

CSAMT法和TEM法在铜陵龙虎山地区 隐伏矿勘探中的应用

王大勇¹, 李桐林¹, 高 远², 方含珍², 赵广茂¹

1. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 长春 130026

2. 安徽省煤田地质局 物探测量队, 安徽 宿州 234000

摘要:CSAMT法是深部隐伏矿勘探工作的重要手段之一。将CSAMT法用于铜陵龙虎山地区隐伏矿勘察,在深入认识研究区的成矿规律和控矿因素的基础上,对该区的CSAMT数据进行了预处理和反演,对比TEM法反演结果,电性特征的统一性验证了CSAMT法反演结果的可靠性。联合CSAMT和TEM反演结果成功地分辨出侵入岩体和岩浆热液的运移通道,为该區寻找隐伏矿提供了有效的勘探手段。

关键词:CSAMT;TEM;隐伏矿;成矿规律;找矿标志;地球物理勘探

中图分类号:P631.2

文献标识码:A

文章编号:1671-5888(2009)06-1134-07

The Application of CSAMT and TEM to Exploration Buried Deposits in Longhu Mountain Area at Tongling, Anhui Province

WANG Da-yong¹, LI Tong-lin¹, GAO Yuan², FANG Han-zhen², ZHAO Guang-mao¹

1. College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China

2. Geophysical Surveying Team, Anhui Bureau of Coalfield Geology, Suzhou, Anhui 234000, China

Abstract: The CSAMT is playing an important role in exploring deep buried deposits at present. The application of CSAMT has been studied to explore buried deposits in Longhu Mountain in Tongling, Anhui Province. Pre-processing and inversion of CSAMT data were obtained based on metallogenic regularity and ore-controlling factors in this region. The reliability of CSAMT inversion was verified by TEM inversion and the unity of electrical characteristics. The irruptive rock body and the channels of magmatic-hydrothermal were successfully discriminated in combination of CSMAT and TEM inversion results.

Key words: CSAMT; TEM; buried deposits; metallogenic regularity; prospecting sign; geophysical prospecting

0 引言

的有效途径,对于缓解资源压力、促进经济发展和找矿理论发展均具有十分重要的意义。近年来,广泛开展深部隐伏矿勘探工作是实现找矿重大突破用于金属矿勘探的电磁技术有瞬变电磁测深技术

收稿日期:2009-04-10

基金项目:国土资源部深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-03-01);国家“863”项目(2007AA060601);安徽省地质勘察基金项目(20050501)

作者简介:王大勇(1980—),男,河北唐山人,博士研究生,主要从事电磁法深部找矿研究, E-mail: wangdayong141@sina.com

通讯联系人:李桐林(1962—),男,内蒙古通辽人,教授,博士生导师,主要从事电磁法研究, E-mail: litl@jlu.edu.cn.

(TEM法)、可控源音频大地电磁测深技术(CSAMT法)、频谱激电法(SIP)、高分辨电导率成像技术(EH4)、天然源声频大地电磁法(AMT)、小比例尺充电法等^[1]。

CSAMT法是一种使用人工源、在改变频率的条件下测量卡尼亚视电阻率进行测深的方法。以其勘探深度大(通常可达2 km)、分辨能力强、观测效率高等特点成为研究深部地质构造和寻找隐伏矿的有效手段。在国外,CSAMT法多用于水资源勘查和地热勘查^[2-3]。隐伏金属矿勘探在国内应用较多,已在铝、铜、金、银、铅锌、铀等矿产勘查中得到广泛的应用^[4-8]。然而,CSAMT法常存在静态效应,常常影响定性解释结果^[9]。

瞬变电磁法(TEM)是一种通过测量由一次电流脉冲场激励而产生的二次涡旋场随时间的衰减规律、了解异常体的空间分布的时间域电磁探测方法。该法通常采用不接地方式测量磁场,可以有效地克服静态效应。因此,联合使用CSAMT和TEM可以有效获得更科学的地下介质的电阻率分布特征。

在铜陵矿集区的龙虎山地区开展了野外CSAMT和TEM测量,对数据进行了处理。结合该区成矿规律和控矿因素,对CSAMT和TEM数据反演结果进行地质解释,回答本区隐伏矿成矿物质运移途径和矿(化)体就位等地质问题。

