小热泉子铜矿床物化探找矿效果及综合找矿模式*

刘光海　孙德梅　白大明
(中国地质科学院矿床地质研究所，北京)

提　要：对小热泉子铜矿进行了一系列物探找矿方法的试验研究工作，其中包括：重力、井中充电激发极化法、高精度磁测、地–井方式激发极化法、甚低频电磁法、瞬变电磁法、天然电磁场测深、可控源音频电磁法、分布式被动源阵列电磁法及中间梯度激发极化法等。仅钻孔原生晕取得一定的地质效果。

关键词：铜锌矿床　物化探　综合找矿模式　找矿效果
中图分类号：P631.2+4

1　矿床地质特征

小热泉子铜（锌）矿处于哈萨克斯坦古洋板块之准噶尔微型板块与塔里木古陆板块对接带北侧的哈尔里克–大南湖晚古生代陆缘弧带中。矿区地层以下石炭统小热泉子组（C_1x）及中石炭统底坎尔组（C_2d）为主，前者为矿区的主要含矿层。矿区内已知铜锌矿化，南北长约3 km，东西宽约 2.2 km。由Ⅰ号、Ⅲ号两个矿床，Ⅴ号矿点，Ⅱ号、Ⅳ号矿化蚀变带组成。

Ⅰ号矿床分布于矿区中部，是目前工作的主要对象，矿床规模已达中型（图 1）。含矿层为下石炭统小热泉子组第一岩性段，岩性为火山凝灰岩及凝灰质碎屑沉积岩，矿床的矿石按自然类型可分为氧化铜矿石、次生富集带铜矿石和原生硫化物铜矿石。氧化矿石矿物主要为氯铜矿、孔雀石和胆矾，褐铁矿、黄钾铁矾，其次有硅孔雀石、蓝铜矿，局部有自然铜。非金属矿物有石英、绿泥石、高岭土、石膏及其它盐类矿物。原生硫化物矿石中所见的金属矿物为黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、毒砂、磁黄铁矿、黝铜矿、斑铜矿、辉铜矿、磁铁矿等。非金属矿物主要有石英、绿泥石、碳酸盐、绢云母、萤石、磷灰石、石膏等，还有多种稀散元素。

小热泉子铜矿成矿作用复杂，加之矿区地形平坦，第四系覆盖及盐碱沉积广泛，致使许多地质现象仅靠钻孔岩心观察。不少专家、学者和研究者到矿区考察或研究工作后，根据某些地质现象，从不同侧面对矿床成因提出种种的认识：有的认为该矿床是与中酸性斑岩体或潜火山斑岩体有关的斑岩型铜矿床；有的认为属火山岩型块状硫化物矿床；有的认为是火山热液矿床。随着普查工作的深入，地质现象的不断被揭露，在矿区工作时间较长的几个单位

* 本文系原地质矿产部定向基金项目（直科定 94-25）和“九五”国家科技攻关新疆三〇五项目（96-915-05-04）资助的部分研究成果
第一作者简介：刘光海，60 岁，研究员，主要从事综合找矿方法及矿产预测研究工作。邮政编码：100037
1998-07-21 收稿，1999-01-06 修改回
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

