

內 部 資 料

赴法考察科技报告

上 册

物探·航空地质部份



国家地质总局赴法考察组

· 一九七六年八月

前 言

国家地质总局赴法考察组于1976年3月11日至4月21日在法国参观了法西南地区地质技术博览会，并进行技术考察，历时40天。

考察组由十人组成，包括物探、航空地质、钻探与地质实验四个专业，在法期间先后访问了十个城镇，参观了地质调查、科研机构、高等院校、矿山、工厂以及私人公司等共二十六个单位。

在我驻法使馆党委的领导下，由于法方的积极协助与考察组全体同志的共同努力，考察组基本上完成了考察任务。通过考察活动，也进一步增进了中法两国人民的友谊与中法地质工作者的技术交往。

遵照毛主席“洋为中用”的方针，我们将四个专业组在考察过程中了解到的情况和收集到的资料进行了整理，编写成三本资料，供我国进行有关工作时参考。其中上册是物探与航空地质部份，中册是钻探部份，下册是地质实验部份。每册附有考察资料目录，其中大部份已交地质科学院情报研究所，如有需要可去查阅。

法国是一个老牌的资本主义国家，它在各方面都反映了资本主义生产的基本特征，同时，中法两国在地质地球物理条件上也有不同，因此，我们应遵照毛主席的教导，结合我国地质工作的实际情况，有批判地分析研究法国的地质技术经验，取其精华，为我所用。要防止生搬硬套。

我们一定要以阶级斗争为纲，深入批判洋奴哲学，批判修正主义，更加自觉地坚持毛主席“独立自主、自力更生”的方针，以加速我国地质工作的步伐。我们相信，“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”

我们的政治和业务水平不高，在整理这份资料当中一定存在不少缺点和错误，希同志们指正。

目 录

第一节 法国物探工作概况	(1)
第二节 法国高精度航磁方法	(5)
一、前言	(5)
二、仪器设备	(9)
三、野外工作方法	(12)
四、室内资料编录	(15)
五、工作精度的评价	(18)
六、解释推断	(19)
七、结语	(24)
第三节 两种被动场源电磁法	(25)
一、磁大地电流电阻率法	(25)
二、井中甚低频电磁法	(34)
第四节 法国高灵敏度磁力仪	(40)
一、双重核共振磁力仪	(40)
二、汤姆逊公司铯磁力仪几个工艺特点	(53)
三、零场能级交叉共振及其在测量甚弱磁场中的应用	(60)
第五节 电算技术在固体矿产地质工作中的作用	(67)
一、CGG BRGM的电算设备简介	(67)
二、人机联系终端设备及绘图例行程序	(69)
三、固体矿产地质工作中的应用	(73)
第六节 多光谱扫描仪及其图象处理	(81)
一、扫描仪的工作原理	(81)
二、多光谱扫描仪的设计方法	(82)
三、多光谱扫描仪的收录系统和成象设备	(93)
四、图象数据的处理及其设备	(98)
五、小结	(107)
第七节 法国航空地质工作概况	(108)
第八节 几点建议	(114)
附 录 考察资料目录清单	(115)

第一节 法国物探工作概况

毛主席教导我们：“打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。”法国是一个老牌的资本主义国家，它在各方面都反映了资本主义生产的基本特征。考察期间，我们深刻感受到了资本主义社会腐朽、没落的本质方面，同时，随着其工业的发达，也看到了法国物探工作中一些新技术的应用及其物探工作的某些特色。用一分为二的观点来分析，使我们受益不小。

这次考察中，我们先后参观了法国几个主要的物探与遥测遥感部门。其中有：法国官方的地质调查部门——地质矿产调查局(B.R.G.M)担负全国的基础地质、矿产普查(包括固体矿产、地下水、工程地质、建筑材料等)以及实用性较强的地质科学研究工作。同时，还负责收集和储存全国地下资源的有关资料，编印各种地质、物探基本图件。其所属全国地质处勘探方法科中设有物探分科，担负上述矿产的物探工作，但不承担航空物探的野外飞行，仅负责其资料的技术指导与解释推断。另一官方的航查勘查部门——地理研究所(I.G.N)则担负航空摄影、遥测遥感与航空物探等工作，以航空摄影为主，占总工作量60%。它负责编印并提供各类航摄照片及各种不同比例尺的地图、地形图，其下设有专业飞行队伍与飞行基地。地球物理总公司(CGG)为法国最大的一家私人物探公司，承包国内外以石油物探为主的物探工作与遥测遥感工作。地球物理研究中心(CRG)为法国主要的物探科研部门，担负大地地球物理观测与应用地球物理科研工作，它与其它生产部门合作进行新方法、新技术的研究工作。宇宙遥测组合机构(GDIA)由法国地质矿产调查局、地理研究所、石油研究院与宇宙空间研究中心联合组成，研究遥测遥感技术与某些运载工具。至于巴黎高等师范学院(ENS)与巴黎理工大学分别担负光泵磁测理论，实验技术与多波段扫描仪及图象处理技术方面的研究工作。此外，还参观了一些矿山，但涉及物探工作很少。从考察中可看出法国物探工作有以下特点：

