

普通高等教育“十三五”规划教材

# 工业废水处理工程

## INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT ENGINEERING

郭宇杰 修光利 李国亭 主编



华东理工大学出版社  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

# 工业废水处理工程

郭宇杰 修光利 李国亭 主编

 华东理工大学出版社  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

**图书在版编目(CIP)数据**

工业废水处理工程/郭宇杰,修光利,李国亭主编.  
—上海:华东理工大学出版社,2016.10  
ISBN 978-7-5628-4762-5

I. ①工… II. ①郭…②修…③李… III. ①工业  
废水处理 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 185870 号

.....  
策划编辑 / 周 颖

责任编辑 / 陈新征

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址:上海市梅陇路 130 号,200237

电话:021-64250306

网址:www.ecustpress.cn

邮箱:zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 常熟市华顺印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 21

字 数 / 548 千字

版 次 / 2016 年 10 月第 1 版

印 次 / 2016 年 10 月第 1 次

定 价 / 49.80 元  
.....

版权所有 侵权必究

# 前 言

工业废水处理工程是水环境保护中的重要内容之一。本书针对工业废水处理,分为三篇。第一篇,从常见污染物的性质入手,通过分析污染物的结构,了解污染物的物理、化学、物化和生化性质,从而分析其常见化合物的种类及用途,判断其来源,最后依其性质,选择相应的处理方法和分析方法。第二篇,参考了王郁老师的见解,把水处理过程看作稀水溶液的反应工程,通过分析处理过程的反应原理,首先判断反应的可行性,再依据反应的动力学原理,探究其反应速度快慢的机理,判断其工程可行性,并总结影响因素和操作参数。第三篇,以行业废水为例,通过分析生产工艺,利用物料衡算和质量守恒,分析污染物种类、数量、浓度,再利用第一篇和第二篇的知识,设计合理的分流处理工艺和综合废水处理工艺。另外,附录中整理了迄今为止国家环保部颁布的行业工业废水治理工程技术规范和行业的工业污染物排放标准,供同学和同行参考,以便查找相关资料。

本书在华北水利水电大学经过八年试讲,总结了教学经验和学生的反馈意见,经多次修改、增删,期望同学们通过对本书的学习,能够独立分析全新的污染物、设计新的处理方法和了解新的行业废水,成为工业废水污染的治理者、研究者、管理者、决策者。本书也可以作为环境工程专业的教师、工程人员和科研人员的参考用书。

根据各编者的专长,本书第一篇由华北水利水电大学李国亭负责编写,第二篇由华北水利水电大学郭宇杰负责编写,第三篇由华北水利水电大学郭宇杰和华东理工大学修光利共同编写。华北水利水电大学环境工程专业的上官彬、易铁成、崔晋生、梅慧等同学参与了书稿的文字整理和修订工作。全书由郭宇杰、修光利统稿。

工业废水处理工程涉及环境科学、化学、化工原理、生物学、系统工程学等多个领域和学科,由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,希望得到广大读者的批评指正,共同推动环境工程的教学和研究工作,在此深表感谢!

编 者

2015年12月

# 目 录

第 1 章 工业废水处理概论	1
1.1 概论	1
1.1.1 工业废水的分类	1
1.1.2 工业废水对环境的污染	1
1.2 废水的来源和特性	4
1.3 工业废水调查	4
1.3.1 水量调查	5
1.3.2 水质调查	6
1.3.3 废水特性——有机质含量的评估	7
1.3.4 废水毒性的评估	11
1.4 工业废水污染源控制	12
1.4.1 减少废水排出量	12
1.4.2 降低废水中污染物浓度	13
1.4.3 污染源削减的具体措施	14

## 第一篇 工业废水中的典型污染物

第 2 章 汞	15
2.1 汞的基本性质	15
2.2 常见的汞化合物及其基本性质	16
2.2.1 汞的无机化合物	16
2.2.2 汞的有机化合物	17
2.3 水体中汞污染物的来源	18
2.3.1 汞的用途	18
2.3.2 汞的工业污染源	18
2.3.3 汞在天然水体中的转化	18
2.4 含汞废水治理方法	21
2.4.1 沉淀法	21
2.4.2 离子交换法	21
2.4.3 混凝法	21
2.4.4 吸附法	21
2.4.5 还原法	22
第 3 章 镉	23
3.1 镉及其化合物的基本性质	23
3.1.1 镉的基本性质	23

