

# 水体沉积物重金属质量基准研究\*

文湘华

(中国科学院生态环境研究中心, 北京, 100085)

## 摘 要

本文阐述了建立沉积物质量标准的意义、用途, 重点介绍了七种建立沉积物质量基准的方法, 以及每种方法的基本假设、程序和优缺点, 并讨论了发展现状和前景。

**关键词:** 重金属, 质量基准, 沉积物, 水体。

## 1. 概述

为保护人类赖以生存的水环境, 许多国家颁布了水质标准, 这些标准在保护水环境质量方面发挥了积极的作用, 然而, 对沉积物特性的研究使人们逐步认识到, 建立沉积物质量标准以补充水质标准之不足的必要性和重要性, 这主要是因为<sup>[1-4]</sup>: 第一, 许多环境影响显著的化合物, 包括有毒重金属和合成有机物在水体中常常是痕量的, 而在沉积物中其浓度高达水中的数百倍乃至数十万倍; 第二, 对于与沉积物直接接触的底栖生物而言, 污染物在沉积物中的浓度与其在水中的浓度相比将是控制生物富集的更恰当参数; 第三, 污染物长期低浓度排放可能满足水质标准, 但如此却导致污染物在沉积物中的高浓度积累, 在一定条件下, 沉积物将从污染物的“汇”变成“源”, 产生二次污染(一是环境条件变化时, 沉积物中的污染物再次释放, 二是沉积物孔隙水中污染物浓度常高于水体浓度, 随水流不断释放入水体); 第四, 水中的污染物在时间和空间上可以有很大的变化, 这给获取具有代表性的样品带来很大困难, 沉积物中的污染物浓度是随时间逐步积累下来的, 在一定程度上避免了取样时的困难, 此外, 对沉积物的研究还可用于追溯污染史, 整体考察水-沉积物体系的自净能力和缓冲能力等。

沉积物质量标准主要用于以下几个方面<sup>[1-3]</sup>: 历史污染区域的分类; 已往排放遗留危害的评估; 海洋中堆放污染物的降解程度和可行性评估; 制定排放负荷限制标准; 评价沉积物质量及潜在影响; 设计和评价管理程序等。

建立沉积物质量标准的重要意义正被人们逐步认识, 国际上近年来有不少学者致力于建立沉积物质量标准的研究工作, 如污染物的形态、分类、毒性及生物可给性; 沉积物的组成、特性; 沉积物界面反应及其与污染物之间的作用机理; 建立沉积物标准的适宜方法及相应的取样程序、生物检测、形态分析及计算机模式计算方法等, 众多的研究工作均在进行之中, 尽管如此, 由于政策及技术等方面问题的复杂性, 建立沉积物标准的研究仍是一个具有挑战性的课题。

\* 国家自然科学基金资助项目

## 2. 建立沉积物质量基准的方法

关于基准和标准的概念, 联合国海洋污染问题联合组提出了如下定义: 基准是“判定和判别有关环境是否适用于预期用途的科学依据”; 标准则是一种法令, 是在基准之上产生的一种带有强制性和约束能力的法律条约。本文主要讨论与基准有关的问题。

已经提出了一些建立沉积物质量基准的方法。美国EPA标准司自1983年起开始推动对这些方法的鉴定和评价<sup>[4]</sup>, 1985年组织从事沉积物研究的各方面专家对这些方法及有关问题进行了讨论。发表的报告<sup>[1,2]</sup>指出, 背景值法、EPA水质参数法、平衡分配法、生物检测法这四种方法近年来得到了较多技术和经济上的支持, 受到管理部门的重视, 可能成为建立科学及可行的沉积物基准的方法。

