

国外地质勘探 技术专辑

第2辑

勘探地球物理

地质部勘察技术研究院

一九八〇年一月

前 言

本专辑是一九七八年由地质部物探局、情报所和物探所等单位组织的“国外物化探情报会战”成果之一，由我院编辑出版。

本专辑共收录九篇译文。内容主要是介绍国外近两年来发表的有关物探发展总的情况和重力、磁法以及数据处理方法的综述和评述方面的文章。如加拿大P·胡德撰写的一九七七年年评和一九七八年年评，苏联B·B·费登斯基撰写的苏联物探现状和发展等，在一定程度上反映了近两年来国外物探总的发展动向。再如苏联B·H·斯达霍夫的重磁异常解释理论发展的新时期等反映了磁法重力方面的发展近况。我们出版这一专辑的目的，在于让广大读者更好地了解国外物探发展的情况，同时也为这次“会战”所编写的文章提供背景资料，以利大家共同分析研究国外物探技术发展情况，进而为我国物探研究和教学工作提供参考资料。

参加本集译校工作的单位有：地质部情报所、物探所、重庆地质仪器厂、长春地质学院物探系、地质部第二物探大队、~~辽宁、新疆、西藏~~、湖北等地质局物探队。在此，仅向有关单位和参加这一工作的同志表示感谢。

由于我们业务水平有限，缺点、~~错误难免~~，望读者批评指正。

一九八〇年一月

目 录

一九七八年物探的发展和趋向.....	(1)
一九七七年物探的发展和趋向.....	(29)
勘探地球物理学的现状和任务.....	(61)
关于重磁异常解释理论发展的新时期.....	(71)
提高深部地质填图效果的前景.....	(89)
重力场与地球的地质发展.....	(97)
地球的重力—地球化学演化.....	(106)
线性规划在重力反问题计算中的某些应用.....	(111)
地热地区的重力勘探.....	(127)

一九七八年物探发展和趋向

P·胡 德

一九七八年整个金属矿勘探活动除去铀矿勘探之外,似乎一直处于与前几年同样的低水平上。由于航空地球物理承包商在世界各地(例如伊朗、南非和北美)为大部分政府机构所作出大量的 γ 射线能谱仪勘探工作,使这种不景气状态多少缓和了一点。然而各制造商所销售的仪器,都保持在相当的水平上,特别是放射性仪器和地面电磁仪器。特别感兴趣的是加拿大中西部,因为在那里发现的铀矿,通常与石墨、硫化物和新层带有关系,故航空电磁的测量在那样地区已成为铀矿勘探一个重要的工具。

瑞典ABEM公司报道,一九七八年在他们的金属矿物探仪器销售方面是令人失望的一年,ABEM公司金属物探产品销售量的减少,多半是由电阻率仪器、地震折射仪器和用于找水和工程调查用的其它仪器的需要量的增加来补偿。一九七八年ABEM公司的总营业额大约为一千二百万瑞典克朗(合二百八十万美元),自一九七七年以来增加了百分之十三。一九七八年该公司介绍的新产品是配备信号平均系统的Terrameter SAS300型和SAS2000型数字电阻率仪,而TrioSAS624型是ABEM公司的Trio地震折射仪,它使用一个数字叠式存储器(digital stacker)和一个信号平均系统。

南澳大利亚的澳大利亚勘探服务公司(Austral Exploration Services Pty)报道,一九七八年澳大利亚在勘探方面是继续上升的趋势,但是比一九七七年的上升速度较慢,最值得注意的是航空地球物理勘探方面的需要量增加。

一九七八年,澳大利亚增加了对东方和中东国家出口量达百分之四百。澳大利亚勘测有限公司(Austral Airsurveys Pty Ltd)完成了澳非斯盆地132,000公里的航空测量,而目前正在南澳大利亚作17,000公里的航空磁法和放射性测量。

一九七八年七月,加拿大多伦多的巴林杰研究有限公司(Barringer Research Limited)的总经理A·R巴林杰博士(A·R·Barringer)宣布新创的巴林杰马振它有限公司(Barringer Magenta Ltd)是一个为地球科学服务的公司。巴林杰马振它公司是一个地道的巴林杰研究公司的子公司。巴林杰研究有限公司自一九六一年成立以来,专门从事地球和环境科学方面的研制工作,研制了电子仪器、光学仪器 and 金属矿勘探设备。巴林杰研究公司在研制方面的杰出的成功,竭力在人们的脑中产生一个印象,就是该公司的活动主要关于研究和理论方面。这种理解已证明对于勘探和分析服务分部是特别不利的。所以为了在有关的服务的活动中重新确立他们的地位,一九七八年把所有的勘探和分析工作都被调到一个自治合作机构中,即为巴林杰马振它公司。马振它的名字对采矿勘探集团来说是众所周知的,因为前几年它在加拿大积极从事于勘探工作。巴林

杰马振它公司将为工业提供分析（包括地球化学和化验）、野外和咨询服务以及航空地球物理和地球化学的测量。

南澳大利亚的乔爱克斯有限公司（Geox Pty Ltd），在一九七八年不断扩大服务范围。并且确信这种观点，即单一的方法，在勘探工业中是站不住脚的。乔爱克斯公司增加了他们自己的基本购置设备，包括一架第二代的飞机设备，用于低平飞固定翼或直升飞机的磁测，使用了一个轻的盒式磁带记录器，用ASCⅡ（美国信息交换标准代码）以800位/英寸记录；一个声速探头，此探头是用来找煤和分析用的三个记录轨之一；具有32K磁心的和20M比特磁盘的一个第二代的数据通用公司（Data General）的计算机，以使现有数据处理能力增加一倍。

英国亨廷地质和地球物理有限公司（Hunting Geology and Geophysics Ltd）报道，他们78年是又成功的一年，而且增加了现有的勘探服务范围。铀矿、金刚石、贱金属和其它工业矿床的地面和航空测量，已在欧洲、非洲、中东和南美都承担了任务。一个延续两年的综合性勘探计划在中东已取得了完满的成功，包括航空物探、地面物探、地球化学以及地质测量，以圈定矿体位置和描述矿体，然后再用钻探和槽探去评价几个有希望的矿床。

