

东太平洋 多金属结核矿带 海洋地质与矿床特征

金翔龙 主编



海洋出版社

东太平洋多金属结核矿带

海洋地质与矿床特征

金翔龙 主编

海洋出版社

1997年·北京

内 容 简 介

本书是我国在 10 多年大洋地质调查和勘探的基础上,进行了深入的分析与研究编纂而成。全书共分八章,由绪论、勘探区环境、海底地形、沉积物与沉积环境、地球物理、多金属结核特征、多金属结核成矿地球化学和多金属结核矿床特征等章节组成。作者按调查成果科学地分析和研究了大洋海底多金属结核的成果的品位研究,是目前我国在其领域一本有价值的科研成果。

图书在版编目(CIP)数据

东太平洋多金属结核矿带海洋地质与矿床特征

金翔龙主编. —北京:海洋出版社,1997.8

ISBN7-5027-4330-8

I. 东… II. 金… III. 金属软泥—海洋地质学
—太平洋 IV. P736.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 13272 号

责任编辑 王加林

责任校对 刘兴昌

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1997 年 9 月第 1 版 1997 年 9 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:28.5

字数:680 千字 印数:0—600 册

定价:66.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

1991 年我国在 10 多年大洋地质调查与勘测的基础上,成为世界上第五个被联合国批准的大洋矿产先驱投资者,在太平洋国际海底获得 15 万平方公里合法的开辟区。根据我国《大洋多金属结核资源研究开发“八五”计划》和联合国对先驱投资者的义务要求,应在 1996 年前对我国向联合国已合法登记的这 15 万平方公里开辟区内做进一步的勘探,圈出 10.5 万平方公里面积的下阶段勘探目标区,并于 1996 年向联合国海底管理局提出 4.5 万平方公里的放弃区域。1991~1995 年的“八五”期间,我国太平洋多金属结核资源勘探按上述要求组织实施,整个勘探由 DY85-1、DY85-3、DY85-4 和 DY85-5 航次组成。其中,DY85-4 航次为该期间历时最长的航次,此航次海上勘探进行于 1994 年 4 月至 11 月,历时 225 天,勘探面积达 6.5 万平方公里。DY85-4 航次由国家海洋局负责组织实施,航次主要职员为:魏文良(船长)、何元成、滕征光(船长)等,航次主要科学家为:睦良仁(首席)、吕文正(首席助理)、华祖根(队长)、陈建林(副队长)、陈穗田(副队长)、刘建筑(副队长)等。根据航次勘探和大量的深入研究,最终于 1995 年 12 月提交出《太平洋多金属结核资源勘探报告》,并于 1996 年 1 月 14 日在天津通过评审与验收。由于勘探和研究的“方法手段先进、资料可靠”,报告的“论述充分、结论有据”,评审委员会认为,该勘探报告“是一份优秀的勘探报告,达到国际先进水平”。大洋矿产资源勘探与研究是在金翔龙研究员的主持下,中国大洋矿产资源研究开发协会的支持下进行的,工作得到该协会理事长陈炳鑫的指导。王德正、黄振中、孙煜华和张国臣等对于 DY85-4 航次及有关的大洋勘探与研究的组织和协调有着重要的贡献。

《东太平洋多金属结核矿带海洋地质与矿床特征》一书是在《太平洋多金属结核资源勘探报告》的基础上编写而成的。全书共分八章,由绪论、勘探区环境、海底地形、沉积物与沉积环境、地球物理、多金属结核特征、多金属结核成矿地球化学和多金属结核矿床特征等章节组成。本书由于受到勘查区域范围和编写时间的限制,不足与谬误之处在所难免,还望海内外学者不吝指正。《东太平洋多金属结核矿带海洋地质与矿床特征》编写中的计算机成图与文字处理等工作分别由申屠海港(大型图件计算机编绘)、方银霞和虞夏军(计算机制图和编图)、徐赛英(文字处理、排版和版面设计)和张金辉(文字录入和编排)等担任,在此一并致谢。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 勘探目的与内容	(1)
第二节 时间安排和阶段划分	(1)
第三节 勘探区地理状况	(2)
第四节 测线、测网、测点的布设	(5)
第五节 勘探项目、方法与设备	(10)
第二章 勘探区环境	(14)
第一节 区域地质特征	(14)
第二节 气象	(18)
第三节 海流	(27)
第四节 海水的物理性质	(34)
第五节 海水化学	(40)
第六节 初级生产力、浮游生物与底栖生物	(55)
第三章 海底地形	(65)
第一节 测线布设与资料采集处理	(65)
第二节 水深特征	(67)
第三节 地形与微地貌特征	(69)
第四节 海底地形坡度参数分析	(75)
第五节 海底地形的构造成因	(83)
第四章 沉积物及沉积环境	(84)
第一节 表层沉积物类型、组分与分布	(84)
第二节 柱状沉积物	(110)
第三节 沉积物工程性质	(156)
第四节 岩石	(167)
第五章 地球物理调查	(172)
第一节 地震调查	(172)
第二节 浅地层剖面测量	(191)
第三节 重力测量	(201)
第四节 地磁调查	(210)
第五节 多金属结核的声学探测	(213)
第六节 海底照相	(225)
第六章 多金属结核的特征	(245)
第一节 多金属结核的物理性质	(245)
第二节 结核形态类型	(246)