3.1.2	常见的镉化合物及其用途	23
3.1.3	镉及其化合物的毒性	24
3.2	水体中镉污染物来源	24
3.3	镉在水体中的形态	25
3.4	含镉废水治理方法	25
3.4.1	物理和化学法	26
3.4.2	生物法	29
<b>第4章</b>	<b>铅</b>	<b>31</b>
4.1	铅及其化合物的基本性质	31
4.1.1	铅的基本性质	31
4.1.2	常见的铅化合物及其用途	32
4.2	铅及其化合物的毒性	34
4.3	铅在水体中的形态	35
4.4	水体中铅污染物的来源	36
4.5	含铅废水治理方法	37
4.5.1	沉淀法	37
4.5.2	混凝法	38
4.5.3	离子交换法	38
4.5.4	吸附法	38
4.5.5	电偶-铁氧体	38
<b>第5章</b>	<b>铬</b>	<b>39</b>
5.1	铬及其化合物	39
5.1.1	基本性质	39
5.1.2	铬及其主要化合物的用途	39
5.2	铬对人体的影响	40
5.3	含铬废水的来源	41
5.4	含铬废水处理方法	42
5.4.1	还原-沉淀法	42
5.4.2	电解法	42
5.4.3	离子交换法	43
5.4.4	蒸发回收法	43
5.4.5	膜分离法	43
5.4.6	光催化法	43
5.4.7	槽边循环化学漂洗法	43
<b>第6章</b>	<b>砷</b>	<b>44</b>
6.1	砷及其化合物基本性质	44
6.1.1	砷的基本性质	44
6.1.2	砷及其化合物的用途	44
6.2	砷的毒性	45
6.3	砷污染的来源	46

6.4 含砷废水处理方法 .....	46
6.4.1 化学法 .....	47
6.4.2 物化法 .....	48
6.4.3 微生物法 .....	49
<b>第7章 氰化物</b> .....	50
7.1 氰及其化合物性质 .....	50
7.2 氰的毒性 .....	51
7.3 含氰废水的来源 .....	51
7.4 含氰废水处理方法 .....	52
7.4.1 一步氧化法 .....	52
7.4.2 两步氧化法 .....	53
7.4.3 二氧化硫-空气氧化法 .....	54
7.4.4 电解氧化法 .....	54
7.4.5 酸化法 .....	55
7.4.6 离子交换法 .....	55
7.4.7 吸附-回收法 .....	55
7.4.8 生物处理法 .....	55
<b>第8章 氟化物</b> .....	56
8.1 氟及其化合物基本性质 .....	56
8.1.1 氟的基本性质 .....	56
8.1.2 氟及其化合物的用途 .....	56
8.2 氟的毒性 .....	58
8.3 主要工业废水来源 .....	59
8.4 含氟废水处理方法 .....	59
8.4.1 沉淀法 .....	59
8.4.2 吸附法 .....	60
<b>第9章 有机污染物</b> .....	61
9.1 概述 .....	61
9.2 分类 .....	61
9.3 含油废水 .....	63
9.3.1 含油废水来源 .....	63
9.3.2 含油废水对环境的危害 .....	63
9.3.3 含油废水处理方法 .....	64
9.4 含酚废水 .....	67
9.4.1 含酚废水来源 .....	68
9.4.2 含酚废水的危害 .....	68
9.4.3 含酚废水处理方法 .....	68
9.5 农药废水(有机氯、有机磷) .....	70
9.5.1 来源 .....	70
9.5.2 危害 .....	70

9.5.3 处理方法	71
<b>第10章 放射性污染</b>	<b>73</b>
10.1 概述	73
10.2 来源	73
10.3 放射性污染的危害	75
10.4 工业排放标准	76
10.5 性质	76
10.6 处理技术	77
10.6.1 稀释排放法	77
10.6.2 放置衰减法	77
10.6.3 反渗透浓缩法	78
10.6.4 蒸发法	78
10.6.5 混凝沉淀法(化学沉淀法)	78
<b>第11章 热污染</b>	<b>79</b>
11.1 概述	79
11.2 热污染的来源	79
11.3 热污染的危害	79
11.4 热污染的防治	80
11.4.1 废热的综合利用	80
11.4.2 利用温排水冷却技术减少温排水	80
11.4.3 加强隔热保温,防止热损失	80
11.4.4 寻找新能源	80

