

水
污
染
控
制
实
验

水污染控制实验

同济大学给水排水教研室译 谢光华校



上海科学技术出版社

水 污 染 控 制 实 验

〔美〕 W. W. 埃肯费尔德 D. L. 福特 著

同济大学给水排水教研室 译

谢 光 华 校

上海科学技术出版社

内 容 简 介

本书系根据 W. W. 埃肯费尔德和 D. L. 福特著《Water Pollution Control》一书译出。作者编写本书的目的是帮助给水排水工程和环境工程技术人员建立水污染控制实验设备,并用来获得生产设计所必需的基本参数的可靠数值。

本书分为两个主要部分。第一部分是对废水和污泥的特性进行了论述,让读者熟悉一些废水和污泥处理方法的术语和应用,同时对实验和设计中要用到的参数作了说明。第二部分介绍了几乎包括所有重要废水和污泥处理技术的十八个实验项目;对每个实验的讲解,有原理、操作步骤、数据整理方法和以实验数据为依据的设计计算,有的还列有常用的参考数据。作者对实验的大多数设备,力求着眼于简单易行,但又不失实验的科学性和正确性。

本书可作为高等院校给水排水专业、环境工程专业的实验教学用书,也可供从事水污染控制的设计、研究及操作管理人员参考。

Water Pollution Control

experimental procedures for process design

W. W. Eckenfelder D. L. Ford

The Pemberton Press Jenkins Publishing Company, 1970

水 污 染 控 制 实 验

〔美〕 W. W. 埃肯费尔德 D. L. 福特 著

同济大学给水排水教研室 译

谢 光 华 校

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

本书由上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 8.125 字数 180,000

1981 年 5 月第 1 版 1981 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—8,000

书号: 15119·2113 定价: (科四) 0.77 元

译 者 的 话

关于水污染控制实验问题, W. W. 埃肯费尔德和 D. L. 福特所著《水污染控制实验》一书, 在国外书籍中是一本较完善的书。该书根据作者长期的实践经验, 首先对废水和污泥的特性进行了论述, 然后又具体地介绍了几乎包括所有重要废水和污泥处理技术的十八个实验项目; 对每个实验的讲解, 既有原理, 又有操作步骤, 最后有数据整理方法和以实验数据为依据的设计计算, 有的还列有常用的参考数据。虽然原书成书年份早了一点, 但至今仍不失为一本好的参考书。兄弟院校给水排水专业的同志知道我们有这样一本书时, 希望我们能及早翻译出来, 这给了我们很大的鼓励。实验教学是理论联系实际、培养学生分析问题和解决问题能力的一个重要方面, 也是工科大学教学中的一个重要环节, 然而目前水污染控制方面的教学实验还显得十分薄弱, 有必要在尽可能短的时间里改变这种状况。因此, 我们迫切地希望有一本较好的实验书供师生参考。

经过水污染控制工程方面的科研和工程技术人员的多年努力, 我国在废水处理技术上取得了不少可喜的科研成果, 有些成果在应用上接近或达到了国际先进水平。但就我们的工作体会来说, 由于科研方法本身还可能不够科学化, 这样就阻碍了成果的进一步推广和应用; 同时, 由于在基本理论方面缺乏深入系统的研究, 也影响了成果的进一步发展和新成果的创造。我们希望《水污染控制实验》这个译本的出版, 也会有

助于改进我们的科研方法和加强基本理论的探索。

这些就是我们翻译这本书的目的。

作者在本书中,重点是论述实验的原理、步骤和数据整理方法,对计算中的数字只求基本正确,这一点是可以谅解的。读者如果对于计算数字和计算图表进行仔细的校核,就可能发现这个问题。原书中的计量单位,一部分是采用英制,但有的单位(如加仑)有时用英制,有时用美制,这点请读者注意。对某些涉及到概念的数字,译者有选择地作了换算和校核;同时,为了便于换算,在书末附有公制和英制计量单位换算表。对原书中笔误的地方,译者作了注释。