亨廷公司积极从事在欧洲、非洲和亚洲的地形崎岖地区的设计和经营直升飞机的物探测量，并把重点放在细致的数据收录和快速的就地数据分析方面，而固定翼测量继续成为全世界基础的要求。地面物探的种种设备在一年之内就装备完毕，其中包括“最大最小电磁仪”、激发极化仪和磁法测量以及测井仪。

加拿大麦克发尔地球物理公司（McPhar Geophysics）报告，一九七八年是一个极为成功和有利的一年。一九七八年销售量超过了一九七七年，尽管去年没有任何单项定货能与1977年售给帕莱克拉地震公司（Prakla Seismos）的八套航空系统的利益相比。销售量和利润的显著增加，主要归于铀矿勘探活动中继续蜂拥的浪潮。麦克发尔公司的SpectraⅡ型放射测量系统与磁力仪和导航设备一起，安装在一个Brazilian Piper Navajo飞机上，为政府机构DNPM专用，它现在正在巴西进行勘探。阿根廷Aerofotogrametrica公司拥有的DC-3型飞机配备了3000立方英寸探测器的麦克发尔SpectraⅡ系统、磁力仪以及导航系统。装有SpectraⅡ型放射性测量系统的麦克发尔公司的DC-3型飞机已出租给阿根廷一个主要承包商用在庞大的计划中。一九七八年，夸特雷测量（Quadrem）系统在两个主要的公司飞行，并取得了令人鼓舞的结果，用于生产系统的设计工作现在正在进行之中。放射性测量仪器的销售和出租主要由用于贱金属勘探，特别是电阻率法和激发极化法的地面仪器的销售和出租来支持的，麦克发尔公司保持了研制的高水平，同时在一九七九年将为铀矿勘探工业出售一部新的放射测量分析记录器。在软件开发活动中，将随着一九七八年的数字设备软件开发系统的购置而发展。麦克发尔公司有一个广大的程序库用在航空数据收录仪器上，并且为广泛的计算机系统提供了新一代数据处理程序，起到了推动作用。

一九七八年，加拿大先达利公司（Scintrex Ltd）由于在销售量、利润和在生产能力方面的大幅度增长，创造了新的记录。尽管增加了产品，公司的现行定货积累在年终仍然保持在高水平上。该公司的仪器不断改进，主要是由于全世界对先达利公司的物

探和化探勘探设备的需要持续增长,这些设备与该公司在加拿大和澳大利亚的物探咨询分部的出色成绩是相联系的。第四季度在安大略的康科德完成了比现有的使用面积增加了50%的工厂建筑任务。

台拉—乔泰雷克斯(Terra—Geoterrex)公司渥太华基地的地球物理纽约小组报告,一九七八年的营业额与一九七七年以恒定的美元值比较稍有增加。整个航空地球物理工作同前一年一样,大约都停留在相同的水平上,而地面物探工作极大增加了。Mini—Sosie收入急剧增加,海洋物探的新的探索有助于—一九七八年收入总数。在年初为了更好地为石油公司的油田和矿产工作服务,在卡尔加里开设了一个分部。从地理上讲,它的业务是为台拉—乔泰雷克斯公司在欧洲、中东、南非、东非、南美、澳大利亚、美国和加拿大保持着专业勘探的多样化。

航空地球物理探测和技术

巴林杰马振它有限公司正在美国进行超低平的磁法和 γ 射线测量。这些测量是独自进行或者是与航空地表微迹测量一起进行的。工作的飞行高度实际上保持在10米左右,甚至于在崎岖不平地区也是如此。磁力仪探头用硬固架安装在直升飞机前方。当地面微迹(Surtrace)、磁力仪和 γ 射线能谱仪同时使用时,这些设备就被装在一架Lama直升飞机上,而不用地表微迹时,既可装在Lama直升飞机上,也可装在涡轮式Hiller 12 E型飞机上。超低平飞行的磁法测量比一般的航空磁测提供更高的清晰度,但是不受近地表的作用所控制,而这种作用在地面磁测中是显著的信号。同样,超低平 γ 射线测量比飞行高度较高的航空 γ 射线测量,能在地表上探测更小的放射源,因为测量系统的感应小探头是小得多,以致使局部地面的放射源的辐射没有被冲淡或者在较大面积上被平均。

一种新的电子导航系统被命名为飞行旗手(Flying Flag man),此设备由得克萨斯的代尔诺特技术公司提供(Del Norte Technology Inc),用在各类的航空测量工作。使用两个6.8公斤携带式地面脉冲收发器和一个航空微处理机得到定位信息,同时该信息以操作指针的形式为驾驶员提供精确的引导正信息,作为起点和终点或者其它有意义的点。定位数据也以一系列的ASC II型格式向数字记录器输出。在50公里范围之外,导航精度不超过 ± 3 米,横向航迹分辨率不超过 ± 0.5 米。代尔诺特飞行旗手导航系统目前正在美国、加拿大、英国的直升飞机上或者固定翼飞机上进行种种应用。

安大略的多伦多的北路服务公司(Northway Survey Corp Ltd)报告,在一九七八年期间,该公司在航空物探资料收集、编纂和解释方面是非常积极的,该公司进行的所有测量都需数字数据收集和继续使用前几年趋向使用的体积23000立方英寸的大能谱仪探测器。一九七八年北路公司使用三台体积为3000立方英寸晶体系统的DC—8型能谱仪设备和一架装有2000立方英寸晶体的海岛人(Islander)STOL型飞机。

北路/麦克发尔公司和阿根廷航空摄影测量公司之间的技术合作计划,在一九七七年开始。尽管合作开始的比较晚,但是它在第一个飞行季节就达到70000测线公里的数据。必要的电子计算机编译软件被安装在布宜诺斯艾利斯(Buenos Aires),同时放射测量等值线图和四个辐射测量的多道剖面图,以及三个比值目前正在生产。包括一个技

