

中国科学院海洋研究所编辑

海洋科学集刊

STUDIA MARINA SINICA

13

海洋科学集刊

第十三集

中国科学院海洋研究所编辑

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1978 年 2 月第一次印刷 印张: 11 7/8 插页: 11

印数: 0001—2,050 字数: 269,000

统一书号: 13031·765

本社书号: 1095·13—17

定价: 2.30 元

勘 误 表

本刊 1976 年 12 月第 11 集中有多处错误更正如下:

页	行	误	正
8	图 1	(全图上下颠倒)	(上下倒正过来)
8	倒 1	0.2 克	0.6 克
		0.6 毫升	3 毫升
56	8	Stereams	Streams
56	倒 1	Institute	Institute
69	14	Забоб	Зыбоб
72	倒 1	(i 为观测层数)	(i 为观测层数)
80	15	Guangx	Guangxi
81	11	Province	Province
82	倒 19	entro	centro
93	倒 18	状胞壁	细胞
119	倒 11	1936:632	1936:634
120	20	壳黄色	亮黄色
132	倒 2	四分孢子囊	四分孢子体
132	倒 6	近立方	近长方
210	12	also greater in the first year than in the second	greater in the second year than in the first
212	10	长锥形	尖锥形
241	4	赤腰带	赤道腰带
251	倒 12	(图 236—i)	(图 23n—p)
253	倒 1	尚未长成 1	尚未长成, e
253	倒 2	II 瘦型 1, 奇臂折断	II 瘦型 k, 有腕间臂 1, 奇臂折断 m—p, 成体, 其中 o, p.
257	2	S. S. 大骨针	S. S. 小骨针
360	倒 10	1886	1856
367	倒 11	1825	1856
285	5	三个臭格	三个具格
296	2	栗壳虫科	栗壳虫科
337	15	纳塔, 经耳马达加斯加	纳塔耳, 经马达加斯加
388	19	oven-drying	oven-drying
	23	obtained	obtained

海洋科学集刊 第 13 集

(1978 年 2 月)

目 录

中国近海海水中几种微量金属离子的分布研究·····	
·····顾宏堪、刘明星、包万友、张星君、王 琦、郭如新、曾昭文 (1)	
用同轴型全息摄影对海水中悬浮沉积物进行观测的初步探讨·····	
·····钱正绪、陈开曜、张 勇 (8)	
山东省打渔张灌区第四纪有孔虫及其沉积环境的初步探讨·····	
·····郑守仪、郑执中、王喜堂、傅钊先 (16)	
烟台沿岸贻贝自然采苗及其有关问题的研究···中国科学院海洋研究所贝类实	
验生态组、烟台地区海水养殖试验场、烟台地区水产研究所、烟台水产学校 (89)	
中国近海的蔓足类 I. 藤壶属·····任先秋、刘瑞玉 (119)	

STUDIA MARINA SINICA, No. 13

(Feb., 1978)

CONTENTS

- The Concentrations of Some Ions of Trace Metals in China Coastal Waters
.....Gu Hongkan, Liu Mingxing,
 Bao Wanyou, Zhang Xingjun, Wang Qi, Guo Ruxin and Zeng Zhaowen (7)
- The Preliminary Observation of Suspended Deposit in Sea Water With In-Line
Holography Qian Zhengxu, Chen Kaiyao and Zhang Yong (15)
- The Quaternary Foraminifera of the Dayuzhang Irrigation Area, Shandong
Province, and a Preliminary Attempt at an Interpretation of its Depositional
Environment
..... Zheng Shouyi, Cheng Tsi-chung, Wang Xitang and Fu Zhaoxian (72)
- A Study of the Mussel Spat-collection Along the Coast of Yantai and Related
Problems
..... Section of Experimental Molluscan Ecology, Institute of Oceanology,
 Academia Sinica; Marine Cultivation Experimental Station of Yantai District;
 Fisheries Research Institute of Yantai District; Yantai School of Fisheries (117)
- Studies on Chinese Cirripedia (Crustacea). I. Genus *Balanus*
..... Ren Xianqiu and J. Y. Liu (190)

中国近海海水中几种微量金属 离子的分布研究*

顾宏堪 刘明星 包万友 张星君 王琦 郭如新 曾昭文**

(中国科学院海洋研究所)

