利用地电化学法寻找隐伏铅、锌、银多金属矿
——以内蒙古阿巴嘎旗陶勒盖矿区为例

刘秀娟[1],罗先熔[1],郑小明[2],李彦伟[1],黄学强[1],李兆宜[1],华 二[1]
LIU Xiu-juan[1], LUO Xian-rong[1], ZHENG Xiao-ming[2], LI Yan-wei[1], HUANG Xue-qiang[1], LI Zhao-yi[1], HUA Er[1]

1.广西地质工程中心重点实验室/桂林理工大学隐伏矿床预测研究所,广西 桂林 541004;
2.中国地质大学(北京),北京 100083
1. *Guangxi Geological Engineering Center Key Laboratory/Institute of Concealed Mine Prospecting, Guilin University of Technology , Guilin 541004 , Guangxi, China;*
2. *China University of Geosciences, Beijing 100083,China*

摘要:通过对内蒙古阿巴嘎旗哈达特陶勒盖矿区开展地电化学勘查寻找隐伏铅、锌、银多金属矿的研究,确定地电化学勘查在该地区有效。圈出 Pb、Zn、Ag 等多个异常区,综合各异常和以往的工作成果,确定在该地区具有一定的寻找隐伏铅、锌、银多金属矿的找矿潜力。共圈定出Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个综合异常区,并划分为 A、B、C 三类异常靶区,为该区的找矿预测指明了方向。

关键词:地电化学法;铅锌矿床;找矿研究;内蒙古陶勒盖矿区
中图分类号:P618.44; P618.2 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2012)01-0143-08

Liu X J, LUO X R, Zheng X M, Li Y W, Huang X Q, LI Z Y, Hua E. The effect of geoelectrochemical method in the prospecting for concealed lead-zinc-silver and polymetallic deposits: a case study of the Tolgoi ore deposit in Abag Banner of Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China,* 2012,31(1):143-150

Abstract: The application of the geoelectrochemical method to prospecting for concealed lead-zinc-silver polymetallic ore deposits in the Toloi ore district within Abag Banner of Inner Mongolia has proved the effectiveness of this method in this area. Quite a few anomalies of such elements as Pb, Zn and Ag were delineated. An integration of various anomalies and the results of previous work shows that there exists a certain degree of potential in search for concealed lead-zinc-silver polymetallic deposits in this area. Four integrated anomaly districts, i.e., I, II, III and IV, were delineated, which were divided into three types of targets. These results point out the direction of ore-prospecting work in this area.

Key words: geoelectrochemical method;lead-zinc deposit;geochemical prospecting and prognosis;Tolgoi ore district in Inner Mongolia

为了解决内蒙古哈达特陶勒盖矿区深边部的找矿问题,在陶勒盖矿区按照 100m×20m 的网度布置了 11 条剖面,开展以地电化学为主的多种方法寻找隐伏铅、锌、银多金属矿研究。同时,对采集的 509 个样品进行了 Pb、Zn、Ag 等元素的分析。经数据处理和综合研究,在已知含矿构造蚀变带上获得明显可辨的 Pb、Zn、Ag 组合异常,说明该方法在该区寻找隐伏铅、锌、银多金属矿十分有效。在此基础上,在该矿区深边部 5.54km^2 的范围内开展找矿预测研究,共发现地电提取 Pb 异常 8 个,地电提取Zn 异常 12

收稿日期:2011-05-18;修订日期:2011-11-11
资助项目:国家深部探测计划项目《盆地地电化学测量技术》(编号:201011055-2)和中澳国际科技合作项目(编号:2007DFA20910)
作者简介:刘秀娟(1983-),女,在读硕士,从事地球化学研究。E-mail:liuxiujuan1086@163.com
通讯作者:罗先熔(1953-),男,博士,教授,博士生导师。E-mail:lxr811@yahoo.com.cn

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

个，地电提取 Ag 异常 17 个。根据对上述异常找矿前景的分析研究，划分出 A、B、C 三类异常靶区，为该区未知区域找矿提供了依据。

1 工作区地理、地质概况

工作区所在勘查区属内蒙古高原北部低山地区，海拔在 1430~1550m 之间，高差 10~30m，最大高差达 120m，地势较平坦。气候属中温带干旱、半干旱大陆性和中温带大陆性季风气候，冬寒夏热，春秋季节日温差大，气候干燥，降雨多集中于 6~8 月份，且量少，冰冻期长，年蒸发量大于降水量，植物生长不茂盛。

