

物探与化探

WUTAN YU HUATAN

一九七八年 第一辑

中国地质科学院物探研究所编

地 质 出 版 社

物 探 与 化 探

WUTAN YU HUATAN

一九七八年 第一辑

中国地质科学院物探研究所编

地 质 出 版 社

《物 探 与 化 探》

一九七八年 第一辑

中国地质科学院物探研究所编

(限 国 内 发 行)

*

国家地质总局书刊编辑室编辑

地 质 出 版 社 出 版

地 质 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1978年3月北京第一版·1978年3月北京第一次印刷

统一书号：15038·新264·定价0.45元

目 录

回顾与展望 顾功叙 (1)

航空物探综合站在铁、铜矿床上试验已见成效

..... 中国地质科学院物探所航电组、国家地质总局航空物探大队九〇六队 (6)

经 验 交 流

1:20万区域地球化学图件的拟编及地质显示

..... 江西省地质局区域地质调查大队 (15)

湘中、湘东地区1:50万金属量测量地球化学图的试编

..... 湖南省地质局区测队 (23)

某山杂岩体及其周缘岩石中铁、铜含量的趋势分析

..... 湖北省地质局区测队 (32)

核旋磁力仪在弱磁性富铁矿上取得好效果

..... 内蒙古自治区地质局物探大队 (40)

方 法 技 术

航磁资料化极处理的方法和效果

..... 福建省地质局物探大队、中国地质科学院地矿所四室 (42)

应用重力法准确确定地质体接触面的倾角..... R·格林 (57)

利用天然电磁场进行激发极化测量的可能性

..... 吴汉荣、王式铭 (62)

学 习 园 地

怎样利用航空磁测图..... 朱英 (65)

问 题 讨 论

关于山区重力测量外部改正的几个问题..... (74)

综 述

国外重磁反演问题算法的近况..... 潘乃德 (75)

名 词 解 释

多普勒导航(14) 协方差(22) 加权平均数(31) 超导体、超导现象(80)

回 顾 与 展 望

顾 功 叙

在英明领袖华主席为首的党中央决定召开全国科学大会的前夕,《物探与化探》与读者见面了。这是我国地质科学技术事业上深揭狠批“四人帮”,抓纲治国,实现大治的又一具体体现。

我作为一个过去长期为我国地球物理勘探事业工作过的老年科学工作者,曾经看到这个科学技术领域由解放前的完全空白到解放后的大发展;看到它在“四人帮”猖獗时期受到干扰和破坏;但在晚年又能看到它重新兴旺起来,感到无比欢欣与鼓舞。尽管我离开这个科学技术领域已多年,仍愿以十分兴奋的心情,以“回顾与展望”这样一个题目,来抒发我的意见。

解放以前,我国的地球物理勘探科研和应用,基础都几乎等于零。解放以后,在工作开始阶段,物探科学技术方面所遇到的问题,首先不仅是要大量引进国外已有的技术和设备,而且更重要的是要结合我国具体条件应用于找矿,并能取得确实的地质效果。当时国外物探方法应用于两个方面:成层的石油矿床和不成层的金属矿床。对前者的应用已很广泛,效果也很显著,成为找寻石油构造不可缺少的手段。但是对后者,国外的应用范围极其有限,除了用磁法找磁性矿体和用电阻率测井确定煤层厚度以外,其它的应用大多没有脱离试验阶段,只能在理想条件下发现个别未知矿体,并且限于个别矿区使用,没有得到广泛的发展。特别是资本主义国家,矿业公司的资本家首先考虑的是利润,而物探要几种方法综合运用,所显示的异常还需要钻机来验证,费时又费钱,所以资本家宁愿直接根据地质推断进行钻探,也不愿快速发展物探。

我国进入社会主义革命和社会主义建设时期,国民经济有计划地按比例的发展,钢铁基地的建立与扩大,需要探明大量的金属矿床。开始我们用磁法发现了一些隐伏矿体,如大冶铁矿外围的磁铁矿、内蒙白云鄂博主矿体以西的广大覆盖区内的铁矿、鞍山铁矿外围大面积内的隐伏矿体,等等。极个别含有有色金属的磁性矿体,用磁法也发现了它的隐伏延伸部分。煤田测井在河南、四川取得了一定效果,至于对导电的金属矿体、硫化矿体,则作用不大。这样的开创摸索阶段,大约延续了四五年。但是,如何大规模地发展物探方法,还是个很大的问题。当时地质找矿到处要求物探配合,可是物探除磁法外的其它方法,都不象人们想像的那样有效,即从物理学原理上反映隐伏矿体是极有限的,因为物探必须具备物理前提。为了改变这一被动局面,必须根据物探本身的特点,与地质密切配合,不能搞形式主义,要讲求实效,因此采取了因事制宜、因地制宜的方法。进而提出了物探应跑在地质前面,进行大面积普查,以发挥其普查和指出找矿线索的先行作用,特别是对于隐伏矿体。这样就决定了金属矿物探的战略转变。航空磁测以很高的测量速度,按地理图幅在短期内完成了很大面积的磁测飞行,取得了大量资料,发现了很多磁异常。同

