小热泉子铜矿区物探找矿效果及综合找矿模式

孟 贵 祥
(新疆地质调查院五所, 新疆 昌 吉 831100)

摘 要: 在小热泉子铜矿区进行了一系列综合物探方法的试验研究工作, 其中高精度重力、高精度磁法、激发极化法综合物探勘查对矿床的进一步勘探发挥了重要作用, 综合找矿模式的建立在 2000 年矿区勘探工作中取得了重要的应用效果。

关键词: 铜矿床; 综合物探; 应用效果; 地质—地球物理找矿模式
中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2002) 01-0032-07

小热泉子铜矿的发现是原地矿部“八五”期间在新疆取得的一项突破性的找矿成果, 目前铜矿的开采已取得了明显的经济效益。自 1993 年以来, 几乎所有的金属物探方法在矿区都进行过试验研究或勘查工作, 综合物探找矿发挥了重要指导作用, 主要表现在 ZK701 孔(1994 年) 及 ZK1106 孔(2000 年) 的提出和验证有利地促进了矿区勘探和开采。

1995 年, 小热泉子铜矿区被地矿部列为重点普查区, 在此相继开展了地质、化探及综合物探的勘查和系统研究, 随着勘探的不断深入, 多数地质工作者对矿床的成因、矿体的分布及勘探手段的认识趋于一致。目前矿区勘探的主要目的是寻找隐伏富矿体(品位大于 2%), 为矿山开采提供矿源。通过对以往地物化资料的综合分析和研究, 针对矿区控矿构造复杂、矿体分布连续性较差的特点, 提出了开展矿区大比例尺(1∶2 000) 综合物探(高精度重磁及激电) 测量, 建立了地质—地球物理综合找矿标志, 在当年的勘探工作中就取得了重大找矿成果❶。

小热泉子铜矿区是综合物探找矿应用成功的典型矿区。作者主要分析总结矿区综合物探的实际找矿效果, 以供地质、地球物理工作者参考。

1 矿区地质概况

小热泉子铜矿位于塔里木古陆板块与准噶尔微板块对接缝合带北侧的哈尔里克—大南湖晚古生代陆缘弧带的西南和康古尔塔格韧性剪切带的西端。由于大陆边缘的拉张挤压活动, 地质演化过程十分复杂。形成了各阶段类型多样, 成因复杂的矿床。其中华力西期旋回活动强烈, 构造活动明显, 断裂发育, 火山喷发(溢)、岩浆侵入活动强烈。出露地层主要为一套钙碱性系列的火山碎屑岩—碎屑岩建造, 尤其是在石炭纪拉张阶段, 以铜、金为主的与火山作用有关的矿床占据着重要的地位。

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位。矿区内已知铜矿化, 南北长约 3 km, 东西宽约 2.2 km。由Ⅰ号、Ⅲ号 2 个矿床, Ⅱ号、Ⅳ号 2 个矿化蚀变带及Ⅴ号矿点组成。其中, Ⅰ号矿床分布于矿区中部, 东西长约 800 m, 南北宽约 350 m, 矿体呈北东—南西走向展布。矿床规模已达中型(图 1)❷, 是工作的主要对象。目前的采矿工作集中在Ⅰ号矿床 12 线附近, 含矿层位为下石炭统小热泉子组第一岩性段, 岩性为火山凝灰岩、角砾凝灰岩和凝灰质碎屑沉积岩。矿区侵入岩极为发育, 以钙碱性系列的偏基性或中酸性岩为特征, 各岩体 Cu 背景值较高。矿床矿石类型按矿石矿物组合和结构构造可划分为浸染状黄铁矿—黄铜矿矿石, 块状黄铁矿—黄铜矿矿石、细脉—网脉状黄铁矿—黄铜矿矿石—稠密浸染状黄铜矿—闪锌矿石, 其次见有斑杂状铜矿石、块状胆矾矿石、脉状孔雀石、氯铜矿矿石等。矿区主体构造为一轴向北西—南东向的穹窿构造, 核部为小热泉子组第一岩性段下部地层, 核部附近