区内出露的主要地层有泥盆系下统敖包亭浑迪组(D_1a)、二叠系下统宝力格组(P_1b)、第四系(Q)。泥盆系下统敖包亭浑迪组广泛分布于全区正地形地段，为一套滨海—浅海相碎屑岩类沉积建造，由泥质粉砂岩、长石石英砂岩夹粉砂质板岩组成，岩石呈灰色、灰黄色，细粒结构，块状构造。二叠系下统宝力格组分布于勘查区中北部，为一套陆相中酸性火山碎屑-正常沉积碎屑岩建造，由层凝灰岩、英安质岩屑晶屑凝灰岩、硅质泥质粉砂岩和碳泥质板岩组成，呈灰—深灰色，凝灰结构，块状构造。第四系分布广泛，主要为风积、洪积、淤积、坡积等各种成因类型的堆积物，分布于全区负地形地段，如图 1 所示。测区位于柴达木复背斜的北西翼，热木提哈敖包断裂和森都温德尔挤压带沿 NE 向穿过测区。测区外 SE 方向柴达木断裂沿 NE 向延伸，二连-贺根山大断裂沿 NE 向穿过。详查区内还分布一些具有一定规模的构造蚀变破碎带，比如Ⅰ矿带的构造蚀变破碎带 Fb_1、Ⅱ矿带南部的构造蚀变破碎带 Fb_8、Ⅲ矿带构造蚀变破碎带 Fb_2、Fb_3、Fb_5 等。详查区矿体均赋存在此种类型的构造蚀变破碎带中。总而言之，规模较大的北东向压性断裂为成矿物质运移提供了通道，北西向、东西向次一级张扭性断裂为矿体的形成提供了赋存空间。

矿区内出露岩浆岩主要为印支期花岗岩(γ_5^1)，受 NE—SW 向区域构造线的控制，以岩基产出，岩体主要为花岗岩和黑云母花岗岩，中细粒—细粒似斑状结构，局部为中粒或不等粒结构。矿区内脉岩十分发育，以印支期侵入岩脉为主。矿区以外 NE 方向出露苏金温德尔岩体(γ_5^1)，受断裂的控制，呈 NE—SW 向不连续的岩株状产出(图 1)。

2 技术方法

本次深部找矿预测工作采用地电化学提取测量法。该方法是以地下岩石中离子动态平衡状态为基础的地球化学方法。在人工电场的作用下，地下岩石中的离子动态平衡被破坏，若地下深部有矿体存在，矿体电化学溶解产生的金属离子就会源源不断地向上迁移，形成动态平衡的离子晕。人工电场促使元素富集到元素接收器中，经过对元素接收器中样品的测试分析，得到每个测点上指示元素的地电提取含

