

云南思姑锡矿区矿化晕测量找矿研究

付 刚¹, 冯成贵², 刘 宏¹, 周 军³

(1. 西安地质矿产勘查开发院, 陕西 西安 710100; 2. 新疆地质矿产勘查开发局 第七地质
大队, 新疆 乌苏 833000; 3. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 利用岩石地球化学与地质相结合的找矿方法, 选择云南思姑锡矿区 Sn、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo 等 6 个元素, 对矿区矿化晕进行了异常元素的相关、偏相关、聚类与因子等分析, 并以传统化探处理方法(平均值+ $n\times$ 标准差)确定异常下限, 所圈定的异常区与已知矿体基本吻合, 证实了方法的有效性, 进而以此方法探索找矿, 提出扩大找矿远景靶区应主要向矿区南部延伸。

关键词: 矿化晕; 元素异常; 统计分析; 找矿方法; 思姑锡矿

中图分类号: P618.44 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)02-0160-05

Research of Mineralized Halos Survey to Ore Exploration in the Sigu Tin Deposit, Yunnan Province

FU Gang¹, FENG Cheng-gui², LIU Hong¹, ZHOU Jun³

(1. Xi'an Research Institute of Geology and Mineral Exploration and Exploitation, Xi'an 710100, Shaanxi, China;
2. Geological Brigade Seven of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Ussu 833000, Xinjiang, China;
3. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract The Sigu tin deposit is situated in the southeast of three-river metallogenic belt in southwest China. In this paper both geological and geochemical methods are introduced. The research deals with mineralized halos of six elements including Sn, Cu, Pb, Zn, Ag and Mo. The mineralized halos are studied with analysis such as correlation, partial correlation, R-type cluster analysis, factor analysis. Traditional geochemical data processing method is adopted to set the geochemical anomalous line (mean+ $n\times$ standard deviation). The analysis result has proved that the anomaly agrees with the known orebodies. Based on this method the ore exploration targets which extends to the south of the mining area is delineated.

Key words: mineralized halos; element anomaly; statistical analysis; method for ore exploration; Sigu tin deposit

0 引言

思姑锡矿区位于中国西南地区“三江成矿带”南段东侧, 成矿条件较好, 是寻找以钨、锡、钼、铜、铅、锌、金、银为主的金属矿产资源的有利地段。笔者以思姑锡矿区外围地表找矿为目的, 其任务是扩大工作区内已知锡矿化区段, 选择大比例尺化探靶区, 开展岩石地球化学测量, 评价综合异常, 预测可供进一步工作的靶区地段; 与此同时, 进一步研究思姑锡矿区基础地质, 查明构造格架, 总结成矿规律及找矿标志, 探讨矿床成因, 力求发现新的赋矿构

造、含矿地质体或具有一定埋深的“盲”矿(化)体, 寻找新的可供进一步勘查评价和开发利用的矿产。

化探和地质都在现代矿产勘查工作中起着重要作用, 使用化探在很多工作中取得了较好的效果^[1-2], 结合思姑锡矿区的地形、地质条件, 本次工作主要采用岩石地球化学方法。

1 矿区地质特征

思姑锡矿区位于特提斯—喜马拉雅构造域的波密—腾冲褶皱系腾冲褶皱带的北中段西部, 靠近嘉黎—腾冲断裂的东侧, 位于高黎贡山东坡花岗岩

收稿日期: 2008-08-27

基金项目: 云南省国土资源厅项目 (5300000510406)

作者简介: 付 刚(1982-)男, 黑龙江克东人, 从事地质矿产勘查及遥感测量找矿研究。E-mail: heimu206@163.com

体东。区内发育近南北向、近东西向和北北西向断层,并控制锡矿化的分布。矿区内出露地层为石炭系大理岩、板岩、片岩,局部变质强烈的部位可见千枚岩等地层,深部为花岗岩岩体^[3]。