❶孟贵祥, 徐敏山, 潘德仁, 等. 新疆吐鲁番市小热泉子铜矿区综合物探详查工作报告. 2000.
❷王宗社, 赵银臣. 新疆小热泉子铜矿地质普查报告. 1997.
收稿日期: 2001-08-27

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

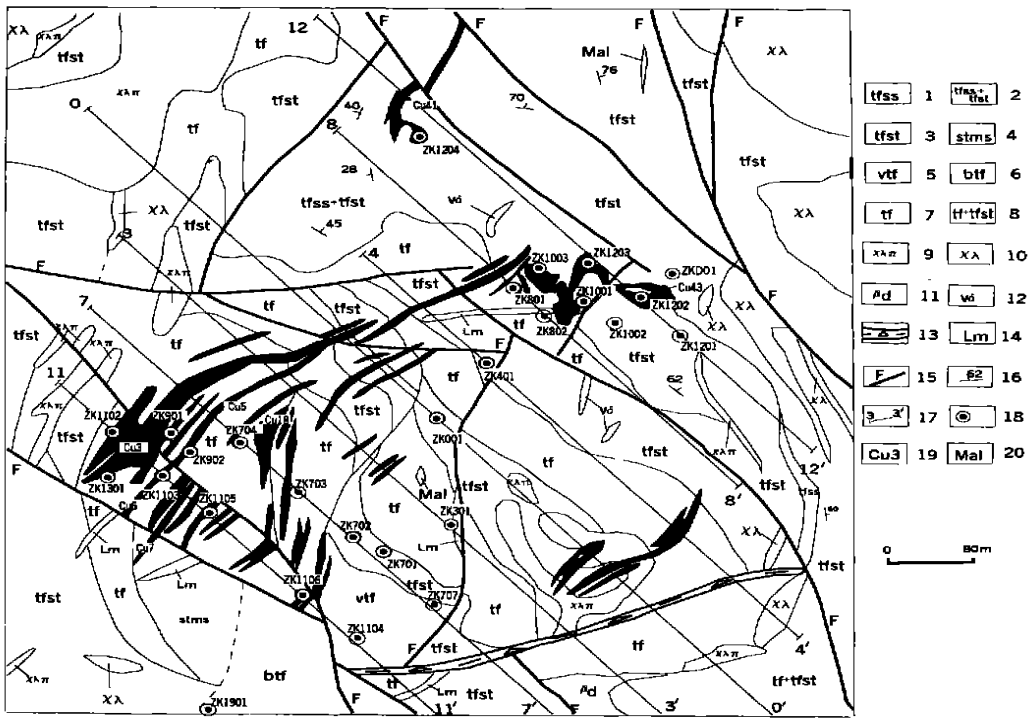


图 **1**　小热泉子铜矿区Ⅰ号矿床地质

1—凝灰质砂岩; 2—凝灰质砂岩、粉砂岩; 3—凝灰质粉砂岩; 4—凝灰质泥岩; 5—角砾凝灰质; 6—岩屑凝灰质; 7—凝灰质; 8—凝灰质及凝灰质粉砂岩; 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—铜矿体编号; 20—铜矿化体

小规模的背斜及向斜构造发育, 规模不大, 目前开采的富矿体与近南北向的背斜构造关系密切, 产于背斜核部的虚脱部位及其张裂隙中❶。

小热泉子铜矿成矿作用复杂, 对矿床的成因及控矿因素的认识在勘探前期分歧较多, 随勘探的不断深入, 各方的认识趋于一致, 即矿源物质具多源性, 但主要来源是火山喷发, 矿床的成因与火山(喷气) 热液、沉积受改造型及后期的热液叠加有密切关系。

2　矿区地球物理特征

小热泉子—康古尔塔格一带的重力场以异常梯度、异常幅值和局部异常走向变化大为基本特征, 小热泉子一带的区域场特点明显反映了区内近东西向阿其布拉克以北大断裂, 矿区表现为沿洛布艾格孜塔格重力低异常以北的重力梯级带中的局部弱重力高异常, 受区域场叠加影响, 异常不明显。相应的磁场表现为在一似弧形正磁异常带的北侧基本为一平稳的负磁场区。区域重磁场的特征对寻找铜、金等金属矿床有利。

