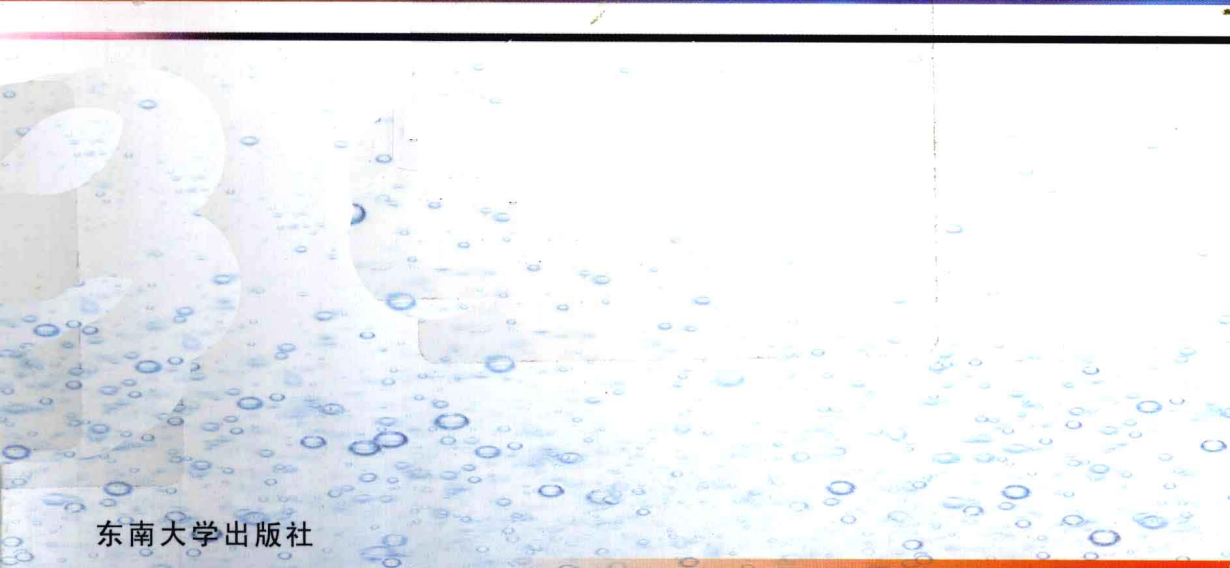
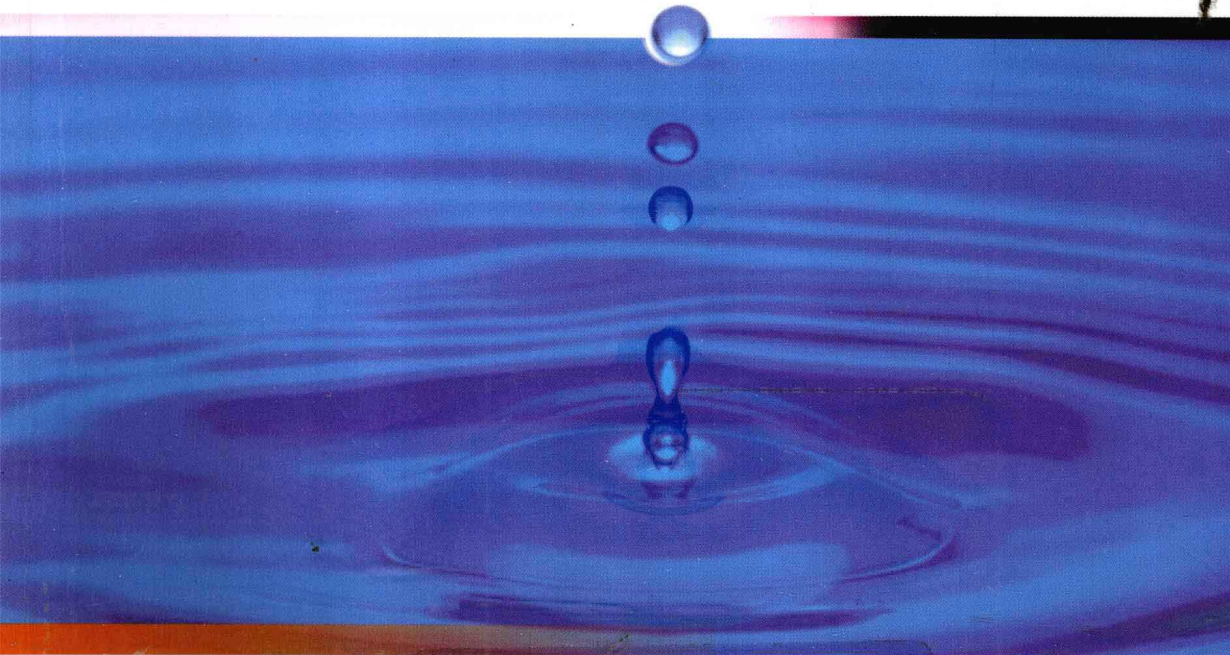


