

胶州湾主要污染物及其生态过程丛书 (2)

胶州湾重金属铅的分布、 迁移过程及变化趋势

杨东方 黄 宏 张饮江◎著



科学出版社

胶州湾主要污染物及其生态过程丛书

胶州湾重金属铅的分布、迁移 过程及变化趋势

杨东方 黄 宏 张饮江 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书创新地从时空变化来研究铅在胶州湾水域的分布和迁移过程及变化趋势。在空间尺度上,通过每年铅的数据分析,从含量大小、水平分布、垂直分布和季节分布的角度,研究铅在胶州湾水域的来源、水质、分布以及迁移状况,揭示了铅的时空迁移规律。在时间和空间尺度上,通过 5 年铅的数据探讨,研究铅在胶州湾水域的变化过程,展示了铅的迁移过程 and 变化趋势:①含量的年份变化;②污染源变化过程;③陆地迁移过程;④底层变化过程;⑤高沉降机制;⑥表层、底层的水平分布趋势;⑦水域迁移过程;⑧沉降过程;⑨水域迁移机制;⑩水域迁移模型。这些规律和变化过程为研究铅在水体中的迁移提供了坚实的理论基础,也为其他重金属在水体中的迁移研究给予启迪。本书共分为 22 章。主要内容为铅在胶州湾水域的来源、水质、分布和迁移状况,以及铅的迁移规律、迁移过程 and 变化趋势等。

本书适合海洋地质学、环境学、化学、物理海洋学、生物学、生物地球化学、生态学、海湾生态学和河口生态学的有关科学工作者和相关学科的专家参阅,适合高等院校师生作为教学和科研参考。

图书在版编目(CIP)数据

胶州湾重金属铅的分布、迁移过程及变化趋势/杨东方,黄宏,张饮江著.
—北京:科学出版社,2016.10

(胶洲湾主要污染物及其生态过程丛书)

ISBN 978-7-03-050057-1

I. ①胶… II. ①…杨 ②黄… ③张… III. ①黄海—海湾—铅污染—研究
IV. ①X55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 234110 号

责任编辑:马 俊 孙 青 / 责任校对:张怡君

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

*

2016 年 10 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2016 年 10 月第一次印刷 印张: 13

字数: 262 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



第一著者简介



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、生物学方面的应用。

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。2011年12月被核心期刊《林业世界》聘为编委。2011年12月被浙江海洋学院聘为生物地球化学研究所的所长。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。曾参加了国际 GLOBEC(全球海洋生态系统研究)研究计划中的由18个国家和地区联合进行的南海考察(在海上历时3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。并且多次参加了青岛胶州湾、烟台近海的海上调查及数据获取工作。曾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67部,授权第一作者的专利17项,其他名次论文48篇。根据中国知网数据,2016年5月30日第一作者的论文58篇,一共被引用次数:897次。目前,其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, Su Chang, Gao Zhenhui, et al. Pb distribution and translocation in Jiaozhou Bay. Chin J Oceanol Limnol, 2008, 26(3): 296-299.

[2] Yang Dongfang, Guo Junhui, Zhang Yinjiang, et al. Pb distribution and sources in Jiaozhou Bay, East China. Journal of Water Resource and Protection, 2011, 3(1): 41-49.

[3] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, et al. Distribution and source of plumbum in Jiaozhou Bay waters. Applied Mechanics and Materials, 2014, 651-653:1419-1422.

[4] Yang Dongfang, Geng Xiao, Chen Shengtao, et al. Plumbum sink and transfer process in Jiaozhou Bay. Applied Mechanics and Materials, 2014, 651-653:1216-1219.

[5] Yang Dongfang, Ge Hongguang, Song Fengmin, et al. The variation of the contents of Pb in surface waters in Jiaozhou Bay. Applied Mechanics and Materials, 2014, 651-653:1492-1495.

[6] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, et al. Study on the transport processes of Pb in Jiaozhou Bay. Applied Mechanics and Materials, 2014, 651-653: 1292-1294.

[7] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Yang Xiuqin, et al. Vertical distribution and settling process of Pb in Jiaozhou bay. Advances in Computer Science Research, 2015, 2352: 205-209.

