



# 水体颗粒物 和难降解有机物的 特性与控制技术原理

**上卷** 水体颗粒物

汤鸿霄 钱 易 文湘华 等著

中国环境科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

# 水体颗粒物和难降解有机物的 特性与控制技术原理

上卷 水体颗粒物

汤鸿霄 钱 易 文湘华 等著

中国环境科学出版社

·北 京·

### 图书在版编目(CIP)数据

水体颗粒物和难降解有机物的特性与控制技术原理.  
上卷,水体颗粒物/汤鸿霄,钱易,文湘华等著. - 北京:  
中国环境科学出版社,2000.6  
ISBN 7-80135-065-0

I. 水… II. ① 汤…② 钱…③ 文… III. ① 水体  
颗粒物-污染防治 ② 有机污染物,难降解-污染防治  
IV. X5

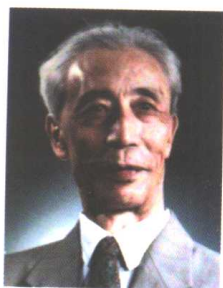
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 22934 号

中国环境科学出版社出版发行  
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)  
北京联华印刷厂印刷  
各地新华书店经售

\*

2000 年 12 月第 一 版 开本 787×1092 1/16  
2000 年 12 月第一次印刷 印张 18 ¼  
印数 1-1500 字数 430 千字

定价: 60.00 元



汤鸿霄，中国科学院生态环境研究中心研究员，学术委员会主任，中国工程院院士。主要研究领域为环境水质学和环境工程学，近期集中于环境微界面理论与模式计算、水体颗粒物与沉积物、无机高分子絮凝剂及高效絮凝工艺等方面的研究。



钱易，清华大学环境科学与工程系教授，中国工程院院士，国际科联执行委员会委员。长期从事环境科学与工程研究，成绩卓著，在国内外享有很高声誉。



文湘华，博士，清华大学环境科学与工程系副教授。主要研究领域为环境水化学及水污染控制理论与技术。在表面络合理论、生物处理新理论及技术研究方面成绩显著。

# 序 言

水体颗粒物与难降解有机物是当前水质与水质处理中影响广泛、危害严重的污染物,因而也是环境科学和环境工程学领域中备受关注的研究对象,它们在天然水体中的形态结构特征、迁移转化过程、生态效应,在水质处理流程中的净化降解机理、高效技术、强化工艺等,都是当前我国与国际环境科学与工程的研究前沿与焦点课题。

水体颗粒物与难降解有机物在一般概念中似是两类不同的水质污染物,实际上它们彼此是密不可分的,共同构成了环境水质及净化工程的难题。难降解有机物有多种是以高分子或胶体的形态存在,它们本身就属于广义颗粒物,而低分子的有毒有机物则大量吸附在颗粒物上,随之迁移降解、发挥生态毒性效应。颗粒物之所以成为环境污染的主要污染物,除其本身有一定恶化水质的作用外,更主要的是因为它们它们是难降解有机有毒物的载体,两者紧密结合为复杂聚集体。现代水质科学与净化技术对颗粒物的特别关注,也正是由于发现了这一事实。用水与废水处理中对颗粒物的控制标准日趋严峻,其优先考虑着眼点也是微量痕量有机有毒物。

本书分为上、下两卷,分别论述水体颗粒物与难降解有机物,各有侧重,共同构成整体。全书包含有天然水体中污染物的迁移转化过程、用水废水处理流程中的净化理论与高新工艺、污染物的特征与结构、检测研究方法与数据库等方面,以高效水质处理控制技术原理为主,汇成完整的体系。水体颗粒物与难降解有机物的控制技术涉及吸附、絮凝、过滤、催化氧化降解、生物降解等天然过程和高效深度净化技术,构成本书的重要内容,微界面过程和有机有毒物的降解则分别贯穿在本书上、下卷。对书中各章内容的进一步综合介绍可参见上、下两卷各自的前言。

本书主要是中国科学院生态环境研究中心、清华大学环境科学与工程系、北京大学城市与环境学系三单位,承担国家自然科学基金重点项目“水体颗粒物与难降解有机物的特性及控制技术原理”期间的研究成果,其中大多数成果是我国最新的研究进展,并处于国际前沿水平。各章分别由从事该课题研究的教授及研究员撰写,并且综述了国外本领域的发展趋势,论述了我国的研究概况和方向。这种方式可以汇聚多位专家学者的学术成果,也是国际上兼有广度和深度的学术专著经常采用的作法。当然,由于体制所限,本书以近期研究成果为主,尚不能对本领域中所有问题面面俱到,只求尽量作到重点深入,有所创新。

