来推测矿区大型构造和矿体厚度特征,对隐伏矿体 进行预测(周建廷等,1997),主要有:

(1) 矿区大构造是背斜(或背形)还是向斜(或向形),可从露头小构造来进行判断。同期多级组合褶皱群,其包络面和褶皱轴面夹角的锐角指向,显示由背斜(形)两翼向转折端收敛,由向斜(形)转折端处向两翼撒开。究其本质是因为小构造(小系统)与大构造(大系统)的应力作用方式,物质运动方式和变形机制的一致性。

(2)小型褶皱脊线和轴面产状的优选方位和中 至大型褶皱基本相同,小型褶皱群的组合及等间距 特征,亦与中至大型褶皱具有相似特征,这样不仅可 推测大型褶皱构造型式,还可推测矿层在三度空间

标志层	当性特征	矿田分区特征				尼位	
	有任何证	东段	中段	西段	指小作用	运证	
次石墨质千 枚岩	深灰,灰黑色.易污手.次石墨多 见于镜面和裂隙面,夹变质含炭 泥灰岩,炭质绢云千枚岩.	微 量 黄 铁 矿 、 磁黄铁矿	微量黄铁矿	见较多黄铁 矿,含磁黄铁 矿	1.大沙江组与下坊组分界标志 层。 2.指导钻孔布设和圈连。 3.进行地层对比,判别地层层序 和褶皱构造类型。	$\mathbf{Z}_1 d^1$	
白云质大理 岩	灰白色,花岗变晶结构. 局部相变 为石英质大理岩,碳酸盐质绢云 千枚岩.	1 ~ 2m	距矿层 5 ~ 8m,厚2~3m。	1 ~ 2m	1.指导钻孔布设和施工。 2.指导矿体形态圈连。 3.进行地层对比,判别地层层序 和褶皱构造类型。	$Z_1 x f^2$	
直 接 顶 板 (含磁铁绿 泥千枚岩)	深绿色,千枚状构造,下部夹宽为 0.5~1mm的磁铁石英岩条带,含 黄铁矿和磁铁矿,磁铁矿肉眼很 难分辨。	厚度较小,随 着远离矿层磁 铁矿含量迅速 减少。	厚度较小,0.5 ~1m,靠近矿 层含磁铁矿, 远离矿层磁铁 矿含量迅速减 少。	较薄,不含磁 铁矿	1.指导钻孔施工,为标志层 2.对矿体形态圈连起直接的指示 作用。 3.进行地层对比,判别地层层序 和褶皱构造类型。		
直 接 底 板 (含磁铁绢 云千枚岩)	浅灰色, 千枚状,可见星点状磁铁 矿,距矿层2~4m 处见条带状含 磁铁镜铁石英岩,厚0.1~0.8m	厚度较小。	厚度较大。与 上下层过渡接 触。	厚度 越 往 西 越薄。	1.钻孔施工中含矿标志层 2.对矿体形态圈连起直接的指示 作用。 3.进行地层对比,判别地层层序 和褶皱构造类型。	Z ₁ xf ¹	
含假砾石层 (绢 云 千 枚 岩)	岩石为娟云千枚岩,假砾为灰白 色-肉红色,呈豆状,砾状,杆状. 碳酸盐-石英质,含量1%~8%不 等。一般含磁铁矿变斑晶。	东段: 多呈豆 状,含量较少, 厚度较薄。离 矿层约50m。	砾状,杆状,含 量较多厚度 大,离矿层20 ~50m。	多呈豆状,含 量 少,厚 度 薄。离 矿 层 较近。	1. 指导钻孔施工。 2. 指导矿体形态圈连。 3. 进行地层对比, 判别地层层序 和褶皱构造类型。	Z_1g	

表 1 矿层顶板、底板及含铁岩系标志层特征表 Table 1 Features of hanging wall foot wall and iron ore-bearing marker beds

矿田分段	矿区名称				地口口应	复计
		小构造	大构造	断层	地层层厅	奋 注
东段	芳洲		芳洲向斜		倒转层序	多被岩体破坏
	流源					
	砚溪、虹桥					
	良山 太平口 军坊 花桥 九龙山 井头	马鞍形褶皱,等斜褶皱、 轴面产状: 220°~240° ∠15°~40°,脊线 300°~ 40°∠5°~20° 扭褶式褶皱群	黄虎背形:轴面向西 倾斜,西翼比东翼平 缓。	发育柔性断层、韧性 剪切断层,规模几十 米至数百米不等		褶曲轴面组合以前型 侧列为主
中段	鸡公脑 鸡婆寨 长溪,洋源 陂头 背龙山	迭褶式、斜褶式褶皱 群	洋源倒转向形构造, 矿层包络面陡立 向形构造	断层较少、规模较小、 几十米不等	正常层序	褶曲轴面组合以后型 侧列为主
	杨家桥	剑鞘状褶皱,锥状褶 皱,耳状褶皱,扇形褶 皱,同斜和多斜共轭 褶皱群	帽顶庵倒转背斜:两 翼倾向南西西倾角 55°~65°,脊线倾向 145°~150°,倾伏角 24°~30°。	发育柔性断层、韧性 剪切断层 规模几十米至 2500m 不等。		
	松山	石香肠构造,窗棂构 造,总的轴面系统向 南西倾斜,脊线向北 西倾伏。	香炉山背形和香炉山 向形:两翼倾向南西 西脊线倾向北北西。			
	龙头坑					多被岩体破坏
西段	盘坑、长富山口、 山泗大垄下、江 下,冶源、枫树下		江下–山口向斜 枫树下背斜			

