

赴加拿大物化探考察报告

国家地质总局赴加拿大物化探考察组

(内部发行)

503
30
3022

中国地质科学院情报所编印

1976年10月

目 录

一 航 空 物 探

(一) 加拿大航空物探工作概况	7
1 航空磁测	7
2 航空能谱测量	8
3 航空电法	8
4 航空重力测量	12
5 航迹定位	15
(二) 航空综合站的野外及室内整理工作	15
(三) 航空物探中的几项新技术	27
1 高分辨能力航磁测量工作	27
2 航空垂直磁力梯度测量	34
3 库特雷航空电法	40
4 利用高分辨力航磁了解浅覆盖盆地的基底深度	43

二 地 面 电 法

(一) 加拿大现有电磁方法及仪器简介	47
1 垂直线圈法	47
2 水平线圈法	48
3 倒换电磁法	49
4 双偶电磁法	51
5 甚低频法	52
6 脉冲电磁法	54
7 雷达	59
(二) 影响电磁法地质效果的几个因素	65
1 地形起伏	65
2 导电覆盖	67
3 集流现象	68
(三) 几种主要加拿大电磁仪的性能比较	71
1 混杂效应	71

2 杂散耦合.....	71
3 零宽.....	72
4 抗干扰能力.....	72
5 在仪器设计与工艺上的其它问题.....	74
(四) 加拿大的激发极化工作.....	75
(五) 激发极化法测量中的耦合效应及其消除办法.....	78
(六) 关于分辨激发极化的异常问题.....	88
1 岩石的频散特性.....	88
2 围岩响应.....	93
3 激发极化的二级参数.....	97
(七) 岩石电性的自动测量.....	100
1 岩石电性测定的基本原理.....	100
2 自动化系统和小型计算机系统.....	102

三 化 探 工 作

(一) 化探工作概况.....	105
(二) 化探工作的方法技术及工作程序.....	106
(三) 航空化探.....	114
(四) 化探样品分析.....	115
1 概况.....	115
2 提高分析质量的监控办法.....	118
3 简介三种分析仪器和砷元素的分析方法.....	123

四 建 议

报 告 插 图 目 录

- 图 1 考察路线图
- 图 2 加拿大主要地质单元图
- 图 3 吊舱系统航电仪
- 图 4 因柯航电系统所得曲线
- 图 5 硬固系统航电仪
- 图 6 拖架系统航电仪
- 图 7 航空重力与地面重力测量结果对比图
- 图 8 航空重力与地面重力测量结果对比剖面图
- 图 9 单瓣航空综合站仪器安装位置示意图
- 图 10 综合航空站仪器
- 图 11 能谱仪探头恒温箱
- 图 12 航迹摄影机及雷达天线
- 图 13 航电仪、航磁仪及甚低频航电仪探头
- 图 14 机翼下面的连接导线
- 图 15 摄影定位相片
- 图 16 数据收录器原理图
- 图 17 单瓣综合站磁带记录格式
- 图 18 航迹恢复用缩放尺
- 图 19 数据绘图 2000 系列
- 图 20 图数转换仪主要部件
- 图 21 图数转换仪
- 图 22 测标跟踪线圈
- 图 23 航空物探资料整理流程图
- 图 24 普通精度航磁图
- 图 25 高精度航磁图
- 图 26 用高精度航磁数据算得垂直一次导数
- 图 27 提明斯地区高精度航磁图
- 图 28 用 41 点算子得到的垂直梯度图
- 图 29 用二维 177 点算子得到的垂直梯度图
- 图 30 双吊舱航空垂直磁力梯度仪方框图
- 图 31 双杠式航空垂直磁力梯度仪方框图
- 图 32 安装在“空中女王”上的双杠式航空垂直磁力梯度仪
- 图 33 双杠式航空垂直磁力梯度仪在“空中女王”飞机尾部的安装情况
- 图 34 “空中女王”与双杠式航空垂直磁力梯度仪
- 图 35^a 高精度磁测等值线图

