

辽宁清原地区铜锌矿床找矿标志及找矿方向

于凤金^{1,2}, 王恩德¹, 宋晓军³, 张润峰³, 杨铁军³, 李伟³, 王锡华³

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 辽宁省有色地质局勘查总院, 辽宁 沈阳 110002; 3. 辽宁省有色地质局抚顺地质勘查院, 辽宁 抚顺 113015)

摘要: 清原太古宙花岗岩-绿岩地体中块状硫化物铜锌矿床具海底火山喷发作用控矿、沉积作用控矿、裂谷槽盆构造控矿、褶皱构造控矿特征。分析建立了薄层互层带、穹隆体外缘、褶皱脊线、垂向导零值线、TEM异常及K₂O/Na₂O比值、卤族元素异常、汞异常等综合找矿标志。最后提出了探边、摸底、攻深、找盲的找矿方向。

关键词: 铜锌矿床, 控矿特征, 找矿标志, 辽宁清原

辽宁东北部清原地区太古宙花岗岩-绿岩地体发育, 是国内最早被界定的太古宙绿岩带^[1], 并以赋存红透山式块状硫化物铜锌矿床而著称。上世纪50年代发现红透山矿床以来, 地质研究工作^[2-6]主要集中在80年代到90年代初, 归纳起来主要是围绕花岗岩-绿岩地体的地球化学证据、同位素年龄、成矿物质来源及变质变形、矿床成因等方面。这些研究作为解决清原地区花岗岩-绿岩地体成矿背景、时空演化、成因机理等提供了大量信息。在此基础上, 结合笔者在清原地区找矿工作实践, 总结了该地区铜锌矿床的找矿标志, 明确了新一轮找矿方向。

1 地质背景及矿床分布

研究区位于华北地台北缘东段辽东台背斜铁岭-靖宇古隆起之中部。北东向的浑河断裂横贯整个地体, 将其分为南北两个部分。浑河以南为小莱河花岗岩-绿岩带; 浑河以北为由清原花岗岩-绿岩带和被其包围呈穹隆状产出的景家沟麻粒岩-片麻岩区所组成^[1]。清原花岗岩-绿岩带具有“三位一体”的岩石组合特征, 即下部的基性和部分超基性岩群, 中部的钙碱性火山岩夹少量沉积岩, 上部的沉积岩群。该套绿岩可分为3个绿岩带(图1), 即大荒沟-张胡沟绿岩带、树基沟-红透山绿岩带、孤家子-红旗山绿岩带。根据矿床空间展布特征, 相应地划分为3个铜锌成矿带, 即北部矿带(以红旗山矿床为代表)、中部矿带(亦称树红矿带, 以红透山、树基沟矿床为代表)、东部矿带(以大荒沟、稗子沟矿床为代表)。其中红透山大型铜锌矿为该地形成于花岗岩-绿岩带中的典型矿床。

2 控矿特征

2.1 海底火山喷发作用控矿

通过对清原地区花岗岩-绿岩地体的地质研究, 特别是对含矿岩系的层位、岩序及岩石组合等的深入研究, 认为铜锌矿体与火山岩关系密切。可将火山-沉积岩建造划分为3个大旋回、6

个亚旋回, 总厚度2380 m。各建造旋回端员都以玄武岩开始, 正常沉积岩结束。其主要岩性为拉斑玄武岩、安山岩、英安岩, 其次为英安流纹岩、凝灰质粉砂岩、长石砂岩、铁质碧玉岩等。第一旋回以普遍含炭、局部有沥青铀矿化为特征; 第二旋回以普遍赋存有铜锌矿床、火山角砾熔岩和火山蚀变岩为特征, 火山作用与铜锌矿床有关的主要蚀变有透闪石化、绢云母化、电气石化及次生石英岩化; 第三旋回以富铁镁质英安岩、凝灰质粉砂岩和正常沉积岩增厚, 普遍黄铜矿化为特征。

据矿石的硫和铅同位素组成特征, 结合地质环境分析, 认为成矿流体为高盐度富含还原介质和H₂S的含矿流体。它在酸性火山岩喷发的间隙期, 通过海底火山喷发作用进入海底, 并与海水混合后, 通过火山口或断裂体系下渗循环对流, 在适宜的海底洼地中沉积成矿。因此, 矿床成因类型应属受变质改造的海底火山喷气型火山沉积矿床^[6]。