时也进行了大面积的地面磁测。实际效果很好，先后发现了不少经济价值较高的磁性矿床，成为普查金属矿不可缺少的手段，受到了人们的极大重视。

在这一思想的指导下，其他物探方法，如重力法、电法和地震法等，也曾试图走上大面积普查的道路。但由于它们各自的特点，反映隐伏矿体的能力大有悬殊，且有其局限性，因而其效果还不如磁法好。我们曾开展过精密重力测量，找寻铬铁矿及普查某些致密状金属矿。虽得到一些效果，但又因重力测量的野外观测效率低于磁法，还必须进行地形改正，计算工作量很大，大面积普查就受到了较大限制。至于电法，不论是接地的电阻率法或不接地的电磁感应法，都具有很大的局限性。长江中下游的硫化物金属矿体，埋藏不深，电阻率低，密度高于围岩，体积较大，称之为“大、浅、密”。依此为目标，本想用电磁感应法进行大面积普查以发现低电阻率异常，再用重力检查，但还是因为干扰因素大，未能实现。五十年代，国外出现了一种称为激发极化的电法，对探查硫化金属矿床，特别是浸染状的硫化金属矿床很有效。我们经过一段时期的使用，发现它对普查详测硫化金属矿床虽有些成效，但黄铁矿化、石墨化干扰因素不小，影响找矿效果，似可用作大面积普查。化探方法能在普查金属矿方面起到一定作用，但也随野外条件而有差异。另外物探在发现隐伏的磁性岩体和相关的地质构造方面，曾取得了一定成效。较突出的是郯城-庐江大断裂的发现，这是隐伏在我国东部沿海地区平原下面的几乎全部被覆盖的大断裂。

六十年代初期，电子计算技术开始在我国地质工作中使用。七十年代以来，区域化探开始取得很好的效果，重力法、电法也都开展了区域性或面积性的普查，对于发现矿床，扩大已知矿区，解决地质构造问题，都取得了一定效果。但还是缺乏经验，需要大力进行科研工作。

总之，金属矿物探工作在我国经过解放后二十余年的实践，在其科学技术的基本原理方面没有重大革新，而仅闯出了一条大面积普查的道路。由于强调物探的物理前提，灵活运用，才取得一定找矿效果。

石油物探则情况不同，尽管存在着问题，有待进行大量科研工作，加以提高和革新，但油田的发现，没有物探工作的先行，几乎是不大可能的。大庆就是很典型的事例。大庆是在一片被草原和冲积层覆盖的大平原上，表面地质观测看不到什么，浅层钻探虽可以取得一些沉积岩层的资料，但含油构造还在深处。1956年开始，我们在大约20—30万平方公里的面积上开展了小比例尺的航空磁测。先把平原深处具有磁性的基底岩层（估计是变质岩顶面）起伏粗略描绘出来，初步圈出该基底面上凹陷的范围。盆地圈出后，1957年组成了较大的物探队伍，通过盆地进行重力法、电阻率法和地震反射波法的长剖面测量。在剖面的隆起地段，开展较详细的地震反射波法工作，以发现基底面以上沉积岩层中的构造。1958年就在大同一带的深处（1000—2000米的深处）发现一条隆起带，称之为“大同长垣”，经地震反射波法详测后，在其上沉积岩层中又发现一些局部构造。1959年在这些物探和地质资料的基础上，原石油部立即在松辽平原布置了深井钻，下半年松基Ⅰ井和松基Ⅱ井已经发现油气显示，不久松基Ⅲ井打到了工业油流。这个钻孔就是位于地震反射波法详测所发现的高台子构造上，井深约1500米左右，从此进一步肯定了大庆油田的前景。

继大庆之后，我国发现的其它油田，条件都相当复杂。当时使用的仪器装备，现已相当落后，特别是地震法。如果地质条件不理想，物理前提不具备，物探也是无能为力的。在华北平原上，我们也做过一些磁法、重力法、电阻率法和地震法的普查石油构造工作，

重力和地震剖面都能明显地反映出本区深处古生代基岩的顶面。但由于缺乏经验，把这个面的隆起部分当成是沉积岩层中的构造。在河北省南部明化镇附近用钻探验证，结果钻到约 950 米的深度，遇到冲积层直接覆盖的奥陶纪灰岩顶部的隆起而停止。后又在河南省开封以东不远处，在地震反射剖面上有构造显示的地点打深钻，也未取得结果而停钻。尽管国内外都承认物探在石油地区要比金属矿地区有效得多，但技术上也还是相当复杂的。

“四人帮”扼杀科研，不要科学技术，更不要基本科学的研究，极大地挫伤了科技人员和广大群众的社会主义积极性，使物探这门科学技术同世界先进水平本来正在缩小的差距又拉大了，拖了地质科学事业发展的后腿。

物探是一个技术性很强的科学领域，为了不断改进和发展，必须在生产与科研，实践与理论的密切结合下，狠下功夫。现在，以华主席为首的党中央，动员全党全军全国人民和全体科技工作者，向科学技术现代化进军。我们一定要响应党中央的号召，要充分发挥聪明才智，要科学事业兴旺发达，捷报频传，人才辈出，把由于“四人帮”干扰破坏对物探事业造成的损失夺回来。

要大力开展物探的基本科学研究工作。这里特别要强调“基本”（英语：basic）两字，其真实含义是，这种研究工作的成果，要能带动一点全局的，革新突破某种物探技术问题的，要有所发现、有所发明、有所创造、有所前进的成果。过去常常把科学研究与生产实践形式主义地结合起来，把两者等同起来。科研人员与生产人员一样，拿着现有的仪器设备到野外矿区一起工作，所获结果与生产上并无差异。这样不能起到上述的作用，不能跑到生产前面去开辟新路。四个现代化为什么说科学技术现代化是关键，就是要科学技术跑到前面去，带动其它三个现代化。如果不是这样，即使科学研究机构存在，也是没有意义的。这种合二而一的做法，曾经给物探科学技术的发展带来极大的危害，实际上是在取消物探科研工作。这是至关重要的问题，今后千万要加以防止，否则就会误大事吃大亏，还会在弯路上继续走下去。

下面想谈一点物探科学技术本身如何革新和前进的问题，这可能是大家所关心的事情。不过由于我已多年离开了物探工作，对国内外的现状和动向已很生疏，只能就我所注意到的提出一些个人的想法，不一定对头。

我在前面已经说了，物探方法在过去数十年中基本原理方面没有多大变化，预期未来的较长时期内还将会停留在磁、重力、电和地震等几种方法原理上。过去我们曾指出，要采用现代物理学等学科的新成就来革新物探方法，看来只能限于具体技术的革新上，而还看不到改变方法基本原理的迹象。

