

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2016.04.003

扬子地块西南缘前寒武纪铜多金属矿床及成矿系列

宋昊¹,倪师军¹,张成江¹,徐争启¹,宋世伟¹,汪德文²

(1. 成都理工大学, 成都 610059; 2. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院, 昆明 650051)

摘要: 文章在分析扬子地块西南缘与前寒武纪铜多金属矿床成矿特征及与有关的重大地质事件的基础上,研究了区域成矿作用与重大地质事件的响应,划分了区域金属成矿系列,较详细地论述了主要成矿系列的组成及成矿规律,总结了扬子地块西南缘前寒武纪铜多金属矿床及成矿系列。认为本区成矿作用属于多期次成矿,至少可以分为前期预富集作用及两次大的成矿作用(古元古代成矿作用和中元古代成矿作用),以及若干个小的成矿作用;1.7 Ga—1.5 Ga、1.1 Ga—1.0 Ga、中新生代是3次规模、强度较大的铜矿成矿作用,形成了研究区内规模较大的诸多铜多金属矿床。

关键词: 成矿系列;铜多金属矿床;扬子地块西南缘;前寒武纪

中图分类号: P612, P618.4 **文献标识码:** A

0 引言

扬子地块西南缘是我国前寒武纪地层出露较多、较完整的地区之一,是进行前寒武纪地质和成矿作用研究的重要地区。区内出露的前寒武纪地层中赋存的铜-铁矿床以矿床个数多、规模大、伴生多金属成矿等特征,受到国内外矿床地质学者的广泛关注^[1-5]。

研究区属于传统的扬子西南缘“康滇地轴”铜矿带,是我国著名铜多金属矿床集中区和铜产区之一,分布着拉拉-大红山式火山岩型、东川-易门式白云岩型、滥泥坪式砂砾岩-白云岩型和大姚-牟定式砂岩型铜矿床,特别是以元古宇钠质火山-变质作用有关的铜多金属矿规模大,成矿潜力好。典型矿床包括分布于大红山地区的海相火山岩型铁-铜矿床、拉拉海相火山岩型铜-铁矿床等,分别称为大红山式和拉拉式^[5]。其中,拉拉、大红山等矿床的成矿地质特征具有代表性,且铜铁资源量丰富,并伴生有 Au、

Mo、U、Ag、Co、REE 等组分,因而具有重要的研究意义。

矿床成矿系列是指在一定的地质时期和一定地质时空域中,在主导的地质成矿作用下形成的,由控制矿床形成、变化和保存的全部地质要素和成矿作用过程,在时空和成因上有密切联系的一组矿床类型的组合。根据成矿作用的级次,成矿系列可以划分为不同的层级,如系列、亚系列、矿床式等^[6];重大地质事件是确定成矿系列的最主要依据,在具体某一地区,一般都对应于一次大的地质事件^[7]。本文在分析扬子地块西南缘与前寒武纪铜多金属矿床特征及与成矿有关的重大地质事件的基础上,划分了区域金属成矿系列,较详细地论述了主要成矿系列的组成及成矿规律。

1 区域成矿地质背景

研究区属于传统的“康滇地轴(西昌—滇中地区)”,是我国著名的经向构造带,北起四川攀枝花,

收稿日期: 2015-04-03; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 中国地质调查局“西南地区主要成矿带铜铁金多金属找矿模型与勘查方法技术综合研究项目(编号:12120113095500)、科技部 973 项目(编号:2015CB453000)、中核集团项目“西南地区深部地质过程与铀成矿作用研究”联合资助。

作者简介: 宋昊(1986—),男,博士,讲师,主要研究方向为矿床地球化学。通信地址:北四川省成都市成华区二仙桥东三路1号,成都理工大学;邮政编码:610059;E-mail:songhhao@Yeah.net

南至元江(图1);按板块学说的观点,本区属扬子古板块川滇岛弧带的西南缘(简称扬子陆块西南缘)。其地质构造复杂,矿产丰富,是我国著名铜矿床集中区和铜产区之一^[8]。

