提高金属矿地球物理调查地质效果的途径

熊 光 楚

（中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所）



作者简介 1952年毕业于清华大学物理系，长期从事金属矿区野外找矿及方法研究。主要研究内容有：磁异常解释方法；重、磁异常数据处理和地球物理方法预测有色和稀有金属矿床等方面。现任中国地球物理学会常务理事，《地球物理学报》、《物探与化探》编委，物探高级工程师。

提高地球物理方法寻找金属矿产地质效果的途径有四方面：第一，正确地确定地球物理调查的地质任务，不能将地球物理方法仅用于直接找矿，而要更多地用于间接找矿；第二，使用高精度的航空、地面和地下地球物理探测仪器和设备，全面地收集含信息量尽可能多的物理场的数据；第三，研究快速而有效地从大量数据中提取地质信息的方法，特别是定量描述物理场（因而引起物理场的地质体）的专用标志；第四，提高地球物理调查结果地质解释的水平，特别是根据综合资料进行矿产资源定量预测的水平。

我国金属矿区的地质找矿工作，进入了一个新的阶段。地球物理调查在综合地质调查中的作用越来越重要。由此提出了如何提高地球物理调查的地质效果问题。我们的研究工作表明，提高金属矿产地球物理调查地质效果的途径有以下四个方面。

正确确定地球物理调查的地质任务

正确地确定地球物理调查的地质任务，是金属矿区地球物理调查能否取得应有的地质效果的关键。在金属矿区的地质找矿工作中，地球物理调查的应用有五个方面，即：直接找矿；研究矿体产状及估算矿体的大小；测定矿石中某些元素、某些金属矿物的含量；间接找矿并解决找矿过程中有关的地质问题（包括地质填图）。在过去，主要用于第一方面，例如磁法找磁铁矿，重力法找铬铁矿，电法找黄铁矿（从而找与黄铁矿共生的其他金属矿）。地球物理方法直接找有色金属矿效果不好。这是因为矿体体积小，而这些金属矿物又与围岩无显著的物性差异。对于与黄铁矿共生的各种金属矿床，当其埋藏深度增大时，地球物理方法直接找矿（其实这里已是间接找矿）的效果也不好。国内外都是这样。

大家都知道，在西方世界中，加拿大的地球物理方法是比较先进的。诺兰达地区是加拿大的一个重要铜矿区。矿石含黄铁矿在50%以上，矿体导电性能良好。在1920～1977年的近60年期间，共发现21个矿体，其中以地球物理调查为主要手段发现的矿体有6个。其中3个埋深8米左右，2个埋深15米左右，1个埋深60米左右，而对埋深150米左右的矿体，地球物理调查不能作出贡献[5]。而这个地区的矿石储量大部分来自埋深150米以上的矿体。考虑到加拿大地盾找矿的有利条件（没有厚的低电阻覆盖层，矿体的导电性能良好，围岩为高电阻介质，矿体为产状近于陡立的板状体等），加之加拿大地球物理仪器先进，人们从这个地区的找矿经验中得到的一条重要启示是，只将地球物理调查用于直接找矿，限制了地球物理方法的应用。

因此，提高有色和稀有金属矿区地球物理调查的地质效果，进而提高整个地质找矿效果的一个首要前提，是跳出直接找矿的圈子，将地球物

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

理方法用于各种比例尺的找矿预测。开展从中比例尺到大比例尺的找矿预测，逐步缩小找矿靶区是现代找矿的一个重要策略。

将地球物理方法用于找矿预测，一个重要的问题是根据工作地区的具体地质和地球物理条件，确定地球物理调查的目标物。地球物理调查是综合地质调查的一个组成部分，它要找的目的物就是全部工作的目的物——某种或某几种金属矿产。但是，在进行地球物理调查时，它所要直接找的对象则可能是要找的目的物或者不是，前者例如直接找矿时的情况；后者例如间接找矿时的情况。为了区分这两种情况，我们把地球物理调查直接寻找的对象称作目标物。在简单的情况下，例如用磁法找磁铁矿，目标物就是目的物。在稍微复杂一些的情况下，例如在有色金属矿区作地球物理调查，目标物就不是目的物，而是与有用矿产赋存位置有关系的某种地质单元或地质现象。

为了便于应用地球物理方法，要求目标物尽可能大，与围岩有较大的物性差异。因此，地球物理调查的目标物与找矿的阶段有关。即使在同一地区、找同一矿种，不同的找矿预测阶段，目标物往往是不同的。例如找原生锡矿，在中比例尺找矿预测时，要找的对象即目标物，是时代较新的大的隐伏花岗岩基；在大比例尺找矿预测时，要找的对象即目标物因地而异，有的地区是找与锡矿有共生关系的磁黄铁矿分布地段，有的地区则是找花岗岩基在地下隆起的部位。这两种情况，都是找出锡矿可能赋存的部位。如果锡矿与黄铁矿共生，则各种电法特别是激发极化法能取得好的找矿效果，这时的有利条件是：矿体埋藏浅，由炭质地层引起的干扰少。