给水处理导学 (修订版)

李 贺 傅大放 / 主编

李 贺 傅大放 王 郑 夏 霆 / 编



东南大学出版社

给水处理导学

(修订版)

李 贺 傅大放 主编

李 贺 傅大放 王 郑 夏 霆 编



东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 提 要

给水处理系统包括了市政给水即通常说的自来水、纯净水和工业给水等三部分。本书以此为线索,对这三类给水体系进行了知识点概括,主要包括混凝、沉淀、过滤、消毒、吸附、离子交换、膜滤、循环冷却、杀菌灭藻、缓蚀阻垢等水处理单元操作。通过例题对相关的设计计算过程加以分析,并辅以拓展知识简介和中英文习题,便于读者巩固应掌握的知识要点和进一步研学。本书适合给排水科学与工程、环境工程等相关专业的在校学生、教师和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

给水处理导学 / 李贺,傅大放主编. —修订本. —南京:
东南大学出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-5641-3172-2

I. ①给… II. ①李… ②傅… III. ①给水处理
IV. ①TU991. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 251040 号

东南大学出版社出版发行

(南京市四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:江建中

网 址: <http://www.seupress.com>

电子邮件: press@seupress.com

全国各地新华书店经销 江苏兴化印刷有限公司印刷

开本:700 mm×1000 mm 1/16 印张:15.5 字数:330 千字

2011 年 12 月第 2 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-3172-2

定价:39.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向读者服务部调换。电话:025-83792328)

前 言

在高等学校的给水排水工程(给排水科学与工程)及其相关专业中,给水处理或是水质工程学课程中最重要的内容之一,或是单独作为一门课开设,是专业主干课和研究生入学考试的专业课。当代给水处理系统已经不只是传统的混凝、沉淀、过滤、消毒等操作单元,饮用水水质新标准的诞生和电子信息等产业的迅速发展,推动了水的膜滤等深度处理技术的大规模应用,天然水体的水质恶化也对循环冷却水等工业给水系统带来了新的挑战。给水处理系统的内容越来越广泛,新技术不断涌现。因此,如何把握教学内容、提高教学质量,对该课程的讲授者是个难题,同时学习者也普遍对掌握课程要领感到困惑。

我们根据多年的教学实践经验,编写了这本书。对市政给水、纯净水和工业水处理三类给水系统所涉及的单元操作,均列出了学习要求和知识要点,同时适当增加了一些拓展内容,以适应不同读者的需求,并配有例题和习题,便于知识巩固。为了让读者熟悉专业词汇,每章还选录了少量英文习题。

本书的诞生得到了学生们的支持,东南大学土木工程学院市政工程系给排水工程专业 2004、2005、2006 三个年级的同学对习题内容提出了很多有益建议,特别是张科峰、陈明、洪凯、朱砺之、杨思思、冒丽娜、张健、陈磊、汪超等同学参与了内容修改、绘图和格式修订等工作,在此向他们表示感谢!