中国近海海水中的锌等微量元素,尚未进行过较为广泛而可靠的分布研究。极为零星的资料,还是近几年来在沿岸进行污染调查时,用陈旧的方法测定的。

世界海洋海水中微量元素的含量,不同文献报道的数据,常有一定的差别^[4-7,9]。这是自然变化,抑方法误差(包括所测形态),是值得研究的。

本文采用单池示差反向极谱法,比较广泛而可靠地研究了中国近海海水中锌等微量元素的离子(和不稳定络合物)的地球化学分布。测定锌、铅、铜、镉时,样品不加任何试剂,因而避免了元素存在形态的转移及被测离子的带入或损失。

一、方 法

东海1—13站及23、24站,1973年,以聚乙烯瓶采水,立即用 0.5μ 膜抽滤,并在船上立即进行测定。测定方法为单池示差反向极谱法^[1,2]。锌、铅、铜、镉不加任何试剂,锡、铋加 0.25 M HCl ¹⁾。1974年,以2升有机玻璃采水器采水,装入500毫升的聚乙烯瓶中,待粗悬浮体自动沉降后(约1天),立即在船上用上法进行测定。实验证实,自动沉降后测定和过滤后立即测定的结果是一致的。二年的样品均分别在一个多月船返回基地后,在实验室中重测一次。测定结果与在现场(船上)测定的偏差,均在误差范围内。东海29—34站,仅在采水后一个多月,于陆上实验室中测定。黄海、南海等各站(14—22站、25—28站),均为采水后在一个月之内带至陆上实验室测定。数据均为单次分析。

二、结果及讨论

采水站位及站号见图1。

测定结果见表1。

测定结果表明,锌的变动范围大都在 $(0.60-1.1) \times 10^{-7}\text{ M}$,即 $(0.85 \pm 0.25) \times 10^{-7}\text{ M}$ 或约 $(0.85 \pm 29\%) \times 10^{-7}\text{ M}$;铅大都在 $(1.5-2.1) \times 10^{-10}\text{ M}$,即 $(1.8 \pm 0.30) \times 10^{-10}$

