

许东禹 金庆焕 梁德华 主编

太平洋中部多金属结核及其形成环境

地质出版社

介 简 容

太平洋中部多金属结核 及其形成环境

许东禹 金庆焕 梁德华 主编

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书是地质矿产部《七五》部控项目《太平洋中部多金属结核研究》成果的系统总结。全书共分九章,它包括了现代海洋水环境,地形,区域地质构造,沉积物特征,古海洋环境和事件,并重点论述了多金属结核的类型、产状、分布、内部构造、矿物组成及其地球化学特征。对微生物及微体生物与结核生长的关系、海水中成矿金属元素迁移规律也作了较深入的探讨。还介绍了不同介质条件下结核主要成矿金属元素地球化学行为和生物成矿作用模拟实验结果。最后提出结核生长期的划分、结核的时空分布规律、成矿模式和找矿方向。本书内容丰富,论点新颖,可供从事矿物学、矿床学、地球化学、沉积学和古海洋学以及海洋地质等有关专业的生产、科研人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

太平洋中部多金属结核及其形成环境/许东禹等主编。
北京:地质出版社,1994.6
ISBN 7-116-01652-X

I. 太… I. 许… II. 锰结核-研究-太平洋 IV.P744

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 03532 号

太平洋中部多金属结核及其形成环境

许东禹 金庆焕 梁德华 主编

*

责任编辑:杨珊珊 高 玄

地质出版社出版

(北京和平里)

北京地质大学轻印刷厂印刷

(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:26.75 铜版图:16 页字数:642000

1994 年 6 月北京第一版·1994 年 6 月北京第一次印刷

印数:1—600 册

ISBN 7-116-01652-X

P·1336 定价:28.00 元

引 言

1872—1876年英国“挑战者”号调查船在进行环球考察时,于1873年2月18日在大西洋加那利群岛的法罗岛西南300km处的海底首次采集到多金属结核。经这一历史性发现以后,美国“信天翁”号调查船于1899—1900年和1904—1905年曾对太平洋的多金属结核进行了调查,并初步绘制出太平洋东南部的多金属结核分布图。但当时的测试手段不可能详细而准确地揭示多金属结核的元素组成,并认识这一资源的经济价值,加之当时的深海调查技术所限,因此系统的多金属结核调查被搁置近半个世纪。

本世纪60年代,美国人梅罗根据110个测站的多金属结核样品分析结果指出其经济价值后,美国、前苏联等国才相继开展大规模的调查。

前苏联是系统地进行多金属结核调查较早的国家之一。1956—1958年,前苏联“勇士”号调查船在太平洋中部和北部进行了广泛的调查,并根据所得资料于1964年率先编制了《太平洋多金属结核分布图》。1966—1970年间,前苏联出版了一系列有关太平洋地形、构造、地质、化学、孔隙水和沉积作用等著作。从1977年开始,前苏联科学院海洋研究所等有关单位还利用“门捷列夫”号和“克尔德斯院士”号等调查船在赤道以北太平洋的许多区块内进行多金属结核的调查和研究,其主要成果见于1986年前苏联科学院出版的《太平洋中部铁锰结核》一书。前苏联地质部南方海洋地质生产科研联合体从1980年开始在东太平洋CC区开展测站距离为 $7'30'' \times 7'30''$ 的多金属结核系统调查,共完成5000个测站,并提出了多金属结核的资源评价。

美国25所大学在1970—1980年间开始实施“大学间锰结核研究计划”,其调查研究成果见于《大学间洋底铁锰结核研究报告》。1975—1976年美国海洋大气局开展题名为“深海采矿环境研究”计划,并于1979年出版了《太平洋锰结核分布区的海洋地质与海洋学》一书。1978年美国哥伦比亚大学拉蒙特-多尔蒂地质观测所,根据各种调查资料编制了《洋底沉积物和多金属结核分布图》。

从1968年开始执行的“深海钻探计划”曾先后在太平洋中部施工了30多个钻孔,其成果为了解本区多金属结核形成的区域地质和海洋地质背景提供了依据,van Andel等人1975年出版的《太平洋中部赤道带新生代历史和古海洋学》这一专著即是其代表。

日本自1968年开始进行多金属结核的调查与研究,其中比较重要的调查是由日本地质调查所负责实施的两个五年计划,即“深海矿物资源勘探基础研究”(1974—1978年)和“深海矿物资源地质学研究”(1979—1983)。

原联邦德国自1969年至1979年共实施四个“海洋研究和海洋技术”计划,利用“瓦尔迪维亚”号和“太阳”号调查船在东太平洋CC区进行多金属结核资源调查和科学研究,出版了一系列调查和研究报告。

法国自1971年开始由多金属结核调查研究协会利用“查科特”号调查船在南太平洋和

东北赤道太平洋海区的多金属结核富集带进行了调查和科学研究。

我国自 70 年代后期以来在太平洋中部开展多金属结核资源调查和科学研究。其成果见于《航次调查报告》及相应的科学研究论文集。

地质矿产部一直关心太平洋中部开展的多金属结核的调查和研究,并于 1983 年责成广州海洋地质调查局筹划此项调查工作。在地质矿产部的统一安排和协调下,广州海洋地质调查局“海洋四号”船于 1986 年—1989 年在太平洋中部共完成四个长航次调查。调查范围为 $7^{\circ}00' - 12^{\circ}00' \text{ N}$ 、 $176^{\circ}00' \text{ E} - 178^{\circ}00' \text{ W}$ 和 $7^{\circ}00' - 14^{\circ}00' \text{ N}$ 、 $152^{\circ}00' - 138^{\circ}00' \text{ W}$, 调查面积共约 $130 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。根据调查的不同阶段和各地区多金属结核的赋存状况,在地质测站部署上我们采用 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、 $15' \times 15'$ 和 $7'30'' \times 7'30''$ 三种网距。为突出多金属结核的分布规律、形成的地质环境和资源评价这一重点,在海上调查时采用综合地质、地球物理的多种调查方法,海上调查时采用 MX—5000 型卫星导航定位系统。在历时 580 天的海上调查中共完成 669 个测站,2932 张海底照相,采集到大量的多金属结核、沉积物和海水样品以及有关的地球物理资料。