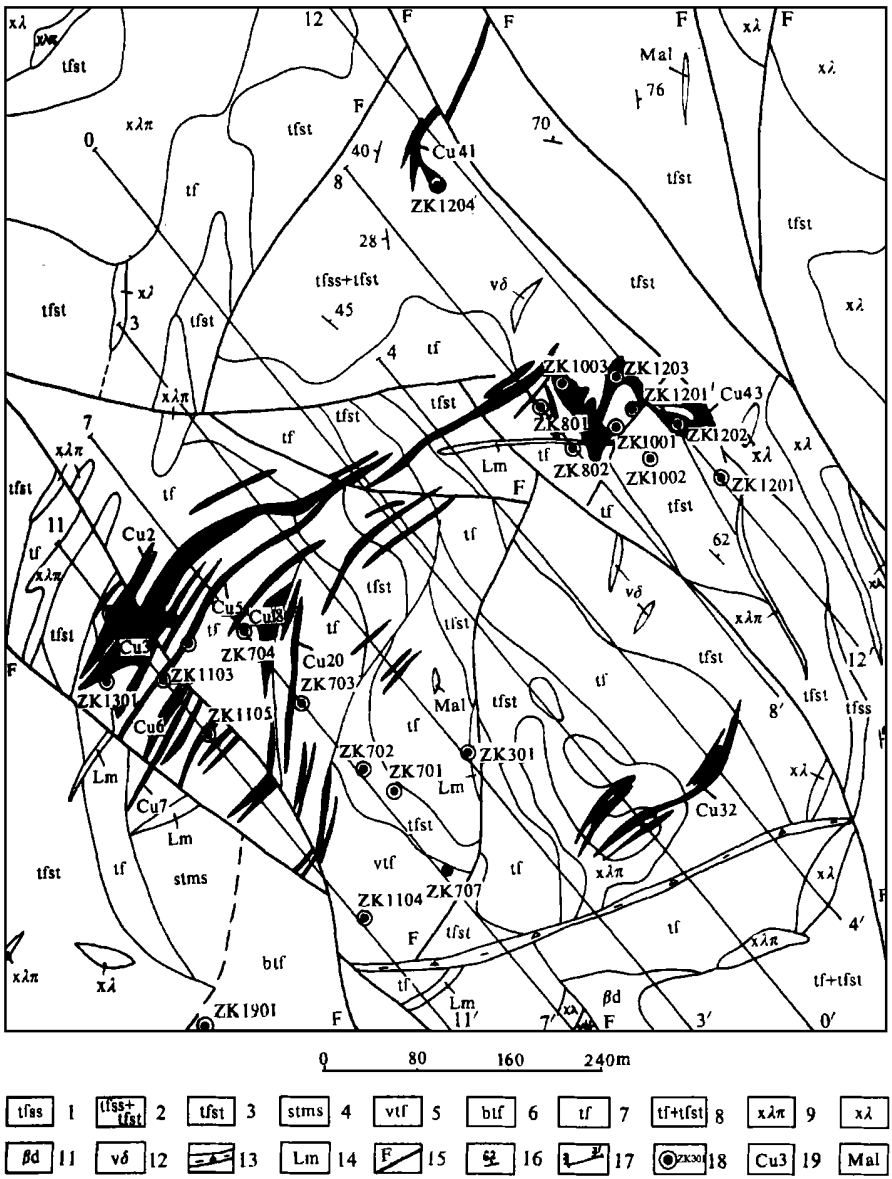


图 1　小热泉子铜矿区Ⅰ号矿床地质图

(据新疆地矿局 11 大队 1997 年资料)

1—凝灰质砂岩；2—凝灰质砂、粉砂岩；3—凝灰质粉砂岩；4—凝灰质泥岩；5—角砾凝灰岩；6—岩屑凝灰岩；7—凝灰岩；8—凝灰岩及凝灰质粉砂岩；9—钠长斑岩；10—英安斑岩；11—玄武安山岩；12—辉长闪长岩脉；13—破碎带；14—红化带；15—断层；16—产状；17—勘探线及编号；18—钻孔及编号；19—铜矿体及编号；20—铜矿化体

Fig. 1. Geological sketch map of No. 1 ore deposit in the Xiaorequanzi copper ore district.

1—Tuffaceous sandstone; 2—Tuffaceous sandstone, siltstone; 3—Tuffaceous siltstone; 4—Tuffaceous mudstone; 5—Brecciated tuff; 6—Lithic tuff; 7—Tuff; 8—Tuff and tuffaceous siltstone; 9—Albitophyre; 10—Dacite porphyry; 11—Basaltic andesite; 12—Gabbro-diorite vein; 13—Fractured zone; 14—Rubified zone; 15—Fault; 16—Attitude; 17—Exploration line and serial number; 18—Drill hole and serial number; 19—Copper orebody and serial number; 20—Copper mineralized body.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

