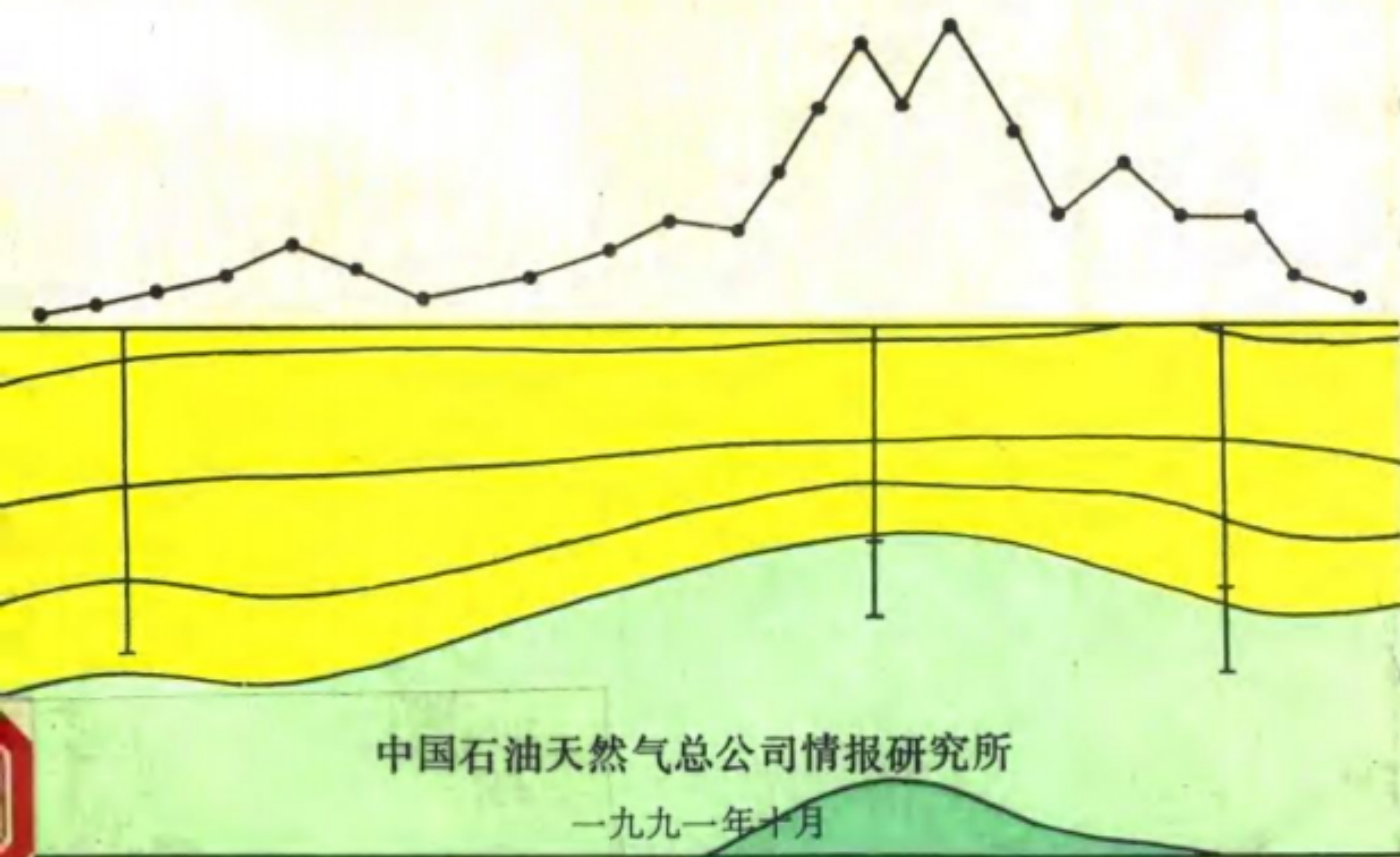


非地震物化探法油气勘探

百例集



非地震物化探法油气勘探百例集

主 编 任 俞 尚慧芸 曾国寿

责任编辑 于秀琳

中国石油天然气总公司情报研究所

一九九〇年

正文设计：段利君
责任校对：马续林
封面设计：梁惠平

非地震物化探法油气勘探百例集

开本787×1092毫米1/16·印张45¹/₂;

字数：100万 印 数：2000

油情(单) 9023 工本费：18元

编辑：中国石油天然气总公司情报研究所

印刷：解放军工程兵学校印刷厂

发行：中国石油天然气总公司情报研究所
(北京和平里七区十六号楼)

邮政编码：100013

前 言

随着世界油气勘探的进展，摆在石油勘探工作者面前的是日趋复杂的地面和地下的地质条件，是更加隐蔽和难找的勘探目标，勘探费用也不断增高，这就迫使人们不得不研究新的勘探方法和技术，探索和开拓新的勘探途径。非地震物化探油气勘探方法的再次兴起和广泛应用，就是其中最重要的一方面。

为了发展我国油气勘探新技术，促进油气勘探战线上科技情报的交流，提高我国非地震物化探油气勘探的技术水平，原石油工业部科技司于1988年3月给石油科技情报研究所下达一项任务：搜集并编辑出版《非地震物化探法油气勘探百例集》。要求广泛搜集国内外在各类地质条件下，以各种非地震物探、化探与综合勘探方法为手段的油气勘探成功实例，为石油天然气勘探工作者提供一些有益的参考信息。

