

第 1 章 地质大断面调查概况

第一个需要解决的困难是在研究区域选择一种方法来建立科考基地。有两种选择：一种是建立浮冰基地；另一种是在船上扎营。两者各有利弊。

浮冰站的优点是海军在北极地区开展大规模水文测量时已很好地掌握此项技术。北极科考的水文测量是在 4 月，浮冰坚固、24 h 光照、天气晴好，这些都对航行安全至关重要。潜在的负面因素是可能找不到合适的浮冰，更别说恶劣极寒的天气对工作人员和机器设备的挑战。

船载基地可对测量回路随意操控，但仅在夏季可行。这就出现了另外一个困难：冰块一方面必须能够足够坚硬来支撑直升机和爆破装置的重量，另一方面还要让船只可通行。此外，北极的夏季常有大雾，不利于安全飞行。当缺乏重要工作经验时船载基地的这些不利因素将变得更为糟糕。

缺乏经验最终成为 1989 年选择浮冰站方式的决定性因素，后续的发展也证明最好和最坏的预期都变成了现实。所找到的最适合的浮冰距离测量区域 150~200 km，科研人员和仪器设备面临酷寒天气的考验，好在天气好得出奇非常适合飞行。

随后 3 年，尽管海军已经结束了在此区域的水文测量调查并将所有设备均投入极地海洋地质科学考察工作，但浮冰站通常仍是首选，即使天气情况并不太好的时候亦如此。

由于财政困难，极地海洋地质科学考察于 1992 年暂时搁置，直至 2000 年重启。2005 年和 2007 年由全俄海洋地质矿产资源研究所组织继续开展。

在调查的第二阶段，由于极地航空网络不再存在，船载基地成为了唯一的选择，好在破冰船更易停留并方便开展科考活动。

1.1 浮冰地球物理调查

1989—1992 年，由苏联地质部海洋地质勘探公司牵头的极地海洋地质科学考察队（PMGRE）在浮冰上开展了北极地质断面调查——跨北极研究计划的一部分。研究区域位于北冰洋罗蒙诺索夫海岭和门捷列夫海岭之间海域，沿两条测线分别进行：一条为德隆海底高地—马卡洛夫海盆（1989—1991 年）；另一条为罗蒙诺索夫海岭（1992 年）（图 1.1）。

调查开始前，海洋地质勘探公司的科学家们基本上都没有参加过俄罗斯航保部组织的高纬度北极探险，缺乏在浮冰上工作的经验。服务于海军发展需要，自 20 世纪 60 年代开展了大规模探险活动，有几百名不同领域的专家参加，动用了多达 10 余架安-2 飞机和米-8 直升机，以及无数的装备器材。为确保北极探险计划的顺利进行，俄罗斯海军航保部承担了所有艰巨的后勤任务，保证浮冰站的物资供应，并在浮冰站安置了整整一个城镇的工作人员专门修筑重载货运飞机跑道。

地质断面调查最重要、最大的技术难题是为建造浮冰机场搜寻和选择合适的浮冰用以修建跑道和野外基地，以及保障科考所需的物资供应。

1989 年，海洋地质勘探公司的 M. Y. Sorokin 和俄罗斯航保部 A. P. Makorta 负责浮冰站的野外和后勤保障工作。高纬度北极探险结束后由 M. Y. Sorokin 一人负责。多年来浮冰站由安-12 和安-16 飞机经由陆地机场转运和撤离，这些陆地机场建立在科舍思地（Kosisty）海角、斯瑞德利（Sredniy）和佐霍夫

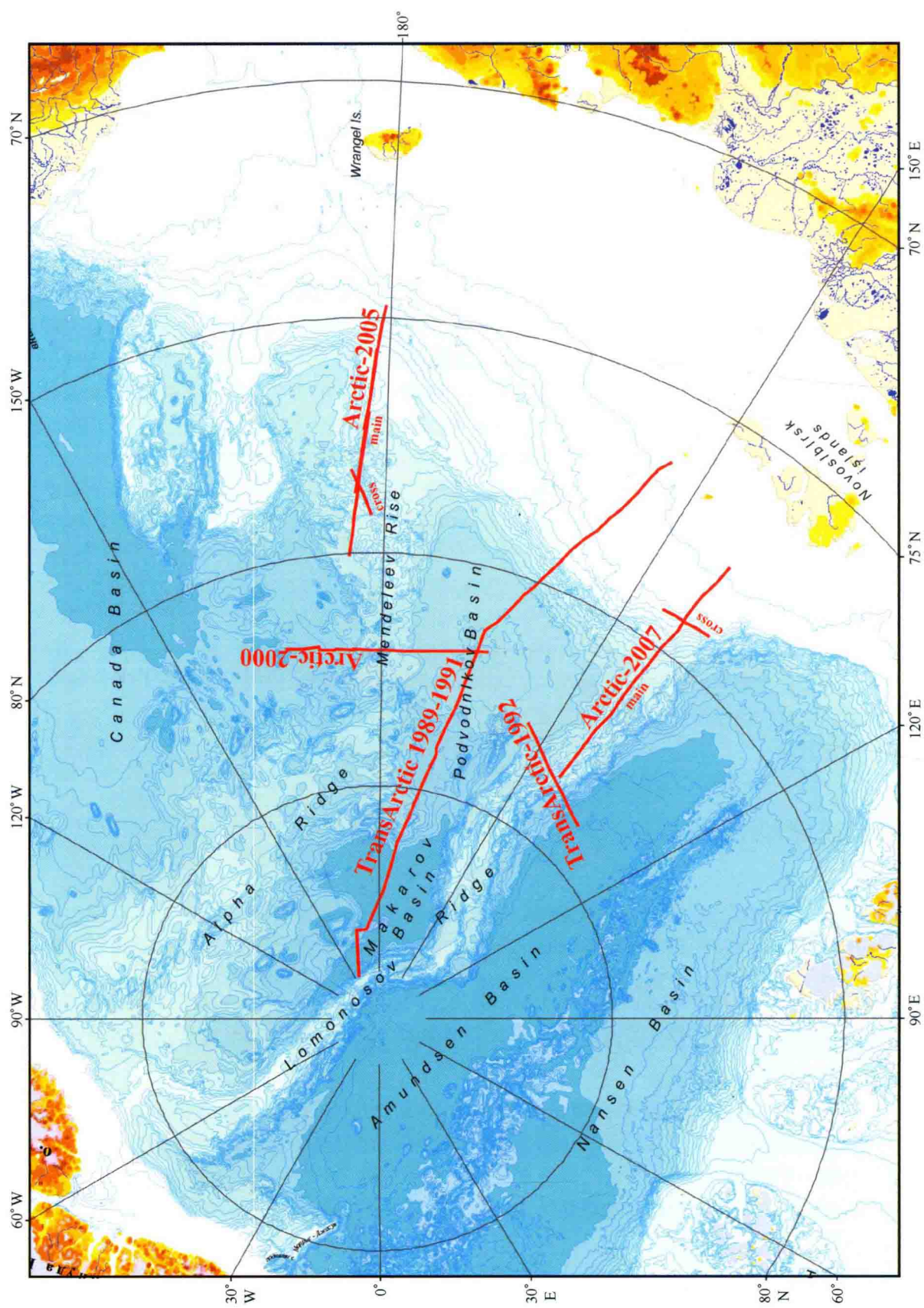


图1.1 广角反射/折射 (WAR) 地震测线图

(Zhohov) 群岛及哈坦加 (Khatanga) 镇。

调查项目包括广角反射/折射地震 (WAR) 和反射地震 (沿空中降落地和浮冰漂移轨迹) 测量, 剖面重力测量 (除 1992 年外) 以及沿地质断面宽 100 km 条带的航磁测量。

1989—1991 年跨北极科考近南北向地质断面调查从波德福德尼科夫 (Podvodnikov) 海盆中部, 沿 81°—85°N 向北延伸 (1990 年), 再向南延伸 (1991 年)。所有野外调查都在 2 月至 5 月进行, 测线总长约 1 500 km。

