

胶州湾主要污染物及其生态过程丛书(4)

胶州湾重金属铬的分布、 迁移过程及变化趋势

杨东方 王凤友 朱四喜◎著



胶州湾



科学出版社

胶州湾主要污染物及其生态过程丛书

胶州湾重金属铬的分布、迁移 过程及变化趋势

杨东方 王凤友 朱四喜 著



科学出版社

内 容 简 介

本书创新地从时空变化来研究铬(Cr)在胶州湾水域的分布和迁移过程。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、季节分布、区域分布、结构分布和趋势分布角度,研究铬在胶州湾水域的来源、分布及迁移状况,揭示其含量的时空迁移规律。在时间尺度上,通过四年的数据探讨,研究铬在胶州湾水域的变化过程,揭示了其迁移过程和变化趋势:①含量的年份变化;②污染源变化过程;③陆地迁移过程;④沉降过程;⑤水域迁移趋势过程;⑥水域垂直迁移过程。在时间和空间尺度上,通过HCH、PHC、Hg、Pb和Cr在水体中的迁移过程研究,提出了:物质含量的均匀性理论、环境动态理论、水平损失量理论、水域迁移趋势理论和水域垂直迁移理论。展示了物质在水体中的动态迁移过程所形成的理论。这些规律、过程和理论不仅为研究铬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迁移研究给予了启迪。

本书适合海洋学、环境学、化学、生物学、生态学,特别是海湾生态学和河口生态学的科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

胶州湾重金属铬的分布、迁移过程及变化趋势/杨东方,王凤友,朱四喜著. —北京:科学出版社,2017.3

(胶州湾主要污染物及其生态过程丛书)

ISBN 978-7-03-052248-1

I. ①胶… II. ①杨… ②王… ③朱… III. ①黄海—海湾—铬—重金属—污染—研究 IV. ①X55

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第050646号

责任编辑:马俊孙青 / 责任校对:李影

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>

北京科印技术咨询服务公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年3月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017年8月第二次印刷 印张:11 1/2

字数:227 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

胶州湾水域的 Cr 主要来自河流的输送, 在不同月份和不同河流情况下, 河流向胶州湾水域输送的 Cr 的含量是相近的。在一年中, 河流的输送是胶州湾水域 Cr 的唯一来源, 而且, 河流向胶州湾水域输送的 Cr 的含量是持续且稳定的。

杨东方

摘自 *The stable and continuous source of Cr in Jiaozhou Bay*,
Advances in Engineering research, 2015, 1383-1387.

在一个水体中, 当有 Cr 的输入, 在水体中就出现了 Cr 含量的分布是不均匀的; 在一个水体中, 当没有 Cr 的输入, 在水体中就出现了 Cr 含量的分布是均匀的。随着时间变化, 水体中的 Cr 的含量经历了由不均匀到均匀的变化过程。这揭示了海洋的潮汐和海流的作用, 使海洋具有均匀性特征。因此, 作者提出了“物质在水体中的均匀性变化过程”, 即海洋使一切物质都在水体中趋于均匀, 并使一切物质在水体中向均匀性的趋势进行扩散运动。

杨东方

摘自 *Uniformity changing process of Cr in waters in marine bay*.
Advances in Engineering Research, 2016, 83: 1358-1361.

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所长。2012年11月被国家海洋局东海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。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,2017年1月27日第一作者的论文58篇,一共被引用次数为950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] 杨东方, 高振会, 孙静亚, 等. 胶州湾水域重金属铬的分布及迁移. 海岸工程, 2008, 27(4): 48-53.

[2] Yang Dongfang, Wang Fengyou, He Huazhong, et al. Study on the vertical distribution of Cr in Jiaozhou Bay. Applied Mechanics and Materials, 2014, 675-677: 329-331.

[3] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, et al. The distribution and content of Chromium in Jiaozhou Bay. Applied Mechanics and Materials, 2014, 644-650: 5325-5328.

[4] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, et al. Study on the source of Cr in Jiaozhou Bay. 2014 IEEE workshop on advanced research and technology industry applications. Part D, 2014: 1018-1020.

[5] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Sun Zhaohui, et al. Aggregation process of Cr in bottom waters in Jiaozhou Bay. Advances in Engineering research, 2015, 1375-1378.

[6] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Yang Xiuqin, et al. The stable and continuous source of Cr in Jiaozhou Bay. Advances in Engineering research, 2015, 1383-1387.

