

● 教、学、做一体化教材

国家示范院校重点建设专业

给排水工程技术专业课程改革系列教材

# 水处理工程技术

◎ 主 编 张思梅 张漂清  
◎ 副主编 胡淑恒 吴义锋  
◎ 主 审 徐得潜 汤 峰

.2



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

国家示范院校重点建设专业

给排水工程技术专业课程改革系列教材

# 水处理工程技术

---

◎ 主 编 张思梅 张漂清

◎ 副主编 胡淑恒 吴义锋

◎ 主 审 徐得潜 汤 峰



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本教材为国家示范院校重点建设专业——给水排水工程技术专业课程改革系列教材之一，是以具体工作项目为载体、以工作过程为导向进行开发的。主要内容包括6个学习项目：地表水水源净水处理、地下水水源净水处理、城镇污水处理、工业废水处理、污泥的处理与处置、水处理综合实训。

本教材以实际的工作项目为载体、水处理的方法及应用为主线，注意理论与实际相结合，突出实用性。既考虑了给水与污水处理技术的系统性，又使二者有机地融为一体。

本教材可作为高职高专学校给水排水工程专业的教学用书，亦可作为环境工程专业及其他相关专业的教学用书，还可供从事给水排水、环境保护方面的技术人员与相关人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水处理工程技术 / 张思梅, 张漂清主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.3

(国家示范院校重点建设专业、给排水工程技术专业课程改革系列教材)

ISBN 978-7-5084-7332-1

I. ①水… II. ①张… ②张… III. ①水处理—高等学校—教材 IV. ①TU991.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第038540号

书 名	国家示范院校重点建设专业 给排水工程技术专业课程改革系列教材 <b>水处理工程技术</b>
作 者	主 编 张思梅 张漂清 副主编 胡淑恒 吴义锋 主 审 徐得潜 汤 峰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 20印张 487千字
版 次	2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	<b>40.00元</b>

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

本教材是示范院校国家级重点建设专业——给水排水工程技术专业的专业建设与课程改革的重要成果，是“教、学、做一体化”的特色教材。

本教材是根据教育部有关指导性的精神和意见，遵循给排水工程技术专业“工学结合——项目导向”的人才培养模式，“以工作项目为载体、以工作过程为导向”，在校企共同开发的课程标准与教学组织设计、教材编写大纲的基础上编写的。本教材培养学生具备对原水、污废水、污泥进行处理的职业能力，为学生从事水处理及给排水相关的运行与管理的工作服务。

我国是一个水资源匮乏的国家，水资源总量不足且时空分布不均。近 20 年来，随着我国经济连续高速增长，水污染问题日益严重。尽管最近几年我国政府已加大了水处理的投入力度，研究出了许多水处理新工艺、新技术，提高了我国水处理的总体水平，缓解了一些水资源紧缺和水污染状况，但不可否认的是，水资源紧缺和水环境污染造成的水危机已严重制约了国民经济的发展，影响了人民生活水平的提高。

解决水资源短缺和水污染的一个重要途径在于水处理。截至目前，水处理工程技术的发展已有 100 多年的历史，由于原水及污（废）水各自水质特征、使用目的与处理方法的差异，该领域过去几十年均以各自的特点建立了单独的学术体系，即给水处理与污水处理两个分支，并在不断发展与完善之中。

本教材考虑水处理技术领域内的给水处理和污水处理在理论、方法等方面有许多共性，以处理水质为目标，以处理方法为主线，将长期使用的给水处理和污（废）水处理两个体系的主要内容进行了有机地整合，理论上以够用为度，加强了实践应用，体现了高职高专教育的特色。在保证基本概念和基本理论要求的同时，充分注意吸收国内外水处理工程的新理论、新技术、新设备和新经验，反应了现代水处理工程技术的发展趋势。

本教材由张思梅、张漂清任主编，合肥工业大学资源与环境工程学院胡淑恒编写学习项目 1；合肥市政工程公司韩涛编写学习项目 2；安徽水利水电职业技术学院张思梅、山西水利职业技术学院张漂清编写学习项目 3；东南大学资源与环境工程学院吴义锋编写学习项目 4；安徽水利水电职业技术学院胡昊编写项目 5；安徽水利水电职业技术学院蒯圣龙、赵慧敏编写学习项目 6。全书由张思梅负责统稿，由合肥工业大学徐得潜、合肥供水集团汤峰主审。

限于编者水平，不足之处，敬请读者予以批评指正。

编者

2010 年 1 月

## 前言

<b>学习项目 1 地表水水源净水处理</b> .....	1
<b>学习情境 1.1 给水水质标准和卫生细菌标准</b> .....	2
1.1.1 天然水的杂质 .....	2
1.1.2 给水水质标准 .....	2
1.1.3 卫生细菌学标准及检验 .....	5
<b>学习情境 1.2 水的混凝处理</b> .....	13
1.2.1 水的混凝机理 .....	13
1.2.2 混凝的影响因素 .....	15
1.2.3 混凝剂 .....	17
1.2.4 水的混凝处理 .....	20
<b>学习情境 1.3 水的沉淀处理</b> .....	29
1.3.1 水的沉淀机理 .....	29
1.3.2 理想沉淀池的沉淀原理 .....	30
1.3.3 水的沉淀处理 .....	32
1.3.4 水的澄清处理 .....	36
<b>学习情境 1.4 水的过滤处理</b> .....	39
1.4.1 水的过滤机理 .....	39
1.4.2 水的过滤处理 .....	41
1.4.3 水的反冲洗 .....	48
1.4.4 水的过滤工艺设计 .....	51
<b>学习情境 1.5 水的消毒处理</b> .....	54
1.5.1 物理法消毒处理 .....	54
1.5.2 化学法消毒处理 .....	55
<b>学习情境 1.6 地表水处理工艺流程布置设计</b> .....	60
1.6.1 设计资料准备 .....	60
1.6.2 地表水处理厂厂址选择 .....	64
1.6.3 地表水处理工艺流程选择 .....	64
1.6.4 地表水处理厂平面布置 .....	65
1.6.5 地表水处理厂高程布置 .....	66
<b>思考题与习题</b> .....	70