[8] Yang DongFang, Wang Fengyou, Zhu Sixi, et al. Research on a Variety of Sources of Pb in Jiaozhou Bay. 4th International Conference on Energy and Environmental Protection, 2015, 3789-3792.

[9] Yang Dongfang, Yang Danfeng, Zhu Sixi, et al. Pb pollution from land-based sources in adjacent region of Jiaozhou Bay. Advances in Engineering Research, 2015, 629-632.

[10] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Yang Danfeng, et al. Vertical variation and migration of Pb in Jiaozhou Bay waters. Advances in Engineering Research, 2015, 633-636.

[11] Yang Dongfang, Yang Danfeng, Zhu Sixi, et al. The spreading process of Pb in Jiaozhou Bay. Advances in Engineering Research, 2016, Part G: 1921-1926.

[12] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Ming, et al. High sedimentation rate of Pb in the bay mouth of Jiaozhou Bay. International Conference on Civil, Structure,

Environmental Engineering. 2016, 293-297.

[13] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Yang Danfeng, et al. International Conference on Civil, Structure, Environmental Engineering. 2016, 303-307.

[14] Yang Dongfang, Qu Xiancheng, Chen Yu, et al. Annual change of Pb contents in Jiaozhou Bay during 1979-1983. 2016. (accepted)

[15] Yang Dongfang, Chen Yu, Fang Shubo, et al. Seasonal variations of Pb contents and pollution levels in Jiaozhou Bay in the early stage of reform and opening-up. 2016. (accepted)

[16] Yang Dongfang, Yang Danfeng, Zhang Yinjiang, et al. Seasonal variations of Pb sources in Jiaozhou Bay during 1979-1983. 2016. (accepted)

[17] Yang Dongfang, Zhang Yinjiang, Qu Xiancheng, et al. Spatial-temporal variations of Pb sources in Jiaozhou Bay during 1979-1983. 2016. (accepted)

前 言

铅是柔软和延展性强的金属，在工业、农业和日常生活中都离不开铅产品，可用于建筑、颜料、炮弹、焊接物料、钓鱼用具、渔业用具、运动器材等，也可用作耐硫酸腐蚀、保险丝、防射线、蓄电池、电缆、铅字排版等材料。因此，含铅产品已遍及到工业、农业、国防、交通运输和人们日常生活的各个领域。

金属铅在工业化、农业化的高速发展过程中得到广泛的应用，大部分重金属铅都用于制造蓄电池，一块蓄电池，就需用到大量的铅。飞机、汽车、拖拉机、坦克、电瓶车等都需要照明光源，都是用蓄电池作为电源，甚至许多备用电源、移动电源和孤立电源等都需要蓄电池。因此，铅的使用量与日俱增，铅是当今社会不可替代的必需品。

在生产和冶炼铅的过程中，向大气、陆地和大海排放大量的铅。同时，含铅产品在使用过程中，随时都在向环境释放铅。因此，在空气、土壤、地表、河流等任何地方都有铅的残留量，而且，以各种不同的化学产品和污染物质形式存在。经过各种运载工具将铅的残留量汇集到河流中、大气中、土壤中和海洋中，最后铅都迁移到海洋的水体中。例如，1979~1983年，胶州湾水域 Pb 含量有多个来源，主要来自外海海流的输送、河流的输送、近岸岛的输送、大气沉降的输送、地表径流的输送和船舶码头的输送。

随着工农业的迅猛发展，在世界各个国家，都长期地、广泛地和大量地使用含 Pb 的产品。在生产、制造和使用这些产品的过程中，造成了环境中含有大量的 Pb，如陆地、海洋和大气中都有 Pb 含量的污染。由于 Pb 及其化合物属于剧毒物质，给人类带来了许多疾病，如铅血病等，导致人的死亡。然而，Pb 在我们日常生活中是不可缺失的重要物质，由于长期的大量使用，又因为 Pb 的化学性质稳定，不易分解，长期残留于环境中，对环境和人类健康产生持久性的毒害作用。本书揭示了 Pb 在水体中的迁移规律、迁移过程 and 变化趋势等，为 Pb 等重金属的研究提供了坚实的理论基础，也为消除 Pb 等重金属在环境中的残留以及治理 Pb 等重金属的环境污染提供理论依据。