2.1　密度特征

根据测定的岩(矿) 石密度, 分别对地表、钻孔的不同岩性分类, 并将其密度参数值进行统计(表 1)。

由表 1 可见, 在小热泉子铜矿区, 矿石的密度平均值为 2.98×10^3 kg/m^3, 矿化岩石的密度平均值为 2.77×10^3 kg/m^3, 岩石的密度平均值为 2.68×10^3 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的规模及埋深时可引起明显的重力异常❷。

2.2　磁性特征

根据地科院矿床所资料(对矿区的 ZK701、

❶ 刘光海, 孙德梅, 陈文明, 等. 新疆小热泉子铜矿快速评价及矿区外围靶区优选, 1997.

❷ 孟贵祥, 王卫江, 潘德仁, 等. 新疆吐鲁番市小热泉子铜矿区物探普查, 1995.

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

ZK1104、ZK1201 孔采集的岩矿石标本的高精度磁性测定统计数据), 对矿区的钻孔岩矿石标本的磁性、密度进行统计, 其结果见表 2。

由表 2 可见, 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, 对在矿区开展高精度的磁测工作提供了有利的物性基础。

2.3 电性特征

1. 对矿区钻孔岩芯分段取样极化率测定统计结果见表 3。铜矿石具有较高的极化率, 平均值为 8.3% , 而围岩的极化率普遍小于 2.5%, 二者之间有明显的差异, 因此, 充分利用岩(矿) 石的极化率(充电率) 参数在矿区开展电法工作, 可以取得好的效果。

2. 根据地面中梯激发极化法、激发极化测深、地—井激发极化法及激发极化测井工作, 矿区矿石、矿化岩中一般为高极化、低—中阻, 通常视电阻率值小于 200 Ω·m, 视极化率值在 2.5% 以上; 围岩的视极化率一般小于 2% , 视电阻率值大于 300 Ω·m, 因此视极化率显示出较好的找矿效果; 视电阻率的影响因素较多, 变化较为复杂, 主要是由断裂破碎带引起的低阻异常很普遍, 这使得极化率参数的应用更加重要。

从矿区岩矿石的物性(密度、磁性及电性) 特征看, 在本区, 隐伏原生矿体具有高密度、弱磁、高极化和低—中阻的物性特征, 与围岩有较明显的物性差异, 在矿区开展高精度和大比例尺的综合物探勘查具备有利的地球物理条件。

表 **1** 新疆小热泉子铜矿区岩(矿) 石密度统计

岩矿石名称		样品数/块	变化范围	均值
地表	氧化矿石	40	2.53~ 2.97	2.76
	砂岩、细砂岩、粉砂岩	18	2.61~ 2.71	2.66
	凝灰质砂岩、粉砂岩、硅化凝灰岩、粉砂岩	312	2.52~ 2.78	2.67
	晶屑、岩屑凝灰岩	73	2.62~ 2.83	2.73
	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	63	2.64~ 2.78	2.69
	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	71	2.70~ 2.80	2.74
	花岗岩	2	2.69	2.69
井中	矿石	165	2.73~ 4.05	2.98
	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

注: 由新疆物化探大队及地科院矿床所实测, 密度单位: 10^3 kg/ m^3。

表 **2** 新疆小热泉子铜矿区 ZK**701**、ZK**1104**、ZK**1201** 孔岩(矿) 石磁性、密度统计

岩矿石名称	样品数/块	磁化率/ $4\pi\times 10^{-6}$ SI		剩磁/ 10^{-3}(A·m^{-1})		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: 由地科院矿床所实测。

表 **3** 新疆小热泉子铜矿区钻孔岩芯极化率测定结果统计

岩矿石名称	样品数/块	极化率值/%	
		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	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
含石炭沉凝灰岩	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