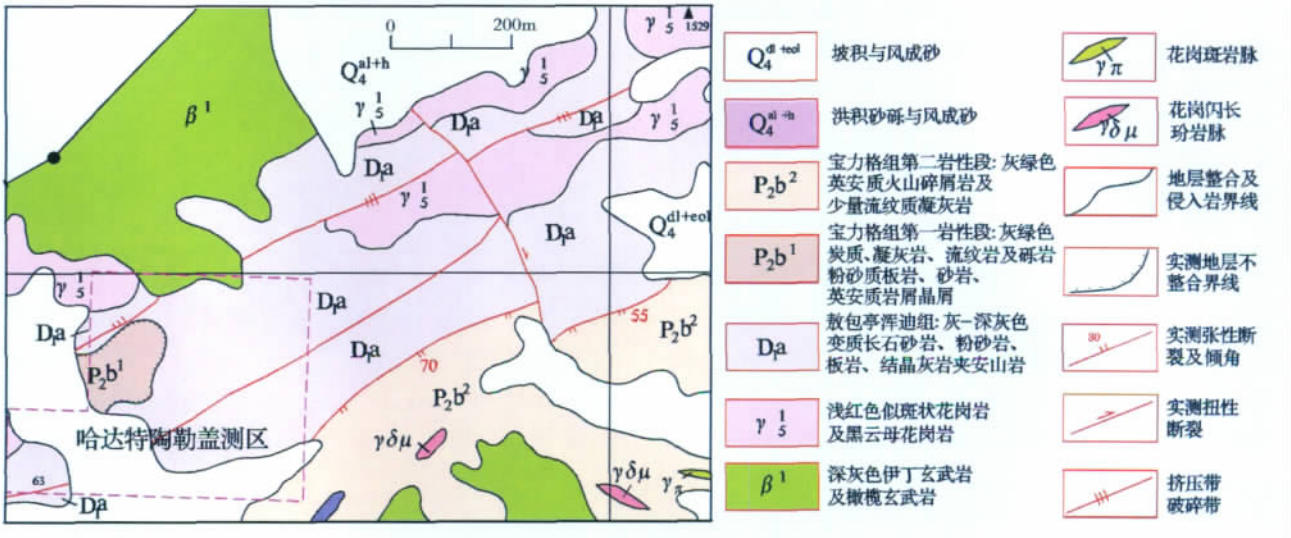

图 1 工作区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of the work area

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

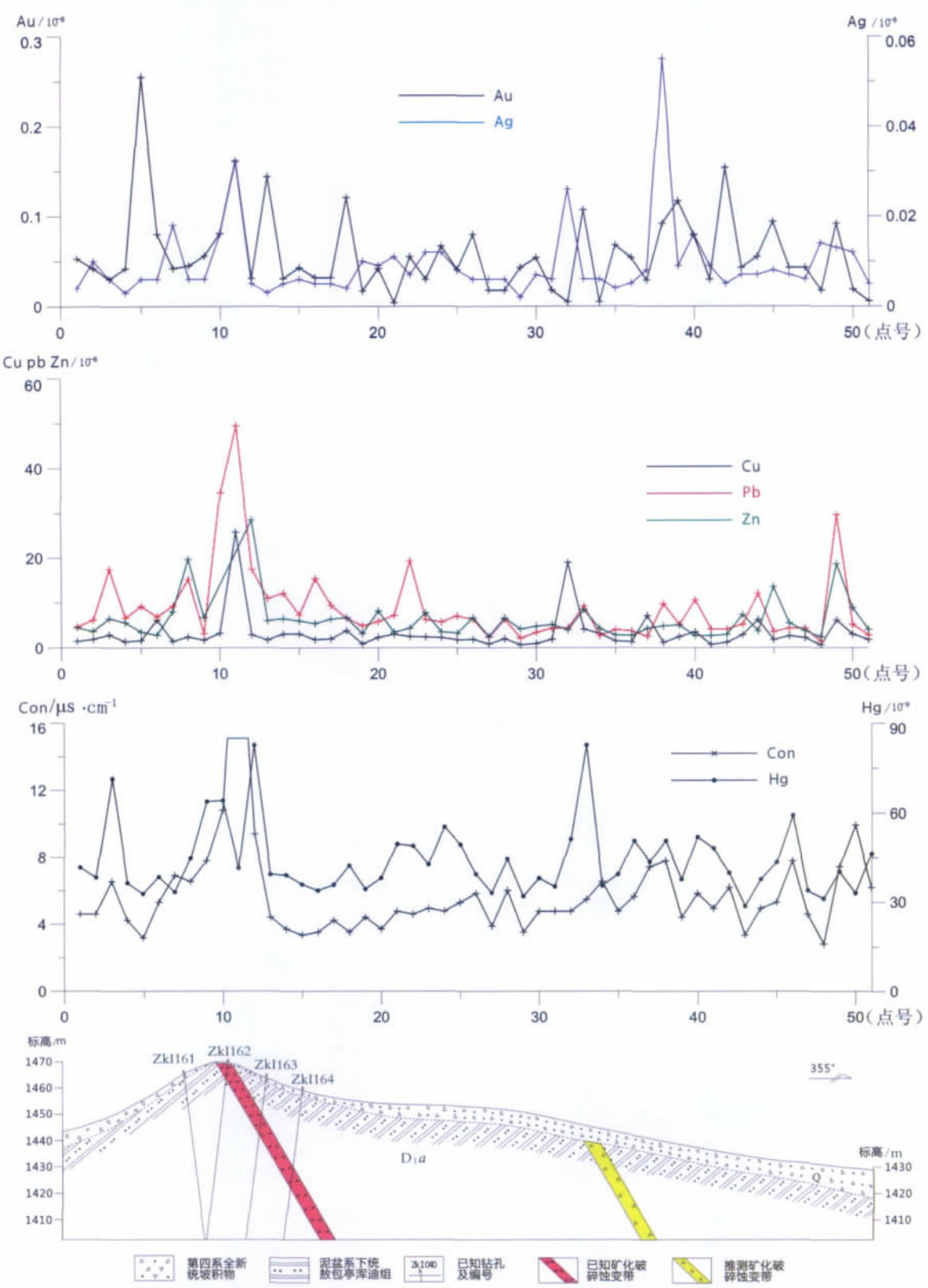

图 2　内蒙古阿巴嘎旗陶勒盖矿区银铅锌矿Ⅰ号详查区Ⅰ号矿带 112 线地电化学-地质综合剖面

Fig. 2　Geoelectrochemical-geological integrated profile along No. 112 exploration of No. Ⅰ ore belt in No. Ⅰ detailed investigation area of the Toloi ore district within Abag Banner of Inner Mongolia

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

量变化规律,从而达到探测隐伏矿床的目的[1]。

在该区以 100m×20m 测网布设，提取电极的阴、阳之间的距离为 50~100cm。提取液使用 15%浓度的硝酸,用量为 1000mL。吸附材料选择经过特殊处理后对上述元素有很强吸附作用的高泡海绵。提取电压为 12V,通电时间为 48h[2]。

工作区 NW—SE 向展布有一条长约 1000m、宽约 50m 的含矿破碎带，测线 104、108、110、112、114 都穿过该破碎带。经过钻孔 ZK1161 验证,在该破碎带上出现了明显可辨的 Pb、Zn、Ag 异常(图 2)。这表明该方法在该地区寻找隐伏铅、锌、银多金属矿床方面十分有效。

