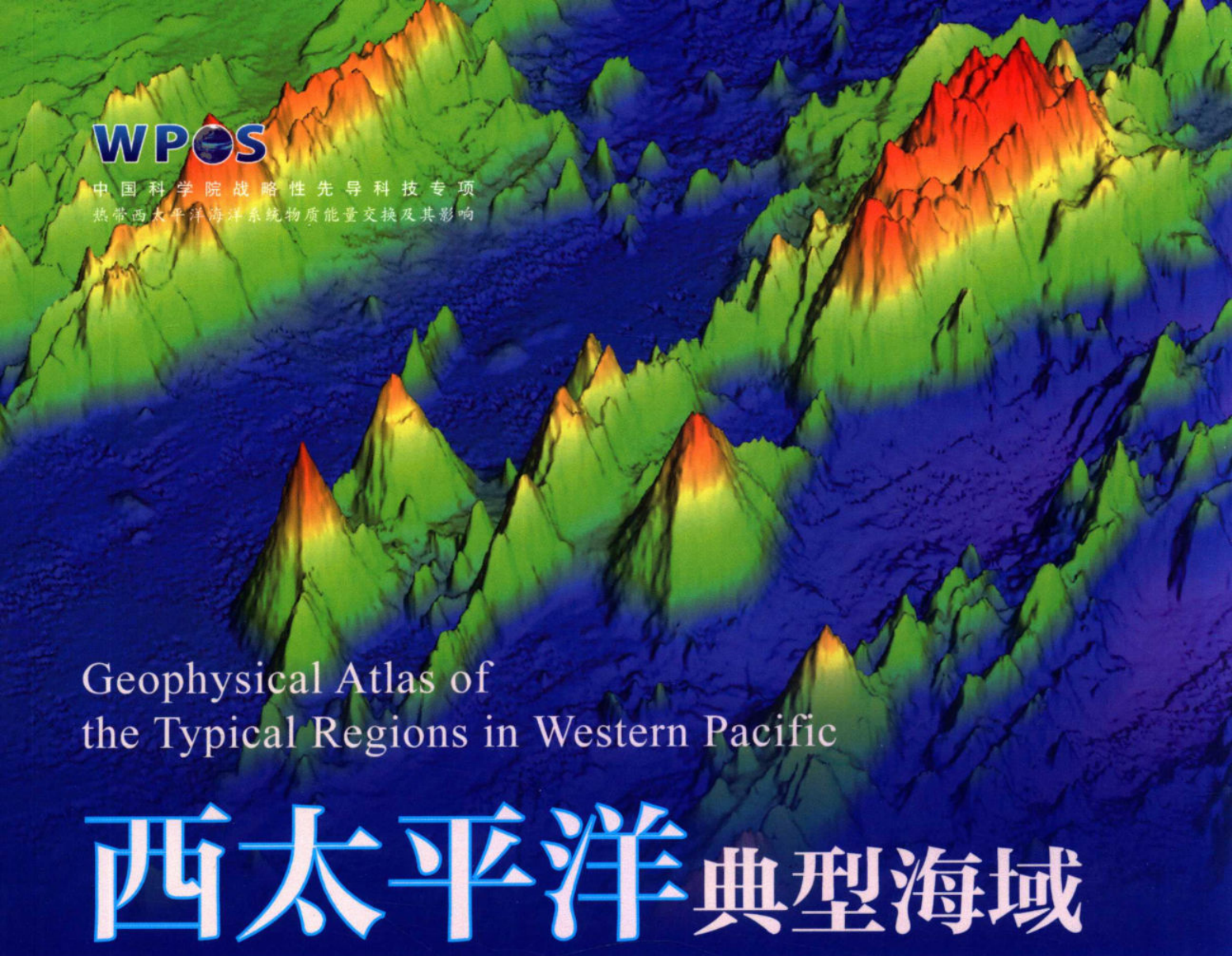




WPOS

中国科学院战略性先导科技专项
热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响

Geophysical Atlas of
the Typical Regions in Western Pacific

西太平洋典型海域 地球物理调查图集

栾振东 董冬冬 编著

 科学出版社



中国科学院战略性先导科技专项
热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响

西太平洋

典型海域地球物理调查图集

栾振东 董冬冬 编著

贵州师范学院内部使用

科学出版社

北京

内 容 简 介

本图集为中国科学院战略性先导科技专项(A类)“热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”的综合地球物理调查成果,图集包含了西太平洋海域物质能量交换显著的典型区域(典型海山、热液、冷泉等)的水深图、海底二维及三维地形图、浅地层剖面结构图、地震剖面图、构造特征图、重力布格异常图、重力自由空间图等地球物理相关图件,区域主要包括雅浦海山区、雅浦-马里亚纳海山区、卡罗琳海山区、冲绳海槽中部热液活动区、南海冷泉区、马努斯热液区等。

本图集可供从事海洋地质学、海洋测绘学、海洋地球物理学及构造地质学等相关领域的学者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

西太平洋典型海域地球物理调查图集/栾振东,董冬冬编著. —北京:科学出版社, 2019.11

ISBN 978-7-03-062749-0

I. ①西… II. ①栾… ②董… III. ①西太平洋—海洋调查—图集 IV. ①P717.106

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第242392号

责任编辑:王海光 王 好/责任校对:郑金红

责任印制:吴兆东/设计制作:金舵手世纪

封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年11月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2019年11月第一次印刷 印张:8 1/4

字数:267 000

定价:118.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

海洋一直处于变化之中，人们对变化中的海洋知之甚少，这其中一个非常重要的原因就是缺乏对海洋的长期观测数据。目前，大数据已越来越受到各方面的重视，海洋大数据由于关系到海洋安全、海洋资源开发利用和海洋环境保护等各个领域，更是推动海洋科学发展的关键，而海洋大数据的核心就是海洋观测数据，没有对海洋的实际观测就不可能真正了解海洋、保护海洋、利用海洋。

