CSAMT 法在山东蓬家夼地区层间滑动角砾型金矿成矿预测中的应用

石昆法 ,张庚利 ,李英贤 ,于昌明
(中国科学院地质与地球物理研究所 ,北京　100029)

[摘　要]CSAMT(可控源音频大地电磁) 法是 80 年代中期兴起的一种测量卡尼亚电阻和相位的电磁测深高技术 ,它轻便、快速、探测深度大、横向分辨率高、抗干扰性能强 ,是寻找金属矿产资源、地下水、石油天然气等及进行大型工程地质探测的一种有效手段。简要介绍了 CSAMT 法的工作原理 ,比较详尽地论述了 CSAMT 法在山东乳山蓬家夼地区新发现的层间滑动角砾岩型金矿上的资料处理、应用实例及地质效果。

[关键词]CSAMT 法　寻找金矿　理论及效果
[中图分类号]P618.51 ;P631　[文献标识码]A　[文章编号]0495 - 5331(2001)01 - 0086 - 05

CSAMT 法寻找隐伏层间滑动角砾岩型金矿研究是中国科学院创新工程重大项目“金矿资源战略接替基地若干靶区预测 ”中的“胶东地区层间滑动角砾岩型金矿床成矿动力学研究及大型超大型成矿预测 ”课题的一个研究专题。

层间滑动角砾岩型金矿床的新发现是山东金矿床成矿类型和理论的重大突破 ,是为国家寻找金矿资源战略接替基地的重大科研项目 ,在此课题研究中 ,这一新矿床类型的地球物理模式识别和勘探方法研究 ,具有重要的知识创新内容。

CSAMT 法是近十几年来迅速发展起来的一种寻找金属矿的电法勘探高新技术。它的特点是效率高、探测深度大、分辨率高、抗干扰性能强。在 1 km ～2 km 深度范围内 ,它可以发现所有的电阻率差异较大的高、低阻不均匀体 ,如果矿体的电性与围岩差异较大 ,直接寻找隐伏矿体是有理论基础的。

CSAMT 法寻找胶东地区层间滑动角砾岩型金矿应用研究专题于已于 1999 年 4 月 20 日开始起动 ,根据地质工作的需要 ,首先安排了在山东乳山地区的蓬家夼、发云夼、申家和南地口开展了 CSAMT 法寻找层间滑动角砾岩型金矿的野外方法实验。这些地区有些地方是已知矿区 ,有些地方是半未知矿区和未知矿区。其目的是通过对已知矿区的实验 ,检验方法的有效性 ,总结异常特征与模式 ;在半未知矿区和未知矿区开展一定量的试生产工作 ,以求发现新的盲矿体 ,追索矿体的空间位置及形态 ,为继续扩大储量 ,布置新的钻孔 ,提供地球物理依据。

1　矿区地质及地球物理特征

蓬家夼层间滑动角砾岩型金矿产在中生界白垩系莱阳组砾岩与下伏的老地层(糜棱岩) 之间的滑脱带上 ,滑脱带中分布着大量的碎裂岩。金矿体就产在滑脱带中。滑脱带中不仅有矿体存在而且有闪长玢岩岩脉的穿插及大理岩。在矿体内有大量的石墨矿化和黄铁矿化。矿体膨大缩小不规则。矿体产状较缓 ,约 25 °～50 °。矿体埋深一般在从地表到地下 300 m 以内 ,有隐伏的、有出露的。

根据上述地质情况描述 ,通过对岩矿标本的物性测定发现 ,上盘的莱阳组砾岩比较疏松 ,其电阻率约几百到几千欧米 ;下盘的老地层(糜棱岩) 比较坚硬 ,其电阻率为几千到几万欧米 ;在莱阳组砾岩与老地层(糜棱岩) 中间的滑脱带内有比较疏松的碎裂岩 ,可形成低阻 ,经测定 ,其电阻率约几十至几百欧米 。上述资料分析表明 ,下盘的老地层为高阻 ,上盘的新地层为中阻 ,上下盘之间的层间滑动带为低阻 ,差异十分明显 ,因此 ,用电阻率法把这三个层位分开是没有问题的。

