

及其生态过程丛书 (6)

胶州湾铜的分布及迁移过程

杨东方 陈 豫◎著

Cu



科学出版社

胶州湾主要污染物及其生态过程丛书

胶州湾铜的分布及迁移过程

杨东方 陈 豫 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从时空变化来研究铜(Cu)在胶州湾水域的分布迁移过程。在空间尺度上,通过每年含量数据分析,从含量的大小、水平分布、垂直分布、区域分布、结构分布角度,揭示Cu的空间迁移规律。在时间尺度上,通过五年的数据探讨,揭示其迁移过程 and 变化趋势。书中还通过比较分析同类物质在水体中的分布迁移过程研究,提出物质含量均匀性理论、环境动态理论、水平损失量理论、水域垂直迁移理论和水域迁移趋势理论等。这些过程、规律和理论不仅为研究Cu在水体中的迁移提供了理论依据,也为其他物质在水体中的分布和迁移研究提供了启迪。

本书适合海洋地质学、物理海洋学、环境学、化学、生物地球化学、海湾生态学和河口生态学的有关科学工作者参考,适合高等院校相关专业师生作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

胶州湾铜的分布及迁移过程/杨东方,陈豫著. —北京:科学出版社,2017.11
(胶州湾主要污染物及其生态过程丛书)

ISBN 978-7-03-055057-6

I. ①胶… II. ①杨… ②陈… III. ①黄海-海湾-铜-重有色金属-污染-研究 IV. ①X55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 266818 号

责任编辑:马 俊 / 责任校对:郑金红

责任印制:张 伟 / 封面设计:刘新新

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 3 月第一次印刷 印张:13 1/4

字数:265 000

定价:108.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

在胶州湾水域，铜有两个来源：地表径流的输入和外海海流的输入。地表径流输入的铜含量为 $2.22\sim 3.56\mu\text{g/L}$ ；外海海流输入的铜含量为 $0.15\sim 5.31\mu\text{g/L}$ 。外海海流输送的铜含量比地表径流输送的铜含量高。在胶州湾水域水质受到铜的轻微污染，这来源于外海海流的输入。

杨东方

摘自 *Research on the sources of Cu in Jiaozhou Bay*.
Advanced Materials Research, 2015, 1092-1093: 1013-1016.

4月和10月，来自外海海流输送的 Cu 含量都为 $0.39\mu\text{g/L}$ 。这表明外海海流输送的 Cu 来自不同的月份，时间相差几乎是半年，可是来自外海海流输送的 Cu 含量却是一致的。这表明在海洋水体中的 Cu 含量并不随着时间在变化，海洋水体中的 Cu 含量的基础本底值是 $0.39\mu\text{g/L}$ 。

杨东方

摘自 *Background level of Cu in Jiaozhou Bay and open sea*.
Advances in Engineering Research, 2016, 84: 852-856.

作者简介



杨东方 1984年毕业于延安大学数学系(学士), 1989年毕业于大连理工大学应用数学研究所(硕士)。研究方向: Lenard 方程唯 n 极限环的充分条件、微分方程在经济管理生物方面的应用。

1999年毕业于中国科学院青岛海洋研究所(博士), 研究方向: 营养盐硅、光和水温对浮游植物生长的影响, 专业为海洋生物学和生态学; 同年在青岛海洋大学, 化学化工学院和环境科学与工程研究院做博士后研究工作。研究方向: 胶州湾浮游植物的生长过程的定量化初步研究。2001年出站后到上海水产大学工作, 主要从事海洋生态学、生物学和数学等学科教学以及海洋生态学和生物地球化学领域的研究。2001年被国家海洋局北海分局监测中心聘为教授级高级工程师, 2002年被青岛海洋局一所聘为研究员。

2004年6月被核心期刊《海洋科学》聘为编委。2005年7月被核心期刊《海岸工程》聘为编委。2006年2月被核心期刊《山地学报》聘为编委。2006年11月被温州医学院聘为教授。2007年11月被中国科学院生态环境研究中心聘为研究员。2008年4月被浙江海洋学院聘为教授。2009年8月被中国地理学会聘为环境变化专业委员会委员。2009年11月,《中国期刊高被引指数》总结了2008年度学科高被引作者: 海洋学(总被引频次/被引文章数) 杨东方(12/5) (www.ebiotrade.com)。2010年, 山东卫视台对《胶州湾浮游植物的生态变化过程与地球生态系统的补充机制》和《海湾生态学》给予了书评(新书天天荐, 齐鲁网视频中心)。2010年获得浙江省高等学校科研成果奖三等奖(第1名), 成果名“浮游植物的生态与地球生态系统的机制”。2011年12月, 被核心期刊《林业世界》聘为编委。2011年12月, 被新成立的浙江海洋学院生物地球化学研究所聘为该所所长。2012年11月, 被国家海洋局闽东海洋环境监测中心站聘为项目办主任。2013年3月, 被陕西理工学院聘为汉江学者。2013年11月, 被贵州民族大学聘为教授。2014年10月, 被中国海洋学会聘为军事海洋学专业委员会委员。2015年11月, 被陕西国际商贸学院聘为教授。2016年8月, 被西京学院聘为教授。曾参加了国际 GLOBEC(全球海洋生态系统研究) 研究计划中由十八个国家和地区联合进行的南海考察(海上历时三个月), 以及国际 LOICZ(沿岸带陆海

