

437-443

金属矿区磁法勘探的进展与展望

熊光楚

(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所, 北京 100012)

p618-208

A

摘 要

1936 年李善邦等人首次在我国进行了金属矿区的磁法勘探工作。从那时到现在的 50 多年里,磁法勘探在我国从萌芽到大发展,我国金属矿区磁法勘探不同发展阶段具有不同特点。不断扩大应用范围,从直接找磁铁矿床发展到普查预测有色、稀有及贵金属矿床;不断提高观测数据的质量,用包含信息量更多的新数据代替老数据;建立斜磁化三度体的理论;引用新技术,发展数据处理技术和反演方法;将磁法勘探看作是综合地球物理勘探的一个组成部分,并在此前提下,发展磁异常的地质解释方法。

对重要金属矿成矿区带进行高精度大比例尺综合航空地球物理勘探,结合地面重力进行地质填图及矿产预测;研究岩石中磁性矿物产生和消失与地质成矿过程的关系;建立磁测数据库、数据成图、处理及解释推断系统以及建立待找矿产的地球物理-地质综合找矿模式,必将促使磁法勘探有更大的发展。

关键词 勘探地球物理、金属矿区磁法勘探、进展、中国。

一、引 言

我国金属矿区的磁法勘探工作始于 1938 年。从发展的角度看,大体上可分为萌芽时期(1949 年以前)、大发展时期(1949—1960 年)、发展理论基础时期(1960—1966 年)以及新的发展时期(1980 年以后)。下面简述这四个发展时期的概况。

二、萌芽时期^{[1]①}

1949 年前,我国开展地球物理勘探(以后简称物探)工作的有 3 个单位,即实业部(1938 年后改为经济部)中央地质调查所,主要工作人员有李善邦、秦馨菱等人;北平研究院物理研究所,主要工作人员有顾功叙、王子昌、郭文魁等人;中央大学物理系,主要工作人员有翁文波等人。前两个单位从事过金属矿物探工作,最后一个单位则在玉门油田等处从事石油物探工作。

1936 年李善邦等人在湖南常宁水口山铅锌矿做扭秤仪器试验,1937 年冬有秦馨菱参加,正式在清水塘等处工作,一年内做了近 1000 个测点,并在一处打到了一个小矿体。

① 秦馨菱、王敬尧、沈世全等,个人通讯。

这是我国金属矿区的首次物探工作。在这个矿区,1938年曾做石英刃口式磁力仪试验,次年秋即在四川綦江铁矿开展正式工作,作了垂直及水平寻常观测。因异常弱(赤铁矿),又受地表采矿影响,效果不好。1940年夏,方俊和秦馨菱到贵州威宁麻姑赤铁矿区做扭称及磁法。工作结果表明矿体无扩大现象,与地质推断的结果相同。当年年底,李善邦和秦馨菱先到云南会理毛姑坝铁矿,以后又到四川冕宁泸沽铁矿及渡口攀枝花(1941年夏)等处工作。他们在攀枝花、尖包包及倒马坎三处测了地形图,填了地质草图及作了地面磁法。根据工作结果,推断此处有钛磁铁矿,而且储量不小。后因经济困难,未再做工作。

1941年冬秦馨菱还曾去峨边的金口河用磁法找大渡河中的砂金矿,发现几处异常,但异常处砂中金的含量不清楚。

从1939年开始,顾功叙等人在云南易门军哨区铁矿、安宁砂场区铁矿,贵州水厂铁矿山铁矿、威宁赫章铁矿、云南东川汤丹和落雪铜矿、个旧锡矿、东川东面的矿山厂铅、锌矿,迤碌黄铁矿以及昭通煤矿等处作过物探工作。所用方法包括磁法、自然电流法及电阻率法等。当时,不但考虑了直接找矿的问题,而且在个旧老厂西矿区曾用电法做过矿层埋藏深度的探测。

在这个时期内,我国还没有从事金属矿物探的队伍,物探工作是由研究单位进行的,受到人力、财力及设备的限制,不可能开展大面积的正规物探工作,限制磁法勘探的应用效果。但是这个时期从事这项工作的少数几个人,后来成为我国物探事业大发展的奠基人。

这个时期工作量虽不大,但它有一个显著的特点:研究工作者从事野外工作、理论研究和实际调查相结合。这点,对以后物探在中国的发展和地球物理学会能够发展成为一个跨部门的学会,都有重要的影响。

