



普通高等教育“十一五”国家级规划教材(本科)

轻化工 水污染控制

■ 柳荣展 石宝龙 主编

 中国纺织出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材(本科)

轻化工水污染控制

柳荣展 石宝龙 主编



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。主要介绍了废水处理常用的单元方法及其组合处理工艺,对轻化工业不同行业废水水质进行了详细的分析,对废水污染物回收及资源化利用技术、清洁生产技术等内容进行了较为系统的阐述。本教材内容全面,系统性、理论性较强,而且注重工程实践,具有很强的实用性。

本教材可作为轻化工程专业本科生的教学用书,也可供环境工程、轻化工清洁生产技术科研人员、工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

轻化工水污染控制/柳荣展,石宝龙主编. —北京:中国纺织出版社,2008.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 本科

ISBN 978-7-5064-5229-8

I. 轻… II. ①柳…②石… III. 轻工业-工业废水-污染控制-高等学校-教材 IV. X790.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第099813号

策划编辑:贾 超 责任编辑:阮慧宁 责任校对:楼旭红
责任设计:何 建 责任印制:何 艳

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街6号 邮政编码:100027

邮购电话:010-64168110 传真:010-64168231

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社印刷厂印刷 三河市永成装订厂装订

各地新华书店经销

2008年9月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16

字数:330千字 定价:39.80元(附光盘1张)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社市场营销部调换

全面推进素质教育,着力培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的人才,已成为当今本科教育的主题。教材建设作为教学的重要组成部分,如何适应新形势下我国教学改革要求,与时俱进,编写出高质量的教材,在人才培养中发挥作用,成为院校和出版人共同努力的目标。2005年1月,教育部颁发了教高[2005]1号文件“教育部关于印发《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》”(以下简称《意见》),明确指出我国本科教学工作要着眼于国家现代化建设和人的全面发展需要,着力提高大学生的学习能力、实践能力和创新能力。《意见》提出要推进课程改革,不断优化学科专业结构,加强新设置专业建设和管理,把拓宽专业口径与灵活设置专业方向有机结合。要继续推进课程体系、教学内容、教学方法和手段的改革,构建新的课程结构,加大选修课程开设比例,积极推进弹性学习制度建设。要切实改变课堂讲授所占学时过多的状况,为学生提供更多的自主学习的时间和空间。大力加强实践教学,切实提高大学生的实践能力。区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。《意见》强调要加强教材建设,大力锤炼精品教材,并把精品教材作为教材选用的主要目标。对发展迅速和应用性强的课程,要不断更新教材内容,积极开发新教材,并使高质量的新版教材成为教材选用的主体。

随着《意见》出台,教育部组织制定了普通高等教育“十一五”国家级教材规划,并于2006年8月10日正式下发了教材规划,确定了9716种“十一五”国家级教材规划选题,我社共有103种教材被纳入国家级教材规划,其中本科教材56种,高职教材47种。56种本科教材包括了纺织工程教材13种、轻化工程教材16种、服装设计与工程教材24种、美术教材2种、其他1种。为在“十一五”期间切实做好教材出版工作,我社主动进行了教材创新型模式的深入策划,力求使教材出版与教学改革和课程建设发展相适应,充分体现教材的适用性、科学性、系统性和新颖性,使教材内容具有以下三个特点:

(1)围绕一个核心——育人目标。根据教育规律和课程设置特点,从提高学生分析问题、解决问题的能力入手,教材附有课程设置指导,并于章后附有复习指导及形式多样的习题等,提高教材的可读性,增加学生学习兴趣和自学能力,提升学生科技素养和人文素养。

(2)突出一个环节——实践环节。教材出版突出应用性学科的特点,注重理论与生产实践的结合,有针对性地设置教材内容,增加实践、实验内容。

(3)实现一个立体——多媒体教材资源包。充分利用现代教育技术手段,将授课知识点制作成教学课件,以直观的形式、丰富的表达充分展现教学内容。

教材出版是教育发展中的重要组成部分,为出版高质量的教材,出版社严格甄选作者,组织专家评审,并对出版全过程进行过程跟踪,及时了解教材编写进度、编写质量,力求做到作者权威,编辑专业,审读严格,精品出版。我们愿与院校一起,共同探讨、完善教材出版,不断推出精品教材,以适应我国高等教育的发展要求。