## 第二篇 工业废水处理基础理论

<b>第12章 废水处理工程的基础理论</b>	<b>81</b>
12.1 反应过程动力学	81
12.1.1 化学反应速率	81
12.1.2 化学反应类型	82
12.1.3 各类化学反应的反应速率描述	84
12.1.4 反应速率常数与温度的关系	89
12.2 物料衡算	89
12.2.1 物料衡算的若干概念	90
12.2.2 物料衡算分析	90
12.3 反应器及其选择	92
12.3.1 反应器的类型及其特征	93
12.3.2 典型反应器的计算	97
12.3.3 反应器的选择与反应器在系统中的安排	100



<b>第 13 章 工业废水物理处理过程</b> .....	102
13.1 概述 .....	102
13.1.1 废水处理方法 .....	102
13.1.2 废水中污染物形态分类 .....	102
13.1.3 物理处理过程的定义和分类 .....	104
13.2 调节池 .....	105
13.2.1 调节池的作用和定义 .....	105
13.2.2 水量调节池 .....	105
13.2.3 水质调节池 .....	106
13.2.4 分流贮水池 .....	107
13.2.5 调节池的搅拌 .....	107
13.2.6 调节池的施工和设计 .....	108
13.3 沉降 .....	108
13.3.1 概述 .....	108
13.3.2 沉降处理对象 .....	108
13.3.3 固体颗粒分类和沉降类型 .....	109
13.3.4 沉淀池的设计 .....	109
13.4 离心分离 .....	112
13.5 过滤 .....	112
13.5.1 颗粒材料过滤 .....	112
13.5.2 纤维滤料过滤 .....	115
13.5.3 多孔材料滤池 .....	116
13.6 电吸附 .....	119
13.6.1 电吸附原理 .....	119
13.6.2 电吸附工艺及特点 .....	120
13.6.3 电吸附在废水处理中的应用 .....	121
<b>第 14 章 工业废水的化学处理单元</b> .....	124
14.1 中和 .....	124
14.1.1 中和过程机理及过程分析 .....	124
14.1.2 常用中和方法 .....	124
14.2 化学沉淀 .....	127
14.2.1 氢氧化物沉淀法 .....	127
14.2.2 硫化物沉淀法 .....	129
14.2.3 碳酸盐沉淀法 .....	130
14.2.4 卤盐沉淀法 .....	130
14.2.5 铁氧体沉淀法 .....	130
14.2.6 有机试剂沉淀法 .....	132
14.3 氧化还原 .....	134
14.3.1 氧化还原过程基本原理 .....	134
14.3.2 药剂氧化还原法 .....	137
14.3.3 电化学氧化还原法 .....	142
14.3.4 高级氧化工艺 .....	143

14.3.5	焚烧	146
<b>第15章 物理化学处理单元</b>		
15.1	混凝	151
15.1.1	胶体的稳定性	151
15.1.2	胶体的脱稳	151
15.1.3	凝聚动力学	152
15.1.4	混凝剂及助凝剂	154
15.1.5	影响混凝效果的主要因素	154
15.1.6	混凝工艺流程	156
15.1.7	混凝工艺设备	156
15.2	气浮	165
15.2.1	气浮机理	165
15.2.2	气浮法的分类	167
15.2.3	气浮的设计	168
15.3	吸附	171
15.3.1	吸附机理	171
15.3.2	吸附平衡与吸附等温线	172
15.3.3	吸附动力学	174
15.3.4	吸附反应器及其设计	175
15.4	离子交换	179
15.4.1	离子交换过程基本理论	180
15.4.2	离子交换操作工艺条件	184
15.4.3	离子交换反应器及其工艺过程	185
15.4.4	离子交换工艺在废水处理中的应用	187
15.5	萃取	193
15.5.1	废水处理中萃取理论	193
15.5.2	萃取平衡及萃取剂的选择	194
15.5.3	萃取动力学和主要影响因素	195
15.5.4	萃取操作流程	195
15.5.5	萃取剂	198
15.5.6	萃取过程在废水处理中的应用	199
15.6	吹脱与汽提	200
15.6.1	吹脱与汽提传质基本原理	201
15.6.2	吹脱设备	201
15.6.3	汽提设备	203
15.6.4	吹脱与汽提在工业废水处理中的应用	205
15.7	充气膜分离技术	207
15.7.1	膜吸收	207
15.7.2	膜蒸馏	208
15.8	反渗透	209
15.8.1	反渗透原理	209
15.8.2	操作特点	210

