

普通高等学校“十三五”教材

# 废水处理工程

第三版

戴友芝 肖利平 唐受印 等编

Wastewater  
Treatment  
Engineering



化学工业出版社

普通高等学校“十三五”教材

# 废水处理工程

第三版

戴友芝 肖利平 唐受印 等编

Wastewater  
Treatment  
Engineering



化学工业出版社

北京

本书系统介绍了各种水处理单元技术方法的基本原理、工艺流程、设计计算、管理及应用等。全书共分十九章，内容包括总论、筛滤与调节、混凝、沉淀与上浮、深层过滤、化学处理、吸附、离子交换、膜分离、其他相转移分离法、循环冷却水处理、废水生物处理理论基础、好氧活性污泥法、好氧生物膜法、厌氧生物处理、生物脱氮除磷、人工生态处理、污泥处理与处置、废水处理厂设计。

本书重视基本概念和基础理论的阐述，注重吸收废水处理的新理论和新技术，同时理论联系实际，用工程观点分析问题，可作为高等学校环境工程及相关专业的本科生及研究生教材，也供给水排水专业教学使用和有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

废水处理工程/戴友芝等编. —3版. —北京: 化学工业出版社, 2016.10

ISBN 978-7-122-28151-7

I. ①废… II. ①戴… III. ①废水处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 230486 号

责任编辑: 刘婧 陈丽  
责任校对: 王素芹

装帧设计: 张辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 26½ 字数 695 千字 2017 年 7 月北京第 3 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 78.00 元

版权所有 违者必究



# 前 言

《废水处理工程》(第二版)自出版至今已有12年了。12年来,水处理的理论和技术都在不断发展,为保持本书的新颖性,《废水处理工程》(第三版)在第二版的基础上进行了较大的修改和补充。全书仍保持了原书的基本框架和结构,按处理方法设章,内容包括废水处理各单元方法的基本原理、设备构造、工艺设计、操作管理及应用等,以及污泥的处理与处置、废水处理厂设计及其实例等。本次修订的重点是在各章(除第十一章以外)增加了新的技术内容和新工艺设备介绍,适当删减了部分陈旧的内容,对全书进行了全面梳理和修订,将第二版的第十八章“处理后废水的回收与再利用”内容融入第一章之中,并增加了部分习题与例题。

《废水处理工程》(第三版)全书共十九章,其中第二章~第十章、第十八章由肖利平负责编写;第十一章由唐受印负责编写;第一章、第十二章~第十七章、第十九章由戴友芝负责编写。此外,参加本书部分编写和整理工作的还有田凯勋(第五章、第七章、第八章)、汪形艳(第六章)、杨基成(第十三章、第十四章)和邓志毅(第十五章、第十八章),全书由戴友芝负责审定。感谢汪大翠教授、唐受印教授等对原书编写所做的巨大贡献,感谢龚雄虎、邓方鑫等同学在第三版修订过程中所做的协助工作。

本书可作为高等学校环境工程及相关专业本科生及研究生教材,也可供高等学校给水排水专业教学使用和有关工程技术人员参考。

由于我们的水平所限,书中不足和疏漏之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

2017年2月

## 第一版前言

本书系统介绍了水质控制的各种常用的单元方法，这些方法既适合于废水处理，也适用于给水处理。编写时基本上按处理方法的原理不同而设章，各章相对独立，内容包括原理、设备、设计、操作管理、应用等。

全书重视基本概念和基本理论的阐述，注意吸收废水处理的新理论和新技术，同时力求理论联系实际，反映国内外成功的实践经验，因而本书系统性和理论性都较强，且具有相当的实用性。

本书可作为高等院校环境工程专业《废水处理工程》课程的教材，也可供给水排水专业教学使用和有关工程技术人员参考。编写时参考了全国高等工业学校环境工程专业教材编审委员会制定的《水污染控制工程课程教学基本要求》和编者所在学校的教学大纲。

参加本书编写的有浙江大学汪大焱（第一、二、三、十六、十七章），湘潭大学唐受印（第四、五、六、七、八、九、十、十一章），吉林化工学院柏承志（第十二章）和湘潭大学戴友芝（第十三、十四、十五章）。全书由汪大焱审阅。

因编写人员学术水平和实践经验所限，书中缺点和错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1998.8