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

3　综合物探找矿效果

从 1993 年至今, 在小热泉子铜矿区已系统地开展了多种物探找矿方法的试验和生产研究工作, 其中包括: 高精度重力、高精度磁法、井中充电激发极化法、地—井方式激发极化法、甚低频电法、瞬变电磁法、分布式被动源阵列电磁法、天然电磁场测深、可控源音频电磁法、地面中梯激发极化法和激发极化法测深等, 虽然有的方法在其他类似矿床上的工作效果很好, 但在本矿区由于地质、地球物理条件的差异, 试验效果并不理想, 这也从不同的角度反映了矿区地下隐伏矿体在空间分布上的复杂性。通过多年来的实践验证以及对多种物探找矿方法的研究分析, 认为对矿区普查勘探有明显找矿效果的方法有高精度重力测量、高精度磁法及激发极化法。而激发极化测井、地—井方式激电测量、天然电磁场测深、瞬变电磁法和分布式被动源阵列电磁法等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有一定的参考价值。

1993~ 1994 年在矿区开展的 1: 10 000 高精度重力测量发现了Ⅰ号矿床重力异常并确定了ZK701 孔, 该孔的验证取得了当年找矿的重要突破; 2000 年的工作重点是寻找隐伏的富铜矿体, 在系统分析和研究矿区以往地、物、化资料的基础上, 开展了 1: 2 000 高精度重力、高精度磁法、地面中间梯度激发极化法、激发极化测深综合物探测量, 根据重力、极化率异常布设的ZK1106 终孔 213. 5 m, 累计见到视厚度达 65. 05 m 的铜矿体, 其中于 34. 04~ 67. 70 m 处连续见到视厚度达 33. 66 m 的矿体, 铜品位达到 3. 29%, 取得了理想的找矿效果。

3. 1　高精度重力测量应用效果

矿区处于阿其克布拉克以北大断裂的转折部位, 为区域重力梯级带的转向或弯曲处, 有弱的局部重力异常显示。1994 年在矿区开展的 1: 10 000 高精度重力测量工作在Ⅰ号矿床上发现了极其明显的剩余重力异常, 异常范围近 1 km^2, 幅值达到 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上。2000 年在Ⅰ号矿床进行的 1: 2 000 高精度重力测量结果与 1: 10 000 高精度重力测量结果基本一致, 但对局部重力异常的划分更加详细(图 2), 局部剩余重力异常与矿体有较好的对应关系。目前在Ⅰ号矿床重力异常区已施工近 30 个钻孔, 几乎孔孔见矿。由于矿区 12 线附近 4 年多采矿的影响, 该处 1: 2 000 高精度重力测量结果表现为重力低。根据已有钻孔控制的矿体、矿化体对重力异常进行正、反演计算的结果表明还有一定的剩余异常存在, 说明在深部或已有钻孔的旁侧还存在一定规模的矿体和矿化体。物性测量结果以