本书获得温州市公益性科技计划项目 (S20140014)、温州市水体污染控制与治理科技创新项目 (S20140039)、温州医科大学引进人才科研启动基金项目 (QTJ14045)、贵州民族大学博士点建设文库、“贵州喀斯特湿地资源及特征研究” (TZJF-2011 年-44 号) 项目、“喀斯特湿地生态监测研究重点实验室” (黔教合 KY

字[2012] 003 号)项目、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-12-0659)项目、“西南喀斯特地区人工湿地植物形态与生理的响应机制研究”(黔省专合字[2012]71 号)项目、“复合垂直流人工湿地处理医药工业废水的关键技术研究”(筑科合同[2012205]号)项目、“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)项目、水面污染智能监控系统的研发(TZJF-2011 年-46 号)项目、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)以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)的共同资助下完成。

在书中,有许多方法、规律、过程、机制和原理,它们要反复应用,解决不同的实际问题和阐述不同的现象和过程。于是,许多相同的段落或内容重复出现。同时,有些段落作为不同的条件,来推出不同的结果;有些段落来自于结果,又作为条件来推出新的结果,这样,又会出现有些段落的重复。如果只能第一次用,以后不再用,这样在以后的解决和说明中就不完善,无法有充分的依据来证明结论,而且方法、规律、过程、机制和原理就变得无关紧要了。同时,在书中,每一章都是独立地解决一个问题,也许其中有些段落与其他章节中有重复但如果将重复部分删除,内容显得苍白无力、层次错乱。因此,从作者角度尽可能地保证每章内容的逻辑性、条理性、独立性、完整性和系统性。

作者通过胶州湾水域的研究(2001~2015 年)得到以下主要结果。

(1)根据重金属 Pb 的含量大小、水平分布、垂直分布和季节分布,研究发现,胶州湾 Pb 的污染源来自湾东部,靠近码头和青岛市区,主要集中在船舱水和生活污水的排放。胶州湾春季表层水域 Pb 含量较高,通过 Pb 的沉降过程,水体表层 Pb 浓度变低,而底层保持稳定范围,整个胶州湾水域清洁,几乎没有受到 Pb 的污染。这揭示了 Pb 含量的污染比较轻。从空间尺度上,仅仅到了水域的表层,没有到达底层。从时间尺度上,从春季的 Pb 为高含量,降低到秋季的低含量。展示了 Pb 含量的沉降过程。

(2)根据重金属 Pb 的表层、底层水平分布、垂直分布和季节变化以及污染源,研究发现,在胶州湾内,几乎没有受到 Pb 的污染。在胶州湾的湾口和湾外,受到 Pb 的轻微污染。表明了 Pb 含量的来源是来自于外海的海流输送。通过胶州湾水域 Pb 的表层、底层水平分布、垂直分布和季节变化证实了水体 Pb 的迁移过程: Pb 从海水表层进入水体,又从海水底层离开水体。

(3)通过胶州湾水域 Pb 的含量大小、表底层的水平分布以及污染源的研究,揭示了胶州湾水域 Pb 的污染源主要来自胶州湾的近岸径流输送、大气沉降和降水

的输送、近岸岛尖端的输送、河流的输送。

(4) 根据胶州湾水域 Pb 的底层水平分布、垂直分布和季节变化,展示了在整个胶州湾水体中, Pb 含量的沉降汇是在胶州湾的湾口底层水域,而且,在此水域,提高了水体中 Pb 含量浓度。

(5) 研究表明,胶州湾水域 Pb 的垂直分布和季节变化证实了水体 Pb 的迁移过程:随着时空的变化,水体中 Pb 含量在不断降低,表明 Pb 从海水表层进入水体,又离开水体到达海水底层。

(6) 根据胶州湾水域 Pb 的含量大小、表底层的水平分布以及污染源的分布,研究发现, Pb 的高含量区出现在许多不同区域:胶州湾东北部水域、胶州湾东部的近岸水域、胶州湾的湾口水域,以及胶州湾湾外的东部近岸水域。这展示了胶州湾水体的 Pb 污染具有广泛的来源、多种多样的途径,这些来源和途径中的 Pb 含量是较高的。