## 第二版前言

《废水处理工程》是1998年出版的。出版5年来，深受读者欢迎，6次重印，被化学工业出版社评为畅销图书。

本书是在原《废水处理工程》一书基础上修订而成。全书框架基本保持了原书的结构，但根据近年水处理工程在理论、技术等领域的新进展以及21世纪教材的要求，增加了生物脱氮除磷、稳定塘和土地处理系统、废水处理后的排放和再利用等三章，增补了全书各章的思考题与习题，并对原书进行了适当修改、补充和印刷错误的更正。

本书是高等院校环境工程专业本科生及研究生教材，供水污染控制工程课程（多学时）教学之用，亦可供给水排水专业教学使用和有关工程技术人员参考。编写时参考了国家教育部高等教育司制定的水污染控制工程课程（多学时）教学基本要求和编者所在学校的教学大纲。参加本书编写的有湖南工程学院唐受印（第四、五、六、七、八、九、十、十一章），湘潭大学戴友芝（第十三、十四、十五、十六、十七、十八章和全书各章思考题与习题），浙江大学汪大焯（第一、二、三、十九、二十章）和原吉林化工学院柏承志（第十二章）。全书由戴友芝负责修订和审阅。在修订过程中，得到杨润昌、曹建平、肖利平、李芬芳等人的支持和帮助，在此表示感谢。

由于我们的水平所限，书中缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编者

2004. 1

# 目 录

<b>第一章 总论</b>	○
第一节 废水性质与污染指标	1
第二节 废水出路与水质标准	5
第三节 废水处理方法综述	9
思考题与习题	11
<b>第二章 筛滤与调节</b>	○
第一节 筛滤	12
第二节 调节	16
思考题与习题	18
<b>第三章 混凝</b>	○
第一节 混凝的基本原理	19
第二节 混凝剂与助凝剂	21
第三节 影响混凝的因素	25
第四节 混凝工艺与设备	26
思考题与习题	31
<b>第四章 沉淀与上浮</b>	○
第一节 沉淀的基本理论	33
第二节 沉砂池	41
第三节 沉淀池	45
第四节 隔油池	54
第五节 气浮池	56
思考题与习题	62

## 第五章 深层过滤

第一节 普通快滤池的构造 .....	64
第二节 过滤理论 .....	73
第三节 快滤池的运行 .....	77
第四节 快滤池的设计 .....	81
第五节 其他滤池 .....	83
思考题与习题 .....	87

## 第六章 化学处理

第一节 中和法 .....	88
第二节 化学沉淀法 .....	91
第三节 化学氧化还原法 .....	96
第四节 电解 .....	114
思考题与习题 .....	121

## 第七章 吸附

第一节 吸附的基本理论 .....	122
第二节 吸附剂及其再生 .....	130
第三节 吸附工艺与设计 .....	134
第四节 吸附法的应用 .....	142
思考题与习题 .....	143

## 第八章 离子交换

第一节 离子交换剂 .....	144
第二节 离子交换的基本理论 .....	148
第三节 离子交换工艺 .....	150
第四节 离子交换设备及计算 .....	155
思考题与习题 .....	157

## 第九章 膜分离

第一节 膜材料及膜的制备 .....	158
第二节 膜组件 .....	162
第三节 膜分离类型及特征 .....	165
第四节 膜分离工艺及设计 .....	171
第五节 膜污染与清洗 .....	178
思考题与习题 .....	180



## 第十章 其他相转移分离法

第一节 吹脱、汽提法 .....	181
第二节 萃取法 .....	186
第三节 蒸发法 .....	190
第四节 结晶法 .....	194
思考题与习题 .....	198

## 第十一章 循环冷却水处理

第一节 概述 .....	199
第二节 水垢及其控制 .....	201
第三节 腐蚀及其控制 .....	206
第四节 微生物及其控制 .....	210
思考题与习题 .....	212

## 第十二章 废水生物处理理论基础

第一节 生物处理微生物基础 .....	213
第二节 微生物增长与底物降解动力学 .....	218
第三节 废水可生化性 .....	222
第四节 废水生物处理方法概述 .....	228
思考题与习题 .....	231

## 第十三章 好氧活性污泥法

第一节 基本原理 .....	232
第二节 活性污泥性能指标及工艺参数 .....	234
第三节 活性污泥反应动力学 .....	242
第四节 工艺运行方式及特点 .....	246
第五节 曝气设备与供气量计算 .....	254
第六节 曝气池的构造与工艺设计 .....	262
第七节 运行与管理 .....	269
思考题与习题 .....	272