2 月至 5 月间, 北极的天气和浮冰都极具挑战性, 这是北极的特色。1989 年, 浮冰站发现浮冰自身漂移, 因此基地和跑道不得不迁移。迁移工作直到 1990 年 4 月中旬才得以开始, 此时的浮冰已经向北漂移, 因此 1989 年跑道的位置与 1990 年相比发生了很大的变化, 两者相差约 100 km。1991 年多数情况下从佐霍夫岛基地起飞, 因此不再如以前那样严重依赖于天气条件。

1992 年, 在距斯瑞德利岛东北约 850~900 km 的浮冰上建立了新的浮冰站。考虑到浮冰漂移导致科考工作期间跑道无法使用, 因此在距离浮冰站 15 km 的另外一块浮冰上重新修建了跑道。

1.2 船载地质和地球物理调查

2000 年 8—9 月在 M. Y. Sorokin 和 V. D. Kaminsky 领导下、2007 年 5—6 月在 V. D. Kaminsky 和 V. A. Poselov 领导下, 开展了两次船载地质和地球物理调查。科学小组由 V. V. Fedynsky 区域地球物理和地球生态研究中心 A. V. Maukhi 领衔, 全俄海洋地质矿产资源研究所合作参与。该项调查开始的前两年, 科考活动主要在“费多罗夫院士 (Akademik Fedorov)”号调查船上开展, “Rossiya”号和“Sovietsky Soyuz”号核动力破冰船仅偶尔提供支援, 2007 年开始调查工作则完全依靠“Rossiya”号核动力破冰船开展。

研究工作包括广角反射/折射地震 (WAR)、反射地震调查、重力测量和航磁调查 (2000 年除外) 以及底质地质取样。

2000 年地质断面长约 500 km, 与门捷列夫海岭走向垂直 (沿 82°N), 2005 年和 2007 年地质断面长约 600 km, 分别穿越罗蒙诺索夫海岭和门捷列夫海岭与大陆的连接带。通过这几次科考活动, 船载基地相较于浮冰站的优势逐渐显现; 基地和断面之间的飞行距离大大缩短; 大气温度不低于零下 3~5℃; 此外, 科考人员的住宿条件也大为改善。

1.3 航空地球物理调查

基于浮冰站开展的航空地球物理调查仅限于航磁测量, 调查队与其他科考人员驻扎在同一块浮冰上。

转移到船载基地后, 航空地球物理调查组 (也包括航空重力调查) 成为了一个独立的调查小组驻扎在距研究区最近的飞机场, 如 2005 年 Pevek 飞机场、2007 年 Tiksi 飞机场。2000 年由于资金短缺, 航空地球物理调查暂停。

图 1.2 为航空地球物理调查路线。

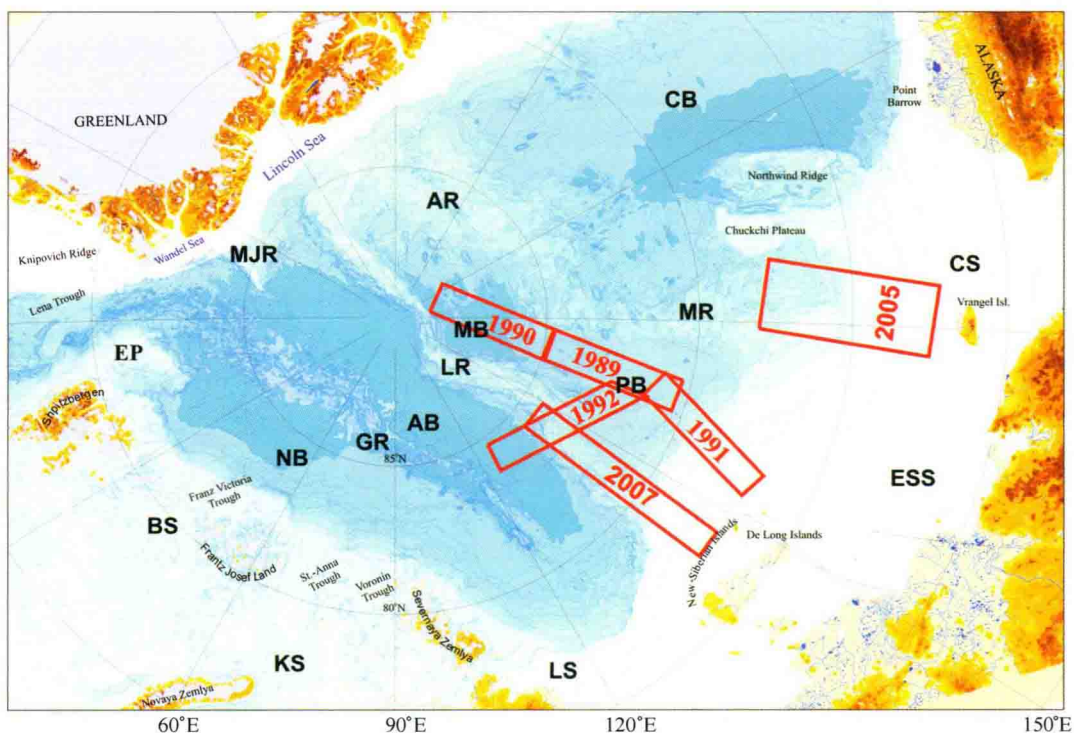


图 1.2 航空地球物理调查区域和年代

GR—贾克尔洋脊；NB—南森海盆；AB—阿蒙森海盆；LR—罗蒙诺索夫海岭；PB—波德福德尼科夫海盆；MB—马卡洛夫海盆；MR—门捷列夫海岭；AR—阿尔法海岭；CB—加拿大海盆；EP—叶尔马克海底高原；MJR—莫里斯·耶苏普海隆；BS—巴伦支海陆架；KS—喀拉海陆架；LS—拉普帖夫陆架；ESS—东西伯利亚陆架；CS—楚科奇陆架

第2章 野外调查方法和技术

2.1 冰站运行

2.1.1 广角反射/折射数据

广角反射/折射 (WAR) 工作开始阶段遇到的困难是单程时距曲线系统不适用, 随后开发了采集双程时距曲线的新系统代替, 该系统经调整和放大后广泛应用于 1989—1992 年的调查。每年的调查活动都安排一个 400~600 km 长的地质断面, 三个排列。

当 1989 年开始 WAR 调查时, 一个排列长 110 km, 记录器间距 10~15 km, 5 个炮点: 1 个中心, 2 个侧翼, 2 个偏移点。炮点间距 45~70 km。长 500 m 6 通道的地震排列组合使用了 11 个 Taiga 型自动远程控制记录器 (ARCC)。时距曲线最大长度为 170 km。地震波由通过冰缝放置于水下 50~100 m 的 100~500 kg TNT 炸药爆炸形成。

在随后的 1990—1992 年, 使用 18 个记录器, 间距减少至 5 km。每 35~45 km 的炮点数增加到 8 个, TNT 最大用量达 1~1.2 t。

2~3 架米-8 直升机和 1 架安-2 飞机参加调查活动。

从技术角度出发, 调查可以分为以下 4 个步骤:

- (1) 地震仪电缆组装和天线布设;
- (2) 记录仪安装和连接;
- (3) 炸药运输和引爆 (在炮点爆炸前, 每架米-8 直升机或安-2 飞机的控制面板会发射一个特殊的无线电信号, 以打开设备从待命到运行状态);
- (4) 设备拆除。

2.1.2 地震反射探测数据

高分辨率反射地震用于探测大洋深度和沉积盖层的结构和厚度。可通过两种方式采集所需的数据资料: 一种是通过飞机沿广角反射/折射 (WAR) 测线航行测量; 另一种是沿浮冰基地漂流的轨迹。由于技术限制, 1989 年还无法实现航空测量。