相互作用研究) 研究计划中在黄海东海的考察及国际 JGOFS (全球海洋通量联合研究) 研究计划中在黄海东海的考察。多次参加了青岛胶州湾, 烟台近海的海上调查及获取数据工作。参加了胶州湾等水域的生态系统动态过程和持续发展等课题的研究。

发表第一作者的论文 266 篇, 第一作者的专著和编著 67 部, 授权第一作者的专利 17 项; 其他名次论文 48 篇。2017 年 1 月 27 日, 第一作者的论文 58 篇, 一共被引用次数: 950 次。目前, 正在进行西南喀斯特地区、胶州湾、浮山湾和长江口及浙江近岸水域的生态、环境、经济、生物地球化学过程的研究。

作者发表的本书主要相关文章

- [1] Yang Dongfang, Miao Zhenqing, Song Wenpeng, et al. Research on the sources of Cu in Jiaozhou Bay. *Advanced Materials Research*, 2015, 1092-1093: 1013-1016.
- [2] Yang Dongfang, Miao Zhenqing, Cui Wenlin, et al. Input and transfer processes of Cu in bay waters. *Advances in Intelligent Systems Research*, 2015: 17-20.
- [3] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Zhu Sixi, et al. A research on the vertical transfer process of Cu in Jiaozhou Bay. *Advances in Engineering Research*, 2015, 31: 1284-1287.
- [4] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wu Yunjie, et al. Aggregation, divergence and homogeneity of Cu in Marine bay bottom waters. *Advances in Engineering Research*, 2015, 31: 1288-1291.
- [5] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Zhu Sixi, et al. Environmental conditions of Jiaozhou Bay in 1980. *Materials Engineering and Information Technology Application*, 2015: 554-557.
- [6] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Zhao Xiaoli, et al. Environmental conditions of Jiaozhou Bay, 1981. *Advances in Engineering Research*, 2015, 40: 770-775.
- [7] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, et al. The impact of marine current to Cu contents in Jiaozhou Bay. *Advances in Computer Science Research*, 2015: 1765-1769.
- [8] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, et al. The good water quality on Cu in Jiaozhou Bay waters. *Advances in Engineering Research*, 2016, 60: 408-411.
- [9] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Ming, et al. Different sources and high sedimentation rate regions of Cu in Jiaozhou Bay. *Advances in Engineering Research*, 2016, 67: 1311-1314.
- [10] Yang Dongfang, Yang Danfeng, Wang Ming, et al. Sedimentation process and high sedimentation rate position of Cu in Jiaozhou Bay. *Advances in Engineering Research*, 2016, Part G: 1917-1920.
- [11] Yang Dongfang, Yang Danfeng, He Huazhong, et al. Background level of Cu in Jiaozhou Bay and open sea. *Advances in Engineering Research*, 2016, 84: 852-856.
- [12] Yang Dongfang, He Huazhong, Wang Fengyou, et al. High Cu sedimentation locations in Jiaozhou Bay. *Advances in Materials Science, Energy Technology and Environmental Engineering*, 2017: 291-294.
- [13] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Yang Danfeng, et al. Vertical distribution of Cu in waters in the bay mouth of Jiaozhou Bay. *Computer Life*, 2016, 4(6): 579-584.
- [14] Yang Dongfang, Yang Danfeng, Tao Xiuzhen, et al. Natural background value of Cu in Jiaozhou Bay. *World Scientific Research Journal*, 2016, 2(2): 69-73.