## 第十四章 好氧生物膜法

第一节 基本原理 .....	274
第二节 生物滤池 .....	277
第三节 生物转盘 .....	288
第四节 生物接触氧化法 .....	293

第五节	生物流化床	295
第六节	曝气生物滤池	299
第七节	生物膜法的运行管理	304
	思考题与习题	305

## 第十五章 厌氧生化法

第一节	基本原理	307
第二节	影响因素	309
第三节	厌氧处理工艺及设备	314
第四节	厌氧消化过程动力学	327
第五节	厌氧反应器的设计	331
第六节	厌氧设备的运行管理	334
	思考题与习题	335

## 第十六章 生物脱氮除磷

第一节	生物脱氮原理及影响因素	337
第二节	生物除磷原理及影响因素	341
第三节	生物脱氮除磷工艺及特点	342
第四节	生物脱氮除磷工艺设计	347
	思考题与习题	350

## 第十七章 人工生态处理

第一节	稳定塘	352
第二节	土地处理	359
第三节	人工湿地	362
	思考题与习题	366

## 第十八章 污泥的处理与处置

第一节	污泥的来源与特性	368
第二节	污泥调理	369
第三节	污泥浓缩	371
第四节	污泥稳定	377
第五节	污泥脱水	379
第六节	污泥处置及综合利用	384
	思考题与习题	388

## 第十九章 废水处理厂设计

第一节	设计程序.....	389
第二节	流程选择.....	390
第三节	废水处理厂平面及高程布置.....	392
第四节	设计说明书主要内容.....	396
第五节	城市污水处理厂设计实例.....	397
	思考题与习题 .....	412

## 主要参考文献

1. 《给水排水工程》.....

2. 《给水排水工程》.....

3. 《给水排水工程》.....

4. 《给水排水工程》.....

5. 《给水排水工程》.....

6. 《给水排水工程》.....

7. 《给水排水工程》.....

8. 《给水排水工程》.....

9. 《给水排水工程》.....

10. 《给水排水工程》.....

11. 《给水排水工程》.....

12. 《给水排水工程》.....

13. 《给水排水工程》.....

14. 《给水排水工程》.....

15. 《给水排水工程》.....

16. 《给水排水工程》.....

17. 《给水排水工程》.....

18. 《给水排水工程》.....

19. 《给水排水工程》.....

20. 《给水排水工程》.....

21. 《给水排水工程》.....

22. 《给水排水工程》.....

23. 《给水排水工程》.....

24. 《给水排水工程》.....

25. 《给水排水工程》.....

26. 《给水排水工程》.....

27. 《给水排水工程》.....

28. 《给水排水工程》.....

29. 《给水排水工程》.....

30. 《给水排水工程》.....

31. 《给水排水工程》.....

32. 《给水排水工程》.....

33. 《给水排水工程》.....

34. 《给水排水工程》.....

35. 《给水排水工程》.....

36. 《给水排水工程》.....

37. 《给水排水工程》.....

38. 《给水排水工程》.....

39. 《给水排水工程》.....

40. 《给水排水工程》.....

41. 《给水排水工程》.....

42. 《给水排水工程》.....

43. 《给水排水工程》.....

44. 《给水排水工程》.....

45. 《给水排水工程》.....

46. 《给水排水工程》.....

47. 《给水排水工程》.....

48. 《给水排水工程》.....

49. 《给水排水工程》.....

50. 《给水排水工程》.....

51. 《给水排水工程》.....

52. 《给水排水工程》.....

53. 《给水排水工程》.....

54. 《给水排水工程》.....

55. 《给水排水工程》.....

56. 《给水排水工程》.....

57. 《给水排水工程》.....

58. 《给水排水工程》.....

59. 《给水排水工程》.....

60. 《给水排水工程》.....

61. 《给水排水工程》.....

62. 《给水排水工程》.....

63. 《给水排水工程》.....

64. 《给水排水工程》.....

65. 《给水排水工程》.....

66. 《给水排水工程》.....

67. 《给水排水工程》.....

68. 《给水排水工程》.....

69. 《给水排水工程》.....

70. 《给水排水工程》.....

71. 《给水排水工程》.....