随着资本主义世界日益深刻的能源危机，法国物探工作是以争夺能源为中心的，固体矿产物探工作所占比重很小，出现某些畸形发展的现象。从发展历史来看，法国固体矿产物探工作开展较早，早在1912年就曾在罗曼德(Normandy)铁矿上进行电法找矿，1913年在森一伯尔(Sain-Bel)地区进行自然电场法，1919—1920年便已在硫化矿床上进行激发极化法试验工作，其后又先后发展了航空物探与其它地面物探方法。但是第二次世界大战后情况有了变化，特别是近些年来，其石油物探工作的比重迅猛增大。除专门承担石油勘查的石油研究院与施伦贝尔格公司等部门外，地球物理总公司也是以主要力量集中于发展和应用石油地震勘探技术及其数据处理。以其1975年投资分配来看，石油物探工作占90%，而固体矿产物探，水文与工程物探，海洋非石油勘查等其它物探工作仅占10%。至于法国的政府地质调查部门——地质矿产调查局则以水文与工程物探为主。就其队伍规模来看，法国最大的物探公司——地球物理总公司固定职工3000余人中(临时雇佣人员9000余人)，从事非石油物探工作的仅150—200人。而纯属固体矿产物探工作的人员则更少。该公司拥有十个航空物

探队、50个地震勘探队、50个其它地面物探队、7条海洋物探船，大都是以承担石油物探为主。而固体矿产物探每年仅100—150队月，水文物探100—150队月，工程物探50—100队月，此外，尚有少量海洋非石油勘查与遥测遥感工作。至于地质矿产调查局的规模则更小，在其勘探方法处下设有物探科，其中物探工程师40人，承担固体矿产物探、水文与工程物探，建筑材料勘查以及能源勘查等。而从事固体矿产物探工作也仅10人左右。除大面积的航空物探工作外，其物探工作大多为已知矿区外围的扩大普查，工作较零散。据考察中了解，以找多金属矿为主，铁矿物探工作较少。至于他们使用的物探方法除磁大地电流、甚低频电磁法、地热法外，我们都在应用或者试用，而有的我们已用的方法他们并没有，如井中三分量磁测、无线电波透视法等等。航空物探主要是进行航空磁法与航空伽玛能谱测量，航空电磁法使用较少，仅地球物理总公司设在加拿大的子公司——基阿特勒克斯（Geoterrex）公司使用巴林杰公司的脉冲瞬变系统（即Input系统）。地面物探常用的是直流电法（电阻率法、自然电场法与充电法）与电磁法（垂直与水平线圈法、土拉姆法、甚低频法、电磁枪）。从轻便、快速与节省人力等经济因素考虑，他们比较重视应用直流电法与测磁场分量的甚低频法。激发极化法虽然在找浸染状硫化矿床方面有明显效果，但因其费用高，应用并不广泛，而且非矿干扰难以分辨也是未解决的难题。重力法用于找铬铁矿、黄铁矿等密度大的金属矿床以及探测地下暗洞等。近年来由于已开始采用美国拉科斯特—隆贝格公司的微伽重力仪（灵敏度高达0.001毫伽），其异常间隔可达0.002毫伽。地震法用于构造研究，作为间接找矿方法，采用浅层反射波法，其探测深度100—1000米，一般采用12道或24道。磁法应用不多，但已普遍采用美制G806质子旋进式磁力仪，机械式磁力仪因其效率低已被淘汰。放射性测量用于找铀矿、钍及锆石等放射性矿床，有时与磁法配合使用。此外尚采用地热法，但工作不多。七十年代起开始在金属矿勘查中运用磁大地电流法。至于金属矿测井工作则比较薄弱，仅见到井中甚低频法，（寻找井旁打漏的良导电金属矿体）以及常规的电测井与放射性测井方法（多用于非金属与水文测井）。因此，总的来看，法国固体矿产物探工作不及美国、加拿大、瑞典等资本主义国家，但其石油物探（特别是地震勘探）与数据处理技术则发展快，也比较先进，由于不属于我组考察重点，未作详细了解。

法国物探工作的另一特点是带有殖民地掠夺性质，一些政府地质调查部门与私人公司都向亚非拉国家扩展，以承包任务为名，购买廉价劳力，掠夺矿产资源。在我们所考察的几个主要物探部门中，这种情况十分突出。如地球物理总公司1975年投资总数一亿五千万美元，其中90%用于国外。他们自吹在资本主义世界中物探工作投资仅次于美国，居第二位，因而，带有一定的垄断性。目前，它所属地震队、金属矿物探队均在国外承包任务，并在世界其它各国设有29处子公司与代办处。又如担负航空勘查工作的地理研究所，每年飞行4000小时，其中法国本土仅20%，而80%是在国外承包任务，其工作地区遍及46个国家，以非洲国家居多。近年来已渗入巴基斯坦等南亚地区。至于地质矿产调查局，其物探工作也大多分散在阿拉伯（红海）、澳大利亚、非洲、拉丁美洲等国家。

资本主义世界经济上相互依赖的现象相当突出。其大部份物探仪器依靠国外进口。如电子计算机、磁力仪、重力仪等为美国产品，电磁法仪器为瑞典与加拿大产品。往往一套仪器设备由几个国家的产品拼凑组成。其基础脆弱，一遇风吹草动，就无法掌握自己的命运。至于

法国本身仅生产石油测井仪器、数字地震仪（型号为SN—338、SN—348）、直流电法仪器（AE₆₃₁电位计、通用电阻率仪、自然电位仪）以及高灵敏度航空磁力仪等几种物探仪器。除地球物理总公司下设有塞塞尔子公司（Sercel）制造物探、导航、数字绘图仪、测绘仪器等电子设备外，其它物探仪器均为一些电子实验室与通用仪器仪表公司所生产。