前 言

随着工农业的发展，重金属铜(Cu)在许多领域都得到广泛应用。铜的种类主要有红铜、黄铜、白铜、青铜。红铜具有很好的导电性和导热性，塑性极好，易于热压和冷压的加工，大量用于制造电线、电缆、电刷、电火花专用电蚀铜等要求导电性良好的产品。黄铜具有美观的黄色，常用来制作弹壳。白铜的特点是机械性能和耐蚀性好，色泽美观，广泛用于制造精密机械、化工机械和船舶构件。青铜具有各种各样的应用，如锡青铜的铸造性能、减摩性能和机械性能好，适合于制造轴承、蜗轮、齿轮等；铅青铜是现代发动机和磨床广泛使用的轴承材料；铝青铜强度高，耐磨性和耐蚀性好，用于铸造高载荷的齿轮、轴套、船用螺旋桨等。铜产品已遍及到工业、农业、国防、交通运输和人们日常生活的各个领域，在日常生活中处处都离不开铜的产品。

人们在生产和冶炼含铜产品的过程中，向陆地和海洋大量排放，使得土壤、地表、河流等地方都有 Cu 的残留。Cu 以各种不同的化学产品和污染物形式存在。地面水和地下水都将 Cu 的残留汇集到河流中，最后迁移到海洋水体中。

在自然界中，Cu 是一种存在于地壳和海洋中的金属。Cu 在地壳中的含量约为 0.01%，在个别铜矿中，Cu 含量可以达到 3%~5%。自然界中的 Cu，多数存在于铜矿石中，铜矿有三种形式：自然矿、硫化矿、氧化矿。铜矿石经过风的侵蚀和水的冲刷，Cu 就被带到了海洋水体中。

Cu 经过陆地迁移过程和水域迁移过程进入海洋。Cu 绝大部分经过重力沉降、生物沉降、化学作用等迅速由水相转入固相，最终转入沉积物中。从春季 5 月开始，海洋生物大量繁殖，数量迅速增加，到夏季 8 月，形成了高峰值，且由于浮游生物的繁殖活动，悬浮颗粒物表面形成胶体，此时的吸附力最强，吸附了大量的 Cu，大量的 Cu 随着悬浮颗粒物迅速沉降到海底。这样，在春季、夏季和秋季，Cu 输入到海洋，颗粒物质和生物体将 Cu 从表层带到底层。因此，Cu 由外海海流的输送、河流的输送、近岸岛尖端的输送、大气沉降的输送、地表径流的输送和船舶码头的输送，进入海洋水体，并在水体效应的作用下，最终进入海底的沉积物中。

随着各国的经济迅猛发展，铜锌矿的开采和冶炼、金属加工、机械制造、钢铁生产和电镀工业等行业在蒸蒸日上。在这个过程中，造成了 Cu 在工业废水中存在，也在人类经常使用的产品中存在。Cu 是生命所必需的微量元素，但过量的

Cu 对人、其他动物和植物都有害。铜在土壤和农作物中累积,会造成农作物,尤其是水稻和大麦生长不良,污染粮食籽粒。铜对水生生物的毒性很大,在海岸和港湾曾发生 Cu 污染引起牡蛎肉被污染变绿的事件。

Cu 是我们日常生活中不可缺失的重要元素,由于长期的大量使用,又因为 Cu 化合物化学性质稳定,不易分解,长期残留于环境中,这对环境和人类健康产生持久性的毒害作用。因此,研究水体中 Cu 的迁移规律,对了解 Cu 对环境造成持久性的污染有着非常重要的意义。本书揭示了 Cu 在水体中的迁移规律、迁移过程和变化趋势及形成的理论,为其他同类物质的研究提供了一定的理论借鉴,也为消除 Cu 等在环境中的残留以及治理 Cu 等各种物质的环境污染提供了理论参考。

本书获得了西京学院学术著作出版基金、贵州民族大学博点建设文库、“喀斯特湿地生态监测研究重点实验室”项目(黔教合 KY 字[2012]003 号)、贵州民族大学引进人才科研项目([2014]02)、土地利用和气候变化对乌江径流的影响研究(黔教合 KY 字[2014] 266 号)、威宁草海浮游植物功能群与环境因子关系(黔科合 LH 字[2014] 7376 号)、“铬胁迫下人工湿地植物多样性对生态系统功能的影响机制研究”(国家自然科学基金项目 31560107)及国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、浮山湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助。

杨东方

2017 年 8 月 7 日

目 录

第 1 章 胶州湾水域铜的水平分布和来源变化	1
1.1 背景	1
1.1.1 胶州湾自然环境	1
1.1.2 数据来源与方法	1
1.2 水平分布	2
1.2.1 含量大小	2
1.2.2 表层水平分布	2
1.3 来源变化过程	4
1.3.1 水质	4
1.3.2 来源变化过程	5
1.4 结论	5
参考文献	5
第 2 章 两种不同类型的铜含量水平损失速度模式	6
2.1 背景	6
2.1.1 胶州湾自然环境	6
2.1.2 数据来源与方法	6
2.2 水平损失速度模型	7
2.2.1 站位的距离	7
2.2.2 来源变化过程	8
2.2.3 水平损失速度模型	8
2.2.4 水平损失速度计算值	8
2.2.5 单位的简化	9
2.3 不同的 Cu 含量模式	9
2.3.1 水平含量的计算	9
2.3.2 水平含量的变化规律	9
2.4 结论	11
参考文献	12
第 3 章 胶州湾水域铜的垂直分布和沉降过程	13
3.1 背景	13

