

FEISHUICHU
LI GAI LUN

废水处理概论

R. S. 拉马尔奥 著

严忠琪 王凤石 译

许宗仁 严忠琪 校



中国建筑工业出版社

废 水 处 理 概 论

R. S. 拉马尔奥 著

严忠琪 王凤石 译

许宗仁 严忠琪 校

中国建筑工程工业出版社

本书是一本系统论述废水处理方法的基础理论读物。

书中比较详细地论述了废水的来源、分类、处理水质要求；废水的重要设计参数测定、数据处理；废水的初级处理如格筛、沉淀、浮选、中和；二级处理如活性污泥法及其他好气与厌气方法；三级处理如活性炭、离子交换、反渗透、电渗析、化学氧化；污泥处理如消化、浓缩、脱水、干化、焚烧。阐述了各种处理方法的机理如过程动力学、物料平衡、能量平衡、传质理论等。列举了有关数学模式及主要参数的实验室或中间试验的测定、操作方法与步骤。提出了废水处理厂系统设计的程序，并附有计算例题。

本书可供给水排水、环境保护专业的科研、设计、教学、管理等方面的人员阅读参考。

**Introduction to
Wastewater Treatment
Processes
R.S.Ramalho-1977.**

* * *

废 水 处 理 概 论
严忠琪 王凤石 译
许宗仁 严忠琪 校

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：13⁵/₈。字数：366 千字

1982年8月第一版 1982年8月第一次印刷

印数：1—10,900册 定价：2.15元

统一书号：15040·4192

译 者 的 话

《废水处理概论》一书为加拿大魁北克拉瓦尔大学 R. S. 拉马尔奥所著, 1977 年由美国学术出版社出版。本书比较全面、系统, 也较为深入地论述了废水处理过程的基础理论与工程技术, 内容较新, 反映了 70 年代美国废水处理领域理论研究及工程技术的新成果与应用, 其中不少为美国若干著名学者如埃肯菲尔德 (Echenfelder W.W.Jr)、福特 (Ford D.L.)、奥康纳 (O'Connor D.J.)、劳伦斯 (Lawrence A.W.)、麦卡锡 (McCarthy P.L.) 等人的重要成果, 因此是废水处理领域具有代表性的论著, 出版后受到普遍的重视。

本书原是为从事废水处理的高等学校学生及开业工程师所写。有关基础理论的论述简明扼要, 深入浅出; 有关实验操作, 数据处理, 公式推导, 设计计算与程序步骤均比较详尽。条理清晰, 并附有例题示范及习题练习, 对学习进修与废水处理厂的设计都具有较大的实用价值。

我们期望本书的翻译出版能对我国的废水治理、环境保护有所裨益。

本书由严忠琪译一、三、六、七、八章, 王凤石译二、四、五章, 许宗仁、严忠琪校。

本书涉及面较广, 限于译者水平, 错误之处请读者批评指正。

译 者

于上海工业大学 1981年5月

序 言

本书是供对废水处理领域有兴趣的高等学校学生与开业工程师用的一本概论性的著作。早些时候，大部分书籍都是按工业性质讨论这一主题，对各行业的处理问题分别予以解答。最近不久，一种按单元运行和处理方法的基本原理来论述的科学方法得以应用。我就是用了这一方法去评述所有各类废水问题并合理选择处理方式及所需设备设计的。

在多数情况下，本书对各种废水处理方法的设计，如活性污泥法的设计，论述内容如下：（1）这种处理方法的理论概述，诸如化学动力学，有关的物料平衡和能量平衡，及物理原理和化学原理的论述等；（2）这一处理方法中重要设计参数的定义，以及利用实验室模型或中间试验设备进行这些参数的测定；（3）处理厂系统设计程序的推导。本书对实验室数据的处理用了计算例题加以说明，随后又提供了废水处理厂的设计计算。本书所持的论点，特别在生物处理过程的数学模式方面，主要是以埃肯菲尔德及其同事们的成果为依据。

论述清晰是基本的要求。这一课本想必会为高等学校学生和开业工程师容易理解。本书原是我讲授废水处理概论课程时的讲义修订稿。我在拉瓦尔（Laval）大学和巴西里约热内卢联邦大学开设这一课程时，不同专业的工科大学生和不同行业来的开业工程师都曾以不同的学期用过这一讲稿。在许多使用者对讲稿的赞许和鼓励之下，促使我将讲稿内容编成本书。