本书第 1、3、5、8、10、14、15 章由东南大学傅大放编写,第 2、4、6、7、9、13、14 章由东南大学李贺编写,第 5、7、12 章由南京林业大学王郑编写,第 4、8、11 章由南京工业大学夏霆编写,全书由李贺、傅大放统稿。

由于我们的水平有限,不当甚至错误之处在所难免,恳请读者斧正。

编 者

2011 年 11 月于南京

目 录

第 1 章 水质与水质标准	1
学习要求	1
重要内容	1
1.1 水源水质	1
1.2 水体的污染与自净	2
1.3 饮用水水质与健康	3
1.4 用水水质标准	4
1.5 地表水环境质量标准	4
知识拓展	5
本章习题	10
第 2 章 给水处理方法概论	12
学习要求	12
重要内容	12
2.1 反应器	12
2.2 给水处理工艺	13
知识拓展	14
本章习题	18
第 3 章 凝聚和絮凝	21
学习要求	21
重要内容	21
3.1 胶体的稳定性	21
3.2 混凝机理	23
3.3 混凝剂	26
3.4 助凝剂	28
3.5 混凝动力学	28
3.6 混凝剂的配制和投加	29
3.7 混凝设施	29
3.8 混凝试验	31
3.9 设计计算示例	31

知识拓展	33
本章习题	36
第4章 沉淀	41
学习要求	41
重要内容	41
4.1 悬浮颗粒在静水中的沉降	41
4.2 理想沉淀池	44
4.3 平流沉淀池	48
4.4 斜板(管)沉淀池	52
4.5 竖流沉淀池	54
4.6 辐流沉淀池	55
4.7 沉淀池性能比较	56
4.8 澄清池	57
知识拓展	62
本章习题	63
第5章 过滤	67
学习要求	67
重要内容	67
5.1 过滤机理	67
5.2 滤料及承托层	68
5.3 过滤水力学	69
5.4 滤池反冲洗	71
5.5 普通快滤池	73
5.6 V型滤池	74
5.7 设计计算示例	75
知识拓展	77
本章习题	81
第6章 氧化还原与消毒	84
学习要求	84
重要内容	84
6.1 概述	84
6.2 氯氧化与消毒	85
6.3 臭氧氧化与消毒	89

6.4 其他氧化与消毒	90
知识拓展	91
本章习题	93
第7章 吸附	97
学习要求	97
重要内容	97
7.1 吸附现象	97
7.2 等温吸附模型	97
7.3 活性炭吸附	98
7.4 活性炭吸附的应用	104
7.5 活性炭的再生	107
7.6 其他吸附剂	109
知识拓展	110
本章习题	117
第8章 离子交换	118
学习要求	118
重要内容	118
8.1 离子交换概述	118
8.2 离子交换反应	121
8.3 离子交换装置及运行操作	123
8.4 离子交换的应用	125
知识拓展	126
本章习题	128
第9章 膜滤技术	131
学习要求	131
重要内容	131
9.1 概述	131
9.2 电渗析	133
9.3 反渗透	135
9.4 微滤和超滤	137
9.5 纳滤	139
知识拓展	140
本章习题	142

第 10 章 循环冷却水	145
学习要求	145
重要内容	145
10.1 冷却水的水质要求	145
10.2 冷却水系统	146
10.3 冷却水的处理	149
10.4 冷却塔	150
知识拓展	152
本章习题	159
第 11 章 缓蚀阻垢	160
学习要求	160
重要内容	160
11.1 腐蚀分类与机理	160
11.2 腐蚀形式与影响因素	162
11.3 腐蚀防治方法	165
11.4 沉积物分类和生成机理	169
11.5 水垢析出判断方法	170
11.6 沉积物的控制方法	172
11.7 阻垢剂和分散剂	173
知识拓展	175
本章习题	177
第 12 章 杀菌除藻	178
学习要求	178
重要内容	178
12.1 微生物及其特性	178
12.2 冷却水系统中的微生物黏泥	180
12.3 微生物控制指标和方法	181
12.4 杀生剂	183
知识拓展	184
本章习题	188
第 13 章 给水厂设计	189
学习要求	189
重要内容	189

13.1 基本概念	189
13.2 设计内容	189
13.3 工艺流程布置	190
13.4 设计概要	191
知识拓展	195
本章习题	196
第 14 章 纯水系统设计	198
学习要求	198
重要内容	198
14.1 概述	198
14.2 纯净水及相关水质标准	200
14.3 常用水处理方法在纯净水生产工艺中的选择	202
14.4 纯净水生产的一般流程	203
14.5 饮用纯净水处理设施的设计计算	207
知识拓展	209
本章习题	210
第 15 章 工业给水系统设计	211
学习要求	211
重要内容	211
15.1 工业给水的一般流程	211
15.2 典型工业给水系统设计计算	213
附录 1 生活饮用水卫生标准(GB 5749—2006)	222
附录 2 地表水环境质量标准(GB 3838—2002)	230
主要参考文献	236