本书对从事环境科学与工程的科技工作者、大专院校师生均具有学术参考价值及实用导向意义。限于时间及编著者水平,疏漏失误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

本书成果在研究期间得到国家自然科学基金委员会工程与材料科学部建筑、结构和环境工程学科组的经费支持和直接指导。本书经国家科学技术著作出版基金委员会组织专家评选,给予出版经费资助。编辑出版工作得到中国环境科学出版社与中科院生态环境研究中心出版公司的技术指导和帮助。编著者对所有这些单位及参与的同志一并致以衷心的感谢。

著 者

1999年10月

# 前 言

在环境水质学范畴内,水体颗粒物的现代广义范围可扩展至粒度大于 1 nm 的所有微粒,亦即包括胶体、高分子物质和细菌、藻类等生命的物质在内。这主要是发现在此粒度范围内的物质对水质产生环境生态效应有着共同的特征和综合的影响。颗粒物本身对水质恶化有显著作用,但更为重要的是众多痕量微量有毒污染物结合在颗粒物上,形成聚集体,成为环境污染和水质控制技术中最被关注的对象。环境质量标准对颗粒物的限定日趋严格,甚至认为只有颗粒物的深度去除才意味着有机有毒物的彻底净化。水体颗粒物的检测技术、界面反应、水质转化功能、水处理工艺中去除和利用颗粒物的高新技术,都成为现代环境科学与工程的研究与发展热点和前沿,也是本卷的主要内容。

颗粒物群体的微界面是它们在环境中发挥作用的关键特征。天然水体中的诸多过程和水处理工艺中的各种单元操作无不涉及微界面作用机理和模式。本书中作了一定研究和阐述。对环境水质学中这一最前沿的领域,尚待更深入全面地探索。

本卷第一章是总论,概括介绍水体颗粒物和微界面水质过程的基本理论和发展动向,反映该领域的新观点和新趋势。第二章是我国主要河流水体悬浮沉积物的物理化学、地球化学特征的勘查、分布规律性研究及创建数据库。这项研究的成果填补了我国有关资料的空白,修正了世界平均值。第三章是天然水体悬浮沉积物表面吸附络合模式的理论、方法与应用,对天然颗粒物以三种不同模式进行计算比较是国际上第一篇论文。第四章是絮凝原理与絮凝剂研究,以无机高分子絮凝剂聚合氯化铝为代表,探讨了颗粒物之间相互作用和絮凝剂的形态结构和稳定性规律。第五章阐述水处理过滤理论及物理与化学综合作用机理和模式,研究了颗粒物在固定床孔隙界面的微观行为特征,提出若干新观点。第六章是超滤膜分离时的膜污染及控制方法研究,探讨了高分子膜微孔与颗粒物相互作用的机理与膜污染防治技术。第七章是水处理气浮原理及技术的国内外发展综述,讨论颗粒物与气泡的相互作用机理,并结合介绍了科技攻关项目的部分研究成果。第八章是天然水体中颗粒物与痕量有机有毒物相互作用的迁移动态模式研究,模式综合了颗粒物在水动力条件下的吸附行为和计算方法,并作了实例研究。如上所述,全书涵盖了水体颗粒物与不同边界物质的相互作用机理、行为规律和控制技术原理,各章相互组合,集成为有层次的系统整体。

当然,本书只反映一段时期的研究成果,虽然各章加入了综述和论述内容,但远不能充分包容水体颗粒物的方方面面。另外,各章由不同作者撰写,在体例和阐述方法上各有千秋,在编辑时虽尽量加以调整,终难免不尽一致,不过各章均有特色,也无伤全书总体。