中国纺织出版社
教材出版中心

环境污染问题举世瞩目,水污染问题尤为严重。轻化工业是工业废水排放大户,其排放总量大,污染重,处理难度大。对于轻化工业水污染的控制,单纯的被动末端治理投资大,处理费用高,不能实现环境效益和经济效益的协调统一。

本书立足源头控制,以资源化利用为出发点,系统介绍了废水处理各种常用的单元方法及其组合处理工艺,并对轻化工业不同行业废水水质进行了较为详细的分析,对废水污染物回收及资源化利用技术、清洁生产技术等内容进行了简要介绍。内容符合我国发展循环经济和环境保护的目标。全书既重视基本概念和基本理论的阐述,更力求理论联系实际,紧密结合轻化工程学科特点,反映轻化工业不同行业水污染控制的原则、方法及工程实践经验。全书系统性、理论性和实践性较强,且具有很强的实用性。

本书是轻化工程专业本科“十一五”国家级规划教材,也可供其他不同层次同类专业和相关专业教学使用及有关工程技术人员参考。

本书编写人员均为在高等学校从事轻化工业水污染控制及环境工程专业教学、实验、科研的教师,教学经验与工程实践经验较为丰富。本书由柳荣展、石宝龙主编,柳荣展统稿。具体编写分工如下:柳荣展编写第一章、第三章、第七章、第八章,石宝龙、柳荣展编写第六章,于德爽编写第四章,马兆立编写第五章,张玮编写第二章、第九章。

鉴于作者学术水平和实践经验所限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正并提出宝贵意见。

编者

2008年6月

课程名称 轻化工水污染控制

适用专业 轻化工程专业

总学时 48

理论教学课时数 36 **实践教学课时数** 12

课程性质 本课程是轻化工程专业课

课程目的

1. 使学生掌握废水处理常用技术的基本方法、原理、工艺设备,了解水质指标及检测方法。
2. 使学生全面了解轻化工业生产废水的污染特性,掌握该类废水处理技术工艺选择,具备进行废水处理工程初步设计、设备选型、运行管理、技术经济分析的能力,加强对学生实践能力的培养。
3. 使学生掌握废水单元处理技术、污染物回收及资源化利用技术,为轻化工业水污染控制技术改造、科研开发、资源节约与综合利用等奠定基础。
4. 了解轻化工业清洁生产技术及发展趋势。

课程教学基本要求

教学环节包括课堂教学、实践教学、作业及考试。以课堂教学为基础,重点强化实践教学,结合实验、设计、参观实习等实践内容,重点培养学生对轻化工水污染控制技术方法的实践、应用能力及创新能力。

1. 课堂教学:课堂教学在讲授水污染控制技术的基本方法、原理及工艺设备时应结合工程实践,使学生掌握单元处理技术、设备及其应用,同时密切联系轻化工生产工艺过程及废水的来源、污染特性、适用的单元处理技术与方法以及组合处理工艺,以工程实例为依据进行分析、讲解。

2. 实践教学:实践教学结合实验、设备模型、初步设计、工程实例参观学习等,通过现场讲解,使学生深刻了解轻化工水污染控制的技术、方法与工艺设备,提高学生理论联系实际的能力。

3. 作业:作业布置既要重视基本理论与各章知识点,更要重视应用与实践,以开放性作业为主,进一步加强对学生的实践能力、综合素质与创新能力的培养。

4. 考试:期末安排一次考试,可采用开卷、闭卷笔试及两者相结合的方式,建议采用综合测试评定方式。

教学学时分配

章目	讲授内容	学时分配
第一章	绪论	4
第二章	物理法	8
第三章	化学及物理化学法	10
第四章	生物处理法	10
第五章	污泥的处理和利用	2
第六章	染整工业水污染控制	4
第七章	制浆造纸工业水污染控制	4
第八章	制革工业水污染控制	4
第九章	轻化工业废水处理站设计	2
合计		48