术转变—训练计划在内,要保持高生产率在任何情况下都是困难的工作,而这项计划都取得了极好的进展。

在冬季,另一个体积3000立方英寸的北路DC—3型设备在马里和上沃尔特工作。在马里的工作区中,距离最近的燃料供应点在莫普提(Mopti),它离测量基地在撒哈拉的塔乌担尼(Sahara, Taoudenni)有600公里远,一架第二代的DC—3型喷气机用来专为测量基地运输燃料、水、食品和其他供应。

一九七八年,桑得尔地球物理有限公司(Sander Geophysics Ltd)在加拿大所找到的唯一的铀矿是漂浮的,但是这个公司遇到需要大量航空地球物理测量要在不经常采矿地区,如格陵兰、英国和东南亚地区。那些地区的合同导致了该公司的航空测量业务很大的增长。一九七八年在英国的合同包括直升飞机载的甚低频、磁法和能谱仪测量。这次测量是为地质科学协会在英格兰、威尔士和苏格兰三个采矿地区作出的,其中突出的是利用附近的甚低频发射站,而在离发射站100—200公里远处进行测量。在这个距离上,利用地面电磁波,而不用空中电磁波。大部分VLF测量离发射站的距离远得多,而传导性的差异影响了测量结果。在英格兰的测量包括由罗马人建筑在基底为粗玄岩床上的海得瑞墙(Hadrian's Wall)的一部分,岩床上有一些矿产远景。

一九七八年间台拉—乔泰雷克斯公司在航空操作上做了一些重大改革。在航空电磁测量中,乔尼克公司的EM—33直升飞机电磁仪(表1),按需要与磁力仪或者能谱仪一同提供。同年,该仪器一直在加拿大、美国和欧洲持续使用着。预期在一九七九年,改为两个频率和两套线圈装置。在Shrike Commander飞机上的磁力仪/能谱仪的航空装置,可由澳大利亚的台拉—乔泰雷克斯制造,而且整年是由它完全占用的。装在Britten—Norman Islander飞机上的类似设备现在南非使用。以上两种机载的放射性设备都为2000立方英寸的碘化钠晶体。

航空数据收录和编汇系统

亨廷公司增进了和在各方面改进了256道能谱测定的数据收录和数据处理的能力。像前几年一样,在航空磁法和能谱数据的编汇中使用一套计算机程序继续得到发展。计算机程序的进一步发展,有助于重力、电阻率和航空磁测数据的解释。

麦克尔公司已发表了一个第三代先进的具有绘图功能的绘等值线软件组件,如修整等值线图使其拟合于多边形图轮廓之内,在玻璃窗内写下真实的封闭线的极值,良好的选择性,以及为大、小计算机系统有效的完成迭加编码。麦克尔公司把Fortran组件安装在几套在加拿大和国外的IBM、CDC、DEC电子计算机硬件中。绘等值线程序是用自己绘图字符和网格惯例装备的,从而保证用任何特殊的绘图器一起工作时,绘图软件的程序的独立性。

随着今年初加拿大索诺泰克公司(Sonotek)介绍的以微处理机为基础的数据收录系统,即型号SDS,该公司现在已经大量地供应了这些系统并与各种仪器组件接口,其中包括乔尼克直升飞机EM系统和先达利GAD—6能谱仪。该公司正在继续工作的是研究新软件组件,以充分利用野外现有的计算机能力。其中的一些程序包括数字滤波、模拟电磁信号的峰值抑制,IBM兼容的九轨上的拷贝盒式磁带或微型盒式磁带,检验用

的磁带，计算放射测量比值和为钻孔分析计算矿石品位百分比。在野外设一个软件多程序计算机作为数据收录系统的中心，，这种想法已成为首创，索诺泰克公司不断地立足于这种思想，利用已有的计算机去做更多的脱机处理工作。用这种方法，野外物探工作者可有直接的结果，而不要等待从遥远的数据处理中心送来的资料，野外数据的就地的予处理现在也成为现实。

新的Sonotek SAS—1000系列数据系统是一种万能的、以微处理机为基础的、软件控制的收录/计算机系统。此系统可以作为一个硬程序数据记录器可给单个仪器或多个仪器配备使用，或者它可以容易地扩展到复杂编译程序，即全部仪器功能的控制，数据收集过程中需要的控制，例如在航空测量上的应用。随机存取半导体存储器的优点在于：给用户提供最大的方便，设立和修改他们自己的程序，且成本低不用改变硬件。基本的Sonotek SDS—1000系统包括中央处理单元和存储器、字母数字键盘和显示器、实时钟、平行数字输入设备和磁带接口装置。

较完善的Sonotek SDS—1200测量数据系统，除有同样的基本元件外，还加上扩展的数字输入设备，模拟输入设备，脉冲累加器和一个可靠的照相机控制系统。这些能力再加上测量软件组件，使系统特别适合以恒定时间和恒定距离为间隔的测量工作。存储器容量率达到24K或者更多，结合Z—80微处理机的速度，使用户得到通常的数据收集和形式功能之外，还能做实时数据处理。由于这一用途，装有一软磁盘存储器的软件开发扩展组，对有经验的用户是可以应用的，这些用户希望能超过已利用的标准软件范围。

Sonotek SDS—1000系列的关键特征为所有的数据收集程序，校验，中间转换，记录和校验是由软件起动的，所以对标准工厂提供的程序，只要用很少一点额外费用，就很容易把它改变为适合任何的特征需要。

台拉—乔泰雷克斯公司把以计算机为基础的数字数据收录系统(MADACS)装在他们自己的航空放射性、因普特电磁系统和高灵敏度的磁测系统中，由于使用了MADACS，极大地增加了数字记录和野外校准、打印和处理的可靠性。