如图 2 所示，在该含矿构造破碎带上有明显的 Pb、Zn、Ag 异常。Zn 异常最高值达到 52μg/g,约为 Zn 异常下限值的 8 倍。Pb 的异常最高值为 50μg/g,约为 Pb 异常下限值的 4 倍。Ag 的异常最高值为 0.038μg/g,约为 Ag 异常下限值的 4 倍。

3 找矿预测

在内蒙古阿巴嘎旗哈达特陶勒盖矿区Ⅰ号详查区 5.54km^2 的范围内，利用地电化学方法开展了找矿预测研究，共布设 11 条测线(100、102、104、106、108、110、112、114、116、118、120)，发现了具有找矿前景的地电化学异常多处。

对地电提取 Pb、Zn、Ag 的分析数据，采用概率曲线图解法，确定元素 Pb、Zn、Ag 的背景值分别为

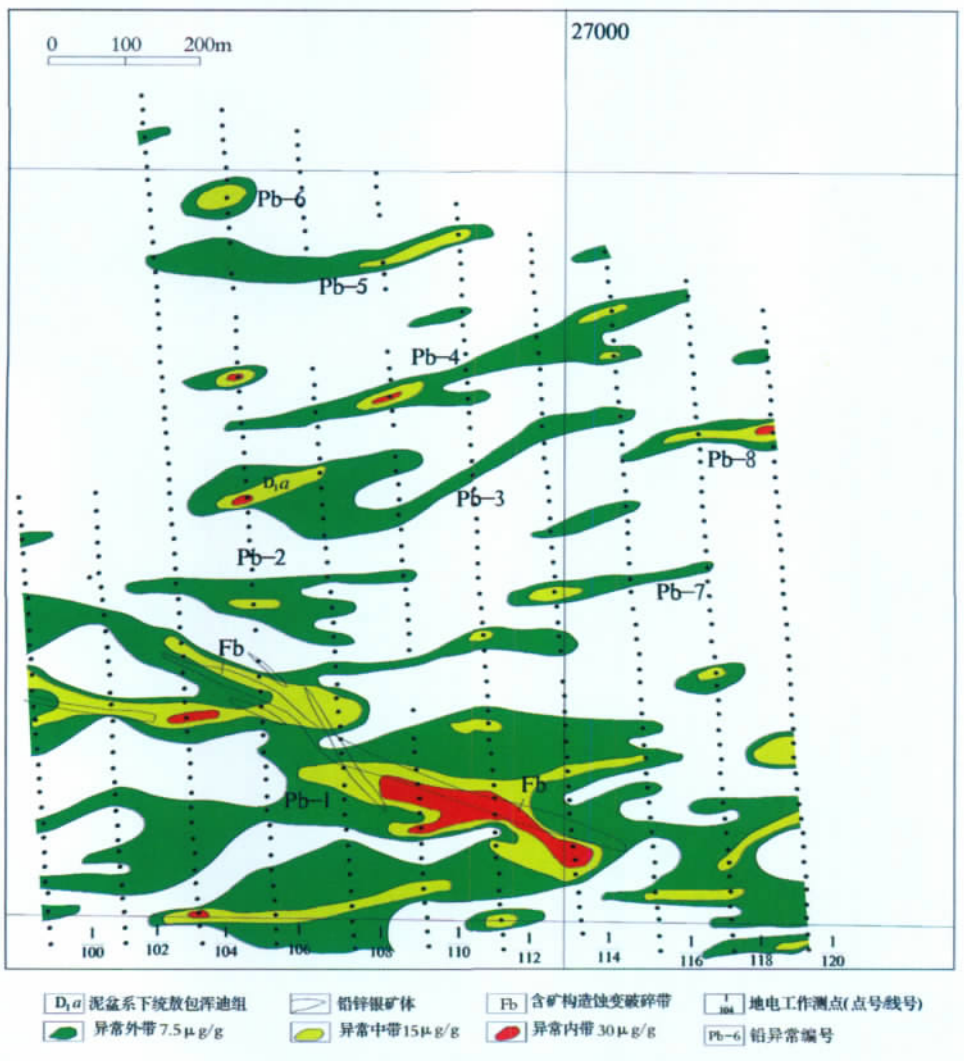

图 3 内蒙古阿巴嘎旗陶勒盖矿区银铅锌矿Ⅰ矿带详查区地电提取 Pb 元素异常分布图

Fig. 3 Distribution of Pb anomalies extracted by geoelectrochemical method along No. I ore belt in No. I detailed investigation area of the Toloi ore district within Abag Banner of Inner Mongolia