<b>学习项目 2 地下水水源净水处理</b>	71
<b>学习情境 2.1 地下水除铁</b>	71
2.1.1 地下水除铁原理	71
2.1.2 地下水除铁工艺	73
<b>学习情境 2.2 地下水除锰</b>	74
2.2.1 地下水除锰原理	74
2.2.2 地下水除锰工艺	74
<b>学习情境 2.3 地下水除氟</b>	75
2.3.1 活性氧化铝法	75
2.3.2 骨炭法	76
2.3.3 其他除氟方法	77
<b>思考题与习题</b>	77
<b>学习项目 3 城镇污水处理</b>	78
<b>学习情境 3.1 城镇污水综合排放标准</b>	78
3.1.1 城镇污水的来源及成分	78
3.1.2 废水的水质指标	78
3.1.3 城镇污水的性质	83
3.1.4 城镇污水排放标准	83
<b>学习情境 3.2 污水处理常见微生物及其作用</b>	83
3.2.1 污水处理微生物的常见种类与特点	84
3.2.2 水体污染的指示生物及监测方法	84
3.2.3 废水生物处理中的微生物及其作用	89
3.2.4 水体的污染与自净	103
<b>学习情境 3.3 城镇污水的物理处理</b>	107
3.3.1 格栅的拦截处理	107
3.3.2 沉沙池的沉淀处理	112
<b>学习情境 3.4 城镇污水的好氧生物处理</b>	115
3.4.1 污水的活性污泥法处理	115
3.4.2 污水的生物膜法处理	148
3.4.3 污水的自然生物处理法处理	164
<b>学习情境 3.5 城镇污水的厌氧生物处理</b>	168
3.5.1 城镇污水的厌氧生物处理基础	168
3.5.2 污水的厌氧接触法处理	171
3.5.3 污水的厌氧生物滤池处理	172
3.5.3 污水的其他厌氧生物处理法处理	173
<b>学习情境 3.6 城镇污水处理工艺流程设计与布置</b>	176
3.6.1 设计资料准备	176
3.6.2 城镇污水处理厂厂址选择	176

3.6.3	城镇污水处理工艺流程选择 .....	176
3.6.4	城镇污水处理厂布置 .....	178
	<b>思考题及习题</b> .....	182
<b>学习项目 4</b>	<b>工业废水处理</b> .....	185
<b>学习情境 4.1</b>	<b>工业废水的物理处理</b> .....	187
4.1.1	调节池处理 .....	187
4.1.2	除油处理 .....	189
4.1.3	过滤处理 .....	191
<b>学习情境 4.2</b>	<b>工业废水的化学处理</b> .....	193
4.2.1	中和 .....	193
4.2.2	化学沉淀处理 .....	196
4.2.3	氧化还原处理 .....	198
4.2.4	臭氧氧化处理 .....	201
4.2.5	光氧化处理 .....	204
<b>学习情境 4.3</b>	<b>工业废水的物理化学处理</b> .....	204
4.3.1	混凝处理 .....	204
4.3.2	气浮处理 .....	204
<b>学习情境 4.4</b>	<b>工业废水的生物处理</b> .....	208
4.4.1	工业废水的可生化性分析 .....	208
4.4.2	工业废水好氧生物处理 .....	209
	<b>思考题与习题</b> .....	214
<b>学习项目 5</b>	<b>污泥的处理与处置</b> .....	215
<b>学习情境 5.1</b>	<b>污泥处理与处置的基础知识</b> .....	215
5.1.1	污泥的分类与特性 .....	215
5.1.2	污泥量 .....	217
5.1.3	污泥处理与处置基本方法 .....	217
<b>学习情境 5.2</b>	<b>污泥的浓缩处理</b> .....	217
5.2.1	重力浓缩法 .....	218
5.2.2	气浮浓缩法 .....	219
5.2.3	离心浓缩法 .....	219
5.2.4	污泥浓缩方法的选择 .....	220
<b>学习项目 5.3</b>	<b>污泥的消化处理</b> .....	220
5.3.1	污泥的厌氧消化处理 .....	220
5.3.2	污泥的好氧消化 .....	231
<b>学习情景 5.4</b>	<b>污泥的自然干化处理</b> .....	232
5.4.1	污泥干化场的构造 .....	232
5.4.2	干化场脱水的影响因素 .....	232
5.4.3	污泥干化场面积的确定 .....	233