表 2 新余铁矿田构造特征一览表 Table 2 Geological structural characters of the Xinyu iron orefield

内的展布格局,对深部矿体进行预测。

(3)可根据比奥特粘性介质中的粘性平板变形 模式主波长公式预测变形岩体的相对粘度和褶皱变 形主波长,从而为变质变形环境提供参考数据。

3 构造演化和成因分析

按大陆边缘演化观点:华南分为扬子、华夏、江 南陆壳改造区。晋宁运动(早期 1050Ma、晚期 800Ma)使得扬子古大陆边缘隆起、固结。加里东运 动(寒武纪末的郁江运动、奥陶纪末的古浪运动、和 志留纪末的广西运动)使得华南地区除钦防残余海 槽外均露出海面。重要的地质事件之一是奥陶纪晚 期赣中南洋壳海槽被沉积填充和挤压褶皱回返,加 里东运动过程就是南华洋消亡(盆地消亡)、南华造 山带形成过程。华南盆地的消亡与华夏板块向北西 漂移、扬于板块随加里东期秦祁洋的消亡向东运动 产生的区域应力作用有关。加里东期华夏与扬子由 北东向南西发生三次幕式拼合,南华小洋盆最终变 为加里东造山带。 铁矿沉积时的岩相古地理为北为江南古陆,南为 沉积海盆-南华洋。前已论述该区受澄江运动的影响, 虽未强烈褶皱形变,但海底地形变化较大,可能形成一 总体北东东向倾向南面的水下隆起,所以含铁岩系地 层沉积成岩之后,其整体产状向南缓倾(图4)。

3.1 郁江运动(加里东运动第一幕)

由于本区处于加里东期板块俯冲带,晚寒武世至 早奥陶世之间的郁江运动时期,在古板块俯冲提供的 巨大应力(接近南北向持续的挤压力)作用下,铁矿层 发生褶皱变形,主轴方位不变,轴面作顺时针方向自上 而下旋转,形成由直立-斜歪-倒转的连续变形,从而神 山倒转背斜由此产生(属弯褶皱到弯滑褶皱)。

倒转背斜形成稍后,在持续向南挤压情况下,由 于地块边界条件发生变化,向南挤压的不均衡性,导 致沿宜春-铅山深断裂带发生近东西向扭动,形成 了北北西向的强烈扭褶带,产生了一系列紧密同斜、 多斜、共轭褶皱系(从磁铁石英岩中可以看出),褶 曲脊线规律性地多向北北西向倾伏,轴面多向南西 倾斜,随着扭动挤压的持续进行,局部地段轴面发生

190

重褶,脊线被扭动进而发育应变滑劈理,并切割层理 和片理,伴随"假砾石"的出现,物质发生塑性流动, 向多重褶皱的转折复合构造部位聚集。有时会产生 一些塑性断裂构造,导致矿层的缺失和地层的错动。 另外此期褶皱形成之前,有一期石英脉的贯入,伴随 着本期褶皱而变形。其褶皱形态和轴面产状与北北 西向紧密褶皱规律相似。此期褶皱发育在神山倒转 背斜的倒转翼上时,可规律地产生一系列小型背形 和向形构造。褶皱是由弯流褶皱到滑劈褶皱,即由强 烈压扁到塑性流变再到剪切滑动。岩石在此次构造 运动中发生巨大的区域变质作用,层理被置换,形成 了轴面片理,原来沉积的砂质、粘土质及铁镁质岩层 变为砂质千枚岩、绢云千枚岩和绿泥石千枚岩、铁镁 质粘土岩及硅铁质岩层则变为绿泥磁铁石英岩、磁铁 石英岩和镜铁磁铁石英岩(磁性铁矿石)。变质过程 中,燧石和铁氧化物(磁铁矿等)发生重结晶,并随着 变质程度加深,各组分颗粒特别是石英颗粒显著加 大。在化学成分基本不变的情况下,通过区域变质作 用,赤铁矿可以完成向镜铁矿的转化,含铁岩系中绢 云母系原岩中粘土质及火山灰等在区域变质作用下 形成,白云母系在绢云母基础上形成。绿泥石由原含 铁、镁较高的泥质物或火山尘变质形成,若温度略增, Fe^{2+}/Mg^{2+} 比值增高时,则可能变成黑云母。少量石 榴石为含锰的粘土岩(形成锰铝榴石)或含铁较高的 火山凝灰质或变中基性熔岩及白云质岩石(形成铁铝 榴石)经区域变质作用形成。少量斜长石系含钠的粘 土岩、火山岩、火山碎屑岩变质形成。