2.2 沉积作用控矿

在各矿床含矿岩系, 即薄层互层带中, 正常沉积建造的岩石都以独特的岩石成分、岩石组合和变余残留组构与上述之拉斑玄武岩、基性-中基性凝灰岩共同组成薄层互层带。此套含矿岩系在火山喷发旋回的末期形成。其主要特点为:

(1) 建造原岩为一套深水沉积的富铝硅酸盐建造, 其岩性为夕线黑云石英斜长片麻岩、夕线黑云斜长片麻岩、黑云石英片麻岩、蓝晶石榴黑云斜长片麻岩、直闪石英岩及浅粒岩等。

(2) 富铝硅酸盐的沉积岩更为突出的特征是岩石中保留有原岩的沉积变余残留组构, 即铝硅酸组分的硅质岩结核。根据其产出环境特征, 笔者称其为变余硅质岩。目前在红透山矿床和树基沟矿床的含矿岩系中均发现了此类岩石。呈透镜状、结核状定向排列, 夹于薄层互层带当中。岩石主要矿物成分为石英, 其次有少量夕线石、绢云母和石榴子石等。根据其物质成分、形态特征及产出环境分析, 推测其为火山作用产物。

2.3 裂谷槽盆构造控矿

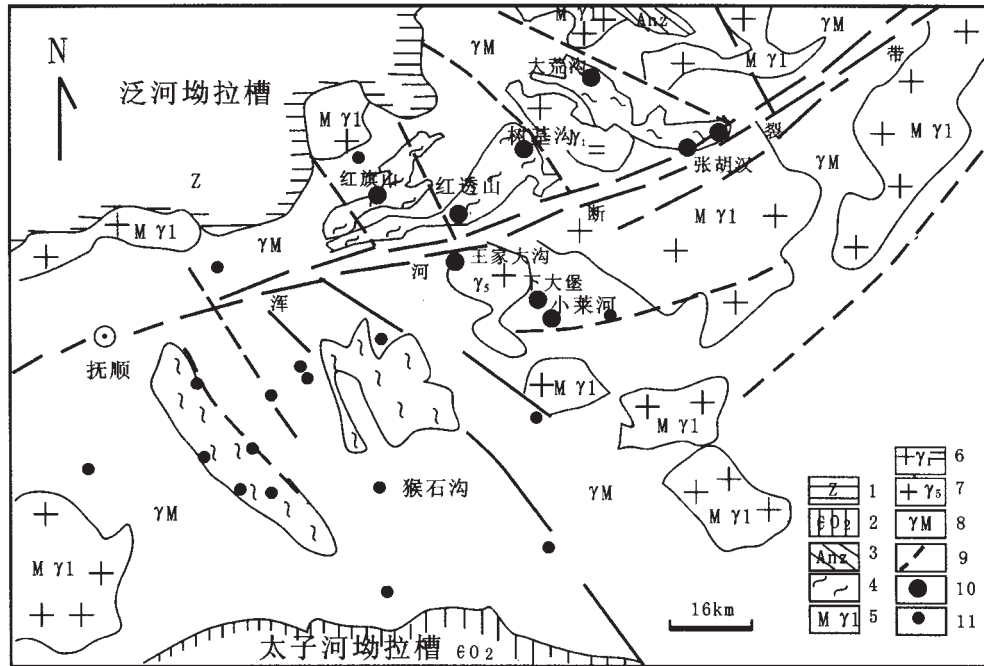


图1 抚顺-清原区域地质图

Fig. 1 Regional geologic map of Fushun-Qingyuan area

1—震旦系(Sinian system); 2—寒武系-奥陶系(Cambrian-Ordovician systems); 3—辽河群(Liaohu group); 4—太古宙绿岩(Archean greenstone); 5—混合花岗岩(migmatitic granite) 6—太古宙花岗岩(Archean granite); 7—燕山期花岗岩(Yanshanian granite); 8—花岗混合岩(granitoid migmatite); 9—断裂(fault); 10—矿床(deposit); 11—矿点(ore spot)

根据本区成矿带含矿岩系的展布特征,推断此类矿床受裂谷槽盆构造控制,成矿物质来源于火山喷发,裂谷槽盆为沉积物提供了沉积场所。

含矿岩系的展布呈带状、条带状,槽盆低凹处岩系厚度和延深最大,岩石组合多,一般厚度为430~3200 m。

含矿岩系中的火山岩属洋壳扩张型,沉积物以火山岩为主,正常沉积为次。岩系层序在剖面上具有多旋回性,岩层保留完整的对称性。每个旋回的最上部岩层均为黏土质、泥砂质沉积岩所覆盖。槽盆所在部位褶皱构造最发育。

