与钻孔结果基本吻合。

结 束 语

激发极化法在伏牛山地区的地质效果是好的，不仅可以用来普查找矿，而且还可以确定矿体产状，达到指导地质找矿勘探的目的。

地 电 化 学 普 查 法

象加拿大这样地质研究比较深入、勘查比较彻底的国家，自五十年代中期以来，金属矿床普查的主要任务是寻找深部隐伏矿床和盲矿床。他们从1951年到1969年,发现新矿床的概率减少了十分之九，而勘查投资却增加了三倍，这就是由于找矿深度逐步增大造成的。

1955年以前，86%的矿床都是在地表和近地表发现的。1956至1968年，在近地表范围发现的新矿床,仅占22%，即78%为深部隐伏和盲矿床。

在厚层疏松物和岩石覆盖条件下，用常规化探方法找矿，效果往往不佳。岩石、土壤和壤中气汞量测量、卤素测量,以及地面微迹系统等都是有效的化探找矿新法,但还不能满足找矿需要。因此，在今后多年内，勘查地球化学主要的任务之一，恐怕就是解决厚层（疏松物和岩石）覆盖条件下的新方法、新手段的问题了。

解决上述问题的技术途径，概括起来有三个方面：一是研究取样介质；二是研究指示元素，利用挥发性元素；三是研究晕中元素存在形式和迁移形式，选择合理的分析方法。G.J.S.Govett等早就指出，硫化物矿床周围岩石和土壤中元素分散的电化学机理是很重要的。自1954年以来，就有人开始对硫化物矿体周围岩石中一系列金属元素的分散，进行了模拟实验，随后才制定出H^+离子浓度和电导率普查法。苏联勘探技术研究所，近几年也提出了一系列地电化学普查法，例如，元素存在形式普查法、偏提取金属普查法等。这些根据地电化学原理制定出的新的化探找矿方法，都是解决厚层覆盖条件下找矿问题的新途径。

H^+浓度和电导率普查法

1. 方法原理

硫化物矿体周围元素的电化学分散理论模型及由于电化学作用H 的理论分布:在厚层运积物之下的深部隐伏的和盲的硫化物矿床，一般位于潜水面之下,Govett等根据元素自潜水面之下深部隐伏的和盲的硫化物矿体向地表迁移的电化学分散机理，提出了硫化物矿体周围元素电化学分散理论模型（图1）。按照模型，从硫化物矿体到地表有电导率存在。H 离子，在很小程度上，还有OH 离子，由于其存在和活动性，会产生明显的电位梯度的变化。结果如图1所示，在深部

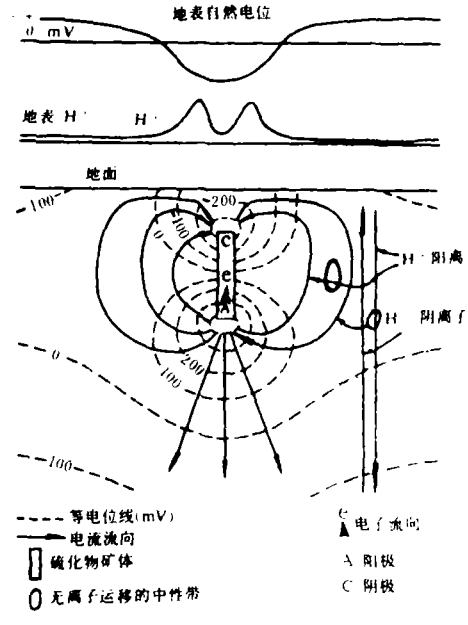

图1 根据自然电位异常建立的硫化物矿体周围元素电化学分散理论模型及由于电化学作用地表土壤中H 的理论分布

隐伏的或盲的硫化物矿体上方土壤中，将出现"兔耳状"H^+离子浓度增高的双峰。

硫化物矿体的电化学氧化：电化学分散机理，可以这样简单地说明，假设将一个惰性的电导体置于电解液中，从电导体的一端到另一端将产生

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

氧化电位梯度，那么电子将通过导体从Eh低的一端（还原剂被氧化）流向Eh高的一端（氧化剂被还原）。

在地壳的任何地区，都存在着随深度的增加氧化电位降低的现象，这就是波尔维肯和洛格（1975）所称的"原始氧化还原场"。有某种电导体的存在，例如，硫化物矿体或石墨体，就会扰乱原始氧化还原场电位的分布。同时，围绕导体顶部（阴极）产生了一个负电位带，围绕导体底部（阳极）产生了一个正电位带。围绕着导体阳离子必须完全向上运移，阴离子完全向下运移，以保持电的中性。