金属矿物探方法的仪器设备、数据处理、推断解释等，随着物理学实验技术、电子技术、电子计算技术等不断进步，可以得到日新月异的发展。石油构造物探方法如地震法，二十余年来在这方面的革新，尤为突出。目前我国同世界先进水平比较，我认为差距也就在这些方面，不是国外有什么新方法我们没有的问题。国外曾有人说，革新物探方法技术的最现实的方向，是尽一切可能利用电子计算技术，似乎其他方向都不很现实。这里我想提几个可以进行基本研究来革新物探方法的方面：

一、利用物理学上的最新成就来提高野外仪器观测的精度。野外物探仪器（指地面的）提高了灵敏度后仍能稳定工作，当然是一种进展，如重力仪，精度提高到微伽级，磁力仪精度提高到小于 1 伽偶。现在的问题在于，仪器精度提高了，怎样利用它来解决更多

的找矿问题，才是提高精度的目的。否则，如果普通磁秤能有效找矿，为什么一定要用高精度磁力仪。这方面的研究，似乎还做得不够。

二、野外仪器自动读数和计算数字化。由于电子技术和电子计算技术突飞猛进的发展，绝大多数的物探仪器要改成自动化和数字化。这样不但可以提高大量资料读取工作的效率，也能提高读数的精度和测程范围，是一种多快好省的改进。

三、野外观测仪器和人员运载工具，尽量使用飞机。目的很清楚，就是提高物探方法测量的效率，减轻观测人员的劳动强度。但是，目前似乎只有航空磁测所发挥的作用较大。其他如航空放射性测量也有所开展，但受地形起伏的限制，低飞有一定困难。航空电法也受地形影响，只能在平坦地区进行低飞测量。至于航空重力，问题就更大，仪器装备本身还没有试验成功，灵敏度、精度都不易提高，高程测定和飞机定位要求很高。这些都有待研究。

四、物探数据的数字处理。这是电子计算技术问世以来的新事物，在地震法中的应用，尤见成效。世界地震勘探技术先进的国家，在六十年代初所用仪器几乎全部改成数字化记录，提高了记录精度和动态范围。现在已很清楚，这种数据处理上的改进，不仅为了提高计算工作的效率，更重要的是由于运用了各种数学方法和技巧，可从大量数据中把那些看不清楚的地下信息显示出来。过去要进行这种数字处理，计算量太大，无法实现，现在已完全可以做到。例如数字滤波、叠加技术，速度、偏移、全息等分析以及合成地震记录的计算，花样繁多。从重力法和磁法勘探的数据中提取信息，也不在少数。重力地形改正的自动化计算，我国已开始探索。以后在这方面应进行大量科研工作，才能赶上国际水平。

关于长期试探性质的科研项目，应该提些什么，还看不准确。当然几种旧的物探方法要继续不断地研究改进，已如上述，我想就新的途径提一点看法。探测地下隐伏矿体本来有两大类方法：矿体本身能自发地产生一种固有的因素，使地面地球物理场受到畸变，如磁场、重力场、放射性强度等，这种方法原理，一般称为“被动的”原理；“主动的”原理，是人们向地下送入电波或电磁波和地震波，来观测矿体岩体对它们的反应，并在地面上接收这种反应，电法和地震法就是利用主动原理的物探方法。这两种方法中，用电磁波和地震波似乎还可以发挥更多的作用。我认为应该很好地进行基础研究，从长远来看可能是有前景的。

电磁波入地不能很深，是最大的障碍。但是随着电磁波在固体介质中传播的物理学的进展以及其他新技术的发明创造，希望今后在这个问题上应有所突破。现在可考虑的问题，有如电磁波在岩石介质中的传播、反射、接收等基本问题。

地震波在地震勘探方面已有不少科研新成就。地震波能入地较深，近年来利用了电子计算及资料的数字处理，很有成效。已如前述，估计还会有新的突破，如全息技术等。要研究怎样能用于探测和圈定埋藏在地下的、弹性不同于围岩的、不规则形状的金属矿体。

电磁波与地震波，是目前物理学上可以用来入地去接触矿体和岩体，并从地面上接收和侦察它们的仅有的两种手段。若是想探索物探新原理，建议可以从这两方面去思考，并做基本科学研究。

还有一点要说的是野外物探工作的部署问题。尽管我在前面已经提到，物探在地质工

作中先行,从大面积上指出找矿线索,已取得较好的效果。但我认为这还不够,还必须认识到:凡是在地面上见不到找矿线索的地区,一般的都应先让物探去工作。这是多快好省地完成任任务的一种措施,不是与地质争先后的问题。如磁异常发现郯城—庐江大断裂后,就应着手开展一些其他物探方法工作,进一步发现一些矿的迹象。因为在这样的覆盖地区,地质工作者往往很难着手工作的。

科学技术的高峰,必须有一心为科学、胸怀大志、兢兢业业、不怕艰险挫折、一丝不苟精神的人去攀登。物探科研部门的各级领导同志,应当高瞻远瞩,为革命深入科研,真正钻进去洞察基本研究的特点和实质,变外行为内行,坚决彻底消除自己头脑中“四人帮”无视科学、否定基本研究的流毒。当遇到近期不出成果和困难时,应千方百计的想方设法去创造有利条件解决问题,不能一砍了之,要有科学态度,按中央号召去办。要想到物探虽然有些成效,但距离与日俱增的实际要求相差甚远,在绝大多数的情况下,物探的科学技术都还处于无能为力的状态,我们必须知难而进,猛追直上。

(上接第64页)