(7) 根据 Pb 在胶州湾水域的含量大小、年份变化和季节变化,展示了 1979~1983 年,在早期的春季、秋季,胶州湾没有受到 Pb 含量的任何污染,而到了晚期的春季、秋季,胶州湾受到 Pb 含量的轻度污染;在夏季,1979~1983 年,一直保持着胶州湾受到 Pb 含量的轻度污染。

(8) 根据 Pb 在胶州湾水域的水平分布和污染源变化。确定了在胶州湾水域 Pb 污染源的位置、变化过程 and 变化特征:人类长期地向地球排放 Pb 含量,造成了海洋长期的轻度污染,造成了河流从无污染到轻度污染。人类向地球排放大量的 Pb,造成了近岸岛尖端、大气沉降和地表径流同时出现轻度污染。船舶不断的增加也给地球带来了 Pb 含量,造成了水体从无污染到轻度污染。

(9) 根据胶州湾水域 Pb 的季节变化,作者认为,在时空变化过程中,人类向环境排放的 Pb 含量变化决定了海洋水域的 Pb 含量变化,也决定了在不同季节的 Pb 含量的高峰值和低谷值。

(10) 通过 1979~1983 年,在胶州湾水体中 Pb 含量的季节变化,作者提出了 Pb 的陆地迁移过程: Pb 含量从人类社会到海洋生态系统的迁移过程。并且建立了模型框图,展示了:人类向环境排放 Pb 含量的大小和频率决定海洋水域的 Pb 含量,而且,在海洋内部,高含量 Pb 向低含量 Pb 流动。

(11) 根据 1979~1983 年胶州湾水域 Pb 的底层含量变化,研究发现,在胶州湾的底层水体中,4~11 月,7 月,没有受到 Pb 含量的污染;8 月,受到 Pb 含量的中度污染;其余每个月水质都受到 Pb 的轻度污染。

(12) 研究发现,1980~1981 年,在胶州湾的底层水体中,在 4~6 月和 9~11 月,水质使 Pb 含量的轻度污染自然恢复到无污染程度,在 8 月,初期几年中 Pb 含量中度污染可以恢复到无污染程度,而后来几年 Pb 含量的中度污染无法恢

复到无污染程度,只能恢复到轻度污染。这表明人类不仅给海洋的表面带来 Pb 含量的污染,而且经过了垂直水体的效应作用,给海底也带来了 Pb 含量的污染。

(13) 根据 1979~1983 年胶州湾底层水体中, Pb 含量底层分布特征,作者提出了在胶州湾的湾口底层水域, Pb 的含量具有三种水平分布。而且认为这三种水平分布形成了 Pb 的高含量区。

(14) 根据 1979~1983 年胶州湾水域 Pb 含量在底层的水平分布,作者提出了 Pb 含量的高沉降机制:在湾口水域,展示了 Pb 含量高沉降的叠加,造成了湾口底层水域成为 Pb 的高含量区。

(15) 根据 1979~1983 年胶州湾水域 Pb 含量在表层、底层的水平分布,作者提出了 Pb 的水域迁移过程, Pb 的水域迁移过程有三个阶段:从污染源把 Pb 输出到胶州湾水域、把 Pb 输入到胶州湾水域的表层、Pb 从表层沉降到底层。

(16) 通过 Pb 含量的表层、底层水平分布趋势,揭示了 Pb 含量在湾口水域的输出和输入的迁移过程,而且 Pb 含量经过了不断沉降,在海底具有累积作用。研究发现,由于 Pb 含量来源不同,展示了 Pb 含量在表层、底层的水平分布趋势的不同。这些特征揭示了 Pb 的水域迁移过程。

(17) 研究发现,1979~1983 年,在胶州湾表层、底层水体中, Pb 含量变化展示了随时间的变化 Pb 含量表层变化对于其底层变化的影响过程。作者提出了 Pb 含量变化的三种类型:①高峰型;②滞后型;③叠加型。

(18) 研究发现,1979~1983 年,在胶州湾表层、底层水体中, Pb 含量垂直变化展示了随时间的变化 Pb 含量在表底层的垂直迁移轨迹过程。作者提出了 Pb 含量在表底层的水域迁移机制。