对该矿床的成因取得了比较一致的认识。如西安工程学院祁思敬教授认为该矿床的形成属火山喷气沉积受改造矿床；成都理工学院徐新煌教授等认为小热泉子铜锌矿床为混合热液叠加改造型层控矿床[*]；新疆地矿局十一地质大队认为：火山热液（喷气）-沉积型叠加热液型；我们根据矿床地质和地球化学、地球物理特征及控矿因素的研究，认为该矿的形成经历了喷气沉积-成岩成矿，混合热液叠加改造及表生氧化、淋滤的次生富集等几个成矿期。成矿物质具多源性，但其主要来源是火山喷发。这些特点与新疆阿舍勒式火山成因块状硫化物矿床[1]相比，既有许多相似之处，又有差别。因此，我们认为小热泉子铜（锌）矿床可能为火山（喷气）热液沉积矿床。

2 矿区岩(矿)石的物性特征

2.1 密度特征

表 1 新疆小热泉子铜矿区地表岩（矿）石密度（10^3 kg/m^3）一览表

Table 1. Densities of rocks (ores) from the surface of the Xiaorequanzi coppper ore district, Xinjiang

岩 性	样品数	变化范围	均值
氧化矿石	40	2.54～3.13	2.78
砂岩、细砂岩、粉砂岩	18	2.61～2.71	2.66
凝灰质砂岩、粉砂岩、硅化凝灰砂岩、粉砂岩	253	2.52～2.78	2.67
晶屑、岩屑凝灰岩	6	2.62～2.72	2.67
硅质岩	2	2.32～2.63	2.48
安山（玢）岩	41	2.64～2.75	2.68
石英钠长斑岩、石英斑岩	33	2.63～2.70	2.66
闪长玢岩、闪长岩、蚀变闪长岩	22	2.64～2.69	2.67
细晶闪长岩、辉长闪长玢岩	46	2.73～2.80	2.75
花岗岩	2	2.69	2.69

注：据新疆物探队资料整理统计

表 2 新疆小热泉子铜矿区钻孔中岩（矿）石密度（10^3 kg/m^3）测定统计表

Table 2. Statistics of densities of rocks (ores) from drill holes of the Xiaorequanzi copper ore district, Xinjiang

岩 性	样品数	变化范围	均值
矿石	113	2.80～4.05	2.94
矿化岩石	139	2.58～2.79	2.77
凝灰质砂岩、粉砂岩；硅化、角砾凝灰岩；晶屑、岩屑凝灰岩；粉砂岩	148	2.41～2.75	2.69
蚀变碱长流纹斑岩	4	2.67～2.74	2.69

根据本组测定的密度结果和收集新疆物化探队的资料，分别对地表、钻孔的不同岩性分类，统计了矿区地表及钻孔岩（矿）石的密度参数值（见表 1，表 2）。

由表 1、表 2 可见，小热泉子矿区，矿石的密度平均值为 2.94×10^3 kg/m^3，矿化岩石的密度平均值为 2.77×10^3 kg/m^3，各类岩石（围岩）的密度平均值为 2.67×10^3 kg/m^3。所以在矿区的矿石、矿化岩石与围岩的密度差可达 $(0.1\sim0.3)\times10^3$ kg/m^3，当矿体和矿化岩石具一定规模时可引起明显的重力异常。

2.2 磁性特征

对矿区的 ZK701、ZK1104、ZK1201 孔采集的岩矿石标本进行高精度磁性测定，统计结果见表 3。

据表 3 可见，在小热泉子矿区，各类岩石（围岩）的磁性微弱，仅能引起平稳的正常场背景值，而矿石和矿化岩石的磁性较强，可引起弱的局部磁异常，给高精度磁测提供了有利的

[*] 徐新煌等，1996，新疆吐鲁番小热泉子铜矿地质特征研究及隐伏矿预测，内部资料
王宗社等，1997，新疆吐鲁番小热泉子铜矿普查地质总结报告，内部资料

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

物性前提条件。

表 3　新疆小热泉子铜矿区 ZK701、ZK1104、ZK1201 孔岩（矿）石磁性，密度统计表

Table 3. Magnetism and densities of rocks (ores) from ZK701, ZK1104 and ZK1201 drill holes of the Xiaorequanzi copper ore district, Xinjiang