2 工作方法

化探主要是靠发现元素异常来找矿的,而异常不是随处存在的,只能由与矿化事件有关联的成矿元素显示异常。因而,有目的地采集与矿化事件有关的样品十分重要。

实践表明,在进行岩石矿化晕测量时,注意采集裂隙充填物质是十分重要的^[4]。本次矿化晕测量找矿工作主要对区内各种岩脉、断层泥或细粒物、褐铁矿化物质、含矿(化)层位、构造破碎带及区内具代表性的岩石开展系统采样。

由于工作区地形陡峻,许多地方无法到达或没有基岩出露,所以没有按照传统的线点法和格网法进行测网布置,而是因地制宜采用多点法矿化晕测量,样品采集工作主要在地质填图工作和剖面测制过程中进行。为了取得更好的效果,取样时不局限在一个点上,而是在该点周围约 15 m×15 m 多点采集构成组合样。实践表明这种组合样品的代表性比一个点上的单一样品效果更好。在锡矿化体分布密集地带样品的采集按 1:10 000 的密度进行,为了增强样品的代表性,样品质量一般为 400~500 g,少量大于 1 000 g。

岩石测量采用成都理工大学研制的 X 荧光分析仪进行测定,X 荧光分析仪一次可以同时测量 5 种以上元素,甚至多达十余种元素的定性、定量测定,其检出限可达 $(10\sim200)\times10^{-6}$,在原位条件下分析精度可达 2%~10%^[5]。近些年在地质学研究、矿产资源评价、矿山开采和选矿冶炼过程分析等方面,已有大量应用实例^[5-7]。实践证明,X 荧光技术是一种快速、经济、有效的方法。本次工作主要测定 Sn、Mo、Ag、Cu、Pb、Zn 等 6 种元素,对部分样品的定量分析工作由保山地质实验室承担。由于 X 荧光分析仪的测试结果为相对数据,无标准单位,为了使分析结果能与定量的化学分析相比较,将化学分析的复样全部进行 X 荧光分析仪测定,建立 X 荧光分析仪分析与化学分析的近似定量关系,方便野外矿化异常的确定。上述对比分析表明,X 荧光分析仪测试结果较为可靠,可以满足本次工作需要。

3 元素矿化晕数据特征与处理结果

3.1 元素相关、偏相关、聚类与因子分析

如表 1 所示(以下表和图中 n 为样品数),化探数据除 Mo 与 Ag 没有明显的相关关系外,其他元素都显正相关关系。对于偏相关系数(表 2),Sn 与 Mo 表现为负相关,而与 Zn、Ag 为正相关关系,与 Pb、Cu 没有明显的相关关系。数据表明,工作区中 Sn、Zn、Ag 为成矿头晕元素,Pb、Cu、Mo 主要显示成矿尾晕元素特征,Cu 因与 Zn 偏相关、与 Pb 和 Ag 无明显偏相关关系而与 Mo 负偏相关从而具过渡性质。而 Zn、Pb 与 Mo 的偏相关关系说明,Zn、Pb 也具有一定程度的头尾晕过渡的元素特征。

表 1 思姑锡矿区主要成矿元素间相关系数

Tab. 1 Coefficients of Correlation of the Main Mineralized Elements in Sigu Tin Deposit

元素	Sn	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo
Sn	1	0.781	0.764	0.719	0.794	0.551
Cu		1	0.971	0.937	0.430	0.856
Zn			1	0.984	0.380	0.931
Pb				1	0.322	0.965
Ag					1	0.103
Mo						1

注: $n=114$, 原始数据取常用对数; $\alpha=0.01$, 黑体者为 $|R|>R_\alpha$

表 2 思姑锡矿区主要成矿元素间偏相关系数

Tab. 2 Coefficients of Partial Correlation of the Main Mineralized Elements in Sigu Tin Deposit

元素	Sn	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo
Sn	1					
Cu	-0.064	1				
Zn	0.214	0.740	1			
Pb	0.162	-0.118	0.340	1		
Ag	0.561	-0.166	0.061	0.366	1	
Mo	-0.224	-0.408	0.225	0.795	-0.531	1

注: $n=114$, 原始数据取常用对数; $\alpha=0.05$, 黑斜体者为 $|R|>R_\alpha$; $\alpha=0.01$, 黑体者为 $|R|>R_\alpha$