<b>学习情景 5.5 污泥的脱水、干燥与焚烧处理、最终处置</b> .....	233
5.5.1 污泥脱水处理 .....	233
5.5.2 污泥的干燥与焚烧处理 .....	238
5.5.3 污泥的最终处置与综合利用 .....	239
<b>思考题与习题</b> .....	240
<b>学习项目 6 水处理综合实训</b> .....	242
<b>学习情境 6.1 水处理实训基础知识</b> .....	242
6.1.1 水处理实验技术的作用 .....	242
6.1.2 水处理实验过程 .....	242
6.1.3 水处理实验设计 .....	244
<b>学习情境 6.2 城镇净水处理实验</b> .....	245
6.2.1 混凝搅拌实验 .....	245
6.2.2 过滤实验 .....	249
6.2.3 消毒实验 .....	260
6.2.4 给水处理动态模型实验 .....	267
<b>学习情境 6.3 城镇污水处理实验</b> .....	272
6.3.1 活性污泥活性测定实验 .....	272
6.3.2 好氧生物处理实验 .....	276
6.3.3 间歇式活性污泥法 (SBR 法) 实验 .....	284
6.3.4 生物转盘实验 .....	286
6.3.5 塔式生物滤池实验 .....	287
6.3.6 污水和污泥厌氧消化实验 .....	288
<b>附录</b> .....	294
附录一 氧在蒸馏水中的溶解度 .....	294
附录二 空气管计算图 (a) .....	295
附录三 空气管计算图 (b) .....	296
附录四 各种管内部压力损失的换算系数 .....	296
附录五 我国鼓风机产品规格 .....	296
附录六 泵型曝气叶轮的技术规格 .....	297
附录七 平板叶轮计算图 (a) .....	298
附录七 平板叶轮计算图 (b) .....	299
附录八 地面水环境质量标准 (GB—3838—88) .....	300
附录九 污水综合排放标准 (GB 8978—1996) .....	301
附录十 农田灌溉水质标准 (mg/L) (GB 5084—92) .....	306
附录十一 污水排入城市下水道水质标准 (CJ 18—86) .....	307
附录十二 城市污水处理厂污水排放标准 (CJ 3025—93) .....	307
附录十三 景观娱乐用水水质标准 (GB 12941—91) .....	308
<b>参考文献</b> .....	310



# 学习项目 1 地表水水源净水处理

**学习目标：**学生通过本学习项目的学习，能够掌握地表水水源净水处理流程的选择与各个处理构筑物的选择与设计，理解给水水质标准和给水卫生细菌学标准（国标对各种水质指标的规定），理解给水水厂的位置选择与工艺流程的布置。

**项目描述：**以某水厂地表水水源净水处理为项目载体，主要介绍地表水处理的基本方法和工作流程、生活饮用水水质标准和卫生细菌标准；并利用给排水专业的实验实训条件进行模拟仿真实训。

自然界中的水主要受太阳照射和地心引力的两种作用而不停地运动，通过降水、蒸发、径流、渗流等方式循环不止，构成水的自然循环（见图 1.1），形成各种不同的水源。

在自然循环中几乎在每个环节都有杂质混入，使水质发生变化。降水（包括雨、雪、霰等）到达地面之后，除自然蒸发外，一部分流入江、河、湖、海、水库、池塘等处，成为地面水水源；另一部分渗入地层成为地下水水源。我国地面水水源，在南方较普遍，在北方则以地下水作为水源的居多。水是丰富的自然资源，也是人类环境的重要组成部分，地球上水的总量约有 136000 万  $\text{km}^3$ ，其中有 97%

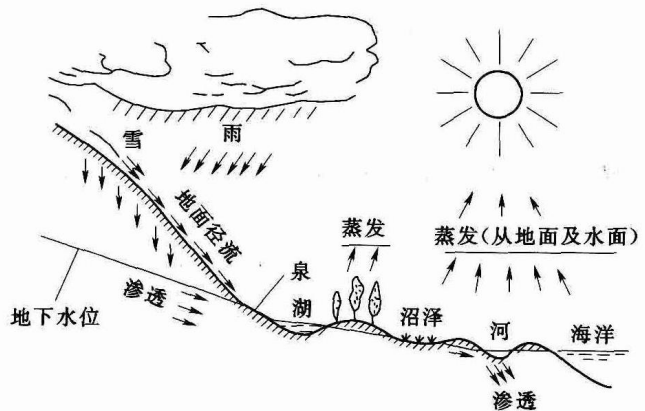


图 1.1 自然界中水的循环

以上分布在海洋中。淡水湖和河流的水量仅约 126000  $\text{km}^3$ ，这些水除大量蒸发外，只有 37500  $\text{km}^3$  左右可供生活及工农业生产使用。至于土壤和岩层中的地下水，估计约有 840 万  $\text{km}^3$ 。

人类社会为了满足生活、生产等需要，要从各种天然水体中取用大量的水，经过净水处理后使用。而这些生活用水和工业用水被使用后，就成为生活污水和工业废水，它们被排出后，最终又流入天然水体。这样，水在人类社会中也构成了一个循环体系，这个局部循环体系称为社会循环。社会循环中所形成的生活污水和各种工业废水是天然水体最大的污染源。

虽然自然循环的水量只占地球上总水量的 0.031% 左右，而其中经过径流与渗流的约只有 0.003%，社会循环从中取用的水量又不过是径流和渗流水量的 2%~3%，也即为地球总水量的数百万分之一。然而，就是取用这在比例上似乎微不足道的水，却在社会循环中表现出人与自然在水量和水质方面都存在着巨大的矛盾。水体环境保护和水治理工程技术的任务就是调查研究和控制解决这些矛盾，保证用水和废水的社会循环能够顺利地进行。



## 学习情境 1.1 给水水质标准和卫生细菌标准

### 1.1.1 天然水的杂质

水在自然循环中，无时不与外界接触，都不同程度的含有各种各样的杂质。这些杂质一般有两种来源：一是自然过程，即地层矿物质在水中的溶解、水中微生物的繁殖及死亡残骸、水流对地表及河床冲刷所带入的泥沙等；二是人为因素，即生活污水与工业废水的污染。这些杂质按其尺寸大小可分为悬浮物、胶体和溶解物三类，见表 1.1。

表 1.1 水中杂质分类

杂质	溶解物 (低分子、离子)		胶体		悬浮物			
	0.1nm	1nm	10nm	100nm	1 $\mu$ m	10 $\mu$ m	100 $\mu$ m	1mm
分辨工具	电子显微镜可见		超显微镜可见		显微镜可见			肉眼可见
水的外观	透明		浑浊		浑浊			

#### 1. 悬浮物和胶体杂质

悬浮物尺寸较大，易于在水中上浮或下沉，水中所存在的悬浮物通常有泥沙、草木、浮游生物、藻类等。胶体颗粒尺寸很小，在水中经长期静置也不会下沉，水中所存在的胶体通常有黏土、细菌、蛋白质等。