Chapman<sup>[6]</sup>最近回顾了已有的建立沉积物基准的方法, 认为评价一个方法的优劣应考虑以下几点: (1) 法律和技术上的科学性、完整性; (2) 需要的数据量及目前可提供的数据量; (3) 对大量化学品的广泛适用性; (4) 同时产生数值型和响应型标准的可能性; (5) 对大量生物效应数据的可用性; (6) 通用的可能性及对特定地区的可用性。他将现有的方法分为两大类。第一类包括背景值法、水质参数法和平衡分配法, 称为化学-化学方法, 产生数值型质量基准; 第二类称为化学-化学和化学混合物方法。化学混合物方法提供响应型基准, 主要源于沉积物/底栖生物效应实验。这类方法包括生物检测法、水平筛选法、表观效应阈值法和沉积物质量三合一法。下面分别介绍这些方法。

### 2.1 背景值法 (Background Approach)

背景值法产生的基准是参考一个污染较轻或小于可接受极限的特定区域范围内的测定结果而建立的。这一方法假设: (1) 没有毒性效应、同化能力和界限值; (2) 与沉积物相化学浓度相关的生物效应不受地区间沉积物特性 (如粒度、有机碳含量等) 差别的限制。方法的优点是避免了一些目前仍不能回答的毒性问题, 方法相对简单, 容易获得所需具备的实地资料。在目前与沉积物相关的毒性资料不足的情况下, 一些类型的背景值法是唯一可能应用于建立沉积物基准的方法。但许多类型的背景值法技术尚不完善, 法律上有疑问, 方法未考虑生物效应; 地区性极强, 很大程度上取决于所选择的背景区域的情况, 难于推广; 所产生的基准可能不太现实或过于严格。

### 2.2 EPA水质标准法 (EPA Water Quality Approach)

EPA水质标准法的程序是测定孔隙水中的污染物浓度并与水质标准进行比较, 以确定污染物是否在允许范围之内。方法假定孔隙水是上层水体的延伸, 需要同等程度的保护; 底栖生物与水生生物对污染物的敏感性相同, 底栖生物对污染物的分解不造成污染物释放。因而可将EPA现有的24h平均或最大允许以保护水生生物的水质标准浓度用于沉积物质量基准。方法可利用大量EPA水质标准的基础毒性数据, 只需测定孔隙水中的污染物浓度; 可用于广泛类型的沉积物, 包括金属和有机物。但目前一些金属的水质标准还没有制定出来, 方法未直接应用沉积物的毒性数据; 尚没有统一完善的孔隙水取样方法和分析方法, 因而准确分析孔隙水的污染物浓度很困难。

### 2.3 平衡分配法 (Equilibrium Partitioning Approach)

平衡分配法应用分配系数确定一个沉积物中的污染物浓度, 在平衡时这一浓度值将使其其它环境如水或生物组织中产生可接受的污染物浓度。方法基于这样的假设, 即某个环境相 (如沉积物) 中的污染物浓度由另一个环境相 (如水) 中污染物浓度的连续变化

所控制, 这种生物地球化学变化过程必须足够快速和可逆, 在取样时已达到平衡 (或稳态)。在这样的条件下, 污染物在一个特定库中的浓度是其在另一个库中浓度及适当平衡常数的函数, 这个常数就是生物或非生物库的分配常数、生物浓度参数或聚集参数。

图1<sup>(3)</sup>是平衡分配法的一个简化描述, 如果已知一给定污染物的分配系数, 则测定它在一个环境相中的浓度, 即可计算出它在另一个环境相中的浓度。

### 2.3.1 沉积物-水的分配平衡

确定沉积物中的污染物浓度, 使其保证该污染物在水中的浓度不超过EPA水质标准。

污染物在沉积物及水相中的分配状况一般表达为各种相关污染物浓度 ( $C$ ) 与沉积物表面位浓度 ( $\bar{S}$ ) 相互作用的总和。污染物可能存在  $i$  种类型 ( $C_i$ ), 而沉积物中可能有  $j$  种组分 ( $\bar{S}_j$ ) 能与之结合, 描述分配平衡的表达式为:

$$C_i + \bar{S}_j \rightleftharpoons \bar{C}_i \bar{S}_j \quad (1)$$

$$K_{C_i S_j} = \frac{[\bar{C}_i \bar{S}_j]}{[C_i][\bar{S}_j]} \quad (2)$$

式中,  $[\bar{C}_i \bar{S}_j]$  是污染物  $C_i$  与沉积物  $j$  组分结合位的结合浓度;  $K_{C_i S_j}$  是平衡常数 (固有吸附常数)。结合污染物的总浓度为:

$$[\overline{CS}]_T = \sum_i \sum_j K_{C_i S_j} [C_i][\bar{S}_j] \quad (3)$$

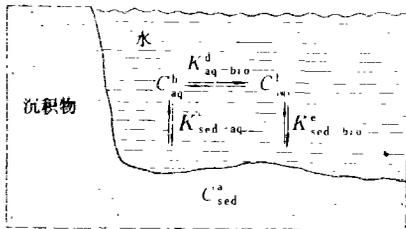


图 1 平衡分配法

a. 沉积物中的浓度, b. 水相中的浓度, c. 沉积物和水相间的分配平衡常数, d. 水相与生物相间的分配平衡常数, e. 沉积物与生物相间的分配平衡常数, f. 生物体中的浓度

Fig.1 Equilibrium partitioning method

取  $[C_i]$  为水质标准 (WQC) 值, 测定  $[\bar{S}_j]$ 。并已知  $K_{C_i S_j}$  时, 沉积物质量基准即可从这个表达式求出。

方法用于建立沉积物质量基准时, 假设: (1) 金属的毒性与孔隙水中金属的活度相关; (2) 沉积物中的金属活性可以用固定常数的溶出和吸附模式计算。应用平衡分配法的优点, 在于可将水质参数中的大量有关生物毒性的资料, 直接用于沉积物质量基准的确定, 只需测定沉积物中的污染物浓度; 考虑了生物可给性问题; 方法的理论基础和

实施操作明确, 容易用实地和实验室研究验证; 可用于不同类型的沉积物, 有可能成为建立国家统一标准的方法。缺点是对EPA水质标准中尚未包括的化合物无能为力; 没有考虑生物从沉积物中直接吸收污染物而产生的影响, 没有直接使用沉积物毒性数据; 报导的分配系数值变化很大, 因而建立的沉积物质量基准的不确定性很高; 尚未建立化学形态测定和毒性效应之间的联系。

### 2.3.2 沉积物-生物分配平衡

确定一个沉积物中的污染物浓度基准, 使其能保证与沉积物形成热力学平衡的生物所承受的污染负荷不超过确定的允许范围。此法也称热力学平衡/生物可给法, 被建议用于建立疏水和有机化合物的沉积物基准。金属、溶解有机物或化合物由于它们与沉积物之间主要靠电荷作用联系, 不符合这样的分配平衡, 不宜用这一方法。

平衡分配法是目前较多学者推荐的一种建立沉积物质量基准的方法<sup>[3,4,7]</sup>,此方法用于金属污染物的沉积物质量基准的研究正在发展之中<sup>[8]</sup>.方法的可用性取决于金属在沉积物上的平衡吸附模式的可靠性及合理的分配系数的获得.目前平衡分配法主要通过两种方式实现.一是假定简单的分配关系,利用广泛的现场测定数据,计算分配系数,从而确定沉积物质量基准;二是利用界面模式,通过实验或其它手段获得相应常数,结合模式计算得到相应基准.

在目前的知识水平上,重金属分配对许多环境因素的依赖程度尚无法精确定量.在一些研究工作中所用方法是:从痕量金属在沉积物及孔隙水中浓度的比较导出准平衡常数,再根据EPA水质标准计算沉积物基准.美国JRB协会1984年用此法建立了6种痕量金属、47种合成有机物的试用标准.Pavlou报告了他们在美国Puget Sound的工作<sup>[9]</sup>,表1是他们的部分研究成果.Van Der Koou<sup>[5]</sup>总结了他们用此法在荷兰进行的研究工作.这一利用广泛测定数据确定分配系数的方法是一种半经验方法,有一定实用意义.