在开展海上多金属结核调查的同时,为发展我国大洋地质科学研究,地质矿产部正式确立“太平洋中部多金属结核调查和研究”为“七五”部控科研项目,编号为 86080。

86080 项目共有 19 个一级课题和 13 个二级专题。按其研究内容大致可分为以下几个方面:1. 多金属结核赋存的地质环境;2. 多金属结核的类型及其结构和构造;3. 多金属结核和沉积物的物质组成;4. 早中新世以来的沉积史;5. 多金属结核的分布规律;6. 多金属结核的形成机制和成矿模式;7. 多金属结核调查方法、现场测试技术及各种资料的数字检索;8. 多金属结核及海底沉积物地质标准样品研制。

截至 1990 年 12 月,“太平洋中部多金属结核调查和研究”综合研究报告,各下属的一级课题及二级专题均已按时完成并通过终审,这为撰写《太平洋中部多金属结核及其形成环境》一书奠定了扎实的资料基础。

在编写本书时,我们遵循了以下的一些基本思路:

1. 本书是对已取得的科研成果的高度概括、浓缩和提炼,各章节安排力求合理、紧凑、内容前后呼应和互相印证,为突出多金属结核及其赋存的地质环境和形成机制这个重点,因此有关多金属结核调查方法、现场测试技术、工程地质、标准样品研制以及各种资料的数字检索的有关内容不再赘述。

2. 在编写时侧重阐明以下几个方面内容:(1)揭示太平洋中部各地貌单元和各底质类型中多金属结核的分布规律(主要是指多金属结核的类型、丰度和品位的分布规律),为今后的详查、勘探及资源评价提供依据。(2)重视地质环境分析,探讨大气环流、大洋流系、水体的生物生产力、碳酸盐补偿深度、南极底层流、早中新世以来的沉积史、古气候与古海洋事件、洋底的氧化-还原环境等与多金属结核形成的内在联系。(3)深入探讨多金属结核内部的构造,剖析各构造层组的相互关系及地质时代,进而确定多金属结核的生长期和间断期,以及它们与沉积史的对应关系,为探讨多金属结核的形成阶段提供论据。(4)详细分析多金属结核和沉积物的矿物、有用元素和稀土元素的组成及其地球化学特征,为探讨多金属结核形成的地质条件及成因类型提供基础资料。(5)结合理论研究开展了各种条件下的模拟实验:如铁细菌及硫酸盐还原菌在洋底水-岩-微生物系统中成矿组分的生物转化及化学转化的对比模拟实验,以了解微生物活动与多金属结核形成的关系;开展洋底水-

岩界面系统与孔隙水中的成矿元素转移的模拟实验,进而探讨洋底水文地球化学与多金属结核形成的关系;开展主要元素地球化学行为的模拟试验,以了解成矿元素的迁移和金属通量,为讨论多金属结核的形成机制提供动态依据。

3. 贯彻比较分析原则。CC区和CP区属于两个不同的地质构造和地貌单元。本书分别对CC区和CP区的区域地质构造、水深、南极底层流作用强度、氧化还原环境、古海洋环境及沉积作用等地质条件上的差异进行比较分析,为揭示两区多金属结核类型、丰度、品位、成矿金属元素组成和形成机制上的差异提供依据。我们还进行了表层水、底层水、洋底沉积物、孔隙水和多金属结核中成矿金属元素含量的比较分析,深入地探索多金属结核的形成途径及成矿金属元素的迁移方式。

参加本书的编写人员,以章节为序,引言:金庆焕;第一章:季林绮(统稿,第二节),鲍才旺(第一节),关华显(第三节);第二章:黄永样(统稿,第二节),张伯普(第一节),孟祥营、韩建修和葛同明(第二节);第三章:许东禹(统稿,第三节),肖永林(统稿,第一节),卢效珍、杨惠宁和谈丽芳(第一节),卢海龙和刘季花(第二节),陈宗团(第三节);第四章:梁德华(统稿,第一节),杜炳周(第二节),李杨、郭世勋(第三节);第五章:姚德(统稿,第四节),郭世勤(统稿,第三节),梁德华(第一节),单连芳(第二节);第六章:阎葆瑞(统稿,第一、二、三节),金若谷、王崇友(第四节);第七章:汪蕴璞;第八章:梁德华(统稿,第六、七节),许东禹(统稿,第六节第一要点),陈冠球(第一、二、三节),李松筠(第一节),黄永样(第三、四、五节);第九章主要结论:金庆焕、许东禹、梁德华。全文由许东禹、金庆焕、梁德华统稿和校定。崔汝勇协助整理各章文稿和插图。

《太平洋中部多金属结核及其形成环境》,其内容涉及大洋地质的许多领域,由于编写时间短促,加之作者的学术水平有限,因此错误在所难免,敬请读者指正。

目 录

第一章 太平洋中部的海洋环境.....	(1)
第一节 海底地形及地貌特征	(1)
一、地形地貌分区	(1)
二、地貌类型及特征	(1)
第二节 大洋水的水文和化学	(10)
一、温度、盐度和密度	(10)
二、化学要素	(16)
第二章 太平洋中部海底区域地质构造特征	(21)
第一节 地质构造概述	(21)
一、深海钻探所确定的大洋玄武岩年代	(21)
二、莫氏面和层 2 面的起伏变化	(21)
三、重力异常特征	(23)
四、磁力异常特征	(27)
五、主要断裂	(28)
六、火山活动概述	(29)
第二节 地层及沉积速率	(31)
一、岩性地层	(31)
二、生物地层	(32)
三、磁性地层	(39)
四、地层划分对比	(46)
五、沉积速率	(51)
第三章 洋底沉积物	(58)
第一节 洋底沉积物类型、分布和组分特征	(58)
一、沉积物类型和表层沉积物分布	(58)
二、表层沉积物组分	(61)
三、表层沉积物沉积作用	(70)
四、柱状样沉积物特征	(73)
五、沉积物中的宇宙尘	(78)
第二节 海底沉积物的地球化学特征	(82)
一、表层沉积物地球化学	(82)
二、柱状样沉积物地球化学	(92)
第三节 中新世以来的沉积环境和古海洋事件	(101)
一、碳酸盐补偿深度 (CCD)	(101)
二、生物生产力	(105)
三、沉积间断和南极底层流	(110)