[7] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Sun Zhaohui, et al. Vertical distribution and settling pool of Chromium in the bay mouth of Jiaozhou Bay. Materials Engineering and Information Technology Application, 2015, 562-564.

[8] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Zhu Sixi, et al. River as the major source of Cr in Jiaozhou Bay waters. Advances in Engineering Research, 2016, 83: 1341-1344

[9] Yang Dongfang, Zhu Sixi, Wang Fengyou, et al. Uniformity changing process of Cr in waters in marine bay. Advances in Engineering Research, 2016, 83: 1358-1361.

[10] Yang Dongfang, Yang Danfeng, Zhu Sixi, et al. Environmental dynamic value of substance in marine bay, 2015.(accepted)

[11] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Zhu Sixi, et al. Diffusion process and distribution of Cr the bottom layer in Jiaozhou Bay waters, 2015.(accepted)

[12] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Yang Xiuqin, et al. Vertical distribution and sedimentation of Cr in Jiaozhou bay. International Core Journal of Engineering, 2016, 2(10): 14-17

[13] Yang Dongfang, Wang Fengyou, Zhu Sixi, et al. Horizontal loss velocity model of substance content in marine bay. Advances in Engineering Research, 2016, 107: 304-308.

前 言

中国的工业高速发展，处于世界领先地位，城镇化也在强力而快速推进，使老百姓摆脱了贫困，过上了幸福生活。然而在发展过程中，也带来了环境污染。1979 年以来，中国工业迅速发展，重金属，如铬（Cr）大量消费。2006 年，全世界铬及其化合物生产能力为 130 万 t，中国的生产能力为 40 万 t，占世界的 30.8%。中国已成为世界上最大铬盐生产和消费国之一。重金属生产和消费在工业的发展中具有不可替代的作用，在宏观经济发展中占有举足轻重的地位。

铬是一种微带天蓝色的银白色金属，有很强的钝化性能，在大气中很快钝化，具有较强的耐腐蚀性，而且在碱、硝酸、硫化物、碳酸盐以及有机酸等腐蚀介质中也非常稳定。于是，铬被广泛应用于冶金、化工、铸铁、耐火及高精尖科技领域，用于制造不锈钢、汽车零件、磁带和录像带等。铬已遍及工业、农业、国防、交通运输和人们日常生活的各个领域，人类活动处处都离不开铬及其产品，铬是我们日常生活不可缺失的重要化学元素。

在生产和冶炼过程中，铬被向大气、陆地和大海排放，排放途径如下：①含铬废水排放，如铬盐厂洗涤用水和蒸发冷凝水排放等；②含铬废气排放，如回转窑尾气、铬酸酐生产废气排放等；③含铬的废渣排放，铬产品生产厂家的渣滓堆放经过雨雪淋浸，产生铬渗出水。通过这些途径，铬及其化合物在生产过程中产生的含铬废水、废气和废渣，以及这些含铬废弃物所含的六价铬就会被溶出，通过水输送，进入河流、湖泊和海洋或其他地方，造成污染。由此认为，任何地方都可能存在铬残留，以各种不同的化学产品和污染物形式存在，通过地表径流和河流，输送到海洋，形成沉降，然后储存在海底。

世界各国，尤其是发达国家的发展，都经过了工农业的迅猛发展期和城市化的不断扩张。这个过程造成了铬在工业废水和生活污水中的存在，也在人类经常使用的产品中存在。但铬及其化合物属于剧毒物质，给人类带来了许多疾病，引起人类和动物受疾病折磨，甚至导致死亡。

铬存在三种价态：零价、三价和六价。对身体有害的是六价铬，它极易溶于水，易摄入并损害内脏，造成慢性中毒，影响生长发育，严重的还会导致肾衰竭，甚至癌变。另外，零价和三价铬在高温、碱性等条件下能转化为六价铬，被溶出渗入环境中，产生危害。

