



江西省钴地球化学特征及找矿远景预测

王 斌, 艾海平

江西省地质调查勘查院基础地质调查所, 江西 南昌 33003

摘 要: 江西省地处华夏古板块和扬子古板块结合部位, 矿产资源丰富, 形成有独立钴矿床。为了研究江西省钴矿的找矿远景, 对前人的地质找矿成果、化探成果等进行了梳理, 总结了江西省钴矿的地球化学特征、矿床分布情况、含钴建造及成矿类型等。研究发现, 赣北扬子板块区 Co 含量明显较高, 普遍在 10×10^{-6} ~ 20×10^{-6} 之间; 赣南华夏板块区 Co 含量明显偏低, 一般为 3×10^{-6} ~ 12×10^{-6} , 以 13.5×10^{-6} 为异常下限, 圈定了 Co 化探异常 291 处, 异常面积约 100.79 km²; 划分了异常群 7 处。认为江西省主要的钴矿类型有层控-改造型(热液型)和风化淋滤型两类。在此基础上, 划分了 16 处找矿远景区, 其中 A 类 1 处、B 类 8 处、C 类 7 处。

关键词: 地球化学特征; Co 异常; 含钴建造; 找矿远景区; 江西省

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTING PERSPECTIVE OF COBALT DEPOSITS IN JIANGXI PROVINCE

WANG Bin, AI Hai-ping

Fundamental Geological Survey, Jiangxi Geological Survey and Exploration Institute, Nanchang 330033, China

Abstract: Jiangxi Province, located in the junction of Cathaysian Plate and Yangtze Plate, is rich in mineral resources, among which independent cobalt deposits are developed. To study the prospecting perspective of cobalt deposits in the province, the paper reviews the previous geological and geochemical exploration data, and summarizes the geochemical characteristics, deposit distribution, cobalt-bearing formations and metallogenic types of cobalt deposits. The results show that the Co content in Yangtze Plate of northern Jiangxi is high, generally in 10×10^{-6} ~ 20×10^{-6} , while that in Cathaysia Plate of southern Jiangxi is obviously lower, generally in 3×10^{-6} ~ 12×10^{-6} . Taking 13.5×10^{-6} as the anomaly threshold, 291 Co geochemical anomalies are delineated, covering an area of 100.79 km², which are divided into 7 anomaly groups. It is considered that stratabound-transformation (hydrothermal) and weathering-leaching are the two main types of cobalt deposits in Jiangxi Province. On this basis, 16 prospecting perspective areas are divided, including 1 in Class A, 8 in Class B and 7 in Class C.

Key words: geochemistry; Co anomaly; Co-bearing formation; prospecting perspective area; Jiangxi Province

0 引言

钴(Co)是重要的战略矿产之一, 在我国的国民发

展中具有重要的意义。由于它迁移能力强, 且具有亲铁亲硫性, 所以很少形成独立的钴矿床, 多以伴生金属

收稿日期: 2023-08-11; 修回日期: 2023-09-01. 编辑: 李兰英.

基金项目: 江西省地质调查研究院前瞻性项目“江西钴矿成矿规律及勘查选区预研究”(201906); 中国地质调查局项目“江西省矿产资源潜力评价”(1212010813013).

作者简介: 王斌(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质矿产调查、地球化学勘查等, 通信地址 江西省南昌市迎宾北大道 938 号, E-mail//350972492@qq.com

产出^[1], 钴矿的主要矿床类型有: 1) 与岩浆岩硫化物有关的 Co-Cu-Ni 矿床, 赋矿岩性主要是基性-超基性侵入岩; 2) 与热液及火山作用有关的 Co-Cu 多金属矿床, 产在造山带和裂陷带中的细碎屑岩、碳酸盐岩及海相火山-沉积建造之中; 3) 与沉积岩容矿有关的层控 Co-Cu 矿床, 主要产在古陆块边缘裂谷或裂陷槽环境中, 矿床的赋矿岩性主要是沉积岩^[2-6]。

江西省的钴矿以七宝山钴矿, 五宝山钴矿等为代表, 赋矿岩性为沉积岩, 产于裂谷环境中。七宝山钴矿属于伴生矿床, 其原生矿主要为热液型(中温热液型), 其上部发育风化淋滴型钴土矿, 主要分布在萍乐拗陷带内, 矿体受石炭纪碳酸盐岩的控制, 经过深大断裂的活动改造而成^[7-8]。五宝山钴矿属于独立的钴矿床, 该类型矿床在国内外均属少见, 属于层控-改造型(热液型)^[8]。在江西邻区湘东北地区发现有热液型钴矿, 产于北东向的构造破碎带内, 围岩为前寒武纪的基底变质岩(板岩、千枚岩、变质砂岩等)^[9], 反映该裂谷带内钴矿的成矿条件较好。

江西省钴矿的找矿潜力较大, 但对钴矿的研究程度不高, 提交的矿产地仅有五宝山、七宝山等钴矿区。通过对前人的矿产地质调查资料分析发现, 前人在工作中发现了一批钴矿点、矿化点等信息, 由于这些点规模较小, 鉴于当时矿业行情难以形成工业价值, 故而没有引起足够的重视。本研究收集整理了江西省有关钴矿方面的工作与研究成果, 分析了全省 Co 化探异常, 梳理钴矿点 45 处, 划分出江西省钴矿的找矿远景区 16 处, 以为江西省钴的找矿工作提供帮助。