岩　性	样品数	磁化率/($4\pi10^{-6}$SI)		剩磁/(10^{-3}A/m)		密度/(10^3 kg/m^3)	
		变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值
矿石	20	35.25～164.33	74.31	0.16～1.54	0.4	2.80～3.10	2.88
矿化岩石	10	35.25～60.00	49.06	0.17～0.37	0.26	2.74～2.79	2.76
硅化、角砾凝灰岩，细火山灰凝灰岩	12	11.70～58.25	27.98	0.08～40.00	9.50	2.66～2.72	2.71
蚀变斑岩	2	8.60～13.81	11.21	0.16～0.24	0.20	2.67～2.70	2.68

注：岩（矿）石磁性由中国地质大学（北京）古地磁实验室测定，测定者：侯国良，1995

2.3　电性特征及地电条件分析

(1) 对矿区部分钻孔岩心分段取样进行极化率测定，见表 4。

表 4　小热泉子铜矿区钻孔岩心极化率测定结果统计

Table 4. Polarizabilities of cores from drill holes of the Xiaorequanzi copper ore district

岩（矿）石名称	测定块数	极化率值（η/%）	
		变化范围	平均值
浸染状、细脉状、团块状铜锌矿石	5	4.5～13.0	8.3
星点状硫化物凝灰岩（矿化岩石）	3	2.5～3.0	2.8
褐铁矿化、绿泥石化含铜锌凝灰岩（矿化岩石）	11	1.9～3.4	2.6
含碳沉凝灰岩	4	3.3～3.6	3.4
沉凝灰岩	6	1.4～2.0	1.8
蚀变碱长流纹斑岩	6	2.0～3.5	2.7

由表 4 可知，含铜锌矿石具有较高的极化率，极化率平均值为 8.3%，而围岩的极化率值< 3%，它们之间存在明显的差异。碳化的岩石，极化率值偏高，但碳化在矿区并不发育。因此，充分利用极化率这个参数，在矿区开展电法工作，有可能取得好的找矿效果。

(2) 根据地-井激发极化法和激发极化法测井工作，了解了矿区岩(矿) 石的电阻率和极化率的变化特征。矿石、矿化岩石一般为低阻、高极化，一般视电阻率（ρ_s< 300 Ω·m），视极化率（η_s）值一般均在 3% 以上；围岩的视电阻率值一般均在 1000 Ω·m 以上，视极化率小于 2%。因此，极化率值仍显示出较好的找矿效果，一般视极化率值（η_s）< 3% 均有矿化显示，且随 η_s 值的增高，矿体的品位愈高；而电阻率的影响因素较多，变化比较复杂。

(3) 矿区所属的吐哈盆地及其南缘属典型的大陆性气候，为我国著名的高温、干旱荒漠区，年降水量仅 0.8～5.2 mm，而蒸发量为降水量的 100 倍以上。此外，由于夏季酷暑、冬季严寒，四季多风沙，致使毛细作用很强，在地表形成高阻与低阻的“双层”结构。上层为 0.5～4 m 的风成沙，使得供电电极 AB 和测量电极 MN 的接地电阻很大（一般约 50～200 kΩ，局部可达 200～500 kΩ。下层为 0.1～3 m 厚的盐碱层，电阻率较低，形成地面直流电法的“屏敝层”。因此，这种地表地层的“双层”结构，大大影响了常规直流电法在地表的测量效果。

3　几种主要物探方法的找矿效果

在小热泉子铜（锌）矿区开展了多种找矿方法的试验，虽然有的方法在其他类似矿床上取得了好的效果[2-4]，而在本矿区由于地质、地球物理条件的差异，仅有以下 3 种物探方法获