表 1 沉积物痕量金属安全浓度  
Table 1 Estimated Sediment Safe Levels for Trace Metals

金属	EPA水质标准或标准草案 ( $\mu\text{g/l}$ )			沉积物基准 ( $\mu\text{g/g-OC}$ )	
	急性	慢性	$(K_{oc} \pm \sigma) \times 10^4$	急性( $\sigma$ )	慢性( $\sigma$ )
As(III)	120	63	$1.3 \pm 1.2$	1 600( $\pm 400$ )	820( $\pm 790$ )
Ca	38	12	$6.4 \pm 8.6$	2 400( $\pm 3 300$ )	700( $\pm 1 000$ )
Cu	3.2	2.0	$170 \pm 210$	5 400( $\pm 6 700$ )	3 440( $\pm 4 200$ )
Pb	220	8.6	$38 \pm 40$	84 000( $\pm 88 000$ )	3 300( $\pm 3 400$ )
Hg(无机)	1.9	0.10	$0.8 \pm 1.1$	15( $\pm 21$ )	0.8( $\pm 1.1$ )
Zn	170	58	$33 \pm 63$	56 000( $\pm 110 000$ )	19000( $\pm 38 000$ )

把模式计算与平衡分配法结合起来,对考察天然水系统中沉积物及污染物的行为和沉积物质量基准的建立具有重要意义.它使对天然水系统中复杂离子形态及其反应过程的模拟成为可能.Loux<sup>[9,10]</sup>的研究工作展示了平衡分配法与模式计算相结合、建立沉积物质量基准的例子.他估算了14种金属在不同环境条件下(如不同pH、硫化物含量、溶解有机物含量等)的孔隙水暴露潜力,讨论了其在沉积物中的分配行为.Loux还用此法研究了亚表面区域内无机污染物传输的地质化学过程.

#### 2.4 生物检测法(Bioassay Approach)

测定含已知污染物浓度的沉积物中的生物,其致死量、半致死量及生物浓度等,建立药剂-响应类型的关系.方法假设:(1)实验室测定能够反映现场生物效应的真实情况;(2)加入污染物的沉积物与实际环境中的污染沉积物行为一致.方法建立的基准考虑了所有的污染物摄取途径;实验程序合理;可针对特定的化学物质,也可估计短期及长期效应;方法简单并与建立EPA水质标准方法一致,这将推动公众对沉积物标准的认可和接受.不过,对污染物的生物检测必须建立适当的标准技术,目前尚缺乏广泛认可的在沉积物中加入一定浓度污染物的方法.

#### 2.5 水平筛选法(Screen Level Concentration Approach)

这是一种基于现场测定数据的方法,将沉积物中95%的底栖生物可忍受的某一污染物的最高浓度定为筛选浓度水平。这一95%水平源于建立水质标准时,保护95%的水生生物不受伤害的规定。筛选浓度水平(SLC)是从沉积物化学浓度和底栖无脊椎生物的数据导出的。程序是当沉积物在某一特定污染物浓度下,出现某一底栖指标生物种时,确定当有90%该种生物出现时的污染物浓度,这一浓度称为物种筛选浓度水平(SSLC)。测定所有生物种的SSLC与测定的每一种污染物浓度比较,由此确定95%的SSLC浓度出现时的污染物浓度,这一浓度即为水平筛选法定出的浓度基准。

计算一种污染物的筛选浓度水平所需的最少资料为:每一个SSLC要20个站位的数据;对每一个筛选浓度水平要20个种类的生物;一个渐变的浓度梯度及一致的生物分类水平。

方法假设:(1)如果数据足够多,可在不参考底栖生物分布因素(如其它污染物、竞争/摄食、栖息地变化、种类变化灵敏度、水深、沉积物特性)影响的条件下确定特定污染物的影响;(2)某种类生物的出现即意味着没有污染物引起的该种类生物效应;(3)出现/不出现数据对于评价底栖生物对有毒化学污染物的效应具备恰当的灵敏度。方法的优点是可用于任何化学污染物;使用已有的数据库和实验方法;无需事先假定生物与毒性污染物之间的作用机理。缺点是需要精确的底栖生物分类鉴定,这要求具备大范围的现场数据,使得数据收集工作要耗用大量资金;计算筛选浓度水平在很大程度上受污染物浓度分配范围及所用生物种类的影响;筛选浓度水平中代表生物种类的敏感水平是不定的,因为尚未建立选择生物种类的标准;无法区别单一污染物效应及所有污染物的结合效应;未测定污染物与测定污染物之间作用与否及沉积物的特性差异对结果的影响可能很大。