除私人公司纯属商业性质外，一些政府地质调查部门、院校、科研部门的工作都带有相当程度的商业性质。生产无计划，一切以赚钱为目的，大利大干，小利小干，无利不干。如地质矿产调查局每年投资中50%来源于为私人企业或大农场主承包任务。法国唯一的一所地质院校——应用地质大学仅承包选冶试验项目每年收入500万法郎。物探科研工作考察不多，但就所了解的情况也具有上述特点，这也给科研工作的发展带来某些局限性。地球物理研究中心为法国主要的物探科研部门，它隶属于法国科学院的国家科研中心（C.N.R.S.）。除开展大地地球物理观测（包括地磁、重力、地震等）外，它还开展应用地球物理科研工作。近年来其主要项目有：①研制利用天然电磁场的磁大地电流电阻率法。与地质矿产调查局合作。由于这种方法不需要采用人工电源，仪器轻便、快速，费用亦降低，而其地质效果和一般电阻率法相近，因而，从经济因素考虑受到重视。②开展考古研究的物探工作，除采用高精度地面磁法外，该研究中心还自行研制了一种频率为200,000赫芝的电磁法，探测深度仅10米以内。资本主义世界中古文物发掘很赚钱，故考古学研究也成为“热门”，③在激发极化法中探索新的特征参数以提高分辨矿与非矿的能力，目前，正在进行实验室标本测定及野外试验工作。

法国物探工作已有60多年的历史，尽管其固体矿产物探工作所占比重很小，但仍具有它一定的特长与经验。同时，随着其工业的发达，一些新技术的应用也较广泛。其中有些方面可供我们参考。从考察中看来，主要有以下几点：

（一）对高灵敏度磁力仪的理论研究与仪器研制具有一定水平。法国最早提出用光泵技术探测磁场（1951年），同时，早在1958年起又研制另一种动态极化核子旋进式原理的磁力仪（又称双重核共振磁力仪）。目前已在航磁工作中采用了其本国制造的Cs F型铯蒸汽光泵磁力仪及塞尔维型（Salvi）双重核共振磁力仪，其灵敏度均高达0.01伽玛。前者在采用四个吸收室以减少取向频移与对光谱灯的恒温措施等工艺特点可供我们参考。后者国内尚未研制。法制Salvi型双重核共振磁力仪探头内使用了长寿命的两种不同的顺磁性液体，并利用改变激发场的方向，解决了探头方向性问题，其工作温度范围亦较大（-40°C→+60°C）。近年来，巴黎高等师范学院又正在研究利用光泵探测甚弱磁场（ 10^{-9} — 10^{-10} 高斯），属毫伽玛级磁测技术。他们已在实验室内检测了甚弱磁场及其三个分量，在理论研究方面也有一些新进展。

（二）采用高精度航磁方法进行地质研究，配合地质进行成矿预测。据现有资料，法国最早（1963年）应用高精度航磁方法。由于采用高灵敏度的航空磁力仪、精确的导航定位设备，较严格的野外工作方法，并采用电算技术自动收录、编录成图与解释推断航磁资料，据称可以圈出0.5伽玛左右的微弱异常。在中低精度难以奏效的弱磁场区与地形切割的山区可提供有价值的地质解释资料，从而充份发挥了航磁方法的作用。他们为保证航磁方法的高精度所采取的一系列技术措施可供我们参考。

（三）发展利用天然电磁场的磁大地电流电阻率法和利用长波电台为场源的井中甚低

频法。前者通过测量天然电磁场的电场与磁场分量求得岩层的电阻率，可用于寻找良导电矿体与进行填图与构造研究。除上述轻便、快速等特点外，由于可测定不同频率的天然电磁场，还提供了加大勘探深度的可能性，它是值得注意的一种轻便电法。后者沿小口径钻井测量交变电磁场的振幅比与相位差，它与地面甚低频法配合，可寻找井傍打漏的良导电盲矿体。法国对这两种方法的仪器研制、工作方法与地质应用等方面都有一些新的成果，看来这是发展轻便电法的一种动向。

(四) 在物探资料的收录、编录成图与解释推断工作中广泛运用电算技术。近年来，重视应用“人机联系”，它是电子计算机的一套终端设备。主要由图相显示器、数字化桌与小型电子计算机等组成。可通过图相显示器直观地显示数据处理结果，并及时修改参数达到满意为止。它既可以远离计算中心利用电话线传递计算信息，联机进行遥控数据处理，同时，由于它本身配有小型计算机，又可脱机工作。因而，它很适应地质工作分散与模拟作图的需要，目前，在地质工作中已用于地质图存储，修改与自动绘图，多波段扫描图象处理以及重磁资料的解释推断等。不仅提高了主机的使用效率，而且，也扩大了计算机的应用范围。除航空物探资料已全部实现自动收录、成图与解释推断外，近年来，地球物理总公司正在研制一套地面电法的自动收录与成图设备。据称其重量仅15公斤，可自动收录电法数据，并在现场绘制观测曲线，需要时还可记录在磁带上送往计算中心进行数据处理，还可消除观测中的干扰，检查观测质量。它是地面物探数字化的新动向。此外，目前已形成一套重磁资料与电测深的自动解释系统，前者包括非线性滤波、向上延拓、垂向梯度、换算到地磁极等数学方法，使一些由于计算复杂而不易采用的方法可快速而准确地进行，从而提高了在复杂条件下物探资料解释推断水平与地质效果。

法国各部门都很重视技术资料的整理出版与编图工作。各项工作都总结成文，可随时复制或复印。现已编出全国1/100万重力布伽异常平面图及1/80000幅航磁平面图。

建国以来，特别是无产阶级文化大革命以来，在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国物探工作经历了翻天覆地的变化。获得了飞跃的发展。我们已建立一支从航空、地面、地下到海洋的物探队伍，使用了国际上已有的各种物探方法，有的还有新发展。绝大部份物探仪器已能自行设计与制造。同时，找矿效果也日益显著。特别是近年来在找盲矿、找深部矿床方面取得了较好的效果与经验。在考察中，我们为此而深刻感到社会主义制度的无比优越。我们虽然面临世界各国所没有的复杂的地质、地球物理条件，但我们坚信，只要我们认真遵照毛主席的教导，以阶级斗争为纲，深入批判洋奴哲学、批判修正主义，更加自觉地坚持独立自主、自力更生的方针，我们一定能加速我国物探工作的步伐，闯出一条路子来。