四、早中新世古气候	(120)
第四章 太平洋中部多金属结核类型及其丰度、覆盖率、品位与沉积物的关系	(133)
第一节 多金属结核类型	(133)
一、外部形态特征	(133)
二、结核的产状及其分类特征	(134)
三、关于埋藏结核的讨论	(139)
第二节 多金属结核的丰度、覆盖率、品位同水深、地形及沉积物的关系	(140)
一、多金属结核的丰度、覆盖率与水深、地形和沉积物类型的关系	(140)
二、多金属结核的品位与沉积物类型的关系	(146)
三、多金属结核类型与地形及沉积物类型的关系	(148)
第三节 关于微结核的讨论	(151)
一、微结核的分布特征	(151)
二、微结核的矿物组成	(155)
三、微结核的地球化学特征	(158)
第五章 多金属结核的内部构造、矿物组成与地球化学特征	(167)
第一节 多金属结核的内部构造	(167)
一、宏观构造	(167)
二、显微构造	(167)
三、构造层组的划分	(169)
四、多金属结核内部构造的成岩变化	(174)
第二节 多金属结核的矿物成分	(175)
一、多金属结核壳层的铁锰矿物成分	(175)
二、多金属结核中的锰矿物相变化	(187)
三、其它矿物	(189)
四、多金属结核中核心物质成分	(191)
第三节 多金属结核地球化学	(192)
一、多金属结核的常微量元素地球化学	(193)
二、多金属结核的 U、Th、Pb、Sr 地球化学	(202)
三、多金属结核的稀土元素地球化学	(208)
四、多金属结核中元素的相互关系和元素来源估计	(215)
第四节 多金属结核地质地球化学特征及形成环境的统一性	(225)
一、地质地球化学特征变异	(225)
二、地质地球化学特征的形成	(227)
三、成因判别的地球化学标志	(230)
第六章 微生物及微体生物与多金属结核生成的关系	(235)
第一节 微生物对成矿元素转移的作用机理	(235)
一、影响大洋底层水中成矿元素迁移的因素	(235)
二、微生物对铁、锰元素的氧化与还原	(238)
三、微生物对铁、锰元素的转移机理	(239)
四、铁细菌对多金属结核成矿元素沉淀作用实验	(243)
第二节 洋底水—岩—微生物系统中成矿元素转移的模拟实验研究	(246)
一、模拟实验的目的及设计	(246)

二、洋底水—岩—微生物系统中铁细菌对成矿元素沉淀作用模拟实验	(247)
三、洋底水—岩—微生物系统中硫酸盐还原菌对成矿元素转移作用模拟实验	(251)
第三节 洋底微生物活动及其成矿作用	(254)
一、大洋水—岩—微生物系统中微生物的分布及其活动强度	(254)
二、微生物生长的环境及其生态演替	(261)
第四节 微体生物与多金属结核的形成	(268)
一、微体生物类别与壳体的矿化	(268)
二、微体生物与多金属结核的关系	(271)
第七章 洋底水文地球化学基本规律与多金属结核的形成	(277)
第一节 大洋水的物质模型及其理论解释	(277)
一、大洋水化学成分基本特征	(277)
二、大洋水水化学参数在垂向剖面上的变化趋势	(277)
三、界面水化学场	(281)
四、大洋水的物质模型及其理论解释	(284)
第二节 孔隙水化学场	(285)
一、孔隙水化学成分基本特征	(285)
二、孔隙水化学成分随深度变化的规律性	(287)
三、孔隙水化学场	(289)
第三节 孔隙水化学成分形成和演变模式	(293)
一、孔隙水形成作用的基本类型	(293)
二、孔隙水形成和演变的限制条件	(294)
三、孔隙水形成和演变的过程和路线	(295)
四、孔隙水变质作用和演变模式	(301)
第四节 成矿物质的形成和转移模型	(303)
一、成矿作用反应场	(303)
二、成矿元素的聚集共生关系	(304)
三、成矿元素的浓集强度和饱和浓度	(311)
四、成矿元素的存在形式及其成矿作用的功能	(312)
五、成矿元素价态转变的环境条件	(315)
六、成矿元素的补偿	(317)
七、成矿作用反应场中成矿物质的形成和转移模型	(319)
第八章 多金属结核成矿作用	(322)
第一节 元素赋存状态分析	(322)
一、沉积物中元素赋存状态	(322)
二、多金属结核中元素赋存状态	(325)
第二节 多金属结核的成矿机制——主要元素地球化学行为模拟试验	(328)
一、常温常压下吸附作用模拟试验	(328)
二、低温高压下元素转移试验	(329)
三、胶体吸附作用试验	(332)
四、溶液酸碱度对元素地球化学行为影响试验	(334)
五、有机质对元素地球化学行为影响试验	(337)
第三节 多金属结核的生长速率和金属通量	(339)