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

3.8μg/g、3.5μg/g、0.004ng/g。根据对地电化学提取 Pb、Zn、Ag 元素数据的处理结果，对各元素异常的特征和划分分述如下。

(1)Pb 元素异常分布特征

工作区共确定 8 个 Pb 异常，编号为 Pb-1、Pb-2……Pb-8 号(图 3)。Pb-1 号异常面积较大，形态呈歪王字形，主体走向以 NW—SE 为主，走向长近 1000m，且包含异常外带、中带和内带。(11 号/110 线)剖面上异常宽达 140m，已验证Ⅰ号构造破碎蚀变带下盘富铅矿体，异常的王字形内带与含矿构造破碎蚀变带一致，剖面上异常峰值与破碎带吻合或旁侧，最高含量峰值达到 138.48μg/g。其南部为未知部分，推测为与Ⅰ号矿化蚀变带类似的蚀变带(或断裂带)引起的异常，向西未追索完，如图 3 所示。

其它包括外带、中带、内带的异常还有 Pb-3、Pb-4、Pb-8，面积较小，分散稀疏。其中，Pb-8 向东未追索完整，Pb-2、Pb-5、Pb-6、Pb-7 只有外带和中带，强度和规模小。在这些面积较小、分散稀疏的异常中，有些与下泥盆统敖包浑迪组走向相近，推测为未知层间矿化引起的，反映本区敖包浑迪组赋矿层有层间矿化的迹象，应注意敖包浑迪组层间矿化的揭露。

从 Pb 元素异常来看，工作区北部异常整体规模较小，强度低，推断为下泥盆统敖包浑迪组层间矿化引起的异常；工作区南部异常整体规模大，强度相对高，推断为含矿构造蚀变破碎带引起的异常。

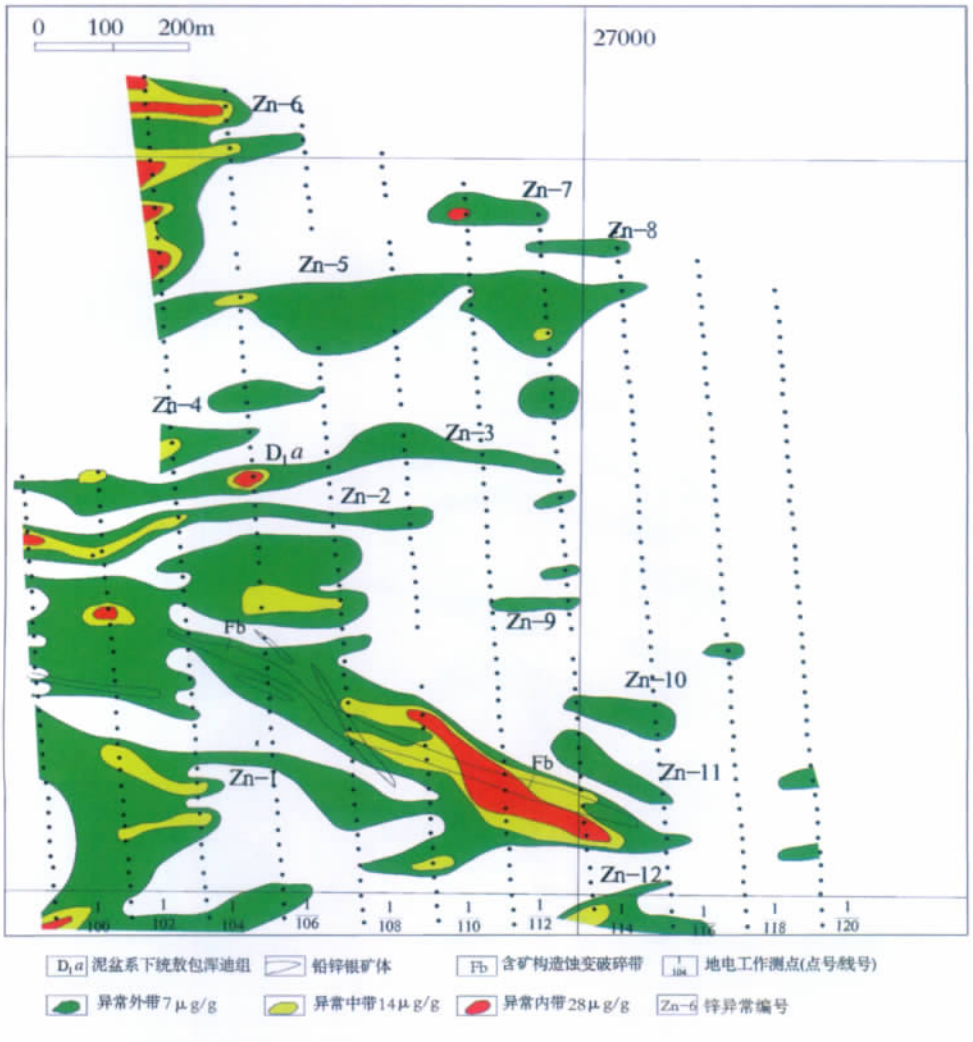

图 4　内蒙古阿巴嘎旗陶勒盖矿区银铅锌矿Ⅰ矿带详查区地电提取 Zn 元素异常分布图

Fig. 4　Distribution of Zn anomalies extracted by geoelectrochemical method along No. I ore belt in No. I detailed investigation area of the Toloi ore district within Abag Banner of Inner Mongolia