2.4 褶皱构造控矿

含矿岩系在成岩成矿过程中至少遭受了3期区域性的中深变质作用和变形作用的影响^[3],在岩层褶皱构造的虚脱部位,即构造封闭较良好的部位,使矿体产生了形变。同时,矿质在混合岩化及热液作用过程中,又产生了局部重熔迁移和富集,即矿质从高压区往低压区塑性变形和同位素分馏。在形变中褶皱鞍部矿体厚度增大,翼部变薄。高压区矿石品位含量低于低压区。³²S往低压区分馏富集。比如,红透山矿床褶皱鞍部控制着厚大的矿柱;东南山矿床褶皱鞍部矿体厚度增大,翼部变薄。红透山矿床矿柱的品位比翼部的品位高出几倍,³⁴S、³²S都以矿柱为主体,产生水平和垂直方向的分带性等。

褶皱构造对矿床和矿体的控矿作用还表现在矿体产状与第一、二期褶皱形态产状的一致性。

3 找矿标志

找矿标志即矿化作用所显示或反映的特殊地质现象,或关于探测目标物的地质、地球物理、地球化学的辨识特征。它是找矿的重要线索,也是勘查研究和探索的重要对象^[7]。找矿标志的总结和建立,对清原地区新一轮铜锌矿床的找矿具有重要的指导意义。

3.1 地质标志

3.1.1 地层标志

(1) 石榴直闪黑云石英片麻岩、豹皮状斜长角闪岩为识别红透山组地层的标志层,含矿岩系位于该标志层的上部层位中。

(2) 含矿岩系地层是由厚层下角闪岩、薄层互层带及上角闪岩3部分所组成。在下角闪岩顶板界面10~150 m处是层状矿体的赋存部位,也即容矿岩层的所在部位。

(3) 薄层互层带是由角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、夕线黑云斜长片麻岩等5种以上的变质火山-沉积岩的岩石所组成,总厚度70~250 m。单层厚度0.3~0.5 m,岩系中的火山岩具有正火山岩岩浆演化序列。在火山喷发末期喷气过程中有大量正常沉积的黏土质、泥砂质沉积物同时沉积,因而夕线黑云斜长片麻岩、黑云石英片麻岩及变余硅质岩等,成为容矿岩系的找矿标志层。

3.1.2 构造标志

(1) 太古宙陆核中的穹隆构造是绿岩带成岩后的后期主要

构造地质体,绿岩带地层因受穹隆体的隆起作用而产生了区域性变质变形,从而绿岩带紧紧地围绕着穹隆体而呈残留环带状展布.经长期的剥蚀作用形成的穹隆体外缘是保存含矿变质岩系的有利地段,因而是找矿的最佳构造部位.

(2)含矿的变质火山岩系属于大洋裂谷型钙碱性拉斑玄武岩系,因此大洋裂谷槽盆是寻找此类型矿床的有利构造部位.

(3)槽盆构造中的岩层在变形中褶皱构造最发育,矿床赋存在多期褶皱构造叠加的大型同斜向形褶皱内.褶皱的层间虚脱部位是控矿有利构造空间,第一期和第二期两期的褶皱脊线产状与矿体产状相一致,因此可以根据褶皱脊线产状预测矿体侧伏方向和所在部位.

3.1.3 矿石结构及元素组合标志

(1)凡具有工业意义的铜锌矿床,矿石构造绝大部分为致密块状,极少数为稠密浸染型,是属于含金银的铜-锌型块状硫化物矿床. Cu、Zn 比为 1:1 ~ 1:2.

(2)含矿岩系中,尤其在薄层互层带中,Cu、Zn、Pb、Cr、Ni、Co、V、Ti 元素和卤族元素(F、Cl)均呈正消长关系. Cu、Zn、Ag、F、Cl 元素在容矿岩中含量最高,可作为找矿的指示元素.

(3)矿体的氧化露头有良好致密块状铁帽,可以作为找矿的直接地质标志.

