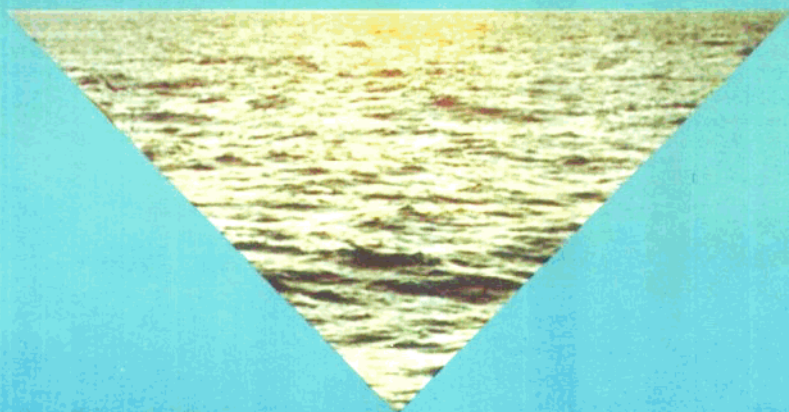
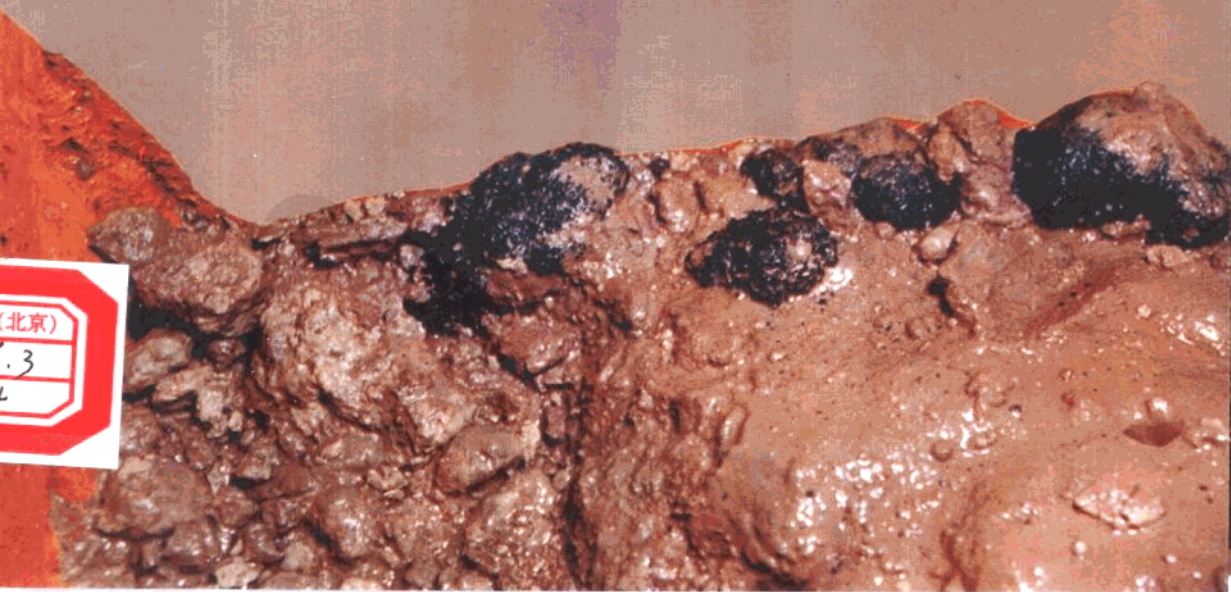


康长生 刘玉山 梁德华著

火山活动与 多金属结核分布的关系



《东太平洋海盆多金属结核分布规律研究》丛书之四 中国地质大学出版社



《东太平洋海盆多金属结核分布规律研究》丛书之四

火山活动与多金属结核 分布的关系

康长生 刘玉山 梁德华 著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了东太平洋海盆洋底火山沉积物、洋底火山岩及多金属结核中火山物质基本特征,在国内外首次开展了以探讨结核成矿物质来源为目的的海水-玄武岩反应实验研究,综合讨论了火山活动与多金属结核生成、分布关系。本书内容丰富,资料翔实,成果富有新意,在同类领域中填补了我国研究空白。其中多项成果达到国际领先水平。

本书可供从事岩石学、矿床学、海洋地质学专业的生产、科研人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

火山活动与多金属结核分布的关系/康长生、刘玉山、梁德华著. —武汉:中国地质大学出版社, 1997. 3

ISBN 7-5625-1140-3

I. 火…

II. ①康…②刘…③梁…

III. 火山作用-关系-多金属矿床-结核(沉积学)-太平洋

IV. P744

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 04345 号

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 吴珣华 责任校对 胡义珍 版面设计 阮一飞

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 5.125 字数 130 千字 图版 8

1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月第 1 次印刷 印数 1—300 册

定价: 18.80 元

前 言

大洋多金属结核含Cu、Ni、Co等多种有用金属元素,是潜在的深海矿产资源。我国从1983年开始大洋多金属结核调查以来,已在东太平洋海盆CC区圈出30万平方公里的矿区,并于1991年取得先驱投资者资格。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,地质矿产部实施了“太平洋中部多金属结核调查和研究”项目,在深海远洋地质矿产调查研究领域取得了前所未有的科研成果。在此基础上,中国大洋矿产资源研究开发协会在“八五”期间组织了太平洋多金属结核开辟区第二阶段勘查,同时开展“深海地质研究”项目,本书是“东太平洋海盆多金属结核分布规律研究”课题下设“火山活动与多金属结核分布关系研究”专题研究成果,专题编号为DY85-02-01-05。

