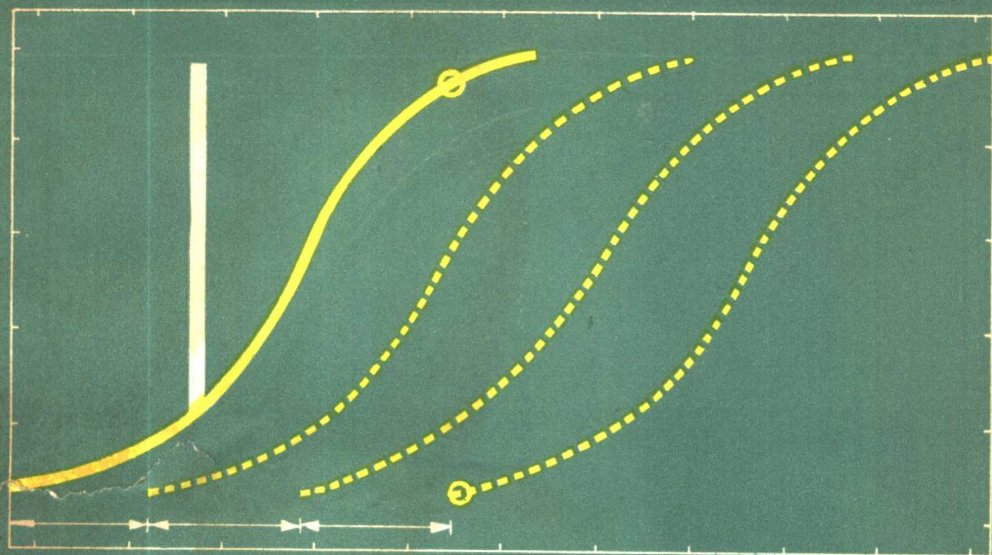




# 水和废水处理 物理化学工艺

## 流程计算

---

〔美〕 M. J. 小休默尼克 著

---

李春华 黄长盾 译

---

中国建筑工业出版社

---

# 水和废水处理 物理化学工艺流程计算

「美」

休斯尼克 著  
译

中国建筑工业出版社

本书主要介绍水和废水处理的物理化学工艺流程计算, 列举了有代表性的例题116个。全书共分均和、混凝和絮凝, 化学沉淀、水的软化和调整, 重力沉淀、浓缩和浮选, 过滤, 活性炭吸附, 离子交换, 氯化消毒, 曝气等九章。作者通过例题的解算, 论述了有关理论和试验研究方法。

本书可供给排水工程专业和环境工程专业的设计人员、研究人员、大专院校师生、研究生以及从事水处理和环境保护工作的管理人员参考。

**Water and Wastewater Treatment  
CALCULATIONS FOR CHEMICAL  
AND PHYSICAL PROCESSES**

*Michael J. Humenick, Jr.*

**MARCEL DEKKER, INC.** New York and Basel 1977

\* \* \*  
**水和废水处理  
物理化学工艺流程计算**  
李春华 黄长盾 译  
\*

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 各地新华书店经营  
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: 6 $\frac{1}{2}$  插页: 1 字数: 172千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数: 1—11,500册 定价: 1.05元

统一书号: 15040·4156

## 译 者 的 话

这是美国M.J.小休默尼克著述的一本受读者欢迎的书。书中对水处理的物理化学工艺流程的计算，列举了一些有代表性的例题。作者通过例题的解算，论述了有关的理论和试验研究方法。该书内容新颖，注重实用，基本反应了当前水处理技术方面的国际先进水平。本书是对给排水专业、环境工程专业的大专院校师生以及有关工程设计人员和研究人员很有价值的参考书。为此，我们将该书译出，希望能对广大读者有所帮助。