但在两个不同点上,

$$\frac{Vd_1(t)}{Vg_1(t)} = \frac{Vd_2(t)}{Vg_2(t)}$$

式中 Vd 为在 $0.1-0.n$ 赫频域内任选的某一频率的振幅; Vg 为在 $1-n$ 赫频域内任选的某一频率的振幅。

当地下存在电子导电的矿体时,矿体在天然场的作用下产生极化,使振幅增大。频率越低,振幅增加越大,采用比值作为参数可以忽略地形影响,同时把极化效应提取出来,而且当地下存在干扰地质体时,则

$$\frac{Vd_1(t)}{Vg_1(t)} / \frac{Vd_2(t)}{Vg_2(t)} \neq 1$$

应该指出,由于天然场是一个平面波,它不象人工场那样勘探深度受 AB 极距及地表电阻率的限制。利用天然场为场源,其勘探深度与选择的频率和地下电阻率有关,因此其勘探深度将大于人工场法。由于场的振幅存在着随机性,因此资料的解释需要以概率的概念来解释。

关于仪器问题,考虑到方法用于普查和测量简便,减少干扰,拟采用不接地测量方案,即测量磁场分量。因此对振幅测量的仪器有些特殊要求:1.有一个适用于超低频磁场测量的换能器,把磁讯号转换为电讯号,灵敏度为100微伏/1伽偶·0.1赫,噪声小于0.1微伏;2.高增益低噪声宽带前置放大器,噪声0.1微伏;3.倍频衰减达60—80分贝的选频放大器,整机10微伏满度。读数形式可以采用表头读数,但为了全面地利用天然电磁场的频谱,研究采用数字磁带对大地电磁场进行宽频带(或称全讯息)记录,室内根据需要利用先进的电子计算机技术进行选择回放整理。

利用大地电磁场进行激发极化效应测量,在理论上是可能的,正如前面提到的,只要存在激发电流和适当的极化时间(频率),那么在电子导体上就会出现极化效应。关键在于提取技术,这就需要根据大地电磁场的特点选择表达极化效应的参数和合理的测量方案。

航空物探综合站 在铁、铜矿床上试验已见成效

中国地质科学院物探所航电组

国家地质总局航空物探大队九〇六队

序 言

我国自行设计和试制的第一台以补偿式航电为主的航空物探综合站已开始在地质找矿中应用,这标志着我国航空物探技术在向现代化进军的道路上跨入了一个新的阶段。实践表明,航空物探综合站不仅实现了一机多用,降低成本,而且能显著地提高地质效果。

本文的目的是通过原理介绍和对两个实例的分析,说明以航电、航磁为主的综合站在寻找铁、铜以及其它导磁和导电性矿床工作中的某些优越性及其前景。

仪 器 简 介

整个综合站包括有HDY-202型补偿式航电仪、CCK-1型航空磁通门式磁力仪、CB-1型航磁电子补偿仪、航空定位摄影机、WG-2型无线电高度计、过载计和六笔模拟记录仪。全套仪器安装在经过改装后的国产运一五飞机上。该机是航测大队和物探所共同进行多次试验,根据物探所提出的设计要求,由六〇三所改装成功的。

HDY-202型补偿式航电仪属于翼尖硬架系统。它的发射线圈和接收线圈分别刚性地固定在运一五飞机上大翼翼尖端,垂直共面,相距19.75米。工作频率476周/秒,测量实分量和虚分量。噪音水平在比较平稳的飞行状态下为10—20ppm,零点漂移小于180ppm/小时。

为了改善飞机的飞行性能,破例地将磁通门磁力仪的探头安装在飞机尾舱内,一九七六年年作了恒定场补偿,最大偏向差80伽。一九七七年装上了CB-1型航磁电子补偿仪,补偿精度明显提高,最大偏向差20伽。仪器零点位移10伽/小时,大多数用10伽/毫米挡记录,噪音水平1—2毫米。

考虑到装备的重量,一九七六年采用小型TBX-404型同步照相机作为航空定位摄影机。由于该机焦距不够短(16毫米),相场角小($2\beta = 45^\circ$),控制面积不大,又加像幅太小(7.6×10.4 毫米),判读照片有困难,今后准备依旧应用已试飞成功的DB-402型像机。一九七七年在新疆地区用的是双曲线无线电定位系统。

WG-2 型无线电高度计, 为飞机内原有设备, 专为测定飞行时离地的真实高度。它分两种测程范围, 即低高度0—120米, 高高度100—1200米, 测量误差分别为 ± 2 米 $\pm 5\%$ 和 ± 20 米 $\pm 5\%$ 。

过载计用来记录飞机飞行时垂向加速度的变化, 以帮助区分干扰。

六笔模拟记录仪, 记录磁、电等模拟讯号。测量范围1伏, 静态指示精度1%, 有效纸宽200毫米。其中1、2笔分别记录航电的虚分量和实分量; 3、4笔分别记录航磁的个位数和百位数; 5笔作定标和高度记录; 6笔作过载记录。

工作中均采用1:5万地形图目视领航定位。在矿区试飞没有固定比例尺, 测线方向均垂直于矿体走向; 面积性试生产飞行按1:5万比例尺, 测线方向垂直于成矿远景带走向方向。飞行高度一般在50米左右, 低于50米的高度约占总工作量的一半。

工 作 原 理

航磁已为众所熟知, 不再多叙, 重点谈谈航电的基本工作原理及有关问题。

根据电磁感应定律, 凡具有导电性的地质体, 在交变电磁场作用下, 导体内因感应而产生涡流, 涡流在导体内呈闭合回路, 它将产生感应二次场(H_2^E)。对于磁性体, 因被外磁场磁化, 将产生磁化二次场(H_2^M)。由于它们产生二次场的特点不同, 存在复杂的相位关系, 使得由这些具有不同电磁特性的地质体引起的异常, 出现实分量、虚分量, 而实分量又有正负不同变化。这些变化对于直接找矿和区分异常, 提供了有效依据。

为便于说明本系统二次场的物理特性, 我们设一个水平发射偶极子为场源, 用一个具有一定感抗(L)和电阻(R)的线圈来代替矿体, 采用近似的分析方法来讨论这个问题。

对无磁性良导体, 在交变磁场作用下, 导体内将感生一滞后 90° 的电压, 这一电压产生的电流(即涡流)其相位决定于:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{L\omega}{R} \quad (1)$$