火山活动与多金属结核的物质组成有一定的内在联系。多金属结核的核心物质有相当一部分为火山物质,在结核壳层及与结核共生的深海沉积物中火山物质也屡见不鲜。不少中、外海洋地质学家发现了包括火山物质在内的许多结核核心物质,但缺乏详尽深入研究。如孔祥瑞(1990)将结核核心物质划分为四种类型,其中之一为火山岩或火山碎屑岩块。王煥夫(1995)根据大洋多金属结核核心物质的属性和起源提出成因分类,共分五种核心类型,其中之一为岩石质核心,指出岩石质核心是结核最主要一类核心物质。Rehm(1982, 1983)对东北太平洋沉积物中的火山碎屑物进行过研究,指出中新世早期沉积物中火山玻璃和浮岩来源于中美洲北部的火山活动的产物,经大气降落堆积而成,而近地表沉积物中粗粒火山碎屑则来源于东太平洋海隆新生洋壳。Stackelberg(1982, 1987)论述了赤道北太平洋中火山灰雨对多金属结核成因的影响作用以及表层沉积物和多金属结核中浮岩的分布和来源方式,强调指出多金属结核浮岩核心的大量供应肯定影响了东太平洋结核的区域分布。

本世纪70年代以来,由于在东太平洋海底相继发现了活动的海底热泉和现代硫化物矿化,从而促进了对海底金属矿床的现代成矿作用的理论和实验研究。洋底火山热液与深海沉积矿产的成矿作用有关。Ainemer(1989)等认为洋底至少有两种类型的热液可产生成矿作用,一类为Mg-Na的硫酸盐-氯化物,另一类为Ca-Na的氯化物;前者受火山源酸性流体的强烈影响,为岩浆热液,后者形成于海水与岩石的相互作用,这种高温的酸性海水可以从玄武岩中萃取大量的Fe、Mn、Cu、Zn等金属,形成深海矿产,即所谓的“海水对流循环成矿”。Prokoptsev(1990)研究太平洋洋底熔岩后认为洋底含金属热液的成因与“流体-岩浆分异作用”有关。杨慧宁等(1995)对太平洋中部的热液矿物进行过研究,指出大洋中热水溶液的活动并不仅限于洋脊和裂谷地区,洋盆内只要有较大的断裂存在,就会有热水溶液活动或海底热泉出现。

据估算(Gross, 1987),东太平洋CC区多金属结核资源达80~150亿吨,如此数量巨大的多金属结核中金属元素如Mn、Fe、Cu、Co、Ni的来源,一直是一个尚未解决和争论的问题。Bostrom和Hart(1978)、张明书(1982)、孔祥瑞(1988, 1989)等认为火山物质是结核成矿物质来源之一,甚至是主要来源。为了查明海底金属矿产的金属元素来源,国内外学者还开展了大洋玄武岩热液蚀变及其实验研究。Humphris和Thompson(1978a, b)研究海水对大洋枕状玄武岩的热液蚀变作用后,指出海水可从玄武岩中吸收Si和Ca,而玄武岩可从海

水中得到 Mg 和 H_2O , 形成绿片岩相的蚀变矿物组合, 微量元素 Fe、B、Li、Ba、Mn、Ni 和 Co 也发生迁移, 重新沉淀。Mattl 等 (1978, 1979)、Seyfried 和 Biscoff (1979, 1981)、Seyfried 和 Dibble (1980)、Seewald 和 Seyfried (1990) 先后开展了洋壳海水-玄武岩反应模拟实验, 探讨不同温度、压力、水岩比、岩石结晶类型等诸多条件下海水与岩石之间元素的迁移性质。前苏联学者认为洋壳玄武岩蚀变主要是热液阶段的蒙脱石交代, 在“非氧化”碱性条件、温度大于 $100^{\circ}C$ 情况下进行的。我国学者曾贻善 (1984) 曾在美国做过 $300^{\circ}C$ 以下 $Na_2CO_3 + NaCl$ 溶液作用于玄武岩玻璃的实验, 着重研究了玄武岩的蚀变问题。以上学者对洋壳玄武岩的蚀变研究 (包括海水-玄武岩反应模拟实验), 多集中于揭示水岩反应的机理和反应条件, 关于水岩反应与大洋多金属结核成矿物质来源关系讨论则极少提及。

开展大洋多金属结核生成与分布的影响和控制因素的研究, 有助于认识多金属结核成矿分布规律, 从而寻找有工业意义的远景区。除水深、海底地形地貌、沉积物类型和底层流等因素外, 海底火山作用也是影响多金属结核生成与分布的重要因素。有关火山作用对深海多金属结核生成、分布影响的研究, 国外少数学者有所涉及, 但很不系统深入, 而我国在这方面的的工作几乎是空白, 因此, 本专题开展的东太平洋海盆火山活动与多金属结核分布关系的研究, 具有重要的现实意义。本专题研究的目的是查清东太平洋海盆洋底火山岩的基本特征和火山活动规律, 洋底沉积物及多金属结核中火山物质特点、分布规律等与结核形成和分布的关系, 从洋底玄武岩类火山物质蚀变变化、洋底热液活动以及海水-玄武岩反应模拟实验等方面, 探讨多金属结核成矿物质的火山性来源。因此, 研究火山作用与多金属结核的关系, 也是多金属结核成矿研究的一个重要方面, 可以进一步探讨结核的形成机制, 为多金属结核资源评价和开发提供科学依据, 具有重要的科学意义和经济意义。本专题主要开展以下几个方面的研究:

(1) 研究区洋底火山岩研究。通过对获取的洋底海山玄武岩和浮岩的岩石学特征、岩石化学特征、微量元素地球化学、同位素测年等方面研究, 了解区内火山岩基本特征, 找出与多金属结核的内在关系。

(2) 研究区沉积物中火山物质研究。讨论了研究区内一百多个站位表面沉积物中砂级火山物质和 9 个柱状沉积物中砂级火山物质的分布、丰度以及岩石、矿物地球化学特征, 认识区内新生代火山活动基本规律、火山物质来源及其与多金属结核的关系。