在翻译过程中，对原书中的一些错误已尽可能作了更正。由于水平所限，译文错误之处，在所难免，希望读者批评指正。

本书由何丁新同志审阅。任福田等同志对翻译工作给予大力支持，并提了很多宝贵意见，对此深表感谢。

译 者

于北京工业大学 1981.3

## 序 言

解题是工程师的基本技能，特别是对青年工程师，各种计算工作要花费大量的时间。然而，在水和废水处理的经典教材中，大量的篇幅都是用于理论的推导和解释。对于例题计算却常常很少注意和详细叙述。

显然，水处理理论方面的课本已相当多。因此，作者撰写此书只限于工艺计算，并注重实用，对计算的过程和说明，给予同等重视。

本书最初的设想，希望汇集资料，作为水的物理和化学处理方面的研究生的课本。因此，在编排上，提出问题后，便给予直接解答。当用到理论公式或重要的试验资料时，引证了适当的参考文献。在附录中列有丰富的资料，例如各种有关物质的物理和化学性质，单位换算系数及计算机程序。如果把本书作为教本，教授只需购买有关的理论补充课本，或在授课期间适当地介绍有关原理。教学大纲中所规定的某些理论教材，可供几门课程使用，因此可节省书费。

本书对水处理工程师所从事的各项工作也都有用处，在课堂教学和现场实习中也明显得到了应用，在专业工程师考核的自修期间，也很有帮助。此外，对工程师的深造或要求不断改进水的物理化学处理方面的技术，亦将会发现此书是一个良好的开端。

某些题目所汇集的资料，以前大概还没有累积或介绍过。特别是有关混凝—絮凝、活性碳吸附、卡特惠尔-劳伦斯 (Caldwell-Lawrence) 图解进行的水质软化和调整以及曝气系统的计算，应该说最有用处。

M.J.小休默尼克 1977 年

于得克萨斯州 奥斯丁

## 引 言

均和一章的题解使用了流量和浓度均和池的设计方法。其中只有一种方法适用于流量均和，且和几种浓度均和法相比，较简单一些。题解中包括水量累积线图，几种分析方法和普通计算机程序的使用。

混凝和絮凝一章，根据烧杯试验结果，计算药剂用量和污泥产量，从而设计处理设备。所列例题包括最佳投药量的确定，校核实际运行数据与设计标准的一致性，以及根据动力学变化的要求，调整运行条件。对于在废水处理中十分重要的磷酸盐沉淀也作了讨论。

化学沉淀、水的软化与调整一章的研究，系从碳酸盐和硬度体系的基本平衡式着手，包括活度的应用。软化计算的方法，由化学计算法到框条图解法，最后到最精确的卡特惠尔-劳伦斯图解法，这三种方法，增加了计算的精度和难度。

重力沉淀、浓缩和浮选一章，首先考虑斯笃克斯定律的应用。研究的对象包括分散颗粒和絮凝悬浮物。所列举的各种悬浮物的澄清和浓缩装置的设计方法中，包括斜管沉淀和溶气浮选。

过滤一章的内容，包括颗粒介质、硅藻土和真空过滤的计算。设计计算的例题有水流通过介质时的水头损失、反洗时的膨胀度和水头损失、滤池的尺寸、砂滤料的配制以及适用于颗粒介质滤池的排水系统。此外，研究了真空过滤的实验方法和设计数据。

活性炭吸附一章的例题，包括对间歇式和连续式体系的研究。吸附等温线的确定和使用，对若干问题的求解提供了依据。所介绍的几种吸附床设计方法与现有的实验室或生产规模的具体设计

方法相符合。如象弗华特 (Fornwalt) 和哈金斯 (Hutchins), 卜哈特 (Bohart) 和亚当斯 (Adams) 所提出的方法, 以及其它方法。

离子交换这章所涉及的内容有交换容量的确定, 水的软化和脱盐系统的设计, 以及有关离子交换平衡的计算。

在氯化消毒一章中, 应用氯化学和消毒动力学原理来解决实际问题。研究的内容有与系统设计有关的剂量计算、运行条件和余氯类型。此外, 还研究了与接触池的设计和工作特性有关的各项因素, 如水的 pH、温度和氯的浓度效应等。