1 地质背景

江西省地处欧亚大陆板块东南缘, 濒临太平洋板块, 属华夏古板块和扬子古板块结合部位, 跨越扬子成矿省(下扬子成矿亚省)和华南成矿省及其中间的结合带, 经历了多个大的构造演化阶段^[10], 由南往北依次形成了长江中下游、江南隆起东段、钦杭结合带东段北部、钦杭结合带东段南部、浙中-武夷山(隆起)及南岭 6 个Ⅲ级成矿带(图 1), 形成了丰富的矿产资源^[12-13]。在钦杭结合带东段北部成矿带有热液型钴矿发育, 在武夷山、南岭成矿带内, 常见有钴土矿化现象。本研究系统收集了钴矿的特征, 总结归纳了含钴的主要建造。

1.1 钴矿特征

通过收集整理前人的找矿成果, 总结得出江西省目前发现的钴矿(化)点共计 45 处(图 1), 主要有两种

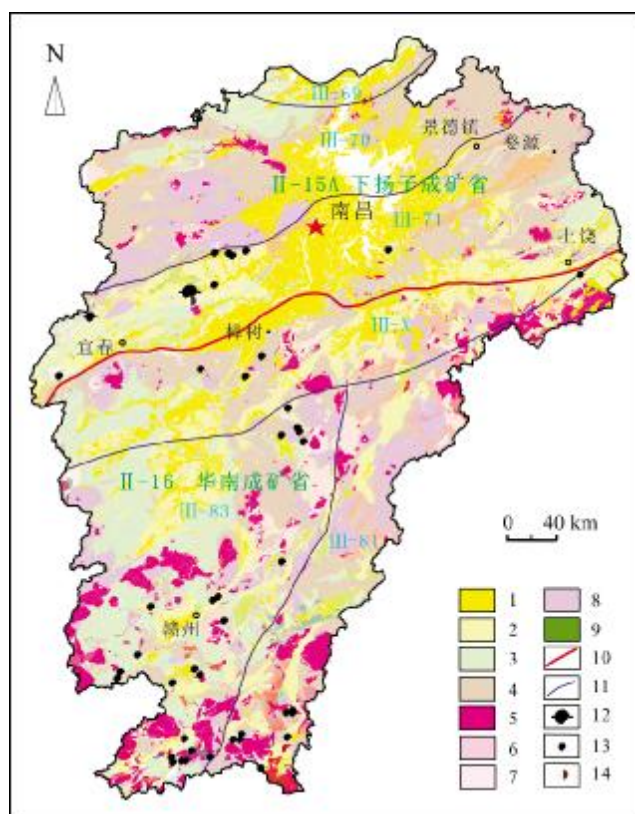


图 1 江西省成矿带划分及钴矿分布图
(地质图据文献[11], 成矿带据文献[12])

Fig. 1 Metallogenic belts and distribution of cobalt deposits
in Jiangxi Province
(Modified from References [11-12])

1—新生代地层(Cenozoic); 2—中生代地层(Mesozoic); 3—古生代地层(Paleozoic); 4—元古宙地层(Proterozoic); 5—燕山期岩浆岩(Yanshanian magmatic rock); 6—海西期岩浆岩(Hercynian magmatic rock); 7—加里东期岩浆岩(Caledonian magmatic rock); 8—晋宁期岩浆岩(Jinningian magmatic rock); 9—基性-超基性岩(basic-ultrabasic rock); 10—成矿省界线(boundary of metallogenic province); 11—成矿带界线(boundary of metallogenic belt); 12—原生钴矿(primary cobalt deposit); 13—钴土矿(earthy cobalt); 14—含钴多金属矿(Co-bearing polymetallic deposit); III-69—长江中下游成矿带(metallogenic belt in the middle and lower reaches of Yangtze River); III-70—江南隆起东端成矿带(metallogenic belt in the eastern section of Jiangnan Uplift); III-71—钦杭东端北部成矿带(northern metallogenic belt in the east of Qinzhou-Hangzhou metallogenic zone); III-X—钦杭东端南部成矿带(southern metallogenic belt in the east of Qinzhou-Hangzhou metallogenic zone); III-83—南岭成矿带(Nanling metallogenic belt); III-81—浙中-武夷隆起成矿带(Central Zhejiang-Wuyi Uplift metallogenic belt)

成矿类型,一类为层控-改造型(热液型)^[7],代表矿床为七宝山、五宝山钴矿;另一类为风化壳型钴土矿,在赣南、萍乡、上饶等地区存在一定数量的风化壳型钴土矿点、矿化点。

从钴矿的分布情况来看,大致集中在 3 个区域:北部分布在萍乡-乐平成矿亚带内,以七宝山钴矿、五宝山钴矿等为代表,矿床类型以层控-改造型(热液型)为主,赋矿地层主要为石炭纪—二叠纪地层,矿体受到北东东向等断裂带控制;中部位于南岭成矿带内,集中在吉水、定南一带,成矿类型主要为风化淋滤型,包括面状风化壳型、裂隙型等,成矿母岩包括加里东期、燕山期花岗岩,侏罗纪—白垩纪中基性火山岩及前寒武纪基底变质岩等;南东部位于南武夷成矿带内,集中在龙南-寻乌地区,成矿类型主要为风化淋滤型,成矿母岩包括老虎塘组(Z_2l)、牛角河组(ϵ_{1n})、高滩组(ϵ_{2gt})等。

1.2 含钴建造特征

1.2.1 含钴沉积建造

江西省的含钴沉积建造主要有万年群($Pt_3^{1a}W$)、梓山组(C_{1z})、黄龙组(C_2h)、乐平组(P_2l)、栖霞组(P_2q)等共计 16 个建造单元,时代属于前寒武纪、石炭-二叠纪、侏罗-白垩纪及第四纪等,形成环境包括海相、滨海相、湖泊相、陆相盆地等(表 1)^[11]。这些含矿建造归纳有如下特征。