目前, 通过多年的北极科考, 地震反射方法和技术已相当成熟。

2.1.2.1 机载测量

WAR 调查完成后, 机载测量可以在安置有 Taiga 记录器的任何地方开展。

米-8 直升机上设有地震台站。在不同年份, 使用 3-6-12 通道组合、记录器间隔 50 m。3~10 根雷管放置在冰层下方 8 m 制造地震波。一旦 TNT 被取代, 必须注意爆炸后引起的气泡脉动问题。由于主波与冰块底部反射的相干合并, 8 m 的深度足以保证地震加强效应。

2.1.2.2 浮冰站测量

为了减少技术干扰, 地震台站经常设置在离主浮冰基地约 400~500 m 处。使用 24 道记录检波器按

575 m×575 m “十”字形排列、中心炮点，根据冰块浮动速度每 1.5~4 h 采集一次地震数据。

为了获取剖面速度数据，在“十”字形的肩部绑定一个额外的检波器拖缆。该拖缆登记来自 3 个炮点的数据，每 6 h 采集一次，这样可使记录偏移距达到 2~3 km。

与机载测量相似，在冰块下面 8 m 放置 3~10 根雷管用来产生地震波。

2.1.3 航空重力观测

直升机完成 WAR 探测工作后开展冰上重力观测，在地震记录仪安置点放置 3 台陆地石英重力计来完成此项工作。

每次飞行配备 AMP-1 摆式重力仪从船上的基站出发，最后再回到船上。1989 年采用 NEL-6 回声测深仪测量重力观测点的水深，以后采用回声测深仪和地震反射数据来确定。数据处理则在浮冰基站完成，包括自由空间重力异常的计算和误差评估。早期科考中某些测量点进行的重复测量用于精度控制。测量点间距随测量时间的不同有所改变，从 5 km 至 20 km 不等。

2.1.4 航空磁力测量

采用安-2 飞机（滑雪橇降落模式）和 MMC-214 型高频质子航空磁力仪。传感器固定在飞机尾部的非磁性条上。磁场和辅助数据都记录在纸带和磁带上，每秒读取 1 次。航行沿主向和横向航线，离地 100 m 高度飞行。主测线长 500 km，互相平行，间隔 5 km（图 2.1 至图 2.4）。横向测线与主向测线相互垂直，作为扩展的控制点，用于后期磁力剖面数据校正。

在所有季节磁性传感器的航向偏差都小于±6 nT。航次测量的同时也伴随着地磁场变化，通过两种地面磁力检测装置 M-33（1989 年）和 MMP-203（1990—1992 年）来记录。大部分航磁数据测量是在地磁场无大的变化时段进行。

2.1.5 导航和大地测量支持

调查使用的仪器设备如下：接收器（RI）MX-4400、GPS Navstar、MX-1502、SNS Transit、KPF-6、RSDN Marshrut；个人电脑 DZ-28；经纬仪 THEO-01 OB。

导航和大地测量工作主要取决于研究调查的类型。

2.1.5.1 WAR 航空测量、地震反射探测和重力观测

直升机前往地球物理观测点；地球物理调查坐标定位的均方根误差小于 200 m；沿测线布置的地震拖缆误差范围小于 5°。直升机使用 RI-4400 提供的导航数据前往观测点。如果卫星数据缺失，则使用 RI KPF-6 RDSN Marshrut 无线电导航数据代替。提供的位置数据输入 RI，RI 可为项目提供高精度的经纬度数据。为了将记录器放置在浮冰上尽可能靠近爆破点，以下工作需要使用额外的定位工具：地震拖缆和地震接收器的放置、地震记录仪的放置、爆破点附近航行、仪器设备拆除。

调查中，观测点坐标根据数据插入法和外推法来确定。

DZ-28 将采集的 WGS-84 坐标系数据转换为 Pulkovo-42 坐标系。

地震拖缆在冰块上的定向主要依靠天文学和 THEO-01 OB 经纬仪或直升机回转定向罗盘辅助。一旦直升机飞过电缆上空，RI MX-4400 就会控制方位，并完成接收数据的最后处理。

剖面绘制的比例尺为 1 : 500 000 和 1 : 1 000 000，使用球面投影。

2.1.5.2 沿浮冰漂流轨迹的地震反射数据

包括每日基本地震位置；定位均方根误差小于 300 m；方位角计算误差控制在 5°以内。

实际操作中，PI MX-1502 SNS 坐标转换器将在爆炸期间转换计算地震阵列位置的中心炮点的位置。

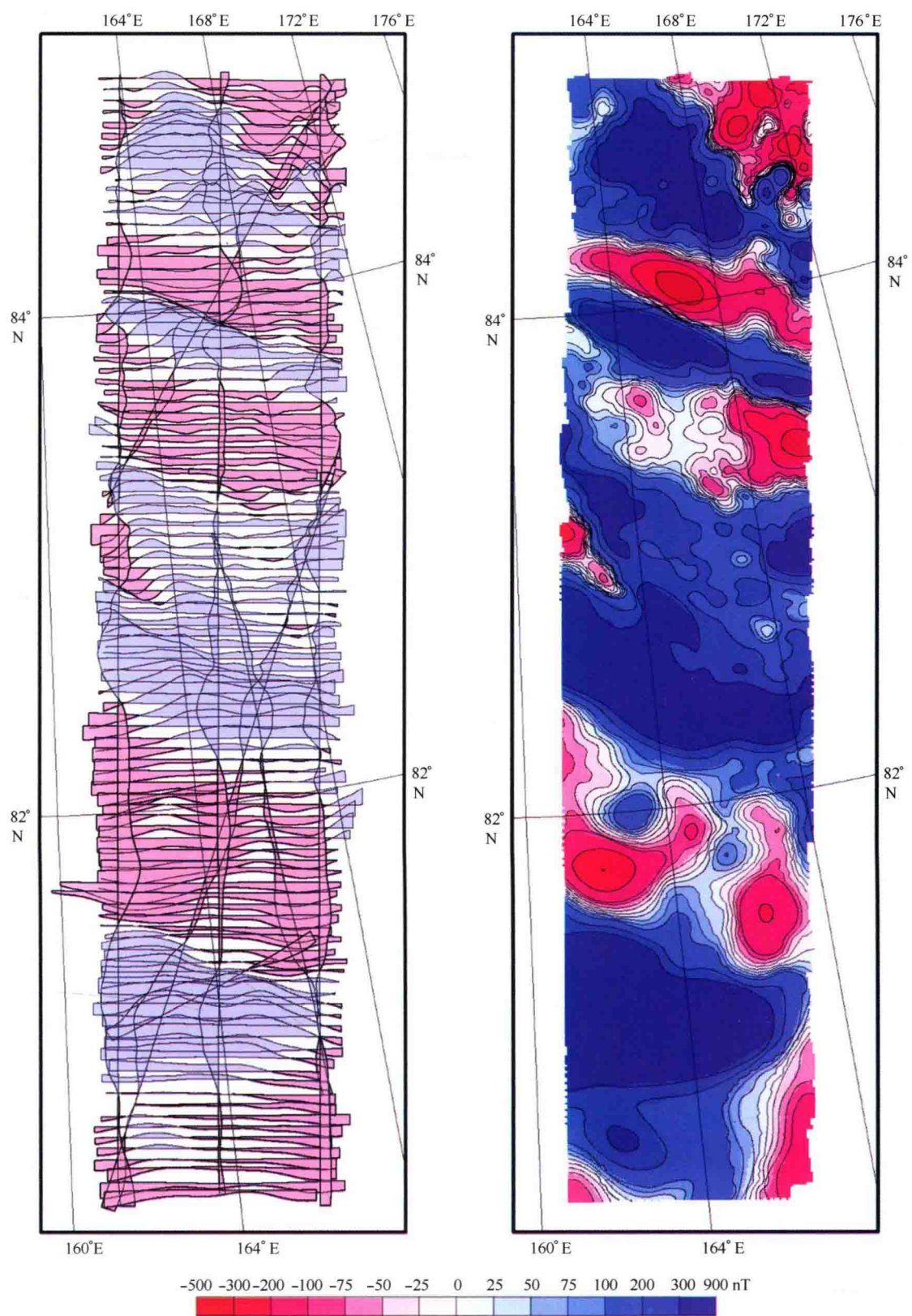


图 2.1 “TransArctic-1989” 磁异常剖面及等值线图 (nT)