3.2 地球物理标志

(1)航磁场特征表明,已知的块状硫化物铜锌矿床均位于磁场梯度带附近,尤其是在上延不同高度垂向导零值线交叉变化的部位和不同方位水平一导轴向线交汇处.磁场的梯度带和磁场垂向导零值线反映了地质体隆起的边界,而上延不同高度垂向导零值的变化反映了断裂构造的存在.古隆起的边缘与早期北西向断裂交汇处是薄弱地带,有利于古火山的喷发,因此,隆起的边缘与断裂(特别是北西向断裂)交汇处附近是寻找红透山式铜锌矿床最有利的空间.

(2)铜锌矿体具有稳定的自电异常,其异常值在 -65 ~ +360 mV.

(3)铜锌矿体具有明显的 TEM 异常,表现为瞬变响应值高,衰减速度慢等特点,属于良导低阻体的反映.瞬变电磁法(TEM)找矿试验结果已经证实,该方法所获得的异常可以作为寻找红透山式块状硫化物铜锌矿床的一个重要标志,尤其适合于埋深较大的隐伏矿体,这也为深部探矿工程的摆布提供更加可靠的依据和信息.图 2 为 2003 年采用 TEM 法对树基沟区已知 5 号矿体测量所获的等值线立体图,结果表明,15 号点出现明显的 TEM 异常,且显示向测线大号倾斜,这与该矿体实际揭露情况极其吻合.

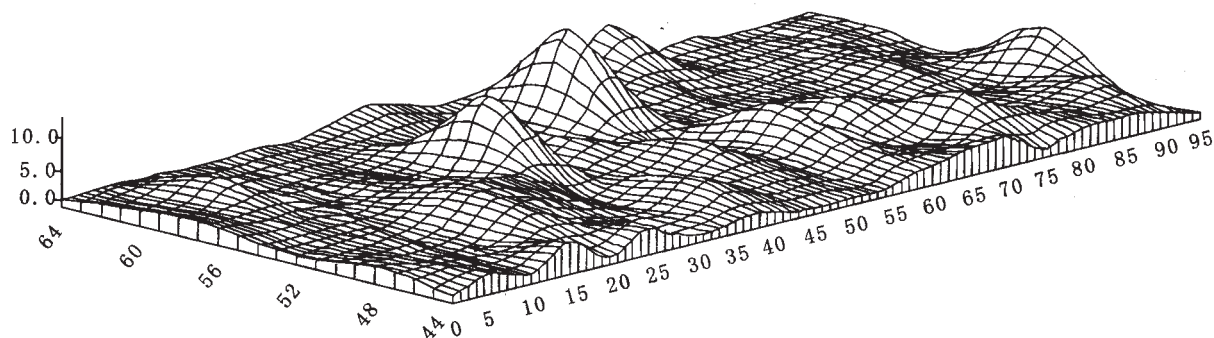


图 2 树基沟区 5 号矿体 TEM 法 20 测道 $V/I(\mu V/A)$ 等值线立体图

Fig. 2 Isoline stereogram of TEM for No. 5 ore body in Shujigou area

3.3 地球化学标志

(1)容矿岩层岩石化学

富含夕线石、石榴石的黑云斜长片麻岩及黑云石英片麻岩为红透山矿床的主要容矿岩层,以富铝的变质矿物和石英含量高为特征.通过容矿岩层与非矿岩层的岩石化学对比分析可知,容矿岩层具有高 Al_2O_3 (11.02% ~ 22.66%)、高 SiO_2 (63% ~ 81.66%)、高 K_2O (4.2% ~ 5.5%) 和低 Na_2O (1.53%) 的特征,即所谓的“三高一低”的特征.其中 K_2O/Na_2O 比值(表 1)最具找矿意义.由该表可以看出,容矿岩层中 K_2O/Na_2O 比值高达 2.32,而非容矿岩层中 K_2O/Na_2O 均小于 1.临近矿体时,容矿岩层中该比值最高达 4,远离矿体时其值逐渐降低.

