

~~2-27~~ 北分

中国地质科学院

水文地质工程地质研究所 所 刊

第 7 号

1991年

2-27

31257

地质出版社

中国地质科学院

水文地质工程地质研究所 所 刊

第 7 号

地质出版社

中国地质科学院
水文地质工程地质研究所所刊
第 7 号

*
责任编辑：张新兴 殷正宙 陈东俊

地质出版社出版发行
(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷
(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：787×1092¹/₁₆ 印张：11.5 字数：274000
1991年7月北京第一版·1991年7月北京第一次印刷
印数：1—1380册 国内定价：6.60元
ISBN 7-116-00855-1/P·732

目 录

太平洋中部洋底界面水及其成矿作用·····	汪蕴璞 (1)
闽南三角地区水土流失研究·····	陈 云 何伯干 石建省 李瑞敏 (27)
闽南软土的环境工程地质特征·····	阎世骏 王秀艳 傅崇远 (49)
闽南现今地壳形变与地壳稳定性的关系·····	马集遐 (65)
宁波市某些工程地质问题定量分析·····	胡瑞林 (73)
氢氧稳定同位素在平顶山矿区水文地质中的应用·····	周骏业 孙继朝 张发旺 (89)
中国大气降水稳定同位素组成及影响因素·····	张洪平 刘恩凯 王东升 (101)
	贾艳琨 孙继朝
秦皇岛地区地下热水的地球化学·····	曾藏辉 (111)
济南地区双重孔隙介质溶质运移数学模型研究·····	赵全生 (129)
月山地区金属矿床成矿的古水文地质及古水文地球化学条件分析·····	高岩松 (143)
应用微机图形显示计算 t_{90} 值和 P_c 值的新方法 ·····	吴国珍 王君为 (157)
一个小型实用文本打印软件包的程序设计·····	石建省 (173)

BULLETIN OF THE INSTITUTE OF HYDRO- GEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY CHINESE ACADEMY OF GEOLOGICAL SCIENCES

No. 7

CONTENTS

Ocean-floor Interface Water and Its Minerogenesis in the Central Part of Pacific Ocean		Wang Yunpu (1)
Research on Soil Erosion in the Southern Fujian Delta Area		Chen Yun et al. (27)
Environmental Engineering Geological Characteristics of Soft Soil in Southern Fujian.....		Yan Shijun et al. (49)
Relation between Current Deformation and Stability of the Crust in Southern Fujian		Ma Jixia (65)
Quantitative Analysis on Some Engineering Geological Problems in Ningbo City.....		Hu Ruilin (73)
Application of Oxyhydrogen Stable Isotope to Hydrogeology in Pingdingshan Mining Area		Zhou Junye et al. (89)
Composition of Stable Isotopes of Precipitation and Controlling Factors in China.....		Zhang Hongping et al. (101)
Geochemistry of Geothermal Water in Qinhuangdao Area, Hebei Province.....		Zeng Jianhui (111)
A Mathematical Model for Modelling Solute Transport in Dual-Porosity Media in Jinan City.....		Zhao Quansheng (129)
Analysis on Metal Deposit Metallogenic Paleohydrogeology and Paleohydrogeochemistry in Yueshan Area.....		Gao Yansong (143)
A New Method for Calculating t_{90} and P_c by Displaying Graphics on Microcomputer.....		Wu Guozhen et al. (157)
Programming of a Small Applied Software for Printing Text File		Shi Jiansheng (173)

Geological Publishing House
(Hepingli, Beijing)

Institute of Hydrogeology
and Engineering Geology
(Zhengding County, Hebei Province)

太平洋中部洋底界面水及其 成矿作用

OCEAN-FLOOR INTERFACE WATER AND ITS MINERO- GENESIS IN THE CENTRAL PART OF PACIFIC OCEAN

汪 蕴 璞^①

内容提要 本文在揭示界面水化学成分、环境参数基本特征和物理、化学场的基础上,从大洋水系统和洋底水岩系统两个层次分析和概括了界面水化学成分的形成问题及其形成和转移的物质模型。剖析了界面水的成矿物质和成矿环境,并通过成矿金属的集中强度、饱和浓度以及典型相关分析等计算证明了界面水是一种稀的成矿金属溶液,不可能通过纯化学沉淀途径形成多金属结核。发现成矿金属主要是以难溶的高价态氧化物、氢氧化合物形式存在。通过聚类、因子分析论证了成矿金属的聚集共生关系以及它们具有由溶解的低价态向难溶的高价态转变和补偿的有利环境。水成多金属结核的生成分为成矿前期、成矿金属形式的转化和浓集以及成矿金属沉淀3个持续的阶段,并揭示了界面水的成矿作用和过程。

大洋水与洋底沉积物接壤处的界面水化学至今鲜为人知,甚至连界面水这个术语亦未引用,岂谈其能否参与成矿作用问题的研究。本文根据地矿部“海洋四号”船于1986年至1988年期间3度驶入太平洋中部海域开展多金属结核调查时采集到的样品测试资料进行研究而写成的。无疑这些资料是极其珍贵和稀罕的,填补了该领域研究的空白,并试图推动和促进多金属结核成矿机制研究的新进展。