3.2 古浪运动(加里东运动第二幕)

第二期褶皱变形形成之后,相当于崇余运动 (中晚奥陶世之间)或古浪运动(晚奥陶到早志留 世)时期,由于构造运动方向发生变化,自南西西向 北东东方向发生挤压,形成以北西向为主,并向西斜 歪至倒转褶带,且自东向西呈阶梯状下降,属弯褶 皱。此期褶皱,褶轴方位与第二期褶皱变形方位相 似,并明显叠加于第二期北北西向紧密同斜褶皱之 上,褶皱规模多属中型至大型,一般长约4~15km, 宽约1~5km,典型的有黄虎背形、松山向斜、江下-山口向斜及枫树下背斜。地表表现为近南北—北北 西向展布的并向南东或向北西突出的弧形矿带。

3.3 广西运动(加里东运动第三幕)

相当于广西运动(中晚志留世到泥盆纪之间) 时期,该区发生第四次形变,当时地壳运动方向,处 于南北对扭(即江西地壳东侧向北,西侧向南挤压 扭动),形成一系列北东向,向南西倾伏,呈左形侧 列分布的褶带和断裂带。叠加于近东西、北北西及 北西褶带之上,褶皱规模较大宽大于6km,从铁矿展 布格局上看,受北北西褶皱控制的矿带上,出现规律 的向南西突出的弧形弯转和沿北东向出现的铁矿露 头。和此期构造作用密切相关的是武功山混合岩穹 隆(422~392Ma),长轴呈北东向,片麻理向四周倾 斜,交切第三期北北西向黄田、会口向斜,其轴部出 现下寒武的残体。

3.4 后加里东构造旋回

本区在澄江-加里东构造旋回中整个发展阶



图 3 新余铁矿田构造演化示意图 Fig. 3 Geologic structures and their evolution of the Xinvu iron orefield

表 3 铁矿田基底构造变形期次与变质作用岩浆活动地壳运动关系表(据汤加富等,1980 修改)

 Table 3
 Relationship between the basement deformation period and metamorphism magmatism-crustal

vement of the Xinyu iron ore field (modified fr	rom Tang <i>et al.</i> ,1980)
---	-------------------------------

澄江-加里东构造旋回								
事件特征		第二	第二期		一 五		后加里东构造旋回	
		另一期 ——	第一次	第二次	弗二 期	弗四期		
构造系列 特征	褶皱	北东东向大型倒 转褶皱及同走向 次级褶皱	北北西向紧密同 斜褶皱层理被强 烈置换	同轴向同型式的 褶皱被重褶	近南北北西向斜歪 倒转褶皱及次级膝 状褶皱使前期轴面 及片理再褶	北东向开阔大型褶 皱及穹隆状卵形混 合岩隆起前期片理 再褶肠状褶皱等	以脆性断裂为主, 伴有大型隆起和 拗陷	
	面理	局部有顺层结晶 片理	轴面片理似层理	应变滑劈理	破劈理	片麻理破劈理		
	线理	原始线理	石香肠窗棂栅状 构造	交切线理假砾石 扭动擦痕	交切线理	眼球状透镜状构造		
	断裂	同沉积断裂	同褶皱变形的塑 性断裂	同轴向脆性断裂	同轴向	形成后期脆性断层。 规模、方向各异		
变质作用		早期成岩变质作 用	区域变质及压力影 岩绿片岩形成	影矿物出现,千枚	轻度区域变质作用	强烈混合岩化作用	接触变质及动力 变质	
岩浆活动		变形前有海相火山喷发及中酸性火山碎屑岩沉积,第 一期变形后有石英脉侵入,并被第二期褶皱所变形,可 能有岩体的侵入			少量火山喷发和沉 积,可能有花岗岩侵 入	混合片麻岩–花岗岩 形成及花岗岩侵入	各类岩体侵入	
地壳运动		开始于澄江运动((晩寒武世至早奥	早、中震旦世之间) 陶世之间、加里东运	,形成于郁江运动 运动第一幕)	相当于崇余运动(中 晚奥陶世之间)或古 浪运动(晚奥陶到早 志留世)、加里东运 动第二幕	相当于广西运动(中 晚志留世到泥盆纪 之间)、加里东运动 第三幕	│ 海西–印支、燕山、 │ 喜山运动 │	