- 图 35^b 按梯度测量经积分计算获得的磁异常平面图
- 图 36 近海磁测和垂直梯度测量剖面图
- 图 37 垂直梯度测量区分地磁场瞬变引起的假异常
- 图 38 两相邻球体的 T 和 T^1 图 ($l=h$)
- 图 39 两相邻球体的 T 和 T^1 图 ($l=0.8h$)
- 图 40 T 和 T^1 曲线的对比图
- 图 41 总磁场与垂直二次导数
- 图 42 不同倾角的岩层接触线上 T^1 曲线图
- 图 43 因普特航电系统
- 图 44 库特雷航电系统方框图
- 图 45 库特雷发射线圈
- 图 46 库特雷接收线圈
- 图 47 普通精度航空磁测 T 等值线图
- 图 48 高精度航空磁测等值线图
- 图 49 高精度航磁剖面及定量推断结果
- 图 50 高精度航磁推断图
- 图 51 矿体上一次场、二次场与总场的关系及典型倾角剖面
- 图 52 测量倾角
- 图 53 水平线圈法系统概图
- 图 54 水平线圈法典型异常
- 图 55 倒换电磁法工作方法
- 图 56 板状导体上倒换电磁法异常曲线
- 图 57 DDEM 方框图
- 图 58 DDEM 部件布置图
- 图 59 浅矿脉追踪
- 图 60 甚低频法
- 图 61 EM—16 方框图
- 图 62 甚低频测量结果
- 图 63 脉冲法波形
- 图 64 阶跃脉冲、梯形脉冲及半正弦脉冲的频谱成分
- 图 65 PEM 发射机
- 图 66 PEM 接收机
- 图 67 PEM 接收机面板
- 图 68 跳背式跑极方法
- 图 69 阿曼地区地面脉冲法测量结果
- 图 70 闪长岩样品的电学参数
- 图 71 岩石的趋肤深度
- 图 72 脉冲雷达原理图

- 图 73 一水平界面雷达测深
- 图 74 雷达剖面图
- 图 75 雷达测深图 (发射天线在 0 + 00)
- 图 76 雷达测深图 (发射天线在 1 + 00)
- 图 77 雷达测深图
- 图 78 照准误差
- 图 79 照准误差
- 图 80 在水平薄板上的特征曲线
- 图 81 导电覆盖对异常矢量的影响
- 图 82 导电覆盖与高阻基岩分界线上的电磁法异常
- 图 83 在基岩隆起上电磁法异常
- 图 84 加拿大提敏斯地区电磁法试验结果
- 图 85 各种仪器的抗干扰能力
- 图 86 电磁耦合示意图
- 图 87 视充电率与百分频率效应
- 图 88 扁椭球体模型衰减曲线
- 图 89 扁椭球体模型频散曲线
- 图 90 球体模型衰减曲线
- 图 91 球体模型频散曲线
- 图 92 供电电线和测量电线间的互阻抗
- 图 93 电极排列
- 图 94 均匀大地上的复阻抗图
- 图 95 在一均匀大地上的百分频率效应
- 图 96 在均匀大地上的时间域耦合响应曲线
- 图 97 当电阻率变化时, 在均匀大地上的时间域耦合响应
- 图 98 当偶极子长度变化时, 在一均匀大地上用双偶排列测得的时间域耦合响应
- 图 99 在复平面上的 P 和 Q
- 图 100 覆盖层和基岩的电阻率比值不同时, 二层介质上的百分频率效应
- 图 101 不同覆盖厚度时, 二层介质上双偶装置的百分频率效应
- 图 102 二层介质上双偶装置电磁耦合与 N 的关系
- 图 103 在二层介质上的时间域耦合响应曲线
- 图 104 当电阻率差异不同时, 在二层介质上用双偶装置测得的耦合响应
- 图 105 在一均匀大地上各种装置比较
- 图 106 感应耦合效应计算尺
- 图 107 实际耦合效应与根据视电阻率算得耦合效应的比较
- 图 108 在 Kennecott 斑岩铜矿体上测得的相移曲线
- 图 109 在均匀半空间一双偶装置电磁耦合响应的相移
- 图 110 在二层介质上偶极装置电磁耦合响应的相移