研究区位于太平洋中部,介于北纬10°—20°和东经177°至西经139°之间,跨越中太平洋和东太平洋海域。洋底地势较平缓,主要为海底平原区,绝大部分地区水深在5000m以下,从全区看,水深似有从西往东变浅之势,差值约为1000—2000m。沉积物广泛分布的是放射虫硅藻软泥、硅藻软泥等,时代为早中新世,仅在局部地段存在数十厘米厚的第四纪沉积物。

一、界面水化学环境参数基本特征

根据界面水36个样品的25项测试分析资料,可将其水化学参数和环境指标列于表1。

表1比较清晰地反映了界面水化学成分的构成、氢氧同位素组成、离子比值和环境指标等基本特征。这里毋需再赘述各项数据的多寡,不妨将其与表层洋水的各类参数值作一

① 参加研究工作的有王焕夫、王翠霞、叶思源、林锦璇、梁国玲、雷颢韵、何自冀、王晋强、张丽洁。本文由汪蕴璞执笔。

表 1 太平洋中部洋底界面水化学参数和环境指标特征表

参数名称	均 值		参 数 名 称	均 值		参 数 名 称	均 值	
	界面水	表层水		界面水	表层水		界面水	表层水
阳 离 子 (mg/kg)	K ⁺	372	阴 离 子 (mg/kg)	19106	18653	r_{Na}/r_{Cl}	0.83	0.86
	Na ⁺	10217		2600.8	2575.3	r_K/r_{Cl}	0.018	0.018
	Ca ²⁺	514		146.0	137.3	r_{Ca}/r_{Cl}	0.049	0.050
	Mg ²⁺	1196		590.1	579.7	r_{Mg}/r_{Cl}	0.183	0.189
	Li ⁺	0.183		<0.01	<0.01	Cl/Br	72.99	72.5
	Rb ⁺	0.057		-2.87	-2.48	r_{Ca}/r_{Sr}	175.17	168.66
	Cs ⁺	<0.01		-0.42	-0.30	r_{Ca}/r_{Mg}	0.271	0.261
	Sr ²⁺	6.69	总 矿 化 度 (g/kg)	34.5	33.6	Mn/Fe	0.37	0.33
	Mn	0.014				Ni/Mn	3.74	6.54
	Fe	0.052				Cu/Mn	1.81	1.77
子 离 子 (mg/kg)	Cu	0.015	环 境 指 标			Ni + Cu/Mn	6.35	8.31
	Ni	0.039	pH	7.82	8.20	Ni + Cu/Fe	1.27	2.34
	Co	0.038	Eh (mV)	408	397	Cu/Ni	0.55	0.29
	Pb	0.13	t (°C)	2		Ni/Co	1.201	1.026
	Zn	0.063	溶解氧 (mL/L)	4.05	4.70	Co/Mn	4.27	6.88
	Al	4.91	氧 饱 和 度 (%)	70.52	106	Co/Fe	0.87	1.77
	Si	15.65				Si/Al	3.18	5.16
	P	0.099						

比较,从而把握和了解界面水各类参数的基本属性。

从两者对比中可以看出界面水具有下列6个特点:

1. 界面水中占含量优势的宏量阳离子 K^+ 、 Ca^{2+} 和阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 浓度比表层洋水同名离子浓度略有增高,而 Na^+ 、 Mg^{2+} 略有降低;这些宏量阳离子 (K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 与阴离子 Cl^- 构成的离子比值,界面水和表层洋水差别甚微,基本上可看作为恒定的。
2. 界面水微量碱、碱土金属组分除 Sr^{2+} 外,均比表层洋水中同名组分浓度略有增高。
3. 界面水中痕量重金属组分 Mn 、 Fe 、 Cu 、 Ni 、 Co 、 Pb 、 Zn 等浓度比表层洋水同名组分浓度增高;由它们组成的各种比值是非恒定性的。
4. 界面水中生物成因组分 Si 、 P 高度浓集, Br^- 较高,而 I^- 与表层洋水保持在相同浓度水平上。
5. 界面水中稳定同位素 D 和 ^{18}O 的含量均比表层洋水的低。
6. 界面水介质环境呈低温、弱碱性的强氧化环境。

二、界面水化学物理场

1. 宏量组分比值分布

这类比值在空间上分布的值域变化幅度很小,数量级相同,其数值仅在小数点后第二位或第三位上有所变动,显示了稳定性的特征。例如 r_{Na}/r_{Cl} 变动幅度为 $0.82-0.88$; r_{Mg}/r_{Cl} 为 $0.180-0.200$; r_K/r_{Cl} 为 $0.017-0.019$; r_{Ca}/r_{Cl} 为 $0.050-0.054$, r_{Ca}/r_{Mg} 为 $0.26-0.29$ 。

r_{Na}/r_{Cl} 、 r_{Mg}/r_{Cl} 、 r_K/r_{Cl} 3 对比值在空间上具有雷同的变化态势,均是大体由北、北西朝南、南东方向呈微递增变化。而 r_{Ca}/r_{Cl} 和 r_{Ca}/r_{Mg} 两对比值似有与上述变化相反的态势(图1、2)。