在中国石油天然气总公司科技发展局的具体指导下，通过从事油气勘探生产和科研工作的同志们的大力协作，选编出实例115篇。按其所用勘探方法不同，归纳成为地球物理勘探法与地球化学勘探法两部分。

地球物理勘探法部分包括重力、磁法、电法与综合物探法四类。在选编中，围绕我国油气探区难度较大的地理、地质条件，如沙漠区、黄土高原、沼泽地区、火成岩和玄武岩覆盖区，人口密集、人文干扰较大和地质条件复杂的“无震区”等；针对目前经验尚有不足的勘探目标，如隐蔽型油气藏、碳酸盐岩裂缝带、流沙体、深而薄的储层构造、大小断层的分布以及直接找油气等新技术的探索问题，搜集了国内外应用上述四类非地震物探法取得成功的实例57篇。实例中涉及的方法除应用甚广的成熟方法外，还有一些尚处于试用阶段的新技术，如航空重力法、沉井电极法、电导率参考勘探法（ECRE）、电磁排

列剖面法 (EMAP)、遥感参考大地电磁测深法 (RR-MT) 等。文中分别针对这些新技术的工作原理和特点作了简明介绍。每篇实例在资料可及的情况下, 力争能较完整地介绍该地区的地质条件和特征, 采用的有效勘探步骤和方法, 所获成果和经验。

地球化学勘探法部分搜集实例58篇, 在选编时, 既注意在油气勘探中那些历史较长、成效较好的传统化探法, 如 烃法、 ΔC 法、水化学法、放射性法、微生物法、荧光沥青法等, 也注意新近提出的、试验有效的一些方法, 如 碳同位素法、K-V 法、汞法、碘法、氮法、SNIFFER 法、遥感化探、NRD法等; 既注意地表化探的成功实例, 也注意井下地球化学法, 如地球化学测井、地球化学录井仪、岩屑气录井、热解色谱录井等, 并将它们按陆上、海上和井下进行归类编排, 以便于参考选用。

应当指出, 目前油气地球化学勘探虽已有五十余年的历史, 但至今仍处于边研究、边试验、边生产的阶段。一些方法应用效果明显, 另一些方法尚有缺陷, 尚需改进、完善、创新, 但考虑到地球化学法在当今油气综合勘探中的地位、作用及应用的广泛性, 所以我们在编辑的过程中, 为了照顾方法的连续性和全面性, 仍然将它们一并收入本集之中。

本集由任俞、尚慧芸、曾国寿共同主编。任俞负责物探部分, 尚慧芸和曾国寿负责化探部分的实例搜集、审稿和定稿; 于秀琳负责编辑加工工作; 梁惠平完成部分绘图工作。

本集在编辑和出版过程中, 得到了原科技司史训知司长 (现任人教局局长) 的具体指导, 科技发展局、勘探局有关领导, 陈效期高级工程师和石油科技情报研究所领导的大力支持, 同时也得到石油地球物理勘探局地调五处研究所, 北京石油勘探开发科学研究院, 大庆、胜利、四川、新疆、玉门、大港等石油管理局, 吉林、长庆、辽河、

滇黔桂等石油勘探局，中国科学院地球化学研究所，地矿部航 测遥感技术中心以及有关的高等院校和单位的积极支持，对此一并 致以衷心的感谢。

本集的资料来源仅以近十余年来英、俄文有关书刊、杂志 和国内部分油气探区的实际科研、生产成果为主。因编者水平所 限，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。又因本集篇幅所限，编者不得 不将每篇来稿中的摘要、译文的参考文献目录和作者致谢之言，一律删除，特向作者和读者致歉意。

编 者

1990年5月

目 录

第一部分 物探法

一、重力法勘探

1. 北卡罗来纳东部的航空重力法研究..... (1)
2. 内华达州亚卡弗拉特布格模型与大断层结构..... (11)
3. 加伯油田上重力异常的分辨能力..... (18)
4. 海湾沿岸地区三维重力盐丘模拟..... (22)
5. 应用重力法探寻深层构造与生物礁体..... (30)
6. 应用高精度重力勘探法详查小面积油气藏..... (33)
7. 井下重力勘探法在密执安盆地的应用..... (37)
8. 四川泸州地区重力详查勘探效果分析..... (42)
9. 陕甘宁盆地西部逆冲推覆构造带重力资料的应用..... (51)
10. 二连盆地阿南、阿北凹陷应用重力异常预测局部构造的效益..... (58)

二、磁法勘探

11. 用频谱滤波航磁资料研究堪萨斯盆地基底..... (63)
12. 西班牙加泰罗尼亚航磁普查..... (67)
13. 得克萨斯州尼姆罗德油田的磁电法测量..... (73)
14. 罗布泊—阿拉善地区航磁普查成果..... (80)
15. 黄骅拗陷高精度航磁的作用——寻找隐伏火山岩床并估价其含油气远景..... (84)
16. 黄河口地区高精度航磁的地质效果..... (89)
17. 高精度航磁在下扬子地区所反映的构造特征及其在油气评价中的作用..... (93)
18. 辽河断陷南部沿海地区航磁直接找油技术的应用..... (99)
19. 句容—常州地区航磁所反映的区域构造特征及含油气远景..... (105)

三、电法勘探

(一) 大地电磁测深法(MT)

20. 应用 MT 法探明雅库特区深大断裂..... (113)
21. 南安大略沉积盆地的大地电磁测深勘探..... (119)
22. 应用 MT 法详查北库页岛深层结构..... (127)
23. 在交通不便的“无震区”用 MT 法成功寻找深部碳酸盐岩构造..... (132)
24. 区域性 MT 观测在巴拉那盆地玄武岩覆盖区勘探的成功例..... (143)
25. MT 法在巴音浩特沙漠地区的应用及效果分析..... (154)