- 图 111 垂直排列
- 图 112 一个无矿化地区去耦实例
- 图 113 一个下部有隐伏矿化带地区去耦实例
- 图 114 夹在电极间的岩—矿组合标本及其等效电路示意图
- 图 115 岩矿标本的复电阻率频谱
- 图 116 岩矿标本的复电阻率频谱
- 图 117 岩—矿组合标本的电模型
- 图 118 围岩响应曲线的基本类型
- 图 119 围岩响应曲线的特殊类型
- 图 120 A 型围岩响应曲线实例
- 图 121 B 型围岩响应曲线实例
- 图 122 C 型围岩响应曲线实例
- 图 123 根据视电阻率、去耦相位角和复电阻率求出的地质剖面图
- 图 124 某一矿化区的观测和解释推断结果
- 图 125 矿化岩石模型及其等效电路
- 图 126 激发极化二级参数理论曲线量板
- 图 127 岩石电性测定的基本电路
- 图 128 复电导率和复电容率图示
- 图 129 复电导率和频率间的理想关系曲线
- 图 130 岩矿电性测定设备系统
- 图 131 海底、湖底化探取样工具示意图
- 图 132 用直升飞机取样示意图
- 图 133 水钼铁矿对钼矿化异常的干扰
- 图 134 某水系中有机质量与锌量的消长关系
- 图 135 马尼托巴某地锌异常及其检查结果
- 图 136 利用分散系统区分异常
- 图 137 不列颠哥伦比亚汉赖特河谷斑岩铜矿上的试验成果
- 图 138 用含量级表示的化探成果图
- 图 139 空中微迹系统工作原理
- 图 140 校正曲线图
- 图 141 F 临界值图
- 图 142 511 型 X 荧光分析仪
- 图 143 原子吸收测定砷元素特制试管

赴加拿大物化探考察报告

遵照毛主席“洋为中用”的教导,根据国务院批准的(74)计生字562号报告和国家地质总局核心组关于“多注意加方寻找富铁富铜的技术经验”的指示,我们赴加物化探考察组一行七人于1975年9月12日由北京启程赴加考察。首先到温哥华访问。在温哥华,访问了加拿大地质调查局的温哥华工作站,这个工作站负责西科迪勒拉山区及太平洋沿岸海域的工作。参观了吉斯泰特公司(Gestalt International Ltd)的立体摄影制图仪。并访问了不列颠哥伦比亚大学的地球物理和天文学系。然后乘飞机经萨斯卡通到萨斯喀彻温省的铀城。在铀城我们考察了先达利(Scintrex)公司在当地找铀的一个航空综合站的野外工作。然后又经埃德蒙顿到达多伦多。多伦多是加拿大物探公司最集中的城市。我们在多伦多先后参观访问了巴林杰(Barringer)、克龙(Crone)、迪吉赫(Diohem)、铀矿勘探(Exploranium)、亨泰克(Huntec)、麦克菲尔(MacPhar)、诺思韦(Northway)、斯佩克脱(Spector)、先达利等物探公司,计算中心数据绘图(Data Pittins)公司,以及CDC计算机制造公司。此外,还和阿佩克斯(Apex)、乔尼克(Geonics)、瓦林(Varian)等小公司举行了技术座谈。并去卡文迪什(Cavendish)试验基地观看了仪器操作表演。参加这次仪器表演的公司有六家共24套仪器,其中航电1种,磁法4种,激发极化法仪4种,电磁法仪11种,测汞仪1种。从卡文迪什再乘汽车去加拿大的首都渥太华。在渥太华,我们参观访问了加拿大地质调查局,地球物理局,测绘局,和加拿大遥感中心等政府部门。此外还访问了乔泰雷克斯(Geoterrax)、艾奈克斯(Innax)。桑得尔(Sander)等物探公司。参观了制造图数转换仪的因斯脱郎奈克(Instronics)公司,观看了国际镍公司(Inco)的航空综合站。听取了马可尼公司介绍卫星定位,泰尔梯克(Taltek)电子公司介绍为物探野外工作专门设计的数据收录器。于10月14日经日本回国。

这一次考察历时共33天,接触到的单位有30多个。除了我们原定的重点考察项目(地面电磁法、激发极化法、航空化探及数据处理)而外,还看到和听到了不少重点考察项目以外的情况。和不少与金属物探有关的政府部门和私商进行了交谈。带回资料三百多份。

加拿大的行政区划分为10省和两区。在地形地貌及地质构造上大致可分五个单元(图2)。



图1 考察路线图

1. 平坦的地盾区。平均海拔500~600米,比高一般不超过20米。冰川湖泊、水系、沼泽发育。北部为冰川剥蚀区,属永久冻土带和不连续永久冻土带。主要岩石是前寒武纪的花

