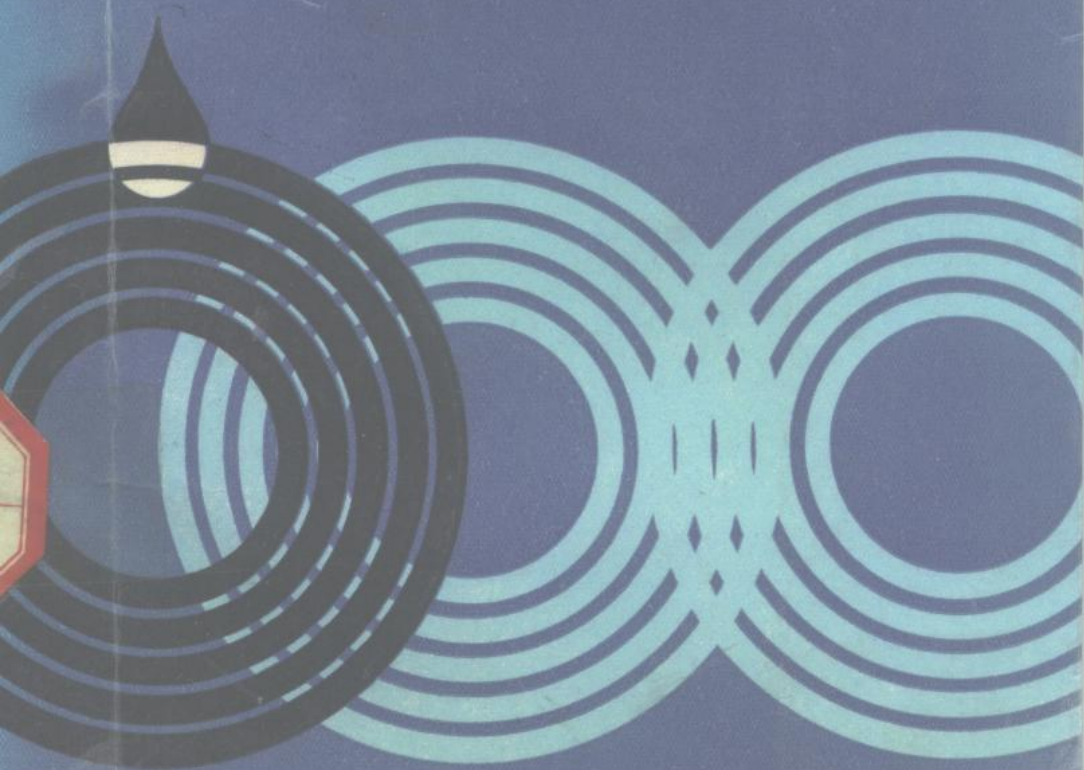


GONGYE SHUIWURAN KONGZHI

# 工业水污染 控制

[美] W. Wesley  
Eckenfelder, Jr. 著

姚重华 译校  
苏克曼  
• 华东化工学院出版社



# 工业水污染控制

姚重华 苏克曼 译校  
[美] W. Wesley Eckenfelder, Jr. 著

姚重华 苏克曼 译校

华东化工学院出版社

## 内 容 提 要

本书系统扼要地阐述了工业水污染控制的原理及方法，内容深入浅出，实例丰富，涉及污染源调查、废水预处理、混凝、沉淀、气浮、中和、各种生化处理、吸附、离子交换、化学氧化、污泥处置，以及土地处置、深井曝气、膜过滤等。本书可供从事环境保护特别是工业废水处理的科技人员、管理人员及大专院校有关专业师生阅读。

(沪)新登字208号

责任编辑 沈瑞祥

### 工业水污染控制

Gongye Shuiwuran Kongzhi

[美] W. Wesley Eckenfelder, Jr. 著

姚重华 苏克曼 译校

华东化工学院出版社出版发行

(上海市梅陇路 130 号)