锅具是家庭常用厨具，经常与食物在高温条件下长时间接触，如果锅含有电

镀的铬,就含有六价铬。如果锅含有零价和三价铬,在高温、碱性条件下,也能转化为六价铬。六价铬会溶出渗入食物,造成长期慢性中毒。2016年9月20日,《京华时报》报道:“广州南沙出入境检验检疫局昨天通报,该局日前从韩国进口的炒锅、煎锅和汤锅等食品接触产品中检出重金属铬和蒸发残渣超标。依据《中华人民共和国商品检验法实施条例》的有关规定,检验检疫部门对该批不合格货物实施退运处理。该批原产地为韩国的食品接触产品共8900件,有8种型号。经检测,抽取样品中有6种型号产品不合格,样品不合格率为75%,不合格内容为重金属铬和蒸发残渣超出限量值,其中30cm炒锅的铬含量为0.101mg/L,超出限量值[$\leq 0.01\text{mg/L}$ (4%乙酸,煮沸0.5h,室温24h)]10倍;24cm深汤锅蒸发残渣含量为18.3mg/L,超出限量值[$\leq 6\text{mg/}$ (4%乙酸,煮沸0.5h,室温24h)]3倍”。铬在生物体内累积,通过食物链传递对人类和生态系统都有潜在的危害,因此,研究水体中铬的迁移规律有着非常重要的意义。本书揭示了铬在胶州湾水体中的迁移规律、过程和变化趋势及形成规律等,为铬等污染物的研究提供了理论基础,也为消除其他重金属污染物在环境中的残留提供了科学研究参考。

本书获得“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)、西京学院的出版基金、贵州民族大学博点建设文库、“贵州喀斯特湿地资源及特征研究”项目(TZJF-2011年-44号)、“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)、教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12-0659)、“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”项目(黔省专合字[2012]71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项目(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项目(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”项目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项目(05EMC16)的资助。

另外,要特别说明的是,图书每一章都独立解决一个问题,也许其中有些段落与其他章节存在重复,但这样的编写方式,是符合读者阅读的需求的。读者在阅读所需某部分内容时,就能获得较为全面系统的观感,而不需要前后来回翻阅。

有关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。希望读者能和作者一道,使祖国海洋环境学研究有所发展,作者即会甚感欣慰。在各位同仁和老师的鼓励和帮助下,此书得以出版。作者铭感在心,谨致衷心感谢!

杨东方

2016年3月7日

目 录

前言	
概述.....	1
第 1 章 胶州湾水域重金属铬的河流来源.....	5
1.1 背景.....	5
1.1.1 胶州湾自然环境.....	5
1.1.2 数据来源与方法.....	5
1.2 铬的分布.....	6
1.2.1 含量大小.....	6
1.2.2 表层水平分布.....	7
1.3 铬的河流来源.....	8
1.3.1 水质.....	8
1.3.2 来源.....	9
1.4 结论.....	9
参考文献.....	10
第 2 章 胶州湾水域铬的均匀性变化过程.....	11
2.1 背景.....	11
2.1.1 胶州湾自然环境.....	11
2.1.2 数据来源与方法.....	11
2.2 铬的分布.....	13
2.2.1 表层水平分布.....	13
2.2.2 含量的高值.....	14
2.3 铬的均匀性变化过程.....	14
2.3.1 铬含量的均匀性.....	14
2.3.2 空间的均匀性分布.....	14
2.3.3 时间的均匀性变化.....	15
2.3.4 物质含量的均匀分布.....	15
2.4 结论.....	16
参考文献.....	16
第 3 章 物质含量的环境动态值的定义及结构模型.....	18
3.1 背景.....	18

3.1.1	胶州湾自然环境	18
3.1.2	数据来源与方法	18
3.2	铬的分布	19
3.2.1	表层含量大小	19
3.2.2	来源	19
3.2.3	含量的高值	20
3.2.4	空间的均匀性分布	20
3.2.5	环境本底值的结构	20
3.3	环境动态值的定义及结构模型	21
3.3.1	基础本底值	21
3.3.2	环境本底值	21
3.3.3	环境动态值及其结构	22
3.4	结论	22
	参考文献	23
第4章	胶州湾水域铬含量的底层分布及发散过程	24
4.1	背景	24
4.1.1	胶州湾自然环境	24
4.1.2	数据来源与方法	24
4.2	铬含量的底层分布	25
4.2.1	底层含量大小	25
4.2.2	底层水平分布	25
4.3	铬含量的发散过程	26
4.3.1	水质	26
4.3.2	发散过程	27
4.3.3	垂直水体的效应作用	27
4.4	结论	27
	参考文献	28
第5章	胶州湾底层水域的垂直分布及沉降区域	29
5.1	背景	29
5.1.1	胶州湾自然环境	29
5.1.2	数据来源与方法	29
5.2	铬的垂直分布	30
5.2.1	表底层水平分布趋势	30
5.2.2	表底层变化范围	30