第三节	结核内部构造与核心组分	(250)
第四节	结核矿物特征	(260)
第五节	结核生长速率与年代	(275)
第六节	结核中主要锰矿物的区域分布及影响因素	(282)
第七章	多金属结核的成矿地球化学	(305)
第一节	结核的化学组分与元素组合	(305)
第二节	界面地球化学—间隙水和上覆水的地球化学特征	(331)
第三节	沉积成矿地球化学	(356)
第四节	结核的地球化学变异及其制约因素	(366)
第五节	微生物的丰度及其成矿作用的初步研究	(372)
第八章	多金属结核矿床特征	(381)
第一节	结核形态类型的区域分布	(381)
第二节	结核丰度	(385)
第三节	多金属结核的品位	(393)
第四节	结核粒径	(407)
第五节	结核覆盖率	(420)
第六节	影响多金属结核区域变化的主要因素	(425)
结论		(430)
参考文献		(438)
图版及说明		(441)

CDNTENTS

CHAPTER 1 INTRODUCTION	(1)
Section 1. Objectives and contents of prospecting	(1)
Section 2. Phases of survey	(1)
Section 3. Geographical conditions in area surveyed	(2)
Section 4. Layout of survey lines, grid and points	(5)
Section 5. Items, methods and equipments for exploration	(10)
CHAPTER 2 ENVIRONMENT IN AREA PROSPECTED	(14)
Section 1. Regional geological features	(14)
Section 2. Meteorology	(18)
Section 3. Ocean current	(27)
Section 4. Physical properties of ocean water	(34)
Section 5. Chemical properties of ocean water	(40)
Section 6. Primary productivity, plankton and benthos	(55)
CHAPTER 3 TOPOGRAPHY IN AREA SURVEYED	(65)
Section 1. Data acquisition and processing	(65)
Section 2. Characteristics of water depth	(67)
Section 3. Topographic and micro – geomorphic features	(69)
Section 4. Parametric analysis of sea – floor topography	(75)
Section 5. Tectonic origin of sea – floor topography	(83)
CHAPTER 4 SEDIMENTS AND DEPOSITIONAL ENVIRONMENT	(84)
Section 1. Types, composition and distribution of sediments	(84)
Section 2. Core sediments	(110)
Section 3. Geotechnical properties of sediments	(156)
Section 4. Petrology	(167)
CHAPTER 5 GEOPHYSICAL SURVEY	(172)
Section 1. Seismic prospecting	(172)
Section 2. Subbottom profiling	(191)
Section 3. Gravity survey	(201)
Section 4. Magnetic survey	(210)
Section 5. Acoustics prospecting of polymetallic nodules	(213)
Section 6. Sea – floor photography	(225)
CHAPTER 6 CHARACTERISTICS OF POLYMETALLIC NODULES	(245)
Section 1. Physical properties of polymetallic nodules	(245)
Section 2. Morphotypes of nodules	(246)
Section 3. Internal structure and nucleus composition of nodules	(250)
Section 4. Mineral characteristics of nodules	(260)
Section 5. Chronology and growth rate of nodules	(275)

Section 6. Regional distribution of main manganese minerals in nodules	(283)
CHAPTER 7 METALLOGENIC GEOCHEMISTRY OF POLYMETALLIC NODULES	
.....	(305)
Section 1. Chemical composition and element association of nodules	(305)
Section 2. Interfacial geochemistry	(331)
Section 3. Geochemistry of sedimentary metallogenesis	(356)
Section 4. Geochemical variation of nodules and its constraints	(366)
Section 5. Abundance of microbe and its mineralization	(372)
CHAPTER 8 FEATURES OF MINERAL DEPOSIT FOR	
POLYMETALLIC NODULES	(381)
Section 1. Regional distribution of morphotypes for nodules	(381)
Section 2. Abundance of polymetallic nodules	(385)
Section 3. Grade of polymetallic nodules	(393)
Section 4. Grain size of polymetallic nodules	(407)
Section 5. Coverage of polymetallic nodules	(420)
Section 6. Main factors affecting regional variation of nodules	(425)
CONCLUSION	(436)
REFERENCE	(438)
PLATE & EXPLANATORY	(441)