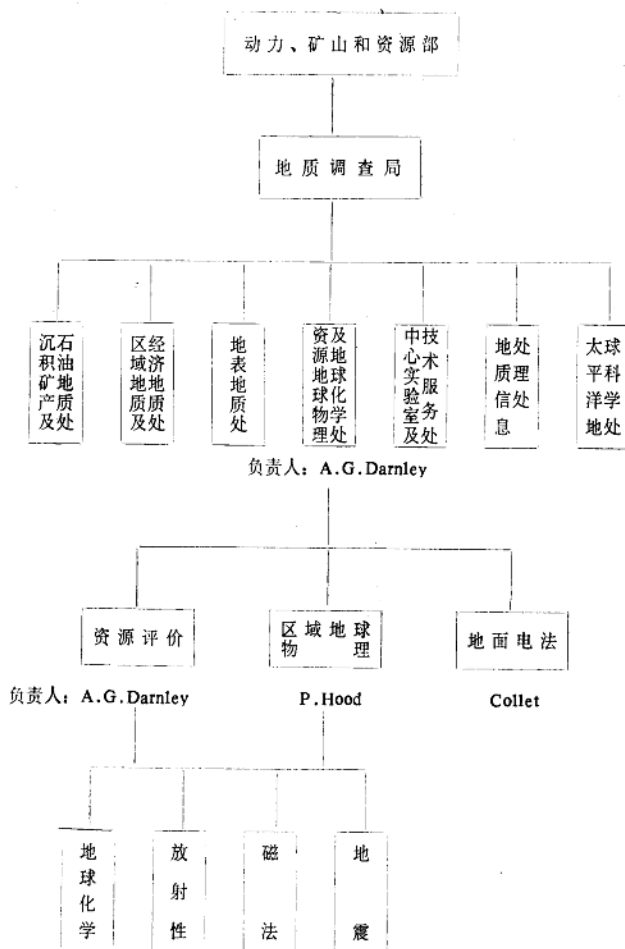
表 1 加拿大物探仪器制造及勘测承包厂商

公 司	译 名	所 在 地	负 责 人	主要制造仪器或承包业务
△Adams Marine and Electronics Ltd	阿达姆海洋及电子公司	温哥华	D. Adams	地面磁力仪
Aerodat Ltd	航空数据公司	多伦多	W. P. Boyko	综合航空物探
Aerophoto Ltd	航空摄影公司	魁北克	A. Cassista	综合航空物探
△Apex Parametrics Ltd	阿佩克斯多参数公司	多伦多	T. Vaarre	地面电磁仪, 自电仪
△Barringer Research Ltd	巴林杰研究公司	多伦多	A. R. Barringe	航空及地面磁力仪, 航空电磁仪, 化探
△Coniagas Research Ltd	科尼加斯研究公司	多伦多	E. G. Sharne	地面磁力仪
△Conuclear Ltd	科纽克利公司	温尼伯	A. M. Ronlston	
△Crone geophysics Ltd	克龙地球物理公司	多伦多	J. Duncan Crone	地面电磁仪, 激电仪
DIGHEM Ltd	迪吉赫公司	多伦多	D. C. Fraser	航磁及航电
△E.D.A Electronics Ltd	伊迪艾电子公司	渥太华	V. A. Itenson	地面磁力仪, 射气仪
△Exploranium corp of Canada	铀矿勘探公司	多伦多	A. Herz	航空, 地面及井中能谱仪, 地面磁力仪
△Geonics Ltd	乔尼克公司	多伦多	J. Duncan Mcneill	航空及地面电磁仪, 电阻率仪, 自电仪
Geoprobe	乔普罗布公司	多伦多	Ghosh	电磁探针法
Geotrex	乔泰雷克斯公司	渥太华	T. O'malley	综合航空及地面物探
△Glenayre Electronics Ltd	格利纳伊电子公司	温哥华	K. Deering	地面磁力仪, 辐射仪
△Huntce (70) Ltd	亨泰克公司	多伦多	R. W. Hntchins	激电仪, 浅地震
Inax Instruments Ltd	艾奈克斯仪器公司	渥太华	R. W. Tolmie	航空及地面能谱仪, 射气仪

公 司	译 名	所 在 地	负 责 人	主要制造仪器或承包业务
Kenting Earth Sciences Ltd	凯丁地球科学公司	渥太华	D.G Mackay	综合航空物探
△McPhar Instrument Ltd	麦克发尔仪器公司	多伦多	W.A. Smith	航空及地面电磁仪, 能谱仪 激电仪
△Northway Survey Corp. Ltd	诺思韦服务公司	多伦多	W.H. Godfrey	航空电磁仪
Photographic Surveys Inc.	摄影制图服务公司	蒙特利尔	N.W.E. Lee	航磁、航放
Questor International Surveys Ltd	魁斯特国际服务公司	多伦多	P.G. Lazenby	综合航空物探
△Sander Geophysics Ltd	桑得尔地球物理有限公司	渥太华	George W. Sander	航空磁力、电磁及能谱仪, 地面磁力仪
Spector	斯佩克脱公司	多伦多	A. Spector	
△Scintrex Ltd	先达利公司	多伦多	H. O. Seigel	航空、地面磁和电磁、化 探、激电、电阻、自电等 仪器
△Varian Associates of Canada Ltd	瓦林公司	多伦多	J. R. Morgan	航空磁力仪