又由于金矿体产在层间滑动带内 ,金矿体内有大量的石墨矿化及黄铁矿化 ,并有共消长的关系 ,因此 ,金矿体的富集区 ,电阻率会更低 ,一般为几至几十欧米 ,因此有望能直接把矿体反应出来。

通过上述对矿区地质及地球物理场特征的描述 ,认为 CSAMT 法寻找该类型矿床是有地球物理前提的 ,并有可能取得比较明显的地质效果。

[收稿日期]2000 - 11 - 20 ;[修定日期]2000 - 12 - 01 ;[责任编辑]曲丽莉。
[基金项目]中国科学院创新工程项目(KZCX1 - Y - 03 - 01) 和“九五 ”重大黄金项目(K2951 - A1 - 404 - 02) 资助。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2　方法原理

根据上述矿区地质和地球物理场特征的描述,我们选择了 CSAMT 法。

CSAMT 法是可控源音频磁大地电磁法的简称。该方法是 80 年代兴起的一种地球物理高技术,它基于电磁波传播理论和麦克斯韦方程组,导出了电场(E_x),磁场(H_y)与电阻率(ρ_s)的关系式[1~2]:

$$\rho_s = \frac{1}{5f}\frac{|E_x|^2}{|H_y|^2} \qquad (1)$$

式中 f 代表频率。

(1)式中说明在地面上测定的电场(E_x)与磁场(H_y)之比具有阻抗概念,可获得地电阻率(ρ_s),称之为卡尼亚电阻率。

又根据电磁波的趋肤效应理论,导出了趋肤深度公式:

$$H \approx 256\sqrt{\frac{\rho}{f}} \qquad (2)$$

式中 H 代表探测深度,ρ 代表电阻率,f 代表频率。

从(2)式可见当地表电阻率固定时,电磁波的传播深度(或探测深度)与频率成反比,高频时,探测深度浅,低频时,探测深度深。人们可以通过改变发射频率来改变探测深度,达到频率测深的目的。

80 年代末,加拿大凤凰(PHOENIX)公司和美国宗吉(ZONGE)公司,根据这一理论先后研究制造了 CSAMT 法的测量仪器系统,建立了野外工作方法(图 1)。

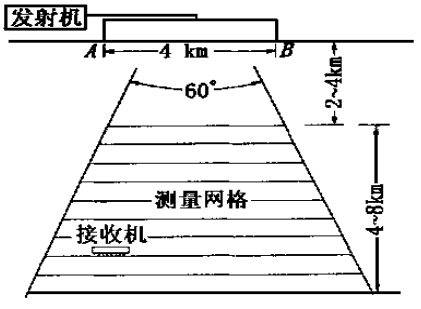


图 1　CSAMT 法工作示意图

CSAMT 测量系统包括一套发射系统和接收系统及相应的数据处理软件系统。

发射系统包括发电机和发射机,分大、中、小 3 种功率,大功率发射机 30 kW,中功率 8 kW,小功率 3 kW。

接收系统包括数字化多功能接收机和磁探头。接收机一次可同时接收七道电场(E_x)和一道磁场(H_y),即一次可完成 7 个点的频率测深,接收机可自动设置参数,如测量频率范围,叠加次数及 50 Hz 陷波等。

接收机可将测量的数据进行存储,最多可存储 800 多个文件。存储的数据文件通过 RS232 接口,输入计算机,计算机通过处理软件,对所测数据进行处理。

软件系统包括 TCMV、TCMT、TCMP、TCMS、TCMG、TCMGS、STATIC、SCSIO 等,可对测量数据进行传输,近场改正,静态改正,正反演计算和绘制原始测深曲线和各种彩色(黑白)断面图及切片图,供推断解释使用。