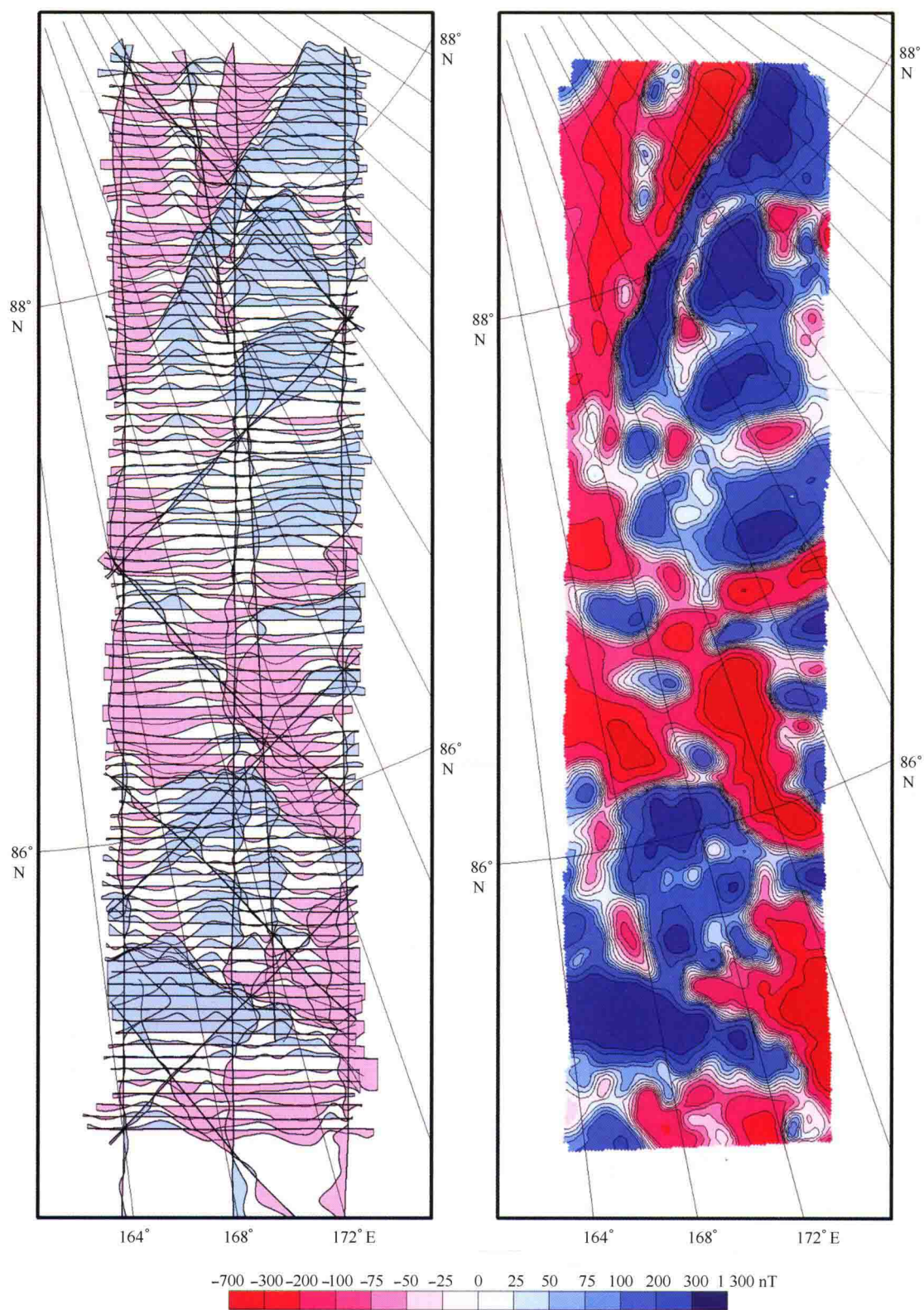


图 2.2 “TransArctic-1990” 磁异常剖面及等值线图 (nT)

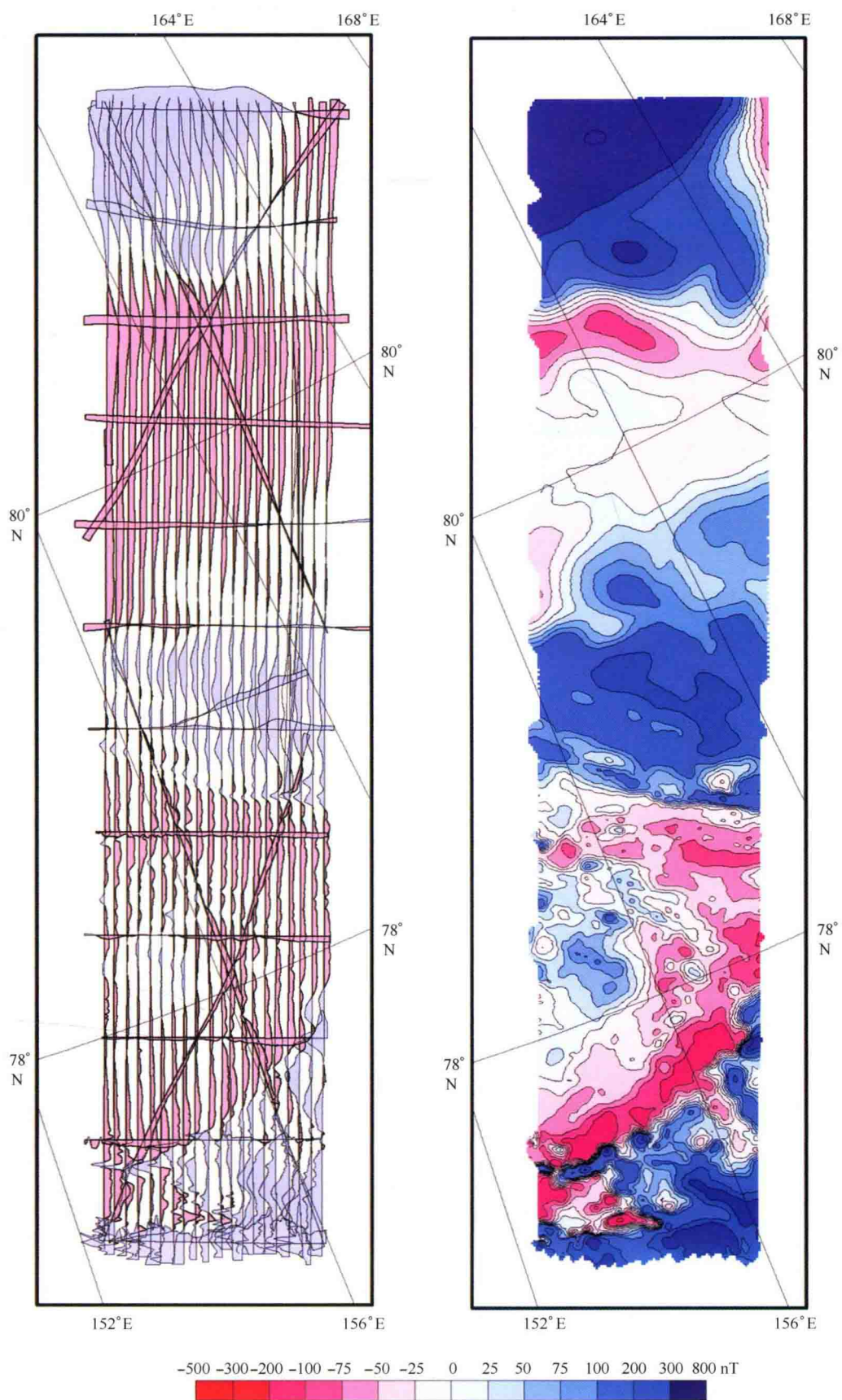


图 2.3 “TransArctic-1991” 磁异常剖面及等值线图 (nT)