新华书店上海发行所发行经销

浙江上虞汤浦科技外文印刷厂排版

上海东方印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 12.75 字数 340 千字

1991 年 5 月第 1 版 1991 年 5 月第 1 次印刷

印数 1-5000 册

---

ISBN 7-5628-0169-X/TQ·25 定价 8.30 元

## 译者的话

本书根据美国 McGraw-Hill 公司出版的 Industrial Water Pollution Control 1989 年第二版译出。

原书作者 W. Wesley Eckenfelder Jr. 生于 1926 年,是有从事工业水污染控制几十年经验的国际知名教授,已发表专著 18 本,论文 200 余篇,曾为包括联合国、世界卫生组织在内的 150 多家机构提供咨询服务,1981 年获美国 WPCF 的 Thomas Camp 奖,1986 年获 IAWPRC 美国全国委员会 Founders 奖,1987 年获波士顿土木工程协会 Thomas Camp 纪念奖,目前任美国 Vanderbilt 大学环境工程高级教授,并兼任美国 Aware 环境管理咨询公司总裁。

原书第一版于 1969 年出版,反映和汇集了作者在工业废水处理方面的经验与一些独到见解。在第二版中,作者总结了工业水污染控制近 20 年来的新进展,对第一版作了不少改动与增删,强调了工业废水处理理论的实际应用。

由于上述原因,我们将此书译出,希望能对我国的环境保护工作者有参考借鉴作用。本书也可作为废水工程课程的教学参考书。

译文中若有错误及不妥之处,敬希读者批评指正。

## 前 言

本书第一版发行至今已有 20 年。在这一期间,水质标准被不断提高,不但在水质管理法规方面有很大变化,也促进了传统水处理工艺的进一步完善及许多新的处理方法的出现。由于废水中污染物优先顺序的规定,以及污染物对水生生物毒性的研究,使许多传统的水处理设施已经过时。今日的挑战在于,既要使废水达到排放标准,又要其处理方法在经济上可行。

为了回答这些新挑战,本书介绍了现有的工业水污染控制的理论,以及解决当代工业水污染控制问题的一些工艺方法。

本书未对水污染控制有关技术的原理或理论作详细介绍。本书的重点在于强调这些理论的应用,使本书能直接用于专门的工业问题。

书中收集了许多实例,用以说明水污染控制技术的实际应用。

书中也给出一些习题,它们来自工程实际,使学生学到怎样将一种技术用于解决具体问题。

本书可用作与工业水污染控制有关课程的教科书,也可供涉及解决水污染控制问题的工业界、政府部门及工程咨询公司的工程师们阅读。

(致谢略)

# 目 录

<b>1</b>	<b>工业废水的来源与特征</b> .....	1
1.1	废水中的有害成份 .....	1
1.2	废水的来源与特征 .....	5
1.3	工业废水调查 .....	7
1.4	废水特征——有机物含量的估计 .....	13
1.5	水的再用及厂内废水控制 .....	22
1.6	雨水控制 .....	28
<b>2</b>	<b>废水处理过程</b> .....	36
<b>3</b>	<b>预处理与一级处理</b> .....	41
3.1	调节 .....	41
3.2	中和 .....	49
3.3	沉淀 .....	54
3.4	油的分离 .....	70
<b>4</b>	<b>混凝与沉淀</b> .....	85
4.1	混凝 .....	85
4.2	重金属去除 .....	99
<b>5</b>	<b>曝气与传质</b> .....	112
5.1	氧的传输机理 .....	112
5.2	曝气设备 .....	123
5.3	挥发性有机物的气提 .....	136
<b>6</b>	<b>生物氧化原理</b> .....	147
6.1	有机物去除机理 .....	147
6.2	生物氧化去除有机物的机理 .....	149
6.3	污泥的性质 .....	168
6.4	硝化与反硝化 .....	172
6.5	过程设计参数 .....	181