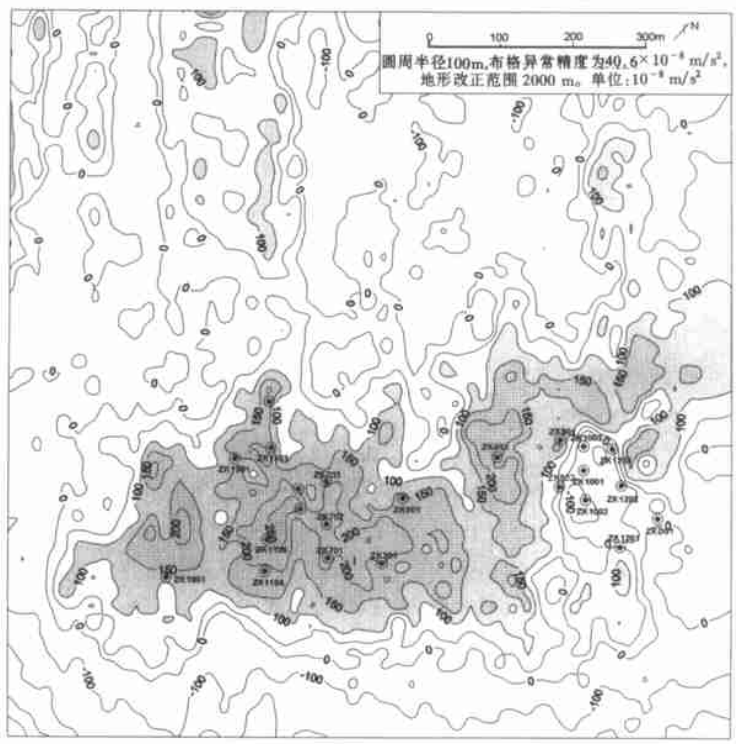


图 **2**　小热泉子铜矿Ⅰ号矿床重力剩余异常平面等值线

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

及钻孔验证均表明矿体、矿化体是引起重力异常的主要因素。

3.2 激发极化法应用效果

3.2.1 井中充电

在矿区勘探初期, 考虑到开展直流电法(如视电阻率法, 直流激发极化法等) 受接地条件差、电极极化不稳定等不利因素的影响, 地科院矿床所首先试验应用了井中充电激发极化法。该方法的使用有效地减弱了风沙层、盐碱壳盖层对直流电法的不利影响, 充分利用了极化率这一有效的参数, 增强了人们对矿区勘探的信心。由于在充电点附近极化场呈放射状, 测量结果在不同的程度上会产生异常的位移及变形, 使得这一资料的分析利用较为复杂。

3.2.2 中间梯度

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, 多为砂质层, 盐碱壳也较发育, 开展电法工作的接地条件较差, 只有较好地改善电极接地条件, 才可以充分利用激化率(充电率) 参数, 激电工作才可以发挥好的找矿效果。2000 年度测量结果显示高极化率异常和低电阻率异常与矿体、矿化岩石关系密切(图 3) , 2.5% 的极化率异常等值线基本上圈定了Ⅰ号矿床地表矿化蚀变带的范围, 3% 的极化率异常等值线圈定反映了近地表的金属硫化物矿体 12 处异常。通过已有的钻孔资料分析, 极化率异常与金属硫化物的富集呈正相关。如 ZK1202、ZK1203、ZK1106、ZK902 孔附近

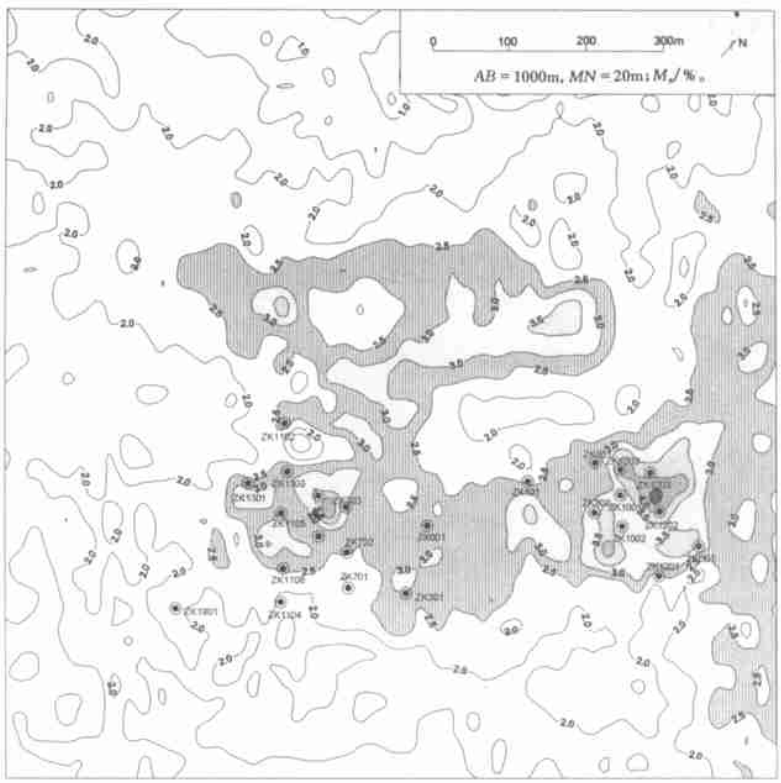


图 **3** 小热泉子铜矿Ⅰ号矿床激电 M_S 平面等值线

的高极化率异常, 均由多层硫化物富矿体直接引起。

3.2.3 激电测深

应用激发极化测深在已发现的局部重力高异常、高极化率(充电率) 异常上确定矿体的顶界及分布形态是一种较有效的半定量—定量的勘查手段。在矿区 11 线上, 通过激发极化测深布设了 ZK1106 孔的具体孔位及孔深, 钻孔见矿情况与测深结果吻合很好。