区内的大红山群、河口群较早被厘定为古元古代地层,基本没有争议。河口群的形成时代也被限定为更老的古元古代晚期 1 817 Ma~1710 Ma^[11];大红山群沉积可能起始于 1 711 Ma,其沉积时代 1 711 Ma~1 659 Ma^[12]。随着地质年代学(岩浆岩及地层年代学)研究的进展,曾经被确定为较新的地

层单元又被重新厘定为古元古代地层:东川群的沉积年龄被限定为古元古代晚期 1 740 Ma~1 690 Ma^[13];而迤纳厂矿床的主要赋存层位为迤纳厂组,虽然曾被认为属于较新的中元古代地层下昆阳群(东川群),但综合本文研究及前人近年来的研究成果,除空间位置属不同地区,迤纳厂组与河口群、大红山群的时代基本一致,很可能是同一地质时期形成的不同成分的地层单元^[9],特别是其成矿年龄测试结果为 1 617 Ma±100 Ma^[10]、1 690 Ma±99 Ma^[9],表明迤纳厂组也是古元古代地层。因此,东川群、大红山群、河口群基本属于 1.7Ga±,为古元古代基本同时期的地层;它们共同证实了扬子地块西缘古老结晶基底的存在^[12]。

笔者通过跟踪最新的研究动态,结合本次对河口群、大红山群的地质年代学工作,同时综合近年来不同学者对大红山群、东川群、昆阳群等的研究成果^[13-17],重新梳理了本区存在争议的前寒武系含矿层位(图2),认为昆阳群(黄草岭组、黑山头组、大龙口组、美党组)与会理群同属于 0.9 Ga~1.1 Ga 的沉积地层;东川群(含东川地区的东川群、汤丹群、滇中地区的下昆阳群、迤纳厂组等)虽然岩性组合与滇中地区昆阳群、会理群类似、变质程度均较低,但沉积时代为古元古代晚期至中元古代早期^[18-19],与河口群、大红山群相同,应该属于同一时期(1.5 Ga~1.8 Ga)不同沉积相的地层(古元古界(代)与中元古界(代)之间的界线年龄采用国际上的全球标准地层

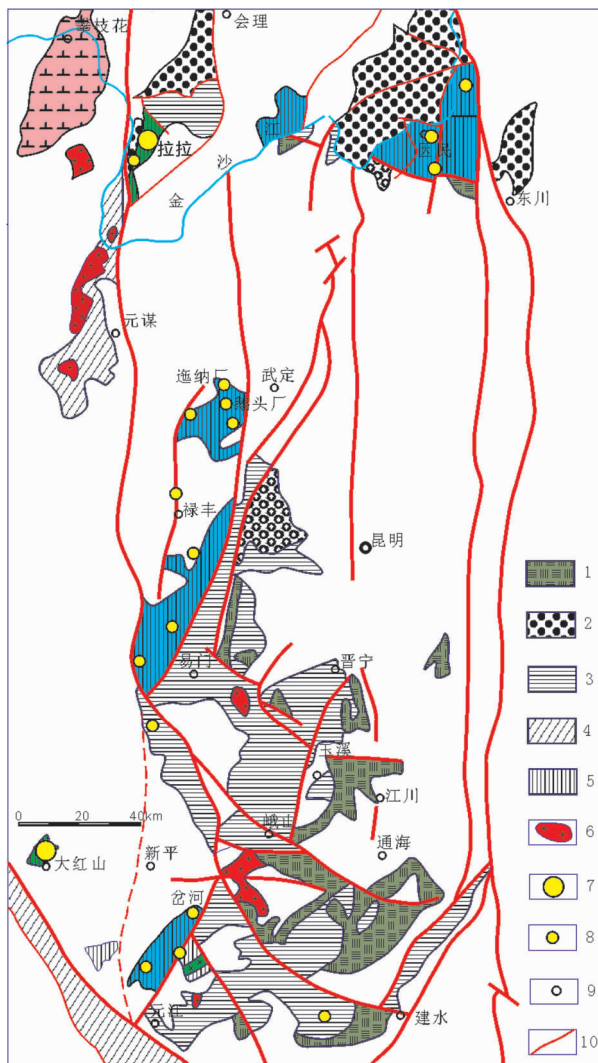


图1 扬子西南缘地质构造及主要铜铁矿分布图

(据文献[1-4]修编)