△ 该公司制造仪器

表 2 加拿大地质调查局的部分机构



加拿大的物探工作，从工作方法来说其特点可以概括为三句话，就是：“航测普查，地面检查，机器整理”。他们发展多种地面方法，对航测发现的异常作检查评价（一般不作大面积的普查）。努力将现有的各种方法都往飞机上搬，形成了各种不同类型的综合航空测量站。现正努力将化探方法航空化。资料整理绘图最大限度地采用计算机，以节省人力。

加拿大物化探工作的另一个特点就是他们根据本国的具体地质地形条件，发展了一套物化探方法。特别是发展了一套适应于加拿大地盾的物化探方法。

加拿大地盾面积约占加拿大整个面积之半。自从在中下古生代上升以后，一直受到冰川和河流的侵蚀和冲刷，使之地形平坦单调。并由于冰川的侵蚀和冲刷，带走了风化岩层，残存的覆盖很薄，平均约十米至十余米。地盾的岩石主要是花岗岩和花岗片麻岩，大都是高电阻的，其中夹有变形和蚀变都很深的火山岩和沉积岩带，在这些地带内蕴藏有导电良好的块状硫化矿床。正是由于加拿大地盾的以上特点（平坦地形，薄覆盖，高阻围岩，导电矿体），电磁法便应运而生，并且促使各种航空物探方法的大量应用。地盾区的硫化矿床对于物探方法来说，就好像是出露的，用物探方法取得了很好的找矿效果。

加拿大1951—1955年用物化探方法发现的矿床占发现矿床总数14%，1956—1960年占59%，1961—1965年占50%，而1966—1969年上半年已高达64%。按统计，于1960—1971年间加拿大共发现了32个矿体，其中一半是用物探方法找到的。

加拿大化探发展的历史过程也说明了同样的问题。加拿大的化探技术是在战后1945—46年间由西欧引进的。初期工作效果不明显，发展缓慢。只是在六十年代以后由于重视了结合本国具体条件加强对景观地球化学和化探方法的研究，始获得了较大的发展，找到了许多大、中型铜矿床和多金属矿床，跃居西方国家的先进行列。

根据加拿大物化探工作的上述特点，我们在下面的技术考察报告中，关于航空物探特别着重其新的发展及其资料的计算机整理。在地面电法方面，着重给各种方法的物理实质和地质应用作分析说明，并从我国应用的可能性出发，分析各种方法和仪器的优缺点。在化探方面，特别注意阐明加拿大结合他们本国条件对地球化学元素富集分散规律的研究和分析质量的监控。但由于我们的水平所限，错误一定会是不少的。

在国外考察过程中，通过我们亲身的感受，都更进一步深刻地认识到毛主席无产阶级革命路线的正确和伟大，更加激发起我们要奋发图强、艰苦奋斗、自力更生地建设我们伟大社会主义祖国的热情和决心。

我们认为，虽然我国物化探的发展历史不长，与国外相比，特别是与加拿大比较，在技术水平上还有一定的差距，但从本质上和发展的眼光来看，我们的物化探工作却有着他们所无法比拟的极为广阔的发展前途，这是因为：

（1）我们有毛主席无产阶级革命路线的指引，有以华国锋主席为首的党中央的正确领导，这是我们的物化探工作能得到迅速发展的根本保证。

（2）解放以来，我国物化探工作从无到有，从小到大，发展到今天，特别是经过文化大革命，已为今后更大的发展打下了坚实的物质和技术基础。加拿大全国没有一所大学设有物化探系，更谈不上有专门培养物化探人材的地质学院了。此外，加拿大全国没有任何一个物化探仪器厂可以和我们的北京、上海或重庆地质仪器厂的规模相比拟。

（3）加拿大的物化探技术工作是为资本主义服务的，而我们的物化探技术则是为社会

主义、为人民服务的。因此他们各公司之间相互保密、竞争、排挤，而我们的社会主义制度却为我们开展社会主义大协作，互相学习，交流经验开辟了广阔的天地。

(4) 加拿大的物化探工作，和整个西方资本主义世界一样，不断地遭受周期性资本主义经济危机的冲击。近几年来加拿大的物化探工作不景气，投资额不断下降就是一个明显的证明。我国的物化探工作面临着全国工业学大庆、农业学大寨的一派大好形势。党中央和各级党委都十分关心我国地质勘探事业的发展，这就是我们物化探事业肯定会更加兴旺的根本原因。