水体颗粒物与微界面体系水质过程的研究在我国尚无专书论述,本书作为一个开端,但愿能够起到抛砖引玉的作用。

汤鸿霄

1999年10月

# 目 录

序 言

前 言

第一章 水体颗粒物总论	(1)
1.1 颗粒物的分类和特征	(1)
1.1.1 颗粒物的范畴	(1)
1.1.2 颗粒物的基本特征	(3)
1.1.3 颗粒物的实验模拟	(5)
1.1.4 颗粒物的研究发展	(6)
1.2 颗粒物分级与表征的现代方法	(7)
1.2.1 颗粒物的分离与分级	(7)
1.2.2 颗粒物分级的 FFF 技术	(9)
1.2.3 电子显微镜	(10)
1.2.4 静态和动态激光光散射	(11)
1.2.5 颗粒物的电荷表征	(13)
1.2.6 IR 与 NMR 光谱	(14)
1.2.7 X-射线吸收光谱(XAS)	(15)
1.3 颗粒物界面结构与溶液间相互作用	(16)
1.3.1 表面络合理论的发展	(16)
1.3.2 颗粒物/水溶液的界面配位	(18)
1.3.3 非氧化物矿物界面的表面络合	(22)
1.4 有机物与聚合电解质的吸附	(24)
1.4.1 有机物的界面吸附	(24)
1.4.2 中性有机物在颗粒物的吸附	(24)
1.4.3 可离解有机物在颗粒物的吸附	(26)
1.4.4 聚合电解质在颗粒物的吸附	(29)
1.5 天然水体的颗粒物与水质	(31)
1.5.1 天然颗粒物的表面络合常数	(31)
1.5.2 多组分吸附剂的模式	(34)
1.5.3 多级表面吸附位	(35)
1.5.4 三元络合物的生成及吸附	(36)
1.5.5 天然水体中的吸附动力学和停留时间	(37)
1.6 矿物风化与有机物降解	(38)
1.6.1 矿物风化与水质	(38)



1.6.2	质子与配体促进表面溶解·····	(40)
1.6.3	还原溶解和有机物降解·····	(42)
1.6.4	光氧化催化过程·····	(44)
	参考文献·····	(46)
<b>第二章</b>	<b>我国天然水体颗粒物的地域特征及数据库</b> ·····	<b>(47)</b>
2.1	中国东部河流概况·····	(47)
2.2	研究方法·····	(49)
2.2.1	颗粒物样品采集及样品代表性说明·····	(49)
2.2.2	颗粒物样品研究粒级的选择·····	(51)
2.2.3	样品分析测试与数据处理方法·····	(55)
2.3	中国东部河流颗粒物的元素组成·····	(56)
2.3.1	中国东部河流颗粒物元素组成及地域特征·····	(56)
2.3.2	中国东部河流与世界河流颗粒物中 Ca, Al 含量的比较·····	(59)
2.3.3	对中国河流颗粒物平均组成的估计·····	(60)
2.3.4	在加入中国资料条件下对世界河流颗粒物平均元素组成的新估计 ·····	(61)
2.4	中国东部河流颗粒物的地球化学性质·····	(64)
2.4.1	粒径分布·····	(64)
2.4.2	粘土矿物的含量和组成·····	(66)
2.4.3	铁、锰、铝、钛氧化物的含量·····	(68)
2.4.4	有机物的含量和组成·····	(71)
2.4.5	pH 和 $\Delta\text{pH}$ ·····	(73)
2.4.6	水体颗粒物地球化学性质之间的相关性·····	(73)
2.5	中国东部河流颗粒物的表面性质·····	(74)
2.5.1	比表面·····	(74)
2.5.2	表面电荷和表面电位·····	(76)
2.5.3	表面位密度和表面酸度常数·····	(80)
2.5.4	水体颗粒物表面性质与地球化学性质之间的相关性·····	(82)
2.6	我国东部河流颗粒物中微量金属的相分配·····	(82)
2.6.1	原生地球化学相·····	(88)
2.6.2	次生地球化学相·····	(88)
2.7	中国水体颗粒物数据库的研制·····	(88)
2.7.1	设计思想和系统结构·····	(89)
2.7.2	数据结构和数据组织·····	(90)
2.7.3	数据库开发和功能实施·····	(90)
	参考文献·····	(92)
<b>第三章</b>	<b>天然水体沉积物的表面络合模式</b> ·····	<b>(96)</b>
3.1	引言·····	(96)