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第394号。

** 曾昭文同志工作单位为国家海洋局第三研究所。

1) 顾宏堪、刘明星: III 天然海水中锡及铋的测定。

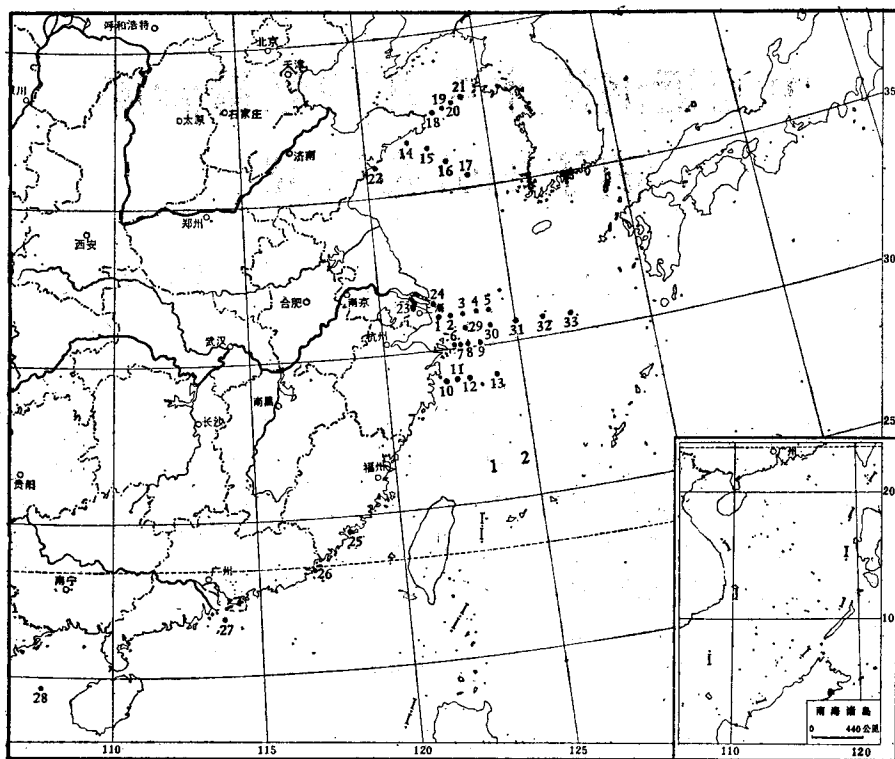


图1 采水站位图

M 或约 $(1.8 \pm 17\%) \times 10^{-10} M$; 铜大都在 $(1.2-2.0) \times 10^{-8} M$, 即 $(1.6 \pm 0.40) \times 10^{-8} M$ 或约 $(1.6 \pm 25\%) \times 10^{-8} M$; 镉大都在 $(3.6-5.2) \times 10^{-9} M$, 即 $(4.4 \pm 0.80) \times 10^{-9} M$ 或约 $(4.4 \pm 18\%) \times 10^{-9} M$; 锡大都在 $(0.70-1.2) \times 10^{-8} M$, 即 $(0.95 \pm 0.25) \times 10^{-8} M$ 或约 $(0.95 \pm 26\%) \times 10^{-8} M$; 铊大都在 $(0.70-1.2) \times 10^{-9} M$, 即 $(0.95 \pm 0.25) \times 10^{-9} M$ 或约 $(0.95 \pm 26\%) \times 10^{-9} M$ 。

从上述结果看来,中国近海海水中锌、铅、铜、镉、锡、铊离子的分布是比较均匀的。其浓度波动范围为中值的 $\pm 20-30\%$ 左右;而分析误差可达 $\pm 10-15\%$ 。故浓度波动范围仅为分析误差的 2—3 倍。镉等与太平洋中部水相比,浓度同样比较接近。

锌等微量元素离子浓度的波动,并不表现有什么规律性。从河口到外海,从黄、东海到南海,从表层到底层,以至某些元素与太平洋中部水相比,都是如此。

本文在测定锌、铅、铜、镉时,海水样品中未加任何试剂^[2],因而不存在元素形态的转移、锌等离子从悬浮体上解吸、自悬浮体中溶出或带入空白浓度等问题。过滤及热沸,实验证明离子浓度没有变化。反向极谱测定的锌等为离子态(和不稳定络合态)的,悬浮态等的在电极上不会反应。因而,本文所测的数据,是真实的海水中锌等的离子(和不稳定络合物)的浓度。

在海水样品中加入酸等试剂,共沉淀富集或通过离子交换柱富集等,均难以避免上述问题。加之一般超微量元素分析方法,误差很大。因而,数据的可靠性是有限的。文献报

表1 海水中某些微量元素的浓度

站 号	水 深 (米)	采 样 日 期	Zn ($\times 10^{-7}M$)	Pb ($\times 10^{-10}M$)	Cu ($\times 10^{-8}M$)	Cd ($\times 10^{-9}M$)	Sn ($\times 10^{-8}M$)	Bi ($\times 10^{-9}M$)
1	0	1973年 8 月	1.1	2.2	2.3	4.0		
2	0		1.1	2.2	2.8	4.0		
3	0		1.2	2.2	1.8	4.0		
6	0		1.1					
7	0		1.2					
8	0		1.1					
9	0		1.1					
10	0		2.2 (倒车泥水)					
11	0		1.3					
12	0		0.70					
13	0		1.1			4.6		
23	0		0.4		1.3	4.0		
24	0		0.70	1.6 200 (+HCl, 沸)	1.5 18 (+HCl, 沸)	4.0		
1	0 10	1974年 8 月	0.59 0.71	1.5	1.6			
2	0 10		0.64 0.48	1.5	1.6			
3	0 10 20 35		0.68	1.5	1.7		1.2 1.0 1.2 1.2	1.4 1.1 0.70 0.70
4	0 10 20 35		0.71 0.57	2.0	1.6 1.0 1.3 1.4			
5	0 10 20 35		0.64 0.70 0.63 0.54	1.5 2.1 1.9	1.6 1.9 1.6 1.9		1.0 1.2 0.84 0.90	0.90 0.80 0.70 0.70
14	0 29	1975年 4 月	1.1 1.1	1.3 1.9	1.1 1.2			
15	0 43		1.1 1.3	1.3 1.4	1.4 1.2			
16	0 66		1.1 1.0	1.9 1.4	1.4 1.4			

表 1 (续)