<b>7</b>	<b>生物废水处理方法</b> .....	191
	7.1 稳定池 .....	191
	7.2 曝气池 .....	197
	7.3 活性污泥法 .....	213
	7.4 生物滤池 .....	234
	7.5 生物转盘 .....	242
	7.6 厌氧分解 .....	248
<b>8</b>	<b>吸附</b> .....	268
	8.1 吸附理论 .....	268
	8.2 活性炭的性质 .....	272
	8.3 PACT法 .....	290
<b>9</b>	<b>离子交换</b> .....	297
	9.1 离子交换理论 .....	297
	9.2 电镀废水处理 .....	302
<b>10</b>	<b>化学氧化作用</b> .....	307
	10.1 臭氧 .....	307
	10.2 过氧化氢 .....	309
	10.3 氯气 .....	314
	10.4 湿空气氧化 .....	317
<b>11</b>	<b>污泥的处理与处置</b> .....	319
	11.1 被处理污泥的特征 .....	319
	11.2 好氧消化 .....	320
	11.3 重力浓缩 .....	325
	11.4 气浮浓缩 .....	329
	11.5 离心 .....	332
	11.6 比阻 .....	336
	11.7 真空过滤 .....	343
	11.8 压力过滤 .....	346
	11.9 砂场干燥 .....	350
	11.10 污泥的土地处置 .....	351

11.11 焚烧 .....	357
<b>12 其他处理方法</b> .....	<b>362</b>
12.1 土地处置.....	362
12.2 深井处置.....	372
12.3 膜过滤.....	374
12.4 除磷.....	383
12.5 过滤.....	388
<b>参考文献</b> .....	<b>395</b>



# 1 工业废水的来源与特征

## 1.1 废水中的有害成分

为防止受纳水体的污染，工业废水在排放前必须去除其中的有害成分。这些成分包括：

### (1) 消耗溶氧的可溶性有机物

由于大部分废水的受纳水体需维持一个最低溶氧水平，因而废水中的可溶性有机物的量受到受纳水体同化能力的限制，废水排放标准对此有明确规定。

### (2) 悬浮固体

废水中的固体物质在静止受纳水体中的沉积，会伤害水生生物，沉积物中的有机成分也会逐渐分解而消耗溶氧，并产生有害气体。

### (3) 微量有机物

若受纳水体用作饮用水水源，则工业废水中的酚及其他微量有机物在排放前必须被去除，否则水厂出水会有气味，使水厂不得不采取进一步处理措施。

### (4) 重金属、氟化物及有毒有机物

美国环境保护署(EPA)已确认一些有机和无机化学品为有毒物质，并限制其使用。表 1.1 是 EPA 确认的优先有机污染物。

表 1-1 EPA 优先有机污染物一览表

化合物名称	化合物名称
1. 蒽*	5. 联苯胺*
2. 丙烯醛*	6. 四氯化碳*
3. 丙烯腈*	
4. 苯*	氯化苯(非二氯苯)

## 续表

化合物名称	化合物名称
7. 氯苯	27. 1,4-二氯苯
8. 1,2,4,-三氯苯	二氯联苯胺*
9. 六氯苯	28. 3,3'-二氯联苯胺
氯代乙烷(包括1,2,-二氯乙烷, 1,1,1-三氯乙烷和六氯乙烷)	二氯乙烯(1,1-二氯乙烯和 1,2-二氯乙烯)
10. 1,2-二氯乙烷	29. 1,1-二氯乙烯
11. 1,1,1-三氯乙烷	30. 1,2-反式-二氯乙烯
12. 六氯乙烷	31. 2,4-二氯酚*
13. 1,1-二氯乙烷	二氯丙烷和二氯丙烯*
14. 1,1,2-三氯乙烷	32. 1,2-二氯丙烷
15. 1,1,2,2-四氯乙烷	33. 1,2-二氯丙烯
16. 氯乙烷(乙基氯)	34. 2,4-二甲酚*
氯烷基醚*(氯甲基醚、氯乙基醚及混合醚)	二硝基甲苯*
17. 双(氯甲基)醚	35. 2,4-二硝基甲苯
18. 双(2-氯乙基)醚	36. 2,6-二硝基甲苯
19. 2-氯乙基乙烯基醚	37. 1,2-二苯胍*
氯代萘*	38. 乙苯*
20. 2-氯代萘	39. 萤葱*
氯酚*(不包括在其他处已列过的化合物, 但包括三氯酚及氯甲酚)	卤代醚*(不包括在其他处已列过的)
21. 2,4,6,-三氯酚	40. 4-氯苯基苯醚
22. 对-氯-间-甲酚	41. 4-溴苯基苯醚
23. 氯仿(三氯甲烷)	42. 双(2-氯异丙基)醚
24. 2-氯酚*	43. 双(2-氯乙氧基)醚
二氯苯*	卤代甲烷(不包括在其他处已列过的)
25. 1,2-二氯苯	44. 二氯甲烷
26. 1,3-二氯苯	45. 氯甲烷
	46. 溴甲烷