硫化物的氧化，实质上电化学溶蚀起重要作用。对一个深部的隐伏（盲）硫化物矿体，可认为是一个浸没在电解液（地下水）中的导体。在矿体范围内，在硫化物矿物和电解液之间的界面上发生阳极侵蚀，释放电子（e），即：

$$MeS \rightarrow Me^{2+}_{水溶液} + S + 2e^-$$

金属离子（Me^{2+}）进入水溶液中，使地下水溶液富集重金属。电子通过矿体，向近或远距离的、能获得O_2的位置传导。在该位置上，电子进入阴极，还原O_2：

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$$

由于在硫化物矿体的阴、阳极部分之间建立了电位，所以存在于地下水中的阳离子向阴极迁移，而阴离子向阳极迁移。阳极反应可能在浅部（近距离供O_2）可能在深部，氧化反应类型取决于给定深度上环境的氧化还原电位。

矿体埋藏较浅时，以氧化作用为主，主要是化学分散，H^+浓度的分布模式如图2之a所示。矿体埋藏较深时，以电化学作用为主，主要是由于电化学反应产生的电位梯度造成的分散，H^+离子浓度的分布模式见图2之b。在两种作用下，隐伏（盲）的硫化物矿体随深度的增大，地表土壤中H^+离子浓度的分布模式见图2之c。

综上所述，电化学氧化由四个单元组成：阳极带；阴极带；与两带连接的硫化物导体；构成电路的电解液（地下水）。在不同条件下，任何一个单元，都影响氧化速度。

H^+离子是一个最易获得的离子之一，而又是

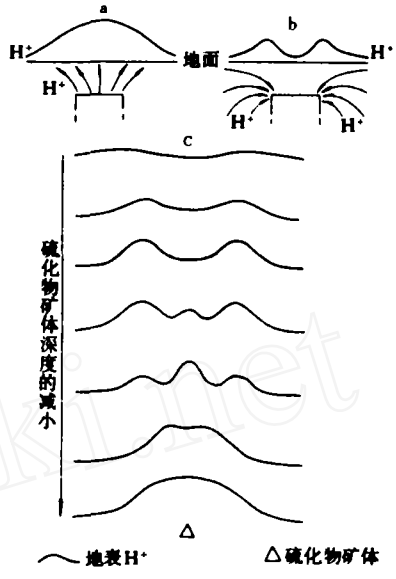

图2　硫化物矿体上方土壤中H^+浓度的分布模式

一个最活动的带有正电荷的离子。因此，H^+的分布与电化学作用具有最密切的关系。一般是土壤中电导率的主要来源。在H^+浓度特别低的情况下，其他阳离子浓度可能大于正常浓度，因此用H^+修正的电导率，在H^+浓度低的位置上会出现一个相对应的峰（图3）。

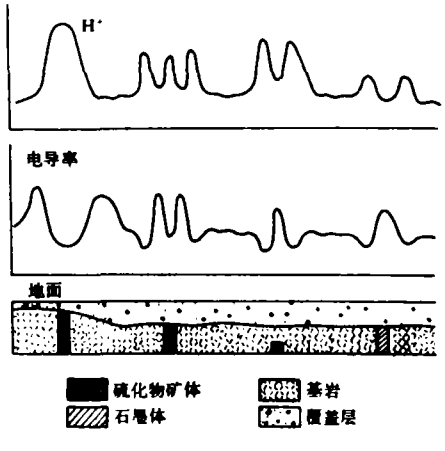

图3　不同深度硫化物和石墨导体上方地表土壤中H^+和电导率（用H^+修正的）假设分布图解

从导体到地表土壤之间，如果有不透水层存在时，阻碍重金属离子的迁移，但不会阻碍H^+的迁移，因此，H^+在地表土壤中可形成清晰的异常。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2. 工作方法和地质效果