海洋观测成本高昂，观测设备繁多、复杂，加之海上作业环境异常艰辛，且各项目、各单位获取的第一手资料短时间内并不对外开放，这些原因导致海洋观测数据的获取非常难，建立海洋大数据具有很大的挑战性。

中国科学院战略性先导科技专项（A类）“热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”于2013年启动，项目部署了大量海洋观测工作，观测范围从渤海、黄东海、长江口及其邻近海域、黑潮流经海域一直到西太平洋暖池区域，观测内容涉及物理、化学、生物、生态、地质等各个学科，力求在这条大断面上进行长期、综合、立体观测，实现浮标、潜标长期观测与基于科学考察船的综合观测相结合。项目历时5年，获取了大量海洋地质地貌、海洋动力环境、海洋化学要素、海洋物理要素和海洋生态要素的数据资料，将成为海洋大数据的重要组成部分。

项目获取的观测资料有些已用于相关研究，并取得了一批有影响力的科研成果，但大部分数据还有待在未来的工作中加以分析利用。鉴于此，我们将获得的深海地形、深海生物、海水各理化生态要素的观测结果编制成图集、图谱、图鉴出版，以展示深海的高分辨率地形图、高清海山生物原位形态和生境照片，以及海水各理化生态要素的时间、空间变化趋势，供海洋科学的研究人员，相关部门的管理人员，以及关注海洋、热爱海洋的大众阅读参考。

希望这些著作的出版能够对认知、开发利用和保护海洋有所贡献。



中国科学院战略性先导科技专项
“热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”首席科学家

2019年6月

前言

西太平洋海域作为全球海洋系统的重要组成部分,拥有深海平原、海山、热液、冷泉等极端特殊环境,海底地形地貌复杂,海底构造地质过程非常活跃。这里发育了全球 70% 以上的弧后盆地,也是全球海山系统分布最为集中的海域,拥有最深的马里亚纳海沟,同时蕴藏着丰富的多金属硫化物和富钴铁锰结壳资源,并且孕育了全球海洋生物多样性中心。对西太平洋关键海域进行地球物理综合调查,是拓展和发掘国家战略性海洋资源的长远需求。随着我国大科学工程“科学”号海洋综合科学考察船、“发现”号深潜器的投入使用,我国的深海研究手段跨入了国际先进行列,开展深海综合地球调查研究已势在必行。

2013~2018 年,“科学”号执行了 8 次西太平洋海域调查,涵盖了冲绳海槽 (Okinawa Trough) 热液区、马里亚纳海槽 (Mariana Trough) 热液区、马里亚纳岛弧 (Mariana Arc) 海山区、雅浦岛弧-西卡罗琳洋脊 (Yap Arc-West Carolina Ridge) 海山区、欧里皮克海隆 (Eauripik Rise) 海山区、马努斯海盆 (Manus Basin) 热液区、南海 (South China Sea) 冷泉区等重点海域,获取了丰富的调查数据,为本图集的制作提供了重要的基础数据支撑。本图集的制作,将为西太平洋海山、热液、冷泉等关键海域中海底高精度地形地貌研究、动力过程与物质循环特征研究、构造演化特征研究等提供参考,对热带西太平洋海洋系统的研究具有重要意义。

本图集多波束调查部分由阎军、陈长安、徐涛、刘贤三等完成,浅地层剖面调查部分由宋永东、马小川等完成,地震地质调查部分由董冬冬、王秀娟、钱进、张广旭等完成,重力磁力调查部分由付永涛、周章国完成。全书由栾振东、董冬冬、张建兴等统稿。

本图集是中国科学院战略性先导科技专项 (A 类)“热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”(XDA11030100, XDA11030300) 的研究成果,项目组专家对航次的设计和执行提供了指导意见,图集的出版得到了专项的资助,特此表示感谢。

限于编著者水平,书中难免有不足和疏漏之处,恳请读者指正,也敬请各位专家、学者多提宝贵意见。

栾振东 董冬冬

2019 年 5 月

目 录

绪论.....	1
第一部分 雅浦海山区.....	7
第二部分 雅浦-马里亚纳海山区	53
第三部分 卡罗琳海山区.....	69
第四部分 冲绳海槽中部热液活动区.....	79
第五部分 南海冷泉区.....	95
第六部分 马努斯热液区.....	107
参考文献.....	123

绪 论

近年来,中国科学院海洋研究所利用“科学”号考察船多次对西太平洋关键海域开展综合地球物理同步观测,获得了宝贵的地球物理资料,为西太平洋关键海域的地球物理研究提供基础数据。图集采用的水深数据全部由“科学”号考察船配备的 Seabeam 3012 型全海深多波束测深系统获得,基于 CGCS2000 坐标系制图。图集中涉及的调查区域如图 I 所示、“科学”号搭载的调查设备如图 II 所示。同时,为了更加全面地展示某些典型区域的形貌特征,我们绘制了重点区块的高分辨率地形图及不同光照角度的三维地形图。所用地震电缆的工作段长度为 1500m,震源为 4 支气枪组成的枪阵,容量分别为 520in^3 ($1\text{in}^3=1.638\ 71\times 10^{-5}\text{m}^3$)、 380in^3 、 250in^3 和 150in^3 ,最大和最小炮检距分别为 1722m 和 234.5m,其他记录参数如表 1 所示;用于区域构造单元划分的水深数据采用 2009 年美国国家地球物理数据中心发布的 ETOPO1 数据 (Amante et al., 2009);重力异常数据采用 2014 年美国 Scripps 海洋研究所 Sandwell 小组发布的卫星测高反演重力异常 (Sandwell et al., 2014)。