(二) 瞬变电磁测探法 (TEM与TDEM)

26. 中间建场法在油气预测中的应用..... (164)
27. 内华达试验场的时间域电磁测深..... (169)
28. 滨里海盆地边缘带应用建场法寻找礁油气藏的成功经验..... (178)

29. TEM法在大城凸起上的应用试验.....	(181)
30. LOTEM法在油气远景区中勘探的实例研究.....	(190)
(三) 可控源音频大地电磁测深法 (CSAMT)	
31. CSAMT法在阿什兰气田的应用.....	(198)
32. 应用CSAMT法探明美国特拉普斯普林油藏——火山岩体构造.....	(202)
33. CSAMT法在百色盆地的应用.....	(209)
(四) 激发极化法 (IP)	
34. 阿什兰气田上的激发极化法试验分析结果.....	(216)
35. 西乌克兰若干油气藏的岩性与电-化模式分析.....	(221)
36. 激发极化法在准噶尔盆地油气勘探中的应用.....	(226)
37. 冀中探区激发极化法找油效果分析.....	(236)
(五) 电法新技术及其它	
38. 沉井电极法圈划气藏应用实例.....	(242)
39. 电导率参考勘探法 (ECRE) 的优越性及其试用结果.....	(247)
40. 电磁列阵剖面法 (EMAP) 简介与实例分析.....	(253)
41. 远参考道大地电磁测深法与现场处理自适应技术在强干扰区的成功应用.....	(257)
42. 远参考道大地电磁测深法应用数则.....	(265)
43. 苏联应用电法寻找低渗透岩层裂缝式油气藏实例数则.....	(270)
44. 科罗拉多D-J盆地阿德纳油田河道砂岩的探索.....	(277)
45. 得克萨斯西南部蛇纹岩岩颈调查.....	(281)
46. 京一塘地区远参考道大地电磁测深法的地质效果.....	(285)
四、综合物探法勘探	
47. 苏联别洛乌索夫地区非地震综合物化探研究成果.....	(288)
48. 摩洛哥西阿特拉斯盆地的航空重、磁勘探.....	(294)
49. 哥伦比亚河玄武岩高地重、磁资料的综合解释.....	(300)
50. 用航磁、重力信息综合圈划第聂伯-顿涅茨盆地油气藏.....	(311)
51. 二维半综合重、磁反演深部异体模型.....	(318)
52. 滨里海向斜边缘带应用对比法圈划油气前景区.....	(325)
53. 重力-地震法资料综合反演分析一例.....	(329)
54. 坦桑尼亚鲁夸裂谷带的构造解释.....	(335)
55. 托尔泰-土勒赛探区内隐蔽油气藏的重、电综合勘探.....	(343)
56. 重、磁法细测在我国南方SHS盆地详查深浅构造和古潜山的效果.....	(349)
57. 百色盆地应用高精度重力—数字地震联合解释方法寻找隐蔽油气藏.....	(356)

第二部分 化探法

一、地表油气地球化学勘探

(一) 直接法

1. 吸附烃法勘探油气的几个实例.....	(361)
2. 库珀盆地壤中烃的地球化学勘探.....	(368)

3. 地表轻烃通量在酒西盆地油气勘探中的应用	(375)
4. 应用 K-V 指纹技术进行石油勘探	(380)
5. 吸附丝法简介及应用效果	(393)
6. 应用荧光法的油气地球化学勘探	(398)
7. 圣巴巴拉河道地区油气地球化学测量	(407)
(二) 间接法	
8. 德国西北部勒宁根油田甲烷从油藏向地表运移的指标	(413)
9. ΔC 地球化学法在寻找油气田中的有效实例	(422)
10. 油气地球化学勘探的有效方法—— ΔC 法	(432)
11. 汞气测量——油气地球化学勘探新方法	(439)
12. 碘——油气探测的间接指示元素	(447)
13. 碘——油气勘探的一种工具	(451)
14. 氮含量测量的几个成功实例	(457)
15. 宾夕法尼亚西部近地表氮异常与断层和天然气藏的关系	(462)
16. 伊通地堑水化学法油气化探效果	(469)
17. 沃滕伯格油气田的放射性勘探	(477)
18. 航空伽马能谱资料在油气普查勘探中的应用效果	(480)
19. 航空放射性测量在帕特里克德劳油田中的实例研究	(485)
20. 核技术勘查油气藏探例	(489)
21. ^{214}Bi 是油气勘查有效探途元素	(495)
(三) 综合法及其他	
22. 综合勘探提高初探井的成功率	(502)
23. 鄂尔多斯盆地油气化探概查试验实例	(510)
24. 应用油气化探法寻找隐蔽油气藏的实例	(514)
25. 综合应用地表地球化学法和地震法加强油气勘探	(518)
26. 采用物化探综合法勘探亚拉克季和阿扬油气田	(522)
27. 苏联应用综合油气地球化学法勘探实例	(527)
28. ΔC 碳同位素比值和痕量金属元素综合应用的有效性	(530)
29. 甘肃酒西盆地青西地区物化探综合找油效果	(537)
30. 怀俄明州泰布尔罗克气田地面光谱异常调查	(543)
31. 根据非常规方法综合勘探亚拉巴马费里油田	(555)
23. 遥感数据在油气勘探中的成功应用	(563)
33. 复相关地球化学勘探	(567)
34. 陆地卫星成像技术在石油勘探中的应用——怀俄明州丹佛盆地一例	(578)
35. 气体感应雷达的探测理论、装备、探测方法及解释综述	(586)
36. 温度资料在石油勘探中的某些应用	(590)
37. 流体包裹体在油气勘探中的应用	(600)
38. 沉积盆地评价的二维综合模型	(606)
二、海上油气地球化学勘探	
39. 北海地区油气地球化学勘探	(616)