根据我们的研究，作为地球物理调查的目标物，要具备三个条件，即：与要找的目的物有成因联系或仅有空间关系；用现有地球物理方法能找到的；工作方法在经济上是合理的（包括工作的投资，漏掉的矿产的价值，验证异常的花费等等）。

由于目标物与目的物之间的关系往往不是一一对应的，一个目的物可能与几种地质体有对应关系，为了取得较好的地质效果，要选用几个目标物，务使这些综合的目标物与要找的目的物之间具有尽可能单一的对应关系。但是，目标物也不宜过多，否则将增加地球物理调查的费用，在经济上不合算。

可见，正确地确定要找的目标物，是关系到地球物理调查能否取得应有地质效果的重大问题。为了能够正确合理地确定目标物，要对工作地区的地质和地球物理条件有深刻的了解，要研究工作地区或类似地区内某种矿产在成矿过程中对围岩物理性质的影响，以便巧妙地加以应用。为此，要收集必需的基础地质资料，必要时，还应实地踏查，制订几种可能的方案，进行试验，以便最后优选一种切实可行的方案。

收集含信息量尽可能多的数据

研究隐伏地质构造进行隐伏矿产预测，要收集含信息量尽可能多的数据，特别是地球物理数据。

影响调查数据中有用信息量大小的因素有：所用仪器能测出的物理量和最小异常值，测线、测点的密度和测线方向，调查方法是否全面，以及观测面积的大小等。

仪器能测出的物理量，是指仪器能测出的表征某一物理场的参量。例如作航空磁测时，过去只能测总磁场强度的变化值，观测的精度约几诺特；现在不仅观测精度提高了（小于1诺特），而且能测向量场的梯度。又如，激发极化法过去只能测断电后某瞬间的电位值，现在则可能测出整条衰减曲线，不仅能测电位，而且能测二次电流引起的磁场。测量参量增多，数据中包含的地质信息量也就增多，地球物理调查解决地质问题的可能性增大。例如在湘南香花岭地区，在过去低精度的航空磁测图上，与锡矿有关的隐伏岩体的磁异常表现得不明显，后来，提高了观测精度（由过去的大于20诺特提高到现在的小于10诺特），该异常就明显地显示出来了。

地球物理调查所用的方法是否全面，对调查数据质量的影响很大。方法不全，数据中的地质信息急剧减少。例如，用重力法圈定与锡、钨及

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

钼等矿产有关的隐伏花岗岩体时，除了岩体引起的重力低以外，还有低密度地层所引起的重力低。区分两者的有效方法是综合应用重力和航空磁测。在与铜矿等有关的岩体上，磁异常有特定的模式，即有串珠状局部正磁异常围绕岩体上方的低磁异常（平静的磁场，其场值近于零或是取负值）分布。在沉积地层上则没有这种模式的磁异常。

地球物理调查面积的大小，对调查数据的质量也有重要响影。地球物理调查的面积通常要超过地质调查的面积。这是因为：第一，对于深部的地质体，其物理场分布范围往往超过物体分布范围的几倍至几十倍，测量范围过小，不能将场测完整；第二，研究物理场，不仅要测出要找的目标物的局部场，而且要测出其背景场，一个局部场只有连同其背景场同时被考察，才能了解这个局部场在区域背景中所处的地位及其与其他局部场的关系。

衡量测网大小对调查数据质量影响的传统标准是：在普查时，就发现异常而言，要求在异常范围内有1～2个测点。现在，由于很多弱异常是通过数据处理才能发现的，因此，对测网提出了新的要求，即测网密度应能保证测出物理场的细节，满足对物理场变换及随后推断解释的要求。根据后一个标准确定测网，不同的地球物理调查方法是不一样的。就重力法及磁法而言，对二度体，在垂直物体走向的剖面上，要求处理后的曲线上的点距小于其上端埋深的一半。例如物体上端埋深100米，向下延拓80米，则要求点距不超过10米[1]。因此，现在确定测网大小的标准，一般不是根据传统的方法即不漏掉有意义的异常这条标准，而是根据对异常作变换的要求，即测网的密度增大了。