发射机与接收机之间,通过电台或其它通讯工具进行联系,保证频率改变准确无误。

发射机与接收机之间距离(r)的选择与探测深度有关。原则上讲,r 距离越大越好,但 r 越大,接收的信号越小,为此要根据目的任务、探测深度和发射机的功率来选择 r 距离。一般来说只要保证 $r > 6H$ 即可,H 代表探测深度。

CSAMT 法具有三大特点:(1)使用可控制的人工场源,其信号比天然场要强得多。(2)测量参数为电场与磁场之比而得出的卡尼亚电阻率及电场与磁场的相位差。(3)基于电磁波的趋肤深度原理,利用改变频率进行不同深度的电磁测深。

由于 CSAMT 法具有上述特点,所以在工作中具有如下优点:(1)工作效率高,一次发射,可以同时接收七道电场(E_x)和一道磁场(H_y);也就是说一次发射,能同时完成 7 个点的测深。(2)抗干扰能力强,因为电场与磁场同时观测,并采取了二者相比,这就可以消除外来的随机干扰,并能抵消部分地形影响。(3)勘探深度范围大,一般可达 1 km~2 km,可满足工作需要。(4)横向分辨率高,可灵敏地发现断层。(5)高阻屏蔽作用小,可穿透高阻层。

尽管如此,CSAMT 方法也存在两个缺点:(1)静态效应,地表电性不均匀会影响到深部的测量结果。(2)近场效应。

这两个缺点,目前已有办法进行克服,如通过空间滤波软件[3],可减小静态效应的影响;加大发射与接收之间的距离(r),并通过近场改正软件,对近场进行校正。

3　数据采集及处理

数据采集及处理包括以下几个方面。

数据传输　野外采集的原始数据,利用 TCMV 软件,通过仪器上的 RS232 接口,传输到 PC 计算机

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

内。

近场校正　尽管我们加大了收发距 r,但随着频率的降低和勘探深度的增加,仍不免带来近场影响,为此我们利用 TCMT 软件,将实测的原始数据进行近场改正,经改正过的视电阻率数据基本上满足电磁波在远区成为平面波的条件。

联合反演　将经过近场改正的数据,利用 SCSINV 软件,进行一维整条剖面的 Bostick 联合反演。所谓联合反演就是考虑了 AB 极距、r 收发距以及相临点数据的相互影响而进行的反演。通过反演,获得地下真实的电阻率和不同电阻率界面的真实深度。

干扰剔除　通过反演计算成图后,发现有个别地方极不合理,反过头来又去查地面上的干扰物,在确实证明有干扰物的情况下,进行剔除干扰处理。比如对高压线的影响、公路、铁路的影响、采矿坑道及竖井的影响等。干扰剔除的方法主要是参考附近正常工作的电场和磁场值修改极不合理的受到干扰的电场和磁场值。这里以修改磁场值 Hy 为主,电场只做相应的修改。

搜索半径探索　作不同深度的平面切片图时,有时因线距远远大于点距,比如本次野外工作中,线距一般为 1 km,而点距才 20 m,这就使数据在平面上的分布不成正方形网格,为此,在数据处理网格化时,采取了改变搜索半径的方法。比如,沿测点方向缩小搜索半径,而沿测线方向增大搜索半径,使得数据的分布趋于合理化,弥补了线距过大的不足,作出的切片图更趋真实。

改进成图方式,提高显示度　在做反演断面图时,一开始纵坐标(深度)用的是算术坐标,结果浅部的信息反映模糊;后来改用对数坐标,使浅部的信息的精度和分辨率大大提高。另外,不仅绘制断面图,而且还绘制不同深度切片图,提高了显示度。