72. 《给水排水工程》.....

73. 《给水排水工程》.....

74. 《给水排水工程》.....

75. 《给水排水工程》.....

76. 《给水排水工程》.....

77. 《给水排水工程》.....

78. 《给水排水工程》.....

79. 《给水排水工程》.....

80. 《给水排水工程》.....

81. 《给水排水工程》.....

82. 《给水排水工程》.....

83. 《给水排水工程》.....

84. 《给水排水工程》.....

85. 《给水排水工程》.....

86. 《给水排水工程》.....

87. 《给水排水工程》.....

88. 《给水排水工程》.....

89. 《给水排水工程》.....

90. 《给水排水工程》.....

91. 《给水排水工程》.....

92. 《给水排水工程》.....

93. 《给水排水工程》.....

94. 《给水排水工程》.....

95. 《给水排水工程》.....

96. 《给水排水工程》.....

97. 《给水排水工程》.....

98. 《给水排水工程》.....

99. 《给水排水工程》.....

100. 《给水排水工程》.....

# 第一章 总论

## 第一节 废水性质与污染指标

水是人类生活和生产活动不可缺少的物质资源。在使用过程中由于丧失了使用价值而被废弃外排，并使接纳水体受到影响的水就称为废水。

### 一、废水类型与特征

根据来源不同，废水可分为工业废水和生活污水两大类，其中工业废水又可分为生产废水和冷却废水。

#### 1. 工业废水

工业废水是在工业生产中所产生的废水，其中生产废水水质往往因生产工艺过程、产品种类和原材料等的不同而变化，是污染和危害较大的废水；冷却废水是产生于间接冷却过程冷却循环系统的废水，该类废水水质污染较轻。

工业废水的特点主要表现在：a. 水量、水质变化大；b. 组成复杂；c. 污染严重。工业废水常含有大量有毒有害污染物，例如重金属、强酸、强碱、有机化学毒物、生物难降解有机物、油类污染物、放射性毒物、高浓度营养性污染物、热污染等。不同工业的生产废水，其水质差异很大，有的工业废水中化学需氧量浓度仅为几百毫克每升（mg/L），而有的会高达几十万毫克每升（mg/L）；有的工业废水的氮磷含量不能满足生物处理的营养要求，而有的氮磷浓度高达几千毫克每升（mg/L）。一般而言，工业废水需经厂内处理达到要求后才能排入城市污水处理系统。

#### 2. 生活污水

生活污水是在人们日常生活中所产生的废水，主要来自于家庭、商业、机关、学校、医院、城镇及工厂等的生活设施排水，如厕所废水、厨房洗涤水、洗衣排水、沐浴排水及其他排水等。

生活污水的水质变化较规律，其主要成分为纤维素、淀粉、糖类、脂肪和蛋白质等有机物质，以及氮、磷营养物质等。来自医疗单位的污水是一类特殊的生活污水，含多种病原体，其主要危害是引起肠道传染病。影响生活污水水质的主要因素有生活水平、生活习惯、卫生设备及气候条件等。

城市污水是排入城镇排水系统的污水的总称，是生活污水和工业废水等的混合废水。城

市污水中各类污水所占的比例因城市的排水体制不同而异；城市污水的水质指标、污染物组成、形态及含量也因城市不同而异。

## 二、废水污染指标

废水污染指标指水样中除去水分子外所含杂质的种类和数量，是评价废水污染程度的具体尺度，同时也是进行废水处理工程设计、反映废水处理效果、开展水污染控制的基本依据。为了确切表示某种废水的性质，可以选择一些具有代表性污染特征的水质指标来衡量。一种水质指标可能包括几种污染物，而一种污染物也可以属于几种水质指标。

废水中的污染物种类主要有固体污染物、有机污染物、营养性污染物、酸碱污染物、有毒污染物、油类污染物、生物污染物、感官性污染物、热污染和放射性污染等，可以通过分析检测方法对污染物做出定性、定量的评价。废水污染指标一般可分为物理性、化学性和生物性污染指标。