(3) 多金属结核中火山物质研究。对多金属结核中火山物质核心和铁锰壳层中火山物质两个方面进行了探讨, 包括岩石学和矿物学特征, 来源形成机制及区域分布, 火山物质的影响作用。

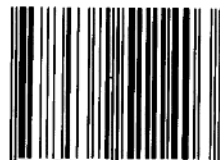
(4) 多金属结核成矿物质的火山性来源研究。包括洋底火山热液活动分析, 洋底玄武岩类火山物质的风化蚀变, 海水-玄武岩反应模拟实验研究, 探讨多金属结核成矿物质的火山性来源。

本书是在“火山活动与多金属结核分布关系研究”专题基础上完成的, 全书共分六章, 第一章由梁德华撰写; 第二、三、四章和结论由康长生撰写; 第五章由刘玉山、康长生撰写; 第六章由康长生、梁德华撰写。最后由康长生、梁德华统编定稿。专题研究由广州海洋地质调查局及其下属研究所、第二海洋地质调查大队, 以及中国地质科学院矿床地质研究所等单位完成, 负责单位为广州海洋地质调查局研究所, 专题负责人为康长生和刘玉山。参加人员除作者外, 还有谈丽芳、邹志强、廖志良、张桂兰和张生。有关图件由邓慧荣、李国英清绘, 专题报告由梁广、廖志良打印。样品的硅酸盐全分析、稀土元素分析、微量元素分析由广州海洋

地质调查局测试中心、地科院地质所和中科院广州地球化学研究所完成；岩石样品同位素测年由中科院广州地球化学研究所完成；电子探针化学分析由华南理工大学测试中心、广州有色金属研究院和地科院矿床所完成；X光衍射分析由广州海洋地质调查局测试中心完成。

由赵鹏大、傅家谟、陈毓蔚、金庆煊、周人初、余梦迪、姚德、许时耕等9位专家组成的鉴定委员会对本专题成果进行了鉴定，鉴定委员会一致认为，专题圆满完成了合同规定的攻关任务和研究内容，研究报告观点鲜明，资料翔实，内容丰富，立论有据，成果富有新意并有所突破；研究成果达到国际先进水平，其中结论中关于火山物质的研究等多项内容达到国际领先水平；建议报告作适当修改、完善后，尽快交付出版。作者根据专家们的宝贵意见作了修改，在此深表谢意。