站 号	水 深 (米)	采 样 日 期	Zn ($\times 10^{-7}M$)	Pb ($\times 10^{-10}M$)	Cu ($\times 10^{-8}M$)	Cd ($\times 10^{-9}M$)	Sn ($\times 10^{-8}M$)	Bi ($\times 10^{-9}M$)
17	0		1.6	1.9	1.1			
	77		0.85	1.4	0.90			
18	0		1.1	1.5	1.4			
	29		0.80	1.9	1.3			
19	0		1.1	1.5	1.0			
	62		0.90	1.6	1.4			
20	0		0.90	1.9	1.4			
	65		0.85	1.9				
21	0		0.90		1.4			
	67		1.1	1.6	1.2			
14	0	1975年 6 月	0.54	1.5				
	29		0.67	2.0	1.4			
15	0		0.80	1.9	1.5			
	42			2.1	1.0			
16	0		0.60	2.0	1.5			
	69		0.58					
17	0		0.75	2.1	1.4			
	82		0.75	1.5	1.5			
18	0		0.71	2.0				
	26		0.56					
19	0		0.60	2.0				
	66		0.75	1.7				
20	0	1975年 6 月	0.75	2.3				
	69			1.2				
21	0			1.7				
	75		0.72	1.0				
22	0(pH8.0)	1974年 5 月	1.0	2.0	2.0	4.0	1.0	0.91
25	0(pH7.0)	1974年 4 月	0.90	2.0	1.8	5.2		
26	0(pH7.5)		0.65	2.0	1.8	5.2		
27	0(pH7.7)					5.2		
28	0(pH7.9)					2.6		
太平洋 2°38'0N 145°57'5E	0	1975年 5 月				4.0	1.1	0.90
29	0	1976年 6 月	0.70	1.5	1.3			
	20		0.60					
	30		0.80	1.5	2.2			
	55		0.70					

表 1 (续)

站 号	水 深 (米)	采 样 日 期	Zn ($\times 10^{-7}M$)	Pb ($\times 10^{-10}M$)	Cu ($\times 10^{-8}M$)	Cd ($\times 10^{-9}M$)	Sn ($\times 10^{-6}M$)	Bi ($\times 10^{-9}M$)
30	0		0.60	1.3	1.3			
	20		0.70					
	30		1.0	1.5	2.2			
	50		0.70					
31	0		0.60	1.2	1.1			
	10			1.8				
	20		1.1	2.1				
	30		0.90	1.8	2.2			
	60		0.90	1.5				
32	0		0.60	1.3	1.1			
	10			1.5				
	20		0.90	1.6				
	30		0.90	1.5	1.4			
	70		1.0	1.8				
33	0	1976年 6 月	0.60	1.7	1.3			
	10		0.60	1.7	1.7			
	30		0.90	1.6	1.7			
	50		0.80	1.7	1.3			
	95		0.60	2.4	1.3			
29	0	1976年 9 月	1.0	2.0	2.0			
			1.0	1.7	1.9	4.0	1.0	0.80
	10		0.90	1.7	2.0	3.6	0.70	1.2
	30		1.1	2.0	1.6	3.6	0.90	1.5
	55		1.1	1.5	1.2	3.8	0.70	0.80
30	0		0.9	1.7	1.2			
30	0		1.1	1.5	1.8	3.6	1.0	0.80
	10		1.1	1.7	2.4	3.6	1.0	1.2
	20		1.0	1.5		3.8	0.90	0.80
	45		1.1	1.5	1.9	3.6	0.90	1.2
33	0			1.7		4.0	1.1	1.2
	10			2.0	1.1	3.6	0.90	0.80
	50		1.0	1.7	1.2	3.8	0.60	1.5
	90		1.0	1.6	1.2	3.8	0.60	0.80
34	0		0.70	2.0	1.6	3.2	1.0	0.90
			0.80	2.0		4.0		
				2.2				
			1.0	1.3				
	10		1.2	2.0	1.8	4.0	1.1	1.0
	200		1.1	2.0	2.3	3.0	1.2	1.0
				1.7				
	400		1.0	2.0	1.4	4.4	0.80	0.70
				2.0		4.0		
				2.0				

道的方法比较结果存在很大的误差^[3,8]。如,同一样品测铅,反向极谱为 50、180、190、200 毫微克/千克,脉冲极谱为 9、29,原子吸收光度为 138、358、359 及 48、54、54、74,同位素稀释法为 36→45、80→47。从而,可以认为,文献中所报道的,世界海洋海水中微量元素分布数据的参差不一,并不一定标志出真实状况。特别是,不同方法所测元素的形态,常有所不同。