悬浮物和胶体是使水产生浑浊的根源。其中有机物，如腐殖质和藻类等，往往会造成水的色、臭、味。随着生活污水、工业废水排入水体，多种病菌、病毒及原生动植物病原体通过水体传播疾病。

悬浮物和胶体是饮用水处理的主要去除对象。粒径大于 0.1mm 的泥沙较易去除，通常在水中可自行下沉。而粒径较小的悬浮物和胶体杂质，需投加一定的混凝剂才能去除。

#### 2. 溶解杂质

溶解杂质是指水中的低分子和离子。它们与水构成均相体系，外观透明。但有的溶解杂质可使水产生色、臭、味。溶解杂质主要是某些工业用水的主要去除对象。

一般说来，地表水较浑浊、细菌较多，但硬度较低；而地下水较清、细菌较少，特别是深层井水，细菌更少，但硬度较高。

### 1.1.2 给水水质标准

水质标准是用水对象（包括饮用和工业用水对象等）所要求的各项水质参数应达到的指标与极限。不同用水对象，要求的水质标准也不同。

饮用水水质与人类健康和生活使用直接相关，故世界各国对饮用水水质标准极为关注。随着科学技术的进步和水源污染的日益严重，同时随着水质检测技术及医药科学的不断发展，饮用水水质标准总在不断修改、补充之中。我国自 1956 年颁发《生活饮用水卫生标准（试行）》直至 1986 年实施《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—85）（见表 1.2）的期间内，进行了多次修订，水质指标项目不断增加。但目前《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—85）已不能满足保障人民群众健康的需要。为此，卫生部和国家标准化管



委员会对原有标准进行了修订，联合发布新的强制性国家《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）（部分指标见表 1.2，其他指标详见具体标准）。新标准已于 2007 年 7 月 1 日起正式实施。

《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）的修订是保证饮用水安全的重要措施之一。在国家标准化委员会协调下，由卫生部牵头，会同建设部、国土资源部、水利部、国家环境保护总局，组织卫生、供水、环保、水利、水资源等各方面专家共同参与完成了该项标准的修订工作。新标准具有以下三个特点：一是加强了对水质有机物、微生物和水质消毒等方面的要求。新标准中的饮用水水质指标由原标准的 35 项增至 106 项，增加了 71 项。其中，微生物指标由 2 项增至 6 项；饮用水消毒剂指标由 1 项增至 4 项；毒理指标中无机化合物由 10 项增至 21 项；毒理指标中有机化合物由 5 项增至 53 项；感官性状和一般理化指标由 15 项增至 20 项；放射性指标仍为 2 项。二是统一了城镇和农村饮用水卫生标准。三是实现饮用水标准与国际接轨。新标准水质项目和指标值的选择，充分考虑了我国实际情况，并参考了世界卫生组织的《饮用水水质准则》，参考了欧盟、美国、俄罗斯和日本等国饮用水标准。

下面对《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）中的感官性状、化学、毒理学和细菌学等四类指标的意义分别作简要叙述。

表 1.2 《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）

生活饮用水水质，不应超过下表所规定的限量		
项 目	标 准	
感官性状指标	色	色度不超过 15 度，并不得呈其他异色
	浑浊度	不超过 3 度，特殊情况下不超过 5 度
	臭和味	不得有异臭、异味
	肉眼可见物	不得含有
化学指标	pH 值	6.5~8.5
	总硬度（以 CaCO <sub>3</sub> 计）（mg/L）	450
	铁（mg/L）	0.3
	锰（mg/L）	0.1
	铜（mg/L）	1.0
	锌（mg/L）	1.0
	挥发酚类（以苯酚计）（mg/L）	0.002
	阴离子合成洗涤剂（mg/L）	0.3
	硫酸锰（mg/L）	250
	氯化物（mg/L）	250
溶解性总固体（mg/L）	1000	
毒理学指标	氟化物（mg/L）	1.0
	氰化物（mg/L）	0.05
	砷（mg/L）	0.05
	硒（mg/L）	0.01
	汞（mg/L）	0.001
	镉（mg/L）	0.01
	铬（六价）（mg/L）	0.05
	铅（mg/L）	0.05
	银（mg/L）	0.05
	硝酸盐（以氮计）（mg/L）	20
氯仿（mg/L）	60	



续表

生活饮用水水质，不应超过下表所规定的限量		标 准
项 目		
细菌学指标	细菌总数 (个/mL)	100
	总大肠菌数 (个/L)	3
	游离余氯 (mg/L)	在与水接触 30min 后应不低于 0.3mg/L。集中式给水除出厂水应符合上述要求外，管网末梢水不应低于 0.05 mg/L

### 1. 感官性状指标

感官性状有时又称物理性状，是指水中某些物质对人的视觉、味觉和嗅觉的刺激。清洁的水应无色、无异臭和异味。但当水中含有悬浮物、浮游生物和某些化学物质时，往往会使水产生各种颜色、异臭和异味。色、臭、味等指标虽不是危害人体健康的直接指标或未达到危害人体健康的程度，但它们给使用者厌恶感。另外，色、臭、味严重的，很可能是水中含有有毒物质的标志。浊度超过 10 度时便令人感到不快，而且，病原菌、病毒及其他有害物质，往往依附于形成浊度的悬浮物中。因此，降低水的浊度，不仅为了满足感官性状的要求，对限制水中病原菌、病毒及其他有害物质的含量，也具有积极的意义。