Fig.1 Map showing geological structure and distribution of iron deposits and Cu deposits at the southwest margin of Yangtze block

1. 上昆阳群;2. 中昆阳群;3. 下昆阳群;4. 苴林群;
5. 大红山群、河口群、东川群;
6. 花岗岩;7. 大型矿床;8. 中小型矿床;9. 城镇;10. 断裂

大红山	会理	滇中	东川
震旦系	灯影组	灯影组	灯影组
	观音崖组	陡山沱组	陡山沱组
	列古六组	南沱组	南沱组
	苏雄组	澄江组	澄江组
大红山群	会理群	天宝山组	美党组
		凤山营组	大龙口组
		力马河组	黑山头组
	河口群	顶沉积变质岩段	黄草岭组
		上火山变质岩段	小河口组
		上沉积变质岩段	绿汁江组
		下火山变质岩段	青龙山组/绿汁江组
	东川群/迤纳厂组	落雪组	黑山组
		因民组	落雪组
		因民组	因民组
哀牢山群/底巴都群	康定群	苴林群	

图2 扬子西南缘元古代地层简表

(据文献[2-4, 13-17]等资料综合)

Fig.2 Abbreviated list of Proterozoic stratigraphy

年龄 1 600 Ma,下同)。因此,河口群、大红山群和东川群同属于古元古代晚期较大规模的拉张环境下,在断陷环境中沉积的与大规模岩浆活动同期的沉积地层^[20]。

2 区域矿产特征

扬子地块西南缘地质构造复杂,岩浆作用、变质作用叠加在沉积作用之上广泛发育,这为区域金属矿产资源的形成提供了较为有利的条件。其中,在区域古老基底形成阶段所形成的康定群、河口群、大红山群、东川群、会理群、昆阳群、盐边群等,是铜、铅、锌、金、银矿床的重要赋矿建造,而且被认为是本区的原始矿源层,与成矿具有非常密切的成因联系。因此,此研究区形成了我国重要的铁、铜多金属大型矿集区,在我国钢铁和有色、贵金属工业发展中处于举足轻重的地位。

研究区内产出的矿种之多、矿化之集中、矿床类型之复杂,长期以来,备受关注。从已发现的矿床(点)分析,主要可以分为以下五类成矿系统及其亚系统:

(1)元古宇与火山—沉积—变质作用有关的铁铜多金属成矿系统(本论文的主要研究对象)。包括沉积—变质铜矿成矿亚系统和海相火山岩型铁—铜成矿亚系统(本论文的主要研究矿床)。铁铜矿床主要分布于古老基底岩系之中;以安宁河断裂为界可以分为两部分,其中东侧主要以浅变质的东川式为主,西侧多以海相火山沉积—变质成因为主。

(2)晋宁—澄江期与岩浆—热液有关的成矿系统。此成矿系统又可以分为与偏碱性花岗岩类有关的钨钼类成矿亚系统、与镁铁—超镁铁岩体有关的铜、镍、铂族等元素组合为主的成矿亚系统、与中酸性侵入体有关的锡多金属类成矿亚系统。

(3)新元古代—早古生代沉积—改造型为主要类型的铅锌多金属成矿系统。其进一步又可分为火山沉积—热液改造铅锌成矿亚系统,热水沉积—改造层间破碎带型铅锌为主的成矿亚系统。

(4)峨眉火成岩省成矿系统。进一步又可分为与深成层状镁铁—超镁铁杂岩体有关的铁—钽—钽成矿亚系统、与超浅成镁铁—超镁铁岩体有关的铜—镍—铂族元素成矿亚系统,与花岗岩—碱性岩系有关的稀有金属成矿亚系统,与峨眉山玄武岩浆活动有关的热液成矿亚系统。