三、大发展时期

1949年10月1日中华人民共和国成立。为了发展矿业,我国的地质工作得到了很大的发展。在顾功叙、傅承义及翁文波等人的努力下,物探也得到了相应的发展,金属矿区的磁法勘探进入一个大发展时期。

1952年以前,主要是结合野外工作,采用讲习班形式、培训技术骨干。这期间,顾功叙等人曾在辽宁鞍山和弓长岭铁矿做过磁法勘探工作,秦馨菱等人曾在山东金岭镇铁矿做过磁法勘探工作。

1952年秋地质部成立。在顾功叙的创议下,国家分配了一批大学物理系毕业生到地质部门从事物探工作,这年冬天又购进适合野外应用、生产效率高的悬丝磁力仪约100台。这样,从1953年开始,先后在辽宁鞍山、湖北大冶、山东金岭镇、内蒙白云鄂博、河北邯郸地区、山东历城、四川攀枝花以及江苏南京等地,开展了大规模的地面磁法勘探,寻找磁性铁矿,并取得了很好的地质效果。例如,1953年地质部系统的物探队在湖北大冶铁山发现了尖林山隐伏矿床,发现了程潮桐子山异常和大冶金山店异常。后两个异常经过进一步工作和研究,钻探验证证实是两个大型铁矿床所引起。又如1957年冶金

系统物探队在江苏南京附近作地面磁法，在当时认为无大矿床的火山岩分布地区发现了梅山铁矿，揭示了长江中下游火山岩分布地区找矿的序幕，从而促进了火山岩铁矿床理论研究的开展，并导致以后在安徽又发现了大型隐伏的铁矿床。

在开展地面磁法勘探的同时，地质部发展了航空磁测。1953 年秋在内蒙古白云鄂博铁矿上作了试飞。到 1959 年，先后在长江中下游、辽宁鞍山、四川攀枝花、内蒙古白云鄂博等地作了大面积的航空磁测。航空磁法可以快速地发现大型铁矿床、圈出找矿的远景地区及与金属矿产有密切关系的大型构造。例如，地质部航空物探队关于淮北地区找矽卡岩型铁与矿远景地段的预测，已为后来的工作证实^[2]。通过航空磁法研究大型构造的典型例子是根据航磁异常发现了庐江—郟城大断裂，这对研究我国东部的地质构造有重要意义。

在这个时期内，磁法勘探在普查有色及其他金属矿床方面也取得了一定的地质效果。例如冶金系统物探队在 50 年代初期在辽宁华铜发现了三大井铜矿体，50 年代末期在吉林红旗岭发现了镍矿体。此外，磁法在广西大厂锡矿区不仅圈定了已知矿的分布范围，并发现了许多与矿有关的磁异常。

这个时期内金属矿区磁法勘探的特点是：培养技术骨干，配备具有一定精度而生产效率又高的磁力仪和开展大面积地面和航空磁法普查找矿（主要是磁铁矿床）工作。这些也是金属矿区磁法勘探迅速发展并取得突出的找矿效果的根本原因。磁法勘探寻找铁矿的效果，对促进金属矿区物探的发展，做出了独特的贡献。

四、发展磁异常解释的理论基础

金属矿区的磁法勘探工作，主要是结合铁矿区找矿工作进行的，对认为有意义的异常，绝大部分都进行了钻探验证。验证结果表明，我们对磁异常所作的定量解释，有的对，有的不对，特别是在我国南方和矿体走向长度不大时，这是为什么？通过研究，发现这是由于应用了 50 年代初期由前苏联所引进的垂直磁化二度体的解释方法所引起。

在总结大量实际材料及理论计算的基础上，我国的物探工作者发展了倾斜磁化条件下三度体磁异常的理论及解释方法，并出版了专门著作^[3,4]。在这个时期内，由于找矿深度增大，埋深几百米的磁铁矿床引起的异常只有几百 nT，与隐伏的磁性岩体的异常特点类似。为此，我们研究了区分矿与非矿低缓磁异常的方法^[4]，于是在郟邢地区、山东、安徽及新疆等地发现了一批大型的隐伏矿床。为了在勘探阶段应用磁法结合钻孔资料绘制矿体剖面图及寻找钻井旁侧和钻井底部的盲矿体，对磁法反演作了较深入的研究，形成了一套所谓“剩余磁异常计算方法”^[5]。在山东莱芜马庄、湖北大冶铁山及金山店、鄂城程潮、陕西铜厂及新疆天湖等地应用都取得了很好的效果。