3.1.1	胶州湾自然环境	13
3.1.2	数据来源与方法	13
3.2	分布情况	14
3.2.1	底层水平分布	14
3.2.2	季节分布	15
3.2.3	垂直分布	16
3.3	沉降过程	16
3.3.1	季节变化过程	16
3.3.2	沉降过程	17
3.4	结论	17
	参考文献	18
第4章	外海海流给胶州湾水体输送大量的铜	19
4.1	背景	19
4.1.1	胶州湾自然环境	19
4.1.2	数据来源与方法	19
4.2	水平分布	20
4.2.1	含量大小	20
4.2.2	表层水平分布	20
4.3	来源及输送	23
4.3.1	水质	23
4.3.2	来源及输送	24
4.4	结论	25
	参考文献	25
第5章	胶州湾水域铜的底层分布及均匀性过程	26
5.1	背景	26
5.1.1	胶州湾自然环境	26
5.1.2	数据来源与方法	26
5.2	底层水平分布	27
5.2.1	底层含量大小	27
5.2.2	底层水平分布	27
5.3	均匀性过程	29
5.3.1	水质	29
5.3.2	聚集和发散过程	29
5.3.3	均匀性过程	30

5.4 结论	30
参考文献	30
第 6 章 胶州湾水域铜的垂直分布和迁移过程	32
6.1 背景	32
6.1.1 胶州湾自然环境	32
6.1.2 数据来源与方法	32
6.2 垂直分布	33
6.2.1 表层季节分布	33
6.2.2 底层季节分布	33
6.2.3 表底层水平分布趋势	33
6.2.4 表底层变化范围	34
6.2.5 表底层垂直变化	34
6.3 垂直迁移过程	35
6.3.1 沉降过程	35
6.3.2 季节变化过程	35
6.3.3 空间沉降	36
6.3.4 变化沉降	36
6.3.5 垂直沉降	36
6.3.6 区域沉降	36
6.4 结论	37
参考文献	38
第 7 章 胶州湾水体中铜的水质清洁	39
7.1 背景	39
7.1.1 胶州湾自然环境	39
7.1.2 数据来源与方法	39
7.2 水平分布	40
7.2.1 含量大小	40
7.2.2 表层水平分布	40
7.3 来源及输送	42
7.3.1 水质	42
7.3.2 来源	42
7.4 结论	43
参考文献	43

第 8 章	胶州湾水域铜的不同来源及高沉降率	45
8.1	背景	45
8.1.1	胶州湾自然环境	45
8.1.2	数据来源与方法	45
8.2	底层水平分布	46
8.2.1	底层含量	46
8.2.2	底层水平分布	46
8.3	不同来源及高沉降率地方	47
8.3.1	水质	47
8.3.2	迁移过程	48
8.4	结论	48
	参考文献	48
第 9 章	胶州湾铜的垂直分布及沉降过程	50
9.1	背景	50
9.1.1	胶州湾自然环境	50
9.1.2	数据来源与方法	50
9.2	垂直分布	51
9.2.1	表层季节分布	51
9.2.2	底层季节分布	51
9.2.3	表底层水平分布趋势	51
9.2.4	表底层变化范围	52
9.2.5	表底层垂直变化	52
9.3	时空变化的沉降过程	52
9.3.1	沉降过程	52
9.3.2	季节变化过程	53
9.3.3	空间沉降	53
9.3.4	变化沉降	54
9.3.5	区域沉降	54
9.4	结论	54
	参考文献	55
第 10 章	胶州湾及外海的铜含量基础本底值	56
10.1	背景	56
10.1.1	胶州湾自然环境	56
10.1.2	数据来源与方法	56