第一章 绪 论

自 70 年代起我国对太平洋多金属结核资源逐步展开调查与勘探,近 10 年来不断加强勘探的力度。在短短的 10 多年内,我国在太平洋完成了 10 多个航次的调查与勘探工作,投入了巨大的人力、物力和财力。1991 年,联合国批准我国成为世界上第五个大洋矿产“先驱投资者”,我国在东太平洋国际海底获得 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 区域的勘探权。

这 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 开辟区,经过进一步勘探以后,将按联合国海底管理局的要求,放弃其中的 50%,而另外 50% 的区域,我国则拥有详细勘探与开采权。1991 年开始,我国在 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的开辟区中,进行大规模的勘探,这阶段勘探由 DY85-1、DY85-3、DY85-4 和 DY85-5 航次组成。勘探的目的是在已批准的 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 开辟区中圈出 $10.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 下阶段勘探的目标区,并于 1996 年向联合国海底管理局提出 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (开辟区总面积的 30%) 的放弃区域。

国家海洋局负责组织与实施 DY85-4 航次太平洋多金属结核资源勘探。该航次海上勘探于 1994 年 4 月至 11 月执行,历时 225 天,勘探面积达 $6.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该航次分为东、西两区进行工作,共完成 340 个站的采样与观测、21 700 km 的测深与多频探测、17 000 km 的浅地层剖面测量、5 300 多幅图像清晰的深海照片、1 500 km 单道地震测量、2 300 km 重力与地磁测量,以及水文、气象、生物、化学等方面的观测。

第一节 勘探目的与内容

勘探的主要目的是在我国已被批准的 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的开辟区内,圈定出 $10.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 富矿区,并于 1996 年向联合国海底管理局提出放弃 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的报告。

具体的内容和要求是:

1. 进行较为详细的水深测量,以查明勘探区内地形地貌特征,圈出坡度大于 5° 的障碍地形。
2. 进行地质采样、深海照相、多频探测、地层剖面测量,对采集到的样品作测试分析,查明区内结核的丰度、品位、覆盖率、形态特征、类型及分布规律,并计算出结核的资源量。
3. 采集一定数量的沉积物样品,以了解区内沉积物类型、结构、分布特征及其物理力学性质。
4. 在探查区内对水文、气象、生物、化学及重力、磁力、单道地震等进行观测和测量,以了解开辟区内的环境条件和地质特征。

第二节 时间安排和阶段划分

勘探工作分为两个阶段,即海上勘查阶段和勘探报告编写阶段。

DY85-4 航次海上勘查阶段共分六个航段实施(表 1-2-1)。自 1994 年 4 月 8 日至

1994 年 11 月 8 日, 历时 225 天, 测量面积达 $6.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

表 1-2-1 航次时间安排表

航次	起止点	时 间
第一航段	青岛—西区—火奴鲁鲁	1994.4.8~1994.4.29~1994.5.13
第二航段	火奴鲁鲁—东区—火奴鲁鲁	1994.5.18~1994.6.24
第三航段	火奴鲁鲁—东区—西区—火奴鲁鲁	1994.6.29~1994.8.8
第四航段	火奴鲁鲁—西区—火奴鲁鲁	1994.8.15~1994.9.14
第五航段	火奴鲁鲁—西区—东区—火奴鲁鲁	1994.9.19~1994.10.26
第六航段	火奴鲁鲁—青岛	1994.10.31~1994.11.18

自 1994 年 12 月开始进入数据处理、样品分析及报告编写阶段。1994 年 12 月底形成书面《太平洋多金属结核资源勘探报告》编写大纲, 1995 年 1 月完成样品分配并开始样品分析与数据处理, 1995 年 5 月各单位相互交换资料与数据。1995 年 6 月由国家海洋局第二研究所负责向大洋矿产资源研究开发协会提交为设计 DY85-5 航次和做矿区评价与区域放弃工作所必需的参数, 提前编制出《太平洋多金属结核资源勘探简要报告》和相应图件; 1995 年 7 月《太平洋多金属结核资源勘探报告》各章统稿, 1995 年 11 月初全报告统稿, 1995 年 12 月完成《太平洋多金属结核资源勘探报告》。《东太平洋多金属结核矿带海洋地质与矿床特征》一书是在《太平洋多金属结核资源勘探报告》的基础上压缩、精炼而成。

第三节 勘探区地理状况

一、勘探区地理位置

勘探区分为东区和西区。两勘探区位于东太平洋海盆, 大约从 110°W 延伸至 160°W , 6°N 到 16°N 之间的著名太平洋多金属结核富集带(CC 区)的中、西部。东区地理坐标大致为 $141^\circ 22.5'\text{W} \sim 143^\circ 22.5'\text{W}$, $7^\circ 22.5'\text{N} \sim 9^\circ 37.5'\text{N}$, 面积为 $30\,472.82 \text{ km}^2$ 。西区地理坐标大致为 $153^\circ 22.5'\text{W} \sim 154^\circ 52.5'\text{W}$, $8^\circ 22.5'\text{N} \sim 11^\circ 07.5'\text{N}$, 面积为 $35\,267.95 \text{ km}^2$ 。两区距火奴鲁鲁分别为 $2\,065 \text{ km}$ 和 $1\,226 \text{ km}$, 距上海约为 $9\,300 \text{ km}$ 和 $10\,400 \text{ km}$ (图 1-3-1)。