一个灵活的等值线注释图，用三角形记号的标明封闭圈数值的降低，和在规定因普特参数中的灵活性，为许多用户提供选择。辅助的格栅程序专门设计用于沿常规平行间距的格栅状地球物理数据采样。由这个程序产生的输出格栅，精确地出现完成不沪波的输入剖面。沪波的剖面数据和2维格栅沪波是格栅程序可选择的特征。为了进一步的扩大普遍的使用，随机分布和局部安排数据的新的格栅方法是在最后的试验阶段。根据横向数据截面的原理和使用在局部方法的内差法，万能格栅程序将可适用于各种物探或非物探的数据。加上可选择良好等值线图的绘制，麦克发尔公司组件在目前绘等值线图中克服了固有许多约束。

一九七八年索诺泰克公司继续扩展了在物探上应用数字方法进行工作。该公司的制造和研制机构在人力和厂区面积和两方面都已增加了两倍，正着手于新一代的非常成功的综合地球物理测量系统(IGSS)的工作。由加拿大国家研究委员会资助的计划，在数学沪波和增强信噪比方面的分析工作一直在进行，新一代Sonotek综合地球物理系统正付诸实施(该IGSS第一次是一九七六年介绍的)。

表1 市场出售或承包的航空电磁测量系统

飞行电磁系统方式	制造商或承包商	测量平台与飞机型号	飞行高度(米)		发射—接收间距(米)	频率(Hz)	测量参数	噪音平(ppm)	复盖层响应	所需功率
			发射机	接收机						
垂直网轴	凯丁—先达利(加)	三—坎索固定翼	50	50	25.3	500 2000 8000	虚分量 实分量	20	小, 但随频率增加到中等	28V直流 500W
			30	30	9.1	900	虚、实分量	2	小	28V直流 340W
	巴林杰(加)	—Aeroda 1 直升飞机	30	30	6.1	400—4000 (常规736)	在两个时间常数 虚、实分量	≤0.5	在低频时较小	28V直流 225W
			30	30	9.1	4000	虚、实分量	5	中	28V直流25W
刚性偶合	乔尼克(加)	—LHEM200 直升飞机	30	30	9.1	1000	虚、实分量	5	小	28V直流60W
			30	30	9.1	500—4000	虚、实分量	1 (实分量) 2 (虚分量)	低频时较小	28V直流 75W
	桑德尔(加)	—HEM—802 直升飞机	30	30	7	735, 3220	虚、实分量	1	低频时较小	28V直流 35W
			30	30	8.2	900	虚、实分量	1	用差分测量信号时可消除	28V直流 370W
多线硬固架偶合	速吉赫(加)	—Dighem I 直升飞机	30	30	8.5	95,285, 855,2565, 7695	虚、实分量	500	中	28V直流 2000W
			140	50	270; 90米之上 及以下	每秒钟sin	在6个间隔上 瞬变衰减	50	大, 从1道到多道迅速减小	56V直流 3000W
	麦克发尔(加)	—Quadrem 固定翼	120	50	75米之上 及以下	每秒钟sin	在6个间隔上 瞬变衰减	50	大, 从1道到多道迅速减小	56V直流 3000W
			120	50	75米之上 及以下	每秒钟sin	在6个间隔上 瞬变衰减	50	大, 从1道到多道迅速减小	56V直流 3000W

固定翼安装 最大偶合	乔泰雷克斯 (加) 泰奎姆(加) F-mal 19	三 岛 人		50	50	21	320	虚、实分量	20	小	28V直流 500W 28V直流
				50	50	11	625	"	35	小	
地面回线	先达利(加)	—Turair II 直升飞机		地面回线	30	接收线圈 为2.4米	200 400 800	场强比相位差	0.1%FSR 0.1°PO		28V直流 15W,地面回 线用发电机
		—E—相位 无线电相位, 直升飞机或 固定翼		N/A N/A	90 90	∞ ∞	同时三个 频率 14-28KHz	虚分量 虚分量	0.01% 0.01%	不同频率 中 不 变	28V直流 42W
甚低频 (VLF)	乔尼克(加) 贺兹(加)	—EM18 直升飞机或 固定翼		N/A	30— 300	∞	12—25 KHz	虚、实分量	0.5%	大	28V直流50W
		—Totemia 直升或固定翼		N/A	30-300	∞	12-25 KHz	总场、 垂直异向	随发射机 距离而定	大	28V直流 14W
	麦克发尔 (加) 先达利(加)	—KEM 直升或固定翼		N/A	30-300	∞	12-25 KHz	倾角、 振幅	接收线圈 0.5μV	大	28V直流 10W
		—SE90 直升或固定翼		N/A	30-300	∞	12-25 KHz	在虚,实分量 中垂直场与水 平场之比	≤ 1 %	大	28V直流 30W

鉴于多道 γ 频谱获得更广泛的收录,新问题随之产生了,因为尽管收集的信息多得多,但是在同样的收集时间和容量上这些频道中也增加统计的噪声。为了最后评价得到可利用的图件,频谱必须要进一步作处理。通过沪波得到的结果,比原使用的经验常数更为优越,现在普遍使用的是观测窗法,而这些处理需要大量的计算机操作,到现在为止,这些工作是在数据处理中心的大型计算机排斥范畴中。Sonotek IGSS I型使用了具有硬件算法,32K存储器的众所周知的LSI-11处理机,现在将安装在直升飞机上和相比较小的固定翼飞机上。有效的仪器装置,短的工作时间和使用高水平软件,意味着沪波的频谱能实时获得,而不干扰原始数据,这些原始数据可以分别记录下来,通常为进一步处理而用的。IGSS-11型的另一个特点是使用了的 512×512 点矩阵的高分辨率等离子体图象显示,该显示器使操作人员恒定的监控其沪波频谱,极简单地校准和检查分辨率。

在SDS和IGSS-I两系统中都包括Sonotek的新的PMH-5000型质子磁力仪。设计了利用数据系统中计算机,PMH5000型在1秒钟取样时间的灵敏度为 0.1γ ,1伽玛采样速度为0.2秒。它是自动调整和自动选择范围的,所以对于操作人员来说不需控制和调节。