表 1 多道地震数据采集参数

气枪总容积 (in^3)	震源工作压力 (psi^*)	道间距 (m)	接收电缆道数	放炮间距 (m)	记录长度 (s)
1300	2000	12.5	120	50	12

* $1\text{psi}=6.89476\times 10^5\text{Pa}$

一、雅浦海山区

雅浦海山区面积约 6.6万 km^2 ,研究区内地形复杂,海山、海底高原、海丘、海岭等大量正地形与海沟、深海洼地等负地形交错出现,包含卡罗琳海岭、雅浦海沟等主要地貌单元。研究区内水深变化大,最深处位于海沟处,水深 8590m,最浅处位于海沟西侧的岛弧处,水深 142m,两者相差约 8400m。

研究区东部属于卡罗琳海岭,整体地势较高,发育大量海山、海丘、海底高原等正地形。但卡罗琳海岭被索罗尔海槽分割成两部分,分别为索罗尔海槽北部的卡罗琳海岭和南部的西卡罗琳海隆。索罗尔海槽呈东西走向,海槽内发育东西走向的多个海山链,海槽内最深处超过 5000m。卡罗琳海岭地形较复杂,发育大量海山;西卡罗琳海隆为海底高原,地形整体比较平坦,起伏变化较少,有少量海山分布其上。

研究区中部为雅浦海沟及雅浦岛弧,岛弧走向为北偏东 24° ,雅浦海沟呈南北深、中间浅的马鞍形特征,其延伸方向在转折点 ($9^\circ 1'\text{N}$, $138^\circ 17'\text{E}$) 处发生改变,在转折点以南其走向为北偏东 27° ,转折点以北其走向为北偏东 17° 。转折点北侧海沟水深 6500~7700m,南侧海沟较深,水深

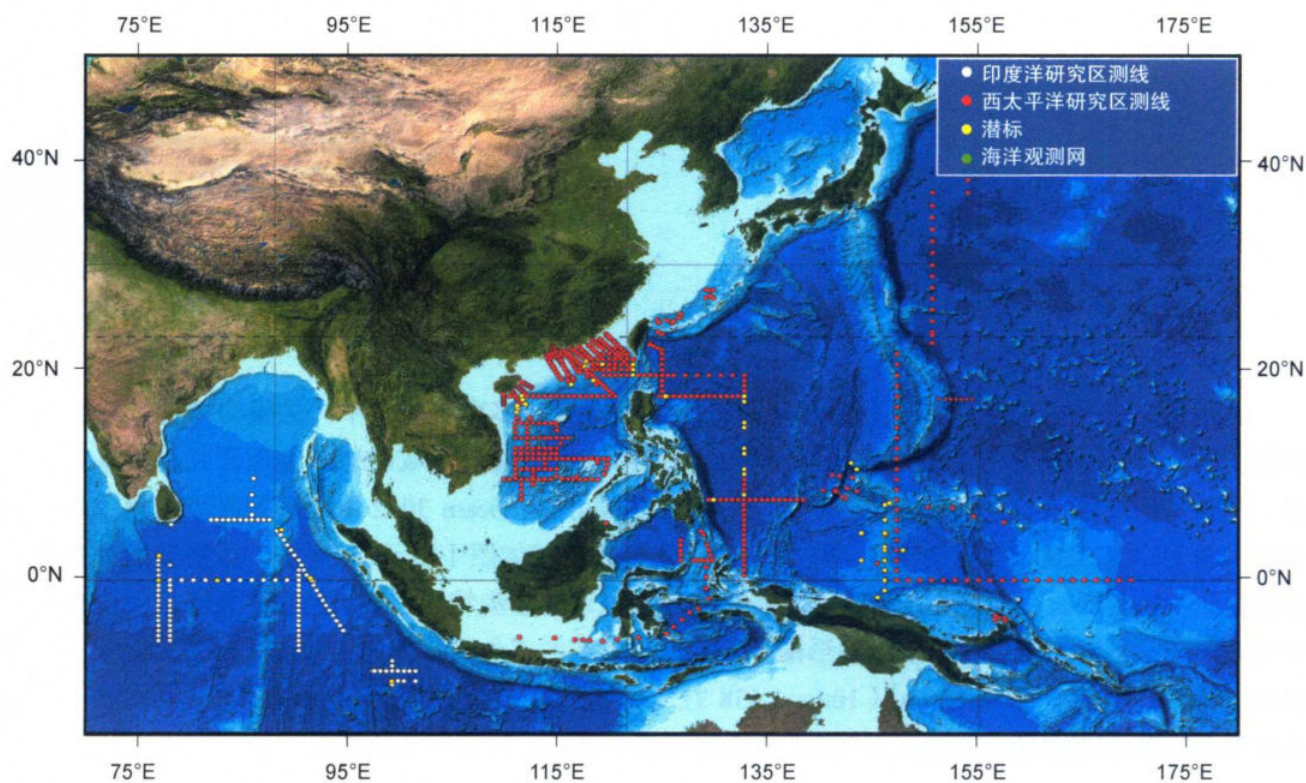


图 I 深海调查作业站位图

航次执行时间为 2013 年 10 月至 2018 年 6 月，共执行 8 个航次



图 II 西太平洋关键海域地球物理调查船设备示意图

7700~8590m。海沟最深处为 8590m，而在转折点附近水深则浅于 6500m。雅浦海沟轴部与雅浦岛弧山脊之间的距离约 40km，这一长度远小于其他沟-弧体系中海沟与岛弧之间的距离。

研究区西部为帕里希维拉海盆，水深浅于 5000m，大部分区域地势较平缓，有海山及海丘发育。研究区内海山多为点状，呈孤立状态，海山形状相对较规则，海山最浅点水深小于 850m。