段,大致是弯→弯滑→弯流(第一、二期变形,柔性 递增系列)→弯滑→弯褶皱(第三、第四期变形,柔 性递减系列)。四期褶皱控制了褶皱基底格局,并 制约了泥盆纪沉积时的古地形和海陆界线,变形所 形成的主要构造形迹,在相邻盖层地区都没有反映, 说明褶皱基底形变形成于澄江-加里东构造旋回 中。本区处于晋宁期-加里东期板块俯冲带,多期 次、多方向、多型式褶皱构造的形成,以及大规模向 南(向洋一侧)倒转和水平挤压,也正是古板块俯冲 提供的巨大应力作用的结果。褶皱基底形成之后, 在海西-印支构造旋回中,褶皱基底已经硬化,其中 的断裂构造及其组合特征,却和盖层断裂型式及形 成机制相似。燕山和喜山构造旋回,以断裂作用为 主。由于断裂切割,矿层完整性、连续性遭受破坏。 沿冶源-井头方位存在多条深大沟谷,基本连成一 线,两边地层层序相反,矿体被错断。野外观测也基 本证实,从冶源-井头存在一个规模较大的断裂,把 新余铁矿田一分为二,致使冶源-井头以西,为正常 层序,冶源-井头以东,为倒转层序。在冶源-井头 以西,由于地壳运动,神山倒转背斜(西部)轴面可 能某种程度上的作逆时针方向自下而上旋转,致使 该区地层层序正常。

mo

后加里东构造旋回,还有各类后期岩体侵入,这样

就破坏了矿体的完整性、连续性,并引发各类接触变质及动力变质作用,千枚岩多角岩化,矿层被切断分割破坏。

4 铁质的来源和铁矿的成因

殷鸿福等(1999)特提斯多岛洋模式认为,华南是 特提斯多岛洋体系的一部分,在早古生代期间它们相 互间以小洋盆及古特提斯洋分开。在震旦纪和早古 生代期间,扬子板块与华夏板块之间在加里东期拼合 之前存在一个洋盆-南华洋。这个洋盆主要存在于中 元古代和新元古代早期,晋宁运动使扬子和华夏在北 段拼接形成北东向的江(山)绍(兴)缝合带,但中、南 段并未闭合,成为残留盆地。至震旦纪时,南华残留 盆地又拉张为小洋盆,估计当时宽 800 余千米。加里 东期华夏与扬子由北东向南西发生三次幕式拼合,南 华小洋盆最终变为加里东造山带。

该区在前震旦纪处于地槽阶段,晋宁运动使北 部(相当于杨子准地台)各江南元古代地体增生,拼 贴到扬子古陆边缘形成江南古岛弧(江南古陆)。 但在该岛弧的南东,大致在宜春-铅山深断裂之南, 仍然是一个海盆-南华洋,继续接受晚元古代到早 古生代的地槽型沉积(图4)。

晚元古代青白口纪(南华纪)是在中元古代早 期地槽沉降的基础上进一步发展和继承性沉降的,



Fig. 4 Stratigraphic paleogeographic map in early Sinian epoch ice age of the middle and northern Jiangxi

province

1-古陆界限;2-一级深断裂;3-二级深断裂;4-沉积等厚线;5 -水下隆起;6-侵蚀剥蚀地区;7-上下冰碛分布区;8-硅铁沉积 区;9-含锰沉积区;10-前震旦纪火山活动区;11-早震旦世火 山活动区;12-中震旦世火山活动区;13-古火山口;14-陆源物 质供给方向

1-Paleo-continental boundary; 2-first-order deep faults; 3-second -order deep faults; 4-sediment contour; 5-uplift under sea water level; 6-erosion area; 7-upper and lower glacial drift area; 8-Si-Fe sedimentary area; 9-Mn-bearing sediment area; 10-Pre-Sinian volcanic activity; 11-Early Sinian volcanic activity; 12-Middle Sinian volcanic activity; 13-ancient crater; 14-direction of terrigenous sediment supply

因而形成了一套厚约数千米的以复理石建造为主的 神山组。神山组不仅赋存有大量的凝灰物质。而且 具有清晰的韵律层,并发育有水动力拖曳所形成的 微细水平纹理和浊流早期阶段所形成的序粒层,同 时还见有滑塌作用所形成的泥粒,属典型浊流沉积。 澄江运动(雪峰运动)是加里东地槽发育过程中的 一次较强烈的地壳上升运动,在深断裂以北,江南古 岛弧继续隆起,深断裂以南,导致区域性海退,出现 震旦系早世古家组与青白口系上施组之间的假整 合。该区受澄江运动的影响,虽未强烈褶皱形变,但 海底地形变化较大,可能形成一东西向倾向南的水 下隆起,加里东地槽发育之初,地壳处于强烈沉陷阶 段,伴随深断裂(大致与俯冲带平行的断裂带)产生 的强烈差异运动,导致幔源物质大规模喷溢。