15.8.3	反渗透膜	210
15.8.4	反渗透膜性能指标	211
15.8.5	反渗透工艺流程	212
15.8.6	反渗透在废水处理中的应用	213
15.9	电渗析	213
15.9.1	电渗析原理与过程	213
15.9.2	电渗析的操作控制	214
15.9.3	电渗析设计计算	216
15.9.4	电渗析膜	220
15.9.5	电渗析在工业废水处理中的应用	221
15.10	蒸发	222
15.10.1	蒸发基本原理	222
15.10.2	蒸发操作的特点	222
15.10.3	蒸发设备类型	222
15.10.4	蒸发操作的分类	224
15.10.5	蒸发工艺技术	225
15.10.6	蒸发工艺性能预期	226
15.10.7	蒸馏工艺操作中存在的问题	226
15.10.8	蒸发法在废水处理中的应用	226
15.11	结晶	227
15.11.1	基本原理	227
15.11.2	结晶设备	227
15.11.3	结晶法在工业废水处理中的应用	228
<b>第 16 章</b>	<b>生物处理过程</b>	<b>230</b>
16.1	生物除磷原理	230
16.1.1	聚磷菌好氧吸磷过程	230
16.1.2	聚磷菌厌氧释磷过程	230
16.1.3	PHOSTRIP 生物化学除磷组合工艺	231
16.2	硝化作用和反硝化作用	231
16.2.1	硝化作用	231
16.2.2	反硝化作用	237
16.2.3	硝化与反硝化系统	238
16.3	序批式活性污泥处理过程	241
16.3.1	SBR 过程的控制操作	241
16.3.2	SBR 过程的特点	242
16.3.3	SBR 过程的影响因素及工艺设计	243
16.4	膜生物反应器	245
16.4.1	膜生物反应器的类型	245
16.4.2	膜生物反应器的特点	246
16.4.3	膜生物反应器的工艺过程与理论	247
16.4.4	膜生物反应器的设计计算	249
16.4.5	膜生物反应器的应用	249

16.5	厌氧活性污泥处理过程	249
16.5.1	厌氧水解酸化处理过程	250
16.5.2	完全厌氧工艺	251
16.6	污泥	260
16.6.1	污泥来源与特性	260
16.6.2	污泥体积-质量关系	262
<b>第 17 章</b>	<b>工业废水处理方案设计</b>	<b>265</b>
17.1	废水处理工艺选择	265
17.1.1	工业废水综合处理流程	265
17.1.2	工艺选择	265
17.2	工业废水处理方案的优化与设计原则	272
17.2.1	工业废水处理方案优化	272
17.2.2	工业废水处理方案的设计	273
17.3	工业废水处理方案的评审	273
17.3.1	工业废水处理方案的评审原则	273
17.3.2	工业废水处理方案评审的示例	274

### 第三篇 典型行业污染分析及处理综合技术

<b>第 18 章</b>	<b>造纸废水</b>	<b>276</b>
18.1	造纸技术	276
18.2	废水来源	276
18.3	工艺废水处理	277
18.3.1	碱法草浆黑液的碱回收技术	277
18.3.2	白水处理与回收	278
18.4	全厂废水综合处理厂	278
<b>第 19 章</b>	<b>电镀废水</b>	<b>280</b>
19.1	电镀工艺	280
19.1.1	镀前处理	280
19.1.2	电镀	281
19.1.3	除氢	282
19.1.4	低铬彩色钝化	283
19.2	电镀废水的处理	283
19.3	综合污水的处理	284
<b>第 20 章</b>	<b>纺织染整废水</b>	<b>285</b>
20.1	纺织工业废水概述	285
20.1.1	废水来源	285
20.1.2	废水分类	287
20.1.3	废水危害	287