## 续表

化合物名称	化合物名称
47. 溴仿(三溴甲烷)	稠环芳烃(PAH)*
48. 二氯溴甲烷	72. 苯并(a)蒽(1,2-苯并蒽)
49. 三氯氟甲烷	73. 苯并(a)芘(3,4-苯并芘)
50. 二氯二氟甲烷	74. 3,4-苯并蒽
51. 一氯二溴甲烷	75. 苯并(K)蒽(11,12-苯并蒽)
52. 六氯丁二烯*	76. 蒎
53. 六氯环戊二烯*	77. 蒎烯
54. 异佛尔酮*	78. 蒎
55. 萘*	79. 苯并(ghi)芘(1,12-苯并芘)
56. 硝基苯*	80. 芴
硝基酚* (包括 2,4-硝基酚及二硝基甲	81. 菲
酚)	82. 二苯并(a,h)蒽(1,2,5,6-二苯并蒽)
57. 2-硝基酚	83. 茚并(1,2,3-cd)芘(2,3-邻-苯蒽
58. 4-硝基酚	芘)
59. 2,4-二硝基酚*	84. 芘
60. 4,6-二硝基-邻甲酚	85. 四氯乙烯*
亚硝酸*	86. 甲苯*
61. N-亚硝基二甲胺	87. 三氯乙烯*
62. N-亚硝基二苯胺	88. 氯乙烯*
63. N-亚硝基-正丙基胺	杀虫剂及代谢物
64. 五氯酚*	89. 艾氏剂*
65. 酚	90. 狄氏剂*
邻苯二甲酸酯*	91. 氯丹*
66. 邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	DDT 及代谢物*
67. 邻苯二甲酸丁基苄基酯	92. 4,4'-DDT
68. 邻苯二甲酸二正丁酯	93. 4,4'-DDE(P,P'-DDX)
69. 邻苯二甲酸二正辛酯	94. 4,4'-DDD(P,P'-TDE)
70. 邻苯二甲酸二乙酯	硫丹及代谢物
71. 邻苯二甲酸二甲酯	95. $\alpha$ -硫丹
	96. $\beta$ -硫丹

续表

化合物名称	化合物名称
97. 硫丹硫酸酯	105. $\delta$ -BHC- $\delta$
异狄氏剂及谢物	多氯联苯(PCB)*
98. 异狄氏剂	106. PCB-1242(Arochlor 1242)
99. 异狄氏剂醚	107. PCB-1254
	108. PCB-1221
七氯及代谢物*	109. PCB-1232
100. 七氯	110. PCB-1248
101. 七氯环氧化物	111. PCB-1230
	112. PCB-1016
六氯环己烷(各种异构体)*	113. 毒杀芬*
102. $\alpha$ -BHC- $\alpha$	114. 2,3,7,8-四氯联苯-P-二噁因
103. $\beta$ -BHC- $\beta$	(TCDD)*
104. $\gamma$ -BHC(高丙体六六六)- $\gamma$	

(5) 颜色与浊度

废水带有某种颜色与浊度,即使对受纳水体的大部分用途没有带来严重危害,但它们会引起美学上的问题。在一些工业部门,例如纸浆与造纸厂,还没有经济上低廉的方法来去除废水中的颜色。