(5)喜马拉雅期构造—岩浆—流体活动成矿系统。包括与碱性岩有关的稀土成矿亚系统,与富碱斑岩有关的斑岩型铜—钼—金多金属成矿亚系统,与动(热)变质作用有关的韧性剪切带型金成矿亚系统。

其中,本区与元古宇火山—沉积—变质作用有关的铜多金属矿集中分布在“双会”(会理和会东县)、东川和滇中地区。典型矿床包括拉拉地区海相火山岩型铁—铜矿床、大红山地区的海相火山岩型铁—铜矿床、东川—易门地区的沉积—变质铜矿床等,分别称为拉拉式、大红山式、东川式。

本区与元古宇火山—沉积—变质作用有关的铜多金属矿产可以根据地质特征分为以下 2 种成矿亚系统(表 1)。

表 1 扬子西南缘前寒武纪矿床类型划分
Table 1 Classification of the Precambrian ore deposits in the southwest margin of Yangtze block

类型	亚类(矿床式—亚式)	层位	实例
海相火山岩型铜矿	海相火山岩浸染状铜矿(大红山、拉拉式)	大红山群、河口群落幽组	大红山、拉拉落幽、老羊汉滩
	海相火山岩铁—铜矿(稀矿山式)	东川群因民组中下部	东川稀矿山、黎溪铜矿、通安腰棚子—香炉山
	海相火山岩铜—金矿(小青山—小溜口式)	河口群小青山组	东川燕子崖、通安小青山
海相沉积岩型(即海相火山碎屑岩—细碎屑岩—碳酸盐岩型)铜矿	硅质岩—杂砂质石英砂岩层状铜矿(蓑衣坡式)	东川群因民组顶部	东川滥泥坪
	硅质白云岩—硅质岩层状铜矿(汤丹马柱铜式)		东川汤丹马柱铜矿
	因民(面山)亚式 凝灰质细碎屑岩—硅质白云岩(藻叠层石白云岩)层状铜矿(东川式层状铜矿)	落雪组下部	东川因民、石将军、会理通安红旗沟
		东川群落雪组中部	东川落雪、通安红岩、黎溪黑箐
	汤丹亚式	落雪组上部	东川汤丹、新塘、会东新田、通安铜厂顶
	炭质板岩—炭泥质白云岩型铜型(桃园式)	东川群黑山组底部	东川汤丹桃园、水库山
	火山—沉积岩组合中菱铁矿铜—金矿(小街式)	会理群凤山营组	会东小街二台子
	砂砾岩—白云岩型铜矿(滥泥坪式)	震旦系陡山泥组	东川滥泥坪、通安火山
	碱性次火山—侵入角砾岩—白云岩型铜矿(中老农式)	围岩为东川群落雪组	东川白锡腊中老农

注:此表据文献[21—27]综合

(1) 沉积-变质铜矿成矿亚系统: 海相沉积-变质铜矿成矿亚系统主要以区域内的东川式铜矿(如因民、落雪、汤丹、淌塘等矿床)为例。其中,“淌塘式”铜矿主要赋存于会理群淌塘组地层中;而“东川式”铜矿资源量可观,该类矿床主要赋存于昆阳群落雪组一套碳酸盐岩系(少量碎屑岩)沉积-变质岩系中,虽然属于古元古代的古老地层,但其变质程度相对而言很浅。

(2) 海相火山岩型铁-铜成矿亚系统: 四川拉拉、云南大红山铜多金属矿床是该成矿亚系统的典型代表,也是区内非常重要和具有代表性的矿床类型。该类矿床主要赋存于前震旦系大红山群、河口群一套典型的细碧-角斑岩建造中,变质程度相对较深。