本书系由我教研室集体翻译,谢光华教授主校;上海石油化工总厂张崇华工程师参加了部分翻译工作。限于我们的水平,书中错误和不足之处在所难免,望读者指正。

同济大学给水排水教研室

1979年12月

序 言

本书的目的是通过实验室和实验厂的研究为废水处理单元的设计提供资料。所讨论的方法的理论和原则已在其他课本和本书的参考资料中作了详细的叙述。

作者编写本书的意图有三：一、帮助设计工程师建立实验室和实验厂，从而获得所需要的设计依据；二、作为卫生工程研究院的单元操作课程的入门；三、作为培训生产岗位上的工作人员的参考书。

这里的内容一部分是取自在美国、哥伦比亚、波多黎各、委内瑞拉和波兰开的短训班材料；另一部分是取自为工业废水和城市污水提供设计依据而进行现场实验的经验。一部分实验是为得克萨斯州大学卫生工程研究院（位于奥斯汀，得克萨斯）实验课设计的，并作为得克萨斯州大学水利资源研究中心第 31 期的报告予以出版。这个出版是应当肯定的。作者要对以下诸君表示感谢：来自奥地利的特邀教授罗尔夫·凯萨博士，得克萨斯州工程科学社助理负责人吉姆·艾纳先生和为本文进行校对和技术编辑的范德比尔大学 A. J. 英格兰德先生。

目 录

第一章 废水的特性	1
第一节 液体部分的特性	1
第二节 固体部分的特性	19
第二章 废水处理的方法	41
第一节 概述	41
第二节 一级处理	41
第三节 二级处理	43
第四节 三级处理	45
第五节 污泥处理	45
第三章 中和	47
第一节 概述	47
第二节 实验步骤——石灰石中和	47
第三节 实验步骤——石灰中和	50
第四节 举例——石灰石中和	51
第五节 举例——石灰中和	53
第四章 沉淀	55
第一节 基本概念	55
第二节 凝聚沉淀(初次澄清)分析步骤	58
第三节 举例——凝聚沉淀	61
第四节 成层沉淀(二次澄清)分析步骤	64
第五节 举例——成层沉淀	67
第五章 浮选	72
第一节 基本概念	72
第二节 实验步骤	73

第三节 举例——浮选系统	77
第六章 混凝	79
第一节 基本概念	79
第二节 实验步骤——搅拌实验	83
第三节 实验步骤——zeta 电位	85
第四节 举例——混凝	86
第七章 传质系数的测定和对曝气设备的评价	88
第一节 基本概念	88
第二节 实验步骤	92
第三节 举例——对表面曝气器的评价	96
第八章 氧传递系数的测定	100
第一节 概述	100
第二节 实验步骤	101
第三节 举例	104
第九章 用筛选法考察生物处理的可能性	109
第一节 基本概念	109
第二节 实验步骤——用华勃氏呼吸仪的筛选技术	111
第三节 实验步骤——用间歇反应器的筛选技术	112
第十章 曝气湖	115
第一节 基本概念	115
第二节 实验步骤	119
第三节 举例	120
第十一章 活性污泥、延时曝气和好气消化	125
第一节 活性污泥法和延时曝气法的基本概念	125
第二节 实验步骤——活性污泥法和延时曝气法	131
第三节 举例——活性污泥法	138
第四节 好气消化的一般概念	146
第五节 实验步骤——好气消化	147
第六节 举例——好气消化	148

第十二章 废水稳定塘	152
第一节 基本概念	152
第二节 实验步骤	155
第三节 举例	157
第十三章 洒滴滤池	163
第一节 基本概念	163
第二节 实验步骤	165
第三节 举例	168
第十四章 厌气处理	172
第一节 基本概念	172
第二节 实验步骤	173
第三节 举例——厌气消化系统	177
第十五章 废水的臭氧氧化	180
第一节 基本概念	180
第二节 实验步骤	182
第三节 举例	182
第十六章 吸附	186
第一节 基本概念	186
第二节 实验步骤	188
第三节 举例	192
第十七章 离子交换	197
第一节 基本概念	197
第二节 实验步骤	199
第三节 举例	202
第十八章 污泥浓缩	205
第一节 概述	205
第二节 实验步骤	206
第三节 举例	211
第十九章 真空过滤	217
第一节 基本概念	217