1 区域地质特征及成矿规律

1.1 区域地质特征

研究区位于扬子板块北缘,在秦岭—大别造山带前陆褶皱带中的下扬子拗陷带中部铜陵凸起中,在地层区划上属扬子地层下扬子分区。区内地层从志留系至第四系均较发育,岩相主要为海相、滨海相碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩和陆相碎屑岩夹火山岩系;其中碳酸盐岩最为发育,累计厚度可达1 500 m以上。

区内除存在前印支期和印支期构造外,还发育有燕山—喜山期构造,主要构造有北东向、东西向、北北东向、南北向和北西向5组,构成了区内复杂的构造变形图像。区内岩浆活动十分强烈,地表裸露的小岩体约有70多个,多呈中—浅成相的小岩体、岩枝或岩墙产出,剥蚀程度较浅。

根据主要成矿作用,区内矿床类型可划分为斑岩型、层控矽卡岩型、矽卡岩型、热液型、层控型及风化型等。

1.2 成矿规律

研究区内赋存于石炭系中的块状硫化物矿床不仅是区内一种广泛发育的重要矿化类型,而且也是区内矽卡岩型矿化的重要物质基础^[10]。徐文艺等^[11]认为主要赋存于石炭系地层底部的层状块状硫化物矿体的形成,主要与石炭纪海底热水活动有关,海水硫酸盐是形成硫化物矿床的主要硫源;海西期扬子板块北缘的张性构造体制为该时期喷流—沉积型块状硫化物矿床的形成提供了有利的地球动力学环境。王训诚等^[12]认为区域上规模较大的沉积—喷流活动中心都位于东西向与南北向基底断裂的交叉点及其附近,而活动中心多有印支—燕山期岩浆的追踪侵入及后期岩浆气液的叠加改造。

李进文^[13]研究认为燕山期中酸性侵入岩与铜(金、硫、铁)矿床具有密切的时空和成因联系,是本区铜(金、硫、铁)矿床成矿物质的主要来源,而一定深度岩浆房的流体和矿质补充对大规模的成矿作用是非常重要的;石炭系地层底部是层控矽卡岩型矿床的重要场地,仅提供了很少的矿质。李学军^[14]通过对铜陵地区石炭系沉积环境的分析,认为层状块状硫化物矿床的形成与石炭纪沉积作用关系不大,是早期深部岩浆气—液流体活动形成的;而深部富碱硅(富Na、K、Si、Cl)的热流体对岩浆岩的改造与成矿关系密切。

这些成果显示,铜陵矿集区在海西期受深部热流体沿深大断裂上升的热流体活动,在活动中心形成了赋存于石炭系地层底部的块状硫化物矿床,而活动中心又多有印支—燕山期岩浆的追踪侵入及后期岩浆气液的叠加改造;这些侵入的岩浆以及后期的岩浆气液不仅带来了大量的成矿物质,而且对铜(金、硫、铁)矿床的形成起了重要的作用。因此,在本区寻找隐伏矿床时,岩体的侵入通道和岩浆热液的运移通道是重要的找矿标志。

2 电磁数据采集与处理

2.1 剖面位置及岩石物性特征

本次CSAMT测量剖面 and TEM测量剖面位于同一条剖面线上(图1),对测线的1 200~4 100 m进行了CSAMT测量,1 200~3 600 m进行了TEM测量。

为准确识别地下介质,测量了本区岩石标本的电阻率(表1)。可见,本区的石英闪长岩和闪长斑岩体等侵入岩体的电阻率值在 $6.26 \times 10^2 \Omega \cdot m$ 以