40. 应用碳同位素法评价北海源岩区·····	(624)
41. SNIFFER在海上油气地球化学勘探中的实例·····	(632)
42. 用卫星测高法提高近海海域油气勘探成功率·····	(637)
43. 浅海区生物地球化学综合勘探——评价地下含油气性与其他资源·····	(642)
44. 美国海上油气地球化学勘探实例·····	(645)
45. 海上地球化学勘探·····	(649)
46. 微油气苗中的 API指示参数·····	(654)
三、井下油气地球化学勘探	
47. 地球化学测井·····	(658)
48. 碳氧比测井找油气的方法基础及应用实例·····	(664)
49. 关于地球化学普查工作的方法问题·····	(674)
50. 利用气测制图法勘探小油气藏的经验·····	(677)
51. 地球化学录井仪试验结果·····	(679)
52. 阿 36 井油气化探试验实例·····	(684)
53. 应用岩心、岩屑微量烃含量鉴别工业气层·····	(686)
54. 碳酸盐岩区岩心、岩屑酸解烃地球化学剖面试验·····	(690)
55. 应用泥浆气测井 ($C_1—C_5$) 资料解释油气层实例·····	(694)
56. 罐装岩屑轻烃分析在陕甘宁盆地天然气勘探中的应用·····	(699)
57. 罐装岩屑样品分析与应用·····	(705)
58. 利用热解色谱分析法提高划分油气层的成功率·····	(711)

北卡罗来纳东部的航空重力法研究

John M. Brozena 等

任俞 译

一、引言

纳瓦尔研究实验室(NRL)近年来在美国的北卡罗来纳东部完成了固定机翼(fixed wing)式的航空重力试验。该地区由于交通不便:路少,溪多,泽浅、沼泊占地一半,车船皆无法畅通,因此常规的陆上和水上重力观测皆难以进行。但是对于航测来说,却属有利地区——导航无所障碍,除 Outer Banks (外岸)地带而外,整个领域的海拔接近海平面,因此对重力场影响极小。

NRL 航重观测系统由四个部分组成:(1)重力仪,(2)测高计,(3)导航仪,(4)数据记录器。重力仪测量的是加速度的垂直分量,这是重力信息与航机运行所生垂直加速度之和。对重力仪观测数据的校正值(包括对航机运行与地形的校正)是通过精确的三维定位推算而得的。地球定位系统(GPS)导航提供经度、纬度与航速数据以供作 Eötvös*校正,以及标准重力值。垂直定位可以提供数据,计算航机的垂向加速度,进行重力观测的地球校正,这是依靠高度精确的雷达测高计(取得水上观测点或已知高度的陆上测点的测高值)与气压计(取得高度未知的陆上测点上的测高值)的数据合成所得。这些检测计之所以需要是因为从伪波段量程 P 码法求得的 GPS 高度值只能精达近 15 米,而为了减小整个系统的误差,却要求所测高度值能精达 1 米以上。

该系统原是为海洋观测设计的,洋面为精确确定航机垂向运动,向高精度雷达测高计提供了一个参考界面。而陆上测点则由于其高度数据不够精确,只有依靠气压计将大量观测点数值与某些高度已知的测点联系对比,才能大大提高其它测点的测高精度,扩大航重法在陆上的应用范围。方法是利用从等压面求得的斜率值,就可以从气压高度求出绝对高度值来。

所需已知高度点或基准点的数量并不多,这是因为重力剖面可以通过尽量减小其交接点处的误差来调整好系统(固有)误差(bias error)和倾角误差(slope error)。因而只需确定少数参考剖面上的等压面倾角即可。这些剖面的重力系统误差和倾角误差可视作零,用作极小化处理中的制约依据。处理中假设航道测点间由于高度未知所产生的误差呈线性分布,测点上的数据可供中间插值分析用。由于观测区未出现过巨大的气压扰动,测线长度又都不超过数百公里,因此在应用中未曾出现过问题。如果测线过长,就需要将其分割成段,

译注: * Eötvös 校正是纠正运动状态下作重力观测时对垂向加速值进行的一种科里奥利斯(Coriolis)校正。重力仪沿地面的运动速度垂直叠加在地球运转的速度之上,导致离心加速度产生变化,从而使视重力值出现误差。Eötvös 校正值(E)以毫伽/米为计量单位,数值取决于测点所在纬度角(α)、经度(ϕ)和运动速度 V (以“节”——即 1 海里/小时为计量单位)。算式如下: $E = 7.503V \cos \phi \sin \alpha + 0.004154V^2$ 。

否则误差校正多项式就必须提升阶次了。航道上如有重力值已知的测点也可以利用,作为极小化处理或确定等压高度时的制约数据。本观测区富有水域,这为雷达标定气压测高计提供了条件。但是由于湖面的高度不准和海峡河流的回潮效应,使得整个系统增添了一定误差。