5.2.3 表底层垂直变化.....	31
5.3 铬的沉降区域.....	31
5.3.1 沉降过程.....	31
5.3.2 变化的一致性.....	31
5.3.3 高沉降的区域.....	32
5.4 结论.....	32
参考文献.....	32
第6章 物质含量的水平损失速度模型的建立及应用.....	34
6.1 背景.....	34
6.1.1 胶州湾自然环境.....	34
6.1.2 数据来源与方法.....	34
6.2 水平损失速度模型的建立.....	35
6.2.1 站位的距离.....	35
6.2.2 表层水平分布.....	36
6.2.3 水平损失速度模型.....	37
6.3 水平损失速度模型的应用.....	37
6.3.1 水平损失速度的计算值.....	37
6.3.2 单位的简化.....	38
6.3.3 水平含量的变化.....	38
6.4 结论.....	38
参考文献.....	39
第7章 胶州湾及周边水域都未受铬含量污染.....	41
7.1 背景.....	41
7.1.1 胶州湾自然环境.....	41
7.1.2 数据来源与方法.....	41
7.2 铬的分布.....	42
7.2.1 含量大小.....	42
7.2.2 表层水平分布.....	43
7.3 铬的未污染.....	44
7.3.1 水质.....	44
7.3.2 来源.....	45
7.4 结论.....	46
参考文献.....	46

第 8 章 胶州湾底层水域铬含量的时空变化	47
8.1 背景	47
8.1.1 胶州湾自然环境	47
8.1.2 数据来源与方法	47
8.2 铬的水平分布	48
8.2.1 含量大小	48
8.2.2 水平分布	49
8.3 铬的时空变化	50
8.3.1 水质	50
8.3.2 沉降过程	51
8.4 结论	52
参考文献	52
第 9 章 来源及地形地貌决定铬含量的沉降区域	53
9.1 背景	53
9.1.1 胶州湾自然环境	53
9.1.2 数据来源与方法	53
9.2 铬的垂直分布	54
9.2.1 表底层变化范围	54
9.2.2 表底层水平分布趋势	54
9.2.3 表底层垂直变化	55
9.3 铬的沉降区域	55
9.3.1 沉降过程	55
9.3.2 变化的一致性	55
9.3.3 高沉降的区域	56
9.4 结论	56
参考文献	57
第 10 章 胶州湾水域重金属铬的分布及来源	58
10.1 背景	58
10.1.1 胶州湾自然环境	58
10.1.2 数据来源与方法	58
10.2 铬的分布	59
10.2.1 含量大小	59
10.2.2 表层水平分布	60
10.3 铬的来源	62

10.3.1 水质	62
10.3.2 来源	63
10.4 结论	63
参考文献	63
第 11 章 胶州湾水域重金属铬的垂直变化过程	64
11.1 背景	64
11.1.1 胶州湾自然环境	64
11.1.2 数据来源与方法	64
11.2 铬的分布	65
11.2.1 底层水平分布	65
11.2.2 季节分布	65
11.2.3 垂直分布	67
11.3 铬的垂直变化过程	68
11.3.1 季节变化过程	68
11.3.2 迁移过程	69
11.4 结论	69
参考文献	70
第 12 章 胶州湾水域铬的稳定且持续的唯一来源	71
12.1 背景	71
12.1.1 胶州湾自然环境	71
12.1.2 数据来源与方法	71
12.2 铬的水平分布	72
12.2.1 含量大小	72
12.2.2 表层水平分布	72
12.3 铬的唯一来源	75
12.3.1 水质	75
12.3.2 来源	75
12.4 结论	76
参考文献	76
第 13 章 胶州湾水域铬的底层分布及聚集过程	77
13.1 背景	77
13.1.1 胶州湾自然环境	77
13.1.2 数据来源与方法	77
13.2 铬的底层分布	78

13.2.1	底层含量大小	78
13.2.2	底层水平分布	78
13.3	铬的聚集过程	81
13.3.1	水质	81
13.3.2	聚集过程	81
13.4	结论	81
	参考文献	82
第 14 章	胶州湾水域铬的垂直分布及沉降过程	83
14.1	背景	83
14.1.1	胶州湾自然环境	83
14.1.2	数据来源与方法	83
14.2	铬的垂直分布	84
14.2.1	表层季节分布	84
14.2.2	底层季节分布	84
14.2.3	表底层水平分布趋势	85
14.2.4	表底层变化范围	85
14.2.5	表底层垂直变化	85
14.3	铬的沉降过程	86
14.3.1	季节变化过程	86
14.3.2	沉降过程	86
14.4	结论	88
	参考文献	88
第 15 章	胶州湾水域铬含量的年份变化	90
15.1	背景	90
15.1.1	胶州湾自然环境	90
15.1.2	数据来源与方法	90
15.2	铬的含量	93
15.2.1	含量大小	93
15.2.2	年份变化	95
15.2.3	季节变化	95
15.3	铬的年份变化	96
15.3.1	水质	96
15.3.2	含量变化	96
15.4	结论	97
	参考文献	98