ISBN 7-5625-1140-3



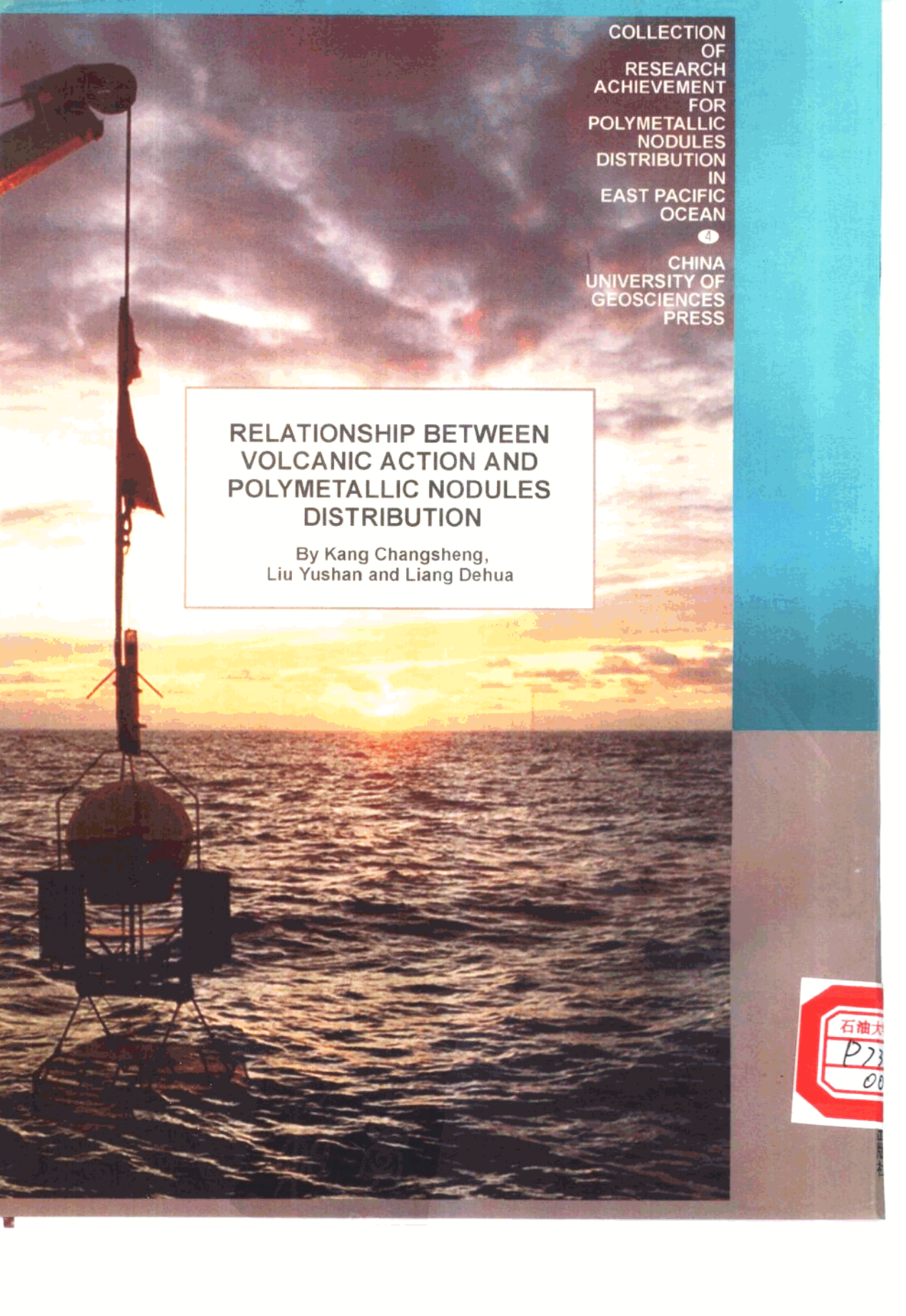
9 787562 511403 >

封面设计:吴纪红

ISBN 7-5625-1140-3/P · 426



定价:18.80 元



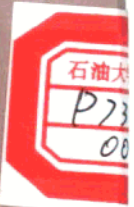
COLLECTION
OF
RESEARCH
ACHIEVEMENT
FOR
POLYMETALLIC
NODULES
DISTRIBUTION
IN
EAST PACIFIC
OCEAN

④

CHINA
UNIVERSITY OF
GEOSCIENCES
PRESS

**RELATIONSHIP BETWEEN
VOLCANIC ACTION AND
POLYMETALLIC NODULES
DISTRIBUTION**

By Kang Changsheng,
Liu Yushan and Liang Dehua



目 录

第一章 研究区地质背景.....	(1)
第一节 构造位置.....	(1)
第二节 地形特征.....	(2)
第三节 表层沉积物.....	(2)
第四节 多金属结核矿产.....	(2)
第五节 火山活动.....	(4)
第二章 洋底火山沉积物.....	(7)
第一节 表层沉积物中火山物质.....	(7)
第二节 柱状沉积物中火山物质	(17)
第三章 洋底火山岩基本特征	(22)
第一节 海山玄武岩	(22)
第二节 浮岩	(31)
第三节 洋底火山岩与多金属结核成矿	(32)
第四章 多金属结核中火山物质	(33)
第一节 多金属结核核心中的火山物质	(33)
第二节 多金属结核壳层中的火山物质	(48)
第三节 多金属结核火山物质核心对结核形成和分布的影响	(49)
第五章 海水-玄武岩反应模拟实验研究	(51)
第一节 实验方法	(51)
第二节 实验结果及讨论	(52)
第三节 实验结果应用	(58)
第六章 多金属结核与火山活动关系	(61)
第一节 多金属结核中 Mn、Fe、Co、Ni、Cu 等元素在地壳有关地质体中的分布.....	(61)
第二节 多金属结核时空分布特征	(63)
第三节 多金属结核成矿物质火山性来源	(66)
结论	(69)
主要参考文献	(71)
图版说明及图版	(73)

第一章 研究区地质背景

本章简述研究区构造位置、地形特征、表层沉积物特征、多金属结核矿和火山活动等。

第一节 构造位置

本区位于东太平洋海盆 CC 区西南海域,研究区大致范围为 $7^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$, $138^{\circ}\sim 155^{\circ}\text{W}$ (见图 1-1)。该区域属于太平洋板块内新生代一个块体。研究区被两条规模宏大的转换断裂所挟持,北面一条称克拉里昂断裂带,南面一条称克里帕顿断裂带。两条断裂带,地形上均有明显的表示,特别是前者为突出的槽谷、山脊带,长达 2 000 多千米,宽约 40~80km,其北盘,局部显示为重力负异常,南盘为正异常,表明南盘地壳变异,火山活动较强,形成海底山或海底丘陵。磁场条带轴浅,明显被错断。而克里帕顿断裂带除两端呈现线状山脊外,中段几乎看不出迹象。看来其活动强度似弱于北面克拉里昂断裂带。克里帕顿断裂带长度超过 2 000km,宽约 40~50km,它亦明显切割磁条带轴线。从一级构造来看,研究区无疑是受到上述两大断裂带控制,大的构造形迹走向与断裂带相一致,而区内次级构造则为北北西或近南北向。根据磁异常条带及其年代 (T. H. Van. Andel, G. R. Heath, 1973) 以及深海钻探 (DSDP) 所获玄武岩基底的年代表明,由西向东基底的年龄由老变新,显示这是新生代洋壳扩张的结果。

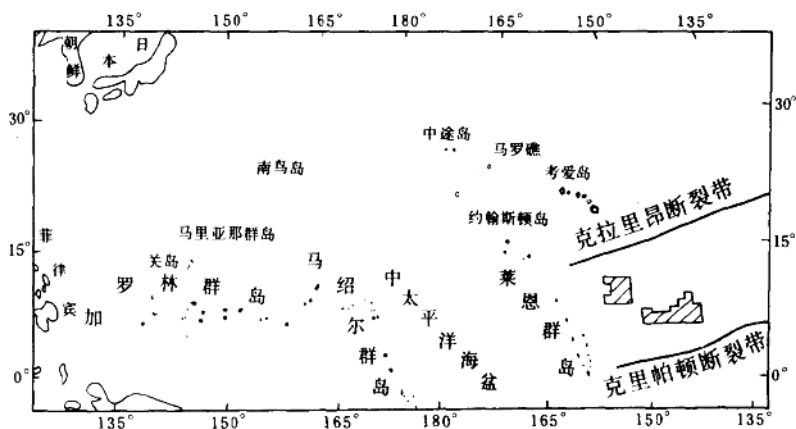


图 1-1 研究区地理位置图

第二节 地形特征

研究区的一级地形地貌形态受到克拉里昂和克里帕顿两条近东西向断裂带所控制。大体上地形从东北向西南微微倾斜,东部水深约4 800~5 200m,西部4 800~5 300m。据形态一成因及其组合特征,研究区内二级地形地貌类型主要有:海底丘陵、深海平原、海山、山间盆地、台地、槽谷等。大致以149°W为界,东西两区具有如下几点明显的差异:

东区海底丘陵,地形相对较平坦,水深5 000~5 200m,局部5 300m,高差50~100m。西区的丘陵,地形起伏稍大,往往与海山混生,常称为海山海丘区,水深3 950~4 500m,高差约450m,局部达1 000m,陡坡9°~12°,缓坡2°~4°。

东区海山往往以孤立状态出现,常以5 100m或5 200m等深线圈闭,高差700~800m,海山的走向主要为北东东向,坡度大于5°。西区的海山明显呈链状,如DY85-1航次调查区有3座横贯全区的链状海山,它们均呈近东西向展布,海山常以5 000~5 100m水深线圈闭,海山高差较大(420~1 400m),坡度约2°~11°,有的达21°左右。

线状丘陵仅见于东区东部,山间盆地只出现在西区。

东区中部(如DY85-4航次测区),北北西向线状隆槽地形较发育。

第三节 表层沉积物

研究区内以硅质沉积占优势,钙质沉积常出现在水深小于5 000m或海山海丘区。研究区以149°W为界分成东西两区。两区沉积物类型大体相同,但亦有一些区别,即东区硅质生物含量略低于西区,粘土的含量东区高于西区。因此,东区以硅质粘土占主导(约98%)(图1-2),而西区则以硅质软泥为主(约70%)。东区除硅质粘土外,还有少量硅质软泥、钙硅质软泥、硅钙质软泥、含硅质粘土、钙质软泥和深海粘土等。西部区除硅质软泥外,尚有少量钙质软泥、硅钙质软泥、含钙质软泥、含钙硅质软泥和沸石粘土等。

表层沉积物中矿物成分包括碎屑矿物、自生矿物、粘土矿物、生物成分和宇宙尘等。碎屑矿物在不同类型的沉积物中,其含量略有不同,但通常含量都不超过1%。碎屑矿物主要来源于火山物质,包括火山玻璃、石英、长石、辉石、橄榄石、黑云母、磁铁矿、钛铁矿和铬尖晶石等。此外,尚可见到玄武岩岩屑,有时还出现白云母、刚玉、锆石和石榴石等陆源碎屑矿物。

常见的自生矿物有沸石、重晶石、玉髓和微结核等。

粘土矿物主要由蒙脱石、伊利石、绿泥石和高岭石等组成。

生物组分主要由生物遗体和生物碎屑组成。在CCD线以下的硅质沉积区,以放射虫、硅藻为主,次为鱼牙、骨针、骨刺等生物遗骸。而CCD线以上地形较高的地区,沉积物中含有孔虫和钙质超微化石,水体越浅钙质生物含量越丰富。