### (一) 物理性污染指标

#### 1. 温度

废水温度过高而引起的危害，叫作热污染，热污染的危害主要有以下几点。

① 较高水温使水体饱和溶解氧浓度降低，相应的亏氧量随之减少，而较高水温又加速耗氧反应，可以导致水体缺氧和水质恶化。

② 较高水温会加速水体细菌、藻类生长繁殖，从而加快水体富营养化进程；如取该水体作为给水水源，将增加消毒水处理的费用。

③ 较高水温导致水体中的化学反应加快，使水体的物化性质（如离子浓度、电导率、腐蚀性）发生变化，可能对管道和容器造成腐蚀。

④ 由于水温升高，加速细菌生长繁殖。则需要增加混凝剂和氯的投加量，且使水中的有机氯化物量增加。

#### 2. 色度

色度能引起人们感官上的极度不快，是一种感官性污染指标。纯净的天然水是清澈、透明、无色的，但是含有金属化合物或者有机化合物等有色污染物的废水呈现各种颜色。将有色废水用蒸馏水稀释后与蒸馏水在比色管中对比，一直稀释到两个水样没有色差，此时废水的稀释倍数就是色度。废水排放对色度也有严格的要求。

废水中能引起异色、浑浊、泡沫、恶臭等现象的物质，虽无严重危害，但属于感官性污染物。各类水质标准中，对色度、臭味、浊度、漂浮物等指标都做了相应的规定。

#### 3. 嗅和味

嗅和味同色度一样也是感官性指标。天然水是无色无味的，当水体受到污染后会产生异样的气味。水的异臭来源于还原性硫和氮的化合物、挥发性有机化合物和氯气等污染物。盐分也会给水带来异味、如氯化钠带咸味、硫酸镁带苦味等。废水排放对臭味也作了相应的规定。

#### 4. 固体污染物

固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。悬浮物是一项重要水质指标，它的存在不但使水质浑浊，而且使管道及设备阻塞、磨损，干扰废水处理及回收设备的工作。由于大多数废水中都有悬浮物，因此去除悬浮物是废水处理的一项基本任务。

固体污染物在水中以溶解态（直径小于1nm）、胶体态（直径介于1~100nm）和悬浮态（直径大于100nm）3种状态存在。水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜（孔径为3~10 $\mu$ m）的叫溶解固体（DS）；不能透过的叫悬浮固体或悬浮物（SS），两者的总和称为总固体（TS）。水样经过滤后，滤液蒸干所得的固体，即为溶解性固体（DS），滤渣脱

水烘干后即为悬浮固体 (SS)。将悬浮固体在 600℃ 温度下灼烧, 挥发掉的量即为挥发性悬浮固体 (VS), 灼烧残渣则是固定性固体 (FS), 也称之为灰分。溶解性固体一般表示盐类的含量, 悬浮固体表示水中不溶解的固态物质含量, 挥发性固体反映固体中有机成分含量。悬浮固体 (SS) 和挥发性悬浮固体 (VS) 是两项重要的水质指标, 也是废水处理设计的重要参数。

浊度是对水的光传导性能的一种测量, 其值可表征废水中胶体和悬浮物的含量。

## (二) 化学性污染指标

### 1. 有机物

废水中的有机污染物种类非常多、组成复杂, 由于分别测定各类有机物周期较长, 工作量较大, 有的甚至还难以定量分析。因此, 在工程中一般以生化需氧量 (BOD)、化学需氧量 (COD)、总需氧量 (TOD) 和总有机碳 (TOC) 等指标来定量描述水中有机污染物的含量。

(1) 生化需氧量 (BOD) 在有氧条件下, 由于微生物的活动, 降解有机物所需的氧量, 称为生化需氧量, 单位为单位体积废水所消耗的氧量 (mg/L)。

有机物的生化需氧量与温度、时间有关。在一定范围内温度越高, 微生物活力越强, 消耗有机物越快, 需氧越多; 时间越长, 微生物降解有机物的数量和深度越大, 需氧越多。温度一般规定为 20℃, 此时, 一般有机物需 20 天左右才能基本完成氧化分解过程, 其需氧量用  $BOD_{20}$  表示, 它可视为完全生化需氧量  $L_a$ 。在实际测定时, 20 天仍嫌太长, 一般采用 5 天作为测定时间。在 20℃ 经 5 天培养所消耗的溶解氧量称为 5 天生化需氧量, 以  $BOD_5$  表示。

各种废水的水质差别很大, 其  $BOD_{20}$  与  $BOD_5$  相差悬殊。但对某一种废水而言, 比值相对固定, 如生活污水的  $BOD_5$  约为  $BOD_{20}$  的 0.7。因此把 20℃、5 天测定的  $BOD_5$  作为衡量废水的有机物浓度指标。