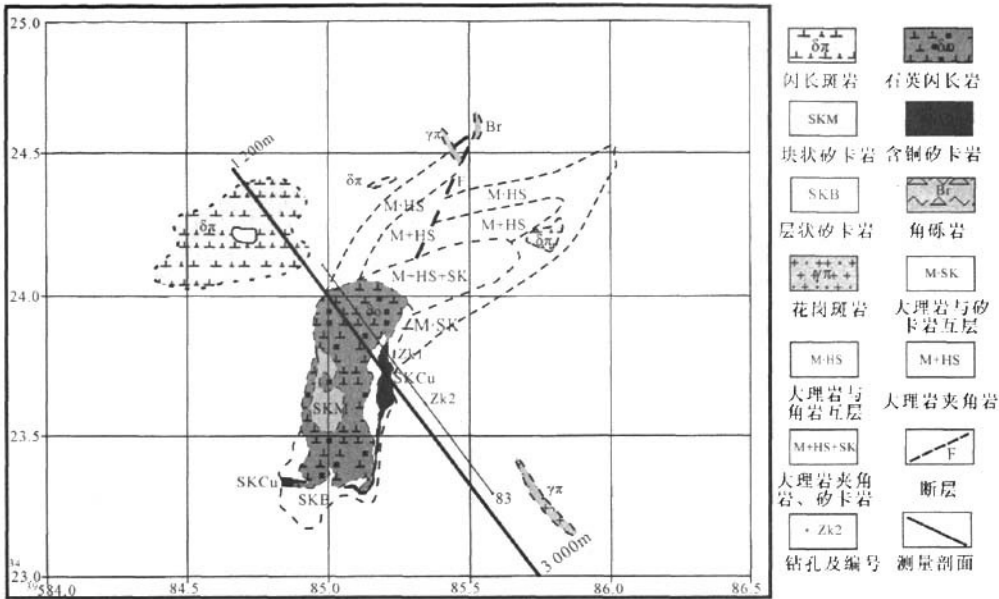


图 1 研究区地质简图与剖面线位置

Fig. 1 Geology Sketch map of study area and the place of section plane

内; 相对于沉积地层中的灰岩和大理岩电阻率 ($2.36 \times 10^3 \Omega \cdot m$) 表现为低阻特征。

2.2 数据采集

CSAMT 数据采集采用加拿大凤凰公司生产的 V8 多功能电法仪, 该系统使用 3 套 GPS 同步时钟, 分别控制发射、接收主机盒子和辅助盒子, 使得接收和发射完全同步。采用赤道装置进行标量测量, 一个排列采集 6 个测点的测深数据, AB 发射极距为 2 km, 接收极距 MN 为 50 m, 收-发距大于 8 km, 接收点在发射极 AB 中垂线 $\pm 30^\circ$ 角覆盖范围之内, 接收点首尾相连, 进行 EMAP 法测量。供电电压 600~700 V, 电流约 20 A。工作频率为: 9 600、7 680、6 400、4 800、3 840、3 200、2 400、1 920、1 600、1 200、960、800、600、512、426、666 7、341.333 3、256、213.333 3、170.666 7、128、106.666 7、85.333 3、64、53.333 3、42.666 7、32、26.666 7、21.333 3、16、13.333 3、10.666 7、8、6.666 7、5.333 3、4、2.666 7、2、1.666 7、1.333 3、1 Hz。

TEM 法探测的野外施工采用大固定发射回线和移动接受框, 发射线框采用 300 m \times 1 200 m 的矩

形线框, 接受线圈为磁探头, 等效面积为 100.0 m², 发射电流为 10 A。

表 1 研究区岩石电性参数^①

Table 1 Rock electrical parameters in study area					
岩石(矿) 名称	样 本 数	ρ_s /($\Omega \cdot m$)	$\bar{\rho}_s$ /($\Omega \cdot m$)	P_s /%	\bar{P}_s /%
砂卡岩 (SK)	2	16 829~ 29 452	22 263	4.2~ 7.7	5.7
石英闪长 斑岩($\delta\pi$)	2	513~ 626	567	10.6~ 12.0	11.3
石英闪长 岩($\delta\pi$)	2	3~10	4	10	10
大理岩(M)	5	567~4 748	2 364	2.4~3.8	2.8
含铜斑岩	1	154	154	11.4	11.4
花岗斑岩 ($\gamma\pi$)	1	1 499	1 499	3.2	3.2

2.3 数据处理

对 CSAMT 法和 TEM 法野外测量原始数据进

① 安徽省地质调查院矿产资源勘查所. 岩石物性资料. 2006.