### 2. 化学指标

水中所存在的某些化学物质，一般情况下虽然对人体健康并不直接构成危害，但往往为生活使用带来种种不良影响，其中也包括感官性状方面的不良影响。例如，硬度过高的水，洗涤衣服时浪费肥皂，开水壶、热水管道容易结垢；含铁浓度超过一定限度会使水产生红褐色以致出现沉淀物，用水器具和洗涤的衣物也会染上颜色，并具有铁锈味，含铁过多的水还容易使铁细菌繁殖；锌含量超过 1mg/L 时，便有涩味；铜含量超过 1mg/L 时，可使用水器具和洗涤的衣物染上绿色，并具有涩味；氯化物过高时，水有咸味；阴离子合成洗涤剂超过 0.31mg/L，即有异味，并使水产生泡沫；pH 值过低将对管道产生腐蚀作用，过高会使水中析出溶解盐类，并降低氯消毒效果。此外，有的物质虽具有毒性，但当它们的含量尚未达到致毒浓度时，已对人体感官产生强烈刺激的，通常不是根据毒理学要求而是根据感官性状要求来制定它们的指标，这对保证人体健康是偏于安全的。例如，水中酚含量达到 9~15mg/L 时，具有明显毒性，鱼类不能生存；但饮用水中挥发酚含量超过 0.002mg/L 时，加氯消毒时所形成的氯酚便开始出现异臭，故挥发酚含量应按感官性状要求制定。因此，一般化学指标与感官性状指标是有联系的。

### 3. 毒理学指标

水中所存在的有些化学物质达到一定浓度时，就会对人体造成危害，这些就属于有毒化学物质。在不受污染的水体中，有毒物质含量极少（个别除外，如高氟水源），一般来说对人体健康并无影响。威胁人体健康的主要是由废水带入的有毒物质。有些有毒物质含量过高时能引起急性中毒，但大多数有毒物质往往在人体内积蓄，引起慢性中毒。

各种有毒物质的毒性表现各不相同。例如，人体摄入过量氟能引起牙斑釉和氟骨病，但人体含氟量过少又会引起龋齿；砷化物过量会引起毛细血管、新陈代谢和神经系统病变；氰化物有剧毒，一次摄入 50~60mg 可致死，低剂量摄入会慢性中毒，引起甲状腺激素生成量减少；汞在人体内积蓄，主要对神经系统有毒害作用，对心脏、肾脏和肠胃亦有毒害；硒在人体内积蓄过量，对人的肝、肾、骨髓和中枢神经有破坏作用，且有致癌可



能等。

#### 4. 细菌学指标

关于细菌学指标,最重要的是大肠菌群数和余氯量的规定。大肠菌群数是指 1L 水中所含大肠菌群的数目。大肠菌群包括大肠菌等几种大量存在于大肠中的细菌,所以也大量存在于粪便中,但在一般情况下是无害的,而水致传染病主要是由肠道细菌,如伤寒、痢疾、霍乱等病菌引起的。因此,如在水中检验出大肠菌群,即表明水被粪便所污染,也说明有被病原菌污染的可能。大肠菌群本身虽非致病菌,但数量大,生存条件与肠道病原菌比较接近。因此,当引用水中大肠菌已不存在或为数极少时,其他病原菌也基本消灭。

至于病毒,目前尚无完善的技术可供例行检测。水中大肠菌群符合标准,尚不能作为病毒已经去除的依据。但是,水厂中的混凝、沉淀、过滤及消毒的一整套完善的处理措施,对去除和抑制病毒的活动肯定是有了一定效果的。

余氯量是指用氯消毒时,加氯后经过一定接触时间,水中尚含的剩余游离性氯量。它保证了在供水过程中,可以继续维持消毒效果,抑制水中残存的病原微生物在管网中再度繁殖,并可作为水质受到再度污染的指示信号。不过,如美国、欧共体国家等并无此项规定,理由是氯对细菌有害,对人体也一定有害,不经煮沸而直接饮用自来水的,余氯量确需严格限制。

### 1.1.3 卫生细菌学标准及检验

在供给人们生活饮用水时,必须保证水中没有病原微生物。为此,需要知道水中有哪些常见的病原微生物,并学习检验和消除它们的方法。

#### 1.1.3.1 水中的病原微生物

##### 1. 水中的细菌及病原微生物的分布

水中所含微生物来源于空气、土壤、污水、垃圾、死亡动植物等,所以水中微生物的种类是多种多样的。进入水体中的病原微生物大多来自人或动物的排泄物,特别是传染病人或动物,如伤寒杆菌、霍乱弧菌、痢疾杆菌、钩端螺旋体、甲型肝炎病毒、骨髓灰质炎病毒等。病原微生物进入水环境的途径主要有医院废水、家庭废水及城市街道排水等。它们进入水体后,则以水为其生存和传播的媒介。

水体中生存的细菌大多为腐生细菌,当水被废水、垃圾、粪便污染时,水中细菌的种类和数量都会大大增加。一般来说,在远离工厂和居民区的清洁河、湖中,细菌的种类主要是通常生活在清洁水中和土壤中的细菌。在工业区和城市附近,河水受到污染,不但含有大量腐生细菌,还可能含有病原细菌。河水下游离城镇越远,受清洁支流冲淡和生化自净作用越大,细菌数目也就逐渐下降。地下水经过土壤过滤,逐渐渗入地下,由于渗滤作用和缺少有机物质,地下水中所含细菌量远远少于地面水,深层的地下水甚至会没有细菌。

##### 2. 水中的病原微生物

水中的细菌虽然很多,但大部分都不是病原微生物。经水传播的疾病主要是肠道传染病,如伤寒、痢疾、霍乱以及马鼻疽、钩端螺旋体病、肠炎等。此外,还有一些由病毒引起的疾病也可经水传播。

(1) 伤寒杆菌。伤寒杆菌有三种:伤寒沙门氏菌 (*Salmonella typhi*)、甲型副伤寒沙门菌 (*S. paratyphi*A) 和乙型副伤寒沙门菌 (*S. paratyphi*B)。它们的大小约为(0.6~