全球板块构造理论的创始人之一 Morgan 于 1971 年首次提出热幔柱的概念,现在我们都认为地球深部

核幔边界附近的高温低粘度层(D层)可以产生柱状 上升的热物质体。热物质体在经过地幔达到冷的岩 石圈时,顶部常呈喇叭形张开,形成一个具有球状顶 冠和狭窄尾柱的热物质体构造—热幔柱构造。热幔 柱巨大的球状顶冠在上升过程中可以引起地壳上隆 和大规模溢流玄武岩火山作用(大陆或大洋溢流玄武 岩),并且可以造成区域变质作用,地壳熔融作用及不 同规模地壳伸展。随上覆板块运动,热幔柱狭窄的尾 柱会产生一系列热点火山链。地质历史时期中全球 气候变暖问题,原来一直用大陆的重新配置即古地理 位置因素予以解释(Frietsch, 1978),但 Caldeira 和 Rampino(1990)的计算模拟表明,仅用古地理因素不 足以解释古温度异常的幅度,但如果将古地理和周期 热幔柱释放的 CO。所引起的温室效应因素综合考虑, 可使温度上升 7.6~12.54℃。地幔柱强烈活动所引 起的全球气候变暖的一个结果是海平面明显上升,故 Larson(1991)认为,海平面明显上升是同期全球超级 热幔柱活动的间接效应。

因此,震旦纪早世晚期,气候转暖,冰雪消融,海水 量大大增加,从而形成早震旦世晚期的广泛海侵,在这 一高低起伏不平的海盆地中,沉积了厚达数千米以复 理石建造为主的下坊组和大沙江组(形成了含铁硅质 建造)。据其富含有机物质和发育条纹状构造分析,应 为沉积于古陆边缘潮坪和浅海静水条件下的沉积产 物。这种环境,不仅有利于生物的大量繁殖,而且也是 铁锰物质易于沉淀富集的主要场所。在其海盆北部的 边缘地区,尚有少许来自北侧大陆的冰水沉积,因而在 武功山地区下坊组底部,可见冰川海洋沉积的含砾板 岩,并由西向东,由北向南递减和消失。

所谓南华洋应为南部与原特提斯洋相连,深入 内陆的弧后裂谷盆地,为弧后盆地-岛弧-海沟型的 敛合型板块俯冲边界。其应力状态是挤压的,故地 壳强烈变形,伴有大量岩浆活动,幔源物质大规模喷 溢。新余式铁矿系变质火山—沉积成因,前人根据 含铁岩系地层特征和物质组份的各项分析结果判定 其铁质来源主要为海底火山喷发活动,证据有:

(1) 据江西省地矿局 902 队资料,80 个含铁岩系的分析数据,按尼格里计算并作图解,大部分岩样投影入岩浆岩区,少部分落入粘土沉积岩区。

(2)在新余良山铁矿层上下岩系均含较多凝灰 质成份,同时在铁矿层层位之下不远,还见有层状或 似层状的变玄武玢岩。

(3) 吉水井头等地铁矿层位之下浅变质岩系中 夹有中基性熔岩和火山碎屑岩。火山岩含铁量很高,多数大于10%,矿物成分中也含有较多的褐铁 矿、赤铁矿、和火山玻璃。

(4) 铁矿层含氟较高,如杨家桥、良山等地铁矿含氟 0.8%。

(5) 化学成分比值: SiO₂/Al₂O₃ 为 9.8 ~
19.92; TiO₂/V₂O₅ 为 8.3 ~ 24.56; TFe/(CaO+MgO) 为 4.89 ~ 12.20; Na,O/K₂O 为 3。

(6)磁铁矿单矿物光谱分析成果(ppm):Ni 89
~227、Cu 24~90、Pb 36~50、Zn 70~148、Ge 3.3~
4、Ga 7~16;磁铁矿单矿物激光光谱分析成果(%)
Ni 8.02、Co 2.93、Cr 2.10、Fe 49.2、Mg 1.006、Mn
1.08、Ti 0.38、Ca 3.84(江西省区域地质志,1984)。

铁质的运移方式可能通过火山物质的水解、火山热液和火山喷气作用、火山雨的淋漓作用或通过 火山作用生成的铁质直接进入沉积物中。火山物质 被水解出的铁质及火山喷气作用所带来的铁质为铁 矿沉积区提供了大量的铁质和硅质来源,同时火山 喷出的大量酸性气体,使海水酸化,PH 值可达 4 以 上,从而使溶铁量极低的正常海水变成溶解有大量 铁质的良好载体,海水中的铁主要以胶团的胶体溶 液形式与 SiO₂ 的溶液一起共存和迁移,因此铁矿石 中普遍出现似浸染状构造、条带中的石英粒状镶嵌 结构就是其原始胶团变质重结晶的证据。当然也有 极少量的铁质以磁铁矿碎屑的形式出现,直接进入 较近火山源的矿层中(杨家桥矿区),也有少量陆源 铁质呈溶液及微粒悬浮状态,混同陆源碎屑粘土物 质迁移到沉积海盆地。

铁硅进入溶液后,含铁量较高的酸性海水由海 盆区向陆源区运移,特别是遇上了新鲜海水时,两者 就产生了较大的浓度梯度、氧化还原电位梯度及酸 碱性梯度。物质的相对平衡条件就被破坏,于是大 量的铁硅就被析离出来。铁硅凝聚沉淀时,硅是以 硅胶形式(含水二氧化硅)沉淀,铁可以高价氧化物 Fe(OH)₃形式出现,也可以含水的 Fe²⁺和 Fe³⁺胶团 形式出现。还可以铁的硅酸盐、碳酸盐、硫化物形式 出现,实际上铁的硅酸盐、碳酸盐、硫化物在含铁岩 组均有出现。铁矿物与 SiO₂ 胶体基本上是同时沉 积,所以磁铁矿、镜铁矿、和原生黄铁矿在石英中呈 似浸染状构造。磁铁石英岩中铁、硅密切伴生,多成 连体及筛状结构,但未发现石英与磁铁矿、磁铁矿与 镜铁矿之间互相交代现象,这也说明铁矿物与 SiO₂ 胶体基本上是同时沉积。