行了如下处理:

(1)曲线的圆滑:由于干扰和观测误差的存在,在频率-视电阻率曲线上有时会出现非正常的突跳,尤其是高压线、村庄、工厂附近的测点。结合干扰记录,根据相邻测点的曲线特征,对野外采集的原始视电阻率和时间衰减曲线突跳点进行圆滑或丢弃。对每一个测点进行编辑,以保证数据质量。

(2)静校正:通过观测整条剖面上各测点卡尼亚电阻率-频率测深曲线的高频端曲线,结合野外地层出露现状,采用电阻率曲线之间以及相位曲线之间的相关系数识别 CSAMT 资料中的静态效应和地质异常,与瞬变电磁法测量结果进行对比,认为虽然 CSAMT 观测结果存在静态效应,但同时也反映了纵向低阻体;因此没有对本次测量数据进行静校正。

(3)近场校正:观测曲线低频端是否有近 45°的拐点;结合 Bostick 初步反演深度,判断 CSAMT 资料中反演深度大于 2 km 的数据是否进入了近区,删除了进入近区场的数据。然后,对 CSAMT 和 TEM 原始测量数据分别进行了一维 Bostick 反演和烟圈反演,结果见图 2,图中钻孔为 83# 地质勘探线的钻孔投影。

3 资料分析与解释

3.1 资料分析

因为 Bostick 反演和烟圈反演都不是基于视电阻率与理论响应值的反演方法,而是一种换算;因此它们所反演的电阻率只有相对意义,并不能反映真实电阻率值。由图 2 (a)可见,在横向 1 500 m 和

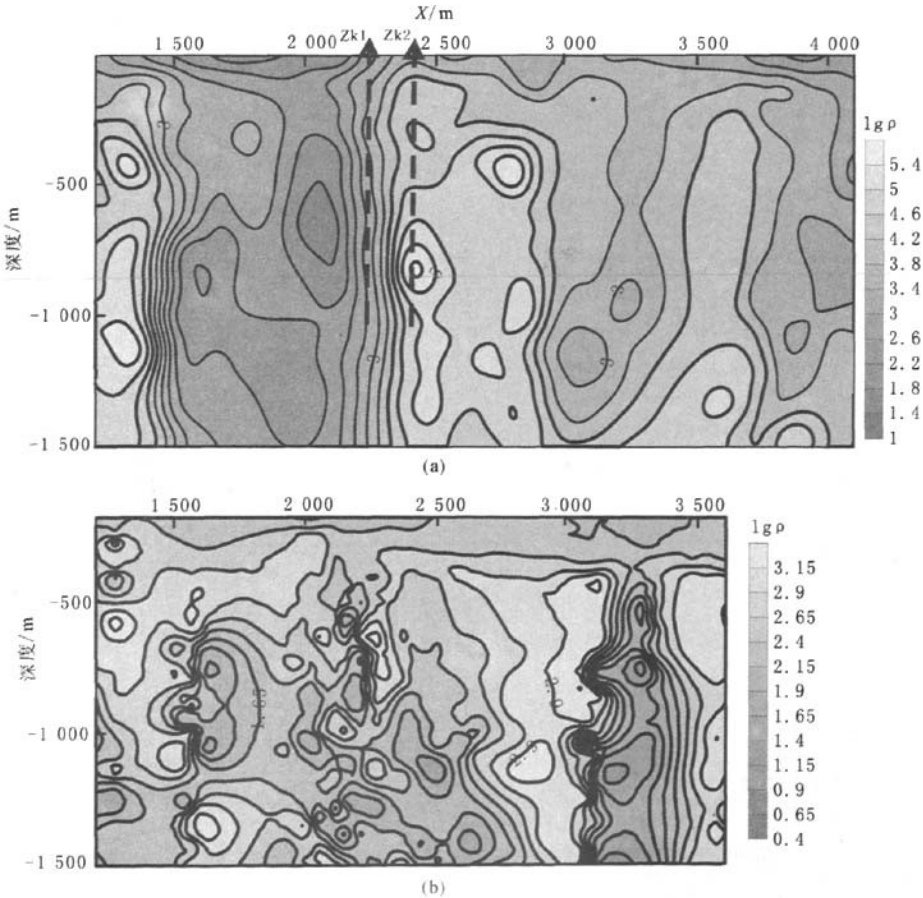


图 2 研究区 CSAMT 和 TEM 一维反演结果

Fig. 2 1-D inversion result of CSAMT and TEM in the area
a. CSAMT 反演结果; b. TEM 反演结果