20.2 棉纺织染整废水·····	288
20.2.1 棉纺织染整废水概述·····	288
20.2.2 染整及其废水来源与性质·····	288
20.2.3 废水治理典型流程·····	290
20.3 毛纺染整废水·····	293
20.3.1 洗毛废水来源及处理工艺·····	293
20.3.2 毛精纺产品生产工艺·····	295
20.3.3 毛纺产品洗毛和染色废水综合处理·····	295
20.4 丝绸染整废水·····	296
20.4.1 概述·····	296
20.4.2 丝绸染整工艺及废水来源·····	296
20.4.3 丝绸染整废水处理·····	297
20.4.4 真丝染整废水处理案例·····	298
20.5 化学纤维生产废水·····	299
20.5.1 概述·····	299
20.5.2 黏胶纤维生产工艺与废水分析·····	299
20.5.3 黏胶纤维生产废水处理实例·····	301
20.5.4 氨纶生产工艺及废水处理·····	302
20.6 纺织染整废水处理设计要点·····	304
<b>第 21 章 酿造废水</b> ·····	<b>306</b>
21.1 发酵工业生产工艺·····	306
21.1.1 酒精生产工艺及污染来源·····	306
21.1.2 啤酒生产工艺及污染来源·····	307
21.1.3 黄酒生产工艺·····	307
21.2 废水来源及其水质水量·····	308
21.3 生产废水处理工艺·····	309
21.3.1 废水的资源回收与循环利用·····	310
21.3.2 高浓度工艺废水的一级厌氧发酵处理·····	311
21.3.3 综合废水的集中处理·····	311
<b>附录</b> ·····	<b>313</b>
附录 1 国家环保部所颁布的工业废水治理工程技术规范·····	313
附录 2 工业污染物排放标准·····	314
<b>参考文献</b> ·····	<b>320</b>

# 第 1 章 工业废水处理概论

## 1.1 概 论

### 1.1.1 工业废水的分类

#### 1) 工业废水定义

工业企业的各行各业在生产过程中排出的废水,均称为工业废水(Industrial Wastewater)。工业废水包括生产污水(被污染的工业废水)、生产废水(生产过程中排出的未受污染或受轻度污染以及水温稍有升高的排水,如冷却水、热排水等)和生活污水三种。

#### 2) 工业废水分类

通过区分工业废水的种类,了解其性质和危害,从而能够有针对性地研究处理措施。工业废水一般有以下几种分类方法。

(1) 按照行业的产品加工对象分类。如冶金废水、造纸废水、炼焦废水、金属酸洗废水、纺织印染废水、制革废水、农药废水、化纤废水等。

(2) 按照工业废水中所含主要污染物的性质分类。如无机废水和有机废水。无机废水中主要含有重金属盐类,如  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ ,或含有高浓度阴离子,如  $\text{F}^-$ 、 $\text{AsO}_4^{3-}$ 、 $\text{CN}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等。有机废水中主要含有机物,包括可降解和不可降解两类。这种分类方法简单,有利于选择相应的处理方法。如可生物降解的有机废水可以采用生物工艺处理,无机废水则一般采用物理、化学等工艺处理。当然,一般工业废水中同时存在有机或无机污染物,这就需要确定哪种污染物是主要的,是需要去除的。

(3) 按废水所含污染物主要成分分类。酸性、碱性、含酚废水、含铬废水、放射性废水等。这种分类方法的优点是突出了废水中主要污染物成分,可针对性地考虑处理方法或进行回收利用。将高浓度污染物回收后,再进一步采用普通的处理工艺对出水进行综合处理。如焦化废水,通过萃取回收酚后,出水再采用生化工艺去除  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和氮。

(4) 除了上述分类方法外,还可以根据工业废水的危害性及处理难易程度,将废水分为三类。①危害性较小的废水,如生产废水中排放的冷却水等,主要含有较高浓度的盐、阻垢剂而且温度较高,对环境的毒害性不大,经过除盐、pH 调节和降温,即可排放。②易生物降解无明显生态毒性的废水,可以采用生化工艺处理,如酒精废水、食品加工废水。③难生物降解又有生态毒性的废水,如印染废水中偶氮染料具有较强的致癌性,难以生物降解,还有含酚废水、电镀废水等。