2. 痕量重金属组分浓度场

Mn 、 Cu 、 Ni 、 Co 浓度在空间上均存在一个位置大体相同的富集区,但各组分富集区的几何形态和规模不尽相同,富集区内的富集中心位置亦存在差异;各组分浓度由富集区向周围均呈递降变化(图3、4)。

Fe 浓度与上述组分浓度呈相反的分布态势,其几何形态呈东西向伸展且规模宽大并向南、北方向呈递增变化,南部的递增率高于北部(图4)。

3. 痕量重金属组分比值

痕量重金属组分比值系列略图揭示了这类比值在空间上展布具有一个共同的特点,即它们均是由北东朝南西方向呈不同程度的增降变化,所形成的高值区或低值区的空间坐标位置不尽相同。按其等值线展布形态可分为3种类型:

一是正向似对称型, Mn/Fe 、 $Ni + Cu/Fe$ 、 Co/Fe 、 Ni/Co 可归属此类。它们的比值高值区均位于中部,由北东朝南西方向展布;由高值区向周围呈递降变化。

二是负向似对称型, Cu/Mn 、 Cu/Ni 可归属此类。它们的低值区位于中部,其等值线分布形态与 Mn/Fe 等3对比值形态相似。

三是正向不对称型, Co/Mn 、 Ni/Mn 和 $Cu + Ni/Mn$ 比值可归属此类。它们的高值区

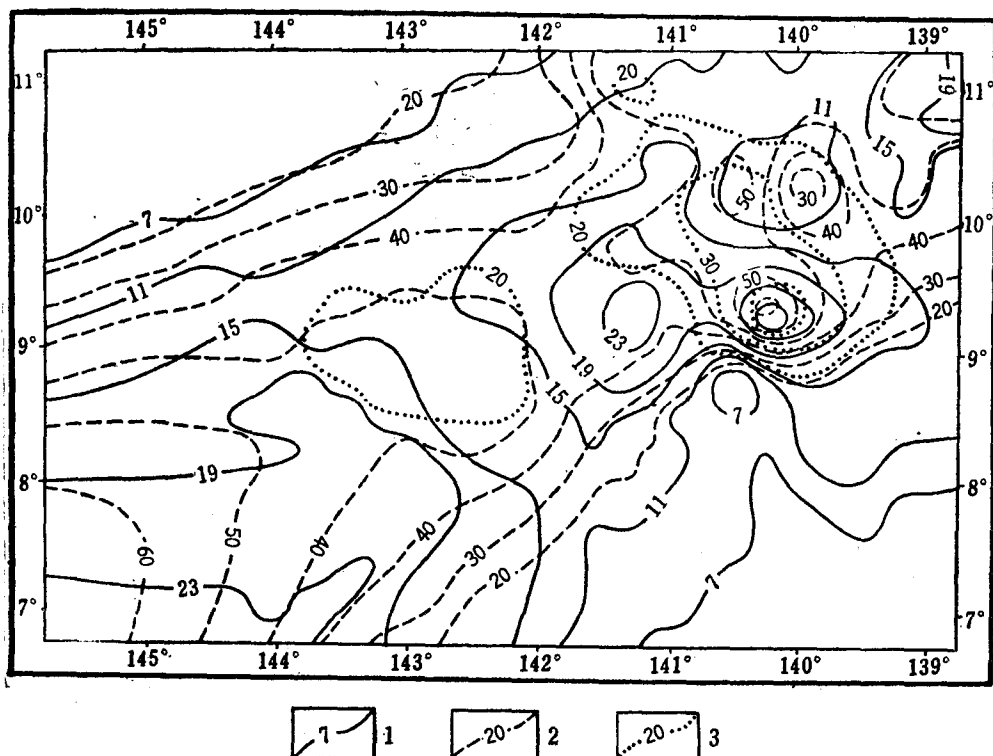


图 3 太平洋中部界面水Cu、Ni、Co浓度场略图
Fig. 3 Concentration field of Cu, Ni, Co of interface water in central part of Pacific Ocean 1—Cu; 2—Ni; 3—Co (单位: $\mu\text{g/kg}$)