基于距离的聚类分析得到了类似的结果(图 1)。在欧几里得距离平方为 20 的条件下,工作区矿化晕元素大致分为两组,一组为 Cu、Zn、Pb、Mo,另一组为 Ag、Sn。前一组主要为尾晕元素组合,而后一组则具头晕元素特征,Sn 与头晕元素关系密切。

因子分析与上面分析结果相吻合(图 2),经 Varimax (方差最大法)旋转后第一主因子(F_1)由

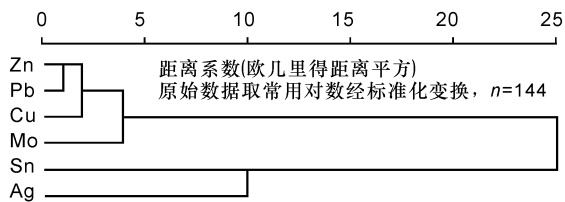


图 1 思姑锡矿区矿化晕元素聚类分析谱系

Fig. 1 Cluster Analysis of the Contents of the Mineralized Elements in Sigu Tin Deposit

Cu、Zn、Pb、Mo 组成, 其中 Zn、Pb、Mo 因子载荷大于 0.9, Cu 元素接近 0.9, 应主要代表成矿尾晕元素; 第二主因子(F_2)由 Ag、Sn 组成, 而且两元素因子载荷都大于 0.8, 主要代表成矿头晕元素。图 2 表现出头、尾晕元素组合间并无明显联系。

据邵跃提出的锡矿床基本分带模式从下至上分别为: Nb、Ta、Be→Sn、W、Mo、Cu→W、Mo、Cu→Pb、Zn、Ag、Au、As、Ba^[4], 而本研究区内 Ag、Sn 相关性较好, 说明存在一定的头、尾晕叠加现象

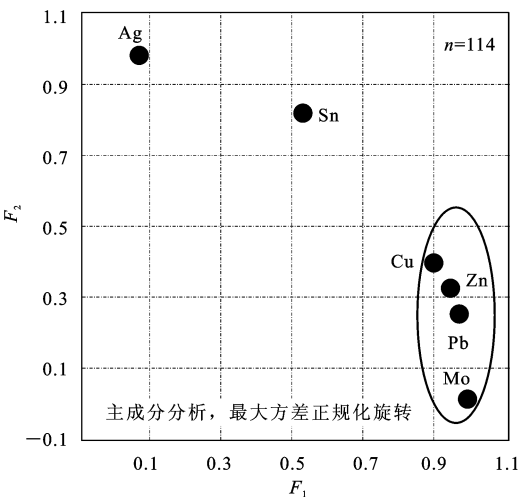


图 2 思姑锡矿区矿化晕元素因子载荷

Fig. 2 Factor Analysis of the Contents of the Mineralized Elements in Sigu Tin Deposit