2 300 m附近出现了“挂面条”^[8],这种结果有可能是静态效应引起,也可能是纵向展布的低阻体引起。因此,对比了同一测线同一区段的 TEM 法的反演结果(图 2(b))。结果显示:CSAMT 法和 TEM 法的反演结果视电阻率分布整体形态一致。例如,在测线 1 500~2 200 m 处存在整体低阻带,其下 400 m 左右存在较高阻层,深度 600 m 以下为向右下倾斜的低阻区。在测线 1 500 m 和 2 200 m 处存在明显的横向电性差异,在 2 500~3 600 m 为整体高阻区,且在 3 200~3 300 m 都夹一个纵向倾斜低阻带。因此,可以联合 CSAMT 和 TEM 反演结果进行地质解释。

由于静态效应,两种方法的结果存在局部差异。例如,CSAMT 反演结果对横向 2 200~2 300 m 处的低阻形态反应不够明显。

3.2 资料解释

结合研究区成矿规律,对剖面反演结果作出如下解释:(1)在 1 500~2 250 m 存在岩浆侵入通道。(2)在 1 500~2 200 m 处的低阻带内存在着两个低阻极点,可能为岩体与海西期沉积硫化物矿床的接触部位,受侵入岩体及其热液流体的叠加改造,形成了低阻矿(化)点。(3)在 2 200~2 300 m 处是矿化的高阻矽卡岩的有利部位。其余的高阻区反映了本区沉积的灰岩地层。

据安徽省地质矿产勘查局 321 地质队资料,在测线左端 1 200~1 610 m,地表出露有闪长斑岩岩体;在 1 800~2 050 m,地表出露有石英闪长岩;在 1 750~2 150 m,出露了含铜矽卡岩(图 1)。

在测线北东侧距测线 45 m 的 83° 勘探线上有两个钻孔(Zk1 和 Zk2)(图 3),钻孔(Zk1)资料显示:在-600 m 深度见到石英闪长岩和角砾岩,并见

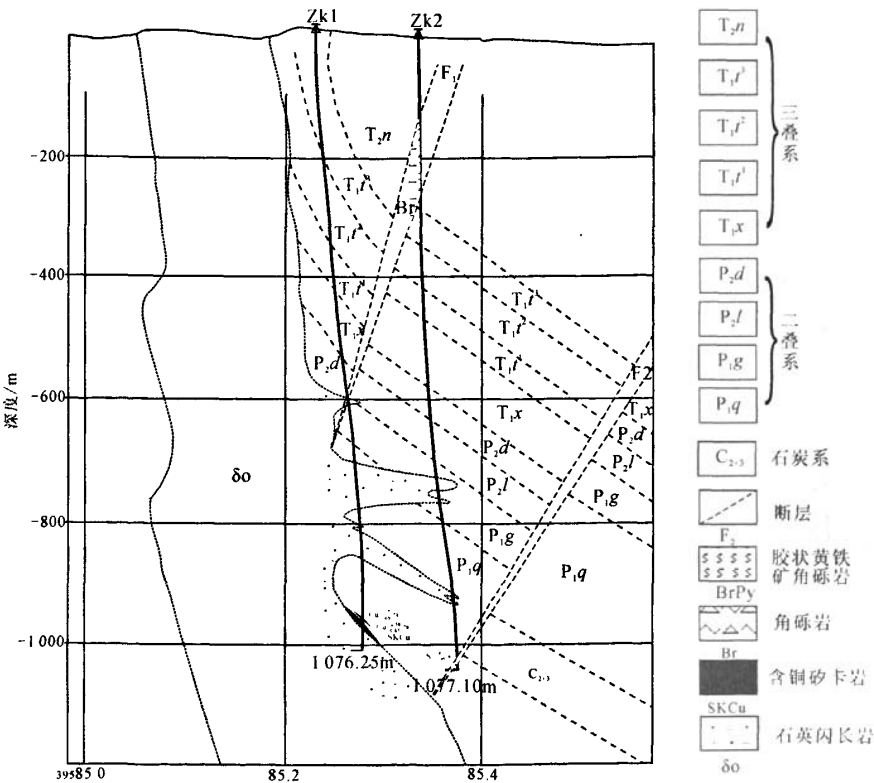


图 3 铜陵长龙山铜矿 83° 钻孔剖面图^①

Fig. 3 Boreholes section map of 83° line in copper deposit in long dragon mountain area in Tongling