在此，对拉瓦尔大学化学工程系秘书室成员米歇尔夫人（Mrs. Michel），加内夫人（Mrs. Gagné），和麦克利安夫人（Mrs. Mclean），以及里约热内卢联邦大学的昂尼德特-苏萨小姐（Miss Enidete Souza）打印我的原稿，谨表致谢。我衷

心感谢亚历克斯-莱加雷先生 (Mr. Alex Légaré) 绘制原图，
艾德里安-法弗尔博士夫人 (Dr. and Mrs. Adrien Favre) 校
对打印稿，及罗杰-泰里奥先生 (Mr. Roger Thériault) 协助修
正长条校样。对拉瓦尔大学M-佩尔蒂埃博士 (Dr. M. Pelletier)
和里约热内卢联邦大学C-吕斯博士 (Dr. C. Russo) 的有益建议
特表示深深的谢意。

R.S. 拉马尔奥
(R.S. Ramalho)

目 录

第一章 引言	1
1. 概述	1
2. 工程技术人员在消除水污染方面的作用	2
3. 废水处理的程度和水质标准	8
4. 废水的来源	9
5. 废水处理的经济性和水再利用的经济平衡	10
6. 水污染对环境和生物群的影响	14
7. 富营养化	23
8. 供水类型和水污染物的分类	24
参考文献	26
第二章 生活污水和工业废水的特性	27
1. 废水中污染物浓度的测定	27
2. 有机物成分的测定：第一组：氧参数法	28
3. 有机物成分的测定：第二组：碳参数法	44
4. BOD 曲线的数学模式	47
5. 确定参数 k 和 L_0	49
6. k 和 $\frac{BCD_5}{BOD_u}$ 比值之间的关系	59
7. 环境对BOD试验的影响	59
8. 硝化作用	61
9. 评价生物处理工业废水的可行性	63
10. 城市污水的特性	67
11. 工业废水的测定	68
12. 工业废水测定数据的数理统计相关性	69
习题	71
参考文献	72
第三章 预处理和初级处理	73

1. 概述	73
2. 格筛	73
3. 沉淀	74
4. 浮选	113
5. 中和 (和均衡)	121
习题	131
参考文献	133

第四章 污水处理中曝气的原理和应用134

1. 概述	134
2. 氧转移过程的几个步骤	135
3. 氧转移率方程式	135
4. 以自来水不稳定状态曝气确定氧总转移量系数 K_La	136
5. 限值内氧转移微分方程的积分	140
6. 活性污泥液的不稳定状态曝气	141
7. 确定稳定状态下活性污泥液的 K_La	142
8. 充氧能力 (OC)	142
9. 充氧能力 (OC) 和 K_La 的温度、压力的校正	142
10. 曝气设备的动力转移效率	144
11. 废水特性对氧转移的影响	145
12. 实验室测定氧转移系数 α	147
13. 曝气设备的分类——氧转移效率	147
14. 空气扩散设备	148
15. 叶轮曝气设备	153
16. 表面曝气设备	157
习题	163
参考文献	165

第五章 二级处理 活性污泥法166

1. 概述	166
2. 活性污泥法的数学模式	172
3. 动力学关系式	172
4. 物料平衡关系式	178
5. 污泥最佳沉降条件的关系式	197

6. 试验确定好气生物反应池的设计参数	201
7. 活性污泥处理厂的设计程序	217
8. 米凯利斯-门顿 (Michaelis-Menten) 关系式	232
9. 污泥泥龄的概念	239
10. 连续流处理系统的动力学: 推流式、完全混合式和任意 流式反应池	244
习题	248
参考文献	250
第六章 二级处理其他好气性和厌气性废水处理方法	251
1. 概述	251
2. 延时曝气 (完全氧化法)	251
3. 接触稳定	258
4. 传统活性污泥法的其他改进形式: 阶段曝气, 完全混合式 活性污泥法和渐减曝气	261
5. 曝气湖	263
6. 废水稳定塘	275
7. 生物滤池	286
8. 厌气性处理	301
习题	312
参考文献	314
第七章 污泥的处理与处置	315
1. 概述	315
2. 污泥的好气与厌气消化	316
3. 污泥浓缩	328
4. 污泥的真空过滤脱水	330
5. 压力过滤	349
6. 离心法	349
7. 污泥干化床	350
8. 污泥脱水预处理	356
9. 污泥处置	359
习题	362
参考文献	362