综上所述,该区铜多金属矿产资源富集,可划分为海相火山岩型和沉积-变质型矿床亚系统;本文所研究的拉拉、大红山等矿床属于海相火山岩型铁-铜成矿亚系统。

3 成矿与地质事件

本次研究工作通过对研究区前寒武纪地质事件的梳理,并研究了成矿地质事件及重大地质事件的响应(表 2);根据前人研究成矿成岩年龄数据,结合笔者研究资料^[5],认为本地区的成矿作用属于多期次成矿。从目前研究程度来看,至少可以分为前期预富集作用及两次大的成矿作用,以及若干个小的成矿作用,其中两次大的成矿作用主要为古元古代成矿作用和中元古代成矿作用。

本区的成矿地质事件演化史大致分为:

(1) 四川冕宁康定杂岩体中含有古元古代早期

到晚期的陆壳残留锆石,所测最老年龄为 2 468 Ma,可能代表扬子地块的基底^[35],即扬子地台西缘古陆壳形成于 2 486 Ma 之前,其形成可能与 Kenorland 超大陆的拼合和裂谷有关。

(2) 属于传统的康滇陆缘裂谷事件(约 1 700 Ma~约 1500 Ma)^[35],对应于 Columbia 超大陆的聚合。

(3) 后期变质及岩浆事件(约 1 100 Ma~约 800 Ma^[3,39]),显然是 Rodinia 超大陆的拼贴与裂解事件的响应。其中,约 1 000 Ma 左右对应于格林威尔运动在扬子地块的响应;800 Ma 左右晋宁运动是在扬子地块的响应^[5]。

综上所述,可将本区与成矿作用有关的地质事件过程归纳为: 古元古代与 Columbia 超大陆裂解事件有关的陆缘裂谷环境,发育了一套巨厚的火山-沉积建造,形成重要的赋矿层和矿源层,为铜多金属矿床的形成提供了物质基础;中元古代的与 Rodinia 超大陆的拼合事件相关的成矿作用^[5],形成铜、金、钼等多金属矿化;而铀的形成较晚,与区域新元古代—800 Ma 的中酸性岩浆岩有关,可能与 Rodinia 超大陆裂解事件有关。

4 区域成矿系列

研究区是我国重要的铁铜矿带之一,具有多个重要的铜矿床类型成矿系列(表 3),如东川式、落雪式和易门式以及晚三叠统砂砾岩中沉积-改造铜矿类型等。除笔者曾主要研究的铁氧化物铜金型(IOCg)矿床^[5]之外,这一系列的铜铁矿山构成“四楼一梯”的矿化格架^[40-41]。“四楼”是指因民组中下

表 2 扬子西南缘相关的超大陆拼合与裂解事件

Table 2 Events of aggregation and breakup of supercontinent at the study area

大陆事件	时间范围	跨度	地质事件	本区成矿事件
Pangea 超大陆拼合及裂解事件	330 Ma~230 Ma ^[28]	100 Ma	冈瓦纳大陆与劳亚大陆碰撞	
Gondwana 超大陆裂解事件	160 Ma± ^[28]			
Gondwana 超大陆拼合	600 Ma~160 Ma ^[28]	400 Ma		
Rodinia 超大陆裂解事件	830 Ma~700 Ma ^[29, 30]		晋宁造山运动—澄江运动	形成 IOCg 矿床中的铀富集
		<400 Ma		
Rodinia 超大陆拼合	1100 Ma~830 Ma ^[29, 31-33]		格林威尔期造山带	形成 IOCg 矿床晚期多金属
哥伦比亚 Columbia 超大陆裂解事件	1800 Ma~1200 Ma ^[34]		河口期/东川期及会理期	火山喷发沉积形成矿源层、形成 SSC 矿床、早期 IOCg 矿床
		<900 Ma		
哥伦比亚 Columbia 超大陆拼合事件	2000 Ma~1800 Ma ^[34]		红山运动	

表 3 扬子西南缘的区域铜及多金属矿床类型成矿系列
Table 3 Division of minerogenetic series in the study area