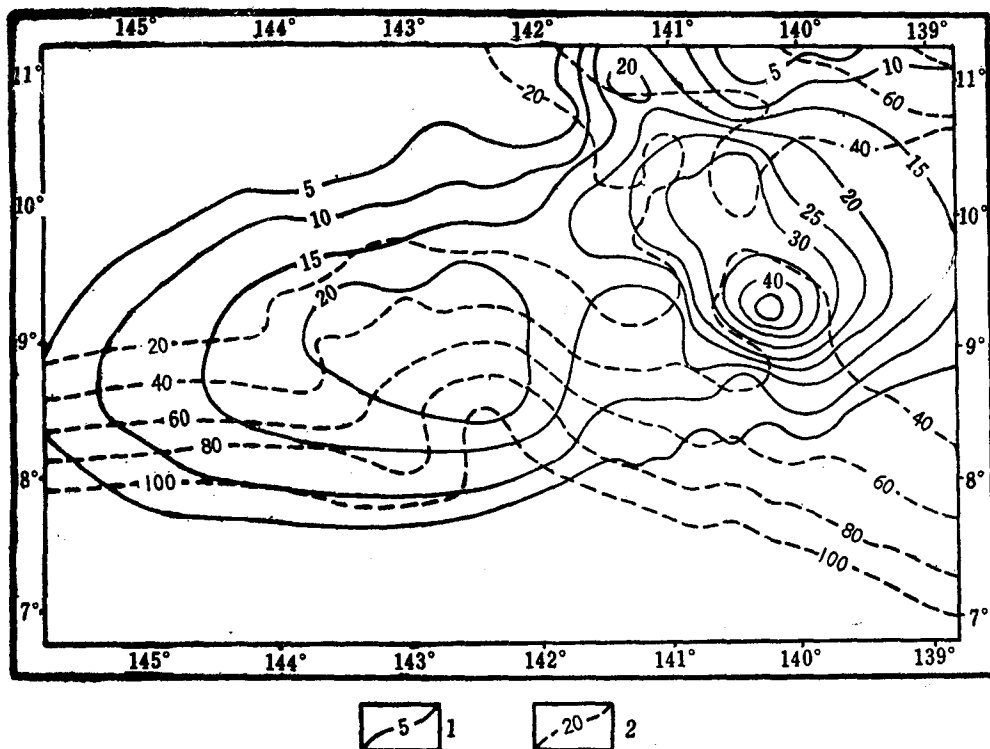


图 4 太平洋中部界面水Mn、Fe浓度场略图
Fig. 4 Concentration field of Mn, Fe of interface water in central part of Pacific Ocean 1—Mn; 2—Fe (单位: $\mu\text{g/kg}$)

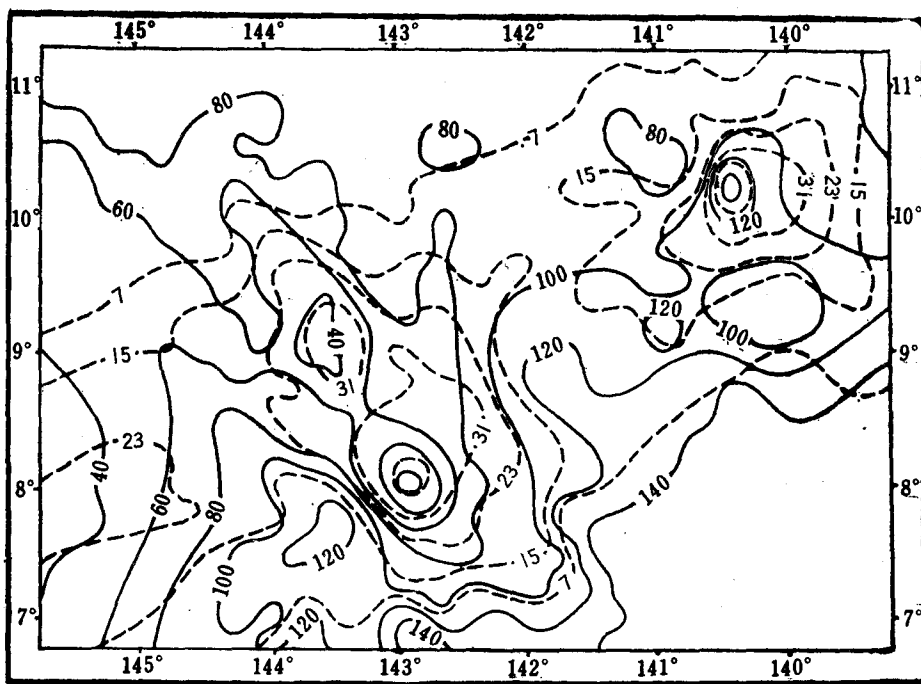


图 5 太平洋中部界面水中可溶性磷、硅浓度场略图

Fig. 5 Concentration field of solubility P and Si of interface water in central part of Pacific Ocean 1—可溶性磷 ($\mu\text{g/kg}$); 2—可溶性硅 (mg/kg)