受污染水源污染物名单	有毒有机物: 卤代(烷/烯)烃类(10种)、苯系物(6种)、氯代苯类(4种)、多氯联苯(1种)、酚类(6种)、硝基苯(6种)、胺(4种)、多环芳烃(7种)、酞酸酯(3种)、农药(8种)、丙烯腈、亚硝胺(2种) 无机物(10种): 氰化物, 砷、铍、镉、铬、铜、铅、汞、镍、铊等元素及其化合物
------------	--

解决水源污染的办法:保护水源、控制污染源;强化处理工艺。

1.1.2 各种天然水源的水质特点

表 1-1 天然水源水质特点

	含盐量	硬度	浊度	其 他
地下水	高	高	低	不易受外界污染和气温影响,水质、水温较稳定
江河水	低	低	高	易受自然、人为条件影响,水质变化幅度大,水温不稳定
湖泊水	高	低	低	流动性小,易受废水污染,水体易富营养化
海 水	高	—	—	所含各种盐类或离子的质量比例基本一定

1.2 水体的污染与自净

1.2.1 常见污染物

表 1-2 常见污染物分类

有机物	可生物降解的有机物	碳水化合物、蛋白质、脂肪等
	难生物降解的有机物	人工合成化合物、木质素等
无机物	无直接毒害作用的无机物	颗粒状无机物、酸、碱、氮、磷等
	有直接毒害作用的有机物	氰化物、砷化物、重金属离子等

1.2.2 水体富营养化

水体的富营养化是指富含磷酸盐和某些形式氮素的水,在光照和其他环境条件适宜的情况下,藻类过量生长,在随后的藻类死亡和随之而来的异养微生物代谢活动中,水体中的溶解氧很可能被耗尽,造成水体质量恶化和水生态环境破坏的现象。

氮、磷的来源 { 点源污染:工业和生活污水未经处理直接进入水体;污水处理厂出水
面源污染:农业污染(肥料、农药和动物粪便等);地表径流

水体富营养化的危害 { 使得水中气味腥臭难闻
降低水的透明度
消耗水中的溶解氧
向水体中释放有毒物质
影响供水水质并增加供水成本
影响水生生态

1.2.3 水体自净

污染物质进入水体后,经过物理、化学和生物化学的作用,浓度降低或总量减少,受污染的水体部分或完全恢复原状,这种现象称为水体自净。水体所具备的这种能力称为水体自净能力或自净容量。

按净
化机
理分 { 物理净化作用:稀释、混合、沉淀、挥发等
化学净化作用:氧化还原、酸碱反应、分解合成、吸附凝聚等
生物化学净化作用:通过微生物活动,使污染物质形态变化,浓度降低,
是水体自净的主要原因

1.3 饮用水水质与健康

1.3.1 水中影响人体健康的生物

{ 细菌
病毒
寄生虫
藻类

1.3.2 水中影响人体健康的化学物质

{ 微量元素及其他无机物质
有机物 { 农药类
酚类化合物
芳香烃类化合物
放射性物质
消毒剂及消毒副物质

1.3.3 地方病与致病水质

表 1-3 地方病与致病水质

地方病	水 质
甲状腺肿	高硬度,氟化物、硫化物含量高,含硫的不饱和烃,受微生物和化学物质的污染
心血管病	饮用水含碘量与心血管发病率呈显著负相关,与饮用水中含氟也有联系
克山病	缺硒
大骨节病	缺少某种元素或含大量腐殖质
癌症	与饮用水中含氟量有联系

1.4 用水水质标准

水质标准: 用水对象所要求的各项水质参数应达到的指标和限值。

水质参数: 能反映水的使用性质的量。

替代参数: 不代表某具体成分, 但能直接或间接反映水的某一方面使用性质的量。

1.4.1 生活饮用水卫生标准 (potable water using standard)

GB 5749—2006*——适用于城乡各类集中式供水的生活饮用水, 也适用于分散式供水的生活饮用水(见附录 1)。

指标分类	{	微生物学指标(microbiology index)
		毒理指标(toxicology index)
		感官性状(sensory character)和一般化学指标(chemical index)
		放射性指标(radioactivity index)