(2)岩石、矿石中卤族元素异常

矿床中卤族元素异常明显,从表 2 中可以看出,卤族元素 I 及 Cl 是最佳的找矿指示剂,虽然 F 的浓度克拉克值偏低,但矿

表 1 红透山矿区变质岩 K_2O/Na_2O 平均比值

Table 1 Average ratio of K_2O/Na_2O of the metamorphic rocks from Hongtoushan ore field

岩石名称	样品数	K_2O/Na_2O	备注
斜长角闪岩	31	0.55	非容矿岩层
斜长角闪片麻岩	31	0.32	非容矿岩层
角闪斜长片麻岩	31	0.24	非容矿岩层
角闪石岩	31	0.14	非容矿岩层
黑云斜长片麻岩	22	0.73	非容矿岩层
石榴、夕线黑云斜长片麻岩	22	0.98	非容矿岩层
石榴黑云斜长片麻岩	22	0.13	非容矿岩层
黑云斜长片麻岩	22	0.27	非容矿岩层
石榴、夕线黑云斜长片麻岩及黑云石英片麻岩	5	2.32	容矿岩层

表 2 红透山矿床-167 m 岩石(矿石)卤族元素和汞异常值及浓度克拉克值

Table 2 Abnormal value of haloid elements and Hg from the rocks and ores in Hongtoushan deposit and their concentration clarke

岩石名称	样品数	F		I		Cl		Hg		背景值			
		x	x/k	x	x/k	x	x/k	x	x/k	F	I	Cl	Hg
角闪斜长片麻岩	50	122	0.195	0.26	0.52	183	1.407	0.095	1.18	118.7	0.287	213	0.128
黑云斜长片麻岩	60	116	0.186	0.31	0.62	238	1.831	0.155	1.93				
夕线黑云斜长片麻岩(容矿岩)	9	249	0.398	0.91	1.82	324	2.492	0.272	3.40	2.22	12.51	253	8.52
矿体(致密型)	14	264	0.422	3.59	7.18	538	4.138	1.091	13.63				

x 为异常值(单位 10^{-6}), x/k 为浓度克拉克值。

体、容矿岩层与围岩相比,异常值相对还是偏高的。矿体中 F、I、Cl 浓度克拉克值分别为 0.422、7.18 和 4.138。更为突出的是矿体中卤族元素最高含量浓度与围岩背景值相比,两者相差极为悬殊。F、I、Cl 最高浓度值分别为 2.93、52.60 和 5.16。

(3) 岩石、矿石及土壤中的汞异常

铜锌矿床与汞元素关系密切。据红透山矿床-167 m 中段的 133 件样品统计,汞的浓度克拉克值围岩为 1.18、容矿岩层为 3.40、矿体为 13.63。围岩与矿体汞元素异常值相对差值较大,围岩平均含汞为 0.128×10^{-6} 、矿体为 1.091×10^{-6} ,两者相差 8.5 倍(参见表 2)。汞主要赋存于硫化物相中,成矿后,经漫长的地质演化,在主矿体上方具有明显的汞气异常,其扩散晕一般宽 40~100 m。红透山矿区土壤汞气试验结果表明,在主矿体上方具有明显的汞气异常,宽度达 500 m,峰值 39.4 ng/m^3 (背景值为 $0.10 \sim 0.2 \text{ ng/m}^3$)。

4 找矿方向

开展清原太古宙花岗绿岩地体中新一轮的块状硫化物铜锌矿床的找矿,要在综合分析研究以往所获各项地质资料和找矿成果的基础上,紧紧抓住控矿因素和找矿标志,采取地质、物探、化探、遥感等综合方法勘查,特别要注意诸如以信息技术为基础的具有分辨率高、穿透性强的大功率物探电法等新方法的应用。今后的找矿方向可以概括为探边、摸底、攻深、找盲。

探边:就是对已知矿床(体)的走向延长上尚未控制的地段,进一步进行追索和控制。要重点选择红透山矿床 39 线以东 3、7、30 号等矿体的南东延长部位及树基沟矿床 38 线以西 1、2、3 号等矿体的西部延长部位投入地质勘查工作。

摸底:就是对已知矿床(体)的深部尚未完全控制的地段进一步进行勘查。树基沟、红旗山、稗子沟等 3 个已闭坑的生产坑口,其采矿下限和勘探下限在 -100~300 m,深部找矿潜力巨

大,极具恢复生产的可能性。

攻深:红透山式铜锌矿床矿体倾斜延深大于走向延长是其一个重要特征,新一轮找矿必须在研究矿体的延深上下攻夫。应重点选择六家子、孤家子、西北山、桦家沟等已知矿点,投入以大功率物探电法和钻控工程为主的探矿工作,以求扩大矿区范围,增加新的储量。

找盲:就是在地表无地质标志或找矿标志不明显的地段寻找新的隐伏矿床(体)。在前述的三大绿岩带中选择以往工作程度较低的工作区或经综合研究确定的找矿有望区,投入以激电中梯、激电测深、TEM 法等新技术为主的新一轮地质勘查。

致谢:蒋子良高级工程师在本文的成文过程中提出了有益的意见和建议,在此表示衷心谢忱!