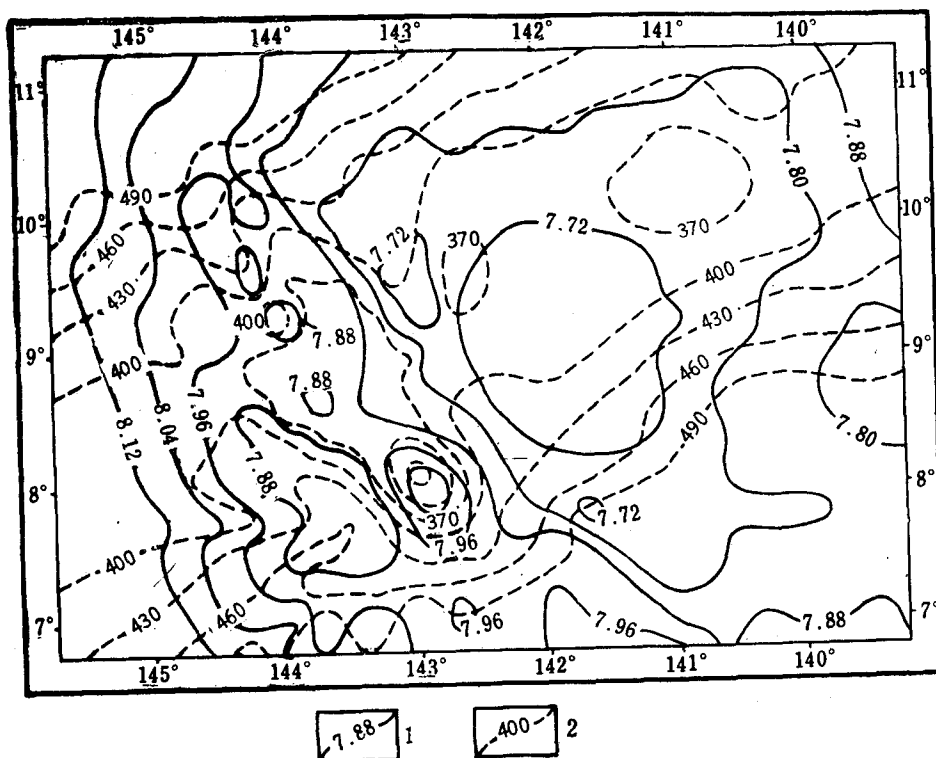


图 6 太平洋中部界面水pH、Eh场略图

Fig. 6 Map showing pH, Eh field of interface water in central part of Pacific Ocean 1—pH; 2—Eh(mV)

均向北位移到边部,由此向西、南方向比值呈递降变化。

4. 生物成因组分浓度场

可溶性Si、P浓度具有十分相似的分布态势,均存在两个富集区,其东北部的富集区的位置与痕量重金属组分Mn、Cu、Ni、Co富集区位置基本相同(图5)。

5. pH场与Eh场

pH场与Eh场均似有从南西至北东向呈递降变化态势并沿此方向的两侧均呈递增变化(图6)。Eh场比pH场强度变化大,两者与Si、P浓度场图形形态相似,而Eh场与它们的相似程度较高。

三、界面水化学成分的形成作用和物质模型

界面水化学成分形成作用可从两个层次展开分析:一是从大洋水系统分析其化学成分的形成作用,即从液相系统研究;二是从界面水与沉积物构成的水岩系统分析其形成作用,即从液固系统研究,然后将两者联结起来,纵观界面水化学成分的形成问题。

(一) 大洋水系统与界面水化学成分的形成作用

大洋水物质成分的来源是多方面的。一般认为,大洋水的物质成分可来自于大陆径流的携入,宇宙物质的降入,海底岩浆活动通过断裂以喷发和热流(慢液水)溢出的形式将上地幔物质带入到大洋底部堆积或转入水中,火山岩和火山灰的海解作用以及成岩作用产生的物质再循环和再分配转入水中等等。试图查明大洋水物质成分的各种来源的量值不仅是复杂的,而且是极其困难的,因为很难将大洋水中物质成分的来源从定量上加以区别开来。但是,无论哪种来源均是构成大洋水潜在的物质成分。

根据“温盐深”水文探测仪监测的资料揭示了大洋水物质成分在空间上展布绝非是一个均质体,它所构成的物质模型具有两个显著相关的特性:

一是在大洋水系统的垂向上绝大部分组分形成正向浓度梯度剖面。由于组分之间存在逆向反应,使有些组分呈现递降变化,或由于某些局部因素的干扰和影响,使剖面产生正的或负的异常,但构成正向浓度梯度剖面的总趋势是不会变的。

二是与洋底沉积物交接处的界面水是大洋水物质成分在水体中运移、弥散等过程中到达的最后一个“站”,是各种组分聚集的地球化学垒。

这两个相关的特性是大洋水物质成分形成分布的本质属性,它取决于多种影响和控制因素,这些因素包括物源供给的性质和供给量,大洋水平流、对流和环流导致大洋水的搅动和混合,海洋生物对水中物质成分的吸收和释放,以及发生的化学的、物理化学的和胶体化学的等等作用。不言而喻,每一种作用均可在某种程度上影响和改变大洋水化学成分浓度在空间坐标上的分布位置,既可起到浓集效应,又可起到贫化效应。但无论用哪一种作用来解释这条正向水化学剖面的形成均是困难的。例如,胶体化学作用不能解释这条剖面的形成,生物化学作用同样也不能说明这种化学成分分布的规律性,诸如此类等等。这样势必导致用各种作用叠加和综合作用的结果来解释大洋水化学剖面现代景观的形成问题,这种认识在原则上是可以接受的,但尚未抓住和回答这条水化学剖面形成的本质作