3.2 天然水体沉积物的组成及其特性	(96)
3.2.1 天然水体沉积物的组成	(96)
3.2.2 水合金属氧化物	(97)
3.2.3 粘土矿物	(100)
3.2.4 腐殖质	(103)
3.2.5 天然水体沉积物界面共性	(104)
3.3 表面络合模式	(105)
3.3.1 表面络合模式研究回顾	(105)
3.3.2 表面络合模式	(106)
3.4 表面络合模式的参数估值方法	(111)
3.4.1 相关实验方法	(111)
3.4.2 表面络合模式的参数估值方法	(115)
3.5 表面络合模式研究实例	(119)
3.5.1 乐安江黄龙庙沉积物吸附重金属的表面络合模式	(119)
3.5.2 伊利土-富里酸二元络合剂体系的络合性质	(123)
3.6 小结	(130)
参考文献	(131)
<b>第四章 聚合铝的高效絮凝作用原理及应用实践</b>	<b>(137)</b>
4.1 概论	(137)
4.2 凝聚絮凝作用机理及模式研究发展	(138)
4.2.1 凝聚絮凝作用机理研究的发展	(138)
4.2.2 混凝作用模型与模式研究的发展	(140)
4.2.3 混凝动力学及影响因素	(141)
4.3 聚合铝高效絮凝形态分布特征	(145)
4.3.1 Al(III)水解反应及形态转化规律	(145)
4.3.2 聚合形态的结构特征	(147)
4.3.3 羟基化特征参数	(149)
4.3.4 聚合形态表征及研究方法	(150)
4.3.5 碱化过程聚合形态形成机理	(155)
4.4 聚合铝絮凝形态的稳定性及其电动特性	(157)
4.4.1 混凝过程中铝与聚合铝水解形态的稳定性	(157)
4.4.2 混凝过程中铝与聚合铝的电动特性	(160)
4.4.3 混凝过程中铝盐与聚合铝凝聚作用形态的差别	(161)
4.5 聚合铝的高效絮凝特征及作用机理	(164)
4.5.1 聚合铝的凝聚絮凝特性	(164)
4.5.2 聚合铝的凝聚吸附形态特征	(166)
4.5.3 聚合铝絮凝动态反应过程及其动力学行为	(168)
4.5.4 聚合铝高效凝聚絮凝作用机理	(171)

4.6 聚合铝絮凝剂应用实践 .....	(173)
4.6.1 制备工艺与生产发展概况 .....	(173)
4.6.2 高效聚合铝合成工艺技术路线 .....	(175)
4.6.3 聚合铝水处理领域应用概况 .....	(176)
4.6.4 复合型聚合铝絮凝剂的研制与发展 .....	(177)
4.6.5 聚合铝在高效微涡旋絮凝反应器中的应用实践 .....	(178)
4.6.6 聚合铝在微絮凝-深床直接过滤工艺中的应用实践 .....	(181)
参考文献 .....	(187)
<b>第五章 深床过滤过程机理研究</b> .....	<b>(190)</b>
5.1 微观的化学过滤理论 .....	(190)
5.1.1 过滤理论的研究进展 .....	(190)
5.1.2 微观的化学过程理论 .....	(193)
5.2 微观化学理论的应用研究 .....	(197)
5.2.1 整体水处理工艺设计 .....	(197)
5.2.2 直接过滤技术中无机絮凝剂的控制 .....	(198)
5.2.3 污水回用三级处理中脱磷工艺机理 .....	(200)
5.2.4 有机微污染源中悬浮颗粒去除特性 .....	(202)
5.3 深床过滤积泥形态学研究 .....	(207)
5.3.1 研究进展 .....	(207)
5.3.2 纤维球滤床过滤机理研究 .....	(209)
5.3.3 石英砂初滤对悬浮颗粒去除的特性 .....	(215)
<b>第六章 超滤技术在环境保护中的应用</b> .....	<b>(217)</b>
6.1 国内外发展现状 .....	(217)
6.2 超滤的分离原理及膜产品种类 .....	(217)
6.2.1 超滤的分离原理及定义 .....	(217)
6.2.2 膜材料与膜种类 .....	(218)
6.3 浓差极化与膜污染 .....	(218)
6.3.1 浓差极化 .....	(218)
6.3.2 膜污染 .....	(220)
6.3.3 膜污染控制方法 .....	(221)
6.3.4 膜污染的测量 .....	(224)
6.3.5 膜的物化特性表征 .....	(225)
6.4 膜清洗 .....	(225)
6.4.1 清洗方法 .....	(226)
6.4.2 膜清洗效果的表征 .....	(227)
6.5 超滤技术开发现状及产业化水平 .....	(227)
6.6 超滤技术应用于污水处理实例 .....	(228)
6.6.1 超滤法处理含原油污水 .....	(228)