1)与火山建造有关:前寒武纪变质岩中多发育有火山岩建造,侏罗纪—白垩纪的裂谷型盆地中也伴随有大量的火山活动,形成了范围较为广泛的火山岩地层,这些火山岩尤其是中基性火山岩是高 Co 地层,风化型的钴土矿常与此有关。

2)与碳酸盐岩建造有关:主要与萍乐拗陷内的黄龙组碳酸盐岩建造有关,江西典型的原生钴矿床均

表 1 江西省含钴沉积建造特征表
Table 1 Characteristics of Co-bearing sedimentary formations in Jiangxi Province

建造单元 地质代号		建造类型	沉积环境	矿产特征
第四系	Q	黏土、砂砾石层	山间盆地	产铁帽、风化壳型钴土矿等
河口组	K_2h	砂岩、砂砾岩	——陆相盆地,火山发育	含有中基性、酸性火山岩,经过风化淋滤可形成钴土矿;局部发育有 Co 异常
茅店组	K_2m	砂砾岩夹玄武岩、安山岩、酸性凝灰岩		
鸡笼嶂组	K_2j	流纹质熔结凝灰岩、凝灰岩、角砾凝灰岩		
菖蒲组	J_3c	凝灰质粉砂岩、凝灰质页岩、玄武岩、熔结凝灰岩	湖泊环境,火山发育	为含锰建造,形成磷矿、锰矿等矿产,含锰矿物风化后多形成钴土矿
罗凹组	J_2l	杂砂岩、页岩、局部凝灰岩		
乐平组	P_2l	含菱铁矿结核页岩、砂岩、粉砂岩、泥岩	海陆交互相	
栖霞组	P_2q	条带灰岩、燧石结核灰岩	滨浅海	发育典型钴矿,如七宝山、五宝山钴矿,是层控型钴矿的控矿地层
黄龙组	C_2h	灰岩、白云质灰岩、生物碎屑灰岩、泥岩		
梓山组	C_{1z}	细砾岩、细砂岩、泥岩夹煤层、含铁砂岩	滨海沼泽相	常发育有煤矿、(褐、菱)铁矿(化)等
高滩组	ϵ_{2gt}	变质长石石英砂岩、板岩、粉砂岩	海相	目前在该地层中发现有钴土矿现象 9 处,多见有 Co 异常发育
牛角河组	ϵ_{1n}	碳质板岩、硅质板岩、粉砂岩、千枚岩		
老虎塘组	Z_2l	硅质岩、含碳绢云千枚岩、凝灰质板岩		
坝里组	Z_2b	变质粉砂岩、板岩		
枫树岭组	Pt_3^{1af}	绢云千枚岩、粉砂质千枚岩夹含锰条带千枚岩		
牛头岭组	Pt_3^{2n}	斑点千枚岩、火山质砾岩、含锰杂砂岩、含黄铁千枚岩		目前暂未发现有钴矿信息,但是存在形成金、铜、铅锌等矿产的矿源层;在上饶地区发育有极好的 Co 异常

产于该地层内,形成浸染状、块状、脉状矿体,其成矿物质来源可能与深源热液及母岩中高 Co 背景含量等有关^[7].

3)与含铁、含锰建造有关:由于 Co 一般难形成独立的矿物,在表生环境下 Co 常与 Mn、Fe、V 等元素伴生,故而在含铁、含锰建造中 Co 含量也较高,如于都县桃树排锰矿中伴生有钴,其含矿建造乐平组为含锰结核页岩.枫树岭组、牛头岭组 Co 异常明显,可能也与其含铁锰建造有关.

1.2.2 侵入岩含钴建造

江西省含钴的侵入岩以超基性镁铁岩、(中)基性岩等为主^[14-15],主要分布在赣东北、赣南等地区.

1)超基性岩组合

樟树墩洋岛拉斑玄武质橄榄岩、辉长岩、角闪岩、蛇纹岩(Pt₂),属于与洋壳俯冲作用有关的组合^[16-18],该套岩石组合蕴藏着丰富的矿床,包括蛇纹岩矿、钙镁磷肥矿,并可回收钴等金属矿产,其 Co 含量约 40×10⁻⁶~90×10⁻⁶,以蛇纹岩、方辉橄榄岩含量最高.

2)(中)基性岩

以燕山期辉长闪长岩建造(vδJ₂)为主,主要分布在赣南寻乌、龙南地区,发育有风化淋滤型钴土矿化点 1 处,Co 异常发育.

1.2.3 火山岩含钴建造

该建造以中基性火山岩为主,包括万年群、宜丰岩组、上墅组、船山组、菖蒲组、茅店组等均含有玄武质火山岩.该类火山岩中往往具有较高的 Co 含量,经过风化淋滤后可形成有钴土矿化现象,目前在赣北地区的万年群、宜丰岩组、上墅组等古老变质岩中发育有较好的 Co 异常,可能于此有关.赣南地区的钴土矿化点往往形成在变质岩、白垩纪红盆盆缘附近,推测可能与中基性火山岩有关.

1.2.4 含矿构造建造

与钴矿有关的构造主要包括 2 个方面:一是有利的沉积界面,如七宝山钴矿主要赋存在石炭纪黄龙组界面附近,五宝山钴矿位于安源组界面附近等^[19],有

利的沉积界面提供了有利的容矿场所;二是断裂构造,尤其是深大断裂,是连通地表与下地壳甚至地幔的通道,是深部的幔源物质上升的主要通道,目前江西省发现的原生钴矿(热液型)均与深大断裂有关^[7].地表的脆性小断裂是风化淋滤型的钴土矿富集的有利场所,经过淋滤后的钴往往富集在裂隙面、角砾缝隙等部位,形成皮壳状、薄膜状、网脉状钴土.