第四节 多金属结核矿产

多金属结核直接赋存于海底表层沉积物之上,它是一种含有多种有用金属的矿产资源。其产出有三种状态,即暴露型、埋藏型和半埋藏型。结核的形状千姿百态,但最常见者有球状、

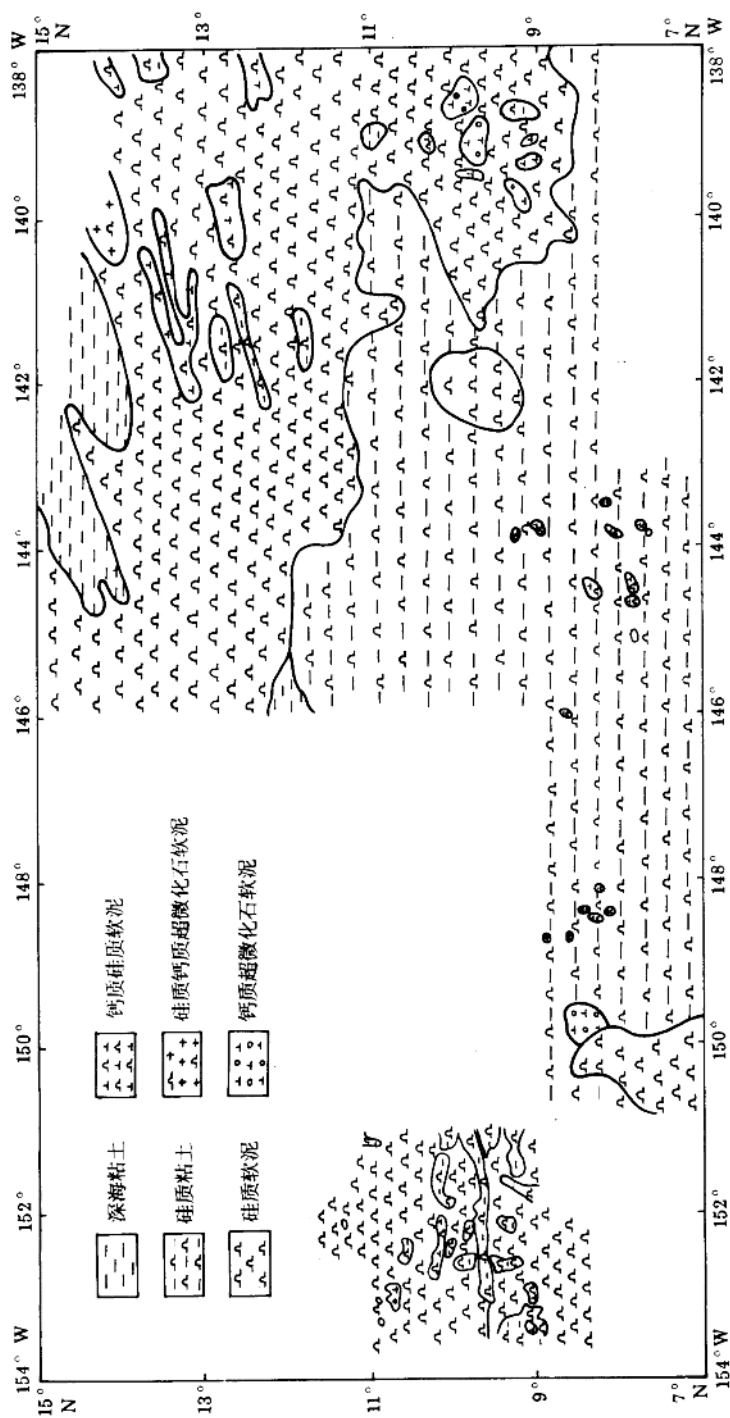


图 1-2 表层沉积物类型分布图

椭圆状、菜花状、杨梅状、板状、碎屑状、盘状和连生体状等。

研究区的东部区和西部区,结核存在着十分明显的差异。东部区以大、中型结核占优势,并以半埋藏型为主;而西部区则以中、小型、半埋藏型连生体占主导。

结核类型分布特征与地形具有明显关系,菜花状结核主要分布在丘陵区,碎屑状和各种连生体的结核多数出现于海山区和高丘顶部。其他形态结核均可赋存于各种不同地貌区,它们的分布量亦因地而异。从赋存深度看,东部区略浅于西部区,前者通常为4 800~5 300m,菜花状结核赋存水深,主要集中在5 000~5 200m,浅于4 900m者多数为碎屑状和连生体状结核。西部区结核赋存水深为4 600~5 400m,但主要集中于5 100~5 300m之间。

结核的丰度和品位,东西两区亦有明显的差异。东区结核平均丰度仅为4.2kg/m²左右,品位较高,平均约2.7%;而西区丰度较高,平均约5.6kg/m²,品位较低,平均2.2%。

结核的内部构造大致可分为五种类型:层纹状构造、叠层状构造、柱状构造、斑杂状构造和同心圆构造等,以前两种最发育。根据结核内部构造特征,建立了结核内部“构造层组”新概念(梁德华,1990),每个构造层组之间主要呈角度不整合,第I构造层组相当于结核第一生长阶段(或称生长期)。通常菜花状结核可分出3个构造层组,分别代表结核三个生长期,即26~18Ma前(晚渐新世至早中新世)、17~15Ma(早中新世至中中新世早期)和4Ma~现在(上新世晚期至今)。

通过室内各种测试分析表明,结核的核心物质类型主要有岩石碎屑、沉积物团块、老结核碎块和生物残体等。其中岩石碎屑包括多孔玄武岩、橄榄玄武岩、玻基玄武岩、玻屑凝灰岩、玄武玻璃和拉斑玄武岩等,偶见流纹质浮岩。沉积物团块主要为粘土质(其中含有放射虫、硅藻化石、沸石、伊利石、重晶石等)。老结核核心由铁锰残块组成。生物残体包括多种生物碎屑(片)、鱼牙、骨刺等。

结核中壳层矿物组分,主要包括:锰相矿物(钙锰矿、水羟锰矿等);铁相矿物(赤铁矿、六方纤铁矿、纤铁矿、针铁矿等);杂质矿物(钙十字沸石、石英、伊利石、蒙脱石、长石、云母等)。其中杂质矿物含量较少。

第五节 火山活动

目前已有大量资料表明,火山活动主要发生在三种自然地理和构造背景区,即:板块汇聚边界上的火山活动;中央海岭拉张带的火山活动和板块内部特殊部位的火山活动。地球表面约有数千个火山,但其中仅有约800个是活动的或在历史上曾经是活动的(J. Kennett, 1982)。

世界大洋海盆中均有火山成因的海山分布,但分布最广者是在太平洋海盆内,那里约有1 000个岛屿分布在远离大陆边缘的地方。但其中只有少数火山高出海面,形成大洋岛,多数为水下海山。这些海山都是火山,它们或者是从未升至出海面,或者是高出海面后即停止喷发,随后因受到侵蚀和沉降而没入水中(H. H. Hess, 1946)。

在太平洋深海盆内,最引人注目的是有数列火山岛链,诸如马绍尔岛链、库克-南门岛链、土阿莫士岛链、莱恩群岛和夏威夷岛链等。这些岛链远离扩张轴,且相互大致平行,走向北西。线状岛链的部分或全部,其火山年龄从中央海岭向外逐渐增大。这些火山链均为太平洋板块内喷发的火山,关于这些火山岛链的形成机制有不同的解释,有热柱说(J. T. Wilson, 1963)、重力锚说(H. R. Shaw and E. D. Jackson, 1973)和扩张断裂说。

上述岛链中，夏威夷群岛最著名，也是我们最感兴趣的岛链，这不仅是因其研究程度较深，并且作者近年来数次对其南端夏威夷岛（大岛）上活动火山进行过观测，而且，该火山链东南端距离我们的研究区最近（约 1 140km）。其研究成果可为研究海山所借鉴。

上述地形在第一节中已提到，研究区内有相当多的海山分布。它们属于太平洋板块板内新生代块体中火山活动的产物，因此，确切地说，这些海山应称为死火山或死火山链。

在研究区的东区，多数呈盾状孤立火山，多数呈近东西向展布，延伸不长。但在西部区则呈现另一种景观，那里为具明显的近东西向展布的火山链。例如 DY85-1 航次调查区有两条明显的火山链，一条称中部火山链，大致沿 $10^{\circ}15'$ 呈东西向展布，长度大于 200km，宽度约 25km，山顶水深 3 600~4 200m，相对高差 760~1 400m，以 5 200m 水深圈闭（图 1-3）。

另一条称南部火山链，大致沿 $9^{\circ}37.5'N$ ，呈纬向延伸，以 5 200m 等深线圈闭。长度大于 220km，宽约 27km，东西两端伸出区外。火山链由一连串的单体火山组成，从 Seabeam 测量的地形图上看，火山地貌形态十分清晰。山顶水深 4 130~4 790m，高差 410~994m。