参考文献:

- [1] 毛德宝,沈保丰,李俊建,等. 辽北清原地区太古宙地质演化及其对成矿的控制作用[J]. 前寒武纪研究进展,1997,2(3):1—9.
- [2] 芮宗瑶,施林道,方如恒,等. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1994. 35—40.
- [3] 张秋生,等. 中国早前寒武纪地质及成矿作用[M]. 长春:吉林出版社,1994. 132—165.
- [4] 翟明国,杨瑞英,卢文江,等. 清原太古代花岗岩—绿岩地体的常量和微量元素地球化学证据[J]. 地质论评,1984,3(6):523—533.
- [5] 翟明国,杨瑞英,黄宗祥,等. 红透山太古代绿岩带型块状硫化物铜锌矿床的稀土元素找矿标志[J]. 科学通报,1984,5:371—374.
- [6] 陈昌勇,李守义,范继璋,等. 华北地壳北缘金银铜铅锌成矿系列综合信息找矿模型[J]. 世界地质,1999,18(1):25—31.
- [7] 姚敬兰,张素兰,曹洛华,等. 中国主要大型有色、贵金属矿床综合信息找矿模型[M]. 北京:地质出版社,2002. 6—11.

(下转第 250 页)

RE-UNDERSTANDING OF THE METALLOGENETICS OF GOLD DEPOSITS

SHAO Jun¹, HUI De-feng², KONG Xiang-min¹, ZHOU Nai-wu³

(1. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China*; 2. *Taibai Gold Mine of Shaanxi Province, Taibai 721600, China*;
3. *Institute of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China*)

Abstract: Auriferous formations, which are made of sedimentary rocks or volcanic-sedimentary rocks containing C, S and Fe, can be divided into five types depending on their forming conditions and evolution. The dual nature of Au element determines its characteristics of dual mineralization process. Metallogenetic materials of all endogenetic gold deposits come directly from auriferous formations. The metallogenetic hydrothermal fluids are evolved from water in the auriferous formations. Absolute gold deposits are classified as six types, based on auriferous formations that are the foundation of Au-mineralization. The mineralization mechanism of gold deposits is discussed referring “liquid state ore-source” and “secondary transportation”. The metallogenetic model of gold deposit is set up.

Key words: Au; dual characteristics; gold deposit; auriferous formation; metallogenetic process; metallogenetic model

作者简介:邵军(1963—),男,研究员,1986年毕业于河北地质学院矿产普查专业,主要从事矿产地质研究和资源评价工作,现为吉林大学博士研究生,通讯地址 沈阳市北陵大街 25 号,邮政编码 110033, E-mail//sysjun@cgs.gov.cn

(上接第 232 页)

PROSPECTING CRITERIA FOR COPPER-ZINC DEPOSITS IN QINGYUAN, LIAONING PROVINCE

YU Feng-jin^{1,2}, WANG En-de¹, SONG Xiao-jun³, ZHANG Yun-feng³, YANG Tie-jun³, LI Wei³, WANG Xi-hua³

(1. *Institute of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China*; 2. *Liaoning Bureau of Non-ferrous Geological Survey, Shenyang 110002, China*; 3. *Fushun Institute of Geological Exploration, Fushun 113015, China*)

Abstract: The ore-control factors of the massive sulfide Cu-Zn deposits in Qingyuan Archeozoic granite-greenstone include submarine volcanic eruption, sedimentation, taphrogeosyncline structures and folding. The comprehensive prospecting criteria are established in such aspects as thin interbedded belts, dome borders, fold axes, zero lines of vertical secondary derivation, TEM anomalies, K_2O/Na_2O value, bulogen family element anomalies, mercury anomalies and so on.

Key words: Cu-Zn deposit; ore-control feature; prospecting criterion; Qingyuan area

作者简介:于凤金(1965—),男,高级工程师,东北大学资源与土木工程学院博士研究生,主要从事有色金属、贵金属矿产普查与勘探工作,通讯地址 沈阳市和平区柳州街 17 号,邮政编码 110002, E-mail//kuangye@geology-ln.com