在雅浦海山区选取 3 个典型剖面。P1 剖面自西向东依次横穿帕里希维拉海盆、雅浦海沟和索罗尔海槽南部边缘，剖面地形显示在海沟转折点两侧地形呈阶梯排列，海沟剖面呈“V”形，海盆、岛弧、海沟界限分明。P2 剖面自南向北纵切帕里希维拉海盆近岛弧一侧，剖面地形起伏明显，剖面中最大海山高达 2500m。P3 剖面自南向北纵切西卡罗琳海隆、索罗尔海槽和卡罗琳海岭，剖面总体地形呈“V”形，南部海底高原地势较高，地形平缓，海槽内及海岭区发育海山。

二、雅浦-马里亚纳海山区

雅浦-马里亚纳海山区位于雅浦海沟和马里亚纳海沟的交汇处，研究区包含 M1 和 M2 两个海山区块，分别位于雅浦海沟区和马里亚纳海沟区。研究内海沟水深最深处超过 7000m。其中 M1 区块位于雅浦海沟西侧，发育一座南北走向的海山，海山上有 4 个山峰；M2 区块位于马里亚纳海沟北侧，仅包括一座孤立海山。两区块内的海山具有明显不同的特征。

(1) M1 区块

M1 区块位于雅浦-马里亚纳海山区的西部，区块内海山呈南北走向，属于雅浦海沟岛弧，海山最浅处水深约 1200m，海山上 4 个山峰自北向南依次排列。其中南侧两个山峰为长条状，脊线近乎垂直，且南侧山峰较高，最浅水深分别为 1800m 和 1200m；北部两个山峰总体呈马鞍形，地形中间低、南北高，北部山峰总体水深较深，最浅处水深约 2000m 及 2100m。M1 区块 P1~P4 4 个剖面分别横切 4 个山峰，剖面显示海山东西两翼明显不对称，东翼近海沟一侧坡度较大，西侧地形变化稍缓。

(2) M2 区块

M2 区块位于雅浦-马里亚纳海山区的东部，区块内仅发育一座平顶海山，属于马里亚纳岛弧区，位于海沟北侧。该海山水深最浅处浅于 25m，平顶为西北-东南向延伸的不规则形状，走向基本与马里亚纳海沟轴部走向一致，水深浅于 200m 区域范围大约为 9km²。海山西北、东南两翼近乎对称，坡度较缓，为 12°~13°；东北、西南两翼不对称，其中西南翼近海沟一侧地形陡峭，水深从接近海平面急剧下降至大于 7000m 的海沟轴部，坡度 15°~25°。

三、卡罗琳海山

卡罗琳海山位于马里亚纳海沟西南端的南侧，距离海沟轴部约 50km，海山中心约位于 10°28'N、140°06'E。卡罗琳海山是一座平顶海山，高度近 2500m，海山总体呈东西窄、南北长的不规则形状，海山顶部水深浅于 200m 的区域长度最长处超过 13km，宽度最宽处约 4km，总面积约 35km²，海山顶部四周水深较浅，中部水深较深，水深最浅处浅于 50m，最深处超过 100m。海山顶部包含了南北两个大小不同的浅洼地，其中北部洼地较小，南部较大，南北两个洼地被中间的浅水区隔离。海山四周地形陡峭，其中 400m 以浅的区域海底地形坡度超过 60°，400m 以深区域海底地

形随深度的增加逐渐变缓,海山四周剖面形态近乎一致。海山南部水深浅于 1500m,而北部发育了向北延伸的海山链,长约 13km,最终在马里亚纳海沟水深 6000m 左右处消减。相比之下,海山东西两翼无特殊地形发育,水深直接由 50m 急剧下降至 2500m。

卡罗琳海山区内 P1 剖面自北向南纵穿卡罗琳海山,剖面地形显示海山南部地势相对较高,水深最深约为 1500m,而海山北翼地形呈阶梯状下降,在 40km 范围内水深由 1500m 急剧下降至约 6000m;卡罗琳海山区内 P2 剖面自东向西横切海山,剖面显示海山两翼对称,海底坡度随水深加深而逐渐变小,10km 内海底坡度由超过 60° 逐渐减小至 0°。

四、冲绳海槽中部热液活动区

冲绳海槽中部热液活动区总体呈北东-南西向延伸,裂谷水深 1500m~1800m。裂谷轴部位位于研究区偏南部。研究区北部地势较高,水深 1200m~1400m,地形自西-西北向东-东南倾斜,坡度由 0.1° 发展到 3.5°。研究区东南角为裂谷另一侧槽壁,地势向东南逐渐抬升,海底平均坡度约 2.8°。

冲绳海槽中部热液活动区发育大量海山、海丘、裂谷、洼地,地形起伏变化大,水深最深为 1773m,位于南部裂谷洼地;水深最浅为 637m,位于中部海山、海丘分布集中处;活动区内最深和最浅处水深相差近 1200m。活动区分布众多小型海山和海丘,它们从形态特征上主要分为两类:一类呈近圆状或椭圆状,线性特征不明显;另一类多呈长条状、短剑状,线性特征明显,规模大小不一,总体走向与裂谷延伸方向一致,呈北东-南西向。裂谷内除了海山、海丘外,还发育有与海山、海丘交错分布的洼地,洼地呈北东-南西向延伸。目前,研究区内已探明了三处主要的热液活动区,主要分布在 Iheya North (伊平屋北) 区块、Iheya Ridge (伊平屋脊) 区块和 Iheya Nat 84 (夏岛 84-1) 区块,它们分别位于冲绳海槽中部热液活动区西北角的海丘区、西南部的中央脊及南部的裂谷洼地。

(1) Iheya North 区块

Iheya North 区块位于冲绳海槽中部热液活动区的西北角,平均水深约 1100m,与海底相对高差约 500m。该区块水深最浅约 672m,位于该区块东南部的海丘,其南侧陡峭,坡度超过 30°。区块内有海丘发育,海丘发育区域根据其位置和特征可以分为三部分。规模最大的两个海丘位于区块中央偏东,其海丘脊线分别向南北方向和东西方向延伸,走向近乎垂直;西北部海丘规模较小,多呈圆形零散分布。

