



# 中国海岸污染过程研究

泥质潮间带重金属本底构建及污染过程解析

陈勇 著

新华出版社

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.2 国内外研究现状

1.3 研究内容与技术路线

1.4 本章小结

第 2 章 研究区概况

2.1 研究区地理位置

2.2 研究区自然地理环境

2.3 研究区社会经济概况

# 中国海岸污染过程研究

## 泥质潮间带重金属本底构建及污染过程解析

陈 勇 著

新 华 出 版 社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国海岸污染过程研究：泥质潮间带重金属本底构建及污染过程解析 / 陈勇著. -- 北京：新华出版社，2019.8

ISBN 978-7-5166-4830-8

I. ①中… II. ①陈… III. ①海岸工程—海洋环境—环境污染—污染控制—研究—中国 IV. ①X21  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 181765 号

## 中国海岸污染过程研究——泥质潮间带重金属本底构建及污染过程解析

作 者：陈 勇

责任编辑：徐文贤

封面设计：贝壳学术

出版发行：新华出版社

地 址：北京石景山区京原路 8 号 邮 编：100040

网 址：<http://www.xinhupub.com>

经 销：新华书店、新华出版社天猫旗舰店、京东旗舰店及各大网店

购书热线：010-63077122

中国新闻书店购书热线：010-63072012

照 排：贝壳学术

印 刷：天津雅泽印刷有限公司

成品尺寸：170mm×240mm 1/16

印 张：10

字 数：14 万字

版 次：2019 年 11 月第一版

印 次：2019 年 11 月第一次印刷

书 号：ISBN 978-7-5166-4830-8

定 价：55.00 元

版权专有，侵权必究。如有质量问题，请与出版社联系调换：010-63077101

## | 作者简介 |

**陈勇**，现就职于自然资源部第一海洋研究所，主要从事海岛海岸带环境演变及其规划应用研究。主持全国海岛集成研究等项目 15 项，先后获得海洋科学技术二等奖、海洋工程技术二等奖、山东省优秀城乡规划设计一等奖、海洋优秀图书奖等奖励。

本书系统研究了我国泥质潮间带沉积物物源特征，并构建了相应的环境本底。全书共分8章，包括研究区域概况、样品采集与分析方法、潮间带沉积物粒度特征分析、常微量元素的分布特征、典型区域潮间带沉积物的环境背景值构建、典型区域潮间带沉积物的重金属污染及人类活动响应、结论、潮间带沉积物污染的防治性建议等，内容上依托大量样品和数据，为我国潮间带沉积物溯源和环境质量解析提供了科学依据。

本书可供相关领域教师、研究人员、学生参考，对此领域感兴趣的读者也值得阅读。

# | 目 录 |

引言	1
第一节 研究背景及意义	1
第二节 研究现状	2
第三节 研究内容及技术路线	11
第一章 研究区域概况	14
第一节 区位概况	14
第二节 区域气候特征	18
第三节 区域地质特征	19
第四节 主要入海河流	20
第五节 开发利用及污染现状	21
第二章 样品采集与分析方法	26
第一节 样品采集	26
第二节 实验室分析方法	27
第三章 潮间带沉积物粒度特征分析	32
第一节 潮间带表层沉积物粒度分布特征	32
第二节 潮间带柱状沉积物粒度分布特征	34
第三节 小结	55

第四章 常微量元素的分布特征 .....	57
第一节 常量元素分布特征 .....	57
第二节 微量元素分布特征 .....	71
第三节 常微量元素地球化学特征指示的环境意义 .....	78
第四节 小结 .....	82
第五章 典型区域潮间带沉积物的环境背景值构建 .....	84
第一节 沉积物重金属元素垂向分布特征 .....	84
第二节 归一化元素的选取 .....	89
第三节 典型区域环境背景构建 .....	90
第四节 小结 .....	96
第六章 典型区域潮间带沉积物的重金属污染及人类活动响应 .....	98
第一节 沉积物重金属污染状况评价 .....	98
第二节 沉积物重金属污染过程与人类活动的响应 .....	109
第三节 小结 .....	122
第七章 关于中国海岸污染过程研究的结论 .....	124
第一节 主要结论 .....	124
第二节 不足和展望 .....	126
第八章 潮间带沉积物污染的防治性建议 .....	127
第一节 建立基于生态系统的海岸带综合管理框架 .....	127
第二节 加强陆地海洋污染防治和环境监管 .....	129
第三节 积极推进陆海统筹发展 .....	132
第四节 建立健全生态文明体制机制 .....	134
参考文献 .....	136

