

南沙群岛海域的同位素海洋化学

ISOTOPE MARINE CHEMISTRY OF NANSHA ISLANDS WATERS

中国科学院南沙综合科学考察队



海洋出版社

南沙群岛海域的同位素海洋化学

ISOTOPE MARINE CHEMISTRY OF NANSHA ISLANDS WATERS

中国科学院南沙综合科学考察队

海 洋 出 版 社

China Ocean Press, Beijing

1996 年·北京

内 容 简 介

本书叙述了南沙群岛海区水体中同位素的分布及应用,包括稳定同位素(^2H 、 ^{18}O)、人工放射性同位素(^3H)和天然放射性同位素(^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{234}Th 、 ^{234}U 、 ^{238}U),此外还综述了南沙海区同位素海洋学的研究进展。本书内容丰富,系最新研究成果,可做海洋院校各专业的师生和海洋研究单位的科、教人员教学、科研参考书,也可供从事核科学、环境科学、地球科学等科、教、工程技术人员作重要的参考。

责任编辑 庄一纯

图书在版编目(CIP)数据

南沙群岛海域的同位素海洋化学/中国科学院
南沙综合科学考察队编. —北京:海洋出版社,1996.2
ISBN 7-5027-4016-3

I. 南… II. 中… III. 同位素-海洋化学-海域,
南沙群岛 IV. P734.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 01393 号

海洋出版社 出版发行

(100860 北京市复兴门外大街1号)

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1996年2月第1版 1996年2月北京第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12.375

字数:300千字 印数:1—500册

定价:25.00元

海洋版图书印、装错误可随时退换

谨将
我们在
南沙海域
所获得的同
位素海洋化学
研究成果献给鼓
励支持我们从事同
位素海洋化学研究的
恩师——已故我国海洋
化学的拓荒者李法西教授

厦门大学海洋系
师 生

序

同位素海洋学是核科学与海洋学相结合的交叉边缘学科。在南沙群岛及邻近海区的综合科学考察中,已广泛地应用同位素方法与技术,开展了沉积物中多种同位素的分布及应用的研究。在“八五”期间,设立一个专题:“南沙海区核素分布规律的研究”(85-927-04-04),开展工作,通过各参加单位的艰苦努力,已取得了好的研究成果。本书描述了南沙海区核素的分布特征、分布规律及其与水体运动、生物活动、气象因素、地貌特征等的联系,并使该研究与JGOFS、GOEYS(全球海洋真光层研究)较好地接轨,显示了JGOFS、GOEYS等在南沙海区的特色,并为南沙群岛海区同位素海洋学的进一步发展奠定坚实的基础,因此本书出版具有重要的意义。

在此,谨向关心、支持、参与此项研究的领导、专家和科技人员以及所有支持南沙科考事业的人们致以诚挚的谢意。

“八五”国家重大科技专项
南沙群岛及邻近海区综合科学考察
项目负责人 陈清潮

1995.9.18.

前 言

同位素海洋学(Isotopic Oceanography)研究海洋环境各贮圈(reservoir)中同位素(或核素,包括天然放射性同位素、人工放射性同位素及稳定同位素)的来源、含量、分布、存在形式、迁移变化规律及其在海洋学各分支学科中的应用。

海区中天然存在或人为输入的各种同位素,由于它们具有特定的核性质(衰变类型、衰变半衰期、衰变能量或丰度等)和千差万别的化学性质、地球化学行为,使得它们能为各种海洋学过程(如水体的扩散、混合与交换、大尺度海洋环流、海-气交换、真光层各种物质产生与运移动力学、海底雾状层的颗粒动力学、深海锰结核的生长动力学、海洋沉积过程及其速率,……)提供准确、可靠的时标(time scale)或比较理想的天然示踪剂(tracer)。

随着核试验(尤其是海上核试验)的进行和核工业的发展,大量核裂变产物等人工放射性核素输入海洋,这些人工核素对海洋环境(特别是海洋生物)所造成的污染以及这些核素入海后的迁移、扩散及归宿成了世人关注的焦点。当美国1954年在比基尼岛的核试验进行后,日本的三宅泰雄及他的研究组即跟踪海域放射性污染中心在太平洋的扩散和运移,大量的研究成果已载入日本气象研究所地球化学研究部的论文集(第一、二、三集)(1978、1979、1990)。美国则围绕哥伦比亚河流域的核设施通过河流排入太平洋的放射性污染作了大量的研究(IAEA, 1973)。1965年Craig提出了同位素海洋学(Isotopic Oceanography)这一术语,后来,三宅泰雄(1967)也提倡将“不仅着眼于元素而且着眼于同位素或核素的研究领域称为同位素海洋学(Isotope Oceanography)或核海洋学(Nuclear Oceanography)”,Goldberg等(1980)则提出“同位素海洋化学(Isotope Marine Chemistry)”。30年来,同位素海洋学在世界各国蓬勃发展,尤其是70年代前后的GEOSECS、TTO和当前的WOCE以及IGBP的核心计划JGOFS等国际联合研究计划的出台实施,有力地促进这一领域的发展,使之成为海洋科学中一个非常活跃、富有成效、令人注目的新的分支学科,大量的研究论文、一部部专著和论文集,如《Uranium-234》(Cherdyntsev, 1971);《Radioactivity in the marine environment》(NAS-NRC, 1971);《Radioactive contamination of the marine environment》(IAEA, 1973);《Isotope Marine Chemistry》(Goldberg et al., 1980);《Tracers in the sea》(Broecker and Peng, 1982);《Uranium-series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems》(Ivanovich and Harmon, 1982);《Tracers in the oceans》(Charnock, 1988);《Radionuclides: A Tool for Oceanography》(Guay et al., 1988);《Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol. 3 The marine environment》(Fritz and Fontes, 1989);《Radionuclides in the study of marine processes》(Kershaw and Woodhead, 1991);《Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences》(Ivanovich and Harmon, 1992);等的相继问世,标志着这一学科的迅猛发展和丰硕成果。