第八章 废水的三级处理	364
1. 概述	364
2. 悬浮固体的去除	364
3. 碳吸附	365
4. 离子交换	381
5. 反渗透	391
6. 电渗析	410
7. 化学氧化 (氯化和臭氧氧化)	412
8. 营养物的去除	417
9. 废水的超声波-臭氧净化法	423
习题	425
参考文献	426
附录	427
英制换算为米制的换算系数	427

第一章 引言

1. 概 述

“水污染”、“大气污染”、“环境保护”与“生态学”这些术语，只是在六十年代才家喻户晓。在这以前，这些术语对普通居民来说或是不太理解或是有一些模糊不清的概念。而从这以后，人们就不断地从各种宣传工具（报纸、广播、电视）得到一个可怕的观点，这就是人类为了获得物质文明所作的努力，却在逐渐污染周围环境的过程中而自我毁灭。在某些情况下，几乎引起人们的极度恐惧。虽然，污染是一个很严重的问题，理所当然地希望人们都很重视它。但无谓的恐惧毕竟是不必要的。人类保护自己的本能是人类发展的基本动力，人们有能力在为时不晚的时候去治理环境的恶化。事实上，同近十年内获得成功的一些更为复杂的技术，例如同人类登月考察相比，控制污染并不是个不可解决的技术难题。原则上讲，人们已经有了妥善处理污染问题的基本技术知识，只要人们愿意付出相对合理的代价，人类因污染而造成的自我毁灭的恶梦就不会变成现实。而人类为着进一步发展和拥有那些制造战争的武器，却确实地正在付出着更为昂贵的代价。

本书主要论述生活污水与工业废水处理厂的工程设计方法。仅仅在最近几年内，这类处理厂的设计方法才从以经验为依据进展到以完善的工程技术为依据。同样，新的污水处理方法的基础研究，如反渗透，电渗析等也仅仅是在最近才得到极大的重视。

2. 工程技术人员在消除水污染方面的作用

2-1 对消除水污染问题进行多学科研究的必要性

上面已经谈到, 水污染的控制并不是一个不可解决的技术难题, 但是它的领域却较为广泛而且十分复杂, 需要将多种不同学科组合起来, 才能以最少投资取得最佳的处理效果。一个用来消除水污染的系统涉及到多种学科:

(1) 工程技术与精密科学[卫生工程技术(土木工程技术), 化学工程技术, 其他工程技术领域诸如机械、电气、化学、物理等];

(2) 生物科学[生物学(水生物学), 微生物学, 细菌学];

(3) 地球科学(地理学, 水文学, 海洋学);

(4) 社会与经济学(社会学, 法律学, 政治科学, 公共关系学, 经济学, 管理学)。

2-2 评述工程技术人员在消除水污染方面的作用

在早先, 是以土木工程基础知识为主的卫生工程技术人员承担了水污染控制方面的技术活动。追溯已往, 当时大多数废水均属生活污水, 其成分也没有很大变化。因此, 指定的处理方法就比较标准, 处理程序中仅包括有限的几种单元处理方法和单元操作。传统的处理方法包括用以进行沉淀或曝气的大型混凝土池子、生物滤池、氯化、筛滤、以及其它一些非经常性的方法。工程技术人员所主要关心的问题集中在结构学和水力学上, 十分自然地, 土木工程技术学识就成了卫生工程技术人员首先必须具备的条件。

这种状况, 起初是缓慢地变化着, 随着工业化的到来, 近来已加速了进程。由于工业生产过程发生了新的巨大变化, 因而就出现了高度变化的废水, 需要有更复杂的处理方法。现今的废水

处理包括有那么多部件的不同设备，那么多的单元处理方法和单元操作，显然，这就要求化学工程技术人员在消除水污染方面起到主要作用。化学工程技术人员在过去五十年内大大发展了的单元处理概念成了科学地解决废水处理领域中设计问题的关键。

事实上，今天的城市污水已不再是昔日的生活污水。所有工业区的市政当局实际上都必须处置生活和工业的混合污水。这些处理中所涉及到的技术经济问题，迫使通常需先将工业废水进行单独处理，然后再排入城市污水管道。

目前，随着供一般家庭使用的一整套新产品如合成洗涤剂及其他一些新产品的问世，即使是纯生活污水，其性质也发生了变化。因而，要用最佳方法处理生活污水，就需要对传统的处理方法加以改进。