用。那么,究竟形成这种规律性的主导作用是什么呢?不妨研究下列若干基本事实后再来讨论和把握它形成的主控因素。

1. 世界上的一切物质均处在不断的运动状态,运动是物质的根本属性,是物质存在的形式。

2. 大洋水中存在的离子、分子和胶体等颗粒同样亦处在不断的运动状态。

3. 离子、分子和胶体等颗粒的不断运动发生的位置变化不是杂乱无章、无规可循的,它总是沿着一定的方向作有序的运移。

4. 大洋水中物质成分的颗粒运动受阻力量比在固相中运移要小的多,因此更易运移和变换其空间位置。

5. 正如上述的各种作用均可使水中物质成分的浓度在空间位置上发生改变,甚至某种作用在局部地段上主控水中某些组分发生聚集或贫化,从而扭曲了大洋水正向浓度梯度剖面,但不能用以解释大洋水系统正向浓度梯度剖面的形成。

鉴于上述基本认识,可采用另一种观点来认识问题,那就是用地心引力和质点热运动的扩散力的两种物理力来解释大洋水系统正向浓度梯度剖面形成的规律性是最合适的。

地心引力是一种经常作用的、定向的、全球性的力,它可使任何物体导向地球中心运移。在自然界,在重力作用下使物质产生分异的现象和事例比比皆是。在大洋水系统中的物质成分亦毫不例外地在重力作用下力图向大洋底部转移,这是一种必然的规律性。这就势必形成大洋水中物质成分的总浓度和组分的分量浓度从表层朝底层方向上逐渐增高的趋势。这是形成作用的一个方面。

另一方面是根据溶液质点的热运动存在两种波动形式:一种是质点在暂时平衡位置上振动;另一种是以跳跃式的从一个平衡位置上转移到另一个平衡位置上,其转移长度等于液态时最邻近两个质点之间的距离。质点的转移必须克服相邻质点之间的引力能量(活化能)。当水分子附近存在离子时,则离子对水分子的转移要产生潜在的电位阻力,大多数离子的水化作用所产生的电位阻力减弱了包围在离子附近的水分子的转移运动,有些负水化作用离子即可加强水分子的转移运动。而溶质质点的转移主要是单独转移,即转移后附近为另一个水分子。水分子的扩散能量随着压力的增高而减小,而水中的离子则随着压力的增高而增大。因此,在压力增高的方向上,溶剂质点向压力较小的方向运移,而溶质质点向压力较大的方向运移,从而形成了不同方向的粒子流。用这种观点可解释大洋水系统从上往下,从压力较小的表层向压力较大的底层方向上形成浓度正向梯度剖面。

由此可作如下结论:重力和溶质质点热运动的自扩散力的合力在大洋水系统垂向上产生的溶质质点粒子流的运动方向是同向的,均是往下运动的,两者在抵抗、削弱和改变其它作用造成的化学组分在空间坐标上分布的位置,并沿着两者合力的方向上形成浓度递增的序列。

(二) 水岩系统与界面水化学成分的形成作用

界面水是大洋水系统中物质成分运移到达的最后一个“站”,形成了地球化学垒,但其化学成分的形成至此并未终止,它与接壤的洋底沉积物构成了复杂的化学动态平衡系统,两者发生着物质成分活跃的交换作用。为剖析其形成作用,需要探讨其所在水岩系统的环

境特点、主控形成作用的限制条件以及物质成分交换的主要途径和方式3个互为关联的问题：

1. 水岩系统地球化学环境特点

根据深海远洋调查现场测试的界面水和沉积物的地球化学参数资料，可将其概括为如下主要特点。

(1) 液相系统（界面水）

- A. 活性条件：pH=7.72—7.8；
- B. 氧化还原电位为正值：Eh=362—535mV；
- C. 溶解氧含量为1.88—4.58mL/L；
- D. 温度约2℃；
- E. 氧饱和度（O₂%）为32.6—101。

(2) 固相系统（沉积物）

- A. 沉积物颜色为褐色至棕黄色的系列色调，反映了氧化环境生成的产物；
- B. 沉积物颗粒粒径为0.005—0.002mm的粘粒约占20%，小于0.002mm的胶粒占40%以上，最大粒径为0.1—0.05mm的仅占10%；
- C. 沉积物的天然含水量很高（160—300%），沉积物有机质含量普遍较低，仅约1%，有机碳含量约0.40—0.80%。由于缺少可进行反应的有机质，使其保持着稳定的氧化环境；
- D. 矿物成分主要是以蒙脱石、伊利石为主，其次是由高岭石和绿泥石形成的泥层矿物。其中的微体化石普遍呈碎块状；
- E. 活性条件：pH=7.14—7.42；
- F. 氧化还原条件：Eh=394—599mV；
- G. $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}=6.95—25.50$ ，有的站位无低价铁；
- H. $\text{Th}/\text{U}>4$ 。