时代	地质背景	含矿地层	矿床类型	成矿作用	成矿元素	典型矿床
中生代 砂岩型铜矿	楚雄盆地	中生界(湖泊、河流、浅海相)	砂岩型	热液改造	Cu	六苴铜矿、大铜厂铜矿、大姚铜矿
	盖层沉积	震旦系陡山沱组	滥泥坪式铜矿	堆积、沉积	Cu	滥泥坪
晚元古代	挤压封闭		凤山式铜矿(刺穿体、脉状、柱状矿体)	热液改造	Cu	凤山
格林威尔期 IOCG 铜铁矿	陆壳基底	海相火山沉积相大红山群、河口群	大红山拉拉式铁铜矿	火山沉积及热液改造	Cu-Fe-Au-U-REE	拉拉、大红山、遮纳厂、岔河
		黑山组底部	桃园式铜矿	炭泥质吸附热液充填	Cu	桃园
古元古代 沉积-层控-层状 硫化物铜矿(SSSC)	断拗成谷	落雪组下部	东川式“马尾丝”铜矿	蒸发沉积成岩	Cu	
		落雪底部过渡层	东川式层状铜矿	热水沉积	Cu	东川汤丹、易门铜矿
		成穹张裂	稀矿山式含铜铁矿	火山喷流沉积	Cu-Fe	稀矿山

注:据文献[26, 42]等综合

部稀矿山式铁铜矿、落雪组中及底部的东川式铜矿、鹅头厂组(黑山组)桃园式铜矿、灯影组底部不整合面上风化壳型沉积铜矿,“一梯”是指刺穿于下三层铜矿层位之凤山式角砾状铜矿。其中,东川式和桃园式等铜矿床属沉积一层控一层状铜矿(SSSC)。

赋存于前寒武系基底岩系中的铁-铜矿床的成矿作用主要发生于前寒武纪,但许多矿床在不同程度地经受到后期地质作用的变质改造(未发生成矿富集作用)。另外,还有本区内有一些与基底中可能有一定成因联系的中新生代铜矿床,也是本区重要的铜矿床类型。如中生代地层(湖泊、河流、浅海相)中产出的砂岩型铜矿,如六苴铜矿、大铜厂铜矿、大姚铜矿等;这些矿床可能属于基底地层中赋铜火山沉积岩建造,经风化剥蚀后,大量的铜质被搬运至“昆阳裂谷”中,随地层的沉积在有利的位置富集^[26,43]。

通过对矿床成矿特征、成矿年龄及规模的综合分析后所建立的区域铜、多金属矿床成矿系列及区域时间演化与铜累计聚集特征图,如图 4 所示。从图 4 中可以明显的看出本区成矿作用属于多期次成矿,1.7 Ga~1.5 Ga、1.1 Ga~1.0 Ga、中新生代是三次规模、强度较大的铜矿成矿作用^[5],形成了研究区内规模较大的诸多铜多金属矿床。

5 结语

扬子地块西南缘的前寒武纪地层中赋存的铜-铁矿床以矿床数量多、规模大、伴生多种金属等为特

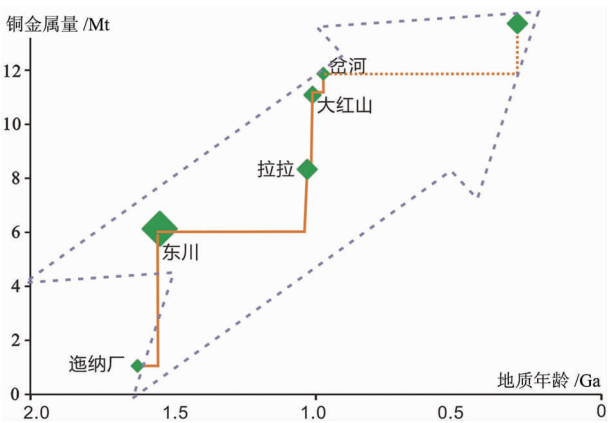


图 3 区域演化与铜累计聚集示意图
(部分铜金属量大小是估计的相对值)