1.4.2 工业用水水质标准

水质要求	{	食品、酿造及饮料工业: 高于生活饮用水的要求
		纺织、造纸工业: 水质清澈, 硬度低, 对易于在产品上产生斑点进而影响印染质量或漂白度的杂质的含量, 加以严格控制
		锅炉补给水: 凡能导致锅炉、给水系统及其他热力设备腐蚀、结垢及引起汽水共腾现象的各种杂质, 都应大部分或全部除去
		电子工业: 纯水
		冷却水: 控制结垢、腐蚀和微生物繁殖

相关水质标准可以在国家检验检疫技术监督总局网站或省辖市标准研究所查阅或购买。

1.5 地表水环境质量标准

我国《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)规定了地表水水域功能分类、水质要求、标准的实施和水质监测等。

* GB 是“国家标准”汉语拼音的缩写, 5749 为此标准的编号, 2006 为此标准颁布的年份, 当标准更新时只更改年份。

地表 水水 域功 能分 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、仔稚幼鱼的梭饵场
	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、洄游通道、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

知识拓展

水质参数(water quality parameter):

水质是指水的使用性质,凡是能反映水的使用性质的量都称为水质参数。绝大多数水质参数都是指水中一种具体成分(除温度外),它们的定义并不涉及具体数值,但水质的好坏取决于水质参数的具体数值。例如 pH 值是一个水质参数,但只有当水的 pH 值超出 6.5~8.5 范围时,才能肯定它不宜作为饮用水。

另外,还有一类称为替代参数(substitute parameter)的水质参数。替代参数也称集体参数(collective parameter),色度、浊度、总溶解固体 TDS、硬度、碱度、COD、总大肠杆菌数等,都是常见的水质替代参数。以总溶解性固体 TDS 为例,这一参数在测定的操作中并不需要知道水中有哪些溶解无机离子,能直接代表水中全部溶解无机离子。因此,TDS 这一参数能“替代”全部溶解无机离子的测定,这就是其被称为替代参数的原因。又如电导率可间接代表水中的溶解性无机离子总量,所以也是一个水质替代参数。

替代参数具有下列一些性质:①能直接或间接反映水中某一类成分的某一共性,如 TDS 和电导率直接和间接地反映了水中溶解的无机离子;②反映的可能是化学成分已经清楚的一类物质,但这类物质却不一定能够完全列举出来。如硬度和碱度所替代的成分是可以完全列举出来的,但 TDS 所替代的成分却不能全部一一列举清楚;③所反映的物质,有时甚至是成分完全不清楚,或者对之只有一些推测性的或模糊的概念,同时一般情况下,也不需要对其进行研究;COD、BOD、挥发酚类等替代参数就是如此;④除质量浓度单位外,还可采用光学的以及感官性等其他单位来进行计量,一些替代参数的单位往往只能采用相对的标准,浊度、色度、嗅、味的单位就属于这一类。

下面介绍一些具体参数:

1.1 浑浊度

也称浊度,指水的浑浊程度,是用来反映水中悬浮物(主要是泥土)含量的水质替代参数。这一概念既能反映水中悬浮物浓度,同时又是人的感观对水质的最直接的评价。这两个特点,使浊度成为一个很重要的水质替代参数。

浊度的测定方法:分光光度法或目视比色法(GB 13200—1991),分光光度法适用于饮用水、天然水及高浊度水,最低检测浊度为 3 度,目视比色法适用于饮用水和水源水等低浊度的水,最低检测浊度为 1 度。

1.2 总氮(TN)

水中含氮化合物有四种:有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮与硝酸盐氮。四种含氮化合物的总量称为总氮。有机氮很不稳定,容易在微生物的作用下,分解成其他三种。在无氧条件下,分解为氨氮;在有氧条件下,分解为亚硝酸盐氮与硝酸盐氮。

凯氏氮(KN)是有机氮和氨氮之和。氨氮在水中存在形式有游离氨(NH_3)与离子状态铵盐(NH_4^+)两种,故氨氮等于两者之和。

可见总氮与凯氏氮之差值,约等于亚硝酸盐氮与硝酸盐氮,凯氏氮与氨氮之差值,约等于有机氮。

总氮的测定方法:碱性过硫酸钾消解——紫外分光光度法(GB 11894—1989)。

1.3 总磷(TP)