3.3 高精度磁法应用效果

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, 且大部分位于负磁场区内。据高精度磁测工作成果(图 4) , 可将矿区磁场异常分成 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~ 25 nT, 磁异常的分布范围与局部重力异常的分布基本一致, 这类磁异常主要是由铜矿体和矿化岩石中磁性矿物(如磁黄铁矿) 富集引起; 第二类属于平稳的正常背景场, 磁异常强度一般小于 5 nT, 主要出现下石炭统小热泉子组无矿化的火山凝灰岩、凝灰质砂岩分布区; 第三类异常属于异常强度值大于 25

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

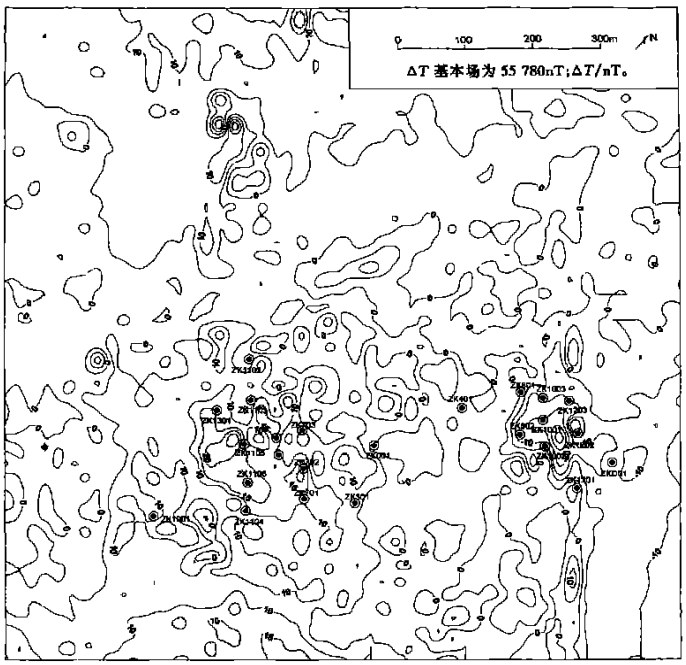


图 **4**　小热泉子铜矿Ⅰ号矿床高精度磁测 ΔT 平面等值线

nT 的较强异常带, 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, 在小热泉子铜矿区采用高精度磁测(方法本身具有高效快速的明显特点), 不但可以配合地质工作进行地层界线划分, 岩性段区分、构造蚀变带识别、岩体圈定, 还可配合重力、电法资料的分析解释用于间接找矿。

4　地质—地球物理找矿模式

4.1　区域找矿标志

小热泉子铜矿床位于觉罗塔格—大南湖晚古生代岛弧带, 为古陆边缘构造岩浆活动带, 为古陆边缘构造岩浆活动带。矿床与火山机构、火山洼地及穹窿构造有密切联系; 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 组合异常区是寻找该矿的重要区域物化探异常标志。

4.2　矿区地质—地球物理找矿模式

1. 矿床产于下石炭统小热泉子组, 矿体主要产于背斜构造轴部及两侧的虚脱部位, 凝灰岩、凝灰角砾岩是重要容矿岩石。

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。蚀变分带由外向内为绿泥石化—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)。依据这种蚀变分带规律, 有利于发现和追索矿体。