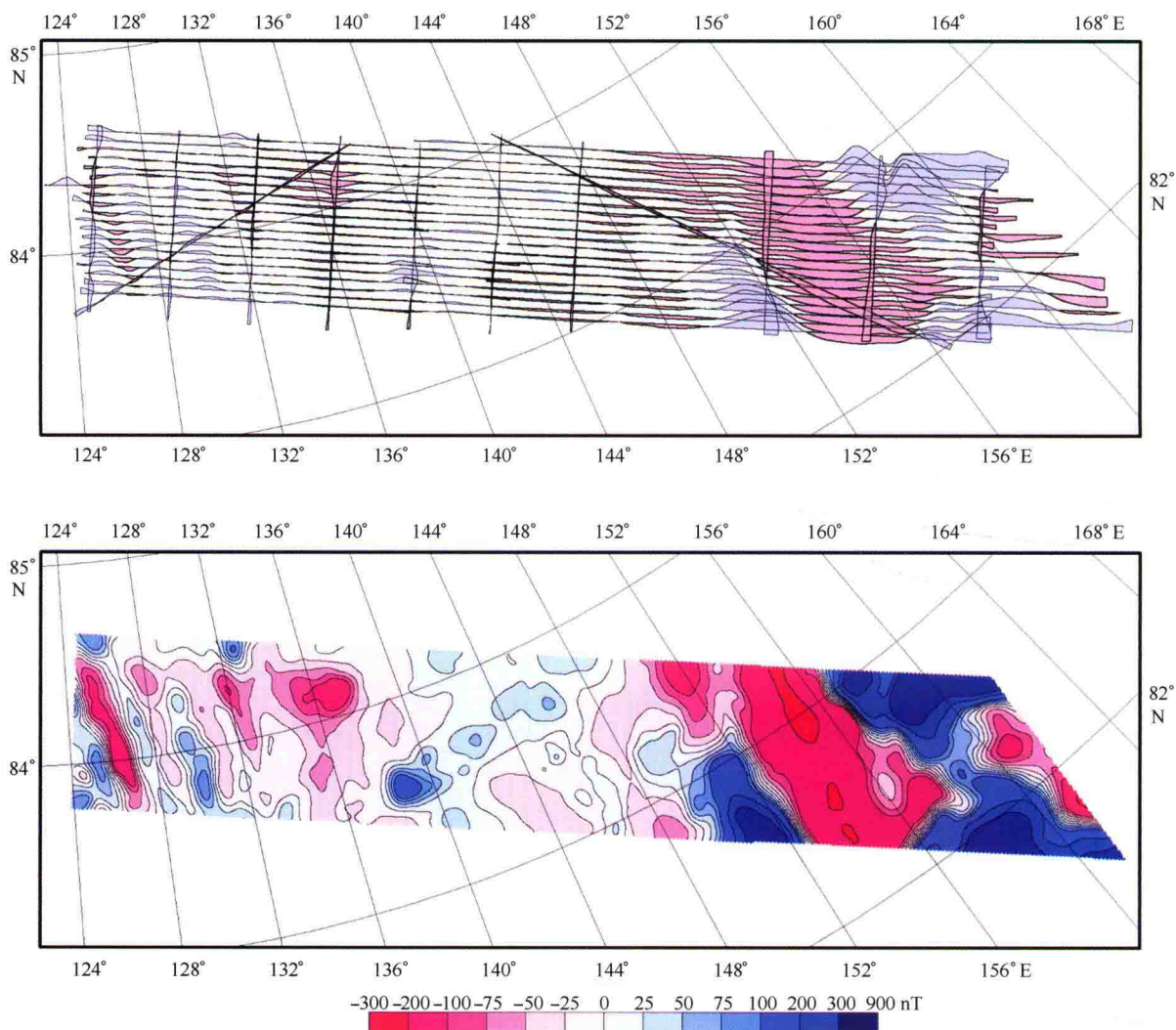


图 2.4 “TransArctic-1992” 磁异常剖面及等值线图 (nT)

浮冰基地漂移的轨迹绘制使用 1 : 200 000 比例尺，球面投影。

2. 1. 5. 3 航磁测量

事先设计好飞机航行线路；沿线各点坐标定位均方根误差小于 200 m；卫星观测预处理和提供现场室外数据资料；测量控制和误差估算；提供地形图进行地球物理数据投影，比例尺 1 : 500 000 和 1 : 1 000 000，球面投影。

2. 2 船载研究

2. 2. 1 广角反射/折射数据

考虑适合在调查船上开展的 WAR 方法和技术，采用冰山基站类似的科研调查方法。

每个断面都由具备以下条件的 3 条测线组成：

- (1) 由采样间隔 5~6 km 覆盖 150 km 的 30 个记录点组成；
- (2) 每 40 km (2000 年) 和每 50 km (2005 年和 2007 年) 设置一个炮点。在记录覆盖范围设置 4 个炮点，两边各 2 个补偿点，一共 8 个炮点，时距曲线最长达 250 km；

(3) 地震波由 0.2~1.2 t TNT 炸药爆炸产生；每个炮点共使用 6 t 炸药，每条剖面 18 t。这些炸药被放置在冰缝中。

EDG-8G 导火索和引爆电线用于引爆炸药。

所使用的 Delta-Geon-1 数字接收器具有以下性能指标：3 通道；频率范围在 0.2~1.5 Hz 之间；动态范围为 100 dB；最大离散频率为 140 Hz（离散间隔 7 ms）；可编程模式。

记录器将 CK-1P 地震仪中的图像数据利用 1 Hz 频率记录。

两架米-8 直升机（2007 年一架米-8，一架卡-32）都装有 NAVSTAR 系统，能够在调查期间实时传输数据。

每个阵列都经如下操作：

(1) 第一次飞行：放置记录器

第一架直升机携带 15 个记录器（约 300 kg）和 5~6 人，停 15 次，每次距离 5~6 km，返回调查船；第二架直升机从测线的另一端开始与第一架直升机进行相同的工作；一旦以上布置完成，炮点和阵列布置就开始。