总之，不论是处理生活污水还是工业废水，新技术、新工艺、新处理方法、以及改善老的处理方法等都已提到了现今的议事日程。今日的概念，已不再是“大型的混凝土池子”而是一种一系列紧凑组合的单元操作，这些操作，不论其性质是物理的还是化学的均应适用于处理各种单一的废水。化学工程技术人员的技能能够将这些单元操作组合成为有效的处理流程，这使得他们完全能够胜任废水处理设备的设计。

2-3 工业废水处理实例

伯德 (Byrd) 报导过一件有意思的实例，它着重说明了化学工程技术人员在为一家亚硫酸纸浆和造纸工厂设计一个废水处理厂时所起的作用。这家纸浆造纸厂需要将它的废水排放到一个具有很好娱乐价值并有大量鱼群生存的河流中去。为此原因，在废水处理设施的布置和细节设计方面，均给予了相当多的注意。对该河流的同化能力也进行了研究，并推导出数学模式。

在该废水处理厂的设计中：研究决定了哪一些废水应该单独处理，哪一些废水又应该合并处理。对处理厂的流程作出了比较方案，进行了讨论选择^[21]。在这个废水处理厂中采用的，或者

是起先考虑了但在进一步研究中又为另一些方案所取代的单元操作和处理方法有：沉淀、溶气浮选、均衡、中和、过滤（转筒滤机）、离心法、反渗透、快速干化、流化床氧化、多级焚烧炉焚烧、湿式氧化、活性炭吸附、活性污泥法、曝气湖、高分子电介质絮凝法、氯化、填埋和喷洒灌溉。

将所有这些单元操作和处理方法组合成一个最佳设计的处理设施是一个非常难以对付的问题。这个处理厂的基建投资达一千多万美元，每年的运行费用达一百多万美元。

2-4 化学工程技术课程可作为废水处理领域的预备课程

化学工程技术人员具有相当多的适用于解决水污染问题的基础知识。他们在质量传递、化学动力学、以及系统分析等方面的知识则是对废水处理和控制在特别有价值。因此，在从事这一类活动之前学习一些化学工程技术是一个很好的准备。而过去，在这一领域工作的大多数工程技术人员却是具有土木工程技术人员基础的卫生工程技术人员。

应该看到这个领域的多学科性质。化工专业的毕业生们要想在废水处理领域内能有较大的活动能力，除了他们的基础知识以外，应再补充学习一些废水生物处理法中十分重要的微生物学与水力学。因为水力学方面的某些课程[诸如明渠、层流、水体（河流、港湾、湖泊、取水口等等）的数学模式]在化工专业学生的流体力学课程中一般都不作为重点讲授。

2-5 废水的“厂内处理”和“管道终端”处理

2-5-1 概述

通常人们可能趋向于用“管道终端”方法进行工业废水处理。这种方法专注于设计一个污水处理厂，而没有足够注意到水污染的消除，而且单独考虑废水处理装置的设计。一般来讲，这种方法很不经济，不宜采用。

制定一项消除工业废水污染方案的正确方法是将废水厂内

处理的所有可能调查清楚。这种方法看起来比废水的管道最终排出口处理要复杂得多。然而，这样的方法却可能是非常有利的。

2-5-2 废水厂内控制包括的内容

基本上讲，废水厂内控制包括下列三个步骤：

第1步 对厂内的所有废水进行详细调查。所有污染源都必须予以编目和说明。这就包括对每一污染水流测定（ a ）流量，（ b ）污染水流的浓度。

（ a ）流量。对连续流，测定流量（即加仑/分）。对间歇流，估算全天（或小时）的出水量。

（ b ）污染水流的浓度。污染水流的“浓度”（水流中所有污染物的浓度）有不同的表示方法，将在下面的几章中论述。对于可以生化氧化的有机化合物一般是用生化需氧量BOD表示（关于BOD将在第2章2-3节中解释）。