第二节 法国高精度航磁方法

一、前 言

法国早在 1963 年便已进行高精度航磁方法。据不完全统计,仅地球物理总公司所完成的工作量已大大超过 1,600,000 测线公里。它广泛应用于金属矿与石油勘查工作。

由于运用高灵敏度 (0.01 伽玛) 的航空磁力仪,精确的导航定位系统,较严格的工作方法,并采用电算技术自动收录,编录成图与解释推断航磁资料,据介绍,其工作精度可达 0.1 伽玛,从而,可以圈出 0.5 伽玛左右的弱异常。

在金属矿勘查中,高精度航磁方法主要是在弱磁场区与地形切割的山区进行地质研究,包括构造分析,地质填图与成矿预测等。其地质效果是肯定的。

法国在山区进行航空磁测工作较少,仅在西班牙等少数山区作过,而且,其地形条件远不如我国西部高山区那样复杂。据他们的经验,在山区起伏飞行很困难,有时甚至是不可能的。而在目前技术条件下,运用提高飞行高度平飞的高精度航磁方法仍是唯一的解决途径。

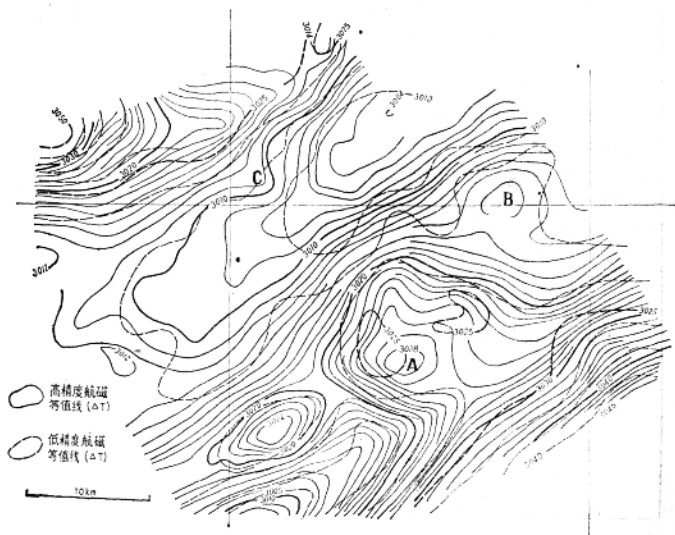


图 2-1

飞行高度增大，固然使信息减弱，但由于工作精度高，仍有可能反映与地质因素有关的微弱异常，对区域地质研究可提供有价值的资料。

在弱磁场区，由于岩层间磁性差异不明显，其异常往往很微弱，中低精度航磁方法难以反映出来，而高精度航磁方法则具有较高的分辨能力。这在地面磁法中早已有经验。这里再介绍几个法国进行高精度航磁方法的实例。

地球物理总公司曾在法国南部某地区作过高精度与中精度航磁方法的试验对比工作。该区曾用 Gulf 型磁饱和式航空磁力仪（灵敏度为 1 伽玛）进行工作，测网为 2×10 公里，获得图 2—1 中以虚线表示的等值线平面图，异常间隔为 5 伽玛，发现一些低于 15 伽玛的弱异常。

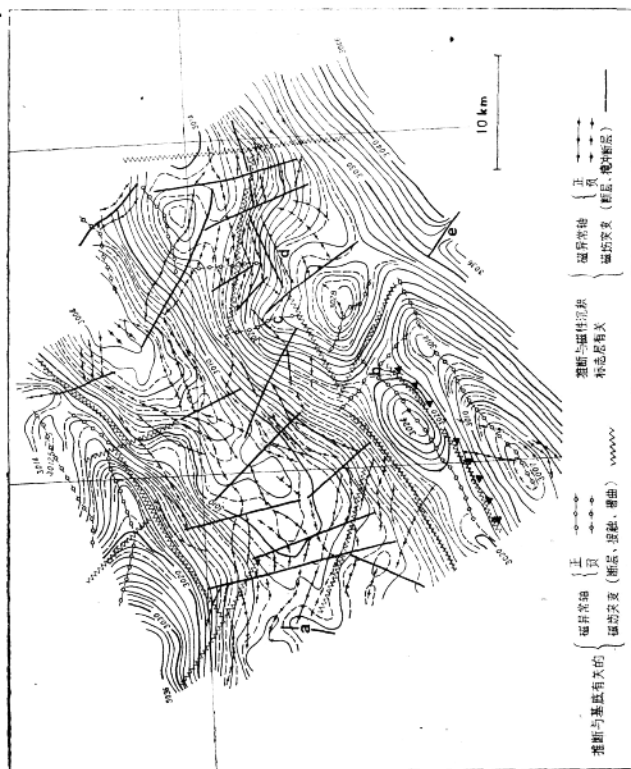


图 2—2 构造分析

常。但由于工作精度偏低，其异常形态和特征均未能详细圈定出来，如异常 A、B、C，因而，也无法进行有根据的解释推断。而运用 CsF 型光泵磁力仪（灵敏度为 0.01 伽玛）进行