# 引言

## 第一节 研究背景及意义

潮间带是海洋与陆地相互作用的交汇区域,其具有重要的区位、军事、环境、生态与资源价值,是世界各国政府和学者关注的热点区域之一。潮间带作为由陆向海的关键跳板,在我国社会经济发展中发挥着至关重要的作用。同时,作为陆海间的生态屏障,其环境现状又直接关系到人类的生存空间和质量。随着人类活动的加剧,大量污染物通过多种途径被排放到潮间带中,高强度人类活动引起的环境污染已导致潮间带这一地球关键带功能的退化(骆永明,2016)。高强度围填海开发活动、大面积水产养殖和无序的陆源污染物排放,导致潮间带的环境质量日益恶化。城镇化建设不断地向海要空间、要资源,其带来的环境压力90%以上都由潮间带所承载。我国的潮间带正在满负荷运转,急需科研工作者们去诊断、修复。

潮间带沉积物是底栖生物栖息地、鸟类迁徙中转站及陆海物质交换、污染物接纳与自净的重要场所,其质量状况事关海岸带环境安全、生态安全和食品安全。采集和分析潮间带沉积物样品,摸清物源分区,探明环境质量和本底,建立样本库、数据库和信息系系统,可为了解我国潮间带环境自然特征和人类活动影响程度提供基础数据与资料,这些基础数据的掌握,可为国家近岸环境基准与标准制定、环境容量估算、污染源与排放总量控制以及海岸环境管理决策提供重要数据基础,可为潮间带环境保护、海产品安全保障及生物资源可持续利用提

供科学依据。

我国的基础海洋调查工作普遍落后于发达海洋国家，相对于陆地和近海区域，由于潮间带区域不易到达的实际情况，目前潮间带沉积物的溯源和环境本底调查还都处于零星状态，潮间带分布区域的资源、生态、环境质量等难以系统地反映当前的潮间带沉积物环境状况，已严重制约了潮间带的有效保护、环境整治和可持续开发。针对我国锦州湾、胶州湾、杭州湾、长江口、连云港、海南、香港、珠江口等近岸区域沉积物中的重金属含量较高、面临污染的问题（王文雄等，2012；徐向荣等，2013），本次研究结合我国自北向南 12 个研究区域的样品采集与分析，系统研究了我国泥质潮间带沉积物物源特征，并构建相应的环境本底，丰富和验证了我国潮间带沉积物物源分析的方法，建立了不同区域的重金属本底，为全国潮间带沉积物环境本底构建提供了有力补充，为潮间带区域的生态安全和环境安全提供基础数据支撑。

## 第二节 研究现状

### 一、全国性潮间带调查现状

我国先后于 20 世纪 60 年代、80 年代进行了“全国海洋综合普查”和“全国海岸带和海涂资源综合调查”，以及 2003 年国务院批准执行的“我国近海海洋综合调查与评价”（908 专项），在近海海洋生态与环境资源调查方面取得了重要的数据资料。从 1958 年至 1960 年实施全国海洋综合普查，重点侧重于滨海砂矿、水资源、油气资源等方面。20 世纪的 80、90 年代，开展了全国海岸带和海涂资源综合调查，基本查清了北起鸭绿江口、南至北仑河口的海岸带自然环境、资源状况及社会经济状况。2004 年开始，国家海洋局组织实施了“我国近海海洋综合调查与评价专项”（908 专项），系统开展了我国领海基线以内的近海海洋环境调查和评价工作。通过开展多学科综合调查，摸清我国内水、领海等区域的家底。在上述多次全国性涉及潮间带的综合调查中，沉积物环境质量所占的工作比例十分有限，全国潮间带环境本底构建更是无从