二、自然环境概况

(一) 地质背景

东、西区都位于东太平洋海盆, 在克拉里昂和克利帕顿断裂带之间的“CC 区”。东近太平洋海隆、西接莱恩海山链。基底洋壳由玄武岩构成, 是东太平洋海隆海底扩张的产物。在漫长的地质历史时期, 随着东太平洋海隆的不断扩张, 新生洋壳板块从赤道以南逐渐向西北方向漂移, 直至现今的位置。

板块扩张过程中, 垂直于洋中脊轴线形成大的转换断裂带, 克拉里昂和克利帕顿两大断裂带限定了 CC 区多金属结核带的范围。

海底火山活动造成地幔玄武岩浆的大量喷发, 形成火山锥。随板块的漂移造成一系列线状排列的海山或海山链。

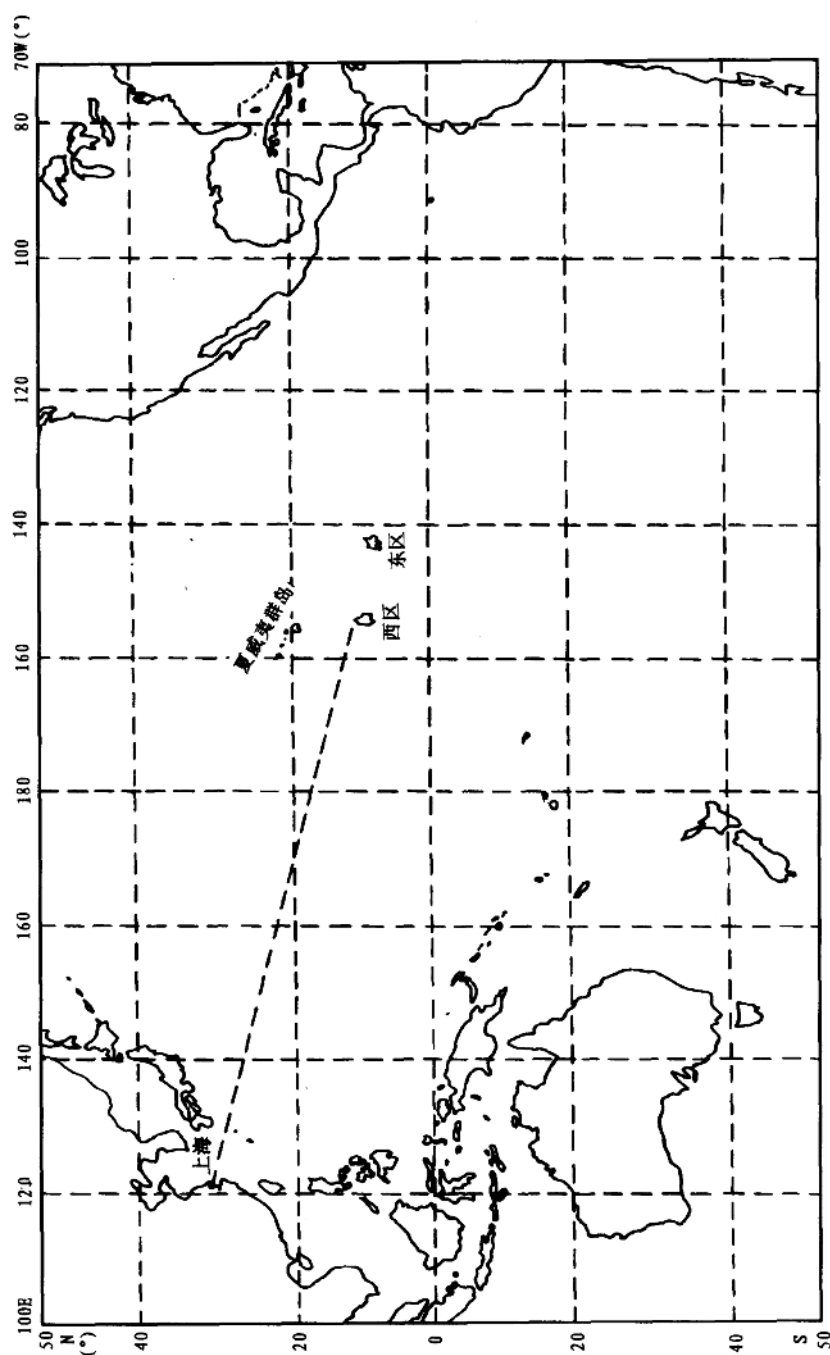


图 1-3-1 勘探区位置图

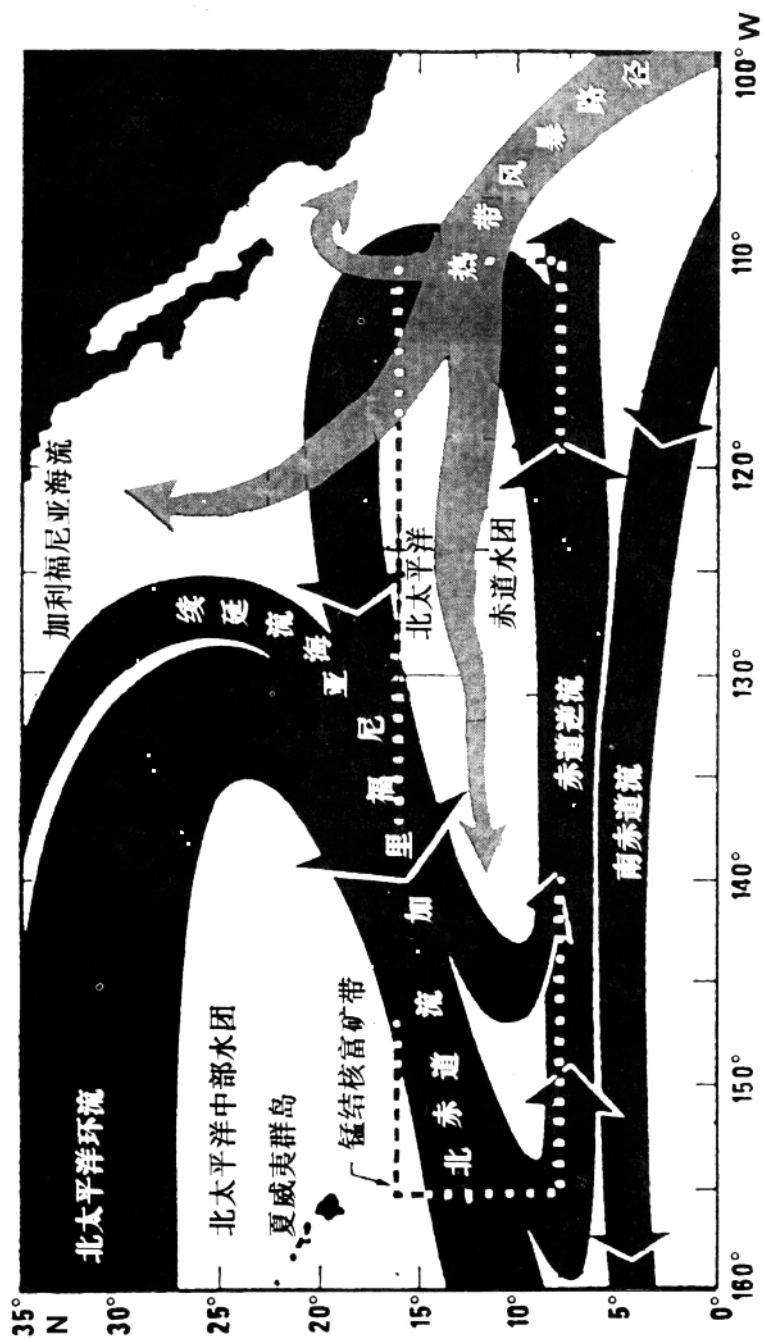


图 1-3-2 CC 区海洋与热带风暴路径图

全区海底大都位于碳酸盐补偿深度(CCD)之下,表层沉积以硅质粘土和硅质软泥为主,局部分布有含钙质硅质软泥、含钙质硅质粘土、钙质软泥和深海粘土。

(二) 水文气象条件

勘探区位于东太平洋,地处赤道附近。由于纬度低,太阳直照时间长,区内常年气温高、湿度大、云量多。冬春季受极地高压的影响,副热带高压南移,东北信风带移至海区,风力一般5~6级,阵风7~8级,涌浪高3~4m。夏秋季随东北信风带的北推,风力减小,一般3~4级,涌浪高1~2m。台风及热带气旋主要出现在7~9月,多年统计结果表明台风与热带气旋的路途偏离测区,但经过测区北部时,对测区有所影响。

勘探区表层流以自西向东的赤道逆流为主,西北部有自东北向西南的加利福尼亚流的延伸流和北赤道流,5°N以南发育有自东向西的南赤道流。详见图1-3-2。

第四节 测线、测网、测点的布设

勘探比例尺为1:50万,定位精确度小于500m,测站网距为 $7.5' \times 7.5'$,测线网距为 $3.75' \times 3.75'$ 。测站编号从1696号开始,东区自1696号编至1856号,共161个测站(图1-4-1),西区从2300号编至2478号,共179个测站(图1-4-2)。