当 $R \gg L$ 时, $\phi = 0$,

即涡流相对于电压无相移, 导体中涡流产生的二次磁场仍将滞后 90° , 这时二次场与一次场在接收线圈处相位差 90° , 因而出现在正虚分量(I_m)。

当 $L \gg R$ 时, $\phi = \frac{\pi}{2}$

即导体中涡流相对于电压将滞后 90° , 在接收线圈处的二次场与一次场同相位, 因而出现在正实分量(R_e)。

对不导电的磁性体, 因其为铁磁质, 磁化二次场与一次场同相位, 但在接收线圈处它的方向与一次场相反, 因而产生负实分量($-R_e$)。因导电率 $\sigma \rightarrow 0$, 不会产生涡流, 因而不存在虚分量。

对导电磁性体, 将随其导电率和导磁率的大小、产状和工作频率的高低等产生复杂的变化。关于这个问题, 下面再详细叙述。

为了从严格的数理基础上去分析上述规律, 可利用华特对导电磁性球的理论计算结果来分析:

一个半径为 R 、导电率为 σ_1 、导磁率为 μ_1 、介电常数为 ϵ_1 的导电磁性球，埋藏于相应参数为 σ_2 、 μ_2 、 ϵ_2 的均匀介质中，在 $H_0 e^{i\omega t}$ 均匀交变一次磁场作用下，被感应的导电磁性球体等于一个偶极子，其所产生的垂直分量和水平分量的磁场分别由下式确定：

$$H_z(\omega) = -\frac{3}{2} R^3 H_0 (M + iN) \left(-\frac{1}{r^3} + \frac{3z^2}{r^5} \right) \quad (2)$$

$$H_p(\omega) = -\frac{3}{2} R^3 H_0 (M + iN) \frac{3z\rho}{r^5} \quad (3)$$

其中

$$M + iN = -\frac{3}{2} \left[\frac{2\mu_1(\sinh\alpha - \alpha \cosh\alpha) + \mu_2(\sinh\alpha - \alpha \cosh\alpha + \alpha^2 \sin h\alpha)}{2\mu_1(\sinh\alpha - \alpha \cosh\alpha) - 2\mu_2(\sinh\alpha - \alpha \cosh\alpha + \alpha^2 \sin h\alpha)} \right] \quad (4)$$

$$\alpha = (i\sigma_1 \mu_1 \omega)^{1/2} R \quad (5)$$

将(4)式展开后，可分别求出实部(M)和虚部(N)的量值。现在仅分析一下实部(M)和虚部(N)随综合参数 α 的变化关系(图1)，因为它比较全面地表征了前述异常的特点和规律。

实部(M)和虚部(N)随参数中频率的变化关系：当 $\frac{\mu_1}{\mu_2} > 1$ 时，在低频段，球体产生的涡流很小，虚部(N)近于零，在低频的一定范围内，频率变化实部(M)量值不变。

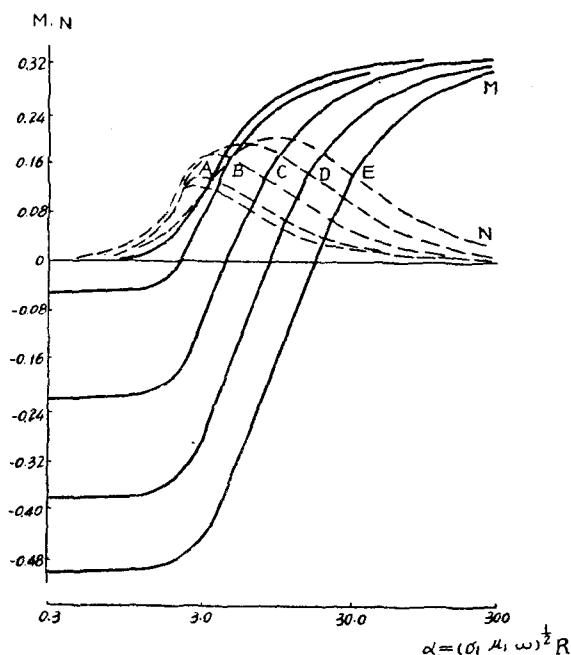


图1 M 和 N 与参数 $\alpha = (\sigma_1 \mu_1 \omega)^{1/2} R$ 的关系曲线

曲线：A、B、C、D、E=分别表示

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = 1.0, 1.25, 2.5, 5.0, 10.0$$

随频率增高到一定值，导电磁性球将产生涡流，它随频率增高而增大，但其所产生的磁场的方向与球体产生的磁化二次场方向相反。频率增到一定值，实部绝对值逐渐减小，并在某一频率其值趋于零，通常称此频率为临界频率。由于频率增高，涡流增大，虚部逐渐增大达极大。

频率增高到高频段，球体产生的磁化磁场已小到近于零。二次场几乎完全由感应涡流磁场产生，实部达到极大而趋饱和，虚部由极大逐渐减小而趋于零渐近线。

当球体的导磁率等于空气的导磁率($\mu_1 = \mu_2$)，而导电率比周围介质的导电率大得多的情况下，(4)式可简化为下式：

$$M + iN = \frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{3} - \frac{\cos h\alpha}{\alpha \sin h\alpha} \quad (6)$$

展开后分别求出实部 (M) 和虚部 (N), 并计算实部和虚部的比值, 得到如图 2 所示曲线。可见当频率和球体大小一定的情况下, $\frac{M}{N}$ 的比值随导电率 σ 的增大而增大, 也就是 $\frac{R_e}{I_m}$ 比值的大小在一定程度上表征了引起实、虚分量异常地质体的导电率高低的概念, 这对粗略了解异常性质有一定意义。但不能简单地用比值 $\frac{R_e}{I_m} > 1$ 或 < 1 而确定是矿或非矿, 要判别是矿和非矿异常, 必须结合当地的地质、物性资料作具体分析。

实部 (M) 和虚部 (N)