航 磁

一九七八年间加拿大地质调查所已出版了268幅航磁图。其中有63幅是 $1:25,000$ 比例尺的高分辨力的,174幅比例尺为 $1:50,000$ 和8幅比例尺为 $1:250,000$ 的总磁场航磁图。另外有23幅是垂直梯度航磁图。

取得80000多线公里的高分辨率数据的航磁测量是在新墨西哥州西南,由EG & G Geometrics公司承担的。这个计划是去年在亚利桑那州七个邻近地区的采矿公司集团完成的合作测量的继续。最近这一探测是为了得到地下的附加地质信息,而有助于铜矿勘探计划。加之邻近的亚利桑那州勘探一起,一九七八年航磁测量包括从来没有在亚利桑那和新墨西哥州的斑岩铜矿上做过这样的测量,这些测量也许是最精确的。线距为540米,飞行高度距地表精确距离为150米。在相对高度中的十分精确的容差往往要求测线在飞行时以同样的方向,以取得一个恒定的地形高度。该数据编纂为总磁场强度图,并除去国际地球物理标准场,以便对地质构造、岩石类型、基底特征和可以控制的斑岩铜矿层的位置和其他因素来作最佳化解释。四道 γ 射线数据也用来扩大在闻名的新墨西哥铀矿省来指示铀矿。作为一次被重视的测量,综合的新墨西哥和亚利桑那州勘探有160,000多线公里。成果图在完成飞行后大约四个月内就交货了。

由亨廷公司发展了乔麦曲克斯公司的G803机械磁力仪,它提高了仪器的灵敏度达 0.05γ 。由亨廷公司出售的其它高灵敏度仪器包括铷蒸气台式磁力仪和高灵敏度的CENG航空以及台式磁力仪,其灵敏度都为 0.01γ 。

在一九七七年九月,美国国家宇航局(NASA)将发射一颗称为“磁卫星”(Magsat)的人造卫星,卫星装有一个标量的铷蒸气磁力仪和一个三轴间量磁通门磁力仪。磁卫星为低空的($325 \sim 525\text{Km}$),通过地球两极(970° 倾角)全稳定地球定向轨道,预计寿命是4—8个月。预定卫星在飞行高度上每个分量上精度是 6γ 和的平方根,而当卫星

继续向下到地面时,以地球的核心磁场的表示,在每个分量上精度是 20γ 。

加拿大的瓦林公司 (Varian Associate) 作为Ball兄弟的研究公司一个承包商分部的工作,已经研制了高级的双二元铯蒸气磁力仪,其极限灵敏度为 0.005γ 。这以独立的单个磁力仪合并排列,用来测量磁场矢量而它与定向无关。当死区半角小于 5° 时,方向误差已经降低到 1γ 。此仪器已由NASA哥特空间飞行中心在各个温度下。真空和振动条件下进行了试验。结果数据特别适用改进的国际地磁标准场精度中,它用来表示在地核磁场地面上的分布,因此当绘制区域磁场解释图时,采用了消除地球磁场的影响。

航 空 电 磁

表1归纳了目前出售和承包服务的航空电磁法系统的基本特点。

今天在加拿大的物探中,在阿萨斯卡砂层几百米以下的铀勘探是主要的任务之一。一九七八年各种电磁性方法在萨斯喀彻温 (Saskatchewan) 帮助寻找深部矿体。至少有两种模式已建议用于电磁法。这是: ①探测在基岩或砂岩里由断层和剪切力来表示的弯曲带。②探测与铀矿共生的高导体如石墨、硫化物或断层带。

巴林杰公司的因普特系统,由两个领有许可证者操作,夸斯特和乔泰雷克斯公司仍旧承担大部分西方世界的固定翼EM测量。巴林杰研究公司报告,在一九七八年因普特系统飞行的线公里数比该系统历史上飞行数多得多。这些包括铀矿勘探以及很多传统的矿产勘探,对于该系统急剧增加的要求。

一九七八年间,巴林杰马振它公司增加了E—相位 (Phase) 系统的应用。此系统装在一个Britten Norman Islander飞机上。在加拿大和美国两个国家里承担水力发电航道的结构和砾石工业的勘察。E—相位系统可以与VLFEM系统、无线电相位,及装在尾部硬架传感器探头的磁力仪一同进行飞行,如果需要的话还可加上 γ 射线能谱测量。

巴林杰公司的库特雷 (Cotran) 时间域航空电磁系统使用包括多频率分量的方波一次感应电磁场,在飞机下方的地下导体中产生涡流,这些涡流产生了显示变形波形的二次电磁场,此波形变形与导体的体积、形状、导电率和导磁性变化有关。良导复盖层、硫化矿体和其它良导地质构造产生各自可区分的响应系列。此响应系列可在计算机中,对照参考波形进行匹配。所以它就构成了一个模式识别和匹配滤波的技术,并在全部数字中是唯一可行的。波形的标准组可以由各种类型的导体电磁响应的理论模式来制作。作为一种代替的话,从已知导体上飞过得出的野外存储波形也可以使用。

库特雷是巴林杰公司因普特系统使用数字信号处理技术的一个改进型。一些重要的优点是“库特雷”使用特点而带来的。在因普特系统中,仅仅利用了由原始脉冲产生的二次场的瞬变部份的信息;而在“库特雷”系统中,利用了二次场的全部虚分量以及实分量中的大部分。由巴林杰“库特雷”发射机产生的输入功率的平均偶极距高得多。最后,该系统在数字方法中,利用适当软件得到的复盖层的地质噪音的分离,比在因普特系统解释中得到的噪音分离更有效,因为在因普特系统中很大程度上依靠着解释员的经验。