我国的南沙群岛及其邻近海域的综合科学考察工作,从一开始,就研究了同位素的分

布及应用,但多侧重于沉积物中稳定与放射性同位素的研究,水体中的核素涉及较少。“八五”期间,“南沙海域核素分布规律的研究”作为一个专题(85-927-04-04)被立项研究,开始比较系统、比较全面地研究南沙海域水体中核素的分布,所涉及的核素包括稳定核素(^2H 、 ^{18}O)、人工放射性核素(^3H)、天然放射性核素(^{226}Ra 、 ^{228}Ra 、 ^{234}Th 、 ^{234}U 、 ^{238}U)等,本论文集汇集了这些研究的成果。此外,穆斯堡尔谱虽不属此专题,但因属核技术在南沙科考中的应用,故亦编入。最后,为使大家对南沙群岛及其邻近海域迄今所进行的同位素分布及其应用的研究能有概括的了解,我们综述了“南沙群岛及其邻近海域同位素海洋学研究进展”。

本论文集是领导、参加和关心这一专题的所有人员集体劳动的结晶,首先是项目负责人陈清潮教授、南沙项目办公室副主任陈俊德高级工程师以及海洋化学课题负责人韩舞鹰教授的指导、鼓励和支持,使此专题得以立项并在整个研究过程中不断予以各方面的帮助;本专题的特点之一是海上采样项目多、样品数多、每份样品的水量大(多达 120 l)、水深大,给海上作业增添了许多麻烦,但“实验 3”号船长及全体人员以及各航次调查队的领导都给我们以全力的支持、帮助和照顾,使各航次采样任务都能圆满完成;在样品测试工作中,中国科学院南海海洋研究所海化室、海生室、国家海洋局南海分局监测中心、国家海洋局三所二室都给了我们很大支持和帮助;文章脱稿后,承蒙孙秉一、顾宏堪、秦学祥、刘文远、胡明辉、陈金泉、陈承惠等近 20 位教授拨忙审阅并提出许多非常宝贵的意见,使论文质量得以提高。海洋出版社的庄一纯编审为此书的早日出版付出了大量的心血。

本论文集能够和大家见面,除了得到“八五南沙国家专项”经费(85-927-04-04)的资助外,还得到国家自然科学基金(49376272)和国家教委博士学科点专项科研基金的资助。

谨向所有领导、支持、关心、帮助和参与本专题的各级领导、老师和同志们表示衷心的感谢。由于水平有限、加上时间仓促,书中不当之处,敬请读者惠予指正。

85-927-04-04

专题负责人

黄奕普

1995.8.25.

目次

序	陈清潮
前言	黄奕普
南沙海域氡的水平分布特征	黄奕普等 (1)
南沙海域氡的垂直与断面分布特征	黄奕普等 (11)
南沙海域氡含量与盐度的关系	黄奕普等 (28)
南沙海域海水中氡	林瑞芬等 (45)
南沙海区海水氧同位素组成研究	卫克勤等 (53)
南沙海域表层水中 ^{226}Ra 的分布	谢永臻等 (63)
^{228}Ra 在南沙海域表层水中的分布特征	黄奕普等 (70)
1994 航次南沙海域 ^{226}Ra 的分布与变化	黄奕普等 (79)
南沙海域涡动扩散的 ^{228}Ra 示踪研究	黄奕普等 (89)
真光层的颗粒动力学	
I. 南沙群岛邻近海域水体中铀同位素的研究	黄奕普等 (102)
真光层的颗粒动力学	
II. 南沙海域上层水体中 ^{234}Th 的清除	陈 敏等 (123)
真光层的颗粒动力学	
III. 南沙海域冬季真光层层化结构及输出生产力的研究	黄奕普等 (134)
真光层的颗粒动力学	
IV. 应用 $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 不平衡估算南沙海域的新生产力	陈 敏等 (145)
真光层的颗粒动力学	
V. 南海上层水体中 ^{234}Th 固/液分配的研究	陈 敏等 (154)
南沙群岛海区沉积柱样 ^{57}Fe 穆斯堡尔谱学初步研究	陈绍勇等 (165)
南沙群岛及其邻近海域同位素海洋学研究进展	黄奕普 (171)