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

得了明显的找矿效果。

3.1 高精度重力测量

在区域地质图上，矿区处于阿奇克库都克以北断裂的转折部位，其区域重力场表现为重力梯级带的转向或弯曲处。在矿区通过高精度重力测量结果获得极其明显的剩余重力异常(图 2)，异常范围近 1 km^2，幅值达 1.1×10^{-5} m/s^2，分布在矿区的主要含矿层下石炭统小热泉子组的第一岩性段。在Ⅰ号矿床的剩余重力异常区已打 20 余个钻孔，孔孔见矿，有的见矿厚达 80 m 以上，或者全孔矿化及多层矿体。根据对重力异常进行正、反演计算结果表明，已有钻孔控制的矿体、矿化岩石是引起该重力异常的主要因素，同时还有剩余异常，推测在深部或已有钻孔的旁侧还存在较大规模的矿体和矿化体，有待进一步验证。

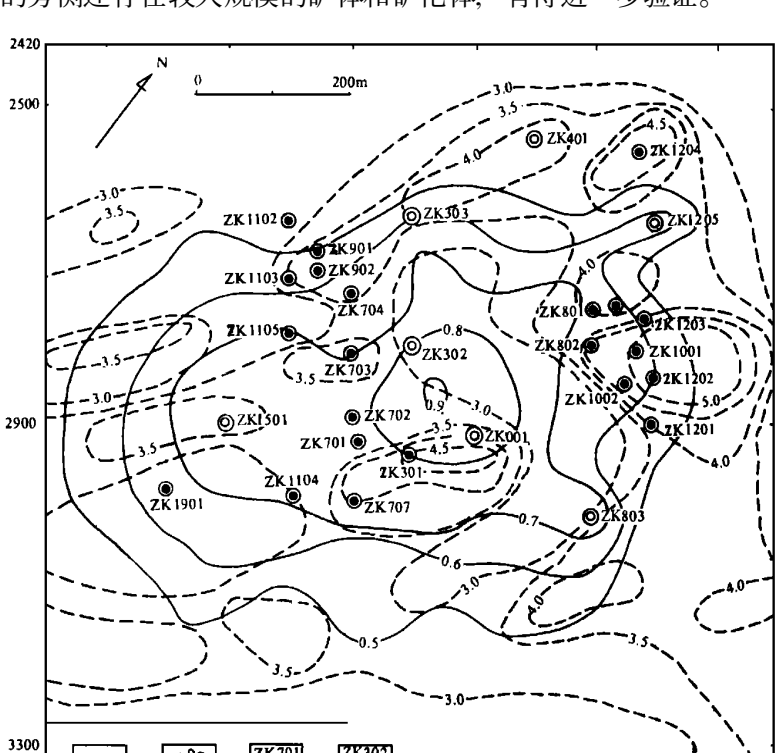


图 2 小热泉子铜矿Ⅰ号矿床剩余重力异常及充电激发极化法极化率异常等值线平面图

1—剩余重力异常等值线 ($10^{-5}m/s^2$)；2—极化率异常等值线 (%)；3—已完工钻工；4—设计钻孔

Fig. 2. Contour map of residual gravity anomalies and polarizability anomalies in No. 1 ore deposit of the Xiaorequanzi copper deposit.

1—Contour line of residual gravity anomaly ($10^{-5}m/s^2$); 2—Contour line of polarizability anomaly (%); 3—Completed drill hole; 4—Designed drill hole.

3.2 井中充电激发极化法

由于小热泉子矿区地处干旱戈壁区，气候干燥，无水系、无植被，地表岩石强烈风化，多

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

为砂质层, 盐碱壳覆盖广泛。在本区开展直流电法 (如视电阻率法、直流激发极化法等), 不仅接地条件极差, 供电困难, 而且由于电极极化效应致使电场产生畸变也影响观测效果。总之, 地面直流电法的应用效果均不太好。为此, 我们在矿区开展了井中充电激发极化法的试验, 测量结果显示出高极化率异常和低电阻率异常与矿体、矿化岩石关系密切, 且极化率异常与金属硫化物的富集程度呈正相关 (图 2)。如在 ZK1202、ZK701 孔附近的高极化率异常, 均由多层硫化物富矿体、矿体和矿化岩石引起。在 I 号矿床的北部出现规模大、强度高的极化率异常带, 经几个钻孔验证, 孔孔见矿。这些都说明, 井中充电激发极化法减弱了风沙层、盐碱壳盖层对直流电法的影响, 充分发挥了激发极化法寻找多金属硫化物矿床的独特作用。