“库特雷”系统在几方面综合了已有航空电磁系统后而作了改进，包括：大大地增加了发射机的效率，测量二个正交的二次场的分量，接收机全部数字化。接收机能做到信号平均、数据压缩并加上了一个读写磁力数据校验系统。在“库特雷”系统中，地面计算机处理技术，用来匹配已接收二次场的波形，和与存储的标准波形匹配，那些标准波形是包括各种地质构造和条件的响应。这些基本原理是利用计算机对联合的衰变曲线波形形式的识别从二次场中分离出一次场。“库特雷”波形匹配把衰变曲线分离出实分量，并对曲线每一部分区分导电率响应系数。乔泰雷克斯公司的坎索飞机已装配了完整的巴林杰“库特雷”系统与新的“库特雷”吊仓，系统的试验飞行已局部地开始。预期在一九七九年初，在已知的目标上方进行初次试验飞行，同时预计“库特雷”系统的测量合同在一九七九年下半年将可以实行。“库特雷”程序由巴林杰、乔泰雷克斯和法国的阿基坦（SNEA）提供资金。

加拿大迪吉赫有限公司（Dighem Limited）报告，现在他们有两个迪吉赫Ⅱ系统在工作，而且还得到一架Lama直升飞机，准备在高山地区进行测量工作。这两个系统全部是数字记录，在AlouetteⅠ直升飞机上装有一台Geometrics G704型七轨200比特/英寸记录器，和在Lama飞机上装有Geometrics G—714型九轨800比特/英寸记录器。数字数据使计算机能绘制测高仪的剖面图、磁力仪剖面图、四个基本实分量和虚分量剖面图和实、虚分量不同道剖面图（这是游离的地质噪音）、导电率和电阻率剖面图。同时，计算机也产生电磁异常图和电阻率等位线图、总磁场等位线图以及已增强的磁场等位线图。一九七八年间在加拿大、美国和法国进行了飞行测量。

加拿大地球物理服务公司（Geophysical Survey Inc）报告，他们正提供使用一个AlouetteⅠ直升飞机的航空电磁或磁力仪测量。该设备由一台Geonics EM—33实分量/虚分量系统，一个贺兹公司（Herz）的Totem 1A甚低频电磁仪、一台质子磁力仪、一个Sonotek SDS—1200型数字数据收录系统、一个unmec ACR—8纸带记录器、一个雷达高度计和一个35毫米航迹照像机组成。Geonics EM—33型系统的低噪音水平小于1 ppm，两个时间常数为0.6秒和2.4秒。使用较长的时间常数在记录的数据上减少了噪音，并能探测较深的地质体。

在一九七六年，加拿大的贺兹工业公司（Herz Industries Ltd）和Vaino Rouka公司一起研制了一个简单的、轻型的VLF航空电磁仪，即图腾（Totem）1A。该系统第一次在一九七七年介绍，到一九七八年已有12个Totem 1A在六个国家作了飞行。汉兹Totem 1A（总场电磁仪）测量总场和垂直虚分量。VLF发射站可在飞行中由操作员在控制台上选择，而相位精度是自动维持的。飞机螺旋、偏航和滚翻的噪音用XYZ接收线圈自动校正。因为它体积小、重量轻、易安装和操作简单，所以该甚低频系统是装在固定翼飞机和直升飞机上最理想的物探仪器。汉兹Totem 1A系统已经装在了直升飞机的浮筒和滑梯的机尾尖上，或安装在吊仓上飞行。操作台为机架式安装，19英寸长，高4.5公分，深33公分，整个重量3.5公斤。传感器和前置放大器为1.5公斤重，装入60公分长、直径15公分的尾尖（吊舱）中，电源为28伏0.25安培。

一九七八年先达利和亨廷公司共同协议，包括三频（Tridem）航空电磁系统在内，已经为一系列的用户完成首次85,000线公里的测量。三频系统是由先达利公司研制的一

个三种频率(500Hz、2000Hz和8000Hz)实分量和虚分量系统,以鼻一尾排列安装在亨廷PBY一埃索飞机上。三频系统的六个数据道与磁力仪、放射性测量仪、甚低频仪、测高仪、输电线探测器、传感器和温度一起,用模拟和数字形式记录下来。由于电磁噪音电平一直小于25ppm,又加上使用26米的线圈距,故使三频系统成为非常灵敏的系统。由于同轴线圈密切偶合,系统分辨率非常高。由于不用吊仓,系统作低平飞,增加了放射测量系统的品质因数。至今的测量表明,三频系统对从0.1欧姆到无限大的导电率是灵敏的,所以不仅可用于找贱金属目标,而且对铀矿、砂砾石、煤、褐煤、地下水和土木工程都能使用。即凡是存在电阻率差异的任何地方都能进行测量。

三频系统计划在一九七八年找贱金属和铀勘探的全部任务都成功地完成了。另外,还完成测绘褐煤分布图工作。三频系统可以探测埋藏的褐煤矿和粘土,因为他们导电性至少比覆盖层和周围的砂、粘土和砾石的导电性高三倍。由先达利公司研制的计算机程序,用来解释褐煤勘探中大量收集的数据。这个程序确定第二层导电率(一般更良导的)以及到地表的深度,而且还能得到解释导电率和探测深度的等值线图。该多频航空电磁系统的使用和改进了的计算机软件,代表了绘制航空地面导电率图的新方法。

夸斯特服务公司(Questor Surveys Ltd)又增加了一个巴林杰因普特电磁系统,它安装在Britten Norman Trislander飞机上,以补充两个Trislander飞机和一个Skyvan飞机,后两个系统目前正在加拿大和国外进行电磁测量飞行。一九七九年新飞机将用于研制和进行测量。因普特电磁系统正在萨斯喀彻温地区广泛使用找铀矿,并相当成功。夸斯特公司声称用这种物探手段可以寻找地表下230米深处的导体。夸斯特公司用数字形式记录了所有的航空物探数据,所以可以作最佳的计算机处理。自动地为所有异常作计算传导率-厚度参数,而在数据解释中得到深度和倾角计算值。