Fig. 3 Sketch showing regional evolution and copper cumulative concentration

征,其中拉拉、大红山等矿床的成矿地质特征具有代表性,且铜铁金属资源量丰富,并伴生有 Au-Mo-U-Ag-Co-REE 等组分,因而具有重要的研究意义。

本此研究工作表明,研究区成矿作用属于多期次成矿,至少可以分为前期预富集作用及两次大的成矿作用(古元古代成矿作用和中元古代成矿作用),以及若干个小的成矿作用;其中,1.7 Ga~1.5 Ga、1.1 Ga~1.0 Ga、中新生代是三次规模、强度较大的铜矿成矿作用,形成了研究区内规模较大的诸多铜多金属矿床。

参考文献:

[1] 王鼎云,刘凤祥. 康滇地轴南段前寒武系轴成矿地质特征[J]. 云南地质, 1993, 12(1): 82-91.

- [2] 吴懋德, 段锦荪. 云南昆阳群地质[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 1990: 265.
- [3] 李复汉, 覃嘉铭, 申玉莲, 等. 康滇地区的前震旦系[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988: 396.
- [4] 周名魁, 刘俨然. 西昌——滇中地区地质构造特征及地史演化[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988: 206.
- [5] 宋昊. 扬子地块西南缘前寒武纪铜-铁-金-钼多金属矿床及区域成矿作用[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [6] 陈毓川, 裴荣富. 中国矿床成矿系列初论[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [7] 翟裕生. 地球系统科学与成矿学研究[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 1-10.
- [8] 冉崇英, 刘卫华. 康滇地轴铜矿床地球化学与矿床层楼结构机理[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [9] 叶现稻, 朱维光, 钟宏, 等. 云南武定迤纳厂 Fe-Cu-REE 矿床的锆石 U-Pb 和黄铜矿 Re-Os 年代学、稀土元素地球化学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(4): 1167-1186.
- [10] 杨耀民, 涂光炽, 胡瑞忠, 等. 武定迤纳厂 Fe-Cu-REE 矿床 Sm-Nd 同位素年代学及其地质意义[J]. 科学通报, 2005(12): 1253-1258.
- [11] 关俊雷, 郑来林, 刘建辉, 等. 四川省会理县河口地区辉绿岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 482-490.
- [12] 杨红, 刘福来, 杜利林, 等. 扬子地块西南缘大红山群老厂河组变质火山岩的锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(9): 2994-3014.
- [13] Zhao X, Zhou M. Fe-Cu deposits in the Kangdian region, SW China: a Proterozoic IOCG (iron-oxide-copper-gold) metallogenic province [J]. Mineralium Deposita, 2011, 46(7): 731-747.
- [14] Zhao X, Zhou M, Li J, et al. Late Paleoproterozoic to early Mesoproterozoic Dongchuan Group in Yunnan, SW China: Implications for tectonic evolution of the Yangtze Block[J]. Precambrian Research, 2010, 182(1-2): 57-69.
- [15] 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 扬子地台西缘结晶基底的时代[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 429-441.
- [16] 张传恒, 高林志, 武振杰, 等. 滇中昆阳群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 华南格林威尔期造山的证据[J]. 科学通报, 2007(7): 818-824.
- [17] 侯林. 滇中“东川群”Fe-Cu-Au-REE 成矿系统研究——以武定迤纳厂矿床为例[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [18] 朱华平, 范文玉, 周邦国, 等. 论东川地区前震旦系地层层序: 来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据[J]. 高校地质学报, 2011, 17(3): 452-461.
- [19] 周邦国, 林明, 郭阳, 等. 会东—东川地区平顶山组金矿化层位与找矿方向[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(1): 93-98.
- [20] 郭阳, 王生伟, 孙晓明, 等. 云南省武定县迤纳厂铁铜矿区古元古代辉绿岩锆石的 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(1): 208-215.
- [21] 潘杏南, 赵济湘, 张选阳, 等. 康滇构造与裂谷作用[M]. 重庆: 重庆出版社, 1987.
- [22] 钱锦和, 沈远仁. 云南大红山古火山岩铁铜矿[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [23] 沈苏. “康滇地轴”区主要铜矿类型特征及其分布规律[M]//铁铜矿产专辑(第五集). 北京: 地质出版社, 1975: 1-15.
- [24] 沈苏, 金明霞, 陆元法. 西昌—滇中地区主要矿产成矿规律及找矿方向[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988.
- [25] 孙克祥, 沈远仁, 刘国房, 等. 滇中元古宙铁铜矿床[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- [26] 吴健民, 刘肇昌, 黎功举, 等. 扬子地块西缘铜矿床地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998: 271.