6.6.2 印钞擦版废液的处理与回用 .....	(228)
6.6.3 超滤在油田注入水处理中的应用 .....	(228)
6.6.4 超滤法处理乳化油废水 .....	(229)
6.6.5 超滤膜技术在纺织印染、染料行业的应用 .....	(229)
6.6.6 超滤技术在膜生物反应器和其它工业废水处理中的应用 .....	(230)
6.7 国内膜技术推广及应用前景预测 .....	(231)
6.7.1 中国膜市场与世界市场的比较 .....	(231)
6.7.2 国内超滤技术推广应用前景 .....	(232)
参考文献 .....	(232)
<b>第七章 气浮法水质净化技术的原理与实践 .....</b>	<b>(234)</b>
7.1 概述 .....	(234)
7.1.1 气浮技术的发展概况 .....	(234)
7.1.2 气浮法分类 .....	(236)
7.2 溶气气浮法原理 .....	(237)
7.2.1 热力学方面的研究 .....	(237)
7.2.2 动力学方面的研究 .....	(239)
7.2.3 颗粒气泡粘附的物理化学流体动力学研究 .....	(241)
7.2.4 颗粒与气泡碰撞的群体平衡理论 .....	(244)
7.2.5 气泡与絮体颗粒的粘附形成机理 .....	(244)
7.2.6 气泡/絮体复合体的在水中上浮 .....	(246)
7.3 气浮池的设计原则 .....	(247)
7.3.1 溶气系统 .....	(247)
7.3.2 释气系统 .....	(248)
7.3.3 分离系统 .....	(249)
7.3.4 测试技术 .....	(250)
7.4 气浮过程的影响因素研究 .....	(250)
7.4.1 凝聚过程 .....	(250)
7.4.2 絮凝过程 .....	(254)
7.4.3 气浮所需的空气量 .....	(258)
7.4.4 浮渣的去除 .....	(259)
7.5 溶气气浮技术的评价和应用 .....	(260)
7.6 溶气气浮技术的发展方向 .....	(263)
7.6.1 溶气气浮技术的新概念和模式 .....	(263)
7.6.2 溶气气浮待研究问题 .....	(265)
参考文献 .....	(266)
<b>第八章 颗粒物与痕量有机物相互作用水质动态模型 .....</b>	<b>(268)</b>
8.1 前言 .....	(268)
8.2 水质动态模型 .....	(269)

---

8.2.1	水质模型的基本要素 .....	(269)
8.2.2	水质动态模型建模的基本过程 .....	(270)
8.2.3	几个重要的颗粒物与污染物相互作用水质动态模型 .....	(272)
8.2.4	水质动态模型的应用 .....	(275)
8.3	研究案例 .....	(276)
8.3.1	颗粒物与痕量有机污染物相互作用动态模型的概化与基本结构 .....	(276)
8.3.2	模型参数的确定 .....	(278)
8.3.3	模型计算结果 .....	(279)
8.4	结论 .....	(281)
	参考文献 .....	(282)

# 第一章 水体颗粒物总论

## 1.1 颗粒物的分类和特征

### 1.1.1 颗粒物的范畴

在自然界的天然水体和水处理流程中的工艺水体内,都含有形形色色的颗粒物。一般说来,它是指比溶解的低分子更大的各种高分子或多分子的实体。在环境科学中,颗粒物并无明确的严格定义,不同学科根据其研究对象赋予不同的含义内容。化学家常指非生命的实体,物理化学家甚至指小于原子的粒子,生物学家则指有生命的细菌和浮游生物,地学家和沉积学家指大于 $0.45\ \mu\text{m}$ 的实体,水处理工程学家常指为 $1\sim 100\ \mu\text{m}$ 的胶体物质,水化学家则认为包括 $<0.1\ \mu\text{m}$ 的微胶体和高分子化合物<sup>[1]</sup>。

在环境水质学范畴内,颗粒物的概念相当广泛。它把无机和有机的胶体、高分子、矿物微粒,有生命的细菌、藻类等等都归类为颗粒物,实际上包括了粒度大于 $1\ \text{nm}$ 的所有微粒实体,其粒度可达数十到上百微米。这种考虑是从对环境水质的影响作用出发的。