一九七八年间,桑得尔地球物理公司为了适应北美甚低频站已改变的发射形式(MSK),完成了航空甚低频仪器研制工作,在发射形式上改变导致了使用普通接收机接收的困难,因为在这种发射形式中缺少相位连接。这些困难现已由桑得尔公司克服,而且它现在正使用一个三分量甚低频系统,即CSP-Ⅱ。本系统适用于MSK和FSK—VLF传输,在原接收机里使用了晶体控制锁相回路,故有高的信噪比。桑得尔VLFEM系统使用了三个正交线圈接收VLF场的三个磁场分量,用计算机控制稳定性消除了飞机运动的影响。为了取得高分辨率数据,使用了低速和优良飞行特性的直升飞机,利用计算机进行数据的扫描和评价。在一九七八年间,桑得尔地球物理公司在萨斯喀彻温北部的阿萨巴斯卡盆地用几个直升飞机载的甚低频进行测量。在阿萨巴斯卡砂岩中和隐伏的古老的前寒武纪基岩内圈完了甚低频导体。

一九七八年先达利公司的Turair系统在萨斯喀彻温地区承担了两个勘探计划,因为它具有强大潜在的穿透深度和适当的响应特性,作为半航空电磁系统,Turair系统兼有地面和航空测量的优点。它使用一个大发射回线,其中一边的长度大约为几公里,用直升飞机来铺设回线,回线与一个发电机驱动的发射机相连。然后直升飞机抓起包括接收线圈的吊仓,使用机上的电子设备和记录器,在垂直发射回线和垂直地质体走向的平行剖面方向上,测量相位和振幅的梯度。发射频率可为200、400或800Hz。锁相测量系统的灵敏度为0.1%场强比,通过二个同平面测得的相位差灵敏度为0.1。测量时的水

平线圈距(测垂直分量)为2.5米。先达利公司声称Turair系统的潜在探测深度,是任何航空电磁法系统的探测深度的二倍多,同时还保持良好的分辨力和导电率辨别力。举个例子来证实这种说法,在古生代厚层覆盖下的硫化矿带,用Turair已测得的矿脉顶板埋深为150米,以后由金刚石钻机打钻所证实。

一九七八年第一次生产应用是用先达利公司的HEM—802直升飞机电磁系统(航空电磁系统)进行的,此系统是继HEM—801的系统。HEM—802是一个实分量和虚分量系统,它使用装在拖架上的垂直的、同轴的、发射和接收线圈,拖架吊在机下大约30米,而拖架离地平均高度为30米。除了十分低的噪音水平之外(9米线圈间距时小于1ppm),这一新的系统有两个频率同时测量的特殊优点(常规735Hz, 3200Hz)。这说明迄今大部分地带的导电率是能够用直升飞机电磁系统测到。用较低的频率得到的响应参数,类似常规的HEM系统,即当消除了大部分地质噪音时,此系统对块状硫化矿有较好的响应。用较高的频率激发0.1欧姆的低导电率导体,而用低频率取得测量结果,就可得到准确的导电率解释。这些增加的频率值已经在一次测量中证实,即在非良导环境中埋藏小于1欧姆的硫化矿体,在HEM—802上得到清晰的响应。而这些矿用单一、低频率系统寻找时就可能丢失。

先达利HEM—802系统可以空运到世界各地,同时可安装在象Alouette Lama, Bell 206 Long Ranger或其他的这样一些飞机,但取决于飞行高度、温度和湿度条件的不同选择。一九七八年在北美、迪拜和日本进行安装和探测。HEM—802系统与放射性仪器和磁性仪器是相容的。先达利公司出售、出租该系统或作为一个完全的探测设备使用,其中包括飞行、编汇、解释和报告。

台拉—乔泰雷克斯公司在北美、南非和澳大利亚继续提供使用机载因普特电磁系统。此外,Geonics EM—33直升飞机设备现正在使用,而Otter实分量/虚分量EM系统也继续提供市场。

航空地球化学

地面微迹是巴林杰公司在一九七七年发展和试验的一种新的航空和地面地球化学系统,一九七八年本系统在大量的常规基地使用,特别是在世界的较干旱地区,象美国西南部 and 南非地区使用。地面微迹系统已作为快速多参数勘探方法,用于寻找包括铀矿、碳氢化合物和地热能源、金和贱金属在内的浅层和深层矿床。巴林杰地面微迹系统在一个特殊构造的纸带上收集地表微层、纸带上的样品同时提取和分析23种元素(Cu、Pb、Zn、Cd、Co、Cr、Ni、Ag、Ba、Be、Zr、Th、V、Mn、Sr、Al、Ca、Fe、K、Mg、Na、Si、Ti),而U元素是单独处理。既可用激光微迹分析也可用感应偶合等离子体(ICP)光谱测定法分析。地面微迹可以是手提式和车装式的。

巴林杰激光萤光探测器,使用一个紫外线氮激光器,研制了探测萤光矿物的微迹量,它已由加拿大遥感中心(CCRS)进行鉴定试验。加拿大遥感中心报告,仪器能够在白天工作,而且可从一飞机上成功地探测水上的油膜。巴林杰公司用实验室中的激光萤光探测器在铀矿、碳氢化合物上方的地表微层土壤上实验。最初的结果是有希望的,而在断断续续的光源的频谱响应里发现了明显的差异。一九七九年用它来进行航空试

验。

航空放射测量

一九七八年一月二十四日，苏联一颗核动力人造卫星Cosmos—954号在重返地球大气层时坠毁了，其放射性碎片撒在加拿大西北地区大奴湖（Great seave lake）东北的五十公里宽的地带。加拿大原子能控制委员会工作人员，加拿大地调所和美国能源部的人员，使用加拿大武装力量供给的包括直升飞机和飞机在内的后勤装备正在搜索。装在一架Hercules飞机上的GSC型 γ 射线能谱仪系统，在大奴湖东边发现第一块放射性物质。此外，装在Huey直升飞机上的两个麦克发尔和一个先达利/索诺泰克IGSS能谱仪也在进行搜索活动。放射性碎片包括大量的同位素，这些同位素放出 γ 辐射与天然的放射性同位素相比，低能 γ 射线占很大比例。用 γ 射线300—900千电子伏和900—1500千电子伏能量的 γ 射线之比值，该比值对自然的放射源而言，保持相对的恒定值，这样可以探测到裂变产物。由Operation Morning Light可以断定，反应堆核在进入地球的大气层时发生了裂变，产生的微小碎片由北风向南吹，撒到卫星轨道以南的广大地区。整个夏天，加拿大原子能控制委员会进一步的作了监视和清扫工作，以确保所有危险的放射性物质都已取走。第二阶段，北路公司使用了一架装有3000立方英寸探测器的DC—8型飞机和一架装有2000立方英寸探测器的Hughes500型直升飞机进行工作，二者使用的都是麦克发尔公司的多道能谱仪。