在 60 年代初期，金属矿区开始应用井中磁测。实践证明，井中磁测是一个非常有效的研究磁性矿体产状及找深部盲矿体的方法。这个时期内，金属矿区磁法勘探工作的特点是：结合我国的实际情况，研究生产中出现的重大技术问题，在研究工作中，将生产中积累的大量资料和经验，加以归纳，并从理论上进行分析，研究结果及时用于生产，及时验证，然后根据验证结果，修改及充实所提出的理论和方法，使之日趋完善，坚持从

生产中找重大技术问题作为研究课题,将研究结果及时用于生产,根据实践结果进行再研究,这是磁法勘探方法技术得以在我国迅速提高的根本原因。

五、新的发展时期

从 80 年代开始,我国金属矿区的磁法勘探进入了一个新的发展时期。主要发展有:建立了高精度航空磁测系统;地面磁法勘探仪器开始更新换代;在计算机上进行数据处理及自动反演,研究处理及解释复杂磁异常的方法以及将磁法勘探大量应用于有色、稀有和贵金属矿产的普查和预测。

我国地矿系统已建成高精度航空磁测系统,能进行 1:5 万高精度航空磁测(包括定位),引进及开发了数据处理、解释和成图计算机软件系统,能用于大比例尺地质填图和金属矿产预测。与此同时,地面磁测所用的机械式磁力仪(精度 10nT 左右)也逐步为微机质子磁力仪所代替,后者自动化程度高、生产效率高,总精度可达 1—2nT 或更高。

仪器更新换代,提高了观测精度。在许多有色金属矿区,在矿床上观测到了 10—20nT 或更低一些的磁异常,对研究矿区地质构造及找矿起了很好的作用。过去,有色金属矿区一般不作地面磁法,现在,高精度地面磁测已成为不可缺少的重要方法之一。由于磁法勘探效率高,成本低,这种方法的推广使用,必将带来巨大的经济效益。

近年来,航空磁法观测数据急剧增多,对这些数据进行各种处理及定量计算,用手工已无法跟上野外工作的进程。电子计算机的推广使用,解决了这个问题,磁法数据处理及自动反演得到了很大的发展。

数据处理包括常规的处理及专门的处理。常规处理包括观测数据的各种改正、化极、延拓、计算场的各级微商及不同分量之间的互算等。这些变换,我国各个系统均编有适用于不同类型机器的程序包,可供生产队使用。

专门的处理是指解释异常时各种标志(一次标志、二次标志及组合标志,特别是专用的组合标志)的研究及计算。专用标志是为了定量地描述异常某一特征,因而反映磁性体某一特征而用的。例如地面磁测垂直磁异常的极大值被异常的宽度(二分之一极大值点间的距离)除,是区分浅部磁铁矿体引起的异常和其他原因(强磁性的岩脉例外)引起的磁异常的有效专用标志,而异常的极小值及极大值与异常宽度的乘积则是区分深部大型磁铁矿体与其他原因引起的磁异常的一组有效的专用标志。在寻找低温浅成热液矿床时,计算磁异常的变化度,可以有效地在火山岩分布地区围出热液蚀变地段,这种方法被地质人员称作热液蚀变滤波器。专用标志的使用,将使磁异常的数据处理进入一个新的发展阶段,对磁异常的地质解释具有特别重要的意义。

不论对大面积的区域航空磁测数据或对单个异常,我国各科研单位及大专院校均编有在计算机上作磁法反演的程序。这类程序可分作两大类,一类是全自动的,只要给出初始模型,计算机将会根据程序的指令,自动完成反演过程;另一类是人机联作方式,修改模型由操作者在屏幕上完成。前一类方法只利用了计算机的计算功能,后一类方法除利用计算机的计算功能外,还利用了计算机的图像技术,并能充分发挥操作者的主观能动性,充分利用已有的先验地质知识。

在这个时期内，我国许多单位对强磁性的具有磁各向异性的磁性体引起的异常进行了研究，研究了正演方法，并结合实际资料，总结了矿体形态呈向斜型、背斜型及复杂形态时，在不同走向及倾斜条件下磁异常的特点，研究工作是结合生产进行的，在实际工作中都取得了很好的效果，例如山西岚县、五台及河北迁安等地，对已勘探过的矿区及未打过钻的异常用钻探验证，都打到了矿体。