① 安徽省地质矿产勘查局 321 地质队,铜陵市长龙山铜矿地质剖面.铜陵:安徽省地质矿产勘查局,2005.

到断层和胶状黄铁矿角砾岩;在-968 m深处为14.4 m厚的砂卡岩铜矿,该钻孔-600~-1 008 m(孔深1 076.25 m)石英闪长岩体厚度为160 m。钻孔(Zk2)在-128~-261 m见到角砾岩断层;在-744 m可见厚20 m的石英闪长岩体;在-1 022 m有7.87 m厚的硫化物矿体(孔深1 077.10 m)。

由此可见,CSAMT推断结果成功地识别出了侵入岩体。

4 结论

(1)充分研究目标区的成矿规律,找到适当的间接找矿指示目标是成功寻找隐伏矿的有效手段。

(2)一般认为,静态效应是CSAMT资料处理和解释的不利因素,从研究结果来看,静态效应有利于发现横向不均匀体。CSAMT与TEM资料联合分析解释有助于认识静态效应。

(3)在对CSAMT和TEM资料进行解释时,不仅要注意低阻的分布形态,还应根据侵入岩体、构造和围岩的空间关系以及整合关系,注意高阻的分布形态。

(4)CSAMT和TEM在该区成功地预测了侵入岩体与岩浆热液运移通道,揭示了隐伏矿体的有利赋存位置,是本区寻找深部隐伏矿的有效勘探手段。

感谢安徽省地质矿产局321地质队提供的地质资料,安徽省地质调查院矿产资源研究所所长吴明安提供的岩石电性资料。

参考文献(References):

- [1] 陈国帅,彭建辉,曾明中. 加快物化探新技术应用开发力度努力实现深部找矿上的重大突破[J]. 资源环境与工程, 2008(增刊2):3-6.
CHEN Guo-shuai, PENG Jian-hui, ZENG Ming-zhong. Speed up new technology of geophysical and geochemical development to make great breakthrough in looking for deep deposits[J]. Resources Environment & Engineering, 2008(Sup. 2):3-6.
- [2] Anderson K E, Dickinson J E, Edge R D, et al. Controlled source audio magnetotelluric (CSAMT) geophysical investigation in the upper San Pedro basin, southeastern Arizona[J]. Abstracts with Programs-Geological Society of America, 2008, 40(6):137.
- [3] Basokur A T, Rasmussen T M, Kaya C, et al. Comparison of induced polarization and controlled-source audio-magnetotellurics methods for massive chalcopyrite exploration in a volcanic area[J]. Geophysics, 1997, 62(4):1087-1096.
- [4] 杨瑞西,马振波,司法桢,等. CSAMT法在铝土矿勘查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(4):400-407.
YANG Rui-xi, MA Zhen-bo, SI Fa-zhen, et al. Application of CSAMT method in the bauxite mine exploration[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008, 5(4):400-407.
- [5] 刘国印,燕长海,赵健敏,等. 微重力法与可控源音频大地电磁法组合在豫西寻找隐伏铝土矿中的应用[J]. 地质通报, 2008, 27(5):641-648.
LIU Guo-yin, YAN Chang-hai, ZHAO Jian-min, et al. Applications of combined microgravity survey and CSAMT sounding in search for concealed bauxite deposits in western Henan, China[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(5):641-648.
- [6] 于昌明. CSAMT方法在寻找隐伏金矿中的应用[J]. 地球物理学报, 1998, 41(1):133-138.
YU Chang-ming. The application of CSAMT method in looking for hidden gold mine[J]. Acta Geophysica Sinica, 1998, 41(1):133-138.
- [7] 柳建新,王浩,程云涛,等. CSAMT在青海锡铁山隐伏铅锌矿中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(3):273-278.
LIU Jian-xin, WANG Hao, CHENG Yun-tao, et al. Application of CSAMT to the hidden lead-zinc mine in Xitit Mountain of Qinghai[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008, 5(3):273-278.
- [8] 李茂,杜建农,余水泉. CSAMT法在松辽盆地四平地区铀矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2006, 30(4):298-302.
LI Mao, DU Jian-nong, YU Shui-quan. The application of the CSAMT method to uranium exploration in Siping area, Songliao basin[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2006, 30(4):298-302.
- [9] 黄兆辉,底青云,侯胜利. CSAMT的静态效应校正及应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4):1290-1295.
HUANG Zhao-hui, DI Qing-yun, HOU Sheng-li. CSAMT static correction and its application[J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(4):1290-1295.
- [10] 刘裕庆,刘兆廉,杨成兴. 铜陵地区冬瓜山铜矿的稳定同位素研究[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 1984(1):70-101.
LIU Yu-qing, LIU Zhao-lian, YANG Cheng-xing.