从重力仪、GPS 与测高计取得的数据全都通过机上微机系统记录在磁带与磁盘上留作航后处理。为了减小微机内存需用量,对雷达测高数据进行了实时的预先处理。仪器设备的工作状态和不同来源的数据质量皆由一监视程序进行实时检验。数据处理软件是为了搜集航磁系统的数据而设计的,而非航重的程序装备。系统装置在 NRL60 P-3A Orion 型航机之内。此航机具有一机舱和一凸形的雷达天线罩 (belly radom), 这使装备和天线大为简化。为了气压测试,鼻状的天线罩外又增添了一个吊杆。P-3 型机是一种低空航机,在 3500 千克有效负载外加乘务人员和波速为 450 公里/小时的条件下,航程能力超过 5000 公里。

二、观测系统的描述

所用重力仪是安装在一个三轴稳固台架上的 LaCoste 与 Romberg 两人的海-空式重力计 (S-93), 1984 年 1 月经过修整,完成了交接点-偶合 (Cross-coupling) 标定。该型仪器适用于在航空环境下使用。稳固台架竖立弹簧的周期可选,分别为 4、18 或 84 分钟。这种灵活性很有必要,因为在自动驾驶仪操纵下,航机的水平加速度与航船截然不同,其幅值较小而变化周期较长。在标准气候下作直线的平面航行时,通过稳固台架对于 P-3 航机水平加速的响应分析表明:航轨越出平面产生的误差在 4 分钟周期的情况下低于 2.1 毫伽;在周期为 18 分钟的条件则低于 0.1 毫伽。因此我们经常喜欢在 18 分钟周期的状态下操作重力仪。该型重力仪也适宜于航机的垂向加速特性。该航机的垂向加速度是由高幅值短周期(阵风式)与低幅值、长周期(空舱/自动驾驶仪的振动)两成分迭加而成的。吊杆高度减振允许记录周期低于 3 秒的加速值达到 1 伽。缓动的可变弹性张力有利于处理周期较长的响应,如航机高度的起伏,因纬度、长波长重力异常与航机高度的缓变所引起的重力变化等。

重力仪的输出通过一微机 HP1000 系列作记录。17 道模拟信息经簧片式扫描器扫描后,由模/数转换器以 2 赫兹的常规速度转换成数码。最感兴趣的是经过滤波后的光偏位置 (beam-position) 接点和全部交接点-偶合信息,未经滤波的光偏位置经过截频为 2 赫兹的低通滤波器滤波以后,以 20 赫兹的速度进行采集。弹簧张力由测量计以数字代码形式表示,也靠扫描器采集后录下。数码经过格式化,编组,靠微机存录在磁盘、磁带上。

这次试验中应用了两种高度源,即陆上气压测高计和水上雷达测高计。这些数据用于高度校正和垂向加速校正。测压系统包括一个安置在风向标静压探极上的 Rosemount 120 |F| 型气压转换器。探极安装在自鼻状天线罩伸出,长达 3.5 米的吊杆之上,为的是使检测器避免来自航机的骚动和扭曲摇动 (图 2)。气压与高度间的关系见下式:

$$H = \frac{P_0^n - P^n}{2.2569 \times 10^{-5} P_0^n}$$

式中

H = 高度,以米为单元;

P = 在此高度下的气压值 (毫巴);

P₀ = 海平面上气压值 (毫巴);