(图 3), 而且存在多期矿化叠加, 推测矿体可能向深部延伸。

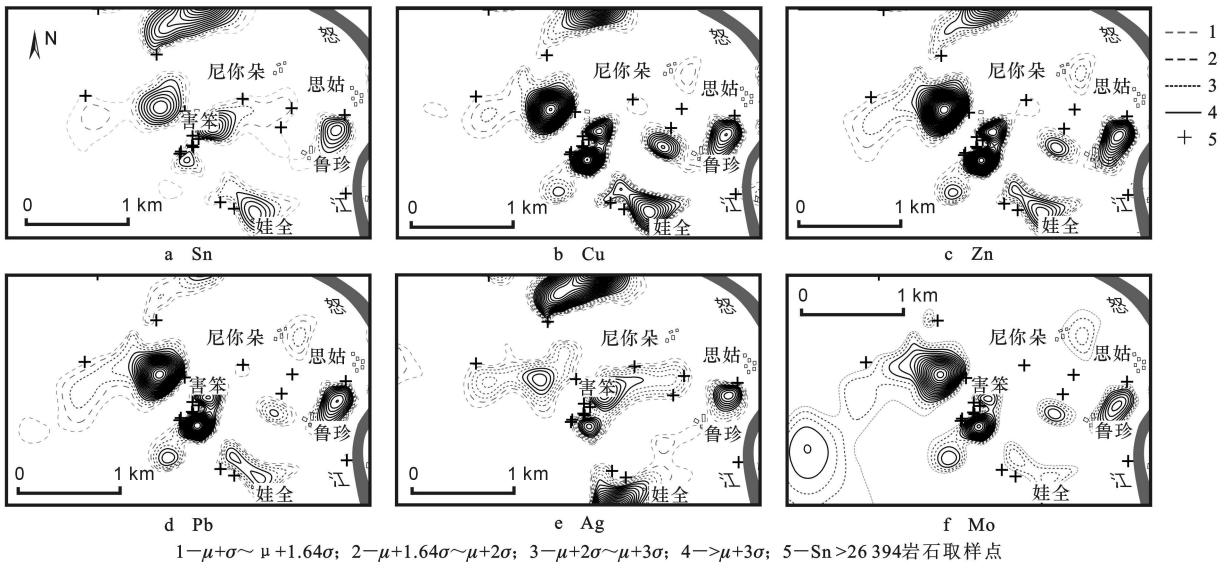


图 3 思姑锡矿区矿化晕元素等值线

Fig. 3 Contours of the Elements in Mineralized Halos in Sigu Tin Deposit

3.2 确定异常下限

确定化探数据异常下限的方法很多, 早期是采用传统的统计方法, 以后又发展到用概率格纸法, 求区域化探异常下限时采用划分子区求趋势面或求移动平均值法, 随后又出现了环境校正法、稳健统计法和克立格法^[8]。随着计算机技术的发展, 出现了利用分形学确定化探异常下限的方法^[9], 随后又有学者提出了利用 GIS 确定地球化学异常下限的方法^[10]。

本次研究采用统计方法, 分别对原始数据及其常用对数, 以偏度和峰度对矿化晕数据进行分布型

式检验。研究表明, 多数情况下元素不服从正态分布(表 3), 原始数据中只有 Sn、Pb 遵从正态分布, Sn、Ag 具对数正态分布, Sn 在取常用对数后接近正态分布的程度更好, 而所有元素的原始数据和对数形式的峰度检验都落入肯定域内(肯定域根据偏度、峰度计算公式计算得到, 具体值见表 3 中 $|r_1|$ 、 $|r_2|$ 值); Cu、Zn、Mo 在原始数据情况下的偏度都小于取常用对数后的偏度值。为了使确定的异常下限及梯度更接近统计意义上的理想状态(各元素均严格服从正态分布), 本次工作确定异常下限的

方法为: 将 Sn、Ag 原始数据取常用对数后的数据求得均值(μ)和标准差(σ), 然后将 μ 、 $\mu+\sigma$ 、 $\mu+1.64\sigma$ 、 $\mu+2\sigma$ 、 $\mu+3\sigma$ 的值按数学方法取指数反算回原始数据, 再以这些值为依据确定异常下限; 对于 Cu、Zn、Pb、Mo 则直接根据呈正态分布的原始数据求均值(μ)和标准差(σ), 然后用 μ 、 $\mu+\sigma$ 、 $\mu+1.64\sigma$ 、 $\mu+2\sigma$ 、 $\mu+3\sigma$ 确定异常梯度, 各异常梯度结果见表 4。表 4 中 50%、84.1%、95%、97.7%、99.9% 分别为正态分布时 μ 、 $\mu+\sigma$ 、 $\mu+1.64\sigma$ 、 $\mu+2\sigma$ 、 $\mu+3\sigma$ 所对应的概率密度, 通过查表获得。