4　CSAMT 法数据处理结果

4.1　已知剖面

遵循从已知到未知的原则,我们先来看 1420 线,因为 1420 线是通过已知矿的剖面(图 2)。

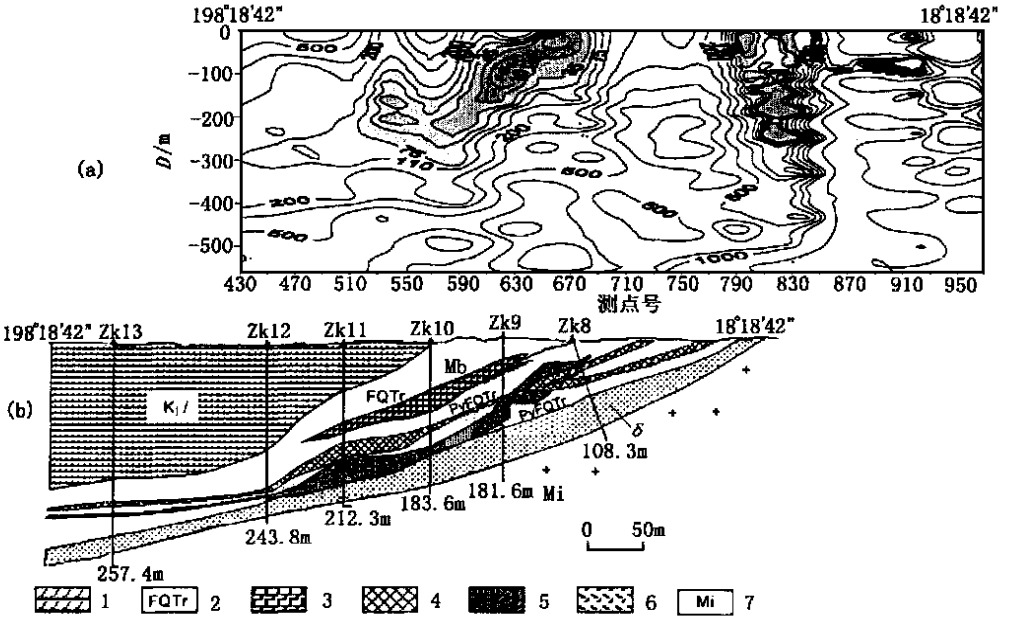


图 2　蓬家夼矿区 1420 线(11 勘探线)综合断(剖)面图

(a)蓬家夼矿区 1420 线(11 勘探线)CSAMT 反演断面图;(b) 蓬家夼矿区 1420 线(11 勘探线)地质剖面图

1—莱阳组砂砾岩;2—长英质碎裂岩;3—大理岩;4—闪长玢岩;5—矿体;6—闪长岩;7—糜棱岩

图 2(a)左上角电阻率大于 200 Ω·m 的为白垩系砾岩。图 2(a)右半部分电阻率大于 500 Ω·m 的为糜棱岩。中间夹的电阻率小于 200 Ω·m 的区域(浅色阴影)为层间滑动带的碎裂岩。在滑动带内电阻率约为几个Ω·m 到 100 Ω·m 的区域(深色阴影部分)为金矿体的位置。

碎裂岩由北向南缓倾,矿体也向南倾斜。矿体最大延深可达 200 m。

图 2(b)为通过 6 个钻孔控制的 11 勘探线地质剖面图。对比图 2(a)和图 2(b)可以看出 CSAMT 法反演出的低阻异常带与地质剖面上实际控制的金矿体的空间分布和形态规模是一致的。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从图 2 (a) 还可以看出,图中有两个阴影异常带,似有两条矿脉,北边靠近老地层的 830 点附近有一层矿;南边在 490 号点至 700 号点为主矿体。

4.2　未知或半未知剖面

我们把蓬家夼地区的 000 线、820 线、1420 线、2170 线和 2970 线的 ρ_s 断面图放在一起,组成一个立体垂向断面图 (图 3)。其中,1420 线 (即 Line 1420) 为已知矿的 CSAMTρ_s 断面图,其余 4 个 ρ_s 断面图为未知或半未知区 ρ_s 断面图,可以看出,在 000 线、820 线、2170 线和 2970 线的 ρ_s 断面图上仍有矿体存在(图中的黑色阴影部分),只不过其具体分布形态稍有变化。这就为该区矿体的纵向及横向延伸,提供了明显的证据。