CONTENTS

Preface	<i>Chen Qingchao</i>
Foreword	<i>Huang Yipu</i>
Horizontal distribution features of deuterium in the Nansha sea area	<i>Huang Yipu et al. (1)</i>
Vertical and sectional distribution features of deuterium in the Nansha sea area	<i>Huang Yipu et al. (11)</i>
Relation of content of deuterium to salinity in the Nansha sea area	<i>Huang Yipu et al. (28)</i>
Tritium in sea water of the Nansha sea area	<i>Lin Reifen et al. (45)</i>
Oxygen isotopic composition of seawater in the Nansha sea area	<i>Wei Kegin et al. (53)</i>
Distribution of ^{226}Ra in the surface waters of the Nansha sea area	<i>Xie Yongzhen et al. (63)</i>
Distribution feature of ^{228}Ra in surface seawater of the Nansha sea area	<i>Huang Yipu et al. (70)</i>
Distribution and variation of ^{226}Ra in the Nansha sea area during 1994 cruise	<i>Huang Yipu et al. (79)</i>
The utility of tracer ^{228}Ra for studing eddy diffusion processes in the Nansha sea area	<i>Huang Yipu et al. (89)</i>
Particle dynamics in euphotic zone	
I . Study on uranium isotopes in waters of the Nansha sea area	<i>Huang Yipu et al. (102)</i>
Particle dynamics in euphotic zone	
II . ^{234}Th scavenging in the upper water column of the Nansha sea area	<i>Chen Min et al. (123)</i>
Particle dynamics in euphotic zone	
III . The stratified structure and export production in the euphotic zone of the Nansha sea area	<i>Huang Yipu et al. (134)</i>
Particle dynamics in euphotic zone	
IV . The regional estimates of the export production derived from $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ disequilibria in the Nansha sea area	<i>Chen Min et al. (145)</i>

Particle dynamics in euphotic zone

- V . The particle/solution distribution of ^{234}Th in the upper waters of the South China Sea
..... *Chen Min et al.* (154)
- A study on ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy of a sediment core from the Nansha sea area
..... *Chen Shaoyong et al.* (165)
- Progress in isotopic oceanography of the Nansha Islands and adjacent sea area
..... *Huang Yipu* (171)

南沙海域氘的水平分布特征

黄奕普¹ 金德秋² 周锡煌² 陈 敏¹
谢永臻¹ 陈飞舟¹ 邱雨生¹ 陈性保¹ 蔡平河¹

(¹厦门大学海洋系, ²北京大学化学系)

摘要

本文根据 1993 年冬季航次南沙海域氘含量的测定结果, 给出表层、50m、75m、100m、300m、500m、800m、1000m、1500m 等水层中氘的水平分布图象, 讨论了 δD 的水平分布特征及其成因。

1. 引言

作为氢的稳定同位素, 重氢——氘(2H 或 D) 和氕(1H) 乃至氚(3H) 与氧原子共同组成海水的 H_2O 分子, HDO 与海水中大量的 1H_2O 分子一起运动, 因此 $^2H(D)$ 成了研究海洋水体运动的理想示踪剂^[1], 广泛用于海洋动力学的研究^[2]; Horibe 与 Ogura(1968)^[3] 利用 2H 作为水团的特征参数, 用以区分黑潮水体并研究咸、淡水的混合; 黄奕普等^[4] 根据南海东北部氘的水平、垂直与断面分布特征探讨了黑潮水是否与如何通过巴士海峡进入南海, 并为东沙群岛西南和吕宋岛西北两个冷涡的存在提供了 δD 的新的佐证; 而在“南海东北部 ^{18}O 的分布”的研究中, 黄奕普等^[5] 给出南海东北部 δD 与 $\delta^{18}O$ 的相关方程, 为该海域水体中氢、氧同位素的分布及应用的研究打下一定的基础。

关于南沙海域氘的含量及分布, 卫克勤等(1989)^[6] 曾进行过研究, 他们采用 $700^\circ C$ 金属铈还原法, 测定了 6 个站 δD 的垂直分布(最大采样深度分别为 75、100、300 和 1 000m), δD 的测值变化在 $-6.2 \times 10^{-3} \sim 2.8 \times 10^{-3}$ 之间(变幅达 9×10^{-3}), 表层水的 δD 值介于 $-6.2 \times 10^{-3} \sim 0.3 \times 10^{-3}$ 。在“八五南沙群岛及其邻近海域综合科学考察”期间, 我们先后在 1993 春、冬、1994 年春、秋四个航次中, 在 100 多个测站采集了数百份水样, 并已测定了其中三个航次的重氢含量, 旨在进一步研究南沙海域氘的分布特征、分布规律, 探讨它们与海区的水文、气象、地貌等条件的可能联系。这些结果将以系列论文发表, 本文首先讨论 1993 冬季航次南沙海域 δD 的水平分布特征。