曝气一章的重点是曝气系统的设计。例题包括气体的溶解度和压缩性的研究、质量转移计算、混合与确定设计参数的标准试验。曝气设备包括扩散曝气、表面曝气以及纯氧利用。

## 目 录

|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 第一章  | 均和.....           | 1   |
| 第二章  | 混凝和絮凝.....        | 12  |
| 第三章  | 化学沉淀、水的软化和调整..... | 28  |
|      | 水质软化的化学计算方法.....  | 32  |
|      | 框条图解法.....        | 33  |
|      | 平衡图解法.....        | 39  |
| 第四章  | 重力沉淀、浓缩和浮选.....   | 51  |
| 第五章  | 过滤.....           | 73  |
| 第六章  | 活性炭吸附.....        | 93  |
| 第七章  | 离子交换 .....        | 117 |
|      | 设计依据 .....        | 128 |
| 第八章  | 氯化消毒 .....        | 135 |
| 第九章  | 曝气 .....          | 153 |
| 附录 A | 物理数据 .....        | 172 |
| 附录 B | 平衡氧化还原反应方程式 ..... | 179 |
| 附录 C | 计算机程序 .....       | 181 |
|      | 均和池计算机程序 .....    | 181 |
|      | 自相关系数计算机程序 .....  | 191 |
| 附录 D | 换算系数 .....        | 193 |



# 第一章 均 和

【题 1-1】 根据实测的废水流量日变化曲线，如图1-1所示，确定在足以均和处理厂废水量的条件下均和池的最小容量。

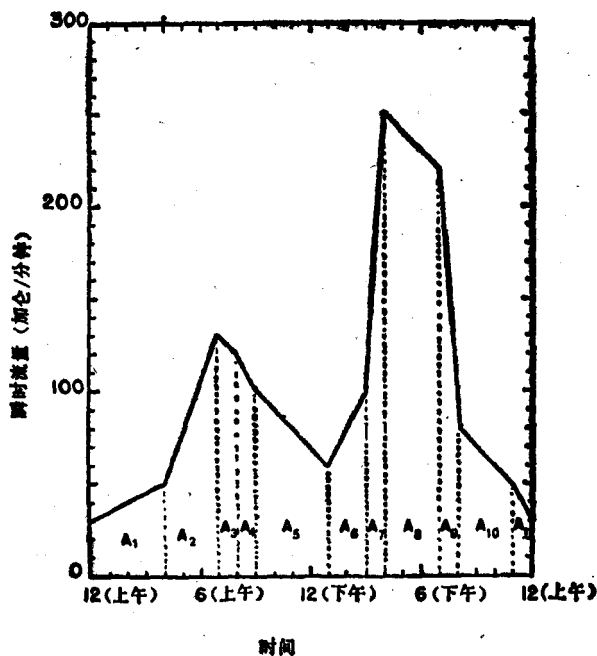


图 1-1 流量日变化曲线 [题1-1和1-2]

【解】

1. 确定每日处理的总废水量

总废水量用图1-1曲线下的面积确定

每日总废水量 =  $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{11}$

$$\begin{aligned}
 &= 4\text{时} \times 60\text{分钟/时} \times (30\text{加仑/分钟} + \frac{1}{2} \times 20\text{加} \\
 &\quad \text{仑/分钟}) + 3\text{时} \times 60\text{分钟/时} \times (50\text{加仑/分钟} \\
 &\quad + \frac{1}{2} \times 80\text{加仑/分钟}) + \dots\dots \\
 &= 9600 + 16200 + \dots\dots = 146400\text{加仑}
 \end{aligned}$$