针对一种废水选择处理方案时,首先要了解废水中污染物的种类、浓度、性质。例如印染废水,不同批次的原料,采用的染料、涂料、助剂都是千差万别的,因此,进行废水处理时,必须详细了解废水的产生过程,即工厂的生产工艺,明确污染物的数量、浓度、性质,才能有针对性地选择有效的处理工艺。

### 1.1.2 工业废水对环境的污染

未经达标处理的污水排入水体后,会污染地表水、地下水,甚至土壤(含重金属等的废水)和大气(含挥发性污染物如氨氮、硫化氢、酚等的废水)。水体、大气、土壤受到污染后,也就很难在短时间内恢复到原有的环境水平,在环境管理和规划中我们已经对此有了较深刻的认识。

几乎所有的物质排入水体后都有产生污染的可能性,虽然它们的污染程度有所差别,但一

且超过某一浓度均会产生危害。下面分别举例来说明。

(1) 含无毒物质的有机废水或无机废水。有些污染物虽然本身无毒性,但超过一定浓度和数量后会对环境造成危害。如蛋白质、淀粉等有机物,其排放浓度超过一定值后,在天然水体中生物降解会消耗大量的溶解氧,造成水体发生厌氧、腐败,从而破坏水体的生态平衡;高浓度的盐类,如 NaCl、MgSO<sub>4</sub> 等,在天然水体中会造成很高的渗透压,导致水体中水生动植物脱水死亡,破坏生态平衡。

(2) 含有毒物质的有机废水或无机废水。这些有毒物质排入水体后,不但会造成水生动植物的急性死亡,而且还会通过水生动植物的生物富集作用,在食物链中逐渐传递并累积,造成长期的危害。

(3) 不溶性悬浮物废水。如造纸、纤维废水中大量的纤维,选矿、采石、洗煤废水。这些污染物会减少水体的采光性和复氧能力,造成水生生物的死亡和腐烂。

(4) 含油废水。海上石油开采和石油水上运输过程的泄漏。

(5) 高温废水。热污染是一种能量污染,它是工矿企业向水体排放高温废水造成的。一些热电厂及各种工业过程中的冷却水,若不采取措施,直接排放到水体中,均可使水温升高,加快水中化学反应、生化反应的速度,使某些有毒物质(如氰化物、重金属离子等)的毒性提高,溶解氧减少,影响鱼类的生存和繁殖,加速某些细菌的繁殖,助长水草丛生,厌气发酵、发臭。

鱼类生长都有一个最佳的水温区间。水温过高或过低都不适合鱼类生长,甚至会导致其死亡。不同鱼类对水温的适应性也是不同的。如热带鱼适合 15~32℃,温带鱼适合 10~22℃,寒带鱼适合 2~10℃。又如鱒鱼虽在 24℃ 的水中生活,但其繁殖温度则要低于 14℃。一般水生生物能够生活的水温上限是 33~35℃。

(6) 氮、磷工业废水。造成水体富营养化。

(7) 酸碱废水。导致水体的酸碱平衡破坏,水坝、船体、管道等设备的腐蚀。

(8) 放射性废水的污染。长期存在于水体或被生物富集起来,直至自然衰减,导致生物不可预知的基因突变。

(9) 生物污染。在水中存在的微生物可分为两大类:植物和动物。植物又可分为藻类(内含叶绿体)和菌类(一般不含叶绿体)两种;菌类分为真菌和细菌,如单细胞的酵母菌和多细胞的毒菌,均属真菌类,同样细菌也有单细胞和多细胞之分。动物型分为单细胞的原生动物和多细胞的微型动物,如轮虫、线虫、甲壳虫等。引起水体污染的微生物主要是致病细菌和病毒,当然藻类过多地繁殖也会造成水体富营养化。

(10) 环境内分泌干扰素。亦称为环境激素,是指环境中存在的能干扰人类和动物内分泌系统诸环节并导致异常效应的物质。影响内分泌系统的环境化学污染物种类很多(如有机卤化物、杀虫剂、除草剂、邻苯二甲酸酯、金属化合物等),由于其对人类和动物的危害性,正受到越来越多的关注。表 1-1 列出了一些此类污染物的标准限值。可以预期,随着对环境内分泌干扰素研究的深入和认识的提高以及人工合成物质种类的增加,此类污染物种类也将不断增加。