第二节	举例 19-1	220
第三节	实验步骤	221
第四节	举例 19-2	227
第二十章	污泥的空气干化	230
第一节	概述	230
第二节	实验步骤	231
第三节	举例	232
第二十一章	实验厂和小型实验系统的操作与控制	236
第一节	概述	236
第二节	一般的控制实验	236
第三节	操作中的控制	238
第四节	举例	240

第一章 废水的特性

第一节 液体部分的特性

在废水处理方法的选择和设计时，考虑废水中溶解的有机和无机成分的特性，是十分重要的。现将通常采用的有机和无机参数分别介绍如下：

一、有机参数

1. 生化需氧量(BOD)

生化需氧量(BOD)是用来表示废水水样中可被生物降解的有机物，在异养型微生物群作用下进行分解氧化所需要的氧量。测定 BOD 的步骤可参见《水与废水标准测定法》^{[1]*}。但是，BOD 的测定受到许多因素的影响和限制，特别是遇到复杂的工业废水时。这些因素是：

(1) 培养时间

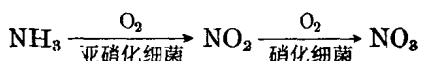
在 BOD 基本方程中，表明了“时间”因素的重要性。BOD 的标准测定采用五日培养时间，所得的结果称为五日生化需氧量(BOD₅)。但是，废水中有机物的完全分解氧化或总生化需氧量(BOD_u)，与废水的性质有关。通常用二十日培养时间作为 BOD_u 的近似值。

(2) 硝化

BOD 试验一般用以测定水样中的含碳物质被生物分解氧化所需要的氧量。但是，水样中含氮物质的氧化(硝化)随培

* 译者注：句子末尾上角括号内的数字为本章参考资料的编号；以后各章相同。

养时间的延长也消耗一部分氧。它的氧化过程如下：



硝化速率常数远远低于含碳物质的分解氧化速率常数。硝化反应与含碳物质的分解氧化反应虽然可能同时进行，但是正常情况下，硝化往往是在含碳物质已部分分解氧化后才开始的。这些反应表达于图 1-1 中，也可以用数学方程表示如下：

$$Y = S(1 - 10^{-k_1 t}) + S_n(1 - 10^{-k_2 t}) \quad (1-1)$$

式中：Y——t 时刻的 BOD(毫克/升)；

S——含碳物质的 BOD_u(毫克/升)；

S_n——含氮物质的 BOD_u(毫克/升)；

t——培养时间(日)；

k₁——含碳物质的需氧速率常数；

k₂——含氮物质的需氧速率常数。

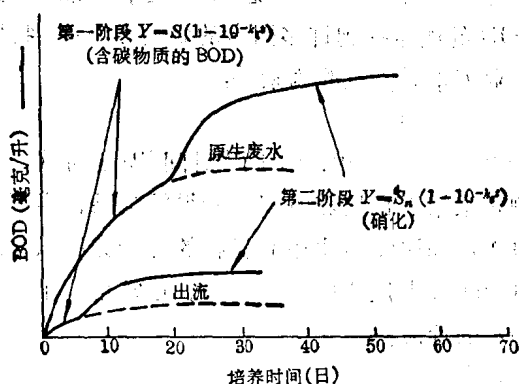


图 1-1 生化需氧量

测定废水中含碳物质的生化需氧量，可采用两种方法。一种是在试样瓶中加入特种试剂，以遏制硝化；另一种是允许进行硝化，在总生化需氧量中减去硝化部分的需氧量。但是，

必须看到, 大多数经过部分氧化后的废水出流还要进一步进行硝化, 这一部分的硝化作用消耗了接受废水的水体中的氧。因此, 如果考虑出流对水体的影响, 则出流在水体中由于硝化而消耗的氧应是废水总生化需氧量中的一部分。

(3) 环境因素

pH 值和温度这两个环境因素都影响 BOD 的试验。虽然标准测定法规定培养温度为 20°C, 但是在现场条件下常常需要在其他温度下对水样进行培养。下述方程可用以估计温度对含碳物质需氧速率常数的影响^[2]:

$$\frac{k_{1, T^{\circ}\text{C}}}{k_{1, 20^{\circ}\text{C}}} = \theta^{T-20} \quad (1-2)$$