(2) Iheya Ridge 区块

Iheya Ridge 区块位于冲绳海槽中部热液活动区的西南部,区块东南部和西部水深较深,超过 1700m。该区块最显著的地形特征是发育一条中央脊 (Iheya Ridge), Iheya Ridge 长约 10km,最宽处超过 3.5km,呈短剑状,脊线向东北延伸;南北两翼相对对称,坡度最大处超过 30°; Iheya Ridge 区块内最浅处位于地形中部,高出海底约 600m。中央脊东侧零散发育小型海山并与中央脊相连,其脊线走向与中央脊一致。

(3) Iheya Nat 84 区块

Iheya Nat 84 区块位于冲绳海槽中部热液活动区的西南部,水深 1200~1800m。区块中部水深多超过 1700m,地形相对平缓,四周被海山围绕,区块四周水深多浅于 1500m。区块南部海山

的北翼坡度近 35° ，北部海山南翼较缓，坡度约 20° 。区块中央区域发育两个孤立海丘，海丘高近 200m。区块西部属于冲绳海槽中部热液活动区南部海山链的一部分。

五、南海冷泉区

南海冷泉区位于南海东北部，台湾岛西南，研究区大部分水深 1000~2000m。研究区地处澎湖海底峡谷群，研究区内海底峡谷和山脊相间排列且贯穿全区，轴线大致呈北北西-南南东向延伸。山脊脊线间距最大不超过 10km，多数为 5km，山脊最高可达 700m，山脊东西两侧海底陡峭，坡度最大可达 25° 。研究区内发育多条海底峡谷，这些海底峡谷属于澎湖海底峡谷的上段，剖面呈典型的海底峡谷地貌，峡谷两边地势相差大，坡度陡，主要呈“V”形，峡谷西侧地形相对较缓。南海冷泉加密区域位于南海冷泉区中部最大山脊的顶部，水深 1100~1350m，区域面积约 2.4km^2 。加密区域属于中央山脊的一部分，山脊整体为南北走向，东西两侧地形陡峭；山脊北段较为狭长，南段较宽，加密区域内发育一个丘状地形，其顶部较平整，为加密区域内主要冷泉发育区。

六、马努斯热液区

马努斯热液区位于东马努斯盆地，地处 Weitin 转换断层和 Djaul 转换断层之间，是一个岛弧张裂区，张裂区扩张速度可以达到每年 137.5mm，是俾斯麦海中扩张速率最高的区域。马努斯热液区发育了多个热液区，包括 Vienna Woods 热液区、Pacmanus 热液区、Desmos 热液区和 Susu Knolls 热液区。研究区内水深最深处超过 2400m，发育多个平行排列的西南-东北向延伸的洋脊，其中最大为 Pual 洋脊，洋脊最浅处浅于 1700m，PAC 区块位于此洋脊上；研究区东部发育一座环形山，为 Desmos 区块。

(1) PAC 区块

PAC 区块位于马努斯热液区西部的 Pual 洋脊上，区块同样沿西南-东北向延伸洋脊顶部水深 1650m~1700m，海底表面崎岖多变，地形复杂。区块中央地形相对平缓，坡度小于 15° ，西北侧坡度大于 40° ，东南侧地形相对较缓。区块整体呈马鞍形，南部和北部地势较高，中部偏北区域发育一个垂直于洋脊走向的低地，区块西南部发育两个小型火山口：最南侧火山口的环形坑直径约 50m，深度最大约 20m；中部火山口的环形坑直径约 70m，深约 5m。

(2) Desmos 区块

Desmos 区块位于马努斯热液区东部，为一环形山区域。该区块西北部、东南部地势较高，中部地势低，环形山高约 200m；其中水深最浅处浅于 1900m，中部水深最深约 2100m。环形山外侧地形较缓，大多数坡度小于 10° ；内侧地形陡峭，坡度约 35° 。环形山凹坑面积约为 1.2km^2 ，坑内地形平缓，坑内海底高差小于 100m，最深处位于坑内北侧。