2. 采样及氢同位素的质谱测定

2.1. 采样

在中国科学院南海海洋研究所“实验 3”号 1993 年 11~12 月南沙航次中, 我们在 $5^\circ \sim 12^\circ N$, $108^\circ 30' \sim 114^\circ 30' E$ 的海域中, 采集了 55 个站的表层样和 20 个测站的垂直分布样(深度达 1500m)。在该航次中还采集了若干雨水样。采样站位见图 1。表层样由手提式微型潜水泵(QXD 型)直接抽取 0~1m 层的海水, 垂直分布样由 Rosette 采水系统采集。水样盛满小塑料瓶并蜡封, 带到同位素实验室进行预处理和氢同位素的质谱测定。

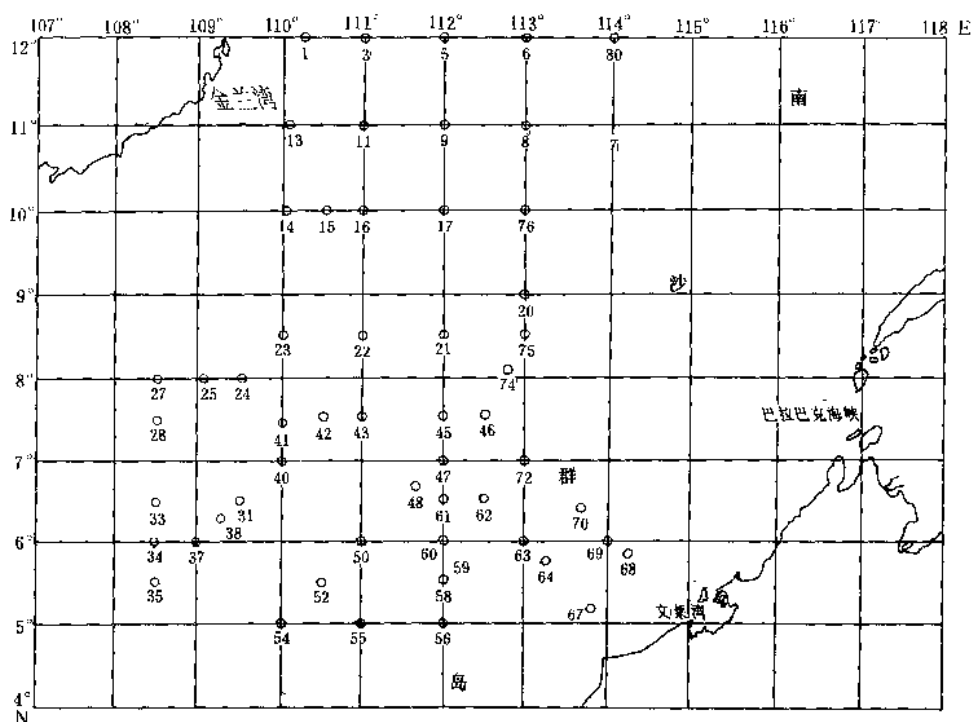


图 1. 采样站位图(1993 年冬季航次)

2.2. 水样中氢同位素的质谱分析

采用锌还原-封管法^[7]将水样转化成 H_2 , 用 VG SIRA-24 型气体同位素质谱计测定 H_2 中的同位素组成以得到水样的 δD 。

2.2.1. 水样转化

10 μl 水样和 0.2g 金属锌粒(英国 BDH 公司, 0.5 ~ 2mm)于玻璃封管($\varnothing 8mm \times 100mm$)内, 在 $(450 \pm 10)^\circ C$ 下反应 2h, 使水样完全转化成 H_2 。金属锌粒用稀硝酸清除表面氧化物后依次用自来水、去离子水、丙酮洗净, 然后真空干燥, 并保存于干燥氮气中。称取 0.2g 经处理的锌粒置于用特硬玻璃拉制成的带有厚壁尖细尾端的样品管($\varnothing 8 \times 160mm$)内后, 在欲熔封处拉成厚壁细管。将一批样品管连至真空系统, 在 $200^\circ C$ 下真空脱气 2h, 冷却后充入干燥氮气。将样品管接入真管制样系统, 在优于 $0.5 Pa$ 真空下, 从进样口用微量注射器注入 10 μl 水样, 用液氮使水样全部冻入反应管, 与此同时用加热带和吹风机加热进样部位, 然后熔封。一批制好的封管放入 $450^\circ C$ 下的电炉中加热 2h 使反应完全。将封管置于进样器内, 连接至质谱计的进样口, 于 $1.3 \times 10^{-4} Pa$ 真空下折断其尖端, 将 H_2 送入质谱计测量。

2.2.2. 质谱测量

用英国 VG SIRA-24 型气体同位素质谱计测量样品的 δD 值, δD 定义为:

$$\delta D (\times 10^{-3}) = \left(\frac{R_{3/2}^{\text{样品}}}{R_{3/2}^{\text{参考}}} - 1 \right) \times 1000$$

式中 $R_{3/2}$ 为质量数 3 与 2 的同位素丰度比。

采用双进样双接收同时测量 $m/e=2,3$ 的离子流强度, 给出相对于工作参考气的 δD 值。在测量中, H_3^+ 对于 $m/e=3$ 离子流强度的贡献自动扣除。