- Stable isotope studies of the Dongguashan copper deposit in Tongling Prefecture, Anhui Province[J]. Bull Institute of Mineral Deposits, CAGS, 1984(1): 70-101.
- [11] 徐文艺,杨竹森,蒙义峰,等. 安徽铜陵矿集区块状硫化物矿床成因模型与成矿流体动力学迁移[J]. 矿床地质, 2004, 23(3):353-364.
- XU Wen-yi, YANG Zhu-sen, MENG Yi-feng, et al. Genetic model and dynamic migration of ore-forming fluids in carboniferous exhalation-sedimentary massive sulfide deposits of Tongling district, Anhui Province[J]. Mineral Deposits, 2004, 23(3):353-364.
- [12] 王训诚,刘良根,郭祥焱,等. 铜陵地区喷流-沉积块状硫化物矿床[J]. 安徽地质, 2007, 17(2):95-97.
- WANG Xun-cheng, LIU Liang-gen, GUO Xiang-yan, et al. Reginal sedex massive sulfide ore deposit [J]. Geology of Anhui, 2007, 17(2):95-97.
- [13] 李进文. 铜陵矿集区矿田构造控矿与成矿化学动力学研究[D]. 北京:中国地质科学院, 2004.
- LI Jin-wen. Ore-controlling structure of orefield and ore-forming chemical kinetics of mineral assemblage area in Tongling [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2004.
- [14] 李学军. 铜陵地区控矿因素及成矿模式研究[D]. 北京:中国地质大学, 2006.
- LI Xue-jun. Study of ore formation conditions and ore deposit models in Tongling area, Anhui Province, China [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006.
- *****
- (上接 1126 页)
- [6] 刘莹莹,赵勇胜,董军,等. 地层介质对垃圾渗滤液的 pH 缓冲性能研究[J]. 环境科学, 2008, 29(7):1948-1954.
- LIU Ying-ying, ZHAO Yong-sheng, DONG Jun, et al. pH buffering capacity of geological media on landfill leachate[J]. Environmental Science, 2008, 29(7): 1948-1954.
- [7] 谢先德,张刚生. 微生物-矿物相互作用之环境意义的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(4):382-386.
- XIE Xian-de, ZHANG Gang-sheng. Environmental significance of the interaction between minerals and microbes[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2001, 20(4):382-386.
- [8] 汤艳杰,贾建业,谢先德. 锰氧化物在污染土壤修复中的作用[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4):557-563.
- TANG Yan-jie, JIA Jian-ye, XIE Xian-de. The environmental mineralogical significant of iron and manganese oxides in remediation of contaminated soil [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(4):557-563.
- [9] Lovley D R. Microbial Fe(III) reduction in subsurface environments[J]. FEMS Microbiology Reviews, 1997, 20:305-313.
- [10] Cozzarelli I M, Suflita J M, Ulrich G A, et al. Geochemical and microbiological methods for evaluating anaerobic process in an aquifer contaminated by landfill leachate[J]. Environment Science Technology, 2000, 34(18):4025-4033.
- [11] Liu Chongxuan, Kota S, Zachara J M, et al. Kinetic analysis of the bacterial reduction of goethite [J]. Environ Sci Technol, 2001, 35(12):2482-2490.
- [12] Jaisi D P, Dong Haitiang, Liu Chongxuan. Kinetic analysis of microbial reduction of Fe(III) in nontronite [J]. Environ Sci Technol, 2007, 41(7):2437-2444.
- [13] 张锡辉. 水环境修复工程学原理与应用[M]. 北京:化学工业出版社 2002.
- ZHANG Xi-hui. Principles and applications of water environment remediation engineering [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [14] Swisher R, Carroll G C. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surfaces[J]. Microbial Ecology, 1980, 6(3):217-226.