第一部分

雅浦海山区

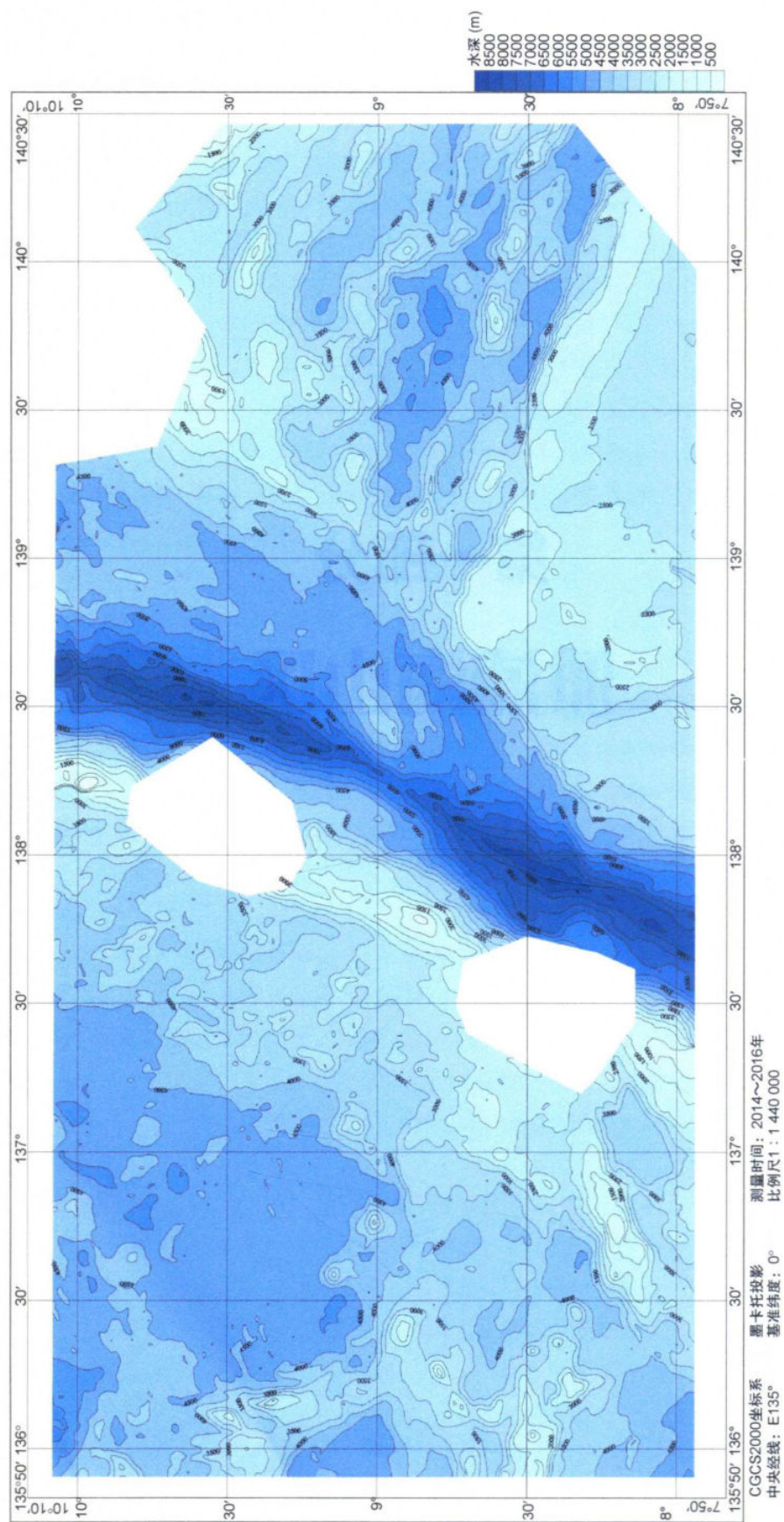


图 1.1 雅浦海山区海底地形图

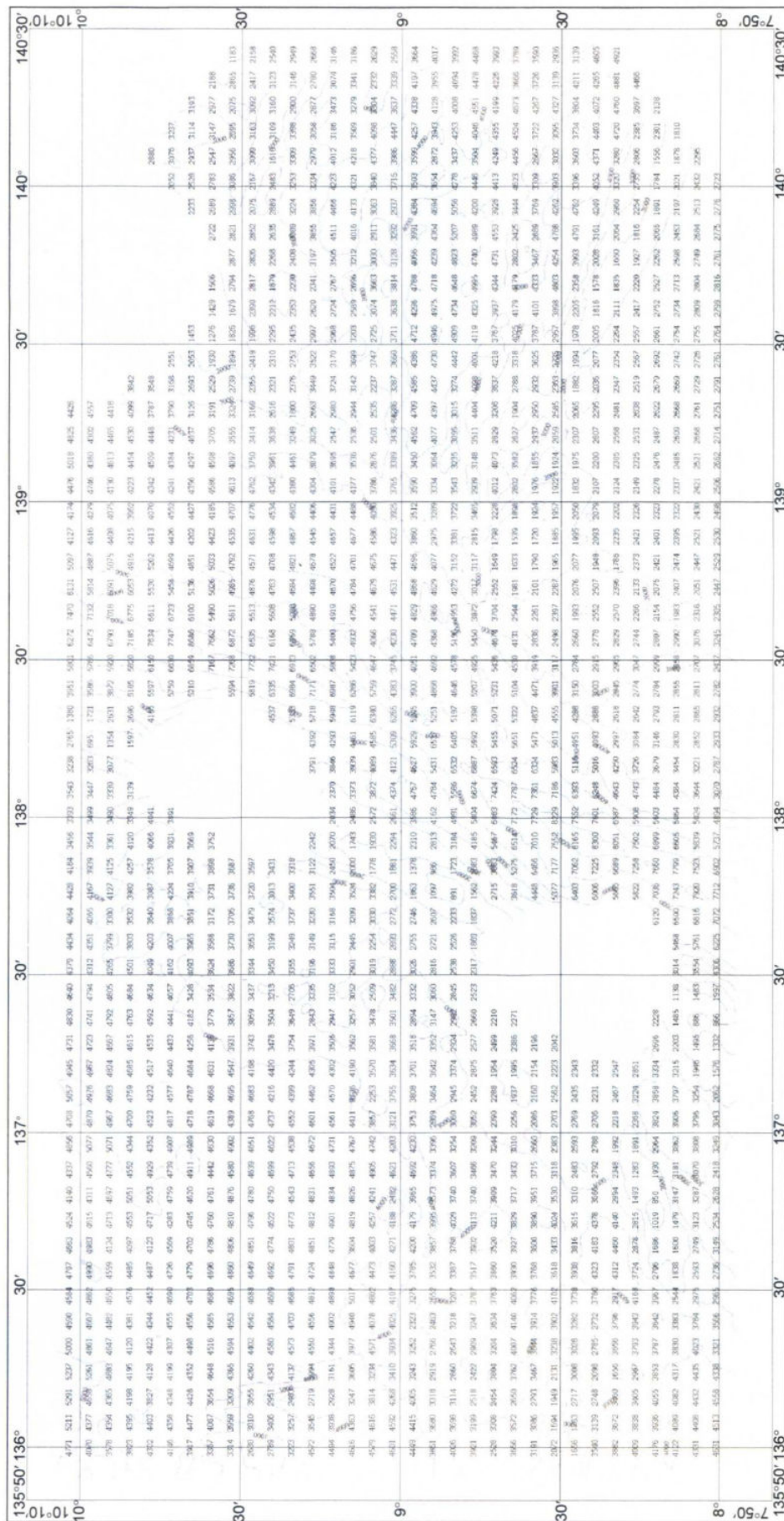


图 1.2 雅浦海山区水深图