第2步 复查一下从第1步中取得的数据，查明在厂内实现消除污染目标的全部可能性。其中的某些目标是：

（1）增加冷却水系统中的再循环量。

（2）消除接触冷却的汽化损失，如用管壳式换热器或空气冷却系统取代气压冷凝器。

（3）回收污染性化学物质：可以设计一个副产品工厂以回收这些化学物质。这样往往可获得一些收益，否则就白白排入厂内下水道。

（4）重复利用高架鼓式蓄水器、真空冷凝器、泵填料盖等处的出水。设计多级的或重复的用水系统。

（5）设计一个热回收装置来取消冷却用水。

（6）消除滴漏和改进运行管理水平。实行自动监测和加强对工作人员的培训可能也是有用的。

第3步 假如在第1步和第2步中所提到的每一种水流得到消除或者是减少的话（即减少了流量或者降低了污染水流的浓度），则进一步从节省基建投资和运行费用的角度对所建议的

“管道终端”处理方案进行评价。然后，设计出处理这一降低负荷的“管道终端”处理装置，将这些处理装置的基建和运行费用与处理原有全负荷时的（也即处理未实施废水厂内控制的工厂污染水流时的）“管道终端”处理装置进行比较。

为实施废水厂内控制，如果有必要，就需要深入了解工艺流程和掌握修改工艺流程的技能。化学工程技术人员是适宜从事这项工作的。

2-5-3 废水厂内控制的实例

麦克高维思 (McGovern) [6] 详述了两个有趣的实例。其中一个是关于石油化工厂的，现概述如下。

这是一个已经运行的石油化工厂，因为要设计和建设一个废水处理厂，在评价这个处理厂的时候，对该厂的厂内情况和该厂的排水进行了调查。废水处理厂拟处理的废水水量为20百万加仑/日，BOD负荷为52000磅/日。这个方案要求用一个能去除90%以上BOD负荷的活性污泥单元，并包括污泥的真空过滤与焚化，以及总出水的氯化等。

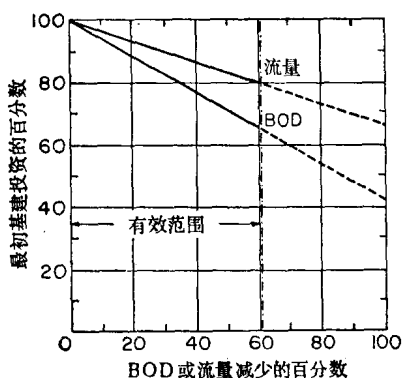


图 1-1 废水负荷减少对处理厂基建费用的影响 [6]

然后，仿效 2-5-2 节所概括介绍的步骤。研究了减少废水流量和浓度两者的可能性，结果对工艺流程提出了若干修改建议。由于流量和浓度的降低，而致大大节约了拟建处理厂的总投资。图 1-1 所示，即为这一实例所提供的资料，它表明了BOD

或流量的减少对处理装置的基建费用所产生的影响。在流量或BOD大约减少60%的范围内，这一图示是有效的。而任何更进一步的减少，则可能需要一个截然不同的处理系统。

废水厂内控制所节约的费用列于表1-1。废水流量降低到废水厂内控制前的85%，BOD负荷降低到50%。再则，用处理厂所节约的费用抵销是足足有余的。如表1-1所示，这个项目可净节约576000美元/年。

在厂内减少废水所节约的费用

表 1-1

在厂内减少废水所节约的费用		(美元/年)
废水厂内控制所节约的费用		
流量减少	(1424加仑/分)	410000
BOD减少	(2000磅/日)	302000
用水的减少		
处 理 水	(0.24百万加仑/日)	34000
河 流 水	(1.37百万加仑/日)	14000
产品回收		14000
废水厂内控制所节约的费用总计		774000
废水厂内控制费用		(美元/年)
工程技术方面		15000
基建投资		150000
运行和管理		33000
厂内控制总费用		198000
净 节 约	$774000 - 198000 = 576000$ 美元/年	

2-6 工艺设计中的新概念：未来的处理流程

2-5节所述内容，给工程技术人员引进了一个工艺设计的新概念。在未来的处理流程中将不再有一个标注“排放”的直线箭头。原则上讲，每样东西都要循环利用、副产品要回收、水也要回用。基本上，工厂的进出的水流只是原生废水和产品。唯一允许的排放物也将是清洁的：氮、氧、二氧化碳、水与一些（并不太多的！）热量。在这方面，我们最好是提一提美联邦1972年水污染控制法所制定的准则：（1）到1977年7月1日达到采用最适用的控制技术；（2）到1983年7月1日达到采用最佳技术；（3）到1985年7月1日实现零排放。①

① 零排放即无污染物排放。——译注