一、多金属结核的生长年代	(339)
二、多金属结核生长速率	(347)
三、多金属结核的金属通量	(354)
第四节 多金属结核生长期划分	(358)
一、多金属结核构造层组与沉积地层的年代对比	(358)
二、多金属结核生长期划分及其特征	(361)
第五节 多金属结核的时空分布规律	(364)
一、多金属结核的时代分布特征	(364)
二、多金属结核的空间分布特征	(364)
三、找矿标志	(369)
第六节 多金属结核成矿模式	(370)
一、结核的物质来源	(370)
二、物质迁移方式	(372)
三、结核的成因	(372)
四、结核的形成机制	(373)
五、结核形成模式	(377)
第七节 多金属结核保存条件	(380)
一、结核移动或翻动的因素	(380)
二、结核形态和大小的影响	(381)
三、沉积物沉积速率的影响	(382)
四、构造环境的影响	(382)
五、地球化学界面的影响	(382)
六、小结	(382)
第九章 主要结论	(387)
英文摘要	(393)
图版说明及图版	(409)

第一章 太平洋中部的海洋环境

大气圈、水圈和岩石圈都是地球的组成部分，它们无时不在相互作用和相互制约。本章探讨了研究区的地形地貌、大洋水文、化学等环境地质因素，这对研究该区的多金属结核的生成和分布规律以及保证多金属结核调查工作顺利进行都具有重要的意义。

根据形态—成因分类原则，将研究区的地形地貌分为三级，并分区讨论了中太平洋海盆 CP 区和东太平洋海盆 CC 区的地形地貌特征。

最后研究了水文化学要素的垂向结构。将温度、盐度和密度自上而下各分为四个变化不同的水层。阐述了温跃层、盐跃层、密跃层、最低含氧层的特征，指出研究区底层的海水为一强氧化、弱碱性、高营养盐和高盐低温的水文化学环境。

第一节 海底地形及地貌特征

太平洋是地球上最大、最深的洋盆，面积为 $181 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，平均深度 3940m（谢帕德，1979）。洋盆被纵横交错的海岭分隔成许多海盆。研究区位于中太平洋海盆和东太平洋海盆，其邻近有夏威夷海岭、莱恩海岭、马绍尔海岭和吉尔伯特海岭。其中出露海面的有夏威夷等 12 个主要岛屿，岛上最高峰是冒纳罗亚火山，海拔 4170m，是大洋中及太平洋岛屿中最高的活火山。它与研究区最低点克拉里昂断裂槽谷底（水深 6365m）的高差达 10535m。

一、地形地貌分区

根据形态—成因分类原则，研究区地形地貌可分为三级：

一级地形地貌：根据大地构造因素对地形地貌的控制和地形起伏变化，分为海岭和海盆。

二级地形地貌：以地形地貌及其组合特征为主，结合地质构造条件，将海盆地形地貌再细分为海山区、海山海丘区、海隆区、断裂槽谷台地区、线状隆槽区（或隆、洼区）、深海平原区和深水盆地区等。

三级地形地貌：以地形形态特征为主导因素，在区内分布范围较小者，如海山、海丘、山间盆地、断裂槽谷、台地、隆脊、槽谷、洼地等。

二、地貌类型及特征

（一）中太平洋海盆 CP 区

中太平洋海盆是太平洋诸海盆中地形较为复杂者。其北界为中太平洋海岭，西侧为马绍尔海岭和吉尔伯特海岭，东临莱恩海岭。绝大部分水深 4500—6000m，海底地形由周边向中间倾斜，最深处位于海盆西侧。CP 区位于海盆西北部，其地形高差起伏较大，地形变化复杂，但以深水平原为主体。根据地形起伏和组合特征及地质构造因素，CP 区大致可分为四个二级地形地貌分区。即海山区、海隆区、海山海丘区和深水盆地区（图 1—1）。