(6) 氮和磷

工业废水中的氮和磷能引起水体富营养化,促进藻类生长,这对作为受纳水体的湖泊、池塘等娱乐用水体特别有害。

(7) 难生物降解的物质

洗涤剂中的ABS(烷基苯磺酸盐)是不可降解的物质,往往在受纳水体水面上产生泡沫。还有一些难降解有机物对水生生物有毒。

(8) 油与漂浮物质

油与漂浮物质会恶化受纳水体的外观,水质法规在大部分情况下明确限制排放这类物质。

\* 在法令中许可的特殊化合物或化学品。

(9) 挥发性物质

硫化氢及一些挥发性有机物会引起大气污染，水质法规通常也限制它们的排放。

## 1.2 废水的来源与特征

工业废水的体积与强度通常是以单位生产量为基础的(例如，

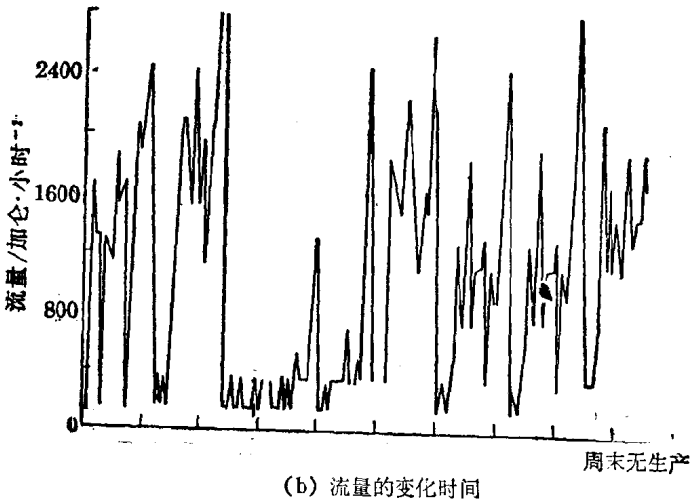
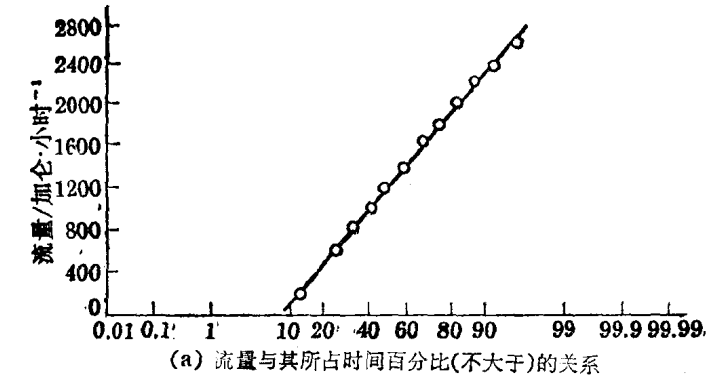


图 1-1 某间隙生产过程中废水流量的变化

注: 1 加仑/小时 =  $3.78 \times 10^{-3}$  米<sup>3</sup>/小时。

对于一个纸浆与造纸厂废水来说,即以加仑废水/吨纸浆或  $m^3$  废水/吨纸浆、磅 BOD/吨纸浆或千克 BOD/吨纸浆来表示);而废水的特征的变化,则以统计分布的方法表示。任何工厂的废水特征都会有统计上的变化。这种变化的大小与产品品种及产生废水的生产过程方面的变化有关,也与生产过程是间隙的还是连续的有关。良好的生产辅助性工作能减少废水的统计变化。图 1-1 表示典型的间隙生产过程废水流量的统计分布及与时间的关系。图 1-2 表示某厂废水流量与特征的统计分布。