随相对导磁率 $\frac{\mu_1}{\mu_2}$ 的变化关系

是: 当 $\frac{\mu_1}{\mu_2} > 1$ 时, 在低频范围内, 频率对 R_e 的影响很小,

而且 $\frac{\mu_1}{\mu_2}$ 比值愈大, 不受频率

影响的范围愈宽, 实部 (M) 的绝对值也愈大。虚部的极大值和实部的临界参数随 μ_1/μ_2 比值增大而增大(向右移), 可见它们是 μ_1/μ_2 的函数。同时我们也知道, μ_1 与磁铁矿含量有关, 所以它们也是磁铁矿含量的函数。这些规律对于解释复杂的异常现象具有重要的实际意义。

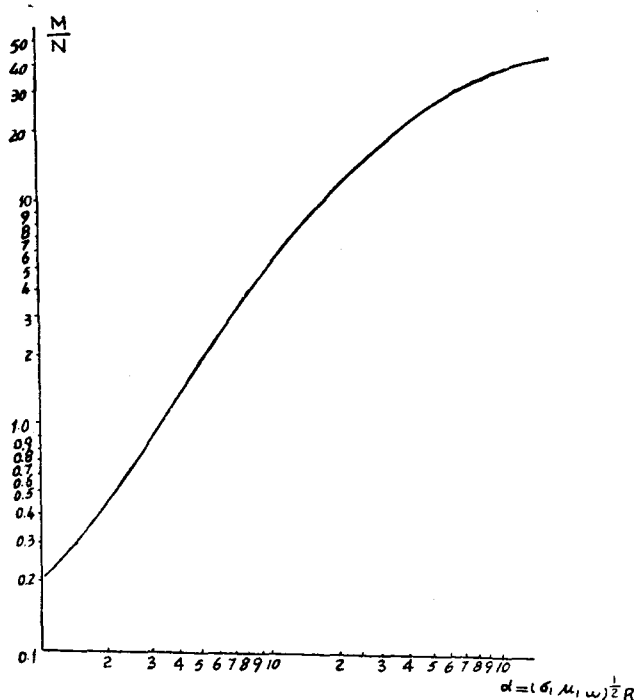


图 2 当 $\mu_1 = \mu_2$ 时 M/N 随综合参数 α 的变化关系

航空综合站在不同地质体上的响应

一、在一个含铜黄铁矿上的响应

矿体产于石英砂岩与花岗斑岩接触带。矿体呈似层状, 近地表均氧化成褐铁矿, 其下为疏松状含铜黄铁矿, 底部多为致密块状矿石。矿体倾角多数在 $50^\circ - 60^\circ$ 。矿石电阻率在 1 欧姆·米以下, 花岗斑岩和砂岩的电阻率在 $n \cdot 10^2$ 欧姆·米以上。除局部地方有磁黄铁矿外, 就整个矿床而言为典型的无磁性良导体。四个矿体组成长 1 公里多的矿带, 并以四号矿体为主。然而四号矿正处于山麓, 给降低高度飞行带来困难, 仅 13 线正位于山的尖灭位置, 且矿体埋藏不深, 从这里飞过的航线取得了明显的实分量异常 (图 3)。

由于矿床的主要部分都位于大面积淤泥和湖水掩盖下, 淤泥层的导电率仅次于矿体, 约 20 姆欧/米左右, 所以在湖面上的磁场虚分量普遍增大, 矿体引起的不大的虚分量异常

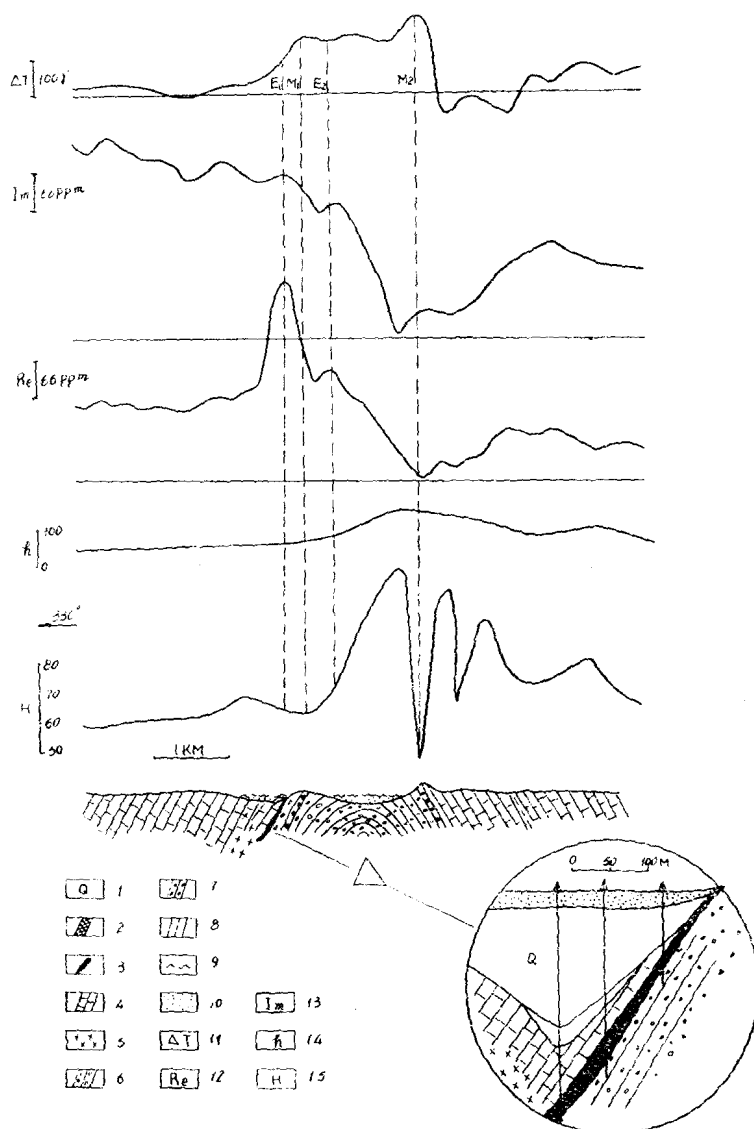


图 3 一个含铜黄铁矿上航空综合站磁、电异常曲线和地质综合剖面图

1—第四系；2—褐铁矿；3—含铜黄铁矿；4—灰岩；5—花岗闪长岩；6—砂岩；7—含铁石英岩；8—页岩；9—湖水；10—淤泥；11—磁异常；12—实分量；13—虚分量；14—飞行轨迹（海拔高）；15—飞机距地面高度