谈起。

随着近年来政府对海洋环境问题越来越重视,大量的调查和研究工作得以开展。目前我国已经开展大范围潮间带环境质量的研究,如863项目“渤海典型海岸带生境修复技术研究”,华东师范大学河口实验室对长江口潮间带营养盐和重金属的研究,烟台海岸带研究所对天津渤海湾潮间带多环芳烃和重金属的研究。研究结果显示潮间带沉积物中主要重金属元素的含量高于其相应的环境背景值。但总体而言,相关资料还十分匮乏,空间覆盖范围较小,无法为我国社会发展与环境保护提供系统的数据支撑,不能满足国家发展的战略需求。考虑到沉积物中矿物组分对常微量元素含量的显著影响,因此,对沉积物环境要素的研究首先要建立在弄清楚物源信息的基础上开展。通过对潮间带沉积物环境本底的构建,才能真正弄清楚我国潮间带污染现状和趋势。我国泥质潮间带多分布在粉砂淤泥质海岸,海岸沉积物类型多以粉砂、黏土组分为主(908专项,2011),细粒组分对重金属的吸附效应较强,因此,泥质潮间带是研究重金属本底和污染评价的理想区域。

## 二、基于稀土元素的物源分区研究现状

示踪沉积物物源的方法很多,包括古生物方法、矿物学方法、地球化学方法等。其中元素地球化学法就是利用元素地球化学行为的差异,部分元素在迁移过程中,被等量地转移到碎屑沉积物中,该元素即可作为该碎屑沉积物的物源示踪物[卡勒斯等(Cullers R L et al.),1987;麦克伦南等(McLennan S M et al.),1991;默里(Murray R W),1994]。其中稀土元素(REE)化学性质特殊,因此被广泛应用在物源示踪研究中。

稀土元素在表生环境中的化学性质非常稳定,其组成及分布模式受风化剥蚀、搬运、沉积作用、变质作用、成岩作用等其他营力因素的影响很小,并且不易活化迁移和分馏,能够保存物源区的原岩信息(杨守业和李从先,1999),且稀土元素的各参数变化(如轻重稀土分异度、Ce异常、Eu异常等)基本不受沉积物底质类型的影响,物源是决定它们变化特征的主要控制因素(赵一阳和鄢明才,1994)。但稀土元素的

丰度与沉积物类型密切相关，一般随着粒度越细对应稀土含量升高。因此，稀土组成特征及一些重要参数常被广泛应用于海洋沉积物的物源研究，对理解沉积物的形成过程、恢复沉积环境以及阐明物源区性质具有重要意义（蓝先洪，2006）。

泰勒（Taylor）等对稀土元素的物源示踪意义曾做过详细地描述，而被通称为“泰勒模式”。国内外不少学者成功地应用了稀土元素进行沉积物物源研究。默里（Murray, 1991, 1994）根据燧石中 Ce 异常及 (La/Ce) 大小而区分出陆源、洋中脊来源及远洋物源。蓝先洪等（2002）结合柱状样品稀土分布特征，开展了黄河、长江物源和古气候关系的研究；严杰等（2013）利用稀土元素探讨了鸭绿江径流运输的陆源碎屑物质的分布；李小虎等（2014）对西南印度洋中脊热液区不同热液产物稀土元素进行了分析，探讨了热液产物形成过程及其来源；张晓波等（2014 年）利用稀土元素比较了黄河与周边中小河流对山东半岛南部海域沉积物影响的差异；范德江等（2017 年）发现了渤海中部受现代黄河沉积物影响的稀土元素证据。另外，利用稀土元素对近岸沉积物开展物源分析的研究较为广泛，广大学者先后对广东近岸、福建近岸、青岛近岸、浙闽近岸等区域沉积物开展研究（颜彬等，2012；李波等，2017；刘金庆等，2016；宁泽等，2018）。

另外，标准化配分曲线是稀土元素地球化学特征的综合反映，大量的研究已经建立了沉积物的稀土分布模式，可以用其判断物质来源和恢复环境。目前对沉积物稀土元素配分模式的研究可通过两个途径：一是以球粒陨石为标准进行标准化，由于球粒陨石已被认为是地球的原始物质，因此，球粒陨石标准化能够反映样品相对地球原始物质的分异程度，揭示沉积物源区特征；二是以上陆壳（UCC）、北美页岩（NASC）、澳大利亚后太古代页岩（PAAS）等稀土元素平均值作为研究地壳及全球尺度稀土元素配分特征的参照值进行标准化，了解其沉积过程中的混合、均化的影响和分异程度（杨文光，2012）。