水中含磷化合物可以分为有机磷和无机磷两类。有机磷的存在形式主要有:葡萄糖-6-磷酸,2-磷酸-甘油酸及磷肌酸等;无机磷都以磷酸盐形式存在,包括正磷酸盐(PO_4^{3-})、偏磷酸盐(PO_3^-)、磷酸氢盐(HPO_4^{2-})、磷酸二氢盐(H_2PO_4^-)等。

总磷的测定方法:过硫酸钾消解——钼锑抗分光光度法(GB 11893—1989)。

1.4 总有机碳(TOC——Total organic carbon)

TOC 是指水中总有机碳的含量,因为有机化合物都是含碳化合物,所以 TOC 代表了水中有机碳的含量。

TOC 还可以进一步分成非吹除性的与吹除性的两类,分别用英文缩写词 NPTOC 和 PTOC 表示。水样经过纯 N_2 吹脱(大致相当于把能挥发的有机物去除掉)后所测得的 TOC 称为 NPTOC。NPTOC 与未经 N_2 吹脱的 TOC 之差为 PTOC,大致相当于挥发性有机物的含量。

TOC 的测定是通过将碳氧化分解,变成二氧化碳,再进行检测。氧化分解的方法有两种:一种是将试样置于含氧的气体中,用高温(680°C)燃烧催化氧化的方法,称为燃烧氧化法;另一种是氧化剂(过硫酸等)与 UV 氧化合用进行氧化的湿式氧化法。无论哪种方法都具有强烈的氧化能力,特别是燃烧氧化法可以将水中

的有机物 100% 的氧化, 转变为二氧化碳。然后用非分光红外气体传感器 (NDIR) 进行测定, 这种传感器只对二氧化碳有高度的选择性, 因此可以不受其他成分的影响, 使检测具有高精确度、高灵敏度。

另外, TOC 可以实现自动化、在线化, 非常适合于水质的连续自动监测, 而且可以满足从百分比级的高浓度分析到 ppb 级的全部微量分析。

TOC 测定方法: 燃烧氧化——非分散红外吸收法 (GB/T 13193—1991)。

1.5 生化需氧量 (BOD——Biochemical Oxygen Demand)

在水温为 20°C 的条件下, 由于微生物 (主要是细菌) 的代谢活动, 将有机物氧化成无机物所消耗的溶解氧量, 称为生化需氧量 (BOD)。生物化学需氧量代表了第一类有机物, 即可生物降解的有机物。图 1-1 为可生物降解有机物的降解及微生物细胞的合成过程示意图:

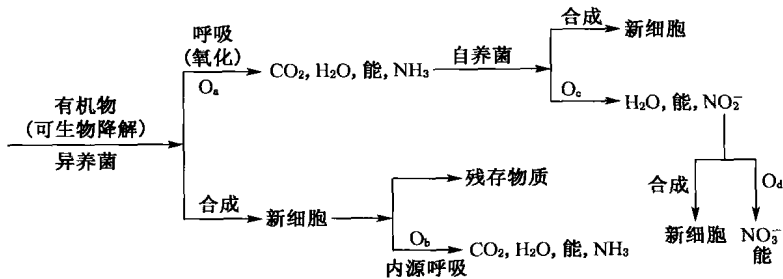


图 1-1 可生物降解有机物的降解过程

从图 1-1 可知, 在有氧条件下, 可生物降解的有机物降解, 可分为两个阶段: 第一阶段是碳氧化阶段, 即在异养菌的作用下, 含碳有机物被氧化 (或称碳化) 为 CO_2 和 H_2O , 含氮有机物被氧化 (或称氨化) 为 NH_3 , 所消耗的氧以 O_a 表示。与此同时, 合成新细胞 (异养型); 第二阶段是硝化阶段, 即在自养菌 (亚硝化菌) 的作用下, NH_3 被氧化为 NO_2^- 和 H_2O , 所消耗的氧量用 O_c 表示, 再在自养菌 (硝化菌) 的作用下, NO_2^- 被氧化成 NO_3^- , 所消耗的氧量用 O_d 表示, 与此同时合成新细胞 (自养型)。上述两个阶段, 都释放出供微生物生活活动所需要的能量。合成的新细胞, 在生命活动中, 进行新陈代谢, 即自身氧化的过程, 产生 CO_2 、 H_2O 与 NH_3 , 并放出能量与氧化残渣 (残存物质), 这种过程叫做内源呼吸, 所消耗的氧量用 O_b 表示。