$0.7\mu\text{m} \times (2.0 \sim 4.0)\mu\text{m}$ ，不生芽孢和荚膜，借周生鞭毛运动，革蓝氏阴性反应。加热到  $60^\circ\text{C}$ ，30min 可以杀死，在 5% 的石炭酸中可存活 5min。伤寒杆菌见图 1.2。

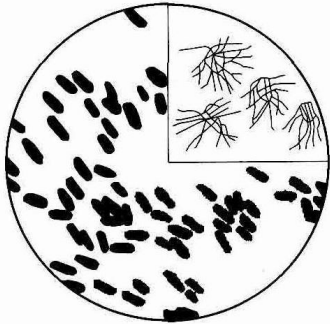


图 1.2 伤寒杆菌

伤寒和副伤寒是一种急性的传染病，特征是持续发烧，牵涉到淋巴样组织，脾脏肿大，躯干上出现红斑，使胃肠壁形成溃疡以及产生腹泻。感染来源为被感染者或带菌者的尿及粪便，一股是由于与病人直接接触或与病人排泄物所污染的物品、食物、水等接触而被传染的。

(2) 痢疾杆菌。痢疾杆菌是指志贺菌属 (*Shigella*) 中的两种菌，可引起细菌性痢疾 (与阿米巴痢疾不同)。

1) 痢疾杆菌 (痢疾志贺菌 *S. dysenteriae*)。痢疾杆菌的大小为  $(0.4 \sim 0.6)\mu\text{m} \times (1.0 \sim 3.0)\mu\text{m}$ 。所引起的痢疾在夏季最为流行，特征是急性发作，伴以腹泻。有时在某些病例中有发烧，通常大便中有血及黏液。

2) 副痢疾杆菌 (副痢疾志贺菌 *S. parodysenteriae*)。这种杆菌的大小约为  $0.5\mu\text{m} \times (1 \sim 1.5)\mu\text{m}$ ，所引起疾病的症状与痢疾杆菌引起的急性发作类似，但症状一般较轻。

痢疾杆菌不生芽孢和荚膜，一般无鞭毛，革兰氏染色阴性。加热到  $60^\circ\text{C}$  能存活 10min，在 1% 的石炭酸中可存活 0.5h。它们的传播方式主要是食用受污染的食物和饮用受污染的水，以及由于蝇类而传播。痢疾杆菌见图 1.3。

(3) 霍乱弧菌。霍乱弧菌 (*Vibrio cholerae*) 的细胞呈微弯曲的杆状，大小约  $(0.3 \sim 0.6)\mu\text{m} \times (1 \sim 5)\mu\text{m}$ 。细胞可以变得细长而纤弱，或短而粗，具有一根较粗的鞭毛，能运动，革兰氏阴性反应，不生荚膜与芽孢。在  $60^\circ\text{C}$  能存活 10min，在 1% 的石炭酸中能存活 5min，能耐受较高的碱度。

在霍乱的轻型病例中，只出现腹泻。在较严重或较典型的病例中，除腹泻外，症状还包括呕吐、腹疼和昏迷等。此病病程发展短，严重的常常在症状出现后 12h 内死亡。霍乱弧菌可借水及食物传播，与病人或带菌者接触也可能被传染，也可由蝇类传播。霍乱弧菌见图 1.4。

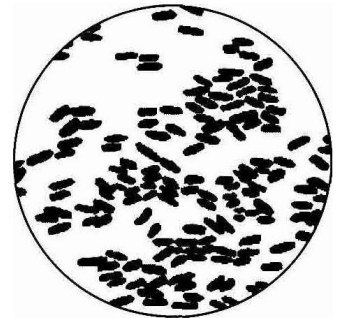


图 1.3 痢疾杆菌

以上 3 种肠道传染病菌对于氯的抵抗力都不大，用一般的加氯消毒法都可除去。但有些病原菌，采用通常的消毒剂量难以杀死，如赤痢阿米巴对氯的抵抗力较强，需游离性余氯  $3 \sim 10\text{mg/L}$  左右，接触 30min 才能杀灭。但因其虫体较大，可在过滤时除去。杀死炭疽菌则需更多的氯量。目前，一般水厂加氯量只能杀死肠道传染病菌。

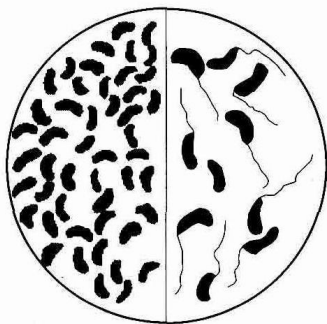


图 1.4 霍乱弧菌

除传染病菌外，还有一些借水传播的寄生虫。例如，蛔虫、血吸虫等。防止其传播的重要措施是改善粪便管理工作，在用人粪施肥前，应经过曝晒或堆肥。在用城市生活污水灌溉前，应经过沉淀等处理，将多数虫卵除去。在水厂中经过砂滤和消毒，可将水中的寄生虫卵完全消除。对于分散的给水，应加强水源保护，以防止寄生虫卵的污染。



### 1.1.3.2 大肠菌群和生活饮用水的细菌标准

#### 1. 大肠菌群作为卫生指标的意义

从卫生角度看,天然水的细菌性污染主要是由于粪便污水的排入而引起的,也就是说,水中的病原菌很可能是肠道传染病菌。所以对生活饮用水进行卫生细菌学检验的目的,是为了保证水中不存在肠道传染病的病原菌。水中存在病原菌的可能性很小,而水中各种细菌的种类却很多,要排除一切细菌而单独检出某种病原菌来,在培养分离技术上较为复杂,需较多的人力和较长的时间。因此,一般不直接检验水中的病原菌,而是测定水中是否有肠道正常细菌的存在。若检出有肠道细菌,则表明水被粪便所污染,也说明有被病原菌污染的可能性。只有在特殊情况下,才直接检验水中的病原菌。