### 三、沉积物重金属背景值构建研究现状

环境背景值是指水体、土壤、岩石、生物等在未受污染和破坏的情况下，各种地质、地球化学作用，如地质构造活动、岩石风化、侵蚀及

水动力作用等自然过程作用的结果，形成了重金属元素的自然丰度和分布状态（鲍永恩，1988）。可以说重金属背景值源自环境背景值的概念。玛茨莱特（Matschullat）等认为，背景值是区别样品中自然存在和人为因子影响元素或组分含量的一种相对测度，并强调不同区域背景值的差异，背景值并不一定等于样品中元素与组分的最低含量。重金属是构成地壳的元素，在地球上的水循环、生物循环和地球化学循环等的作用下，在岩石圈、大气圈、水圈和土壤圈之间迁移循环，广泛分布于土壤、大气、水体和生物中。重金属背景值是研究与评价环境中重金属污染和制定环境质量标准的前提和基础。

许多学者曾用页岩的平均组成或地壳重金属元素的平均丰度作为全球沉积物的比较基准。但这种单一基准忽视了不同地区固有的地球化学特征差异，易导致错误结果的产生。在实际工作中，人们倾向于采用区域背景值。一般认为，成土母质、沉积物类型和理化性质是影响沉积物中重金属背景值的决定性因素，尤其是前两个因素（张新英，1999）。沉积物中各元素的背景值，反映了在没有污染的情况下，通过母质的风化并在成土过程中发生的元素迁移转化，因此成土母质的差异是引起沉积物环境背景值差异的最主要因素。而不同沉积物中金属元素的背景值反映了母质、气候和生物等的共同作用结果。

海底沉积物是海洋环境的基本组成部分，其重金属元素的含量常被作为海洋环境质量的重要指标之一。近年来，对海底沉积物的环境质量评价已经逐渐成为研究热点之一 [比亚·梅纳德（Buat-Menard P）和切斯利（Chesselet R）；高淑英等，1994；龙江平等，2003；陈江麟等，2004；张秀芝等，2006；龚亚玲等，2018]；而在进行沉积物质量和环境生态风险评价时，往往需要把当前重金属含量与沉积物中的背景值（参比值）进行对比，并以此来反映重金属的富集程度或污染程度，进而对其潜在的生态环境风险做出评估。由此可见，海底沉积物中重金属元素背景值的选取和确定，是研究区域海洋环境重金属污染程度和沉积物质量评价的重要前提和依据。

有关我国沉积物重金属元素背景值的确定方法，目前可大体归纳为以下几类：

一是选取世界性标准的沉积页岩（相当于 $<2\ \mu\text{m}$ 的黏土沉积物）中元素的地球化学背景值。这种方法主要是基于德国科学家穆勒

(Müller) 提出的地质累积指数法 (穆勒 (Müller), 1969)。作为一种研究沉积物重金属污染的定量指标, 这种方法已经得到广泛应用; 在实际的应用中, 考虑到各地岩石差异可能会引起背景值的变动, 参比值还可通过一定的系数 ( $k$ ) 进行校正。如余辉等 (2011) 以此为参比值研究了洪泽湖表层沉积物重金属分布特征及其潜在生态风险。考虑到以中国陆壳中地球化学背景值比普通页岩中地球化学背景值更接近研究区实际, 我国有些学者在应用这一方法时, 多同时采用中国陆壳地球化学背景值 (黎彤, 1994) 或区域土壤背景值进行评价。