表 4 思姑锡矿区矿化晕元素异常下限值

Tab. 4 Geochemical Anomalous Line After Having Distribution Patterns Test of the Mineralized Elements in Sigu Tin Deposit							
分位数/%	异常下限	Sn	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo
均值	μ	23 051.5	62 765.3	61 914.9	74 360.2	77 678.3	233 715.0
标准差	σ	3 343.4	9 988.7	10 306.8	12 856.6	14 102.1	24 810.4
50.0	μ	23 051.5	62 765.3	61 914.9	74 360.2	77 678.3	233 715.0
84.1	$\mu+\sigma$	26 394.9	72 754.0	72 221.8	87 216.8	91 780.4	258 525.4
95.0	$\mu+1.64\sigma$	28 784.9	79 146.8	78 818.2	95 445.1	102 121.6	274 404.1
97.7	$\mu+2\sigma$	302 23.1	82 742.7	82 528.7	100 073.5	108 442.6	283 335.9
99.9	$\mu+3\sigma$	34 606.6	92 731.5	92 835.5	112 930.1	128 129.7	308 146.3

注: $n=114$, 表中数据为直接采用原始数据所求得的异常下限; 黑体为对原始数据经常用对数变换后结果求得均值(μ)和标准差(σ), 然后将 μ 、 $\mu+\sigma$ 、 $\mu+1.64\sigma$ 、 $\mu+2\sigma$ 、 $\mu+3\sigma$ 的值取指数反算确定异常下限

3.3 各元素等值线图编制

研究区内 6 个元素含量等值线图以样条插值(spline)绘制(图 3), 从而体现出异常的成带性及连续性, 根据各元素均值(μ)和标准差(σ)确定的异常下限, 对 $\mu+1.64\sigma \sim \mu+2\sigma$ 、 $\mu+2\sigma \sim \mu+3\sigma$ 及 $\mu+3\sigma \sim \text{Maximum}$ 各区间以不同颜色和线型区分元素含量变化。

图 3 中黑色十字为 X 荧光测量 Sn 元素高值点。从图 3 可知, 害笨和娃全的 Sn 化探异常与已知 Sn 矿化点吻合较好, 通过将 X 荧光分析仪测量数据与化学分析数据对比得出: X 荧光测量结果为 26 000, 化学分析结果在 1×10^{-3} 以上, 说明 Sn 原生晕异常与矿化之间的空间关系密切, 从而证明岩石地球化学测量结果对 Sn 矿化有一定的指示意义。从所测定的 6 个元素看, Sn 矿化异常与其他各元素在害笨、娃全和鲁珍附近吻合较好, Ag 为成矿头晕元素且与 Sn 元素关系密切, 而在害笨与鲁珍之间 Sn 和 Ag 存在弱异常而 Cu、Zn、Pb 和 Mo 却存在较强异常, 这种头晕元素弱异常与尾晕元素较强异常的叠加并有 Sn 矿化, 说明可能存在多期成矿过程, 应为深部有较大找矿潜力的间接指示。

据文献[11~13]利用元素因子载荷计算出来

表 3 思姑锡矿区矿化晕元素数据分布型式检验

Tab. 3 Distribution Patterns Test of the Mineralized Elements in Sigu Tin Deposit						
元素	Sn	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo
偏度	0.276	-0.668	-0.499	-0.386	0.507	-0.509
峰度	-0.371	-0.048	-0.442	-0.650	0.263	-0.636
	lg(Sn)	lg(Cu)	lg(Zn)	lg(Pb)	lg(Ag)	lg(Mo)
偏度	-0.046	-1.048	-0.847	-0.708	0.024	-0.688
峰度	-0.331	0.607	0.059	-0.318	-0.012	-0.424

注: $n=114$; 偏度(r_1)、峰度(r_2); 黑体表示小于 0.05 置信度的临界值元素, 其中 $|r_1| < 0.458$ 、 $|r_2| < 0.917$