耗氧量 $\text{O}_a + \text{O}_b$ 称为第一阶段生化需氧量 (或称总碳氧化需氧量、总生化需氧量、完全生化需氧量) 用 S_a 或 BOD_u 表示。耗氧量 $\text{O}_c + \text{O}_d$ 称为第二阶段生化需氧量 (或称氮氧化需氧量、硝化需氧量) 用硝化 BOD 或 NOD_u 表示。

上述两阶段氧化过程, 也可用曲线图表示, 在直角坐标纸上, 以横坐标表示时间 (d)。纵坐标表示生化需氧量 $\text{BOD}(\text{mg/L})$, 见图 1-2, 曲线 a 表示第一阶段生化

需氧量曲线(即总碳氧化需氧量曲线),曲线 b 表示第二阶段生化需氧量(即氮氧化需氧量曲线)。

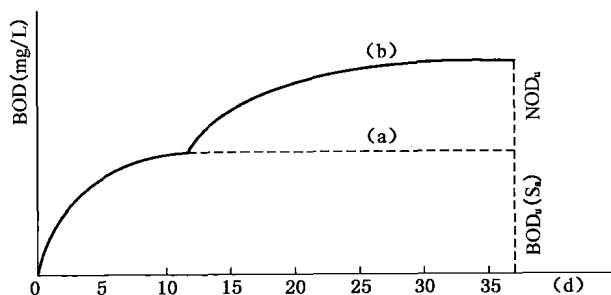


图 1-2 两阶段生化需氧量曲线

由于有机物的生化过程延续时间很长,在 20°C 水温下,完成两阶段约需 100 d 以上。从上图可见,5 d 的生化需氧量约占总碳氧化需氧量 BOD_0 的 70%~80%; 20 d 以后的生化反应过程速度趋于平缓,因此常用 20 d 的生化需氧量 BOD_{20} 作为总生活需氧量 BOD_0 ,用符号 S_A 表示。在工程实用上,20 d 时间太长,故用 5 d 生化需氧量 BOD_5 作为可生物降解有机物的综合浓度指标。由于硝化菌的世代(即繁殖周期)较长,一般要在碳化阶段开始后的 5~7 d,甚至 10 d 才能繁殖出一定数量的硝化菌,并开始氮氧化阶段,因此硝化需氧量不对 BOD_5 产生干扰。

BOD_5 测定方法:稀释与接种法(GB 7488—1987)。

1.6 化学需氧量(COD——Chemical Oxygen Demand)

COD 是用氧化剂在短时间(2 小时)内将水中可氧化物质氧化分解,然后根据残留的氧化剂量计算出氧的消耗量,称化学需氧量(COD)。当氧化剂为重铬酸钾时,称重铬酸钾指数(COD_{Cr}),当氧化剂为高锰酸钾时,称高锰酸钾指数(COD_{Mn}),由于高锰酸钾的氧化能力较重铬酸钾弱,测出的耗氧量也较低,故 $\text{COD}_{\text{Cr}} > \text{COD}_{\text{Mn}}$ 。

化学需氧量 COD 的优点是较精确的表示出水中有机物的含量,测定时间仅需数小时,且不受水质的限制。缺点是不能像 BOD 那样反映出微生物氧化有机物、直接地从卫生学角度阐明被污染的程度;此外,水中存在的还原性无机物(如硫化菌)被氧化也需消耗氧,所以 COD 值一般要大于 BOD 的值。

COD 测定方法:(a) 重铬酸钾法(GB 11914—1989);(b) 高锰酸钾法(高锰酸盐指数测定法)(GB 11892—1989)。

1.7 三卤甲烷(THMs)

自来水中的三卤甲烷是水中有机物在加氯消毒过程中产生的,在天然水体中并不存在。能和 Cl_2 反应产生 THMs 的物质称为 THMs 的前体。天然水中