高精度航磁方法后, (测网为 1.5×1.5 公里) 上述弱异常 A、B、C 的形态便较完整地圈定出来, 其等值线平面图见图 2—1 中实线所示, 异常间隔为 1 伽玛。如异常 B 在磁饱和式航磁工作中只反映为等值线的弯曲, 而在高精度航磁方法中则圈出一明显的圈闭。根据这些弱异常作出了构造分析图, 基底构造推断图与磁性沉积标志层构造推断图。见图 2—2、图 2—3、图 2—4。由图可知, 它概略地推断得出磁性基底与沉积标志层的埋深, 起伏变化与某些断裂构造等, 从而, 较好地发挥了航磁方法的作用。

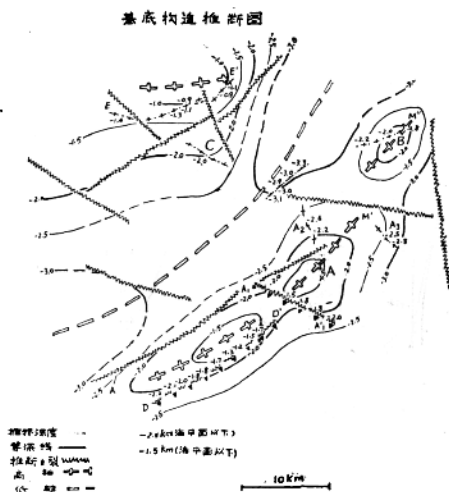


图 2—3 基底构造推断图

高精度航磁方法还有利于提高定量推断的质量。图 2—5 为运用高精度与中低精度航磁方法所测得的同一异常剖面图。两次观测采用同一海拔高度, 即海平面以上 900 米。图中上半部的曲线为 Gulf 型磁饱和式磁力仪所测得, 其异常强度 10 伽玛左右, 利用切线法计算深度时可利用的参数仅有 AC、CE、BD, 其推断结果如图所示。而下半部的曲线为 CsF 型光泵磁力仪所测得。由于工作精度提高, 其纵坐标较上半部剖面图增大 10 倍, 使异常特征更加明显, 计算深度时可利用的参数也增加到 AD、BF、CE、DH、GI 等五个。其推断结果虽无验证资料, 但肯定较前者更为准确。

近年来, 在法国中央岩块地区曾先后在 1972 年与 1975 年运用高灵敏度的 CsF 型光泵磁力仪与塞尔维型 (Salvi) 双重核共振磁力仪两次进行高精度航磁方法。该区为法国重要的多金属矿远景区之一, 岩浆活动发育, 老花岗岩与变质岩广泛分布, 中基性火山岩横切测区中央, 并包括 Limagne 渐新世地堑的大部份地区。从部份标本测定结果来看, 花岗岩与中基性火山岩均有磁性, 且变化较大, 其异常强度达几十到几百伽玛 (当飞行高度为 2000 米时)。

磁性沉积标志后构造推断图



图 2-14 磁性沉积标志层构造推断图

等深线——+250米 } 相对于海平面
推断深度 +0.3公里 }

推断深度 +0.3公里

其它图例同 2—2 图

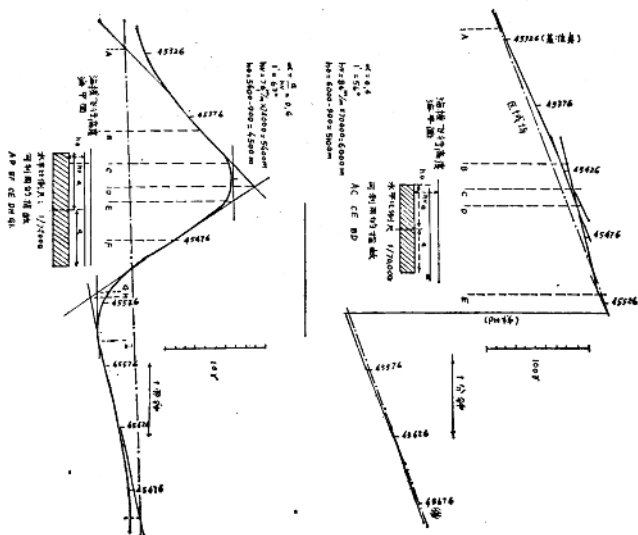


图 2—5 高低精度航磁剖面图的对比

据介绍,这项工作属于法国国家天文与地球物理研究所的一项西地中海地球动力学研究的专题活动,其成果还将用于构造研究,火山作用研究,地质填图以及成矿预测等方面。图2—6为1972年测区(标有№1)与相邻同一任务性质测区的布置图,其面积约为14000平方公里。这项工作提供了在强磁异常区高精度航磁工作的方法技术与地质应用的经验。考察期间,我们获得了该测区1972年航磁工作成果报告与附图,可供我们工作中参考。

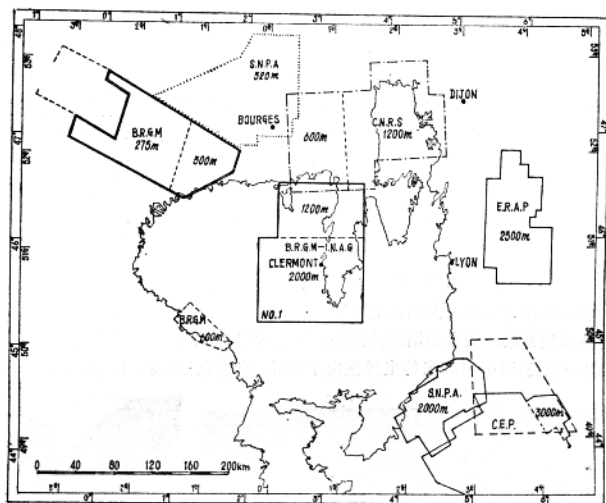


图 2—6 法国中央岩块高精度航磁测区布置图

下面将着重介绍法国高精度航磁工作所采取的技术方法。

二、仪 器 设 备

(一) 航空磁测仪器与辅助设备: (见图2—1)