测站工作内容如下:

1. 每个测站投放3个自返式抓斗,相距约150m;
2. 自返式柱状25站;
3. 抓斗加箱式55站;
4. 重力活塞柱状1站;
5. 拖网10次;
6. 深海照相 单次照相182站,连续照相18站;
7. CTD测量10站。

东、西区测线以水深测量和多频与浅剖探测为主,适当布设重力、地磁和单道地震探测,具体测线布设详见图1-4-3、图1-4-4。

据勘探实践表明,在地形走向不明确时,测线采用网格状布设基本上是合理的;但地形走向已明确情况下,主测线间距与联络测线间距的比例至少可以达到1:2,以合理减少测线工作量。

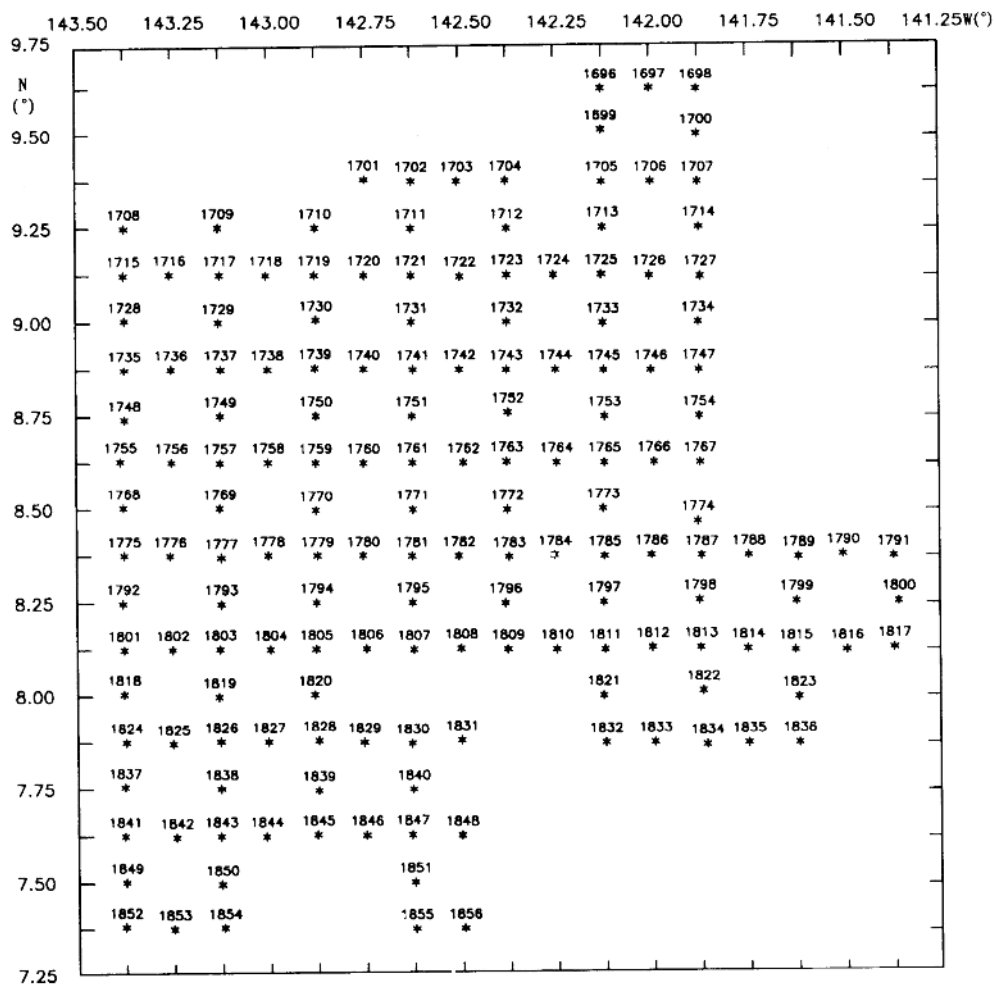


图 1-4-1 东区工作站位图