总之，通过考察和对比，我们更加坚信，只要我们更加紧密地团结在党中央的周围，牢记伟大领袖毛主席的教导，坚持以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，坚持无产阶级专政下的继续革命，我们的物化探工作必将出现更大的跃进局面。

一 航 空 物 探

(一) 加拿大航空物探工作概况

加拿大现在在生产中使用的航空物探方法主要是：航空磁法、航空电磁法及航空放射性测量。在考察期间，加拿大能源、矿山及资源部地球物理局也向我们介绍了他们的航空重力实验工作。现先对加拿大航空物探的一般情况作一简单介绍。

1 航 空 磁 测

加拿大航空物探是从航磁开始的。1947年开始用安装在坎索飞机上的饱和式航磁仪进行工作。1949年，在安大略省靠近加拿大地盾南部边缘的马尔莫拉(Marmora)，发现了一个强磁异常，钻探在穿过40米奥陶纪地层后，见到了赋存在前寒武纪地层中的铁矿体，蕴藏量二千万吨。由于马尔莫拉铁矿的发现，给加拿大航空物探事业以很大的促进。1947—1954年平均每年完成航空磁测工作量40000测线英里，1961—1966年平均飞行340000测线英里，1968—1974年下降到年平均184000测线英里。已出版1:6336及1:250000的航磁图共7000幅。

航磁测量所用的飞机有航空司令(Aero Commander)，空中女王(Beechcraft Queenair)，阿芝特克笛手(Piper Aztec)，DC-3，岛民(Islander)等。磁力仪的探头大部分安装在尾锥上或悬挂在机翼上。用于金属找矿的航磁仪大都不作自动补偿。当测量精度要求高，使用光泵磁力仪时，为了避免作复杂的磁补偿，有的公司也将探头安装在吊舱内工作。

航磁工作的一个新的发展，就是航空垂直磁力梯度测量。关于这方面，在下面将作详细介绍。

2 航空能谱测量

1948年，在加拿大的萨斯喀彻温省用一个很小的盖格计数管作探头，安装在挪威人(Norseman)飞机上进行了航空放射性测量试飞。1949年又用七个盖格计数管组成探头的仪器在西北地区进行了二万测线英里的实验飞行。1950年开始用NaI(Tl)闪烁晶体，在西北地区进行了17000测线英里的实验飞行。在这以后的十五年内，大体上都是用的晶体管，简单计数电路及单发小飞机进行放射性测量。但是，通过实地检查始终没有什么发现。这与航磁不断取得较好地地质效果情况完全不一样。因而，在1959年铀矿勘探热潮平息下来时，加拿大航空放射性测量几乎处于停止状态。

六十年代后，由于军事上需要探测核爆炸引起的裂变产物，促使了能谱仪的发展。同时，又由于第二次铀矿勘探热潮的兴起，1966—1969年航空放射性测量就进入到一个新的技术发展阶段。

目前加拿大所生产使用的航空能谱仪大都是微分式的，少量是积分式的。都是测量总量、铀、钍、钾等四道仪器。钾只有一个1.46MeV的光电峰，铀道测量能量为1.76MeV的Bi-214光电峰，钍道测量能量为2.62MeV的Tl-208光电峰。只有麦克发尔公司介绍他们根据政府的计划，准备用多道能谱仪进行工作，作为基本资料储存起来。探头都是采用NaI(Tl)晶体，并加恒温，温度一般保持在三十多度，稳定在 $\pm 1^\circ$ 。用Cs¹³⁷或Am²⁴¹自稳。

数据校正主要有三：即是背景校正、高度校正及康普顿效应校正。高度校正采用公式

$$N = N_0 e^{-\mu H}$$

其中 μ 是经验系数。在加拿大地盾区 μ 值求得为：

K-40	(1.46 MeV)	$\mu = 2.3 \cdot 10^{-3}$	英尺 ⁻¹
Bi-214	(1.76 MeV)	$\mu = 1.7 \cdot 10^{-3}$	英尺 ⁻¹
Tl-208	(2.62 MeV)	$\mu = 1.7 \cdot 10^{-3}$	英尺 ⁻¹
总量	(0.4—2.82 MeV)	$\mu = 2.0 \cdot 10^{-3}$	英尺 ⁻¹