4.3　平面结果分析

以上对单个剖面进行了分析,下面我们把 5 条剖面联合起来,做成不同深度的切片图,从平面图的结果来进行分析。

图 4 是蓬家夼矿区 000 线～2970 线 5 条线的不同深度切片图。

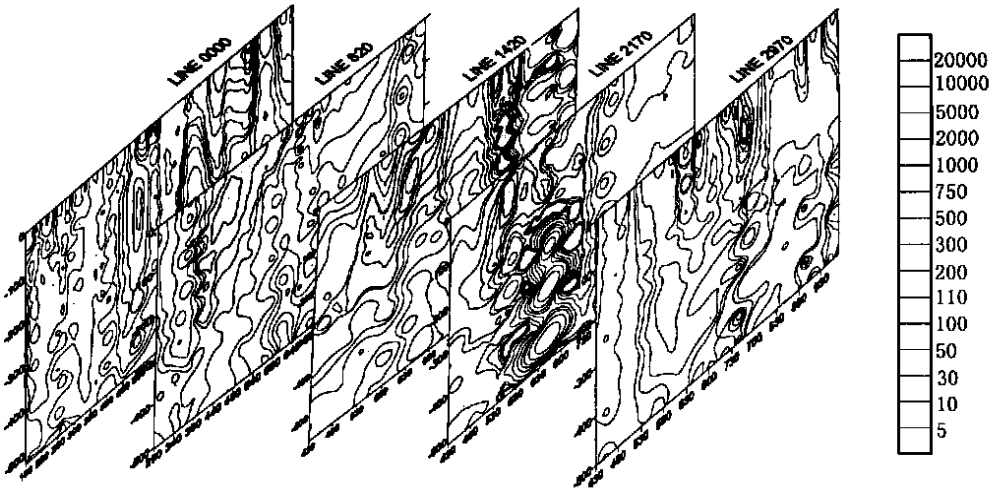


图 3　蓬家夼半未知区 CSAMT 法五条测线 ρ_s 反演垂向立体断面图

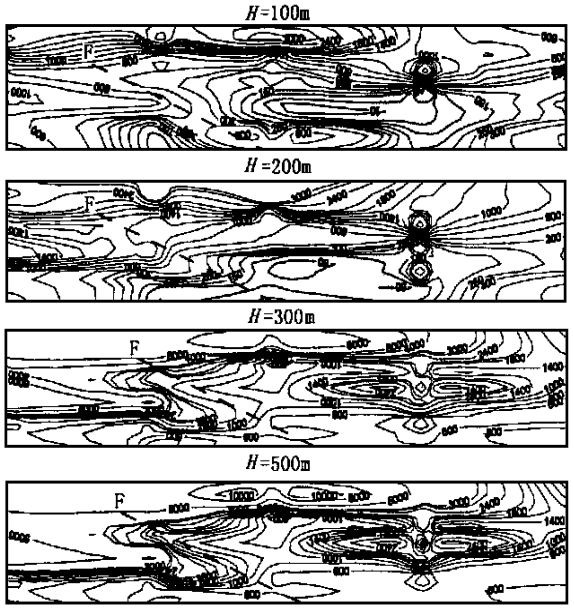


图 4　蓬家夼地区 CSAMT 法五条测线 ρ_s 反演不同深度平面切片图

图 4 中的每个切片,其方向为上北下南,左西右东,横坐标为测线号,西边为小号线,东边为大号线,线号就代表实际的线距。比如从 000 线到 820 线为 820 m,820 线到 1420 线,线距为 600 m,依此类推。纵坐标为测点号,北边为大号点,南边为小号点,点距为 20 m。

我们分别就 100 m、200 m、300 m 和 500 m 的深度进行了切片。

从图 4 可明显看出层间滑动带及矿脉沿东西分布(阴影部分)。100 m 深处,矿体规模较大,200 m 深处矿体已变窄。300 m 以下,一直到 500 m,几乎没有矿体。

从图中还可以看出,在 820 线与 1420 线之间有一条近 NW 向的断层,将矿体错动。这一明显的结果与实际控制的是一致的(见图 4 中推测断层虚线)。

从图 4 还可以看出矿脉是有一定走向,并有相当规模的。

关于发云夼、申家和南地口的未知区和半未知区的观测结果与蓬家夼矿区大同小异,在此不做详述。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5 结论