$BOD_5$  作为有机物浓度指标, 基本上反映了能被微生物氧化分解的有机物的量, 较为直接、确切地说明了问题。但仍存在一些缺点: a. 当污水中含大量的难生物降解的物质时,  $BOD_5$  测定误差较大; b. 反馈信息太慢, 每次测定需 5 天, 难以迅速及时指导实际工作; c. 废水中如存在抑制微生物生长繁殖的物质或不合微生物生长所需的营养时, 将影响测定结果。

(2) 化学需氧量 (COD) 化学需氧量指在酸性条件下, 用强氧化剂将有机物氧化为  $CO_2$ 、 $H_2O$  所消耗的氧量。氧化剂一般采用重铬酸钾。由于重铬酸钾氧化作用很强, 所以能够较完全地氧化水中大部分有机物和无机性还原物质 (但不包括硝化所需的氧量), 此时化学需氧量用  $COD_{Cr}$  或 COD 表示。如采用高锰酸钾作为氧化剂, 则写作  $COD_{Mn}$ 。

与 BOD 相比,  $COD_{Cr}$  能够在较短的时间内较精确地测出废水中耗氧物质的含量, 不受水质限制, 但废水中的还原性无机物也能消耗部分氧, 造成一定误差。

如果废水中各种成分相对稳定, 那么 COD 与 BOD 之间应有一定的比例关系。一般说来,  $COD > BOD_{20} > BOD_5 > COD_{Mn}$ 。其中  $BOD_5 / COD$  比值可作为衡量废水是否适宜生化法处理的一个指标: 比值越大, 越容易被生化处理。一般认为  $BOD_5 / COD$  大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理。

(3) 总需氧量 (TOD) 有机物主要元素包括 C、H、O、N、S 等。在高温下燃烧后, 将分别产生  $CO_2$ 、 $H_2O$ 、 $NO_2$  和  $SO_2$ , 所消耗的氧量称为总需氧量 (TOD)。一般情况下,  $TOD > COD$ 。

TOD的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为触媒的燃烧管中，在900℃高温下燃烧，水样中的有机物即被氧化，消耗掉氧气流中的氧气，剩余氧量可用电极测定并自动记录。氧气流原有氧量减去剩余氧量即得总需氧量TOD。TOD的测定仅需几分钟。

(4) 总有机碳(TOC) 有机物都含有碳，通过测定废水中的总含碳量可以表示有机物含量。总有机碳(TOC)的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为触媒的燃烧管中，在900℃高温下燃烧，用红外气体分析仪测定在燃烧过程中产生的CO<sub>2</sub>量，再折算出其中的含碳量，就是总有机碳TOC值。为排除无机碳酸盐的干扰，应先将水样酸化，再通过压缩空气吹脱水中的碳酸盐。TOC的测定时间也仅需几分钟。

(5) 有毒有机物 有毒有机物大多是人工合成的有机物，难以被生化降解，并且大多是较强的“三致”物质(致癌、致畸、致突变)，毒性很大。有毒有机物主要有农药(DDT、有机氯、有机磷等)、酚类化合物、聚氯联苯、稠环芳烃(如苯并芘)、芳香族氨基化合物以及表面活性剂等。以有机氯农药为例，首先其具有很强的化学稳定性，在自然环境中的半衰期为十几年到几十年；其次它们都可能通过食物链在人体内富集，危害人体健康，如DDT能蓄积于油脂中，浓度可比水体中高12500倍。有毒有机物由于污染严重，一般按类或种来测定其含量。

(6) 油类污染物 油类污染物包括“石油类”和“动植物油”两项。油类污染物能在水面上形成油膜，隔绝大气与水面，破坏水体的复氧条件；它还能附着于土壤颗粒表面和动植物体表，影响养分的吸收和废物的排出。当水中含油0.01~0.1mg/L，对鱼类和水生生物就会产生影响；当水中含油0.3~0.5mg/L，就会产生石油气味，不适合饮用。