肠道正常细菌有 3 类:大肠菌群、肠球菌和产气荚膜杆菌。选作卫生指标的必须符合下列要求:

- (1) 该细菌生理习性与肠道病原菌类似,因而它们在外界的生存时间基本一致。
- (2) 该种细菌在粪便中的数量较多。

(3) 检验技术较简单。根据上述要求,长期以来选定了大肠菌群作为检验水的卫生指标,因为大肠菌群(如大肠杆菌,见表 1.3)的生理习性与伤寒杆菌、副伤寒杆菌和痢疾杆菌等病原菌的生理特性较为相似,在外界生存时间也与上述病原菌基本一致。而肠球菌的抵抗力弱,生存时间比病原菌短,水中若未检出肠球菌,也不能说明未受粪便污染。产气荚膜杆菌因为有芽孢,能在自然环境中长期生存,它的存在不足以说明水是最近被粪便污染的。大肠菌群在人的粪便中数量很大。健康人每克粪便中平均含 5000 万个以上;每毫升生活污水中含有大肠菌群 3 万个以上。检验大肠菌群的技术并不复杂。根据上述理由将大肠菌群作为水的卫生细菌学检验指标确是比较合理的。

表 1.3 大肠菌群及某些病原菌在各种水体中生存时间 单位: d

水 体	大肠杆菌	伤寒杆菌	甲型副伤寒杆菌	乙型副伤寒杆菌	痢疾杆菌	霍乱弧菌
灭菌水	8~365	6~365	22~5	39~167	2~72	3~392
污染水		2~42		2~42	2~4	0.2~213
自来水	22~62	2~93		27~37	15~27	4~28
河水	21~183	4~183			12~92	0.5~92
井水		1.5~107				1~92

#### 2. 大肠菌群的形态和生理特性

大肠菌群一般包括大肠埃希氏杆菌 (*Escherichia coli*, 简写 *E. coli*)、产气杆菌 (*Aerobacter aerogenes*)、枸橼酸盐杆菌 (*Coli citrovorum*) 和副大肠杆菌 (*Paracoli*)。

大肠埃希氏杆菌有时也称为普通大肠杆菌或大肠杆菌。它是人和温血动物肠道中的正常的寄生细菌。一般情况下大肠杆菌不会使人致病,在个别情况下,发现此菌能战胜人体的防卫机制而产生毒血症、腹膜炎、膀胱炎及其他感染。从土壤或冷血动物肠道中分离出来的大肠菌群大多是枸橼酸盐杆菌和产气杆菌,也往往发现副大肠杆菌。副大肠杆菌也常在痢疾或伤寒病人粪便中出现。因此,如水中含有副大肠杆菌,可认为受到病人粪便的污染。

大肠埃希氏杆菌是好氧及兼性的,革兰氏染色阴性,无芽孢。大小约(0.5~0.8) $\mu\text{m}$



$\times(2.0\sim 3.0)\mu\text{m}$ ，两端钝圆的杆菌，生长温度  $10\sim 46^\circ\text{C}$ ，适宜温度  $37^\circ\text{C}$ ，生长 pH 范围为  $4.5\sim 9.0$ ，适宜的 pH 值为中性，能分解葡萄糖、甘露醇、乳糖等多种碳水化合物，并产酸产气，所产生的  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  之比为  $1:1$ ，即  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  为  $1:1$ ，而产气杆菌的  $\text{CO}_2/\text{H}_2=2$ 。大肠菌群中各类细菌的生理习性都相似，只是副大肠杆菌分解乳糖缓慢，甚至不能分解乳糖，并且它们在品红亚硫酸钠固体培养基（远藤培养基）上所形成的菌落不同；大肠埃希杆菌菌落呈紫红色带金属光泽，直径约  $2\sim 3\text{mm}$ ；枸橼酸盐杆菌菌落呈紫红或深红色；产气杆菌菌落是淡红色，中心较深，直径较大，一般约  $4\sim 6\text{mm}$ ；副大肠杆菌的菌落则无色透明。

目前国际上检验水中大肠菌群的方法不完全相同。有的国家用葡萄糖或甘露醇作发酵试验，用  $43\sim 45^\circ\text{C}$  的温度下培养。在此温度下，冷血动物和水、土壤中的枸橼盐杆菌和产气杆菌多不能生长，培养分离出来的是寄生在人和温血动物体内的大肠菌群。因为副大肠杆菌分解乳糖缓慢或不能分解乳糖，采用葡萄糖或甘露醇而不用乳糖则可检出副大肠杆菌。而且在  $43\sim 45^\circ\text{C}$  下培养出来的副大肠杆菌，常可代表肠道传染病细菌的污染。还有的国家检验水中大肠菌群时，不考虑副大肠杆菌。因为人类粪便中存在着大量大肠埃希氏杆菌，在水中检出大肠埃希氏杆菌，他们认为就足以说明此水已受到粪便的污染，因此采用乳糖作培养基。由于大肠埃希氏杆菌的适宜温度是  $37^\circ\text{C}$ ，所以培养温度也不采用  $43^\circ\text{C}$  而采用  $37^\circ\text{C}$  这样可顺利地检验出寄生于人体内的大肠埃希氏杆菌和产气杆菌。生产实践表明，这种检验方法一般可保证饮用水水质的安全可靠。

### 3. 生活饮用水细菌卫生标准

我国 2001 年颁布的《生活饮用水卫生规范》(GB/T 5750—2001)，对生活饮用水的细菌学标准的具体规定如下：

- (1) 细菌总数 1mL 水中不超过 100cfu (colony-forming unit)。
- (2) 总大肠菌群每 100mL 水样中不得检出。
- (3) 粪大肠菌群每 100mL 水样中不得检出。