①在山东蓬家夼地区层间滑动角砾岩型金矿的已知区、未知区和半未知区,首次开展了 CSAMT 法的野外方法试验,共完成了 12 条测线,58 个排列,406 个频率测深点,测线总长度达 8120m。数据采集数量大、质量高,保证了成果的可信度。多层次的数据处理和各种不同的图件,使 CSAMT 法的地质效果更加明显,尤其是通过在已知矿上的异常显示,表明了 CSAMT 法寻找胶东层间滑动角砾岩型金矿是有效的,为今后在胶东地区乃至全国,大规模、大范围寻找该类矿床,为中国金矿资源战略接替基地若干靶区预测提供了一种轻便、快速、高效的地球物理手段。②数据处理,采用了多种软件,多种方法,绘制了不同剖面的反演断面图,不同深度立体切片图,提高了显示度。为今后寻找该类矿床提供了一个可靠的数据处理程序及绘图方法。③在未知区和半未知区,发现了新的异常,为在蓬家夼地区扩大金矿储量,深入研究矿带的分布、空间定位、钻孔布置,提供了地球物理佐证。

[参考文献]

[1] 石昆法. 可控源音频大地电磁法理论与应用[M]. 北京:科学出版社,1999,1～14.

[2] 米萨克 N. 纳比吉安主编. 勘查地球物理电磁法[M]. 赵经祥等译. 北京:地质出版社,1992,172～238.

[3] 罗延钟,何展翔,马瑞伍,等. 可控源音频大地电磁法的静态效应校正[J]. 物探与化探,1991,15(3):196 - 202.

APPLICATION OF CSAMT METHOD IN PREDICTING INTERLAYER SLIDING BRECCIA TYPE GOLD DEPOSITS IN PENGJIAKANG REGION, SHANDING PROVINCE

SHI Kun - fa, ZHANG Geng - li, LI Ying - xian, YU Chang - ming

Abstract: CSAMT method is a electromagnetic technique to measure Kaniya resistance and phase to determine geological bodies in the depth. This method has been developed since middle 1980's, is featured by its high sensitivity, large depth of detection, and strong ability against interference, and be widely used in prospecting metal ore resources, ground water, petroleum, nature gas, and in geological detection for large engineering construction. In this article, authors introduce the working principle of CSAMT method and discussed the processes of data treatment and geological application on the interlayer sliding breccia type gold deposits in details.

Key words: CSAMT method, gold ore, theory and effect

(上接第 85 页)

3 结语

(1) X 射线荧光分析法是一轻便、灵敏和有效方法。可以在野外现场快速测定与金矿化密切伴生的多种元素异常信息。

(2) 使用多道 X - 射线荧光光谱仪,可以在矿井巷道内,在地表基岩区和覆盖区进行取样,岩(矿)石样品需进行粉碎,地表土壤样需进行过筛处理,以提高测量精度。

(3) 将多个元素 X - 射线荧光异常进行综合对比,对不同的地区和不同的金矿化类型,从已知到未知,选取合理的异常参数,提高确定矿致异常的可靠性。

(4) 以地质研究为基础,结合其他物化探方法做出的结果进行对比和综合分析,圈定的多元素 X - 射线荧光异常区,可为成矿预测提供更多的信息。

[参考文献]

[1] 王继伦,李善芳,齐文秀,等. 中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用[M]. 北京:地质出版社,1997.

[2] 周四春,等. 核地球物理 X 荧光技术论文集[A]. 成都地质学院,1989.

[3] 章 晔,谢庭周,周四春,葛良全. 勘查金矿的现场 X 射线荧光法[J]. 铀矿地质,1988,4(1).

[4] 周四春,章 晔. 轻便 X 荧光仪上应用特/散法的探讨[J]. 核电子学与探测技术,1985,5(5).