图 3 附表

		E ₁	M ₁	E ₂	M ₂
实测结果	H(M)	64	63	67	48
	Re(ppm) (已减背景值)	188		158	0
	Im(ppm)	x		224	0
	ΔT(γ)		150		200
计算结果	σ _c (%)	40.5			
	I _m ^h (ppm)	66			
	h(M)——埋藏深度	26			
	Re/I _m	2.8		0.7	

完全被淤泥层引起的虚分量异常掩盖。导电淤泥层对实分量的影响相对小得多,所以矿体引起的实分量异常 (E_1) 仍清晰可辨。根据已知矿体的导电率 $\sigma=2.7$ 姆欧/米和厚度 ($t=15$ 米) 所确定的视电导 (σ_s) 等于 40.5 姆欧, 利用 60° 倾斜半平面相位矢量图求得虚分量 $I_m=66$ ppm, 可见实分量和虚分量的比值 $\frac{R_e}{I_m}=2.8$, 同时也说明矿体为较好的良导体。

但 66 ppm 的虚分量异常, 相对于淤泥和湖水等导电覆盖层引起的 300 ppm 以上的虚分量异常, 则是一个很小的异常, 仅有背景异常的 1/5, 再加上导电覆盖层不均匀性的影响, 这些诸多因素使得在矿上虚分量异常显示不突出。利用实、虚分量求得的矿体埋深为 26 米, 与氧化带下原生矿埋藏深度 (30 米) 很相近。

E_2 异常实、虚分量比值为 0.7, 显然不是矿体的响应, 而是淤泥层和淤泥层的局部电性不均所引起。

航磁异常宏观地反映了石英砂岩, 但在宽大的异常背景上, 在两侧还有两个局部异常 (M_1 与 M_2)。这个局部异常在其它测线显示得更突出 ($\Delta T=300-500\gamma$), 但并无相关的电异常, 实际是两条沿走向长数百米的含铁石英岩的反映。因砂岩两侧均为无磁性的灰岩, 含铁石英岩磁化率随磁铁矿含量变化较大 (由 $n \cdot 10^{-4}$ CGSM $\sim n \cdot 10^{-3}$ CGSM), 所以能引起几百伽的磁异常。但它仍属低磁性高阻岩层, 故不可能引起航电异常。就是在相邻测线有 500 伽左右的局部航磁异常, 也没有对应的航电异常。通常在得知引起磁异常地质体深度的情况下, 有可能对磁异常直接作出评价。

根据实测高度曲线整理的飞机飞行轨迹看出, 飞机仅在飞越比高 100 米的一座山时高度升高, 其它都近于保持水平, 实、虚分量的一些局部变化都是地表湖区局部电性不均所引起。

二、在一个磁铁矿上的响应

矿区位于宁芜凹陷西南缘, 这里广泛分布着安山质凝灰岩、粗面岩和安山岩, 还有闪长玢岩沿北东—北东东方向的构造线侵入, 磁铁矿就赋存于闪长玢岩岩体边缘。由十个矿体组成长为 1600 米, 宽 50—150 米的矿带。矿石为细粒浸染状, 矿体呈不规则的似层状、扁豆状产出。埋藏深度浅的几米, 局部出露地表为褐铁矿, 属低品位铁矿。

磁、电综合测量结果说明, 在这样的低品位的磁铁矿上航电同样有明显反映 (图 4)。

ME_1 异常, 航磁航电异常完全对应, 但航磁异常因受斜磁化影响出现不对称的正 (2750 伽) 异常, 航电异常与剩磁无关, 所以 R_e 异常显示出明显的对称异常, 并对应有较强的虚分量异常 ($I_m=453$ ppm)。但由于存在导电覆盖层和覆盖层电性不均的影响, 使异常范围加宽, 幅度加大。图上显示的异常实际是导电覆盖层虚分量异常 (I_m^F) 和矿体虚分量异常 (I_m^K) 叠加的结果, 即

$$I_m = I_m^F + I_m^K \quad (7)$$

磁铁矿体产生的实分量 (R_e) 应该是矿体涡流引起的磁场实分量 (R_e^F) 和矿体磁化引起的磁场实分量 (R_e^M) 之和, 即

$$R_e = R_e^F + R_e^M \quad (8)$$

由于 R_e^M 的方向为负, 故图上显示的实分量实际上是两者相互抵消后的结果, 即

$$R_e = R_e^F - R_e^M$$

当磁铁矿磁性所起的作用大于导电性所起的作用时, 则 $|R_e^M| > |R_e^F|$, R_e 为负值。

为了确定它的大小，借助于被消除了覆盖层影响的虚分量和矿体的视电导 (σ_v) 或根据飞行高度，以及与矿体产状近似的导电半平面相位矢量图，求得 $R_e^E = -120\text{ppm}$ 。从图上查出 $R_e = -354\text{ppm}$ 。