(2) 第二次飞行：端点炮点处理

第一架飞机回船携带 2 t 炸药和 6~7 人：

去端点的飞行距离为 175 km；回船途中降落两次。在飞机降落时卸载炸药，炸药爆炸期间飞机撤到安全区域。

第二架飞机在阵列的另一端开始与第一架飞机进行相同的工作。

(3) 第三次飞行：最近炮点处理

第一架飞机携带 0.8 t 炸药和 8~10 人；距最近炮点的飞行距离 25 km，再增加 50 km 到第二个炮点。返回船上途中停 15 次采集记录数据。

第二架飞机从阵列的另一端开始与第一架飞机相同的工作。

考虑到调查人员的专业技能有差异，整个飞行时间 14~15 h。

除 WAR 主阵列外，折射波信息（图 2.5）也被记录，最终获得沉积盖层数据。

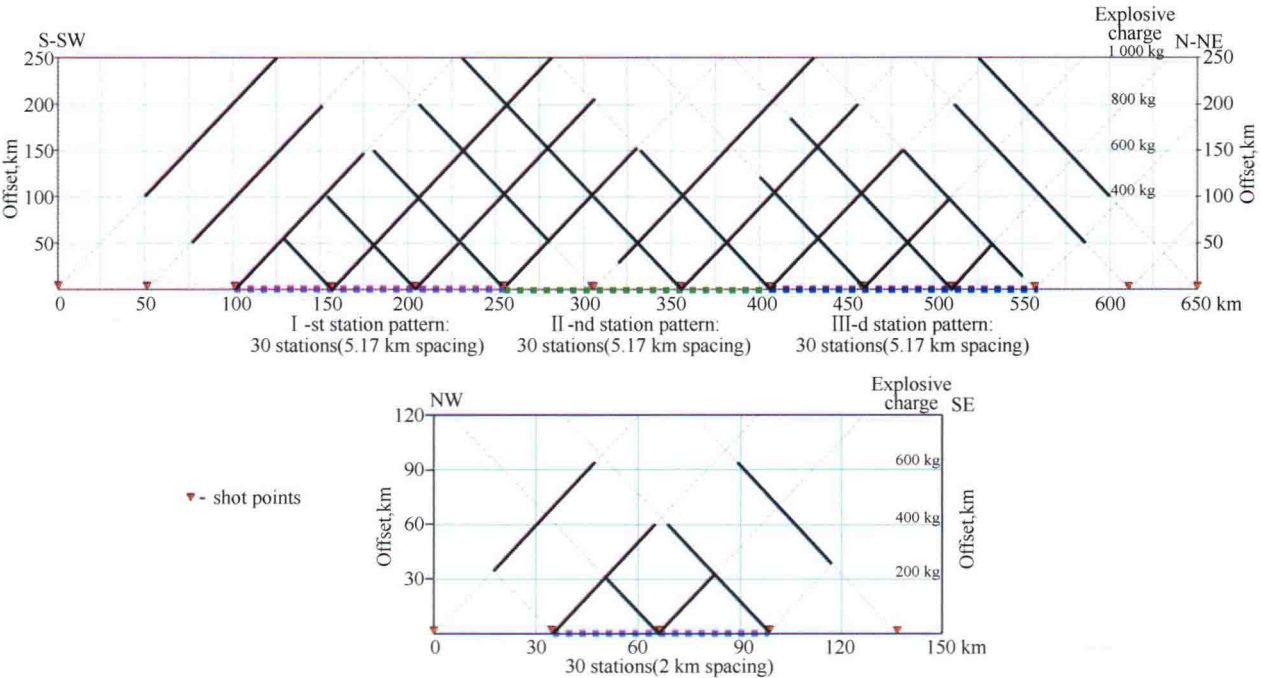


图 2.5 WAR 测线上炮点/检波器位置

2.2.2 反射地震探测数据

广角反射/折射地震数据采集完成后，在测线的每个测点使用全俄海洋地质矿产资源研究所的 SM22 记录仪采集反射地震探测数据：

- (1) 6 通道；
- (2) 频率范围为 0.2~150 Hz；
- (3) 动态范围为 130 dB；
- (4) 最大离散频率为 1 kHz；
- (5) 可编程模式。

沿测线的 6 道长 100 m 电缆组合采集数据，地震波由放置在专门钻孔里的雷管引发 5~10 次爆炸形成。

2.2.3 航空重力观测

Arctic-2000、Arctic-2005 和 Arctic-2007 3 次断面调查开展的冰上重力测量都采用相同的步骤，包括参考点和由米-8 和卡-32 直升机提供支持的冰上重力观测。下列设备用于冰上测量和参考点测量：5 个 AMP-1 摆锤重力仪和 7 个地面重力仪（GAK-7SH, GK/K2, GNK-KS）。

参考点测量采用 SNS Navsta 定位，V-2600P 采样频率 1 s 的数据记录在硬盘上。

冰上重力测量使用 GeoExplorer3 和 GPS map60CSx 定位，采样频率同为 1 s，但与前一种不同的是将数据记录在闪存盘。沿宽角反射/折射剖面的所有地震记录仪位置点在爆破作业后立即开始采集数据。船上摆锤重力仪采集的数据结果传送到由 3 个地面重力仪组成的冰上观测站。因此，每次冰上航空重力路线调查的开始和结束都在船载重力实验室附近。

2.2.4 地质采样

地质采样主要是采集和分析数据用于研究区域地质结构和地质构造性质。岩芯和底质取样器采集到的底部粗颗粒沉积物具有特殊的意义。地质采样点的选择基于所在区域的最新水深图及以下信息的综合考量：最薄的松散沉积物、海底崎岖地形、陡坡和基岩露头、冰况及将多个研究任务相融合的可行性。研究潜艇（译者注：即所谓的深海空间站）、地震声学剖面 and 视像剖面的应用有助于更准确地确定采样点。

取样使用液压岩芯取样器、箱式取样器和拖网、无螺旋桨控制 PKN-3.5E 型测井仪。

2.2.4.1 绞车系统

- (1) KGP-1 缆：长 3 200 m；
- (2) 牵引功率：60 kN；
- (3) 电缆回收速度：0.8~1.2 m/s；
- (4) 电缆下降速度：2.5 m/s；
- (5) 电功率：380 V, 50 Hz, <60 kW；
- (6) 尺寸：3 000 mm×2 590 mm×2 438 mm；
- (7) 缆重：<6 000 kg。

2.2.4.2 液压岩芯取样器

岩芯取样器由摩尔曼斯克国有企业 Morgeo 技术公司生产，岩芯取样器被取样器的内外压力差压入海底，其特性如下所示。

- (1) 工作水深：最大 5 km；
- (2) 外径：129 mm；

- (3) 内径: 116 mm;
- (4) 样品大小: 3.0 mm、3.5 mm、4.0 mm、6.5 mm、7.0 mm、7.5 mm、10.5 mm;
- (5) 样品室体积: 110 L;
- (6) 下降速度: 2 m/s。

样品被提取后, 每 100 mm 用数字温度计采集温度信息, 随后对整个岩芯使用船载 Barrington MS2 系统每 25 mm 测量磁化率曲线。测量结果用于寻找相隔较远的岩芯之间的联系, 由此确定沉积物搬运到北冰洋的重要时期。所有采集的样品都在船上直接分析以了解沉积区的结构特征。样品被分为不同的地质层用于后期的样品分析处理。样品登记完成或存放以备进一步研究后, 剩下的一半样品将会清理和拍照。最后, 样本的一部分被送到专门机构做古地磁分析, 剩下的样品将被保存至样品库。

2.2.4.3 箱式取样器采样 (抓斗型)

箱式采样器携带一个电子数码摄像头以获取未被扰动的底质样品。采样器性能如下所示。

- (1) 重量: 850 kg;
- (2) 工作水深: 5 km;
- (3) 采集样品尺寸: 50 cm×50 cm×60 cm;
- (4) 回收样品量: 145 L。

完成整个样品分析后, 得到合成的表面样及温度测量数据, 部分样品 (通常是四分之一) 用于冲洗分选以分析底部硬质岩石的成分。

2.2.5 导航及大地测量支持

以下设备和软件为浮冰和船上作业提供导航和大地测量支持:

- (1) Trimble 公司船载 PRO XR 同步卫星定位系统;
- (2) Trimble 公司安装在科考直升机上的便携式 GeoExplorer 3 卫星定位系统;
- (3) Trimble 公司 GeoExplorer 3 配套 PathFinder Office 软件;
- (4) Nabat2005 导航和水文学软件 (自主研发);
- (5) dKartNavigator 电子制图软件 (由 Morinteh 租赁)。

全俄海洋地质矿产资源研究所专门设计的软件可用于浮冰上炮点和地震记录仪位置计算。

GPS Navstar 导航直升机飞至测线点误差不超过 100 m。航空测量定位精度达 30 m, 炮检距测量精度沿顺行方向达 50 m, 海底测量精确度为深度的 1%。

2.3 航空地球物理调查

在整个航空地球物理调查过程中, 以磁力测量为主, 重力观测为辅。航空的最优条件选择 (如高度、速度、航迹线方向) 和 workflow 都取决于地磁测量。调查使用伊尔-18D 飞机, 比例尺 1 : 1 000 000。2005 年和 2007 年所采用的技术设备及精度参数有所差异。