2 地球化学特征

2.1 Co 地球化学特征

本研究收集利用了 41 633 件样品(水系沉积物)成果,江西省 Co 最大值为 116×10⁻⁶,平均值为 9.49×10⁻⁶(表 2),与上地壳丰度值 10×10⁻⁶^[20]及全国背景值 12×10⁻⁶^[21]相比均低.从全国 Co 的分布情况来看,江西 Co 总体位于湖南异常带的外围^[22].从江西省 Co 元素的空间分布特征来看(图 2),以钦杭结合带为界,北部扬子板块 Co 含量明显较高,普遍在 10×10⁻⁶~20×10⁻⁶之间,尤其在江南隆起修水-安义段及萍乐拗陷带内 Co 富集明显;钦杭结合带德兴-上饶段 Co 富集明显,含量在 15×10⁻⁶以上;钦杭结合带以南的华夏板块区 Co 含量明显偏低,一般在 3×10⁻⁶~12×10⁻⁶左右,仅在南岭定南段存在富集区,浓集中心明显,位于侏罗纪沉积盆地附近,该盆地普遍发育中基性火山岩,为含钴的主要地层.

2.2 Co 异常特征

本研究以 13.5×10⁻⁶为异常下限,圈定了 Co 异常 291 处,异常面积 100.79 km²,其中有 3 级浓度分带的 252 处,异常面积最大的为 11.13 km²,位于广丰盆地内.Co 异常分布在赣南、赣北差异较为明显,以钦杭结合带为界,北部异常以异常群(5 个)形式集中出现,异常面积较大;南部则以条带状、串珠状小异常为主(2 个异常群)(图 3).

修水-铜鼓异常群,包括 16 个单体异常,一般具有 3 级浓度分带,单个异常多为椭圆状、短柱状,位于江南隆起东端成矿带内,出露地层主要为元古宙变质

表 2 江西省 Co 地球化学特征值

Table 2 Geochemical eigenvalues of Co in Jiangxi Province

样品数(N)	最大值(X _{max})	最小值(X _{min})	算术平均值(X)	中位数(X _M)	标准差(δ _M)	几何均值(X _g)	几何标准差(δ _g)
41633	116	0.32	9.49	9.2	4.13	8.62	4.63

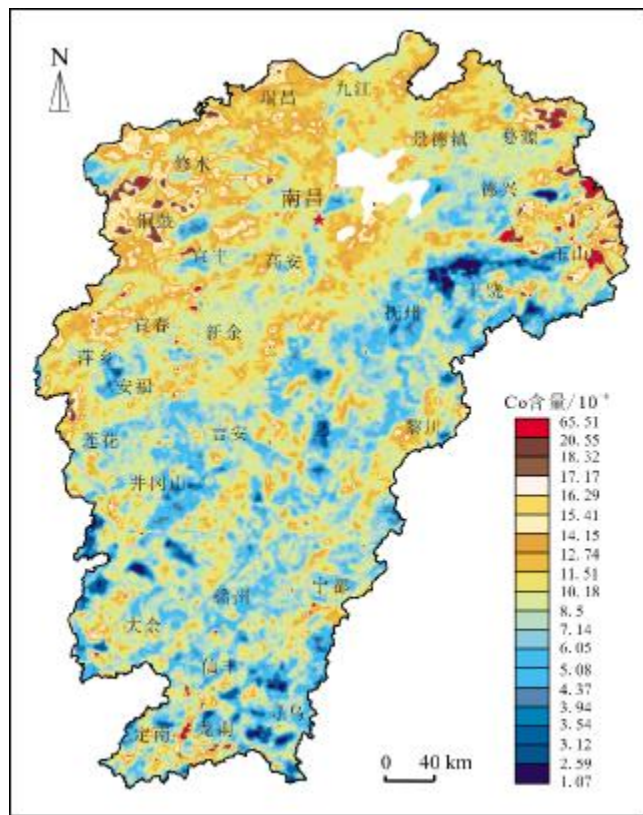


图 2 江西省 Co 地球化学分布图

Fig. 2 Geochemical distribution map of Co in Jiangxi Province

岩,不乏变质的中基性火山岩及基性岩脉,推测异常主要由变质的中基性火山岩等高 Co 地层引起。该地层由于时代古老,经历的地质过程复杂,对钴矿的富集作用较为有利,一来经过长时间的风化淋滤钴土得以积累可形成钴土矿,二来经过剥蚀、搬运等过程,钴元素在后世地层中得以富集,为层控型矿床成矿提供母岩。萍乡—上高异常群,异常面积一般较小,局部异常具有 3 级浓度带,如七宝山异常、五宝山异常等,均属矿致异常,该区位于萍乡—乐平燕山期成矿带内,出露地层主要为石炭—二叠纪的沉积地层,该区成矿条件较好,江西已知的两处热液型钴矿均位于该区,而且有多处钴土矿点,表明该区具有较大的找矿潜力。

莲花-安福-新干异常群, 单体异常面积较大, 多具有 3 级浓度分带, 单体异常多为椭圆状、不规则状等。该区位于钦杭结合带内, 主要出露地层, 西部以石炭—二叠纪地层为主, 东部以前寒武纪变质岩为主。莲花异常区面积较大达到 230 km², 其分布形态与石炭纪地层吻合。该群有少量的钴土矿点(3 处), 部分矿点与异常吻合, 而且异常面积较大, 出露地层以震旦纪