CGCS2000坐标系 墨卡托投影 测量时间: 2014~2016年
中央经线: E135° 基准纬度: 0° 比例尺: 1:440 000

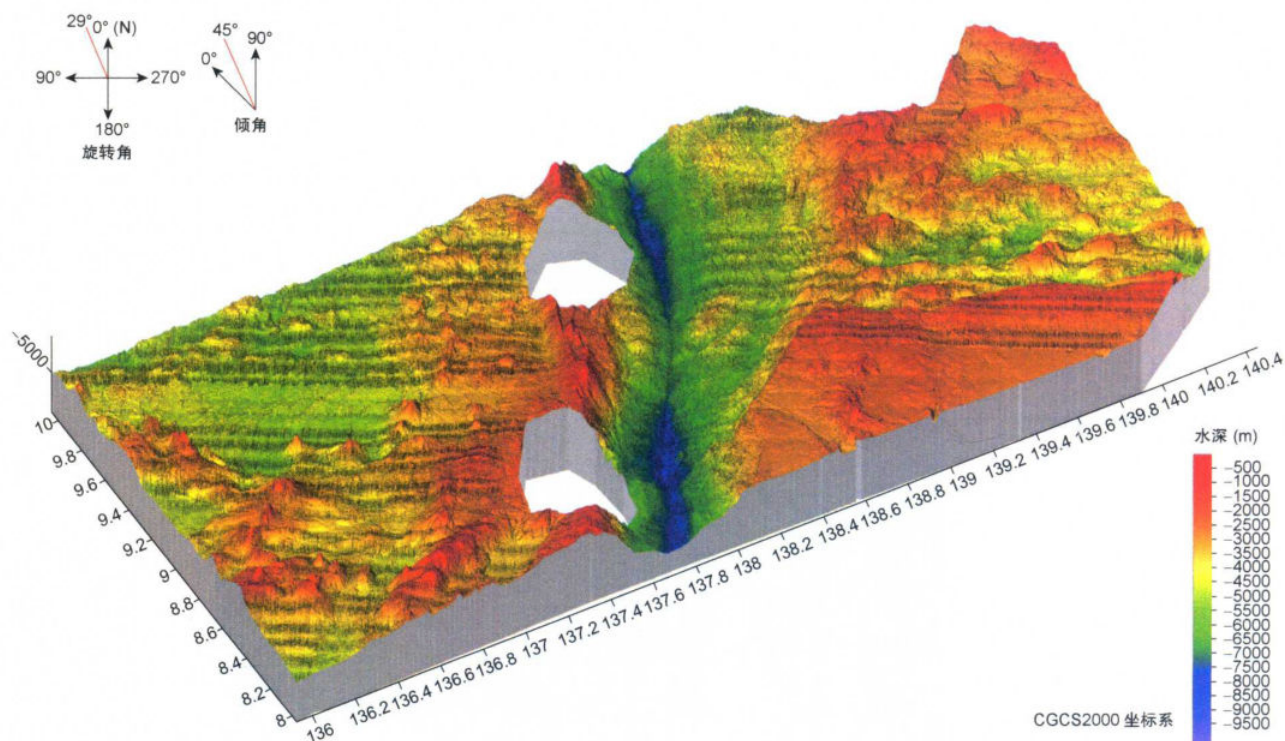


图 1.3 雅浦海山区海底三维地形图