3.3 高精度磁法

在区域磁场中, 小热泉子铜矿区处于低缓正、负磁场的交接部位, 且大部分处于负磁场中。根据矿区 1/5000 高精度磁测工作成果, 可将磁异常分为 3 类: 第一类异常是在主要含矿层下石炭小热泉子组第一岩性段出现的弱磁异常, 其强度值在 10 nT 左右, 磁异常的分布范围与剩余重力异常基本一致, 这类磁异常主要是由铜锌矿体和矿化岩石中的磁黄铁矿、磁性矿物富集引起; 第二类异常是属于平稳的正常背景场, 磁异常强度值< 5 nT, 主要出现在下石炭统小热泉子组没有矿化的火山凝灰岩、凝灰质砂岩分布区; 第三类异常是属于异常强度值> 15 nT 的高磁异常带, 主要出现在中石炭统底坎尔地层、断裂构造带及岩浆岩分布地段。据此可以看出, 在小热泉子矿区采用高精度磁测, 不但可以划分地层界线、区分岩性段、识别构造蚀变带、圈定岩体、进行地质填图外, 还可配合重力资料的解释, 用于直接找矿。

4 综合找矿模式

(1) 小热泉子铜 (锌) 矿床位于觉罗塔格-大南湖晚古生代岛弧带, 为古陆边缘构造岩浆活动带。矿床与火山机构、火山洼地有密切联系。矿床产于下石炭统小热泉子组, 火山凝灰岩是重要的赋矿岩石。

(2) 矿床围岩蚀变较强烈, 与矿有关的主要是绿泥石化、硅化、褐铁矿化、黄钾铁矾化及碳酸盐化。蚀变分带从外向内为绿泥石化→红化 (硅化、褐铁矿化) →黄化 (黄钾铁矾化) →绿化 (氯铜矿、孔雀石) →黑化 (黑铜矿及铁铜矾类矿物)。根据这种蚀变分带规律, 有利于发现和追索矿体。

(3) 区域重力场的梯度带、航磁的低值带以及铜含量高背景区中的 Cu、Zn、Pb、Cd 组合异常是寻找该矿的重要区域物化探异常标志。

(4) 高极化率 (η_s> 3%)、低阻 (ρ_s< 300 Ω·m) 的电异常和明显的甚低频电磁异常的组合异常, 是追踪构造破碎带及地表氧化矿的物探异常标志。

(5) 激发极化法测井、地-井方式激电测量、天然电磁场测深、瞬变电磁法和分布式阵列电磁法异常对物探资料的综合解释、预测隐伏矿体和解决有关的地质问题具有一定的参考价值。

(6) 高重力异常 ($\Delta g_{剩}$> 300×10^{-8} m/s^2)、弱磁异常 (ΔT= 5～20 nT) 以及明显的井中充电激发极化法异常 (视极化率 η_s> 3%、视电阻率 ρ_s< 300 Ω·m) 是发现和圈定深部原生硫化矿体的直接标志和重要的找矿线索 (图 3)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