#### 2.6 表观效应阈值法(Apparent Effect Threshold Approach)

用沉积物中化合物浓度的现场测定值及至少一种生物可给性/生物效应指标(如沉积物生物检测、底栖群落结构、底栖鱼类毒理畸形、生物聚集程度)确定一特定污染物浓度,高于该浓度则出现统计显著的生物效应(相应于适当的参照沉积物),通常使用校正为干重的化学浓度。

方法假定:(1)适当地使用大量数据允许在复杂的沉积混合物中存在污染物之间的相互作用(如加和、协同),允许存在未知有毒污染物的作用,允许有其它影响生物效应的因素;(2)适当的生物效应指标可根据现场或/和实验数据来确定。优点是相应于一定参考条件,任一可统计评价的生物指标都可以用于建立任一污染物的沉积物基准,对污染物类型和生物指标没有限制。缺点是产生的标准可能过于或不足以保护环境;需要大量的化学变量数据和至少一种生物指标;未测定毒性污染物与测定污染物协同或不协同作用对结果的影响可能很大。表观效应界值基于现状的生物测定结果,可能不反映长期效应。此外,目前尚没有标准的野外沉积物生物检测方法,未建立污染物结合状态的生物毒性与单一污染物毒性间关系的机理。

#### 2.7 沉积物质量三合一法(Sediment Quality Triad Approach)

Chapman<sup>[5,8,11-13]</sup>对三合一法的概念、完整性及其应用进行了较多研究,认为此法是一个较为系统和科学的方法。三合一法的概念模式如图2<sup>[12]</sup>所示。

方法基于三种测定:沉积物化学测定以确定污染;沉积物生物测定以确定毒性;现

场生物效应测定以确定栖息群落的变化(包括底栖生物结构及鱼类毒性畸形)。所需数据与表观效应阈值法相同,但需定义一个最小(低于此生物效应不明显)和显著(高于此生物效应非常明显)的生物效应界限。

方法假设:(1)适当地使用大量数据,在考虑毒性物质浓度时,允许出现污染物在复杂沉积混合物中的相互作用和未知污染物的作用及所有影响生物效应的各种环境因素;(2)来自不同的生物测定方法、选择的化学污染物及生物群落结构测定方法所得到的不同结果均可作为生物效应的恰当指标,认为三种测定的重要性相同,可以用加和的方式予以处置。优点是结合了三种测定手段,可区别现场与实验室人为测定的毒性,不需事先假定生物与污染物之间的作用机理;可用于任何种类的污染物,包括短期和长期效应。缺点是尚未建立使用此法的统计标准;如何从沉积物化学、生物测定及现场生物效应数据确定一最终浓度基准的严格标准尚未建立;方法需大量数据;结果可能受未测定污染物与测定污染物之间协同或不协同作用的很大影响;尚无野外生物检测的标准方法。

上述建立沉积物基准的方法均各有假设和优缺点,使用之前需对一些假设进行验证。在目前的知识水平上还不能确立一种必须遵循的方法<sup>[6,14]</sup>,尚没有哪一种方法得到广泛认可和应用。即使不需过多验证的方法(如生物检测法)也必须在使用前标准化其技术和数据库,这一工作尚无章可循<sup>[15]</sup>。然而许多需要验证的研究如沉积物生物检测方法、吸附模式、沉积物吸收在生物摄取中的作用和其它类型的生物可给性研究、孔隙水的取样方法和分析方法等对两种或更多的确定基准的方法是一致的。因而在研究中应确立一个目标,即对几种确定基准的方法都有利,采用一种综合策略开展建立沉积物质量基准的研究。已有报道说明用几种不同方法确定铅、多环芳烃和聚氯联苯的海洋沉积物质量基准,得到了一致的结果<sup>[6]</sup>。最近的研究成果也表明各种方法在应用时需要相互补充<sup>[8]</sup>。