表 1-1 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值(摘自 GB 3838—2002) (单位: mg/L)

项目	标准值	项目	标准值	项目	标准值	项目	标准值
三氯甲烷	0.06	氯乙烯	0.005	六氯丁二烯	0.000 6	丙烯醛	0.1
四氯化碳	0.002	1,1-二氯乙烯	0.03	苯乙烯	0.02	三氯乙醛	0.01
三溴甲烷	0.2	1,2-二氯乙烯	0.05	甲醛	0.9	苯	0.01
二氯甲烷	0.02	三氯乙烯	0.07	2,4-二硝基甲苯	0.000 3	甲苯	0.7
1,2-二氯乙烷	0.03	四氯乙烯	0.04	2,4,6-三硝基甲苯	0.5	乙苯	0.3
环氧氯丙烷	0.02	氯丁二烯	0.002	乙醛	0.05	二甲苯	0.5

续表

项目	标准值	项目	标准值	项目	标准值	项目	标准值
异丙苯	0.25	丙烯酰胺	0.000 5	甲基对硫磷	0.002	阿特拉津	0.003
氯苯	0.3	丙烯腈	0.1	马拉硫磷	0.05	苯并 $\alpha$ 芘	$2.8 \times 10^{-6}$
1,2-二氯苯	1.0	吡啶	0.2	乐果	0.08	甲基汞	$1.0 \times 10^{-6}$
1,4-二氯苯	0.3	四乙基铅	0.000 1	苦味酸	0.5	多氯联苯	$2.0 \times 10^{-5}$
三氯苯	0.02	松节油	0.2	2,4-二氯苯酚	0.093	微囊藻毒素	0.001
四氯苯	0.02	丁基黄原酸	0.005	敌敌畏	0.05	黄磷	0.003
六氯苯	0.05	活性氯	0.01	敌百虫	0.05	铍	0.002
硝基苯	0.017	滴滴涕	0.001	内吸磷	0.03	铊	0.005
二硝基苯	0.5	林丹	0.002	百菌清	0.01	铈	0.000 1
五氯酚	0.009	环氧七氯	0.000 2	甲萘威	0.05	镍	0.02
联苯胺	0.000 2	对硫磷	0.003	溴氟菊酯	0.02	钛	0.1

上文讨论的工业废水中污染物及其来源如表 1-2 所示。

表 1-2 工业废水中污染物及其来源

污染物	主要来源
游离氯	氯碱厂、造纸厂、石油化工厂、漂洗车厘
氨及铵盐	煤气厂、氮肥厂、化工厂、炼焦厂
镉及其化合物	颜料厂、石油化工厂、有色金属冶炼厂
铅及其化合物	颜料厂、冶炼厂、蓄电池厂、烷基铅厂、制革厂
砷及其化合物	农药使用过程、农药厂、氮肥厂、制药厂、皮毛厂、染料厂
汞及其化合物	氯碱厂、石油化工厂(氯乙烯、乙醛)、农药厂、炸药厂、汞矿山厂
铬及其化合物	颜料厂、石油化工厂、铁合金厂、皮革厂、制药厂、陶瓷、玻璃厂、电镀厂
酸类	三酸工业、石油化工厂、合成材料厂、矿山、钢铁厂、金属酸洗车间、电镀厂、染料厂
氟化物	磷肥厂、氟化盐厂、塑料厂、玻璃制品制造厂、矿山
氰化物	煤气厂、丙烯腈生产厂、有机玻璃厂、黄血盐生产厂、电镀厂
苯酚及其他酚类	煤气厂、石油裂解厂、合成苯酚厂、合成染料厂、合成纤维厂、酚醛塑料厂、合成树脂厂、制药厂、农药厂
有机氯化物	农药厂、农药使用过程、塑料厂
有机磷化物	农药厂、农药使用过程
醛类	合成树脂厂、青霉素药厂、合成橡胶厂、合成纤维厂
硫化物	硫化染料厂、煤气厂、石油化工厂
硝基及氨基化合物	化工厂、染料厂、炸药厂、石油化工厂
油类	石油化工厂、纺织厂、食品厂
铜化合物	石油化工厂、试剂厂、矿山
放射性物质	原子能工业、放射性同位素实验室、医院
热污染	工矿企业的冷却水、发电厂
生物污染	制药厂、屠宰场、医院、养老院、生物研究所、天然水体、阴沟
碱类	氯碱厂、纯碱厂、石油化工厂、化纤厂