法国常用的航空物探飞机有B—17型, HD—34、680f1、DC—3等型号。高精度航磁工作仅作单一磁法,但注意辅助设备的配套,以保证提高精度。除航磁仪外,还同时装有频率计与数字钟,定位摄影机(2台),无线电高度计与气压高度计,多普勒导航仪,模拟曲线记录仪,数字磁带记录仪以及打印机。上述仪器安装在积木式台架上,可拆卸维修。如图2—8所示。现分述如下。

1. 航磁仪

法国目前使用的航磁仪主要是法制CsF型铯蒸气光泵磁力仪。它是通过测量铯蒸气的磁共振频率而测量总磁场强度的。此频率与总磁场强度成正比, $1\gamma = 3.498688$ 赫芝。近年

来又开始使用法制 Salvi 型双重核共振磁力仪。这两种磁力仪的灵敏度均为 0.01 伽玛。其性能与特点见第三节。

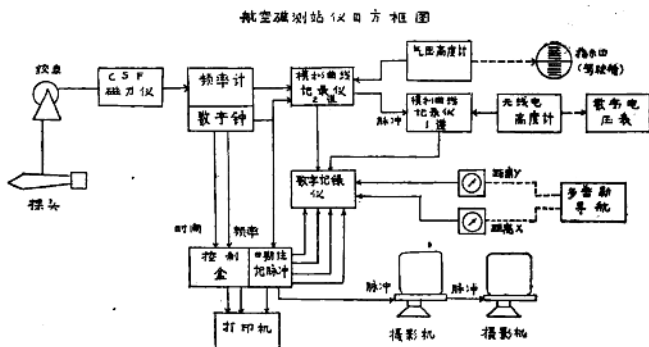


图 2—7 航空磁测站仪器方框图

探头采取吊挂探头与安装在尾锥上两种,见图 2—9,图 2—10。但在高精度航磁工作中,由于磁补偿技术较复杂,大多采用吊挂探头。探头本身长 1.75 米,直径 24 厘米,重量约 25 公斤。由一根长达 70—100 米的电缆拖曳于舱外,电缆直径约 8—10 毫米,拉力 700 公斤。

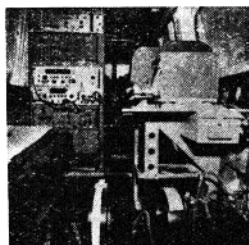


图 2—8 航空磁测仪器与辅助设备

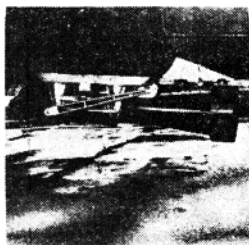


图 2—9 吊挂探头

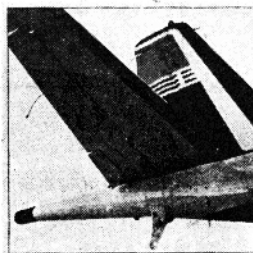


图 2—10 探头安装在尾锥上

据介绍,为补偿飞机磁场的影响,近年来法国已研制成功一种自动补偿装置,其补偿精度高,现已用于军事上。

2. 频率计与数字钟。

采用 Schlumberger 频率计与 Rocher 数字钟。在频率计上可直读伽玛值,令其记录时间为 0.95274 秒。信频 30 倍,一个读数为 0.01 伽玛,则所测磁场强度值计算如下式:

$$T = N \times 3.498688 \times 30 \times 0.95274 = N \times 0.01 \text{ 伽玛}$$

式中: T —总磁场强度值 N —读数

为严格掌握地磁场的日变,在地面站与机舱内频率计的记录时间要同步。

频率计与数字钟是受同一晶体振荡器所控制的，它每隔 20 秒对机舱内所有记录设备精确地提供一基准时间讯号，其精度为 10^{-7} 秒。

其输出为：仪器面板上的数码管，可直读伽玛值，每秒钟读一次数，数字磁带记录仪的二进制输出（编码 1248c）；模拟记录的模拟输出与打印机的数字输出。

3. 气压高度计与无线电高度计

采用 Rosemont 气压高度计与 T、R、T（电话和无线电信公司）无线电高度计。

无线电高度计的测程为 0~5000 呎（每呎为 5 毫伏），精度为 1%。可在某一已知海拔高度的水平面上校正气压高度计的观测值，它联结一台四个十进制的数字电压表，在校准高度时可精确读数。

4. 定位摄影机

机舱内安有 2 台定位摄影机，所用胶卷均为 35 毫米。其中 1 台摄影机分幅拍摄，每 20 秒拍摄一张，快门速度 1/40 秒，焦距 9.8 毫米。另一台连续拍摄，胶片速度每秒一毫米，缝隙宽度 1/10 毫米，焦距 9.8 毫米。

5. 导航设备：

两个由伺服装置控制的多普勒导航仪可显示基准点的 X、Y 值，并通过电位计将信息记录在 S、F、I、M 数字磁带记录仪上。但也不是经常都使用这种导航设备的。

6. 数据收录系统

法国在航空物探工作中已全部采用自动收录系统，其数字磁带记录仪为 S、F、I、M（测试仪器制造公司）产品，它包括六道数字输入道（每道六个字符），以二进制数码输入，以及十二道模拟输入道（每道两个字符）。模数转换亦在记录仪内进行。

磁带上每 10 秒为一信息段，在 9 秒以后为 $3/4$ 吋的空格所分开。每秒钟记录一次信息，可记录磁场强度，飞行高度，多普勒导航仪所确定的 X、Y 值、时间以及其它有关参数。按如下记录顺序：