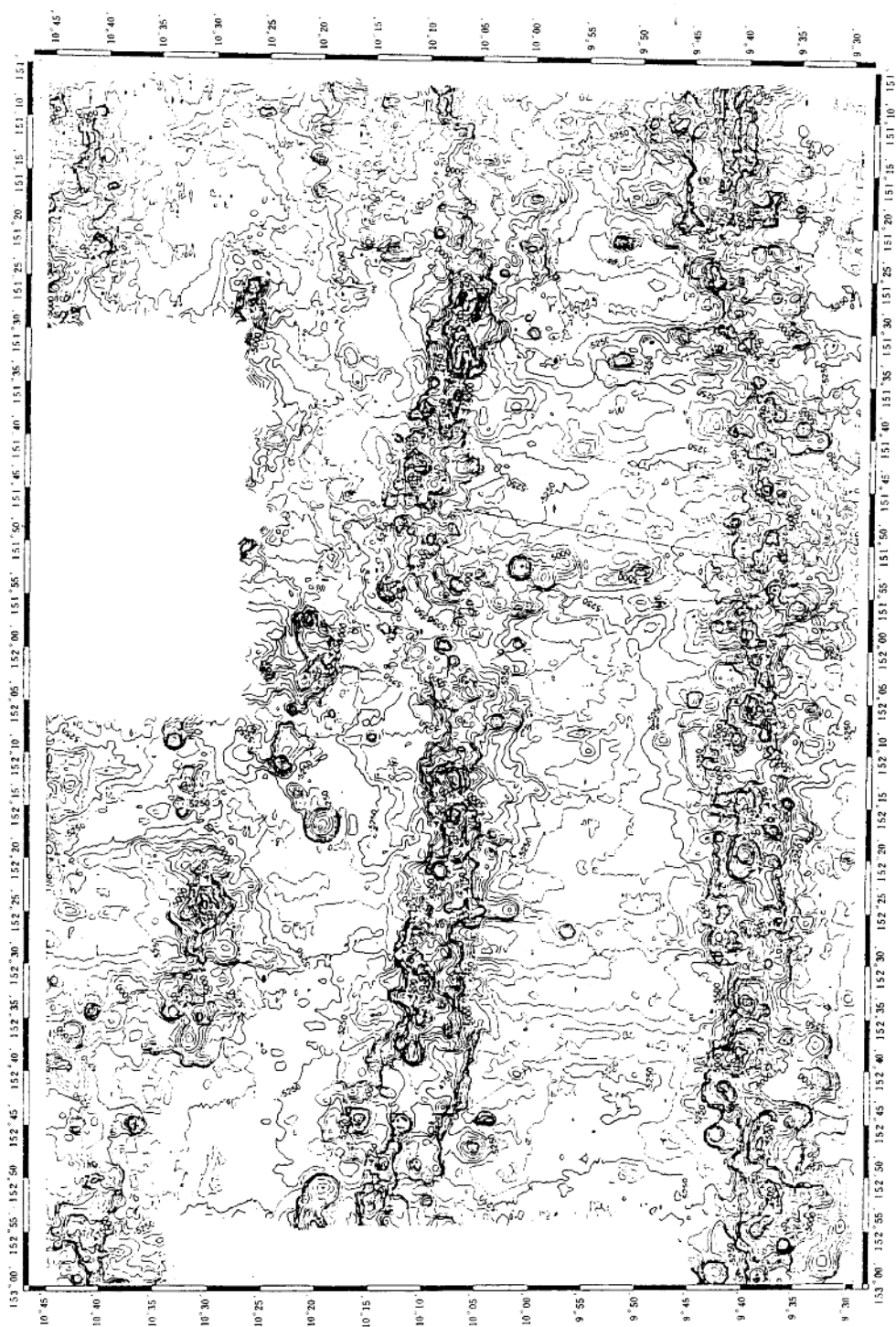


图 1-3 研究区西区火山链展布图

第二章 洋底火山沉积物

火山沉积物是指研究区洋底沉积物中来自海底火山作用,或者来自陆地及岛屿火山作用降落物或它们的风化产物。这些火山源物质,作为洋底沉积物组成部分,与多金属结核的形成和富集有一定关系,火山物质的丰度及分布,反映了东太平洋海盆新生代火山活动强度,同时,火山物质溶解在底层海水和孔隙水中,作为结核成矿物质的来源。

东太平洋海盆内洋底沉积物主要有两种来源,即生物源及火山源,陆源组分极少。生物源包括钙质的有孔虫、颗石藻及超微化石,硅质的放射虫、硅藻等。火山源物质是指火山碎屑矿物、火山玻璃、浮岩屑,以及火山物质风化、溶解后在洋底条件下自生的颗粒,主要有沸石类矿物。如上述研究区洋底沉积类型以硅质粘土、硅质软泥和深海粘土为主,少量的含钙硅质粘土、钙质粘土及含沸石粘土。本章重点介绍研究区表层沉积物及柱状沉积物中火山沉积物(火山碎屑矿物、火山玻璃、沸石等)的分布,矿物成分特征及其与洋底地形、沉积物类型的关系,并初步分析研究区新生代火山作用的特征。

第一节 表层沉积物中火山物质

研究区内上述的表层沉积物并非同一时代的产物,由于沉积速率不同,以及海底底层流的作用,表层沉积物可以是第四纪和第三纪的产物。我们共收集了“海洋四号”1986~1989年调查航次和DY85-1、DY85-3航次共103个站位的表层沉积物砂级组分(0.063~0.25mm)分析资料,讨论其中火山玻璃、浮岩、火山碎屑矿物(辉石、角闪石、橄榄石和长石)和沸石的分布。