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

(2)Zn 元素异常分布特征

Zn 是本区成矿元素之一，根据对地电提取 Zn 元素异常的确定，共圈定 Zn 元素异常 12 个，编号为 Zn-1、Zn-2……Zn-12(图 4)。

如 Zn-1 号异常，内、中、外带齐全，位于本区赋矿的下泥盆统敖包浑迪组中，已知的含矿Ⅰ号构造破碎蚀变带含在其中。部分内带、中带与已知含矿的Ⅰ号构造破碎蚀变带吻合，已知含矿地段上异常峰值达93.66μg/g。

在 Zn-1 号异常的北部有类似于 Zn-1 号异常的 Zn-6 号异常。该异常西部未追索完整，从目前圈出的内、中、外带各占的比例来看，应向西追索完整并验证揭露。

又如 Zn-3 号异常，近 EW 走向，与下泥盆统敖包浑迪组走向近似，异常峰值达到 67.93μg/g，沿走向长 700m，西部未追索完整，有 Pb、Ag 异常伴随，为未知矿化异常，推断为下泥盆统敖包浑迪组中层间硫化物矿化引起的，类似的有 Zn-2、Zn-4、Zn-5、Zn-9、Zn-10、Zn-12 等。

从工作区 Zn 元素异常的分布来看，北段异常含量高，南段异常含量稍低，推断为下泥盆统敖包浑迪组的层间矿化引起的。从图 4 可见，工作区中锌矿化主要赋存在 116 线以西地段，在 116 线以东地区仅有零星的 Zn 异常。

(3)Ag 元素异常分布特征

本区伴生成矿元素 Ag 地电提取异常圈定 Ag

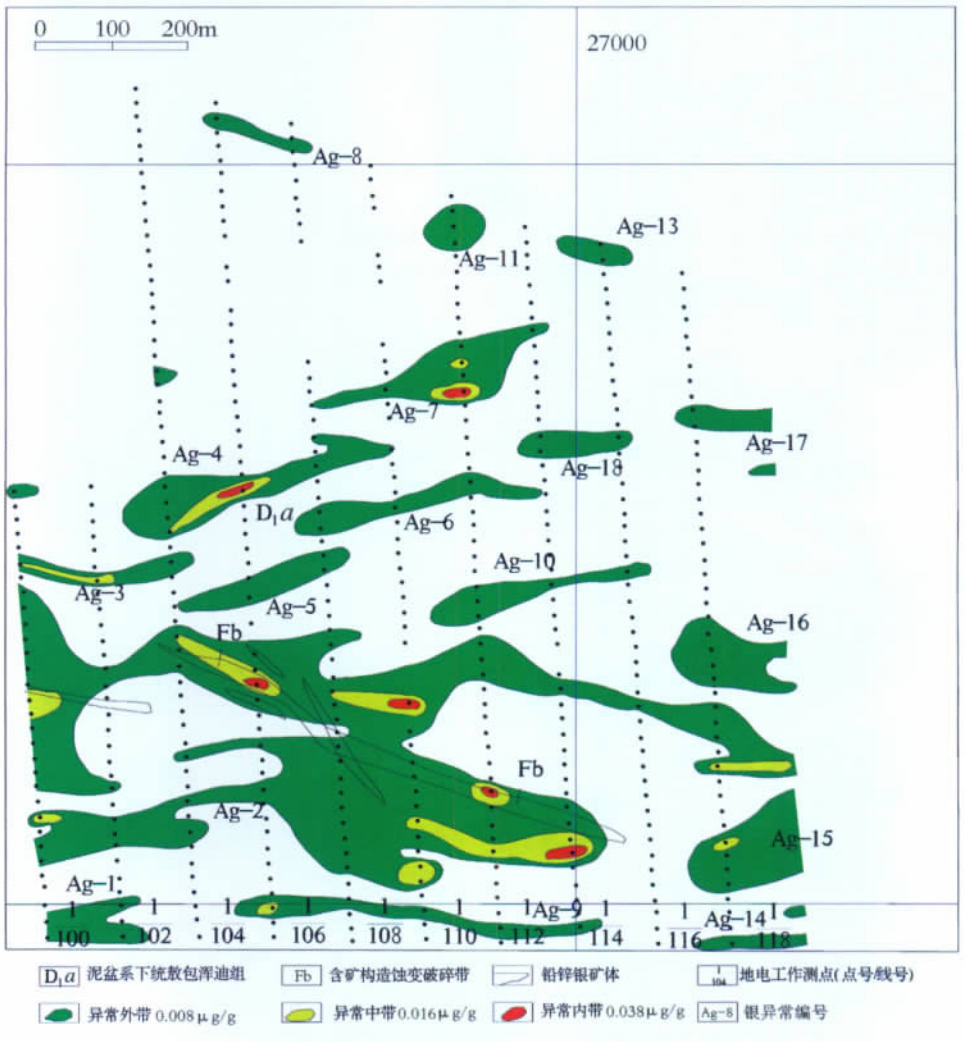

图 5 内蒙古阿巴嘎旗陶勒盖矿区银铅锌矿Ⅰ矿带详查区地电提取 Ag 元素异常分布图

Fig. 5 Distribution of Ag anomalies extracted by geoelectrochemical method along No. I ore belt in No. I detailed investigation area of the Toloi ore district within Abag Banner of Inner Mongolia