数字输入道 1 年份日期（三个字符），测线号（三个字符）。

数字输入道 2 时间，以秒计（五个字符）万伽玛位（一个字符）。

数字输入道 3 千伽玛位（一个字符），百伽玛位（一个字符）十伽玛位（一个字符）、个伽玛位（一个字符）、十分之一伽玛位（一个字符）百分之一伽玛位（一个字符）。

模拟输入道 1 气压高度（两个字符）。

模拟输入道 6 雷达高度（两个字符）。

模拟输入道 7—8—9 多普勒导航仪所确定的 X 座标值（六个字符）。

模拟输入道 10—11—12 多普勒导航仪所确定的 Y 座标值（六个字符）。

此记录仪采用 28 伏的直流电源，1—2—4—8 DCB 编码，记录时间为 12 小时，每秒钟增量记录，错误点小于十万分之一。

7. 模拟记录仪

为及时进行定性检查，在自动收录的同时，还配有两台模拟记录仪。

一台为 Texas Instrument（美得克萨斯仪器公司）模拟记录仪其纸卷宽 9.7 吋，共有两道记录，分别记录磁场强度与气压高度。记录速度为 3 吋/分钟，记录比例尺为 8 吋/100 γ 与 2 吋/10 呎。当磁场强度值超出纸卷宽度时，其记录笔可自动调节到纸卷中央。在纸卷边缘上

每隔 20 秒打一基准时间讯号。

另一台为 Mosley 模拟记录仪，只有一道，记录雷达高度。纸卷宽 12 厘米，记录速度为 5 厘米/分钟（即 2 时/分钟），记录比例尺为 24 毫米/1000 呎，每隔 20 秒打一基准时间讯号。

8. 打印机：

如前所述，在频率计的输出端连接一打印机，将测线号、时间及磁场强度值打印在纸卷上，每秒钟记录一次，可对测量电路的工作情况进行检查。

（二）地面日变站仪器设备

和机舱内仪器相同，它记录整个航磁飞行期间的地磁场日变值。地面站的仪器有 Varian 铯蒸汽光泵磁力仪（其灵敏度为 0.01 伽玛，24 小时内相对漂移仅 0.04—0.05 伽玛），Schlumberger 频率计与 Rochar 数字钟，其性能和空中仪器相同，Texas 模拟记录仪（只有一道，仅记录磁场强度，24 小时内昼夜连续观测，每隔 10 秒打一基准时间讯号），S.F.I.M 数字磁带记录仪（在航磁飞行时，在磁带上记录年份日期，测线号，以秒计算的时间，磁场强度值，上述观测与航空磁测站的记录同步）。

三、野外工作方法

（一）测网布置：

野外工作的突出特点是按规则测网飞行，其切割线距很密，一般为测线距的 2—5 倍。在石油航磁工作中，测线距 3 公里，切割线距为 5 公里。而金属矿航磁工作中，则有 0.8×1.6 公里， 2×5 公里及 2×10 公里等不同测网。采取规则测网飞行的原因是：根据测线与切割线交叉点的磁测偏差值进行校正，可提高观测质量；可发现不同走向的磁性地质体引起的异常；同时，也有利于提高定量推断的精度。

（二）飞行高度的选择：

飞行高度的选择十分重要。地球物理总公司在法国南部某地曾进行不同飞行高度与不同气流变化条件下的试验飞行。由于高精度航磁工作的任务是要精确地圈出区域内所有的异常。而试验结果表明：当飞行高度太大时，一些浅部磁性地质体所引起的弱异常大多被平滑以致于难以辨认。如图 2—11。在飞行高度为 2500 米时，磁异常 a' 很微弱，

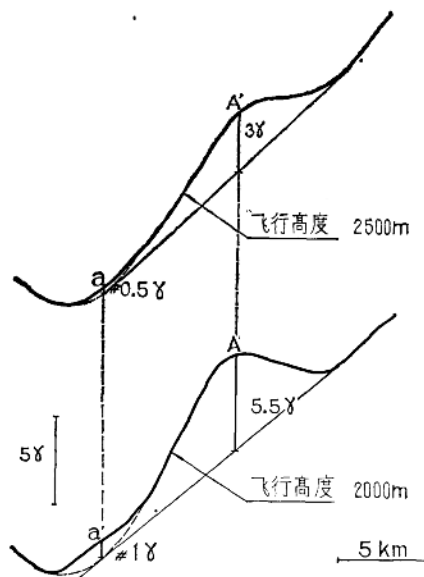


图 2—11

往往易被忽略。而在飞行高度为2000米时，异常 α' 则比较明显。因此，综合考虑地质与地形起伏条件，常选择一最低可能的飞行高度。当测区内地形条件变化较大时，则根据地形切割程度的不同划分为几个飞行地区或地段，并采用不同的飞行高度，在不同飞行地段间重迭飞行10—20公里。

除用于找矿的航磁工作外，无论在山区或丘陵、平原地区，在每一飞行地段内均采取同一海拔高度平飞。这不仅是由于在山区起伏飞行很困难，有时甚至是不可能的，而且，取得同一水平面上的航磁资料，对于地质研究也使解释推断工作简单一些。

在气流不稳定的条件下飞行时，飞行高度将出现某些微小的起伏，而这种起伏变化又将在磁异常剖面上造成一些不规则的跳动，它使弱异常的解釋变得较为复杂。图2—12是在同一条剖面上重复飞行的试验结果，显然大气涡流对磁测记录造成了干扰。在高精度航磁工作中，常要解释0.5—1伽玛的弱异常。为了使高度急剧变化所引起的干扰小于0.2伽玛，在理论上飞行高度的精度应保持在 ± 10 米以内。但目前，法国在实际工作中一般规定为 ± 20 米。而在每次航磁飞行前，飞越某一已知海拔高度的水平面上空（如湖泊）进行高度校准，其精度定为 ± 10 米。在校准时，以无线电高度计的读数为基准校正气压高度计的读数。经过校准后，第二次再飞越此已知海拔高度的水平面上空，通过两次飞行所获得的气压高度计的观测值的比较，即可确定高度校准的精度。据法国中央岩块地区1972年航磁工作中15架次的气压高度计的校准误差来看，所观测到的最大误差仅4.5米（15次）。