(19) 根据 1979~1983 年胶州湾水域 Pb 含量在表层、底层的垂直分布,作者提出了 Pb 含量的水域沉降过程, Pb 含量的水域沉降过程出现三个阶段: Pb 含量输入到胶州湾水域的表层、Pb 含量从表层沉降到底层、Pb 含量离开了底层进入了沉积掩埋。

(20) 通过 1979~1983 年在胶州湾水域的 Pb 含量在表层、底层的变化。作者提出了 Pb 含量在表底层的水域迁移模型,并用模型框图来确定了 Pb 含量表层、底层的变化过程,展示了 Pb 含量经过的路径和留下的轨迹。

(21) 从含量大小、水平分布、垂直分布和季节分布的角度,在空间尺度上,阐明了 Pb 在胶州湾海域的来源、水质、分布以及迁移状况等许多迁移规律;在时间尺度上,展示了 Pb 在胶州湾水域的变化过程和变化趋势。据此,提出了 2 个变化趋势、5 个变化过程、2 个机制和 1 个模型,总结了:①含量的年份变化;①污染源变化过程,②陆地迁移过程,③水域迁移过程,④沉降过程。这些规律和变化过程为研究 Pb 在水体中的迁移奠定了基础。

有关这方面的研究还在进行中，本书仅为阶段性成果的总结，欠妥之处在所难免，恳请读者多多指正。希望读者站在作者的肩膀上，使祖国海洋环境学研究、世界海洋环境学研究以及地球环境学研究有飞跃发展，作者甚感欣慰。

在各位同仁和老师的鼓励和帮助下，本书得以出版。作者铭感在心，谨致衷心感谢。

杨东方

2016年3月16日

目 录

前言

第 1 章 胶州湾水域重金属铅的分布及迁移	1
1.1 背景	1
1.1.1 胶州湾自然环境	1
1.1.2 材料与方法	2
1.2 铅的分布	2
1.2.1 水平分布	2
1.2.2 垂直分布	4
1.2.3 季节分布	5
1.3 铅的污染源	6
1.3.1 污染源与水质状况	6
1.3.2 季节变化与迁移过程	6
1.3.3 铅污染的发展趋势	7
1.4 结论	7
参考文献	8
第 2 章 胶州湾水域重金属铅的分布及来源	9
2.1 背景	9
2.1.1 胶州湾自然环境	9
2.1.2 数据来源与方法	9
2.2 铅的含量	11
2.2.1 含量大小	11
2.2.2 水平分布	11
2.2.3 垂直分布	14
2.2.4 季节变化	17
2.3 铅的来源	17
2.3.1 水质	17
2.3.2 污染源	18
2.3.3 季节变化过程	18

2.3.4 迁移过程	18
2.4 结论	19
参考文献	19
第3章 胶州湾铅的高含量区和输入源	21
3.1 背景	21
3.1.1 胶州湾自然环境	21
3.1.2 材料和方法	21
3.2 铅的分布	23
3.2.1 含量大小	23
3.2.2 表层水平分布	23
3.3 铅的高含量区	26
3.3.1 水质	26
3.3.2 污染源	26
3.4 结论	26
参考文献	27
第4章 胶州湾铅的沉降汇和迁移过程	28
4.1 背景	28
4.1.1 胶州湾自然环境	28
4.1.2 材料和方法	28
4.2 铅的分布	30
4.2.1 底层水平分布	30
4.2.2 垂直分布	32
4.2.3 季节变化	32
4.3 铅的沉降汇和迁移过程	33
4.3.1 沉降汇	33
4.3.2 季节变化过程	33
4.3.3 迁移过程	34
4.4 结论	34
参考文献	34
第5章 胶州湾铅的含量变化	36
5.1 背景	36
5.1.1 胶州湾自然环境	36
5.1.2 材料和方法	36