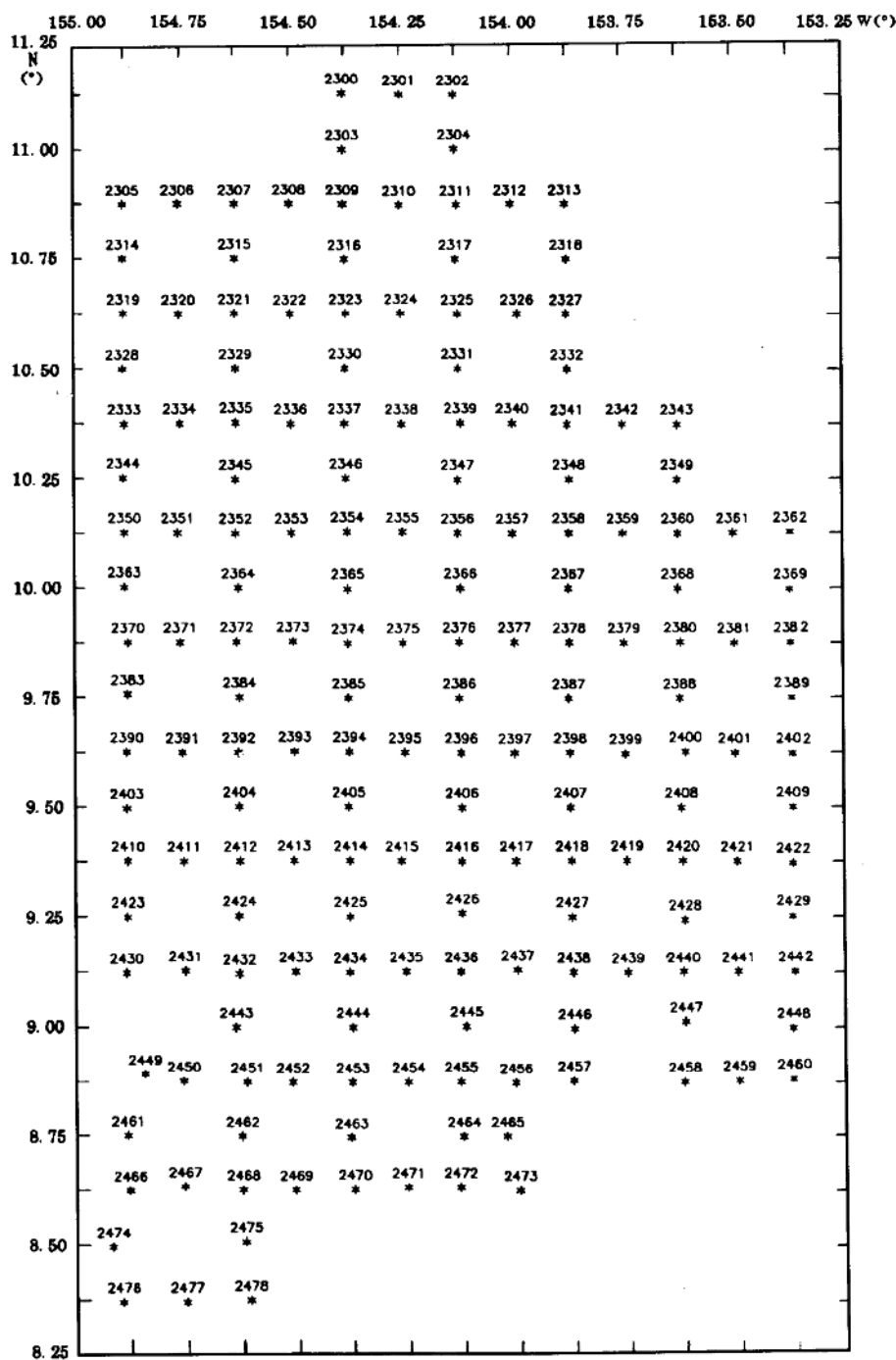


图 1-4-2 西区工作站位图

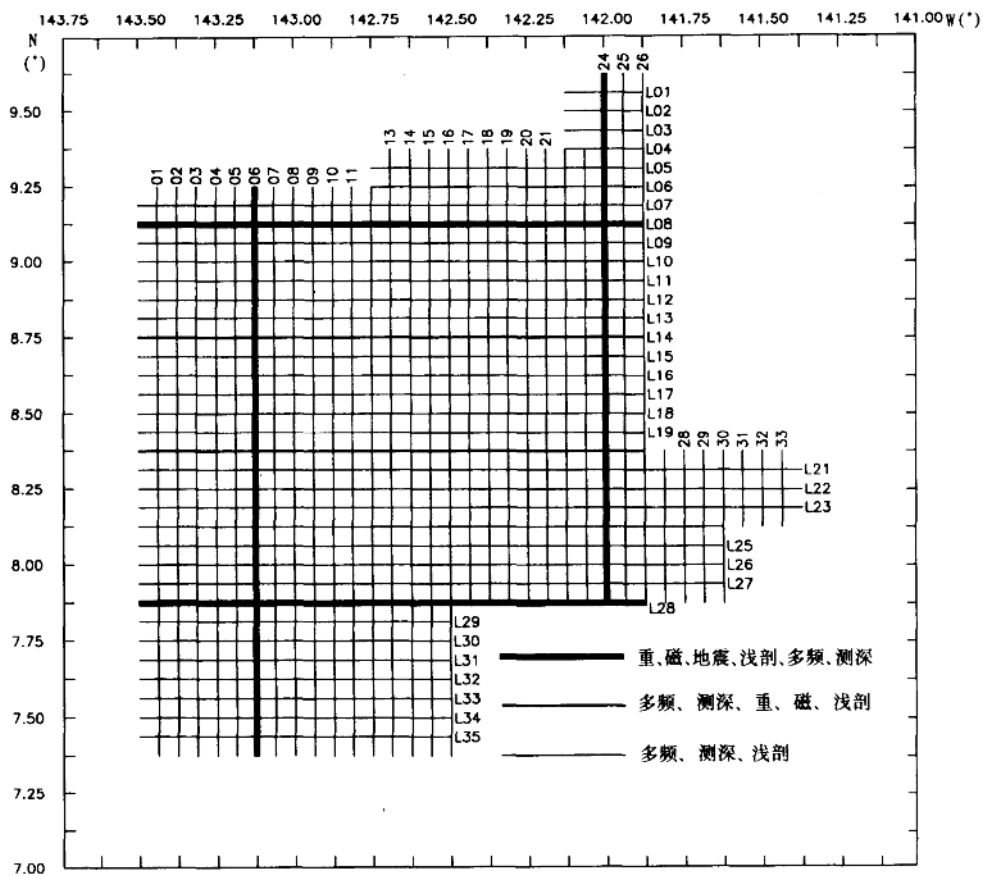


图 1-4-3 东区测线布设图

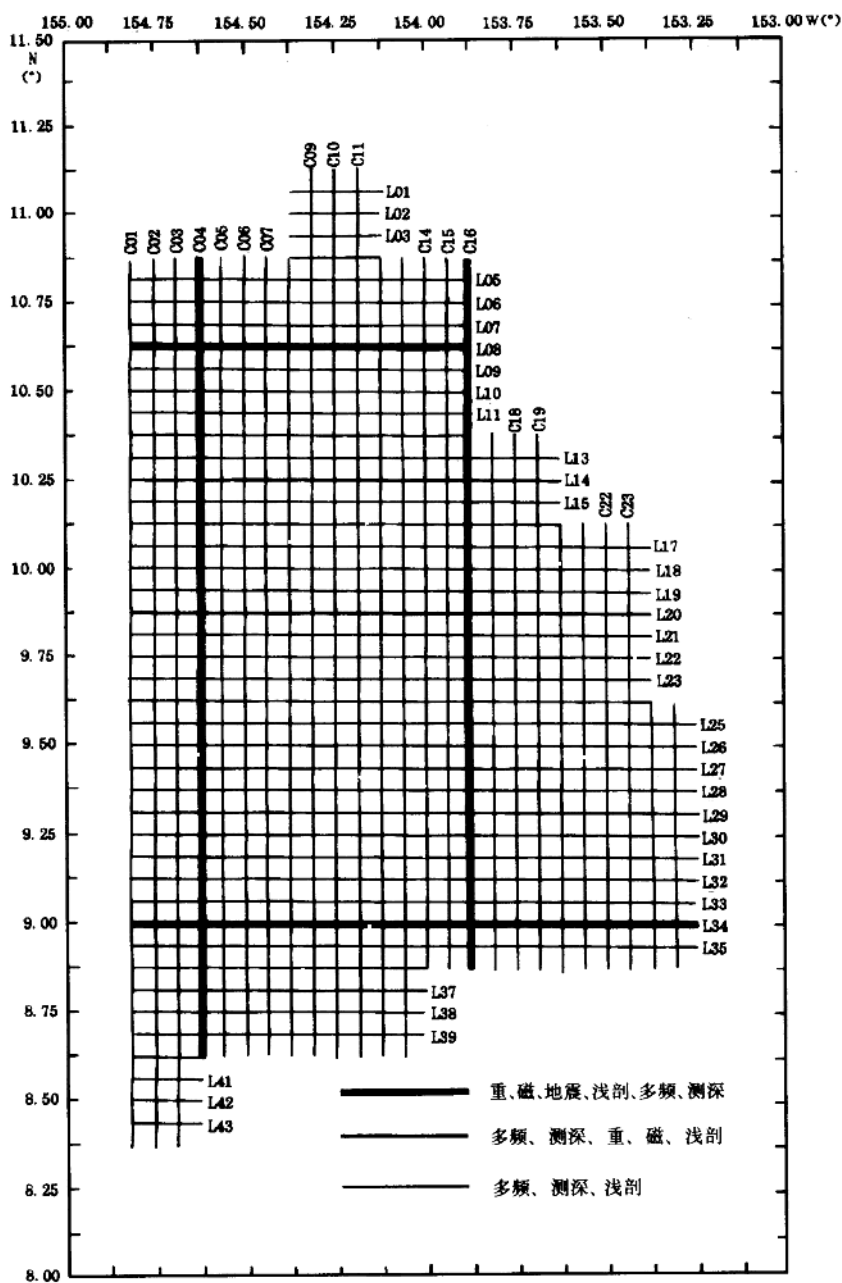


图 1-4-4 西区测线布设图