式中: 当 4~20°C 时, $\theta = 1.135$;

当 20~30°C 时, $\theta = 1.056$ 。

当试样的 pH 值不在 6.5~8.3 范围内时, 必须先将它调整到 7.2, 才能测得可靠的 BOD 值, 如图 1-2 所示。

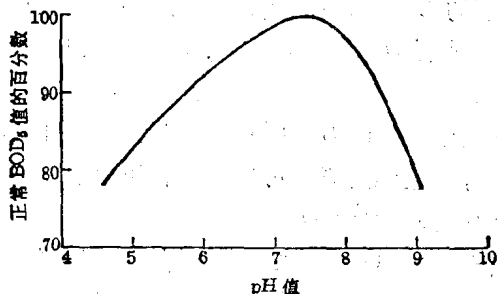


图 1-2 pH 值对 BOD 测定值的影响

(4) 菌种驯化

在测定 BOD 时, 最常引起误差的因素, 可能是使用了未经驯化的菌种。对于复杂的工业废水, 这种情况更容易发生。

最好是用要处理的废水在连续流反应器中进行菌种驯化，但是常用的是间歇反应器。在驯化时，先用稀释的废水供给原始的菌种（在可能时，菌种要取自处理类似废水的废水处理厂），以后，在一定时间内将废水浓度逐渐增加到原有的浓度。废水浓度逐渐增加所需要的时间，取决于废水的起始有机物浓度和其他特性。在连续流系统或间歇系统开始接受未经稀释的废水时，对废水和菌种的混合液要继续进行曝气，直到被菌种去除的有机物达到一个最高的水平，此时就可认为该系统的菌种驯化过程已经完成。

菌种驯化所需要的时间与废水的特性、菌种的性质有关。对于生活污水或生活-工业混合废水，菌种驯化应不超过一个星期。但是，对于含有高浓度的复杂有机化合物的废水，可能需要几个星期的时间。

(5) 毒性

废水水样中含有毒物，对菌种微生物可能产生生物中毒或生物抑制的影响。这种影响通常可从 BOD 值的“偏低”显示出来。当水样的稀释度增加时，BOD 值亦随着增大，这就表示有毒物存在。所以，做实验时应先测得水样的一个稀释值，要求在高于此值时 BOD 值保持不变。如果因存在重金属而引起毒性，则它们的影响可通过螯合作用予以消除^[3]。

2. 化学需氧量(COD)

化学需氧量(COD)用来测定水样中有机物的氧当量，这些有机物在酸性溶液中可被高锰酸钾或重铬酸钾所氧化。这个作为测定水或废水中的有机物含量的参数，已经使用了四分之一个世纪以上。但是，如何正确解释 COD 值，仍然是个问题。因此，必须对水样中影响 COD 值的因素进一步认识。

一般说来，我们期望废水的最终 BOD 值接近 COD 值。

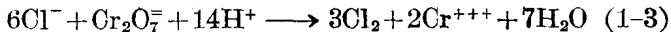
但是许多因素否定了这个想法，尤其是在测定复杂的工业废水的 BOD 和 COD 值时。这些因素是：

(1) 许多有机物可被重铬酸钾氧化，而不能被生物化学氧化。

(2) 某些无机物；如亚硫酸盐、硫酸盐、硫代硫酸盐、亚硝酸盐和亚铁盐等可被重铬酸钾氧化，得出无机物的 COD 值，从而使废水中有机成分的测定产生误差。

(3) BOD 的测定可能由于受未经驯化菌种的影响得出偏低的 BOD 值，而 COD 的测定则不受此因素的影响。

(4) 氯化物会干扰 COD 的测定，必须设法去除这种干扰^[1]。由于重铬酸钾氧化氯化物会引起 COD 值的偏高：



因此，在水样中投加 HgSO_4 使 Hg^{++} 与 Cl^- 结合成难以离子化的 HgCl_2 ，就可以去除干扰：



如果 HgSO_4 投加量不足（标准法中的投加量为 $\text{HgSO}_4:\text{Cl}^- = 10:1$ ），则多余的 Cl^- 将使银催化剂沉淀，发生下列反应：