5.2 铅的分布	37
5.2.1 含量大小	37
5.2.2 表层水平分布	38
5.3 铅的含量变化	40
5.3.1 水质	40
5.3.2 污染源	41
5.4 结论	41
参考文献	41
第 6 章 胶州湾铅的输送过程	42
6.1 背景	42
6.1.1 胶州湾自然环境	42
6.1.2 材料和方法	42
6.2 铅的分布	43
6.2.1 底层水平分布	43
6.2.2 垂直分布	43
6.2.3 季节变化	46
6.3 铅的输送过程	46
6.3.1 季节变化过程	46
6.3.2 迁移过程	47
6.4 结论	48
参考文献	48
第 7 章 胶州湾铅含量的多种污染源	49
7.1 背景	49
7.1.1 胶州湾自然环境	49
7.1.2 材料和方法	49
7.2 铅的分布	50
7.2.1 含量大小	50
7.2.2 表层水平分布	51
7.3 铅含量的多种污染源	53
7.3.1 水质	53
7.3.2 污染源	54
7.4 结论	54
参考文献	55

第 8 章 胶州湾铅的垂直分布及沉降	56
8.1 背景	56
8.1.1 胶州湾自然环境	56
8.1.2 材料和方法	57
8.2 铅的分布	57
8.2.1 底层水平分布	57
8.2.2 垂直分布	59
8.2.3 季节变化	60
8.3 铅的垂直分布及沉降	61
8.3.1 垂直的迁移	61
8.3.2 水体的沉降过程	61
8.4 结论	62
参考文献	62
第 9 章 胶州湾周围陆地上的铅污染	64
9.1 背景	64
9.1.1 胶州湾自然环境	64
9.1.2 材料和方法	64
9.2 铅的分布	65
9.2.1 含量大小	65
9.2.2 表层水平分布	66
9.3 周围陆地上的铅污染	67
9.3.1 水质	67
9.3.2 污染源	68
9.4 结论	69
参考文献	69
第 10 章 胶州湾底层水域铅的高沉降率	70
10.1 背景	70
10.1.1 胶州湾自然环境	70
10.1.2 材料和方法	70
10.2 铅的分布	71
10.2.1 底层含量大小	71
10.2.2 底层水平分布	72
10.3 铅的高沉降率	73

10.3.1 水质	73
10.3.2 迁移过程	73
10.4 结论	73
参考文献	74
第 11 章 铅含量在胶州湾水体的垂直迁移变化	75
11.1 背景	75
11.1.1 胶州湾自然环境	75
11.1.2 材料和方法	75
11.2 铅的分布	76
11.2.1 表层季节分布	76
11.2.2 底层季节分布	76
11.2.3 表底层水平分布趋势	77
11.2.4 表底层变化范围	77
11.2.5 表底层垂直变化	77
11.3 铅的垂直迁移变化	78
11.3.1 沉降过程	78
11.3.2 季节变化过程	78
11.3.3 空间沉降	78
11.3.4 变化沉降	79
11.3.5 垂直沉降	79
11.3.6 区域沉降	79
11.4 结论	80
参考文献	81
第 12 章 胶州湾铅点源扩展到海湾的内外水域	82
12.1 背景	82
12.1.1 胶州湾自然环境	82
12.1.2 材料和方法	82
12.2 铅的分布	83
12.2.1 含量大小	83
12.2.2 表层水平分布	84
12.3 铅点源扩展到海湾的内外水域	86
12.3.1 水质	86
12.3.2 污染源	87

12.3.3	空间扩展	88
12.3.4	陆地地表污染	89
12.4	结论	89
	参考文献	89
第 13 章	胶州湾底层水域的铅高含量区	91
13.1	背景	91
13.1.1	胶州湾自然环境	91
13.1.2	材料和方法	91
13.2	铅的分布	92
13.2.1	底层含量大小	92
13.2.2	底层水平分布	93
13.3	铅的高含量区	94
13.3.1	水质	94
13.3.2	迁移过程	95
13.4	结论	96
	参考文献	96
第 14 章	胶州湾铅含量的垂直迁移及高沉降过程	97
14.1	背景	97
14.1.1	胶州湾自然环境	97
14.1.2	材料和方法	97
14.2	铅的分布	98
14.2.1	表层季节分布	98
14.2.2	底层季节分布	98
14.2.3	表底层水平分布趋势	99
14.2.4	表底层变化范围	99
14.2.5	表底层垂直变化	99
14.3	铅的垂直迁移及高沉降过程	100
14.3.1	沉降过程	100
14.3.2	季节变化过程	100
14.3.3	空间沉降	101
14.3.4	变化沉降	101
14.3.5	垂直沉降	101
14.3.6	区域沉降	102