康普顿效应的数值与窗口的宽度，晶体的大小、数目、间距都有关系。钍的散射影响到铀和钾的计数，而铀的散射则仅影响到钾道。所以校正公式如下：

$$N_{Th} \text{校正} = N_{Th} - \text{背景}_{Th}$$

$$N_U \text{校正} = N_U - \text{背景}_U - \alpha N_{Th} \text{校正}$$

$$N_K \text{校正} = N_K - \text{背景}_K - \beta N_{Th} \text{校正} - \gamma N_U \text{校正}$$

其中 α 是由于Th道的贡献在U道产生的计数。 β 和 γ 则是由于在Th和U道的贡献在K道产生的计数。 α 、 β 、 γ 三个系数要根据实际情况测出。例如，加拿大地质调查局用空中货箱(Sky van)飞机，12个9×4英寸NaI晶体时测得 $\alpha = 0.35$ ， $\beta = 0.33$ ， $\gamma = 0.56$ 。

3 航空电法

航空电法是1949年开始试制的。1950年试飞成功。1952年就在新不伦瑞克发现了黑思蒂尔(Health Steel)多金属矿。在这以后，连续有所突破。表3就是航空电法在加拿大

所发现的一些主要矿区（其中也包括外国公司在加拿大的工作）。

到目前为止，航空电法的种类不下于数十种。按照收发线圈的安装方式及应用范围的不同可以分为三类。

第一、吊舱系统。

这种系统的发射线圈位于飞机上，接收线圈则安装在吊舱中，用电缆拖在飞机的后面。发射线圈与接收线圈的水平距一般为400—500英尺。垂直距离为200—300英尺。航高一般为450英尺。

第一个航电系统就是这种类型的，称为因柯系统（国际镍公司的简称）。最初因柯系统是用安桑（Anson）飞机工作的。这种飞机是木结构的，发射线圈就安置在机舱内。我们这次在加拿大看到的因柯系统已采用双翼飞机，发射线圈安装在飞机顶部，面积也比以前的增大，所产生的磁场提高了2.5倍。这种系统有两对收发线圈，其中一对与航向平面一致，称为同面线圈，另一对与航向平面垂直且与垂直面倾斜同一角度，称为同轴线圈。

表3 航空电法在加拿大的找矿效果

发现年份	矿区名称	航电系统	矿体埋深	矿石类型	矿床储量(主要金属元素)
1952	黑思斯蒂尔	因柯	数米	块状硫化物	770万吨(铜铅锌银)
1954	克里邦	亨丁	数米	块状硫化物	大型(铜铅锌银)
1954	克利沃特	亨丁	数米	块状硫化物	65万吨(铜)
1955	密特尔河	亨丁	数米	块状与浸染 状硫化物	中型(铜铅锌)
1955	斯特拉特麻	亨丁	数米	块状硫化物	小型(铜铅锌)
1956	马塔加米	亨丁	数十米	块状硫化物	2150万吨(铜锌银金)
1956	加朗	亨丁	<30米	块状硫化物	30万吨(铜)
1956	汤姆逊	因柯	30米	块状硫化物	2500万吨(镍铜)
1960	丘普拉	拖架			小型(铜锌)
1961	福克斯	亨丁			小型
1962	朱泰尔	翼梢	<50米		小型(铜锌)
1962	波伊利尔	翼梢	<30米	块状硫化物	674万吨(铜锌银)
1963	基特克利克	T.G.S.	数米	块状硫化物	6000万吨(铜锌银)
1964	博特尔				镍矿
1965	奇博加莫	翼梢		浸染硫化矿	119万吨(铜)
1968	尤奇湖	因普特			小型(铜铅锌)
1969	斯蒂尤吉昂湖	因普特	十余米	块状硫化物	2000万吨(铜锌银)
1969	留坦	双频虚分量			小型(铜锌)
1970	迈宗	桑得尔	十余米		90万吨(铜金银)
1972	赫贝库尔	因普特			370万吨(铜锌)
1973	费拔多吉	翼梢			数百万吨(铜锌银)

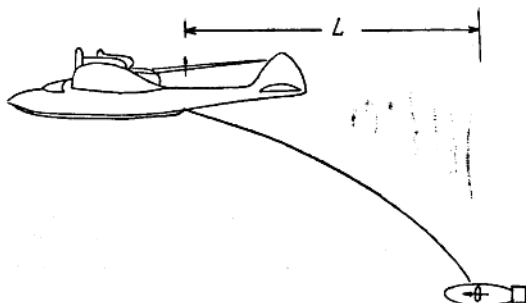


图 3 吊舱系统航电仪

表 4 航电吊舱系统

系 统	飞 机	所测值	$f(\text{hz})$	$L(\text{英尺})$	$n(\text{ppm})$
因柯	F. 双獾	振幅、相位	1800, 2000	500	1500
F-400		虚分量	340, 1070	200	500
夸特雷	F, DC-3	虚分量	95, 285, 855	400	
诺思韦 LEM210	F. 坎索	双频虚分量	2565, 7695, 23085	420	500
因普特—VI	F. 超级坎索	6 道二次场	395, 2300	500	