水中的非水杂质,按粒度大致可以分为两大类。一类是粒度小于 $1\ \text{nm}$ 的化合物,其分子量将大约小于 $1\ 000$ ,包括所有小分子和离子化合态,是经典化学的研究对象。对于水质,它们既包括生物和人体必需的生命元素,又包括所谓微污染物,例如重金属、氮、磷、化学品等,是水质污染的主要成分。另一类是粒度大于 $1\ \text{nm}$ 的杂质,统称为颗粒物。它们本身既可成为污染物,而更重要的是与微污染物相互作用成为其载体,很大程度上决定着微污染物在环境中的迁移转化和循环归宿。它们是胶体与高分子科学的研究对象,也是环境水质学的重要研究内容。

水体中的矿物微粒有各种碳酸盐、硅酸盐、硫化物、氧化物、氢氧化物,等等,更细的颗粒物则是各种粘土矿物如高岭石、伊利石、蒙脱石、云母等,不定形的胶体则有铁、铝、锰等各种金属水合氧化物。水体中的无机颗粒物与胶体同工业制备的纯净矿物颗粒不同,一般是由自然风化侵蚀生成,分级不规则,表面有其他物质覆盖,并且与不同类胶体聚集共存。它们常是与有机覆盖物、无机覆盖物、微生物、核外酶、微纤维、及其它矿物胶体结合在一起,而矿物的原有特征变得不明显至少是被扰乱的。

常见的水生有机胶体及高分子,除已熟知的富里酸和胡敏酸外,较重要的有微纤维。它来自土壤溶液,是直径在 $2\sim 10\ \text{nm}$ 的有机高分子,属于含羧基的多糖类化合物。它常是生物衍生物,来自藻类、细菌、植物根系。可以吸附在矿物颗粒上,覆盖其表面,也可结合微污染物及重金属成为其载体。还可在藻类及细菌表面,在生物膜中,成为架桥结构物

质。在湖水中含量可达 7 mg/L, 成为水处理絮凝的目标, 因而日益受到重视。此外, 还有各种生物残体, 如藻类、细菌的死亡体、细胞碎片等。

有生命的生物胶体和颗粒物除细菌、蓝绿藻等外, 近年更引起重视的是病毒。水生病毒对人体健康至为重要, 近期发现天然水中每毫升有似病毒颗粒达  $2.5 \times 10^8$  个, 比以前报道的大  $10^3 \sim 10^7$  倍。病毒还可攻击头部为  $0.06 \mu\text{m}$  的细菌及细胞, 影响食物链。此外还有非常微细的浮游生物如水生的单细胞生物, 大小在  $0.2 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 。它们在地面水生物过程中十分重要, 其代谢过程及与病毒的关系是当前水微生物学的重要内容。水微生物吸附到界面后其生物化学过程将更活跃, 它们在生物膜中的稳定和架桥作用也是研究重点。

在河流、湖泊、海洋的水质分析中, 常用  $0.45 \mu\text{m}$  孔径的滤膜来分离悬浮物, 这实际上是截留了微粒 ( $>0.45 \mu\text{m}$ ) 部分, 而透过了胶体和高分子 ( $1\text{nm} \sim 0.45 \mu\text{m}$ ) 部分和溶质 ( $<1 \text{nm}$ ) 部分。此种分离虽然是实验操作的考虑, 但确实大部分粘土和其它矿物微粒、动植物降解残渣、细菌、水藻等粒度都在  $0.45 \mu\text{m}$  以上。不过严格说来, 很难把胶体、高分子同微粒区分开来, 并且它们在影响水质的行为和作用上有很多相似之处, 把它们统称为颗粒物可算是广义的定义。环境水质学中一般所指即是广义的概念, 而粒度在  $0.45 \mu\text{m}$  以上的微粒可作为颗粒物的狭义定义。表 1-1 列出水体颗粒物与常吸附其上的微污染物, 以及界面上可能发生的各种转化过程和处理技术。图 1-1 的粒度谱则列出各类水环境常见杂质的粒度分布范围及广义颗粒物所包含的物种。