为此可作如下结论：水岩系统具有统一的低温、弱碱性强氧化环境为特点。固相主要是由胶粒、粘粒组成的细分散性物质组成，含水量很大，在底层流的冲刷和底栖生物搅动作用下具有可流动性的半液化层或液化层。

2. 形成作用的限制条件和类型

(1) 限制条件

- A. 界面水是一种异常不饱和的溶液，根据形成多金属结核的成矿元素的集中强度和饱和浓度计算证明，这类成矿元素不可能通过纯化学的沉析作用途径形成固相（见下节计算结果和解释）；
- B. 沉积物中有机质异常贫乏，化学作用的活跃性相对较弱；
- C. 沉积物含水量很大，在底流冲刷和生物搅动作用下两相很易发生混溶状态，利于两相之间的物质成分的交换和再分配；
- D. 液固系统呈弱碱性，限制了痕量重金属组分的活动性，它们在水中很难以离子形式存在和浓集，较易形成难溶的硫化物沉淀，但由于处于氧化环境，且又缺乏有机质，能提供还原硫的条件有限，限制了这种作用的进行；

E. 两相保持了稳定的氧化环境, 变价组分由低价的还原态转化为高价的氧化态, 利于形成难溶的氧化物或氢氧化物;

F. 水岩系统是一个十分复杂的、活动性很大的地球化学动态平衡系统, 两相之间物质成分的交换非常活跃。

(2) 形成作用类型

根据界面水形成作用限制条件的陈述, 其形成作用可分为下列 6 种类型:

A. 氧化反应作用

根据水岩系统的 Eh、溶解氧、含氧饱和度和 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 等参数, 以及沉积物色调等, 可以确信无疑地定论, 整个系统为氧化环境, 而且是强氧化环境。

造成氧化环境的供氧源何在? 以往通常采用理论推测或者是以间接的资料加以引证的。诸如, 南极随着气温的变迁而引起南极底流在大洋中运动, 伴随着向大洋水中供应氧量; 又如根据大洋水温度的变化间接地获得了南极底流的运动路线和方向。尽管对南极底流的论证存在不同的说法, 但它的存在几乎已成为一种公认的看法, 因为没有这种认识, 怎能解释大洋底部氧化环境的存在, 岂能解释洋底多金属结核生成的必要的成矿环境的存在。本文依据大洋水氢氧稳定同位素和界面水氧化还原电位实测资料可证实南极底流的存在和运动方向。

从表 2 可知, 表层洋水的稳定同位素 D 和 ^{18}O 含量值高于雨水。这种差值主要是由于表层洋水经历了蒸发浓缩作用和盐度增高引起氢、氧重同位素增高所致。在大洋水系统中, 随着水深加大, D 含量呈增降相间变化, 而 ^{18}O 则不断富集, 但在水深 5500m 时, D 和 ^{18}O 含量则显著降低。两者含量均介于雨水和表层洋水含量之间。底层洋水氢、氧重同位素含量的降低提供了大洋水循环的有力佐证。

界面水 Eh 场略图 (图 6) 揭示, 其值由南西朝北东方向呈递降变化, 这个氧化程度的衰减方向基本上可用以反映底层洋水流动的方向。这与水野笃行 (日本) 用水温获得的南极底流在研究区存在的克拉里昂水道的流动方向是吻合的。

南极底流在大洋水圈底部的循环运动和持续地供氧提供了洋底氧化环境形成的条件。此外, 有无其它供氧源存在, 例如, 生物化学作用能否供氧是一个应予注意探索的领域。

表 2 不同深度大洋水氢氧同位素组成和分布

采 样 地 点	水 类 型	水 深 (m)	δD (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
太 平 洋 中 部	雨 水		-11.10	-2.76
	表层洋水	5	-2.40	-0.30
		2000	-4.80	-0.11
		3000	-2.35	-0.10
	底层洋水	5500	-2.87	-0.42

基于上述氧化反应是水岩系统中进行得十分活跃的一种主要作用, 它决定了系统中组分存在的形态和地球化学行为。例如, SO_4^{2-} 在水中呈稳定态存在, 这是因为有机质贫乏, 硫酸盐生物化学还原作用进行的很弱, 而 HCO_3^- 缺乏获得这种作用形成产物的补充来源;

痕量变价金属离子在碱性溶液的氧化环境中呈不稳定态，它们以低价的溶解态存在于水中的能力减少，因此，浓度通常不高；而是以高价态的氧化物、氢氧化物存在于水中，诸如铁以正三价组成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 FeOOH ，锰以正四价组成 MnO_2 ，Co、Pb 分别以正三价和正四价存在。由于它们难溶于水，以微粒状态存在于水中，并带有不同的电性。