实践证明,SiO₂的凝胶在水体中沉淀过程非常 缓慢,IO. H. Meл' bHNK 指出甚至可以达一年之 久,而铁的沉积却迅速得多,可想而知,这种铁首先 迅速沉积就早就了相对富铁的黑色条带,而 SiO₂ 持 续沉积则形成了 SiO₂ 相对集中的白色条带。两者 因时间稍有差异而相间出现,但为什么黑白相间条 带周期性地重复出现呢,我们认为这是溶液中的铁、 硅在沉积后又被周期性地补给所决定的。而周期性 的补给条件又取决于多期次的火山喷发和由沉积海 盆区的地壳震荡运动所造成的沉积介质条件变化。 上述沉积作用发生的同时,陆源物质可以平行地进 入沉积物,参与形成以胶体铁硅质为主的原始沉积。

随着沉积作用的持续进行,上覆岩层的压力越 来越大,又因地热增温作用,所处的环境温度也越来 越高,原始沉积物质中的一些流体大量流失。含水 的 Fe²⁺和 Fe³⁺胶团脱水后直接形成磁铁矿,高价铁 的氢氧化物变成针铁矿,针铁矿经脱水作用变成赤 铁矿,其他的原生铁矿物还有少量的菱铁矿、黄铁 矿、铁硅酸盐。由于温度上升(一般小于 200°C)和 压实作用,挥发份也基本逸出,岩石由此形成。

根据含铁岩组所反映的火山沉积旋回、地球化 学旋回比较完整,岩性系列、原生铁矿相系列稳定, 铁矿呈稳定层状延伸和厚度、品位变化不大等特征, 说明沉积时,地壳处于相对稳定阶段,虽然地壳仍有 多次火山喷发,但并未引起边缘海盆区质的变化。 当时大洋中应该存在热点火山链或孤立火山岛屿 (热幔柱作用的结果),边缘海盆区复杂的古地理面 貌,在不同的古地理单元,有不同的沉积特征:

在近古岛弧区水动力条件较强,氧化势能较高, 其含铁岩组、矿层厚度变化较大,岩性岩相系列不明 显,以原生氧化铁矿相为主,并见有交错层理。

(1)在近古岛弧区(板块俯冲带)水动力条件 较强,氧化势能较高,其含铁岩组、矿层厚度变化较 大,岩性岩相系列不明显,以原生氧化铁矿相为主, 并见有交错层理,形成萍乡一带铁矿。

(2) 在火山机构附近,可能是水下隆起区,含铁 岩组中有厚层火山熔岩,但凝灰岩、含铁岩组、铁矿 层较薄,以吉水井头、分宜长富一带铁矿为典型。

(3) 在两者之间,处于平缓和半封闭的有相对平静 的水体的浅海海盆,则沉积了延伸较大,厚度稳定,较厚 的条带状铁矿,典型代表为安福杨家桥、洋源铁矿。

(4) 在海盆区边缘,火山物质较少,补给又不充分,含铁岩组、铁矿层较薄、品位相对较低,如宜春枫树下、江下一带铁矿。

在铁矿形成之后,地壳活动渐趋平静,火山活动 减弱,致使铁矿层上部出现较多的正常沉积夹层,沉 积物中的火山碎屑物质也逐渐减少,晚震旦世后到 下古生代基本上均为陆源沉积。

综上所述,震旦纪早世,地壳缓慢下降,气候转

194



Fig. 5 The sketch showing variation of the iron ore sedimentary environments

暖,冰雪消融,海水量大大增加,从而形成中震旦世 的广泛海侵,沉积了一套以浅海相泥硅质和碳酸盐 建造为主的正常的海水沉积硅铁建造。在沉积过程 中,海水不断加深,迅速由氧化--半氧化环境转变为 还原环境,致使矿层厚度不大,品位不高(图5)。其 沉积的地球化学环境由氧化相-弱氧化相-弱还原 相-还原相的演变过程。由此可见新余铁矿田含铁 岩系物质系统的多层次重演,其内在本质是成矿物 质来源和成矿作用方式大体受相同因素所控制,即 受同沉积时的地壳运动,盆地(古洋壳)沉降,物质 供给铁质运移方式,沉积古地理及古气候条件,物理 化学条件以及区域变质作用方式等控制。新余铁矿 田含铁岩系物质系统的多层次重演是其成矿作用系 统多层次重演的必然结果。