2.3.1 航空磁力测量

2.3.1.1 2005 年调查

2005 年调查 (图 2.6) 从 佩韦克机场出发, 调查区域为门捷列夫海岭和东西伯利亚陆架之间海域。

研究区域呈长方形, 240 km×640 km, Arctic-2005 断面离机场 500 km 远。飞行高度由一个标准的无线电高度仪控制在离地面 500 m, 平均速度 500 km/h。沿近南北向、间隔 10 km 的测线方向完成主测线测

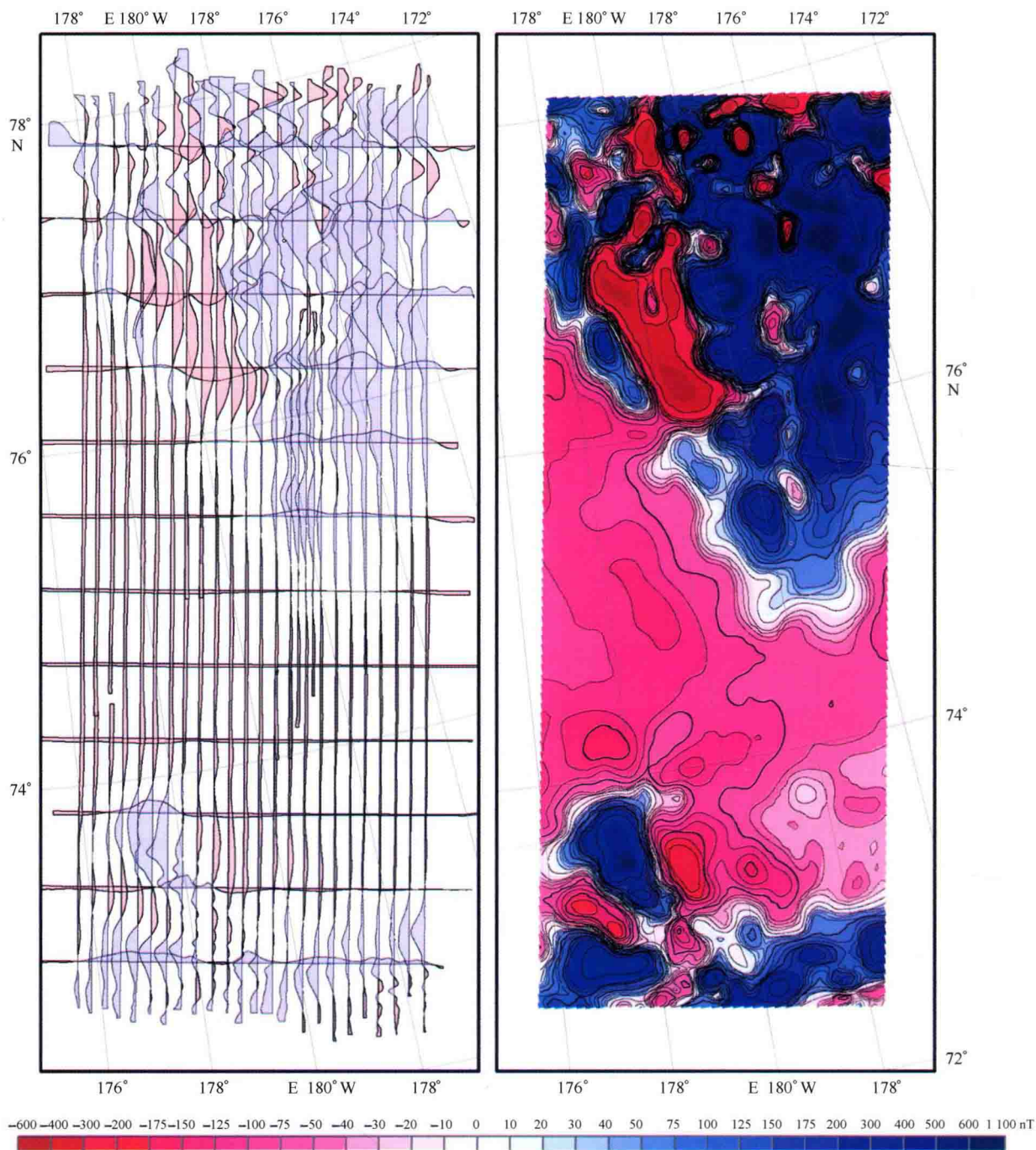


图 2.6 “Arctic-2005” 地质断面磁异常剖面、等值线图

量工作。每 20~30 km 布置控制测量精度的垂直交叉测线。在研究区域中心相隔 5 km 布置两条详细剖面。

AKM 铷量子磁力计作为航磁测量的主要仪器。与机载观测同步，佩韦克机场附近地面基地对地磁场日变进行测量。

2.3.1.2 2007 年调查

2007 年调查（图 2.7）在罗蒙诺索夫海岭与周边陆架的连接区域展开。Arctic-2007 断面研究区约 100 km 宽，70 km 长，距季克西机场 900 km。飞行使用伊尔-18D 型飞机，平均飞行高度 500 m，速度 450 km/h。测线分别间隔 10 km、沿近南北方向和近东西方向测量。