的因子得分绘制等含量图与各元素等值线图进行对比分析。图 4 为工作区化探样品元素含量因子分析第二主因子(因子得分)等含量图与 Ag 元素等值线叠加图, 图 5 为元素因子分析第一主因子(因子得分)等含量图与 Mo 元素等值线叠加图。由图可知第二主因子异常与 Sn、Ag 元素异常部位一致, 第一主因子异常与 Mo 元素异常相关性较高, 这与因子分析结果非常吻合, 进一步证实了 Sn、Ag 元素的密切关系。区内 Sn、Ag 元素异常均呈串珠状沿北西—北北西向延伸, 受花岗岩接触带控制明显, 在花岗岩接触带存在 Sn、Ag 异常叠加现象, 这些地段也有 Cu、Zn、Pb 和 Mo 元素富集(在害笨左侧及娃全附近异常), 都应作为重点探矿靶区。

各元素地球化学行为上与花岗岩岩浆热液关系密切, 尤以 Cu、Zn、Pb 和 Mo 表现明显, 异常在北西—北北西向上严格受岩体与地层接触带控制, 而异常在东西向上严格受岩体距离、构造和地层控制(图 3、6)。根据各元素在岩体、地层接触带上的异常叠加及矿化现象, 花岗岩与地层接触带应为主要找矿地段, 而鲁珍及鲁珍与害笨之间的异常叠加部位也有进一步开展工作的必要。

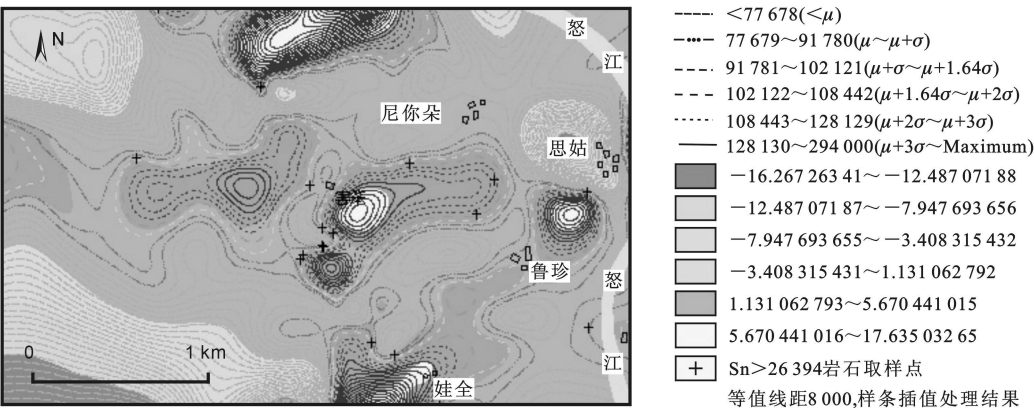


图 4 思姑锡矿区第二主因子等含量与 Ag 等值线叠加

Fig. 4 False Color Image of Factor 2 Overlaid with Isoline of Ag in Sigu Tin Deposit

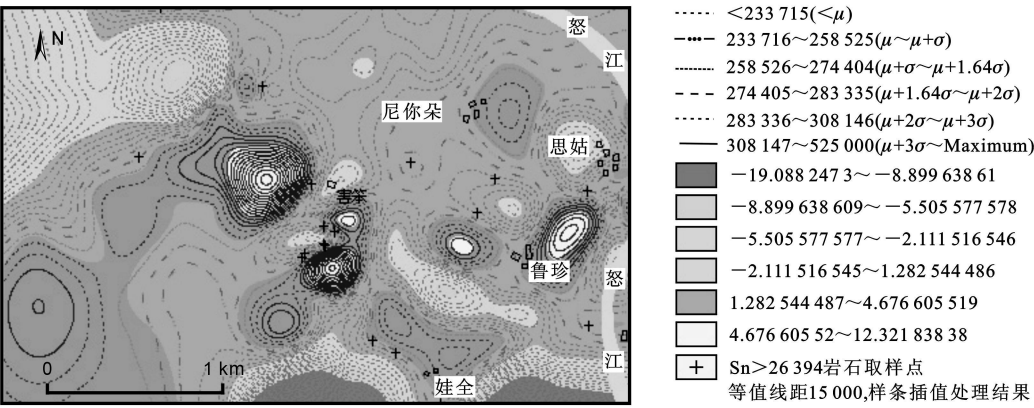


图 5 思姑锡矿区第一主因子等含量与 Mo 等值线叠加

Fig. 5 False Color Image of Factor 1 Overlaid with Isoline of Mo in Sigu Tin Deposit