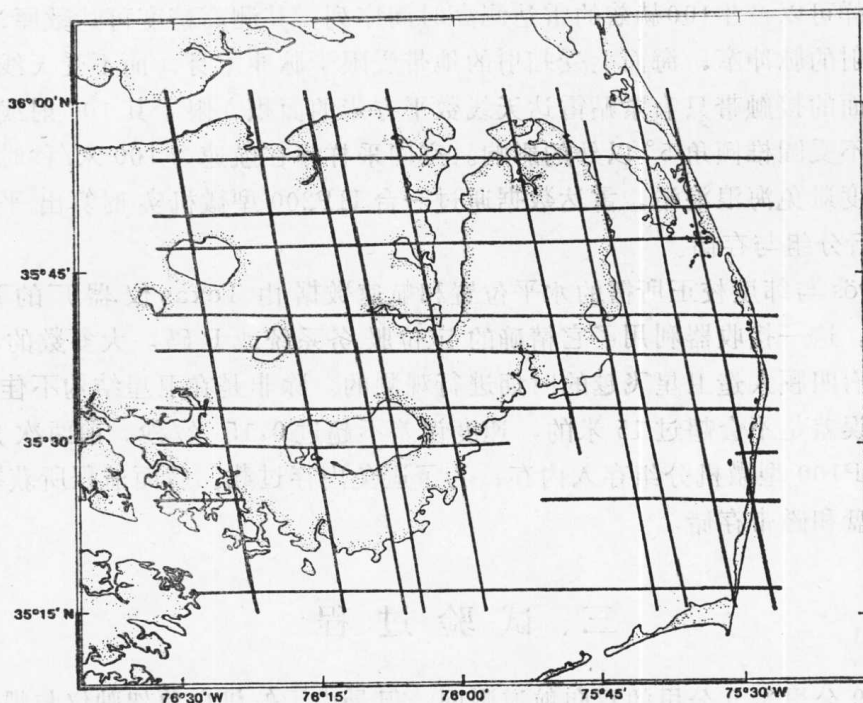


图1 北卡罗来纳东部探区内航空重力航道分布图

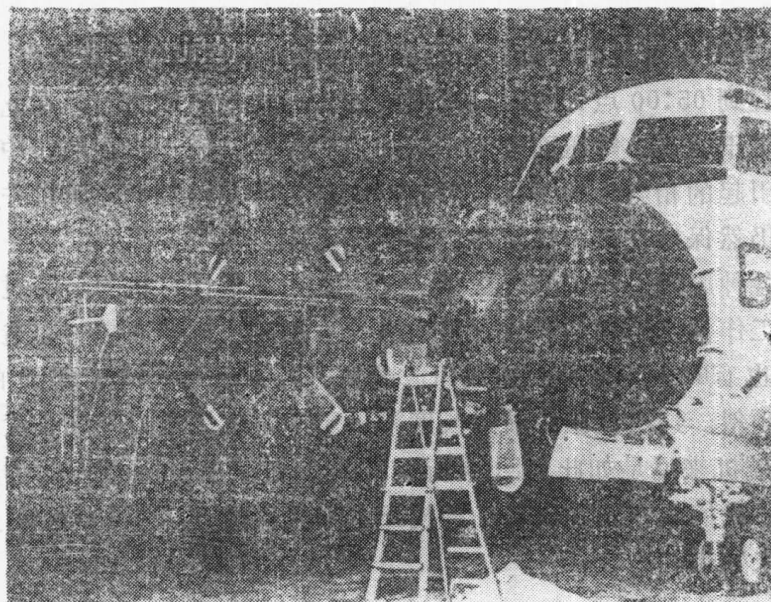


图2 连接在P-3A型鼻状天线罩上的气压测高计吊杆

$n=0.190284$ (List, 1951)。

气压转换器输出的电压经过与重力仪光偏式所用相同的模拟低通滤波器滤波后，以20赫兹的频率进行数字采样。

雷达测高计是NRL制造的高精度仪器，一个窄脉冲（<2毫微秒）传播往返时间的测量精度达到0.2毫微秒。雷达以10千赫的频率发送脉冲，每一测高点靠100个返回脉冲的平

均数来确定,这样可以产生100赫兹的雷达测高时间序列,其测高精度可达数厘米,取决于海面状态。由于发射的脉冲窄,海面上受扫射的地带受限于脉冲本身,而不受天线射线宽度的限制。脉冲与海面的接触带只有紧贴雷达天线数平方米的面积,限于其 10° 射线宽度范围之内。因此高度值不受圆锥倾角 5° 以外的影响。空间采样率在航速为100米/秒时达1米,此值足以使航机高度避免海浪混淆。雷达数据通过一台HP200型微机实时算出平均值后送给HP1000型机进行分组与存储。

为了作Eötvös与纬度校正所需的水平位置和航速数据由Texas仪器厂的HDUE型地球定位系统提供。这一接收器利用了它精确的定位服务系统或P码。大多数的测线都是选择在当探区上空有四颗人造卫星飞越的时期进行观测的。除非是在卫星结构不佳的情况下,一般的平均定位误差是不会超过15米的,速度误差不超过0.15米/秒。前两次航程中所获GPS数据全由HP100型微机分组存入内存,为了避免内存过载,后面航程所获数据皆靠另一套计算机、磁盘和磁带存储。

三、试验过程

原设计的是9公里×9公里的双向航道测网,但是由于航机自动驾驶仪与惯性导航系统之间的联接器失灵,不可能准确地沿轨航行。这迫使我们的航行处于一种保持方位的状态,偶尔略微拐弯($<2^\circ$)使得尽可能贴近地上的轨道。惯性系统通常在航道终端适时修正,但是在航行过程中却又积累起误差。常规的航行高度与航速相应为600米和375公里/小时。

当GPS系统处于卫星可见的时刻,航行有导。在本探区的航行日期内,卫星是从当地的23:00点开始,直到05:00点钟的时间范围内皆出现在地平线之上。在此时段内,对于航重观测来说,提供了干扰小、等压面较为平缓的有利环境。有一次在航行中我们经历了航行前数小时刮冷风所引起的相当大的干扰。然而这次航行所获得数据的质量并不比其它航程差多少;航机加速度仍然保持在重力仪工作极限范围之内。

有些航道出于各种原因丢失了部分数据。又因数据采集计算机的负荷过重,头两次航行时曾经出现过系统工作偶尔停顿的事故。每次当计算机系统重新进数时都造成数分钟数据的丢失。GPS接收器也有时中间暂停,造成回放的重力数据出现间隙。最大的数据丢失可能来源于重力台架的倾斜。这次试验中航道长度接近于固定机翼重力观测长度的下限值,至少对于P-3型量级的航机来说是如此。回转所需时间超过了航道所需时间的25%,这使得重力仪无法保持水平。我们现在正在改善一种校正水平失误的方法(Lacoste, 1973),这一方法可以恢复部分丢失数据。

四、数据的压缩与分析

分析试验数据中最困难的问题是如何将气压计和雷达测高计的数据合成为一个连续时间下的高度数据系列。过去曾经尝试过若干方法。首先,我们将雷达测高计的水上观测资料汇编成段块(Segment),删除了陆上数据。由此我们取得了每一航道中水上段的雷达测高计资料,包括每一水上段首、尾点数据和段块之间每分钟一点的数据在内。然后确定海平面上的气压,用以与每点雷达数据相对照,并求出一个符合海平面的空间气压系列的低阶多项式来平滑