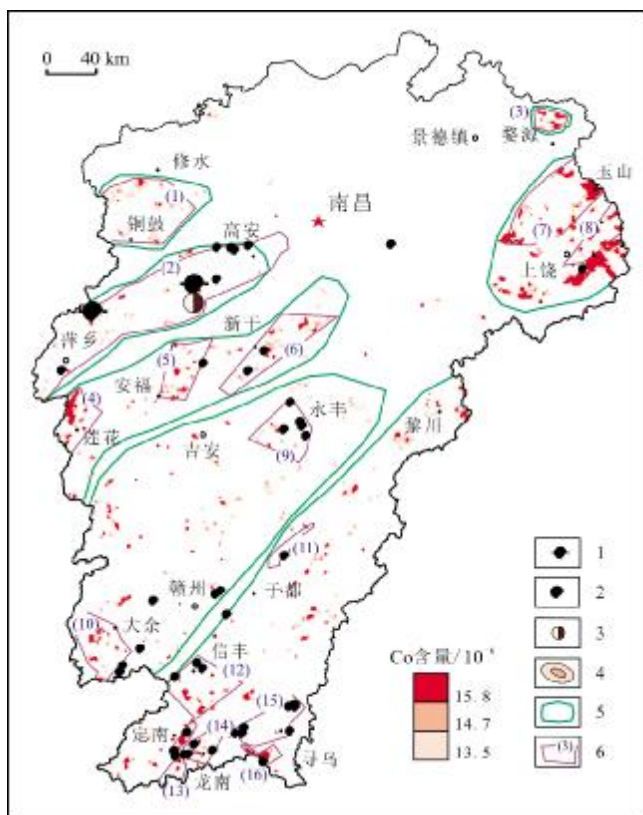


图3 江西省 Co 异常及找矿远景预测图

Fig. 3 Co anomaly and prospecting perspective prediction in

Jiangxi Province

1—热液型钴矿 (hydrothermal Co deposit); 2—风化淋滤型钴土矿 (weathering-leaching type earthy cobalt); 3—含钴多金属矿 (Co-bearing polymetallic deposit); 4—Co 异常 (Co anomaly); 5—Co 异常群 (Co anomaly group); 6—Co 找矿远景区及编号 (Co prospecting perspective area and number)

多,但在以往的找矿过程中少见有钴矿相关信息,仅在广丰断裂带上有1处钴土矿化现象,可能是由于前期对钴矿的重视程度不够导致,在今后找矿中值得关注。

南岭异常群,处于钴低背景区上,单体异常面积小,零星分布,在崇义、定南两地异常相对集中。崇义地区异常主要以寒武纪地层为主,定南地区主要以中酸性花岗岩及新生代红盆为主,其他弱小异常大致沿断裂盆地边缘等分布。该群在前人找矿工作中发现多个钴土矿点,但与异常范围吻合度一般,仅在定南地区矿化信息与异常套合较好,地层为新生代沉积盆地,发育中基性火山岩。

武夷山异常区,单体异常弱小,大致沿北东向串珠状分布,尤其在鹰潭-安远断裂带附近较为明显。该群在前人找矿工作中发现多个钴土矿点,但与异常范围吻合度一般,可能与矿点规模小、矿化程度弱等有关。

3 钴矿成矿规律

江西省钴矿主要包括两类,一类为原生矿床,成因类型为热液型,如七宝山、五宝山钴矿;另一类为次生矿床,属于风化淋滤型矿床,根据母岩的不同,又可划分出基性火山岩风化残积型、花岗岩风化淋滤型、变质岩风化淋滤型及砂页岩风化淋滤型。

3.1 时间演化规律

江西省钴矿成矿时间主要包括4个时期。

中元古代成矿期:富含Cu、Co、Au、Pb、Zn等元素的古火山沟弧型岩石组合,为钴矿的重要矿源层;

晚古生代—中生代成矿期:受到古陆物源的补给,沉积形成有多个Co矿源层;

燕山成矿期:受到扬子板块与华夏板块持续作用的影响,江西省大多数有色、稀有、贵金属矿床富集成矿或定型时代主要为晚侏罗世—早白垩世,形成的矿床类型复杂多样,钴矿成矿时期也集中在该时期^[23];

第四纪成矿期:主要为钴土矿的形成期,在更新世形成有红土型钴土矿,全新世多形成裂隙淋滤型。

3.2 空间分布特征

江西省主要的钴矿点均分布在萍乐拗陷带内,受到推覆构造的控制;钴土矿矿点主要集中萍乐拗陷、永丰盆地、武夷隆起寻乌段、南岭隆起定南段,矿点一般受到前寒武纪变质岩及侏罗纪、白垩纪火山岩地层及

中基性岩浆岩的控制。

4 钴矿找矿远景区探讨

刘东盛等^[22]2022年对全国的Co异常及其找矿远景区进行了研究,认为七宝山一带具有寻找热液型钴矿床的潜力。本研究根据江西省钴矿含矿建造、矿点分布、化探异常等分布特征,对江西省的找矿远景区进行细化,划分了16处钴矿找矿远景区(图2)。根据成矿条件的优越、找矿潜力的大小等因素,又将其分为A、B、C三类,其中A类成矿条件优越,找矿潜力大;B类成矿条件一般,找矿潜力中等;C类成矿条件较差。其中A类远景区1处,B类远景区8处,C类7处(表3、图3)。

5 结论

1)对江西省已有的钴矿点、矿化点等进行了梳理,从地层、岩浆岩、构造等多个角度总结归纳了江西省主要的含钴矿建造,认为江西省主要钴矿类型有层控—改造型(热液型)及风化淋滤型两种。

2)北部扬子板块区Co含量明显较高,普遍在 $10 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$ 之间,尤其是江南隆起修水—安义段、萍乐拗陷带内及钦杭结合带德兴—上饶段;南部华夏板块区Co含量明显偏低,一般在 $3 \times 10^{-6} \sim 12 \times 10^{-6}$ 。

3)圈定Co异常291处,异常面积100.79 km²,其中有3级浓度分带的252处,划分了7个异常群。

4)根据江西省钴矿含矿建造、矿点分布、化探异常等,圈定了16处钴矿找矿远景区,以期为钴矿的找矿工作提供参考依据。

致谢:本文是在收集江西省1:20万区域地质矿产资料、江西省矿产资源潜力评价等资料的基础上编制,在此向相关项目组的同志表示感谢!