5 结论

(1)新余铁矿田主要铁矿层位为绿泥磁铁石英岩、磁铁石英岩、磁铁石英岩、磁铁镜铁石英岩,呈鳞片粒状变晶结构,条带状构造,矿层原始沉积厚度一般2~8m,矿层原始沉积厚度与全铁平均品位正相关,但其比值稍有变化,品位一般TFe15%~35%,mFe5%~30%;

(2) 矿层厚度与含铁岩系地层厚度的比值基本 保持恒定,同一矿区的矿石磁性铁占有率(TFe/ mTe)变化不大。

(3) 矿层顶板为含磁铁绿泥千枚岩,深绿色至 墨绿色,靠近矿层含磁铁矿微晶,远离铁矿层一般磁 铁矿迅速减少。矿层底板为含磁铁绢云千枚岩,常 含似浸染状磁铁矿。靠近矿层磁铁矿逐渐增多,和 矿层磁铁镜铁石英岩过渡接触。矿田中不同的铁矿 层顶板、底板及含铁岩系具有明显的标志层特征。 (4) 矿田经历多期次、多方向、多型式褶皱构造 改造,在矿区范围内,岩石标本的显微构造、手标本、 露头小构造与该区的宏观大构造所处的变形环境相 同,小构造(小系统)与大构造(大系统)的应力作用 方式,物质运动方式和变形机制一致,所以新余铁矿 田小构造与大型构造的褶皱变形规律,表现在形态 的相似性、方位的一致性(轴面力图保持平行,脊线 趋向一致)、构造形迹组合的规律性和空间展布的 等间距性等方面。其本质在于新余铁矿田构造系统 是在同一物质系统(震旦系含铁岩系地层)在同一 成矿作用系统、同一动力作用方式相似变形机制下 形成的有生成联系的全息体,究其本质是因为小构 造(小系统)与大构造的应力作用方式,物质运动方 式和变形机制的一致性。

致谢 本研究是在高等学校创新引智计划 ("111 计划")、"成矿动力学基地"(B07011)、核资 源与环境教育部重点实验室开放基金和国家自然科 学基金项目(No:40672044,40473020,40503005) 资助下完成的。

[References]

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province. 1984. Regional Geology of Jiangxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House: 766-767 (in Chinese)
- Cheng Yu-qi, Chen Yuan0-chuan, Zhao Yi-ming. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1: 32-58(in Chinese).
- Dai Yuan-yu. 1981. Envelope-surface application of folds in geological exploration [J]. Geology and Exploration, 12: 21-24 (in Chinese with English abstract)
- Department of Land and Resources of Jiangxi Province. 1997. The litholigical stratigraphy of Jiangxi Province[M]. Beijing; Geological Publishing House; 20-90(in Chinese)
- Frietsch R. 1978. On the magmatic origin of the iron ores of the Kiruna type[J]. Economic Geology, 73:478–485
- Gong Jian-fei. 2000. Preliminary study on fold and production practice at the LiangShan Iron Mine, Xinyu [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Metallurgy, Chinese Academy of Sciences: 1-50 (in Chinese with English abstract)
- Hu Shou-xi, Guo Ji-chun, Ye Ying. 1994. On the relationship between Precambrian mineralization and geo-dynamics[J]. Progress In Precambrian Research, 03: 1–16 (in Chinese)
- Li B. L, Xie Y. H. 1984. The origin, classification and genesis model of the Ningwu type iron deposits in the Nanjing and Wuhan area[J]. Sin. Sin. B. 1:80–86
- Liu Hong-yun, Dong Rong-sheng, Li Jian-lin, Yang Yan-jun. 1980. Problem of classification and correlation of the Sinian System [J]. Chinese Journal of Geology, 04:307-321 (in Chinese with English abstract)
- Liu Hong-yun, Dong Rong-sheng, Qi Zhong-lin. 1982. Discussion a-

bout some problems of the Sinian System [J]. Chinese Journal of Geology, 03:264-273 (In Chinese with English abstract)