在加拿大白湖矿床上进行了试验。该矿床产在火山岩中，上部为浸染状矿化，下部为块状矿体。块状矿体主要硫化物有：磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿。硫化物矿带宽约5英尺。在矿带东部有600～700英尺长的黄铁矿石墨带。硫化物矿带被4～25英尺厚的冰碛物覆盖，其中有一层大于4英尺的不透水的纹泥（Varved clay）。矿体还被75英尺厚的岩石覆盖。取样区位于有冰碛物的基岩凹地中（图4）。共采取两条剖面，取样点距为25英尺，在硫化矿带和石墨带附近加密到10英尺，从A_0和B层采取土壤样品。称取1克土壤溶解于100毫升去离子水中，然后测定H^+浓度和电导率。电导率要用H^+浓度进行修正。

试验结果表明，在硫化物矿带上方地表冰碛物中，发现了明显的理论上预示的“兔耳状”H^+浓度异常，电导率为H^+的反量异常（图5）。

根据H^+浓度分布的特征模式可确定隐伏和盲的硫化物矿体位置和深度：①中心凹下侧面有两个峰的“兔耳状”异常，用中间凹部来确定矿体位置，这种异常表明矿体深度很大，凹部越宽，矿体埋深越大（图2之c上部三条曲线）；②被凹部隔开的三峰H^+异常，中间峰指示矿体位置，矿体为中等深度（图2之c中间两条曲线）；③单峰H^+异常，峰值指示矿体位置，矿体埋深很小（图2之c下部两条曲线）。金属的分布模式一般与电导率类似，但成矿元素有类似于H^+的趋势。

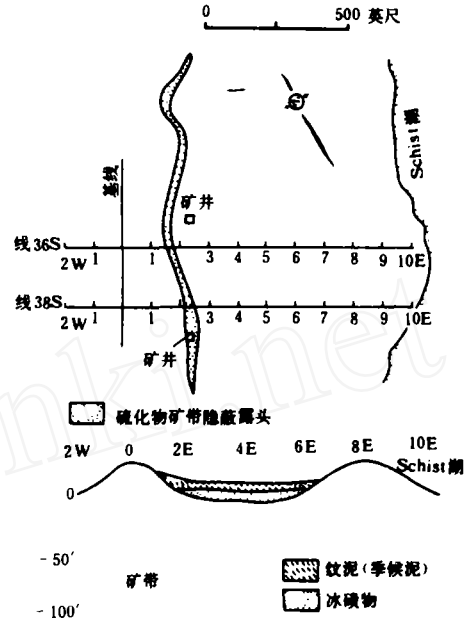

图4 白湖锌—铜矿床土壤取样剖面线位置和36S线剖面图

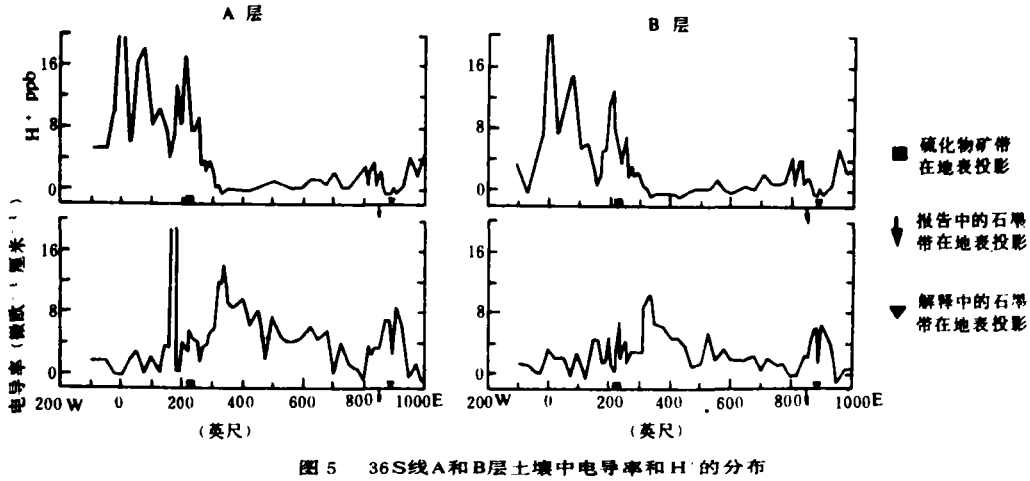

图5 36S线A和B层土壤中电导率和H^+的分布

元素存在形式普查法

1. 方法原理

元素存在形式普查法，属于以记录天然地质作用中产生的物质变化为原理的方法。已查明的存在形式有：有源形式和无源形式；后生和表生阶段所特有的特殊形式；天然阴－阳极电化学现象所固有的形式等。每种存在形式都可用来解决某一找矿问题，并作为一种元素存在形式普查法。