参考文献(References):

- [1]丰成友,张德全,党兴彦.中国钴资源及其开发利用概况[J].矿床地质,2004,23(1):93-100.
Feng C Y, Zhang D Q, Dang X Y. Cobalt resources of China and their exploitation and utilization[J]. Mineral Deposits, 2004, 23(1): 93-100.
- [2]王辉,丰成友,张明玉.全球钴矿资源特征及勘查研究进展[J].矿床地质,2019,38(4):739-750, doi: 10.16111/j.0258-7106.2019.

表 3 江西省钴矿成矿远景区特征表

Table 3 Characteristics of Co metallogenic perspective areas in Jiangxi Province

编号	远景区名称	类别	地质矿产特征	化探特征	主攻钴矿类型
1	铜鼓-修水 Co 找矿远景区	C	出露蓟县系古老变质岩，东部为九岭山复式岩体，构造活动频繁，北东向断裂发育；该区内尚无已知钴矿点发育，西延湖南段有热液型的钴矿发育 ^[24] ，受北东向深大断裂控制，有较好的寻找热液型钴矿的潜力	Co 异常较为发育，伴生有 Zn、Mn 异常	热液型
2	萍乡-高安 Co 找矿远景区	A	位于萍乐拗陷带内，是江西主要的成钴区域，包括七宝山钴矿、五宝山钴矿、三山钴土矿等矿点 9 处，提交的 Co 资源量近 10 ⁴ t，以热液型、风化淋滤型为主，热液型矿产主要受到深大断裂带、石炭系—二叠系等碳酸盐岩地层控制；钴土矿主要与白垩纪红盆、石炭系—二叠系碳酸盐岩建造、含铁锰质建造及前寒武纪变质岩建造等有关	有 Co、Cr、Ni、Mn、V、Pb、Zn 等元素异常，尤其在七宝山钴矿附近 Co、Ni、Zn、Mn 套合较好	热液型
3	婺源 Co 找矿远景区	C	位于萍乐拗陷带内，主要出露蓟县系含凝灰岩的变质岩系，发育少量的燕山期花岗岩，北东向断裂十分发育	Co 异常较好，常见有 3 级浓度分带	热液型、风化淋滤型
4	莲花 Co 找矿远景区	C	位于钦杭成矿带东端南部，主要发育石炭纪—二叠纪碎屑岩、碳酸盐等	Co 异常较好，面积较大，内带发育，伴随有 Cr、Co、V、B、Zn 异常，且套合较好	风化淋滤型
5	安福 Co 找矿远景区	C	位于钦杭成矿带东端南部，主要发育青白口纪、南华纪变质岩基底，上覆二叠纪—三叠纪碎屑岩，加里东、印支期岩体发育，有钴土矿点 1 处	Co 异常较好，常见有内带发育，伴随有 Cr、Co、V、B、Zn 异常，且套合较好	热液型
6	新干 Co 找矿远景区	B	主要发育青白口纪、南华纪变质岩基底，上覆二叠纪—三叠纪碎屑岩，加里东、印支期岩体发育，有钴土矿点 2 处	Co 异常较好，常见有内带发育，伴随有 Cr、Co、V、B、Zn 异常，且套合较好	热液型
7	横峰 Co 找矿远景区	C	主要发育青白口纪、寒武-奥陶纪地层，中部发育大量的白垩纪花岗岩	Co 异常较好，常见有内带发育，伴随有 Cr、Co、V、B、Zn 异常，且套合较好	热液型
8	玉山 Co 找矿远景区	B	北东部发育古生代、元古宙基底，上覆中生代陆相盆地，有钴土矿点 1 处	Co 异常较好，常见有内带发育，伴随有 Cr、Co、V、B、Zn 异常，且套合较好	热液型
9	永丰 Co 找矿远景区	B	出露石炭纪—二叠纪碎屑岩建造，北部发育侏罗纪盖层，中部有加里东期花岗岩、燕山期花岗岩侵入。含 Co 建造主要为梓山组、罗凹组等，有钴土矿点 5 处	Cr、Co、V、B、Zn 异常套合较好	热液型、风化淋滤型
10	大余 Co 找矿远景区	C	出露有古生代、元古宙地层，并有大量的白垩纪花岗岩侵入，有钴土矿点 3 处	有较好的 Co、Zn、V、Mn 异常	热液型
11	银坑 Co 找矿远景区	C	主要出露元古宙变质岩，外围有大量的燕山期花岗岩发育，北东向断裂发育，岩脉非常发育，包括酸、中、基性，有钴土矿点 1 处	Co、Mn 异常较好	热液型
12	信丰 Co 找矿远景区	B	中部以侏罗纪、白垩纪陆相盆地为主，外围出露古生代、元古宙地层，有大量的白垩纪花岗岩侵入，有钴土矿点 3 处	在侵入岩边部有较好 Co、Zn、V 异常	热液型、风化淋滤型
13	龙南 Co 找矿远景区	B	出露鸡笼嶂组、菖蒲组等，零星出露古生代、元古宙地层；目前已知有钴土矿点 3 处，一般分布在盆地边缘	Co、Ni、Mn、V、B 异常套合较好，而且异常面积较大	风化淋滤型，热液型
14	定南 Co 找矿远景区	B	区内燕山期岩浆岩广泛发育，包括酸性、中基性等，北东向断裂发育；有钴土矿点 4 处，具备较好的找矿潜力	Co、Ni、Mn、V、B 异常套合较好	热液型
15	寻乌 Co 找矿远景区	B	主要出露地层有前寒武纪牛角河组、高滩组变质岩、寻乌岩组混合岩等，局部有鸡笼嶂组火山岩地层出露，中部有大量的燕山期花岗岩侵入；断裂构造发育，以北东向为主，其次为北西向；有钴土矿点 6 处，主要位于寻乌岩组内，类型为风化淋滤型	发育 Co、Ni、V 异常	热液型
16	菖蒲 Co 找矿远景区	B	主要出露菖蒲组基性火山岩，火山碎屑岩等，有大量的燕山期花岗岩侵入，断裂构造发育，发育钴土矿点 1 处	发育 Co、Ni、Cr 异常	风化淋滤型，热液型