数据(图3)。气压测高数据以平滑后的海平面气压估算值为基础重新进行计算。最终的高度时

① POLYNOMIAL FIT TO SEA-LEVEL PRESSURE
WHICH FORCES PRESSURE-RADAR ALTIMETER MATCH

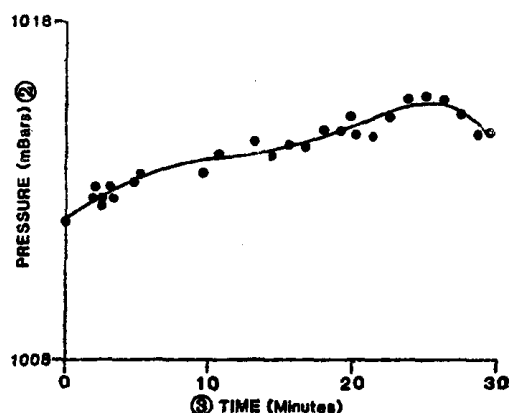


图3 黑点表示地面气压值, 它能促使气压测高计与雷达测高计准确相符, 曲线是以测点相符的多项式曲线。通过耦合求得航机航道之下的海面气压。估算出的这一海平面气压值用来计算沿航道的气压高度

①符合海平面气压的多项式促使气压-雷达测高值相耦合; ②气压(毫巴); ③时间(分钟)

间序列是依靠在水上的雷达段块中间填入陆上气压测高数据后拼接而成的(见图4)。

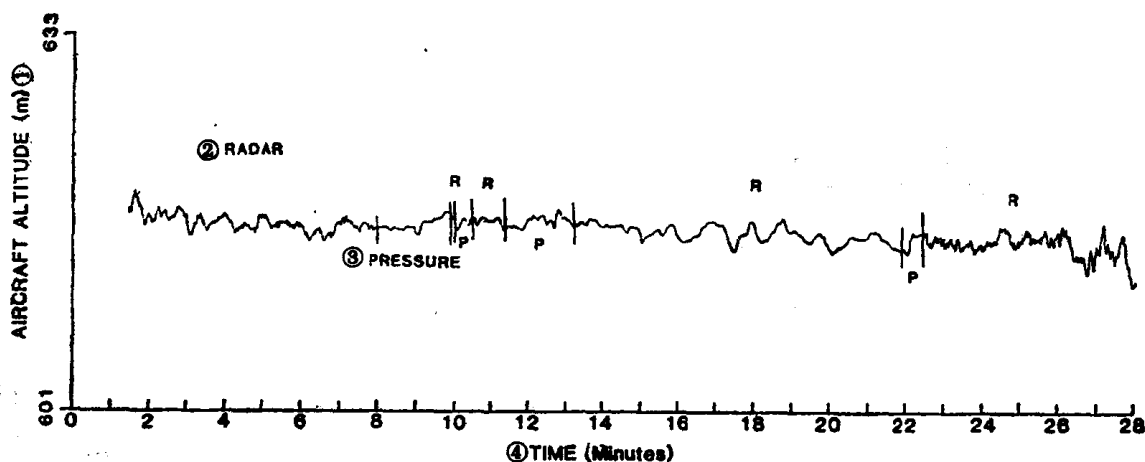


图4 完全换算成气压数据后合成的雷达与气压高度(时间)系列图

①航机高度(米); ②雷达; ③气压; ④时间(分钟)

由于雷达测高要比气压测高精确得多, 测高过程中十分强调充分利用一切可以使用雷达测高技术的地点。在最终高程序列取得之后, 还要将数据通过重力仪内的硬件滤波器进行相应滤波(具有三节RC滤波, 每节时间常数是20秒), 然后数字化微分二次, 求出垂向的加速校正值。滤波能从雷达测高中排除海波信息, 并与重力仪数据的频率成分和相位滞后状态相协调。经滤波后取得的高度值也在进行垂直梯状大气高度校正中使用。

GPS数据所需处理较少。磁带开启(unblocked)、经度、纬度与速度资料全都存储在

磁盘的文件中。这些编辑文件用来收集那些质量差的定位和速度资料，这往往是在改换卫星或是在地形极其恶劣的情况下出现的。速度资料也必须通过相当于三节 20 秒时间常数的等效滤波器作数字滤波。然后利用编辑文件中的速度数据计算出的 Eötvös 校正并取得这一纬度上的标准重力值。

从重力观测带中取得弹簧张力值、交接点-偶合与线速度值。这些数值将换算成为等效时空值，为此提供了 S-93 型观测计的适当转换因子，弹簧张力值经过滤波，使与线速度和交接点-偶合值相匹配，最终数据将与处理过后的导航、测高资料相合成。由此取得的原始重力资料还要进行一次时间上的反向滤波处理，以排除正向滤波所产生的相位滞后。重力资料是以沿着航道每一点，以截面图的形式显示的。绘制这些截面图能够展示出一些偶尔产生的周期较短（由 2 到 4 分钟）的大幅值偏离，这是在处理重力数据时利用大气测高计进行垂向加速校正的那些部位出现的。这些误差多半是在气压计吊杆偶尔共振摆动时形成的。在此期间，大气冲击静态气压计后重又排出，恢复其环境气压。出现的误差先是下降而后上升。已设计一个数字低通滤波器来排除周期较短的干扰，但是周期较长的干扰却要求滤波截止周期更长，这将使得重力场中一些珍贵信息也被滤除。因此只能依靠人为方法将长周期干扰排除。最后取得的“缺空段”通过排除气压测高计和重力仪光偏速度内的短周期信息才得到填补。总