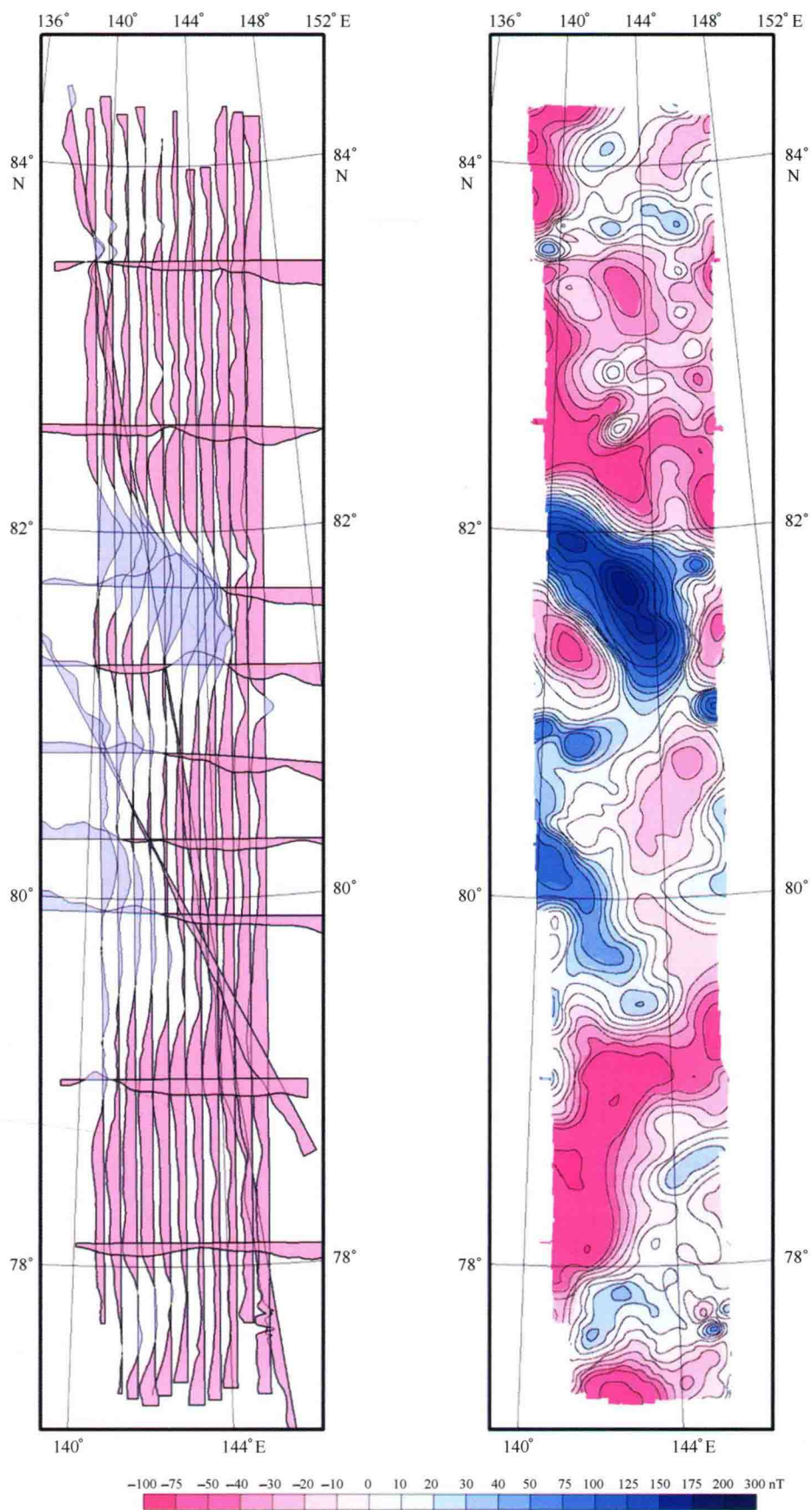


图 2.7 “Arctic-2007” 地质断面磁异常剖面、等值线图

调查设备包括 2 台铷量子磁力仪（1 台作备用）及记录设备和安装在飞机尾部的磁力传感器。与机载观测同时，在季克西机场附近地面基地进行地磁场测量。在地磁场强烈变化期间，飞机会暂停飞行。

2.3.2 航空重力测量

2.3.2.1 2005 年调查

在研究区（图 2.8）重力观测使用的设备大多由 VNIIGeofizika 的 A. M. Lozinskaya 博士完成改良，包括 3 台 GAMS 和 GSD-M 弦式重力仪及安装在飞机平衡架上的 CGV-4 水平加速计。3 台测量飞机垂直加速度字符显示器和 1 个 BS-3 气压计用于校正垂直加速度，此外还包括 2 个电子温度计和 RB-21 高度计。由 Sistemnaya Elektronika 公司 1991—1992 年研发的 SIEL-1300 作为记录仪，拥有 15 位数字模拟转换器，能将记录数据以 5 Hz 的频率从重力仪传输到 PC 电脑硬盘。

GPS NAVSTAR 系统将时间和所有重磁设备工作同步，航行误差小于 ± 50 m。

调查数据（数据、坐标、航行高度、总磁场和重力数据）都被数字化并记录在磁带上。每次航行调查结束后，这些数据资料会在基地办公室进行分析和处理。

2.3.2.2 2007 年调查

2007 年调查（图 2.9）在 2005 年调查的基础上展开。2005 年使用弦式重力仪完成重力观测，气压计记录的垂直惯性加速度达到 $\pm 15 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。2007 年改用 CRI Electropribor 公司生产的新型摆锤式 Chekan-AM 重力仪。测量频率保持在 10 Hz。所有必需的修正如 Etvesh 校正、垂直加速度和飞行高度校正都通过卫星导航数据进行计算。飞机上的恒温及稳定电压提供都保证重力仪测量不受外界干扰。

2.3.3 导航支持

野外工作期间，所有航空地球物理测量导航都依靠 GPS 完成。JAVAD's Lexon GGD 112-T 用于接收数据，Ensembl 和 Pcwier 软件用于数据处理。两套独立的记录仪设备分别用于 Navstar 和 Glonass 系统，频率分别为 L1 和 L2，使用 WGS 84 坐标系，每秒定位 10 次。

在从季克西机场出发之前，为了确定基地导航坐标和坐标误差，实行 24 h 不间断信息记录。

为了获取不间断数据，在飞机起飞前机载地球物理设备就已经打开，并在飞机降落后再关闭。

数据表明卫星导航设备的高可靠性和航空定位信息的高准确性。但是，由于研究区域的位置偏远（距地面基地 900~1 600 km），不可能采取多种模式用于地球物理数据的最终校正。

同时，一个基点通过实际测量和不同模式获取的高程数据与通过导航坐标的两个频率获取的数据结果一致，两者之差不超过 $\pm 1 \sim 1.5$ m。经过差分校正后，整个航行过程中实施精确率几乎一致，误差小于 ± 2 m。

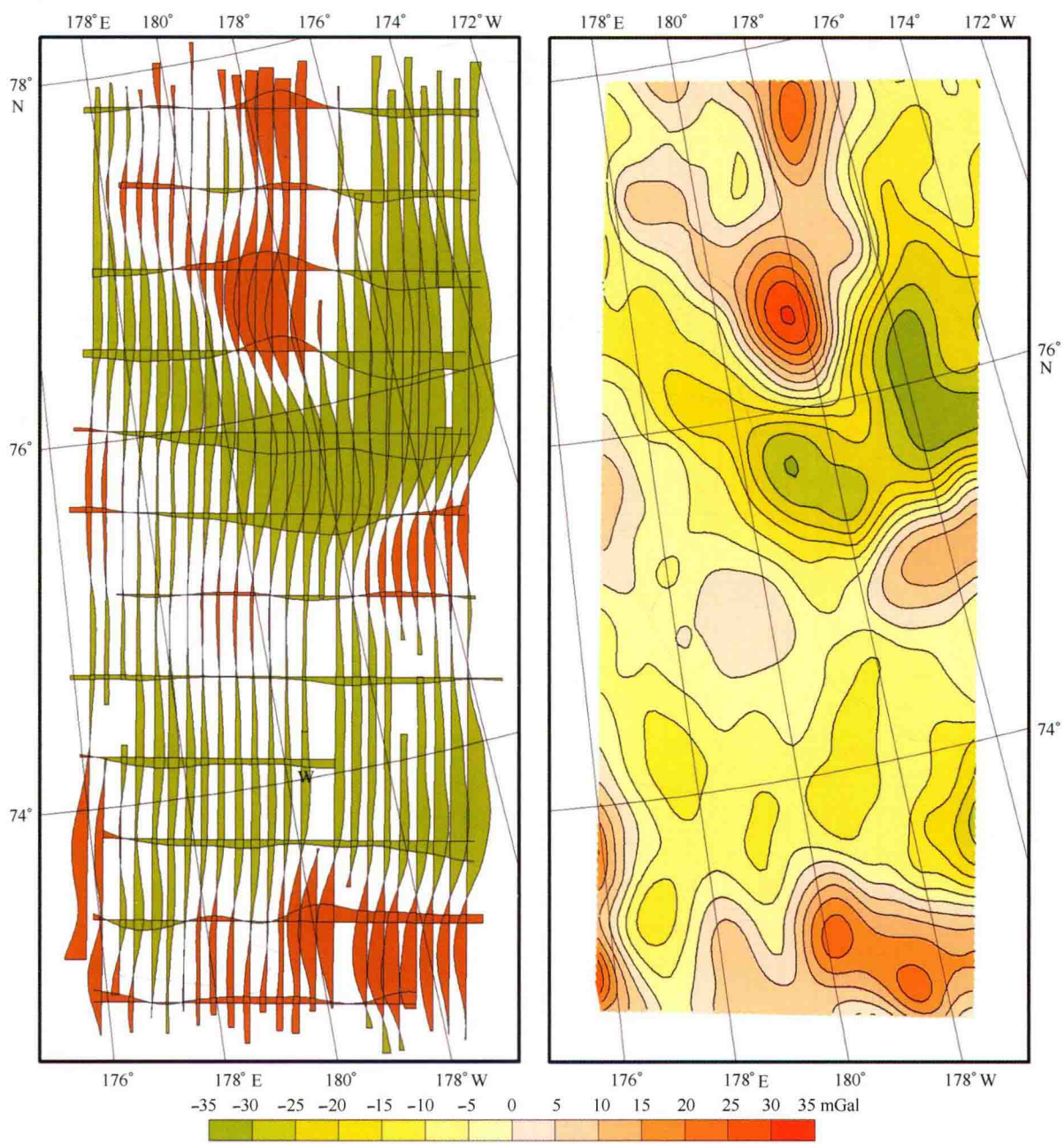


图 2.8 “Arctic-2005” 地质断面重力异常剖面、等值线图 ($\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)