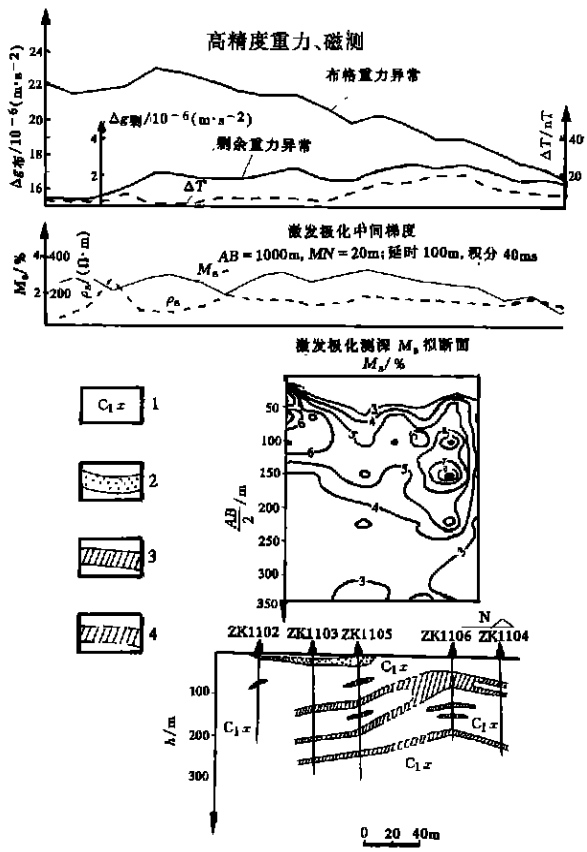


图 **5**　小热泉子铜矿Ⅰ号矿床综合找矿模式

1—下石炭统小热泉子组; 2—矿化体; 3—矿体; 4—推测矿体

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

3. 高极化率(充电率 M_s > 3%, 且低—中阻 ρ_s < 150 Ω·m)的激电异常是寻找地表、浅部(埋深小于 100 m)原生硫化物矿体的异常标志。

4. 高重力异常($\Delta g_{剩}$ > 120×10^{-8} m/s^2)、弱磁异常(5~ 25 nT)以及明显的激发极化法异常(M_s > 3%, ρ_s < 150 Ω·m)是发现和圈定隐伏原生硫化矿体的直接标志和重要的找矿线索。

5 结束语

1. 综合物探在小热泉子铜矿的勘探进程中取得了令人鼓舞的找矿成果。鉴于矿区地球物理特征, 对多种物探方法手段的试验对比, 认为高精度重、磁和激发极化法为本区经济有效的勘查方法组合, 新疆东部戈壁特殊的接地条件经较好的改善, 可以充分发挥激电法在寻找隐伏金属硫化物矿床的独特优势; 矿床地质—地球物理模式的建立对寻找隐伏铜矿体具有很好的指导作用。

2. 由于物探异常的多解性已及勘探深度、分辨率等因素的影响, 对本区具有一定埋深(大于 200 m)、规模不大, 但具有较高经济价值的隐伏矿体的寻找, 仅仅从物探异常上的分析来解决存在一定的困难。

3. 文中综合找矿模式是通过多年亲身的实践并借鉴同行专家的研究与基础上建立的, 方法选择的综则是有效和经济, 基础是矿区的物性特征。

4. 经济合理(有效)的地球物理勘探方法组合的选择应建立在对研究区物性充分分析研究的基础上, 针对不同的地区、不同的地质任务和目标选用最佳的方法组合。

5. 目前的勘探研究成果主要集中于矿区近地表约 200 m 以上, 以发现富铜矿体为主要目标, 由于矿区内矿体在空间上分布的以及控矿构造的复杂性, 矿体的连续性差, 建议进一步研究矿区内深部赋存富矿体的最佳物探方法组合, 以小而富的矿体为目标, 研究其物探异常的特征, 补充和完善矿区地质、地球物理找矿模式。

THE EFFECTS OF GEOPHYSICAL EXPLORATION IN THE XIAOREQUANZI COPPER ORE DISTRICT AND AN INTEGRATED PROSPECTING MODEL

MENG Gui-xiang

(No.5 Institute, Geological Survey of Xinjiang, Changji 831100, China)

Abstract: A series of integrated geophysical exploration techniques were tentatively used in the Xiaorequanzi copper ore district, of which the high-precision gravity, high-precision magnetic method and IP integrated techniques played important roles in further exploration of the ore deposit. The setting up of an integrated prospecting model proved to be very important in the exploration work of the ore district in 2000.

Key words: copper deposit; integrated geophysical exploration; effect of application; geological-geophysical prospecting model.

作者简介: 孟贵祥(1968 年 10 月 9 日), 男, 山西大同市人, 1991 年 6 月毕业于中国地质大学(武汉)勘察地球物理专业, 获学士学位, 现就职于新疆地质调查院五所, 从事综合物探工作。

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