综上所述, 头尾晕元素组合由花岗岩及地层控制, 总体沿北西—北北西方向展布而在东西方向存在一定的分带性, 指示岩体及地层对矿液活动有明显地控制作用, 应为主要控矿因素。

4 地质与矿化异常叠合分析及验证

由于本次岩石地球化学测量工作是在进行大比例尺地质填图的同时开展的, 重点对露头进行观察, 对矿化岩石或裂隙物取样分析。图 6 为工作区地质图与 Sn 元素异常叠合图, 背景为 Sn 元素异常伪彩色图像, 颜色由亮到暗代表 Sn 元素含量由高到低。由图 6 可知, 花岗岩与地层接触界线呈北北西向, 与化探异常走向十分相似, 而东西向的串珠状异常刚好与石炭系地层相吻合, 暗示可能存在东西向隐伏构造。

在该区新开坑道 1 处, 清理老坑道 2 处, 新挖 4 条探槽, 经化学分析均达到工业品位, 特别是在新开坑道中, 见锡矿化脉沿大理岩和板岩层间滑动面

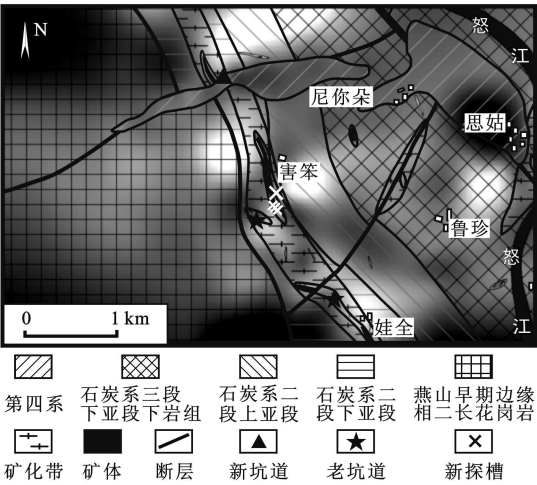


图 6 思姑锡矿区地质图与 Sn 元素异常叠合

Fig. 6 False Color Image of Sn Overlaid with Geological Map of Sigu Tin Deposit

或片理面发育, 矿化带宽 3 m 左右, 沿片理面充填的矿脉分为密集的细脉。

(下转第 168 页)

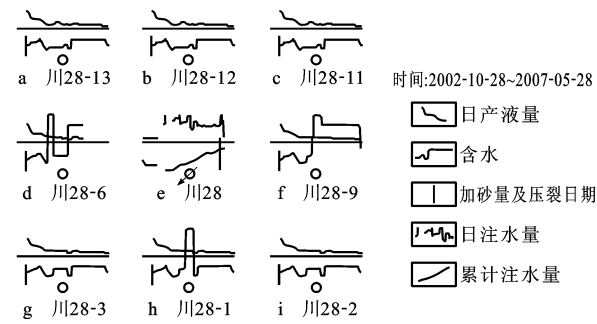


图 8 川 28 井组生产动态平面

Fig. 8 Production Curve of Chuan 28 Well Group

邻井含水一直保持不降, 西边和南边的邻井含水则下降。这说明东边的裂缝铺砂浓度较高, 裂缝被支撑, 西边尤其南边裂缝支撑较差或没有支撑, 所以随注水压力升高, 裂缝开启, 注水压力降低则裂缝闭合。假如是水平缝, 则南北向应该是主要见水方向, 或各方向见水情况基本接近, 但这均与实际情况不符, 说明裂缝确实是多个方向的垂直缝。

6 结语

(1)川口油田人工裂缝为垂直裂缝, 各个方向

(上接第 164 页)