### 3. 前景

建立沉积物质量基准已成为一个越来越紧迫的课题,已经开展并完成了一些卓有成效的工作。美国EPA 1992年<sup>[8]</sup>总结了沉积物研究方法的最新成果(见表2),1993年还

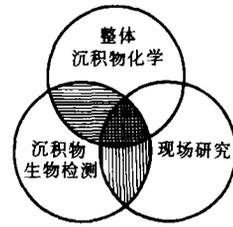


图2 三合一方法概念模式

Fig.2 Conceptual model of sediment quality triad

表 2 沉积物研究方法和应用

Table 2 Summary of sediment methods and applications

沉积物研究方法	应用现状	建立数值型 SQC <sup>①</sup> 的能力	应用潜力	保护人类健康,水生生物和/或野生生物	对样品类型的要求
整体沉积物 <sup>②</sup> 毒性实验	测定所有污染物的整体毒性效应	不能	确定毒性,可与其它方法结合建立SQC	水生生物	现场采集整体沉积物
沉积物加入污染物的毒性实验	在研究领域应用	能	可以说明化学混合物间的相互作用	人类健康,水生生物和野生生物	现场采集污染或未污染沉积物

续表2

沉积物研究方法	应用现状	建立数值型SQC <sup>①</sup> 的能力	应用潜力	保护人类健康, 水生生物和/或野生生物	对样品类型的要求
孔隙水毒性实验	用于海水和淡水中的几种生物	能, 与TIE <sup>③</sup> 方法结合使用	与其它沉积物分类方法结合时, 可提供重要的毒性数据	水生生物	现场采集整体沉积物
平衡分配法	以平衡分配法为基础的, 用于管理的SQC正在发展之中	能, 已经建立了一些化合物的准SQC	在污染沉积物鉴定、管理和清除方面, 平衡分配法建立的SQC将起重要作用	人类健康, 水生生物和野生生物	沉积物化学, 总有机碳浓度
生物组织残留量	在设计补救措施和管理方面有一些应用	能, 对非离子型有机物和有机金属化合物特别有用	能提供非常准确的“药剂暴露效应”测定	人类健康, 水生生物和野生生物	沉积物化学和物理学特征, 为残留量分析取生物样品
淡水底栖无脊椎动物群落结构	有多种用途, 包括基准和标准的建立	不能	将非常成功地与沉积物化学和毒性实验数据相配合	可直接用于水生生物和一些野生生物, 间接用于人类和另一些野生生物	用抓斗式采样器采集沉积物
海洋底栖群落结构	描述参考条件, 基础条件, 自然和人类扰动效应	单独不能, 可与三合一法结合	对不同浓度下, 沉积污染物指示生物种的鉴别	直接用于水生生物和一些野生生物, 间接用于人类和另一些野生生物	用抓斗式采样器或柱状采样器采集沉积物
沉积物质量三合一法	确定污染程度, 确定数值型SQC	能, 已经用于Pb, PAHs和PCBs	鉴定污染区域, 低质量区域污染状况排队, 预测将出现的污染区域	直接用于水生生物, 直接或间接用于野生生物和人类健康	现场采集沉积物, 五个平行底栖样品
表现效应阈值法	在Puget Sound, 用于建立保护水生生物的指导数据	能	鉴定污染区域, 鉴定沉积物污染化学物质的浓度, 预计清除措施。在管理程序中筛选沉积物	水生生物	50个或更多站位采集的沉积物, 进行大范围化学物质的化学实验
国际联合委员会方法	大湖区, 评价污染沉积物指导书	能	关注区域的评价, 可能用于大湖区以外的区域	直接用于水生生物, 间接用于野生生物和人类健康	整体沉积物, 底栖群落, 鱼类污染负荷和畸形
1991年绿皮书	对挖掘沉积物的申请, 科学家和管理者的指导书	目前正用于建立区域SQC	将用于挖掘沉积物的质量评价	直接用于水生生物, 野生生物和人类健康	沉积物和水样采集的全面计划
国家现状和趋势计划方法	最初用于为NS & T计划提供非正式指导书	能	鉴定沉积物中的有毒化学物质, 排列研究区域的优先顺序, 评价污染沉积物潜在生态效应, 设计沉积物中加入污染物后的生物检测方法, 描述与一定化学物质浓度相关的毒性效应	给出对底栖生物影响的评价, 不用于保护人类健康或水生生物	使用现有数据, 减少进一步取样需要