分析中采用国家一级标准物质 GBW 04401、GBW 04404 与样品同时转化并进行比对测量, 以给出相对于 VSMOW 的 δD 值。

每个水样均作两次转化取平均值, 分析精度优于 $\pm 1 \times 10^{-3}$ 。

3. 结果与讨论

3.1. 表层氘的分布

1993 年冬季航次表层 δD 的水平分布如图 2 所示。55 个测站 δD 的测值介于 $-3.0 \times 10^{-3} \sim 0.2 \times 10^{-3}$ 之间, 平均值为 -1.2×10^{-3} 。其分布状况基本上是研究海域的东南部氘含量低、西北部高, 沿岸海域低、外海高。

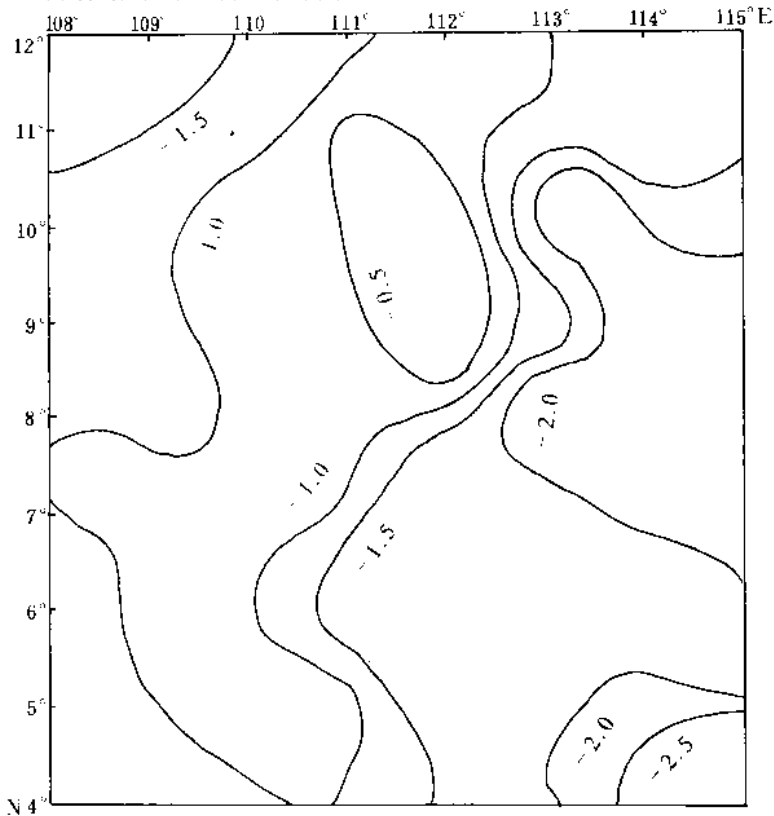


图 2 表层 $\delta D (\times 10^{-3})$ 的水平分布(1993 年航次)

在西南-东北向的中部海域 δD 较高, 使整个表层 δD 值略呈脊状分布, 在该中部海域的西北侧 δD 值稍降, 而东南侧则显著下降, 直至东南角成为 δD 的最低值区。造成表层 δD 如此的分布图象看来与南沙海区的水文、气象条件密切相关。气象研究结果(见表 1)^[8] 表明, 南沙海域高温、多雨, 雨量最多的又是冬季, 而且东南部的雨量显著大于西北部。在该航次中, 我们从 8 号到 13 号站的航程中收集的雨水实测的 δD 值为 $-24.0 \times 10^{-3} \pm 0.2 \times 10^{-3}$, 另据“氘含量与盐度的关系”一文的表 1^[9], 1994 航次雨水的 δD 介于 $-6.6 \times 10^{-3} \sim -14.5 \times 10^{-3}$, 都表明降水的 δD 值远比海水低得多, 因此高雨量区水体

的 δD 呈现低值是不言而喻的。此外,南部、东南部加里曼丹岛陆地径流的影响,都将使沿岸海域成为 δD 的低值区,并使东南隅成为 δD 的最低值区。另一方面,冬季的南沙海域盛行东北季风^[10],气旋型环流带来南海中部的低温高盐水沿着中南半岛进入南沙海域^[11],这些经巴士海峡进入的西太平洋水,虽然已经改性,但其高盐特征可能导致研究海域西北部成为高氘的区域。该气旋式环流在其南下过程中,又挟带着海域西和西南部湄公河口、泰国湾口的冲淡水,由于受纳土纳陆架的阻挡,致使南部陆架区乃至东南沿海成为低盐低氘区,并使研究海域的中部表层水具有相对较高的 δD 值。

表 1 南沙及其邻近海区各站多年降雨量(mm)统计^[8]

区域(°N)	6°以南	7°~12°	7°~12°	4°~7°	4°以南	整个海区	西北部	东南部
站 名	纳土纳岛、占晋 宾土卢、米里	昆仑岛、太平岛、 普林塞萨港	昆仑岛、太 平岛、普林 塞萨港	哥打基纳巴 卢、米里、斯 里巴加湾市	纳土纳岛、 宾土卢、占 晋		昆仑岛、 芽庄	宾土卢、占 晋、米里
时 段	冬半年各月	夏半年各月	平均年总量					
雨 量	431.9	258.23	1919.74	3070.33	3573.03	2813.50	1664.95	3799.60