表 1-1 水体颗粒物及其环境功能

颗粒物	微污染物	转化迁移过程	水处理技术
矿物微粒	重金属	溶解、沉淀	混合
粘土矿物	类金属	络合、螯合	沉淀
金属氢氧化物	农药	氧化、还原	澄清
腐殖质	化学品	催化、光解	过滤
聚合物	有机酸碱	吸附、解吸	吸附
动植物纤维	金属有机物	吸收、释放	絮凝
有机残渣	病毒	降解、富集	气浮
藻类	氮磷化合物	凝聚、絮凝	超滤
细菌、真菌	表面活性剂	渗透、过滤	化学沉淀
乳浊油滴		扩散、迁移	离子交换
气泡		沉积、蓄积	生物氧化
活性污泥			生物过滤
悬浮沉积物			浓缩脱水

颗粒物范畴内, 有机及无机的高分子同溶胶及微粒虽然在粒度和许多水质特性上是相

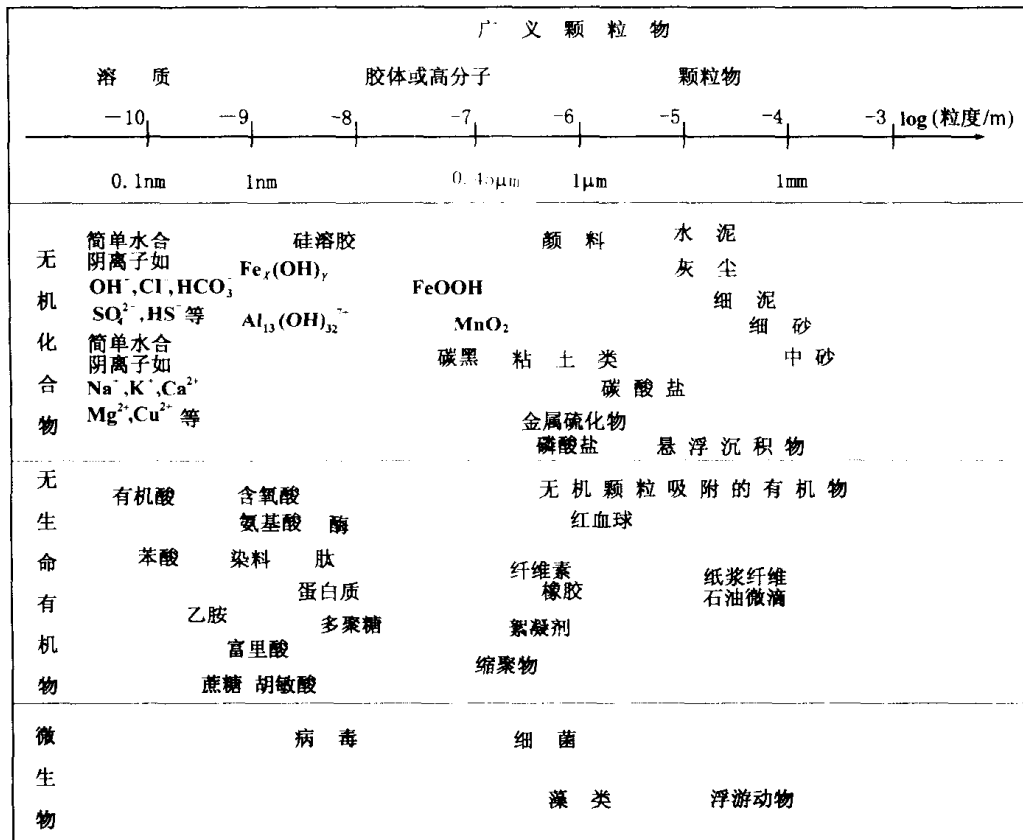


图 1-1 水体颗粒物分布的粒度谱

似的，但在化学本性上是有区别的。高分子物质在水中溶解成为真溶液，属于稳定的热力学体系，而胶体及微粒在水溶液中则具有物理界面，属于介稳的微分散体系。不过，在一定的溶液条件下，它们也可能互相转化，高分子可以聚集、沉积呈微粒状态，胶体可以分解，藻类、细菌可以分泌生成高分子物质。

### 1.1.2 颗粒物的基本特征

颗粒物与溶解的低分子相比，最大的特点是它的不均一性或分散性。低分子物质虽然也存在有不同的化合态和结构态，但对同一类化合态，在物理性状和化学反应上一般是作为均一物质处理的。颗粒物的多分散性和多样性却是非常显著的基本特性，时刻需要加以考虑并区别对待的，其主要特征有：