作者: [王大勇](#), [李桐林](#), [高远](#), [方含珍](#), [赵广茂](#), [WANG Da-yong](#), [LI Tong-lin](#), [GAO Yuan](#),
[FANG Han-zhen](#), [ZHAO Guang-mao](#)

作者单位: [王大勇, 李桐林, 赵广茂, WANG Da-yong, LI Tong-lin, ZHAO Guang-mao \(吉林大学, 地球探测科学与技术学院, 长春, 130026\)](#), [高远, 方含珍, GAO Yuan, FANG Han-zhen \(安徽省煤田地质局, 物探测量队, 安徽, 宿州, 234000\)](#)

刊名: [吉林大学学报 \(地球科学版\)](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF JILIN UNIVERSITY \(EARTH SCIENCE EDITION\)](#)

年, 卷(期): 2009, 39(6)

参考文献(14条)

1. Basokur A T; Rasmussen T M; Kaya C [Comparison of induced polarization and controlled-source audio-magnetotellurics methods for massive chalcopyrite exploration in a volcanic area](#) [外文期刊] 1997(04)
2. Anderson K E; Dickinson J E; Edge R D [Controlled source audio magnetotelluric \(CSAMT\) geophysical investigation in the upper San Pedro basin, southeastern Arizona](#) 2008(06)
3. 陈国帅; 彭建辉; 曾明中 [加快物化探新技术应用开发力度努力实现深部找矿上的重大突破](#) [期刊论文] - [资源环境与工程](#) 2008(z2)
4. 李学军 [铜陵地区控矿因素及成矿模式研究](#) 2006
5. 李进文 [铜陵矿集区矿田构造控矿与成矿化学动力学研究](#) 2004
6. 王训诚; 刘良根; 郭祥焱 [铜陵地区喷流-沉积块状硫化物矿床](#) [期刊论文] - [安徽地质](#) 2007(02)
7. 徐文艺; 杨竹森; 蒙义峰 [安徽铜陵矿集区块状硫化物矿床成因模型与成矿流体动力学迁移](#) [期刊论文] - [矿床地质](#) 2004(03)
8. 刘裕庆; 刘兆廉; 杨成兴 [铜陵地区冬瓜山铜矿的稳定同位素研究](#) 1984(01)
9. 黄兆辉; 底青云; 侯胜利 [CSAMT的静态效应校正及应用](#) [期刊论文] - [地球物理学进展](#) 2006(04)
10. 李茂; 杜建农; 余水泉 [CSAMT法在松辽盆地四平地区铀矿勘查中的应用](#) [期刊论文] - [物探与化探](#) 2006(04)
11. 柳建新; 王浩; 程云涛 [CSAMT在青海锡铁山隐伏铅锌矿中的应用](#) [期刊论文] - [工程地球物理学报](#) 2008(03)
12. 于昌明 [CSAMT方法在寻找隐伏金矿中的应用](#) [期刊论文] - [地球物理学报](#) 1998(01)
13. 刘国印; 燕长海; 赵健敏 [微重力法与可控源音频大地电磁法组合在豫西寻找隐伏铝土矿中的应用](#) [期刊论文] - [地质通报](#) 2008(05)
14. 杨瑞西; 马振波; 司法桢 [CSAMT法在铝土矿勘查中的应用](#) [期刊论文] - [工程地球物理学报](#) 2008(04)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cckjdxxb200906025.aspx