第 16 章 胶州湾水域铬污染源变化过程	99
16.1 背景	99
16.1.1 胶州湾自然环境	99
16.1.2 数据来源与方法	99
16.2 铬的水平分布	100
16.2.1 1979 年 5 月和 8 月水平分布	100
16.2.2 1981 年 4 月和 8 月水平分布	100
16.2.3 1982 年 6 月水平分布	101
16.2.4 1983 年 5 月、9 月和 10 月水平分布	102
16.3 铬的污染源	104
16.3.1 污染源的位置	104
16.3.2 污染源的范围	104
16.3.3 污染源的类型	104
16.3.4 污染源的变化特征	105
16.3.5 污染源的变化过程	106
16.3.6 水体的物质变化过程	106
16.4 结论	108
参考文献	108
第 17 章 胶州湾水域铬的陆地迁移过程	110
17.1 背景	110
17.1.1 胶州湾自然环境	110
17.1.2 数据来源与方法	110
17.2 铬的季节分布	111
17.2.1 1979 年季节分布	111
17.2.2 1981 年季节分布	111
17.2.3 1982 年季节分布	112
17.2.4 1983 年季节分布	112
17.2.5 月降水量变化	112
17.2.6 高含量的季节	113
17.3 铬的陆地迁移	114
17.3.1 使用量	114
17.3.2 河流输送	114
17.3.3 陆地迁移过程	115
17.4 结论	117

参考文献	117
第 18 章 胶州湾水域铬的水域沉降过程	119
18.1 背景	119
18.1.1 胶州湾自然环境	119
18.1.2 数据来源与方法	120
18.2 铬的底层分布	120
18.2.1 底层含量大小	120
18.2.2 底层分布	122
18.3 铬的沉降过程	125
18.3.1 月份变化	125
18.3.2 季节变化	127
18.3.3 水域沉降过程	127
18.4 结论	128
参考文献	129
第 19 章 胶州湾水域铬的迁移趋势与过程	130
19.1 背景	130
19.1.1 胶州湾自然环境	130
19.1.2 数据来源与方法	130
19.2 铬的水平分布趋势	131
19.2.1 1979 年	131
19.2.2 1981 年	132
19.2.3 1982 年	132
19.2.4 1983 年	133
19.3 水域迁移的趋势过程	133
19.3.1 来源	133
19.3.2 水域迁移过程	134
19.3.3 水域迁移的趋势过程	135
19.3.4 水域迁移趋势的模型框图	135
19.4 结论	136
参考文献	137
第 20 章 胶州湾水域铬的水域垂直迁移过程	138
20.1 背景	138
20.1.1 胶州湾自然环境	138

20.1.2 数据来源与方法	138
20.2 铬的垂直分布	139
20.2.1 1979 年	139
20.2.2 1981 年	140
20.2.3 1982 年	141
20.2.4 1983 年	142
20.3 铬的水域垂直迁移过程	143
20.3.1 来源	143
20.3.2 水域的沉降量和累积量	143
20.3.3 水域迁移过程	144
20.3.4 水域迁移模型框图	146
20.3.5 水域垂直迁移的特征	146
20.4 结论	146
参考文献	147
第 21 章 胶州湾水域铬迁移的规律和过程及形成的理论	149
21.1 背景	150
21.1.1 胶州湾自然环境	150
21.1.2 数据来源与方法	151
21.2 铬的研究结果	151
21.2.1 1979 年研究结果	151
21.2.2 1981 年研究结果	153
21.2.3 1982 年研究结果	154
21.2.4 1983 年研究结果	154
21.3 铬的产生消亡过程	155
21.3.1 含量的年份变化	155
21.3.2 污染源变化过程	155
21.3.3 陆地迁移过程	156
21.3.4 沉降过程	156
21.3.5 水域迁移趋势过程	157
21.3.6 水域垂直迁移过程	157
21.4 铬的迁移规律	158
21.4.1 铬含量的空间迁移	158
21.4.2 铬含量的时间迁移	159