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

元素异常共 17 个,编号为 Ag-1、Ag-2……Ag-17(图 5)。Ag 异常与 Pb、Zn 异常类似,可分为构造破碎矿化蚀变带引起的异常和推测为下泥盆统敖包浑迪组层间矿化的异常。

例如 Ag-2 号异常位于下泥盆统敖包浑迪组赋矿地层中,规模大,在 7 号点/100 线—8 号点/104—7 号/114 线异常段与已知含矿构造破碎带Ⅰ号蚀变带吻合,Ag 一般峰值含量在 0.01μg/g 以上,最高达 0.07μg/g(7 号/114 线)。有 Pb、Zn 异常伴随,是部分已知矿异常,其余异常部分应予以验证。类似的有 Ag-8、Ag-11、Ag-13、Ag-1、Ag-9,走向与下泥盆统敖包浑迪组走向近似,推测为敖包浑迪组层间矿化引起的 Ag 异常,有 Pb、Zn 异常相随或相连。

从整个工作区异常分布来看,Ag 异常密集分布于工作区南部,强度也最大,最高异常峰值为 0.07μg/g。北部 Ag 异常稀疏且强度小,最高异常峰值仅为 0.014μg/g。

(4)Pb、Zn、Ag 综合异常区(段)特征

根据以上对找矿有明显指示作用的 Pb、Zn、Ag 元素异常分布地段的综合研究,确定了工作区内 Pb、Zn、Ag 综合异常靶区 4 个,编号为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ区(图 6)。对所确定的 4 个异常区(段)评价如下。