[5] 吕古贤,林文蔚,罗元华,等著. 构造物理化学与金矿成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 1999.

[6] 蔡新平,徐兴旺,张宝林,等. 滇西墨江金厂金矿床时空四维结构模型[J]. 矿床地质,1999,18(1).

[7] 应汉龙,蔡新平,刘秉光. 云南墨江金矿床含金硅质岩的地球化学特征和成因[J]. 地球化学,1999,28(4):307～318.

THE APPLICATION OF X - RAY FLUORESCENCE ANALYTICAL METHOD IN POSITIONING PREDICTION OF CONCEALED GOLD ORE BODIES

LIU Tie - bing, SHEN Yuan - chao, ZENG Qing - dong, LI Guang - ming

Abstract: Multi - elements X - ray fluorescence analytical method is a fast and effective way to predict and localize blind gold ore bodies. Authors use this method in Jingcheng and Mouping gold deposits, Shandong Province and in Mojiang gold deposit, Yunnan Province effectively, get important information for predicting blind gold ore bodies in the depth and proposing new areas for further gold exploration.

Key words: X - ray fluorescence analysis, blind ore bodies, ore prediction, gold ore deposit

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

本 期 作 者 简 介



沈远超(1943 年 -),男,研究员(博士生导师),岩石学及矿床学专业,主要从事成矿岩石学、矿床学及金矿成矿预测工作,现为中国科学院知识创新工程黄金项目首席科学家。



张连昌(1959 年 -),男,博士,副教授,1983 年毕业于西安地质学院地质系,并于 1988 年获矿床专业硕士学位,1999 年获中国地质大学地球化学专业博士学位,现在中国科学院地质与地球物理研究所博士后流动站工作,主要从事地球化学和矿床地质学的研究。



刘铁兵(1950 年 -),男,1981 年获中国科技大学硕士学位,1988 年获美国辛辛那提大学博士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所副研究员,矿床学专业,主要从事金矿成矿预测工作。



邹为雷(1971 年 -),男,1995 年毕业于长春科技大学地球科学系,1998 年获长春科技大学矿床地质学硕士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所博士生,主要从事岩浆岩石学及金矿成矿预测研究。



杨金中(1970 年 -),男,1994 年毕业于长春地质学院地质系,1997 年在长春科技大学获矿床学硕士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所博士研究生,主要从事大地构造与成矿、矿体定位预测等方面的研究工作。



曾庆栋(1964 年 -),男,1986 年毕业于长春地质学院地质系,1989 年、1997 年在长春地质学院先后获得构造地质学专业硕士学位、矿床学专业博士学位,1997 - 1999 年中国科学院地质研究所博士后,现为中国科学院地质与地球物理研究所助理研究员,主要从事金矿成矿预测工作。



李光明(1964 年 -),男,博士,助研,1986 年毕业于成都地质学院地勘系,1996 年毕业于莫斯科地质勘探学院矿床学专业,获博士学位,现就职于中国科学院地质与地球物理研究所,主要从事矿床学及成矿预测方面的工作。



李厚民(1962 年 -),男,1983 年毕业于西北大学地质系,1989 年毕业于西安地质学院(现西安工程学院),获硕士学位,现为西安工程学院地球科学系副教授,中国科学院地质与地球物理研究所在读博士,主要从事矿床学的教学及科研工作。



张启锐(1939 年 -),男,研究员,1964 年毕业于北京大学,1968 年研究生毕业于中国科学院,专业为地层学,数学地质,目前从事金矿地质及震旦系冰川地层研究工作。



石昆法(1939 年 -),男,现任中国科学院地球物理研究所研究员,研究方向为浅层地球物理,研究专业为电法勘探。



荆林海(1971 年 -),男,1994 年 7 月毕业于山东矿业学院地质系,1997 年 7 月在中国科学院遥感应用研究所获地图学与遥感专业硕士学位,现攻读博士学位,主要从事遥感图像处理及遥感地质应用研究。

通讯地址:北京德外祁家豁子
中国科学院地质与地球物理研究所
邮政编码:100029

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net