深部隐伏或盲矿床的腐植酸－富里酸盐元素

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

存在形式普查法最完善。在表生作用下。晕中金属是以有机金属化合物形式存在和迁移，例如腐植酸—富里酸盐形式，即在该盐中集中了很多元素。这些元素在表生作用下是以水溶形式从深部原生金属物质源向地表迁移。腐植酸—富里酸盐首先是自下而上进入离子，相互作用，并同化碳链金属。当矿源深度很大时，进入的和同化的离子量不多，相应的元素全量总量也很少，这取决于岩石中元素分散的原始结构。因此，通常元素全量在覆盖层厚度达几米至几十米时，不出现地球化学异常。但如果选择提取腐植酸—富里酸盐形式，能够直接获得在100米和大于100米深度上矿体的信息。

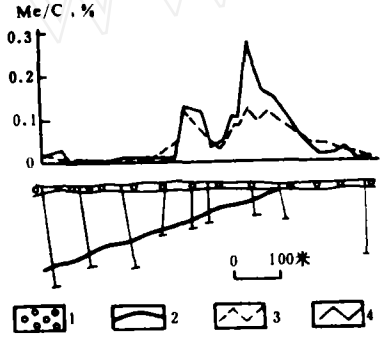

图 6　远东某铜镍矿床上土壤内腐植酸—富里酸盐络合物中Ni和Cu与C的比值

1—现代沉积物；2—矿体；
3—Cu/C；4—Ni/C

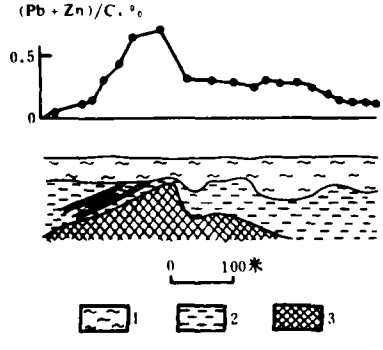

图 7　扎伊尔多金属矿床上土壤内腐植酸—富里酸盐络合物中Pb+Zn/C的比值

1—腐植质、砂质粘土层；
2—沉积岩；3—矿体

2. 工作方法和地质效果

沿剖面系统采取土壤样品，用焦磷酸钠处理样品，使样品变为金属元素的腐植酸—富里酸盐溶液，用比色、极谱、发射光谱、原子吸收等方法，测定有机金属化合物中所要寻找的金属元素和碳的含量，计算这些元素含量与碳含量的比值Me/C(%)。Me指Pb、Cu、Zn、Ni、Au、Mo等，用比值作图。

运用该方法进行面积性普查时，比例尺为1:5万至1:1万，在个别剖面上或很小地段上进行详查，比例尺为1:5千至1:1千。

应用腐植酸—富里酸盐型元素存在形式普查法可寻找各种成分和成因的深部隐伏和盲矿床，

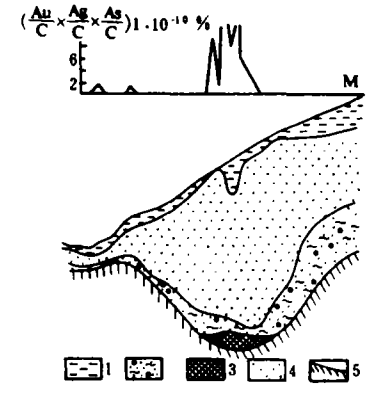

图 8　用元素存在形式普查法发现的砂金矿体

1—粘土；2—含粘土的砾石层；
3—砂金矿体；4—砂子；5—围岩

可用来寻找铜镍矿床、多金属矿床、砂岩型铜矿床、硫化物型金矿床、钼矿床、砂金和砂锡矿床等。图6为覆盖层厚度达10米以上，图7为60米的条件下，在深部隐伏和盲矿体上方覆盖层中发现异常的实例。图8为应用该方法发现的砂金矿实例。据称该方法可以发现厚100～220米以上疏松覆盖层下的金矿带和矿床。在基岩穿透性构造中，可发现埋深达500米的矿体。此外还可查明运积层(如20～22米厚的冰碛层）下面的隐伏矿体。