说明: ①包括沉积固体和孔隙水; ②沉积物质量标准; ③毒性鉴定评价。

将对平衡分配法用于沉积物重金属质量基准建立的研究工作进行总结和报告。总体看此课题的研究仍处于发展之中, 有关理论和技术问题需进一步研究。随着研究工作的深入, 有关问题将不断得到解决, 沉积物质量基准和标准也将逐步建立起来, 为保护人类的生存环境发挥积极的作用。

### 参 考 文 献

- [1] EPA Criteria and Standard Devision, Office of Water Regulations and Standards, USEPA, 1984. Background and Review Document on the Development of Sediment Criteria
- [2] Washington Environmental Program Office, USEPA, 1985. Summary Report
- [3] Shea D, 1988. Development National Sediment Quality Criteria. *Environ. Sci. Technol.*, 22:1256
- [4] Pavlou S P, 1987. in "Fate and Effect of Sediment-Bound Chemicals in Aquatic Systems", Ed. by Dickson K L et al., Pergammon Press, New York, 388—412
- [5] Van Der Koou L A, Van De Meent D et al., 1991. Deriving Quality Criteria for Water and Sediment from the Results of Aquatic Toxicity Tests and Product Standards: Application of the Equilibrium Partitioning Method. *Water Res.*, 25:697—705
- [6] Chapman P M, 1989. Current Approaches to Developing Sediment Quality Criteria. *Environ. Toxicol. Chem.*, 8:589—599
- [7] 陈静生, 王飞越, 1992. 关于水体沉积物质量基准问题. 环境化学, 11: 61—70
- [8] EPA 823-R-92-006, 1992. Sediment Classification Methods Compendium
- [9] Loux N T, Jafvert C T et al., 1990. Research and Development, Environ. Res. Lab., USEPA, Athens, Georgia
- [10] Loux N T, Brown D S, 1989. Chemical Speciation and Competitive Cationic Partitioning on a Sandy Aquifer Material. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 1:111—125
- [11] Chapman P M, 1986. Sediment Quality Criteria from the Sediment Quality Triad: An Example. *Environ Toxicol. Chem.*, 5:957—964
- [12] Chapman P M, Dexter R N, Long E R, 1987. Synoptic Measures of Sediment Contamination, Toxicity and Infaunal Community Composition(the Sediment Quality Triad)in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 37:75—96
- [13] Long E R, Chapman P M, 1985. A Sediment Quality Triad: Measures of Sediment Contamination, Toxicity and Infaunal Community Composition in Puget Sound. *Mar. Poll. Bull.*, 16:405
- [14] Chapman G A, 1987. in "Fate and Effect of Sediment-Bound Chemicals in Aquatic Systems" Ed. by Dickson K L et al., Pergammon Preess, New York, 355—378
- [15] Allen Burton Jr G, John Scott K, 1992. Sediment Toxicity Evaluations. *Environ. Sci. Technol.*, 26:2068—2075

1993年4月20日收到。

## SEDIMENT QUALITY CRITERIA FOR HEAVY METALS

Wen Xianghua

(Research Center for Eco-Environmental Sciences,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085)

### ABSTRACT

The establishment of sediment quality criteria for heavy metals is becoming a more urgent problem. The importance and applications of this project is reviewed in this paper. The emphasis is on the assumptions, advantages and disadvantages of seven approaches. Current research and perspective of this project are discussed also.

**Keywords:** heavy metals, quality criteria, sediment, water body.