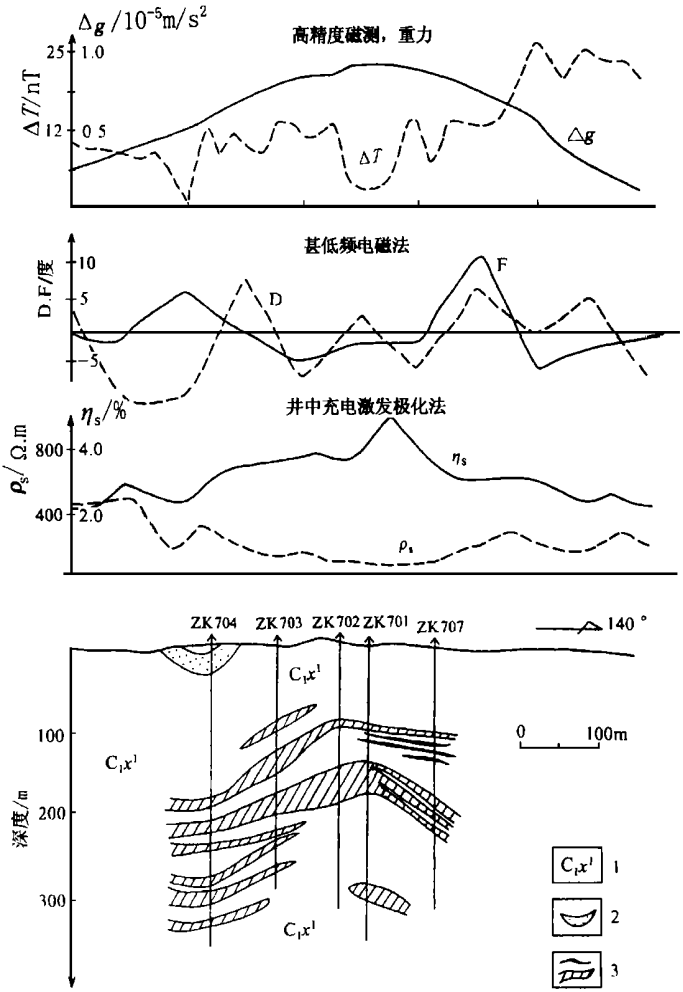


图 3 小热泉子铜矿Ⅰ号矿床综合找矿模式图

1—下石炭统小热泉子组；2—矿化体；3—矿体

Fig. 3. Integrated ore-prospecting model of No. 1 ore deposit of the Xiaorequanzi copper deposit.

1—Lower Carboniferous Xiaorequanzi Formation; 2—Mineralized body; 3—Orebody.

参 考 文 献

1 陈毓川，叶庆同，冯京等．阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测．北京：地质出版社，1996.

2 刘光海，陈仁义，白大明等．东准噶尔铜金矿成矿特征及综合评价方法．北京：地质出版社，1995.

3 朱梅生．金属矿物探与化探现状及前景．物探化探译丛，1995，(5)：8～18.

4 A·Erasher·et al·，On the application of geophysics in the exploration for copper and chrome in Albania· Geophysical prospecting，1995，(43)：743～757.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

EFFECTS OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION IN THE XIAOREQUANZI COPPER DEPOSIT AND THE INTEGRATED ORE-PROSPECTING MODEL

Liu Guanghai, Sun Demei and Bai Daming
(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037)

Key words: copper (zinc) deposit, geophysical and geochemical exploration, integrated ore-prospecting model, ore-prospecting effect

Abstract

The Xiaorequanzi copper (zinc) deposit is a newly-discovered promising copper-rich deposit. Based on a series of tests on geophysical and geochemical ore-prospecting work conducted in the ore district, it is found that the gravity method, the borehole "mise-a-la-masse" IP method and the high-precision magnetic method are most effective ore-prospecting techniques. The ore deposit occurs in tuffaceous sedimentary rocks of Lower Carboniferous Xiaorequanzi Formation. Therefore, the integrated ore-prospecting model of the Xiaorequanzi copper (zinc) deposit should be as follows: The ore deposit is closely related to volcanic apparatuses and volcanic depressions; wall rock alterations are composed mainly of chloritization, silicification, limonitization, jarositization and carbonatization; gradient zones of the regional gravity field, aeromagnetic low value zones and Cu, Zn, Pb, Cd composite anomalies in the high copper background area constitute regional geophysical and geochemical anomalous indicators in search for the ore deposit; composite anomalies characterized by high gravity, low magnetic values, high polarizabilities and low resistivities make up direct indicators and important ore-prospecting clues for discovering and delineating deep primary copper (zinc) orebodies.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w