## 2. 无机物

(1) pH值 pH值主要指示水样的酸碱性。pH值小于7，水样呈酸性；pH值大于7，水样呈碱性。天然水体的pH一般近中性，当受到酸碱污染时，水体pH值发生变化，破坏自然缓冲作用，抑制微生物生长，妨碍水体自净，使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。各种生物都有自己适应的pH值范围，超过该范围，就会影响其生存。一般要求处理后废水的pH值在6~9之间。对渔业水体而言，pH值不得低于6或高于9.2，当pH值为5.5时，一些鱼类就不能生存或生殖率下降。农业灌溉用水的pH值应为5.5~8.5。此外酸污染也对金属和混凝土材料造成腐蚀。

(2) 植物营养元素 废水中所含的N和P是植物和微生物的主要营养元素。当废水排入接纳水体，使水中N和P的浓度分别超过0.2mg/L和0.02mg/L时，就会引起接纳水体的富营养化，促进各种水生生物(主要是藻类)的活性，刺激它们的异常增殖，这样会造成一系列的危害。

① 藻类占据的空间越来越大，使鱼类活动空间越来越小，衰死藻类将沉积在水底，增加水体有机物量。

② 藻类种类逐渐减少，从以硅藻和绿藻为主转为以迅速繁殖的蓝藻为主，蓝藻不是鱼类的良好饲料，并且有些还会产生毒素。

③ 藻类过度生长，将造成水中溶解氧的急剧减少，使水体处于严重缺氧状态，造成鱼类死亡，水体腐败发臭。

N的主要来源是氮肥厂、洗毛厂、制革厂、造纸厂、印染厂、食品厂和饲养厂等。P的主要来源是磷肥厂和含磷洗涤剂等。生活污水经普通生化法处理，也会转化出无机N和P。此外，BOD、温度、维生素类物质也能促进和触发营养性污染。

(3) 重金属有毒物 重金属在天然水体中的含量一般均很低。重金属大多有毒，重金属毒物主要为汞、铬、镉、铅、砷(类金属)、锌、镍、铜、钴、锰、钛、钒、钼和铀等，特

别是前 5 种危害更大。如汞进入人体后被转化为甲基汞，在脑组织内积累，破坏神经功能，无法用药物治疗，严重时能造成死亡；镉中毒时引起全身疼痛、腰关节受损、骨节变形，有时还会引起心血管病。

重金属毒物具有以下特点：a. 其毒性以离子态存在时最严重，金属离子在水中容易被带负电荷的胶体吸附，吸附金属离子的胶体可随水流迁移，但大多数会迅速沉降，因此重金属一般都富集在排污口下游一定范围内的底泥中；b. 不被微生物降解，只是在各种形态间相互转化、分散，如无机汞能在微生物作用下转化为毒性更大的甲基汞；c. 能被生物富集于体内，既危害生物，又通过食物链危害人体，如淡水鱼能将汞富集 1000 倍、铜富集 300 倍、铬富集 200 倍等；d. 重金属进入人体后，能够和生物高分子物质，如蛋白质和酶等发生作用而使这些生物高分子物质失去活性，也可能在人体的某些器官积累，造成慢性中毒，其危害有时需 10~20 年才能显露出来。

(4) 无机非金属有毒物 无机非金属有毒物主要有氰化物、氟化物、含硫化合物、亚硝酸根等。如氟进入机体后与血液中的钙结合，形成不溶性的氟化钙，导致血液中游离钙减少，可引起骨氟症等；简单氰化物最常见的是氰化氢、氰化钠和氰化钾，易溶于水，有剧毒，如摄取 0.1g 左右就会致人死亡；亚硝酸盐在人体内能与仲胺生成亚硝胺，具有强烈的致癌作用。

(5) 放射性 放射性指原子核衰变而释放射线的物质属性，主要包括 X 射线、 $\alpha$  射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线及质子束等。废水中的放射性物质主要来自铀、镭等放射性金属生产和使用过程，如核试验、核燃料再处理、原料冶炼厂等；其浓度一般较低，主要引起慢性辐射和后期效应，如诱发癌症、对孕妇和婴儿产生损伤、引起遗传性伤害等。

### (三) 生物性污染指标

生物污染指标主要指废水中的致病性微生物，主要有细菌总数、大肠菌群和病毒。未污染的天然水中细菌含量很低，当城市污水、垃圾淋溶水、医院污水等排入后将带入各种病原微生物。如生活污水中可能含有能引起肝炎、伤寒、霍乱、痢疾、脑炎的病毒和细菌以及蛔虫卵和钩虫卵等。生物污染物污染的特点是数量大、分布广、存活时间长、繁殖速度快，必须予以高度重视。