表 1-3 综合了一些工业废水的主要化学成分。

表 1-3 典型工业废水主要化学成分

废水来源	pH	$\text{NH}_3 - \text{N}$	$\text{COD}_{\text{Cr}}$	$\text{BOD}_5$	SS	油或砷	酚	氰化物	硫化物
石油化工厂	7~8	—	—	200~250	50~250	油 300~41 500	—	—	100~200
油页岩厂	7.5~8.5	1 780~1 840	5 700~7 000	—	60~1 500	油 200~1 430	200~260	0.2~0.9	450~500



续表

废水来源	pH	NH <sub>3</sub> -N	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	油或砷	酚	氰化物	硫化物
煤气厂	6~9	2 000~ 3 000	—	—	200~400	—	500~700	15~30	50~100
焦化厂	8~9	1 634~ 1 968	5 245~ 7 778	1 420~ 2 070	46~58	—	930~1 690	1.5~3.0	5.4
制革厂	6~12	—	—	220~ 2 250	70~ 13 700	—	—	—	—
造纸厂	8.8~10.2	0.5~2.1	2 077~ 2 767	—	634~1 528	—	—	—	—
印染厂	9~12	7.7	1 100	350	145	—	—	—	7.4
化纤酸性废水	2.2	—	108	50	63	—	—	—	—
化纤碱性废水	12.5	—	211	180	107	—	—	—	—
氮肥厂	6.5~7.5	—	—	—	-200~ 320	砷 0.1~ 0.8	—	—	—
屠宰场	7.8	90	—	1 707	—	—	—	—	—

## 1.2 废水的来源和特性

工业废水的体积和浓度通常以产品的单位来定义。如对某一造纸厂的废水,通常以每吨纸浆产生的废水量、每吨纸浆产生的5日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)等表示。任何一个工厂都存在废水流量特征的统计变化数据,其变化的程度取决于制造产品的差异和产生废水的生产过程。不管操作是分批的还是连续的,好的生产过程应当产生最少的废料和最少的废水。

废水流量及其特性较大范围的变化,同样体现在同行业中。随着加工工序的不同、产品生产过程的不同、水的循环再生利用的不同,其结果也会不同。因此,一个工厂废水的负荷及其变化,通常需要通过监测来确定。一些典型工业废水的特性和流量变化如表1-4所示。

表 1-4 一些典型工业废水的特性和流量变化

指标 概率/%	水量/m <sup>3</sup>			BOD <sub>5</sub> /kg			SS/kg		
	10	50	90	10	50	90	10	50	90
纸浆造纸/吨纸产品	45.8	179.2	308.4	18.7	63.9	121.3	28.7	115.8	441.0
纸板厂/吨纸产品	31.3	45.8	112.5	11.0	30.9	50.7	27.6	52.9	72.8
屠宰场/吨活杀质量	1.4	6.7	36.1	8.4	28.9	97.8	6.7	21.8	68.9
啤酒厂/m <sup>3</sup> 啤酒	3.0	8.5	13.8	4.9	12.2	268.3	1.5	7.3	14.9
制革厂/吨生皮	35.3	75.6	114.2	575 <sup>①</sup>	975	1 400	600 <sup>①</sup>	1 900	3 200

注:对于前四种工业废水,该项统计的是BOD<sub>5</sub>的排放量,而对于制革废水,关注的是As的排放限度,单位为mg/L。

## 1.3 工业废水调查

总之,水体污染是我国面临的主要环境问题之一。而主要原因是工业废水未能达标排放。

工业废水调查涉及制定一个用水和排水全过程中水和污染物平衡的设计过程,同时建立针对各工序和全厂生产工序的废水特征监测机制。调查结果能够展示水的平衡,并获取废水处理中水量和污染物浓度变化资料。因此,调查包括水量和污染物浓度两个方面。