1. 海山区（I）

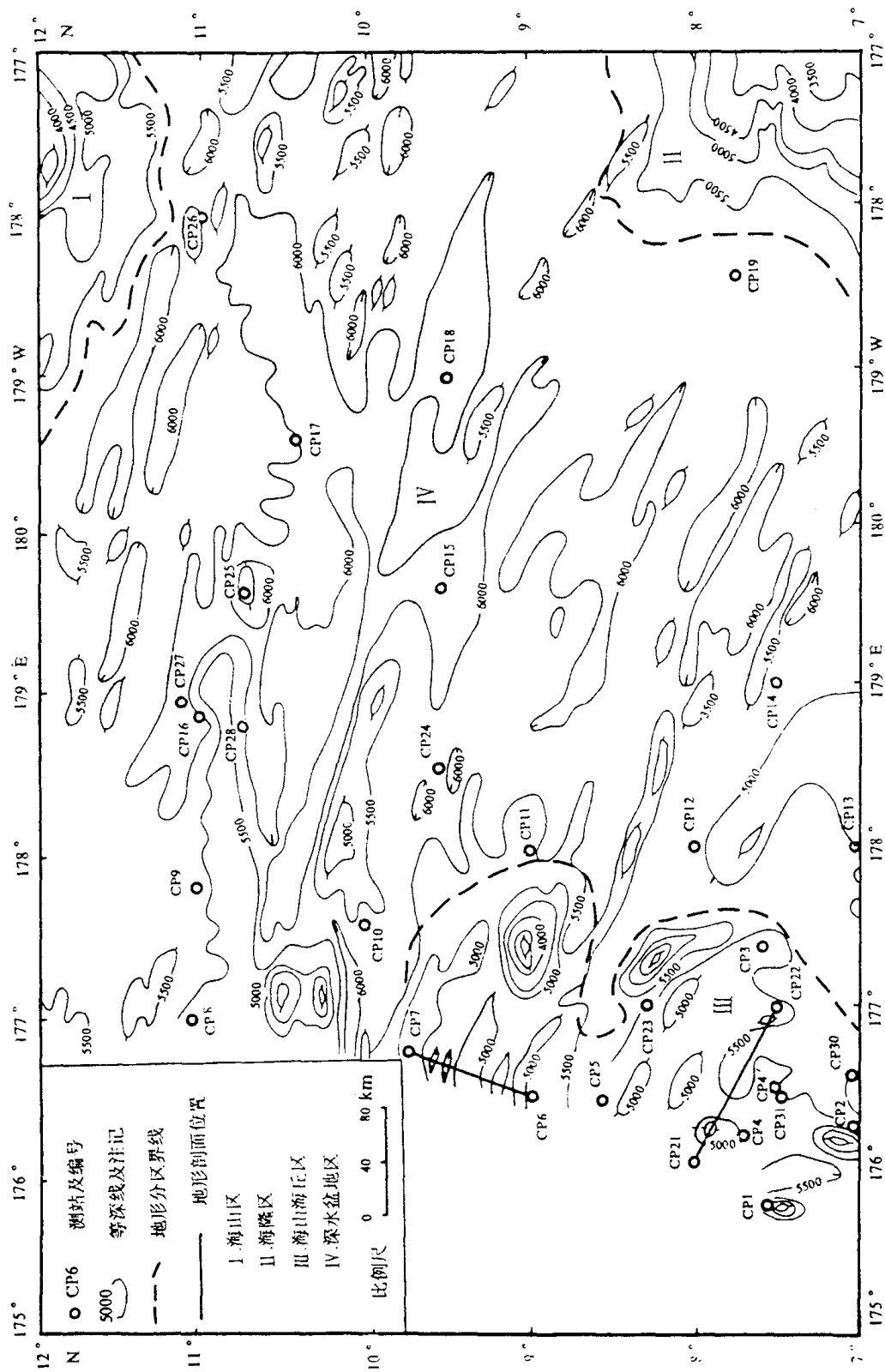


图 1-1 CP 区海底地形地貌图

位于 CP 区东北部，以霍因豪斯山和迪克逊平顶山为主体，以北东东走向为主。研究区只涉及到海山区南部一小部分。该区地形变化较为复杂，山顶水深 3475m，相对高差 1500—2000m，平均坡降为 $203 \times 10^{-3} - 509 \times 10^{-3}$ ($11^{\circ}30' - 27^{\circ}00'$)。

2. 海隆区 (I)

位于 CP 区东南部，属麦哲伦海隆的东北延伸倾伏部分，水深 3500—5500m。海隆顶部较为平缓，边坡较陡，平均坡降为 $30 \times 10^{-3} - 50 \times 10^{-3}$ 。

3. 海山海丘区 (II)

海山主要分布在 CP 区的西南角，海山顶部水深 3160—4950m，相对高差 604—2644m，山体宽 11—19km，坡降 $157 \times 10^{-3} - 253 \times 10^{-3}$ ($9^{\circ}00' - 14^{\circ}10'$)。如 CP21—CP22 测线所示与 (图 1—2)，海山和海丘顶部水深 4044m 和 4924m，相对高差分别为 1114m 和 604m。海山和海丘之间发育有较深的槽谷，其水深为 5902m。

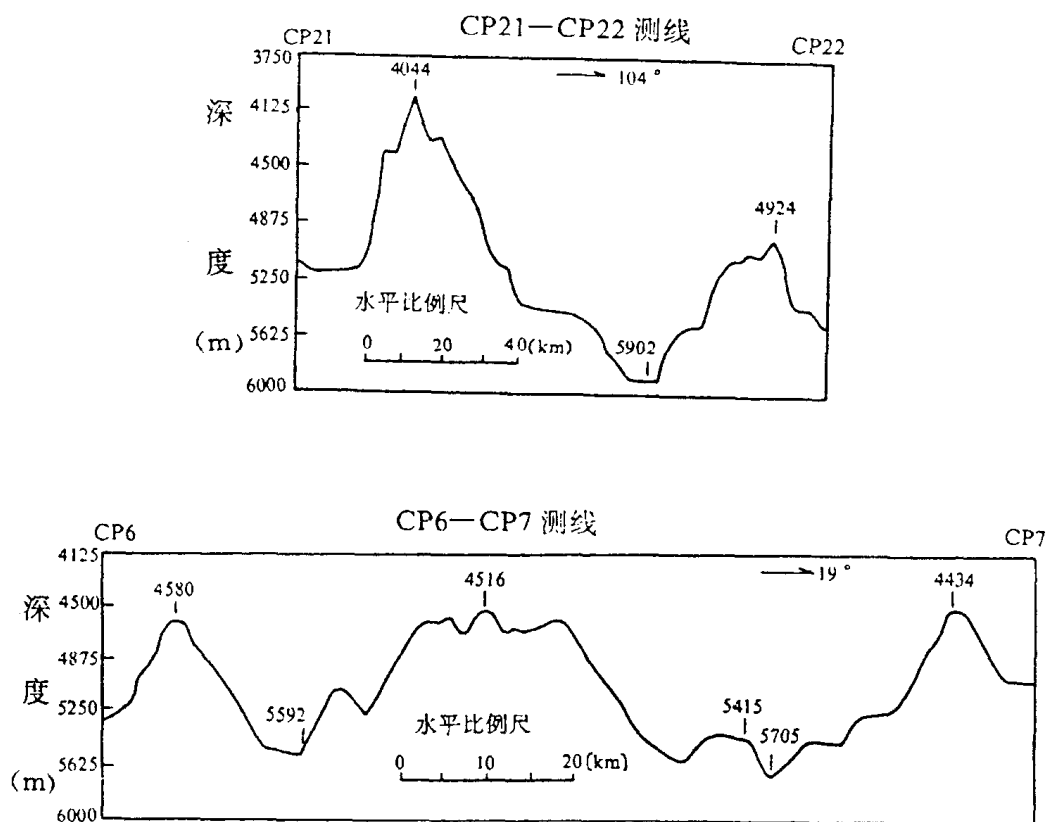


图 1-2 海山海丘地形

另外，CP6—CP7 测深剖面揭示，也有三个海山分布。其顶部水深分别为 4580m、4516m 和 4434m，缓坡坡降 $55 \times 10^{-3} - 120 \times 10^{-3}$ ($3^{\circ}10' - 6^{\circ}50'$)，陡坡坡降 $84 \times 10^{-3} - 145 \times 10^{-3}$ ($4^{\circ}50' - 8^{\circ}40'$)。总体而言，该区从南向北地形起伏相对减少，海丘逐渐增多。