3.2. 50~1500m 层氘的水平分布

这里包括 50m、75m、100m、300m、500m、800m、1 000m、1 500m 等 8 个水层,它们 δD 的水平分布见图 3~图 10,其分布特征简述如下:

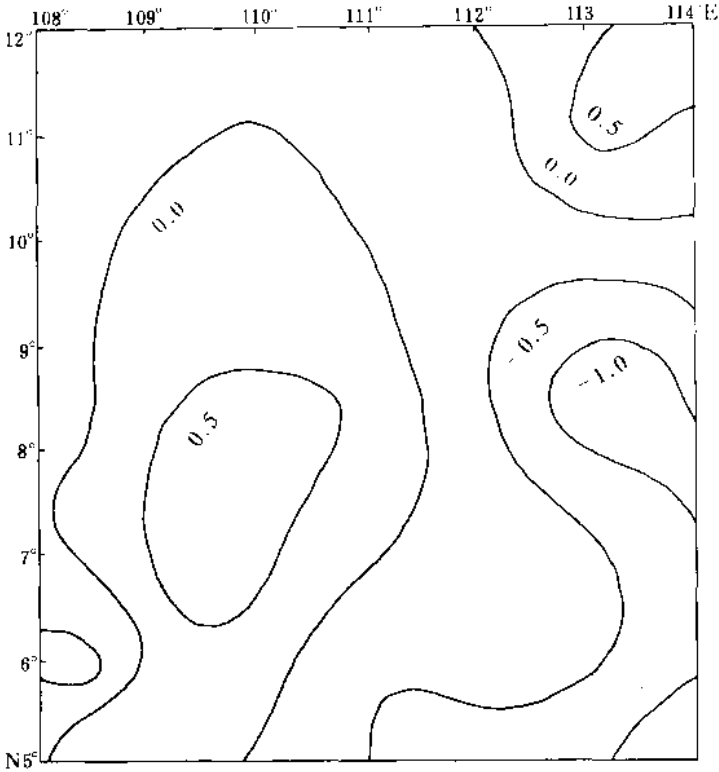


图 3. 50m 层 $\delta D(\times 10^{-3})$ 的水平分布

50m 层: δD 在 $-1.4 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ 之间,平均 $\delta D(\overline{\delta D})$ 为 -0.2×10^{-3} (样品