第一章 绪论	1
第一节 水体污染与自净	1
一、水资源及污染概况	1
二、水体污染的来源	2
三、水体污染物	3
四、水体自净	4
第二节 轻化工废水特征与污染指标	5
一、轻化工废水特征	5
二、轻化工废水主要污染指标	6
第三节 轻化工水污染控制原则与方法	7
一、轻化工水污染控制的基本原则	7
二、轻化工水污染控制的基本方法	8
第四节 轻化工废水处理程度与处理方法	9
一、废水的处理程度	9
二、废水处理方法与分类	9
三、废水处理工艺	10
 第二章 物理法	12
第一节 机械截留法	12
一、格栅	12
二、筛网	17
第二节 水质和水量调节法	18
一、水质和水量的调节	18
二、调节池的类型和构造	19
三、调节池的设计计算	21
第三节 沉淀法	22
一、沉淀的类型	22
二、理想沉淀池的工作分析	22
三、沉淀池的类型、构造及设计	25
第四节 气浮法	36
一、气浮法的特点	36

二、气浮法的分类	36
三、气浮工艺及设备	37
四、气浮系统设计	42
第五节 过滤法	45
一、过滤的基本类型	45
二、过滤机理	45
三、快滤池的工作过程	46
四、普通快滤池的构造及特征	47
五、快滤池设计	50
六、其他过滤设备	51
 第三章 化学及物理化学法	52
第一节 中和法	52
一、酸、碱废水相互中和	52
二、药剂中和法	53
三、过滤中和法	54
第二节 混凝法	54
一、胶体特性与结构	55
二、混凝机理	56
三、混凝剂与助凝剂	58
四、影响混凝效果的因素	61
五、混凝设备	62
第三节 氧化还原法	68
一、氧化还原电位	68
二、氧化剂及还原剂	69
三、氯氧化法	70
四、臭氧氧化法	72
五、过氧化氢氧化法	73
六、光氧化法	74
七、化学还原法	76
第四节 吸附法	76
一、吸附的基本理论	76
二、吸附平衡与吸附速度	77
三、影响吸附的因素	80
四、吸附剂及其再生	81
五、吸附工艺与设备	83

六、吸附法的应用	84
七、吸附装置的设计	85
第五节 离子交换法	87
一、离子交换的基本理论	87
二、离子交换动力学及其过程	87
三、离子交换剂	88
四、离子交换速率	92
五、离子交换剂的作用及应用	92
六、离子交换工艺及设备	93
七、离子交换装置的设计	94
第六节 膜分离法	95
一、膜分离的含义	96
二、膜分离法的分类及应用	96
三、反渗透	96
四、超滤法	102
 第四章 生物处理法	 108
第一节 基本原理	108
一、微生物呼吸的类型	108
二、废水的好氧生物处理	109
三、废水的厌氧生物处理	110
四、影响生物处理的环境因素	112
五、生物处理法的分类	114
第二节 生化反应动力学	114
一、微生物的生长规律	114
二、废水生物处理工程的基本数学模式	116
三、基质的降解与需氧规律	118
第三节 活性污泥法	119
一、基本原理	119
二、活性污泥的组成与评价指标	120
三、活性污泥法的基本流程及工艺	123
四、曝气和传氧原理	129
五、活性污泥法曝气池的设计计算	135
六、活性污泥法的设计及运行管理	136
第四节 生物膜法	142
一、生物滤池	143

二、生物接触氧化法	149
三、生物转盘	151
四、生物流化床	154
第五节 厌氧生物处理	155
一、厌氧生物处理的基本原理	155
二、厌氧消化池	156
三、厌氧接触工艺	156
四、厌氧生物滤池	156
五、UASB 工艺	157
六、水解酸化池	160
七、厌氧流化床	160
八、厌氧反应器的设计	161
 第五章 污泥的处理和利用	165
第一节 污泥来源与特性	165
一、污泥的来源及分类	165
二、污泥特性	165
第二节 污泥的处理	166
一、污泥调理	166
二、污泥浓缩	167
三、污泥脱水	168
四、污泥的干化和干燥	169
五、污泥消化	170
六、污泥焚烧	170
第三节 污泥的最终处置及资源化利用	170
一、污泥的最终处置	170
二、污泥的资源化利用	171
 第六章 染整工业水污染控制	172
第一节 染整工业废水来源及污染特性	172
一、染整加工基本工艺流程	172
二、废水来源及污染特性	172
第二节 染整工业废水的厂内单项处理	175
一、退浆废水的 PVA 回收	175
二、丝光淡碱回收	176
三、染料回收与染色废水脱色处理	177