EG & G乔麦曲克斯（Geometrics）公司继续履行为美国能源部（以前的ERDA）作航空放射测量探测的合同，共计80,450线公里，以助于国家的铀矿资源评价计划。一九七八年正在科罗拉多、新墨西哥、怀俄明，犹他和亚利桑那地区的落基山脉和科罗拉多高原进行探测。Geometmricks正在使用两个宇航空间Lama直升飞机，每个分别装有2304立方英寸（38L）的方形探测器和GR—800能谱仪，G—803磁力仪和有关仪器。此外，将要使用一架已装备的固定翼飞机，它装有GrummanS2F航迹仪，一个可能是迄今配备最大容量的航空探测器（4086立方英寸=67L方形探测器排列）类似的能谱仪、磁力仪和辅助系统。使用这些大容量的探测器排列，使飞机作高速度的高飞行，然而还保持所需要的 γ 射线灵敏度和统计精度。

两年前由EG & G乔麦曲克斯公司作了改进，使用很小、高功率的Lama直升飞机作了高分辨力的测量（包括2000立方英寸以上体积的 γ 射线探测器、33L光谱仪、磁力仪）。

这些测量已证明该系统是高效及有效的勘探系统。类似系统现在由世界其它航空承包商、采矿公司和铀勘探集团在使用。由于使用了紧凑的、灵敏的方形探测器，小型GR—800能谱仪和G—714数据记录系统，致使这项改革已成为可能的了。

为了校准放射性测量数据，精确地确定的背景值（大气和宇宙的）已成为传统问题。在海拔二至三千公尺的地带或在测区中有大的水面积上方，通常得到适当的一级近似值，因为在那样地区的地质信号是极小的。这问题常常不是显而易见，而有时在比值计算中，或者在地质活动少的地区出现高亮度（high light）的。北路公司研制了必要标定程序和软件，它不用另外的标准，利用从仰视晶体得到的数据，在能谱仪各道中去

分别计算地质、宇宙和大气的计算值。北路公司在70,000公里测量中进行试验的结果表明,在少水或无水面上作参考的测量中,作为背景值的仰视晶体的精度与在多湖地区用一般处理方法得到的精度是近似相等。

测定能谱仪背景值的两种方法只作为一个一级近似值,此近似值对某些应用及地质环境不适用。北路公司已研制了一套计算机处理程序:即利用从一条飞行线到另一条飞行线的放射性测量响应的相互关系,分离和除去小的二级背景值变化。这一计算机处理方法已由北路公司用在巴西和阿根廷的两个大项目中,这两处很少有大的水面。对100,000公里以上的数字处理后,其数据结果是极好的。这一处理不单独局限于微小的修整中,而且发现这一处理对磁法数据为有效,它可利用控制线调平或磁测台站校正,消除完全没有校正过的日变影响。

桑得尔地球物理公司使用慢速飞行的Bell47G 3 B 2 直升飞机和大体积的晶体,在加拿大中西部积极进行高分辨率 γ 射线能谱测量的铀矿勘探。这种旋转翼飞机每小时速度为50英里,飞行高度为40米。以这种方式工作,可能从冰川复盖层的放射性砾石中探测放射性矿,在加拿大地盾,特别是在阿萨巴斯卡(Athabasca)的探测结果特别显著,那里放射性砾石微迹在圈定铀矿床中是十分重要的。

一九七八年间,台拉-乔泰雷克斯公司在伊朗完成了一个125,000公里的放射性测量计划。这项工作使用了该公司的DC-3型喷气飞机,机上装有3328立方英寸的俯视和仰视晶体、一个先进的本公司研制的能谱仪和MADACS控制和收录系统。然后这项系统在加拿大的联邦省铀勘察计划中使用。台拉-乔泰雷克斯公司继续为北美、南非和澳大利亚的固定翼飞机和直升飞机提供大量的 γ 射线能谱仪设备,并且或装或不装磁力仪、甚低频和其他常规的电磁系统。

遥 感

加拿大北路公司(Northway Survey Corp Ltd)的分部阿特兰梯克公司(Atlantic Air Survey),两年来使用Gestalt摄影作图仪(GPM)进行正交摄影服务(见1975年评论)。该装置用电子扫描得到航空照片立体象对,并使用小型计算机来计算地形高程位移。相关器用电子仪器将摄影的影象变为正交位置,还在稳定基片上以真比例尺输出。Gestalt GPM设备是加拿大唯一的一台,也是世界上六台之一。该设备具有良好的几何精度、高分辨力、消除动态误差的优点,同时还提供了一般窄扫描正交装置的扫描图象。

摄影图(通常是镶嵌图)习惯上已成为地质勘探和地球物理勘探中受欢迎的解释底图。在这些图上,求平面精度在距离和角度二参数上还存在问题,特别在粗糙地形上更甚。正交摄影提供了有利的具有主要细节的摄影影象,而这些细节在剖面图上是表现不出来的,同时,正交摄影还提供了一个相似比例尺的优质地形图的求平面精度。

数字地形作图能力因Gestalt GPM系统而发展了,这种图一般在几个GPM仪器上都作为正交摄影的固定付产品。今年,这种作图能力阿特兰梯克(Atlantic)系统也将达到。数字地形信息具有高分辨力、高精度和廉价的特点,这对于物探工业及其它工程领域具有重大的潜在价值。高质量数字地形信息在重力资料的地形校正上有直接使用价