一、火山玻璃

1. 一般描述

火山玻璃是岩浆喷发时,由于温度骤冷,来不及结晶凝固而降落在海底的一种火山碎屑物质。火山玻璃中气孔、气泡特别发育,多呈棱角状、撕裂状、蜂窝状、麻花状、碎块状等(图版Ⅱ和图版Ⅳ),大小为0.05~0.1mm。颜色上主要有两种类型,一类为浅棕色、棕色火山玻璃,另一类为无色、白色、乳白色火山玻璃,此外,偶见橙玄玻璃。研究区内火山玻璃比较新鲜,未见氧化边,呈尖棱角状。

2. 分布

火山玻璃是研究区火山沉积物的主要组分,它的分布代表了火山喷发程度。区内101个表层沉积物样品中,火山玻璃丰度普遍较低,这可能与火山玻璃及浮岩屑经海解蚀变成沸石、蒙脱石等矿物有关。其中56.4%站位(57个)沉积物中未见火山玻璃,22.8%站位(23个)火山玻璃仅占0.01~0.5颗/g,以上80个站位集中在东区西部的深海丘陵区和西区的海山区,说明这些地区火山玻璃含量极微。火山玻璃的丰度在0.5~5颗/g的站位有20个,占

20%，主要分布在东区的线状隆槽区及海山台地区，其他区则孤立地出现。CC53 站位火山玻璃最为丰富，达 1 125 颗/g，分布在线状隆槽区。火山玻璃分布详见图 2-1。

3. 火山玻璃成分特点和种属

6 个站位计 17 个火山玻璃颗粒的电子探针化学成分和两个砂级浮岩化学成分见表 2-1。从表 2-1 中可看出，无色火山玻璃或白色、乳白色火山玻璃的 SiO_2 含量很高，介于 75.36%~78.72%， Al_2O_3 含量为 11.60%~16.69%， CaO 的含量低，在 0.05%~0.61%之间， $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量变化于 5.98%~6.62%之间， $\text{FeO} + \text{MgO}$ 含量低，介于 0.68%~2.69%。从化学成分来看，十分接近流纹岩的平均化学成分，据此，可确定无色的火山玻璃为流纹质火山玻璃。浅棕色或棕色火山玻璃化学成分变化稍大， SiO_2 含量变化于 58.09%~69.78%，但多数为 62.49%~65.92%； Al_2O_3 含量为 14.68%~19.61%； CaO 含量变化于 0.87%~4.33%； $\text{FeO} + \text{MgO}$ 含量较无色火山玻璃中高得多，达 4.42%~13.11%，多数大于 10%； $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量为 4.05%~7.81%。棕色火山玻璃化学成分上比较接近安山岩等中性喷出岩化学成分，不同之处是 SiO_2 含量偏高而 CaO 含量偏低，这类火山玻璃可确定为安山质火山玻璃。1 个橙玄玻璃样品电子探针化学成分分析表明， SiO_2 含量为 50.45%， Al_2O_3 含量为 15.74%， TiO_2 含量为 1.55%， $\text{FeO} + \text{MgO}$ 含量为 25.46%， $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量为 5.84%，十分接近玄武岩化学成分，显然，这类玻璃为玄武质玻璃。

表 2-1 表层沉积物中火山玻璃及浮岩电子探针化学成分

站位	矿物名称	化 学 成 分 (%)									
		SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	总 量
5324	无色火山玻璃	75.72	15.85	0.06	1.47	0.03	0	0.61	2.10	4.13	99.97
5324	无色火山玻璃	76.38	15.88	0	0.68	0	0	0.43	2.85	3.77	99.99
5355	无色火山玻璃	76.12	16.11	0	0.90	0	0	0.40	2.70	3.76	99.99
5355	无色火山玻璃	76.30	15.74	0.06	0.82	0	0	0.56	2.56	3.95	99.99
5355	无色火山玻璃	75.36	16.69	0	1.55	0	0	0.40	1.45	4.53	99.98
CC53	无色火山玻璃	78.72	11.60	0.16	2.68	0.22	0.01	0.05	3.81	2.73	99.98
5424	棕色火山玻璃	69.11	16.28	0.26	4.79	0.16	2.17	2.54	3.40	1.28	99.99
5424	棕色火山玻璃	65.67	16.49	0.11	5.95	0.02	4.94	2.76	3.50	0.55	99.99
5394	棕色火山玻璃	69.78	17.27	0.59	4.00	0	0.42	1.78	3.22	2.91	99.97
5394	棕色火山玻璃	65.92	14.68	0.72	6.29	0	0	2.85	2.31	5.50	98.28
5355	棕色火山玻璃	63.08	18.62	0.47	7.59	0.18	2.27	2.77	1.32	3.69	99.99
5355	棕色火山玻璃	58.09	15.44	0.97	14.15	0.45	0.78	4.33	1.12	3.76	99.09
5355	棕色火山玻璃	68.48	19.61	0.31	3.79	0.11	0.63	0.87	2.47	3.78	99.05
5355	棕色火山玻璃	62.49	17.44	0.89	9.51	0.39	1.78	2.97	2.35	2.18	100.00
5355	棕色火山玻璃	63.59	14.87	0.71	11.86	0.24	1.25	1.94	2.46	3.08	100.00
5250	棕色火山玻璃	62.97	14.87	0.80	11.97	0.63	0.55	1.61	0.87	5.73	100.00
5286	橙玄玻璃	50.45	15.74	1.55	18.62	0.16	6.84	0.78	2.13	3.71	99.98
CCA121	浮岩	56.11	8.82	0.83	9.81	0.87	0.09	2.38	1.06	20.01	99.98
CCA121	浮岩	59.24	9.83	2.36	11.99	1.33	0.91	11.70	0.16	2.12	99.64