4. 深水盆地区 (IV)

位于 CP 区中部，周围被霍因豪斯海山、麦哲伦海隆、西南部海山海丘等所环抱，海底地形从周边向中间倾斜，盆底水深 6000—6300m。呈北西向延伸，盆地内包含了低丘、隆

脊、沟、槽、洼地和平原等次级地貌类型，它们呈线状相间排列，海丘和洼地相对高差 500m 左右。但从西北向东南海丘和洼地相对高差逐渐减小，地形渐趋平缓。为了叙述方便，分为西部、中部和东部三个块区。

(1) 西部 以发育海丘、槽谷和平原为主要特征。北侧以 CP9—CP10 和 CP10—CP11 测深剖面为例，海丘水深 5500m 左右，相对高差 426—589m，海丘的缓坡坡降 40×10^{-3} — 121×10^{-3} ($1^{\circ}44'$ — $7^{\circ}00'$)，陡坡坡降 61×10^{-3} — 151×10^{-3} ($3^{\circ}30'$ — $8^{\circ}30'$)。槽谷水深超过 6000m，宽度一般在 11—16km 之间，平原水深约 5700m。

(2) 中部 以平原、海丘、隆、洼等相间分布为特征。CP13—CP14 地形剖面以隆、洼地形为主体。隆、洼相对高差 300m 左右，坡度非常平缓，坡降只有 17×10^{-3} ($1^{\circ}00'$) 左右。洼地底部较为平坦，宽度 15km 左右，最大可达 24km，水深 5500—5600m，CP14—CP16 测线地形剖面表明，隆、脊高差 300—500m，宽度 16—36km 不等，坡度较为平缓，一般坡降只有 30×10^{-3} ($1^{\circ}40'$) 左右，海丘相对高差 200—600m，坡降在 72×10^{-3} — 184×10^{-3} ($4^{\circ}10'$ — $7^{\circ}40'$)。洼地水深大于 6000m。

(3) 东部 以广阔平坦的平原为主体，其上分布着许多大小不等的孤立海丘。

(二) 东太平洋海盆 CC 区

东太平洋海盆北起夏威夷海岭，西邻莱恩海岭，东至东太平洋海隆，大部分水深 4500—5500m，地形较为平坦，以平原为主要特征，其上分布有海山、海丘、洼地、线状隆、槽等。

CC 研究区位于东太平洋海盆西部，大致以北纬 $11^{\circ}10'$ 为界分为南、北两个区。其南北两部分的地形走向和组合特征有较大的差异。

1. CC 区北部

本区地形以线状分布为主体，东高西低，北陡南缓，主体走向为 NEE—SWW。据区内地形的起伏变化和组合特征及地质构造因素，可分为下列四个二级地形地貌单元区(图 1—3)。

(1) 断裂槽谷和台地区 (I) 位于研究区西北部，是著名的克拉里昂断裂带的一部分，由长条形槽谷、山脊和台地组成。断裂槽谷北侧为长条形的台地和山脊，断裂槽谷南侧为长条形台地。区内断裂槽谷水深为 5500—5750m，最深可达 6365m。台地水深 4800—5250m 槽谷地形变化复杂，相对高差可达 1000—1200m。槽谷两侧坡度较陡，坡降一般为 141×10^{-3} — 257×10^{-3} ，最大坡降可达 835×10^{-3} 。槽谷底部发育有大小不等的海山海丘，形成尖峰和“V”谷相间分布，“V”谷最深处是断裂槽谷的中间部位(图 1—4)。

(2) 深水盆地区 (II) 位于研究区西北部，断裂槽谷和台地区之南侧，海底从周边向中间倾斜，盆底水深 5250—5700m，地形较为平坦，东西方向长约 255km，南北方向宽约 115km。盆地周边坡度也较为平缓，除东北侧和西南侧水深 5000—5250m 处坡度达 3° — 5° 外，其余大部分平均坡度仅有 1° — 2° 。

(3) 线状隆、槽区 (III) 北靠克拉里昂断裂槽谷，东临海底高原区，西接深水盆地区。该区以线状宽缓起伏的隆脊、槽谷和洼地相间排列为特征。地形走向为北东 (75° — 80°) 向，槽谷水深 5000—5250m，隆脊水深 4750—5000m。11 号测线和 CC45—CC2 测线代表本区地形特征(图 1—5)。11 号测线隆槽相对高差差 500m 左右，最大可达 840m。隆脊两侧较为平缓，一般坡降约为 30×10^{-3} ($1^{\circ}40'$)，大者可达 85×10^{-3} ($4^{\circ}50'$)。CC45—CC2 测线在隆脊之间发育较深的槽谷，最大水深为 5706m，脊与槽最大高差可达 863m。但从西向东