由于银催化剂的存在是氧化直链醇和酸的重要因素，因此在 HgSO_4 投加量不足时要考虑 COD 值会偏低。

下面是四种常用的 COD 分析法：

- (1) 库别尔(Kubel)法^[4]；
- (2) 1946 年标准法(高锰酸盐氧化法)^[5]；
- (3) 1965 年标准法(重铬酸盐氧化法)^[1]；
- (4) COD 快速测定法^[4]。

采用这四种方法的比较分析已有报告发表^[6]。分析的结果表明，从准确程度或氧化程度来说，以重铬酸盐氧化-还原法为

最佳^[4]。本文对 1965 年标准法和快速测定法作扼要的讨论。

3. 标准法(重铬酸盐氧化法)

此法采用重铬酸钾作为氧化剂。先用银作催化剂并在水样中加入 HgSO_4 使 Hg^{++} 与 Cl^- 结合成难以离子化的 HgCl_2 , 然后将水样与氧化剂一起在硫酸溶液中进行反应, 回流反应时间为两小时。最后, 用硫酸亚铁铵滴定过量的重铬酸钾。应该看到, 这个试验结果的重现性受回流时间的影响, 如图 1-3 所示。回流时间对重铬酸盐氧化法的影响程度与废水成分的复杂性有关。

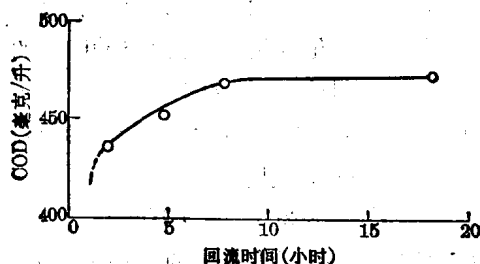


图 1-3 回流时间对 COD 测定值的影响

从图中的关系曲线可以看到, 采用 7 小时以上的回流时间, 测定的 COD 准确度最高。但通常实际上只采用 2 小时的回流时间, 这样缩短了分析时间, 而准确程度则较差或氧化程度还不足。

4. COD 快速测定法

近来提出了短时间的 COD 测定法。先将废水的水样加入重铬酸钾、硫酸和银催化剂的溶液中并予以搅拌, 然后将与溶液搅拌后的水样加温至 165°C , 反应 15 分钟。最后, 用蒸馏水稀释这个水样, 用硫酸亚铁铵滴定。在分析生活污水时, 采用此法所得的 COD 值约为标准法的 66%^[6]。其他废水的

COD 测定值, 随其有机成分的复杂程度可能有高有低。

5. BOD 与 COD 的相互关系

通常, 废水的 BOD 与 COD 的相互关系是可以确定的, 如图 1-4 所示。由两者之间的关系反映出, 在处理的废水中被重铬酸钾氧化的有机物(以 COD 表示), 其中有一部分不能为生物所降解或者较难为生物所降解。如果已被处理废水的 COD 浓度不符合管理机构规定的水质排放标准, 则废水应作进一步的处理。

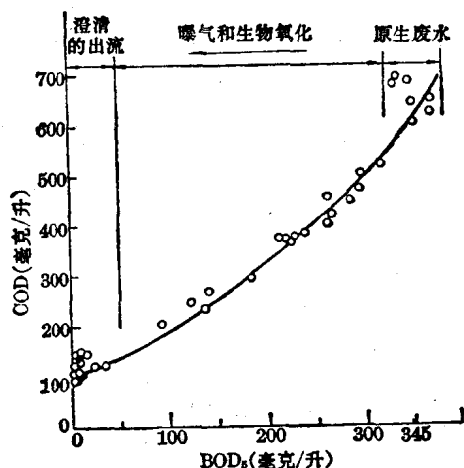


图 1-4 BOD 与 COD 的相互关系

6. 总有机碳量(TOC)

利用总有机碳量作为测定废水污染的指标的方法, 已有许多年的历史。为测定废水水样中的总有机碳浓度, 曾用过各种比较费时间的方法, 它们包括范斯鲁凯-福尔希(Van Slyke-Folch)湿式燃烧法^[7]和莫尔曼-爱德华兹(Mohlman-Edwards)测定法^[8]。这些方法均将有机物氧化, 产生二氧化