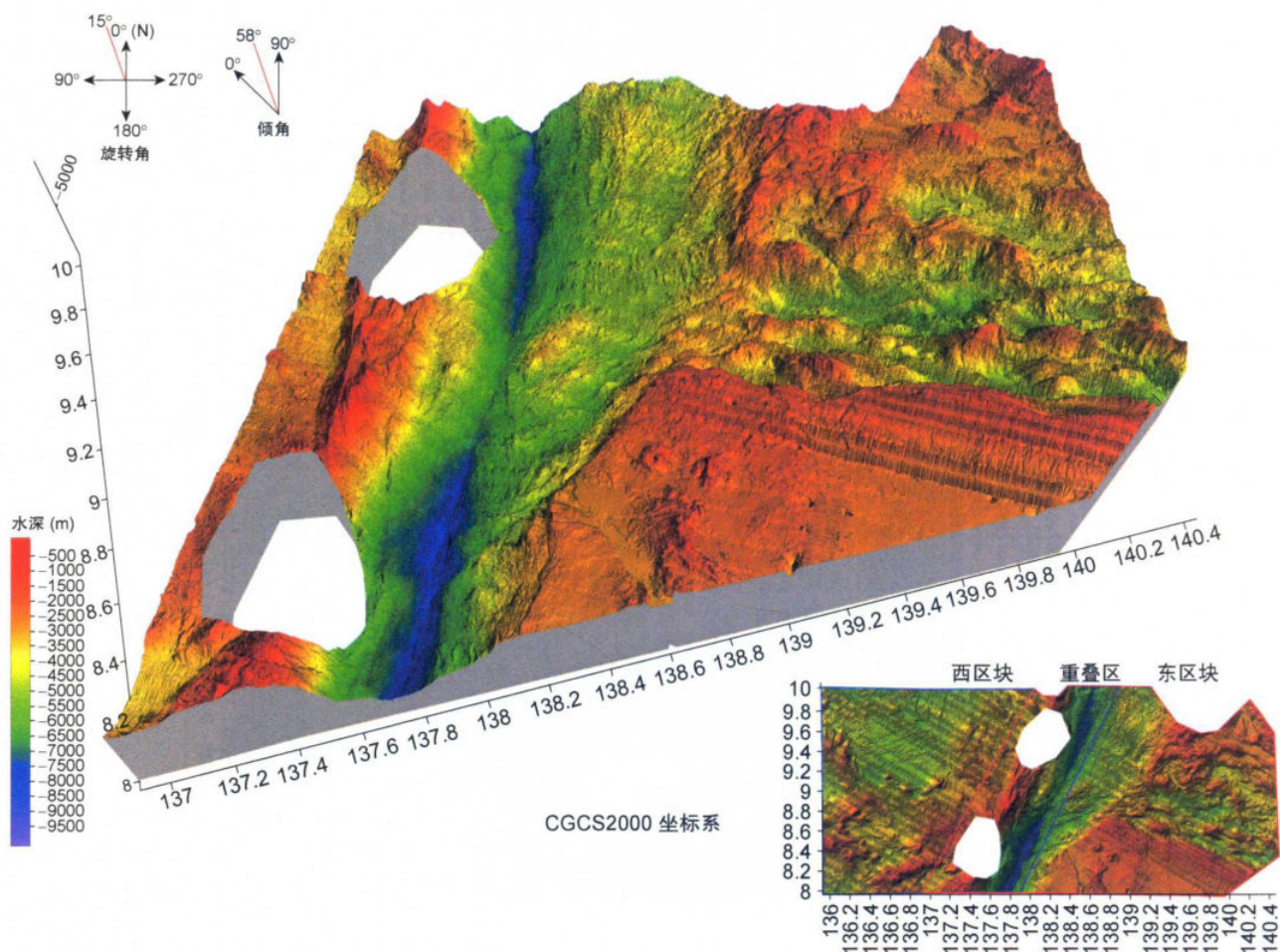


图 1.4 雅浦海山区东区块海底三维地形图 1

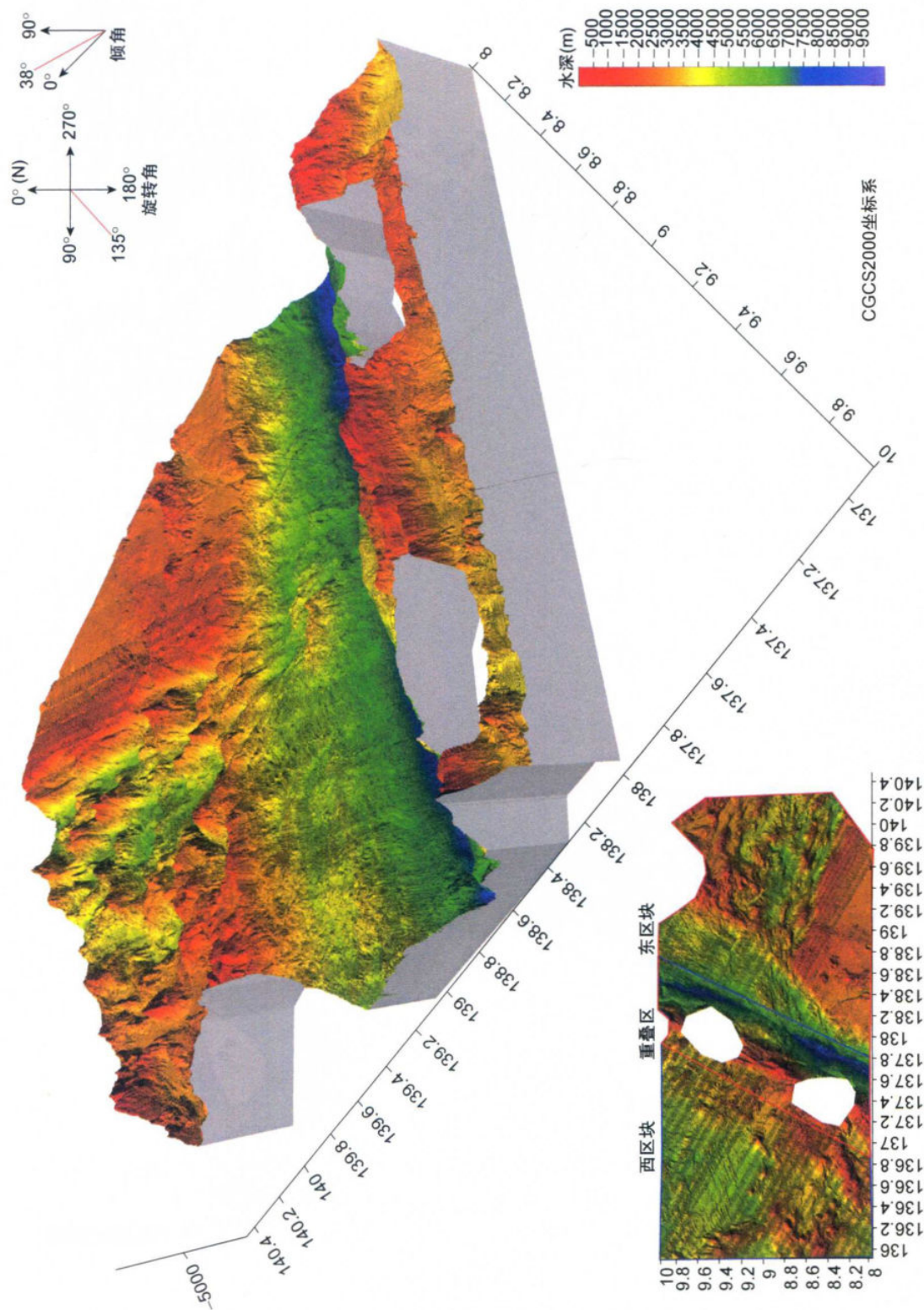


图 1.5 雅浦海山区东区块海底三维地形图 2