B. 胶体化学作用

胶体化学作用是引起水岩系统物质成分发生转变的又一重要作用。这一作用可通过3种途径进行的。

a. 胶体吸附作用：界面水中存在胶体颗粒、粘土矿物颗粒，它们难溶于水，呈悬浮状态，并带有电性。各种胶体可以吸附水中大量的金属组分。例如， MnO_2 胶体带负电性，它可吸附阳离子于胶体表面；而 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体带正电性。正如 Murray 和 Brewer (1977) 的实验结果表明：铁和锰的氧化物可从水中吸取大量的次要元素，二氧化锰的作用要比氧化铁大2—3倍。因此，胶体是界面水中溶解金属组分贫化的捕集器。

b. 胶体凝聚沉析和共沉淀作用：界面水中存在的胶体有锰胶体、铁胶体、铁锰硅酸盐胶体、铁锰氧化物混合胶体、二氧化硅胶体、铝胶体 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 等，这些胶体在水溶液中发生凝聚形成较大颗粒时发生沉析作用，以及带不同电性的胶体相互吸引发生共沉淀作用。例如，带正电荷的氢氧化铁胶粒与带负电荷的二氧化锰胶粒或与带负电荷的二氧化硅胶粒相吸发生共沉淀。

c. 阳离子交替吸附作用：这个作用是在固液相之间进行的。阳离子交替吸附作用的规模取决于岩土的吸收能力，而吸附能力取决于岩土的比表面积，颗粒愈细，比表面积愈大，则交替吸附作用的规模愈大。研究区沉积物呈胶体状态存在的矿物主要是蒙脱石和铁、铝的倍半氧化物。粒度成分主要是以细分散的粒径为小于 0.002mm 的胶粒占40%以上，粒径为0.005—0.002mm 的粘粒占20%以上。有人曾计算过海相沉积物中吸附离子的重量约占1%，这个数值是相当可观的。不同阳离子吸附于岩土胶体颗粒表面的能力是不同的，离子价愈高，离子半径愈小，则吸附能力愈大，按吸附能力由大到小的顺序为 $\text{H}^+ > \text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ 。作用的实际结果导致固液相之间物质成分的交换和达到新的动态平衡，蒙脱石吸附镁钾的同时发生转型，使粘土矿物性能发生变化，并降低了对金属组分的固定能力，使组分转移到水中。

C. 生物化学作用

海洋生物在其生命过程中可吸收水中金属元素并富集于生物体中，随着它的粪便的排放将金属组分返回水中；当生物死亡后，其遗骸在沉析过程中的溶解和随之释放出金属组分。这个过程是洋底浓集金属组分的又一个重要途径，特别是在生物生产力高的地区，其聚集尤为重要。界面水是这类金属组分在大洋水中聚集的最高场所。

D. 洋底沉积物中金属组分的再循环

在底层流冲刷作用和底栖生物的搅动作用下，驱使沉积物中的细小颗粒重返水中发生混合并处于悬浮状态。在水和固相颗粒之间发生物质成分的互换作用，固相中的可溶性组分返回水中，液相中的某些组分又可被细微颗粒所吸附。这个交换过程是可逆的，它在界面水化学成分形成过程中是不可忽视的一种作用。

E. 其它作用

诸如由浓度差引起的扩散作用,重力作用和质点热运动导致组分在垂向上往下运移。上列各种作用,均可在不同程度上改变界面水的化学成分构成。

(三) 界面水化学成分的形成和转移的物质模型

可将上述研究结果加以联结和综合,从整体上将界面水化学成分形成和转移的动态平衡的物质模式概括为表3所示。它比较清晰地反映了界面水化学成分形成过程。现对界面水物质模型的形成作些注释。

表3 界面水化学成分的形成和转移的物质模型

系统	化 学 成 分			地 球 化 学 环 境				组分存在的形态	形成作用	作用方向和结果
	成矿组分	生物组分	其它组分	t (°C)	Eh (mV)	pH	O ₂			
液相系统	大洋水							离子溶液胶粒	重力作用和质点热运动自扩散作用	溶解组分和胶体颗粒向底层洋水转移
	递增方向	Mn、Fe显著增高, Cu、Ni、Co略有增高	递增方向	除Na、Mg外均呈微增高	递降方向	显著降方向	递增方向	Mn、Fe、Co、Pb呈高价态存在 胶体粘土矿物残片无机物有机络合物, 颗粒悬浮于水中	氧化作用 胶体吸附作用和凝聚作用, 生物粪便和残骸的溶解释放重金属组分	胶体陈化凝聚沉淀和共沉淀作用 组分交换和转移
	水							离子溶液	阳离子吸附交替作用	溶解组分有所增减和变化
固相系统	软泥							粘土矿物有蒙脱石、伊利石、高岭石、绿泥石和软泥水	在底层流和底栖生物搅动作用下, 固体颗粒混入界面水中 阳离子吸附交替作用 扩散作用 沿断裂带溢出慢液水	溶解组分和微粒向界面水中转移