可以得出结论,从太平洋中部(表层)到中国近海,所测某些微量元素的离子(和不稳定络合物)的分布,是比较均匀的,仅为中值的 $\pm 20-30\%$ 的浓度波动(为分析误差的 2—3 倍),也并不表现有什么规律性。可靠的水样处理及单池示差反向极谱测定方法,有力地支持了这个结论。

参 考 文 献

- [1] 顾宏堪,刘明星,1973. 单池示差反向极谱。分析化学, 1: 15—22。
- [2] ———, 1974. 单池示差反向极谱法在天然海水分析中的应用。I. 天然海水中锌、铅、铜的测定。II. 天然海水中镉的测定。分析化学, 2 (3): 175—182。
- [3] Carpenter, J. H., 1972. Problems in applications of analytical chemistry to oceanography. In: Analytical Chemistry: Key to Progress On National Problems. Washington. Meinke, pp. 393—419.
- [4] Chan, J. P., Cheung, M. T., and F. T. Li, 1974. Trace metals in Hong Kong Waters. *Marine Pollution Bulletin*, 5(11): 171—174.
- [5] Chester, R. and J. H. Stoner, 1974. The distribution of zinc, nickel, manganese, cadmium, Copper, and iron in some surface waters from the world ocean. *Marine Chemistry*, 2 (1): 17—32.
- [6] Florence, T. M., 1972. Determination of trace metals in marine samples by anodic stripping voltammetry, *Jour. Electroanal. Chem.*, 35: 237—245.
- [7] Lund, W. and M. Salberg, 1975. Anodic stripping voltammetry with the Florence mercury film electrode. Determination of Copper, lead and cadmium in sea water. *Analyt. Chim. Acta*, 76 (1): 131—141.
- [8] NSF Office, 1974. Interlaboratory lead analyses of standardized samples of seawater. *Marine Chemistry*, 2 (1): 69—84.
- [9] Riley, J. P. and D. Taylor, 1972. The concentrations of cadmium, copper, iron, manganese, molybdenum, nickel, vanadium and zinc inn part of the tropical north-east Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research*, 19(4): 307—317.

THE CONCENTRATIONS OF SOME IONS OF TRACE METALS IN CHINA COASTAL WATERS*

Gu Hongkan, Liu Mingxing, Bao Wanyou, Zhang Xingjun, Wang Qi,

Guo Ruxin and Zeng Zhaowen

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Several ions (include unstable complex) of trace metals (Zn, Pb, Cu, Cd, Sn, and Bi) have been determined by single cell differential inverse polarography in China coastal waters. The results indicate that the concentrations of these ions are relatively uniformly distributed in China coastal waters. The variable range is $\pm 20-30\%$ of middle value and no tendency is presented. The concentrations in the river waters are same in the coastal waters.

* Contribution No. 394 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

用同轴型全息摄影对海水中悬浮沉积物 进行观测的初步探讨*

钱正绪 陈开曜 张勇

(中国科学院海洋研究所)

全息术自从激光器发明以来,已经得到广泛的应用,其中的一个重要分支,是用于颗粒的观测与分析,1963年Thompson^[1,2]研究了空气中雾滴的Fraunhofer衍射与背景相干光形成的全息图;1964年制出了第一套激光雾滴分析设备^[3],拍摄与分析了空气中雾滴的粒径分布。由于这种方法能够真实地拍摄雾滴的形成过程,并且不破坏测量的环境,所以要比其它方法可靠,自那时以来已用于原子核物理的云雾室研究^[4]、超微粒子的检测^[5]、冰的结晶过程^[6]以及其他许多有关颗粒分析方面的研究。

这种颗粒观测分析方法,大都是用同轴型Fraunhofer全息术(或称同轴型远场全息术)。由于同轴型全息术对光源的相干性要求低、光路简单、不要求高分辨率的感光片,因而被广泛采用。1969年,Knox曾用于对海洋中浮游生物的研究^[7];1973年,Scripps海洋研究所将Knox的工作用于对海上浮游生物进行现场观察^[8],取得了在自然环境下一一些浮游生物真实情况的资料。用全息术来研究粒径分布、运动状态以及密度等,正在成为全息学应用的一个分支而迅速发展着^[9]。