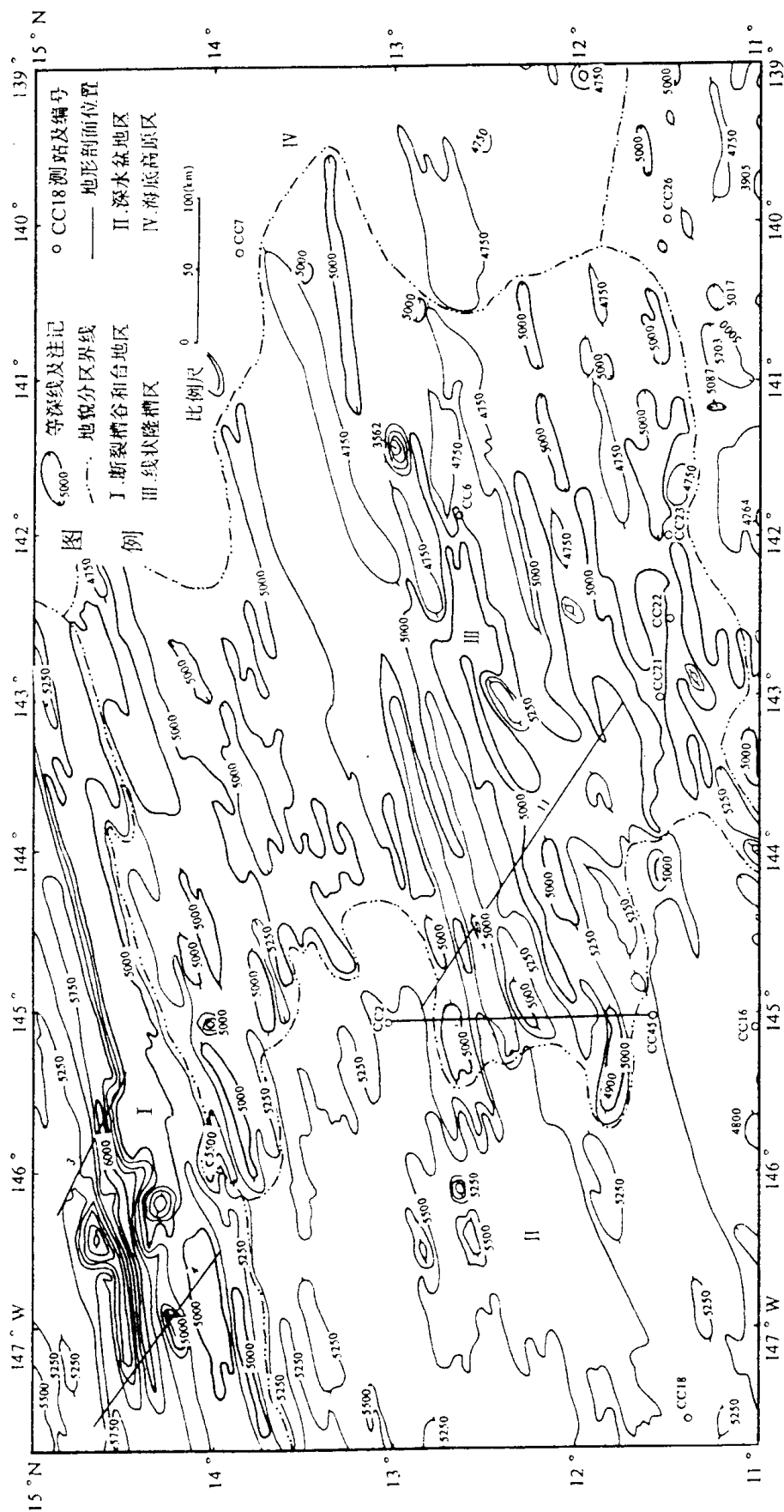


图 1-3 CC 区北部地形图

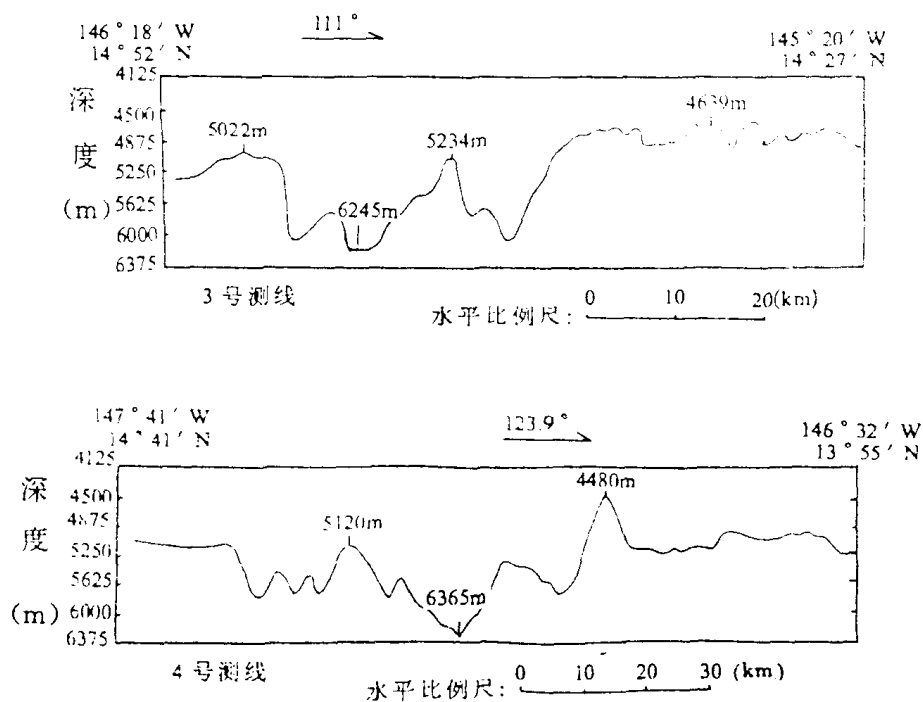


图 1-4 断裂槽谷和台地、山脊地形

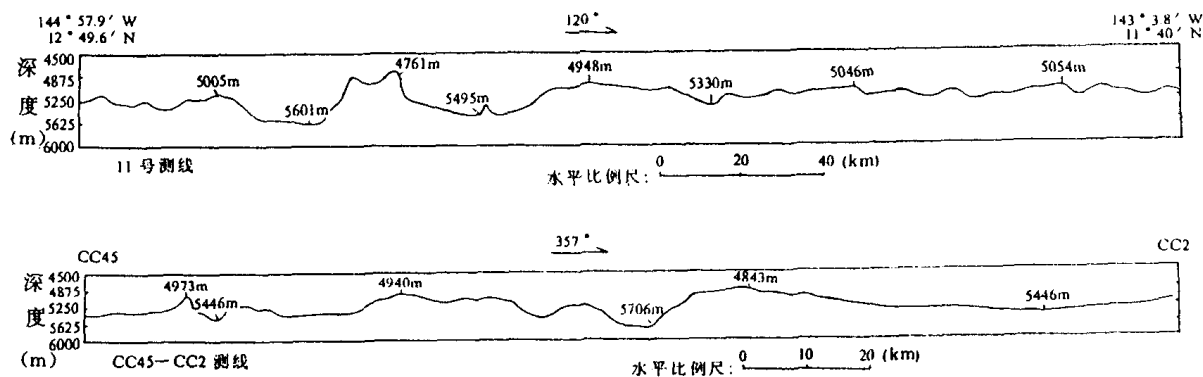


图 1-5 线状隆、槽地形的横剖面图

隆脊和槽谷逐渐减少，相对高差也随之减少，地形渐趋平缓。

(4) 海底高原区(N) 水深 4750—5000m，是 CC 区内水深最浅的海域。在广阔平坦的高原背景上，局部地段也出现长条形隆脊和洼地，相对高差 50—200m，洼地水深约为 5100m，隆脊水深约为 4500—4750m，隆脊和洼地长度为 30—80km。

2. CC 区南部

本区是研究区内调查精度较高的海区，这里地形起伏比 CC 区北部小，除个别海山、高海丘及深水盆地外，大部分水深为 4800—5300m。

根据区内地形的相对高差、形态及其组合特征和地质构造因素,将本区分为海山区、海山海丘区、深海平原区、隆洼区和深海丘陵区等五个分区(图1-6)。

(1) 海山区(I) 由高差悬殊的海山、高海丘及山间盆地、槽谷相间排列组成,并以海山为主体。这是区内地形高差悬殊,变化最复杂的海域。它由10个大型的海山、高海丘及山间谷地组成,海山大致呈近东西向分布,海山长轴方向各异,但以北东东向和近东西向为主。海山、高海丘及山间谷地紧密排列,海山和高海丘水深2867—4705m,相对高差为261—1271m,山体坡降 $168 \times 10^{-3} - 318 \times 10^{-3}$ ($9^{\circ}30' - 17^{\circ}40'$)。山间谷地坡度略陡,并比周围海底低100—200m。

(2) 海山海丘区(II) 位于本区西南部,由海山、海丘、山间盆地和槽谷等组成。地形变化复杂,既有高大的海山,又有星罗棋布的低矮的小海丘。

东部海山海丘分布较密集。从海山海丘排列组合特征来看,从北向南有三条近东西向的链状海山(或海丘)分布。山顶水深3190—4430m。

西部地形起伏相对减小,发育一系列近东西向的海丘和槽谷,其中最大的一座海丘顶部水深4706m,相对高差544m。

单道地震剖面揭示,海山和高海丘是由海底火山喷发形成的火山锥。顶部基本无沉积层覆盖,槽谷和山间盆地有300—500m的沉积层。而靠近海山一侧的沉积层发生挠曲或断裂,这是后期火山刺穿作用的结果,反映该区海山形成较晚,是多期活动的产物。

(3) 深海平原区(III) 分布在东北部和西南部。