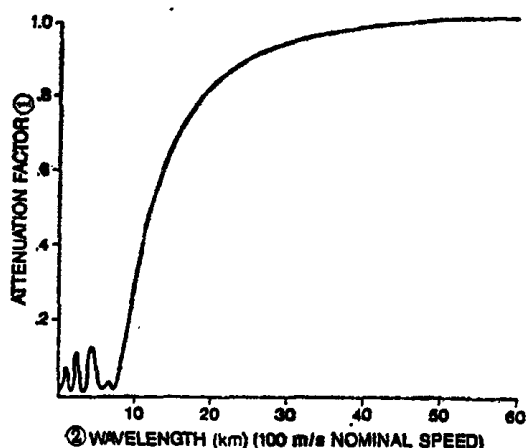


图 5 应用于剖面的一次数字滤波器运行函数

①衰减因子；②波长（公里）（在 100 米/秒的常规速度之下）

之，重力仪测量的是弹簧张力，测高计垂向加速值在跨越“缺空段”处是靠内插法取得的。这一处理过程保存了从重力仪和测高计两者所获长周期加速信息。低通滤波器的截频设计得与近 11 公里波长相对应（见图 5）。越出探区的剖面承受了 1—2 次滤波，每次滤波都会排除剖面起始与终止处近一分钟的数据。多次滤波能增大削波陡度。那些以水域为主的剖面由于不呈现气压测高偏移，只需滤波一次即可。上述处理过程应用在 21 条有效的重力剖面上，其中 12 条是南北向，9 条是东西向。东西向剖面中有两条出现了“缺空段”（图 1）。由于若干剖面的首尾皆位于探区之内，故具有 96 个交接点可用以检验其不整合性。检验表明有几条剖面

持续偏低数毫伽。我们过去认为这些偏低值出自稳固架略微偏离水平状态所致，而真正的原因却在于滤波常规系数不适当之故。这些持续偏低的剖面皆承受了数次滤波。在加上凭观察确定的一个小常数并进行粗略调整以后，平均的连续误差降到 -0.1 毫伽，均方根（rms）差值为 3.8 毫伽（图 6）。

后来又完成了一种最小二乘方调整法，用来减小连接误差。这一程序针对每一条航道进行了一次线性的误差模拟，并确定了每一航道的校正常数和斜率。选出两条南北向和两条东西向的航道校正值制定为零，作为极小化处理的制约。南北向第 10 条与第 12 条和东西向的第 5 条和第 9 条已被选中，因为这些航道的大部分航程飞越水面。至少还要有 4 个制约点（或者更多，这取决于位置所在），它们必须位于观测航道之下并具有已知的重力值。完成最小二乘方校正之后，连接误差降低为 0.01 毫伽，均方根误差降为 3.0 毫伽（图 7）。又因有两对南北向航道（5—6 与 10—11）近于重合，每一对航道所获数据都给予平均，合成一个单轨。

① UNADJUSTED DIFFERENCES AT INTERSECTIONS

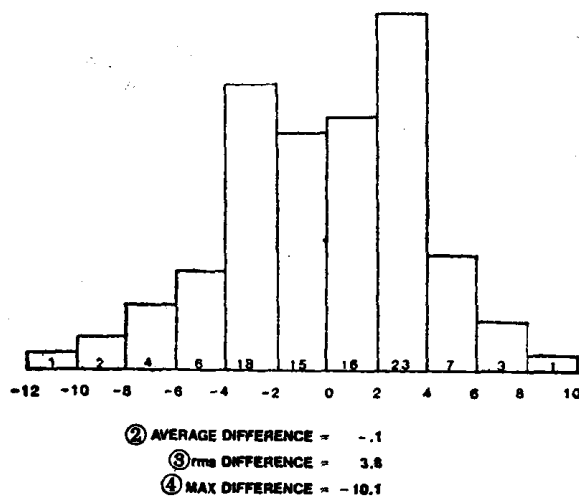


图 6 在进行最小二乘方调整以前, 96 个交接点连接误差直方图
①未经调整的交接误差; ②平均误差=-0.1; ③均方根值误差=3.8;
④最大误差=-10.1

① ADJUSTED DIFFERENCES AT INTERSECTIONS

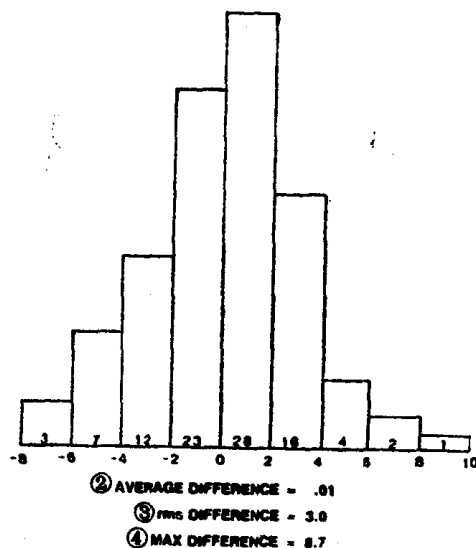


图 7 通过最小二乘方法调整后的交接误差直方图 (具有 4 条航道数据固定的线性误差模式)
①调整后的交接误差; ②平均误差=0.01; ③均方根值误差=3.0; ④最大误差 =8.7

在进行圈划以前的最后一步调整是将各个连接点的重力值加以平均并将所获一对接点的误差沿着两点间的航道平均内插入测点之上。这次研究所测的全部重力值以 Patuxent 海空观测中心的重力站作为标准, 该台站距离航机场约 5 公里。最终数据以 2 毫伽为间隔进行圈划 (见图8)。