从原理上讲,全息术能够把颗粒运动的现场状况不受干扰地记录下来,然后方便地、立体地予以再现。这好象是把颗粒运动的真实情形“冻结”起来,然后搬进实验室,让研究人员的眼睛与仪器来观察。由于全息干涉术的发展,被“冻结”的不只是运动着的颗粒的一瞬间的情形,而可以是一段时间内的平均值或两个瞬间的干涉图。所以,颗粒运动状态的本身也被完整地记录下来,使得在一张全息图上能取得颗粒密度、粒径分布、运动速度等许多重要资料。

用同轴型全息摄影的方法来研究海水中悬浮沉积物的运动,将是这方面应用的一个发展。海水中的悬浮沉积物包含有大量的泥沙、有机物颗粒等,需要对它们的含量、粒径分布、速度分布等作出描述,目前这方面的研究还是很不完善的。本文试图解决全息术用于这方面研究的可能性,并提出了初步的分析。由于泥沙是悬浮沉积物中比较大量存在的典型颗粒,所以下面的讨论,都是假定对泥沙颗粒进行的。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第395号。

本文中的脉冲同轴型全息摄影拍摄工作由中山大学物理系光学教研组提供设备,郑顺旋同志指导,郭斯俭同志参加实验工作;再现部分由上海实验生物研究所提供设备,谢世栋同志指导。在工作过程中曾得到复旦大学王兆永、山东海洋学院关福民以及本所范守志、齐孟鹤等同志的指导和帮助。

一、同轴型全息术原理

同轴型全息摄影是 Gabor 于 1948 年首先提出的, 他当时的工作是在被摄物体的近场中进行的, 因此也叫做 Fresnel 全息图, 由于孪生共轭虚象的存在, 使波前的再现质量很差。Thompson 引入了远场同轴型全息图的概念, 它是一个不透明或半透明的衍射孔径 (在这里是被摄颗粒) 在明亮的相干参考背景中, 离开此衍射孔径足够远的距离上所形成的衍射花样与参考光的干涉图, 此图上能看到被摄物体的清楚衍射象, 由于远场的条件, 共轭虚象的影响就可以忽略了。

设被摄颗粒到底片上的距离为 Z , 到照明光源的距离为 Z' , 为满足远场条件, 必须有:

$$Z \gg \frac{(\xi^2 + \eta^2)_{\max}}{\lambda}, \quad Z' \gg \frac{(\xi^2 + \eta^2)_{\max}}{\lambda} \quad (1)$$

其中 $(\xi, \eta)_{\max}$ 为固定在被摄颗粒上粒子座标尺度的最大值, λ 为入射光波波长。当颗粒为球体时 (1) 式的条件也可近似为:

$$Z \geq \frac{d^2}{\lambda}, \quad Z' \geq \frac{d^2}{\lambda} \quad (2)$$

d 为颗粒的直径。

Fraunhofer 同轴全息摄影的拍摄示意图中 (见图 1), 所有的颗粒均满足远场条件 (2), 但整个样品盒 (即参考光的面积) 则仍处于近场中。用 $D(\xi)$ 表示在平行光照射下粒子的截面分布。为讨论方便起见, 假定入射光源为平行光, 但实际上对于非平行光也是完全适用的。单个颗粒在记录平面上的强度分布为^[10]:

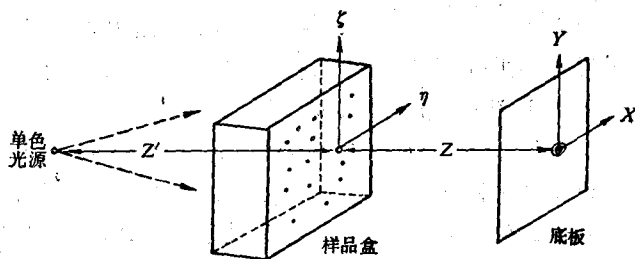


图 1 同轴型全息图拍摄原理

$$I(X, Z) = c^2 - \frac{k|c|}{\pi Z} \sin \frac{kX^2}{2Z} \hat{D}\left(\frac{X}{\lambda Z}\right) + \frac{k^2}{4\pi^2 Z^2} \left[\hat{D}\left(\frac{X}{\lambda Z}\right) \right]^2 \quad (3)$$