偏提取金属普查法

1. 方法原理

此法是以电激发和记录物质电化学反应为原理的方法，也就是利用电化学方法提取水溶性的、

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

以阳离子或阴离子形式存在的金属，是借助于与电源负极和正极相连接的元素接收器和辅助电极来实现的。元素接收器和辅助电极通电20～40小时，接收器中电流要保持稳定，以使每个元素接收器周围的电场强度一样。在此情况下，金属离子，包括矿体晕组分的离子，便积聚在元素接收器中。

在提取离子时，在元素接收器的电极中发生阴极作用，包括元素接收器中的溶液水解反应和碱化作用，这就导致OH^-离子锋面的形成，这些OH^-离子迎着金属离子移动，并促使金属离子以不活动的水化物形式固定在元素接收器周围。为了消除碱化作用的影响，在元素接收器的溶液中加入可同时提供阴离子的硝酸，而这些阴离子则与大多数金属元素形成易溶化合物。分析元素接收器中的水溶性元素，根据分析结果作曲线图，来区分含矿带和矿体。

2. 工作方法和地质效果

为了运用偏提取金属法寻找深部金属盲矿床，建立了ЧИМ—10测站，它是根据地电化学原理设计出的一套提取疏松物中水溶性元素的装置，即包括28个元素接收器、功率为10千伏的电源、各接收器上的电源控制系统、流动化学实验室和其他野外设备，这些都装在3ИЛ—131汽车上，并带有拖车，其上装有一套柴油发电机组（电源）。元素接收器沿剖面以10～20米的间距放置。这种测站已开始成批生产，并在白俄罗斯、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、雅库特、远东和其他地区运用。主要研究任务是筛选地球物理异常，以及在覆盖区中追踪矿带。该方法可用来寻找铜镍矿床、金矿床、铜矿床、多金属矿床、锡矿床、稀有金属矿床等。图9所示，为用该方法发现金矿体的一个实例。

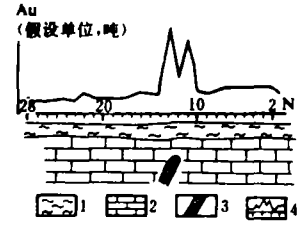

图9　用偏提取金属法发现的金矿体

1—第四纪沉积物；2—石灰岩和白云岩；3—金-硫化物矿体；4—金的提取曲线；N—元素接收装置点信号

运用该法，可以查明厚达100米和大于100米的疏松覆盖层之下的矿带和矿体。在基岩穿透性构造中，可以发现深达400～500米的矿体，而且不受冰碛覆盖层的影响。

最后应指出：各种方法要配合使用。同时要研究新的物理—化学效应，例如磁—电化学效应等，建立新的找矿方法，以进一步扩大找矿深度和提高有效性。

初绍华　编译

编译所依据的主要资料如下：

［1］Govett, G.J.S., Geochemical Exploration, Special Publication, №6, 1976, pp. 3～15

［2］Govett, G.J.S., Journal of Geochemical Exploraton, Vol.6, №3, 1976, pp.359～385

［3］Shvartsev, S.L., ibid., Vol.5, №1, 1976, pp.71～73

［4］Разведка и Охрана Недр, №4, 1981, стр. 45～49

［5］中国科学院情报所、化探资料选编（二），第74～76页，1977

（上接第29页）论观点去研究它。但通过实地调查和研究，发现它与岩浆碳酸岩矿床有着截然不同的特征，这些特征表明沉积—变质作用成矿的主要特点。根据这一论点，近两年来我们在白云西矿区进一步开展了找矿勘探工作，铁、稀土、铌等资源储量成倍增长，远景可观。

由于篇幅所限，只能将主要成矿地质特征作简略论述，限于作者水平，谬谈之处难免，欢迎批评指正。

本文在成稿过程中，引用了曾玖吾、杨敏之、杨凤筠、任英忱、赵凤云、马凤俊、程敏清等同志关于白云鄂博矿床，矿物、同位素地质研究方面部分资料；文中插图由徐国华、张兆英同志清绘；成文后承蒙姚培慧、杜春林工程师审阅，在此一并致谢。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net