$$\text{平均流量} = \frac{146400\text{加仑}}{24\text{时}} = 6100\text{加仑/时}$$

$$= 101.7\text{加仑/分钟}$$

2. 作流量累积线图, 如图1-2所示

(a) 从图左下角到24小时后总水量为146400加仑的直线, 表示均和后为均匀出水。

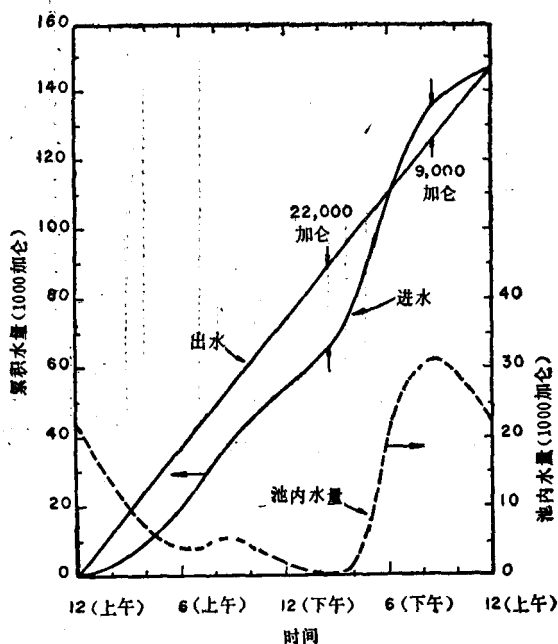


图 1-2 均和池进水、出水和存水的累积线图 [题1-1和1-2]

(b) 用图1-1曲线下对应于计算时间的面积来确定均和池的累积进水量。于是,

$$\text{上午4时的累积进水量} = A_1 = 9600 \text{ 加仑}$$

$$\text{上午7时的累积进水量} = A_1 + A_2$$

$$= 9600 \text{ 加仑} + 16200 \text{ 加仑} = 25800 \text{ 加仑}$$

3. 确定进水累积线和出水累积线之间的最大正偏差和最大负偏差。这两个数值的和即为水池所需最小容量。这样,

$$\text{均和池所需最小容量} = 22000 + 9000$$

$$= 31000 \text{ 加仑}$$

【题 1-2】 试用[题1-1]的数据, 计算一日内均和池中的废水量。

【解】

1. 在上午12时, 均和池必须容纳22000加仑的废水, 因为大约到下午2时30分, 池中进水量和出水量之间的累积差达到最大值22000加仑。

2. 在任何时刻, 池中水量等于离均匀出水线的最大负偏差(22000加仑)减去出水曲线和进水曲线之间的偏差。于是, 得到图1-2中的虚线。

$$\text{下午12时池中的水量} = 22000 \text{ 加仑}$$

$$\text{下午2时30分池中的水量} = 22000 - 22000$$

$$= 0 \text{ 加仑}$$

$$\text{下午8时30分池中的水量} = 22000 + 9000$$

$$= 31000 \text{ 加仑}$$

【题 1-3】 一个体积恒定的均和池, 保持均匀进水, 进水浓度按如下函数变化:

$$C_1 = \bar{C}_1 + k\bar{C}_1 \sin \omega t \quad (1-1)$$

式中  $C_1$  ——  $t$  时刻的进水浓度;

$\bar{C}_1$  —— 进水平均浓度;

$k$  —— 常数;

乘积  $k\bar{C}_1$  —— 进水最大浓度;

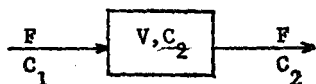
$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

$T$ ——正弦函数一个周期的时间。

假设池内的废水被完全混合。试确定废水的浓度——时间关系。

**【解】**

1. 这种系统可以表示为:



这里  $C$ ——废水中所含物质的浓度;

$C_1$ 、 $C_2$ ——分别为进水和出水●浓度;

$F$ ——恒定的进水流量和出水流量;

$V$ ——水池体积。

2. 物料的质量平衡为:

聚集速率 = 输入速率 - 输出速率

$$V \frac{dC_2}{dt} = FC_1 - FC_2 \quad (1-2)$$

3. 把  $C_1$  的函数关系式代入上式, 并用边界条件  $t=0$ ,  $C_2 = \bar{C}_1$ , 则式 (1-2) 的解为:

$$\frac{C_2}{\bar{C}_1} = 1 + \frac{k\tau\omega}{1+\tau^2\omega^2} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{k\sin(\omega t - y)}{(1+\tau^2\omega^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (1-3)$$

式中  $\tau = \frac{V}{F}$ ;

$$y = \tan^{-1}\omega\tau.$$

显然, 在式 (1-3) 中, 这个解含有瞬时态和稳态两项。对于连续流系统, 这个解的瞬时项可以略去, 因此均和池的工作特性可用下式表示:

● 原文误缺effluent。

$$\frac{C_2}{C_1} = 1 + \frac{k \sin(\omega t - y)}{(1 + \tau^2 \omega^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (1-4)$$

【题 1-4】 已知均和池中废水停留时间为 8 小时，进水浓度按式 (1-1) 变化，其中  $k=0.7$ ， $T=12$  小时。试用式 (1-4) 计算均和池稳态运行下的最大出水浓度。

【解】

最大出水浓度发生在  $\sin(\omega t - y) = 1$  的时刻，于是，

$$C_{2\text{最大}} = \bar{C}_1 \left[ 1 + \frac{k}{(1 + \tau^2 \omega^2)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$\frac{C_{2\text{最大}}}{\bar{C}_1} = 1 + \frac{0.7}{\left[ 1 + 8^2 \left( \frac{2\pi}{12} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} = 1.162 \quad (1-5)$$

因而，均和池降低了高峰的进水浓度，使出水浓度由原来比平均进水浓度大 70% 下降到 16.2%。

【题 1-5】 设废水在均和池中停留 3 小时，COD 的初始浓度为 500 毫克/升。若均和池的体积和流量都不变，试用下面给出的进水浓度数据和雷诺兹 (Reynolds) 等人的方法<sup>[1]</sup>，确定出水的 COD 浓度。

【解】

1. 解下列方程式

$$C_{2,t+\Delta t} = C_{1,t} (1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}) + C_{2,t} e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \quad (1-6)$$

式中  $C_{2,t+\Delta t}$  —— 在  $\Delta t$  时间内流进浓度为  $C_{1,t}$  的废水后池中废水的浓度；

$C_{1,t}$  ——  $\Delta t$  时段内的平均进水浓度；

$\Delta t$  —— 重复计算的时间增量；

$C_{2,t}$  —— 浓度为  $C_{1,t}$  的废水流入之前，池中的废水浓度；

$\tau$  —— 废水在池中的停留时间。

2. 下列数据是每隔 30 分钟测得的进水 COD 值：435, 560, 510, 475, 500, 450, 425, 410, 515, 550, 600, 610, 450,

300, 375, 350, 310, 480, 450, 400, 390, 330, 340, 320, 370, 450, 525, 510, 570, 630, 600, 550, 650, 675, 530, 350, 285, 240, 310, 375, 440, 410, 490, 445, 580, 715, 620, 655。

3. 计算方法是一个重复过程, 即对每一个时间增量求出对应的  $C_2$  值。因为所给数据的时间间隔为30分钟, 所以  $\Delta t = 30$  分钟。

4. 把  $\Delta t$  和  $\tau$  固定, 式 (1-6) 简化为:

$$e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} = 3^{-\frac{30}{3 \times 60}} = 0.846$$

$$C_{2,t+\Delta t} = 0.1535C_{1,t} + 0.846C_{2,t} \quad (1-7)$$

5. 计算停留30分钟的实例并将若干数据列入表中。请记住  $C_{1,t}$  是时间  $\Delta t$  内的平均进水浓度。

(a) 在30分钟时,  $C_2 = 0.1535 \left( \frac{435+560}{2} \right) + 0.846 \times 500 = 499.6$  毫克/升。