04.005.

Wang H, Feng C Y, Zhang M Y. Characteristics and exploration and research progress of global cobalt deposits[J]. Mineral Deposits, 2019, 38(4): 739-750, doi: 10.1611/j.0258-7106.2019.04.005.

[3]张连昌, 张爱奎, 刘永乐, 等. 沉积岩-变沉积岩型钴矿研究进展与问题[J]. 岩石学报, 2023, 39(4): 981-997.

Zhang L C, Zhang A K, Liu Y L, et al. Research progresses and problems of sedimentary-metasedimentary rock-hosted cobalt deposits

- [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2023, 39(4): 981-997.
- [4] 潘彤. 我国钴矿矿产资源及其成矿作用[J]. *矿产与地质*, 2003, 17(4): 516-518.
- Pan T. Cobalt resources and its mineralization in China[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2003, 17(4): 516-518.
- [5] 赵俊兴, 李光明, 秦克章, 等. 富含钴矿床研究进展与问题分析[J]. *科学通报*, 2019, 64(24): 2484-2500.
- Zhao J X, Li G M, Qin K Z, et al. A review of the types and ore mechanism of the cobalt deposits[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(24): 2484-2500.
- [6] 韩见, 陈其慎, 杨雪松, 等. 钴资源现状及未来 5—10 年供需形势分析[J]. *中国地质*, 2023, 50(3): 743-755.
- Han J, Chen Q S, Yang X S, et al. Current situation of cobalt resources and analysis of supply and demand situation in the next 5-10 years[J]. *Geology in China*, 2023, 50(3): 743-755.
- [7] 赖长金, 罗喜成, 钟烜, 等. 江西上高七宝山铅锌钴矿找矿潜力及找矿方向分析[J]. *世界有色金属*, 2017(19): 111-113.
- Lai C J, Luo X C, Zhong X, et al. Ore-prospecting potential and prospecting direction of lead-zinc-cobalt deposit in Qibaoshan of Shangao County[J]. *World Nonferrous Metals*, 2017(19): 111-113.
- [8] 傅大捷. 赣西五宝山钴矿床地质特征及成因探讨[J]. *矿产与地质*, 1998, 12(2): 106-108.
- Fu D J. Geological features and genesis of the cobalt deposit of Wubaoshan in western Jiangxi[J]. *Mineral Resources and Geology*, 1998, 12(2): 106-108.
- [9] 邹凤辉. 湘东北横洞钴矿床成因矿物学和成矿流体研究[D]. 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所), 2016.
- Zou F H. Study on mineralogy and ore-forming fluids of the Hengdong cobalt deposit in northeastern Hunan Province of South China[D]. Guangzhou: Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Guangzhou Institute of Geochemistry), 2016.
- [10] 吴富江, 吕少俊, 余江, 等. 江西省大地构造单元划分及其意义 [C]//2016 年江西省地质学会论文集汇编 III 专题资料汇编. 2017: 11-22.
- Wu F J, Lv S J, Yu J, et al. The division of geotectonic units in Jiangxi Province and its significance [C]//2016 Jiangxi Geological Society Paper Collection III. 2017: 11-22. (in Chinese)
- [11] 江西省地质矿产勘查开发局. 中国区域地质志: 江西志[M]. 北京: 地质出版社, 2017: 1-1069.
- Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. Regional Geology of China: Jiangxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017: 1-1069. (in Chinese)
- [12] 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 勘查区找矿预测理论与方法(总论) [M]. 北京: 地质出版社, 2014: 75-122.
- Ye T Z, Lv Z C, Pang Z S, et al. Theory and methods of prospecting and prediction in exploration areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 75-122. (in Chinese)
- [13] 刘一, 骆学全, 张雪辉, 等. 钦杭 Cu-Au-Pb-Zn-W 成矿带(东段) 主要地质成矿特征及潜力分析[J]. *地质学报*, 2016, 90(7): 1551-1572.
- Liu Y, Luo X Q, Zhang X H, et al. Geological characteristics of minerogenesis and prospecting in eastern Qinzhou-Hangzhou Cu-Au-Pb-Zn-W metallogenic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(7): 1551-1572.
- [14] 于晓飞, 公凡影, 李永胜, 等. 中国典型钴矿床地质特征及重点地区矿产资源预测[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2022, 52(5): 1377-1418, doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.20220209.
- Yu X F, Gong F Y, Li Y S, et al. Geological characteristics of typical cobalt deposits in China and prediction of mineral resources in the key areas [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2022, 52(5): 1377-1418, doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.20220209.
- [15] 罗小洪, 符鹤琴, 李武显. 江西超基性岩的分布、地质特征及成矿特点[J]. *江西地质*, 1995, 9(3): 187-195.
- Luo X H, Fu H Q, Li W X. Distribution, geological features and metallogenetic characteristics of the ultra-basic rock in Jiangxi [J]. *Geology of Jiangxi*, 1995, 9(3): 187-195.
- [16] 曾勇, 杨明桂, 赖新平, 等. 赣东北地区中晚元古代的岩浆作用与构造环境[J]. *华南地质与矿产*, 2002, 18(3): 37-43.
- Zeng Y, Yang M G, Lai X P, et al. Middle-Late Proterozoic magmatism and its tectonic settings in northeastern Jiangxi Province [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002, 18(3): 37-43.
- [17] 楼法生, 黄志忠, 吴新华, 等. 赣东北中-新生代超基性岩与金刚石找矿前景分析[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(1): 87-91.
- Lou F S, Huang Z Z, Wu X H, et al. Analysis on Mesozoic-Cenozoic ultrabasic rocks in northeast Jiangxi Province and perspective of diamond prospecting [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2001, 7(1): 87-91.
- [18] 王一先, 包志伟. 赣东北蛇绿混杂岩带中大洋斜长花岗岩的地球化学和岩石成因[J]. *地球化学*, 1999, 28(4): 367-373, doi: 10.19700/j.0379-1726.1999.04.007.
- Wang Y X, Bao Z W. Geochemistry and petrogenesis of oceanic plagiogranite in the ophiolite from northeast Jiangxi Province [J]. *Geochimica*, 1999, 28(4): 367-373, doi: 10.19700/j.0379-1726.1999.04.007.
- [19] 曹佳宏, 程希翱. 江西七宝山多金属矿中钴的赋存状态[J]. *矿冶工程*, 1986, 6(1): 19-23.
- Cao J H, Cheng X A. The occurring forms of cobalt in the multiple metallic deposit in Qibao Mountain, Jiangxi Province[J]. *Mining and Metallurgical Engineering*, 1986, 6(1): 19-23.