10.2 水平分布	57
10.2.1 含量大小	57
10.2.2 表层水平分布	57
10.3 基础本底值	59
10.3.1 水质	59
10.3.2 来源	60
10.3.3 胶州湾及外海的 Cu 含量基础本底值	61
10.4 结论	61
参考文献	62
第 11 章 胶州湾铜的高沉降地方	63
11.1 背景	63
11.1.1 胶州湾自然环境	63
11.1.2 数据来源与方法	63
11.2 底层水平分布	64
11.2.1 底层含量大小	64
11.2.2 底层水平分布	64
11.3 垂直迁移过程	66
11.3.1 水质	66
11.3.2 垂直迁移过程	67
11.4 结论	67
参考文献	68
第 12 章 胶州湾铜的垂直分布规律	69
12.1 背景	69
12.1.1 胶州湾自然环境	69
12.1.2 数据来源与方法	69
12.2 垂直分布	70
12.2.1 表层季节分布	70
12.2.2 底层季节分布	70
12.2.3 表底层水平分布趋势	70
12.2.4 表底层变化范围	71
12.3 垂直迁移过程	71
12.3.1 沉降过程	71
12.3.2 季节变化过程	71
12.3.3 空间沉降	72

12.3.4	变化沉降	72
12.3.5	垂直沉降	73
12.4	结论	73
	参考文献	73
第 13 章	胶州湾水域铜的均匀性变化过程	75
13.1	背景	75
13.1.1	胶州湾自然环境	75
13.1.2	数据来源与方法	75
13.2	水平分布	76
13.2.1	1985 年 4 月	76
13.2.2	1985 年 7 月	77
13.2.3	1985 年 10 月	77
13.3	均匀性变化过程	78
13.3.1	海洋的均匀性	78
13.3.2	不均匀性的分布	79
13.3.3	均匀性的分布	79
13.3.4	均匀性的变化过程	79
13.3.5	物质含量的均匀分布	81
13.4	结论	82
	参考文献	82
第 14 章	胶州湾铜的时空沉降过程	84
14.1	背景	84
14.1.1	胶州湾自然环境	84
14.1.2	数据来源与方法	84
14.2	垂直分布	85
14.2.1	表底层变化范围	85
14.2.2	表底层垂直变化	85
14.3	时空变化的沉降过程	85
14.3.1	区域沉降	85
14.3.2	时间变化的沉降过程	86
14.3.3	空间变化的沉降过程	87
14.4	结论	87
	参考文献	88

第 15 章 胶州湾湾内及湾外的铜含量基础本底值	89
15.1 背景	89
15.1.1 胶州湾自然环境	89
15.1.2 数据来源与方法	89
15.2 水平分布	90
15.2.1 含量大小	90
15.2.2 表层水平分布	90
15.3 基础本底值	91
15.3.1 水质	91
15.3.2 来源	91
15.3.3 湾内及湾外的基础本底值	91
15.4 结论	92
参考文献	92
第 16 章 胶州湾水域铜含量的年份变化	94
16.1 背景	94
16.1.1 胶州湾自然环境	94
16.1.2 数据来源与方法	94
16.2 铜的含量	96
16.2.1 含量大小	96
16.2.2 年份变化	100
16.2.3 季节变化	100
16.3 铜的年份变化	101
16.3.1 水质	101
16.3.2 含量变化	102
16.4 结论	103
参考文献	103
第 17 章 胶州湾水域铜来源变化过程	105
17.1 背景	105
17.1.1 胶州湾自然环境	105
17.1.2 数据来源与方法	106
17.2 水平分布	106
17.2.1 1982 年 6 月、7 月和 10 月水平分布	106
17.2.2 1983 年 5 月、9 月和 10 月水平分布	106
17.2.3 1984 年 7 月、8 月和 10 月水平分布	108

17.2.4	1985 年 4 月、7 月和 10 月水平分布	109
17.2.5	1986 年 4 月水平分布	110
17.3	铜的来源	110
17.3.1	来源的位置	110
17.3.2	来源的范围	113
17.3.3	来源的变化过程	113
17.4	结论	115
	参考文献	116
第 18 章	胶州湾水域铜从来源到水域的迁移过程	117
18.1	背景	117
18.1.1	胶州湾自然环境	117
18.1.2	数据来源与方法	118
18.2	季节分布及输入量	118
18.2.1	季节分布	118
18.2.2	季节的输入量	120
18.3	从来源到水域的迁移过程	121
18.3.1	季节变化	121
18.3.2	陆地迁移过程	122
18.3.3	海洋迁移过程	124
18.4	结论	125
	参考文献	126
第 19 章	胶州湾水域铜的水域沉降过程	128
19.1	背景	128
19.1.1	胶州湾自然环境	128
19.1.2	数据来源与方法	129
19.2	底层分布	129
19.2.1	底层含量大小	129
19.2.2	底层分布	130
19.3	沉降过程	134
19.3.1	月份变化	134
19.3.2	季节变化	135
19.3.3	水域沉降过程	135
19.3.4	水域沉降起因	137
19.4	结论	138