#### 1. 细菌总数

水中细菌总数反映了水体受细菌污染的程度，可作为评价水质清洁程度和水净化效果的指标，一般细菌越多表示病原菌存在的可能性越大。水质标准中的卫生学指标有细菌总数和总大肠菌群数两项，后者反映水体受粪便污染的状况。

#### 2. 大肠菌群

大肠菌群被视为最基本的粪便污染指示菌群，大肠菌群的值可表明水被粪便污染的程度，间接表明肠道病菌（伤寒、痢疾、霍乱等）存在的可能性。

#### 3. 病毒

由于肝炎、小儿麻痹症等多种病毒性疾病可通过水体传染，水体中的病毒已引起人们的高度重视。这些病毒也存在于人的肠道中，通过病人粪便污染水体。

## 第二节 废水出路与水质标准

### 一、废水出路

废水经过处理后的最终出路是返回自然水体或者经过深度处理后再生利用（或回用）。



### 1. 废水经处理后排入水体

排入水体是废水净化后的传统出路和自然归宿，也是目前最常用的方式。为了避免废水排放对水体的污染，保护水生生态环境，废水必须经过处理达到相应的排放标准后才能排入水体。根据国家排放标准确定各污染物的最高允许的排放浓度或排放总量。污水处理厂的排放口一般设在城镇江河的下游，以避免污染城镇给水厂水源水质和影响城镇水环境质量。

### 2. 废水经处理后再生利用

我国水资源十分短缺，人均水资源只有世界平均水平的 1/4，水已成为未来制约国民经济发展和人民生活水平提高的重要因素。处理后废水的再利用是减轻水体污染程度、改善生态环境、保障水资源的可持续利用与社会可持续发展的有效途径。

(1) 污水再生利用或回用的要求如下。

① 污水再生利用或回用应为使用者和公众所接受；应符合应用对象对水质的要求或标准。

② 对人体健康不产生不良影响；对环境质量和生态系统不应产生不良影响。

③ 对产品质量不应产生不良影响。

④ 再生利用或回用系统在技术上可行、操作简便，且应有安全使用的保障。

(2) 污水再生利用或回用的领域 污水经深度处理达到相应的水质标准后，可回用于工、农、林、牧、渔业（如工业冷却、洗涤、工艺和产品用水，农业灌溉、畜牧养殖、水产养殖等用水）等各生产领域，也可用于城市杂用水（如城市绿化、冲洗厕所、道路清扫、洗车、建筑施工、消防等），以及补充水源水（补充地表水和地下水）等。

出于卫生安全考虑，回用水主要用于非饮用水，据我国城市污水处理回用供需分析研究报告测算，工业回用和生态补充水回用是再生水利用的两个较大市场，具有很大发展前景。

## 二、水质标准

水质标准是描述水质状况的一系列标准，表示各类水中污染物的最高容许浓度或限量阈值的具体限制和要求。我国水质标准从水资源保护和水体污染控制两方面考虑，分别制订了水环境质量和污水排放标准，前者以保证水体质量和水的使用为目的，后者为控制污水处理后所达到的排放要求，这些标准是水污染控制的基本管理措施和重要依据之一。

### 1. 水环境质量标准

(1) 天然水体水质标准 天然水体是人类的重要资源，为了保护天然水体的质量，不因污水的排入而导致恶化甚至破坏，在水环境管理中按水体功能要求，分类进行水环境质量控制项目和限值的规定。我国目前天然水体水环境质量标准主要有《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)、《海水水质标准》(GB 3097—1997)、《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)，这些标准都是强制性国家标准，是污水排入水体时执行排放等级的重要依据。

《地表水环境质量标准》是最重要的水体水环境质量标准。我国《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)自1983年首次发布以来，分别于1988年、1999年和2002年经过了3次修订。依据地表水水域环境功能和保护目标，《地表水环境质量标准》按功能高低依次将水体划分为五类：Ⅰ类主要适用于源头水、国家自然保护区；Ⅱ类主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、幼鱼的索饵场等；Ⅲ类主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄流通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区；Ⅳ类主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区；Ⅴ类主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。按照地表水环境功能分类和保护目标，规定了水环境质量应控制的项目和限值。该标准提出的控制项目共计109项，包括地表水环境质