四、羊毛脂回收与洗毛废水处理	181
五、丝胶回收与丝绸精练废水处理	182
六、蜡染印花洗蜡废水蜡回收与废水回用	182
第三节 染整清洁生产与绿色加工	183
一、环境友好型前处理技术	183
二、等离子体、辐射能和超声波技术	184
三、酶与生物技术	185
四、新型染色、印花技术	186
第四节 染整工业废水的综合处理	188
一、染整工业废水处理方法的适用范围及其选择	188
二、棉纺织染整工业废水处理	189
三、麻纺织染整工业废水处理	190
四、丝织物染整工业废水处理	191
五、毛纺织染整工业废水处理	191
六、染整工业综合废水处理工程实例	192
 第七章 制浆造纸工业水污染控制	195
第一节 制浆造纸工业废水来源及污染特性	195
一、制浆造纸工业生产基本工艺流程	195
二、废水来源及污染特性	195
第二节 制浆造纸废水的厂内单项处理技术	200
一、化学制浆蒸煮废液的处理	200
二、含氯漂白废水处理技术	205
三、造纸白水回用及处理	205
四、其他废液的处理	206
第三节 制浆造纸清洁生产技术	207
一、高效清洁制浆技术	207
二、清洁漂白新技术	212
第四节 制浆造纸废水的综合处理	214
一、混合废水的性质	215
二、废水处理程序	215
三、废水处理系统工艺	215
四、制浆造纸废水处理工程实例	216
 第八章 制革工业水污染控制	219
第一节 制革工业废水来源及污染特性	219
一、制革工业生产基本工艺流程	219

二、制革废水的来源及污染特性	219
第二节 制革工业废水厂内单项处理	221
一、脱脂废水油脂回收	221
二、灰碱脱毛废水蛋白质回收和废水处理	222
三、铬鞣废水废铬液直接回用与处理	223
第三节 制革工业清洁生产技术	224
一、原皮的防腐和保存清洁工艺	224
二、脱毛工序清洁生产工艺	225
三、脱灰碱清洁生产工艺	226
四、鞣制清洁生产工艺	226
第四节 制革废水厂外综合处理	227
一、废水处理方法选择	227
二、废水处理工程实例	228
 第九章 轻化工业废水处理站设计	231
第一节 设计原则与程序	231
一、设计原则	231
二、设计程序	231
第二节 技术方法与工艺流程选择	233
一、废水水量、水质与污染特性分析	233
二、技术方法与工艺流程选择	233
第三节 平面布置与高程布置	233
一、平面布置	233
二、高程布置	234
 主要参考文献	236

第一章 绪论

全球环境污染问题举世瞩目,包括大气污染、水污染、固体废弃物污染、光污染、热污染等,其中水污染问题尤为严重。近年来,随着全球环境保护力度的不断加大,水污染状况有所改善。但是随着工业的迅速发展,大量废水即使实现达标排放,区域范围内污染物的排放总量往往也超出了环境容量,加上部分未处理废水的直接排放,全球范围内水污染问题仍然十分严峻。

第一节 水体污染与自净

一、水资源及污染概况

水是人类宝贵的自然资源,地球上水的总储量约 14 亿立方千米,其中 97% 以上是海水。约 2.6% 的淡水资源中,绝大多数存在于两极冰川中,其中存在于江、河、湖泊、浅层地表等便于人类直接利用的淡水约为 300 万立方千米,仅占地球总水量的 0.2% 左右,全球水资源分布情况如图 1-1 所示。因此淡水是一种极为有限的资源,并不是“取之不尽,用之不竭”的。