采取同一海拔高度平飞时，是假定在飞行过程中等气压面为一稳定不变的水平面，气压高度计将测得一恒定的气压高度，但这种假设往往并不符合实际情况。为了对高度误差有大概概念，他们还注意参阅机场上所测得的气压变化情况。据上述中央岩块地区航磁工作期间机场上所记录的气压变化资料，其最大气压变化可达2.5毫巴，相应可引起约20米的高度变化。至于测区内局部的气压变化较难估计，特别是飞越大气涡流地段时更属如此。

当测线段内出现高差达 ± 20 米以上的点有两个，或是高差超过允许误差范围两倍的点有一个时，都要重飞。同时，不允许在气压测高偏差大于30米的情况下飞行。

（三）导航定位

精确的导航定位系统是高精度航磁工作的关键。目前，法国对多普勒导航与用地形图目测领航这两种方法都在使用。当测线距为2公里时，其导航允许误差为 ± 200 米，较我国暂

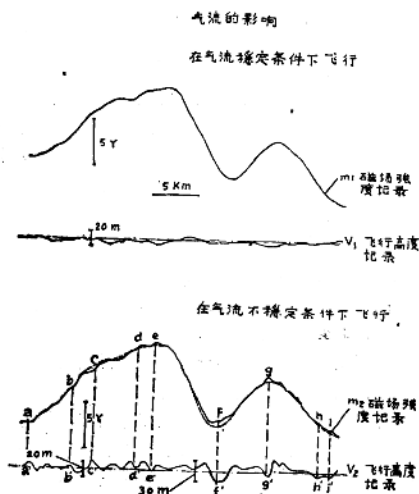


图 2—12 气流的影响

行规定的要求要高的多。

定位方法仍是采用常用的航空照像定位，但为提高定位精度，使用了两架摄影机，如前所述，一架连续拍摄，以完整地反映飞行航迹的全貌，另一架分幅拍摄，每隔 20 秒拍一张，起检查和校正的作用。在上述两者的胶卷上也每隔 20 秒打一基准时间讯号，以便与其它记录同步。

当用 1/50000 地形图领航时，每次飞行后，对照定位胶卷将其航迹转绘在地形图上，每隔 40 秒打一点，称为基准点 (P_1)，按法国常用飞机的航速为 50—80 米/秒计，则大体间隔 2.5—3 公里打一基准点，而其定位精度规定为 ± 50 米。当用多普勒导航仪领航时，则每隔 5 分钟打一点，大体 20 公里左右。

(四) 地面日变站的选择

除采用十字形磁测剖面在地磁场平静地区选建地面日变站外，法国物探人员还注意研究测区内不同地层或岩层的物理参数（如电阻率）的差异是否将使其瞬变磁场引起变化。因此，一般在航磁飞行前在不同的地层或岩层上建立两个日变站，并进行一定日期的日变观测，如两者的日变形态与幅度并没有差别，则只选用一个日变站。但在考察中我们并未了解有差别的情况以及在这种情况下如何建立？至于我们所了解的两个地区的航磁工作看来，则都只采用一个日变站。

(五) 地面试验与仪器校准

在航磁飞行前或结束后都要检查航磁仪的转向差（探头沿水平面转动对观测的影响）与旋转效应（探头摆动对观测的影响）。同时，为了确定它的绝对测量精度，还要将 CsF 铯蒸气光泵磁力仪与质子旋进磁力仪（其绝对测量精度高达 0.5 伽玛）进行对比。试验时，将前者探头安装在固定基座上，使其方向与飞行测线的方向一致，并将其拖曳电缆伸往上方。将两台仪器在同一处进行多次重复观测，然后根据两台磁力仪的差值经平均后进行校正，从而求得 CsF 型光泵磁力仪的实际旋磁比与记录时间 t 。在航磁飞行时，则采用上述实际值计算伽玛值。

据我们所了解的法国中央岩块地区的仪器试验结果，CsF 光泵磁力仪的转向差的最大偏差为 0.46 伽玛，其旋转效应小于 0.5 伽玛。而与英制 Elsec 质子旋进磁力仪进行对比试验后，其实际旋磁比为 1 伽玛 = 3.498682 赫芝（理论值为 3.498688 赫芝），记录时间为 0.952738 秒（理论值为 0.95274 秒）

在正式飞行前，安排一定时间进行试验飞行，以便检验空中仪器工作状态是否良好？空中与地面仪器的观测是否同步等等。

每次飞行后都列表说明各项工作状态。其内容包括测线号（测线或切割线号、飞行方向），测线公里数；导航（超过导航允许误差的基准点号及其偏差误差值），定位（在 1/50000 地形图上基准点的打点质量），气压高度（模拟记录质量，飞机在超过允许高度误差范围的持续飞行时间，以秒计），雷达高度（模拟记录质量，相对航高超过仪器最大测高值时的持续飞行时间，以秒计），分幅式与连续拍摄式的胶卷（摄影机的工作状况与胶卷质量），多普勒导航仪工作状态，空中磁测（模拟记录质量，干扰情况，如干扰噪声，涡流效应），地面站磁测（飞行期间磁扰大小），以及飞行过程中所发生的事故，是否需要重飞等。