- 岩分级评价中的应用——以辽西拗陷中元古界蓟县系为例[J]. 地质与资源, 2022, 31(3): 367–374.
- Shi L, Zong W M, Sun Q S, et al. Shale organic heterogeneity evaluation method and its application in source rocks grading evaluation: A case study of Mesoproterozoic Jixianianin in Liaoxi Depression[J]. *Geology and Resources*, 2022, 31(3): 367–374.
- [20] Slatt R M, O'Brien N R. Pore types in the Barnett and Woodford gas shales: Contribution to understanding gas storage and migration pathways in fine-grained rocks[J]. *AAPG Bulletin*, 2011, 95(12): 2017–2030.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21650.1—2008 压汞法和气体吸附法测定固体材料孔径分布和孔隙度 第1部分: 压汞法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 21650.1—2008 Pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption-Part 1: Mercury porosimetry [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [22] Wang F P, Reed R M, John A, et al. Pore networks and fluid flow in gas shales[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. New Orleans, USA: OnePetro, 2009.
- [23] Zhu W Y, Yue M, Ma D X, et al. The micro-structure and seepage characteristics of shale reservoir [J]. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2014, 6(1): 312–315.

(上接第 643 页/Continued from Page 643)

- [20] 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度[J]. 地球化学, 1994, 23(2): 140–145, doi: 10.19700/j.0379-1726.1994.02.005.
- Li T. Element abundances of China's continental crust and its sedimentary layer and upper continental crust[J]. *Geochimica*, 1994, 23(2): 140–145, doi: 10.19700/j.0379-1726.1994.02.005.
- [21] 史长义, 梁萌, 冯斌. 中国水系沉积物 39 种元素系列背景值[J]. 地球科学, 2016, 41(2): 234–251.
- Shi C Y, Liang M, Feng B. Average background values of 39 chemical elements in stream sediments of China[J]. *Earth Science*, 2016, 41(2): 234–251.
- [22] 刘东盛, 王学求, 聂兰仕, 等. 中国钴地球化学异常特征、成因及找矿远景区预测[J]. 地球科学, 2022, 47(8): 2781–2794.
- Liu D S, Wang X Q, Nie L S, et al. Cobalt geochemical anomalies characteristics and genesis in China and metallogenic prospecting areas prediction[J]. *Earth Science*, 2022, 47(8): 2781–2794.
- [23] 江西省地质矿产勘查开发局. 中国矿产地质志—江西卷(下册)[M]. 北京: 地质出版社, 2015: 221–356.
- Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. Mineral geology of China: Jiangxi Province (volume 2) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2015: 221–356. (in Chinese)
- [24] 邹凤辉, 许德如, 王智琳, 等. 湘东北横洞钴矿床地质特征及成因机制探讨[C]//中国矿物岩石地球化学学会第 15 届学术年会论文摘要集(4)会议论文集. 长春: 中国矿物岩石地球化学学会, 2015: 95–96.
- Zou F H, Xu D R, Wang Z L, et al. Geological characteristics and genetic mechanism of the Hengdong cobalt deposit in northeastern Hunan [C]//Proceedings of the 15th Annual Meeting of the Chinese Society for Mineralogy, Petrology and Geochemistry (4). Changchun: Chinese Society for Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2015: 95–96. (in Chinese)