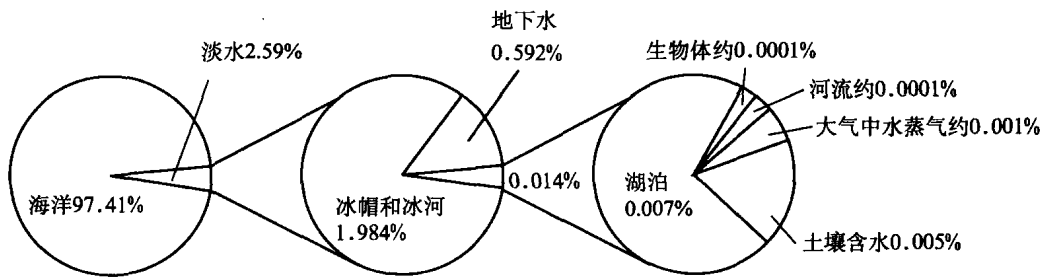


图 1-1 全球水资源分布情况

我国水资源总量约为 2.8 万亿立方米,总量较大,位居世界第六,但人均拥有量仅约有 2100 立方米,为世界人均的 25% 左右,我国是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。另外,我国水资源在空间和时间上分布极不均匀,东南多、西北少,水量年内及年际变化大,水旱灾害频繁。

近几十年来,随着工业的迅速发展,全球水污染问题日益严峻,约 500 多条重要河流和水系受到严重污染。目前,全世界每年约有 4200 多亿立方米的污水排入江、河、湖、海,污染了约 5.5 万亿立方米的淡水,这相当于全球径流总量的 14% 以上。

我国的水污染状况更为严重,根据统计,我国的江、河、湖泊和水库中,已经受污染的约占

82.3%, 全国有监测系统的 1200 多条河流中, 已有 850 条受到污染。据全国 2000 多个监测站的监测结果显示, 我国七大水系符合《地面水环境质量标准》Ⅰ、Ⅱ类的仅占 32.2%, 符合Ⅲ类标准的占 28.9%, 属于Ⅳ、Ⅴ类标准的占 38.9%。在统计的 138 个城市河段中有 133 个河段受到不同程度的污染, 占统计总数的 96.4%, 属于超Ⅴ类水质的有 53 个河段, 占 38%, 属Ⅴ类水的有 27 个河段, 占 20%, 属Ⅳ类水的有 26 个河段, 占 20%, Ⅱ、Ⅲ类水仅占 22%。近年来我国近海附近频发的“赤潮”, 2007 年太湖蓝藻的爆发, 是由于氮、磷等富营养性污染物严重超标所造成的。

近年来, 虽然国家投入了大量的资金用于水污染治理, “三河三湖”即辽河、海河、淮河、太湖、巢湖、滇池的治理等, 拉开了我国水污染防治的序幕, 长江、黄河的污染也已到了非治理不可的程度。但是从目前全国水环境状况看, 水污染问题尚未得到有效控制, 总磷、总氮、化学需氧量等污染指标居高不下, 城市地下水 50% 受到严重污染。如淮河流域虽然整体水体质量得到一定改善, 但流域水体污染依然严重, 部分支流污染状况有加重趋势, 这主要是由于大量工业废水的持续排放所造成, 其污染状况仍然十分严峻。而在太湖污染调查中, 总氮和总磷的来源, 工业污染比例下降, 而农业面源污染和城市生活污染比例增加。另有数据显示, 太湖湖底沉积了大约 60 万吨的磷, 其中有 16 万吨来自周边居民的生活污水。

二、水体污染的来源

水体污染的原因主要是自然活动及人类活动所造成的, 自然活动所造成的污染往往难以控制, 且影响相对较小。因此, 水体污染通常是指人类生产和生活活动排放的污染物进入江、河、湖、海或地下水等水体, 超出了水体的自净能力, 造成水质恶化, 降低甚至使水丧失了使用价值。

造成天然水体污染的原因是多方面的, 其主要来源有以下几个方面。

1. 农业排水 农业生产过程中用到了大量的化肥、农药等化学物质, 除了被生物吸附、吸收、分解和挥发之外, 大部分残留在农田的土壤和水中, 可随农田排水和地表径流水进入水体, 从而造成水体污染。特别是随着农作物病虫害抗药性的增强, 农业生产过程中要求各种杀虫剂既要具有高效性又要具有长效性, 因此人工合成的各种杀虫剂往往难于分解, 从而长期存在于水体之中, 加剧了水体的污染。

2. 城市污水 城市污水主要包括生活污水、工业废水和地表径流水等。随着全球城市化进程的加快, 城市规模急剧扩张。另外, 大量的流动人口涌入城市中, 从而使城市生活污水量大增。生活污水中往往含有大量洗涤剂及病原微生物、富营养性污染物等, 易引起大规模传染性疾病及水体的富营养化。