(1) 粒度分布多分散：每种颗粒物在一定的粒度范围内分布，其中各个实体的粒度往往达到数量级的差异。同类颗粒物的不同体系若粒度分布有很大区别，自然会影响到它们的特性有所不同。因此，颗粒物的特性往往是整个体系的统计平均值，在必要时需要表明其粒度分布特征。

颗粒物的粒度分布并不单纯是粒径尺度问题，按何种方式来划分仍然有很大区别，会得到完全不同的图像。一般常用的粒度分布方式有按直径、按表面积、按体积、按质量或



重量、按颗粒数目等等。大多数环境颗粒物如果按体积或质量划分,微米级颗粒将占优势份额,微米以下的可能只占不到 10%。如果按颗粒数目或表面积划分,则结果恰相反,微米以下的颗粒份额会多出几个数量级。应该根据所研究的过程来考虑分类方式,例如研究迁移通量时按质量划分较好,研究絮凝动力学时则按颗粒数目考虑较好。

(2) 形状形态多样性:颗粒物的微观形状可以是线状、片状、球状或各种不规则形状。同类形状的长短大小也有很大差别。各个单体还可结合起来成为聚集体,例如,各微粒单元定向结合可呈链状、分枝状,更多的单体可聚集成絮状。这些聚集体的存在形态与溶液条件和反应作用有密切关系。例如腐殖质、蛋白质等聚合电解质,随溶液 pH 值或离子强度而有电荷变化,在等电点附近可能卷缩成团,离开等电点则会伸展开来。多层片的粘土矿物在水中会溶胀,不同离子进入层间会随之改变形态。颗粒物多种多样的形状和形态将会影响其特性和功能,在鉴定和研究中经常需加考虑。

(3) 反应活性区各异:颗粒物含有大量的各种官能团,作为与溶液中溶质或其它颗粒物相互作用的反应活性点。与低分子化合物不同,颗粒物发生反应往往只限于表面部位或局部某些基团,这些反应虽有可能影响到其它部分或整体的存在状态,在一定程度内却尚不致引起颗粒物整体的转化。另外,颗粒物所含各类官能团的反应特性并不相同,即使同一类官能团由于所处部位不同,也会有不同的反应活性。因而,颗粒物中各部位活性点发生反应的先后顺序与程度将是更深层次的研究问题。

(4) 电学特性显著:矿物颗粒物因同晶置换或晶格缺陷而可带有永久电荷。固体颗粒物的界面官能团和聚合电解质的可离解官能团在溶液中发生质子迁移或其它化学反应,都可以生成随溶液条件变化的电荷。颗粒物优先吸附一些带电荷的物质,生物颗粒物的生命活动等,也会产生电荷。因此,大多数颗粒物带有一定电荷成为它们的基本特性,而且有时电荷的数量很大,在溶液中构成复杂的双电层,强烈地影响着颗粒物本身的稳定性和各个方面的相互作用特性。

(5) 界面效应强烈:除溶解状态时的高分子物质外,颗粒物与溶液之间存在有大量的微观界面,它们的相互作用和各种反应就发生在界面上。界面具有强烈的吸附能力,把水溶液中的微量痕量物质结合到颗粒物表面上,其中包括各种环境微污染物,如重金属、有毒化学品等,也包括各种生命元素和营养物质。颗粒物成为这些微量物质的载体,在天然水体中随水流迁移输送到较远距离而沉积下来,或者在水处理设施中一起被分离除去。与此同时,微量物质在界面上可以发生各种化学反应,并且得到催化促进,达到在溶液中自由状态下难以发生的转化效应(参见表 1-1)。

(6) 复杂组合体系:天然水体中的颗粒物一般并不是以纯粹单一的状态存在,而是相互结合成为某种复合体。例如,河流中最常见的典型悬浮沉积物,大多是以若干粘土矿物微粒为骨架的聚集体,由土壤团粒生成,在水体中悬浮迁移,沉积于底质。各矿物微粒表面吸附和覆盖着铁铝类水合氧化物,结合着腐殖质类有机高分子,由这两类物质粘合架桥团聚起来。这种聚集体再吸附结合水中的离子和重金属、化学品等微污染物,构成环境水质体系中最基本的颗粒物群体,其基本结构模型图像如图 1-2 所示。