东北部深海平原区:水深4800—5000m,海底平坦。海底从东北向西南微微倾斜,平均坡降只有 $1.45 \times 10^{-3} - 2.91 \times 10^{-3}$ ($0^{\circ}05' - 0^{\circ}10'$)。但在平原的背景之上,仍发育着海丘、隆脊和洼地等次级地貌类型,构成了平缓波状起伏的地貌景观。不过从东向西地形起伏逐渐增大,平原面积相对减少。区内除了一个高海丘之外,其余10多个均为低海丘。高海丘顶部水深4123m,相对高差703m,坡降 112×10^{-3} ($6^{\circ}25'$),低海丘水深4800m左右,相对高差50—200m,其坡降为 $26 \times 10^{-3} - 37 \times 10^{-3}$ ($1^{\circ}30' - 2^{\circ}10'$)。

西南部深海平原区:位于西南海山区东侧,水深4900—5200m,海底由西南向东北倾斜,平均坡降为 $2.0 \times 10^{-3} - 2.9 \times 10^{-3}$ ($0^{\circ}07' - 0^{\circ}10'$),是CC区南部地形最平坦的海域。在广阔平坦的深海平原上还发育了零星的低海丘和小沟槽。

(4) 隆、洼区(IV) 是深海平原区和海丘区的过渡地带,水深5000—5200m,是由宽缓的隆脊、洼地和平原组成的宽缓起伏地形。低缓的隆脊长20—45km,宽10—20km,相对高差100—250m,坡降 $12 \times 10^{-3} - 20 \times 10^{-3}$ ($0^{\circ}44' - 1^{\circ}10'$),规模较大的隆脊排列方向以北东向为主,而小隆脊则为南北向延伸。洼地水深5200m左右。

(5) 深海丘陵区(V) 它是CC区南部主要的地形地貌类型,该区位于研究区中部,约占CC区南部总面积50%以上。区内绝大部分水深5000—5100m。由海丘、丘间槽谷、盆地等相间排列构成波状起伏地形。区内地形可分为北东、北东东和南北向三组方向。高差500m以上的高海丘和海山的长轴方向以北东东向为主。但在不同地段海丘的形态特征及其组合也略有差异,大致又可分为中、西、东三个区块。

中部丘陵区:低海丘及丘间盆地和槽谷是该区的主体。单个海丘在南北方向呈宽缓的起伏,宽度在10—40km之间,丘与丘之间往往夹有10—30km的丘间盆地或槽谷,丘与谷之间坡降为 $10 \times 10^{-3} - 15 \times 10^{-3}$ ($0^{\circ}35' - 1^{\circ}10'$)。在东西方向上,丘、谷相间排列较为紧密,