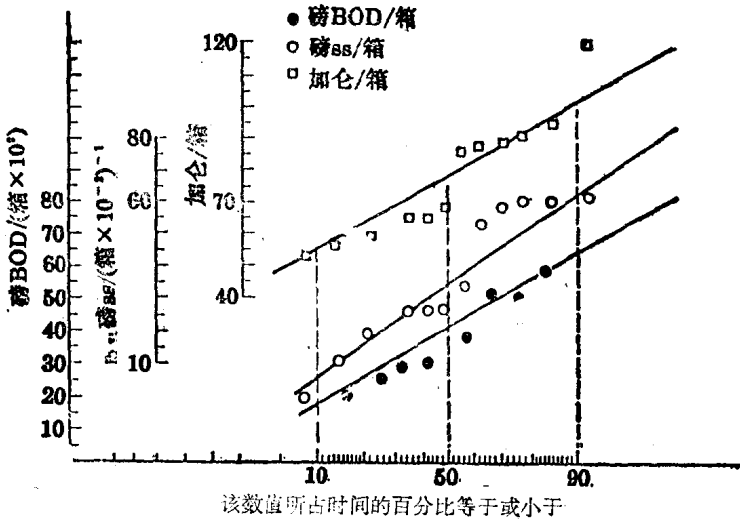


图 1-2 西红柿加工废水流量与特征的日变化

注: 1 磅 = 0.45 千克; 1 加仑 =  $3.78 \times 10^{-3}$  米<sup>3</sup>。

相同工业部门的不同工厂之间,例如纸板工业,在废水的流量与特征上也会许多不同,其原因是不同的工厂在生产辅助工序、水的再用及生产过程方面均有差别。没有什么工厂的生产过程是完全一样的。因而,对每一个工厂来说,就要调查自己的废水负荷与变化。表 1.2 列举了几种不同工业部门废水特征的差异。图 1-3 表示 11 家纸板厂废水中悬浮固体与 BOD 含量的差异。

### 1.3 工业废水调查

工业废水调查有一套确定的程序，以建立厂内所有使用水和产生废水的工序中流量与物料的平衡，并搞清某一工序以至全厂的废水特征的变化情况。调查的结果应能用于节水和水的再用，并为废水处理厂的设计提供依据。

表 1-2 一些代表性工业废水的流量与废水特征方面的变化

废水	流量(加仑/单位生产量)			BOD(磅/单位生产量)%频率			悬浮固体(磅/单位生产量)%频率		
	10	50	90	10	50	90	10	50	90
纸浆与造纸 <sup>①</sup>	11000	43000	74000	17.0	58.0	110.0	28.0	105.0	400.0
纸 板 <sup>①</sup>	7500	11000	27500	10	28	46	25	48	66
屠宰场 <sup>②</sup>	165	800	4300						
啤酒 <sup>③</sup>	130	370	600	0.8	2.0	44	0.25	1.2	2.45
制革厂 <sup>④</sup>	4.2	9.0	13.6	575 <sup>⑤</sup>	975	1400	600 <sup>⑤</sup>	1900	3200

注：1加仑 =  $3.78 \times 10^{-3}$  米<sup>3</sup>, 1磅 = 0.45 千克, 1英吨 = 907 千克,  
1桶 = 0.164 米<sup>3</sup>。

- ① 每英吨产量;
- ② 每屠宰 1000 磅活牲畜;
- ③ 每桶啤酒;
- ④ 磅生皮;硫化物以硫计算,由 260 毫克/升(10%)到 1230 毫克/升(90%);
- ⑤ 毫克/升。

工业废水调查一般有四步:

1) 通过询问厂内工程师及调查各种生产工序,作出厂内污水管道分布图。这张图应指明可能的采样点及废水流量的大致数量级;

2) 建立采样与分析程序。在一个点上连续采样,然后根据流量大小将样品加权混合,是最理想的方法。但这样做有时有困难,且不适用于人工采样点。采样频率及样品混合周期必须按照实际