式中 $\hat{D}\left(\frac{X}{\lambda Z}\right)$ 是 $D(\xi)$ 的富里埃变换, ξ 为衍射物体上的位置向量, X 为底板上的位置向

量, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, c 为参考光的振幅。

由 (3) 式可见, 强度 $I(X, Z)$ 包含有三项, 第一项是常数项, 第三项是颗粒本身的衍射图, 而第二项则是衍射图与一个与颗粒位置向量 ξ 无关的正弦函数的乘积。表示物体衍射图样与参考背景的相干, 正是这一项, 在相干光源照射下, 能实现波前的再现。

记录底板上的全息图, 如用图 2 所示的单色光源照射, 便能在 Z_1 处再现原来物体的象。此时, 观察到的强度分布 $I(\xi)$ 为^[10]:

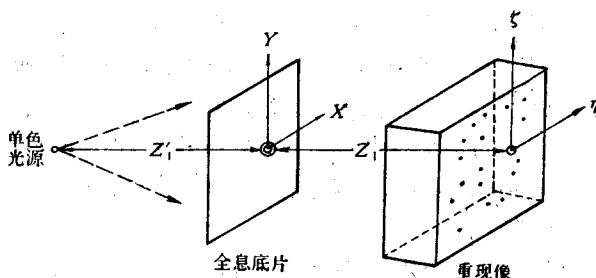


图 2 全息图的重现原理

$$I(\xi) = |c|^4 + \gamma |c|^3 \frac{k^2}{\pi^2 Z^2} D(\xi) \cos \left(\frac{kX^2}{2Z} + \phi \right) + \gamma^2 |c|^2 \frac{k^4}{4\pi^4 Z^2} |D(\xi)|^2 \quad (4)$$

式中 γ 为底片 $H-D$ 曲线的斜率, ϕ 为固定的相位差。(4) 式中间一项表示物体的再现象, 虽然它是 $D(\xi)$ 与一个余弦函数的乘积, 但分析表明 $D(\xi)$ 存在的区间里余弦项保持基本恒定; 在这里虚象产生的效应已经忽略, 因为在远场条件下, 它仅为一小的常数项。

二、应用于泥沙分析的研究

应用 Fraunhofer 同轴型全息摄影的场合, 除必须满足远场条件 (2) 外, 还必须使参考光的强度远大于衍射光的强度。这两个条件, 对于水中泥沙颗粒的观察来说, 是可以满足的。第一个条件是设计要求问题; 第二个条件, 将在下面进行讨论。

参考光的强度必须大于衍射光的强度, 即

$$I = I_R + \Delta I_0 \quad (5)$$

式中 I 为总光强, I_R 为参考光强度, ΔI_0 为物光强度, 这表示 ΔI_0 仅为 I_R 的一个较小的部分。在具体过程上来说, 必须使拍摄空间大部分是透明的, 颗粒所占的总体积必须相当小于拍摄空间的总体积。现在来分析当光通过一定厚度的样品盒后的光强 I_R (即参考光强度) 与单位体积中颗粒密度 n 的关系。

假定水中颗粒的吸收作用可以忽略不计, 并且最细的颗粒直径 d 与波长 λ 之比足够大 ($\rho = \frac{\pi d}{\lambda} > 10$), 设直径为 d 的粒子数为 P_d , 则总粒子数为:

$$n = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} P_d d(d)$$

其中 $d_{\max}$, $d_{\min}$ 表示最大与最小粒径, 为行文方便起见, 下面略去积分的上、下限。

粒子总重量应等于泥沙含量 Q :

$$Q = \frac{\pi}{6} A \int P_d d^3 d(d)$$

其中 A 为泥沙比重, 令 $D = \frac{\frac{\pi}{6} \int P_d d^3 d(d)}{\int P_d d(d)}$ 为平均体积, 则:

或

$$Q = ADn$$

$$n = Q/AD \quad (6)$$

根据 Mie 散射理论, 并假定所有的粒子的散射都是独立的, 则由 n 个不同粒径的粒子所引起的总散射系数为:

$$\alpha = \int P_d \alpha_d d(d) \quad (7)$$

其中 α_d 为直径为 d 的粒子的散射系数, 有:

$$\alpha_d = \frac{\pi}{4} k d^3$$

其中 k 为与 d 有关的系数。代入(7)式得

$$\alpha = \frac{\pi}{4} \int P_d k d^3 d(d)$$

令 $L = \frac{\frac{\pi}{4} \int P_d k d^3 d(d)}{\int P_d d(d)}$ 为平均散射系数, 则

$$\alpha = n \cdot L \quad (8)$$

由此可以求出, 入射光线在经过距离 l 后的透射量为

$$\ln \frac{I_R}{I} = -\alpha l$$

将(8)式代入可得:

$$n = \frac{1}{lL} \ln \frac{I}{I_R} \quad (9)$$

注意到(6)式则有:

$$Q = \frac{DA}{Ll} \ln \frac{I}{I_R} \quad (10)$$

此两式即为由散射理论导出的基本关系式, 根据这些关系式可对具体的情况加以分析。

我国港口、河流、水库中的泥沙含量与粒径分布相差甚大, 这里选几个一般的数据, 作为初步分析的依据, 列表于下:

表 1 泥沙含量参考数据

	泥 沙 含 量	平均粒径	比 重	n 个/厘米 ³
塘沽新港	~4公斤/米 ³ (4×10 ⁻³ 克/厘米 ³)	~5微米	1.17	~5×10 ⁷
营 口 港	~3公斤/米 ³ (3×10 ⁻³ 克/厘米 ³)	~0.1毫米	~2.65	~2×10 ³
官厅水库	~10公斤/米 ³ (1×10 ⁻² 克/厘米 ³)	~0.05毫米	~2.65	~6×10 ⁴

从表 1 的数据看来, 当取 $l = 1$ 厘米时, I_R 光强的变化很大, n 不太大时, 同轴型全息摄影是可以实现的, 但如果 n 很大时, 则应该考虑采取离轴型全息摄影的方法。

要在实地拍摄水中颗粒运动,还必须对允许的运动速度 v 作一估计。根据 Thompson 的理论,在曝光时间 Δt 内,颗粒的位移不能超过其直径 d 的 $1/10$, 即:

$$v \leq \frac{1}{10} \frac{d}{\Delta t}$$

或在 v 已知的条件下确定 Δt :

$$\Delta t \leq \frac{1}{10} \frac{d}{v}$$

现列出一些港口的典型流速如下:

表 2 流速与曝光时间参考数据

塘沽新港	$d = 5$ 微米	$v \leq 50$ 厘米/秒	$\Delta t \leq 10^{-6}$ 秒
营口港	$d = 0.1$ 毫米	$v \leq 2.5$ 米/秒	$\Delta t \leq 4 \times 10^{-6}$ 秒
宣厅水库	$d = 0.05$ 毫米	$v \leq 50$ 厘米/秒	$\Delta t < 10^{-5}$ 秒

如果用调 Q 的脉冲激光器作光源,其 Δt 约为 10^{-6} — 10^{-9} 秒的量级,因而完全可以满足现场的实际需要。

根据上面的讨论,可以认为全息摄影的方法用于水中泥沙运动的研究,从原理上讲是可行的。

三、实 验

试验性拍摄工作是在实验室条件下,用红宝石脉冲激光器进行的。样品盒的体积为 $12 \times 12 \times 5$ 立方厘米,沙样先用分样筛按粒径大小予以分选,共用 $\phi 0.025$ — $\phi 0.5$ 毫米砂样四种,拍摄时将沙样徐徐地倒入盛水的样品盒中,任其自由下落,同时使底板曝光,此时砂样的下降速度约在 1 — 10 毫米/秒范围内,激光器未经调 Q ,其输出宽度为毫秒级,能够保证在曝光时间内粒子的移动小于 $1/10d$ 。具体装置见图 3:

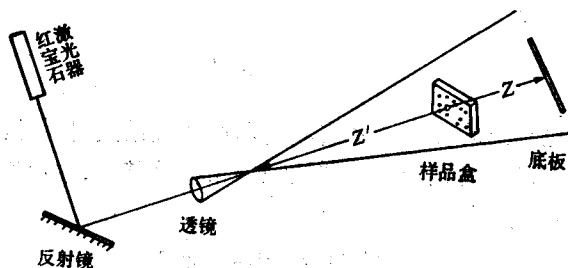


图 3 拍摄实验装置示意图

所用装置参数如下:

红宝石棒	长	140 毫米
	直径	$\phi 12$ 毫米
氙 灯	长	170 毫米
	直径	$\phi 15$ 毫米