前苏联在科拉半岛打的超深钻表明，地表数 km 到 10km，都有具磁各向异性的强磁性的变质岩（包括含铁石英岩），因此，这方面的研究对利用区域磁测资料研究深部地质构造也具有重要意义。

这个时期金属矿区磁法勘探发展的特点是：充分应用现代科学技术的成就，提高观测数据的质量（包括定位精度），用电子计算机快速地从大量数据中提取地质信息，扩大磁法勘探的应用范围，扩大应用范围，这是任何一种技术本身发展的必然结果和进一步发展的起点。

六、磁法勘探发展的展望

为了进一步发展磁法勘探，适应今后我国地质找矿工作发展的形势，今后应作的工作有：对重要的金属矿成矿区带进行大比例尺的综合航空物探调查；积极开展岩石磁性的测定和研究；在计算机上形成磁异常的处理、解释及成图系统和研制国产的高精度磁力仪。

我国许多重要的金属矿成矿区带目前正面临第二轮找矿任务，即找埋深大的隐伏金属矿床。找矿工作难度大，地质找矿投资的风险性增大。为了尽可能地降低地质找矿投资的风险性，亟需大比例尺的基础地质资料，其中包括综合物探资料。国内外已有的经验都表明，高精度的航空磁测资料对研究金属矿区的地质构造具有重要意义。应用综合航空物探资料，结合地质、地球化学及地面重力资料，建立矿区的综合找矿模式，这是今后金属矿区地质找矿的基础工作。所谓加强普查找矿前期的调查研究工作，其主要目的即在于建立矿区的综合找矿模式。前苏联穆龙套金矿床的发现，澳大利亚奥林匹克坝铜、金、铀矿床的发现以及日本菱刈金矿的发现，无一不表明建立综合找矿模式的重要性和在建立这种模式中物探的重要作用。

与在重要成矿区带进行大比例尺综合物探测量的同时，要注意对已有磁测资料的二次开发利用。这里有两种情况要区别对待。第一种情况是磁测资料已被利用和验证，有了新的地质和岩石物性资料。这时，应积极收集资料，并利用新的技术和新的思路和经验，对磁测结果作再解释，以期解决当地找矿工作中的更多地质问题。做这种工作，通过总结经验，将有助于快速地提高物探工作对磁异常作地质解释的水平。第二种情况是磁测结果尚未被利用，而过去也未作过地质解释。对这类资料，应根据新的情况，选择一些典型的磁异常，进行现场检查，包括地面磁法检查，路线地质调查和岩石磁性测定，然后根据现场检查结果，结合室内资料处理，对异常作出地质解释。

在区带大比例尺综合航空物探工作中，研究的重点是综合物探异常的地质解释和矿区综合异常模式的建立。

我国物探工作中的薄弱环节是岩石物性的测定和研究工作。从1991年到今年,美国的 Geophysics 期刊上发表了一系列有关岩石磁性测定和研究的结果。其中心论点是想解决磁法勘探在直接找油田方面的作用。从这些文章中可以清楚地看出,在对磁异常作地质解释时,首先是要确定磁异常是什么地层或岩石所引起的,其次是引起磁异常的地层中的磁性矿物是什么矿物(例如磁铁矿、磁黄铁矿、磁赤铁矿或钛铁矿),最后则是这些磁性矿物的生成原因(对正的磁异常)或是这些磁性矿物消失(或磁化强度变弱)的原因(对负的磁异常),并将这些原因与成矿期或成矿前、或成矿后的地质过程相联系。这样就将磁异常的地质解释建立在一个可靠的物理和地质基础之上。

对于测定及研究岩石物性的重要性,至今尚未引起我国物探界的重视。在各种期刊上,经常可以看到在物性资料不全的情况下,对磁异常作各种处理并对处理结果作出无法验证的地质解释的文章,就可说明这种情况。

在过去已有的工作基础上,考虑到计算机价格不断下降,目前已有可能为物探队在小型工作站或高级微机上建立磁测数据综合处理、解释和成图的程序系统。这个系统应包含以下一些内容:原始数据库;预处理软件包;预处理后的数据库;数据处理程序包;异常定量解释软件包;异常地质解释软件包;图形处理及图形输出软件包;图形输入软件包等。在建立上述程序系统时,还有些难题需要研究。现将几个主要问题简述如下:

1. 叠加异常的分解

目前,对叠加磁异常的解释采用的方法是先将叠加的异常分离,然后对分离后的异常作解释。采用这个方案,关键技术问题是研制一个好的分离异常的方法。虽然现在已有了一些线性滤波器,又研制了一些性能较好的非线性滤波器,这方面的问题还不能说已满意地解决了。

2. 计算磁性体下端埋深的方法

不少人发表了计算居里面深度的方法,似乎计算磁性体下端埋深的方法已经解决了。由于居里面深度是一个无法验证的计算结果,计算结果的精度无法给出,计算方法的可靠性也就无法估计了,特别因为处理的是复杂的地壳引起的异常,而不是简单形状物体的理论计算结果。我们长年在金属矿区工作的经验及理论研究均表明,在磁性体上端埋深及物体磁性不确切给出的条件下,目前还没有一个合适的计算磁性体下端埋深的方法。

3. 复杂形状物体及变磁性物体磁异常的解释方法

复杂形状物体和变磁性简单形状物体,当有一定埋深时,根据场的等效原理,有可能引起相同(在一定误差范围内)特点的异常,引起反演解的多解性。如何在求解过程中自动利用先验的地质知识及求出多种可能的解,是一个需要研究的问题。

4. 研究建立磁测资料地质解释的专用标志

磁测资料解释的专用标志,既可用于建立矿区综合异常找矿模式,又可用于作矿产预测中的统计参数。研究这类标志,既要对磁法有深刻的了解,又要求有一定的地质知识。因此,建立这种专用标志是一项有地区性的专项研究工作,要结合具体工作进行。

通过改革开放,引进国外先进技术,建立我国先进的磁力仪生产基地,不断改善物探队的技术装备。物探队所用仪器的精度,决定了物探能最大限度地解决地质问题的可能性。物探解决地质找矿问题的能力,首先是决定于正确选择野外工作方法(包括选择

仪器性能)，然后才是室内加工处理和解释推断。

参 考 文 献

- [1] 严济慈、顾功叙，北平国立科学院物理研究所、重力、地磁和地球物理勘探著作，地球物理学报，1，92—95，1948。
- [2] 杨光庆、朱英，中国地质普查勘探中的航空磁测工作，地球物理学报，22，374—382，1979。
- [3] 黄树棠、顾学新，斜磁化条件下磁测资料的解释推断，北京：中国工业出版社，1964。
- [4] 熊光楚，磁铁矿床上磁异常的解釋推断，北京：中国工业出版社，1964。
- [5] 熊光楚、王振平、黄宝江，某铁矿区磁异常的定量解释方法，地球物理学报，15，6—13，1966。

DEVELOPMENT OF MAGNETIC EXPLORATION SEARCHING FOR METALLIC ORE DEPOSITS IN CHINA

XIONG GUANG-CHU

(Beijing Research Institute of Mineral Resources and Geology, CNNC, Beijing 100012)

Abstract

The first magnetic exploration searching for metallic ore deposits in China was carried out in 1938 by Qin Xin-ling in the ShuiKou Shan lead and zinc Mine, situated in the south part of Hunan Province. According the historic facts, the development of this method may be divided into four stages, i. e. stage of birthing, stage of fast developing, stage of forming theoretic base and stage of advanced development.

In my opinion, the main points of the development may be stated as below:

1. Extending the field of application of magnetic exploration, especially, using it in the predication of base, rare and noble metallic ore deposits.
2. Bettering the quality of observed data, in order to replace the old by the new data which contains more information than the old.
3. Developing theory of 3D—body of inclined magnetization, developing technique of data processing and quantitative interpretation.
4. Taking magnetic exploration as a constituting part of an integrated geophysical exploration and under guide of this consideration, developing the method of geologic interpretation of magnetic anomaly.

To prompt the advancing development of magnetic exploration, I think it is worth to carry out large scale (1 : 25000 to 1 : 10000) integrated airborne geophysical exploration in the interesting regions of ore deposits, to do more work in the field of root magnetism, to study the method of interpretation of complex anomaly and to build the geophysical-geological model of interpretation for finding ore deposits.

Key words Exploration geophysics, Magnetic exploration searching for metallic ore deposits, Development, China.