- Liu Hong-yun, Li Yue-jun. 1992. On the age and regional correlation of Banxi Group[J]. Scienti Geologica Sinica. Supplement:1-16 (in Chinese with English abstract)
- Tang Jia-fu, Fu He-qin, Yu Zhong-qin. 1987. The horizon, type and formation conditions of the late Precambrian banded iron ores in south China[J]. Mineral Deposits, Vol. 6, No. 1: 1-10 (in Chinese with English abstract)
- Tang Jia-fu, Zhu Jia-an. 1980. The geological characteristics, distributing and potential target of iron deposits in Jiangxi Province [J]. Nanchang: Institute of Geological Sciences in Jiangxi Province, 42-108 (in Chinese with English abstract)
- Wang Zi-xian. 1989. Introduction to geological philosophy. Wuhan: China University of Geoscience Press:55 (in Chinese with English abstract)
- Xie Zi-gu, Mei Cai-xiang, Wang Jian-guo, Fu Qing-dong. 1986. A discussion on multi-layered Xinyu type iron deposits in central Jiangxi[J]. Mineral Deposits, Vol.5, No.1: 88-96 (in Chinese with English abstract)
- Xu Wen-fu, Chen Feng, Tang Qi-hang. 2006. Structure analysis during the Exploration for Xinyu Type Iron Deposits: Case study [J]. Journal of East China Institute of Technology, supplement, 205 (in Chinese)
- Xu Wen-fu, Wang Rrn-gen. 1983. Research on small scale structures during exploration of the Xinyu type iron deposits in Central Jiangxi Province[J]. Jiangxi Geology and Geosciences, 58: 18-29 (in Chinese)
- Xu Wen-fu. 1981. The similarity of the width ratio[J], Geological Association of Jiangxi Province, 8:5 (in Chinese)
- Yin Hong-fu, Wu Shun-bao. 1999. South China Defined as Part of Tethyan Archipelagic Ocean System [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 01:4-13 (in Chinese with English abstract)
- Yu Zhi-qing, Tang Jia-fu, Fu He-qin, 1989, Geological features and origin of the Xinyu type Iron deposit[J]. Ore Deposit Geology [J], Vol. 8, No. 4: 1-10 (in Chinese with English abstract)
- Zhai Yu-sheng, Xiong Yong-liang, Yao Shu-zhen, Lin Xin-duo. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the eastern Yangtse Craton, east central China[J]. Ore Geology Resiews, 11:229–248

Zhou JT, Wang XP, Liu C. 2007. The Geological System Law and Geo-

logical Holographic Law in Xinyu Iron Ore Field[J]. Journal of East China Institute of Technology, 3:211 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,1979,初论矿床的成矿系列问题[J],中国 地质科学院院报,第1号,32-58
- 戴元裕. 1981. 包络面在地质勘探中的应用[J]. 地质与勘探, 12:21-24
- 龚剑飞.2000. 新余良山铁矿矿区褶皱构造规律与生产实践初探 [D]. 上海:中国科学院上海冶金研究所:1-50
- 胡受奚,郭继春,叶 瑛.1994.前寒武纪成矿作用与地球动力学的关 系[J].前寒武纪研究进展,03:1-16
- 江西地矿厅.1997.江西岩石地层[M].北京.地质出版社:20-90
- 江西地质矿产局.1984. 江西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社: 766-767
- 刘鸿允,董榕生,李建林,杨彦均.1980.论震旦系划分与对比问题 [J].地质科学,04:307-321
- 刘鸿允,董榕生,戚中林. 1982. 震旦系有关问题的讨论[J]. 地质科 学,3:264-273
- 刘鸿允,李曰俊.1992.论板西群的时代归属与地层对比[J].地质科 学(增刊):1-16
- 汤加富,符鹤琴,余志庆.1987.华南晚前寒武纪硅铁建造的层位、类型与形成条件[J],矿床地质,6(1):1-10
- 汤加富,朱家安.1980. 江西省铁矿地质特征分布规律与找矿方向 [M]. 南昌:江西地质科学研究所:42-108
- 王子贤. 1989. 地质哲学概论[M]. 武汉:中国地质大学出版社:55
- 谢自谷,梅才湘,王建国,付清东.1986,关于赣中新余式铁矿多层次 (位)的讨论[J],矿床地质,5(1):88-96
- 许温复.1981,褶皱幅宽比相似律[J]. 江西省地质协会论文集(构造 地质专集),8:5
- 许温复,陈 峰,汤其鸿. 2006.构造剖析在新余式铁矿勘查中的应 用实例[J].东华理工学院学报(增刊):205
- 许温复,王仁根.1983.赣中新余式变质铁矿勘查过程中的小构造研 究[J].江西地质科技动态,58:18-29
- 殷鸿福,吴顺宝.1999.华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J].武 汉:地球科学-中国地质大学学报,01:4-13
- 余志庆,汤家富,符鹤琴.1989."新余式"铁矿地质特征及其成因 [J].矿床地质,8(4):1-10
- 周建廷,王学平,刘 川.2007.新余铁矿田中的地质系统律和地质全 息律[J].东华理工大学学报.3:211-216

Metallogenic Characteristics and Analysis of Iron Ore Deposit in the Xinyu Iron Orefield

ZENG Shu-ming, ZHOU Jian-ting, WANG Xue-ping, LIU Chuan

(West Jiangxi Geological Team, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Nanhang, Jianxi 330201)

Abstract: This paper summarized the characteristics of the iron ore beds and the iron ore-bearing rock series, the top and floor of the beds, the marker beds of the iron ore-bearing rock series as well as the structures of the eastern, middle and western parts of the Xinyu iron ore field. The sedimentation, diagenesis and the tectonic evolution of the iron ore fields have been studied, and the various ore-forming geological features have been described. The inherent features of the ore-forming geological system in the ore field have been explained by the application of system analysis methods and methods of historical analysis. It is considered that the ore deposits as a volcanic-sedimentary meta-ore type presented clear regularly deformation and evolution with less-changed composition and bedding.

Key words: iron deposit, sedimentation, origin analysis, Xinyu, Jiangxi