随着城市扩张与工业化的发展和交通运输业的集中, 许多工业废水也排入城市污水管道, 超出了城市污水处理设施的处理能力。此外, 城市地表径流水在降水初期往往含有大量的污染物质, 因此使城市污水量不断增加和水质复杂化。

3. 工业废水 工业废水是造成全球水体污染的重要来源。工矿企业生产过程中往往要排出大量的生产废水和污水, 包括钢铁、石油化工、化工、焦化、电镀、化肥、农药、造纸、皮革、印染、

食品加工、酿造、啤酒工业等。据不完全统计,近年来我国年废水排放总量约 $4 \times 10^3 \sim 5 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 其中 50% ~ 60% 为工业废水。

绝大多数工业废水污染成分极为复杂,有机污染重,COD(化学需氧量)与 BOD(生化需氧量)有的高达数千甚至上万毫克/升。对于以易生物降解有机物为主要污染物的工业废水,如淀粉废水、啤酒废水、屠宰废水等,有机物在分解过程中消耗大量的氧,从而引起水体溶解氧浓度的大幅降低,处于厌氧状态,产生恶臭,危害水生生物。化肥、化工、水产等氮、磷含量高的废水容易引起水体富营养化,可引发“赤潮”。另外,许多工业废水毒性大,如农药废水、化工废水、电镀废水等,难于处理和净化,若未经处理直接排入天然水体将造成严重的水体污染。纺织品等印染废水含有大量未固色染料,色度高,容易引起水体透光率的降低,影响水生植物的光合作用,降低水中溶解氧的含量,进一步加剧了水体的污染。

4. 养殖废水 近年来,我国养殖业发展迅速,逐步走向规模化、集约化生产,产生了大量养殖废水。养殖废水主要含有大量悬浮物如饲料、动物粪便、动物毛等,废水有机污染重、含氮量高、色度深、带有恶臭等异味。

三、水体污染物

水体污染的来源广泛,其污染物种类极为复杂,根据污染物的种类和性质,一般可分为四大类,即无机无毒物、无机有毒物、有机无毒物、有机有毒物。此外还有放射性污染物、热污染、生物污染物如病毒、细菌等。特别是有毒污染物,可引起生物毒理性变化,根据毒性的大小可分为急性毒物和慢性毒物。前者毒性大,毒效快;后者毒效慢,作用时间长,但可在生物体内蓄积。毒性污染物在水质分析指标中需单独进行检测。

1. 无机无毒物 无机无毒物质主要指氮、磷、无机酸、无机碱及一般的无机盐等。氮、磷主要容易造成水体中水生植物的过量繁殖,形成水华或赤潮,即水体富营养化。酸、碱废水将影响废水 pH 值,影响生物生存并容易造成构筑物及金属腐蚀。酸、碱废水可以相互中和生成无机盐,其危害性降低,但水中无机盐类过多,同样不利于微生物生存并降低水体质量。

2. 无机有毒物 无机有毒物质对生物有较强的毒性,主要有氰化物、砷化物及汞、镉、铬、铅等重金属毒性物质。氰化物和砷化物都是剧毒物质,属于急性毒物。重金属类可通过生物链富集,最后进入人体,造成慢性中毒。此外重金属类还可能形成毒性更大的化合物,如甲基汞等。

3. 有机无毒物 有机无毒物多属于天然有机产物及部分人工合成的有机物,如各类碳水化合物、蛋白质类、脂肪等,多来源于生活污水及食品加工、酿造工业、淀粉工业等工业废水。有机无毒物易于生物降解,最终可以转化为二氧化碳、水等各种无机物。但有机无毒物在生物降解过程中需要消耗水体中大量的溶解氧,影响鱼类和水生生物的生存,造成水体变黑发臭。

4. 有机有毒物 有机有毒物质多为人工合成的有机物,如有机农药、合成染料、合成洗涤剂等各类有机化学产物。有机有毒物不容易生物降解,有的甚至很难降解,多具有“三致”性能,对微生物及人类危害较大。随着自然资源的逐渐减少及石油化学工业的不断发展,各类人