5 结语

(1)区内赋矿构造分布在黑云母花岗岩接触带上, 大理岩、变砂岩、绢云石英片岩的构造破碎带、层间破碎带等为该区成矿作用提供了有利的赋矿空间。

(2)在思姑锡矿区西部圈定的 Sn、Pb、Zn、Cu、Ag、Mo 异常带主要分布在矿区南段边缘, 异常强度高, 范围大。且该地段锡矿化伟晶岩脉体的矿化强度、分布密度、脉体规模等地质情况表明矿区南段成矿较北段更好, 扩大找矿远景靶区应主要向矿区南部延伸。

(3)本研究采用元素的相关、偏相关、聚类与因子等分析系统分析了矿区成矿规律, 用元素因子载荷计算出来的因子得分绘制等含量图与各元素等值线图进行对比分析, 所得结果与已知矿体吻合较好, 同时确定了新的找矿靶区, 证实了方法的有效性。

参考文献:

[1] 周 军, 刘建朝, 杨正华, 等. 胶东乳山金矿区原生晕地球化学特征及深部成矿预测[J]. 西安 工程学院学报, 2001, 23(4): 16-27.

都有可能发育, 但以东西向为主。

(2)人工裂缝的形成、延伸受到不同方向天然裂缝的影响巨大; 天然裂缝引导了人工裂缝, 人工裂缝继承、发展了天然裂缝。

(3)岩性平面的非均质性特征也对人工裂缝延伸方向有一定的控制作用。

参考文献:

[1] Gidley J L. 水力压裂技术新发展[M]. 蒋 闾, 单文文, 朱兆明, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1995.

[2] 周 望, 何师荣, 赵春生. 大庆油田压裂缝形态及特征[J]. 石油勘探与开发, 1982(3): 66-72.

[3] 赵永胜, 王秀娟, 兰玉波, 等. 关于压裂缝形态模型的讨论[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(6): 97-98.

[4] 中国石油大学(北京). 川 30 井岩石力学参数及地应力分析报告[R]. 西安: 西安奥陶科技有限公司, 2007.

[5] 岳乐平. 川口油田长 6 油层裂缝系统研究[R]. 西安: 西北大学, 1999.

[6] 宋振云, 任雁鹏, 张 林, 等. 缝内转向压裂工艺技术研究[R]. 西安: 长庆工程技术研究院, 2004.

[7] 严云奎. 川口油田裂缝形态监测及短宽缝压裂技术研究[R]. 延安: 延长油矿川口采油厂, 2001.

[2] 刘淑文. 空间统计方法及其在地球化学数据处理中的应用[J]. 西安工程学院学报, 2000, 22(3): 31-34.

[3] 云南省地质矿产局区域地质矿产调查大队. 中甸县幅 G47C001003 贡山县幅 G47C001002 1/250 000 区域地质调查报告[R]. 云南玉溪: 云南省地质矿产局区域地质矿产调查大队, 2008.

[4] 邵 跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997.

[5] 花永涛, 程 锋, 赖万昌, 等. X 荧光分析仪在新疆某地的应用[J]. 物探与化探, 2006, 30(4): 370-373.

[6] 熊国林. X 荧光分析仪在永平铜矿浮选工艺中的应用实践[J]. 江西有色金属, 1999, 13(1): 26-28.

[7] 熊国林, 孙芝地. 选矿自动化中荧光分析仪的应用[J]. 矿冶, 1999, 8(3): 84-87.

[8] 吴锡生. 化探数据处理方法[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

[9] 李长江, 麻士华, 朱兴盛, 等. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

[10] 彭省临, 杨中宝, 李朝艳, 等. 基于 GIS 确定地球化学异常下限的新方法[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 28-31.

[11] 姚玉增, 巩恩普, 梁俊红, 等. R 型因子分析在处理混杂原生晕样品中的应用——以河北丰宁银矿为例[J]. 地质与勘探, 2005, 41(2): 51-55.

[12] 姚玉增, 巩恩普, 梁俊红, 等. 河北丰宁牛圈银矿床原生晕特征及深部预测[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(2): 142-145.

[13] 刘志远, 金成洙, 梁俊红, 等. 江西金山金矿床深部原生晕特征与成矿预测[J]. 物探与化探, 2004, 28(6): 477-481.