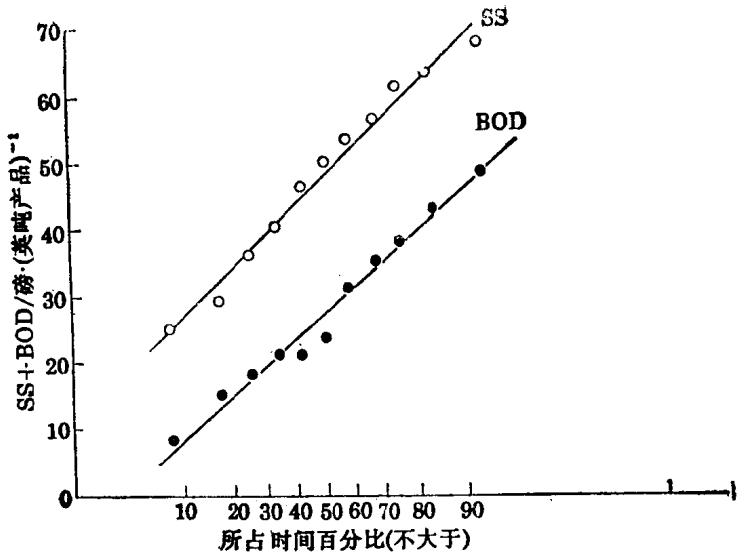


图 1-3 11 家纸板厂悬浮固体(SS)与生化需氧量(BOD)的统计分布

注:1 磅=0.45 千克; 1 英吨=907 千克。

生产过程的性质来确定。对于连续性生产过程而言,可每小时采一次样,然后将 8 次或 12 次甚至 24 次的样品混合在一起,若生产过程波动很大,则每 1—2 小时就要得到一个混合样品并进行分析。采样次数一般不会更多,因为大部分厂内工业废水处理设施都含有调节与贮存废水的能力。间隙性生产过程的废水要在一个过程结束时采样并混和。

废水样品的分析取决于样品的特征及分析的目的。例如,若不定时采集水样则必须分析每个样品的 pH 值,因为有可能在样品混合时发生不同酸碱度样品的中和作用,而给设计工作提供错误的信息。在设计一个包括短停留周期的生物处理过程时,因 BOD 负荷会有变化,每 8 小时或更短的时间内即需将样品混合后分析。但对废水在完全混合条件下要停留许多天的曝气池而言,每 24 小时混合一次即可。若需知道废水中氮和磷的含量以决定是否在生物处理中要添加营养元素,则可分析 24 小时混合样



品，因生物处理系统本身有缓冲容量。如果废水中含有对生物处理有毒的物质，则因短时间的排放可完全破坏生物处理的效能，而需对废水实际连续采样分析。很明显，这类有毒物质的存在将要求废水处理设计有专门的考虑。其他废水处理过程的采样程序也要分别加以设计。

流量测定方法的选择通常与采样点的位置有关。若废水流过一段污水管，则往往可在污水管里测量流速与水深，并根据连续方程进行计算，因流量  $Q = \text{截面积 } A \times \text{流速 } v (Q = Av)$ ，而  $A$  可根据污水管中废水的深度来计算(见图 1-4)。这一方法仅适用于截面积不变的部分充满的污水管，根据漂浮物在污水管两人孔间的移运可得知废水表面流速，将此值乘以 0.8 即为废水平均流速，比较精确的测量需用流量表。若废水在水沟或水槽里流动，则可用建立水堰测其堰溢流量或如前所述测流速与水深，来确定废水流

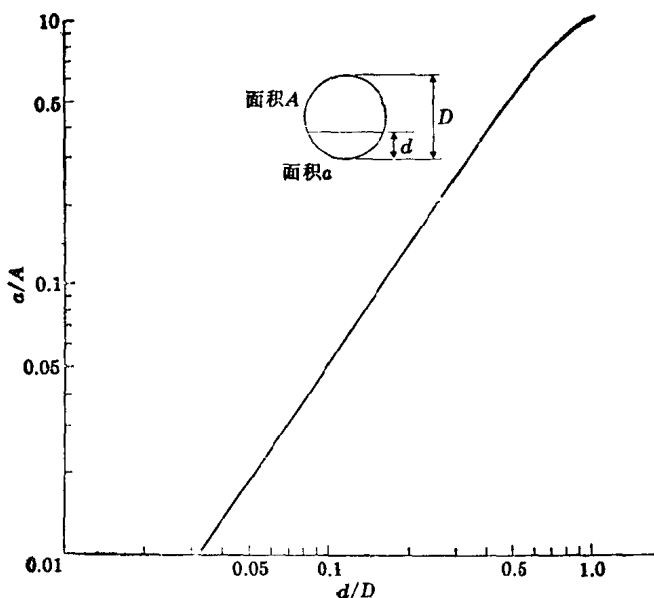


图 1-4 部分充满的下水道中废水流量的测定