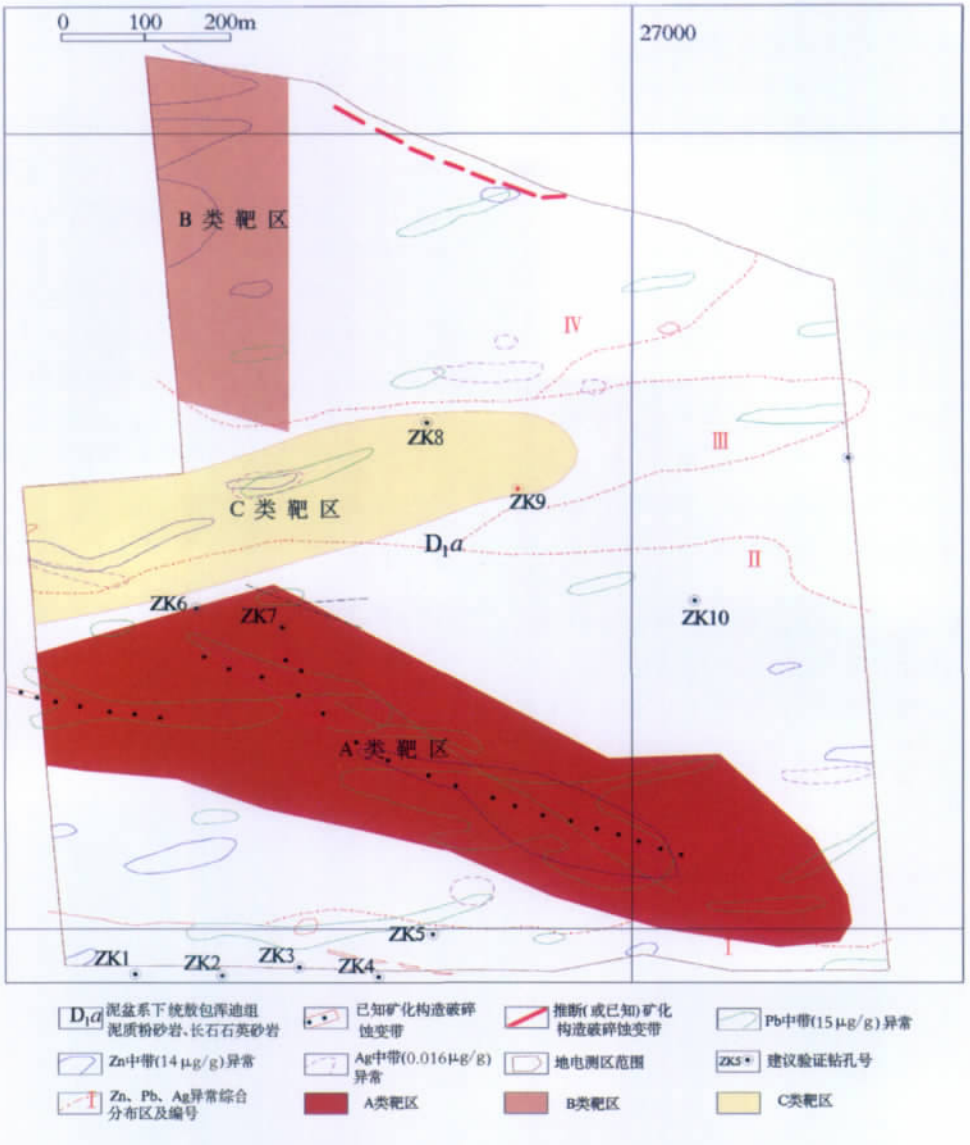

图 6 内蒙古阿巴嘎旗陶勒盖矿区银铅锌矿Ⅰ矿带详查区地电提取异常靶区图

Fig. 6 Targets of anomalies extracted by geoelectrochemical method along No. I ore belt in No. I detailed investigation area of the Toloi ore district within Abag Banner of Inner Mongolia

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

Ⅰ号综合异常区：由 Zn-1 号异常南部、Pb-1 号异常南部与 Ag-1、Ag-9、Ag-14 号异常形成走向上相互吻合的异常带。异常带附近 EW 走向上，局部与已知矿化构造破碎蚀变带上异常的元素组合、含量特征类似，且位于赋矿的下泥盆统敖包浑迪组中，异常走向又大体与敖包浑迪组走向相近，应为小型断裂蚀变带和敖包浑迪组层间矿化引起的。

Ⅱ号综合异常区：局部（或大部分）为穿入下泥盆统敖包浑迪组中的已知构造破碎矿化蚀变带引起的。据 Pb-1 大部分、Zn-1 异常主体、Ag-2 等异常扣连形成 NW—SE 向的异常带，可知蚀变带沿异常带应有延伸。在已知矿化蚀变带两侧有 Pb、Zn、Ag 综合异常中心和新发现未知矿体的异常反映。异常区北部，Pb-2、Pb-7、Ag-10 等异常组成另一近似 EW 向的异常带，与下泥盆统敖包浑迪组走向相近，应为敖包浑迪组中层间硫化物矿化层的反映。应注意两走向异常带交汇部位的揭露。

Ⅲ号综合异常区：由 Pb-3、Pb-8、Zn-2、Zn-3、Ag-2、Ag-4 相互扣合的延续异常带组成，近 EW 走向，与赋矿地层敖包浑迪组的走向类似，是敖包浑迪组层间硫化物矿化的反映。

Ⅳ号综合异常区：为一追索不完整的异常区（指 SN 向上），是由 Ag-8、Ag-11、Zn-6、Zn-8 异常组成的NW—SE 走向的综合异常带，局部已有钻孔揭露蚀变带矿体，应为矿化蚀变带引起的异常，以锌矿化为主。

鉴于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ号综合异常区所包含的 Pb、Zn、Ag 等元素异常情况，根据找矿前景在工作区内划分出 A、B、C 三类异常靶区（图 6）。Ⅱ号综合异常区处于已知构造破碎含矿蚀变带上，异常规模大、强度大，故将Ⅱ号综合异常区异常强度最大的部位定为 A 类异常靶区（图 6）。该类靶区找矿希望大，应予以进一步勘查。Ⅳ号综合异常区中包括 Ag-8、Ag-11、Zn-6、Zn-8 号异常，鉴于 Zn-6 号铅锌矿化异常内带、中带所占比例较大，且向西未追索完整，划分出 B 类异常靶区（图 6）。该靶区找矿希望较大，规模未知，应予以追索、工程验证。Ⅰ、Ⅲ号综合异常区中元素异常规模小、强度相对小、分散稀疏，在Ⅲ号综合异常区内划分出 C 类异常靶区（图 6）。对该类靶区应结合其它方法，如物探、化探方法研究，确定是否有进一步勘查的必要。

4 结 论

（1）地电化学提取方法在内蒙古阿巴嘎旗哈达特陶勒盖银、铅、锌多金属矿区寻找隐伏铅锌银矿床有效，在该区矿床外围未知区域可以应用该方法进行找矿预测研究。

（2）在该区Ⅰ矿带详查区深部共发现地电提取 Pb 异常 8 个、地电提取 Zn 异常 12 个、地电提取 Ag 异常 17 个。根据异常规模和强度划分出 A、B、C 三类异常靶区，其中 A 类靶区已经工程验证见 30 余米厚的铅锌矿体，推测在 B、C 类异常靶区内寻找类似的铅锌矿是有希望的。

参考文献

[1]罗先熔，康明，欧阳菲，等. 地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究[M]. 北京：地质出版社，2007：46-138.

[2]罗先熔.地球电化学勘查及深部找矿[M]. 北京：冶金工业出版社，1996：134-217.

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