二是采用全球工业化以前的沉积物重金属最高值为背景。这一背景值由瑞典科学家哈坎森 (Hakanson) 在计算重金属潜在生态风险指数时提出 (哈坎森 (Hakanson), 1980), 该方法已被较多地应用于海洋与河流沉积物中重金属的潜在生态风险评价 (佩基等 (Pekey et al.), 王胜强等, 2005; 霍素霞等, 2011)。董爱国等 (2010) 应用该方法对长江口表层沉积物重金属潜在生态风险进行了评价, 结果表明本区域重金属元素的污染程度排序为:  $As > Cr > Cd > Zn > Cu > Pb$ 。事实上, 由于沉积物背景值的地区差异较明显, 在计算重金属的潜在生态风险指数时也多以当地沉积物或区域土壤重金属背景值作为参比。如李莲芳等 (2007) 在对北京市温榆河沉积物的重金属污染的风险评价时, 同时采用了全球工业化前沉积物中重金属含量的最高值 (哈坎森 (Hakanson), 1980) 和北京市土壤重金属背景值进行参比, 发现不同参比背景值得出的潜在生态风险指数差异明显; 以北京市土壤背景值为基础进行评价, 表现出强至极强的生态风险, 其中 Cd 是生态风险最大的元素, 各种重金属元素的生态风险由强至弱的顺序依次为:  $Cd > As > Cu > Cr > Zn$ 。这里需要指出的是, 尽管在区域规模上, 区域环境背景值是计算污染指数和地质累积程度的重要参考标准 (梅贝克等 (Meybeck et al.), 2004), 用全球平均值代替区域背景值并不十分妥当, 但全球平均值仍被广泛应用, 这正是由于其在全球范围内的参考价值。虽然很难确定元素在环境中的全球统一的背景值, 但可以在自然介质中建立一个可靠的全球性的参考含量, 在全球范围内统一岩性、分析介质和分析方法, 进而确定能在全局范围内进行比较的背景值仍具有重要意义 (张秀芝等, 2006)。

三是选取当地海域环境或全国 (区域) 沉积物、土壤背景值为背

景。沉积物背景值的地区性强，采用不同的背景值对重金属的污染程度和潜在生态危害的评估有较大影响。以当地区域沉积物的重金属背景值或全国沉积物重金属的背景值为参比值，可以相对定量地反映污染程度。如黄家祥（2007）在研究苏北灌河口潮间带沉积物重金属潜在生态风险时，以江苏省滨海土壤的背景值作为评价参考值。何东进（2009）以福鼎红树林周边环境土壤的平均值为背景值，利用富集系数开展了闽东湿地重金属污染特征。孙钦帮等（2015）参照渤海重金属元素背景值评估了辽东湾西部海域表层沉积物重金属元素的污染程度，结果显示 Cu、Pb、Zn 和 Cd 含量平均值均高于渤海重金属背景值。同时，也有部分学者对区域间的背景值进行了比较研究。张志峰（2013）将广西北部湾沉积物背景值、南海陆架区沉积物背景值、南海沉积物背景值和广西土壤背景值进行系统对比，背景值存在差异，与其他三区比较，北部湾沉积物中 Cd 的背景值相对较小，Pb 的背景值相对较大。

四是建立在“清洁样品”的基础上，运用地球化学法或数理统计方法，自行求得沉积物样品的区域环境背景值（张秀芝等，2006）；1. 地球化学法主要是用剖面深部的含量或工业化前的含量作为背景值 [奥德利等 (Audry et al.), 2004; 利亚加提等 (Liaghati, et al.), 2004; 布拉泽等 (Blaser et al.), 2000; 克文·李 (Kwon and Lee), 1998]。这在我国海底沉积物重金属背景值的确定方面也应用。李淑媛等（1994）将渤海中部岩芯深层的重金属均值作为背景值，讨论了渤海重金属的分布和污染，同时，对比由 $^{210}\text{Pb}$ 测定百年前沉积层中重金属含量，两者基本吻合。李建芬等（2010）结合 $^{210}\text{Pb}$ 和 $^{137}\text{Cs}$ 测年结果，定量确定了天津市潮间带沉积物中 11 种重金属元素的环境背景值，发现多数重金属的污染始于 1910 年左右，并在 1954 年之后富集量增加。李红军等（2017）依靠 $^{210}\text{Pb}$ 测年，给出鸭绿江口及邻近海岸沉积物重金属背景值，对比工业化前全球沉积物重金属最高值，存在普遍偏低的现象。2. 另一方面，与地球化学法不同，多元数理统计法需要充分考虑元素的分布形态。在正态分布的情况下，用均值加减 2 倍的标准偏差 ( $M \pm 2\sigma$ ) 表示背景值。但在人类活动影响的情况下，样本一般偏离正态分布，需要应用统计学方法剔除离群样品，主要包括以下几种方法：① $2\sigma$ 法：反复剔除  $M \pm 2\sigma$  区间外的异常值的方法收敛可信区间，直至样品满足