因此，在金属矿区，要根据需要与可能，系统地开展区域性的综合地球物理调查，作高精度的1：25000～1：50000比例尺的航空磁测和放射性测量，作高精度的1：100000或更大比例尺（例如1：50000）的地面重力，以及一定数量的地震剖面等。换言之，在金属矿区的地球物理调查工作中，要引进构造地球物理方法，以便获得隐伏地质构造的信息，有效地开展金属矿产预测。

此外，为了充分利用探矿及采矿所打的钻孔及坑道，发展地下地球物理调查，以便增大调查深度和解决一些地面地球物理方法不能解决的问题。加速找矿和评价工作，也是金属矿地球物理发展的一个重要趋势。

研究有效地从大量数据中提取信息的方法

在地球物理调查获得的资料中，蕴含着丰富的地质信息。对这些资料作解释，就是把其中所含的信息提取出来，并译成地质术语。因此，可利用现代计算机和数字处理技术，对地球物理调查结果进行数据处理，从观测数据中提取其中蕴含的地质信息，这是提高金属矿区地球物理调查地质效果的一个重要途径。

一般地讲，对地球物理调查数据作地质解释，总包含有两个不可缺少的基本内容，即圈出要找的目标物的异常和对异常进行分类。对于复杂的异常，只有通过数据处理才能识别那些我们所需要的异常是否存在，或者在条件有利时，通过数据处理近似地将其圈出。在作异常分类时，要利用一些有效的标志，这些标志能描述异常某一方面或某几方面的特点，根据这些特点的相似程度，可以有效地根据人们事先提出的要求对异常进行分类。为了定量地度量这些特点的相似程度，要用数理统计的方法建立一些准则。寻找有效的描述异常某些特点（因而描述目标物的相应的某些特点）的标志和建立异常分类的准则，都是数据处理的范畴[2,3]。

从上面的叙述中不难看出，在对地球物理调查资料作解释时，特别是作地质解释时，数据处理占有很重要的位置，是地球物理调查资料解释的一个不可缺少的组成部分。

地球物理资料数据处理的内容很多，例如重、磁数据处理，就目前的发展水平来看，主要内容有：数据的预处理和基本改正；数据的汇编；异常的分离和提取；异常的常规变换；异常的描述标志和异常分类准则的建立，以及异常和解释结果的图示。

关于地球物理资料数据处理的具体方法，可

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

以参看有关的专门论述，这里只着重指出两点：第一，每种数据处理的方法，都有各自的应用条件，当实际情况符合该方法的条件时，就能得到近于理想的处理结果，否则，只能是近似的结果。例如用滤波器分离迭加异常，在设计频率域常用的线性滤波器时，都假定组成迭加异常的各个异常间的互相关函数为零。实际情况很难满足这一要求。因此，用这种滤波器分离迭加异常所得的结果，并不是真正的迭加异常的组成异常，而是真实异常在给定条件下的一种最佳近似。用这种异常作进一步处理和定量解释时，要充分考虑到这一点。第二，不能因为目前数据处理方法不完善，就否定数据处理的作用。大家知道，当有浅部及深部磁性体共同存在时，为了将浅源和深源引起的磁异常分开，一个理想的方案是：用浅钻或其他手段将浅部磁性体的形状、产状和大小搞清楚，并系统地就地（用测井的方法）或测定岩石标本的磁性，然后计算浅部磁性体的异常，从实测异常中减掉这个已知磁性体的异常，就得到了深部磁性体的异常。

对于一个未打钻验证的迭加异常，或者虽打了少数钻孔，但浅部磁性体的形状、大小和产状都不清楚，岩石的磁性也没有系统测定，就不可能用上述理想方案获得深部磁性体的异常。但是，工作又需要了解是否有深源异常和深源异常的大致特点，这时，就只好采用分离浅源异常和深源异常的滤波技术，获得有关深源异常的一般信息，为设计下一步工作提供必要的依据。以后，随着工作的进展，资料的不断积累，对异常再作处理，精益求精。在一个锡矿区，与锡矿共生的磁黄铁矿引起磁异常，曾利用滤波技术对迭加异常作处理，获得了几个明显的深源磁异常，经打钻验证，在一个深源磁异常上打到了一个中型锡矿。这就充分说明了数据处理的作用。

提高地球物理调查结果地质解释的水平

地球物理调查资料的解释内容分三方面：第一，根据物理场的平面、剖面及空间分布特点，推定引起这些场的地质体的形状及产状，并估算其物性参数；第二，推定引起物理场的地质体的性质，如磁性体是磁性岩体、磁铁矿体、磁性地层（例如磁黄铁矿化地层）或磁性变质岩等；第三，结合已有地质、地球化学及岩石物理性质方面的资料，对工作地区的地质构造、有用矿产赋存情况或其他特定要解决的问题，作出推断。上述三方面的解释可称作地球物理调查资料的数学物理解释，初步地质解释及综合地质解释。有时把后两方面的解释统称地球物理调查资料的地质解释。地球物理调查资料的数学物理解释和地质解释具有相对的独立性而又互相联系，要结合起来进行。