(b) 多次计算数据摘要如下表:

[题 1-5] 数据

| t (分钟) | $C_1$ (毫克/升) | $C_{1,t}$ | $C_{2,t+\Delta t}$ |
|--------|--------------|-----------|--------------------|
| 0      | 435          |           | 500.0              |
| 30     | 560          | 497.5     | 499.6              |
| 60     | 510          | 535.0     | 505.0              |
| 90     | 475          | 492.5     | 503.1              |
| 120    | 500          | 487.5     | 500.7              |
| 150    | 450          | 475.0     | 496.8              |

**【题 1-6】** 根据[题1-5]的数据, 进水中 COD 的平均浓度为 469毫克/升。试用丹克沃茨 (Danckwerts) 和塞勒斯 (Sellers) 方法<sup>[2]</sup>, 设计一个均和池, 要求在 90% 时间内, 出水平均浓度在 50毫克/升以内变化。

● 原文误为  $t$ 。

【解】

1. 解下列方程式

$$\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\infty} e^{-\frac{r}{\tau}} R(r) dr \quad (1-8)$$

式中  $\sigma_2^2$ ——出水浓度的方差；

$\sigma_1^2$ ——进水浓度的方差；

$\tau$ ——废水在池中的停留时间；

$r$ ——时间滞差；

$R(r)$ ——进水数据的自相关系数，用下式定义。

$$R(r) = \frac{(\bar{C}_1 - \bar{C}_1)_t (\bar{C}_1 - \bar{C}_1)_{t+r}}{\sigma_1^2} \quad (1-9)$$

式中， $\bar{C}_1$ 是平均进水浓度，分子是由时间滞差  $r$  所分隔的平均浓度偏差数乘积的平均值。

2. 在求出  $R(r)$  值后，可以应用图解法或分析法求式 (1-8) 的值。作为  $r$  值的函数  $R(r)$  的一种简便计算方法（这种方法的计算机程序见附录 C）如下：

(a) 在时间间隔  $\Delta t$  相同的条件下，求出  $C_1 - \bar{C}_1, \dots$ ，并记作  $d_1, d_2, \dots$  等等。

(b) 求差， $D_1 = d_1 - d_2, D_2 = d_2 - d_3, \dots$  等等。将每个  $D$  平方后相加，得  $\Sigma D^2$ 。

(c) 求和， $S_1 = d_1 + d_2, S_2 = d_2 + d_3, \dots$  等等。将每个  $S$  平方后相加，得  $\Sigma S^2$ 。

(d) 于是，当  $r = \Delta t$  时， $R(r)$  值为：

$$R(r) = \frac{\Sigma S^2 - \Sigma D^2}{\Sigma S^2 + \Sigma D^2} \quad (1-10)$$

(e) 求出其他  $r$  值的  $R(r)$  值，例如  $r = 2\Delta t$ ，求  $d_1 + d_3, d_2 + d_4, \dots$  等等的和。

3. 对大量的数据，可以应用附录 c 的计算机程序计算  $R(r)$  值。这种方法要求数据记录的长度应该是本题所提出的时段的 10 倍。此外，最少要有 80 个试样，但为了表示废水的特性，合乎要

求的试样数目应为150个<sup>[3,4]</sup>。

4. 下表列出按[题 1-5]所给的数据, 计算  $R(r)$  值的结果。  
 $R(r) \sim r$  如图 1-3 所示。

[题 1-6] 的数据

| $r$ (分钟) | $R(r)$ | $r$ (分钟) | $R(r)$ |
|----------|--------|----------|--------|
| 30       | 0.760  | 420      | 0.159  |
| 60       | 0.459  | 480      | 0.316  |
| 90       | 0.175  | 540      | 0.225  |
| 120      | -0.113 | 600      | 0.114  |
| 180      | -0.286 | 660      | 0.186  |
| 240      | -0.402 | 720      | -0.021 |
| 300      | -0.446 | 780      | -0.361 |
| 360      | -0.162 | 840      | -0.206 |