正态分布 (置信度 95%)；②参考元素回归法：选取性质稳定、抗风化能力强的元素作为参考元素，对污染元素进行标准化。对参考元素和微量元素进行线性回归分析，在散点图上，落在 95% 置信区间内的样品代表未受人类污染的样品，之外的样品作为离群值予以剔除 [科韦洛和普雷戈 (Cobelo and Prego), 2003；维诺特等 (Veinott et al.), 2001；萨摩斯等 (Summers et al.), 1996；夏鹏, 2011]，进而得到重金属元素区域环境背景线。此方法通常选取区域内同性质样品开展回归，构建的本底相对其他方法精确，因此本研究也选用此方法开展相关研究。

#### 四、沉积物重金属污染评价及源解析研究现状

污染是沿海地区可持续发展面临的主要挑战之一，在中国河口、海湾和沿海潮间带地区均发生了严重的污染。20 世纪 90 年代以来，伴随我国经济社会持续快速发展，环境问题日益突出。近些年来，海洋环境污染与海洋生态破坏愈加严重，潮间带作为海洋与陆地交互作用的地带，其环境恶化受到严峻挑战。而污染主要来自陆源排放、沿海海水养殖以及其他涉海活动和生产。受强烈人为活动影响，重金属（铅、铬、镉、汞、砷等）、有机污染物（多环芳烃、有机氯农药、多溴联苯醚等）通过陆源输入途径进入潮间带，并在沉积物中富集。这些污染物在环境中极难通过降解消除、能通过洋流和大气进行长距离迁移，进而污染更加广阔的地区。

面对日益加剧的污染，重金属污染作为其中难以处理的污染之一，引起广大学者对沉积物重金属污染评价的研究。部分学者以沉积物中污染物总量为研究对象，该类评价方法主要包括：潜在生态危害指数法、地累积指数法、沉积物质量基准、沉积物质量标准法、污染负荷指数法等。该类方法在数据获取上简单易行，已得到前人的广泛应用。张弛等 (2008) 对杭州湾河口地区南北岸及钱塘江杭州河段 15 个采样点的表层沉积物中重金属含量进行了测定，并用地累积指数法及生态风险指数法对重金属污染程度进行评价，两者结果一致。杜俊涛、陈洪涛等 (2010) 对我国北黄海海域进行调查，并采用单因子指数法和哈坎森 (Hakanson) 潜在生态危害指数法评价了该区域表层沉积物中重金属的污染程度和潜在生态危害。张雷等 (2011) 对环渤海 11 个采样点潮间

带沉积物中重金属含量进行了测定,地累积指数法评价结果显示,Cr、Cu、Zn、As属于清洁级别,Pb处于轻度污染水平,Cd处于偏中度污染;潜在生态危害指数法评价结果表明,重金属对渤海典型海域生态风险构成的危害程度排序为 $Cd > Pb > As > Cu > Zn > Cr$ 。陈康等(2013)对珠江口沿岸水域28个采样站位9种重金属元素的含量与分布进行了研究,并采用海洋沉积物质量标准法结合单因子污染指数法,单元素生态危害因子和多元素潜在生态风险指数评价,地质累积指数法等多种方法对沿岸水域表层沉积物中重金属含量分布及污染进行评价。刘宏伟等(2015)分析了北戴河近岸海域表层沉积物重金属含量和空间分布特征,利用修正综合指数法和潜在生态风险指数法对其污染程度进行了评价。陈惠艳等(2016)通过分析测定渤海湾100个站位表层沉积物中重金属元素的含量,探讨其分布特征及富集状况,并通过地累积指数法和潜在生态危害指数法对渤海湾西部歧口凹陷海域底质环境进行了评价。许艳等(2017)对渤海典型海湾近年来沉积物重金属数据分析,地累积指数法的评价结果显示,沉积物重金属Cd污染属于轻度污染,其余重金属未发生污染。沈芳等(2018)全面分析江苏海岸沉积物重金属空间分布特征,然后运用潜在生态风险指数法和地累积指数法对沉积物中7种重金属进行了污染生态风险评估。上述方法往往忽略的沉积物自身赋存的重金属含量对评价结果的影响。由于沉积物母质在化学组成上存在显著差异,因此单凭金属元素异常的质量分数不能有效地区分、追踪污染物的来源,较高的重金属质量分数并不一定代表受到人类工业污染。