地球物理调查资料的地质解释方法研究得很不充分。过去只对每种地球物理方法调查结果的数学物理解释作了大量研究。其原因是多方面的，首先是过去地球物理调查的应用范围较窄，要求它解决的地质问题也简单，而且寻找的对象埋深不大，用山地工程验证调查结果花费不大。判明场源的性质往往要用工程，而地球物理调查结果的解释则仅限于数学物理解释，即提出目标物的赋存空间，以便设计山地工程。其次，对地球物理调查结果作地质解释，要求工作人员不仅要精通地球物理调查的理论和方法技术，而且还要求有较高的地质理论修养和丰富的地质知识。现在，每门学科发展都很快，不仅有许多分支，而且每个分支学科涉及的问题都很广泛，一个工作人员很难同时是几个学科的专家。因此，研究地球物理调查资料的地质解释方法，要有一个由地质、应用地球物理、地球化学及数学等方面的专家组成的小组才能胜任，也就是说要进行学科之间的横向协作。

研究地球物理调查资料地质解释方法的困难在于，地质理论或是地球物理的方法技术，现在都还不成熟，正处在发展过程中，而没有这两方面的成熟的理论和方法技术作基础，要建立一个完善的地质解释方法是不可能的。同时，在地球物理调查资料的地质解释过程中，两次碰到所谓“不适定问题（即多解性问题）”。其一是根据物性体推定目标物，其二是根据目标物推定目的物解决这类不适定问题要有先验的地质及岩石物性方面的资料，而我们工作的地区，往往缺乏这些

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

资料。

我们可从两个方面研究地球物理调查资料的地质解释方法：一是根据已知区的资料，建立描述异常的标志和地球物理异常分类的准则；二是根据在已知区建立的物理—地质模型，计算场的空间分布特点，并在此基础上建立解释异常的方法（包括描述异常的标志和异常分类的准则）[4]。

我们提出，地球物理调查结果地质解释的新途径是对地球物理异常作两次分类，第一次是作目标物分类，第二次是作目的物分类。作这两种分类，仅有地球物理异常是不充分的，要有岩石物理性质、地球化学和地质资料，即待找矿产的物理—地质模型。并将这些资料综合，组成有效的专用标志，应用合适的数理统计方法，才能取得预期的效果。

结 束 语

上面我们介绍了提高金属矿地球物理调查地质效果的途径，目的是使地球物理方法能较快地发展，以适应今后金属矿地质找矿工作的需要，并对地球物理方法在地质找矿工作中的作用及地位有一个正确的认识。我们认为，发展地球物理、地球化学和遥感技术等，是发展地质找矿技术的主要内容。可以毫不夸张地认为：地球物理技术在地质找矿工作中属于高技术。因此，增大金属矿地质勘查费用中地球物理方法的研究费用，乃是当务之急。我们预测，到下世纪初，在金属矿地质找矿工作中，地球物理和地球化学方法的投资将会超过钻探工程的投资。对这个问题应有清醒的认识。

参 考 文 献

[1] 熊光楚：桂林冶金地质学院学报，1982，第1期

[2] 熊光楚：桂林冶金地质学院学报，1984，第3期

[3] 熊光楚：中国有色金属工业总公司矿产地质研究院学报，1984，第3期

[4] 熊光楚：桂林冶金地质学院学报，1985，第3期

[5] Boldy，J.：Geophysics and Geochemistry in the Search for Metallic Ores，edited by Peter J.Hood，1983

Approaches to Achieve Still Better Geological Results by Mining Geophysics

Xiong Guangchu

(Beijing Institute of Mineral Resources and Geology, China National Nonferrous Metals Industry Corporation)

Abstract

Now ore-finding is becoming increasingly difficult. Facing such a serious situation, the author makes some suggestions as follows and thinks that they are feasible and helpful to our ore-searching work in the days to come: 1) A clear and definite geological task is necessary for geophysical exploration. Geophysical methods should be skillfully used in indirect rather than direct ore searching in order to solve more geological problems leading to ore-finding; 2) By using high precision instruments and equiments of diverse geophysical methods, including airborne, ground and underground methods, to acquire comprehensively geophysical data of as many informations as possible; 3) To develop a rapid and effective method for extracting from a mass data the geological informations that can give a quantitative description of characteristics of the geophysical anomaly caused by a geological body; 4) To raise the geological interpretation level for geophysical data with the aim of making a mineral resources prognosis in the light of the integrated geological, geopgysical and geochemical data.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net