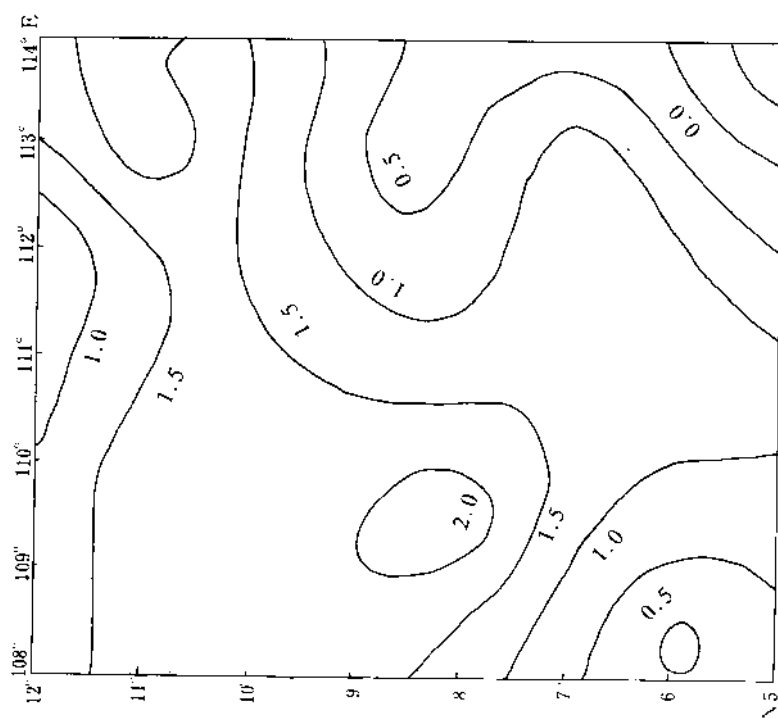


图 4. 75m 层 $\delta D(\times 10^{-3})$ 的水平分布

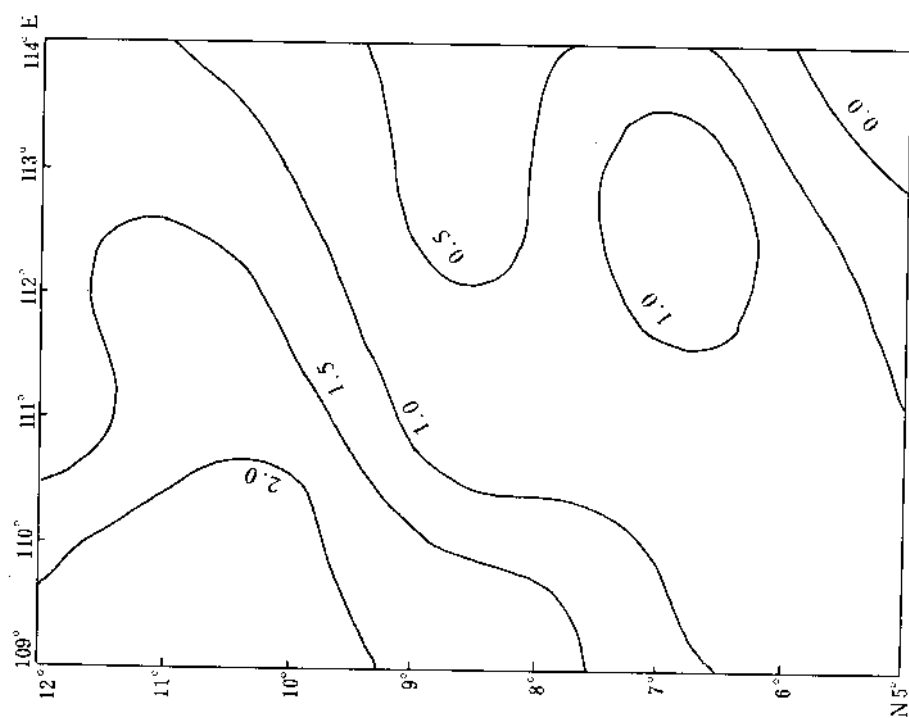


图 5. 100m 层 $\delta D(\times 10^{-3})$ 的水平分布

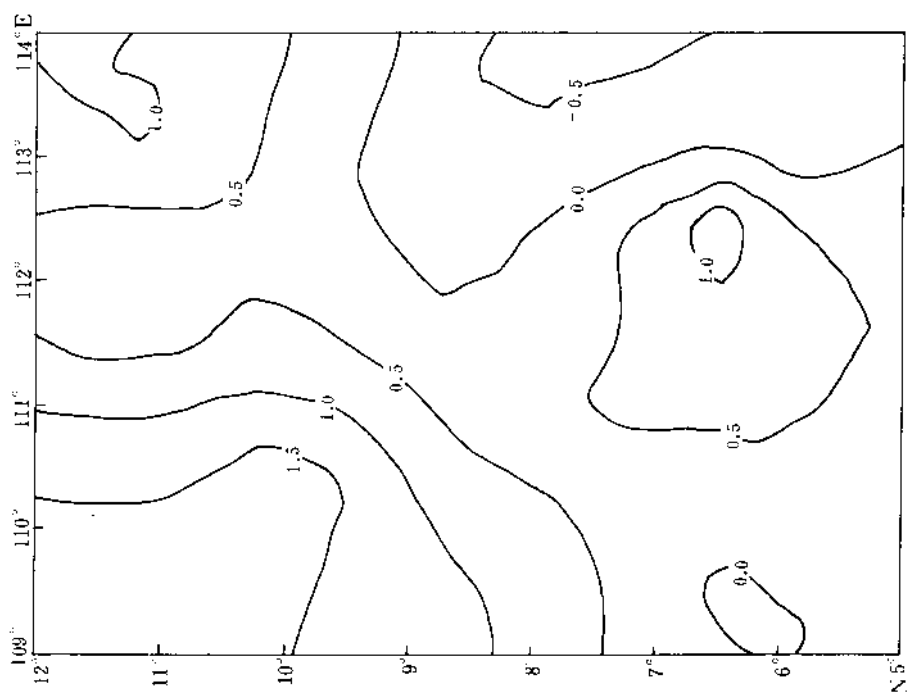


图 6. 300m 层 $\delta D(\times 10^{-3})$ 的水平分布