另一类研究方法,以构建沉积物重金属本底为基础,在扣除自然源重金属含量的基础上,再利用上述方法,通过对富集系数、重金属过剩通量等要素的确定,来综合评估区域重金属污染状况。这种方法说明了人为源的存在以及污染的程度。李淑媛等(1995)借助 $^{210}\text{Pb}$ 测年法获得渤海现在沉积速率,重金属沉积通量及各站百年前沉积层中Cu、Pb、Zn、Cd含量,重金属环境背景值采用深水区未受人类活动影响的岩心样作为背景段,按重金属分布类型确定环境背值。范成新等(2002)以太湖宜溧河口下层沉积物作背景样品,用均方根法对沉积物中重金属进行了污染综合指数计算,并根据划分的污染等级对宜溧河水系沉积物污染状况进行了分析和评价。朱伯万等(2006)对

扬中长江漫滩柱状沉积物重金属垂向变化特征分析,求得重金属的背景含量,结果表明长江滩涂沉积物已经呈现明显的污染趋势。何东进等(2009)以现代工业化前正常颗粒沉积物中重金属含量的最高背景值和福鼎红树林湿地周边环境土壤的平均值为参比值,对红树林沉积物中重金属的富集系数和生态危害系数以及各采样点的生态危害指数进行了探讨,并利用潜在生态危害指数法对湿地沉积物中重金属的生态危害进行了评价。甘华阳等(2010)估算出了珠江口沉积物中的重金属背景值,并使用这些背景值通过潜在生态危害指数法对珠江口表层沉积物中的重金属进行了污染评价与分区。代杰瑞等(2011)通过对比区内土壤基准值与背景值的变化,认为人类活动(采金污染、城市化、工业化发展等)和自然地质背景作用是引起山东东部局部土壤重金属富集的重要原因。经过前人不断地应用验证,这类方法越来越引起广大学者的重视。本研究也是在构建重金属本底的基础上,开展污染的相关研究工作。

源解析是识别重金属来源的主要手段,目前沉积物中的来源主要包括自然源、工业源、生物源、有机源等。目前,沉积物重金属源解析手段主要包括:稳定同位素示踪分析和多元统计方法两大类。近年来,基于Pb、Sr等稳定同位素示踪的分析已经在沉积物重金属源解析中得到应用。孙纓泽(2012)总结了土壤典型污染源的铅同位素特征、土壤重金属元素形态对铅同位素组成特征影响,为铅同位素示踪提供参考。于瑞莲等(2018)利用Pb同位素示踪探明厦门近岸海域沉积物主要与土壤母质有关,受人类活动影响较小。多元统计类方法较多,主要包括主成分分析、相关性分析、多元线性一主成分、聚类分析等。学者运用上述方法开展的研究较多。秦延文等(2011)利用相关性分析表明渤海湾表层沉积物中重金属Cd、Pb、Cu、Zn可能具有一定的同源性。源解析是在源确定方面进一步定量化分析,但大量研究通常都是在源未知的情况下开展的,而主成分分析方法就可以在事先不了解源的个数及其特点的情况下开展,因此被广泛应用与源分析。蔡龙炎(2010)基于主成分分析法对泉州湾表层沉积物中重金属污染可能来源进行分析。夏鹏等(2011)通过主成分因子分析发现连云港近岸海域沉积物中Cu、Zn和Cr以自然来源为主,主要赋存于细粒黏土矿物中;Pb、Cd和As除受环境背景贡献外,还受到人为活动排污的明显影响。宋金刚等(2015)