(4) 若只经过加氯消毒即供作生活饮用水的水源水，每 100mL 水样中总大肠菌群 MPF (最可能数) 值不应超过 200；经过净化处理及加氯消毒后供作生活饮用的水源水，每 100mL 水样中总大肠菌群 MPF 值不应超过 2000。

### 1.1.3.3 水的卫生细菌学检验

#### 1. 细菌总数的测定

将定量水样接种于营养琼脂培养基中，在  $37^\circ\text{C}$  温度下培养 24h 后，数出生长的细菌菌落数，然后根据接种的水样数量即可算出每毫升水中所含的菌数。

在  $37^\circ\text{C}$  营养琼脂培养基中能生长的细菌代表在人体温度下能繁殖的腐生细菌，细菌总数越大，说明水被污染得也愈严重。因此这项测定有一定的卫生意义，但其重要性不如大肠菌群。对于检查水厂中各个处理设备的处理效率，细菌总数的测定则有一定的实用意义，因为如果设备的运转稍有失误，立刻就会影响到水中细菌的数量。

#### 2. 大肠菌群的测定

常用的检验大肠菌群的方法有两种：①发酵法；②滤膜法。

(1) 发酵法。发酵法是测定大肠菌群的基本方法。此法分三个步骤进行。

1) 初步发酵试验。本试验是将水样置于糖类液体培养基中，在一定温度下，经一定





时间培养后,观察有无酸和气体产生,即有无发酵现象,从而初步确定有无大肠菌群存在。如采用含有葡萄糖或甘露醇的培养基,则包括副大肠杆菌;如不考虑副大肠杆菌,则用乳糖培养基。由于水中除大肠菌群外,还可能存在其他发酵糖类物质的细菌,所以培养后如发现产生气体和酸并不一定能肯定水中含有大肠菌群,还需根据这类细菌的其他特性进行进一步检验。水中能使糖类发酵的细菌除大肠菌群外,最常见的有各种厌氧和兼性的芽孢杆菌。在被粪便严重污染的水中这类细菌的数量比大肠菌群的数量要少得多。在此情形下,本阶段的发酵一般即可被认为确有大肠菌群存在。在比较清洁的或加氯的水中,由于芽孢的抵抗力较大,其数量可能相对地比较多,所以本试验即使产酸产气,还不能肯定是由于大肠菌群引起的,必须继续进行试验。

2) 平板分离。这一阶段的检验主要是根据大肠菌群在特殊固体培养基上可以在空气中形成典型菌落、革兰氏染色阴性和不生芽孢的特性来进行的。在此阶段,可先将上一试验产酸产气的菌种移植于品红亚硫酸钠培养基(远藤氏培养基)或伊红美蓝培养基表面。这一步可以阻止厌氧芽孢杆菌的生长,上述培养基所含染料物质也有抑制许多其他细菌生长繁殖的作用。经过培养,如果出现典型的大肠菌群菌落,则可认为有此类细菌存在。但为了作进一步的肯定,应进行革兰氏染色检验。由于芽孢杆菌经革兰氏染色后一般呈阳性,所以根据染色结果,又可将大肠菌群与好氧芽孢杆菌区别开来。如果革兰氏染色检验发现有阴性无芽孢杆菌存在,则为了更进一步的验证,可作复发酵试验。

3) 复发酵试验。本试验是将可疑的菌落再移植于糖类培养基中,观察其是否产酸产气,以便最后确认有无大肠菌群存在。

采用发酵法进行大肠菌群定量计数,常采取多管发酵法,如用10个小发酵管(10mL)和2个大发酵管(或发酵瓶,100 mL)。根据肯定有大肠菌群存在的发酵试验中发酵管或发酵瓶数目及试验所用的水样量,即可利用数理统计原理,算出每升水样中大肠菌群的最可能数目(MPN),下面是计算的近似公式:

$$MPN = \frac{1000 \times \text{得阳性结果的发酵管(瓶)的数目}}{\sqrt{(\text{得阴性结果的水样体积, mL}) \times (\text{全部水样体积, mL})}} \quad (1-1)$$

**【例】**今用300mL水样进行初步发酵试验,其100mL的水样两份,10mL的水样十份。试验结果肯定在这一阶段试验中,100mL的两份水样中都没有大肠菌群存在,在10mL的水样中有三份存在大肠菌群。计算大肠菌群的最可能数。

**【解】**

$$MPN = \frac{100 \times 3}{\sqrt{270 \times 300}} = 10.6 \text{ 个/L} \approx 11 \text{ 个/L}$$

(2) 滤膜法。用发酵法完成全部检验需72h。为了缩短检验时间,可以采用滤膜法。用这种方法检验大肠菌群,有可能在24h左右完成。

滤膜法中用的滤膜通常是一种多孔性硝化纤维薄膜。圆形滤膜直径一般为35mm,厚0.1mm,滤膜中小孔的直径平均为0.2 $\mu$ m。

滤膜法的主要步骤如下:

1) 将滤膜装在滤器上(见图1.5),用抽滤法过滤定量水样,将细菌截留在滤膜表面。

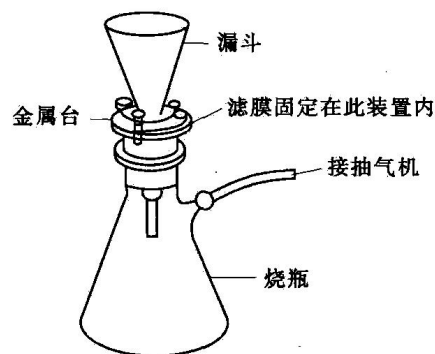


图 1.5 滤器