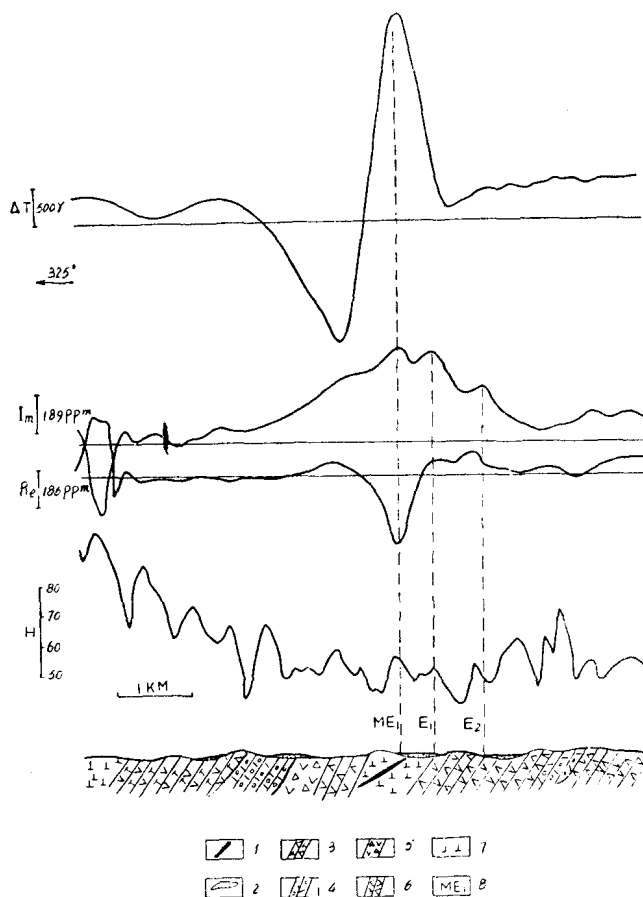


图 4 某铁矿上航空综合站磁、电异常曲线和地质综合剖面图

1—磁铁矿；2—第四系；3—粗安岩；4—凝灰岩；
5—凝灰角砾岩；6—角闪安山岩；7—闪长玢岩；8—磁、电异常号

图 4 附表

		ME ₁	E ₁	E ₂
实测结果	H (M)	55	52	48
	R _e (ppm)	-354	56	0
	I _m (ppm)	453	450	264
	ΔT' (γ)	2750		
计算结果	σ _v (Ω)	5		
	I _m ^E (ppm)	283		
	R _e ^E (ppm)	120		
	R _e ^M (ppm)	-474		
	h (M)——埋藏深度	3		

根据 (8) 式, 磁化磁场实分量应为

$$R_e^M = R_e - R_e^E$$

$$R_e^M = -354 \text{ ppm} - 120 \text{ ppm} = -474 \text{ ppm}$$

求得的埋藏深度 $h = 3$ 米。实际测线通过的山脊, 矿体已有出露, 氧化为褐铁矿。根据计算结果, 也可以证实原生矿埋藏不深。

图 5 是在图 4 已知矿沿走向往北东方向延伸 400 米的另一条测线。根据 ME_1 异常的 ΔT (1200 伽偶) 和 $-R_e$ 、 I_m 完全对应的关系, 无疑可以确定这是强磁良导体的反映。也可能就是已知矿沿走向的延伸, 或中间断开在这里又复出现。因为在这个地区除铁矿外, 尚未发现类似的强磁导电地质体。

根据模型实验和理论计算异常曲线可以确定: 在实分量和虚分量异常幅度相差不大的条件下, 实、虚分量半宽度的比值接近于 1 或等于 1。但从图上可以清楚地看到, 虚分量异常半宽度比实分量大很多, 这也是导电覆盖层影响所致。根据上述同理同法所确定的矿体涡流磁场引起的实分量 $R_e^E = 120 \text{ ppm}$, 故矿体磁化磁场产生的实分量值应为 $R_e^M = -188 - 120 = -308 \text{ ppm}$ 。求得的埋藏深度为 8 米。

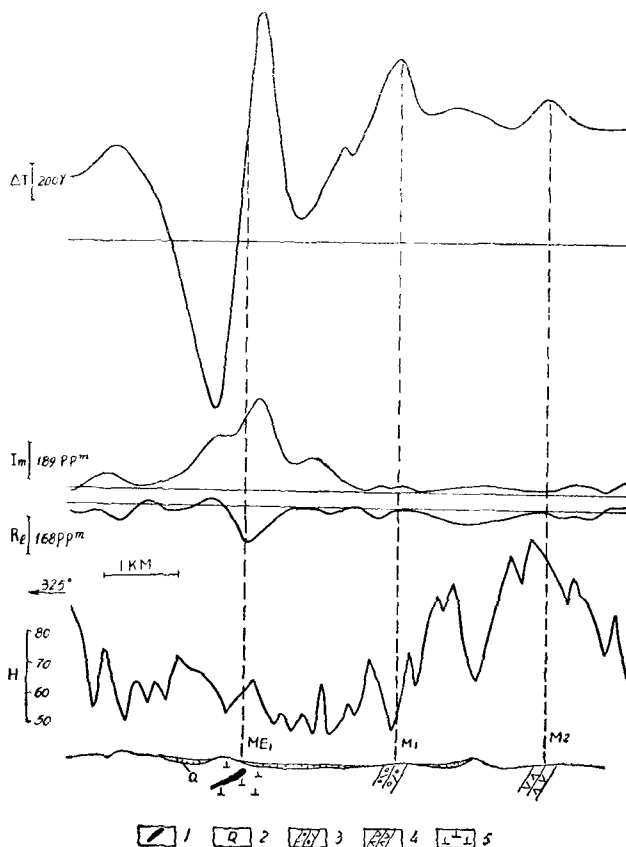


图 5 航空综合站 (磁、电) 在不同地质体上的响应

1—推测矿体; 2—第四系; 3—凝灰岩; 4—角闪安山岩; 5—闪长玢岩

图 5 附表

		ME ₁	M ₁	M ₂
实测结果	H (M)	58	52	105
	I _m (ppm)	360	0	0
	R _e (ppm)	-188	0	0
	ΔT (γ)	1220	960	760
计算结果	σ _e (Ω)	5		
	I _m ^E (ppm)	210		
	R _e ^E (ppm)	120		
	R _e ^M (ppm)	-308		
	h (M) ——埋藏深度	8		