- [27] 尹福光, 孙志明, 万方, 等. 扬子陆块西缘构造演化及其资源效应[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 158.
- [28] 王鸿祯, 张世红. 全球前寒武纪基底构造格局与古大陆再造问题[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2002, 27(5): 467-481.
- [29] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia[J]. Precambrian Research, 2003, 122(1-4): 85-109.
- [30] 廖宗廷, 马婷婷, 周征宇, 等. Rodinia 裂解与华南微板块形成和演化[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005(9): 1182-1185.
- [31] Moores E M, Southwest U S. East Antarctic (SWEAT) connection: A hypothesis[J]. Geology, 1991, 19(5): 425-428.
- [32] Roy A B. Neoproterozoic Crustal Evolution of Northwestern Indian Shield: Implications on Break up and Assembly of Supercontinents[J]. Gondwana Research, 2001, 4(3): 289-306.
- [33] Hoffman P F. The break-up of Rodinia, birth of Gondwana, true polar wander and the snowball Earth[J]. Journal of African Earth Sciences, 1999, 28(1): 17-33.
- [34] Pirajno F. Hydrothermal processes and mineral systems[M]. London: Springer, 2009: 1250.
- [35] 陈岳龙, 罗照华, 赵俊香, 等. 从锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征论四川冕宁康定杂岩的成因[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2004(8): 687-697.
- [36] 陈好寿, 冉崇英, 李承德, 等. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 10-84.
- [37] 胥德恩, 左兆康. 康滇地轴前晋宁期构造运动讨论[J]. 四川地质学报, 1995(2): 89-96.
- [38] 周家云, 毛景文, 刘飞燕, 等. 扬子地台西缘河口群纳长岩锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2011(3): 66-73.
- [39] 阚泽忠, 乔正福. 四川会理—河口地区褶皱基底的双层结构[J]. 四川地质学报, 1999(3): 204-209.
- [40] 龚琳, 何毅特. 云南东川元古宙裂谷型铜矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- [41] 冉崇英, 刘卫华. 康滇地轴铜矿床地球化学与矿床层楼结构机理[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [42] 龚琳. 滇中晚元古代铜铁矿带成矿规律与找矿[J]. 云南地质, 2011(3): 255-260.
- [43] 薛步高. 昆阳群·矿床地质论文集[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 1995: 505.

Precambrian Cu polymetallic deposits and their minerogenetic series in the southwestern margin of Yangtze block

Song Hao¹, Ni Shijun¹, Zhang Chengjiang¹, Xu Zhengqi¹, Song Shiwei¹, WANG Dewen²

(1. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;*

2. Kunming Institute of Prospecting & Design,

China Nonferrous Industry Company (Ltd), Kunming 650051, China)

Abstract: Based on analysis of metallogenic characteristics of the Precambrian Cu polymetallic deposits at southwest margin of Yangtze block and related significant geological events the regional metallogenesis and response of the significant geological events are dealt with in the paper and the regional metallogenetic series divided, the main metallogenetic series and regularity detailed and summarized in the paper. The metallogenesis is at least divided into two major periods, the pre-enrichment during Early proterozoic Era and Late Proterozoic Era (1.7 Ga—1.5Ga, 1.1 Ga—1.0Ga) and the main enrichment during Mesozoic-Cenozoic Era and several weak metallogenetic stages. During Mesozoic-Cenozoic Era 3 strong metallogenetic stages in large scale occur and many large Cu polymetallic deposits formed in the study area.

Key Words: minerogenetic series; copper polymetallic deposits; the southwestern margin of Yangtze Block; Precambrian period