在吊舱内的接收线圈接收到讯号后，通过通带很窄的滤波器滤波再经放大，然后调制在射频载波上，通过电缆传输到飞机内，在飞机内信号首先经过解调、放大、整流及滤波，输出单独同面及同轴曲线，另一方面又通过差值电路，输出两信号的差值，这一曲线是该仪器的主要信号。此外，从接收机输出的信号还经过相敏检波输出同面及同轴相位曲线。这两条曲线是用于解释时的辅助曲线。所得曲线示于图 4。

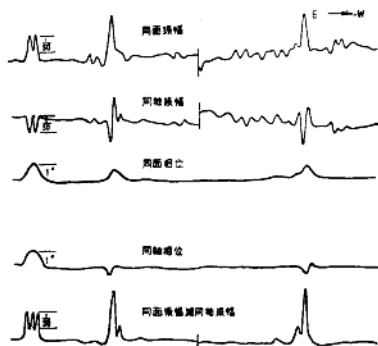


图 4 因柯航电系统所得曲线

在吊舱系统中的另一种航电仪称为双频虚分量系统。它是由亨丁公司研制成功的，所以称为亨丁系统。1965 年，亨丁公司改为洛克玛测量公司，所以这种航电系统又称为洛克玛系统（1973 年，洛克玛公司又改为诺思韦测量公司）。它的发射线圈是从机翼到机尾共绕三周，其轴是垂直的，而接收线圈在吊舱内，其轴向是水平的。测量二个工作频率的虚分量值。

麦克法公司生产的双频虚分量系统称为

F—400。它的发射线圈是铁心的，用分时系统交替发射 340 周及 1070 周等二种频率。发射线圈的轴是水平的，而接收线圈的轴则是垂直的。1973 年增加了一个 3450 周频率，称为 F—500。这次我们去加考察，看到了他们正在实验的六频虚分量系统，称为夸特雷（QUADREM）。

第二、硬固系统

这种系统的收发线圈用硬的支撑坚固地固定在机身上。根据安装位置的不同，又可以分为翼梢系统与首尾系统等二种。前者将发射与接收线圈分别安装在大翼的两端，线圈面垂直且在同一平面内，所以又称为垂直同面系统。首尾系统的发射与接收线圈分别安装在机首与机尾，线圈面垂直且其轴线位于同一直线上，所以又称为垂直同轴系统。

先达利三频系统和乔泰来克斯的单频系统都是翼梢系统。凯丁系统是首尾系统。库特雷也是首尾系统，它是时间域的仪器，也称为因普特—7 型航电仪。由于它是因普特的一个重要发展，所以在后面将作较详细的介绍。

第三、拖架系统

这种系统是将发射线圈和接收线圈安装在一大吊舱内，悬挂在直升飞机下面工作。线圈距一般为 20—30 英尺，电缆长 100 英尺左右。大都是同轴系统，线圈轴向与飞行方向一致。只有巴林杰的笛杰汉（DIGHEM）系统的接收线圈除了与发射线圈垂直同轴的而外，还有一个水平线圈（称为鲸尾线圈）和一个与位于收发线圈垂直平面内的垂直线圈（称为鱼尾线圈）。

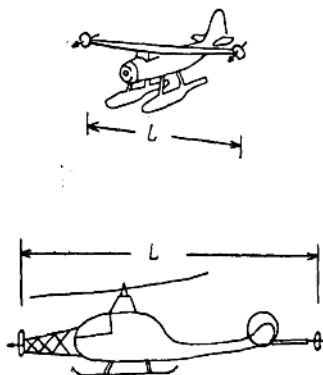


图 5 硬固系统航电仪

表 5 航电硬固系统

系 统	类 型	飞 机	$f(\text{Hz})$	L (英尺)	$\pi(\text{ppm})$
先达利三频	垂直同面	F, 单瓣	0.5, 2, 8(KHz)	62	
乔泰来克斯单频	垂直同面	F, 单瓣	320	62	
凯丁	垂直同轴	F, 超级坎索	390	83	20
库特雷	脉冲	F, 三岛人			