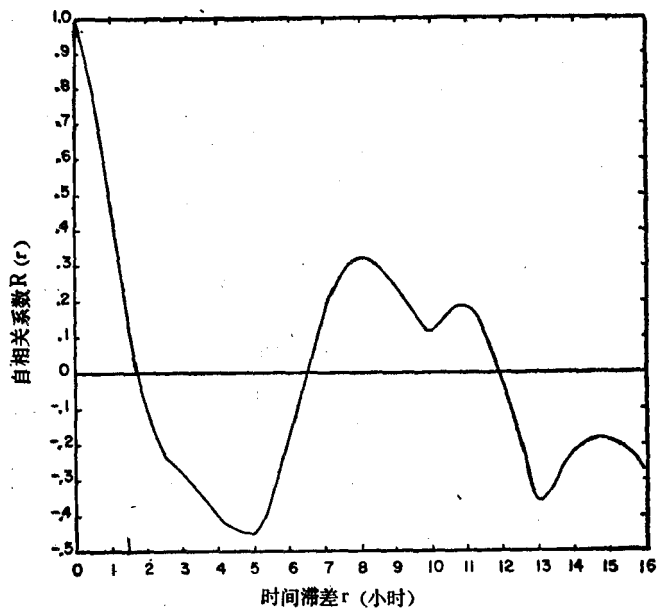


图 1-3 自相关系数,  $R(r) \sim r$  曲线 [题1-6]



在  $r$  值较大时,  $R(r)$  值的波动表明, 其数据的变化是周期性的而不是随机的。

5. 为了求出式 (1-8) 的数值, 图1-3可以用图解积分或采用解析式来拟合曲线的各个部分, 然后解式 (1-8)。图1-4表示用折线近似地代替图1-3中曲线的形状。

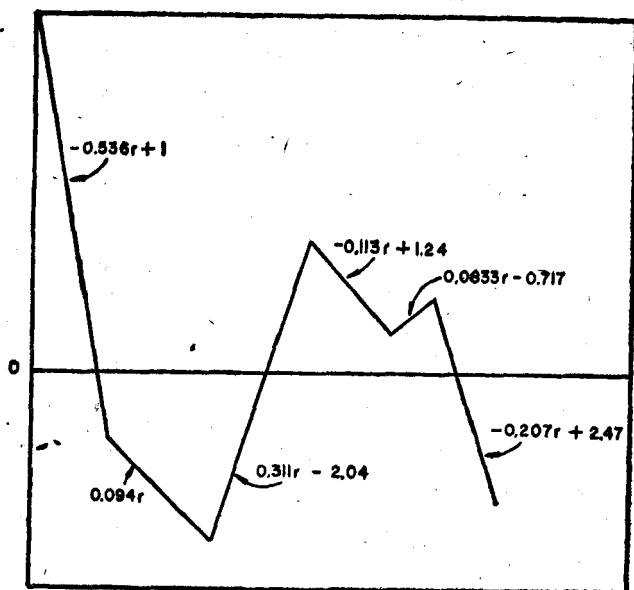


图 1-4 近似于图1-3的折线图 [题1-6]

6. 图1-5表示应用图1-4的折线对式 (1-8) 积分的结果。

7. 假如90%时间内COD平均进水浓度为469毫克/升, 出水浓度必须在 $\pm 50$ 毫克/升之间变化, 按规定, 50毫克/升等于平均出水浓度标准偏差的1.645倍。因此,  $50 \text{ 毫克/升} = 1.645\sigma_2$ 。

确定相应于其他百分率标准偏差的数值, 可参考正态分布表。

$$8. \sigma_2 = \frac{50 \text{ 毫克/升}}{1.645} = 30.4 \text{ 毫克/升}$$

$$\sigma_2^2 = 924$$