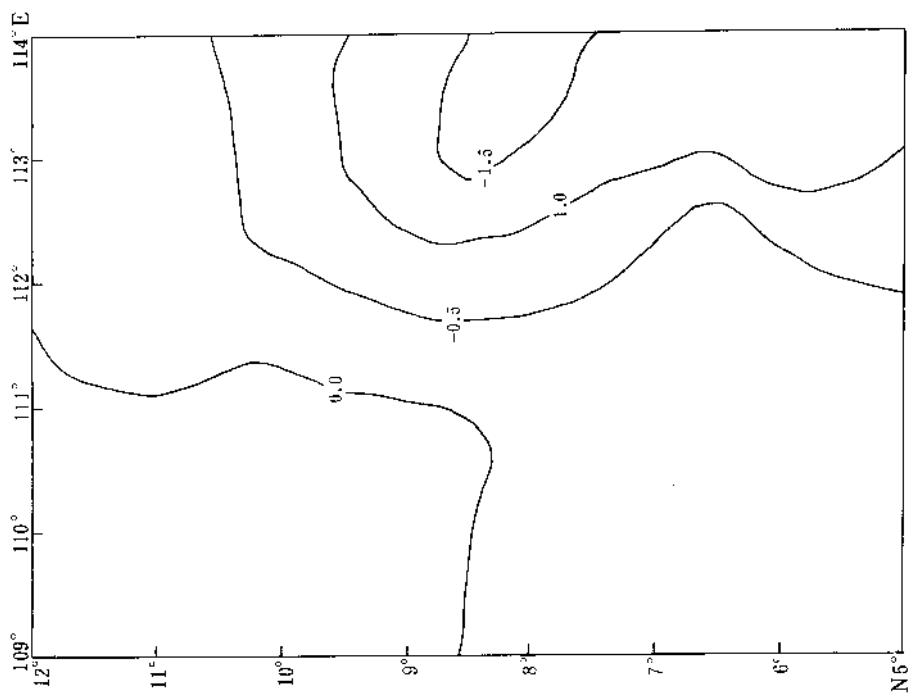


图 7. 500m 层 $\delta D(\times 10^{-3})$ 的水平分布

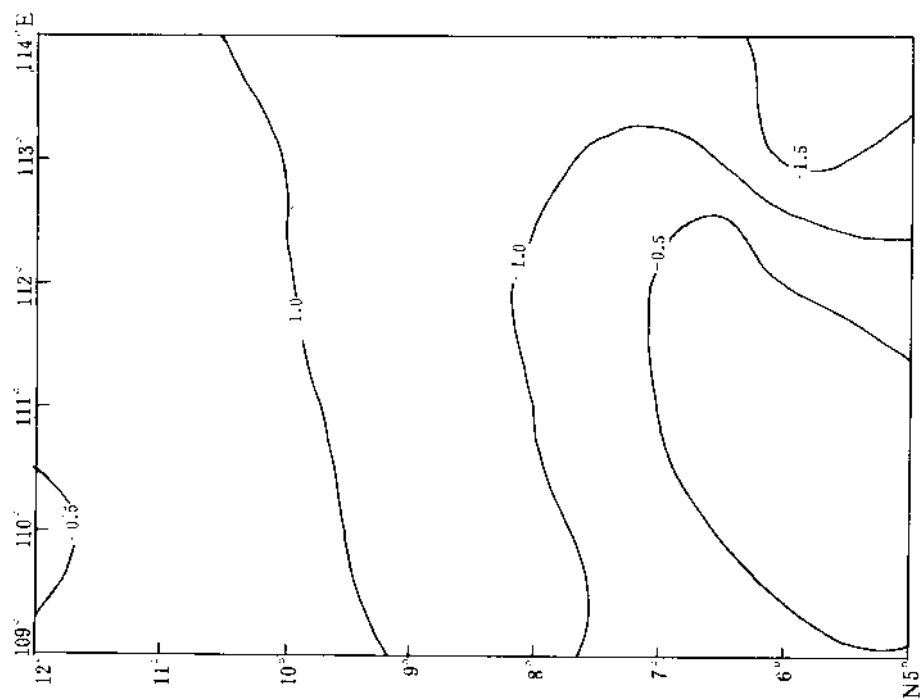


图 8. 800m 层 $\delta D(\times 10^{-3})$ 的水平分布

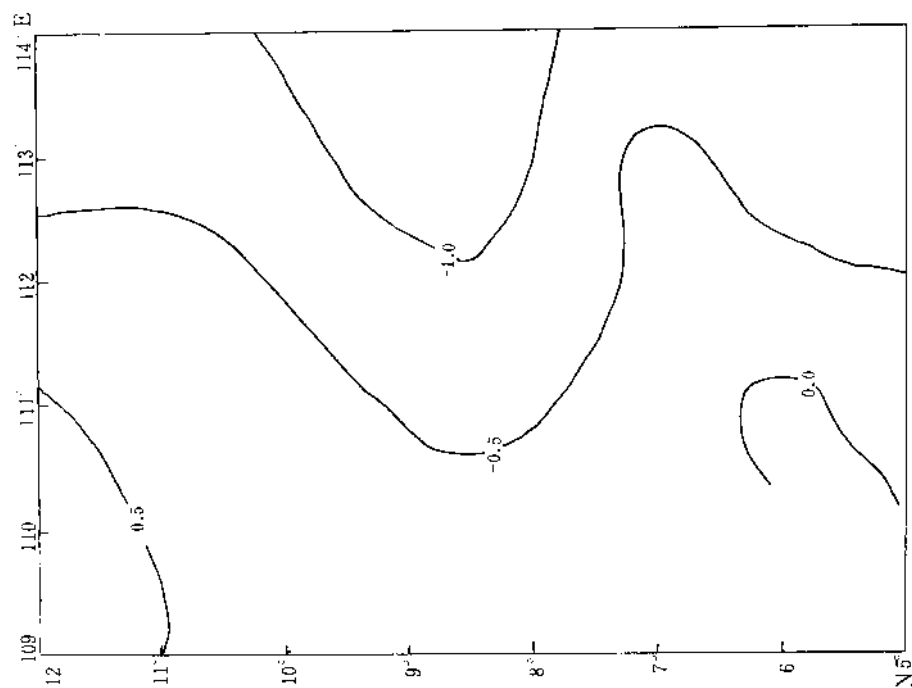


图 9. 1000m 层 $\delta D(\times 10^{-3})$ 的水平分布